ATTI DEL 10° CONGRESSO

DELLA

ASSOCIAZIONE ITALIANA DI OCEANOLOGIA E LIMNOLOGIA

Alassio 4-6 Novembre 1992

a cura di

**Giancarlo Albertelli, Riccardo Cattaneo - Vietti,
e Mauro Piccazzo**

E

ATTI

DELL'ASSOCIAZIONE ITALIANA

DI

OCEANOLOGIA E LIMNOLOGIA

(A.I.O.L.)

(dal 1° Gennaio 1991 al 31 Dicembre 1992)

**Volume stampato con il contributo
del Consiglio Nazionale delle Ricerche**

Genova 1994

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

A.I.O.L.

CONSIGLIO DI PRESIDENZA

per gli anni 1991-1992

Presidente	NORBERTO DELLA CROCE
Consiglieri	GIANCARLO ALBERTELLI WALTER AMBROSETTI GIULIO CATALANO GIOVANNI PAOLO FANZUTTI PAOLA GIORDANI MAURO PICCAZZO
Segretario	RICCARDO CATTANEO-VIETTI

PRESENTAZIONE

II 10° Congresso, a vent'anni dalla fondazione dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia, segna una prima tappa che merita qualche considerazione.

In questi venti anni si è auspicato a più riprese una maggiore integrazione culturale tra ricerca oceanologica e limnologica ed una maggiore interdisciplinarità; si è constatato come i contributi di conoscenze, pur di diversa impostazione di base, vadano assumendo una propria fisionomia da poterli considerare tasselli di un nuovo mosaico, preludio al concetto unificante di ecologia acquatica; si è assistito ad una crescita culturale che fa convergere nell'A.I.O.L. forze giovani che guardano oltre gli schemi tradizionali della ricerca in mare; si è osservato come alla aumentata sensibilità della collettività nazionale per problemi del mare non corrisponda una strategia nazionale per il potenziamento delle strutture per giungere a risposte adeguate ai problemi dei mari italiani. La grave e marcata dissonanza ha indotto il Consiglio di Presidenza a presentare alla stampa ed ai mezzi audiovisivi d'informazione la nota "II Mare: ricerca e politica ambientale" che viene qui di seguito riportata.

In una precedente presentazione ci si riferisce giustamente ai mali storici che affliggono l'Oceanologia e la Limnologia in Italia.

Non è questa la sede e tanto meno opportuno è il momento per insistere su mali storici e cronici, nonché sull'effetto nefasto di certe improvvisazioni tecnico-scientifico-politiche nella ricerca marina ed in quella delle acque interne.

Nella ricerca, la crescita a tasso variabile per cause e fattori che insistono dall'esterno sulle componenti scientifiche risulta particolarmente negativa e controproducente.

Norberto Della Croce

Lettera aperta del Consiglio Direttivo

IL MARE : RICERCA E POLITICA AMBIENTALE

In quest'ultimo decennio abbiamo visto nascere, in Italia, diverse espressioni ambientaliste che si sono rapidamente "ritagliate" un loro spazio politico, anche grazie ai "mass media" che hanno subito compreso quale presa, all'inizio solo emotiva, avesse la questione ambientale sull'opinione pubblica. Non è in questa sede che si intende comprendere le complesse motivazioni sociali e politiche che hanno dato il via ai diversi movimenti, ma appare necessario oggi sviluppare alcune considerazioni sul loro ruolo e sui rapporti che si sono intrecciati tra ricerca scientifica, movimenti d'opinione e politica ambientale in Italia.

Il "polverone" sollevato in Italia dai movimenti ecologisti ha rapidamente avviluppato le scienze che studiano, da che mondo è mondo, l'ambiente: le Scienze della Natura. L'ansia e la esagitazione per una risposta non poteva avere marchio scientifico a breve termine e pertanto non poteva soddisfare i movimenti ambientalisti, trovando spesso impreparato il mondo accademico: questo rifiuta la notorietà improvvisata che proviene dal sottoscrivere certezze scientifiche spesso invocate da un opinione pubblica più o meno teleguidata e talora "traumatizzata" a seconda degli interessi in gioco. È altrettanto ovvio però che certi problemi ambientali, comunque originatisi, non possono attendere all'infinito la risposta scientifica che - sbloccando il dubbio - permette l'intervento in tempo reale. Ma se questo non lo può fare la scienza, tanto meno lo può fare l'opinione pubblica, soprattutto quando essa non è consapevole delle dimensioni e della gravità del problema.

Il trionfo della scienza-spettacolo, delle interviste, delle tavole rotonde, con o senza ammiccamenti, in diretta TV non hanno fatto altro che contribuire ad aumentare la confusione dei ruoli, alimentata da vuoti di conoscenza e da spinte demagogiche pilotate da cavalcatori di tigri e di asini (più asini che tigri) di diversa estrazione culturale e sociale. Questo non significa che associazioni nazionali, internazionali e mondiali non possano svolgere e svolgano un'importante funzione educativa e di presa di coscienza delle problematiche ambientali, ed ancora di pungolare un apparato statale miope o che preferisce essere tale. Ma il caso (?) vuole che siano proprio le associazioni ambientaliste ad essere rappresentate in forma consistente nelle varie commissioni e consulte che i diversi ministeri hanno creato, valutando forse più che l'apporto scientifico quello elettorale. Da questo processo nasce una manovalanza intellettuale piuttosto rilevante, sempre disponibile a cavalcare l'asino di cui sopra.

In questa confusione per un verso, ed in questa giungla per un altro, si dibattono le componenti pubbliche della ricerca e dell'istruzione, almeno per quanto concerne la problematica dei mari e delle acque interne del nostro Paese. D'altra parte le risorse disponibili non sono scarse, pur ancorate a schemi spesso scarsamente scientifici, per cui ne risulta che le briciole della pagnotta vengono destinate alla ricerca, il tozzo di pane al monitoraggio, il pane e burro alle così dette catastrofi che - guarda caso - sono in aumento in tutto il mondo (e questo è un fatto su cui riflettere) e che talvolta costituiscono l'unico movente per sviluppare specifici settori di ricerca.

La situazione risulta ancora più pesante se si considera che la riforma universitaria ha previsto - e concettualmente si può essere d'accordo - che la partecipazione dell'Università alla vita del Paese significa integrare il potere della conoscenza con il potere economico della tecnica. Situazione questa che dovrebbe porre l'Università sullo stesso piano concorrenziale delle cooperative, degli studi professionali, delle società pubbliche e private. Tutto ciò potrebbe anche realizzarsi in pratica se l'Università potesse comportarsi, pur nell'attuale snellezza amministrativa, come un'azienda qualsiasi, mentre sappiamo

bene in quali problemi burocratici ed organizzativi si dibatte la nostra Università che, d'altra parte, non può e non vuole rinunciare alla sua libertà di pensiero e ricerca.

Uno dei campi della ricerca ambientale dove le carenze, la confusione dei ruoli, la mancanza di continuità e la programmazione soffrono di enormi ritardi nel tradursi in fatto operativo è proprio quello dell'Oceanologia e della Limnologia.

Senza andare indietro nel tempo e richiamare aspetti appariscenti ed illuminanti (naufragi della Cavtat e della Haven, parchi marini, balneazione, fermo di pesca, goletta verde, inerzia, condiscendenza) è sufficiente ricordare che materie sicuramente alla base di tali problemi ambientali, come la Limnologia e l'Oceanologia, non trovano, come tali, spazi precisi sia nel campo della ricerca che della formazione. Nel frattempo, nel campo della Comunità europea s'intende rafforzare le basi scientifiche e tecnologiche necessarie per l'esplorazione, l'utilizzazione, la gestione e la protezione dei mari europei ed ancora una volta l'Italia vi giocherà un ruolo di secondo piano. L'impressione è che in Italia non si voglia intendere il significato di produrre una cultura che non sia quella storica, economica e tecnica delle vie d'acqua e, d'altra parte, la struttura della ricerca oceanografica e delle acque interne è affidata a pochi ed antiquati mezzi navali ed a poche istituzioni di cui alcune fiorenti, altre in stato preagonico o di convalescenza o appena nate e nessuna di queste sostenuta adeguatamente per evitare cadute o ricadute .....

Lo stesso corso di laurea in Scienze Ambientali a diversi indirizzi, quello marino incluso, che è nato come esigenza sentita anche dall'opinione pubblica, risulta essere alle prese con la moda e con la politica di provincia che lo vuole ovunque, mentre da un'altra sponda già si pensa ad una revisione dei contenuti dei corsi a pochi anni dalla sua attivazione, quando alcune delle Sedi che hanno invocato la revisione non lo hanno ancora avviato.

In questo contesto non ha significato dilungarsi sui vari aspetti che sino ad oggi non hanno fatto decollare in Italia l'Oceanografia e la Limnologia per proporre soluzioni.

Qui si desidera confermare che la ricerca ambientale marina e delle acque interne intende rivendicare, attraverso le Società Scientifiche che più coerentemente le rappresentano, il ruolo di svolgere analisi rigorose dei fenomeni, analisi oggettive dei fatti e delle loro conseguenze. In questo senso, il corpo docente e di ricerca di questo Paese dovrebbe chiaramente dibattere, nell'ambito delle varie Società, il suo compito ed il suo concreto contributo ai problemi degli ambienti acquatici.

Lo studio, la gestione e la divulgazione dei problemi ambientali, tutte componenti necessarie alla crescita civile del Paese, necessitano una ridefinizione dei ruoli che le varie realtà della società civile debbono svolgere, nell'ambito delle proprie competenze, per il comune progresso.

Del resto, è proprio la confusione dei ruoli che ha portato il Paese ad un degrado che non è soltanto ambientale.

Norberto DELLA CROCE - Istituto di Scienze Ambientali Marine, Università di Genova.
Riccardo CATTANEO-VIETTI - Istituto di Zoologia, Università di Genova.
Giancarlo ALBERTELLI - Dipartimento di Biologia Animale ed Ecologia Marina, Università di Messina.
Walter AMBROSETTI - Istituto Italiano di Idrobiologia, CNR, Verbania Pallanza.
Giulio CATALANO - Istituto Sperimentale Talassografico, CNR, Trieste.
Giovanni Paolo FANZUTTI - Istituto di Geologia e Paleontologia, Università di Trieste.
Paola GIORDANI - Istituto di Geologia Marina, CNR, Bologna.
Mauro PICCAZZO - Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Genova.

Santa Margherita Ligure, 5 agosto 1991

L'Associazione, per il contributo fornito allo svolgimento del Congresso, desidera ringraziare l'Università degli Studi di Genova - Programma Colombo '92, il Centro Studi Unioncamere Liguri, il Comune "Città di Alassio" e, sempre in Alassio, l'Azienda di Promozione Turistica, l'Associazione Italiana Albergatori, il Banco di Chiavari e della Riviera Ligure, la Direzione dell'Hotel Diana e la Pasticceria Canepa.

ATTI

DEL X CONGRESSO NAZIONALE

della

ASSOCIAZIONE ITALIANA DI OCEANOLOGIA E LIMNOLOGIA

(A.I.O.L.)

Alassio, 4-6 Novembre 1992

ELENCO DEI PARTECIPANTI AL X CONGRESSO A.I.O.L.

Alassio, 4-6 Novembre 1992

AIRÓ Silvia	Dip. Genetica, Sez. Ecologia - Univ. Pavia
ALBERTELLI Giancarlo	Dip. Biologia Animale ed Ecologia Marina - Univ. Messina
ALIANI Stefano	ENEA/CRAM - Forte S. Teresa, Lcrici (SP)
AMBROSETTI Walter	Ist. Italiano di Idrobiologia, CNR - Pallanza
ASIOLI Alessandra	Ist. Geologia, Paleontologia e Geografia, Univ. Parma
ASTRALDI Mario	Staz. Oceanografica, CNR - Forte S. Teresa, Lerici (SP)
AZZOLINI Roberto	CNR- Roma
BALDUZZI Andrea	Ist. Zoologia - Univ. Genova
BARBANTI Andrea	ISMES - Bergamo
BASSO Daniela	Dip. Scienze della Terra - Univ. Milano
BAUDO Renato	Ist. Italiano di Idrobiologia, CNR - Pallanza
BELLOTTI Piero	Dip. Scienze della Terra - Univ. Roma
BENASSI Giorgio	Ist. Ecologia - Univ. Parma
BIANCHI Carlo Nike	ENEA/CRAM - Forte S. Teresa, Lerici (SP)
BOERO Ferdinando	Dip. Biologia - Univ. Lecce
BOGGERO Angela	Ist. Italiano di Idrobiologia, CNR - Pallanza
BORSETTI Anna Maria	Ist. per la Geologia Marina, CNR - Bologna
BRAMBATI Antonio	Ist. Geologia e Paleontologia - Univ. Trieste
BRANDOLINI Pierluigi	Ist. Geografia - Univ. Genova
BREGANT Davide	Ist. Talassografico, CNR - Trieste
BUDILLON Giorgio	Ist. Meteorologia e Oceanografia - Ist. Univ. Navale Napoli
BUSCARINU Paola	Ente Autonomo del Flumendosa - Cagliari
CABRINI Marina	Lab. Biologia Marina – Trieste

CAROLLO Alfredo	Ist. Italiano di Idrobiologia, CNR – Pallanza
CATALANO Giulio	Ist. Talassografico, CNR – Trieste
CATTANEO-VIETTI Riccardo	Ist. Zoologia - Univ. Genova
CHIANTORE Maria Chiara	Ist. Scienze Ambientali Marine - Univ. Genova
CICERI Giovanni	CISE - Segrate (MI)
COCCO Ennio	Dip. Scienze della Terra - Univ. Napoli
COCITO Silvia	ENEA/CRAM - Forte S. Teresa, Lerici (SP)
COLIZZA Ester	Ist. Geologia e Paleontologia - Univ. Trieste
CONVERSANO Fabio	Ist. Meteorologia e Oceanografia - Tst. Univ. Navale Napoli
CORSELLI Cesare	Dip. Scienze della Terra - Univ. Milano
CORTEMIGLIA Gian Camillo	Dip. Scienze della Terra - Univ. Genova
COSCE Claudio	Ist. "Leon Pancaldo" - Savona
COSSU Andrea	Dip. Botanica ed Ecologia Vegetale - Univ. Sassari
COVAZZI Anabella	Ist. Scienze Ambientali Marine - Univ. Genova
DANOVARO Roberto	Ist. Scienze Ambientali Marine - Univ. Genova
DE BIASI Anna Maria	ENEA/CRAM - Forte S. Teresa, Lerici (SP)
DE LAURO Massimo	SO.PRO.MAR. - Napoli
DELLA CROCE Norberto	Ist. Scienze Ambientali Marine - Univ. Genova
DELLAVALLE Giuseppe	Lab. Biologia Marina - Trieste
DEL NEGRO Paola	Lab. Biologia Marina - Trieste
DEL PIERO Donatella	Dip. Biologia - Univ. Trieste
DE MAGISTRIS M. Antonietta	Dip. Scienze della Terra - Univ. Napoli
DE MAIO Arturo	Ist. Meteorologia e Oceanografia - Ist. Univ. Navale Napoli
DIVIACCO Giovanni	ICRAM - Roma
DRAGO Nicolino	Ist. Scienze Ambientali Marine - Univ. Genova
FABIANO Mauro	Dip. Biologia Animale ed Ecologia - Univ. Cagliari
FANZUTTI Giovanni Paolo	Ist. Geologia e Paleontologia - Univ. Trieste
FARANDA Francesco	Ist. Scienze Ambientali Marine - Univ. Genova

FERRARI Irenico	Ist. Ecologia - Univ. Parma
FERRARI Marco	Dip. Scienze della Terra - Univ. Genova
FERRETTI Omelia	ENEA/CRAM - Forte S. Teresa, Lerici (SP)
FESTA Vincenzo	ENEL/CRTN - Milano
FIERRO Giuliano	Dip. Scienze della Terra - Univ. Genova
FIRPO Marco	Dip. Scienze della Terra - Univ. Genova
FONDA-UMANI Serena	Dip. Biologia - Univ. Trieste
FRASCHETTI Simonetta	Ist. Scienze Ambientali Marine - Univ. Genova
GAMBI Maria Cristina	Lab. Biologia del Benthos, Staz. Zoologica - Ischia (NA)
GASPARINI Gian Pietro	Staz. Oceanografica, CNR - Forte S. Teresa, Lerici (SP)
GHIRARDELLI Elvezio	Dip. Biologia - Univ. Trieste
GIACOBBE Salvatore	Dip. Biologia Animale ed Ecologia Marina - Univ. Messina
GIANI Michele	ICRAM - Roma
GIORDANI Paola	Ist. per la Geologia Marina, CNR - Bologna
GIUSSANI Gianluigi	Ist. Italiano di Idrobiologia, CNR - Pallanza
GUGLIELMO Letterio	Dip. Biologia Animale ed Ecologia Marina - Univ. Messina
HECQ Jean Henri	Univ. Liège (Belgium)
INNAMORATI Mario	Lab. Ecologia Vegetale, Dip. Biologia - Univ. Firenze
IVALDI Roberta	Dip. Scienze della Terra - Univ. Genova
LANGONE Leonardo	Ist. per la Geologia Marina, CNR - Bologna
LAZZARA Luigi	Dip. Biologia Vegetale - Univ. Firenze
LICANDRO Priscilla	Ist. Scienze Ambientali Marine - Univ. Genova
LUGLIÉ Antonella	Dip. Botanica ed Ecologia Vegetale - Univ. Sassari
MARABINI Franco	Ist. per la Geologia Marina – Bologna
MARTINOTTI Walter	ENEL – Milano
MELONI Roberto	Staz. Oceanografica, CNR - Forte S. Teresa, Lerici (SP)
MICHELATO Antonio	Osservatorio Geofisico Sperimentale, Trieste
MILANI Luisella	Lab. Biologia Marina – Trieste

MISIC Cristina	Ist. Scienze Ambientali Marine - Univ. Genova
MONTI Marina	Lab. Biologia Marina - Trieste
MORESCALCHI Alessandra	Ist. Anatomia Comparata - Univ. Genova
MORESCALCHI Alessandro	Ist. Anatomia Comparata - Univ. Genova
MORI Giovanna	Lab. Ecologia Vegetale, Dip. Biologia - Univ. Firenze
MORRI Carla	Ist. Zoologia - Univ. Genova
MOSELLO Rosario	Ist. Italiano di Idrobiologia, CNR - Pallanza
NICCHIOTTI Gianluca	ELSAG BAILEY - Genova
NICCOLAI Ilaria	ENEA/CRAM - Forte S. Teresa, Lerici (SP)
OCCHIPINTI Anna	Dip. Genetica e Microbiologia, Sez. Ecologia - Univ. Pavia
PANO Niko	Inst. Hidrometeorologjik - Univ. Tirana (Albania)
PANSINI Maurizio	Ist. Zoologia, Univ. Genova
PAPA Lorenzo	Ist. Idrografico della Marina - Genova
PEIRANO Andrea	EGA - Monterosso al Mare (SP)
PELLEGRINI David	ICRAM - Roma
PERDICARO Renato	Lab. Centrale Idrobiologia - Roma
PETRILLO Mario	Ist. Scienze Ambientali Marine - Univ. Genova
PIANI Raffaella	Ist. Geologia e Paleontologia - Univ. Trieste
PICCAZZO Mauro	Dip. Scienze della Terra - Univ. Genova
POVERO Paolo	Ist. Scienze Ambientali Marine - Univ. Genova
PRICE N. Brian	Lab. Geology and Geophysics - Univ. Edinburgh (UK)
RAVAIOLI Mariangela	Ist. per la Geologia Marina - Bologna
RIBERA D'ALCALÀ Maurizio	Stazione Zoologica "A. Dohrn" - Napoli
RICCI Francesca	Ist. Scienze Ambientali Marine - Univ. Genova
RIGGIO Silvano	Ist. Zoologia - Univ. Palermo
ROSSI Valerla	Ist. Ecologia - Univ. Parma
ROLLANDO Angela	Ist. Geografia - Univ. Genova
RUFFONI RIVA Teresa	Ist. Italiano di Idrobiologia, CNR – Pallanza

SALLEO Alberto	Ist. Fisiologia Generale - Univ. Messina
SANDULLI Roberto	CASTALIA - Genova
SCONFIETTI Renato	Dip. Genetica, Sez. Ecologìa - Univ. Pavia
SECHI Nicola	Dip. Botanica ed Ecologia Vegetale - Univ. Sassari
SERGI Domenico	Dip. Biologia Animale ed Ecologia Marina - Univ. Messina
SETTI Massimo	Dip. Scienze della Terra - Univ. Pavia
SGORBINI Sergio	ENEA/CRAM - Porte S. Teresa, Lerici (SP)
SILVESTRI Cecilia	ENEA/CRAM - Forte S. Teresa, Lerici (SP)
SOCAL Giorgio	Ist. Biologia del Mare, CNR - Venezia
SPARLA Maria Pia	Dip. Biologia Animale ed Ecologia Marina - Univ. Messina
SPEZIE Gian Carlo	Ist. Meteorologia e Oceanografia - Ist. Univ. Navale Napoli
SPOTORNO Mauro	Ist. Geografia - Univ. Genova
TERRANOVA Remo	Ist. Geografia - Univ. Genova
TUCCI Sergio	Dip. Scienze della Terra - Univ. Genova
TUNESI Leonardo	ICRAM - Roma
VACCHI Marino	ICRAM - Roma
VIARENGO Aldo	Ist. Fisiologia Generale - Univ. Genova
VIAROLI Pierluigi	Ist. Ecologia - Univ. Panna
VIRDIS Tomasa	Ente Autonomo del Flumendosa - Cagliari
WELKER Chiara	Lab. Biologia Marina - Trieste
ZAGAMI Giacomo	Dip. Biologia Animale ed Ecologia Marina - Univ. Messina
ZOPPINI Annamaria	IRSA, CNR - Roma
ZUNINI SERTORIO Tecla	Ist. Scienze Ambientali Marine - Univ. Genova

COMMEMORAZIONI

LEOPOLDO TROTTI

(1906-1991)

Nel mese di giugno 1991, a Montecastrilli (Terni), si è spento il Prof. Leopoldo Trotti.

L'interesse per l'oceanografia lo aveva indotto ad una svolta nella sua carriera, già bene avviata in campo biologico, tanto da conseguire nel 1955 la libera docenza in Anatomia comparata.

A tale data aveva ricoperto presso l'Università di Genova diversi incarichi di insegnamento. Due anni più tardi conseguì anche la libera docenza in Oceanografia e passò all'insegnamento di quest'ultima disciplina presso la Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali.

La sua formazione porta l'impronta di H.U. Sverdrup che ebbe Maestro presso l'Oceanografisk Institut di Oslo dove aveva trascorso un lungo periodo e, successivamente, di un anno passato presso la Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California, quale Research Professor.

Nel 1958 fu ternato al concorso del Ministero Agricoltura e Foreste per la Direzione dell'Istituto Sperimentale Talassografico di Tarante.

Nel 1959 vinse il concorso internazionale per un posto di Visiting Professor di Oceanografia presso l'Università di Cape Town. Qui avviò gli studi ed organizzò il Dipartimento di Oceanografia del quale fu Direttore dal 1959 al 1961.

Rientrato in Italia fu incaricato del corso di Oceanografia per Ufficiali Idrografi fino al 1964 presso l'istituto Idrografico della Marina col quale ebbe una proficua collaborazione.

Dal 1964 al 1968 fu docente di Oceanografia presso la Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali dell'Università di Trieste. Dal 1967 al 1976 fu Direttore Ordinario dell'Istituto Sperimentale Talassografico, posto che conservò per qualche tempo pur avendo superato l'età di 70 anni.

È' stato rappresentante italiano presso il CIEDSM; Membro della Sottocommissione per l'Oceanografia Fisica del CNR per l'AGI 1957-58; Capo missione e responsabile scientifico delle ricerche compiute nell'Alto Tirreno per l'AGI 1957-58; Membro del gruppo direttivo italiano per la condotta scientifica delle ricerche occanografiche nello Stretto di Gibilterra (NATO); Socio effettivo e Segretario Generale dell'Accademia Ligure di Scienze e Lettere di Genova; Membro del Centro Talassografico Tirreno, Genova; Socio della Società Geofisica Italiana; Membro del Coordinating Committee for Oceanographic Research del Consiglio della organizzazione scientifica e industriale del Sud Africa - Pretoria; Socio della Royal Society del Sud Africa - Cape Town; Medaglia d'argento della Societé Centrale d'Agriculture et de Pêche - Parigi.

È' autore di oltre 40 pubblicazioni nel solo campo dell'oceanografia riguardanti le condizioni fisiche del Mar Ligure e dell'Alto Tirreno. A Trieste si occupò della previsione delle maree per i principali porti italiani e continuò lo studio delle osservazioni compiute negli anni precedenti. Nel Mar Ligure mise in evidenza la formazione in inverno di acque di elevata densità. Sui suoi dati altri ricercatori hanno lavorato per analisi teoriche più approfondite. Importante il contributo di esperienza portato ai lavori dell'AGI che in Italia segnarono il risveglio degli interessi per gli studi in oceanografia. Negli anni successivi essi portarono alla realizzazione della Nave Oceanografica Bannock del CNR. Tutte le spedizioni precedenti erano state compiute con l'aiuto della Marina Militare Italiana che, solo per l'AGI, aveva messo a disposizione tre corvette per ognuna delle cinque campagne programmate al fine di ottenere osservazioni quasi sinottiche sull'intero

Tirreno.

Ricercatore scrupoloso ed appassionato, non si lasciava fermare dalle condizioni di tempo e di mare più avverse. Ne incontrò di brutte lungo le coste del Sud Africa che studiò con un mezzo navale neanche abbastanza affidabile.

Uomo di poche parole e schivo dal mettersi in mostra, ha avuto il grande coraggio di affrontare ricerche che presentavano allora difficoltà economiche e organizzative ancora più grandi di quelle che conosciamo oggi e poteva trovare ascolto, con pochi altri, solo presso la Commissione Talassografica o il CTT del quale era sostenitore.

Arturo De Maio

GIUSEPPE FLOCCHINI

(1930-1992)

Il Prof. Giuseppe Flocchini, Straordinario di Oceanografia Fisica presso la Facoltà di Scienze dell'Università di Genova, è scomparso prematuramente il 18 aprile 1992.

Il Prof. Flocchini ha iniziato la carriera universitaria nel 1959 come Assistente Ordinario ed aiuto alla cattedra di Fisica Terrestre. Dal 1965 è stato Docente di Sismologia, Libero Docente in Meteorologia, Professore Associato di Topografia e Cartografia; dal 1990 Professore Straordinario di Oceanografia Fisica. Ha attivamente collaborato a numerose ricerche nei seguenti campi: precipitazioni a carattere alluvionale sull'Italia settentrionale; attività temporalesca sul Mediterraneo, in rapporto con l'attività solare; correlazione fra i temporali e la corrente a getto; teoria del mareografo per onde lunghe; correlazione fra le condizioni metereologiche e la genesi delle onde lunghe nel Mar Ligure e i moti advettivi nella circolazione costiera; effetto del mare sul clima costiero; distribuzione spettrale della radiazione solare diretta, diffusa e globale nell'Italia settentrionale; relazione fra costante solare ed attività solare.

Il Prof. Flocchini ha ottenuto risultati originali citati in riviste e pubblicazioni internazionali; ha curato l'elaborazione, con le più moderne tecniche informatiche, dei dati meteorologici raccolti dall'Osservatorio Geofisico di Genova dalla fondazione (1833) al 1991; ha presentato a Congressi nazionali e internazionali i risultati di ricerche sulle caratteristiche principali dello stato ottico dell'atmosfera, in funzione della circolazione nella troposfera; sulle correlazioni fra i parametri meteorologici e le componenti della radiazione solare nonché un modello matematico del bilancio radiativo superficiale, testato con misure oceanografiche nel Mediterraneo occidentale sugli spettri delle onde lunghe del vento.

Il Prof. Flocchini si era iscritto all'Associazione nel 1991, ma nel poco tempo che è rimasto con noi ha lasciato il ricordo di persona cordiale, serena e sempre pronta alla collaborazione.

.

Norberto Della Croce

BRUNO SCHREIBER

(1905-1992)

Bruno Schreiber si è spento a Parma il 31 agosto 1992. Nato a Trieste nel 1905, si era laureato a Padova nel 1927 con Paolo Enriques e presso questo Ateneo avviò la sua lunga e operosa carriera accademica che si interruppe nel 1938 quando fu estromesso dall'Università in seguito alla promulgazione delle leggi razziali.

In quel primo decennio la sua attività scientifica fu intensissima. Compì studi pionieristici sul chimismo delle acque e sulle comunità biologiche degli ambienti lagunari. Si occupò della fisiologia dell'apparato di Weber nei Teleostei Ostariofisi e, tra i primi al mondo, eseguì con successo esperimenti di induzione della maturità sessuale in maschi di anguilla attraverso la somministrazione di ormoni preipofisari.

Riprese l'attività di ricerca alla fine della seconda guerra mondiale allorché, reintegrato nel ruolo di assistente universitario, prese servizio presso l'Istituto di Zoologia dell'Università di Milano, allora diretto da Silvio Ranzi. In quegli anni si concentrò sullo studio del problema della induzione osteogenetica in anfibi e mammiferi. Vincitore di concorso nel 1952, fu chiamato a coprire la cattedra di Zoologia all'Università di Parma dove diresse l'Istituto di Zoologia per quasi un trentennio, fino al 1980.

A Parma portò a maturazione linee di ricerca di forte rilevanza teorica e applicativa nei settori dell'etologia e dell'oceanografia biologica. Si occupò a fondo di problemi del comportamento animale. L'orientamento degli uccelli migratori è stato un tema cui si è dedicato con passione anche negli anni del fuori ruolo. Promosse studi fondamentali in radioecologia, partendo dalle conoscenze sulla biologia degli Acantari e valorizzando i risultati di ricerche di base su questo gruppo di Protozoi per l'analisi della circolazione dei radionuclidi negli ecosistemi marini. Riallacciandosi alle sue prime ricerche sull'anguilla, si dedicò alla sperimentazione sulla riproduzione artificiale, indotta mediante trattamento di ormoni gonadotropici, in specie ittiche di acque salmastre.

Fu socio dell'Accademia Nazionale dei XL, presidente dell'UZI per due mandati, medaglia d'oro come benemerito della cultura.

Bruno Schreiber è certamente una figura centrale della biologia italiana del dopoguerra. La sua opera non è riducibile alle pur molteplici coordinate - qui sinteticamente tratteggiate - del curriculum scientifico. Schreiber fu anche, in primo luogo, promotore e organizzatore di scienza e di cultura. A Parma è stato preside della Facoltà di Scienze per 15 anni. A Parma ha voluto e stimolato la formazione di nuclei di giovani ricercatori che avrebbero poi dato vita a esperienze decisive nello sviluppo di settori fondamentali della ricerca biologica, dell'etologia e dell'ecologia in particolare, nel nostro paese.

Di Schreiber trattengo il ricordo delle lezioni del corso di Zoologia, di quand'ero suo studente, più di trent'anni fa. Quelle lezioni, bellissime e avvincenti, gremite di richiami dotti e insieme di metafore rutilanti, sono state una delle esperienze più vive e stimolanti della mia preparazione di biologo. Appariva, a prima vista, burbero, scontroso, ma aveva scoppi improvvisi di un'allegria contagiosa che alleviavano la tensione dei discorsi seri e ne stemperavano l'asprezza in un invito alla fiducia e all'ottimismo.

È stato un validissimo ricercatore, un maestro straordinario di scienza e di vita, un uomo buono e cortese. Di questi tratti delia personalità di Bruno Schreiber serberanno a lungo il ricordo tutti quelli che hanno avuto la fortuna di conoscerlo.

Ireneo Ferrari

INDICE

Consiglio di Presidenza pag. I

Presentazione pag. III

Lettera aperta del Consiglio Direttivo pag. IV

Atti del X Congresso Nazionale AIOL pag. VII

Elenco dei Partecipanti al X Congresso Nazionale AIOL pag. IX

Commemorazioni pag. XV

RELAZIONI AD INVITO

PANO N. - Dinamica del litorale albanese (sintesi delle conoscenze). pag. 3

HECQ J.H. - Approccio modellistica -ecologico alle problematiche dell'oceanografia chimica e biologica. pag. 11

SALLEO A. - Meccanismi di difesa e aggressione nei Celenterati: specializzazione fisiologica e tossicologica delle cellule urticanti. pag. 13

PRICE N. B., MOWBRAY S., GIORDANI P. - Sedimentati and heavy metal input changes on the Northwest Adriatic Sea shelf: a consequence of anthropogenic activity. pag. 23

COMUNICAZIONI

BREGANT D., AZZARO F., BONACCORSO A., CIVITARESE G., CRISAFI E., LA FERLA R., LEONARDI M., LUCHETTA A., POLIMENI R., RAICICH F . - Condizioni idrobiologiche nell'Adriatico meridionale. Novembre 1991. pag. 37

NICCHIOTTI G., OTTAVIANI E., PAPA L. - Impiego di tecniche di elaborazione di immagine per il telerilevamento dello stato del mare. pag. 47

POVERO P., BATTILOTTI M., DE LAURO M., FABIANO M., HOPKINS T. S., MONASSI M., RIBERA D'ALCALA' M., SAGGIOMO V., TRAMONTANO M. A., ZANGAGLIA A . - Lazio Shelf Experiment (Crociera HOP1, agosto 1991): analisi Preliminare sulla distribuzione di nutrienti, biomassa fitoplanctonica, sostanza organica particellata. pag. 53

NAIR R., CATTINI E., GASPARINI G.P ., ROSSI G. - Circolazione ciclonica e distribuzione dei nutrienti nel Tirreno Settentrionale. pag. 65

PAPA L. - Un modello numerico integrato per lo studio della dinamica costiera del Ponente Ligure. pag. 77

ASTRALDI M., GASPARINI G.P., PISTEK P., - SPARNOCCHIA S. - La circolazione nel Mar Ligure durante l'incidente della Haven. pag. 87

BARBANTI A., COMMEAU J.A., FRASCARI F. - Silt-sized heavy minerai analyses as a tool for studying provenance and dispersion of fine sediments: an application to the northern Adriatic Sea. pag. 97

CAPOTONDI L., ASIOLI A., BORSETTI A. M. - Ecozonazione a foraminiferi planctonici e paleoceanografia dell'ultima deglaciazione nel Mediterraneo centrale. pag. 107

ROSSI V., PARIS G., ROSSETTI G., SEI S., VIAROLI P. - Analisi di popolazioni del copepode calanoide *Mixodiaptomus kupelwieseri* in corpi d'acqua dell'Appennino Ligure. pag. 117

DELLA CROCE N., COVAZZI A. BONOMI A. - Valori di trasparenza nei Mari Ligure e Tirreno. pag. 125

CORTEMIGLIA G.C. - Caratteri morfometrici generali di ciottoli raccolti su spiagge del tratto costiero orientale dell'Isola d'Elba. pag. 135

CERADINI S., CICERI G., COGLIATI N., MARTINOTTI W. - Indagine pluriennale (1989-1992) di alcuni processi di trasformazione e di diffusione di nutrienti all'interfaccia acqua-sedimenti del lago d'Orta. pag. 143

BUDILLON G., CONVERSANO F., CAMPILI F., CORATO F., SPEZIE G. - Alcune caratteristiche dei processi biogeochimici nel Canale di Sicilia. pag. 155

CAROLLO A., ROLLA A. - Commento alle Tavole sulle acque dell'Atlante Tematico Nazionale. pag. 167

BOGGERO A., NOCENTINI A. M. - Macrozoobenthos di un lago alpino d' alta quota (Lago di Paione Superiore, Val Bognanco). pag. 177

ALBERTELLI G., COVAZZI A., FRASCHETTI S.- Population dynamics, biomass and production of the bivalve *Spisula subtruncata* (da Costa) in the Ligurian Sea (Italy). pag. 189

SECHI N., BUSCARINU P., LUGLIÉ A. - Limnologia del nuov o invaso del Cixerri nei primi due anni di esistenza. pag. 201

ALIANI S. - I fondi a *Gryphus vitreus* (Brachiopoda) dell'Arcipelago Toscano (Mediterraneo occidentale). pag. 209

CORSELLI C., GIACOBBE S., LEONARDI M., BASSO D. - Biotopi e biocenosi della dorsale sottomarina Pianosa - Scoglio d'Africa (Arcipelago Toscano). pag. 221

CORRADI N., BRANDOLINI P., SPOTORNO M.- Variazioni del litorale e utilizzo del suolo: il tratto costiero compreso tra Capo Vado e il Promontorio del Priamar (Liguria occidentale). pag. 233

TERRANOVA R. - Fenomeni di regressione delle spiagge di Monterosso al Mare (Liguria orientale) provocati da interventi umani. pag. 245

PRIMICERIO R., OCCHIPINTI AMBROGI A., FERRARI I. - Zooplankton structure in an oxbow of the Po River (Lombardy: Northern Italy). pag. 253

VIAROLI P., BONDAVALLI C., GIORDANI G., PARIS G., ROSSETTI G. - Ricerche idrobiologiche in un bacino artificiale della golena del Po (Isola Giarola, Piacenza). pag. 265

SANDULLI R., BIANCHI C.N., COCITO S., MORGIGNI M., PEIRANO A., SGORBINI S., SILVESTRI C., MORRI C. - Status of some *Posidonia oceanica* meadows on the ligurian coast influenced by tha "Haven" oil spill. pag. 277

LUGLIE' A., MANCA B., SECHI N. Limnologia degli invasi Pattada e Monteleone (Nord Sardegna). pag. 287

DANOVARO R., MEES J., VINCX M, - Annual dynamics of meiobenthic cornmunities in the Ligurian Sea (Northwestern Mediterranean): preliminary results. pag. 295

SPARLA M. P., GUGLIELMO L. - Distribuzione del microzooplancton nello Stretto di Messina (estate 1990). pag. 307

BAVESTRELLO G., PANSINI M., PRONZATO R., CATTANEO - VIETTI R., SARÀ M. - Variazioni della concentrazione di clorofilla-a in relazione alla profondità in *Petrosia ficiformis* (Porifera, Demospongiae) con cianobatteri simbionti. pag. 327

BURBA N., CABRINI M., DEL NEGRO P., FONDA UMANI S., MILANI L. - Variazioni stagionali del rapporto N/P nel Golfo di Trieste. pag. 333

ZOPPINI A., GUZZINI A., PAGNOTTA R., PUDDU A. - Indagini su produzione primaria e biomassa planctonica in Adriatico settentrionale. pag. 345

FABIANO M., MISIC C., DANOVARO R. Chemical and microscopic study of particulate proteins in ligurian coastal waters. pag. 355

GABELLINI M., PELLEGRINI D., GIANI M., SPAGNOLI F., ZANOLI S. - Dati preliminari sulle variazioni dei caratteri granulometrici dell'area di scarico dei materiali dragati dal Porto di Livorno. pag. 367

HOPKINS T.S., BATTILOTTI M., DE LAURO M., MONASSI M., RIBERA D'ALCALÀ M., SAGGIOMO V., TRAMONTANO M. A., ZANCAGLIA A. - Lazio shelf experiment (Crociera HOP1, agosto 1991): distribuzione delle masse d'acqua e cenni sulla circolazione. pag. 375

FERRETTI O., IMMORDINO F., MELONI R. - Analisi degli effetti prodotti sulla fascia costiera dalle modificazioni delle strutture portuali di Lerici (Mar Ligure). pag. 389

SCONFIETTI R., AIRO' S. - Ritmi nictemerali in ambienti lentici padani a diverso grado di trofia. pag. 403

TUNESI L., VACCHI M. - Considerazioni sul rinvenimento di *Caulerpa prolifera* (Forsskål) Lamoroux sui fondali del Golfo Tigullio (Mar Ligure). pag. 413

COSSU A., MANCA B. - Studi sul tratto di mare antistante lo stabilimento industriale Enichem di Porto Torres. Quindici anni d'indagine. pag. 421

WELKER C. - Alcune osservazioni su diversi tipi di muco presenti nel Golfo di Trieste (Nord Adriatico). pag. 431

MONTI M., WELKER C., DELLAVALLE G., CASARETTO L. - Alcune osservazioni sulla formazione di filamenti mucosi in condizioni controllate. pag. 441

MORI G., INNAMORATI M., MASSI L., NUCCIO C., LAVISTA F., NIDIACI L. Alterazione degli ecosistemi costieri marini nel Parco Naturale della Maremma. pag. 451

FESTA V., BRIANT M., AMBROGI R. - Variazioni stagionali della composizione biochimica del bivalve *Tapes philippinarum* in due lagune del delta del Po. pag. 461

SCONFIETTI R., CARIBONI M., CANTONATI M. - Ricerche sulla ciclomorfosi del Cladocero *Bosmina longirostris* (O.F. Mūller). pag. 477

ASIOLI A., MEDIOLI F.S. Ricostruzione dei paleoambienti attraverso le Tecamebe in alcuni laghi sudalpini (Orta, Varese e Candia). pag. 487

VACCHI M., LA MESA M., GIANNÍ A. - La "piccola pesca" nel compartimento di Savona: tipologia degli attrezzi e composizione delle catture. pag. 503

INNAMORATI M., MELLEY A., CASTELLI C., BALZI M. - Mucillaggini e stato trofico delle acque nel Mar Tirreno. pag. 513

GIORDANI P., HAMMOND D.E., BERELSON W.M., POLETTI R., RABBI E., LUCCHINI F. Sediment diagenesis and its effect on nutrient cycling in NW Adriatic Sea. pag. 525

ALBERTELLI G., CHIANTORE M., FRASCHETTI S. - A one-year study of a sandy bottoni community: seasonal fluctuations compared to a previous sampling period. pag. 529

COCCO E., CRIMACO L., DE MAGISTRIS M.A. Dinamica ed evoluzione dei litorale campano-laziale: 5 - Variazioni della linea di riva dall'epoca romana ad oggi nel tratto compreso tra Foce Volturno e Torre S. Limato-Mondragone. pag. 543

DE BIASI A. M. - Variabilità interannuale di una comunità sabulicola del Mar Ligure orientale. pag. 555

BASSO D. - Phytobenthic communities in the circalittoral soft bottoms of the Tyrrhenian Sea (Mediterranean). pag. 563

CORRADI N., SETTI M., TUCCI S., FERRARI M. - Distribuzione dei minerali argillosi dei sedimenti superficiali della piattaforma continentale compresa tra Capo Mortola ed Alassio (Liguria Occidentale). pag. 575

FIRPO M., PICCAZZO M., BONCI M.C., IVALDI R., POGGI F. - II delta sommerso del Fiume Centa (Albenga): caratteristiche morfologiche e stratigrafiche. pag. 587

BALDUZZI A., BIANCHI C.N., CATTANEO-VIETTI R., CERRANO C., COCITO S., COTTA S., DEGL'INNOCENTI F., DIVIACCO G., MORGIGNI M., MORRI C., PANSINI M., SALVATORI L., SENES L., SGORBINI S., TUNESI L. - Primi lineamenti di bionomia bentica dell' Isola Gallinaria (Mar Ligure). pag. 603

GIANI M., GABELLINI M., MISEROCCHI S., PELLEGRINI D. - Caratteristiche granulometriche e contenuto di mercurio, piombo e cromo nei sedimenti della zona di discarica dei materiali dragati nel Porto di Ravenna. pag. 619

BELLOTTI P. - Sedimentologia ed evoluzione olocenica della laguna costiera presente un tempo alla foce del Tevere. pag. 633

CATALANO G., POVERO P., BENEDETTI F. – Removal of $N\text{-}NO_3$, $P\text{-}PO_4$ and $Si\text{-}Si(OH)_4$ from the upper layer as a result of primary production induced by pack-ice melting (Ross Sea, Antarctica). pag. 643

LAZZARA L., NUCCIO C. Relazione tra particellato, biomassa e popolamenti fitoplanctonici nel Mare di Ross durante la fioritura estiva. pag. 655

ZUNINI SERTORIO T., OSSOLA C., LICANDRO P. - Size, length-weight relationships and biomass of Copepods in antarctic waters (Terranova Bay, Ross Sea). pag. 667

BENASSI G., FERRARI I., MENOZZI P., ROSSI V., McKENZIE K.G. - Distribuzione degli Ostracodi planctonici in aree antartiche e subantartiche dell'Oceano Pacifico. pag. 681

GAMBI M. C., D'AGOSTINO T. Biomass estimates of some zoobenthic species associated to seaweeds in the shallow hard bottoms off Terra Nova Bay (Ross Sea, Antarctica). pag. 691

FRIGNANI M., LABBROZZI L., LANGONE L., RAVAIOLI M. - Some aspects of sedimentation pattern of the northwestern Ross Sea, Antarctica. pag. 699

Indice per Autori pag. 709

Atti dell'AIOL dal 1 gennaio 1991 al 31 dicembre 1992 pag. 713

Elenco Soci AIOL al 30 giugno 1994 pag. 745

Statuto e Regolamento pag. 771

RELAZIONI AD INVITO

Atti del 10° Congresso A.I.O.L.
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da pag. 3 a pag. 18

DINAMICA DEL LITORALE ALBANESE (SINTESI DELLE CONOSCENZE)

Niko Pano

Istituto di Idrometeorologia, Accademia delle Scienze, Tirana, ALBANIA

ABSTRACT

Dynamics of Albanian Littoral of the Adriatic Sea (the synthesis of knowledge). In a synthetic form, a general framework of the develloping dynamics of the Albanian coastal zone of the Adriatic sea, based on the environmental real data, and on the conclusions of the Albanian and foreign oceanographic studies to now, is presented.

It is given a general view of the main hydrological characteristics of the Albanian coastal zone. In these characteristics are included: the strong continental water flow with a mean annual discharge of Qo=l308 m-Vs, the solid flow with a high volume of 53 milion ton aluvions per year, the complicated scheme of the circulation of marine water masses, the wavering regime as a result of the special geographic position of Albania on the coast of the Otranto channel which as it is known, represents one of the more active hydrographic zones of Mediterranean sea, etc.

All these characteristics closely linked with each - other, have made it possible for the Albanian Coastal zone to have its special natural individuality.

1. MATERIALI E METODI

Il presente articolo e basato sull'elaborazione di dati pluriennali provenienti dall'archivio dell'Istituto Idrometeorologico esistenle presso l'Accademia delle Scienze d'Albania.

Nella Fig. 1 e rappresentato lo schema delle stazioni idrometriche ubicate nella parte terminale del sistema idrografico albanese; inoltre sono indicate le stazioni talassografiche per la misura delle caratteristiche del moto ondoso nei settori costieri.

2. INTRODUZIONE

La fascia costiera albanese, con una sviluppo lineare di circa 350 km, abbraccia la parte sudorientale dei mari Adriatico e Ionio. In questo settore si osserva l'interazione e la connessione stretta e reciproca di una serie di importanti fattori naturali quali la morfologia e la configurazione della linea di costa, le portate liquide e solide del corsi d'acqua, le correnti marine, le onde, ecc., che gli attribuiscono una sua individualità naturale.

Dal punto di vista morfologico la costa albanese e costituita da due tipologie: coste deposite e coste alte.

Le prime sono present! lungo quasi tutta la pianura occidentale che si estende lungo la costa adriatica da Valona (a Sud) fino a Hani i Hotit (a Nord) e che, nella parte settentrionale, viene delimitata dalle coste dalmate, mentre a meridione sono presenti

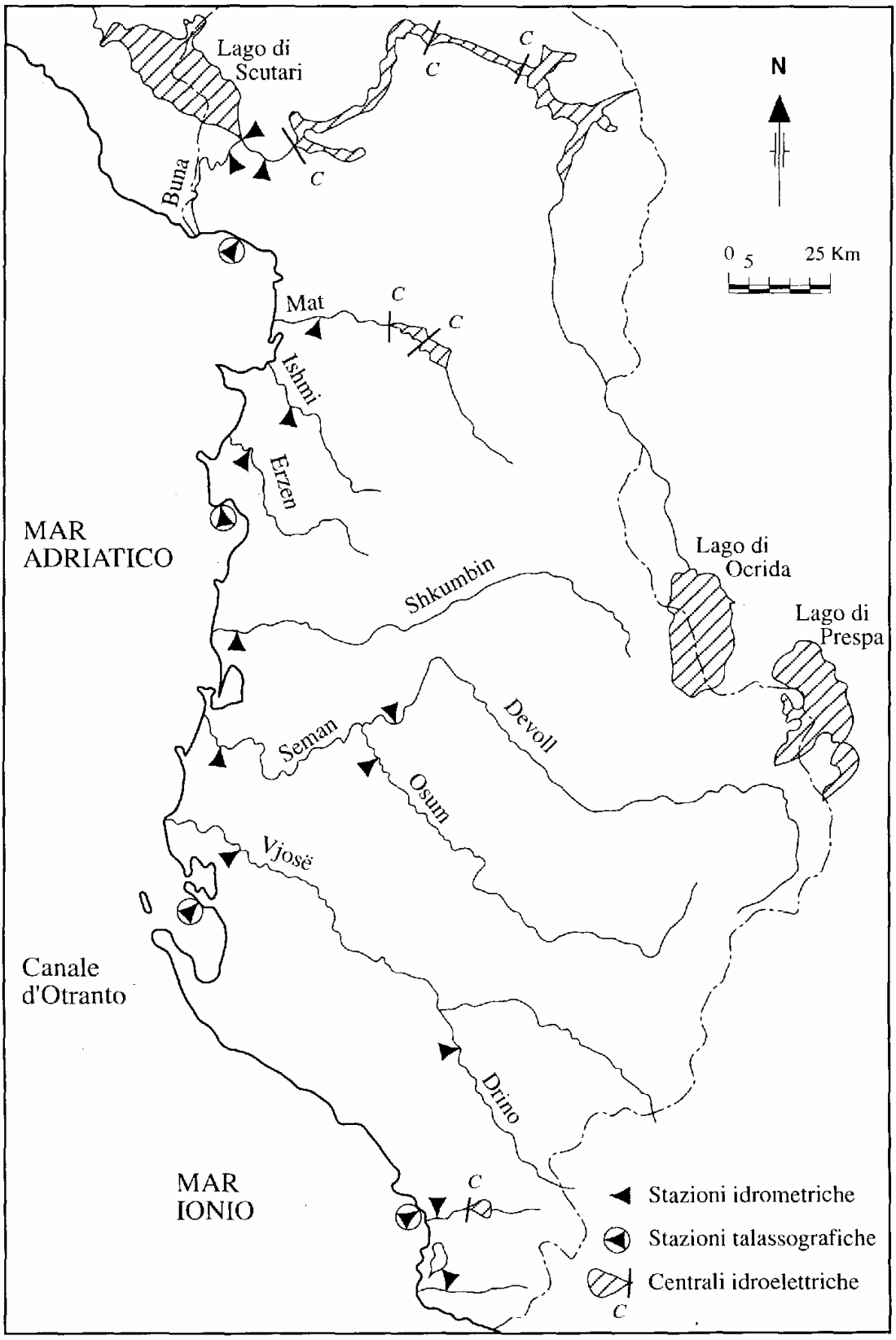


Fig. 1 - Stazioni idrometriche

quelle dello Ionio, che, come e noto, sono costituite da calcari quasi privi di idrografia superficiale. Nel settore adriatico solo alcuni tratti presentano attualmente coste alte: le zone di Treporti, a Sud-Est del Golfo di Valona, di Bishti i Palles, a Nord di Durazzo ed il tratto a Nord di Shengjini; inoltre, per esempio nel Capo di Scman, di Vjosë ecc., sono presenti interi spazi costieri in cui, per diversi motivi, la sedimentazione e praticamente cessata.

La costa deposita e il risultato della sedimentazione ininterrotta ed intensa degli apporti solidi dei fiumi e, in misura molto inferiore, di sedimenti di origine marina: questo processo, nella zona costiera albanese dell'Adriatico, e perdurato per tutto il Quaternario. In questo settore sono presenti anche i delta dei maggiori fiumi dell'Albania (Vjosë, Seman, Shkumbin, Ishmi, Mat, Drini, Buna) unitamente ad un sistema ramificato di lagune fra i fiumi Narta, Karavastaja, Butrinti, Viluni, Patoku ecc. La piattaforma continentale, in corrispondenza della pianura costiera, e ampia: la carta batimetrica indica infatti che l'isobata dei 100 m si posiziona molto lontana dalla linea di riva.

La costa alta e presente in quasi tutto il settore ionico, ad eccezione del tratto situate alla destra della foce del fiume Pavla, costituito da una striscia alquanto stretta di costa deposita, simile a quella del litorale adriatico. La carta batimetrica di questo settore indica che l'isobata dei 100 m si situa in prossimità della costa c la ripida pendenza dei fondali consente alle onde di maggior lunghezza di giungere a riva subendo poca rifrazione. D'altra parte, la mancanza pressoché totale di apporti fluviali solidi non favorisce il depositarsi di materiale innescando un processo attivo ed ininterrotto di erosione; in questa situazione la costa ionica albanese possiede tutte le caratteristiche della costa dalmata, dove prevale il processo dell'abrasione marina e solo alcuni brevi torrenti (come ad esempio le cosidette "Strade bianche" Palasa, Dhermiu, Vunoi, Brishti, ecc,) apportano materiale al litorale in limitati settori e le loro foci alterano ben poco la regolarità della linea di costa, generalmente rettilinea (Pano, 1971).

FIUME	Superficie del bacino Km^2	Portata Qo m^3/sec	Volume Wo	
			$m^3 \cdot 10^6$	%
Drin	14173	352	11.100	26.9
Buna	5185	320	10.092	24.5
Buna + Drin	19582	680	21.444	52.0
Mat	2441	103	3.248	7.9
Ishmi	673	20.9	0.659	1.6
Erzen	760	18.1	0.507	1.2
Shkumbin	2440	61.5	1.940	4.7
Devoll	3120	49.5	1.561	3.8
Osum	2070	32.5	1.025	2.5
Seman	5649	95.7	3.018	7.3
Drino	1300	42.5	1.340	3.2
Vjosë	6706	195	6.145	15.6
Kalasa	447	23.9	0.753	1.8
Plava	374	7.2	0.227	0.6
Altri Fiumi	4340	102.7	3.308	6.3
Totale	43305	1308	42.249	100.0

Tab. 1 - Caratteristiche idrologiche dei pricipali fiumi albanesi

I calcoli idrologici relativi al periodo 1948-1990 (Pano, 1984) indicano che i fiumi albanesi (Tab. 1) scaricano in mare un volume annuale medio (Wo) di 41.27km^3 d'acqua, corrispondenti alla portata (Qo) di 1308 m^3/sec: questo, come già detto, avviene principalmente lungo la costa adriatica in un settore relativamente ristretto, situate in prevalenza tra le loci dei fiumi Buna e Vjosë.

I fiumi albanesi depositano in mare anche notevoli quantità di materiale detritico (Tab. 2), con un volume medio annuale (Wt) di oltre 65.7*106 tonnellate. In prossimità delle foci dei fiumi si osservano i maggiori e più significtivi cambiamenti della linea costiera: nell'arco di circa 114 km giunge in mare un volume di quasi 0.5 milioni di tonnellate di materiale per ogni km lineare; la distribuzione e l'accumulo di questi materiali viene determinata principalmente dall'andamento generate delle correnti e dal processo di rifrazione delle onde.

Il regime generale delle correnti lungo la costa albanese e strettamente connesso allo schema della circolazione delle masse di acqua e, in modo particolare, al processo di scambio tra i Mari Adriatico e Ionio attraverso il canale d'Otranto: infatti lungo la costa albanese circolano acque di origine ionica che si dirigono a Nord attraverso la parte orientale del suddetto canale; lo schema generale della circolazione viene completato dalla corrente orientale della costa albanese e dalla corrente sudorientale (Pano, 1973).

Il regime del moto ondoso lungo viene determinato prevalentemente dall'intensità e dalla direzione dei venti: lungo la costa albanese i più frequenti sono quelli del quadrante occidentale; fa eccezione il Golfo di Saranda dove prevalgono i venti di direzione meridionale a causa del riparo ai venti da nord.

Per quanta riguarda la velocità si notano intensità fino a 40-45 m/sec ma assumono una rilevante influenza sulla formazione delle onde i venti di velocita 10-20 m/sec che dispongono non soltanto della frequenza, ma anche di una direzione abbastanza stabile. Le onde maggiori sono quelle di direzione NW e W con altezza massima di 3.5 m nei golfi e di 7-8 m in alto mare (Pano & Selenica, 1967)

3. DISCUSSIONE DEI RISULTATI

Per evidenziare la dinamica del litorale albanese la costa è stata suddivisa in aree in erosione, in accumulo e in equilibro (Fig. 2).

Aree in erosione:

- settore dell'ex delta primitivo dal fiume Vjosë, a Nord della laguna di Narta. Le intense erosioni che subisce questa zona, soprattutto nella striscia di Zhuk-Poro, sono conseguenza del disequilibrio nel bilancio annuo sedimentario legato all'abbandono del delta da parte del fiume Vjosë con la creazione di una nuova foce a Nord (Pano, 1974);

settore dell'ex delta del fiume Seman, abbandonato durante le disastrose inondazioni dell'inverno 1962-1963: il fiume Seman durante questi eventi ha infatti spostato la foce a circa 13 km a Sud. Durante gli ultimi 30 anni, conseguentemente alla cessazione dell'apporto solido fluviale, il delta del Seman, per una larghezza di 3 Km, ha subito un'erosione intensa e continua (÷ 50 m/anno) con un arretramento complessivo di circa 3-4 km (Pano et al., 1974);

- settore a Sud della spiaggia di Durazzo, nel tratto costiero di Karpeni fino a Golemi. Questa e una zona di erosione recente con un intensità di 0,5 m/anno, che tendera ad incrementarsi nel futuro;

- costa del Golfo di Lalzi, tra la foce di Erezeni e il Capo di Rodoni, della lunghezza di 6 km: l'intensità dell'erosione raggiunge una velocita di 5 m/anno;

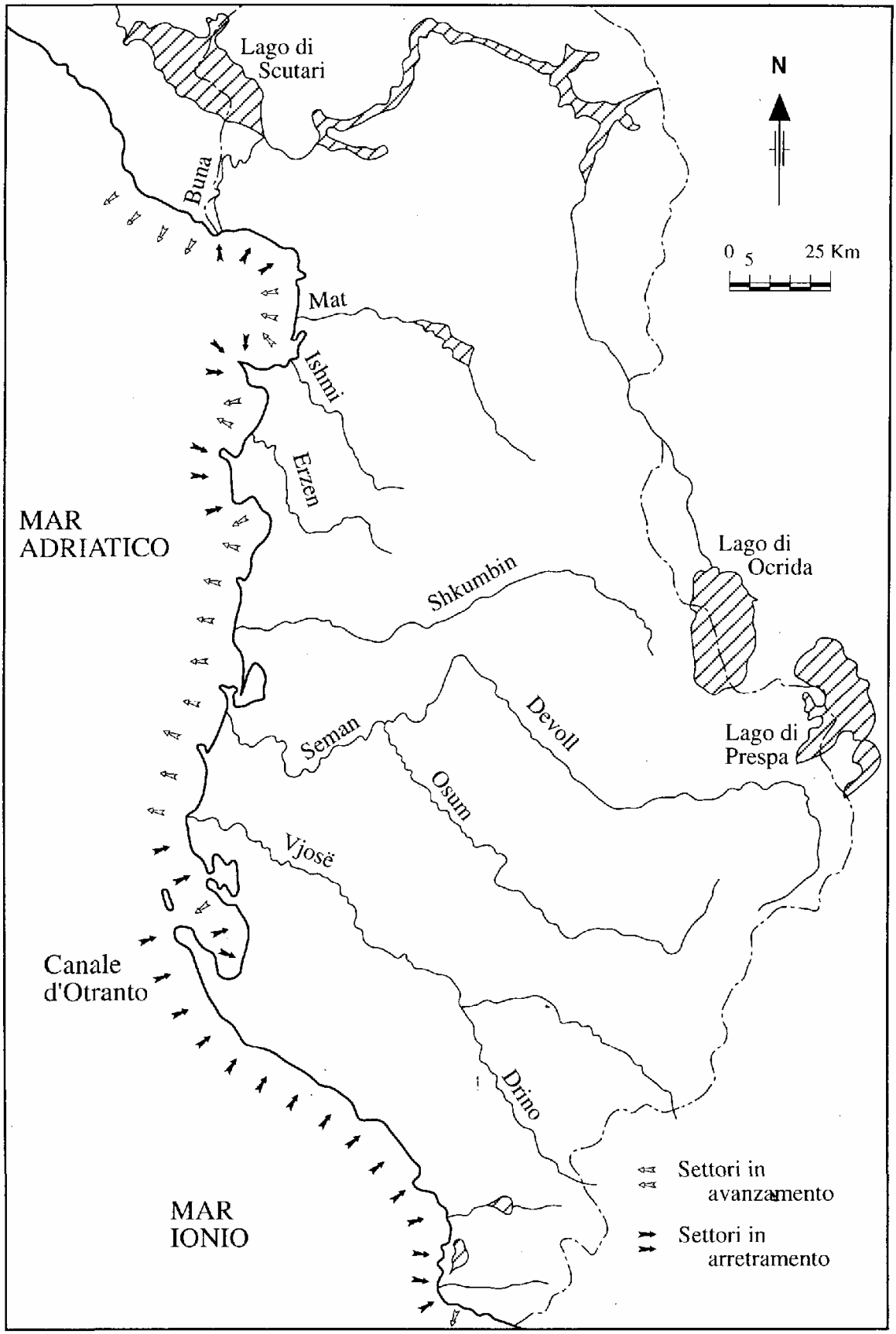


Fig. 2 - Tendenza evolutiva dei litorali

FIUME	Superficie del bacino Km^2	Altezza bacino m	Portata d'acqua Qo m^3/sec	Protata alluvioni Ro Kg/sec	Modulo della portata e alluvione t/Km^2	Volume materiale sospeso Wp ($\cdot 10^3$ t)	Volume materiale di fondo Wf	Volume totale alluvioni Wt ($\cdot 10^3$ t)
Drin	14173	971	352	438	1180	13860	2770	16630
Buna	5185		320					
Mat	2441	746	103	60.8	828	2020	505	2525
Ishmi	673	357	20.9	64.3	3040	2020	510	2530
Erzen	760	435	18.1	102	4180	3180	795	3975
Shkumbin	2440	753	61.5	187	2370	5790	1450	7240
Devoll	3120	962	49.5	276	2790	8690	2610	11300
Osum	2070	852	32.5	114	1730	3590	1080	4670
Seman	5649	863	95.7	418	2340	13200	3300	16500
Drino	1300	748	42.5	20.2	490	637	125	762
Vjosë	6706	855	195	212	1000	6710	1680	8390
Altri Fiumi	5282		134.8	206	1220	6460	1500	7960
Totale	43305	786	1308	1650	1480	53240	12510	65750

Tab. 2 - Portata dei pricipali fiumi albanesi

- settore della spiaggia di Patoku, dalla costa a destra dell'antico delta dell'Ishmi fino a Sud del delta del Mat. Come conseguenza di tale processo la spiaggia di Patoku è stata completamente distrutta;

- tutta la parte settentrionale del golfo del Drin, dal delta del Mat fino al delta del Buna. Questi arretramenti sono il risultato dello spostamento delle foci del fiume Drin da Lezha verso il fiume Buna;

- delta del Buna. In questo delta si constatano erosioni intense nelle coste meridionali e nell'isola di Franz Josef: tali erosioni derivano dal mutamento nella configurazione del profilo trasversale del fiume Buna, per effetto dello spostamento di questo fiume dal centro del profilo verso la costa albanese. Si tratta di un fenomeno avvenuto sia in conseguenza degli interventi antropici lungo la costa jugoslava che per la diminuzione degli apporti solidi del fiume Drin, causati dalla costruzione di bacini artificiali (Pano, 1967).

In generale il principale fattore responsabile dell'attuale intensa erosione dell'area costiera albanese e il continue spostamento delle foci dei fiumi che distrugge l'equilibrio generale geomorfologico tra il processo di erosione e quello di deposizione delle materiale solido. A questo fenomeno si sono sommati anche importanti fattori antropici quali la realizzazione lungo i fiumi di dighe e laghi artificiali (dove si ferma il 60-70 % del materiale solido in sospensione) e di canali d'irrigazione, le deviazioni di corsi d'acqua (Drin, Gjader, Ishem, ecc.) o il loro spostamento (Seman, ecc.), il prelevamento di inerti lungo gli alvei nei loro tratti terminali, la distruzione delle dune costiere ed il prelievo di sabbia delle spiagge.

Coste in avanzamento:

- zona settentrionale del golfo di Valona, dalla costa rocciosa di Triporto fino alle vicinanze della fascia meridionale di Bisht-Porose. L'intensità dell'accumulo in questa zona costiera, che comprende un fronte di circa 10-12 km, raggiunge mediamente i 30 m all'anno. Il materiale alluvionale che provoca questo fenomeno proviene sia dall'apporto diretto di materiale dal fiume Vjosë che dall'erosione del suo delta abbandonato, principalmente nel settore Zhuk-Porose; Triporto inoltre rappresenta anche il limite meridionale di spostamento e di accumulo del materiale detritico (Pano, 1974);

- area circostante la foce del fiume Seman: in questa zona, di ampiezza 10-12 km, si verifica un avanzamento intenso e permanente di circa 40-50 m all'anno. Il materiale accumulato proviene dal fiume Seman e dai processi erosivi che si verificano in continuazione nella punta di Seman (Pano et al., 1974);

- zona compresa tra i fiumi Seman e Shkumbin. Qui, a causa dell'accumulo intenso delle alluvioni, si e formata la nuova "Godulla della Karavastas" che si espande nella zona occidentale della laguna omonima (Pano et al., 1974);

- parte settentrionale del fiume Pavla, nel Mar Ionio. Tra il fiume e il canale lagunare di Butrinti, per una lunghezza di circa 15 km, si pud constatare un avanzamento causato dell'intenso accumulo delle alluvioni del fiume Pavla.

Zone d'equilibro, invariate dal punto di visto geomorfologico:

- Golfo di Valona, principalmente della zona cosiddetta di Acqua Fredda fino a Skele. Qui si nota un pieno equilibro della linea di riva (Pano, 1974);

- Golfi di Zvërnec e di Triporto dove i rilievi topografici hanno mostrato una sostanziale stabilita (Pano, 1975);

- particolari zone in .equilibrio sono presenti nella striscia costiera fra i fiumi Shkumbin e Seman;

- spiaggia di Durazzo, dalla zona di Golem al sud fino alle calate del porto di Durazzo a nord. La stabilità di questa spiaggia, formatasi. quando il fiume Shkumbin scorreva nel Golfo di Durazzo, si ricollega alle imponenti riserve sabbiose sia della parte sottomarina

che di quella subaerea, e nel ruolo protettivo sia del promontorio di Durazzo sia delle costruzioni portuali dai venti provenienti da N e NW.

BIBLIOGRAFIA

Boçi, S. & P. Nikolla. 1992. La dinamique de la cotes Albanais de 1'Adriatique. Proceed. of Symp. "Coastal Regions of Albania", Tiranë, July 1991.

Kabo, M. 1988. Morphological characteristics of the Adriatic coast of Albania and its present dynamics. Studime Gjeografike, n. 3: 5-35.

Pano, N. 1967. Hidrologjia e deltës së Lumit Buna. *Raport Teknik,* Tirana.

Pano, N. 1971. Klasifikimi morfologjik i bregdetit shqiptar të Adriatikut dhe të Jonit. "Pasurite ujore te Shqipërisë", Botimi Hidmet, Tiranë.

Pano, N. 1973. Sur les lois pénétration des eaux Ioniennes dans l'Adriatique. Monografi. Botimi "Hidmet", Tiranë.

Pano, N. 1974. Studimi hidrologjik për projektimin e Portit të Ri në Gjiun detar të Vlores. *Raport Teknik.* Tiranë.

Pano, N. 1984. Vecoritë kryesore të rrjedhjes ujore dhe të rrjedhjes së ngurte të pellgut ujëmbledhes të rrjetit hidrografik të Shqiperisë. *Studime Meteorologjike dhe Hidrologjike,* Tirane, n. 10.

Pano, N. & A. Selenica. 1967. Elementet e regjimit të valezimit në Bregdetin Shqiptar. *Studime Hidrometeorologjike,* Tirane, n. 6.

Pano, N., N. Rakaj, Z. Skëndaj & M. Xhuveli. 1974. Kompleksi ujor i Karavastasë. Monografi, Tiranë.

Paskoff, R. 1985. Les côtes de l'Albanie. Aspects géomorphologiques. Bull. Ass. Georg., Paris.

Shuisky,.Y. 1985. Albania. In "World's Coastlines" E.C.F. Bird and M.L. Schwartz (eds), Van Nostrand: 443-444.

APPROCCIO MODELLISTICO-ECOLOGICO ALLE PROBLEMATICHE DELL'OCEANOGRAFIA CHIMICA E BIOLOGICA

Jean Henri HECQ

Université de Liège – Belgium

II Consiglio di Presidenza è spiacente di non poter pubblicare la relazione del "guest speaker" Dr. Jean Henri Hecq in quanto non pervenuta.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L.
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da pag. 13 a pag. 22

MECCANISMI DI DIFESA E AGGRESSIONE NEI CELENTERATI: SPECIALIZZAZIONE FISIOLOGICA E TOSSICOLOGICA DELLE CELLULE URTICANTI

Alberto SALLEO

Istituto di Fisiologia Generale. Università di Messina.

SUMMARY

The nematocytes are highly specialized cells of Cnidaria, controlling an organoid, the nematocyst, that is maintained in the resting condition until an adequate stimulus applied on the cell induces the explosive eversion of a tubule from the nematocyst, through which toxins are injected into the target tissues. Such a response is termed discharge. Three main aspects of this phenomenon are taken into account: i) the pharmacological mechanism of venoms, ii) the biophysics of the tubule eversion and iii) the cellular control on the discharge.

Recent research suggests that the large variety of local and systemic effects of envenomation should be ascribed mainly to either an aspecific change in membrane

permeability or to a specific action of venoms on voltage-dependent Na^+ channels.

As regards the mechanism of discharge, it has been demonstrated on the basis of the eversion speed that high energy is released during discharge. The sealing structures, such as the apical flaps, do not seem to oppose to an inner hydrostatic pressure, since isolated nematocysts having the flaps in an open position can be maintained in the resting condition. It is likely that mono- or divalent cations in the capsule fluid stabilize the resting condition and that the propelling forces depend either on changes in osmotic pressure of the capsule fluid and/or on conformational changes of protein components of the capsule.

The discharge *in vivo* requires both chemical and mechanical stimuli. The reception System seems to be located both on nematocytes and on adjacent cells, that contain specialized sites for different classes of molecules. The chemoreception, in turn, tunes the excitability of mechanoreceptive structures. The excitation of the system is a Ca^{2+} - dependent celi response and the recruitment seems to occur, at least in acontia, through a cell to cell spread of an unidentified signal.

1. INTRODUZIONE

Gli Cnidociti sono cellule altamente specializzate dei Celenterati Cnidari, capaci di sintetizzare per secrezione dall'apparato del Golgi un organulo, la cnidocisti, che mantiene lo stato di riposo nella cellula, fino a che un segnale prodotto in quest'ultima a seguito di uno stimolo adeguato induca l'estroflessione del tubulo contenuto nella cnidocisti. Alla ampia categoria delle cnidocisti appartengono le pticocisti, le spirocisti, e le nematocisti. Solo queste ultime, presenti negli Idrozoi, negli Scifozoi e negli Antozoi in circa 30 tipi morfologicamente differenti (Mariscal, 1974), sono in genere caratterizzate dalla capacità di iniettare nell'aggressore o nella preda sostanze tossiche di notevole efficacia. Infatti, il casuale contatto con Cnidari può produrre

anche nell'uomo, oltre che imponenti lesioni localizzate alla superficie di contatto, fenomeni patologici sistemici di varia gravita, talvolta letali. Proprio per tale caratteristica, oltre che per la raffinatezza del sistema biologico nel quale sono coinvolte, la presente trattazione è rivolta esclusivamente alle nematocisti e alle cellule che le controllano, i nematociti. In particolare, verranno di seguito trattate alcune recenti acquisizioni relative a: a) la farmacologia delle nematocisti, b) il meccanismo mediante il quale avviene la scarica, vale a dire l'estroflessione del tubulo, e, infine, c) i meccanismi cellulari di controllo di quest'ultimo fenomeno.

La nematocisti, di forma approssimativamente ellissoidale, è costituita da una parete generalmente tristratificata, all'interno della quale è contenuto il fluido capsulare, o matrice, nel quale è immerso il tubulo introflesso. La parete è separata dal citoplasma del nematocita da una membrana. La parete presenta ad una delle estremità un sistema di chiusura costituito dall'opercolo nelle nematocisti degli Idrozoi e degli Scifozoi e dagli "apical flaps" in quelle degli Antozoi. La composizione della parete è stata investigata da vari Autori. Lo strato più interno si ritiene sia costituito da un particolare collagene, rivelato dalla composizione aminoacidica, contenente, a differenza di quello tipico di specie superiori, ponti -S-S- (Blanquet & Lenhoff, 1966). Tale identificazione, basata inizialmente sull'osservazione che gli agenti riducenti i ponti -S-S- inducono la scarica delle nematocisti isolate agendo dall'interno della parete, ha trovato conferma negli studi condotti con il metodo della microsonda a raggi X da Lubbock et al. (1981), e successivamente da Gerke et al. (1991) che hanno rivelato elevate concentrazioni di zolfo a livello della parete della nematocisti. La composizione dello strato esterno non è del tutto nota. Salleo et al. (1986), hanno ottenuto mediante acidificazione del mezzo di sospensione la dissoluzione del solo strato esterno, nel quale è stata reperita una assai elevata concentrazione di glutammato, caratteristica tipica della matrice. Il fluido capsulare è infatti prevalentemente costituito da molecole proteiche nelle quali la concentrazione di glutammato è eccezionalmente elevata, raggiungendo valori approssimativamente pari a 80% (Lubbock & Amos, 1981; Salleo et al.; 1986), o addirittura maggiori (Weber, 1991). Esse sarebbero aggregate da ioni Ca^{2+} (Lubbock et al., 1981; Salleo et al.,1988a; Weber et al., 1987a) o da altri cationi (Tardent et al., 1990).

2. FARMACOLOGIA DEL FLUIDO CAPSULARE

Una trattazione unitaria delle caratteristiche tossicologiche del fluido capsulare è decisamente ardua, in ragione della varietà delle specie studiate e, sopratutto, delle differenti tecniche impiegate per ottenere il fluido capsulare. Vale la pena di sottolineare il fatto che frequentemente le tossine vengono estratte dall'intero organismo o da tentacoli escissi, anzicchè da nematocisti isolate, cosicché in questi casi la loro provenienza dal fluido capsulare deve essere considerata putativa.

Da studi sperimentali prevalentemente indirizzati alla descrizione degli effetti osservabili a carico di vari organi ed apparati a seguito di iniezione di tossine estratte da Celenterati, solo negli anni più recenti si è proceduto allo studio delle sequenze amminoacidiche e della struttura molecolare delle tossine ottenibili dalle nematocisti di alcune specie. A causa del fatto che gli Antozoi sono assai più adatti al mantenimento in laboratorio, questa classe è stata maggiormente impiegata in studi biochimici, laddove, invece, la patologia più grave si produce a seguito del contatto con taluni Idrozoi e con Scifozoi. Trattazioni recenti della relazione struttura-funzione per le tossine di alcuni Antozoi sono state effettuate da Kem (1988) e da Norton (1991).

Le specie più frequentemente responsabili degli eventi patologici più imponenti nell'uomo sono: *Physalia physalis, Chironex fleckeri, Cyanea capillata,*

Chiropsalmus quadrigatus, Carukia barnesi, Chrysaora quinquecirrha, e *Pelagia noctiluca.* (Burnett & Carlton, 1987; Burnett, 1991). Le sindromi derivanti dal contatto con queste specie possono essere distinte in reazioni sistemiche e locali. Le prime consistono essenzialmente in nausea, vomito, diarrea, ipotensione, spasmi muscolari che interessano prevalentemente i muscoli respiratori, dispnea, aritmia e perdita di coscienza. In particolare, sono stati descritti numerosi casi letali a seguito di contatto con *Chironex fleckeri, Carukia barnesi* e *Physalia physalis.* Assai interessante è la sindrome derivante dal contatto con *Carukia barnesi* (Fenner, 1991). Il dolore nella sede del contatto è solitamente modico. Approssimativamente 30 min dopo il contatto, compaiono dolore in sede sacrale, spasmi dolorosi alla muscolatura prossimale degli arti inferiori, di quella addominale e dei muscoli intercostali, cui seguono ipertensione, tachicardia con aritmia, iperventilazione, accompagnate da sudorazione profusa, piloerezione, cefalea ecc. Talvolta la causa del decesso è l'edema polmonare. Altre cause di decesso a seguito di contatto con le specie sopra indicate sono rappresentate da insufficienza renale acuta conseguente a necrosi tubulare e da emolisi generalizzata.

Gli effetti localizzati alla sede di contatto sono rappresentati da dolore, edema, eritemi accompagnati dalla formazione di vescicole. In numerosi casi permangono pigmentazione cutanea, atrofia del pannicolo adiposo, cheloidi, nevriti, ulcere corneali.

E' conveniente inquadrare una così ampia varietà di effetti farmacologici in due differenti meccanismi di azione: a) effetti sulle caratteristiche generali di permeabilità delle membrane cellulari e b) effetti su canali del Na^+ voltaggio-dipendenti. I primi sarebbero responsabili della maggior parte degli effetti citolitici (Zorec et al., 1990) di queste tossine, quali l'emolisi e gli effetti dermonecrotici. Le tossine responsabili avrebbero negli Antozoi un peso molecolare di 15.000-20.000 dal. Klug & Weber (1991) hanno osservato un notevole aumento della permeabilità al Ca^{2+} in fibroblasti di topo a seguito di trattamento con fluido capsulare dotato di effetti emolitici, estratto da nematocisti di *Hydra vulgaris.* Poiché un simile aumento della permeabilità al Ca^{2+} è stato osservato da questi A.A. anche su miotubi in coltura, essi suggeriscono che le contratture prodotte da queste tossine possano dipendere da aumento della concentrazione sarcoplasmatica di $Ca^{2+.}$ Inoltre, Weber et al. (1990) hanno osservato che componenti del fluido capsulare di *Hydra attenuata* si inseriscono in membrane artificiali formandovi canali ionici che manterrebbero la posizione di apertura.

Le tossine attive su canali del Na^+ voltaggio-dipendenti hanno negli Antozoi un peso molecolare di circa 5000 dal. Si ritiene che esse interagiscano con il medesimo sito sul quale si lega l'α-tossina di scorpione (Norton, 1991), inducendo un ritardo dell'inattivazione. Recentemente, Nishio et al. (1991) hanno osservato, oltre a un ritardo nella ripolarizzazione del muscolo papillare di cavia trattato con ATx II, una delle tossine estratte da nematocisti di *Anemonia silicata,* la comparsa di sensibilità a concentrazioni nanomolari di tetrodotossina e alla lignocaina, altrimenti assente. Questo risultato trova riscontro nell'aumento della sensibilità alla tetrodotossina in canali del Na^+ dell'assone gigante di gambero a seguito di trattamento con Anthopleurina A (Muramatsu et al., 1990). L'interpretazione più probabile di questi risultati è che le tossine, interagendo con il sito 3 del canale ionico ne modifichino le caratteristiche funzionali. Questo tipo di indagine suggerisce che le tossine di Cnidari possano essere utilmente impiegate in studi su vari aspetti fisiologici dei canali ionici.

Infine, vale la pena di citare tra gli effetti farmacologici di tossine di Cnidari una rilevante risposta inotropa, osservata su cuore di mammifero a seguito di applicazione di tossine d *Anemonia sulcata, Anthopleura xanthogrammica, Hydra oligactis* (Lesh-

Laurie et al., 1989) e *Actinia tenebrosa* (Galettis & Norton, 1990). Tale effetto sembra sia mediato dalla liberazione di acido arachidonico e, conseguentemente, di prostaglandine a seguito di trattamento con le tossine sopra menzionate.

3. MECCANISMO DI SCARICA DELLE NEMATOCISTI

La complessità tossicologica sinteticamente esposta nel paragrafo precedente è ovviamente finalizzata alla difesa e alla predazione. Affinchè le tossine possano manifestare la loro efficacia esse devono raggiungere l'ambiente interno dell'aggressore o della preda. Pertanto, è stato messo a punto negli Cnidari il processo della scarica delle nematocisti, che consiste nella estroflessione del tubulo, attraverso il quale le sostanze tossiche presentì nel fluido capsulare vengono iniettate. L'energia liberata durante l'estroflessione del tubulo deve necessariamente essere elevata affinchè esso possa penetrare attraverso i tegumenti del bersaglio. Vale la pena di menzionare che l'estroflessione del tubulo nelle stenotele di *Hydra* avviene con una accelerazione pari a 40.000 • g (Holstein & Tardent, 1987). Più recentemente, Thomason (1991) ha calcolato che affinchè si produca un flusso di fluido capsulare che può ammontare a 324 lμm3 s^{-1} è necessaria una pressione intracapsulare di 1,9 x 10^6 Pa.

La successione degli eventi nel processo di scarica è la seguente: anzitutto si produce l'apertura dell'opercolo o dei flaps. Quindi, attraverso l'estremità apicale della capsula fuoriesce la porzione basale del tubulo (shaft), che penetra attraverso i tegumenti del bersaglio. La restante porzione del tubulo si estroflette, raggiungendo quindi i tessuti attraverso la lesione prodotta dallo shaft. Infine il fluido capsulare viene ad essere iniettato attraverso l'estremità distale del tubulo. Godknecht & Tardent (1988) hanno identificato due diversi aspetti della propulsione del tubulo. Nel primo, tipico delle stenoteli di *Hydra,* lo shaft porta tre stiletti che gli conferiscono rigidità, cosicché i tegumenti del bersaglio possono essere direttamente perforati. Nel secondo, tipico delle basitrico-isorize di *Anemonia sulcata,* sprovviste di stiletti, lo shaft ruota sul proprio asse esercitando una azione paragonabile a quella di un trapano a punta battente.

Il meccanismo della scarica non è stato a tutt'oggi identificato. Esso è stato finora indagato prevalentemente su nematocisti isolate nell'intento di semplificare il sistema eliminando le difficoltà sperimentali tipiche delle indagini di fisiologia cellulare. Le nematocisti, infatti, possono essere agevolmente isolate integre da tentacoli o da aconzie mantenendosi la capacità di scaricare in opportune condizioni sperimentali perfino dopo lunga conservazione a -20°C. L'impiego di nematocisti isolate ha tuttavia messo in evidenza rilevanti differenze nelle caratteristiche funzionali delle nematocisti di tipo differente o isolate da specie diverse. Ad esempio, mentre le nematocisti del tipo olotrico isorhiza di *Pelagia noctiluca,* possono essere isolate per lisi tessutale semplicemente immergendo i tentacoli o le braccia orali in acqua distillata (Salleo et al., 1983), le microbasiche mastigofore di *Aiptasia pallida* (Blanquet, 1968) o di *Aiptasia mutabilis* (Salleo et al., 1988a) scaricano non appena il tessuto viene a contatto con mezzi di sospensione iposmotici. Inoltre, le nematocisti del tipo basitrico-isoriza di *Calliactis parasitica* possono essere isolate in acqua distillata ma perdono la capacità di scaricare (Salleo et al., 1990). Anche l'efficacia degli agenti scaricanti sembra essere assai diversa in rapporto alla specie e al tipo di nematocisti. Ad es. mentre nelle nematocisti isolate da *Pelagia noctiluca* la scarica viene indotta da anioni liotropi, quali SCN^-, I^- e altri anioni liotropi, con risposta crescente con la concentrazione, le nematocisti isolate da Antozoi sono insensibili a questi agenti,

cosicché si suole impiegare, per indurne la scarica, mezzi iposmotici (Blanquet, 1970) o tioglicolato (Salleo et al., 1988a; b). Peraltro, alcuni agenti appaiono esercitare il medesimo effetto su tutte le nematocisti isolate. Tra questi vale pena di menzionare l'efficacia della tripsina (Yanagita, 1959; Salleo et al., 1983; 1991) e l'effetto inibitorio dei cationi di- e polivalenti (Blanquet, 1968; Salleo, 1984; Salleo et al, 1984 a; b).

Le teorie originariamente proposte per spiegare il meccanismo della scarica sono le seguenti: a) teoria contrattile; b) teoria osmotica; c) teoria dello "stopper".

La prima teoria attribuiva alla contrazione di eventuali strutture fibrillari esterne alla nematocisti l'origine della forza capace di estroflettere il tubulo. Una compressione esercitata sulla nematocisti da parte di fibrille che ne rivestono l'apice è stata invocata da Endean et al. (1991) quale componente del complesso di forze che provocherebbero la scarica di nematocisti di *Chironex fleckeri.* Le altre componenti sarebbero rappresentate da una polimerizzazione di componenti della matrice nonché da influsso osmotico di acqua, conseguente a permeabilizzazione della parete. Non va dimenticato che nelle nematocisti isolate, che tuttavia scaricano, la compressione da parte di fibrille esterne non può attuarsi giacché queste ultime vengono rimosse durante l'isolamento.

La teoria osmotica prevedeva, nella sua prima formulazione, che la parete della nematocisti fosse impermeabile all'acqua e che, divenendo essa permeabile al momento della scarica, un influsso osmotico di acqua facesse aumentare la pressione intracapsulare. Tuttavia è stato dimostrato da Lubbock & Amos (1981) da Salleo (1984) e da Weber et al. (1987a) su nematocisti isolate da varie specie che la parete di capsule non scaricate è permeabile a soluti di peso molecolare inferiore a circa 600 dal e quindi anche all'acqua. Pertanto, un flusso osmotico di acqua può fornire energia al sistema solo se la pressione osmotica aumenta al momento della scarica. Sulla base di questa considerazione venne proposto (Lubbock & Amos, 1981; Lubbock et al.,1981) che la componente proteica costituita, come si è detto, prevalentemente da glutammato, venga mantenuta aggregata ad opera del Ca^{2+}, la cui concentrazione, misurata da questi A.A., risultò pari a circa 600 mM L^{-1}. Il distacco del Ca^{2+} produrrebbe la disaggregazione delle molecole proteiche con conseguente aumento della pressione osmotica. Con questa ipotesi si accordavano i risultati di misurazioni della concentrazione di Ca^{2+} totale effettuate su nematocisti isolate da varie specie da Weber et al (1987b) nonché la liberazione di Ca^{2+} ionico in coincidenza con la scarica o in anticipo rispetto a questa, osservata da Salleo et al. (1988a; b). Tuttavia, è stato successivamente dimostrato che una elevata concentrazione intracapsulare di Ca^{2+} non è una caratteristica costante in tutte le specie, giacché le nematocisti basitrico-isorhiza isolate da *Calliactis parasitica* non liberano durante la scarica significative quantità di Ca^{2+} (Salleo et al., 1990). Inoltre, Tardent et al. (1990) hanno dimostrato che, con alcune rilevanti eccezioni, nelle nematocisti *in situ* Na^{+}, K^{+}, Mg^{2+} possono essere assai più concentrati del Ca^{2+} nella matrice, cosicché l'elevata concentrazione intracapsulare di Ca^{2+} potrebbe venire acquisita nel corso dell'isolamento. In particolare, la distribuzione di ioni tra citoplasma e matrice potrebbe risultare da un equilibrio di Donnan (Weber, 1990), piuttosto che da una specifica affinità delle proteine capsulari. Una elevata concentrazione capsulare di Ca^{2+} è stata invece confermata per le nematocisti *in situ* presenti negli acroraggi. Queste ultime sono strutture assai interessanti, presenti solo in alcune specie di Antozoi, che intervengono in occasione di contiguità tra soggetti della medesima specie ma di cloni diversi, e, pertanto, si direbbero deputati alla difesa territoriale (Lubbock & Shelton, 1981; Tardent et al. , 1990).

Infine, la terza teoria, prevede che il fluido capsulare eserciti a riposo una tensione costante contro la parete e che l'apertura dello "stopper", opercolo o flaps, consenta a questa pressione di spingere fuori il tubulo. Recentemente, Salleo et al. (1991) hanno osservato su nematocisti basitrico isorhiza di *Calliactis parasitica* che la capacità di scaricare di nematocisti isolate con metodi diversi dipende essenzialmente dalla condizione dei flaps. Un previo trattamento con tripsina, il cui effetto scaricante veniva prevenuto dalla successiva aggiunta di un inibitore dell'enzima, induceva l'apertura dei flaps in tutte le nematocisti, comunque isolate, che rimanevano non scaricate ma sensibili al successivo trattamento con tioglicolato. L'impiego del trattamento limitato con tripsina dimostrava pertanto la possibilità di ottenere nematocisti aventi i flaps aperti e tuttavia in riposo, consentendo di escludere la teoria dello "stopper". I risultati di questa indagine suggeriscono che i flaps possano esercitare il ruolo di impedire l'accesso a una struttura apicale, tuttora non identificata, responsabile dell'innesco della scarica, piuttosto che quello di controbilanciare la pressione idrostatica del fluido capsulare.

Infine, vale la pena di sottolineare il fatto che è probabile che un evento essenziale del processo di scarica possa essere costituito da un cambiamento conformazionale di componenti proteiche del tubulo (Carré, 1980; Salleo et al., 1986; Endean, 1991), della parete (Blanquet, 1970; Salleo, 1984) o del fluido capsulare (Lubbock & Amos, 1981). Le forze prodotte da tale meccanismo, che è suggerito da indagini ultrastrutturali, nonché dall'effetto scaricante degli anioni liotropi sulle nematocisti di Scifozoi, potrebbero essere sinergiche con quelle di natura osmotica.

4. CONTROLLO CELLULARE DELLA SCARICA

I classici studi di Pantin (1942) avevano dimostrato che la scarica *in situ* viene a prodursi purché sul tessuto vengano applicati stimoli sia meccanici che chimici. E' pertanto legittimo assumere che il tessuto disponga di sistemi di recezione per entrambi i tipi di stimolo. Per quel che attiene alla meccanorecezione, gli studi ultrastrutturali hanno evidenziato che negli Idrozoi e negli Scifozoi questa funzione è assolta dall'apparato del cnidocilio, mentre negli Antozoi essa dipende dall'apparato cono-ciliare. Il cnidocilio, per il quale è evidente l'analogia con i meccanocettori ciliati degli insetti e dei mammiferi (Holstein e Hausmann, 1988), è costituito da un flagello appartenente al nematocita, circondato da 9 coppie di microtubuli. Il cnidocilio è circondato da stereociglia esterne, positive ai test per l' F-actina, nonché da un ulteriore circolo di microvilli che non sporgono dall'apice cellulare (Thomas & Edwards, 1991). Vale la pena di menzionare il fatto che, a seguito di asportazione sperimentale, la rigenerazione del cnidocilio non richiede in *Hydra* più di tre ore (Goltz & Thurm, 1990). Nell'apparato cono-ciliare le stereociglia possono appartenere sia al nematocita che, anche, alle cellule adiacenti che lo circondano, venendosi così a costituire un sistema multicellulare (Fautin & Mariscal, 1991). Una organizzazione multicellulare è stata riconosciuta da Watson & Hessinger (1989; 1991) anche per la chemorecezione. Il sistema costituito dal nematocita e dalle cellule adiacenti è stato denominato CSCC (Cnidocyte-Supporting Cells Complex) dagli A.A. In particolare, sono stati identificati distinti recettori di membrana per amino-zuccheri e per gli acidi sialici, localizzati sulla membrana apicale delle cellule adiacenti, e per aminoacidi. Watson & Hessinger (1992) propongono altresì l'esistenza di un duplice sistema di meccanorecezione, costituito da recettori sensibili al contatto e da recettori sensibili a vibrazioni di frequenza comparabile a quella prodotta dal nuoto delle prede abituali. L'ambito di frequenze adeguato sarebbe modulato dai chemocettori.

Nell'intento di accertare i meccanismi responsabili dell'eccitamento del sistema, sono stati condotti taluni studi elettrofisiologici su nematociti. Tali indagini sono rese alquanto ardue dalle dimensioni di queste cellule, nonché dal fatto che il citoplasma è assai sottile a causa della presenza della nematocisti. I risultati di tali indagini sono comunque discordanti. Mentre nematociti di *Cladonerna* opportunamente depolarizzati producevano il potenziale di azione, quelli di *Physalia* e di *Chrisaora* mancavano di rispondere (Anderson & McKay, 1987). Inoltre, la scarica della nematocisti non appariva correlabile con la depolarizzazione del nematocita.

Per quel che attiene agli eventi ionici associati alla scarica *in situ,* Santoro & Salleo (1991a) e Salleo et al. (1992) hanno osservato su aconzie di *Aiptasia mutabilis* e di *Calliactis parasitica* che l'induzione della scarica prodotta dal K^+, già descritta da Blanquet (1970), richiede in realtà la presenza di Ca^{2+} nel mezzo di sospensione. Essi hanno interpretato pertanto la scarica da K^+ come il risultato di una depolarizzazione prodotta da una elevata $[K^+]_e$ che a sua volta provocherebbe un influsso di Ca^{2+}, al quale sarebbe in realtà imputabile la scarica. Inoltre, essi hanno ottenuto scarica di nematocisti *in situ* mediante trattamento con anioni liotropi, quali SCN^- e I^-. Anche in questo caso l'efficacia era legata alla presenza di Ca^{2+} nel mezzo. L'ipotesi che l'evento capace di scatenare la scarica fosse effettivamente un influsso di Ca^{2+} è stata confermata dall'effetto di noti bloccanti dei canali del Ca^{2+}, quali La^{3+}, Cd^{2+} e Co^{2+}, che inibiscono anche la scarica prodotta da stimolazione elettrica (Salleo et al.,1993). L'impiego del SCN^- ha altresì consentito di osservare (Santoro & Salleo, 1991b) che in aconzie di *Calliactis parasitica* la scarica indotta da questo anione procede sequenzialmente da una estremità all'altra del filamento aconziale con velocità di circa 100 |µm sec^{-1}. Tale effetto non sarebbe peculiare degli anioni liotropi, giacché è stato successivamente ottenuto anche aumentando la concentrazione esterna di K^+ a valori compresi tra 50 e 100 mM L^{-1}. Una trasmissione sequenziale dell'attivazione dei nematociti suggerisce l'esistenza di giunzioni intercellulari. A favore di tale ipotesi è l'inibizione della scarica e, pertanto, della trasmissione di essa, esercitato dall'1-ottanolo (Salleo et. al.,1993), un ben noto bloccante delle gap junctions (Dunlap et al., 1987). Quest'ultimo mancava di inibire la scarica indotta da stimolo elettrico, il che suggerisce che l'inibizione così prodotta non sia imputabile ad alterazioni della fluidità di membrana. Tuttavia, l'eventuale presenza di gap junctions nel tessuto aconziale contrasta con i risultati di Mackie et al. (1984), che hanno mancato di osservare in tentacoli di Antozoi e di Scifozoi queste strutture, la cui presenza è stata accertata in Idrozoi. Vale la pena di sottolineare che le aconzie non sono state sinora indagate a questo fine.

Da quanto sopra esposto emerge anzitutto la complessità dei meccanismi coinvolti nel funzionamento di questo sistema di difesa e predazione, molti dei quali sono tuttora da chiarire. Il rapido sviluppo delle conoscenze su questo argomento prodottosi negli anni più recenti, dovuto prevalentemente al fatto che su questo sistema è venuta a convergere l'attenzione di ricercatori di differenti aree, quali zoologia, fisiologia, farmacologia, biologia cellulare, biochimica, consente di prevedere oltre a una completa definizione dei processi di recezione, trasduzione intracellulare e trasmissione intercellulare di segnali, un utile impiego delle tossine contenute nelle nematocisti in studi rivolti alle caratteristiche dei canali ionici.

BIBLIOGRAFIA

Anderson, P. A. V. & M. C. McKay. 1987. The electrophysiology of cnidocytes. *J. exp.Biol.,* 133: 215-230.

Blanquet, R. 1968. Properties and composition of the nematocyst toxin of the sea anemone, *Aiptasia pallida. Comp. Biochem. Physiol.,* 25: 893-902.

Blanquet, R. 1970. Ionic effect on discharge of the isolated and in situ nematocysts of the sea anemone *Aiptasta pallida:* a possible role of Calcium. *Comp. Biochem. Physiol.,* 35: 451-461.

Blanquet, R. & H.M. Lenhoff. 1966. A disulfide -linked collagenous protein of nematocysts capsules. *Science,* 154: 152-153.

Burnett, J. W. 1991. Clinical manifestations of jellyfish envenomation. *Hydrobiologia,* 216/217: 629-636.

Burnett, J. W. & G. J. Calton. 1987. Venomous pelagic Coelenterates: chemistry, toxicology, immunology and treatment of their stings. *Toxicon, 25:* 581-602.

Carré, D. 1980. Hypothesis on the mechanism of cnidocyst discharge. *Eur. J. Cell. BioL,* 20: 265-271.

Dunlap, K., K. Takeda & P. Brehm. 1987. Activation of a calcium - dependent Photoprotein by chemical signalling through gap junctions. *Nature,* 325, 60 - 62.

Endean, R., J. F. Rifkin, & L. Y. M. Daddow. 1991. Envenomation by the box-jellyfish *Chironex fleckeri :* how nematocysts discharge. *Hydrobiologia,* 216/217: 641-648.

Fautin, D.G. & R. N. Mariscal. 1991. Cnidaria, Anthozoa. Cnidaria, Hydrozoa. In: *Microscopie anatomy of invertebrates,* vol.2 (Harrison, F.W. & Westfal, J.A. eds): 267-358. Wiley-Liss, N.Y.

Fenner, P.J. 1991. Cubozoan jellyfish envenomation syndromes and their treatment in northern Australia. *Hydrobiologia,* 216/217: 637-640.

Galettis, P. & R. S. Norton. 1990. Biochemical and pharmacological studies of the mechanism of action of Tenebrosin- C, a cardiac stimulatory and haemolytic protein from the sea anemone, *Actinia tenebrosa. Toxicon,* 28: 695-706.

Gerke, L, K. Zierold, J. Weber & P. Tardent. 1991. The spatial distribution of cations in nematocytes of *Hydra vulgaris. Hydrobiologia,* 216/21: 661-670.

Godknecht, A. & P. Tardent. 1988. Discharge and mode of action of the tentacular nematocysts of *Anemonia sulcata. Mar. BioL,* 100: 83-92.

Goltz, R. & U. Thurm. 1990. Cnidocil regeneration in nematocytes of *Hydra. Protoplasma,* 155: 95-105.

Hessinger, D. A. 1988. Nematocyst venoms and toxins. In: *The Biology of nematocysts* D. A. Hessinger & H. M. Lenhoff (eds): 333-368. Academic Press, San Diego.

Holstein, T. & K. Hausmann. 1988. Functional properties of the cnidocil- apparatus. In: *The Biology of nematocysts.* Hessinger D. A. & Lenhoff H.M. (eds): 64-73. Academic Press, San Diego.

Holstein, T. & P. Tardent. 1984. An ultrahigh – speed analysis of exocytosis: nematocyst discharge. *Science,* 223: 830 - 833.

Kem, W. R. 1988. Sea anemone toxins: structure and action. In: *The Biology of nematocysts* . D. A. Hessinger and H. M. Lenhoff (eds.): 375-405. Academic Press, San Diego.

Klug, M. & J. Weber. 1991. An extract from *Hydra vulgaris* (Cnidaria) nematocysts increases cytoplasmic Ca^{2+} levels in fibroblasts. *Toxicon,* 29: 129-133.

Lesh-Laurie, G., S. L. Di Blasi, S.L., P. E. Suchy & J. B. Senturia. 1989. Inotropic response elicited by nematocysts contents of *Hydra oligactis* (Coelenterata: Hydrozoa). *Comp. Biochem. Physiol.,* 94C: 249-254.

Lubbock, R. & W. B. Amos. 1981. Removal of bound calcium from nematocysts contents causes discharge. *Nature,* 290: 500-501.

Lubbock, R., B. L. Gupta & T. A. Hall. 1981. Novel role of calcium in exocytosis: mechanism of nematocysts discharge as shown by X-ray microanalysis. *Proc. natn. Acad. Sci. U.S.A.,* 78: 3624-3628.

Lubbock, R. & G. A. B. Shelton. 1981. Electrical activity following cellular recognition of self and non-self in a sea anemone. *Nature,* 289, 59-60.

Mackie, G. O., P. A. V. Anderson, & C. L. Singla. 1984. Apparent absence of gap junctions in two classes of Cnidaria. *Biol. Bu.ll,* 167: 120-123.

Mariscal, R. N. 1974. Nematocysts. In *Coelenterate Biology: Reviews and New perspective* (ed. L.Muscatine & H.L.Lenhoff): 129-78. Àcademic Press. New York, London.

Muramatsu, L, K. Saito, T. Ohmura, S. Kigoshi & S. Shibata. 1990. Supersensitivity to tetrodoxin and lignocaine of Anthopleurin A-treated Na^+channels in crayfish giant axon. *Eur. J. Pharmacol,* 186: 41-47.

Nishio, M., T. Ohmura, S. Kigishi, & I. Muramatsu. 1991. Supersensitivity to tetrodoxin and lignocaine of sea anemne toxin II-treated sodium channel in guinea-pig ventricular muscle. *Br. J. Pharmacol.,* 104: 504-508.

Norton, R. S. 1991. Structure and structure-function relationships of the sea anemone proteins that interact with the sodium channel. *Toxicon,* 29: 1051-1084.

Pantin, C. F. A. 1942. The excitation of nematocysts. /. *exp. BioL,* 19: 294-310.

Salleo, A. 1984. Discharge mechanism of the nematocysts of *Pelagia noctiluca.* In *Toxins and Draga of Marine Animals to Pollutants* (ed.L. Bolis, J. Zadunaisky & R. Gilles): 63-68. Springer Verlag.Berlin, New York, Tokyo:

Salleo, A., L. Calabrese, D. Barra & G. La Spada. 1986. Characterization of protein components of the capsule fluid and of the capsule wall of the nematocysts of *Pelagia noctiluca. Nova Thalassia,* 8: 119-122.

Salleo, A., G. La Spada e M. Alfa. 1983. Blockage of trypsin-induced discharge of nematocysts *of Pelagia noctiluca* by Ca 2+. *Mol. Physiol:* 89-97.

Salleo, A., G. La Spada, A. Brancati & P. Ciacco. 1991. Effects of controlled treatment with trypsin on the functional characteristics of isolated nematocysts of *Calliactis parasitica* and *Aiptasia mutabilis. Hydrobiologia,* 216/217: 655-660.

Salleo, A., G. La Spada & M. G. Denaro. 1988a. Release of free Ca^{2+} from the nematocysts of *Aiptasia mutabilis. Physiol.* Zoo/., 61: 272 - 279.

Salleo, A., G. La Spada, M. G. Denaro M &G. Falzea. 1986. Effects produced by SCN^- and thioglycolate on isolated nematocysts of *Pelagia noctiluca. Cell. Mol. Biol.,* 32: 661-666.

Salleo, A., G. La Spada, M. G. Denaro M & G. Falzea. 1988b. Dynamics of release of free calcium during the discharge of holotrichous isorhiza nematocysts of *Pelagia noctiluca.* In: *The biology of nematocysts.* D. A. Hessinger & H. Lenhoff (eds): 55l-555.Academic Press, San Diego.

Salleo, A., G. La Spada, G. Falzea & M. G. Denaro. 1984a. pH-induced collapse of the capsular wall in isolated nematocysts of *Pelagia noctiluca. Cell. Mol. Bio/.,* 30: 91-94.

Salleo, A., G. La Spada, G. Falzea, & M. G. Denaro. 1984b. Discharging effectiveness of lyotropic anions on nematocysts of *Pelagia noctiluca. Mol. Physiol.,* 6: 19-26.

Salleo, A., G. La Spada & E. A. Robson. 1990. Discharge characteristics of nematocysts isolated from acontia of *Calliactis parasitica. Mar. BioL,* 104: 459-464.

Salleo, A G. Santoro & P. Barra. 1993. Spread of experimentally induced discharge in acontia of *Calliactis parasitica. Comp. Biochem. Physiol.,* 104A: 565-574.

Santoro, G. e A. Salleo. 199la. The discharge of *in situ* nematocysts of the acontia of *Aiptasia mutabilis* is a Ca^{2+} - induced response. *J. exp. Biol.,* 156: 173-185.

Santoro, G. & A. Salleo. 1991b. Cell to cell transmission in the activation of *in situ* nematocytes in acontia of *Calliactis parasitica, Experientia,* 47: 701-703.

Tardent, P., K. Zierold, M. Klug & J. Weber. 1990. X-ray microanalysis of elements present in the matrix of cnidaria nematocysts. *Tissue and Cell,* 22: 629 -643.

Thomas, M. B. & N. C. Edwards. 1991. Cnidaria, Hydrozoa. In: *Microscopic anatomy of invertebrates,* voi.2 (Harrison, F.W. & Westfal, J.A. eds): 91-184. Wiley-Liss, New York.

Thomason, J. C. 1991. Cnida discharge and the mechanism of venom delivery in *Anemonia viridis* (Cnidaria, Actiniaria). *Hydrobiologia,* 216/217: 649-654.

Watson, G. M. & D. A. Hessinger. 1989. Cnidocyte mechanoreceptors are tuned to the movements of swimming prey by chemoreceptors. *Science,* 243: 1589-1591.

Watson, G.M. & D. A. Hessinger. 1991. Chemoreceptor-mediated elongation of stereocilium bundles tunes vibration-sensitive mechanoreceptors on cnidocyte-supporting cell complexes to lower frequencies. *J. Cell. Sci.,* 99: 307-316.

Watson, G.M. & D. A. Hessinger. 1992. Receptors for N-acetylated sugars may stimulate adenylate cyclase to sensitize and lune mechanoreceptors involved in triggering nematocysts discharge. *Exp. cell. Res.,* 198: 8-16.

Weber, J. 1989. Nematocysts (stinging capsules of Cnidaria) as Donnan-potential-dominated osmotic System. *Eur. J. Biochem.,* 184: 465-476.

Weber, J. 1990. Poly(y.-glutamic Acid)s are the major constituents of nematocysts in *Hydra (Hydrozoa, Cnidaria). J. Biol. Chem.,* 265: 9664-9669.

Weber, J. 1991. A novel kind of polyanions as principal components of cnidarian nematocysts. *Comp. Biochem. Physiol,* 98 A: 285 - 291.

Weber, J., M. Klug & P. Tardent. 1987a. Detection of high concentration of Mg and Ca in the nematocysts of various cnidarians. *Experientia,* 43: 1022-1025.

Weber, J., M. Klug & P. Tardent. 1987b. Some physical and chemical properties of purified nematocysts *of Hydra attenuata. Comp.Biochem. Physiol.,* 88 B: 855-862.

Weber, J., T. Schῡrholtz & E. Neuman. 1990. The nematocyst extract *of Hydra attenuata* causes single channel events in lipid bilayers. *Toxicon,* 28: 403-409.

Yanagita, T. M., 1959. Physiological mechanism of nematocysts responses in sea anemone. I. Effects of trypsin and thioglycolate upon the isolated nematocyst. *Jap. J. Zool.,* 12: 361-375.

Zorec, R., M. Tester, P. Macek, W. T. & Mason. 1990. Cytotoxicity of the Equinatoxin from the sea anemone *Actinia equina* involves ion channel formation and an increase in intracellular calcium acitvity. *J. Membrane Biol.,* 118:243-249.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L.
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da pag. 23 a pag. 33

SEDIMENTATION AND HEAVY METAL INPUT CHANGES ON THE NORTHWEST ADRIATIC SEA SHELF; A CONSEQUENCE OF ANTHROPOGENIC ACTIVITY

N. Brian PRICE[1], Stephen MOWBRAY[1] and Paola GIORDANI[2]

[1] Department of Geology and Geophysics, Grant Institute, University of Edinburgh, West Mains Road, Edinburgh EH9 3JW, UK
[2] Istituto di Geologia Marina, CNR, via Gobetti 101, 40129 Bologna, Italia

RIASSUNTO

La composizione in elementi maggiori e minori è stata studiata in sei carote prelevate in mare, a 20 m di profondità, dal delta del Po al largo di Cesenatico. Questa sembra derivare dal mescolamento di due 'end members', provenienti uno dal Po (Mg/Al = 0.30) e l'altro dai sedimenti a Nord (Mg/Al = 0.63). Gli apporti relativi a queste due origini sono stati valutati sulla base dei rapporti Mg/Al e Zr/Al, usato normalmente come indice dell'efficienza dell'erosione sulla superficie del sedimento. Nell'area a Sud, circa il 70 % del sedimento proviene dal Po, mentre a Nord potrebbe essere maggiore del 10 %. È stata riscontrata un'incidenza decrescente nel tempo del materiale padano ed è più evidente negli ultimi 20-30 anni.

Dai profili di concentrazione dei metalli nei sedimenti, tramite i rapporti Metallo/Ni sono stati valutati gli apporti del Po. Questi mostrano un aumento verso la superficie, senza alcuna evidenza di abbattimento in anni recenti. Le concentrazioni sono molto più alte vicino al delta e diminuiscono verso Sud, dove sono correlati alle velocità di accumulo. Ciò significa che gli apporti sono strettamente associali a quelli di argilla, con scarsa evidenza di precipitazione in situ dall'acqua marina.

Si ritiene che le velocità di accumulo dei sedimenti e gli inventari dei metalli risultino dalla differenza fra la velocità di immissione e quella di erosione. Nella parte settenarionale, dove la velocità di sedimentazione è alla, la frazione erosa è relativamente piccola e le stime delle velocità di accumulo di sedimenti e metalli sono simili alle velocità di immissione, per cui le loro variazioni temporali risultano strettamente correlate a quelle della portata del fiume. A Sud, invece, tale correlazione è inferiore.

ABSTRACT

Six shelf cores (20 m water depth) from the Po delta to Cesenatico have been studied for their major and minor element geochemistry. This shows them as admixtures of two end member sediments, the river Po and northern shelf sediments of Mg/Al ratios 0.30 and 0.63 respectively. Using Mg/Al ratios and Zr/Al ratios, which is used as an expression of the severity of erosion at the sediment surface, the relative inputs of sediment from these sources have been calculated. In the south -70% of the sediment is derived from the Po while in the north it can be >10%. There is everywhere a well defined temporal decrease in the Po input and this is more evident over The past 2-3 decades.

Inputs of anthropogenic heavy metals (Zn, Pb and Cn) introduced from the river Po have been assessed from xs metal contents, using metal/Ni ratios. Temporal trends show a steady increase towards the core tops, with no evidence of any abatement in recent

years. Heavy metal inventories are very much higher near to the Po delta than in the south where they closely relate to the total sediment accumulation rates. This implies that metal inputs are closely associated with those of clays, with little evidence of any *in situ* metal precipitation from seawater. Il is reasoned that sediment accumulation rates and metal inventories represent the residua of input less erosion rates. In he north where there is a high sedimentation rate, the fraction eroded is relatively small and the estimates for sediment and metal accumulation rates are similar lo their input rates. Here the pattern of sediment and metal accumulation will be closely related lo temporal changes in riverine flux. In contrast, to the south, accumulation rates bear a lesser relationship to input rates.

1. INTRODUCTION

Heavy metal enrichments in surficial sediments have been described in numerous coastal and shelf environments (Chow et al., 1973; Bruland el al., 1974; Goldberg el al., 1977, 1978, 1979; Skei & Paus, 1979; Kalz & Kaplan, 1981; Ridgway & Price, 1987). Usually These enrichments are lo be found in The upper part of sediment cores, and in particular involve Zn, Pb and Cu. Most authorities have assumed that such enrichments above a baseline concentration represent an anthropogenic presence and furthermore, patterns of enrichment have been used lo define The histories of contamination of an environment coming from municipal, industrial and agricultural sources and in particular The burning of fossil fuels. Isotopic studies of non-radiogenic Pb have, in many cases, added credence to this assumption (Chow el al., 1973; Ridgway & Price, 1987).

Successful interpretations of anthropogenic input histories (Bruland et al., 1974; Erlenkeuser et al., 1974; Ridgway & Price, 1987) have usually come about from studies of sediments accumulating in protected marine environments such as fjords or of sufficient water depth lo protect The sediment surface from disturbance from currents and wave effects. In most studies of environment change, information is usually required for less protected shallow water regimes such as estuaries and the coastal zone of the shelf. Here, interpretation of The heavy metal content record is much more difficult because it is interrupted by periods of sediment resuspension and sediment focusing as well as storm discharges from river systems.

Previous studies of heavy metals in the coastal sediments neighbouring the Po delta have shown that most, and possibly all, metal enrichments of Zn, Pb and Cu are derived from The river (Frignani & Giordani, 1983; Guerzoni el al., 1984; Frascari el al., 1988). Unusual contents of Cr and Hg in some surface sediments also are likely to be derived from source to The north of The Po outfall. No interpretation of vertical trends in heavy metals in cores has been made, other than a recognition that heavy metal contents increase towards sediment surface or show maxima in subsurface horizons (Guerzoni el al., 1984; Frascari el al., 1988). The aim of this paper is to attempt to recognise temporal changes in the pattern of sedimentation and geochemistry of the shelf sediments south from the Po delta during The period of anthropogenic activity.

Furthermore it will establish changes in the heavy metal discharge from the river Po and the influence of the Po on sediment accumulation on the shelf. From knowledge of the patterns of sedimentation over lime it will attempt to assess the patterns of anthropogenic heavy metal accumulation (Zn, Pb and Cu).

2. ENVIRONMENTAL SETTING, SAMPLING AND ANALYSIS

Discharge of The River Po into a biologically productive, sometimes eutrophic. density stratified Adriatic Sea constitutes a major source of metals lo The Mediterranean. With respect to discharge rates, The northern Adriatic rivers contribute some 28% (2500-3000 m^3

sec^{-1}) of freshwater input to the Mediterranean. Approximately 60% of this is contributed by the Po (average flow of -1570 m^3 sec^{-1}) (Grancini & Cescon, 1973), which is the largest Italian river (catchment area: 70.1 x 10^3 km^2) draining a very industrialised and intensively cultivated area. It derives much of its sediment from the Apennines as well as the Western Alps. During the period 1956-1973 the total sediment transport of the Po averaged 13.7.10^6 tons yr^{-1}, although during this lime interval the total load transported to the sea showed a tendency to diminish, falling from 16.9.10^6 tons yr^{-1} for the period 1956-64 to 10.5.10^6 tons yr^{-1} for 1965-73 (Dal Gin, 1983). Individual rivers to the north, of which the Adige (262 m^3 sec^{-1}) is probably the most significant, are meaningful on a local scale and their discharge affects the shallow (<10 m) shelf areas. Importantly their drainage basins include the Dolomitic Alps and the terrain north from the Po outfall to Trieste; both show high dolomite content (Jobstraibizer, 1970; Donazzolo et al., 1981).

Early observations of riverine suspended matter indicate a discharge of Cu, Pb and Zn (Provini & Pacchetti, 1982) and Zn (IRSA, 1977) of 970, 1086 and 2500 tons yr^{-1}. More recently, Price et al. (1993) have shown from particulate metal analysis that the Mg/Al ratios (0.3) indicale only traces of dolomite are carried down by the river and that ratios of Ph and Cu to Zn particulate concentrations are very similar to that quoted above.

The pattern of this discharge and dispersal on the shelf varies seasonally. Winter circulation is essentially isothermal and the cold water discharge from the Po forms as a cold water current off the coast (0-35 m) separated from more saline waters to the east (Franco el al., 1982). Summer conditions of much weaker discharge, and especially of strong warming, tend to cause vertical stratification of The water column. Surface flow is weaker and may develop eddies lo The north and south of the mouth of The River Po (Franco el al., 1982; Frascari et al., 1988).

Sediments beneath waters of 10-30 m depth lend lo be of muddy sills, which occur as a belt paralleling the shoreline, and extending southwards from the Po delta front (Brambati et al., 1983). Relict sediments occur seawards from ibis zone. The mineralogy of The sediments is complex, but dolomite off the Po defines a transport pathway of fine materials from The northern Italian rivers (Jobstraibizier, 1970; Frascari et al., 1988). Sediment accumulation rates, determined from the distribution of ^{210}Pb and ^{137}Cs in them (Frignani & Langone, 1991), show highest values near The Po delta; 1.80 lo 0.53 $gmcm^2$ yr^{-1} (1.45 lo 0.4 cm yr'). South of the delta accumulation rates are lower, 0.29 cm^2 yr^{-1} (0.24 cm yr^{-1}) and are usually more constant but do show a gradual reduction to the south.

Sediment cores from six stations were recovered from immediately offshore of the Po delta-front lo offshore from Cesenatico (Fig. 1) using a catcherless gravity corer which does not disturb the sediment/water interface.

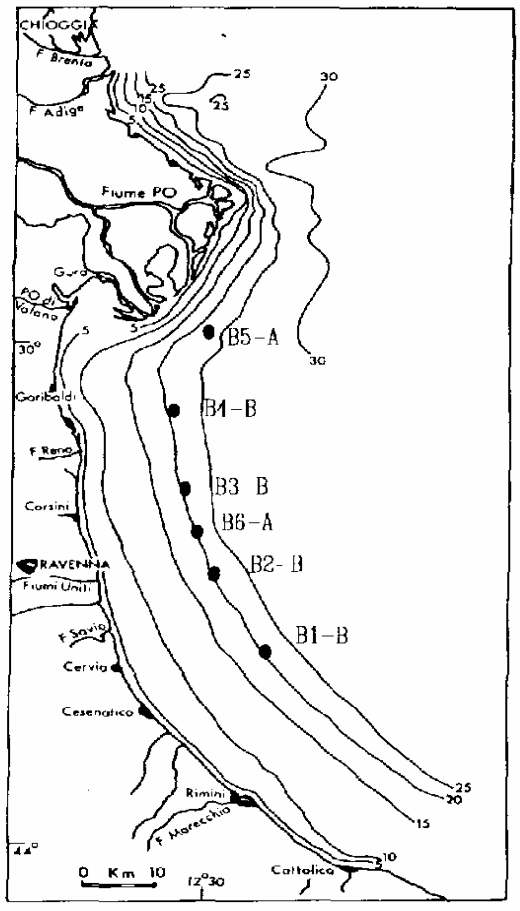


Fig. 1 - Location of sediment cores

Depths of penetration (>50 cm) normally encompass the history of anthropogenic input to the sediments. The usual sequence of vertical subsampling involved sectioning at 0.2 cm to 1.5 cm depth and below at 0.5 cm intervals to 5 cm, 1 cm and 14 cm, 2 cm to 65cm and then at 5 cm intervals to the bottom of the core. All sections were weighed wet and after drying at 60°C to obtain water content changes. All samples were crushed in a rotary mill prior to their chemical analysis.

Sediments were analysed for their major and minor elements by X-ray Fluorescence Spectrometry. 3.0 gms of crushed sediment was pressed into 33mm pellets using 10^5 kg cm^{-2} pressure and using boric acid as backing material. Using rhodium radiation and a variety of instrumental conditions, count rates were corrected for background and, where necessary, inter element interferences (eg. Ni). Resultant net responses for each element were corrected for mass absorption effects of major element compositions and compared with those of a number of internationally accepted rock standards. Confirmation that the major element analyses using a system of pressed sediment powder provide reliable data was shown by reanalysing 40 sediment samples, prepared as fusion discs using a Spectroflux (lithium borate/carbonate and lanthanum oxide) medium. No systematic differences between the two methods of analysis was found. The coefficient of analytical variation (n=l) for Fe, Mg and Ti are ± 1%, for Al, ± 2.5% and Si ± 2.8% of values given. For minor metals the coefficients were ± 4% of that reported.

3. RESULTS

The approach often used lo assess anthropogenic metal accumulation is to estimate contents of anthropogenic released heavy metal above a baseline value at some depth in a sediment that can be adjudged of pre-anthropogenic age. We consider that such an approach for the Adriatic shelf is too simplistic, because sediments south of the Po delta front, although possibly dominated by Po river discharge, are diluted from a second source from the northern shelf. The latter sediments which are essentially free of most anthropogenic elements (Guerzoni et al., 1984; Frascari et al., 1988) are likely to influence all six coring stations, but to a varying extent. To assess the relative inputs of sediments from these two sources, we have assumed that the southward transport flux of the northern shelf sediment has remained Constant, at least during the period of anthropogenic activity, and that perturbations in sediment supply at all six stations are due entirely to changes in the river output. Given the large areal extent of the northern shelf and the strong cyclonic; regime of water circulation as described above (Franco et al., 1982), sediment supply to areas south of the Po delta are likely to be much more Constant than discharge from the Po river.

The mechanism of sediment accumulation in a shallow shelf environment (20 m), is complex. Sediment sorting by seabed traction, sediment resuspension focusing, as well as the introduction of sediments from rivers after storm events, can greatly modify the relative amounts of fine to coarse grains originally introduced onto the shelf and can distort the pattern of heavy metal contents during sediment accumulation. Such features in the sediment cores need to be evaluated before a realistic assessment can be made on the history of authigenic metal release from the river Po.

4. PROVENANCE AND SEDIMENTATION

Table 1 presents element ratios for selected major and minor elements of the six cores and represents the mean of five analyses of the uppermost 1cm and five analyses of the bottom 20cm of each core; the latter representing sediment deposited during the period of pre-industrialisation. There is a southward increase in Si/Al ratio implying a small coarsening of the grain-size of the sediments. In contrast, Fe/Al and Ti/Al ratios are

Table 1 - Element ratios of surface and buried sediments

	ADB1 - B	ADB2 - B	ADB6 - B	ADB3 - B	ADB4 - B	ADB5 - B
Si/Al surf	3.02	2.96	2.86	2.86	2.81	2.79
base	3.13	2.91	2.98	2.83	2.83	2.82
Fe/Al surf	0.529	0.542	0.543	0.544	0.535	0.558
base	0.559	0.556	0.564	0.555	0.557	0.546
Ti/Al surf	0.0514	0.0490	0.0482	0.0492	0.0486	0.0509
base	0.0555	0.0523	0.0527	0.0508	0.0504	0.0508
Mg/Al surf	0.383	0.404	0.386	0.422	0.475	0.517
base	0.363	0.350	0.334	0.363	0.409	0.466
Zr/Al surf	14.0×10^{-3}	13.2×10^{-3}	12.2×10^{-3}	12.4×10^{-3}	12.5×10^{-3}	13.7×10^{-3}
base	14.7×10^{-3}	12.6×10^{-3}	13.2×10^{-3}	12.2×10^{-3}	12.4×10^{-3}	13.2×10^{-3}
Zn/Ni surf	1.716	1.673	1.828	1.661	2.088	2.198
base	1.187	1.142	1.236	1.116	1.086	1.251

Laterally extremely uniform which suggests areally a uniform mineralogical composition of aluminosilicates. Vertical changes in Si/Al, Fe/Al, Ti/Al ratios, although small, show upward decreases, especially in Fe/Al and Ti/Al ratios, possibly indicating a change in clay/clay + feldspar ratio over time. Given the sediments on the shelf represent a varying admixture of Po river derived and northern shelf derived sediment, the overall areal and temporal constancy in these ratios suggests that the composition of the aluminosilicates from these two sources is very similar. The lateral and temporal uniformity in major element geochemistry is also seen, at least for these two sediment horizons, in Zr/Al ratios. However, plots for Zr/Al ratios down cores (Fig. 2) show a much greater mvariation. Zr/Al ratios in sediments have often been used as an indicator of grain-size (Goldschmit, 1964; Calvert, 1976), especially where sediment winnowing occurs and thc lagged coarse-grained sediment is enriched in heavy minerals (cg. zircon), promoting high Zr/Al ratios. The vertical patterns in Zr/Al ratios show in nearly all cores a number of horizons of intense winnowing such that they can often be used for correlative purposes (see fig. 2).

5. RIVER PO INPUT CHANGES

In contrast to the other major elements ratios there is a pronounced southward decrease in Mg/Al ratios (Table 1) for both surface and buried sediments. Only core ADB6-A shows a reversal in this trend. Southwards from cores ADB5-A to ADB1-B this decrease in Mg/Al ratio in the surface sediment is greater than at depth. Such trends and the magnitude of the Mg/Al ratios indicate that their variation is exclusively caused by dolomite content. Price et al: (1993) have shown that River Po detritus (Mg/Al = 0.3) comprises only traces of dolomite, hence higher Mg/Al ratios in shelf sediments must indicate a provenance from the north.

In contrast, sediments and particulate matter on the northern shelf opposite the River Brenta show Mg/Al ratios of ~0.63 (Juracic et al., 1987), and contain excess Mg contents (1.88 wt %) over that held in aluminosilicates (Mg/Al = 0.30) which indicates ~15% dolomite. Mineralogical measurements in sediments off the Po delta (Ravaioli, 1986) also show a high dolomite content of 10% or more. Estimates of the relative amounts of sediment derived from the river (Mg/Al = 0.3; xs Mg = 0%) and from the northern shelf (Mg/Al = 0.63;txs Mg = 1.88%) can be calculated from the xs Mg contents in the six cores by proportioning these against end member values.

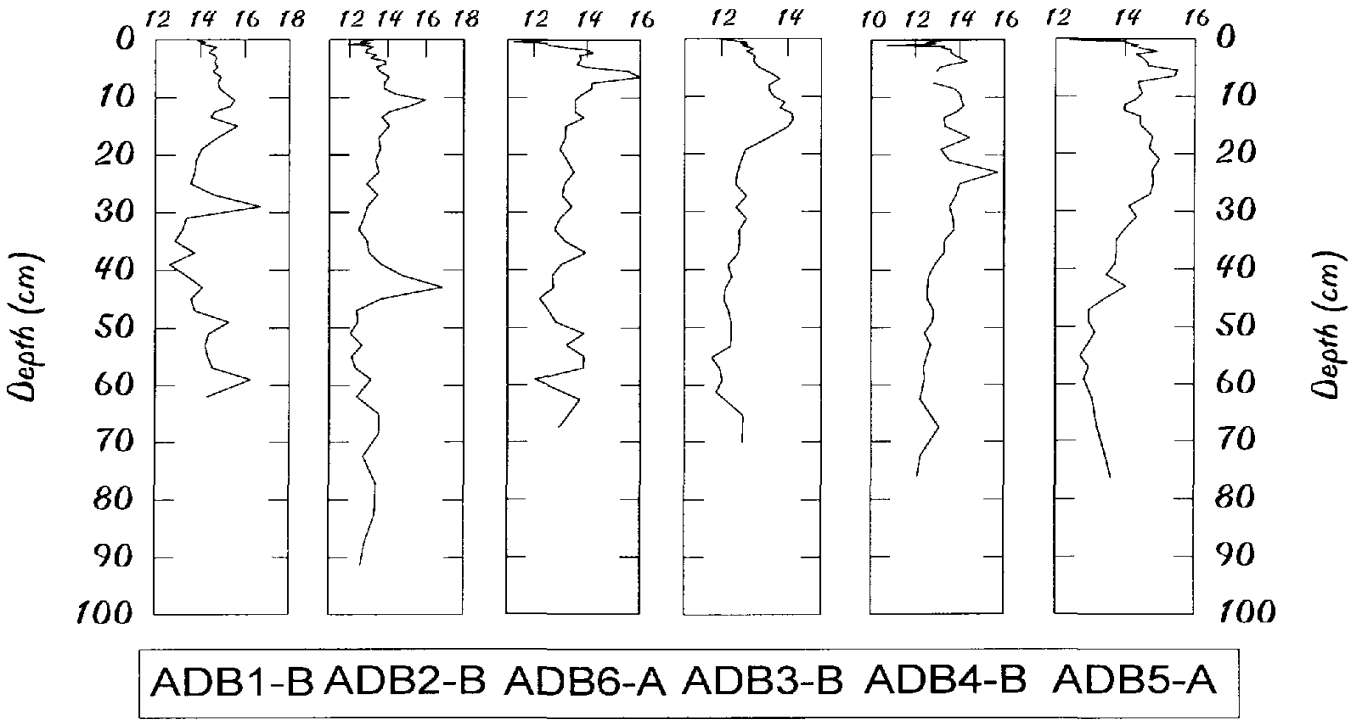


Fig. 2 - Depth profiles of Zr/Al ratios (x 10^{-4}) for the 6 cores on the NW Adriatic shelf. Anomalously high Zr/Al ratios indicate horizons of excessive sediment erosion. The patterns of Zr/Al ratio can be correlated : e.g. the peak at 11cm. in ADB1-B can be correlated to horizons at 9.5 cm, 5 cm and 17 cm in cores ADB2-B, ADB6-A and ADB3-B

This provides only an assessment of the relative amounts of accumulated sediments from these two sources rather than that of sediment input. To estimate the latter one has to address the problem of temporal changes in erosion rates, especially episodic removal of sediment during unusual storm events and depicted by high Zr/Al ratios. We have attempted an assessment of the historical changes in dolomite input as opposed to dolomite accumulation for each core using the equation:

$$Mg\%(\text{dolomite input}) = \text{xs } Mg\%[(Zr/Al \text{ sed} - Zr/Al \text{ min}) / (Zr/Al \text{ min}) + 1]$$

where xs Mg% is the non aluminosilicate Mg content of the sediment input to each horizon of the six stations; Zr/AI sed is the Zr/Al ratio for each horizon of the six cores and Zr/Al min is the lowest ratio observed in each of the sediment cores. Here we assume sediment erosion is linearly related lo Zr/Al ratio changes. Sediments of exceptionally high Zr/Al ratios (Fig. 2) probably represent storm events and can represent a sediment loss of >10% while for most horizons there is only a small loss (2-5%) of sediment by erosion.

Proportioning the Mg input to that of the respective river (xsMg = 0%) and the northern shelf (xsMg = 1.88%) allows assessment of the spatial and temporal trends of the percentages of the input of river Po derived sediment to the six coring sites. These are shown in Fig. 3 and indicate that while the proportion of river derived sediment to the southern cores is -70% in the north (ADB4-B and ADB5-A) its contribution is surprisingly low and often is <10%. Also a well defined secular decrease in the percentage input of river derived sediment is best seen in the southern cores. In the uppermost few centimetres, this trend is most pronounced and shows a marked decrease of river contribution to total sediment input in recent years, and supports the conclusions reached by Dal Cin (1983). In the northern cores, the pattern of mineral input, especially

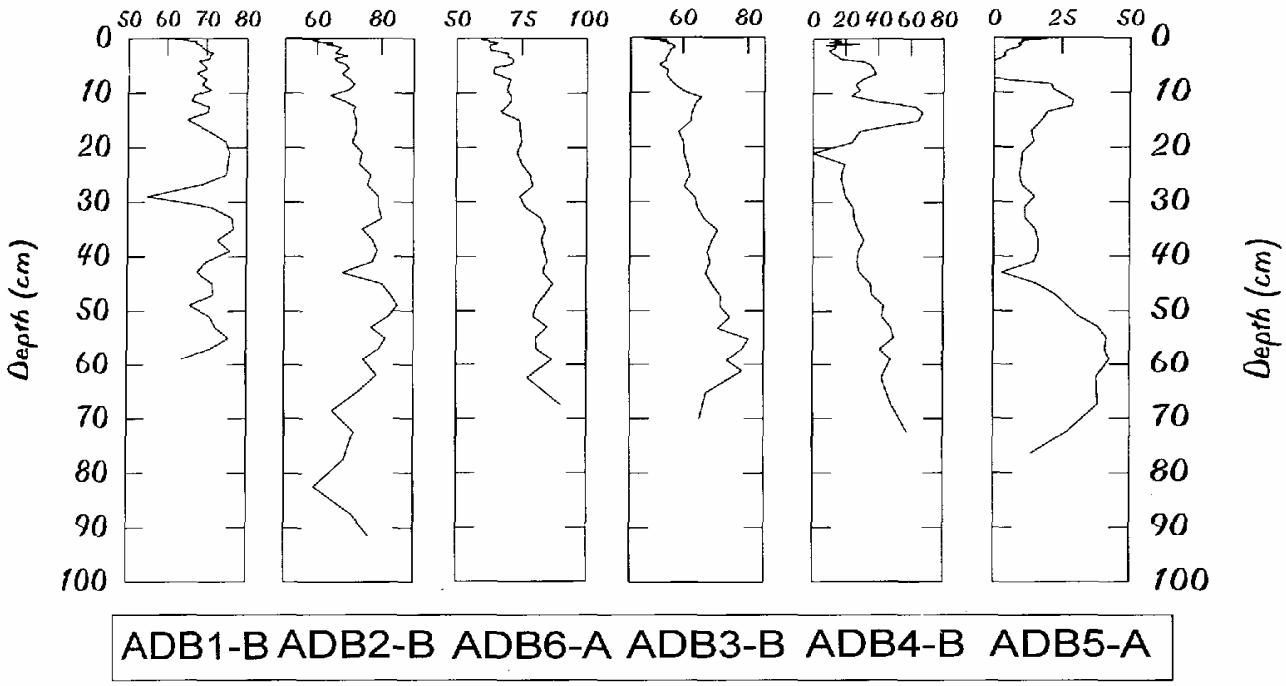


Fig. 3 - Changes in the % contribution of River Po derived sediment in the NW Adriatic shelf cores

in the upper 20 cm of the cores is more erratic due to two horizons representing extraordinary riverine inputs which are possibly caused by inland storm conditions.

6. ANTHROPOGENIC HEAVY METAL INPUTS

Rather than use a common background as a means of assessing contents of excess heavy metals or the anthropogenic metal loading as was adopted by Guerzoni et al. (1984), we have used a different approach to assess anthropogenic metal contents and inputs. Table 1 shows that Zn/Ni ratios of preanthropogenic metals al the bottom of the cores are essentially constant for the six coring sites implying that The composition of clay input from the river and northern shelf are very similar with respect to these two elements and are likely lo be contained in a common host ferromagnesian mineral. Given that Ni is not an anthropogenic metal, temporal fluctuations in The pattern of sediment accumulation of Ni, from winnowing etc., will equally apply lo non-anthropogenic Zn. We also contend that preanthropogenic Pb and Cu in The sediments have a similar behaviour lo Ni and Zn. Vertical profiles of accumulaled excess (xs) or anthropogenic Zn, Pb and Cu contents for The six cores have been calculated from changes in metal/Ni ratios in excess of that observed at the bottom of individual cores.

To assess the inferred input of xsZn, xsPb and xsCu from the river as opposed to these contents in the sediments, The excess metal contents bave been recalculated with respect lo The proportion of river derived sediment and The amount of erosion for each core. This is illustrated here for Zn (Fig. 4) and shows The anthropogenic input. Pb shows a very similar trend, but as the xsCu contents are much lower and are inevitably subject to greater analytical error their trends are more erratic. All the cores show a generallinear upward trend from the onset of anthropogenic discharge. In the four southern cores Zn (and Pb) input increase noticeably in The surficial sediments and the

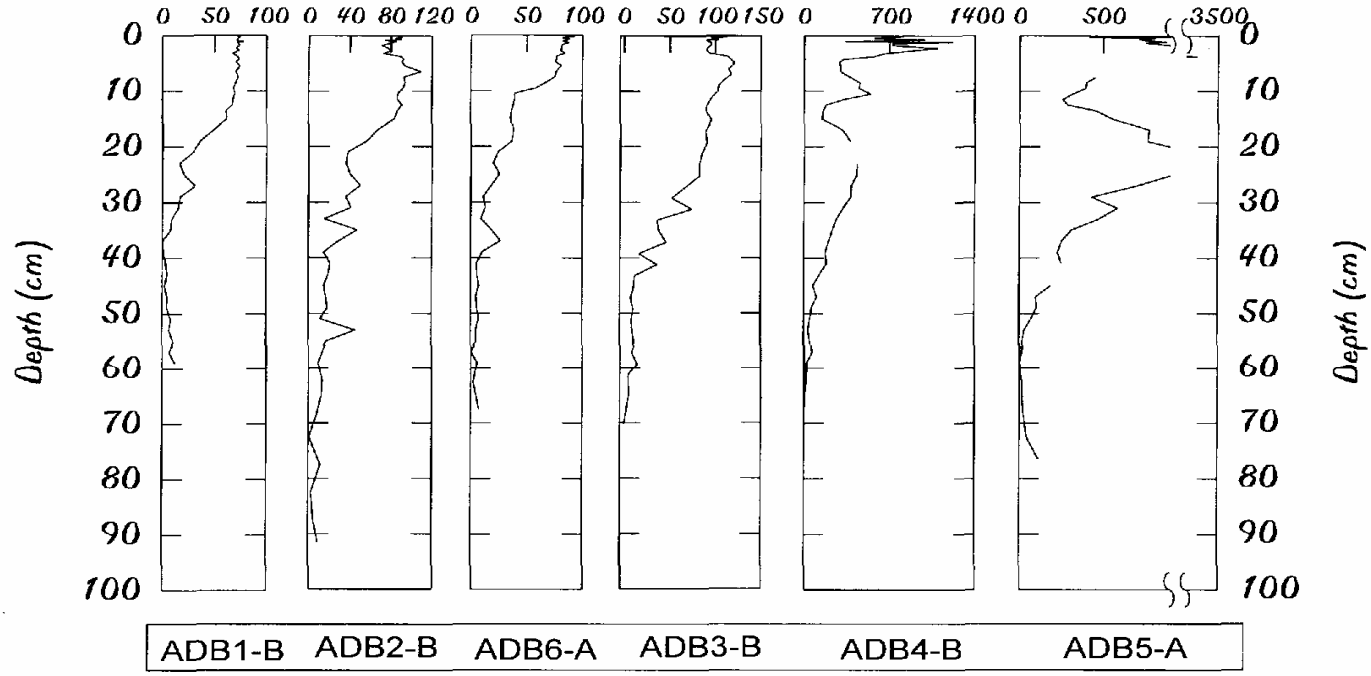


Fig. 4 - Vertical profiles of the projected anthropogenic zinc inputs (ppm) in N W Adriatic cores

onset of this occurs at 22, 20, 12 and 30 cm from S to N. There is no obvious decrease in Zn contents in the core tops, implying that metal discharge has not abated in recent years.

Temporal patterns in the two northern cores are more erratic due largely to the introduction of two significant storm induced river inputs, which probably contain some riverbed load sediment of lower heavy metal content than is normally discharged. The Pb inputs for surface sediments are about half that of Zn, while those for Cu, as stated above, are much lower and it is difficult to accurately define any secular trends for Cu in the southern cores.

Recently reported (Frignani & Langone, 1991) sediment accumulation rates determined from ^{137}Cs and ^{210}Pb profiles indicate values between 0.10 and 0.20cm yr^{-1} in the south and increase northwards to l.O cm yr^{-1} or more near the delta front. Rates determined by Frignani and Langone (1991) for cores at an equivalent position to ADB1 - B, ADB4-B and ADB5-A are 0.18, 0.55 and 0.85 cm yr^{-1} respectively. These measurements assume a Constant accumulation rate and a Constant ^{210}Pb input flux over a studied depth interval. Given a Constant input rate of northern shelf sediment to each of the coring sites, but a progressive lowering of riverine input (Fig. 3) with lime, total sediment accumulation rates must become smaller towards the sediment surface. Further, if there is a substantial contribution of river derived ^{210}Pb to the total ^{210}Pb input flux on the shelf, as occurs with ^{137}Cs (Frignani & Langone, 1991), the temporal lowering of the river supply must imply changes in the input fluxes of ^{210}Pb. For these reasons ^{210}Pb dating of Adriatic shelf sediments must be considered only as a general expression of accumulation rates; as stated they are probably too low. Further, we have also used the correlatable Zr/Al ratio peaks in the four southern cores to estimate the relative accumulation rates of cores ADB2-B, ADB6-A and ADB3-B with reference to ADB1-B; these are 0.195 cm yr^{-1}, 0.105 cm yr^{-1} and 0.255 cm yr^{-1} respectively (Table 2).

Calculations of the inventories of anthropogenic heavy metals (Zn, Pb and Cu) (Table 2) show an overall southward decrease extending over one order of magnitude. Cores ADB4-B and ADB5-A show especially high metal inventories compared with the

Table 2 - Comparison between sediment accumulation rates and heavy metal inventories

CORE	Sed. Acc. Rates cm y^{-1}	Heavy metal inventories ug cm^{-2}		
		Zn	Pb	Cu
ADB1-B	0.18	1395	481	187
ADB2-B	0.195	1795	622	274
ADB6-A	0.105	1159	463	101
ADB3-B	0.255	2252	865	361
ADB4-B	0.55	8474	3089	929
ADB5-A	0.85	14796	5999	1439

more southerly located cores which show only a two-fold change. In the south, variations in metal inventories closely follow the pattern of sediment accumulation rates; core ADB6-A and ADB3-B showing the lowest and highest inventories respectively. With respect to sedimentation accumulation rates of cores ADB4-B and ADB5-A the metal inventories are proportionally higher than are seen to the south. The linkage of metal inventories to accumulation rates suggests that the site of physicochemical linkage of anthropogenic metals to sediment detritus occurs within the river System and that little or no *in situ* precipitation occurs in shelf waters. Furthermore, the lack of a progressive southerly fall off in sediment anthropogenic metal inventories and total sediment accumulation rates, as evidenced by ADB6-A, suggests a commensurate erosion of sediment and anthropogenic metals at the different sites. This erosion is likely to occur more in winter months with unstructured water allowing a high wind stress or current at the sediment interface. In summer an intense thermocline essentially prevents severe erosion of the sediment. Sediment accumulation rates and metal inventories are the residua of input rates less the erosion rates. In areas of high sedimentation, (e.g. in ADB5-A), the fraction of sediment and metals eroded relative to their input fluxes is small and estimates of sediment and anthropogenic accumulation will be more closely related to the riverine flux. Areas more distally located from the river input such as the sites of the southern cores or areas to the east of the Po outfall which only occasionally receive small amounts of sediment (Frascari et al., 1988) the percentage of sediment removed by erosion may be very considerable. For instance, east of the southward trajectory of sediment transport overall relict sediment can occur showing negative sediment accumulation rates (Frascari et al., 1988). It is significant that element ratios, which have been used to express grainsize (e.g. Si/Al and Zr/Al), are higher in the south than the north. They illustrate that a higher proportion of the sediment fraction, especially the fine grained sediment, has been removed by erosion in the south leaving a residuum enriched in quartz and zircon and commensurately depleted in clays and anthropogenic heavy metals. This mechanism implies that there must be a considerable export of heavy metals to the mid and southern Adriatic basins and eastern Mediterranean.

The contribution of the numerous small rivers entering the northern Adriatic to the south of the river Po delta to this pattern of sediment and heavy metal accumulation is largely unknown. Preliminary examination of sediment cores from 10 m water depth reveals only very thin surficial layers (0-5 cm) of metal contaminated sediment, a pattern that has been observed in water depths of 30-40 m. It suggests little or no fine grained sediment accumulation in these areas and little dilution from local sediment input. It also suggests massive and episodic removal, especially of fine grained sediment, through erosion. Similarly. to the east in deeper water (>40 m), the relict sands and silts (Frascari

et al., 1988) suggest little if any contemporary accumulation. It follows that active and sustained accumulation only occurs within a narrow (15-40 m water depth) N -S belt broadly paralleling the coastline and this defines the major trajectory of the Po outfall on the shelf.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was funded as part of a European Community MAST-1 Research Contract 900018. We also would like to thank Professor E. Rabbi for help in the field and laboratory and to Drs M. Frignani and L. Langone for discussions on their measurements of sediment accumulation rates.

REFERENCES

Brambati, A., M. Ciabatti, G.P. Fanzutti, F. Marabini & R. Marocco. 1983. Lithological classification of Adriatic sediments. *Boll. Ocean. Teor. Appl.,* 1: 267-271.

Bruland, K.W., K. Berline, M. Koide & E.D. Goldberg. 1974. History of metal pollution in the Southern California coastal zone. *Environ. Sci. Tech.,* 8: 425-432.

Calvert, S.E. 1976. Mineralogy and geochemistry of near-shore sediments. in *Chemical Oceanography,* vol.6, J.P. Riley and R. Chester eds. Acad. Press. Ch. 32: 187-280

Chow, T.J., K.W. Bruland, K. Berline, A. Soutar, M. Koide & E.D. Goldberg. 1973. Lead pollution: records in Southern California coastal sediments. *Science,* 181: 551-552.

Dal Cin, R. 1983.1 litorali del delta del Po e delle foci dell'Adige e del Brenta. *Boll. Soc Geol. It.,* 102: 9-56.

Donazzolo, R., O. Hieke Merlin, L. Menegazzo Vitturi, A.A. Orio, B. Pavoni, G. Perin & S. Rabitti. 1981. Heavy metals contamination in surface sediments from the Gulf of Venice. *Mar. Follia. Bull,* 12: 417-425.

Erlenkeuser, H., E. Suess & H. Willkom. 1974. Industrialisation affects heavy metal and carbon isotope concentrations in recent Baltic Sea sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta,* 38: 823-842,

Franco, P., L. Jeftic, P. Malanotte, A. Michelato & M. Orlic. 1982. Descriptive model of the Northern Adriatic. *Oceanologica Acla, 5:* 379-389.

Frascari. F., M. Frignani, S. Guerzoni & M. Ravaioli. 1988. Sediments and pollution in the Northern Adriatic Sea. *Annals New York Acad. Sci.,* 534: 1000-1020.

Frignani, M. & P. Giordani. 1983. Metalli pesanti in sedimenti antichi e recenti dei mari italiani. *Atti 5 Congr. AIOL,* Stresa: 525-534.

Frignani, M. & L. Langone. 1991. Accumulation rates and ^{137}Cs distribution in sediments off the Po River delta and the Emilia-Romagna Coast (North-western Adriatic Sea, Italy). *Continent. Shelf Res.,* 11: 525-542.

Goldberg, F.D., J.J. Griffin, V. Hodge, M. Koide & H. Windom. 1979. Pollution history of the Savannah River Estuary. *Environ. Sci. Tech.,* 13: 588-594.

Goldberg, E.D., V. Hodge, M. Koide, J.J. Griffin, E. Gamble, O.P. Bricker, G. Matisoff, G.R. Holdren Jr. & R. Braun. 1978. A pollution history of Chesapeake Bay. *Geochim. Cosmochim. Acta,* 42: 1413-1425.

Goldberg, E.D., E. Gamble, J.J. Griffin, & M. Koide. 1977. Pollution history of Narragansett Bay as recorded in its sediments. *Estuarine Coastal Mar. Sci.,* 5: 549-561

Goldschmit, V. M. 1954. *Geochemistry,* Oxford University Press: 730 pp.

Grancini, G. & B. Cescon. 1973. Dispersal processes of freshwaters in the Po River coastal area. *Limnol Oceanogr.* 18: 705-710.

Guerzoni, S., M. Frignani, P. Giordani & F. Frascari. 1984. Heavy metals in sediments from different environments of a Northern Adriatic sea area, Italy. *Environ. Geol. Water Sci.,* 6: 111-119.

IRSA. 1977. Indagine sulla qualità delle acque del Po. *Quad. IRSA,* 32: 821 pp.

Jobstraibizer, P. 1970. Determinazione rapida di calcite e dolomite per via gas-volume - trica. *Boli Soc. Geol. I tal,* 89: 401-413.

Juracic, M., L. Menegazzo Vitturi, S. Rabitti & G. Rampazzo. 1987. The role of suspended matter in the biogeochemical cycles in the Adige River estuary (Northern Adriatic Sea). *Estuar. Coastal Shelf Sci.,* 24: 349-363.

Katz, A. & I.R. Kaplan. 1981. Heavy metal behaviour in coastal sediments of Southern California: a critical review and synthesis. *Mar. Chem.,* 10: 261-299.

Price, N. B., S.R. Mowbray, P. Giordani & M. Frignani. 1993. Transfer of iron and related elements on the Adriatic shelf. in *MAST Days and Euromarket* vol. 1, EC Comm.: 383-396

Provini, A. & G. Pacchetti. 1982. Po e Adige: valutazione del carico trofico e tossico convogliato nell'Alto Adriatico. *Ingegneria Ambientale,* 11: 173-183.

Ravaioli, M. 1986. Distribuzione della calcite e della dolomite nell'Adriatico settentrionale, tra Po di Levante e Cesenatico. *Atti del 7 Congresso AIOL:* 407-426.

Ridgway, I.M. & N.B. Price. 1987. Geochemical associations and post- depositional mobility of heavy metals in coastal sediments: Loch Etive, Scotland. *Mar. Chem,* 21: 229-248.

Skei, J. & P.E. Paus. 1979. Surface metal enrichment and partitioning of metals in a da - ted sediment core from a Norwegian fjord. *Geochim. Cosmochim Acta,* 44: 149-162.

COMUNICAZIONI

Atti del 10° Congresso A.I.O.L.
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da pag. 37 a pag. 46

CONDIZIONI IDROBIOLOGICHE NELL'ADRIATICO MERIDIONALE. NOVEMBRE 1991.

Davide BREGANT*, Filippo AZZARO**, Alessandra BONACCORSO**, Giuseppe CIVITARESE*, Ermanno CRISAFI**, Rosabruna LA FERLA**, Marcella LEONARDI**, Anna LUCHETTA*, Roberta POLIMENI***, Fabio RAICICH*.

* C.N.R. Istituto Sperimentale Talassografico di Trieste
** C.N.R. Istituto Sperimentale Talassografico di Messina
*** Centro Oceanologico Mediterraneo di Palermo

SUMMARY

The results concerning a second oceanographic cruise carried out in the Southern Adriatic Sea in November 1991, are discussed.

The aim of the cruise was to investigate the hydrobiology of this sea.

Hydrological and microbiological parameters were examined to define their trends as well as correlations.

The presence of three different water masses is confirmed from the hydrological data and the possible meaning of the correlations is discussed.

1. INTRODUZIONE

Nel mese di novembre 1991, l'Istituto Talassografico di Trieste ha organizzato la seconda campagna interdisciplinare di misure nell'Adriatico Meridionale, con la collaborazione dell'Istituto Talassografico di Messina e del Centro Oceanologico Mediterraneo di Palermo.

Lo scopo della campagna era simile alla precedente (Bregant et al., 1992) e cioè accrescere le conoscenze nel comportamento delle caratteristiche idrobiologiche delle acque dell'Adriatico meridionale, studiando non solo i parametri classici del campo di massa (temperatura e salinità) e i parametri chimici (ossigeno disciolto e nutrienti) con un'alta risoluzione lungo la colonna d'acqua, ma anche i parametri chimico-biologici quali il contenuto del carbonio ed azoto organico particellato (POC e PON), l'adenosin-5-trifosfato (ATP) e la carica batterica (AODC) , cogliendo il comportamento di tutti questi in un'altra condizione stagionale.

Inoltre, a completamento dei dati biologici,per la prima volta sono state effettuate misure del potenziale

massimo di attività del sistema di trasporto degli elettroni (ETSA) nei microorganismi, la cui stima esprime il potenziale respiratorio degli organismi stessi attraverso le moli di ossigeno consumato.

Il presente lavoro da informazioni sui risultati preliminari ottenuti e sulla verifica delle relazioni ipotizzate per i parametri misurati.

2. MATERIALI E METODI

La campagna è stata effettuata dall' 8 al 16 novembre 1991 con la N/O Bannock del CNR nelle stazioni riportate in fig.1.

Le misure ed i prelievi sono stati effettuati con un multicampionatore tipo Rosette della General Oceanics dotato di 12 bottiglie tipo Niskin da 5 litri,interfacciato con un CTD Mark V Neil Brown. L'acquisizione dei dati è stata fatta su PC IBM serie PS/2 utilizzando un software della Neil Brown.

I campioni di ossigeno disciolto e di nutrienti sono stati analizzati direttamente a bordo usando rispettivamente il metodo Winkler (Strickland & Parsons, 1972) e quanto riportato da Hansen & Grasshoff (1983) con un sistema automatico a flusso della Chemlab.

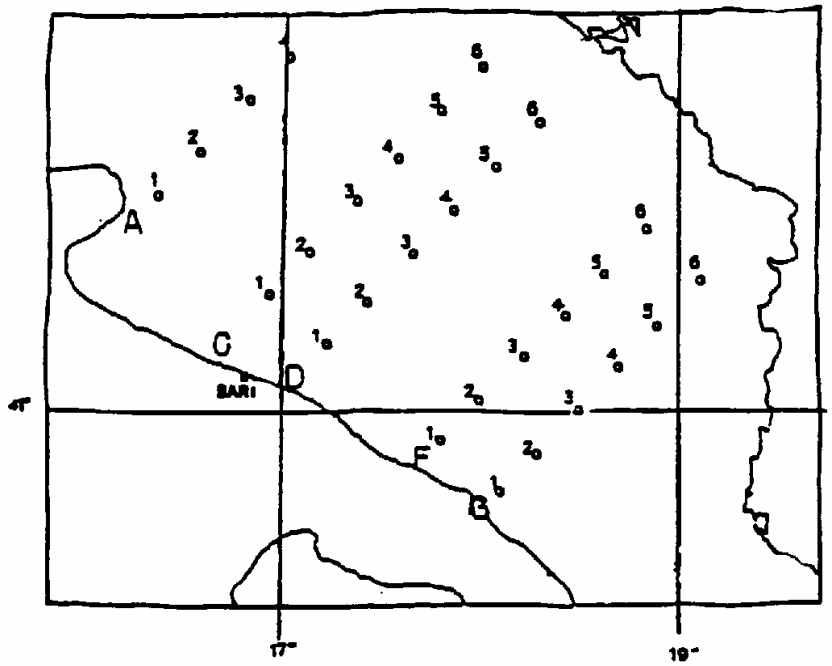


Figura 1: Ubicazione delle stazioni di prelievo.

Il contenuto in carbonio ed azoto organici è stato determinato sui campioni prelevati dai transetti 2-3-4 alle opportune quote. Aliquote di 400 mi sono state concentrate su filtri in fibra di vetro Whatman GF/C, preventivamente muffolati (490°C, overnight). Previa eliminazione della frazione carbonatica inorganica, mediante esposizione a vapori di HC1 concentrato (Hedges & Stern, 1984), l'analisi è stata eseguita utilizzando l'analizzatore automatico CHN Perkin Elmer 2400.

Le determinazioni microbiologiche sono state effettuate sugli stessi campioni. L'ATP microbico è stato determinato secondo la metodica di Holm-Hansen & Paerl (1972) , concentrando i campioni su membrane sterili Nuclepore con porosità 10, 2 e 0.2 µm per separare le frazioni micro, nano e picoplanctoniche. La lettura della reazione luminescente è stata effettuata con luminometro LKB 1250. Per il conteggio diretto della carica batterica in epifluorescenza (AODC) e' stata adottata la metodica ASTM (1985) .

Per l'analisi della attività ETSA, sono stati utilizzati i campioni di acqua prelevati fino a 200 metri. Opportune aliquote di acqua di mare prefiltrata (5 litri) sono state concentrate su membrane Whatman GF/F. Allo scopo di prevenire la degradazione degli enzimi, i filtri sono stati immediatamente conservati in azoto liquido fino all'analisi in laboratorio. Opportune precauzioni sono state adottate nel trattamento dei campioni per ridurre le eventuali contaminazioni. La metodica utilizzata è una modifica della tecnica di riduzione del tetrazolio di Packard (1971) e di Kenner e Ahmed (1975). La densità ottica dei campioni trattati è stata determinata con uno spettrofotometro Cary 1/3 Varian.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

I valori di temperatura osservati sono compresi tra 18.80°C e 12.80°C circa con acque più fredde lungo il versante italiano rispetto alla costa slava. Nelle stazioni profonde, oltre a 1000 m, la temperatura è inferiore a 13°C.

I valori di salinità oscillano tra 37.30 e 38.80 PSU, con una zona centrale compresa tra 75 e 800 m circa, in cui sono presenti valori superiori a 38.70 PSU.

L'ossigenazione è buona lungo tutta la colonna d'acqua con valori compresi tra 5.98 e 4.39 cm^3/dm^3. I valori massimi si hanno attorno a 20 m, mentre i valori minimi di concentrazione compresi tra 4.50 e 4.90 cm^3/dm^3 corrispondono ad uno strato compreso tra 50 ed 400 m circa. In questo strato la saturazione non scende sotto il 77%.

I nutrienti mostrano un progressivo incremento della concentrazione man mano che si procede verso il fondo. I massimi valori si riscontrano generalmente nella zona di minimo dell'ossigeno, poi si ha una piccola flessione, seguita generalmente da un incremento verso il fondo. In particolare i nitrati oscillano tra 0.1 e 5.95 ;µM/dm^3, i fosfati tra 0.06 e 0.29 µM /dm^3, i silicati tra 0.46 e 7.00 µM /dm^3. Nella figura 2 è riportata la distribuzione verticale dell'ossigeno disciolto, dei nitrati e dei silicati lungo la sezione D.

I conteggi diretti dei microorganismi in epifluorescenza (AODC) oscillano tra un massimo di $1.9x10^4$ cellule/cm^3 e un minimo di $1.0x10^3$ cellule/cm^3. I valori riscontrati risultano ancora più contenuti rispetto a quelli determinati in una preliminare crociera effettuata nella stessa zona nell'aprile 1990 e indicano,in generale, la presenza di una popolazione batterioplanctonica abbastanza povera, tipica di zone pelagiche.

I valori di ATP totale variano tra un massimo di 27.64 ng/dm^3 e un minimo di 3.18 ng/dm^3. Il range osservato, pur se leggermente maggiore rispetto a quanto determinato precedentemente, conferma la oligotrofia delle acque studiate. La parte preponderante della biomassa risulta costituita da organismi di dimensione compresa tra 250 e 10 µm, probabilmente microfitoplancton, ed in secondo luogo da organismi tra 10 e 2 µm, cioè nanoplancton.

I valori di attività ETSA sono compresi tra 0.925 e 0.407 µl O_2 h^{-1} l^{-1}. Martinez et al. (1990), durante una ricerca effettuata nelle acque superficiali del Mediterraneo Occidentale, hanno determinato valori di attività ETSA in un range compreso tra 0.5 e 3 µl O_2h^{-1} l^{-1}. I valori più bassi da noi riscontrati sono ovviamente dovuti sia al diverso periodo stagionale di indagine che all'ampiezza delle quote esaminate. La distribuzione verticale dell'ETSA mostra, in genere, il massimo di attività nella fascia compresa tra O e 50 m. Anche Van der Nerf & Niewland (1984) nella Oyster Ground (Mare del Nord) avevano individuato i massimi di attività ETSA tra O e 30 metri nel periodo estivo. Tuttavia nelle stazioni da noi campionate lungo il versante albanese i valori di ETSA si mantengono elevati anche a 200 m facendo supporre che le popolazioni microbiche possano ancora risentirle in profondità dell'influenza dei massicci apporti di acqua dolce proveniente dalla costa.

I tassi di carbonio ed azoto organici del materiale particellato disperso nella colonna d'acqua (POC e PON) decrescono all'aumentare della profondità, ed oscillano fra massimi di 74.43 e 10.60 ;µg/dm^3 rispettivamente e minimi di 5.90 e 0.60 ; µg/dm^3. I valori risultano più bassi di quelli rilevati nell' aprile del 1990, probabilmente in relazione al diverso periodo stagionale. Un netto salto di valori,

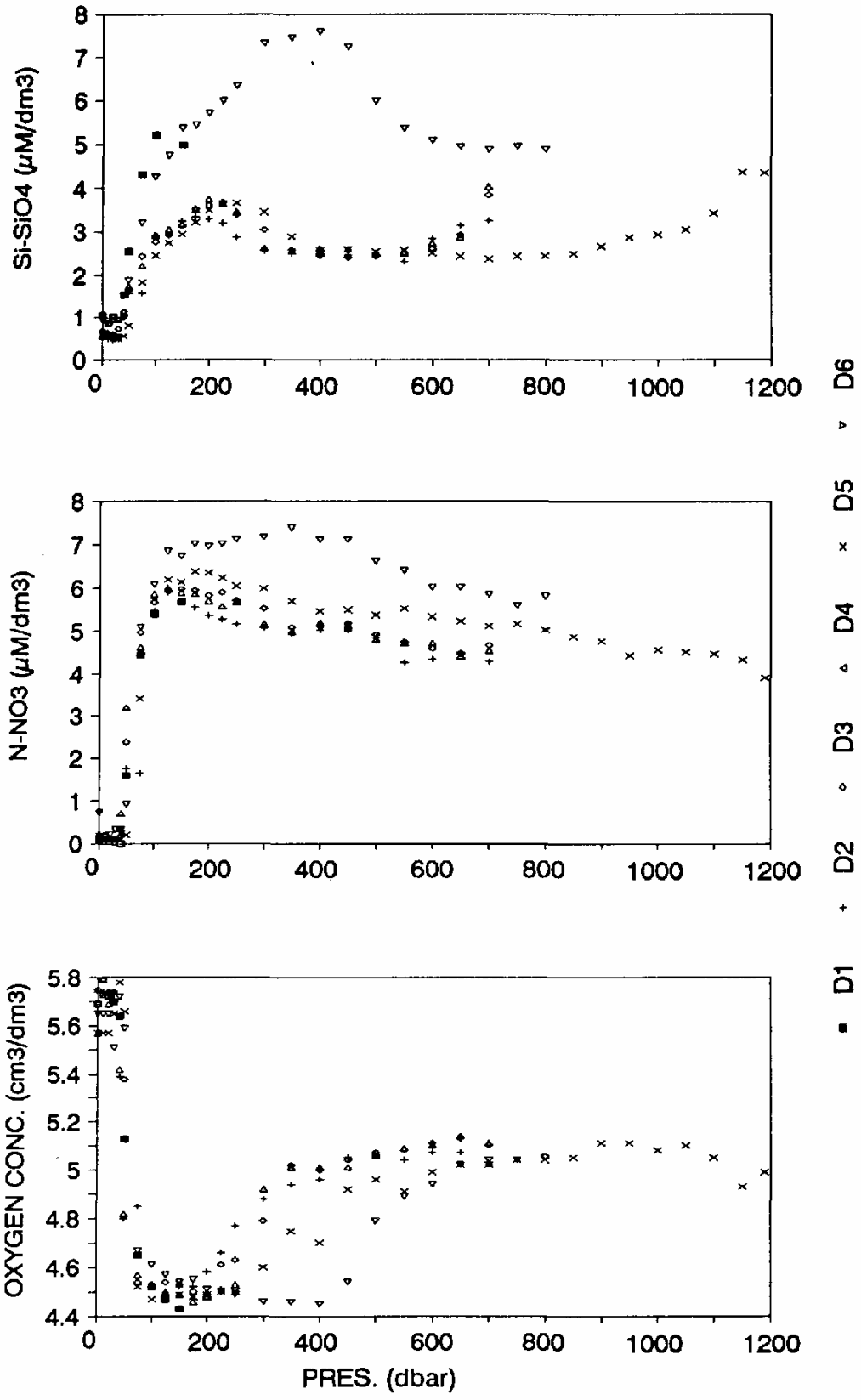


Figura 2: Distribuzione verticale dell'ossigeno disciolto, dei nitrati e dei silicati nella sezione D.

generalmente rilevato al di sotto dei 50 m, differenzia la fascia batimetrica più superficiale, in cui i valori medi calcolati per il POC e per il FON sono rispettivamente di 42.59 e di 6.32 ;µg/dm^3, dalla massa d'acqua sottostante, in cui i valori medi sono pari a 15.8 ; µg/d:m^3 per il POC ed a 2.07 µg/dm^3 per il POH. La migliore evidenza di questa differenziazione è stata rilevata nel transetto F, e con maggiore chiarezza nei valori di POC; peraltro il PON presenta in tutti i transetti una maggiore variabilità all'interno della colonna d'acqua.

Dall'esame sia della distribuzione dei parametri chimici (figura 2) che del diagramma T/S (figura 3), relativi al transetto D, possiamo confermare la presenza dei tre corpi d'acqua, già individuati durante la precedente campagna, pur se con ovvie differenze stagionali. E' stato individuato un corpo d'acqua superficiale con salinità compresa tra 37.30 e 38.60 PSU circa dove si ha il massimo dell'ossigenazione ed il minimo di nutrienti. I parametri chimico-biologici e microbiologici presentano in questo corpo d'acqua le maggiori oscillazioni ed i valori massimi.

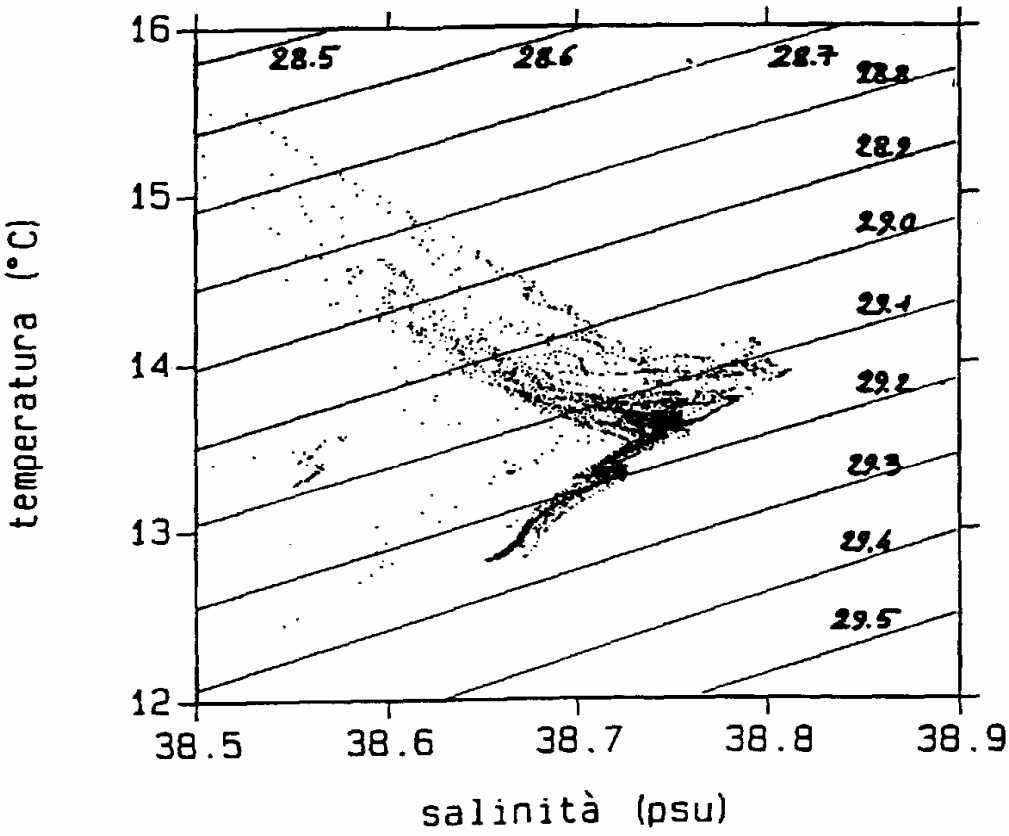


Figura 3: Diagramma TS riferito alla sezione D .

Un corpo intermedio compreso tra 100 e 800 m con salinità maggiore di 38.7 PSU, minimo di ossigeno e massimo sia di nutrienti che di particellato organico. Questo corpo potrebbe essere rappresentativo dell'influenza e della diffusione delle acque di origine levantina.

Infine, un corpo di fondo con temperatura inferiore a 13°C, σt maggiore di 29.20, valori di nutrienti e di ossigeno leggermente superiore allo strato precedente. Nei campioni in prossimità del fondo si nota, in generale, un abbassamento dei valori biologici. Questo corpo d'acqua potrebbe presentare le caratteristiche delle acque di fondo dell'Adriatico, sulla cui origine non abbiamo ancora elementi sufficienti per dire se sono di provenienza locale o provengano dal bacino settentrionale. Purtroppo in questi campioni di acqua non è stato possibile effettuare misure di ETSA che, secondo Christensen et al. (1989), nelle acque profonde del Mediterraneo rivelano tassi di ossidazione del carbonio molto più elevati di quelli riscontrati alle stesse quote negli oceani Atlantico e Pacifico.

La matrice di correlazione (tabella 1) mette in evidenza che la componente biologica è distribuita lungo le colonne d'acqua in relazione alle diverse masse d'acqua. La correlazione inversa altamente significativa dei dati dell'ETSA con i nutrienti e diretta con POC e PON rivela

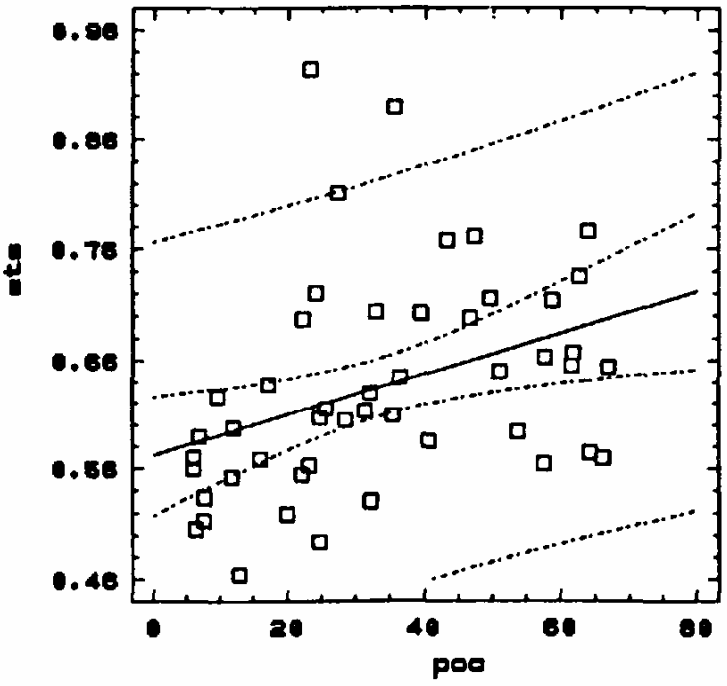


Figura 4: Relazione tra attività ETS e POC.

	Prof.	Temp	Sal	O2	NO3	PO4	SiO4	AODC	ETS	ATP1	ATP2	ATP3	ATP4	POC	PON
Prof.	1														
Temp	-0.817	1													
Sal	0.738	-0.864	1												
O2	-0.842	0.896	-0.794	1											
NO3	0.895	-0.862	0.853	-0.936	1										
PO4	0.797	-0.617	0.578	-0.769	0.818	1									
SiO4	0.851	-0.778	0.601	-0.863	0.837	0.739	1								
AODC	-0.098	0.090	-0.181	0.159	-0.130	-0.062	-0.103	1							
ETS	-0.351	0.307	-0.385	0.267	-0.405	-0.319	-0.322	0.256	1						
ATP1	-0.149	0.052	-0.065	0.165	-0.140	-0.373	-0.125	0.111	-0.159	1					
ATP2	-0.138	0.061	0.114	0.188	-0.078	-0.242	-0.230	-0.141	-0.357	0.567	1				
ATP3	-0.093	-0.005	0.037	0.088	-0.057	-0.242	-0.118	0.235	-0.154	0.395	0.464	1			
ATP4	-0.161	0.049	0.001	0.183	-0.128	-0.377	-0.179	0.101	-0.247	0.913	0.778	0.676	1		
POC	-0.664	0.663	-0.651	0.600	-0.695	-0.479	-0.517	0.023	0.268	-0.044	-0.219	-0.206	-0.150	1	
PON	-0.646	0.610	-0.637	0.558	-0.669	-0.465	-0.465	0.034	0.310	-0.011	-0.222	-0.164	-0.117	0.960	1

Tabella 1: Matrice di correlazione tra le variabili determinate (n=48).
ATP1=250-10um ATP3=2-0.2um ATP2=10-2um ATP4=250-0.2um

una maggiore attività respiratoria in presenza di basse concentrazioni dei sali disciolti e di elevati valori di materiale organico particellato. Si nota inoltre una correlazione inversa con la profondità e la salinità, ed una diretta con la temperatura.

I valori di POC e PON sono in correlazione inversa altamente significativa con le concentrazioni dei nutrienti, mentre sono correlati positivamente con i valori di ETSA (figura 4) e di ossigeno disciolto.

Dall'esame contestuale dei parametri esaminati, supponiamo che l'attività biologica nella zona studiata sia operata in maniera preponderante da organismi autotrofi. Ciò viene ulteriormente confermato dal rapporto C/N che, nello strato superficiale in cui è risultata prevalente la componente microfitoplanctonica, fa registrare un valore medio di 6.8, tipico di acque eufotiche

I risultati finora ottenuti stanno delineando parte della fenomenologia che interessa le acque dell'Adriatico Meridionale. E' necessario però completare il ciclo di misure stagionali prima di poter dare un assetto completo a questi risultati.

BIBLIOGRAFIA.

ASTM. 1985. Standard methods for enumeration of aquatic bacteria by epifluorescence microscopy counting procedure. Designation D4455/85, Filadelfia, 11, 02:632-634.

Bregant, D., A. Allegra, F. Azzaro, G. Civitarese, E. Crisafi, R. La Feria, A. Luchetta & S. Rabitti. 1992. Condizioni idrobiologiche nell'Adriatico meridionale. Aprile 1990. Atti IX Congresso AIOL, S.Margherita Ligure, Novembre 1990: 25-33.

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

Fofonoff, N. P. & R. C. jr. Millard. 1983. Algorithms for computation of fundamenta properties of seawater. *UNESCO Technical papers in Mar. Sci.*, 44, 53 pp.

Hansen, H. P. & K Grasshof. 1983. Automated chemical analysis,in: Grasshof K., M. Ehrardt, K. Kremling (editors) . Methods of Sea water Analysis, Verlag Chemie, II ed. Weinheim, 347-395.

Hedges, J. I. & J. H. Stern. 1984. Carbon and nitrogen determinations of carbonate-containing solids. *Limnol. Oceanogr.*, 29:657-663.

Holm-Hansen, O. & H. W. Paerl. 1972. The applicability of ATP determination for estimation of microbial biomass

and metabolic activity. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.,* 29 suppl., 149-168.

Kenner R.A. & S.I. Ahmed. 1975. Measurements of electron transport activities in marine phytoplankton. *Mar. Biol..* 33, 119-127.

Martinez, R., R.A. Arnone & Z. Velasquez. 1990. Chlorophyll "a" and respiratory electron transport System activity in microplankton from the surface waters of the western Mediterranean. *J.Geophys. Res.* 95: 1615-1622.

Packard T.T. 1971. The measurement of respiratory electron transport activity in marine plankton. J". mar. *Res.* 22, 66-74.

Strickland, J. D. H. & T. R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. B<3. Canada,* 167, 2nd ed., 311 pp.

UNESCO. 1988. The acquisition, calibration and analysis of CTD data. *Technical papers in Mar.* Sci.,54, 94 pp.

Van der Werf, B. & G. Nieuwland. 1984. Bacterial biomass and respiratory electron transport System activity in the Oyser Ground area (North sea) in 1981. *Neth.J. Sea Res.* , 18 (1/2): 71-81.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L.
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da pag. 47 a pag. 51

IMPIEGO DI TECNICHE DI ELABORAZIONE DI IMMAGINE PER IL TELERILEVAMENTO DELLO STATO DEL MARE

Gianluca NICCHIOTTI (*), Ennio OTTAVIANI (*), Lorenzo PAPA (**)

(*) Elsag Bailey S.p.A., Via Puccini 2, 16154 Genova

(**)Dipartimento di Fisica, Università" di Genova, Via Dodecaneso 33, 16146 Genova

ABSTRACT

The paper describes a novel technique for remote analysis of the sea conditions. The approach is based on the use of a common CCD camera and image processing techniques. Fourier transforming the data extracted from the digitalized image sequence and analyzing the spectra it is possible to determine parameters such as wave lenght and period and the sea motion main direction. These data joined to some statistical knowledge allow us to estimate as well the wave height and to possess a complete sea state chart.

1. INTRODUZIONE

L'impiego di strumenti di rilevamento ottico a distanza (telecamere) per scopi di monitoraggio e" al giorno d'oggi sempre più diffuso. Questo grazie alla crescente disponibilità" sul mercato di prodotti a basso costo ed elevate prestazioni ed ai notevoli progressi nel campo del trattamento automatico delle immagini (Ballard & Brown , 1982).Il successo nel campo del monitoraggio è inoltre dovuto alla possibilità di effettuare un controllo remoto e non intrusivo degli eventi in esame.

In questo documento presentiamo una metodologia basata sull'impiego di una telecamera ottica e di tecniche di elaborazione di immagini per effettuare un'analisi remota del moto ondoso marino. La tecnica consiste essenzialmente nella ripresa, con una telecamera in postazione fissa e calibrata, della scena marina di interesse e nella successiva elaborazione della sequenza di immagini digitalizzate al fine di estrarre direzione, frequenza e lunghezza d'onda del moto marino superficiale. Tali dati consentono poi, attraverso la conoscenza a priori della batimetria e di dati statistici, di determinare l'altezza delle onde e quindi di descrivere in maniera esaustiva lo stato del mare.

Il documento è articolato come segue. I prossimi paragrafi descriveranno l'assetto di misura ed i problemi connessi alla calibrazione geometrica delle immagini. Di seguito verranno presentate le tecniche numeriche impiegate per l'estrazione dei parametri di moto ondoso. Successivamente sarà esaminato l'impiego di tali dati per la valutazione dello stato del mare. Infine saranno presentati alcuni risultati che verranno confrontati con dati raccolti a mare con metodi "tradizionali".

2.ASSETTO DI ACQUISIZIONE

L'acquisizione della sequenza di immagini avviene attraverso una telecamera VHS standard con una focale di 150 rum. La direzione dell'asse ottico è univocamente determinata dalla conoscenza dei due angoli v e p, detti comunemente pan e tilt, illustrati in fig. 1. Al primo è legata la direzione di puntamento della telecamera rispetto ai punti cardinali, mentre il secondo, unitamente alla quota H da cui viene effettuata la ripresa, determina la distanza media della regione marina inquadrata. Questi parametri vengono rilevati in fase di calibrazione dell'assetto.

Le sequenze video vengono successivamente acquisite e digitalizzate ad una cadenza di 2 Hz, ottenendo sequenze di immagini digitali da 256x256 punti (pixels), ciascuno codificato con 8 bits (256 livelli di grigio). Ogni sequenza è composta da 128 immagini, e la sua durata temporale è dunque di 64 secondi.

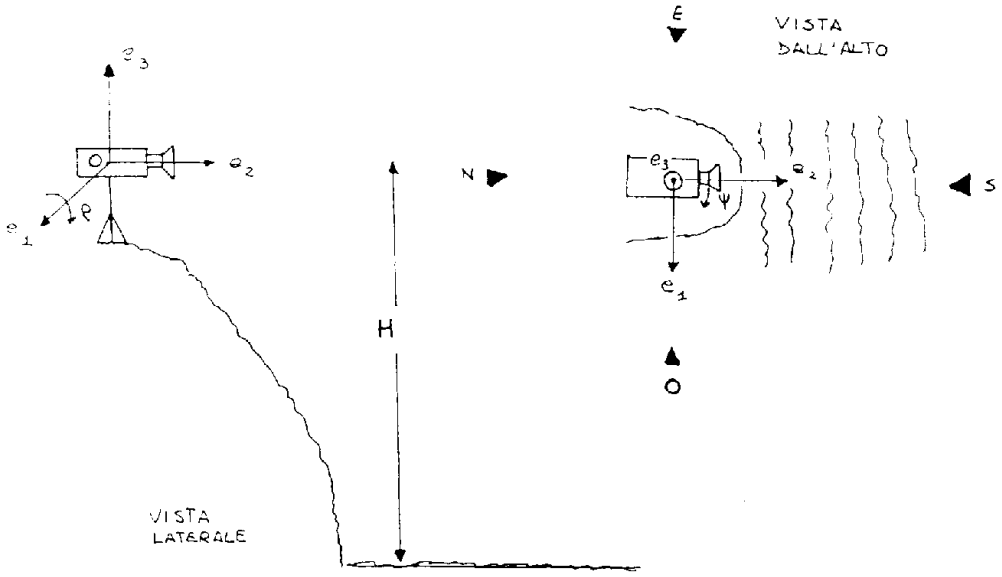


Figura 1 : Assetto di ripresa

3.CONVERSIONE IN COORDINATE GEOGRAFICHE

Per ricavare informazioni quantitative sul moto ondoso è necessario innanzitutto effettuare una trasformazione prospettica (Horn, 1986) per ricondurre le coordinate del piano immagine della telecamera alle coordinate geografiche (punti cardinali). I parametri

che regolano tale trasformazione sono essenzialmente la quota di ripresa H e l'angolo di tilt ρ.

Supponendo che l'angolo di pan ψ sia fissato in modo che la telecamera punti in una definita direzione cardinale del piano terrestre (i.e. sud) scegliamo una terna di assi e_1,e_2,e_3 con l'origine nel pinhole della telecamera, e con gli assi orientali come in figura 1

Per inquadrare la regione marina la telecamera viene ruotata di un angolo ρ attorno all'asse e, e quindi i nuovi assi solidali con l'asse ottico e'_1, ,e'_2,e'_3 sono legati ai precedenti dalla matrice:

$$R = \begin{matrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\rho & \sin\rho \\ 0 & -\sin\rho & \cos\rho \end{matrix}$$

Pertanto il generico punto sulla superficie marina, di coordinate (x,y,-H), si trasforma nel punto di coordinate (x', y', z'):

$$x' = x$$
$$y' = y\cos\rho - H\sin\rho$$
$$z' = -y\sin\rho - H\cos\rho$$

Quest'ultimo si proietta sul piano immagine e''_1 , e''_2, e''_3 attraverso le seguenti relazioni dovute alla proiezione prospettica:

$$x'' = x'\frac{f}{y'}$$

$$z'' = z'\frac{f}{z'}$$

dove f indica la distanza focale.

Pertanto, noti H, p e f, è possibile ricondurre le coordinate immagine a coordinate geografiche, attraverso una procedura di ricampionamento.

Sulle nuove immagini ottenute viene effettuata la successiva elaborazione (analisi di tessitura) con cui vengono ricavate lunghezza media e direzione delle onde.

4. ANALISI DI TESSITURA NEL DOMINIO SPAZIALE

L'immagine ricampionata viene dunque analizzata per estrarne i parametri relativi alla lunghezza media ed alla direzione delle onde. Tale operazione viene condotta calcolando la trasformata di Fourier bidimensionale dell'immagine ricampionata (Haralick et al., 1973; Weszka et al., 1976).

La trasformata di Fourier di un'immagine f(x,y) è definita da:

$$F(u,v) \equiv \int_{-\infty}^{+\infty} dx \int_{-\infty}^{+\infty} dy . \exp(-j2\pi(ux+vy)) f(x,y)$$

ed il relativo spettro di potenza e[1] $|F|^2 = FF^*$ (dove il simbolo * indica il complesso coniugato). Le variabili (u,v) indicano le frequenza spaziali lungo gli assi coordinati. La presenza di una perturbazione periodica di lunghezza d'onda λ, e direzione φ, produrrà in generale un picco sullo spettro di potenza in corrispondenza della posizione

$$u = \frac{2\pi}{\lambda}\cos(\varphi)$$

$$v = \frac{2\pi}{\lambda}\sin(\varphi)$$

Dalla distribuzione radiale dei valori in $|F|^2$ dipende dunque la tipologia della tessitura osservabile sull'immagine, cioè* la lunghezza delle onde, visto che alla variabile radiale nel piano (u,v) corrisponde il modulo del numero d'onda $2\pi/\lambda$.

Una tessitura grezza avrà i pertanto valori alti di $|F|^2$ concentrati vicino all'origine mentre in una tessitura via via più" fine, corrispondente ad onde più" corte, il massimo di $|F|^2$ si allontanerà sempre più dall'origine. Allora, volendo analizzare la lunghezza media delle onde, si possono individuare i valori medi di $|F|^2$ calcolati su corone circolari centrate attorno all'origine, cioè:

$$\Phi_1(r) \equiv \int_0^{2\pi} |F(r,\vartheta)|^2 \, d\vartheta$$

Una volta individuato il valore R per cui la quantità $\Phi_1(r)$ è massima, la lunghezza d'onda sarà a questo punto ottenibile dalla relazione:

$$\lambda = \frac{2\pi}{R}$$

Analogamente la distribuzione angolare dei valori $|F|^2$ dipende dalla direzione della tessitura, cioè dalla direzione delle onde. Allora, per analizzare tale direzione sarà utile la funzione:

$$\Phi_2(\vartheta) \equiv \int_0^{+\infty} |F(r,\vartheta)|^2 \, dr$$

La direzione Θ per cui $\Phi_2(\upsilon)$ risulta massima individua direttamente la direzione del moto ondoso.

5. ANALISI NEL DOMINIO TEMPORALE

Come precedentemente accennato, dalle registrazioni video vengono digitalizzate sequenze di 128 immagini con una frequenza di campionamento di 2 Hz. L'analisi della frequenza temporale delle onde avviene localizzando un qualunque punto dell'immagine e considerando la sua evoluzione radiometrica (cioè del livello di grigio ad esso associato).

Si ottiene quindi una funzione del tempo che, in presenza di moto ondoso, presenterà un periodo pari a quello delle onde stesse. La stima del periodo viene condotta con la stessa tecnica utilizzata nel caso spaziale (trasformata di Fourier e ricerca del massimo spettrale), questa volta però nella forma monodimensionale.

Lo spettro di potenza ottenuto per un particolare punto dell'immagine presenta però una notevole rumorosità, che può mascherare il fenomeno periodico da localizzare. Vengono allora mediati più" spettri provenienti da punti vicini, in modo da ridurre l'effetto del rumore.

La frequenza di campionamento utilizzata, consente di determinare lo spettro di potenza su 64 valori frequenziali equispaziati, fino ad un massimo di 1 Hz, cioè l'analisi di moti ondosi di periodo superiore ad 1 secondo.

Sulla base dei parametri stimati attraverso le tecniche di trattamento di immagine (periodo, direzione e lunghezza del moto ondoso), è infine possibile, attraverso la conoscenza a priori della batimetria e di dati statistici, determinare l'altezza delle onde e quindi di descrivere in maniera esaustiva lo stato del mare.

6. CONCLUSIONI

Le immagini digitalizzate sono state elaborate mediante software sviluppato in ambiente VAX/VMS. Non sussistono peraltro particolari requisiti di tempo di calcolo, per cui la metodologia risulta esportabile su qualsiasi piattaforma di elaborazione. I dati così ottenuti sono stati confrontati con quelli ottenuti attraverso sensori "a mare", fornendo risultati confortanti. Il prototipo realizzato ha come principali vantaggi rispetto ai sensori a mare il basso costo, la facilita" di installazione e soprattutto di manutenzione e si presta ad essere impiegato a completamento della rete ondometrica nazionale.

I principali limiti di questa tecnica sembrano comunque emergere in condizioni di scarsa visibilità" e nella determinazione di moti ondosi di dinamica piuttosto ridotta, nei quali le caratteristiche di periodicità" siano disperse nei fenomeni di agitazione superficiale.

BIBLIOGRAFIA

D. H. Ballard, C.M. Brown Computer vision Prentice Hall 1982.

B. K. P. Horn Robot vision Me Graw-Hill 1986.

R. M. Haralick K. Shanmugam & I. Dinstein Textural features for image classification *IEEE Trans. on Syst., Man, Cyb.* Nov 1973 pg 611-621.

J. S. Weszka & A. Rosenfeld A comparative study of texture measures for terrain classification *IEEE Trans, on Syst., Man, Cyb.* Apr 1976 pg 269-285.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da pag. 53 a pag. 63

LAZIO SHELF EXPERIMENT (CROCIERA HOP1, AGOSTO 1991) : ANALISI PRELIMINARE SULLA DISTRIBUZIONE DI NUTRIENTI, BIOMASSA FITOPLANCTONICA, SOSTANZA ORGANICA PARTICELLATA.

Paolo POVERO[1], Massimo BATTILOTTI[2], Massimo De LAURO[3], Mauro FABIANO[4], Tom S, HOPKINS[5], Marina MONASSI[6], Maurizio RIBERA d'ALCALA'[7], Vincenzo SAGGIOMO[7], Maria Adelaide TRAMONTANO[2] e Alberto ZANGAGLIA[2].

1 Istituto di Scienze Ambientali Marine, Università di Genova.
2 SOPROMAR, Fiumicino (Roma).
3 CNR Geomare Sud, Napoli.
4 Dipartimento di Biologia Animale ed Ecologia, Università di Cagliari.
5 Dept. MEAS, North Carolina State University.
6 Centro Pilota Difesa Mare - Min. Mar. Mercantile, Fiumicino (Roma).
7 Stazione Zoologica A. Dohrn, Napoli.

SUMMARY

An oceanographic cruise was carried out in the central part of Tyrrhenian Sea during the second week of August 1991, the aim of which was to describe the water mass distribution, general circulation and biogeochemical characteristics of the Lazio Shelf area. The distributions of oxygen, nutrients, chlorophyll *a,* POC and PON where examined. Biochemical data confirm the SW orientation of the Tiber River plume (Hopkins et al., this volume). Preliminary data analysis showed a sharp nutricline at the 90-100 m depth, with nitrate concentrations reaching 3.5 µmol-dm^{-3} at the 100 m depth at two stations along e northern transect. Oxygen and salinity data strongly suggest the LIW origin of this nitrogen. A broad (30 to 50 m width) DCM is located in the subpicnocline region at all stations deeper than 100 m; a different concentration and composition of particulate matter is detectable in the southern area compared with the northern area.
A significant accumulation of marine snow ("mucillaggine") was detected during the same period along the shallow bottoms of the Tyrrhenian east coast. Our data do not show any relevant increase of phytoplankton biomass that could be correlated with this mucous phenomenon.

1. INTRODUZIONE

Nell' agosto 1991 si è svolta nel Tirreno Centrale una campagna oceanografica (HOP1) per la raccolta di dati fisici, chimici e biologici delle acque della piattaforma continentale del Lazio, finalizzata allo studio dell' influenza della "piume" del fiume Tevere su tale ecosistema.

Nel Tirreno Centrale, recenti acquisizioni di dati fisici, biologici e chimici, sono state effettuate da Nair et al. (1992) e dal TEMPO group (1991), nel Tirreno Toscano da Innamorati et al. (1990) e da Fabiano et al. (1986). Per quanto riguarda la piattaforma continentale del Lazio, sono state condotte campagne di ricerca dal Centro Pilota Difesa Mare della Marina Mercantile (dati non pubblicati), con campionamenti prevalentemente superficiali ed a bassa risoluzione spaziale; uno studio sulla dinamica bio-geochimica, limitato all'area della foce del fiume Tevere, è stato effettuato dall' IRSA (1983).

L' insieme dei risultati della campagna oceanografica HOP 1, assume particolare rilievo, anche in considerazione del manifestarsi nell' agosto 1991 di un visibile accumulo, nella stessa area, di mucillaggini.

2. MATERIALI E METODI

La zona del Tirreno Centrale presa in esame durante la campagna oceanografica HOP1, è quella relativa alla piattaforma continentale laziale compresa tra l' isola di Giannutri a Nord e l'isola di Ponza a Sud.

Il campionamento è stato effettuato tra il 4 e l' 11 agosto 1991. In totale sono state campionate 103 stazioni di cui 60 in una prima fase di campionamento raggruppate in 6 transetti costa-largo (Fig. 1a) e, 43 in una seconda fase in prossimità della foce del Tevere (Fig. 1b).

Per i campionamenti è stata utilizzata una Rosette General Oceanics corredata da 12 bottiglie Niskin da 10 litri, da CTD Sea Bird per le misure di temperatura e salinità, da Fluorimetro e Trasmissometro SeaTech e da un sensore polarografico Beckman per le misure dell' ossigeno disciolto.

In tutte le stazione, sono stati prelevati dai tre ai quattro campioni d' acqua per la determinazione dell'ossigeno disciolto per calibrare e validare i dati del sensore. La metodologia seguita è quella riportata in Saggiomo et al. (1990).

Le analisi dei sali nutritivi (Si-SiO_4, N-NO_3, N-NO_2, P-PO_4) sono state eseguite, utilizzando autoanalizzatore Alliance, secondo le metodiche riportate in Grasshoff et al. (1983) modificate in base alle caratteristiche dello strumento.

L'analisi della biomassa fitoplanctonica, espressa come concentrazione di clorofilla *a* (Chl *a)* è stata condotta per via spettrofotometrica (Lazzara et al., 1990).

I campioni d' acqua per le analisi del particellato organico sono stati prefiltrati (prefiltro da 200 µm) e, successivamente filtrati attraverso membrane Whatman GF/F precedentemente calcinate a 450° C.

Le concentrazioni di carbonio ed azoto organico particellato (POC e PON), sono state determinate utilizzando un CHN autoanalyzer (CARLO ERBA E A 1108 Elemental Analyzer); prima delle analisi i filtri sono stati acidificati esponendoli a fumi di HCI (Hedges & Stern, 1984).Come standard si è usato Cyclohexanone-2,4 dinitrophenylhydrazone.

3. RISULTATI

Per l' analisi dei dati relativi alle due fasi della campagna oceanografica, è stata effettuata una divisione delle masse d' acqua in strato superficiale e profondo sulla base della profondità media (60 metri) del picnoclino delle stazioni esaminate. I valori massimi e minimi, i valori medi, le deviazioni standard di tali dati sono riportati in tabella 1. Le figure 2a e 2b mostrano la distribuzione verticale di alcuni di questi parametri e dell' AOU (Apparent Oxygen Utilization).

		Oss.disciolto	Nitrati	Nitriti	Fosfati	Silicati	Chl a	POC	PON
I fase (da st.2 a st.60)									
strato superficiale	media	5.55	0.19	0.05	0.06	2.15	0.11	76.82	8.92
	std	0.51	0.13	0.03	0.06	0.78	0.12	35.33	4.93
	max	6.83	0.97	0.22	0.42	5.56	0.93	203.16	34.21
	min	4.49	0.01	0.00	0.01	0.63	0.01	33.87	3.04
	n.osserv.	260	253	258	258	251	249	129	126
strato profondo	media	4.71	2.61	0.09	0.15	3.73	0.19	43.95	5.27
	std	0.40	1.94	0.08	0.11	1.63	0.11	21.92	2.52
	max	5.68	6.56	0.70	0.47	8.05	0.64	138.74	13.54
	min	4.15	0.11	0.00	0.01	1.00	0.02	16.38	1.65
	n.osserv.	180	142	149	143	141	81	70	67
II fase (da st.61 st.103)									
strato superficiale	media	5.39	0.64	0.08	0.08	2.92	0.25	125.52	16.46
	std	0.48	1.18	0.08	0.06	1.87	0.23	85.84	12.01
	max	6.30	6.11	0.43	0.23	11.33	1.36	402.10	59.98
	min	4.53	0.02	0.00	0.01	1.00	0.02	31.29	3.82
	n.osserv.	80	90	90	90	90	76	61	61
strato profondo	media	4.80	1.96	0.10	0.15	3.42	0.18	31.25	4.13
	std	0.46	2.06	0.06	0.09	1.69	0.08	12.98	1.74
	max	5.33	5.84	0.35	0.31	6.88	0.33	51.86	6.53
	min	4.13	0.09	0.04	0.01	1.71	0.03	12.29	1.59
	n.osserv.	22	21	21	21	21	14	9	9

Tab. 1. Valori medi, deviazioni standard, massimi, minimi e numero di osservazioni di ossigeno disciolto ($cm^3\ dm^{-3}$), nitrati ($\mu mol\ dm^{-3}$), nitriti ($\mu mol\ dm^{-3}$), fosfati ($\mu mol\ dm^{-3}$), silicati ($\mu mol\ dm^{-3}$), Chl *a* ($\mu g\ dm^{-3}$), POC ($\mu g\ dm^{-3}$) e PON ($\mu g\ dm^{-3}$) nella fase I e II della campagna oceanografica nello strato superficiale e profondo.

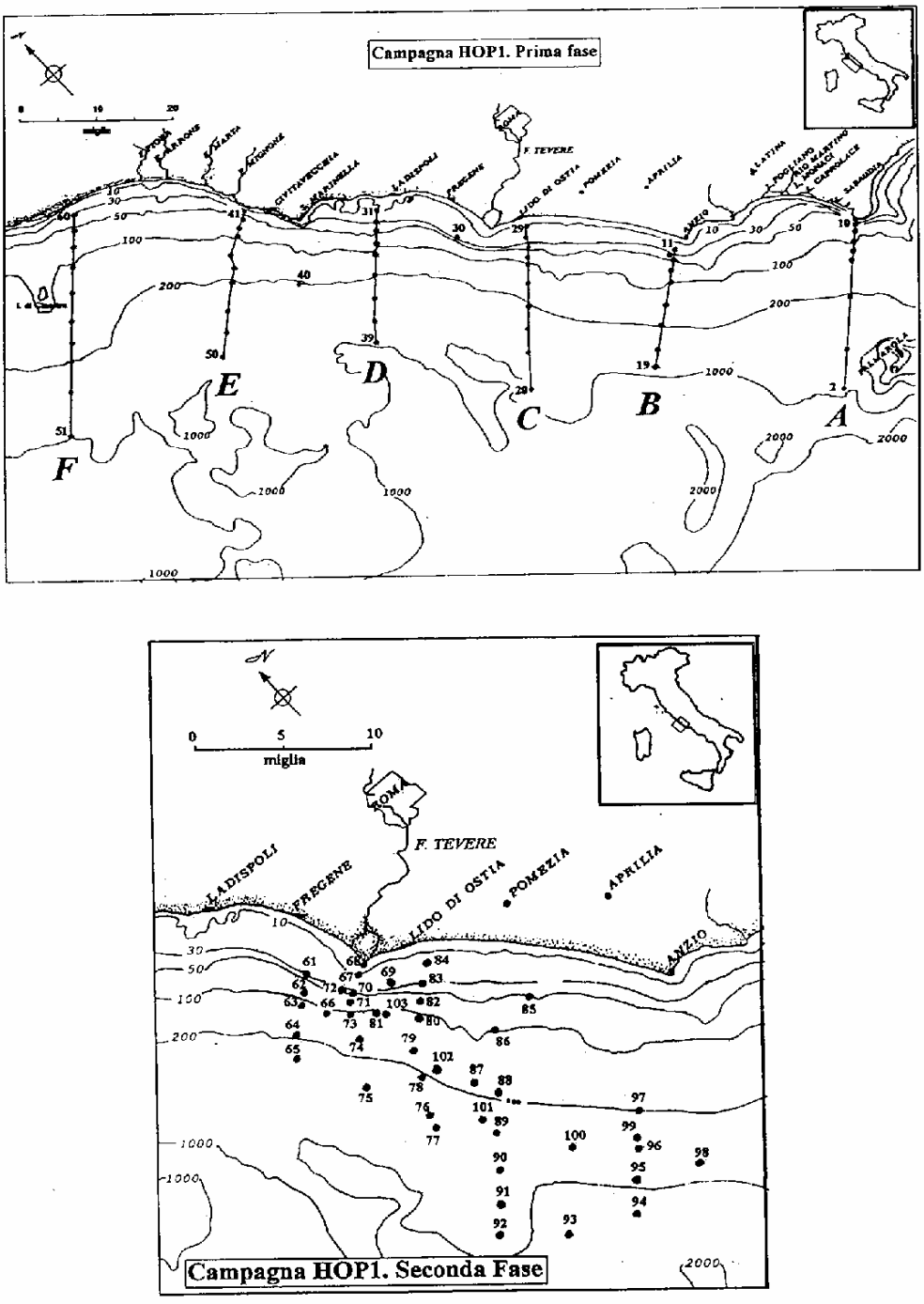


Fig. 1. Area di campionamento ed ubicazione delle stazioni.

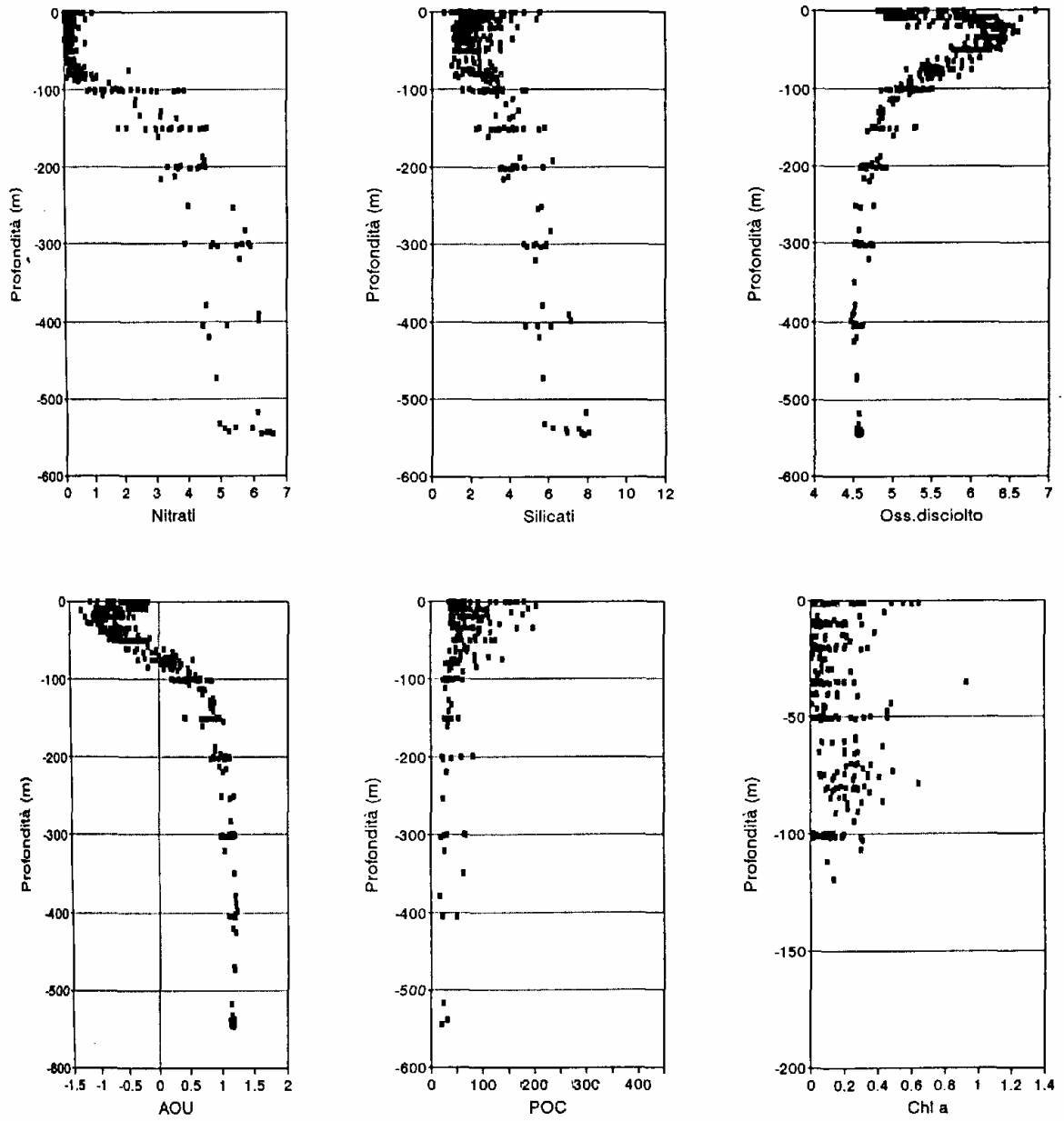


Fig. 2a. Distribuzione verticale di nitrati (μmol dm^{-3}), silicati (μmol dm^{-3}), ossigeno disciolto (cm^3 dm^{-3}), AOU(cm^3 dm^{-3}), POC (μg dm^{-3}) e Chl *a* (μg dm^{-3}) nella fase I della campagna oceanografica.

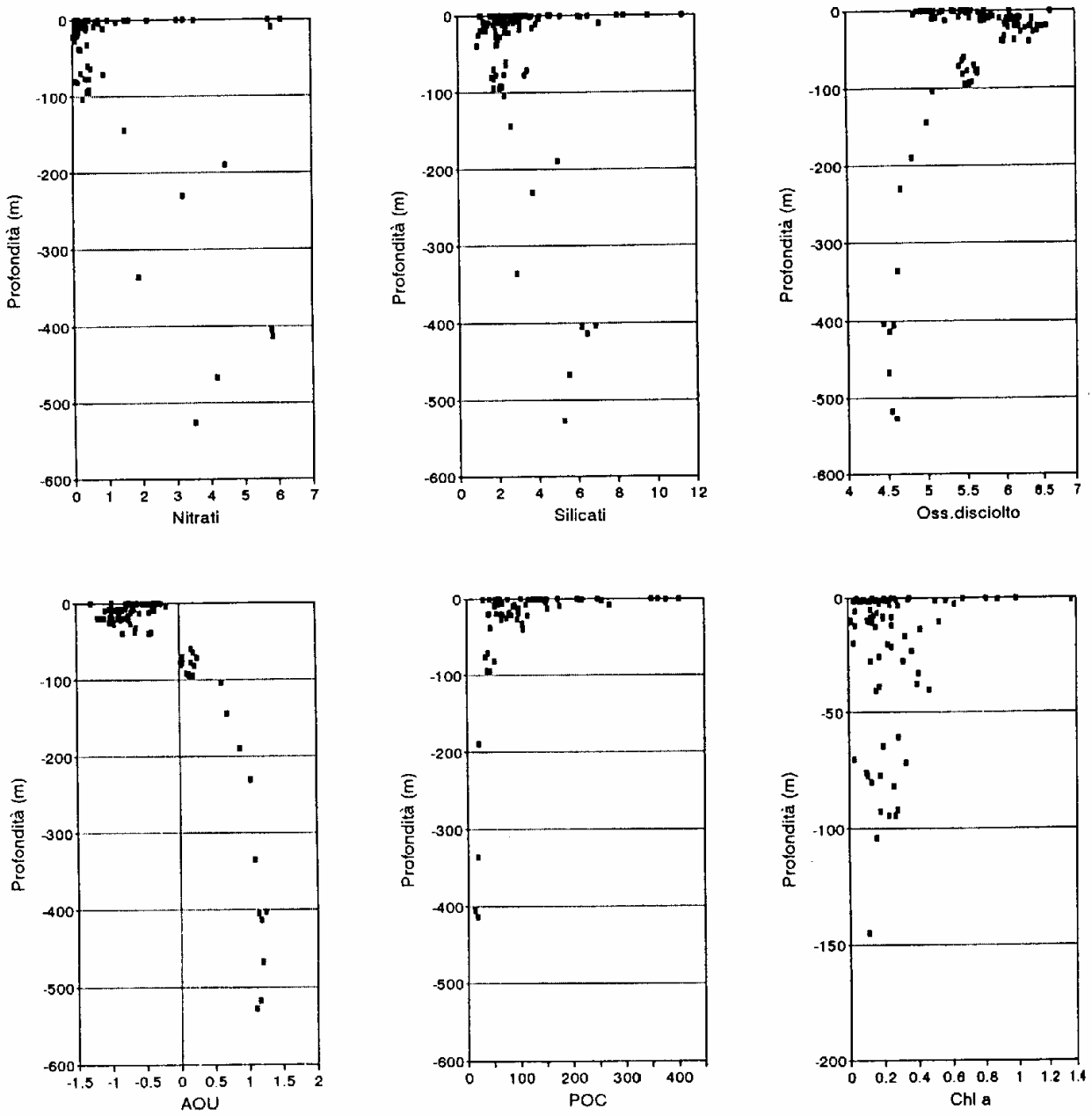


Fig. 2b. Distribuzione verticale di nitrati (μmol dm^{-3}), silicati (μmol dm^{-3}), ossigeno disciolto (cm^3 dm^{-3}), AOU (cm^3 dm^{-3}), POC (μg dm^{-3}) e Chl *a* (μg dm^{-3}) nella fase II della campagna oceanografica.

L' analisi dei dati relativi allo strato superficiale (0-60 metri), di entrambe le fasi, evidenzia che le concentrazioni di silicati e nitrati sono inferiori a 3.00 e 0.30 .µmol dm^{-3} rispettivamente. Di contro le stazioni interessate dalla "plume" del Tevere (Hopkins et al. stesso volume) mostrano, per gli stessi sali nutritivi, concentrazioni superiori a 3.00 e 0.50 .µmol dm^{-3}.

Nello strato subsuperficiale delle stazioni più profonde, si riscontra un netto nitraclino, che inizia tra i 90 ed i 100 metri di profondità, con concentrazioni di $N\text{-}NO_3$ comprese tra 1.00 e 2.42 .µmol dm^{-3} . In quasi tutte le stazioni, al di sotto dei 150 metri di profondità, si riscontrano valori di concetrazione di nitrati maggiori di 3.00 .µmol dm^{-3} associati a salinità comprese tra 38.4 e 38.5 psu (Fig.2a, 2b). Fanno eccezione a questo andamento alcune stazioni del transetto (F) (staz. 52, 53, 54) a nord della foce del fiume Tevere, dove, concentrazioni maggiori di 3.00 .µmol dm^{-3} di nitrati (Fig. 3) e salinità di 38.433 psu, si riscontrano a livello del nitraclino a 100 metri di profondità.

I valori medi dei fosfati e dei nitriti , per tutte le stazioni e lungo tutta la colonna d' acqua, sono compresi tra 0.06 e 0.15 .µmol dm^{-3} e tra 0.05 e 0.15 .µmol dm^{-3} rispettivamente. Tali valori sono tipici delle acque tirreniche nel periodo estivo (Innamorati et al., 1990; Innamorati et al, 1992).

Per quanto riguarda 1' ossigeno disciolto si nota, in tutte le stazioni, un massimo subsuperficiale che interessa un ampio strato (20-80 metri) . Le concentrazioni massime di ossigeno disciolto (> 5.5 cm^3 dm^{-3} si riscontrano nello strato d' acqua, compreso tra i 35 ed i 50 metri. I valori di AOU raggiungono, in tale strato, -1.3 cm^3 dm^{-3} (Fig. 2a, 2b).

Le concentrazioni di Chl *a* variano da un minimo di 0.01 ad un massimo di 0.93 µg dm^{-3} nella prima fase di campionamento e, da un minimo di 0.02 ad un massimo di 1.36 µg dm^{-3} nella seconda fase (tab. 1). Il massimo assoluto di Chl *a è* stato riscontrato in superficie in una stazione costiera antistante Fiumicino (staz. 70). I valori di biomassa fitoplanctonica superficiale sono nei range dei valori tipici stagionali per il Tirreno (Innamorati et al., 1990). Nello strato compreso tra i 60 ed i 90 metri di profondità, sono state riscontrate concentrazioni di Chi *a* fino a 0.5 µg dm^{-3}. I massimi subsuperficiali di Chl a, che interessano uno strato d'acqua di 30-50 metri di ampiezza, si collocano al di sopra del nitraclino.

I valori di POC e PON variano rispettivamente da 203.2 µg dm^{-3}a 16.4 µg dm^{-3} e da 34.2 µg dm^{-3}a 1.7 µg dm^{-3}per la prima fase, da 402.1 µg dm^{-3} a 12.3 µg dm^{-3} e da 59.9 µg dm^{-3} a 1.6 µg dm^{-3} per la seconda (tab. 1).

Analizzando i dati della prima parte della campagna oceanografica si notano concentrazioni più basse di particellato nell' area a Nord della foce del fiume Tevere rispetto all' area a Sud, sia in superfìcie (valore medio transetto F = 54.5 µg dm^{-3} per il POC e 6.1 µg dm^{-3} per il PON, valore medio transetto A = 111.6 µg dm^{-3} per il POC e 13.4 µg dm^{-3} per PON) che negli strati più profondi (valore medio transetto F = 35.0 µg dm^{-3} per il POC e 5.1 µg dm^{-3} per il PON, valore medio transetto A = 66.9 µg dm^{-3} per il POC e 7.6 µg dm^{-3} per PON).

I dati relativi ai campionamenti effettuati nella seconda parte della crociera (transetti in prossimità della foce del Tevere), presentano valori mediamente più elevati con massimi fino a 402.0 µg dm^{-3} per il POC e 59.0 µg dm^{-3} per il PON.

L' analisi della distribuzione del particellato lungo la colonna d' acqua, delle stazioni del largo, dove è possibile ritrovare una stratificazione termo-alina, evidenzia dei massimi relativi subsuperficiali in prossimità del picnoclino (Fig.2 a).

4 . DISCUSSIONE

L' analisi dei dati dello strato superficiale mostra che, le aree di piattaforma influenzate dalla "plume" del Tevere, nel periodo di campionamento, si collocano a Sud della foce (Hopkins et al., cit). In questa stessa area si riscontrano le più alte concentrazioni di nutrienti, biomassa fitoplanctonica e particellato organico. Tuttavia è utile precisare che si tratta di valori mediamente bassi o poco al di sopra dei valori caratteristici delle acque superficiali estive e pertanto si può concludere che l'impatto del fiume Tevere, nel periodo in esame, è stato di scarsa entità e limitato a piccole aree superficiali. Il rapporto silicati/nitrati, a Sud della Foce del Tevere, tende ad aumentare; ciò potrebbe essere dovuto ad un maggior consumo dei nitrati rispetto ai silicati da parte del popolamento fitoplanctonico.

Per quanto riguarda lo strato più profondo, appare rilevante un arricchimento del nitraclino associato ad alta salinità e basse concentrazioni di ossigeno disciolto. Tale fenomeno, che sembra imputabile alla risalita di acqua intermedia levantina (LIW) (Hopkins et al., cit.) ed interessa lo strato d^1 acqua al di sotto dei 150 metri di profondità, è più evidente nelle stazioni centrali del transetto (F), a Nord della foce del Tevere, dove la risalita interessa anche lo strato d' acqua al di sopra dei 100 metri (Fig. 3).

L' arricchimento di azoto dello strato subsuperficiale, ed in particolare del nitraclino, potrebbe spiegare 1' ampiezza e l'intensità dei massimi subsuperficiali di Chl *a.*

Va sottolineato che il rapporto silicati/nitrati aumenta considerevolmente (da 1 a 5) nello strato in prossimità dei 150-100 metri, limite inferiore dello strato rimescolato invernale, dove sembra che il consumo dell'azoto sia superiore a quello dei silicati. Ciò è plausibile in considerazione del fatto che, il popolamento del massimo subsuperficiale, responsabile di questo consumo, è composto per la maggior parte da picofitoplancton (Zangaglia, dati non pubblicati).

I dati di particellato organico risultano simili a quelli riscontrati da altri autori in aree costiere Mediterranee (Fabiano et al., 1986; Faganelli et al., 1989; Finenko et al., 1970). In particolare in alcune stazioni, in prossimità della foce del Fiume Tevere, sono state riscontrate concentrazioni superficiali elevate di POC (valori > 300 $\mu g\ dm^{-3}$ con salinità < di 37.5 psu), imputabili all' apporto di materiale organico da parte del fiume.

Dall' analisi della regressione lineare tra POC e FON nelle due fasi della campagna oceanografica (Fig. 4) risulta che, l' intercetta, espressione della componente carbonacea non nutritiva e resistente alla decomposizione (Copin-Montegut & Copin-Montegut, 1983; Fabiano & Povero, 1992), è lievemente più alta nella prima fase di campionamento; ciò può essere messo in relazione alla diversa origine e composizione del particellato organico nelle due fasi di campionamento.

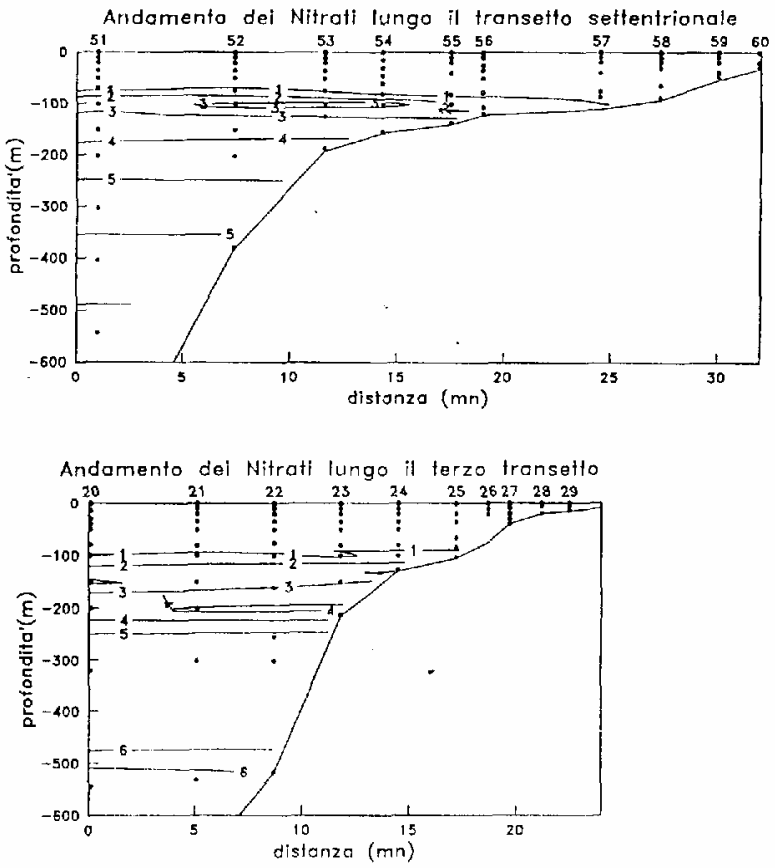


Fig. 3 Distribuzione verticale di $N\text{-}NO_3$ nel transetto a Nord (F) ed a Sud (C) della foce del fiume Tevere.

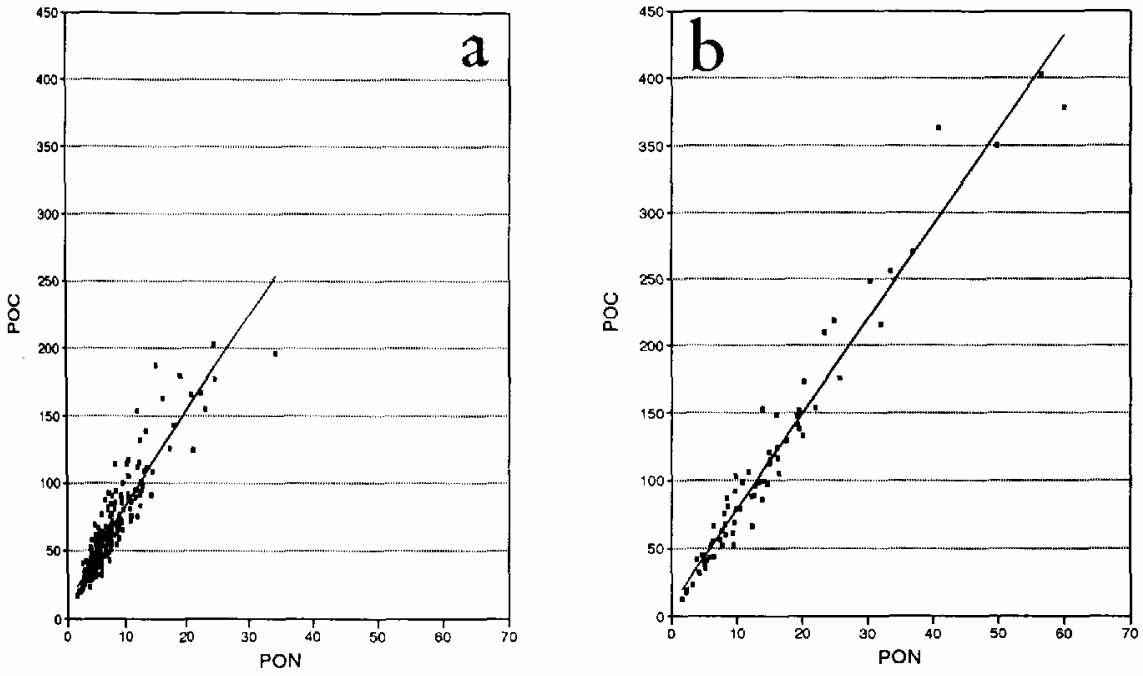


Fig. 4. Plot di POC ($\mu g\ dm^{-3}$) vs PON ($\mu g\ dm^{-3}$) nelle fase I (a) e fase II (b) della campagna HOP1.

Tale ipotesi sembra essere confermata dal confronto tra la biomassa fitoplanctonica ed il POC. L' analisi del rapporto conferma che il peso della componente autotrofa vivente rispetto alla componente detritico-eterotrofa risulta maggiore nelle stazioni della seconda fase di campionamento rispetto alle stazioni della prima fase.

In conclusione questa prima sintetica descrizione dei dati ci permette di affermare che :

a) l' area di studio nello strato superficiale è da considerarsi oligotrofica con eccezione delle zone interessate dalla "plume".
b) la distribuzione verticale dei nutrienti mostra dei massimi subsuperficiali arricchiti dalla risalita di LIW sino a profondità di 150-100 metri
e) non sono state osservate né elevate biomasse algali, né concentrazioni di particellato organico che, ad una prima analisi, anche sulla base delle conoscenze precedenti ricavabili dalla letteratura (Batie & Michaelis, 1986, Stachowitsch et al., 1990), sembrano potersi porre in relazione diretta con l'insorgere del fenomeno mucillaggini, verificatosi nell'area studiata nell'estate 1991.

BIBLIOGRAFIA

Batje, M. & H. Michaelis. 1986. *Phaeocystis pauchetil* blooms in the East Frisian coastal waters (German Bight, North Sea). *Mar. Biol,* 93: 21-27.

Copin-Montegut, C. & G. Copin-Montegut. 1983. Stoichiometry of carbon, nitrogen, and phosphorus in marine particulate matter. *Deep Sea Res.,* 30/1: 31-46.

Fabiano, M., M. Zavattarelli, & P. Zaccone. 1986. Seston of the Isola d' Elba surface waters. *Boll. Ocean. Teor. Appl,* IV/1: 35-42.

Fabiano, M. & P.Povero. 1992. Particulate carbon an nitrogen in Ligurian coastal waters (October 1985). *Boll. Ocean. Teor. Appl.,* X/l: 65-71.

Faganelli, J. M. Gacic, A. Malej & N.Smodlaka. 1989. Pelagic organic matter in the Adriatic Sea in relation to winter hydrographic conditions..*J. Plankl. Res.,* 11 (6): 1129-1141.

Finenko, Z. & V.E. Zaika. 1970. Particulate organic matter and its role in the productivity of the sea. *Marine Food Chains.* H. Steele ed., 32-44.

Grasshoff, K., M. Ehrhard & K. Kremling. 1983. *Methods of Seawater Analysis.* Verlag Chemie, Weinheim, pp 419.

Hedges, J.I. & J.H. Stern. 1984. Carbon and nitrogen determination of carbonate-containing solids. *Limnol. Oceanogr.,* 29 /3: 657-663.

Hopkins, T.S., M. Battilotti, M.De Lauro, M. Monassi, M. Ribera d'Alcala', V. Saggiomo, M.A. Tramontano & A. Zangaglia (stesso volume). LAZIO SHELF EXPERIMENT (Crociera HOP1, agosto 1991) : analisi preliminare di oceanografia fisica. *Atti X Congresso A.I.O.L.* - Alassio 4-6 novembre 1992.

Innamorati, M., L. Lazzara, C. Nuccio, M. De Poi, M. Mannucci & G. Mori. 1990. Biomassa fitoplanctonica e condizioni idrologiche nell' alto Tirreno. *Lab. di Ecologia. Dip. di Biol. Veg., Universi/a di Firenze. Resoconti dei rilevamenti in mare* n. 7: 1-94.

Innamorati, M., L. Lazzara, C. Nuccio, G. Mori, L. Massi & V. Chierici. 1992. Il fitoplancton dell' Alto tirreno : condizioni trofiche produttive. *Atti IX Congresso A.I.O.L,* S.Margherita Ligure. 20-23 novembre 1990: 199-205.

IRSA. 1983. "L' esperimento Tevere. Influenza di un fiume sull' ecosistema marino prospiciente la sua foce". *Quad. Ist. Ric. Acque,* 66.

Lazzara, L., F. Bianchi, M. Falcucci, V. Hull, M. Modigh & M. Ribera d' Alcalà. 1990. Pigmenti clorofilliani. In Innamorati M, I. Ferrari, D. Marino & M. Ribera d' Alcalà. Metodi nell' ecologia del plancton marino.*Nova Thalassia,* 11: 207-222.

Nair, R., E. Cattini, G. Rossi & G.P. Gasparini. 1992. Upwelling in the North Tyrrhenian Sea : some physical and chemical characteristics. *Rapp. P. - V Comm. Inter. Expl. Mer Medit.,* 33: 224.

Saggiomo, V., G. Catalano & M. Ribera d' Alcalà. 1990. Ossigeno disciolto. In Innamorati M., I. Ferrari, D. Marino & M. Ribera d' Alcalà. Metodi nell' ecologia del plancton marino.*Nova Thalassia,* 11: 91-103.

Stachowitsch ,M., N. Fanuko & M. Ricther. 1990. Mucus aggregates in the Adriatic Sea : an overview of stage of occurences. *P.S.Z.N. Mar. Ecol.,* 11: 327-350.

TEMPO Group. 1991. Tyrrhenian Eddy Multi-Platform observation. 1989 Experiment. Inventory of the measurements and preliminary results. *Tech.Rep.,* 1: 1-69.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da pag. 65 a pag. 76

CIRCOLAZIONE CICLONICA E DISTRIBUZIONE DEI NUTRIENTI NEL TIRRENO SETTENTRIONALE

Rajesh Nair[+], Elena Cattini[+], Gian Pietro Gasparini* e Giorgio Rossi[+]

* C.N.R. - Stazione Oceanografica, La Spezia
+ ENEA - CRAM, La Spezia

SUMMARY

The Tyrrhenian Sea is characterized by upward and downward fluxes between Modified Atlantic Water, Levantine Intermediate Water and Deep Water. Additionally, these processes exhibit a large spatial variability due to the peculiar features of the circulation which is characterized by many cyclonic and anticyclonic vortices. The presence of a quasi-stationary cyclonic circulation in the North Tyrrhenian Sea and the upwelling associated with it is reflected in the behaviour of the principal nutrients, nitrates and phosphates, in the zone influenced by it. The well-developed vertical movements in the North Tyrrhenian Sea characterize this region especially when compared to rest of the basin, particularly the southern part where horizontal movements seems to prevail.

1. INTRODUZIONE

II mar Tirreno è considerato il bacino più isolato del Mediterraneo occidentale, in quanto è l'unico ad essere collegato col resto del Mediterraneo esclusivamente attraverso degli stretti: Stretto di Messina, Bocche di Bonifacio, Canale di Corsica e sezione Sicilia-Sardegna. Tuttavia ai fini della circolazione a grande scala, le uniche aperture importanti sono le ultime due. L'acqua, sia superficiale che intermedia, entra nel bacino in prossimità delle coste della Sicilia, attraverso la sezione Sicilia-Sardegna; successivamente una parte, dopo una circolazione più o meno ampia all'interno del bacino, esce sempre attraverso la stessa sezione, al largo delle coste sarde. La parte rimanente raggiunge il mar Ligure, dopo aver attraversato il Canale di Corsica. Tuttavia le caratteristiche dell'acqua uscente sono assai diverse rispetto a quelle dell'acqua entrante, soprattutto a causa dei mescolamenti verticali all'interno del bacino stesso. Questi mescolamenti mostrano una notevole variabilità spaziale dovuta alle particolari strutture presenti nella circolazione, la quale è caratterizzata da numerosi vortici, sia ciclonici che anticiclonici. Uno dei vortici più importanti è quello situato nella parte nord

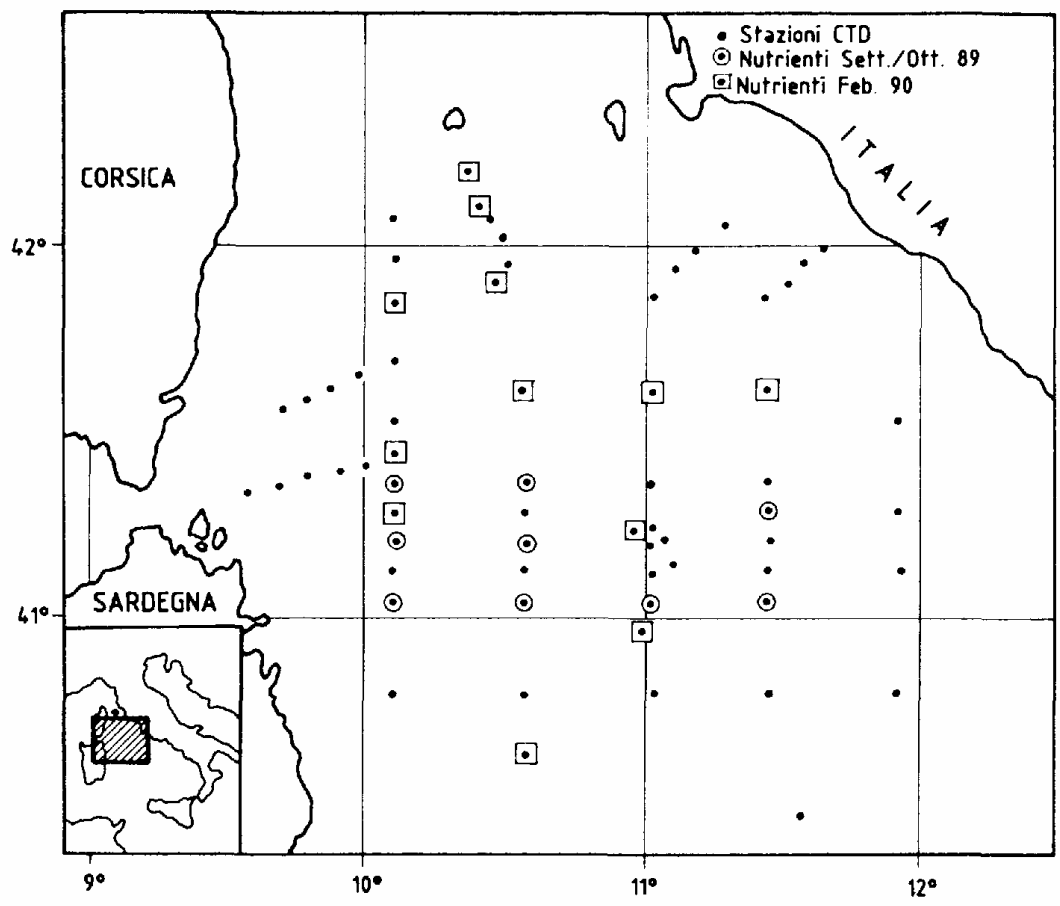


Fig. 1 - Alto Tirreno con i punti di misura.

del bacino (Moen, 1984) e facilmente rilevabile da satellite. Esso è di tipo ciclonico e sembra una struttura quasi permanente dell'area anche se ha una variabilità stagionale (Artale et al., 1994). Nel periodo estivo la scala spaziale del vortice (circa 200-250 km in direzione est-ovest) è tale da occupare l'intera parte nord del bacino tirrenico; all'interno di questa grande struttura possono essere osservate strutture più piccole con scale spaziali di 30-40km. Durante il periodo invernale il vortice è soprattutto addossato alla parte occidentale del bacino ed allungato in direzione nord-sud. Comunque, in entrambe le stagioni, i gradienti più importanti sono concentrati ai bordi della struttura stessa, cui corrisponde una zona frontale. I maggiori meccanismi forzanti sono il rotore del vento ed gli scambi con i bacini adiacenti (Moen, 1984; Artale et al., 1994) e la sua evoluzione sembra essere il risultato dell'interazione fra questi due meccanismi forzanti.

Il presente lavoro si propone di descrivere le caratteristiche delle masse d'acqua del nord Tirreno e di questo vortice in particolare, analizzandone sia le proprietà fisiche che

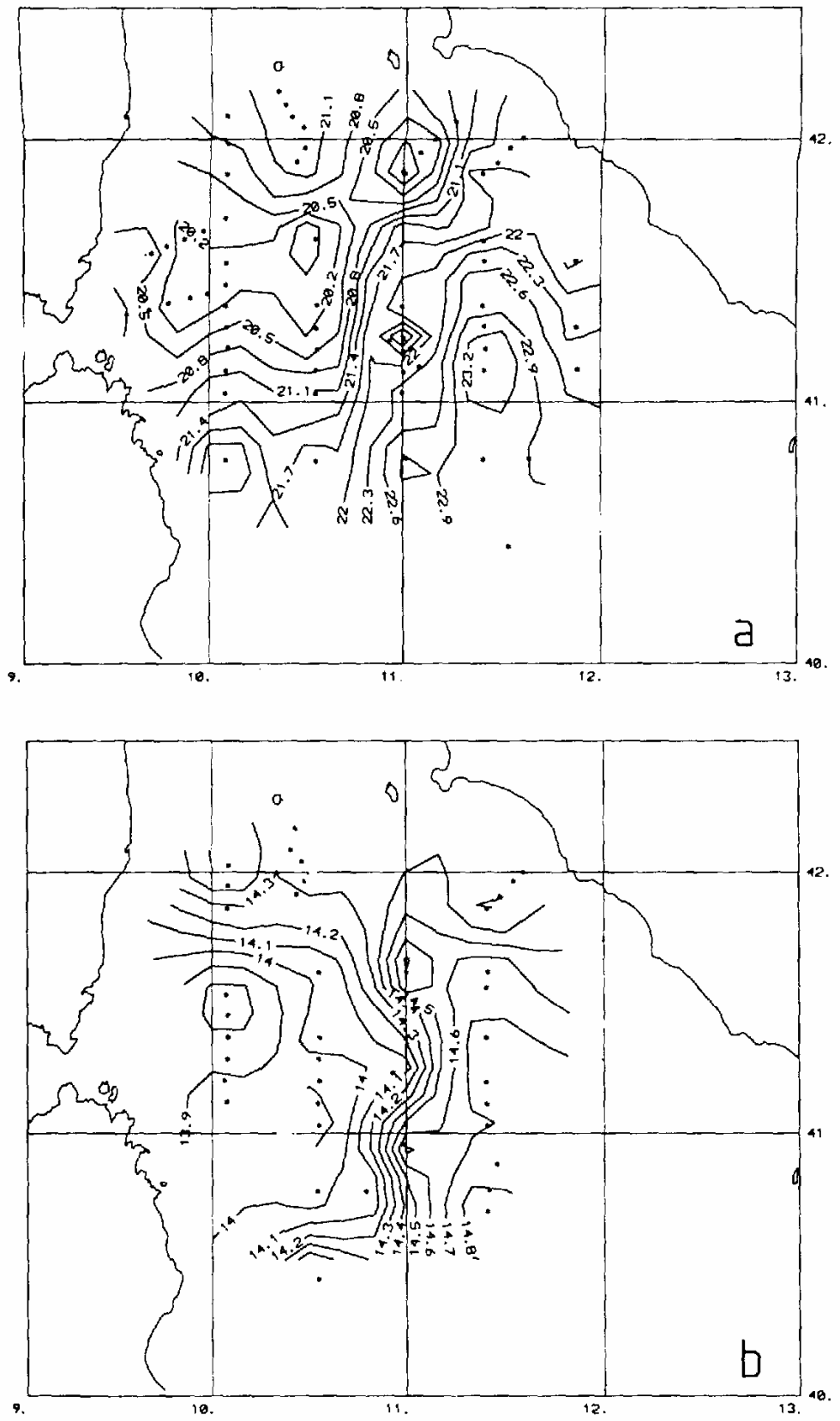


Fig. 2 - Temperatura a 10 metri di profondità: (a) settembre/ottobre 1989, (b) febbraio 1990

chimiche.

2. MISURE E METODI

Nel periodo 1989-91 si è svolto l'esperimento TEMPO (Tyrrhenian Eddy Multi-Platform Experiment) con l'obiettivo di studiare la circolazione del nord Tirreno mediante l'uso integrato di differenti piattaforme di osservazione, quali satellite, aereo, nave, ancoraggi in punti fissi e strumenti alla deriva (TEMPO Group, 1991). In particolare due campagne idrologiche, dal 22 settembre al 9 ottobre 1989 e dal 13 al 23 febbraio 1990, sono state svolte nell'area indicata in figura 1 con la nave oceanografica Minerva del CNR. Sono stati acquisiti profili CTD/Ò2 dalla superficie a 1500m di profondità; in alcune stazioni, sono stati raccolti campioni d'acqua (mediamente 12 per ogni profilo) per il controllo della salinità e dell'ossigeno misurati dalla sonda e per l'analisi della concentrazione di nutrienti. I campioni di nutrienti sono stati conservati mediante congelamento a -20 °C e successivamente sono stati analizzati in laboratorio al termine di ciascuna campagna. Le analisi dei nutrienti sono state effettuate mediante AutoAnalyzer Technicon II, previa filtrazione con filtri Millipore da 0.45 µm. L'ammoniaca è stata determinata con il metodo di Berthelot e lettura a 630 nm (Grasshoff et al., 1983); i nitriti sono stati misurati con il metodo della diazotizzazione e lettura a 550 nm (Standard Methods, 1971); i nitrati sono stati valutati dopo riduzione in una colonna Cu-Cd e successiva sottrazione della concentrazione dei nitriti (Standard Methods, 1971); gli ortofosfati sono stati determinati mediante il metodo del blu fosfomolibdato e lettura a 880 nm (Murphy et al., 1962); i silicati sono stati misurati con il metodo della riduzione del silice molibdato e lettura a 815 nm (Grasshoff et al., 1983).

3. RISULTATI

3.1. Caratteristiche dei campi di temperatura e salinità

La distribuzione orizzontale della temperatura nello strato superficiale mostra che, nel primo periodo (Fig. 2a), un'area omogenea di acqua più fredda (T < 20.2°C) è presente in corrispondenza delle Bocche di Bonifacio. Al suo interno possono essere identificate zone con temperature intorno a 20°C. Inoltre questa regione è completamente delimitata da una struttura frontale, che la separa dall'acqua più calda (anche più di 3°C) circostante. La stessa distribuzione è presente anche in inverno (Fig. 2b), anche se i gradienti orizzontali sono ridotti e l'area centrale, più fredda (T < 14°C), è più allungata in direzione nord-sud. Comunque, in entrambi i periodi, la distribuzione della temperatura è consistente con la struttura di un vortice ciclonico e tale caratteristica si conserva anche a profondità elevate (Fig. 3a,b), coinvolgendo oltre allo strato superficiale anche quello intermedio.
Ciò è pure evidente nei profili verticali di Θ, S e σ_θ (Fig. 4): se si confrontano profili

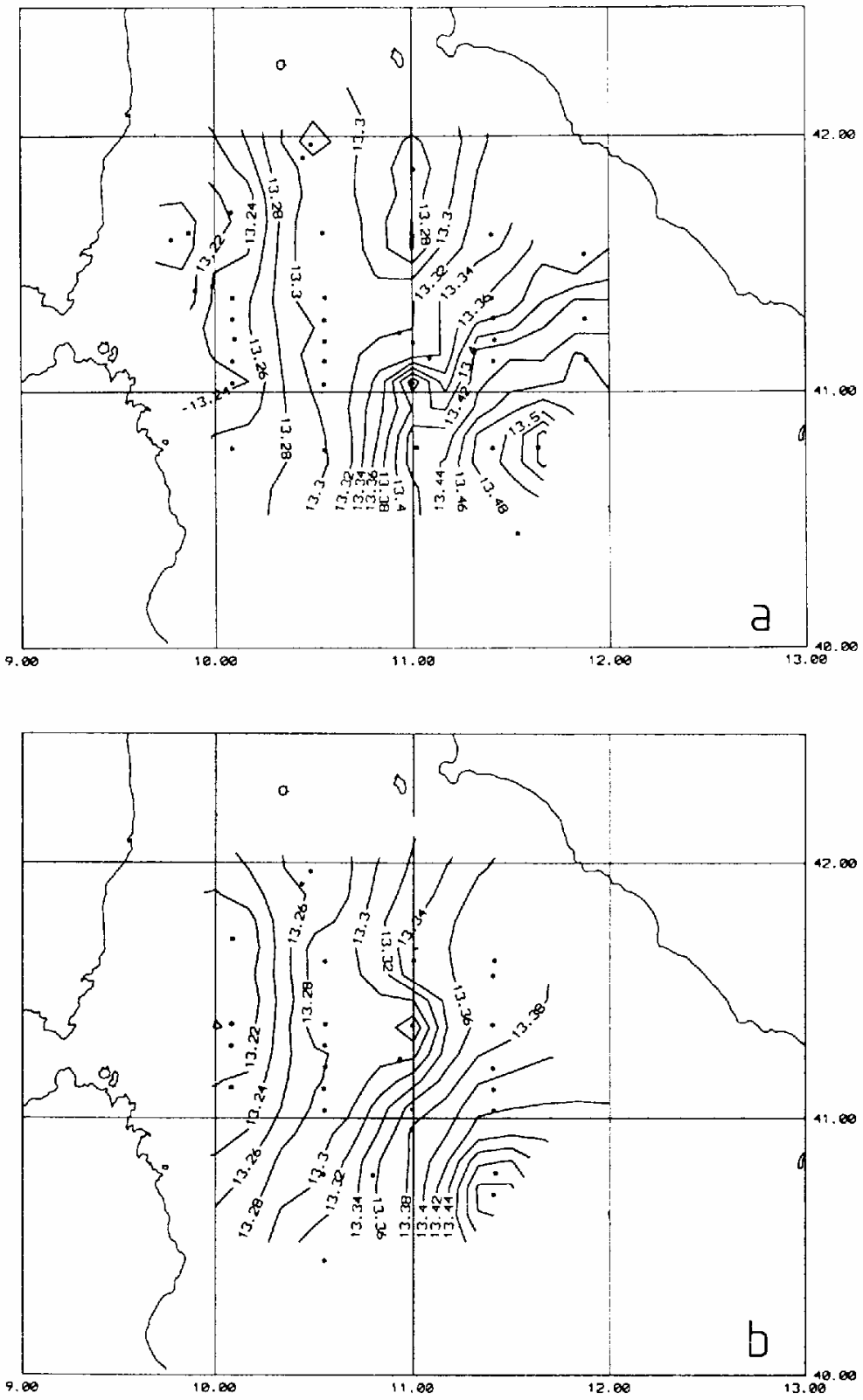


Fig. 3 - Temperatura a 800 metri di profondità: (a) settembre/ottobre 1989, (b) febbraio 1990

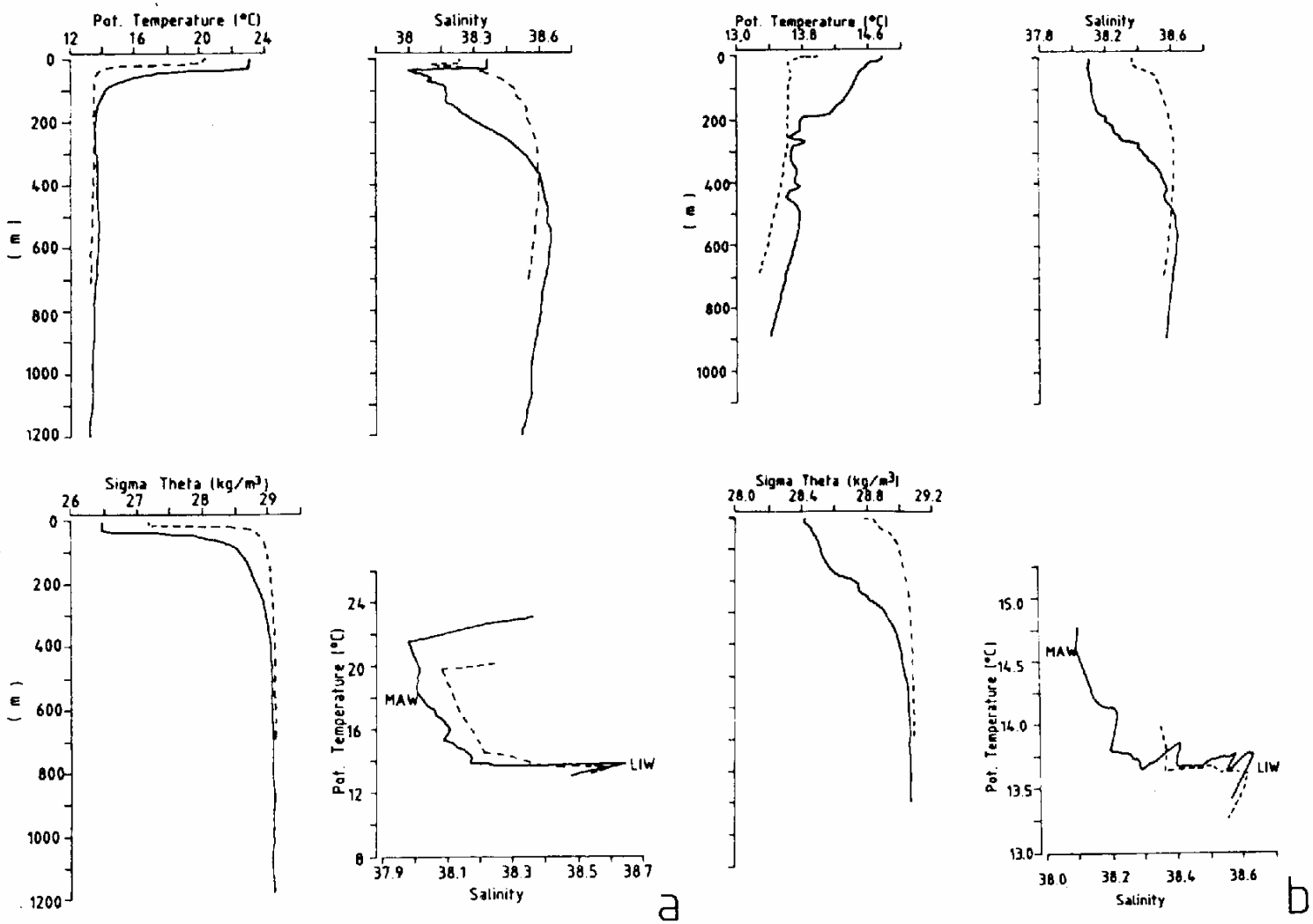


Fig. 4 - Profili verticali di temperatura potenziale θ, salinità, σ_θ e diagramma θ-S per una stazione esterna al vortice (linea continua) ed una interna (linea tratteggiata): (a) settembre/ottobre 1989, (b) febbraio 1990.

verticali dentro e fuori il vortice, le masse d'acqua interne sono, a tutte le profondità, sempre più fredde, con una salinità più omogenea e più densa di quelle esterne.

Quindi, come mostrano anche i diagrammi Θ-S (Fig. 4), la circolazione ciclonica presente nel nord Tirreno sembra interessare tutta la massa d'acqua, cioè sia l'acqua superficiale che quella intermedia, la quale, causa dei moti verticali legati alla circolazione ciclonica, viene spinta verso gli strati più superficiali.

3.2 Distribuzione dei nitrati e dei fosfati

Come è noto, l'acqua intermedia, oltre ad essere più salata e meno ossigenata, è anche più ricca di nutrienti (Miller et al., 1970).

L'analisi della struttura verticale mostra che nelle stazioni interne al vortice le concentrazioni, sia dei nitrati che dei fosfati, sono più alte che nelle stazioni esterne. Questa caratteristica si mantiene a tutte le profondità per il periodo estivo (Fig. 5a), mentre per il periodo invernale (Fig. 5b) è limitata ai primi 300m. Il rapporto azoto/fosforo (N/P) nel periodo estivo è 20 nelle stazioni fuori dal vortice e 28 nelle

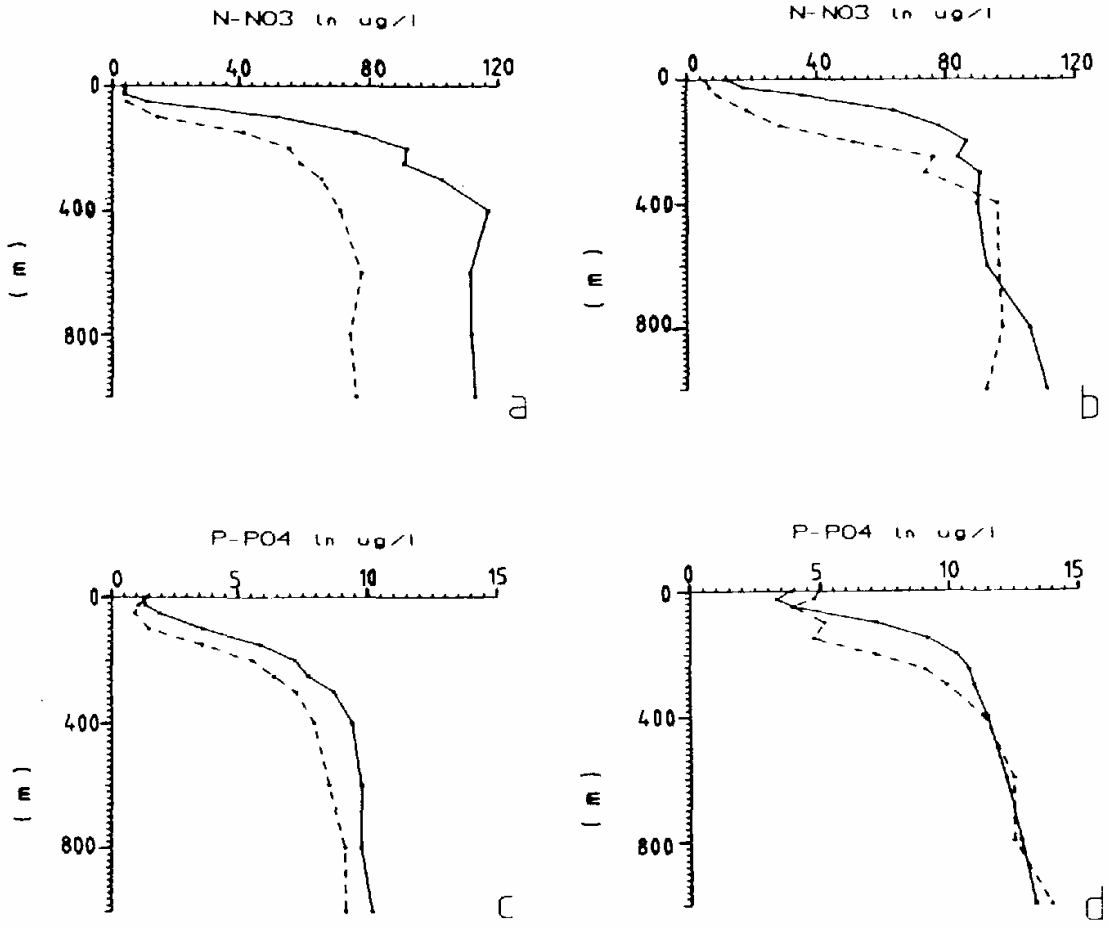


Fig. 5 - Profilo medio dei nitrati e dei fosfati: (a), (c) settembre/ottobre 1989; (b), (d) febbraio 1990. Le linea continua indica le stazioni interne al vortice, la linea tratteggiata quelle esterne.

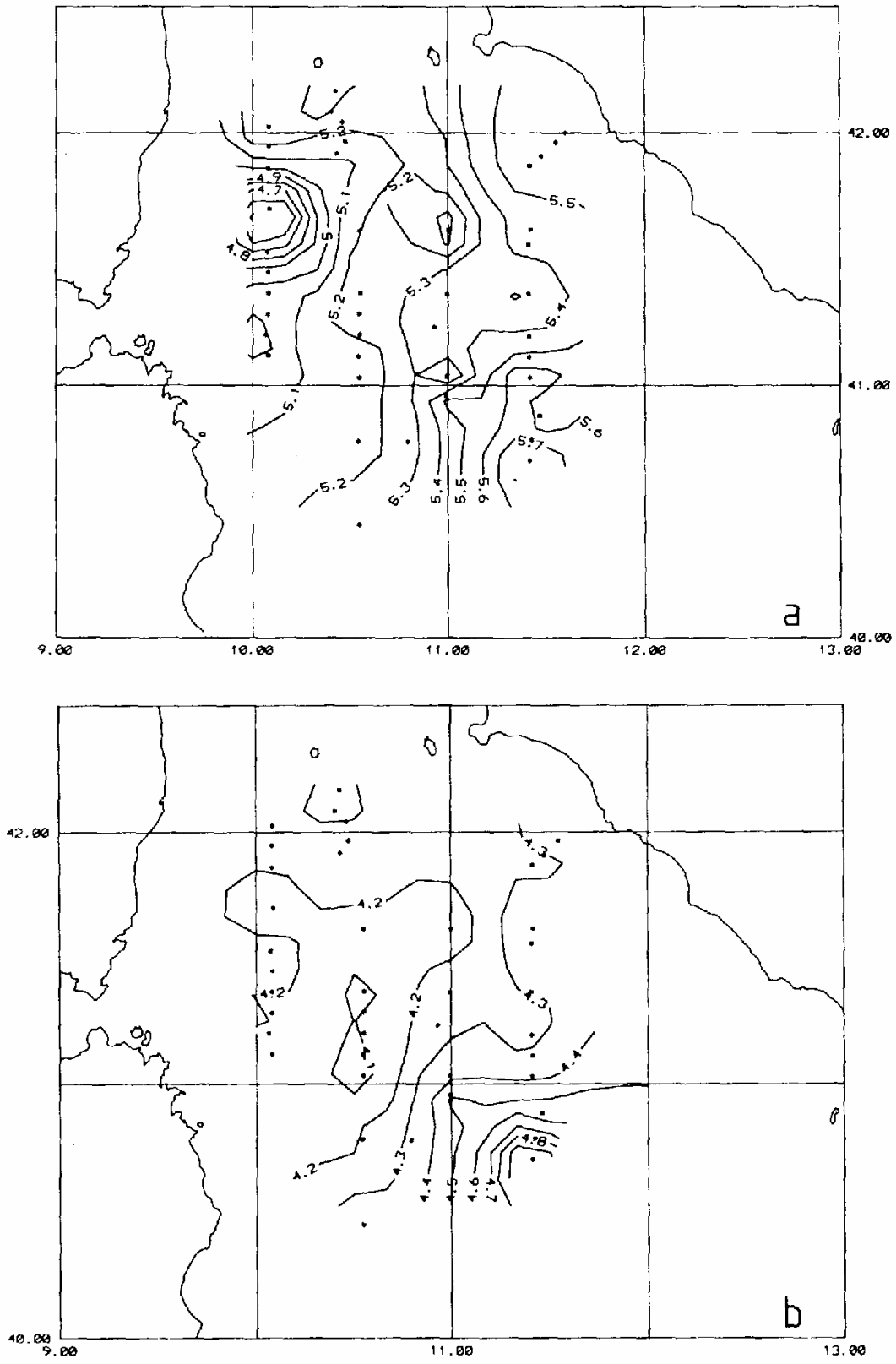


Fig. 6 - Ossigeno a (a) 50m e (b) 300m di profondità nel febbraio 1990.

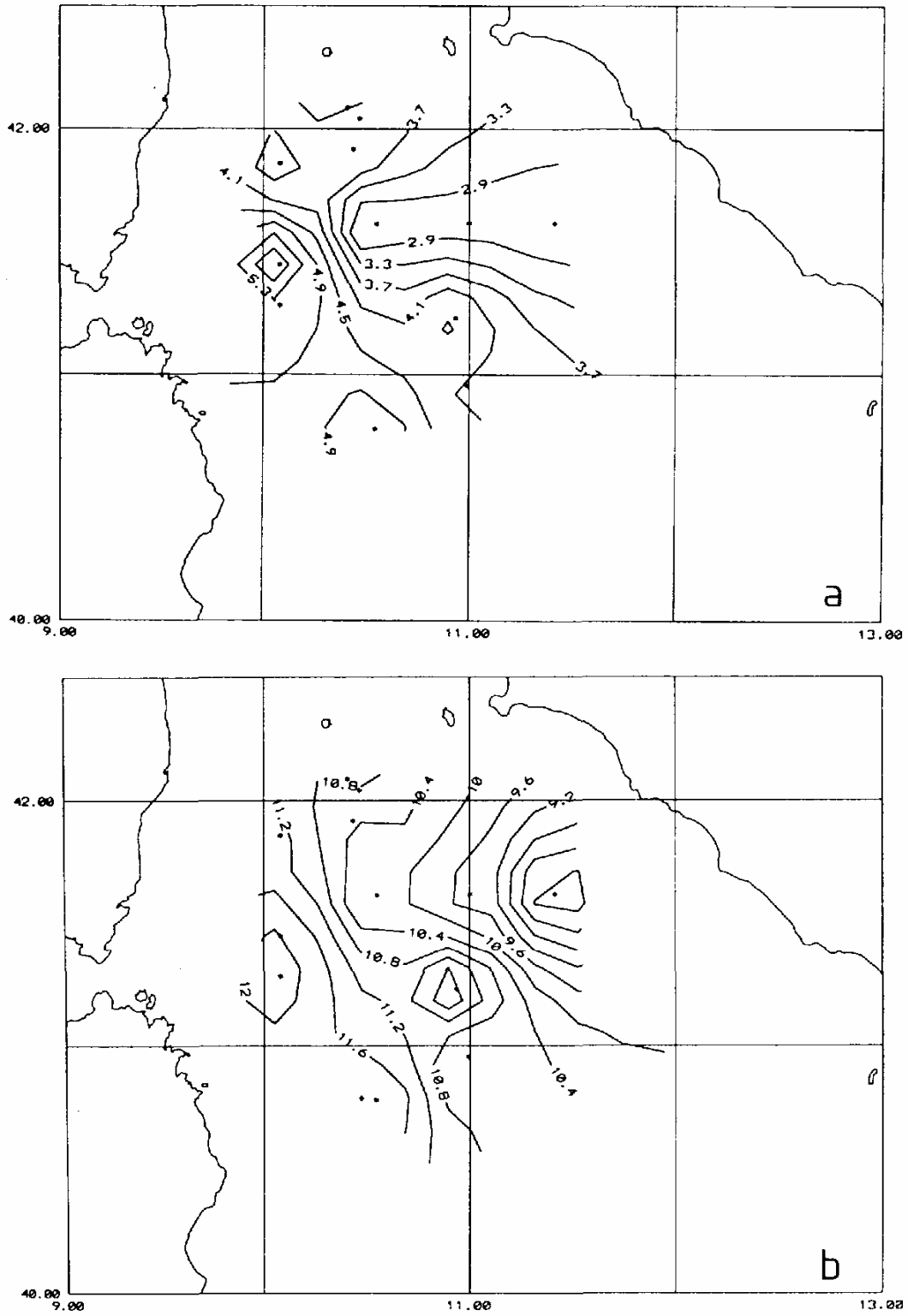


Fig. 7 - Fosfati a (a) 50m e (b) 300m di profondità nel febbraio 1990.

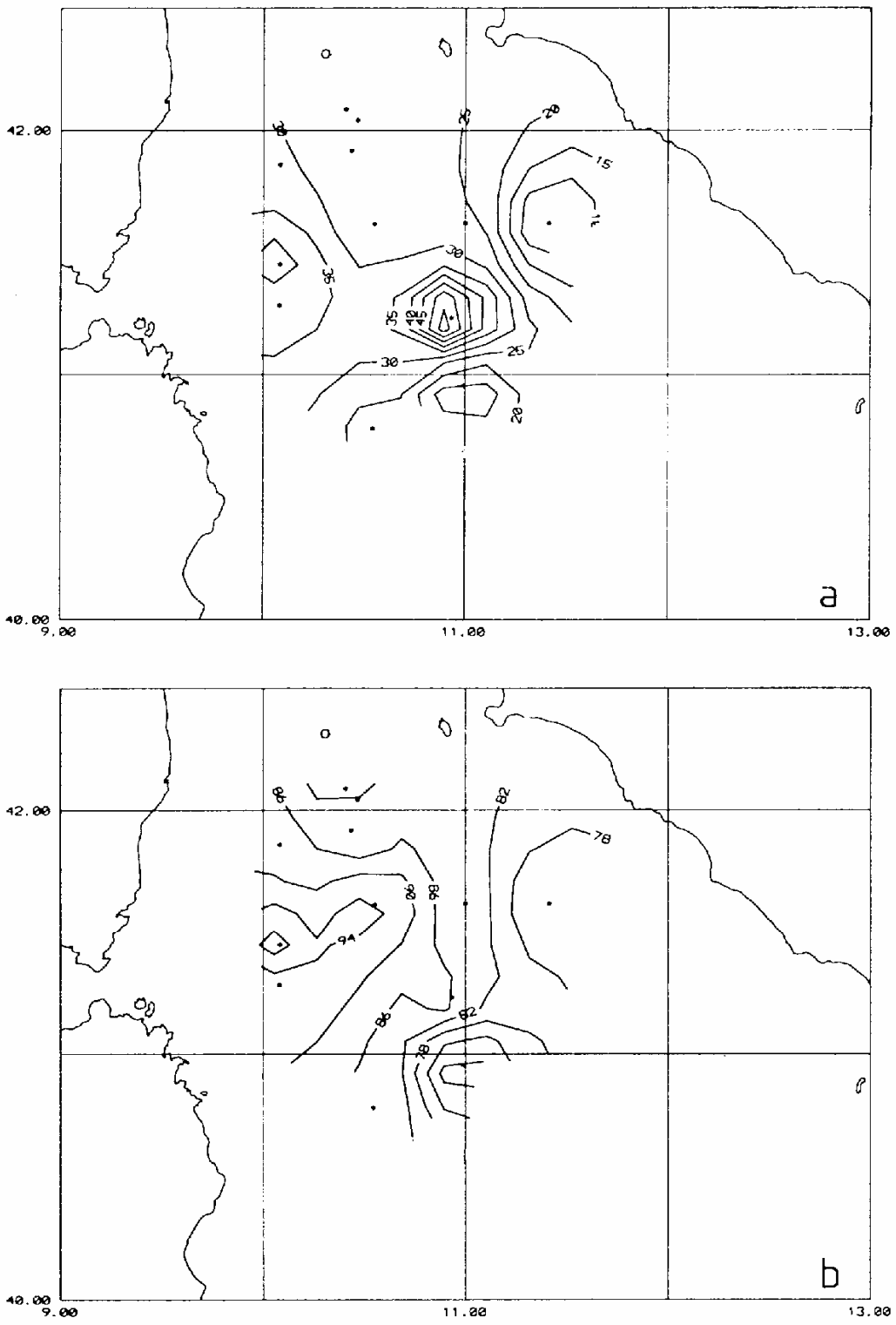


Fig. 8 - Nitrati a (a) 50m e (b) 300m di profondità nel febbraio 1990.

stazioni dentro il vortice. Nel primo caso può essere considerato vicino al rapporto N/P teorico di 16 (Redfield et al. 1963), mentre nel secondo se ne discosta sostanzialmente. Nel periodo invernale il rapporto N/P, circa 20, si mantiene abbastanza omogeneo in tutta l'area considerata. Ciò può essere attribuito al fatto che le stazioni invernali sono quasi tutte all'interno della circolazione ciclonica e quindi non è possibile una chiara discriminazione fra i due gruppi. Tuttavia, anche in inverno, le maggior concentrazioni sono presentì nel centro del vortice, come appare evidente dalle mappe orizzontali di O_2 (Fig.6), $N0_3$ (Fig. 7), $P0_4$ (Fig. 8) alle varie profondità.

Occorre infine osservare che i fosfati mostrano concentrazioni più elevate in inverno che in estate. Ciò può essere dovuto sia al maggior mescolamento invernale che alla minore produttività biologica.

4. CONCLUSIONI

Nel Tirreno settentrionale è presente un vortice ciclonico, che si mantiene per tutto l'arco dell'anno e la sua influenza può essere rilevata sia nello strato superficiale che nello strato intermedio. Il vortice presenta tuttavia una variabilità stagionale legata all'interazione fra campo di vento e moto medio.

La presenza di un vortice ciclonico quasi-stazionario innesca i fenomeni di risalita di acqua intermedia verso gli strati più superficiali, favorendo una maggior concentrazione di nutrienti nella zona esaminata. La loro presenza nella zona euforica spiega la maggiore produzione primaria osservata in quest'area (Morel et al., 1991) che, nella parte centrale del vortice, risulta paragonabile a quella del mar Ligure. Circa i 2/3 della produzione primaria potenziale del mar Tirreno (Bethoux, 1981) può essere attribuita all'effetto di questi flussi, che rendono disponibili i nutrienti per la produzione di fitoplancton.

I movimenti verticali caratterizzano il nord Tirreno rispetto al resto del bacino e particolarmente rispetto alla zona sud, dove l'avvezione orizzontale sembra prevalere (Povero et al., 1990; Astraldi et al, 1994) e dove sono presenti caratteristiche altamente oligotrofiche (Carrada et al., 1990).

BIBLIOGRAFIA

Artale, V., M. Astraldi, G. Buffoni & G.P. Gasparini, 1994. The Seasonal Variability of the Gyre-Scale Circulation in the Northern Tyrrhenian Sea. *J. Geophys. Res.,* in stampa.

Astraldi, M. & G.P. Gasparini, 1994. The Seasonal Characteristics of the Circulation in the Tyrrhenian Sea, in *The Seasonal and Interannual Variability of the Western Mediterranean Sea,* American Geophysical Union, in stampa.

Bethoux, J.P. 1981. Le phosphore et l'azote en Mer Mediterranée, bilan et fertilité potentielle. *Mar. Chem.,* 10: 145-158.

Carrada, G.C., M. Ribera D'Alcalà & V. Saggiomo. 1993. The pelagic System of the

southern Tyrrhenian sea. Some comments and working hypotheses, *Atti 9° Congresso AIOL:* 151-166.

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

Miller, A.R., P. Tchernia,H. Charnock & D.A. McGill. 1970. Mediterranean Sea Alias, *Woods Hole Oceanographic Institution.*

Moen, J. 1984. Variability and mixing of the surface layer in the Tyrrhenian Sea: MILEX-80, Final Report. *SACLACEN Rep.* SR-75: 128pp.

Morel, A. & J.M. André. 1991. Pigment distribution and primary production in the western Mediterranean as derived and modeled frorn Coastal Zone Color Scanner observations. *J. Geophys. Res.,* 96, C7: 12685-12698.

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

Povero, P., T.S. Hopkins & M. Fabiano. 1990. Oxygen and nutrient observations in the Southern Tyrrhenian Sea. *Oceanol. Acta,* 13: 299-305.

Redfìeld, A.C., B.H. Ketchum & F.A. Richards. 1963. The influence of Organisms on the composition of sea water, in *The Sea,* vol.2, Interscience Publishers: 26-77.

Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 1971. *American Public Healt Association,* 13th Edition, New York: 522 pp.

TEMPO Group. 1991. Tyrrhenian Eddy Multi-Platform Observation. 1989 Experiment. Inventory of the measurements and preliminary results, *Tech. Rep. #1:* 69pp.

Atti del 10 ° Congresso A..I. O.L
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da pag. 77 a pag. 85

UN MODELLO NUMERICO INTEGRATO PER LO STUDIO DELLA DINAMICA COSTIERA DEL PONENTE LIGURE

Lorenzo Papa

Istituto Idrografico della Marina
Dipartimento di Fisica, Università di Genova

RIASSUNTO

II bacino ligure di ponente è stato scelto come area campione per la realizzazione e la calibrazione di un modello numerico integrato in grado di descrivere i principali processi fisici dell'oceanografia costiera e d'altura. Nell'ambito di questo progetto pilota è stato realizzato un codice di calcolo di generazione in acqua profonda di moto ondoso ad opera del vento con simulazione in acqua bassa di fenomeni di rifrazione, diffrazione e trasporto solido in sospensione. Un secondo codice di calcolo risolve infine le equazioni di Navier Stokes fornendo il campo delle correnti e la concentrazione di eventuali contaminanti, noti il campo del vento, della pressione atmosferica e delle forze astronomiche di marea.

SUMMARY

In this paper we present a numerical ray model of surface gravity waves including longshore currents, longshore transport of sediments on beaches and diffraction effects due to an impermeable rigid structure as a groyne. This model has been applied to investigate the short lime morphologic behaviour of the coastal area of Savona. Also real lime measurements of wave amplitude, period and angle of incidence have been used as input data to test the numerical model. In addition to this computer code, we developed a numerical model to compute the time dependent Navier Stokes equations in three dimensions which has been extended to describe the diffusion of pollutants in the upper layers of an open or semiclosed basin. The Liguran Sea has been selected as a pilot area to test and to calibrate the two numerical computer programs.

1. INTRODUZIONE

E' stato realizzato un modello numerico integrato del Mar Ligure in grado di fornire il moto ondoso e la circolazione delle correnti a varie profondità, noti il campo del vento, della pressione e delle forze astronomiche di marea. Un codice di calcolo aggiuntivo risolve inoltre in tre dimensioni l'equazione di diffusione e di trasporto di eventuali sostanze contaminanti rilasciate in mare da sorgenti puntiformi o estese nello spazio, istantanee o continue nel tempo. Tra i vari moduli di servizio è operativa in particolare una "subroutine" per la determinazione delle traiettorie di chiazze di petrolio rilasciato accidentalmente in mare.

2. MODELLO DI MOTO ONDOSO

Il codice di calcolo della generazione del moto ondoso ad opera del vento utilizza schemi alle "differenze finite" che permettono di determinare la distribuzione energetica delle onde al largo ed in zona di frangimento (Scarsi & Stura, 1976; Papa, 1986 a, 1992 a; Papa & Bertola, 1983). Come bacino campione è stato scelto il Mar Ligure lungo la cui costa sono state installate alcune stazioni meteo-ocenaografiche collegate in tempo reale via radio o telefono col calcolatore VAX 6000-420 del Dipartimento di Fisica dell'Università di Genova. Effettuato per via numerica il calcolo della rifrazione delle onde in acqua bassa note l'altezza, il periodo e la direzione del campo d'onda al largo (Shore Protection Manual, 1977), è possibile valutare il trasporto dei sedimenti e le conseguenti variazioni della spiaggia. Il calcolo del trasporto viene fatto utilizzando un' equazione che mette in relazione la direzione e l'energia dell'onda incidente con le variazioni dell'estensione della spiaggia. Dopo aver calcolato la quantità di sabbia trasportata lungo la costa si può valutare il bilancio fra la sabbia entrante e quella uscente per ogni "cella numerica" in cui si è suddiviso il bacino oceanografico in esame (Komar, 1976; Komar & Inman, 1970). Questo modulo di calcolo permette di determinare con buona risoluzione spazio-temporale l'avanzamento o l'arretramento della spiaggia, sia in indagini di tipo retrospettivo, sia in analisi in tempo reale durante l'evoluzione stessa della mareggiata.

Le prime simulazioni per la messa a punto e la taratura del codice di calcolo del moto ondoso sono state effettuate su un'area campione compresa fra Vado Ligure ed Albisola. In questa zona di mare sono stati costruiti negli ultimi anni una diga ad alto fondale nel porto di Savona (Delft Hydraulics Laboratory, 1986) e pennelli di varia lunghezza, progettati e realizzati con l'intento di salvaguardare la spiaggia da

fenomeni erosivi. Nelle simulazioni che vengono descritte nel seguito è stata presa in esame una zona più ristretta compresa fra il porto di Vado ed il torrente Letimbro a Savona e fra la foce di questo torrente e l'ex-stabilimento Italsider indicate rispettivamente come zona 1 e 2 nella figura 1 e 2. Per poter descrivere gli effetti prodotti sulle onde dalla parte terminale dei due pennelli principali costruiti alle estremità orientali della zona 1 e 2 è stato quindi necessario realizzare anche un codice di calcolo in grado di tener conto di effetti di diffrazione del fronte d'onda al variare della sua ampiezza e direzione di propagazione. Le direzioni di provenienza del fronte d'onda al largo sono state le seguenti: SE (Scirocco) e SW (Libeccio) che secondo i dati della tabella 1 sono associate alle mareggiate più intense che caratterizzando il clima ondoso di questa parte occidentale del Golfo di Genova (Studio Volta, 1985).

Tabella 1. Altezza significativa H_s, periodo, direzione e durata del moto ondoso per il litorale di Savona ed Albisola.

H_s (m)	periodo (s)	direzione	ore/anno	direzione	ore/anno
2	6.6	SW	806.7	SE	150.3
3.5	7.7	SW	38.8	SE	0.7
5	8.6	SW	1.4	SE	0.7

Nelle simulazioni sono stati assunti un'altezza d'onda significativa H_s di 5 metri ed un periodo di 8.6 secondi con due direzioni principali corrispondenti a mare da SW e SE, per una durata massima di 5 ore. Si è ritenuto infatti che simulare oltre questo valore non fosse rappresentativo di una mareggiata reale, che in generale non presenta direzione costante ad ampiezza così elevata per un intervallo di tempo più lungo.

Una prima simulazione è stata eseguita con un mare da SE che ha prodotto un trasporto medio diretto verso Vado con forti variazioni del modulo di questa grandezza. Questo fatto significa che in ogni cella in cui è stata suddivisa l'area in esame la quantità di sabbia in ingresso non eguaglia quella in uscita con una conseguente variazione dell'estensione della spiaggia: valori negativi indicano zone soggette a erosione e valori positivi zone soggette ad accrescimento. Dall'esame del bilancio si è così visto che col mare da Scirocco si verificano fenomeni di arretramento della spiaggia fra la località Fornaci ed i Bagni Olimpia, con ampie zone invece di avanzamento a partire dai Bagni Torino fino al pennello costruito in prossimità della

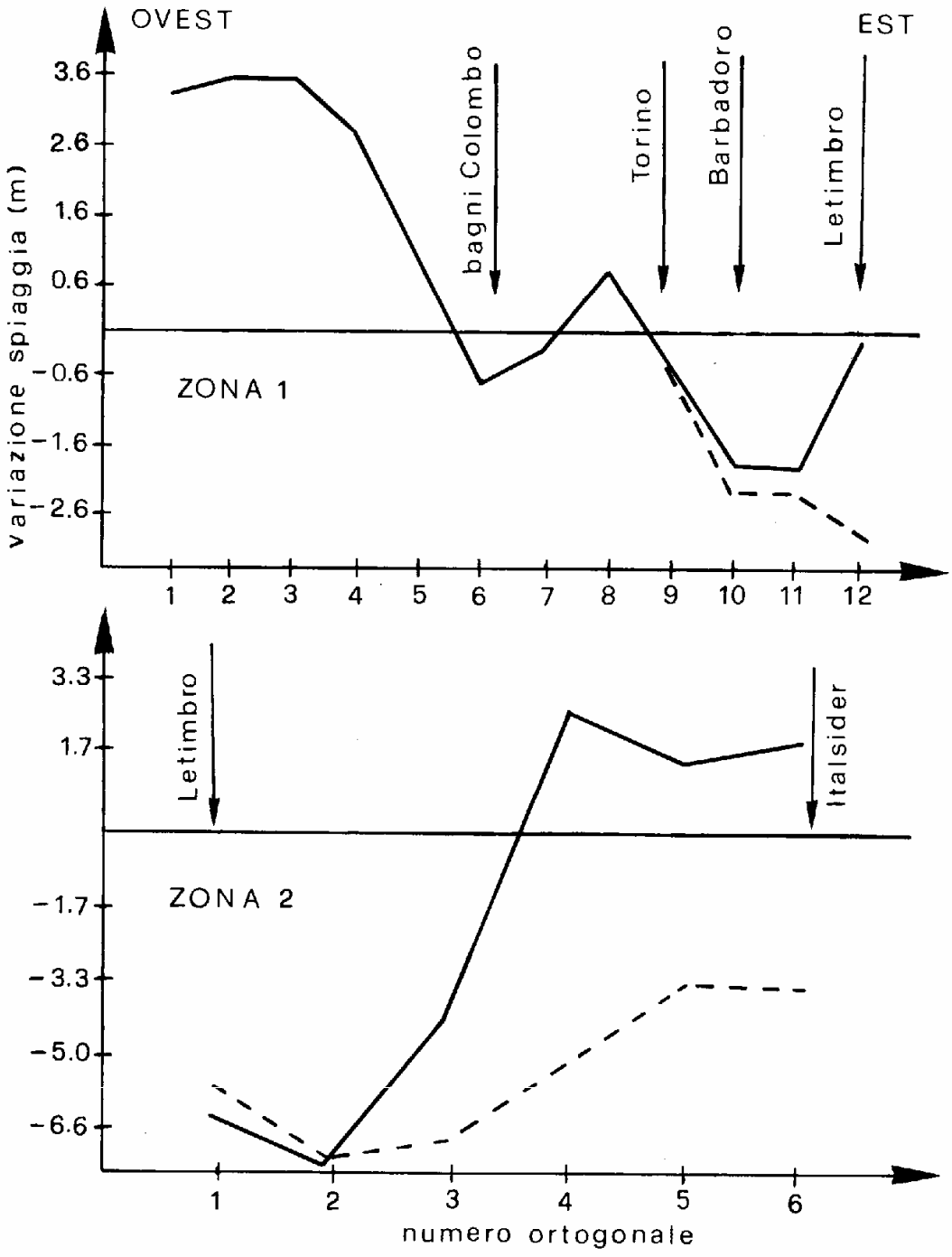


Figura 1. Variazione della spiaggia fra Vado Ligure e la foce del Letimbro a Savona (zona 1) e fra questo punto e l'ex-stabilimento Italsider (zona 2) dopo 5 ore di azione di un mareggiata da SE con altezza significativa di 5 metri. Le linee continue rappresentano la linea di spiaggia in assenza dei pennelli alla foce del Letimbro e presso l'ex-Italsider, quelle tratteggiate la situazione reale con le attuali opere marittime.

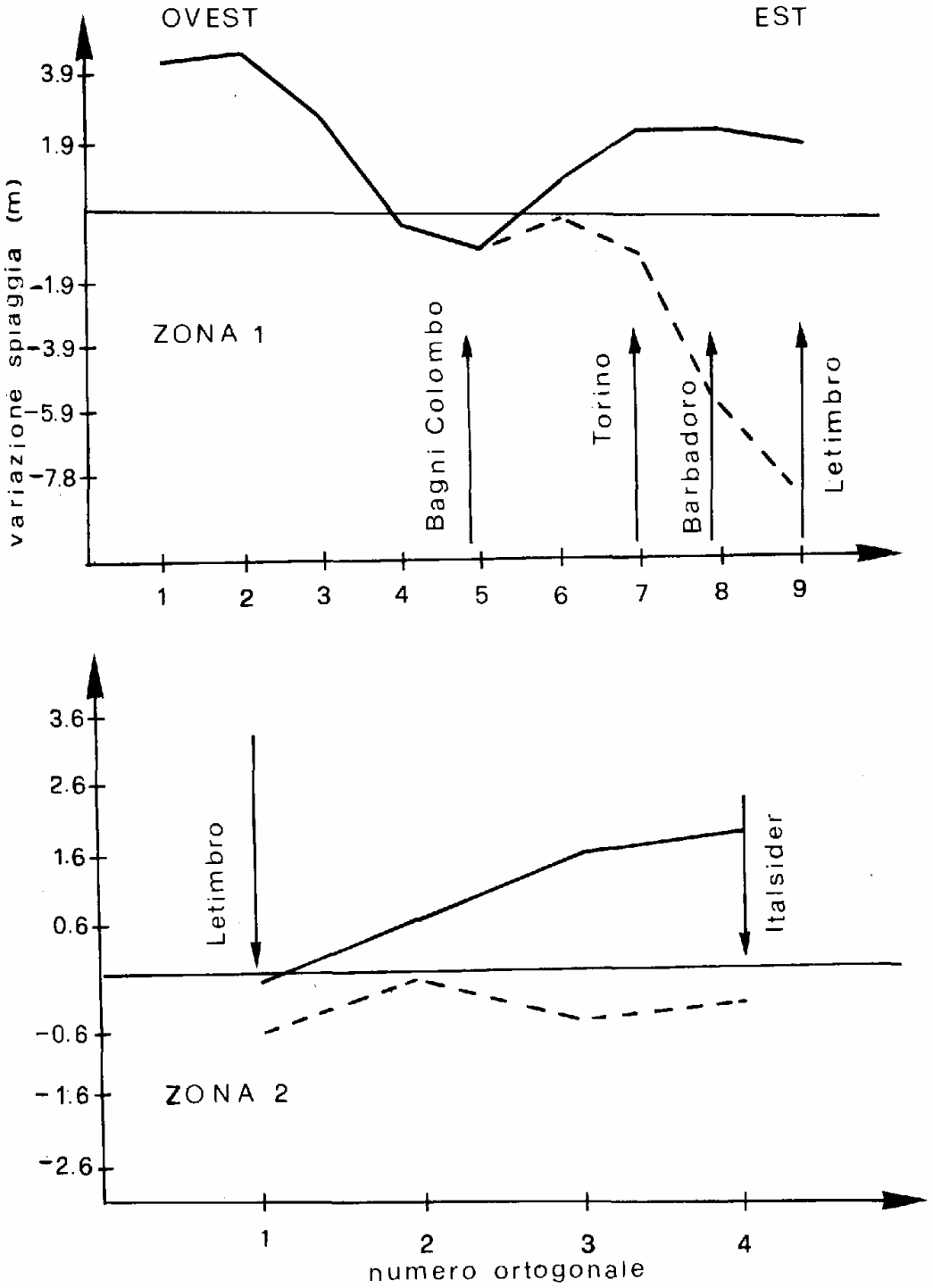


Figura 2. Variazioni della spiaggia fra Vado Ligure e la foce del Letimbro a Savona (zona 1) e fra questo punto e l'ex-stabilimento Italsider (zona 2) dopo 5 ore di azione di una mareggiata da SW con altezza significativa di 5 metri. Le linee continue rappresentano la linea di spiaggia in assenza dei pennelli alla foce del Letimbro e presso l'ex-Italsider, quelle tratteggiate la situazione reale con le attuali opere marittime.

sponda destra del Letimbro. In figura 1 vengono mostrate con mare da SE le variazioni della spiaggia rispetto al tempo iniziale nel caso di assenza e di presenza del pennello la cui lunghezza nei calcoli è stata fissata a circa 60 metri. E' interessante segnalare come l'intera zona balneare situata a ponente del torrente (zona 1) non risenta in modo significativo della presenza o meno del molo. Assai differente appare invece la situazione nel tratto di spiaggia a levante del Letimbro (zona 2). La presenza di un pennello di lunghezza di circa 200 metri in prossimità dell'ex-stabilimento Italsider fa sentire il suo effetto positivo su gran parte del litorale a partire dai Bagni Nilo fino ai Bagni Savona e via via in modo sempre più crescente verso levante nel tratto terminale di spiaggia libera.

Una seconda simulazione con mareggiata da SW ha prodotto invece un trasporto medio costiero diretto verso ponente nella zona compresa fra i Bagni Colombo ed i Bagni Olimpia e diretto verso levante nelle rimanente parte del litorale fino all'ex-stabilimento Italsider. Questo andamento del trasporto facendo simulazioni in assenza del molo del Letimbro provoca in generale un arretramento della spiaggia tranne che nel tratto compreso fra i Bagni Olimpia e Nettuno ed in una piccola zona nelle immediate vicinanze a levante del Letimbro. Un esame separato delle due spiagge della zona 1 e 2 mostra che il molo lungo circa 60 metri del Letimbro non blocca completamente la corrente costiera verso est e provoca un avanzamento molto pronunciato della spiaggia a levante del torrente. Nello stesso tempo anche la spiaggia di ponente a causa del mancato arresto dei sedimenti in moto da ovest verso est è soggetta ad accrescimento (figura 2).

Nel caso di mareggiate intense di altezza significativa di 5 metri si può concludere che i mari da Scirocco provocano un globale avanzamento della spiaggia mentre quelli da Libeccio producono effetti generali di erosione. Quanto mostrato in precedenza resta comunque valido per intervalli di tempo molto limitati durante l'anno, vista la bassa incidenza statistica di mareggiate di cinque metri di altezza significativa. Per uno studio dell'evoluzione stagionale del litorale in questa zona occorre effettuare simulazioni con mari di intensità di 2 metri sempre dalle direzioni principali di Libeccio e Scirocco, che in base alla tabella 1 hanno rispettivamente una durata media di circa 800 e 150 ore all'anno e contribuiscono così in modo rilevante alla dinamica costiera dei sedimenti.

3. MODELLO TRIDIMENSIONALE DI CIRCOLAZIONE

I gravi incidenti dell'Agip Abruzzo e della Haven hanno messo in evidenza l'importanza di conoscere in tempo reale il moto delle correnti marine ed i relativi fenomeni diffusivi in zone costiere e d'altura allo scopo di poter limitare i danni

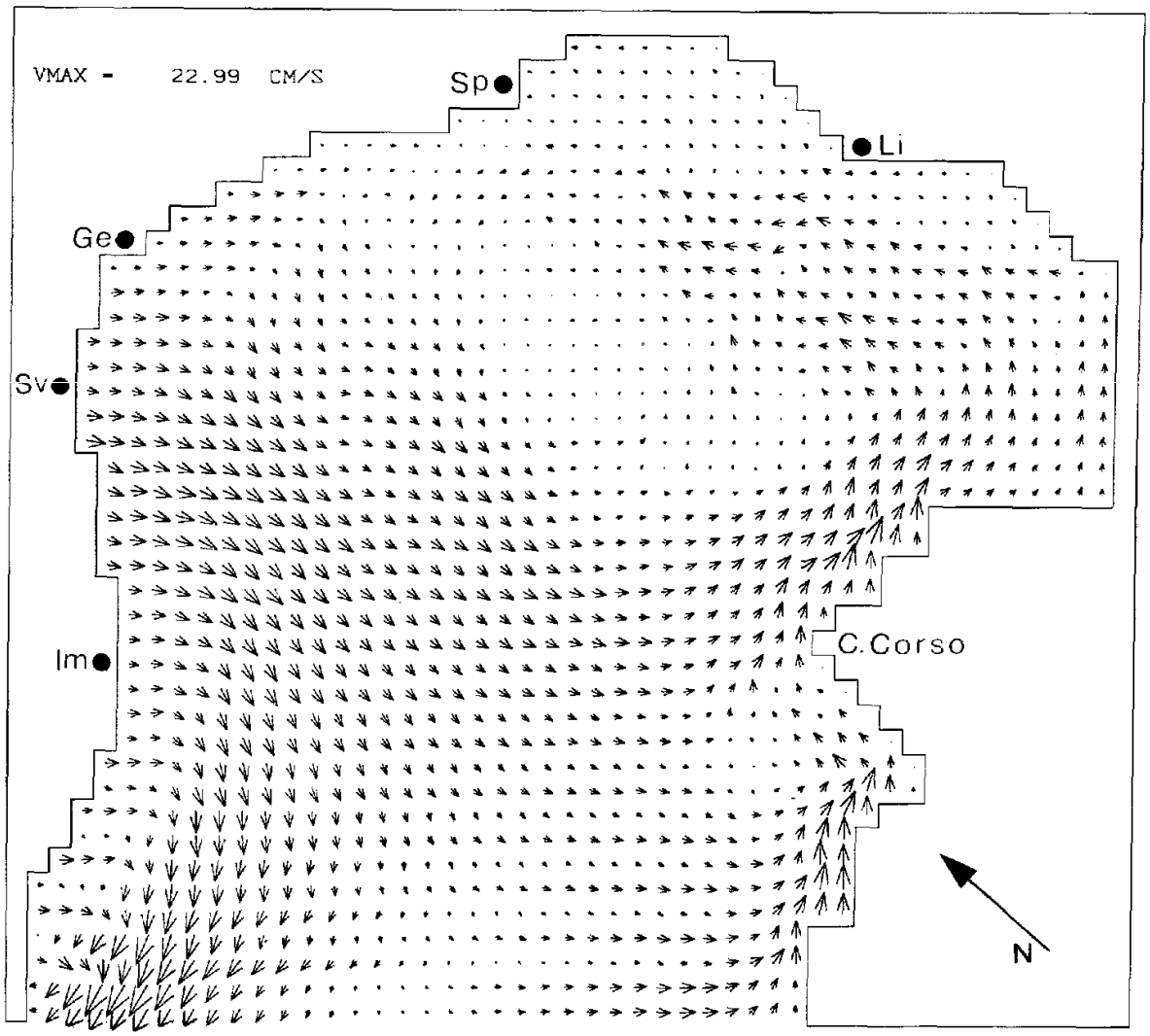


Figura 3. Andamento tipico della circolazione del Mar Ligure riprodotto con un modello numerico tridimensionale in cui sono ben evidenti un vortice ciclonico al centro del bacino e correnti divergenti al largo di Genova e convergenti al largo di Savona.

conseguenti al rilascio in mare di sostanze contaminanti. Un modello numerico tridimensionale risulta lo strumento più efficace per la soluzione di questi problemi, in quanto utilizzando come valori di "input" dati di marea, di vento e di pressione atmosferica è in grado di individuare le zone di mare caratterizzate da circolazione ciclonica ed anticiclonica e quelle interessate invece da correnti ad andamento parallelo o perpendicolare alla linea di costa. A titolo di esempio è stato rappresentato in figura 3 un tipico campo di velocità del Mar Ligure in cui sono ben evidenti un vortice ciclonico con centro lungo la congiungente Portofino-Capo Corso e linee di divergenza di corrente al largo di Genova e di convergenza al largo di Savona. Il passo spaziale del reticolo è variabile a scelta da 1 a 5 chilometri, mentre quello verticale è fissato pari a 20 metri negli strati superficiali, con valori via via crescenti fino a 570 metri nelle zone profonde centro-meridionali del bacino. Un passo spaziale al di sotto di 1 chilometro comporterebbe un gravoso lavoro di digitalizzazione della carta batimetrica e della rappresentazione per linee spezzate della linea di costa. Per quanto riguarda il passo spaziale verticale, il modello non ha vincoli di nessun tipo, esclusi ovviamente quelli legati al crescere del tempo di calcolo all'aumentare della risoluzione verticale.

4. CONCLUSIONI

II codice di calcolo che risolve in tre dimensioni le equazioni idrodinamiche di Navier Stokes attualmente operativo sul VAX 6000-420 del Dipartimento di Fisica (Welch, Harlow, Shannon & Daly, 1966; Spraggs & Street, 1975; Papa,1986 b,1992 b) costituisce unitamente a quello di generazione del moto ondoso ad opera del vento un cosiddetto "modello integrato ", in grado cioè di simulare i principali fenomeni oceanografici che si possono presentare nel Mar Ligure ed in particolare nella zona costiera occidentale da Savona a Ventimiglia.

Per quest'area di mare utilizzando una banca dati di campi di pressione atmosferica e di vento al suolo sufficientemente estesa nel tempo (durata minima 10 anni) è possibile con un'indagine di tipo retrospettivo (hindcasting analysis) simulare il campo del moto ondoso e delle correnti a varie profondità e tracciare i percorsi di eventuali contaminanti lungo le principali rotte del traffico marittimo.

BIBLIOGRAFIA

Delft Hydraulics Laboratory. 1986. Savona Port Extension: Coastal Morphology of Albisola Beach, H148. *Ente Autonomo del Porto di Savona.*

Komar, P. D. & D. L. Inman. 1970. Longshore sand transport on beaches. *J.Geophys.Res.,* 75, 1.

Komar, P. D. 1976. Beach processes and sedimentation. *Prentice - Hall,* New York.

Papa, L. 1986 a. A simulation model of morphologic changes in a coastal zone of the Gulf of Genoa. *Boll Ocean. Teor. Appl.* Voi. IV, n° 4.

Papa, L. 1986 b. Un modello numerico per la simulazione in tempo reale della circolazione e del trasporto e diffusione di inquinanti nel Golfo di Genova. *Atti 7° Congresso A.I.O.L.,* Trieste.

Papa, L. 1992 a. A real lime numerical model to compute coastal currents and littoral sediment transport in the Gulf of Genoa. *Workshop C.N.R.-G.N.EA.O., Istituto Universitario Navale,* Napoli, LIX.

Papa, L. 1992 b. Calcolo con un modello numerico tridimensionale della circolazione del Mar Ligure e della dispersione di petrolio fuoriuscito dalla nave Haven. *Workshop C.N.R.-G.N.RA.O., Istituto Universitario Navale,* Napoli, LIX.

Papa, L. & R. Bertola. 1983. A Wave Refraction Computation in the Gulf of Genoa. *Arch. Met. Geoph. Biocl., SerA,* 32.

Scarsi, G. & S. Stura. 1976. A Model for the Numerical Calculation of Refraction Diagrams with Energy Dissipation. *Atti III Congresso Nazionale AIMETA,* Cagliari.

Shore Protection Manual. 1977. Coastal Engineering Research Center, *U.S. Army, Corps of Engineers,* New York, Voi. 3.

Spraggs, L. D. & R. L. Street. 1975. Three dimensional Simulation of Thermally-influenced Hydrodynamic flows. *Stanford University Technical Report,* n° 190.

Studio Volta. 1985. Progetto di massima per la conservazione ed il risanamento degli arenili delle due Albisole e per le strutture connesse alla fascia costiera. *Amministrazione Provinciale di Savona.*

Welch, J. E., E H. Harlow, J. P. Shannon & B. J. Daly. 1966. The MAC Method: A computing technique for solving viscous incompressible transient fluid-flow problems involving free surfaces. *Los Alamos Scientific Laboratory Report LA* 3425.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L .
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da pag. 87 a pag. 96

LA CIRCOLAZIONE NEL MAR LIGURE DURANTE L'INCIDENTE DELLA HAVEN

Mario ASTRALDI, Gian Pietro GASPARINI, Pavel PISTEK
e Stefania SPARNOCCHIA

CNR-Stazione Oceanografica, Pozzuolo di Lerici (SP)

SUMMARY

As a contribution to the "Programma di Ricerca Internazionale sul Mediterraneo Occidentale" (PRIMO) sponsored by IOC, the Stazione Oceanografica of La Spezia has been involved in a study of the seasonal circulation in the Ligurian Sea. A hydrological cruise was performed in April 1991 when the accident of the vessel HAVEN occurred near the Genoa harbour. The hydrological investigation covered the Ligurian Sea as a whole and consisted of 70 CTD/O2 stations (0-1500 metres). Long term current measurements were collected in the same period in the Corsica Channel, at the entrance of the Ligurian Sea. Both investigations produced useful information on the water characteristics a/id circulation for this area during this period and they can provide realistic inputs for numerical models.

1. INTRODUZIONE

Come contributo al Programma di Ricerca Internazionale sul Mediterraneo Occidentale (PRIMO), sponsorizzato dall'IOC, la Stazione Oceanografica del CNR di La Spezia si è impegnata in misure con cadenza stagionale nel Mar Ligure (Fig. 1). Durante una campagna primaverile effettuata nel mese di Aprile 1991 sono state raccolte misure idrologiche su tutto il Mar Ligure, mentre misure di corrente a lungo termine sono state effettuate nel Canale di Corsica.

La campagna idrologica ha coinciso con l'incidente della petroliera Haven al largo del Porto di Genova e alcune delle misure sono state effettuate in prossimità di una vasta macchia di petrolio incrociata a circa 25 miglia al largo di Imperia.

Come ulteriore contributo allo studio della circolazione nel Mar Ligure, in questa nota verranno presentati e discussi i risultati delle misure idrologiche effettuate nel mese di Aprile 1991 dalla N/O Minerva e delle misure di corrente raccolte nel Canale di Corsica in un anno di registrazioni. I dati che verranno presentati, oltre a descrivere dettagliatamente le condizioni fisiche dell'ambiente marino in concomitanza con l'incidente, sono in grado di fornire "input" realistici per i modelli di circolazione.

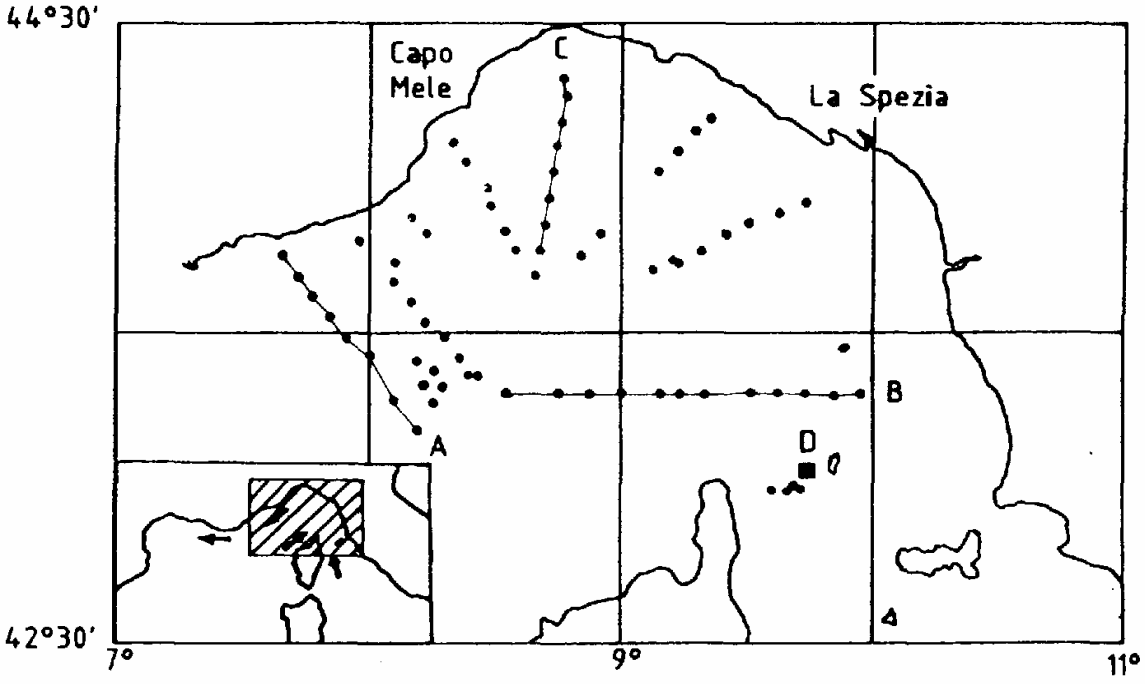


Fig. 1 - Ubicazione delle stazioni idrologiche e della catena correntometrica nel Canale di Corsica (D). Sono evidenziate le sezioni A e B delimitanti l'area di studio e la sezione C al largo di Genova.

2. DATI E METODI DI ANALISI

Il Canale di Corsica è oggetto di un monitoraggio a lungo termine da parte della Stazione Oceanografica sin dal 1985. Attraverso questo canale avvengono i maggiori scambi tra il Mar Ligure ed il Mar Tirreno, e quindi le misure finora acquisite rappresentano un importante elemento per la comprensione degli scambi fra i due bacini. Nel Novembre 1990 è stata ancorata nel canale una catena correntometrica (Fig. 1, posizione D) in sostituzione di una catena disposta precedentemente. Tale catena è stata rimossa e sostituita nel Maggio del 1991, continuando a funzionare fino all'Ottobre del 1991. Si dispone pertanto di un anno di misure correntometriche, nel quale è incluso il mese di Aprile oggetto dell'indagine idrologica. La catena rimossa nel Maggio 1991 supportava due correntometri Aanderaa (RCM-7) alle profondità di 290 e 390 m, ed un profilatore acustico Doppler (ADCP-150 Khz) alla profondità di 280 m. La catena del periodo successivo supportava correntometri Aanderaa (RCM-4 e RCM-7) alle profondità di 42, 96, 192, 292 e 392 m. Dai correntometri del tipo Aanderaa sono state ottenute serie temporali di velocità (componenti E-O e N-S) con tempo di campionamento di 30 minuti. Il correntometro del tipo ADCP ha fornito serie temporali di velocità (componenti E-O, N-S e verticale) lungo un profilo discreto di profondità (1

dato ogni 8 m) per un totale di 240 m.

L'indagine idrologica ha avuto luogo dal 20 al 28 Aprile 1991 ed è consistita di 70 stazioni disposte su tutto il Mar Ligure (Fig. 1). I dati, acquisiti da una sonda multiparametrica Neil Brown Mark III, sono stati sottoposti ad un'accurata analisi preliminare presso la Stazione Oceanografica e da questi sono stati ricavati profili verticali di temperatura, salinità e ossigeno. Mediante procedure standard si sono ricavate mappe oggettive delle distribuzioni dei vari parametri lungo sezioni orizzontali e verticali. Mediante semplici calcoli geostrofici si è determinato il trasporto totale attraverso le due sezioni estreme del Mar Ligure (Fig. 1 sezioni A e B) e quindi la quantità di acqua in ingresso ed uscita dal bacino in quel periodo.

3. RISULTATI

3.1. Misure di corrente

Nella figura 2 viene rappresentata l'evoluzione temporale delle correnti nel Canale di Corsica a cinque diversi livelli di profondità per il periodo Novembre 1990-Novembre 1991.I dati sono stati sottoposti ad un filtro passa-basso per rimuovere le oscillazioni inferiori a 168 ore e sono state ricostruite nuove serie con intervallo temporale di 48 ore. A tutti i livelli la corrente è massima e diretta prevalentemente verso Nord nel periodo invernale-primaverile. Più precisamente si osserva una brusca intensificazione della dinamica verso la fine di Novembre che si mantiene fino a metà Dicembre; dopo questo periodo la corrente, mantenendo la direzione Sud-Nord, diminuisce progressivamente la sua intensità fino al mese di Marzo, quando inizia nuovamente ad aumentare più o meno progressivamente a seconda del livello di profondità e continua ad oscillare fino alla metà di Giugno. Da Giugno in poi si raggiungono i valori minimi e, con l'eccezione del livello più superficiale, gli scambi, nella posizione della catena, avvengono verso Sud.

Nella figura 3 vengono rappresentati il trasporto totale, superficiale (0-200 m, acqua atlantica) ed intermedio (200-450 m, acqua levantina) attraverso il canale in direzione Sud-Nord. Il maggior contributo al trasporto totale proviene dallo strato superficiale. Estraendo dalle serie originarie delle velocità i dati relativi al solo mese di Aprile 1991 è stato stimato un trasporto totale di circa 0.71 Sv (1 Sv = 10^6 m^3 sec^{-1}), del quale 0.53 Sv nello strato superficiale e 0.18 Sv in quello sottostante.

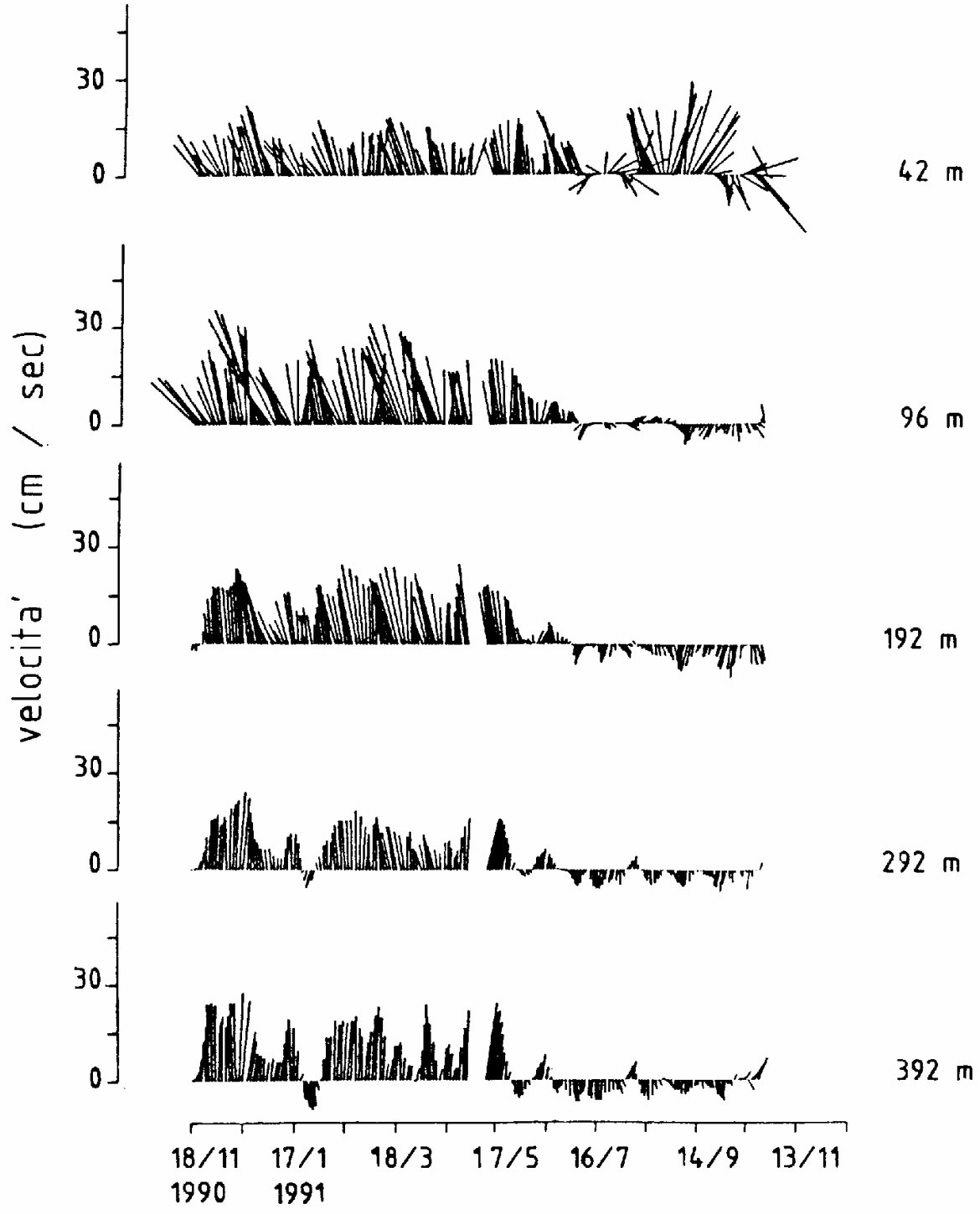


Fig. 2 - Corrente Tirrenica nel Canale di Corsica a cinque livelli di profondità.

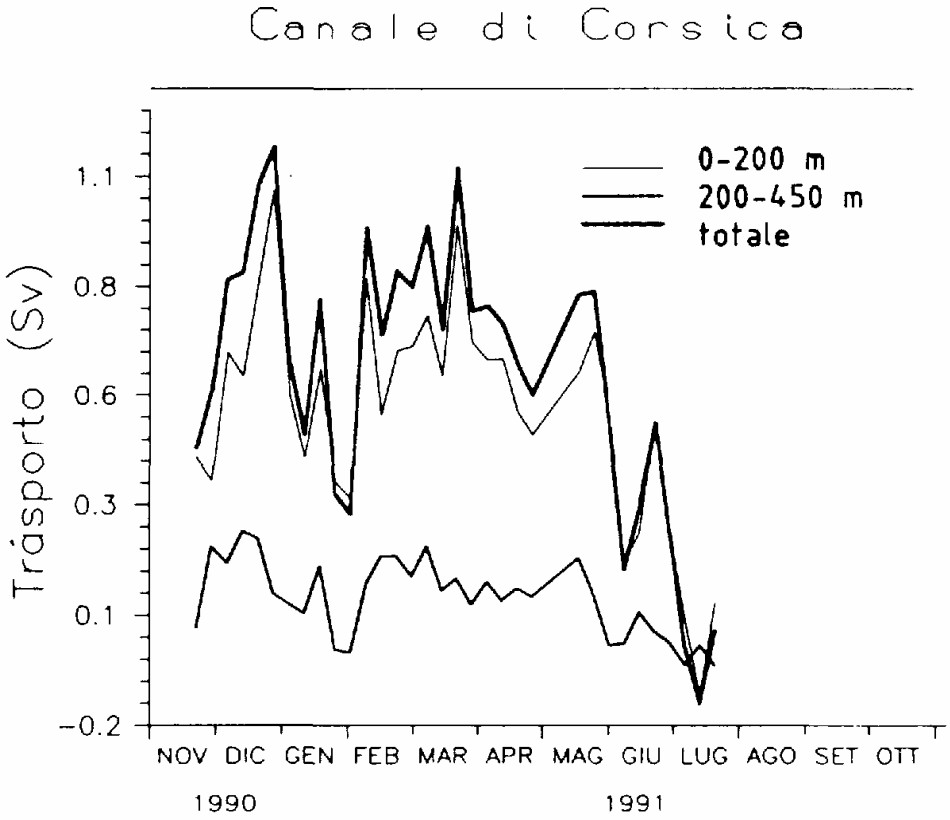


Fig. 3 - Trasporto nel Canale di Corsica determinato a partire da misure di corrente.

3.2. Misure ideologiche

Le figure 4a e b mostrano la distribuzione della temperatura e della salinità nello strato superficiale. Esse indicano che due correnti, con caratteristiche termoaline differenti, confluiscono nel Mar Ligure rispettivamente dal Mar Tirreno e dal versante occidentale della Corsica. I due flussi danno luogo ad una corrente che si sviluppa lungo la piattaforma ligure e procede in direzione della Francia. Nel corso del suo tragitto questa corrente segue l'andamento della piattaforma continentale, assottigliandosi mentre procede verso ovest. Contemporaneamente si può osservare un fronte sempre più marcato, che la separa dalla circolazione al largo. La distanza del fronte dalla costa è circa 60 km di fronte a Genova e circa 30 km di fronte a Capo Mele. Questa osservazione è confermata dalle sezioni verticali della temperatura (Fig. 5a) e della salinità (Fig. 5b) agli estremi del Mar Ligure.

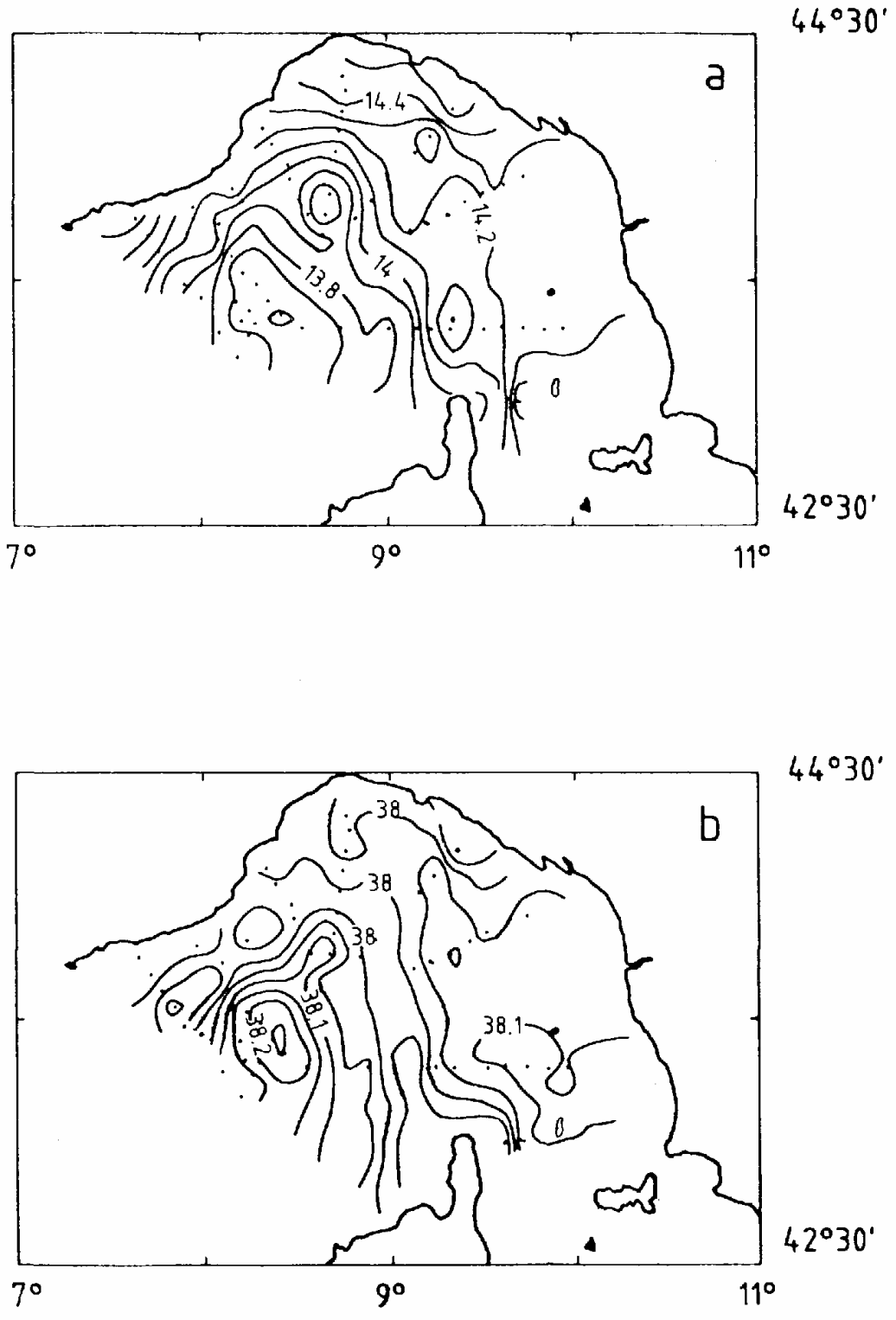


Fig. 4 - Distribuzione orizzontale della temperatura (a) e della salinità (b) nel mese di Aprile 1991. L'intervallo tra le isolinee è 0.1°C per la temperatura (a) e 0.05ppt per la salinità (b).

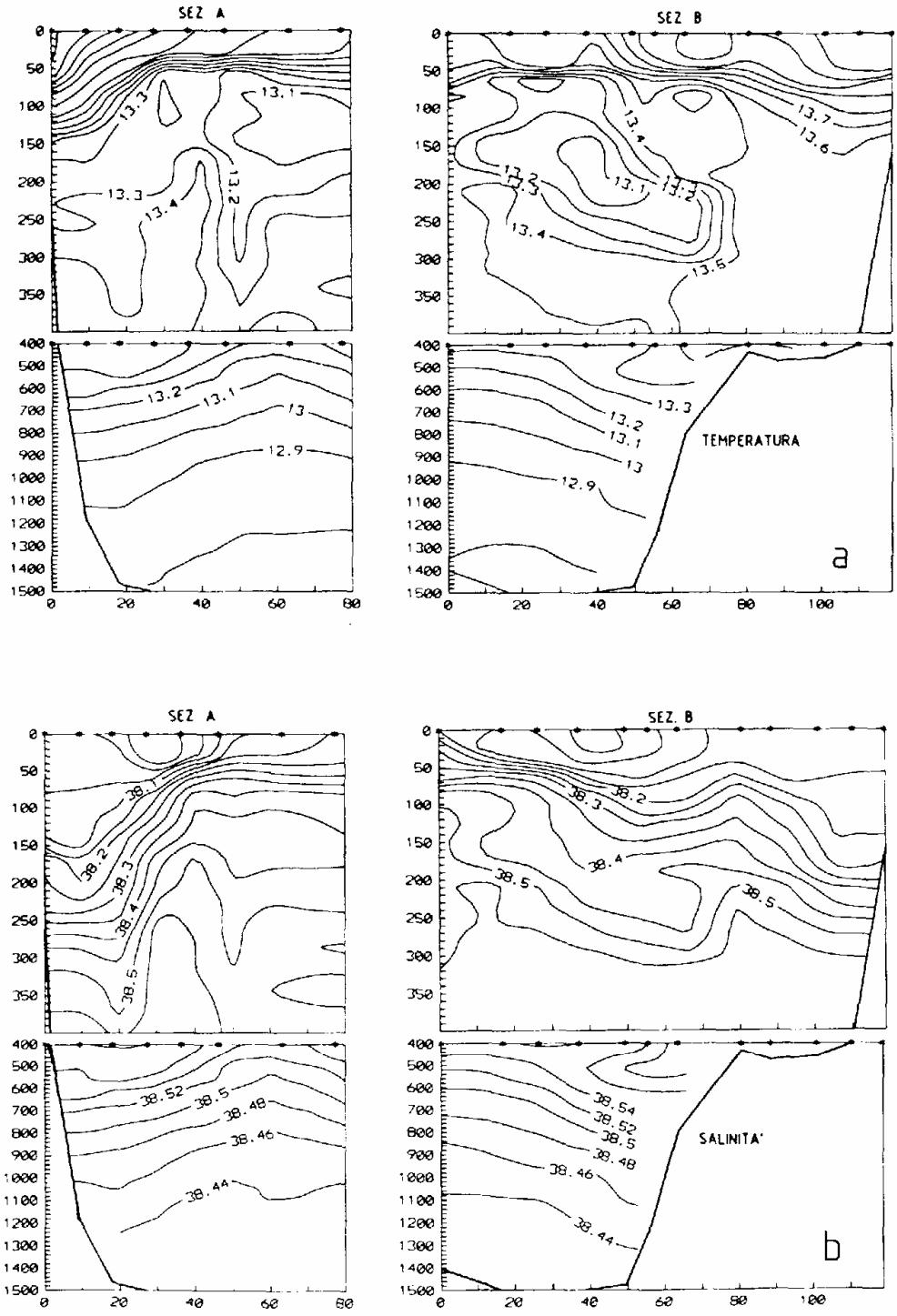


Fig. 5 - Distribuzione verticale della temperatura (a) e della salinità (b) lungo le sezioni A e B di figura 1.

La circolazione al largo è invece dominata da una risalita di acque più fredde e salate, come risulta anche dalla figura 5. L'analisi della struttura termica verticale ha evidenziato in questa area uno strato mescolato di circa 40-50 m ed un termoclino attorno ai 60 m.

Di particolare interesse è risultata la sezione C al largo di Genova (Fig. 6), in cui al di sotto della normale struttura stagionale, si è osservata una bolla di acqua differenziata dalla massa circostante per i minori valori di temperatura e salinità e maggior contenuto di ossigeno disciolto. Questo fa supporre l'origine superficiale della bolla ed il suo successivo sprofondamento causato da un forte raffreddamento superficiale

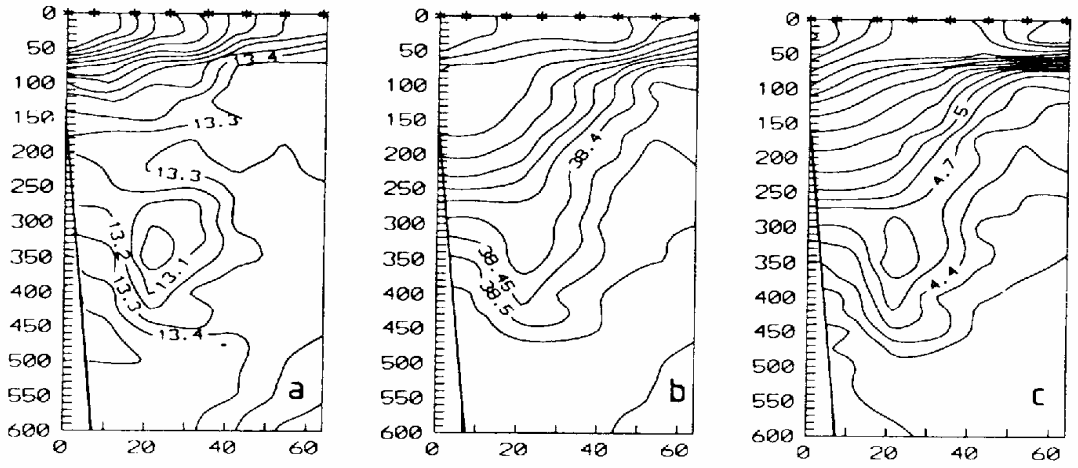


Fig. 6 - Distribuzione verticale della temperatura potenziale (a), della salinità (b) e dell'ossigeno disciolto (c) lungo la sezione C di figura 1.

Mediante calcoli geostrofici è stato stimato il trasporto totale all'ingresso e all'uscita del Mar Ligure (Fig. 7). Da questi calcoli è stato ricavato un trasporto totale attraverso il Canale di Corsica di 0.59 Sv, un valore che concorda con quello ottenuto dalle misure di corrente, nei limiti concessi dalle differenze dei metodi di calcolo utilizzati. In totale, considerando anche il contributo della corrente ad ovest della Corsica, il trasporto all'ingresso del Mar Ligure è risultato di 1.26 Sv, in buon accordo numerico col trasporto ottenuto all'uscita (1.30 Sv).

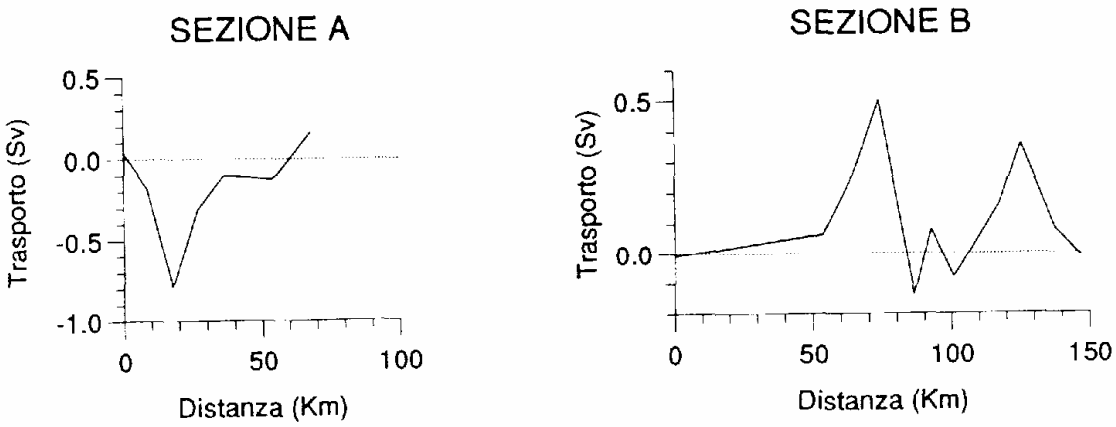


Fig. 7 - Trasporto totale attraverso le sezioni A e B determinato mediante calcoli geostrofici (livello di riferimento 1000 m). Valori positivi indicano flussi entranti nel mar Ligure.

4. CONCLUSIONE E DISCUSSIONE

I risultati delle indagini idrologica e correntometrica nel Mar Ligure concordano con lo schema di circolazione ormai ben delineato dai molteplici studi effettuati nell'area (Stocchino & Testoni, 1977; Bethoux et al., 1982; Taupier-Letage & Millot, 1986; Astraldi & Gasparini, 1992). La circolazione generale del Mar Ligure è di tipo ciclonico, sia nello strato superficiale di origine atlantica che in quello intermedio di origine levantina. Le osservazioni sperimentali e le simulazioni numeriche indicano che le fenomenologie principali dell'intero bacino Liguro-Provenzale hanno una caratterizzazione stagionale. In particolare, durante l'inverno vengono innescati intensi moti verticali come conseguenza dei processi di interazione aria-mare indotti dagli eventi di Mistral (MEDOC Group, 1970; Bunker, 1972). In quest'ottica può essere interpretata l'osservazione al largo di Genova di una bolla di acqua più fredda e meno salata rispetto alle acque circostanti. E' ragionevole supporre che la bolla si sia originata in superficie a seguito di qualche evento meteorologico locale, e sia successivamente sprofondata fino a raggiungere l'equilibrio.

Le due correnti costiere, provenienti l'una dalla parte nord-occidentale della Corsica (Corrente Corsa Occidentale), l'altra dal Canale di Corsica (Corrente Tirrenica), si incontrano all'uscita del Canale e, dopo un'interazione turbolenta (Santoleri et al., 1983; Marullo et al., 1985), si uniscono a formare la Corrente Liguro-Provenzale che fluisce verso ovest lungo la scarpata continentale ligure e francese. In particolare il flusso della Corrente Tirrenica è maggiore nelle stagioni invernale e primaverile, mentre si interrompe durante l'estate e l'autunno, quindi questa corrente risulta soggetta ad una forte variazione stagionale.

Un fronte ben marcato separa la corrente costiera dalle masse fredde situate all'interno del bacino. In corrispondenza di questo fronte è stata osservata, il 23 Aprile 1991, a circa 25 miglia al largo di Imperia (43° 28'N - 8°E), la macchia di petrolio versata dalla petroliera Haven a seguito dell'incidente avvenuto l'11 Aprile. La macchia si presentava molto estesa e allungata parallelamente alla costa (almeno 10 miglia di lunghezza e 4 di larghezza). Le condizioni dinamiche del bacino hanno fatto sì che il petrolio versato in mare venisse trascinato verso le coste francesi, intrappolato nella zona frontale.

BIBLIOGRAFIA

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

Bethoux, J.P., L. Prieur & F. Nyffeler. 1982. The water circulation in the North-Western Mediterranean Sea; its relation with wind and atmospheric pressure. In *Hydrodynamics of semi-enclosed seas.* Ed. J.C. Nihoul, Elsevier Oceanography Series, Amsterdam: 129-148.

Bunker, A.F. 1972. Wintertime Interactions of Atmosphere with the Mediterranean sea. *J. Phys. Oceanogr., 2:* 225-238.

Marullo, S., E. Salusti & A. Viola. 1985. Observation of a small-scale baroclinic eddy in the Ligurian Sea. *Deep Sea Res.,* 32: 215-222.

MEDOC Group. 1970. Observation of formation of deep water in the Mediterranean sea. *Nature,* 227: 1037-1040.

Santoleri, R., E. Salusti & C. Stocchino. 1983. Hydrological current in the Ligurian Sea. *Nuovo Cimento,* 6: 353-370.

Stocchino, C. & A. Testoni. 1977. Nuove osservazioni sulla circolazione delle correnti nel Mar Ligure. *Istituto Idrografico della Marina di Genova,* F.C. 1076: 13 pp.

Taupier-Letage, I. & C. Millot. 1986. General hydrodynamical features in the Ligurian Sea inferred from the DYOME experiment. *Oceanol. Acta,* 9(2): 119-131.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L.
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da pag. 97 a pag. 106

SILT-SIZED HEAVY MINERAL ANALYSES AS A TOOL POR STUDYING PROVENANCE AND DISPERSION OF FINE SEDIMENTS: AN APPLICATION TO THE NORTHERN ADRIATIC SEA

Andrea BARBANTI*, Judith A. COMMEAU** and Franca FRASCARI*

* Istituto per la Geologia Marina - CNR, Bologna
** U.S. Geological Survey, Woods Hole, MA, USA

RIASSUNTO

Viene presentato un metodo che consente di investigare provenienza ed ambiente deposizionale dei sedimenti mediante lo studio dei minerali pesanti contenuti nella frazione siltosa. Il metodo utilizza sodiopolitungstato come liquido pesante ed un sistema SEM/EDS/AIA per la separazione dei minerali, la misura delle particelle e la loro analisi composizionale. Questo metodo e' stato applicato a sedimenti provenienti da un'area dell'Adriatico centro-settentrionale antistante il delta del Po e la costa emiliano-romagnola. La frazione sedimentaria compresa fra 2 e 63 µm contiene minerali pesanti per il 4-6%. Fra questi, le macroclassi "cloriti" ed "anfiboli/pirosseni" rappresentano il 45-50% del numero totale di particelle. Altre macroclassi abbondanti sono: "ossidi di Ti" (6-15%), "ossidi/carbonati di Fe" (2-10%), "silicati di Ca/Al" (epidoti) (3-13%), "silicati di Fe/Al" (staurolite, almandino) (4-10%). L'analisi dei patterns di distribuzione ha evidenziato 3 aree principali, che si differenziano in base a: a) provenienza dal fiume Po o dai fiumi emiliano-romagnoli, per una diversa caratterizzazione mineralogica delle due fonti; b) distanza dalla costa, a causa della graduale diminuzione di energia agente sul fondale verso il centro del bacino.

INTRODUCTION

Heavy minerals have been widely used in the recent past to study sources and dispersion patterns of sediments, both in present environments and within paleogeographic reconstructions (Van Andel, 1959; Komar et al., 1989). These studies were conducted on the sandy fraction of sediments, due to the difficulties in dispersing or wetting fine particles in organic heavy liquids and in classifying the .minerals by means of petrographic microscopes. The above difficulties hindered the application of the heavy mineral approach to low energy depositional environments with clayey-silty sediments. In this manuscript a method recently developed at the U.S. Geological Survey (Commeau et al., 1992) is presented. Through this method silt-sized heavy minerals can he isolated and determined. The application of the approach to an area presently dominated by fine sedimentation (Mid-Northern Adriatic Sea) is also presented. Aim of the application is to briefly illustrate the usefulness and the potentiality of the method. Other examples recentlv published regard shelf, slope and rise along the U.S. east coast (Poppe et al., 1991; Poppe & Commeau, 1992).

2. METHOD DESCRIPTION

Peculiar aspects of the method are: a) the use of a non-toxic heavy liquid (polytungstate), to accomplish the separation between light and heavy minerals (Callahan, 1987); b) the determination of mineral species by means of a system which integrates a scannig electron microscope, an energy-dispersive x-ray spectrometer and an automatic image analyzer. The sample is first wet treated to separate the silt-sized fraction (from 2 or 4 to 63 μm) (Fig. 1). The heavy fraction, (specific gravity >2.85 g cm^{-1}), is then separated out. A subsample of heavy mineral grains is mounted on a carbon mount for SEM-EDS analysis. The system used consists of: an Etec Autoscan, Model U-1, SEM; a Kevex 7000 EDS system equipped with a conventional beryllium window detector; a LeMont Scientific AIA unit. The SEM electron brush scans the area of interest, the AIA measures particles dimensions (area, mean diameter, lenght, width, perimeter), the EDS collects the x-ray spectrum from the center of each particle, identifies spectrum peaks and calculates interelement peak ratios. The chemical composition of each particle is checked with respect to a database, where a number of macroclasses and their definition criteria are memorized. Table 1 reports the list of macroclasses singled out for the analysis of the Adriatic Sea samples. It has to be noted that in most cases a single macroclass includes several minerals. Such minerals have different crystallographic features but similar chemical composition and this limits the System in performing a more precise classification. In these cases, and most significantly for the amphybole/pyroxene/tourmaline macroclass, a further distinction can be performed by analysing an aliquot of the heavy mineral subsample through x-ray diffraction. The "unknown" macroclass contains all the particles whose chemical composition does not fit the belonging conditions of any other macroclass: it is given mainly by rock fragments.

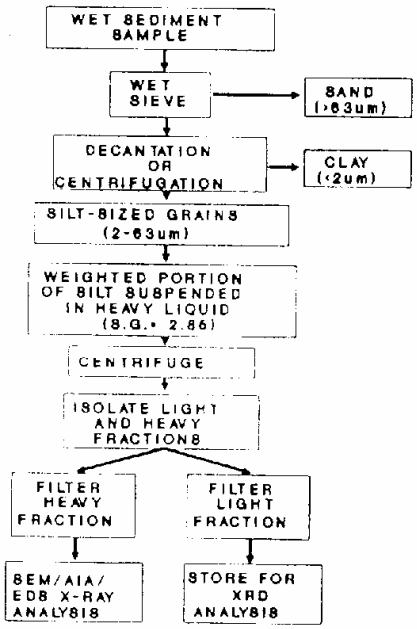


Fig. 1 - Scheme outlining the procedure used for grain-size and heavy mineral separation.

3. APPLICATION TO ADRIATIC SEA SEDIMENTS

The above method was applied on 12 surficial sediment samples (0-2 cm), collected during September 1989 in the Mid-Northern Adriatic Sea (Fig. 2). The basin, narrow and shallow (average depth of the mid-northern sub-basin is 40 meters), receives about 2500 m^3 s^{-1} of freshwater from the italian rivers, among which the Po river is the far most important. Offshore the littoral sands, a mud belt contours the coast up to a waterdepth of 20 to 30 meters. The central part of the basin is occupied mainly by relict sands and muddy sands from the holocene transgression. Past studies on heavy minerals distribution patterns (Pigorini, 1968; Gazzi et al, 1973) agreed in recognizing the sediments from the Po river for their high contents of horneblende, epidote and garnet. On the contrary, provenances from the northern venetian rivers are characterized mainly by augite, eroded from the Trentino porphyries. From the Po delta southward, Gazzi and coll, found higher percentages of highly stable heavy minerals (garnet, rutile-zircon-tourmaline); such minerals reflect the higher compositional maturity of the sediments making up the Marnoso-Arenacea formation, eroded by the Emilia-Romagna rivers.

Heavy mineral contents are interpreted as due to: a) provenance from different sources: b) grain-size sorting. Postdepositional dissolution or authigenic processes are considered not relevant. Neverthless, the former process can have impoverished the sediment, and mostly the relict sands, in some unstable minerals (e.g. apatite, slaurolite, augite).

Weight percentages of silt-sized heavy minerals are quite homogeneous through the studied area (Fig. 2), but still evidence enrichments within two distinct belts: the first one off and southward the Po delta, the second one in the eastern zone. The coastal enrichment evidences the heavy mineral contribute from the Po river. In the eastern area, where a decrease should he expected due to the lower energy on the bottom, the increase can be related to contributes from the relict sands. The main samples composition is reported in table 1 as population percent. The sum of macroclasses "Chlor" and "NaCaMgSil" makes up about 45% of each sample. Other macroclasses significantly present are: "TiOx", "FeOxCar", "CaAJSil", "FeAlSil". Most of the particles classified as "NACaMgSil" are probably given by horneblende, based on the data of Gazzi and coll. (1973) and Pigorini (1968).

Three main heavy mineral distribution patterns can be distinguished; they are illustrated in figure 3.

Pattern 1 (Fig. 3a): TiOx, FeAlSil.

The highest concentrations are located in the southern zone, off the Emilia-Romagna coast. This evidence suggests a significant input from the appennine rivers. The local input of garnet is overimposed on the already high padane contribute. TiOx grains result to be more easily dispersed offshore, due to their small dimensions (mean diameter = 2-4 μm).

Pattern 2 (Fig. 3b): NaCaMgSil, CaAISil, CaTiSil.

The provenance of such minerals from the Po watershed is evidenced by the decreasing contents from the delta area toward east/south-east.

Pattern 3 (Fig. 3c): Chlor, KA1Sil1, FeOxCar.

The distribution pattern of the above minerals is mainly determined by their fiat shape (Fe oxides are represented by a micaceous variety of hematite, widely diffused in alpine rocks) and, for chlorite and biotite, by their low specific gravity. Such features cause percent population contents to increase offshore, where bottom dynamic is less intense.

About 500 particles per sample are scanned and analysed. The final print-outs contain the abundances of each macroclass, both in terms of percent population (number of particles attributed on the total counted) and percent weight (weight of the macroclass particles on the total weight). The latter parameter is obtained by calculating the volume of each particle considered as a prolate spheroid and by attributing to each macroclass the relevant average specific gravity. Moreover, percent populations and weights are split in grain-size classes, based on their mean diameter. Beside the knowledge of the overall abundancy of a mineral, it is thus possible to interpret the meaning of mineral dimensions and mineral size variations within the studied area.

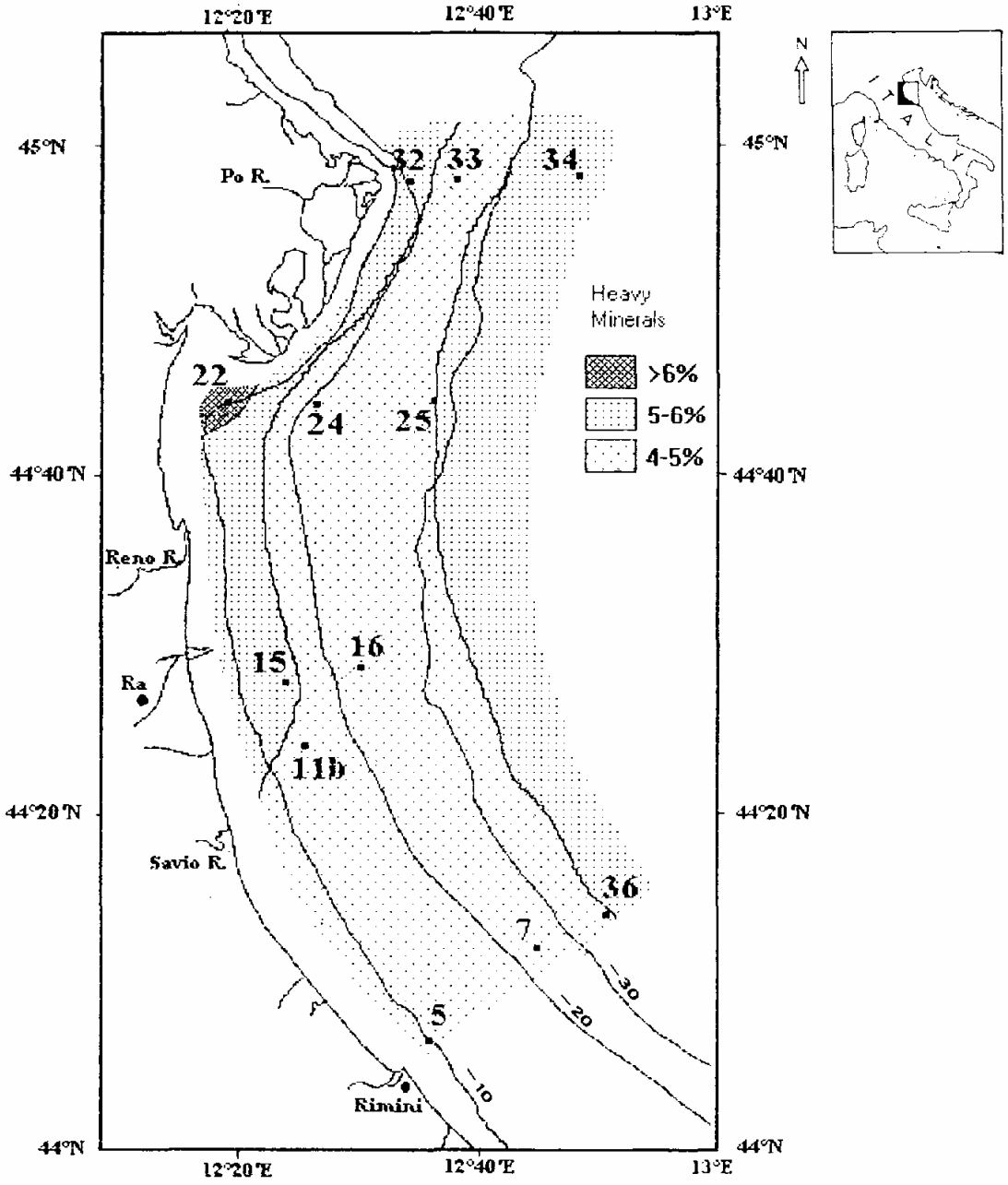


Fig. 2 - Samples location and heavy mineral weight percent on the silt fraction.

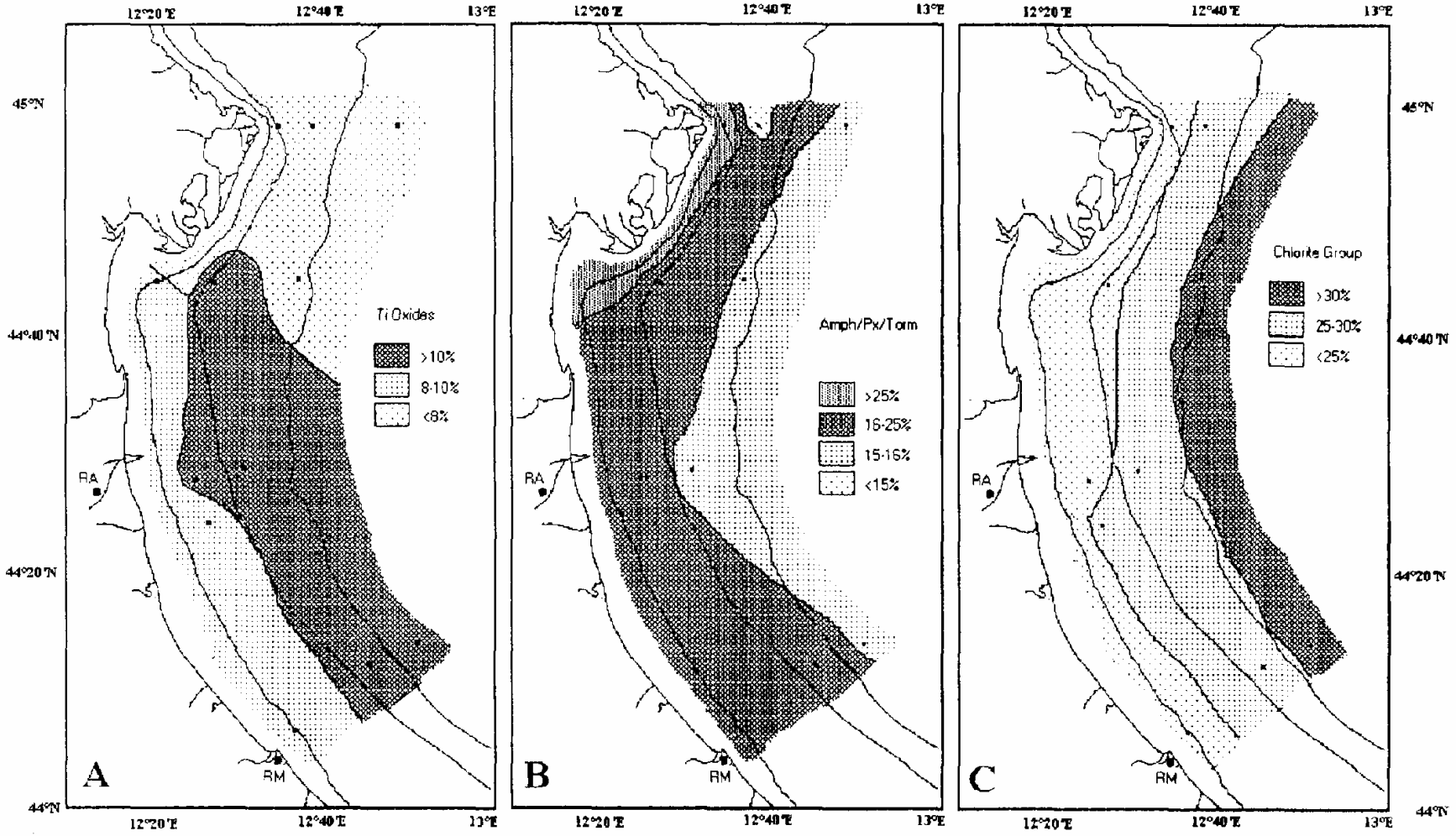


Fig. 3 - Distribution patterns of macroclasses "TiOx", "NaCaMgSil" and "Chlor" as percent population.

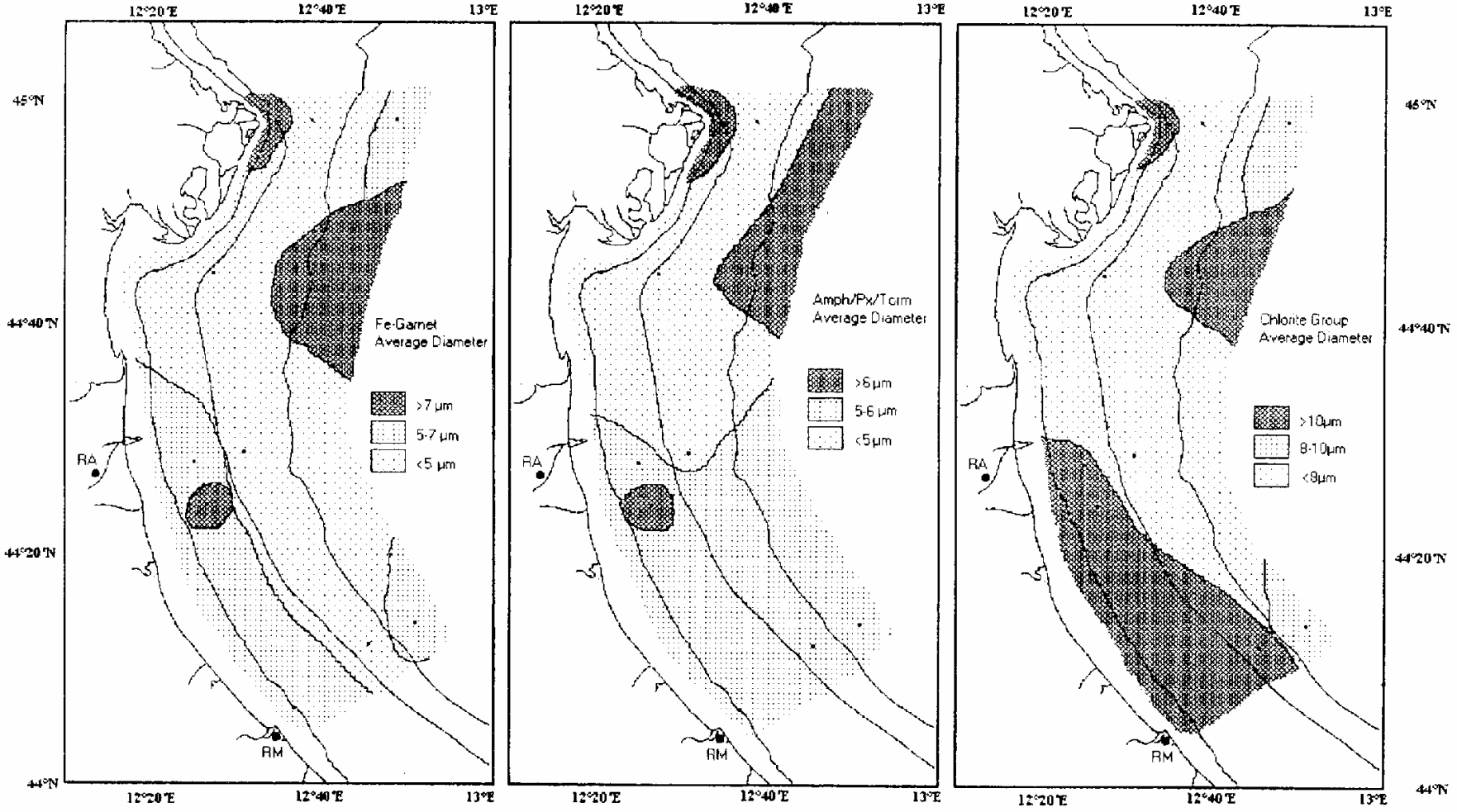


Fig. 4 - Distribution patterns of average diameters in macroclasses "FcAlSil", "NaCaMgSil" and "Chlor".

The analysis of the areal distributions of mineral mean diameters furnishes important information both on dynamic dispersion forces and on sediment sources. As a general rule, the dimensions of a mineral should decrease going away from its source; in case size increases are detected, they have to be attributed either to a new source (which not necesserely reflects in an increase of the total content of the mineral) or to an increase in the mean energy on the bottom. The patterns of most minerals, some of which are presented in figure 4, show high values near the main Po mouth, followed by lower values east- and southward. Values increase again in the most eastern part and in the coastal area south of the Reno river mouth. If the grain-size spectra along west-cast transects (Fig. 5) are observed, it becomes evident that, in most cases, moving from the sample dose to the coast to the one immediately eastward, the fine grains (<4 μm) increase as expected. On the contrary, in the most eastern sample this trend reverses and coarse grains (4-8, 8-16, 16-32 μm) become more abundant. These dimensional increases toward offshore are a further evidence of heavy mineral contributes from the residual Holocene deposits, probably caused by resuspension events. The increases in the coastal southern area have to be related both on inputs from the appennine rivers, and on the higher energy at the bottom. In fact, the Po delta protuberance is less effective in protecting this area from the storms coming from the north.
Within the overall frame above illustrated, two anomalies are present and are revealed by heavy mineral sizes. The first one is represented by sample E89S-22 and evidences a protected area located immediately southward the Po delta. All the heavy minerals show in this sample dimensions smaller than the averages. The second one is represented by sample E89S-llb and is a positive anomaly (high diameters). It has to be related to well drilling activities for hydrocarbon research, although no barite has been detected.

4. CONCLUSIONS

Main conclusions of this research can be summarized as follows:
a) the illustrated method resulted to be sensitive and able to furnish confirmations and original contributes on the provenance and dispersion of silt-containing sediments;
b) in the frame of an overall padane provenance of the sediment under study, the specific contributes of the Po river, the Emilia-Romagna rivers and the residual holocene deposits have been singled out;
e) bottom dynamic resulted to be a critical factor in determining sediment distribution; in particular it was evidenced:
- the sediment dispersion toward south/south-east;
- the contributes from silty grains, probably resuspended from the outer residual deposits;
- the protected area south the delta;
- the eastern dispersion and selective sorting of heavy minerals with low hydraulic comptence, due to their shape and specific gravity.

ACKNOWLEDGMENTS

A. Barbanti was supported by a CNR grant (203.05.13). Special thanks to M. Bothner and L. Poppe, who offered their collaboration during preliminary and laboratory work.

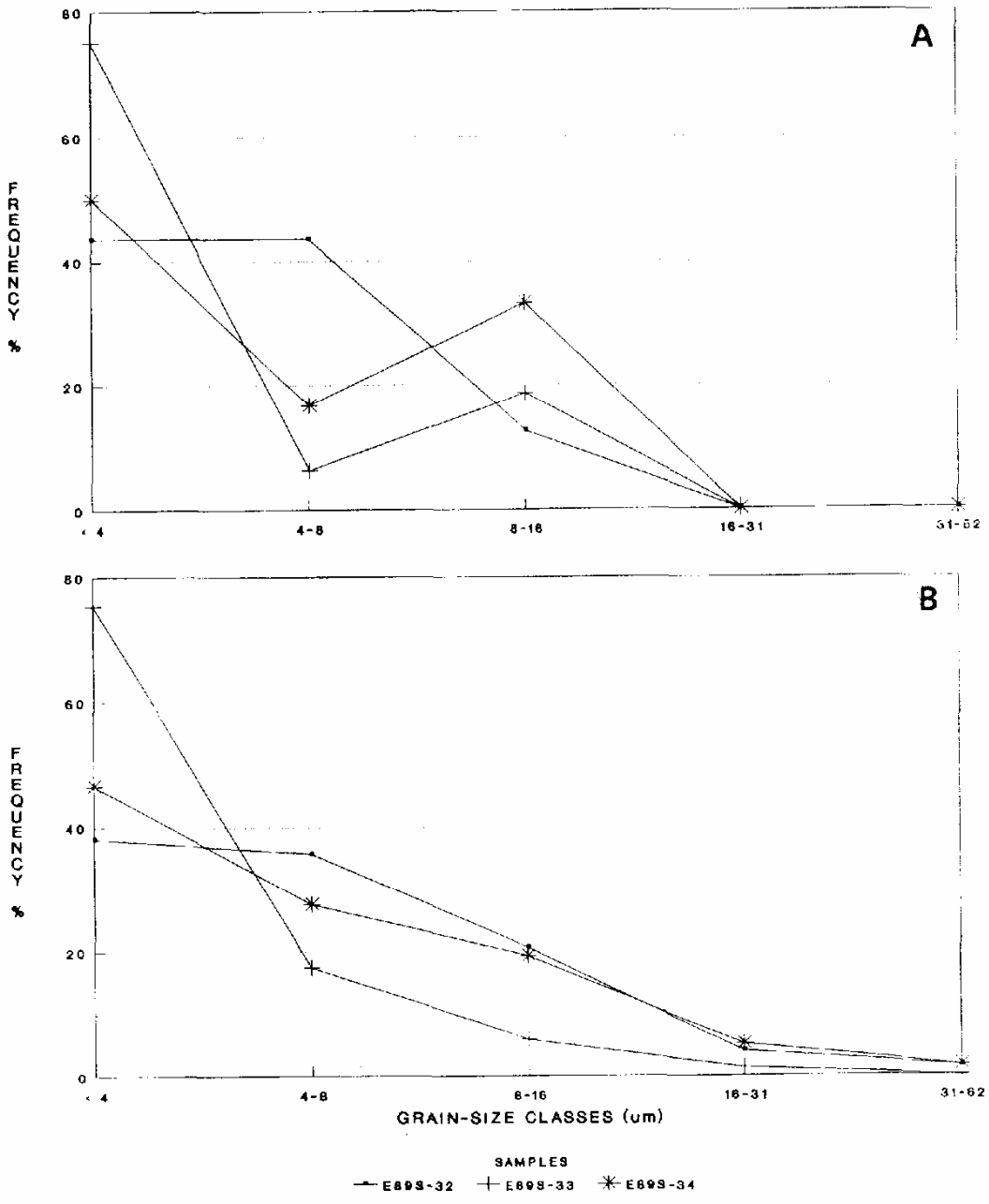


Fig. 5 - Grain-size spectra of macroclasses "CaTiSil" (A) and "NaCaMgSil" (B) along transect E89S-32/33/34.

		SAMPLE											
LABEL	MAIN MINERALS	E89S5	E89S7	E89S11B	E89S15	E89S16	E89S22	E89S24	E89S25	E89S32	E89S33	E89S34	E89S36
TiOx	rutile/anatase/brookite/leucoxene	9.05	10.76	8.91	10.29	14.92	8.09	10.38	6.72	7.13	7.19	7.38	10.30
FeTiOx	ilmenite	3.62	1.76	3.10	3.11	3.10	1.66	3.59	3.26	2.21	4.19	3.00	3.17
CaTiSil	sphene	3.22	2.93	2.52	2.33	2.51	3.12	2.39	2.21	3.93	3.20	1.65	2.97
MgCar	magnesite	0.00	0.19	0.00	0.00	0.19	0.21	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AlOx	corundum	0.20	0.00	0.39	0.19	0.00	0.41	0.20	0.20	0.73	0.39	1.09	0.00
FeOxCar	magnetite/hematite/goethite/sider	3.42	3.71	2.32	2.53	3.86	5.18	4.79	5.81	3.20	10.38	5.74	1.78
SiOx	quartz	0.60	1.57	0.97	0.78	1.16	0.83	1.00	0.20	0.24	0.39	1.09	0.59
ZrSiOx	zircon	0.40	0.19	0.77	0.00	0.19	0.83	0.60	0.00	0.73	0.20	1.09	0.39
CaP	apatite/monazite/vivianite	2.81	3.13	3.29	2.33	3.09	2.69	2.39	2.00	2.45	1.19	2.18	1.59
BaSulp	barite	0.00	0.00	0.00	0.19	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeSulp	pyrite	4.43	1.37	3.68	5.05	3.86	3.94	3.79	2.81	2.70	2.79	1.37	2.77
CuSulp	calcopyrite	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnSulp	sfalerite	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00
CaAlSil	epidote	3.82	3.13	4.27	4.86	3.28	7.26	5.19	4.41	13.02	5.39	3.83	4.36
CaFeSil	andradite	0.20	0.00	0.58	0.59	0.19	0.20	1.20	0.40	1.48	0.20	0.28	0.39
CaFeCar	ankerite	4.83	1.61	4.07	2.33	1.16	2.49	1.20	1.80	0.98	1.00	0.82	1.78
FeAlSil	Fe-garnet/staurolite	9.46	5.67	5.62	8.74	9.27	6.22	7.99	7.01	3.93	6.98	5.18	9.70
AlSil	sillimanite/andalusite/kyanite	0.20	1.37	1.36	0.78	0.39	0.00	0.40	1.61	1.97	0.60	3.00	0.79
TiFeSiOx	Fe-stained quartz	1.61	2.74	0.58	0.97	2.32	1.04	1.79	1.40	1.23	1.60	0.28	1.98
Chlor	chlorite group	23.74	28.96	25.97	22.91	26.06	21.99	23.56	32.46	16.95	28.74	30.60	31.09
NaCaMgSil	amphiboles/pyroxenes/tourmaline	17.70	18.78	18.61	19.03	15.06	26.15	20.56	15.43	30.96	13.77	15.84	15.44
KAlSil1	phillosilicate - biotite	3.62	6.66	4.84	3.69	2.70	1.45	3.20	4.21	1.72	3.00	8.47	4.16
KAlSil2	phillosilicate - muscovite/lepido	0.20	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.55	0.00
MgAlOx	spinel	0.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00
FeMnOx	ferromanganese	0.00	0.00	0.39	0.00	0.00	0.21	0.00	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00
Misc.	rock fragments/other/altered grai	3.42	2.54	3.68	6.60	4.83	2.28	4.39	5.81	2.70	5.59	5.18	3.36
MgAlCrFeOx	cromite/ercinite	0.20	0.39	0.00	0.00	0.19	0.20	0.80	0.39	0.00	0.80	1.09	0.40
FeCaMgMnCar	mixed carbonates	1.21	1.76	3.68	1.94	1.54	3.53	0.40	1.20	1.23	1.40	0.28	2.77
TiSiOx	rutile+quartz	1.21	0.78	0.00	0.78	0.58	0.00	0.00	0.39	0.24	0.60	0.00	0.20

Tab. 1 - List of macroclasses and samples composition as percent population.

REFERENCES

Callahan, J.. 1987. A nontoxic heavy liquid and inexpensive filters for separation of mineral grains. *J. Sedim. Petrol.,* 57(4): 765-766.

Commeau, J.A., L.J. Poppe & R.F. Commeau. 1992. Separation and identification of the silt-sized heavy mineral fraction in marine sediments. *U.S. Geol. Surv. Circ. 1071:* 13 pp.

Gazzi, P., G.G. Zuffa, G. Gandolfi & L. Paganelli. 1973. Provenienza e dispersione litoranea delle sabbie delle spiagge adriatiche fra le foci dell'Isonzo e del Foglia: inquadramento regionale. *Mem. Soc. Geol. Il,* 12: 1-37.

Komar, P.D., K.E. Clemens, Z. Li & S. Shih. 1989. The effects of selective sorting on factor analyses of heavy mineral assemblages. /. *Sedim. Petrol.,* 59(4): 590-596.

Pigorini, B.. 1968. Sources and dispersion of recent sediments of the Adriatic Sea. *Mar. Geol., 6:* 187-229.

Poppe, L.J. & J.A. Commeau. 1992. Mineralogy of the silt fraction in surficial sediments from the United States mid-Atlantic shelf, slope and rise. *Mar. Geol.,* 103: 185-197.

Poppe, L.J., J.A. Commeau & P.C. Valentine. 1991. Mineralogy of the silt fraction in surficial sediments from the Outer Continental Shelf off southeastern New England.7. *Sedim. Petrol,* 61(1): 54-64.

Van Andel, TJ.H.. 1959. Reflections on the interpretation of heavy mineral analyses./. *Sedim. Petrol.,* 29(2): 153-163.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L.
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da pag, 107 a pag. 115

ECOZONAZIONE A FORAMINIFERI PLANCTONICI E PALEOCEANOGRAFIA DELL'ULTIMA DEGLACIAZIONE NEL MEDITERRANEO CENTRALE

Lucilia CAPOTONDI*, Alessandra ASIOLI** e Anna Maria BORSETTI*,

Istituto per la Geologia Marina del C.N.R., Bologna
** Istituto di Geologia, Paleontologia e Geografia, Università di Parma

SUMMARY

Six ecozones based on planktonic Foraminifera content, calibrated by ^{14}C dates and stable isotope stratigraphy, have been identified in the Central Mediterranean for the last deglacial period. The most recent knowledges, reached on the environmental parameters affecting the Foraminifera associations, allowed the paleoceanographic reconstruction for the area during the last 18 kyrs.

1. PREMESSA

Lo studio qualitativo e quantitativo delle associazioni a Foraminiferi planctonici presenti in 55 carote provenienti dal Mar Tirreno, Canale di Sicilia e Mare Adriatico (Fig. 1) ha permesso di ottenere una biostratigrafia ad alta risoluzione del tardo Pleistocene - Olocene per il Mediterraneo centrale.

E' infatti riconoscibile una successione di bioeventi strettamente collegata ai parametri ambientali (comparsa e/o scomparsa di specie, aumento e diminuzione di frequenza relativa) comune ai tre mari in base alla quale è stata istituita una successione di ecozone.

Le variazioni della composizione isotopica dell'ossigeno presente nei gusci carbonatici e le analisi radiometriche hanno permesso di datare tali bioeventi e relazionarli con le variazioni climatiche succedutesi durante gli ultimi 18000 anni.

Inoltre le recenti conoscenze circa i parametri che condizionano la distribuzione dei Foraminiferi planctonici (contenuto in ossigeno, tenore di salinità, disponibilità dei nutrienti, presenza della sostanza organica, profondità del picnoclino e del massimo di clorofilla) e le loro oscillazioni di frequenza hanno permesso di ricostruire la paleoceanografia relativa a questo intervallo di tempo.

2. DESCRIZIONE DELLE ECOZONE

Le ecozone vengono di seguito descritte in ordine stratigrafico in modo da

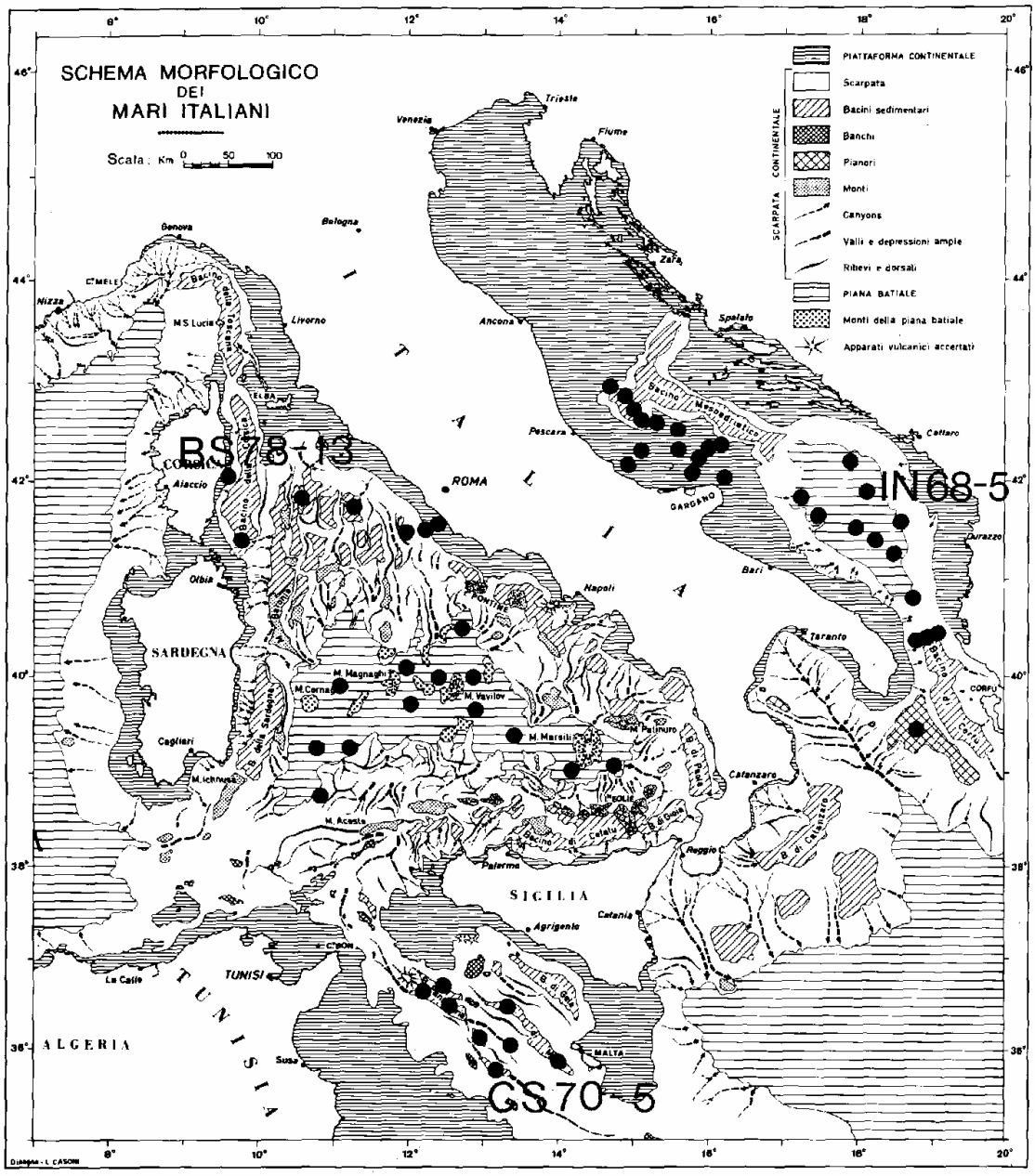


Fig. 1 - Ubicazione delle carote utilizzate per l'individuazione delle ecozone.

evidenziare più facilmente l'evoluzione paleoceanografica del Mediterraneo centrale durante l'ultima deglaciazione (dai 18000 anni all'attuale).

Ecozona 6 - II limite inferiore di questa ecozona è individuabile dalla scomparsa di *Globorotalia inflata* e *Globorotalia truncatulinoides* (Borsetti et al., 1992) e si caratterizza per presentare una microfauna costituita interamente da forme che prediligono condizioni di bassa temperatura sia a livello di masse d'acqua profonde *(Neogloboquadrina pachyderma* e *Globorotalia scitula)* che intermedie *(Globigerina bulloides)* che superficiali *(Globigerina quinqueloba).* Tali taxa infatti vengono indicati in bibliografia come appartenenti al gruppo polare e subpolare (Kipp, 1976; Bè & Tolderlund, 1971; Thunell, 1978; Kennett & Srinivasan, 1983; Dowsett & Poore, 1990). E' presente anche *Globigerinita glutinata,* specie abbastanza ubiquitaria nel Mediterraneo (Cifelli, 1974; Thunell, 1978) la cui distribuzione e variazioni di frequenza non è ancora ben relazionabile con qualche parametro ambientale.

Ecozona 5 - Questo intervallo si differenzia dal precedente per la ricomparsa di G. *infiala,* forma molto frequente attualmente nel bacino occidentale che sembra preferire un optimum di temperatura compreso tra i 14° e i 15° C (Thunell, 1978). Le altre specie presenti sono G. *truncatulinoides* e *Globigerinoides* ex gr. *ruber* mentre permangono, sia pure in bassa percentuale, tutte le specie della zona precedente.

Ecozona 4 - Si può riconoscere questo intervallo per una forte diminuzione di frequenza delle specie presenti nella ecozona sopra descritta e dall'aumento di forme indicatrici di acque fredde. Da sottolineare però che si osservano tre situazioni diverse per le tre aree considerate: nel Mar Tirreno si ha un forte aumento di G. *bulloides* (40%) (Capotondi et al.,1989), nel Canale di Sicilia di G. *quinqueloba* (50%) (Vergnaud Grazzini et al., 1988) e nel Mar Adriatico di *N. pachyderma* (80%) (Jorissen et al., 1993).

Ecozona 3 - In maniera molto graduale si passa ad una associazione costituita da forme carnivore e di acque superficiali quali G. *ruber ruber, Orbulina universa, Globigerina calida, Globigerina digitata, Globigerinoides tenellus, Globigerinella aequilateralis (* Bè e Tolderlund, 1971; Ruddiman, 1971; Thunell, 1978; Zachariasse et al., 1989; Pujol,1980; Vergnaud Grazzini et al., 1986).

Ecozona 2 - La peculiarità di questo intervallo è indubbiamente data dalla presenza di un caratteristico aumento di frequenza di *Globigerinoides trilobus* e di *Globigerinoides sacculifer* la cui distribuzione risulta essere fortemente dipendente dalla temperatura (Bè e Hutson, 1977; Zachariasse et al., 1989, Dowsett & Poore, 1990; Auras-Schudnagies et al., 1989)

Ecozona 1 - Tale zona corrisponde all'attuale associazione cioè: presenza di G. *inflata* e G. *truncatulinoides* (solo nel Mar Tirreno e nel Canale di Sicilia), associate a G. *bulloides, G. quinqueloba* e G. *ruber* gr.; assenza di G. *scitula* e N. *pachyderma.*

3. PALEOTEMPERATURA E CRONOLOGIA

Per il riconoscimento delle oscillazioni climatiche che si sono succedute nell'area in esame durante l'ultima deglaciazione sono state utilizzate due diverse metodologie. Il primo metodo adottato è quello micropaleontologico che consiste nel costruire una curva ottenuta facendo per ogni livello studiato la somma algebrica delle specie che prediligono le masse d'acqua temperato-calde, considerate positive, e quelle che prediligono le masse d'acqua fredde, considerate negative.

Un altro metodo è dato dall'analisi geochimica dei gusci dei Foraminiferi il cui tenore isotopico dell'ossigeno ($^{18}O/^{16}O$) è direttamente proporzionale alla temperatura della massa d'acqua nella quale sono vissuti. Riportando questi valori $\delta^{18}O$ per ogni campione in funzione della profondità si ottiene una curva le cui oscillazioni rappresentano le variazioni climatiche che si sono verificate nell'intervallo indagato. Inoltre poiché queste oscillazioni hanno anche valore stratigrafico il loro utilizzo permette di datare il sedimento in esame. Una ulteriore verifica dell'età è stata eseguita mediante datazioni ^{14}C su sedimento e datazioni AMS su Foraminiferi planctonici.

Il confronto delle curve paleoclimatiche (Fig. 2) con le datazioni radiometriche e la successione delle ecozone permette di effettuare le seguenti considerazioni. Dalla figura risulta evidente come gradualmente, in tutti e tre i bacini analizzati, da condizioni climatiche rigide, caratteristiche dei 18000 anni (ecozona 6), si passi gradualmente ad un riscaldamento (ecozona 5). Questo andamento viene interrotto attorno a 11000-10000 anni B.P. da un marcato raffreddamento noto in bibliografia come Younger Dryas (Bard et al., 1987; Bard et al.,1990; Fairbanks, 1989) (ecozona 4).

La ripresa della deglaciazione, corrispondente alla ecozona 3, si ha attorno ai 9000-8000 anni e coincide con un riscaldamento della massa d'acqua graduale e soprattutto a livello superficiale. Nella zona 2 si ha una leggera oscillazione prima negativa poi positiva che le datazioni radiometriche riconducono all'ultimo Ottimo Climatico (6000-5000 anni fa). Un leggero calo di temperatura si verifica in corrispondenza dell'ultima ecozona in cui si instaura l'attuale associazione a Foraminiferi planctonici.

4. ECOZONAZIONE E PALEOCEANOGRAFIA

Lo studio micropaleontologico delle associazioni a Foraminiferi planctonici e la geochimica degli isotopi stabili dell'ossigeno relativa ai loro gusci ha permesso di ricostruire la paleoceanografia del Mediterraneo centrale durante l'ultima deglaciazione. In particolare per le 6 ecozone individuate sono state riconosciute le seguenti situazioni oceanografiche.

Zona 6 - In corrispondenza dell'ultimo massimo glaciale, verificatosi 18000 anni fa,quando in tutta l'area si è avuto lo sviluppo di forme polari-subpolari, l'intera colonna d'acqua era a più bassa temperatura rispetto all'attuale, non stratificata e ricca di nutrienti.

Zona 5 - Con l'inizio della deglaciazione, circa a 15000 anni fa, l'innalzamento del livello marino è stato accompagnato da un maggiore apporto di acqua dolce che avrebbe

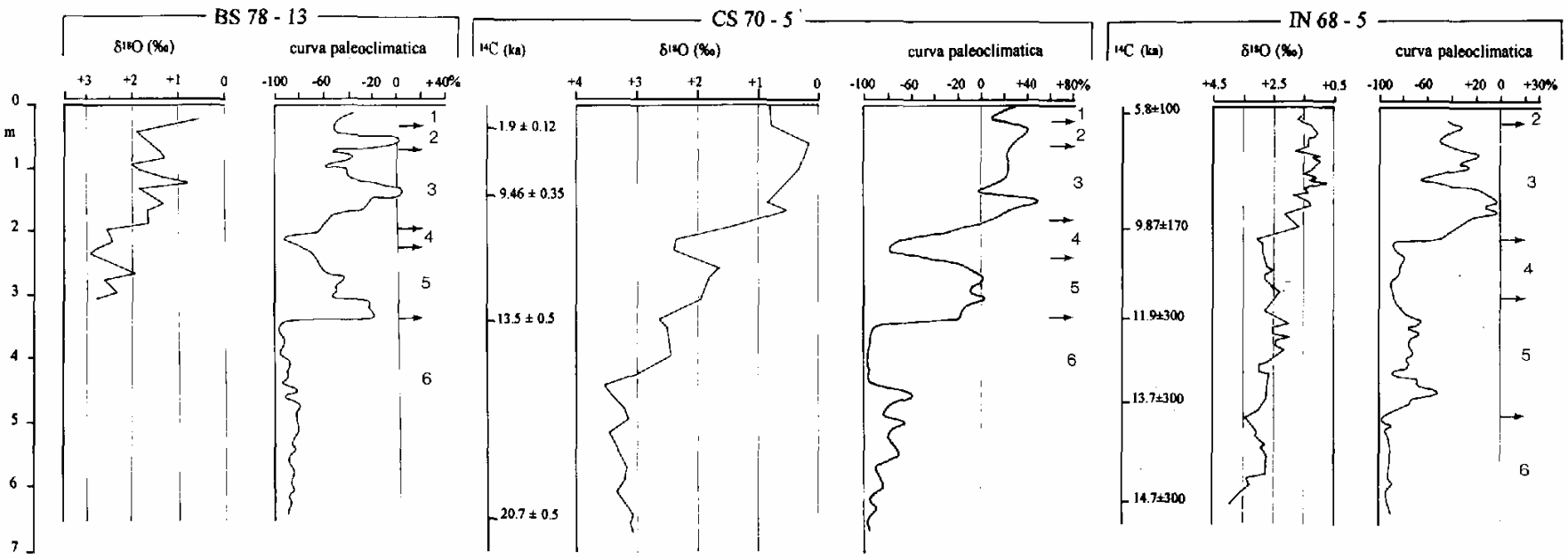


Fig. 2 - Datazioni ^{14}C, profili isotopici ($\delta^{18}O$ su *G. bulloides*) e curve paleoclimatiche di BS 78-13 (Mar Tirreno), CS 70-5 (Canale di Sicilia) e IN 68-5 (Sud Adriatico) (per l'ubicazione vedi Fig. 1).
La curva paleoclimatica è stata ottenuta sommando le specie ad affinità fredda (*G. bulloides*, *G. scitula*, *N. pachyderma*, *G. quinqueloba* e *G. glutinata*), considerate negative, a quelle ad affinità calda (*G.* gr. *ruber*, *G. trilobus*, *G. sacculifer*, *O. universa*, *G. calida* e *G. tenellus*), considerate positive. A fianco delle curve paleoclimatiche sono riportate le ecozone riconosciute (vedi testo).

causato un aumento dei nutrienti nelle acque superficiali e pertanto un aumento di fitoplancton. Si registra la comparsa di specie erbivore e di massa d'acqua temperata (*G. inflala* e *G. truncalulinoides)* con il persistere di *N. pachyderma* in buona percentuale. Tale associazione porta a supporre la presenza di un massimo di clorofilla profondo e ad un intenso upwelling nell'area (Reynolds & Thunell, 1986).

Zona 4 - Attorno ai 10000 anni, un episodio freddo e secco, lo Younger Dryas, arresta la deglaciazione. In questo intervallo di tempo aumenta lo scambio di acque atlantiche e mediterranee nello Stretto di Gibilterra (Abrantes, 1988) e si ha un conseguente arricchimento di nutrienti nelle acque superficiali (Minas et al, 1984).

La risposta a questo evento è registrata in modo diverso nei tre bacini: nel Canale di Sicilia si ha una elevata frequenza di G. *quinqueloba* a testimonianza di una maggiore influenza di acque atlantiche in quest'area rispetto al Mar Adriatico e al Mar Tirreno. In quest'ultimo si ha l'aumento di *G. bulloides* che fa ipotizzare l'instaurarsi di una stratificazione delle acque con conseguente diminuzione del tenore di ossigeno sul fondo. Nel Mar Adriatico l'elevatissima frequenza di *N. pachyderma* (specie di masse d'acqua profonda) testimonia la formazione di acque profonde e dense.

Zona 3 - A circa 9000 anni in tutto il Mediterraneo centrale si ha una associazione dominata da specie carnivore e l'evidenzia di un forte contributo di apporti di acque dolci e di nutrienti. La temperatura è in aumento e si instaura un singolare regime oceanografico caratterizzato dalla stratificazione delle masse d'acqua. La massima espressione sedimentaria di tale fenomeno si trova nel Mediterraneo orientale dove si ha la deposizione del sapropel S1 (9000 - 8000 anni).

In Adriatico si ha praticamente la scomparsa delle forme che vivono in masse d'acqua profonde (es. *N. pachyderma)* e la totale assenza dell'associazione bentonica. Questa situazione denuncia un importante influsso di acque dolci superficiali tale da impedire la formazione di acque profonde. Nel Canale di Sicilia l'assenza pressoché totale del bentos testimonia una netta diminuzione dell'ossigeno nella massa d'acqua profonda.

Nel Mar Tirreno le forme carnivore, caratteristiche della ecozona, pur presenti, sono meno frequenti che negli altri due mari; mentre quella bentonica risulta fortemente oligotipica e costituita da forme che ben tollerano i bassi tenori di ossigeno.

Zona 2 - In questo intervallo di tempo, circa 6000-5000 anni fa, le curve paleoclimatiche registrano un breve raffreddamento seguito da una oscillazione calda leggermente superiore all'attuale (Ottimo Climatico). L'instaurarsi di una associazione planctonica di tipo temperato caldo (in particolare lo sviluppo di due forme del gruppo tropicale- subtropicale: G. *trilobus* e G. *sacculifer)* ed il ripristinarsi di una associazione bentonica ricca e diversificata porta ad ipotizzare un notevole cambiamento oceanografico: scompare la stratificazione tipica dell'intervallo precedente e si ha una buona ossigenazione lungo l'intera colonna d'acqua.

Zona 1 - Si instaura l'attuale situazione idrologica infatti le associazioni indicano prevalenza di acque atlantiche nel Mar Tirreno, una complessa situazione nel Canale di Sicilia (Vergnaud Grazzini et al.,1988) e prevalenti acque levantine nel Mar Adriatico

(Asioli et al., 1988).

5. CONCLUSIONI

Lo studio delle associazioni a Foraminiferi planctonici, corredato da datazioni ^{14}C e profili isotopici $^{16}O/^{18}O$, permette di ricostruire la paleoceanografia del Mediterraneo centrale durante gli ultimi 18.000 anni.

Durante l'ultimo acme glaciale (18.000 anni B.P.) tutta l'area era caratterizzata da acque non stratificate, fredde, ricche in nutrienti e ben ossigenate.

Con l'inizio della deglaciazione (15.000 anni B.P.) l'innalzamento del livello marino e l'immissione di acque dolci provocano diversi gradi di stratificazione della massa d'acqua nei tre diversi mari. La specie profonda *G. scitula* si estingue nel Mare Adriatico e nel Canale di Sicilia ma persiste in percentuale ridotta nel Mare Tirreno.

La pausa della deglaciazione dello Younger Dryas è ben registrata in tutti e tre i mari ma a dieverse profondità all'interno della colonna d'acqua.

La ripresa della deglaciazione (10.000 anni fa) con un nuovo un forte impulso di acque dolci porta alla deposizione del sapropel S] nel Mediterraneo orientale, alla stratificazione delle acque con entrata di specie levantine e carnivore, quali G. *ruber ruber, G. calida, G. digitata* e *O. universa* in Adriatico.

Possiamo affermare che a questo punto si instaura l'attuale circolazione in Adriatico.

Nel Canale di Sicilia l'estinzione del benthos testimonia un calo di ossigeno dovuto alla stratificazione della massa d'acqua causato dall'abbassamento del livello di mixing tra acque atlantiche e levantine (Vergnaud Grazzini et al., 1988).

Nel Mar Tirreno si nota solo un aumento delle specie carnivore e un calo di ossigeno nelle acque profonde.

Durante l'ultimo Ottimo Climatico (5-6.000 anni fa) la presenza di forme quali *G. trilobus* e G. *sacculifer* fa supporre una certa omogeneità delle masse d'acqua in tutta l'area e dopo questa fase le associazioni indicano una nuova differenziazione con acque marcatamente di tipo levantino in Adriatico, atlantiche nel Tirreno e nel Canale di Sicilia.

Contributo n. 939 dell'Istituto per la Geologia Marina del C.N.R di Bologna.

BIBLIOGRAFIA

Abrantes, F. 1988. Diatom productivity peak and increased circulation during latest Quaternary: Alboran Basin (Western Mediterranean). *Mar. Mìcropal,* 13: 79-96.

Asioli, A., A. M. Borsetti, L. Capotondi, P . Colantoni & S. D'Onofrio. 1988. I Foraminiferi planctonici quali indicatori paleoceanografici: ipotesi di variazioni di circolazione nel Mare Adriatico dall'ultimo glaciale ad oggi. *Atti VIII Congr. A.I.O.L,* Pallanza (1988): 95-113.

Auras-Schudnagies, A., D. Kroon, G. Gaussen, C. Hemleben & J.E. van Hinte. 1989. Distributional pattern of planktonic Foraminifers and Pteropods in surface waters and top core sediments of the Red Sea and adjacent areas controlled by the

monsoonal regime and other ecological factors. *Deep Sea Res.,* 36: 1513-1533.

Bard, E., M. Arnold, P. Maurice, J. Duprat, J. Moyes & J.C. Duplessy. 1987 Retreat velocity of the North Atlantic polar front during the last deglaciation determined by ^{14}C accelerator mass spectrometry. *Nature,* 328: 791-794.

Bard, E., B. Hamelin, R.G. Fairbanks, & A. Zindler. 1990. Calibration of the ^{14}C timescale over the past 30,000 years using mass spectrometry U-Th ages from Barbados corals. *Nature,* 345: 405-409.

Bè, A.W.H. & W.H. Hutson. 1977. Ecology of planktonic Foraminifera and biogeographic patterns of life and fossil assemblages in the Indian Ocean. *Micropaleontology,* 23: 369-414.

Bè, A.W.H. & O.S. Tolderlund. 1971. Distribution and ecology of living planktonic Foraminifera in surface waters of the Atlantic and Indian Oceans. In: (Funnell B. M. and Riedel W. R. eds.) *The Micropaleotitology of Oceans:* 105-149, Cambridge.

Borsetti, A.M., L. Capotondi & C. Vergnaud Grazzini. 1992. Planktonic foraminiferal biocronology during the last 127,000 years in the Thyrrenian sea. *Rapp.Comm. int Mer Médit.:* 119.

Capotondi, L., A.M. Borsetti, C. Vergnaud Grazzini & S. D'Onofrio. 1989. Biostratigrafia e stratigrafia isotopica della carota AC 85-4: considerazioni sulla paleoceanografia tardo-quaternaria del Mar Tirreno orientale. *Giorn. Geol.,* 51/1: 201-212.

Cifelli, R. 1974. Planktonic Foraminifera from the Mediterranean and adjacent Atlantic waters. *Journ. Foram. Res.,* 4: 171-183.

Dowsett, H.J. & R.Z. Poore. 1990. A new planktic Foraminifer transfer function for estimating Pliocene-Holocene paleoceanographic conditions in the North Atlantic. *Mar. Micropal,* 16: 1-23.

Duplessy, J.C., G. Delibrias, J.L. Turon, C. Pujol, & J. Duprat. 1981. Deglacial waring of the northeastern Atlantic Ocean: correlation with the paleoclimatic evolution of the European continent. *Paleoceanography, Palaeoclimatology, Palaeoecology,* 35: 121-134.

Fairbanks, R.G. 1989. A 17,000-year glacio-eustatic sea level record, influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation. *Nature,* 342: 637-642.

Kipp, N.G. 1976. New transfer function for estimating past sea-surface conditions from sea-bed distribution of planktonic foraminiferal assemblages in the North Atlantic. In: R.M. Cline & J.D. Hays (eds.) "Investigations of Late Quaternary Paleoceanography and Paleoclimatology", *Geol. Soc. Ani. Meni.,* 145: 3-41.

Jorissen, F.J., A. Asioli, A. M. Borsetti, L. Capotondi, J. P. de Visser, F. J. Hilgen, E. J. Rohling, K. van der Borg, C. Vergnaud Grazzini & W. J. Zachariasse. 1993. Late Quaternary centrai Mediterranean biochronology. *Mar. Micropal.,* 21: 169-189.

Minas, H.J., B. Coste & M. Minas. 1984. Océanographie du detroit de Gibraltar et des parages annexes. *Cour: CNRS,* 57: 10-17.

Pujol, C. 1980. Les Foraminifères planctoniques de l'Atlantique Nord au Quaternaire. Ecologie, stratigraphie, environment. Univ. Bordeaux Thesis: 254 pp.

Reynolds, L. A. & R.C. Thunell. 1986. Seasonal production and morphologic variation of Neogloboquadrina pachyderma (Ehremberg) in the Northeast Pacific. *Micropaìentology,* 32: 1-18.

Ruddiman W.F. 1971. Pleistocene sedimentation in the equatorial Atlantic: stratigraphy and faunal paleoclimatology. Geo/. *Soc. Amer. Bull,* 82 /2: 283-302.

Thunell R. C. 1978. Distribution of recent Foraminifera in surface sediments of the Mediterranean sea. *Mar. Micropal.,* 3: 147-173.

Vergnaud Grazzini, C., A.M. Borsetti, F. Cali, P. Colantoni, S. D'Onofrio, J.F. Saliege, R., Sartori & R. Tampieri. 1988. Palaeoceanographic record of the last deglaciation in the Strait of Sicily. *Mar. Micropal.,* 13: 1-21.

Vergnaud Grazzini, C., G. Glacon, C. Pierre, C. Pujol & MJ. Urrutiaguer. 1986 . Foraminiferes planctoniques de Mediterranee en fin d'été. Relations avec les structures hidrologiques. *Mem. Soc. Geol. It.,* 36: 175-188.

Zachariasse, W. J., C.G. Rijderveld, C.G. Langereis, F.J. Hilgen & P.J.J.M. Verhallen. 1989. Early Late Pliocene Biochromology and surface water temperature variations in thye Mediterranean. *Mar. Micropal.,* 14: 359-355.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L.
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da pag. 117 a pag. 124

ANALISI DI POPOLAZIONI DEL COPEPODE CALANOIDE *MIXODIAPTOMUS KUPELWIESERI* IN CORPI D'ACQUA DELL'APPENNINO LIGURE

Valerla ROSSI, Gianmarco PARIS, Giampaolo ROSSETTI, Sandra SEI
e PierluigiVIAROLI

Istituto di Ecologia, Università di Parma, Viale delle Scienze 43100 PARMA

SUMMARY

Populations of the calanoid copepod *Mixodiaptomus kupelwieseri* downelling in a cold water small lake (Lago degli Abeti) and in three temporary ponds (Asperelle, Code d'Asino and Lagastro) located at altitudes from 1267 m and 1330 m in the Foresta Demaniale delle Lame (Ligurian Apennines, Italy) were studied. Research was carried out during the 1991 ice-free water season. Population seasonal cycles in the different water bodies were examined and genetic structure was analysed by starch gel electrophoresis. The four populations belong to the same species: the Nei index of genetic similarity was more than 88%. The Lago degli Abeti population showed the lowest level of genetic diversity: it was significantly less similar to the pond populations than they were among themselves.

1. INTRODUZIONE

Nel 1988 una campagna di ricerche idrobiologiche, coordinata da Luigi Cagnolaro del Museo di Storia Naturale di Milano, è stata avviata sui laghi e sulle pozze della Foresta Demaniale delle Lame (Monte Aiona, Val d'Aveto, Provincia di Genova). Il chimismo di base e lo stato trofico delle acque dei tre ambienti lacustri più importanti (Lago degli Abeti 1329 m s.l.m., Lago Riondo 1328 m s.l.m. e Lago delle Lame 1070 m s.l.m.) sono stati indagati in relazione alle caratteristiche geolitologiche salienti dei rispettivi bacini idrologici e all'impatto di attività antropiche (Viaroli et al., 1992a, 1992b) E' stata inoltre analizzata la composizione dello zooplancton dei tre laghi e di tre pozze temporanee (Asperelle 1267 m s.l.m., Code d'Asino 1275 m s.l.m. e Lagastro 1330 m s.l.m.) (Manzoni et al., 1992).

In questa nota sono presentati alcuni risultati di ricerche condotte durante la stagione delle acque aperte del 1991. Ci si è concentrati sullo studio delle popolazioni di un copepode calanoide, *Mixodiaptomus kupelwieseri,* la cui presenza come specie dominante dello zooplancton sia del Lago degli Abeti che delle tre pozze temporanee è stata per la prima volta segnalata da Manzoni et al . (1992). Il ritrovamento di *M. kupelwieseri* in corpi d'acqua di quote altimetriche relativamente alte assume particolare rilievo: questa specie era infatti segnalata in precedenza come tipica di acque perenni o astatiche di pianura (Stella, 1984).

Dopo una sommaria descrizione della struttura dello zooplancton e una caratterizzazione preliminare del ciclo stagionale di *M. kupelwieseri* nei quattro corpi d'acqua, saranno discussi i risultati di uno studio condotto con il metodo dell'analisi elettroforetica delle proteine enzimatiche per una valutazione della struttura e variabilità genetica delle differenti popolazioni del calanoide.

2.MATERIALI E METODI

Nel Lago degli Abeti campioni d'acqua e di plancton sono stati raccolti l'8 giugno, il 30 luglio, il 7 settembre e il 30 ottobre 1991 da due strati (rispettivamente a 0.5 m dalla superficie e a 0.5 m dal fondo) lungo la colonna verticale di massima profondità (6.5 m). Sui campioni d'acqua, prelevati con bottiglia di Ruttner, si è proceduto alla determinazione del pH e delle concentrazioni di ossigeno disciolto, azoto nitrico e ammoniacale, fosforo totale, silice reattiva e clorofilla-*a*. La temperatura era misurata di metro in metro su tutta la colonna. Sono stati raccolti anche campioni di fitoplancton; ad ogni data uguali volumi di acqua prelevati dallo strato di superficie e dallo strato prossimo al fondo sono stati integrati in un unico campione che era immediatamente fissato con soluzione di Lugol acetico; il conteggio è stato eseguito con il metodo di Utermöhl. I campioni di zooplancton sono stati raccolti lungo la verticale con rete ad apertura di maglia di 50 µm e bocca di 27 cm di diametro. Il conteggio è stato fallo sulle specie di Rotiferi, Cladoceri e Copepodi.

Nelle pozze temporanee, che sono restate asciutte per tutta l'estate, il campionamento è stato fatto solo l'8 giugno e il 30 ottobre 1991: è stata misurata la temperatura, sono stati prelevati campioni d'acqua per le analisi chimiche e campioni di zooplancton con trappola di Patalas.

L'analisi elettroforetica è stata fatta su singoli individui (copepoditi di stadi avanzati e adulti) di *Mixodiaptomus kupelwieseri.* L'analisi è stata eseguita su gel di amido utilizzando l'estratto acquoso ottenuto in seguito ad omogeneizzazione meccanica di singoli individui vivi. Per ogni individuo sono stati analizzati 4 loci enzimatici: GPI (glucoso fosfato isomerasi), ICD1 (isocitrato deidrogenasi), MPI (mannoso fosfato isomerasi), PGM (fosfoglucoso mutasi). I metodi utilizzali sono stati descritti da Harris & Hopkinson (1976). Per ciascun locus gli alleli sono stati identificati con numeri progressivi: il numero 1 indica l'allele con minor velocità di migrazione relativa.

Per il calcolo delle frequenze alleliche, dei parametri utilizzati nell'analisi della variabilità genetica - numero medio di alleli per locus, eterozigosi media, indice di similarità genetica di Nei (1987) -, per il confronto delle frequenze alleliche nelle diverse popolazioni e per il confronto delle frequenze osservate con quelle attese all'equilibrio di Hardy-Weinberg è stato utilizzato il programma statistico Biosys-1 (Swofford & Selander, 1981).

3.RISULTATI

3.1.Chimismo e stato trofico delle acque

II Lago degli Abeti ha acque fredde (la temperatura più alta è stata registrata a fine luglio: 12.7 °C) e trasparentissime (il fondo è sempre visibile anche alla massima profondità). La percentuale di saturazione dell'ossigeno disciolto oscilla tra il 70 e il 110%, il pH tra 7.6 e 8.4. Le acque sono ben tamponate e presentano un'elevata forza ionica: l'alcalinità totale è compresa tra 0.94 e 1.00 $meq \cdot l^{-1}$.Tra i cationi è notevole l'importanza del magnesio in relazione alla presenza assai diffusa di rocce ofiolitiche nel bacino imbrifero (Viaroli et al, 1992a, 1992b). Decisamente basse sono le concentrazioni di fosforo reattivo con un massimo di 3 $\mu g \cdot l^{-1}$, ma anche quelle del fosforo totale disciolto con un massimo di 13 $\mu g \cdot l^{-1}$. Le concentrazioni più alte di azoto nitrico (333 $\mu g \cdot l^{-1}$) e di azoto ammoniacale (220 $\mu g \cdot l^{-1}$) sono state determinate in ottobre. Ragguardevoli sono le concentrazioni di silice reattiva che variano da un minimo di 2.78

ad un massimo di 3.46 $mg \cdot l^{-1}$. Il contenuto di clorofilla-a fitoplanctonica è ridottissimo (<1 $\mu g \cdot l^{-1}$) nei campioni di superficie; valori più alti sono stati rilevati sul fondo in relazione alla presenza di alghe bentiche filamentose *(Spirogyra* sp.)- Sono stati identificati 13 taxa fitoplanctonici; in giugno dominano le Diatomee con *Cyclotella* sp., successivamente diventano dominanti le Cloroficee (in particolare con *Chlamydomonas* sp.) che contribuiscono in larga misura al picco di biovolume totale (0.912 $mm^3 \cdot l^{-1}$) riscontrato in luglio.

Nelle pozze si osserva un'ampia variabilità di caratteristiche idrologiche per la forte dipendenza di questi corpi d'acqua dalla vicenda meteorologica. In giugno la temperatura varia dai 9.4 °C nel Lagastro ai 20 °C in Asperelle. A fine ottobre in tutte e tre le pozze sono state registrate temperature intorno ai 4 °C. Il pH varia in un intervallo compreso tra 6.6 e 7.4. L'alcalinità totale è significativamente più bassa che nel Lago degli Abeti, ma con fluttuazioni assai ampie (da 0.15 $meq \cdot l^{-1}$ a 0.94 $meq \cdot l^{-1}$). Netta, come nel Lago degli Abeti, è la prevalenza del magnesio. Alte sono le concentrazioni della silice reattiva con oltre 4 $mg \cdot l^{-1}$ sia nel Lagastro che in Code d'Asino. L'elevato trofismo è evidenziato dalle condizioni di ipossia più volte riscontrate e dalle alte concentrazioni di fosforo disciolto totale (fino a un massimo di 93 $\mu g \cdot l^{-1}$ nel campione primaverile in Asperelle) e di clorofilla-a fitoplanctonica (fino ad un massimo di 26.4 $\mu g \cdot l^{-1}$ nel campione primaverile nel Lagastro).

3.2. I popolamenti zooplanctonici

Lo zooplancton del Lago degli Abeti, a conferma di quanto osservato da Manzoni et al. (1992), è caratterizzato da un'estrema povertà di forme (Tab.l) e da densità molto contenute. L'unica specie zooplanctonica è praticamente *Mixodiaptomus kupelwieseri* (Tab. 2). Compaiono anche naupli e copepoditi di Ciclopoidi, che appartengono verosimilmente ad *Eucyclops serrulatus.* Rotiferi e Cladoceri sono presenti saltuariamente con abbondanze trascurabili.

Nelle tre pozze il popolamento zooplanctonico è molto più ricco in specie (Tab. 1) e le densità talora sono rilevantissime. E' il caso del campione primaverile di Asperelle dove, accanto a *M. kupelwieseri* (36 $ind \cdot l^{-1}$), compaiono *Daphnia obtusa* (9 $ind \cdot l^{-1}$) e numerose specie di Rotiferi, tra cui *Keratella* gr. *quadrata* con 2243 ind-H. I Rotiferi, in questa e nelle altre pozze, oltre che da *K.* gr. *quadrata,* sono ben rappresentati da *Notholca squamula, Lepadella* sp., *Trichocerca* spp., *Ascomorpha* sp., *Synchaeta* sp. e *Collotheca* sp. Per i Cladoceri si segnala la coesistenza di *Daphnia obtusa* e *Daphnia longispina* nel campione autunnale del Lagastro. In questo stesso campione è al massimo (108 $ind \cdot l^{-1}$) la densità di naupli e copepoditi di Copepodi Ciclopoidi e Arpacticoidi. Queste forme giovanili sono una componente a forte incidenza numerica anche nelle altre due pozze e appartengono probabilmente a specie, come *Megacyclops viridis* e *Canthocamptus staphylinus,* di cui sono stati rinvenuti anche individui adulti. E' stata confermata, infine, in tutte e tre le pozze, la presenza di *M. kupelwieseri* (Tab. 2).

3.3. Il ciclo stagionale di *Mixodiaptomus kupelwieseri*

La saltuarietà ed irregolarità della comparsa di *M. kupelwieseri* nel Lago degli Abeti e nelle tre pozze (Tab. 2) erano già apparse evidenti dall'analisi di campioni raccolti in anni precedenti. L'episodicità delle fasi di sommersione può rendere conto di questo

Tab. 1 - Elenco dei taxa zooplanctonici rinvenuti nel Lago degli Abeti e nelle pozze Asperelle, Code d'Asino e Lagastro nella campagna di campionamento del 1991.

ABETI

ROTIFERI
Bdelloidei
Notholca squamula
Euchlanis sp.
CLADOCERI
Chydorus sphaericus
Biapertura affinis
COPEPODI
Mixodiaptomus kupelwieseri
Eucyclops serrulatus
Arpacticoidi non classificati

ASPERELLE

ROTIFERI
Bdelloidei
Keratella gr. *quadrata*
Euchlanis sp.
Lepadella sp.
Cephalodella forficula
Trichocerca spp.
Synchaeta sp.
Collotheca sp.
CLADOCERI
Daphnia obtusa
Chydorus sphaericus
COPEPODI
Mixodiaptomus kupelwieseri

CODE D'ASINO

ROTIFERI
Bdelloidei
Keratella gr. *quadrata*
Notholca squamula
Lepadella sp.
Trichocerca sp.
Synchaeta sp.
CLADOCERI
Chydorus sphaericus
COPEPODI
Mixodiaptomus kupelwieseri
Canthocamptus staphylinus

LAGASTRO

ROTIFERI
Bdelloidei
Keratella gr. *quadrata*
Euchlanis sp.
Lepadella sp.
Cephalodella sp.
Monommata longiseta
Trichocerca spp.
Ascomorpha sp.
Ascomorpha ecaudis
Synchaeta sp.
Collotheca sp.
Rotiferi non identificati
CLADOCERI
Ceriodaphnia reticulata
Daphnia obtusa
Daphnia longispina
Chydorus sphaericus
COPEPODI
Mixodiaptomus kupelwieseri
Megacyclops viridis
Canthocamptus staphylinus

fatto per le pozze ma non per il lago. E' probabile che il metodo di campionamento utilizzato - che è quello standard adottato nelle ricerche planctologiche - non risponda all'obiettivo di stimare correttamente la densità delle popolazioni del calanoide. Emergono comunque chiaramente le contrapposte strategie di vita di *M. kupelwieseri* nei diversi corpi d'acqua:

1) nelle pozze sono nettamente distinte una fase primaverile, con una o più generazioni, da una generazione autunnale sostenuta dalla schiusa di uova durature dopo l'asciutta estiva;
2) nel Lago degli Abeti la presenza di naupli in tutte le date di campionamento da giugno a ottobre è evidentemente espressione di un'attività riproduttiva continua per tutta la stagione delle acque aperte; più accurate ricerche sia di campo che di laboratorio potranno chiarire le vie e i meccanismi del reclutamento dei naupli: è probabilmente decisivo il ruolo della schiusa di uova durature, ma non si esclude la presenza di adulti svernanti che depongono uova a sviluppo immediato in primavera.

Tab. 2 - Struttura per stadi di sviluppo delle popolazioni di *M. kupelxieseri* nei campioni raccolti dal giugno all'ottobre 1991. Le densità sono espresse in ind · m^{-3} (*: presenza di femmine ovigere).

		Naupli	Copepoditi	Adulti
ABETI	08.06.91	175	105	-
	30.07.91	10	-	-
	07.09.91	2300	2300	20
	30.10.91	116	-	-
ASPERELLE	08.06.91	17500	13750	*5000
	30.10.91	-	-	250
CODE D'ASINO	08.06.91	2000	100	-
	30.10.91	-	-	-
LAGASTRO	08.06.91	-	-	-
	30.10.91	-	6400	-

3.4. La struttura genetica di *Mixodiaptomus kupelwieseri*

Per l'analisi della struttura genetica di *M, kupelwieseri* sono stati analizzati complessivamente 445 individui utilizzando i 4 marcatori polimorfici GPI, ICD1, MPI e PGM. Quattro alleli sono stati individuati al locus ICD1 e 5 alleli ai loci GPI, MPI e PGM (Tab. 3). La differenza nelle frequenze alleliche tra le popolazioni esaminate è significativa (x^2 = 484, d.f.= 45, p = 0.0001) mentre all'interno di ciascuna popolazione non risultano differenti le frequenze alleliche tra sessi e tra stadi di sviluppo.

Il numero medio di alleli per locus varia da un minimo di 2.5 (Code d'Asino) ad

un massimo di 4.7 (Lagastro) e l'eterozigosi media è compresa tra 0.26 (Code d'Asino) e 0.36 (Asperelle) (Tab. 4). I valori più bassi osservati in Code d'Asino sono probabilmente da attribuire alle ridotte dimensioni del campione analizzato per questa pozza. Un significativo scostamento dell'equilibrio di Hardy-Weinberg è stato osservato al locus MPI in tutte le popolazioni di pozza, al locus ICD1 per la popolazione di Code d'Asino, ai loci GPI e ICD1 nella popolazione del Lagastro. In tutti i casi lo scostamento è dovuto ad un difetto di eterozigoti.

Tab. 3 - Frequenze alleliche osservate nelle popolazioni di *M. kupelwieseri* (N: numero degli individui analizzati).

Locus	allele	Abeti	Asperelle	Code d'Asino	Lagastro
GPI	1	0.000	0.015	0.000	0.027
	2	0.179	0.541	0.591	0.458
	3	0.004	0.005	0.000	0.042
	4	0.817	0.407	0.409	0.470
	5	0.000	0.031	0.000	0.003
N		126	97	22	165
ICD1	1	0.000	0.000	0.009	0.027
	2	0.634	0.722	0.750	0.884
	3	0.366	0.272	0.156	0.079
	4	0.000	0.006	0.094	0.010
N		127	7	16	146
MPI	1	0.057	0.000	0.000	0.059
	2	0.183	0.123	0.000	0.170
	3	0.020	0.473	0.429	0.237
	4	0.740	0.404	0.571	0.519
	5	0.000	0.019	0.000	0.015
N		123	73	14	135
PGM	1	0.019	0.023	0.045	0.237
	2	0.000	0.006	0.000	0.019
	3	0.000	0.092	0.091	0.041
	4	0.981	0.879	0.864	0.700
	5	0.000	0.000	0.000	0.004
N		103	87	11	135

Tab. 4 - Numero medio di alleli per locus ed eterozigosi media (H) per le diverse popolazioni di *M. kupelwieseri*. Tra parentesi sono riportati i valori dell'errore standard.

	Abeti	Asperelle	Code d'Asino	Lagastro
alleli/locus	2.7 (0.48)	3.7 (0.48)	2.5 (0.29)	4.7 (0.25)
H	0.28 (0.087)	0.36 (0.052)	0.26 (0.095)	0.33 (0.076)

L'indice di similarità genetica di Nei calcolato in funzione delle frequenze alleliche per le quattro popolazioni è superiore all' 88% (Fig. 1). Il raggruppamento effettuato sulla base degli indici di similarità mostra una netta differenziazione della popolazione del Lago degli Abeti rispetto a quelle delle pozze temporanee che tra loro presentano una similarità genetica compresa tra il 95% e il 98%.

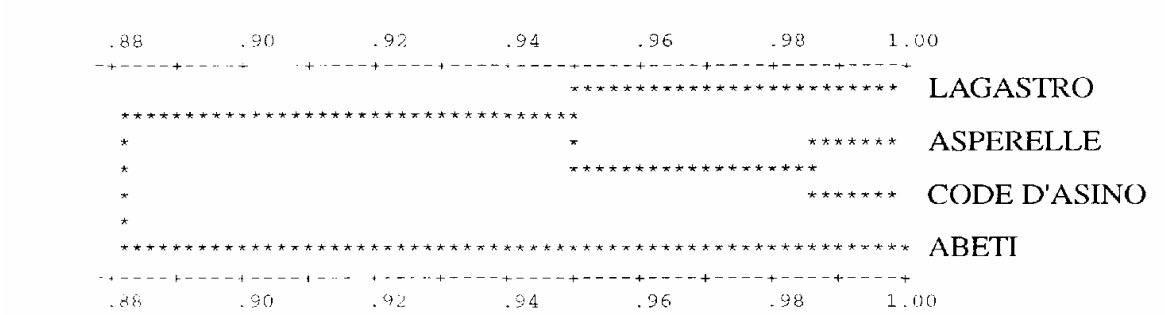


Fig. 1 - Dendrogramma costruito sugli indici di similarità genetica di Nei.

4. CONCLUSIONI

Nel Lago degli Abeti le modeste concentrazioni dei nutrienti e la bassa temperatura limitano fortemente la produzione delle acque; la spiccala oligotrofia è evidenziata dall'elevata trasparenza e dai bassi valori di biovolume fitoplanctonico. La povertà di specie planctoniche (in particolare dello zooplancton) non ha riscontro in altri laghi appenninici d'alta quota con analoghe caratteristiche morfometriche. Le pozze si connotano invece per una notevole variabilità delle caratteristiche fisiche e chimiche, per l'alto grado di trofia e per le comunità planctoniche strutturate sulla presenza di numerose specie.

Il valore di similarità genetica tra le popolazioni di *Mixodiaptomus kupelwieseri* del Lago degli Abeti e delle tre pozze temporanee è tale da consentire l'attribuzione di tutti gli individui analizzati alla stessa specie (Selander, 1976). Le differenze osservate nelle frequenze alleliche indicano l'esistenza di una diversificazione genetica tra le popolazioni e un basso grado di flusso genico.

I valori del numero medio di alleli per locus e di eterozigosi nel Lago degli Abeti segnalano una minore variabilità genetica di questa popolazione rispetto a quelle delle pozze. D'altra parte, la similarità genetica tra le popolazioni delle pozze temporanee è maggiore rispetto a quella osservata tra queste e la popolazione del Lago degli Abeti. Questo risultato può essere correlato con la relativa stabilità dell'ambiente lacustre rispetto a quello delle pozze temporanee. E' generalmente accettato infatti che la selezione spazio-temporale tipica di un ambiente variabile può contribuire al mantenimento ed all'aumento della diversità genetica (Maynard Smith, 1989).

Nel Lago degli Abeti si osserva equilibrio di Hardy-Weinberg per tutti i loci analizzati. Lo scostamento significativo dall'equilibrio osservato nelle popolazioni delle pozze temporanee potrebbe invece dipendere dalla schiusa di uova durature deposte dopo eventi riproduttivi isolati nel tempo o dalle notevoli fluttuazioni dimensionali cui sono

soggette le popolazioni.

Le popolazioni di *M. kupelwieseri* del Lago degli Abeti e delle pozze sono verosimilmente sottoposte a diverse pressioni selettive principalmente in relazione alla diversa prevedibilità dei corpi d'acqua; esse potrebbero aver evoluto differenti strategie vitali soprattutto per quanto riguarda la produzione e la schiusa di uova durature (Hairston et al., 1990). Questa ipotesi potrà essere controllata attraverso ricerche integrate sul ciclo stagionale delle popolazioni e sull'analisi di serie stagionali e pluriennali di dati di frequenze alleliche.

La ricerca è stata realizzata nell'ambito della Convenzione CNR - ENEL per ricerche sulla "Interazione dei sistemi energetici con la salute dell'uomo e con l'ambiente" - Sottoprogetto 4. Si ringrazia il Corpo Forestale dello Stato, Stazione di Rezzoaglio (GE), per la collaborazione prestata nella campagna di campionamento.

BIBLIOGRAFIA

Hairston, N.G. Jr, T.A. Dillon & B.T. Jr De Stasio. 1990. A field test for the cues of diapause in a freshwater copepod. *Ecology,* 7: 2218-2223.

Harris, H. & D.A. Hopkinson. 1976. Handbook of enzyme electrophoresis in human genetics. North Holland Publishing Company, Amsterdam.

Maynard Smith, J. 1989. Evolutionary genetics. Oxford University Press.

Manzoni, C., G. Rossetti, P.Viaroli, I. Ferrari & L. Gagnolare. 1992. Lo zooplancton dei laghi e delle pozze del Monte Aiona (Appennino Ligure). *Atti del 9° Congresso AIOL:* 119-129.

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

Selander, R.K. 1976. Genetic variation in natural populations. In: F.J. Ayala (Ed), *Molecular evolution.* Sinauer Press, Sunderland, Massachusetts.

Stella, E. 1984. Copepoda: Calanoida. Fauna d'Italia, Calderini, Bologna.

Swofford, D.L. & R.K. Selander. 1981. BIOSYS-1: a Fortran program for the comprehensive analysis of electrophoretic data in population genetics and systematics. *The Journal of Heredity,* 72: 281-283.

Viaroli, P., I. Ferrari, A. Mangia, V. Rossi & P. Menozzi. 1992a. Sensitivity of Northern Apennine lakes to acidification in relation to watershed characteristics and wet deposition. In: R. Mosello, B.M. Wathne & G. Giussani (Eds), *Limnology on groups of remote mountain lakes: ongoing and planned activities.* Documenta Ist. ital. Idrobiol., 32: 93-105.

Viaroli, P., V. Rossi, A. Clerici & P. Menozzi. 1992b. Caratteristiche litogeologiche ed idrochimiche dei principali laghi dell'Appennino Tosco-Emiliano: risultati preliminari (maggio-ottobre 1989). *Atti del 9° Congresso AIOL:* 93-104.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L.
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da pag. 125 a pag. 133

VALORI DI TRASPARENZA NEI MARI LIGURE E TIRRENO

Norberto DELLA CROCE, Anabella COVAZZI e Adrianna BONOMI
Istituto di Scienze Ambientali Marine, Università di Genova

RIASSUNTO

In questo lavoro vengono presentati i dati di trasparenza raccolti nelle acque costiere liguri su quattro stazioni, nella zona pilota di Chiavari, tra il 1985 ed il 1989, nonché quelli rilevati su stazioni ubicate nei Mari Ligure e Tirreno e visitate nel corso di diverse campagne oceanografiche tra il 1978 ed il 1990. Nella zona pilota di Chiavari è stato possibile confermare l'andamento stagionale della trasparenza e definire una scala di valori in base ai quali la fascia costiera può essere considerata esaurirsi in corrispondenza dell'isobata degli 80 m a 2.5 ca miglia da riva.

I dati confermano di massima per il Mar Ligure e Alto Tirreno lo stato di trasparenza osservato in una precedente indagine. A scopo informativo sono inoltre riportati dati rilevati nelle acque circostanti i sistemi insulari tirrenici.

SUMMARY

In this paper we present the data of transparency collected in four stations in the Ligurian coastal waters, in the Chiavari pilot zone, from 1985 to 1989, and those collected in various stations of Ligurian and Tyrrhenian Seas visited in differents oceanographic cruises from 1978 to!99(). In the first zone it was possible to confirm the seasonal trend of the transparency and define a values scale that allows to delimitate the coastal zone at 80 m depth and 2.5 mile from the shore.

The data from the Ligurian Sea and Northern Tyrrhenian confirm those observed in a previous study. Data from the waters sorrounding the insular tyrrhenian System are also presented for Information only.

1.INTRODUZIONE

Negli ultimi decenni, in diversi settori della ricerca marina, sono state introdotte nuove apparecchiature e metodologie standard che permettono in tempi brevi la raccolta di vaste serie di dati tra loro confrontabili.

Uno dei campi nei quali non si è ancora riscontrato un tale sviluppo è quello dell'ottica sottomarina per cui il Disco di Secchi è ancora oggi impiegato in numerose indagini di diversa natura.

Questo aspetto, già segnalato in una precedente memoria (Della Croce, 1980), merita di essere brevemente ripreso alla luce di più recenti ricerche, tra le quali si ritiene opportuno mettere in evidenza alcune concernenti: le proprietà ottiche (Hoejerslev, 1986; Preisendorfer, 1986; Effler et al., 1988), il monitoraggio di acque costiere (Topliss, 1982), la significatività di migliaia di osservazioni pluriennali in baie (William & Skove, 1981), l'elaborazione di un atlante mondiale della trasparenza costiera (Arnone, 1983) e, sempre in costa, l'uso del disco di Secchi in operazioni di verità a mare per il telerilevamento via satellite della torbidità (Lindell et al, 1985), in acque interne per la definizione del "Trophic State Index" per la valutazione della qualità dell'acqua (Osgood, 1982).

2.MATERIALI E METODI

I dati di trasparenza presi in considerazione sono stati raccolti durante il periodo 1978-1990 e si possono dividere in due gruppi. Uno è relativo alla zona pilota di Chiavari, in Mar Ligure (Fig. 1), con osservazioni (384) effettuate su quattro stazioni a differenti profondità (40, 80, 125 e 200 m), quindicinalmente, nel periodo 1985-1989 (Albertelli et al, 1988a; b; e e 1989). Altro gruppo interessa le acque circostanti i sistemi insulari tirrenici con 275 osservazioni (Albertelli et al. 1983; 1987), nonché il Mar Ligure e Alto Tirreno (365 osservazioni) a seguito di campagne oceanografiche condotte in tutti i mesi di anni diversi, Gennaio e Luglio esclusi.

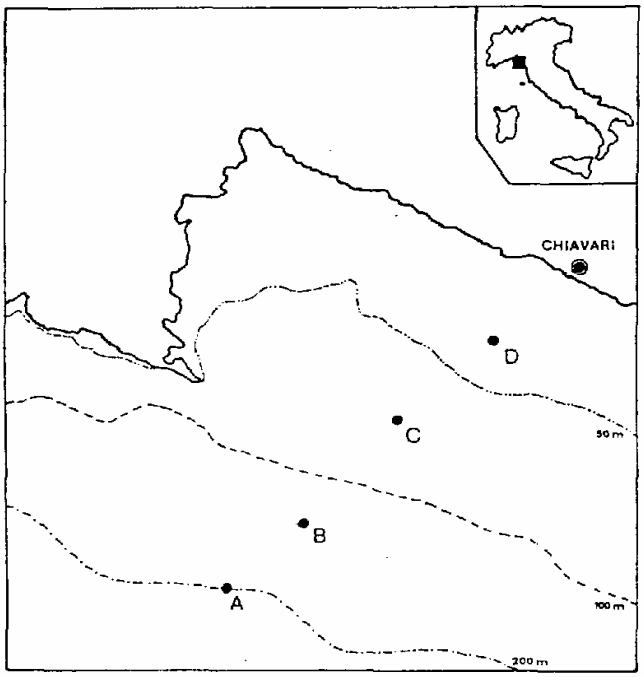


Fig. 1. Ubicazione delle stazioni nella zona pilota di Chiavari.

3.ZONA PILOTA DI CHIAVARI

Dai dati raccolti (Tab. 1) risulta che nelle acque di Chiavari, sulla stazione costiera D (-40 m), la minore trasparenza venne osservata in Marzo con 7.3 m e la massima in Luglio con 21.5 m. I valori di deviazione standard mettono in evidenza una maggiore variabilità nel periodo invernale e in quello di transizione tra la primavera e l'estate.

STAZ.	A			B			C			D		
PROF.	200 m			125 m			80 m			40 m		
MESI	M	DS	N	M	DS	N	M	DS	N	M	DS	N
GEN	20.5	2.0	7	20.1	3.8	7	14.4	7.0	7	11.0	6.5	7
FEB	13.9	7.6	9	13.5	5.9	9	10.3	5.7	9	9.8	6.1	9
MAR	12.4	5.1	8	11.9	5.5	8	9.8	4.2	8	7.3	2.7	8
APR	15.6	5.6	8	13.0	5.9	8	9.1	4.0	8	8.1	3.7	8
MAG	21.3	7.2	8	17.6	5.9	8	15.9	5.4	8	12.7	3.4	8
GIU	24.6	7.1	8	20.5	5.5	8	17.5	4.0	8	16.7	5.1	8
LUG	30.9	7.1	8	29.3	8.0	8	23.3	6.3	8	21.5	5.6	8
AGO	27.3	9.0	8	27.3	9.0	8	22.3	6.5	8	20.8	4.7	8
SET	29.8	7.3	7	27.5	6.1	7	22.9	3.8	7	20.7	3.6	7
OTT	25.7	10.2	9	24.2	9.9	9	19.8	6.9	9	16.0	5.9	9
NOV	20.6	5.9	8	20.7	5.1	8	15.9	8.3	8	11.6	4.2	8
DIC	16.6	5.1	8	18.4	4.3	8	17.6	4.5	8	9.0	2.4	8
	21.6	6.6	96	**20.3**	6.2	96	**16.6**	5.6	96	**13.8**	4.5	96

Tab. 1. Valori medi (M), deviazione standard (DS) e numero di osservazioni (N) di trasparenza sulle quattro stazioni (A, B, C, D) nella zona pilota di Chiavari nel periodo 1985-1989. In grassetto le medie annuali delle singole stazioni.

Nella stazione C (-80 m), la minore trasparenza fu osservata in Aprile con 9.1 m e la massima riconfermata a Luglio con 23.3 m. I valori della deviazione standard presentano nel corso dell'anno una accentuata variabilità.

Sulla stazione B (-125 m), la minore trasparenza venne riscontrata a Marzo con 11.9 m e la massima a Luglio con 29.3 m, mentre sulla stazione più al largo A (-200 m), la minore trasparenza si osservò in Marzo con 12.4 m e la massima in Luglio con 30.9 m.

Pertanto sì osserva che la trasparenza, nei suoi valori minimi come del resto nei suoi valori massimi, è aumentata dalla stazione più costiera, D, a quella più al largo, A, del 70 % ca nei valori minimi e del 44 % ca nei valori massimi, per una distanza

complessiva da terra di ca 5.5 miglia (Fig. 1), tenendo presente che la stazione D dista di 1.5 miglia ca da terra e di 4 miglia ca dalla stazione A.

Piuttosto interessante risulta il fatto che la deviazione standard presenti valori crescenti dalla stazione più costiera D a quella più lontana dalla costa A. Questo implica che la potenziale maggiore trasparenza delle acque del largo viene "disturbata" nel corso dell'anno da "iniezioni" di acque meno trasparenti. Pertanto, rispetto alla stazione più costiera, le altre stazioni presentano una maggiore e crescente "instabilità"; tuttavia, il fenomeno si risolve positivamente, nel senso che i più elevati valori di trasparenza suggeriscono comunque una diminuzione del materiale in sospensione.

Queste osservazioni quadriennali permettono di delineare le condizioni di trasparenza della zona pilota di Chiavari con maggiore precisione di quanto era risultato in precedente lavoro (Della Croce, 1980).

Il fatto più interessante deriva dalla piuttosto marcata differenza nei valori di trasparenza nel corso dell'anno tra la stazione C e la stazione B. Infatti la differenza nei valori di trasparenza è qui più elevata di quanto non risulti a livello delle altre stazioni di rilevamento (Fig. 2).

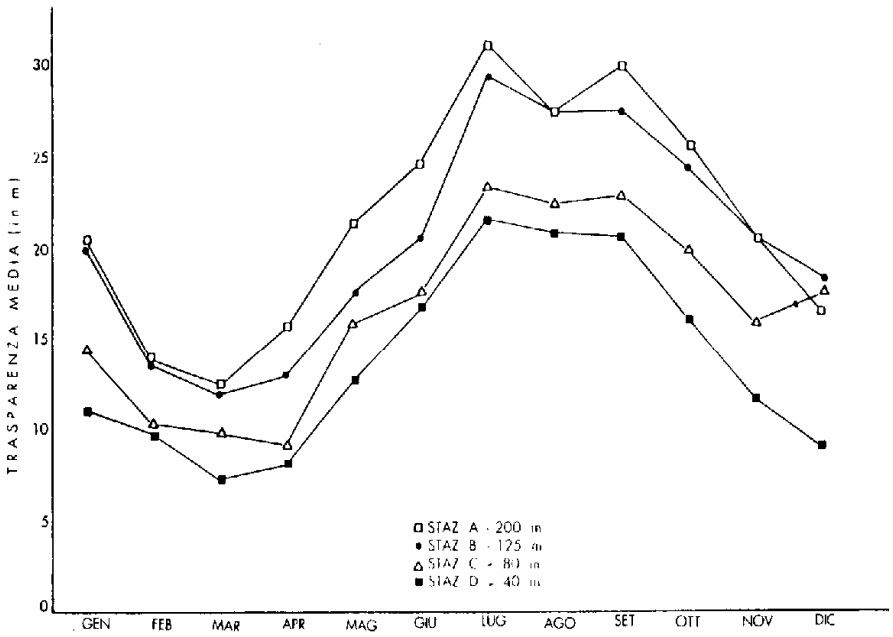


Fig. 2. Andamento medio annuale della trasparenza sulle quattro stazioni di diversa profondità della zona pilota di Chiavari.

Alto stato attuale delle conoscenze sembra pertanto possibile distinguere nella zona pilota di Chiavari una fascia costiera (Stazioni C e D) a minor trasparenza rispetto a quella adiacente ma più lontana da costa (Stazioni A e B; Tab. 1), anche

se le differenze di trasparenza tra le stazioni B e C sono minime in Maggio (B:17.6m - C: 15.9m) e Dicembre (B: 18.4 - C: 17.6).

Si ritiene opportuno mettere in evidenza che la zona pilota di Chiavari è caratterizzata dalla presenza del fiume Entella che raccoglie le acque del retrostante bacino imbrifero. La situazione pluviometrica, in base ai dati dell'Osservatorio Meteorico e Sismico di Chiavari, mette in evidenza, nei quattro anni della nostra indagine, che le precipitazioni risultano inferiori alla media dei quattro anni (74 mm ca), da Maggio a Settembre, mentre la trasparenza risulta superiore alla media (18 m) in corrispondenza del periodo Giugno-Ottobre (Fig. 3). Pertanto, si può ritenere che l'apporto del fiume Entella, come del resto quello degli altri apporti, influenza in maniera diretta e pressoché immediata le acque del Golfo Marconi sin oltre il Promontorio di Portofino (Stazione A) per un periodo di tempo pari a ca il 41 % dell'anno.

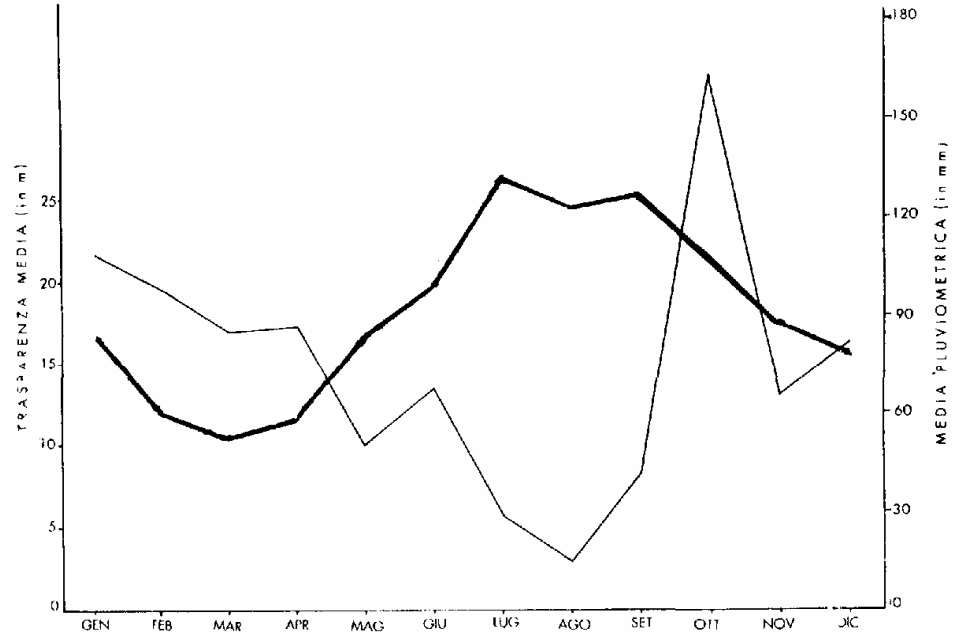


Fig. 3. Medie quadriennali (1985-1989) della trasparenza (Staz. A, B, C e D) e della pluviometria (tratto sottile) nella zona pilota di Chiavari.

Indipendentemente dall'intervento di altri fattori alloctoni ed autoctoni, questa situazione sembra dare un certo affidamento nella sua globalità. Tuttavia, in determinati anni, la situazione può essere diversa. Infatti, se confrontiamo i valori medi di trasparenza annuali della stazione più esterna A, (-200 m), da ritenersi meno influenzata dagli apporti costieri, con quelli di anni discontinui (1978 e 1981) sempre della stessa stazione, singolarmente o come valore medio, risulta che gli apporti

meteorici e/o apporti laterali possono variare sensibilmente la trasparenza, soprattutto nei periodi Maggio-Luglio e Ottobre-Novembre, modificandone in modo piuttosto sensibile l'andamento stagionale, con tutti gli effetti diretti e indiretti che ne possono derivare (Fig. 4).

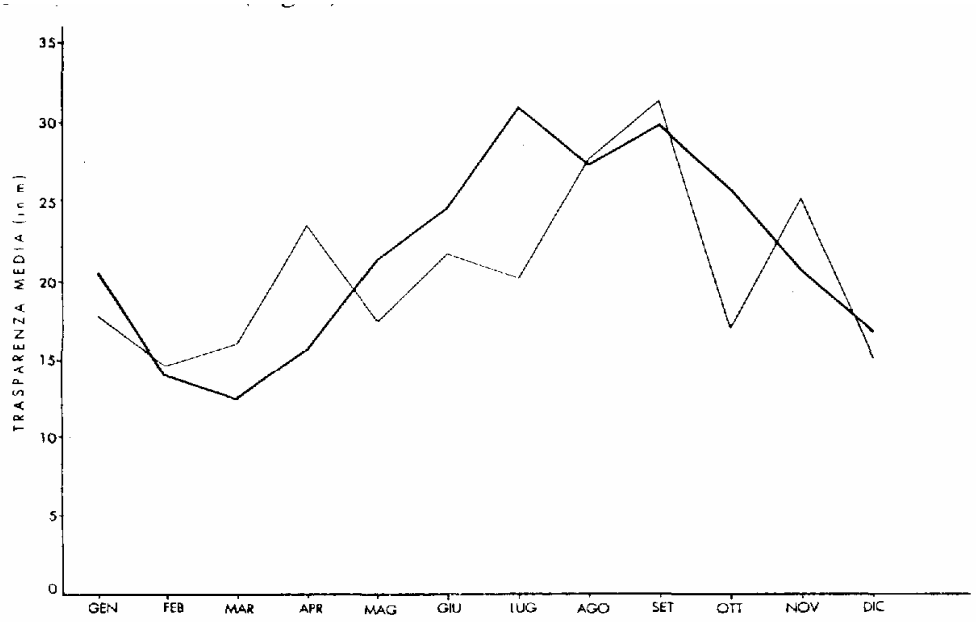


Fig. 4. Valori medi di trasparenza, per gli anni 1978 e 1981 (tratto sottile) a confronto con la media quadriennale 1985-1989 nella zona pilota di Chiavari (Stazione A: profondità 200 m).

Può essere di un certo interesse mettere in evidenza come la trasparenza possa essere influenzata oltre che dall'apporto meteorico, dalla produzione autoctona e dal moto ondoso che provoca la riso-spensione di parte del materiale sedimentato, almeno nella fascia più vicina a costa.

La sommatoria di questi effetti trova reale espressione nei valori di trasparenza della stazione più costiera D (-40, -50 m): i valori medi annuali qui riscontrati (Tab. 2) inducono a ritenere che i fattori che contribuiscono a definire tali valori intervengano nel loro insieme in modo piuttosto costante.

ANNO	M	DS	N	MIN.	MAX.
*1978	14.8	6.16	24	5.2	25.8
*1981	15.1	7.33	12	6.0	26.0
1986	11.4	5.17	24	3.8	19.3
1987	13.0	6.46	24	5.3	26.5
1988	14.2	6.36	24	7.0	24.0
1991	14.1	6.66	24	7.5	27.5

Tab. 2. Valori medi (M), massimi, minimi, deviazione standard (DS) e numero di osservazioni (N) annuali di trasparenza sulla stazione D (-40 m). * stazione a 50 m.

4. MARI LIGURE E TIRRENO

Tra il 1978 e 1990, l'Istituto di Scienze Ambientali Marine ha effettuato una serie di campagne oceanografiche che hanno interessato le acque insulari e di altura dei Mari Ligure e Tirreno.

Per quanto concerne il Mar Ligure e Alto Tirreno, in base a numerosi e recenti dati di trasparenza che si riferiscono anche a periodi non disponibili in precedenza, il quadro generale -pur risultando ancora carente di dati per diversi mesi dell'anno- riconferma quello precedente (Della Croce, 1980); i valori medi per quadrante (20' x 20'), leggermente inferiori, comunque, evidenziano una maggiore trasparenza nelle acque a Nord e Nord-Ovest di Capo Corso (Fig. 5).

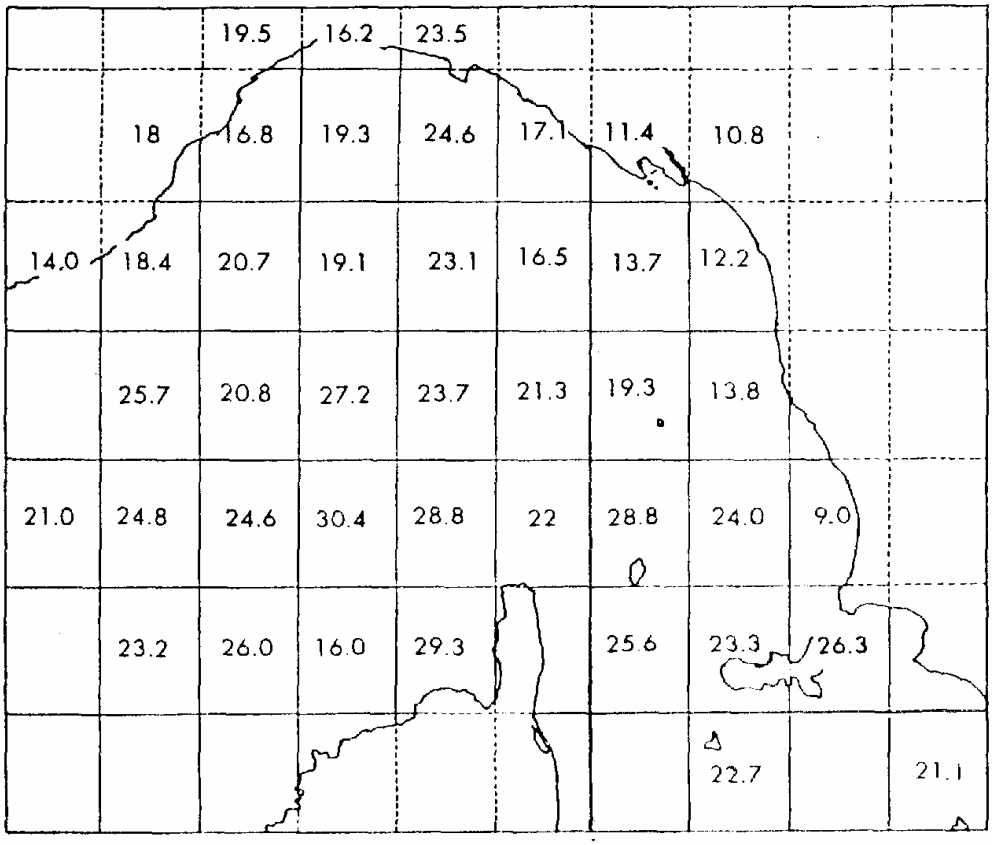


Fig. 5. Trasparenza delle acque dei Mari Ligure e Tirreno.

I dati disponibili per le acque insulari delle isole tirreniche (Tab. 3) sono scarsi

LOCALITA'	OSSERVAZIONI			
	MESE	N	M	DS
Arcipelago toscano (Capraia-Pianosa-Giglio-Giannutri, Elba)	Ottobre 1978e1982	56	18.3	4.8
Isole Pontine (Ponza-Palmarola-Zannone)	Ottobre 1984	68	23.6	2.9
Ischia	Ottobre 1984	20	24.4	3.0
Capri	Ottobre 1984	16	19.7	1.7
Isole Egadi (Favignana-Levanzo-Marittimo)	Agosto 1983	37	29.1	4.4
Ustica	Agosto 1983	27	32.1	4.0
Isole Eolie (Alicudi-Filicudi-Salina-Lipari-Vulcano-Panarea-Stromboli)	Agosto 1983	70	32.9	5.0

Tab. 3. Valori medi (M), numero delle osservazioni (N), deviazione standard (DS) e mese delle osservazioni di trasparenza nei sistemi insulari tirrenici.

e non possono essere oggetto di elaborazione; pertanto vengono riportati a puro scopo informativo. Si tratta di osservazioni condotte in anni diversi nel corso d'indagini sul macrobentos.

Ringraziamenti

Si ringraziano i Professori T. Sertorio, M. Fabiano e G. Albertelli e Don Luigi Leonardini dell'Osservatorio Meteorico e Sismico di Chiavari, per aver messo gentilmente a disposizione i dati di trasparenza e pluviometrici.

BIBLIOGRAFIA

Albertelli, G., M. I. Angelino, N. Della Croce & E. Olivari. 1988 a. Uova e larve di acciughe nella zona pilota. Chiavari: Marzo 1986-Marzo 1987.*Ist. Sc, Amb. Mar., Catt. Idrob. Pescic. Univ. Genova,* Rapp. Tecn., 28: 16 pp.

Albertelli, G., M. Cattaneo, N. Della Croce & N. Drago. 1983. Macrobenthos delle isole di Capraia, Pianosa, Giglio, Montecristo, Giannutri, Elba (Arcipelago toscano). *Ibid.,* 18: 28 pp.

Albertelli, G., N. D'Ambrosio, N. Della Croce & E. Olivari. 1988 b. Uova e larve di acciughe nella zona pilota, Chiavari: Marzo 1987-Marzo 1988. *Ibid., 29:* 40 pp.

Albertelli, G., N. Della Croce, E. Olivari & P. Salemi Picone. 1988 e. Uova e larve di acciughe nella zona pilota. Chiavari: Marzo 1985-Marzo 1986. *Ibid.,* 27: 12 pp.

Albertelli, G., N. Della Croce, E. Olivari & P. Salemi Picone. 1989. Uova e larve di acciughe nella zona pilota. Chiavari: Marzo 1988-Marzo 1989. *Ibid.,* 31: 40 pp.

Albertelli, G., N. Della Croce & P. Sabbioneta. 1987. Macrobenthos: Isola di Ustica, Isole Egadi - Favignana, Levanzo e Marettimo Isole Eolie Alicudi, Filicudi, Salina, Lipari, Vulcano, Panarea, Stromboli. *Ibid.,* 22: 15 pp.

Arnone, R. A. 1983. Coastal Secchi depth atlas. *NORDA-83,* 164 pp.

Della Croce, N. 1980. Misure di trasparenza nelle acque del Mar Ligure e Alto Tirreno. *Atti del 3 Congresso della Assoc. Ital. Ocean. Limn. Sorrento,* 18-20 Dicembre 1978: 145-154.

Effler, S. W., R. Roop & M. G. Perkins. 1988. A simple technique for estimating absorption and scattering coefficients. *Water Resour. Bull,* 24 (2): 397-404.

Hoejerslev, N. K. 1986. Visibility of the sea with special reference to the Secchi disc. In: Proceedings of Spie *The International Society for Optical Engineering: Ocean Optics.* 8. Blizard, M. A. (Ed.), 637: 294-306.

Lindell, L. T., O. Steinvall, M. Jonsson & Th. Claesson. 1985. Mapping of coastal-water turbidity using LANDSAT imagery. *Int. .J. Remote Sens, 6* (5): 629-642.

Osgood, R. A. 1982. Using differences among Carlson's Trophic State Index Values in regional water quality assessment. *Water Resour. Bull,* 18 (1): 67-74.

Preisendorfer, R. W. 1986. Secchi disc science: visual optics of natural waters. *Limnol. Oceanog.,* 31 (3): 909-926.

Topliss, B. J. 1982. Optical monitoring of coastal waters: Photic depth estimates. *Mar. Environ. Res., 1* (4): 295-308.

William, J. & F. Skove. 1981. Water clarity trends in Chesapeake Bay during the period 1960-1975. *Estuaries,* 4 (3): 269.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L.
Alassio, 4-6 Novembre 1992 da
pag. 135 a pag. 141

CARATTERI MORFOMETRICI GENERALI DI CIOTTOLI RACCOLTI SU SPIAGGE DEL TRATTO COSTIERO ORIENTALE DELL'ISOLA D'ELBA

Gian Camillo CORTEMIGLIA
Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Genova, Italia.

RIASSUNTO

Vengono effettuate analisi morfometriche su campioni di ciottoli, a classe di lunghezza 40÷60 mm, raccolti lungo il cordone delle onde di tempesta delle spiagge di Cala Seregola e di Cala del Telegrafo, ubicate sulla costa orientale dell'Isola d'Elba. Queste spiagge, generatesi in conseguenza dell'immissione a mare di sterile proveniente dall'attività estrattiva del minerale di ferro, rivelano la presenza di ciottoli con indici di forma e di elaborazione indicanti livelli energetici di mobilizzazione e di elaborazione paragonabili a quelli fluviali. Tale situazione viene imputata alle caratteristiche fisiografiche del tratto di costa su cui sono poste queste spiagge che risultano protette dai mari dominanti. Siffatta considerazione induce, quindi, più in generale, a ritenere che le mediane del grado di smussamento non siano da sole sempre discriminative dei vari mezzi di elaborazione (marino, fluviale, morenico, eolico e detritico), in quanto il campo di variabilità per ciascuno di essi, potendo praticamente risultare anche molto ampio, determina conseguentemente vasti intervalli di sovrapposizione.

SUMMARY

General morphometric characters of pebbles collected on beaches of the eastern coast of Elba Island.

Samples of pebbles of the length class between 40 and 60 millimetres have been collected on the storm-wave belt of beaches located on the cast coast of Elba Island, at Cala Seregola and Cala del Telegrafo. Morphometric analyses have been performed on these samples. The two beaches stem from iron mine dumps and are made up of pebbles whose shape and wear indices are indicative of energy levels of mobilisation and wear comparable with the fluvial ones, which can be explained hearing in mind that the beaches are sheltered from the ruling waves by the physiographic features of the atretch of coast where they are located. This leads to the conclusion that the medians of the degree of rounding are often unable to discriminate the various wear milieus (marine, fluvial, morainic, eolie and detritic), since the variability for each of them, being potentially very broad, brings forth, as a consequence, vast overlap intervals.

1.INTRODUZIONE

L'effettuazione, sul tratto di costa orientale dell'Isola d'Elba compreso tra Rio Marina e Punta delle Paffe, di scarichi a mare di consistenti accumuli di inerti provenienti

dall'attività estrattiva del minerale di ferro di Rialbano o di Rio Albano (Fig. 1), ha consentito la formazione di spiagge a nastro ed a tasca.

In particolare, poi, tra queste, le spiagge di Cala Seregola e di Cala del Telegrafo o Fornacelle mostrano, per tutto lo sviluppo della loro alta spiaggia, la presenza di un cordone ciottoloso, dovuto alle onde di tempesta, in posizione mediamente distante 10 m dalla linea di battigia e posto ad una quota di + 0,5 m.

Sul cordone ciottoloso di Cala Seregola, lungo circa 170 m, e su quello di Cala del Telegrafo, sviluppato per una lunghezza di circa 150 m, sono stati complessivamente prelevati 7 campioni, di 120 ciottoli ciascuno, secondo l'ubicazione indicata in fig. 1, al fine di svolgere una ricerca sulle loro caratteristiche morfometriche generali.

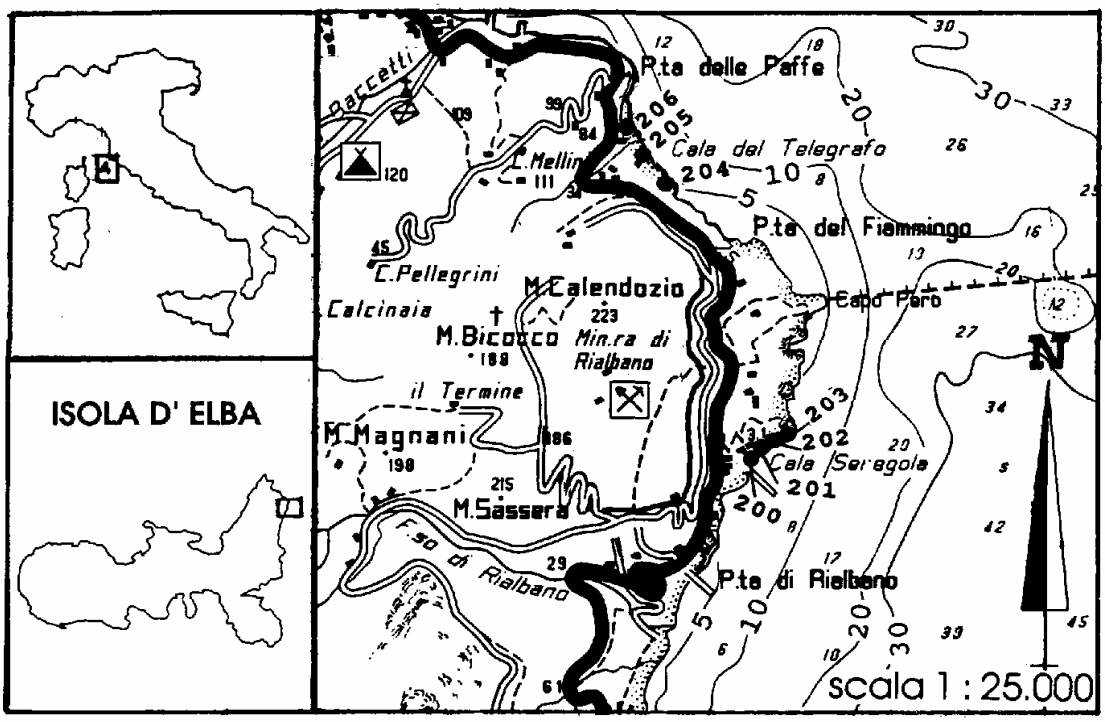


Fig. 1 - Ubicazione dei 7 campioni, costituiti da 120 ciottoli ciscuno, di litofacies calcarea per la Spiaggia del Telegrafo (204, 205, 206) e quarzofeldispatica per quella di Cala Seregola (200, 201, 202, 203).

La relativa analisi morfometrica di questi ciottoli, a litofacies quarzofeldispatica per la Cala Seregola e calcarea per quelli di Cala del Telegrafo, è stata sviluppata con la metodologia di campionamento e di misurazione dei 5 parametri dimensionali (lunghezza A, larghezza B, spessore C, raggio di curvatura di 1° ordine r, volume reale VR) descritta da Cortemiglia (1989 e 1992).

La distribuzione di frequenza di questi parametri dimensionali (Fig. 2), mentre ha evidenziato che il campionamento effettuato sulla base della lunghezza A compresa tra 40 e 60 mm è risultato di tipo casuale e rappresentativo della popolazione, ha altresì ulteriormente confermato la segnalazione di Cortemiglia (1992) che, nei ciottoli esaminati, alla distribuzione bimodale o plurimodale in genere delle loro lunghezze, fa

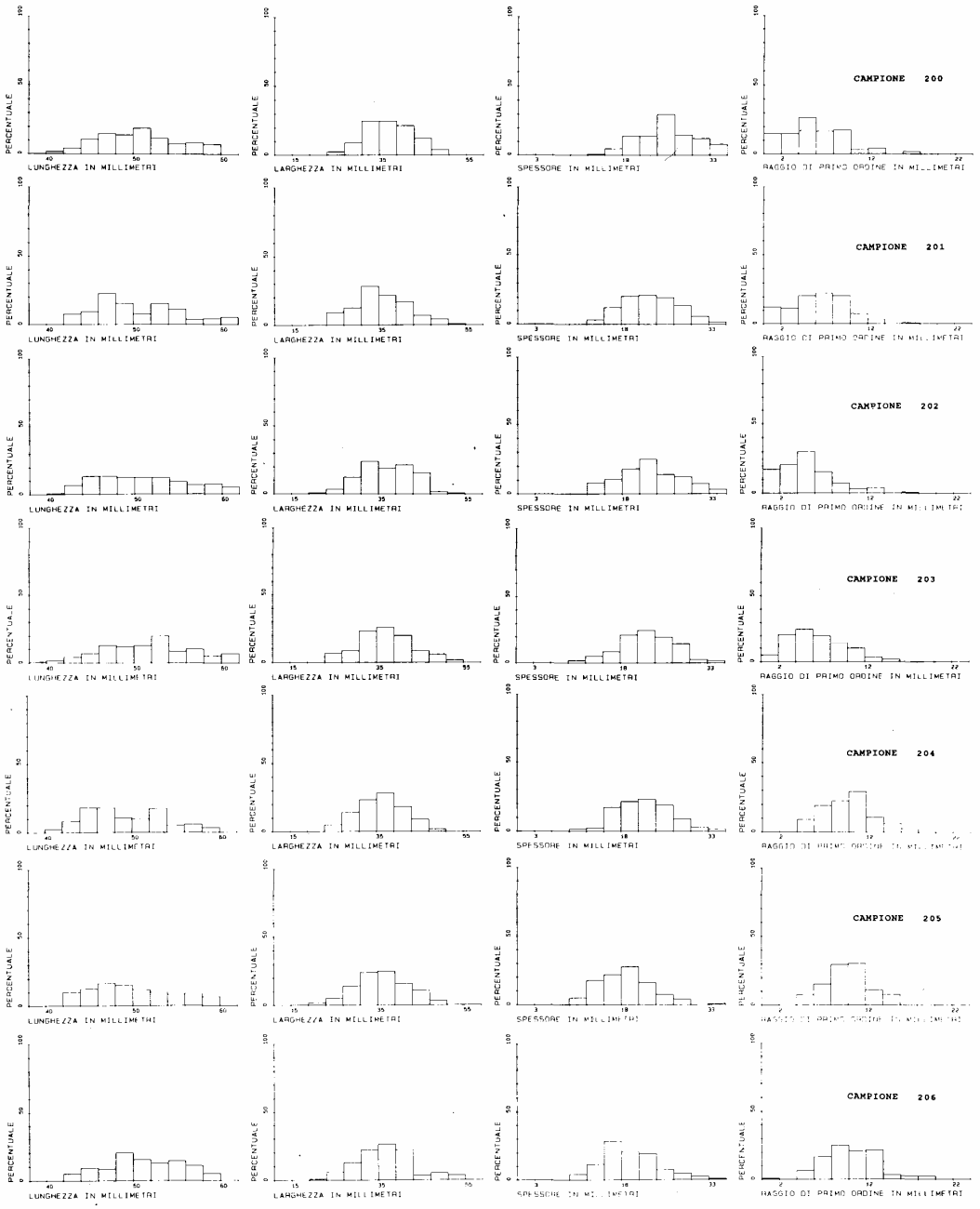


Fig. 2 - Distribuzione di frequenza dei parametri dimensionali (A, B, C, r) dei campioni di ciottoli raccolti, nella posizione indicata sulla fig. 1, secondo la classe di lunghezza (A) compresa tra 40 e 60 mm.

riscontro una generale tendenza di tutti gli altri parametri dimensionali (B, C, r , VR) a mostrare andamenti unimodali.

Le valutazioni sulla forma dei ciottoli sono state sviluppate sia sulla base del diagramma cartesiano a moduli logaritmici di Rosfelder (1961), sia su quello polare di Cortemiglia (1992).

Le caratteristiche invece degli indici di forma dei ciottoli sono state valutate ricercando le mediane dell'indice di sfericità (SF) di Krumbein (1941), dell'indice di portanza (**Ω**) di Rosfelder (1961), dell'indice (OP) di Dobkins & Folk (1970), dell'indice di appiattimento (AP) di Cailleux & Tricart (1963), del coefficiente di forma (CFR) di Winkelmolen (1982) e del coefficiente di forma semplificato (CFS) di Cortemiglia (1989), mentre la valutazione del grado di elaborazione dei ciottoli è stata stimata in base alle mediane dell'indice di smussamento (E) di Cailleux (1961) e dell'indice di smussamento (R) di Kuenen (1956).

2. CARATTERI MORFOMETRICI GENERALI

I risultati sulle caratteristiche generali del campionamento, ottenute dall'esame dei ciottoli raccolti, sono state indicate nella tab. 1 sotto la dicitura di percentuale di distribuzione.

Il confronto, per ciascun ciottolo, tra volume reale misurato (VR) con la bilancia idrostatica e quello calcolato come volume dell'ellissoide (VE) ad assi (2a, 2b, 2c) coincidenti con le misure di lunghezza A, larghezza B e spessore C, permette di stabilire, nell'ambito del campione, quanto VR si discosti da VE.

In tal modo la frequenza, nell'ambito di ciascun campione, di quanti ciottoli mostrino VR<VE consente così di valutare, in senso generale, se volumetricamente prevalgano ancora le originarie caratterizzazioni del clasto oppure siano subentrate, per elaborazione subita, dimensionalità ormai condizionate e governate dall'energia del mezzo.

Le frequenze di VR<VE riportate nella tab. 1, indicando valori superiori ad 85 % nei campioni a litofacies quarzofeldispatica di Cala Seregola e valori tra 62 % e 75 % per

	Campioni	Percentuale di distribuzione: Volumi $V_R < V_E$	Forme: Sferoidali S	Discoidali DE + DD	Acicolari AA + AC	Lamellari DA + AP	Mediane degli indici di: Elaborazione E	R	Forma SF	Ω	OP	AP	CFS	CFR
Quarzofeldispati	200	85,83	20,00	48,75	27,91	3,34	199,80	0,285	0,718	1,421	0,743	1,719	15,066	4,964
	201	85,00	9,17	49,16	37,91	3,75	232,63	0,354	0,688	1,494	1,720	1,871	13,068	4,489
	202	90,83	10,83	59,99	23,75	5,43	176,48	0,245	0,688	1,554	0,213	1,962	12,722	4,484
	203	92,50	8,33	64,16	24,16	3,34	212,28	0,297	0,676	1,543	0,788	1,947	12,943	5,359
Calcari	204	68,33	7,50	66,24	24,58	1,68	362,32	0,519	0,677	1,558	-0,109	1,983	13,605	5,684
	205	62,50	3,33	67,08	14,17	15,42	346,44	0,514	0,640	1,711	-1,571	2,273	11,456	5,486
	206	74,17	3,33	67,08	17,50	12,09	357,64	0,509	0,636	1,717	-0,455	2,286	11,750	4,404

Tab. 1 - Tabella sinottica, per ciascun campione esaminato, delle valutazioni morfometriche (volume e forma) sui ciottoli, associate alle relative mediane degli indici di elaborazione (E, R) e di forma (SF, Ω, OP, AP, CFS, CFR). V_R = volume reale ; V_E = volume calcolato; S = forme sferoidali; DE = forme ellissoidali appiattite; DD = forme lamellari discoidali; AA = forme ellissoidali allungate; AC = forme aghiformi cilindriche; DA = forme lamellari allungate; AP = forme aghiformi piatte; E = indice di smussamento di Cailleux & Tricart (1963); R = indice di smussamento di Kuenen (1956); SF = indice di sfericità di Krumbein (1941); Ω = indice di portanza di Rosfelder (1961); OP = indice di Dobkins & Folk (1970); AP = indice di appiattimento di Cailleux & Tricart (1963); CFS = coefficiente di forma semplificato di Cortemiglia (1989); CFR = indice di forma di Winkelmolen (1982).

quelli a litofacies calcarea di Cala del Telegrafo, segnalano quindi un miglior adattamento delle forme a litofacies calcarea di questa ultima spiaggia alla.energia di mobilizzazione.

L'analisi delle forme inoltre conferma un'impronta più tipicamente marina dei ciottoli calcarci di Cala del Telegrafo rispetto a quelli quarzofeldispatici di Cala Seregola, in quanto mostrano una maggior frequenza (66/67 %) di forme discoidali (DE + DD).

Anche la valutazione sull'aspetto dei ciottoli, in base alle mediarle degli indici di forma riportati nella tab. 1, indica sostanzialmente la presenza di una diversa energia di mobilizzazione su queste due spiagge.

Infatti l'impronta più tipicamente marina nei campioni di ciottoli calcarei della Cala del Telegrafo, viene segnalata dai valori negativi delle mediane dell'indice OP e dai valori superiori a 2 delle mediane dell'indice di appiattimento AP. Parimenti le mediane degli indici di smussamento rivelano (Tab. 1) valori compresi tra 346,44 e 362,32 per E e tra 0,509 e 0,519 per R per i ciottoli calcarei della spiaggia di Cala del Telegrafo e valori tra 176,48 e 232,63 per E e tra 0,245 e 0,354 per R per i ciottoli quarzofeldispatici della spiaggia di Cala Seregola .

Pur in presenza di questa diversa energia di mobilizzazione, comunque, in entrambe le spiagge e per le due diverse litofacies, si riscontrano mediane del coefficiente di forma CFR comprese tra 4,40 e 5,70 e mediane del coefficiente di forma semplificato CFS comprese tra 1 1,4 e 15,1, per cui si può asserire che l'azione idrodinamica subita dai ciottoli risulta comunque prevalente e determinante rispetto a quella detritica originaria dell'inerte da cui derivano.

In particolare, rispetto ad un ellissoide triassiale ($a>b>c\neq0$) dove, come sottolineato da Rosfelder (1961, pag. 224), si verifica la relazione $1/SF = \mathbf{\Omega}$, nei campioni esaminati si ritrova invece che il reciproco delle mediane dell'indice di sfericità SF risulta costantemente inferiore al corrispondente valore della mediana dell'indice di portanza $\mathbf{\Omega}$. Pertanto, su entrambe le spiagge, sì deve conseguentemente dedurre che l'energia a disposizione pur risultando diversificata è stata pur sempre in grado di modificare l'originario volume dei clasti, conferendo loro una dimensionalità improntata all'azione di mobilizzazione del mezzo.

Tale azione, inoltre, presentando valori delle mediane di $\mathbf{\Omega}$ per entrambe le litofacies prevalentemente superiori a 1,515. indica, secondo Sneed & Folk (1958), un'elaborazione di tipo marino.

3. CONCLUSIONI

L'analisi morfometrica dei campioni di ciottoli raccolti sul cordone delle onde di tempesta delle spiagge di Cala Seregola e di Cala del Telegrafo, rappresentative della costa orientale dell'Isola d'Elba, ha rilevato che i clasti provenienti dagli inerti dell'attività estrattiva hanno subito un'azione di modificazione dovuta alla mobilizzazione marina cui sono stati soggetti.

Tale mobilizzazione ha confermato che i clasti originali hanno rettificato le loro irregolarità acquisendo dimensionalità e forma in relazione ad un mezzo dominato da attività idrodinamica marina di trasporto e di elaborazione.

I vari indici morfologici di cui alla tab. 1, indicano che tale elaborazione si presenta però diversificata, in quanto l'energia del mezzo risulta maggiormente registrata dai ciottoli della spiaggia di Cala del Telegrafo rispetto a quelli della Cala Seregola.

Peraltro, per le litofacies calcaree dei campioni raccolti sul cordone delle onde di tempesta di Cala del Telegrafo, le mediane degli indici di elaborazione evidenziano valori analoghi e confrontabili con quelli ritrovati nei depositi fluviali da Dal Cin (1967, pag. 37) e da Facon (1976, pag. 26), ed, analogamente, anche buona parte delle

mediane relative ai vari indici di forma, riportati in tab. 1, confermano tale sostanziale indicazione.

Parimenti le litofacies quarzofeldispatiche raccolte sul cordone delle onde di tempesta della Cala Seregola rivelano mediane degli indici di elaborazione tipicamente di ambiente fluviale e talora risultano addirittura inferiori a quelle ritrovate da Dal Cin (1967, pag.44) nel basso corso del Piave e da Facon (1976, pag. 29) sull'alto Barr e sulla Dordogue.

Dunque le due diverse litofacies su cui è stata applicata l'analisi morfometrica per la determinazione del grado di elaborazione raggiunto rivelano che l'azione di mobilizzazione provocata dall'ondazione sul materiale del cordone di tempesta delle spiagge di Cala Seregola e del Telegrafo presenta intensità paragonabili a quelle di un ambiente fluviale.

Poiché l'elaborazione dei clasti, secondo le indicazioni sperimentali ottenute da Cortemiglia (1985), presenta un incremento di tipo logaritmico in funzione del tempo di applicazione dell'energia del mezzo, si deve dedurre che l'impronta fluviale nel grado dello smussamento raggiunto sulle due spiagge di Cala Seregola e del Telegrafo per le due diverse litofacies esaminate dipende dalla presenza di un fattore energetico elaborativo dell'ondazione paragonabile a quello di un ambiente fluviale.

Poiché, come indicato da Cailleux & Tricart (1963, pag. 275), i ciottoli su di una spiaggia rappresentano dei totalizzatori dell'azione delle onde, si deve concludere che le due diverse litofacies della stessa classe dimensionale, derivate da inerte minerario sottoposto alla stessa ondazione ed in condizioni di settore di traversia diversificate, più aperto ai mari dominanti per Cala Seregola e più riparato invece per Cala del Telegrafo, sono state entrambe interessate da un'energia marina di elaborazione paragonabile a quella di un ambiente fluviale.

Tale risultanza giustifica quindi perchè le mediane degli indici di smussamento E ed R forniscano valori paragonabili a quelli ottenibili nelle stesse litofacies da elaborazioni di correnti fluviali.

Questa variazione del fattore energetico marino legato all'ondazione può sostanzialmente dipendere, nell'ambito di una stessa costa, dai diversi caratteri fisiografici dei suoi tratti, e, nell'ambito di sviluppi costieri di diverse aree continentali, dalla naturale diversità del loro regime meteomarino.

Questo tratto costiero nord-orientale dell'Isola d'Elba, presentando infatti caratteristiche fisiografiche diverse rispetto ai tratti meridionale e nord-occidentale, risulta più protetto dall'ondazione dominante (mari di SE e di S), per cui il livello energetico raggiunto nella mobilizzazione del materiale per getto di riva è tale da comportare solo valori paragonabili a quelli dell'ambiente fluviale.

Più in generale però da tale risultanza si evince che i valori delle mediane degli indici di smussamento E ed R non possono essere ritenuti da soli come parametri discriminanti dei vari mezzi di mobilizzazione (marino, fluviale, morenico, eolico e detritico), in quanto i relativi campi di variabilità di ciascuno di essi, potendo risultare molto ampi per le grandi variazioni del fattore energetico, presentano troppo comuni vasti intervalli di sovrapposizione.

Lavoro eseguito con il contributo del C.N.R. e del MURST.

BIBLIOGRAFIA

CAILLEUX, A. 1961. Application a la Géographie des méthodes d'étude des sables et des galets. "Curso de Altos Estudios Geograficos", Centr. Pesqu. Geogr. Fac. Nac. Filosof., Univ. Brazil: 151 pp.

CAILLEUX, A. & J. TRICART. 1963. Initiation a l'étude des sables et des galets. *Centr. Doc. Univ.,* Pàris, 1 texte: 369 pp.

CORTEMIGLIA, G.C. 1985. Valutazione sperimentale dell'elaborazione subita dai ciottoli in ambiente marino. *Boll. Soc. Geol. It*., vol. CIV: 429-443.

CORTEMIGLIA, G.C. 1989. Modalità di determinazione pratica del coefficiente di forma nello studio della morfometria dei ciottoli di depositi olocenici. *Mem. Soc. Geol. lt.,* vol. XLII: 109-117.

CORTEMIGLIA, G.C. 1992. Morfometria dei clasti calcarei appartenenti a detriti di falda ed a depositi morenici. Atti VI Convegno Glacicol. Ital., Gressoney 26/28 settembre 1991. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.,* vol. 15 (1 e 2): 75-84.

DAL CIN, R. 1967. Le ghiaie del Piave. Morfometria, granulometria, disposizione e natura dei ciottoli. *Mem. Mus. Trid. Se. Nat.,* an. XXIX-XXX, vol. XVI, fasc. III: 1-177.

DOBKTNS, J.E. & R.E. FOLK. 1970. Shape development Tahiti-Nui. *Journ. Sed. Petr.,* vol. 40: 1167-1203.

FACON, R. 1976. Les formations superficielles. Galets et sables. *Ass. Poitevine Geogr.:* 1-170.

FERRARI, M. 1990. Spiagge dell'Elba. *Guida alle spiagge, isolotti e itinerari velici.* Pacini Editore, Ospedaletto (Pisa): 157 pp.

KRUMBEIN, W.C. 1941. Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. *Journ. Sed. Petr.,* voi. 1 1: 64-72.

KUENEN, Ph. D. 1956. Experimental abrasion of pebbles, 2 Rolling by current. *Journ. Geol.,* vol. 64: 336-368.

ROSFELDER, A. 1961. Contributions a l'analyse texturale des sédiments. *Serv. Carte Geol. Algér ,* vol. 29: 310 pp.

SNEED, E.D. & R.L. FOLK. 1958. Pebbles in the lower Colorado river, Texas: a study in particle morphogenesis. *Journ. Geology,* vol. 66, n. 2: 114-150.

WINKELMOLEN, A.M. 1982. Critical remarks on grain parameters with special emphasis on shape. *Sedimentology,* vol. 29: 255-265.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L.
Atassio, 4-6 Novembre 1992
da pag. 143 a pag. 153

INDAGINE PLURIENNALE (1989-1992) DI ALCUNI PROCESSI DI TRASFORMAZIONE E DI DIFFUSIONE DI NUTRIENTI ALL'INTERFACCIA ACQUA-SEDIMENTI DEL LAGO D'ORTA

Sergio CERADINI*, Giovanni CICERI*, Nadia COGLIATI** e Walter MARTINOTTI"

*CISE-S.p.A., Segrate (MI)
**ENEL S.p.A. - CRAM, Milano

SUMMARY

Benthic fluxes of some nutrients ($N\text{-}NH_3$, $N\text{-}NO_3^-$, $P\text{-}PO_4^{3}$, $Si\text{-}SiO_2$), as well as the rate of nitrification and denitrification processes at the sediment-water interface of a large acidified lacustrine environment (Orta Lake), have been determined in several occasions, from December 1989 to April 1992.

The goal was achieved by applying two complementary methodologies: the former was the use of the Fick's first law, being known the concentration gradient of the studied species at the sediment-water interface; the latter was the use of regulated benthic chambers, positioned in three station between 30 and 110 m depth.

The obtained results show the sediments to be a source for $N\text{-}NH_3$, $P\text{-}PO_4^{3-}$ and $Si\text{-}SiO_2$, and a sink for $N\text{-}N0_3^-$. Moreover, nitrification of ammonia in the ipolimnic region and denitrification of nitrates in the first centimetres of sediments, produced a global reduction of both the nitrogen species concentration with lime, with probable final production of molecular nitrogen.

1.INTRODUZIONE

A seguito dell'introduzione di ingenti quantità di ammoniaca, residui della produzione del rayon con processo al cuprammonio, risalente a circa 60 anni or sono, il lago d'Orta ha presentato per lungo tempo valori di pH delle acque particolarmente bassi, generati dal processo di nitrificazione dell'ammonio (Mosello et al., 1986).

Dal 1989 ENEL e CISE, in collaborazione con il C.N.R.-Istituto Italiano di Idrobiologia di Pallanza, hanno intrapreso uno studio mirato alla definizione del ruolo dei sedimenti sui processi di trasformazione e di diffusione di alcuni nutrienti al fine di valutare i carichi interni di alcune specie chimiche e di definirne l'importanza rispetto alle altre sorgenti.

In particolare, nel presente lavoro vengono riportati i risultati di uno studio

pluriennale, relativo alla determinazione dei flussi bentici di alcuni nutrienti ($N\text{-}NH_3$, $N\text{-}N0_3^-$, $P\text{-}PO_4^{3-}$, $Si\text{-}SiO_2$) e ai ratei di alcuni processi di trasformazione delle specie azotate (nitrificazione e denitrificazione) nei sedimenti e nella colonna d'acqua sovrastante. A tale scopo sono state applicate due metodologie complementari: una utilizzante la prima legge di Fick, noti i gradienti di concentrazione all'interfaccia acqua-sedimenti delle specie studiate; l'altra utilizzante camere bentiche opportunamente predisposte per il funzionamento automatico su alti fondali (fino a 110 m).

2. PARTE SPERIMENTALE

I punti di campionamento di acqua e sedimenti, ed i punti di posizionamento delle camere bentiche sono mostrati in Figura 1.

Nel corso delle campagne sperimentali sono state effettuate misure dei profili dei parametri di qualità delle acque, campionamenti d'acqua e prelievi di carote di sedimenti.

Le carote di sedimenti (primi 10 cm) sono state sezionate in funzione della profondità e sottoposte alla separazione delle acque interstiziali.

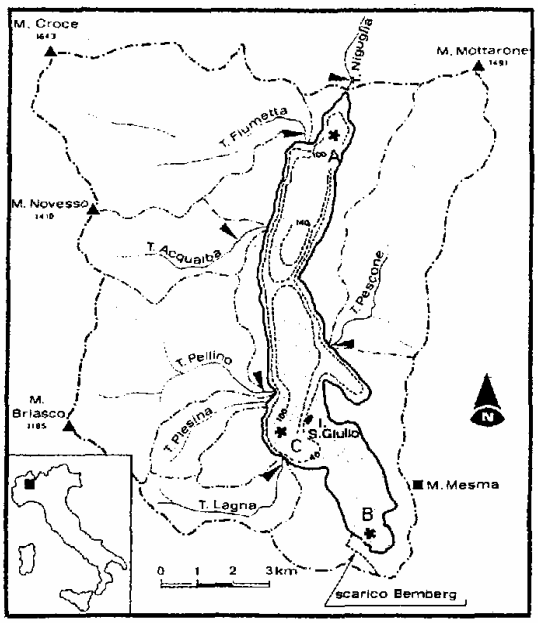


Fig. 1 - Lago d'Orta: stazioni di campionamento e posizionamento delle camere bentiche.

Parallelamente, su fondali di circa 30 m (stazioni A e B) e su un fondale di circa 110 m (stazione C) sono state posizionate delle camere bentiche (da sommozzatori nelle stazioni A e B, e mediante calata teleguidata da piattaforma nella stazione C), dalle quali si sono effettuati campionamenti di acqua immediatamente

dopo il posizionamento ed ad intervalli di tempo prestabiliti.

Prima delle determinazioni analitiche i campioni acquosi sono stati sottoposti a filtrazione su membrane di policarbonato da 0,4 µm di porosità.

Maggiori dettagli sulle tecniche utilizzate sono forniti in Ceradini et al. (1990).

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

In Tabella 1 sono riportati i risultati relativi ad alcune caratteristiche chimico-fisiche delle matrici acquose, per la campagna dell'aprile 1992. La Figura 2 riporta alcuni esempi di profili di temperatura, pH ed O_2 disciolto sia nella colonna d'acqua che nelle acque interstiziali della stazione A.

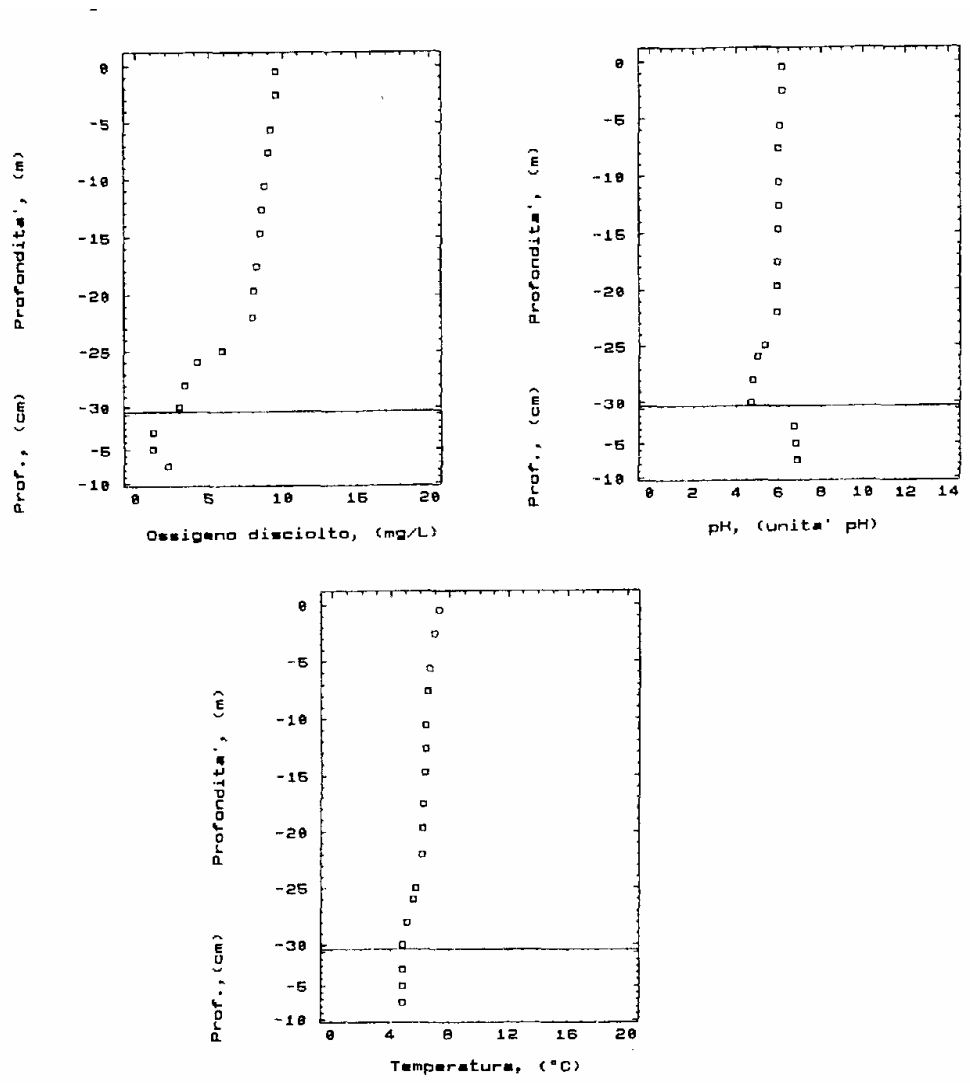


Fig. 2 - Profili dei parametri di qualità nella colonna d'acqua e nelle acque interstiziali Campagna aprile 1992, stazione A.

Tab. 1 - Caratteristiche chimico-fisiche delle matrici acquose relative alla campagna dell'aprile 1992. Il trattino significa "determinazione non effettuata"; i dati relativi ai fosfati sono stati forniti dall'Istituto Italiano di Idrobiologia di Pallanza.

PARAMETRO		STAZIONE A							
		Colonna d'acqua				Acqua interstiziale			
		-6m	-12m	-18m	-22m	0-1cm	1-3cm	4-6cm	7-10cm
Temp.	(°C)	5,76	5,65	5,63	5,61	5,61	5,61	5,61	5,61
O_2	(mgO_2/L)	7,00	6,51	6,18	6,06	1,10	1,30	1,30	1,30
pH	(unità pH)	5,93	5,82	5,78	5,76	5,85	5,92	5,95	5,99
T.O.C.	(mgC/L)	2,90	2,40	2,50	2,10	-	2,60	6,90	7,20
Ca	(mg/L)	13,4	13,5	14,0	12,9	-	-	-	-
Mg	(mg/L)	1,7	1,8	2,8	1,7	-	-	-	-
Na	(mg/L)	4,9	5,6	10,1	5,0	-	-	-	-
$N-NH_3$	(mg/L)	0,13	0,13	0,13	0,15	0,89	1,74	2,72	3,40
$N-NO_3$	(mg/L)	3,13	3,15	3,13	3,08	0,20	0,14	0,026	0,060
$N-NO_2$	(mg/L)	-	-	-	0,006	0,010	0,003	0,005	0,018
$S-SO_4$	(mg/L)	11,4	11,1	11,3	11,0	-	-	-	-
Cl	(mg/L)	4,0	4,6	-	5,9	-	-	-	-
$P-PO_4$	(µg/L)	-	-	-	1,0	20,4	32,2	48,4	41,1
$Si-SiO_2$	(mg/L)	0,15	0,08	0,66	0,60	4,52	4,66	5,81	7,07

PARAMETRO		STAZIONE B							
		Colonna d'acqua				Acqua interstiziale			
		-6m	-12m	-18m	-22m	0-1cm	1-3cm	4-6cm	7-10cm
Temp.	(°C)	8,38	8,31	7,50	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20
O_2	(mgO_2/L)	10,0	10,0	9,93	7,02	1,70	1,90	2,30	2,40
pH	(unità pH)	6,28	6,28	6,24	6,17	5,63	5,85	6,04	5,71
T.O.C.	(mgC/L)	2,70	2,70	2,00	3,50	4,50	7,80	8,60	8,10
Ca	(mg/L)	13,6	13,3	13,1	12,0	10,8	10,0	9,80	9,40
Mg	(mg/L)	1,7	1,8	1,7	1,5	1,8	1,8	1,9	2,5
Na	(mg/L)	4,9	5,2	5,1	4,4	5,9	6,5	6,5	10,2
$N-NH_3$	(mg/L)	0,16	0,20	0,16	0,16	0,90	1,01	1,75	2,22
$N-NO_3$	(mg/L)	2,99	3,14	2,97	3,01	0,10	0,12	0,08	0,18
$N-NO_2$	(mg/L)	0,014	0,002	0,012	0,009	0,008	0,003	0,002	0,006
$S-SO_4$	(mg/L)	11,2	11,5	11,2	11,5	9,30	5,57	1,83	0,53
Cl	(mg/L)	4,2	3,2	4,9	3,2	7,0	6,4	12,8	16,3
$P-PO_4$	(µg/L)	-	-	-	1,0	39,2	44,2	307,2	122,1
$Si-SiO_2$	(mg/L)	0,20	0,15	1,72	2,01	5,16	6,41	8,71	11,1

PARAMETRO		STAZIONE C									
		Colonna d'acqua						Acqua interstiziale			
		-5m	-15m	-35m	-60m	-90m	-102m	0-1cm	1-3cm	4-6cm	7-9cm
Temp.	(°C)	7,23	7,17	5,72	5,58	5,56	5,56	5,56	5,56	5,56	5,56
O_2	(mgO_2/L)	9,29	9,16	7,32	6,45	6,16	5,64	2,1	2,4	1,6	1,5
pH	(unità pH)	6,27	6,16	5,83	5,73	5,71	5,76	6,10	6,16	6,23	6,30
T.O.C.	(mgC/L)	2,40	1,90	1,80	1,80	1,70	18,3	-	9,10	12,0	15,0
Ca	(mg/L)	13,5	12,7	13,7	13,8	13,5	13,9	-	-	-	-
Mg	(mg/L)	1,7	1,6	1,7	4,6	1,8	1,8	-	-	-	-
Na	(mg/L)	4,8	4,5	4,3	15,4	5,1	5,2	-	-	-	-
$N-NH_3$	(mg/L)	0,15	0,16	0,18	0,14	0,14	0,18	2,23	3,45	5,65	7,18
$N-NO_3$	(mg/L)	3,01	3,07	3,07	3,06	3,06	3,27	0,14	0,013	0,031	0,053
$N-NO_2$	(mg/L)	0,012	0,012	0,002	-	-	0,002	0,011	0,003	0,014	0,020
$S-SO_4$	(mg/L)	12,6	11,2	11,0	11,5	11,2	11,5	-	-	-	-
Cl	(mg/L)	3,9	3,6	4,6	31,1	14,0	4,3	-	-	-	-
$P-PO_4$	(µg/L)	-	-	-	-	-	1,0	8,90	52,0	66,3	61,4
$Si-SiO_2$	(mg/L)	1,78	1,46	0,93	1,00	1,40	0,28	4,66	5,31	6,80	8,88

I dati relativi a tutte le campagne mostrano che nel dicembre 1989 (stazione A) la colonna d'acqua risulta omogenea fino a 25 m di profondità dove si osserva un decremento di temperatura, di pH (gradiente negativo piuttosto accentuato di 1,5 unità in sei metri), con corrispondente calo dell'ossigeno disciolto. Nel marzo 1990, in entrambe le stazioni (A e B) la colonna d'acqua si presenta pressoché omogenea per temperatura e pH (5,6 - 5,9), mentre l'O_2 disciolto presenta un decremento attorno ai 12-15 m, più marcato nella stazione B. Nel dicembre 1990 (stazione A) si osserva una stratificazione termica con decremento di pH ed O_2 in prossimità del fondale dello stesso ordine di grandezza di quello osservato nel 1989. Nel marzo 1991 (stazioni A e B) si osserva un lieve e costante decremento di pH, temperatura e O_2 disciolto con la profondità. Nel maggio 1991 (stazione C) si osserva un marcato termoclino intorno ai 10 m di profondità con corrispondente calo dei valori di pH (di circa 1,5 unità) e di O_2 disciolto. Nel dicembre 1991 la stratificazione compare attorno ai 20 m (stazione C), con calo di pH ed O_2 disciolto dello stesso ordine di grandezza. Nell'aprile 1992 il termoclino compare attorno ai 20 m (stazione C) con marcata e graduale diminuzione di O_2 disciolto e di pH (circa 0,5 unità), e sui 15 m (stazione B) con variazione di O_2 in prossimità del fondale, mentre non si osserva alcuna variazione significativa di temperatura con la profondità nella stazione A.

In generale, le acque interstiziali presentano una concentrazione di O_2 disciolto inferiore a quella della colonna d'acqua con valori compresi tra 0,70 e 3,17 mg/L, mentre il pH si mantiene a valori superiori a quelli della colonna d'acqua (con eccezione della stazione C nella campagna dell'aprile 1992).

In Figura 3 sono presentati gli andamenti dei nutrienti nella colonna d'acqua e nelle acque interstiziali, relativi alla campagna dell'aprile 1992 (stazione C).

I dati relativi a tutte le campagne mostrano che in linea di massima, la concentrazione di azoto ammoniacale e nitrico rimangono omogenee nella colonna d'acqua, ma le concentrazioni medie calano vistosamente nel tempo, passando da valori prossimi al mg/L per l'azoto ammoniacale ed a 4 mg/L per quello nitrico (dicembre 1989), a valori inferiori a 0,1 mg/L e prossimi a 3 mg/L (aprile 1992) rispettivamente.

La concentrazione di ortofosfato solubile nella colonna d'acqua appare, in generale omogenea; una tendenza a decrescere con la profondità si osserva solo nel maggio 1991 (stazione C), mentre nel dicembre 1990 (stazione A) la concentrazione più elevata è rilevata in prossimità dei sedimenti.

La concentrazione di silice disciolta nella colonna d'acqua mostra un incremento nelle acque ipolimniche limitatamente alla campagna dell'aprile 1992 e per le sole stazioni A e B, con opposta tendenza nella stazione C.

Nelle acque interstiziali dei primi centimetri di sedimenti si osserva, in generale, un decremento della concentrazione di azoto nitrico (di circa 4 volte) ed un incremento dell'azoto ammoniacale (da 2 a 4 volte) rispetto alla colonna d'acqua.

Solo in un caso (campagna marzo 1990, stazione B) la concentrazione di azoto ammoniacale nelle acque interstiziali è risultata inferiore a quella relativa alla colonna d'acqua. Le concentrazione di entrambe le forme di azoto nelle acque interstiziali non presentano variazioni significative nell'arco di tempo considerato (dicembre 1989 -

aprile 1992), indicando che i sedimenti contengono una riserva consistente di azoto ammoniacale.

La concentrazione di ortofosfato nelle acque interstiziali dei primi centimetri

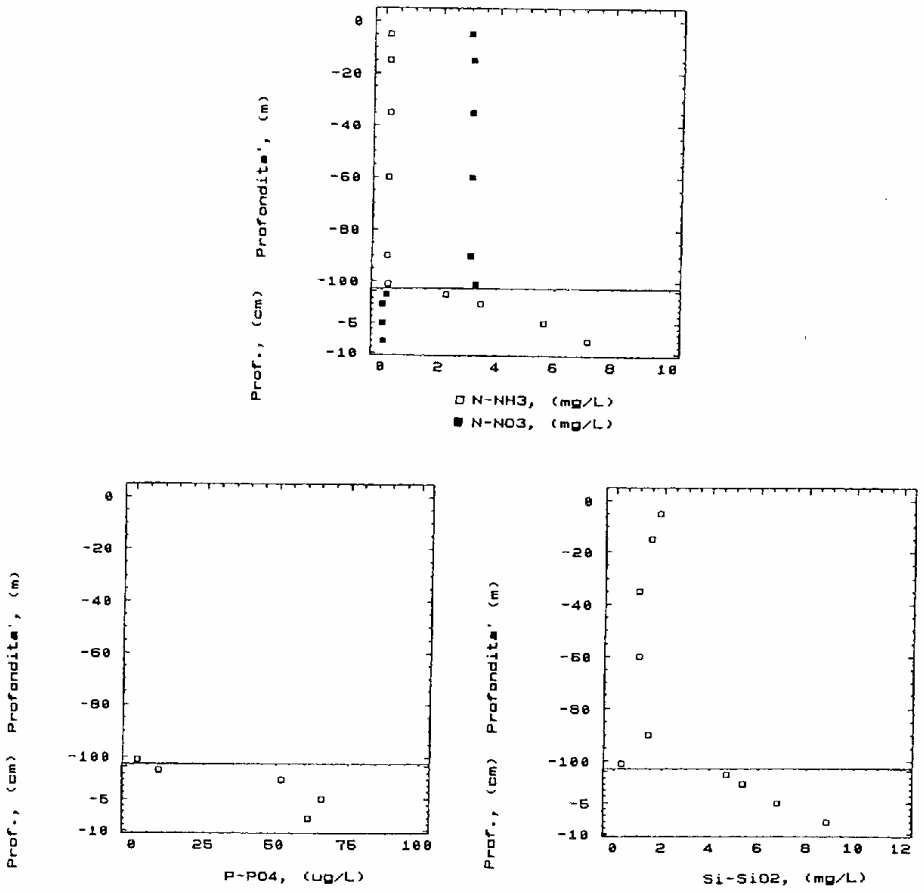


Fig. 3 - Profili di azoto nitrico, azoto ammoniacale, ortofosfato e silice disciolta nella colonna d'acqua e nelle acque interstiziali. Campagna aprile 1992, stazione C.

di sedimenti è notevolmente superiore a quella rilevata nella colonna d'acqua (fino ad un fattore 100). Il profilo di concentrazione in funzione della profondità (quando rilevato) mostra un massimo di concentrazione nelle acque interstiziali estratte dai sedimenti intorno a 5 cm di profondità, tranne che nel dicembre 1990 (stazione A), quando la concentrazione nelle acque interstiziali mostra una netta tendenza a diminuire con la profondità.

La concentrazione di silice disciolta nelle acque interstiziali dei primi centimetri di sedimenti risulta sempre superiore a quella relativa alla colonna d'acqua (da 2 e 10 volte), con netta tendenza all'aumento in funzione della profondità.

I dati delle esperienze con camera bentica relativi alla campagna dell'aprile 1992 (stazione B) sono visualizzati in Figura 4.

I dati relativi a tutte le campagne mostrano che, in generale, per $N\text{-}NH_3$ e $N\text{-}\ N0_3^-$, si osserva una costante diminuzione della concentrazione nell'acqua interna alla camera bentica (con eccezione per la campagna dell'aprile 1992, stazione C), in apparente contraddizione con i rispettivi valori di gradiente di concentrazione tra acqua interstiziale e colonna sovrastante. Tale fatto è stato spiegato in un precedente lavoro (Ceradini et al., 1990) considerando l'insieme dei possibili processi che coinvolgono l'azoto ammoniacale e nitrico all'interfaccia acqua-sedimenti. Oltre ai fenomeni puramente diffusivi di scambio di azoto nitrico ed ammoniacale tra acqua ipolimnica ed acqua interstiziale, si verificano, ai valori di potenziale redox e pH registrati, i processi di nitrificazione dell'azoto ammoniacale nella colonna d'acqua (Mosello et al., 1986; Klapwijk & Snodgrass, 1982) e di denitrificazione dell'azoto nitrico nei primi centimetri di sedimenti (Wollast, 1978).

Nelle ipotesi già formulate in Ceradini et al. (1990) per il calcolo delle velocità di nitrificazione (V_N) e denitrificazione (V_D), dei flussi diffusionali di azoto nitrico ed ammoniacale (Jd_{N03} e Jd_{NH4}) e del valore dello strato attraverso il quale avviene il fenomeno diffusionale (Δx), sono stati ottenuti i dati riportati in Tabella 2, normalizzati all'unità di volume (V_N) o all'unità di superficie (V_D e flussi diffusionali).

I flussi diffusionali risultano essere sempre negativi (dalla colonna d'acqua al sedimento) per l'azoto nitrico, mentre per l'azoto ammoniacale si ottengono sempre flussi positivi, tranne che nella stazione B e relativamente alla sola campagna del marzo 1990. In generale, anche se il flusso diffusionale dell'azoto ammoniacale è positivo, la velocità di nitrificazione nell'acqua prossima al sedimento risulta maggiore della velocità con la quale la stessa acqua viene rifornita di azoto ammoniacale per diffusione dai sedimenti. Sulla base dei dati raccolti si può quindi concludere che i fenomeni di trasformazione dell'azoto nitrico ed ammoniacale all'interfaccia acqua-sedimenti, si risolvono, a livello macroscopico, in un inglobamento di azoto nei sedimenti stessi: il nitrato per diffusione diretta, l'ammonio a seguito della nitrificazione e conseguente diffusione del nitrato.

Per quanto concerne $P\text{-}PO_4^{3-}$ e $Si\text{-}SiO_2$, si nota un aumento della concentrazione nell'acqua interna alle camere bentiche in funzione del tempo. Il flusso positivo (dai sedimenti verso la colonna d'acqua) osservato per le due specie è sostanzialmente in accordo con il valore del gradiente di concentrazione delle stesse all'interfaccia acqua-sedimenti. I valori dei flussi diffusionali calcolati mediante applicazione della legge di Fick (Ceradini et al., 1990), utilizzando i valori di Δx ottenuti per ogni esperienza (Tabella 2) e quelli ottenuti dalle esperienze con camere bentiche sono sostanzialmente in accordo per $P\text{-}PO_4^{3-}$, con una differenza sui valori medi intorno al 2 %. Solo nell'esperienza del dicembre 1990 (stazione A) i due flussi presentano valori opposti (positivo quello diffusionale e negativo quello misurato con

camera bentica). Tale fatto porta a concludere che in generale l'ortofosfato che fuoriesce dai sedimenti non viene rimosso per precipitazione con gli idrossidi di ferro nelle acque prossime al fondale.

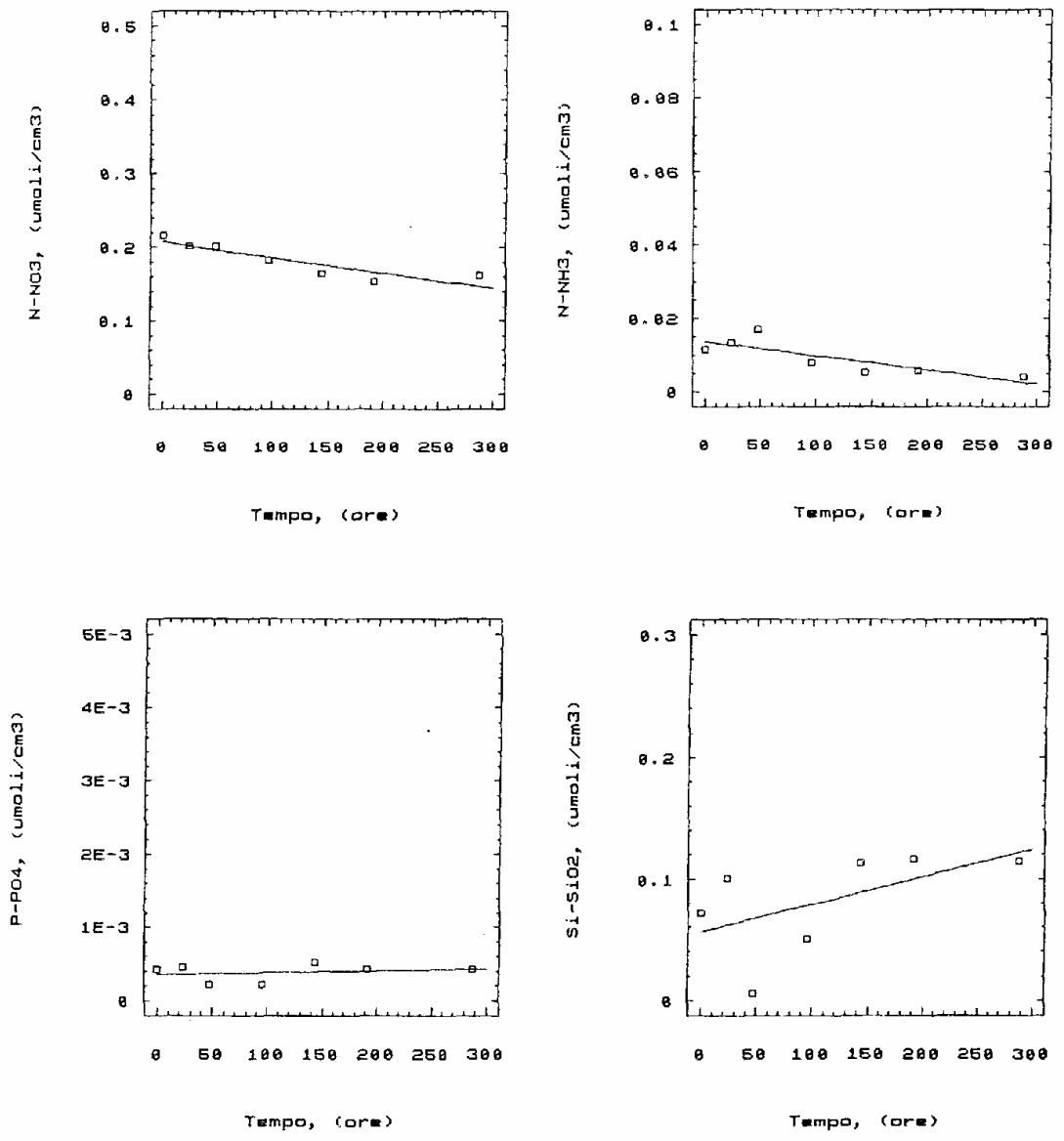


Fig. 4 - Andamenti della concentrazione di azoto nitrico, azoto ammoniacale, ortofosfato e silice disciolta nell'acqua interna alle camere bentiche in funzione del tempo. Campagna aprile 1992, stazione B.

Tab. 2 - Velocità di nitrificazione (V_N), di denitrificazione (V_D), flussi diffusionali di azoto nitrico, ammoniacale, ortofosfato e silice disciolta (Jd_{NO3}, Jd_{NH4}, Jd_{PO4} e Jd_{SiO2}), flussi misurati di ortofosfato e silice disciolta (Jt_{PO4} e Jt_{SiO2}), spessore (Δx) dello strato attraverso il quale avviene il fenomeno diffusivo.

Campagna	Stazione	V_N $\mu moli/(cm^3*s)$	V_D $\mu moli/(cm^2*s)$	Jd_{NH4} $\mu moli/(cm^2*s)$	Jd_{NO3} $\mu moli/(cm^2*s)$	Δx (cm)	Jd_{PO4} $\mu moli/(cm^2*s)$	Jt_{PO4} $\mu moli/(cm^2*s)$	Jd_{SiO2} $\mu moli/(cm^2*s)$	Jt_{SiO2} $\mu moli/(cm^2*s)$
Dicembre 1989	A	$1,72*10^{-7}$	$7,45*10^{-6}$	$+4,24*10^{-6}$	$-7,45*10^{-6}$	0,20	-	-	-	-
Marzo 1990	A	$1,19*10^{-7}$	$5,34*10^{-6}$	$+2,48*10^{-6}$	$-5,34*10^{-6}$	0,26	-	-	-	-
Marzo 1990	B	$2,56*10^{-8}$	$9,92*10^{-7}$	$-1,40*10^{-7}$	$-9,92*10^{-7}$	0,88	-	-	-	-
Dicembre 1990	A	$5,79*10^{-8}$	$2,98*10^{-6}$	$+3,51*10^{-7}$	$-2,98*10^{-6}$	0,43	$+3,04*10^{-8}$	$-1,22*10^{-9}$	-	-
Maggio 1991	C	$1,02*10^{-7}$	$2,15*10^{-6}$	$+3,08*10^{-6}$	$-2,15*10^{-6}$	0,56	$+1,28*10^{-8}$	$+2,07*10^{-8}$	-	-
Aprile 1992	A	$3,32*10^{-8}$	$3,38*10^{-6}$	$+8,83*10^{-7}$	$-3,38*10^{-6}$	0,36	$+4,25*10^{-9}$	$+4,61*10^{-9}$	$+1,46*10^{-7}$	$+1,37*10^{-5}$
Aprile 1992	B	$3,48*10^{-8}$	$2,69*10^{-6}$	$+7,03*10^{-7}$	$-2,69*10^{-6}$	0,48	$+6,64*10^{-9}$	$+2,05*10^{-9}$	$+1,22*10^{-7}$	$+1,83*10^{-6}$
Aprile 1992	C	$1,40*10^{-7}$	$8,57*10^{-6}$	$+5,71*10^{-6}$	$-8,57*10^{-6}$	0,15	$+4,05*10^{-9}$	$+3,31*10^{-8}$	$+2,80*10^{-7}$	$+1,98*10^{-5}$
Media		$8,56*10^{-8}$	$4,19*10^{-6}$	$+2,16*10^{-6}$	$-4,19*10^{-6}$	0,42	$+1,16*10^{-8}$	$+1,18*10^{-8}$	$+1,83*10^{-7}$	$+1,18*10^{-5}$
C.V.(%)		64,7	6,37	96,3	6,37	54,8	95,7	124	46,5	77,5
Min		$2,56*10^{-8}$	$9,92*10^{-7}$	$-1,40*10^{-7}$	$-9,92*10^{-7}$	0,15	$+4,05*10^{-9}$	$-1,22*10^{-9}$	$+1,22*10^{-7}$	$+1,83*10^{-6}$
Max		$1,72*10^{-7}$	$8,57*10^{-6}$	$+5,71*10^{-6}$	$-8,57*10^{-6}$	0,88	$+3,04*10^{-8}$	$+3,31*10^{-8}$	$+2,80*10^{-7}$	$+1,98*10^{-5}$

Per la silice disciolta, i flussi calcolati utilizzando la legge di Fick e quelli ottenuti dalle esperienze con camere bentiche sono dello stesso segno (positivi) ma in netto disaccordo, essendo i primi circa due ordini di grandezza inferiori ai secondi. D'altra parte la silice disciolta, presenta un andamento non lineare col tempo nell'acqua interna alla camera bentica. Questo potrebbe essere in relazione sia alla diminuzione del fattore di concentrazione della silice disciolta in funzione del tempo, sia alla formazione di polimeri e/o precipitati non reattivi al metodo del blu di molibdeno, a causa di fenomeni di invecchiamento.

Il fatto che, in tutti i casi studiati, il flusso misurato con l'utilizzo delle camere bentiche risulti di gran lunga superiore a quello calcolato utilizzando la legge di Fick, indica come il flusso di Si-SiO_2, potrebbe essere influenzato da fattori diversi dalla pura diffusione.

In linea di principio i dati ottenuti sono validi solo se ricondotti alle particolari condizioni chimico-fisiche presenti al tempo delle esperienze (pH, O_2 disciolto, ecc.), ma appaiono sufficienti ad essere utilizzati per la stima dei carichi interni di nutrienti nel lago d'Orla e per una prima quantificazione del ruolo dei processi di nitrificazione e denitrificazione nel ciclo dei composti azotati nelle acque del lago.

4. CONCLUSIONI

L'applicazione di due metodologie complementari (misura diretta dei flussi con camere bentiche ed indiretta attraverso l'applicazione della prima legge di Fick) ha permesso di giungere ad una prima quantificazione di alcuni processi che regolano il ciclo delle sostanze nutrienti nel lago d'Orla, tra i quali la nitrificazione nell'acqua ipolimnica, la denitrificazione nei primi strati di sedimenti ed i flussi bentici di azoto ammoniacale e nitrico, ortofosfato e silice solubile.

Il processo globale di trasformazione dell'azoto (nitrico ed ammoniacale) nelle acque prossime al fondale, si manifesta attraverso la demolizione del nitrato ad azoto molecolare nei primi centimetri di sedimenti.

I flussi bentici di ortofosfato e silice sono positivi, ma per quest'ultima il flusso dai sedimenti appare regolato da processi diversi dalla pura diffusione.

Nessuna correlazione è stata evidenziata tra le grandezze calcolate e parametri quali pH, O_2 disciolto, temperatura, concentrazione di nutrienti, indicando che non esiste un unico fattore dominante la cui variazione determina un aumento od una diminuzione lineare dei parametri calcolati, ma, piuttosto che i fenomeni di nitrificazione e denitrificazione siano influenzati da una numero elevato di fattori, ognuno dei quali non in grado di spiegare da solo la varianza osservata.

I dati ottenuti sono stati utilizzati per la stima dei carichi interni dei nutrienti nel lago d'Orla e per una prima quantificazione del ruolo dei processi di nitrificazione e denitrificazione nel ciclo dei composti azotati nelle acque del lago (Cambiaghi et al., 1993).

BIBLIOGRAFIA

Cambiaghi, M., S. Ceradini, G. Ciceri & W. Martinetti, 1993. The role of sediments in the nitrogen budget of Orta Lake (Northern Italy). In: Giussani & Callieri (Eds), "Proceedings of the 5th International Conference on the Conservation and Management of Lakes - Strategy for Lake Ecosystems Beyond 2000". Stresa (Italy), 17-21 May 1993: 253-256.

Ceradini, S., G. Ciceri, N. Cogliati, W. Martinetti & D. Portaluppi. 1990. Alcuni aspetti del ciclo dell'azoto all'interfaccia acqua-sedimenti del Lago d'Orta. *Atti del IX Congresso Nazionale A.I.O.L.,* S. Margherita Ligure, 20-23 novembre 1990: 445-458.

Klapwijk, A. & J. Snodgrass. 1982. Experimental measurement of sediment nitrification and denitrification in Hamilton Harbour, Canada. *Hydrobiologia,* 91: 207-216.

Mosello, R., C. Bonacina, A. Carello, V. Libera & G. A. Tartari. 1986. Acidification due to in-lake ammonia oxidation: an attempt to quantify the proton production in a highly polluted subalpine Italian lake (Lake Orta). *Mem. Ist. Ital. Idrobiol..,* 44: 47-71.

Wollast, R.. 1978. Oxydo-reduction potential and bacteriological activity in the interstitial waters. *Thalassia Jug.,* 14: 209-212.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L.
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da pag. 155 a pag. 165

ALCUNE CARATTERISTICHE DEI PROCESSI BIOGEOCHIMICI NEL CANALE DI SICILIA

Giorgio BUDILLON*, Fabio CONVERSANO*, Fabrizio CAMPILI**, Federico CORATO** e Giancarlo SPEZIE*

Istituto di Meteorologia e Oceanografia IUN, Napoli
** Stazione Zoologica "A.Dohrn", Napoli

SUMMARY

At the end of 1990 the POEM Project was extended to the study of the chemical and biological dynamics of the Eastern Mediterranean Basin. The new Project was named POEM-BC (Physical, Biological and Chemical Oceanography of the Eastern Mediterranean). The aim of this extended Project is to estimate the productivity of the Eastern Mediterranean and to determine the temporal and spatial scales that regulate biogeochemical processes.

In the frame of this project, in October 1991, an oceanographic cruise has been conducted in the Sicily Channel by the Istituto di Meteorologia e Oceanografia IUN and the Stazione Zoologica "A. Dohrn" of Naples.

On a station grid covering the whole channel the conventional physical parameters were estimated and the analysis of dissolved oxygen concentration was performed using the polarographic electrode method. On a reduced number of stations, dissolved oxygen concentration was evaluated with the Winkler method and nitrate, phosphate, and silicate concentrations were determined. On selected stations chlorophyll *a* content of the particulate matter was also measured.

We present data on oxygen depletion recorded in the LIW throughout the Sicily Channel, on nutrient concentrations values of these water mass and on the presence, in the centre of the Sicily Channel, of mesoscale structures related to upwelling events.

Preliminary analysis of recent data collected during the POEM-BC A92 Cruise show that the exchange of nitrogen and phosphorous through the Sicily Channel is presumably less unbalanced than it was thought before.

1. INTRODUZIONE

A partire dal 1985 nell'ambito del POEM (Physical Oceanography of the Eastern Mediterranean) è stata condotta un'osservazione più sistematica del Mediterraneo Orientale (E.Med.) che ha delineato le caratteristiche principali della dinamica fisica del bacino. In un lavoro sintetico (Robinson et al., 1992) il gruppo POEM ha classificato i processi che hanno luogo nell' E.Med. sulla base delle diverse scale spazio-temporali:

- alla scala di bacino, ovvero una grossa cella termoalina;
- alla scala di sottobacino, con unità fisiche identificate come vortici, jets e correnti meandriformi (che, unite, contribuiscono a formare la circolazione generale);

- a livello di mesoscala, cioè secondo le strutture che dipendono dal raggio di deformazione di Rossby.

Il ruolo e le interazioni tra la dinamica fisica e la complessiva dinamica bio-geochimica è l'oggetto di studio dell'estensione del POEM al nuovo progetto denominato POEM-BC che in particolare ha l'obiettivo di determinare la dinamica del ciclo di produttività nel bacino, individuare le scale spazio-temporali più significative dei processi biochimici che la regolano e definire l'effetto dei processi fisici su di essi.

In questo lavoro si commentano i risultati su alcuni processi biogeochimici osservati durante la campagna oceanografica POEM-BC effettuata nell'Ottobre '91 dall'Istituto di Meteorologia e Oceanografia dell' IUN e dalla Stazione Zoologica di Napoli.

Questo studio è stato orientale a fornire una prima stima circa l'entità dei flussi biogeochimici attraverso il Canale di Sicilia partendo dalla determinazione della distribuzione delle relative variabili chimiche e biologiche.

L'integrazione delle informazioni fornite dalle misure di queste variabili, in aggiunta a quelle provenienti dall' analisi dei dati T-S, ha una doppia valenza:

- supporta una descrizione della dinamica fisica, fornendo spesso segnali amplificati rispetto alle variazioni di T ed S, ed è comunque indicativa di processi non distinguibili solo dall'analisi dei parametri fisici (si pensi alla classica analisi della distribuzione di ossigeno rispetto ai tempi di residenza delle acque profonde);
- permette una quantificazione dei flussi e conseguentemente una valutazione dei bilanci, punto chiave per qualsiasi descrizione di dinamica globale, fornendo un ulteriore supporto ai risultati dell'analisi fisica.

2. MATERIALI E METODI

La campagna oceanografica POEM-BC O91 è stata effettuata con la N/O "MINERVA" messa a disposizione dal C.N.R.. Sono state effettuate 98 stazioni di misura come riportato nel reticolo generale di Fig. 1.

Oltre ai parametri fisici convenzionali, sono stati prelevati campioni, generalmente alle quote standard, per l'analisi di ossigeno disciolto, nutrienti (nitrati, ortofosfati, silicati), azoto e fosforo totali e dei pigmenti clorofilliani.

Per il campionamento è stato utilizzato, nella prima parte della campagna, un CTD del tipo NEIL BROWN e successivamente un SEABIRD, per l'acquisizione in continuo dei parametri fisici, corredato di ROSETTE con dodici bottiglie del tipo NISKIN da 10 litri ciascuna, per il campionamento chimico-biologico. I valori di temperatura acquisiti dal CTD sono stati calibrati mediante termometri a rovesciamento digitali SIS mentre i campioni per la taratura della salinità sono stati analizzati con un salinometro da laboratorio AUTOSAL mod.8400.

Per quanto riguarda i parametri chimici sono state adottate le seguenti metodologie:

-l'ossigeno disciolto è stato determinato con la procedura di Winkler (Saggiomo et al., 1990), con determinazione visiva del punto equivalente. La precisione misurata con l'effettuazione di almeno 10 repliche sullo stesso campione è risultata essere di ± 0.67 $\mu mol/dm^3$. Inoltre la soluzione stock di iodato è stata precedentemente intercalibrata per la standardizzazione con altri laboratori, operazione che ha consentito di verificare l'affidabilità della soluzione utilizzata.

La qualità dei dati delle concentrazioni dell'ossigeno disciolto riveste particolare importanza nell'evidenziare alcuni processi rilevanti osservati nel Canale;

- per quanto riguarda i nutrienti (nitrati, ortofosfati, silicati) e la determinazione dell'azoto e fosforo totale, i campioni sono stati prelevati, nel primo caso, in fialette di polietilene da 20 ml a chiusura ermetica mentre nel secondo caso i campioni,

opportunamente trattati con un agente ossidante (potassio persolfato), sono stati messi in autoclave per 30 minuti a 120°C. Poiché l'analisi non è stata effettuata direttamente a bordo, è stato necessario, in entrambi i casi, congelare i campioni a -20°C.

I dati sulle concentrazioni dei sali nutritivi ottenuti successivamente in laboratorio, che avrebbero dovuto integrare le informazioni ricavate dall'analisi dell'ossigeno disciolto, hanno invece posto grossi problemi di attendibilità. La variabilità è risultata elevatissima sia tra stazione e stazione che su diverse quote della stessa stazione, anche quando la struttura della colonna avrebbe suggerito valori simili. Riteniamo che questa variabilità sia da imputare in pari misura al lungo intervallo di tempo trascorso dal prelievo dei campioni all'analisi (circa 6 mesi per cause non dipendenti dagli operatori) che ad una cattiva conservazione dei campioni stessi, imputabile in parte al tipo di contenitori utilizzati.

E' risultato infatti che la salinità della maggior parte dei campioni era spesso diminuita fino a valori di 20 psu, lasciando supporre perdita di sali non facilmente stimabile. I valori ottenuti sono risultati talvolta troppo alti rispetto alle concentrazioni riportate in letteratura per le stesse masse d'acqua, talvolta troppo bassi.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

Evidenziarne alcuni aspetti caratteristici della dinamica fisica e chimica facendo riferimento a tre sezioni che meglio rappresentano 1' area in esame (vedi Fig. 1).

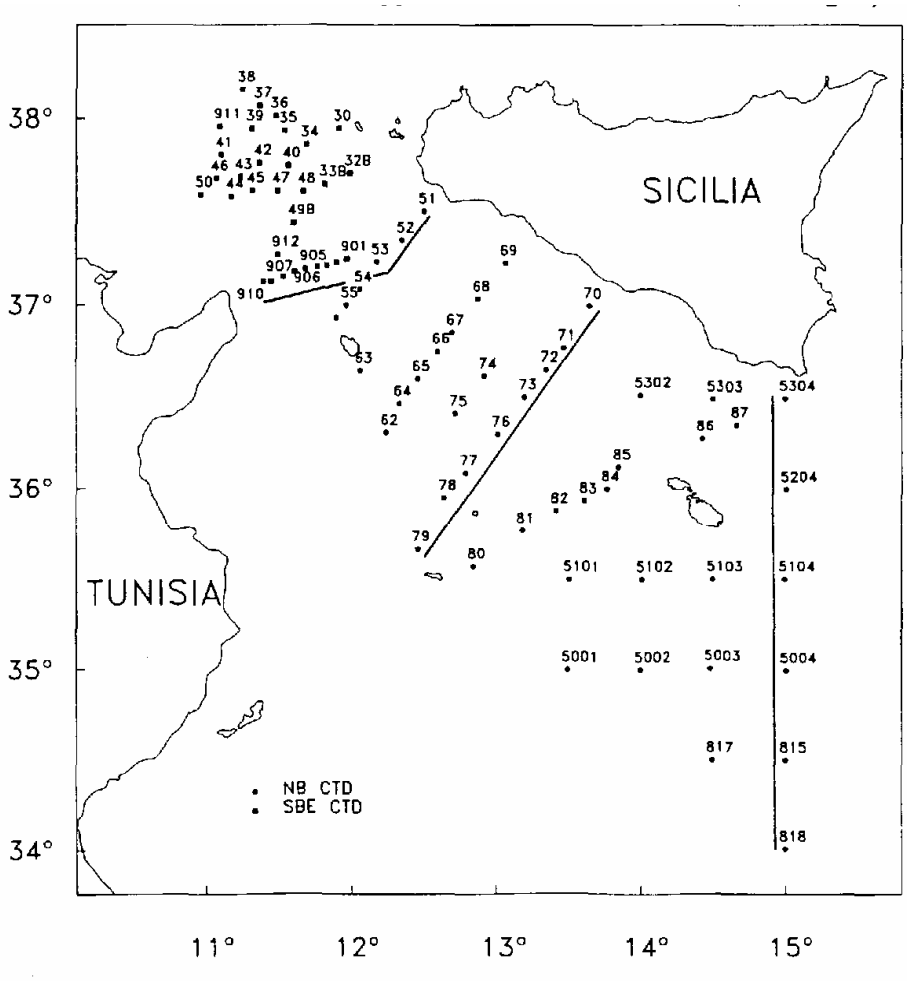


Fig. 1 - POEM-BC O91 Grigliato delle stazioni

3.1. Caratteristiche fisiche

II transetto 1 rappresenta la sezione che va da Capo Bon a Mazara del Vallo.

La sezione è stata investigata con un transetto di 12 stazioni idrologiche eseguite con il CTD dalla superficie al fondo. La sezione è molto indicativa perché taglia, nella parte più stretta del Canale, il flusso in ingresso delle acque atlantiche ed il flusso in uscita delle LIW attraverso la soglia del canyon a nord di Pantelleria che rappresenta il passaggio obbligato dell' acqua levantina verso il bacino occidentale del Mediterraneo. La sezione occupa anche parzialmente (stazioni 51,52,53) lo shelf siciliano con fondali molto bassi.

L'analisi delle caratteristiche delle acque presenti all'epoca delle misure è stata effettuata attraverso i diagrammi T-S. E' evidente la presenza di acqua superficiale locale nell'area della piattaforma siciliana, mentre solo sulle stazioni 905 e 906, centrate sul canyon di Pantelleria, è ben evidente la massiccia presenza di acqua levantina. Il cuore dell'acqua atlantica è presente nelle stazioni 908 e 910 in prossimità delle coste africane, intrappolata nel termoclino ancora ben sviluppato. La zona di separazione tra le due masse d'acqua, caratterizzate dai diversi valori di salinità, viene individuata intorno ai 150 metri di profondità corrispondente approssimativamente alla quota dell'isoalina S=38.

Lungo il secondo transetto, la caratteristica dominante è la presenza molto marcata della LIW in tutte le stazioni; solo nella stazione 77 è ben evidente anche l'AW nello strato superficiale. Questa sezione è localizzata nell' ampio bacino di raccolta delle LIW, prima che queste si incanalano nel canyon di Pantelleria.

La terza sezione, a sud di Capo Passero e lungo il meridiano 15°E, può essere contraddistinta da due situazioni idrologiche diverse: nella sua parte settentrionale, fino alla stazione 5104 a SE di Malta, si nota la presenza di AW tra i 30 e 50 metri di profondità, mentre nella parte meridionale, lo strato superficiale è interessato da acque ioniche rimescolate e da marcata presenza di LIW intorno a 260 metri di profondità.

Le recenti ricerche nel Canale di Sicilia hanno evidenziato la grande difficoltà a valutare i trasporti delle masse d'acqua tra il bacino orientale e quello occidentale del Mediterraneo, sia con i metodi diretti (Grancini & Michelato, 1987; Manzella et al, 1988) sia con i metodi classici (De Maio et al., 1990). Queste difficoltà sorgono da due ordini di considerazioni:

1. la AW entra nel Canale di Sicilia con una struttura a getto collegata ad un fronte termico disposto lungo il bordo delle acque fredde e saline presenti sullo shelf continentale della Sicilia. Questo flusso è associato a meandri ed eddies che sono responsabili di una forte variabilità spaziale e temporale;
2. la LIW esce dallo Stretto di Sicilia soprattutto attraverso la sella a nord di Pantelleria a 430 metri di profondità ed ampia solo una decina di miglia.

A queste condizioni i metodi geostrofici per la valutazione dei trasporti possono fornire valori, non del tutto corretti, diversi da quelli che mediamente sono riportati in letteratura. A questo bisogna aggiungere che le numerose campagne eseguite nel!' ambito del POEM hanno evidenziato l'importanza dei fenomeni di mesoscala sui trasporti dei flussi. Quindi occorre anche considerare la difficoltà di separare la parte del trasporto medio dovuto al forzamento termoalino da quella causata dai fenomeni di mesoscala.

Comunque, nonostante le difficoltà ricordate, il metodo geostrofico, allo stato attuale in mancanza di adeguati punti di misura diretta dei flussi, rappresenta l'unico possibile per una valutazione dei trasporti.

La topografia e le caratteristiche dinamiche dell'area in esame non ci consentono di considerare il fondo marino come superficie di moto nullo, pertanto il livello di riferimento scelto, per il calcolo geostrofico lungo le sezioni considerate, è stato intorno a 150 m,

quota che rappresenta orientativamente l'interfaccia tra la AW e la LIW (Moretti et al 1989)

Sulla base di quanto sopra descritto, i calcoli geostrofici e quindi i trasporti totali, sono stati eseguiti utilizzando gli stessi transetti analizzati precedentemente da un punto di vista idrologico

La sezione 1, riportata in Fig. 1, risulta la più attendibile in quanto taglia trasversalmente il flusso della LIW e si estende dalla Sicilia sino a poche miglia dalle coste africane.

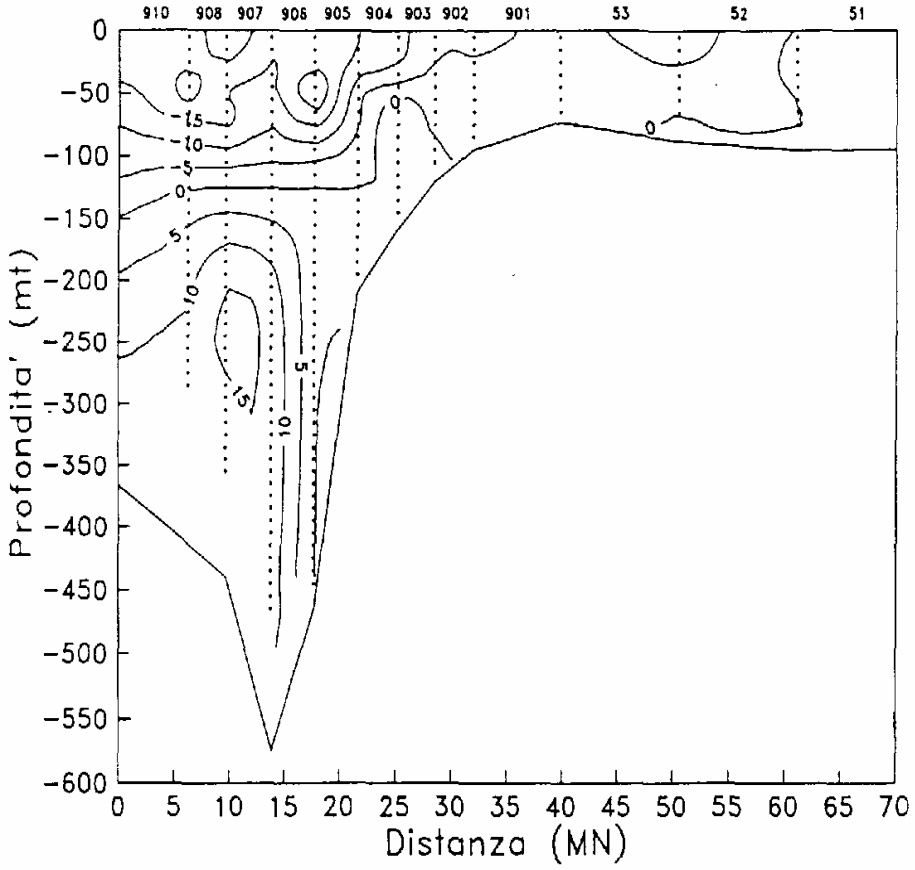


Fig. 2 - Transetto 1, velocità geostrofiche (cm/sec)

La Fig. 2 riporta per questo transetto le linee di uguale velocità (in cm /s) in funzione della distanza tra le stazioni e della relativa profondità. E' molto ben evidente il cuore della AW nel settore tunisino ad una quota compresa tra i 30 e i 50 metri, con velocità intorno ai 19 cm/s, ed il cuore della LIW, centrato a 250 metri di profondità, abbastanza allineato con l'asse del canyon e con velocità intorno a 14 cm/s. (i valori negativi sono per correnti uscenti dal foglio).

Il trasporto totale calcolato con il metodo geostrofico attraverso questa sezione ammonta a circa 0.7 Sv sia per la AW che per la LIW.

Molto interessante è l'analisi della Fig. 3 relativa al transetto 2, posizionato tra Pantelleria e Malta dove appare marcato ed intenso il cuore della AW lungo il getto superficiale a nord di Lampedusa, mentre la LIW è distribuita in un ampio settore con velocità massima intorno ad 8 cm/s. L'intensità dei flussi e l'ampiezza della sezione provocano un trasporto totale di 1.7 Sv in entrambi i sensi.

Il discorso è diametralmente opposto quando consideriamo il transetto 3, lungo il meridiano 15°E. E' una sezione molto limitata, che interessa soltanto una parte della congiungente Sicilia-Africa, però è indicativa dell'area d'interfaccia tra la circolazione dello Ionio e quella del -Canale di Sicilia. La Fig. 4, che rappresenta le velocità geostrofiche, evidenzia la penetrazione della AW nello Ionio nella parte più settentrionale della sezione. Questo aspetto è stato messo in evidenza in altre campagne eseguite nel periodo estivo durante il quale la AW entra nello Ionio, con larghe celle, molto addossata

al settore orientale della Sicilia spingendosi molto a nord verso il Canale di Otranto. Dalla figura si nota anche una debole penetrazione della LIW a 250 metri nella parte più meridionale della sezione

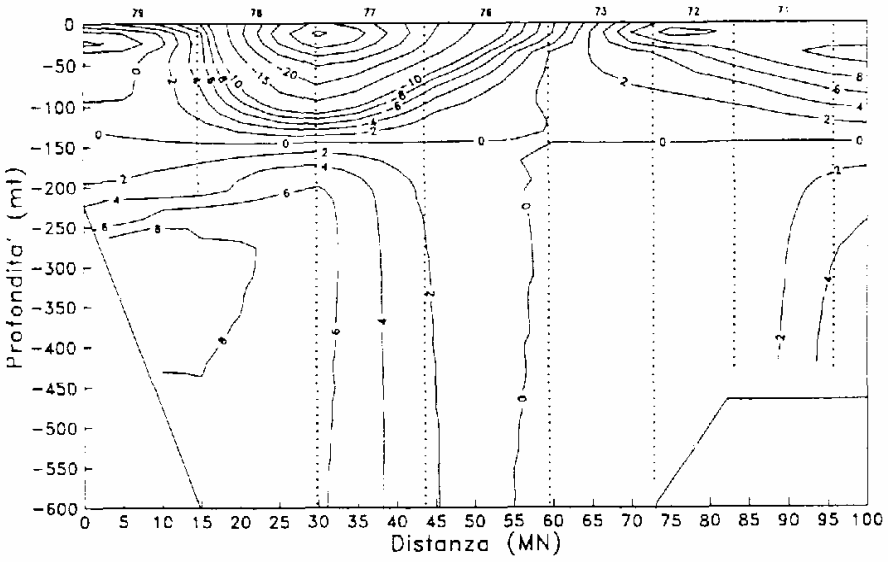


Fig. 3 - Transetto 2, velocità geostrofiche (cm/sec)

3.2. Andamento dei parametri chimici

Se si osservano le sezioni relative all'ossigeno disciolto è possibile notare che, nel procedere dal transetto 3 al transetto 1, ovvero dal lato orientale del Canale verso quello occidentale, vi è una debole ma evidente diminuzione dell'ossigeno disciolto nello strato della LIW da noi considerato nello spessore 150-600 (Figg. 5, 6, 7).

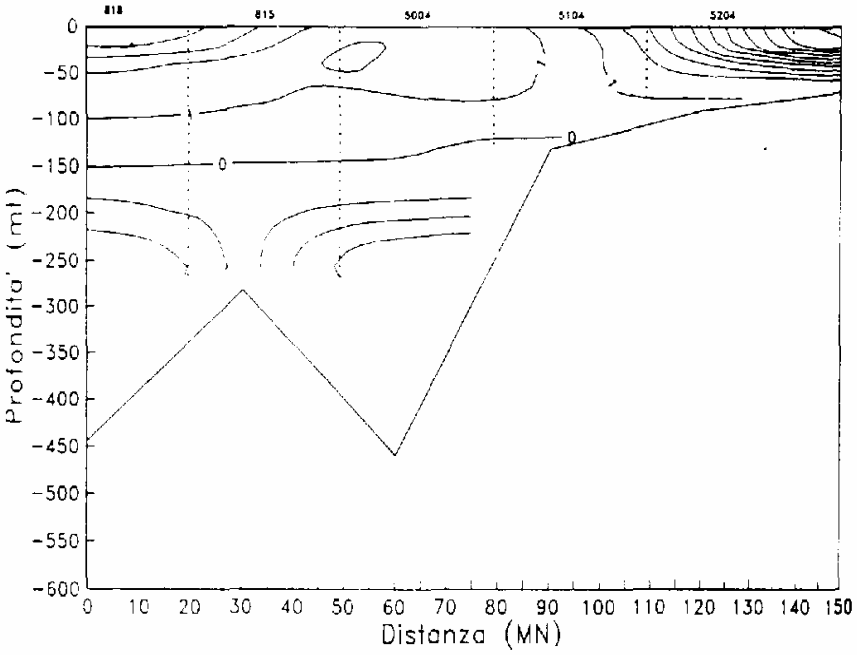


Fig. 4 - Transetto 3, velocità geostrofiche (cm/sec)

Questa diminuzione, che può essere considerata direttamente in quantità assoluta poiché si tratta di concentrazioni ben al di sotto della saturazione, ammonta a circa 7.59 µmol/dm^3 come valore integrato nello strato considerato. Le concentrazioni assolute sono invece di 196.87 µmol/dm^3 all'ingresso e di 189.29 (µmol/dm^3 all'uscita del Canale. Se si considera che in fase di formazione la concentrazione di ossigeno nella LIW dovrebbe aggirarsi intorno a 250 µmol/dm^3 (S=39, t=14.5°C) si osserva che nel passaggio attraverso il Canale viene consumato circa il 15% dell'ossigeno consumato nel precedente percorso nel Mediterraneo orientale. Sebbene si tratti di un dato integrato questo valore potrebbe, se confrontato con le distanze e i valori lungo il percorso precedente, fornire utili indicazioni sul tempo di residenza della LIW nello Stretto di Sicilia. E' comunque indubbio che in questa area avvengono significativi processi di remineralizzazione all'interno della LIW.

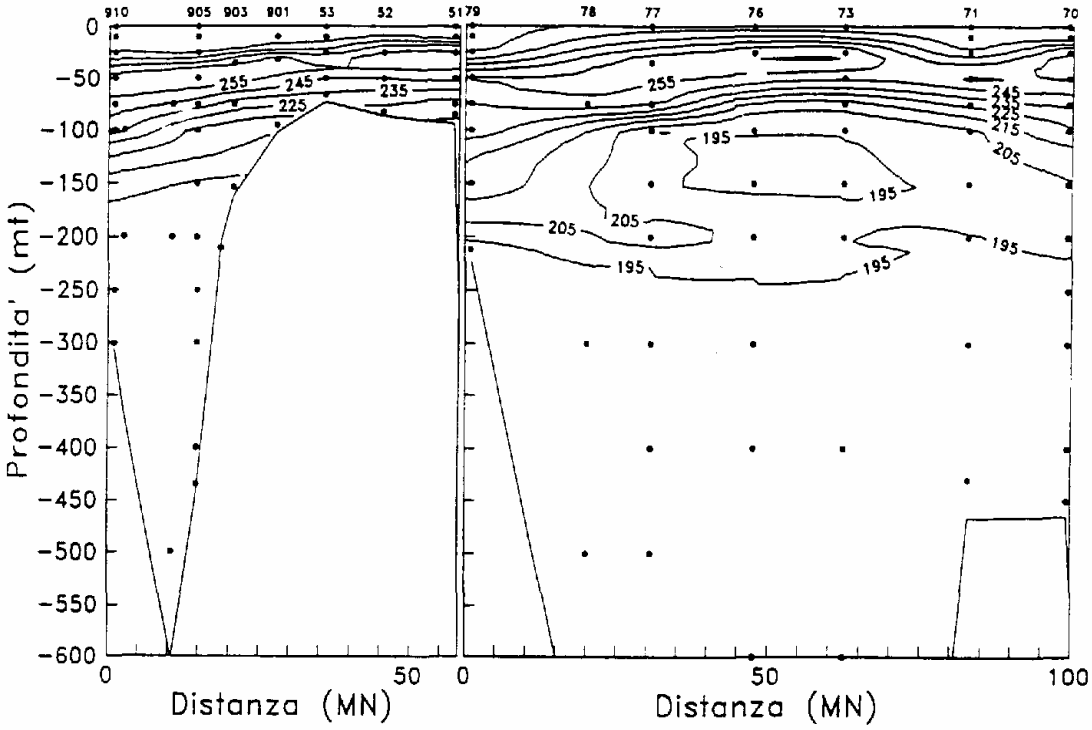


Fig. 5 - Transetto 1, ossigeno disciolto (µmol/dm^3)

Fig. 6 - Transetto 2, ossigeno disciolto (µmol/dm^3)

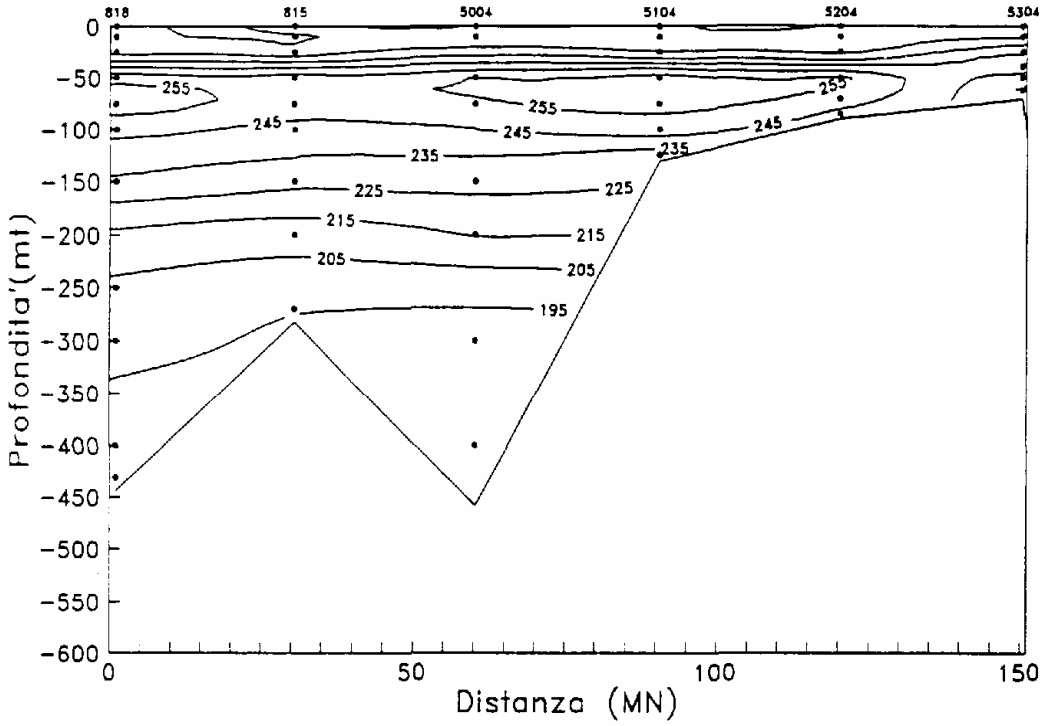


Fig. 7 - Transetto 3, ossigeno disciolto (µmol/dm^3)

Come già precedentemente accennato si sono presentati problemi circa l' analisi dei nutrienti. Pur ritenendo che i gradienti osservati nella concentrazione dei nitrati, che si può considerare la forma dominante di azoto minerale nella LIW, siano sovrastimati, si rileva un significativo aumento dell'azoto minerale nel percorso della LIW nel Canale, osservazione che conferma quanto evidenziato dall'andamento dell'ossigeno. L'esatto opposto si verifica nello strato superficiale, lasciando supporre un'ancora attiva rimozione di NO_3 nella zona fotica. Non è possibile ipotizzare più in dettaglio, data la qualità dei dati, il tipo di trasformazione avvenuta, ovvero se verso il particolato oppure verso forme di azoto diverse attraverso un ciclo più complesso.

Se ci si dovesse fermare a questa prima evidenza si osserverebbe un significativo deficit del bacino orientale relativamente all'azoto. Assumendo che gli strati prescelti rappresentino in buona approssimazione quelli che bilanciano la massa (a meno dell'evaporazione) la differenza delle concentrazioni medie relative al transetto 1, che tra l'altro è l'unico che attraversa l'intera luce del Canale, è notevole.

In realtà già nel corso di quella stessa crociera sono stati analizzati alcuni campioni per il contenuto di azoto nel particolato. In questo caso mentre lo strato superficiale presentava una concentrazione media di circa 0.4 $\mu mol/dm^3$, quello intermedio rivelava alla profondità del massimo di salinità valori intorno a 0.09 $\mu mol/dm^3$. Fanno eccezione le due stazioni al centro dello Stretto che analizzeremo più in dettaglio. Questo rapporto di circa 1:5 già parzialmente compensa la differenza nello scambio di azoto minerale. Inoltre, proprio per meglio quantificare lo scambio, nella crociera POEM-BC A92 svoltasi nella primavera successiva, sono state effettuate su alcune stazioni dei vari transetti misure del contenuto totale di azoto e fosforo. I dati non vengono qui riportati ma, anche considerando la diversa stagione in cui ha avuto luogo la crociera, le concentrazioni ottenute mostrano che non esiste una significativa differenze nel contenuto di azoto totale nelle due masse d'acqua. Quindi, come già osservato nel caso di Gibilterra (Jacques, 1991), un bilancio che tenga conto di tutte le forme di azoto si mostra in pareggio o solo debolmente deficitario.

L'andamento dei silicati mostra invece segno opposto evidenziando una debole diminuzione nel percorso da Est a Ovest, e soprattutto una diminuzione del rapporto con l'azoto.

E' stato ipotizzato da Cruzado (Centre de Studis Avanzatas de Blanes, comunicazione personale) che vi sia un notevole contributo di silicati al Mediterraneo orientale con il trasporto nell'atmosfera delle sabbie dei deserti dell'area medio-orientale dei continenti asiatici ed africani.

Inoltre è di particolare interesse rilevare che la diminuzione della concentrazione di silicati nell'acqua intermedia è di segno esattamente opposto a quanto avviene nello strato superficiale. Pur con la riserva dettata dalla qualità dei dati e quindi nell'impossibilità di effettuare calcoli precisi, questo andamento potrebbe suggerire un trasporto di silicati dallo strato intermedio verso quello superficiale, e quindi una ricircolazione della LIW verso l'interno del bacino attraverso la diffusione nello strato superiore.

3.2. Dinamica interna e riflessi sugli scambi

Un altro processo osservabile nelle distribuzioni è quello indotto dalla presenza di un grosso vortice nella parte centrale dello Stretto di Sicilia.

Dalla distribuzione delle isolinee della salinità e dell'ossigeno disciolto (vedi Fig. 6), è bene evidente la risalita nella parte centrale della sezione della LIW. Evidentemente questa risalita interessa anche la zona fotica, dal momento che le concentrazioni di ossigeno disciolto in quest'ultima raggiungono i massimi osservati in tutta l'area. Si tratta evidentemente di ossigeno di origine biologica. Questo è ulteriormente confermato dalla

quantità di particellato organico, che anche in questo caso rappresenta il massimo per tutta l'area e dalle concentrazioni di clorofilla che si discostano dalla media dei valori di almeno 0.4 $\mu g/dm^3$.

La concentrazione di azoto al fondo nel Mediterraneo Orientale varia tra 5 e 6 $umol/dm^3$. Dalle nostre osservazioni, e tenendo conto dei dati riportati in letteratura, sono state trovate nella LIW concentrazioni di azoto dell' ordine di 4-4.5 $\mu mol/dm^3$, il che significa che nonostante l'acqua intermedia levantina esporti una certa quantità di azoto (dai nostri dati non si è potuto verificare se la quantità di azoto esportato è maggiore di quello importato), rimane comunque da stabilire in che maniera viene esportato e se il pool profondo viene eroso.

Altro punto importante da sottolineare è che, come noto, l'acqua di fondo del bacino di Levante si forma nell'Egeo o nell'Adriatico. In tali ipotesi si potrebbe pensare che l'acqua di fondo del bacino dovrebbe subire un arricchimento perché proveniente dal Nord Adriatico che è arricchito di nutrienti dai fiumi che vi sfociano, Po in particolare.

Nello stesso tempo se è vero, come sembrerebbe, che l'acqua uscente dal Canale di Sicilia non è tanto ricca da consumare le riserve di fondo dello Ionio, si potrebbe ipotizzare che esista un accumulo di nutrienti nello Ionio e comunque in generale nel Mediterraneo Orientale.

L'idea alternativa è che lo scambio diffusivo tra 1'EMDW e la LIW è sufficiente a trasferire nella seconda il contributo proveniente dal Nord Adriatico mantenendo il sistema in un punto stazionario. Solo misure estese a tutto il bacino potranno forse chiarire questo punto.

Il terzo punto rilevante è che comunque esiste un pool di riserva di azoto nel Mediterraneo Orientale mentre la quantità di fosforo è molto più bassa, cioè 5 volte più bassa di quella che normalmente è disponibile negli oceani, e questa è la ragione per cui viene spontaneo ritenere che il fosfato sia il fattore limitante; andando a verificare il rapporto azoto/fosforo esso è circa 20 a 1 invece del tradizionale 16 a 1.

Il vortice osservato nel Canale di Sicilia, probabile conseguenza di un meandro al centro del Canale, costituisce un esempio di dinamica interna. Si osserva chiaramente la risalita di acqua intermedia, che è quella che riempie tutto lo Stretto di Sicilia; inoltre la concentrazione di ossigeno dello strato superficiale, conferma la presenza nella zona di un attiva produzione primaria, che si manifesta anche dai valori di clorofilla *a* e soprattutto dai dati del particolato.

Ovviamente informazioni più dettagliate sulle concentrazioni dei nutrienti ci avrebbero consentito di capire se questo tipo di processo è favorevole ad una maggiore esportazione o invece favorevole ad una conservazione dell' azoto nel bacino, nel senso che si possono ipotizzare due situazioni:

1. che la risalita di azoto alla superficie nel Mediterraneo Orientale favorisca una fissazione dell'azoto nello strato superiore (acqua che fa parte del flusso entrante, acqua Nord Atlantica) e cioè l'azoto ricircola all' interno del bacino;
2. viceversa che l'azoto, risalendo verso l'alto e inducendo la produzione primaria ricade in tempo sufficientemente rapido nello strato intermedio e viene esportato nell'acqua levantina.

In effetti le concentrazioni di particolato nella LIW in corrispondenza del vortice sono cinque volte più grandi di quelle raccolte in corrispondenza del massimo di salinità in altri punti del Canale.

Inoltre viene confermato che l'acqua intermedia nel suo passaggio attraverso lo Stretto di Sicilia perde una significativa parte (circa il 15%) del suo ossigeno a causa della remineralizzazione della sostanza organica; il consumo di ossigeno stimato sulla base del gradiente osservato, dovrebbe consentire una stima della sostanza organica utilizzata.

Se si disponesse dei dati di ossigeno nel resto del bacino si potrebbe determinare l'andamento del consumo durante il percorso della LIW e quindi verificare se l'ossigeno viene consumato in maniera lineare dalla parte orientale del bacino fino allo Stretto di Sicilia, oppure se io Stretto di Sicilia è una zona particolarmente attiva per la remineralizzazione con conseguente drastico consumo di ossigeno. Se cosi fosse questo fenomeno potrebbe essere spiegato sulla base di due differenti dinamiche:

- la produzione primaria è più attiva nello Stretto di Sicilia perché evidentemente ci sono fenomeni di arricchimento subsuperficiale come quelli che abbiamo individuato;
- il tempo di residenza dell'acqua Levantina nello Stretto è più alto e questo fornirebbe un'informazione utile al fine di stimare il tempo di residenza dell'acqua nello Stretto prima della soglia.

Una volta appurato ciò si potrebbero fare anche delle ipotesi sul meccanismo di fuoriuscita dell' acqua, se ad intermittenza oppure continua. Infatti se i tempi di residenza sono abbastanza lunghi il meccanismo di uscita è probabilmente di tipo intermittente.

4. CONCLUSIONI

In sintesi, anche sulla base di misure non complete e calcoli non conclusivi, sono stati evidenziati alcuni processi di un certo rilievo:

1. l'attivo consumo di ossigeno durante il passaggio attraverso lo Stretto di Sicilia;
2. l'esistenza di una struttura di mesoscala che apparentemente causa la risalita di acqua al centro del canale. Questo fatto permette probabilmente un ricambio anche nelle fosse profonde, a differenza di casi simili (ad esempio la fossa di Cariaco in Venezuela) nell'oceano, che non diventano anossiche;
3. l'acqua intermedia che supera la soglia ha una concentrazione di nutrienti più bassa di quella profonda; va chiarito, quindi, se esiste un processo di diluizione delle acque del bacino che vengono arricchite durante il processo di rinnovamento.

Per quanto riguarda poi il flusso netto di azoto e di fosforo attraverso il Canale, i dati sui nutrienti mostrano un saldo significativamente negativo a svantaggio del bacino orientale.

D'altra parte nostri dati recenti raccolti durante la successiva campagna oceanografica POEM-BC A92, rivelano che, se si considerano insieme le forme di azoto e fosforo presenti, il saldo è nullo o solo debolmente negativo.

BIBLIOGRAFIA

De Maio, A., M. Moretti, E. Sansone & G. Spezie. 1990, Seasonal salinity variations of the LIW entering into the South Tyrrhenian Sea. *Il Nuovo Cimento,* Vol. 13c.

Grancini, G.F. & A. Michelato. 1987, Current structure and variability in the Strait of Sicily and adjacent area. *Annales Geophysicae.* Vol. 5b: 75-88.

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

Jacques, G.. 1989. Le ressources vivantes de la Mediterranee Occidentale. *Journess anmtelles de la societe Zoologique de France:* 17-30.

Manzella, G.M.R., G.P. Gasparini & M. Astraldi. 1988, Water exchange between the eastern and Western Mediterranean trough the Strait of Sicily. *Deep-Sea Res.,* Vol. 35: 1021-1035.

Moretti, M., E. Sansone, G. Spezie & A. De Maio. 1989 Sea leve! variability in the Strait of Sicily following changes in the marine currents. *Boll. Oceanol. Teor. Appl.,* VII: 301-306.

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 easthern Mediterranean. *Earth Science Reviews,* 32: 285-309.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da. pag. 167 a pag. 176

COMMENTO ALLE TAVOLE SULLE ACQUE DELL'ATLANTE TEMATICO NAZIONALE

Alfredo CAROLLO ed Angelo ROLLA

CNR - Istituto Italiano di Idrobiologia
28048 - Verbania Pallanza (Italia)

SUMMARY

The Tables of the National Thematic Atlas on the spatial distribution of surface waters in Italy are presented and discussed. Table 16 represents, by means of isolines, the geographical distribution of the annual average specific discharge (1/sec-km^2). In Table 17 the annual totals and the regimes of the principal Italian watercourses are reported. The Table also reports the most significant types of the discharge fluctuations in the course of the year, as related to the sources of runoff and to the hydrogeological characteristics of the basins. Finally, the main morphometric and hydrological features of the principal Italian lakes are represented.

1. INTRODUZIONE

Un'iniziativa congiunta del Touring Club Italiano e del Consiglio Nazionale delle Ricerche ha portato alla realizzazione di un Atlante Tematico Nazionale corredato da 126 Tavole riguardanti l'intero territorio Italiano e porzioni dello stesso di particolare interesse.

Siamo stati chiamati a collaborare alla realizzazione delle Tavole riguardanti le acque interne superficiali che compaiono nella Tavola 16, come distribuzione spaziale dei contributi o portate specifiche sul territorio nazionale e nella Tavola 17, come rappresentazione delle principali caratteristiche morfologiche e idrologiche dei più importanti corpi idrici lotici e lentici (Touring Club Italiano e CNR, 1989).

Innanzitutto occorre dare una definizione della risorsa idrica, intesa come quantità d'acqua presente nel suolo e sottosuolo di una determinata zona durante un certo periodo di tempo. Le risorse idriche potenziali sono invece le massime risorse idriche che possono essere messe a disposizione con mezzi artificiali. Costituiscono una parte delle risorse idriche naturali che non possono essere sfruttate integralmente per una serie di vincoli di carattere morfologico, geologico, ecc. Esistono poi le risorse idriche utilizzabili e disponibili tenendo conto di situazioni di carattere socio-economico.

Le acque costituiscono risorse dinamiche, cioè volumi d'acqua in movimento, alimentate da fonti idriche naturali e quindi volumi d'acqua che se deviati

artificialmente, possono essere condotti ad alimentazioni perenni. Queste risorse sono rinnovabili perché entro certi limiti si ricostituiscono naturalmente attraverso i vari processi interessanti lo sviluppo del ciclo dell'acqua.

La definizione di una risorsa dinamica implica la considerazione del concetto di sezione (usualmente di un bacino idrografico), essa quindi può essere definita come il volume d'acqua che attraversa una sezione di un fiume in un certo periodo di tempo, espresso in termini di probabilità. Il riferimento alla probabilità è necessario poiché i volumi d'acqua che interessano una determinata sezione in anni diversi, possono essere differenti. Per ottenere un valore sintetico occorre fare riferimento ad un valore normale, e cioè ad una media pluriennale delle osservazioni.

Fatta questa premessa sulle varie definizioni dei differenti tipi di risorsa, è opportuno che prima di qualsiasi approccio all'utilizzazione dell'acqua si deve conoscere l'entità naturale della stessa che per le acque superficiali presuppone, nei suoi aspetti generali, la conoscenza dei deflussi medi annui.

In Italia opera in modo organico sull'intero territorio nazionale il Servizio Idrografico, organo tecnico del Ministero Lavori Pubblici, Servizio che risulta ripartito in differenti compartimenti, talvolta corrispondenti a bacini idrografici, unità territoriali di base per la valutazione delle risorse.

Le rilevazioni effettuate sono raccolte negli Annali Idrologici e compendiate in particolari pubblicazioni di cui quelle che ci interessano sono le varie edizioni dei "Dati caratteristici dei corsi d'acqua Italiani" (Ministero LLPP, Servizio Idrografico, 1934; 1939; 1955; 1963 e 1980). In esse sono raccolti i dati di deflusso riferiti a vari aspetti di questo parametro idrologico, dai valori medi mensili ed annui, alle portate al colmo e minime, ecc.

2. DISTRIBUZIONE SPAZIALE DEI DEFLUSSI MEDI ANNUI

Nella realizzazione della Tavola 16 si è ricorso al deflusso medio annuo espresso come contributo (l/sec-km^2), al fine di poter effettuare confronti spaziali, poiché la penata soltanto è funzione, a parità di ogni altro fattore, dell'area del bacino a monte.

Il complesso di stazioni prese in considerazione è di 624, che distribuite in classi, come numero assoluto e come percentuale, sono raccolte nella Tab. 1.

Area (km^2)	N	%
0 - 100	198	31.7
100 - 200	126	20.2
200 - 500	112	17.9
500 - 1000	78	12.5
1000 - 2000	54	8.7
2000 - 5000	33	5.3
> 5000	23	3.7

Tab. 1 - Distribuzione di frequenza effettiva e percentuale, secondo l'area, dei bacini a monte delle sezioni di misura dei deflussi.

Data la variabilità temporale dei deflussi non sempre i periodi di osservazione degli stessi hanno una lunghezza adeguata ed inoltre la collocazione cronologica delle osservazioni è talvolta eterogenea, poiché alcune stazioni hanno iniziato o cessato di operare in anni differenti; talvolta ci si trova di fronte ad una non indifferente difformità di periodi di osservazione. Va inoltre ricordato che si è sorvolato, per ovvie ragioni di dimensione del problema affrontato, sulle diversioni ed adduzioni tra bacini diversi.

La conoscenza integrale delle risorse idriche superficiali naturali del territorio nazionale può essere completamente esauriente se vi fossero stazioni di misura dei deflussi sulle foci a mare esistenti sul perimetro della penisola e delle isole.

Purtroppo la maggior parte delle località di osservazione sono state scelte su tratti di corsi d'acqua ove si presumeva potessero essere messe in esercizio opere di utilizzazione di questa risorsa; per tale motivo circa un terzo del territorio nazionale, soprattutto nei tratti più a valle dei corsi d'acqua, risulta sprovvisto di stazioni di misura. Scelte le stazioni, esse sono state riportate su una carta in scala 1:1.000.000 dell'Italia ed accanto a queste sono stati segnalati i contributi medi annui pluriennali ed attraverso un processo di interpolazione sono state costruite le isolinee delle portate specifiche con intervalli di 5 l/sec-km^2 (la stampa della carta è stata effettuata in scala 1:4.000.000). Deve essere precisato che nella lettura del contributo ci si riferisce alla portata specifica dell'intero bacino a monte della sezione considerata.

Molteplici sono le cause che influenzano i deflussi e possono essere di differente origine:

A. Geografico-morfologica: Collocazione geografica del territorio; pendenza del terreno e delle aste fluviali; densità di drenaggio; ecc.
B. Climatica: In particolar modo l'entità, la distribuzione spaziale e temporale delle precipitazioni; la temperatura dell'aria che può influire sui processi di evapotraspirazione e condiziona la fusione delle nevi e dei ghiacciai; l'umidità dell'aria che condiziona il potere evaporante dell'atmosfera; il vento che accelera i processi evapotraspirativi; ecc.
C. Geologica: In relazione soprattutto alla permeabilità delle rocce, sia congenita che acquisita, da cui dipende l'entità dell'infiltrazione delle acque nel terreno.
D. Biologica: Legata alla vegetazione che influisce sulla penetrazione dell'acqua nel sottosuolo, sull'evapotraspirazione e sullo scorrimento delle acque superficiali.

Se si confrontano le Tavole delle precipitazioni (12) e dei deflussi (16) dell'Atlante Tematico Nazionale si rileva una marcata e ovvia concordanza tra loro. In complesso si trovano adunamenti di valori elevati nelle zone con accentuati rilievi.

Entrando in un maggior dettaglio, nella regione del Friuli-Venezia Giulia i contributi superano gli 80 l/sec-km^2, così nelle Alpi Apuane viene raggiunto il valore di 70, nei bacini alpini più elevati si raggiungono i 50 l/sec-km^2 . I valori più modesti, anche inferiori ai 5 l/sec-km^2, sono riscontrabili nell'Italia sud-orientale e particolarmente in Sicilia, mentre in Sardegna il contributo risulta poco più elevato. Modesto è anche il valore di questo parametro idrologico nella fascia costiera Tirrenica tra Livorno ed il promontorio dell'Argentario.

Nella Pianura Padana il contributo si aggira intorno al valore di 20.

	Precipitazioni		Deflussi	
	$m^3 \cdot 10^9$	%	$m^3 \cdot 10^9$	%
Italia Settentrionale	121.0	40.8	81.8	52.8
Italia Centrale	65.6	22.2	30.1	19.4
Italia Meridionale	72.3	24.4	32.1	20.7
Sicilia	18.8	6.4	4.9	3.2
Sardegna	18.3	6.2	6.1	3.9
Totale	296.0	100.0	155.0	100.0

Tab. 2 - Volumi d'acqua sull'intero territorio nazionale e sulle principali regioni dello stesso.

Sinteticamente il contributo sull'intero territorio nazionale è pari a quasi 20 l/sec-km^2.

Nella Tab. 2 sono riportati, in termini volumetrici e percentuali, le quantità d'acqua per l'intero territorio nazionale e per le principali regioni dello stesso.

In relazione a quanto detto i corsi d'acqua sono stati classificati secondo Pallucchini (in Desio, 1973), in relazione al loro coefficiente di deflusso, nelle seguenti categorie: alpini (coefficiente di deflusso pari o superiore a 0,70), bacini dell'Appennino Settentrionale e Centrale, versanti Ligure, Padano ed Adriatico (0,50-0,60) e bacini dell'Appennino Centrale, versante Tirrenico, dell'Appennino Meridionale e delle Isole (0,30-0,40).

Concludendo quindi la disponibilità teorica è di 155 miliardi di m^3 pari a poco meno di 3000 m^3/anno per abitante. Maione & Burlando (1991) fanno osservare che per difficoltà intrinseche all'utilizzazione le risorse potenziali sono pari a 110 miliardi di m^3. Per le acque sotterranee secondo il Mouton (in Maione & Burlando, 1991) sono disponibili annualmente 12 miliardi di m^3. Infine, comunicazione in verbis di Zanon, la risorsa idrica legata ai ghiacciai è dell'ordine di 600 milioni di m^3.

3. IDROLOGIA DEI PRINCIPALI BACINI IDROGRAFICI

Nella Tav. 17, Acque Superficiali, sono rappresentate le caratteristiche idrologiche dei più importanti bacini idrografici Italiani (Tab. 3), unitamente ai principali tipi di regime dei corsi d'acqua.

Ticino a Bellinzona	Arno a Nave Rosano
Ticino alla Miorina	Arno a Brucianese
Tanaro a Ponte Nava	Arno a San Giovanni alla Vena
Tanaro a Nucetto	Tevere a Santa Lucia
Tanaro a Farigliano	Tevere a Ponte Felcino
Tanaro a San Martino Alfieri	Tevere a Ponte Nuovo
Tanaro ad Alessandria	Tevere a Baschi
Tanaro a Montecastello	Tevere a Orte
Adige a Tel	Tevere a Roma
Adige a Ponte Adige	Volturno ad Amorosi
Adige a Trento	Volturno a Cancello Arnone
Adige a Boara Pisani	Po a Crissolo
Arno a Stia	Po a Meirano
Arno a Pollino	Po a Becca
Arno a Subbiano	Po a Boretto
Arno a Ponte Romito	Po a Pontelagoscuro

Tab. 3 - Elenco dei corsi d'acqua e delle stazioni di misura dei deflussi.

Di ciascun bacino sono forniti diagrammi evidenzianti, da monte a valle, la morfometria attraverso le aree, le altitudini massima, media e minima e l'idrologia con le altezze annue degli afflussi e dei deflussi. L'intervallo tra gli afflussi ed i deflussi costituisce la perdita apparente che, su un lungo periodo di osservazioni , rappresenta in genere l'entità dell'acqua evapotraspirata. Accanto al diagramma precedente è collocato un altro grafico illustrante i regimi della sezione più a valle del corso d'acqua (per il Po tali diagrammi sono stati rappresentati anche per le sezioni più a monte). Quale esempio è riportato nella Fig. 1 il grafico delle caratteristiche morfo-idrologiche del bacino del fiume Tevere.

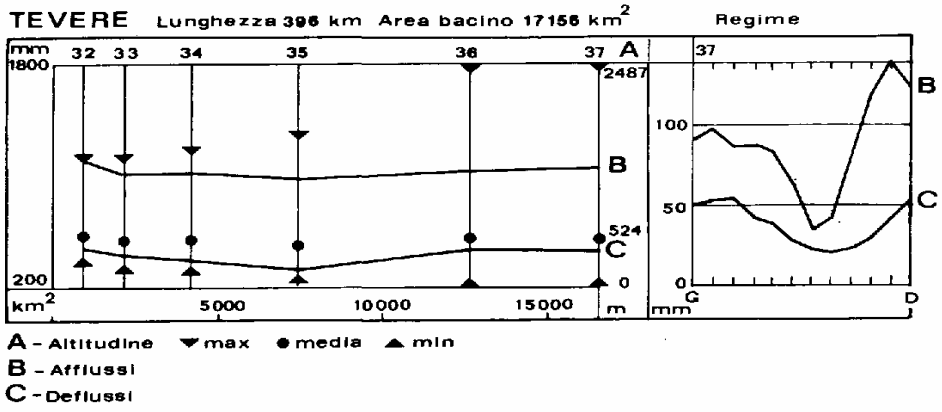


Fig. 1 - Caratteristiche morfologiche e idrologiche del Bacino idrografico del Fiume Tevere.

Anzitutto la differenza tra afflussi e deflussi risulta minore per i bacini settentrionali. Questo sembra dovuto alla minor perdita per evapotraspirazione come nelle porzioni più elevate dei bacini. Vi sono però alcune situazioni del tutto peculiari, particolarmente a monte dei bacini del Ticino, dell'Adige e del Po, ove sono simili e praticamente coincidenti i valori degli afflussi e dei deflussi. Tale situazione potrebbe essere legata sia all'effetto della fusione dei ghiacciai che ad una sottostima delle precipitazioni, di difficile rilevazione alle alte quote per ovvii motivi logistici.

Prima di passare all'esame dei regimi dei principali corsi d'acqua Italiani si vuoi fare riferimento alla tipologia di articolazione dei deflussi nell'anno a seguito delle diverse modalità di alimentazione dei corsi d'acqua e dell'effetto modulante sulle portate, legato alla presenza di serbatoi superficiali e sotterranei.

Per definizione viene considerato un regime glaciale quello relativo ad un bacino con almeno il 20% della superficie coperta da ghiacciai (Tonini, 1966). Quale esempio sono riportati i dati degli afflussi e dei deflussi del Rutor a Promise (Alta Valle d'Aosta). Si ha in questo caso un'indipendenza pressoché completa tra questi due parametri idrologici, con elevatissime portate estive e modestissime invernali (trattandosi di un bacino a quote elevate, le precipitazioni del periodo più freddo dell'anno sono congelate al suolo e sono restituite solo nei mesi più caldi). Sono considerati nivopluviali quei regimi in cui la portata è influenzata dalla fusione del manto nevoso (ad esempio S. Bernardino a Trobaso, immissario del Lago Maggiore). Questo determina in primavera ed all'inizio dell'estate maggiori valori nei deflussi. Sono denominati pluviali quei regimi in cui i deflussi seguono l'andamento delle precipitazioni (ad esempio Sa Picocca a Monte Acuto, Sardegna). I regimi di risorgiva (ad esempio Stella a Casale Sacile) si riferiscono a quei corsi d'acqua alimentati da risorgive, site al limite tra l'alta e la bassa Pianura Padana (Desio A., 1973); in tali corsi d'acqua impossibile è la delimitazione del bacino idrografico.

L'effetto modulante dei deflussi o meglio smussante dei laghi, è esemplificato sulla Tavola 17 dalla rappresentazione delle portate medie e massime dell'Adda immissario ed emissario del Lago di Como.

Ma un effetto moderatore dei deflussi può essere esercitato anche da un grande serbatoio sotterraneo in rocce permeabili (come il Nera a Macchiagrossa) che restituisce più lentamente le acque al deflusso superficiale. Una permeabilità in grande può avere influenza anche in termini di bilancio idrologico, poiché l'infiltrazione delle acque di pioggia nel sottosuolo riduce la perdita per evapotraspirazione. Si veda a tal proposito che con la confluenza del Nera, passaggio nel bacino da rocce poco a più permeabili, si è ridotta la differenza tra afflussi e deflussi alle sezioni del Tevere ad Orte ed a Roma.

La schematica classificazione suddetta però trova un riscontro concreto quando i bacini sono di limitate dimensioni. In presenza di areali contribuenti estesi, l'articolazione nell'anno dei deflussi diviene più regolare e segue in complesso quella delle precipitazioni come è messo ben in evidenza dalla successione dei regimi, da monte a valle, del Po. Tuttavia l'effetto della fusione della neve risulta evidente nei regimi di due importanti corsi d'acqua come il Ticino e l'Adige, sia dal confronto dei deflussi con gli afflussi, che dall'articolazione dei primi nell'anno.

Spesso il divario tra afflussi e deflussi è più elevato nella stagione autunnale, probabilmente perché parte delle precipitazioni di questo periodo dell'anno vanno ad alimentare la porzione sotterranea delle risorse, depauperatesi durante il periodo estivo.

4. PRINCIPALI LAGHI ITALIANI

In una parte della Tavola 17 dell'Atlante Tematico Nazionale sono poste in evidenza le caratteristiche essenziali sia morfometriche che idrologiche dei principali laghi Italiani e dei loro bacini idrografici.

I più importanti corpi lentici Italiani costituiscono un volume d'acqua di circa 140 km^3 che uniformemente distribuito sul territorio nazionale da luogo ad una lama d'acqua di 468 mm, circa il 90% della disponibilità idrica annua e che potrebbe supportare interamente, per circa 3 anni, il deflusso del Po a Pontelagoscuro (1500 m^3/sec). La portata globale in uscita dai grandi laghi è pari a 570 m^3/sec, che rappresenta una lama d'acqua di 60 mm e una disponibilità idrica annua di 19,8 miliardi di m^3, circa il 13% del totale nazionale che, come si è detto antecedentemente, è pari a 155 miliardi di m^3.

Sono stati presi *in* considerazione nella Tavola i corpi lentici più rappresentativi del maggiore distretto lacustre Italiano, quello dei grandi laghi marginali subalpini (da Ovest ad Est: Maggiore, Como, Iseo e Garda) ed il distretto dei laghi vulcanici dell'Italia Centrale (Bolsena e Bracciano). Da ultimo, per la sua estensione (125 km^2), il Trasimeno, il più ampio specchio lacustre dell'Italia peninsulare.

Dapprima è stata esaminata la conformazione planimetrica, allungata per i corpi lentici dell'Italia Settentrionale che occupano porzioni di valli fluviali rimodellate dai ghiacciai, rispetto a quella dell'Italia Peninsulare, di forma subcircolare, la cui origine è legata al vulcanesimo Quaternario (Bolsena e Bracciano) ed a fenomeni epirogenici, ultime manifestazione dell'orogenesi Appenninica, che hanno determinato contropendenze in valli fluviali (Trasimeno).

I laghi sono stati quindi considerati unitamente ai loro bacini imbriferi, raffigurandone inoltre le precipitazioni, particolarmente elevate per l'areale contribuente al Lago Maggiore, quasi il doppio della media Italiana. I corpi lentici dell'Italia Settentrionale presentano un elevato rapporto tra aree del bacino idrografico e del lago, mentre il contrario avviene per i laghi dell'Italia peninsulare.

Per quanto attiene agli aspetti morfometrici, ogni lago è stato assimilato ad una cuvetta teorica a forma di cono rovesciato, la cui base è proporzionale all'estensione della superficie degli specchi liquidi; l'altezza del cono rappresenta la profondità massima, la profondità media è indicata con un tratto orizzontale.

Nel cartodiagramma la sezione del cono con le caratteristiche sopraindicate è collocata a diverse altezze a seconda della quota sul livello del mare della superficie di questi corpi lentici; da questa rappresentazione si deduce che i grandi laghi marginali subalpini hanno la profondità massima al di sotto del livello del mare.

Successivamente sono stati rappresentati i volumi e la portata media annua degli emissari, infine sulla base di questi due parametri idrologici sono stati calcolati e raffigurati i tempi teorici di rinnovo delle acque. Questi ultimi sono particolarmente elevati per i laghi vulcanici, superiori al secolo; tale entità temporale rende immediata

ragione della particolare cura che deve essere posta nella conservazione di questi corpi lentici.

Quale esemplificazione, le caratteristiche morfometriche ed idrologiche del Lago Maggiore sono rappresentate nella Fig. 2.

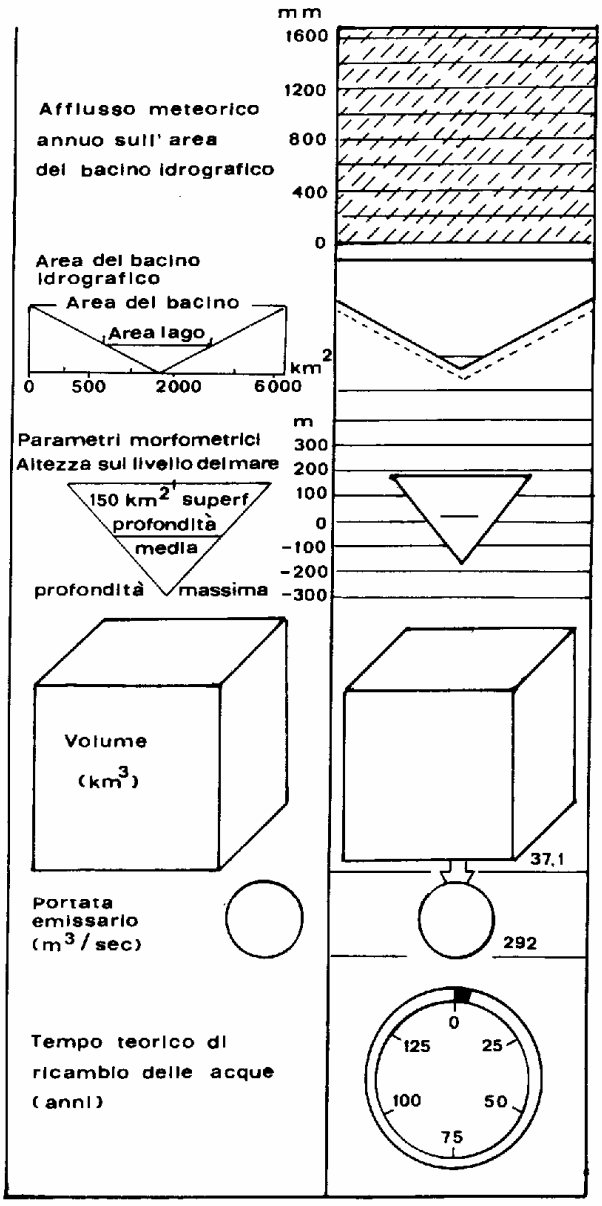


Fig. 2 - Caratteristiche morfologiche ed idrologiche del Lago Maggiore e del suo bacino idrografico.

Anche se rappresentato in modo sintetico, il complesso dei dati morfometrici ed idrologici fa emergere immediatamente l'importanza dei quattro grandi laghi marginali subalpini, importanza che risulta accentuata quando questi corpi idrici vengono considerati nel contesto della rete idrografica Italiana e nella loro collocazione geografica (Tab. 4):

A	B	C	D	E	F	G
Ticino	248	148	59.7	7228	6599	91.3
Adda	313	173	55.3	7979	4508	56.5
Oglio	280	160	57.1	6649	1842	27.7
Sarca - Mincio	194	124	63.9	2859	2350	82.2

A - Corso d'acqua;
B - Lunghezza del corso d'acqua fino alla confluenza col Po (km);
C - Lunghezza del corso d'acqua fino al lago;
D - Percentuale della lunghezza totale;
E - Area totale del bacino fino alla confluenza con il Po (km^2);
F - Area del bacino fino al lago incluso;
G - Percentuale dell'area totale.

Tab. 4 - Caratteristiche idrografiche dei corsi d'acqua in cui sono inseriti i laghi.

Questi laghi infatti sono inseriti nei quattro più lunghi affluenti del Po (ad eccezione del Tanaro) e contribuiscono alla portata di questo fiume (a Pontelagoscuro) per oltre un terzo con i deflussi considerati agli incili degli emissari.

La regione Italiana dei grandi laghi ha un'estensione globale dei suoi areali contribuenti di 15299 km^2 per la zona a monte di questi corpi lentici e di 24715 km^2 se estesa fino alla confluenza con il Po; occorre segnalare che nella porzione meridionale di questo areale, la rete idrografica con i corsi d'acqua ed i laghi interessa tenitori caratterizzati da un'elevata densità di popolazione e da un'intensa attività agricola ed industriale.

BIBLIOGRAFIA

Conferenza Nazionale delle Acque, 1972. I problemi delle acque in Italia. Tipografia Senato. Roma.

Desio, A. 1973. Geologia applicata all'ingegneria. Hoepli, Milano: 1193 pp.

Maione, U. & P. Burlando. 1991. Le risorse idriche in Italia. La disponibilità in atto e la loro utilizzazione. Relazione al Convegno *"Schemi idrici italiani : un programma fino al duemila"*, organizzato dall'ANFIDA e dall'ISI, Roma 11-12 aprile: 29-69.

Ministero LLPP, Servizio Idrografico. 1934, 1939, 1953, 1963, 1980. Dati caratteristici dei corsi d'acqua italiani. Pubblicazione N.17. Poligrafico dello Stato, Roma.

Tonini, D. 1966. Elementi di idrografia e idrologia. Vol. II. Libreria Universitaria, Venezia: 606 pp.

Touring Club Italiano & Consiglio Nazionale delle Ricerche. 1989. Atlante Tematico Nazionale: 800 pp., 126 Tavole.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L.
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da pag. 177 a pag. 187

MACROZOOBENTOS DI UN LAGO ALPINO D'ALTA QUOTA (LAGO DI PAIONE SUPERIORE, VAL BOGNANCO)

Angela BOGGERO e Anna Maria NOCENTINI

CNR - Istituto Italiano di Idrobiologia, 28048 Pallanza

RIASSUNTO

Nell'ambito delle ricerche condotte dall'Istituto Italiano di Idrobiologia sull'acidificazione dei laghi alpini d'alta quota si è dato inizio ad uno studio multidisciplinare, condotto sui laghi di Paione, di cui si vogliono presentare in questa sede le prime osservazioni sulla fauna macrobentonica. Questi studi fanno capo ad una più ampia ricerca condotta in collaborazione con altri gruppi di studio europei sull'acidificazione dei laghi d'alta quota posti in aree remote.

Nel 1991 si sono cosi avviati i lavori sul Lago di Paione Superiore, situato in Val Bognanco (Val d'Ossola, Piemonte) ad una quota di 2269 m s.l.m.

I campionamenti sono stati effettuati nella zona litorale con metodiche di tipo qualitativo (kick-sampling), con decorrenza mensile, a partire dal periodo di scioglimento dei ghiacci superficiali e per tutta la stagione estiva.

Lo scopo principale del lavoro era ottenere informazioni, fino ad ora mancanti, sulla struttura della comunità macrozoobentonica di questo lago reso suscettibile alle deposizioni acide dalle sue caratteristiche chimiche ed in particolare dalla scarsa capacità tampone.

I risultati ottenuti indicano la presenza di una comunità composta da un numero relativamente basso di entità sistematiche, costituite principalmente da Insetti, soprattutto Diptera Chironomidae, mentre secondi in ordine di importanza risultano essere gli Oligocheti. Inoltre si evidenziano gli effetti negativi dovuti a bassi valori di pH associati a bassi tenori di alcalinità che portano all'assenza di Molluschi e alla preponderanza di gruppi più tolleranti alle oscillazioni dei valori di pH quali: Chironomidae, Limnephilidae, Dytiscidae fra gli Insetti ed Enchytraeidae fra gli Oligocheti.

SUMMARY

This paper presents the first results, relating to the macrobenthic fauna, of a multidisciplinary study on the Paione lakes, which has been carried out in the framework of research on the acidification of high altitude alpine lakes performed by the Istituto Italiano di Idrobiologia. The present study was begun in 1991 on Lake Paione Superiore, located at 2269 m a.s.l. in the Bognanco Valley (Pennine Alps, NW Italy, Piedmont), and is part of a wider research on the acidification of remote high altitude lakes carried out in cooperation with other European research groups.

Samples were taken monthly throughout the Summer, beginning from the ice-melt, along the shoreline, using the kick-sampling qualitative method.

The main aim of the work was to obtain information, hitherto lacking, on the structure of the macrozoobenthic community in the lake, whose chemical characteristics and in particular its low buffering capacity, make it susceptible to acid deposition.

The results confirm that the community is qualitatively poor, consisting of few

entities, predominantly Insecta, especially Diptera Chironomidae, followed by Oligochaeta. Moreover LPS shows some negative effects related to low pH associated with low alkalinity values like the absence of Mollusca and the presence of those groups more tolerant to acidity as: Chironomidae, Limnephilidae and Dytiscidae among Insecta, and Enchytraeidae among Oligochaeta.

1. INTRODUZIONE

I laghi della Val Bognanco sono stati oggetto di approfonditi studi relativi alle loro caratteristiche geografiche, fisiche e biologiche (fito e zooplancton) da parte di Tonolli (1947, 1949, 1954) e Pirocchi (1949).

Questi laghi sono stati nuovamente presi in considerazione a partire dagli anni '70, nell'ambito di ricerche miranti ad acquisire conoscenze sulla chimica dei laghi d'alta quota e delle deposizioni atmosferiche in relazione a problemi di acidificazione in ambiente acquatico (Mosello R., 1980, 1984; Wathne B.M. et al., 1990), sebbene siano stati considerati anche alcuni aspetti biologici (de Bernardi R. et al., 1983; Giussani G. et al, 1986).

Nell'ambito del programma STEP (Science Technology Environment Program) della Comunità europea, nel 1991 è iniziata una ricerca, in cooperazione con vari Istituti, finalizzata a studi sull'acidificazione dei laghi d'alta quota situati in aree remote con particolare riferimento alle loro caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche e alla loro evoluzione attraverso ricerche paleolimnologiche. I laghi di Paione, che, sulla vasta base di dati chimici raccolti precedentemente, risultano particolarmente sensibili all'acidificazione (Mosello R, 1980), sono stati inseriti tra gli ambienti presi in considerazione da questo progetto.

Il presente lavoro è una prima analisi dei risultati ottenuti sul Lago di Paione Superiore relativamente alla fauna macrobentonica litorale, per la quale non esistono a tutt'oggi informazioni. Grazie all'importanza dei macroinvertebrati, anello di congiunzione fra produttori primari e i più alti livelli della rete trofica, questi dati potranno essere utili per verificare possibili alterazioni prodotte all'ecosistema da un aumento dell'inquinamento atmosferico. Infatti diversi studi condotti in Europa e in America del Nord confermano la gravita degli effetti delle deposizioni acide sulla struttura di comunità nei laghi (Raddum G.G. & Fjellheim A., 1984; Okland J. & Okland K.A., 1986; Bradi P.T. & Berg M.B, 1987; Raddum G.G, 1990).

2. AREA DI STUDIO

II Lago di Paione Superiore (LPS) è situato ad una quota di 2269 m s.l.m. in Val Bognanco, vallata laterale della Val d'Ossola, sul versante meridionale delle Alpi Pennine in Piemonte (Fig. 1). La Valle è attraversata dalla faglia denominata "Sempione-Centovalli" e presenta litologia eterogenea. Per una dettagliata descrizione tettonica e geologica della zona vedi Klein J.A. (1978) e Ferri A. (1982). La litologia del bacino imbrifero del LPS è caratterizzata da bande chiare di ortogneiss e gneiss grigio, con feldspati di potassio ed epidoto.

La copertura vegetale all'interno del bacino è limitata a piccole aree di pascolo alpino, mentre frane, macereti e rocce esposte costituiscono la maggior parte della sua superficie.

Le principali caratteristiche geografiche e morfometriche del lago sono presentate in tabella 1, mentre la mappa batimetrica in figura 2.

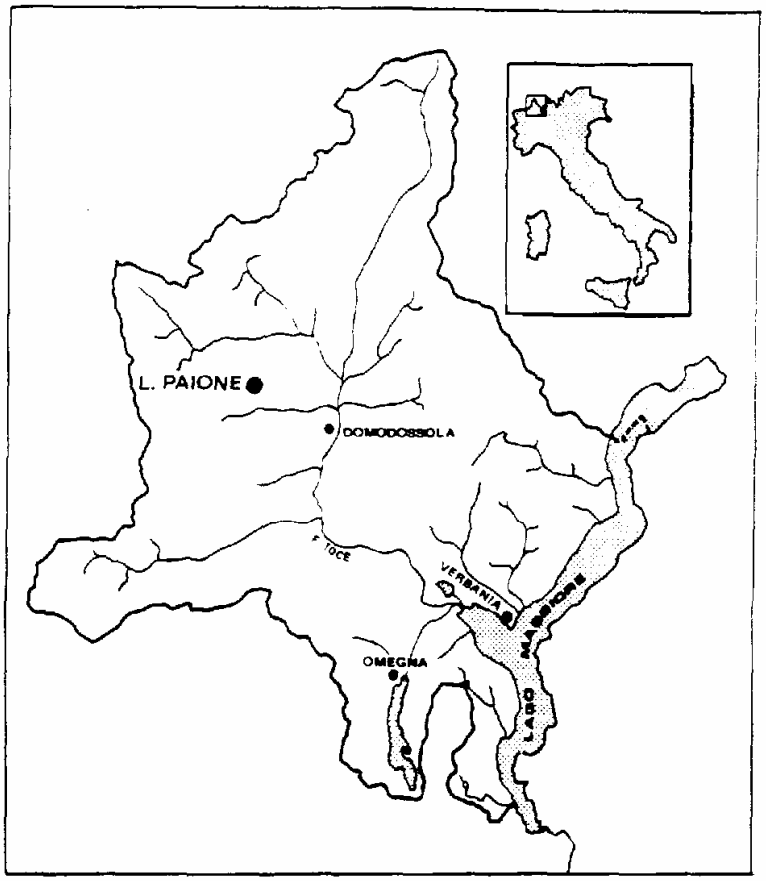


Fig. 1 - Localizzazione dell'area di studio.

Tab. 1 - Principali caratteristiche geografiche e morfometriche del Lago di Paione Superiore.

Lat. NORD (centro lago)	46° 10' 39"
Long. EST (centro lago)	08° 11' 26"
Quota (m s.l.m.)	2269
Sup. lago (km^2)	0,009
Sup. bacino (km^2)	0,5
Prof. max (m)	11,7
Prof. media (m)	5,12
Volume (m^3*10^6)	0,06
Origine	Circo glaciale
Copertura bacino	Acque 2%
	Pascoli 5%
	Roccia 93%
Litologia	Gneiss

3. METODICHE

Campioni di tipo qualitativo per lo studio del macrobentos sono stati raccolti negli anni 1991-1992, con frequenza mensile, durante il periodo libero da ghiacci contemporaneamente ai prelievi per lo studio delle caratteristiche chimiche delle acque. Questi ultimi, presi nella zona di massima profondità del lago, sono stati analizzati seguendo le metodiche descritte in Mosello R. et al. (1992).

Per quanto riguarda la fauna bentonica, sono stati scelti 2 punti di campionamento rappresentativi dell'intero habitat (Fig. 2). Il primo (Stazione A) è formato da materiale pietroso e ghiaioso frammisto a resti di piante terrestri, trasportate dalle acque di un immissario, mentre il secondo (Stazione B) è localizzato su una parete di roccia che presenta piccole aree ricoperte di limo glaciale. Non è stato possibile campionare l'emissario perché questo, nel suo tratto iniziale, si presenta sotterraneo.

I campioni sono stati raccolti lungo la fascia litorale fino ad un massimo di profondità di 50 cm, seguendo la tecnica del kick-sample (Storey A.W. et al., 1991) ed usando un retino a maglie di 225 um di apertura, n materiale è stato poi fissato in etanolo 80% e trasportato in laboratorio dove gli organismi sono stati separati dal sedimento mediante uno stereoscopio.

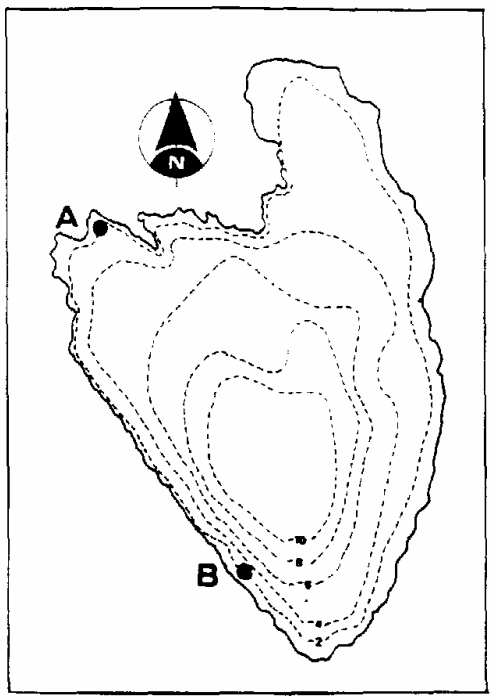


Fig. 2 - Mappa batimetrica del Lago di Paione Superiore con stazioni di campionamento. A=substrato ghiaioso; B=substrato roccioso.

4. RISULTATI

4.1. Caratteristiche chimiche delle acque

L'idrochimica del LPS (Mosello R., 1980; Mosello R. et al., 1992) rispecchia essenzialmente le caratteristiche del suo bacino imbrifero, che presenta una ridotta

superficie, forti pendenze dei versanti, una scarsa solubilità delle rocce che lo costituì scono (principalmente gneiss) e una scarna copertura vegetale. Tali caratteristiche, che giustificano un'influenza diretta e significativa delle deposizioni atmosferiche sull'idrochimica lacustre, rendono anche conto della bassissima concentrazione di soluti delle acque di questo lago. La conducibilità (Tab. 2) mostra infatti valori di 7,7-10 µS/cm a 18° C. Solfati e nitrati costituiscono gli anioni presenti in concentrazione più elevata, mentre i cloruri mostrano valori quasi sempre inferiori a 3 µeq/l. Fra i cationi, calcio e magnesio raggiungono concentrazioni maggiori, mentre sodio, potassio e azoto ammoniacale presentano generalmente tenori inferiori a 10 µeq/l. Anche i composti del fosforo mostrano concentrazioni molto modeste, solitamente inferiori a 3 µg P/l.

Tab. 2 - Caratteristiche chimiche del Lago di Paione Superiore.

Variabili	Unità	Min	Max	Mediana	Media
pH		5,5	6,5	5,7	5,7
Alcalinità	µeq/l	-2	4	1	1
Cond. (18°C)	µS/cm	7,7	10	9,1	9,2
Solfati	µeq/l	34	49	42	42
Nitrati	µeq/l	19	25	23	23
Cloruri	µeq/l	2	7	4	4
Somma anioni	µeq/l	55	76	75	70
Ammonio	µeq/l	1	6	4	3
Calcio	µeq/l	34	56	44	44
Magnesio	µeq/l	6	11	9	8
Sodio	µeq/l	1	12	11	10
Potassio	µeq/l	4	10	7	7
Somma cationi	µeq/l	55	88	73	74
Silice reattiva	mg Si/l	0,35	0,57	0,42	0,45
Fosforo totale	µg P/l	0	7	2	2
Ossigeno	mg/l	8	11,7	10,4	9,9
Temperatura	°C	0,5	14,5	3,2	5,6

Le variazioni stagionali del contenuto di soluti sono comunque molto modeste. Valori maggiori si riscontrano nel lago nella prima frazione di scioglimento del ghiaccio che risulta così più concentrata di inquinanti, mentre tenori inferiori si ritrovano all'inizio dell'estate in relazione all'ultimo periodo di scioglimento del ghiaccio invernale, che produce acque con valori più bassi rispetto alla media della copertura di neve invernale. Un successivo aumento in concentrazione, nel periodo estivo, è correlato ad un ridotto flusso di acqua, che favorisce i processi di dissoluzione delle rocce, e all'evaporazione che coinvolge sia la superficie delle acque che quella del bacino imbrifero.

Il pH varia fra 5,5 e 6, mostrando un unico valore di 6,5 (mese di Settembre), mentre l'alcalinità varia tra -2 (disgelo) e 4 (µeq/l (estate). Per quanto riguarda la temperatura del lago, la cui superficie si presenta gelata per la maggior pane dell'anno (da Ottobre a Giugno o Luglio), questa oscilla fra 0,5 °C, quando il lago è ancora ricoperto dal ghiaccio, a 14,5 °C in piena estate. Nel periodo di campionamento non si è verificata

stratificazione chimica o termica.

4.2. Macrozoobentos

In entrambe le stazioni di raccolta la comunità macrobentonica è composta prevalentemente da Insetti, in particolare Diptera Chironomidae, e da Oligocheti. Meno significativa è risultata essere la presenza numerica degli Acari *e* soprattutto quella dei Turbellari.

La comunità si presenta, nel suo complesso, poco differenziata agli inizi del disgelo (Figg. 3 e 4), mentre è qualitativamente e quantitativamente più ricca nel periodo tardo estivo soprattutto per l'aumento dei Ditteri Chironomidi. Questi ultimi sono particolarmente numerosi, in questo periodo per la comparsa di individui della nuova generazione, a seguito di emergenze verificatesi all'inizio dell'estate. Fra Luglio e Settembre, nella Stazione A, prevalgono nella popolazione i generi *Micropsectra* e *Paratanytarsus* (Chironominae), mentre nella Stazione B sono meglio rappresentati *Zavrelimyia* (Tanypodinae) ed *Heterotrissocladius* (Orthocladiinae). Forme larvali appartenenti ad altri generi di Chironomidi (Tab. 3) sono presenti in minor misura in entrambe le stazioni.

Tab. 3 - Elenco delle entità tassonomiche riscontrate.

INSECTA	**INSECTA**
Diptera	**Trichoptera**
Culicidae	Limnephilidae
Aedes (Ochlerotatus)	*Allogamus*
Limonidae	**Coleoptera**
	Dytiscidae
Chironomidae	*Agabus*
Procladius (Holotanypus)	Hydroporinae
Apsectrotanypus	**OLIGOCHAETA**
Zavrelimyia	Enchytraeidae
Pseudosmittia	Lumbriculidae
Smittia	**TURBELLARIA**
Corynoneura	Rhabdocoela
Heterotrissocladius	**ACARI**
Psectrocladius	Hydracarina
Limnophyes	*Arrenurus membranator*
Pseudokiefferiella	*Lebertia dubia*
Paratanytarsus	*Gnaphiscus setosus*
Micropsectra	*Wettina podagrica*

Caratteristici della comunità ad Insetti delle due stazioni sono soprattutto Trichoptera Limnephilidae *(Allogamus),* più numerosi in estate, e Diptera Limonidae, apparsi in quantità significativa nel Settembre 1992. Diptera Culicidae *(Aedes)* e Coleoptera Dytiscidae *(Agabus)* sono più abbondanti nella stazione A.

Gli Oligocheti, composti quasi esclusivamente da Enchytraeidae, sono stati trovati

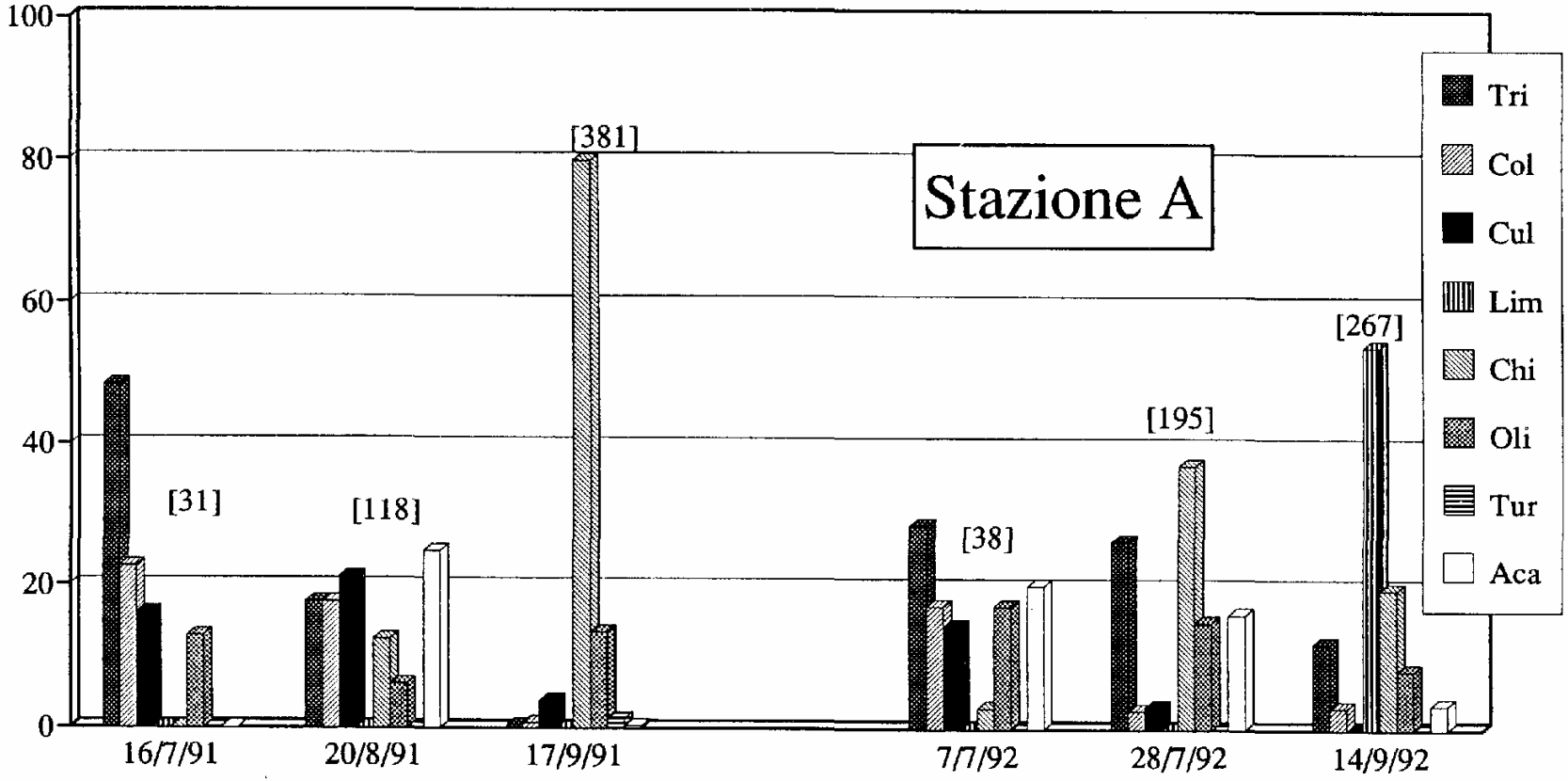


Fig. 3 - Percentuali di presenza delle diverse entità tassonomiche. Tri=Trichoptera, Col=Coleoptera, Cul=Diptera Culicidae, Lim=Diptera Limonidae, Chi=Diptera Chironomidae, Oli=Oligochaeta, Tur=Turbellaria, Aca=Hydracarina. In parentesi quadra numero totale degli individui campionati.

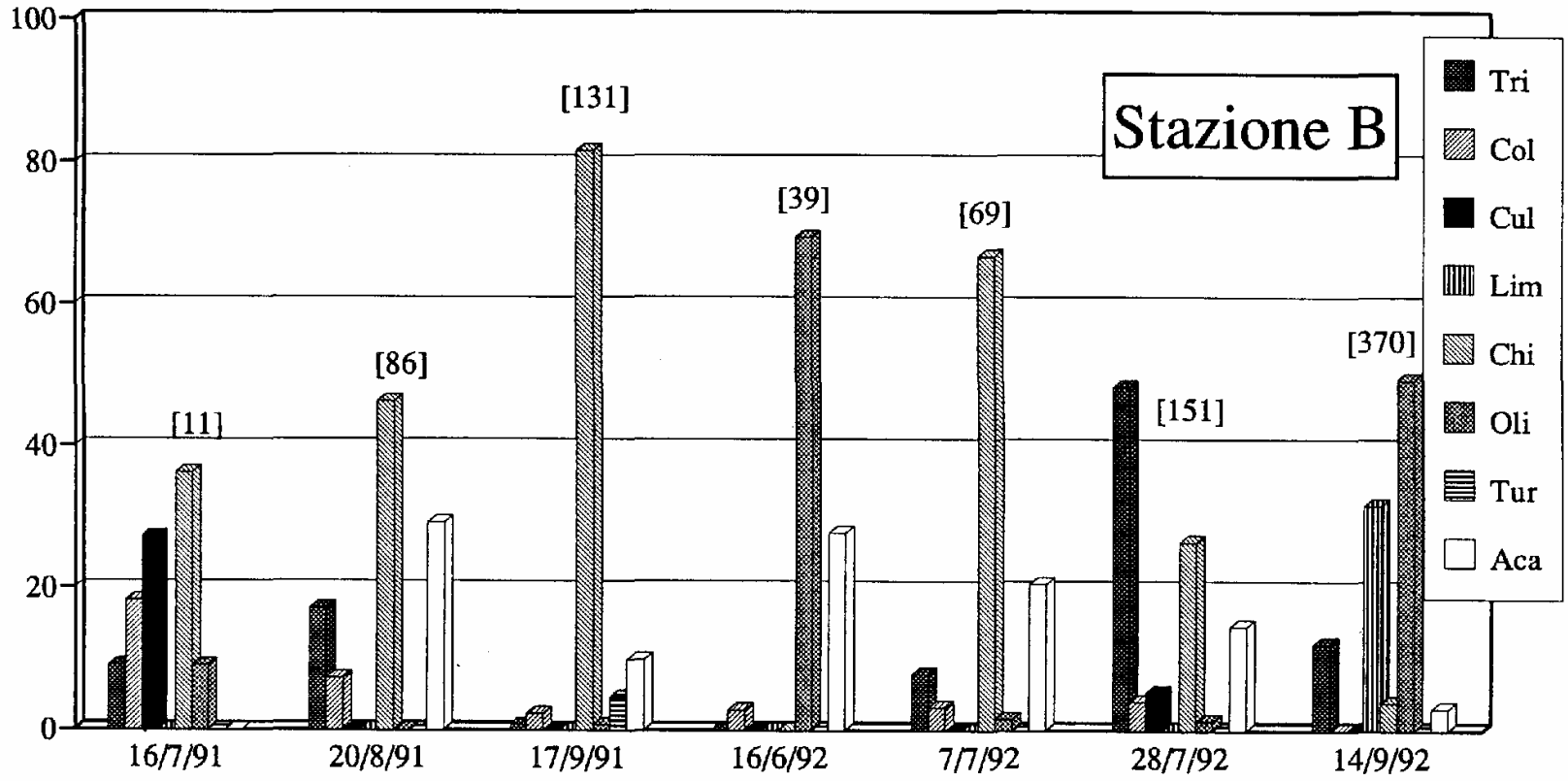


Fig. 4 - Percentuali di presenza delle diverse entità tassonomiche. Tri=Trichoptera, Col=Coleoptera, Cul=Diptera Culicidae, Lim=Diptera Limonidae, Chi=Diptera Chironomidae, Oli=Oligochaeta, Tur=Turbellaria, Aca=Hydracarina. In parentesi quadra numero totale degli individui campionati.

con una certa costanza per tutto il periodo di campionamento, ma risultano in numero più elevato in epoca tardo estiva.

In estate (Giugno-Luglio) aumenta anche l'importanza relativa di altri elementi della comunità, in particolare degli Acari Hydracarina.

5. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Le estreme condizioni fisico-chimiche (ridotto periodo libero da ghiacci, basse temperature, modeste concentrazioni di soluti) e l'oligotrofia delle acque sono la causa principale della presenza nel LPS di una comunità macrozoobentonica relativamente povera da un punto di vista qualitativo.

Gli aspetti strutturali della comunità rispecchiano inoltre, almeno in parte, gli effetti negativi dovuti alle condizioni moderatamente acide delle acque di questo lago con valori di pH variabili nel corso dell'estate. Considerando gli effetti di questo parametro sugli organismi viventi, Wright R.F. e Henriksen A. (1978) individuano in un valore di pH di 5 unità il limite di separazione fra acque acide e non acide. Tuttavia effetti sulla flora e sulla fauna si hanno già quando il pH scende al di sotto di 7, e divengono evidenti a pH 6 (Raddum G.G. & Fjellheim A., 1984; Schindler D.W. et al., 1985; Psenner R., 1989). Su tale base il LPS risulta essere relativamente acido (pH compreso fra 5,5 e 6), ma a causa della sua scarsa capacità tampone, legata a bassi valori di alcalinità, non si può escludere che, in determinati periodi dell'anno e soprattutto al disgelo, quando una notevole massa d'acqua raggiunge le acque del lago, si possa verificare un aumento di acidità, soprattutto in vicinanza delle rive, che influirebbe sulla composizione della fauna bentonica. Quest'ultima sembra essere strettamente influenzata dai valori minimi raggiunti dal pH, piuttosto che dai valori medi annuali (Merilainen J.J. & Hynynen J., 1990). Va soprattutto segnalata la mancanza dei molluschi, normalmente presenti in discrete quantità in laghi oligotrofi, ma più sensibili all'acidificazione (Okland J. & Okland K.A., 1986). Significativa è anche la presenza dominante di entità tassonomiche più tolleranti alle oscillazioni dei valori di pH quali: Chironomidae, Limnephilidae e Dityscidae fra gli Insetti (Mossberg P. & Nyberg P., 1979; Radium G.G. & Fjellheim A., 1984; Kenttamies K. et al., 1985), Enchytraeidae fra gli Oligocheti (Merilainen J.J. & Hynynen J., 1990).

Per quanto riguarda gli Oligocheti, organismi detritivori e quindi strettamente legati al fondo, non si può escludere che l'assenza di alcune famiglie, fra le quali Tubificidae e Naididae, presenti comunemente anche in acque d'alta quota (Bretschko G., 1975; Giani N., 1976; Vedovini A. et al., 1985) possa essere in parte correlata alla presenza di un substrato e di fonti alimentari poco idonee al loro insediamento.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano la CEE per il parziale supporto finanziario alla ricerca (contratto STEP-CT-90-0079-SMA) e il Dr. R. Mosello per aver gentilmente fornito i dati di chimica e per la revisione critica al testo.

BIBLIOGRAFIA

Bradi, P.T. & M.B. Berg. 1987. Macrozoobenthos of three Pennsylvania lakes: responses to acidification. *Hydrobiologia,* 150: 63-74.

Bretschko, G. 1975. Annual benthic biomass distribution in a high-mountain lake (Vorderer Finstertaler See, Tyrol, Austria). *Verh. int. Ver. Limnol.,* 19: 1279-1285.

de Bernardi, R., M. Brogi & I. Origgi. 1983. Dinamica di popolazione e produzione di *Arctodiaptomus alpinus* in due laghi alpini d'alta quota: Laghi Boden, Alta Val Formazza, m 2340 s.l.m. *Atti V Congr. A.I.O.L.,* Stresa: 407-416.

Ferri, A. 1982. *Il lembo del Verosso e i suoi rapporti con le Unità Pennidiche Superiori.* Tesi, Università degli Studi di Milano. Inedita.

Giani, N. 1976. Les Oligochètes aquatiques du Sud-Ovest de la France. *Annls. Limnol.,* 12: 107-125.

Giussani, G., R. de Bernardi, R. Mosello, I. Origgi & T. Ruffoni. 1986. Indagine limnologica sui laghi alpini d'alta quota. *Documenta Ist. ital. IdrobioL, 9:* 415 pp.

Kenttamies, K., S. Haapaniemi, J. Hynynen, P. Joki-Heiskala & J. Kamari. 1985. Biological characteristics of small acidic lakes in southern Finland. *Aqua Fennica,* 15: 21-33.

Klein, J.A. 1978. Post-nappe folding southeast of the *Mischabelruckfahe* (Pennine Alps) and some aspects of the associated metamorphism. *Leidse geol. Mededel.,* 51: 233-312.

Merilainen, J.J. & J. Hynynen. 1990. Benthic invertebrates in relation to acidity in Finnish foresi lakes. In: *"Acidification in Finland",* Kauppi, P., P. Anttila & K. Kenttamies (Eds), Springer Verlag, Berlin Heidelberg: 1029-1049.

Mosello, R. 1980. Appunti di limnologia ossolana. I laghi di Paione (Val Bognanco). *Oscellana,* 10: 209-216.

Mosello, R. 1984. Hydrochemistry of high altitude alpine lakes. *Schweiz. Z. Hydrol.,* 46: 86-99.

Mosello, R., G.A. Tartari, A. Boggero, A. Marchette & A. Pranzo. 1992. Factors influencing the water chemistry of two alpine lakes (Lakes Paione Superiore and Paione Inferiore, South Western Alps). In: *"Acidification of Mountain Lakes: Paleolimnology and Ecology",* Mosello, R. (Ed.) , Contract CEE/CNR STEP-CT90-0079-(SMA), 1991-1193. Progress Report (April 1991-April 1992): 42 pp.

Mossberg, P. & P. Nyberg. 1979. Bottom fauna of small acid foresi lakes. *Rep. Inst. Freshw. Res. Drottningholm,* 58: 77-87.

Muniz, I.P. 1991. Freshwater acidification: its effects on species and communities of freshwater microbes, plants and animals. *Frac. RoyalSoc. Edinburgh,* 97B:227-254.

Okland, J. & K.A. Okland. 1986. The effects of acid deposition on benthic animals in lakes and streams. *Experientia,* 42: 471-486.

Pirocchi, L. 1949. Signification biogéographique de la distribution de quelques espèces de Diaptomides. *Verh. int. Ver. Limnol.,* 10: 364-370.

Psenner, R. 1989. Mountain lakes: their peculiarities and biological aspects. In: *"Acidification processes in remote mountain lakes",* Johannessen, M., R. Mosello & H. Barth (Eds), Air Pollut. Res. Rep. 20, Guyot, Brussels: 22-35.

Raddum, G.G. 1990. Bollom fauna in the Norwegian mountain lakes. In: *"Acidification processes in remote mountain lakes",* Johannessen, M., R. Mosello & H. Barth (Eds), Air Pollut. Res. Rep. 20, Guyot, Brussels: 59-68.

Raddum, G.G. & A. Fjellheim. 1984. Acidification and early warning organisms in freshwater in western Norway. *Verh. int. Ver. Limnol.,* 22: 1973-1980.

Schindler, D.W., K.H. Mills, D.F. Malley, D.L. Findlay, D.A. Shearer, I.J. Davies, M.A. Turner, J.A. Linsey & D.R. Cruikshank. 1985. Long-term ecosystem stress: the effect of years of experimental acidification on small lake. *Science,* 228:1395-1401.

Slorey, A.W., Edward D.H.D. & P. Gazey. 1991. Surber and kick sampling: a comparison for the assessment of macroinvertebrate community structure in streams of southwestern Australia. *Hydrobiologia,* 211: 111-121.

Tonolli, V. 1947. Gli alti laghi della Val Bognanco. Parte I. *Mem. Ist. ital. Idrobiol,* 3: 185-269.

Tonolli, V. 1949. Gli alti laghi della Val Bognanco. Parte II. *Mem. Ist. ital Idrobiol.,* 5: 39-93.

Tonolli, V. 1954. Stabilità e produttività del limnobio alpino. *Mem. Ist. ital. Idrobiol.,* 8: 29-70.
Vedovini, A., P. Légier & F. Vespini. 1985. Les Oligochètes d'une rivière des Alpes du Sud, le Buech. *Annls. Limnol.,* 21: 117-125.
Wathne, B.M., R. Mosello, A. Henriksen & A. Marchette. 1990. Comparison of the chemical characteristics of mountain lakes in Norway and Italy. In: *"Acidification processes in remote mountain lakes",* Johannessen, M., R. Mosello & H. Barth (Eds), Air Pollut. Res. Rep. 20, Guyot, Brussels: 41-58.
Wright, R.F. & A. Henriksen. 1978. Chemistry of small Norwegian lakes, with special reference to acid precipitation. *Limnol. Oceanogr.,* 23: 487-498.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L.
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da pag. 189 a pag. 200

POPULATION DYNAMICS, BIOMASS AND PRODUCTION OF THE BIVALVE *Spisula subtruncata* (da Costa) IN THE LIGURIAN SEA (ITALY)

Giancarlo ALBERTELLI*, Anabella COVAZZI** and Simonetta FRASCHETTI**

*Dipartimento di Biologia Animale ed Ecologia Marina. Università di Messina.
**Istituto di Scienze Ambientali Marine. Università di Genova.

RIASSUNTO

Una popolazione di *Spisula subtruncata* è stata studiata in due differenti periodi (1983-1984/1991-1992) in corrispondenza di una stazione costiera del Mar Ligure. Questa specie è risultata dominante all'interno della comunità durante il periodo di fine primavera inizio estate ed ha presentato un ciclo vitale di tipo annuale. Il reclutamento in entrambi i periodi è stato individuato all'inizio della primavera ed è continuato sino all'estate. Le dimensioni della popolazione sono variate ampiamente di anno in anno, da 78 (1983-84) a 256 individui m^{-2} (1991-92) in media. I valori di biomassa e produzione hanno raggiunto 0.1 g m^{-2} (in media) e 0.5 g m^{-2} $anno^{-1}$ nel primo periodo (P:$\bar{B}$= 4.9); 0.07 g m^{-2} (in media) e 0.4 g m^{-2} $anno^{-1}$ nel secondo (P:$\bar{B}$ = 6.33). La variabilità del bloom fitoplanctonico potrebbe parzialmente spiegare la variabilità osservata nella popolazione di *Spisula,* anche se appare difficile correlare i parametri considerati alle sue ampie fluttuazioni.

SUMMARY

A population of *Spisula subtruncata* was studied in two different years (1983-1984/1991-1992) on a shallow sandy bottom, in the Ligurian Sea. This species was dominant within the community during the spring-summer period. The life-cycle is normally annual. Recruitment generally occurred in early spring, continuously until summer. Population size varied widely in the two years, from 78 (1983-84) to 256 individuate m^{-2} (1991-92) on average. Biomass and production reached 0.1 g m^{-2} (on average) and 0.5 g m^{-2} yr^{-1} in the first period (P:B = 4.9), and 0.07 g m^{-2} (in average) and 0.4 g m^{-2} yr^{-1} in the second (P:$\bar{B}$ = 6.3). The variability in the phytoplankton blooms could partially explain the fluctuation observed in the *Spisula* population, even though it was difficult to correlate any of the parameters measured to its wide fluctuations.

1. INTRODUCTION

The bivalve *Spisula subtruncata* (da Costa) is a very common species in the European

waters, from the north Atlantic to the Atlantic coast of Marocco, the Mediterranean and the Black Sea. It is known as first class fish food, and due to its high growth rate and numerical dominance on important fish banks it is generally considered a major food source for demersal fishes (Petersen, 1977, Møhlenberg & Kiørboe, 1981) In the Mediterranean Sea, the wealth of available data on this species is due to its very large density, for short periods and to its wide fluctuations in abundance. It is also well its documented due to importance in structuring the macrobenthic community during the spring-summer months as dominant species (Guille, 1971; Massé, 1972, Amouroux, 1974; Bodoy, 1980; Ambrogi, 1982; Ambrogi & Occhipinti Ambrogi, 1985; 1987, Bakalem, 1992; Cocito et al., 1992; Albertelli & Fraschetti, 1992; Albertelli et al., in press). Basically, its life cycle is mostly annual, the recruitment occurs during the spring-summer months, and a few individuals survive until the following summer

The present study investigates the life-cycle, the biomass and production of a population of the bivalve in the Ligurian Sea, comparing two different sampling years.

2. MATER1AL AND METHODS

Location of the sampling station is shown in Fig. 1. Samples were collected monthly using a suction device. The first sampling period was from September 1983 to August 1984. The second was from March 1991 to February 1992. 5 to 10 replicate samples (0.1 m^2 each) were collected each lime. The samples were sieved through a 1 mm mesh sieve and preserved in buffered seawater formalin solution (4%).

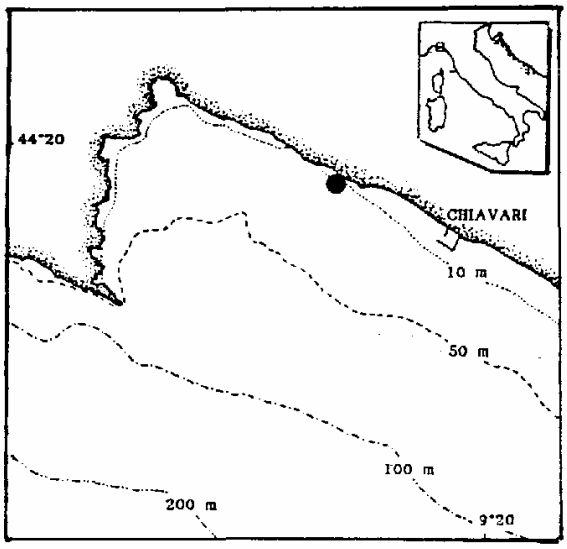


Fig. 1. Sampling area.

During both sampling periods, water temperature and salinity were recorded. Particle size was determined by using dry sieve technique and the sediment organic content, expressed as percentage, was measured as loss for ignition at 450°C for 4 hours.

Shell length (antero-posterior distance) was measured with calipers, or for small bivalves, with a micrometer mounted on the stereo microscope. Length-weight relations were determined for each sampling date. Ash-free dry weight was determined following the method of Crisp (1984).

Considering that the recognition of different cohorts from the histograms was always impossible, secondary production was computed using the Hynes method (average cohort method) (Hamilton, 1969; Benke, 1979) following the formula by Cornet (1986):

$$P = [\sum_{j=1}^{i} (\bar{N}_j - \bar{N}_{j-1}) (\bar{w} \times \bar{w}_{j-1})^{0.5} + \bar{N}_i \bar{w}_i] \, 12/CPI$$

where $\overline{N}_j$ is the average number of individual of class j (Krueger & Martin, 1980), ($\overline{w}$ $\overline{w}_{J+1}$)$^{0\ 5}$ is the geometric mean of ash-free dry weight of two successive size classes, ($\overline{N}$j - $\overline{N}_{j+1}$) is the number of individuate lost from one class to the next and CPI is the cohort production interval in months which was considered 12 in this study. The average cohort method does not require separation of different cohorts and has been applied to the average abundance data for each size-class (for more Information see also Comet, 1986; Ambrogi, 1990).

The empirical Robertson formula (1979) derived from numerous marine invertebrate estimates of production was also used for the estimation of the secondary production:

$$\log P/\overline{B}=066\ (\pm 0.089)-0.726(\pm 0.147)\log L$$

where L is the lifespan in years, in this study L was considered 1.

3. RESULTS

During the two years of observations, the bottom water temperature showed an annual cyclic trend, ranging from 12.5 (February 1992) to 25.5°C (July 1991). Salinity showed a mean of 37.5 ‰.

Granulometrie analysis showed a consistently high sand content (mean of the fraction > 0.063 = 97 %) without any appreciable variation in lime.

The average Total Organic Matter, expressed as percentage, was 1.2 in the period 1983-84 and 1.55 in the period 1991-92.

3.1. Results of the period 1983-1984

Abundance (individuate m^{-2}) was an average of 78 4 and biomass (AFDW mg m^{-2}) was an average of 102.2, fluctuations of which are shown in Fig. 2 After a winter characterized by very low density and biomass, recruitment occurred in April the maximum abundance value resulting in recorded for the sampled period (564 ind. m^{-2}). The highest biomass value was registered in August (464.14 mg m^{-2}). It was caused by the contemporary presence of young individuals just settled and of individuals recruited during the preceding spring (Fig 3)

The size-frequency histograms are illustrated in Fig 3 The class interval was fixed at 0.5 mm. At the beginning of the sampled period, corresponding with the fall-winter season, very few adults were present. The analysis of the histograms suggests a prolonged recruitment period, which began in April and continued until August. This is demostrated by the Constant presence of the smallest size class (1.5-2 mm). In July and August 1984 overlapping cohorts were observed, no individual surviving from the preceding year was found in summer samples The histogram relative to May is difficult to explain: The apparent disappearance of some classes present in April could probably be due to the "patchy" distribution of the bivalve witch made difficult a homogeneus population sampling.

The maximum length observed (in one individual) was 11.5 mm in August.

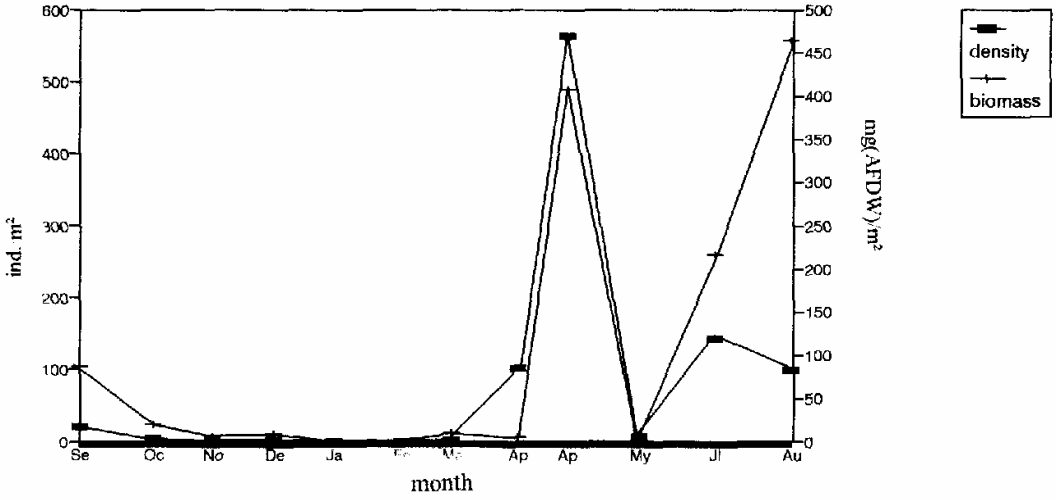


Fig. 2. Abundance (ind. m^{-2}) and biomass (AFDW mg m^{-2}) fluctuations in the period 1983-84.

During this sampling period, production estimate for *S. subtruncata* was 0.5 g m^{-2} yr^{-1}, the mean biomass 0.1 g m^{-2}, and the production:biomass ratio (P: $\bar{B}$) 4.9 (Tab. 1).

Tab. 1. Annual production for period 1983-84 calculated by the Hynes method.

Size class (mm)	N (ind. m²)	N-N (ind./m²)	W (mg)	N*W (mg m²)	Avg.W (mg)	Biom lost (mg m²)	P (mg/m²)
1.5-2.0	9.3		0.05	0.465			
2.0-2.5	5	4.3	0.08	0.4	0.06	0.258	5.418
2.5-3.0	2.7	2.3	0.15	0.405	0.11	0.253	5.313
3.0-3.5	11.03	-8.33	0.3	3.309	0.21	-1.7493	-36.7353
3.5-4.0	17.2	-6.17	0.37	6.364	0.33	-2.0361	-42.7581
4.0-4.5	19.4	-2.2	0.4	7.76	0.38	-0.836	-17.556
4.5-5.0	14.5	4.9	0.55	7.975	0.47	2.303	48.363
5.0-5.5	3.51	10.99	1.05	3.6855	0.76	8.3524	175.4004
5.5-6.0	6.1	-2.59	1.65	10.065	1.32	-3.4188	-71.7948
6.0-6.5	3.41	2.69	1.8	6.138	1.72	4.6268	97.1628
6.5-7.0	3.21	0.2	2.5	8.025	2.12	0.424	8.904
7.0-7.5	3.3	-0.09	2.9	9.57	2.69	-0.2421	-5.0841
7.5-8.0	1.55	1.75	3.4	5.27	3.14	5.495	115.395
8.0-8.5	1.4	0.15	4.5	6.3	3.91	0.5865	12.3165
8.5-9.0	2.31	-0.91	5.5	12.705	4.97	-4.5227	-94.9767
9.0-9.5	1	1.31	6.3	6.3	5.89	7.7159	162.0339
9.5-10.0	1.1	-0.1	7.3	8.03	6.78	-0.678	-14.238
10.0-10.5	1	0.1	8.7	8.7	7.97	0.797	16.737
10.5-11	0.3	0.7	10.4	3.12	9.51	6.657	139.797
11.0-11.5	0.05	0.25	12.9	0.645	11.58	2.895	60.795
11.5-12	0.04	0.01	13.4	0.536	13.15	0.1315	2.7615
12.0-12.5	0	0.05			13.4	0.67	0.67
Total	107.41			115.7675			567.9241

3.2.Results of the period 1991-1992

Abundance (individuate m^{-2}; average= 256.5) and biomass (AFDW mg m^{-2}; average= 0 07) fluctuations are shown in Fig. 4. The high density observed in the first period of the year (March 1991 = 992 ind. m^{-2}; max in May 1991 = 1018 ind. m^{-2}) is consistent with a massive recruitment followed by a high mortality. This caused the disappearance of the population in the following fall-winter season. The biomass value registered its peak in May (123.8 mg m^{-2}), caused by the contemporary presence of young individuals just

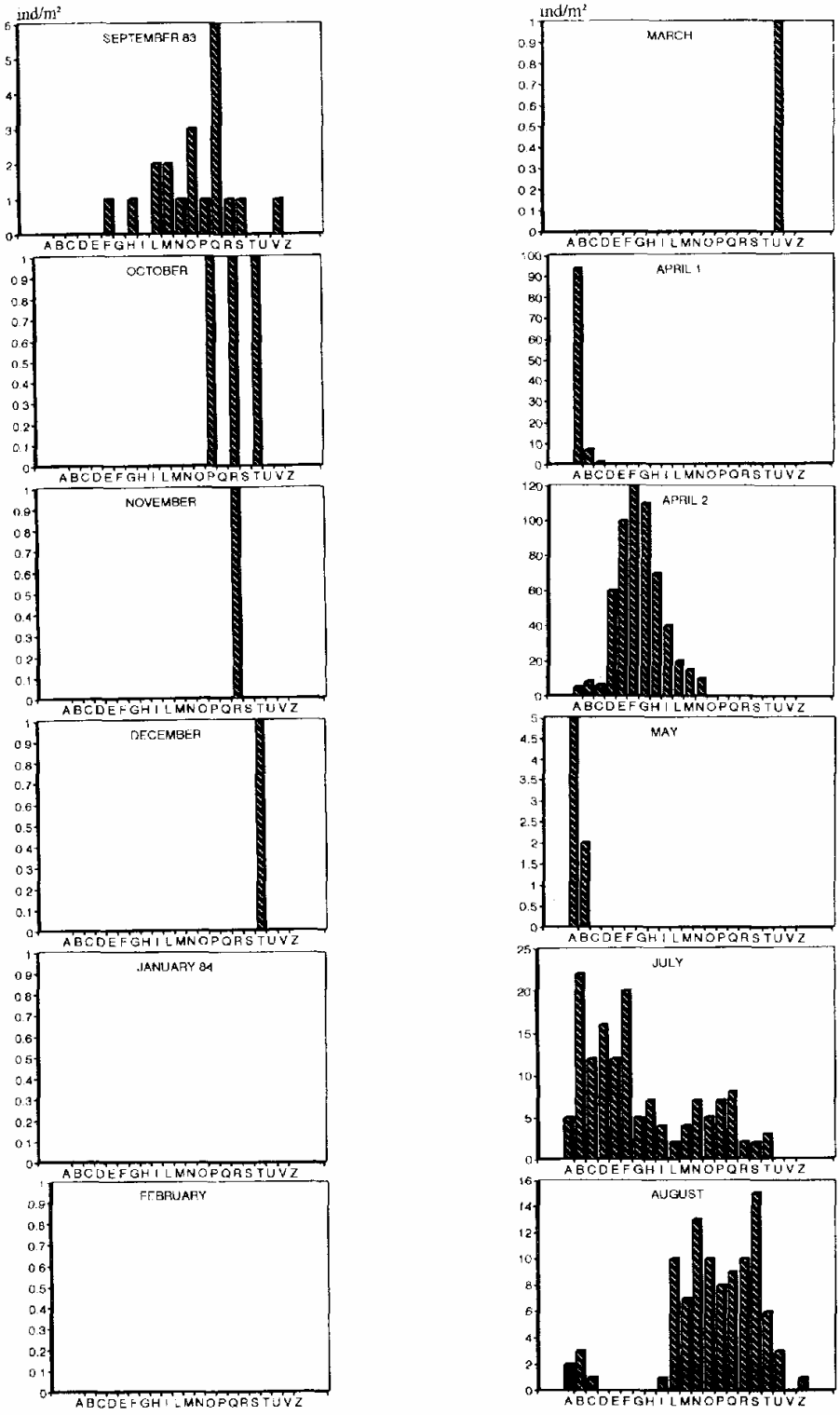


Fig. 3. Size-frequency histograms based on shell length, period 1983-84. The twenty-one dymensional classes have been divided as follow: A=1.5 mm, B=2 mm, C=2.5 mm, D=3 mm, E=3.5 mm, F=4 mm, G=4.5 mm, H=5 mm, I=5.5 mm, L=6 mm, M=6.5 mm, N=7 mm, O=7.5 mm, P=8 mm, Q=8.5 mm, R=9 mm, S=9.5 mm, T=10 mm, U=10.5 mm, V=11 mm, Z=11.5 mm.

settled and of individuals recruited during the preceding months (Fig 4) The biomass shows a more Constant trend, determined by the balance between the high mortality rate of most of the population and the growth of a few survivals.

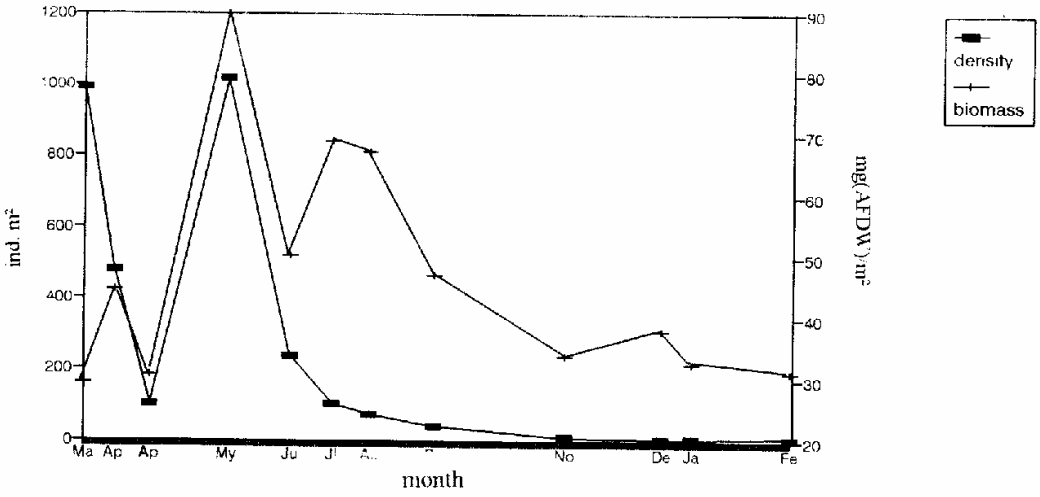


Fig. 4. Abundance (ind. m^{-2}) and biomass (AFDW mg m^{-2}) fluctuations in the period 1991-92.

The size-frequency histograms are illustrated in Fig. 5. Recruitment was observed just at the beginning of the sampled period (spring). The smallest classes were present from March to August, suggesting also in this case a prolonged period of recruitment and the presence of overlapping cohorts. In February 1992, the smallest class appeared again. Only one individual probably surviving from the preceding year was found in late April.

The maximum length recorded (in one individual) was 13 mm, in February.

In this sampling period, the production estimate (average cohort method) for *S. subtruncata* was 0.44 g $m^{-2}yr^{-1}$, the mean biomass 0.07 g m^{-2}, and the production:biomass ratio (P: $\bar{B}$) 6.3 (Tab. 2).

Tab. 2. Annual production for period 1991-92 calculated by the Hynes method.

Size class (mm)	N (ind./m²)	N-N (ind./m²)	W (mg)	N*W (mg/m²)	Avg.W (mg)	Biom.lost (mg/m²)	P (mg/m²)
1.5-2.0	86.1		0.05	4.305			
2.0-2.5	47.44	38.66	0.07	3.3208	0.053	2.04898	40.9796
2.5-3.0	19.43	28.01	0.13	2.5259	0.095	2.66095	53.219
3.0-3.5	13.3	6.13	0.2	2.66	0.16	0.9808	19.616
3.5-4.0	7	6.3	0.36	2.52	0.24	1.512	30.24
4.0-4.5	5.1	1.9	0.38	1.938	0.33	0.627	12.54
4.5-5.0	3.12	1.98	0.63	1.9656	0.44	0.8712	17.424
5.0-5.5	2.73	0.39	1.11	3.0303	0.77	0.3003	6.006
5.5-6.0	3.01	-0.28	1.6	4.816	1.29	-0.3612	-7.224
6.0-6.5	2.18	0.83	1.85	4.033	1.62	1.3446	26.892
6.5-7.0	0.73	1.45	2.7	1.971	2.17	3.1465	62.93
7.0-7.5	1.5	-0.77	2.8	4.2	2.85	-2.1945	-43.89
7.5-8.0	0.86	0.64	3.4	2.924	3.1	1.984	39.68
8.0-8.5	0.9	-0.04	4.6	4.14	3.81	-0.1524	-3.048
8.5-9.0	0.34	0.56	5.1	1.734	4.8	2.688	53.76
9.0-9.5	0.84	-0.5	6.7	5.628	5.7	-2.85	-57
9.5-10.0	0.62	0.22	7.24	4.4888	6.8	1.496	29.92
10.0-10.5	1.12	-0.5	8.61	9.6432	7.8	-3.9	-78
11.0-11.5	0.36	0.76	12.6	4.536	10.3	7.828	156.56
13.0-13.5	0.08	0.28	14.84	1.1872	13.7	3.836	76.72
13.5-14.0	0	0.08			14.84	1.1872	1.1872
Total	196.76			71.5668			438.5118

4. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

A great deal of data has been already published on the life cycle, life hystory, and energetic budget of the bivalve *Spisula subtruncata.* This is unusual considering that the autoecological aspects of most of species are generally neglected.

Our results confirm the general population dynamic features already stressed in the literature. In fact, massive spring-summer recruitment, massive fall-winter mortality, strong seasonal and interannual fluctuations of density and biomass are confirmed also for this area.

As far as the analysis of data is concerned, from a quantitative point of view, the maximum length recorded, the average density, the average biomass, and the production were always the lowest recorded in the published data (Tab. 3; 4). Many authors have already stressed the importance of the food availability in the water column in determining the benthos abundance and growth (Beukema et al., 1983; Pearson & Rosenberg, 1978). For instance, Møhlenberg & Kiørboe (1981) observed that newly settled specimens can be found in a variety of bottom types. However, specimens larger than few mm in shell length are found only on bottoms with great water movement, coinciding with the maximum in phytoplankton biomass. It is also true that the correspondence between benthos and the water column has not always been evident (Valderhaug & Gray, 1984)

Tab. 3 - Comparison of published data on mean biomass ($\bar{B}$ in g m^{-2}), annual production (P in g m^{-2} yr^{-1}) and P:B ratios for different populations of *Spisula subtruncata* of the western Mediterranean Sea

Area	Biomass	Production	P:B	Reference
Camargue coast	26.8	9.7	0.3	Massé, 1968
Po river Delta - 5m	1.41-15.5	4.92-49	2.7-3.76	Ambrogi & O. Ambrogi, 1987
Po river Delta - 8m	0.33-8.3	0.87-31.9	2.6-7.4	Ambrogi & O. Ambrogi, 1987
Algerie	0.09-6.2	0.56-30.2	4.33-9.96	Bakalem, 1992
Ligurian Sea	0.07-0.5	0.4-0.5	4.9-6.3	Present study *
Ligurian Sea		0.3-0.4		Present study °

* Hynes method
° Robertson formula

From our data, life-span does not seem to exceed one year. The maximum length recorded (13 mm) confirms the hypothesis of slow growth, considering that, in the Øresund, Møhlenberg & Kiørboe (1981) calculated a growth of 12 mm in 6 months, and in the Po river Delta, Ambrogi & Occhipinti Ambrogi (1987) observed the maximum length of 21 mm (1 year life-span).

Due to the annual massive winter mortality the Zoagli *Spisula* population strongly depends on the larval supply of nearby areas, because the population disappears if the spring recruitment fails.

As mentioned above, the biomass and the production values are lower than in other areas (Tab. 3). It has to be considered that the methods utilized are not always the same, so that comparisons are difficult. Moreover, the sampling technique has a great importance in the secondary production evaluation. The 1 mm mesh sieve tends to

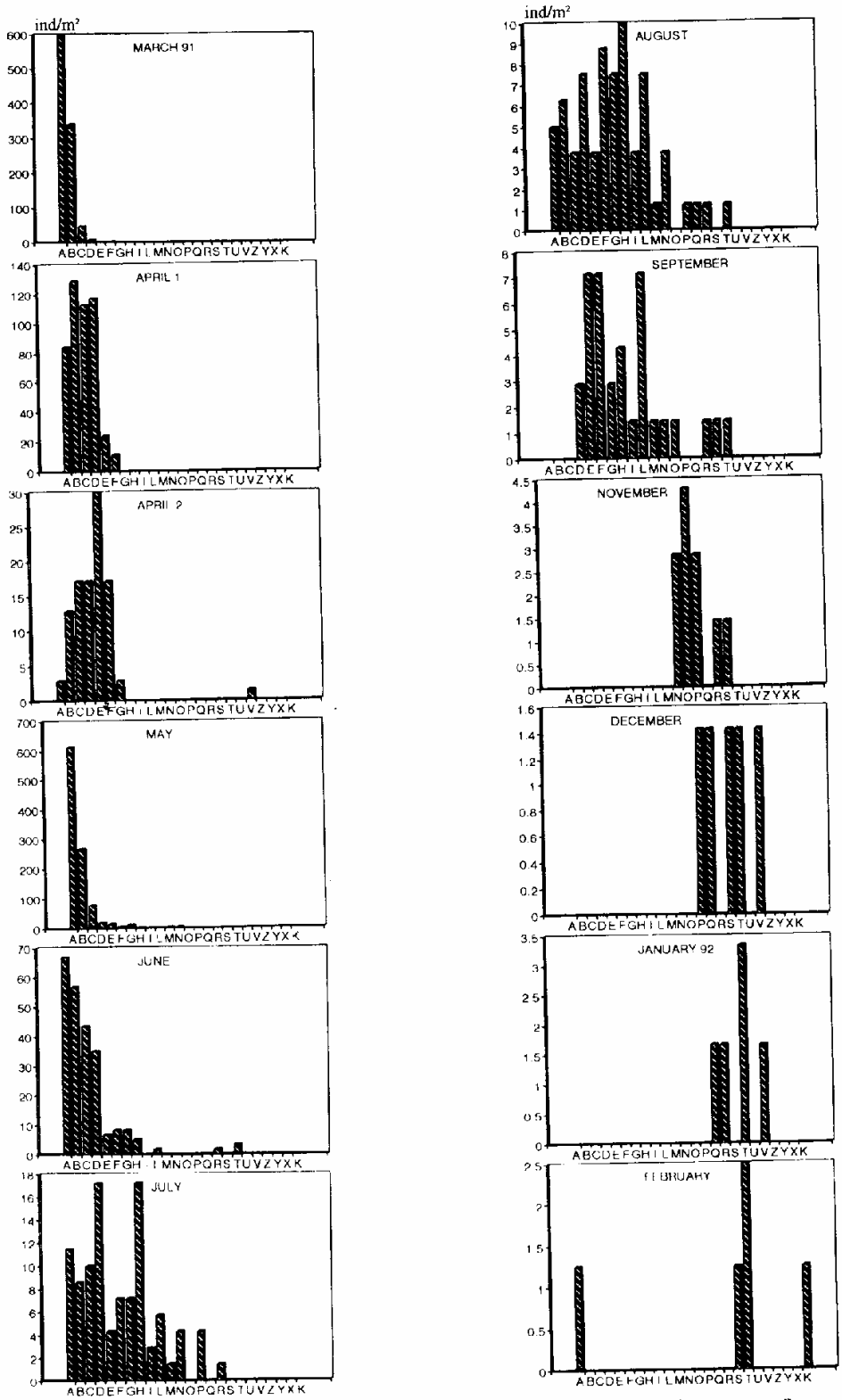


Fig. 5 Size-frequency histograms based on shell length, period 1991-92. The twenty-four dimensional classes have been divided as follow: A=1.5 mm, B=2 mm, C=2.5 mm, D=3 mm, E=3.5 mm, F=4 mm, G=4.5 mm, H=5 mm, I=5.5 mm, L=6 mm, M=6.5 mm, N=7 mm, O=7.5 mm, P=8 mm, Q=8.5 mm, R=9 mm, S=9.5 mm, T=10 mm, U=10.5 mm, V=11 mm, Z=11.5 mm, Y=12 mm, X=12.5 mm, K=13 mm.

understimate the population size. In fact, even if the smallest classes represent very weak biomass values and extremely ephemeral presence, their contribution to the organic matter turnover and their quantitative role in the energetic transfer should be considerable (Cattaneo & Masse, 1983; Moller & Rosenberg, 1983). Anyway, considering that all the cited papers used the 1 mm mesh size, the underestimation probably characterized all the results obtained until now.

Tab. 4. Variability observed in the population dynamic characteristics of *S. subtruncata*.

Population dynamic characteristics		Area	Reference
Life span	1 - 2 years	Western Mediterranean	Massé, 1971; Guille, 1971; Bodoy, 1980; Ambrogi, 1982.
	3 - 4 years	Dogger Bank & W. Mediterranean	Davis, 1923; Massé, 1972; Amouroux, 1974.
Length	15 - 20 mm	W. Mediterranean	Bodoy, 1980
	30 mm	Oresund	Muus, 1973
	12 mm in 6 months	Oresund	Mohlemberg & Kiorboe, 1981
Density	992 ind. m^2 (max density)	Côte catalaine francaise	Guille, 1971; Masse, 1972; Amouroux, 1974.
	8250 ind. m^2 (max density)	Dogger Bank	Davis, 1923
Annual fluctuations	from 425 to 9970 ind. m^2 (recruitment period)	Po river Delta	Ambrogi & O. Ambrogi, 1985
	from 0 to 4474 ind. m^2 * (recruitment period)	Verdon Bay	Cattaneo & Massé, 1983
Interannual fluctuations	2832 ind. m^2 (1981) - 552 ind. m^2 (1982)	Po river Delta	Ambrogi & O. Ambrogi, 1986
(yearly average)	1500 ind. m^2 (July 1964) - 8500 ind. m^2 (July 1965)	Oresund	Muus, 1973
Growth rate	0.159 - 0.327 mg day	Lab. conditions	Mohlemberg & Kiorboe, 1981
	0.244 mg day	Po river Delta	Ambrogi & O. Ambrogi, 1985

*ind. 0.1 m^{-2}, mesh-size 315 μm

The comparison between the two sampled periods shows that the biomass is smaller and the density is larger in the second year. Nevertheless, the production remains relatively Constant in both periods observed. This is probably caused by the different population structure observed in the two sampled periods: 1983-84 is characterized by the contemporary presence of the small and the intermediate size classes, while in the 1991-92 period, the smallest classes were mostly represented. However, the intermediate classes were less abundant. This is also confirmed by the higher P: $\bar{B}$ ratio observed in the second period: a high value of the P:$\bar{B}$ ratio is caused by juvenile dominance of the population (Warwick & George, 1980; Bachelet, 1982, Cornet; 1986).

The high P $\bar{B}$ ratio calculated in this study is comparable with those already published *S. subtruncata* is generally characterized by a high productivity typical of oportunistic species (Barbault, 1981).

On a geographical scale, the variability observed in the populations of *Spisula* suggests that density, biomass, production and productivity are not esclusively linked to a latitudinal gradient, connected to temperature, but mostly to the local conditions which are strongly responsable for the demographic structure (Warwick & George, 1980) Even in a same area, *S. subtruncata* may show different patterns of life cycle depending chiefly on trophic and climatic conditions.

In conclusion a weak production and a high productivity are an adaptative reply to the environmental variability and unpredictability. Its demographic polymorphism is of fundamental important in determining its wide distribution.

Acknowledgements

Financial support was given by the 40% fund MURST "Ecosistemi marini e delle acque interne" (Prof. Della Croce).

REFERENCES

Albertelli, G. & S. Fraschetti. 1992. Observations on the structure of three communities of the Continental shelf in the Ligurian Sea. *Atti IX Congr. Ass. Ital. Oceanol Limnol.,* S. Margherita Ligure, 20-23 November 1990: 351-362.

Albertelli., G., A. Bonomi, A. Covazzi, N. Della Croce & S Fraschetti. In press. Macrobentos y paràrnetros ambientales en fondos arenosos del Mar de Liguria, Italia. *VII Simposio Ibèrico de Estudio del Bentos Marino,* Murcia (Spain), 1-4 October 1991.

Ambrogi, R. 1982. Variazioni stagionali di una popolazione di *Spisula subtruncata* (da Costa) nell'area antistante il Delta del Po. *Boll. Mm. Ist. Biol. Univ. Genova,* 50 (Suppl.): 96-100.

Ambrogi, R. 1990. Secondary production of *Prionospio caspersi* (Annelida: Polichaeta, Spionidae). *Mar. Biol.,* 104: 437-442.

Ambrogi, R. & A. Occhipinti Ambrogi. 1985. The estimation of secondary production of the marine bivalve *Spisula subtruncata* (da Costa) in the area of the Po river delta. *P.S.Z.N: I. Mar. Ecol. ,* 6 (3): 239-250.

Ambrogi, R. & A. Occhipinti Ambrogi. 1986. Fluctuations pluriannuelles d'abundance, biomasse et production de *Spisula subtruncata* (Mollusca, Bivalvia). *Rapp. Comm. int. MerMédit.,* 30 (2): 23.

Ambrogi, R. & A. Occhipinti Ambrogi. 1987. Temporal variations of secondary production in the marine bivalve *Spisula subtruncata* off the Po river delta (Italy). *Estuar. Coast. Shelf Sci.,* 25: 369-379.

Amouroux, J. M. 1974. Elude des peuplements infralittoraux de la côte du Roussillon. III. Variations spatiales et saisonnières. *VieMilieu, XXIV(2),* B: 321-354.

Bachelet, G. 1982. Quelques problémes liés a l'estimation de la production secondaire.

Cas des bivalves *Macoma balthica* et *Scrobicularia plana. Oceanol. Acta, 5* (4): 421-431.

Bakalem, A. 1992. Estimation des variations spatio-temporelles de la production de *Spisula subtruncata* (da Costa) (Mollusque, Bivalve) de la Baie d'Alger. *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.,* 33: 28.

Barbault, R. 1981. *Ecologie des populations et des peuplements.* Masson, Paris: 200 pp.

Benke, A. C. 1979. A modification of the Hynes method for estimating secondary production with particular significance for the multivoltine population. *Limnol. Oceanol,,* 24: 168-171.

Beukema, J. J., G. C. Cadée & H. Hummel. 1983. Differential variability in time and space of numbers in suspension and deposit feeding benthic species in a tidal flat area. *Oceanol. Acta,* N.SP., Proc 17th E M.B.S, Brest, Franca, 27 September-1 October: 21-26.

Bodoy, A. 1980. Croissance et variations de la composition biochirnique du bivalve *Spisula subtruncata* (da Costa) dans le Golfe de Marseille. *Tethys, 9* (4): 345-354.

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., Proc 17th E.M.B.S, Brest, France, 27 September-1 October: 63-67.

Cocito, S., S. Covre, C. Morii & C. N. Bianchi. 1992. Dinamica stagionale di una comunità di sabbie fini ben calibrate nel Mar Ligure Orientale. *Atti IX Congr. Ass. Ital. Oceanol. Limnol.,* S. Margherita Ligure, 20-23 November 1990: 341-350.

Cornet, M 1986. Estimation de la production annuelle de populations *d'Abra alba* (Mollusque bivalve) du plateau Continental Sud-Gascogne. *Oceanol. Acta,* 9 (3): 323-332.

Crisp, D. J. 1984. Energy flow measurements. In *Methods for the study of marine benthos.* Holme N. A. and A. D. Mclntyre eds., 2nd edn., Blackwell Scientific Publications, Oxford, Edinburgh: 197-279.

Davis, H. 1923. Quantitative studies on the fauna of the sea bottom I. Preliminary investigation of the Dogger Bank. *Fishery lnvestigations Lond.,* 11 (8): 1-50.

Guille, A. 1971. Bionomie benthique du plateau continental de la côte catalaine française. VI Densité, biomasses et variations saisonnières de la macrofaune. *Vìe Milieu,* 22 (IB):93-158.

Hamilton, A. L. 1969. On estimating annual production. *Limnol. Oceanogr.,* 14: 771-782.

Krueger, C. C. & F. B. Martin. 1980. Computation of confidence intervals for the size-frequency (Hynes) methods of estimating secondary production. *Limnol. Oceanol.,* 25 (4): 773-777.

Massé, H. 1968. Sur la productivité des peuplements marins benthiques. *Cah. Biol. Mar.,* 9: 363-372.

Masse, H. 1971. Elude quantitative d'un peuplement de sables fins infralittoraux de l'étang de Berre. Evalualion de la production de quelques espèces. *Vie MIlieu,* Suppl. 22: 329-346.

Masse, H. 1972. Quantitative investigations of sandy bottom macrofauna along the Mediterranean north-west coast. *Mar. Biol.,* 15: 209-220.

Møhlenberg F. & T Kiørboe 1981. Growth and energelics in *Spisula subtruncata* (da Costa) and the effect of suspended bottom material. *Ophelia,* 20 (1): 79-90

Moller, P. & R. Rosenberg. 1983. Recruitment, abundance and production of *Mya arenaria* and *Cardium edule* in marine shallow waters, Western Sweden. *Ophelia,* 22: 33-55.

Muus, K. 1973. Settling, growth and mortality of young bivalves in the 0resund. *Ophelia,* 12 (1-2): 76-116.

Pearson, T. H. & R. Rosenberg. 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanog. Mar. Biol. Ann. Rev.,* 16:229-311.

Petersen, G. H. 1977. The density, biomass and origin of the Bivalves of the Central North Sea. *Meddr. Danm. Fisk.-og Havunders.,* 7: 221-273

Robertson, A. I. 1979. The relationship between annual production:biomass ratios and lifespans for marine macrobenthos. *Oecologia,* (Berl.), 38: 193-202.

Valderhaug, V. A. & J. Gray. 1984. Stable macrofauna community structure despite fluctuating food supply in subtidal soft sediments of Oslofjord, Norway. *Mar. Biol.,* 82: 307-322.

Warwick, R. & C. L. George. 1980 Annual macrofauna production in an *Abra* community. In: *Industrialized embayments and their envirotimental problems: a case study of Swansea Bay.* By M. B. Collins et al., Pergamon Press, Oxford and NewYork: 517-538.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L.
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da pag. 201 a pag. 208

LIMNOLOGIA DEL NUOVO INVASO DEL CIXERRI NEI PRIMI DUE ANNI DI ESISTENZA

Nicola SECHI*, Paola BUSCARINU° e Antonella LUGLIÉ*

Dipartimento di Botanica ed Ecologia vegetale, Università di Sassari
°Ente Autonomo Flumendosa, Regione Autonoma della Sardegna, Cagliari

SUMMARY

The results of 2 years study on physical, chemical and biological analysis in new Man Made Lake Cixerri (South Sardinia), filled in the 1990, are presented. The new lake shows high levels of mineral nitrogen (971 mg N m^{-3} the first year, 752 mg N m^{-3} the second) and total phosphorus (96 mg P m^{-3} the first year, 66 mg P m^{-3} the second). Chlorophyll *a* concentrations are very high, with 27 mg m^{-3} the first year and 42 mg m^{-3} in the second. The standing crop also shows increasing values: annual averages are respectively 6,5 mg l^{-1} and 20 mg l^{-1}. Further, it has been pointed out a state of growing eutrophy.

1. INTRODUZIONE

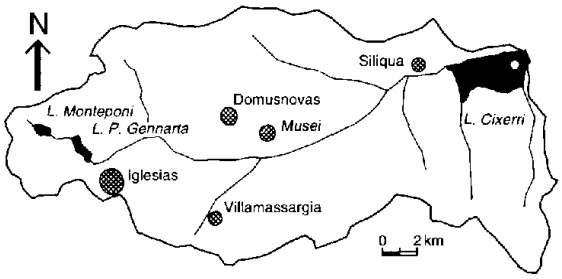


Fig. 1 - Localizzazione del L. Cixerri nel bacino imbrifero e stazione di campionamento

Il Lago Cixerri è un nuovo invaso realizzato nel 1990 lungo il corso del Rio Cixerri con uno sbarramento a gravita (Tab. 1, Fig. 1). Nel bacino imbrifero, esteso 426 Km^2 ed interessato per l'80% da attività agro-pastorali, sono presenti 5 agglomerati urbani (42.000 abitanti), sprovvisti d'impianti di depurazione con la rimozione del fosforo, e diversi insediamenti industriali. La trasformazione in termini di rilascio di fosforo delle attività presenti nel bacino, effettuata prima dell'invaso, aveva quantificato un carico potenziale di circa 25 t a^{-1} di cui 16 t a^{-1} provenienti dalla sola componente urbana. Il lago, in base alla formula di Vollenweider (O.E.C.D., 1980), ha un carico critico di fosforo compreso tra 3 e 6 t a^{-1}. Pertanto, in considerazione della presumibile situazione eutrofica del nuovo lago ed alle ripercussioni

Tab. 1 - Principali caratteristiche morfometriche del L. Cixerri.

Quota s.l.m. al massimo invaso (m)	39,0
Volume massimo nominale (m^3 10^6)	25,4
Superficie massima nominale (m^2 10^6)	4,2
Profondità massima (m)	19,0
Profondità media al massimo invaso (m)	6,1

che ciò avrebbe potuto avere sulle varie utilizzazioni, si avviarono, subito dopo l'inizio delle operazioni d'invaso, delle indagini limnologiche. Lo scopo principale era di seguire le dinamiche sia dei principali parametri chimici e fisici delle acque (con particolare riferimento ai nutrienti vegetali,) sia dei popolamenti fitoplanctonici. Un ulteriore scopo dell'indagine è stato quello di seguire l'evoluzione trofica dell'invaso nei primi anni di formazione al fine di poter effettuare una comparazione con altri laghi di neoformazione (Ostrofsky, 1978; Ostrofsky e Duthie, 1978).

2. METODI

I campionamenti sono iniziati nel giugno '90, due mesi dopo l'inizio delle operazioni d'invaso; i campioni d'acqua sono stati raccolti, con cadenza quindicinale, a 500 m dalla diga, a diversi livelli fino alla massima profondità (0, 1, 2.5, 5, 7.5, 10 metri o fondo). Tra i diversi parametri rilevati vengono riportati in questo contesto i risultati relativi a: temperatura, trasparenza, pH, conducibilità, nitrati (analizzati secondo Rodier, 1971), fosforo totale e reattivo, silice reattiva (Strickland e Parsons, 1968), ammoniaca (Fresenius, Quentin & Schneider, 1988), clorofilla *a* (Golterman, Clymo & Ohnstad, 1978), densità (secondo Utermöhl), biomassa (Findenegg, 1974) e composizione fitoplanctonica.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

In tabella 2 vengono riportati i valori medi annuali dei parametri analizzati, mediati lungo la colonna d'acqua. I volumi d'invaso, a parte i primi mesi di riempimento, oscillano intorno ai 20 10^6 m^3 con i massimi nei periodi invernali e minimi in quelli estivi-autunnali (Fig. 2). Per quel che riguarda la termica (Fig. 2) si rileva che, a causa della ridotta profondità media e della mancanza di ostacoli orografici alla forza del vento, i gradienti termici sono molto limitati, con un massimo di soli 3 °C tra la superficie ed il fondo. I due anni d'indagine presentano valori massimi differenti: 30 °C nell'agosto '90 (solo in

Tab. 2 - Medie annuali dei principali parametri trofici.

		90-91	91-92
Volume	(m^3 10^6)	14,9	21,1
Temperatura	(°C)	19,4	17,8
Trasparenza	(m)	0,6	0,7
Conducibilità	(µS cm^{-1})	774	800
pH		8,2	8,2
N-NO_3	(mg N m^{-3})	878	560
N-NH_3	(mg N m^{-3})	93	192
P-tot.	(mg P m^{-3})	96	66
P-reatt.	(mg P m^{-3})	30	6
Si-reatt.	(mg Si l^{-1})	2,7	2
Clorofilla *a*	(mg m^{-3})	27	42
Densità	(cellule 10^6 l^{-1})	160	239
Biomassa	(mg l^{-1})	6,5	20

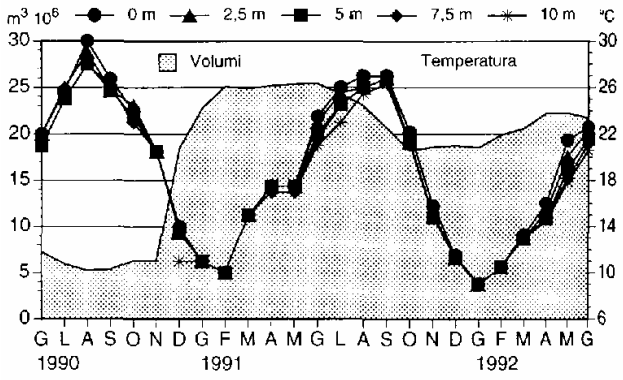


Fig. 2 - Dinamica della temperatura e dei volumi d'invaso

superficie) e 28 °C nel settembre '91 (su tutta la colonna). Le temperature minime, pur con il medesimo valore (9 °C), sono registrate in mesi differenti: a dicembre nel 1991 ed a gennaio e febbraio nel 1992.

I limitati gradienti termici determinano una certa omogeneità dei valori nella colonna d'acqua anche degli altri parametri. Un tale andamento è mostrato dal pH (Fig. 3) i cui valori oscillano prevalentemente tra 8,1 e 8,5 unità e che solo in alcuni casi sono leggermente superiori (settembre '90 e aprile '92) o inferiori (da dicembre '90 ad aprile '91, nel novembre '91 e nel giugno '92); in linea generale, i valori più bassi vengono registrati in inverno, i più alti in primavera.

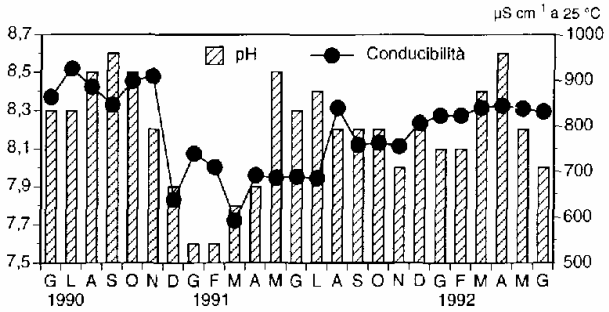


Fig. 3 - Dinamica del pH e della conducibilità

La conducibilità (Fig. 3) registra medie annuali elevate: 774 µS cm^{-1} nel primo anno e 800 (µS cm^{-1} nel secondo. L'andamento del parametro fa supporre che gli alti valori dipendano principalmente dal rilascio di ioni dal terreno sommerso. Infatti il valore più elevato, di 930 µS cm^{-1}, si verifica nel luglio '90 quando il volume lacustre è basso; viceversa il repentino abbassamento dei valori (da 900 a 600), tra novembre e dicembre del '90, è concomitante con l'innalzamento del livello d'invaso. Successivamente i valori aumentano stabilizzandosi dall'agosto '91 intorno agli 840 µS cm^{-1}. Mantengono quest'ordine di grandezza anche quando, con i nuovi afflussi invernali del '92, si poteva attendere una diminuizione analoga a quella dell'anno precedente. Bisogna però evidenziare che i minori afflussi del secondo anno possono avere indotto solo una ridotta diluizione e un conseguente minore abbassamento della conducibilità.

Le dinamiche dei composti azotati sono rappresentate in figura 4. Si può osservare che all'inizio delle indagini le concentrazioni dei nitrati sono contenute, con valori inferiori ai 100 mg N m^{-3} mentre più elevate sono quelle dell'ammoniaca, intorno ai 200-300 mg N m^{-3}. Questa situazione potrebbe essere derivata dall'immediato utilizzo dei nitrati da parte del fitoplancton, già presente nel primo campionamento con densità cellulari molto elevate, superiori a 1,2 10^7 cellule l^{-1}; questo valore evidenzia l'intensità dei livelli produttivi instauratisi in concomitanza o immediatamente dopo la formazione del lago. La maggiore presenza di ammoniaca può dipendere dalla sua liberazione dalla sostanza organica già presente nel territorio sommerso. Successivamente i nitrati seguono un andamento tipico di situazioni eutrofiche: aumento consistente (fino a 2300 mg N m^{-3} nel primo anno ed a

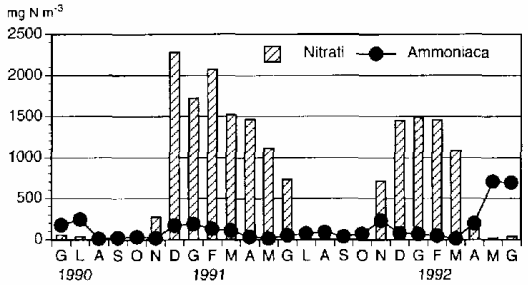


Fig. 4 - Dinamica dei nitrati e dell'ammoniaca

1500 mg N m^{-3} nel secondo) con gli afflussi invernali, flessioni primaverili e scomparsa estiva (Fig. 4). L'ammoniaca presenta un andamento più appiattito e subisce un forte incremento solo negli ultimi due mesi (750 mg N m^{-3}), subito dopo un forte sviluppo algale e forse a questo strettamente legato.

Il fosforo, nella forma totale, presenta valori abbastanza elevati, normalmente superiori ai 40 mg P m^{-3}. Le medie annuali sono notevolmente diverse, con uno scarto

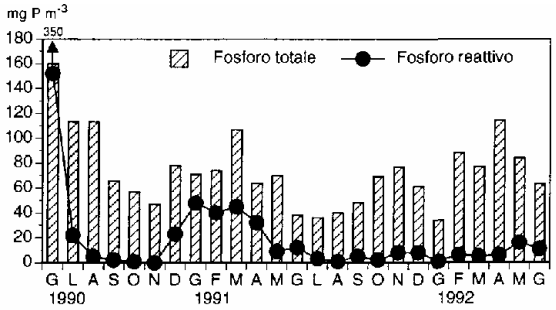


Fig. 5 - Dinamica del fosforo reattivo e totale

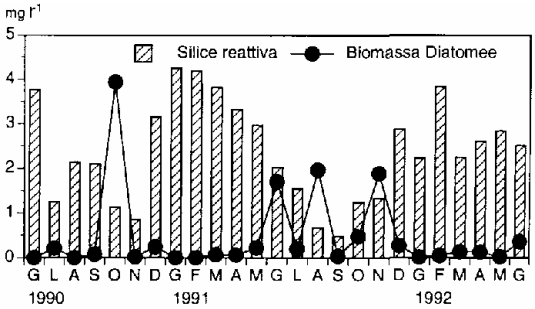


Fig. 6 - Dinamica della silice reattiva e della biomassa delle Diatomee

di 30 mg P m^{-3} (Tab. 2 e Fig. 5). Nel primo anno incidono significativamente i picchi registrati nei primi mesi d'indagine: a giugno con 350 mg P m^{-3} e da luglio ad agosto con 110 mg P m^{-3}. I fosfati reattivi rappresentano un'aliquota consistente del fosforo totale solo nel primo campionamento; successivamente si mantengono sempre intorno ai 5-10 mg P m^{-3}, con qualche valore intorno ai 20 mg P m^{-3}; eccezionalmente nell'inverno '91, con l'ingresso di nuova acqua, vengono superati i 40 mg P m^{-3} (Fig. 5).

I silicati sono abbondanti ed oscillano tra massimi intorno a 4 mg Si l^{-1} nei mesi invernali, in concomitanza con i maggiori afflussi, e minimi intorno a 0,7 mg Si l^{-1} nei mesi di novembre '90 ed aprile-maggio '91 (Fig. 6), a cavallo o subito dopo lo sviluppo delle Diatomeae.

Le acque del L. Cixerri risultano poco trasparenti in tutto il periodo d'indagine e solo in qualche occasione viene superato il metro di visibilità (Fig. 7). L'andamento della trasparenza nei periodi invernali, quando affluiscono acque molto torbide, pare slegato dai contenuti di clorofilla *a* e biomassa. Il legame tra questi parametri è evidente quando la torbidità è determinata primariamente dal fitoplancton.

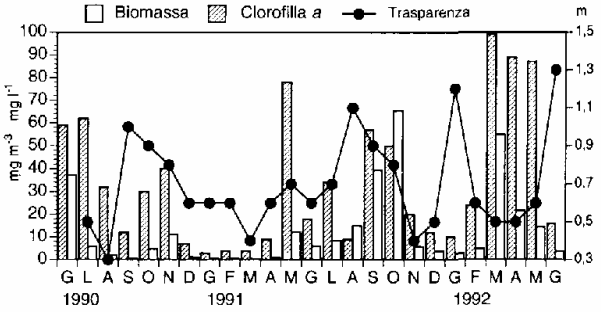


Fig. 7 - Dinamica della clorofilla *a*, della biomassa totale e della trasparenza

Le concentrazioni medie annuali della clorofilla *a* danno un quadro di crescente trofia delle acque; il valore del secondo anno è di ben 15 mg m^{-3} più alto del primo. I picchi maggiori si rilevano nel luglio '90 (65 mg m^{-3}), nel maggio '91 (80 mg m^{-3}) e nel marzo '92 (100 mg m^{-3}) e sono determinati sempre da blooms di Cyanophyceae. Nei mesi primaverili del '92, subito dopo il picco, la clorofilla *a* si mantiene su valori molto più elevati (intorno a 80-90 mg m^{-3}) dello stesso periodo del

'91. Sono da segnalare anche le elevate concentrazioni tra ottobre e novembre '90 (intorno a 30-40 mg m^3), a luglio '91 (circa 35 mg m^3) e tra settembre e ottobre '91 (tra 50 e 60 mg nr^3)(Fig. 7).

Un quadro sostanzialmente simile esprime la biomassa totale (Fig. 7) il cui valore medio annuale nel secondo anno è praticamente triplicato rispetto all'anno precedente. In generale poi la maggior parte dei picchi sono coincidenti con quelli della clorofilla *a.*

Nonostante i valori medi annuali della densità ed i picchi dei singoli anni aumentino, l'andamento di questo parametro non sempre coincide con quelli della clorofilla *a* e della biomassa. In particolare ciò si verifica quando nel fitoplancton si riscontra la presenza, numericamente limitata, di specie di grandi dimensioni, come ad es., *Ceratium hirundinella* (O.F. Müller) Schrank.

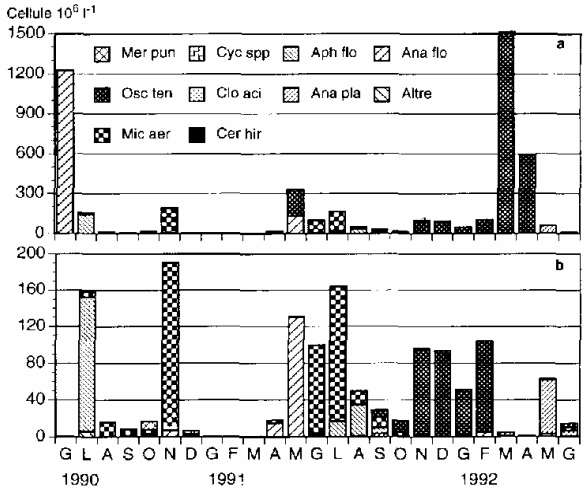


Fig. 8 - Composizione della densità totale

Sono state identificate 42 specie elencate nella tabella 3 insieme alle sigle utilizzate per le rappresentazioni grafiche. Nelle figure 8 e 9 sono rappresentate le dinamiche della densità e della biomassa delle specie più significative; nel grafico inferiore (b), per meglio evidenziare l'andamento anche di specie meno abbondanti, sono omessi i valori di ogni specie superiori a 100 10^6 cellule l^{-1} ed a 5 mg l^{-1}. Le Cyanophyceae, con *Oscillatoria tenuis* Ag., *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs, *Anabaena flos-aquae* (Lyngb.) Brèb, *Microcystis aeruginosa* Kg. e *Anabaena planctonica* Brunnth, e le Dinophyceae, con *C. hirundinella,* sono le classi che esprimono i valori di biomassa o di densità più alti. In particolare *C. hirundinella* e *O. tenuis* arrivano a sviluppare rispettivamente un picco di circa 64 mg l^{-1} nell'ottobre del '91 e di 53 mg l^{-1} nel marzo '92.I picchi di densità più rilevanti sono sempre espressi dalle Cyanophyceae, con *A. flos-aquae* nel giugno '90 (oltre 1,2 10^9 cellule 1 ') ed *O. tenuis* nel marzo '92 (oltre 1,5 10^9 cellule l^{-1})• Nell'arco del biennio la successione stagionale del fitoplancton, come biomassa, mostra dei cambiamenti, brevemente riportati qui di seguito:

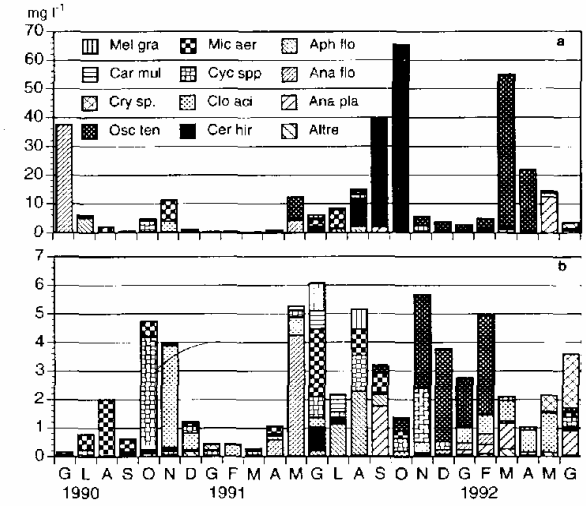


Fig. 9 - Composizione della biomassa totale

- tra giugno e settembre '90 sono dominanti le Cyanophyceae, inizialmente con un picco elevatissimo di *A. flos-aquae* (37 mg l^{-1}), sostituita in luglio da *Aph. flos-aquae*

Tab. 3 - Elenco floristico e codice delle specie riportate nei grafici.

CYANOPHYCEAE			
Anabaena flos-aquae (Lyngb.) Brèb	Ana flo	*Anabaena planctonica* Brunnth	Ana pla
Aphanocapsa elachista W. et G.S. West	Aph ela	*Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs	Aph flo
Gomphosphaeria sp.	Gom sp.	*Merismopedia punctata* Meyen	Mer pun
Microcystis aeruginosa Kg.	Mic aer	*Microcystis flos-aquae* (Wittr.) Kirchn.	Mic flo
Oscillatoria tenuis Ag.	Osc ten	*Oscillatoria* sp.	Osc sp.
Phormidium mucicola Naumann et Huber-Pestalozzi	Pho muc		
CHLOROPHYCEAE			
Ankistrodesmus falcatus (Corda) Ralfs	Ank fal	*Carteria multifilis* (Fres.) Dill	Car mul
Coelastrum pseudomicroporum Kors.	Coe pse	*Coelastrum* sp.	Coe sp.
Didymocystis sp.	Did sp.	*Oocystis* sp.	Ooc sp.
Monoraphidium sp.	Mon sp.	*Pandorina morum* (Muller) Bory	Pan mor
Pediastrum simplex Meyen	Ped sim	*Pediastrum duplex* Meyen	Ped dup
Scenedesmus sp.	Sce sp.	*Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Brèb sensu Chod.	Sce qua
Sphaerocystis sp.	Sph sp.		
Schroederia sp.	Sch sp.	*Volvox aureus* Ehrbg.	Vol aur
CONJUGATOPHYCEAE			
Closterium aciculare T. West	Clo aci	*Closterium gracile* Brèb ex Ralfs	Clo gra
Closterium sp. Nitzsch ex Ralfs	Clo sp.	*Cosmarium* sp. Corda ex Ralfs	Cos sp.
Staurastrum gracile Ralfs	Sta gra		
DIATOMEAE			
Asterionella formosa Hass.	Ast for	*Cyclotella Meneghiniana* Kg.	Cyc spp
Cyclotella comta (E.) Kg.	Cyc spp	*Cymbella* sp.	Cym sp.
Melosira granulata (E.) Ralfs	Mel gra	*Nitzschia* sp.	Nit sp.
Synedra acus Kg.	Syn acu		
DINOPHYCEAE			
Ceratium hirundinella (O. F. Muller) Schrank	Cer hir		
CRYPTOPHYCEAE			
Cryptomonas sp.	Cry sp.	*Chroomonas acuta* Utermöhl	Chr acu
Rhodomonas sp.	Rho sp.		

(5,1 mg l^{-1}) e in agosto e settembre da *M. aeruginosa* (massimo di 2 mg l^{-1});

- tra ottobre '90 e gennaio '91 si alternano differenti specie, appartenenti a quattro classi algali: in ottobre le Diatomeae con *Cyclotella Meneghiniana* Kg. (4 mg l^{-1}), in novembre le Cyanophyceae con *M. aeruginosa* (8 mg l^{-1}) e le Conjugatophyceae con *Closterium aciculare* T. West (3,5 mg l^{-1}), in dicembre ancora quest'ultima specie (0,7mg l^{-1}) e in gennaio le Cryptophyceae con *Cryptomonas* sp. (inferiore a 0,2 mg l^{-1});
- in febbraio e marzo '91 le Conjugatophyceae, con *C. aciculare,* riprendono la dominanza con valori peraltro molto contenuti;
- tra aprile e luglio '91 si assiste allo sviluppo delle Cyanophyceae, dapprima in aprile con *A. flos-aquae* (0,6 mg l^{-1}), poi in maggio con *O. tenuis* (6 mg l^{-1}) ed infine in giugno e luglio con *M. aeruginosa* (sino a 6,2 mg l^{-1});
- tra agosto ed ottobre '91 si ha la completa dominanza di *C. hirundinella,* con picchi crescenti nei tre mesi e pari rispettivamente a 10, 36 e 64 mg l^{-1};
- da novembre '91 a maggio '92, a differenza del medesimo periodo dell'anno precedente, il fitoplancton è dominato nettamente dalle Cyanophyceae; *O. tenuis,* comparsa dal maggio '91, esprime infatti per oltre cinque mesi valori rilevanti che culminano in marzo con un massimo di 53 mg l^{-1}; *A. planctonica* domina invece nel mese di maggio

esprimendo un picco di 12 mg l^{-1};
- in giugno appaiono dominanti le Cryptophyceae con *Cryptomonas* sp. (2 mg l^{-1}).

4.CONCLUSIONI

L'ipotesi iniziale di un elevato livello trofico del Lago Cixerri, basato sul carico potenziale del fosforo, trova conferma nei dati sperimentali. Le concentrazioni dei nutrienti sono tali da consentire uno sviluppo fitoplanctonico corrispondente ad uno stato eutrofico spinto. Accanto all'aspetto quantitativo anche la qualità del fitoplancton riscontrato è tipica di una condizione di alta trofia. Le specie più importanti, quali *M. aeruginosa, A. flos-aquae, A. planctonica, Aph. flos-aquae, C. hirundinella* ed *O. tenuis,* ritrovate frequentemente in ambienti altamente produttivi (Heinonen, 1980; Hornstrom, 1981; Rosén, 1981), esprimono, nei momenti di fioritura, valori di densità e di biomassa molto elevati. In sostanza, tutti i parametri del fitoplancton (composizione, dinamica, densità, biomassa e contenuto di clorofilla *a)* portano, seguendo le indicazioni di O.E.C.D. (1980, 1982) e di Heinonen (l980), a dare un giudizio di ipertrofia. Bisogna però considerare che i laghi di neoformazione, secondo Baranov (1961), Ostrofsky (1978), Ostrofsky & Duthie (1978), all'inizio della loro vita attraversano delle fasi evolutive prima di stabilizzarsi sul livello realmente corrispondente alla situazione trofica media. La prima fase, di "innalzamento trofico", dovrebbe durare secondo Baranov (1961) uno-due anni dal momento del neoinvaso; a questa fase dovrebbe seguire, prima della stabilizzazione, la fase progressiva di "depressione trofica". I valori medi annuali della densità cellulare, della biomassa e della clorofilla *a,* riscontrati nel L. Cixerri nei due anni (passati rispettivamente da 160 a 239 10^6 cellule l^{-1}, da 6,5 a 20 mg l^{-1} e da 27 a 42 mg m^{-3} rispettivamente) indicherebbero un innalzamento trofico nel secondo anno. Se però si analizzano su base trimestrale i valori di questi parametri e del fosforo, totale e reattivo, a partire dal momento dell'invaso (Fig. 10), si vede che solo nel secondo trimestre, quando sono state avviate le indagini, vengono espressi contemporaneamente valori molto elevati. Fa eccezione l'ultimo trimestre nel quale si riscontrano valori di densità totale e di clorofilla *a* molto più elevate del solito. Questa impennata potrebbe essere inquadrata nell'estrema variabilità delle condizioni trofiche dei laghi artificiali della Sardegna. Per es. nel L. Mulargia, invaso realizzato nel 1956 e per il quale esiste una conoscenza pluriennale dell'evoluzione trofica (Luglié & Sechi, 1992), i contenuti di biomassa e di clorofilla *a*

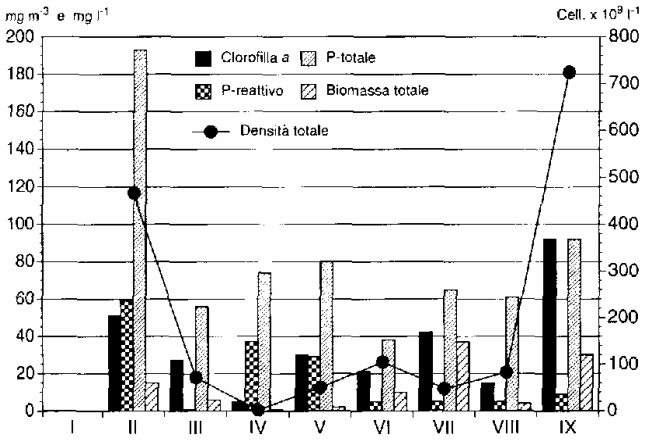


Fig. 10 - Dinamica trimestrale di alcuni parametri a partire dal momento dell'invaso

nell'arco di cinque anni oscillano rispettivamente da un minimo di 2 mg l^{-1} e 6 mg m^{-3} ad un massimo di 9 mg l^{-1} e 18 mg m^{-3}. Si potrebbe pertanto ipotizzare che il L. Cixerri abbia subito una fase di innalzamento trofico di breve durata (tre-cinque mesi) e che subito dopo si sia "stabilizzato" su un livello trofico inferiore ma molto variabile. Queste ipotesi potranno essere validate dagli ulteriori studi ancora in corso sul lago; su un arco di tempo più lungo dovrebbe essere meno difficile inquadrare con maggiore precisione la possibile sequenza evolutiva della trofia del L. Cixerri.

BIBLIOGRAFIA

Baranov, I.V. 1961. Biohydrochemical classification of the reservoirs in the european U.S.S.R. In Tyurin P. V. (ed.): *The Storage lakes of the U.S.S.R. and their importance farfishery:* 139-183. Israel Program for Scientific Traslations, Jerusalem.

Findenegg, I. 1974. Expressions of populations. In Vollenweider R. (ed.): *A Manual of Methods for Measuring Primary Production in Aquatic Environments:* 16-17. I.B.P. 12. Blackwell Se. Pub., Oxford.

Fresenius, W., K.E. Quentin & W. Scheneider. 1988. Water Analysis. A practical Guide to physico-chemical and microbiological water examination and quality assurancc. Springer-Verlag, Berlin.

Golterman H.L., R.S. Clymo & M.A.M. Ohnstad. 1978. Methods for physical and chemical analysis of freshwaters. T.B.P. 8. Blackwell Se. Pub., Oxford.

Heinonen, P. 1980. Quantity and composition of phytoplankton in Finnish inland waters. *Publication of Water Research Institute* N° 37. National Board of Waters. Finland. Helsinki.

Hörnström, E. 1981. Trophic characterization of lakes by means of qualitative phytoplankton analysis. *Limnologica,* 13: 249-261.

Luglié A. & N. Sechi. 1992. L'evoluzione trofica del Lago Mulargia dal 1985 al 1989. *Atti 9° Congresso A.I.O.L.:* 475-482.

O.E.C.D. 1980. Eutrophication program, Regional Project. Shallow lakes and reservoirs. Compiled by J. Clasen. The Water Research Centre. Medmenhan Laboratory. Marlow Bucks. England.

O.E.C.D. 1982. Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control. O.E.C.D. Publications, Paris.

Ostrofsky, M.L. 1978. Trophic changes in reservoirs; an hypothesis using phosphorus budget models. *Int. Revue Ges. Hydrobiol,* 63: 481-499.

Ostrofsky, M.L. & H.C. Duthie. 1978. An approach to modelling productivity in reservoirs. *Verh. Internal. Verein. Limnol.,20:* 1562-1567.

Rodier, J. 1971. L'analise chimique et phisico-chimique de l'eau. Dunod, Paris.

Rosén, G. 1981. Phytoplankton indicators and their relations to certain chemical and physical factors. *Limnologica,* 13: 263-290.

Strickland, J.D.H. & T.R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Board Can.,* 167.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L.
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da pag. 209 a pag. 220

I FONDI A *GRYPHUS VITREUS* (BRACHIOPODA) DELL'ARCIPELAGO TOSCANO (MEDITERRANEO OCCIDENTALE)

Stefano ALIAMI

ENEA-CRAMS.Teresa,CP316, 19100 La Spezia

RIASSUNTO

Nel corso di campagne oceanografiche effettuate negli anni 1985, 1986, 1987 nell'Arcipelago Toscano, è stato rinvenuto il brachiopode *Gryphus vitreus* in 9 stazioni, tra i 120 e i 520 m di profondità, nei pressi delle isole di Montecristo, Capraia e Gorgona. *G.vitreus* è stato trovato prevalentemente in prossimità della rottura di pendenza della scarpata o in aree con elevato idrodinamismo interessate dal passaggio della corrente del Canale di Corsica. Le analisi granulometriche dei sedimenti, condotte parallelamente agli studi biologici, non hanno identificato una composizione granulometrica tipica per i fondi a *G.vitreus.*

La mancanza di uno stock di specie caratteristiche e la presenza non occasionale di specie di altre biocenosi non permette di identificare i fondi a *G.vitreus* come una biocenosi sensu Pérès e Picard, per questo il termine "biocenosi del Detritico Batiale" (DB) proposto da alcuni autori risulta meno adeguato del termine "fondi a *G.vitreus"* proposto da Emig.

La comunità è stata identificata con un metodo fisionomico utilizzando le specie dominanti e frequenti. Alcune delle caratteristiche riscontrate, come ad esempio "l'effetto margine", suggeriscono che questi fondi potrebbero costituire un ecotono. In questo modo viene anche spiegata una delle transizioni tra circalitorale e batiale.

SUMMARY

G. vitreus bottoms in the Tuscan Archipelago (Western Mediterranean).

G. vitreus specimens were collected during the Enea cruises in 1985, 1986, and 1987 at 9 stations East of the island of Capraia, West of the island of Gorgona and near the island of Montecristo, at depths between 120 and 520 m.

Most of the stations are characterized by an increase of the Corsica Current velocity due to the shelf break effect. sedimentological analysis did not identify a grain size typical for se stations.

A "pool of characteristic species" could not be identified but the community included species characteristic of the surrounding biocoenoses. Thus, the term Detritic Bathyal (DB) proposed by some authors based on the Pérès e Picard method seems to be less appropriate than the more general one proposed by Emig, namely *"G.vitreus* bottoms". Dominant and frequent species could be used for a physionomical description of the community.

Some of the characteristics of this type of community such as the "edge effect", suggest that the *G.vitreus* bottoms are an ecotone which could explain one of the transitional situations between the circalittoral and the bathyal zones.

1. INTRODUZIONE

La discussione circa la distribuzione dei fondi a *G.vitreus* ed il significato che il popolamento ad essi associato va ad assumere nella bionomia del benthos profondo mediterraneo, sollevata negli anni 60 (Fredj, 1964; Pérès & Picard, 1958, 1964), è ancora accesa (Logan, 1979; Emig, 1985, 1987; Boullier et al., 1986).

Fondi con *G.vitreus* sono stati segnalati su depositi grossolani o vicino alla cima di canyons sottomarini sul margine della scarpata (Vaissiere & Fredj, 1964; Fredj, 1964).

Studi recenti (Emig, 1987) hanno evidenziato come questi fondi si distribuiscano, lungo le coste provenzali e corse, in 3 fasce orizzontali con diverse densità di *G.vitreus* e situate nei pressi della rottura di pendenza della scarpata continentale.

Tutta l'area situata vicino al margine della scarpata presenta un quadro biocenotico complesso e di difficile interpretazione (Pérès & Picard, 1958; 1964; Carpine, 1970; Reyss, 1974; Falconetti, 1980), infatti, è stata ipotizzata come una transizione tra i sistemi afitale e filale (Carpine, 1970; Pérès, 1982) e Pérès e Picard nella prima stesura del loro manuale (1958) hanno proposto che vada a costituire il piano batilitorale abbandonato nella stesura definitiva. Tale piano sarebbe stato caratterizzato dai popolamenti a *Dendrophyllia cornigera* (coralli gialli) su fondi rocciosi e da quelli a *Cidaris cidaris* e a grandi Brachiopodi *(G.vitreus)* su fondi di ciottoli e sabbia più o meno infangati (Pérès & Picard, 1964; Carpine, 1970).

Reyss (1970; 1974) invece sostiene che il popolamento a *G.vitreus* appartiene ad un margine di contatto batilitorale al quale non è possibile attribuire un preciso rango bionomico: si tratterebbe quindi solo di una zona di transizione.

La scarsità di specie caratteristiche, che non permetterebbe di identificare nei fondi a *G.vitreus* facies di biocenosi tipiche, ha indotto anche Falconetti (1980) a considerarli un semplice miscuglio di fauna appartenente alle vicine biocenosi DC, DL, VP. Tuttavia egli riferisce questo popolamento ad una ipotetica biocenosi misticola batiale che però non riesce bene ad identificare, a suo avviso per i fenomeni di infangamento generale tipici del batiale.

Recentemente il rango di biocenosi è stato attribuito da Emig (1985) il quale evidenzia alcuni dei principali componenti del macrobenthos dei fondi a *G.vitreus* ed un range batimetrico di distribuzione dipendente dalla morfologia del fondo.

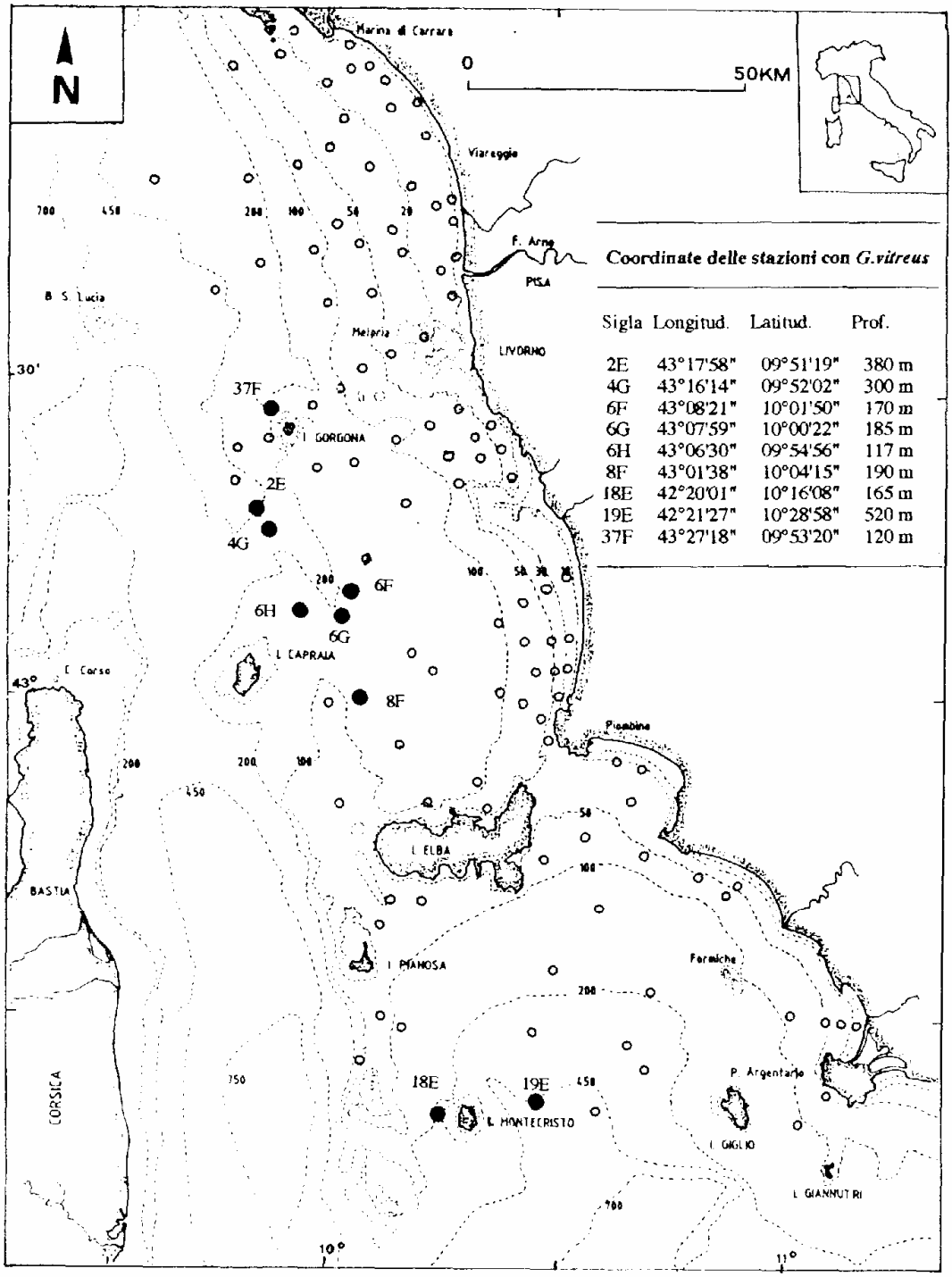
Infine Morri et al. (1992) propongono il termine Detritico Batiale (DB) sottolineando così nuovamente le caratteristiche di transizione della biocenosi a *G.vitreus* e conservando una nomenclatura basata su principi mesologici più affine alla tradizione mediterranea.

La scuola francese ha una lunga tradizione di studi sull'argomento (Pérès & Picard, 1958, 1964; Carpine, 1970; Reyss, 1974; Falconetti, 1980; Emig, 1985), al contrario le segnalazioni per quanto riguarda le coste italiane, e quelle tirreniche in particolare, sono più scarse e poco specifiche.

Lo scopo di questo lavoro è fornire un contributo alla conoscenza della distribuzione spaziale dei fondi a *G.vitreus* nell'Arcipelago Toscano ed alcune note bionomiche e faunistiche.

2. MATERIALI E METODI

I campioni sono stati prelevati nel corso di una serie di campagne oceanografi che condotte dall'ENEA nel 1985 con il motopeschereccio Delfino (1985), nel 1986 e 1987 con la nave oceanografica Minerva nel tratto di mare che va da La Spezia alle isole di Montecristo e del Giglio.



Coordinate delle stazioni con *G.vitreus*

Sigla	Longitud.	Latitud.	Prof.
2E	43°17'58"	09°51'19"	380 m
4G	43°16'14"	09°52'02"	300 m
6F	43°08'21"	10°01'50"	170 m
6G	43°07'59"	10°00'22"	185 m
6H	43°06'30"	09°54'56"	117 m
8F	43°01'38"	10°04'15"	190 m
18E	42°20'01"	10°16'08"	165 m
19E	42°21'27"	10°28'58"	520 m
37F	43°27'18"	09°53'20"	120 m

Figura 1: Area di campionamento (i pallini indicano le stazioni di campionamento)
- *G. vitreus* è presente solo nelle stazioni annerite.

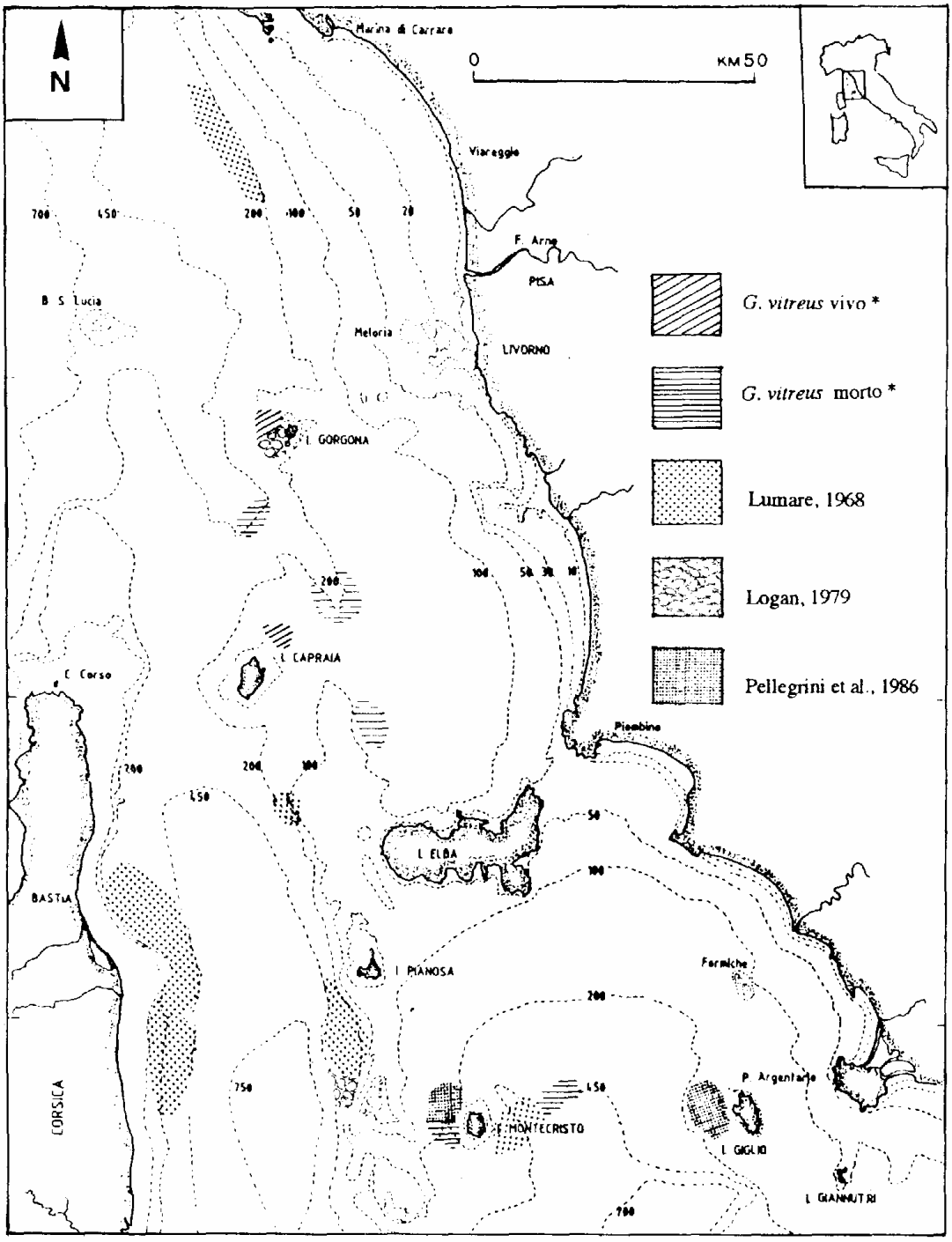


Figura 2: Distribuzione dei fondi a *G. vitreus* in Arcipelago Toscano.
* = risultati del presente lavoro

Sono stati prelevati campioni in 138 stazioni di cui 40 ad una profondità compresa tra i 100 e i 500 metri di profondità (Fig. 1); la maggior parte delle stazioni sono state sottoposte a repliche (da 2 a 5) utilizzando i vari strumenti di campionamento.

Il benthos è stato raccolto per mezzo di draghe e benne Van Veen che in alcuni casi sono state modificate ed appesantite per migliorarne l'efficienza sui fondi grossolani profondi. I campioni ottenuti sono stati setacciati con maglia 1 mm, quindi fissati in formalina tamponata al 10%. In laboratorio si è poi provveduto al "sorting" quali-quantitativo ed alla determinazione tassonomica. Per ciascuna specie sono state calcolate la frequenza e la dominanza medie percentuali.

I sedimenti superficiali sono stati prelevati nelle medesime stazioni del benthos; i risultati sono riportati in Ferretti et al. (1993).

3. RISULTATI

La presenza di *G.vitreus* è stata riscontrata in 9 stazioni (19 osservazioni considerando le repliche) situate tra i 120 e i 520 m di profondità e distribuite lungo la scarpata continentale nei pressi dell'Isola di Montecristo, ad Est dell'isola di Capraia ed ad Òvest dell'isola Gorgona; individui vivi sono stati trovati solo in 3 prelievi e comunque con abbondanze molto basse (massimo 5 esemplari).

In figura 2 accanto ai presenti ritrovamenti di esemplari viventi e morti, sono condensate alcune segnalazioni riportate in letteratura (Lumare, 1968; Logan, 1979; Pellegrini et al., 1986).

Le analisi granulometriche (Ferretti et al., 1993) hanno identificato una composizione tessiturale dei sedimenti caratterizzata dalla presenza contemporanea di elementi grossolani, sabbia e fango con percentuali relative diverse nelle varie stazioni (Rg.3).

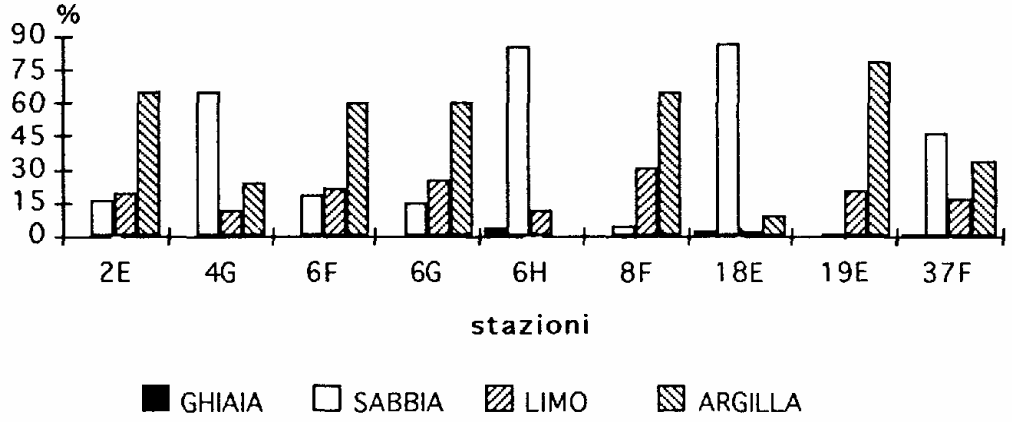


Fig 3: Caratteristiche granulometriche delle stazioni (ghiaia >2mm, sabbia 2-0.63mm, limo 0.63-0.04mm, argilla <0.04mm)

Lo studio delle comunità del benthos ha individuato un totale di 109 specie tra cui 44 specie di Policheti, 21 specie di Crostacei, 13 specie di Molluschi, 12 specie di Briozoi, 8 specie di Echinodermi, 4 specie di Sipunculidi, 3 specie di Poriferi, 1 specie di Cnidari, Pantopodi, Brachiopodi ed Ascidiacei. In generale, le stazioni analizzate (Tabella 1) sono risultate molto più ricche in specie rispetto a quelle appartenenti alle

biocenosi vicine (Morri et al., 1992; Bianchi et al. 1993 a,b); la stazione più ricca è la 6H1 con 31 specie e 52 individui.

Tabella 1: numero di specie (S) e di individui (N) per ogni per stazione.

STAZ.	6H1	6H2	18ET	18ER	18ETo	18E1	18E2	37F	19E	2E1	2E2	4G1	4G2	6F1	6F2	6G1	6G2	8F1	8F2
S	31	12	20	5	10	4	3	18	4	11	8	14	13	9	11	8	8	5	14
N	52	17	33	47	17	4	3	35	4	14	10	35	27	17	14	15	15	8	19

In tabella 2 viene riportato l'elenco delle specie rinvenute, la loro frequenza e dominanza medie percentuali ed alcune note bionomiche. Le specie sono riportate in ordine di dominanza e frequenza decrescenti.

Tabella 2: Lista delle specie, significato bionomico (sigle secondo Bianchi et al. 1993 a,b), valori medi di dominanza (D%) e frequenza (F%) percentuali

			D%	F%
POL	*Nothria conchylega* (Malmgren, 1818)	MIX	12,2	52,6
ECH	*Amphiura filiformis* Muller, 1776	MIN	10,2	68,4
POL	*Auchenoplax crinita* Ehlers, 1887	LIM	6,42	42,1
ECH	*Amphiura chiajei* Forbes, 1843	LIM	4,57	21,1
POL	*Notomastus latericeus* (Sars, 1851)	SM	3,61	42,1
CNI	*Cariophyllia smithii* (Stokes e Broderip, 1828)	MIX	3,47	15,8
POL	*Aponuphys tubicula* (Muller, 1876)	DC	2,93	26,3
MOL	*Nucula sulcata* (Brogn, 1831)	LIM	2,73	15,8
POL	*Ampharete acutifrons* (Grube, 1860)	LIM	2,56	21,1
POL	*Marphisa belli* (Audouine e Milne-Edwards, 1833)	LIM	2,49	5,3
SIP	*Aspidosiphon muelleri* (Diesing, 1851)	LRE	2,06	10,5
MOL	*Nucula aegensis* (Forbes, 1844)	SAB	2,01	21,1
CRO	*Ampelisca* sp.	?	1,94	26,3
CRO	*Cheirocratus assimilis* (Lilljeborg, 1851)	?	1,75	5,3
POL	*Panthalis oerstedi* (Kingberg, 1855)	VB	1,75	5,3
POL	*Nephthys hombergii* (Savigny, 1818)	SAB	1,42	15,8
BRI	*Cellaria fistulosa* auct. (non L.)	SD	1,31	5,3
MOL	*Nuculana fragilis* (Chemnitz, 1784)	MIX	1,31	5,3
CRO	*Calocaris macandraee* Bell, 1848	VB	1,31	5,3
CRO	*Byblis guernei* (Chevreux, 1888)	?	1,31	5,3
CRO	*Enopisa elongata* (Bruzelius, 1959)	?	1,26	21,1
POL	*Aponuphys bilineata* (Bayrd, 1870)	GLA	1,11	5,3
POL	*Filogranula calyculata* (Costa, 1861)	C	1,1	21,1
CRO	*Cirolana* sp.	?	1,06	15,8
POL	*Lumbrineris gracilis* (Ehlers, 1868)	SAB	1,06	15,8
POL	*Paradoneis lyra* (Southern, 1914)	SVMC	1,02	15,8
CRO	*Cyathura carinata* (Kroyer, 1848)	SVMC	0,93	10,5
CRO	*Maera schmidtii* Stephensen, 1915	VB	0,87	10,5
BRA	*Gryphus vitreus* (Born, 1778)	VB	0,85	10,5
SIP	*Onchnesoma steenstrupi* Koren e Danielsen, 1876	VB	0,82	10,5
CRO	*Apseudes spinosus* (Sars, 1858)	MO	0,77	5,3
POL	*Tharyx marioni* (Saint-Joseph, 1894)	MO	0,7	10,5
CRO	*Jassa marmorata* Holmes, 1903	LIM	0,67	10,5

POL	*Phyllodoce maderensis* (Langherans, 1880)	SAB	0,64	15,8
POL	*Chone duneri* Malmgren, 1867	LIM	0,61	10,5
MOL	*Timoclea ovata* (Pennant, 1777)	MIX	0,61	10,5
MOL	*Thyasira alleni* Carrozza, 1981	MO	0,58	10,5
ECH	*Amphilepis norvegica* Ljungman,1866	VB	0,57	10,5
CRO	*Apseudes grossimanus* Norman, 1870	VB	0,57	10,5
CRO	*Tmetonix similis* (Sars, 1891)	LIM	0,52	5,3
POL	*Euclymene orstedi* (Claparede, 1863)	SFBC	0,47	5,3
POL	*Ampharetidae* ind.	?	0,47	5,3
SIP	*Golfingia catharinae* (Grube, 1868)	?	0,46	10,5
POL	*Vermiliopsis infundibulum* (Philippi, 1844)	DC	0,45	10,5
POL	*Monticellina heterochaeta* (Laubier, 1871)	LIM	0,42	10,5
MOL	*Bathyarca philippiana* (Nyst, 1848)	LIM	0,41	10,5
POL	*Nematonereis unicornis* (Grube, 1840)	MIX	0,41	10,5
POL	*Laonice cirrata* Sars, 1851	LIM	0,37	10,5
POL	*Lumbriclymene minor* Arwidsson, 1907	VB	0,37	5,3
POL	*Praxiliella gracilis* (Sars, 1871)	LIM	0,37	5,3
CRO	*Sphyrapus malleolus* Norman e Stebbing, 1886	LIM	0,37	5,3
POL	*Drilonereis filum* (Claparede, 1868)	SM	0,37	5,3
CRO	*Elasmopus* sp.	?	0,37	5,3
CRO	*Goneplax rhomboides* (L., 1758)	VTC	0,37	5,3
POL	*Phylo foetida* (Claparede, 1870)	LIM	0,35	5,3
POL	*Armandia cirrosa* Filippi, 1871	LIM	0,34	10,5
BRI	*Aetea* sp.	SD	0,31	5,3
POL	*Harmothoe* cfr *impar* (Johnston, 1839)	LIM	0,3	10,5
CRO	*Janira maculosa* Leach, 1813	?	0,3	5,3
POL	*Laetmonice filicornis* Kinberg, 1855	VB	0,3	5,3
MOL	*Poromya granulata* (Nyst e Westendorp, 1839)	MIX	0,3	5,3
MOL	*Propeamussium fenestratum* (Forbes, 1844)	?	0,3	5,3
BRI	*Puellina innominata* (Couch, 1844)	SD	0,3	5,3
POL	*Semivermilia cribrata* (Costa, 1861)	SD	0,3	5,3
BRI	*Tessarodoma boreale* (Busk, 1860)	SD	0,3	5,3
BRI	*Escharina hyndmanni* (Johnston, 1947)	SD	0,27	10,5
ECH	*Amphiura cherbonneri* Guille, 1972	VB	0,27	5,3
POL	*Prionospio cirrifera* Wiren, 1833	MO	0,27	5,3
POL	*Chloeia venusta* Quatrefages, 1865	DC	0,26	10,5
MOL	*Dentalium panormum* (Kenu, 1842)	DL	0,25	10,5
POL	*Spiophanes kroyeri reyssi* (Laubier, 1964)	SAB	0,19	5,3
PAN	*Anoplodactilus petiolatus* (Kroyer, 1844)	MIX	0,15	5,3
BRI	*Escharina vulgaris* (Moll, 1803)	SD	0,15	5,3
POL	*Eunice vittata* (Delle Chiaje, 1828)	LRE	0,15	5,3
ECH	*Holoturia forskaali* Delle Chiaje, 1823	?	0,15	5,3
CRO	*Lophogaster typicus* Sars, 1877	DL	0,15	5,3
POL	*Ophiodromus flexuosus* (Delle Chiaje, 1825)	VB	0,15	5,3
ECH	*Ophiopsila aranaea* (Forbes, 1843)	SD	0,15	5,3
ECH	*Ophiotrix fragilis* (Abildgaard, 1789)	LRE	0,15	5,3
BRI	*Palmicellaria elegans* Alder, 1864	SD	0,15	5,3
MOL	*Pitar rudis mediterranea* (Tiberi, 1855)	MIX	0,15	5,3

POR	*Poecillastra compressa* (Bowerbank, 1866)	?	0,15	5,3
POL	*Protula* sp.	SD	0,15	5,3
POL	*Pseudopotamilla reniformis* Bush, 1904	?	0,15	5,3
POL	*Schistomeringos rudolphi* (Delle Chiaje, 1868)	MO	0,15	5,3
BRI	*Schizomavella auriculata* (Hassal, 1842)	SD	0,15	5,3
SIP	*Sipunculus nudus* L., 1776	SAB	0,15	5,3
BRI	*Stomatopora* sp.	SD	0,15	5,3
ECH	*Stylocydaris affinis* (Philippi, 1845)	?	0,15	5,3
POR	*Tethya citrina* (Sarà e Melone, 1965)	?	0,15	5,3
CRO	*Athelecyclus rotundatus* (Olivi, 1792)	?	0,15	5,3
BRI	*Calpensia nobilis* (Esper, 1796)	?	0,15	5,3
POR	*Erylus euastrum* (Schmidt, 1880)	?	0,15	5,3
CRO	*Haploops dellavallei* Chevreux, 1900	DL	0,15	5,3
MOL	*Abra nitida* Muller, 1789	VTC	0,15	5,3
CRO	*Anapagurus brevicarpus* Milne-Edwards, 1892	?	0,1	5,3
CRO	*Gammaropsis sophiae* (Boeck, 1861)	?	0,1	5,3
MOL	*Limatula subauriculata* (Montagu, 1808)	DC	0,1	5,3
POL	*Lumbrineriopsis paradoxa* (Saint-Joseph, 1888)	MO	0,1	5,3
MOL	*Modiolula phaseolina* (Philippi, 1844)	DC	0,1	5,3
POL	*Paralacydonia paradoxa* Fauvel, 1913	MO	0,1	5,3
POL	*Ramphobranchium brevibrachiatum* (Elhers, 1857)	DL	0,1	5,3
POL	*Sabella flabellata* Savigny, 1818	?	0,1	5,3
ASC	*Sydnium* sp.	?	0,1	5,3
POL	*Thelepus cincinnatus* (Fabricius, 1870)	?	0,1	5,3
POL	*Glycera tessellata* Grube, 1863	SD	0,1	5,3
POL	*Goniada maculata* Oersted, 1843	LIM	0,1	5,3
CRO	*Hippomedon massiliensis* Bellan-Santini, 1965	SAB	0,1	5,3

Dominanza e frequenza medie percentuali appaiano essere correlate tra di loro: le specie più dominanti sono anche le più frequenti. Esse, inoltre, non sono caratteristiche di alcuna biocenosi o risultano ad ampia distribuzione (Fig. 4).

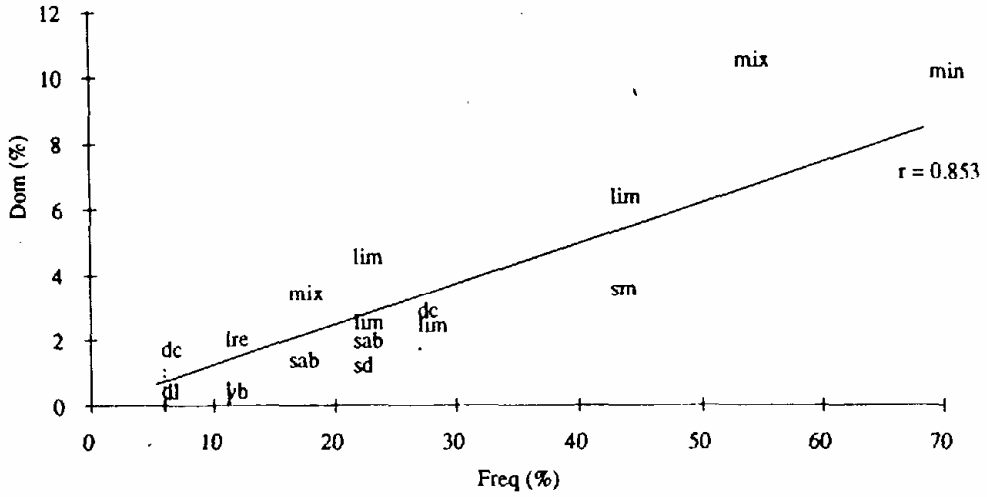


Fig. 4: andamento della dominanza (%) e della frequenza (%) medie e note bionomiche relative alcune specie

Parallelamente è da segnalare un alto numero di specie poco frequenti e scarsamente dominanti tra cui alcune tipiche delle biocenosi limitrofe: in particolare, sono state rinvenute 10 specie caratteristiche della biocenosi dei Fanghi Batiali (VB), 6 di quella del Detritico Costiero (DC) e 4 specie del Detritico del Largo (DL). Sono da segnalare, inoltre, 19 specie legate a sedimenti fangosi (limicole) e ben 13 specie tipiche di substrati duri (Tabella 3).

Tabella 3: Numero di specie caratteristiche (sono considerate solo le biocenosi rappresentate da più di 3 specie) o indicatrici di substrato.

Specie "caratteristiche" di biocenosi	Specie indicatrici di substrato
VB = 10 specie	LIM = 19 specie (incluse VTC)
DC = 6 specie	SD = 13 specie
DL = 4 specie	SAB = 8 specie (incluse SFBC)
	MIN = 8 specie (incluse SVMC)
	MO = 7 specie
	LRE = 9 specie
	SM = 2 specie
	? = 23 specie

4. CONCLUSIONI

La distribuzione spaziale dei fondi a *G.vitreus,* in analogia con quanto dimostrato da Emig (1985) per le coste corse e provenzali, appare legata alle particolari caratteristiche geomorfologiche del fondo ed alle condizioni ambientali che si trovano nei pressi del margine della scarpata.

Le stazioni in cui compare *G.vitreus* presentano infatti, dal punto di vista idrologico, una situazione che merita essere sottolineata: la direzione delle masse d'acqua della zona del Canale di Corsica è prevalentemente diretta verso Nord (Astraldi e Gasparini, 1992); in corrispondenza della rottura di pendenza della scarpata, inoltre, si possono instaurare, secondo Dong Ring Wang & Mooers (1976), vortici locali con variazioni della velocità anche sensibili. La dinamica elevata delle masse d'acqua che si riscontra nelle aree nei pressi della scarpata, crea le condizioni ambientali migliori per lo sviluppo di filtratori epifaunali (d'Hondt,1984). In questa zona si verificano infatti, maggiormente che altrove, le condizioni che soddisfano le esigenze di *G.vitreus:* un idrodinamismo sensibile induce, infatti, bassa sedimentazione ed alto apporto di nutrimento; salinità e temperatura restano costanti nel corso dell'anno (Emig, 1987).

Le caratteristiche tessiturali dei sedimenti, presentando disomogeneità tra le varie stazioni, non permettono di identificare un substrato tipico; è solo possibile individuare una maggior presenza di componenti sabbiose e ghiaiose rispetto alle aree adiacenti (Ferretti et al., 1993). In mancanza di elementi grossolani i brachiopodi, ma anche altri organismi epifaunali di substrato duro (d'Hondt, 1984), possono utilizzare i gusci presenti negli affioramenti delle tanatocenosi conchifere molto diffuse in questo tipo di fondale (Logan, 1979). Quindi la distribuzione dei fondi a *G.vitreus,* non sembra poter essere strettamente dovuta alle caratteristiche sedimentarie, le quali possono essere considerate un fattore secondario legato alle particolari condizioni idrologiche.

Lo scarso numero di individui di *G.vitreus* riscontrati appare solo parzialmente imputabile ai limiti degli strumenti di campionamento utilizzati; infatti Emig (1987) che ha registrato valori simili campionando con un sommergibile individua tre fasce con diverse abbondanze. Nell'Arcipelago Toscano non sono state ritrovate le densità di *G.vitreus* relative alla fascia 2 (la più abbondante, con circa 400-600 individui m^{-2}), ma solo quelle relative alle fascia 1 e 3 (densità da 2 a 8 individui m^{-2}).

Benché i campionamenti siano stati effettuati con scadenze temporali diverse è stato possibile identificare un pool di specie relativamente frequente nel tempo e nello spazio. Queste specie, che sono risultate anche essere quelle maggiormente dominanti, non sono caratteristiche di alcuna biocenosi ma risultano ad ampia distribuzione. Inoltre, la presenza non occasionale di specie di altre biocenosi e la mancanza di uno stock di specie "caratteristiche dei fondi a *G.vitreus"* non permette di identificare questo popolamento come una biocenosi sensu Pérès e Picard.

Le specie dominanti e frequenti permettono, però, di individuare un quadro biocenotico costante: i fondi a *G.vitreus* potrebbero, quindi, essere identificati con un metodo fisionomico basato su queste specie e sulla presenza dei gusci di *G.vitreus.* Il termine "biocenosi del Detritico Batiale" (DB) proposto da Morri et al. (1992) risulta, alla luce di quanto sopra, improprio; appare invece corretto il termine più generale di "fondi a *G.vitreus"* proposto da Emig.

La comunità associata a questi fondi riceve, inoltre, apporti differenti dovuti alle tipiche condizioni idrodinamiche: sulla testata dei canyons, e probabilmente anche in certi ambiti del margine della scarpata si possono trovare strati d'acqua ricchi di particellato organico di provenienza non neritica (Piccazzo e Tucci, 1983) che potrebbero spiegare l'affinità per il batiale riscontrata nella comunità a *G.vitreus* (10 specie VB contro 6 specie DC e 4 specie DL). Inoltre, sono state trovate specie delle biocenosi adiacenti associate a specie strettamente legate a questo particolare ambiente: primo tra tutti, ma non indispensabile, *G.vitreus.* Esiste, poi, un continuum di specie a larga distribuzione (circalitorale o batiale) che risultano dominanti e vanno a costituire l'ossatura della comunità; sia il numero totale delle specie sia l'abbondanza di alcune di esse sono maggiori nei fondi a *G.vitreus* che nelle comunità che lo circondano. Queste caratteristiche si riconducono al cosiddetto "effetto margine" descritto da Odum negli ecotoni (1971).

La fascia di transizione tra circalitorale e batiale si può presentare con vari aspetti. Secondo Carpine (1970) quando i fanghi batiali entrano in contatto con i fanghi circalitorali (VTC specialmente) si osserva un miscuglio tra le due faune che si accompagna ad un impoverimento qualitativo locale dovuto all'eliminazione di animali di entrambi i piani che male si adattano alle nuove condizioni. Se il contatto avviene con frazioni grossolane importanti con moderato idrodinamismo (DL), i fanghi batiali scompaiono quasi completamente e si aggiungono specie misticole. Spesso esse risultano essere anche dominanti. Se l'infangamento è sensibile un maggior numero di specie dei fanghi batiali può invadere la biocenosi di transizione parallelamente all'instaurarsi delle specie generaliste (Albertelli & Cattaneo, 1985).

Accanto alle transizioni riportate in letteratura, il passaggio tra circalitorale e batiale potrebbe presentare in certi casi, come i fondi a *G.vitreus,* delle situazioni diverse. Questi fondi infatti, da un lato possiedono particolari situazioni abiotiche che li differenziano dalle zone adiacenti, dall'altro mostrano una fauna caratterizzata da "effetto margine (Odum, 1971). Potrebbero pertanto creare dei nuclei con caratteristiche di ecotono che si affiancano, in zone particolari, alla normale transizione che caratterizza la maggior parte della zona di contatto tra circalitorale e batiale.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano gli equipaggi delle navi oceanografiche Delfino e Minerva per l'insostituibile attività di campo. S.Fanucci ed E.Cagnoli (La Spezia) che hanno contribuito a parte del sorting dei campioni. C.N.Bianchi e A.M.De Biasi per gli indispensabili consigli e per la revisione critica del testo.

5. BIBLIOGRAFIA

Albertelli, G. & M. Cattaneo. 1985. Macrobenthos dei fondi mobili del Mar Ligure. *Atti VI Congr. Ass. ital. Oceanol: Limnol. :* 87-98.

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

Bianchi, C.N., I. Ceppodomo, S. Àliani, S. De Ranieri, M. Abbiati, F. Dell'Amico & C. Mrri. 1993 a. Benthos dei mari toscani. II: Isola d'Elba-Montecristo (Crociera Enea 1986). In: Arcipelago Toscano: studio oceanografico, sedimentologico, geochimico e biologico. Ferretti O., Immordino F., Damiani V., (eds). Enea, Roma: 291-315.

Bianchi, C.N., I. Ceppodomo, S. Cocito, S. Àliani, R. Cattaneo-Vietti & C. Morri. 1993 b. Benthos dei mari toscani. Ili: La Spezia-Livorno (Crociera Enea 1987). In: Arcipelago Toscano: studio oceanografico, sedimentologico, geochimico e biologico. Ferretti O., Immordino F., Damiani V., (eds). Enea, Roma: 317-337.

Boullier, A., J.H. Delance, C.C. Emig, J.L. d'Hondt, D. Gaspard & B. Laurin. 1986. Les populations de *Gryphus vitreus* (Brachiopodes) en Corse. Implications paléontologiques. *Biostratigr. Paleozoiques* 4: 179-196.

Carpine, C. 1970. Ecologie de l'étage bathyal dans la Mediterranee occidentale. *Mém. Inst. Océanogr., Monaco 2:* 1-146.

Dong Ping Wang & N.K. Mooers. 1976. Coastal-trapped waves in a continuosly stratified ocean. *J. Phys. Océanogr.* 6: 853-863.

Emig, C.C. 1985. Distribution et synécologie des fonds a *Gryphus vitreus* (Brachiopoda) en Corse. *Mar, Rial.* 90: 139-146.

Emig, C.C. 1987. Offshore brachiopods investigated by submersible. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 108: 261-273.

Falconetti, C. 1980. Bionomie benthique des fonds situés a la limite du plateau Continental du Banc du Magaud (Iles d'Hyeres) et de la région de Calvi (Corse). These d'Etat, Univ. Nice: 1-287.

Ferretti, O., Immordino, F. & Damiani, V. 1993. Quadro sintetico dei dati granulometrici e mineralogici dei sedimenti superficiali marini tra La Spezia e l'Argentario (Tirreno Settentrionale).In: Arcipelago Toscano: studio oceanografico, sedimentologico, geochimico e biologico. Ferretti O., Immordino F., Damiani V., (eds). Enea, Roma: 251-260.

Fredj, G. 1964. Contribution a l'étude bionomique de la Méditerranée occidentale (Côte du Var et des Alpes maritimes - Côte occidentales de Corse). Fascicule 2: la région du St.Tropez: du Cap Taillat au Cap de St.Tropez (région Al). *Bull. Inst. Océanogr. Monaco,* 63,(1311) : 1 -55.

Hondt, J.LL. (d'). 1984. Bryozoaries épibiontes sur le Brachiope articulé *Gryphus vitreus* (Born, 1778) en Mer Méditerranée Occidentale (Corse). *Vie et Milieu,* 34, (1): 27-33.

Logan, A. 1979. recent brachiopoda of the Mediterranean sea. *Bull. Inst. Océanogr. Monaco,* 72, (1434): 1-112.

Lumare, F. 1968. Osservazioni sulle zoocenosi caratteristiche dei fondi da pesca a strascico dall'Arcipelago Toscano a La Spezia. *Prog. Ric. Risor. mar. Fondo mar.* 25: 5-29.

Morri, C., E. Gagnoli & C.N. Bianchi. 1992. Distribuzione delle comunità marine bentiche tra La Spezia e Livorno. *Atti IX Congr. Ass. Ital. Oceanol. Limnol. :* 363-377.

Odum, E. P. 1971. Fundamentals of ecology. W.B. Saunders Company, Philadelphia: 1-546.

Pellegrini, D., P. Belcari, F. Biagi, S. De Ranieri & M. Mori. 1986. Osservazioni preliminari sulle biocenosi bentoniche dei fondi strascicagli del Mar Tirreno settentrionale. *Nova Thalassia.* 8 (3): 649-650.

Pérès, J.M. & J. Picard. 1958. Manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée. *Red. Trav. Stn. Mar. Endoume* 23, (14): 5-122.

Pérès, J.M. & J. Picard. 1964. Noveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée. *Red. Trav. Stn. Mar. Endoume* 47, (31): 1-137.

Pérès, J.M. 1982. Major benthic assemblage. In: *Marine Ecology S* part I: 373-522. Ed. O. Kinne New York: J. Wiley & Sons.

Piccazzo M. & S. Tucci. 1983. Distribuzione e trasporto di materiale particellato sospeso nei canyons di Genova. *Alti V Congr. Ass. ital. Oceanol. Limnol. :* 675-690.

Reyss, D. 1970. Bionomie benthique de deux canyons sous-marine de la Mer Catalane: le rech du Cap et le rech du Lacaze-Dautière. These Sc. Nat. Paris: 1-251.

Reyss, D. 1974. Les canyon sous-marin de la Mer Catalane, le rech du Cap et le rech Lacaze-Duthiers. III. Les peuplements de la macrofaune benthique. *Vie et Milieu,* 23: 101-142.

Vaissière R. & G. Fredj. 1964. Contributions a l'étude bionomique de la Méditerranée occidentale (cote du Var et des Alpes Maritimes - cote occidentale de Corse Fascicule 5: Elude photographique préliminaire de l'étage bathyal dans la région de Saint-Tropez (ensemble A) *Bull. Inst. Océanogr. Monaco,* 64 (1323): 1-70.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da pag. 221 a pag, 232

BIOTOPI E BIOCENOSI DELLA DORSALE SOTTOMARINA PIANOSA-SCOGLIO D'AFRICA (ARCIPELAGO TOSCANO)

Cesare CORSELLI*, Salvatore GIACOBBE**
Marcella LEONARDI*** e Daniela BASSO*

* Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Milano
** Dipartimento di Biologia Animale ed Ecologia Marina, Università di Messina
***Istituto Talassografico C.N.R., Messina

SUMMARY

Quantitative soft bottom samplings have been carried out in Pianosa-Scoglio d'Africa ridge (Tyrrhenian Sea), in order to evaluate mainly sedimentological and biological features. Preliminary data, concerning sediment texture, $CaCO_3$ and total organic carbon content, and benthic community composition are exposed.

Coastal and Shelf-edge Detritic Community have been identified, related to bathymetric, hydrodinamic and sedimentary gradients.

Lastly, some hypotheses on biotope evolution after last transgression have been formulated.

1.INTRODUZIONE

L'approccio multidisciplinare del progetto TSM (Basso, Corselli & Giacobbe 1990), nell'ambito del quale si situa il presente lavoro, scaturisce dall'esigenza di approfondire i rapporti intercorrenti fra i mesoecosistemi marini bentonici (sensu Picard, 1985) e i corrispondenti macroecosistemi. Infatti, se i primi vedono compiere la loro evoluzione in un arco temporale compreso fra le centinaia e le migliaia di anni, il macroecosistema al quale essi appartengono evolve molto più lentamente, in tempi paragonabili a quelli geologici. Si consideri inoltre che le zone climatiche sono peculiarmente caratterizzate da ricorrenti fluttuazioni, che hanno coinvolto drasticamente i macroecosistemi ad esse associati (Picard, 1985; Corselli & Bernocchi, 1990). Risulta quindi evidente la necessità di utilizzare congiuntamente discipline quali la bionomia marina, la paleoecologia e la sedimentologia, nel tentativo di fornire una ricostruzione attendibile dei processi in atto nell'ambiente marino bentonico.

In tale ottica, gli ambienti di piattaforma hanno costituito oggetto privilegiato d'indagine, in quanto direttamente influenzati dalle variazioni eustatiche verificatesi nelle ultime decine di migliaia di anni; come pure per l'azione biogena che in tali aree è di primaria importanza nella modificazione stessa del biotopo.

La dorsale sottomarina che, con direzione N-S, unisce l'isola di Pianosa a Scoglio d'Africa (Fig. 1) presenta a questo riguardo caratteristiche esemplari, rese ancora più evidenti da una favorevole posizione geografica, lontana dall'influenza diretta dell'uomo. Degna di nota è inoltre la netta differenziazione dei suoi versanti, caratterizzati da una topografia ripida e articolata ad Ovest, monotona e poco acclive ad Est, e rispettivamente dominati da sedimenti biodetritici e terrigeni. Ancora da segnalare è la presenza di un rilevante posidonieto nei bassi fondali circostanti Scoglio d'Africa.

Oggetto del presente lavoro è, in particolare, lo studio di un tratto di fondo situato nel versante occidentale della dorsale, i cui limiti corrispondono alle coordinate 42°28.50 e 42°25.50 di Latitudine Nord, 10°02.50 e 10°06.50 di Longitudine Est. Nella zona in esame, che si estende dalla sommità della dorsale fino ad oltre il margine della piattaforma continentale, sono stati campionati quattordici punti stazione, sette dei quali allineati a 42°28.00 Nord (profilo A) e gli altri a 42°26.05 Nord (profilo B).

L'intervallo batimetrico complessivamente coperto dai due profili si estende da 63 m a 198 m (Fig. 1). Dati di dettaglio, relativi a posizione geografica e profondità delle singole stazioni di prelievo, sono riportati in tabella 1.

2. MATERIALI E METODI

Le stazioni in oggetto sono state campionate nel giugno 1990, nel corso della Crociera Oceanografica condotta dalla N/O "Minerva" nell'Arcipelago Toscano. L'ubicazione dei punti di prelievo e il posizionamento nave sono stati effettuati sulla scorta delle informazioni fornite dalla strumentazione di bordo, elaborate da un programma di calcolo appositamente predisposto su computer HP INTEGRAL PC (Basso, Corselli e Giacobbe, 1990).

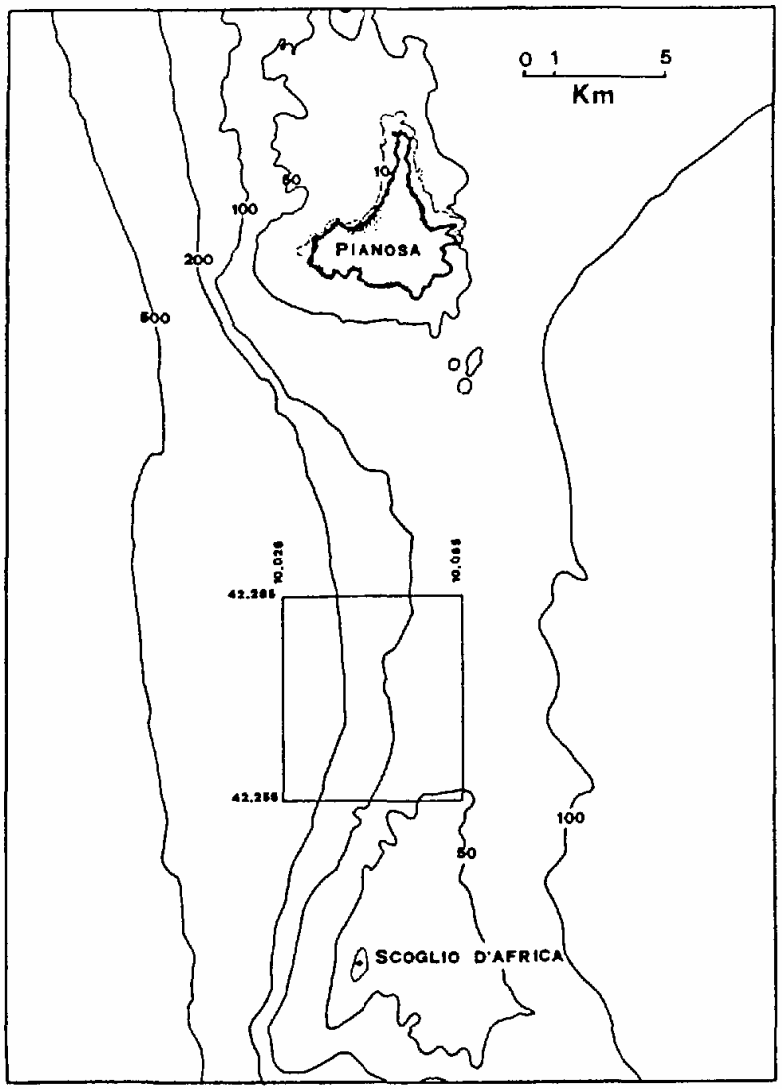
Il campionamento è stato effettuato mediante benna di tipo Van Veen modificata, con capacità di prelievo pari a 0,25 m^2 di superficie e 70 dm^3 di volume massimo. Da ogni campione sono stati estratti subcampioni destinati alle analisi chimiche e tessiturali. Dopo setacciatura su vaglio da 1 mm di luce, si è proceduto alla separazione degli organismi viventi, posti a conservare in alcool 70% o formalina 4%. Sia sulla componente faunistica che floristica sono state determinate le specie e calcolati i relativi valori di abbondanza.

L'analisi tessiturale dei sedimenti è stata condotta mediante setacciatura a secco per la frazione superiore a 63 µm e tramite sedimentazione in colonna per la componente siltoso-argillosa (Buchanan & Kain, 1971).

Per la stima del contenuto in carbonato di calcio è stato utilizzato il metodo proposto da Barnes (1959) che si basa sull'attacco dei carbonati mediante HCl N/l e sulla successiva titolazione con NaOH N/l.

Il contenuto in carbonio organico è stato determinato mediante l'uso di un analizzatore automatico (CHN 2400 Perkin Elmer), utilizzando acetanilide come standard.

Per eliminare la componente inorganica, campioni ponderali di sedimento venivano preventivamente acidificati con vapori di HCl concentrato, secondo la metodica proposta da Hedges & Stem (1984).



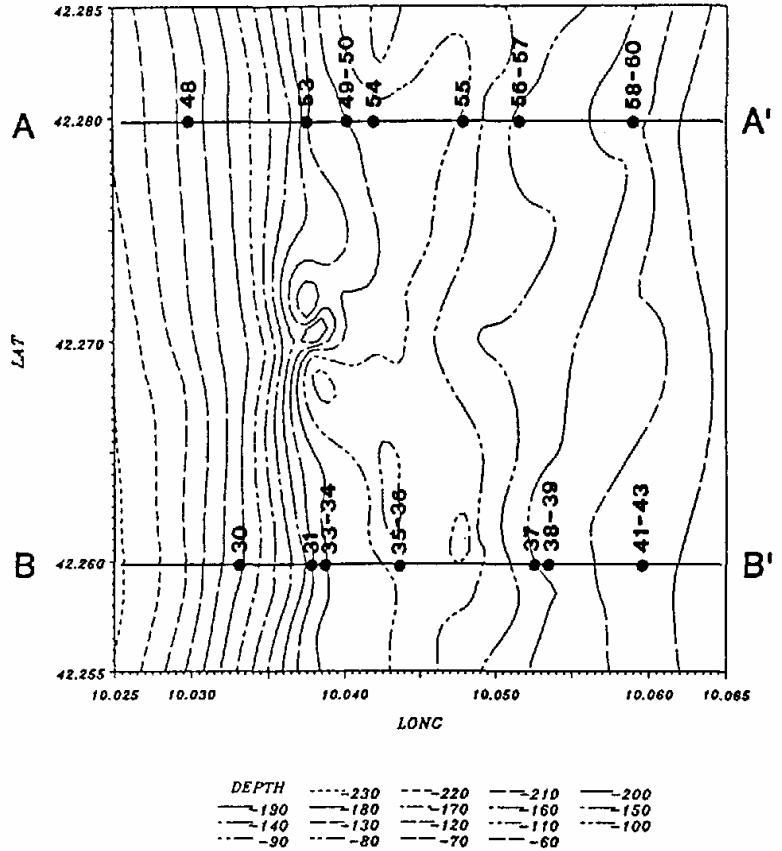


Fig. 1 - Dorsale Pianosa-Scoglio d'Africa:
area indagata e dettaglio relativo all'ubicazione dei punti di prelievo.

PROFILO A-A'				PROFILO B-B'			
Staz.	Lat. N	Long. E	Prof.m	Staz.	Lat. N	Long. E	Prof.m
58-60	42.2800	10.0600	70	41-43	42.2605	10.0600	63
56-57	42.2810	10.0536	87	38-39	42.2610	10.0528	76
55	42.2797	10.0494	98	37	42.2603	10.0524	80
54	42.2806	10.0414	116	35-36	42.2624	10.0425	100
49-50	42.2796	10.0389	120	33-34	42.2614	10.0384	121
53	42.2803	10.0374	139	31	42.2599	10.0379	130
48	42.2807	10.0296	198	30	42.2583	10.0329	181

Tab. 1 - Dorsale Pianosa - Scoglio d'Africa: Coordinate geografiche e profondità delle stazioni campionate

I dati quantitativi relativi a tutte le stazioni indagate sono stati inoltre elaborati utilizzando tecniche di analisi multivariata. In particolare si è calcolato l'indice di similarità di Bray-Curtis, sulla base del dato medio del gruppo (group average). In base a tale coefficiente è stato costruito il relativo dendrogramma, quale rappresentazione del clustering gerarchico agglomerativo. Dalla stessa matrice di similarità si è ricavato l'ordinamento delle stazioni mediante il Multi- Dimensionai Scaling (MDS) non metrico. Tale metodo è infatti in grado di evidenziare il reale gradiente esistente tra i gruppi di stazioni (Field et. al., 1982). Il clustering e il relativo ordinamento con MDS sono stati elaborati separatamente per le variabili biotiche (abbondanza delle specie animali) e quelle abiotiche (la profondità del sito nonché le tre variabili edafiche esaminate: percentuale di peliti, di $CaCO_3$ e di C organico nel sedimento). Per l'analisi multivariata delle variabili abiotiche, i dati sono stati preventivamente standardizzati. Per quanto riguarda le faune, i dati sono stati trasformati sotto radice quadrata, per ridimensionare il "peso" delle specie più abbondanti ed ubiquiste (Clarke & Green, 1988). Essendo l'analisi multivariata di tipo quantitativo non si è potuto tener conto delle abbondanze algali, in quanto espresse in unità di misura diversa (superficie ricoperta in proiezione da ciascuna specie).

3.RISULTATI

Lo studio delle caratteristiche edafiche del sito si è basato sull'analisi della tessitura dei sedimenti e sulla valutazione del contenuto in carbonio organico e in carbonio carbonatico (via carbonato di calcio).

Per quanto riguarda l'aspetto granulometrico, i sedimenti esaminati si configurano come sabbie più o meno fini occasionalmente infangate. Pur nella generale uniformità tessiturale, è comunque possibile evidenziare una certa diversificazione dei due profili esaminati: i sedimenti provenienti dal profilo A sono tutti caratterizzati da una incidenza più o meno significativa della frazione pelitica, che invece nei sedimenti del profilo B si mantiene costantemente al di sotto dell'1 % (Fig. 2). In particolare nel profilo A l'incidenza delle peliti, piuttosto bassa nelle stazioni meno profonde, presenta un notevole incremento dei valori fra i 95 m ed i 110 m (staz. 54), ed un picco secondario a 198 m

(staz. 48). L'accumulo di peliti registrato nella stazione 54, rilevato in corrispondenza di una lente sub-pianeggiante che interrompe il pendio, identifica una sacca di sedimentazione, originata da una locale caduta dell'idrodinamismo. Peraltro il picco secondario della stazione 48 rappresenta il termine di transizione verso i sedimenti pelitici di profondità.

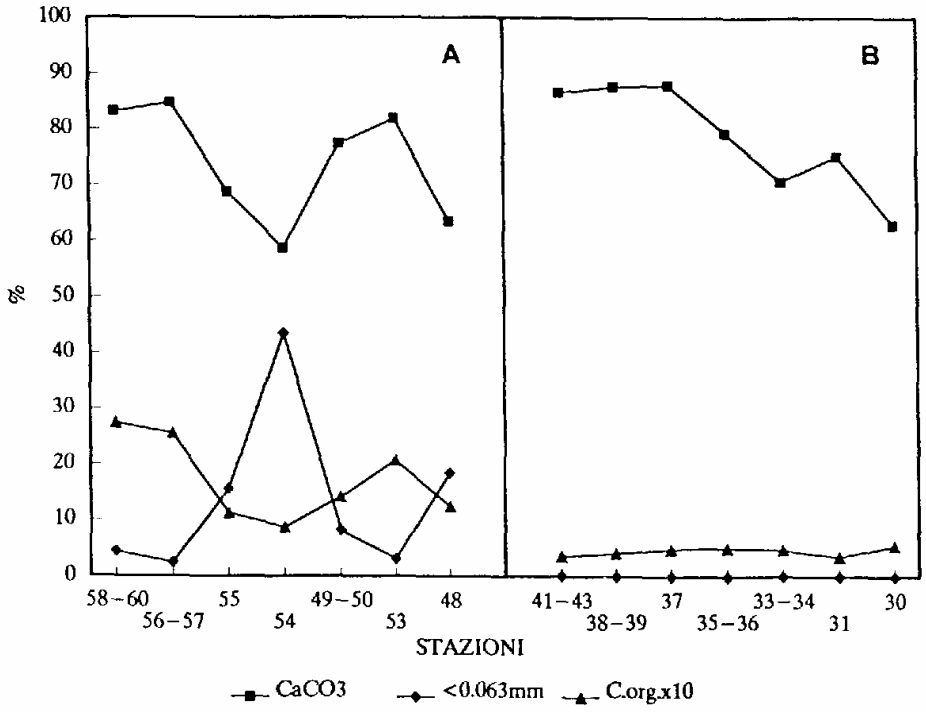


Fig. 2 - Andamento dei tre principali parametri edafici (carbonato di calcio, peliti, carbonio organico) nei due profili campionati (profondità crescenti da sinistra a destra)

I valori di carbonio organico, pur essendo relativamente bassi in tutta l'area, sono da ritenersi tipici di sedimenti di piattaforma. Nel grafico di fig. 2 i valori sono stati moltiplicati per un fattore 10, in modo da renderne più evidente l'andamento. Anche questo parametro evidenzia una differenziazione dei due profili, ciascuno dei quali presenta un diverso range di valori. Questi, nel profilo A vanno da un massimo di 2.74% nella stazione 58-60 ad un minimo di 0.87% nella stazione 54. Nel profilo B invece i valori si mantengono tutti al di sotto di 0.56% (staz. 30), con un minimo assoluto di 0.36% nella stazione 31.

II contenuto in $CaCO_3$ è piuttosto elevato in tutta l'area, con un minimo di 58,66% rilevato nella stazione 54 ed un massimo di 88,04% alla stazione 37. Il picco secondario di 81,90%, rilevato alla stazione 53 è probabilmente dovuto all'accumulo di resti scheletrici carbonatici di età "wurmiana" I dati registrati evidenziano la notevole uniformità mineralogica dei sedimenti esaminati, che risultano nettamente carbonatici. E' da osservare comunque che i valori rilevati nel profilo B risultano mediamente più elevati

di quelli del profilo A.

I parametri edafici e la relativa distribuzione dei valori sono illustrati contestualmente nel grafico di figura 2. Qui si evidenzia immediatamente la differenza fra i due profili esplorati, che si manifesta soprattutto in funzione di un differente regime idrodinamico. Pertanto il profilo B risulta sottoposto a più alti livelli di energia, con un conseguente appiattimento dell'incidenza percentuale di peliti e di carbonio organico. Diversa e più articolata appare la situazione nel profilo A, in cui si evidenziano andamenti paralleli di carbonio organico e carbonati, in opposizione all'andamento delle peliti. In particolare la distribuzione dei due parametri risulta caratterizzata da un massiccio decremento registrato a cavallo della stazione 54, in cui si riscontra un cospicuo infangamento della matrice. Peraltro, in condizioni di scarsa incidenza pelitica (stazz. 58-60, 56-57, 53,48), si registrano più alti valori di carbonio sia organico sia inorganico. Pertanto l'incidenza di carbonio nei sedimenti esaminati non sembra legata tanto alla sedimentazione del particellato pelagico, quanto piuttosto alla produzione bentonica. Del resto, come è ormai noto dalla letteratura, tutto il Tirreno centrale è caratterizzato da acque oligotrofiche (Innamorati et al., 1990), con scarsa produzione di particellato organico.

Il ruolo prevalente della componente bentonica nella produzione organica è del resto testimoniato dalla ricchezza di alghe corallinacee alle quote superficiali. Anche l'elevato contenuto di carbonato di calcio è in relazione all'accumulo di resti di corallinacee, di età "wurmiana" ed attuale.

Le determinazioni faunistiche effettuate sui campioni in oggetto hanno evidenziato una situazione alquanto articolata, in cui zone ad elevata ricchezza specifica succedono ad altre caratterizzate da marcata oligospecificità (Tab. 2). Ricordiamo che, data la particolare ottica dell'indagine, non sono inclusi nell'elenco gli organismi privi di esoscheletro fossilizzabile (ad es. policheti e sipunculidi), per i quali si rimanda a uno specifico Data Report in via di pubblicazione (Corselli et al., c.s.).

In sintesi, una notevole ricchezza specifica ed alti valori di densità caratterizzano la fascia batimetrica compresa fra i 60 m e i 70 m (stazz. 41/43 e 58/60), in cui massima è, fra l'altro, l'incidenza della componente floristica. A quote di poco più profonde infatti, si osserva un significativo calo della ricchezza specifica complessiva, dovuto alla netta flessione nella presenza di rodoficee calcaree (staz. 38/39) ed alla loro successiva scomparsa (stazz. 56/57, 37 e 55). Fino alla quota di 100 m tuttavia, i popolamenti animali evidenziano un buon grado di strutturazione, coerentemente con la natura detritica del biotopo. A questo proposito, una lettura dei dati in chiave bionomica evidenzia l'avvicendamento di popolamenti assimilabili alla Biocenosi del Detritico del Largo, rispetto al Detritico Costiero, più superficiale. Particolare interesse assume in questo contesto l'identificazione, presso la stazione 33/34, di una facies a *Leptometra falangium,* ubicata in corrispondenza del margine della piattaforma (Fig. 3).

Già alla profondità di 100-120 m tuttavia, la connotazione cenotica di tali popolamenti tende ad affievolirsi (stazz. 35/36, 49/50 e 54), fino ad assumere fra i 130 e i 140 m di profondità il carattere di una transizione con i più monotoni popolamenti batiali (stazz. 31, 53 e 54). A profondità ancora maggiori infine (stazz. 31 e 53) il biotopo è caratterizzato unicamente da popolamenti oligospecifici ad *Amphiura chiajei* e *A. filiformis.*

La netta flessione dei valori di densità, col procedere verso le quote maggiori, è messa

	profilo A							profilo B						
	58	56	55	54	49	53	48	41	38	37	35	33	31	30
Abra alba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
Abra prismatica	5	-	-	-	-	-	-	2	4	-	-	-	-	-
Acrocnida brachiata	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aequipecten opercularis	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
"Aglaozonia chilosa" stadium	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amphiura chiajei	-	-	-	12	-	-	16	-	-	-	-	-	-	4
Amphiura filiformis	4	-	-	4	-	4	32	-	-	-	-	-	-	8
Andresia partenopea	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
Antithamnion tenuissimum	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
Arca tetragona	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Astarte fusca	2	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
Axius stirhynchus	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bathyarca grenophia	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Beania hirtissima	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Botryocladia boergeseni	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-
Calyptraea chinensis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-
Cardiomya costellata	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-
Caryophyllia inornata	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Caryophyllia smithii	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ceramium bertholdi	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
Chlamys varia	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clausinella fasciata	9	-	-	-	-	-	-	2	-	4	-	-	-	-
Corbula gibba	1	-	-	-	-	-	-	2	4	4	-	-	-	-
Cryptonemia lomation	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
Dentalium panormum	1	2	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dictyota dichotoma	273	-	-	-	-	-	-	18	4	-	-	-	-	-
Diplodonta rotundata	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ebalia granulosa	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
Echinocardium mortenseni	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	2	-	-	-
Echinocyamus pusillus	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ensis ensis	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Erato voluta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-
Fusinus pulchellus	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Galathea intermedia	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Genocidaris maculata	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gonilia calliglypta	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gouldia minima	5	4	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
Gryphus vitreus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
Halecium halecium	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Halopetris filicina	-	-	-	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-
Hinia limata	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-
Hidrozoa ind.	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hyalinoecia tubicola	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Idmonea serpens	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Laevicardium crassum	-	2	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-
Leptometra phalangium	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-
Limatula subauriculata	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Limea loscombi	1	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
"Lithothamnium fruticulosum"	-	-	-	-	-	-	-	24	-	-	-	-	-	-
Molpadia musculus	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-
Montacuta substriata	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	4	-	-
Neogoniolithon notarisii	26	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-
Neogoniolithon mamillosum	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Neurocaulon foliosum	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-
Ophioconis forbesi	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
Ophiopsila annulosa	1	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ophiopsila aranea	1	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ophiura albida	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
Ophiura grubei	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Palliolum incomparabile	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Paracyathus pulchellus	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Partenope massena	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Parvicardium minimum	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-
Peyssonnellia rosa-marina	-	-	-	-	-	-	-	72	-	-	-	-	-	-
Peyssonnellia rubra	-	-	-	-	-	-	-	490	6	-	-	-	-	-
Peyssonnellia stoechas	4	-	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Phyllophora nervosa	-	-	200	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-
Phymatolithon calcareum	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-
Pitar rude mediterranea	9	2	4	4	2	-	-	2	-	4	12	-	-	-
Plagiocradium papillosum	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Plesionika martia	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Polycarpa gracilis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-
Portlandia philippiana	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	4	-
Propeamussium fenestratum	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-
Psammobia costulata	2	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-
Pseudolithophyllum exspansum	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pseudolithophyllum racemus	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-
Radicilingua thysanorhizans	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sipunculus nudus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-
Spatangus inermis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
Spatangus purpureus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
Striarca lactea	2	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tellina balaustina	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tellina donacina	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
Thyasira flexuosa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-
Timoclea ovata	53	2	16	8	2	8	-	-	-	4	26	6	8	-
Trachythyone tergestina	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-
Trophonopsis muricata	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Turritella turbona	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Xantho pilipes	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tab. 2 - Dorsale Pianosa-Scoglio d' Africa: valori di densità dello zoobenthos (n. individui/m²) e del fitobenthos (copertura in cm²) nei 14 campioni studiati

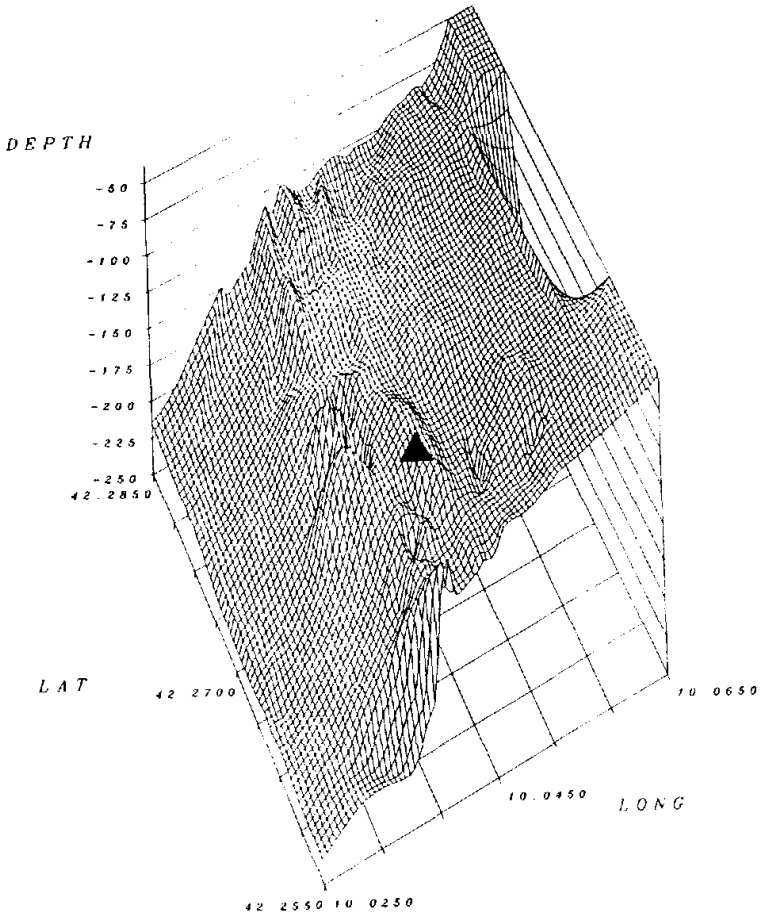


Fig. 3 - Dorsale Pianosa-Scoglio d'Africa: rappresentazione tridimensionale dell'area studiata ed ubicazione della facies a crinoidi ▲

chiaramente in evidenza dal grafico di Fig. 4. Lo stesso grafico illustra la distribuzione dei filtratori e dei detritivori nei due profili campionati. Vi si osserva che i primi, numericamente dominanti, presentano un andamento conforme a quello dei valori di densità complessiva. I detritivori, al contrario, tendono ad aumentare di numero con la profondità, fin verso i 120-130 m, per poi nuovamente decrescere. Un'eccezione è costituita dal campione 55, a maggior componente pelitica, in cui un massimo secondario dei valori di densità corrisponde ad una localizzata flessione dei filtratori.

I risultati dell'analisi multivariata, eseguita sui parametri edafici come pure su quelli biologici sono graficamente rappresentati in Fig. 5.

Per quel che riguarda le variabili abiotiche (Fig. 5a), ad un livello di similarità dell'85% si evidenziano tre raggruppamenti riconducibili a tre situazioni ambientali diverse lungo la direttrice del gradiente batimetrico. Vi si distingue inoltre la stazione 54, che non presenta affinità significativa con alcuna altra. Ad un più elevato livello di similarità

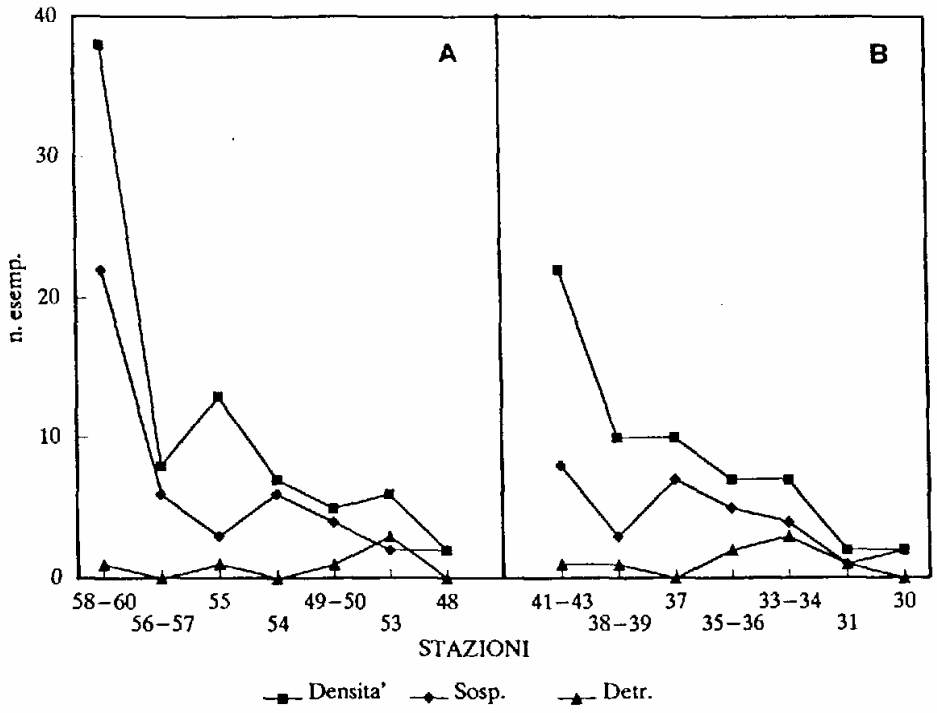
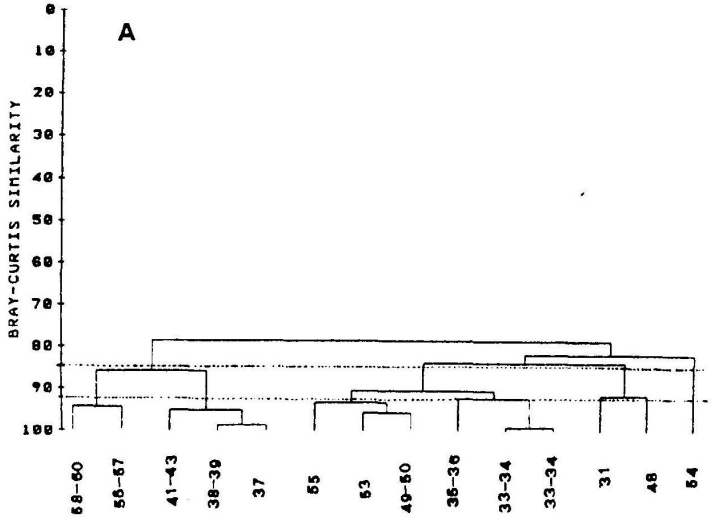


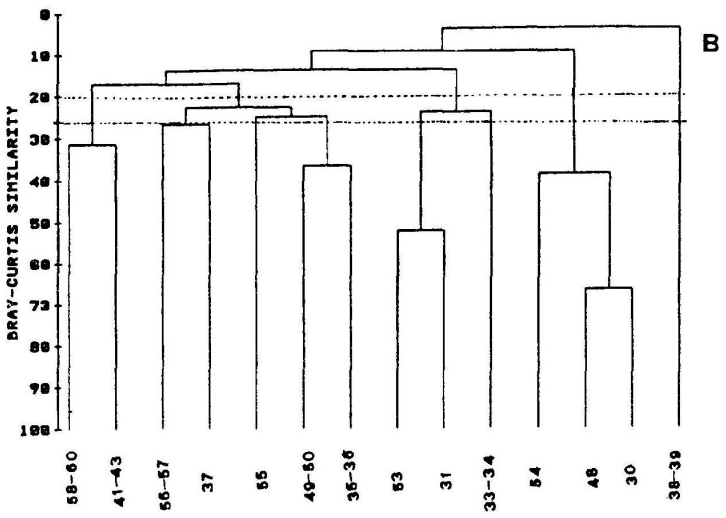
Fig. 4 - Andamento della densità complessiva, espressa come n.individui/m², dei sospensivori e dei filtratori, nei due profili campionati (profondità crescenti da sinistra a destra).

(<92%), le stazioni del profilo A risultano nettamente distinte da quelle del profilo B. Il relativo MDS (3-D, stress = 0,084) evidenzia sia il gradiente batimetrico, che ordina le stazioni da sinistra a destra del grafico, sia la risultante dei fattori edafici, che separa le stazioni in due allineamenti paralleli. E' molto significativo il fatto che tutte le stazioni del profilo B siano posizionate lungo l'allineamento superiore del grafico MDS, mentre tutte le stazioni del profilo A occupino la metà inferiore dello stesso grafico: questo conferma la diversità dei due profili dal punto di vista edafico. Come già discusso, la variabile edafica maggiormente responsabile della discriminazione trai due profili appare essere il diverso grado di infangamento, a sua volta espressione di una diversa situazione idrodinamica.

Per quanto concerne i dati biologici (composizione faunistica), si sono evidenziati quattro raggruppamenti, con similarità maggiore del 20%, riconducibili a situazioni biocenotiche differenti. Questi si sviluppano, in senso antiorario, lungo una direttrice di tranzisizione DC-DL-VP, in coincidenza con la progressione batimetrica (Fig. 5b). In particolare, il primo raggruppamento comprende le stazioni meno profonde (41-43 e 58-60) di entrambi i profili, associate da un livello di similarità del 26%, riconducibili ad una Biocenosi del Detritico Costiero in facies superficiale.

Nel secondo raggruppamento, espressione di una transizione fra popolamenti del Detritico Costiero e del Detritico del Largo, si trovano associate sia le stazioni 37 e 56-57, attribuite ad un Detritico Costiero in facies profonda, sia le stazioni di vera e propria





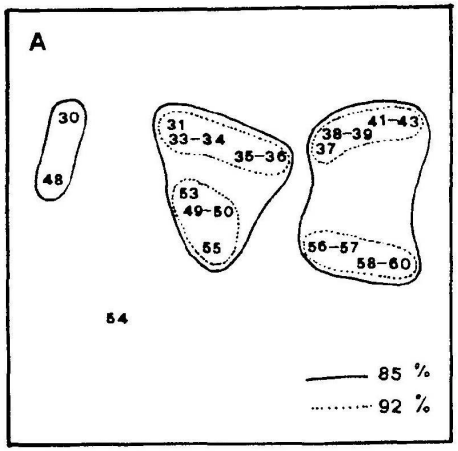
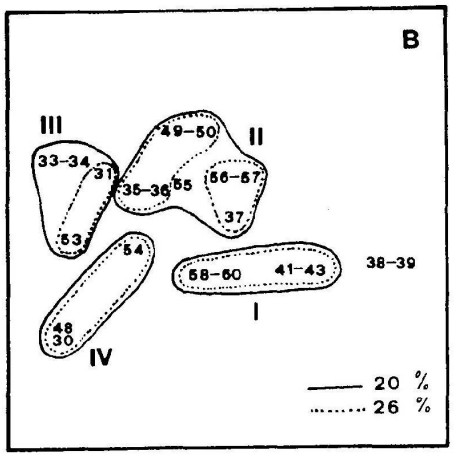


Fig. 5 - Rappresentazione grafica dell'indice di similarità di Bray-Curtis (dendrogrammi ed ordinamento) :
A: parametri edafici (dati standardizzati; stress del grafico MDS=0,086)
B: variabili faunistiche (dati trasformati sotto radice quadrata; stress del grafico MDS=0,084)



transizione (35-36 e 49-50), come pure la stazione 55, dalle caratteristiche intermedie.

Il terzo raggruppamento è interamente riconducibile alla Biocenosi del Detritico del Largo, sebbene sotto diversi aspetti.

Infatti, mentre nelle stazioni 31 e 53 i popolamenti appaiono alquanto impoveriti, la stazione 33 presenta una facies a *Leptometra,* in associazione con *Gryphus vitreus.*

Nel quarto raggruppamento infine restano confinate le stazioni 48 e 54, riconducibili ad una transizione circalitorale-batiale, comunque con scarsa caratterizzazione.

4. CONCLUSIONI

L'ipotesi di studio illustrata nel presente lavoro, si basa sull'interpretazione contestuale dei rapporti intercorrenti fra componente edafica e componente biologica, ai fini di una precisa definizione del biotopo indagato. L'analisi multivariata dei parametri esaminati si è dimostrata, a nostro avviso, un indispensabile strumento di lavoro, essendo in grado di fornire una rappresentazione oggettiva dei risultati, e di costituire quindi una valida verifica delle interpretazioni formulate.

Relativamente a quanto fin qui esposto, lo studio condotto ha consentito di caratterizzare i due profili esaminati in relazione alle affinità e differenze reciproche. Le prime dominate dall'influenza del fattore profondità, le seconde principalmente in funzione del gradiente idrodinamico e secondariamente geomorfologico. In definitiva il biotopo viene variamente condizionato da tali fattori, dando luogo ad una distribuzione delle biocenosi detritiche articolata ma non discontinua. Queste infatti, in relazione all'interferenza dei fattori climatici ed edafici, si presentano sotto diversi aspetti, non sempre facilmente riconducibili alle tipologie codificate dalla letteratura, distribuendosi inoltre senza nette demarcazioni.

L'interpretazione di queste non conformità col modello bionomico proposto da Pérès & Picard (1964), che vede le biocenosi e le facies in esse presenti come entità "discrete", costituisce uno degli intenti primari della ricerca in corso.

Occorre a questo punto sottolineare che lo studio delle tanatocenosi associate ai sedimenti e alle biocenosi qui studiate, è attualmente in corso, e permetterà una analisi complessiva dei processi biologici e fisici che regolano ed hanno regolato l'evoluzione temporale del biotopo.

BIBLIOGRAFIA

Barnes, H. 1959. Apparatus and methods of oceanography. Part one: chemical. Allen and Uniwin eds., London. pp. 341.

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. ed Ecol. Mar. Rapporti, 4. 40 pp.*

Buchanan, J.B. & J.M. Kain. 1971. Measurement of the physical and chemical environment. In *Methods far the study of marine benthos. Holme and Mc Intyre, Oxford and Edinburg. 334 pp.*

Clarke.K.R. & R.H. Green. 1988. Statistical design and analysis for a "biological effects" study. *Mar. Ecol. Prog. Ser. 46: 213-226.*

Corselli, C. & A. Bernocchi. 1990. Paleocommunities of the last glacial from the Sardinia Continental slope: A. Paleoceanography problem. *Atti IV Simposio di Ecologia e Paleoecologia delle Comunità Bentoniche.* Sorrento 1-5 novembre 1988: 575-596.

Corselli, C. & S. Giacobbe. c.s. Processi tafonomici e sedimentali sulla piattaforma continentale del Mediterraneo. Arcipelago Toscano. Rapporto sui risultati delle crociere oceanografiche della N/O "Minerva", luglio, 1990 - Dicembre, 1990. *Dip. Biol. Anim. ed Ecol. Mar. Rapporti.*

Field, J.G., K.R. Clarke & R.M. Warwick. 1982. A practical strategy for Analysing Multispecies Distribution Patterns. *Mar. Ecol. Prog. Ser. 8: 37-52.*

Hedges, J. & J. Stern. 1984. Carbon and nitrogen determinations of carbonate containing solids. *Limn. Oceanogr. 29:* 657-663.

Innamorati, M., L. Lazzara, C. Nuccio, M. De Poi, M. Mannucci, & G. Mori. 1990. Biomassa fitoplanctonica e condizioni idrologiche nell'Alto Tirreno Toscano. Campagna Alto Tirreno Toscano 1 -N/O "Minerva" - 3-9.9.1985. Campagna Alto Tirreno Toscano 2 - N/O "Minerva" - 22-28.11.1986. *Resoconti dei rilevamenti in mare.* Laboratorio di Ecologia, Dipartimento di Biologia Vegetale, Università di Firenze. 95 pp.

Pérès J.M. & J. Picard. 1964. Noveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée. *Rec. Trav. St. Mar. Endoume. 31* (47): 1-137.

Picard, J. 1985. Réflexions sur les Ecosystèmes Marins Bentiques: Hierarchisation, Dynamique spatio-temporelle. *Tethys. 11* (47): 1-137.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da pag. 233 a pag.244

VARIAZIONI DEL LITORALE E UTILIZZO DEL SUOLO: IL TRATTO COSTIERO COMPRESO TRA CAPO VADO E IL PROMONTORIO DEL PRIAMAR (LIGURIA OCCIDENTALE)

Nicola CORRADI*, Pierluigi BRANDOLINI** e Mauro SPOTORNO**

*Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Genova
**Istituto di Geografia, Università di Genova

SUMMARY

This paper presents an analysis of the morphology and the evolution of the coastal area from Capo Vado to the Priamar Promontory (Savona). On the basis of historical cartographical data, combined with archival sources, it has been possible to reconstruct the changes in the coastal line in relation to the increasing antropical activities other a period of four centuries.

It has been identified three successive periods distinguished by the different use of the territory. Each period left a distinct impront of the area. In the first phase between the end of the 16th century and the middle of the 19th century we see agricultural development. The second phase incorporates urban and industrial development of the alluvial plains of the Letimbro, the Quiliano and the Segno rivers. The third phase is characterized by the crisis of the manufacturing activities with the risulting abandonement of industrial areas and the building up of the port area of Vado roadstead.

After a geomorphological analysis of the beach areas, achieved through the direct survey and the photographic interpretation, it has been possible to study the evolution of shoreline in relation to the historical data already found.

1. INTRODUZIONE

II contributo offre un'analisi della morfologia e dell'evoluzione del tratto costiero compreso tra Capo Vado e il Promontorio del Priamar (Savona). Sulla base di dati cartografici storici, integrati da fonti archivistiche, che coprono un arco di circa quattro secoli, è stato possibile ricostruire le modificazioni della fascia costiera in rapporto all'intensa antropizzazione dell'area.

Si possono identificare tre fasi successive distinte dal differente utilizzo del territorio cui corrispondono diversi tipi d'impatto sul litorale: tra la fine del sec. XVI e la metà del XIX si assiste allo sviluppo delle attività agricole; in una seconda fase si verifica lo sviluppo urbano ed industriale nelle piane del Letimbro, del Quiliano e del Segno; la terza fase vede la crisi delle attività manifatturiere, con conseguente dismissione di aree industriali e la realizzazione delle opere portuali nella rada di Vado.

Dopo un inquadramento geomorfologico delle spiagge, ottenuto attraverso il rilevamento diretto e la fotointerpretazione, si è analizzata l'evoluzione della linea di riva in rapporto ai dati storici reperiti.

2. CARATTERI FISICI GENERALI

L'area esaminata è compresa tra i promontori del Priamar e di Capo Vado in corrispondenza dei quali la fronte costiera è alta e rocciosa, mentre lungo l'arco interposto presenta un'ampia falcatura sabbiosa, interrotta dalle foci di alcuni modesti torrenti (Figg. 1 e 6). Oggi la spiaggia, estesa per circa 10 Km, è alimentata quasi esclusivamente dagli apporti dei torrenti Segno, Quiliano e Letimbro, in quanto la costruzione della strada litoranea prima e dei terrapieni a servizio del porto poi, hanno fatto venir meno l'alimentazione di versante di Capo Vado, mentre la nuova diga foranea, e più ancora i suoi recenti prolungamenti, hanno reso del tutto insignificante il già modestissimo apporto per deriva litoranea proveniente da occidente.

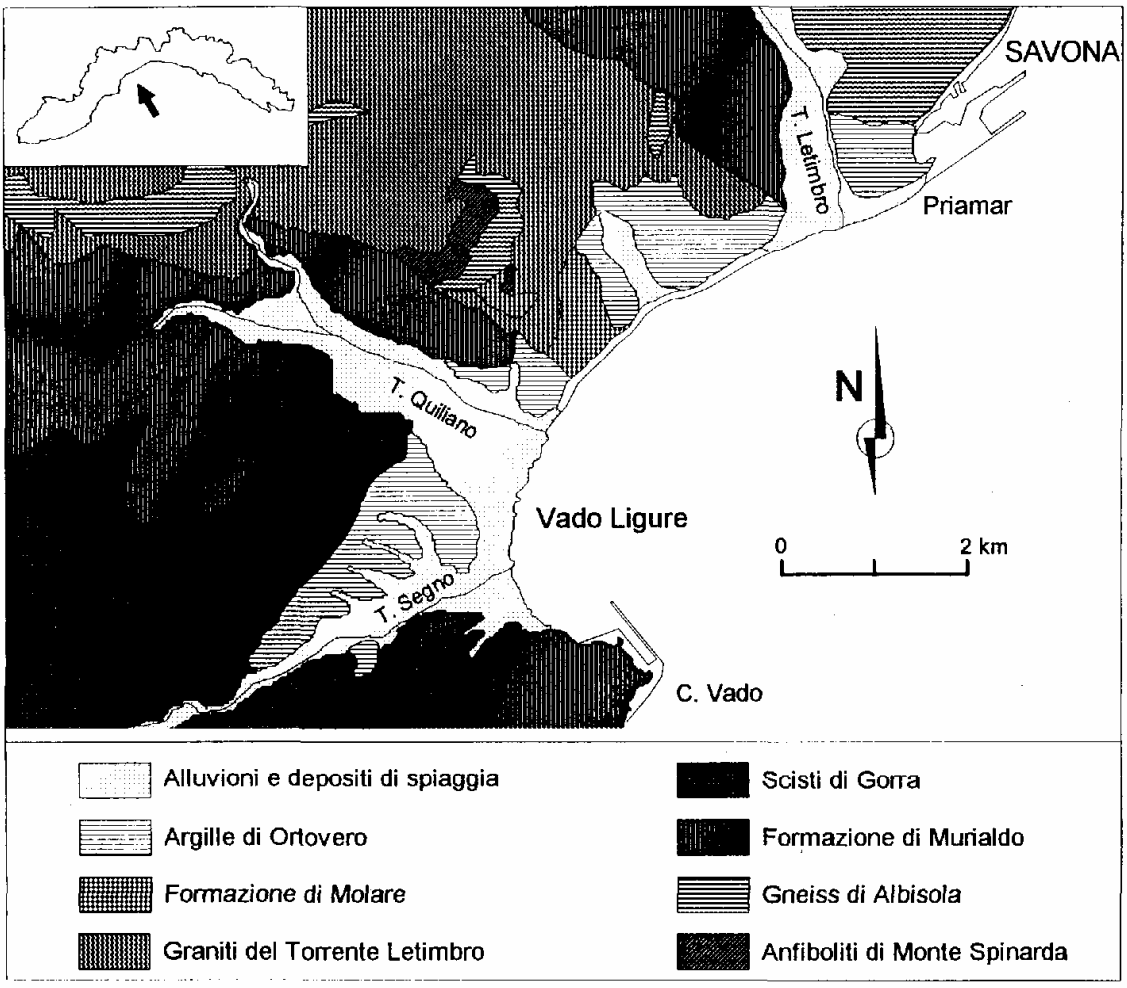


Fig. 1- Schema geologico della fascia costiera tra Savona e Capo Vado.

I bacini del Segno e del Quiliano insistono prevalentemente su scisti filladici o sericitici e solo marginalmente su calcari dolomitici (Calcari di M. Mao), mentre quelli del Quazzola (affluente di sinistra del Quiliano), del Lavanello (affluente di destra del Letimbro) e del Letimbro drenano terreni su basamenti granitici, gneissici ed anfibolitici. Le testate delle valli, incidenti quasi ortogonalmente la catena principale, corrono a quote assai modeste ed hanno costituito agevoli vie di transito per il Piemonte sud-occidentale. Infine, tra i rilievi alpini e la piana litoranea s'interpone una fascia di colline argillose plioceniche (Fig. 1).

Nel paraggio risulta dominante l'azione dei mari di libeccio, con un fetch di 800 Km e regnante quella dei mari di scirocco, con un fetch di 200 Km; un'eccezione è costituita dal tratto di rada posta immediatamente a ridosso di Capo Vado che viceversa risulta in prevalenza interessata da venti spiranti dal I e dal II quadrante.

3. EVOLUZIONE DELLA FASCIA LITORANEA DAL 1500 AD OGGI

Dalla documentazione cartografica ed archivistica disponibile risulta che intorno alla metà del '500 la piana del Letimbro era occupata da colture ortensi e da vigne. Dalla porta sud-occidentale della cinta muraria (detta Bellaria) prendeva avvio una strada litoranea che, attraversata la cintura di orti, superava il T. Letimbro con un ponte a due arcate e quindi proseguiva verso Vado correndo tra due serie quasi ininterrotte di "ville" (il Giustiniani ne contava più di cento), la cui conduzione agraria era contraddistinta da colture promiscue (ortaggi, viti, alberi da frutta ed olivi) a carattere intensivo. La necessità di sfruttare al massimo le modeste aree pianeggianti faceva sì che con ogni probabilità le coltivazioni si spingessero quanto più possibile verso il mare, invadendo aree di retrospiaggia che in più luoghi erano occupate da fornaci per la produzione di mattoni e terraglie (Fig. 2).

La localizzazione di tali attività manifatturiere dipendeva da un lato dalla prossimità delle cave d'argilla, ubicate nelle citate retrostanti colline plioceniche, e dall'altra dalla convenienza ad effettuare via mare il trasporto della maggior parte del prodotto finito. Tra la foce del T. Quiliano e l'abitato di Vado si stendeva una vasta area acquitrinosa detta "fossa della Maddalena".

Nel secolo successivo il paesaggio litoraneo appare immutato, ma tra la fine del '600 e la metà del '700 l'opera di colonizzazione agraria viene pressoché portata a compimento con la costituzione di estese proprietà fondiarie appartenenti a cospicue famiglie genovesi: Gavotti, Spinola, Durazzo e De Mari. Quest'ultima, in particolare, nel corso dei primi decenni del secolo XVIII acquisì il controllo di quasi tutto il litorale compreso tra Capo Vado e la foce del Quiliano, procedendo alla bonifica della preesistente palude ed alla messa a dimora di olivi, gelsi e viti (Figg. 2 e 3).

A partire dagli anni '60 del secolo scorso il rapido incremento demografico e il perdurare degli effetti della positiva congiuntura attraversata dall'olivicoltura nei decenni precedenti, favorirono l'espansione delle superfici coltivate: non di rado oliveti, vigneti ed orti si spinsero sui versanti sino ai 500-600 m di quota. Ne conseguì un maggior trasporto solido da parte dei corsi d'acqua ed una consistente alimentazione degli arenili che, sulla base delle rilevazioni disponibili, si ritiene abbiano raggiunto in quegli anni la massima espansione registrata nel corso degli ultimi secoli.

A partire dalla metà dall'Ottocento, con l'avvento della rivoluzione industriale, la fascia litoranea subì radicali trasformazioni in parte legate alla localizzazione sul litorale dei nuovi insediamenti produttivi ed in parte indotte da processi più generali, ma sempre connessi al grande cambiamento economico e sociale che si andava verificando. Sotto quest'ultimo aspetto, infatti, allo sviluppo industriale si associano l'espansione delle aree urbanizzate, il potenziamento e l'ampliamento della rete delle vie di comunicazione, la regimazione dei corsi d'acqua e, a partire dall'inizio del nostro secolo, l'esodo rurale ed

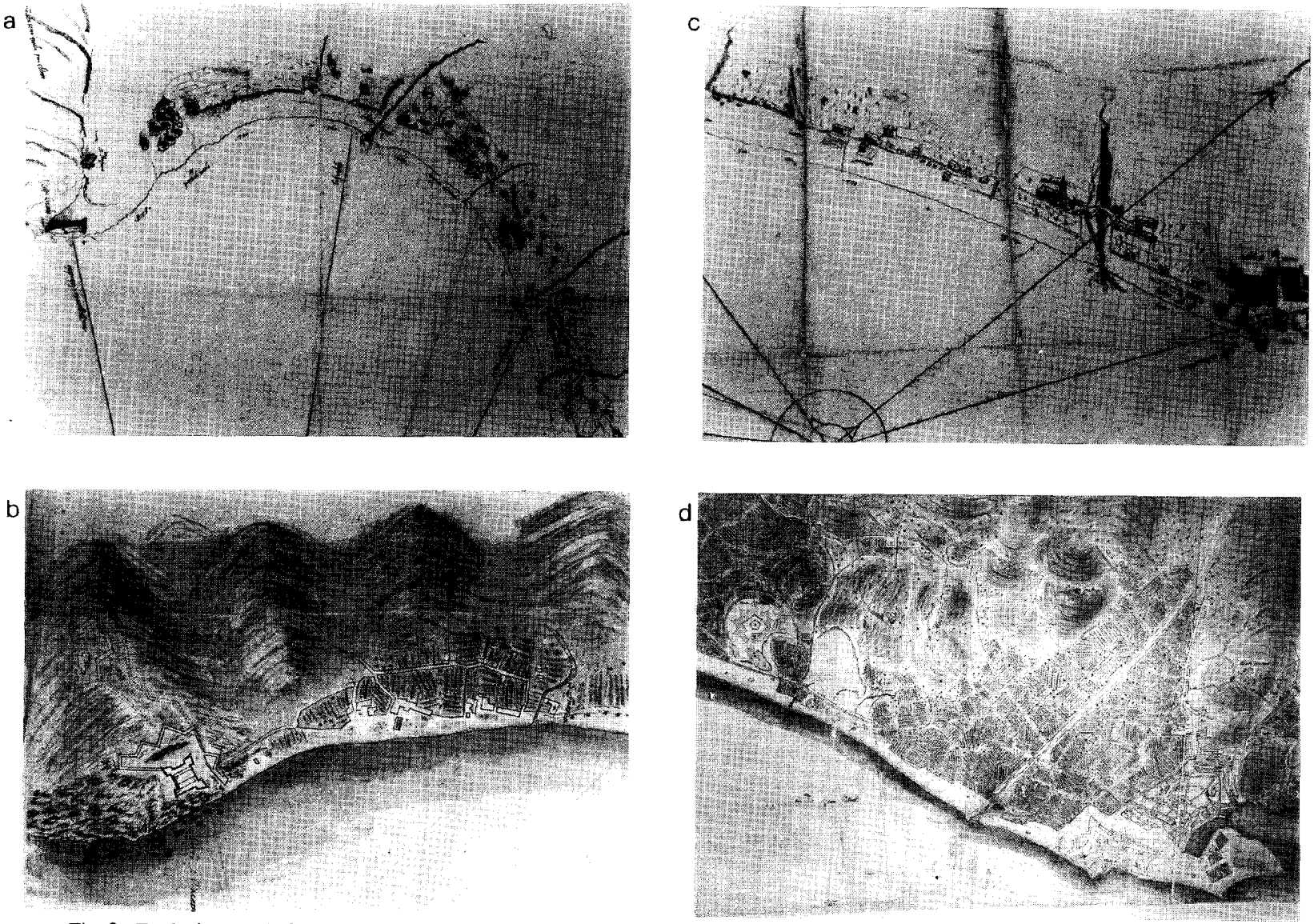


Fig. 2 - Evoluzione della fascia costiera tra Savona e Capo Vado tra il 1500 ed il 1700 secondo le carte del tempo: la fascia costiera compresa tra Capo Vado e la foce del T. Quliano intorno al 1569 (a) e alla metà del '700 (b); la fascia costiera compresa tra il borgo "Fornaci" ed il promontorio del Priamar intorno al 1569 (c) e alla metà del '700 (d) (A.S.G., Fondo cartografico, busta 19 bis, Vado, 16, 1162; A.S.G. Fondo cartografico, busta 16, Savona, 1, 984. Aut. n° 6/92 - 1324.V/9.92).

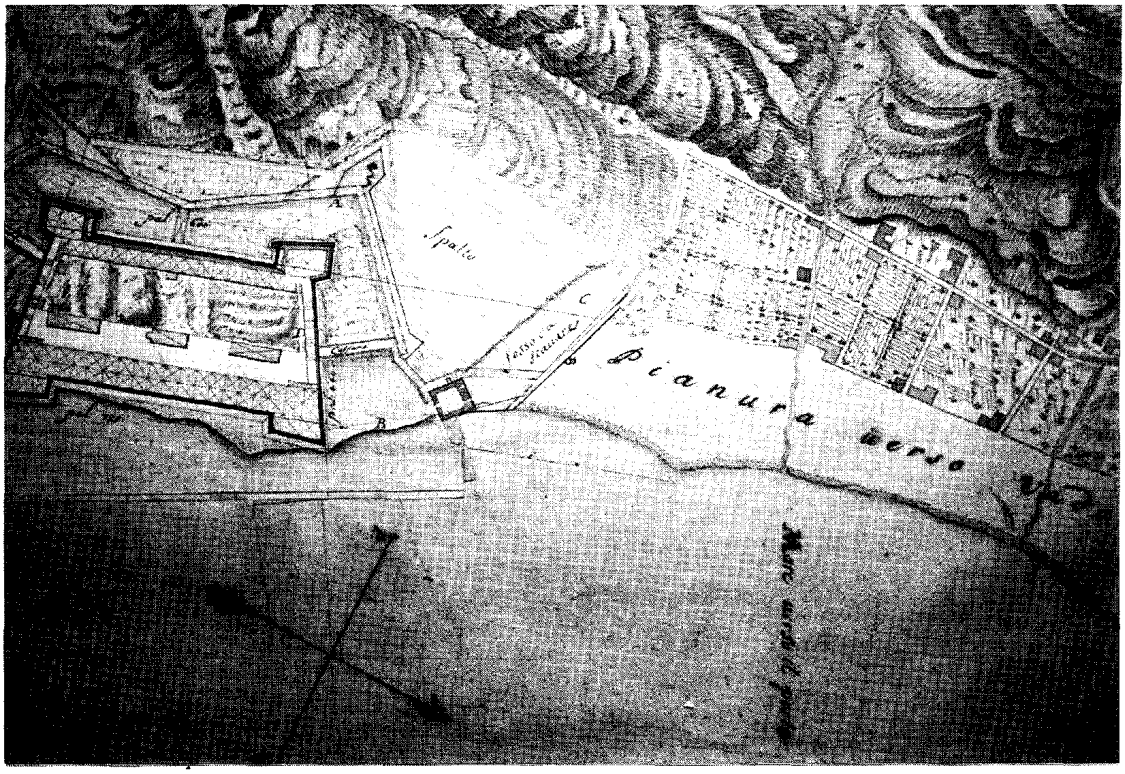


Fig. 3 - Capo Vado alla fine del '700 (A.S.G., Fondo cartografico, busta 19 bis, Vado, 33, 1162; Aut. n° 6/92 - 1324.V/9.92)

agricolo (Spotorno, 1991 e1992). Tutto ciò ha comportato un diminuito apporto solido dei torrenti e nel contempo un crescente prelievo di sabbie dai loro alvei, in particolare nel corso dell'ultimo conflitto bellico, dallo stesso arenile (Fig. 4).

Più immediatamente percepibile è l'impatto sull'ambiente costiero delle nuove realizzazioni industriali. L'ampliamento del porto di Savona, risalente al 1885, unitamente all'apertura delle linee ferroviarie per Genova, Ventimiglia e Torino, favorirono la nascita di nuove attività industriali a filo di costa (siderurgiche e metalmeccaniche), approvvigionate di materie prime e semilavorati mediante appositi pontili. La loro localizzazione fu dapprima esclusivamente periportuale, ma ben presto interessò anche il litorale compreso tra il Priamar ed il T. Letimbro dove peraltro già da tempo si erano insediati alcuni cantieri navali. Gli uni e gli altri comportarono una riduzione della profondità della spiaggia, ma al volgere del secolo questa era occupata in misura crescente da stabilimenti balneari. Nei decenni seguenti le superfici destinate ad attività turistico-balneari si ampliarono dapprima sulle aree resesi disponibili con la chiusura di numerosi cantieri navali (in conseguenza della crisi del naviglio a vela) e in anni più recenti sulle aree dismesse dagli stabilimenti industriali. Oggi esse interessano in modo esclusivo tutta la zona posta tra la Fortezza del Priamar e la foce del Letimbro che, in tal modo, nell'arco di un cinquantennio ha vissuto una seconda radicale trasformazione della sua destinazione d'uso.

A ponente della foce del T. Quiliano il paesaggio litoraneo osservabile alla fine dell'800 era sostanzialmente immutato rispetto ad un secolo e mezzo prima: orti e canneti si spingevano sin sulla spiaggia, ove i pescatori tiravano in secco le barche e stendevano

ad asciugare le reti. In due successive riprese quest'area subì però radicali trasformazioni. La prima si verificò nei primi decenni del '900 allorché le piane del T. Segno e del T. Quiliano furono interessate da un intenso sviluppo industriale legato, a sua volta, alla disponibilità di aree pianeggianti ed alla buona accessibilità nautica della rada che consentiva la movimentazione di rinfuse solide e di prodotti petroliferi mediante specifici pontili anche in assenza di opere di difesa a mare. In questo secolo si moltiplicarono il numero degli approdi e negli anni '60, a ridosso di Capo Vado, venne creato ad opera della FIAT il primo embrione di quello che sarà l'attuale nuovo porto, la cui realizzazione, a partire dagli anni '70, con imponenti opere a mare, terrapieni, diga foranea con molo sopraflutto e darsene, ha condotto all'assetto attuale del litorale.

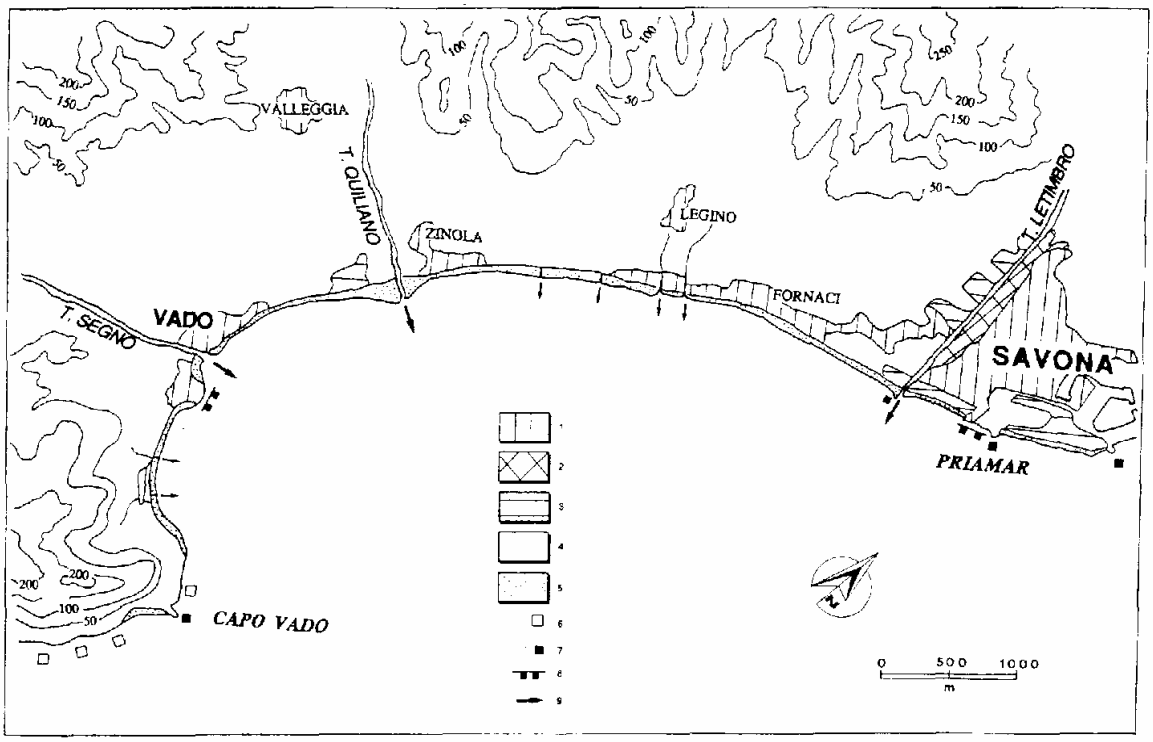


Fig. 4 - Ricostruzione schematica dell'utilizzo del suolo della baia di Vado alla fine del secolo XIX: 1) insediamenti residenziali urbani o comunque accentrati; 2) scalo ferroviario; 3) insediamenti industriali; 4) insediamenti rurali e residenziali sparsi; 5) arenili; 6) costa alta; 7) difese perpendicolari alla costa; 8) difese aderenti alla costa; 9) apporti torrentizi.

4 – VARIAZIONI STORICHE DELLA LINEA DI RIVA E CONDIZIONI ATTUALI DEL LITORALE

Mentre per la zona di Vado non è stato possibile effettuare confronti con rilievi precedenti per il tratto di litorale ad oriente della foce del T. Quiliano si è potuta ricostruire l'evoluzione del litorale in esame nel corso degli ultimi 150 anni utilizzando la documentazione cartografica esistente (Ascari et al., 1937), ed effettuando una campagna di rilevamento lungo tutto il litorale considerato.

Complessivamente si osserva che il litorale ha subito un considerevole arretramento dalla metà del secolo scorso alla metà dell'attuale dovuto alle note cause già citate che hanno determinato arretramenti valutabili in punte massime dell'ordine dei 50 m a levante di Zinola e in minor misura in corrispondenza della foce del T. Letimbro. Successivamente, e fino ai giorni nostri, si osserva una generalizzata progradazione degli arenili che talora eguagliano la linea di riva del secolo scorso nel tratto di litorale ad est dell'abiatato di Zinola o la sopravanzano tra la foce del T. Letimbro e il promontorio del Priamar (Fig. 5).

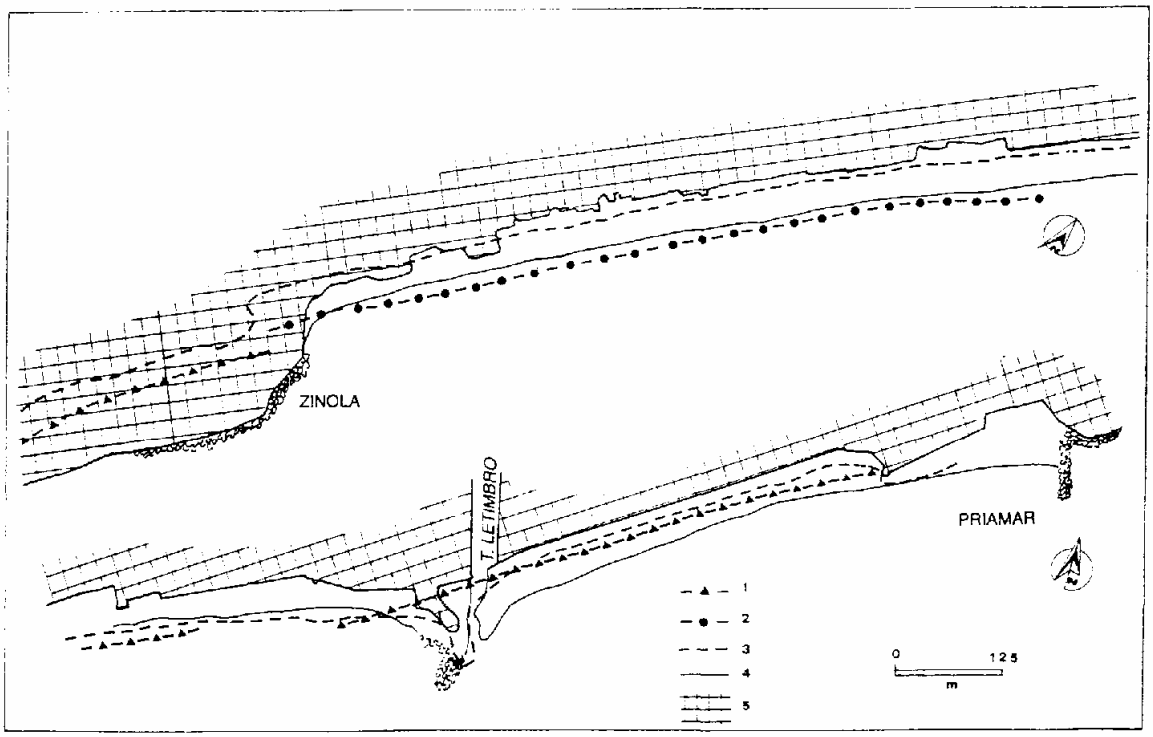


Fig. 5 - Variazioni della linea di riva tra il 1844 ed il 1992 dei tratti di costa siti in prossimità del borgo di Zinola e della foce del Letimbro (Ascari et al., 1937, modificato e aggiornato): 1) 1844; 2) 1876; 3) 1935; 4) 1992; 5) area urbanizzata nel 1992.

L'attuale assetto del litorale (Figg. 6 e 8) è frutto delle discariche aperte negli anni '50 e '60 per creare nuovi spazi fruibili e per ripascere gli arenili, dell'interruzione delle attività estrattive in alveo ed infine della realizzazione di diverse opere a mare di difesa. Il litorale è caratterizzato da una striscia pressoché continua di arenile della lunghezza di circa 4 km, con una ampiezza oscillante da pochi metri a circa 60 m, che si estende dal promontorio del Priamar fino a Zinola, ove è stata realizzata un'ampia colmata a mare. Questo tratto di litorale è occupato per buona parte da stabilimenti balneari con strutture permanenti sull'alta spiaggia. Dalla foce del T. Quiliano fino a circa 200 m ad est della foce del T. Segno compare un altro tratto di arenile di circa 1,2 Km di lunghezza con una ampiezza media di 20-30 m; anche in questa zona sono presenti numerosi stabilimenti balneari intercalati a tratti di spiaggia libera utilizzati per deposito barche e da un piccolo

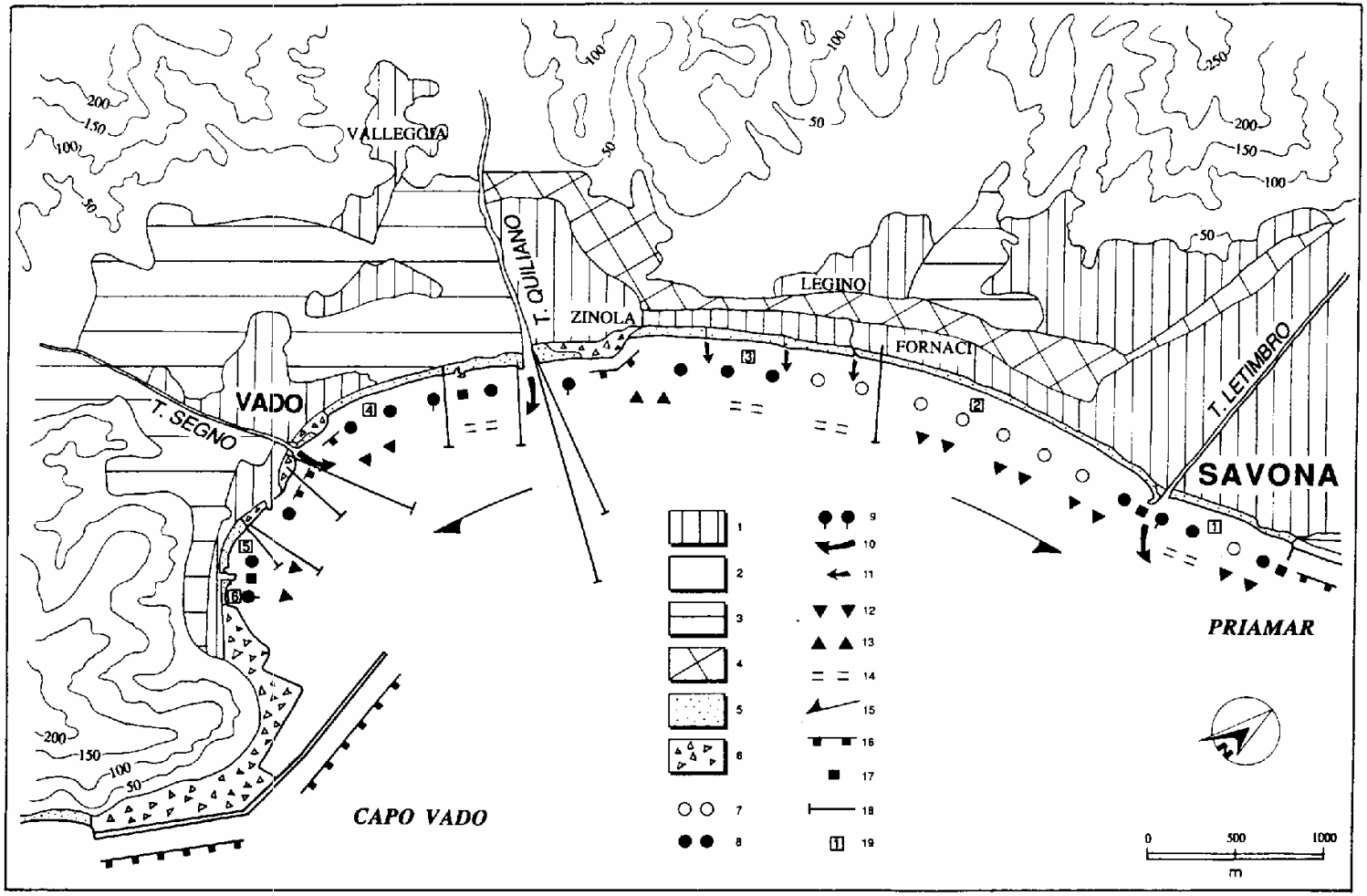


Fig. 6 - Schema geomorfologico e dell'utilizzo del suolo del tratto di fascia costiera compreso tra il Priamar (Savona) e Capo Vado: 1) piana alluvionale occupata da insediamenti residenziali urbani; 2) versanti collinari occupati da insediamenti rurali e residenziali sparsi; 3) piana alluvionale occupata da insediamenti industriali; 4) piana alluvionale occupata da strutture viarie autostradali e ferroviarie; 5) arenili; 6) colmate e terrapieni a mare; 7) spiaggia sabbiosa; 8) spiaggia sabbioso-ghiaiosa; 9) spiaggia sabbioso-ghiaioso-ciottolosa; 10) apporti torrentizi principali; 11) apporti torrentizi minori; 12) arenili in accrescimento; 13) arenili in arretramento; 14) arenili stabili; 15) deriva litoranea; 16) difese aderenti e/o sub-parallele alla costa; 17) difese perpendicolari alla costa; 18) pontili petroliferi; 19) ubicazione sezioni tipo della spiaggia emersa (cfr. Fig. 7).

cantiere navale. Oltre la foce del T. Segno sono presenti due residui lembi di arenile interposti ai terrapieni realizzati per l'espansione delle aree industriali e portuali, occupati pressoché totalmente da deposito barche. In corrispondenza del promontorio di Capo Vado il litorale termina con l'ampio manufatto del nuovo porto, tutt'ora in corso di ultimazione, che ha determinato la formazione di un'ampia spiaggia immediatamente a ponente.

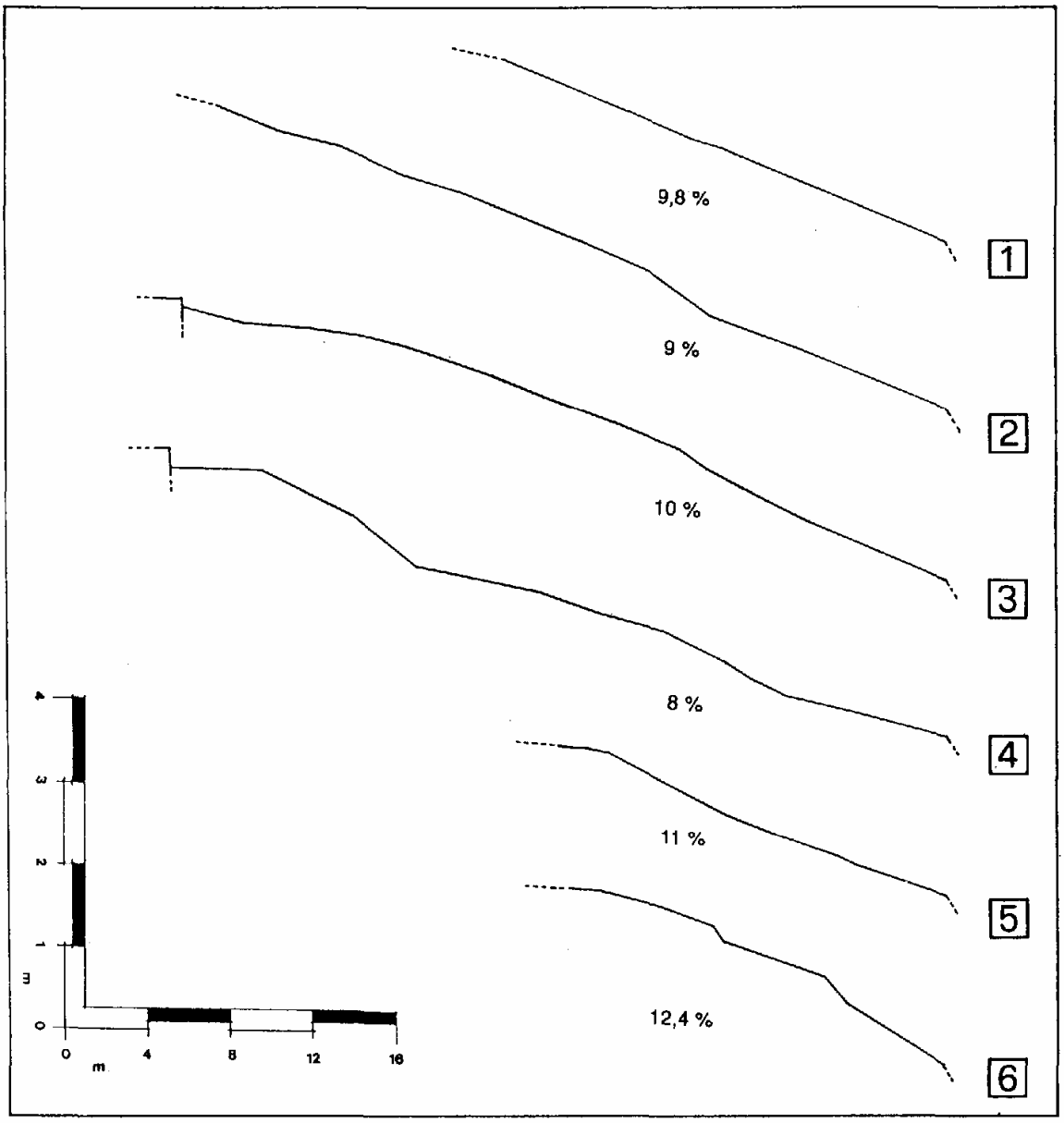


Fig. 7 - Sezioni tipo della spiaggia emersa con indicazione della pendenza media (cfr. Fig. 6).

La campagna di rilievi effettuata nell'ottobre '92 ha fornito un quadro generale delle caratteristiche morfologiche e sedimentologiche degli arenili che possono essere così schematizzate (Figg. 6 e 7):

- settore compreso tra il Priamar e la foce del T. Letimbro caratterizzato da sedimenti prevalentemente sabbioso-ghiaiosi, con pendenza media della battigia di 9.8%, si presenta generalmente stabile ed in avanzamento in corrispondenza del pennello antistante la fortezza del Priamar;
- settore tra la foce del T. Letimbro e località Fornaci con spiaggia prevalentemente sabbiosa, con una pendenza media 9%, interessato da un lieve ma generale avanzamento;
- settore tra le località Fornaci e Zinola, con spiaggia sabbiosa e sabbioso-ghiaiosa e pendenza media del 10%; presenta una certa stabilità, con tendenza all'erosione in prossimità del terrapieno di Zinola, ove sono state realizzate opere di difesa aderenti;
- settore compreso tra le foci dei torrenti Quiliano e Segno, con spiaggia sabbioso-ghiaiosa, talora anche ciottolosa, con pendenza media del 8%, sostanzialmente stabile in prossimità della foce del T. Quiliano ed in leggero avanzamento nel tratto più prossimo al T. Segno;
- settore tra il T. Segno e Capo Vado, caratterizzato da spiagge con sedimenti ghiaioso-sabbiosi e ciottolosi e pendenze comprese tra 11 e 12.4%, dovute principalmente ai materiali di discarica che presentano un generalizzato avanzamento.

5. CONCLUSIONI

L'area esaminata rappresenta un esempio emblematico di come le attività antropiche possano influenzare l'evoluzione del litorale. Nell'arco degli ultimi quattro secoli si sono identificate tre distinte fasi di utilizzo che hanno determinato significative variazioni dell'assetto e della dinamica costiera: tra la fine del secolo XVI e la metà del XIX si assiste allo sviluppo delle attività agricole, cui ha corrisposto una generale tendenza all'avanzamento della linea di riva; in una seconda fase prende avvio lo sviluppo urbano ed industriale delle piane dei torrenti Letimbro, Quiliano e Segno, cui corrisponde una tendenza inversa alla precedente; segue negli ultimi decenni una nuova fase di accrescimento degli arenili in conseguenza della realizzazione di grandi opere a mare (porto di Vado, colmate di Zinola e Vado) che hanno comportato massicci versamenti di materiali detritici, mentre la realizzazione di opere di difesa del litorale ha ulteriormente contribuito al riequilibrio delle spiagge.

BIBLIOGRAFIA

Ascari, M., L. Baccino & G. Sanguineti. 1937. Le spiagge della riviera ligure. *Ricerche sulle variazioni delle spiagge italiane,* C.N.R., Roma.

Berriolo, G. & G. Sirito. 1985. Assetto costiero. Ricerca preliminare commissionata allo Studio Volta, *Amm.ne Prov.le di Savana,* Savona.

Carobene, L. & A. Brambati. 1975. Metodo per l'analisi morfologica quantitativa delle spiagge. *Boll. Soc. Geol. It.,* 94: 479-493.

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.

Fanucci, F., N. Corradi, M. Firpo, M. Piccazzo & S. Tucci. 1990. Les côtes de la Mer Ligure: morphologie dynamique et évolution. *Littoral,* Comptes rendus du 1er symposium international de l'Association européenne EUROCOAST, Marsiglia, 9-13 luglio 1990: 82-86.

Ferro, G. 1961. Le variazioni del litorale della Liguria occidentale (da Capo Noli a Voltri)

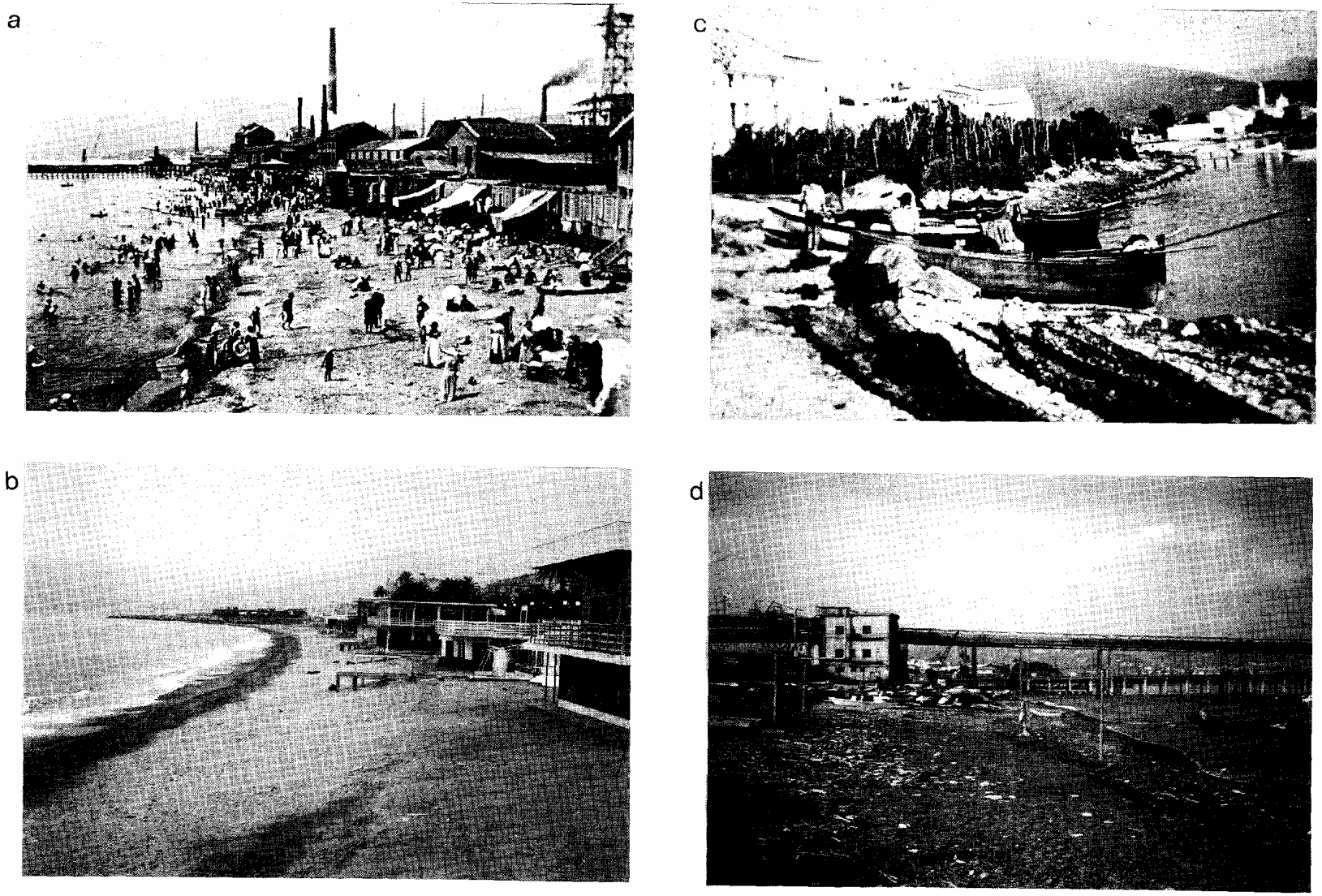


Fig. 8 - Condizioni del litorale tra Capo Vado e Savona: spiaggia tra la foce del T. Segno e Capo Vado alla fine dell'800 (a) e nel 1992 (b); spiaggia tra il T. Letimbro e il promontorio del Priamar alla fine dell'800 (c) e nel 1992 (d) (Foto (a) e (c) Arch. Studio Fotografico Piccardo e Rosso, Savona).

nell'ultimo decennio, *Atti del XVIII Congresso Geografico Italiano,* Trieste:.3-6.
Firpo, M., N. Corradi, G.C. Cortemiglia, F. Fanucci, G. Fierro & M. Piccazzo. 1989. Atlante delle Spiagge italiane: foglio 92-93 Albenga-Savona. CNR Roma, SELCA, Firenze.
Giuliani, M.C. 1980. Ancora sulle ville. *Studi e Ricerche di Geografia,* anno III, 2: 129-137.
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.
Marengo, E. 1931. Carte topografiche della Liguria e delle immediate adiacenze conservate nell'Archivio di Stato di Genova, Stab. It. Arti Grafiche, Genova.
Quaini, M. 1973. Per la storia del paesaggio agrario in Liguria. C.C.I.A.A., Savona.
Ruocco, D. 1980. Ville suburbane e residenze di campagna: un oggetto di studio della Geografia, *Studi e Ricerche di Geografia,* anno III, 1: 1-8.
Spotorno, M. 1991. Le trasformazioni agrarie nella Liguria Occidentale nell'ultimo sessantennnio. Studi e Ricerche di Geografia, anno XIV, 1: 32-79.
Spotorno, M. 1992. Le trasformazioni del paesaggio litoraneo della baia di Vado dal secolo XVI ad oggi. *Atti XXVI Congresso Geografico Italiano.*
Tassinari, M. 1985. Il volto di Vado nella prima metà del Settecento. *Vado Ligure. Saggi storici,* Regione Liguria, Savona.
Volta, S., G.B. Mezzano & P. Bianchi. 1952. Proposte per la difesa e la ricostituzione della spiaggia di Savona. *Liguria,* anno XIX, 2, Savona.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L.
Alassia, 4-6 Novembre 1992 da
pag. 245 a pag. 251

FENOMENI DI REGRESSIONE DELLE SPIAGGE DI MONTEROSSO AL MARE (LIGURIA ORIENTALE) PROVOCATI DA INTERVENTI UMANI

Remo TERRANOVA

Istituto di Geografia, Università di Genova

SUMMARY

The gulf of Monterosso al Mare presents two beaches, one in front of the mediaeval village and one (Fegina) situated in the east.

The beaches are constituted of sandstone, clay, ophiolites, limestone, jasper sand and gravel, which come from the little basins of Pastanelli and Fegina streams and from the landslides of Mesco promontory. The building of a nautical landing-place near the Gigante, of a pier at the foot of St. Cristoforo promontory, and of the more recent large landfill, made with the mucking of the new railway tunnels, are obstrupting the drift towards east, stopping natural feeding. The two beaches are now in erosion, and this havc caused the intervention of public management. In detail the eastern part of Fegina beach is destined to reduce more, so that the bathing establishments, the roads and the houses will be threatened by heavy storms.

1.INTRODUZIONE

Sono stati condotti rilevamenti geomorfologici nel golfo di Monterosso al Mare, lungo la fascia costiera che si estende dalla Punta Mesco, ad ovest, fino alla Punta Corone, ad est, e sono state esaminate le condizioni delle due spiagge antistanti, rispettivamente, al borgo medievale e all'abitato recente di Fegina.

In questa nota vengono presentati i risultati delle indagini effettuate, anche attraverso ricerche storiche, sulle evoluzioni subite dalle due spiagge a causa di interventi antropici, che ne hanno messo in crisi una parte, e vengono esposte alcune previsioni per il futuro delle stesse.

2. CARATTERI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI DEL GOLFO DI MONTEROSSO

Il golfo di Monterosso al Mare, con uno sviluppo lineare di 3,5 km, ha forma semiellittica, aperta verso SSE, ed è compreso fra Punta Mesco a ovest, estremità dell'omonimo promontorio, e Punta Molinara ad est, piede del costone roccioso che scende sul mare da M. S. Croce (618 m).

Geologicamente esso è interessato da tre unità litostratigrafiche, che vengono riassunte sinteticamente di seguito (Abbate, 1969).

a) Supergruppo della Val di Vara

È un insieme di formazioni ofiolitiche e sedimentarie, facenti parte delle Liguridi interne, che costituiscono tutto il versante orientale del promontorio del Mesco, ove appaiono esposte magnificamente in una successione geometrica che, a partire dall'abitato, coincide con quella stratigrafica (Fig. 1).

Partendo da Punta Mesco compaiono le Arenarie di M. Gottero, costituite da strati massicci di arenaria quarzoso-feldspatica e micacea, a cemento siliceo, che costituiscono la parte estrema del promontorio, e poggiano sugli Scisti Zonati, costituiti da alternanze di sottili straterelli silloso-marnosi, di colore bruno, e argillitici di colore grigiastro.

Procedendo verso l'interno del golfo affiorano sul versante le argille con calcari palombini, silicei, che si appoggiano sulle serpentiniti massicce, scagliose, verdastre, talora previa intercalazione di qualche limitata lente di oficalciti.

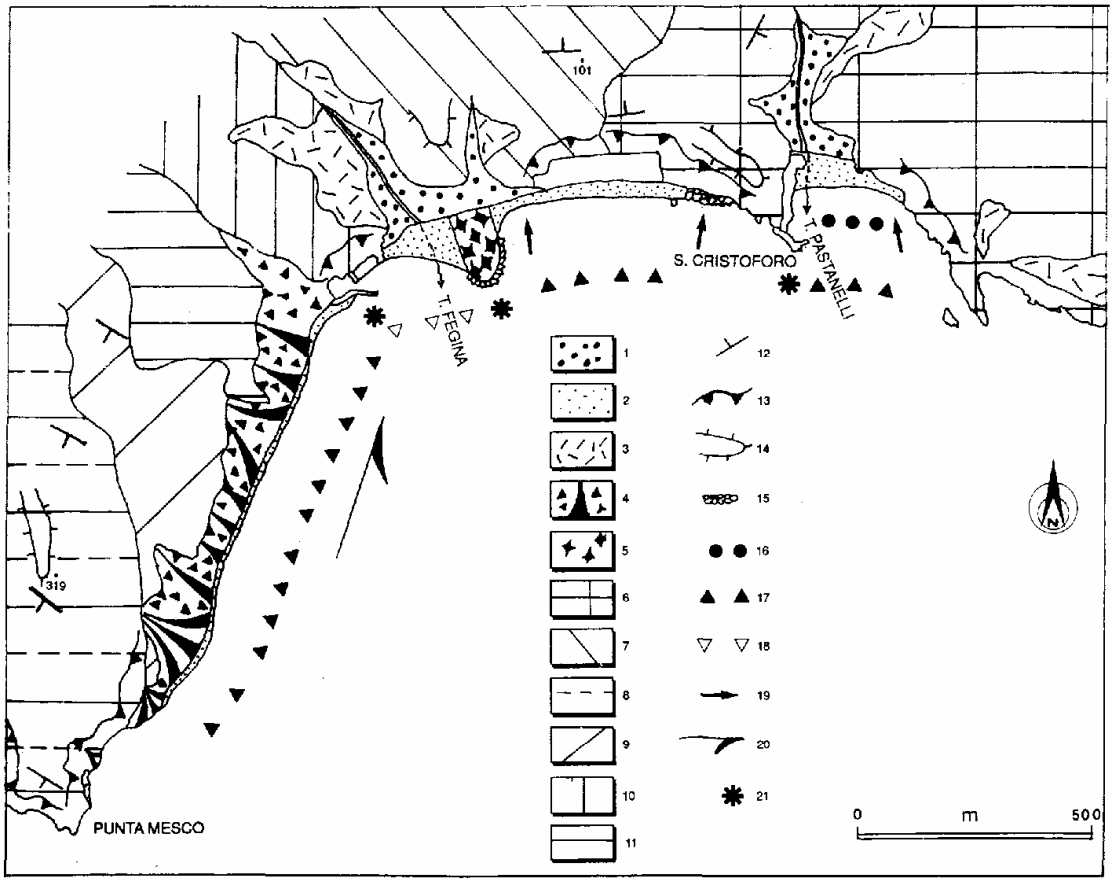


Fig. 1 - Carta geomorfologica del golfo di Monterosso al Mare: 1. depositi alluvionali; 2. spiagge; 3. coltri detritiche; 4. accumuli di frana; 5. riporti; 6. Macigno; 7. Complesso di M. Veri; 8. Arenarie di M. Gottero; 9. Argilloscisti; 10. Gabbri; 11. Serpentiniti; 12. giaciture degli strati; 13. cigli di distacco; 14. orli di terrazzi; 15. scogliere aderenti; 16. scogliere distaccate; 17. arenili in erosione; 18. arenili in accrescimento; 19. aggressioni del mare; 20. deriva litoranea; 21. ostacoli alla deriva litoranea.

Le serpentiniti, ancora presenti sulle pareti soprastanti al porticciolo di Monterosso, lasciano il posto a rocce gabbriche, biancastre per la presenza dei plagioclasi, le quali finiscono in mare in località Fegina, con lo sperone su cui è stato scolpito il Gigante.

Sul contatto tettonico di questo supergruppo con il complesso successivo di M. Veri, affiorante a est, si osservano modesti lembi di diaspri e basalti brecciati.

b) Complesso di M. Veri

Questo complesso, appartenente alle Liguridi esterne, che affiora tra l'asta del T. Fegina e le pareti soprastanti alla stazione ferroviaria, è costituito da argille lamellari con intercalazioni di strati calcarci tipo palombino e sottili straterelli di arenaria fine, quarzoso-micacea, manganesifera, entro i quali compaiono intercalazioni lentiformi di arenaria e brecce ofiolitiche poligeniche, costituite da clasti di serpentiniti, basalti, calcari, diaspri, selci e graniti, ed inoltre blocchi di rocce verdi e di graniti, che sono stati attribuiti a fenomeni franosi sottomarini.

e) Serie toscana

Il settore orientale del Complesso di M. Veri è in contatto tettonico con il Macigno della serie toscana, che costituisce il promontorio di S. Cristoforo: questo divide morfologicamente il centro storico medievale dal tratto di Fegina, di recente urbanizzazione.

Il Macigno è costituito da arenarie grigie al taglio fresco, marroni per alterazione, a grana medio-fine, composte da clasli di quarzo, K-feldspati, plagioclasi, fillosilicati e calcite, alternanti a strati di arginiti e siltili.

Per quanto attiene agli aspetti morfologici del golfo, il settore occidentale, che coincide col versante orientale del promontorio del Mesco, è caratterizzato da ripidissimi versanti, orlati da sottili spiagge ciottolose, i cui materiali derivano soprattutto da movimenti gravitativi che interessano le arenarie e le formazioni argillitiche, mentre presenta tratti a falesia in corrispondenza delle rocce verdi (Terranova, 1984).

Il settore centrale è costituito, procedendo da ovest, dalla spiaggia di Fegina, lunga circa 700 m, che rappresenta l'orlo sul mare della modesta piana alluvionale costiera sulla quale è ubicata buona parte dell'abitato recente di Monterosso, e dalla spiaggia della baia di Monterosso medioevale, lunga circa 200 m, separate dal promontorio roccioso di S. Cristoforo.

Il settore orientale si estende dalla radice della Punta Corone fino alla Punta Molinara ed è costituito dalle arenarie macigno, modellate e scolpite in ardite falesie.

3. MODIFICAZIONI INDOTTE SULLE SPIAGGE DAGLI INTERVENTI ANTROPICI

La spiaggia di Fegina è composta da sabbie, ghiaie e, in minor misura, ciottoli: questi ultimi sono costituiti da serpentiniti, gabbri, basalti, oficalciti, graniti, arenarie, Calcari palombini, selci, brecce ofiolitiche e da minerali o frammenti di minerali appartenenti a tali rocce, quali plagioclasi, pirosseni, quarzi, miche, calcite.

I materiali della spiaggia provengono dalla valle di Fegina, che, insieme alla vallecola contigua, forma un bacino di 3,5 km^2, impostato sulle ofioliti e su rocce sedimentarie, e prendono origine dal versante orientale del promontorio del Mesco, per effetto della deriva litoranea e dalle discariche dei materiali provenienti dalle nuove gallerie del raddoppio della tratta ferroviaria Monterosso-Levanto.

La spiaggia è esposta parzialmente all'ondazione di libeccio, che arriva sulla battigia attenuata a causa dei rallentamenti subiti dalla presenza della Punta Mesco, ove si verificano fenomeni di rifrazione, con effetto di deriva dei materiali verso est: i treni d'onda di scirocco pervengono sulla spiaggia con un'incidenza di circa 30° provocando, invece, movimentazione dei materiali e deriva verso ovest (Cortemiglia & Terranova, 1969).

Essendo prevalente l'energia delle mareggiate di libeccio, ne consegue un trasporto verso est, che in tempi passati faceva addirittura sì che i materiali fini superassero l'estremità del promontorio di S. Cristoforo, alimentando la spiaggia antistante la borgata storica: attualmente, invece, sono ostacolati dal molo di attracco delle imbarcazioni, il quale ha prolungato notevolmente il capo stesso..

Negli anni 1963-70 una grande discarica di materiali ofiolitici, effettuata dalle F.S. sulla spiaggia di Fegina, invece di essere opportunamente utilizzata come materiale di ripascimento, tra l'altro di ottima qualità, è stata raccolta ed accumulata nel tratto di spiaggia posto immediatamente ad est della foce del torrente omonimo, in modo da formare una lingua protesa in mare, lunga 160 m e larga mediamente 90 m, protetta sul perimetro e soprattutto sulla testata da grossi massi rocciosi contro le mareggiate (Figg. 1 e 2).

Fig. 2 - La foto, ripresa da ovest, mette in evidenza: in primo piano il tratto occidentale della spiaggia di Fegina, che sta ampliandosi vistosamente poichè i sedimenti sono trattenuti dalla piazza costruita con i materiali di discarica FF.SS.; in secondo piano il tratto orientale sta regredendo per mancanza di alimentazione da ovest, tanto che sul fondo è stata gettata una scogliera aderente di massi per contrastare lo scalzamento della strada-passeggiata.

E stato in tal modo ricavato, parte sulla spiaggia e parte in mare, un piazzale adibito a campo di calcio, che durante il periodo estivo diventa un grande parcheggio di auto, pulman, campers e roulottes, con l'aggravante che per questi ultimi due mezzi si trasforma in una specie di campeggio d'assalto, con tutto quel che consegue dal punto di vista igienico ed ambientale, per non dire dello scempio paesaggistico che questa opera ha provocato su quella che era un tempo una bellissima baia.

Al di là di queste constatazioni, ben più gravi e preoccupanti sono le conseguenze sulle condizioni di equilibrio della spiaggia di Fegina. La piazza può essere infatti paragonata ad un enorme pennello ortogonale alla linea di costa che impedisce ai

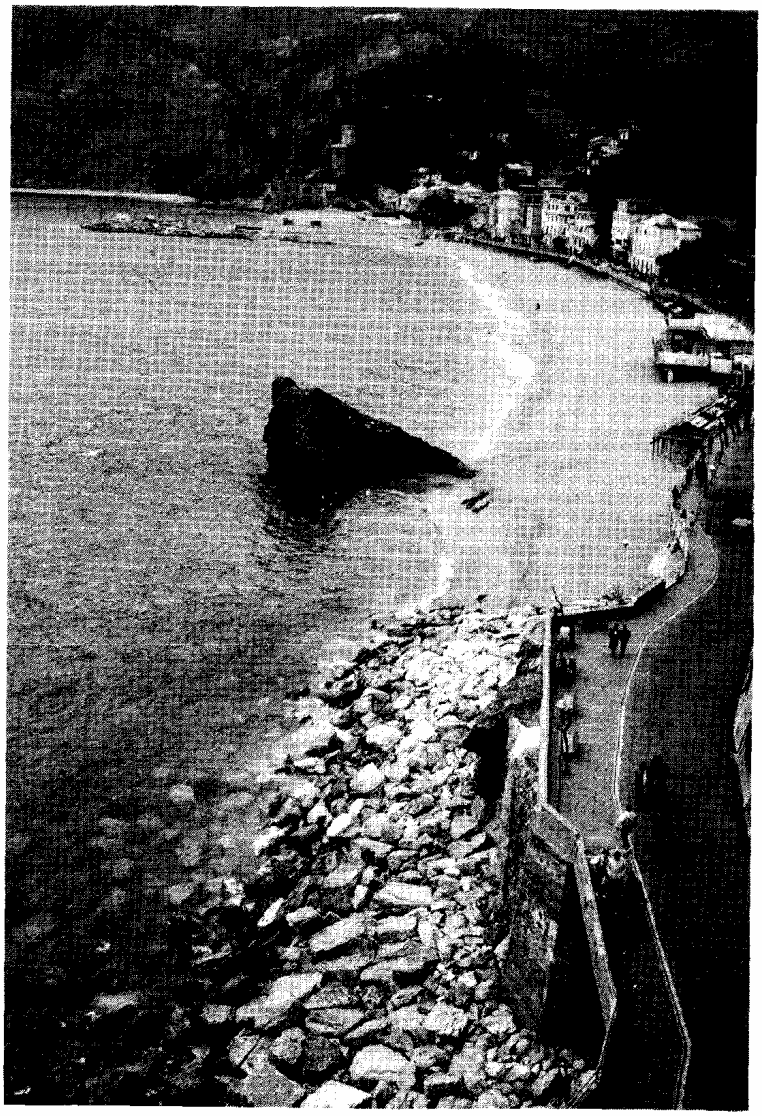


Fig. 3 - La foto, ripresa da est, mostra la scogliera di massi gettati a protezione della strada-passeggiata, laddove prima esisteva l'arenile, in seguito ad un rapido arretramento della linea di battigia a causa della cessata alimentazione da ovest, impedita dalla costruzione della piazza visibile sullo sfondo.

materiali fini, provenienti per deriva dal versante orientale del Mesco (quelli grossolani non possono essere più trasferiti per deriva litoranea a seguito della costruzione dei manufatti dell'approdo del centro velico), e a quelli fini e grossolani, apportati dal T. Fegina, di migrare verso est, interrompendo così l'alimentazione del tratto di spiaggia che si estende fra la *piazza* e il promontorio di S. Cristoforo (Figg. 1 e 2).

Tale tratto di spiaggia, per la mancanza di rifornimenti naturali e per l'inevitabile usura dei materiali, ha iniziato ad assottigliarsi e quindi a diminuire sia in ampiezza sia in spessore: essa ha raggiunto la larghezza minima di 6 m nel tratto immediatamente ad est del piazzale, ove erodono particolarmente le ondazioni di libeccio, e si è ridotta in questi ultimi anni a pochi metri alla sua estremità orientale, a ridosso del promontorio di S. Cristoforo, tanto che, per impedire lo scalzamento da parte delle mareggiate della parete rocciosa sulla quale transita la strada di collegamento col borgo medievale, è stata gettata una scogliera di massi la quale occupa l'area che, anni fa, era sede di una bella spiaggia saldata al suddetto promontorio (Fig. 3).

La controprova di quanto avvenuto è evidente se si esamina l'evoluzione della spiaggia, compresa fra la *piazza* e il costone roccioso del Gigante: essa si è ampliata a dismisura negli ultimi anni in quanto i materiali trasportati dal T. Fegina e quelli provenienti per deriva dal Mesco vengono trattenuti da tale opera aggettante in mare. In tale spiaggia la linea di battigia si è spostata di ben 120 m sul lato aderente alla *piazza,* dando luogo ad una nuova spiaggia ad ampia falce, con un aumento complessivo della superficie dell'arenile di 8200 m^2 in 22 anni, con una media di crescita annua di 373 m^2 (Fig. 4).

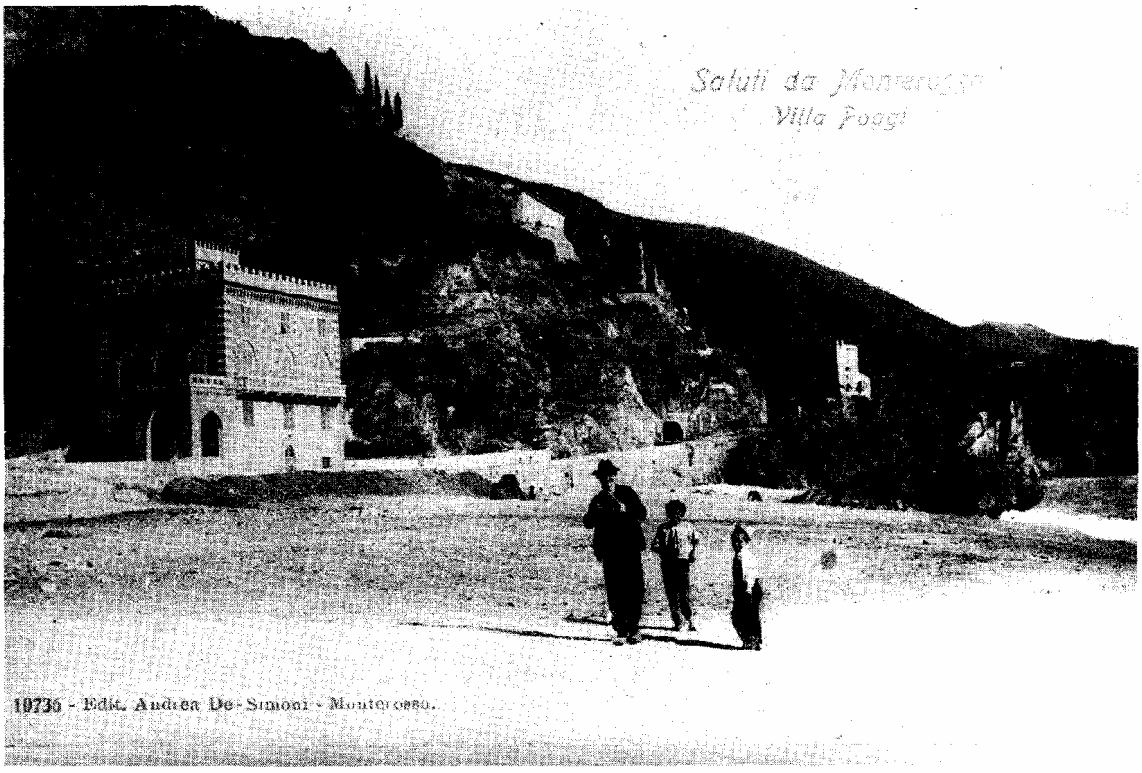


Fig. 4 - La foto del 1920 mostra l'ampia spiaggia del tratto orientale di Fegina, che avvolgeva lo scoglio sulla destra e che oggi è quasi totalmente circondato dal mare. Si noti che la spiaggia, estesa allora fin sotto alla parete rocciosa, sulla quale si erge la torre medievale, è scomparsa in questi ultimi anni.

4. PROSPETTIVE FUTURE

Per il futuro le previsioni sono pessimistiche in quanto il tratto di spiaggia tra la *piazza* e il promontorio di S. Cristo foro, se non vi saranno alimentazioni di materiali, è destinato inesorabilmente ad assottigliarsi, per cui con molta probabilità la scogliera di massi, gettati al piede della parete rocciosa, verrà prolungata verso ovest, con l'intento di proteggere altri tratti della passeggiata-strada; ma probabilmente ancora prima saranno gettati massi di protezione nel tratto immediatamente ad est della piazza, ove si stanno manifestando le maggiori riduzioni dell'ampiezza della spiaggia.

In un futuro non lontanissimo, tutto, o quasi tutto, il tratto di spiaggia antistante la passeggiata a mare, compreso fra la piazza in mare e il promontorio di S. Cristoforo, potrebbe essere sostituito da una lunga scogliera di massi di protezione dalle mareggiate, con una conseguente caduta dei valori ambientali, paesaggistici, turistici ed economici di questa bella baia e quindi dell'intero Monterosso.

La spiaggia antistante il borgo medievale è costituita da sabbie e ghiaie provenienti dal Macigno trasportate dal T. Pastanelli, e da materiali ofiolitici e calcarei arrivati per deriva litoranea dalla spiaggia di Fegina, che un tempo sorpassavano il promontorio di S. Cristoforo.

Oggi tale spiaggia è in arretramento, sia pure in maniera più blanda rispetto a quella di Fegina, poiché sono venuti a mancare i rifornimenti da ovest dopo la costruzione del molo di attracco delle imbarcazioni al piede del promontorio di S. Cristoforo, ed in seguito al fatto che la stessa spiaggia di Fegina, come detto, è in erosione.

La crisi di questa spiaggia è stata segnalata alle autorità competenti, le quali hanno costruito una scogliera parallela al litorale, con due varchi alle estremità, che però non risolve il problema della diminuzione del ripascimento naturale storico di questo arenile.

BIBLIOGRAFIA

Abbate, E. 1969. Geologia delle Cinque Terre e dell'entroterra di Levante (Liguria Orientale). *Mem. Soc. Geol. It. ,* 8: 923-1014.

Cortemiglia, G.C. & R. Terranova. 1969. La geologia marina delle Cinque Terre. *Argomenti,* 5/3: 142-156.

De Stefanis, A., M. Marini, R. Terranova, G. Canepa, M. Carli, G. De Luigi & M. Giorgi. 1978. Due esempi di analisi geomorfologica di dettaglio sui Promontori di Portofino e del Mesco della costa ligure. *Mem. Soc. Geol. It.,* 19: 153-160.

Fanucci, F., G. Fierro, J.P. Rehault & R. Terranova. 1974. Le plateau Continental de la Mer Ligure de Portofino a la Spezia: étude structurale et évolution plioquaternaire. *C.R. Acad. Se. Paris,* t. 279: 1151-1154.

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. Facoltà di Ingegneria dell'Università di Genova.*

Terranova, R. 1984. Aspetti geomorfologici e geologico-ambientali delle Cinque Terre: rapporti con le opere umane (Liguria orientale). *Studi e Ricerche di Geografia,* VII/1: 39-90.

Terranova, R. 1987. Atti della Riunione e guida alle Escursioni del Gruppo Nazionale di Geografia Fisica e Geomorfologia. Sestri Levante 22-25 giugno 1987. *Quad. Ist. Geol. Univ. Genova,* 8/5: 109-319.

Terranova, R. 1989. Il paesaggio costiero agrario terrazzato delle Cinque Terre in Liguria. *Studi e Ricerche dì Geografia,* XII/1: 1-58.

Verbas, C. 1978. Le Cinque Terre. *Studi e Ricerche di Geografia,* fase, unico: 17-114.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L
Alassio, 4-6 Novembre 1992 da
pag. 253 a pag. 263

ZOOPLANKTON STRUCTURE IN AN OXBOW OF THE PO RTVER (LOMBARDY: NORTHERN ITALY)

Raul PRIMICERIO, Anna OCCHIPINTI AMBROGI* e Ireneo FERRARI**

Sezione Ecologia, Dipartimento di Genetica e Microbiologia e Centro Interuniversitario di Ecologia delle Acque Interne, Università di Pavia.
*Present address: Dipartimento Scienze Ambientali, Università di Venezia.
**Istituto di Ecologia, Università di Parma.

RIASSUNTO

E' stata studiata l'evoluzione stagionale dello stato trofico e della struttura zooplanctonica in una lanca del fiume Po ad elevato grado di trofia. I campionamenti per lo studio del plancton e dei principali fattori chimici sono stati eseguiti dal marzo 1989 al luglio 1990 in tre stazioni. La clorofilla-a mostra elevate concentrazioni con picchi oltre i 100 µg/l che si verificano più volte nel periodo da febbraio ad ottobre. Lo zooplancton è costituito prevalentemente da forme di piccole dimensioni, soprattutto da rotiferi (oltre 12000 ind./l in aprile 1989), dal cladocero *Bosmina longirostris* (densità massima 87 ind./l) e da nauplii di ciclopoidi (densità massima 147 ind./l). In estate, quando le macrofite presenti raggiungono il massimo grado di ricoprimento, si osserva una marcata diminuzione dei valori di clorofilla-a e delle densità zooplanctoniche.

SUMMARY

The seasonal evolution of water trophic state and zooplankton structure in an eutrophic oxbow of the Po River was investigated. Samples of water for chemical analyses and zooplankton were collected from March 1989 to July 1990 at three stations. Chlorophyll-a attained very high concentrations (with a number of peaks over 100 µg/1) throughout the entire phytoplankton growing season, from February to October. The zooplankton was dominated by small-bodied forms, mainly represented by rotifers (over 12000 ind./l in April 1989), the cladoceran *Bosmina longirostris* (maximum density 87 ind./l) and cyclopoid nauplii (maximum density 147 ind./l). A significant decrease in both chlorophyll-a content and zooplankton density was observed in summer when the macrophyte cover reached its maximum.

1. INTRODUCTION

This paper summarizes the results of a research on the seasonal succession of zooplankton in an oxbow, locally called Chiappo, located in the middle stretch of the Po River, inside the Ticino Park. Samples were carried out monthly from March 1989 to July 1990 at three fixed stations. The research is a part of a project of investigations on the marginal riverine ecosystems of the Po Plain. Previous investigations on the Chiappo oxbow were carried out since March 1988, with special attention to hydrochemistry (Arlotti & Occhipinti Ambrogi, 1990), phytoplankton production (Occhipinti Ambrogi & Arlotti, 1992), and macrophyte, macrozoobenthos and fish fauna composition and distribution (Arlotti et al., 1991; Caravaggi et al., 1993).

2. THE STUDY SITE

The Chiappo oxbow is a small body of water with a surface less than 1 ha; its main axis (approximately 300 m) is running cast-west and its average depth is about 1 m with significant seasonal changes. It receives a remarkable nutrient load from two tributaries draining waters refluent from a small village and from the neighbouring cultivated land, principally from maize and rice fields. Water flows out of the oxbow at its eastern side into the Po River. Nevertheless, water renewal rate in the oxbow is quite low. The basin is bordered by a *Phragmites australis* belt. From 1988 to 1990 the floating leaves of *Nuphar luteum* have been progressively spreading from the eastern area to the central and western areas.

A rich fish community including tench, carp, perch, pike and other species typical of lentic waters has been observed.

3. MATERIALS AND METHODS

The three fixed stations in the oxbow were located lo the cast, in the centre and to the west and were called "Est" , "Centro" and "Ovest" respectively. Zooplankton samples were collected at each station by filtering 150 1 of water through a 15 l capacity Patalas trap equipped with 50 µm mesh net. In December and January a thick layer of ice covered the pond and zooplankton samples were collected only from the station "Est", after breaking the ice with a pickaxe.

Pluviometric data recorded at a meteorological station located inside the Ticino Park were taken into account. At each sampling date, from both surface and near-bottom layers water temperature and pH were measured and concentrations of dissolved oxygen, dissolved inorganic nitrogen, orthophosphate phosphorus, reactive silica and phytoplankton chlorophyll-a were determined following the methods illustrated by Arlotti & Occhipinti Ambrogi (1990) and Occhipinti Ambrogi & Arlotti (1992).

Zooplankton counting was made on rotifers, cladocerans and copepods, identified at the genus and species level. Diversity index according to Shannon & Weaver (1949) and dominance index according to Simpson (1949) were calculated for rotifer taxocoenosis. A multivariate gradient analysis (Detrended Canonical Correspondence Analysis) was applied lo zooplankton species densities and lo abiotic variables (precipitations, temperature, pH, dissolved oxygen, $N\text{-}NH_4$, $N\text{-}NO_2$, N-NO, , $P\text{-}PO_4$ and SiO_2) for different sampling stations and dates. Data were processed using the FORTRAN program "CANOCO"' for statistical analysis (Ter Braak, 1987; Ter Braak & Prentice, 1988).

4. RESULTS

4.1. Hydrochemislry and trophic state

Pluviometric data over the whole sampling period are given in Fig. 1. The variations in dissolved oxygen, $N\text{-}NO_3$, $P\text{-}PO_4$ and phytoplanklon chlorophyll-a contents are indicative of highly eutrophic conditions (Fig. 2, Fig. 3). Very high concentrations of nutrients, with maxima in summer-autumn for nitrates and in spring for reactive phosphorus, can be noted. Chlorophyll-a presented its maximum content (360.5 µg/l) in February and a sharp decrease in summer, coupled with reduced values in the concentration of dissolved oxygen, probably due lo the large cover of macrophytes and related decomposition processes during this season.

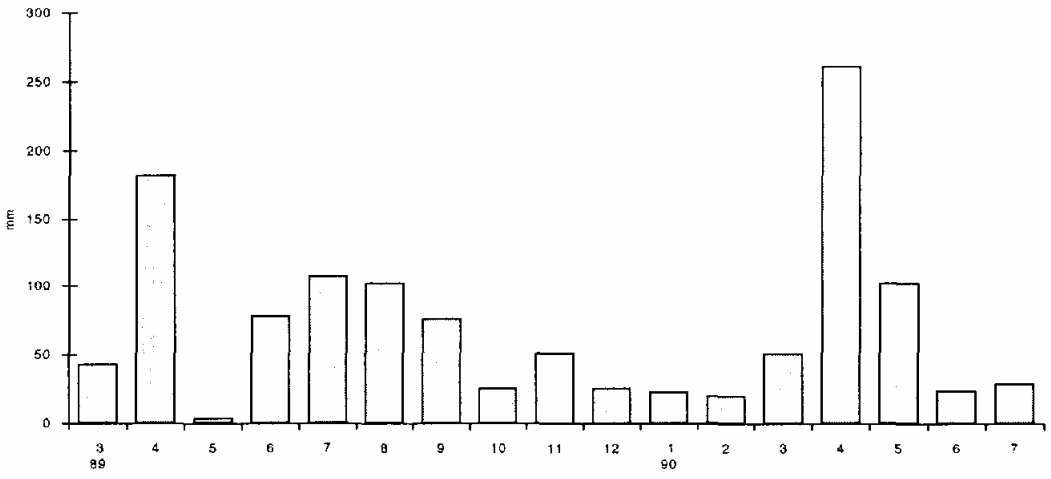


Fig. 1 - Monthly precipitation values recorded near the oxbow over the entire period of research.

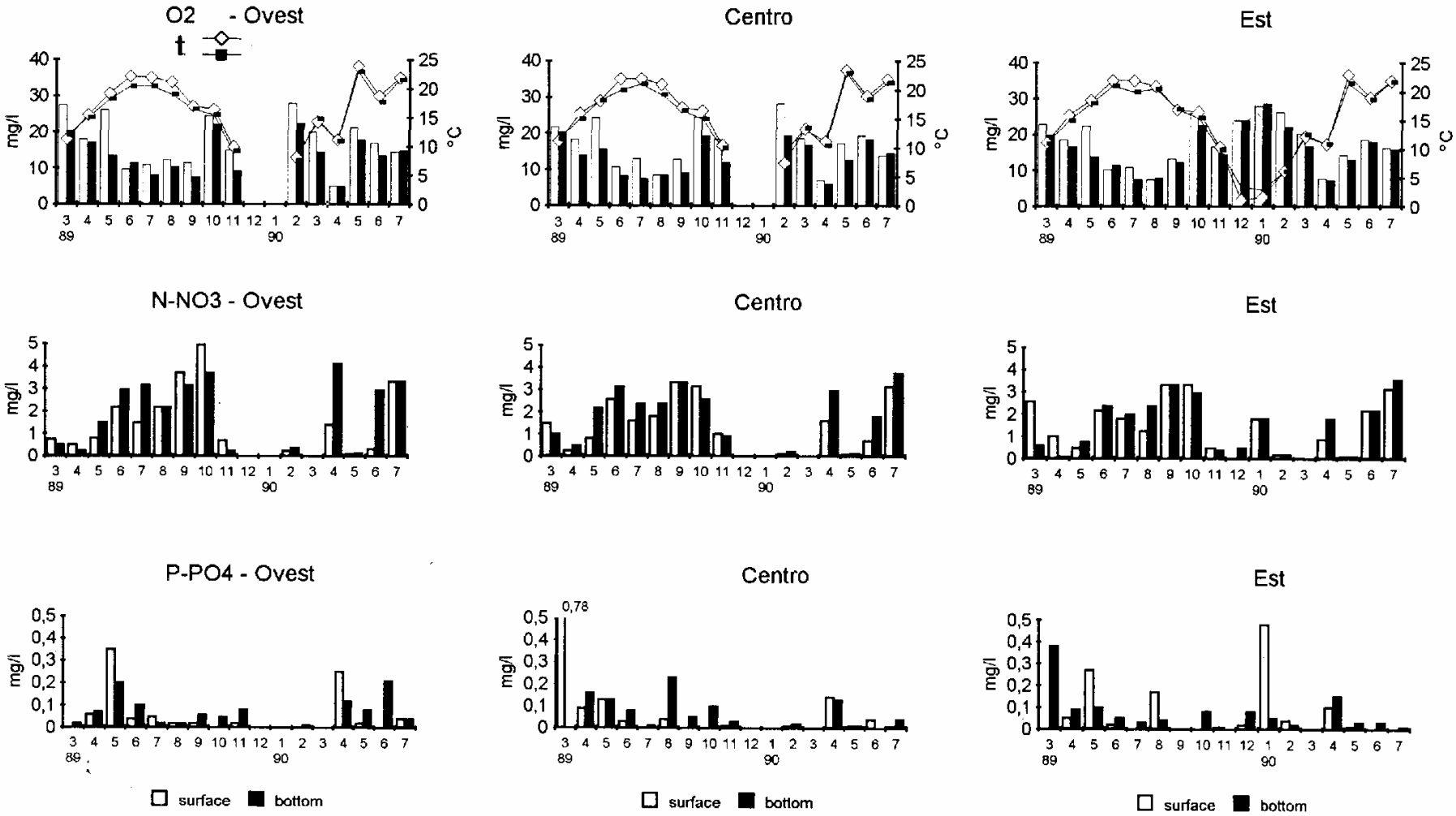


Fig. 2 - Seasonal changes in temperature and dissolved oxygen, nitrate and orthophosphate concentrations at the three sampling stations of the oxbow.

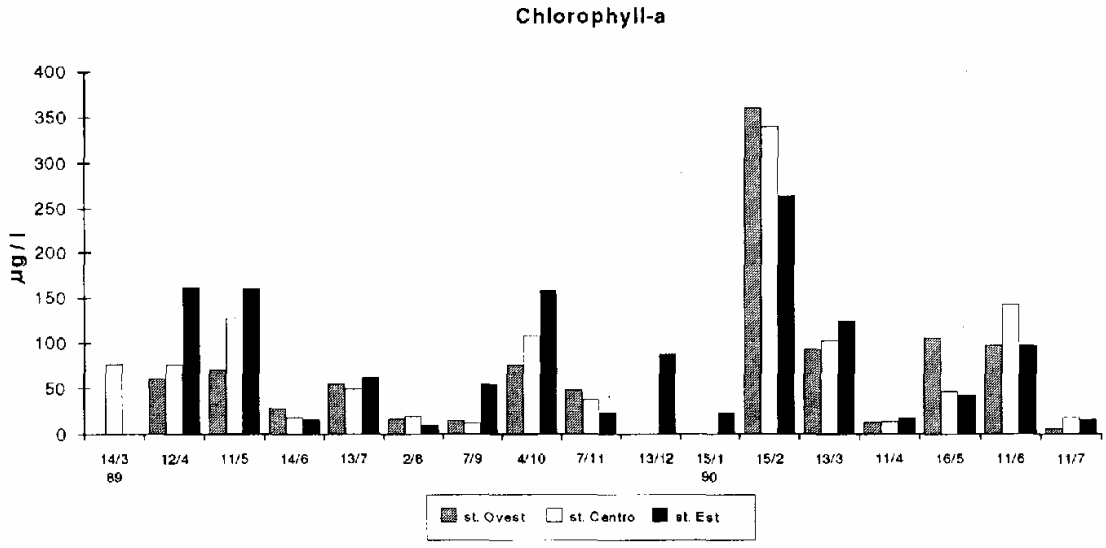


Fig. 3 - Concentration of phytoplankton chlorophyll *a* at the three sampling stations of the oxbow.

4.2 Zooplankton -

At least 39 taxa of rotifers and 4 species of cladocerans were found; all the copepod adults belonged lo the genus *Acanthocyclops* (Tab. 1).

The seasonal trends in zooplankton density were similar in the three stations. The highest values of total density were observed in spring of both years (Fig. 4), with a peak of 12362 ind./l in May 1989 at station "Ovest". A sharp decline in abundance occurred in August 1989, followed by a temporary increase in September. Zooplankton densities of over 1000 ind./l were noted in December 1989 and January 1990 in spite of the ice cover.

Rotifers were the most abundant group. They were almost exclusively represented by microfilter-feeding forms. The density of the raptorial *Asplanchna* was rather low: its maximum value was about 20 ind./l in May. The highest density was reached by *Keratelia cochlearis* (more than 10,000 ind./l in May 1989 and April 1990 at station "Ovest"). The succession of the dominant species was similar at the three stations; as an example, in Fig. 5 the succession observed at station "Est" is shown. *Keratelia cochlearis* dominated the community from autumn lo spring with the only exception of February and March when a cold stenothermal population of *Filinia* reached its maximum density. From late spring to summer the most important species were *Keratelia cochlearis tecta, Brachionus angularis, Polyarthra* and *Synchaeta.*

The cladoccran dominant species was *Bosmina longirostris,* with a maximum density in June 1989 at station "Ovest" (87 ind./l). The other species appeared only sporadically. No cladoceran was found in winter.

ROTIFERA
Bdelloidea
Brachionus angularis Gosse
B. budapestinensis Daday
B. calyciflorus Pallas
B. patulus (O.F. Müller)
B. quadridentatus Hermann
B. urceolaris (O.F. Müller)
Keratella cochlearis (Gosse)
K. cochlearis tecta (Lauterborn)
K. quadrata (O.F. Müller)
K. tropica (Apstein)
Notholca acuminata (Ehrenberg)
N. squamula (O.F. Müller)
Anuraeopsis fissa (Gosse)
Euchlanis sp.
Mytilina sp.
Trichotria pocillum (O.F. Müller)
Colurella sp.
Lepadella acuminata (Ehrenberg)
Lepadella sp.
Lecane flexilis (Gosse)
L. luna (O.F. Müller)
L. (Monostyla) hamata (Stokes)
L. (M.) bulla (Gosse)
Lecane (M.) closterocerca (Schmarda)
Lecane (M.) sp.
Monommata longiseta (O.F. Müller)
Cephalodella sp.
Trichocerca pusilla (Lauterborn)
Trichocerca sp.
Asplanchna sp.
Polyarthra sp.
Synchaeta sp.
Testudinella patina (Hermann)
Testudinella sp.
Filinia gr. *cornuta-brachiata*
Filinia gr. *longiseta-terminalis*

CLADOCERA
Bosmina longirostris (O.F. Müller)
Scapholeberis sp.
Chidorus sphaericus (O.F. Müller)
Alona rectangula Sars

COPEPODA
Acanthocyclops sp.

Table 1. - List of the zooplankton taxa found in the oxbow.

Calanoids were never observed; all copepods were cyclopoids. Adult individuals were somewhat rare, maximum density being 4 ind./l in spring 1990. Nauplii were more frequent: their maximum density was 147 ind./l at station "Est".

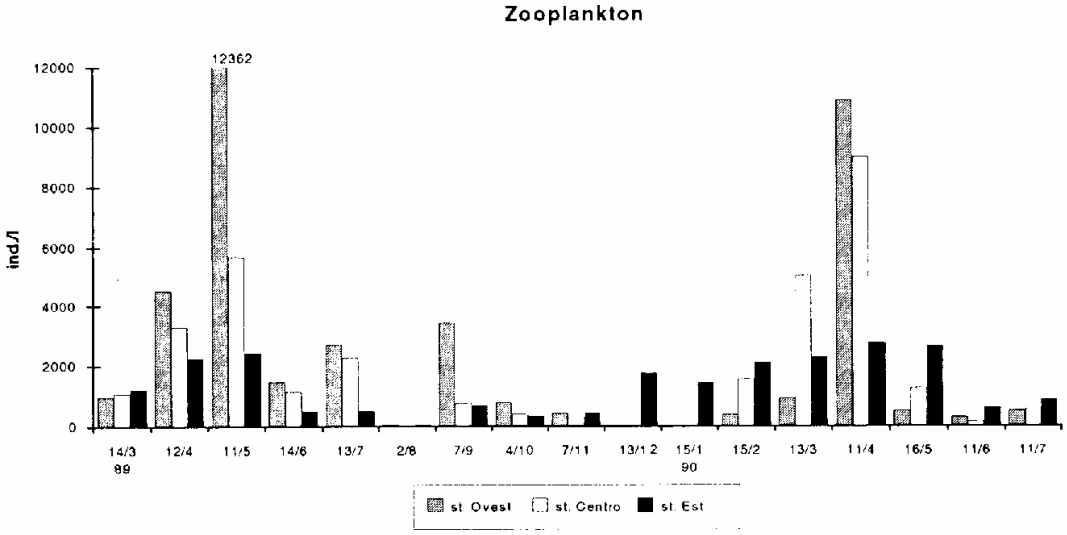


Fig. 4 - Seasonal change in zooplankton abundance at the three sampling stations of the oxbow.

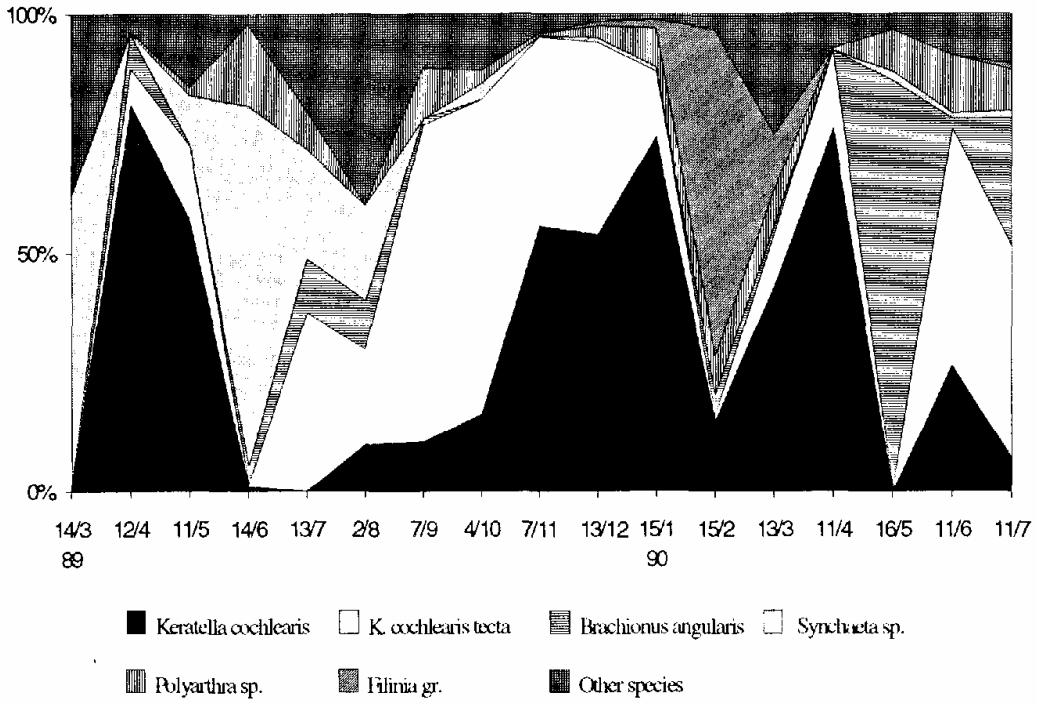


Fig. 5 - Percentage abundance of the rotifer dominant species on the total taxocoenosis at station "Est".

Rotifer diversity was at its maximum in summer; the low values of diversity observed in spring coincided with the strong dominance of *Keratella cochlearis* (Fig. 6).

The multivariate gradient analysis carried out on the pooled data from the three stations (Fig. 7) shows the first axis (45.2% of the variance) mainly associated with the nutrient contents (correlation with N-NO2, r=0.684). The second axis seems to be affected by seasonality (correlation with temperature, r =0.532).

The same multivariate analysis technique carried out separetely on the data from the single stations shows an interesting gradient along the major axis (cast-west). At station "Ovest" the first axis (40.1% of the variance) is strictly correlated with precipitation (r=0.543) and nutrient content (in particular with P-PO4, r=0.620). There is an obvious causal relationship between these factors in that the increase in precipitation enhances the nutrient load entering through the tributary canals. At stations "Centro" and "Est" the effects of precipitations and nutrient concentrations appear to be slighter. At station "Est" the first axis (29.4% of the variance) is highly correlated with temperature (r=0.532).

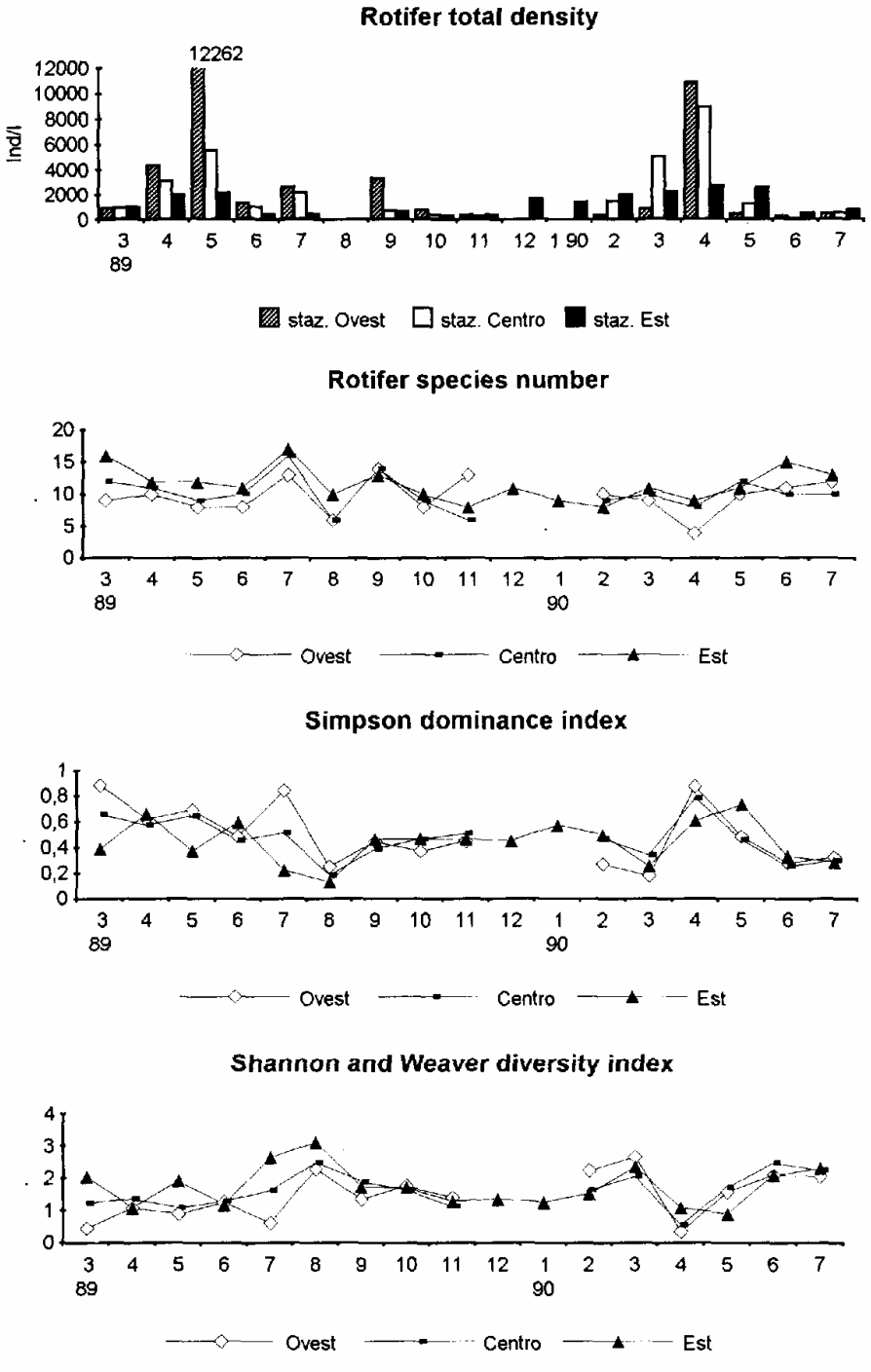


Figure 6 -Structural index applyied to the rotifers species counts at the three sampling stations.

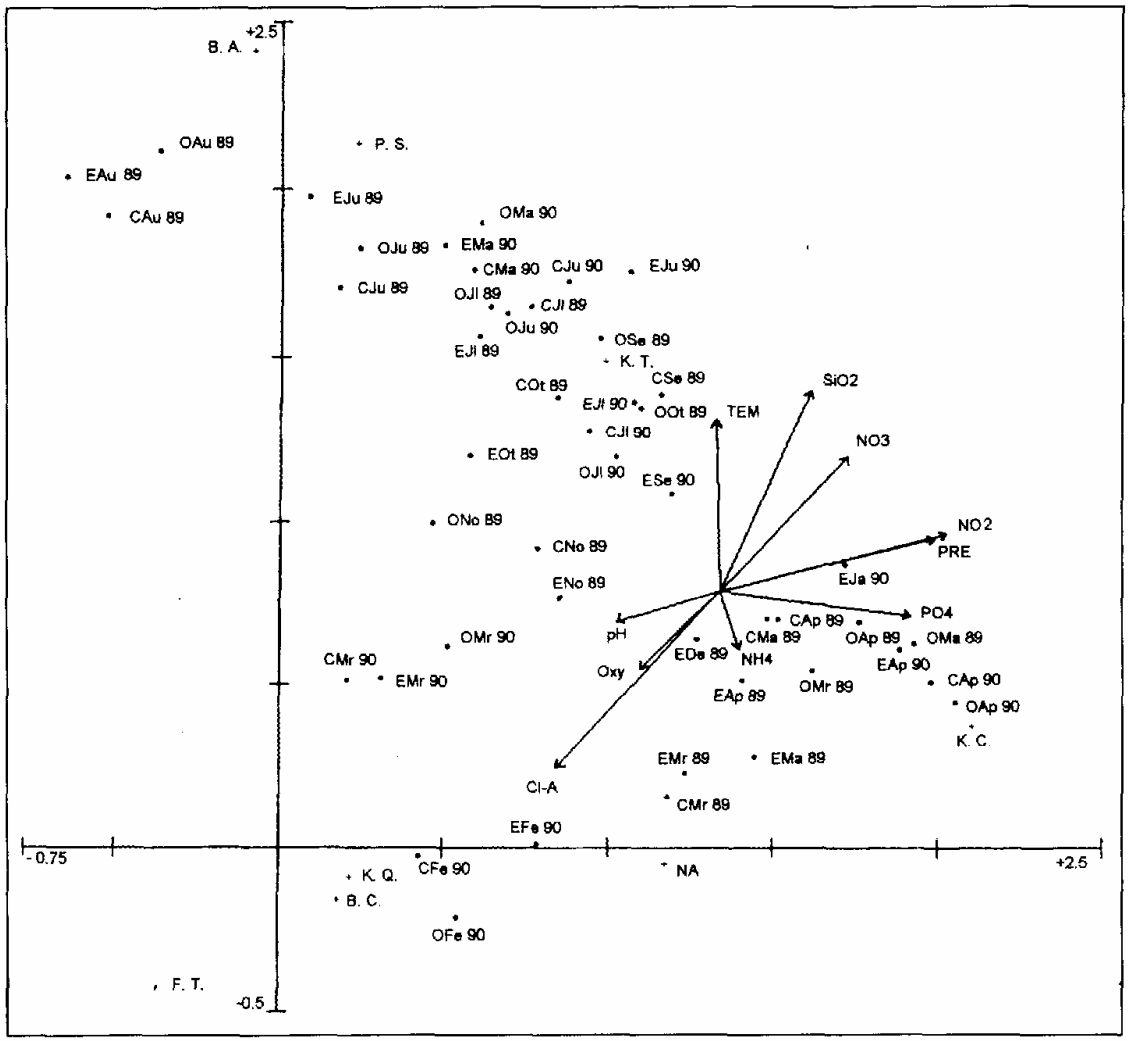


Fig. 7 - Multivariate gradient analysis of the pooled data from the three stations. Abbreviation taxa (marked +): B. A.=*Brachionus angularis*, B. C.=*Brachionus calyciflorus*, K. C.=*Keratella cochlearis*, K. T.=*K. cochlearis tecta*, K. Q.=*K. quadrata*, P. S.=*Polyarthra* sp., F. T.=*Filinia* gr., NA. =Nauplii of cyclopoids. Abbreviation samples (marked): E= Est, C= Centro, O= Ovest - Ja=January Fe=February, Mr=March, Ap=April, Ma=May,Ju=June, Jl=July, Au=August, Se=September, Ot=October, No=November, De=December - 89=1989, 90=1990 (e.g. EAu89= station Est, August 1989). Abbreviation environmental variables (associated to arrows): TEM=water temperature, Oxy=dissolved oxygen, pH=pH, Cl -A-=Chlorophyll *a*, PRE=precipitations, NO2=N-NO2, NO3=N-NO3, NH4=N-NH4, PO4=P-PO4, SiO2=SiO2.

5. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The elevated trophism of the oxbow is witnessed by the high nutrient concentrations and high phytoplankton and macrophyte biomass. Zooplankton is dominated by microfilter feeders: rotifers, small-sized cladocerans and juveniles of copepods. This

community structure is typical of eutrophic, shallow water bodies of the Po Plain, e.g. river side arms, irrigation canals, fish ponds, etc. (Ferrari et al., 1984,1991; Viaroli et al. , 1994). Zooplankton in the Chiappo oxbow shows indeed a peculiar feature, i.e. the complete absence of the macrofiltrator component represented by calanoids and *Daphnia.* Different factors can be involved in determining the simplified trophic structure, firstly the role of size-selective predation by fish or insects in reducing and eliminating the macrofiltrators (Brooks & Dodson, 1965; Carpenter et al., 1985); on the other hand, predators like *Asplanchna* or adult cyclopoids, which could significantily contain the abundance of microfilter feeding forms (Williamson & Gilbert, 1980), have a quite negligible density.

According lo Hillbricht-Ilkowska (1977), the overwhelming dominance of microfiltrators can be related with the sharp prevalence, usually occurring in eutrophic waters, of the detritus chain over the grazing "channel" of energy transfer from primary producers lo consumers. The large macrophyte biomass in the oxbow strengthens this effect, contributing lo produce a food suspension for zooplankton mainly consisting of small bacterial-detritus aggregates, which are effectively ingested and assimilated by microconsumers. In spite of the dominance of small-sized zooplankters, the hypothesis of a significant control of these organisms on phytoplankton biomass in the oxbow does not seem lo be groundless: an inverse relationship between chlorophyll-a content and zooplanklon total density can be observed for the last period of the sampling campaign, from February lo July 1990.

The analysis of seasonal changes in rotifer species densities showed a succession with a winter-spring phase dominated by *Filinia* sp. and *Keratella cochlearis* followed by a spring-summer phase with a clear dominance of other brachionid species, in particular *Keratella cochlearis tecta* and *Brachionus angularis.* The well known successional trend of *Keratella,* from a morph with a long spine to a morph without spine in relation lo the increase in both water temperature and trophic degree (Rutner-Kolisko, 1974), was formerly observed in other shallow waters of the Po Plain (Ferrari et al., 1991). The abrupt drop in zooplankton abundance in August 1990 was closely associated to a significant decrease in chlorophyll-a content; this temporary depression of the plankton compartment may be related with the harsh conditions brought about by decomposition of the large amount of macrophyte biomass.

Acknowledgements

Thanks are due to Mr, E. Ramaioli (Metereological Station of Cura Carpignano, Pavia) for the pluviometric data.

REFERENCES

Arlotti, D. & A. Occhipinti Ambrogi. 1990. Ricerche ecologiche in ecosistemi stagnali lombardi: dinamica chimico-fisica di una lanca di Po. *Riv. Idrobiol., 29:* 563-585.

Arlotti, D, G. Caravaggi, A. Occhipinti Ambrogi, C. Fez/otta & C. Sacchi, 1991. Fattori chimico-fisici e popolamento macrobentonico in una lanca di Po. IRSA (1991) Atti del Convegno "La qualità delle acque del fiume Po negli anni '90", Ferrara 18-20 aprile 1991. *Quad. Ist. Ric. Acque,* 92: SP/ 29.1-SP/29.4.

Brooks, J. L. & S. I. Dodson. 1965. Predation body size and composition of plankton. *Science,* 150: 28-35.

Caravaggi, G., A. Occhipinti & C. Pezzotta. 1993. Dinamica dei popolamenti macrobentonici su diversi substrati vegetali in una lanca di Po. *Mem. Soc. Tic. Sci. Nat.,* 4:205-217.

Carpenter, S. R., J. F. Kitchell & J. R. Hodgson. 1985. Cascading trophic interactions and lake productivity. *Bioscience,* 35: 634-639.

Ferrari, I., A. De Marchi, P. Menozzi, F. Minzoni & F. Piccoli. 1984. Heleoplankton seasonal succession in an experimental ricefield in Northern Italy. *Verh. Internat. Verein. Limnol,* 22: 1711-1716.

Ferrari, I., A. Farabegoli, A. Pugnetti & E. Stella. 1991. The occurrence of a calanoid Australasian species *Boeckella triarticulata* (Thomson), in fish ponds of Northern Italy. *Verh. Internal. Verein. Limnol.,* 24: 2822-2827.

Hillbricht-Ilkovska, A. 1977. Trophic relations and energy flow in pelagic plankton. *Pol. ecol.Stud.,3,(l):3-98.*

Occhipinti Ambrogi, A. & D. Arlotti. 1992. Stato trofico di un ecosistema stagnale pavese: produzione primaria e nutrienti in soluzione. Atti IX Congresso A.I.O.L., S. Margherita Ligure, novembre 1990: 105-118.

Ruttner-Kolisko, A. 1974. *Plankton rotifers. Biology and taxonomy.* Die Binnengewasser, 26, 1. Stuttgart, 146 pp.

Shannon, C. E. & W. Weaver. 1949. *The Mathematical theory of communication.* Urbana, Univers. of Illinois Press, 117 pp.

Simpson, E. H. 1949. Measurement of diversity. *Nature,* 163: 688.

Ter Braak, C.J.F. 1987. *CANOCO - a FORTRAN Program far Canonical Community Ordination by [Partial] [Detrended] [Canonical] Correspondence Analysis, Principal Componente Analysis and Redundancy Analysis (Version 2.1).* Agriculture Mathematics Group, Wageningen.

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

Viaroli, P., C. Bondavalli, G. Giordani, G. Paris & G. Rossetti. 1994. Ricerche idrobiologiche in un bacino artificiale della golena del Po (Isola Gerola, Piacenza). Atti X Congresso A.I.O.L., Alassio, novembre 1992 (in this volume).

Williamson, C. E. & J.J. Gilbert. 1980. Variation among zooplankton predators: the potential of *Asplanchna, Mesocydops,* and *Cyclops* to attack, capture and cat various rotifer prey. In: W. C. Kerfoot (Ed.) *Evolution and Ecology of Zooplankton Communities.* Univ. Press New England: 509-517.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L.
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da pag. 265 a. pag. 276

RICERCHE IDROBIOLOGICHE IN UN BACINO ARTIFICIALE DELLA GOLENA DEL PO (ISOLA GIAROLA, PIACENZA)

Pierluigi VIAROLI, Castina BONDAVALLI, Gianmarco GIORDANI, Gianmarco PARIS e Giampaolo ROSSETTI

Istituto di Ecologia, Università di Parma, Viale delle Scienze, 43100 Parma

SUMMARY

During the last years sand quarrying along the Po River originated a great number of artificial lakes. One of these new-formed basins (Lake of Isola Giarola) was investigated. Water samples for chemical analyses as well as phytoplankton and zooplankton samples were collected monthly from September 1991 to September 1992. The high trophism was witnessed by particularly high nitrate concentrations; total phosphorus highest concentrations were recorded after river floods. The effects of inflow from the river on lake's hydrochemistry were also indicated by fluctuations in ion concentration: conductivity values, which were usually ranging between 500 and 750 µS cm^{-1}, fell below 350 µS cm^{-1} after floods. Dissolved oxygen concentrations were rather low in deep waters during summer: a considerable oxygen deficit also persisted during the autumn overturn water. Plankton composition was typical of shallow eutrophic waters; it appeared to be highly diversified and strongly structured, in spite of the disturbance represented by floods and resuspension of sediments due to sand quarrying.

1. INTRODUZIONE

Gli ambienti acquatici marginali costituiscono elementi peculiari del paesaggio fluviale. Si tratta di zone umide temporanee e di corpi d'acqua permanenti idonei alla riproduzione di numerose specie ittiche e alla nidificazione dell'avifauna palustre (Heckman, 1984). L'elevata diversità biologica propria di questi ambienti è una risorsa che rischia di essere compromessa dall'eccessiva regimazione dell'alveo fluviale e dall'estendersi ed intensificarsi di azioni di disturbo antropico. Negli ultimi anni un notevole sforzo di ricerca è stato rivolto alle questioni di gestione e conservazione delle /.one umide e dei corpi d'acqua marginali; con particolare attenzione si è indagato sul loro ruolo nella regolazione degli scambi tra il bacino scolante e il corso d'acqua come recettore terminale (Howard-Williams, 1986; Wetzel, 1991; Osborne & Kovacic, 1993).

Gli ambienti marginali del Po conservano frequentemente un rilevante valore naturalistico (Sacchi et al., 1991) ma in generale si connotano per un grave stato di compromissione dovuto all'incidenza ed estensione delle attività umane. I problemi di gestione si presentano quanto mai complessi, anche perché non esiste una solida tradizione di ricerche ecologiche. Ci occupiamo qui di un caso particolare che riguarda i corpi d'acqua che nelle golene del tratto medio del Po sono andati recentemente formandosi su cave di sabbia dismesse e non ritombate. Si tratta per lo più di laghi di dimensioni considerevoli (la profondità massima può raggiungere i 10 m) che sono periodicamente sommersi dalle piene del fiume. Il caso ci sembra significativo perché

investe contemporaneamente problemi di ricerca e problemi dì recupero e ricostruzione di ambienti degradati, per i quali mancano del tutto conoscenze di base che consentano di programmarne la gestione in rapporto alle possibili destinazioni d'uso.

Presentiamo i risultati del primo anno di una ricerca condotta su uno di questi bacini artificiali, il Lago di Isola Giarola (Piacenza). Lo studio, iniziato nel settembre 1991, è tuttora in corso con gli obiettivi di stimare le variazioni di stato trofico del sistema acquatico, fornire un primo quadro di conoscenze sui processi correlati al ciclo dei nutrienti e analizzare la struttura e la successione stagionale dei popolamenti planctonici.

2. MATERIALI E METODI

Il Lago artificiale di Isola Giarola è situato nella golena del Po ai confini tra le provincie di Parma e Piacenza. Il bacino, formato in una cava di sabbia tuttora coltivata nella parte più meridionale, è periodicamente alimentato dalle piene del Po e dalle acque particolarmente inquinate del Cavo Fontana. L'incile del lago è posto alla quota di 29.3 m s.l.m. alla quale corrispondono attualmente una profondità massima di circa 10 m, una superficie di circa 7 ha ed un volume di circa 250000 m^3 (Fig. 1). Il "piano di campagna" si trova ad una quota compresa tra i 32 e i 34 m s.l.m. e può essere completamente sommerso dalle acque del fiume.

Dal settembre 1991 al settembre 1992 sono stati effettuati al lago nove sopralluoghi, durante i quali sono stati raccolti campioni d'acqua per le analisi chimiche a diverse quote batimetriche da una stazione fissa, localizzata in corrispondenza della massima profondità. In questa nota sono illustrate le sequenze temporali dei principali parametri idrochimici relativamente alle quote batimetriche di 2, 4 e 8 m. Sono stati analizzati anche campioni d'acqua prelevati in superficie nel Cavo Fontana e nel Po (Fig. 1). Su ciascun campione sono stati determinati: pH, conducibilità, alcalinità (Rodier, 1984), ossigeno disciolto (APHA, 1975), azoto nitrico (Rodier, 1984), nitroso (APRA, 1975), ammoniacale (Koroleff, 1970), fosforo disciolto e particellato (Valderrama, 1981), solfati (Liberti, 1972), cloruri (Florence & Farrar, 1971), calcio, magnesio e sodio (Philips PU 7450 ICP), potassio (AAS - Perkin Elmer 303) e clorofilla-a (APHA, 1975). Inoltre ad ogni sopralluogo sul lago sono state determinate la temperatura alle diverse profondità con Thermistor Idronaut e la trasparenza con disco di Secchi.

Dalla stazione fissa del lago ad ogni sopralluogo sono stati prelevati anche campioni per l'analisi del fitoplancton e dello zooplancton. Per lo studio del fitoplancton campioni di 100 mi d'acqua, raccolti con bottiglia di Ruttner a varie quote batimetriche e immediatamente fissati con soluzione di Lugol acetico, in laboratorio sono stati integrati in un unico campione su cui si è poi proceduto al conteggio con microscopio invertito secondo Utermöhl (1958). I biovolumi sono stati calcolati approssimando la morfologia delle cellule algali alle forme di solidi geometrici seguendo le raccomandazioni di Rott (1981). Ci limitiamo qui a presentare i risultati dei conteggi del fitoplancton per due date di campionamento, il 25 settembre 1991 e il 24 luglio 1992.

I campioni di zooplancton sono stati raccolti mediante una rete ad apertura di maglia di 50 l4.m trainata sulla verticale dalla profondità massima alla superficie. Immediatamente dopo il prelievo i campioni sono stati fissati con formalina neutra. Il conteggio è stato fatto al microscopio ottico su un numero variabile di subcampioni estratti dal campione originale portato a volume noto con pipetta di Stempel da 1 ml. Si è proceduto alla classificazione, per lo più a livello di specie, per Rotiferi, Cladoceri e Copepodi. Le specie di Copepodi Ciclopoidi sono state classificate solo su individui adulti.

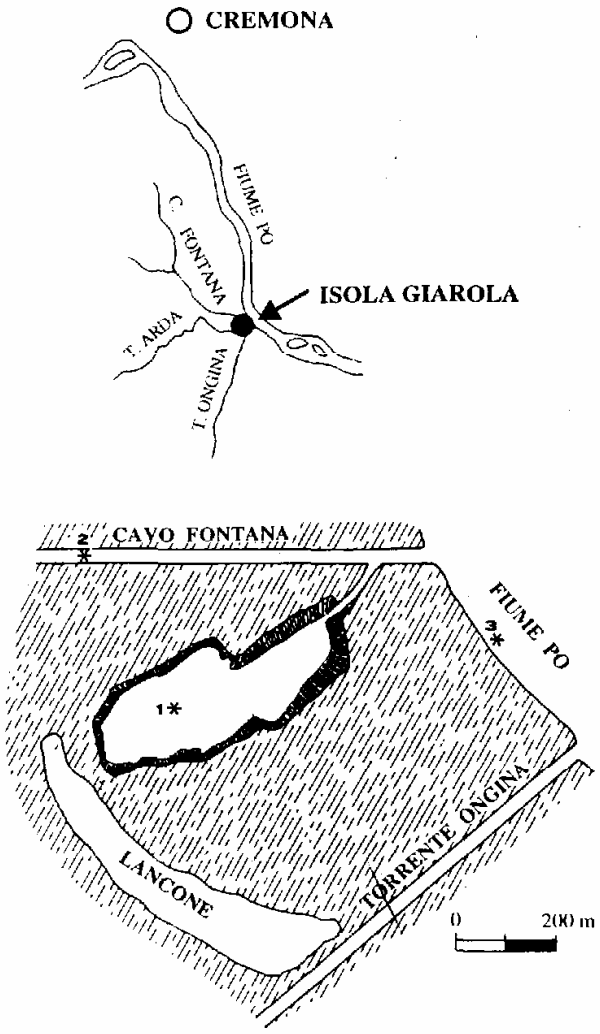


Fig. 1 - Mappa del Lago artificiale di Isola Giarola e dell'area oggetto dell'indagine: sono indicate le stazioni di campionamento.

3. RISULTATI 3.1. Idrochimica

In settembre 1991, si ha una debole stratificazione termica con una differenza di soli 2 °C tra l'acqua di superficie e quella di massima profondità; il deficit di ossigeno è piuttosto accentuato da -4 m al fondo; modeste sono le concentrazioni sia del fosforo disciolto e particellato che della clorofilla-a (Fig. 2). Ai primi di novembre le acque sono in piena circolazione ma il deficit di ossigeno permane sul 50% su tutta la colonna; sono evidenti alcuni effetti del rialzo di portata del fiume, in particolare una netta diminuzione della conducibilità e un significativo aumento del fosforo disciolto e particellato e

dell'azoto ammoniacale. D'inverno è stata osservata inversione termica dovuta probabilmente all'infiltrazione di acque di falda più calde: all'interfaccia acqua-sedimento si instaurano condizioni riducenti con elevate concentrazioni di azoto ammoniacale (Fig. 2).

Nella stagione di crescita delle alghe si sono avuti due distinti picchi di clorofilla-a (20 $\mu g\ l^{-1}$ in marzo e 55 $\mu g\ l^{-1}$ in luglio); il picco estivo è stato riscontrato poche settimane dopo la piena di giugno, in corrispondenza della quale si possono osservare un aumento rilevantissimo di nutrienti (sia azoto che fosforo) e una sensibile caduta della conducibilità. Il contenuto di clorofilla-a resta alto anche agli inizi di settembre 1992; in questa occasione sono molto basse le concentrazioni di fosforo disciolto e nitrati, resta sensibilmente alta quella dell'azoto ammoniacale e il deficit di ossigeno è rilevante su tutta la colonna (Fig. 2).

Le acque del bacino presentano mediamente un'elevata forza ionica, con conducibilità comprese tra 250 e 750 $\mu S\ cm^{-1}$. La composizione media dello spettro ionico dell'acqua del lago non è significativamente diversa da quella dei corsi d'acqua contigui. Tra i cationi prevalgono calcio e magnesio, tra gli anioni bicarbonati e carbonati (Tab. 1).

L'idrochimica del lago risente in larga misura delle variazioni di portata del Po e dei carichi inquinanti veicolati sia dal Po che dal Cavo Fontana (Fig. 3). Nella fase iniziale delle piene del Po, le acque fortemente arricchite del Cavo Fontana non defluiscono al fiume e si riversano nella cuvetta lacustre. Ciò rende conto del vistoso incremento delle concentrazioni di nutrienti che si ha nel lago in corrispondenza di rialzi

Tab. 1 - Composizione dello spettro ionico osservata in novembre 1991, durante la piena circolazione autunnale del lago.

		F. Po	C. Fontana	Lago
Conducibilità	($\mu S\ cm^{-1}$)	361	873	312
pH		7.89	7.86	7.82
Somma anioni	(meq L^{-1})	3.82	8.29	3.62
Bicarbonato	(%)	62.29	78.85	73.40
Solfato	(%)	14.92	7.96	16.93
Cloruro	(%)	9.60	12.24	6.63
Nitrato	(%)	13.19	0.95	3.04
Somma cationi	(meq L^{-1})	3.61	9.27	3.05
Calcio	(%)	60.56	49.90	63.60
Magnesio	(%)	23.06	23.08	21.97
Sodio	(%)	13.84	20.71	11.48
Potassio	(%)	1.94	4.96	2.46
Ammonio	(%)	0.60	1.35	0.49

rilevanti della portata del fiume. Ma nel caso di piene eccezionali, come quella dell'autunno 1991, le acque del fiume possono sommergere il lago e determinano, in definitiva, una sensibile diluizione delle acque del bacino lacustre, come è evidenziato dalla netta diminuzione della conducibilità.

Fitoplancton

L'elenco dei taxa e i rispettivi valori di densità e biovolume nei due campioni conteggiati sono riportati in Tab. 2. Nel settembre 1991 il biovolume totale è piuttosto modesto (0.240 $mm^3 l^{-1}$) ed è per più della metà sostenuto da Cloroficee, che sono anche il gruppo con il più alto numero di specie. In luglio, in corrispondenza del massimo stagionale di clorofilla-a, sono molto più alti sia il biovolume (3.645 $mm^3 l^{-1}$) che il

Tab. 2 - Densità (cell l^{-1}) e biovolume ($mm^3 l^{-1}$) dei taxa fitoplanctonici identificati nei campioni raccolti nel settembre 1991 e nel luglio 1992.

25.09.1991		
CRISOFICEE		
Chrysochromulina parva LACKEY	22076	0.0045
Dinobryon cilindricum IMHOF	15257	0.0035
Kephyrion sp.	44152	0.0058
CLOROFICEE		
Closterium sp.	7042	0.0035
Coenococcus sp.	198684	0.0080
Crucigenia sp.	198685	0.0681
Oocystis sp.	118119	0.0205
Pediastrum duplex MEYEN	8800	0.0114
CRIPTOFICEE		
Cryptomonas sp.	28166	0.0425
Rhodomonas sp.	11038	0.0016
DINOFICEE		
Ceratium furcoides (LEVANDER) LANGHANS	200	0.0158
Peridinium sp.	700	0.0287
DIATOMEE		
Cyclotella sp.	11038	0.0042
EUGLENOFICEE		
Euglena sp.	1174	0.0055
Trachelomonas sp.	7042	0.0166
TOTALE	672173	0.2404

24.07.1992		
CIANOFICEE		
Anabaena sp.	212270	0.0240
Oscillatoria planctonica WOL.	43833708	1.8591
Snowella sp.	382086	0.0040
CRISOFICEE		
Stichoglea doederleinii (SCHMIDLE) WILLE	84908	0.0174
CLOROFICEE		
Ankistrodesmus sp.	360859	0.0222
Carteria sp.	318405	0.2001
Closterium sp.	6771	0.0211
Coelastrum sp.	1846747	0.1209
Coenococcus sp.	21227	0.0057
Kirchneriella sp.	551901	0.0074
Mougeotia sp.	13541	0.0176
Oocystis sp.	127362	0.0192
Scenedesmus acutus MEYEN	84908	0.0128
Scenedesmus sp.	148589	0.0195
CRIPTOFICEE		
Cryptomonas sp.	212270	0.2001
Rhodomonas minuta SKUJA	42454	0.0060
Rhodomonas sp.	339632	0.0576
DINOFICEE		
Peridinium sp.	20312	0.1441
DIATOMEE		
Cyclotella sp.	785398	0.3701
Synedra acus KÜTZ.	121872	0.0653
EUGLENOFICEE		
Phacus sp.	13541	0.4505
TOTALE	49528761	3.6446

numero totale di specie. A quest'ultimo contribuiscono ancora principalmente le Cloroficee, mentre il biovolume è rappresentato per oltre il 50% dalla cianoficea *Oscillatoria planctonica.*

Zooplancton

Nello zooplancton (Tab. 3) si possono riconoscere tre distinti comparti trofici: macrofiltratori *(Eudiaptomus* sp., *Diaphanosoma brachyurum* e tre specie del genere *Daphnia: D. ambigua, D. galeata* e *D. hyalina),* microfiltratori *(Bosmina longirostris,* gli stadi giovanili di Copepodi e quasi tutte le specie di Rotiferi) e predatori (due specie di Rotiferi del genere *Asplanchna* e tre di Ciclopoidi: *Cyclops vicinus, Acanthocyclops vernalis* e *Thermocyclops crassus).*

Tab. 3 - Elenco dei taxa zooplanctonici identificati nei campioni raccolti dal settembre 1991 al settembre 1992.

ROTIFERI
Bdelloidei
Brachionus angularis
Brachionus diversicornis
Brachionus falcatus
Keratella tropica
Keratella testudo
Keratella gr. *quadrata*
Keratella cochlearis
Keratella cochlearis tecta
Kellicottia longispina
Notholca squamula
Lepadella sp.
Lecane furcata
Lecane gr. *lunaris*
Lecane closterocerca
Cephalodella sp.
Trichocerca spp.
Ascomorpha sp.
Synchaeta spp.
Polyarthra spp.
Asplanchna priodonta
Asplanchna girodi-brightwelli
Pompholyx sulcata
Filinia longiseta-terminalis
Filinia brachiata
Filinia opoliensis
Hexarthra mira
Conochilus sp.
Collotheca sp.
Rotiferi non identificati

CLADOCERI
Diaphanosoma brachyurum
Bosmina longirostris
Ceriodaphnia sp.
Daphnia ambigua
Daphnia galeata
Daphnia hyalina
Moina micrura
Disparalona rostrata

COPEPODI
Cyclops vicinus
Acanthocyclops vernalis
Thermocyclops crassus
Eudiaptomus sp.
Ergasilidae

In tutte le date di campionamento i Rotiferi costituiscono la componente più importante sia come numero di specie che in termini di densità (Fig. 4 A). Da settembre a dicembre si osserva un trend decrescente dell'abbondanza totale; si ha una lenta ripresa alla fine dell'inverno, seguita da un primo picco di densità a metà maggio (641 ind l^{-1}). A fine luglio si riscontra il massimo stagionale di 1186 ind l^{-1}; nel settembre 1992 si osserva un'ulteriore netta contrazione numerica della taxocenosi, che si riporta ai valori di abbondanza del settembre dell'anno precedente. La caduta di densità di line giugno coincide con le alte portate del Po e l'ingressione di acque fluviali nel bacino. Nel

settembre 1991 soltanto *Filinia opoliensis* (48 ind l^{-1}) e *Polyarthra* spp. (48 ind l^{-1}) presentano densità rilevanti; *Polyarthra* continua a essere dominante fino a marzo, con l'eccezione di febbraio, quando è dominante *Synchaeta* con 46 ind l^{-1}. Da maggio a luglio *Keratella cochlearis* e *Keratella cochlearis teda* sono le forme più importanti della taxocenosi; entrambe le specie sono ai loro massimi stagionali alla fine di luglio (rispettivamente con 441 e 396 ind l^{-1})- In questa data sono al loro massimo anche le densità di *Polyarthra* spp. (145 ind H) e di *Pompholyx silicata* (174 ind l^{-1}). Nel settembre 1992 torna ad essere dominante *Synchaeta* con 61 ind l^{-1}. *Asplanchna priodonta* è presente in tutti i campioni esaminati con un massimo di circa 7 ind l^{-1} a metà maggio; *Asplanchna girodi-brightwelli è* stata rinvenuta, ma con abbondanze trascurabili, soltanto in settembre e luglio.

Nei mesi autunnali e invernali la densità totale dei Cladoceri è caratterizzata da valori molto contenuti; dalla primavera si osserva un trend crescente che culmina col massimo stagionale del settembre 1992 (Fig. 4 B). *Bosmina longirostris* e *Daphnia* spp. sono state rinvenute in tutte le date di campionamento. *Bosmina* è particolarmente abbondante in luglio (26 ind l^{-1}) e nel settembre 1992 (44 ind l^{-1}); *Daphnia ambigua* e *Daphnia goleata* raggiungono le densità più rilevanti (da 2 a 3 ind l^{-1}) in novembre e in giugno (ma *D. galeata* anche nel settembre 1991). Più modesta appare l'incidenza numerica di *D. hyalina. Diaphanosoma brachyurum* e *Moina micrura* compaiono soltanto nei mesi estivi e con densità sempre inferiori a 1 ind l^{-1}. *Ceriodaphnia* sp. e *Disparalona rostrata* sono state trovate occasionalmente con densità trascurabili.

Tra i Copepodi, i naupli e i copepoditi di Ciclopoidi sono le forme dominanti in tutte le date di campionamento, con densità particolarmente elevate da maggio a settembre (Fig. 4 B), quando contribuiscono in larga misura alle alte densità che si osservano in questi mesi. Gli adulti di Ciclopoidi seguono trend di abbondanza nettamente sfasati: *Cyclops vicinus* è al suo massimo in febbraio e marzo, mentre *Acanthocyclops vernalis* raggiunge le più alte densità (sensibilmente superiori a 1 ind l^{-1}) dal giugno al settembre 1992. Il calanoide *Eudiaptomus* sp. mostra un'evidente depressione numerica nei mesi più caldi e due distinti massimi di densità, uno primaverile (da marzo a maggio) e uno tardo estivo-autunnale, sostenuti prevalentemente da forme giovanili. Il massimo stagionale (25 ind l^{-1}, di cui 3 di adulti) è stato osservato in maggio.

4. DISCUSSIONE

L'elevato trofismo del Lago di Isola Giarola risalta principalmente dai dati di giugno (elevatissime concentrazioni di azoto e fosforo) e, in successione, da quelli di luglio relativi alla biomassa fitoplanctonica che è decisamente alta e per di più prevalentemente rappresentata da Cianoficee. Piuttosto marcato è inoltre il deficit di ossigeno delle acque più profonde non solo durante la stratificazione estiva ma anche all'inizio della piena circolazione autunnale. Il carico eutrofizzante è portato dalle acque del Cavo Fontana che sono dirottate verso il lago quando il loro deflusso è ostacolato dall'innalzamento del livello idrometrico del fiume Po. Se questo s'innalza oltre il limite del "piano di campagna", il bacino artificiale può essere completamente sommerso: si ha allora, come si è visto dai dati di giugno, un effetto di diluizione che si esprime in una riduzione sensibile delle concentrazioni ioniche nelle acque del lago.

Nonostante il pesante impatto di queste fonti di disturbo (ma non si deve dimenticare l'effetto perturbante rappresentato dall'estrazione di sabbia) il Lago di Isola Giarola mostra una notevole autonomia di caratteristiche sia idrochimiche che idrobiologiche. A tale riguardo particolarmente significativi appaiono i risultati dello

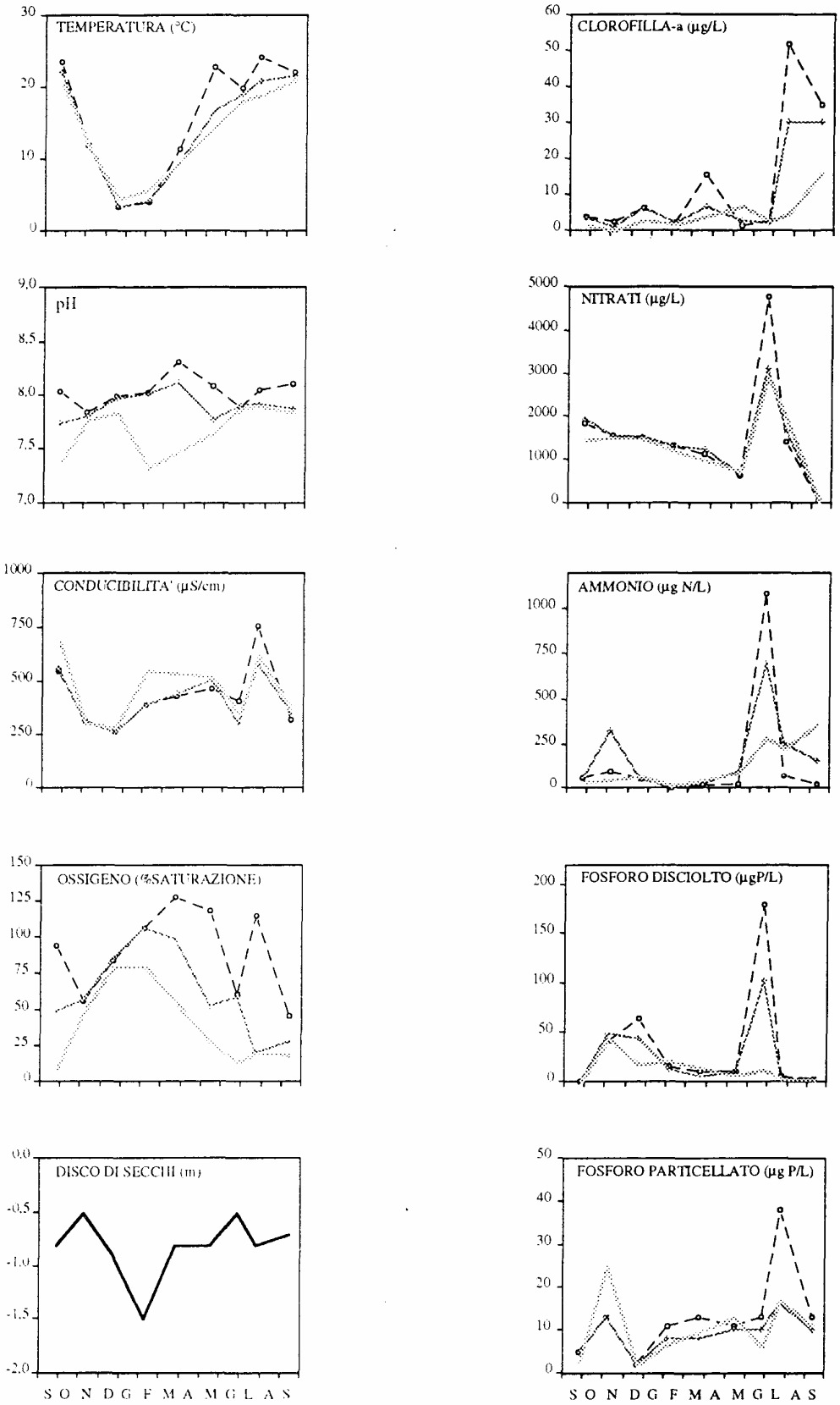


Fig. 2 - Variabili fisiche e chimiche determinate a tre quote batimetriche lungo la colonna di massima profondità del lago artificiale dal settembre 1991 al settembre 1992.

– – – = - 2 m ····· = - 4 m ····· = - 8 m

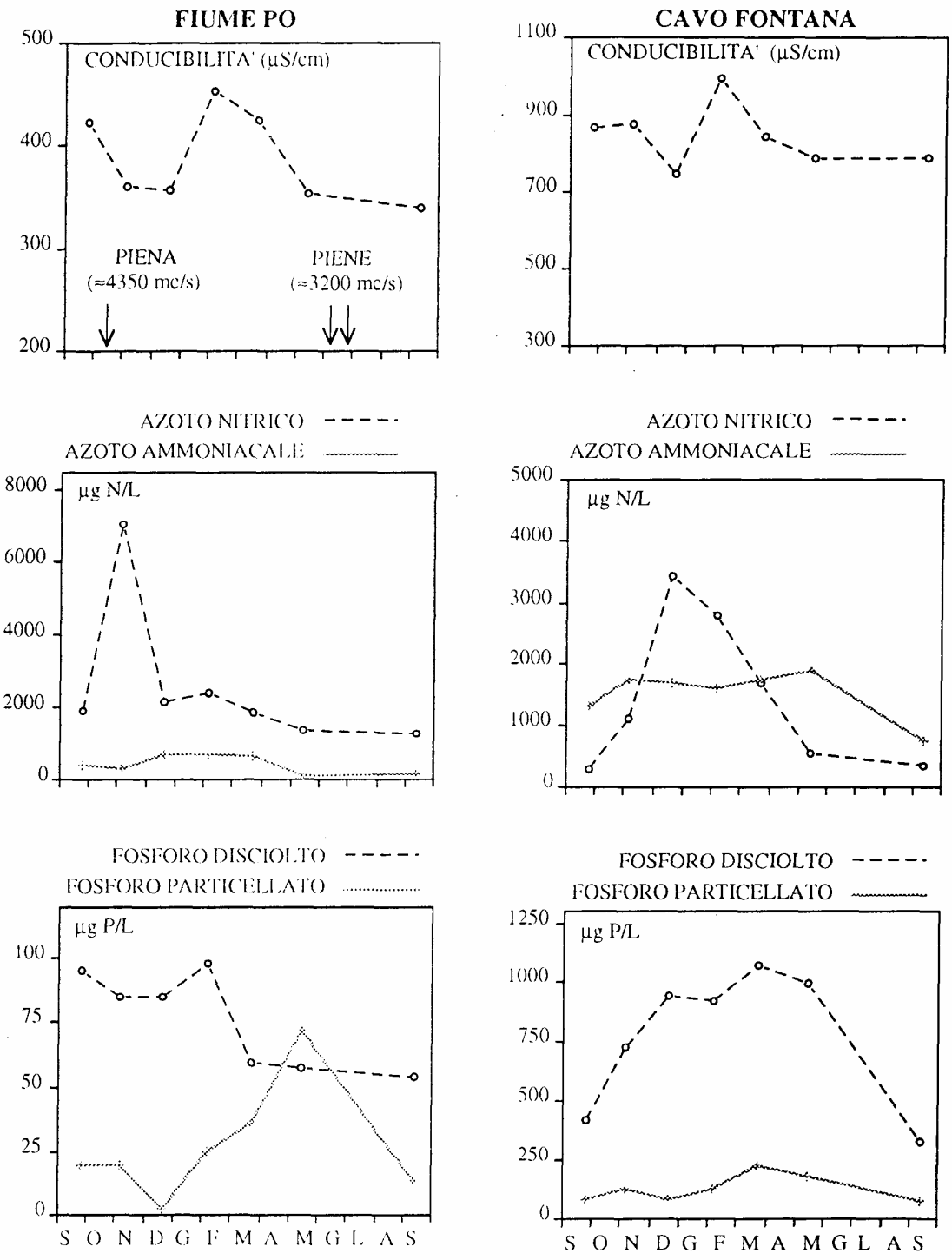


Fig 3 - Variabili fisiche e chimiche determinate nelle stazioni del Po e del Cavo Fontana dal settembre 1991 al settembre 1992.

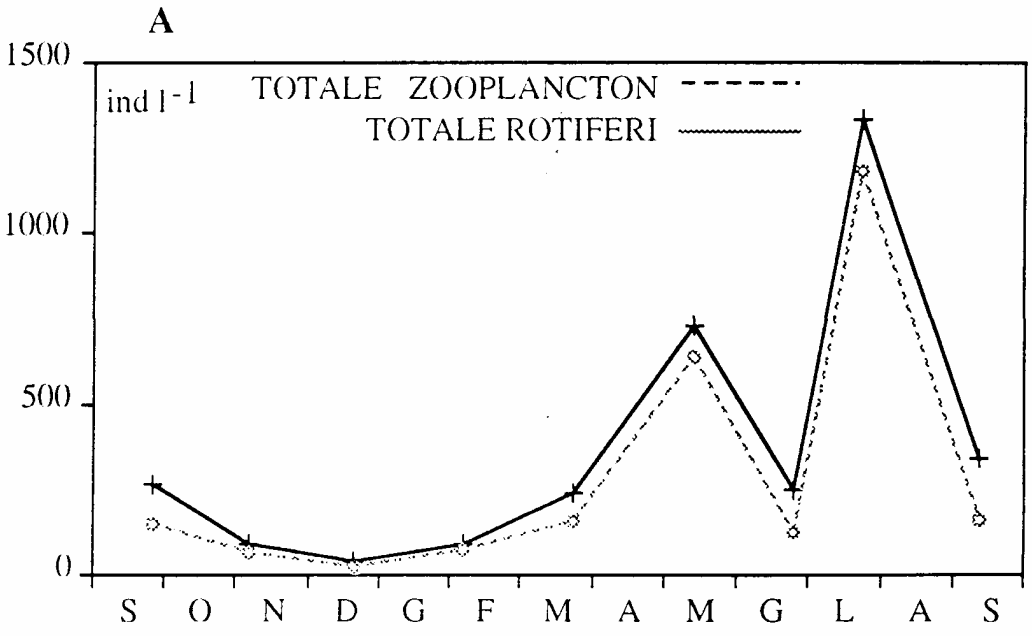


Fig. 4 A - Densità dello zooplancton totale e dei Rotiferi.

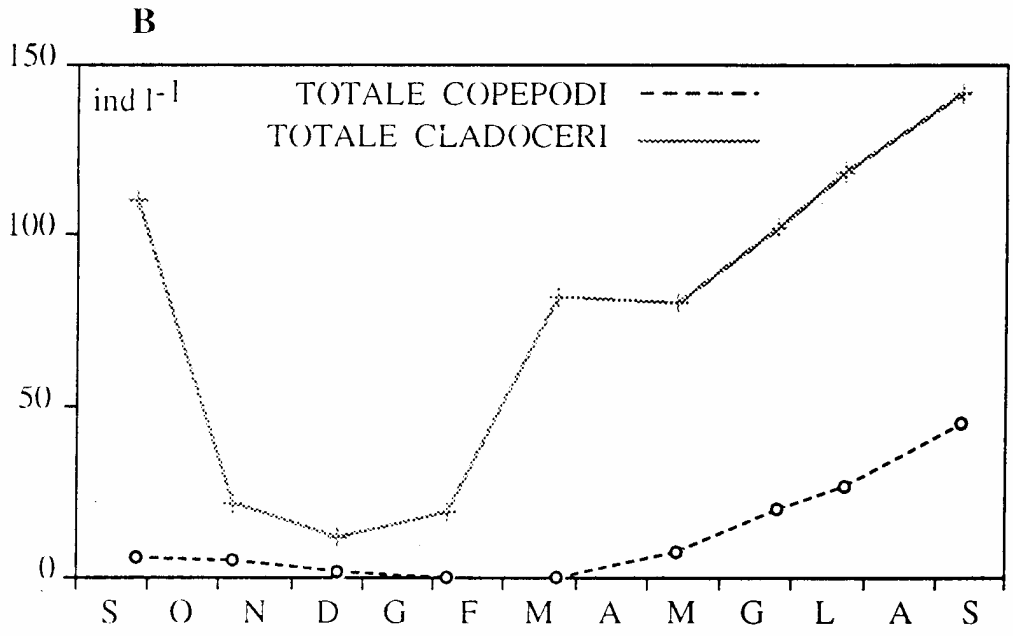


Fig. 4 B - Densità di Copepodi e Cladoceri.

studio sullo zooplancton: la composizione specifica del popolamento è assai simile a quella di altri corpi di acque basse della Pianura Padana, come le risaie nella fase iniziale di sommersione e gli stagni da pesca (Ferrari et al., 1984, 1990, 1991). Le specie più rappresentative dei Rotiferi - che sono la componente numericamente più rilevante - sono le stesse che dominano lo zooplancton estivo nel tratto medio del Po (Ferrari & Mazzoni, 1989). Le variazioni stagionali di composizione e densità dello zooplancton sono certamente rilevanti ma nel complesso disegnano un pattern successionale coerente, attraverso cui la comunità mantiene durante l'intero ciclo annuale un'alta diversità e una complessa struttura trofica. I microfiltratori prevalgono nelle condizioni di eutrofia spinta che si hanno in luglio (ma anche nel settembre 1992). Le popolazioni dominanti di macrofiltratori sono presenti in tutti i campioni: sono al minimo stagionale in luglio ma compaiono con densità piuttosto ragguardevoli in primavera ed autunno, quando probabilmente attraverso il grazing contribuiscono a mantenere su bassi livelli la biomassa fitoplanctonica. In tutti i campioni sono inoltre presenti con densità non trascurabili anche specie di predatori *(Asplanchna* e Ciclopoidi), cui si può verosimilmente attribuire un importante ruolo nel controllo dell'abbondanza delle forme zooplanctoniche di più piccola taglia. Anche nelle fasi in cui più intensa è l'azione dei fattori esterni di destabilizzazione, il plancton tende dunque a mantenere (o comunque a ripristinare rapidamente dopo gli eventi di disturbo) un alto grado di organizzazione per la persistenza e "operatività" delle interazioni tra popolazioni e componenti trofiche della comunità.

La ricerca è stata finanziata dalla "L. Guidoni" S. Coop. a r. 1. di Polesine Parmense (Pr).

Si ringraziano vivamente la Prof. Fiorenza G. Margaritora (Università La Sapienza, Roma) per avere gentilmente controllato la posizione sistematica delle specie del genere *Daphnia,* il Prof. Ireneo Ferrari (Università di Parma) per la revisione del manoscritto e il Sig. Stefano Barborini (Aironi del Po) per la preziosa collaborazione.

5. BIBLIOGRAFIA

A.P.H.A., A.W.W.A., W.P.C.F. 1975. Standard methods for the examination of water and wastewater. 14th edition, A.P.H.A., Washington. 1114pp.

Ferrari, I., A. De Marchi, P. Menozzi, F. Minzoni & F. Piccoli. 1984. Heleoplankton seasonal succession in an experimental ricefield in Northern Italy. *Verh. Internat. Verein. Limnol. 22:* 1711-1716.

Ferrari, I. & R. Mazzoni. 1989. Zooplankton in the Po River during the summer of 1985. *Toxicological and Environmental Chemistry* 20-21: 39-48.

Ferrari, I., G. Colombo & E. Stella. 1990. Analisi di comunità zooplanctoniche in stagni destinati a pescicoltura in provincia di Modena. *Atti 8° Congresso A.I.O.L.,* Pallanza: 375-381.

Ferrari, I., A. Farabegoli, A. Pugnetti & E. Stella. 1991. The occurrence of a calanoid Australasian species, *Boeckella triarticulata* (Thomson), in fish ponds of Northern Italy. *Verh. Internat. Verein. Limnol,* 24: 2822-2827.

Florence, T. M. & Y. I. Farrar. 1971. Spectrophotometric determination of chloride at parts-per-billion level by mercury (II) thiocyanate method. *Anal. Chim. Acta,* 54: 245-257.

Heckman, C. W. 1984. The ecological importance of wetlands along stream and river and the consequence of their elimination. *Int. J. Ecol. Environ. Sci.,* 10: 11-29.

Howard-Williams, C., 1986. Cycling and retention of nitrogen and phosphorus in wetlands: a theoretical and applied perspective. *Freshwater. Biol,* 15: 391-413.

Koroleff, F. 1970. Direct determination of ammonia in naturai waters as indophenol blue. Information on techniques and methods for seawater analysis. I.C.E.S. Interlaboratory Rep. No. 3: 19-22.

Liberti, A. 1972. Solfati. In: CNR Metodi analitici per le acque. *Quaderni IRSA* 11.

Osborne, L. L. & D. A. Kovacic. 1993. Riparian vegetated buffer strips in water-quality restoration and stream management. *Freshwater. BioL, 29:* 243-258.

Rodier, J. 1984. L'analyse de l'eau. Dunod, Orleans. 1365 pp.

Rott, E. 1981. Some results from phytoplankton counting intercalibrations. *Schweiz, Z. Hydrol.* 43(1): 34-62.

Sacchi, C., A. Occhipinti Ambrogi & R. Sconfietti. 1991. Gli ecosistemi stagnali pavesi: problemi e prospettive. *S. IT. E. Atti,* 12: 469-475.

Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Min. int. Ver. theor. angew. Limnol., 9:* 1-25.

Valderrama, J.C. 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Mar. Chem.,* 10: 109-122.

Wetzel, R.G. 1991. Land-water interfaces: metabolic and limnological regulators. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 24: 6-24.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L.
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da pag. 277 a pag. 286

STATUS OF SOME *POSIDONIA OCEANICA* MEADOWS ON THE LIGURIAN COASTINFLUENCED BY THE "HAVEN" OIL SPILL

Roberto SANDULLI *, Carlo Nike BIANCHI **, Silvia COCITO **,
Massimo MORGIGNI **. Andrea PEIRANO **, Sergio SGORBIMI **,
Cecilia SILVESTRI ** & Carla MORR1 ***

* CASTALIA Centro Ricerche, via Borzoli 79Ar, I-16161 GENOVA
** ENEA-CRAM S.Teresa, CP 316, I-19100 LA SPEZIA
*** Istituto di Zoologia, Università, via Balbi 5, I-16126 GENOVA

RIASSUNTO

Stato di alcune praterie di *Posidonia oceanica* della costa ligure influenzate dall'incidente alla petroliera "Haven" - Sono state indagate tre praterie di posidonie localizzate nel tratto di costa colpito dallo sversamento di idrocarburi provocato dalla M/C "Haven" (Aprile 1991): Arenzano, Cogoleto e Bergeggi. Una quarta prateria, Monterosso (SP), è stata utilizzata come "bianco". Sono state effettuate ispezioni subacquee sia con R.O.V. sia attraverso osservazioni dirette in immersione, per definire le caratteristiche macrostrutturali delle praterie e del substrato, lungo transetti perpendicolari alla costa. In particolare sono stati rilevati alcuni indici di qualità (copertura, densità, L.A.I.). Le praterie di Arenzano, Cogoleto e Monterosso risentono presumibilmente dei pregressi interventi di sistemazione del litorale. La prateria di Bergeggi, pur risultando nel complesso meno compromessa, subisce l'impatto di una forte attività peschereccia. Solo ad Arenzano è stata osservata a circa 10 m di profondità la presenza di residui petroliferi a livello dei rizomi.

SUMMARY

An investigation on the conditions of some *Posidonia oceanica* meadows on the western coast of Liguria was carried out after the "Haven" oil spill (April 1991). Four seagrass meadows, located in the proximity of Arenzano, Cogoleto, Bergeggi, and Monterosso (the latter used as a "blank" site), were studied. R.O.V. inspections along with direct underwater observations (line-transects) were carried out to evaluate the macrostructural characteristics of the *P.oceanica* meadows. In addition, some quality indices were measured (percent cover, density, L.A.I.). A general degraded condition due to anthropic pressure, presumably preceeding the "Haven" oil spill, was common to all

the meadows studied. The only evidence of the presence of hydrocarbons presence was observed at about 10 m depth in the Arenzano meadow.

1. INTRODUCTION

The present investigation on the status of some Ligurian *Posidonia oceanica* meadows represents part of the monitoring programme aimed at evaluating the environmental impact of the "Haven" oil spill. The choice of this "study subject" was suggested by the prevalent role of *P.oceanica* within the Mediterranean coastal ecosystems (Boudouresque & Meinesz, 19X3; Augier, 1986), and, consequently, by its potentiality as an indicator species of sea "health" (Orth & Moore, 1988).

Our *Posidonia oceanica* monitoring programme started in December 1991 and was composed of three different activities:

1) line-transect surveys (meadow physiognomy);
2) lower limit monitoring through "balisage" technique, according to Meinesz et al. (1981);
3) structural and phenological measurements, and associated community (such as epiphytes and grazing) analysis.

In this paper only line-transects data and some preliminary structural data (both relative to the December 1991 campaign) are reported.

2. STUDY AREA AND METHODS

Four *P .oceanica* meadows were considered in the present study, namely Arenzano, Cogoleto, Bergeggi and Monterosso (Fig. 1). Ali were recently (1985-1988) investigated

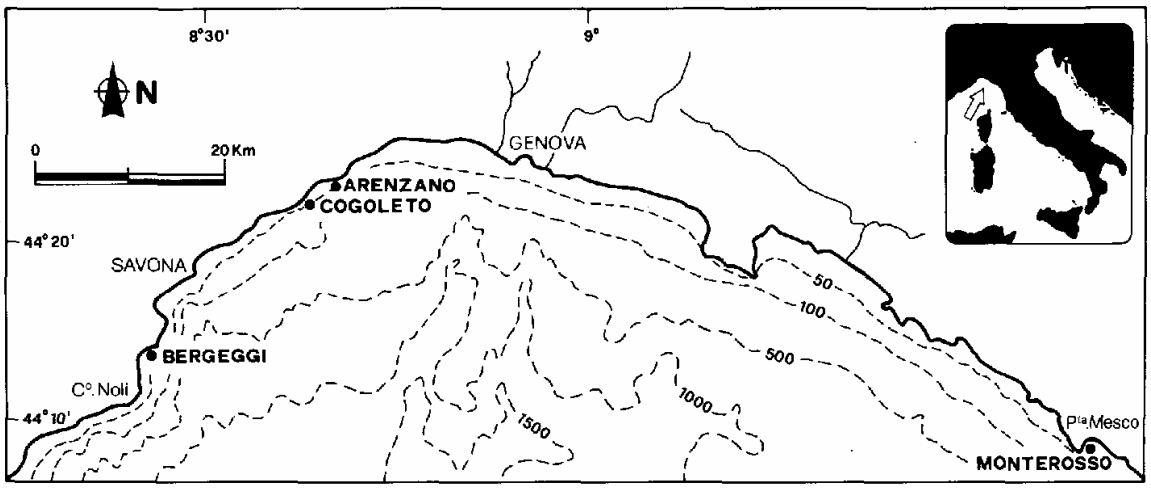


Fig. 1 - Map of the study area with the four sites.

in some detail prior to the "Haven" oil spill (Bianchi & Peirano, 1990).

The former three seagrass meadows are comprised within the geographical area likely to have been affected by the "Haven" oil spill; the Monterosso meadow was taken as the "blank" site, due to its distance from the accident area.

Arenzano and Cogoleto beds are part of a single larger meadow (Wurtz et al., 1988). Previous studies (Drago & Albertelli, 1978a,b), aimed at evaluating possible negative influences of terrigenous discharges on benthic assemblages, stated that *P.oceanica* meadow at Cogoleto was present without any marked interruption at 15 m depth, with only some bare areas and inter-matte channels; in some instances, the buried dead matte gave evidence of rather recent siltation events, with enrichment in organic matter.

According to Vetere et al. (1989), the Bergeggi island meadow, at about 15 nautical miles westward from the accident area, showed irregular cover with some areas of erosion. On the western side of the island, in proximity of the upper limit, the meadow formed a mosaic of dead and live mattes, while between 10 and 19 m depth it was thick and well developed. The lower limit, at 20 m depth, was formed by rows of dead rhizomes with few shoots of *P.oceanica.* Despite such signs of regression (probably due to terrigenous discharges), Vetere et al. (1989) observed a fruiting episode.

From the mapping by Ardizzone & Belluscio (1988), Monterosso meadow showed heterogeneous features. Extremely low cover values were recorded in proximity of the village, where silted areas, with reduction of the seagrass to small scattered patches on sand, were evident.

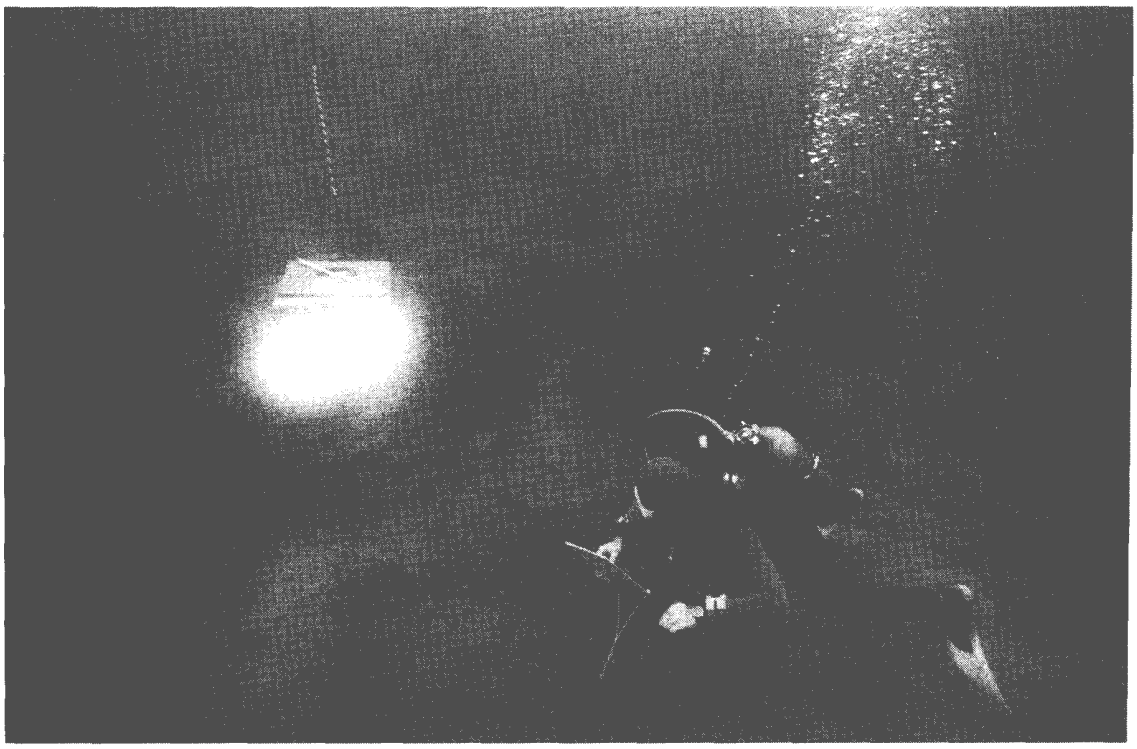


Fig. 2 - Operating with R.O.V. at the lower limit of the *Posidonia* meadow .

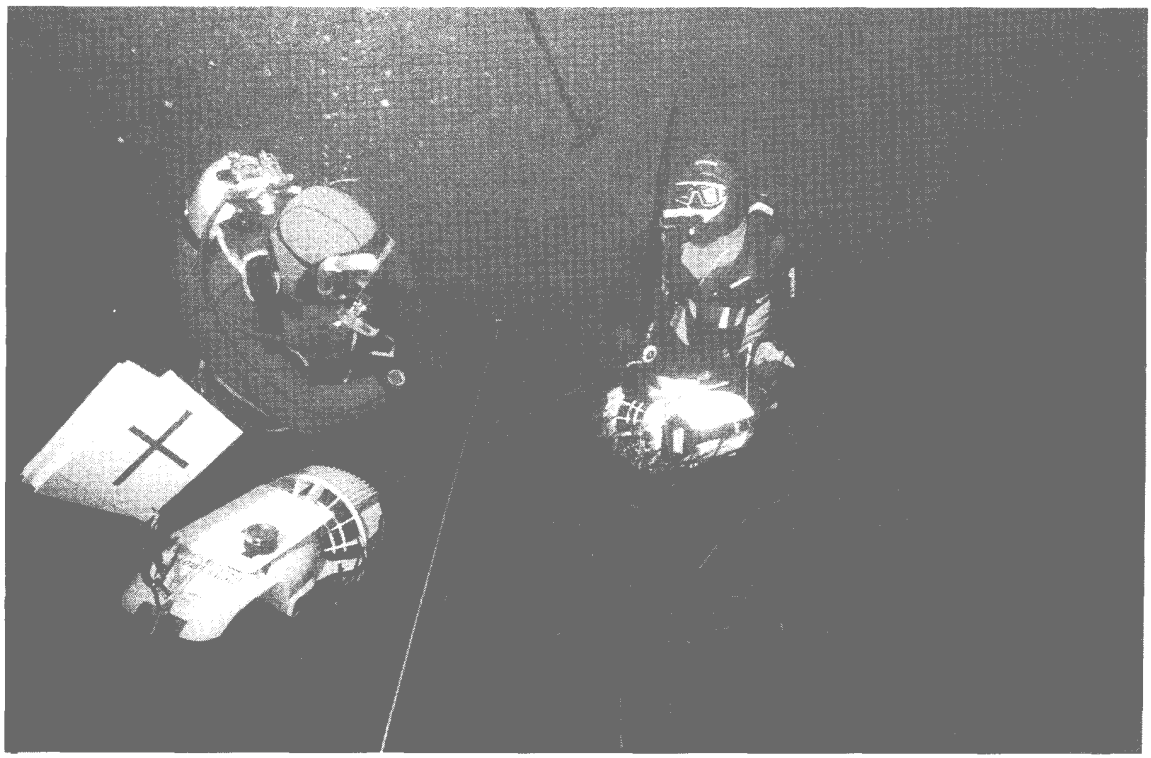


Fig. 3 - SCUBA divers performing line-transect with underwater scooters.

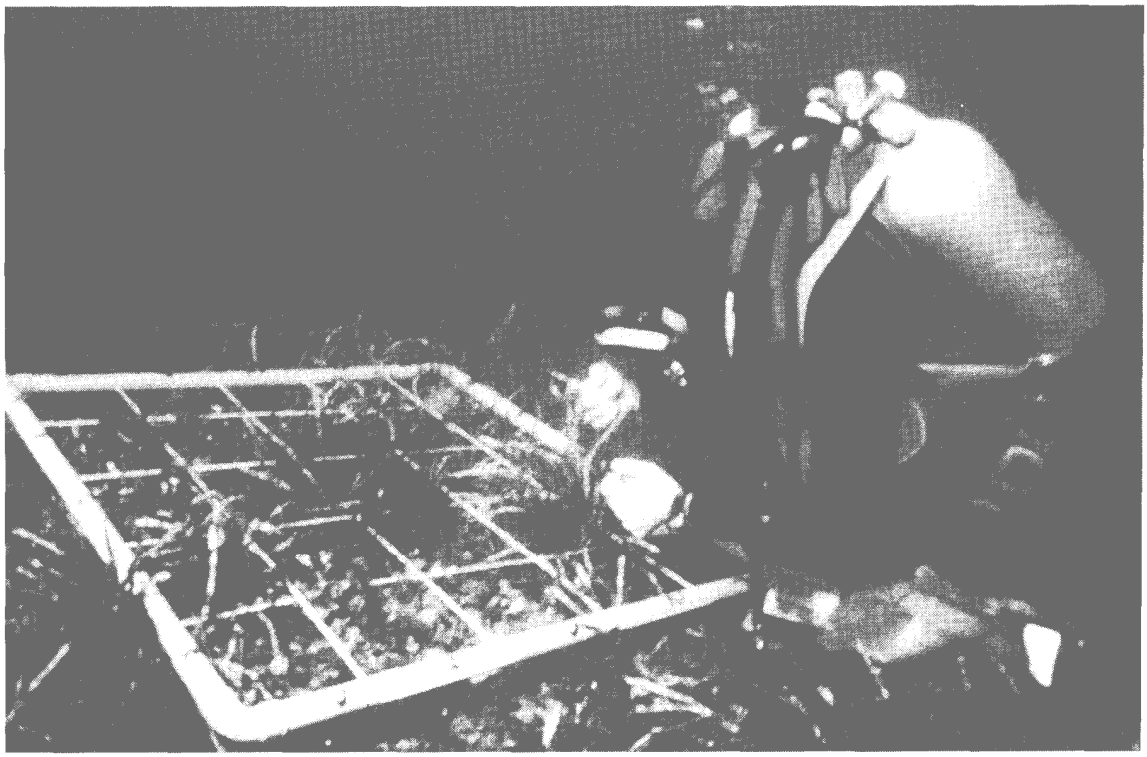


Fig. 4 - Counting *Posidonia* shoots in a quadrat.

Bianchi & Peirano (1990) provided a more complete review of Ligurian *P.oceanica* meadows along with a more recent mapping.

The meadow characteristics surveyed within the "Haven" monitoring programme, included: a) meadow physiognomy; b) nature and depth of the lower limit; c) percent meadow cover; d) shoot density (per m-), and consequently meadow 'stade' according to Giraud (1977); e) Leaf Area Index (L.A.I.) ($m^2 \cdot m^{-2}$), according to Drew (1971).

The preliminary inspection of the 4 meadows (Arenzano, Cogoleto, Bergeggi, and Monterosso) was carried out using a remotely operated vehicle (R.O.V.. Achille M4, Comex) (Fig. *2).* R.O.V. inspections were also used to detect the lower limit and to identify its typology.

Topographical and physiognomical surveys were carried out from the lower limit to the shoreline along a line-transect perpendicular to the coast by SCUBA-diving biologists equipped with underwater scooters (Apollo AVI, Reef Marine) (Fig. 3). Percent cover was visually evaluated and the characteristics of substratum noted.

Structural parameters were surveyed at three different depths (near the upper and the lower limit, and at an intermediate station), using a I m side squared frame subdivided into *25* units of 400 cm^2 each (Fig. 4). Six of these units were randomly chosen for shoot number counts, and that was repeated in 3 non-contiguous replicates.

3. RESULTS

R.O.V. inspection allowed to recognize the lower limit of the four meadows at depths ranging from 18 m to 20 m (Table 1): these figures are significantly lower than those of

Table I - Some structural parameters of the four meadows

SITES Stations	COORDINATES Lat. N	 Long. E	DEPTH (m)	DENSITY (m^{-2})	GIRAUD STADE	L.A.I. ($m \cdot m^{-2}$)
ARENZANO						
Shallow	44° 23.56'	8° 40.56'	3	439	II	2.54
Intermediate	44° 23.37'	8° 40.61'	12	238	IV	1.90
Deep	44° 23.31'	8° 40.63'	17.5	172	IV	0.97
COGOLETO						
Shallow	44° 22.80'	8° 38.02'	8.5	366	III	2.92
Intermediate	44° 23.66'	8° 38.18'	13	213	IV	1.89
Deep	44° 22.64'	8° 30.30'	19.5	171	IV	1.27
BERGEGGI						
Shallow	44° 14.16'	8° 26.10'	8.5	453	II	6.57
Intermediate	44° 14.04'	8° 26.27'	15.5	360	III	3.31
Deep	44° 14.01'	8° 26.33'	19	181	IV	1.22
MONTEROSSO						
Shallow	44° 08.63'	9° 38.64'	5.5	572	II	4.48
Intermediate	44° 08.51'	9° 38.72'	10	233	IV	2.59
Deep	44° 08.42'	9° 38.74'	18	217	IV	1.46

30 in or even more reported for other Ligurian *Posidonia* meadows (Bianchi & Peirano, 1990). Limit typology has always been recognized as more or less "shaded" according to the terminology of Meinesz & Laureili (1978).

Arenzano meadow (Fig. 5) extended with evident discontinuities for about 500 m width; its upper limit was at 6 m depth at about 60 m distance from the coastline. The meadow mainly consisted of a mosaic of dead and vegetated matte, with channels and sandy clearings with ripple-marks. in some areas the matte, up to 60 cm high, showed signs of erosion. Cover values of *P.oceanica* were rather low throughout the extension of the meadow, and density was only occasionally higher than 400 shoots·m^{-2}. The lower limit lay at about 19 m depth; the meadow gradually ended on sand and buried matte. Some conical formations (10 to 15 cm height), presumably composed of a mixture of sand and oil residues, were observed on the bottom at about 10 m depth (Fig. 6a). In some cases, such formations were wrapping the *P.oceanica* rhizomes, the shoots of which appeared markedly depigmented, with reduced leaf thickness (Fig. 6b).

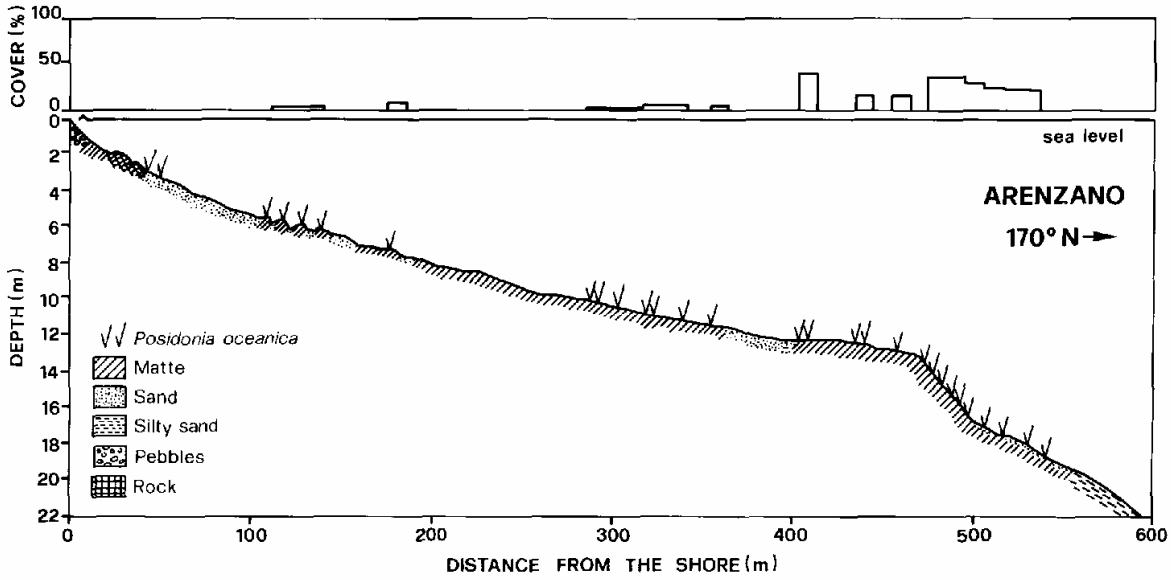


Fig. 5 - Arenzano line-transect.

Cogoleto transect (Fig. 7) showed an almost uninterrupted meadow for about 260 m. The upper limit was at 8.5 m depth at about 300 m distance from the coastline, shading into a dense *Cymodocea nodosa* bed on fine sands. Dead matte, occasionally eroded or covered with sand, and sandy basins with ripple-marks alternated along the transect. Cover was locally higher than 80%, with densities of about 400 shoots·m^{-2} (Table I). The lower limit, at 21 m depth, was shaded, with shoots homogeneously scattered on sand covering dead matte.

Bergeggi physiognomic line-transect (Fig. 8) crossed an uninterrupted meadow between 8 m and 20 m depth, for an overall length of about 380 m. The upper limit, lying

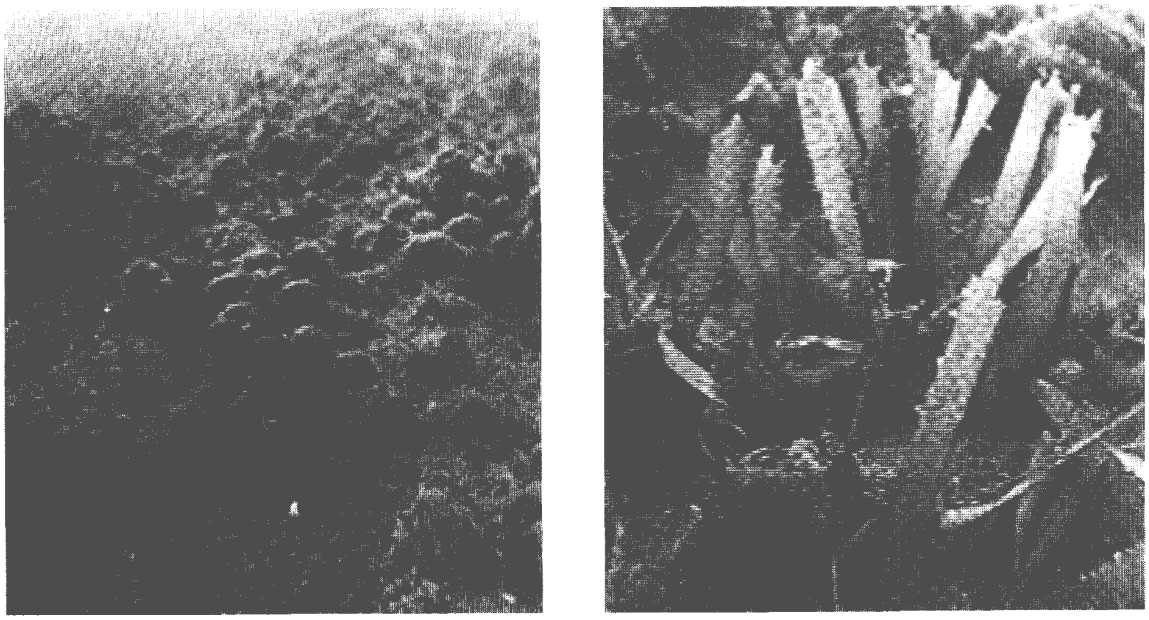


Fig. 6 - Conical formations of oil residues and sand on the sea bottom at Arenzano, 9 m depth (**a**); Depigmented shoots of *P.oceanica* with rhizomes covered by these formations (**b**).

at 160 m from the coastline, was preceded by a sandy bottom and by a small *Cymodocea nodosa* bed. *P.oceanica* was present as patches on eroded matte, occasionally reaching, 1 m height. For a moderately wide tract the plant was continuously and homogeneously distnbuted, with 90% cover and rather high densities (Table I), but intermatte channels were frequent. At the lower limit (20 m depth) *P.oceanica* formed small patches on matte covered by silty sand.

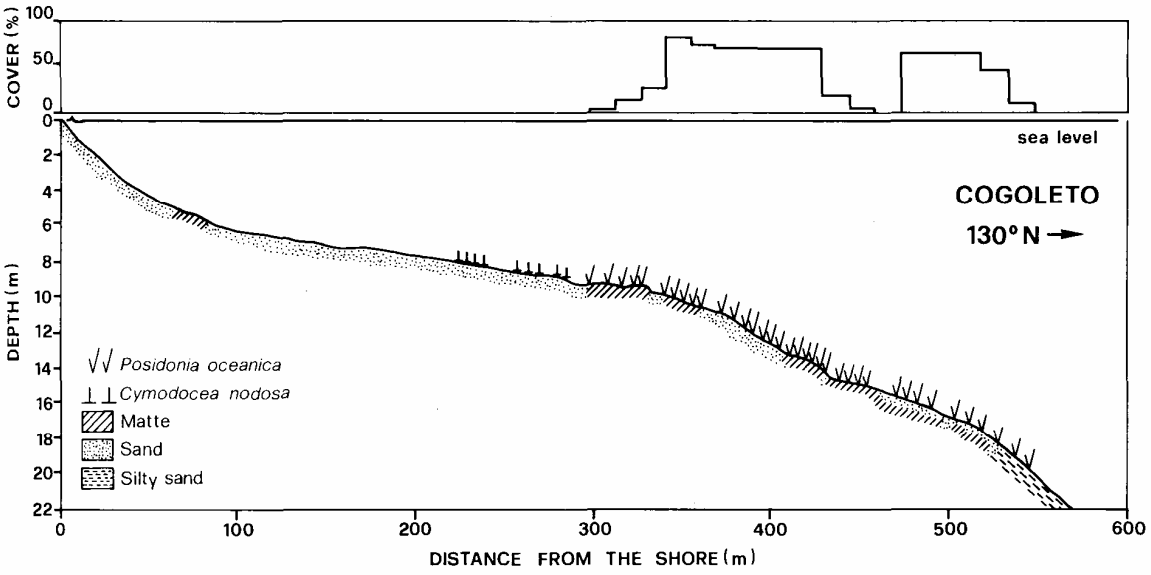


Fig. 7 - Cogoleto line-transect.

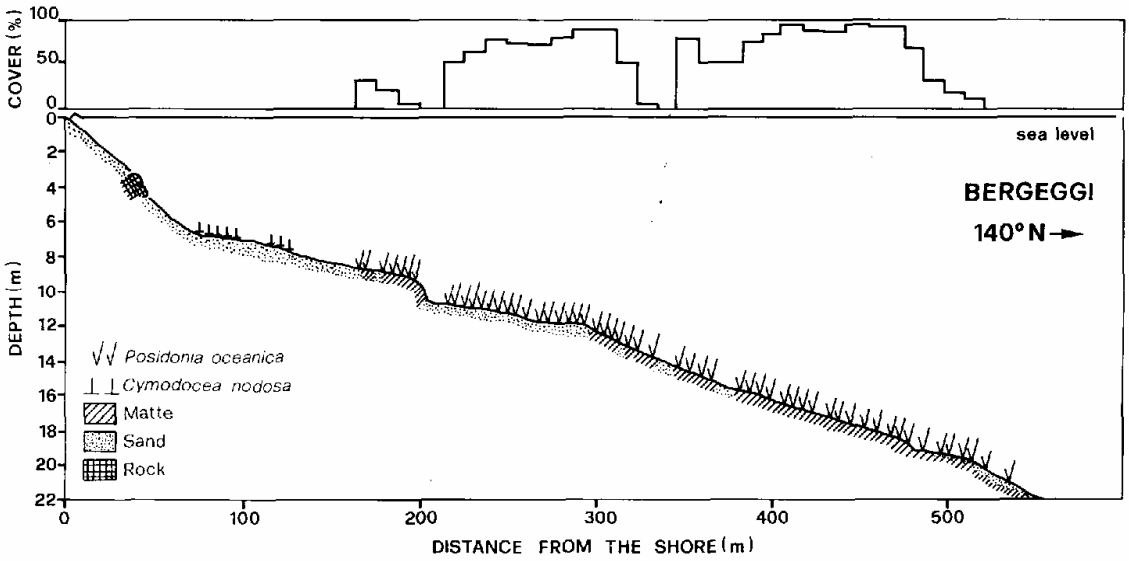


Fig. 8 - Bergeggi line-transect.

Monterosso transect (Fig. 9) showed a meadow of 400 m width, with the upper limit at 6 m depth, at about 40 m distance from the coast In this tract, big blocks (over 1 m height) of bared and eroded matte were present. In some areas, the matte was recolonized by young shoots of P.*oceanica.* At 12 m depth, sandy clearing with ripple-marks and channels alternated with banks covered by sand. Cover values never exceeded 60%. Scarce shoots of *P.oceanica* were present on dead matte, whereas at the lower limit (20 m) density reached values higher than 500 shoots-m^{-2} (Table I). Beyond the lower limit the bottom was composed of silted coarse sand.

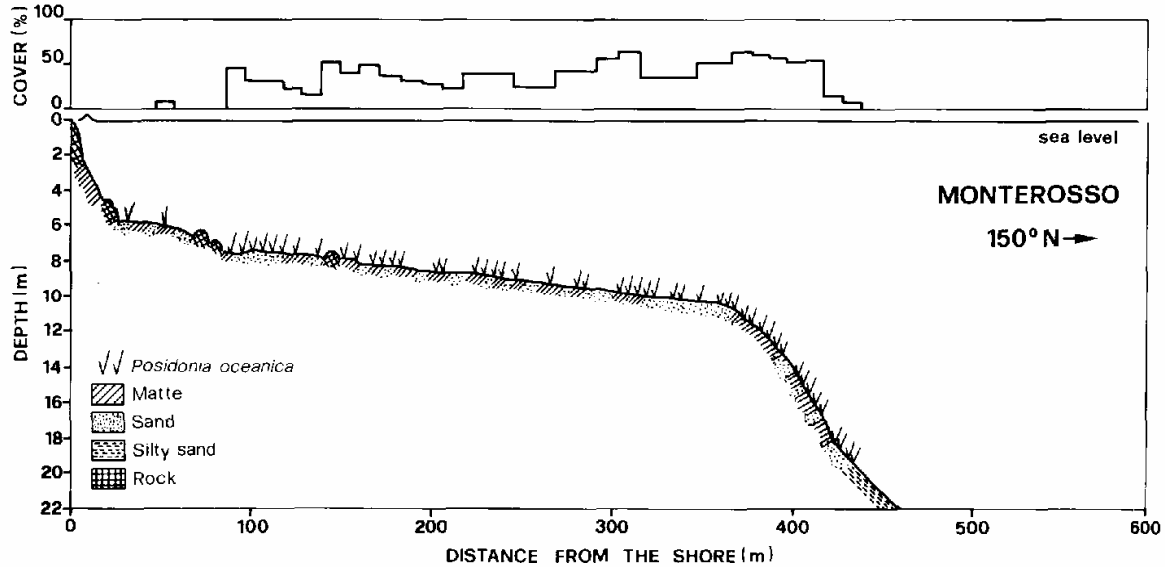


Fig. 9 - Monterosso line-transect.

4. DISCUSSION

R.O.V. and SCUBA-diving surveys showed that all the meadows are in an obvious state of regression, as already observed by Balduzzi et all (1984) east of Genoa town. Similar declining trends were reported for several Ligurian sites by Bianchi & Peirano (1990), and induced by the unruly development of commercial, tourist, and industrial activities along the Ligurian coasts in the last decades. Degradation was more marked in correspondence of higher anthropic impact areas.

Arenzano and, to a small degree, Cogoleto meadows showed a relevant decline, mainly related tn locai urban pressure and to the vicinity of Genoa port and city.

Bergeggi meadow appeared to be the least damaged; the presence of a protected area (Liguria Region terrestrial reserve) in the zone, possibly helps maintaining a relatively "healthy" status of this meadow. Nevertheless, risks of alterations, mainly due to fishery activities, weigh also on this seagrass bed.

The general degraded status of the Ligurian *P.oceanica* meadows was also confirmed by the survey at Monterosso, considered as blank site. This seagrass meadow was regressing mainly because of land reclamation.

The *P.oceanica* meadows of Cogoleto, Bergeggi and Monterosso were in an initial degraded phase (stade I, according to Meinesz & Laurent, 1978); while the Arenzano meadow undoubtedly appeared in a more advanced phase of degradation (stade 2-3 of Meinesz & Laureili, 1978).

On the whole, density and LAI, usually considered as the best indicators of the meadow "heaJth" (Giraud, 1977), showed vcry low values if compared with other Mediterranean areas (e.g. Mazzella et al., 19X9), therefore confirming the poor conditions of the investigated sites.

The only signs of contamination directly related to the presence of oil residues were observed in the Arenzano meadow, at about 10 in depth.

However, to assess the possible "Haven" impact on the *P.oceanica* meadows it will be necessary to monitor for an adequate period of lime the main parameters describing their characteristics. Such a study is presently in progress.

ACKNOWLEDGEMENTS - We wish to thank the Carabinieri Subacquei of Genova-Voltri for their help and assistance during the underwater operations. Thanks are also due to crew of R/V S.Teresa, for help in field activities. and to M. Peebles (London), who revised the english text.

REFERENCES

Ardizzone, G.D. & A. Belluscio. 19X8. L'impiego di un mini-sommergibile comandato a distanza nello studio delle biocenosi bentoniche. *Boll. Mus. Ixt. biol. Univ. Genova,* 52 (1986): 115-124.

Augier, H. 1986. L'herbier a *Posidonia oceanica,* son importance pour le littoral méditerranéen, sa valeur comine indicateur biologique de l'ètat de sante de la mer, son utilisation dans la surveillance du milieu, les bilans écologiques et les études d'impact. *Vie marine. Ami. Fond. océanogr. Ricard, 1:* 85-1 13.

Balduzzi, A., G.Baveslrcllo, S.Belloni, F.Boero, R.Cattaneo, M.Pansini & R.Pronzalo. 1984. Valutazione dello stato di alcune praterie di- *Posidonia* del mare Ligure sottoposte a diverse condizioni di inquinamento. *In:* C.F.Boudouresque, A.Jeudy de Grissac & J.Olivier (Eds.), *International Workshop* on *Posidonia oceanica Beds.* G.I.S. Posidonie, Marseille, 1: 73-78.

Bianchi, C.N. & A. Peirano. 1990. Mappatura delle praterie di *Posidonia oceanica* in Mar Ligure. Regione Liguria. *ENEA - Internai Reparti* 372 pp.

Boudouresque, C.F. & A. Meinesz. 1983. Découverte de l'herbier de posidonie. *Parc national de Port-Cros,* Cahier n° 4: 1-80.

Drago, N. *& G.* Alberelli. 1978a. Elude faunistique et bionomique du littoral de Cogoleto (golfe de Gênes). *Tethyx,* 8 (2): 203-2 12.

Drago, N. & G. Albertelli. 1978b. Aspetti quantitativi del macrobcnthos di Cogoleto (Golfo di Genova). *Atti 2th Congr. Ass. Ir. Ocean. Limno/.:* 1 87-192.

Drew, E.A. 1971. Botany. //;: J.D.Woods & J.N.Lithgoe (Eds.), *Underwater Science. An introduction to experiments by divers.* Academic Press, London: 175-233.

Giraud, G. 1977. Essai de classement des herbiers de *Posidonia oceanica* (L) Delile. *Botanica marina,* 20: 487-491.

Mazzella, L., M.B. Scipione & M.C. Buia. 1989. Spatio-temporal distribution of algal and animal communities in a *Posidonia oceanica* meadow. *P.S.Z.N. I: Marine Ecology,* 10(2): 107-129.

Meinesz, A., M. Cuvelier & R. Laurent. 1981. Méthodes récentes de cartographie et de surveillance des herbiers de Phanérogames marines. Leurs applications sur les côtes françaises de la Mediterranée. *Vie et Milieu,* 31 (1): 27-34.

Meinesz, A. & R. Laurent. 1978. Cartographie et élal de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* dans les Alpes-Maritimes (France) - Campagne Poseïdon 1976. *Botanica marina,* 21: 513-526.

Orth, R.J. & K.A. Moore. 198H. Submerged aquatic vegetation in the Chesapeake Bay: a barometer of Bay health. *Understanding the estuary: advances in Chesapeake Bay research. Proceeding of a conference.* Chesapeake Res. Consort. Publ., 129: 619-629.

Vetere, M., D. Pessani & Gruppo Biologia Marina S.S.P. 1989. Morfologia e fruttificazioni della prateria di *Posidonia oceanica* di Bergeggi (Liguria). *Oebalia,* 15 (l) n.s.: 351-354.

Wurtz, M., N. Repello & G. Matricardi. 1988. A simple and fasi method to obtain rough density maps of the *Posidonia oceanica* beds. *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.,* 31 (2): 316.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L.
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da pag. 287 a pag. 294

LIMNOLOGIA DEGLI INVASI PATTADA E MONTELEONE (NORD SARDEGNA).

Antonella LUGLIE', Bastianina MANCA e Nicola SECHI

Dipartimento di Botanica ed Ecologia vegetale, Università di Sassari

SUMMARY

The lakes Monteleone and Pattada, two reservoirs of North Sardinia, were investigated from June 1988 to April 1989. Their trophic status and comparisons between the dynamics of some of their limnological parameters were studied. On the basis of mean total phosphorus (about 150 mg P m^{-3} for L. Monteleone and 60 mg P m^{-3} for L. Pattada), mean and maximum chlorophyll a (16 mg m^{-3} and 43 mg m^{-3} for L. Monteleone and 18 mg m^{-3} and 34 mg m^{-3} for L. Pattada) and mean trasparency (1,29 m for L. Monteleone and 1,69 m for L. Pattada) the two lakes can be considered eutrophic. The phytoplankton dynamics in the photic zone, with high mean value of cell density (about 8 x 10^6 cell. l^{-1} for L. Monteleone and 84 x 10^6 cell. l^{-1} for L. Pattada), high biomass (5,6 mg l^{-1} for L. Monteleone and 7,8 mg 1 ' for L. Pattada) and summer blue-green domination, agreed with this trofic level.

1. INTRODUZIONE

Tra il 1987 ed il 1988 è stata svolta un'indagine limnologica sui laghi Monteleone e Pattada (Fig. 1), due laghi artificiali della Sardegna settentrionale. Lo studio è stato finalizzato principalmente alla valutazione dei livelli trofici e della qualità dell'acqua, con specifica attenzione al fitoplancton ed ai maggiori nutrienti vegetali. L'esistenza di alcune caratteristiche simili (Tab. 1), quali l'anno di formazione, i volumi d'invaso, l'estensione dei bacini imbriferi, hanno suggerito inoltre la possibilità di un confronto tra i rispettivi andamenti dei parametri.

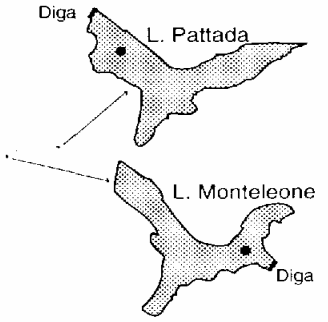


Fig. 1 – Localizzazione dei due laghi e posizione della stazione di campionamento

Tab. 1 - Principali caratteristiche dei due laghi

	Monteleone	Pattada
Anno d'invaso	1984	1984
Bacino imbrifero (km^2)	142,5	159,9
Altezza s.l.m. (m)	226	363
Volume (10^6 m^3)	55,4	65,5
Superficie (km^2)	3,5	4,4
Profondità media (m)	15,8	14,9

Il L. Monteleone è stato realizzato per sbarramento del Fiume Temo nella Sardegna nord-occidentale. Il L. Pattada è stato ottenuto per sbarramento del Riu Mannu di Pattada nella

Sardegna nord-centrale. Le acque dei due laghi servono per l'irrigazione e per l'approvvigionamento potabile. Secondo Sechi (1989), che si è basato sulla stima del carico potenziale dei nutrienti e del carico critico, entrambi gli invasi dovrebbero essere eutrofici.

2. METODI

L'indagine è stata svolta tra il giugno '87 e l'aprile '88, effettuando otto campionamenti a cadenza circa mensile. Le acque sono state raccolte in un'unica stazione in prossimità delle dighe, nella zona di maggior profondità dei laghi; l'intervallo tra i livelli di prelievo lungo il profilo verticale è stato di 2,5 m nei primi 10 m e di 5 m per la rimanente porzione di colonna. In questa sede vengono riportati i risultati relativi alla trasparenza (disco di Secchi), temperatura, pH, ossigeno (metodo di Winkler), azoto nitrico (Rodier, 1971), azoto ammoniacale (Fresenius, Quentin & Schneider, 1988), fosforo reattivo e fosforo totale (Strickland & Parsons, 1968), clorofilla *a* (Golterman, Clymo & Ohnstad, 1978), densità (metodo di Utermöhl), biomassa (Findenegg, 1974) e composizione del fitoplancton.

3. RISULTATI

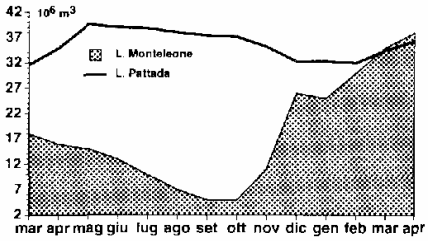


Fig. 2 - Variazione dei volumi d'invaso nei due laghi

Durante il periodo d'indagine i volumi dei due laghi sono stati molto diversi (Fig. 2). Mediamente nel L. Monteleone sono stati presenti 17 x 10^6 m^3 contro una media di 36 x 10" m^{-1} del L. Pattada; i valori medi non sono però sufficienti alla descrizione delle situazioni realmente verificatesi poiché il volume del primo lago (con valori da un minimo di 3 x IO^6 m^1 in settembre ed ottobre ad un massimo di 36 x $1O^6$ m^3 in aprile) ha raggiunto valori comparabili con quelli del secondo (con valori da un minimo di 32 x 10^6 m^3 in dicembre e febbraio ad un massimo di 43 x 10^6 m^3 in giugno) solo negli ultimi mesi dell'indagine, mentre in tutto il periodo precedente le quantità invasate sono state marcatamente inferiori.

Tab. 2 - Valori medi nell'epilimnio (Epi), nell'ipolimnio (Ipo) e massimi nella colonna

	L. Monteleone			L. Pattada		
	Epi	Ipo	Max	Epi	Ipo	Max
Trasparenza (m)	1,2		2	1,7		2,4
Temperatura (°C)	17,6	11,6	27,4	16,2	12,6	22,4
pH	8,2	7,6	9,9	8,1	7,6	9,9
Ossigeno (%)	76	28	129	92	38	162
Nitrati (mg N m^{-3})	251	500	798	179	328	821
Ammoniaca (mg N m^{-3})	109	173	484	104	406	2236
Ortofosfati (mg P m^{-3})	47	102	240	4	40	385
Fosforo totale (mg P m^{-3})	110	175	360	46	79	454
Clorofilla *a* (mg m^{-3})	14	3	60	16	5	48
Densità (cell. x 10^6 l^{-1})	7,9	-	38	76	-	224
Biomassa (mg l^{-1})	5,1	-	10,5	7,4	-	21,4

In tabella 2 vengono riportati i valori dei parametri analizzati. La temperatura, sebbene i valori medi annuali siano stati simili, ha mostrato differenze rilevanti tra i valori massimi, minimi e tra le dinamiche (Fig. 3).

Entrambi i laghi sono stati stratificati nel periodo estivo ma lo spessore dello strato epilimnico del L. Monteleone è stato minore che nel L. Pattada. Anche lo scarto tra i valori superficiali e quelli profondi ha segnalato per il primo un'escursione termica più intensa: ben 11 °C tra le temperature a 2,5 m ed a 5 m nel mese di agosto contro una variazione massima, nel L. Pattada, di 5,5 °C tra i 10 m ed i 15 m, sempre in agosto.

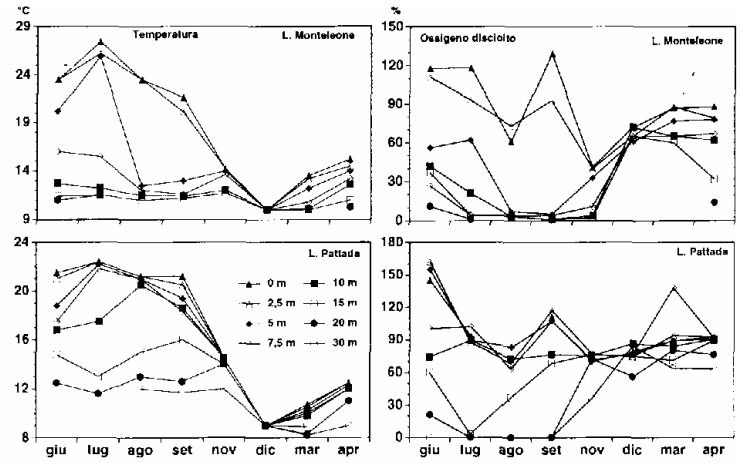


Fig. 3 - Dinamica della temperatura e della saturazione dell'ossigeno

In relazione alla diversa dinamica termica si è assistito a differenze cospicue negli andamenti dei profili verticali degli altri parametri. Nel periodo estivo nel L Monteleone i valori di ogni singola variabile nei primi 2,5 metri sono stati omogenei e nettamente diversi rispetto a quelli delle acque sottostanti, contrariamente a quanto è accaduto nel L. Pattada nel quale il passaggio dallo strato superficiale, che arriva fino a 10 metri, a quello sottostante è stato sfumato. Si sono osservati comunque aspetti comuni tra i due laghi, quali l'intenso deficit ossidativo delle acque profonde nei mesi di stratificazione e le frequenti sovrassaturazioni in superficie (Fig. 3), accompagnate da vistosi aumenti di pH (sino a quasi 10 unità in giugno).

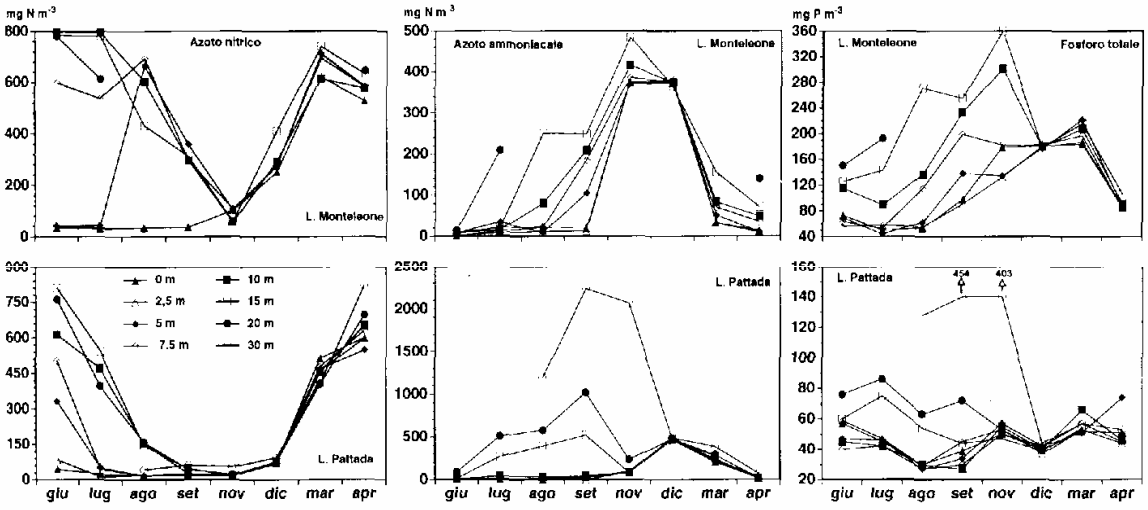


Fig. 4 - Dinamica dell'azoto nitrico, ammoniacale e del fosforo totale

Le concentrazioni dei nitrati sono state rilevanti in entrambi i laghi, con valori in marzo (dopo gli afflussi invernali) superiori ai 600 mg N m^{-3} nel L. Monteleone ed intorno ai 450 mg N m^{-3} nel L. Pattada. In concomitanza con la carenza ipolimnica d'ossigeno è stata rilevata una drastica diminuizione mentre è aumentata l'ammoniaca (Fig. 4). Questa, nel L. Pattada, in prossimità del fondo, ha superato i 2000 mg N m^{-3}

contro un massimo di circa 500 mg N m^{-3} nel L. Monteleone.

Sono state significative nei due laghi anche le concentrazioni del fosforo totale (intorno ai 200 mg P m^{-3} nel L. Monteleone e ai 50 mg P m^{-3} nel L. Pattada) in marzo. La forma reattiva è risultata pressoché assente nell'epilimnio nei mesi estivi ed autunnali; nell'ipolimnio, durante la stagnazione, è stato rilevato un forte incremento tanto che la forma totale è arrivata a 454 mg P m^{-3} nel L. Pattada ed a 360 mg P m ' nel L. Monteleone (Fig. 4).

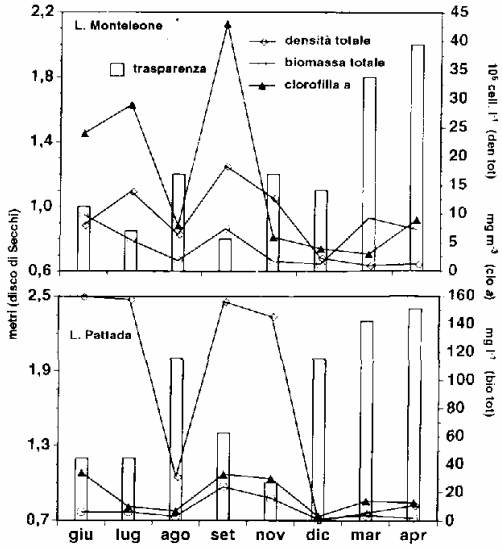


Fig. 5 - Dinamica della trasparenza, clorofilla *a*, densità e biomassa del fitoplancton nella zona fotica

Il fitoplancton ha delineato situazioni differenti e le indicazioni date dai singoli parametri non sempre hanno coinciso anche per lo stesso lago (Fig. 5). I contenuti medi di clorofilla « nella zona fotica (16 mg m^{-3} nel L. Monteleone e di 18 mg l^{-1} nel L. Pattada) sono stati simili mentre hanno differito sensibilmente i valori della biomassa (5,6 mg l^{-1} nel L. Monteleone contro 7,8 mg l^{-1} nel L. Pattada) e, soprattutto, quelli della densità (8 x 10^6 cell. l^{-1} nel L. Monteleone contro 84 x 10^6 cell. l^{-1} nel L. Pattada). In base alla clorofilla *a* ed alla densità la maggior presenza di alghe si è manifestata, in entrambi i bacini, da giugno a novembre (con un'evidente flessione in agosto, soprattutto nel L. Pattada); i massimi della biomassa invece sono stati raggiunti nel L. Monteleone nei mesi primaverili e nel L. Pattada tra settembre e novembre, senza nessun particolare incremento negli ultimi mesi di studio. I massimi di densità e di biomassa sono stati molto più alti nel L. Pattada che nel L. Monteleone; viceversa, in quest'ultimo, i picchi di clorofilla *a* (Fig. 6) sono stati più elevati (60 mg m^{-3} a 0 metri in giugno e 43 mg m^{-3} come media nella zona fotica a settembre contro 48 mg m^{-3} ad 1 metro a settembre e 34 mg m^{-3} come media nella zona fotica a giugno). Nel L. Monteleone il fitoplancton è stato praticamente relegato ai primi 2,5 metri contro una zona estesa 7,5 metri e più del L. Pattada. La ridotta estensione della fascia di presenza del fitoplancton nel primo lago può essere stata una delle cause dei minori valori osservati per la densità e la biomassa.

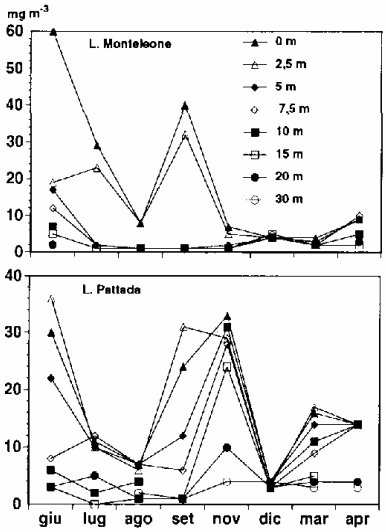


Fig. 6 - Dinamica della clorofilla *a*

Complessivamente, sono state osservate circa sessanta entità algali di cui una quarantina in ogni bacino (Tab. 3). Circa i due terzi degli elementi floristici sono risultati comuni e solo un terzo specifico di un singolo bacino.

Tab. 3 - Elenco floristico delle specie fitoplanctoniche osservate nei laghi Monteleone e Pattada; le sigle (M) e (P) indicano la sola presenza rispettivamente nel Lago Monteleone o Pattada.

CHLOROPHYCEAE
Chlamydomonas sp., *Eudorina* sp. (M), *Volvox* sp. (M), *Ankyra judayi* (G.M. Smith) Fott, *Ankistrodesmus falcatus* (Corda) Ralfs (P), *Botryococcus* sp. (M), *Coelastrum astroideum* De-Not., *Coelastrum microporum* Naegeli (P), *Monoraphidium tortile* (W. & G. S. West) Kom-Legn (P), *Monoraphidium* sp. (M), *Oocystis borgei* Snow (P), *Oocystis lacustris* Chod. (P), *Oocystis* sp. (M), *Pediastrum* sp. (M), *Quadrigula lacustris* G. M. Smith (M), *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Brèv. (P), *Schroederia antillarum* Kom. (P), *Schroederia robusta* Kors (M), *Sphaerocystis planctonica* (Kors.) Bourr.
CONJUGATOPHYCEAE
Closterium aciculare West T., *Closterium gracile* Brèb. ex Ralfs, *Staurastrum gracile* Ralfs
DIATOMEAE
Cyclotella comta (E.) Kg., *Cyclotella meneghiniana* Kg., *Melosira distans* (E.) Kg., *Melosira granulata* var. *angustissima* Müller, *Achnanthes* sp. (M), *Amphora* sp. (P), *Asterionella formosa* Hass. (P), *Fragilaria* sp., *Meridion* sp. (P), *Navicula* sp., *Nitzschia* sp. (M), *Synedra* sp.
DINOPHYCEAE
Ceratium hirundinella (O. F. Müller) Schrank
CRYPTOPHYCEAE
Chroomonas acuta Utermöhl, *Cryptomonas* spp. , *Rhodomonas* sp.
EUGLENOPHYCEAE
Trachelomonas sp.
CHRYSOPHYCEAE
Mallomonas sp.
CYANOPHYCEAE
Anabaena flos-aquae (Lingb.) Brèb., *Anabaena planctonica* Brunnth, *Anabaena spiroides* Kleb (M), *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs, *Oscillatoria* sp. (P), *Phormidium mucicola* Huberet Naumann, *Aphanocapsa elachista* W. & G.S. West (P), *Aphanothece* sp. (P), *Gomphosphaeria aponina* Kützing, *Microcystis aeruginosa* Kg., *Microcystis flos-aquae* (Wittr.) Kirchn., *Merismopedia* sp. (M)

Sono state diverse soprattutto le specie delle Chlorophyceae: solo quattro elementi su un totale di diciannove sono stati riscontrati in entrambi i laghi. Caratteristica comune è stata la dominanza delle Cyanophyceae nella densità nei mesi estivi ed autunnali (Fig. 7). Le specie che hanno portato all'affermazione del gruppo hanno coinciso solo in parte. Nel L. Monteleone infatti i massimi esponenti di questa classe sono stati *Microcystis aeruginosa* Kg. e *Microcystis flos-aquae* (Wittr.) Kirchn. (riportate come sommatoria ed indicate con la sigla Mic spp) presenti soprattutto da giugno ad agosto ed in novembre, *Gomphosphaeria aponina* Kützing (Gom apo) in giugno, *Anabaena spiroides* Kleb (Ana spi) da luglio a settembre, *Anabaena planctonica* Brunnth. (Ana pia) ed *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs (Aph faq) in settembre; nel L. Pattada invece, a parte *M. aeruginosa* e *M. flos-aquae* da giugno a settembre ed *Aph. flos-aquae* da settembre a novembre, già riportate anche per il precedente lago, hanno avuto un ampio sviluppo *Phormidium mucicola* Huberet Naumann (Pho muc) da giugno a luglio ed *Anabaena flos-aquae* (Lingb.) Brèb. (Ana faq) in giugno. Da dicembre a marzo hanno prevalso nel

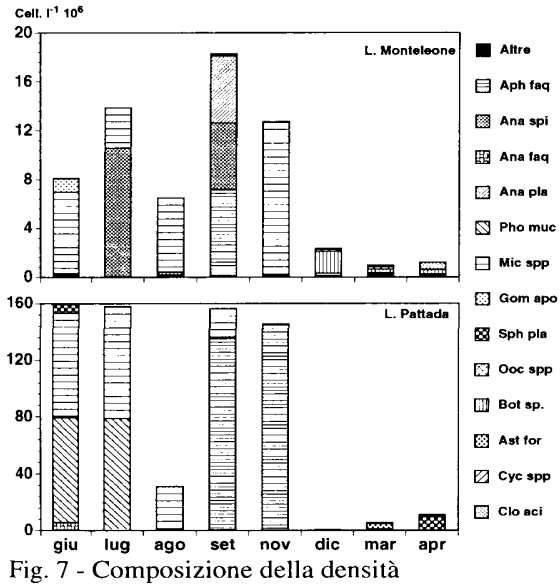


Fig. 7 - Composizione della densità

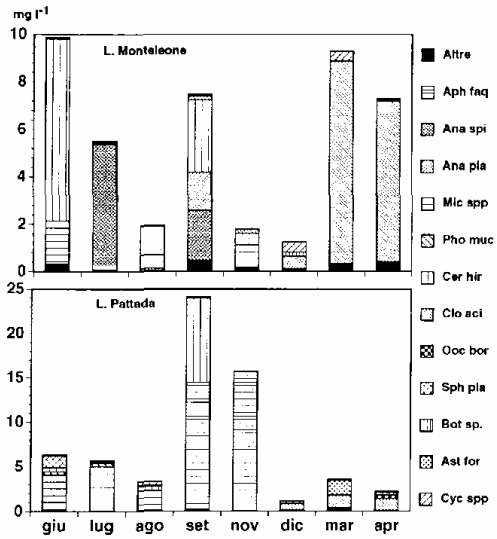


Fig. 8 - Composizione della biomassa

fitoplancton le Chlorophyceae, con *Botryococcus* sp. Kütz (Hot sp.) e *Closterium aciculare* West T. (Clo aci) nel L. Monteleone e *Sphaerocystis planctonica* (Kors.) Bourr. (già abbondante nel giugno dell'anno precedente, Sph pia) nel L. Pattada, e le Diatomeae, con più specie di *Cyclotella* (Cyc spp) nel primo lago ed *Asterionella formosa* Hass. (Ast for) nel secondo. La biomassa ha descritto un quadro diverso (Fig. 8) ed il predominio delle Cyanophyceae è stata di gran lunga minore. Nel L. Monteleone *M. aeruginosa* e *M. flos-aquae* non sono state mai dominanti per la biomassa e nei mesi estivi ed autunnali, accanto ad *A. spiroides* ed *A. planctonica, è* stata importante la presenza di *Ceratium hirundinella* (O. F. Müller) Schrank (Cer hir). Viceversa in primavera la biomassa è stata formata quasi esclusivamente da *C. aciculare,* fatta eccezione per il modesto contributo dato da *Cyclotella* spp. in dicembre e marzo e da *Botryococcus* sp. in dicembre. Nel L. Pattada le due specie di *Microcystis* hanno dominato il fitoplancton anche in termini di biomassa da giugno ad agosto; anche in questo lago *C. hirundinella* ha avuto un ruolo importante (settembre) ma è stato soprattutto *Aph. flos-aquae* a determinare i massimi valori raggiunti a settembre e novembre. Tra dicembre ed aprile il maggior sviluppo delle Chlorophyceae (con *C. aciculare, S. planctonica* ed *Oocystis borgei* Snow, Ooc bor) e delle Diatomeae (con *A. formosa*) è stato confermato anche nell'ambito della biomassa.

4. DISCUSSIONE

Uno degli scopi principali dell'indagine era quello di operare un confronto tra le dinamiche dei principali parametri limnologici dei due laghi, partendo dal presupposto che i bacini presentassero alcune caratteristiche di base simili. Il quadro rilevato ha evidenziato invece situazioni nettamente differenti dovute principalmente alle particolari condizioni climatiche del periodo di studio ed ai processi gestionali attuati nei due invasi. Dal 1987 al 1990 la Sardegna è stata infatti interessata da un'intensa siccità che ha portato da una parte a scarsi afflussi nei laghi artificiali dell'isola e dall'altra ad un'utilizzazione spinta delle risorse idriche disponibili. Entrambi gli aspetti sono stati fondamentali nel determinare i volumi del L. Monteleone nel quale, oltre a non esser stato raggiunto il massimo volume d'invaso, il prelievo delle acque per l'irrigazione è stato tanto consistente da intaccare la riserva idrica normalmente indisponibile, ricorrendo ad operazioni di pompaggio delle acque superficiali. Infatti si sono emunte, con prelievo a gravita, prima le acque ipolimniche e metalimniche e poi, mediante pompaggio, quelle epilimniche. Nel L. Pattada le oscillazioni dei volumi d'invaso sono state invece più

contenute perché il lago non è ancora connesso alla rete irrigua e gli unici prelievi sono stati quelli, limitati, per la potabilizzazione, avvenuti sempre a livello di ipolimnio. Le conseguenze dei diversi procedimenti sono state chiaramente visibili negli andamenti termici ed in quelli di gran parte degli altri parametri chimici e biologici. Per esempio, in agosto, nel L. Monteleone le concentrazioni dei nitrati e degli ortol'osl'ati a 5 metri sono state molto più alte (664 mg N m^{-3} in agosto contro 43 mg N m^{-3} in luglio per i nitrati e 23 mg P m^{-3} in agosto contro 10 mg P m^{-3} in luglio per gli ortofosfati) di quelle dei mesi precedenti. La sottrazione delle acque metalimniche ha infatti portato in agosto a 5 metri la massa d'acqua che nel mese precedente si trovava a profondità maggiori; la forte differenza di temperatura tra i 2,5 ed i 5 metri (11 °C) non ha consentito una rapida uniformazione delle concentrazioni. Il fitoplancton ha subito effetti rilevanti in termini quantitativi perché è stato asportato dallo strato fotico epilimnico riducendo la sua presenza ai soli primi 2,5 metri. È quindi possibile che il quadro limnologico generale ottenuto per questo lago non abbia rispecchiato una situazione corrispondente a condizioni idrologiche normali. Anche in altri bacini sardi sono state rilevate delle alterazioni dovute al prelievo delle acque (Sechi e Luglié, 1993), soprattutto sugli andamenti termici, ma quelle osservate nel L. Monteleone rappresentano un caso limite.

Sono da evidenziare le significative differenze osservate nella composizione specifica del fitoplancton che, nonostante sia stato dominato dagli stessi gruppi algali (Cyanophyccae, Dinophyceae, Diatomeae e Chlorophyceae) è stato caratterizzato da specie dominanti diverse: su un totale di tredici entità importanti per la densità solo due hanno coinciso mentre rispettivamente altre sei ed altre cinque sono state significative solo per il L. Monteleone o per il L. Pattada; per la biomassa su un totale di dodici entità quattro hanno coinciso mentre tre sono state importanti solo per il L. Monteleone e cinque solo per il L. Pattada.

Tab. 4 - Percentuali probabilistiche di stato trofico dei due laghi (P = L. Pattada, M = L. Monteleone).

	Oligotrofia		Mesotrofia		Eutrofia		Ipertrofia	
	P	**M**	**P**	**M**	**P**	**M**	**P**	**M**
Fosforo totale (mg P m^{-3})	2	0	34	6	56	55	8	39
Clorofilla *a* (mg m^{-3})	0	1	10	17	61	63	29	19
Picco clorofilla (mg m^{-3})	0	0	28	16	52	57	20	27
Disco di Secchi (m)	0	0	7	2	44	28	49	70

In ultimo il fitoplancton dei due laghi è stato tipico, qualitativamente oltre che quantitativamente, di ambienti altamente produttivi e complessivamente vicino a quello di altri laghi sardi (Sechi, 1978; Sechi & Cossu, 1979; Sechi & Manca, 1983) e d'Europa (Heinonen, 1980; Hòrnstrom, 1981; Rosen, 1981). In estate in particolare è stato caratterizzato da elevate densità cellulari, coincidenti con il predominio delle Cyanophyccae con specie ritenute tipicamente eutrofiche (quali *M. aeruginosa* e *A. flos-aquae), e* nei mesi autunnali e primaverili da alte biomasse, dovute al maggior sviluppo di specie con grandi volumi cellulari, quali *C. hirundinella* e *C. aciculare.*

È possibile effettuare con i dati disponibili una valutazione preliminare dello stato trofico dei due laghi. In base ai contenuti di fosforo totale, di clorofilla a e di trasparenza, secondo i criteri probabilistici O.E.C.D. (1982), i due laghi possono essere considerati come eutrofici (Tab. 4).

Le dinamiche dell'ossigeno ipolimnico, che in entrambi i laghi è stato deplesso

totalmente, e del pH, che nell'epilimnio ha raggiunto valori alcalini prossimi alle 10 unità, unitamente alla composizione ed abbondanza del fitoplancton, confermano pienamente questa diagnosi.

BIBLIOGRAFIA

Findenegg, I. 1974. Expressions of populations. In: Vollenweider R. (ed.). *A manual of methods for measuring primary production in aquatic environments:* 16-17. I.B.P. 12. Blackwell Scientific Publications. Oxford. 225 pp.

Fresenius, W., K.E. Quentin & W. Scheneider. 1988. Water Analysis. A practical Guide to physico-chemical and microbiological water examination and quality assurance. Springer-Verlag, Berlin.

Golterman, H.L., R.S. Clymo & M.A.M. Ohnstad. 1978. Method for physical and chemical analysis of fresh waters. I.B.P. 8. Blackwell Scientific Publications. Oxford.

Heinonen, P. 1980. Quantity and composition of phytoplankton in Finnish inland waters. *Publication of the Water Research Institute N° 37.* National Board of Water. Helsinki.

Hörnstrom, E. 1981. Trophic caracterization of lakes by means of qualitative phytoplankton analysis. *Limnologica,* 13: 249-261.

O.E.C.D. 1982. Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control. O.E.C.D., 1982. Paris.

Rodier, J. 1971. L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau. Dunad. Paris.

Rosén, G. 1981. Phytoplankton indicators and their relations to certain chemical and physical factors. *Limnologica,* 13: 263-290.

Sechi, N. 1978. Struttura e biomassa dei popolamenti fitoplanctonici nel Lago Omodeo (Sardegna centrale). *Giorn. Bot. hai.,* 112: 347-360.

Sechi, N. 1989. L'eutrofizzazione dei laghi artificiali della Sardegna. In: Provincia di Cagliari (ed). *Qualità dell'acqua in Sardegna:* 71-82. Stef. Cagliari.

Sechi, N. & A. Cossu. 1979. Prime valutazioni sui livelli trofici di alcuni bacini artici ciali della Sardegna. *Mem. Ist. Ital IdrobioL,* 37: 259-276.

Sechi, N. & R. Manca. 1983. La comunità fitoplanctonica e lo stato trofico del Lago di Oschiri (Sardegna Settentrionale). *Atti 4° Congresso A.I.O.L.,* Chiavari 1-3 dicembre 1980. 25: 1-9.

Sechi N. & A. Luglié. 1993. Limnological studies on man-made lakes in Sardinia (Italy). In: Guilizzoni, Tartari e Giussani (eds). *Limnology in Italy. Mem. Ist. ital. IdrobioL,* 50: 365-381.

Strickland, J.D.H. & T.R. Parsons. 1968. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Board Can.,* 167. Ottawa.

Atti del 10° Congresso A.l.O.L.
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da pag. 295 a pag. 305

ANNUAL DYNAMICS OF MEIOBENTHIC COMMUNITIES IN THE LIGURIAN SEA (NORTHWESTERN MEDITERRANEAN): PRELIMINARY RESULTS

Roberto DANOVARO (°), Jan MEES (*) and Magda VINCX (*)

(°) Istituto di Scienze Ambientali Marine, Università di Genova, Corso Rainusso 14,16038, S. Margherita L., Genova, Italy.

(*) Marine Biology Section, Institute of Zoology, University of Gent, K.L. Ledeganckstraat 35, B-9000, Gent, Beigium.

RIASSUNTO

La struttura e la dinamica di comunità meiobentoniche di una area sabbiosa subtidale del Mar Ligure, posta alla profondità di 10 metri, sono state studiate tra il Gennaio 1991 ed il Gennaio 1992. La densità della meiofauna era compresa tra 447 e 3421 ind./lOcm^2 (rispettivamente in Aprile e Luglio). I nematodi costituivano il gruppo dominante (in media il 75 % della comunità). I copepodi arpacticoidi costituivano il secondo gruppo per abbondanza (variando tra l'1.7 ed il 55.3 %) seguiti dai turbellari (in media il 5.5 % della meiofauna totale) e policheti (in media l'1.2 % del totale). Diversi parametri ambientali (contenuto in materiale organico, granulometrìa, profondità dello strato anossico, RPD) sono stati posti in relazione alle caratteristiche strutturali della comunità. Viene discussa l'importanza dei fattori ambientali nello strutturare la comunità.

SUMMARY

The dynamics of meiobenthic community were investigated on sandy sediments of the pilot station of Zoagli (Ligurian Sea) between January 1991 and January 1992. Meiofaunal densities ranged between 447 (April) and 3421 (July) ind./10 cm^2. Nematodes were the dominant group comprising on the average 75 % of the total fauna. Harpacticoid copepods were the second most abundant group (from 1.7 to 55.3 %) followed by Turbellaria (on the average 5.5 % of total fauna) and Polychaeta (on average 1.2 % of total fauna). The importance of several environmental parameters (such as total organic matter, grain size and RPD depth) in structuring the meiobenthic community is discussed.

1. INTRODUCTION

The meiofauna is defined as an assemblage of small benthic metazoans having a coherent set of life-history and feeding characteristics which sets them apart as a separate evolutionary unit from larger macrofauna (Warwick, 1987). Meiofauna is also considered as one of the most important components in marine sediments both in terms of abundance and production (Higgins & Thiel, 1988).

Despite this meiofauna received, untill few years ago, little attention in the Mediterranean Sea and very few studies dealt with the distribution of meiobenthos in the continental shelf (see Soyer, 1985 for a review) or deeper areas (Soetaert et al, 1991).

The mediterranean basin is considered a semienclosed, oligotrophic System. However, meiofaunal densities reported for this area are comparable to those recorded in other ocean which are richer in terms of food availability on the sea floor (Soyer, 1985).

Most of the studies suggest that meiofauna populations are related to sediment properties (Higgins & Thiel, 1988). However, biological interactions and particularly the amount of available food seem to play a significant role in the regulation of meiofaunal dynamics. Nevertheless, at the present moment we still don't know exactly which are the regulation mechanisms, the factors affecting meiofaunal distribution and the importance of meiobenthos in the energetics of benthos in the Mediterranean (Gufile & Soyer, 1978).

In the present study, the observations relative to the annual dynamics of meiobenthic communities in a subtidal sandy station of the Ligurian Sea are reported.

2. MATERIALS AND METHODS

Sediment samples were collected on a monthly basis by SCUBA divers between January 1991 and January 1992 in a subtidal sandy station of the Gulf of Marconi (Ligurian Sea, Northwestern Mediterranean, Fig. 1). Salinity and temperature were recorded using an AANDERAA instrument (mod. 2975). Grain size analysis was carried out using dry sieve technique. The depth of the Redox Potential Discontinuity (RPD) was measured on three replicates as depth on which the colour of the sediment core turns from grey-brown to black.

Total organic matter was reported as the difference between the dry weight (60°C, 24h) of the sediment and weight of the residue left after combustion at 450°C (2 h). Meiofaunal sampling was carried out on two replicate cores (10.7 cm^2) after division in 3 vertical sections (0-4, 4-8, 8-12 cm). Samples were fixed with a hot (60°C), 4 % formaldehyde in prefiltered seawater solution (0.4 μm, Nuclepore polycarbonate filters). When sediment was too coarse, a first extraction was based

on decantation. The fine material (or for the fine sediments the whole sample) was sieved trough 1000 and 37 μm mesh sizes. The fraction remaining on the 37 μm sieve was centrifugated three times with Ludox TM (density 1.18 g cm^3) in order to separate the organisms from the sediment grains (Heip et al., 1985). All meiobenthic animals (of the complete core) were counted and classified per taxon under a stereo microscope after staining with Rose Bengal.

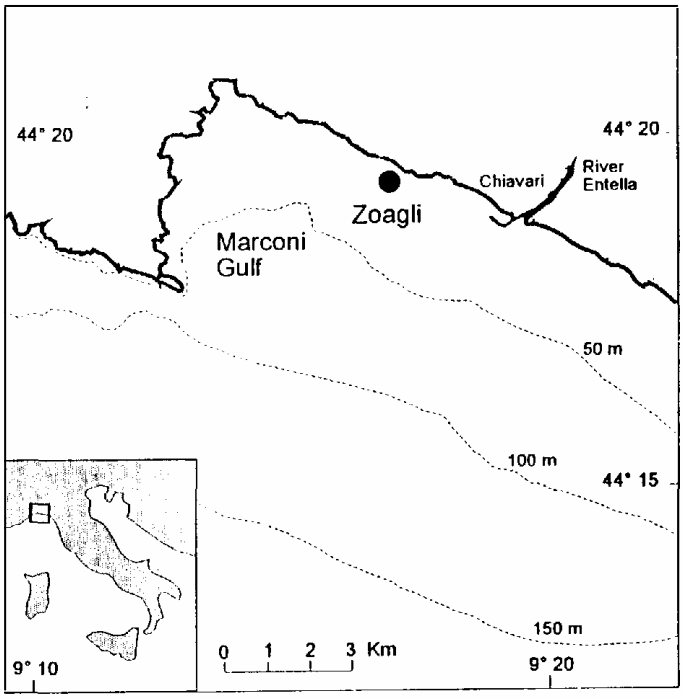


Fig. 1. Sampling area and station location.

3. DATA ANALYSIS

The whole set of data underwent to least-square regression analysis. Bray-Curtis clustering and Two-Ways Indicator Species Analysis (TWINSPAN) was used to classify the meiofaunal taxa with replicates kept separately. Analyses were carried out on transformed and on non transformed data. When not specified, the results of the analyses based on non transformed data are reported. The density values for the 8 cut levels used for the TWINSPAN analysis are 0,3, 7, 15, 45,150, 750,1500.

4. RESULTS AND DISCUSSION

Temperatures recorded during the 13 months investigation showed a typical trend characterized by highest temperatures between July and September in correspondence to water column stratification (Fig. 2). Lowest temperatures were observed in February. As result of the colder air temperature, bottom sediment showed temperature higher than at surface waters in March, November and January.

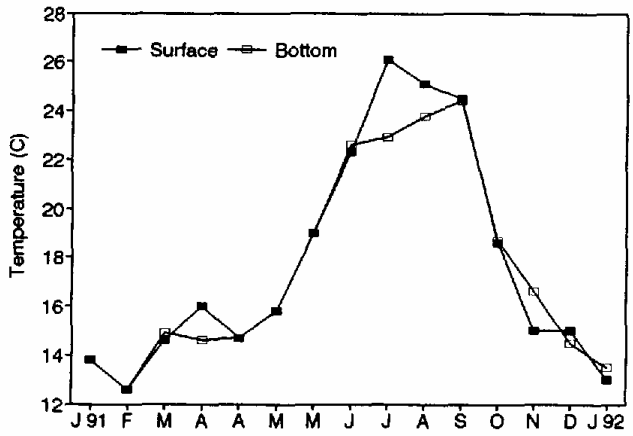


Fig. 2. Seasonal variations of temperature at surface and sediment / water interface.

Large seasonal variations were observed both for rain precipitations and for salinity that showed, as consequence of the heavy rainfall during summer, the lowest values between May and August remaining quite Constant during the rest of the year (Fig. 3).

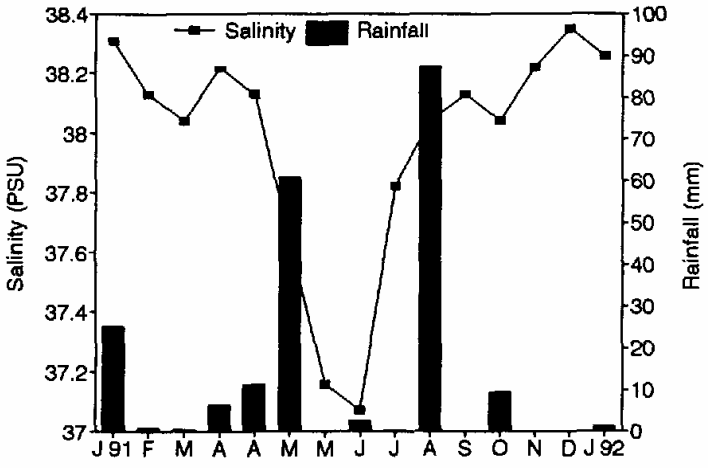


Fig. 3. Seasonal variations of salinity and rain precipitations

During the study period, sediments were always characterized by oxic conditions in the top 12 cm. Anoxic conditions were observed in June (19 cm depth), October (16.0 cm depth) and January (12 cm depth) (Fig. 4).

Granulometric analysis of the sediments in the top 4 cm is shown in Fig. 5. Grain size did not show significant variations during the year with the only exception of May when sediments exibited a coarser composition because sampling was carried out after a sea storm.

Total organic matter content ranged between 0.8 and 2.9 % respectively in June and February 91 and January 92. Generally, lowest concentrations were recorded in summer (Fig. 6).

Seasonal variations of total meiofaunal abundance are shown in Fig. 7 and the relative importance of the different taxa in Fig. 8. The strong seasonality was

characterised by highest densities during warmest months (3463 247 ind./10 cm^2, July) while usually lowest densities were recorded in winter.

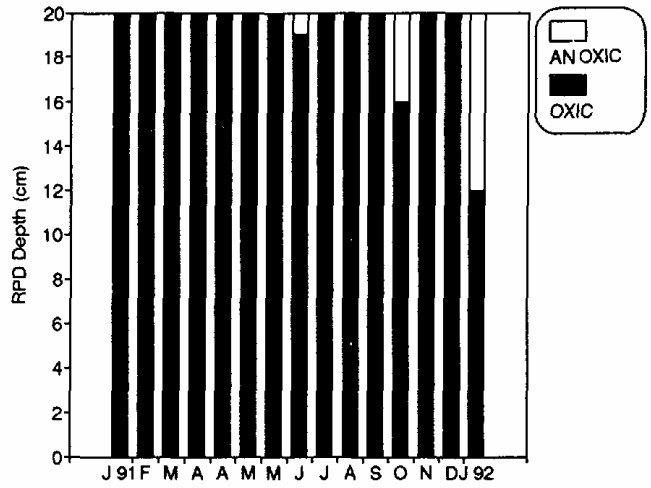


Fig. 4. Seasonal changes of the RPD depth (cm).

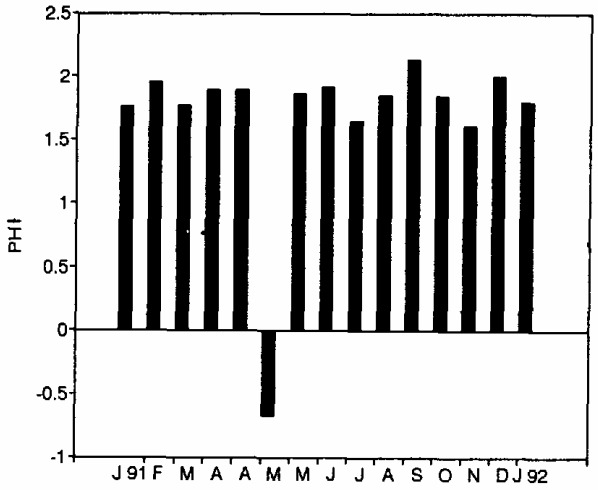


Fig. 5. Seasonal variations of the grain size (Wentworth scale).

The reported densities are in good agreement with those reported for the Mediterranean Sea and with those recorded in adiacent seas (Table 1).

This is surprising since this area is characterized by low macrofaunal density and biomass when compared to other coastal areas (Albertelli et al., 1992).

Being an usual feature of this kind of sediments, Nematoda were the dominant group accounting on average for 75 % of total meiofaunal density (ranging between 30 % in November and 93 % in August, Fig. 9). Copepoda harpacticoida were the second taxa in terms of abundance (ranging between 1.7 % in April and 55.3 % in November, Fig. 9) followed by Turbellaria (ranging between 2 %, in July and 16 %, in November; Fig. 10) and by Polychaeta (on the average 1.2 % of total meiofaunal abundance, Fig. 10).

No clear seasonal dynamics can be detected by the result of the cluster analysis (Fig. 11). However, a particular feature was observed in November and is the result of the temporary copepod recruit. The TWINSPAN analysis allows to identify which taxonomic groups are responsible for the observed dynamics (Fig.12). For instance, the bivalve recruit characterised the spring months: March (cut level 1) and May-June (cut level 2). Generally low densities were typical of cold months and highest nematode densities (cut level 8) characterised the warmest months.

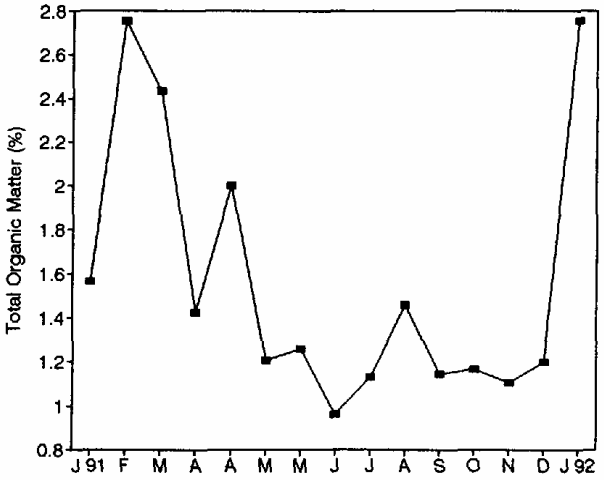


Fig. 6. Seasonal variations of total organic matter (TOM).

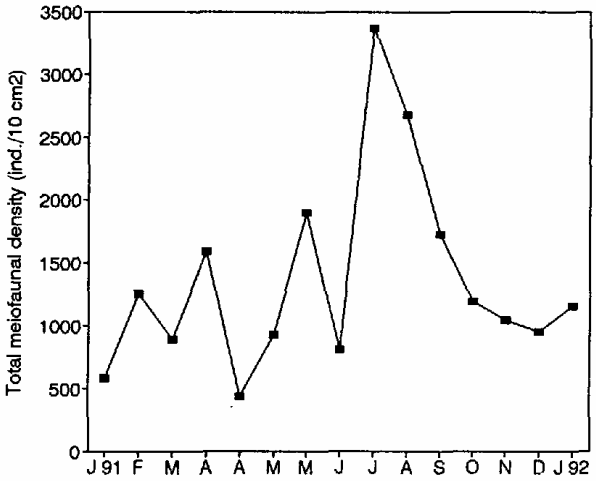


Fig. 7. Seasonal variations of the total abundance of meiofauna in the top 12 cm of the sediments.

Few data are available on the seasonal cycles of abundance of total meiofauna (Soyer, 1971, de Bovée & Soyer, 1974; Hulings, 1974; de Bovée, 1981; Sandulli & De Nicola, 1990). All of them reported strong seasonal fluctuations characterised by low densities in cold months and high peaks in summer. In our study we found a weak relationship between temperature and meiofaunal density. Similar results were observed by Soyer (1971) who found decreasing seasonal variations with increasing depth and consequently reduced temperature variations, and indirectly by Bodiou & Chardy (1973). However, no significant relationships were found when the other environmental factors were considered.

Another factor usually invoked to explain the meiofaunal dynamic is the amount of available food. However, in the present study we did not find any relationship between total organic matter content and meiofaunal densities. Such kind of relationship is usually difficult to establish (Coull, 1970; Tietjen, 1977; de Bovée et al, 1979). Khripounoff et al. (1980) stressed that the quality of sediment organic matter could not be neglected and showed a significant relationship between labile sediment proteins and macrofaunal densities. In the deep-sea sediments of the eastern Mediterranean Sea, Danovaro et al. (1993) found that microbial biomasses were closely related to the amount of labile organic material. In our case, the lack of any relation could be due to the largely refractory composition of the total organic matter.

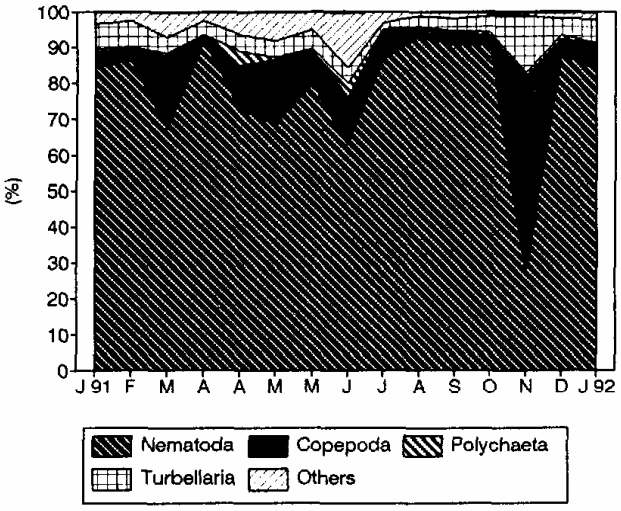


Fig. 8. Seasonal changes in community structure: relative importance of different taxa in terms of abundance.

Area	Depth (m)	Sediment Type	Density (n.x10E5 ind./m2)	Sampling Method	Authors
Banyuls	30	Mud	8.2	Kullemberg	Bougis, 1946
Banyuls	30	Mud	6.7	Kullemberg	Bougis, 1950
Banyuls	15-91	Sand-Mud	0.4-3.5	Kullemberg	Guille & Soyer, 1968
	14-87	Sand-Mud	0.9-6.8	Kullemberg	
Marseille	10	Sand	25	Manual Corer	Vitiello, 1968
Banyuls	10	Sand	5.4	Manual Corer	Soyer, 1971
Banyuls	3-10	Sand	2.5	Manual Corer	
Banyuls	30-70	Mud	2.7-6.1	Kullemberg	
Banyuls	70-130	Mud	0.6-1.3	Kullemberg	
Banyuls	32.5	Mud	29-88	Manual Corer	de Bovée & Soyer, 1974
Banyuls	32.5	Mud	17-88	Manual Corer	de Bovée, 1981
Adriatic Sea	13-17	Sand	2.1-3.6	Kullemberg	Marcotte & Coull, 1974
Adriatic Sea	6-25	Sand	9	Van Veen	Vidakovic, 1983
Tyrrhenian Sea	24	Sand	2-80	Manual Corer	Sandulli & De Nicola, 1980
Ligurian Sea	10	Sand	5-35	Manual Corer	Present Study

Table 1. Total number of meiobenthic organisms (ind./m2) in different shallow subtidal areas of the Mediterranean Sea.

5. CONCLUSIONS

The assessment of the meiofauna's role in the sediments of the Mediterranean Sea is still based on little evidence. These results confirm the quantitative importance of the meiobenthos at shallow depth. Seasonal fluctuations in density were only partially due to changes in temperatures but no relationships were found with other sedimentary parameters such as grain size and the bulk of sediment organic matter. Other factors, such as the amount of labile organic compounds (i.e. organic matter available to benthic consumers) should be probably taken into

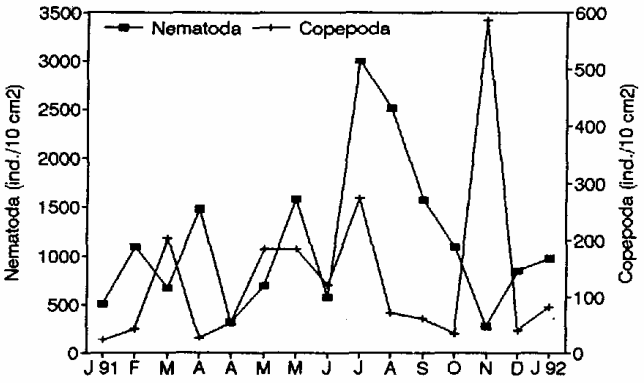


Fig. 9. Seasonal variations of nematoda and copepoda abundance.

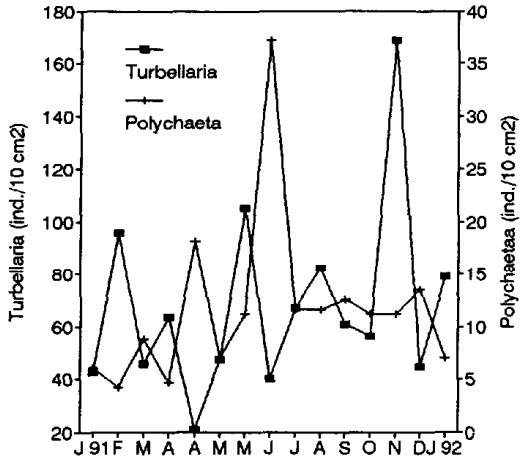


Fig. 10. Seasonal variations of the densities of polychaeta and turbellaria.

consideration for understanding the factors potentially limiting the abundances, trophic strategies and dynamics of meiobenthic communities in the studied area.

Further studies are needed for identifying the factors related to the dynamics of meiofaunal communities.

Acknowledgements

We would like to thank Prof. Mauro Fabiano (Università di Cagliari) and Prof. Giancarlo Albertelli (Università di Messina) for useful criticisms and for providing financial support, Dr. Simonetta Fraschetti (Università di Genova) for help during sampling and suggestion on the manuscript. Roberto Danovaro was financially supported by a grant of the *Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica (M. U.R.S. T.)*

Fig. 11. Results of the Bray-Curtis Cluster analysis on meiobenthic taxa (non transformed data).

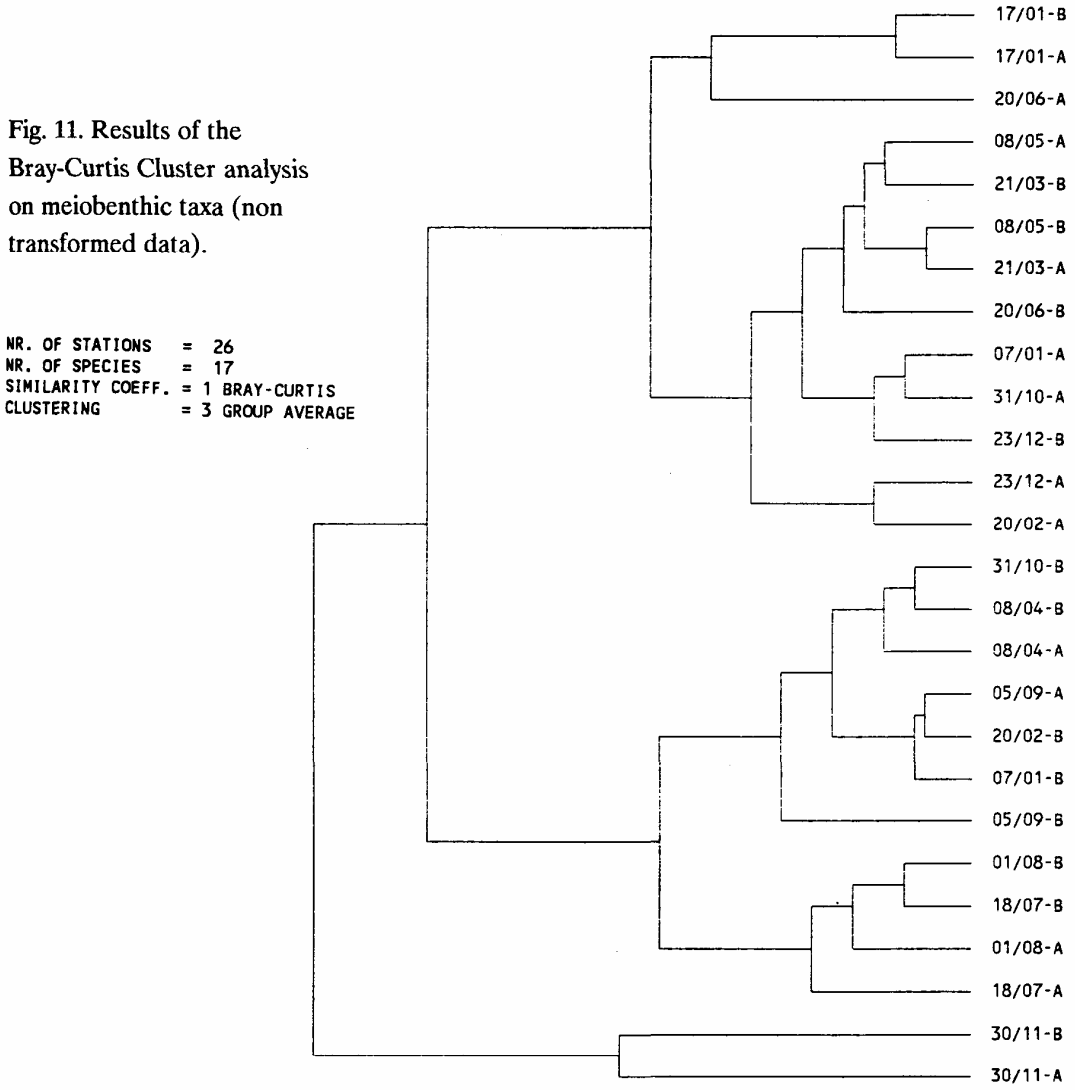
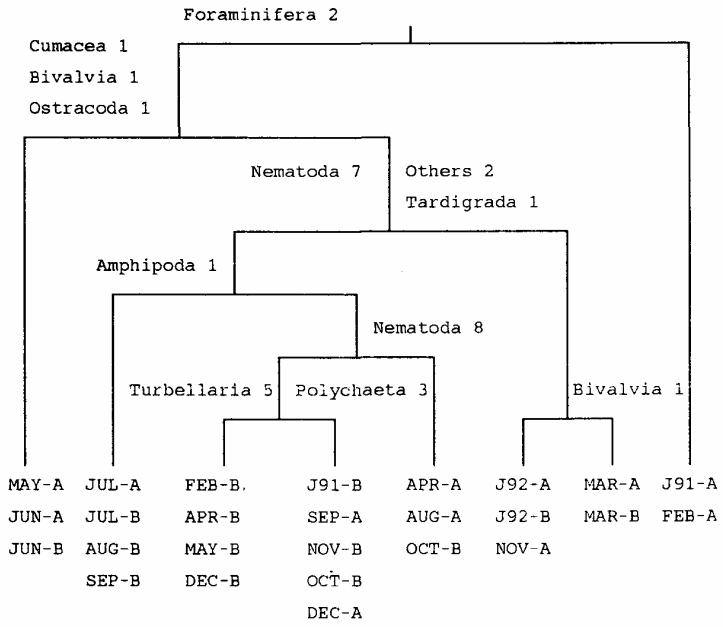


Fig. 12. Results of the TWINSPAN analysis on meiobenthic taxa.



REFERENCES

Albertelli, G., M. Chiantore & S. Fraschetti (1992). A one year study of a sandy bottom community seasonal fluctuations compared to a previous sampling period. *AttiXCongr. A.I.O.L.,* 387-394.

Bodiou, J.Y. & P. Chardy (1973). Analyse en composantes principales du cycle annuel d'un peuplement de copépode harpacticoides des sables infralittoraux de Banyuls-sur-Mer. *Mar. Biol.,* 20: 27.

Bougis, P. (1946). Analyse quantitative de la microflore d'une vase marine à Banyuls-sur-Mer. *C. r. hebd. Séanc. Acad. Sci.,* Paris, 222: 1122.

Bougis, P. (1950). Méthode pour l'étude quantitative de la microfauna des fonds marins (Méiobenthos). *Vie et Milieu,* 1: 23.

Bovée, F. de (1981). Ecologie et dynamique des Nematodes d'une vase sublitorale (Banyuls-sur-Mer). *These Doct. Etat, Univ. P. & M. Cune,* Paris.

Bovée, F. de & J. Soyer (1974). Cycle annuel quantitatif du méiobenthos des vases terrigènes cotières. Distribution verticale. *Vie et Milieu,* 24: 147-157.

Bovée, F. de, Celiile D. & J. Soyer (1979). Essay d'analyse en composantes principales des relations entre densités en meiofaune et facteur du milieu dans l'Archipel de Kerguelen, *Mem. Mus. Natn. Hist. Nat.,* C (43): 197.

Coull, B.C. (1970). Shallow water méiobenthos at the Bermuda platform. *Oecologia,* 4: 325.

Danovaro, R., M. Fabiano & N. Della Croce (1993). Labile organic matter and microbial biomasses in deep sea sediments (Eastern Mediterranean Sea). *Deep-Sea Res.,* 40: 953-965.

Guille, A. & J. Soyer (1978). Contribution a l'étude comparée des biomasses du macrobenthos et du méiobenthos des substrats meubles au large de Banyuls-sur-Mer. 3^{r} E. M. B., Arcachon, *Vie et Milieu,* Suppl. 22: 15.

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

Higgins, R.P. & H. Thiel (1988). Introduction to the study of meiofauna, Smithsonian Inst. Press. London.

Hulings, N.C. (1974). A temporal study of Lebanese sand beach meiofauna. *Cah. Biol Mar.*,15: 319.

Khripounoff, A., D. Desbruyeres & P. Chardy (1980). Le peuplements benthiques de la faille Verna: donnée quantitatives et bilan d'energie en milieu abyssal. *Oceanol. Acta.* 3: 187.

Marcotte, B.M. & B.C. Coull (1974). Pollution diversity and meiobenthic communities in the North Adriatic Bay (Bay of Piran, Yugoslavia). *Vie et Milieu,* 24: 281-300.

Sandulli, R. & M. De Nicola (1990). Pollution effects on the structure of meiofaunal communities in the bay of Naples. *Mar. Poli. Bull.,* 21: 144-153.

Soetaert K., C. Heip & M. Vincx (1991). The meiobenthos along a Mediterranean deep-sea transect off Calci (Corsica) and in an adjacent canyon. *P.S.Z.N.I.: Mar. Ecol.,* 12: 227-242.

Soyer, J. (1971). Bionomie benthique du plateau Continental de la cote catalane francais V. Densité et biomasses du meiobenthos. *Vie et Milieu, 22:* 351-423.

Soyer, J. (1985). Mediterranean Sea Meiobenthos. In: M. Moraitou-Appostolopoulou & V. Kiortsis (Eds.) *Mediterranean Marine Ecosystem,*, NY Plenum Publishing Corporation, 85-108.

Tietjen, J.H. (1977). Population distribution and structure of the free-living Nematodes of Long Island. *Mar. Biol.,* 43: 123-129.

Vidakovic, J. (1983). The influence of raw domestic sewage on density and distribution of meiofauna. *Mar. Poli. Bull.,* 14: 84- 88.

Vitiello, P. (1968). Variation de la densitè du meiobenthos sur une aire restreinte. *Recueil des traveaux Station Marine d'Endoume,* 43: 261-270.

Warwick, R. M. (1987). Meiofauna: their role in marine detrital systems. IN: D.J.M. Moriarty & R.S.V. Pullin (Eds.) *Detritus and microbial ecology in aquaculture.* ICLARM Conference Proceedings, 14: 282-295.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L.
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da pag. 307 a pag. 325

DISTRIBUZIONE DEL MICROZOOPLANCTON NELLO STRETTO DI MESSINA (ESTATE 1990)

Maria Pia SPARLA e Letterio GUGLIELMO

Dipartimento di Biologia Animale ed Ecologia Marina - Università di Messina

SUMMARY

In the framework of a research program on the plankton populations in frontal areas of the Straits of Messina, we have investigated the microzooplankton communities of this remarkable oceanographic region. Data referred to in this work were collected during the June-July 1990 cruise. Samples were collected, at two depths (20 and 50 m) at 18 stations by 5 liter Niskin bottles. Microzooplankton were mainly caracterized by Tintinnids and nacked ciliates, which were common at ali sampled stations and depths. Of the 73 identified taxa, 62 have been identified to the species level and 11 to the genus level.

Aloricated ciliates represent 47.5 % of the entire population and 52.1% of the Protozoans.Tintinnides constitude 43.7% of the total population and 46.0% of the Protozoans. Acantharians, Radiolarians and Foraminiferans are less common, representing 3.6% of the total. Micrometazoans represent 5.2% of the population. Of the identified species, 10 are found at both depth and are the most frequent.

Statistical analyses using Principal Components and Cluster analyses indicated a strong correlation between Tintinnids and hydrodinamic characteristics of the Straits of Messina, characterized by considerable discontinuities in water mass structures.

The present data represent a preliminary approach to the understanding of the microzooplankton of the Straits from a taxonomic and ecological point of view.

1. INTRODUZIONE

II microzooplancton rappresenta una componente importante della comunità planctonica, ed esso risulta costituito dai più piccoli organismi eterotrofi (20 - 200 µm).

Le conoscenze su questa componente planctonica sono relativamente scarse; questo fatto è in parte imputabile ai problemi di campionamento e conservazione ed in parte alle difficoltà nell'identificazione tassonomica degli organismi, specialmente dei Ciliati non loricati e delle forme cistiche.

Il microzooplancton sembra peraltro avere un ruolo fondamentale nelle catene alimentari marine, ai fini del trasferimento di energia dai primi livelli trofici a quelli successivi. Infatti, i Ciliati rappresenterebbero un anello tra i produttori primari ed un grande numero di organismi zooplanctonici in posizioni più elevate nella piramide trofica (Margalef, 1963).

Negli ultimi decenni sono stati condotti studi sul microzooplancton che includono non solo gli aspetti morfologici e sistematici, ma anche quelli biochimici ed ecologici, al fine di valutare l'importanza che questi organismi assumono nella rete trofica marina (Sorokin, 1978; Capriulo & Carpenter, 1980; Taylor, 1982; Conover, 1982; Fenchel, 1987).

La pressoché totale mancanza di conoscenze sul ruolo ecologico di questa comunità

nelle acque dello Stretto di Messina ci ha indotto ad intraprendere, nell'estate del 1990, uno studio preliminare sulla sua composizione e distribuzione. Questo fa parte di un più ampio programma di ricerca sullo sviluppo delle popolazioni planctoniche in aree frontali e di upwelling.

2. MATERIALI E METODI

I campioni di microzooplancton sono stati raccolti nel corso di una crociera effettuata nell'estate del 1990 nell'area idrografica dello Stretto di Messina conia N/R "Algesiro Matteo". In totale sono state fissate 18 stazioni di cui metà effettuate dal 22 al 23 giugno (staz. 1-9) e metà dal 20 al 21 luglio (staz. 10-18) (Fig. 1 e Tab. 1).

In ogni stazione i campioni d'acqua per l'analisi del microzooplancton sono stati raccolti con bottiglie Niskin da 5 litri, alle quote di 20 m e 50 m. Contemporaneamente sono stati effettuati profili con CTD mod. OCEAN SEVEN 401 della IDRONAUT.

A bordo i campioni venivano raccolti in contenitori da 2 litri e immediatamente concentrati a 250 mi, tramite filtrazione su retino con maglie da 20 µm, prima di essere fissati con formalina tamponata al 3%. In laboratorio la sedimentazione è stata effettuata in cilindri da 100 mi per un periodo di 60h ed il conteggio degli individui secondo il metodo Utermohl (1958), utilizzando un microscopio rovesciato con contrasto di fase Leitz Labovert a 200 e 320 ingrandimenti.

I dati relativi all'analisi tassonomica sono stati trattati con sistemi di analisi multivariata, per definire la distribuzione del popolamento in funzione delle caratteristiche ambientali dell'area esplorata. A tal fine, i dati sono stati espressi sotto forma di tabelle specie/stazione, utilizzando soltanto l'analisi tassonomica relativa al gruppo dei Tintinnidi, che rappresenta in tutti i campioni circa il 45% del popolamento microzooplanctonico.

Stazione	Data	Latitudine N	Longitudine E	Profondità Ecosonda (m)	Profondità campionata (m)	Temperatura (t °C)	Salinità (psu)
1	22-06-90	37°55'00"	15°42'00"	670	20	16.99	38.158
					50	15.23	38.334
2	22-06-90	37°54'30"	15°33'30"	1320	20	16.59	38.251
					50	15.34	38.370
3	22-06-90	37°54'30"	15°23'00"	570	20	17.44	38.222
					50	16.05	38.278
4	22-06-90	38°00'00"	15°28'00"	610	20	16.53	38.212
					50	15.67	38.286
5	22-06-90	37°59'30"	15°33'30"	1100	20	16.67	38.218
					50	16.05	38.232
6	22-06-90	38°00'00"	15°37'00"	560	20	17.39	38.193
					50	15.24	38.463
7	22-06-90	38°05'42'	15°37'30"	220	20	16.65	38.354
					50	14.44	38.637
8	22-06-90	38°05'42"	15°34'18"	780	20	16.16	38.172
					50	15.24	38.363
9	22-06-90	38°06'00"	15°31'18"	330	20	16.86	38.194
					50	14.87	38.500
10	21-07-90	38°10'30"	15°34'18"	250	20	20.02	38.108
					50	19.37	38.542
11	21-07-90	38°09'54"	15°36'00"	400	20	20.57	38.142
					50	17.53	38.466
12	21-07-90	38°09'42"	15°38'12"	260	20	21.59	38.065
					50	16.82	38.300
13	21-07-90	38°14'18"	15°39'36"	155	20	20.86	37.978
					50	14.89	38.323
14	21-07-90	38°15'12"	15°38'06"	120	20	18.25	37.982
					50	14.61	38.486
15	21-07-90	38°14'00"	15°36'00"	170	20	17.12	38.016
					50	14.98	38.140
16	21-07-90	38°16'48"	15°42'00"	230	20	23.37	38.012
					50	15.88	38.100
17	21-07-90	38°17'00"	15°40'00"	180	20	18.52	38.151
					50	16.00	38.094
18	21-07-90	38°17'30"	15°48'00"	260	20	22.38	37.978
					50	16.47	38.062

Tab. 1 - Data, coordinate e profondità all'ecosonda delle stazioni di prelievo del micro-zooplancton. Valori di temperatura e salinità relative alle due quote esaminate

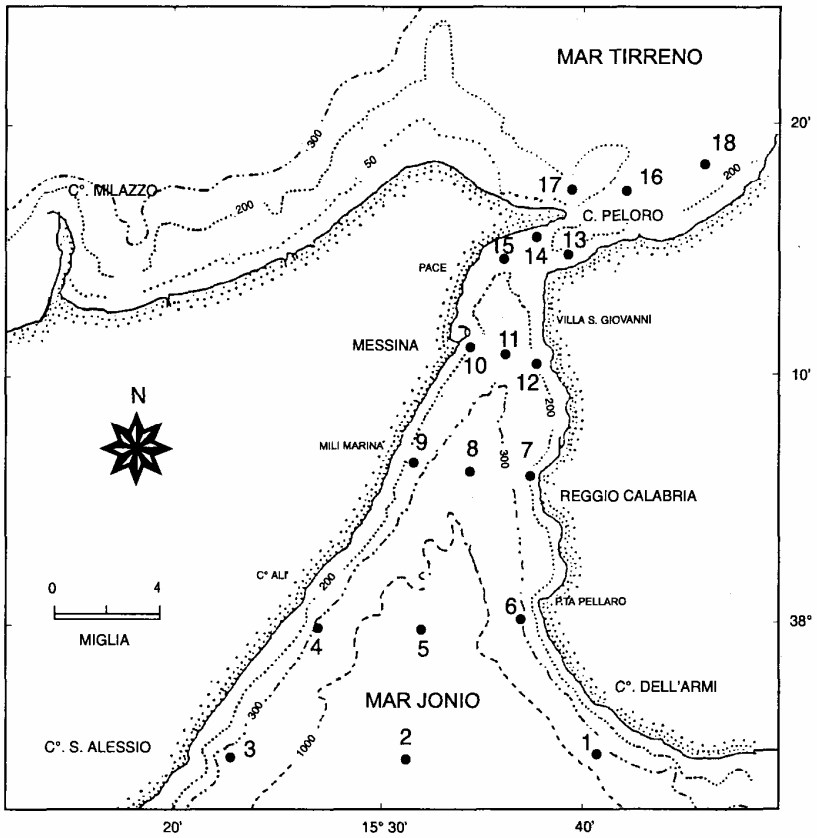


Fig. 1 - Posizione delle stazioni di campionamento

I programmi utilizzati sono STATGRAFICS 4.0 (Statistical Graphics System rel. 4.0 1989; Legendre & Legendre, 1984) per l'analisi delle "Principal Components" con il metodo del "sum of square ranking" e BMDP (Biomedical Computer Programs; Dixon et al., 1981) per la "Cluster Analysis" con il metodo del centroide.

3. AREA DI STUDIO

La forma dello Stretto di Messina, come osservò Mazzarelli (1909), è ad imbuto con l'apertura verso il Mar Ionio e l'estremità verso il Tirreno. Mentre la profondità del primo aumenta raggiungendo già all'altezza di Capo dell'Armi l'isobata dei 1500 m, nel Tirreno il pendio si abbassa più dolcemente e raggiunge ad ovest di Capo Milazzo l'isobata dei 1000 m. Si può notare pertanto come il fondo dello Stretto abbia la configurazione di un monte la cui sommità è in corrispondenza della sella Ganzirri - P.ta Pezzo (profondità minima 72 m dalla superficie).

Com'è noto, lo Stretto di Messina è sede di intensi fenomeni idrodinamici che ne costituiscono la principale caratteristica. Esso è interessato sia da correnti stazionarie che di marea. Le prime sono rappresentate da un flusso superficiale di acque tirreniche con direzione N/S e da acque joniche profonde con direzione opposta; tali correnti possono raggiungere una velocità massima di 50 cm/s in corrispondenza della sella. Le correnti di marea vengono invece originate dalle fasi opposte delle maree nei due bacini e possono raggiungere, nei periodi di sizigie, i 200 cm/s sulla sella sia durante la corrente "montante" (alta marea ionica) che durante quella "scendente" (alta marea tirrenica) (Fig. 2). Esse si

sovrappongono a quelle stazionarie generando in vicinanza della costa fenomeni secondari, ampiamente descritti da Mazzarelli (1936), che interessano la massa d'acqua sia orizzontalmente (tagli, refoli e scale di mare) con vere e proprie onde di discontinuità (Alpers & Salusti, 1983) in punti particolari quali Ganzirri, Torre Faro e Punta Pezzo, sia verticalmente in senso ciclonico (vortici) o anticiclonico (macchie d'olio) in tre precisi siti dello Stretto fuori Capo Peloro, tra Capo S. Raineri e l'imboccatura del Porto di Messina e nei pressi di Punta Pezzo (Vercelli, 1925; Mazzarelli, 1936). Più in particolare, in fase di corrente "scendente", le acque tirreniche più leggere scorrono su quelle joniche fino a che l'intera parte centrale dello Stretto viene ampiamente interessata da queste acque fluenti verso sud (Bossolasco & Bagnino, 1959; Faganelli, 1961). All'opposto, con il predominio della corrente "montante", acque via via più dense interessano il centro del bacino affondando in quelle tirreniche una volta oltrepassata la sella (Vercelli, 1925; Vercelli & Picotti, 1926). Il fenomeno è apprezzabile maggiormente in regime di eterotermia estiva, quando le acque superficiali tirreniche sono più calde (Aliverti, 1963; Massi et al, 1979; Brandolini et al., 1980).

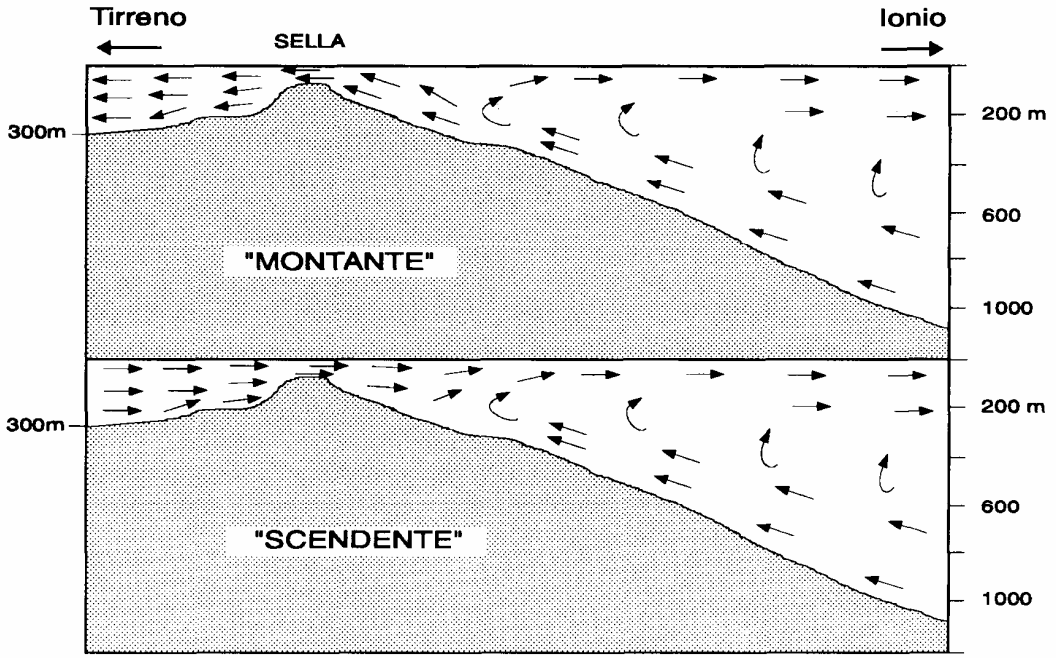


Fig. 2 - Sezione mostrante le correnti dello Stretto di Messina (da Brandolini et al., 1980)

A completare questo quadro ecologico subentrano, specialmente in estate, le diverse condizioni fisico-chimiche delle acque trasportate dalle due correnti principali di marea. A parte le differenze tipiche tra il bacino tirrenico e quello jonico, dove le acque sono notoriamente più salate e più fredde, e quindi più dense, si notano nello Stretto di Messina salti termici estivi notevoli, dovuti alla rimonta di masse d'acqua di origine profonda. Questi fenomeni di "upwelling" determinano la presenza, in molte parti dello Stretto, di acque molto più fredde di quelle riscontrabili alle medesime quote in altri siti dei due bacini jonico e tirrenico. L'intenso dinamismo delle acque impedisce così l'instaurarsi del termoclino essenzialmente nell'area dello Stretto, inducendo in tal modo particolari condizioni ecologiche (Di Geronimo & Fredj, 1987).

Facendo riferimento alla grande circolazione del Mediterraneo è stato accertato che

acqua di origine atlantica interesserebbe gli strati più superficiali dello Stretto di Messina attraverso il ramo che passa dal Basso Tirreno lambendo le Isole Eolie. Allo stesso modo acque intermedie di origine orientale (300-600 m) entrerebbero dall'imboccatura sud dello Ionio da dove interesserebbero lo Stretto portandosi a quote più superficiali in vicinanza della soglia (Cortese & De Domenico, 1990). Ciò è stato messo in evidenza anche da studi sullo zooplancton e sulla fauna mesopelagica (Guglielmo, 1976; Genovese et al., 1985; Cavallaro, 1987).

Si formano in tal modo, specialmente nella zona centrale dello Stretto, le cosidette "acque miste" con caratteristiche intermedie tra quelle joniche e quelle tirreniche (terminologia utilizzata in base al bacino di provenienza, De Domenico, 1987).

4. RISULTATI

Come si può osservare in Fig. 3, i Ciliati non loricati ed i Tintinnidi rappresentano quasi interamente il popolamento microzooplanctonico, rispettivamente con 47.5% e 43.7% del totale. Poco numerosi sono apparsi Radiolari, Acantari e Foraminiferi, contribuendo per il 3.6%, mentre gli stadi larvali di Metazoi contribuiscono all'intero popolamento con una percentuale pari al 5.2%.

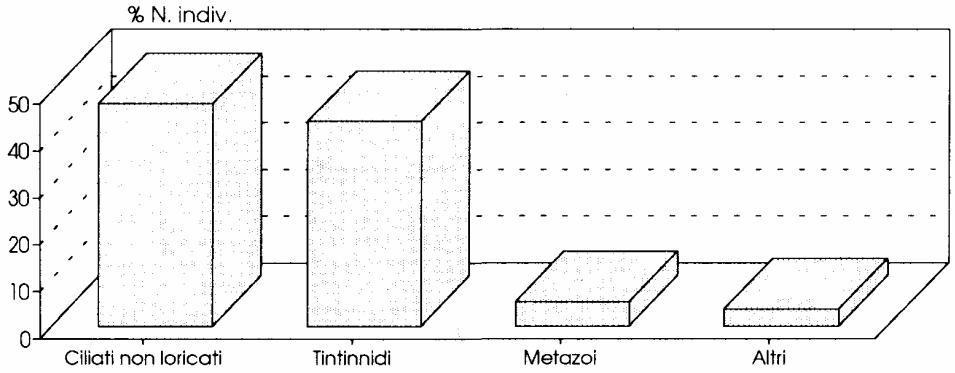


Fig. 3 - Composizione percentuale della comunità microzooplanctonica.

4.1. Distribuzione degli organismi microzooplanctonici

In Fig. 4 è stato riportato l'andamento spaziale della densità totale (somma dei valori relativi alle 2 quote esaminate) dei principali gruppi microzooplanctonici. Per quanto riguarda i Ciliati non loricati il valore più alto di densità è stato riscontrato nella staz. 1 (560 ind/l), in prossimità di Capo dell'Armi; si ha quindi un andamento quasi scalare sino alla staz. 8 (170 ind/l), situata al centro dello Stretto lungo l'asse Reggio Calabria - Mili Marina. Segue un gruppo di quattro stazioni (9-12) in cui i valori subiscono un nuovo incremento; tra queste, la staz. 11 presenta il massimo di densità totale (340 ind/l). Nelle rimanenti stazioni si ha un netto calo dei valori con punte minime nelle stazioni 16 (17.5 ind/l) e 17 (22.5 ind/l). Margalef (1969) riscontra che nel mese di luglio i Ciliati raggiungono nel Mediterraneo Occidentale una densità di circa 100-500 ind/l.

L'andamento spaziale dei Tintiidi è caratterizzato da valori di densità totale più costanti dalla staz. 1 alla staz. 10 (X = 246.2 ind/l). Nella staz. 11 si ha un discreto incremento della densità totale (346.5 ind/l) che si riporta subito sui valori medi nella stazione successiva (225 ind/l). Dalla staz. 13 in poi si verifica un progressivo decremento dei valori sino a raggiungere un minimo di 107.5 ind/l nella stazione 15, per riportarsi sui valori medi nelle rimanenti stazioni di quest'ultimo gruppo (X = 134.4 ind/l).

I restanti organismi (Micrometazoi ed Altri Protisti) presentano un andamento spaziale più disomogeneo. I valori di densità totale per i Micrometazoi vanno da un minimo di 2.5 ind/l (staz. 10) ad un massimo di 47 ind/l (staz. 14). In generale presentano un andamento altalenante con ampi scarti nei valori di densità dalla stazione 1 alla stazione 11 e con punte più alte nelle stazioni 3, 5, 8, 12, 14 e 15 (X = 39.5 ind/l). Anche gli Altri Protisti rispecchiano un simile andamento con punte più alte nelle stazioni 1 (52.5 ind/l), 5 (32.5 ind/l) e 13 (55 ind/l).

Per quanto riguarda la distribuzione verticale è stato osservato che, in ambedue le quote di campionamento (20 m, 50 m), la componente a Ciliati non loricati mostra un numero di individui notevolmente superiore per le stazioni dell'area jonica (Fig. 5a e Fig. 5b).

I più alti valori sono stati registrati sempre nelle stazioni poste all'imboccatura sud dello Stretto e con un progressivo impoverimento procedendo verso il Tirreno. Alla quota più superficiale delle stazioni 1-12 i valori di densità sono compresi tra 65 ind/l (staz. 8) e 317.5 ind/l (staz. 1), mentre per quella più profonda tra 87.5 ind/l (staz. 9) e 242.5 ind/l (staz. 1). I minimi sono stati registrati nel bacino tirrenico con valori di 12.5 ind/l e 10 ind/l, alla quota di 20 m, rispettivamente nelle staziz. 16 e 17. Per quanto riguarda lo strato più profondo le densità più basse si sono avute nelle stazioni 15 e 16, rispettivamente con 2.5 ind/l e 5 ind/l.

4.2 Tintinnidi

In tutte le stazioni esaminate non sono state evidenziate sostanziali differenze di densità fra le due quote esaminate, anche se risulta evidente un lieve aumento dei valori alle quote più superficiali. Come per i Ciliati non loricati, una netta divisione può essere fatta fra il gruppo di stazioni poste nella parte più meridionale dello Stretto, a sud di Messina (staz. 1-12), e quello più settentrionale (staz. 13-18), con valori nettamente superiori nella prima zona.

Alla profondità di 20 m il gruppo costituito dai Tintinnidi rappresenta il 44.8 % del popolamento microzooplanctonico, con valori di densità compresi tra un minimo di 47.5 ind/l (staz. 15) ed un massimo di 234 ind/l (staz. 11).

Alla profondità di 50 m i Tintinnidi rappresentano il 41.8 % dell'intero popolamento, con un andamento dei valori di densità molto simile a quello della quota più superficiale. Il minimo è stato registrato nella stazione 18 (52.5 ind/l) ed il massimo nella stazione 3 (145 ind/l).

I massimi registrati in queste stazioni sono da accreditare alla presenza del genere *Stenosemella.* Nel complesso sono state determinate 62 specie e 25 generi, di cui più di 20 sono distribuite a tutte le quote e in quasi tutte le stazioni. Tra queste le più frequenti sono: *Stenosemella nivalis, S. ventricosa, Helicostomella subulata, Craterella armilla, Tintinnopsis sp.* e *Dictyocista mitra* (Tab. 2 e Tab. 3).

Le stazioni che mostrano una maggiore variabilità specifica sono in buona parte quelle più vicine alla costa. La specie più abbondante in assoluto in quasi tutte le stazioni è *Stenosemella nivalis,* seguita da *S. ventricosa* e *Dictyocista mitra.*

Stenosemella nivalis è presente a tutte le quote ed in proporzioni maggiori alla quota di 20 m. Secondo Krsinic (1980) è tipica delle baie, dove è molto abbondante nel periodo freddo dell'anno. Anche nel nostro caso le concentrazioni maggiori sono state generalmente riscontrate in vicinanza della costa, anche se la specie è presente in tutta l'area.

Posta (1963) nota che *Stenosemella ventricosa* è abbastanza frequente nella Baia di Villefranche, presentando popolamenti molto abbondanti in primavera. E' presente in quantità considerevoli da marzo a metà maggio, con un intervallo di temperatura compreso tra 13 e 19 °C. Secondo lo stesso Autore la sua concentrazione diminuisce bruscamente quando la temperatura dell'acqua supera i 20 °C. Travers & Travers (1971) la inseriscono nel gruppo delle specie più comuni nel Golfo di Marsiglia, dove è presente durante tutto l'anno, soprattutto da marzo a maggio, quando si registrano le concentrazioni massime di

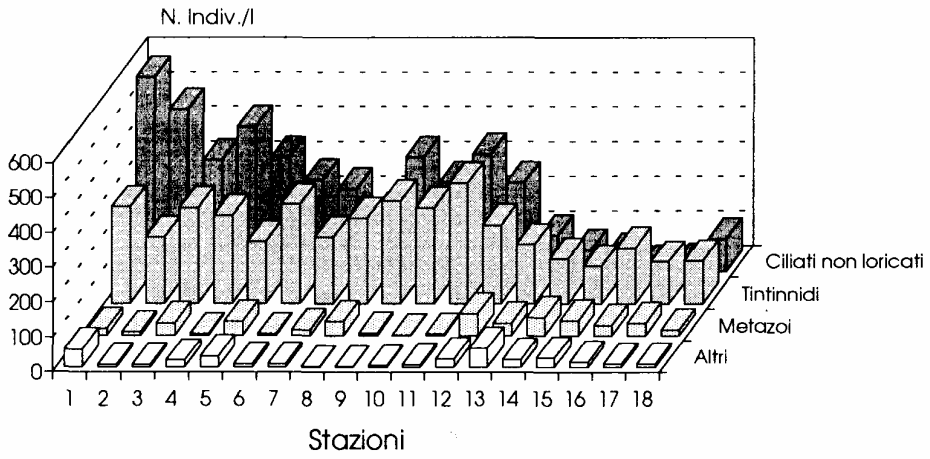


Fig. 4 - Densità totale del popolamento microzooplanctonico nelle diverse stazioni

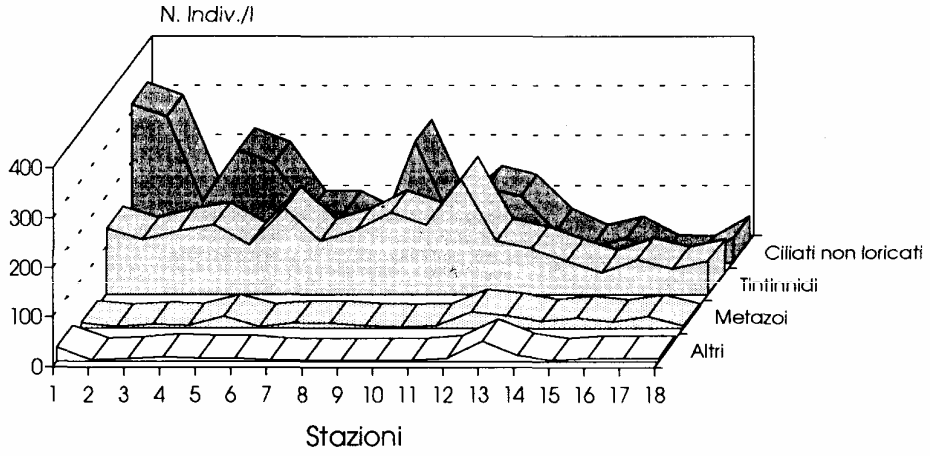


Fig. 5a - Distribuzione degli organismi microzooplanctonici nelle stazioni 1-18, alla quota di 20 m.

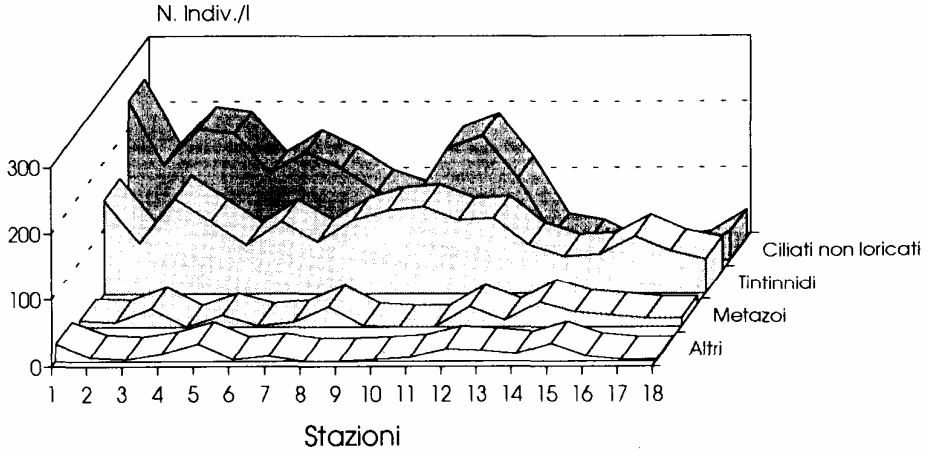


Fig. 5b - Distribuzione degli organismi microzooplanctonici nelle stazioni 1-18, alla quota di 50 m.

Tab. 2 - Valori di abbondanza (N° ind/l) degli organismi microzooplanctonici alla quota di 20 m.

Stazione (20 m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
PROTOZOA																		
FORAMINIFERIDA	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	2.5	5.0	2.5	0.0	5.0	7.5	5.0
ACANTARIA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	10.0	0.0	2.5	0.0	0.0
RADIOLARIA	27.5	0.0	5.0	10.0	7.5	5.0	2.5	2.5	2.5	0.0	2.5	5.0	30.0	0.0	2.5	0.0	0.0	2.5
CILIATA																		
Specie indeterminate	307.5	157.5	115.0	195.0	190.0	87.5	80.0	60.0	210.0	67.5	120.0	105.0	57.5	27.5	45.0	12.5	7.5	42.5
OLIGOTROCHIDA																		
Strombidium sp.	10.0	135.0	7.5	30.0	7.5	12.5	20.0	5.0	32.5	20.0	30.0	27.5	7.5	5.0	5.0	0.0	2.5	7.5
TINTINNIDA																		
Tintinnopsis acuminata	2.5	5.0	2.5	2.5	0.0	2.5	2.5	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0
Tintinnopsis beroidea	0.0	0.0	0.0	7.5	0.0	7.5	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	2.5	0.0	2.5	0.0	2.5
Tintinnopsis campanula	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tintinnopsis compressa	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5	0.0	5.0	2.5	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tintinnopsis cylindrica	0.0	0.0	7.5	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tintinnopsis lobiancoi	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0 0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tintinnopsis levigata	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5
Tintinnopsis minuta	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tintinnopsis nana	2.5	5.0	5.0	0.0	0.0	10.0	7.5	5.0	10.0	2.5	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tintinnopsis radix	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tintinnopsis sp.	2.5	2.5	12.5	17.5	7.5	2.5	0.0	7.5	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0
Codonella aspera	2.5	5.0	5.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	2.5	0.0	5.0	2.5	2.5	0.0	0.0	5.0	0.0
Codonella galea	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0
Codonella nationalis	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Codonella sp.	2.5	7.5	0.0	2.5	5.0	2.5	5.0	2.5	7.5	5.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0
Codonellopsis ecaudata	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	2.5
Codonellopsis contracta	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Codonellopsis sp.	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cantharella brevis	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Stenosemella nivalis	22.5	10.0	0.0	2.5	10.0	2.5	0.0	17.5	17.5	32.5	27.5	17.5	2.5	5.0	0.0	7.5	10.0	5.0
Stenosemella ventricosa	0.0	0.0	5.0	10.0	5.0	30.0	2.5	7.5	27.5	0.0	20.0	12.5	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	17.5
Stenosemella sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Coxliella fasciata	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Coxliella pelagica	2.5	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	2.5	0.0	5.0	5.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Coxliella longa	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Coxliella sp.	0.0	0.0	7.5	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	2.5	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Climacocyclis scalaria	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Helicostomella longa	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Helicostomella obtusa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Helicostomella subulata	5.0	7.5	2.5	2.5	2.5	5.0	0.0	0.0	12.5	2.5	7.5	0.0	2.5	0.0	2.5	2.5	0.0	0.0
Helicostomella sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Favella composita	2.5	2.5	0.0	0.0	7.5	0.0	5.0	7.5	2.5	5.0	2.5	5.0	5.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0
Favella campanula	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Favella serrata	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0
Favella sp.	5.0	0.0	5.0	2.5	0.0	17.5	2.5	0.0	0.0	2.5	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Craterella armilla	0.0	0.0	10.0	0.0	2.5	0.0	7.5	20.0	7.5	5.0	17.5	5.0	5.0	2.5	5.0	0.0	0.0	5.0
Craterella minuta	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	22.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Craterella torulata	15.0	0.0	2.5	7.5	0.0	7.5	0.0	0.0	2.5	5.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	2.5	0.0
Craterella sp.	0.0	0.0	5.0	5.0	0.0	5.0	10.0	2.5	0.0	15.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Acanthostomella obtusa	0.0	0.0	0.0	2.5	10.0	0.0	2.5	2.5	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Acanthostomella minutissim	2.5	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	5.0	2.5	0.0	0.0	2.5	2.5	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0
Acanthostomella sp.	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	2.5	0.0	0.0
Protorhabdonella curta	2.5	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	5.0	2.5	0.0	0.0
Protorhabdonella sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Rhabdonella cuspidata	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Rhabdonella spiralis	0.0	0.0	0.0	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5	2.5	0.0	0.0	5.0	0.0	5.0	5.0	0.0	2.5	2.5
Rhabdonella sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Parundella aculeata	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	2.5
Parundella sp.	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	5.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tab. 2 - Continua

Stazione (20 m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Xystonella treforti	0.0	2.5	5.0	0.0	2.5	0.0	2.5	0.0	5.0	2.5	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	2.5
Xystonella sp.	5.0	0.0	0.0	0.0	7.5	7.5	0.0	0.0	2.5	0.0	2.5	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0
Xystonellopsis spicata	2.5	0.0	0.0	0.0	5.0	2.5	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	2.5	2.5	2.5	0.0	0.0
Xystonellopsis sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	2.5	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0
Propectella claparedei	0.0	5.0	0.0	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	0.0	5.0	0.0	2.5
Propectella sp.	10.0	0.0	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	5.0	12.5	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Amplectella sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0
Undella hyalina	2.5	0.0	10.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	0.0	0.0	7.5	5.0	0.0	0.0	2.5	0.0	2.5
Undella sp.	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	2.5	0.0
Undellopsis pacifica	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	2.5	5.0	2.5	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Undellopsis sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5
Dictyocysta mitra	12.5	12.5	17.5	5.0	5.0	7.5	7.5	10.0	15.0	10.0	0.0	5.0	0.0	2.5	5.0	0.0	2.5	0.0
Dictyocysta elegans	5.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	2.5	5.0	0.0	7.5	0.0	12.5	0.0	0.0	5.0	0.0	2.5
Dictyocysta lepida	0.0	2.5	5.0	5.0	0.0	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dictyocysta entzi	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dictyocysta mulleri	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dictyocysta sp.	7.5	0.0	0.0	0.0	2.5	10.0	0.0	0.0	0.0	7.5	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dadayella ganymedes	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	5.0	5.0	7.5	5.0	0.0	7.5	2.5	0.0
Dadayella pachitoecus	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dadayella sp.	2.5	12.5	0.0	12.5	2.5	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Stentrupiella gracilis	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0
Stentrupiella stenstrupii	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	5.0	0.0	7.5	5.0	0.0	5.0	5.0	5.0
Amphorella amphora	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0
Amphorella sp.	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0
Eutintinnus apertus	0.0	0.0	10.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Eutintinnus elegans	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Eutintinnus tubulosus	2.5	2.5	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	2.5	0.0	0.0	10.0	0.0	7.5	7.5	7.5	0.0	5.0
Eutintinnus maculatus	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0
Eutintinnus macilentus	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5
Eutintinnus sp.	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	5.0	2.5	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Salpingella acuminata	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0
Salpingella dercutata	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0
Salpingella minutissima	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0
Salpingella attenuata	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5
Salpingella rotundata	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0
Salpingella sp.	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	2.5
METAZOA																		
CRUSTACEA																		
Larve di Cladoceri	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nauplii di Copepodi	5.0	2.5	5.0	2.5	20.0	0.0	7.5	7.5	5.0	0.0	5.0	17.5	15.0	11.5	12.5	7.5	17.5	0.0
Copepoditi	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MOLLUSCA																		
Larve di Bivalvi	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Larve di Gasteropodi	2.5	0.0	2.5	2.5	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0
ECHINODERMATA																		
Echinopluteus	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTALE	490.0	410.0	265.0	382.5	330.0	285.0	222.5	210.0	417.5	235.0	391.5	272.5	220.0	126.5	112.5	102.5	90.0	127.5
CILIATI	317.5	292.5	122.5	225.0	197.5	100.0	100.0	65.0	242.5	87.5	150.0	132.5	65.0	32.5	50.0	12.5	10.0	50.0
TINTINNIDI	135.0	112.5	130.0	142.5	102.5	175.0	110.0	132.5	167.5	142.5	234.0	110.0	95.0	70.0	47.5	72.5	55.0	70.0
METAZOA	10.0	2.5	7.5	5.0	22.5	2.5	10.0	10.0	5.0	2.5	5.0	22.5	20.0	11.5	12.5	10.0	17.5	0.0
ALTRI	27.5	2.5	5.0	10.0	7.5	7.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	7.5	40.0	12.5	2.5	7.5	7.5	7.5

Tab. 3 - Valori di abbondanza (N° ind/l) degli organismi microzooplanctonici alla quota di 50 m.

Stazione (50 m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
PROTOZOA																		
FORAMINIFERIDA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	2.5	2.5	0.0	2.5
ACANTARIA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	10.0	2.5	2.5	5.0	2.5	0.0
RADIOLARIA	25.0	5.0	2.5	10.0	25.0	0.0	2.5	0.0	0.0	2.5	5.0	7.5	5.0	7.5	20.0	0.0	0.0	0.0
CILIATA																		
Specie indeterminate	217.5	125.0	180.0	140.0	105.0	127.5	135.0	77.5	67.5	140.0	180.0	112.5	27.5	22.5	0.0	5.0	12.5	32.5
OLIGOTROCHIDA																		
Strombidium sp.	25.0	20.0	20.0	52.5	27.5	37.5	5.0	27.5	20.0	30.0	10.0	12.5	12.5	7.5	2.5	0.0	0.0	12.5
TINTINNIDA																		
Tintinnopsis acuminata	0.0	2.5	0.0	5.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	2.5	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tintinnopsis beroidea	2.5	7.5	0.0	0.0	0.0	2.5	2.5	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	5.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0
Tintinnopsis campanula	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tintinnopsis compressa	2.5	0.0	5.0	2.5	0.0	5.0	2.5	2.5	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tintinnopsis cylindrica	2.5	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	2.5	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tintinnopsis lobiancoi	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tintinnopsis levigata	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0
Tintinnopsis minuta	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0
Tintinnopsis nana	10.0	0.0	2.5	0.0	0.0	5.0	0.0	2.5	5.0	0.0	5.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5
Tintinnopsis radix	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tintinnopsis sp.	5.0	2.5	30.0	2.5	0.0	7.5	0.0	5.0	0.0	17.5	2.5	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0
Codonella aspera	0.0	2.5	0.0	0.0	2.5	0.0	5.0	0.0	0.0	5.0	0.0	2.5	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Codonella galea	2.5	0.0	0.0	2.5	5.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0
Codonella nationalis	5.0	0.0	2.5	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Codonella sp.	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	12.5	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Codonellopsis ecaudata	2.5	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	2.5
Codonellopsis contracta	2.5	5.0	0.0	2.5	0.0	2.5	0.0	0.0	2.5	0.0	2.5	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0
Codonellopsis sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Canthariella brevis	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	2.5	2.5	0.0	0.0	0.0
Stenosemella nivalis	20.0	15.0	2.5	17.5	7.5	17.5	0.0	5.0	5.0	12.5	5.0	20.0	7.5	5.0	7.5	0.0	7.5	7.5
Stenosemella ventricosa	2.5	0.0	17.5	0.0	0.0	2.5	12.5	10.0	7.5	0.0	2.5	0.0	5.0	2.5	2.5	0.0	17.5	0.0
Stenosemella sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Coxliella fasciata	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Coxliella pelagica	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	5.0	2.5	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Coxliella longa	7.5	7.5	5.0	0.0	0.0	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Coxliella sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	2.5	2.5	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Climacocyclis scalaria	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Helicostomella longa	2.5	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Helicostomella obtusa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5
Helicostomella subulata	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	15.0	5.0	2.5	0.0	2.5	5.0	0.0	2.5	5.0	0.0
Helicostomella sp.	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Favella composita	0.0	0.0	12.5	0.0	2.5	0.0	0.0	2.5	7.5	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0
Favella campanula	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Favella serrata	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0
Favella sp.	22.5	5.0	2.5	7.5	10.0	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0
Craterella armilla	2.5	0.0	5.0	2.5	5.0	0.0	5.0	5.0	0.0	0.0	2.5	0.0	5.0	5.0	2.5	7.5	2.5	0.0
Craterella minuta	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Craterella torulata	0.0	0.0	2.5	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	12.5	5.0	0.0	2.5	0.0	0.0	5.0	0.0
Craterella sp.	0.0	2.5	0.0	0.0	2.5	2.5	2.5	12.5	12.5	5.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Acanthostomella obtusa	2.5	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	2.5
Acanthostomella minutissim	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	2.5	2.5	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0
Acanthostomella sp.	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Protorhabdonella curta	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0
Protorhabdonella sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Rhabdonella cuspidata	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Rhabdonella spiralis	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	5.0	5.0	7.5	5.0	0.0	0.0	2.5	0.0
Rhabdonella sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Parundella aculeata	2.5	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0
Parundella sp.	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5

Tab. 3 - Continua

Stazione (50 m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Xystonella treforti	0.0	0.0	2.5	0.0	2.5	0.0	5.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5
Xystonella sp.	0.0	0.0	5.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	2.5	12.5	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Xystonellopsis spicata	2.5	2.5	0.0	2.5	2.5	5.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0
Xystonellopsis sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	2.5	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0
Propectella claparedei	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5
Propectella sp.	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	2.5	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Amplectella sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Undella hyalina	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	2.5	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	2.5
Undella sp.	7.5	5.0	7.5	0.0	5.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	5.0	2.5	0.0	2.5
Undellopsis pacifica	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Undellopsis sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	2.5	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0
Dictyocysta mitra	5.0	0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	5.0	7.5	7.5	2.5	0.0	5.0	0.0	2.5	0.0	7.5	0.0	0.0
Dictyocysta elegans	0.0	2.5	5.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	5.0	0.0	0.0	2.5	0.0	2.5	0.0	0.0
Dictyocysta lepida	0.0	0.0	10.0	2.5	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	5.0	2.5	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	2.5
Dictyocysta entzi	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	2.5	2.5
Dictyocysta mulleri	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dictyocysta sp.	7.5	0.0	2.5	0.0	0.0	17.5	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dadayella ganymedes	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	0.0	2.5	7.5	7.5	0.0	0.0	5.0	2.5	0.0	2.5
Dadayella pachitoecus	2.5	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0
Dadayella sp.	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Stentrupiella gracilis	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Stentrupiella stenstrupii	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	2.5	0.0	0.0
Amphorella amphora	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0
Amphorella sp.	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0
Eutintinnus apertus	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0
Eutintinnus elegans	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Eutintinnus tubulosus	2.5	0.0	0.0	2.5	0.0	2.5	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	12.5	10.0	0.0	5.0	10.0	0.0	7.5
Eutintinnus maculatus	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	5.0	0.0	5.0	0.0
Eutintinnus macilentus	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0
Eutintinnus sp.	0.0	5.0	0.0	2.5	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Salpingella acuminata	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Salpingella dercutata	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0
Salpingella minutissima	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	5.0	5.0	0.0	0.0	2.5	5.0
Salpingella attenuata	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5
Salpingella rotundata	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0
Salpingella sp.	0.0	2.5	2.5	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0
METAZOA																		
CRUSTACEA																		
Larve di Cladocero	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nauplii di Copepodi	5.0	5.0	27.5	0.0	17.5	0.0	2.5	27.5	0.0	0.0	0.0	20.0	5.0	35.0	17.5	17.5	7.5	10.0
Copepoditi	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	2.5	0.0
MOLLUSCA																		
Larve di Bivalvi	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Larve di Gasteropodi	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ECHINODERMATA																		
Echinopluteus	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTALE	420.0	235.0	375.0	312.5	250.0	280.0	235.0	247.5	217.5	305.0	307.5	277.5	135.0	132.5	107.5	117.5	90.0	110.0
CILIATI	242.5	145.0	200.0	192.5	132.5	165.0	140.0	105.0	87.5	170.0	190.0	125.0	40.0	30.0	2.5	5.0	12.5	45.0
TINTINNIDI	142.5	77.5	145.0	110.0	75.0	110.0	80.0	112.5	127.5	132.5	112.5	115.0	75.0	57.5	60.0	87.5	65.0	52.5
METAZOA	10.0	7.5	27.5	0.0	17.5	2.5	7.5	30.0	2.5	0.0	0.0	20.0	5.0	35.0	20.0	17.5	10.0	10.0
ALTRI	25.0	5.0	2.5	10.0	25.0	2.5	7.5	0.0	0.0	2.5	5.0	17.5	15.0	10.0	25.0	7.5	2.5	2.5

circa 400 ind/l. Anche nell'Adriatico orientale è molto comune; Krsinic (1980) la definisce specie tipicamente costiera lungo il litorale centro-meridionale jugoslavo dove è presente dalla fine dell'autunno a maggio, con massimi in gennaio e febbraio, quando la temperatura raggiunge i 13 °C. Viceversa, nel Golfo di Quarnero è presente solamente in autunno ed estate, con temperature da 19 a 24 °C; lo stesso autore nota però che quest'area non è paragonabile ad altre, a causa delle particolari condizioni idrodinamiche e per fattori non ancora definibili.

5. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

La distribuzione spaziale dei due gruppi più rappresentativi del microzooplancton sembra mostrare un andamento strettamente legato alle condizioni idrodinamiche dello Stretto di Messina.

Nel bacino jonico, all'imboccatura sud dello Stretto (staz. 1-5), i Ciliati non loricati presentano una densità molto più alta rispetto ai Tintinnidi (Ciliati X = 206.7 ind/l, Tintinnidi X = 117.3 ind/l); questa differenza è evidente in ambedue le quote esaminate. La situazione diventa più equilibrata già a partire dalla staz. 6 e sino alla stazione 12, in particolar modo nell'area più meridionale dello Stretto interessata da evidenti fenomeni di rimonta di acque profonde che presentano caratteristiche proprie di "acque miste" (staz. 2 a 30 m, staz. 7 a 50 m e staz. 8 a 20 m). Dalla staz. 13 in poi sono i Tintinnidi che cominciano a prevalere sui Ciliati non loricati con più alte differenze di densità nelle stazioni poste all'uscita settentrionale dello Stretto, in acque con caratteristiche superficiali e subsuperficiali tirreniche. Questo andamento può essere messo in relazione alla più ampia distribuzione batimetrica delle specie appartenenti ai Tintinnidi, per cui si assiste ad un progressivo aumento del numero di specie procedendo dallo Ionio verso il Tirreno, dovuto all'apporto di specie profonde a quote più superficiali, per processi di upwelling. Questo stesso fenomeno è già stato messo in evidenza per lo zooplancton (Guglielmo, 1976).

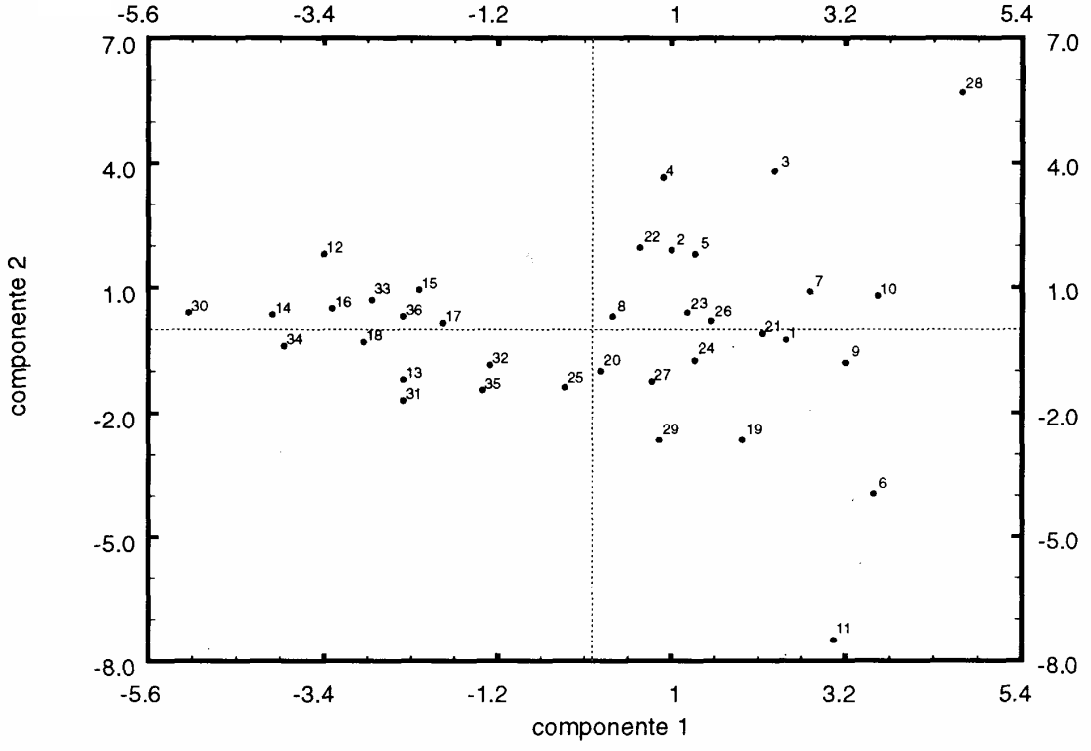


Fig. 6 - Plot delle prime due componenti principali relativo alle stazioni 1-18. I numeri da 1 a 18 corrispondono alla quota 20 m; i numeri da 19 a 36 corrispondono alla quota 50 m.

Il taxa dei Tintinnidi sembra essersi rivelato un mezzo efficace per la lettura del complesso sistema idrodinamico dello Stretto di Messina. I dati tassonomici, trattati con sistemi di analisi multivariata, hanno permesso di verificarne il comportamento. Dalla Fig. 6 si evince che, in generale, le stazioni 1-10 sono abbastanza ravvicinate nello spazio rappresentando in questo caso l'area jonica, mentre le stazioni 12-18 occupano lo spazio opposto definendo l'area tirrenica.

Una situazione particolare viene a realizzarsi per la stazione 11 (20 m) e la stazione 10 (50 m), che si separano in maniera diversa rispetto a tutte le altre. Tale evidenza potrebbe essere spiegata con le particolari caratteristiche idrodinamiche dell'area in cui sono state collocate le due stazioni. Infatti esse vengono a trovarsi in prossimità di Capo S. Raineri, particolare zona ampiamente riconosciuta per fenomeni di upwelling con formazione di vortici e macchie d'olio (Mazzarelli, 1936). La stazione 6, allocata lungo le coste calabre in vicinanza di P.ta Pellaro, è certamente influenzata da un ramo di corrente tirrenica che scorre superficialmente lungo la costa, fenomeno già messo in evidenza in quest'area (De Domenico et al., 1976).

Se andiamo ad analizzare il dendrogramma ottenuto dalla Cluster Analysis (Fig. 7), si evince che i clusters che si separano in maniera netta sono tre. Un primo cluster mostra il raggruppamento di una parte delle stazioni poste nel bacino jonico, di cui alcune con ambedue le quote di campionamento a 20 m e 50 m (staz. 1, 6 e 11), altre con la sola quota a 50 m (staz. 2, 4 e 5) e la sola stazione 10 con la quota 20 m. Un secondo cluster individua stazioni che possiamo definire con "caratteristiche intermedie", di cui alcune con le due quote di campionamento (staz. 3, 7, 8 e 9), le stazioni 2, 4 e 5 con la quota 20 m e la stazione 10 con la quota 50 m. Infine un terzo cluster viene definito dalle stazioni 12-18 che presentano, alle due profondità campionate, caratteristiche proprie dell'acqua tirrenica.

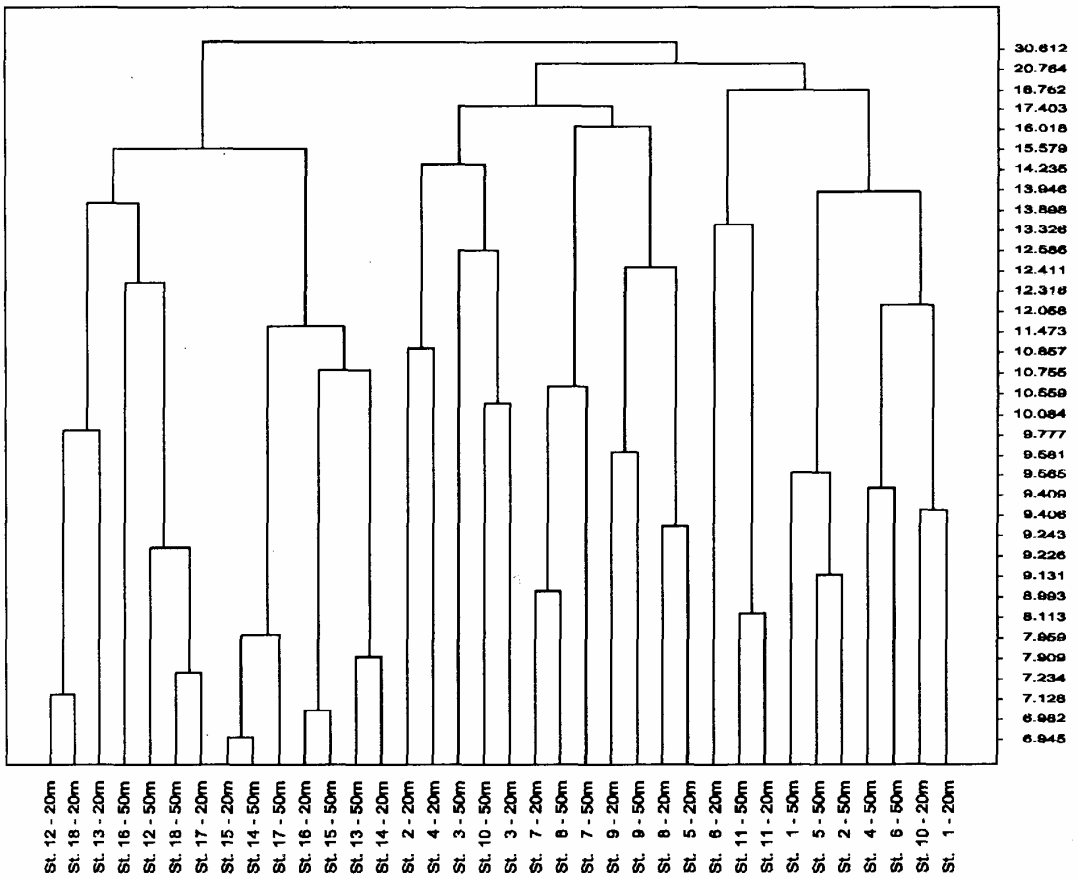


Fig. 7 - Dendrogramma delle stazioni 1 - 18.

Quest'ultima descrizione non fa altro che confermare la complessità del regime idrodinamico dello Stretto di Messina. Infatti i tre clusters individuano non solo stazioni differenti, ma più spesso quote differenti o stesse quote di stazioni diverse. Ciò mette in evidenza come nello stesso momento possono coesistere situazioni differenti anche in stazioni spazialmente vicine e che idrologicamente si manifestano con una diversa struttura verticale della colonna d'acqua. Da un punto di vista ecologico, quindi, comunità differenti provenienti da acque di diversa origine possono interessare nello stesso momento lo Stretto di Messina e non è raro che comunità simili possano ritrovarsi anche in zone fra di loro distanti.

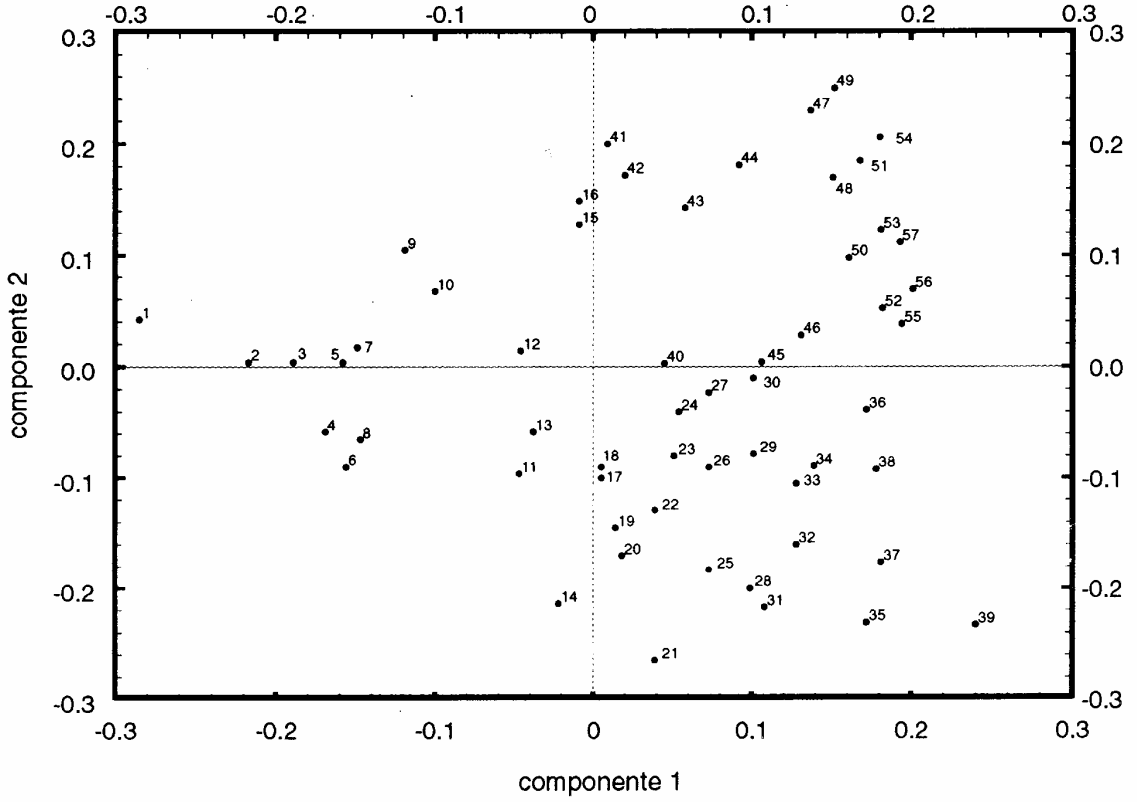


Fig. 8 - Plot delle prime due componenti principali relativo alle stazioni 1-18, comprendente le specie censite

1= *Eutintinnus tubulosus* 2= *Eutintinnus maculatus* 3= *Salpingella rotundata*
4= *Rhabdonella spiralis* 5= *Salpingella attenuata* 6= *Steenstrupiella steentrupii*
7= *Eutintinnus macilentus* 8= *Dadayella ganymedes* 9= *Proplectella claparadei*
10= *Salpingella sp.* 11= *Codonellopsis ecaudata* 12=*Acanthostomella minutissima*
13= *Dictyocysta entzi* 14= *Salpingella minutissima* 15= *Undella hyalina*
16= *Acanthostomella sp.* 17= *Craterella minuta* 18= *Tintinnopsis beroidea*
19= *Craterella armilla* 20= *Dictyocysta elegans* 21= *Xystonellopsis sp.*
22= *Undella sp.* 23= *Coxliella longa* 24= *Dadayella pachitoecus*
25= *Parundella aculeata* 26= *Undellopsis sp.* 27= *Favella composita*
28= *Stenosemella ventricosa* 29= *Stenosemella nivalis* 30= *Proplectella sp.*
31= *Codonellopsis contracta* 32= *Craterella torulata* 33= *Coxliella pelagica*
34= *Helicostomella subulata* 35= *Dictyocysta sp.* 36= *Undellopsais pacifica*
37= *Favella sp.* 38= *Codella sp.* 39= *Tintinnopsis nana*
40= *Codonella galea* 41= *Protorhabdonella curta* 42= *Codonella aspera*
43= *Dadayella sp.* 44= *Acanthostomella obtusa* 45= *Xystonellopsis spicata*
46= *Eutintinnus sp.* 47= *Xystonella treforti* 48= *Dictyocysta lepida*
49= *Coxliella fasciata* 50= *Tintinnopsis acuminata* 51= *Tintinnopsis sp.*
52= *Xystonella sp.* 53= *Dictyocysta mitra* 54= *Tintinnopsis cylindrica*
55= *Craterella sp.* 56= *Tintinnopsis compressa* 57= *Coxliella sp.*

Dall'analisi delle componenti principali (Fig. 8) si evince che specie quali *Stenosemella nivalis, S. ventricosa, Craterella, armilla, Helicostemella subulata, Dadayella pachytoecus, Coxiliella longa,* ed altre ancora, formano un particolare addensamento per valori positivi rispetto alla prima componente e negativi rispetto alla seconda. Di contro, buona parte delle specie appartenenti al genere *Eutintinnus* e *Salpingella* si separano nella porzione opposta del piano individuato dalle due componenti. Ciò ci porta a definire in maniera abbastanza più precisa le diverse caratteristiche ecologiche dei gruppi di specie. Insieme a generi che presentano un'ampia distribuzione e sono più comuni nelle acque neritiche *(Tintinnopsis, Stenesemella, Codonellopsis),* sono state riscontrate specie di *Coxiliella (C. fasciata, C. longa, C. pelagica)* e *Acanthostomella (A. minutissima, A. obtusa)* che sembrano prediligere acque molto fredde (Marshall, 1969).

La distribuzione geografica dei Tintinnidi oceanici sembra essere strettamente correlata alla temperatura, fattore principale nel controllo della successione delle specie. A questo proposito Posta (1963) suggerisce che gli scambi di abbondanza dei Tintinnidi nel corso dell'anno a Villefranche erano chiaramente correlati alle varazioni stagionali della temperatura. La bassa percentuale di larve di Metazoi nei nostri campioni conferma la natura pelagica delle acque dello Stretto di Messina, tenendo presente anche che essi sono stati ritrovati in numero superiore al 50% in due crociere estive nel Mar Tirreno (Fonda Umani & Monti, 1993).

Da un confronto con i dati di letteratura tra il bacino orientale e quello occidentale del Mediterraneo (Kimor & Berdugo, 1967; Kimor & Wood, 1975; Kimor, 1983) è stata messa in evidenza la presenza di specie quali *Codonella aspera, C. galea, Rhabdonella spiralis, Salpingella acuminata, S. attenuata* e *Dictyocista elegans,* all'interno dell'area di studio, che potrebbe assumere un importante significato nella spiegazione di alcuni fenomeni idrodinamici dello Stretto, quali ad esempio il passaggio di acque orientali nel bacino occidentale del Mediterraneo, attraverso lo Stretto di Messina.

Il già noto fenomeno della rimonta di ingenti masse di acqua di origine profonda, messo in evidenza anche da studi sullo spiaggiamento di fauna mesopelagica e micronectonica (Guglielmo, 1969; Genovese et al., 1971; Guglielmo et al., 1973), è stato ulteriormente confermato anche in questo studio dal ritrovamento di specie di Tintinnidi caratteristiche di acque profonde. Un esempio ci viene dato da tutte le specie appartenenti al genere *Eutintinnus* ed in modo particolare da *E. tubulosus,* considerata da molti autori specie di acque fredde presente ad elevate profondità. Lo stesso fenomeno è stato osservato per *Dadayella ganimedes* e *D. pachytoecus,* anche quest'ultima tipica di acque profonde. Il problema da definire è con quali meccanismi specie che normalmente hanno un habitat profondo riescano a sopravvivere in acque più superficiali, dopo essere state bruscamente trasportate in seno alle acque di rimonta. E' certo, in ogni caso, che le basse temperature dell'acqua che si possono registrare nel corso di tutto l'anno negli strati più superficiali dello Stretto di Messina, potrebbero favorire l'insediamento e lo sviluppo di specie di acque fredde.

Tenuto conto della totale mancanza di ricerche sul microzooplancton dello Stretto di Messina e della scarsità di informazioni su tale componente per buona parte del Mediterraneo, i risultati preliminari ottenuti in questo studio segnano un primo approccio per comprendere il ruolo ecologico giocato da questa comunità planctonica in un'area del tutto peculiare per le sue caratteristiche idrodinamiche.

RINGRAZIAMENTI

Un sentito ringraziamento è dovuto alla Prof.ssa Serena Fonda-Umani per la revisione critica del manoscritto.

PROTOZOA

TINTINNIDA

Tintinnopsis acuminata	Daday, 1887
Tintinnopsis beroidea	Stein, 1867
Tintinnopsis campanula	(Ehrenberg) Daday, 1887
Tintinnopsis compressa	(Stein) Laackmann, 1913
Tintinnopsis cylindrica	Daday, 1887
Tintinnopsis levigata	Kofoid & Campbell, 1929
Tintinnopsis lobiancoi	Daday, 1887
Tintinnopsis minuta	Wailes, 1925
Tintinnopsis nana	Lohmann, 1908
Tintinnopsis radix	(Imhof) Brandt, 1907
Codonella aspera	Kofoid & Campbell, 1929
Codonella galea	Haeckel, 1873
Codonella nationalis	Brandt, 1906
Codonellopsis ecaudata	(Brandt) Kofoid & Campbell, 1929
Codonellopsis contracta	Kofoid & Campbell, 1929
Canthariella brevis	Jorgensen, 1924
Stenosemella nivalis	(Meunier) Kofoid & Campbell, 1910
Stenosemella ventricosa	(Claparede & Laackmann) Jorgensen, 1924
Coxliella fasciata	(Kofoid) Brandt, 1907
Coxliella longa	(Brandt) Laackmann, 1909
Coxliella pelagica	Kofoid & Campbell, 1929
Climacocylis scalaria	(Brandt) Jorgensen, 1924
Helicostomella longa	Brandt, 1906
Helicostomella obtusa	Brandt, 1906
Helicostomella subulata	(Ehrenberg) Jorgensen, 1924
Favella campanula	(Schimdt) Jorgensen, 1924
Favella composita	Jorgensen, 1924
Favella serrata	(Mobius) Jorgensen, 1899
Craterella armilla	Kofoid & Campbell, 1929
Craterella minuta	Brandt, 1907
Craterella torulata	Jorgensen, 1924
Acanthostomella minutissima	Kofoid & Campbell, 1929
Acanthostomella obtusa	Kofoid & Campbell, 1929
Protorhabdonella curta	(Cleve) Jorgensen, 1901
Rhabdonella cuspidata	(Zacharias) Brandt, 1906
Rhabdonella spiralis	(Fol) Brandt, 1907
Parundella aculeata	(Jorgensen) Kofoid & Campbell, 1924
Xystonella treforti	(Daday) Laackmann, 1909
Xystonellopsis spicata	(Brandt) Jorgensen, 1924
Proplectella claparedii	(Entz, ser.) Kofoid & Campbell, 1887
Undella hyalina	Daday, 1887
Undellopsis pacifica	Kofoid & Campbell, 1929
Dictyocysta elegans	Ehrenberg, 1854
Dictyocysta entzi	Jorgensen, 1924
Dictyocysta lepida	Ehrenberg, 1854

Dictyocysta mitra	Kaeckel, 1873
Dictyocysta mulleri	(Imhof) Jorgensen, 1924
Dadayella ganymedes	(Entz sen.) Kofoid & Campbell, 1884
Dadayella pachitoecus	(Jorg.) Kofoid & Campbell, 1924
Steenstrupiella gracilis	(Jorgensen), 1924
Steenstrupiella stenstrupii	(Clap. & Lac) Kofoid & Campbell, 1858
Amphorella amphora	(Clap. & Lac.) Daday, 1858
Eutintinnus apertus	Kofoid & Campbell, 1939
Eutintinnus elegans	(Jorgensen) Kofoid & Campbell, 1924
Eutintinnus maculatus	Brandt, 1906
Eutintinnus macilentus	(Jorgensen) Kofoid & Campbell, 1924
Eutintinnus tubulosus	(Ostenfeld) Kofoid & Campbell, 1899
Salpingella acuminata	(Clap. & Lach.) Jorgensen,1924
Salpingella attenuata	Jorgensen, 1924
Salpingella decurtata	Jorgensen, 1924
Salpingella minutissima	Kofoid & Campbell, 1929
Salpingella rotundata	Kofoid & Campbell, 1929

BIBLIOGRAFIA

Alpers, W. & E. Salusti. 1983. Scylla and Charybdis observed from space. *J. Geophys. Res.,* 88: 1800-1808.

Bossolasco, M. & I. Dagnino. 1959. La diffusione delle acque joniche nel Tirreno attraverso lo Stretto di Messina. *Geofisica pura e applicata,* 44: 168-178.

Brandolini, M., L. Franzini & E. Salusti. 1980. On tides in the Strait of Messina. *Nuovo Cimento,* 6: 671-695.

Capriulo, G.M. & E.J. Carpenter. 1980. Grazing by 35 to 202 µm microzooplancton in Long Island Sound. *Mar. Biol.,* 56: 319-326.

Cavallaro, G. 1987. I pesci Mictofidi dello Stretto di Messina. *Doc. et Trav. IGAL* Paris, 11: 249-251.

Conover, R.J. 1982. Interrelation between microzooplancton and other plankton organism. *Ann. Inst. Oceanogr.,* Paris, 58(S): 31-46.

Cortese, G. & E. De Domenico. 1990. Some considerations on the levantine intermediate water distribution in the Straits of Messina. *Boll. Oceanol. Teor. Appl.,* 8: 197-207.

De Domenico, E. 1987. Caratteristiche fisiche e chimiche delle acque nello Stretto di Messina. *Doc. et Trav. IGAL* Paris, 11: 225-235.

De Domenico, E., G. Gangemi & L. Guglielmo. 1976. Primi risultati sulle ricerche oceanografiche effettuate nella zona sud-orientale dello Stretto di Messina. *Arch. Oceanogr. Limnol,* 18: 467-484.

Di Geronimo, I. & G. Fredj. 1987. Les fonds a *Errina aspera* et *Pachylasma giganteum. Doc. et Trav. IGAL* Paris, 11: 243-247.

Dixon, W.J., M.B. Brown, L. Engelman, J.W. Frane, M.A. Mili & R.I. Je 1981. BMDP Statistical software 1981. University Calif. Press, Berkeley: 725 pp.

Faganelli, A. (1961). Primi risultati relativi alla concentrazione di sali nutritivi nelle acque del Mare Mediterraneo centrale e mari adiacenti. *Arch. Oceanogr. Limnol.,* 12: 118-208.

Fenchel, T. 1987. Ecology of Protozoa: The biology of free-living phagotrophic protists. *Springer Verlag,* Berlin, 197 pp.

Fonda Umani, S. & L. Milani. 1990. Metodiche nell'ecologia del Plancton marino: Microzooplancton. *Nova Thalassia,* 11: 251-262.

Fonda Umani, S. & M. Monti. 1993. Distribuzione dei popolamenti microzooplanctonici nell'arcipelago toscano. Progetto Mare. Ricerca sullo stato biologico, chimico e fisico dell'Alto Tirreno Toscano. Regione Toscana, Università di Firenze (Ed.): 157-258.

Genovese, S., A. Berdar & L. Guglielmo. 1971. Spiaggiamenti di fauna abissale nello Stretto di Messina. *Atti Soc. Peloritana,* 17: 331-370.

Genovese, S., Guglielmo, L., lanora, A. & B. Scotto di Carlo. 1985. Osservazioni biologiche con il mesoscafo "Forel" nello Stretto di Messina. *Arch. Oceanogr. Limnol.,* 20: 1-30.

Guglielmo, L. 1969. Spiaggiamenti di Eufausiacei lungo la costa messinese dello Stretto dal dicembre 1968 al dicembre 1969. *Atti Soc. Peloritana,* 24: 71-77.

Guglielmo, L. 1976. Distribuzione dei Chetognati nell'area idrografica dello Stretto di Messina. *Pubbl. Staz. Zool. Napoli,* 40: 34-72.

Guglielmo, L., G. Costanze & A. Berdar. 1973. Ulteriore contributo alla conoscenza dei crostacei spiaggiati lungo il litorale messinese dello Stretto. *Atti Soc. Peloritana,* 19: 129-156.

Kimor, B. 1983. Distinctive featurs of the plankton of the eastern Mediterranean. *Ann. Inst. Oceanogr.,* Paris, 59: 97-106.

Kimor, B. & V. Berdugo. 1967. Cruise to the eastern Mediterranean, C-03, Plankton reports. *Bali Sea Fish. Res.* Stn Israel, 45: 6-31.

Kimor, B. & E.J.F. Wood. 1975. A plankton study in the Eastern Mediterranean sea. *Mar. Biol.,* 29: 321-333.

Kofoid, C.A. & A.S. Campbell. 1929. A conspectus of the marine and fresh - water Ciliata belonging to the suborder Tintinnoinea, with description of new species principally from the Agassiz expedition to the eastern tropical Pacific, 1904-1905. *Univ. Calif. Pubbl. Zool,* 34: 403 pp.

Kofoid, C.A. & A.S. Campbell. 1939. The Ciliata: the Tintinnoinea. *Bull. Mus. Comp. Zool. Harv. Coll,* 84: 473 pp.

Krsinic, F. 1980. Qualitative and quantitative investigations of the Tintinnids along the eastern coast of the Adriatic. *Acta Adriat.,* 21: 19-104.

Legendre, L. & L. Legendre. 1984. Ecologie numérique. 2. La structure des données ecologiques. Masson, Paris: 335 pp.

Margalef, R. 1963. Rôle des Ciliates dans le cycle de la vie pélagique en Méditerranée. *Rapp. Comm. int. mer Medit.,* 17: 511-512.

Margalef, R. 1969. Small scale distribution of phytoplankton in western Mediterranean of the end of juli. *Pubi Stat. Zool. Napoli,* 37: 40-61.

Marshall, S.M. 1969. *Fich. Ident. Zooplancton:* 117-127.

Massi, M. E. Salusti & C. Stocchino. 1979. On the currents in the Strait of Messina. *Nuovo Cimento,* 5: 543-548.

Mazzarelli, Giuseppe 1909. Gli animali abissali e le correnti sottomarine dello Stretto di Messina. *Riv. mens. Pesca Idrobiol,* 11: 177-218.

Mazzarelli, Gustavo 1936. Vortici ed altri fenomeni delle acque dello Stretto di Messina. *Mem. Biol. Mar. Oceanogr., 4:* 1-12.

Posta, A. 1963. Relation entre l'évolution de quelques Tintinnides de la Rade de Villefranche et la température de l'eau. *Cah. Biol. Mar.,* 4: 201-210.

Sorokin, Yu.I. 1978. Description of primary production and eterotrophic microplankton in the Peruvian upwelling region. *Oceanology,* 18: 62-71.

Taylor, G.T. 1982. The role of pelagic heterotrophic protozoa in nutrient cycling: a review. *Ann. Inst. Oceanogr.,* Paris, 58(S): 227-241.

Travers, A. & M. Travers. 1971. Catalougue des Tintinnides (Ciliés Oligotriches) récoltés dans le Golfe de Marseille de 1962 a 1964. *Tethys,* 2: 639-646.

Tregouboff, G. & M. Rose. 1957. Manuel de Planctonologie Méditerranée. *C.N.R.S. Paris,* I, 587pp., II, 207 tav.

Utermohl, H. 1958. Zur vervollkammung der quantitativen phytoplankton-methodik. *Mitt. int. Verein Theor. augew. LimnoL,* 9: 1-38.

Vercelli, F. 1925. Crociere per lo studio dei fenomeni dello Stretto di Messina. Parte I. Il regime delle correnti e delle maree nello Stretto di Messina. *Commissione internazionale del Mediterraneo* Venezia: 1-209.

Vercelli, F. & M. Picotti, 1926. Crociere per lo studio dei fenomeni dello Stretto di Messina, II. Il regime fisico-chimico delle acque nello Stretto di Messina. *Commissione internazionale del Mediterraneo* Venezia: 1-161.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L.
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da pag. 327 a pag. 331

VARIAZIONI DELLA CONCENTRAZIONE DI CLOROFILLA-a IN RELAZIONE ALLA PROFONDITÀ' IN *PETROSIA FICIFORMIS* (PORIFERA, DEMOSPONGIAE) CON CIANOBATTERI SIMBIONTI

Giorgio BAVESTRELLO, Maurizio PANSINI, Roberto PRONZATO, Riccardo CATTANEO-VIETTI & Michele SARA'

Istituto di Zoologia,Università di Genova

SUMMARY

An analysis of the quantitative variations of the cianobacterial population symbiotic in the sponge *Petrosia ficiformis* has been performed. The data, obtained by means of chlorophyll-a determinations on extracts of the sponge tissue, show significant variations related both with depth and seasonal cycle. In January and June the chl-a concentrations are similar in shallow-water specimens (about 40 µg/cm^2 of sponge surface) and under 40 m depth (about 5 µg /cm^2). The specimens collected at intermediate depths, on the contrary, significantly differ in the two samplings. The symbiothic cianobacteria variations are also related to the sponge feeding requirements.

1. INTRODUZIONE

Molte specie di demosponge marine e di acqua dolce contengono popolazioni di microorganismi fotoautotrofi associati (Simpson, 1984; Riitzler, 1990). Queste associazioni endosimbiotiche sono generalmente considerate molto importanti per il metabolismo dell'ospite: è noto infatti il trasferimento di ingenti quantitativi di prodotti della fotosintesi, in particolare di glicerolo, dai simbionti alla spugna (Wilkinson, 1979; 1980; 1983). Tale trasferimento consente ad alcune spugne dotate di simbionti fotoautotrofi di proliferare, raggiungendo notevoli dimensioni, anche in acque particolarmente oligotrofiche, come ad esempio quelle della Great Barrier Reef (Wilkinson, 1987).

Anche la taglia degli esemplari può, talvolta, essere condizionata dalla presenza dei simbionti. Frost & Williamson (1980) hanno dimostrato che la crescita della spugna d'acqua dolce *Spongilla lacustris* è condizionata dall'illuminazione come accade pure per alcune spugne marine (Sarà & Vacelet, 1973; Wilkinson & Vacelet, 1979; Gaino et al., 1976).

Le relazioni tra spugne e simbionti fotoautotrofi sono state ampiamente studiate da un punto di vista ultrastrutturale (Rutzler, 1990), ma pochi dati quantitativi sono stati raccolti sulle popolazioni dei simbionti nell'ottica delle problematiche classiche legate allo studio del fitoplancton, come, ad esempio, variazioni stagionali o batimetriche. Alcuni dosaggi di clorofilla-a sono stati effettuati da Wilkinson (1987) in spugne marine, mentre dati sulle concentrazioni di clorofilla-a (chl-a) e sulla stima numerica delle popolazioni di

zooxantelle sono stati ricavati da alcune spugne dulcacquicole (Gilbert & Allen, 1973, Frost & Elias, 1990). La valutazione del contenuto di chl-a in *S. lacustris* (Gilbert & Allen, 1973) ha suggerito, infine, la possibilità di variazioni temporali nelle popolazioni di simbionti.

Lo scopo della presente ricerca è quello di valutare quantitativamente le variazioni delle popolazioni di cianobatteri simbionti, tramite il dosaggio della chl-a, nella comune demospongia mediterranea *Petrosia ficiformis* al variare della stagione e della profondità.

2. MATERIALI E METODI

Le analisi sulle concentrazioni di chl-a sono state effettuate su cianobatteri del tipo *Aphanocapsa feldmanni* , che generalmente vivono in associazione con *P. ficiformis.* Essi sono presenti sia a livello intra- che intercellulare ed occupano una sottile lamina superficiale della spugna, spessa circa 1-1.5 mm (Sarà & Scalera Liaci, 1964), detta simbiocortex.

Allo scopo di verificare le variazioni quantitative delle popolazioni di simbionti, 5 esemplari sono stati raccolti in 5 stazioni disposte su un transetto tra 10 e 50 m di profondità lungo la falesia rocciosa del Promontorio di Portofino. Le raccolte sono state effettuate in immersione nel giugno 1992 e nel gennaio 1993, per un totale di 50 esemplari esaminati.

Le determinazioni sono state condotte su campioni di tessuto fresco mediante analisi spettrofotometrica di estratti acetonici (Gilbert & Allen, 1973). Dato che i simbionti sono concentrati esclusivamente alla superficie della spugna le analisi sono state condotte su campioni cilindrici di tessuto contenenti 0.63 cm^2 di superficie e 5 mm del sottostante coanosoma. Per ogni esemplare sono state effettuate 5 repliche ed i risultati sono stati riferiti ad un cm^2 di superficie.

La significatività statistica delle differenze evidenziate è stata valutata mediante il t-test.

3. RISULTATI

In entrambi i periodi stagionali, l'andamento della concentrazione di chl-a/cm^2 nel simbiocortex di *P. ficiformis* mostra un evidente decremento a partire dalla superficie fino alle stazioni più profonde (Fig. 1), passando gradatamente da circa 40 µg/cm^2 fino a 5 µg /cm^2. Nell'ambito dello stesso periodo stagionale, i valori della concentrazione della chl-a/cm^2 misurati alle diverse profondità, sono significativamente diversi tra loro ($p < 0.05$), se si escludono quelli misurati nella fascia batimetrica intermedia (20-30 m di profondità). Proprio a questo livello, tuttavia, le concentrazioni di chl-a/cm^2 appaiono significativamente diverse tra loro nei due periodi stagionali ($p < 0.05$), mostrando un evidente decremento invernale. Nella stazione superficiale e in quelle più profonde, invece, i valori praticamente si sovrappongono.

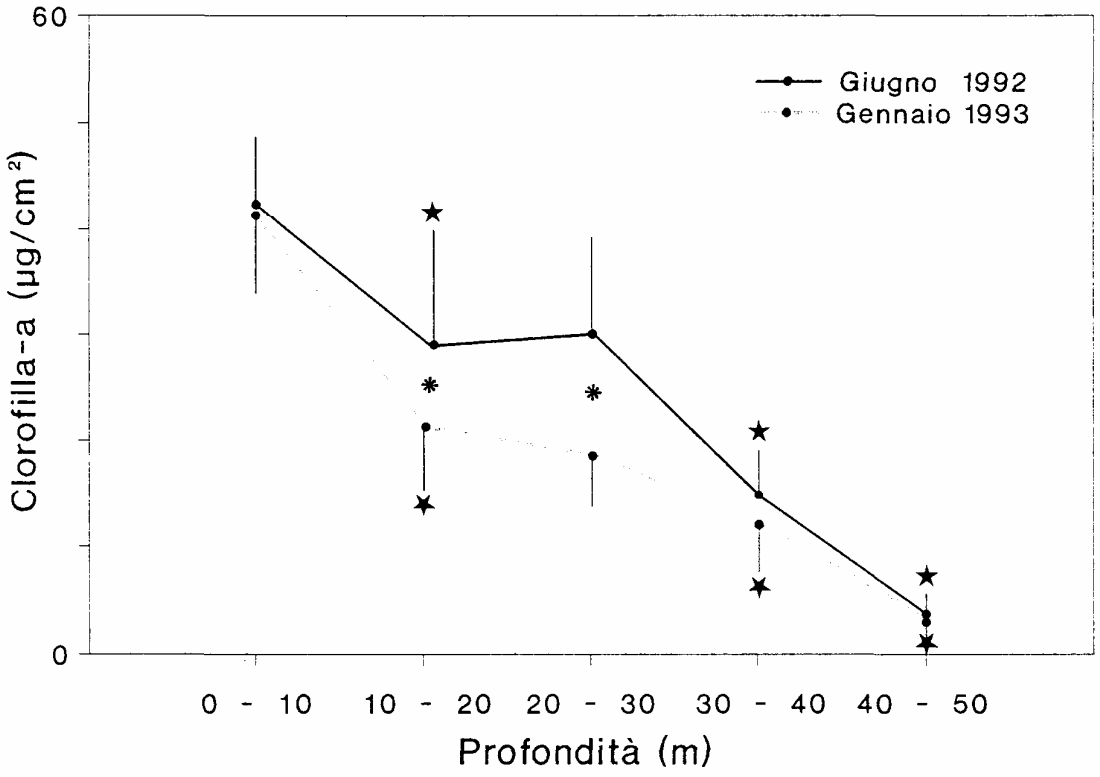


Fig. 1 . Concentrazioni medie di clorofilla-a nelle spugne provenienti dalle diverse profondità nei mesi di giugno e gennaio. Barra = ± deviazione standard. Stella = valore significativamente diverso ($p<0.05$) rispetto al precedente; asterisco = valori significativamente diversi ($p<0.05$) tra le due serie di dati.

4. DISCUSSIONE

L'analisi della concentrazione di chl-a nel simbiocortex di *P. ficiformis* permette di avere una stima della variazione quantitativa delle popolazioni simbiotiche autotrofe sia dal punto di vista stagionale che batimetrico. Negli esemplari raccolti a 50 m di profondità, indipendentemente dalla stagione, il numero di cianobatteri è circa 1/10 rispetto a quelli di superficie. Negli esemplari raccolti tra 20 e 30 m il numero di cianobatteri è simile nella stazione superficiale ed in quelle più profonde, tuttavia in questo caso si registra una riduzione di circa 1/3 nel periodo invernale. E' molto difficile paragonare i livelli di chl-a riscontrati in *P. ficiformis* con quelli delle specie "autotrofe" (Gilbert & Allen, 1973; Wilkinson, 1983.) in quanto queste ultime contengono simbionti in tutto lo spessore del coanosoma, mentre in *P. ficiformis* essi sono concentrati solo nel simbiocortex. Comunque, rapportando il quantitativo totale di chl-a contenuta in un esemplare superficiale di *P. ficiformis* al peso in g dell'esemplare stesso, si ottengono valori da uno a due ordini di grandezza inferiori a quelli riportati per le spugne "autotrofe" sia marine che dulcacquicole. Tale fatto suggerisce che, per questa specie, l'apporto nutrizionale esogeno sia prevalente rispetto a quello endogeno. Le variazioni

descritte sia a livello stagionale che batimetrico, tuttavia, fanno pensare che questa simbiosi non sia legata solo a fattori d' ordine trofico, ma che possano intervenire anche fenomeni diversi quali, ad esempio, la protezione della spugna dalla radiazione luminosa (Sarà & Vacelet, 1973) oppure legami più fini a livello metabolico (Arillo et al., 1993). Le differenze stagionali riscontrate esclusivamente nella fascia intermedia suggeriscono che in superficie la quantità di radiazione luminosa sia tale da sostenere, sia in estate che in inverno, la massima densità possibile delle popolazioni cianobatteriche, mentre oltre i 30 m la quantità di radiazione è così bassa da limitarne comunque lo sviluppo. Solo alle profondità intermedie la radiazione luminosa varia in un intervallo tale da influenzare la densità delle popolazioni di cianobatteri simbionti. La differenza nelle concentrazioni di chl-a al variare dei parametri ambientali legati alla profondità ed al ciclo stagionale, con le conseguenti variazioni nei rapporti reciproci dei due partners della simbiosi, potrebbe essere compensata da diversi fattori. Innanzitutto potrebbero intervenire adattamenti morfologici del cianobatterio, come l'aumento delle spire del tilacoide in funzione della riduzione di luce, come dimostrato da Gaino et al. (1976) trasportando in grotta oscura esemplari di *Chondrilla nucula.* Oppure potrebbero intervenire meccanismi fisiologici e metabolici compensatori simili a quelli descritti da Arillo et al. (1993) negli esemplari di *Petrosia* viventi a diverse profondità o nel medesimo esemplare lungo il corso dell'anno. La riduzione dell'apporto nutrizionale da parte degli organismi simbionti potrebbe essere alla base delle evidenti differenze che *P. ficiformis* mostra nel fenotipo con l'aumentare della profondità, come la riduzione delle dimensioni individuali e la variazione di forma da massiva ad allungata e sinuosa. Sfortunatamente l'interpretazione dei fattori che influenzano la crescita dei poriferi è resa problematica dall'ampia plasticità fenotipica che caratterizza questi organismi. Essa è il risultato di numerosi cause sia interne che ambientali tra le quali giocano un ruolo di primo piano i fattori legati alle condizioni idrodinamiche (Fry, 1979; Bavestrello & Sarà, 1992), oltre, naturalmente, agli aspetti trofici.

BIBLIOGRAFIA

Arillo, A., G. Bavestrello, B. Burlando *&* M. Sarà. 1993. Metabolic integration between symbiotic cyanobacteria and sponges: a possible mechanism. *Marine Biology* (in stampa).

Bavestrello, G. & M. Sarà. 1992. Morphological and genetic differences in ecologically distinct populations of *Petrosia* (Porifera, Demospongiae). *Biol. J. Linn. Soc.,* 47: 49-60.

Frost, T.M. & J.E. Elias. 1990. Balance of autotrophy and heterotrophy in three fresh-water sponges with algal symbionts. In: K. Riitzler, V.V. Macintyre & K.P. Smith (ed.) *New perspectives in sponge biology:* 478-484 Smithsonian Institution Press, Washington, D.C, London.

Frost, T.M. & C.E. Williamson. 1980. In situ determination of the effect of symbiotic algae on the growth of the fresh-watersponge *Spongilla lacustris. Ecology,* 61: 1361-1370.

Fry, W.G. 1979. Taxonomy, the individual and the sponge. In: G. Larwood & B.R. Rosen (ed.) *Biology and systematics of colonial organisms:* 49-80. Academic

Press, London, New York.
Gaino, E., M. Pansini & R. Pranzato. 1976. Osservazioni sull'associazione di una cianoficea crococcale e la demospongia *Chondrilla nucula. Arch. Oceanogr. Limnol.,* 18: 545-552.
Gilbert, J.J. & L.H. Allen. 1973. Chlorophyll and primary productivity of some green fresh-water sponges. *Int. Revue ges. Hydrobiol,* 58: 633-658.
Rützler, K. 1990. Associations between Caribbean Sponges and photosynthetic organisms. In: K. Rützler, V.V. Macintyre & K.P. Smith (ed.) *New perspectives in sponge biology:* 455-467. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C, London.
Sarà, M. & L. Scalera-Liaci. 1964. Associazione tra la cianoficea *Aphanocapsa feldmanni* ed alcune demosponge marine. *Boll.* Zool., 31: 55-65.
Sarà M. & J. Vacelet. 1973. Ecologie des demosponges. In: P.P. Grasse (ed.) *Traité de Zoologie* Tome 3, (1): 462- 576. Masson, Paris.
Simpson T.L. 1984. The celi biology of sponges. 662 pp. Springer- Verlag, New York.
Wilkinson, C.R. 1979. Nutrient translocation from sybiotic cianobacteria to coral reef sponges. In: C. Levi & N. Boury- Esnault (ed.) *Biologie des Spongiaires.* Coloq. Internat. C.N.R.S., Paris 291: 378-380.
Wilkinson, C.R. 1980. Cyanobacteria symbiotic in marine sponges. In: W. Schwemmler & H.E.A. Schenk (Ed.) *Endocytobiology, endosymbiosis and cell biology:* 553-563. W. de Gruyter, New York.
Wilkinson, C.R. 1983. Net primary productivity in coral reef sponges. *Science,* 219: 410-412.
Wilkinson, C.R. 1987. Interocean differences in size and nutrition of coral reef sponge population. *Science,* 236: 1654-1657.
Wilkinson, C.R & J. Vacelet. 1979. Transplantation of marine sponges in different conditions of light and current. *J. exp. mar. Biol. Ecol.* 7: 91-104.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L.
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da pag. 333 a pag. 344

VARIAZIONI STAGIONALI DEL RAPPORTO N/P NEL GOLFO DI TRIESTE

Nicoletta BURBA*, Marina CABRINI*, Paola DEL NEGRO*,
Serena FONDA UMANI** e Luisella MILANI.

*laboratorio di Biologia Marina - Trieste
** Dipartimento di Biologia dell'Università di Trieste

SUMMARY

During 1991 a monitoring program was carried out in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea). In 28 stations physico-chemical parameters were seasonally detected.

A spatio-temporal variability of nutrients concentration and consequentially of N/P ratio was observed. The N/P ratio was particularly influenced by riverine inputs and urban wastes.

1. INTRODUZIONE

La velocità con cui la biomassa algale si accresce dipende dalla concentrazione dei sali nutritivi disciolti, in particolare i sali di azoto e fosforo, ed essenzialmente dal loro rapporto. In acque oceaniche, dove N e P sono scarsi, il loro rapporto atomico è uguale a 16, mentre nelle acque costiere del Mediterraneo i valori sono nettamente superiori (N/P=39) per la produzione di N da parte delle praterie a Posidonia (Frontier et Pichod-Viale, 1991). Le acque costiere, che ricevono in modo discontinuo ma più direttamente gli apporti dei sali nutritivi da terra e nelle quali il recupero dai sedimenti è facilitato dalla minor profondità, presentano un rapporto variabile.

Le acque del Golfo di Trieste, caratterizzato da valori di biomassa planctonica generalmente alti (Cataletto et al., 1993), presentano rapporti N/P più elevati rispetto a quelli riscontrati in altre regioni Nord Adriatiche, comunque superiori a 16 (De Gobbis e Gilmartin, 1990). In quest'area, infatti, il P inorganico totale si mantiene sempre piuttosto basso, maggiori variazioni sono evidenziate nella concentrazione di N inorganico, particolarmente nella forma più ossidata NO_3 (Bregant et al., 1981; Fonda Umani, 1991).

Nel presente lavoro la differente disponibilità dei sali di N e P e in particolare i valori del loro rapporto vengono utilizzati per caratterizzare le acque superficiali del Golfo di Trieste in relazione agli apporti di acque dolci fluviali e di scarico.

2. MATERIALI E METODI

Durante il 1991 nei mesi di marzo, giugno, settembre e dicembre sono state condotte analisi sulle acque del Golfo di Trieste, da Punta Sottile alla foce del Tagliamento. Lungo otto transetti (A, B, C, D, E, F, G, H) perpendicolari alla linea di costa (Fig. 1) sono state distribuite 24 stazioni alla distanza di 500 m, 1000 m e 3000 m da riva. Ulteriori quattro stazioni sono state posizionate in prossimità di mitilicolture a 200 m dalla costa. Ogni stazione è stata indicata da una lettera maiuscola, caratterizzante il transetto, seguita da un numero, rappresentante la distanza dalla costa (0-200 m, 1-500 m, 2-1000 m, 3-3000 m).

In ogni stazione sono stati rilevati, utilizzando una sonda multiparametrica IDRONAUT mod. 401, i seguenti parametri: temperatura, salinità, ossigeno disciolto, pH e clorofilla *a.* Dai dati di temperatura, salinità e pressione è stata quindi calcolata la densità (UNESCO-1983).

Contemporaneamente sono stati prelevati campioni d'acqua superficiale per l'analisi di nitriti, nitrati, ammonio ed ortofosfati eseguita secondo il metodo di Grasshoff et al. (1983) e la loro concentrazione è stata espressa in $\mu moli.dm^{-3}$. Sommando le concentrazioni di nitriti, nitrati ed ammonio sono stati ottenuti i valori di N inorganico totale disciolto (N tot) mentre il P inorganico totale disciolto (P tot) corrisponde alla concentrazione dell'ortofosfato. Su tali valori è stato calcolato il rapporto N/P.

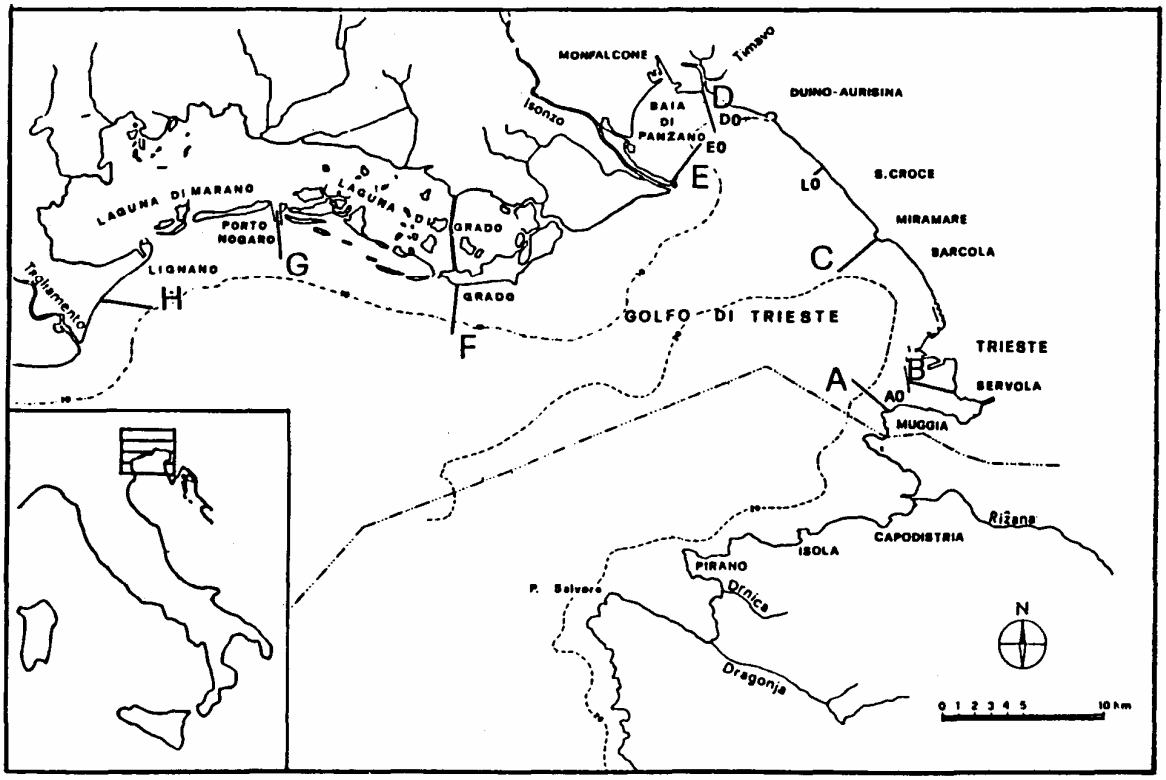


Fig. 1 - Localizzazione delle stazioni nel Golfo di Trieste.

Tutti i dati ottenuti sono stati raccolti in quattro matrici (variabili/stazioni) relative ai periodi di campionamento (marzo, giugno, settembre e dicembre). Su di esse è stata eseguita una normalizzazione delle variabili considerate (temperatura, salinità, densità, pH, ossigeno disciolto, clorofilla a, N tot e P tot) e sono state calcolate le matrici di distanza tra le stazioni mediante l'opzione della distanza della corda. Sono state quindi eseguite quattro classificazioni, una per campionamento, delle 28 stazioni utilizzando l'algoritmo del legame completo e sono stati calcolati i coefficienti di correlazione tra le seguenti variabili: temperatura, salinità, densità, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NH_4$, $P\text{-}PO_4$ ed il rapporto N/P. Le elaborazioni sono state eseguite utilizzando i programmi di Burba et al. (1992).

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

La classificazione secondo il dendrogramma (Fig. 2) individua, nel campionamento di marzo, quattro gruppi di stazioni (a, b, e, d). Il gruppo a è costituito dalle stazioni A0, E0, D1 mentre il gruppo b da tutte le stazioni dei transetti A e C ed inoltre da D0, B2 e B3. D gruppo e è formato dalle stazioni dei transetti E, H, F , ad eccezione della F3, e dalle stazioni Bl, D3 ed L0; il gruppo d, infine, dalle stazioni D2, F3 e da tutte le stazioni del transetto G. Suddividendo le stazioni nei quattro gruppi individuati dal dendrogramma in base ai valori di N tot e di P tot (Fig. 3) si osserva che il gruppo a risulta costituito da stazioni caratterizzate dal valore medio del rapporto N/P più basso (22.3) mentre il gruppo d presenta il valore medio più elevato (586.5). I gruppi b, e sono caratterizzati da valori medi di 56.6 e 219.4 rispettivamente. E' interessante notare l'esistenza di un gradiente nei valori medi del rapporto N/P proseguendo dal gruppo a al gruppo d.

I quattro gruppi di stazioni corrispondono ad aree geograficamente distinte: quella più orientale, in cui gli apporti di acque dolci sono determinati per lo più da scarichi urbani, con rapporti N/P relativamente bassi (gruppi a, b) e quella nord occidentale, con la Baia di Panzane, in cui si riversano i fiumi Isonzo e Timavo, e gli apporti delle lagune di Grado e Marano, caratterizzata da rapporti N/P più elevati (gruppi e, d). Questi alti valori sono dovuti ad elevate concentrazioni di $N\text{-}NO_3$ (84,2 $\mu moli.dm^{-3}$ in D2) determinati prevalentemente da apporti fluviali: in queste zone si registrano infatti anche valori bassi di salinità (24.4 PSU in G1 e 29.0 PSU in E1). Le abbondanti precipitazioni primaverili hanno contribuito, in generale, ad aumentare le portate fluviali e, di conseguenza, i valori dei nutrienti disciolti.

Analizzando i coefficienti di correlazione tra i diversi parametri (Tab. 1) si può notare che sia $N\text{-}NO_3$ sia il rapporto N/P sono correlati negativamente con salinità e densità.

n basso valore medio del rapporto N/P nel gruppo a è determinato da una concentrazione particolarmente alta di $P\text{-}PO_4$ che raggiunge il valore massimo nella stazione D1 (1.2 $\mu moli.dm^{-3}$). Poiché l'area orientale è meno influenzata dagli apporti fluviali, l'incremento di $P\text{-}PO_4$ sembra legato prevalentemente agli scarichi urbani.

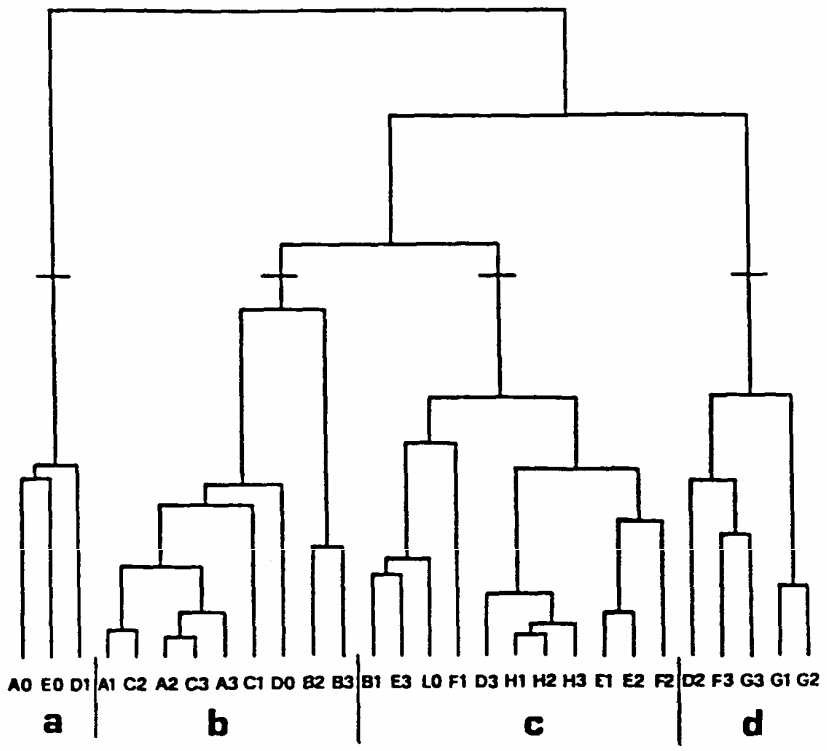


Fig. 2 - Classificazione delle 28 stazioni relativa a marzo 1991.

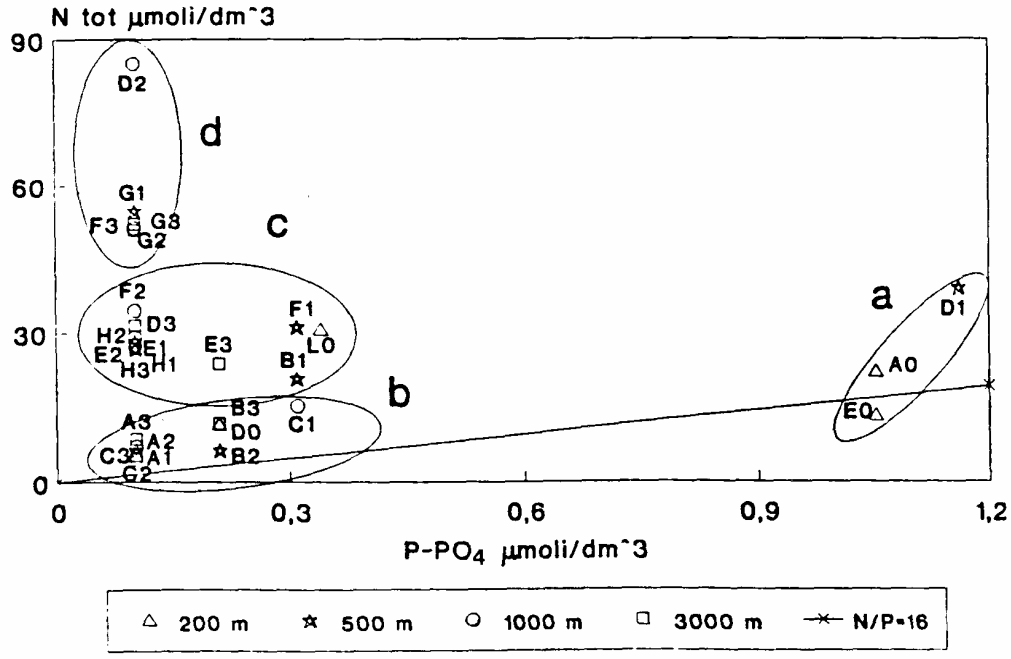


Fig. 3 - Distribuzione delle 28 stazioni in base ai valori di N totale e di P-PO_4. Vengono evidenziati i gruppi (a, b, c, d) individuati dal dendrogramma di Fig. 2.

In generale si osserva che, in primavera, il rapporto N/P è molto influenzato da N tot infatti N/P è correlato positivamente, con alta significatività, con $N\text{-}NO_3$ ed in misura minore con $N\text{-}NO_2$ (Tab. 1).

Anche in giugno il dendrogramma (Fig. 4) evidenzia 4 gruppi di stazioni (**a, b, c, d).** Il gruppo a comprende le stazioni A0, A2, C2, D3, L0 e quelle dei transetti B, F, H e G ad eccezione della stazione G1, II gruppo **b** è costituito dalle stazioni D0, E0, G1 e da quelle del transetto D esclusa la D3, il gruppo **c** da tutte le stazioni del transetto E ed infine il gruppo **d** dalle stazioni Al, C1 e C3. Dalla suddivisione in base ai valori di N tot e P tot (Fig. 5) si può notare che il gruppo **d** è caratterizzato dal valore medio del rapporto N/P più basso (22.0) mentre il gruppo **c** è caratterizzato dal valore medio più elevato (491.6). I gruppi **a** e **b** presentano valori medi relativamente alti (131.8 e 146.2 rispettivamente).

Le abbondanti precipitazioni verificatesi in questo periodo hanno notevolmente abbassato la salinità, che presenta il valore minimo assoluto (9,51 PSU in D1) causando un aumento di $N\text{-}NO_3$ e quindi elevati valori del rapporto N/P in molte stazioni, soprattutto nella Baia di Panzane (gruppo e).

Esiste infatti una correlazione positiva tra il rapporto N/P e $N\text{-}NO_3$ ed una correlazione inversa tra $N\text{-}NO_3$, salinità e quindi densità (Tab. 1).

In settembre la classificazione delle stazioni (Fig. 6) evidenzia due gruppi (**a**, **b**). Il gruppo **a** è costituto dalle stazioni A0, Bl, D0, El, E3 ed H1 mentre il gruppo **b** da tutte le altre. Il gruppo **a** ha un valore medio del rapporto N/P di 21.9, il gruppo **b** di 64.2 (Fig 7).

In generale, in questo periodo, le concentrazioni di $N\text{-}NO_3$ sono inferiori a quelle di marzo e giugno, variando infatti da 0.2 a 15.8 $\mu moli.dm^{-3}$ rispettivamente nelle stazioni L0 ed E3 e le concentrazioni di $P\text{-}PO_4$ sono particolarmente basse. I valori del rapporto N/P sono di conseguenza inferiori a quelli dei periodi precedenti.

Si osserva comunque una correlazione inversa del rapporto N/P con $P\text{-}PO_4$, mentre è sempre significativa la correlazione inversa tra $N\text{-}NO_3$, salinità e densità (Tab.l).

Geograficamente non si individuano aree differenziate ma tutto il Golfo risulta omogeneo, presumibilmente per gli scarsi apporti di acque dolci del periodo precedente il campionamento.

In dicembre si identificano (Fig. 8) cinque gruppi di stazioni (**a, b, c, d, e**). Il gruppo **a** è costituito dalle stazioni A0, Al, E0, L0 e dai transetti B, F e D, eccetto la stazione D1. Il gruppo **b** comprende la stazione D1 ed il transetto H; il gruppo **c** i transetti C ed A esclusa la stazione Al. Il gruppo **d** è caratterizzato dal transetto E ed il gruppo **e** dal transetto G. In Fig. 9 e 10 si riportano le stazioni suddivise nei cinque gruppi del dendrogramma in relazione ai valori di N tot e di $P\text{-}PO_4$.

Il gruppo **a** è caratterizzato da un valore medio di N/P corrispondente a 31.5 mentre il gruppo **b** presenta un valore medio di 170.8. Il gruppo **c** ed il gruppo **d** hanno valori medi di N/P molto bassi (0.3 e 0.7 rispettivamente). Il gruppo **e**, infine, presenta un valore medio di 165.5.

MARZO - 1991

	Temp.	Sal.	Dens.	N-NO2	N-NO3	N-NH4	P-PO4	N/P
Temperatura	1,0000	**-0,7206**	**-0,7406**	**0,6118**	**0,5177**	0,0827	0,0950	0,4342
Salinità		1,0000	**0,9996**	-0,2922	**-0,6177**	-0,1276	-0,0457	**-0,5151**
Densità			1,0000	-0,3091	**-0,6208**	-0,1271	-0,0481	**-0,5180**
N-NO2				1,0000	0,4096	0,2199	-0,2088	**0,4900**
N-NO3					1,0000	0,1393	-0,0753	**0,8960**
N-NH4						1,0000	**-0,5606**	0,3166
P-PO4							1,0000	-0,4222
N/P								1,0000

GIUGNO - 1991

	Temp.	Sal.	Dens.	N-NO2	N-NO3	N-NH4	P-PO4	N/P
Temperatura	1,0000	-0,2738	-0,3299	**0,5377**	0,1821	-0,1034	-0,3521	0,3104
Salinità		1,0000	**0,9983**	-0,1148	**-0,5033**	0,3179	0,2491	-0,3408
Densità			1,0000	-0,1458	**-0,5049**	0,3182	0,2670	-0,3538
N-NO2				1,0000	0,0465	-0,2678	-0,2566	0,2202
N-NO3					1,0000	0,3100	-0,0629	**0,5929**
N-NH4						1,0000	0,3087	0,1502
P-PO4							1,0000	-0,3514
N/P								1,0000

SETTEMBRE -1991

	Temp.	Sal.	Dens.	N-NO2	N-NO3	N-NH4	P-PO4	N/P
Temperatura	1,0000	**-0,6086**	**-0,7036**	-0,2108	0,2385	-0,2212	0,1314	0,0208
Salinità		1,0000	**0,9921**	-0,0864	**-0,6005**	-0,2345	-0,2523	-0,0619
Densità			1,0000	-0,0441	**-0,5754**	-0,1752	-0,2467	-0,0584
N-NO2				1,0000	0,4227	0,1713	0,1536	0,0519
N-NO3					1,0000	0,2825	0,2817	0,1106
N-NH4						1,0000	0,3297	-0,0825
P-PO4							1,0000	**-0,5820**
N/P								1,0000

DICEMBRE - 1991

	Temp.	Sal.	Dens.	N-NO2	N-NO3	N-NH4	P-PO4	N/P
Temperatura	1,0000	**0,7610**	**0,7121**	-0,0411	**-0,5704**	-0,2684	-0,0285	**-0,6996**
Salinità		1,0000	**0,9974**	0,1499	**-0,7975**	-0,3411	-0,0721	**-0,6216**
Densità			1,0000	0,1614	**-0,8020**	-0,3415	-0,0746	**-0,5954**
N-NO2				1,0000	0,0806	0,2032	-0,1295	0,0293
N-NO3					1,0000	0,1385	-0,1850	**0,5897**
N-NH4						1,0000	-0,0951	0,2594
P-PO4							1,0000	-0,4216
N/P								1,0000

Gradi di libertà= 26 Livello di significatività= 0.01 R= 0.4737

Tab. 1 - Coefficienti di correlazione tra le singole variabili. In grassetto vengono riportati i valori significativi.

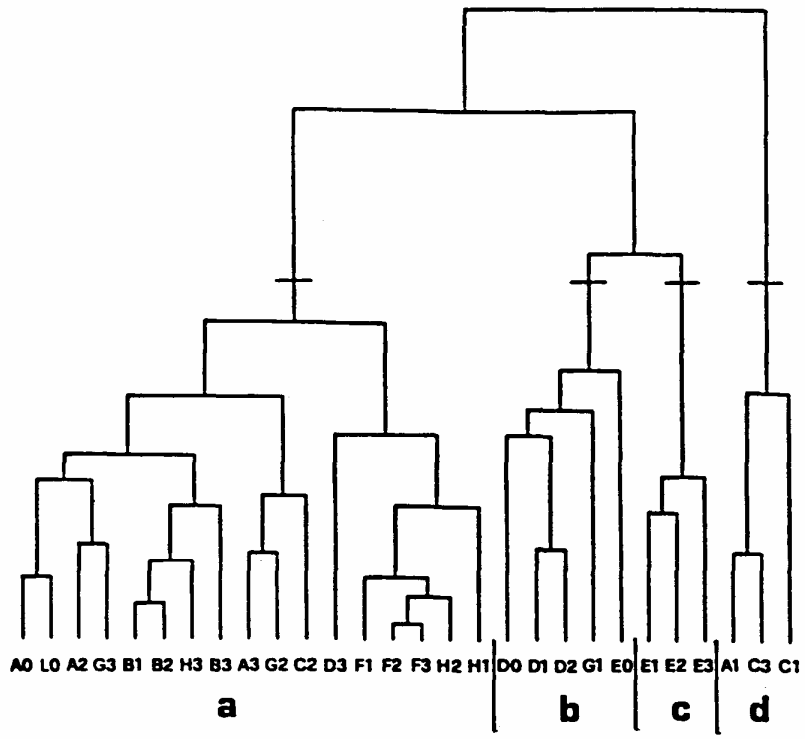


Fig. 4 - Classificazione delle 28 stazioni relativa a giugno 1991.

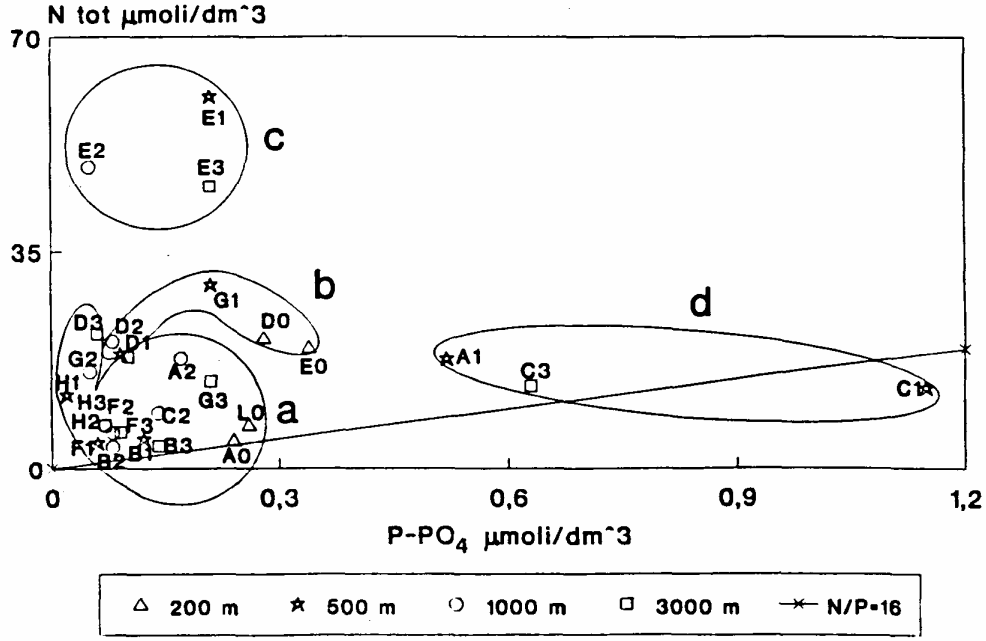


Fig. 5 - Distribuzione delle 28 stazioni in base ai valori di N totale e di $P\text{-}PO_4$. Vengono evidenziati i gruppi (a, b, c, d) individuati dal dendrogramma di Fig. 4.

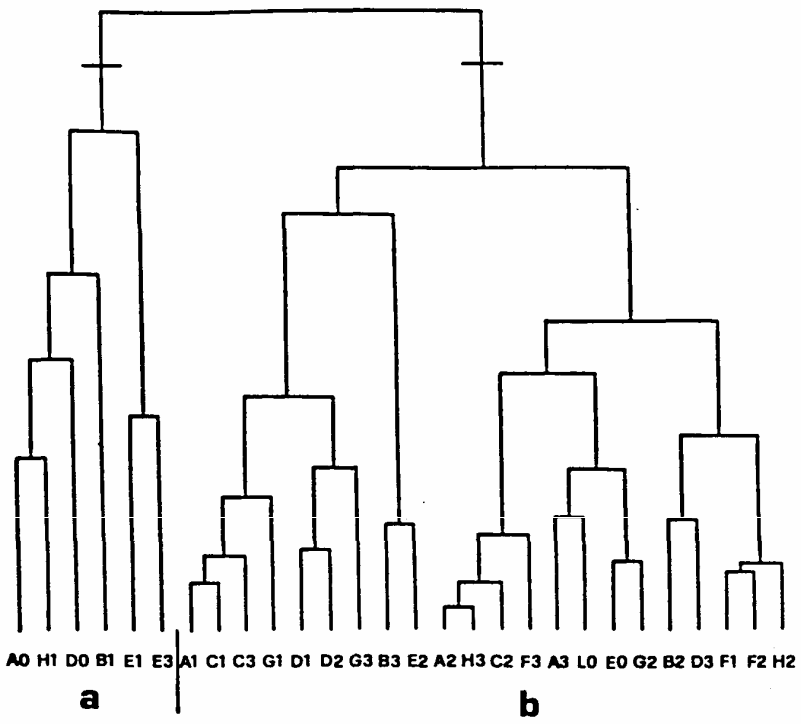


Fig. 6 - Classificazione delle 28 stazioni relativa a settembre 1991.

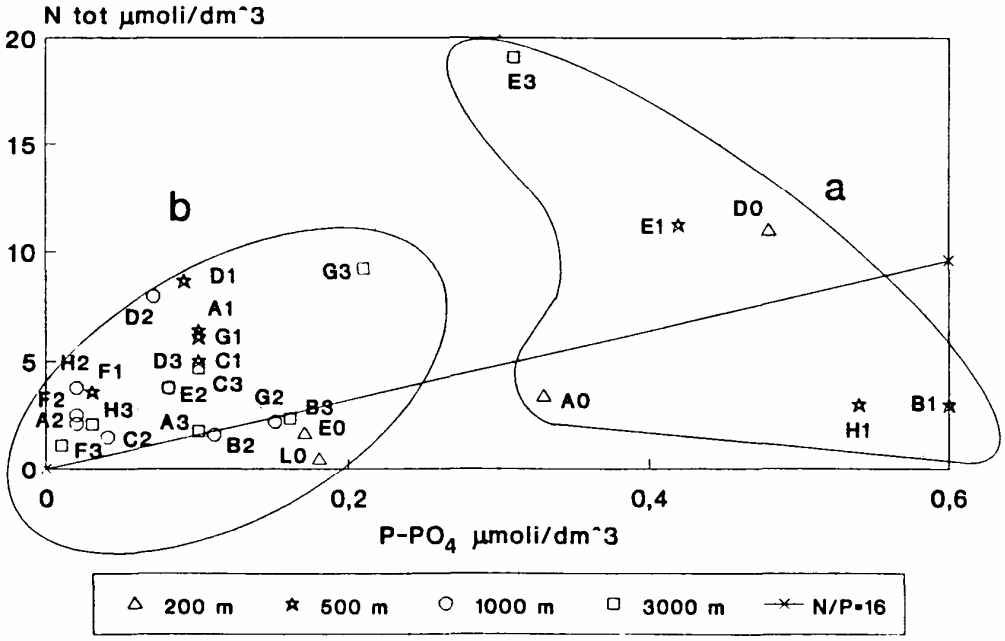


Fig. 7 - Distribuzione delle 28 stazioni in base ai valori di N totale e di $P\text{-}PO_4$. Vengono evidenziati i gruppi (a, b) individuati dal dendrogramma di Fig. 6.

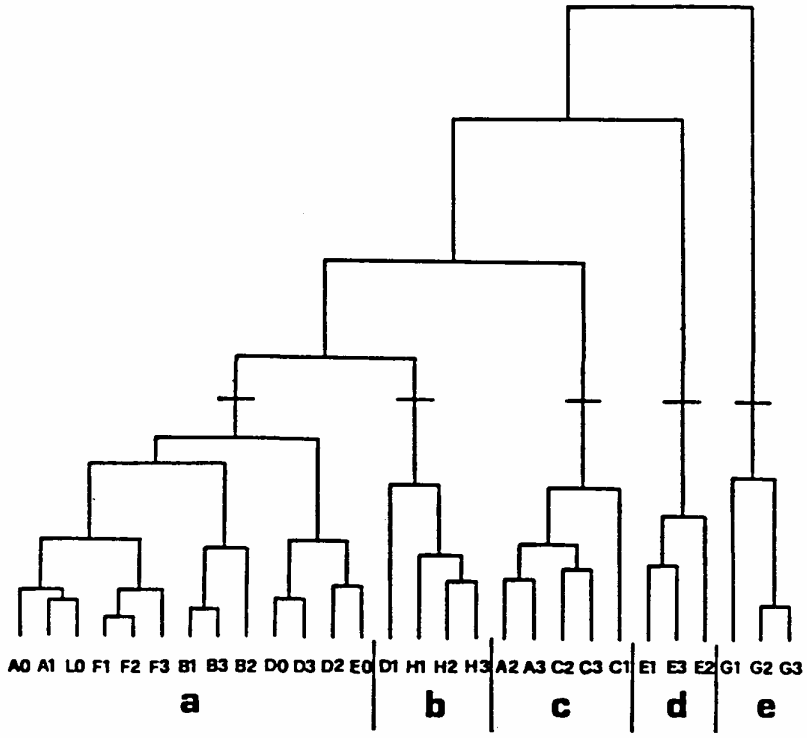


Fig. 8 - Classificazione delle 28 stazioni relativa a dicembre 1991.

Si osserva (Tab. 1) una correlazione inversa tra il rapporto N/P, temperatura, salinità e densità, mentre la correlazione è diretta con $N\text{-}NO_3$. Anche in questo periodo è confermata una correlazione inversa tra $N\text{-}NO_3$, salinità e densità.

D valore medio molto basso del rapporto N/P riscontrato nei gruppi **c**, **d** è dovuto a concentrazioni di $P\text{-}PO_4$ particolarmente alte, soprattutto se confrontate con i valori riportati per la stessa area in anni precedenti (Majori et al., 1980; Bregant et al., 1981 e FondaUmani, 1991). Il prelievo puntiforme e la non ripetibilità dell'analisi fa ritenere non significativo il risultato ottenuto, nonostante individui un'area, la Baia di Panzano, dove per tutto l'anno si registrano valori elevati di nutrienti. Tale baia è infatti direttamente influenzata dalle acque dell'Isonzo e del Timavo, che raccolgono gli scarichi urbani ed industriali delle zone limitrofe.

Nei gruppi **b**, **e** si osserva un incremento del rapporto N/P dovuto a valori piuttosto alti di nitrati derivanti dall'apporto di acque dolci. Le stazioni di questo gruppo, appartenenti al transetto G, sono caratterizzate da bassi valori di salinità (25.0 PSU in G1).

4. CONCLUSIONI

Dall'analisi dei risultati appare evidente che l'incremento di N tot in superficie è dovuto agli apporti di acque dolci. I valori più elevati di $N\text{-}NO_3$ si rilevano infatti sempre

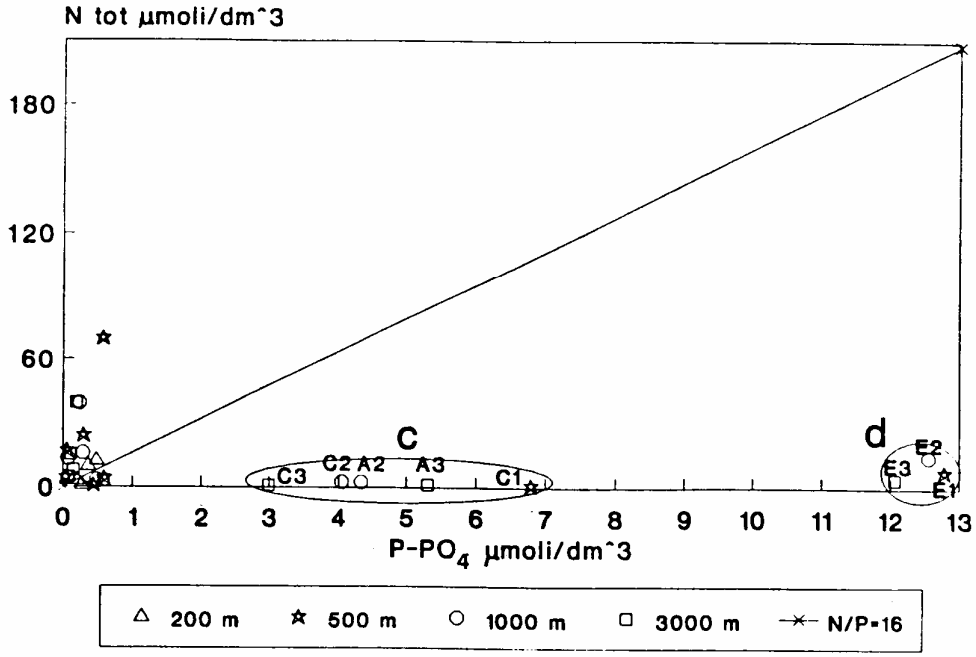


Fig. 9

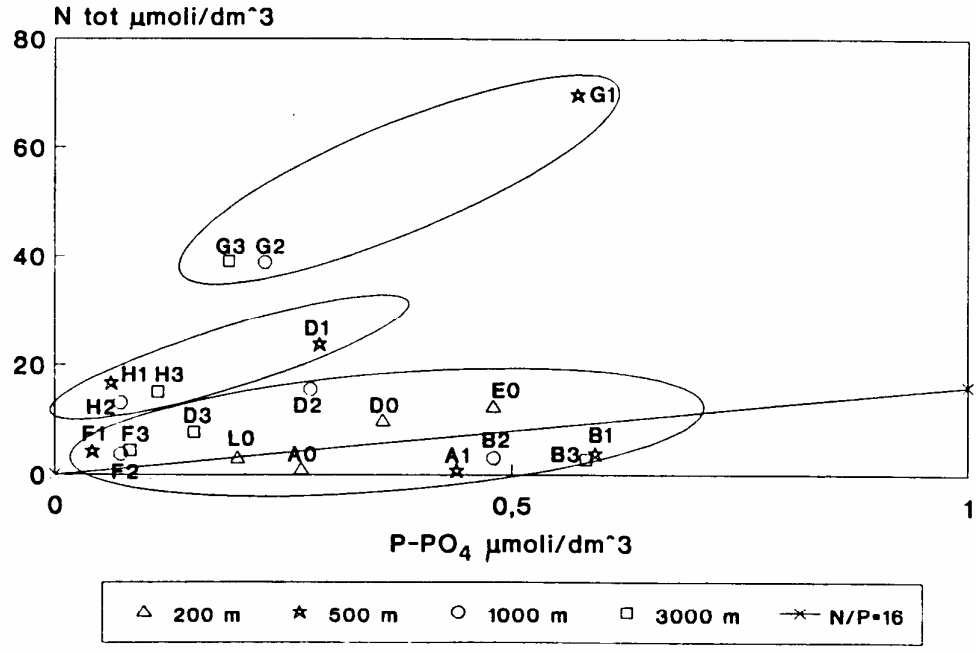


Fig. 10

Fig. 9 e 10 - Distribuzione delle 28 stazioni in base ai valori di N totale e di $P\text{-}PO_4$. Vengono evidenziati i gruppi (a, b, c, d, e) individuati dal dendrogramma di Fig. 8.

nelle aree maggiormente influenzate dai fiumi e dalle lagune, particolarmente nella Baia di Panzane in cui è presente anche una prateria a Cymodocea. Poiché gli apporti di $N\text{-}NO_3$ in queste zone sono prevalentemente di origine agricola, l'abbassamento del loro tenore in settembre è probabilmente dovuto all'interruzione estiva della fertilizzazione dei terreni, nonché alla diminuita piovosità.

Le concentrazioni di $P\text{-}PO_4$ si mantengono basse per gran parte dell'anno, ad eccezione delle stazioni dei transetti E, A e C durante il campionamento invernale. Dall'ubicazione dei transetti appare evidente come gli apporti di $P\text{-}PO_4$ siano legati soltanto agli scarichi urbani e non ai carichi fluviali.

La variabilità delle concentrazioni di N tot e di $P\text{-}PO_4$ influenzano, come si è detto, il rapporto N/P che, in linea generale, è superiore a 16 e si mantiene più elevato in primavera ed estate a causa delle abbondanti precipitazioni che incrementano la concentrazione soprattutto di $N\text{-}NO_3$. Di conseguenza le stazioni non influenzate dagli apporti fluviali presentano i valori più bassi del rapporto N/P dovuti alla scarsità di $N\text{-}NO_3$ e, d'inverno, agli alti valori di P-PO non utilizzato dalla componente vegetale per fotolimitazione.

La variabilità del rapporto N/P permette di caratterizzare differenti aree nel Golfo di Trieste, alcune influenzate dagli apporti fluviali veicolanti elevate concentrazioni di $N\text{-}NO_3$, nelle quali il rapporto N/P è sempre di molto superiore a 16, ed altre legate a scarichi urbani responsabili di arricchimenti in $P\text{-}PO_4$, nelle quali il rapporto si mantiene più basso e nel periodo invernale è notevolmente inferiore a 16.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare il signor Fabio Aizza per le analisi dei nutrienti ed il dott. Sergio Predonzani per la revisione critica dei dati.

BIBLIOGRAFIA

Bregant, D., G. Catalano & F. Moro. 1981. La distribuzione dei nutrienti nel Golfo di Trieste. *Convegno delle Unità Operative afferenti ai Sottoprogetti Risorse Biologiche e Inquinamento Marino,* Roma 10-11 Novembre 1981: 859-873.

Burba, N., E. Feoli, M. Malaroda & V. Zuccarello. 1992. Un Sistema Informativo per la Vegetazione. Software per l'archiviazione della vegetazione italiana e per l'elaborazione di tabelle. Manuale di utilizzo dei programmi. Gorizia, *Collana quaderni* C.E.T.A., 2: 78 pp.

Cataletto, B., M. Cabrini, S. Fonda Umani, L. Milani & M.C. Pavesi. 1993. Variazioni del contenuto in C della biomassa fito-, microzoo- e mesozoo-planctonica nel Golfo di Trieste. *Biologia Marina,* suppl. al Notiziario S.I.B.M., 1: 141-144.

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

Fonda Umani, S. 1991. General features of the planktonic System in the Gulf of Trieste and their variations in the last decade. In: Jellyfish blooms in the Mediterranean. *MAP Technical Reports Series* 47 , UNEP: 82-101.

Frontier, S. & D. Pichod-Viale. 1991. Ecosystèmes: structure, fonctionnement, évolution. Masson, Paris: 392 pp.

Grasshoff, K., M. Ehrhardt & K. Kremling. 1983. Methods of seawater analysis. Verlag Chemie. Weinheim (Germany): 419 pp.

Majori, L., G. Nedoclan, F. Daris, G.B. Modonutti & C. Campello. 1980. Physico-chemical investigations: observations about coastal sea-water pollution in the Gulf of trieste. *V^es Journées Etud. Pollution,* Cagliari, C.I.E.S.M.: 585-594.

UNESCO. 1983. Algorithms for computation of foundamental properties of seawater. Endorsed by UNESCO/SCOR/ICES/IAPSO Joint Panel on Oceanographic Tables and Standards and SCOR Working Group 51. UNESCO *Technical Papers in Marine Science,* 44, 1-53.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L.
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da pag. 345 a pag. 354

INDAGINI SU PRODUZIONE PRIMARIA E BIOMASSA PLANCTONICA IN ADRIATICO SETTENTRIONALE

Annamaria ZOPPINI, Alessandra GUZZINI, Romano PAGNOTTA e Alberto PUDDU

Istituto di Ricerca Sulle Acque - CNR, Roma

SUMMARY

Water quality of Northern Adriatic is strongly influenced by the Po river contribution. This influence is very effective along the coast, expecially at south of the river mouth.

Ali the existing data on primary production of the area regard the open sea and refers to years previous 1980. In this paper are presented the results of nine surveys conducted from May 1991 to July 1992, in three stations at 1.5 , 6 and 15 nautical miles from the coast at north of Ancona, where the influence of the Po river discharge is still evident both on salinity and on nutrients concentration.

Standing crop shows a coastal to open waters gradient: chlorophyll and ATP mean concentrations were respectively 1.99, 1.18, and 0.46 mg m^{-3} and 0.37, 0.28, and 0.13 mg m^{-3} at the three stations. Mean primary production surface rates, measured by the ^{14}C method with samples incubated on deck, were respectively 6.96, 5.47 and 1.26 mgC m^{-3} h^{-1} and 52.0, 65.6 and 38.1 as mgC m^{-3} h^{-1} in the water column. On the basis of the irradiation values, measured during the test as photosynthetic active radiation, was possible to estimate the annual production rate equal to 332, 353 and 144 gC m^{-2} yr^{-1} for the above three stations. Even the assimilation rates, expressed as the mgC synthesized per mg of chlorophyll a and per Einstein in a time unit (h), show the highest mean value (3.6) at the coastal station and the lowest (1.7) at the offshore station.

The above results evidentiate the importance of the coastal ecosystem, where a still high trophic load can support a high productivity, in respect to the total balance of the Adriatic Sea.

1.INTRODUZIONE

Il bacino settentrionale dell'Adriatico rappresenta una delle regioni più produttive del Mediterraneo in conseguenza della sua particolare morfologia (bacino poco profondo, semichiuso) e dell'elevato carico trofico che riceve attraverso i fiumi che vi sfociano, tra cui il principale per dimensioni di bacino e portata è il Po. La circolazione anticiclonica che caratterizza il bacino Adriatico convoglia le acque di origine fluviale in direzione sud-est lungo la fascia costiera occidentale. Tali masse d'acqua, meno dense, sono separate da

un sistema frontale di acque a salinità elevata. Queste condizioni determinano instabilità della colonna d'acqua con marcati gradienti di biomassa e produzione primaria.

Le misure di produzione primaria, espressione della velocità di sintesi del carbonio organico da parte degli organismi autotrofì, rappresentano un importante contributo al fine delle conoscenze sul ciclo del carbonio di un sistema eutrofico. Le prime indagini al riguardo in Adriatico risalgono ai primi anni '60. Buljan (1964), sulla base delle conoscenze idrografiche, ha stimato per primo la produttività dell'intero bacino suddividendolo in diverse regioni biotiche, tra le quali quella a produttività più elevata racchiude il bacino settentrionale e parte di quello centrale comprendendo una fascia costiera che si estende dal promontorio del Cenerò fino a quello del Gargano. A seguito delle ricerche effettuate negli anni successivi il quadro attuale di conoscenze su produzione primaria e biomassa in Adriatico settentrionale può essere sintetizzato nel modo seguente.

Per la produzione primaria le informazioni disponibili derivano da ricerche comunque antecedenti il 1980 e condotte prevalentemente in acque internazionali (oltre 12 miglia dalla costa). Gilmartin & Revelante (1983), riportando i risultati di campagne effettuate tra il 1972 e il 1975, forniscono valori di produzione primaria superficiale compresi tra 3 e 14 mgC m^{-3} h^{-1} per le aree costiere dell'Adriatico nord-occidentale influenzate dal Po, intorno a 6 mgC m^{-3} h^{-1} per quelle a nord della foce, intorno a 2 mgC m^{-3} h^{-1} nel golfo di Trieste e tra 0,6 e 1,7 mgC m^{-3} h^{-1} in mare aperto. Gli stessi Autori attribuiscono inoltre una produzione annua di carbonio compresa tra 55 e 80 gC m^{-2} a^{-1} alle aree costiere orientali del bacino settentrionale, tra 100 e 120 gC m^{-2} a^{-1} alle zone della costa occidentale antistanti il delta del Po, e un intervallo di valori ancora più ampio, compreso tra 80 e 150 gC m^{-2} a^{-1} *a* particolari aree lagunari. Franco (1967) riporta valori superficiali di produzione primaria misurata in stazioni antistanti il golfo di Venezia, dalla costa fino a circa 15 miglia di distanza, distribuiti tra 0,02 e 7,38 mgC m^{-3} h^{-1} con un valore medio pari a 1,7 mgC m^{-3} h^{-1} e, in campagne successive (Franco, 1983), valori tra 30 e 40 mgC m^{-3} h^{-1} per una stazione a circa 10 miglia dalla foce del Po, tra 5 e 10 mgC m^{-3} h^{-1} più al largo (circa 20 miglia) e tra 1 e 2 mgC m^{-3} h^{-1} in mare aperto. Fonda Umani et al., 1990, in una rassegna di dati bibliografici, riporta per il settore occidentale dell'Adriatico settentrionale valori massimi di produzione primaria superiori a 30 mgC m^{-3} h^{-1} e per il settore orientale valori sempre inferiori ai 10 mgC m^{-3} h^{-1}.

Per quanto riguarda la biomassa, espressa come concentrazione di clorofilla a, ancora Gilmartin & Revelante (1983) riportano, da informazioni bibliografiche, un intervallo di valori per tutto il bacino settentrionale compreso tra 0,5 e 32 mg m^{-3}, e, da loro misure effettuate tra il '72 e il '75, concentrazioni medie superficiali comprese tra 0,9 e 5,1 mg m^{-3} nella zona influenzata dal Po, intorno a 2 mg m^{-3} a nord del Po, intorno a 1 mg m^{-3} nel golfo di Trieste e tra 0,3 e 0,6 mg m^{-3} al centro del bacino. Franco (1969) riporta per la stazione di fronte al golfo di Venezia a 15 miglia dalla costa una concentrazione media di clorofilla a pari a 1,2 mg m^{-3} in superfìcie e, nelle tre zone poste a 10, 20 miglia ed oltre dal Po, concentrazioni in superficie rispettivamente di circa 30, 1,5 e 0,2 mg m^{-3}. Fonda Umani et al. (1990) riportano per l'Adriatico settentrionale concentrazioni medie nella colonna d'acqua intorno ai 3 mg m^{-3} lungo la costa occidentale, in prossimità della foce del Po, concentrazioni intorno a 0.9 mg m^{-3} lungo la costa orientale, influenzata da acque più oligotrofiche provenienti dai bacini centrale e

meridionale, e valori intermedi nelle zone di mare aperto del bacino settentrionale. Dalle numerose campagne effettuate dai ricercatori della Regione Emilia Romagna nell'ultimo decennio (Vollenweider et al., 1992) risulta un andamento decrescente della concentrazione di clorofilla *a* lungo le coste romagnole, in direzione nord-sud, con valori medi superficiali che vanno dai circa 15 mg nr^3 di fronte a Porto Garibaldi ai circa 6 mg m^{-3} di fronte a Cattolica.

Gilmartin & Revelante, 1983, riportano inoltre valori del rapporto di assimilazione (unità di carbonio per unità di clorofilla a) inferiori a 2 per le acque oligotrofiche del settore orientale dell'Adriatico settentrionale e valori intorno a 4 per l'area nord occidentale al largo del Po. In quest'ultima area in molte occasioni il rapporto di assimilazione ha raggiunto anche valori più elevati, compresi tra 8 e 10.

Il presente contributo, parte di una indagine più ampia che ha per obiettivo la maggiore comprensione dei fenomeni eutrofici avvenuti in Adriatico in questi ultimi anni, si propone di fornire informazioni aggiornate sulla biomassa e sulla produzione di carbonio organico in tre stazioni costiere situate a Nord di Ancona, limite meridionale della fascia costiera dell'Adriatico settentrionale, dove è ancora avvertibile l'influenza degli apporti del Po.

2. MATERIALI E METODI

L'indagine è stata condotta in collaborazione con l'IRPEM - CNR di Ancona utilizzando per i campionamenti la motonave "S. Lo Bianco". Le stazioni sono situate lungo un transetto perpendicolare alla costa, posto di fronte all'abitato di Senigallia a 1,5, 6 e 15 miglia di distanza dalla costa, in corrispondenza delle batimetriche di 10, 20 e 50 metri (Fig. 1). I dati riportati si riferiscono a 9 campionamenti effettuati a maggio, giugno, luglio, settembre, ottobre, novembre 1991 e febbraio, maggio, luglio 1992. I prelievi sono stati effettuati con un recipiente di plastica in superficie e con bottiglie Niskin a tre metri di profondità e sul fondo. La produzione primaria (PP) è stata misurata utilizzando la tecnica del ^{14}C (APHA, AWWA, WPCF 1989) su campioni prelevati nella zona eufotica della colonna d'acqua a quote ottiche corrispondenti al 100, 50, 25 e 10% della penetrazione della luce. Misure giornaliere di irradianza sono state effettuate come PAR (Photosinthetically Active Radiation) tramite un radiometro LI-COR (LI-1000) collegato ad un sensore terrestre (LI-190SA), mentre per le misure nella colonna d'acqua è stato utilizzato un sensore sferico subacqueo (LI-193 SA). Immediatamente dopo il prelievo 120 mi di campione sono stati incubati per 4 ore in bottiglie chiare e scure con 10 μCi di $NaH^{14}CO_3$, in bagno termostatato con circolazione di acqua superficiale ed alla stessa energia luminosa delle quote di provenienza ottenuta mediante schermatura con pannelli di nichel perforati (Stork-Veco). La misura della clorofilla *a* (Chl), sottratta dei feopigmenti, è stata effettuata su estratto acetonico utilizzando un fluorimetro Turner 10-005R (APHA, AWWA, WPCF, 1989). L'adenosintrifosfato (ATP) è stata estratto a freddo in dimetilsolfossido (Zoppini, 1990).

Sui campioni raccolti sono state effettuate anche misure di parametri fisici e chimici, i cui risultati vengono solo parzialmente illustrati nel seguito.

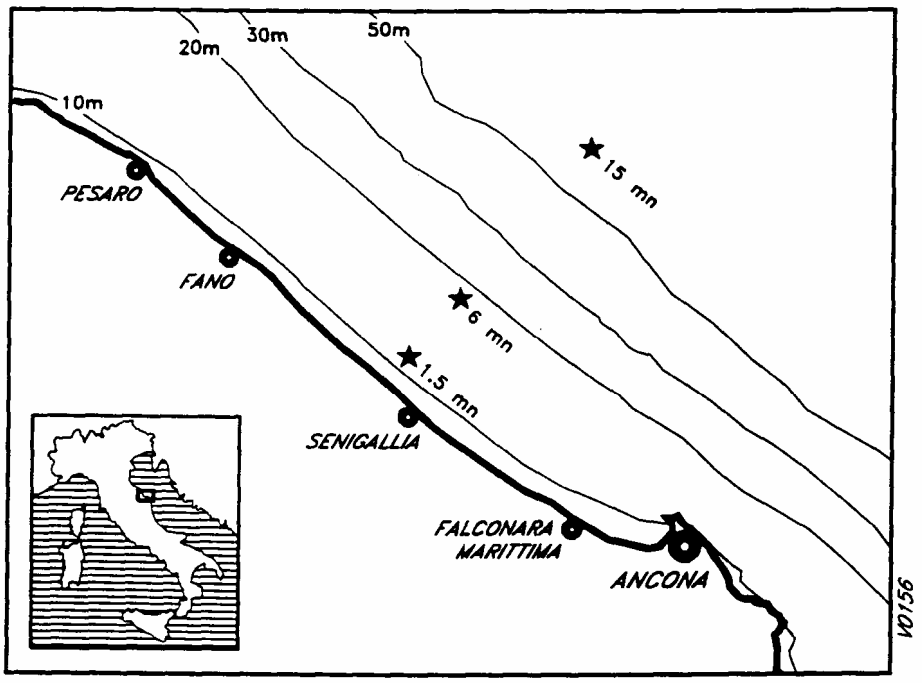


Fig.1 - Localizzazione delle stazioni di campionamento.

3. RISULTATI

I valori medi di salinità permettono di caratterizzare l'area studiata. La stazione più vicina alla costa ha mostrato un valore medio superficiale di salinità pari a 33,4±3,3 psu, con un minimo di 28,3 psu, verificatosi in due occasioni nell'arco dell'indagine. La stazione a 6 miglia ha un valore medio in superficie pari a 35,1±1,7 psu con un minimo pari a 31,1 psu mentre nella stazione a 15 miglia la media è pari a 37,2±1,0 psu e un minimo di 35,4 psu. Poiché si esclude un sensibile effetto dei corsi d'acqua locali già alla distanza di 1,5 miglia dalla costa, si può ritenere che le diminuzione della salinità siano dovute alla diffusione dell'acqua dolce proveniente dal delta del Po. Ai valori più bassi di salinità corrispondono anche valori più elevati dei nutrienti. La concentrazione di azoto inorganico totale (TIN-N) in superfice mostra un gradiente decrescente passando dalla costa verso il largo, con valori medi pari a 13,5±20,3; 3,4±4,4 e 0,8±0,75 µg at l^{-1} rispettivamente alla distanza di 1,5, 6 e 15 miglia, cosi come quella di fosforo ortofosfato (PO_4-P), con valori medi rispettivamente pari a 0,08±0,11, 0,05±0,05 e 0,02±0,02 µg at l^{-1}. Le concentrazioni di nutrienti riscontrate nelle stazioni a 6 e 15 miglia sono quelle tipiche delle regioni adriatiche settentrionali, mentre i valori della stazione a 1,5 miglia corrispondono a quelli riportati in letteratura per le aree immediatamente a largo del delta del Po (Gilmartin e Revelante, 1983).

In tab. 1 sono mostrati i valori medi di clorofilla *a* e ATP misurati nelle tre stazioni. Le concentrazioni si mantengono sostanzialmente costanti alle diverse quote. La stazione a 1,5 miglia mostra valori più elevati per entrambi i parametri che, mediando tra le diverse quote, corrispondono a 1,99±1,29 mg m^{-3} per la Chl e 0,37±0,24 mg m^{-3} per l'ATP. Le

concentrazioni diminuiscono verso il largo, con valori medi corrispondenti a 1,18±0,6 e 0,46±0,25 mg m^{-3} per la Chl e 0,28±0,16 e 0,13±0,09 mg m^{-3} per l'ATP rispettivamente a 6 e a 15 miglia. Da questi valori emerge il diverso grado di trofia delle tre stazioni. Per quanto riguarda le concentrazioni di clorofilla le tre stazioni rispecchiano la situazione conosciuta per la zona che risente dell'influenza del Po, per l'area costiera settentrionale a nord del Po e per le acque del largo. Per quanto riguarda l'ATP non è possibile un analogo confronto con dati di letteratura. I valori ottenuti nella stazione a 1,5 miglia sono tipici di acque costiere (Pagnotta et al. 1983) e si riducono nelle altre due stazioni verso il largo dove mostrano valori inferiori a 0,25 mg m^{-3}, tipici di acque marine costiere non influenzate da apporti antropici (Holm Hansen & Booth, 1966).

distanza (miglia)	prof. (m)	Chl (mg m^{-3})	cv (%)	ATP (mg m^{-3})	cv (%)
1,5	0	1,92	72	0,40	47
	3	2,00	65	0,36	44
	10	2,26	65	0,37	64
6	0	1,25	41	0,25	47
	3	1,11	42	0,29	59
	18	1,18	63	0,32	71
15	0	0,51	57	0,14	80
	3	0,46	59	0,17	65
	50	0,51	41	0,10	59

Tab.1. Concentrazioni medie di clorofilla (Chl) e adenosintrifosfato (ATP) nelle stazioni di prelievo a diverse profondità; cv: coefficiente di variazione.

La clorofilla mostra le concentrazioni più elevate in due occasioni, maggio 1991 (a 1,5 miglia, valore superficiale 4,6 mg m^{-3}) e novembre 1991 (stessa stazione, in superficie 3,6 mg m^{-3}), che hanno come elemento comune la salinità molto ridotta (28 psu).

L'analisi della regressione lineare tra la concentrazioni di Chi e la salinità dei campioni (fig.2) ha mostrato un coefficiente di regressione che risulta elevato ($r = - 0,60$; $p = 0,01$) per le 93 coppie di valori considerate. L'equazione che interpola i dati sperimentali è la seguente

$$Chl = 10,99 - 0,27\ Sal \qquad (ds\ stime = 0,82)$$

Anche per quanto riguarda l'andamento dell'ATP vi è una elevata correlazione inversa con la salinità ($r = - 0,61$; $p = 0,01$; $n = 91$), rappresentata dall'equazione

$$ATP = 2,15 - 0,05\ Sal \qquad (ds\ stime = 0,16)$$

Il rapporto tra ATP e Chi, utilizzato per valutare la composizione della biomassa totale, presenta valori medi di 0,22±0,14, 0,32±0,23 e 0,34±0,28 rispettivamente a 1,5, 6 e 15 miglia che rientrano nell'intervallo di valori 0,22÷0,36 riportato da Brezonik et al. (1975) per le comunità planctoniche marine.

In tab.2 sono riportati i valori medi di produzione primaria per unità di volume relativi allo strato superficiale (superficie e -3m) e i corrispondenti valori del rapporto di assimilazione che fornisce una valutazione della capacità produttiva delle comunità fitoplanctoniche.

distanza (miglia)	PP (mgC m^{-3} h^{-1})	cv (%)	AR (mgC $mgCHL^{-1}$)	cv (%)	AR/E (mgC $mgCHL^{-1}$ E^{-1})	cv (%)
1,5	7,19	66	4,41	65	3,62	57
6	5,57	56	4,91	57	3,24	77
15	1,33	69	2,92	54	1,73	88

Tab.2. Valori medi di produzione primaria per unità di volume (PP), del rapporto di assimilazione assoluto (AR) e per unità di energia radiante (AR/E) nello strato superficiale nelle stazioni di prelievo; cv: coefficiente di variazione.

Il confronto con i valori noti per l'Adriatico conferma le caratteristiche della zona, ove la velocità di incorporazione del carbonio da parte degli organismi autotrofi è su valori analoghi a quelli più elevati riportati per aree in cui è sensibile l'influenza del Po. Solo nella stazione più al largo i valori medi di produzione primaria diminuiscono, rimanendo dello stesso ordine di grandezza di quelli conosciuti per le zone di mare aperto del bacino settentrionale. La velocità di incorporazione del carbonio dipende direttamente dalla quantità di biomassa algale presente. L'analisi della regressione lineare tra PP e Chl, mostrata graficamente in fig.3, presenta infatti un coefficiente di regressione ($r = 0,69$; $p = 0,01$) che risulta elevato per le 72 coppie di valori considerate. L'equazione che interpola i dati sperimentali è la seguente

$$PP = 0,96 + 2,76\ Chl \qquad (ds\ stime = 2,71)$$

II rapporto di assimilazione, espresso come unità di carbonio per unità di clorofilla (AR), mostra valori più elevati in corrispondenza delle due stazioni più costiere, e in particolare di quella a 6 miglia. Ciò indica come in questa zona le condizioni fisico chimiche ambientali siano tali da favorire l'attività fotosintetica delle comunità planctoniche presenti. Un confronto con i dati bibliografici mostra comunque come i valori emersi in questa indagine siano nelle tre stazioni prossimi all'intervallo 3÷5 ritenuto da Revelante & Gilmartin (1976) corrispondente a situazioni di mesotrofia.

L'irraggiamento superficiale, espresso in Einstein per unità di superficie e di tempo (E m^{-2} h^{-1}), è risultato essere un parametro estremamente variabile, sia tra le diverse campagne che tra le successive incubazioni effettuate durante la stessa giornata, in quanto fortemente influenzato dalle condizioni metereologiche oltre che dalla stagionalità. Considerando i valori estremi si è infatti passati da un irraggiamento medio giornaliero di

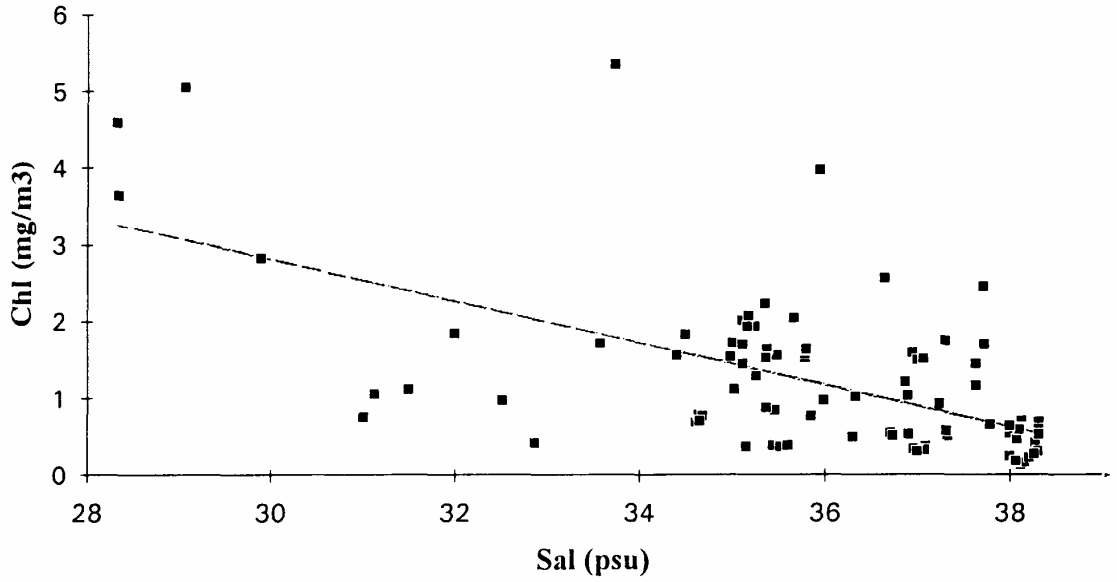


Fig.2 - Andamento della concentrazione di clorofilla *a* (Chl) in funzione della salinità (Sal).

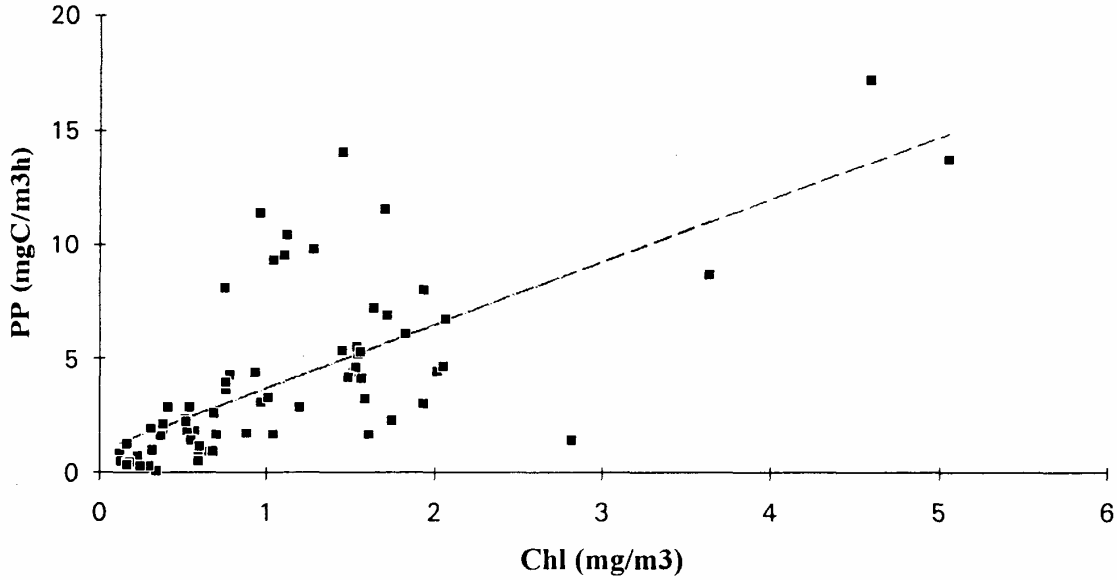


Fig.3 - Andamento della produzione primaria (PP) in funzione della concentrazione di clorofilla *a* (Chl).

0,5 E m^{-2} h-1, misurato il 27 novembre 1991, ai 3,2 E m^{-2} h^{-1} misurati il 5 settembre dello stesso anno, e, nella stessa giornata (11 giugno 1991), dai 0,4 E m^{-2} h^{-1} misurati nella prima incubazione (a 1,5 miglia dalla costa, tra le ore 11.$\frac{00}{}$ e le ore 15.$\frac{00}{}$) ai 4,7 E m^{-2} h^{-1} nell'ultima incubazione (15 miglia dalla costa, tra le ore 15.$\frac{45}{}$ e le ore 19.$\frac{45}{}$). L'analisi della regressione lineare tra efficienza fotosintetica e irraggiamento durante le incubazioni, calcolata per i campioni prelevati alle quote ottiche corrispondenti al 100 e al 50% di penetrazione dalla luce, da coefficienti di correlazione pari a 0,43, 0,55 e 0,31 rispettivamente a 1,5, 6 e 15 miglia con 18 coppie di valori. Tali coefficienti, confrontati con il livello di significatività p = 0,05 che corrisponde a 0,47 per le 18 coppie di valori considerate per ogni stazione, indicano una scarsa corrispondenza tra i due parametri mostrando l'esistenza di una correlazione positiva solo per la stazione a 6 miglia.

Per confrontare i diversi valori del rapporto di assimilazione in modo da escludere l'effetto delle variazioni naturali nell'irraggiamento, il valore di AR è stato normalizzato rispetto alla quantità di energia incidente per unità di superficie e di tempo. E' stato così possibile calcolare le unità di carbonio incorporate per unità di clorofilla e di energia (AR/E) che, nei valori medi per i campioni raccolti nello strato superficiale, è riportato anch'esso in tab.2. In questo caso la stazione più vicina alla costa mostra un valore di AR/E circa doppio rispetto a quello della stazione a 15 miglia, mentre nella stazione a 6 miglia l'AR/E assume un valore solo di poco inferiore rispetto a quello costiero. I valori particolarmente elevati del c.v. mostrano per questo parametro una variabilità ancora più elevata cui possono concorrere differenze nella struttura delle comunità fitoplanctoniche e nelle caratteristiche fisico-chimiche dell'ambiente, pur non potendosi escludere una difficoltà delle comunità algali a rispondere rapidamente alle brusche variazioni di energia luminosa che si verificano in natura, con una conseguente modificazione dell'attività fisiologica.

In tab.3 sono riportati i valori di PP per unità di superficie, ottenuti integrando le misure effettuate sulla colonna d'acqua alle diverse quote ottiche espressi sia per ora che per anno. La conversione della produzione oraria in produzione annua è stata effettuata operando una ponderazione sulla base dei valori medi di energia radiante elaborati da una serie storica ventennale di rilevazioni effettuate nella stessa zona dall'Aereonautica Militare (1989).

distanza (miglia)	PP (mgC m^{-2} h^{-1})	cv (%)	PP (gC m^{-2} a^{-1})
1,5	52,0	67	332
6	65,6	57	353
15	38,1	47	144

Tab.3 Valori medi di produzione primaria oraria ed annuale per unità di superficie (PP) nelle stazioni di prelievo; cv: coefficiente di variazione.

Il confronto tra questi valori e i dati conosciuti per l'Adriatico evidenziano ancora di più l'importanza della fascia costiera esaminata nella produzione complessiva del bacino. Già

a 15 miglia dalla costa il valore di PP è confrontabile con quelli riportati da Gilmartin & Revelante (1983) per le aree più produttive del bacino settentrionale, mentre nelle due stazioni più costiere la velocità di incorporazione del carbonio è ancora più elevata, superiore anche a quella riportata dagli stessi Autori per zone particolarmente eutrofizzate, quale ad esempio la Kastela Bay, sulla costa slava dell'Adriatico centrale (250gC/m2/anno).

4. CONCLUSIONI

Le aree costiere occidentali dell'Adriatico Settentrionale hanno subito negli anni un grado crescente di compromissione.

I dati di produzione primaria conosciuti in letteratura per l'Adriatico settentrionale risalgono a periodi antecedenti gli anni '80 e sono relativi alle stazioni poste in acque internazionali e quindi relativamente lontane dalla costa.

Le osservazioni effettuate nel corso di questa indagine mettono in evidenza l'importanza della fascia costiera in una zona che, pur essendo a notevole distanza dalla foce del Po, ne risente ancora l'influenza sia in termini di salinità che di carico trofico. Ciò determina valori di produzione primaria considerevolmente elevati, che sono il risultato oltre che di un'alta concentrazione di biomassa autotrofica, anche di elevati valori di efficienza fotosintetica. Quest'ultimo fenomeno è favorito dalle particolari condizioni fisico-chimiche dell'ambiente la cui azione può esplicarsi sul fitoplancton sia a livello metabolico che favorendo lo sviluppo di popolazioni particolarmente adattate.

Questi elementi evidenziano ancora una volta l'importanza della fascia costiera e l'effetto del Po nel determinare la produzione complessiva del sistema Adriatico.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano i Signori F.Bacciu, F.Duranti, L.Loreti e S.Tatti per la collaborazione tecnica fornita. Si ringrazia inoltre l'Ist.di Ricerche sulla Pesca Marittima, CNR, e in particolare il dott. A.Artegiani, il Coni.te Spadini e l'equipaggio della motonave "S. Lo Bianco", per l'ospitalità e la collaborazione nella raccolta dei campioni.

BIBLIOGRAFIA

Aeronautica Militare. 1989. Soleggiamento e radiazione globale in Italia. Centro Nazionale Meteorologia e Climatologia Aeronautica, Roma.

APHA, AWWA, WPCF. 1989. Standards methods for the examination of water and wastewater. Clesceri L.S., Greenberg A.E. & R.R. Trussell Eds., APHA, Whashington DC, 17.

Brezonik, P.L., Browne, F.X. & J.L. Fox. 1975. Application of ATP to plankton biomass and bioassay study. *Wat. Res., 9:* 155-162.

Buljan, M. 1964. An estimate of productivity of the Adriatic Sea made on the basis of its hydrographic properties. *Acta Adriat.,* 11: 34-45.

Fonda Umani, S., Franco P., Ghirardelli E. & A. Malej. 1990. Outline of oceanography and the plankton of the Adriatic sea. *Proc. 25th Europ. Mar. Biol. Symp. Univ. Ferrara: 25-43.*

Franco, P. 1967. Condizioni idrologiche e produttività primaria nel golfo di Venezia. *Arch. Oceanogr.Limnol.* ,15: 69-83.

Franco, P. 1969. Report on primary productivity in the gulf of Venice: north Adriatic sea. *Nato Subcommittee on Oceanographic Research,* Techn. Rep. 47: 35-49.

Franco, P. 1983. Distribuzione verticale della produttività primaria e struttura della colonna d'acqua nell'Adriatico Settentrionale. *Atti V Congresso A.LO.L. Stresa, 19-22Maggio 1982:* 515-523.

Gilmartin, M. & N. Revelante. 1983. The phytoplankton of the Adriatic Sea: standing crop and primary production. *Thal. Jugosl.,* 19/1-4: 173-188.

Holm Hansen, O. & C.R. Booth. 1966. Adenosin triphosphate content of marine *bacteria Limnol.Ocean.,* 12: 319-324

Pagnotta, R., Puddu, A. & G. Chiaudani. 1983. Biomasse autotrofe ed eterotrofe. In *L'esperimento Tevere. Influenza di un fiume sull'ecosistema marino prospiciente la sua foce,* Ist. Ricerca sulle Acque, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Quad.66, 17-26.

Revelante, N. & M. Gilmartin. 1976. The effect of Po river discharge on phytoplankton dynamics in the northern Adriatic Sea. *Mar. Biol.,* 34: 259-271.

Vollenweider, R.A., Rinaldi, A. & G. Montanari. 1992. Eutrophication, structure and dinamycs of a marine coastal System: results of a ten-year monitoring along the Emilia-Romagna coast (Northwest Adriatic Sea). In *Marine Coastal Eutrophication,* Vollenweider R.A., Marchetti R. & Viviani R. Eds., Elsevier, Amsterdam: 63-106.

Zoppini, A. 1990. Adenosinotrifosfato cellulare (ATP).In *Metodi nell'Ecologia del Plancton Marino* Innamorati M., Ferrari I., Marino D. & M. Ribera D'Alcalà eds., *Nova Thal.,* 11:225-230.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L.
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da pag. 355 a pag. 366

CHEMICAL AND MICROSCOPIC STUDY OF PARTICULATE PROTEINS IN LIGURIAN COASTAL WATERS

Mauro FABIANO* , Cristina MISIC** and Roberto DANOVARO**

Dipartimento di Biologia Animale ed Ecologia, Università di Cagliari
** Istituto di Scienze Ambientali Marine, Università di Genova

RIASSUNTO

Nel periodo compreso tra Marzo 1985 e Marzo 1986 è stato condotto un campionamento nella stazione pilota di Chiavari (Mar Ligure), per definire la composizione qualitativa e quantitativa della sostanza organica particellata (POM).

L'analisi chimica ha permesso di determinare le concentrazioni di clorofilla-a (CHL-a) e proteine (PPRT) della POM, mentre l'analisi microscopica è stata utilizzata per studiare le variazioni dimensionali e morfologiche delle particelle durante l'anno di campionamento.

I dati relativi alle concentrazioni di clorofilla-a indicano una fioritura fitoplanctonica nel tardo inverno (2.09 ,µg/l). Le concentrazioni di proteine particellate non mostrano un andamento ben definito, e variano tra 39.1 µg/l (Settembre) e 147.1 µg/1 (Maggio). I massimi dei valori di biomassa fitoplanctonica risultano precedere i massimi valori di proteine particellate, con intervalli di tempo compresi tra due settimane in primavera e un mese in estate.

La suddivisione in classi dimensionali e l'analisi morfologica, condotta utilizzando un Coulter Counter e la colorazione con Hg Blue bromofenolo, hanno messo in evidenza un ciclo annuale ben definito. Questo andamento è caratterizzato da un alto numero di piccole particelle in primavera, dovuto alla fioritura fitoplanctonica, e da un numero limitato di grandi particelle in estate ed autunno. Le proteine particellate sono prevalentemente associate alle particelle di piccole dimensioni.

SUMMARY

A study was conducted in a pilot station offshore Chiavari (Ligurian Sea), between March 1985 and March 1986, to investigate the qualitative and quantitative composition of particulate organic matter (POM).

The chemical analysis allowed the determination of the chlorophyll- a (CHL-a) and protein content (PPRT) of POM, whereas size and morphological analyses were employed to study the dimensional variations of particles during the sampling year.

Data referring to CHL-a concentrations showed a phytoplanktonic bloom in late winter (2.09 ,µg/l). Particulate proteins did not show a well defined trend. PPRT concentrations ranged between 39.1 µg/l (September) and 147.1 µg/l (May). By comparing CHL-a and PPRT concentrations, peak phytoplankton biomass values resulted to be followed by peaks of particulate proteins with a time lag of two weeks in spring and one month in summer.

Class size and morphological analysis, carried out using a Coulter Counter and Hg blue bromophenol staining, showed a well defined annual cycle. This trend is characterized by a high number of small size particles in spring, due to phytoplanktonic bloom, and by a low number of large sized particles in summer and autumn. Particulate proteins were mostly associated to small sized particles.

1. INTRODUCTION

Particulate organic matter is an important food source for heterotrophic metabolism (Jacques, 1988; Fowler et al., 1991).

In the Mediterranean Sea, several studies have been carried out on the chemical composition of the particulate matter by analysing organic carbon and nitrogen contents (Copin Montegut & Copin Montegut, 1983; Faganelli et al., 1988; Fabiano et al., 1988a and 1988b; Buscail et al, 1990; Fabiano & Povero, 1992). Other studies analysed the main chemical classes of organic compounds (Fabiano et al., 1985; Tanoue, 1985, Posedel & Faganelli, 1991; Fichez, 1991). Particulate proteins are one of the main components of the suspended particulate matter (Packard & Dortch, 1975), with a well defined annual trend in surface waters (Fabiano et al., 1992).

However, because of their fragile nature and due to methodological difficulties, few studies analysed the size and morjphology of the particulate matter (Kane, 1967; Johannes, 1967; Nemoto & Ishikawa, 1969; Gordon, 1970; Flos, 1984). These studies could be interesting in order to investigate POM nature and origin, defined as particles of size not exceeding 200 µm.

Since the '60s, histological stains bave been used for the qualitative and semi-quantitative analysis of the particulate organic matter in marine ecosystems. Kane (1967) used stains for the microscopic analysis of organic aggregates and phytoplankton in the Ligurian Sea. Johannes (1967), Nemoto & Ishikawa (1969) and Gordon (1970) used histological staining to better understand the ecological significance of these particles (defined as "organic aggregates").

In this study, the suspended organic matter of Ligurian Sea was studied over an annual cycle, both chemically and microscopically, in order to characterize its origin, structure and nutritive significance in the food web.

2. MATERIALS AND METHODS

Surface water samples were collected fortnightly between March 1985 and March 1986 at the "pilot station" off Chiavari (44° 18' 2N - 9° 18' 2E, 30 m depth) using a 5 1 Niskin bottle.

Salinity was measured using a Plessey salinometer. Meteorological data were kindly supplied by the "Osservatorio meteorologico-sismico di Chiavari". Water temperature was measured using a thermometer (accurancy + - 0.1 C).

Particulate Pigment (CHL-a). Surface water samples (2 1) were prefiltered on a 200 µm mesh net to remove any detritus and large zooplanktonic organisms. Samples were filtered on Millipore AA filters (0,45 µg pore size). Chlorophyll-a extraction and determination were performed according to the method reported by Strickland & Parsons (1972). SCOR-UNESCO formulas were used for the calculations.

Particulate Proteins (PPRT). One litre of surface water was prefiltered as described above and filtered on Whatman GF/C filters previously calcinated in furnace muffle (450 C, 2h). Proteins were determined following the method suggested by Hartree (1972), using albumine as standard. The Coefficient of Variation (C.V.) due to analytical procedures is 6.6 %.

Class Size Analysis. For the dimensional size spectrum of the suspended particles, a Coulter Counter Carlo Èrba Mod. D was utilized. Blanks were prepared filtering sea water on 0,45 µm filters. The equipment discriminated ten size classes: 2.71-3.31 µg, 3.31-5.40 µg, 5.40-7.60 , µg, 7.60-10.70 µg, 10.70-15.11 µg, 15.11-21.42 µg, 21.42-30.02 µg, 30.02-43.10 µg, 43.10-60.02 µg and 60.02-140.00 µg.

Morphological Analysis. Immediately after sampling, 100 mi surface water was filtered using Millipore filters (25 mm in diameter, 0.45 µg pore size). However, variations in particle size due to breaking during transport and filtration procedures, should be taken into account (Alldredge & Silver, 1988). After filtration, the filters were rinsed with 10 ml of distilled water and stained using

mercuric bromophenol blue method (Mazia et al., 1953). After staining, filters were dried at 60 C for 20 minutes before being cleared in cedarwood oil and mounted for examination under the microscope. This method was selected because it was easily performed on Millipore filters and because staining intensity was proportional to protein coment (Fisher, 1980). All microscopie observations were routinely made at 800x magnification using a Zeiss standard universal microscope. For practical reasons, only particles whose greatest dimension exceeded 5 m were studied. Organic particles were divided in six classes: transparent (not stained), violet, lilac, lilac-violet, orange, black. At least 100 particles per sample were counted and measured. Particle volume was calculated considering the elipsoid of revolution around the main axis of the observed particle.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The water column showed a period of thermal stratification between June and November. In the surface water, temperature ranged between 13.0 C and 25.4 C. Salinity ranged between 38.00 PSU (summer-autumn) and 36.00 PSU (spring), with an irregular trend in winter and spring. The salinity trend can be related to rain falls, which were particulary abundant between March and May 1985 and in January 1986 in correspondence with lowest salinity. The river Entella (about 2 miles far from the sampling station) had a strong impact on this relationship.

Algal biomass, expressed as chlorophyll-a concentration, regularly increased between March-April 1985 and February- March 1986, with minimum values in June, October and November (0.21, 0.46 and 0.45 µg/l respectively). Phytoplankton bloom was observed at the beginning of March 1986 (Chl-a = 2.09 µg/l, Figure 1). The observed concentration falls in the range (0.30 and 1.80, µg/l) found in the same area by Fabiano (1984) and Fabiano et al. (1985). During the summer-autumn period, a connection between Chl-a maximum values and sea conditions was observed. Peak Chl-a concentrations were recorded after the periods of rough sea. Input of allochthonous particulate matter by coastal erosion and resuspension of previously sedimented material may explain these results (Aloisi et al, 1979).

Particulate proteins, ranging between 147.1 µg/l (May) and 39.1 µg/l (September, Figure 1), did not show a well defined trend. PPRT annual average concentration (81,6 µg/l) was slightly lower than the one observed by Fabiano et al. (1985) in the same area (105,2 µg/l*).* By comparing Chl-a and PPRT concentrations, maximum phytoplankton biomass values were generally found to be followed by peaks of particulate proteins with a time lag of two weeks in May and a one month delay in summer. This time lag was also observed during algal culture experiments (Pusceddu et al., 1993). During zooplanktonic grazing, which temporarily followed the phytoplanktonic blooms, the low CHL-a/PPRT ratio suggests the presence of a

higher microheterotrophic component and/or increasing detritai fraction (Dortch & Packard, 1989).

To characterize the structure and origin of the suspended matter, the water samples were analysed using a Coulter Counter and microscopic measurements after staining for proteins.

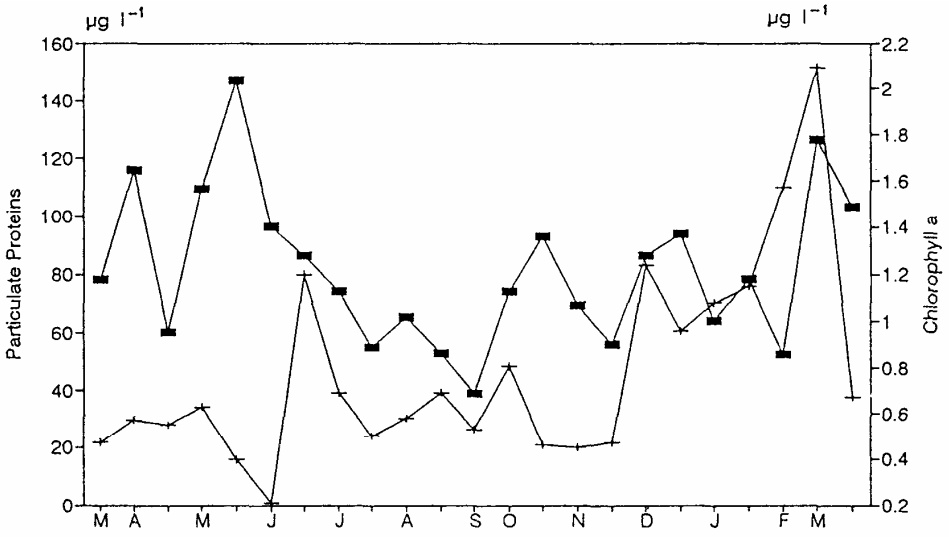


Fig. 1 Seasonal variations of clorophyll-a (CHL-a, plus) and particulate proteins (PRT, filled squares) in the study area.

The seasonal cycle of the total number of particles (TPN) and related volume (TPV), observed using the Coulter Counter, are reported in Table 1. TPN (Table 1 B) ranged between 3 x 10^3 /l (September) and 88 x 10^3 /l (April). TPV (Table 1 A) showed a similar trend, ranging between 0.2 x 10^6 ,μm^3/l, (September) and 2.7 x 10^6 μm^3/l (April). TPN and TPV were significantly correlated to salinity ($n = 12$, $P < 0.05$, $r = -0.44$; $n = 12$, $P < 0.05$, $r = 0.45$ respectively).

The average volume of the single particle (TPV/TPN) during the sampling period is shown in Figure 2. This trend shows that the average particle volume increases in late spring and autumn, while decreasing for the rest of the year. Zooplanktonic grazing may be the reason for the formation of larger particles composed of organic detritus, faecal pellets and little organisms. Other authors have pointed out that "thermal stability" may have a significant impact on particle aggregation processes (Riley, 1963). In our case, the increase in average volume during May and June is probably due to biological phenomena (grazing), while thermal stability and the relatively cairn weather in summer may have favoured the production of larger particles.

DATE	2.71 3.81	3.81 5.40	5.40 7.60	7.60 10.70	10.70 15.11	15.11 21.42	21.42 30.02	30.02 43.10	43.10 60.02	60.02 140.00	TOTAL
A											
21.03	90376.0	103412.0	101318.0	95033.0	72301.0	108872.0	41664.0	6092.0	43401.0	153256.0	815725.0
4.04	1472116.0	108542.0	96981.0	107704.0	95799.0	118902.0	89646.0	51905.0	17223.0	52430.0	2211248.0
22.04	337994.0	332297.0	502665.0	874396.0	385617.0	160457.0	56605.0	42645.0	0.0	0.0	2692676.0
15.05	121851.0	133217.0	104450.0	111382.0	68168.0	60457.0	61899.0	9260.0	77846.0	100826.0	849356.0
30.05	88518.0	77211.0	68624.0	60637.0	48976.0	54360.0	40554.0	42645.0	26178.0	52430.0	560133.0
17.06	55645.0	41983.0	41160.0	42590.0	33013.0	34055.0	16051.0	12184.0	8956.0	0.0	285637.0
26.06	41245.0	38893.0	34897.0	49981.0	36597.0	25030.0	27748.0	6092.0	0.0	52430.0	312913.0
15.07	70722.0	41592.0	29975.0	33789.0	30322.0	30732.0	26723.0	12184.0	0.0	52430.0	328469.0
30.07	104941.0	100322.0	60157.0	65820.0	53281.0	34939.0	7513.0	18276.0	17223.0	0.0	462472.0
13.08	163226.0	92968.0	24710.0	29535.0	32830.0	33780.0	51227.0	27537.0	8956.0	0.0	464769.0
28.08	59675.0	41262.0	27784.0	23165.0	26328.0	22866.0	17076.0	21444.0	0.0	0.0	239600.0
10.09	35265.0	20900.0	12734.0	14910.0	28341.0	50945.0	37395.0	6092.0	0.0	0.0	206582.0
1.10	75273.0	98233.0	108407.0	95513.0	72387.0	96250.0	66595.0	85290.0	8956.0	0.0	706904.0
17.10	62436.0	45635.0	25777.0	25695.0	35704.0	38994.0	25613.0	21444.0	0.0	0.0	281298.0
15.11	117847.0	193437.0	118250.0	129302.0	97327.0	82561.0	55495.0	54829.0	68890.0	0.0	917938.0
26.11	149973.0	49349.0	29459.0	32253.0	30860.0	27317.0	17076.0	21444.0	0.0	0.0	357731.0
10.12	200745.0	270978.0	189868.0	159828.0	112128.0	146341.0	128748.0	36553.0	34445.0	100826.0	1380460.0
20.12	87215.0	86055.0	74440.0	82746.0	40720.0	32530.0	12807.0	6092.0	17223.0	0.0	439828.0
13.01	198617.0	219504.0	138865.0	78426.0	37491.0	27957.0	22454.0	18276.0	0.0	52430.0	794020.0
28.01	60812.0	74096.0	63289.0	64538.0	28524.0	47378.0	8538.0	15352.0	0.0	0.0	362527.0
13.02	65633.0	60599.0	46391.0	38685.0	17093.0	16768.0	5379.0	9260.0	0.0	52430.0	312238.0
25.02	101493.0	106955.0	124686.0	99095.0	70504.0	54238.0	24589.0	24369.0	0.0	0.0	505929.0
11.03	80866.0	96095.0	85418.0	111831.0	66015.0	63018.0	38420.0	48737.0	26178.0	52430.0	669008.0
26.03	188082.0	180929.0	160202.0	150612.0	60816.0	78140.0	46958.0	42645.0	68890.0	52430.0	1029704.0
B											
21.03	5203.0	2116.5	736.0	247.5	67.2	35.7	4.9	0.3	0.6	0.4	8412.0
4.04	84750.5	2221.5	704.5	280.5	89.0	39.0	10.5	2.1	0.3	0.1	88098.0
22.04	19458.5	6801.0	3651.5	2277.3	358.3	52.6	6.6	1.8	0.0	0.0	32607.5
15.05	7015.0	2726.5	758.8	290.1	63.3	19.8	7.3	0.4	1.1	0.3	10882.5
30.05	5096.0	1580.3	498.5	157.9	45.5	17.8	4.8	1.8	0.4	0.1	7403.0
17.06	3203.5	859.3	299.0	110.9	30.7	11.2	1.9	0.5	0.1	0.0	4517.0
26.06	2374.5	796.0	253.5	130.2	34.0	8.2	3.3	0.3	0.0	0.1	3600.0
15.07	4071.5	851.3	217.8	88.0	28.2	10.1	3.1	0.5	0.0	0.1	5270.5
30.07	6041.5	2053.3	437.0	171.4	49.5	11.5	0.9	0.8	0.3	0.0	8766.0
13.08	9397.0	1902.8	179.5	76.9	30.5	11.1	6.0	1.1	0.1	0.0	11605.0
28.08	3435.5	844.5	201.8	60.3	24.5	7.5	2.0	0.9	0.0	0.0	4577.0
10.09	2030.3	427.8	92.5	38.8	26.3	16.7	4.4	0.3	0.0	0.0	2637.0
1.10	4333.5	2010.5	787.5	248.8	67.3	31.6	7.8	3.5	0.1	0.0	7490.5
17.10	3594.5	934.0	187.3	66.9	33.2	12.8	3.0	0.9	0.0	0.0	4832.5
15.11	6784.5	3959.0	859.0	336.8	90.4	27.1	6.5	2.3	1.0	0.0	12066.5
26.11	8634.0	1010.0	214.0	84.0	28.7	9.0	2.0	0.9	0.0	0.0	9982.5
10.12	11557.0	5546.0	1379.3	416.3	104.2	48.0	15.8	1.5	0.5	0.3	19068.7
20.12	5021.0	1761.3	540.8	215.5	37.8	10.7	1.5	0.3	0.3	0.0	7589.0
13.01	11434.5	4492.5	1008.8	204.3	34.8	9.2	2.6	0.8	0.0	0.1	17187.5
28.01	3501.0	1516.5	459.8	168.1	26.5	15.5	1.0	0.6	0.0	0.0	5689.0
13.02	3778.5	1240.3	337.0	100.8	15.9	5.5	0.6	0.4	0.0	0.1	5479.0
25.02	5843.0	2189.0	905.8	258.1	65.5	17.8	2.9	1.0	0.0	0.0	9283.0
11.03	4655.5	1966.8	620.5	291.3	61.3	20.7	4.5	2.0	0.4	0.1	7623.0
26.03	10828.0	3703.0	1163.8	392.3	56.5	25.6	5.5	1.8	1.0	0.1	16177.5

Table 1 Total volume ($\bar{\mu}^3$/l; A) and total number (n/l ; B) of different size particles measured using the Coulter Counter.

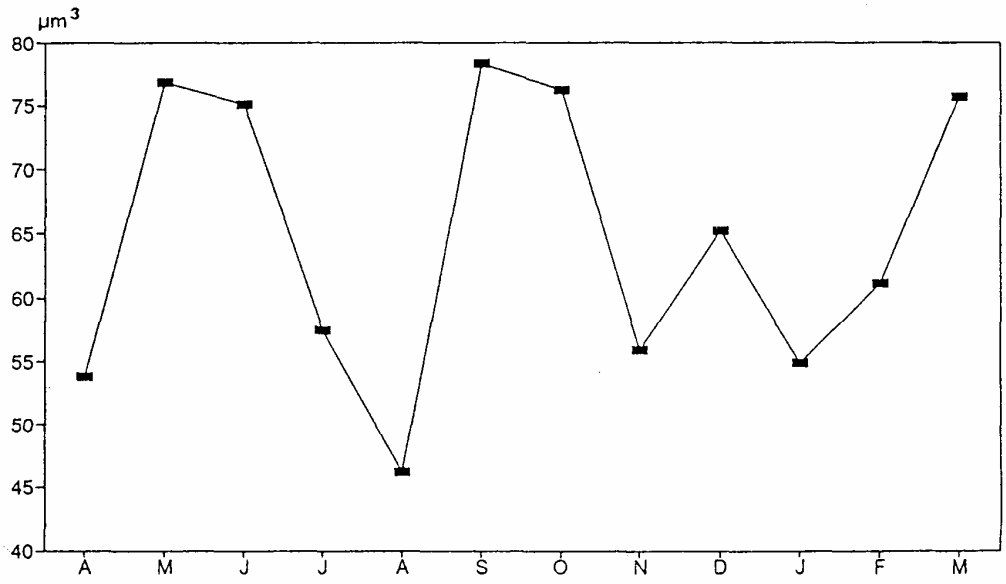


Fig. 2 Seasonal cycle of average particle volume detected with Coulter Counter.

Particle size development during the year was studied comparing TPN vs volumetric classes in the 4 seasons: spring (February-May), summer (June-September), autumn (October- November), winter (December-January), as shown in Figure 3. The relationship between seston distribution frequency and size has been observed by several authors (Fisher, 1977; Flos, 1984).

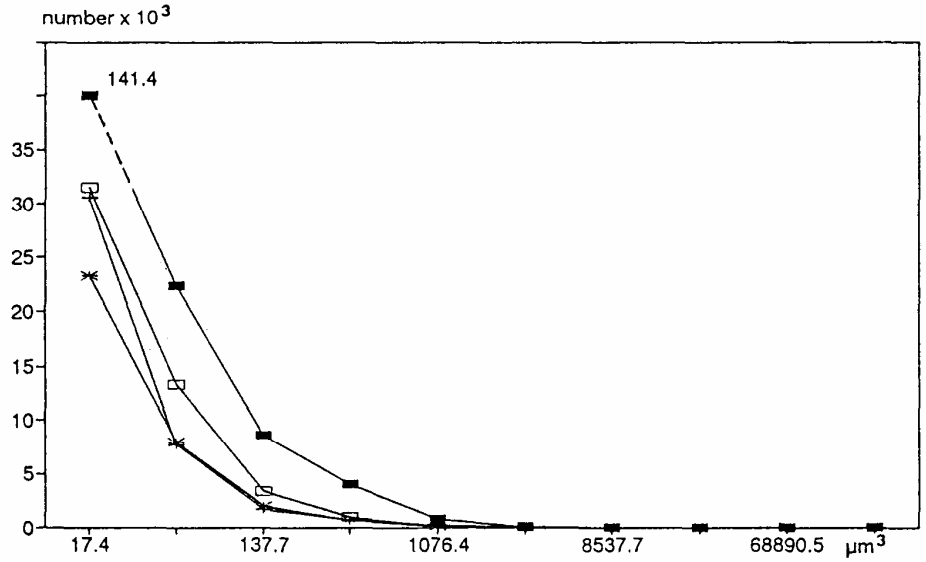


Fig. 3 Particles size vs particles abundance in the four seasons (spring: filled square, summer: plus, autumn: asterisk, winter: empty square).

Bader (1970), postulated the so called "theory of the iperbolic function" trying to better understand this relationship. This assumption was confirmed by our results, since particle number was inversely correlated to particle size. By analysing the contribution from the different size classes, we found that, in April, small sized particles (2.71-3.81 µm diameter), accounted for 66 % of TPV. During late spring, the contribution of particles with diameter ranging between 3.81 and 15.11 µm increased, among them the class of particles 7.60-10.70 µm accounted for 32%. Finally, the decline observed in May showed the dominance of particles larger than 15.11 µm.

The total number of particles treated with hystochemical stains (TNPS) reaches a peak value in May (218 x 10/1), and a minimum in summer (8 x 10^3/l, April. Table 2). Generally, the values observed for TNPs are in agreement with literature data and are of the same order of those reported by Kane (1967) in the Ligurian Sea. However, much higher values were observed by Nemoto & Ishikawa (1969), in the China Sea (183.6 and 484,8 x10^4/l).

DATE	TNPS	TSPS	TVPS	COLOUR CLASSES (n/l)					
	n/l	µm /l	µm /l	transparent	lilac	lilac-violet	violet	orange	black
4.04	7860	123102.1	2137965.0	1824.8	1122.9	0.0	0.0	1824.8	3088.0
22.04	164759	383572.6	593088.0	8377.6	51661.9	6981.3	41888.0	6981.3	48869.3
15.05	178722	39067.5	8094446.5	0.0	80983.5	4188.8	92153.6	1396.3	0.0
30.05	217818	26763.2	2040668.8	0.0	102502.4	31320.2	46980.3	22778.3	14236.4
17.06	33790	85284.5	181603.2	310.0	3720.0	9299.9	1240.0	17669.8	1550.0
26.06	47938	130505.3	318188.2	0.0	10168.8	4358.0	14042.6	2905.4	16463.7
15.07	86569	206831.8	320925.6	3519.0	29560.0	8445.7	11964.8	8445.7	24633.3
30.07	40143	157982.7	702021.6	3521.3	6690.4	7394.7	6338.3	2464.9	13733.0
13.08	50731	131334.7	335807.7	1449.5	2898.9	6281.0	8696.7	483.2	30921.8
28.08	85870	180752.3	532364.3	9460.3	0.0	0.0	24742.3	2910.9	48756.9
10.09	29880	51998.9	77864.2	1675.5	837.8	558.5	9494.6	279.3	17034.5
10.10	60505	124915.1	334504.5	2937.1	6461.7	2349.7	17035.4	4112.0	27609.0
17.10	102626	214856.8	377618.9	4848.5	1616.2	3232.3	46060.3	7272.7	39595.7
15.11	125354	313848.5	902504.6	0.0	7521.2	5014.1	99029.4	11281.8	2507.1
26.11	83078	151462.8	227541.2	0.0	18849.6	4886.9	2094.4	6283.2	50963.7
10.12	71908	161291.8	274314.7	698.1	18151.5	3490.7	20245.9	5585.1	23736.5
20.12	74002	119164.4	181805.8	9075.7	12566.4	5585.1	6283.2	12566.4	27925.3
13.01	96342	128592.7	173073.5	4188.8	12566.4	2094.4	20944.0	10472.0	46076.8
28.01	149401	292499.7	481755.3	18151.5	26529.1	18151.5	19547.7	15358.9	51661.9
13.02	91016	78640.5	241874.8	44058.7	7174.0	3913.1	5869.7	4565.3	25435.2
11.03	101772	168098.9	250882.8	5634.5	17959.8	1056.5	22185.7	7395.2	47540.7
26.03	76795	175536.5	498382.2	21097.4	6751.2	1687.8	10126.8	9282.9	27848.6

Table 2 Number (TNPS), surface (TSPS) and volume (TVPS) of particles measured microscopically and number of particles for each color class (trasparent, lilac, lilac-violet, vaiolet, orange and black).

Comparing particulate protein concentrations with the number of protein containing particles, a similar seasonal trend was observed.

Table 2 reports the seasonal variations in total particle surface stained and measured microscopically (TSPS). Wide variations were observed during the sampling year, and ranged between 384 x 10^3 /.μm^2/l (April) and 27 x 10^3 /.μm^2/l (May). Particle surface and PPRT concentrations showed the same trend between July and March, whereas high PPRT concentrations were observed in May associated with low values of total particle surface.

The total volume of the particles stained (TVPS, Table 2) was significantly correlated with PPRT concentrations (n = 12; P 0.05; r = 0.43), both parameters showing peak values in May (8.1 x $10^6 \mu m^3$/l). During the rest of the year, TVPS was quite Constant with minimum value in September (0.08 x $10^6 \mu m^3$/l). The class 1 μm^3 was dominant throughout the year.

To compare the Coulter Counter results with those obtained by microscopic measurements, particles were divided into 6 class sizes (5.40-15.11 µm, 15.11-21.42 µm, 21.42-30.02 µm, 30.02-43.10 µm, 43.10-60.02 µm e 60.02-140.00 µm). Large similarities between microscopic observations and Coulter Counter measurements were observed between the smallest classes, whereas differences were reported for larger particles. At the same time, the comparison between the two methods pointed out that, in absolute number, the results are not interchangeable.

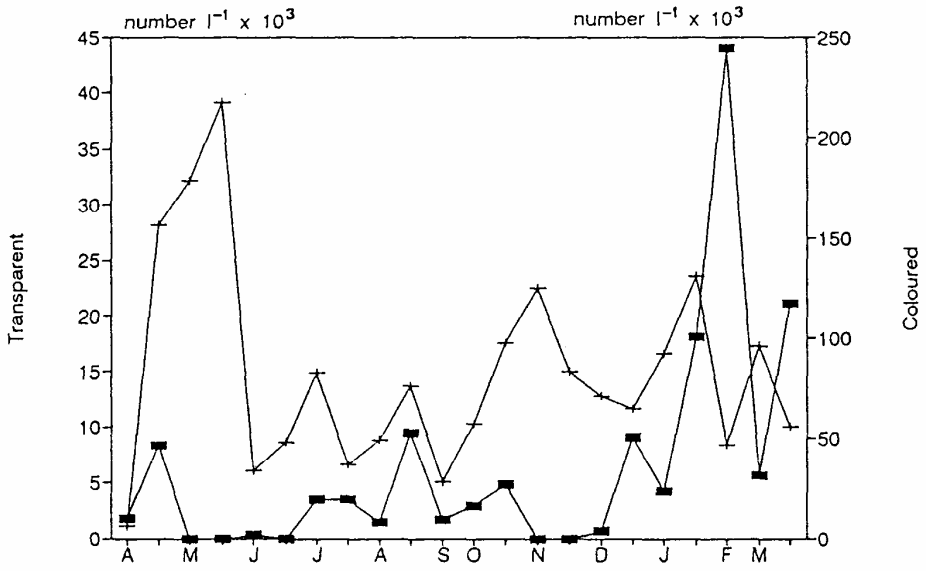


Fig. 4 Seasonal variations of total number of microscopic coloured (filled square) and transparent (plus) particles.

Fisher (1980) observed that protein content was closely related to their dimension and that stain intensity was proportional to protein content. In this study we observed that stain intensity from violet to black and particle size were inversely correlated. On the basis of this result the authors suggest that the proteins in the seston were associated to the small sized particles. On the other hand, it is well known that during degradation processes, bacterial colonization and particle breaking are associated to protein enrichment (Newell, 1965).

Microscopic aggregates were divided in stained and transparent particles. The number of stained particles was always higher than transparent particles which mostly reach their peak value in spring (Figure 4). Particulate carbohydrates (data by Fabiano et al, 1992) were closely related to transparent particles ($n = 9$; $P < 0.01$; $r = 0.79$) which do not contain proteins. This result suggests that transparent particles are likely to be mostly composed of carbohydrates. Riley (1963) also speculated that transparent particles are newly formed and not colonized by bacteria which may be considered responsible for the protein enrichment of the organic particles.

4. CONCLUSIONS

To sum up the results, we may conclude that it is possible to identify a seasonal cycle in both the qualitative as well as quantitative features of particles. The structure of the particulate organic matter showed a well defined cycle characterized by large, glucidic particles at the beginning of spring. This pool was replaced by a high number of particles of small size and proteic nature in spring, during bloom, when large quantities of material were released as algal excretion and decomposition products.

Several factors affect the development of particle size in late spring and autumn. In the first period, an increase in average volume was observed, probably due to grazing. Then, in summer, this value fell to its minimum, perhaps due to adverse sea conditions. A new increase in volume was observed in early autumn, affected by physical factors like thermal stability and the relatively cairn weather. Then, in winter, the size values slowly carne back to those observed at the beginning of spring.

This discussion is just a tentative exploration of the nature and structure of suspended particulate matter in relation to the factors that are likely to be involved in its seasonal cycle. The results of this paper indicate that the greatest fraction of the particulate organic matter, represented by organic detritus, has to be considered as an "ecologically active and complex System", whose structure certainly has many ecological implications.

BIBLIOGRAPHY

Alldredge, A.L. & M.W. Silver. 1988. Characteristics, dynamics and significance of marine snow. *Prog. Oceanogr.,* 20: 41-82.

Aloisi, J.C., C. Millot, A. Monaco & H. Pauc. 1979. Dynamique des resuspension et mécanismes sédimentologiques sur le plateau continental du Golf du Lion. *Compt, rend. Acad. Se., Parìs,* 289: 879-882.

Bader, H. 1970. The hyperbolic distribution of particle sizes. *J. Geophys. Res.,* 75: 2822-2830.

Buscail, T., R. Pocklington, R. Daumas & L. Guidi. 1990. Fluxes and budget of organic matter in the benthic layer on the northwestern Mediterranean margin. *Cont.ShelfRes.,* 10: 811-840.

Copin Montegut, C. & G. Copin Montegut. 1983. Stoichiometry of carbon, nitrogen, and phosphorus in marine particulate matter. *Deep-Sea Res.,* 30/1: 31-46.

Dortch, Q. & T.T. Packard. 1989. Difference in biomass structure between oligotrophic and eutrophic marine ecosystems. *Deep -Sea Res.,* 36/2: 223-240.

Fabiano, M. 1984. Production of the Ligurian coastal waters. I. Hydrology, nutrients and pigments. *Atti Acc. Lig. Sc. Lett.,* 41: 17 pp.

Fabiano, M., F. Baffi, P. Povero & R. Frache. 1988a. Particulate organic matter and heavy metals in ligurian open sea. *Chem. Ecol,* 3: 313-323.

Fabiano, M., F. Baffi, P. Povero & R. Frache. 1988b. Particulate matter of the Genoa Gulf (Summer 1983). *Boll Oceanol. Teor. Appl,* 4/1: 35-41.

Fabiano, M. & P. Povero. 1992. Particulate carbon and nitrogen in Ligurian coastal waters (October 1985). *Boll Oceanol. Teor Appl,* 10/1: 65-71.

Fabiano, M., P. Povero & D. Medica. 1992. Carbohydrates, proteins and chlorophylls in the particulate organic matter of the surface coastal water of ligurian sea. *Boll Ocean. Teor. Appl,* 10/1: 41-51.

Fabiano, M., M. Zavatarelli & S. Palmero. 1985. Observations sur la matiere organique particulaire (proteines, glucides, lipides, chlorophylle) en Mer Ligure. *Tethys, lì/2:* 133-140.

Faganelli, J., A. Malej, J. Pezdic & V. Malacic. 1988. C:N:P ratios and stable C isotopie ratios as indicatore of sources of organic matter in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic). *Oceanol Acta,* 11/4: 377-382.

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

Fisher, J.K. 1977. Distribution of suspended particles in the equatorial region of Eastern Pacific Ocean. *Pol Arch. Hydrobiol,* 24/suppl.: 103-108.

Fisher, J.K. 1980. Volume concentration of nanoseston as a measure of protein content in suspensions of Oceanie surface waters. *Pol Arch. Hydrob.,* 27/1: 1-10.

Flos, J. 1984. Variability of Coulter Counter data and their relationship with other oceanographical parameters. *Mar. Ecol. PSZN.*

Fowler, S.W., L.F. Small & J. La Rosa. 1991. Seasonal particulate carbon flux in the coastal northwestern Mediterranean sea and the role of zooplankton fecal matter. *Oceanol. Acta,* 14/1: 77-85.

Gordon, D.C. Jr. 1970. A microscopie study of organic particles in the North Atlantic *Ocean. Deep-Sea Res.,* 17: 175-185.

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

Jacques, G. 1988. Flux de carbon en milieu pelagique de Mediterranean occidentale lors de la floraison printaniere. *Oceanol. Acta,* 143-148.

Johannes, R.E. 1967. Ecology of organic aggregates in the vicinity of a coral reef. *Limnol Oceanogr.,* 12: 189-195.

Kane, J.E. 1967. Organic aggregates in surface waters of the Ligurian Sea. *Limnol. Oceanogr.,* 12: 287-290.

Mazia, D, P.A. Brewer & M. Alfert. 1953. The cytochemical staining and measurement of protein with mercurie bromophenol blue. *Biol. Bull, mar. biol. lab., Woods Hole,* 104: 57-67.

Nemoto, T. & K. Ishikawa. 1969. Organic particulate and aggregate matters stained by histological reagents in the East China Sea. *Ocean. Soc. Japan* 25: 281-290.

Newell, R. 1965. The role of detritus in the nutrition of two marine deposit feeders, the prosobranch *Hydrobia ulvae* and the bivalve *Macoma baltica. Proc. zool. Soc. Lond.,* 144: 25-45.

Packard, T.T. & Q. Dortch. 1975. Particulate protein-nitrogen in North Atlantic surface waters. *Mar. Biol,* 33: 347- 354.

Posedel, N. & J. Faganelli. 1991. Nature and sedimentation of suspended particulate matter during density stratification in shallow coastal waters (Gulf of Trieste, northern Adriatic). *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 77: 135-145.

Pusceddu, A., R. Danovaro & M. Fabiano. 1993. Variations in the biochemical composition of *Tetraselmis suecica* during growth and decomposition preliminary observations. *XXIII Congr. Soc. It. Biol. Mar.* (Ravenna), 8-12 Giugno 1992, Suppl. al Notiziario S.I.B.M.: 55-58.

Riley, G.A. 1963. Organic aggregates in seawater and the dynamics of their formation and utilization. *Limnol Oceanogr.,* 8: 372-381.

Strickland, J.D.H. & R.T. Parsons. 1972. A practical handbook of sea water analysis. *Bull Fish. Res. Board. Con.,* 167: 185 pp.

Tanoue, E. 1985. Distribution and chemical composition of POM in the Pacific sector of the Antarctic Ocean. *Trans. Tokyo Univ. Fish.,* 5: 85-95.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L.
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da pag. 367 a pag. 374

DATI PRELIMINARI SULLE VARIAZIONI DEI CARATTERI GRANULOMETRICI DELL'AREA DI SCARICO DEI MATERIALI DRAGATI DAL PORTO DI LIVORNO

Massimo GABELLINI*, David PELLEGRINI*, Michele GIANI*,
Federico SPAGNOLI** e Stefano ZANOLI***

* Istituto Centrale per la Ricerca scientifica e tecnologica Applicata al Mare, Roma
** Istituto per la Geologia Marina-CNR, Bologna
***Dipartimento di Scienze dei Materiali e della Terra, Università di Ancona

SUMMARY

A survey in the disposal site of the material dredged in the Livorno harbour was carried out to study the sediment texture variations caused by the dumping operations.

During March 1992 nineteen sediment cores were collected; superficial and deeper part of the cores were sampled and grain size analysis were performed in all of them.

The grain size distribution in the studied area shows a prevalent dispersion of coarser fractions to the northward and westward directions. The accumulation of the dredged material (thicker more than 20 cm in the central zone) is disposed in a wider zone than officially admitted. Moreover, the finer fractions seem to settled in the northern part of the dumping area, probably following the flow of the main regional currents.

1. INTRODUZIONE

L'interrimento dei bacini portuali e la conseguente necessità di procedere al loro dragaggio al fine di non comprometterne la navigabilità e, più in generale, l'economia sono problematiche verso le quali si avverte ora, più che nel passato, una maggiore attenzione da parte delle Amministrazioni interessate.

Considerato che la quasi totalità dei sedimenti escavati nei porti, in Italia, viene scaricata in mare, è essenziale valutarne le possibili conseguenze sull'ambiente marino.

L'impatto ambientale legato alle interazioni del materiale dragato con le componenti abiotiche e biotiche dell'area di scarico può essere dovuto a fattori fisici (aumento della torbidità, variazione della morfologia del fondale, cambiamento dei caratteri tessiturali dei sedimenti), a fattori chimici (legati alla mobilizzazione di sostanze

inorganiche e/o organiche), a fattori biologici (causati dalla presenza di organismi nel materiale di scarico). La conoscenza delle caratteristiche biogeochimiche del materiale prima di essere escavato ed i processi a cui sarà sottoposto una volta scaricato in mare sono di fondamentale importanza per una corretta valutazione dell'impatto ambientale.

Nel contesto di tale problematica, la presente nota preliminare tratterà l'aspetto legato alle variazioni dei caratteri tessiturali del sedimento di fondo a seguito dello sversamento dei materiali dragati dal porto di Livorno.

Nell'area destinata ad ospitare i sedimenti provenienti dal porto di Livorno, al termine dello scarico dei primi 100.000 mc di materiale (su un totale di 507.000 mc autorizzati), è stata effettuata una campagna di prelievi di sedimenti volta ad acquisire informazioni sulla dispersione del materiale scaricato.

2. MATERIALI E METODI

Nel marzo del 1992, a due mesi circa dal termine delle attività di sversamento, sono state prelevate 19 carote di sedimento in altrettante stazioni ad una profondità compresa tra 24 e 47 m e ad una distanza massima di 2 miglia nautiche dal centro del sito (Fig. 1). Il campionamento è stato eseguito tramite l'uso di un carotiere a gravità acqua-sedi mento. Il posizionamento è stato rilevato mediante Loran.

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 micron. Quest'ultima, una volta essiccata, è stata sottoposta a setacciatura con setacci ASTM ad intervallo di 1/2 phi utilizzando la scala granulometrica di Wentworth (1922); la frazione inferiore a 63 micron è stata analizzata con sedigrafo a raggi X.

3. INQUADRAMENTO DELL[1] AREA

L' area di studio è collocata nella parte interna della piattaforma continentale del Tirreno settentrionale, oggetto di numerosi studi che hanno messo in evidenza i rapporti tra morfologia, processi deposizionali e tettonica dell'area (Fanucci et al. 1980, Barbetsea et al. 1982, Fanucci & Nicolich 1986, Fanucci et al. 1987). Particolare attenzione è stata posta all'esame della coltre sedimentaria plio-quaternaria.

Geograficamente, l'area è ubicata a SO della foce dell'Arno e immediatamente a NE delle Secche della Meloria. La morfologia dei fondali è sostanzialmente regolare e caratterizzata da debole pendenza, complicata a Sud dalla presenza delle Secche.

La circolazione nell'area in esame è costituita da una corrente generalmente diretta verso Nord e maggiormente attiva nel periodo invernale (Astraldi et al., 1992).

Sotto l'aspetto sedimentologico Immordino & Setti (1993) individuano per quest'area, sulla base di campioni raccolti durante una campagna oceanografica effettuata

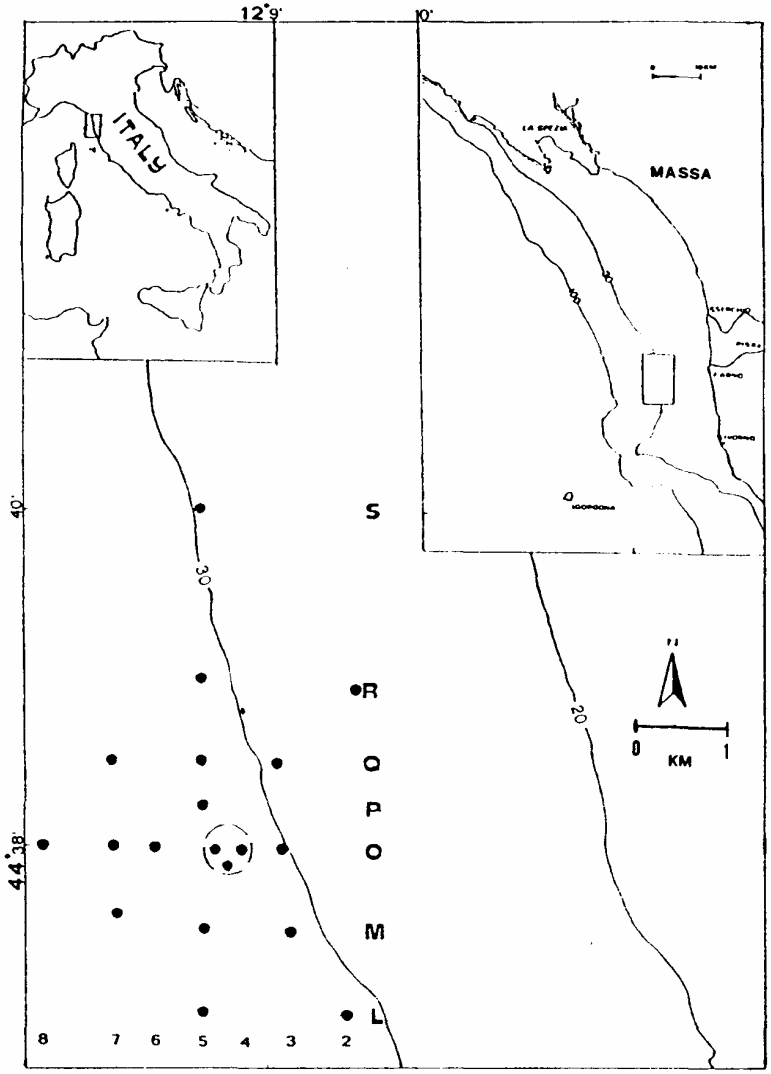


Figura 1. Area di studio e stazioni di campionamento. L'area circolare tratteggiata indica il sito previsto di discarica

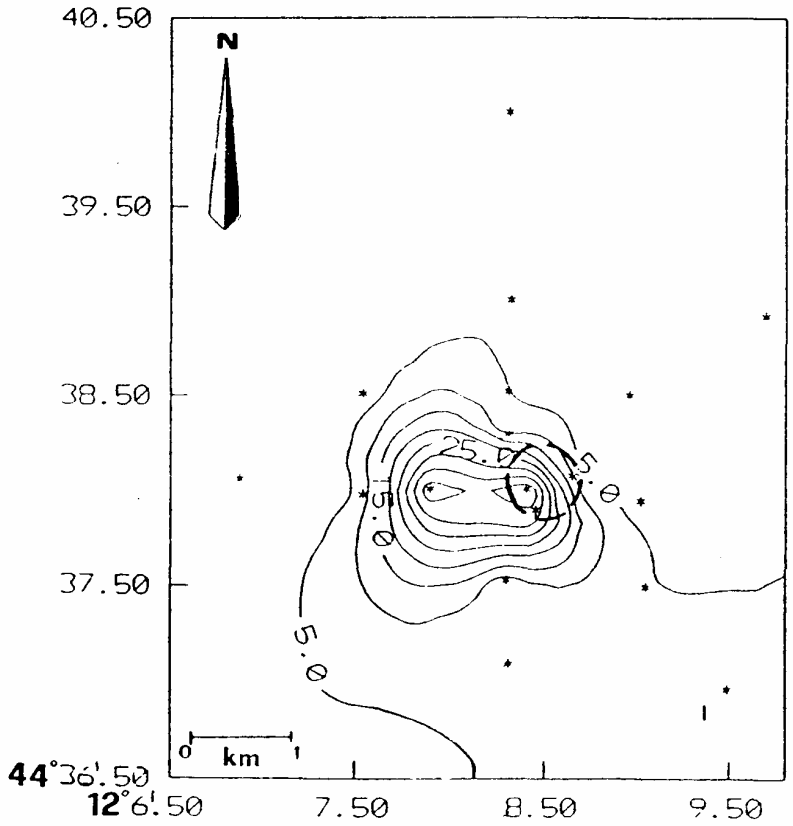


Figura 2. Distribuzione delle percentuali di sabbia

5.00 Isolinee delle percentuali di sabbia

* - Ubicazione delle stazioni di campionamento

( ) - Area prevista di discarica

nel 1987, una facies siltoso-argillosa caratterizzata da sedimenti fini con classamento molto scarso. Poco più a Sud della zona in esame è ubicato il dominio delle sabbie biodetritiche: tale facies, costituita da sabbie grossolane con una notevole componente biodetritica, diminuisce verso il largo, ed è legata all'attività delle Secche della Meloria.

4. RISULTATI

I risultati delle analisi granulometriche sono riportati nelle tabelle 1 e 2.

Considerato che il presente lavoro intendeva porre in evidenza l'estensione e l'eventuale distribuzione, dopo lo scarico, di tali materiali su di un'area caratterizzata da sedimenti molto fini, è stata data particolare importanza alla variazione del contenuto in sabbia in tutti i sedimenti superficiali (Tab. 1). Analisi più approfondite sono state effettuate sui sedimenti di 12 carote nelle quali sono stati studiati, anche nei termini più fini, i campioni superficiali ed i livelli inferiori (Tab. 2) allo scopo di quantificare lo spessore di sedimenti portuali riportati (nei quali è stata riscontrata una considerevole presenza della frazione sabbiosa) e, per individuare le zone non alterate dallo scarico.

Dall'esame della composizione granulometrica dei campioni superficiali (Tab. 1) emerge l'elevato contenuto in sabbia nei sedimenti prossimi al sito di discarica (O4/5, O5 e O6). Tale incremento decresce nettamente passando alle stazioni più vicine fino quasi ad esaurirsi nelle stazioni più esterne (Fig. 2).

Considerando la facies siltoso-argillosa come la composizione granulometrica naturale dell'area (Immordino & Setti, 1993), appare lievemente anomala anche la percentuale di sabbia nel campione superficiale della stazione L2 caratterizzato da un aumento contenuto di tale frazione.

Esaminando i risultati delle analisi eseguite su due carote raccolte in altrettante stazioni coinvolte dallo scarico (O5 e O6), si osserva un brusco decremento della sabbia nei livelli 8-11 e 16-19 cm nella carota O6 con un incremento sia della componente siltosa che argillosa (Fig. 3). Al contrario, nella stazione O5 la percentuale di sabbia lungo la carota si mantiene elevata fino al fondo (16-19 cm).

La percentuale di sabbia nel livello superficiale della carote L2 si dimezza nella sezione sottostante (8-11 cm). Anche nelle stazioni M5 e Q5 si rileva una diminuzione pressoché simile della componente sabbiosa al passaggio dallo strato superficiale a quello inferiore (8-11 cm).

La composizione del campione S5 presenta una considerevole percentuale di argilla al top della carota ed una scarsa presenza della frazione siltosa; sia il silt che l'argilla tendono, negli strati inferiori, ad una definizione tessiturale tipica dei sedimenti dell'area, con un leggero aumento della frazione sabbiosa (Tab.2).

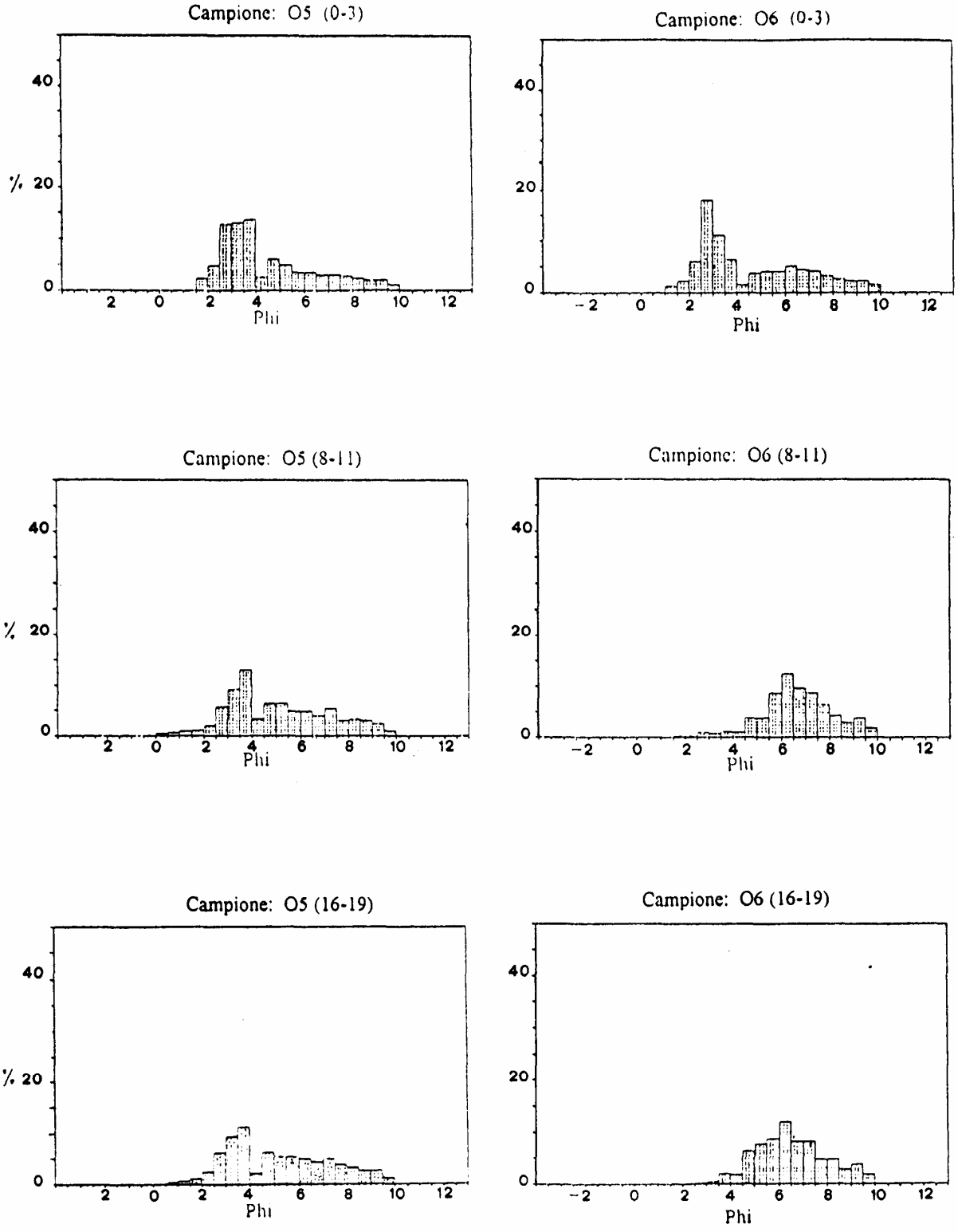


Figura 3. Istogrammi relativi alla composizione granulometrica di sezioni delle carote O5 e O6

Tabella 1. Percentuali di sabbia e pelite nei sedimenti superficiali (0-3 cm)

Campione	Profondità m	Sabbia %	Pelite %
L2	31	9	91
L5	39	5.3	94.7
M3	32	5.3	94.7
M5	37	5.3	94.7
M7	43		
O3	29	2.8	97.2
O4	32	5.6	94.4
O4/5	34	41.5	58.5
O5	34	46.7	53.3
O6	37	45.1	54.9
O7	41	5.5	94.5
O8	47	0.8	99.2
P5	34	6.2	93.8
Q3	29	3.5	96.5
Q5	32	5	95
Q7	39	1.5	98.5
R2	24	3.7	96.3
R5	31	5.1	94.9
S5	30	1.1	98.9

Tabella 2. Composizione granulometrica dei sedimenti superficiali e profondi

Campione	Lung. carot. cm	Sezione cm	Peso gr	Sabbia %	Silt %	Argilla %
L2	27	0÷3	60.5	9	64.4	26.6
		8÷11	46.1	4.4	62.2	33.4
L5	30	0÷3	36.8	5.3	56.3	38.4
M5	26	0÷3	41.7	5.3	62	32.7
		8÷11	53.7	2	58.8	39.2
O3	19	0÷3	43.7	2.8	52	45.2
O5	19	0÷3	34.4	46.7	30.6	22.7
		8÷11	42.4	33.1	37.8	29.1
		16÷19	41.4	32	37.4	30.6
O6	19	0÷3	33.6	45.1	30.7	24.2
		8÷11	40.6	3.7	54.4	41.9
		16÷19	37.2	3.3	58	38.7
O7	30	0÷3	43.1	5.5	57.5	37
O8	32	0÷3	37.9	0.8	56.8	42.4
P5	20	0÷3	40.2	6.2	58.2	35.6
Q5	20	0÷3	40.6	5	58.9	36.1
		8÷11	29.9	2.2	60.3	37.5
R5	20	0÷3	41.4	5.1	62	32.9
S5	23	0÷3	33.9	1.1	23.7	75.2
		8÷11	51.8	1.7	66.3	32
		16÷19	21.1	6.8	63.2	30

5. DISCUSSIONE

La distribuzione della frazione sabbiosa nei sedimenti superficiali (Fig. 2) indica che l'aumento cospicuo di tale componente non interessa solo il sito di discarica ma anche l'area immediatamente ad Ovest. Questo è probabilmente dovuto alle indicazioni date a coloro che hanno operato lo scarico in mare di sversare anche più al largo del punto indicato, considerata l'elevata quantità di materiale e le ridotte dimensioni del sito. Inoltre, la distribuzione mostra un trend orientato in dirczione N-S che probabilmente è da attribuire alla attività delle correnti principali (Astraldi et. al., 1992).

E' da notare che il ricoprimento, come mostra chiaramente la carota O5, giunge almeno fino a 20 cm di profondità.

Se consideriamo come valori naturali, cioè non interessati dallo scarico, le granulometrie dei campioni superficiali O3, Q3 e R2 e delle sezioni profonde (8-11 cm) dei campioni M5 e Q5, è osservabile un incremento della percentuale di sabbia nello strato superficiale delle stazioni M3, M5, O7, P5, Q5 e R5 anche se tale aumento non è attribuibile, per tutti i campioni, allo scarico effettuato.

Difatti, se tale ipotesi è verosimile per le stazioni a Nord ed a Ovest del sito di discarica per le ragioni sopra riportate, altrettanto non si può dire per le stazioni a Sud dove la vicinanza delle Secche della Meloria condiziona in parte la sedimentazione nell'area.

Infine, l'elevata percentuale di argilla nel campione superficiale S5 può essere ricondotta ad un trasporto verso Nord dei materiali più fini ad opera delle correnti; questa ipotesi è suggerita sia dal ripristino delle condizioni "naturali" (silt argillosi) nei livelli sottostanti , sia dalla scarsa influenza dell'Arno, durante tutta la stagione invernale, nell'area in esame (Astraldi et al., 1992).

6. CONCLUSIONI

Dai risultati preliminari delle ricerche effettuate si possono trarre le seguenti principali conclusioni.

- La frazione di sedimento di escavo portuale, a granulometria maggiore rispetto a quella dell'area di scarico, si è accumulata per uno strato di spessore variabile (in alcuni punti maggiore di 20 cm) in una zona ampia più del doppio di quella indicata. Detto ampliamento è orientato secondo 2 principali direttrici: una verso Ovest (probabilmente legata alle modalità di scarico), l'altra disposta preferenzialmente secondo la direzione N-S dovuta alle correnti.

- La dispersione dei materiali più fini tende a distribuirsi verso Nord, probabilmente seguendo il trasporto delle correnti che avviene in tale direzione durante la stagione invernale.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano M. Magagnoli e A. Mengoli per la loro preziosa collaborazione. Un particolare ringraziamento a P. V. Curzi per i suoi utili consigli e per la disponibilità dimostrata.

BIBLIOGRAFIA

Astraldi, M., G. Gasparini & G. Manzella. 1992. Condizioni generali di temperatura e salinità nel tratto di mare prospiciente il porto di Livorno. *Rapporto finale per la caratterizzazione del sito di discarica dei fanghi di escavo del porto Livorno in relazione allo svesamento dei primi 100.000 me di materiale.*

Barbetsea, E., F. Fanucci, M. Firpo, L. Mirabile & M. Piccazzo. 1982. Il Plio-Quaternario del Mar Ligure: 1) potenza e modalità di accumulo della coltre sedimentaria. *Quaderni Ist. Geol. Univ. Genova,* Anno 3, 1, 3-20.

Fanucci, F., M, Firpo *&* D. Tedeschi. 1980. Caratteri ed evoluzione della sedimentazione recente sulla piattaforma continentale toscana tra Livorno e l'Isola d'Elba. *Atti del Convegno Scientifico Nazionale sui Placers Marini.* Trieste 25-26 Giugno 1980.

Fanucci, F & R. Nicolich. 1986. Il Mar Ligure: nuove acquisizioni sulla natura, genesi ed evoluzione di un " Bacino Marginale ". *Mem. Soc. Geol. lt.,* 27, 97-100.

Fanucci, F., N. Corradi, G. Pierre, M. Firpo, M. Piccazzo, A. Ramella & S. Tucci. 1987. Sismostratigrafia e neotettonica del Mar Ligure. *Quaderni Ist. Geol. Univ. Genova,* Anno 8, 3.

Immordino, F. & M. Setti. 1993. Caratterizzazione granulometrica e mineralogica dei sedimenti superficiali marini dell'Alto Tirreno tra La Spezia e Livorno. *Serie Studi Ambientali* ENEA Arcipelago Toscano, 51-64.

Wentworth, C.K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Jour. Geol.,* 30,377-392.

Atti del 10° Congresso A.I.O.L.
Alassio, 4-6 Novembre 1992
da pag. 375 a pag. 387

LAZIO SHELF EXPERIMENT (CROCIERA HOP1, AGOSTO 1991): DISTRIBUZIONE DELLE MASSE D'ACQUA E CENNI SULLA CIRCOLAZIONE.

Tom S. HOPKINS[1], Massimo BATTILOTTI[2], Massimo DE LAURO[3], Marina MONASSI[4], Maurizio RIBERA D'ALCALA'[5], Vincenzo SAGGIOMO[5], Maria Adelaide TRAMONTANO[2] e Alberto ZANGAGLIA[2].

[1] Dept. MEAS, North Carolina StateUniversity.
[2] SOPROMAR, Fiumicino (Roma).
[3] CNR - Geomare Sud, Napoli.
[4] Centro Pilota Difesa Mare - Min.Mar.Mercantile, Fiumicino (Roma).
[5] Stazione Zoologica A.Dohrn, Napoli.

SUMMARY

A hydrographic cruise was conducted on the Lazio Shelf region of the Tyrrhenian Sea during the second week of August 1991 with objective of providing data sufficient to evaluate the eutrophic impact of the Tevere River effluent. The present work presents the highlights, based on preliminary data analyses, of the circulation and water-mass characteristics.

The cruise data revealed a different set of physical conditions than that perceived to be the normal summer situation; LE. the low-salinity plume tended slightly offshore to the south, and the nearshore zone was cooler than the offshore waters by 1-4 °C. The hydrographic also indicated a clear, but complicated, dynamical division between the regions north and south of the Tevere mouth. The northern portion was dominated by the high salinity Tyrrhenian Surface Water mass that extended inshore to approximately the 100 m isobath and was, apparently, the eastern extension of a large cyclonic circulation situated offshore in the north-central Tyrrhenian. Thus, the circulation was onshore and northward over the northern sector of the sampled area causing a significant convergence and uplifting of the underlying Levantine Intermediate Water.

A ridge of high sea level formed the southern boundary of the cyclone and extended across the shelf towards the Tevere mouth effecting the dynamic division between the north and the south sectors. The southern side of the sea-level ridge was less defined than to the north, but was sufficiently than steep to drive, geostrophically, an offshore flow. It was in this area of weak onshore flow that the Tevere effluent collected and formed a large plume extending south and along the shelf break to the Island of Ponza. An isostatic adjustment of the lower-density plume waters caused and uplifting of the isopycnals underneath it such that LIW was again brought nearer the surface and the corresponding increases in internal potential energy provided additional dynamic stability to the plume feature.

The nearshore zone, because of its depth, tended to be dynamically uncoupled from the dynamics dominating offshore and displayed a week upwelling circulation which brought the cooler thermocline waters to the surface at the shore. Very light northwesterly winds prevailed, which tended to assist the upwelling in the area just south

of the Tevere mouth where the Tevere mouth where the waters were moving offshore due the sea-level ridge.

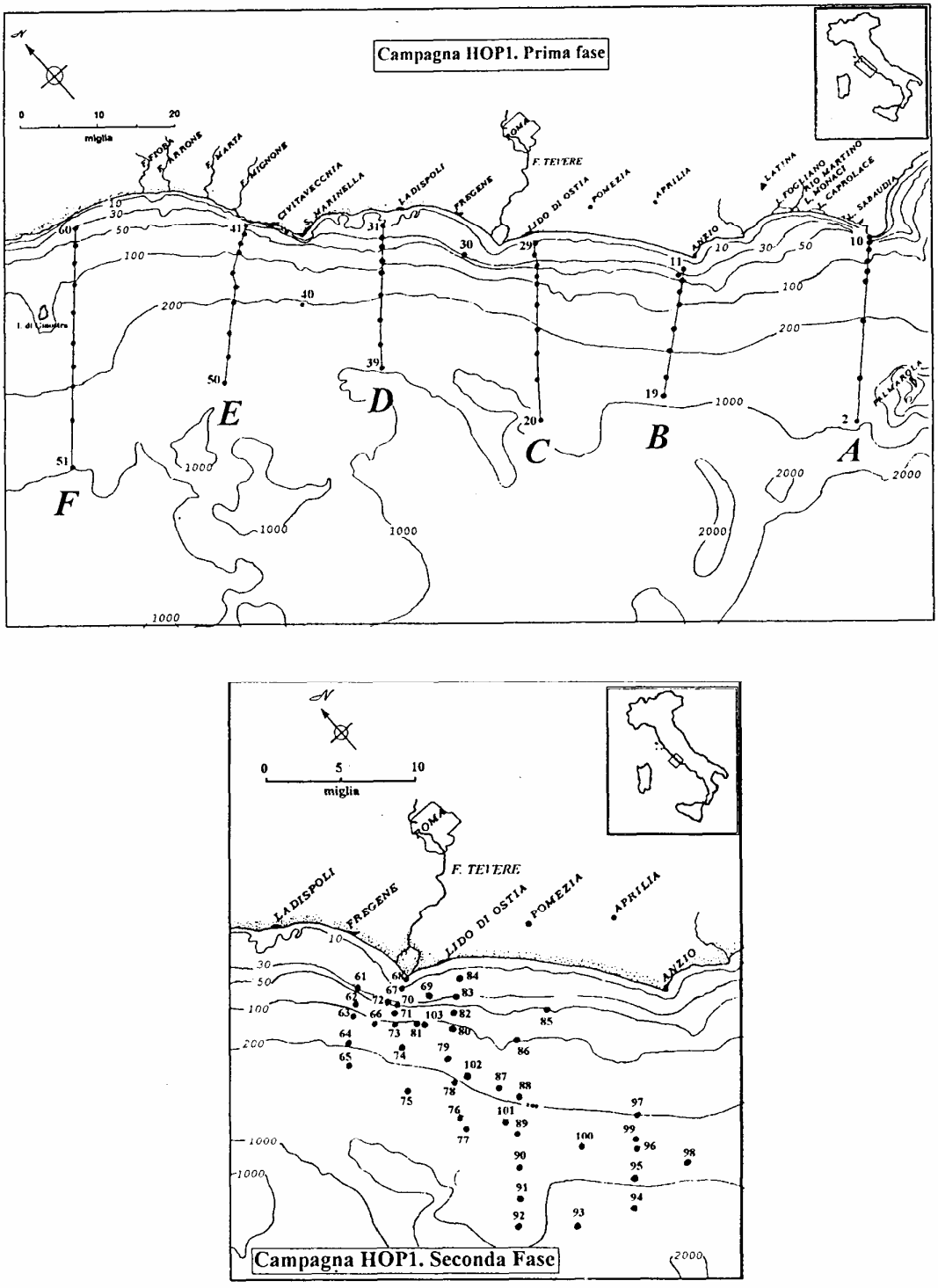


Fig. 1. Ubicazione delle stazioni relative alla prima e seconda fase.

1. INTRODUZIONE

In questa presentazione vengono illustrati i risultati della campagna oceanografica condotta sulla N/O Thetis nell'agosto del '91 nell'ambito delle attività coordinate dal Centro Pilota di Difesa del Mare di Fiumicino del Ministero della Marina Mercantile. L'area coperta si estende nella direzione NO-SE dall'Isola di Giannutri all'Isola di Palmarola ed è delimitata ad Ovest dalla batimetrica degli 1000 m (Fig. 1). Il campionamento è stato suddiviso in due parti. La prima ha interessato l'intera area mentre la seconda è stata finalizzata all'individuazione e circoscrizione del pennacchio *(plume)* del Tevere. Nella prima fase sono stati effettuati campionamenti su 60 stazioni distribuite su 6 transetti costa-largo, compresi tra l'isobata dei 20 m e quella degli 800 m (Fig. 1a). Nella seconda fase il numero di stazioni campionate è stato pari a 43, distribuite lungo sezioni all'incirca perpendicolari all'asse della *plume* del Tevere così come era apparsa dalla prima fase (Fig. 1b).

La campagna aveva quali obiettivi immediati la conoscenza della distribuzione stagionale delle masse d'acqua sulla piattaforma continentale laziale in relazione alla circolazione, ed una caratterizzazione dal punto di vista biogeochimico delle stesse masse d'acque. Essa ha inoltre avuto lo scopo di acquisire informazioni per l'implementazione di un modello barotropico tridimensionale e per la formulazione di un modello sul trasferimento e la deposizione del particolato organico generato dal metabolismo delle sostanze nutritive provenienti dalle zone di confine dell'area in esame, segnatamente quella del Tevere.

Nel Mar Tirreno la circolazione relativa alla zona settentrionale è dominata da una grossa struttura ciclonica, come risulta evidente dalla analisi geostrofica dei dati idrografici (Krivosheya e Ovchinnikov, 1973) e dai modelli numerici (Artale el al., 1992). La posizione e l'intensità del vortice variano stagionalmente a causa della evoluzione sia del campo del vento (Artale et al., 1992) che della forte stagionalità del flusso di uscita delle masse d'acqua dal Canale di Corsica verso il Mar Ligure (Astraldi e Gasparini, 1992).

Sul bacino non insistono grossi corsi d'acqua. Il Tevere è il fiume principale ed ha una portata media annua di circa 236 m^3/sec, con massimi nella portata in Marzo ed Aprile (IRSA, 1983). La *plume* si distribuisce e si mescola con le acque costiere secondo le forzanti del vento e della circolazione generale. In mancanza di queste forzanti, la *plume* si dispone entro la fascia costiera a settentrione della foce in risposta al bilanciamento dinamico fra la pressione idrostatica e la forza di Coriolis. Forti venti meridionali, pertanto, rafforzerebbero tale tendenza, restringendo maggiormente la *plume* lungo la fascia costiera, mentre forti venti da settentrione ed in particolare da Nord-Est ne forzerebbero la direzione verso Sud e verso il largo secondo la classica dinamica di Ekman. Nonostante la non enorme portata del fiume, i nutrienti presenti nella *plume* inducono una produzione primaria superficiale che, durante la stagione estiva, raggiunge livelli pari a 10 volte quelli delle acque al largo (Zoppini A. et al., 1988).

2. MATERIALI E METODI

Per il campionamento è stata utilizzata una *Rosette* della GENERAL OCEANICS con dodici bottiglie NISKDSf da 10 litri, corredata di una sonda multiparametrica SEABIRD modello 911 munita di sensori per la misura di pressione, temperatura, conducibilità, ossigeno, fluorescenza indotta e trasmissione percentuale della luce. Il trasmissometro (cammino ottico 0.25 m) ed il fluorimetro sono prodotti dalla SEA-TECH. Il campionatore era inoltre dotato di un altimetro DATA-SONIC per limitare al minimo la

distanza dal fondo durante le calate. La profilazione continua dei parametri misurabili con i sensori interfacciati alla sonda è stata effettuata sia in discesa che in risalita. Durante quest'ultima sono stati effettuati i campionamenti con le bottiglie, generalmente alle quote oceanografiche standard, per l'analisi di altri paramentri idrografici ed un più ridotto numero di campioni (almeno uno per calata) per l'analisi della salinità con salinometro AUTOSAL 8400 e per l'analisi dell'ossigeno disciolto con metodo volumetrico a scopo di controllo ed eventualmente ricalibrazione dei sensori. Per il controllo del sensore di temperatura sono state effettuate misure indipendenti (almeno due quote per ogni stazione) con termometri a rovesciamento digitali SIS. Per un guasto tecnico al verricello idrologico della nave si è dovuti ricorrere ad un altro dotato di soli 600 m di cavo. I profili verticali raggiungono pertanto una profondità massima di circa 540 m.

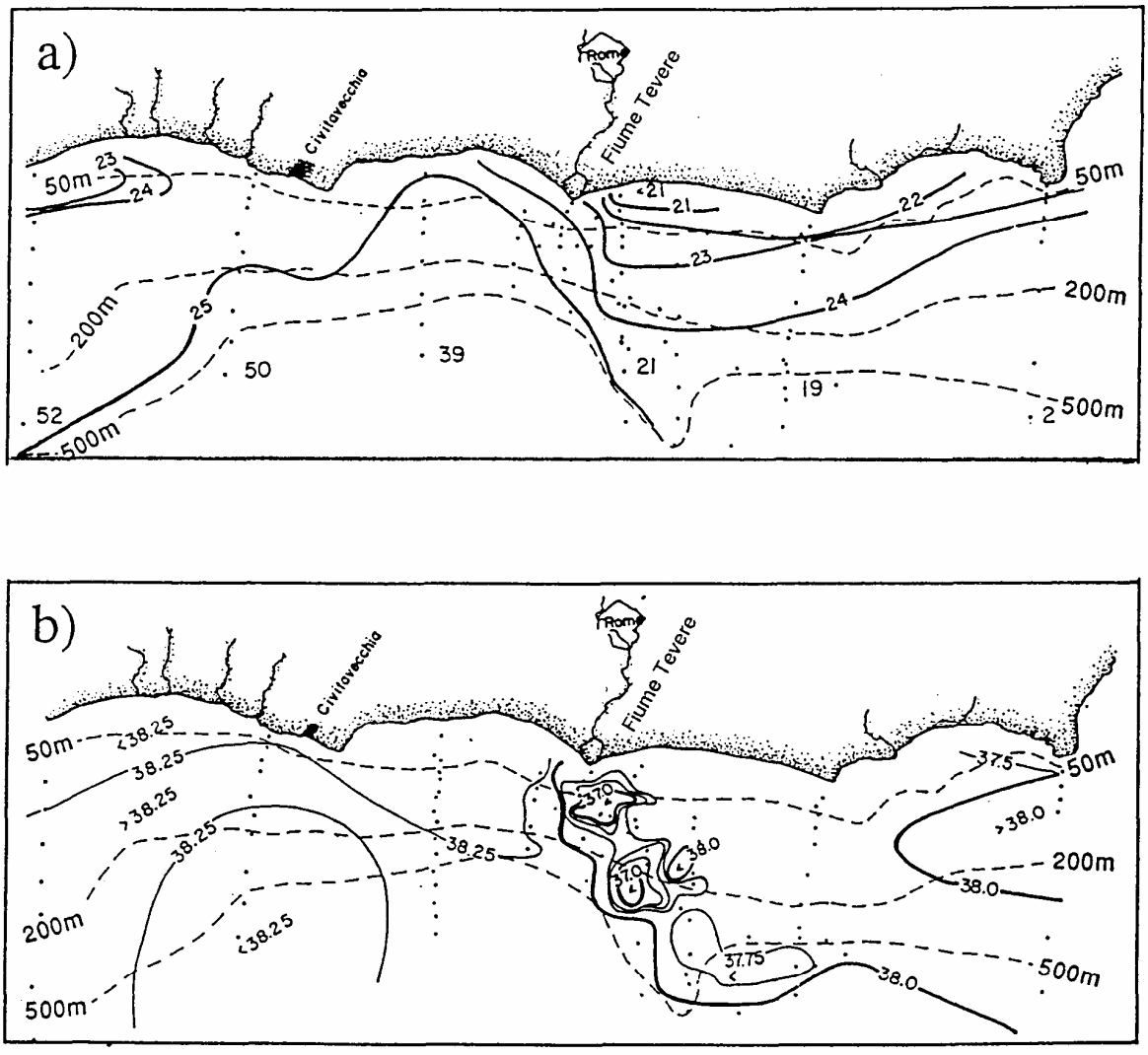


Fig. 2. Andamento superficiale della temperatura (a) e della salinità (b) misurati dal CTD (1-2 m di profondità).

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

3.1 Masse d'acqua

II quadro oceanografico rilevato nell'Agosto del 1991 è risultato diverso da quello generalmente riportato in letteratura (Artale et al., 1993). Le acque della *plume* appaiono infatti distribuite leggermente verso il largo ed in direzione Sud (Fig. 2b), contrariamente al normale andamento lungo la costa in direzione Nord-Ovest.

All'interno della *plume* sono stati inoltre rilevati dei nuclei secondari di circolazione anticiclonica (Fig. 2b) che possono essere attribuiti a "pulsazioni" della portata del fiume alla foce probabilmente dovute a cicliche variazioni del livello del mare. Né il numero delle celle né la quantità d'acqua in esse intrappolata porterebbe a suggerire che l'uscita delle acque sia controllato unicamente dalla componente semidiurna della marea, che nel Tirreno è quella dominante (Defant, 1961). Una più precisa valutazione sui meccanismi idrodinamici che determinano tali pulsazioni può venire solo da osservazioni quantitative sia del livello medio del mare che della portata del fiume. E' inoltre interessante sottolineare che poiché queste celle contengono una porzione relativamente poco mescolata di acqua di origine fluviale, esse dovrebbero fornire un ambiente favorevole alla crescita planctonica per la presenza di una maggiore stabilità (minore densità dell'acqua dolce) e di una maggiore disponibilità di nutrienti. In realtà, soprattutto per le celle più vicine alla foce del Tevere, ciò non è stato osservato (Povero et al., questo volume). Dal che potrebbe dedursi che è necessario un certo tempo perché il popolamento fitoplanctonico marino tragga vantaggio da queste più favorevoli condizioni (Dugdale e Hopkins, 1978).

Nella zona costiera (entro la batimetrica dei 30 m) sono state rilevate temperature di 1-4°C inferiori alle acque del largo per lo strato superficiale. La zona con acque relativamente più fredde era localizzata al largo del Lido di Ostia (Fig. 2a), con una temperatura superficiale inferiore ai 21°C gradi. Il dato è stato poi confermato dalle immagini satellitari (AVHRR) che, per lo stesso periodo, mostrano chiaramente una zona di acque superficiali più fredde lungo la costa del Lazio (Bohm E., North Caroline State University, comunicazione personale). Il flusso delle acque superficiali verso Sud ed il largo evidenziato dalle stesse immagini *è* coerente con l'andamento osservato per la direzione della *plume* (Fig. 2b), anche se la struttura a piccola scala non *è* facilmente visibile dalle immagini da satellite a causa del riscaldamento delle acque superficiali.

La struttura delle masse d'acqua presenti sulla piattaforma continentale è notevolmente variabile in relazione al "runoff" costiero ed all'ingresso delle acque del Tirreno Centrale. La struttura verticale osservata al largo segue l'andamento descritto da Hopkins (1988) nel quale lo strato superficiale riflette la trasformazione stagionale dello strato rimescolato invernale (Tyrrhenian Intermediate Water, TTW). Questa trasformazione avviene a seguito di processi locali (riscaldamento ed aumento della salinità) che generano una massa d'acqua superficiale (Tyrrhenian Surface Water, TSW), con caratteristiche diverse dalla TIW originale, ed al trasporto avvettivo di acqua di origine atlantica (Tyrrhenian Atlantic Water, TAW). Sottostante alla TIW, fra i 200 ed i 600 m, lo strato è generalmente costituito dall'acqua intermedia (Levantine Intermediate Water, LIW). Nel Tirreno le proprietà T-S di questa massa d'acqua ed la profondità del suo "core" variano in relazione alla circolazione locale ed al suo tempo di residenza nel bacino. Nella tabella che segue vengono riportati i valori generalmente più attendibili delle masse d'acqua citate insieme alle relative profondità del "core", sebbene dalle proprietà TS rilevate durante la campagna non è stata riscontrata una distribuzione strettamente uniforme alla schematizzazione riportata in tabella.

Acqua	T (°C)	S (psu)	Prof.(m)
TSW	25.0	38.30	0
TAW	15.5	38.02	30
TIW	14.2	38.15	80
LIW	13.8	38.64	440

Tab. 1

In Fig. 3 vengono illustrati i profili TS delle stazioni 4, 23, 46 poste lungo la batimetrica dei 200 m e ubicate rispettivamente nella zona meridionale, centrale e settentrionale della *plume.* A Nord della *plume,* tra Fiumicino e Civitavecchia, è stata inoltre osservata una forte intrusione verso costa di acque più calde (>25 °C) e più salate (>38.25 psu) provenienti dal largo. Questa intrusione è stata sufficientemente profonda da determinare una convergenza sulla piattaforma continentale (v. nel seguito) che ha provocato una risalita ("upwelling") della LIW ed il conseguente arrichimento di nutrienti fino 100 m di profondità (Povero et al., questo volume).

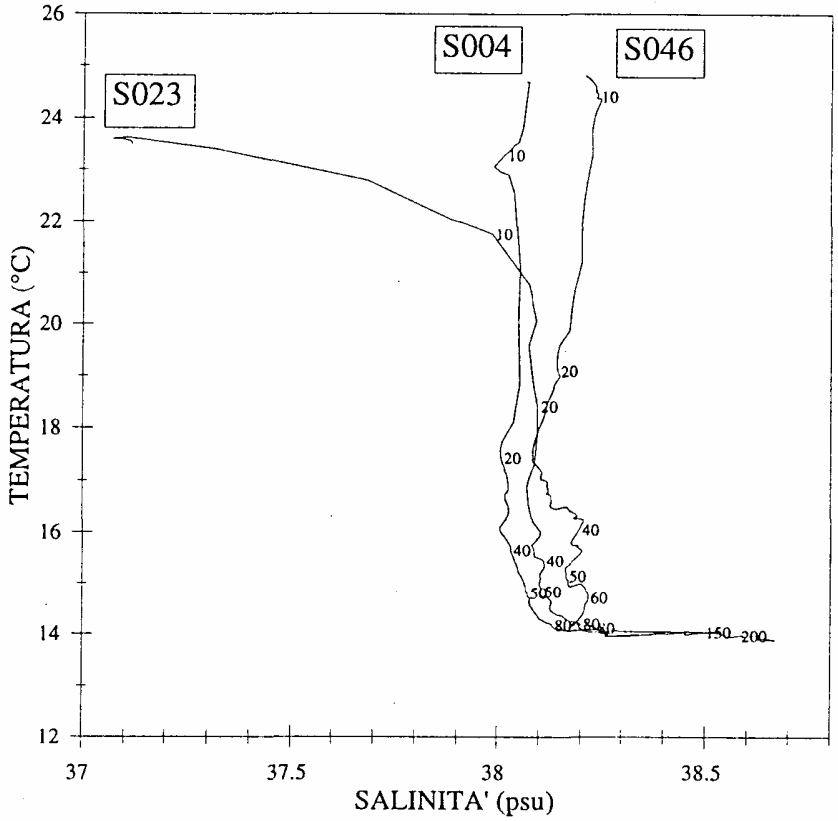


Fig. 3. Diagrammi TS relative alle stazioni 4, 23 e 46 ubicate, rispetto alla foce del Tevere, rispettivamente nella zona meridionale, centrale e settentrionale.

L'analisi del contenuto di acqua dolce e di LIW nello strato sovrastante la LIW (Fig. 4a,b), fornisce evidenza addizionale delle due differenti strutture nelle masse d'acqua a Sud ed a Nord della foce del Tevere. La quantità di acqua dolce è stata determinata usando come salinità di riferimento dell'acqua superficiale 38.3 psu (v. Tab. 1), per cui l'acqua dolce accumulata (FW) per ogni quota risulta essere $FW = (S_{rif}-S)/S_{rif}$.

Integrando questo rapporto su tutto lo strato si ottiene la quantità di acqua dolce nello strato misurata in cm. L'integrazione è stata condotta fino alla profondità in cui l'acqua ha un valore di temperatura pari a 14.1 °C, ovvero quella attribuibile alla TIW, che dall'insieme dai dati è risultato il valore più attendibile. Va comunque rilevato che in questo modo si include anche il contributo di TAW e di TIW stimabili rispettivamente in circa 20 e 30 cm.

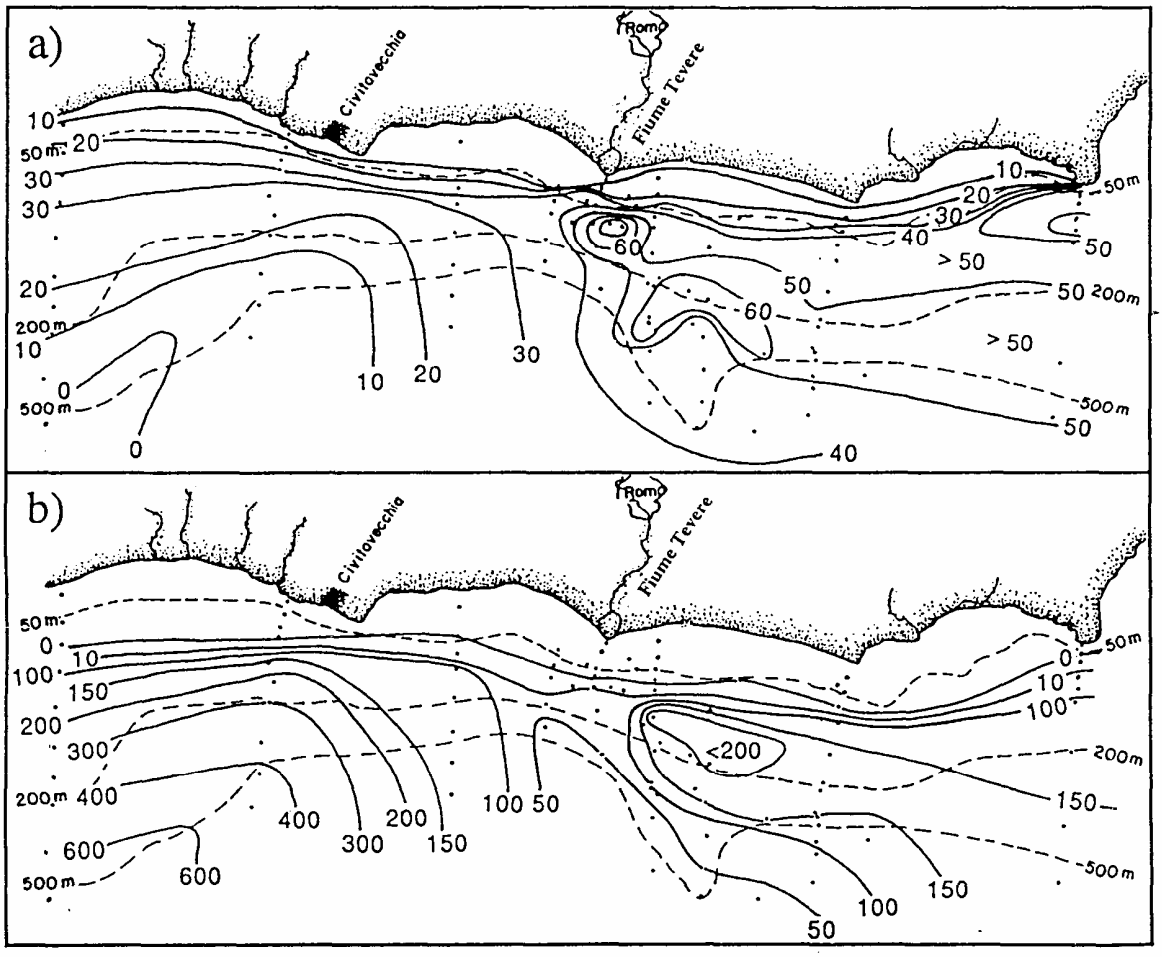


Fig. 4. Andamenti orizzontali (in cm) del contenuto di acqua di origine fluviale (a) e di Acqua Intermedia Levantina (b).

La Fig. 4a mostra nella zona settentrionale una significativa intrusione di TSW proveniente dal largo che interessa la fascia costiera fino all'isobata dei 50 m. Nell'area meridionale l'influenza delle acque del Tevere è visibile fino ad una distanza corrispondente all'isobata dei 500 m. La *plume è* contraddistinta da due grosse accumuli di acqua più dolce che presentano una distribuzione leggermente differente da quella suggerita dalle sole isolinee superficiali.

La quantità di LIW (38.65 psu) è stata determinata con tecnica analoga a quella sopra riportata per la FW (Fig. 4b). In questo caso è stata considerata come tipo d'acqua di partenza la TIW (S=38.1 psu) ed utilizzata la relazione LIW (cm) = $(S-S_{TIW})/(S_{LIW}-S_{TIW})$. Lo strato integrato è quello compreso dai 120 m fino alla temperatura di 14.1 °C che, come detto, è stata considerata quella corrispondente all'interfaccia tra la TSW e la TIW.

In Fig. 4b vengono evidenziate due zone ad alto contenuto di LIW, che suggeriscono due fenomeni di sollevamento delle isopicne ("upwelling"). Quello nell'area settentrionale è causato dalla vicinanza del centro del ciclone, dove la la dinamica richiede un innalzamento del picnoclino all'altezza della piattaforma continentale. L'altra zona a valori alti è situata sotto l'accumulo di acqua dolce della *plume.* Quest'ultima fenomenologia può considerarsi un tipico caso di dinamica estuariale, con richiamo di acqua più densa sotto quella meno densa dove è presente la *plume,* per raggiungere un bilanciamento idrostatico. L'esistenza di questo flusso di acque più dense impartisce una considerevole stabilità alla distribuzione della *plume.* In altre parole esso rappresenta la conversione in energia potenziale dell'energia cinetica che verrebbe generata in mancanza di una compensazione dell'eccesso di volume di acqua dolce immesso dal fiume.

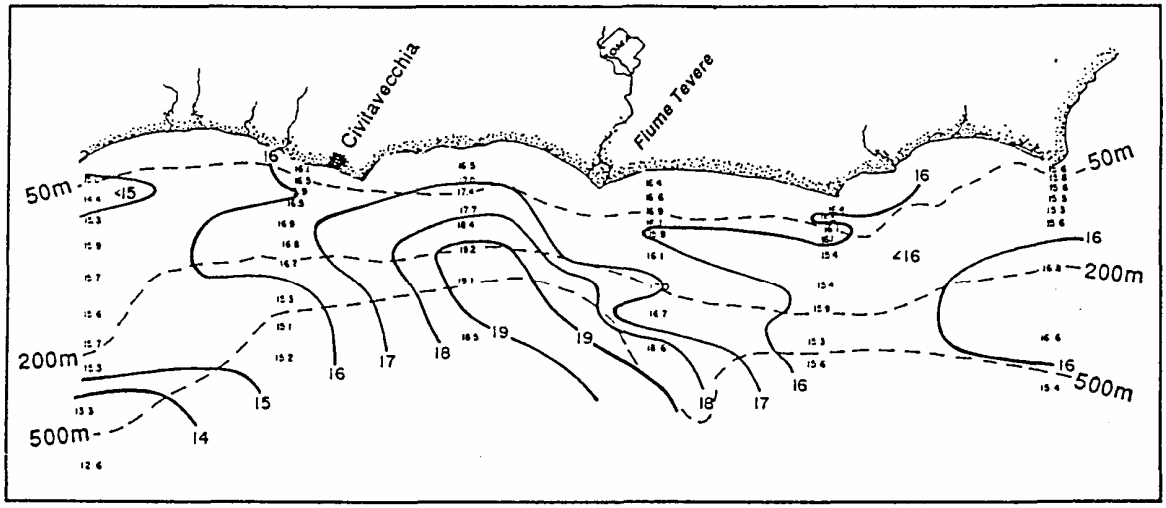


Fig. 5. Andamento superficiale delle altezze steriche (cm) relativo alla prima fase.

Il grado di compensazione risulta evidente anche dalla distribuzione delle altezze steriche che non riproduce una forma tipica di una *plume* (Fig. 5). La stabilità di questa situazione è inoltre confermata dai risultati ottenuti ricampionando la stessa area nella seconda parte della campagna. All'interno dell'isobata dei 100 m vi è uno spessore insufficiente per compensare la differenza di pressione per cui, la mancanza di continuità della *plume* fino alla foce, può essere spiegata anche con l'assenza di un qualunque meccanismo stabilizzante che prevenga la rapida dispersione osservata.

3.2. Circolazione

Gli andamenti osservati nell'estate 1991 suggeriscono che la circolazione osservata durante la crociera di Agosto è stata indotta da quella Tirrenica di larga scala. I dati anemometrici rilevati dalla stazione meteorologica dell'Aeroporto di Fiumicino, indicano infatti la presenza di un sensibile vento proveniente da NW durante la prima settimana di Luglio (Fig. 6a). Lo stress del vento calcolato sulla base dei dati anemometrici è sufficiente in durata ed ampiezza per forzare la *plume* verso meridione in assenza di contrapposte forzanti (Tab. 2). La. salinità superficiale, come risulta dalla campagna di monitoraggio del 16 Luglio 1991 effettuata dalla SO.PRO.MAR., mostrava infatti la presenza di acque relativamente più dolci (<38 psu) di quelle circostanti a Sud della foce del fiume.

Comunque, durante le ultime tre settimane di Luglio, l'intensità media del vento ed il relativo trasporto di Ekman sono stati troppo deboli per sostenere una circolazione verso Sud-Est (Fig. 6, Tab. 2), pertanto la causa della tendenza verso meridione dell'asse della *plume* è da ricercare presumibilmente nella circolazione su larga scala.

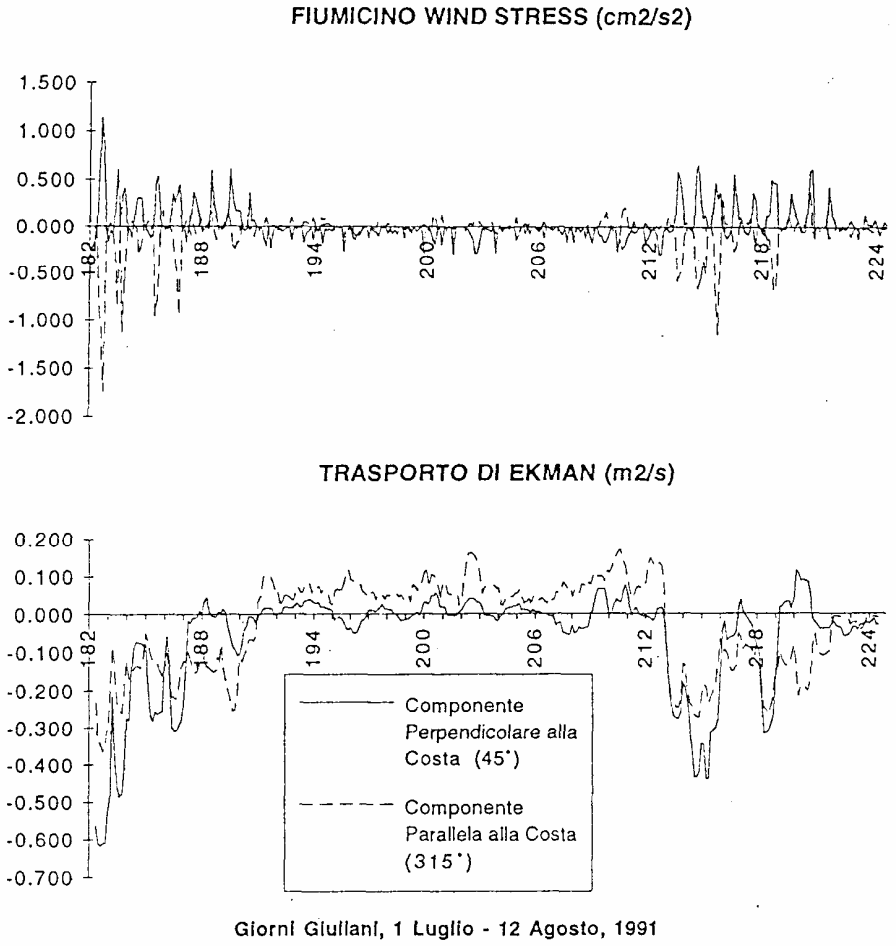


Fig. 6. Wind stress e trasporto di Ekman calcolati dai dati anemometrici della stazione meteorologica dell'Areoporto di Fiumicino. L'intervallo di campionamento è di 3 ore. Al trasporto di Ekman è stata applicata la media mobile relativa a 5 campioni.

Periodo	W^x	W^y	T^x	T^y	M^x	M^y
1-5 Luglio	1.13	-1.98	0.14	-0.23	-0.25	-0.15
11-31 Luglio	-1.65	0.08	-0.06	0.01	0.01	0.07
1-6 Agosto	1.50	-1.88	0.15	-0.18	-0.20	-0.17
6-12 Agosto	1.00	-0.63	0.08	-0.04	-.04	-0.09

Tab. 2. W(m/s) = intensità del vento, T(cm^2/s^2) = stress del vento, M(m^2/s)=trasporto di Ekman. L'apice x,y indicano rispettivamente la componente perpendicolare (45°) e parallela (315°) alla costa.

Le immagini satellitari relative alla fine di Luglio mostrano che la cella ciclonica del Tirreno Settentrionale, individuata in base a temperature superficiali più basse, si estendeva verso Nord-Est in direzione della costa tra Civitavecchia e Monte Argentario.

La distribuzione evidenziata dalle immagini satellitari relative al 26 Luglio suggerisce che la parte orientale della cella ciclonica si è estesa fino al tratto di costa compreso fra il litorale di Fiumicino e l'Isola di Giannutri. Non è stato ancora dimostrato che questa cella sia mantenuta dal solo "forcing" del vento, anche se è stato provato che nel versante occidentale la componente rotazionale del campo del vento indotta dallo Stretto di Bonifacio forza una circolazione ciclonica. I venti misurati dalla stazione meteorologica dell'Areoporto di Fiumicino relativi all'ultima decade di Luglio non avevano comunque una intensità tale da sostenere una cella ciclonica di tale estensione.

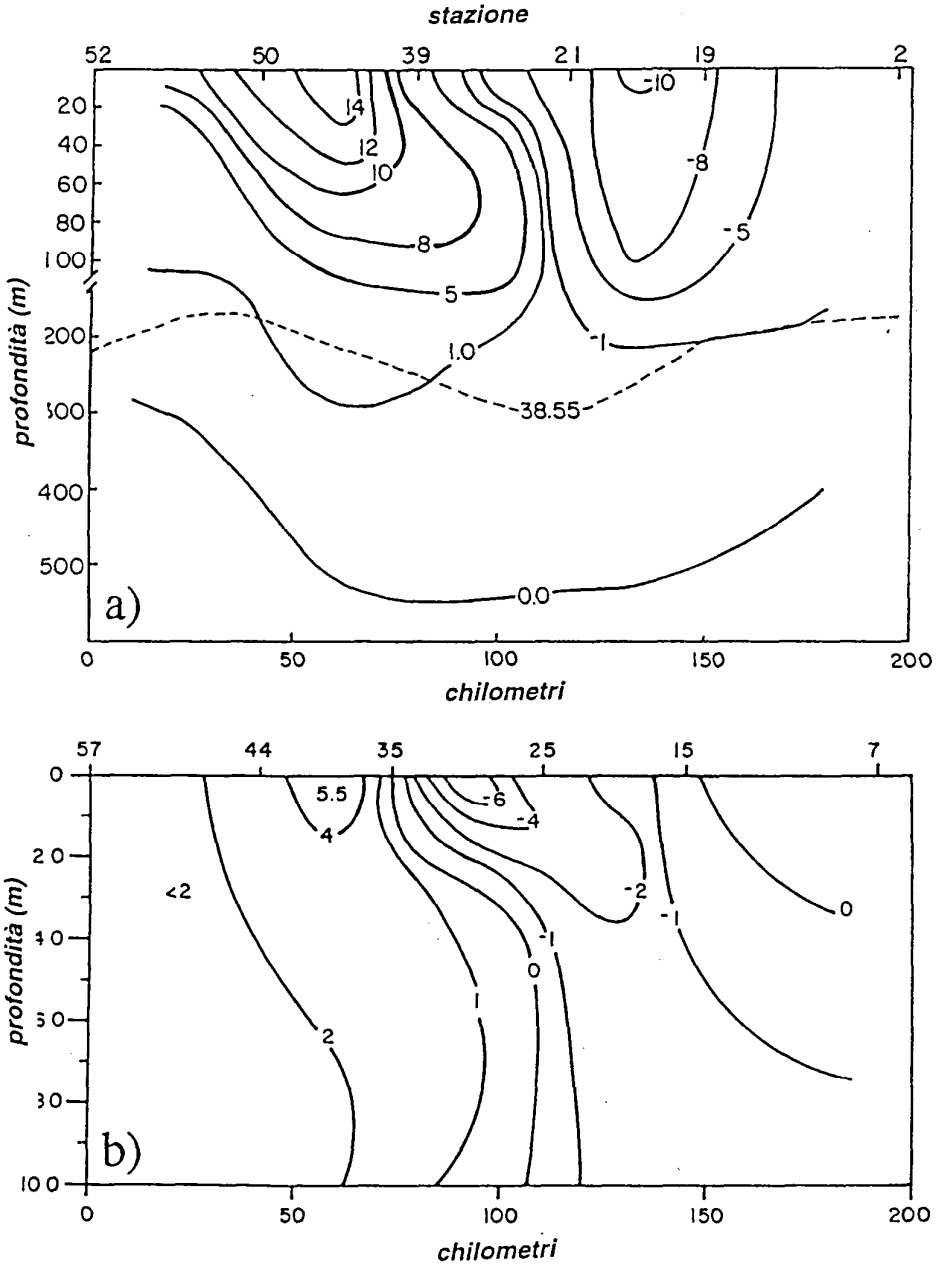


Fig. 7. Campo delle velocità geostrofiche calcolate lungo la batimetrica degli 800 m (a) e dei 100 m (b). La linea trattegiata indica la isoalina relativa al limite superiore dell'Acqua Intermedia Levantina.

Inoltre la circolazione della cella nella zona settentrionale è evidente dagli andamenti delle velocità geostrofiche relative all'ultimo transetto (Fig. 8a) in cui si riscontra un forte flusso settentrionale al di sopra della scarpata continentale fra le stazioni 52 e 54. La intrusione della cella ciclonica del Tirreno Settentrionale appare pertanto influenzare non solo la circolazione nella zona settentrionale, ma anche indirettamente la circolazione nel settore meridionale (Fig. 8b).

Infatti mentre la cella ciclonica determina un flusso verso nord, nella zona perimetrale stessa si evidenzia una zona di alte altezze steriche, una vera e propria cresta, che determina un flusso verso meridione bloccando e orientando la *plume* in direzione Sud. La Fig. 5 illustra la disposizione del "ridge" e le Figg. 7a,b mostrano che il flusso diretto verso il largo sull'isobata degli 800 m è spostato più verso meridione relativamente allo stesso flusso rilevato sull'isobata dei 100 m. A Sud-Est di questa struttura il livello delle altezze steriche diminuisce verso la *plume* fino a raggiungere una zona relativamente uniforme caratterizzata da una circolazione più debole e variabile rispetto alla circolazione a Nord-Ovest della cresta dovuta alla cella ciclonica.

Dai dati disponibili e dalle immagini satellitari si rileva un ulteriore importante aspetto relativo alla risalita, nello strato superficiale, di acque fredde in corrispondenza di alcuni tratti della fascia costiera delimitata dalla batimetrica di circa 30 metri. Conseguentemente, la risalita di acque profonde lungo la fascia costiera è spiegabile sulla base della dinamica dell' "upwelling" costiero, che implica un flusso in prossimità del fondo con direzione verso costa. Il fenomeno di risalita è subordinato alla presenza di una corrente parallela alla costa diretta verso sud-est, in modo che il trasporto di Ekman associato al fondo abbia una direzione verso la costa. Questa situazione non è stata osservata nel campo delle velocità geostrofiche calcolato dai dati osservati durante la campagna dell'Agosto '91. Nella zona costiera a Sud del Tevere si è osservato un forte gradiente di velocità baroclino fra lo strato superficiale ed il fondo, tale che il flusso predominante vicino al fondo è risultato verso Nord, mentre in superficie appariva orientato verso Sud (Fig. 8b). Queste condizioni evidenziano una struttura più complessa rispetto al modello tradizionale di "upwelling" costiero rilevabile dal semplice affioramento verso superficie del termoclino posto alla base dello strato superficiale (Hopkins e Swoboda, 1986). I venti deboli dal Nord-Ovest che hanno caratterizzato il periodo in esame, possono aver contribuito alla circolazione osservata e al sollevamento del termoclino, ma questa circostanza non può essere considerata la forzante principale alla evoluzione della circolazione su larga scala.

In conclusione, alla luce del complesso delle osservazioni acquisite si può affermare che:

- l'intrusione della cella ciclonica del Tirreno Settentrionale sulla piattaforma continentale, e la contemporanea assenza di forti venti provenienti da Sud, hanno spinto la *plume* del Tevere nella zona meridionale estendendola verso il largo.
- Conseguentemente si è determinata in alcuni punti della zona settentrionale una risalita di acque intermedie, più fredde.
- Infine, in alcuni tratti della fascia costiera, si è evidenziato un affioramento verso la superficie del termoclino posto alla base dello strato superficiale a causa di una complessa struttura verticale caratterizzata da una corrente geostrofica superficiale verso Sud opposta alla corrente geostrofica riscontrata nello strato in prossimità del fondo.

Questa dinamica ha indotto anche processi di tipo chimico e biologico che vengono parzialmente descritti da Povero et al. in questo stesso volume

La distribuzione delle altezze steriche e la conseguente ampiezza del flusso geostrofico è stata calcolata dai dati di densità mediante il metodo di Hopkins (Hopkins, 1989). Come illustrato nei lavori citati le altezze steriche rappresentano l'innalzamento del livello del mare dovuto all'aggiustamento idrostatico nel campo del flusso geostrofico, esse quindi non tengono conto delle variazioni del livello del mare di più alta frequenza (>0(f)) che non hanno ancora indotto un aggiustamento isostatico nel campo di massa. Le velocità geostrofiche lungo la batimetrica dei 800 m e 100 m (Fig. 7a,b) indicano l'esistenza di un flusso verso costa che rotea verso settentrione nella zona di mare più al largo della piattaforma continentale.

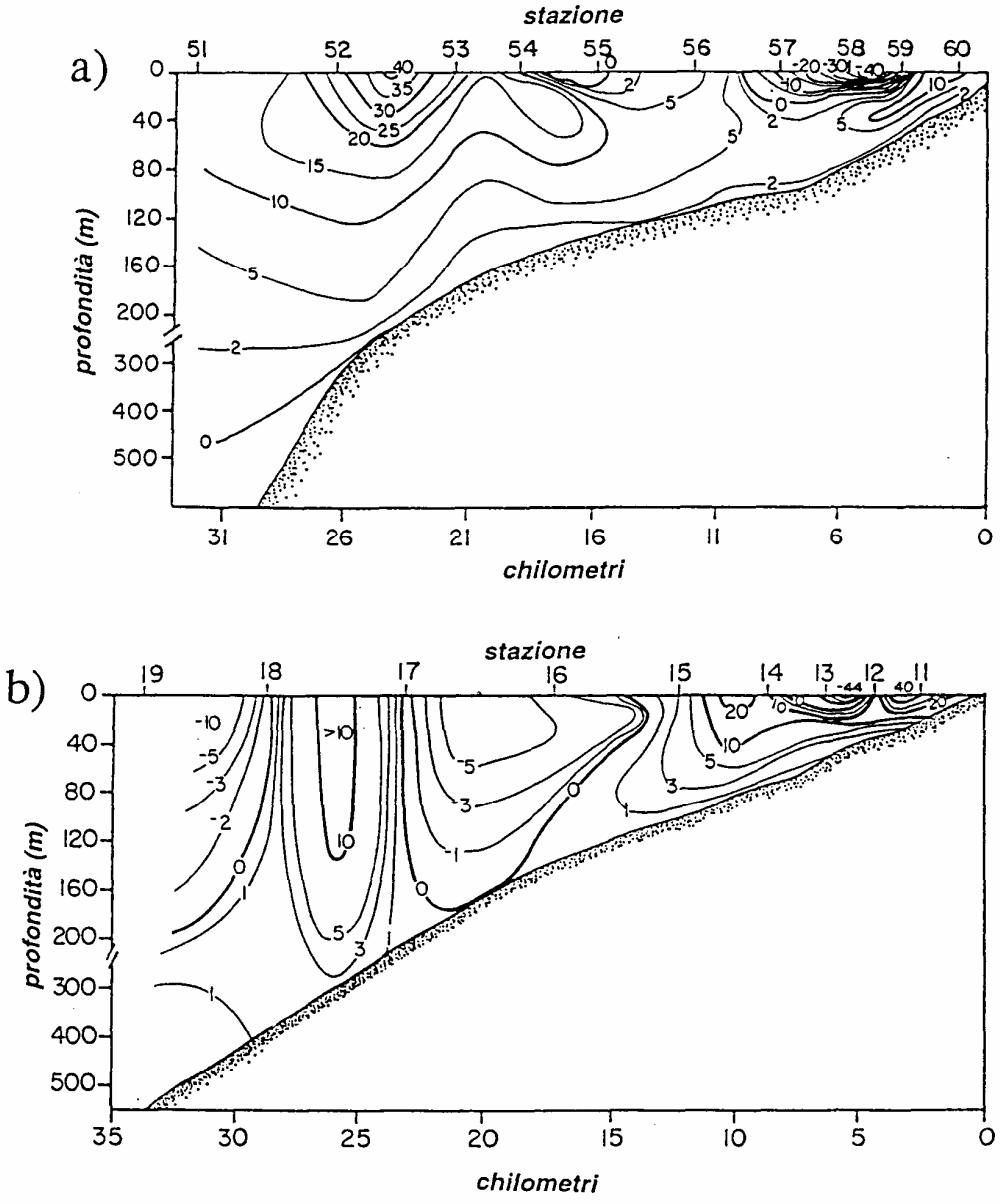


Fig. 8. Componente lungo-costa della velocità geostrofica (cm/sec) del transetto settentrionale (a) e del transetto ubicato nella zona meridionale relativo alle stazioni 11-19 (b).

BIBLIOGRAFIA

Artale V., M. Astraldi, G. Buffoni & G.P. Gasparini. 1993, The seasonal variability of the gyre scale circulation in the Northern Tyrrhenian Sea. *J. Geoph. Res. (sottoposto per pubblicazione).*

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

Defant A. 1961, phisical oceanography. *Pergamon Press, London,* Voi. 1: XVI-720pp.

Dugdale R.C. & T.S. Hopkins. 1978, Predicting the structure and dynamics of a pollution-driven marine ecosystem embedded in an oligotrophic sea. *Thalassia Jugoslavia,* Voi. 14: 107-126.

Hopkins T.S. 1988, Recent observations on in the intermediate and deep water circulation in the Southern Tyrrhenian Sea. *Oceanologica Acta,* Special Issue n.9: 41-50.

Hopkins T.S. 1989, the effect of thermohaline variability on the exchange through Mediterranean straits. *SACLANTCEN Memorandum,* SM-222:20-21.

Hopkins T.S. & A. Swoboda. 1986, The nearshore circulation off Long Island, August 1978. *Continental Shelf Research,* 5: 431-473.

Povero P., M. Battilotti, M. De Lauro, M. Fabiano, Hopkins T.S., M. Menassi, M. Ribera d'Alcala', V. Saggiomo, M.A. Tramontano &• A. Zangaglia. (in stampa). LAZIO SHELF EXPERIMENT (Crociera HOP1, agosto 1991): analisi preliminare della distribuzione di nutrienti, biomassa fitoplanctonica, sostanze organiche particellate. *Questo volume.*

IRSA. 1983, L'esperimento Tevere. Influenza di un fiume sull' ecosistema marino prospiciente la sua foce. *Quad. Ist. Ric. Acque,* 66.

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

Zoppini A.R., G. Pagnotta & A. Puddu. 1989, Produzione primaria e biomasse planctoniche alla foce del Tevere (primavera-estate 1987 e 1988). *Nova Thalassia,* 10(sup. 1): 213-217