ATTI DELL' 8° CONGRESSO
DELLA
ASSOCIAZIONE ITALIANA DI OCEANOLOGIA E LIMNOLOGIA

Pallanza 1-3 Giugno 1988

a cura di

Davide Bregant e Giovanni Paolo Fanzutti

E

ATTI
DELL'ASSOCIAZIONE ITALIANA
DI
OCEANOLOGIA E LIMNOLOGIA
(A.I.O.L.)
dal 1° Gennaio 1987 al 31 Dicembre 1988

Volume stampato con il contributo
del Consiglio Nazionale delle Ricerche

Trieste 1990

Dott. Alessandro Miarelli
per A.I.O.L.
Viale Italia 255- Livorno
Tel. (0586) 811269

A.I.O.L.

CONSIGLIO DI PRESIDENZA

per gli anni 1987 — 1988

Presidente	DAVIDE BREGANT
Consiglieri	PAOLO COLANTONI RICCARDO DE BERNARDI MAURO FABIANO SERENA FONDA UMANI EMILIO SANSONE MARIO TOMASINO
Segretario	GIOVANNI PAOLO FANZUTTI

PRESENTAZIONE

Questo volume raccoglie i contributi scientifici presentati all'8° Congresso Nazionale dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (A.I.O.L.) ed i documenti delle attività associative relativi al biennio 1987-1988.

Ad un ampliamento della sensibilità per i problemi del mare e delle acque interne di una cerchia sempre più vasta di pubblico ed utenti, non corrisponde una strategia di indirizzi per il potenziamento delle varie Istituzioni di ricerca, affinchè esse possano dare ai diversi quesiti risposte adeguate sia in termini di conoscenze che di possibili soluzioni. Gli Istituti purtroppo continuano a denunciare carenze strutturali e finanziarie e gli attesi Piani speciali continuano a non essere attivati.

Ciò nonostante l'attività di ricerca tenta di proseguire, superando gli ostacoli e le difficoltà che ormai giornalmente si vengono a presentare. Una parte dei risultati di questo lavoro sono riferiti qui, a dimostrazione della volontà di continuare.

Anche l'Associazione risente di questo stato di disagio: non tutte le iniziative ed i propositi riescono a realizzarsi, pur tuttavia presentiamo con piacere questo volume a testimonianza delle ricerche che i soci svolgono per l'accrescimento delle conoscenze nel campo oceanografico e limnologico.

Per i giovani il Congresso A.I.O.L. spesso è l'occasione della prima comunicazione. Non ce ne vogliano i colleghi più rigorosi per qualche "chiusura d'occhio" su piccole incertezze o ingenuità che talora traspaiono da questa produzione. I tutori scientifici avranno tutto il tempo per porre necessario rimedio a naturali difetti di crescita. Ciò che più importa, invece, è che alla luce delle attuali condizioni di lavoro e delle lusinghe offerte da discipline più fortunate (o di moda), non si disperdano o si scoraggino eccessivamente forzi nuove ed in formazione, promesse per la futura attività.

A tutti i ricercatori che con la propria competenza ed il proprio entusiasmo hanno contribuito a rendere corposo questo volume va il nostro ringraziamento, in particolare a quelli che subito ci hanno affidato il loro lavoro impeccabile per contenuti e per veste grafica. Essi hanno snellito la nostra fatica nei momenti iniziali, quando essa risultava più gravosa.

Un ringraziamento infine alla dott.ssa Ester Colizza per la sua preziosa collaborazione ed aiuto nella redazione di questo volume.

Davide Bregant Giovanni Paolo Fanzutti

ATTI

DELL'VIII CONGRESSO NAZIONALE

della

ASSOCIAZIONE ITALIANA DI OCEANOLOGIA E LIMNOLOGIA

(A.I.O.L.)

Pallanza 1 - 3 Giugno 1988

ELENCO DEI PARTECIPANTI - VIII CONGRESSO A.I.O.L.

ALBEROTANZA Luigi	Ist. Dinam. Grandi Masse C.N.R. - Venezia
ALBERTELLI Giancarlo	Ist. Scienze Ambientali - Università di Genova
AMBROSETTI Walter	Ist. It. Idrobiol. C.N.R. - Verbania Pallanza
AMORE Concetto	Dip. Scienze della Terra - Università di Catania
ARTEGIANI Antonio	Ist. Ricerca Pesca Marittima C.N.R. - Ancona
AZZOLINI Roberto	Ist. Ricerca Pesca Marittima C.N.R. - Ancona
BAFFI Franca	Ist. Chimica Generale ed Inorganica – Università di Genova
BARBANTI Luigi	Ist. It. Idrobiol. C.N.R. - Verbania Pallanza
BARBATO Gaetano	Facoltà di Medicina - Brescia
BARONE Rossella	Dip.Scienze botaniche - Università di Palermo
BAUDO Renato	Ist. It. Idrobiol. C.N.R. - Verbania Pallanza
BELLOTTI Piero	Dip. Scienze della Terra - Università "La Sapienza" - Roma
BERTONI Roberto	Ist. It. Idrobiol. C.N.R. - Verbania Pallanza
BIANCHI Franco	Ist. Biologia del Mare C.N.R. - Venezia
BOLDRIN Alfredo	Ist. Biologia del Mare C.N.R. - Venezia
BONACINA Carla	Ist. It. Idrobiol. C.N.R. - Verbania Pallanza
BONOMI Giuliano	Ist. It. Idrobiol. C.N.R. - Verbania Pallanza
BORSETTI Anna Maria	Ist. Geologia Marina C.N.R. - Bologna
BRAMBATI Antonio	Ist. Geol. e Paleont. - Università di Trieste
BREGANT Davide	Istituto Talassografico C.N.R. - Trieste
BRUNI Vivia	Dip.Biologia animale ed Ecologia marina - Università di Messina
BUFFONI Giuseppe	E.N.E.A.. - C.R.E.A. - Santa Teresa - La Spezia
CALAFIORE Nazzareno	Dip.Biologia animale ed Ecologia marina - Università di Messina
CALDERONI Alcide	Ist. It. Idrobiol. C.N.R. - Verbania Pallanza
CALLIERI Cristina	Ist. It. Idrobiol. C.N.R. - Verbania Pallanza
CALVO Sebastiano	Dip.Scienze botaniche - Università di Palermo

CAMBIAGHI M.	C.I.S.E. - Milano
CAPELLI Renzo	Ist. Chimica Generale ed Inorganica- Università di Genova
CAPOTONDI Lucilla	Ist. Geologia Marina C.N.R. - Bologna
CAROLLO Alfredo	Ist. It. Idrobiol. C.N.R. - Verbania Pallanza
CATALANO Giulio	Istituto Talassografico C.N.R. - Trieste
CATTANEO Antonia	Departement of Biology – Mc Gill University - Montreal (Canada)
CICERI Giovanni	C.I.S.E. - Milano
COLANTONI Paolo	Istituto di Geologia - Università di Urbino
COLIZZA Ester	Ist. Geol. e Paleont. - Università di Trieste
COLOMBO Bruno	Carlo Erba Strumentazione - Rodano (Milano)
CONIGLIO Lidia	Ist. It. Idrobiol. C.N.R, - Verbania Pallanza
CORRADI Nicola	Istituto di Geologia - Università di Genova
CORTEMIGLIA G. Camillo	Istituto di Geologia - Università di Genova
CORTESE Giuseppa	Dip. Biologia animale ed ecologia marina - Università di Messina
COSMA MAGRO Bianca	Ist. Chimica generale ed inorganica Università di Genova
COSSU Andrea	Istituto di Botanica - Università di Sassari
COSTA Rossana	Ist. Geol. e Paleont, - Università di Trieste
COSTANZO Giuseppe	Dip. Biologia animale ed Ecologia marina - Università di Messina
CRISAFI Ermanno	Ist. Sperimentale Talassografico - Messina
DE DOMENICO Emilio	Dip. Biologia animale ed Ecologia marina - Università di Messina
DE DOMENICO Maria	Dip. Biologia animale ed Ecologia marina - Università di Messina
DELLA CROCE Norberto	Ist. Scienze Ambientali - Università di Genova
DEL PIERO Donatella	Dip. Biologia - Università di Trieste
DE STROBEL Federico	SANCLANT CENTER - Lerici
DI COLA Giulio	Dip. di Matematica - Università di Parma

DI GERONIMO Italo	Istituto di Geologia - Università di Catania
D'ONOFRIO Sara	Ist. Geologia marina C.N.R. - Bologna
FABIANO Mauro	Ist. Scienze Ambientali - Università di Genova
FANUCCI Franco	Istituto di Geologia - Università di Genova
FANZUTTI G. Paolo	Ist. Geol. e Paleont. - Università di Trieste
FARANDA Francesco	Dip. Biologia animale ed Ecologia marina - Università di Messina
FIRPO Marco	Istituto di Geologia - Università di Genova
FERRARA Romano	Ist. Biofisica C.N.R. - Pisa
FERRARI Ireneo	Ist. Ecologia - Università di Parma
FINOCCHIARO Furio	Ist. Geol. e Paleont. - Università di Trieste
FONDA UMANI Serena	Dip. Biologia - Università di Trieste
FRACHE Roberto	Ist. Chimica Generale ed Inorganica - Università di Genova
FRASCARI Franca	Ist. Geologia marina C.N.R. - Bologna
FRIGNANI Mauro	Ist. Geologia marina C.N.R. - Bologna
GALANTI Gaetano	Ist. It. Idrobiol. C.N.R. - Verbania Pallanza
GAMBI Maria Cristina	Lab. Benthos Stazione Zoologica - Ischia (Na)
GATTI Maria Clara	CCR - EURATOM - Ispra (Varese)
GENCHI Gioacchino	Ass. Reg. Territorio Ambiente - Palermo
GENOVESE Lucrezia	Ist. Sperimentale Talassografico - Messina
GHIRARDELLI Elvezio	Dip. Biologia - Università di Trieste
GIACOBBE Salvatore	Dip. Biologia animale ed Ecologia marina - Università di Messina
GIORDANI Paola	Ist. Geologia marina C.N.R. - Bologna
GIUFFRIDA Eugenio	Dip. Scienze della Terra - Università di Catania
GIUSSANI Gianluigi	Ist. It. Idrobiol. C.N.R. - Verbania Pallanza
GRASSO Sofia	Dip. Biologia animale ed Ecologia marina - Università di Messina
GUGLIELMO Letterio	Dip. Biologia animale ed Ecologia marina - Università di Messina
GUILIZZONI Piero	Ist. It. Idrobiol. C.N.R. - Verbania Pallanza

GUZZI Angelo	E.N.E.L. - C.R.T.N. - Milano
HULL Vincent	Lab. Centrale di Idrobiologia - Roma
LA FERLA Rosabruna	Ist. Sperimentale Talassografico - Messina
LEONARDI Marcella	Dip. Biologia animale ed Ecologi a marina - Università di Messina
LOPARO Giuseppe	Dip. Biologia animale ed Ecologia marina - Università di Messina
LUGLIE' Antonella	Ist. Botanica - Università di Cagliari
LUSETTI Carlo	Ist. Idrografico della Marina - Genova
MAGAZZU' Giuseppe	Dip. Biologia animale ed Ecologia marina - Università di Messina
MANCA Marina	Ist. It. Idrobiol. C.N.R. - Verbania Pallanza
MANCUSO Amilcare	Via Rigola, 27/32 - Genova
MARENGO Giuseppe	CCR - ISPRA Divisione Fisica - Ispra
MARGARITORA Fiorenza	Ist. Zoologia - Univ. "La Sapienza" - Roma
MARINO Donato	Stazione Zoologica - Napoli
MAZZELLA Lucia	Lab. Benthos Stazione Zoologica - Ischia (Na)
MELCHIORRI SANTOLINI Ulderico I	Ist. It. Idrobiol. C.N.R. - Verbania Pallanza
MELIS Romana	Ist. Geol. e Paleont. - Università di Trieste
MONTICELLI Luis S.	Dip. Biologia animale ed Ecologi a marina - Università di Messina
MOSELLO Rosario	Ist. It. Idrobiol. C.N.R. - Verbania Pallanza
MORETTI Mauro	Ist. Universitario Navale - Napoli
MULAS Piero	Ist. Chimica generale - Università di Cagliari
MUNTAU Herbert	Divisione di Chimica, CCR EURATOM - Ispra
NAPOLITANO Claudio	Ist. Geol. e Paleont. - Università di Trieste
NICCOLAI Ilaria	ENEA - C.R.E.A. - Santa Teresa - La Spezia
NOCENTINI Annamaria	Ist. It. Idrobiol. C.N.R. - Verbania Pallanza
ORESTANO Carla	Dip. Scienze botaniche - Università di Palermo
ORRU' Paolo	Dip. Scienze della Terra - Università di Cagliari
PAGNOTTA Romano	Ist. Ricerca sulle Acque C.N.R. - Roma
PANE Luigi	Ist. Scienze Ambientali - Università di

	Genova
PERDICARO Renato	Lab. Centrale di Idrobiologia - Roma
PERONI Corrado	ENEA - C.R.E.A. - Santa Teresa - La Spezia
PETTINE Maurizio	Ist. Ricerca sulle Acque C.N.R. - Roma
PICCAZZO Mauro	Istituto di Geologia - Università di Genova
PUGLIESE Nevio	Ist. Geol. e Paleont. - Università di Trieste
PULICANO' Giuseppa	Dip. Biologia animale ed Ecologia marina - Università di Messina
RABITTI Sandro	Ist. Biologia del Mare C.N.R. - Venezia
RANELLA Agostino	Istituto di Geologia - Università di Genova
RAVERA Oscar	CCR - EURATOM - Ispra (Varese)
RUGGIU Delio	Ist. It. Idrobiol. C.N.R. - Verbania Pallanza
SANSONE Vincenzo	Regione Siciliana - Palermo
SMEDILE Giulio	ENEL - C.R.T.N. - Milano
SCINTU Marco	Facoltà di Medicina eChirurgia - Università di Cagliari
SCONFIETTI Renato	Dip. Genetica e Microbiologia - Università di Pavia
SCOTTO di SANTILLO Salvatore	Ufficio Armamento Navi C.N.R. - Roma
SECHI Nicola	Ist. di Botanica - Università di Sassari
SOCAL Giorgio	Ist. Biologia del Mare C.N.R. - Venezia
STELLA Emilia	Ist. Zoologia - Univ. "La Sapienza" - Roma
TARTARI Gianni	I.R.S.A. - C.N.R. - Milano
TOMASINO Mario	E.N.E.L. - D.S.R. - Mestre (Ve)
TREVISAN Renata	Dip. di Biologia - Università di Padova
ULZEGA Antonio	Dip. Scienze della Terra - Università di Cagliari
VIARENGO Aldo	Ist. Fisiologia Generale - Università di Genova
ZACCONE Renata	Ist. Sperimentale Talassografico - Messina
ZAVATTARELLI Marco	Ist. Scienze Ambientali Marine - Università di Genova
ZUNINI SERTORIO Tecla	Dip. Scienze Ambientali - Università di Genova

INDICE

INDICE

Consiglio di Presidenza……..pag I
Presentazione…….. “ III
Atti dell'VIII Congresso Nazionale AIOL…….. “ V
Elenco dei partecipanti all'VIII Congresso AIOL……... “ VII

Relazioni ad invito

R.H. Peters- Body size and Limnology……..“ 3
T.S. Hopkins - Proceedings of the 8th Congress of the Italian Association of Oceanology and Limnology…… “ 29

Comunicazioni

G. Albertelli, N. Drago - Indagini preliminari sulla fauna batiale…….” 53
G. Albertelli, M. Fabiano - Caratteristiche trofiche di una stazione costiera in Mar Ligure……“ 59
W. Ambrosetti, L. Barbanti - Valutazione dei principali meccanismi influenzanti la idrodinamica del Lago Maggiore……...“ 67
A. Artegiani, R. Azzolini, A. Boldrin, D. Bregant, M. Morbidoni, E. Paschini, S. Rabitti - Idrologia del bacino Ionico. Crociera Poem V. Agosto - Settembre 1987…… “ 83
A. Asioli, A.M. Borsetti, L. Capotondi, P. Colantoni, S. D'Onofrio – I Foraminiferi planctonici quali indicatori paleo-oceanografici: ipotesi di variazioni di circolazione nel Mare Adriatico dall'ultima glaciazione ad oggi…… “ 95

L. Barbanti, W. Ambrosetti - Indagini correntemetriche sul Lago D'Orta……pag 115
R. Baudo, F. Bo, A. Lattanzio, P. Hannaert, G. Marengo, H. Muntau – Elementi maggiori ed. in traccia nei sedimenti del Lago di Varese…… " 131
R. Baudo, G. Marengo, A. Lattanzio, G. Serrini, F. Bo, H. Muntau – Distribuzione dei macro nutrienti C, N, P, S nei sedimenti del Lago di Varese……" 143
P. Belletti - Osservazioni morfologiche e sedimentologiche sul delta del fiume Rienza nel Lago di Dobbiaco (Sud Tirolo)……" 155
R. Bertoni, C. Callieri, M. Cortesini, R. Torelli, O. Zola - Evoluzione del Carbonio organico nel Lago Maggiore……." 171
A.M. Borsetti, L. Capotondi - La piattaforma tirrenica nell'area di Capo Circeo. Un esempio di evoluzione olocenica particolarmente rapida evidenziata dalle microfaune……." 185
A. Brambati, G.P. Fanzutti, F. Finocchiaro -Effetti della risospensione indotta da vento sulle concentrazioni e dimensioni del particellato nel bacino di Lignano (Laguna di Marano - Adriatico Settentrionale)……" 191
D. Bregant, A. Boldrin, A. Camerlenghi, G. Catalano, C. Corselli, E. De Domenico, F. Giacobbe, S. Rabitti - Bacino Bannock – Condizioni anossiche nel Mediterraneo……" 213
G. Buffoni, C.N. Bianchi, R. Delfanti, G. Di Cola, C. Morri, I. Niccolai, C. Peroni - Modello di reti trofiche in biocenosi bentiche. Applicazione a biocenosi del Golfo di Gaeta……" 227

S. Casellato, R. Trevisan - Prima valutazione della trofia delle acque del Lago di Ledro……pag. 253
A. Cattaneo - Il Perifiton del Lago d'Orta……. " 275
R. Cecchi, F. Costa, G. Ghermandi, S. Vazzoler, R. Zonta – Caratterizzazione di un estuario in acque basse in Laguna di Venezia. Analisi granulometrica e di contenuto in metalli pesanti dei sedimenti superficiali……" 283
G. Ciceri, G. Queirazza - Flussi di elementi chimici all'interfaccia acqua di mare-sedimenti : verifica in campo mediante utilizzo di camere bentiche……." 293
L. Coniglio, R. Baudo, M. Manca - "Life-tables di Daphnia Obtusa Kurz trattata con cromo esavalente……" 307
N. Corradi, G.C. Cortemiglia - Sistemazione sulla spiaggia sommersa di Lavagna (Liguria orientale) di uno strumento per la rilevazione automatica del moto ondoso al prefrangimento……." 317
A. Cossu, N. Sechi - Indagini sullo stato trofico degli invasi della Sardegna: la produttività primaria fitoplanctonica e i nutrienti algali nel Lago Liscia nel 1987……." 329
M. De Domenico, G. Cortese, G. Pulicano', E. De Domenico - Variazione spazio-temporale di nutrienti, Clorofilla e carica microbica nelle acque dello Stretto di Messina……." 337
F. Fanucci, M. Firpo, M. Piccazzo, A. Ramella - Natura e genesi dei canyon sottomarini del Mediterraneo Occidentale: casi del Mar Ligure……" 357

R. Ferrara, B.E. Maserti, C. Zanaboni - Livelli di Mercurio nel materiale particellato in sospensione nelle acque del Mediterraneo……pag 369
I. Ferrari, G. Colombo, E. Stella - Analisi di comunità zooplanctoniche in stagni destinati a pescicoltura in provincia di Modena…….” 375
S. Fonda Umani, M. Cocchietto - Tasso di filtrazione e d'ingestione di Acartia clausi nel Golfo di Trieste…….” 383
F. Frascari, R. Poletti, G. Rosso - Misure di flussi bentonici di sostanze nutrienti nella sacca di Goro…….” 397
M. Frignani, L. Langone, M. Ravaioli - Accumulation rates derived from radionuclide activity - depth profiles . A case study…….” 411
M.C. Gambi - Approccio teorico - sperimentale allo studio delle interazioni tra idrodinamismo e Benthos : un esempio in prati di Zoostera Marina L…….” 423
M.C. Gatti, A. Muenzinger, O. Ravera M - II ciclo vitale di tre specie di Cladoceri : Daphnia magna Straus, Simocephalus vetulus (O.F. Müller) Pleuroxus truncatus (O.F.Müller)……..” 435
P. Giordani,.M. Frignani - A sediment trap experiment in NW Adriatic coastal waters…….” 445
P. Guilizzoni, A. Lami, G. Giussani, T. Ruffoni -Problemi e prospettive dell'utilizzo di carotenoidi per lo studio dell'evoluzione stagionarie del fitoplancton……” 457
V. Hull, M. Lagonegro, M. Falcucci - AOUAMDD3 : un modello numerico di simulazione ecologico

Integrato……pag 471
A. Luglié, N. Sechi - Indagini sullo stato trofico dei laghi artificiali della Sardegna : la situazione del Lago di Gusana……." 487
M. Manca, R. De Bernardi, M. Bonetti - Struttura demografica e distribuzione verticale di Daphnia hyalina (Crustacea, Cladocera)……" 495
M. Manca, G. Giussani, R. De Bernardi - Dinamica di popolazione e distribuzione verticale di Cladoceri planctonici del Lago Maggiore in relazione a parametri ambientali……" 511
R. Mosello, A. Calderoni - Previsioni sull'evoluzione idrochimica del Lago d'Orta……" 520
C. Peroni, I. Niccolai, G. Rossi, D. Bacciolla -Distribuzione dell'attività microbica nei sedimenti superficiali del porto di La Spezia……..." 533
M. Pettine, R. Pagnotta, C.M. Blundo, T. La Noce, A. Puddu - Influenza di carichi in terni sul bilancio dei nutrienti in zone di foce……" 545
L. Pilan, S. Pugnaghi, R. Santangelo, S. Vincenzi, R. Zonta – Bilancio termico relativo ad una zona d'acqua bassa nella Laguna di Venezia……" 563
R. Sconfietti, R. Soffiantini - Variazione di alcuni parametri idrologici in relazione a cicli mareali in un estuario lagunare veneto e loro implicazioni ecologiche……" 573
C. Stocchino, C. Lusetti - Le costanti armoni che di marea di Baia Terra Nova (Mare di Ross - Antartide)……." 585

Tavola Rotonda

M. Giorgi - II problema odierno della conoscenza del mondo naturale……...pag. 595
A. Grieco - La Natura Meravigliosa…….” 605
R.H. Peters - Creatività in ecologia……..” 607

Atti dell'AIOL dal 1° Gennaio 1987 al 31 Dicembre 1988……” 615
Bilancio Finanziario AIOL anni 1987 – 1988……” 637
Indice per autori……..” 639

RELAZIONI AD INVITO

ATTI DELL'8°CONGRESSO A.I.O.L.
PALLANZA 1-3 GIUGNO 1988 da pag. 3 a pag 27

Proceedings of the 8th Congress of the
ITALIAN ASSOCIATION OF OCEANOLOGY AND LIMNOLOGY
31 May to 3 june 1988
Pallanza, Italy

THE EFFECT OF THERMOHALINE VARIABILITY ON THE EXCHANGE THROUGH MEDITERRANEAN STRAITS

Tom Sawyer Hopkins
SACLANT Undersea Research Center
La Spezia, Italy

Abstract

A simple method is presented for estimating the thermohaline driven exchanges through straits. The primary assumption is that the exchange is determined by the pressure force created by the differing weights of the water columns on either side of the sill and by the continuity of mass required by the internal basin. This renders the exchanges insensitive to the particular bathymetry or dynamical complications within the strait and computable from density profiles on either side of the strait. The method is applicable at time scales greater than days, and thus facilitates the resolution of seasonal variability in thermohaline circulations and the monitoring of interannual trends. Application to the Strait of Gibraltar gave summer and winter outflows of 1.7 and 2.3 Sv, respectively. The seasonal balance of exchanges for the Tyrrhenian Sea was computed to provide an example of the interdependence of exchanges in basins with multiple openings. The flow through the Strait of Sicily is driven by the steric-height differences between the Ionian and both the Tyrrhenian and Balaeric Seas. Eastward upper layer flow vas calculated to be 0.6 and 2.0 Sv for summer and winter, respectively. A cursory example is also given of the consequences of atmospheric warming on the Mediterranean circulation. It is shown that the vigor of the thermohaline circulation would decline in proportion to a decline in deep water production.

Introduction

Although the mean circulation in the Mediterranean Sea still has many unsolved questions, modern researchers are beginning to focus on finer space and time scales than those related to basin-wide or annual-mean phenomena. Such a focus is overdue with the impending need for more research on problems concerning pollution and coastal zone management. These problems require an understanding of the smaller-scaled coastal boundary processes, in addition to an understanding of the larger basin-wide circulations that provide much of the coastal forcing. Also, comment is needed on other than annual time scales: both on the shorter time scales related with these coastal processes as well as the longer interannual time scales needed to evaluate long-term trends.

Semi-enclosed seas by definition nave a restriction in the bathymetric passage connecting them to a larger parent water body. In the extreme case, that of a land-locked sea or lake, it is obvious that the circulation of the smaller water body is independent of the circulation of the larger. In the opposite extreme, for example Continental shelves, it is generally true that the shelf circulations become more and more dependent on the adjacent ocean circulation with less and less bathymetric restriction between the two regimes.

However concerning thermohaline circulations, the degree of independence of the circulation within a basin from that without is not a simple matter of the degree of bathymetric restriction. The further factor is the degree of atmospheric exchange, which in concert with the bathymetric restriction, modifies the local waters more rapidly than they can be exchanged with the external waters.

The Mediterranean Sea is a classic example in this regard, since not only is the bathymetric restriction great, but also the internal water modification is large. Therefore Mediterranean Waters are modified much faster than they can be flushed with Atlantic Waters. As a consequence, a persistent two-way exchange is sustained at Gibraltar. It was early recognised that knowledge of the exchange through Gibraltar would lead to an understanding of the internal thermohaline circulation and its forcing. In fact, much of the research effort from the inception of Mediterranean oceanography until the present has been focused on this problem. Until recently, little of this effort has gone towards describing the seasonality of the exchange through Mediterranean straits, excepting for example, the works of Ovchinnikov (1974); Bormans, Garrett, and Thompson (1986); Manzella, Gasperini, and Astraldi (1988). One reason for this is that the three predominating methods used to determine the exchange through straits do not lend themselves well to describing seasonal variations.

The most common method follows that of Knudsen (1900) in which relies on the conservation of mass for a two-way flow through a restricted cross-section in the form of continuity of volume,

$$F_i = F_0 + D \qquad 1)$$

and of salt

$$\rho_i S_i = \rho_0 S_0 \qquad 2)$$

where F is the volume transport, ρ the density, S the salinity and D the dilution (evaporation minus precipitation) , and the subscripts of i and o refer to in and out. These equations have been applied to the Mediterranean by a number of researchers (cf. Hopkins, 1978 or Bethoux, 1980) in order to solve for F_i and F_0 by approximating the values of , ρ_i , ρ_0, S_i, S_0 , and D. The most serious limitation is the assumption of a time-invariant salt content (eqn 2) within the basin which restricts the application of the method to annual or greater time scales for which the variation in salt content is much less than the in estimating a representative annual mean salinity values or in estimating a value for D (cf-. Bethoux, 1980; Cruzado, 1980).

A more direct method involves measurement of the flow within a strait. However, the hazards of observing over long periods of time or near the surface and the uncertainties of integrating the observations at a few points over a cross-section are serious limitations. Consequently, direct observations are often used to confirm or improve the estimates based on the above Knudsen relations. For example, Lacombe and Richez (1982) estimated an outflov of 0.9 Sv in September 1960 and 1.2 Sv in May-June 1961 on the basis of the flow recorded in the lower layer.

The condition of hydraulic control has been used recently to obtain another independent physical relationship for the two-layered exchange through a strait (cf. Bryden and Stommel, 1984; Armi and Farmer, 1985; Farmer and Armi, 1986; Bormans, Garrett, and Thompson, 1986). Hydraulic control occurs when the flow is between being subcritical and supercritical; and exactly at this point of hydraulic control, the composite Froude number is equal to unity:

$$\frac{u_1^2}{g' \cdot h_1} + \frac{u_2^2}{g' \cdot h_2} = 1 \qquad 3)$$

where u_1, u_2, h_1 and h_2 are the upper and lower layer depth-mean flows and thicknesses, respectively; and $g'=g(\rho_1 - \rho_i)/\rho$. This may be considered as the point when the ratios of .the potential and kinetic energies are such that the interface is not distorted

in passing a bathymetric constriction. At some point along Gibraltar Strait this occurs because the lower layer flow is subcritical on the Mediterranean side and supercritical on the Atlantic side. While providing another useful relationship, imposing this condition introduces another unknown: the depth of the interface in the strait.

Bryden and Stommel (1984) used the condition of hydraulic control together with the Knudsen relations to determine the minimum salinity difference possible for a given evaporative flux. Their solution was a limit for the special case in which the surface and intermediate Mediterranean waters are completely mixed (over an annual cycle), and in which the density is proportional to the salinity. Their problem corresponds to the 'barrier' problem stated below in which a maximum exchange occurs when the Mediterranean waters are mixed vertically.

Bormans et al. (1986) also used the condition of hydraulic control in conjunction with sea level and density observations to estimate the seasonal variation in the interface depth over the sill. They used the submaximal-exchange solution of Farmer and Armi (1986) to generate an approximately linear relation between the ratio of the inflow to the interfacial density difference and the interface depth, They were then able obtain absolute values for the annual cycle of the interface height by assuming that in March the exchange is maximal at the same time that the sea level difference (geostrophically proportional to the inflow) is a maximum.

In this work we present a simple, complementary method that has useful application to resolving thermohaline exchanges on time scales greater than days. The seasonal exchanges of Gibraltar and the more complicated situation of the Tyrrhenian are given. Finally, the method is used to discuss possible implications of atmospheric warming on the Mediterranean circulation.

Exchange Using the Method of Steric Height Difference

Since our objective is to look at the non-frictional exchange through a strait at subinertial frequencies, we can make use the clever approximation of Garrett and Toulany (1982) that gives the flow through a strait as proportional to the pressure gradient along the strait. This is derived from the continuity equation and the assumption that the cross strait pressure gradient can not exceed that through the strait.
The geostrophic relationship is given by:

$$v = \frac{\Delta P}{\rho f L} \qquad 4)$$

where v is the flow across the strait, f the Coriolis parameter,

ρ is the density, L the length of the strait, and ΔP the pressure difference through the strait. With the subinertial assumption, we can approximate the continuity equation as

$$v = \frac{-W \cdot u}{L} \qquad 5)$$

where W is the width of the strait, and U strait. Combining 4) and 5) we obtain

$$u = \frac{-\Delta P}{\rho \cdot f \cdot W} \qquad 6)$$

This equation says that the flow through the strait is $\Delta P/W$ proportional to the pressure gradient force between the two basins and inversely proportional to the width of the strait. We note that the transport, which is an intergration over the depth and width, is not specifically proportional to the width and therefore is less sensitive- to the specific bathymetry of the strait. Garrett (1983) used equation 6) for computing the flow response to pressure gradients caused by sea level differences. We now make an application to include also the differential pressure effect caused by different densities in and out of the basin.

The pressure at depth z relative to the surface (z = 0) can be expressed the weight of a reference water column plus or minus any deviations, i.e. either due to variations in sea level (barotropic) or due to variations in the density of the overlying water column (baroclinic). By way of explanation we express the pressure as the sum

$$P(z) = P_{bt} + P_d + P_{bc} \qquad 7)$$

where the subscript bt refers to barotroptic, d to dilution, and bc to baroclinic. With the definition of a reference pressure, $P = \rho_r g z$ equation 7) can be written as

$$P(z) = P_r + g \cdot \rho_0 [\zeta_{bt} + \zeta_d - \zeta_s] \qquad 8)$$

where g is the gravitational constant, ρ_0 a surface density, ζ_{bt} the sea level except for that part effected by water removed, or added, from the basin interior, ζ_d ζ_s is the steric height parameter and is defined as

$$\zeta_s(z) = \frac{[\rho_r - \overline{\rho(z)}]}{\rho_0} \cdot z \qquad 9)$$

where p' is the vertically averaged density. As we have written

8), the variable ζ_{bt} would include the effect of all other forces distorting the sea level, for example those due to tides, winds, or atmospheric pressure variations, etc. We have not included them explicitly because over longer time periods (>10 days) they tend to average out leaving only the sea-level distortions occurring as a result of adjustments to the thermohaline circulation. Equation 6) now can be written in corresponding components:

$$u= u_{bt}+u_{bc}+u_d$$

or

$$u= \frac{g}{fW} [\zeta_0-\zeta_i]_{bt}+\frac{g}{fW} [\zeta_i-\zeta_0]_s+ u_d \qquad 10)$$

To express a transport balance through the strait, we must integrate over the depth and width of the strait cross section to obtain

$$F_{bt}= W\cdot H\cdot u_{bt'}$$
$$F_{bc}= W \cdot \int^{z} u_{bc}\cdot d_z \qquad 11)$$
$$F_d= D \cdot A$$

where A is the surface area of the basin and H is the depth of the sill. The flows and transports are indicated in the schematic (Fig. 1): with u_{bc} increasing with depth in the direction out of the basin, ana u_{bt} and u_d, remain constant with depth. In Fig. la the flows are illustrated as they would occur independently and in Fig. 1b as they such that there is a zero net conservation of water volume, from would appear superimposed transport as required by the conservation of water volume.
The in and out transports are found from

$$F_i = W \cdot [u_{bt}+ u_d]\cdot h - F_{bc}\,(h)$$

and

$$F_0=F_i+F_d \qquad 12)$$

Where

$$u_{bt}=\frac{Fbc(H)}{W \cdot H}$$

and h is the depth of zero flow.

Dynamical Implications

Let us first consider a simple example: the circulation of the Mediterranean occurring as a result of a barrier placed at Gibraltar for a year's time and then removed. While the

TRANSPORTS AND VELOCITY PROFILES

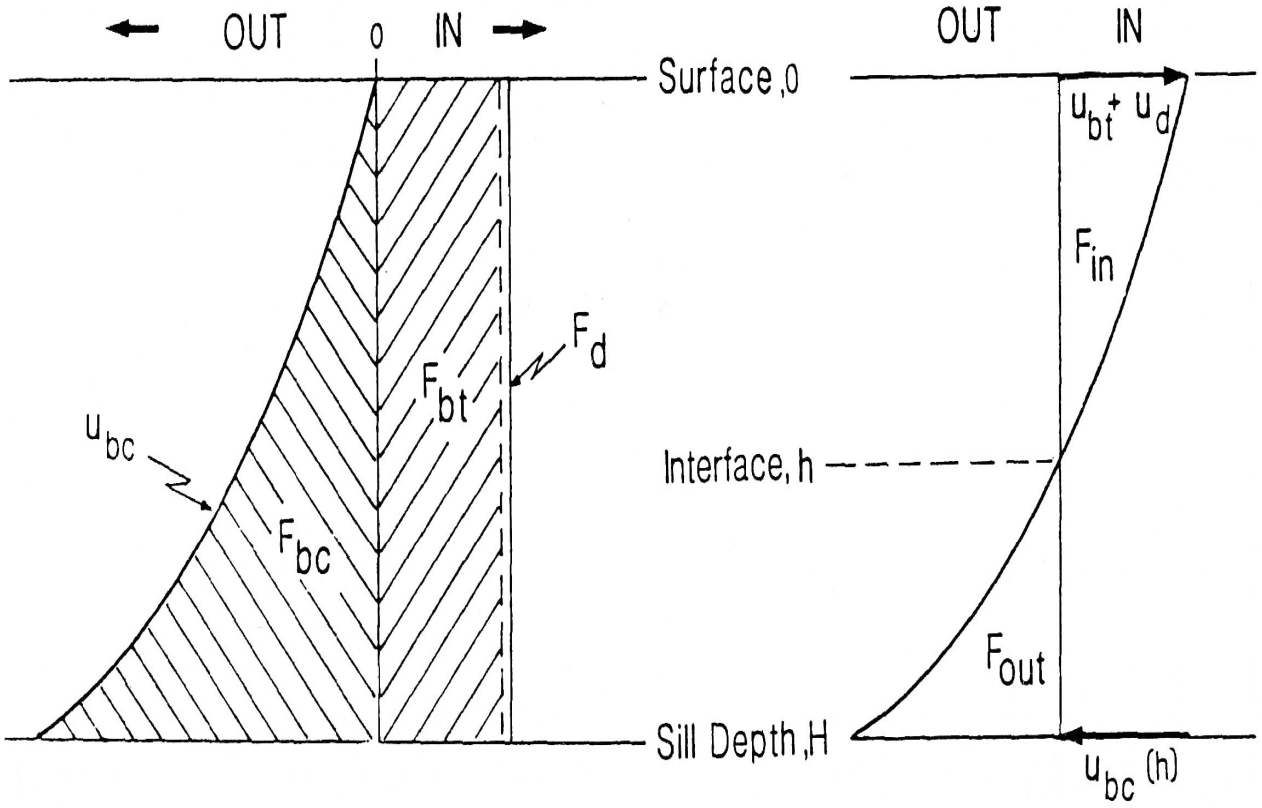


Fig. 1 Schematic of transports and velocity profile adjustment in Steric Height Method

barrier is in place, the Mediterranean waters under the influence of the dilution deficit decrease in volume and increase in salinity. Both of these effects reduce the sea level relative to that of the Atlantic Ocean: the former because water is removed and the later because of the corresponding decrease in specific volume (increase in density).

Upon removal of the barrier, a barotropic pressure gradient force exists which is directed inward. The immediate reaction to this force would be a barotropic flow of Atlantic water rushing inward to compensate for the sea-level difference (corresponding to the 'strong' barotropic forcing of Farmer and Armi, 1986). We note that the barotropic signal or wave travels very fast, taking for example about 6 hours to travel the length of the Mediterranean. Also, the length of time to eliminate the sea-level difference would be relatively short compared to the time needed to create it, in this case for example, it would require about 6 days with a flux of 4.4 Sv (100 cm/sec) to compensate for a I-m sea level difference.

As the barotropic force diminished, a baroclinic pressure gradient force would begin to dominate as a result of the heavier water columns inside than outside of the strait. This force would be directed out and, as a consequence, the Mediterranean water would begin to flow out over the sill. Obviously, this outflow would again create a sea level drop and a compensating barotropic inward flow would result. We might add here that any mixing of the two waters that occurs across the shear interface makes the System less efficient in the sense that some Atlantic water would be now included in the lower layer export which would remain the same as long as no Atlantic water would mixed below the sill depth.

This situation would continue until sufficient Mediterranean water had drained off and been replaced by Atlantic water such that the pressure gradient was nullified at the depth of the sill. We note that, in contrast to the barotropic signal the baroclinic signal travels much slower, about a hundreth as fast, and the time for the annihilation of the initial baroclinic pressure gradient would be a matter of years, instead of days for the barotropic pressure gradient, because of the much greater volume of water needed to be transported and because of the decay of the baroclinic pressure gradient itself with the deepening of the interface. During a normal year the interface deepens at a about 20 m/yr.

Several Examples from the Western Mediterranean

In order to demonstrate the seasonality of steric heights in various basins of the Mediterranean and their effects on the exchanges through the straits connecting them, we have chosen data available from literature. In most cases, they are not well suited to our purposes, being not spatially representative nor concurrent in time. In this regard we urge the reader to

consider the results of this work as illustrative rather than indicative.

Gibraltar Strait. For the seasonal steric heights in the Sea of Cadiz, which is the body of Atlantic water immediately outside the Mediterranean, we have used the composite data of Dietrich (1969). The data from the Alboran Sea during winter are from a station taken in March '71 and in February '74 and during summer from August '58. The station locations are shown in Fig. 2 and further Information is given in Table 1. The seasonal dilution deficit was taken from Fig. 5 of Bormans et al. (1986).

During winter the steric height difference between the Atlantic and the Mediterranean was 51 cm and the shear-interface depth about 156 m. This would not be exactly equivalent to the mean interface depth in the strait since frictional and bathymetrical effects would alter the mean velocity profile and hence the mean depth of zero velocity. The winter baroclinic shear is quite Constant reflecting the mixed nature of the water columns. In Fig.3 the two winter values are shown and demonstrate the much lesser intra-basin than inter-basin spatial variability. The two winter values varied by 3%.

In contrast, the summer steric height difference was less at 37 cm. The baroclinic shear in the upper layer is very small down to ~100m, due to very slight density differences between the Atlantic and Mediterranean surface waters. Below this depth, which roughly defined the surface isopycnal layer, during the proceeding winter, the shear remained seasonally unchanged. The inflow was reduced by ~24 % over that of winter and the shear-interface was lowered to 175 m. The magnitude of the seasonal variation of the interface (~20 m) is similar to that estimated by Bormans et al. (1986) although their mean interface depth was deeper at ~200m.

Because the elevation of the interface, due to winter deep-water production, lasts about two months and the lowering of the interface, due to outflow, transpires during the rest of the year, we expect that the annual cycle of the interface depth (at Gibraltar) is correspondingly asymmetrical (cf. Bormans et al. (1986). An unweighted average of our summer and winter values might therefore return an overestimate of the annual mean transport. An average, weighted 2:1 in favor of summer, gives ~1.9 Sv; whereas the frequently cited value of Bethoux (1980) is 1.7 Sv and range of published values is from 1 to 2 Sv.

Tyrrhenian Straits. We present another more complicated example: the estimation of the exchanges between the Tyrrhenian Sea and the Ligurian Balaeric and Ionian Seas through the Corsican, Sardinian, and Sicilian Channels, respectively. At this level of discussion we ignore both the Straits pf Messina and of Bonifacio on the basis that their cross sectional areas are less than 1% of the Corsica Channel, the smallest of the above.

TABLE 1

Input on results of the various exchanges discussed in the text. Internal and external refer to inside and outside the strait. Positions are indicated either by geographic coordinates or by station number which can be found in the reference indicated by a number in paranthesis and listed at end of the table. Flux transports are in S_v and depths in m. The depth range of certain fluxes are given below the value in parenthesis.

G I B R A L T A R

Season	Internal	External	h	F_{in}	F_{out}	F_{tot}	Comments
Summer	1 Aug 58 (1)	Summer 58 (2) 36°N 7W	175	1.78	1.66	0.121	
Winter	25 Feb 74(1)	Winter 58 (2)	156	2.31	2.27	0.037	
	24 Mar 71(1)	36°N 7W	156	2.38	2.34	0.037	
Summer	1 Aug 58 (1)	Summer 58 (2) 36°N 7W	175	1.66	1.54	0.121	Alboran warmed 1°K to 200 m and G. Cadiz 1°K to
Winter	25 Feb 74(1)	Winter 58 (2) 36°N 7W	155	2.21	2.18	0.037	75 m
Summer	1 Aug 58 (1)	Summer 58 (2) 36°N 7W	235	0.45	0.33	0.121	Alboran pynocline lowered from 75 to 100 m
Winter	24 Mar 71(1)	Winter 58 (2) 36°N 7W	174	1.58	1.54	0.037	
Summer	1 Aug 58 (1)	Summer 58 (2) 36°N 7W	145	1.50	1.38	0.121	Maximal exchange with Alboran waters mixed
Winter	24 Mar 71(1)	Winter 58 (2) 36°N 7W	149	2.23	2.19	0.037	to 300 m

Strait	Internal	External	h	F_{in}	F_{out}	F_{LIW}	F_{tot}
CORSICA	8 Aug 54	4 Aug 54					
Summer	413,423 (3)	403,405 (3)	-	-	0.20	-0.08 (250-400)	0.20
	31 Jan 58	Feb. 50-73					
Winter	30,31,32,35(4)	48-00N (2) 08-00E	-	-	1.30	-0.24	1.30
SARDINIA	5 Aug 54						
Summer	430 (3)	27 Jun 59 (1)	217	0.39	0.57	- .21 (250-500)	- .18
Winter	13 Feb 62 (1)	18 Feb 61 (1)	299	3.19	1.92	- .17 (250-500)	1.27
SICILY							
Summer	15 Aug 54 445,446(3)	19 Jul 55 (1)	16	0.00	0.38	0.29	.38
Winter	14 Feb 74 1,2 (5)	17 Feb 74 13 (5)	149	0.41	0.44	0.41 (200-400)	.03
TUNISIA							
Summer	19 Jul 55 (1)	27 Jun 59 (1)	236	0.62	0.15	0.15 (236-400)	0.47
Winter	17 Feb 74 13 (5)	18 Feb 61 (1)	169	1.58	1.52	1.52 (169-400)	0.06

1) Pedenovi, Akal and Carrara (1988)
2) Dietrich (1969)
3) Le Floch and V. Romanovsky (1966)
4) Trotti (1967)
5) Ozturgut (1976)
6) Nyffeler, Raillard, Prieur (1980)

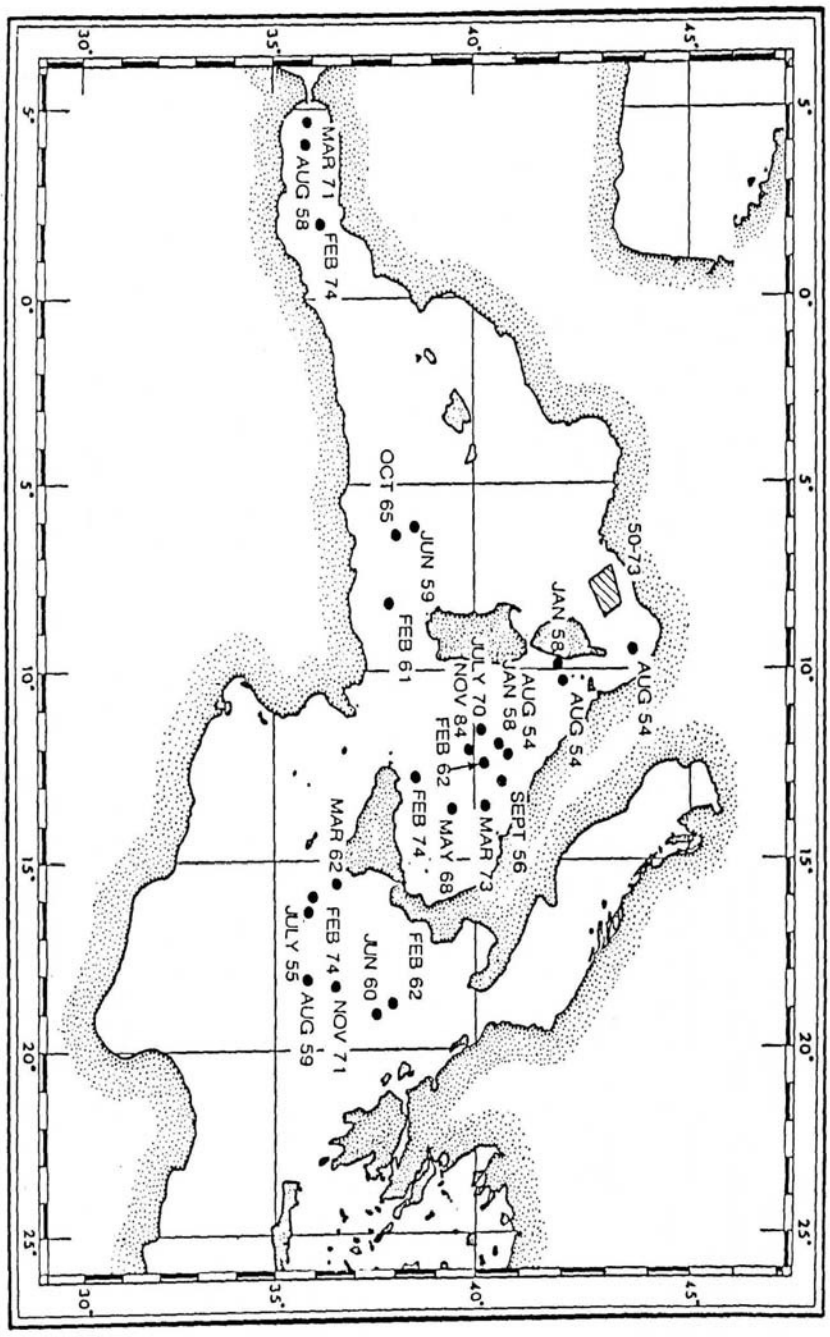


Fig. 2 Location of stations referred to in text.

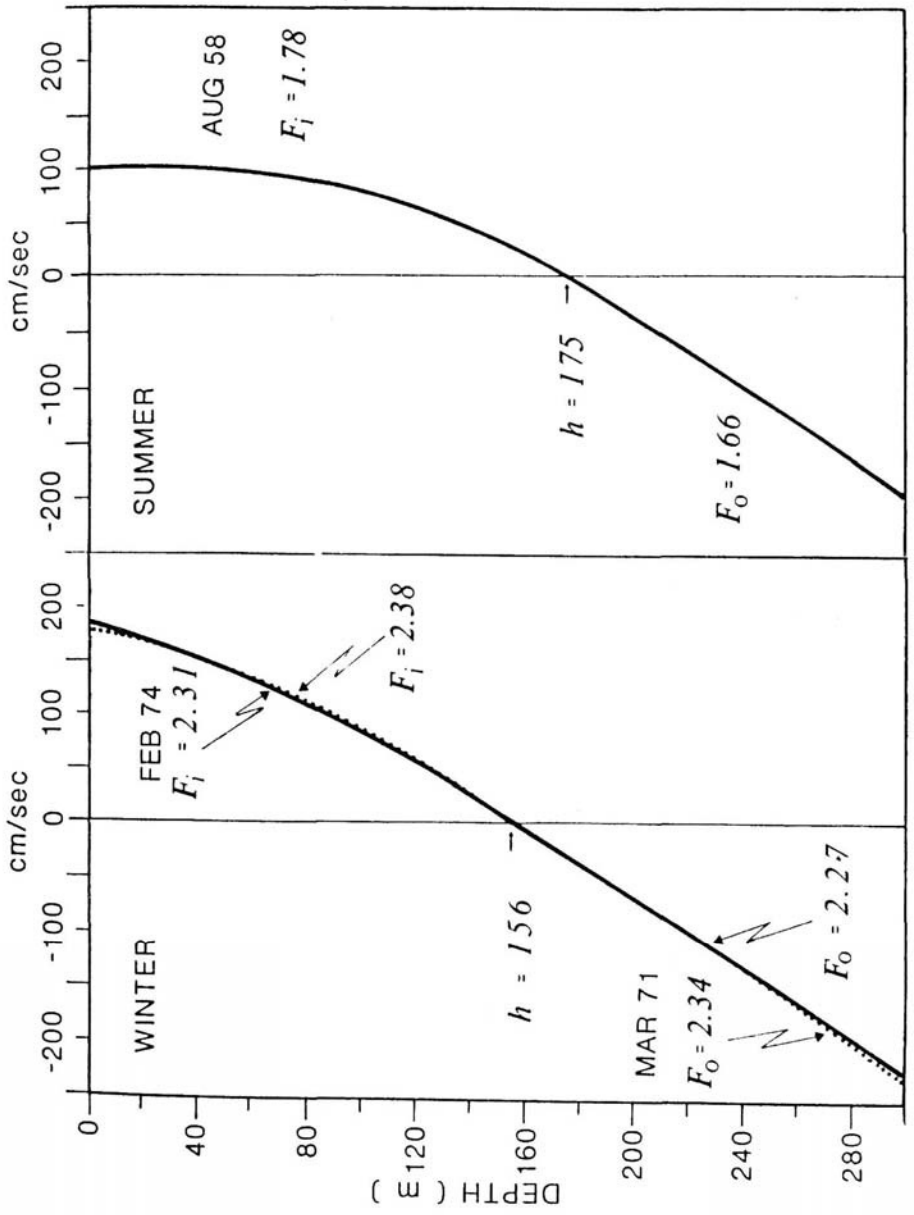


Fig. 3 Gibraltar Strait velocity profiles.

First, we demonstrate in Fig. 4 the seasonal amplitudes in the steric heights affecting the Tyrrhenian thermohaline circulation. We make use data readily available (Fig.2 and Table 1), which again we emphasise, were not contemporary in time nor optimally located in space. Some of the stations used for this analysis were located in the middle of the Tyrrhenian where the circulation in the stratified season is bifurcated at about 40 North (cf. Krivosheya, 1983; Moen, 1984; Hopkins 1988). Similarly, the large eddy structure in the eastern Balearic discussed by Millot (1988) or south of Sardinia by Garzoli and Maillard (1979) would introduce intra-basin error in the stations of Jan 59 and Oct 65. Little is known of the Ionian circulation, but clearly the Feb 62, Jun 60, Aug 59, and Nov 71 stations are too far from the Straits of Sicily not to introduce some uncertainty. The data from the Ligurian Sea were zonally averaged for seven periods of the year from stations taken from 1950 to 1973 (Nyffeler et al., 1967) and hence are better suited for our purposes. As an example of the variability in the southern Tyrrhenian the standard deviation of the 500-m steric height was ± 3 cm among 42 stations (Hopkins, 1988).

The Balearic curve, albeit with only three points, illustrates the consistently higher steric height found in the southern Western Mediterranean. Its annual mean is about 25 cm higher and its annual variation about 3 times greater than that of the Ligurian Sea. The Ionian curve has a greater seasonal range and leads that of the Tyrrhenian by more than a month having a higher steric height in summer-fall and lower in the winter-spring. We would not judge these curves as conclusive in the light of the inaccurate spatial sampling mentioned above and the lack of data in the southern Balaeric and southwestern Ionian Seas.

In determining the exchange through any one of the Tyrrhenian Straits, we can not necessarily impose continuity of transport, since internal volume adjustment might be compensated by a transport imbalance through one of the other openings. To resolve this, we take guidance from the observed values of flow through the Corsica Channel and compute a balance accordingly between the Balaeric, Ionian, and Ligurian Seas. The currentmeter records of Astraldi, Gasparini, Manzella, and Hopkins (1988) indicated a very strong seasonality to the Corsica Channel flow such that nearly the entire annual flux from the Tyrrhenian to the Ligurian occurs during the winter-spring period. We have taken the winter flux to be 1.3 Sv and the summer flux to be 0.2 Sv.

The dilution deficit of the Eastern Mediterranean determines the net inflow through the Strait of Sicily, and as in the case of Gibraltar, it represents only a small portion of the two-way exchange. It could be provided by a net inflow from either the Tyrrhenian or the Balearic. We have assumed that it comes from the southern Balearic as a part of the eastward surface flow. For the seasonal extremes of the this value, we have reduced the

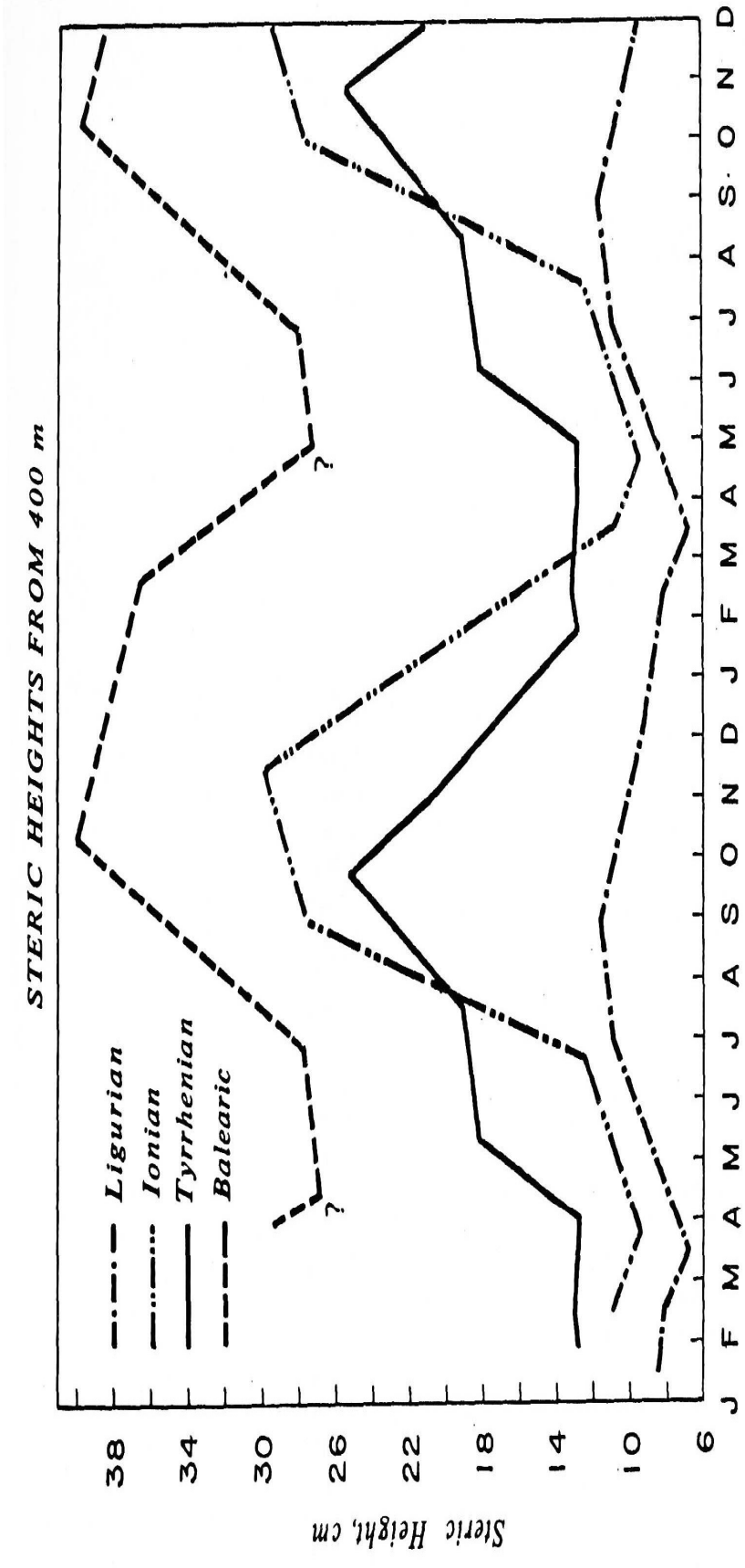


Fig. 4 Seasonal Cycle of Steric Heights (to 400 m).
Note values are repeated past one year.

values used above for the total Mediterranean by the relative contribution of the Eastern Mediterranean, yielding 0.03 Sv for winter and 0.09 Sv for summer. We neglect any differences in the dilution deficit between the Ligurian, Balaeric and Tyrrhenian Seas as being unknown and/or small relative to the error of the method.

We treated the problem in the following way:
1) allowed a barotropic flow through the Corsica Channel such that observed transports are equalled,
2) adjusted the barotropic flows through the Sardinian Channel and the Tyrrhenian-Ionian portion of the Sicilian Channel such that both the total volume flux and that of the LIW were balanced, and
3) imposed a barotropic flow on the Balaeric-Ionian exchange such that the net flow through the Strait of Sicily equalled the dilution deficit.

The resulting exchanges are giving in Table 1 and the vertical profiles for winter and summer are compared in Fig 5. Obviously, the solution depends on the depth ranges used to define the LIW volume. In this example, the amount of LIW entering the Tyrrhenian is fairly consistent seasonally while that entering the Balaeric is much enhanced during the winter. The only direct route of LIW into the Balaeric is over the Skerki bank which has a sill of slightly under 300 m. An indirect route takes it around Skerki Bank and thereby introduces it into the Southern Tyrrhenian and exposes it to the pressure forces within the Sardinian Channel where the flow, in this example, was into the Balearic. For a further discussion of the route and seasonality of the LIW the reader is referred, for example, to Morel (1972); Ozturgut (1975); Manzella, Gasparini, and Astraldi (1988).

To solve the transport balance of the Tyrrhenian we have equated the Corsican flux to an observed value. In the natural setting the solution to the transport balance of the Tyrrhenian is determined differently. That is, it is determined by the net flux through the Sardinian Channel below the depth of the other sills (~400 m) and the vertical flux at that level. The former we might calculate (as in Table 1), but the latter would not be easily estimated and must be treated as an unknown. For this winter example, the LIW downwelling was about three times greater than in the summer. This is in accordance with Hopkins (1988) who concluded that a net annual LIW downwelling is required in order to maintain a Tyrrhenian Deep Water of differing characteristics than its only source the Western Mediterranean Deep Water via a net inflow over the Sardinian Channel sill.

The important point demonstrated is that the thermohaline exchange is determined by the pressure gradient at the deepest point of communication, at about 2000 m through the Sardinian Channel, and consequently, that the exchanges through the upper layers, including through the Strait of Sicily, are thereby

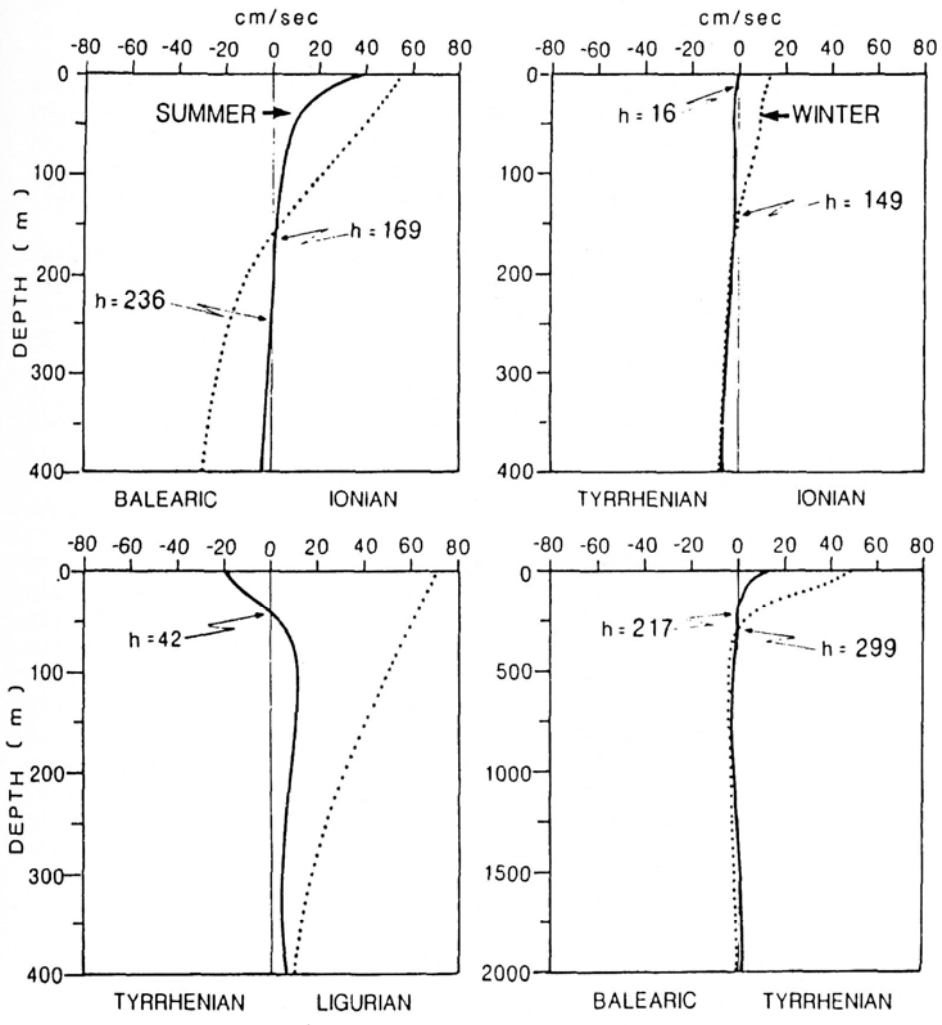


Fig. 5 Velocity profiles as computed by Steric Height Method for Tyrrhenian Sea Openings. Summer profile is solid and Winter dashed.

determined. That is, the vertical circulation forced by the net transport between 400 and 2000 m in the Sardinia Channel specifies the net mass flux (together with the internal dilution deficit) required through the other straits. This does not exclude important higher frequency contributions to the sea level within the Tyrrhenian due to inter-basin variations in wind or batometric pressure.

By way of discussion we may ask ourselves why even does the Tyrrhenian need to be a part of these circulations, that is, why do not the Ligurian and Balearic Seas exchange directly and rapidly, given there large steric height differences, leaving the Tyrrhenian Sea stagnant in a thermohaline sense? We answer this only in a general way with the following comments:
1) The deep exchange through the Sardinian channel is dependent only on the pressure gradient at 2000 m between the Balaeric and Tyrrhenian Seas, i.e. independent of the pressure gradient between the Ligurian and Balearic Seas. This pressure gradient is formed by differences in density of the Tyrrhenian water masses, which themselves are different, than waters to the west of Sardinia, less because of a different dilution deficit than because of a different history of water mass mixture.
2) Above the level of the Sicilian sill the Tyrrhenian Sea will independently have an exchange with the Ionian Sea which, together with the Tyrrhenian dilution deficit, would lead to surface waters with densities different to those of the Balaeric. In order for the Tyrrhenian to be thermohalinely stagnant Its surface waters would have to have the same density structure as those in both the Ionian and Balearic Seas and its deep waters would have to be the same as those of the Balaeric.
3) A direct exchange, of course, does exist between the Balaeric and Ligurian Seas. Application of the method results in a southward lower layer transport of 2.1 Sv (>890 m) for summer and 4.6 Sv (>450m) for winter, respectively. The calculation did not allow for the transport through the Tyrrhenian, the Balaeric sills, nor for a north-south dilution deficit difference. Presumably the estimated UHED Deep Water production (0.16 Sv) is included in this southward transport.

Some Consequences of Atmospheric Warming

Predictions of atmospheric warming have estimated air temperature increases of up to 2° K over the Mediterranean and up to 1° K over the adjoining Atlantic Ocean, e.g. Manastersky (1988). Would there be an associated change in the basic thermohaline circulation of the Mediterranean Sea? The answer appears to be yes, however a serious description would await a concomitant prediction of the atmospheric heat and water vapor exchanges.
To avoid a discussion of the non-linear interaction between the ocean and the atmosphere implicit in the coupling of their heat budgets, which surely is beyond the scope of this study, we might simply pose the question of the effects that a warmed atmosphere

might have on the Mediterranean. We expect the sensible heat loss to decrease and to result in warmer surface waters and a warmer winter dense-water product. Much less obvious would be the net result on the evaporative exchange, which has a more complicated dependence on temperature due to the nonlinear dependence of water vapor on temperature. According to R. S. Stewart (pers. comm.) the hydrological cycle would speed up, that is both evaporation and precipitation would increase. However, the Mediterranean atmospheric water balance is not closed, in the sense that, although evaporative loss is restricted to the Mediterranean surface, the precipitation resulting from it may not return to the Mediterranean and significant portions would come from Atlantic evaporation.

We might use the Strait of Gibraltar to demonstrate some of the consequences that atmospheric warming might have on the exchange through the strait, and hence to the thermohaline circulation of the Mediterranean. Even though the quantitative changes in the rates of heat and water exchange might be difficult to estimate, the qualitative nature of the changes wrought by this climatic trend seem fairly clear a reduction in the density of the Mediterranean waters due at least to their warming and perhaps to their freshening, and a reduction in the quantity of winter water produced in excess of the present sill-level isopycnal (~29.05).

The result of increasing the surface buoyancy on either side of Gibraltar would have only little effect on the exchange through the Strait, because of the relative difference in the steric height would remain nearly the same. If the Mediterranean surface waters warmed more quickly than those of the Atlantic, the resultant effect on the exchange still would be small. Examples are given in Table 1: if the surface Atlantic waters were warmed by 1°K to 75 m whereas the Mediterranean surface waters were warmed by 1°K to 200 m, the reduction in the annual outflow would be about 5%. An equivalent increase in buoyancy due to freshening would require the addition of 2 m of fresh water, or a salinity decrease of 0.35 ppt.

A much more pronounced effect is obtained if the pycnocline is lowered in simulation of a reduction in the amount of dense water produced. As an example, it was assumed that the deep water production decreased at a rate of 5% per annum from an initial value of 25,000 km^3/yr. The calculated annual outflow value of 1.88 Sv (2:1 summer to winter) is 2.35 times the deep water production. This mixing ratio was assumed to be constant in time. A relation between the annual outflow and the depth of the pycnocline was then determined by incrementally lowering the density profile. The result (Fig.6, Table 1) is an outflow that decreases slightly less rapidly that the deep water production, their respective half-values being 36 and 30 yrs. The pycnocline stabilises at the depth at which the Atlantic and Mediterranean 300-m steric heights are equal, or zero outflow.

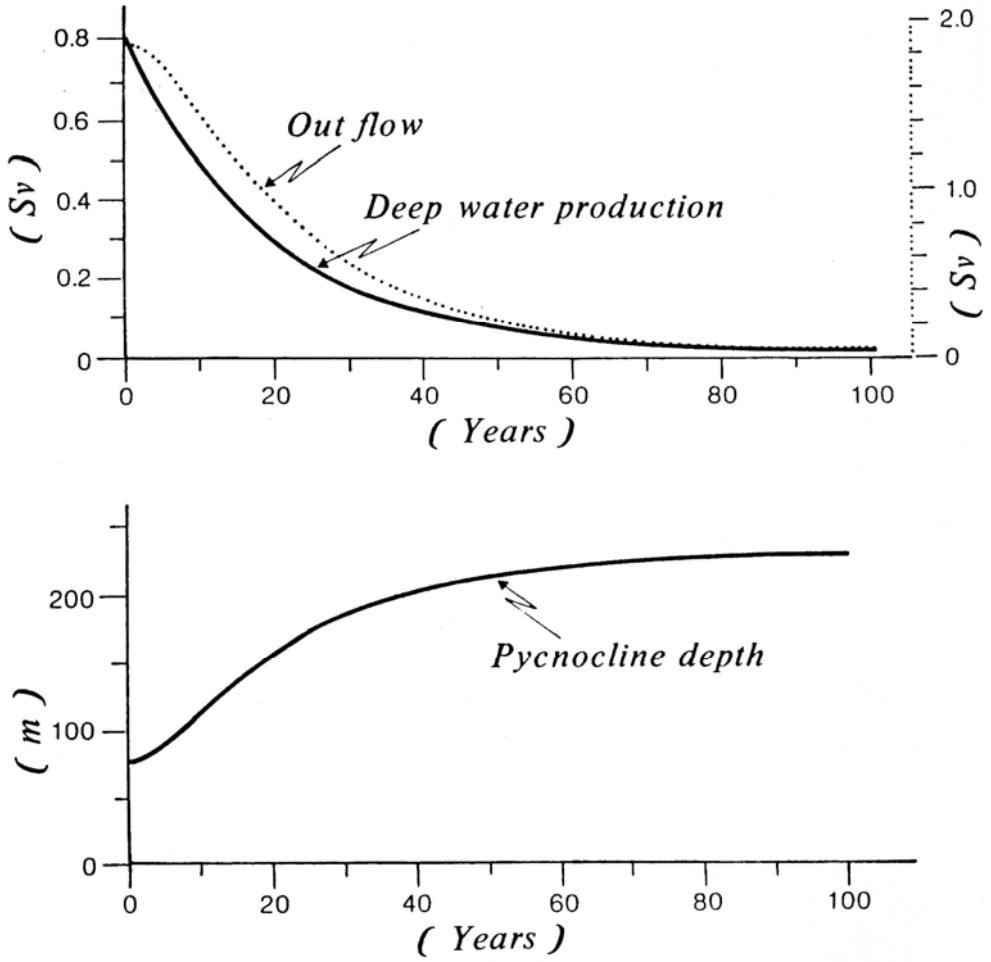


Fig. 6 Time relationship of outflow and pycnocline depth given a 5%yr decrease in deep water production

Conclusions

The inexorable conclusion of this discussion is that the thermohaline circulation of the Mediterranean is driven from below. The driving force is baroclinic. The densities of waters behind various bathymetric restrictions are altered more rapidly than they can exchange or mix with the waters in adjoining basins creating internal pressure gradients forces across the sills. The vertical structure of these pressure gradients determine the vertical profile of transport which would quickly eradicate the pressure force except for the condition of continuity that requires a compensating return flow making the exchange much less efficient. The temporal stability of the inter-basin transport becomes then a question of the relative rate of production versus the rate of outflow.

At Gibraltar we found a seasonal variation in the difference of steric height across Gibraltar of 51 cm in winter to 37 cm in summer. This is a sufficiently large seasonal signal to expect that with good data monthly to interannual variations could be monitored. The steric height method could be applied with only one station in each basin, however a spatial average of stations would improve the accuracy. An inherent assumption is that steric height variability within each basin is smaller than the steric height difference from one basin to another. Other forcings that effect the sea level will have an influence only to the extent that the internal field of mass does not adjust to them at the depth Of the sill.

Within the Mediterranean inter-basin exchanges are determined by the pressure force at the deepest point in common. The Tyrrhenian served as an example of the interaction between the mass fluxes at the various openings. The fact that the Tyrrhenian is much more of a flow-through system (through the Corsica Channel) in the winter than in the summer adds to the complexity of the internal density evolution by importing, and therefore mixing, larger quantities of LIW. With the present data available it can not be shown conclusively the significance of the different phasing of the steric heights in adjoining basins, however it is suggested that this may cause important seasonal signals to the basin circulations.

With this interpretation, the inflow is a result of the sea level drop caused by the outflow. Attempts to measure the sea level directly to compute the inflow will be subject to relatively large observational errors and contamination with sea level transients. Instead it is suggested that attempts be made to monitor the steric heights. To render the steric height method more accurate for the monitoring of the exchange through a strait, two preliminary studies, for each strait, would be required: a determination of the best way to spatially sample, and a calibration with properly averaged observed flow over the sill. Finally, this work also suggests that by monitoring the internal average of the basin's sill-depth steric height, one

could monitor the deep water volume in the basin and thereby have an independent, although indirect, means for assessing the very difficult to observe air-sea exchange processes.

Acknowledgements

The author would like to thank Gunnar Kullenberg and Chris Garrett for the discussion that inspired this work, to Davide Bregant Cor the invitation to present it and to Peter Wille for the support of SACLANTCEN with the work.

References

Armi L., Farmer D.
The internal hydraulics of the Strait of Gibraltar and associated sills and narrows. Oceanologica Acta, 8, 1985. 37-46.

Astraldi M., Gasparini G.P., Hopkins T.S., Manzella G.
Temporal variability of currents in the eastern Ligurian Sea. Journal of Geophysical research (Oeans). Special WMCE Issue, April 1988.

Bethoux J.P.
Mean water fluxes across sections in the Mediterranean Sea. Oceanologica Acta, 3, 1980, 79-88.

Bormans M., Garrett C., Thompsom K.R.
Seasonal variability of the surface inflow through the Strait of Gibraltar. Oceanologica Acta, 9, 1986, 403-414.

Bryden H.L., Stommel H.
Limiting processes that determine basic features of the circulation in the Mediterranean Sea. Oceanologica Acta, 7, 1984, 289-296.

Cruzado A.
Climatology and Hydrology of the Mediterranean legion. Report on the State of Pollution in the Mediterranean Sea, edited by U.N.E.P., 1979.

Dietrich G.
Atlas of the hydrography of the Northern North Atlantic Ocean. Conseil International pour l'Exploration de la Mer, Service Hydrographique, Charlottenlund Slot, Denmark, 1969.

Farmer D.M., Armi L.
Maximal two-layer exchange over a sill and through the combination of a sill contraction with barotropic flow. Journal of Fluid mechanics, 1986, 164, 53-76.

Garrett C., Toulany B.
Sea level variability due to meteorological forcing in the Northeast Gulf of St. Lawrence. Journal of Geophysical Research, 87, 1982, 1968-1978.

Garzoli S., Maillard C.
Hydrologie et circulation hivernales dans les canaux de Sicile et de Sardaigne - Campagnes Amalthee-1967 - Hydromed 11-1968. Lab. Oceanogr. Phys. Museum National d'Histoire Naturelle, Paris
1976.

Hopkins, T.S.
Physical processes in the Mediterranean basins. In: Kjerive B. ed. Estuarine Transport Processes, University of South Carolina Press, Colombia 1978.

Hopkins, T.S.
Physics of the sea. Chapter 4. In: Margalef, R. ed. Western Mediterranean. Pergamon Press, New York, 1984.

Hopkins, T.S.
Recent observations on the intyermediate and deep water circulation in the southern Tyrrhenian Sea. Oceanologica Acta (In Press 1988)

Le Floch , J., Romanovsky, V.
Résultats des mesures océanologiques effectuèes en aout 1954 en mer Tyrrhénienne et en mer de Ligurie. Cahier Océanographiques, XVIII, 1966, 229-242.

Lacombe H., Richez C.
The regime of the Strait of Gibraltar In: Nihoul J.C.J. ed Hydrodynamics of semi-enclosed seas. Proc. 13 Int. Liège Colloqium on ocean Hydrodynamics, Elsevier Oceanography Series, 34, 1982.

Knudsen, M.
Ein hydrographischer Lehsartz. Annalen der Hydrographic und maritimen Meteorologie, 1900.

Krivosheya, V.G.
Water circulation and structure in the Tyrrhenian Sea. Oceanology, 23, 1983, 166-171.

Manzella G., Gasparini G., Astraldi M.
Water exchange through the Strait of Sicily Deep-Sea Research, 35, 1988. 1021-1035.

Manzella G., La Violette P. The relation of the transport through the Strait of Gibraltar and the seasonal transport of LIW through the Strait of Sicily. (submitted to nature 1988)

Millot, C.
Circulation in the Western mediterranean Sea. Journal of Geophysical research (Oceans). Special WMCE Issue. April 1988.

Moen, J.
Variability and mixing of the surface layer in the Tyrrhenian Sea: MILEX 80 (Final Report). SACLANTCEN SR-75, La Spezia, Italy. SACLANT ASW Research centre, 1984.

Monastersky, R.
Has the greenhouse taken effect? Science News, 133, (18), 1988, 282.

Morel A.
The hydrological characteristics of the waters exchanged between the Eastern and the Western Basins of the Mediterranean. In: "Oceanography of the Strait of Sicily", SACLANTCEN Conference proceedings No. 7: 1972, 11-37

Nyffeler, F., Raillard J., Prieur L.
Le Bassin Liguro- Provencal: etude statistique des donne hydrologiques 1950-1973.

Ovchinnikov, I.M.
On the water balance of the Mediterranean Sea. Oceanology, 14, 1974, 198-202.

Ozturgut, E.
Temporal and spatial variability of water masses: the Strait of Sicily (MEDMILOC'72). SACLANTCEN-SM-65, La Spezia, Italy, SACLANT ASW Research Centre, 1975.

Ozturgut, E.
The sources and spreading of the levantine intermediate water the Eastern Mediterranean. SACLANTCEN SM-92, La Spezia, Italy, SACLANT ASW Research Centre, 1976.

Pedenovi, C., Carrara, A. Akal, T.
Environmental data that affect acoustic propagation: Mediterranean Sea, Part I: Monthly distribution of temperature, salinity a sound speed profiles. (In press, 1988)

Trotti, L.
Ricerche fisico-chimiche nel Tirreno Settentrionale. Istituto Idrografico della Marine, I.I, 3055, Genova, 1977.

ATTI DELL'8°CONGRESSO A.I.O.L.
PALLANZA 1-3 GIUGNO 1988 Da pag. 29 a pag. 50

BODY SIZE AND LIMNOLOGY

R. H. PETERS, DEPARTMENT OF BIOLOGY. MCGILL UNIVERSITY, 1205 AVE. DR. PENFIELD, MONTREAL, QUEBEC, CANADA, H3A 1B1

RIASSUNTO

Le relazioni allometriche descrivono le tendenza di caratteri morfologici, fisiologici ed ecologici degli organismi a variare in funzione esponenziale della loro taglia. Sebbene queste relazioni siano imprecise, possono fornire talvolta le migliori previsioni disponibili se usate in modo appropriato come stime stocastiche e tendenze generali, piuttosto che come relazioni deterministiche.

Vi sono molte possibilità di applicare l'allometria all'idrobiologia. Queste relazione forniscono sia un'approssimazione quando non siano disponibili i valori specifici che, quando questi invece esistono, un contesto in cui valutarli. L'allometria ha risvegliato l'interesse sulla struttura delle taglie delle comunità acquatiche in quanto questo approccio può permettere di prevedere alcuni tassi della comunità come, per esempio, quello di produzione, di accumulo di contaminanti, e di riciclaggio dei nutrienti a partire da semplice misure in campagna della struttura delle taglie e stime in laboratorio dell'allometria dei vari tassi. L'allometria inoltre può servire come complemento in modelli che prevedono vari fenomeni ecologici. Il futuro dell'allometria non consiste nello sviluppo di una autonoma sottodisciplina, ma nell'integrazione delle conoscenze e dei modelli ottenuti considerando la sola taglia in teorie più ampie che danno previsioni più precise e più efficaci.

SUMMARY

Allometric relations describe gross trends in the morphological, physiological and ecological characteristics of individual animals as a power function of their body size. Although these relations are imprecise, they can provide the best available estimates if properly used as stochastic estimators and general trends, rather than as deterministic relations.

There are many hydrobiological applications for allometry. The relations provide us with approximations when specific values are unavailable, and contexts for comparison when they are. Allometry has spurred renewed interest in the size structure of aquatic communities because the combination of field measurements of community structure and laboratory estimates (of allometric relations may allow the prediction of community proceses like nutrient cycling, production, and contaminant accumulation. Allometry can also serve to complement other variables to predict a range of ecological phenomena. The future of allometry does not lie in development as an autonomous subdiscipline, but in integrating the constructs developed in considering size effects alone into more comprehensive theories that predict more precisely and more effectively.

l. INTRODUCTION

This is a particularly pleasant topic for me because it unites both my favorite areas of science, limnology and allometry. To this end, I will begin with a brief summary of the nature of allometry, concluding with a list of criticisms that allometricians have come to

expect. I will then use the results of recent limnological research involving my laboratory to illustrate the validity and weaknesses of these criticisms.

2. WHAT IS ALLOMETRY?

Allometry is the study of the correlates of body size. As a body of knowledge, it consists of the many relations between what an organism does or consists of and some measure of its size. This definition includes a vast range of intra-specific and ontogenetic patterns, an equally largo set of qualitative relations, a variety of abstract algebraic or logical discussions of size and its influences, and a number of measures of size. Most of this material will play almost no part in this paper, because my interests in allometry are largely restricted to general, quantitative, statistical, empirical descriptions of similarities among broad groups of organisms in relation to their body weight. For me and for a number of others (Calder, 1984; Schmidt-Nielson, 1984, Sournia, 1982), these "body size relations" are the main attraction of allometry.

For this discussion, a typical relation is shown in Fig la. The data for this figure were generated by searching 12 journals published between 1961 and 1978 (Peters & Wassenberg 1983) for estimates of production or growth (G, in g/d) by individuals or populations and average body size (W, in g fresh weight) over that time interval. These data, which include everything from unicells to mammals, were than transformed to their common logarithms and fit to the model

$$\log G = \log a + b \log W$$

by least squares regression. On back-transformation, this equation yields a power equation describing G (Figure la).

Parenthetically, I note that the appropriate model for regression is now under much discussion (Kermack and Haldane, 1950; Jolicoeur and Heusner, 1971; Harvey and Mace 1982; Ricker, 1983; Seim and Saether, 1983); I choose least squares because it is preferable for prediction, it is almost universally used by allometricians, it is computationally easy, and it extends readily to other simultaneous variables. Alternate models yield substantially different results only when the error in any of the models is so large that close interpretation of the coefficients is impossible in any case (Peters, 1988).

Although all of the statistics given in Figure la are essential to the regression, most are omitted from published reports as unnecessary and perhaps unintel1igible. This is unwarranted, for the statistics are all readily interpreted. The intercept or elevation (a in Equation 1) is the rate for an animal of unit weight and in the case of Figure la, this shows that a 1 g animal grows at an average weight of 0.018 g/d, or slightly less than 2 % of its weight daily. If the slope or exponent (b in equation 1, 0.78 in Figure la) is positive, the rate rises with body size, but since this slope is less than unity, growth rate rises more slowly than weight and as a result the growth rate of a 1 kg animal is considerably more than 0.018 g/d, but considerably less than 2%. of its weight daily. The average values for a 1 kg animal can be calculated to bs 3.9 g/d or less than 0.4%. daily. The average trend in these data is relatively well defined, for the standard errors of the

slope (Sb=0.017) and intercept (Sa = 0.056) are small or moderate relative to the estimates of slope (0.78) and the geometric range of the dependent variable (12 orders of magnitude) respectively. The high value of the coefficient of determination (r2 =0.90) shows that the independent variable, body weight, statistically explains 90% of the variation in growth rate in these data. However, these indicators of the effectiveness of the regression should not obscure the substantial residual variation in the data. This is indicated by the standard error of the estimate (Sxy = 0.898) which, because it is on a logarithmic scale, shows that the 95 % confidence limits around an estimate at the mean weight range over almost (4 x 0,898 =) 3.6 orders of magnitude. This standard error, unlike those associated with the mean trend, is not much affected by the range of data analyzed and instead is the best measure of the scatter in the data.

The remaining statistics are used to calculate the confidence limits around either the mean trend or the individual points (Figure 1b). It is well to keep these two applications distinct, for the two types of curves look very different. The confidence limits around the mean reflect a general pattern in biology; they are deeply bowed and include far less than 95%. of the data. This bowing reflects the rotation of the estimated mean line about relatively certain estimate of mean growth rate at the mean weight. The limits for individual points, which are more relevant to prediction of individual values, are less bowed and should include 95% of all estimates.

Sometimes allometric relations represent weight specific rates as shown in figure le. Such curves are generally flatter and less attractive but the regression statistics give identical information to those associated with individual rates. The only differences are that the slope is exactly 1 less than that for individual rates and the coefficient of determination is less, reflecting the reduction in the amount of variation to explain (in this case six orders of magnitude instead of 12). These data may also serve to determine a biological time, in this case the time to double the initial biomass, which is simply the inverse of the relation for specific rate (Figure Id). With the exception of the slope, the statistics do not change.

Empirical patterns in allometry

So many such curves exist that we can talk about their class characteristics. One of the most remarkable of these is the consistency of the slopes. In general terms and with some exceptions, biological masses or volumes "scale directly" with body weight, so that the slope of such relations is about unity. As a result, heart weights, gut volumes, or the amount of air inspired in a breath are all constant proportions of body weight or volume across the animal kingdom or large taxonomic groups. Individual rates rise more slowly than body weight and tend to scale as weight raised to the 3/4 power. This is sometimes called Kleiber's law, after Max Kleiber (1961) who did so much to promote allometry. In fact, the average slope for 297 such relations is 0.736 (SE= 0.0071). As a result, the slopes for allometric relations describing specific rates cluster around a value of -1/4 and those for

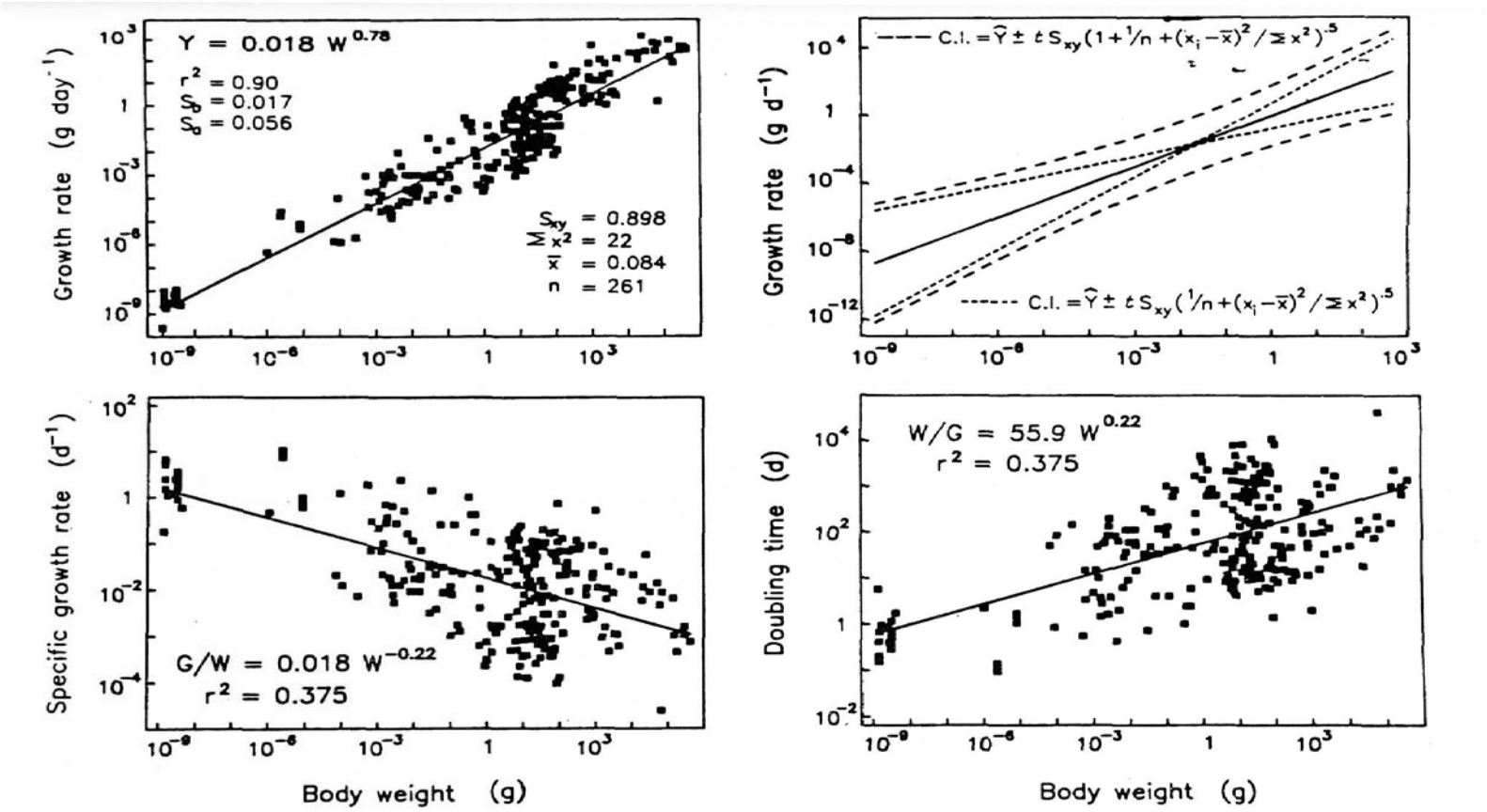


Figure 1. Some typical allometric relationships: Relations between body weight and growth rate expressed as (upper panels) individual rates, (lower left panel) specific rates, and (lower right panel) time to double initial mass. The outer limits in the upper right panel are the confidence limits around individual estimates and the inner limits are those associated with the mean. (From Peters, 1988).

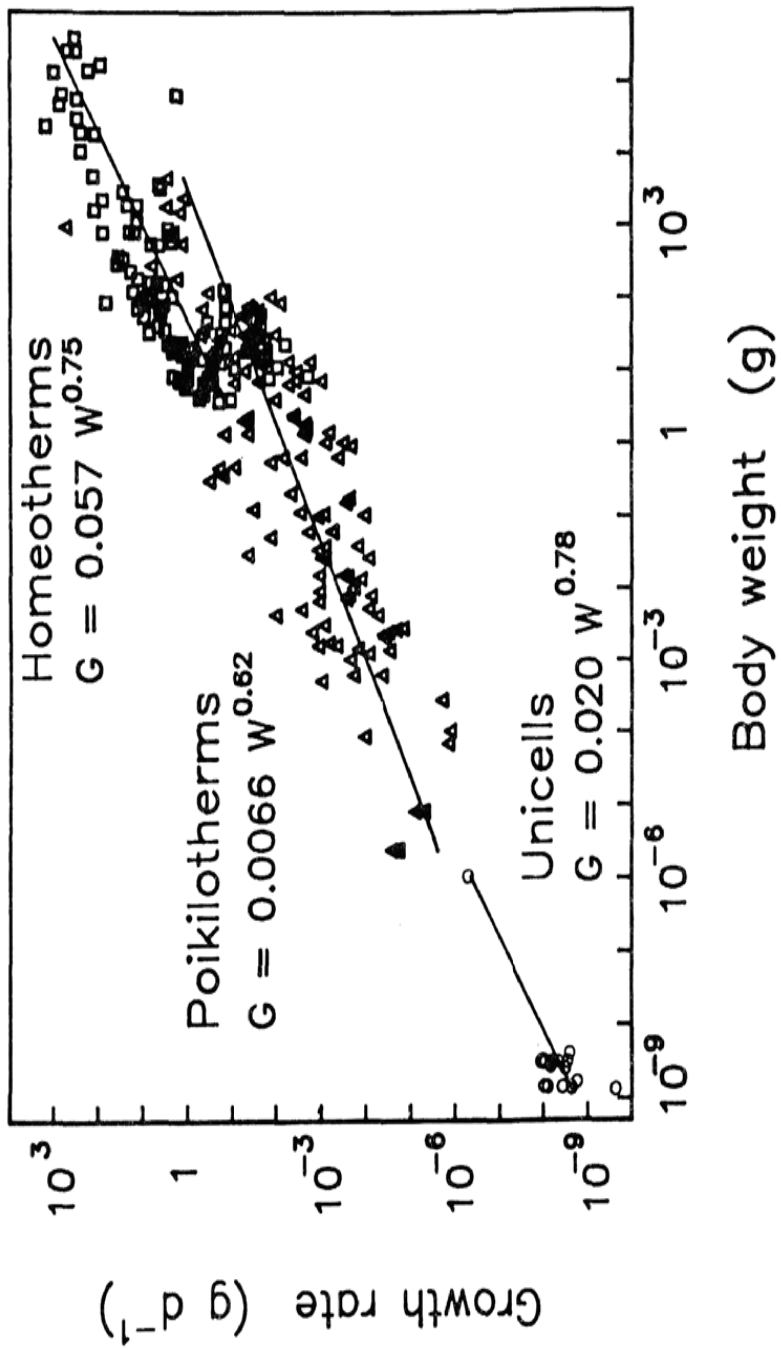


Figure 2. Individual growth rates as a. function of body for the three major metabolic groups (from Peters, 1988).

physiological times tend to values around 1/4 (Peteres, 1983a; Calder, 1984).

A second set of generalities concerns the elevation of the regressions. Since Hemmingsen's (1960) work, three basic metabolic groupings have been recognized; Homeotherms, poikilotherms and unicells. The elevations of the regressions for rates in each of these groups differs by 10 to 30 times for most metabolic relations, as it does for the growth data in Figure 2.

Slopes in Figure 2 are less consistent with expectation than those in Figure 1, and this too is typical. Restricted subsets of the data yield less consistent relations: less variation is explained, the slopes are often depressed, parameter estimates are more variable, yet predictions are more precise. These patterns result through an interplay of reduced ranges in the variables (which increases parameter estimation error and reduces explained variation), reduced sample size (which increases bias in parameter estimation), and increased homogeneity associated with more narrowly defined taxa. A preliminary investigation of these interactions (Peters, 1988) suggests that general relations and parameter estimates are best obtained from broad scale regressions considering many data from as broad a size range as possible. Typically, 30 to 100 data points and a size range of six orders of magnitude suffice. Simulations by Prothero (1986) similarly indicate the interdependence of the logarithmic range of sizes, the sample size, and scatter in allometric relations. For accurate prediction, more narrowly defined taxa are preferable, but the covarying contributions of taxonomic and experimental differences in these smaller data sets cannot be separated. In all cases, the error associated with the parameters and predictions must be given.

As in all statistical relations, average values are only rules of thumb and specific estimates may differ considerably. Indeed, least squares analysis balances the effects of slopes and intercepts in allometry so that rather different looking equations can describe very similar phenomena (Peters 1988). This has been recognized in allometry (White and Gould, 1965) and species-area relations (Gould, 1979), but it is still common practice to focus on one parameter while ignoring the other (e.g. Murphy and Wilcox, 1986) or to let differences in both parameters obscure similarities in their net effect (Zar, 1968a, b). The danger of doing so can be illustrated by comparing the intercepts of the three equations in Figure 2. Poikilotherms and unicells must be compared far below the intercept at W = 1 g, because there are no unicells of nearly that size. Far from the intercept, the low slope of the poikilotherm relation balances the effect of the low intercept, so that the pokilotherm equation lies above any extrapolation of the unicell relation, despite the higher intercept of the latter. This is confimned by covariance analysis or by comparisons of data which have been standardized for size effects by being divided by Wb. When regression lines are being compared to each other or to data swarms, it is good practice to compare graphically, using the whole line or better the entire confidence interval, rather than to look at isolated parameters.

Criticisms of allometry:

Allometry is presently attracting increasing interest in ecology and, like any fad, it attracts critical scrutiny. This requires a balanced view of the issues, both so that the problems of allometry will not obscure its strengths and so that its supporters do not forget its limitations. Therefore, I acknowledge that most of the criticism has some basis, but I do not believe that these weaknesses are enough to discredit the field.

If the many misgivings that surround allometry were distilled into one extreme statement, this statement would imply that the basic fault of allometry is that it provides only crude descriptions of general patterns in biology which neither address the concerns of society nor are relevant to the science that most ecologists practice. This has several facets: (a) Allometric relations are uninteresting because they ignore differences among species which are the focus of biological research; (b) Their precision is so low that they tell us nothing of interest; (e) They are useful when we are ignorant, but science usually has more powerful, more specific and more precise alternatives; (d) moreover they assume that the allometric patterns in heterogeneous collections of data have biological meaning when this is likely obscured by unconsidered factors. Other critics are not attracted by the methods of allometry and therefore reject the results as well. Because (e) allometric relations only involve the reanalysis of published data, the field is uninteresting for scientists who wish to deal with nature and measurement first-hand. In addition, some critics feel that allometry has already fulfilled its potential and that we should now move on to other areas, either because (f) most interesting regressions have already been performed, so that future work in allometry involves only minor adjustments of the existing body of theory or because (g) allometry is well suited for some (other) systems, like the plankton, but the approach is harder to justify or apply in other areas. Finally, there are those who mistrust allometry because (h) it is quantitative, and therefore obscures the biology of the System, and (i) it deals with logarithms, which are a device to hide variation. I have recently addressed the latter two points in another context (Peters 1986) and do not feel they merit further discussion, instead I will address the first seven by reference to recent work in limnology.

3. LIMNOLOGICAL APPLICATIONS

Specific Analyses

The charge that allometric relations are inappropriate for specific analysis must depend on the principle of non-vacuous contrast, that is the criticism presumes that specific relations are more effective tools to predict what particular animals do. Because I have worked with cladocerans for some time, I am in a position to test this hypothesis by comparing predictions from general allometric relations with specific measurements and relations for Cladocera in general or *Daphnia* in particular. If general relations are appropriate tools for these predictions, we should find both that they predict the mean trend of specific data and that the variability of these specific data are similar to the variations among the relations.

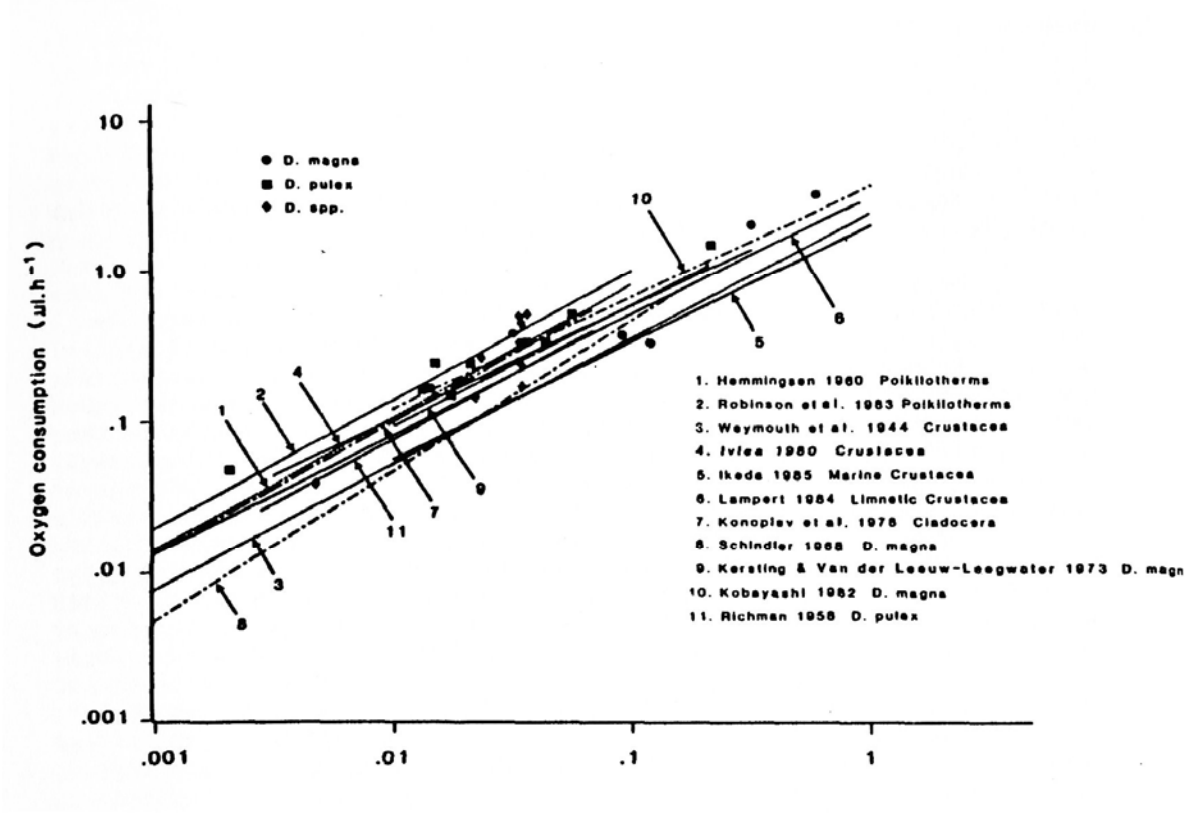


Figure 3. A comparison of measurements and models describing respiration rate of Daphnia with more general allometric relations. Here, estimates based on previous data are no less uncertain than those from allometry (From Peters, 1987).

When the measured respiration rates of Daphnia are collated and plotted as a function of weight (Fig. 3), values for animals of similar size differ by about an order of magnitude. This variation is similar to that which exists among different regressions which predict respiration rate from size alone. As a result, the scientist is likely to incur no more error in estimating Daphnia respiration from an allometric equation than from previous specific estimates. Specialized knowledge does not help predict these rates.

There seem to be two defenses for the specialist. One could argue that the rates must be measured each time they are needed or one could argue that more factors must be considered in the specific prediction. The first defense, that the rates must be measured, would involve a tremendous scientific effort and manpower, seems to replace the view that the role of science is to provide knowledge about the world with the view that science should only to provide techniques to measure it.

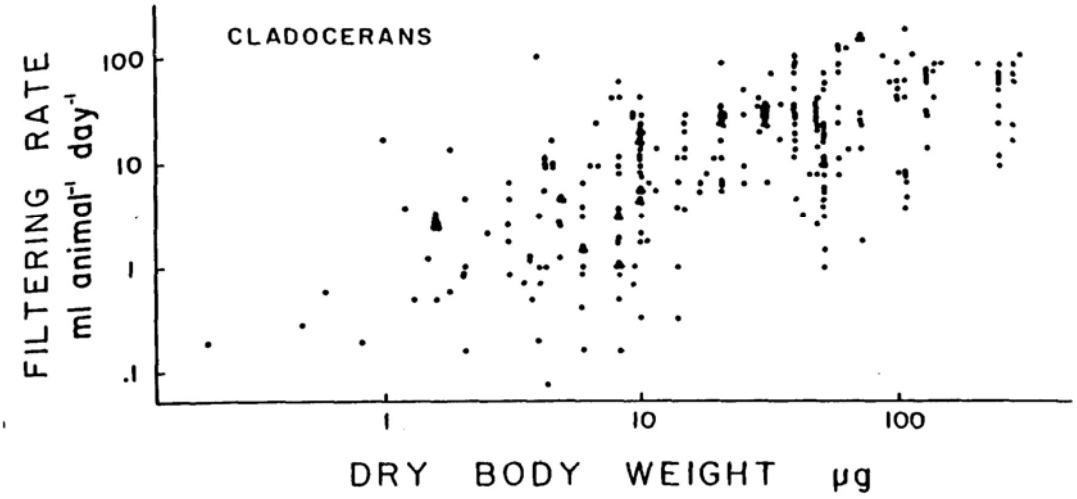


Figure 4. The effect of body size on measurement of filtering rate in Cladocera. Sources for these data are listed in Peters and Downing (1983)

Table 1 Multiple regression describing cladoceran filtering rates (F, in ml/d) as a function of animal dry weight, food concentration, the volume of the experimental vessel, and yhe degree of crowding of animals in this container. Common logarithms are use throughout (Peters and Downing, 1983)

Y	b Xi	SE	Units
Log F	= 0.173		
	+ 0.75 log Weight	0.086	g dry weight
	− 0.43 log Food	0.069	ppm wet weight
	− 0.3 Volume	0.1	l
	+ 0.014 Crowding	0.0056	ml/animal
R = 0.82	mean log F = 1.01		n = 68

Moreover, the first defence assumes without warrant that the variation is biologically relevant rather than artifactual, because artifactual error will bias measurements. The second defense, that more factors should be considered, is certainly correct, but applies equally to both general and specific relations. Both should consider more variables and one that the specific research must consider is size. When this has been done, it will be possible to make a non-vacuous comparison between specific and generai approaches to this question and reach a different conclusion. For the time being, both approaches are equally effective.

To stress a point raised in the preceding paragraph, allometric relations need not be based on size alone. No biologist believes that biological processes are deterministically set by a single factor. Therefore, future developments in allometry are likely to combine body weight with a series of other independent variables to make more comprehensive and more precise predictions. One example of such a relation describes the filtering rate of cladocerans. Although size has a dominant effect on filtering rate (Figure 4), a more complete description describes filtering rate as a function of four independent variables (Table 1). A companion relation for all zooplankton was able to identify five (Peters and Downing 1983). Although such equations are likely inapplicable in extreme situations as when the animals are feeding on a "food" which is toxic or which they cannot eat because of limitations in size, equations like that in Table 1 are effective in calculating the average rates of animals feeding normally (Lampert, 1987) which is likely the case in most natural situations.

In other comparisons, specific relationships are more informative than general curves. For example (Fig. 5), the rate of intrinsic increase of Cladocera can be calculated from the general regression of Blueweiss et al. (1978) and the resulting relation runs through the middle of the data collated by Lynch (1980) and Hebert (1978). However, the r-max of large cladocerans is higher than expected and that of small cladocerans lower (de Bernardi and Peters, 1987). Thus the general relation allows one to approximate the specific values, but does not mimic the departures which are idiosyncratic of this group. These departures may be ecologically significant, for they are the basis of the size-efficiency hypothesis. Finally, it must be recognized that general curves are sometimes in error. For example, the mean life span of cladocera is an order of magnitude shorter than that expected on the basis of a general curve (de Bernardi and Peters, 1987).

These comparisons do not demonstrate that general curves are always more reliable than specific information, any more than they deny that specific information can be more precise than general curves. They show only that specific curves are not always better and that no blanket recommendation can be made regarding the choice of a scientific tool. Instead each hypothesis must be judged on its own merits and on its demonstrated predictive power, relative to the question at hand. In terms of the criticisms of allometry the comparisons show that specific differences are not always great, that the precision of specific estimates is sometimes no better than that of general theories, and that in some areas allometric relations are among the best tools we have.

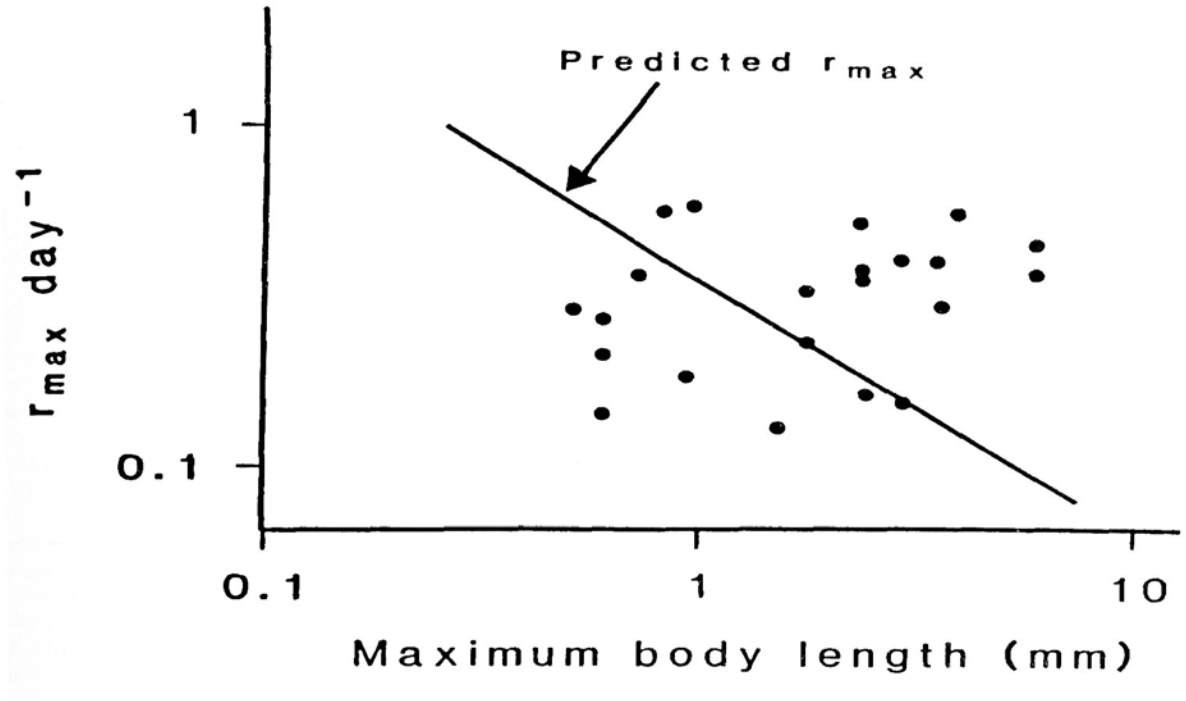


Figure 5. A comparison of the Intrinsic rate of natural increase as measured for a series of cladoceran species (Hebert 1978; Lynch 1980) and as predicted by a general regression (Blueweiss et al., 1978) for all organisms (From de Bernardi and Peters, 1987).

Community Analyses

I now wish to turn to another type of allometric investigation, one which is far closer to the sorts of research that attracts field ecologists. My reason for doing so is to demonstrate that allometry is not limited to reanalysis of existing data, but can form a basis for interesting and promising research within the limited scope of a single research program.

In any sample of lake water, there are likely to be hundreds of species of organisms, most of which we can only identify with time and effort and some of which we cannot identify at all. Moreover, we are abysmally ignorant of the autecology of almost all of these organisms s" that, even after we have identified them as well as we can, we still can say very little about what they are doing. On the other hand, Plankton can be sorted into size classes relatively easily and there are suites of relations to describe what organisms of a certain size likely to do (Peters 1983a). Moreover, the variations among species laboratories which add scatter to allometric relations are less

likely to be relevant in multi-species size classes from a single site, we can hope that allometric relations may apply more effectively to such classes. As a result, analyses of the size structure of plankton communities may be a more fruitful approach than traditional taxonomic analysis (Kerr, 1974; Platt, 1985; Dickie et al., 1987)

This approach received a particular boost from Sheldon et al. (1972) who suggested that the biomass in logarithmically increasing size classes of marine organisms is roughly constant. Such a regularity would make application of allometry to aquatic systems particularly easy, since one would only have to determine the biomass in one size class to treat the entire community.

I tested the applicability of "Sheldon's hypothesis" to the plankton in lake sites of different trophy, using serial filtration to separate the size classes and particulate phosphorus concentration as a measure of biomass (Peters 1983b). Within the limitations of the analyses, these results seemed to support the hypothesis and from them I was able to develope a regression model to predict the biomass in different size classes of lake plankton from the total phosphorus concentration of the water.

The limitations of this model were subsequently tested in a series of four very different, northern Italian lakes (Peters 1985). These test showed that the model did not apply in winter, when the systems were dominated by very small organisms. Moreover, the predictions did hot apply to hypertrophic Lago di Varese which was much more phosphorus than the Canadian lakes on which the predictions were based, because the proportion of phosphorus in particles in that lake was small, although the distribution of phosphorus across size classes was roughly Constant. Surprisingly, the predictions did apply to Lago d'Orta, despite its contamination and impoverished plankton (Bonacina et al., 1986). In summer, the Canadian regressions appear to apply to oligotrophic and mesotrophic lakes in Italy.

Sprules et al. (1983), using different methods, found that biomass was depressed in the mid-range (circa 100 m) of the size classes they considered; and Sprules and Munawar (1986) noted effects of eutrophy and perturbation on the size structure. This may represent a further refinement of the original hypothesis for limnetic systems and some evidence for such a depression can be seen in my own data. Analyses which sum the biomass in successive size classes, like those I used reduce the visual impact of departures from Sheldon's hypothesis and are difficult to treat statistically because the measurements are not independent. Independent depictions of each size class (Sprules et al., 1983) make them more apparent. Until the different approaches are directly compared, there necessarily be some uncertainty as to which interpretation is more appropriate.

Part of the evaluation of the determination of the size structure of plankton communities should involve a comparison of the implications of the size structures. Size structure attracts our attention because it has implications for community metabolism, resource availabi1ity, and the biological activity of different size classes. Therefore part

of the assessment of the approach must determine if the approach allows us to address these aspects of community ecology. An obvious step is determine if a combination of allometric relations and measured size structures allows an accurate prediction of the respiration rate of planktonic size classes and communities. Preliminary results (Martin Ahrens, McGill University, personal communication) suggest that this so.

Experimental analyses:

A set of studies by Alain Vèzina (1984, 1986) demonstrate that allometry can also be investigated experimentally, both in the laboratory and in the field. It also shows that allometry can lend itself to computer modelling, though this is not in question.

Vèzina wished to develope an allometric approach to predict patterns of material flux and chose to study the flux of radiophosphorus in planktonic systems because our laboratory was familiar with this area. His approach was first to develop physiological relations to describe phosphorus uptake and release for Cladocera and algal cells of different size in a series of laboratory experiments and then to determine the patterns of contamination of naturally occurring plankton in largo plastic tubes ("limnocorrals" or "mesocosms") sunk in the trophogenic zone of a lake within the Atomic Energy of Canada Site at Chalk River in Eastern Ontario. Since the limnetic systems involved more processes than physiological uptake and release, he accommodated this difference with a simple model describing the trophic interactions which redistributed radiophosphorus amog different size classes.

I will not attempt to describe his work in any detail. The laboratory studies showed that radiophosphorus uptake and release I individual alga or zooplankton could usually be described as a two compartment system (Figure 6) involving a small compartment which turns over rapidly and a large compartment which turns over slowly. This the most common depiction of elemental and contaminant turnover whole organisms in the plankton (Peters and Rigler, 1973, Lampert, 197 Lampert and Gabriel, 1984) and elsewhere (Di Gregorio et al., 1978; Mailhot et al., in press). The relative sizes of these two compartments we: independent of size, but the rates of turnover fell in larger organisms and when corrected for size effects they were greater in zooplankton than in unicells. This is all in accordance with the general patter; of allometry described above. Although the slopes in some allometry relations describing some rate constants of phosphorus turnover we significantly different from -1/4, Vézina constrained his relations this slope to allow a steady state. These relations are the bas descriptions of the autecolgy of radiophosphorus flux.

In three field experiments, Vézina added a pulse of radiophosphate to each of two replicate columns and followed the incorporation of this material into different size classes of the plankton over time. His results (Fig 7) showed very clearly that size has a major and

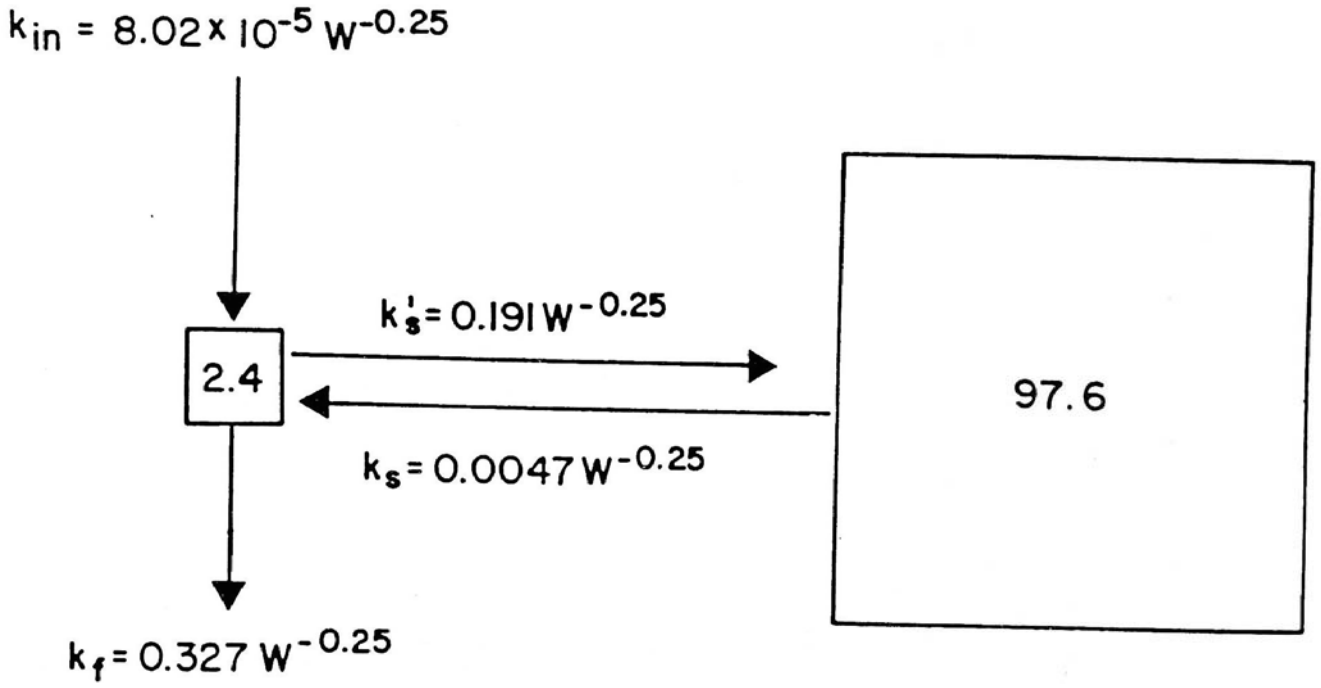


Figure 6. A two—compartment model of radiophosphorus uptake and release by cladocerans. The figures in the boxes are the proportions of body P in the small, fast and large, slow compartments expressed as a percentage of the total. All rate constants are in %/minute, except for kin which is expressed as litre/min per mg dry weight of animal. The slopes of these regressions have been set at -0.25-and the elevations determined from laboratory experiments (From Vèzina, 1984).

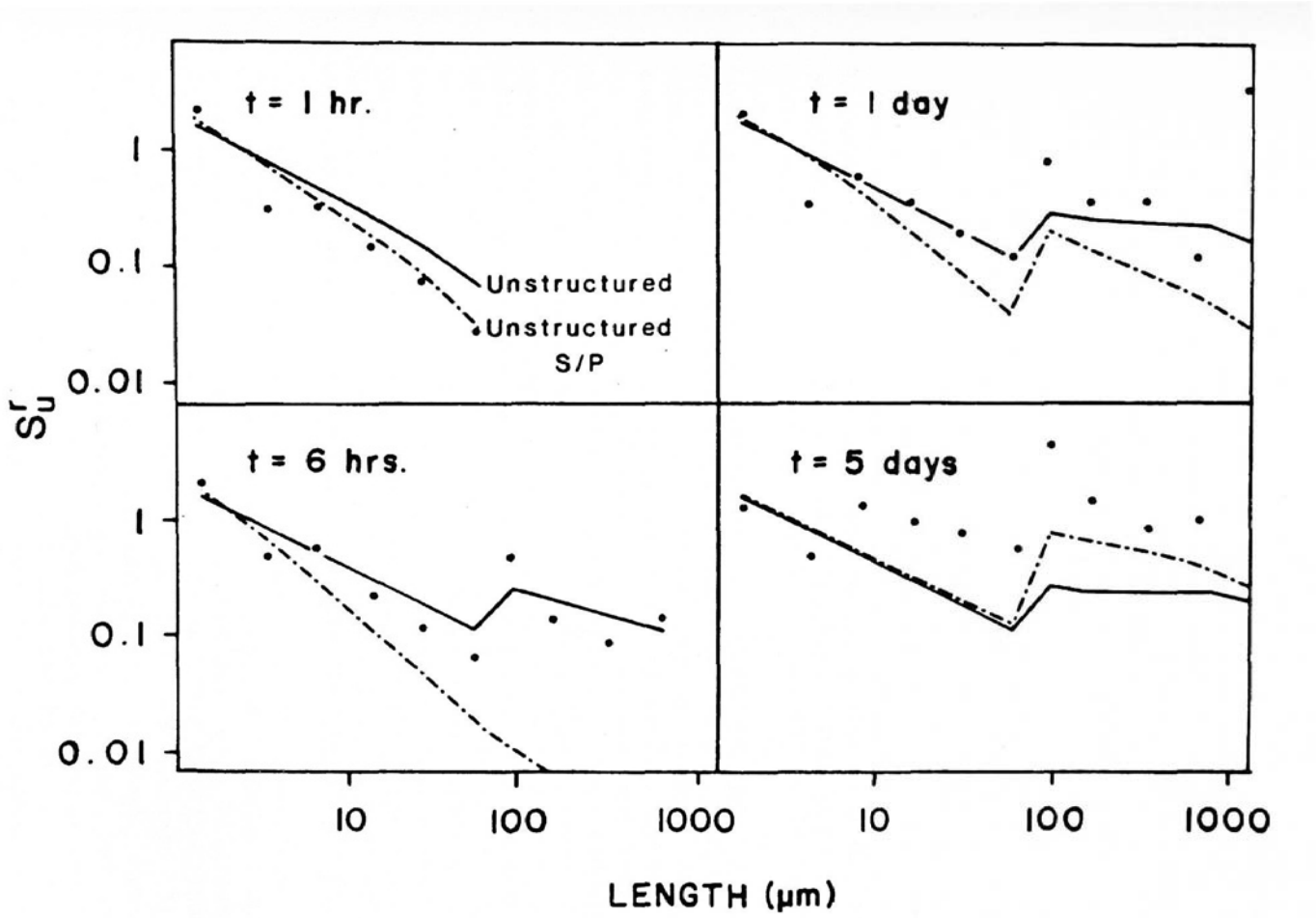


Figure 7. A comparison of the distribution of radiophosphorus with time in different size classes of the plankton in a 1 m diameter plastic tube to which a pulse of radio-active phosphate had been added. The two curves represent the output from two computer models with differing trophic structures which attempt to simulate the observed patterns (From Velina 1984).

consistent effect on the distribution of tracer. Early in the experiment, the smallest organisms were the most heavily contaminated, but with time larger organisms became heavily labelled, and by the end of the 5-day experiments tracer was spread relatively evenly across the plankton community. There is a discontinuity in specific activity at lengths of about 100 m. To either side of this division there is a pronounced inverse relationship between size and tracer accumulation. Size classes larger than this, which include the zooplankton, become labelled as quickly as classes below despite their difference in size (perhaps reflecting the faster metabolism of metazoa) and actually reach higher specific activities (perhaps reflecting selective predation or assimilation of more labile phosphorus fractions by heterotrophs).

The accumulation of tracer and its movement among size classes represents the net effect of the physiology of uptake and release, which were approximated through laboratory studies, and the ecology of interaction among the components of the lake community. No description of these ecological interactions exists which would be useful in this application and the measurements of such interactions seemed too time-consuming, so Vèzina decided to assume a series of simple systems of interaction, which when combined with the physiological relations would allow prediction of contaminant burden in different size classes.

One of the more successful of these ecological models assumed either that the food web in the plankton was highly interactive so that each compartment took a proportion of its food from all others (the "unstructured model"). This is an elaboration of earlier unstructured models developed by Peters (1978) and Griesbach et al. (1981). In addition, the physiological relations for phosphorus flux were set to an allometric model (Fig 6), in which the exponents of weight were set at -1/4 and to a null model in which all flux rates were set to average values, independent of size. These models were "run" and the predicted relative specific activities of each size class at each sampling (the ratio of the specific activity of the size class to that of the whole water sample) was calculated. An index of goodness of fit was devised which is the average error associated with all the predictions in each experiment. The best model is that which yields the lowest average error and in which the average error is stable over time and size.

These comparisons showed that allometric models consistently outcompeted null models. The results were equivocal about the validity of the unstructured model and Vèzina concluded this work with a hybrid model (his "unstructured S/P" model) which allowed the smaller (<100 m) "algal" classes to take up only soluble radiophosphorus, but placed the larger (heterotrophic?) classes in an unstructured food web in which they fed on the smaller organisms and on one another. This produced a closer agreement between prediction and observation (Fig. 7) but is clearly only an ad hoc adjustment. Further development of this sort of model requires more information about other systems, other materials or about the allometry of trophic interaction. However, Vèzina's work has shown that these further questions can be addressed within the framework of a single research program and I hope that it encourages others to make similar contributions.

Other systems:

I now want to leave planktonic systems and to consider two very different approaches and problems in limnology where size has played a part. These are the development of separate sets of models to predict the feeding rates of blackflies (Simulidae) in streams by Antoine Morin (1987) and the yield of brook trout (*Salvelinus__fontinalis*) to the recreational fishery of Quebec lakes by Lyse Godbout (4987). I wanted to end with these examples because neither was intended to be a study in allometry, but both identified body size as an important variable which should be considered. In neither case was body size the only variable of interest and therefore these studies also show the benefits of integrating allometric analyses with other parts of the science as one more tool which allows us to make more effective predictions. Similarly the necessity of other variables in these relationships demonstrates how much we would lose if allometry became a subdiscipline intent merely on demonstrating that size can predict many things, rather than making each prediction as powerful as can be.

Any hiker in the Canadian woods will know that blackflies are an obvious and important part of the System. The adults are savage and bloodthirsty biting insects which have rendered more than one weekend unsupportable; they are so abundant that they have a significant effect on holiday schedules, land prices and tourism. The larvae live in streams, especially at lake outlets, where they live attached to the substrate by silken threads, and feed by filtering seston from the passing water. The larvae may be an important element in the food of stream-dwelling fish and are certainly the target for control programs which are based on the addition of pathogenic bacteria to likely sites. The effectiveness of such programs depends in part on the distribution and abundance of the larvae and on their feeding at sufficient rates to ingest enough pathogen. Thus Dr Morin set out to identify the determinants of black fly abundance, productivity and ingestion, although only the latter work will figure here.

Table 2. An empirical model of the ingestion rate of larval simuliids (I, in mm^3/min) as a function of larval length, stream temperature, and seston concentration. Common logarithms are used throughout (Morin et al., in press).

Y		b X	SE	Units
Log I	=	- 4.9	0.019	
		+ 2.4 log Length	0.023	mm
		+ 0.037 Temperature	0.001	C
		- 0.58/Seston	0.020	mg/l
		+0.60 log Length/Seston	0.038	
R= 0.92		Sxy = 0.25	n =4500	

Dr. Morin estimated the feeding rates of larval simuliids feeding in plastic troughs carrying natural river water. The guts of the larvae were marked with a pulse of powdered charcoal and the time required for this marker to pass the gut was calculated. This figure combined with gut volume was then used to estimate feeding rate in volume of seston ingested per animal per unit of time. Linear regressions based on the *Simulium venustum/verecundum* species complex described these rates as functions of animals length, stream temperature and stream seston levels (Table 2). These models also proved successful in predicting the feeding rates of other species of larval blackflies in these troughs and approximated the values reported elsewhere for blackflies and for other detritivorous benthic invertebrates. The feeding rates of larval black flies are somewhat higher than those for filter feeding zooplankton by Peters and Downing (1983).

Dr Godbout addressed a very different problem in her analysis of the brook trout fishery in Quebec lakes. This fishery is extremely important both socially and economically for the province. Socially, about one sixth of the population are anglers and on average they dedicate almost two weeks a year to their hobby. Brook trout is the major sportfish and accounts for over 100 million dollars annually in direct expenditures, much of this directed to remote, rural sections of the society.

The protection and use of this fishery is a priority for the provincial government closely controls access to the lakes and routinely measures fishing success and effort. Dr. Godbout used these years of data to develop empirical models of brook trout catch by regression of observed catch against a range of variables. Her initial analyses involved predictor variables that were available from the government data files or easily collected from maps and libraries,

Table 3 A preliminary model predicting annual catch in number of fish per lake in the recreational fishery for brook trout (*Salvelinus fontinalis*) in Quebec (Godbout 1987) as a function of fishing effort, lake surface area, lake altitude, average individual weight of fish, and of the variance in annual effort among years. Common logarithms are used throughout.

Y		b X	SE	Units
log C	=	- 1.02	0.32	
		+ 0.69 log Effort	0.04	h/year
		+ 0.18 log Area	0.04	ha.
		+ 0.38 log Altitude	0.09	m a.s.l.
		- 0.89 log Weight	0.07	g
		- 0.89 Variance	0.21	
		R= 0.98	n= 164 lakes	

Table 4 A model predicting annual catch in number of fish per lake (C) in the recreational fishery for brook trout (Salvelinus fontinalis) in Quebec (Godbout 1987) from fishing effort, lake area, lake pH, total phosphorus concentration, and individual fish weight. Common logarithms are used throughout.

Y		b Xi	SE	Units
log C	=	- 1.29	0.35	
		+ 0.58 log Effort	0.08	h/year
		+ 0.36 log Area	0.08	ha
		+ 0.10 pH	0.05	
		- 0.89 log Phosphorus	0.35	mg/m3
		- 0.68 log Weight	0.13	g
		R= 0.98 Sxy = 0.015		n= 46 lakes

supplemented by an additional data set she collected in a single site visit. These data were sufficient to show that existing models tended to underestimate the observed catches from this fishery, likely because the lakes in the Quebec trout fishery are smaller and more oligotrophic than most used in previous models, so the existing models do not apply well to these lakes. Models based on these preliminary data (e.g. Table 3), showed that fish catch depended on effort or lake morphology, lake altitude, and the average body weight of the fish. Unfortunately collinearities in the data set prevented simultaneous use of all the data. For example, effort and area were so closely linked that their effects could not be disentangled and only one of these variables could be used at a time.

These tentative models were then used to design an intensive sampling program over a further set of lakes which were sampled at least three times. This final model (Table 4) quantified the relationships with effort, area, trophy and acidity, and still included a terra for size.

4. CONCLUSIONS

Body size is probably the most revealing piece of information we :an have about any organism and it is certainly among the easiest to measure. Because of these twin virtues, it has been possible to develop /hat is the largest body of quantitative biological theory and predictions, largely from reanalyses of the existing literature. Although any univariate approach to biology has its limitations in precision and applicability, allometry is likely less restricted than many alternatives.

Nevertheless, size is only the most powerful variable determining hat biological systems do, it is not the only one. If we wish to develope more precise and accurate and versatile models, we will have o consider other variables simultaneously. Those who have worked with library analyses know how difficult it is to find two variables that ere measured simultaneously in studies not investigating that particular interaction. The chances of finding three appropriate

variables is likely an order of magnitude less. This limits the extent to which retrospective analyses can be use for multivariate analyses.

This limitation, plus our growing interest in variables which have not traditionally been studied in biology, will force allometricians to make their own measurements. Our experience at McGill shows that this is not an unwelcome prospect for it will allow us to use again the skills of the primary researcher that make science such fun. Allometry can be addressed in laboratory experiments, in field experiments, in intensive studies of single lakes, and in cross-sectional studies of many water bodies. Moreover, our extensive collective experience with allometry provides a context for more detailed study and a set of skills for dealing with size and its effects experimentally, analytically, mathematically and statistically. In all of this, allometry must not become an sel-defined end in itself, but must remain a means to help address the ends of ecological science. Ultimately, size may be just another variable in multiply determined systems, but I think it is likely to remain an important one for some time to come.

BIBLIOGRAPHY

Bonacina, C., Bonomi, G. and Mosello, R. 1986 - Notes on the present recovery of Lake Orta: an acid, industrially polluted, deep lake in north Italy. Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 44: 97-115.

Blueweiss, L., Fox, H., Kudzma, V., Nakashima, D., Peters, R. & Sams, S.; 1978 - Relationships between body size and some life history parameters. Oecologia, 37, 257-72.

Borgmann, U.; 1982 - Particle size conversion efficiency and total animal production in pelagic ecosystems. Can. J. Fish. Aquat. Sci.39: 668-679.

Calder, W. A., III.; 1984 - Size, function and life History. Cambridge Mass. Bellknap Press,

De Bernardi, R. and Peters, R. H.; 1987 - Why Daphnia? Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 45: 1-9.

Dickie, L. M., Kerr, S. R., and Boudreau, P. R.; 1987 - Size-dependent processes underlying regularities in ecosystem structure. Ecol. Monogr. 57: 233-250.

Di Gregorio, D., Kitchings, T. and Van Voris, P.; 1978 – Radionuclide transfer in terrestrial animals. Health Physics 34: 3-31.

Godbout, L.; 1987 - Empirical models predicting catch of brook trout (Salvelinus fontinalis) in Quèbec sport fishery lakes. Ph.D. thesis, McGill University

Gould, S. J.; 1979 - An allometric interpretation of species-area curves. American Naturalist. 114: 335-343.

Griesbach, S., Peters, R. H. and Youakim, S.; 1982 - An allometric model for pesticide bioaccumulation. Can. J. Fish Aquat. Sci. 39: 727-735.

Harvey, P. H. and Mace, G. M.; 1982 - Comparisons between taxa and adaptive trends: problems in methodology. King's College Sociobiology Group (eds.) Current Problems in Sociobiology. Cambridge: Cambridge University Press, pp 343-361.

Hebert, P. D N.; 1978 - The population biology of Daphnia (Crustacea: Daphniidae) 53: 387-

Hemmingsen, A. M.; 1960 - Energy Metabolism as related to body size and respiratory surfaces, and its evolution. Rep.Steno Mem. Hosp. (Copenhagen) 9, 1-110.
Kermack, K. A. and Haldane, J. B. S. ; 1950 - Organic correlation and allometry. Biometrika 37: 30-41.
Kerr, S. R.; 1974 - Theory of size distributions in ecological communities. J. Fish. Res. Board Can. 31: 1859-1862
Kleiber, M.; 1961 - The Fire of Life. New York: Wiley.
Lampert, W. ; 1975 -. A tracer study of the carbon turnover of Daphnia pulex Verh. Intern. Ver. Limnol. 19: 2913-2921.
Lampert, W.; 1984 - The measurement of respiration. In Downing J. A. and F. H. Rigler, eds., A manual on methods for the assessment of secondary productivity in freshwaters. Blackwell: London. pp 413-468.
Lampert, W.; 1987 - Feeding and assimilation in Daphnia. Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 45, in press.
Lampert, W. and Gabriel, W.; 1984 - Tracer kinetics in Daphnia: An improved two-compartmental model and experimental test. Arch. Hydrobiol. 100: 1-20.
Lynch, M.; 1980 - The evolution of cladoceran life histories. Quart. Rev. Biol. 58: 23-42.
Mailhot, H., Peters, R. H. and Cornett, J. R.; 1988 - The biological half-time of radioactive cesium in poikilothermic and homeothermic animals. Health Physics: in press.
Morin, A.; 1987 - Estimation and prediction of black fly abundance and productivity. Ph. D. thesis. McGill University. 289 pp.
Morin, A. and Peters, R. H.; 1988 - Effect of microhabitat features, seston quality and periphyton on abundance of overwintering black fly larvae in southern Quebec. Limnol. Oceanogr.: in press.
Morin, A., Back, C., Chailifour, A., Boisvert, J., and Peters, R.H.; 1988 - Empirical models predicting ingestion rates of black fly larvae. Can. J. Fish. Aquat. Sci.: in press.
Murphy, D.D. and Wilcox, B. A.; 1986 - On island biogeography and conservation. Oikos 47: 385-7.
Peters, R. H.; 1978 - Empirical physiological models of ecosystem processes. Verh. Internat. Verein. Limnol. 20: 110-118.
Peters, R. H.; 1983a - Ecological Implications of body size. Cambridge: Cambridge University Press.
Peters, R. H.; 1983b - Size structure of the planktonic community along the trophic gradient of Lake Memphremagog. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 40: 1770-1778.
Peters, R. H.; 1985 - Seasonal and trophic effects on size structure of the planktonic communities in four lakes of northern Italy. Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 43: 91-104.
Peters, R. H.; 1986 - The role of pediction in limnology. Limnol. Oceanogr. 31: 1143-1159.
Peters, R. H.; 1987 - Metabolism in Daphnia. Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 45, 193-243.
Peters, R. H. ; 1988a - The relevance of allometric comparisons to growth, reproduction, and nutrition in primates and man. In Comparative Nutrition. K. Blaxter & I. Macdonald, eds. London: John Libbey. pp.1-19.
Peters, R. H. & Downing, J. A.; 1984 - Empirical analysis of zooplankton filtering and feeding rates. Limnol. Oceanogr., 29, 763-84

Peters, R. H., & Rigler, F. H.; 1973 - Phosphorus excretion by Daphnia. Limnol. Oceanogr., 18: 821-839.
Peters, R. H., & Wassenberg, K.; 1983 - The effect of body size on animal abundance. Oecologia, 60, 89-96.
Platt, T.; 1985 - Structure of the marine ecosystem: its allometric basis. Can. J. Fish. Aquat. Sci. Bull. 213: 55-64.
Prothero, J.; 1986 - Methodological aspects of scaling in biology. J. Theor. Biol.. 110: 259-286
Ricker, W. E.; 1984 - Computation and use of central trend lines. Can. J. Zool. 62: 18971905.
Seim, E. and Saether, B.-E.; 1983 - On rethinking allometry: Which regression model to use. J. Theor. Biol. 104: 161-168.
Sheldon, R. W., Prakash, A. and Sutcliffe, W. H., Jr.; 1972 - The size distribution of particles in the ocean. Limnol.Oceanogr. 17: 327-340.
Sournia, A.; 1982 - Form and function in marine phytoplankton. Biol. Rev. 57, 347-394.
Sprules, W. G., Casselman, J. G. and Shuter, B. J.; 1983 – Size distribution of pelagic particles in lakes. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 40: 1761-1769.
Sprules, W. G. and Munawar, M.; 1986 - Plankton size spectra in relation to ecosystem productivity. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 43: 1789-1794.
Vèzina, A. F.; 1984 - The size dependence of radiophosphorus bioaccumulation in the freshwater plankton. Ph. D. Thesis. McGill University.
Vèzina, A. F.; 1986 - Body size and mass flow in freshwater plankton: models and tests. J. Plankt. Res. 8: 939-956.
White, J. F. and Gould S. J.; 1965 - Interpretation of the coefficient in the allometric equation. Amer. Natur., 99: 5-18.
Zar, J. H.; 1968a - Calculation -and miscalculation of the allometric equation as a model in biological data. BioScience 18: 1118-1120.
Zar, J. H.; 1968b - Standard metabolism comparisons among orders of birds. Condor 70; 278.

COMUNICAZIONI

Da pag. 53 a pag 58

INDAGINI PRELIMINARI SULLA FAUNA BATIALE (MARE DI SARDEGNA)

Albertelli G. e Drago N.

Istituto di Scienze Ambientali Marine.Università di Genova

RIASSUNTO

Si riportano alcuni dei risultati ottenuti nel corso di una campagna oceanografica condotta nel 1987 nelle acque nord occidentali della Sardegna. Scopo della ricerca è lo studio della fauna presente su fondali ubicati a profondità di 2000 m e che è possibile catturare mediante nasse. I diversi tipi di nassa impiegati hanno consentito di raccogliere alcuni esemplari di Geryon gordonae Ingle (Brachiuro Gerionidae) che non era ancora stato segnalato per il Mediterraneo. Altra specie catturata è lo Squalidae Centroscymnus coelolepis Bocage e Capello per il quale si è ipotizzato un comportamento gregario.

SUMMARY

This work deals with the bathial fauna collected with bow-nets on bottom 2000 m deep off sardinian north-western coasts. The A.A. report the new record for the Mediterranean Sea of a crab. Geryon gordonae Ingle, previously found only on the deep atlantic bottoms. Other observations concern Centroscymnus coelolepis Bocage and Capello (Squalidae) that seems to present a gregarious behaviour.

1.INTRODUZIONE

L' Istituto di Scienze Ambientali Marine nel periodo 14-31 Agosto 1987 ha promosso una campagna oceanografica al largo delle coste nord orientali ed occidentali della Sardegna, con la N.R. "Minerva", il cui scopo era la raccolta e lo studio di organismi marini, che potevano venir catturati mediante nasse su fondali ubicati a circa 200O m di profondità.

L' interesse per le ricerche sulla fauna degli ambienti di scarpata e di piana batiale, iniziate presso l'Istituto di Scienze Ambientali Marine a partire dal 1979 sui fondali antistanti il Promontorio di Portofino e la città di Genova (Della Croce, 1979; Cattaneo ed Albertelli, 1983; Albertelli e Cattaneo, 1985) può essere ricondotto a tematiche prettamente ecologiche quali la dispersione elevata delle popolazioni bentoniche, la loro diversità e la loro composizione e struttura.

Gli studi sino ad oggi condotti sugli alti fondali sono pochi e la letteratura presente per il Mar Mediterraneo è particolarmente carente. Tale carenza può essere in parte attribuita alle oggettive difficoltà legate al campionamento ma anche alla carenza di adeguati mezzi nautici attrezzati per le raccolte.

2. MATERIALI E METODI

L'indagine è stata condotta mediante quattro tipi di nasse, diverse per foggia e dimensione, per le quali sono state utilizzate esche sostanzialmente costituite da organismi marini freschi e congelati e da rifiuti di cucina.

Le nasse sono state calate a 25 nm ad ovest di Capo Caccia (lat. 4O°24'8O N - long. 07°37'8O E); era previsto il loro utilizzo anche al largo della costa orientale sarda (Fig. 1).

I dati concernenti le metodiche di prelievo sono stati oggetto di un rapporto tecnico (Della Croce et ali., 1988).

3. RISULTATI

L' uso delle nasse per il prelievo degli organismi ha chiaramente operato una selezione delle prede non solo dal punto di vista trofico ma anche dal punto di vista dimensionale. Infatti gli organismi, in quanto attratti dalle esche, dovevano necessariamente appartenere al gruppo trofico dei carnivori o dei necrofagi.

I risultati riportati si riferiscono alla sola stazione posta a nord-ovest della costa sarda. Infatti in tale zona le condizioni meteomarine e 1' operatività della nave hanno consentito di portare a favorevole conclusione quattro operazioni di raccolta. Non è stato possibile, invece, operare i prelievi nella zona nord-orientale a causa della rottura di una cima di ormeggio che non ha

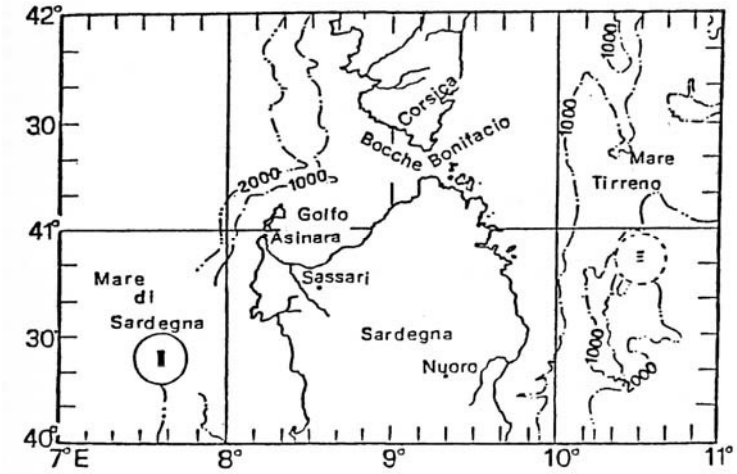


Figura 1- Posizione della stazione di campionamento.

consentito il recupero delle attrezzature dopo la prima calata. I campionamenti effettuati in questa seconda area non hanno quindi riguardato gli organismi batiali.

Le operazioni di raccolta hanno interessato fondali ubicati tra 1990 e 2016 m ed il tempo di permanenza delle nasse sul fondo è stato di 23 h e 48' per la prima raccolta, 40 h e 08' per la seconda, 23 h per la terza e 40 h e 25' per la quarta. La variabilità della permanenza sul fondo è dovuta per la seconda e la quarta operazione alle condizioni del mare che non hanno permesso il recupero delle nasse dopo le prime 24 ore.

Le catture sono state registrate solo per le nasse di maggiori dimensioni; le nasse di dimensioni inferiori, filate a mare per la raccolta di piccoli organismi macrobentonici quali i Policheti, i Crostacei (soprattutto Anfipodi ed Isopodi) nonché gli Echinodermi, non hanno mai operato positivamente.

I risultati di maggiore interesse riguardano ritrovamenti faunistici ed osservazioni di carattere etologico. Dal punto di vista faunistico una specie delle tre catturate risulta essere il Crostaceo Decapode Brachiuro Geryon gordonae Ingle. Tale ritrovamento costituisce la prima segnalazione della specie per il Mediterraneo. I ritrovamenti precedenti di Geryon gordonae si localizzano infatti nelle acque dell'Oceano Atlantico (Ingle ,1985) tra 1153 m (Sierra Leone Ridge) e 2015 m (Porcupine Sea Bigth e Rockall Trough) di profondità.

Gli esemplari catturati al largo della Sardegna sono in totale 7 di cui 4 maschi e 3 femmine tutte ovigere. Il primo esemplare catturato, verosimilmente un maschio date le grandi dimensioni, è andato perduto al momento dell'affioramento della nassa durante il primo recupero attraverso gli squarci ritrovati sulla rete di rivestimento. Tali squarci sono da attribuire ad un selacio- presumibilmente Hexanchus griseus (Bonn.)- a giudicare dalla forma e dalle dimensioni delle impronte lasciate sulla rete.

I Geryon gordonae raccolti non sono tuttavia identici a quelli atlantici, soprattutto riguardo ai dattili dei pereiopodi (dorso-ventralmente) appiattiti invece che compressi. Infatti dopo l'esame di un maschio e di una femmina inviati al British Museum è stata sottolineata l'importanza di questo aspetto morfologico (Ingle, comm. pers.). Effettivamente la forma del dattilo, fino ad ora, aveva permesso di separare in due gruppi omogenei le specie atlantiche e mediterranee di Geryon attualmente conosciute (Ingle, 1985; Manning and Holthuis, 1987). Tuttavia, questo carattere morfologico, allo stato attuale delle conoscenze sulla variabilità della specie, non è sufficiente per considerare gli esemplari raccolti come appartenenti ad una varietà mediterranea.

Dalla letteratura relativa alla specie si può notare una sua preferenza per substrati di una certa consistenza, cioè per fondi che, anche se non rappresentati da substrato duro, siano costituiti quanto meno da sedimenti il cui strato superficiale si presenti notevolmente compatto.

Nella stazione ubicata a nord-ovest della Sardegna l'osservazione sui sedimenti è stata effettuata solo in via indiretta. Tale osservazione è stata infatti ricavata dal controllo, metodico ed accurato, delle nasse dopo il loro recupero. La nassa più pesante (28 Kg) ha presentato, dopo una risalita di 2000 m ca, ancora tracce di fango nella sua parte inferiore per un'altezza di circa 10 cm. L'affondamento, piuttosto limitato, è indice di un sedimento discretamente compatto e viscoso. Non è stato possibile fare osservazioni dirette più accurate sul sedimento.

Inoltre non si è individuata quale delle esche sia risultata la più adatta alla cattura della specie.

Gli altri organismi catturati risultano essere il Decapode Natante Acanthephyra eximia S.I. Smith e lo Squalide Centroscymnus coelolepis Bocage e Capello. Queste catture sono analoghe a quelle effettuate con nasse nelle campagne del Principe di Monaco (1932) considerando che Acanthephyra pulchra M. Edw. è sinonimo di A. eximia Smith; inoltre il Centrophorus squamosus Bonn, citato è in realtà Centroscymnus coelolepis Bocage e Capello come dimostrato da Tortonese (1952). Il Centroscymnus è stato raccolto in buon numero (17 esemplari di cui 16 adulti in una sola nassa tra cui 10 maschi e 4 femmine; di 2 altri esemplari erano rimaste le sole teste in seguito ad un caso di cannibalismo) consentendo di ipotizzare per la specie un comportamento gregario, di sottolinearne l'importanza quale "cropper" e di effettuare osservazioni sul contenuto stomacale. Uno solo dei Centroscymnus aveva inghiottito un pezzo di carne dall' esca, gli altri individui avevano gli stornaci vuoti ad esclusione di uno che conteneva le mascelle di un cefalopode e di un altro che si era nutrito a spese dei due consimili di taglia inferiore dei quali erano rimaste presenti nella nassa le sole teste.

4. CONCLUSIONI

II ritrovamento di una specie non ancora segnalata per il Mediterraneo unitamente alle altre osservazioni effettuate nel corso della campagna condotta nel Mare di Sardegna, in un limitato periodo di tempo e con attrezzature sicuramente non sofisticate, sottolineano ancora una volte come gli ambienti profondi in generale e del Mediterraneo in particolare rappresentino un campo di studio di estremo interesse non solo dal punto di vista prettamente zoologico ma anche e soprattutto dal punto di vista ecologico. Si auspica che l'interesse suscitato dalle ricerche condotte sui fondi batiali serva da stimolo al superamento di tutte le difficoltà oggettivamente presenti non solo nell'esecuzione del campionamento ma anche nella corretta interpretazione dei dati.

5. RINGRAZIAMENTI

Gli A.A. sono particolarmente grati al Dr R.Ingle del Department of Zoology (British Museum) per la conferma della determinazione di Geryon gordonae nonché per le preziose osservazioni sulla specie.

6. BIBLIOGRAFIA

Albert Ier, Prince de Monaco; 1932 - Sur la faune des eaux profondes de la Méditerranée au large de Monaco. Rés. des Camp. Sci, du Prince Albert Ier- Rèc.des Trav., 84, 369 pp.

Albertelli G., Cattaneo M.; 1985 - Macrobenthos dei fondi molli del Mar Ligure. Atti 6° Congr. Ass . Ital. Oceanol. Limnol., (Livorno, 12-14 aprile 1984), 87-97.

Cattaneo M., Albertelli G.; 1983 - Macrobenthos dei fondi batiali liguri. Atti 5° Congr. Ass. Ital. Linmol. Oceanol.. (Stresa, 19-22 maggio 1982), 251-260.

Della Croce N.; 1979 - Discariche in mare di materiali provenienti dalle escavazioni subacquee del porto di Genova. Ed. Università di Genova, 132 pp.

Ingle R.W.; 1985 - Geryon gordonae sp. nov. (Decapoda Brachiura, Gerionidae) from the Northeastern Atlantic Ocean. Crustaceana. 48(1), 88-98.

Mannihg R.B. and Holthuis L.B.; 1987 - The status of Geryon trispinosus (Herbst)(Geryonidae). Inv. Pesq., 51 (supl.l), 57-62.

Tortonese E.; 1952 - Studi sui Plagiostomi. VI, osservazioni critiche su alcune specie mediterranee Arch. Zool. Ital. 37, 383-395.

ATTI DELL'8°CONGRESSO A.I.O.L.
PALLANZA 1-3 GIUGNO 1988 da pag. 59 a pag. 66

CARATTERISTICHE TROFICHE DI UNA STAZIONE COSTIERA IN MAR LIGURE *

ALBERTELLI G. e FABIANO M.

Istituto di Scienze Ambientali Marine, Università di Genova.

RIASSUNTO

Un ciclo annuale di campionamento (settembre 1983 -settembre 1984) è stato condotto su una stazione ubicata a 10 m di profondità nella Zona Pilota di Chiavari (Mar Ligure) al fine di valutare le caratteristiche trofiche che consentono il flusso di energia tra colonna d'acqua e sedimenti.

Nella colonna d'acqua sono state stimate le variazioni del materiale particellato sospeso, del Carbonio e dell'Azoto particellato. La clorofilla-a ha mostrato un andamento caratterizzato da concentrazioni elevate nel periodo compreso tra gennaio e maggio. Il popolamento macrobentonico del sottostante fondale è riferibile alla biocenosi delle Sabbie Fini Ben Calibrate (SFBC). Di tale popolamento sono stati presi in considerazione i gruppi dei Molluschi e degli Echinodermi. La ricerca ha consentito di individuare alcune specie (Echinocardium cordatum, Acrocnida brachiata e Spisula subtruncata) in grado di trasferire energia dalla colonna d'acqua ai fondi.

SUMMARY

The aim of the research is the evaluation of the trophic features that allow the energy fluxes from the water column and the sediments. An annual sampling (september 1983 -september 1984) was carried out on a station (10 m deep) in the Pilot Zone of Chiavari (Ligurian Sea). The variations of the total suspended matter and of the particulate carbon and nitrogen in the water column were described. The phytoplankton biomass (as chlorophyll-a concentrations)shows a trend with higher values between January and May. The biomass variation was described only for Molluscs and Echinoderms of the SFBC biocenose. Data point out that some species (Echinocardium cordatum, Acrocnida brachiata and Spisula subtruncata) transfer energy from the water column to the bottom.

_ _

*Lavoro eseguito nell'ambito del contratto CNR n. 82.02400.04

1.INTRODUZIONE

L' apporto di sostanze nutritive al benthos marino costiero è dovuto in buona parte al trasporto verticale di materia organica particellata (Smetacek, 1983). Le variazioni temporali, qualitative e quantitative, del materiale particellato costituiscono uno dei fattori che concorrono a determinare la struttura trofica e le potenzialità produttive del popolamento bentonico.

La variazione stagionale della sostanza organica particellata e la produzione delle acque e dei fondi della platea continentale ligure sono state oggetto di ricerche pluriennali condotte in un'area ubicata nella Riviera di Levante al largo di Chiavari (Albertelli et al.,1982; Albertelli e D'Ambrosio, 1986; Fabiano, 1984 a; 1984 b; Fabiano et al., 1984). Questo lavoro riferisce circa uno studio condotto nella stessa area su una stazione ubicata a 10 m di profondità (Fig. 1) al fine di individuare alcune interazioni tra potenzialità produttiva della colonna d'acqua ed organismi macrobentonici.

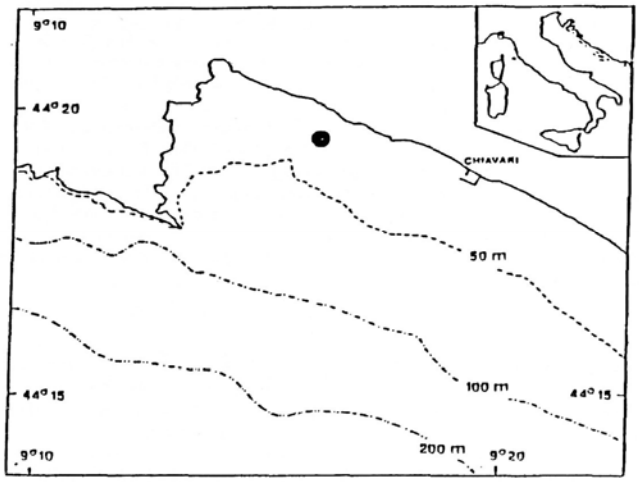


Figura 1- Posizione della stazione di campionamento.

2. MATERIALI E METODI

II campionamento, iniziato nel settembre 1983 e concluso nel settembre 1984, è stato condotto con frequenza mensile. I prelievi, effettuati in immersione con l'appoggio di un battello appositamente attrezzato per i rilievi in mare, hanno

preso in considerazione sia la colonna d'acqua che il sedimento.

Per quanto concerne la colonna d'acqua sono stati raccolti campioni in superficie e nello strato posto nelle immediate vicinanze del fondo. Su tali campioni si sono operate la determinazione gravimetrica del materiale sospeso totale (2 1) e le analisi delle concentrazioni di Carbonio ed Azoto particellato (1 1) e delle concentrazioni di pigmenti clorofilliani (2 1). Si è inoltre provveduto alla raccolta di dati inerenti la temperatura e la salinità nonché di misure di trasparenza mediante Disco di Secchi. In laboratorio i campioni per 1' analisi di C ed N venivano filtrati su filtri Whatman GF/C in fibra di vetro precedentemente calcinati in forno per 2 ore a 450°C mentre per l'analisi gravimetrica del seston si utilizzavano filtri Whatman GF/C calcinati e prepesati. 1 campioni d'acqua destinati all'analisi dei pigmenti clorofilliani venivano filtrati su filtri Millipore (0.8 u). Il dosaggio del C ed N particolati è stato condotto con CHN analyzer (Carlo Erba mod. 1106) utilizzando come standard cicloesanone. La determinazione dei pigmenti clorofilliani è stata effettuata mediante spettrofotometro secondo la metodologia proposta da Strickland and Parsons (1968).

Per quanto concerne i sedimenti sono stati prelevati campioni per effettuare le analisi granulometriche e, su base mensile, si è provveduto alla raccolta degli organismi macrobentonici mediante l'impiego - in immersione - di una sorbona. La superficie campionata è risultata compresa tra 0.70 ed 1 mq per uno spessore di sedimento pari a 20 cm. In laboratorio è stata eseguita l'analisi granu1ometrica mediante setacciatura e la determinazione sistematica degli organismi macrobentonici raccolti. Sempre in laboratorio si è provveduto alla valutazione ponderale della biomassa di Molluschi ed Echinodermi. Tali valutazioni sono state effettuate previa eliminazione della conchiglia dei Molluschi in acido cloridrico diluito (10 % ca) e per gli Echinoidi previa asportazione del sedimento presente all'interno dell'apparato digerente dell'organismo. Le biomasse (peso secco dopo 24 ore a 60°C) sono state valutate mediante 1'utilizzo di una bilancia Mettler H54 AR.

3. RISULTATI

Il materiale particellato sospeso ha valori tipicamente costieri per il Mar Ligure che variano ampiamente tra il massimo di aprile (9.98 mg/1) ed il minimo di luglio (0.53 mg/1). La frazione organica del particellato può essere espressa dal contenuto in Carbonio ed Azoto. Tali valori, mediamente pari a 121.2 ug/1 e 12.6 ug/1, mettono in evidenza la bassa frazione organica del particellato costiero in quest'area (Tab. 1).

Una componente importante della sostanza organica particolata è rappresentata dalla biomassa fitoplanctonica

Tabella 1 - Concentrazioni medie e valori minimi
e massimi di materiale particellato sospeso (TSM), di Carbonio particellato (PC), di Azoto particellato (PN) e di clorofilla-a (Chl-a) espressi in ug/1.

	M	min	Max.
TSM	4210	530	988O
PC	121.2	54.0	255.0
PN	12.6	6.0	29.0
Chl-a	0.71	0.35	1.15

che, espressa come clorofilla-a, risulta mediamente pari a 0.71 ug/1 con massimi in superficie in aprile (1.15 ug/1) e minimi in ottobre (O.35 ug/1) (Tab. 1). L'andamento della biomassa algale risulta caratterizzato da un aumento delle concentrazioni che da febbraio si protrae fino a giugno, mostrando quindi un periodo di fioritura più ampio, rispetto a quello osservato su stazioni, sempre costiere, ma ubicate su fondali più elevati (Fabiano, 1984 a). L'andamento della biomassa algale è inoltre strettamente correlato con l'andamento della trasparenza (P = 0.001 r = 0.442); fa eccezione il campionamento di Febbraio che ad un massimo di clorofilla non fa coincidere un minimo dei valori di trasparenza (Fig. 2). Si ritiene che tale fatto debba imputarsi alle più elevate concentrazioni di pigmento fotosintetico presenti negli organismi fitoplanctonici durante questo periodo di attiva produzione fotosintetica.

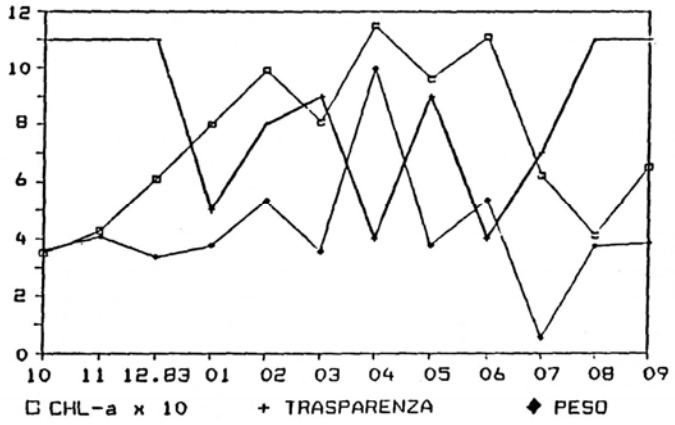


Figura 2 - Variazioni delle concentrazioni di clorofilla-a (superficie) espressa in ug/l x 10, del materiale particellato sospeso (fondo) in mg/1 e dei valori della trasparenza in m.

La trasparenza presenta nel corso del campionamento tre punti di minimo: gennaio, aprile e giugno. I tre momenti, pur coincidendo con massimi relativi di particellato sospeso totale, possono essere ricondotti a due diverse situazioni: a giugno il minimo di trasparenza corrisponde al valore minimo assoluto di salinità in superficie (33.90 $_{0/00}$) dovuto all'apporto di acque continentali provenienti dal vicino fiume Entella. Tale apporto oltre all'aumento del detrito vegetale probabilmente intensifica la stessa attività algale; stessa considerazione può essere fatta per il campionamento di gennaio anche se il minimo di salinità è meno accentuato (36.65 $_{0/00}$) e le concentrazioni di clorofilla sono in fase ascendente; in aprile gli elevati valori del materiale particellato sospeso (9.98 mg/l) in prossimità del fondo fanno attribuire questa fase di bassa trasparenza delle acque a fenomeni di risospensione dovuti alle condizioni perturbate del mare nei giorni precedenti al campionamento.

L'analisi granulometrica del sedimento ha permesso di attribuire la stazione alle sabbie fini e medie. Infatti, in percentuale sul peso la classe granulometrica 250-125 um è quella maggiormente rappresentata (44%) seguita dalle classi 500 - 250 um e 125 - 63 um (rispettivamente pari a 36 e 17%). Le frazioni inerenti alla sabbia grossolana sono percentualmente al di sotto dell' 1 % mentre la componente fangosa (< 63 um) risulta pari al 2 %.

L'analisi bionomica condotta sugli organismi macrobentonici raccolti ha consentito di attribuire il popolamento alla biocenosi delle Sabbie Fini Ben Calibrate (SFBC). Il popolamento nel corso dell'anno è risultato composto mediamente da Policheti (41 %), Crostacei (24 %), Molluschi (20 %), Echinodermi (11 %) ed Altri Organismi (4%). In questo studio vengono presi in considerazione i popolamenti degli Echinodermi e dei Molluschi. Gli Echinodermi risultano costituiti essenzialmente da due specie: Acrocnida brachiata ed Echinocardium cordatum. La prima è una specie considerata sospensivora mentre la seconda appartiene al gruppo dei detritivori. Di entrambe si è valutata la variazione annuale della biomassa. Per quanto concerne i Molluschi è stata presa in considerazione Spisula subtruncata. bivalve sospensivoro, che risulta la specie più rappresentativa del popolamento sia dal punto di vista numerico che ponderale.

Per Echinocardium cordatum ed Acrocnida brachiata si osserva che i valori di biomassa aumentano in corrispondenza dell'aumento della biomassa algale nella colonna d'acqua (Fig. 3a e b). Sembra quindi possibile affermare che esista una relazione trofica tra i due parametri considerati indipendentemente dal regime alimentare delle due specie come già osservato in altri casi (Christensen and Kanneworff, 1985). L'andamento della biomassa di Echinocardium cordatum ed Acrocnida brachiata presenta un minimo in corrispondenza dell'evento meteomarino del mese di aprile. Se il campionamento di aprile non avesse seguito così da vicino tale evento presumibilmente

la curva non avrebbe presentato minimi cosi marcati ma avrebbe avuto un andamento simile a quello riportato da Christensen e Kanneworff (1985).

La Spisula subtruncata presenta un tipico reclutamento nel periodo primaverile in coincidenza con condizioni ambientali e trofiche ottimali della colonna d'acqua. Poiché è noto che esiste una relazione tra il materiale di fondo risospeso e l'efficienza di assimilazione della sostanza organica ingerita (Mohlemberg and Kiorboe, 1981), si è ritenuto opportuno confrontare l'andamento della biomassa della Spisula subtruncata con l'andamento delle concentrazioni di materiale sospeso raccolto in vicinanza del fondo (Fig. 3c). Tale confronto permette di ipotizzare una relazione tra l'aumento della sostanza sospesa totale (TSM), in coincidenza con fenomeni di risospensione e l'aumento riscontrato nel campionamento successivo della biomassa di S. subtruncata sia come numero che come peso. Il crollo delle biomasse in giugno non è necessariamente collegato a situazioni ambientali avverse ma può essere ricondotto alla mortalità naturale piuttosto elevata di questa specie (Masse,1971; 1972).

4. CONCLUSIONI

La stazione in esame risente degli apporti di acque continentali (fiume Entella) che assieme ai fenomeni di risospensione ed ai fenomeni di produzione autoctona di sostanza organica determinano condizioni trofiche che si realizzano in un contenuto di sostanza organica con valori tipici di acque costiere mediterranee.

Tale sostanza organica è disponibile per gli organismi bentonici del sottostante fondale. Tuttavia la relazione tra produzione della colonna d'acqua ed organismi macrobentonici è un fenomeno molto complesso a causa delle diverse vie di utilizzazione della sostanza organica. Tale complessità è all'origine della ben nota difficoltà di evidenziare la reflazione in termini di causa-effetto.

La ricerca ha consentito comunque di individuare alcune specie in grado di trasferire energia dalla colonna d'acqua ai fondi. Di tali specie E. cordatum ed A. brachiata sembrano dipendere direttamente dalla produzione primaria della colonna d'acqua mentre S. subtruncata si deve anche collegare a fenomeni di risospensione.

Si ritiene che lo studio della dinamica di popolazione di E. cordatum. A. brachiata e S. subtruncata potrebbe risultare un valido strumento per una migliore, comprensione delle relazioni trofiche tra colonna d'acqua e fondi.

5. RINGRAZIAMENTI

Si desidera ringraziare la Sig.na S. Fraschetti ed il Dr M. Petrillo per il valido aiuto prestato nel corso della ricerca.

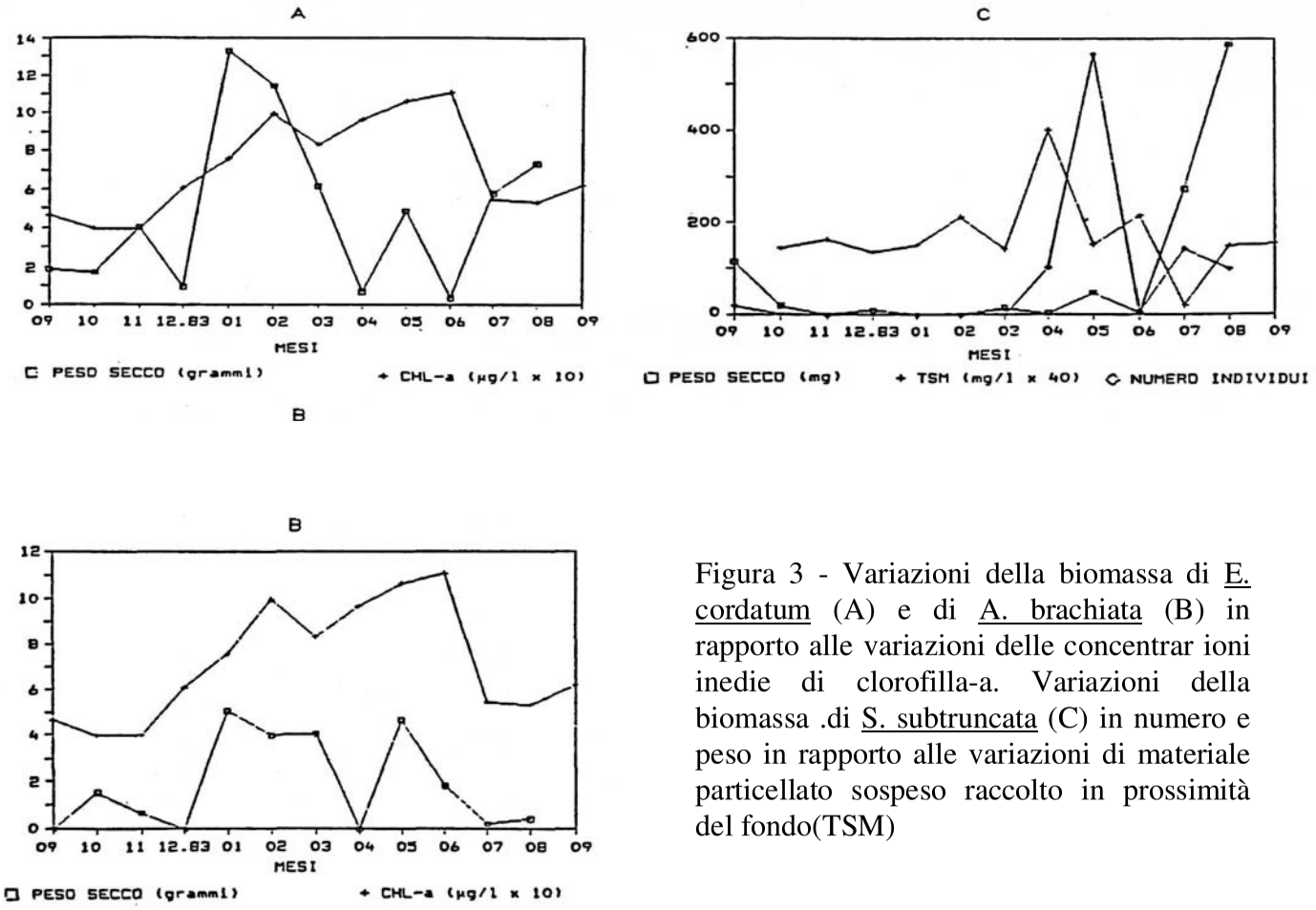


Figura 3 - Variazioni della biomassa di E. cordatum (A) e di A. brachiata (B) in rapporto alle variazioni delle concentrar ioni inedie di clorofilla-a. Variazioni della biomassa .di S. subtruncata (C) in numero e peso in rapporto alle variazioni di materiale particellato sospeso raccolto in prossimità del fondo(TSM)

6. BIBLIOGRAFIA

Albertelli G., Angolino M., Cattaneo M., Della Croce N., Drago N., Fabiano M., Salami Picone P., Zunini Sartorio T.; 1982 - Produzione delle acque e dei fondi in Mar Ligure: Platea Continentale. Atti Conv. Unità Operative Sottoprogetto Risorse Biologiche e Inquinamento Marino. Roma 10-11 novembre 1981, 61-69.

Albertelli G. , D'Ambrosio N.; 1986 - Aspetti ecologici del macrobenthos della zona pilota di Chiavari. Boll. Mus. Ist. Zool. Univ. Genova. 52 (suppl.), 125-137.

Christensen H. and Kanneworff E.; 1985 - Sedimenting phytoplankton as major food source for suspension and deposit feeders in the Oresund. Ophelia. 24(3): 223-244.

Fabiano M. ; 1984 a - Production of the ligurian coastal waters. 1. Hydrology, nutrients and pigments. Atti Acc. Lig. Sc. Lett.. 41, 3-17.

Fabiano M.; 1984 b - Produzione delle acque costiere liguri. 2. Produzione primaria. Mem. Biol. Mar. Ocean. 14, 43-58.

Fabiano M., Zavatarelli M.,Palmero S. ; 1984 - Observations sur la matière organique particulaire (protéines, glucides, lipides, chlorophylle) en Mer Ligure. Téthys 11(2): 133-140.

Masse H.; 1971 (1972) - Contribution a l'étude de la macrofaune de peuplements des sables fins infralittoraux des côtes da Provence. III - L' anse du Verdon. IV - L'anse de St Gervais (golfe de Fos). Téthys. 3(2): 283-319.

Masse H.; 1972 - Contribution a l'étude de la macrofaune des sables fins infralittoraux des côtes de Provence. VI -Données sur la bioliogie des espéces. Téthys. 4(1): 63-84.

Molenberg F. and Kiorboe T.; 1981 - Growth and energetics in Spisula subtruncata (Da Costa) and the effect of suspended bottom material. Ophelia. 20(1): 79-90.

Smetacek V.; 1983 -The supply of food to the benthos. In: Flows of energy and materials in marine ecosystem. Fasham M.J.R. (Ed), Vol. 13, Plenum Press pp. 517-547.

Strickland J.D.H. and Parsons T.R. ;1968 - A practical handbook of seawater analysis. Bull. Fish. Res. Bd. Canada. 167, 311 pp.

ATTI DELL'8° CONGRESSO A.I.O.L.
PALLANZA 1-3 GIUGNO 1988 da pag. 67 a pag 81

VALUTAZIONE DEI PRINCIPALI MECCANISMI INFLUENZANTI L'IDRODINAMICA DEL LAGO MAGGIORE

W. AMBROSETTI, L. BARBANTI

Istituto Italiano di Idrobiologia, CNR Pallanza

RIASSUNTO

Lo scopo di questo lavoro è di definire il quadro generale dell'idrodinamica del Lago Maggiore quantificando alcuni fenomeni molto complessi come i meccanismi di stratificazione e destratificazione del corpo d'acqua, il suo mescolamento verticale tardo invernale e i diversi tipi di circolazione indotti dai flussi advettivi originati dalle acque immissarie.

Questi meccanismi sono controllati dall'interazione di tre forze esterne: la radiazione solare, il vento e la massa d'acqua in entrata al lago.

Le strutture dello strato mescolato dipendono dalla azione combinata del vento e dello scambio calorico superficiale: l'influenza del vento è stata caratterizzata attraverso la "velocità di attrito turbolenta" mentre l'influenza del raffreddamento superficiale è data dalla "velocità di convenzione turbolenta"; da ultimo la "velocità di advezione turbolenta" tiene conto del flusso fluviale attraversante.

Questi tre parametri valutati per il Lago Maggiore dal 1981 al 1985 assieme con i numeri di Wedderburn e di Richardson ci consentono di concludere che la dinamica dello strato mescolato del nostro lago è governata soprattutto dall'agitazione superficiale e dal mescolamento convettivo e solo parzialmente dalle correnti di risalita. Perciò non è usuale in un lago profondo come il Maggiore il verificarsi di mescolamenti verticali completi.

SUMMARY

The aim of this work is to define the generai hydro-dynamic pattern of the Lago Maggiore, quantifying some very complex phenomena such as the thermal stratification-destratification mechanisms of water body, its vertical late winter overturn and the different kinds of circulation induced by the advective flows from the tributaries.

These mechanisms are controlled by the interaction of three external forces: solar radiation, wind and water mass inflowing from the drainage basin. Mixed-layer structures depend from the combined action of wind and surface exchange:

the influence of the wind has been characterized by the "turbulent friction velocity", whereas the influence of surface cooling is given by the "turbulent convection velocity". Lastly the "turbulent advection velocity" considers the influence at the river through-flow.

These three parameters, evaluated for Lago Maggiore, from 1981 to 1985 together with Wedderburn's and Richard-son's numbers, permit us to conclude that the mixed-layer dynamics in our lake are controlled mainly by the superficial turbolence and by the convective mixing and, only partially, by the upwelling events. Therefore it is unusual for a deep lake as Lago Maggiore that a complete vertical mixing can take place.

1. INTRODUZIONE

Come è ben noto il fenomeno idrodinamico più importante che si evidenzia nei laghi profondi temperati delle medie latitudini è la presenza, durante i mesi caldi, di una stratificazione termica più o meno pronunciata e persistente: è il risultato degli interscambi calorici con gli ambienti circostanti e, in particolare, con l'atmosfera soprastante.

Il Lago Maggiore, ad esempio, a partire da Marzo immagazzina una notevole quantità di energia termica, fornita essenzialmente dalla radiazione solare, e a seguito di ciò la colonna 'd'acqua manifesta una stratificazione ben evidente, soprattutto da Giugno ad Agosto. Infatti l'energia cinetica, dovuta in massima parte alla forza del vento, (anche se non mancano altre forme di input, quali per esempio, i fiumi tributari) è in questi mesi insufficiente a vincere l'energia potenziale, evidenziata dalla stratificazione termica. Tuttavia, con il procedere della stagione autunnale, gli strati d'acqua superficiali si raffreddano riducendo sempre più il gradiente di densità che si era instaurato a livello del termoclino stagionale: soltanto allora i flussi di energia cinetica turbolenta, per lo più introdotti dal vento attraverso la superficie libera sono capaci di approfondire lo strato mescolato e di permettere, nel pieno dell'inverno limnologico, una circolazione verticale più o meno completa.

2. STUDI PRECEDENTI

Le ricerche passate sull'argomento hanno quasi sempre affrontato solo alcuni aspetti specifici del complesso problema, mancando cioè di quella visione unitaria ed integrata del fenomeno che sola consente di definire cause ed effetti.

Di qui la necessità di arrivare ad analizzare il .rapporto tra la situazione limnologica e quella meteorologica su basi quantitative. Mentre la fisica dell'atmosfera è di più facile definizione, almeno per quanto concerne le finalità qui proposte, è sufficiente l'utilizzo dei consueti parametri atmosferici, gli aspetti idrodinamici necessitano di essere meglio precisati sulla base di una parametrizzazione espressa in termini numerici.

In questa prospettiva, si inquadra il lavoro di limnologia fisica, avente come oggetto preferenziale il Lago Maggiore, ormai da tempo in atto presso l'I.I.I. di Pallanza: si è proceduto, per esempio, alla definizione del bilancio calorico del lago (Ambrosetti, Barbanti e Rolla, 1978), nonché alla valutazione delle profondità raggiunte dal mescolamento verticale tardo invernale nel corso degli ultimi 35 anni per effetto, dei moti convettivi (Ambrosetti, Barbanti e Rolla, 1979). Più recentemente si sono analizzati alcuni tipi di mescolamento non usuali, provocati per lo più da circuiti con correnti superficiali e contro correnti di fondo, un meccanismo cioè a "nastro trasportatore" (Ambrosetti, Barbanti e Mosello, 1982), nonché altri tipi di mescolamento connessi con le caratteristiche fisiche ed idrologiche degli immissari (Ambrosetti e Barbanti, 1988; Barbanti e Ambrosetti 1985; Ambrosetti, Barbanti, De Bernardi e Libera, 1980). Più recentemente si è poi fatto uso di due parametri numerici particolarmente adatti per una descrizione quantitativa di alcuni aspetti dell'idrodinamica lacustre, vale a dire la stabilità della massa d'acqua intesa tanto come stabilità di Schimdt che come lavoro Birgeano (Barbanti e Ambrosetti, 1987).

3. PARAMETRI IDRODINAMICI

Da questi brevi accenni appare evidente come il problema dell'idrodinamica di un grande lago quale è il Maggiore debba essere analizzato nella sua globalità e come esso sia ancora ben lungi dall'essere risolto, stante la estrema complessità dei processi in gioco con scambi di massa e di energia calorica e meccanica tra atmosfera, bacino emerso e corpo idrico. Lo scopo di questo lavoro è di tentare un approccio per una definizione quantitativa degli aspetti idrodinamici del lago stabilendo le quantità energetiche in grado di attivare o disattivare i fenomeni di stratificazione e di destratificazione termica delle acque e analizzando, il modo particolare, il mescolamento verticale tardo invernale e la circolazione eventualmente innescata dagli ap-

porti advettivi.

A tal fine sono state selezionate le forze guida, e cioè quelle ritenute responsabili della quasi totalità dei fenomeni idrodinamici ricordati. Queste forze sono state individuate, nel vento, nello scambio calorico con l'atmosfera e nell'energia introdotta dai tributari. Non è il caso di sottolineare lo stretto legame con le caratteristiche meteorologiche locali le quali agiscono principalmente alla interfaccia aria-acqua ma estendono la loro influenza anche in profondità.

Le risposte della massa d'acqua seguono come è ovvio le vicende esterne, anche se l'intervento delle tre forze succitate avviene generalmente in maniera non coordinata e la presenza di un processo non esclude l'altro. Di qui la necessità di ricondurre il vento, calore e volumi di acqua entranti attraverso gli immissari ad uno stesso denominatore comune per analizzarne variabilità e influenza sia a livello stagionale che interannuale: come primo approccio si considera il lago, sulla linea di Charmack e altri (1986), Imberger(1985) e Wiegand e altri (1982), come un sistema a due strati. In questo contesto l'incidenza del vento sulla sua superficie libera, attraverso lo stress del vento (τ), può essere espressa come velocità di attrito turbolento $w_* = (\tau / \rho_w)^{1/2}$ essendo $\tau = C_d\ \rho_a\ w^2$ con C_d che rappresenta il coefficiente di trascinamento $1{,}3\ 10^{-3}$, ρ_a la densità dell'aria e ρ_w la densità dell'acqua mentre w è la velocità del vento. Analogamente l'acqua in entrata attraverso i tributari può essere espressa come velocità advettiva turbolenta $n_* = (C_d \cdot U_r^2)^{1/2}$ con U_r che rappresenta la velocità media del flusso attraversante. Infine anche il raffreddamento superficiale si può esprimere in termini di velocità di convezione turbolenta $q_* = (B \cdot h)^{1/3}$ con $B = g'\ \alpha\ Q_t/c_p\ \rho_w$, essendo g' l'accelerazione di gravita corretta ($g' = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho} \cdot g$), α il coefficiente di espansione termica in funzione della temperatura, c_p il calore specifico e Q_t è il flusso di calore in superficie calcolato sulla base del bilancio termico del lago.

4. APPLICAZIONE. AL LAGO MAGGIORE

I dati di termica lacustre che abbiamo utilizzato nel calcolo dei tre parametri, sono stati raccolti, alla stazione di massima profondità del Lago Maggiore (Ghiffa, 370 m), in concomitanza con quelli dell'ossigeno, con l'impiego di un termometro a rovesciamento e di una sonda batimetrica tarata sui dati del termometro a rovesciamento. Anche se le

indagini di limmologia fisica sul Lago Maggiore sono tuttora in corso il periodo al quale si fa riferimento in questo lavoro è quello compreso tra il 1981 ed il 1985, quando si è operato con sopralluoghi ad intervalli all' incirca settimanali, in inverno e primavera, e decadica nei restanti mesi. I dati di portata giornalieri e di temperatura delle acque dei fiumi affluenti al lago sono stati misurati dai ricercatori dell'I.I.I. mentre quelli di deflusso inerenti all'emissario (Ticino a Sesto Calende) ci sono stati forniti dal Consorzio del Ticino, ente che gestisce la regolazione idraulica del lago. Quanto alle velocità giornaliere del vento si è preferito utilizzare i dati raccolti presso la stazione di Ispra in quanto questa si trova ubicata lungo l'asse principale del lago, mentre quella dell'I.I.I. di Pallanza, che si affaccia sul suo ramo laterale (bacino delle Isole Borromee), rimane in parte riparata ai venti più forti provenienti dai quadranti settentrionali e meridionali .

In Fig. 1 sono stati rappresentati i tre parametri (b_*, w_* e r_*) valutati per gli anni predetti, tutti espressi in m/sec.

Il quadro generale che si ricava mostra come la velocità di convezione turbolenta (b_*) risulti solitamente negativa da fine Settembre a Marzo, in corrispondenza cioè al periodo in cui si ha una perdita di calore da parte del lago con conseguente produzione in lago di "plumes fredde" turbolente, che dalla superficie scendono a livello del termoclino. Essa è invece positiva, seppure con qualche eccezione, negli altri mesi dell'anno e pertanto deve essere intesa come "velocità potenziale", in quanto porta alla stratificazione ed alla stabilizzazione termica della massa d'acqua.

La velocità di attrito turbolenta (w_*) raggiunge normalmente i suoi valori più elevati nei mesi primaverili (o anche in Dicembre), mentre il termine r» (velocità advettiva turbolenta) mostra i suoi massimi in corrispondenza ,di forti afflussi di acqua a lago da parte dei tributari (solitamente nella tarda primavera e in autunno). Il confronto fra le tre serie di dati mastra come b_* sia generalmente la componente dominante durante il periodo Settembre-Gennaio con valori intorno a 100-2000 10^{-5} m/sec. La componente w_* diventa invece dominante in Febbraio-Marzo e i suoi valori medi si aggirano intorno a 250-300.10^{-5} m/sec. Infine il termine r_* che è stato determinato esclusivamente sulla base delle portate del Ticino emissario, integrando cioè 1'azione di contributo in acqua degli immissari, è molto più basso e

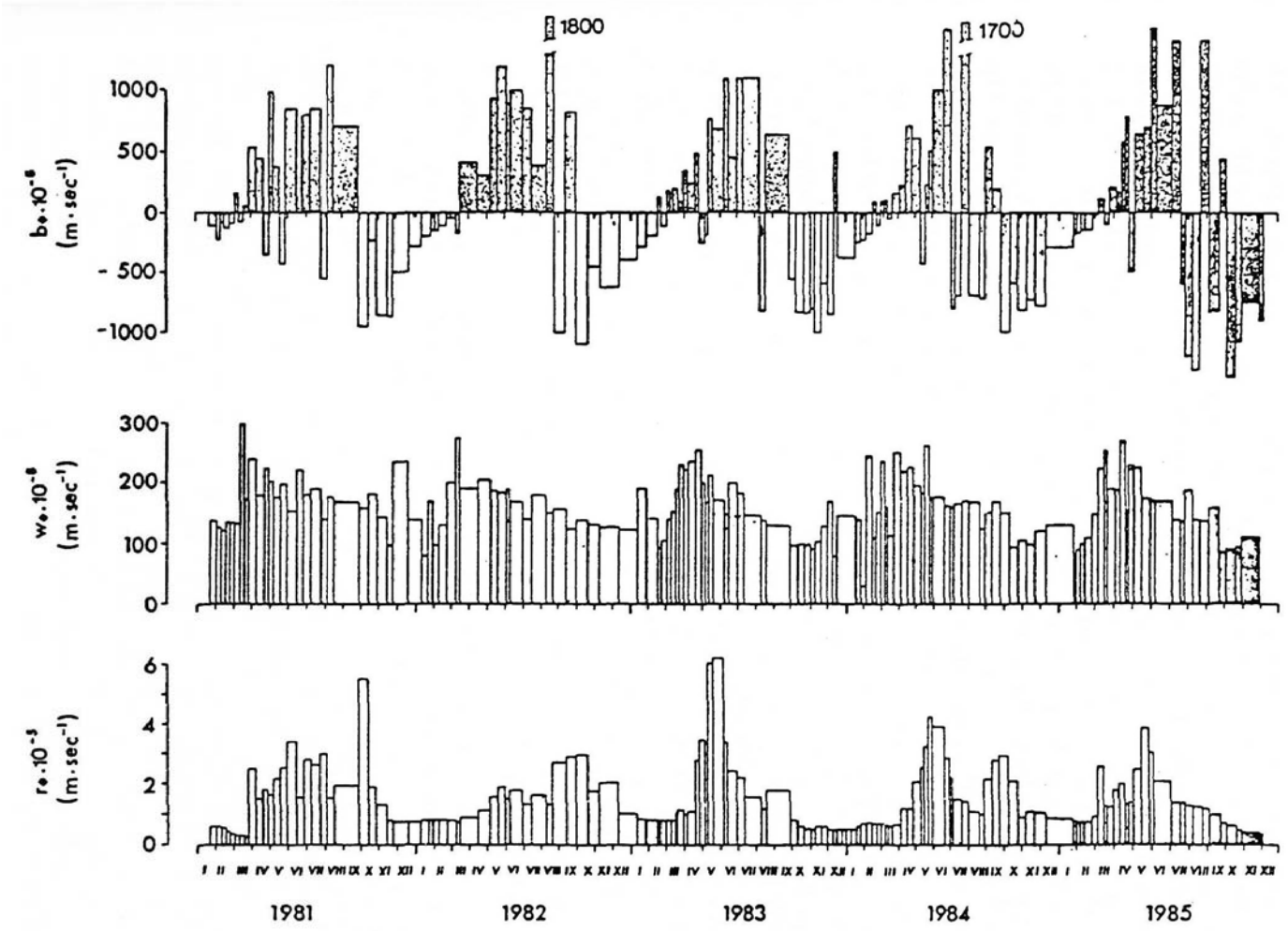


Fig. 1 - Istogrammi delle velocità di convezione (b_*), di attrito (w_*) e advettiva (r_*) valutate negli anni 1981-1985.

i suoi massimi raggiungono solo i 5-6.l0^{-5}m/sec nei mesi di più intensa vivacità idrologica. Va tuttavia rilevato che in occasione di piene cospicue esso può assumere un'importanza preponderante e pertanto ci riserviamo di discuterne in un successivo paragrafo.

Se consideriamo l'andamento medio stagionale per l'intero quinquennio dei parametri w_* e b_* possiamo rilevare come il lavoro iniziale necessario per lo sprofondamento del termoclino (che ha luogo a partire da Settembre) venga in massima parte eseguito dall'energia cinetica che si sviluppa a seguito del raffreddamento del lago: nei mesi autunnali infatti si ha una perdita di ca. 20.000 cal.cm^{-2}(Ambrosetti, Barbanti e Rolla, 1983). Questa azione è sostenuta, almeno in parte, dall'energia potenziale presente in lago che diventa a sua volta disponibile per l'erosione del termoclino, cioè dello sprofondamento del termoclino. Con il progredire dei mesi freddi, alla perdita di calore evidenziata dai valori negativi di b» si unisce il lavoro del vento che, a seconda della sua intensità, può indurre entro lo strato mescolato diffusione turbolenta o "shear". Quest'azione prosegue fino al termine dell'anno limnologico (Febbraio Marzo) cioè fino al momento in cui lo strato mescolato raggiunge il suo massimo spessore; in un lago profondo come il Maggiore, solo in casi eccezionali interessa l'intera colonna d'acqua; negli anni che stiamo considerando per esempio,il completo mescolamento non ha mai avuto luogo e l'omogeneizzazione ha coinvolto solo porzioni ridotte di lago (massimo 220 m nel 1981) (Fig.2). Nei mesi primaverili b* assume nuovamente valori positivi, il che significa che il lago si riscalda; tuttavia il rifornimento di calore avviene solo dall'alto per cui w*, anche se elevato, concorre al mescolamento del solo strato superficiale in quanto il metalimnio si presenta come barriera pressoché insormontabile al mescolamento verticale.

Analizzando più in dettaglio le velocità di attrito turbolento w*, dai dati elaborati con cadenza giornaliera (in Fig. 3 sono rappresentati per altro solo quelli superiori a 250 10^{-5} m/sec) si può constatare come gli eventi ventosi di maggiore intensità si siano verificati quasi esclusivamente tra Dicembre e Aprile: in queste occasioni w* ha superato 400 10^{-5} m/sec e, in qualche caso, si sono raggiunti anche livelli vicino ai 700 10^{-5} m/sec. Questi eventi meteorologici hanno quindi la capacità di produrre un'enorme quantità di energia cinetica turbolenta con la possibilità che in lago si sviluppino correnti di trascina-

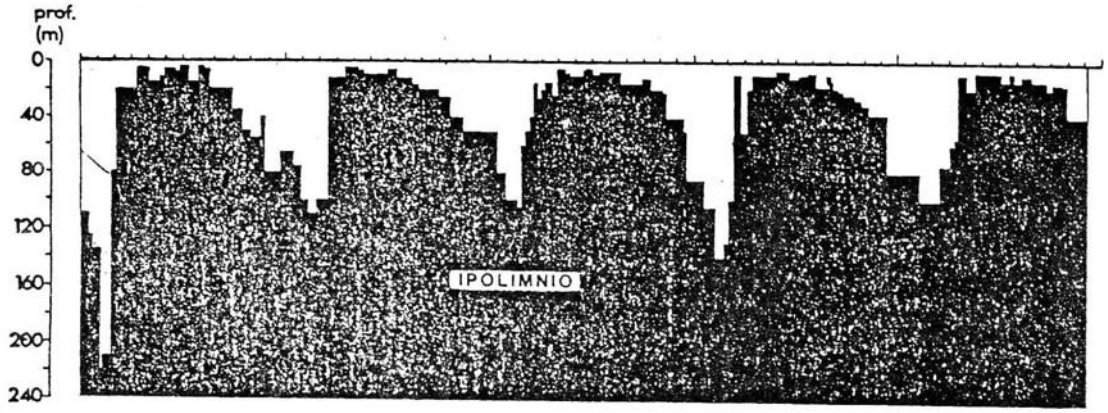


Fig. 2 - Profondità dello strato mescolato nel L. Maggiore (anni 1981-1985).

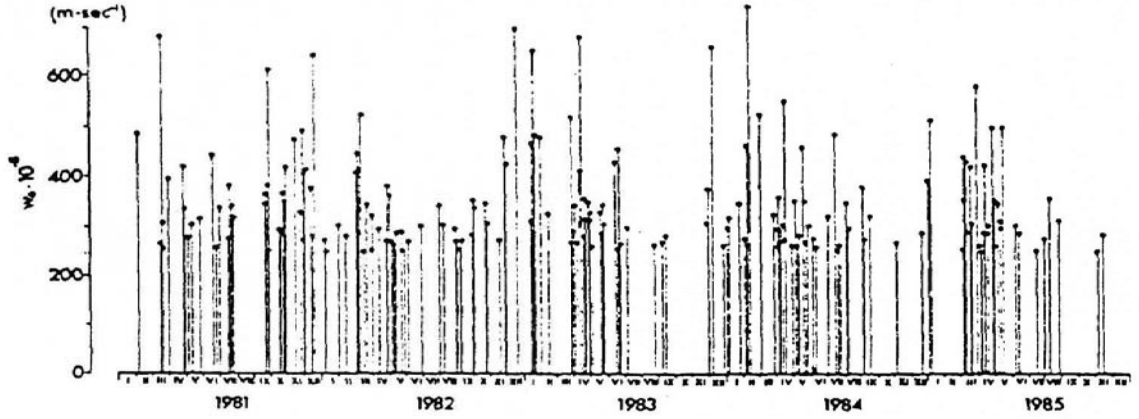


Fig. 3 Velocità giornaliere di attrito turbolento superiori a 250 10^{-5} m $s^{-}1$

mento prevalentemente orizzontali (shear), o correnti di risalita sopravento (upwelling) o correnti di discesa sottovento (downwelling) o ancora mescolamenti verticali. Le diverse risposte del lago a queste "tempeste di vento" dipendono soprattutto dalle condizioni termiche in cui si trova la massa d'acqua; caratteristico, a questo proposito, è lo episodio che si è verificato nel Lago Maggiore il 5 Febbraio 1981: la differenza termica tra lo strato mescolato superficiale (profondo 125 m) e massa d'acqua profondo era, il 23 Gennaio (data del precedente rilevamento) assai ridotta (meno di 0,1 °C) e quindi la resistenza al mescolamento fra i diversi strati del tutto trascurabile. Il vento del 5 Febbraio (mediamente di 4 m/sec circa) ha potuto determinare in lago una velocità di trascinamento turbolento di 486 10^{-5} m/sec, un valore certo non eccessivamente elevato, ma tale da provocare una riduzione della stabilità di 268 Kg cm cm^{-1} tanto da toccare il valore più basso dell'intero periodo considerato (68 Kg cm cm^{-1}). Tutto ciò ha dato esito ad una circolazione di tipo a "nastro trasportatore", già discussa in precedenti lavori (vedi Ambrosetti, Barbanti e Mosello, 1982). Nel quinquennio che qui stiamo trattando abbiamo potuto constatare anche il verificarsi di velocità di trascinamento turbolenti superiori a quella del 5 Febbraio 1981, che hanno però trovato una diversa distribuzione verticale di densità in lago: l'energia cinetica turbolenta prodotta non ha quindi potuto svolgere un'azione idrodinamica simile a quella precedentemente descritta, ma è stata per lo più utilizzata nel processo di approfondimento e di agitazione dello strato mescolato: è quanto si è verificato in tutte le situazioni invernali dal 1982 in poi.

5. ULTERIORI CONSIDERAZIONI SULLA VELOCITA' ADVETTIVA TURBOLENTA

II parametro r_* può in determinate circostanze idrologiche, assumere anche valori di una certa rilevanza: riteniamo opportuno quindi riprendere in considerazione la sua analisi alla luce di alcuni eventi accaduti nel Lago Maggiore. Le acque immissarie hanno normalmente caratteristiche chimiche e fisiche diverse da quelle del lago, il che comporta, in generale, una differenza tra le loro densità: in maniera schematica si può semplificare l'ingresso di acqua in lago ammettendo la possibilità che lo scorrimento di acqua fluviale, a seconda del gioco delle reciproche densità, possa avvenire in superficie (overflow), in profondità (underflow) o a livelli intermedi (interflow)

(Barbanti, 1985). Tuttavia, quello che ci preme considerare qui non è tanto l'apporto al lago di cospicue masse liquide con l'immancabile carico di materiale in soluzione o in sospensione, quanto piuttosto l'ingresso nel corpo idrico di quantità non trascurabili di energia cinetica e potenziale, con modalità differenziate nelle tre situazioni considerate. Il flusso d'acqua entrante nel Lago Maggiore, nel periodo compreso tra fine Maggio e Settembre, quando la temperatura dei fiumi è sempre superiore ai 9 °C, va in genere ad interessare strati d'acqua superficiali di spessore molto limitato: infatti questa stessa temperatura si trova in lago a profondità variabili intorno ai 20 metri. (E' chiaro che le nostre considerazioni sulla densità, in questo caso, tengono conto solo delle differenze termiche, trascurando quelle di altra natura). Ne deriva che il volume che può essere interessato da queste immissioni d'acqua è relativamente ridotto e, se le portate dei tributar! sono notevoli, questo strato superficiale risulta caratterizzato da una elevata velocità turbolenta.

Nella tabella seguente sono riportati alcuni tra gli eventi idrologici più importanti che si sono verificati nel Lago Maggiore nel quinquennio 1981- 1985 e che hanno interessato solo gli strati più superficiali del lago. In essa la temperatura delle acque immissarie risulta dalla media dei valori misurati nei 3 principali tributari (Ticino, Toce e Maggia), mentre la profondità alla quale si è trovata questa stessa temperatura è stata ricavata dalle curve termiche verticali; la superficie della sezione teorica di impatto del flusso attraversante è risultato di conseguenza il prodotto della larghezza del lago per la profondità precedentemente considerata.

ANNO	MESE	Temp. °C	Prof. m.	Port. m /sec	Sup. m 10	r_* m/sec 10^{-5}
1981	Maggio	9,23	17	1119	64,6	62
	Settembre	11,50	23	2070	87,4	85
1982	Giugno	13,30	15	564	57,0	36
	Settembre	12,17	20	876	76,0	41
1983	Maggio	9,87	10	1704	38,0	162
	Settembre	12,00	17	850	64,6	47
1984	Giugno	9,13	22	897	83,6	39
	Settembre	11,83	25	677	95,0	26
1985	Giugno	12,23	10	609	38,0	58
	Luglio	14,00	15	372	57,0	23

Limitatamente al periodo compreso fra la tarda primavera e il primo autunno il valore di r_*, in concomitanza con elevate portate a lago, tende quindi ad assumere valori consistenti, non più trascurabili rispetto agli altri due parametri precedentemente discussi: nel Maggio 1983 ad esempio la velocità advettiva di trascinamento .ha raggiunto 162 10^{-5} m/sec, un valore che è circa la metà di quello dovuto, nella stessa occasione, all'azione del vento, e solo di poco inferiore a quella di b_*.
Quanto alle situazioni riscontrabili nel periodo dello inverno limnologico, i dati termici che abbiamo raccolto, nel corso dei frequenti sopralluoghi condotti su tutta la colonna d'acqua nella porzione centrale e più profonda del lago, ci hanno permesso di evidenziare quanto segue: le acque molto fredde di origine fluviale, specialmente se originate dalla fusione delle nevi, subiscono, nel loro tragitto Nord-Sud uno sprofondamento progressivo sino a raggiungere le massime profondità. Si tratta di un flusso attraversante ben evidenziato non solo dalla distribuzione verticale della temperatura ma anche dalle concentrazioni di ossigeno disciolto (Barbanti e Ambrosetti, in stampa). Il passaggio di questi flussi turbolenti, imputabili in particolare ai maggiori immissari quali Ticino, Toce e Maggia, oltre che provocare un certo mescolamento inducono infatti anche ossigenazione degli strati più depressi del lago sopperendo così alla mancata circolazione che in un lago profondo come il Maggiore si protrae magari per più anni: ne consegue un notevole beneficio per l'intero ecosistema lacustre.

Un esempio in tal senso è quello verificato nel Maggio 1985: prendendo in considerazione unicamente i due principali immissari della porzione settentrionale -del lago (Ticino e Maggia), che avevano nell'occasione una portata complessiva di 784 m^3/sec ed una temperatura di 6,7 °C, e verificando nel contempo un'elevata ossigenazione in lago che interessava la zona compresa tra i 300 e 370 metri di profondità, si è potuto valutare una velocità di trascinamento advettiva turbolenta di 20 10^{-5} m/sec.

Velocità advettive turbolente più basse sono invece associate alle portate dei fiumi che si riscontrano nel mesi di Marzo ed Aprile, generalmente di entità più ridotta date le caratteristiche idrometeorologiche e morfometriche dello areale versante; tuttavia i loro effetti, almeno per quanto riguarda l'ossigenazione, sono gli stessi considerati in precedenza. In questi periodi infatti acqua molto fredda (variabile tra i 5 e gli 8 °C), e derivante in massima parte

dallo scioglimento delle nevi,scende nei livelli più profondi del lago più per gravita che non per il fatto di essere sostenuta da una forte spinta a tergo. Se per esempio analizziamo l'evento del 18 Aprile 1985, quando si è verificata una notevole ossigenazione del lago al di sotto dei 250 m di profondità, il valore di r* risulta limitato a 4 10^{-5} m/sec. Ad un valore dello stesso ordine di grandezza (7-10^{-5} m/sec) si perviene considerando che nei sei giorni compresi fra le due misure del 18 Aprile e del 24 Aprile il fronte del flusso ossigenante ha percorso una distanza di circa 1 km, con una velocità media di 0,2-0,3 m/sec.

6. IL NUMERO DI WEDDERBURN

Uno dei più recenti tentativi per quantificare la risposta dello strato mescolato ad uno stress di vento, meglio se, come hanno sottolineato Thompson e Imberger (1980) improvviso e isolato nel suo manifestarsi, ha portato alla definizione del cosiddetto numero di Wedderbun (W)): questo è espresso come funzione della profondità dello strato mescolato (h), della lunghezza del bacino (L), della velocità di attrito turbolento (u*) e dell'accelerazione di gravita corretta (g'), secondo la seguente espressione: $W = g' h/u^{*2}$

E' stato dimostrato (Spigel e Imberger, 1980) che se W è molto elevato (10) la reazione del lago consiste per lo più in una forte agitazione dello strato superiore mescolato, mentre se W è compreso tra 3 e 10 si ha soprattutto produzione di correnti a prevalente componente orizzontale (shear); infine nel caso che W sia inferiore a 3, possono instaurarsi anche processi di mescolamento verticali violenti. I predetti limiti non devono comunque essere presi come dati assoluti ma hanno soltanto valore indicativo in quanto il numero di Wedderburn dipende, come si è visto, anche dalle caratteristiche morfometriche del bacino lacustre. Monismith (1983) sulla base di risultati raccolti in altri tipi di lago, da infatti dei limiti diversi per le tre situazioni idrodinamiche indicate. Quanto al Lago Maggiore, W è stato calcolato per il periodo 1981/1985 e il suo andamento presenta, a partire da Marzo sino a Maggio-Giugno, valori minimi compresi tra O e 1; sino a Settembre essi sono racchiusi entro l'intervallo 1-8 mentre nel restante periodo dell'anno raggiunge i valori più elevati.

7. CONCLUSIONI

Alla luce di queste risultanze, e tenendo conto di quanto si è detto a proposito dei processi che intervengono

nella stratificazione e destratificazione nonché della elevata profondità media e massima del Lago Maggiore, si possono fare alcune considerazioni circa la situazione idrodinamica in esso riscontrata.

1) L'energia cinetica introdotta dal vento, almeno per gli anni 1981-1985, è stata piuttosto scarsa, proprio perché la sua intensità è mediamente bassa, salvo alcune eccezioni nei mesi primaverili ed in Dicembre.
2) II Lago Maggiore, per la sua elevata profondità (370 m), permette, durante i mesi estivi, un notevole immagazzinamento di calore: ne consegue che l'energia cinetica che viene prodotta in inverno non è sufficiente ad abbassare l'energia potenziale del lago fino al livello necessario per una piena circolazione, anche perché questo processo implica una notevole dispersione interna.
3) La profondità del lago e la sua elevata stabilità sono perciò tali che anche in presenza di venti forti, solo una porzione limitata della colonna d'acqua viene ad essere interessata dal mescolamento; inoltre si deve tenere presente che il meccanismo di "shear" (correnti a prevalente componente orizzontale) ha influenza solo per profondità limitate del termoclino.
4) Nei mesi estivi, con il numero di Wedderburn compreso tra 1 e 5, deve ritenersi esclusa la possibilità che si veri-fichino fenomeni di mescolamento fino ad elevate profondità, con possibili correnti di risalita {upwelling). D'altra parte, come si è visto, la barriera del termoclino limita i fenomeni di "shear" all'interno dello strato mescolato.
5) Solo nei mesi primaverili sarebbe quindi possibile lo instaurarsi di correnti di risalita con conseguente omogenizzazione dell'acqua fino a notevole profondità o, al limite, per tutta l'intera colonna (infatti il numero W è sempre inferiore a 1); tuttavia l'effetto di tali eventi su una struttura virtualmente omogenea ma di spessore notevolissimo (qualche centinaio di metri) risulta in realtà trascurabile poiché l'energia cinetica viene per lo più dissipata per mantenere la turbolenza interna di questo strato. Ne consegue che nel periodo invernale nel Lago Maggiore la dinamica dello strato mescolato, sarà più facilmente governata dall'agitazione superficiale e dal mescolamento convettivo che non dalla produzione shear e, tanto meno, da correnti di risalita. Di qui la scarsa probabilità del verificarsi nel Maggiore, di circolazioni complete se non per l'intervento di meccanismi

concentranti l'energia in aree limitate della superficie lacustre (esempio di zone sottovento) che permettono la rottura locale della struttura tecnica: questo è il caso avvenuto nel 1981. Dall'altra, parte anche i regimi di approfondimento dello strato mescolato nei laghi secondo Spiegel (1978) e Fisher (1979) stabiliscono 4 modalità di mescolamento in funzione del valore assunto dal numero di Richardson (espresso nella seguente forma Ri = g' h/u). Tale parametro, nel Lago Maggiore, risulta sempre compreso entro valori che secondo gli stessi Autori spiegano soltanto la presenza di un mescolamento di tipo convettivo; si arriva così alle stesse conclusioni ottenute attraverso il numero di Wedderburn.

6) Da considerare infine la grande importanza dell'azione svolta dagli immissari del lago (diversa evidentemente a seconda della stagione) soprattutto nello strato superficiale mescolato (in estate) e in quello profondo ipolimnico (nelle altre stagioni); questa azione si esplica sia come forza di trascinamento che, soprattutto nel secondo caso, come capacità ossigenante, sopperendo così al limitato sprofondamento invernale dello strato mescolato.

BIBLIOGRAFIA

Ambrosetti W., e Barbanti L.; in stampa - The physical limnology of Lago Maggiore: a review. Mem. Ist. Ital. Idrobiol.

Ambrosetti W., Barbanti L., e Mosello R.; 1982 - Unusual deep mixing of Lago Maggiore during the winter 1980-1981. Dinam. Quat., 5, 183-191.

Ambrosetti W., Barbanti L., e Rolla A.; 1978 - Bilanci, flussi e variazioni pluriennali del contenuto calorico nel Lago Maggiore. Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 36, 331-382.

Ambrosetti W., Barbanti L., e Rolla A.; 1979 - Mescolamento parziale o totale nel Lago Maggiore nell'ultimo trentennio. Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 37, 197-208.

Ambrosetti W., Barbanti L., De Bernardi R., e Libera V.; 1980 - Alcune risposte ad un evento meteorologico eccezionale: il nubifragio del 7 Agosto 1978 nel bacino del Lago Maggiore. Atti del 3° Congr. A.I.O.L., 389-406.

Barbanti L. ; 1985 - Some problems and new prospects on

phisical limnology: a review. Mem. Ist. Ital. Idro-biol., 43 ,1-32.
Barbanti L., e Ambrosetti W.; 1985 - The behaviour of hypolimnetic oxygen in Lago Maggiore in recent years. Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 43, 33-54.
Barbanti L., e Ambrosetti W.; 1987 - Energia termica e stabilità meccanica nel Lago Maggiore. Atti del. 7° Congr. A.I.O.L.
Barbanti L., Ambrosetti W. , e Rolla A.; 1983 - Bilancio termico del Lago Maggiore. In: Mescolamento, caratteristiche chimiche, fitoplancton e situazione trofica nei laghi profondi. C.N.R., P.F. "Promozione della qualità dell'ambiente", AQ/2/20, 7-41.
Carmack E.C., Wiegand R.C., Daley R.J., Gray B.J.C., Jasper S., and Pharo C.H.; 1986 - Mechanisms influencing the circulation and distribution of water mass in a medium residence time lake. Limnol. Oceanogr., 31, 249-265.
Fischer H.B., List E.J.; Koh R.C., Imberger J. and Brooks N.H.; 1979 - Mixing in inland and coastal waters. Academic, 482 pp.
Imberger J.; 1985 - The diurnal mixed layer. Limnol. Oceanogr., 30, 737-770.
Monismith S.G.; 1983 - The dynamics responce of stratified. reservoir to surface shear stress. Ph. D. Thesis, Univ. Calif. Berkeley, 304 pp.
Spigel R.H.; 1978 - Wind mixing in lakes. Ph. D. Thesis, Univ. Calif., Berkeley.
Spigel R.H. , and Imberger J.; 1980 - The classification of mixed layer dynamics in lakes of small to medium size. J. Phys. Oceanogr., 10, 1104-1121.
Thompson R.O., and Imberger J.; 1980 - Response of a numerical model of a stratified lake to wind stress. In Stratified Flow, Proc. Int. Symp. Trondheim, 562-570.
Wiegand R.C., Carmach E.C., Daley R.J., Gray B.J.C., Iasper S., and Pharo C.H.; 1982 - Seasonal aspects of the surface and advective heat fluxes of Kootenay Lake, British Columbia. Water Resources Res., 18, 1493-1502.

ATTI DELL'8° CONGRESSO A.I.O.L.
PALLANZA 1-3 GIUGNO 1988 da pag. 83 a pag. 93

IDROLOGIA DEL BACINO IONICO. CROCIERA POEM V. AGOSTO - SETTEMBRE 1987.

A. ARTEGIANI*, R. AZZOLINI*, A. BOLDRIN***, D. BREGANT**, M. MORBIDONI, E. TASCHINI, S. RABITTI***.

* CNR-Istituto di Ricerca per la Pesca Marittima di Ancona.
** CNR-Istituto Sperimentale Talassografico di Trieste.
*** CNR-Istituto di Biologia del Mare di Venezia.

RIASSUNTO.

Vengono presentati i risultati preliminari della distribuzione della temperatura, della salinità, dell'ossigeno disciolto e della sostanza sospesa, osservati nel mare Ionio durante la crociera POEM V (agosto-settembre 1987) Vengono descritti alcuni aspetti della circolazione del bacino in relazione alla presenza dell'acqua levantina intermedia.

SUMMARY.

Preliminary results of temperature, salinity, dissolved oxygen and total suspended matter distribution, observed during POEM V cruise (august-september 1987) in Ionian sea, are presented. Some aspect of circulation of the basin are reported in relation to the presence of levantine intermediate water.

1. INTRODUZIONE.

Dal 29 agosto al 22 settembre 1987, ha avuto luogo, nel mare Ionio, una crociera oceanografica, nell'ambito della partecipazione italiana al programma POEM (Physical Oceano-graphy eastern Mediterranean).

Questo programma, iniziato alla fine del 1985, si propone lo studio della circolazione del Mediterraneo Orientale in rapporto alla formazione e diffusione dell'acqua levantina intermedia (LIW) ed alla circolazione profonda. Esso coinvolge istituzioni di ricerca della Grecia, Turchia, Israele, Jugoslavia, Germania Federale e naturalmente l'Italia, che opera nel mare Ionio.

Lo scopo della campagna 87 era quello di conoscere la dinamica del bacino non solo attraverso le misure del campo di massa, ma anche con l'integrazione dì misure chimiche (ossigeno disciolto e nutrienti) e di distribuzione del materiale sospeso.

Hanno preso parte alla campagna l'Istituto di Ricerca per la Pesca Marittima di Ancona, l'Istituto Sperimentale

Talassografico di Trieste, l'Istituto di Biologia del Mare di Venezia. Si è operato con la n/o Bannock del CNR, su un reticolo di stazioni compreso tra 40° 33' e 35° 33' di latitudine N e 16° 00' e 19° 00' di latitudine E, abbracciante un tratto di mare che dal Canale d'Otranto si spinge nello Ionio fino all'altezza di Malta circa. (Fig. 1)

Più o meno nello stesso periodo, hanno operato nel Mediterraneo orientale una nave oceanografica greca, una turca, una israeliana ed una tedesca. Questo ha permesso di raccogliere una notevole mole di dati in maniera quasi sinottica.

Scopo del presente lavoro è quello di presentare i risultati preliminari sulle caratteristiche del campo di massa, la distribuzione dell'ossigeno disciolto e del materiale sospeso.

2. MATERIALI E METODI.

I dati di temperatura e conducibilità sono stati ottenuti con un CTD Neil Brown Mark III, calibrato prima e dopo la campagna di misura. L'acquisizione è stata fatta con un PC IBM. I dati originali sono stati convertiti nella salinità pratica (PSU) e mediati ogni decibar (UNESCO 1988). I campionamenti d'acqua sono stati effettuati con un campionatore, tipo Rosette, della General Oceanic interfacciato al CTD e dotato di bottiglie tipo GO-FLO da 5 litri.

I campioni per la determinazione dell'ossigeno disciolto sono stati analizzati, direttamente a bordo, seguendo il metodo di Winkler (Strickland e Parsons 1972). Per il materiale sospeso, i campioni d'acqua, immediatamente dopo il prelievo, sono stati sottoposti a conteggio elettronico delle particelle solide in sospensione con un Coulter Counter mod. TA II, dotato di orifizio capillare da 100 µm ed interfacciato ad un microcomputer per l'acquisizione e la elaborazione dei dati (Boldrin et al., 1986). Da questi conteggi si sono ricavati i valori di concentrazione di particene solide per cm , nel range dimensionale da 4 a 40 µm circa e gli spettri dimensionali in volume percentuale ed assoluto, suddivisi in 11 classi granulometriche. Inoltre sono stati raccolti campioni per la misura gravimetrica della quantità totale di materiale sospeso (TMS), dopo filtrazione su filtri Whatman GF/C in fibra di vetro con porosità nominale di 1 µm, sottoposti preventivamente a condizionamento e taratura (Strickland e Parsons 1972).

3. RISULTATI.

L'esame dei dati CTD mostra che, a parte lo strato superficiale sede del termoclino generalmente compreso tra i

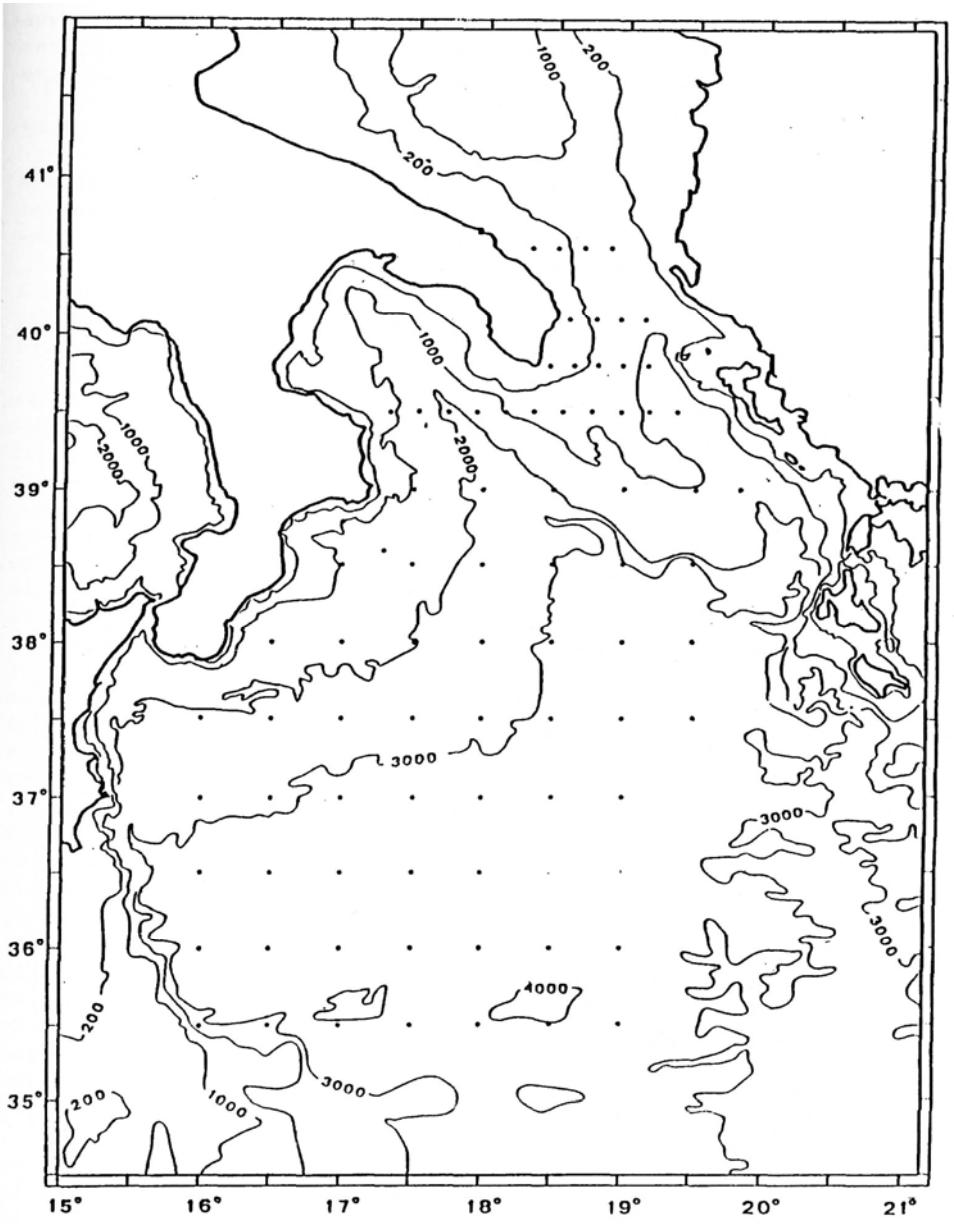


Fig. 1 Reticolo delle stazioni

30 ed i 40 m, possiamo distinguere le seguenti masse d'acqua:
a) l'acqua intermedia levantina con una temperatura attorno ai 14° e salinità superiore a 38.8 PSU e con uno spessore variabile tra i 150 ed i 500 m.
b) l'acqua profonda con temperatura inferiore ai 13.8° e salinità inferiore a 38.75 PSU.
c) l'acqua atlantica modificata, che interessa lo strato dei primi 100 m circa con caratteristiche termoaline variabili (temperatura compresa tra 15.06° e 17.02°; salinità compresa tra 37.51 e 37.89 PSU).

Particolare interesse riveste l'acqua intermedia levantina (LIW) caratterizzata da un massimo di salinità, che all'origine, nel bacino levantino, ha dei valori che superano 39.0 PSU (Hecht et al., 1988).

Nel settore ovest dello Ionio centro-settentrionale la salinità del nucleo della LIW si è già ridotta a dei valori di poco superiori a 38.85 PSU. Dalla distribuzione del massimo di salinità (Fig. 2) si vede come la LIW interessa l'area studiata, con un ramo principale che corre all'incirca lungo il 36° parallelo ed un ramo secondario che, scorrendo lungo le coste greche, punta verso il Canale d'Otranto. Il ramo principale mostra di essere soggetto ad una notevole dinamica di mesoscala. Si nota infatti come il suo flusso sia articolato in una serie di meandri e ai suoi margini siano presenti dei nuclei di acqua più salata che si sono staccati dal corpo centrale. Particolarmente interessante è una struttura a vortice, situata quasi al centro del bacino, le cui dimensioni sono di circa 60 - 70 km, cioè circa 5 o 6 volte il raggio interno di deformazione di Rosby calcolato per il bacino levantino (Robinson et al., 1987). Fra i due nuclei a maggior salinità si è come incuneata una massa d'acqua meno salata (< 38.8 PSU). Mentre la profondità dei due nuclei più salati e della LIW in genere è attorno ai 300 m (Fig. 3), il nucleo di acqua meno salata si trova ad una profondità superiore a 550 m.

La trasversale nord-sud, lungo il meridiano 19°, sulla quale sono state concentrate le misure geochimiche, non interessa l'area maggiormente dinamica, taglia però longitudinalmente il nucleo a più alta salinità. Si vede come la LIW interessi buona parte dell'alea attorno ai 300 m (Fig. 4). Procedendo verso nord si nota una graduale diluizione dei corpi staccati della LIW diluita.

La distribuzione dell'ossigeno disciolto lungo la colonna d'acqua presenta generalmente tre stratificazioni. La prima corrisponde alla zona di massima attività biologica in

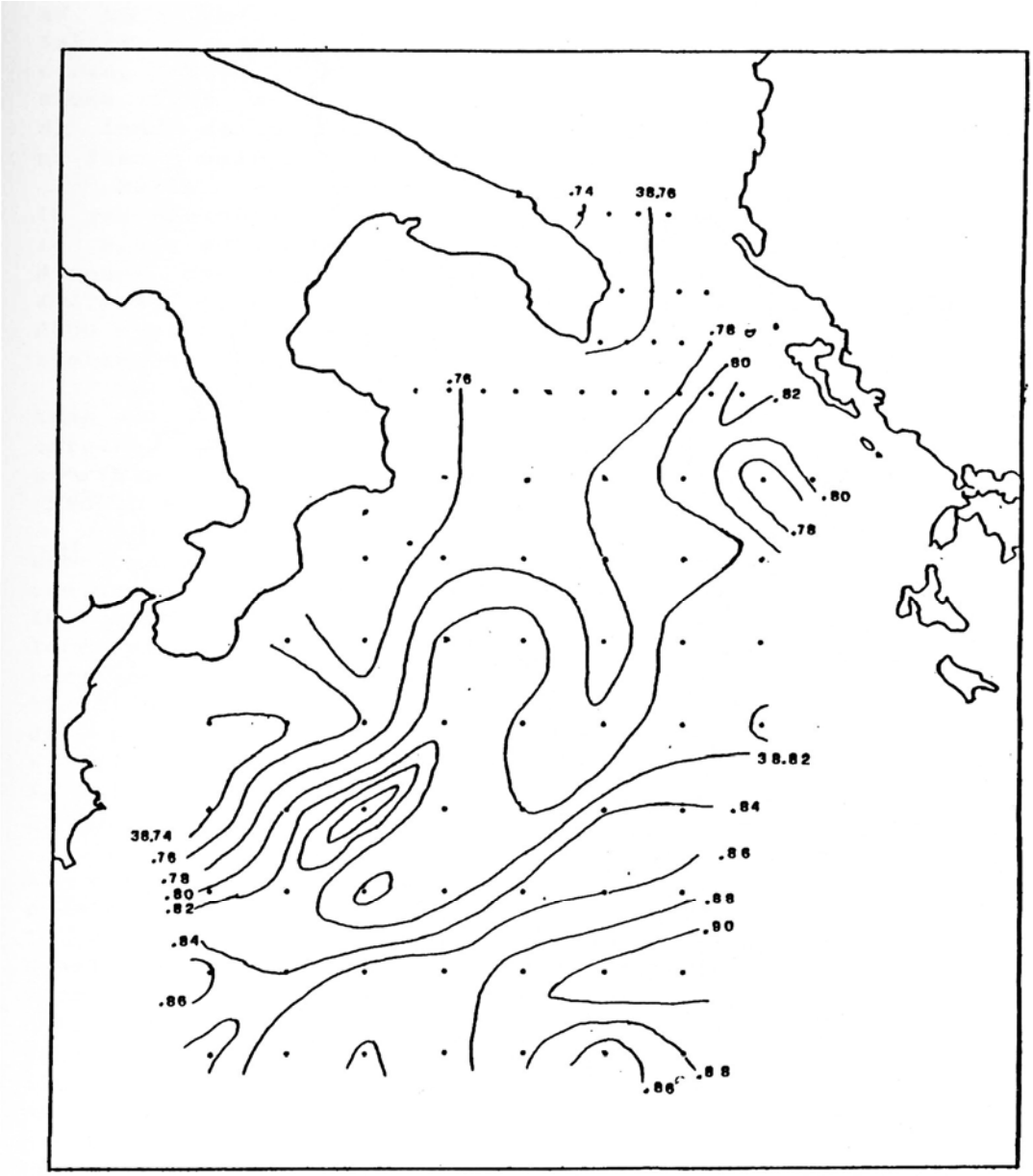


Fig. 2 Distribuzione del massimo di salinità

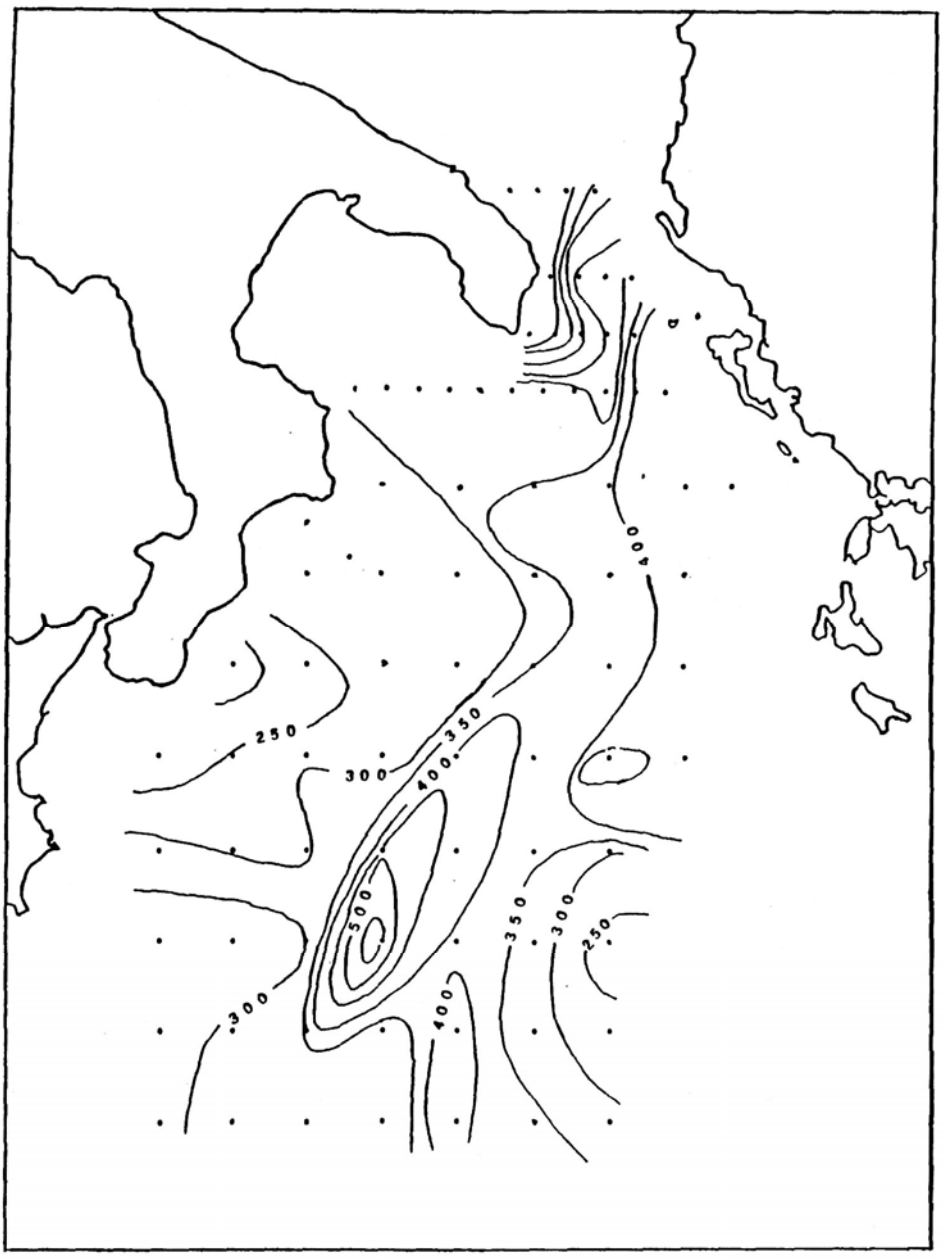


Fig. 3 Profondità in dbar del massimo di salinità

cui si ha il massimo della concentrazione, di solito attorno ai 50 m (valori compresi tra 5.6 e 6.3 cm^3 /dm^3); la seconda inizia al di sotto del termoclino ed arriva fino a 2000 m circa, nella quale si ha una diminuizione della concentrazione fino a 4.3 - 4.2 cm^3 /dm^3 ; infine si ha la zona di fondo nella quale si nota un aumento della concentrazione fino a valori generalmente compresi tra 4.5 e 4.8 cm^3 /dm^3.

Nelle stazioni situate ad est, soprattutto lungo la già nominata trasversale nord-sud, in particolare in quelle più a sud, si osserva nella parte centrale della colonna d'acqua uno strato di minima concentrazione con valori tra 4.4 e 4.2 cm^3 /dm^3 (Fig. 5). Lo spessore è compreso tra 700 e 2000 m circa, quindi esiste una possibile probabilità di associazione di comportamento con l'acqua levantina.

La distribuzione della concentrazione della TSM nella zona del Canale d'Otranto evidenzia il trasporto costiero di origine adriatica e la produzione biologica. Infatti si ritrovano i massimi valori di TSM sia come numero (>10000 N/cm^3)che come peso secco (>0.80 mg/dm^3).

Nel bacino ionico invece le concentrazioni più elevate sono generalmente limitate alla zona fotica della colonna, con un massimo corrispondente alla profondità del termoclino. In questo strato superficiale le concentrazioni hanno un valore medio attorno ai 1500 N/cm in numero e di 0.30 mg/dm . come peso secco. Lo spettro dimensionale si presenta dominato dalla presenza del popolamento fitoplantonico, evidenziato dal picco principale attorno ad un diametro di circa 10 µm a livello del termoclino, mentre nei campioni di superficie la distribuzione è bimodale, con picchi attorno ai 6 ed ai 25 µm.

Esaminando il bacino nel suo complesso si osserva che il corpo d'acqua più diffuso, al di sotto dei 100 m, presenta concentrazioni medie attorno ai valori di 300 N/cm^3 in numero e di 0.19 mg/dm^3 in peso secco. Da questo si evidenzia una massa d'acqua con concentrazioni in numero inferiori a 200 N/cm^3 (media 163, in peso secco 0.22 mg/dm^3 che, nella parte settentrionale del bacino è presente a quote comprese tra i 400 ed i 1000 m (Fig. 6), con tutta probabilità associata all'acqua di provenienza "levantina", mentre nella zona meridionale si approfondisce e si allarga, raggiungendo in alcuni casi le quote di fondo (3000 -3200 m). La distribuzione dimensionale nel corpo d'acqua principale presenta un costante aumento relativo delle frazioni più grossolane (dai 20 ai 40 /µm) con l'aumentare della profondità, ed in particolare nella massa più prossima al fondo. In

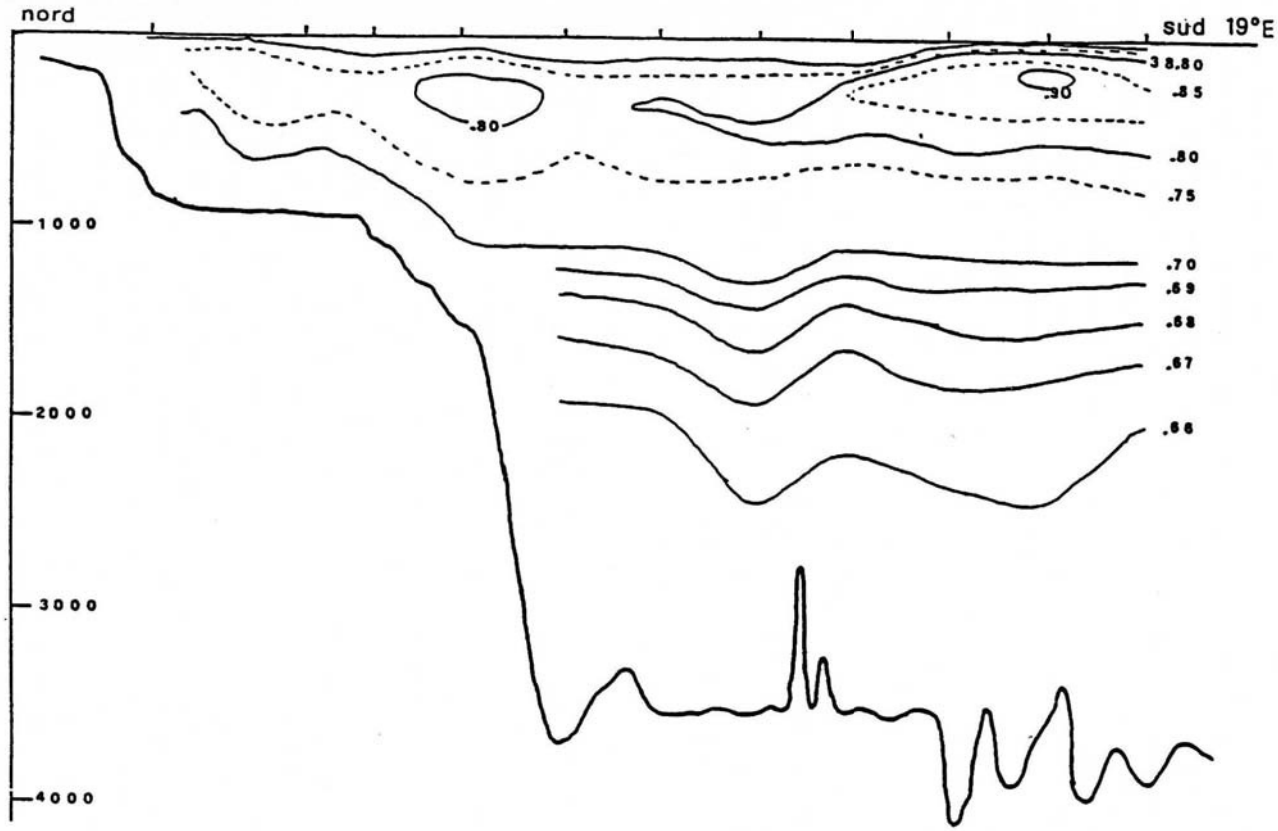


Fig. 4 - Distribuzione della salinità lungo la trasversale del meridiano 19°E

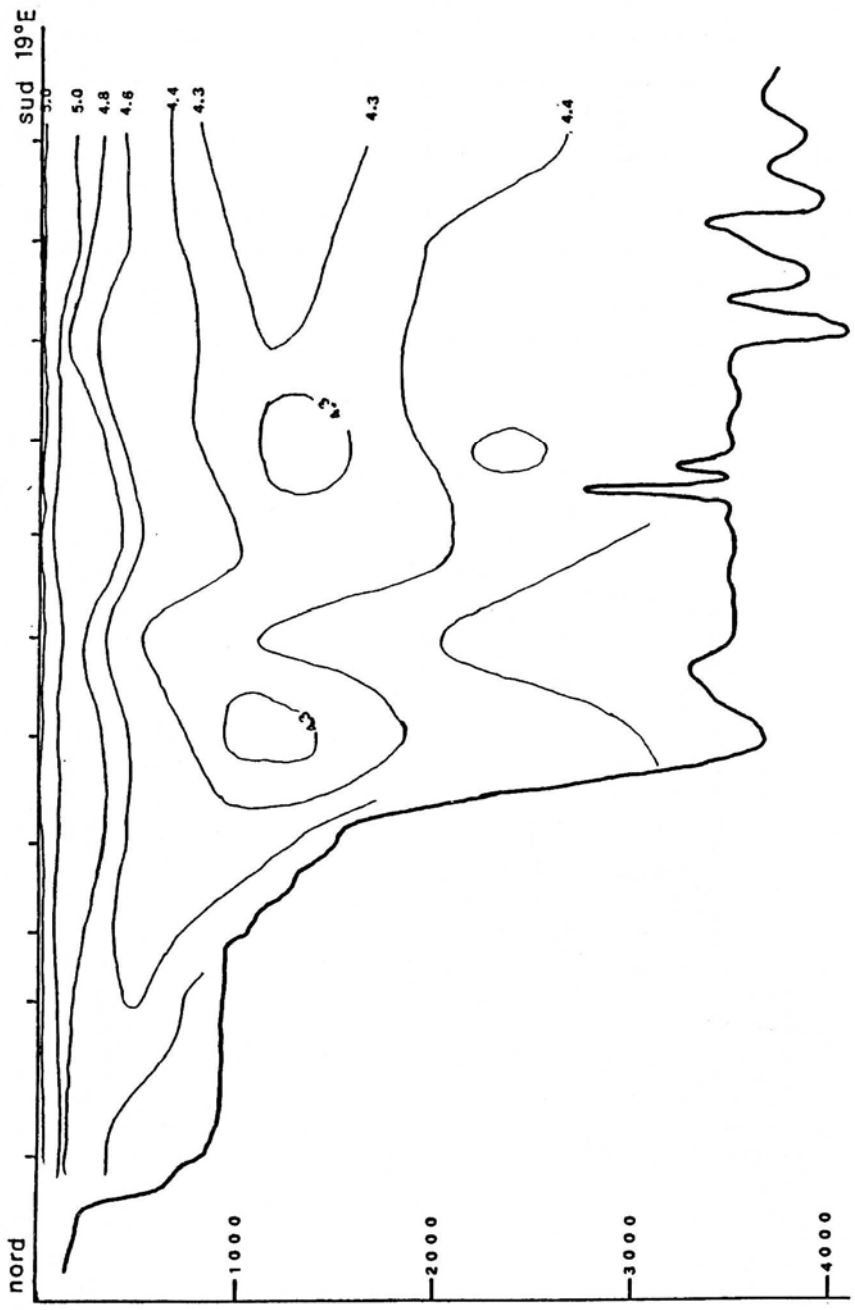


Fig. 5 - Distribuzione dell'ossigeno disciolto lungo la trasversale del meridiano 19°E

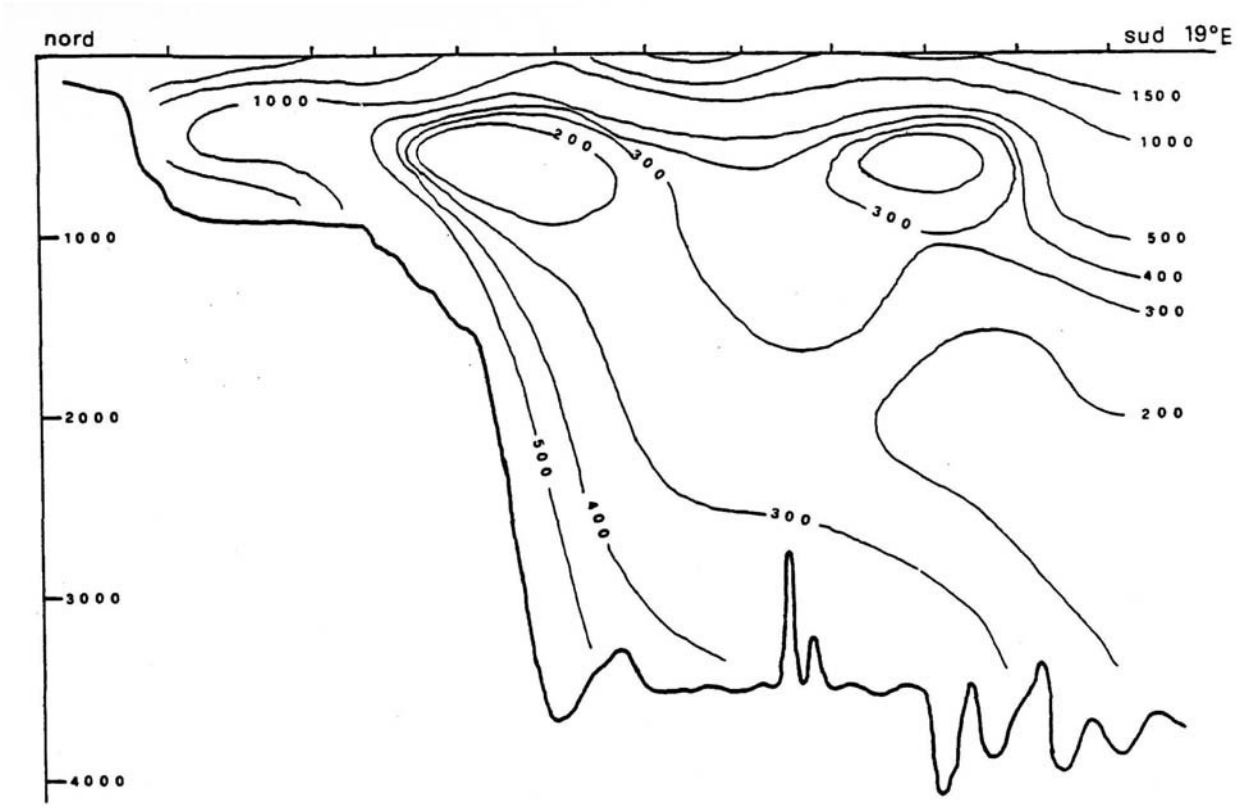


Fig. 6 - Distribuzione del peso secco lungo la trasversale del meridiano 19°E

generale, su tutto il bacino, al fondo vi è un incremento dei valori di TSM sia in termini di concentrazione in numero di particelle che di peso.

4. CONCLUSIONI.

L'area di mare coperta durante la campagna ha allargato notevolmente la zona di studio del bacino ionico. Le misure idrologiche hanno messo in evidenza l'estensione dell'acqua levantina e le relazioni con le altre masse d'acqua. E' stata osservata una struttura vorticosa, effetto di una circolazione anticiclonica. Nella parte settentrionale del bacino esiste una corrispondenza tra la distribuzione dell'acqua levantina e quella del materiale particellato; mentre nella parte centrale e meridionale vengono evidenziate strutture più complesse. Si osservano infatti delle corrispondenze tra la distribuzione dell'ossigeno disciolto ed il materiale particellato, mentre i dati di temperatura e salinità non presentano le medesime particolarità.

BIBLIOGRAFIA.

Boldrin A., Cesca A., Rabitti S.; 1986 - An automatic data acquisition System for Coulter Counter Mod. TA II. Boll. Ocean. Teor. Appl., IV, (3),159-164.

Hecht A., Pinardi N. and Robinson A.R.; 1988 - Currents, water masses, eddies and jets in the Mediterranean Levantine Basin., J. Phys. Oceanogr., 18 ,(10), 1320-1353 .

Lavenia A., Mesetti F., Bregant D.;1983 - Some results and remarks on the Ionian sea hydrology, Boll. Ocean. Teor. Appl.,I, (1),19-48.

Pinardi N.,(Editor); 1988 - Report of the POEM Mapping Group Meeting: POEM V-87 General Circulation Survey data set preparation. Modena 7-18 March 1988., IMGA-CNR Tech. Rep. n° 1-88.

Robinson A.R., Hecht A., Pinardi N., Bishop Y., Leslie W.G., Rosentroub Z., Mariano A.J. and Brenner S.; 1987 Small synoptic/mesoscale eddies: The energetic variability of the eastern Levantine basin. Nature,327, (6118), 131-134.

Strickland J.D.H., Parsons T.R.;1972 - A practical handbook of seawater analysis. Bull. Fish. Res. Bd. Canada,167, 2d ed., 311 pp.

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

ATTI DELL'8° CONGRESSO A.I.O.L.
PALLANZA 1-3 GIUGNO 1988 da pag. 95 a pag 113

I FORAMINIFERI PLANCTONICI QUALI INDICATORI PALEO-OCEANOGRAFICI: IPOTESI DI VARIAZIONI DI CIRCOLAZIONE NEL MARE ADRIATICO DALL'ULTIMO GLACIALE AD OGGI

A. ASIOLI*, A. M. BORSETTI**, L. CAPOTONDI**, P. COLÀNTONI*** e S. D'ONOFRIO*

* Dipartimento di Scienze Geologiche, Università di Bologna
** Istituto per la Geologia Marina, C.N.R., Bologna
***Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Urbino

SUMMARY

Quantitative planktonic foraminiferal data in six cores from Adriatic sea, western and eastern Mediterranean, have been used to interpret the later Pleistocene-Holocene palaeoceanographic evolution in Adriatic sea.

Three main biostratigraphical interval has been detected and interpreted as: last glacial, deglacial and Holocene. A comparison with coeval intervals in western and eastern Mediterranean pointed out the following results:

1) At present the Adriatic sea is almost enterely alimented by levantine waters;

2.) Meso-Adriatic depression display an extremely local and poor planktonic association, due to the unfavorable geomorfological situation;

3) During the deglacial period (10-15 Kyr B.P.) in South Adriatic basins a mixing between western and eastern Mediterranean water masses may appened; planktonic microfaunas display characters common to those of western and eastern Mediterranean;

4) In the last glacial the planktonic Foraminifera association in South Adriatic basin is well comparable with those of western Mediterranean.

We suggest that a strong change in oceanography appened at 15 Kyr B.P. in the South Adriatic basin; while now levantine waters enter in the area, before that time dense and cool deep water formed in the basin and interrupted the levantine waters inflow.

PREMESSA

I Foraminiferi contenuti nei sedimenti marini campionati per mezzo di carotaggi sono da tempo utilizzati non solo per definire la stratigrafia dei terreni attraversati, ma anche come indicatori ambientali. Tale studio, seppure con le molte limitazioni ed incertezze che derivano dalla difficoltà di campionare livelli omogenei e indisturbati, dalla possibilità di rimaneggiamento ed inquinamento delle associazioni fossili e soprattutto della scarsezza di dati certi sulle reali esigenze ambientali delle specie considerate, si presta a ricostruzioni di grande interesse.

Dobbiamo assumere che le associazioni presenti nei campioni siano rappresentative delle condizioni di vita delle singole specie.

Le forme bentoniche sono espressione dell'ambiente di fondo spesso molto complesso, articolato e caratterizzato da parametri estremamente variabili, mentre le forme planctoniche, accumulatesi dopo la morte nei sedimenti, saranno indicatrici dell'ambiente pelagico ed in particolare delle masse d'acqua che caratterizzano i bacini. Su queste basi sono stati fatti molti tentativi di ricostruzione delle condizioni oceanografiche passate che hanno interessato il Mediterraneo (Parker 1958, Todd 1958, Vergnaud-Grazzini 1973, Ross e Kennett 1983/84, Blanc-Vernet et al., 1984, Vergnaud-Grazzini et al., 1986, 1988).

Nel Mare Adriatico in particolare, sono abbastanza ben conosciute le associazioni a Foraminiferi bentonici legate agli ambienti attuali e passati (D'Onofrio, 1959; Cita e Chierici, 1962; Curzi et al., 1984; Jorissen, 1987;1988, Pregni e Borsetti, 1980).

Scopo del presente lavoro è quello di definire le associazioni planctoniche che caratterizzano l'intervallo di tempo tra l'ultimo massimo glaciale ed il presente e di metterle in relazione alle condizioni oceanografiche che possono essere mutate nel tempo.

MATERIALE E METODO DI STUDIO

Sono state studiate due carote prelevate nella depressione meso-adriatica e una nella fossa sud-adriatica (Fig. 1), i dati relativi a tali carote sono:

Carota	Latitudine	Longitudine	Prof. (m)	Lungh.(m)
IN 68-21	42°53.20'	14*47.50'	252	640
AD 85-30	42*40.03'	14*59.69'	201	240
IN 68-10	42'10.80'	17*51.60'	1273	641

Campioni di un centimetro di spessore sono stati prelevati ad intervalli variabili da 10 a 90 cm, evitando i livelli sabbiosi o disturbati presenti nelle carote. Dopo essicamento, i campioni sono stati lavati utilizzando un filtro a maglie di 125 micron. Il residuo dei campioni provenienti dai livelli più ricchi di microfaune e' stato quartato con microsplitter fino ad ottenere frazioni costituite da circa 300 individui, mentre e' stato esaminato interamente quando la microfauna si presentava scarsa e non considerato quando i Foraminiferi presenti non raggiungevano i 200 individui.

Per ogni residuo sono state determinate tutte le specie planctoniche e bentoniche presenti e calcolate le percentuali relative dei Foraminiferi planctonici che sono riportate in Fig. 1. Si e' poi costruito un diagramma cumulativo delle specie presenti nelle tre carote in esame. Ciò ha consentito di evidenziare tre distinti intervalli biostratigrafici (Fig. 2).

BIOSTRATIGRAFIA E CRONOLOGIA

Dalla base all'apice delle carote sono stati riconosciuti tre intervalli che possono essere definiti come segue.

-L'intervallo inferiore e' il più povero di specie: 5 nella carota prelevata nella fossa sud-adriatica (IN 68-10) (Neogloboquadrina pachyderma, Globorotalia scitula, Globigerinita glutinata, Globigerina bulloides e Globigerina quinqueloba), solo 2 (G. bulloides e G. quinqueloba) nella depressione meso-

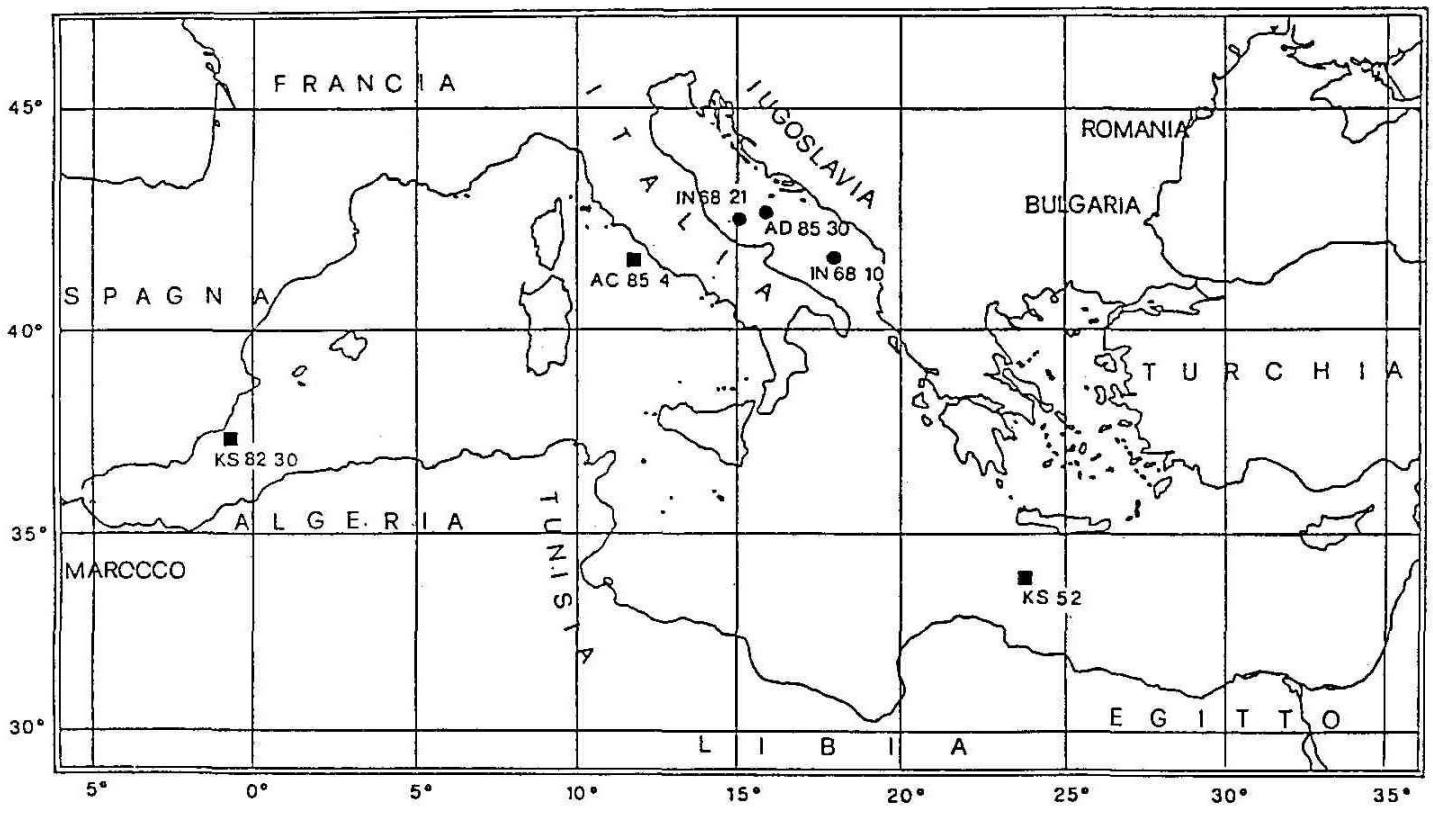


Fig. 1 Ubicazione delle carote studiate ● e citate nel testo ■

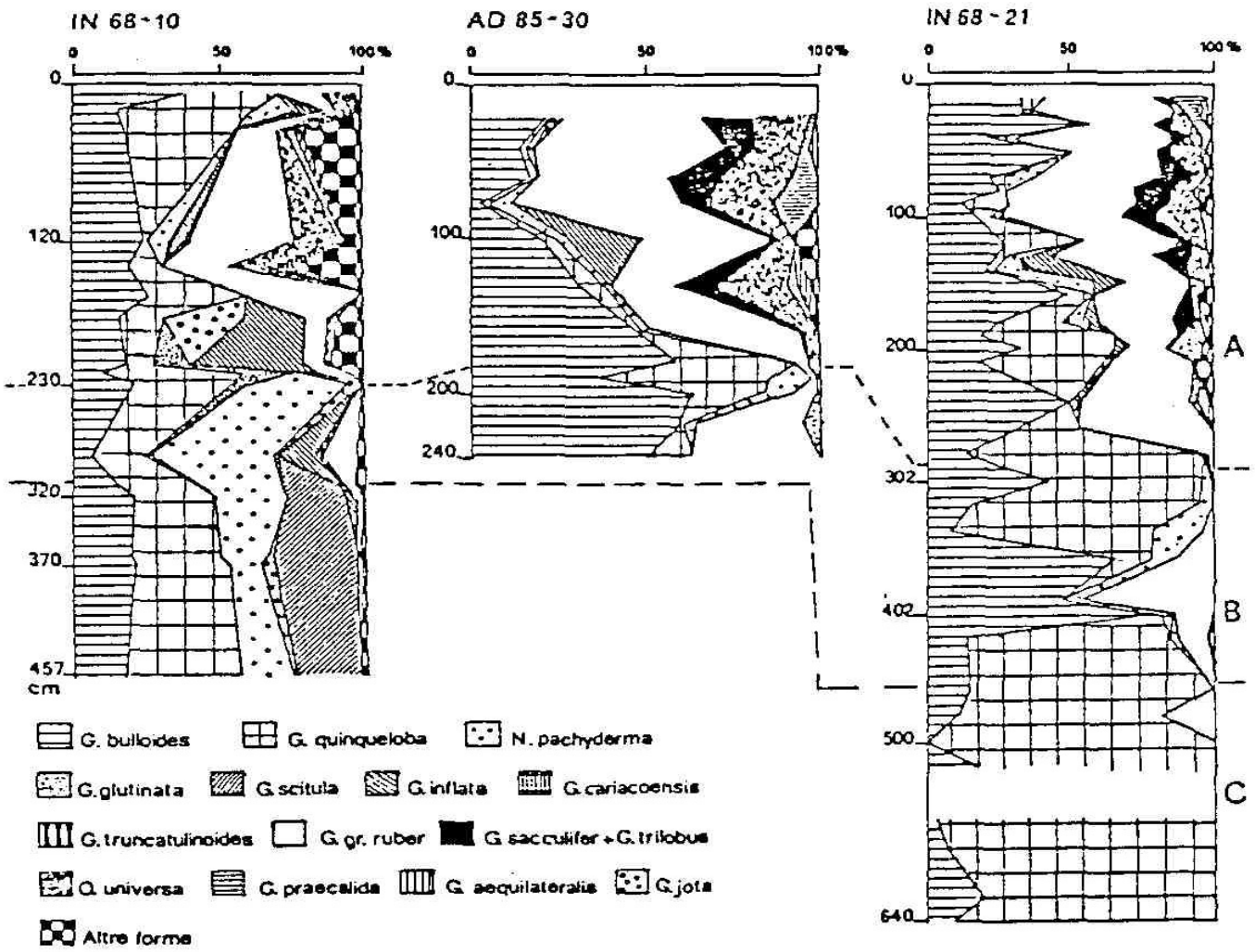


Fig. 2 Curve cumulative dei Foraminiferi planctonici . A= Olocene; B= De-glaciale; C=Ultimo glaciale

adriatica (IN 68-21), mentre nella carota AD 85-30, lunga solo cm 240, tale intervallo non compare.

-Il secondo intervallo, e' caratterizzato dal persistere delle specie presenti in quello precedente (salvo G. scitula) e dalla comparsa in bassa percentuale di Globorotalia inflata e Globigerinoides ruber. E' da sottolineare, nella carota IN 68-10, la presenza di un livello a Globorotalia truncatulinoides.

- L'intervallo superiore e' quello più diversificato. In entrambe le unità morfologiche campionate si trovano, oltre a basse percentuali delle specie presenti nei primi due intervalli (fatta eccezione per G. scitula), anche Orbulina universa, Globigerinoides trilobus, Globigerinoides sacculifer e Globigerinella aequilateralis. Saltuaria e' la presenza di Globigerina dutertrei. Il significato climatico attribuito dagli A.A. alle specie presenti nei tre intervalli individuati (Parker, 1958; Todd, 1958; Blanc-Vernet, 1969; Tolderlound, 1969; Be' e Tolderlound, 1971; Vergnaud-Grazzini, 1973; Blanc-Vernet et al., 1975, Be', 1977, Cita et al., 1977, Thunnell, 1978, Vergnaud-Grazzini, 1976; Thunnell, 1978; Blanc-Vernet et al., 1979), permette di ipotizzare le variazioni positive e negative della temperatura delle masse d'acqua.

Nel primo intervallo sono presenti forme che prediligono acque a bassa temperatura e caratterizzano (sia pure con diversa . frequenza) in tutto il Mediterraneo l'ultimo glaciale (Parker, 1958; Todd 1958, Le Claire e Vergnaud-Grazzini, 1972; Vergnaud-Grazzini, 1976, Glagon et al., 1983; Blanc-Vernet et al., 1983; 1984, Capotondi et al., 1987; Capotondi et al., in stampa).

Nel secondo intervallo compaiono forme di tipo temperato-caldo e calde, quali G. inflata e G. ruber (Be' e Tolderlound, 1971; Thunnell, 1978; Vergnaud-Grazzini, 1973) che stanno ad indicare l'inizio del riscaldamento delle acque che dovrebbe corrispondere alla fase nota come "de-glaciale" (15.000-10.000 anni fa) (Duplessy et al., 1981) senza considerare le due tappe.

Il terzo intervallo, dove esistono associazioni simili all'attuale, sia pure con fluttuazioni diverse indotte da oscillazioni climatiche minori, dovrebbe rappresentare infine l'Olocene, cioè gli ultimi 10.000 anni.

Una tale successione e' in accordo con le datazioni radiometriche ^{14}C e con la stratigrafia isotopica,vale a dire con le curve relative alle variazioni degli isotopi ^{18}O e ^{13}C contenuti nei gusci dei Foraminiferi di carote raccolte in diverse aree del Mediterraneo (Cita et al., 1977; Capotondi et al., 1987; Glaçon e Vergnaud-Grazzini, 1986), nonché in una carota del sud-adriatico (IN 68-5) in corso di studio.

In via generale, quindi, gli intervalli riconosciuti nel Mare Adriatico sono suddivisioni valide per tutto il Mediterraneo, per il quale e' così possibile evidenziare intervalli coevi anche in carote di bacini diversi e confrontarli fra loro.

CONSIDERAZIONI

E' noto che il Mediterraneo e' caratterizzato da una circolazione determinata in via generale dall' ingresso di acqua

densa e salata nel Bacino Levantino (Wüst, 1959, 1961; Lacombe e Tchernia, 1972).

La Fig. 3 mostra una schematizzazione della circolazione delle acque superficiali ed intermedie con i circuiti generali.

I bassi fondali del Canale di Sicilia, in particolare, costituiscono una soglia che condiziona gli scambi idrici tra i bacini occidentale e orientale che separano le masse d'acqua che assumono pertanto caratteristiche generali diverse che si riflettono in associazioni planctoniche diverse (Blanc-Vernet et al., 1975; Maldonado e Stanley, 1976; Bertagnoni et al., 1977; Thunnell, 1978; Glacon et al., 1983; Muerdter e Kennett, 1983/1984; Blanc-Vernet et al., 1984; Vergnaud-Grazzini et al., 1986).

Al fine di verificare il significato oceanografico dei Foraminiferi planctonici, si sono confrontati tra loro le curve di frequenza dei taxa più significativi (G. inflata, G. ruber, G. trucatulinoides, G. scitula) presenti nelle carote adriatiche e in carote prelevate nel Mediterraneo orientale e occidentale.

Le carote scelte come riferimento (Fig. 1) sono la carota KS 82 30 per il bacino occidentale a più netta influenza atlantica (Mare di Alboran, Pujol, 1980), la carota AC 85-4 (Mar Tirreno, in corso di stampa) e la carota KS 52 (Bacino Levantino, Znaidi-Rivault, 1982) .Tale confronto ha portato alle seguenti considerazioni:

- G. inflata (Fig. 4). E' considerata una specie temperata (Blanc-Vernet, 1969; Thunnell,1978) o, meglio, specie tipica della zona di transizione delle masse d'acqua sub-polari e subtropicali (Be' e Tolderlound, 1971).

- G. ruber (Fig. 5) . E' specie rappresentativa di acque calde (Ruddiman, 1971; Cita et al., 1977; Thunnell, 1978; Pujol, 1980). Nell'Adriatico presenta valori elevati (fino 40-50%) simili a quelli levantini nell'olocene; diminuisce rapidamente di frequenza nel de-glaciale, dove tuttavia rimane in misura apprezzabile, mentre e' praticamente assente nell'ultimo glaciale in analogia con il Mediterraneo occidentale e in opposizione con il Mediterraneo orientale.

- G. truncatulinoides (Fig. 6). E' importante in quanto la sua scomparsa e' uno degli eventi biostratigrafici utilizzabili nel bacino levantino per riconoscere l'inizio dell'Olocene (BucKley et al., 1982, Thunnell e Williams, 1982; Znaidi-Rivault, 1982; Glacon et al., 1983; Blanc-Vernet et al., 1984), mentre caratterizza tuttora con la sua elevata frequenza le acque occidentali (De Castro Coppa et al., 1980; Vergnaud-Grazzini et al., 1986). In Adriatico risulta essere presente in due soli livelli del de-glaciale e dell'Olocene e assente nel glaciale contrariamente a quanto avviene nel Mediterraneo orientale e in accordo con il Mediterraneo occidentale.

-G. scitula (Fig. 7). E' considerata una forma caratteristica di acque fredde (Vergnaud-Grazzini, 1976; Cita, 1977; Thunnell, 1978; Pujol, 1980). In Adriatico e' assente nell'Olocene e scarsa (5%) o assente nel de-glaciale: tale situazione rimane inalterata, in via generale, anche nel resto del Mediterraneo. Durante l'ultimo massimo glaciale tale forma e' presente con elevate percentuali (circa 20%) come avviene nel Mediterraneo occidentale e nel Tirreno (si raggiungono valori del 40%), mentre rimane scarsa nel Mediterraneo orientale (frequenze

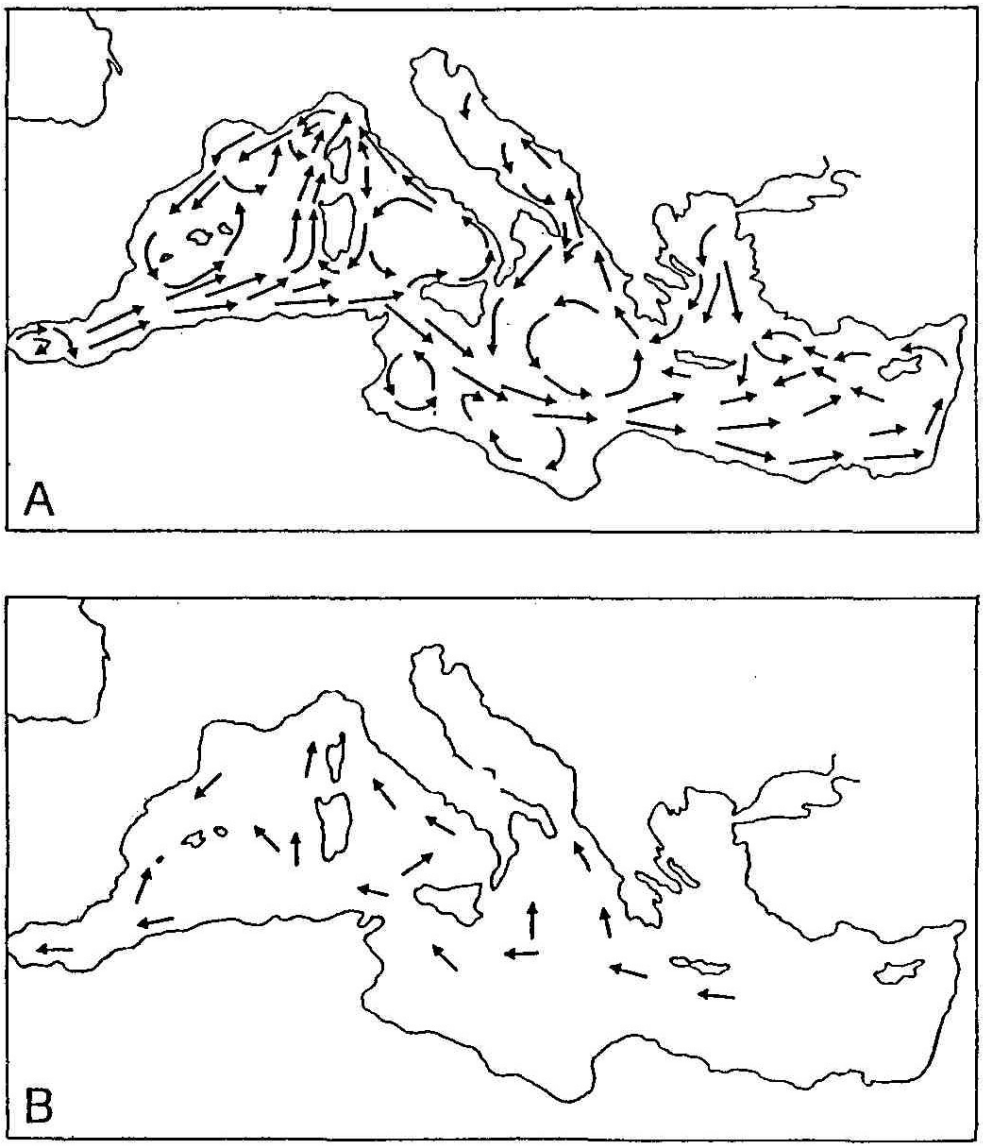


Fig. 3 Schema della circolazione delle acque superficiali (A) e intermedie (B) nel Mediterraneo (da Lacombe e Tchermia, modificata)

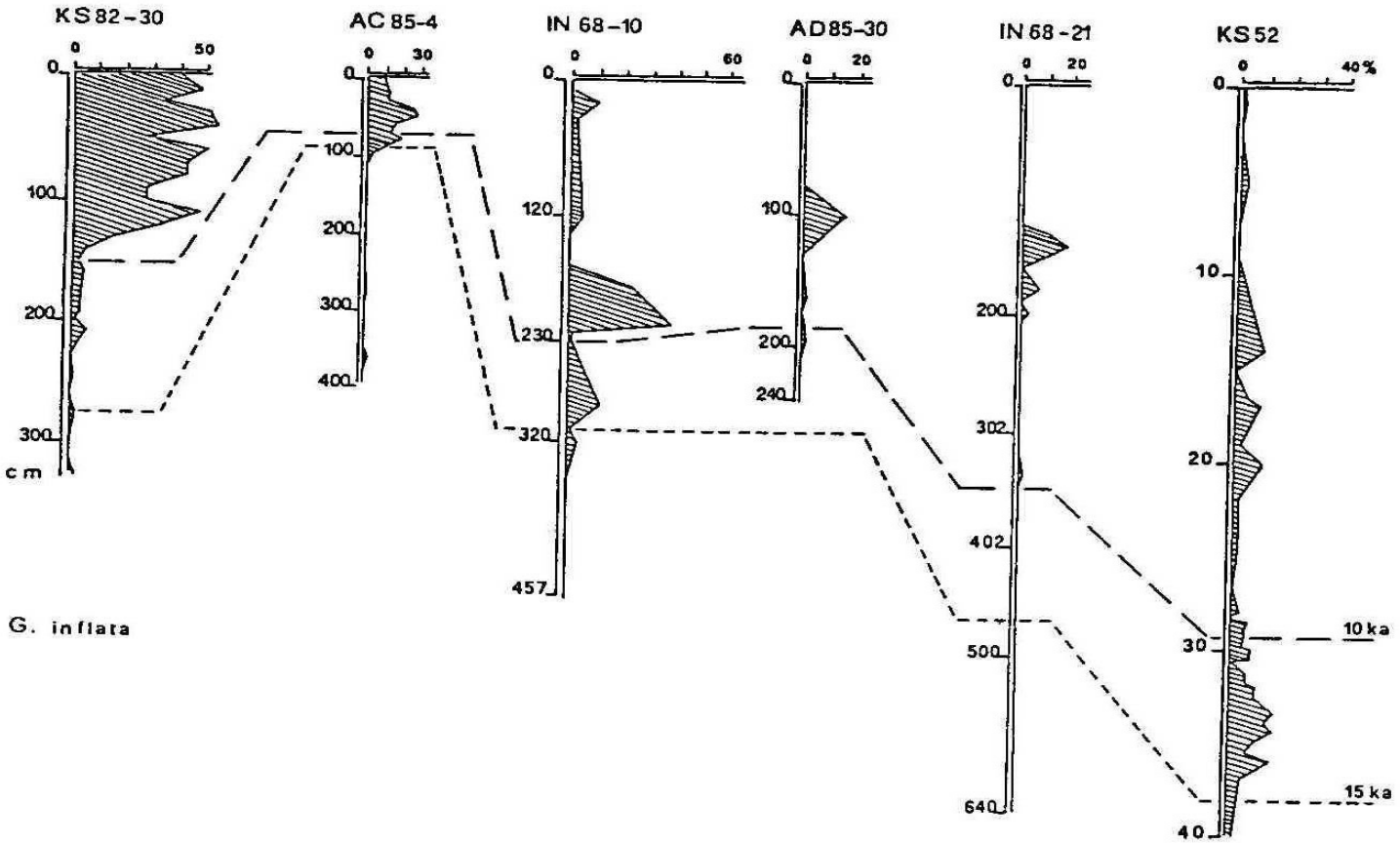


Fig. 4 Distribuzione di G. inflata negli ultimi 18000 anni al Mediterraneo occidentale all'Orientale

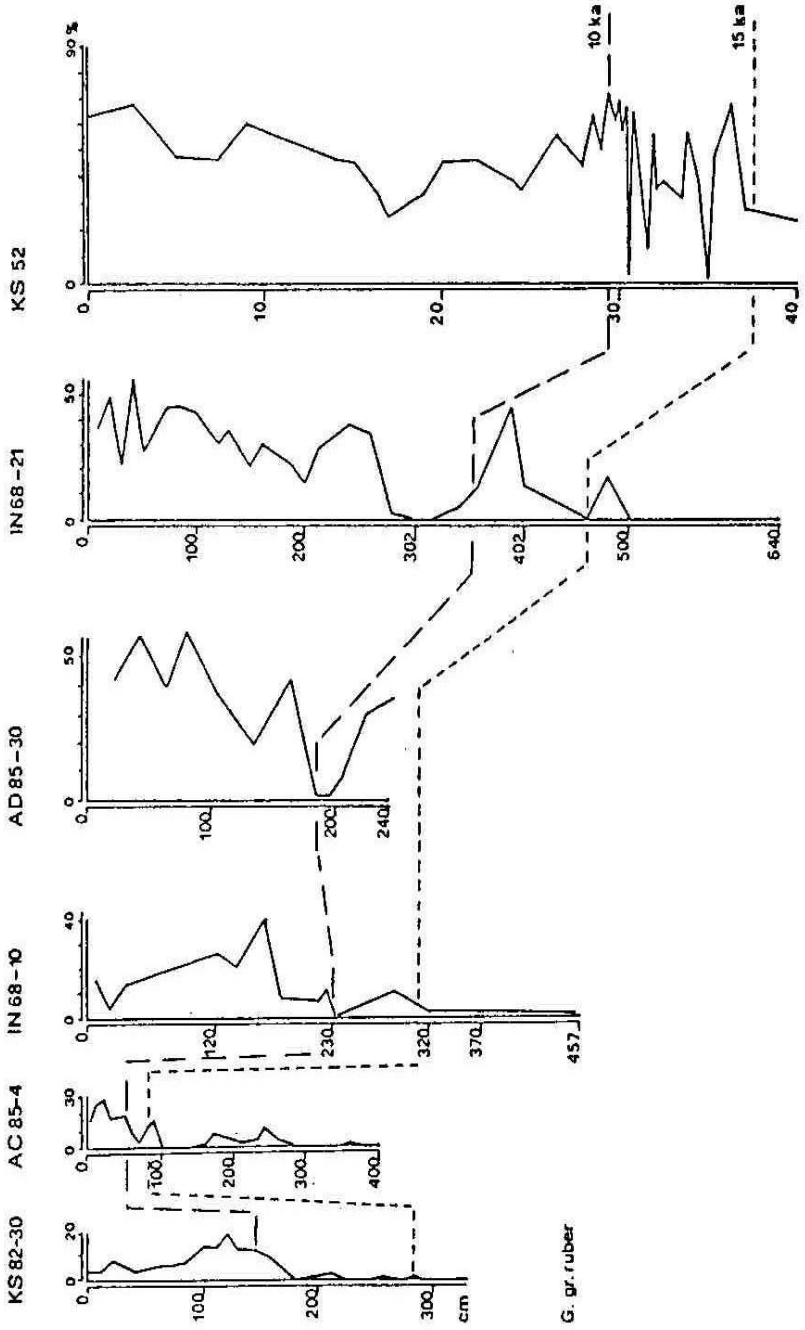


Fig. 5 - Distribuzione di G. ruber negli ultimi 18000 anni al Mediterraneo occidentale all'Orientale

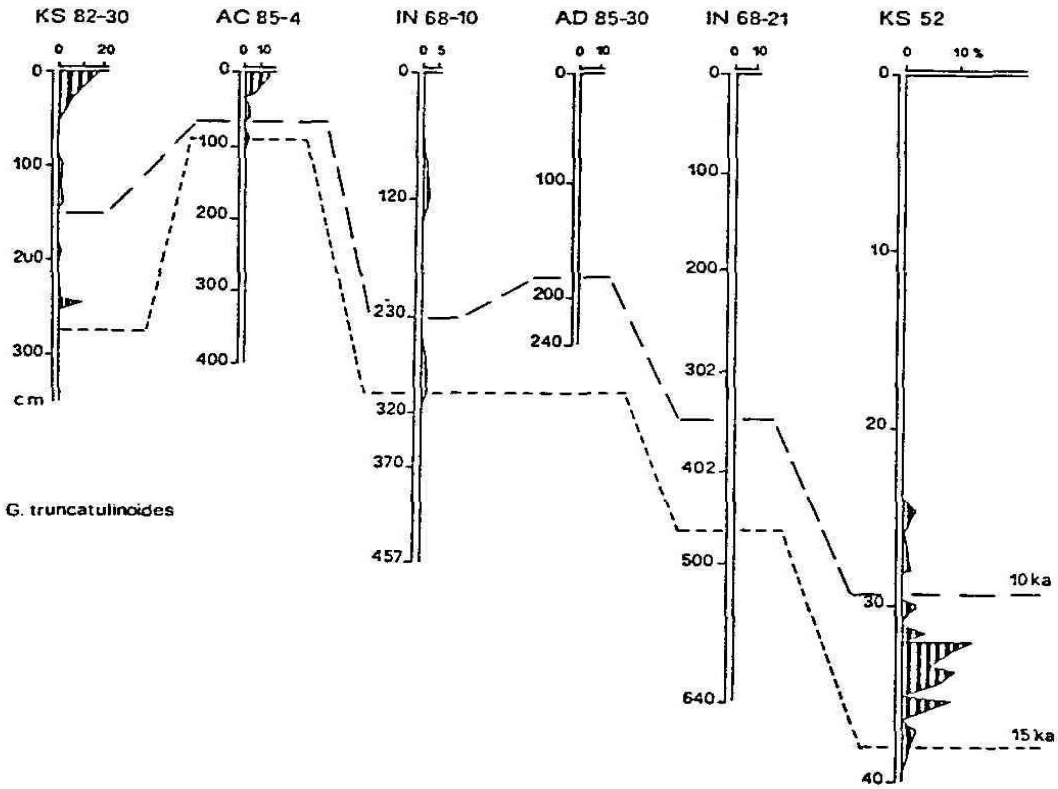


Fig. 6 Distribuzione di G. truncatulinoides negli ultimi 18000 anni al Mediterraneo occidentale all'Orientale

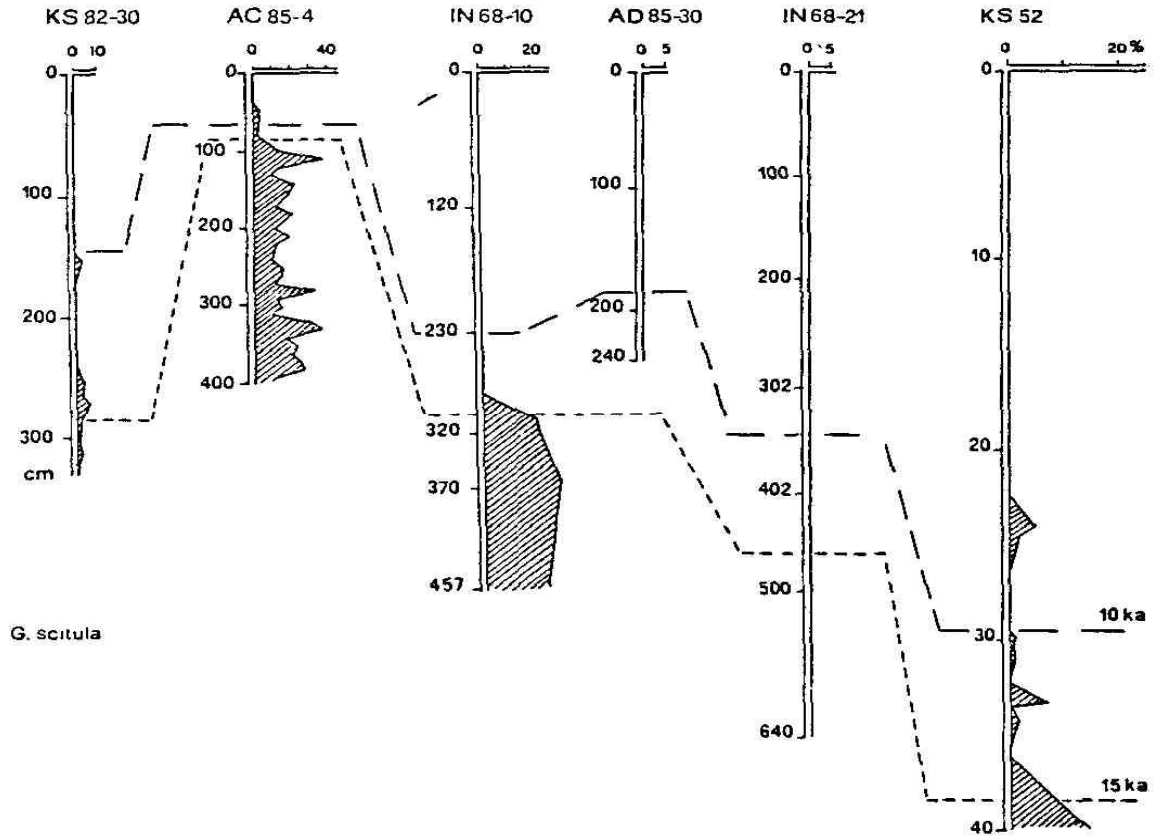


Fig .7 Distribuzione di G. scitula negli ultimi 18000 anni al Mediterraneo occidentale all'Orientale

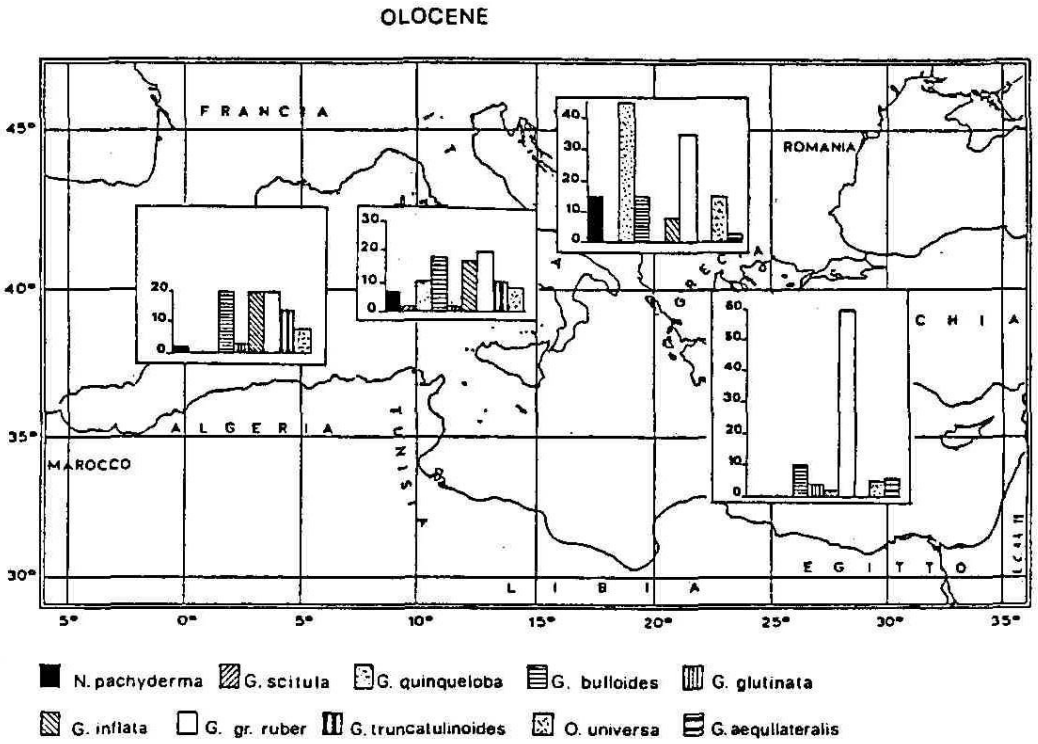


Fig. 8 Istogrammi indicanti le frequenze medie delle associazioni a Foraminiferi planctonici nel Mediterraneo occidentale, mar Tirreno, Mare Adriatico, Mediterraneo orientale nell'Olocene

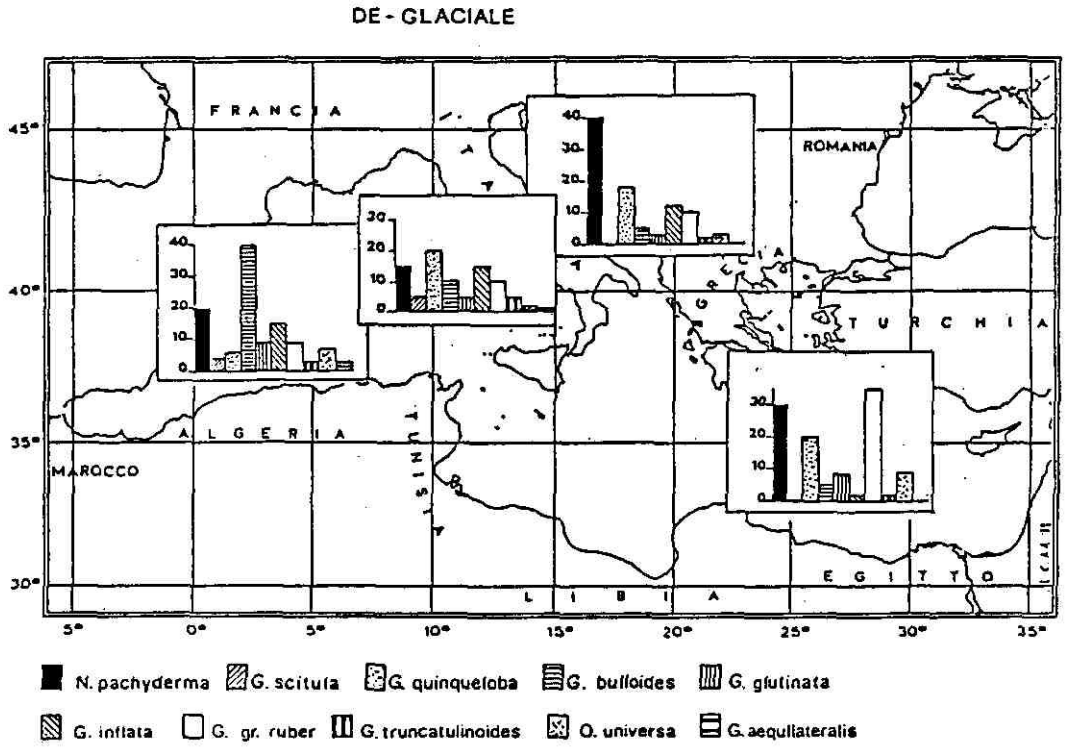


Fig. 9 Istogrammi indicanti le frequenze medie delle associazioni a Foraminiferi planctonici nel Mediterraneo occidentale, mar Tirreno, Mare Adriatico, Mediterraneo orientale nell'de-glaciale

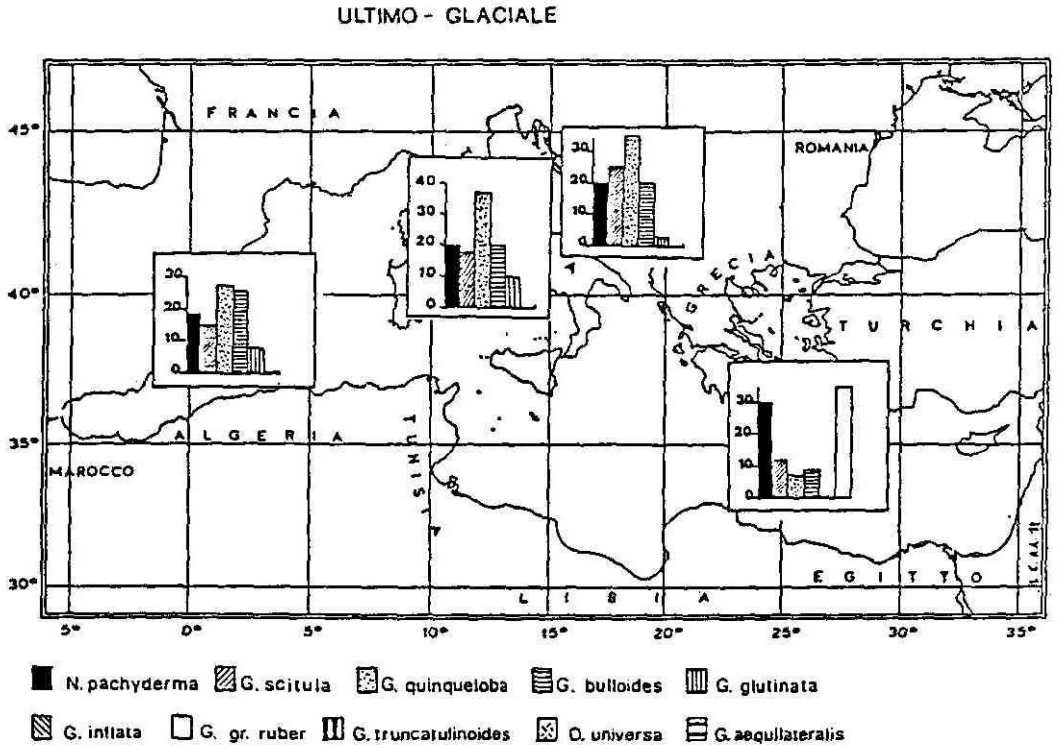


Fig. 10 Istogrammi indicanti le frequenze medie delle associazioni a Foraminiferi planctonici nel Mediterraneo occidentale, mar Tirreno, Mare Adriatico, Mediterraneo orientale durante l'ultimo glaciale

minori del 10%).

Per meglio evidenziare le analogie e le differenze nelle associazioni riscontrate nei sedimenti dei diversi bacini, abbiamo costruito degli istogrammi, utilizzando valori medi di frequenza delle singole specie nei tre intervalli riconosciuti (Figg. 8,9,10).

Per ciò che concerne l'Olocene, come si vede nella Fig. 8, l'istogramma relativo alle specie adriatiche mostra una certa somiglianza con quello delle specie del bacino orientale. Riflettono, quindi, la forte influenza delle acque di origine levantina, in buon accordo con le conoscenze sulla circolazione attuale (Zore-Armanda 1968,1969, Hesse et al., 1971; Buljan e Zore-Armanda, 1976). Alcune caratteristiche occidentali minori sono tuttavia suggerite dalla presenza di N. pachyderma (15%) e dalla discreta frequenza di G. inflata (8%).

Se si va indietro nel tempo considerando l'intervallo relativo al de-glaciale, si vede che l'istogramma relativo alle specie adriatiche, mostra caratteristiche intermedie tra quelle registrate per i bacini occidentale ed orientale (Fig. 9) con abbondanza di G. quinqueloba (40%) e basse frequenze di G. bulloides (5%) e G. inflata (10-15%).

Nell'intervallo corrispondente all'ultimo glaciale (Fig. 10) e' invece evidente come l'associazione presente in Adriatico sia del tutto simile a quella del Mediterraneo occidentale in cui dominano (con frequenze maggiori dell'80%) le forme ad affinità fredda.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Come e' noto (Mesetti 1983) la circolazione attuale dell'Adriatico e' condizionata dalla presenza di un nucleo di acque salate e dense che tende a risalire nel Bacino Adriatico attraverso il Canale d'Otranto (corrente Intermedia Levantina) e dalla formazione in alto Adriatico di acqua poco salata e densa. Il flusso ed il deflusso in Adriatico non sono però costanti in quanto, se l'acqua Levantina ha densità praticamente costante, l'acqua del bacino settentrionale e' al contrario soggetta a notevoli variazioni di densità sia per la temperatura e sia per gli apporti fluviali variabili nel tempo. Può succedere che in estreme condizioni invernali la densità delle acque si eguagli e che quindi la corrente si estingua. Questo fenomeno e' piuttosto raro ma in genere il divario di densità si attenua sempre d'inverno e di conseguenza le correnti invernali sono meno intense mentre d'estate le correnti di gradiente hanno la massima intensità.

Alla luce di quanto esposto si può formulare l'ipotesi che oscillazioni climatiche a più ampio periodo abbiano effettivamente influenzato la circolazione in Adriatico.

In particolare durante l'ultima fase glaciale potrebbero essersi verificate condizioni oceanografiche simili a quelle degli inverni più rigidi attuali con conseguente blocco della circolazione di acque Levantine attraverso il Canale d'Otranto. Le condizioni di salinità e temperatura delle acque avrebbero quindi fatto si' che le faune assumessero caratteri "Atlantici". Questa affinità dei popolamenti e' d'altra parte nota per i Molluschi ed alghe attuali dell'alto Adriatico (Gamulin-Brida e

Span, 1981) .

L'inizio della de-glaciazione, con il succedersi dì inverni più o meno rigidi, avrebbe creato prima situazioni alterne, con dominanza o di una massa d'acqua o dell'altra, denunciate da microfaune intermedie tra quelle orientali e quelle occidentali, finchè 1'instaurarsi delle attuali condizioni oceanografiche avrebbe portato alla dominanza nel Mare Adriatico di acque levantine.

Limitati influssi di acque di tipo "Atlantico" nel sud-Adriatico sono comunque testimoniati dalla saltuaria presenza di G. truncatulinoides che e' sicuramente estinta nel Mediterraneo orientale 10.000 anni fa.

Possiamo quindi concludere affermando che il Mediterraneo non solo presenta variazioni nella circolazione a carattere stagionale legate alla formazione di acque dense in zone ben definite, ma anche che i rapporti tra le masse di acqua sono variati sensibilmente in relazione alle differenti condizioni climatiche che hanno caratterizzato l'ultima storia del bacino.

RINGRAZIAMENTI

Siamo grati a C. Vergnaud-Grazzini dell'Università P. e M. Curie di Parigi e G. B. Vai dell'Università di Bologna per il contributo fornito alla discussione conclusiva e per la revisione critica del manoscritto.

Contributo n. 704 dell'Istituto per la Geologia Marina del C.N.R..

BIBLIOGRAFIA

Be' A.W.H.; 1977 - An ecologica1, zoogeographic and taxonomical review of recent planktonic Foraminifera. In: A.T.S. Ramsay (Editor)t Oceanic Micropaleontology, Vol. 1, Academic Press, London, pp. 1-100.

Be' A.W.H. e Tolderlound O.S.; 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 Micropaleontology of Oceans, pp. 105-149, Cambridge.

Bertagnoni C., Boccolini W., Borsetti A.M. e Colantoni P.; 1977 - Notes micropaleontologiques et sedimentologiques dans le Detroit de Sicile. Rapp. Comm. int. Mer Medit., 24 (7a) , pp. 229-231.

Blanc-Vernet L.; 1969 - Contribution a l'etude des Foraminiferes de la.Mediterranee. Rec. Trav. Mar. Endoume, 64, 281 pp.

Blanc-Vernet L.,Chamley H., .Froget C., Le Boulicaut D., Monaco A. e Robert C.; 1975 - Observations sur la sedimentation marine recente dans la region siculo-tunisienne. Geol. Medit. 1, pp. 31-48.

Blanc-Vernet L., Clairefond P. and Orsolini P.; 1979 – Les Foraminiferes. La mer pelagienne. Geol. Medit.,pp. 161-209.

Blanc-Vernet L., Froget C. e Sgarella F. ; 1983 - Paleoclimatologìe d'une carotte de la Mer Tyrrhenienne. Geol. Medit. X (2), pp. 93-104.

Blanc-Vernet L. , Sgarrella F. e Acquaviva M.; 1984 – Evenements

climatiques, hydrologie et Foraminiferes en Mediterranee au Quaternaire recent. Bull. Soc. Geol. Fr. 26 (6), pp. 1235-1243.

Buckley H.A., Johnson L.R., Shackleton N.J. e Blow R.A.; 1982 -Late glacial to Recent cores from the eastern Mediterranean. Deep Sea Research, 29, pp.739-766.

Buljan M. e Zore-Armanda M.; 1976 - Oceanographical properties of the Adriatic Sea. In: H. Barnes (ed.), Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 14, pp. 11-98.

Capotondi L., Borsetti A.M. e Vergnaud-Grazzini C.; 1987 -Biostratigrafie et composition isotopique de Foraminiferes plantiques des der'niers 140.000 ans dans la region de Minorque (Mediterranee occidentale). C.R. Acad. Sci. Paris, 305 (2), pp. 493-498.

Capotondi L. , Borsetti A. M., Vergnaud-Grazzini C. e D'Onofrio S.; - Biostratigrafia e stratigrafia isotopica della carota AC 85-4: considerazioni sulla paleoceanografia tardo-quaternaria del Mar Tirreno orientale. Giorn. Geol., (in stampa)

Cita M.B. e Chierici M.A.; 1962 - Crociera talassografica adriatica 1955. Ricerche sui Foraminiferi contenuti in 18 carote prelevate sul fondo del Maree Adriatico. Arch. Oceanogr. Limnol., 12, pp. 297-359.

Cita M.B., Vergnaud-Grazzini C., Robert C., Chamley H., Ciaranfi N. e D'Onofrio S.; 1977 - Paleoclimatic record of a long deep-sea core from the Eastern Mediterranean. Quaternary Res., 8, pp. 205-235.

Curzi P., D'Onofrio S., Roveri M. e Taviani M.; 1984 - core ADS 74-24 : a window on the latest Quaternary hystory of the Adriatic Sea. Giorn. Geol. (3), 46/2, pp. 61-77.

De Castro Coppa M.G., Moncharmont Zei M., Placella B., Sgarrella F. e Taddei Ruggiero E.; 1980 - Distribuzione stagionale e verticale dei Foraminiferi planctonici del Golfo di Napoli. Boll. Soc. Nat. Napoli, 99, pp.1-25.

D'Onofrio S., 1959 - Foraminiferi di una carota sottomarina del medio Adriatico. Giorn. Geol. (2), 27, pp. 147-190.

D'Onofrio S., Francavilla F. e Tomadin L.; 1973 - Considerations paleoclimatologiques concernant une carotte prelevée dans 1'Adriatique meridionale. Rapp, Comm. Int. Mer Medit., 22 (5), pp. 181-183.

Duplessy J.C., Delibrias G. , Turon J.L., Pujol C. e Duprat J.; 1981 - Deglacial warming of the northeastern Atlantic ocean: correlation with the palepclimatic evolution of the European continent. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., 35, pp. 121-144.

Fregni P. e Borsetti A.M.; 1980 - Ricerche micropaleontologiche e paleoambientali su alcune carote prelevate sui fondali nella zona tra il delta del Po e la laguna veneta. -In: Colantoni P. e Gallignani P. (eds.): Ricerche sulla piattaforma continentale dell'alto Adriatico, P.F. Oceanografia e Fondi Marini, S.P. 4, Quaderno n. 2, pp. 57-63.

Gamulin-Brida H. e Span A.; 1981 - Situation biogeographique de la Mediterranee et de 1'Adriatique en tant que sons-region distincte. Journees d'Etudes sur la systematique evolutive

et la biogeographie en Mediterranee, C.I.E.S.M. 1980, Cagliari, 73-80.
Glaçon G., Got H., Martini R., Monaco A. e Murat A.; 1983 – Essai de Biostratigraphie du Quaternaire recent de Mediterranee orientale. Application a des carottes prelevees sur la marge ionienne du large des iles de Crete, Kassas et Rhodes. C.R. Acad. Se. Paris, 296, pp. 1325-1329.
Glaçon G. e Vergnaud-Grazzini C.; 1986 - Les isotopes du carbone, outie stratigraphique pour les derniers 350.000 ans en Mediterranee orientale. C.R. Acad. Sci. Paris, 303 (2) n. 18, pp. 1675-78.
Hesse R., Von Rad V. e Fabricius F.; 1971 – Holocene sedimentation in the Strait of Otranto between Adriatic and Ionian Seas (Mediterranean). Mar. Geol., 10, pp. 293-355.
Jorissen F.J.; L987 - The distribution of Benthic Foraminifera in the Adriatic Sea. Mar. Micropal., 12, ,pp. 21-48.
Jorissen F.J.; 1988 - Benthic Foraminifera from the Adriatic Sea; principies of phenotypic variation. Utrecht Micropal. Bull., 37, pp. 1-174.
Lacombe H. e Tchernia P.; 1972 - Le probleme de la formation deu eaux marines profondes. Derovlement du phenomene en Mediterranee nord-occidentale par hiver très froid (Janvier-mars 1963). Ann. Inst. Oceanogr., 48 (1), pp. 1-112.
Le Claire L. e Vergnaud-Grazzini C. ; 1972 - Variations des associations de Foraminiferes planctonique et paleotemperatures isotopiques depuis le debut du dernier glaciaire dans une carette du bassin algero-baleares. C.R. Acad. Sci. Paris, 275, D, pp. 2111-2114.
Maldonado A. e Stanley D.J.; 1976 - Late Quaternary sedimentation and stratigraphy in the Strait of Sicily. Smith. Contr. Earth. Sc., 16, pp. 1-73.
Mesetti F. ; 1983 -Caratteristiche fondamentali dell'idrogeologia dell'Adriatico. In: I problemi del Mare Adriatico: Conferenza dei Rettori della Comunità di Lavoro Alpe Adria Traverte, pp. 209-236.
Muerdter D.R. e Kennett J.P.; 1983/84 - Late Quaternary planktonic foraminiferal biostratigraphy, Strait of Sicily, Mediterranean Sea. Marine Micropal., 8, pp. 315-336.
Parker F.L.; 1958 - Eastern Mediterranean Foraminifers. Rep. Swed. Deep-Sea Exped. 1974-1948, 8, pp. 217-283.
Pujol C.; 1980 - Les Foraminifers planctoniques de l'Atlantique Nord au Quaternaire. Ecologie, stratigraphie, environment. Univ. Bordeaux Thesis, pp. 254.
Ross e Kennett J.P.; 1983/84 - Late Quaternary paleoceanography as recorded by benthonic Foraminifera in Strait of Sicily sediment sequences. Marine Micropal., 8, pp. 315-336.
Ruddiman W.F.; 1971 - Pleistocene sedimentation in the equatorial Atlantic: stratigraphy and faunal paleoclimatology. Geol. Soc. Amer. Bull., 82 (2), pp. 283-302.
Thunnell R. C., 1978 - Distribution of recent Foraminifera in surface sediments of the Mediterranean sea. Marine Micropal., 3 , pp. 147-173.
Thunnell R.C. e Williams D.F.; 1982 - Paleoceanographic events associated with termination II in the eastern

Mediterranean. Oceanol. Acta, 5 (2), pp. 229-233.
Todd Q.; 1958 - Foraminifera from Western Mediterranean Deep-Sea cores, Rep. Swed. Deep-Sea Exped., 1947-1948, 8, pp. 169-215.
Tolderlound D.S.; 1969 - Seasonal distribution patterns of planktonic Foraminifera at five ocean stations in the western North Atlantic. Ph. D. Thesis, Columbia University-New York, pp. 210.
Vergnaud-Grazzini C.; 1973 - Etude ecologique et isotopique de Foraminiferes actuels et fossiles de Mediterranee – Thesis Univ. Paris, pp. 181.
Vergnaud-Grazzini C.; 1976 - Non equilibrium isotopic composition of shells of planktonic Foraminifera in the Mediterranean Sea. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., 20, pp. 263-276.
Vergnaud-Grazzini C., Knappertsbusch M., Pujol C., Peypougvet J.P., Glacon G. e Urrutiaguer M.J.; 1986 - Vicomed. Le microfaunes planctoniques de la tranche d'Eau et des sediments de surface; relations avec la structure hydrologique . "Oceans" - Science spec. Soc. Geol. Fr. Et Italie Villefrance.
Vergnaud-Grazzini C., Borsetti A. M., Cati F., Colantoni P., D'Onofrio S., Saliege J.F., Sartori R. and Tampieri R., 1988 - Paleoceanographic record of the last deglaciation in the Strait of Sicily. Marine Micropal., 13, pp. 1-21.
Wüst G.; 1959 - Remarks on the circulation of the intermediate and deep water masses in the Mediterranean Sea and the methods of their further exploration. Ann. Ist. Univ. Navale di Napoli, 28, pp. 3-21.
Wüst G.; 1961 - On the vertical circulation of the Mediterranean Sea, Journ. Geophys. Res,, 66 (10), pp. 3261-3271.
Znaïdi-Rivault J.; 1982 - Les grands evenements climatiques du Quaternaire recent en Mediterranee orientale: la response sedimentaire, microfaunique et isotopique. Thesis Univ. P. et M. Curie Paris, 254 pp.
Zore-Armanda M. ; 1968 - The system of currents in the Adriatic Sea. Gen. Fish. Counc. Medit., Stud. Rev., FAO, pp. 1-48.
Zore-Armanda M.; 1969 - Water exchange between the Adriatic and the Eastern Mediterranean. Deep-Sea Research, 16, pp. 171-178.

ATTI DELL'8°CONGRESSO A.I.O.L.
PALLANZA 1-3 GIUGNO 1988 da pag. 115 a pag. 130

INDAGINI CORRENTOMETRICHE SUL LAGO D'ORTA

L. BARBANTI, W. AMBROSETTI

Istituto Italiano di Idrobiologia, CNR Pallanza

RIASSUNTO.

Le ricerche sui moti di corrente nel Lago d'Orta sono state intraprese con lo scopo di verificare le situazioni idrologiche più favorevoli nell'utilizzo di tecniche di liming per accelerare il recupero del lago. Data la bassa velocità delle correnti lacustri, si è preferito impiegare le crociere da deriva invece dei correntometri: sono state rilasciate a diverse profondità lungo determinati transetti e la loro posizione è stata determinata topograficamente ogni due ore circa.

E' stata riconosciuta nel vento la forza innescamente più importante, specialmente per i livelli più superficiali, e si è sottolineato anche il ruolo della stratificazione termica e della morfologia della valle lacustre nel determinare le componenti energetiche e direzionali delle correnti. Le loro velocità massime sono state rilevate nella tarda primavera, all'inizio della stratificazione e con i soli strati superficiali coinvolti nella circolazione lacustre; in inverno, Invece, le correnti avevano velocità molto ridotte sull'intera colonna d'acqua.

SUMMARY.

Research on water movements in Lake Orta was carried out with the aim to verify the most favourable hydrological situation for using the liming technique in order to speed up the recovery rate of the lake. Because of slow-moving water currents in lakes, float drogues were preferred to current meters. They were released at different dephts along some transects and topographically positioned every two hours.

It was recognized that wind is the most important acting force, especially for water in the upper levels; the role of thermal stratification as well as lacustrine valley morphology in determining the energetic and directional components of water currents was also pointed out. Their maximum velocity was recorded during late spring when, at the beginning of stratification, the only superficial layers are involved in the lake circulation; on the contrary, in winter the currents showed very low velocities along the whole water column.

Lo studio delle caratteristiche idrodinamiche del Lago d'Orta è stato intrapreso col proposito di verificare quali possono essere le situazioni più favorevoli per programmare gli interventi di liming atti ad accelerare il recupero di questo corpo d'acqua. Si tratta infatti di uno degli esempi mondiali più documentati di come scarichi tossici industriali prolungati e incontrollati possano portare un lago a situazioni di stress estremamente acute, tali cioè da rendere necessarie adeguate azioni di sostegno per il suo recupero (Bonacina et al., 1987) . Nel prosieguo dei lavori di questo Congresso altre relazioni illustreranno , e con maggiori dettagli, gli aspetti chimici e biologici del problema.

Con le indagini di idrodinamica lacustre, che sono state condotte in massima parte sulla porzione meridionale del lago, in quanto sarà sicuramente la prima ad essere sottoposta all'intervento di recupero, ci si proponeva di raggiungere essenzialmente i seguenti obbiettivi:

-ottenere in via preliminare un quadro generale dei movimenti delle masse d'acqua, il quale permettesse di discriminare fra le situazioni idrologiche nei diversi momenti stagionali, e ciò in considerazione della ben nota e documentata incidenza delle strutture termiche lacustri sui movimenti delle masse d'acqua;

- rendere conto delle modalità di interscambio idrico fra la porzione più meridionale del lago e le sue restanti parti, al fine di prevedere la dinamica dei processi di dispersione e di diffusione.

Prendendo 1'avvio da considerazioni sugli aspetti morfoidrografici del Lago d'Orta, dobbiamo rilevare come esso si caratterizzi per una ben evidente suddivisione della conca in 3 bacini (Fig. 1): quello meridionale, profondo poco più di 30 m, che è chiuso verso Nord dalla trasversale che congiunge la penisola di Orta con la Punta Gasar io ; quello centrale, con profondità che supera solo di poco i 100 m e che è limitato a settentrione da una soglia sommersa all'altezza della Punta di Crabbia, e, infine, il bacino settentrionale nel quale si trova la massima profondità (143 m).

Una particolarità dell'idrografia del Cusio riguarda il suo emissario, il Torrente Niguglia, che fuoriesce dal lago alla sua estremità settentrionale (Omegna), seguendo cioè una direzione opposta a quella degli altri grandi laghi sudalpini.

Da tener presente anche il fatto che i punti di scarico, a lago dei residui industriali responsabili dello sconvolgi-

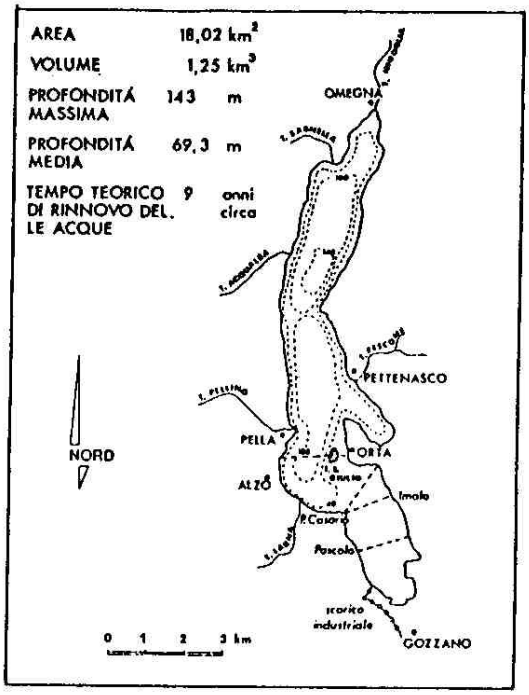


Fig. 1 - Batimetria e morfometria del Lago d'Orta.

mento chimico-biologico dell'ecosistema cuciano sono per lo più ubicati nella parte meridionale del lago, cioè a dire all'estremità opposta rispetto al suo incile. Tenuto conto altresì che il tempo teorico di ricambio delle acque del lago è stato valutato in 9 anni circa, è da presumere che nei sedimenti lacustri più prossimi agli scarichi siano rimaste intrappolate sostanze inquinanti capaci di costituire, per un tempo ancora relativamente lungo, una fonte di pericolo. Da questa considerazione, così come da altre di natura più prettamente chimica, è nato il progetto di effettuare interventi atti ad accelerare i tempi di recupero del lago, interventi che dovranno ovviamente avere priorità nelle aree a maggior rischio quale è appunto il bacino meridionale del lago.

1. MATERIALI E METODI

Attese le finalità precedentemente descritte, e considerata anche la necessità di ricostruire un quadro spazio-temporale sufficientemente dettagliato delle correnti lacustri, si è optato per una metodologia che utilizzasse gli indicatori di deriva (crociere di deriva) piuttosto che i correntometri; in altri termini, si è preferito un approccio

di tipo lagrangiano anziché uno di tipo euleriano. Nonostante una minor precisione nelle misure di velocità e di direzione delle correnti, la metodica prescelta consente di seguire simultaneamente lo spostamento di più indicatori di deriva a varie profondità ed in più punti del lago: ne consegue la possibilità di ottenere, in contemporanea, informazioni su un areale anche esteso anziché dati più precisi ma relativi ad un unico o a pochi punti.

Non va sottovalutata neppure la facilità di impiego di questa apparecchiatura ed i costi enormemente inferiori rispetto ad ogni altra tecnica correntometrica. L'uso delle crociere, d'altra parte, è abbastanza comune in limnologia (Shulman e Bryson, 1961, Barbanti e Carello, 1965; Knauss, 1966; Mattson, 1973; Charton, 1980; Duck et al., 1985), anche perché facilitato dalla presenza di numerosi punti a terra, in genere ben individuabili, che consentono una sicura determinazione della posizione delle crociere. Per contro, l'utilizzo dei correntometri per la misura di correnti a bassa velocità quali si ritrovano nei laghi (in genere inferiori a 10 $cm.s^{-1}$) può indurre dubbi di attendibilità in quanto si opera al limite della soglia di sensibilità, specialmente se si impiegano correntometri meccanici di tipo tradizionale. Da non sottovalutare anche le difficoltà di ancoraggio del natante o della boa di sostegno soprattutto nei laghi profondi.

Sul Lago d'Orta sono stati fatti 4 sopralluoghi preliminari di messa a punto del metodo (nei mesi di Maggio, Giugno, Luglio e Settembre 1985), con crociere di deriva rilasciate a 5 profondità (superficie, 5, 10, 20 e 30 m) lungo il transetto Imolo-P. Casario (Fig. 1). A partire dal Maggio 1986 i sopralluoghi si sono succeduti regolarmente con cadenza mensile e per un intero anno hanno interessato soltanto il bacino meridionale, più frequentemente lungo il transetto già indicato, ma saltuariamente anche lungo le direttrici Pascolo-Corconio e P. Casario-Ortello. Dal mese di Maggio 1987 e fino all'Aprile 1988 lo studio ha riguardato la porzione di lago più prossima all'Isola di S. Giulio lungo la direttrice Orta-Alzo; mentre nella parte più orientale del transetto, a causa della modesta profondità, venivano rilasciate solo le crociere a 0, 5 e 10 m, in quella più occidentale sono stati posti in acqua indicatori anche a 20, 30, 50 e 90 m di profondità.

Ciascuna serie di misure era compresa in un intervallo di tempo di 7 ore circa (in genere dalle 9.30 alle 16.30} durante le quali la posizione delle crociere veniva deter-

minata per tre volte (oltre al punto di rilascio). L'operazione topografica consisteva nella misura di due angoli adiacenti con vertice nel punto barca (accostata alla crociera), misura effettuata collimando a tre punti a terra di coordinate note mediante il "circolo a riflessione Amici-Magnaghi"; con la conoscenza di questi elementi è possibile la risoluzione del problema topografico di Snellius con la definizione delle coordinate del punto di stazione.

Alcuni esempi di sintesi dei rilevamenti giornalieri sono riportati in Fig. 2: sono indicate le tracce dei percorsi dei singoli indicatori attraverso le quali sono state successivamente ricavate le velocità e le direzioni delle correnti.

Nel corso dei sopralluoghi si è proceduto anche alla raccolta di informazioni sui parametri ambientali provvedendo, in particolare, alla misura sistematica del vento nelle sue due componenti (direzione ed intensità), nonché al controllo delle strutture termiche lacustri con misure di temperatura lungo l'intera colonna d'acqua. Anche questi ultimi dati sono sintetizzati negli esempi di Fig. 2.

2. DISCUSSIONE

L'analisi dei dati correntometrici raccolti nel corso dei 28 sopralluoghi effettuati nel bacino meridionale del Lago d'Orta consente di riconoscere nel vento, nelle strutture termiche presenti nella massa d'acqua e nella morfologia lacustre i tre principali fattori che controllano le caratteristiche idrodinamiche del lago.

Diversamente da quanto riscontrato in altri corpi di acqua (Gilbert, 1975; Carmack et al., 1979; Lambert et al., 1984 e Chichita et al., 1985) non sembra che la spinta delle acque veicolate al lago attraverso gli immissari possa avere un'influenza sostanziale sul sistema idrodinamico del Cusio, evidentemente per la modesta portata di quei corsi d'acqua; analoga considerazione vale per l'azione emungente dell'emissario (il Torrente Niguglia), azione che è invece ben presente nei laghi ad elevato flusso attraversante.

Il Lago d'Orta potrebbe invece essere caratterizzato dalla presenza di sesse termiche ben evidenziate (e quindi anche dai moti d ' acqua ad esse connessi) se si tiene conto che per alcuni mesi ali1anno presenta una elevata stabilità termica; come è stato verificato nel Lake Champlain da Meyer et al. (1983), questi movimenti possono assumere anche un carattere dominante su tutti gli altri. Un altro processo idrodinamico di cui si può presumere la presenza nell'Orta è

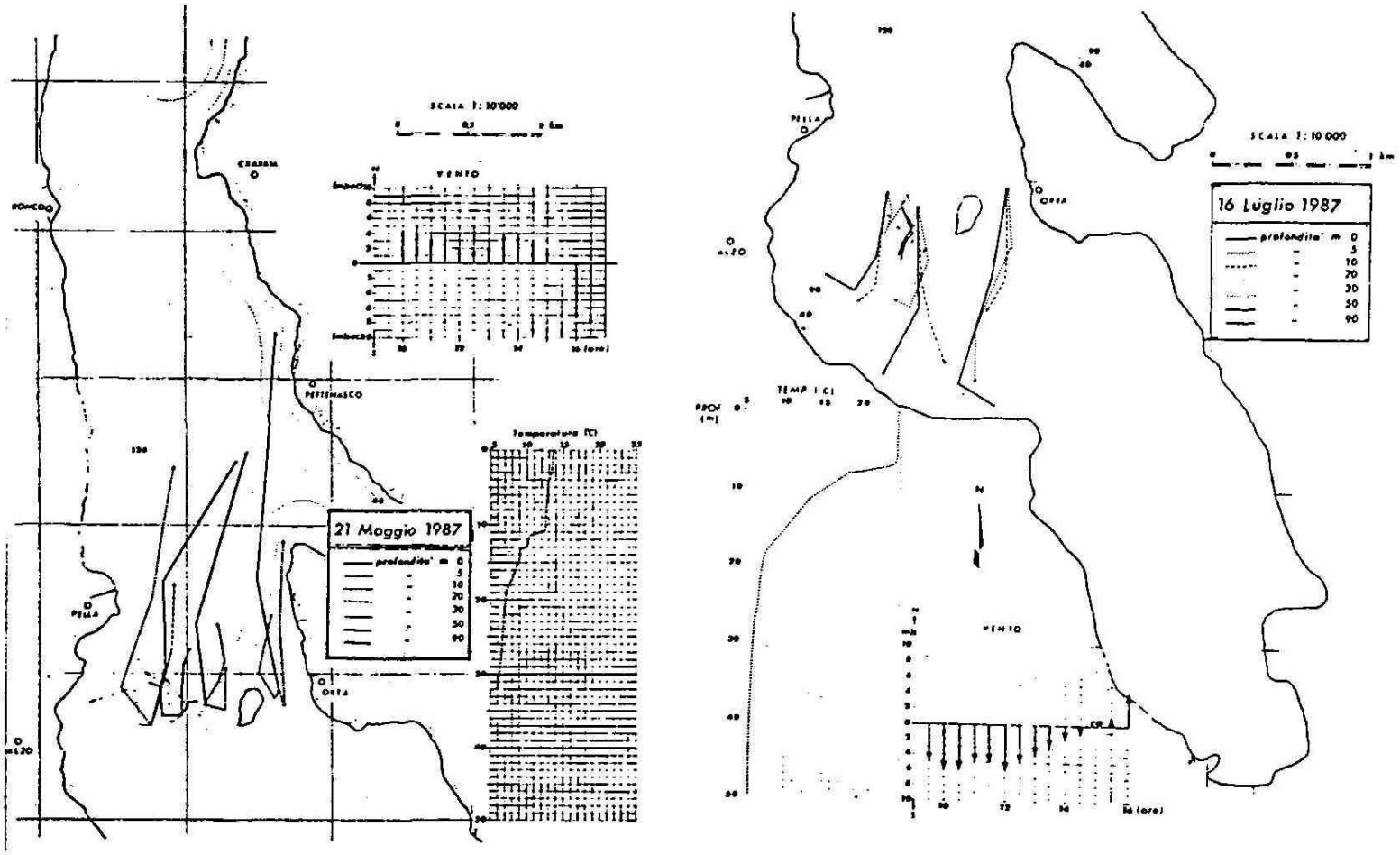


Fig. 2 - Esempi di rilevamenti correntometrici in condizioni di vento da Sud (21 Maggio 1987) e di vento da Nord {16 Luglio 1987).

il possibile scivolamento per gravita verso le maggiori profondità delle masse d'acqua superficiali sottoposte a sensibili raffreddamenti durante i periodi invernali più rigidi; ciò è possibile particolarmente nelle parti di lago caratterizzate da modesta profondità quale è appunto il bacino meridionale dell'Orta. Si tratta di un fenomeno che è stato ben documentato da Talling (1963) nei laghi africani.

Allo stato attuale delle conoscenze, tuttavia, non si hanno elementi informativi sufficienti per avvalorare, o meno, la presenza di movimenti di questo tipo.

a. Vento

E' senza dubbio l'elemento meteorologico di gran lunga più importante nel determinare l'innesco delle correnti lacustri nell'Orta, con particolare riferimento ai movimenti che avvengono nello strato d'acqua più superficiale che rispondono con estrema immediatezza al mutare delle situazione meteorologiche.

In presenza di venti deboli, così come in situazioni di calma, il sistema idrodinamico lacustre risente evidentemente della situazione anemologica delle ore precedenti, nel senso che movimenti inerziali possono persistere anche dopo la cessazione del fattore innescante. La loro presenza, di entità per altro variabile, è evidenziata anche dalle intercette sull'asse delle ordinate delle rette di regressione che sono state calcolate correlando, per ciascuna profondità, le velocità del vento e delle correnti (Fig. 3). Per queste correlazioni si sono utilizzati, come dati di base delle correnti, le velocità medie del percorso compiuto da ciascuna crociera. E' possibile constatare anche come le rette di regressione evidenzino una sempre minore incidenza del vento con la profondità: infatti sia le intercette, del cui significato idrologico già si è detto, sia i coefficienti angolari di ciascuna retta, che rappresentano la rata di incremento delle velocità di corrente in rapporto alla intensità del vento, hanno valori sempre più bassi con l'aumento delle profondità.

Nel prospetto (della pagina seguente) sono riportati le intercette, i parametri angolari ed i coefficienti di correlazione di ciascuna retta di regressione nonché il loro grado di significatività
statistica: è facile rendersi conto come quest'ultimo si collochi, in ogni caso, a livelli di probabilità molto elevati ($p<0,001$).

Prof. (m)	Intercetta	Parametro angolare	Coeffic. Correlaz.	Numero dati	Signif.
0	2,75	1,111	0,57	81	0,001
5	1,68	0,378	0,45	81	0,001
10	1,53	0,349	0,47	81	0,001
20	1,27	0,221	0,47	81	0,001
30	1,13	0,257	0,48	81	0,001
50	0,85	0,210	0,62	33	0,001
90	0,83	0,213	0,60	32	0,001

A titolo puramente informativo si riportano anche le velocità di corrente più elevate riscontrate per ciascuna profondità, valutate come medie dei percorsi giornalieri di ciascun indicatore di deriva:

m 0 - 15,3 cm s^{-1}
m 5 - 9,2 "
m 10 - 5,2 "
m 20 - 4,4 "
m 30 - 3,8 "
m 50 - 2,7 "
m 90 - 2,9 "

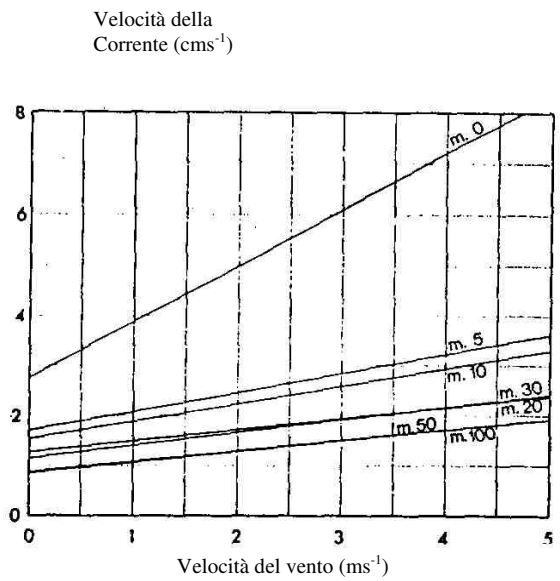


Fig. 3 – Rette di regressione fra le velocità del vento e quelle delle correnti alle diverse profondità

b. Strutture termiche lacustri

Dal punto di vista termico il Lago d'Orta è un corpo di acqua ad elevata stabilità, con 1'epilimnio e con lo strato di salto che si differenziano in maniera netta per buona parte dell'anno dalla massa d'acqua sottostante. E' quanto risulta anche dalla Fig. 4 nella quale sono rappresentate le curve termiche verticali rilevate nel corso di ciascun sopralluogo correntometrico: le aree in grigio intendono evidenziare lo strato di salto (metalimnio) che si interpone, con modalità differenziate nel tempo, fra epi- ed ipolimnio; le caratteristiche termiche e dinamiche di questo strato dipendono dalla situazione meteorologica della giornata, dal momento stagionale e dalle caratteristiche climatiche medie dell'anno.

La presenza di un gradiente termico più o meno pronunciato condiziona, in maniera determinante, l'azione di deriva operata dal vento, dal momento che essa può esercitarsi. su uno strato mescolato superficiale (epilimnio) che, nel. tempo, varia notevolmente in spessore ; in altri termini, a parità di altre condizioni, i movimenti di deriva si manifestano con velocità diverse a seconda del volume d'acqua epilimnico sul quale può trasferire la sua energia. Viceversa,

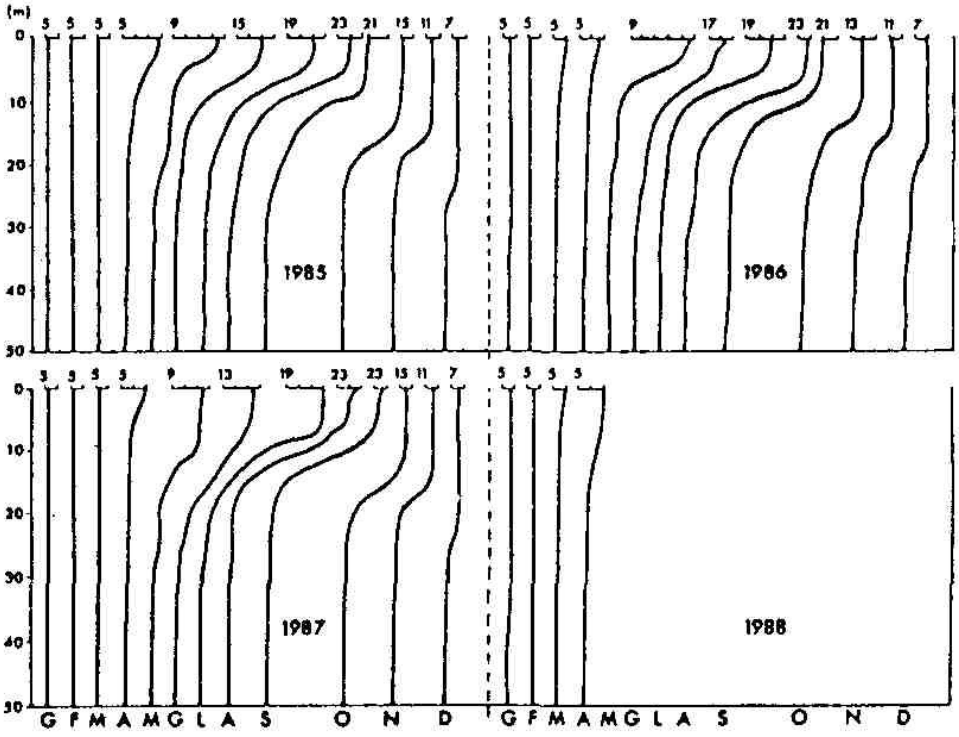


Fig. 4 - Evoluzione stagionale delle strutture termiche lacustri.

al di sotto dello strato di salto, l'azione del vento può risultare del tutto inefficace ed i movimenti delle masse d'acqua essere di tutt'altra natura, come ad esempio moti di compensazione, flussi attraversanti, correnti di sessa, ecc.
In Fig. 5 le velocità di corrente, valutate come medie giornaliere di tutte le crociere operanti alla stessa profondità, sono poste a confronto con le velocità medie del vento misurate nel corso di ciascun rilevamento correntometrico (istogrammi verticali). Risulta abbastanza evidente come nei mesi primaverili e primo-estivi, caratterizzati per altro da una accentuata ventosità, gli indicatori di deriva più superficiali raggiungessero le loro velocità più elevate . E' la riprova di quanto affermato precedentemente e cioè che in questi periodi lo strato epilimnico è in fase di formazione e di modesto spessore. Col procedere della stagione calda, a parità di vento, se non addirittura con venti superiori, le correnti più superficiali tendono a diminuire di intensità uniformandosi a quelle immediatamente sottostanti che, invece, tendono a spostarsi più velocemente rispetto al periodo precedente. A partire dall'autunno i movimenti delle acque tendono invece ad assumere velocità sempre più modeste, non solo per una minor presenza del vento, ma anche, e soprattutto, perché la massa epilimnica aumenta progressivamente il suo volume a seguito dello sprofondamento del salto termico; per lo stesso motivo si va incontro ad una sempre minore differenziazione delle velocità delle correnti con la profondità. In situazioni di omeotermia invernale, infine, 1'azione meccanica del vento viene ad essere trasferita all'intera massa d'acqua con l'innesco, accanto ai moti di deriva, di altri processi idrodinamici, quale ad esempio il mescolamento verticale sull'intera colonna.

Da rilevare ancora che non sembrano sussistere differenze significative fra i dati misurati antecedentemente all'Aprile 1967, e relativi ai traversi più meridionali del lago, e quelli successivi a tale data che sono stati invece raccolti nel bacino dell'isola di S. Giulio; ciò starebbe ad indicare un comportamento idrodinamico quanto meno simile nelle due porzioni di lago.

c. Morfologia della conca lacustre

II Lago d'Orta, come del resto gli altri grandi laghi sud-alpini (con la sola eccezione del Lugano), occupa un solco vallivo a prevalente direzione meridiana: i fianchi della valle sono sufficientemente ripidi e regolari, tali da

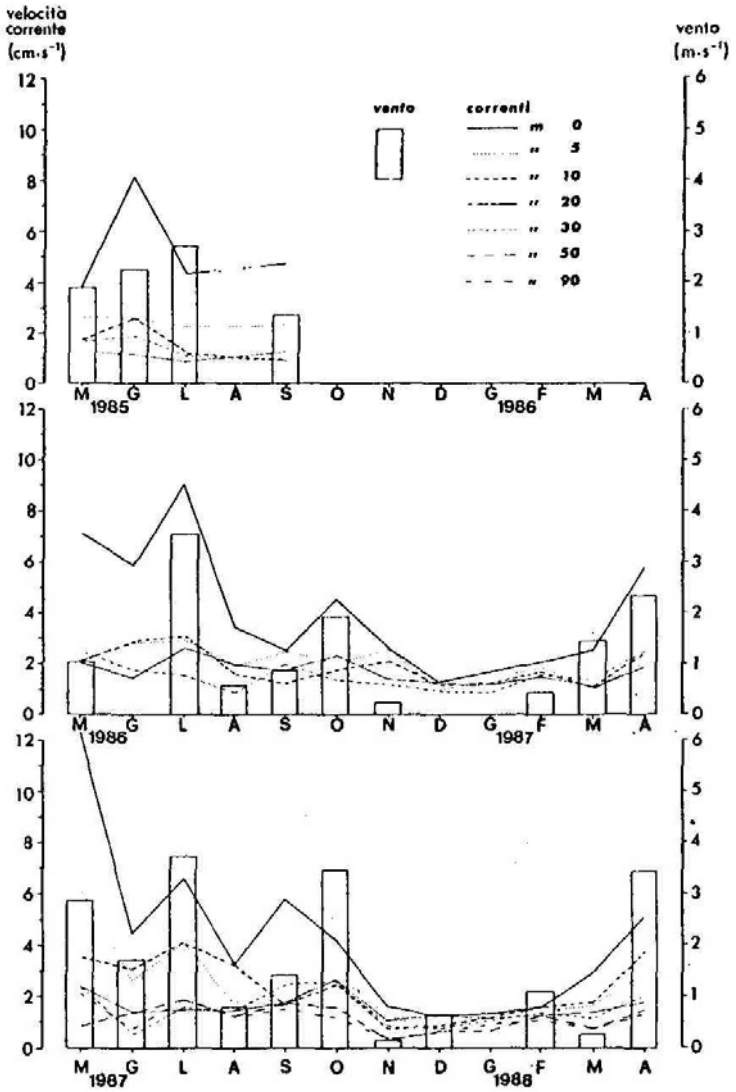


Fig. 5 - Confronto fra le velocità medie giornaliere delle correnti alle diverse profondità ed i corrispondenti valori del vento.

mantenere incanalato il vento secondo l'asse del lago.
Quanto al regime anemologico locale, oltre al verificarsi di episodi ventosi legati ai passaggi di fronti provenienti sia da Nord che da Sud, la sua azione sul territorio è costituita da brezze che spirano da monte nel primo mattino e da valle nel pomeriggio ; sulla superficie lacustre tutto questo si traduce comunque in un alternarsi di venti che seguono quasi esclusivamente la direzione dell'asse vallivo, in ambedue i sensi.

Tuttavia nella porzione più meridionale del lago, cioè in quella interessata dalle nostre ricerche, tanto la configurazione morfologica dell'areale emerso, quanto quella della conca sommersa tendono ad assumere una maggiore irregolarità: ciò è dovuto in parte alla progressiva riduzione dell'incisione valliva i cui fianchi degradano sempre più in direzione Sud con un rilievo sempre meno accentuato, ma in parte anche alla presenza di ostacoli naturali che interrompono la continuità della conca: fra questi, i più evidenti sono rappresentati dallo sperone roccioso dell'Isola di S. Giulio e dalla penisola di Orta; quanto alla parte sommersa, il suo fondo va innalzandosi sempre più procedendo verso Sud. Il vento risente di queste configurazioni attraverso una sensibile riduzione del valore del fetch e con direzioni di flusso più irregolari per il superamento degli ostacoli, al riparo dei quali si delimitano aree più o meno defilate alla sua azione. In questo contesto anche 1'idrodinamica lacustre subirà evidenti condizionamenti, controllata com'è anche dalla morfologia sommersa. Le aree più riparate al vento, in particolare, risulteranno la sede privilegiata delle controcorrenti di compensazione innescate per controbilanciare 1'accumulo di masse liquide all'estremità sottovento del bacino.

3. CONCLUSIONI '

Non è facile definire con la necessaria precisione i movimenti delle masse d'acqua nel bacino meridionale del Lago d'Orta, soprattutto per la loro estrema differenziazione spazio-temporale e per la grande variabilità dei fattori che innescano e/o controllano il complesso fenomeno. Tuttavia il notevole lavoro di rilevamento compiuto, con sopralluoghi mensili che si sono protratti per due anni consecutivi, più alcuni rilevamenti preliminari, ci consente di avanzare alcune considerazioni conclusive.

In presenza di venti di intensità superiore a 2 ms^{-1} e con direzioni relativamente costanti, il quadro sinottico

orario e va ad interessare tutto il tratto costiero fino a superare il delta di Pella.

Più complessa appare invece la situazione idrodinamica che si sviluppa in presenza di venti deboli, specialmente se di direzione variabile, o in situazioni di calma: come già si è detto in questi casi assume grande importanza la situazione anemologica delle ore precedenti. Sembra comunque ravvisarsi, nel bacino meridionale, una certa individualità idrologica nel senso che i moti d'acqua sembrane comportarsi qui in modo del tutto indipendente rispetto al resto del bacino; in altri termini, esso si caratterizza con un proprio circuito che mantiene, per lo più, un verso antiorario, tale cioè da interessare anche tutta la porzione di lago a Sud della penisola di Orta.

In più di una occasione abbiamo fatto riferimento alle correnti di compensazione e abbiamo verificato il loro manifestarsi prevalente in vicinanza della costa e nelle aree più riparate, quasi sempre alla stessa profondità della corrente di deriva: si tratta quindi di vere e proprie controcorrenti compensatrici della massa d'acqua accumulata sottovento. Tuttavia, soprattutto in presenza di una stratificazione termica ben pronunciata, sono stati osservati movimenti di compensazione che interessavano, per 1'intera ampiezza del lago, strati intermedi, in particolare a livello del termoclinio: le correnti tendevano ad avere direzioni opposte tanto alle derive superficiali, quanto a quelle degli strati più profondi. Tipica, a questo proposito, è la situazione riscontrata il 19 giugno 1986 (Fig. 7) : in questa occasione le crociere alla profondità di 10 m hanno evidenziato un andamento opposto a quelle operanti alle altre profondità e la curva termica del giorno permette di constatare come si tratti della quota dello strato di salto. Da rilevare ancora come l'assenza di vento abbia consentito il persistere di una stratificazione termica ben stabile, alla quale si deve il controllo dello schema idrodinamico innescato dalla situazione anemologica pregressa.

(Fig. 6) mostra che il comportamento delle masse d'acqua è pressoché simile a tutte le profondità, ma con due diverse situazioni a seconda della direzione di provenienza del vento. Se questo proviene da Sud, le masse d1acqua risalgono verso settentrione seguendo preferibilmente la direzione assiale del lago, cioè senza interessare né l'ampia baia compresa fra Punta Gasarlo e Pella, né l'insenatura a nord della penisola di Orta; proseguendo in questo loro movimento verso settentrione, le correnti mostrano però la tendenza a spostarsi verso la sponda orientale del lago, probabilmente perché la parte più occidentale viene ad essere interessata da un movimento di compensazione di direzione opposta.

Con venti settentrionali, al contrario, purché sempre di discreta intensità e di direzione costante, il flusso di acqua verso Sud trova quegli ostacoli morfologici dei quali si è detto; solo il filone d'acqua più orientale sembra essere in grado di superare l'inginocchiatura di Punta Gasarlo per andare ad interessare, lungo la costa occidentale, anche 1'estremo bacino meridionale del lago dove, al riparo della penisola di Orta, si instaura una controcorrente di compensazione con direzione antioraria. A Nord di Punta Casario, invece, il movimento di compensazione si svolge in senso

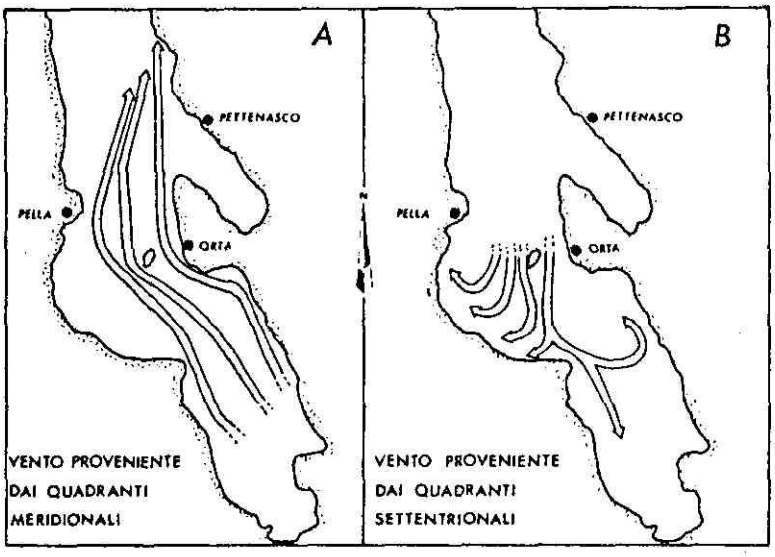


Fig. 6 - Quadro sintetico dell'andamento delle correnti nel bacino meridionale del L. d'Orta (A = vento da Sud; B = vento da Nord).

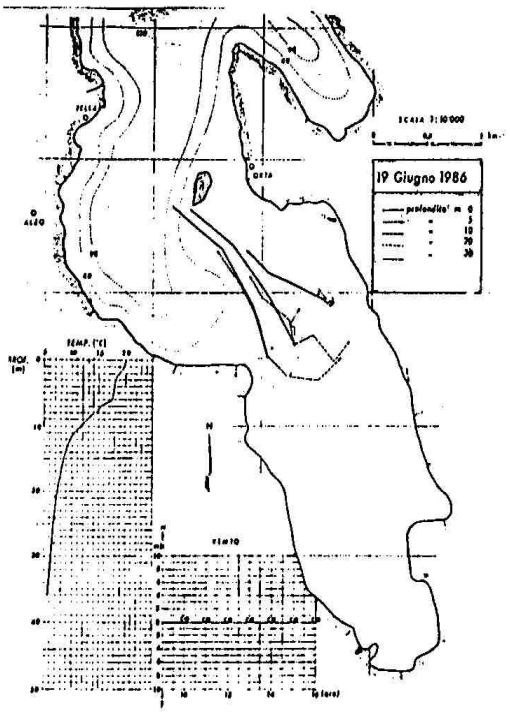


Fig. 7 - Esempio di correnti con direzioni differenziate alle diverse profondità.

BIBLIOGRAFIA

Barbanti L. e Carello A.; 1965 - Dinamica dei processi circolatori nel bacino meridionale del Lago Maggiore. Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 19: 8-90.

Bonacina C., Bonomi G., Barbanti L., Mosello R. , Ruggiu D. , and Tartari G.; 1987 - Lake Orta (N. Italy): recovery after the adption of restoration plans. Proceedings of "World Conference on Large Lakes - Focus on Toxics", Mackinac Island, Michigan, U.S.A., May 18-21 1986, 2.

Carmak E.C., Gray G.B., Pharo C.H., and Daley R.J.; 1979 -Importance of lake-river interaction on seasonal patterns in the general circulation of Kamloops Lake, British Columbia. Limnol. Oceanogr., 24, 634-644.

Charlton J. A.; 1980 - The design of sea outfalls with reference to EEC amenity water pollution criteria. J. Inst. Wat. Engrs., 34, 33-41.

Chikita K. Hattori M., and Hagiwara E., 1985 - A field study on river-induced currents on intermountain lake, Lake Okotanpe, Hokkaido. Jap. J. Limnol., 46, 4, 256-267.

Duck R.W., McManus J., and Charlton J.A.; 1985 - A modified technique for radar tracking of float-drogues

in lake water circulation investigation. Hydrol. Sci. J., 30, 4, 513-522.
Gilbert R.; 1975 - Sedimentation in Lillooet Lake, British Columbia. Can. J. Earth Sci., 12, 1697-1711.
Knauss, J .A.; 1966 - Drogues and neutral-Boyant floats. In : The Sea, Hill M.N. (Ed.), Vol. II, Wiley Interscience, pp. 303-305.
Lambert A., Kelts K., and Zimmermann U.; 1984 - Turbidity currents in lakes: oxygen-input by underflowing river water. Schweiz. Z. Hydrol., 46, 1, 41-50.
Mattson J.I.; 1973 - Utilization of radar registrations in drogue measurements. In : Hydrology of lakes (Proc. Helsinki Symp., July 1973), 33-41. IAHS Publ. no. 109.
Myer G.E., Derrick A.A.L., Larson D., and Hulbert D.; 1983 - Circulation and current patterns within the major basins of Lake Champlain. Proc. 26th Conf. Great Lakes Res., pp 27.
Shulman M.D., and Bryson, R.A.; 1961 - The vertical variation of wind-driven currents in Lake Mensota. Limnol. Oceanogr., 6, 347-355.
Talling, J.F.; 1963 - The origin of stratification in an African Rift Lake. Limnol. Oceanogr., 8, 68-78.

ATTI DELL'8°CONGRESSO A.I.O.L.
PALLANZA 1-3 GIUGNO 1988 da pag. 131 a pag. 142

ELEMENTI MAGGIORI ED IN TRACCIA NEI SEDIMENTI DEL LAGO DI VARESE

R. BAUDO*, F. BO**, A. LATTANZIO**, P. HANNAERT**, G. MARENGO**, H. MUNTAU**

* Istituto Italiano di Idrobiologia, CNR Verbania Pallanza
** Centro Comune delle Ricerche, Commissione delle Comunità Europee, Ispra

RIASSUNTO.

La distribuzione spaziale di Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Ni, Pb, Si, Ti e Zn nei sedimenti superficiali del Lago di Varese viene descritta ed interpretata in funzione delle informazioni disponibili sulle condizioni pregresse e l'attuale antropizzazione del bacino imbrifero.

SUMMARY.

The spatial distribution of Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Ni, Pb, Si, Ti, and Zn in superficial sediments from Lake Varese is described and discussed on the basis of literature data and human presence within the drainage basin.

1. INTRODUZIONE

II Lago di Varese, che notoriamente è interessato da un vistoso problema di eutrofizzazione, riceve od ha ricevuto nel recente passato anche reflui industriali di diverso tipo, compresi quelli di industrie chimiche e di lavorazioni galvaniche, sparse nei 112 km^2 del suo bacino imbrifero (Fadda, Tonolli, de Fraja Frangipane e Bianucci, 1965; de Fraja Frangipane, 1967; 1977). Trattandosi di sorgenti puntiformi e discontinue, un'eventuale influenza sul lago è difficilmente evidenziabile attraverso l'analisi delle acque, mentre è risaputo che i sedimenti, oltre a riflettere le caratteristiche geochimiche della zona, possono fornire utili indicazioni per verificare se e fino a che punto le immissioni di tipo antropico hanno alterato i normali cicli biogeochimici (Förstner e Wittmann, 1979; Salomons e Förstner, 1964).

Per tale scopo, tuttavia, è necessario che tipo e numero di campioni siano realmente rappresentativi della eterogeneità spaziale (Reynoldson e Hamilton, 1982 ; Baudo,

1987), che riflette le caratteristiche morfologiche ed idrodinamiche dell'ambiente (Häkanson e Jansson, 1983) , e che sia possibile ricostruire la cronologia degli apporti a lago.

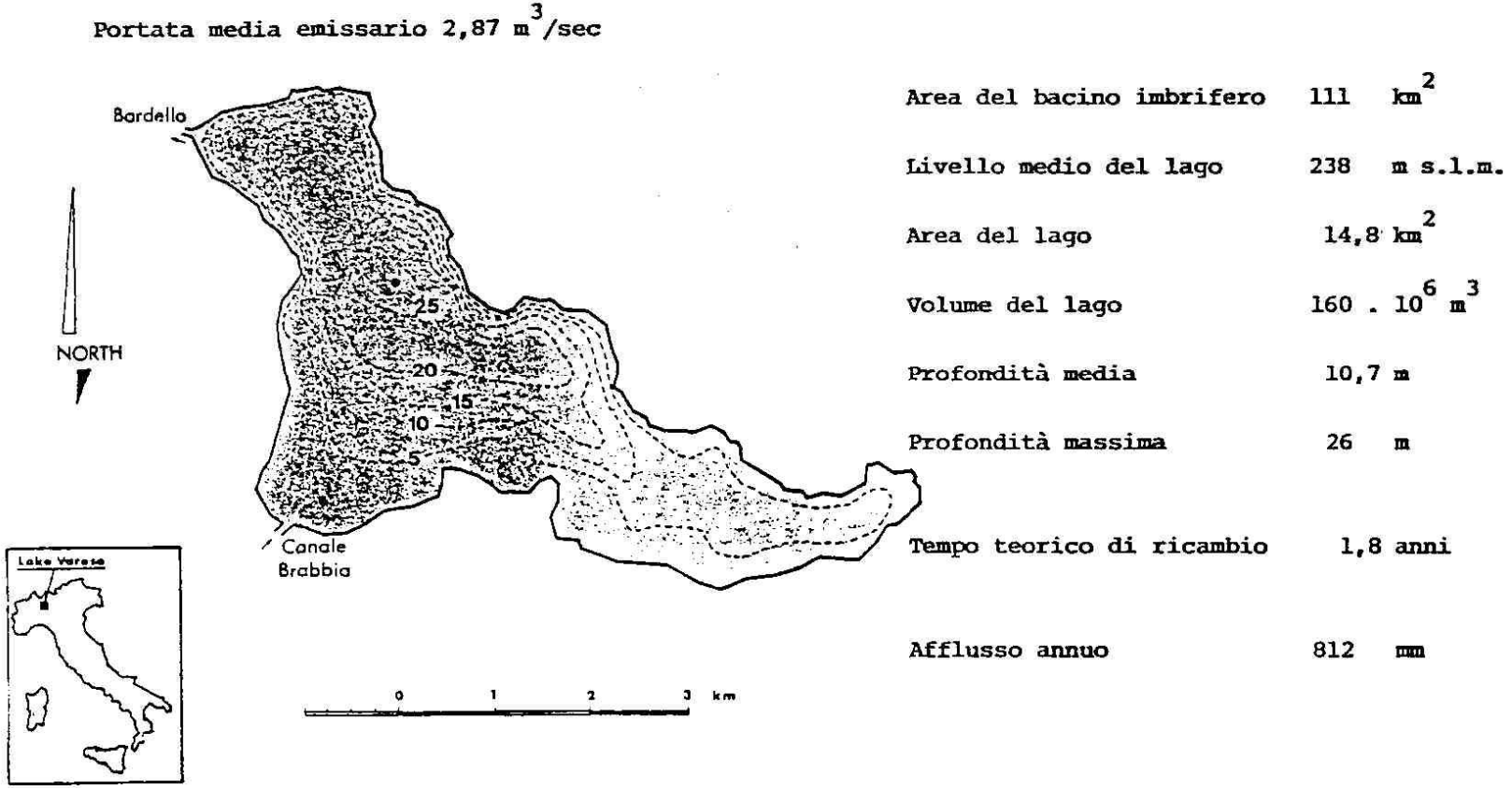
Sulla base di queste considerazioni, nel lago di Varese sono stati raccolti mediante draga 31 campioni di sedimento recente (primi 10-15 cm) ; la densità di campionamento (> 2 campioni/km^2) è tale da consentire non solo di realizzare accurate mappe di distribuzione, ma anche di distinguere, in base alla profondità, le differenti concentrazioni raggiunte nelle aree di erosione e di accumulo. Inoltre, i valori attuali sono stati posti a confronto con quelli pregressi, stimati sulla base delle analisi di sezioni di una carota prelevata nel punto di massima profondità e dai dati riportati in letteratura (Guilizzoni e Lami, 1986).

Infine, sulla base delle informazioni disponibili sulla demografia, idrologia ed idrochimica (de Fraja Frangipane, 1977; Ruggiu, Saraceni e Mosello, 1981), nonché dell' analisi statistica dei dati di concentrazione, vengono formulate ipotesi circa origine e modalità di trasporto degli elementi analizzati.

2. MATERIALI B METODI -

Secondo le indicazioni di Häkanson e Jansson (1983), sulla base delle caratteristiche morfologiche del bacino lacustre si può calcolare (Baudo, Marengo, Lattanzio, Serrini, Bo e Muntau, 1988) che 6-8 campioni siano sufficienti a stimare un valore medio della composizione chimica dei sedimenti del Lago di Varese; tuttavia, poiché il nostro scopo era quello di descrivere più dettagliatamente anche l'eterogeneità spaziale, si è optato per un campionamento mirato, piuttosto che per uno casuale o per una griglia predefinita. Per tale motivo, nel Luglio 1985 sono stati raccolti mediante draga tipo Eckman modificata, che consente di raccogliere uno strato superficiale (10-15 cm) del sedimento, per un'area di circa 500 cm , 31 campioni di sedimento. I punti prescelti sono indicati nella figura 1, che riporta anche le caratteristiche geologiche del bacino imbrifero, mentre batimetria e dati morfometrici sono riassunti nella figura 2.

Come precedentemente descritto (Baudo, Marengo, Lattanzio, Serrini, Bo e Muntau, 1988), i campioni sono stati setacciati, dopo essiccamento all'aria, per separare i



Fig, 2 - Batimetria e caratteristiche idrologiche e morfometriche del Lago di Varese.

componenti grossolani (>0,200 miri), quindi macinati in mortaio planetario in zircone fino a raggiungere una granulometria di 90 μm. Va ribadito dunque che i risultati analitici si riferiscono alla totalità del campione, secondo quanto raccomandato, tra gli altri, da Jones e Bowser (1978), e non a definite classi granulometriche o frazioni chimiche operativamente selezionate.
Aliquote rappresentative dei campioni sono quindi state analizzate sia mediante tecniche non distruttive fluorescenza a raggi X) , che per voltammetria di ridissoluzione anodica ed assorbimento atomico in fornetto di grafite dopo dissoluzione in recipienti pressurizzati in teflon. Si sono così ottenuti i dati relativi ad elementi maggiori (Si, Al, Fe, Ti, Ca, Mg, K, Mn), tali cioè da riflettere gli apporti minerali naturali, e agli elementi in traccia Pb, Zn, Cu, Ni, Cr, Cd e Hg, per i quali più facilmente la contaminazione di tipo industriale può portare a significativi incrementi di concentrazione. Per tutti gli elementi analizzati, l'affidabilità dei metodi seguiti è stata verificata, in termini di precisione ma anche di accuratezza, analizzando sistematicamente materiali di riferimento del Bureau Communitaire de Reference (Commissione delle Comunità Europee, Bruxelles) per i quali vengono forniti valori certificati od indicativi per i parametri di interesse: in particolare, sono stati utilizzati a tale scopo i materiali BCR No 141-146, cioè suoli e fanghi di depurazione contenenti gli elementi di interesse in concentrazioni largamente diversificate.

Per ciascuno dei metalli e metalloidi è stata quindi realizzata (mediante cartografia computerizzata, Baudo, 1987) una mappa di distribuzione che evidenzia l'eterogeneità spaziale dell'accumulo.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

La figura 3 riporta un esempio delle mappe di distribuzione realizzate per gli elementi studiati : sulla base dei 31 dati di partenza sono stati stimati 1868 valori (corrispondenti dunque ciascuno ad un'area di sedimento di circa 8000 m^2): ogni valore è stato calcolato in funzione degli n campioni misurati che giacciono in un intorno prefissato dal punto da stimare ed applicando un fattore di ponderazione basato sulla distanza tra questo ed i punti di campionamento. Il programma di cartografia automatica

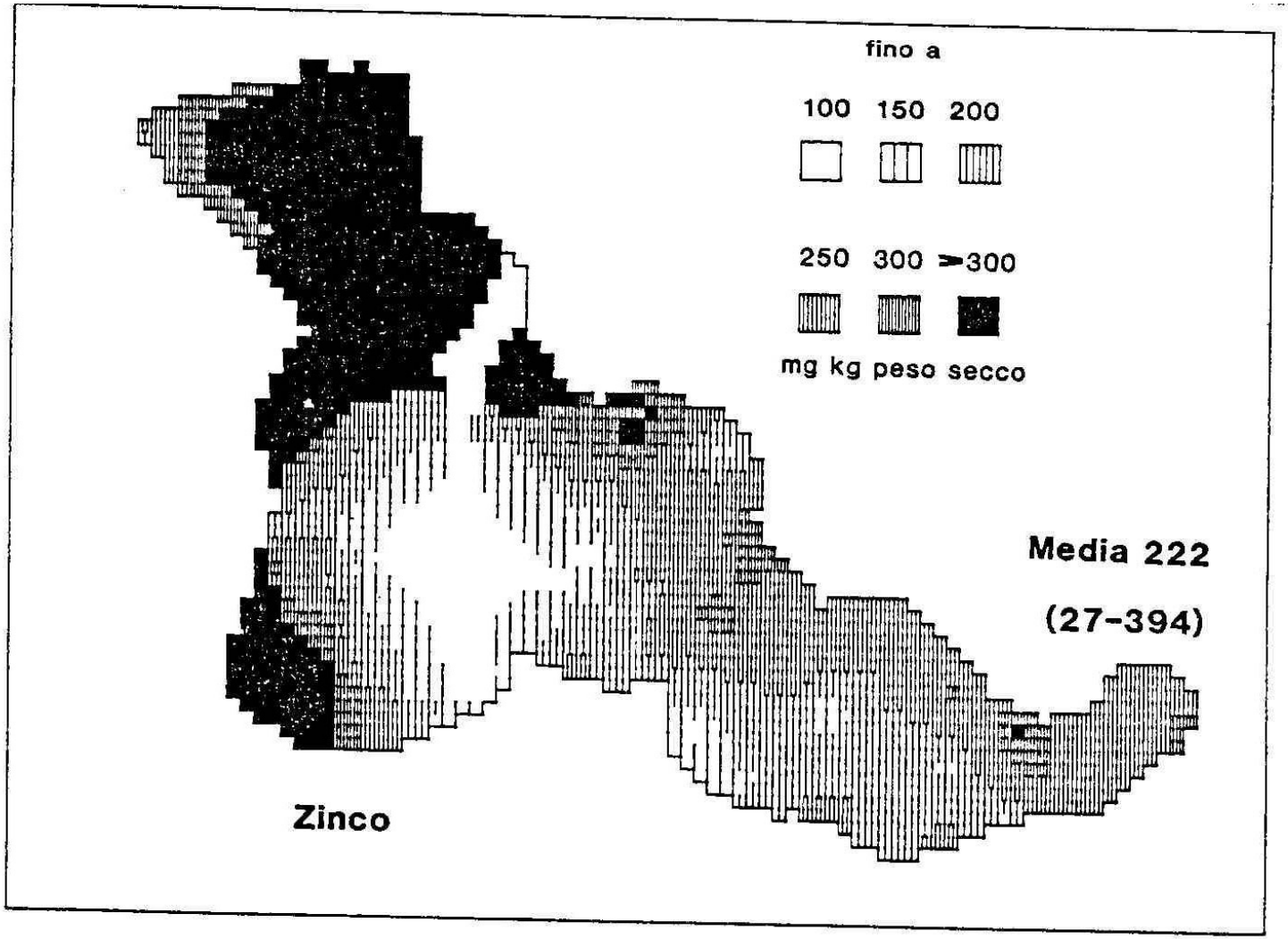


Fig. 3 - Esempio delle mappe di distribuzione degli elementi studiati, realizzate sulla base dei 31 campioni di sedimento raccolti.

Tab. 1 - Concentrazioni (% o mg/kg peso secco) di elementi maggiori ed in traccia nei sedimenti delle zone di erosione ed accumulo del Lago di Varese.

	Erosione n = 9			Accumulo n = 22			Complessivo n = 31		
	min	**Media**	Max	min	**Media**	Max	min	**Media**	max
Si %	0,01	**13,95**	25,25	0,01	**12,47**	21,01	0,01	**12,90**	25,25
Ca %	7,7	**17,0**	25,2	11,9	**17,74**	24,5	7,7	**17,53**	24,5
Mg %	1,13	**1,43**	1,97	1,05	**1,35**	1,69	1,05	**1,37**	1,97
K %	0,02	**1,19**	2,43	0,19	**1,06**	2,06	0,02	**1,09**	2,43
Al %	0,61	**4,33**	7,48	1,14	**3,63**	6,66	0,61	**3,83**	7,48
Fe %	0,01	**1,18**	3,46	0,01	**1,40**	2,90	0,01	**1,33**	3,46
Ti %	0,04	**0,18**	0,33	0,05	**0,16**	0,28	0,04	**0,16**	0,33
Mn mg/kg	309	**432**	612	414	**721**	1501	309	**637**	1501
Zn mg/kg	27,2	**149**	290	37,9	**251**	394	27,2	**222**	394

Tab. 1 – (segue)

	Erosione n = 9			Accumulo n = 22			Complessivo n = 31		
	min	**Media**	Max	min	**Media**	Max	min	**Media**	max
Cr mg/kg	2,0	**46,1**	111	2,0	**129**	267	2,0	**105**	267
Ni mg/kg	15,4	**42,4**	65,8	21,7	**65,8**	114	15,4	**59,0**	114
Cu mg/kg	2,0	**37,4**	80,4	2,0	**60,3**	109	2,0	**53,6**	109
Pb mg/kg	2,0	**43,7**	118	2,0	**72,6**	114	2,0	**64,2**	118
Cd mg/kg	0,26	**1,21**	3,60	0,45	**2,00**	3,90	0,26	**1,77**	3,90

adottato è stato scelto, tra sei diversi possibili (Baudo, 1987), perché pur essendo concettualmente molto semplice raggiunge un alto grado di accuratezza: per i 31 punti di campionamento, infatti, le differenze tra valori misurati e dati stimati dal programma di calcolo risultano mediamente inferiori al 10 %.

Secondo quanto suggerito da Häkanson e Jansson (1983), e come ricordato nell'articolo relativo ai macronutrienti (Baudo et al., 1988), è stata calcolata che, per il lago di Varese, l'area di erosione sia pari al 16,9% della superficie lacustre, mentre il restante 83,1% si può considerare area di accumulo; la profondità "critica", cioè quella al di sotto della quale i fenomeni di accumulo sono prevalenti rispetto a quelli di erosione, trasporto e risospensione innescati da correnti, venti ed ondazione, corrisponde a 2,32 m. Sulla base di questi dati, sono dunque stati calcolati i valori medi presentati in tabella 1.

Come era prevedibile, la zona di accumulo risulta più ricca di quella di erosione per gli elementi in traccia, che generalmente sono associati alle particene di dimensioni minori e tendono ad essere trasportate nelle zone più calme ed a maggiore profondità (Förstner e Wittmann, 1979).

Confrontando questi valori con alcuni dati di riferimento (Tab. 2), e precisamente con le concentrazioni medie del particellato acquatico (Robbe, 1981), la media per i carbonati e la mediana per i suoli (Bowen, 1979), ed infine con media e mediana per i laghi Europei (Baudo e Muntau, 1986), sembra che i sedimenti del lago di Varese non abbiano speciali caratteristiche per quanto concerne Al, Cd, Cr, K e Ni; risultano invece relativamente "poveri" in Fe, Mn e Ti, probabilmente perché il bacino imbrifero è prevalentemente calcareo, e quindi offre un modesto contributo geochimico per questi elementi.

Inoltre, i valori particolarmente elevati di Ca, molto superiori a media e mediana per i laghi Europei, oltre a confermare la sua derivazione naturale di materiale detritico dilavato dal bacino, farebbe supporre una rilevante precipitazione di calcite autoctona. Infatti, il rapporto molare tra Mg e Ca, sulla base dei dati medi indicati da Ruggiu, Saraceni e Mosello (1981), risulta pari a 0,165 e, secondo la relazione empirica di Müller, Irion e Förstner (1972), ciò indica una fase principale calcitica del carbonato che precipita a causa della supersaturazione in carbonato indotta dalla intensa attività fotosintetica {Kelts e Hsü, 1978).

Un elevato apporto ai sedimenti di carbonati e di sostanza organica ha naturalmente un effetto di diluizione sulle concentrazioni di elementi in traccia, che in effetti, almeno nel caso di Cu, Pb e Zn, si collocano nella fascia medio-bassa dei laghi Europei.

Si può infine osservare come il magnesio, presente in quantità modeste, sia probabilmente associato alla sostanza organica autoctona; in effetti, la concentrazione raggiunta nei sedimenti è praticamente coincidente con quella riportata da Robbe (1981) come rappresentativa per il particellato acquatico.

4. CONCLUSIONI

II confronto tra zona di erosione e zona di accumulo, effettuato calcolando la funzione discriminante, evidenzia come la differenza tra le due aree ($P \leq 0,10$) sia essenzialmente dovuta a Zn e Pb, e in minor misura ad Al,

Cu, Cd (Fig. 4a). Considerando anche i dendrogrammi prodotti dalla cluster analysis (Figg. 4b e 4c) , è chiaro che la principale differenza tra area di erosione ed area di accumulo consiste nel trasporto a maggiori profondità della sostanza organica, alla quale sono legati i metalli in traccia; nella zona di erosione, invece, questi sono prevalentemente associati al gruppo dei macroelementi Si, Al, K, Ti e Fe, cioè alla matrice inorganica argillosa.

Tab. 2 - Dati di riferimento.

	Carbonati	Suolo	Particellato acquatico	Laghi Europei	
	media (a)	mediana (a)	media (b)	media (c)	mediana (c)
Al %	0,9	7,1	9,4	3,99	3,32
C %	11,6			7,85	5,73
Ca %	34,0	1,5	2,15	7,11	3,05
Cd mg/kg	0,028	0,35	1	2,41	0,53
Cr mg/kg	11	70	100	142	61
Cu mg/kg	5,5	30	100	96	37
Fe %	1,7	4,0	4,8	3,33	2,54
K %	0,31	1,4	2,0	0,93	0,53
Mg %	0,58	0,5	1,35	2,21	0,64
Mn mg/kg	620	1000	1050	2336	838
N mg/kg	78	2000		8800	6700
Na %	0,13	0,5	0,71	0,59	0,4
Ni mg/kg	7	50	90	66	68
P mg/kg	700	800	1150	2355	1500
Pb mg/kg	5,7	35	150	135	33
S mg/kg	1100	700		3777	3550
Si %	3,2	33	29		
Ti mg/kg	300	5000	5600	4214	2518
Zn mg/kg	20	90	350	1082	169

a - Bowen, 1979
b - Robbe, 1981
c - Baudo e Muntau, 1986

Anche per quanto concerne l'evoluzione temporale delle immissioni degli elementi considerati, in una precedente

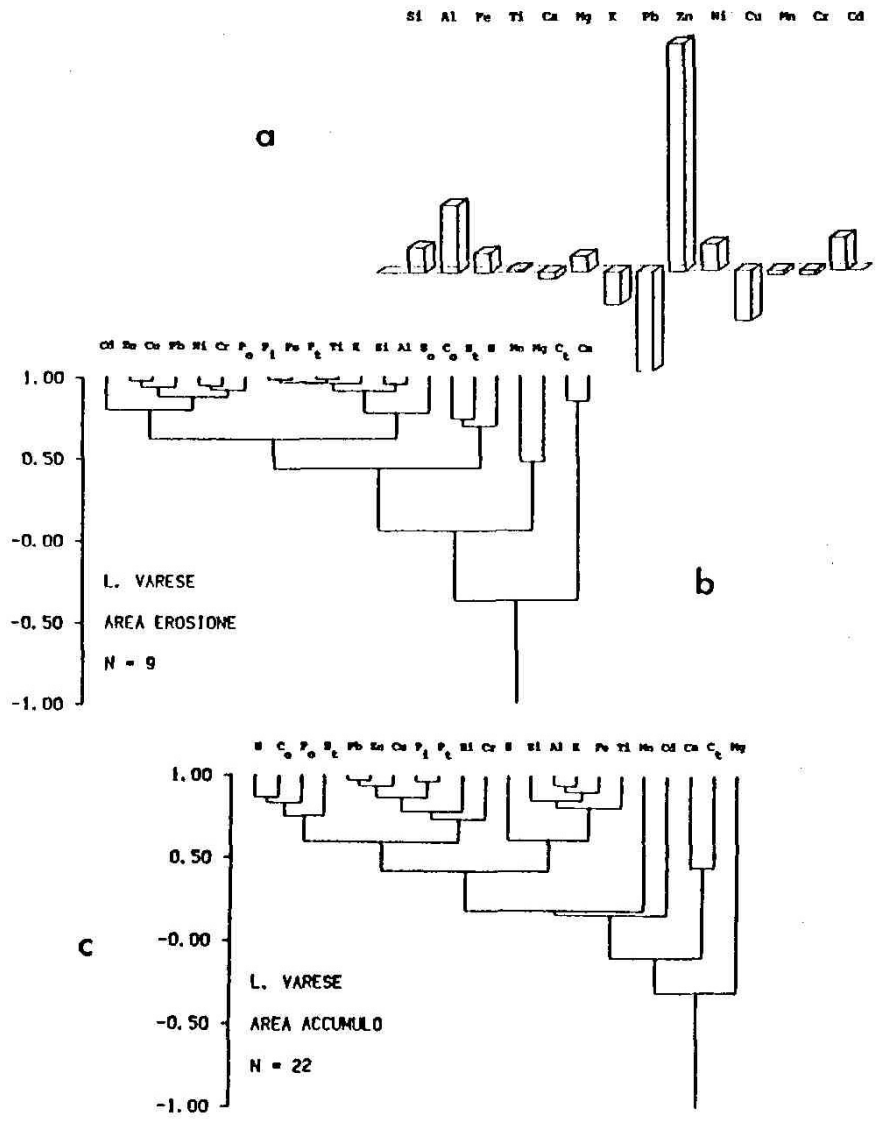


Fig. 4 - Analisi statistica dei dati: a) peso relativo delle diverse variabili nel determinare la differenza tra area di erosione e area di accumulo {funzione discriminante); b) cluster delle variabili nella zona di erosione e c) in quella di accumulo (i valori sulle ordinate sono similarità calcolate in base ai coefficienti di correlazione).

ricerca (Guilizzoni e Lami, 1986), nel corso della quale erano state analizzate sezioni di tre centimetri di una carota prelevata nel punto di massima profondità, era stato segnalato un modesto incremento, in anni recenti, limitatamente a Cu e Cr (e Hg, non considerato in questo lavoro); per gli altri elementi, le concentrazioni dei sedimenti sono rimaste pressoché inalterate almeno negli ultimi quarant'anni.

Il dato è certamente confortante, se si considera che la successione cronologica, basata sull'analisi nella sola zona di accumulo, non riflette esattamente le condizioni prevalenti nell'intero bacino, ma anzi tende a sovrastimare la potenziale contaminazione (come si è visto, alle profondità maggiori vengono solitamente registrati accumuli superiori alla media per l'intero lago).

Nel complesso sembra dunque che, per quanto concerne elementi maggiori ed in traccia, i sedimenti recenti del Lago dì Varese non indichino- una condizione particolarmente compromessa. Poiché nel bacino imbrifero .del lago, secondo le più recenti valutazioni (de Fraja Frangipane, Mezzanotte e Vismara, 1985), l'agricoltura svolge un ruolo di modesta entità, la crescita demografica è limitata e la componente industriale, in recessione, non è tale da far prevedere un accresciuto apporto di questi inquinanti, è logico concludere che anche nel prossimo futuro il problema più importante per questo ambiente rimarrà 1'eutrofizzazione delle acque.

Bibliografia

Baudo R.; 1987 - Uncertainty in description of sediment chemical composition. Jour. Environ. Geol.Water Sci., in press.

Baudo R. and H. Muntau. 1986 - Selection of a freshwater . sediment for the preparation of a reference material. Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 44, 253-297.

Baudo R., Marengo G., Lattanzio A., Serrini G., Bo F., e Muntau H.; 1988 - Distribuzione dei macronutrienti C, N, P, S nei sedimenti del Lago di Varese. Atti VIII Convegno AIOL, Pallanza, 31 Maggio - 3 Giugno 1968, in stampa.

Bowen V.T.; 1979 - Environmental chemistry of the elements. Academic Press, London, 333 pp.

de Fraja Frangipane E., 1967 - II risanamento del Lago di Varese. Publ. Ist. Ing.Sanit. Politecnico di Milano, 30, 1-138.

de Fraja Frangipane E., 1977 - Il risanamento del Lago di Varese. Criteri e stato degli interventi. Consorzio Provinciale Tutela e Salvaguardia delle Acque del Lago di Varese, 59 pp.

de Fraja Frangipane E., Mezzanotte V., e Vismara R.; 1985 -II recupero del Lago di Varese. EWPA. Atti del Congresso Internazionale "Inquinamento e Recupero dei laghi", Roma, 15-18 Aprile 1985, 279-283 (pre-prints).

Fadda P., Tonolli V-, de Fraja Frangipane E., e Bianucci G.; 1965 - L'inquinamento del Lago di Varese: indagini, rilevamenti e proposte. Amministrazione Provinciale di Varese, 111 pp.

Förstner U. e Wittmann G.T.W.; 1979 - Metal pollution in the aquatic environment. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 486 pp.

Guilizzoni P., e Lami A.; 1986 - Paleolimnology of the eutrophic Lake Varese (Northern Italy). 2. Concentration of ten heavy metals in a sediment core. Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 44, 15-26.

Häkanson L., e Janssen M.; 1983 - Principles of lake sedimentology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 316 pp.

Jones B.F., e Bowser C.J.; 1978 - The mineralogy and related chemistry of lake sediments. In: Lakes Chemistry Geology Physics, Lerman A. (Ed.), Springer-Verlag New York, pp. 179-235.

Kelts K. e Hsü J.J.; 1978 - Freshwater carbonate sedimentation. In: Lakes Chemistry Geology Physics, Lerman A. (Ed.), Springer-Verlag New York, pp. 295-323.

Müller G., Irion G, e Förstner U.; 1972 - Formation and diagenesis of inorganic Ca-Mg carbonates in the lacustrine environment. Naturwissenschaften, 59, 158-164.

Reynoldson T.B., Jr., e Hamilton H.R.; 1982 – Spatial heterogeneity in whole lake sediments - towards a loading estimate. Hydrobiologia, 91/92, 235-240.

Robbe D.; 1981 - Pollution metalliques du milieu naturel. Guide methodologiques de leur etude a partir des sediments. Rapport bibliographiques. Min. Urbanisme et du Logement - Min. Transports Lab. Central des Ponts et Chaussees. Rapport de Recherche LPC No 104, 88 pp.

Ruggiu D., Saraceni C., e Mosello R.; 1981 - Fitoplancton, produzione primaria e caratteristiche chimiche di un lago fortemente eutrofizzato: il Lago di Varese. Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 39, 47-64.

ATTI DELL'8° CONGRESSO A.I.O.L.
PALLANZA 1-3 GIUGNO 1988 da pag. 143
a pag. 154

DISTRIBUZIONE DEI MACRONUTRIENTI C, N, P, S NEI SEDIMENTI DEL LAGO DI VARESE

R. BAUDO*, G. MARENGO**, A. LATTANZIO**, G. SERRINI**, F. BO**, H. MUNTAU**

* Istituto Italiano di Idrobiologia, CNR Verbania Pallanza
** Centro Comune delle Ricerche, Commissione delle Comunità Europee, Ispra

RIASSUNTO.

Viene presentata e discussa, in funzione delle caratteristiche morfologiche ed idrodinamiche, l' eterogeneità spaziale della distribuzione dei nutrienti C, N, P ed S nei sedimenti recenti del Lago di Varese.

SUMMARY

The spatial heterogeneity of C, N, P., and S in the superficial sediments of Lake Varese is presented and discussed in view of morphometric and hydrodinamic characteristics.

1. INTRODUZIONE.

L'evoluzione trofica del Lago di Varese, a partire dagli anni '50, è stata documentata attraverso numerose ricerche che, pur privilegiando lo studio dell'idrochimica e dell'idrobiologia, non hanno trascurato i sedimenti. Infatti, per le caratteristiche morfologiche ed idrodinamiche del lago, è risultato ben presto evidente che l'accumulo di nutrienti nei sedimenti di questo corpo lacustre non poteva essere ignorato nelle stime di un bilancio di massa, e quindi in qualsiasi programma di gestione.

In particolare, va sottolineato come la valutazione del flusso di nutrienti dai sedimenti debba tener conto anche della ripartizione degli elementi tra diverse specie chimiche. Inoltre, per essere estesa all'intero bacino, tale stima dovrebbe essere basata su un numero sufficientemente elevato di campioni, tale cioè da poter essere ritenuto rappresentativo delle condizioni prevalenti del lago investigato; purtroppo, non è molto frequente il caso in cui le determinazioni analitiche vengono effettuate su più campioni, così da poter descrivere l'eterogeneità spaziale dei sedimenti (Reynoldson e Hamilton, 1982).

Alla: luce di queste considerazioni, si è deciso di condurre una approfondita ricerca sulla distribuzione di nutrienti nei sedimenti del Lago di Varese, allo scopo di fornire una attendibile base conoscitiva per stimare l'influenza di questa componente nel ciclo di C, N, P e S.

2. MATERIALI E METODI

Per descrivere 1'eterogeneità spaziale, tenendo conto delle caratteristiche morfologiche e delle possibili fonti dei nutrienti, si è optato per un campionamento mirato, piuttosto che per uno casuale o per una griglia predefinita. Per tale motivo, nel Luglio 1985 sono stati raccolti mediante draga tipo Eckman modificata, che consente di raccogliere uno strato superficiale (10-15 cm) del sedimento, per un'area di circa 500 cm^2, 31 campioni di sedimento cioè con una densità corrispondente a 2,1 campioni/km^2 di lago.

Dopo essiccamento all'aria, i campioni sono stati setacciati per separare i componenti grossolani (>0,200 mm), quindi l'intera massa è stata macinata in mortaio planetario in zircone. Va ribadito dunque che i risultati analitici si riferiscono alla totalità del campione, secondo quanto raccomandato, tra gli altri, da Jones e Bowser (1978), e non a definite classi granulometriche o frazioni chimiche operativamente selezionate.

Per tutti i campioni, è stata determinata la sostanza organica, misurata dalla perdita in peso percentuale a 550 e 950° C; moltiplicando quest'ultimo dato per 2,27 (rapporto tra peso molecolare di carbonato di calcio e biossido di carbonio), è stato poi calcolata anche la percentuale di $CaCO_3$, assumendo quindi che la perdita in peso alla temperatura più alta sia dovuta ali'eliminazione di CO_2 (Dean, 1974; Dean e Gorham, 1976).

Aliquote diverse del sedimento omogeneizzato sono state prelevate ed analizzate per i vari elementi cercati: per il carbonio, la distinzione tra frazione organica (C_O) e totale o (C_T) e basata sulla temperatura alla quale il campione è stato trattato, rispettivamente 600° e 1200 °C; la combustione in entrambi i casi veniva effettuata in corrente di ossigeno ed il biossido di carbonio svolto era poi misurato per conduttometria differenziale (Koch e Malissa, 1957). L'azoto organico e l'azoto ammoniacale venivano invece misurati mediante titolazione acidometrica, dopo kjeldahlizzazione. Un campione indipendente era invece analizzato mediante CHN Elemental Analyzer (Carlo Erba) e

forniva dunque contemporaneamente carbonio ed azoto totali. Il confronto delle misure indipendenti di C ed N è più che soddisfacente, poiché per entrambi gli elementi i dati ottenuti sono quasi coincidenti ; per 1'azoto, ciò conferma che la frazione organica di questo elemento è praticamente la sola presente nei sedimenti.

Anche per lo zolfo venivano effettuate due diversa analisi : la prima, combustione in corrente di ossigeno a 1200°C e successiva misura di SO_2 ed SO^3 mediante conduttometria differenziale, dava la misura della frazione organica più solfuri (S_O); la seconda, mediante fluorescenza o ai raggi X, forniva invece il dato totale (S_T).

Infine, per il fosforo, venivano determinati separatamente la frazione inorganica (P_i), dopo estrazione con acido solforico IN, ed il fosforo totale (P_T), mediante digestione ai fumi bianchi con acido solforico, nitrico e perossido di idrogeno ; in entrambi i casi, la titolazione finale è stata effettuata secondo il metodo di Vogler (1965), che prevede l'analisi colorimetrica mediante reazione con molibdato in ambiente acido per acido solforico e riduzione con acido ascorbico.

Il metodo seguito si è dimostrato in passato (Marengo e Baudo, 1988) particolarmente adatto all'analisi dei sedimenti; inoltre, nel caso dei sedimenti del lago di Varese, i campioni sono stati contemporaneamente analizzati mediante fluorescenza ai raggi X, che da anche la misura del fosforo totale, ed i risultati sono praticamente coincidenti con quelli ottenuti secondo la procedura sopra indicata.

Più in generale, per tutti gli elementi analizzati, l'affidabilità dei metodi seguiti è stata verificata, in termini di precisione ma anche di accuratezza, analizzando sistematicamente materiali di riferimento del Bureau Communitaire de Reference (Commissione delle Comunità Europee, Bruxelles) per i quali vengono forniti valori certificati od indicativi per i parametri di interesse (C, N, P ed S, in questo caso): in particolare, sono stati utilizzati a tale scopo i materiali BCR No 141-146, cioè suoli e fanghi di depurazione contenenti gli elementi di interesse in concentrazioni largamente diversificate.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

La figura 1 riporta un esempio delle mappe di distribuzione che sono state tracciate per gli elementi studiati, tanto come totale che nelle diverse frazioni analitiche. In tutti i casi, sulla base dei 31 dati di

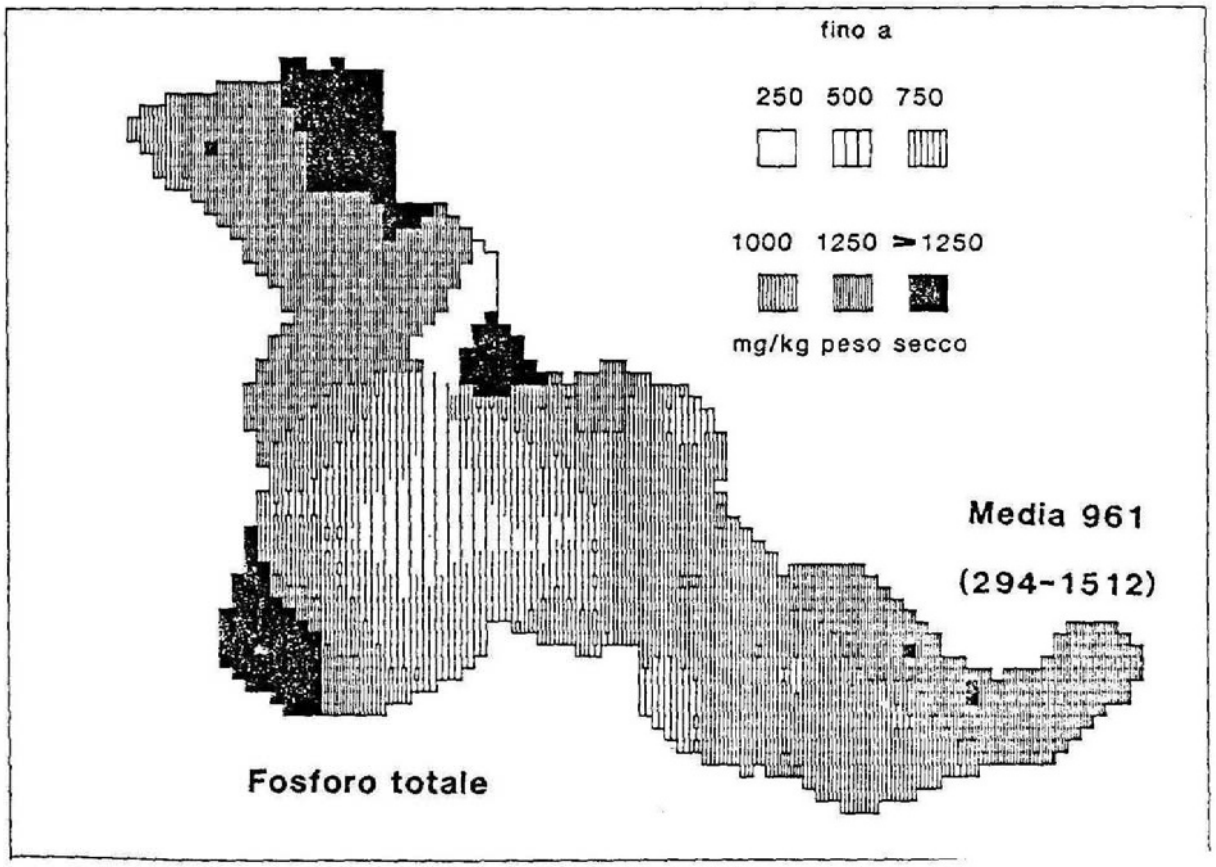


Fig. 1 - Esempio delle mappe di distribuzione dei nutrienti realizzate sulla base dei 31 campioni di sedimento raccolti.

partenza sono stati stimati 1868 valori (corrispondenti dunque ciascuno ad un'area di sedimento di circa 8000 m^2); ogni valore è stato calcolato in funzione degli n campioni misurati che giacciono in un intorno prefissato dal punto da stimare ed applicando un fattore di ponderazione basato sulla distanza tra questo ed i punti di campionamento. Il programma di cartografia automatica adottato è stato scelto, tra sei diversi possibili (Baudo, 1987), perché pur essendo concettualmente molto semplice raggiunge un alto grado di accuratezza: per i 31 punti di campionamento, infatti, le differenze tra valori misurati e dati stimati dal programma di calcolo risultano mediamente inferiori al 10 %.

Già il semplice esame visivo delle mappe di distribuzione evidenzia le analogie tra i diversi nutrienti, ed in particolare puntualizza i punti di massimo e minimo accumulo : come è logico attendersi, questi ultimi sono localizzati generalmente in prossimità delle foci dei corsi d'acqua e nelle aree di minore profondità, più facilmente soggette a fenomeni erosivi, mentre le massime concentrazioni si riscontrano nelle aree più profonde.

Secondo quanto suggerito da Hflkanson e Janssen (1983), è stata calcolata l'area di erosione e trasporto (a_{E+T}) sulla E+T base della seguente formula empirica:

$$a_{E+T} = 25 \cdot (\sqrt{a} / D) \cdot 4^{10{,}061 \cdot \overline{D / \sqrt{a}}}$$

dove a è l'area del lago e D la sua profondità media.

Per il Lago di Varese, si può così stimare che l'area di erosione sia pari al 16,9 % della superfìcie lacustre, mentre il restante 83,1 % si possa considerare area di prevalente accumulo; dalla curva ipsografica profondità -volume (Barbanti, dati non pubblicati) è stata quindi calcolata la profondità "critica" D_{T-A}, cioè quella al di sotto della quale i fenomeni di accumulo sono prevalenti
rispetto a quelli di erosione, trasporto e risospensione innescati da correnti, venti ed ondazione.

Nel caso considerato, tale profondità corrisponde a 2,32 m; utilizzando questo dato per separare i diversi campioni di sedimento in funzione della profondità di campionamento, si possono calcolare i valori medi presentati in tabella 1. E' evidente che le concentrazioni attribuibili all'area di erosione ed a quella di accumulo sono effettivamente molto diverse ed inoltre si scostano, talvolta in misura molto notevole, dalla media generale per tutto il lago.

Tab. 1 - Perdita in peso (IG %) e concentrazioni (% oppure mg/kg peso secco) di nutrienti nei sedimenti delle zone di erosione e di accumulo del Lago di Varese.

	Erosione n = 9			Accumulo n = 22			Complessivo n = 31		
	min	**Media**	Max	min	**Media**	Max	min	**Media**	max
IG 550 °C		**7,34**			**9,49**			**8,97**	
	3,9		10,33	2,81		12,63	2,81		12,63
IG 950 °C		**23,8**			**24,3**			**24,2**	
	15,9		33,9	10,4		37,7	10,4		37,7
$CaCO_3$ %		**54,0**			**55,2**			**54,9**	
	36,1		77,0	23,6		85,6	23,6		85,6
P_i mg/kg		**560**			**710**			**660**	
	230		1100	220		1100	220		1100
P_o mg/kg		**200**			**340**			**300**	
	70		320	60		480	60		480
P_t mg/kg		**750**			**1047**			**961**	
	300		1300	290		1500	290		1500
C_o %		**3,32**			**5,32**			**4,74**	
	1,87		5,14	1,42		7,78	1,42		7,78
C_t %		**8,71**			**10,35**			**9,87**	
	4,66		12,3	5,11		12,7	4,66		12,7
N %		**0,37**			**0,52**			**0,48**	
	0,13		0,58	0,12		0,75	0,12		0,75
S_o %		**0,14**			**0,24**			**0,21**	
	0,03		0,31	0,03		1,09	0,03		1,09
S_t %		**0,62**			**0,87**			**0,80**	
	0,23		1,00	0,36		1,38	0,23		1,38

La quantità di sostanza organica contenuta nei sedimenti è abbastanza modesta, se confrontata con i valori riportati in letteratura (Dean e Gorham, 1976 ; Jones e Bowser, 1978 ; Häkanson e Jansson, 1983), secondo i quali la perdita in peso a 550°C può superare il 40 % in sedimenti ricchi di sostanza organica.

L'elevata percentuale di $CaCO_3$ testimonia invece la natura carbonatica del lago di Varese, del tutto in linea con il tipo di bacino imbrifero di questo ambiente acquatico.

Tra le caratteristiche più interessanti della distribuzione dei sedimenti superficiali, va sottolineato il vistoso aumento con la profondità della frazione organica del C; questa passa infatti dal 38 al 51 % del totale nell'area di erosione e di accumulo, rispettivamente ; il rapporto C_{org}/N contemporaneamente varia da 9,0 a 10,2 (mentre il valore medio per tutto il lago e pari a 9,9) ,

quindi si può assumere che il contributo autoctono sia preponderante, poiché il plancton lacustre ha un rapporto C/N teorico pari a 5,6 e Parsons, Takahashi e Hargrave (1977) riportano, per il fitoplancton vivente, dati variabili tra 8 e 18. Secondo la definizione di Hansen (1961) i sedimenti del lago di Varese dovrebbero perciò essere considerati al limite tra gyttja e dy, e definiscono il lago come eutrofico-oligoumico (il rapporto C/N per le sostanze umiche varia tra 10 e 20).

L'azoto Kjeldahl, come si è detto, è praticamente coincidente con l'azoto totale e nell'area di accumulo del lago raggiunge la concentracene dello 0,52 %; questi valori si collocano nella fascia medio-bassa delle concentrazioni riportate in letteratura, in particolare per laghi carbonatici (Jones e Bowser, 1978; Baudo e Muntau, 1986) e confermano i dati già pubblicati per il Lago di Varese: Povoledo, ad esempio, nel 1959 aveva rilevato, nei primi 15 cm di una carota raccolta alla profondità di 24 m, una concentrazione di 5,646 g N Kjeldahl/kg secco, mentre Guilizzoni, Bonomi, Galanti e Ruggiu (1982) riportano valori variabili tra lo 0,4 e 1’1,0 % di N totale nei 10-15 cm superficiali di più carote raccolte in punti diversi del lago. L'esteso campionamento permette in più di evidenziare la distribuzione spaziale dell'elemento con un buon dettaglio.

Come per gli altri macronutrienti, nella zona di erosione la concentrazione dell'azoto è sensibilmente inferiore a quella della zona di accumulo. In entrambe le

zone, l'azoto risulta strettamente correlato ($P \leq 0,01$) tanto al carbonio, organico e totale, che alla sostanza organica in generale, stimata in base alla perdita in peso a 550°C. Proprio quest'ultima relazione può essere utilizzata (Häkanson, 1981) per stimare il cosiddetto numero di bioproduzione (BPN) e l'indice di bioproduzione (BPI). Il primo non è altro che la pendenza della retta di regressione tra contenuto di azoto (espressa in mg/g peso secco) e IG % a 550 °C dei sedimenti superficiali; il secondo da la concentrazione di azoto corrispondente ad un contenuto di sostanza organica del 10 %. Nel caso del Lago di Varese, le equazioni di regressione danno valori di BPN pari a 0,677 e 0,645, rispettivamente, per la zona di erosione e quella di accumulo (ed i corrispondenti valori di BPI sono pari a 5,56 e 5,51). Secondo la graduatoria stabilita da Häkanson and Janssen (1983), gli elevati valori di BPN confermerebbero che il Lago di Varese è al confine tra eutrofia e ipertrofia (valori compresi tra 0,45 e 0,65 sono tipici di laghi eutrofici, ed il valore di 0,65 è assunto come limite oltre il quale il lago va considerato molto eutrofizzato).

Anche per lo zolfo è possibile mettere in luce una netta differenza tra zone litorali e profonde, poiché la frazione "organica" costituisce solo il 22,6% nella zona di erosione, ma supera il 40% in quella di accumulo, secondo la differenziazione consentita dal metodo di analisi utilizzato. La prevalenza della frazione inorganica è abbastanza anomala, in quanto le ricerche pubblicate solitamente riferiscono di frazioni organiche dello zolfo molto più elevate, anzi, generalmente predominanti (Nriagu, 1968; Mitchell, Landers e Brodowski, 1981; David e Mitchell, 1985; Dickman e -Thode, 1985; Mitchell, David e Utala, 1985).

In queste condizioni, secondo Häkanson e Jansson (1983), i sedimenti hanno una ridotta capacità di trattenere il fosforo, poiché la precipitazione di solfuro di ferro sottrae del metallo che, altrimenti, potrebbe fissare il fosforo; tuttavia, trattandosi di un lago in bacino prevalentemente calcareo, probabilmente una parte considerevole di questo nutriente nella frazione inorganica
è presente sotto forma di apatite ($Ca_{10}(PO_4)_6\,(OH)_2$) .

Per quanto concerne la ripartizione tra le diverse forme fisico-chimiche, è possibile rilevare come la frazione organica del fosforo aumenti dal 27 al 32% del P totale passando dalla zona di erosione a quella di accumulo; tale fenomeno, spesso osservato nei laghi (Williams, Jacquet e Thomas, 1976), deve dunque essere preso in considerazione

per stimare l'eventuale rilascio dell'elemento dai sedimenti perché, come è noto (Häkanson e Janssen, 1983) la frazione "organica" può essere considerata più stabile di quella inorganica.

Nei sedimenti del lago di Varese, il rapporto tra carbonio totale e fosforo totale è pari a 103, con un modesto arricchimento in C nella zona di erosione (C_T/Pt = 116}, ed in P in quella di accumulo (C_T/Pt=99). Ciò sembra indicare un notevole contributo autoctono di sostanza organica, poiché la composizione ipotetica del fitoplancton è rappresentabile dalla formula $C_{10}N_{16}P$ (C/P = 106), mentre nelle sostanze umiche il rapporto C/P varia normalmente tra 90 e 120 (Häkanson e Janssen, 1983).

4. CONCLUSIONI

Allo scopo di meglio interpretare le distribuzioni osservate, sulla base della matrice di correlazione sono stati costruiti mediante clustering i dendrogrammi relativi all'intero lago ed alle aree di erosione ed accumulo. Come è logico attendersi, in funzione delle tecniche analitiche utilizzate, in tutti e tre i casi sono evidenti le strettissime relazioni tra fosforo inorganico - fosforo totale e carbonio totale - perdita in peso a 950°C. Più complesse appaiono le relazioni tra zolfo totale, perdita in peso a 550°C, azoto e frazioni organiche di carbonio e fosforo, ma in generale sembra chiaro come i quattro elementi siano strettamente uniti nella matrice organica, alla quale è inoltre associata la parte inorganica di fosforo e zolfo. Il carbonio da carbonati ha invece un diverso comportamento e risulta anzi inversamente correlato al cluster costituito dalla sostanza organica.

Considerando tutte le variabili nel loro complesso, sono quindi state confrontate la zona di erosione e quella di accumulo mediante funzione discriminante: questa tecnica statistica, basata Sulla misura di una "distanza" tra le due medie multivariate che rappresentano i due gruppi posti a confronto, indicherebbe che le due aree sono effettivamente abbastanza diverse, in quanto il test di significatività raggiunge un valore significativo al livello del 10 %. In particolare, la stima del contributo relativo di ciascuna variabile conferma come questa differenza sia principalmente dovuta al carbonio ed all'azoto, mentre fosforo e zolfo contribuiscono in maniera trascurabile alla "distanza" complessiva tra i due set di dati.

La minor quantità di sostanza organica rilevata nella zona di erosione è verosimilmente dovuta a due fenomeni concomitanti: il progressivo trasporto, e conseguente sedimentazione, delle leggere particelle organiche verso le zone più profonde e meno soggette a stress idrodinamici (ondazione, correnti, ecc.), e maggior concentrazione di ossigeno nelle acque, che favorisce l'ossidazione della sostanza organica. Infatti, secondo Provini (1980), nell'arco di tempo tra marzo e novembre, comprensivo quindi del periodo di stratificazione, 1'isopleta del 100 % di saturazione in ossigeno si mantiene tra i 4-5 m di profondità e, addirittura, grazie all'intensa fotosintesi algale, fino a 3 m si rilevano frequentemente valori attorno al 150 % di saturazione.

Un eventuale rilascio di macronutrienti dai sedimenti è certamente differente nella zona di erosione ed in quella di accumulo; nella prima, infatti, attività di bioperturbazione dovuta ad animali bentonici, vento e navigazione a motore possono avere un effetto determinante (De Groot, 1981), mentre nella seconda prevalgono i fenomeni diffusivi che, però, hanno intensità differenti in periodi di ossigenazione e di anossia (Premazzi e Provini, 1985).

Considerando la variabilità delle concentrazioni nelle varie parti del lago e le fluttuazioni stagionali dell'idrochimica (Ruggiu, Saraceni e Mosello, 1981), appare dunque evidente come una stima predittiva del rilascio sia piuttosto complessa.

Si può infine ricordare che, almeno per l'azoto, dagli anni '60 ad oggi (Bonomi, 1964; Turati, 1970; IRSA, 1980; Ruggiu, Saraceni e Mosello, 1981), le concentrazioni nella colonna d'acqua alla circolazione sono variate solo tra 1,00 e 1,49 mg N totale/litro, cioè in modo molto meno marcato che per il fosforo, tanto che, secondo l'IRSA (1980) proprio 1'azoto si comporta da elemento limitante per il lago di Varese.

La conoscenza della distribuzione dei macronutrienti nei sedimenti, della loro ripartizione tra frazione organica ed inorganica, e delle relazioni esistenti con la massa d'acqua sovrastante, sono evidentemente elementi indispensabili per la comprensione dei meccanismi e dei processi attualmente in atto nel lago di Varese e, come tali, debbono essere accuratamente valutati in qualsiasi programma di gestione e di controllo del fenomeno di eutrofizzazione di questo ambiente.

Bibliografia

Baudo R.; 1987 - Uncertainty in description of sediment chemical composition. Jour. Environ. Geol. Water Sci., in press.

Baudo R., e Muntau H.; 1986 - Selection of a freshwater sediment for the preparation of a reference material. Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 44, 253-297.

Bonomi G.; 1964 - Un nuovo aspetto dell'evoluzione del Lago di Varese: la comparsa di situazioni meromittiche. Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 17, 231-246.

David M.B., e Mitchell M.J.; 1985 - Sulfur constituents and cycling in waters, seston, and sediments of an oligotrophic lake. Limnol. Oceanogr., 30, 1196-1207.

Dean W.E. Jr.; 1974 - Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss of ignition: comparison with other methods. Jour. Sed. Petrol., 44, 242-248.

Dean W.E., e Gorham E.; 1976 - Major chemical and mineral components of profundal surface sediments in Minnesota lakes. Limnol. Oceanogr., 21, 259-284.

De Groot W.T.; 1981 - Phosphate and wind in a shallow lake. Arch. Hydrobiol., 91, 475-489

Dickman M.D., e Thode H.G.; 1985 - The rate of lake acidification in four lakes north of Lake Superior and its relationship to downcore sulphur isotope ratios. Water Air Soil Pollut., 26, 233-253.

Guilizzoni P., Bonomi G., Galanti G., e Ruggiu D. ; 1982 - Basic trophic status and recent development of some Italian lakes as revealed by plants pigments and other chemical components in sediment cores. Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 40, 79-98.

Häkanson L. ; 1981 - Determination of characteristic values for physical and chemical lake sediment parameters. Water Resour. Res., 17, 1625-1640.

Häkanson L., e Janssen M.; 1983 - Principles of lake sedimentology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 316 pp.

Hansen K.; 1961 - Lake types and lake sediments. Verh. Int. verein. Limnol., 14, 285-290.

IRSA; 1980 - Indagine sulla qualità delle acque lacustri italiane. IRSA Quaderni, N. 43, 377 pp.

Jones B.F., e Bowser C.J.; 1978 - The mineralogy and related chemistry of lake sediments. In : Lakes Chemistry Geology Physics, Lerman A. (Ed.), Springer-Verlag New York, pp.

179-235.
Koch W., e Malissa H. ; 1957 - Dosage précis du carbone au moyen d'un enregistreur de conductivité. La Metallurgie, 89, 719-727.
Marengo G., e Baudo R.; 1988 - Forme del fosforo nei sedimenti lacustri. Acqua Aria, in stampa.
Mitchell M.J., Landers D.H., e Brodowski D.F.; 1981 – Sulfur constituents of sediments and their relationship to lake acidification. Water Air Soil Pollut,, 16, 351-359.
Mitchell M.J., David M.B., e Utala A.J.; 1985 – Sulfur distribution in lake sediment profiles as an index of historical depositional patterns. Hydrobiologia, 121, 121-127.
Nriagu J.O.; 1968 - Sulfur metabolism and sedimentary environment: Lake Mendota, Wisconsin. Limnol. Oceanogr., 13, 430-439.
Parsons T.R., Takahashi M., e Hargrave B.; 1977 – Biological oceanographic processes. Pergamon Press.
Povoledo D.; 1959 - Studi chimici sulle sostanze organiche azotate sedimentarie e sestoniche di alcuni laghi dell'Italia settentrionale. Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 11, 25-60.
Premazzi G., e Provini A.; 1985 - Internal P loading in lakes: A different approach to its evaluation. Hydrobiologia, 120, 23-33.
Provini A; 1980 - Andamento dell'ossigeno nel lago di Varese : situazione attuale e previsioni. Ingegneria Ambientale, 9, 93-106.
Reynoldson T.B., Jr., e Hamilton H. R.; 1982 – Spatial heterogeneity in whole lake sediments - towards a loading estimate. Hydrobiologia, 91/92, 235-240.
Ruggiu D., Saraceni C., e Mosello R. ; 1981 - Fitoplancton, produzione primaria e caratteristiche chimiche di un lago fortemente eutrofizzato: il Lago di Varese. Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 39, 47-64.
Turati F.; 1970 - La differente situazione chimica dei laghi di Varese e Menate. Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 26, 205-239.
Vogler P. 1965 - Phosphatanalytic in der Limnologie. II. Die Bestimmung des Golösenen-Phosphates. Fors. Wasserchemie und Ihrer Grenzgebeite, 2, 109-119.
Williams J.D.H., Jaquet J.-M., e Thomas R.L.; 1976 – Forms of phosphorus in the superficial sediments of Lake Erie. J. Fish. Res. Board Can., 33: 413-429.

ATTI DELL'8° CONGRESSO A.I.O.L.
PALLANZA 1-3 GIUGNO 1988 da pag. 155 a pag 169

OSSERVAZIONI MORFOLOGICHE E SEDIMENTOLOGICHE SUL DELTA DEL FIUME RIENZA NEL LAGO DI DOBBIACO (SUD TIROLO).

P. BELLOTTI

Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Roma

RIASSUNTO.

Vengono descritti i lineamenti morfologici e sedimentologici del delta che il F. Rienza forma nel L. di Dobbiaco. Si tratta di un delta di ridotte dimensioni che presenta ben definiti caratteri fisiografici.

La piana deltizia è caratterizzata da canali per lo più intrecciati e separati da zone di intercanale ampie e spesso ben vegetate, solo alcuni canali sono sempre attivi e mostra no in gran parte sedimenti ghiaiosi. Le sabbie sono prevalenti nella parte terminale dei canali e, unitamente al silt, nelle aree di intercanale e nei canali effimeri.

Il delta-front è caratterizzato da barre di foce lunate talvolta coalescenti, costituite prevalentemente da sabbie localmente bioturbate. I fondali di prodelta mostrano una abbondante vegetazione localmente interrotta da aree ricoperte di sedimenti sabbioso-siltosi.

Il meccanismo di deflusso è probabilmente omopicnale, in condizioni normali, mentre durante fasi di piena si può supporre la presenza di processi di inter ed under flow forse parzialmente responsabili dell'assenza di vegetazione in alcune aree dei fondali di prodelta.

ZUSAMMENFASSUNG.

Einige morphologische und Ablagerungsmerkmale des Rienz-fluBdelta, im Toblachersee, beschrieben werden.Es handelt sich um ein GilbertsortedeIta von kleiner Ausdehnung, das sich im typìschen Alpenklima entwickelt hat.

Die Deltaebene ist von Kanalen, die sich verflechten und von siemliech ausgedehnten und pflanzenwuchsreichen zwi-schenkanalezonen getrennt werden, gekennzeichnet.

Uberwiegende Ablagerungen sind die Kiese, die die meisten tatigen kanale und teilweise die Zwischenkanaleflachen uber-wiegen.

Contributo M.P.I. 60% 2.09.03.060

Man kann die Kiese im Tatigekanaleflachen und "silt" und manchmal mit Torf, im meisten Zwischenkanaleflechen und in verganglichen Kanalen, finden.

Die Deltafront zeigt mondformige manchmal koaleszente Miindungsbarren, die hauptsachlich von manchmal Organismen-gestorten Kiesen gebildete sind.

Das Prodelta zeigt pflanzenwuchsreiche tiefe, die von Siltgebildeteablagerungtiefezonen manchmal unterbrochen sind.

Der Abflussmechanismus ist gewonlich "homopycnal" wenn aber der FluB den hochsten Durchfuss arreicht, ist es moglich daB Inter und Underflowprozesse entstehen, die wahrscheinlich die Ohnepflanzenwuchsflachen der Prodeltatiefe verusachen.

1. INTRODUZIONE

Negli ultimi venti anni la sedimentologia degli apparati deltizi attuali è stata al centro dell'interesse di vari specialisti che hanno, nella maggior parte dei casi, posto la loro attenzione sui grandi delta marini a sedimentazione sabbioso-argillosa (Oomkens 1970;1974- Galloway 1975- Wright, 1978- Elliot, 1978- Coleman&Prior 1980). Tale tendenza si è sviluppata anche in Italia dove il delta del Po e quello del Tevere sono stati al centro di recenti ricerche (Bortoluzzi, Frascari, Guerzoni, Incremona, Ravaioli & Rovatti 1982- Dal Cin&Simeoni 1984- Belletti, Tortora&Valeri 1984;1986). Assai più raramente sono descritti in letteratura delta attuali, lacustri o marini, di piccole dimensioni e con sedimentazione ghiaioso-sabbiosa (Gilbert, 1885- Sturm&Matter 1978- McPherson, Shanmugam&Moviola, 1987) i cui sedimenti rivestono viceversa, grande interesse nello studio di depositi fossili per lo più presenti in ristretti bacini in-termontani (Stanley&Surdam 1977- Wescott&Ethridge 1980-Ricci Lucchi, Colella, Ori, Ogliani&Colalongo 1982- Postma&Roep 1985- Colella, de Boer & Nio 1987).

Vengono pertanto presentate in questa breve nota le caratteristiche morfologiche e sedimentologiche salienti del delta che il F. Rienza costruisce nel Lago di Dobbiaco.

L'apparato deltizio in questione è stato scelto in quanto nonostante le sue dimensioni assai ridotte presenta elementi fisiografici ben definiti e, appartenendo ad un parco naturale, non subisce 1'eccessiva influenza delle attività antropiche {Barducci&Matthias 1982).

2. UBICAZIONE

II Lago di Dobbiaco (Toblachersee) sorge nella Valle di Landre (Höhlensteintal) tra le Dolomiti di Sesto (Sextener Dqlomiten) ad est e i rilievi della Croda Rossa (Höhe Gaisl) -M. Serla {Sarlkofel) ad occidente (fig. 1). La Valle di Landro si allunga in direzione sud-nord dai 1440 m di Carbonin (Schlüderbach) fino ai 1210 m di Dobbiaco Nuova (Neutoblach) dove si congiunge ortogonalmente alla Val Pusteria (Pustertal) .

La valle, modellata dal glacialismo, è interamente percorsa dall'alto corso del F. Rienza (Rienzf Iui3)ed è caratterizzata dalla presenza del L. di Landre (Durrensee) a quota 1403, e da quello di Dobbiaco a quota 1250.

3. CARATTERI CLIMATICO-IDROLOGICI

II L. di Dobbiaco, sbarrato a valle dai depositi del conoide del Troghe, ha un'estensione di poco superiore a 0.1 Kmq ed è alimentato dalle acque del F. Rienza che, a monte del lago, drena un bacino di circa 103 Kmq con quote massime superiori ai 3000 metri e prevalentemente costituito da calcari e dolomie (per le caratteristiche geologiche e i dettagli tettonici si rimanda a Bechstadt & Brandner 1970 e a Zan-ferrari & Panajotti 1976).

Le temperature e le piovosità medie dell'area sono riportate in tab. 1 unitamente alle portate del F. Rienza misurate alla stazione di Monguelfo, circa 10 Km a valle del lago, che sottende un bacino di 273 Kmq. In considerazione delle caratteristiche del bacino idrografico sotteso dalla stazione di Monguelfo si può ritenere, in prima approssimazione, che i valori di portata al L. di Dobbiaco siano circa 0.3-0.5 di quelli registrati alla stazione anzidetta.

Non sono noti dati ufficiali sul trasporto torbido del F. Rienza, ma campionature ripetute hanno fornito quantità di sedimento in sospensione variabili da 1 a 15 mg/l rispettivamente durante fasi di magra e di piena. Tali valori debbono essere considerati puramente indicativi mancando di un'adeguata regolarità nel controllo e quindi del conseguente supporto statistico.

	Media mens. min.	Media mens. max	Media annua
Temp. °C	-7.2 (gennaio)	15.2 (luglio)	5.1
Piov. mm	20 (novembre)	109 (agosto)	58
Port. mc/s	3.63 (febbraio)	10.8 (giugno)	6.57

tabella 1

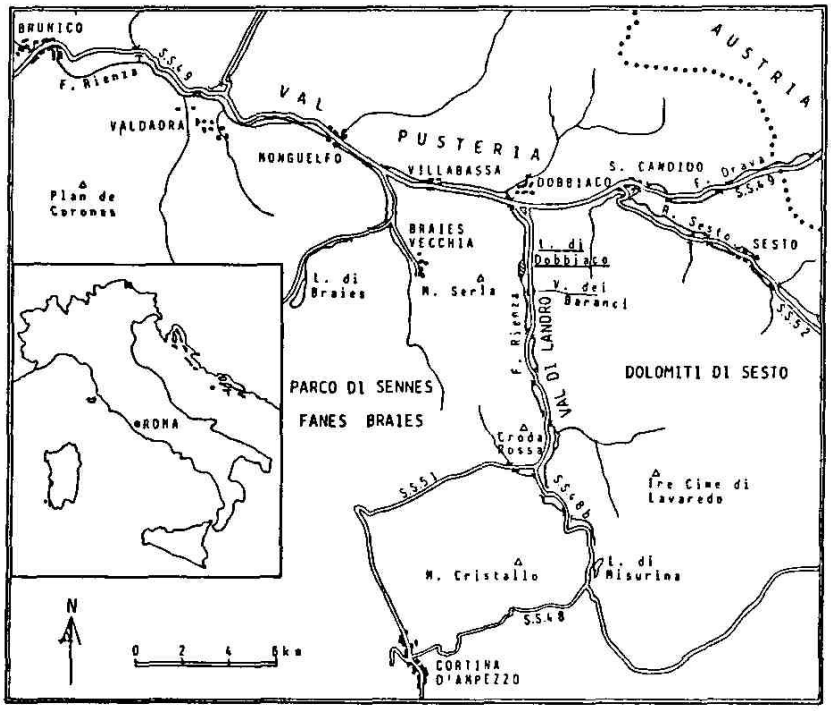


Figura 1 - Ubicazione dell'area studiata. E' visibile il bacino dell'alto corso del F. Rienza e la posizione di Monguelfo in cui vengono registrate le portate del fiume.

4. ASPETTI MORFOLOGICI E SEDIMENTOLOGICI

L'insieme del delta e del suo bacino accettore (L. di Dobbiaco) è compreso tra i conoidi del Sarlgraben e del Troge, rispettivamente a monte e a valle; un terzo conoide, anch'esso addossato ai contrafforti del M. Seria ma di dimensioni assai ridotte, scende direttamente nel lago disegnando un piccolo lobo ghiaioso al centro della sponda occidentale (fig. 2).

Il F. Rienza, a monte del delta, si trova dunque costretto ad attraversare i sedimenti ruditici del Sarlgraben, ed il suo canale, fino a quel momento piuttosto rettilineo e incassato, inizia ad assumere un aspetto braided. Superato il conoide del Sarlgraben la pendenza si riduce rapidamente ed ha origine l'apparato deltizio che può essere suddiviso in una parte emersa (piana deltizia) ed in una sommersa, minore per dimensioni, costituita dal delta-front e dal prodelta.

-Piana deltizia- Presenta una lunghezza di circa 500 metri ed una larghezza massima prossima ai 450, ha una superficie di poco superiore a 0.2 Kmq ed una pendenza media di 0°.1.

La rapida diminuzione di pendenza all'uscita del conoide del Sarlgraben causa l'abbandono del materiale più grossolano, la formazione di barre ghiaiose mobili, fenomeni di avulsione, ramificazione dei canali e più o meno ampie aree di intercanale. La piana deltizia mostra pertanto tre principali elementi morfologico-sedimentari, ovvero le barre, i canali e le isole o zone di intercanale.

-Le barre sono abbondanti nella parte superiore e centrale della piana. In quella superiore sono del tipo longitudinale e tendono ad assumere sottocorrente l'aspetto di "barre longitudinali con flusso diagonale"e di "eroded bar remnant" (Miall, 1977} ; hanno lunghezza prossima al decametro e larghezza massima di circa 4 metri. Queste barre sono costituite prevalentemente da ghiaie con ciottoli anche superiori a 10 cm e solo l'apice sottocorrente risulta talvolta sabbioso. Tali barre sono per lo più mobili e solo talvolta sono interessate da una sparuta vegetazione arbustiva.

Nella parte centrale della piana prevalgono le barre linguoidi, più o meno modificate, (Miall, 1977) costituite da ghiaia minuta e sabbia. Queste barre, meno mobili delle precedenti si presentano localmente interessate dalla vegetazione erbacea.

Nell'area più prossima al lago si rinvengono alcune "point bar" sabbioso ghiaiose facilmente colonizzate dalla

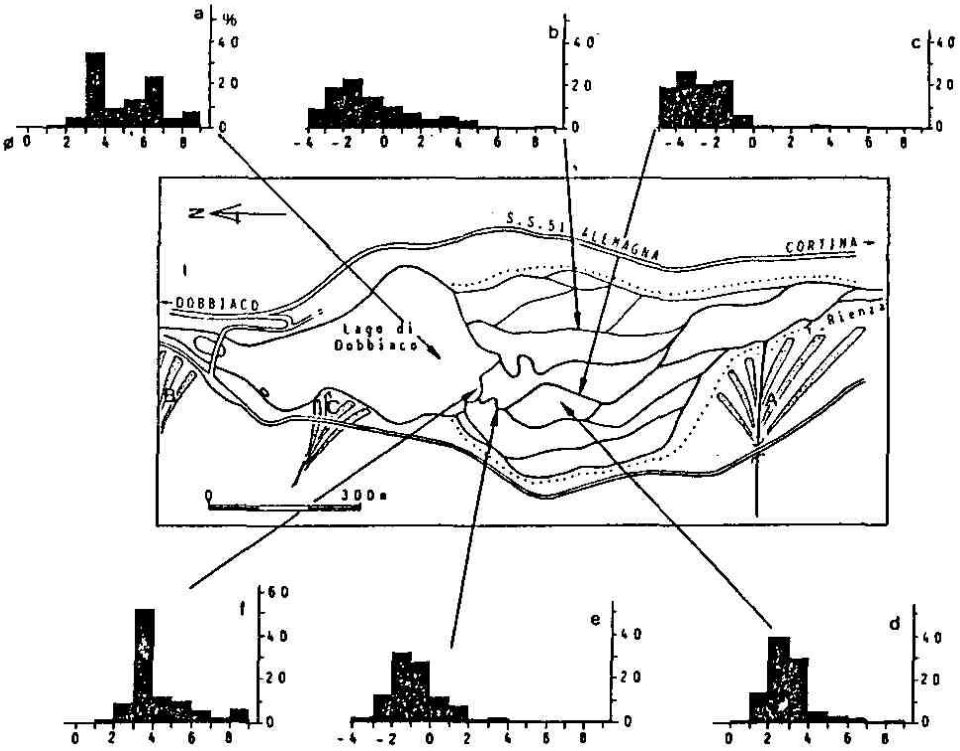


Figura 2 - Istogrammi della distribuzione granulometrica di alcuni campioni raccolti in vari punti del delta del F. Rienza: a) fondali di prodelta privi di vegetazione, b) letto di un canale effimero, e) letto di un canale attivo anastomizzato d) isola intercanale, e) letto di un canale attivo meandriforme, f) cresta di barra di foce. Con la linea spessa sono riportati i principali canali attivi, con quella sottile i principali canali effimeri. Sono visibili: il conoide del Sarlgraben (A), parte di quello del Troghe (B) e il piccolo cono ghiaioso (C) che sedimenta direttamente nel lago (deltaconoide).

vegetazione erbacea.

-I canali, così come avviene per le barre, mostrano a-spetti diversi nelle varie zone della piana. Va osservato anzitutto che una parte dei canali risulta sempre attiva (canali attivi) ed è concentrata sul lato occidentale della piana, mentre sul lato orientale i canali sono attivi solo nelle fasi di massima portata rimanendo negli altri periodi in secca o parzialmente riempiti di acque stagnanti (canali effimeri o abbandonati) (fig. 2).

Procedendo dal conoide del Sarlgraben verso il lago si osserva che dapprima i canali risultano larghi, mal definiti e poco profondi (10-40 cm) così da avere il rapporto larghezza/profondità talvolta maggiore di 50. Sottocorrente i canali assumono rapidamente una loro individualità, si restringono e si approfondiscono così che, nella parte centrale della piana, quelli di maggiori dimensioni misurano circa 7 metri di larghezza e 1.50 di profondità. In questa zona della piana sono presenti canali minori con larghezza inferiore al metro e profondità decimetrica.

Nella parte alta ed in quella centrale della piana i canali presentano un basso indice di sinuosità e si intrecciano frequentemente, ciò non avviene in prossimità del lago dove alcuni canali iniziano a divagare raggiungendo un indice di sinuosità prossimo a 1,6.

I sedimenti presenti a letto dei canali nella parte alta della piana, sono costituiti da ghiaie con clasti talvolta superiori a 10 cm; le ghiaie divengono più fini e si associano a sabbie (fig. 2c) nella parte centrale della piana. Le sabbie dominano il basso corso dei canali (fig. 2e) . Le ghiaie, associate a sedimenti più fini, sono presenti anche nei canali effimeri (fig. 2b).

Al fondo dei canali attivi i ciottoli sono per lo più scarsamente evoluti, si presentano talvolta embriciati e occasionalmente danno luogo a pebble cluster di tipo embriciate (Billi 1987). Nel basso corso dei canali sono presenti talvolta ripples lunati o linguoidi più raramente rettilinei.

-Le isole o zone di intercanale sono ampie aree sabbio so-siltose (fig. 2d) interessate da una fitta vegetazione erbacea. Esse sono talvolta intersecate da piccoli canaletti, che collegano i canali veri e propri, e che sono interessati dallo scorrimento solo allorché il livello delle acque dei canali principali sale notevolmente, rimanendo negli altri periodi depressioni umide in cui la vegetazione cresce rigogliosa al pari delle aree circostanti. In prossimità della costa le zone di intercanale vengono parzialmente sommerse

da una sottile lama d1acqua allorché il livello del lago sale sia pure di qualche centimetro.

Tre piccole trincee sono state scavate per avere indicazioni sulle sequenze verticali dei sedimenti, si sono così ricavate le colonnine di figura 3 che si riferiscono ad un canale abbandonato, ad una barra linguoide e ad un'isola intercanale. La prima colonnina mostra .una sequenza "fining upward", dalle ghiaie alla torba,che mette in evidenza il graduale abbandono del canale. Anche la seconda colonnina evidenzia una sequenza "fining upward" con ghiaie laminate a basso angolo che fanno passaggio a sabbie e a silt la cui eliminazione è parzialmente distrutta dalle radici. L'ultima colonnina mostra una sequenza monotona, di silt sabbiosi e torbe ricchi di radici nella parte sommitale, che evidenzia l'aggradazione piuttosto tranquilla delle isole intercanali.

-Delta front- E' la parte sommersa del delta prossima alla costa e si può considerare esteso fino all'isobata di 1 m che dista dalla riva 50-80 metri nell'area dei canali attivi.

Le barre di foce sono il principale elemento che caratterizza questa parte del delta, esse mostrano un aspetto lunato e,per distributori vicini, tendono alla coalescenza. Misurano 40-60 metri secondo 1'asse del canale così come in senso trasversale (fig. 4). Le creste delle barre risultano piuttosto appiattite, sommerse da 20-50 cm d'acqua e mostrano tracce di bioturbazione e frequenti ripples da corrente nei cui cavi si accumulano talvolta resti vegetali.

Il sedimento è costituito da sabbie e silt poco classati (fig. 2f).
Nella zona antistante i canali effimeri, il fondo risulta piuttosto piatto e non è stato possibile riconoscere alcuna struttura particolare anche per l'abbondanza del canneto che nell'area prospicente ai canali attivi, è invece sviluppato solo nelle zone comprese tra una barra di foce e 1'altra.

-Prodelta- Si estende dall'isobata -1 m fino al fondo del lago, posto circa a 4 metri di profondità, con pendenza inedia di circa 1° (quella delle sponde laterali del lago raggiunge i 4°).

Il fondale appare piuttosto regolare, in gran parte coperto da una folta vegetazione subacquea che solo localmente è interrotta mostrando i sedimenti di fondo per lo più siltoso sabbiosi (fig. 2a). L'area maggiore priva di vegetazione si presenta come una fascia rettilinea che, partendo delta front, un'area approssimativamente ellittica con asse maggiore normale a quello dei canali distributori antistante le foci dei canali attivi, scen-

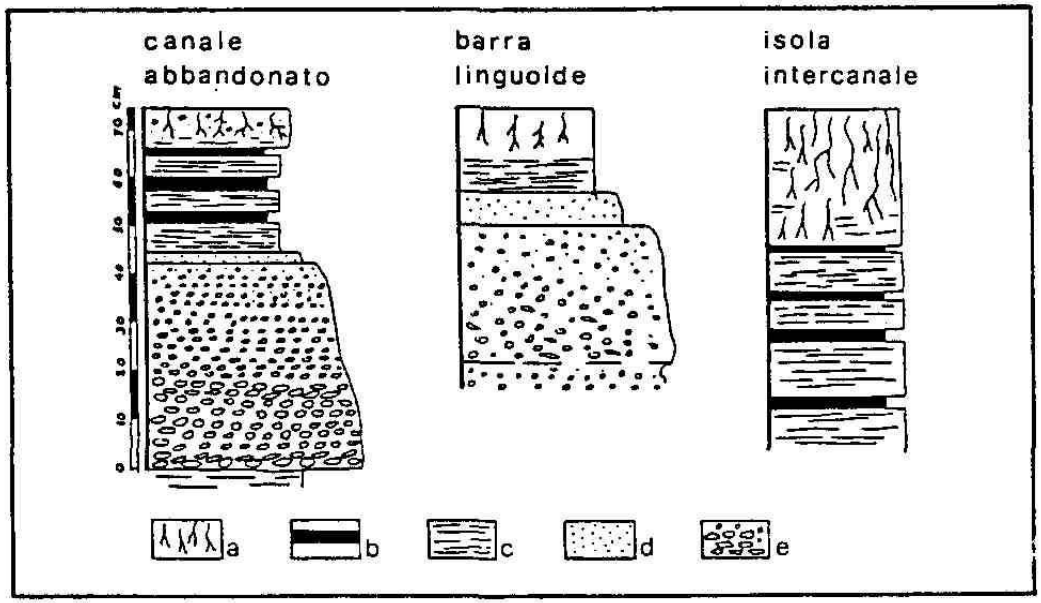


Figura 3 - Successione verticale dei sedimenti in tre zone della piana deltizia: a) radici, b) livelli di torba, c) silt sabbiosi, d) sabbie, e) ghiaie

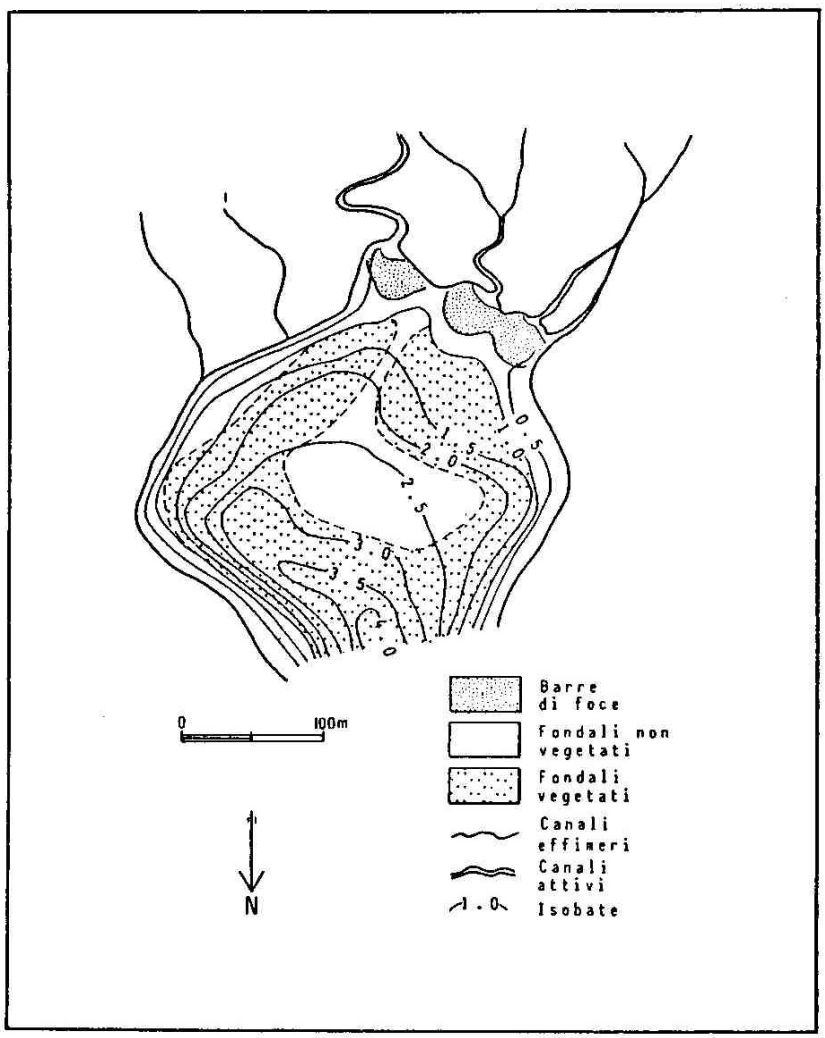


Figura 4 - Schema planimetrico del delta-front e del prodelta. E' visibile l'ubicazione delle barre di foce e dell'area di prodelta con fondali privi di vegetazione subacquea.

de fino a circa 3 metri di profondità dove si allarga a formare un'area approssimativamente ellittica con asse maggiore normale a quello dei canali distributori (fig. 4)

Nessun dato è noto sulla circolazione profonda delle acque del lago, mentre alcuni galleggianti liberati in estate subito a valle delle barre di foce hanno mostrato che le acque superficiali tendono a scorrere da nord a sud lungo la sponda orientale innescando una debole circolazione superficiale antioraria. Tale situazione permane probabilmente anche nei mesi freddi durante i quali la parte orientale del lago ghiaccia più difficilmente.

5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Dai dati raccolti e dalle indagini di terreno è possibile osservare quanto segue.

A) II complesso "F. Rienza - Delta - L. di Dobbiaco" sorge in una valle tettonico-glaciale in cui l'attuale scorrimento principale avviene in direzione sud-nord in accordo con l'asse della valle stessa. All'interno della valle, corsi d'acqua minori ad andamento trasversale generano conoidi ghiaiosi che interferiscono con lo scorrimento del F. Rienza. Una simile configurazione di bacino è assimilabile al modello 6 di Miall (1981).

B) Nella piana deltizia, che .occupa una superficie pari a 2/3 del complesso "Delta-Bacino accettore", sono presenti tre configurazioni d'alveo che si susseguono sottocorrente in poco più di 400 metri. Le tre configurazioni rispondono: al modello braided con canali intrecciati, bassa sinuosità e barre ghiaiose mobili (William&Rust 1969; Ramos & Sopena 1983; modello 2 di Miall 1985); al modello anastomizzato,con canali intrecciati, bassa sinuosità e notevole sviluppo di isole e zone di intercanale a sedimentazione siltoso-sabbiosa riccamente vegetate e pertanto difficilmente erodibili (Smith&Smith 1980; modello 8 di Miall 1985); al modello meandriforme, con canali non intrecciati a sinuosota medioalta e letto sabbioso o sabbioso- ghiaioso con presenza di barre di meandro (modello 5 di Miall 1985).

C) Le barre di foce sono ben definite ed il loro aspetto lunato ben si accorda con quelle di un delta a dominio fluviale (Wright, 1978).

D) L'apparato deltizio occupa tutta la larghezza della valle per cui gli elementi fisiografici sono condizionati nel loro sviluppo dai limiti del bacino. Pertanto i distri-

butori, non avendo la possibilità di divergere,non riescono a generare un delta lobato o digitato (forme tipiche dei delta a dominio fluviale) e danno origine ad un delta a distributori paralleli è barre di foce lunate coalescenti (Delta costretto a dominio fluviale). La coalescenza di singole bar re di distributori affiancati tende a simulare un cordone costiero.

E) La variabilità nella morfologia dei canali è indotta dall'ampia disponibilità, subito a monte del delta, di materiale grossolano (sedimenti del conoide del Sarlgraben) che favorisce una configurazione braided. Tuttavia 1'attuale estensione della piana e la conseguente ridotta pendenza non consente un lungo trasporto della ghiaia se non occasionalmente a letto dei canali ed in ogni caso mai fino alle foci. Ne consegue che il rapido aumento percentuale delle frazioni sabbiose e sabbioso-siitose, unitamente all'ampio sviluppo della vegetazione erbacea, favorisce l'istaurarsi di configurazioni di alveo anastomizzate (configurazione più rappresentata) e meandriformi.

F) L'ampio sviluppo della piana deltizia, la sua ridotta acclività, la stabilità dei canali e la buona definizione delle barre di foce non fanno attribuire a questo apparato, secondo la terminologia di Holmes (1965), la definizione di deltaconoide (definizione che ben si adatta invece, al picco 10 cono ghiaioso presente sulla sponda occidentale del lago). Il delta del Rienza, per quanto detto sopra e per la presenza di materiale fine e grossolano, rappresenterebbe un tipo intermedio tra il "braided delta" e il "common delta" di Mc Pherson et al. (1987) .

G)Troppo scarsi sono i dati per definire con certezza i meccanismi di deflusso ma è ragionevole ritenere frequente un inflow omopicnale in condizioni di normali portate mentre, per eventi di piena con conseguente aumento del carico in sospensione, è possibile un deflusso iperpicnale con generazione di fenomeni di underflow (Galloway, 1975; Sturm&Matter, 1973) magari responsabili della mancanza della vegetazione nell'area di prodelta antistante i distributori attivi. Non si hanno sufficienti informazioni sull1esistenza di processi di inter e underflow dovuti a differenze termiche tra le acque del F.Rienza e del L.di Dobbiaco. E' certo comunque che in alcuni casi le acque sfocianti interagiscono con il fondo creando evidenti forme di fondo sulle barre di foce.

H) II riempimento del lago dovrebbe pertanto creare un corpo sedimentario siltoso-sabbioso-ghiaioso,piano concavo, con asse allungato in direzione meridiana che contrasta per

geometria e tessitura,nonché per dispersione dei vettori di scorrimento, con i corpi principalmente ghiaiosi, concavo-convessi generati dai conoidi trasversali, che tendono a colmare il resto della valle.

BIBLIOGRAFIA

Barducci G. & Matthias H.;1982 - Parco naturale Fanes, Senes, Braies. Provincia autonoma di Bolzano-Alto Adige (Ed.) 48 PP.

Bechstädt T. & Brandner R.;1970 - Das Anis Zwischen St. Vigil und dem Höhlensteintal (Pragser-und Olanger Dolomiten Südtirol). Festband d. Geol. Inst, 300 Jahr-Feier Univ. Insbruck, 9-103.

Belletti P., Tortora P. & Valeri P.;1984 - Risultati delle indagini preliminari sulla conoide sommersa del delta del Tevere. Atti 6° Conv. A.I.O.L. 12-14/4/1984, 235-240.

Belletti P., Tortora P. & Valeri P.;1986 - II delta del Tevere: facies deposizionali ed ipotesi evolutiva. Mem. Soc. Geol. It. 35, in stampa.

Billi P.; 1987 - Sediment storage, bed fabric and particles features of two mountain streams at Plynlimon (Mid Walles) Ins. of Idrol. Report, in stampa.

Bortoluzzi G., Frascari F., Guerzoni S., Incremona N., Ravaioli M.& Rovatti G.;1982 - Some sedimentological and Chemical features of the seafloor in front of Tiber River. Geog. Fis. Din. Quat. 5, 120-128.

Colella A., de Boer P.L. & Nio S.D.;1987 - Sedimentology of a marine intermontane Pleistocene Gilbert-type fan-deita complex in the Crati basin, Calabria, southern Italy. Sedimentology 34, 721-736.

Coleman J.M. & Prior D.B.; 1980 - Deltaic sand bodies. AA.P. G. Short cours, Education Cours note, series 15.

Dal Cin R. & Simeoni U.; 1984 - Variazioni volumetriche del delta padano nell'ultimo secolo, distrubuzione dei sedimenti nei rami deltizi e caratteri granulometrici dei materiali cavati dal basso Po. 2° Conv. Idr. Pad.,15-16 /6/1984, 253-270.

Elliott T.;1978 - Deltas. In "Sedimentary environments and facies", (Ed) H.Q- Reading Blackwells Scient. Pubbl. Oxford.

Gallowav W.E.;1975 - Process framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaic depositional System. In "Delta/models for exploration" (Ed)

M.L. Broussard, Houston Geol. Soc., 87-98.
Holmes A.;1965 - Principles of physical geology. Ronald Press Co. N.Y. 1288 PP.
Miall A.D.,-1977 - A review of the braided river depositional environment, Earth Sciences Reviews 13, 1-62.
Miall A.D.;1981 - Alluvial sedimentary basin: tectoning set-ting and basin architecture. In A.D.
Maiali (Ed) Sedimentation and tectonics in alluvial basin, with examples from North America. Geol. Ass. Can. Spec Paper 24.
Miall A.D.;1985 - Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. Earth Sciences Reviews 22, 261-308.
McPherson J.G., Shanmugam C. & Moiola R.J.;1987 - Fan deltas and braided deltas: varieties of coarse grained deltas. Geol. Soc. Am. Bull. 99, 331-340.
Oomkens E.;1970 - Depositional and sand distribution in the postglacial Rhòne delta complex. In "Deltaic sedimentation modern and ancient" (Ed) J.P. Morgan SEPM Special Pubblication n° 15.
Oomkens E.; 1974 - Lithofacies relation in the late Quaternary Niger Delta Complex. Sedimentology 21, 195-222.
Ramos A.&Sopena A..; 1983 - Gravel bars in low sinuosity stream (Permian and Triassic Central Spain). In: Collison J.D. & Lewirn J. (Eds) Modern and ancient fluvial sediments. I.A.S. Spec. Pubbl. 6, 301-312.
Ricci Lucchi F., Colella A. Ori G.G. Ogliani F. & Colalongo M.L.; 1982 - Pliocene fan-deltas of the intra-Appenninic basin, Bologna. In Exursion Guidebook of 2° European Regional Meeting I.A.S. 1981,(Ed) F. Ricci Lucchi.
Smith D.G. & Smith N.D.;1980 - Sedimentation in anastomosed River System. Examples from alluvial Valleys Near Banff Alberta. J. Sed. Petr. 50,157-164.
Sturm M. & Matter A.,-1978 - Turbidites and varves in Lake Brienz (Switzerland): deposition of clastic detritus by density currents. In Matter A. & Tucker M.E. (Ed), Modern and ancient lake sediments. I. A. S. Spec. Pubbl. n° 2, 145-166.
Wescott W.A. & Ethridge F.G.;1980 - Fan delta sedimentology and tectonic setting-Yallahs fan delta, south east Jamaica. AA.P.G. Bull. 64, 374-399.
William P.F. & Rust B.R.;1969 - The sedimentology of a braided river. J. Sed. Petr.39, 649-679.

Wright L.D.;1978 - River deltas. In Coastal Sedimentary Environments, (Ed) R.A.Davis jr., 1-68.

Zanferrari A. & Panajotti M.S.;1976 - Osservazioni sul Permo Trias affiorante a Palanca di Sotto (Dobbiaco) lungo la linea della Pusteria. Boll. Soc. Geol. It. 95, 567-576.

ATTI DELL'8° CONGRESSO A.I.O.L.
PALLANZA 1-3 GIUGNO 1988……da pag. 171 a pag. 184

EVOLUZIONE DEL CARBONIO ORGANICO NEL LAGO MAGGIORE

R. BERTONI, C. CALMIERI, M. CONTESINI, R. TORELLI, O. ZOLA

Istituto Italiano di Idrobiologia, CNR Pallanza

SUMMARY

During the eighties, the trophic conditions of Lake Maggiore have changed owing to the decreased input of nutrients and of particulate and dissolved organic matter.

The paper here presented decribes the spatial and temporal variations of seston and its inorganic fraction, of POC, DOC and chlorophyll during a seven year study.

The parameters connected with the particulate fraction have shown a recurring yearly pattern, without any evident allochthonous influence. Furthermore there was no change in concentrations from 1981 to 1987.

On the other hand, dissolved organic carbon concentration decreased from 1983 to 1987 by 42%. This reduction of allochthonous input has permitted the actual cycle of autochthonous DOC to be seen.

1. INTRODUZIONE

II Lago Maggiore, uno dei più grandi corpi d'acqua italiani, e' stato ed è tuttora oggetto di numerose indagini limnologiche (Bonomi, Gerletti, Indri, Tonolli, 1968; Ambrosetti. Barbanti, Mosello, Rolla e Ruggiu, 1983; Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque italo-svizzere. Campagna 1983, 1984, 1985, 1986). E'un lago profondo (profondità massima 370 m, media 176 m), oligomittico, originariamente oligotrofo, le acque del quale si sono, negli anni '70 arricchite in azoto e fosforo, provocandone quindi l'evoluzione verso condizioni di meso-eutrofia.

Durante gli anni '80, le condizioni trofiche del Lago Maggiore sono andate mutando in seguito al diminuito input di nutrienti (Ambrosetti, Barbanti, Calderoni, Mosello, Rolla, Sulis, Tartari, 1985) e di sostanza organica disciolta e particellata {Barbieri e Righetti, com. pers.), conseguente, per gran parte, all'entrata in funzione di alcuni rilevanti impianti di depurazione in territorio svizzero e sulla costa piemontese (Calderoni, com. pers.).

Proprio in tali anni si è iniziata, su questo corpo d'acqua, una ricerca tesa ad acquisire un numero considerevole di dati inerenti il ciclo del carbonio organico con i quali poter finalmente costruire una mappa dettagliata che descrivesse le variazioni di concentrazione nello spazio e nel tempo di parametri, come il POC (Carbonio Organico Particellato), il DOC (Carbonio Organico Disciolto) e il seston, che in passato obbiettive difficolta1 metodologiche avevano impedito di studiare in modo estensivo.

2. MATERIALI E METODI

Nel 1981 è iniziata una campagna pluriennale di ricerche sul Lago Maggiore nel corso della quale si sono misurate le concentrazioni di POC, di clorofilla e di seston. Dal 1983 alla misura di tali parametri si è affiancata quella del DOC. Alla stazione di massima profondità, venivano effettuati campionamenti mensili alla superficie, a 10, 25, 50 metri e, ogni 50 metri, fino ai 350 metri. I campioni venivano prefiltrati attraverso una rete da plancton con maglie di 126 um; la frazione particellata era separata per concentrazione su filtri in fibra di vetro Whatman GF/C (diam. 16 mm) precedentemente bruciati a 500°C e pesati. Nell'acqua passata attraverso i filtri GF/C era misurata la concentrazione del DOC utilizzando un analizzatore TOC Astro 2001. I filtri erano poi utilizzati per la determinazione gravimetrica del seston totale nonché per misure di clorofilla e di POC.

Le analisi di POC erano eseguite con un analizzatore CHN (ANA Carlo Erba) usando la tecnica descritta da Bertoni (1978)- Inoltre si calcolava la concentrazione della frazione inorganica sottraendo alle concentrazioni del seston quelle del POC moltiplicate per due (Lenz, 1977), Le concentrazioni di clorofilla erano determinate fluorimetricamente (Perkin Elmer LS2) dopo estrazione del pigmento con metanolo (Talling e Driver, 1971; Holm-Hansen e Riemann, 1978).

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

Per avere un quadro d'insieme dei sette anni studiati che fornisse informazioni sulle variazioni di concentrazione nello spazio e nel tempo delle variabili misurate, sono state costruite delle mappe coroplete, elaborate con un calcolatore utilizzando un programma messo a punto in questo laboratorio.

Nelle figure 1, 2, 3, 4 e 5 sono presentate le mappe del seston, del carbonio organico particellato (POC), della frazione inorganica del seston, della clorofilla e del carbonio organico disciolto (DOC), rispettivamente.

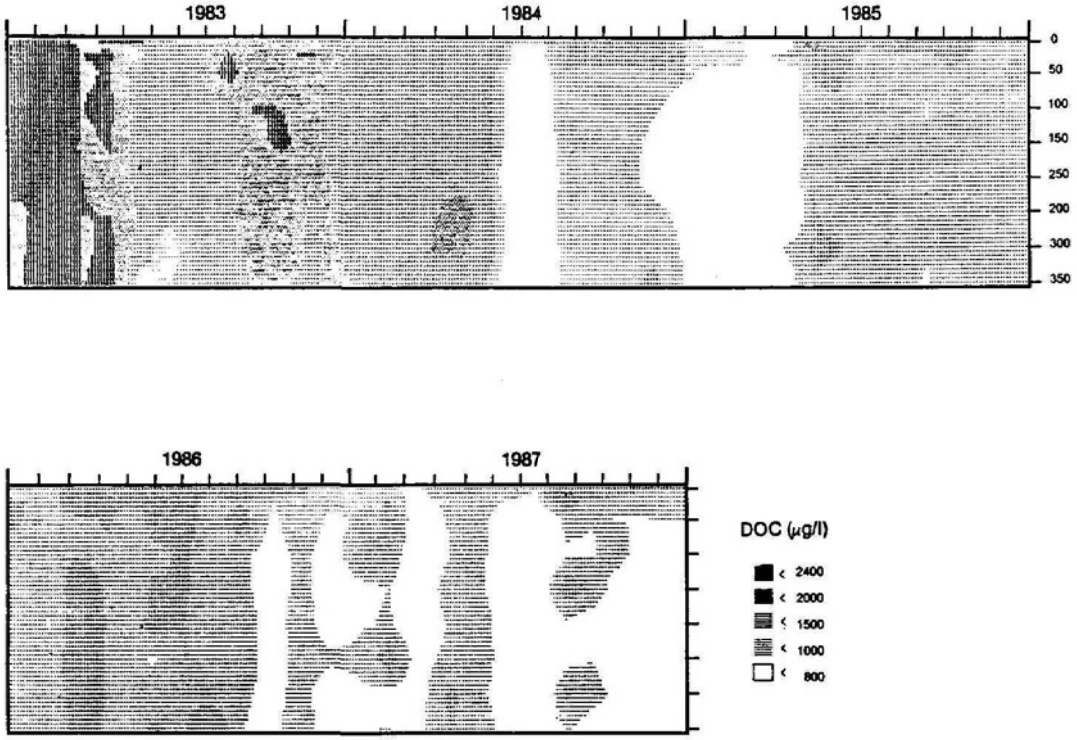


Fig. 5. Variazioni spaziali e temporali della concentrazione di DOC dal 1983 al 1987

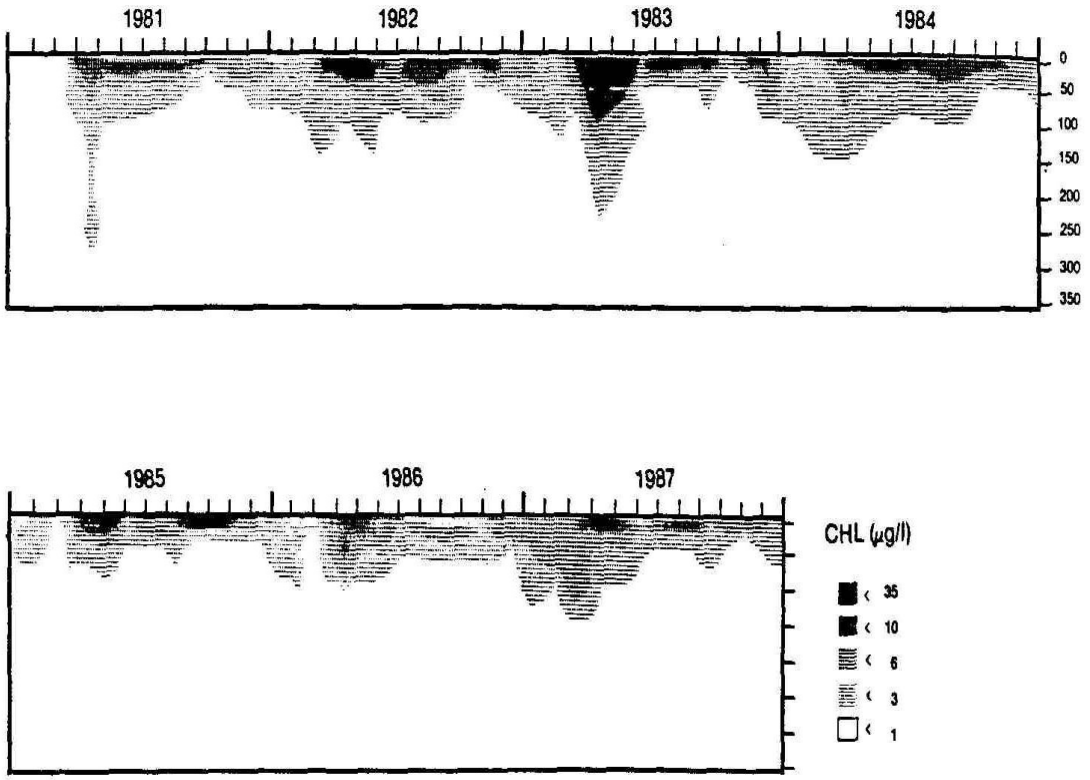


Fig. 4. Variazioni spaziali e temporali della concentrazione di clorofilla dal 1981 al 1987

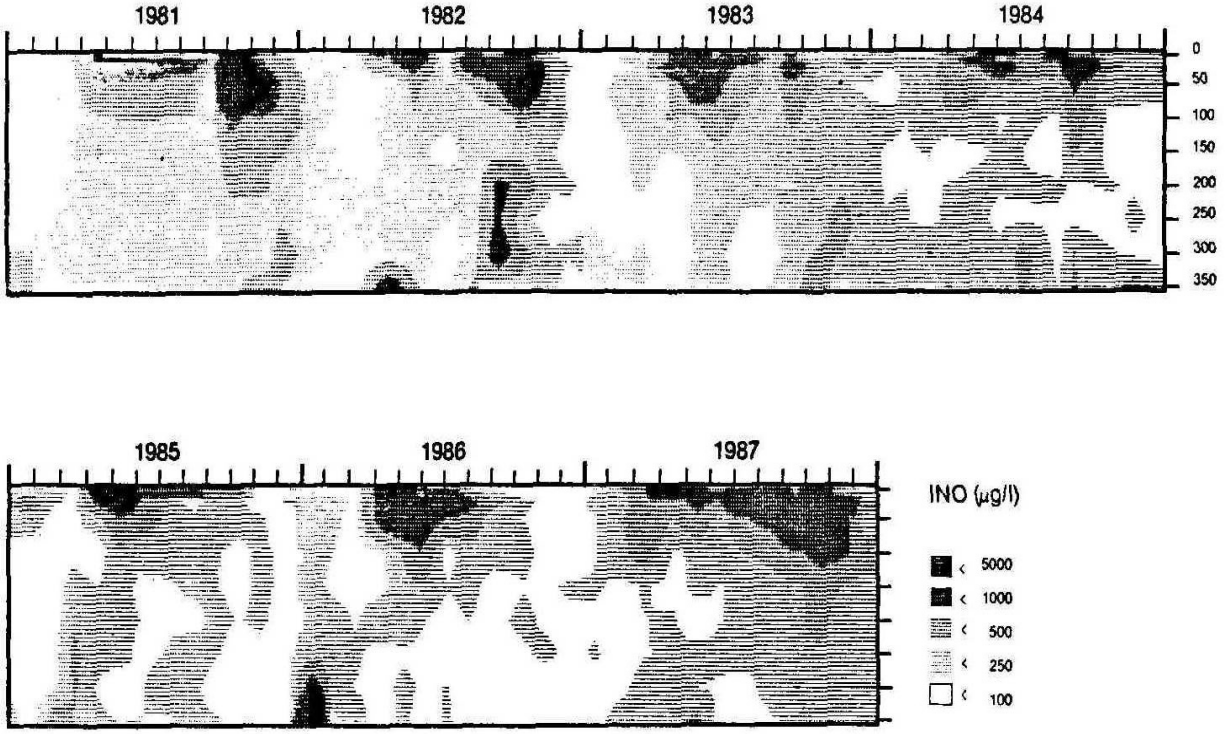


Fig. 3. Variazioni spaziali e temporali della concentrazione di particellato inorganico dal 1981 al 1987

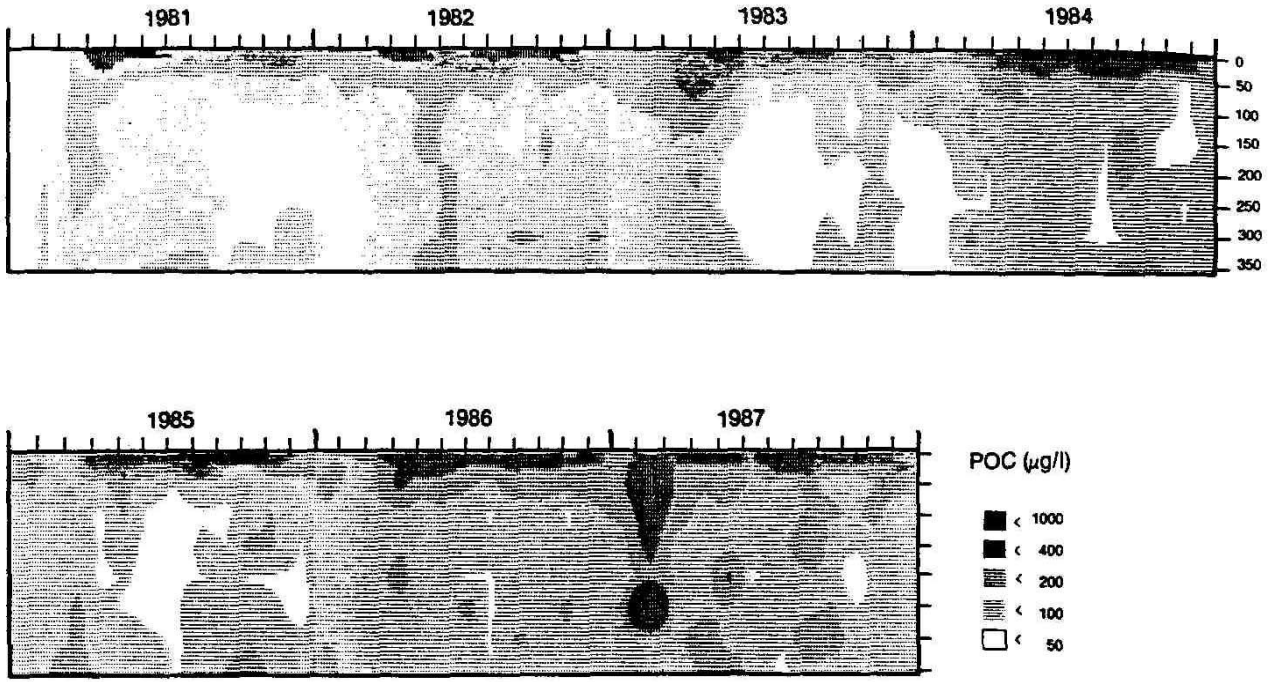


Fig. 2. Variazioni spaziali e temporali della concentrazione di POC dal 1981 al 1987

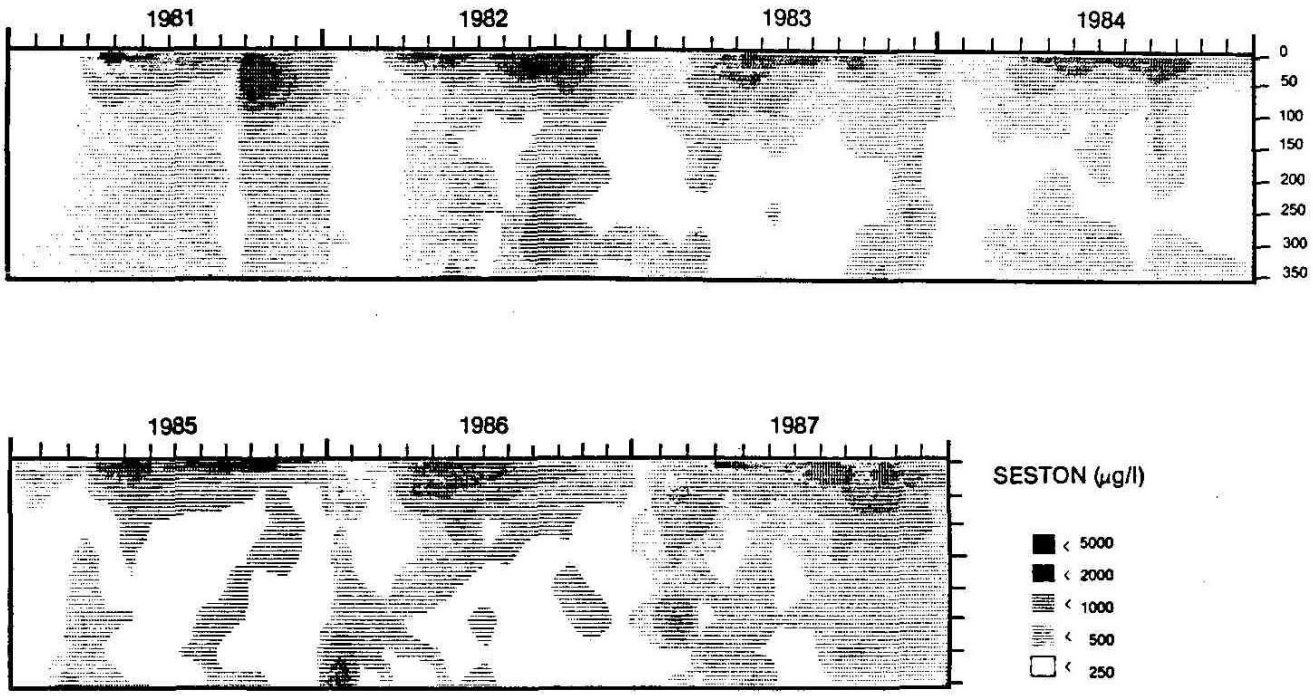


Fig. 1. Variazioni spaziali e temporali della concentrazione di seston dal 1981 al 1987

Le concentrazioni del seston (fig.l) variano da valori minimi di 100 µg/l a valori massimi di 5000 µg/l. Al di sotto dei 50 m e fino ai 350 m è visibile la zona delle basse concentrazioni di materiale particellato, ove sono occasionalmente presenti "patches" a concentrazione più elevata, probabilmente costituite da seston alloctono. Fino ai 25-50 m si delinea, invece, la zona soggetta alle fluttuazioni stagionali di produzione e dove, quindi, si riscontrano le concentrazioni più elevate. Dal 1981 al 1985 sono evidenti due picchi, uno in primavera ed uno in autunno; nel 1986 si nota un solo picco in aprile, mentre nel 1987 si arriva a tre massimi: uno primaverile uno estivo ed uno autunnale. In questo ultimo anno considerato, la concentrazione media annua su tutta la colonna d'acqua supera sia pur di poco quella degli anni precedenti.

Lo stesso andamento del seston si osserva per il POC (fig.2) le concentrazioni del quale variano da 10 a 1000 µg/l. Anche la frazione inorganica del seston (fig.3) mostra le stesse fluttuazioni degli altri due parametri con concentrazioni che passano da 10 a 5000 µg/1. Tuttavia e' interessante notare che i valori di concentrazione più alti del POC tendono a essere più stabili nel tempo che nello spazio (profondità); al contrario, la frazione inorganica, estremamente più variabile nel tempo, e' presente con concentrazioni elevate (1000-5000 µg/l) anche fino a 100-150 m.

Osservando la mappa della clorofilla (fig. 4) sì può innanzitutto notare una zona al disotto dei 100-150 m ove questa molecola è presente con concentrazioni pressoché nulle (0.1-1 µg/1). Fa eccezione il mese di aprile del 1981, anno della piena circolazione, durante il quale si trovarono concentrazioni, anche di 3 µg/1 a 250-300 metri, e la primavera del .1983, quando si ebbero alte concentrazioni fino a notevoli profondità. Per quanto riguarda lo strato dai 50 metri alla superficie, il trend di questo parametro ricalca molto bene quello del POC. Le sue variazioni nel tempo sono pero' più marcate per le fioriture e i repentini decadimenti tipici del popolamento algale. Concentrazioni elevate di 27 e 32 µg/1, sono state raggiunte soltanto nell'aprile del 1981 e del 1982.

La marcata stagionalità che ha caratterizzato, negli strati più prossimi alla superficie, i parametri fin qui esaminati, non e' invece così evidente per il DOC (fig.5). Inoltre, questo parametro nel 1983 era frequentemente presente con valori compresi tra 1.5 e 2.4 mg/1, mentre nel 1987 le concentrazioni più comunemente reperite sono state quelle da

0.8 a 1.5 mg/1.

La distribuzione del DOC lungo la colonna d'acqua si può considerare piuttosto omogenea; non si deve dimenticare che il DOC e' costituito da carbonio in fase disciolta o finemente particellata (<1 um) e quindi e' estremamente più disperso nella massa d'acqua rispetto al materiale particellato con dimensioni superiori al micron.

Le alte concentrazioni presenti nel 1983, con molta probabilità dovute a DOC di origine alloctona, non saranno più ritrovate, almeno con tale massiccia imponenza negli anni successivi. Nel 1983 sono, infatti, entrati in funzione alcuni importanti impianti di depurazione nella parte svizzera del bacino, cioè1 circa 30 Km a monte della nostra stazione di prelievo, che hanno reso possibile una riduzione dell'apporto al lago di DOC stimata, per il 1986, attorno al 13% del totale (Righetti, com. pers.)

Alla riduzione del carico alloctono di DOC, e1 seguita una diminuizione delle concentrazioni di DOC in lago. A questo risultato ha concorso anche l'intensa attività eterotrofa esplicata dai popolamenti batterici particolarmente nel luglio del 1984, evento già studiato e descritto (Bertoni, Gallieri, Contesini, 1985} e per effetto del quale la concentrazione del DOC è stata drasticamente ridotta lungo tutta la colonna d'acqua.

Va sottolineato che anche la frazione organica particellata e' trattenuta, e con una efficienza probabilmente migliore della frazione disciolta, dagli impianti di depurazione siti in territorio svizzero (Righetti, com. pers.}. Tuttavia la dispersione del particellato alloctono lungo l'asse del lago è ostacolata dalla sedimentazione, diversamente da quanto avviene per il disciolto. Questo fatto fa si che soltanto occasionalmente tale particellato alloctono, proveniente dall'estemità nord del lago, possa arrivare ad influenzare, la colonna d'acqua dove si sono effettuati i campionamenti.

L'elaborazione statistica dei dati, trattati mediante algoritmi di ranking per permetterne la valutazione con test parametrici (Iman, Conover 1979) si è articolata in tre tappe. Dapprima sono state effettuate analisi di regressione sul tempo dei parametri studiati per verificare la significatività di aumenti o diminuizioni. Si è trovata una diminuzione altamente significativa (r= -0.685, G.L. 598) della concentrazione di DOC ed un aumento significativo (r= 0.100 G.L. 838) della concentrazione di POC. Mentre per la DOC la

diminuzione nel tempo era evidente già osservando la relativa mappa, non altrettanto immediatamente visibile erano state le variazioni di POC. A nostro parere gli aumenti di quest'ultimo parametro, sebbene supportati dall'analisi statistica, debbono tuttavia essere interpretati come una tendenza dovuta a particolarità annuali piuttosto che allo stabilizzarsi di situazioni definitive di maggiore concentra-zione. Eventi puntiformi, come le alte concentrazioni di POC probabilmente alloctono riscontrate nel febbraio '87, possono condurre a significatività che bisogna valutare criticamente per non dare false interpretazioni della realtà.

Un'altra elaborazione e' stata quella del calcolo degli r parziali per stimare il grado di associazione esistente tra due parametri escludendo la quota di variabilità attribuibile alla loro associazione, con gli altri, I risultati sono illustrati nella seguente tabella:

	POC	CHL	INO	DOC	
POC	1				
CHL	0.653	1			
INO	0.208	0.038	1		
DOC	0.047	0.258	0.038	1	(G.L.596)

La clorofilla risulta correlata significativamente con il POC ed è quindi ancora una volta confermata l'origine prevalentemente autoctona del POC, già ipotizzata in precedenti lavori basati su un minor numero di dati (Bertoni e Callieri, 1982). La correlazione significativa tra clorofilla e DOC sembra soprattutto dovuta alla diminuizione, dal 1985 in poi, del DOC alloctono e quindi al prevalere di quello autoctono, legato alle vicende del popolamento algale. Questo quadro e' particolarmente chiaro dall'esame della Fig.6, ove sono stati messi in grafico i valori medi integrati sulla colonna d'acqua fino a 25 metri per la clorofilla, il POC e il DOC. E' subito evidente, considerando questa zona del lago nella quale le variazioni legate alle stagioni sono più1 macroscopiche, l'andamento sincrono della clorofilla e del POC dal 1981 al 1987. Osservando invece le fluttuazioni del DOC, questo parametro mostra un decremento dal 1983 al 1984 e, in seguito, fluttuazioni sincrone con quelle di POC e di clorofilla. Questa evoluzione starebbe ad indicare una aumentata importanza relativa del DOC legato alla produzione algale, col cessare dell'ingresso a lago di DOC alloctono.

L'ultima elaborazione e1 stata fatta con lo scopo di verificare statisticamente l'esistenza di una eventuale

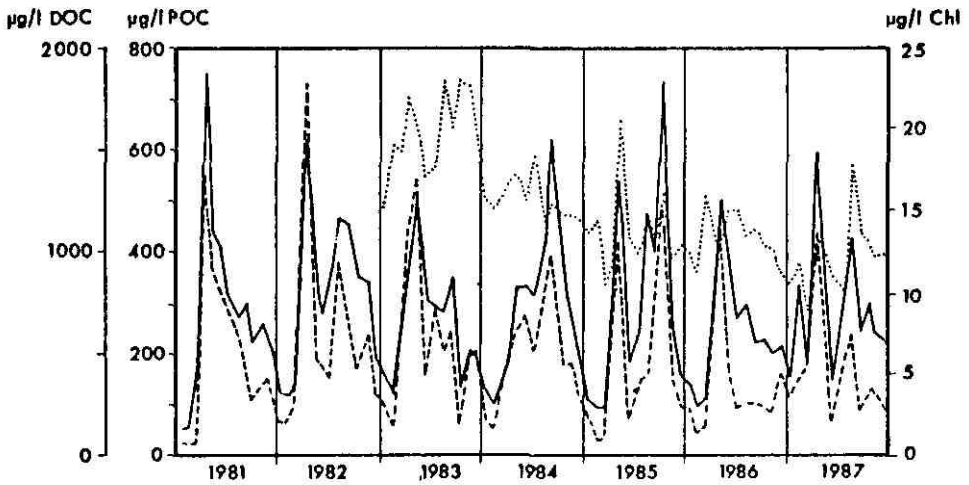


Fig.6. Valori medi integrati da O a 25m per la clorofilla (- - - - -), il POC (———), il DOC (....).

ciclicità dei parametri studiati. Perciò utilizzando i valori medi integrati fino ai 25 metri si sono costruiti dei correlogrammi con i valori degli r calcolati autocorrelando tutti i dati di un parametro progressivamente sfasati da 1 a 36 mesi. In fig.7 sono presentati i correlogrammi del seston, della sua frazione inorganica e del POC. Per questi parametri si ottengono r significativi ($P<0.01$) con alternanze di segno ogni sei mesi. Ogni dodici mesi si chiude, quindi, un ciclo e si ritorna in situazioni sovrapponiteli ogni anno. Questa ciclicità evidente anche per la clorofilla (fig.8), è invece assente per il DOC, poiché la sua componente alloctona, importante per una parte cospicua del periodo di studio, ne maschera i ritmi legati alla vita del lago.

4. CONCLUSIONI

I dati prima illustrati costituiscono la più lunga serie temporale attualmente disponibile su alcuni compartimenti del ciclo del carbonio organico nel Lago Maggiore. Essi, quindi, consentono di esprimere il giudizio più realistico possibile sull'evoluzione recente di tali compartimenti e di formulare ipotesi sull'origine, l'utilizzo e il destino della sostanza organica nel Lago Maggiore. In particolare, dal 1981 al 1987 le frazioni particellata e disciolta del

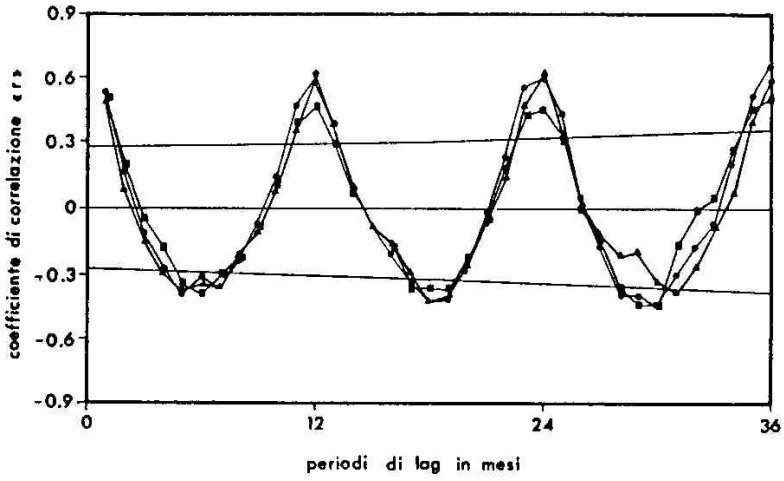


Fig. 7. Correlogrammi relativi al Seston (—●—), alla sua frazione inorganica (—■—) e al POC (—▲—) . Il livello critico di significatività per P<0.001 è indicato dalle due linee continue.

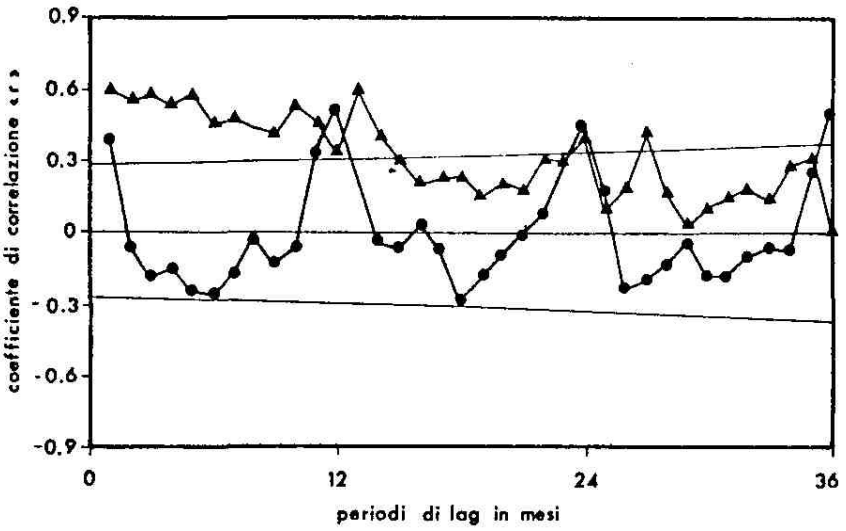


Fig. 8. Correlogrammi relativi alla clorofilla (—●—) ed al DOC (—▲—). I1 livello critico di significatività per P<0.001 è indicato dalle due linee continue.

carbonio organico hanno mostrato, alla stazione di campionamento da noi considerata, un "trend" evolutivo diverso.
Si e', infatti, evidenziata una drastica diminuzione delle con-centrazioni di DOC, con valori medi annui integrati sulla colonna d'acqua che, dal 1983 al 1987, si sono ridotti del 42%. Questa riduzione e', molto probabilmente, legata all'attività' degli impianti di depurazione. Si può, allora, affermare che la sostanza organica con dimensioni inferiori a 1 um era, agli inizi degli anni '80, prevalentemente di origine alloctona; questa affermazione e' suffragata dall'assenza per il DOC, almeno fino al 1985, di una ciclicità annuale legata alle vicende climatiche. Una tale ciclicità ha, invece, caratterizzato la frazione particellata e la clorofilla ; inoltre, quest'ultimo parametro, indice della densità1 del popolamento fitoplanctonico, è risultato sempre significativamente correlato con il POC. Bisogna perciò concludere che il materiale organico particellato è prevalentemente di origine autoctona. Riteniamo che un così diverso impatto delle componenti particellata e disciolta del materiale organico alloctono sulla stazione di campionamento da noi studiata sia, per gran parte, imputabile alla diversa diffusibilità1 delle due frazioni.

BIBLIOGRAFIA

AMBROSETTI W., L. BARBANTI, R. MOSELLO, A. ROLLA, D. RUGGIU. 1983. Mescolamento, caratteristiche chimiche, fitoplancton e situazione trofica nei laghi profondi subalpini. Collana del P.F. "Promozione della qualità dell'ambiente", AQ/2/20: 71-101.
AMBROSETTI W., L. BARBANTI, A. CALDERONI, R. MOSELLO, A. ROLLA, B. SULIS, G. TARTARI. 1985. Caratteristiche fisiche, chimiche e chimico-fisiche delle acque lacustri. In "Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere. Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore - aspetti limnologici. Campagna quinquennale 1983-1987. Campagna 1985": 53-68.
BERTONI R. 1978. Automatic determination of carbon and nitrogen in suspended matter of natural water with Carlo Erba 1106 CHN elemental analyzer. Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 36: 297-301.
BERTONI R. and C. CALLIERI. 1982. Yearly variations of parameters involved in the organic carbon cycle in pelagic and littoral zone of Lago Maggiore. Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 40: 181-199.
BERTONI R., C. CALLIERI e M. CONTESINI. 1985. Detrito organico e popolamenti batterici eterotrofi. In: "Commissione Interna-

zionale per la protezione delle acque italo-svizzere. Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore - aspetti limnologici. Campagna quinquennale 1983-1987. Campagna 1984: 73-80.
BONOMI G., M. GERLETTI, E. INDRI and L. TONOLLI. 1968. Report on Lake Maggiore. In: Uppsala Symposium on eutrophication in large lakes and impoundments. Uppsala, May 1968, OECD: 299-341.
COMMISSIONE INTERNAZIONALE PER LA PROTEZIONE DELLE ACQUE ITALO-SVIZZERE. Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore -aspetti limnologici. Campagna 1983, 1984, 1985, 1986.
HOLM-HANSEN O. e B.RIEMANN. 1978. Chlorophyll-a determination: improvements in methodology. Oikos, 30: 438- 447.
IMAN R.L. and W.J.CONOVER. 1979. The use of the rank transform in regression. Technometrics, 21: 499- 509.
LENZ J. 1977. Seston and its main components. In: "Microbial ecology of a brackish water environment", G. Rheinheimer Ed., Ecological Studies 25, 37-60.
TALLING J.F. and D. DRIVER. 1961. Some problems in the estimation of Chlorophyll a in phytoplankton. 10th Pac. Sci. Cong., Honolulu: 142-146.

ATTI DELL'8°CONGRESSO A.I.O.L.
PALLANZA 1-3 GIUGNO 1988 da pag. 185 a pag 190

LA PIATTAFORMA TIRRENICA NELL'AREA DI CAPO CIRCEO. UN ESEMPIO DI EVOLUZIONE OLOCENICA PARTICOLARMENTE RAPIDA EVIDENZIA TA DALLE MICROFAUNE

A.M. BORSETTI, L. CAPOTONDI

Istituto per la Geologia Marina - C.N.R. Bologna

SUMMARY

The paleoecological study of the foraminifera content from nine cores collected in Capo Circeo area (Tyrrhenian Sea), allow us to reconstruct the geological Holocene evolution of this part of the Continental shelf. An alternative hypothesis in respect to the model based on seismic profiles interpretation, is here proposed.

Lo studio dei profili sismici (Sparker 1,30 kj, 3,5 KHz) e delle microfaune presenti in alcune carote {Argnani et al., 1988) della piattaforma tirrenica, tra la foce del Tevere e Capo Circeo, ha portato a questa ricostruzione del. l'evoluzione olocenica dell'area.

Durante 1'ultimo glaciale 1'abbassamento del livello marino nell'area è stato di circa 100-120 m; ciò ha provocato l'emersione della sola parte interna della piattaforma.

Il successivo innalzamento del livello marino è stato accompagnato inizialmente da un'intensa idrodinamica che ha allontanato i sedimenti fini sovrastanti i depositi grossolani della linea di riva.

Una volta raggiunto 1'attuale livello marino, la dinamica del fondo è diminuita ed è ripresa la sedimentazione.

Nessun controllo tettonico è richiesto per spiegare lo attuale assetto della piattaforma.

Lo studio delle microfaune di un transetto di nove carote (fig. 1) al traverso di Capo Circeo e di una carota prelevata lungo la scarpata a N della foce del fiume Tevere (Fig. 1) porta a formulare una ipotesi diversa, basata su queste osservazioni. .

-Le carote, prelevate a profondità variabili da 100 a

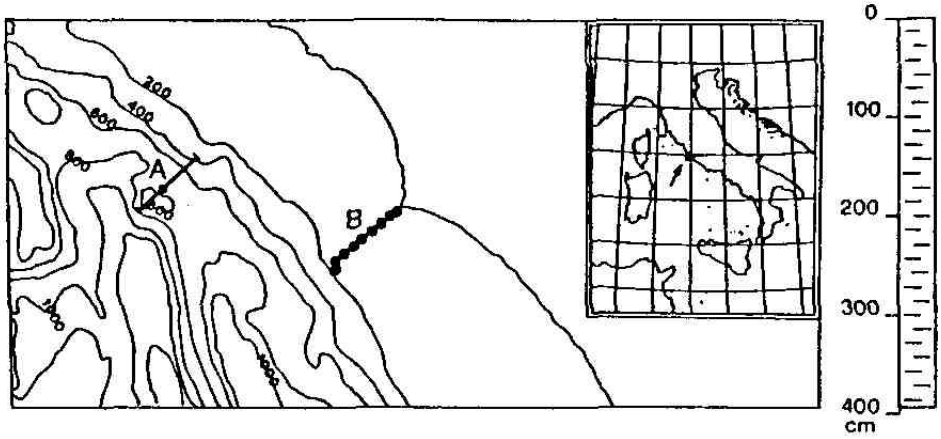


Fig. 1 - Ubicazione delle carote studiate: A) ubicazione della carota AC85-4, B) ubicazione delle carote AC85-8,9,10,11,12,13,14, 15,16; per maggiore dettaglio vedi figura 2.

120 m, (fig.. 2) presentano tutte evidenze di una linea di riva con Molluschi sia interi che in frammenti e clasti arrotondati.
I Foraminiferi associati sono praticamente soltanto: Ammonia beccari, Elphidium crispum ed Amphistegina sp. (taxon quest'ultimo, che non ci risulta finora citato nel Mediterraneo occidentale in sedimenti così recenti). Seguono, a volte a diretto contatto con i sedimenti grossolani, a volte dopo 20-30 cm di sedimento fine, fanghi a Foraminiferi planctonici.

-La carota AG 85-14 è quasi interamente costituita da un coralligeno analogo a quello descritto da Colantoni e Gallignani (1975) nella piattaforma dell'Adriatico sud-occidentale. Vale a dire da una formazione biogena composta prevalentemente da Alghe calcaree cui si associano Briozoi, Serpulidi ecc..

Verso il top il coralligeno tende a diminuire ed è sostituito da sedimenti limosi. Le microfaune si mantengono del tipo litorale e non sono presenti Foraminiferi planctonici.

-Le carote AG 85-15 e 16 sono costituite quasi interamente da materiale risedimentato di tipo sia glaciale che post-glaciale.

-Il confronto tra le faune plactoniche presenti nelle carote AG 85-9,10,11,12,13 e quelle della carota AG 85-4 (Fig. 3A) prelevata in una piccola depressione lungo la scarpata a N della foce del Tevere, tarata con datazioni 14C e

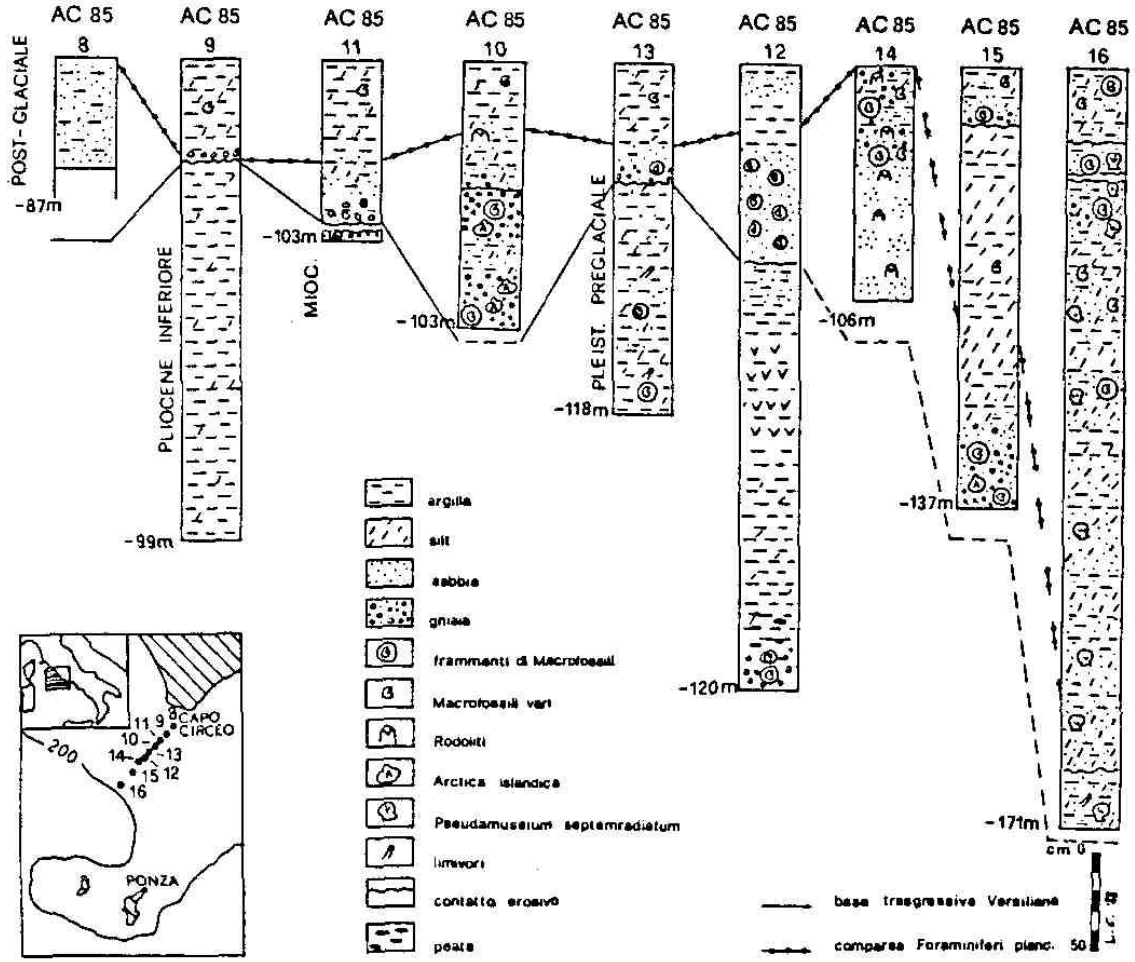


Fig. 2 - Ubicazione e litologia delle carote AG 85-8,9,10,11,12,13,14,15 e 16.

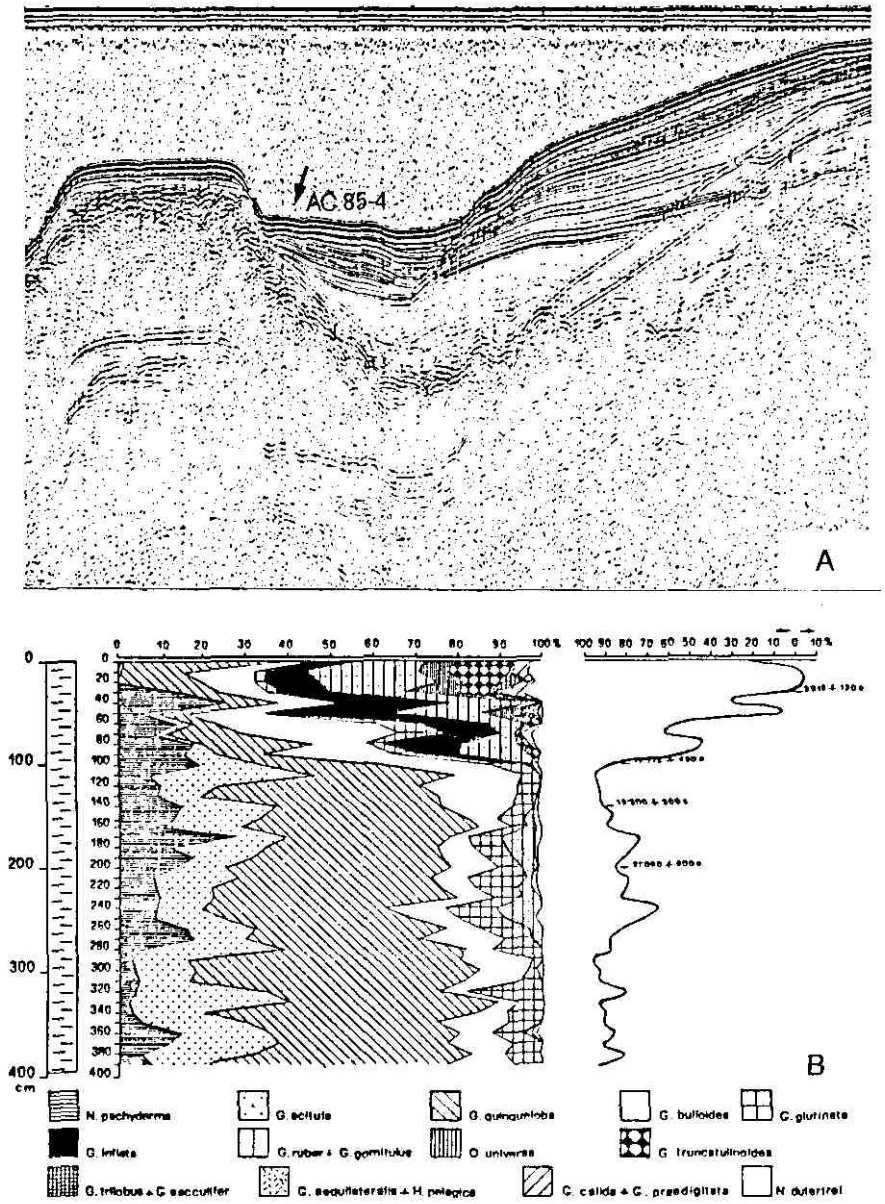


Fig. 3A - Profili sismico e ubicazione della carota AC 85-4 ; B - Diagramma cumulativo delle associazioni a Foraminiferi planctonici presenti nella carota AC 85-4 e relativa curva paleoclimatica.

le curve degli isotopi dell'Ossigeno e del Carbonio (Fig. 3B) ci permette di datare il sedimento a non più di 6.000 anni B.P. Infatti, è tra 20 e 40 cm dal top della carota AC 85-4 che riscontriamo frequenze analoghe di Globigeri-noides ruber, Orbulina universa, Globigerinella spp. e Hastigerina spp.

L'ipotesi qui formulata è pertanto la seguente.

Nell'area in esame la trasgressione versiliana è stata tardiva (attorno ai 6.000 anni B.P.). Non solo le forme planctoniche sono infatti indicative di un clima più caldo dell'attuale, ma lo sono anche quelle bentoniche presenti nei livelli a macrofossili e contenenti Amphistegina sp., . tuttora vivente solo nel Peloponneso e intorno a Creta (Blanc-Vernet 1969) .

L’assenza di associazioni da circa-littorali a neriti che può essere dovuta ad una componente tettonica che ha accelerato la subsidenza dell'area.

Il coralligeno della carota AC 85-14 rappresenta la sedimentazione di piattaforma esterna che si deve essere mantenuta tale fino a tempi molto recenti; la fine del suo accrescimento è probabilmente coincisa, come in Adriatico, con 1'aumentata torbidità delle acque. Granuli di tale coralligeno si trovano nelle torbide presenti in piana batiale in sedimenti posteriori all'ultimo ottimo climatico (dati non pubblicati).

Il materiale risedimentato, costituente quasi per intero le carote AC 85-15 e 16, indica che tale area è tuttora in abbassamento e richiama sedimenti più interni sia attuali, sia dell'ultimo glaciale.

Possiamo dedurre che esiste tuttora una certa difficoltà nell'interpretare l'evoluzione della piattaforma pur disponendo di dati acquisiti con metodologie diverse. Le conclusioni generalmente raggiunte dagli A.A. sono facilmente influenzate dal tipo di approccio utilizzato per lo studio.

Ringraziamenti.

Ringraziamo vivamente F. Ricci Lucchi dell'Università di Bologna, P. Colantoni dell'Università di Urbino e P. Curzi dell'Università di Ancona, per le costruttive discussioni e per la lettura critica del manoscritto.

Contributo n. 703 dell'Istituto per la Geologia Marina del C.N.R.

BIBLIOGRAFIA

Argnani A., Marani M., Taviani M., Trincardi F,, Borsetti A.M. e Zitellini N.; 1988 - Pleistocene progradation and post-glacial events of the NE Tyrrhenian continental shelf between the Tiber delta and Capo Circeo (in stampa).

Blanc-Vernet L.; 1969 - Contribution a l'etude des Foraminiferes de Mediterranée. Relations entre la microfaune et le sédiment. Biocenoses actuelles, thanatocenoses pliocènes et quaternaires. Tesi di dottorato, Università di Marsiglia.

Colantoni P. e Gallignani P.; 1975 - Sea foor types and re-cent sedimentation on the continental shelf between Manfredonia and Trani (Southern Adriatic Sea). VIII Symposium, Underwater Association, Londra.

ATTI DELL'8°CONGRESSO A.I.O.L.
PALLANZA 1-3 GIUGNO 1988 da pag. 191 a pag. 212

EFFETTI DELLA RISOSPENSIONE INDOTTA DA VENTO SULLE CONCENTRAZIONI E DIMENSIONI DEL PARTICELIATO NEL BACINO DI LIGNANO (LAGUNA DI MARANO -ADRIATICO SETTENTRIONALE)

A. BRAMBATI, G.P. FANZUTTI, F. FINOCCHIARO

Istituto di Geologia e Paleontologia –UNIVERSITÀ di TRIESTE-

ABSTRACT

This paper describes the areal distribution and grain size characteristics of suspended matter in the lagoonal basin of Lignano (Marano lagoon) , during and immediately after a short storm (16/09/1985) .

The percentages of suspended matter measured in the course of the flood-tide cycle are particularly high in the western sector of the basin, where concentrations greater than. 40 mg/1 can be reached, whereas in the rest of the basin the measured values are lower and more evenly distributed (11-15 mg/1). This is probably due to the orientation of the basin with respect to the wind direction (NNE), as well as the sea level change during ebb and flood phases. On average, during the ebb-tide, the concentration values are lower. Furthermore, the distribution of concentrations within the basin is restored, with an increase of percentages starting from the lagoon inlet to the perilagoonal margina. Also the particulate mean grain-size is related to the wind speed.

Some measurements of the concentration of suspended matter in the lagoon inlet, at different stages of the tide cycle, have indicated that the concentration values regarding water masses outflowing from the basin are grater then those measured during the flood tide. In both cases, however, the percentages are definitely higher than those estimated with calm conditions or moderate breezes.

Lavoro eseguito con il contributo MPI 60% "Evoluzione degli ambienti umidi italiani" (resp. A. Brambati).

An attempt has been made at defining the overall quantity of suspended mattar mobilized in the basin during one tide cycle, in these particular conditions.

The examination of the frequency of days characterized by wind of the same or greater intensity as the day of the experiment by using the data, available in a pluriennal series, of the Trieste station, makes possible to evaluate the incidence of these phenomena on the sedimentological regime of the lagoonal basin.

RIASSUNTO

Nel lavoro vengono descritte la distribuzione e le caratteristiche dimensionali del particellato sospeso nel bacino lagunare di Lagnano (Laguna di Marano, Udine) durante e immediatamente dopo una breve perturbazione atmosferica nella giornata del 16 settembre 1985.

I tenori di particellato sospeso misurati durante il semiciclo di marea crescente sono particolarmente elevati nel settore occidentale del bacino, ove si raggiungono concentrazioni superiori a 40 mg/1, mentre nel settore centro-orientale i valori misurati sono inferiori e più uniformi (11-15 mg/1).

In marea calante, i valori di concentrazione sono, mediamente, inferiori a quelli riscontrati in marea crescente. Si ripristina, inoltre, la "normale" distribuzione delle concentrazioni all'interno del bacino, con un aumento dei tenori a partire dalla bocca verso i margini perilagunari.

Alcune determinazioni della concentrazione del particellato alla bocca lagunare, in corrispondenza di diversi momenti del ciclo di marea, hanno evidenziato che i valori di concentrazione relativi a masse d'acqua in uscita dal bacino, sono maggiori di quelli misurati in marea crescente. Tuttavia, in entrambi i casi, i tenori sono nettamente superiori a quelli riscontrati con calma di vento o brezze moderate .

Anche le dimensioni medie del particellato sospeso sono in relazione con l'intensità del vento.

E' stata tentata una stima delle quantità complessive di particellato movimentato nel bacino durante un ciclo di marea.

1. INTRODUZIONE

Le caratteristiche e la distribuzione del particellato sospeso nell'Adriatico settentrionale, specie nelle zone costiere e lagunari, sono da tempo oggetto di studio da parte di numerosi Autori (Faganeli e Malej, 1981; Brambati et al., 1983; Gilmartin e Revelante, 1983; Barillari et al., 1985; Fonda Umani et al., 1985; Boldrin et al., 1987; Fanzutti et al., 1987; Franco et al., 1987; Faganeli et al., 1989; Franco et al., 1989). Si possono quindi ritenere comprese, a grandi linee, le fenomenologie ed il campo dei valori medi con cui esse si manifestano. Tuttavia sfuggono ancora alla quantificazione ed alla valutazione di incidenza fenomeni singolari legati a particolari situazioni meteomarine ed idrologiche (mareggiate, piene fluviali, acque alte, etc.) .

Scopo del lavoro è la valutazione di quanto il moto ondoso generato da vento interferisca con la distribuzione del particellato all'interno di un bacino lagunare e incida sul bilancio del materiale scambiato tra il bacino stesso e la zona costiera antistante.
A tal fine vengono analizzate, in peculiari situazioni meteorologiche, la distribuzione delle concentrazioni e le caratteristiche dimensionali del particellato sospeso entro il bacino di Lignano, il più occidentale dei bacini delle lagune di Grado e Marano.

Tra i principali parametri che condizionano la distribuzione areale delle concentrazioni e delle caratteristiche dimensionali e composizionali del particellato negli ambienti lagunari terrigeni si possono ricordare:
- regime dei corsi d'acqua con foce nel bacino lagunare e nei litorali limitrofi;
- correnti di marea;
- correnti di deriva ;
- caratteristiche del moto ondoso nel bacino e nel tratto di mare antistante;
- cicli biologici stagionali all'interno della laguna.

Il giorno di campionatura prescelto (16 settembre 1985) è stato preceduto da tempo stabile e calma di mare. La piovosità mensile era prossima al minimo centennale, e quindi risultavano ridotti gli apporti di acque dolci continentali. Ricerche svolte negli anni precedenti non segnalano, durante il periodo tardo-estivo, massimi fitoplanctonici. {Fonda Umani et al., 1982; Fonda Umani, Specchi, 1983).

In queste particolari condizioni i parametri meteomari-

ni (vento e moto ondoso) sono risultati i fattori che maggiormente hanno influenzato i tenori e le dimensioni del particellato sospeso. E' infatti noto che i fenomeni di risospensione indotti da onde vive sono particolarmente evidenti su bassi ed estesi fondali quali i lagunari, con intensa mobilizzazione dei sedimenti di fondo. Questo fenomeno è stato messo in evidenza, ad esempio, da Anderson (1972) e, per la laguna di Venezia, da Cavaleri (1980).

L'esame della frequenza annua delle giornate con intensità del vento uguale o maggiore a quella misurata il giorno dell'esperimento, utilizzando i dati della stazione di Trieste, permette di stimare l'incidenza di questi fenomeni sul bilancio di massa e sul regime sedimentologico del bacino lagunare.

2. MATERIALI E METODI

2.1

Le stazioni di campionatura (Fig. 1 e 2} sono ubicate in corrispondenza della bocca lagunare, lungo i canali principali, attraverso cui ai attuano prevalentemente gli scambi delle masse d'acqua tra mare e laguna, nonché la diffusione delle acque dolci all'interno del bacino. Una stazione è posta alla foce dello Stella, fiume di risorgiva, che risulta il maggior tributario dell'intero sistema lagunare, con una portata media, relativa al periodo 1926-1959, di 33.6 m^3/s (Magistrato alle Acque, 1980).

L'acqua di superficie è stata prelevata utilizzando bottiglie di polietilene lineare; per il campionamento del corpo d'acqua in profondità sono state impiegate bottiglie tipo Niskin da 2 dm^3. Per l'analisi dimensionale sono stati prelevati campioni da 250 cm^3, fissati con circa 3 cm^3 formalina al 40%.

Per la determinazione ponderale del particellato si è proceduto alla filtrazione di circa 1.5 diri3 di campione su filtri Millipore HA da 0.45 µm, seguendo le metodiche introdotte da Banse et al. (1963), riprese da Strickland, Parsons (1965) e modificate da Brambati et al. (1983).

L'errore complessivo (Lagonegro, Sessa Lagonegro, 1982), dovuto alla variabilità delle pesate, determinato sui campioni qui considerati e su altri relativi alla stessa area, per complessivi 50 campioni è pari a 0.05±0.01 mg, il valore massimo è 0.08 mg. Il coefficiente di variazione (Spiegel, 1976) è pari a 1.1±0.9 % e non supera mai il 4,0 %

Le analisi dimensionali sul particellato sospeso sono state eseguite con Coulter Counter, mod. D-Industrial., con capillare da 140 µm. Le curve granulometriche sono state calcolate nell'intervallo da 64 a 4 µm (4-8 phi), suddiviso in 8 classi dimensionali ampie 1/2 unità phi.

Per le misure di corrente è stato utilizzato un correntometro N.B.A. DNC-3M; le misure di temperatura e salinità sono state eseguite con salinometro Beckmann R3-5.

2.2 Condizioni meteorologiche

I dati meteorologici a Lignano nei giorni di campionatura ed immediatamente precedenti sono stati messi a disposizione dall'Istituto di Fisica dell'Università di Udine (prof. M. Ceschia, comunicazione personale).

I 3 mm di precipitazione mensile a Lignano, Confrontati con i 100-110 mm riportati per alcune località della parte occidentale dell'arco lagunare da Gentilli (1964), evidenziano 1'eccezionale siccità del settembre 1985. Con riferimento alla stazione di Trieste, di cui si dispone di serie storielle di dati meteorologici, il valore medio di piovosità dello stesso mese (0.4 mm; I.T.S., 1986) è risultato prossimo al minimo assoluto registrato negli ultimi 100 anni (0.2 mm nel 1946; Stravisi, 1975).

I fiumi della regione si trovavano in regime di forte magra; ad esempio il livello medio mensile del Tagliamento a Latisana (dr. F. Franchi, comunicazione personale) è risultato di - 5 cm sul l.m.m.. I dati pubblicati dalla Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia (1979) indicano, per il mese di giugno, una probabilità del 95 % di raggiungere livelli di +25 cm e del 50 % di raggiungere +80 cm.

La giornata di campionatura, a Lignano, è coincisa con l'unica giornata piovosa del mese (2.9 mm); il peggioramento delle condizioni meteorologiche è iniziato già il giorno 12, con la diminuzione della pressione atmosferica dai 1022.6 mbar del giorno 11 a 1019.0 e delle ore di insolazione (5.3 contro le 8.4 del giorno precedente): la diminuzione della pressione è continuata fina al giorno 15, giorno in cui sono stati registrati 1014.3 mbar.

Le variazioni dell'intensità del vento il giorno 16 vengono presentate in fig. 3B: le velocità tendono a diminuire nel corso della giornata; la raffica di maggiore entità (1.9 m/s è stata registrata tra le 6 e 7 del mattino, dopo le 13 le raffiche più intense non hanno superato 1.1 m/s. Le direzioni di provenienza risultano costantemente dal 1° qua-

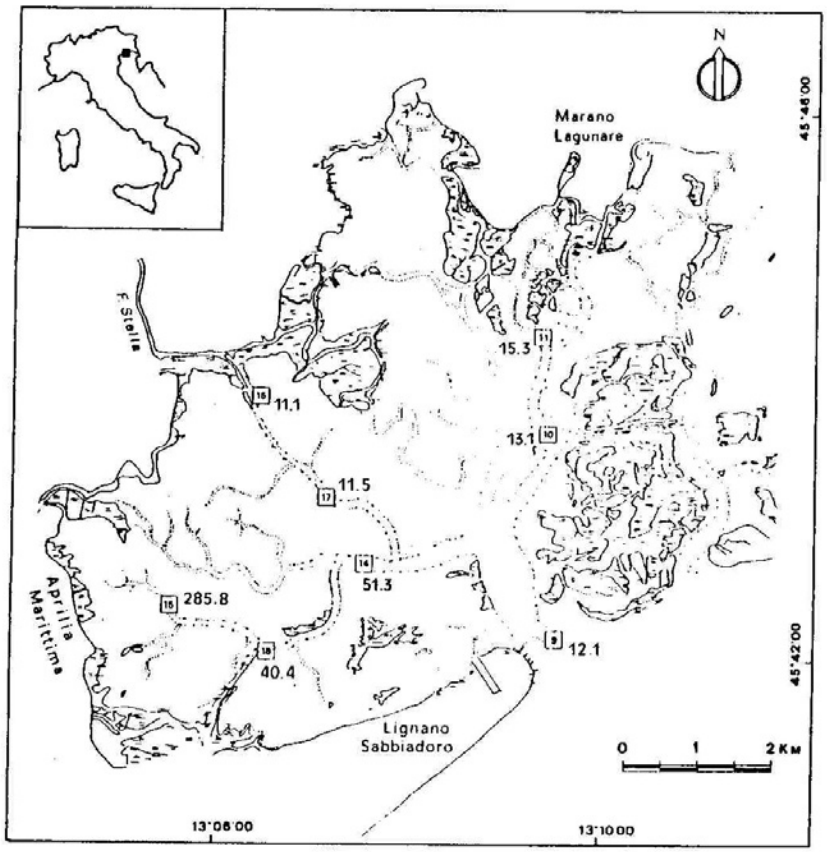


Fig. 1 - Bacino di Lagnano, 16-9-1985. Concentrazioni (mg/l) del particellato sospeso nelle acque superficiali in marea crescente. I numeri inseriti nei quadrati identificano le stazioni di campionamento.

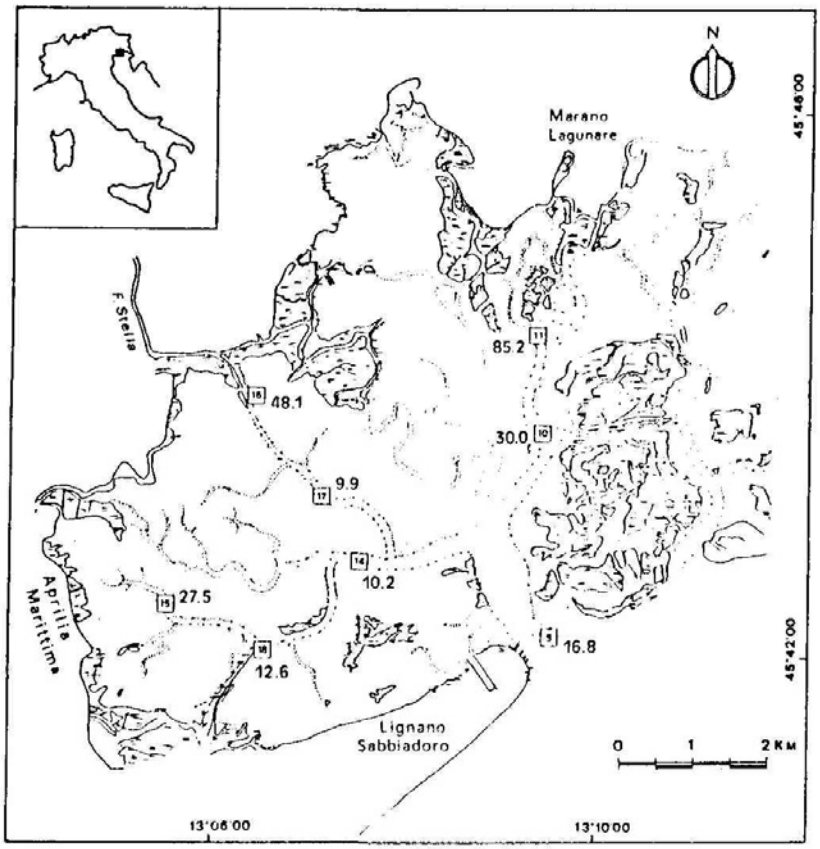


Fig. 2 - Bacino di Lignano, 16-9-1985. Concentrazioni (mg/1) del particellato sospeso nelle acque superficiali in marea calante. I numeri inseriti nei quadrati identificano le stazioni di campionamento.

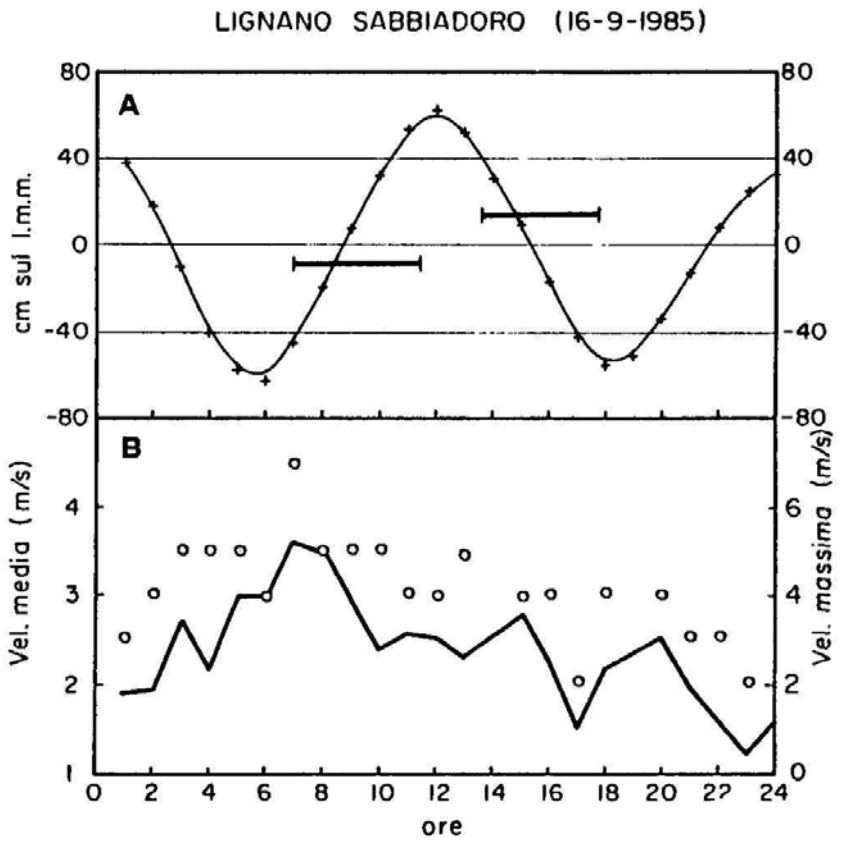


Fig. 3 - Lignano, 16-9-1985. A: mareogramma registrato alla Darsena (le barre orizzontali indicano l'intervallo temporale di campionatura). B: velocità media oraria (linea continua) e massima (cerchio) del vento.

drante, con prevalenza del settore NNE. Nelle prime ore del mattino sono state osservate in laguna altezze d'onda di circa 40-50 cm, con lunghezze d'onda di circa 2.0 m, al limite della frangenza.

Il 16 settembre la velocità media del vento a Trieste è stata di 4.5 m/s, quella massima di 12 m/s. Non essendo disponibili dati anemometrici in serie storica a Lignano, è stata calcolata la frequenza percentuale annua di giornate con velocità del vento uguali o maggiori a quelle osservate il giorno 16, utilizzando i dati della stazione di Trieste, distante circa 50 km (Tab. 1).

TABELLA 1

Anno	Tutti i quadranti (giorni)	%	N-E (giorni)	%
1976	36	9.9	36	100.0
1977	54	14.8	48	88.9
1978	88	24.1	79	89.8
1979	96	26.3	78	81.2
1980	90	24.6	88	97.8
1981	70	19.2	61	87.1
1982	86	23.6	83	96.5
1983	68	18.6	63	92.6
1984	92	25.2	84	91.3
1985	93	25.5	86	92.5

Tab. 1 - Stazione di Trieste. Numero di giorni all'anno con velocità media del vento maggiore di 4.5 m/s e velocità massima maggiore di 12 m/s per tutti i quadranti di provenienza e relativa percentuale annua; numero di giorni con direzione di provenienza N-E e percentuale rispetto al numero di eventi della colonna 2.

Negli ultimi 10 anni (1976-1985) condizioni analoghe a quelle del giorno di campionatura sono state uguagliate o superate per 77.3 giorni/anno. Per quanto attiene alle direzioni di provenienza sono prevalse nettamente quelle del 1° quadrante (tra N e E 70.6 giorni all'anno, pari al 91% degli eventi). Per quanto riguarda infine i valori massimi, va segnalato che vi sono mediamente 8 giornate all'anno con

velocità media del vento maggiore di 10 m/s e 9 giornate con raffiche maggiori di 30 m/s.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

3.1 Concentrazioni del particellato nel bacino lagunare

In fig. 3A è riportato il mareogramma registrato alla Darsena Comunale di Lignano nella giornata di campionatura, con sovrassegnati gli intervalli temporali in cui sono state effettuate le campionature. In Tab. 2 vengono riassunti i più significativi dati rilevati.

In laguna i valori medi di concentrazione variano da 63.2 ± 91.8 in marea crescente a 28.4 ± 26.4 mg/1 in calante, con l'esclusione dei campioni di bocca lagunare e della foce del F. Stella (ST 9 e 16). Le concentrazioni misurate risultano nettamente più elevate, se confrontate con altre disponibili per lo stesso bacino nelle stesse stazioni, riferentesi a differenti condizioni mareografiche e stagionali. Infatti il valore medio osservato durante un semiciclo di calante nel giugno dello stesso anno è di 10.8 ± 3.3 mg/1 ; a novembre il valore medio in crescente è di 11.4 ± 2.3 mg/1, in calante di 13.8 ± 4.1 (Finocchiaro, 1987).

Per un confronto con altri bacini lagunari dell'Alto Adriatico, in inverno, con calma di vento e maree sizigiali, si ricordano i valori di 4.6 mg/1 in bassa e di 2.4 mg/1 in alta marea nel bacino di Grado (Brambati et al., 1983) e i 11.8 ± 5.1 mg/1 ritenuti indicativi di una tipica situazione lagunare estiva per il bacino settentrionale della laguna di Venezia (Boldrin et. al., 1987).

In situazione di marea crescente (fig. 1, Tab. 2) lungo i canali del bacino di Lignano vengono superati 40.4 mg/1 nel settore occidentale del bacino, con un valore estremo, relativo alla stazione 15, di 285.8 mg/1. Per contro nella zona centro-settentrionale le concentrazioni variano tra 11.1 e 15.3 mg/1.

Si osserva quindi una marcata differenziazione tra i tenori del settore centro-settentrionale, confrontabili con quelli riportati in letteratura, e quelli dell'area occidentale, sinora mai segnalati nelle lagune di Grado e Marano. Il valore di picco relativo alla stazione 15 può essere imputato ai fondali particolarmente bassi in questa zona e rimaneggiati per recenti lavori di dragaggio nel canale presso Aprilia Marittima.

TABELLA 2

Sigla Campione	ora prelievo	marea (cm)	T (°C)	S (°/oo)	conc. (mg/l)	corr. (m/s)
		MAREA CRESCENTE				
ST 9 sup	7.10	-41	21.0	29.6	15.4	1.10
ST 15 sup	8.15	-13	19.5	22.4	285.8	0.35
ST 18 sup	8.35	-4	19.5	22.5	40.4	0.35
ST 14 sup	9.00	7	21.2	33.3	51.3	0.45
ST 17 sup	9.30	20	20.5	27.9	11.5	0.25
ST 16 sup	9.45	26	18.3	13.3	11.1	0.35
ST 16 -3m	9.45	"	19.9	22.7	24.8	0.55
ST 10 sup	10.30	44	21.2	33.6	13.1	0.15
ST 10 -2m	10.30	"	21.3	33.9	25.1	0.05
ST 11 sup	11.00	54	20.3	26.1	15.3	0.00
ST 9 sup	11.20	57	-	-	8.7	-
		MAREA CALANTE				
ST 9 sup	13.50	35	21.4	31.7	20.9	0.60
ST 9 -5m	13.50	"	21.5	33.7	20.2	0.45
ST 14 sup	14.45	14	19.7	14.6	10.2	0.30
ST 14 -2m	14.45	"	21.1	28.7	23.3	0.20
ST 18 sup	15.10	5	20.8	22.0	12.6	0.20
ST 15 sup	15.25	-2	20.7	23.7	27.5	0.10
ST 17 sup	15.50	-13	20.0	20.1	9.9	0.25
ST 16 sup	16.05	-19	16.1	2.1	48.1	0.70
ST 16 -3m	16.05	"	16.2	2.9	98.7	0.50
ST 10 sup	16.50	-37	21.3	23.6	30.0	0.40
ST 11 sup	17.10	-44	20.8	24.4	85.2	0.50
ST 9 sup	17.40	-51	20.9	23.3	12.6	-

Tab. 2 - Sintesi dei dati raccolti. Vengono riportati: sigla della stazione e profondità di campionatura, ora, altezza di marea in cm sul 1.m.m., temperatura e salinità dell'acqua, concentrazione del particellato sospeso, velocità di corrente.

Diversa risulta la distribuzione delle concentrazioni con marea calante e vento in sensibile diminuzione (fig. 2, Tab. 2). Infatti, presso i margini perilagunari si misurano tenori tra 27.5 e 85.2 mg/1, mentre nel settore centro meridionale del bacino le concentrazioni oscillano tra 9.9 e 12.6 mg/1. I tenori più elevati si riscontrano quindi lungo il margine interno lagunare, in accordo con i modelli di distribuzione proposti da Postma (1961) e già osservati nello stesso bacino ed in quello di Grado {Finocchiaro, 1987; Brambati et al., 1983) .

Le misure di concentrazione presso il fondo del canale, rilevate quando il tirante d'acqua superava due metri, hanno evidenziato concentrazioni pressoché doppie rispetto ai corrispondenti valori di superficie, sia in fase di marea crescente che calante.

Le elevate concentrazioni del particellato (48.1 mg/1 in superficie e 98.7 al fondo) misurate in corrispondenza della stazione 16, sono imputabili al materiale in sospensione alla foce del F. Stella, come indicato dai bassi valori di salinità (2.1 e 2.9 %. rispettivamente) e dall'elevata velocità di corrente (0.70 e 0.50 cm/s), nonché dalla particolare curva granulometrica del particellato (fig. 5).

3.2 Concentrazioni di particellato alla bocca lagunare.

Dal momento che le concentrazioni alla bocca possono essere ritenute indicative delle condizioni medie delle acque scambiate tra laguna e mare, sono state ripetute campionature alla bocca di Lignano all'inizio ed alla fine dei semicicli di marea, nonché il giorno successivo.

Il valore riscontrato in superficie in fase di marea crescente (h 7.10) sono risultati elevati (15.4 mg/1), rispetto ai valori caratteristici della fascia costiera antistante le lagune (2-4 mg/1, Finocchiaro, 1987), per i fenomeni di risospensione che stavano interessando i bassi fondali e i litorali prossimi all'area di bocca. Il confronto con la curva mareografica (fig. 3A) e le elevate velocità di corrente suggeriscono che il fenomeno è stato colto quando il flusso entrante in laguna risultava ben avviato.

Alla fine del semiciclo di marea entrante, con moto ondoso in attenuazione, le concentrazioni si abbassavano a 8.7 mg/1. Quest'ultimo valore, pur risultando il minimo della giornata, è ancora sensibilmente superiore ai tenori misurati in marea crescente nelle acque marine antistanti la bocca di Lignano il giorno seguente (3.8 ± 2.3 mg/1, 11 campioni).

All'inizio della marea uscente, con velocità di corrente già sensibile e salinità ancora elevate, i tenori riscontrati (20.9 in superficie e 20.2 mg/1 al fondo) rimandavano ad acque di provenienza marina (le prime ad uscire dal bacino lagunare all'inizio del flusso; Brambati et al., 1983), tuttavia arricchite di sospensione lagunare. A fine ciclo le acque con salinità francamente lagunare (23.3 %.) presentavano una concentrazione di 12.6 mg/1, valore confrontabile con quelli misurati nel pomeriggio nel settore centro-occidentale del bacino (stazioni 14, 17 e 18).

Quindi le misure eseguite alla bocca del bacino di Lagnano hanno evidenziato concentrazioni elevate in mattinata, con vento teso e riduzione progressiva dei tenori durante il pomeriggio, in fase di marea calante.

3.3 Caratteristiche granulometriche del particellato

Le curve di frequenza più significative, relativo al particellato di superficie prelevato all'interno della laguna con marea crescente, vengono riportate in fig. 4A.

Le curve relative alle stazioni 14, 15 e 18, ubicate nel settore occidentale del bacino, sono caratterizzate da maggiori percentuali di granuli con dimensioni comprese tra 16 e 32 μm e risultano pertanto più grossolane di quelle delle stazioni 10 e 11, proprie del settore orientale.

Con marea crescente quindi, le differenziazioni all'interno del bacino lagunare vengono messe in evidenza non solo dalla distribuzione delle concentrazioni, ma anche dalle caratteristiche dimensionali del particellato sospeso. A tenori più elevati corrispondono anche granulometrie più grossolane, mentre a basse concentrazioni si associano curve dimensionali mediamente più fini. Questa relazione tra concentrazioni e dimensioni medie del particellato suggerisce la prevalenza di un fattore dinamico, nella fattispecie il moto ondoso sostenuto da vento teso, su battenti d'acqua progressivamente crescenti per effetto della escursione di marea. A questo fenomeno si assomma inoltre un'ondazione più marcata sui fondali del settore occidentale del bacino, che presentano un maggior "fetch" per venti spiranti dal primo quadrante.

Con marea calante le curve di frequenza del particellato in sospensione risultano più uniformi, e simili agli esempi riportati in fig. 4B: si può osservare un sensibile abbattimento delle frazioni grossolane, ove presenti, e quindi un indiretto arricchimento delle classi più fini.

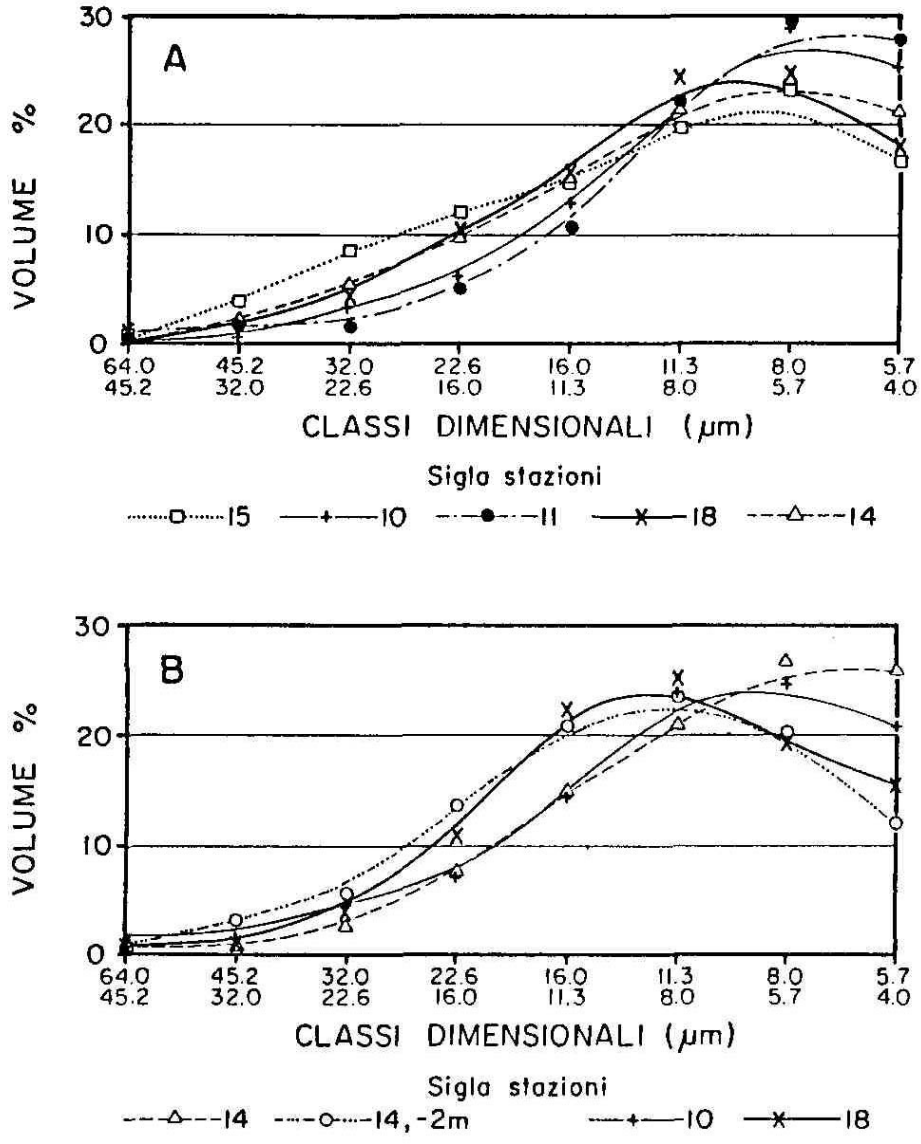


Fig. 4 - Lignano, 16-9-1985. Curve di frequenza del particellato sospeso (16-9-1985). A: marea crescente; B: marea calante.

Queste modificazioni delle curve di frequenza sono osservabili sia nel settore occidentale che in quello centro-orientale . Con marea calante, in questa situazione sperimentale, non si è verificata quindi la relazione tra concentrazioni e dimensioni osservata in marea crescente.

Gli effetti di rideposizione verificatisi in marea calante per attenuazione del moto ondoso sono osservabili dal confronto tra le curve di frequenza del particellato nella stazione 14. Mentre la curva del campione di superficie in marea calante risulta più fine della corrispondente in marea crescente, il campione al fondo presenta valori di frequenza ancora elevati nell'intervallo dimensionale 16-45 μm. Questo fatto è giustificato da un tirante d'acqua notevolmente maggiore rispetto a quello delle piane di marea, e dal ritardo nella sedimentazione del silt grossolano, indotto da correnti di 20-30 cm/s entro i canali lagunari.

Caratteristiche particolari presenta la struttura del particellato campionato alla foce del fiume stella (fig. 5) nelle fasi di flusso e riflusso. Il confronto tra le due curve al fondo evidenzia una differenza estremamente marcata: la granulometria del particolato in marea crescente risulta simile a quella delle acque nel settore orientale della laguna, mentre in marea calante, la curva di frequenza si discosta sensibilmente da quelle misurate in ambiente lagunare.

Questa considerazione, in aggiunta a quanto riferito nel capitolo sulle concentrazioni, conferma 1'importanza dello Stella come "input" di materiale sedimentario all'interno del bacino lagunare. Tenori compresi tra 40 e 60 mg/1, nettamente superiori a quelli osservati lungo il margine perilagunare, sono stati ancora misurati alla foce dello Stella in marea calante.

Risulta interessante confrontare il rapporto tra le classi 4-8 e 8-16 μm del particellato risospeso per moto ondoso in marea crescente e quello dei sedimenti di fondo. Per questi ultimi sono stati utilizzati i dati granulometrici relativi alle piane di marea prossime alle stazioni di campionatura riportati in Finocchiaro (1987) .

Dall'esame della fig. 6 si può notare che nei fondali lagunari il rapporto tra queste due frazioni è costante. Nel particellato questo rapporto tende ad essere conservato nei campioni prelevati nella parte occidentale del bacino, mentre quelli relativi alla parte orientale risultano chiaramente arricchiti in materiale fine. Questo a riprova che le caratteristiche tessiturali del particellato della zona oc-

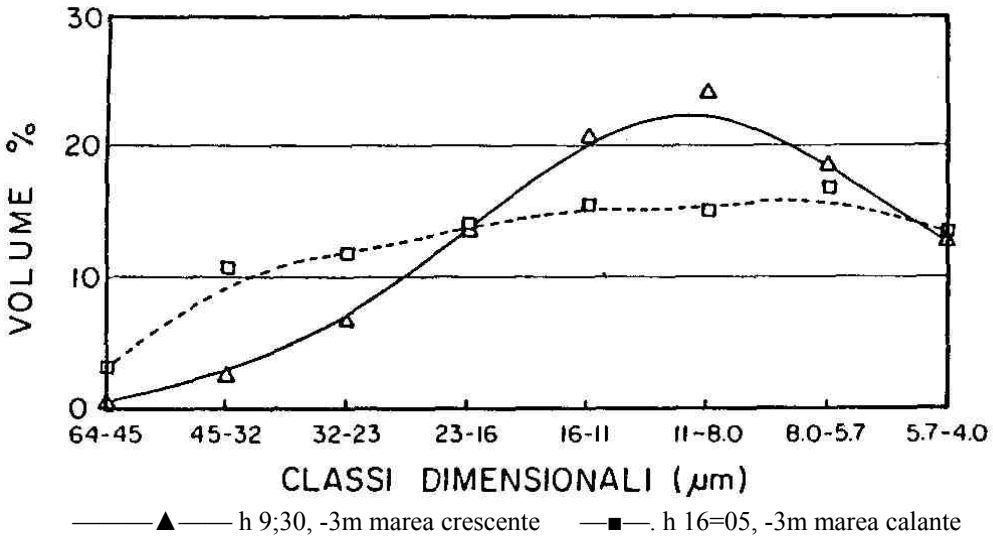


Fig. 5 - Curve di frequenza del particellato di fondo alla foce del F. Stella (stazione 16).

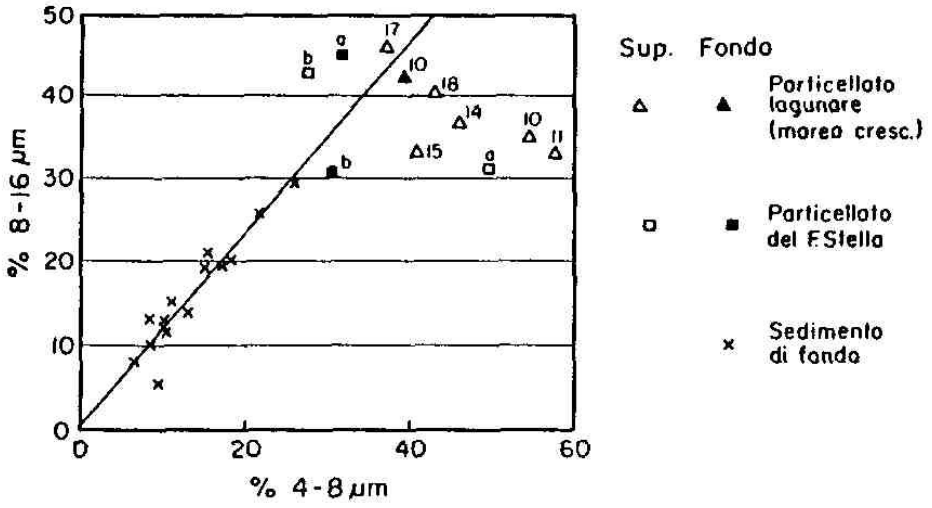


Fig. 6 - Rapporti tra le classi dimensionali 4-8 μm e 8-16 μm nel particellato lagunare (triangoli) in marea crescente, nel particellato del F. Stella (quadrati) e nei sedimenti di fondo (x). I numeri identificano le stazioni lagunari; le lettere indicano la fase di marea crescente (a) e calante (b). La retta di correlazione {r= 0,95, n=17) è relativa ai soli campioni di fondo.

cidentale del bacino sono fortemente influenzate da quelle del sedimento di fondo rimobilizzato dal moto ondoso.

I campioni alla foce del F. Stella tendono ad assumere il rapporto tipico delle acque lagunari solamente in fase di marea crescente, nelle acque superficiali.

3.4 Stime quantitative e bilancio

Sulla base dei dati di concentrazione, è stata tentata la stima delle quantità complessive di materiale sospeso entro il bacino lagunare e il bilancio del particellato scambiato con l'ambiente marino, nei due semicicli di marea. Le quantità ricavate sono stimate certamente per difetto, dal momento che si sono potuti utilizzare quasi esclusivamente dati puntuali di superficie.

II calcolo dei volumi d'acqua presenti nel bacino di Lagnano durante i due semicicli di marea può essere ricavato tenuto conto che l'area del bacino (trascurando le modificazioni degli spartiacque liquidi) è di 50.56 km^2 (Dorigo, 1965) e che la profondità media, sulla base delle osservazioni di campagna, è stimabile in -1.2 m sul l m.m.. La stima delle quantità è stata ottenuta dai valori di conceritra-zione, assumendo che:

-1'intorno di competenza di ogni stazione sia pari alla superficie totale del bacino, divisa per il numero delle stazioni;

-la. profondità media dell'intorno della stazione sia pari alla somma algebrica tra l'altezza di marea, al momento del campionamento, e la profondità media di -1.2 m.

Inoltre, ove rilevate, le concentrazioni relative al fondo sono state mediate con quelle di superficie.

Le quantità di particellato presenti in laguna durante la fase di marea crescente (3700 t) sono risultate superiori a quelle relative alla fase di calante (1700 t).

Le quantità di particellato scambiate tra mare e laguna possono essere valutate sulla base delle concentrazioni medie alla bocca e dei volumi d'acqua mobilitanti nei due sensi durante l'intero ciclo di marea. In marea crescente all'escursione da -62 cm sul l.m.m. a + 63 cm corrisponde ad un volume di flusso pari a 63.2xl06 m^3: la quantità di particellato veicolato in laguna corrispondente è di 760 t. In marea calante l'escursione da + 63 cm a -55 cm determina un volume sversato pari a 59.7xl0^6 m^3. La quantità di particellato uscita dalla laguna è valutabile in 1000 t.

Per le considerazioni espresse al par. 3.1, assumendo

una concentrazione inedia per le acque lagunari pari a 15 mg/1, all'inizio della marea crescente, con livello delle acque inferiore di 62 cm al livello medio mare, la quantità complessiva di sospensione presente in laguna risulta non inferiore a 440 t. Questa quantità viene incrementata dalle 760 t entrate dalla bocca. Quest'ultima quantità, riferibile a risospensione sui fondali dei litorali prossimi alla bocca, non è trascurabile, se confrontata con le quantità mediamente entranti in condizioni di mare calmo (par. 3.2).

Sottraendo alle 3700 t presenti in laguna queste due quantità, si perviene ad un ammontare complessivo di 2500 t, direttamente imputabile ai fenomeni di risospensione dai fondali, pari a 49.4 g/m^2 sull'intera superficie del bacino lagunare, che corrispondono ad uno spessore medio mobilizzato di circa 0.1 mm, assumendo una porosità del sedimento di 0.75 ed una densità dei granuli pari a 2.7 kg/dm^3 (Brambati et al., 1988).

La quantità di particellato ridepositato all'interno del bacino lagunare risulta pari a 1000 t. Tale quantità può essere ricavata dalla differenza tra 3700 t, presenti nelle acque lagunari nella fase di crescente, e le 1000 t uscite dalla bocca cui vanno sommate 1700 t in sospensione durante la fase di calante.

4. OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

In assenza di vento e moto ondoso le concentrazioni del particellato all'interno dei bacini lagunari aumentano dalle bocche verso i margini, per effetto dei fenomeni di "settling and scour lag effect" (Van Straaten, Kuenen, 1958). Le concentrazioni in bassa marea, e quindi alla bocca, sono mediamente maggiori di quelle di alta marea, perché le correnti di marea calante perdurano di più, sono più veloci, e risultano quindi di maggior competenza. Inoltre, con marea crescente si determina un ostacolo ai deflussi liquidi continentali, ricchi in sospensione, all'interno del bacino, mentre le acque marine entranti dalla bocca sono solitamente caratterizzate da bassi tenori dì particellato.

Nella particolare giornata di sperimentazione, le quantità e la distribuzione areale del materiale in sospensione sono risultate in relazione con le profondità dei fondali all'istante di campionatura, con l'intensità del vento, oltre che con la sua direzione di provenienza rispetto alla forma e all'orientamento del bacino lagunare. L'area meri-

dionale infatti, ove, con marea entrante, si sono misurate le concentrazioni più elevate in assoluto, è stata campio-nata all'inizio del semiciclo di marea crescente. Essa inoltre presenta il maggior "fetch" rispetto ai venti spiranti dal 1° quadrante.

In marea calante si sono osservate concentrazioni inferiori a quelle di crescente, proprio perché l'elemento prevalente è risultato la diminuzione della velocità del vento e quindi l'attenuarsi dei fenomeni di risospensione. E' stato stimato che, durante l'intero semiciclo, si è ridepositato al fondo il 40 % del materiale messo in sospensione in marea crescente.

Si è notata una relazione tra elevate concentrazioni nel settore meridionale del bacino e le dimensioni medie del materiale in sospensione. Mentre le classi del silt grossolano e medio diminuiscono rapidamente, le frazioni più fini permangono in sospensione almeno fino al successivo semiciclo di marea.

Le particolari condizioni meteomarine della giornata di campionatura hanno determinato un contributo di materiale sospeso di provenienza marina non trascurabile. Infatti le concentrazioni alla bocca, in marea crescente, risultano elevate, se confrontate con valori riscontrati in giornate con calma di vento, come ad esempio il giorno successivo.

Infine, per quanto attiene al bilancio del materiale scambiato tra mare e laguna, la differenza tra quantità di particellato sospeso entrato in fase di marea crescente e la quantità di sospeso uscito evidenzia un ammanco da parte della laguna pari a circa 340 t.

Negli ultimi 10 anni (1976-1985) uno stato del vento analogo a quello del giorno di campionatura (cfr. par. 2.2) è stato uguagliato o superato per 77.3 giorni/anno. Pertanto, quando condizioni meteorologiche perturbate si mantengono per più giorni, particolarmente nei mesi invernali, i fenomeni di risospensione interessano uno o più cicli di marea consecutivi con conseguenti perdite nette da parte del bacino lagunare ben più marcate.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano il dott. D. Bregant, dell'Istituto Talassografico Sperimentale di Trieste, il Prof . M. Ceschia, dell'Istituto di Fisica dell'Università di Udine e il dott. F. Franchi, del Genio Civile di Udine, per aver

messo a disposizione, rispettivamente, i dati meteorologici delle stazioni di Trieste, di Lignano, e le curve idrometriche del Tagliamento a Latisana e di Lignano.
Un sentito grazie al dott. G. Fontolan per il valido contributo in campagna.

BIBLIOGRAFIA

ANDERSON F.E.; 1972 - Resuspension of estuarine sediments by small amplitude waves. J. Sedim. Petrology, 42 (3), 602-607.

SANSE. K. , FALLS C.P., HOBSON L.A.; 1963 - A gravimetric method of determining suspended matter in sea water using Millipore filters. Deep-sea Res., 10, 639-642.

BARILLARI A., BIANCHI F., BOLDRIN A., CIOCE F., COMASCHI SCARAMUZZA A.,RABITTI S., SOCAL G.; 1985 - Variazioni dei parametri idrologici, del particellato e della biomassa planctonica durante un ciclo tidale nella laguna di Venezia. Atti 6° Congr. A.I.O.L-, 227-234, Livorno.

BOLDRIN A., RABITTI S., BIANCHI F., CIOCE F.; 1987 -Dinamica della sostanza sospesa nella laguna di Venezia. Bacino settentrionale. Atti 7° Congr. A.I.O.L., 165-174, Trieste.

BRAMBATI A-, FANZUTTI G.P., MAROCCO R.; 1983 - Suspended matter transport in lagoons: the Grado lagoon. Boll. Oceanol. Teor.Appl. 1 (1), 5-18.

BRAMBATI A., CIABATTI M., FANZUTTI G.P. , MARABINI F. , MAROCCO R.; 1988 - Carta sedimentologica dell'Adriatico settentrionale. Foglio 924, scala 1 : 250.000, C.N.R., Progetto Finalizzato Oceanografia e Fondi Marini.

CAVALERI L.; 1980 - Sediment transport in shallow lagoons. Il Nuovo Cimento, voi. 3C (5), 521-540.

COULTER ELECTRONICS Ltd.; 1976 - Instruction manual for Coulter Counter Model D (Industrial) . 4°ed. , pp 94, Harpenden.

DORICO L.; 1965 - La laguna di Grado e le sue foci. Ricerche e rilievi idrografici. Ufficio Idrografico del Magistrato alle acque, Pubbl. n. 155, pp. 231, Venezia.
FAGANELI J., MALEJ A.; 1981 - Carbon and nitrogen in suspended organic matter {particulate and zooplankton) in Northern Adriatic during 1979. Rapp. Comm. Int. Mér Medit., 27(9) , 135-137.
FAGANELI J., GACIC M., MALEJ A., SMODLAKA N.; 1989 - Pelagic organic matter in the Adriatic Sea in relation to winter hydrographic conditions. J. Plankton. Res., 11 (6), 1129-1141.
FANZUTTI G.P. , FINOCCHIARO F. , FONDA .UMANI S.; 1987 -Variazioni a breve termine dei tenori e delle caratteristiche composizionali del particellato sospeso nelle acque marine presso Aurisina (Trieste). - Atti 7° Congr. AIOL, 241-254, Trieste.
FINOCCHIARO F.; 1987 - II particellato nella zona costiera: provenienza e dispersione. Tesi di Dottorato, 132 pp. Trieste.
FONDA UMANI S., SPECCHI M.; 1983 - Two years research in the lagoon of Marano (North Adriatic Sea). Rapp. Comm. Int. Mér Medit., 28(6), 247-249.
FONDA UMANI S., SPECCHI M., PARADISI S.; 1982 - II plancton delle bocche di Primero e di Grado (Laguna di Grado -Alto Adriatico) . Natural Sic. , S IV, V (supp.) 2, 315-323.
FONDA UMANI S., FANZUTTI G.P., FINOCCHIARO F., OLIVOTTI R., STRAVISI F., GENNARO M., SICHENZE S.; 1985 - Un anno di ricerche sul particellato sospeso in una stazione idrologica del Golfo di Trieste: risultati preliminari. Nova Thalassia, 7, suppl. 3, 143-150, Trieste.
FRANCO P., RABITTI S., BOLDRIN A.; 1987 - Distribuzione del particellato ed idrologia nell'Adriatico settentrionale. Atti 7° Congr. AIOL, 283-294, Trieste.
FRANCO P., RABITTI S., CICCE F.; 1989 - Adriatico settentrionale in condizioni di stratificazione. 2. Distribu-

zione del materiale sospeso e delle proprietà ottiche (1983-1984). Atti Simposio ASCOP, Boll. Ocean. Teor. Appl., (numero speciale), 77-87.
GENTILLI J.; 1964 - II Friuli. I climi. Camera Comm. Ind. Agr., 595 pp, Udine.
GILMARTIN M.. REVELANTE M.; 1983 - Some preliminary observation on the distribution of particulate organic carbon and nitrogen in the Northern Adriatic Sea. Rapp. Comm. Int. Mér Medit., 28 (7), 79-83.
LAGONEGRO M., SESSA LAGONEGRO A.; 1979 - Elementi base di analisi dei dati con programmi in Fortran e Basic. Quaderni del Centro di Calcolo, Collana Didattica, 20 pp. + all., Trieste.
POSTMA H. ; 1961. Transport and accumulation of suspended matter in the Dutch Wadden Sea. Neth. J. Sea Res., 1, 148-190.
REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA-GIULIA; 1979. Studio dell'assetto fluviale e costiero della Regione Friuli Venezia-Giulia. Rapporto preliminare, ELC Elettroconsult, Milano.
SPIEGEL M.R.; 1976 - Statistica. Etas Libri, 358 pp., 2.ed. italiana, Milano.
STRAVISI F.; 1976 - Considerazioni statistiche sui valori medi mensili di cinque elementi meteorologici. Trieste 1841-1975. Publ., n.529 dell'Istituto Talassografico Sperimentale, C.N.R., 53 pp., Trieste.
STRICLAND J.D.H., PARSONS T.R.; 1972 - A practical handbook of seawater analysis. J. Fish. Res. Board Canada, 167, 310 pp..
UFFICIO IDROGRAFICO MAGISTRATO ALLE ACQUE; 1980 - Dati caratteristici dei corsi d'acqua italiani. MM. LL. PP-, Pubbl. 17, Ist. Poligrafico Stato, Roma.
VAN STRAATEN L.M.J.U., KUENEN Ph.H; 1958 - Tidal actions as a cause of clay accumulation. Jour. Sed. Petrol., 28 (4), 406-413.

ATTI ELL'8°CONGRESSO A.I.O.L.
PALLANZA 1-3 GIUGNO 1988 da pag. 213 a pag. 225

BACINO BANNOCK - CONDIZIONI ANOSSICHE NEL MEDITERRANEO

D. BREGANT[O], A. BOLDRIN[OO], A. CAMERLENGHI*, G. CATALANO[O], C. CORSELLI*, E. DE DOMENICO**, S.GIACOBBE***, S.RABBITI[OO].

[O] CNR- Istituto Sperimentale Talassografico di Trieste.
[OO] CNR- Istituto di Biologia del Mare di Venezia.
* Dipartimento di Scienze della Terra.Università di Milano
** Istituto di Zoologia. Cattedra di Idrobiologia. Università di Cagliari.
*** Dipartimento di Biologia animale ed Ecologia marina - Università di Messina.

RIASSUNTO.

Vengono presentati i risultati preliminari delle analisi fisico-chimiche e microbiologiche fatte sul bacino anossico Bannock (Mediterraneo Orientale). I dati sono stati raccolti in due crociere eseguite negli anni 1986 e 1987. Viene descritta la fenomenologia osservata.

ABSTRACT.

Preliminary results on the physico-chemical and microbiological analysis made on the anoxic basin Bannock (Eastern Mediterranean) are reported. Data was collected during two cruises in the years 1986 and 1987. The observed phenomenology is described.

1. INTRODUZIONE.

Nel 1984 una crociera geologica, diretta dalla prof.B.M. Cita del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Milano, ha scoperto un bacino, denominato Bannock, che è risultato ipersalino, anossico, e sede di precipitazioni di gesso (Scientific Staff of Cruise Bannock 1984-12, 1985). Esso è situato a 34° 18' N e. 20° 01' E sul lato esterno della Dorsale Mediterranea a nord della Piana abissale della Sirte (Fig. l).

L'interesse per questa scoperta ha determinato un susseguirsi di campagne sia nazionali che estere, per studiare le caratteristiche, soprattutto geologiche, dell'area.

L'Istituto Talassografico di Trieste è stato promotore dì due campagne interdisciplinari denominate BAMO 1 (luglio 1986) e BAMO 2 (agosto 1987) eseguite con la n/o Bannock del C.N.R. allo scopo di studiare sia le caratteristiche chimiche e microbiologiche di quelle acque, sia il materiale sospeso.
Scopo di questo lavoro è di presentare i risultati pre-

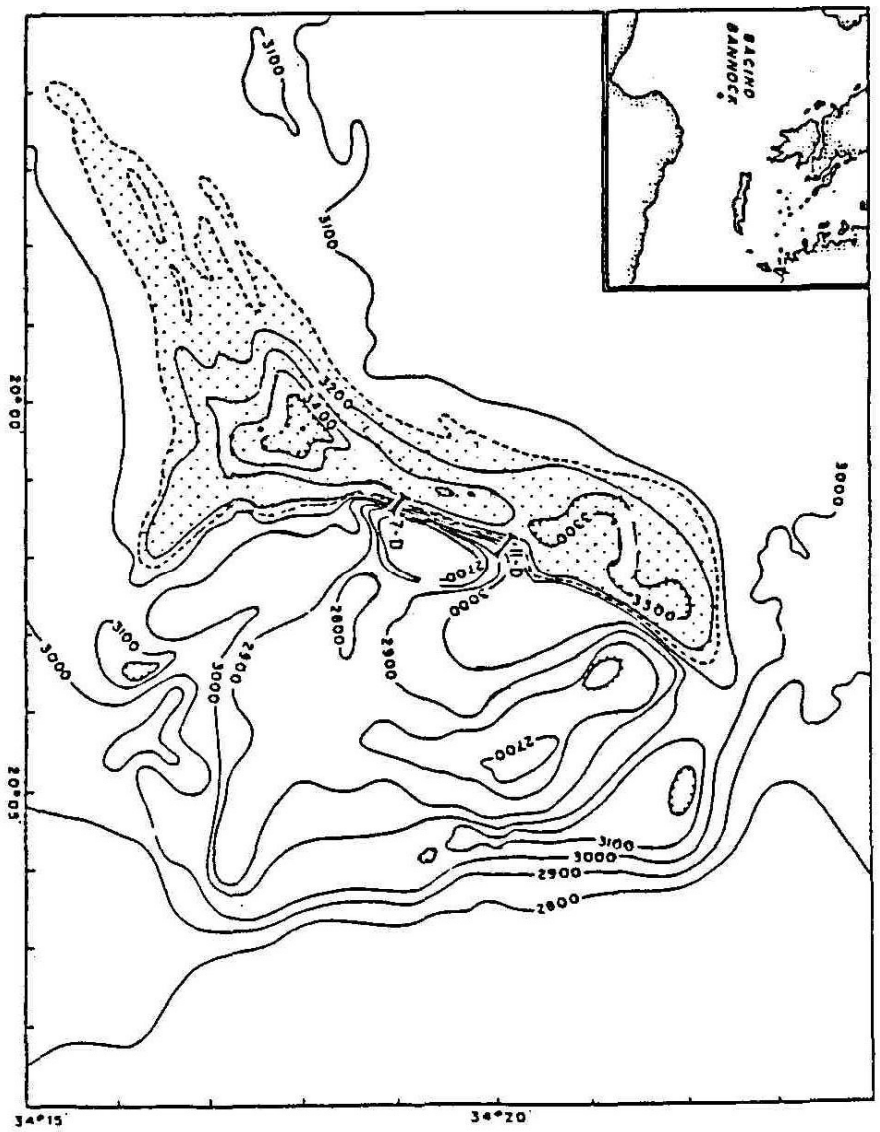


Fig. 1 – Posizione del bacino Bannock

liminari di queste indagini.

2. MATERIALI E METODI.

Il campionamento eseguito nella profondità massima del bacino, facendo uso di particolari tecniche di posizionamento, è stato fatto con bottiglie GO-FLO da 5 l. montate su un campionatore automatico Hydrobios della Meerestechnik (Kiel) ed interfacciato con un CTD (tipo ME) della stessa Ditta, dotato di sensori (pressione, temperatura, conducibilità) con frequenza di campionamento di 8 dati/secondo.

Si è adoperato il calcolatore ZILOG di bordo per le varie acquisizioni.

Per il calcolo delle quantità derivate (profondità, salinità) nei rispettivi range di validità, sono stati usati gli algoritmi proposti dall'UNESCO-Scor (Unisco, 1983).

I campioni d 'acqua sono stati prelevati, cercando di evitare il contatto con l'aria e raccolti in bottiglie di politene o vetro, a seconda del tipo di analisi. Quelle destinate alle analisi a terra sono state sigillate con paraffina e conservate in luogo fresco. I campioni per i nutrienti sono stati congelati a -20°.

A causa dei tempi lunghi tra il prelievo e le analisi di laboratorio, sono stati osservati fenomeni di precipitazione .

Le metodologie analitiche usate sono riportate nella tabella 1; le determinazioni di peso secco sono state fatte mediante filtrazione a vuoto su filtri Whatman GFC da 25 mm con porosità nominale di 0.1 µm prepesati, dopo trattamento in stufa a 450°C per 1 ora (Strickland e Parsons, 1972) .

Lo spettro dimensionale delle particelle è stato determinato mediante conteggio elettronico nel range dimensionale da 2 a 40 µm utilizzando un Coulter Counter mod. TA II con orifizio capillare di 100 µm.

II conteggio è stato fatto a bordo immediatamente dopo il prelievo. L'acquisizione dei dati ed i calcoli relativi sono stati fatti con un micro-computer Apple II (Boldrin et al., 1986).

Le analisi microbiologiche sono state eseguite utilizzando, sulla parte anossica, i terreni di ZoBell per aerobi e per anaerobi, e di Starkey per i solfato-riduttori (Genovese, 1963; Genovese et al., 1964) mentre sulla parte ossica sono stati usati terreni selettivi per evidenziare differenti comunità microbiche (Genovese et al. , 1983) .

3. RISULTATI.

L'esame dei risultati mostra che su una colonna d'acqua di circa 3800 dbar fino a 3327 dbar, si hanno condizioni ambientali tipiche delle acque del Mediterraneo Orientale (Fig. 2).

Al di sotto di questa quota, si ha un improvviso, brusco incremento della salinità accompagnato da un lieve aumento della temperatura. L'ossigeno ed i nitrati tendono a zero, appare 1'idrogeno solforato mentre l'alcalinità totale, i fosfati, i silicati e l'ammoniaca aumentano in misura notevole.

In particolare, il profilo della temperatura nella zona delle "brine" ha un andamento del tutto peculiare. Si passa da un valore di13.8°C a valori superiori a 15.1°C in prossimità del fondo. Tale aumento non avviene con continuità ma, con salti successivi, molto accentuati, dando luogo ad una struttura stratificata. Schematicamente si possono osservare 2 strati compresi tra 3327 e 3450 dbar (da 13.8° a 14.6°C) e tra 3450 dbar ed il fondo (da 14.6° a 15.1°C). (Fig. 3).

La salinità è stata determinata con un salinometro, diluendo prima i campioni (v/v) con acqua distillata, fino ai valori tipici dell'acqua di mare. I risultati, tenuto conto della diluizione, mostrano valori compresi tra 257 e 266 PSU all'interfaccia acqua di mare/brine per passare poi da 320 a 326 PSU lungo tutta la colonna. La densità arriva a valori compresi tra 1.167 e 1.210.

Le concentrazioni di idrogeno solforato variano da 1.39 a 2.45 mM con un andamento particolare; fino a circa 3500 dbar si ha un aumento dei valori seguito poi da una distribuzione quasi costante fino al fondo (Fig. 4).

Comportamento analogo mostrano i solfati (94 - 127mM) ed i silicati (127 - 185 mM).

Le concentrazioni , invece, dell'alcalinità totale e dei fosfati, comprese tra 3.85 - 4.91 mM e 10.7 - 15.5 mM rispettivamente,mostrano un massimo di concentrazione attorno ai 3500 dbar per poi diminuire (Fig. 5).

L'ammoniaca, dopo un primo rapido aumento, si attesta su valori di concentrazione compresi tra 3.19 e 3.30

---

* Le profondità sono espresse in termini di pressione, in quanto non è possibile applicare alle brine l'equazione di conversione per ottenere i valori in metri.

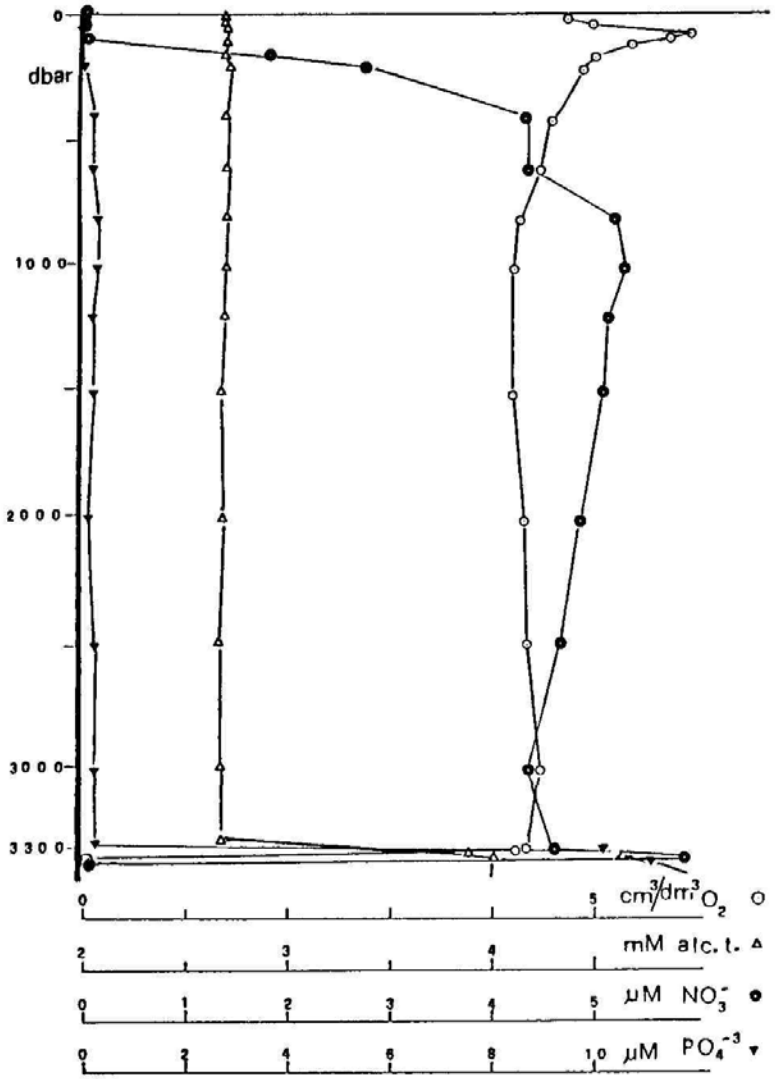


Fig. 2 - Distribuzione verticale dell'ossigeno disciolto O, dell'alcalinità totale Δ, dei nitrati **O**, dei fosfati ▼ nella parte ossica della colonna d'acqua sovrastante il bacino Bannock.

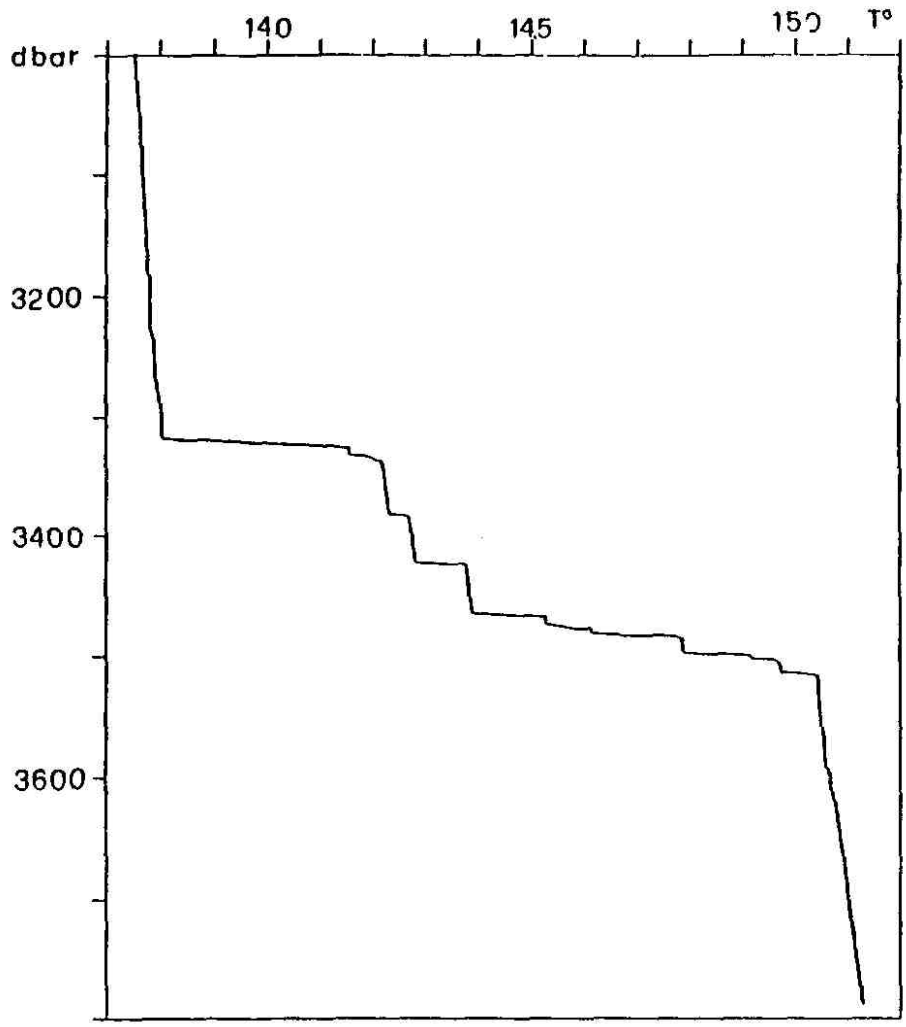


Fig. 3 - Distribuzione della temperatura nel bacino Bannock.

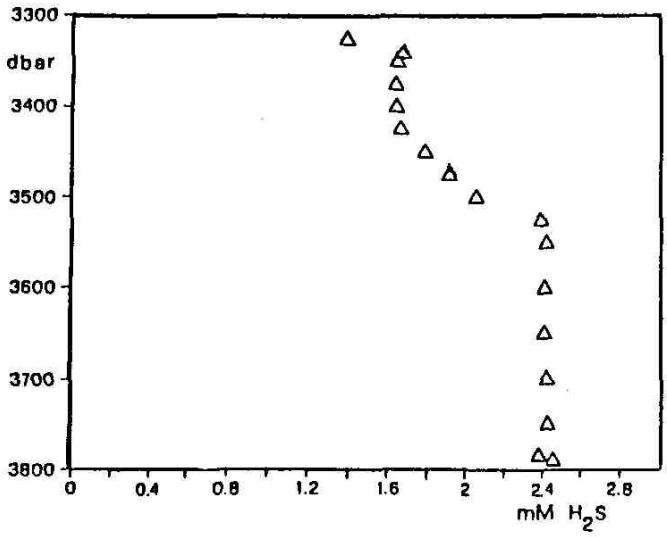


Fig. 4 - Distribuzione dell'idrogeno solforato: crociera BAMO 2.

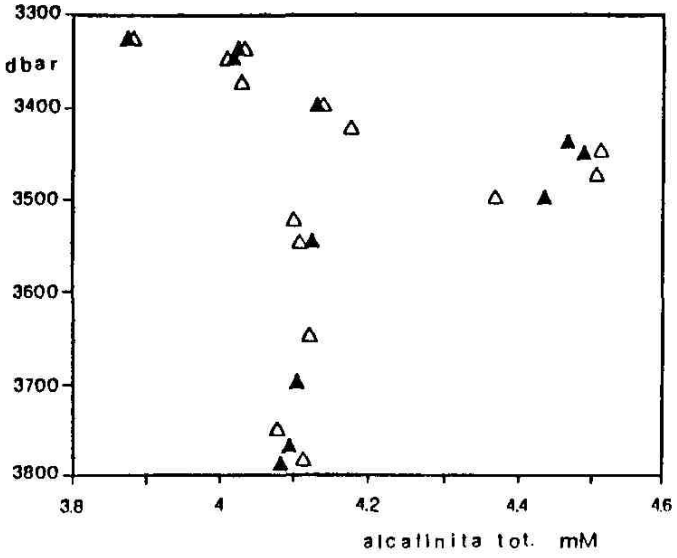


Fig. 5 - Distribuzione dell'alcalinità totale durante le crociere: BAMO 1 ▲ e BAMO 2 Δ.

mM lungo tutta la colonna.Da queste distribuzioni, si deduce l'esistenza, all'interno dei bacino, di un doppio strato suddiviso da una seconda interfaccia situata, come già osservato per la temperatura, attorno ai 3500 dbar.

La colonna d'acqua sovrastante il bacino anossico presenta concentrazioni di TSM (Total Suspended Matter) comprese tra 0.1 e 0.4 mg/dm^3 con concentrazioni comprese tra 1500 e 2000 particelle/cm^3, ad eccezione dello strato superficiale dove è evidente l'influsso del popolamento fitoplanctonico. Tali valori sono del tutto confrontabili con misure analoghe effettuate in aree limitrofe del bacino del Mediterraneo Orientale.

All'interfaccia con la zona anossica, ad una profondità corrispondente alla pressione di 3325 dbar, in coincidenza con il maggior gradiente termico, si raggiungono valori di TSM di 2.76 mg/dm di peso secco e di 5000 particelle/cm^3 di concentrazione (Fig. 6).

Tale aumento evidenzia uno strato di accumulo di materiale particellato di spessore sottile (10 - 20 dbar di pressione). Infatti, da immediatamente al di sotto dell'interfaccia (3340 dbar) fino al fondo 3790 dbar) i valori diminuiscono fino a 1.0 - 1.4 mg/dm^3 con concentrazioni comprese tra 15000 e 2000 partice1le/cm^3.

All'altezza della seconda discontinuità termica (circa a 3500 dbar) è presente un secondo livello di accumulo di materiale particellato, meno pronunciato di quello all'interfaccia e più evidente nei dati di peso secco rispetto ai dati di concentrazione in numero di particene per cm .

L'indagine batteriologica, intrapresa durante la campagna BAMO 2, è stata orientata verso un primo approccio metodologico, considerata la completa mancanza di conoscenze sulle acque del bacino Bannock.

La quasi totalità dei campioni provenienti da quote inferiori a 3320 dbar non ha presentato crescita nei terreni saggiati.

In particolare, si è avuta crescita solo nel 25% dei campioni su terreno ZoBell aerobi, mentre i rimanenti mezzi di coltura (ZoBell anaerobi e Starkey) hanno dato esito negativo. Un certo interesse scaturisce dal sensibile incremento a livello delle quote immediatamente sovrastanti l'interfaccia- Alla quota 3320 dbar sono state contate 11 CFU/ml su terreno ZoBell anaerobi; alla quota sovrastante (3310 dbar), nello stesso terreno, sono state messe in evidenza 5 CFU/ml e 350 CFU/ml in terreno ZoBell aerobi semina-

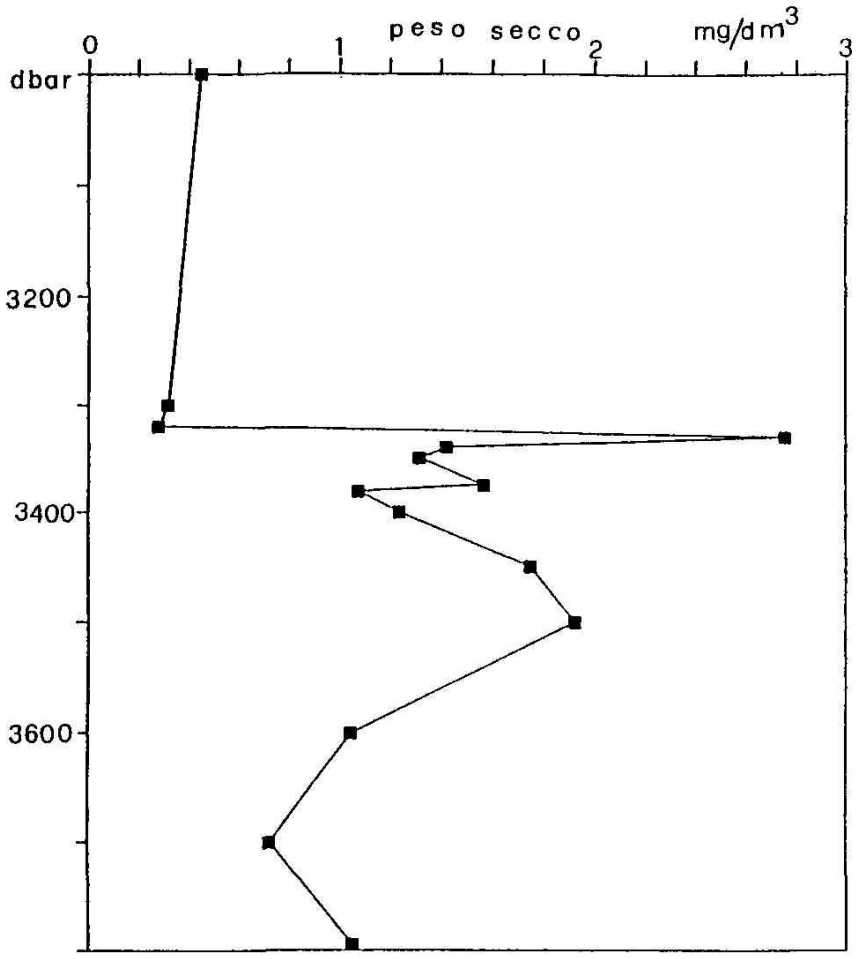


Fig. 6 - Distribuzione del peso secco nel bacino Bannock.

to per disseminazione superficiale.

La parte superiore della colonna d'acqua, con un massimo a 1200 dbar (103CFU/ml) presenta un andamento simile ad altre stazioni del bacino orientale esaminato contestualmente .

La mancata crescita microbica nelle colture allestite con i campioni della zona anossica potrebbe risalire alle marcate differenze quali-quantitative tra i terreni di coltura e le acque del bacino o, analogamente a quanto riscontrato nelle brine del Mar Rosso {Trüper, 1969; Watson e Waterbury, 1969), essere funzione d'una povertà microbica dovuta a condizioni ambientali estreme. La differente genesi delle brine del bacino Bannock (Cita et al., 1985), rispetto a quelle del Mar Rosso, non aveva fatto presumere la necessità d'impiegare colture d'arricchimento, che saranno invece adottate nei futuri campionamenti.

4. CONCLUSIONI.

Le particolarità dell'ambiente descritto, con caratteristiche di ipersalinità ed anossia pronunciata, possono considerarsi uniche rispetto a situazioni similari conosciute (Brewer et al., 1965; Shokes et al., 1977).

Queste condizioni, così estreme, sono state attribuite alla dissoluzione di evaporiti messiniane ed alla presenza di sapropel (Ten Haven et al., 1987} quindi di sostanza organica, la quale ossidata per via batterica da batteri solfato-riduttori da origine alla formazione dell'anossia.

Ulteriori studi sono in corso di approfondire sia gli aspetti geochimici di questo sistema sia quelli microbiologici .

5. RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano sentitamente i signori R. Marcolin e G. Penzo per la fattiva collaborazione data durante lo svolgimento di questa ricerca.

BIBLIOGRAFIA

Boldrin A., Cesca A., Rabitti S., 1986 - An automatic data acquisition system for Coulter Counter Mod. II. Boll. Ocean. Teor. Appl., IV. (3),159-164.

Brewer P.G,, Riley J.P. and Culkin F.1965. The chemical composition of the hot salty water from bottom of the Red Sea. Deep-Sea Res., 12,497-503.

Catalano G., 1987 - An improved method for the determination of ammonia in seawater. Mar. Chem., 20,289-295.

Cita M.B., Aghib F., Cambi A., Camerlenghi A., Corselli C., Erba E., Giambastiani M., Herbert T., Kastens K.A., Leoni C., Malinverno P., McCoy F.W., Nasetto A., Parisi E., Spezzibottami G., 1985 - Precipitazione attuale di gesso in un bacino anossico profondo: prime osservazioni geologiche, idrologiche, paleontologiche. sul bacino Bannock (Mediterraneo Orientale). Giorn. Geol., 47, 143-163.

Cline J., 1969 - Spectrophotometric determination of hydrogen sulphide in natural waters, Limnol. Oceanogr., 14, 454-458.

Fofonoff N.P. and Millard R.C. Jr.; 1983 - Algorithms for computation of fundamental properties of seawater, UNESCO Technical papers in Mar. Sci. n. 44, 53 pp.

Genovese S., 1963 - The distribution of H_2S in the Lake of Faro (Messina) with particular regard to the presence of Red Water. Symposium on Marine Microbiology, ed. C.H. Oppenheimer, Thomas Publ., 20,194-204.

Genovese S., Macrì G., Rigano C.; 1964 - Determinazioni di alcuni gruppi fisiologici di batteri in campioni di acqua e di fango del Lago di Ganzirri. Atti Soc. Peloritana, 10,81-111.

Genovese S., Cortese G. , Crisafi E. , De Domenico E., De Domenico M., Genovese L,, La Feria R., Pulicanò G.; 1983. Caratterizzazione delle popolazioni microbiche in acque joniche e tirreniche. Nova Thalassia, 6 suppl.: 425-433.

Hansson I. and Jagner D.; 1973 - Evaluation of the accuracy of Gran plots by means of computer calculations. Application to the potentiometric titration of total alkalinity and carbonate content in seawater. Anal. Chim. Acta, 65,363-373.

Macchi G., Cescon B., Mameli-D'Errico D.; 1969 - A volumetric determination of sulphate in seawater. Arco. Oceanogr. Limnol., 16,163-171.

Mullin J.B. and Riley Y.P.; 1955 - The colorimetric determination of silicate with special reference to the sea and natural waters. Anal. Chim. Acta,12,162-174.

Murphy J. and Riley J.P.; 1962 - A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta, 27, 31-36,

Shokes R.F., Trabant P.K., Presley B.J. and Reid D.F.; 1977 - Anoxic, hypersaline basin in the Northern Gulf of Mexico. Science 196,1443-1446.

Strickland J.D.H, and Parson T.R.; 1972 -A practical hand-

book of seawater analysis. Bull. Fish. Res. Bd. Canada, 167 (2nd ed. } , 310 pp.
Ten Haven H.L., Baas M., de Leeuw J.W. and Schenck P.A.; 1987 - Late Quaternary Mediterranean sapropels I-On the origin of organic matter in sapropel S_7. In: van Hinte J.E., Cita M.B., van der Weijden C.H., (Editors). Extant and ancient anoxic basin condition in the eastern Mediterranean. Mar. Geol., 75, 137-156.
Trüper H.G.; 1969 - Bacterial sulfate reduction in the Red Sea Hot Brines. In: Degens E.T., Ross D.A. (Editors), Hot brines and recent heavy metal deposits in Red Sea. Springer Verlag, New York, 263-271.
Watson S.W., Waterbury J.B.; 1969 - The sterile hot brines of the Red Sea. In: Degens E.T., Ross D.A. (Editors). Hot brines and recent heavy metal deposits in Red Sea. Springer Verlag, New York, 272-281.

TABELLA 1

METODI ANALITICI

Parametro	Metodo	Strumento	Riferimento
Salinità	Salinometro	Guildline Autosal Autolab Mk III 605	UNESCO 1983
Densità	Vibrodensimetro	A.P. PAAR DMA 02	
Ossigeno	Titolazione	METROHM 635 buretta	Strickland and Parsons,1962
Alcalinità totale	Potenziometria	METROHM 636 - Titroprocessor	Hansson and Jagner, 1973
Idrogeno solforato	spettrofotometro	PERKIN-ELMER 551	Cline, 1969
Solfati	Titolazione	METROHM 636 - Titroprocessor	Macchi et al. 1969
Silicati	Fotometria	Technicon Autoanalyzer	Mullin and Riley, 1955
Fosfati	Spettrofotometro	PERKIN-ELMER 551	Murphy and Riley, 1962
Ammoniaca	Spettrofotometro	PERKIN-ELMER 551	Catalano, 1987

ATTI DELL'8° CONGRESSO A.I.O.L.
PALLANZA 1-3 GIUGNO 1988 da pag. 227 a pag. 251

MODELLO DI RETI TROFICHE IN BIOCENOSI BENTICHE. APPLICAZIONE A BIOCENOSI DEL GOLFO DI GAETA.

G. BUFFONI*, C.N. BIANCHI*, R. DELFANTI*, G. DI COLA**, C. MORRI***, I. NICCOLAI *, C. PERONI *

* ENEA CREA S.Teresa - La Spezia
** Dipartimento di Matematica - Università di Parma
*** Istituto di Zoologia - Università di Genova

RIASSUNTO

Viene presentato un modello per la simulazione numerica dei processi dinamici di predazione e competizione in comunità biologiche. Si assumono le biomasse dei diversi gruppi trofici come variabili di stato, le risorse alimentari come variabili di controllo. Il modello è di tipo deterministico ed è descritto da un sistema di equazioni differenziali ordinarie non lineari che, sotto opportune ipotesi, si riduce ad un sistema quadratico del tipo di Lotka-Volterra. I parametri del modello sono stati stimati a partire dalle osservazioni sperimentali tenendo conto dei vincoli imposti dallo stato stazionario oppure dedotti dalla letteratura. E' stata effettuata l'analisi di stabilità degli stati stazionari considerando successivamente livelli di complessità del sistema via via più elevati. Si presentano i risultati relativi alla simulazione numerica della evoluzione, provocata da perturbazioni di variabili ambientali, di tre biocenosi bentiche di fondo molle del golfo di Gaeta.

SUMMARY

A model for the numerical simulation of the dynamical processes of predation and competition in biological communities is presented. Biomasses of the trophic groups are assumed as state variables, while food resources as control variables. The deterministic model is described by a System of non-linear differential equations; under special assumptions, the system becomes a quadratic Lotka-Volterra one. The parameters of the model are estimated from the observational data and by the steady state assumption; otherwise, they are obtained from literature data. A stability analysis of the steady state is performed for increasing complexity levels of the system. The model is applied to three benthic biocoenoses of soft bottoms of the Gaeta gulf; the results of numerical simulations of processes due to perturbation of environmental variables are shown.

1. INTRODUZIONE

Le biocenosi bentiche costituiscono la memoria biologica degli ecosistemi marini (Bianchi e Zurlini, 1984); il loro studio riveste grande importanza in quanto permette di evidenziarne l'evoluzione e le eventuali alterazioni. E' utile pertanto sviluppare delle tecniche di analisi che comprendano modelli matematici per descrivere i processi, in particolare i flussi energetici, di interrelazione tra le varie componenti (livelli trofici) delle biocenosi. Tali modelli permettono di:
(.) mettere in evidenza proprietà del sistema e quindi formulare eventuali ipotesi;
(:) formalizzare le relazioni fra le osservazioni di campo per poterne fornire una interpretazione, ed inoltre identificare variabili e parametri non noti;
(:.) simulare situazioni differenti e, una volta che il modello sia stato validato, predire il comportamento del sistema, soprattutto rispetto a perturbazioni di particolari variabili ambientali.

Modelli di questo tipo non sono frequenti in letteratura: Ulanowicz e Platt (1985), Gray (1981) e Field (1983) ne discutono alcuni. In essi vengono dapprima identificate differenti componenti (compartimenti) del sistema e vengono supposte delle relazioni fra queste; quindi vengono introdotti i dati relativi ai contenuti energetici ed ai flussi. In assenza di evidenti patologie e trascurando le variazioni stagionali si può assumere uno stato stazionario: gli aspetti dinamici del sistema vengono cosi rappresentati per mezzo di valori considerati costanti nel tempo (Gray, 1981). Una successiva fase è quella di sviluppare le equazioni per la descrizione della evoluzione nel tempo dell'ecosistema,

E' bene ricordare che un modello è comunque una semplificazione della realtà e perciò può solamente descrivere una parte del comportamento del sistema reale indagato; inoltre, i parametri che compaiono nella descrizione matematica sono di difficile valutazione e, nonostante la semplificazione, il loro numero rimane sempre elevato.
Tuttavia i modelli permettono di costruì re un quadro di riferimento per organizzare e interpretare le informazioni acquisite e per pianificare le indagini ulteriori (Platt, Mann e Ulanowicz, 1981).

Nel contesto delle ricerche effettuate dall'ENEA sull'ambiente marino, si sta attualmente progettando una indagine a lungo termine sul benthos di un particolare sito costiero; a tal fine si è ritenuto opportuno sviluppare un modello di tipo deterministico che, a partire dal bilancio dello stato stazionario ed analizzatane la stabilità, permetta di simulare l'evoluzione pluriennale di comunità

biologiche. Il modello si basa essenzialmente sui bilanci del flusso di energia tra diversi gruppi trofici e pertanto presenta inevitabilmente tutti i limiti legati, da un lato alla difficoltà di misura di alcuni flussi, dall'altro alla reale validità del concetto di gruppo trofico (Cousins, 1985).

In questo lavoro si presentano i fondamenti di tale modello e una prima applicazione a biocenosi marine bentiche del golfo di Gaeta (Latina). Sulla base di osservazioni precedenti (Bianchi, Biondi, Cattaneo Vietti, Morri, Niccolai, Peroni, Rossi, Ruggiero e Tucci, 1986; Ferretti, Niccolai, Bianchi e Tucci, 1986) viene in particolare definito il bilancio dello stato stazionario e sono illustrati alcuni esempi di evoluzione dovuta a:
(.) aumento del grado di trofia dell'ecosistema (presenza di maggior quantità di seston),
(:) diminuzione degli apporti di frammenti vegetali alloctoni.

2. MATERIALI E METODI

Sono state studiate tre biocenosi di fondi molli: delle sabbie fini ben calibrate (SFBC), del detritico costiero (DC) e dei fanghi terrigeni costieri (VTC); la loro descrizione si trova in Bianchi, Sgorbini e Zurlini (1985). I gruppi trofici individuati nella macroinfauna sono: limivori, deposivori, sospensivori, onnivori e carnivori. Batteri, microbenthos e meiofauna sono stati riuniti in una unica componente chiamata "microbiota", mentre i predatori superiori della megaepifauna sono stati considerati esterni al sistema. Le risorse alimentari sono costituite dal materiale organico sospeso (seston), dai frammenti vegetali alloctoni (principalmente posidonie) e dalla sostanza organica nel sedimento. Lo schema dettagliato delle interazioni presunte tra queste componenti è riportato in Fig. 1.
Le grandezze osservate sono le biomasse dei gruppi trofici, la respirazione totale della comunità e l'ammontare delle risorse; la produzione della macrofauna è stata calcolata secondo la formula di Robertson (1979). Biomasse e risorse sono espresse in grammi di carbonio riferiti al m^2, nel solo caso del seston, al m^3. I flussi sono calcolati in grammi di carbonio per m^2 e per anno. Ulteriori precisazioni sui metodi di misura si trovano in Bianchi et al. (1986).

Lo stato stazionario e l'evoluzione dei sistemi costituiti dalle tre biocenosi sono stati simulati mediante un modello in cui le biomasse dei gruppi trofici sono assunte come variabili di stato, le risorse alimentari come variabili di controllo. Il modello è descritto da un sistema

di equazioni differenziali ordinarie non lineari ; sotto opportune ipotesi si riduce ad un sistema quadratico del tipo di Lotka-Volterra. In appendice è riportata in dettaglio la descrizione matematica del modello ed ft definita la notazione adottata.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

3.1. BILANCI DELLO STATO STAZIONARIO

Per le biocenosi bentiche del golfo di Gaeta si ha solo una stima delle biomasse x e delle produzioni P dei gruppi trofici della macrofauna. Si assume valida l'equazione dello stato stazionario (C= P+E+R) che tuttavia non basta da sola per dare una stima dei flussi non noti C, R, E e M. Si definiscono l'efficienza di assimilazione e_a e l'efficienza di produzione e_p:

$$e_a = (C-E)/C, \qquad e_p = P/(C-E) = P/(P+R)$$

I valori di e_a e e_p sono presi dalla letteratura (Valiela, 1984; Banse, 1979) e sono riportati in Tab. I. Di conseguenza, i flussi C, R ed E sono espressi dalle seguenti relazioni:

$$C = P/(e_a\, e_p);$$
$$R = P\,(1- e_p)/\, e_p = C\, e_a\,(1- e_p)\ ;$$
$$E = P\,(1- e_a)/\,(e_a\, e_p) = C\,(1- e_a)$$

La mortalità viene considerata proporzionale alla biomassa (Jorgensen, 1979):

$$M = 0.3\ x.$$

Il prodotto $e_a\ e_p$ è una buona approssimazione (per eccesso) della efficienza ecologica quando M«P

$$e = (P-M)/C < P/C = e_a\ e_p$$

Per il gruppo microbiota si ha solo la misura della respirazione della comunità totale. I flussi sono calcolati assegnando i valori di alcuni rapporti ricavabili da dati in letteratura e riportati in Tab. II. Dalla elaborazione di questi dati risulta

$$C_6 = 1.24\ R_6 \qquad P_6 = 0.18\ R_6 \qquad E_6 = 0.06\ R_6$$

Condizione necessaria affinchè l'insieme dei gruppi trofici sia in stato stazionario e che sussistano ben definite relazioni fra le produzioni P-M dei livelli inferiori ed i consumi di cibo dei livelli immediatamente superiori (Fig. 1). Si definiscono i flussi M_{ma} (mortalità totale della macrofauna) ed S (biomassa totale messa a disposizione dei carnivori, degli onnivori e dei predatori superiori) :

$$M_{ma}= M_1+M_2+M_3+M_4+M_5$$
$$S= (P\text{-}M)_3 + (P\text{-}M)_4+ (P\text{-}M)_5+ (1\text{-}\gamma)(P\text{-}M)_6$$

Le relazioni di cui sopra sono cosi espresse

$$C= \alpha_1 S_, (1\text{-}\beta_1) (C_2\text{-} \beta_2\text{-} M_{ma}) = \alpha_2 S_{1,} C_5 = \gamma (P\text{-}M)_6$$

con $0\leq \alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \gamma \leq 1$. Dallo schema di Fig. 1 e dalle precedenti relazioni risulta chiaro il significato di questi parametri. Fissati i parametri β_1 e β_2 che possono essere rappresentativi del tipo di ambiente, e noti i flussi per lo stato stazionario, queste relazioni permettono di valutare i parametri α_1, α_2 e γ
Qualora i vincoli non risultassero rispettati, è necessario rivedere le assunzioni fatte per il calcolo dei flussi o riformulare l'intero schema delle interazioni.

Le biomasse, i flussi e le efficienze ecologiche dei gruppi trofici per le tre biocenosi DC, SFBC, VTC del golfo di Gaeta sono riportati in Tab. III, mentre i rapporti flussi/biomasse sono riportati in Tab. IV. I valori ottenuti appaiono sufficientemente coerenti con quanto riportato in letteratura per analoghe situazioni , con la parziale eccezione di alcuni valori relativi alla biocenosi VTC.

Note le biomasse e i flussi dello stato stazionario, e i parametri α_1, α_2, β_1, β_2, γ risulta possibile, valutare alcuni dei coefficienti che compaiono nelle equazioni del modello (vedi appendice). Se si assumono assegnate le funzioni trofiche (V, V') e i fattori limitanti dovuti alla competizione (W, W'), allora è possibile valutare i coefficienti p_{ji} e b_i; nelle espressioni dei flussi (9.1) e (9.3) del punto A3 in appendice.

Siano (V, V') e (W, W') dati dalle espressioni in appendice (6.1) e (8) rispettivamente; per assegnare queste funzioni occorre dare i valori dei parametri (δ'_k, δ_k) e (ε_{jik}, ε'_{jik}) che in esse compaiono. I coefficienti di competizione (ε_{jik},

ε'_{jik}) non sono di facile stima; pertanto è necessario individuare possibili esperimenti per una loro stima diretta da osservazioni sul campo o in laboratorio. Altrimenti si può tentarne una stima indiretta, almeno per alcune particolari situazioni, facendo ricorso alla teoria di May-MacArthur (MacArthur, 1968, 1970; May e MacArthur, 1972; May, 1975).

3.2. STABILITA' AVARI LIVELLI DI COMPLESSITÀ'

Per una analisi del problema della stabilità, almeno da un punto di vista matematico, delle comunità biologiche si rimanda a Svirezhev e Logofet (1983). Secondo May (1974) e Svirezhev e Logofet (1983), una comunità è stabile se il sistema di equazioni differenziali che la descrive ammette una soluzione stazionaria x* positiva stabile nel senso di Lyapunov (Gantmacher, 1974): se le condizioni iniziali sono sufficientemente vicine alla soluzione stazionaria, allora l'evoluzione temporale continuerà ad essere sufficientemente vicina alla soluzione stazionaria. Lo stato x* sarà detto asintoticamente stabile se x(t)—> x* per t—> +°°. Si ricorda il criterio di Lyapunov: una soluzione stazionaria x* è asintoticamente stabile se la parte reale degli autovalori λ della matrice Jacobiana F=F(x*) è negativa ed instabile se almeno un autovalore ha parte reale positiva. La matrice F(x*) è chiamata da May (1974) "community matrix" .

Si assume che le biomasse dei gruppi trofici siano piccole e che lo stato del sistema sia di non saturazione: «... when all the trophic relations in the System are strained and almost all the prey is consumed by the predator, that is always hungry with no saturation (quite a frequent situation in nature) ...» (Svirezhev e Logofet, 1983).
Per questo scenario le equazioni sono riportate nel punto A4 dell'appendice. E' stata effettuata una analisi di stabilità degli stati stazionar! considerando successivamente livelli di complessità del sistema via via più elevati. Vengono considerati i seguenti livelli (indicati dall'indice Le):

Lc	1	2	3	4
predazione	si	si	si	si
competizione per le risorse				
intra e interspecifica	no	si	si	si
competizione per le prede				
intraspecifica	no	no	si	si
intra e interspecifica	no	no	no	si

Nel punto A5 dell'appendice si fa una analisi dello spettro della matrice Jacobiana F(x*) e si ottengono le condizioni per la stabilità di x* (ammesso x*>0) per i primi tre

livelli di complessità del sistema.

Per le tre biocenosi del golfo di Gaeta sono state eseguite numerose esperienze numeriche sia per sostenere i risultati analitici sia per determinare quantitativamente l'effetto dell'aumento dei vari coefficienti di competizione. Si riportano in Fig. 2 alcuni risultati relativi alla biocenosi DC; si presentano gli andamenti in funzione del tempo delle biomasse dei gruppi trofici della macrofauna ottenuti assumendo uno stato iniziale x_0 da x_0=l.l x*.
Considerando solamente le interazioni di predazione {Fig. 2a) si ottengono due oscillazioni sovrapposte, con periodi pari a 19.3 e a 1.3 anni. Periodi simili si hanno anche per le altre due biocenosi. Le oscillazioni ad alta frequenza sono essenzialmente dovute al livello trofico più basso (microbiota); infatti, se si immagina di poter, in un qualche modo, stabilizzare questo gruppo ed assumere pertanto $x_6(t)=x_6$*, allora le oscillazioni ad alta frequenza scompaiono e resta un'unica oscillazione di periodo pari a 15 anni.
Dall'esame di tutte le esperienze numeriche eseguite si può dire che aumentando il livello di complessità (da Lc=1 a Lc=2 e 3) - rispettando però le condizioni descritte nel punto A5 dell'appendice - lo stato stazionario diviene asintoticamente stabile e la condizione di stabilita viene rafforzata.
Si suppone ora che le condizioni di stabilità non siano soddisfatte; questo può accadere per coefficienti di competizione interspecifica sufficientemente grandi. Una competizione interspecifica (sia per le risorse che per le prede) predominante sugli effetti autolimitanti della competizione intraspecifica può essere destabilizzante per il sistema.
In base ad uno studio teorico, Maynard Smith (1974) è portato a concludere, con qualche riserva, che

(.) la competizione a livello delle prede rende instabile il sistema;
(:) la competizione fra predatori ha effetti stabilizzanti.

Da quanto ottenuto nel punto A5 dell'appendice e dalle esperienze numeriche effettuate si può concludere che la competizione (intra e interspecifica) per le risorse è stabilizzante se i coefficienti che descrivono queste interazioni soddisfano certe condizioni, ad esempio se sono espressi secondo la teoria di MacArthur (1968, 1970) e May e MacArthur (1972).
Per quanto riguarda la competizione interspecifica a livello dei predatori (Lc=4), non viene dimostrata alcuna condizione di stabilità; le esperienze numeriche eseguite mostrano che la stabilità può non essere mantenuta per ε_{jik} ($i\neq k$) sufficientemente grandi rispetto a ε_{iik}; comunque questo processo sembra essere meno critico della competizione a

livello delle prede, come risulta anche a Maynard Smith (1974).

Si nota infine che le oscillazioni del primo livello di complessità (Lc=l) possono venire smorzate introducendo come nuova variabile di stato una risorsa (ad esempio questo è stato sperimentato numericamente nel caso dei frammenti vegetali alloctoni). In questo modo Armstrong e McGehee (1976) hanno provato la possibilità di coesistenza di due competitori per una stessa risorsa, confutando quindi il principio di esclusione competitiva (Levin, 1970).

3.3. EVOLUZIONE IN SEGUITO A PERTURBAZIONI AMBIENTALI

Nelle esperienze numeriche relative all'analisi di stabilita descritta nel punto precedente, l'ammontare delle risorse e stato mantenuto costante; pertanto, i valori dei coefficienti δ_k, che compaiono nelle espressioni (6.1) delle V'(punto A2 dell'appendice), non sono stati determinanti per la risposta del sistema in seguito a perturbazione dello stato stazionario.

La situazione è differente qualora si studi l'evoluzione del sistema in seguito a perturbazioni di variabili ambientali quali l'ammontare delle risorse; in questo caso il sistema è sensibile ai valori dei parametri δ'_k e ε'_{jik}. Come già affermato, sarebbe necessario individuare esperimenti per la stima di questi parametri. Poiché essi influenzano, sembra sensibilmente, le costanti di tempo che determinano la risposta del sistema in seguito alle dette perturbazioni, si può pensare di seguire parallelamente nel tempo biocenosi di uno stesso sito dopo averne differenziato l'evoluzione mediante opportune perturbazioni.

Come casi di studio, vengono ora presentati i risultati di simulazioni numeriche di due particolari processi.

3.3.1. Aumento del seston

E' stato considerato l'aumento del grado di trofia dell'ecosistema dovuto alla presenza di una maggior quantità di seston u_1 (t) data da

$$u_1(t) = u_1^* [1 + 0.2 (l-\exp(-t))]$$

Le condizioni iniziali sono quelle dello stato stazionario. L' andamento con il tempo delle biomasse dei gruppi trofici della macrofauna sono riportati in Fig. 3.

Si assume $\delta'_0=1$. Per δ'_1, sufficientemente grande ($\delta'_1=5$) e $\varepsilon'_{jii} =0.1$, $\varepsilon'_{jik} =0.05$ ($i\neq k$), la risposta del sistema e sufficientemente regolare (Fig. 3a, b). Diminuendo δ'_1, ε'_{jii}, ε'_{jik} la risposta si situa su stati stazionari molto diversi da quello iniziale, a volte privo di significato biologico con esclusione di qualche gruppo trofico

(Fig. 3c,d).

3.3.2. Diminuzione dei frammenti vegetali alloctoni

E' stata considerata la diminuzione dell'apporto dei frammenti vegetali alloctoni $u_2(t)$ data da

$$U_2(t) = u_2^* [1 - 0.2 (1-\exp(-t)]$$

Le condizioni iniziali sono quelle dello stato stazionario. L'andamento con il tempo delle biomasse dei gruppi trofici della macrofauna sono riportati nelle Fig. 4. Anche qui si assume $\delta'_0 = 1$, $\varepsilon'_{jii} = 0.1$, $\varepsilon'_{jik} = 0.05$ ($i \neq k$). Per $\delta'_1 = 2$ la risposta del sistema e, per la biocenosi DC (Fig. 4a) - per la quale si è assunto $\beta_1 = 0.9$ - più sensibile di quella della biocenosi SFBC (Fig. 4b), per cui si è assunto $\beta_1 = 0.1$. Diminuendo δ'_1 la risposta si comporta come nel caso precedente (Fig. 4c,d),

Tab. I - Valori delle efficienze di assimilazione (da Valiela, 1984) e di produzione (da Sanse, 1979) per i gruppi trofici della macrofauna.

gruppo trofico	efficienza di assimilazione e_a	efficienza di produzione e_p	$(e_a\ e_p)\ 100$
1 carnivori	0.7	0.3	21
2 onnivori	0.4	0.3	12
3 sospensivori	0.6	0.3	18
4 deposivori	0.3	0.4	12
5 limivori	0.5	0.3	15
6 microbiota	0.95	0.15	14

Tab. II - Valori di alcuni parametri relativi ai gruppi trofici del gruppo microbiota (ricavato da varie fonti).

	x/x_{ma}	x/x_6	R/R_{ma}	R/R_6	e_a	e_p
batteri	0.15	0.05	20	0.40		0.5
microbenthos	1.75	0.52	28	0.56		0.5
meiofauna	0.50	0.14	1	0.02	0.05-0.2	0.8
microbiota	2.40	0.71	49	0.98		
macrofauna	0.29		2			

Tab. III - Biomasse, flussi ed efficienze ecologiche gruppi trofici per le biocenosi del golfo di Gaeta.

Biocenosi DC

gruppo trofico	biomassa	P	C	R	E	e%
1 carnivori	0.08	0.22	1.03	0.50	0.31	18
2 onnivori	0.22	0.50	4.15	1.16	2.49	10
3 sospensivori	0.10	0.20	1.12	0.47	0.45	15
4 deposivori	0.30	0.84	7.00	1.26	4.90	10
5 limivori	0.10	0.27	1.81	0.63	0.90	13
tot. macrofauna	0.80	2.03				
6 microbiota	1.92	15.46	108.50	87.61	5.42	14

Biocenosi SFBC

gruppo trofico	biomassa	P	C	R	E	e%
1 carnivori	0.14	0.35	1.67	0.82	0.50	18
2 onnivori	0.06	0.18	1.48	0.41	0.89	11
3 sospensivori	0.37	0.80	4.45	1.87	1.78	15
4 deposivori	0.41	0.87	7.22	1.30	5.05	10
5 limivori	0.02	0.06	0.37	0.13	0.18	13
tot. macrofauna	1.00	2.26				
6 microbiota	2.40	7.38	51.80	41.83	2.59	13

Biocenosi VTC

gruppo trofico	biomassa	P	C	R	E	e%
1 carnivori	0.03	0.05	0.24	0.12	0.07	16
2 onnivori	0.05	0.11	0.89	0.25	0.54	10
3 sospensivori	0.01	0.02	0.13	0.06	0.05	15
4 deposivori	0.15	0.55	4.54	0.82	3.18	11
5 limivori	0.01	0.03	0.19	0.07	0.09	13
tot. macrofauna	0.25	0.76				
6 microbiota	0.60	9.44	66.25	53.50	3.31	14

Tab. IV - Rapporti flussi/biomasse per le biocenosi del golfo di Gaeta

Biocenosi DC

gruppo trofico	P/x	C/x	R/x	E/x
1 carnivori	2.70	12.86	6.30	3.86
2 onnivori	2.26	18.86	5.28	11.32
3 sospensivori	2.01	11.17	4.69	4.47
4 deposivori	2.80	23.33	4.20	16.33
5 limivori	2.71	18.07	6.32	9.03
6 microbiota	8.05	56.51	45.63	2.83

Biocenosi SFBC

gruppo trofico	P/x	C/x	R/x	E/x
1 carnivori	2.51	11.94	5.85	3.58
2 onnivori	2.95	24.58	6.88	14.75
3 sospensivori	2.16	12.03	5.05	4.81
4 deposivori	2.11	17.60	3.17	12.32
5 limivori	2.75	18.33	6.42	9.17
6 microbiota	3.08	21.58	17.43	1.08

Biocenosi VTC

gruppo trofico	P/x	C/x	R/x	E/x
1 carnivori	1.67	7.94	3.89	2.38
2 onnivori	2.14	17.83	4.99	10.70
3 sospensivori	2.40	13.33	5.60	5.33
4 deposivori	3.63	30.28	5.45	21.19
5 limivori	2.80	18.67	6.53	9.33
6 microbiota	15.74	110.42	89.17	5.52

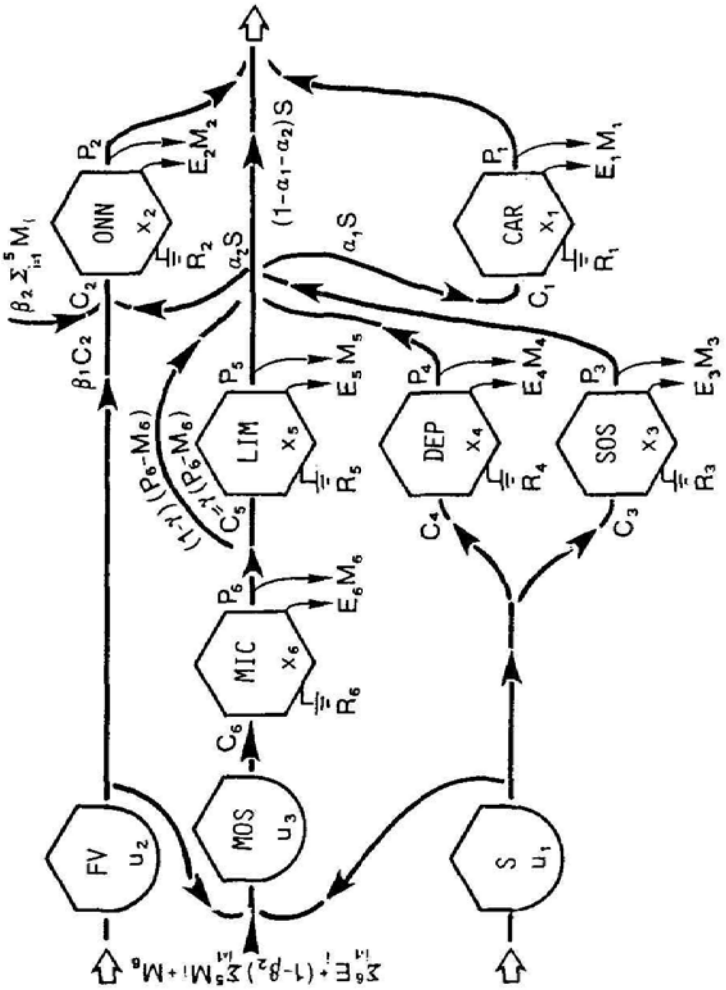


Fig. 1 - Schema delle interazioni presunte tra i gruppi trofici e le risorse del "sistema biocenosi bentica". FV = frammenti vegetali; MOS = materia organica del sedimento; S =seston; MIC = microbiota; LIM = limivori; DEP = deposivori; SOS = sospensivori; ONN = onnivori; CAR = carnivori.

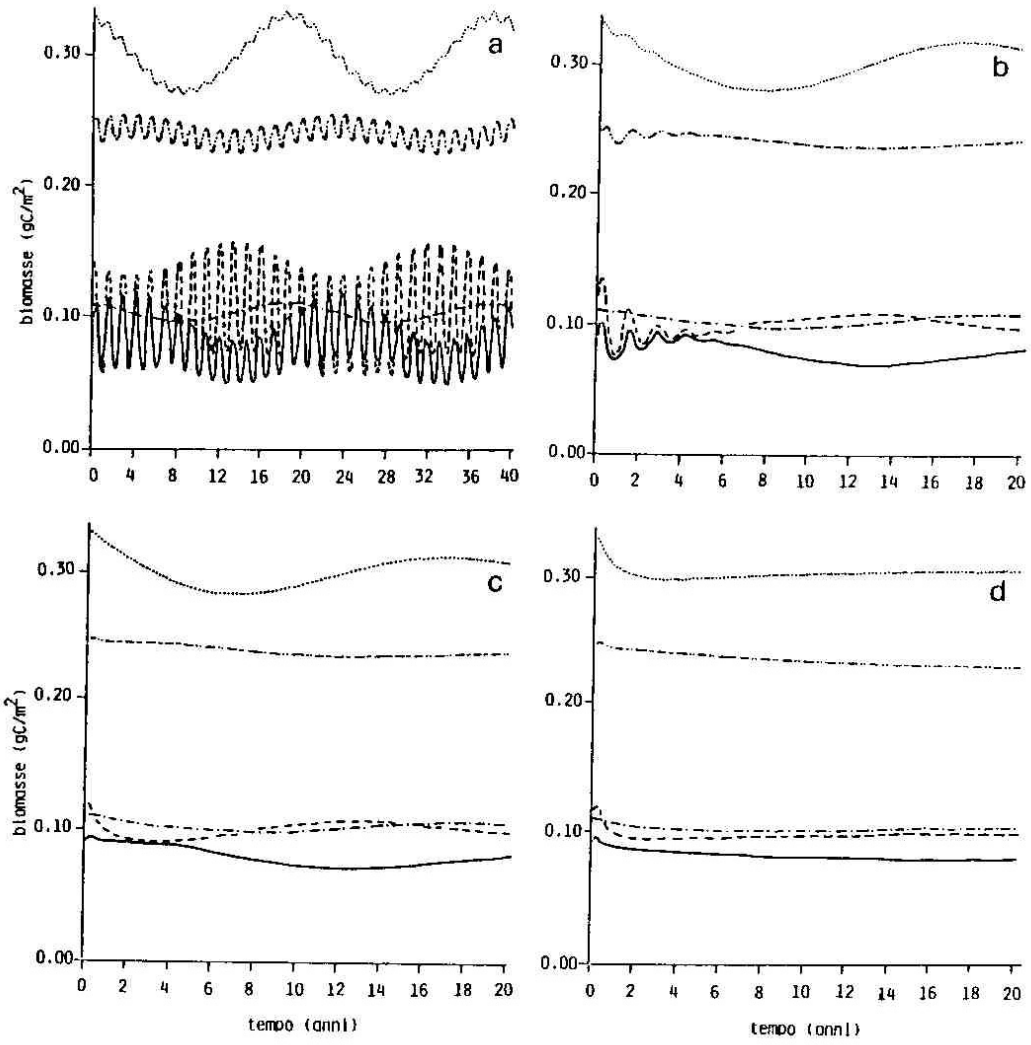


Fig. 2 - Biocenosi DC. Andamenti in funzione del tempo delle biomasse dei gruppi trofici della macrofauna ottenuti assumendo x_0=l.l x*. E' ε'_{jik} =0 e
a) ε'_{jik} =0;
b) ε'_{jii} =0.01, ε'_{jik} =0.005 (i≠k);
c) ε'_{jii} =0.01 e i≠6, ε'_{j66} =0.1, ε'_{jik} =0.005 (i≠k);
d) ε'_{jii} =0.1, ε'_{jik} =0.05 (i≠k).
Linea intera: carnivori; linea tratteggiata: limivori; linea punteggiata: deposivori; linea tratto-punto: sospensivori; linea tratto-doppio punto: onnivori.

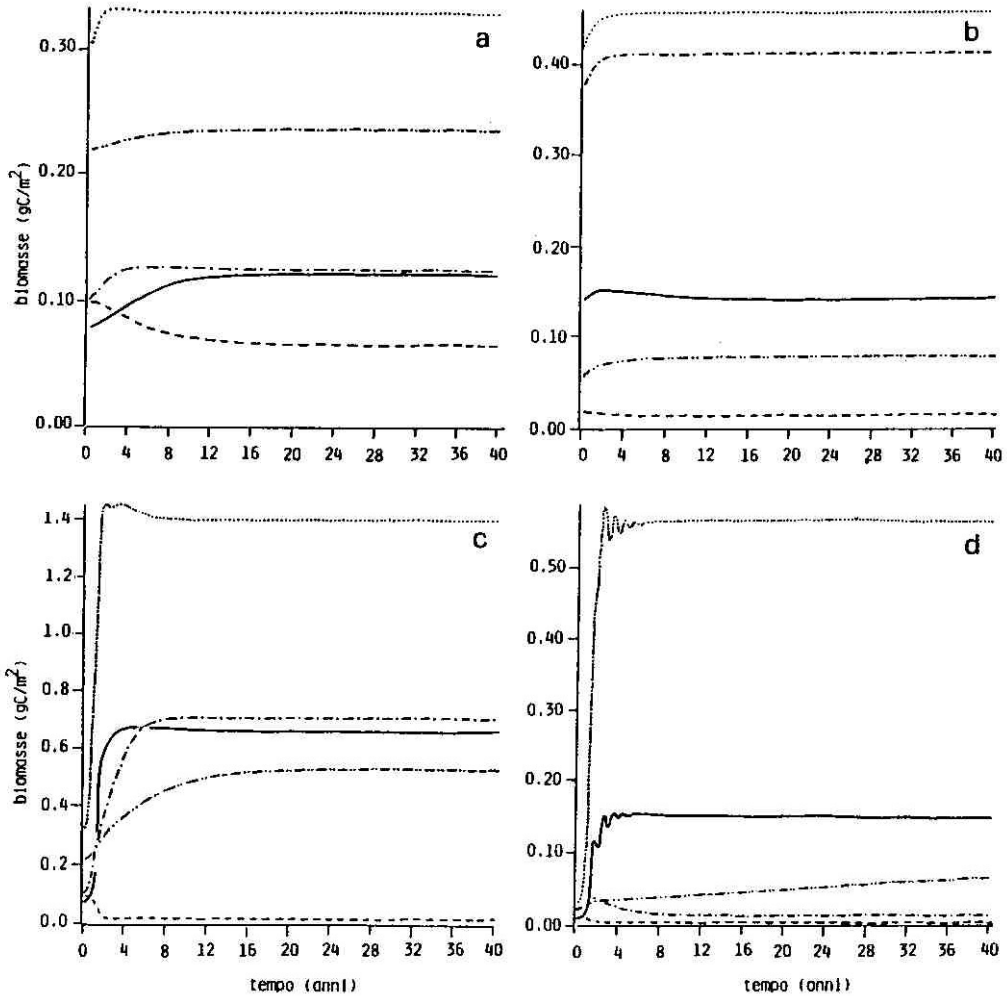


Fig. 3 - Andamenti in funzione del tempo delle biomasse dei gruppi trofici della macrofauna per un aumento del seston.
E' $\delta'_0 = 1$ e
a) biocenosi DC, $\varepsilon'_{jii} = 0.01$, $\delta'_1 = 5$;
b} biocenosi SFBC, $\varepsilon'_{jii} = 0.1$, $\delta'_1 = 5$;
e) biocenosi DC, $\varepsilon'_{jii} = 0.1$, $\delta'_1 = 0$;
d) biocenosi DC, $\varepsilon'_{jii} = 0.01$, $\delta'_1 = 0$.
Gruppi trofici rappresentati come in Fig. 2.

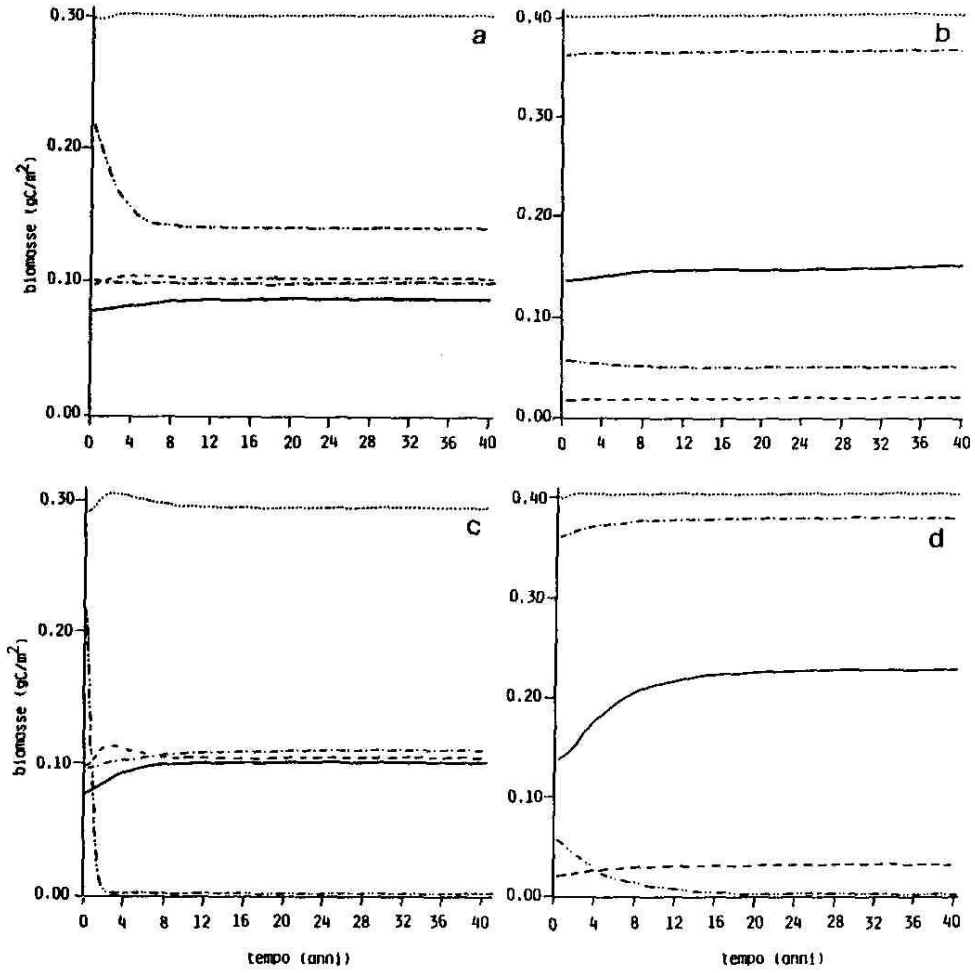


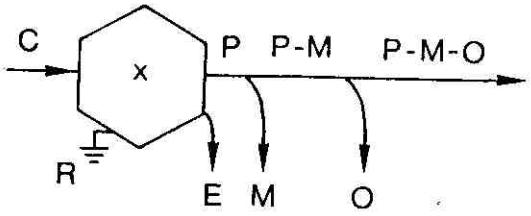
Fig. 4 - Andamenti in funzione del tempo delle biomasse dei gruppi trofici della macrofauna per una diminuzione dei frammenti vegetali alloctoni. E' $\delta'_0=1$, $\varepsilon'_{jii}=0.1$, $\varepsilon'_{jik}=0.05$ ($i\neq k$) e
a) biocenosi DC, $\beta_1=0.9$, $\delta'_1=2$;
b) biocenosi SFBC, $\beta_1=0.1$, $\delta'_1=2$;
e) biocenosi DC, $\beta_1=0.9$, $\delta'_1=0$;
d) biocenosi SFBC, $\beta_1=0.1$, $\delta'_1=0$;.
Gruppi trofici rappresentati come in Fig. 2.

APPENDICE

Al. IL BILANCIO DI BIOMASSA PER I GRUPPI TROFICI

Si consideri una comunità biologica costituita da un certo numero di risorse e di gruppi trofici. Le interazioni ammesse tra i vari gruppi sono la predazione (+,-), e la competizione (-,-).

Per ogni gruppo trofico, di biomassa x, il processo di consumo e perdita di energia (biomassa) è rappresentato per mezzo dello schema



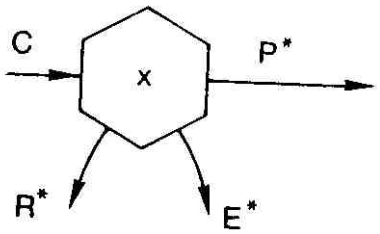
Dove

C= energia consumata per la produzione e per il metabolismo;
R= energia perduta per la respirazione
E= energia perduta per l'escrezione e l'egestione
P= produzione
M= energia sottratta per la mortalità naturale
O= energia trasferita a gruppi (predatori superiori) esterni al sistema

Siano [x] le dimensioni di x; i flussi hanno dimensioni [x] /tempo.
Sono introdotti i seguenti flussi:

P* = P-M-O = energia trasferita a gruppi trofici appartenenti al sistema;
O* = E+M = energia trasferita ad una risorsa (appartenente al sistema oppure no);
R* = R+O = energia perduta o trasferita a gruppi esterni al sistema.

Lo schema precedente può essere cosi riscritto



La comunità biologica sia costituita da n gruppi trofici di biomasse x_i, , i= l, 2,...,n, e da m risorse alimentari di quantità u_1= l, 2 , . . . ,m. Le variabili x_i sono le variabili di stato del sistema, le u; variabili di controllo. Occasionalmente una qualche risorsa può essère considerata variabile di stato.
Oltre alle risorse vi possono essere altre variabili di controllo; per le biocenosi bentiche particolare importanza assume il contenuto di ossigeno nei sedimenti. Per quanto detto le equazioni di bilancio per ciascun gruppo si possono scrivere nel modo seguente:

(1) $\frac{dxi}{dt}$ = fi= C_i- P^*_i – Q^*_i- R^*_i

La dinamica di questo sistema sarà definita quando le espressioni dei flussi C_i, P^*_i, Q^*_i e R^*_i in funzione delle variabili x_j (j=l, 2,……,n) e u_j (j=l , 2,……,m) , e le condizioni iniziali.
Se il sistema si trova in stato stazionario 1 'equazione diviene

(2) C_i= P^*_i + Q^*_i+ R^*_i = C_i- P_i + E_i+ R_i

Si introduce la matrice dei segni delle interazioni tra i vari gruppi trofici; il segno dell'elemento (i, j) di questa matrice rappresenta l'effetto del gruppo j sul gruppo i (Odum, 1971; Williamson, 1972).
La matrice dei segni delle interazioni per il sistema biocenosi bentica descritto dallo schema di Fig. 1 è

		1	2	3	4	5	6
carnivori	1	.	-	+	+	+	+
onnivori	2	-	.	+	+	+	+
sospensivori	3	-	-	.	-	0	0
deposivori	4	-	-	-	.	0	0
limivori	5	-	-	0	0	.	+
microbiota	6	-	-	0	0	-	.

Si ha competizione tra i gruppi 3 e 4 per la risorsa seston e tra i predatori 1 e 2 per le prede 3, 4, 5 e 6. Nel caso specifico delle biocenosi bentiche del golfo di Gaeta la competizione tra carnivori e onnivori è trascurabile in quanto questi ultimi sono da considerarsi solo "predatori occasionali"; ciononostante si può assumere una interazione, eventualmente debole, di tipo competitivo tra i gruppi 1 e 2 avendo questi una risorsa di cibo in comune.

Le interazioni ammesse nel sistema sono la predazione e la competizione (Hassel, 1980),
La matrice dei segni della matrice Jacobiana F-[ɓf;/ɓx_i] del sistema (1) è la matrice dei segni delle interazioni.

Si assume che i flussi Q^*_i e R^*_i siano proporzionali alle biomasse x_i ; si pone

(3) $Q^*_i + R^*_i = b_i x_i$

Le produzioni $P^*_i = P_i - M_i - O_i$ rappresentano energia trasferita a gruppi trofici appartenenti al sistema; pertanto P^*_i deve comparire nella espressione di qualche C_j. Vale la disuguaglianza

$\Sigma_i C_i > \Sigma_i P^*_i$

Si assume che tutte le controreazioni del sistema influiscano sui termini C. Come detto prima, tutti gli altri processi (respirazione, egestione, mortalità, predazione da parte di predatori superiori esterni al sistema) hanno una risposta lineare con la biomassa (equazione 3).
Si ricavano ora le espressioni dei flussi C; in termini delle variabili x_j e u_j.

A2. FLUSSI DI BIOMASSA

Ad ogni coppia di preda j e predatore i viene associato un coefficiente di trasferimento di energia o biomassa $p_{ij}>0$ dal gruppo j al gruppo i; sarà $p_{ij} =0$ se non vi è trasferimento dal gruppo j al gruppo i. Analogamente si definiscono i coefficienti p'_{ij} di trasferimento dalle risorse ai gruppi trofici. Poniamo $p_{ij} =0$ e $p_{ij}'; =0$.

I flussi C_i, sono così espressi

(4) $C_i = \Sigma_j p_{ij} [V_j (x_j) - W_{ij}(x)] x_i$
$+ \Sigma'_j p'_{ij} [V'_j (u_j) - W'_{ij}(x)] x_i$

La Σ è estesa ai gruppi trofici, la Σ' alle risorse.

Nella (4) V_j (x_j) è la funzione trofica e $W_{ij}(x)$ è un fattore che tiene conto sia degli effetti autolimitanti del gruppo i, sia degli effetti inibitori dei gruppi k (k≠i) sul gruppo i per la competizione per il cibo j. Analogamente vengono definiti V'_j e W'_{ij}

La funzione trofica V(z) (V'(z)) è la risposta funzionale del predatore alla biomassa z della preda (Holling, 1965; Svirezhev e Logofet, 1983) ed è non decrescente e limitata in z

(5) $\frac{dV(z)}{dz} \geq 0$, $\quad 0 \leq V(z) < +\infty$

Tra le varie espressioni di V(z) le più usate sono le seguenti:

(6.1) $V(z) = z / (\delta o + \delta, z)$ (Odum, 1972; Nihoul, 1975),

(6.2) $V(z) = [1\text{-}\exp(-z\,\delta_1 / \delta o)] / \delta$,

(Parsons e Le Brasseur, 1970).

La funzione W_{ij} (x) (W'_{ij} (x)) è un fattore limitante dell'accrescimento del predatore i nei riguardi della preda j e ha le seguenti proprietà

(7.1) $0 < W_{ij}(x)$, $\quad W_{ij}(x) = 0 \quad$ per x_K-0 e k≠j

(7.2) $\frac{\partial Wji(x)}{\partial xk} \geq 0 \qquad$ per k≠j $\qquad \frac{\partial Wji(x)}{\partial xi} = 0$

Una espressione semplice dei fattori limitanti W_{ji} è data da

(8) $W_{ji}(x) = \sum_{k \neq j} \varepsilon jik \; x_k$

ove gli εjik sono i coefficienti di competizione per le prede j tra i gruppi i e k. Questa espressione è giustificata solo se .le biomasse x_i sono sufficientemente piccole.

Si ammetta che se j è cibo per i e k allora i e k non sono cibo per j; pertanto e_{jik} e_{jik} =0 e e_{jik} e_{kij} =0. Analogamente si introducono i coefficienti di competizione per le risorse e'_{jik}. La teoria di May-MacArthur (HacArthur, 1968, 1970; May. e MacArthur, 1972) permette di esprimere gli e'_{jik} in termini dello spettro delle risorse e della funzione di utilizzazione di queste. Sulla valutazione della matrice dei

coefficienti di competizione vedi May (1975).

A3. LE EQUAZIONI DEL MODELLO

Si possono riscrivere ora le espressioni dei flussi C_i, P_i^* , Q_i^* e R_i^* in funzione delle variabili x_j e u_j; si ha

(9.1) $C_i = \Sigma_j P_{ji} [V_j (x_j)-W_{ji} (x)] x_i$
$+ \Sigma'_j P'_{ji} [V'_j (u_j)-W'_{ji} (x)] x_i$
(9.2) $P_i^* = \Sigma_j P_{ji} [V_i (x_i)-W_{ji} (x)] x_j$
(9.3) $Q_1^* + R_1^* = b_i x_i$

Le equazioni (1) si possono scrivere pertanto

(10) $\frac{dx}{dt} = \Sigma_j \Theta_{ij} (x) + \Sigma'_j \Theta'_{ij} (x, u)- b_i x_i$ ove

(11) $\Theta_{ij}(x)= p_{ji} [V_j(x_j)- W_{ji}(x)]x_i$
$- p_{ji} [V_i(x_i)- W_{ij}(x)]x_i$
(12) $\Theta'_{ij}(x, u)= p'_{ji} [V'_j(u_j)- W'_{ji}(x)]x_i$
E' $\Theta'_{ij}= -\Theta'_{ji}$

Nelle espressioni (11) e (12) le funzioni (V, V') e (W, W') devono soddisfare le proprietà (5) e (7) rispettivamente.

A4. STATO DI NON SATURAZIONE

Si suppone che le biomasse x_i siano piccole; per esempio, quando il sistema si trova in uno stato di non saturazione come descritto nel punto 3.2.
Si può assumere che le $V_j (x_j)$ siano lineari con le biomasse delle prede

(13) $V_j (x_j) = x_j / \delta_{0j} = x_j$

ove si è posto $\delta_{0j} =1$ senza ulteriore perdita di generalità. Per le W e W' si assume l'espressione (8). Si pone

$a_{ij}=-a_{ji} = p_{ji}-p_{ij}$
$g_{ij}(x)=-g_{ji} = \Sigma_{k\neq j} (-p_{ji}-\varepsilon_{jik} x_i x_k)$
$+ \Sigma_{k\neq j} (p_{ij}-\varepsilon_{jik} x_j x_k)$
$g_i(x)=\Sigma_j g_{ij}(x)$

$b'_i(u) = \Sigma'_j p'_{ij} V'_j(u_j)$
$a'_{ik} = \Sigma'_j p'_{ji} \varepsilon'_{jik}$

Le equazioni (10) si scrivono

(14) $\frac{dx}{dt} = [\Sigma_j (a_{ij} - a'_{ij}) x_j - b_i + b'_i(u)]x_i + g_i(x)$

I termini sono stati cosi esplicitati per evidenziare i contributi al bilancio da parte dei vari processi. Si ha

termine	processo
$A=-A=[a_{ij}]$	predazione;
$-A'=[-a'_{ij}] \leq 0$	competizione per le risorse;
$-b=[-b_i]<0$	perdita per respirazione, ecc.;
$b'(u)=[b'_i(u)] \geq 0$	consumo delle risorse;
$g(x)=[g_i(x)]$	competizione per le prede.

A5. STABILITA' DELLO STATO STAZIONARIO

II sistema di equazioni (in generale non lineari) cui deve soddisfare lo stato stazionario x*,
$x^{*T}=(x_1^*, x_1^*, \ldots\ldots x_n^*)$, sono

(15) X(x) [(A-A')x-b-b'] = g(x)

ove X è la matrice diagonale con $X_{ij} = x_i$

Si effettua ora una analisi di stabilità degli stati stazionari per i livelli Lc di complessità del sistema definiti nel punto 3.2.
Si inizia considerando i primi due livelli; si assume cioè $\varepsilon_{jik}=0$ per cui $g_i(x)=0$. Lo stato stazionario x* è ora soluzione del sistema lineare

(16) (A-A') x = b-b'

Si suppone che sia $x^*_i>0$ e si pone X*=X(x*).
La matrice Jacobiana F del sistema (15) calcolata per $x_i-x_i^*$ è data da

(17) F = X* (A-A') .
Si pone $Y=(X^*)^{1/2}$; si ha

(18) $Y^{-1} FY = Y(A-A')$

Sia A'=0 (caso Lc=2); poiché è $A=-A^T$, per la (.18) risulta che F è simile alla matrice YAY antisimmetrica e pertanto i suoi autovalori λ sono puramente immaginari.

Sia A'≠0 (caso Lc=2); per la (18) F è simile alla matrice Y(A-A')Y. Poiché A=-A^T„ se A'+A'^T è definita positiva, allora Re(λ)<0. Se i coefficienti q'_{jik}= p'_{ji} ε'_{jik} sono valutati secondo la teoria di May-MacArthur la matrice A' risulta essere simmetrica e definita positiva per cui Re(λ)<0.
Si nota che la matrice A'+A'^T può non essere definita positiva se i coefficienti di competizione non sono espressi secondo la teoria di May-MacArthur e i coefficienti ε'_{jii} sono sufficientemente piccoli rispetto ai coefficienti di competizione interspecifica ε'_{jik} (i≠k) . Si tiene conto ora anche della competizione per le prede; in questo caso la soluzione stazionaria e soluzione del sistema non lineare (15). Si consideri il caso della competizione intraspecifica (Lc=3). Sia

ε_{jik}= 0 (i≠k), per cui $g_{ij} = q_{ij}\ x_j^2 - q_{ji}\ x_i^2$

ove si è posto q_{ij}= p_{ij} εi_{ij}.
Mediante calcolo diretto si ottiene che la matrice F per x_i=x_i* è data da

(19) F*= X* (A-A'-H*)

ove H*=H(x*) e la matrice H(x)-[h_{ij} (x)] è cosi definita

(20.1) $h_{ii} = \Sigma j\ [q_{ij} + q_{ij}\ (x_j/x_i)2]$
(20.2) h_{ij}= $-2q_{ij}\ (x_j/x_i)$ (i≠j)

Per quanto detto prima, può assumere A'+A^T definita positiva; allora, per la (19), se H*+H^{*T} è definita non negativa risulta Re(λ)<0.

Si mostra che la matrice (H+H^T)/2 è definita non negativa. Si consideri il contributo K a questa matrice di un singolo predatore; senza perdita di generalità assumiamo i=l l'indice di questo gruppo. Per le (20), la matrice K è data da:

$\Sigma j\ q_{ji}$	$-q_{21}\ (x_1/x_2)$	$-q_{31}\ (x_1/x_3)$
$-q_{21}\ (x_1/x_2)$	$q_{21}\ (x_1/x_2)$	0
$-q_{31}\ (x_1/x_3)$	0	$q_{31}\ (x_1/x_3)$

Si nota che se 1 è indice di un gruppo di predatori e a loro volta non prede, allora, essendo q_{li}=0, nella matrice K saranno nulle la riga e la colonna 1.
Il vettore z , z^T=(1 , x_2/x_l, x $_3/x_l$,……, x_n/x_l) , è auto vettore di K corrispondente all' autovalore 0: Kz=0.
Si considera la decomposizione di K=D-(L+L^T), ove D è diagonale ed L è strettamente triangolare inferiore; è D_{ii} >0 e L>0. Da Kz=0, segue che la matrice D^{-1}(L+L^T)>0 ha

autovalore 1 cui corrisponde 1'autovettore z>0. Risulta che ogni altro autovalore di $D^{-1}(L+L^T)$ è in modulo non maggiore di 1 (Gantmacher, 1974) e quindi

$$| (V \bullet (L+L^T)V) | / (v-Dv) \leq 1$$

La matrice simmetrica K è pertanto definita non negativa.

La matrice $(H+H^T)/2$ è la somma dei vari contributi K_i dei predatori

$$(H+H^T)/2 = \Sigma_i K_i$$

per cui risulta essere definita non negativa.

L'ultimo livello di complessità (Lc=4) è stato studiato numericamente. Si ricorda che nel sistema definito dallo schema in Fig. 1 la competizione per le prede si ha solo al livello trofico più elevato (fra carnivori e onnivori). Le esperienze numeriche eseguite mostrano che, come avviene per la competizione per le risorse, aumentando i coefficienti di competizione interspecifica e_{jik} ($i \neq k$), la parte reale $Re(\lambda)$ di un qualche autovalore λ di $F(x^*)$ può divenire positiva.

BIBLIOGRAFIA

Armstrong R.A. e McGehee R., 1976 - Coexistence of two competitors on one resource. J. Theor. Blol.: 56, 499-502.

Banse K., 1979 - On weight dependence of net growth efficiency and specific respiration rates among field populations of invertebrates. Oecologia, 38: 111-126.

Bianchi C.N. e Zurlini G., 1984 - Criteri e prospettive di una classificazione ecotipologica dei sistemi marini costieri italiani. Acqua aria, 8: 785-796.

Bianchi C.N., Sgorbini S. e Zurlini G., 1985 - Essai de cartographie benthique du golfe de Gaète (Her Tyrrhénienne, Italie) a l'aide de la

Bianchi C.N., Biondi L., Cattaneo Vietti R., Morri C., Niccolai I., Peroni C., Rossi G., Ruggiero R. e Tucci S., 1986 - Ecologie trophique de quelques biocénoses de fonds meubles en Mer Tyrrhénienne. Rapp. Comm. ini. Mer Medit., 30, 2: 253.

Cousins S.H., 1985 - The trophic continuum in marine ecosystems: structure and equations for a predictive model. In: Ecosystem theory for biological oceanography, Ulanowicz R.E. and Platt T. (Eds), Can. Bull. Fish. Aquat. Sci., 213: 76-93,

Ferretti O., Niccolai I., Bianchi C.N. e Tucci S., 1986 -Indagine ambientale dei sistemi marini costieri: il tratto compreso tra il capo Circeo e l'isola d'Ischia. Acqua aria, 6: 599-611.

Field J.G., 1983 - Flow patterns of energy and matter. In: Marine Ecology, Kinne O. (Ed.), Vol. V, part 2, J.Wiley & Sons, Chichester: 758-794.

Gantmacher F.R., 1974 - The theory of matrices. Chelsea, New-York.

Gray J.S., 1981 - The ecology of marine sediments. Cambridge University Press, Cambridge.

Hassel M.P., 1980 - The dynamics of competition and predation. Arnold, London.

Holling C.S., 1965 - The functional response of predators to prey density and its role in mimicry and population regulation. Mem. Ent. Soc. Can. 45: 1-60.

Jorgensen S.E. (Ed.), 1979 - Handbook of environmental data and ecological parameters. Pergamon Press, Oxford.

Levin S.A., 1970 - Community equilibria and stability, and an extension of the competitive exclusion principle. Am. Nat., 104: 413-423.

MacArthur R.H., 1968 - The theory of niche. In: Population biology and evolution, Lewontin R. (Ed.), Syracuse University Press, Syracuse: 159-176.

MacArthur R.H., 1970 - Species packing and competitive equilibrium for many species. Theor. Pop. Biol., 1 : 1-11.

May R.M., 1974 - Stability and complexity in model ecosystems. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

May R.M., 1975 - Some notes on estimating the competition matrix. Ecology, 56: 737-741.

May R.M. e MacArthur R.H., 1972 - Niche overlap as a function of environmental variability. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S. 69: 1109-1113.

Maynard Smith J., 1974 - Models in ecology. The University, Press, Cambridge.

Nihoul J.C.J., 1975 - Interaction models. In: Modelling of marine systems, Nihoul J.C.J. (Ed.), Elsevier, Amsterdam: 97-111.

Odum H.T., 1971 - Fundamentals of ecology. Saunders, Philadelphia.
Odum H.T., 1972 - An energy circuit language for ecological and social systems: its physical basis. In: Systems Analysis and Simulation in Ecology, Patten B.C. (Ed.), Vol. II, Academic Press, New-York: 139-211.
Parsons T.R. e Le Brasseur R.J., 1970 - The availability of food to different trophic levels in the marine chain. In: Marine food chains, Steele J.M. (Ed.), Oliver and Boyd, Edinburgh: 325-243.
Platt T., Mann K.H. e Ulanowicz R.E. (Eds), 1981. Mathematical models in biological oceanography, The Unesco Press.
Robertson A.I., 1979 - The relationship between annual production:biomass ratios and lifeepans for marine macrobenthos. Oecologia, 38: 193-202.
Sheng Y.P., 1983 - Mathematical modelling of three-dimensional coastal currents and sediment dispersion: model development and application. Aeronautical Research Associates of Princeton. Tech. Rep. CERC-83-2.
Svirezhev Y.M. e Logofet D.O., 1983 - Stability of biological communities. MIR Publishers, Moscow.
Ulanowicz R.E, e Platt T. (Eds), 1985 - Ecosystem theory for biological oceanography. Can., Bull. Fish. Aquat. Sci., 213: 1-260.
Valiela I., 1984 - Marine ecological processes. Springer-Verlag, New-York.
Williamson M., 1972 - The analysis of biological populations. Arnold, London.

ATTI DELL'8° CONGRESSO A.I.O.L.
PALLANZA 1-3 GIUGNO 1988 da pag. 253 a pag. 274

PRIMA VALUTAZIONE DELLA TROFIA DELLE ACQUE DEL LAGO DI LEDRO

S.CASELLATO*, R.TREVISAN**

*Dipartimento di Biologia, Università di Padova
**Istituto di Biologia Agraria, Università della Basilicata

RIASSUNTO

Vengono riportati i dati relativi ad una indagine limnologica sul Lago di Ledro, Iniziata nel Luglio 1987, con l'obiettivo di valutare l'attuale trofia delle acque, interessate in questi ultimi anni dall'intensificazione dei fenomeni di "blooms" algali, dopo l'entrata in funzione di un depuratore in località Piève di Ledro.
I livelli di trofia evidenziati sulla base dei più significativi parametri (N totale, P totale. Clorofilla a, densità fìto e zooplanctonica etc.) indicano per questo lago una situazione ipertrofica, cui concorrono per una piccola parte i nutrienti sversati dal depuratore e in massima parte gli scarichi domestici sversati lungo il restante perimetro del lago.

SUMMARY

The results of a limnological research on lake of Ledro from July 1987 are here reported.
Our purpose was to evaluate the trophy degree of water of this lake interested by frequent and abundant algal blooms in the last years.

On the basis of the most significant parameters as total nitrogen, total phosphorus, BOD_5, Clorophyll a, phyto and zooplancton densities and the oxygen content of hyplimnion, we could deduce for this lake an eutrophic situation to which the sewage of Pieve di Ledro plant disposal concurred in little part: 6.8% for phosphorus and 4.5% for nitrogen.

Ricerca finanziata dall'Amministrazione Provinciale di Trento.

INTRODUZIONE

Le vicende limnologiche del Lago di Ledro sono state contrassegnate dal 1928 in poi da interventi radicali che ne hanno profondamente alterato la fisionomia di lago naturale.

Dal 1928 comincia a funzionare una condotta forzata a ca. 25 m di profondità attraverso la quale le acque vengono convogliate ad una centrale idroelettrica situata sulle rive del Lago di Garda. Il Ledro viene così a configurarsi come un lago-serbatoio con ampie oscillazioni idrometriche durante 1'anno.

Dal 1949 questa condotta funge anche da tubatura attraverso la quale viene pompata acqua proveniente dagli strati superficiali del Garda (Tab. 1). Questo intervento ha profonde ripercussioni non solo sulla termica e sul chimismo delle acque, ma provoca anche modificazioni all'interno del popolamento planctonico.

Per valutare gli effetti di queste massicce immissioni di acque dal Garda, negli anni successivi, il Lago di Ledro viene tenuto sotto controllo. Nel 1950 V. Tonolli (1956) evidenzia lo sconvolgimento del ciclo termico e segnala squilibri nella composizione originale del plancton. Barbato (1977) nel periodo '69-'76 denuncia frequenti apparizioni di *Oscillatoria rubescens*. I sopralluoghi estivi di A.vittori (1973, 1977) confermano la presenza massiccia di quest'alga segnalando nel contempo altri "blooms" algali. Anossia al fondo viene denunciata da una indagine dell'IRSA (1980) e Vittori et al. (1985) confermano preoccupanti situazioni anomale durante il periodo estivo con BOD_5 decisamente elevati (10 mg/l).

La popolazione che grava sul bacino lacustre, le cui caratteristiche sono riportate in Tab. 2, consiste, secondo il censimento del 1974, di 3240 persone, ma certo essa viene ad essere di gran lunga aumentata dalle presenze turistiche tra Giugno e Settembre.

Dal Marzo 1984 entra in funzione, in località Pieve di Ledro, un depuratore biologico (vedi dati relativi Tab. 3) che raccoglie i reflui fognari del 70% ca. dei residenti in comune di Pieve di Ledro. Restano non allacciati al depuratore un altro 30% dello stesso comune e tutte le altre fognature che gravitano attorno al perimetro del lago.

Mai come in questi ultimi anni le fioriture algali si sono intensificate ed il Lago di Ledro, sia in primavera-estate che in autunno, presenta una immagine di sé molto degradata, che compromette i principali interessi

Anno	Acqua (m^3) turbinata alla centrale idroel.	Acqua (m^3) pompata dal Lago di Garda
1980	98.057.553	5.141.655
1981	98.224.173	14.366.351
1982	96.614.717	14.436.485
1983	99.634.564	10.419.313
1984	89.292.953	8.962.736
1985	105.336.224	2.447.160
1986	88.879.631	3.777.129
1987	81.833.440	511.500

Tab. 1: Volumi di acqua turbinati alla centrale e volumi pompati dal Lago di Garda negli ultimi 8 anni (dati ENEL)

LAGO DI LEDRO

Latitudine N	45°52'39"
Longitudine	10°45'04" E(Greenwich); 1°42'04" W(Monte Mario)
Provincia di	Trento
Tipo	naturale regolato
Affluenti	T. Massangla
Emissario	T. Ponale (L. di Garda - F.Mincio - F. Po)
Portata media emissario (m^3/s)	2,83 (a) (1921-1940)
Altitudine del livello medio (m. s.l.m.)	655
Area del lago (superficie dell'acqua) Km^2	3,1
Area del bacino imbrifero (lago compreso) Km^2	101,2
Profondità massima	47 m
Profondità media (m)	36
Lunghezza della costa (km)	8
Volume d'acqua ($m^3 x 10^6$)	75,8
Rapporto area bacino imbrifero (con lago)/area lago	48,1
Tempo teorico di ricambio (anni)	0,85
Copertura di ghiaccio	irregolare
Popolazione residente nel bacino imbrifero (unità)	3.280 (1974)
Popolazione residente entro la fascia dei 10 Km (unità)	3.280 (1974)

Tab. 2: Caratteristiche morfologiche, batimetriche e idrologiche del Lago di Ledro.

A

	Aprile-Giugno	Luglio-Agosto	Restante periodo anno
$N\text{-}NH_4$ (mg/l)	0.7	2.7	0.4
N. organ. (mg/l)	2.16	0.94	2.16
$N\text{-}NO_3$ (mg/l)	12.02	16.02	8.72
$N\text{-}NO_2$ (mg/l)	-	0.2	-
N tot. (mg/l)	14.96	19.98	11.97
P tot. (mg/l)	0.8	1.1	0.47
BOD_5 (mg/l)	12.0	15.0	11.0

B

	Aprile-Giugno	Luglio-Agosto	Restante periodo anno
Conc. P in Entrata	3.85	4.1	3.09
Conc. P in uscita	0.8	1.1	0.47
% di abbatti-mento	79%	73%	85%

Tab. 3: Valori medi delle concentrazioni dei principali parametri misurati nelle acque dello scarico del depuratore di Pieve di Ledro (A). Carichi dì fosforo affluente ed effluente e percentuali di abbattimento del depuratore di Pieve di Ledro.
N.B.: Nel periodo di maggior afflusso turistico (Giugno-Agosto) i campionamenti sono stati eseguiti giornalmente, mentre nei restanti periodi venivano eseguiti settimanalmente (B).

socio-economici di questa zona a vocazione turistica.
La gente del posto è portata a mettere in relazione l'intensificazione delle fioriture algali con gli scarichi del depuratore.

A qualche anno di distanza dall'entrata in funzione del depuratore ha inizio la nostra ricerca (Luglio 1987) sollecitata e finanziata dall'Amministrazione Provinciale di Trento.

Tale ricerca si pone come obiettivo la definizione dell'attuale trofia raggiunta dalle acque di questo Lago sulla base dei più significativi parametri trofici: azoto totale, fosforo totale, clorofilla a, densità fito e zooplanctonica, tenta nel contempo di valutare quale apporto possa avere il depuratore di Pieve di Ladro.

MATERIALI E METODI

I sopralluoghi sul Lago sono stati eseguiti in quattro stazioni opportunamente scelte (Fig. 1) con periodicità mensile. Si sono registrate le temperature e misurato l'ossigeno disciolto ad ogni metro di profondità, si è inoltre misurata la trasparenza, in metri, delle acque con il Disco Secchi. Le analisi dei più significativi parametri idrologici: ammoniaca, nitriti, nitrati, azoto totale, fosfati solubili, fosforo totale, durezza, alcalinità, pH, Ca, Hg, solfuri, cloruri e BOD_5 sono state eseguite dal Laboratorio Chimico Provinciale di Trento, i cui operatori hanno messo gentilmente a nostra disposizione tali dati.

Prelievi mensili si sono effettuati anche per la misura delle concentrazioni di clorofilla a, su un campione integrato della zona eufotica (Cordella et al., 1975). La metodica seguita è quella consigliata dal Gruppo Informale di Limnologia per 1'Intercalibrazione (Bologna 2/11/86, dati non pubblicati). La formula usata è quella di Lorenz (in Goltertman et al., 1978).

Le raccolte del fitoplancton sono state effettuate anch'esse su un campione integrato fissato in soluzione di Lugol (1:100) immediatamente dopo il prelievo (Saraceni&Ruggiu in Vollenweider, 1974). Tale campione veniva poi esaminato secondo il sistema di Utermhol (Lund et al., 1958).

Le raccolte dello zooplancton sono state Invece eseguite con cadenza stagionale. Si è utilizzato il Clarke-Bumpus sampler con retino a 69 maglie per cm. Si sono esplorati,

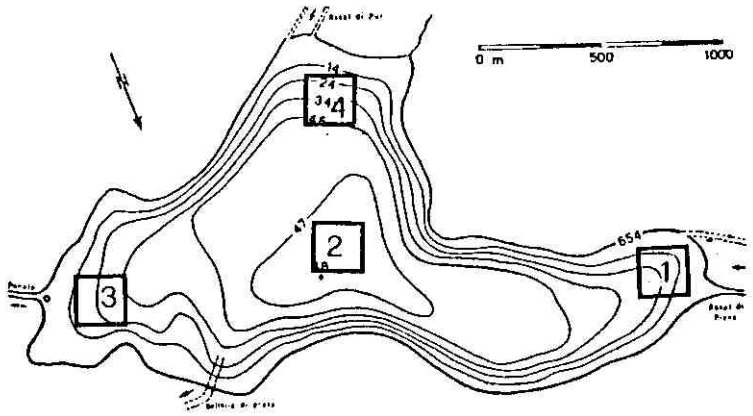


Fig. l. Batimetria del Lago di Ledro e localizzazione delle stazioni.

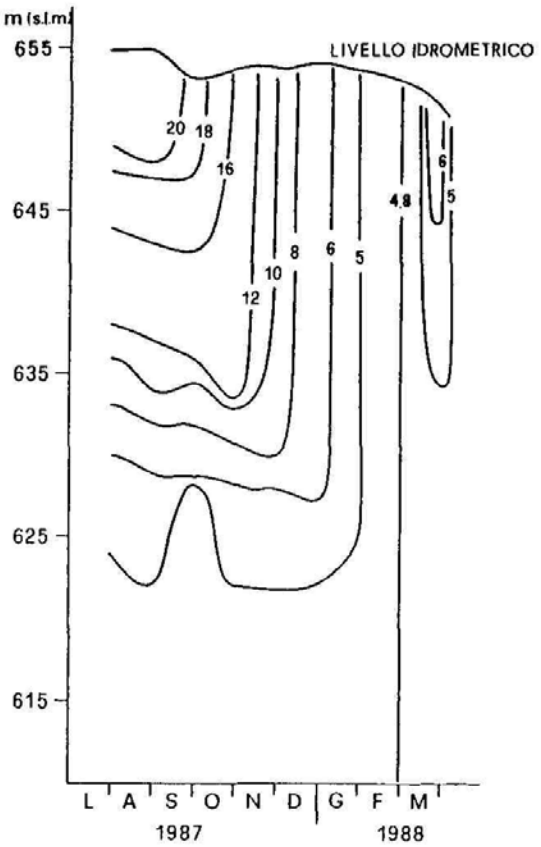


Fig. 2. Isoterme nella St. 2

con andamento sinusoidale, gli strati d'acqua superficiale (0-15 m) e profondo (15m-fondo) per ogni stazione. I campioni sono stati fissati con formaldeide al 4% sul posto.

RISULTATI

Termica e ossigenazione delle acque

II ciclo termico del Lago di Ledro si discosta da quello tipico di un .lago temperato, quale dovrebbe essere considerando la sua quota (650 mslm) e la limitata profondità del bacino (Fig.2).

Quest'anno (1987-'88) l'acqua in superficie non ha gelato se non per un brevissimo periodo e con limitati spessori di ghiaccio sulle rive. La stratificazione termica è durata fino a Dicembre, nella stazione più profonda del Lago (St. 2) (Fig.3): un lieve accenno ad un salto termico è ancora rilevabile in questo mese in profondità. Dalla fine di Gennaio all'inizio di Marzo si instaura una situazione di omeotermia delle acque sui 4.8°C. L'andamento nelle St. 3 e 4, rispettivamente con 33 e 43 m di profondità massima, è risultato molto simile a quello della St. 2. Nella St. 1 (la meno profonda: 19 m al massimo) l'omeotermia delle acque si instaura già alla fine di Novembre e perdura fino a tutto Febbraio.

L'ossigenazione degli strati epilimnici nei mesi estivi ed.autunnali non supera mai il 130% di saturazione, quella degli strati ipolimnici risulta, nei periodi di stratificazione termica, pressoché nulla; nel mese di Marzo si osserva un ripristino dell'ossigenazione degli strati profondi grazie alla avvenuta piena circolazione delle acque, conseguente all'omeotermia.

Trasparenza delle acque e parametri di trofia delle acque

La trasparenza delle acque di questo lago non risulta mai molto elevata. I massimi, valori si osservano, come di consueto nei mesi invernali (7 m). Anche Largaiolli (1931) aveva attirato l'attenzione sulla scarsa limpidezza di queste acque, attribuendone la causa alla presenza di numerose correnti sottolacustri.

Una analisi dettagliata dell'andamento dei principali parametri di trofia delle acque mette in risalto una situazione di accentuata eutrofia: azoto totale, fosforo

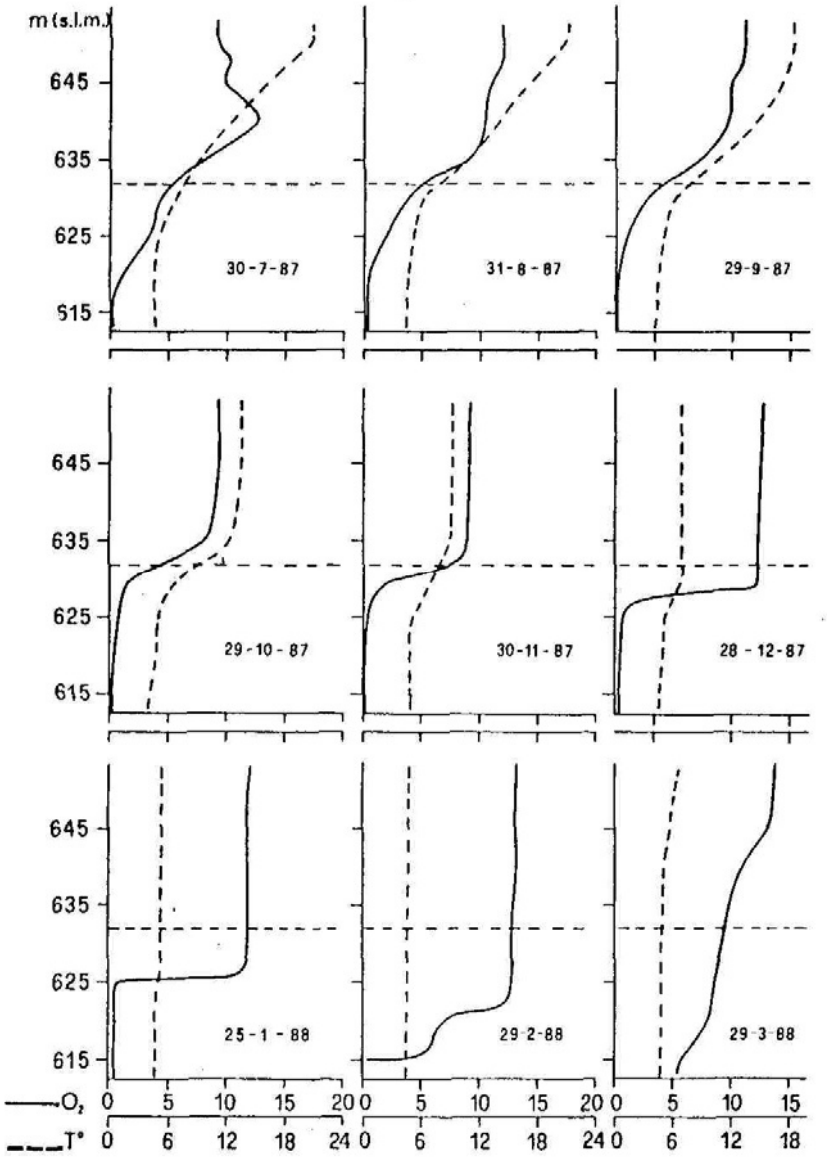


Fig. 3. Andamento della temperatura (linea tratteggiata) e delle concentrazioni dell'ossigeno disciolto (linea continua) nella St. 2. La linea tratteggiata orizzontale indica la profondità della condotta forzata.

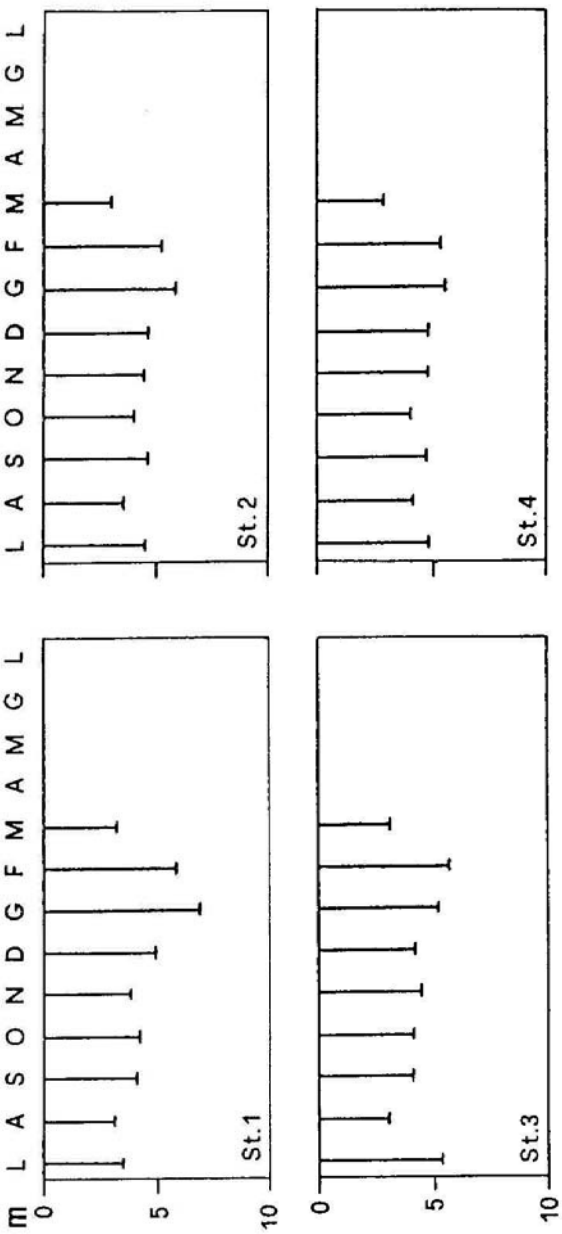


Fig. 4. Valori della trasparenza in m nelle diverse stazioni

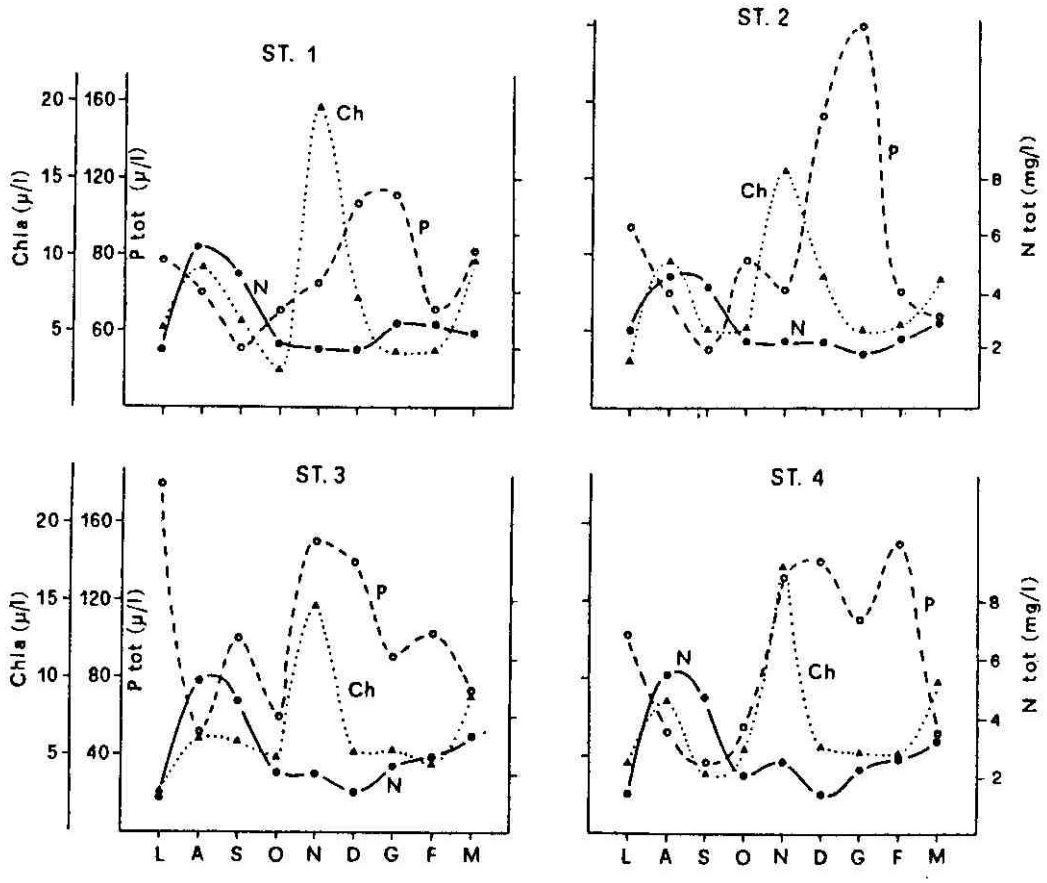


Fig. 5: Andamento delle concentrazioni di Fosforo totale, Azoto totale e Clorofilla a nelle quattro stazioni di prelievo (si sono utilizzate le medie delle varie profondità).

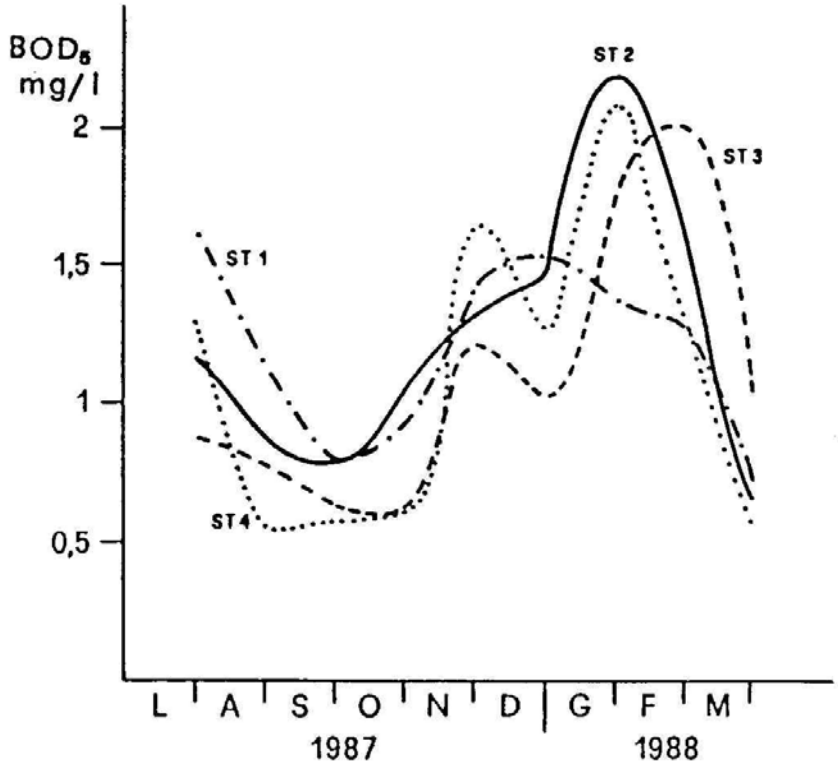


Fig.6: Andamento dei valori di BOD_5, misurati nelle diverse stazioni (si sono utilizzate le medie delle varie profondità)

totale, clorofilla a (Fig. 5) eccedono quasi sempre, e talvolta di un ordine di grandezza, i valori ammissibili per un lago oligotrofo (Vollenweider, 1965). Le concentrazioni più elevate di fosforo si sono riscontrate nella St. 2 (la più profonda) nel periodo immediatamente precedente alla piena circolazione delle acque, e nella St. 3, nel periodo estivo (Luglio 1987).Negli altri periodi dell'anno le concentrazioni rimangono su valori accettabili, compreso il periodo invernale dell'olomissi, soprattutto nelle St. 3 e 4. Per quanto riguarda l'azoto totale le più alte concentrazioni si misurano nel periodo estivo in tutte e quattro le stazioni; durante il periodo della piena circolazione delle acque tali valori si abbassano di molto restando comunque al di sopra dei valori accettabili.

La clorofilla a supera anch'essa il limite delle concentrazioni dell'oligotrofia (Vollenweider 1968) , non solo nel periodo estivo, ma, ed in maniera anche più accentuata, durante il periodo autunnale (Ottobre-Novembre).

I valori di BOD_5 più elevati in assoluto si misurano nella St. 2 in Febbraio nello strato più profondo. In questo stesso periodo, che precede di poco la.piena circolazione delle acque, si sono misurate anche le più alte concentrazioni di ammoniaca (1.7 mg/1) e di solfuri (0.6 mg/1). Nelle altre tre stazioni i valori registrati per questo parametro raramente superano i 4 mg/1 e mediamente si aggirano sui 2 mg/1 (Fig.6).

Studio qualitativo e quantitativo del fitoplancton

Le specie fitoplanctoniche rinvenute a tutt'oggi nei nostri prelievi sono 44, appartenenti a 8 raggruppamenti (Tab.4).

Se facciamo un confronto con i dati della letteratura (Pavesi, 1883, Largaiolli, 1931, Barbato, 1977) possiamo notare che lo spettro algale di questo lago non ha subito grosse modificazioni. E' certo, comunque, che nel lago oggi le presenze dominanti sono quelle di *Oscillatoria rubescens* che in tutte le stazioni, in autunno, rappresenta il 98-99% della intera biomassa algale e *Ceratium hirundinella*. che svolge un ruolo analogo di dominanza in estate (Trevisan et al. , 1988).

Tra le varie stazioni non esistono differenze qualitative; quantitativamente, invece, si osserva che la St. 3 presenta, in assoluto, i valori più elevati di cell/1 ($2.8x10^7$ in Novembre). Non è possibile fare dei confronti

CYANOPHYCEAE	
Anabaena flos-aquae	Coelastrum reticulatum
Oscillatoria rubescens	Cosmarium reniforme
DIATOMEAE	Closteriopsis longissima
Asterionella formosa	Crucigenia rectangularis
Cocconeis placentula	Dictyosphaerium pulchellum
Cocconeis sp.	Eudorina elegans
Cyclotella comta	Mougeotia sp.
Cymbella tumida	Nephrocytium lunatum
Fragilaria crotonensis	Oocystis crassa
Melosira granulata	Scenedesmus bijugatus
Melosira italica	Schroederia setigera
Navicula sp.	Sphaerocystis schroeteri
DINOFLAGELLATAE	Staurastrum gracile
Ceratium hirundinella	CHRYSOPHYCEAE
Gymnodinium euritopum	Dinobryon divergens
Gymnodinium helveticum	Mallomonas caudata
Peridinium cinctum	CRYPTOPHYCEAE
EUGLENOPHYCEAE	Cryptomonas erosa
Euglena elongata	Rhodomonas minuta
CHLOROPHYCEAE	XANTHOPHYCEAE
Actinastrum hantzschii	Tribonema minus
Ankistrodesmus falcatus	
Ankyra sp.	
Chlorella conductrix	
Chlorella vulgaris	
Chlorella sp.	
Chlamydomonas sp.	
Carteria multifilis	
Chlorogonium elongatum	
Closterium gracile	

Tab. 4: Specie fitoplanctoniche rinvenute nelle acque del Lago di Ledro

COPEPODI
Copidodiaptomus steueri
Cyclops strenuus
Mesocyclops leuckarti
CLADOCERI
Daphnia longispina
Daphnia hyalina galeata
Bosmina longirostris
Diaphanosoma brachyurum
Leptodora Kindti
Bythotrephes longimanus
ROTIFERI
Asplanchna priodonta
Kellicotia longispina
Keratella quadrata
K. cochlearis
Filinia longiseta
Polyarthra vulgaris
Synchaeta pectinata
S. lakowitziana
Conochilus unicornis
Brachionus quadridentatus
Pompholyx sulcata
Trichocerca capucina
Gastropus sp.
Lecane sp.

Tab.5. Specie zooplanctoniche rinvenute nelle acque del Lago di Ledro

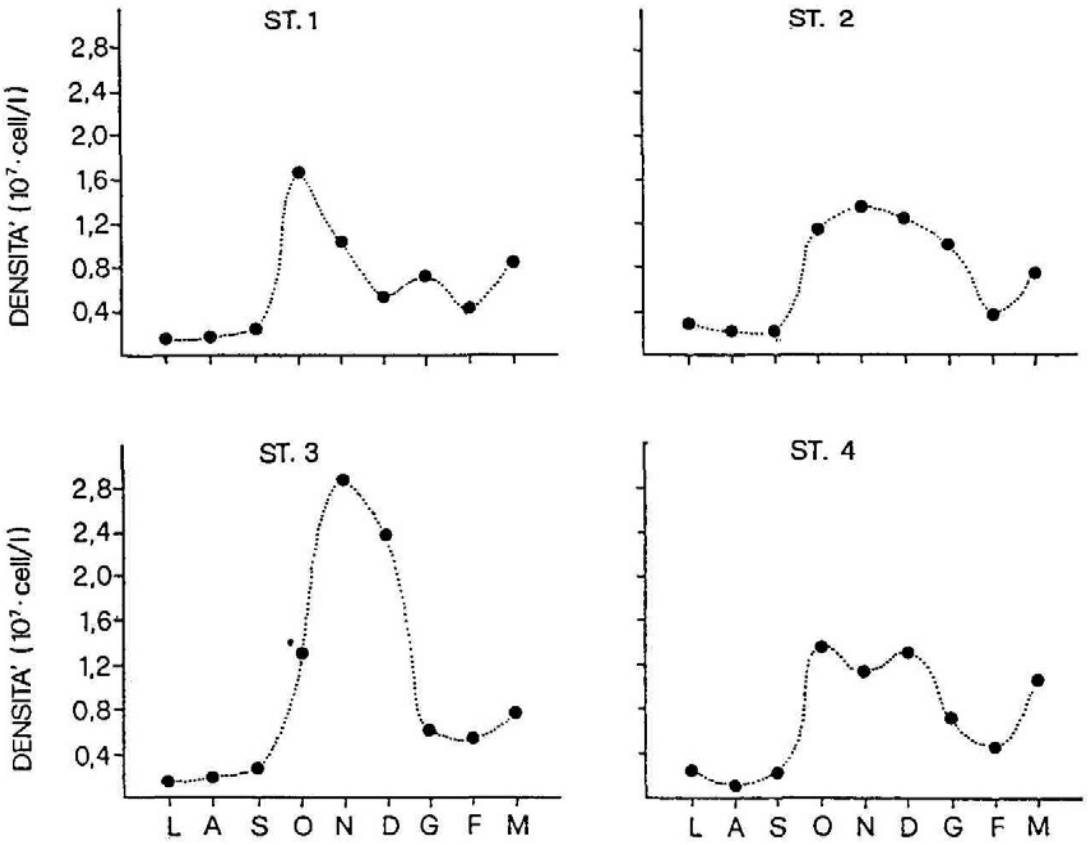


Fig. 7. Densità del fitoplancton (10^7 cell/1) nelle diverse stazioni di prelievo.

quantitativi con i dati di Pavesi (1893) e Largaiolli (1931), solo rispetto a quelli riportati da Barbato (1977) ci si rende conto che le densità da noi registrate (Fig. 7) sono molto più elevati, a soli 10 anni di distanza. E' stata calcolata anche la biomassa fitoplanctonica e si sono riscontrati valori che vanno da un minimo di 0.650 µg/1 (Agosto St. 3) ad un massimo di 3.034 µg/1 (Settembre St. 4).

Studio qualitativo e quantitativo dello zooplancton

Per quanto riguarda la composizione qualitativa della biocenosi zooplanctonica (Tab. 5), non si osservano variazioni tra i Crostacei (Copepodi e Cladoceri) rispetto alla letteratura precedente (Tonolli, 1956; Barbato, 1977). Differenze, invece, si sono riscontrate a livello dei Rotiferi, componente più labile della intera biocenosi zooplanctonica, che frequentemente, soprattutto in laghi con scarso potere omeostatico, come nel caso del nostro, poco profondo e così rimaneggiato idraulicamente, subiscono delle variazioni, anche a breve distanza di tempo.

Gastropus sp, *Lecane* sp. *Ponpholyx sulcata* e *Synchaeta lakowitziana*, sono segnalazioni nuove per il Ledro; la presenza di alcune di queste, invero, trova ragione nella continua derivazione di acque dal Garda, dove sono presenze abituali del plancton (Cesellato& Duzzin, 1974).

E' dal punto di vista quantitativo che si osservano delle grosse differenze tra i nostri dati e quelli degli autori precedentemente citati; i primi più elevati (talvolta di un ordine di grandezza) rispetto ai secondi.

Numericamente la componente dei Rotiferi prevale in percentuale su Copepodi e Cladoceri in Autunno ed in Inverno in tutte le stazioni del lago (Tab.6 e Fig.8 A e B).

	30/7/'87	30/10/'87	3/02/'87
ST 1	0.93	0.82	0.14
ST 2	3.97	0.93	0.20
ST 3	6.85	0.83	1.14
ST 4	4.76	0.90	0.21

Tab.6. Valori del rapporto Crostacei-Rotiferi: C/R nelle diverse stazioni e nelle diverse stagioni.

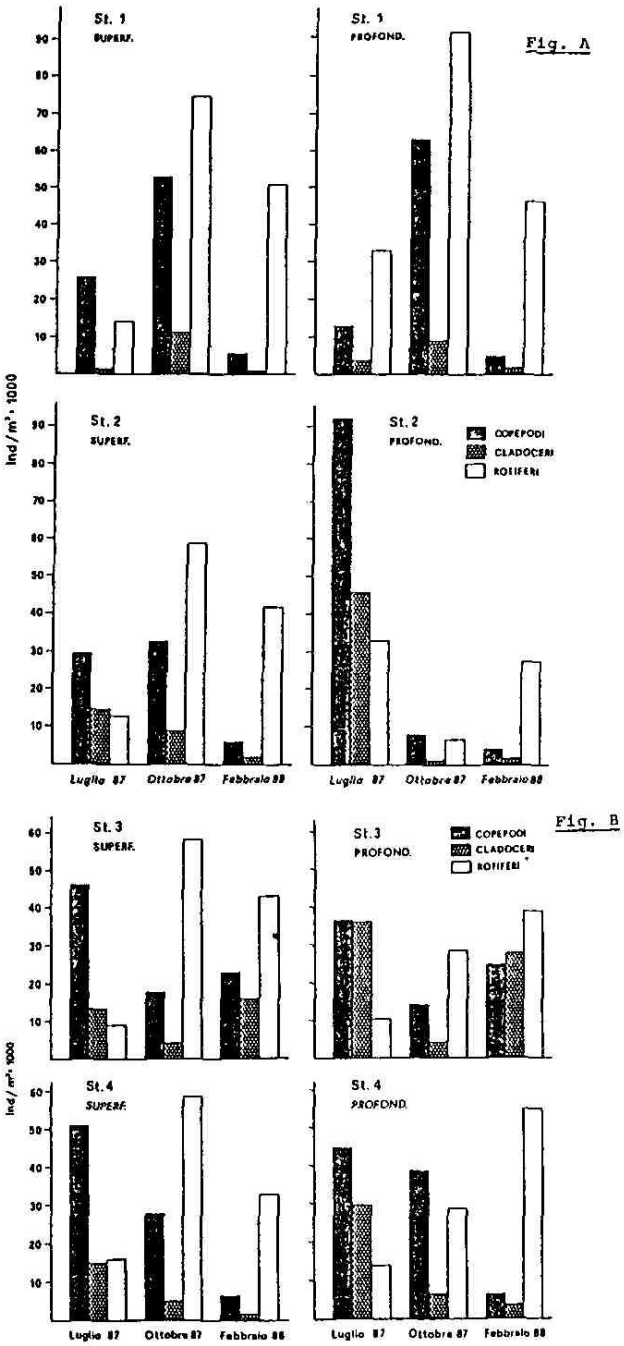


Fig. 8: Densità numerica (ind/m^2) delle diverse componenti dello zooplancton nelle quattro stazioni di prelievo (A e B).

Il rapporto Crostacei-Fotiferi (C/R) è a favore dei Rotiferi durante tutto l'anno nella stazione 1, la meno profonda; mentre nelle altre stazioni, che hanno maggiore carattere di eupelagicità, tale rapporto assume valori alti nel periodo estivo, quando le componenti del Cladoceri e del Copepodi hanno le densità annuali più elevate.

Considerazioni generali

Un quadro definitivo potrà essere conseguito solo alla fine dell'intero periodo annuale di osservazioni nel lago, pur tuttavia è possibile, sulla base del dati in nostro possesso, fare fin d'ora alcune considerazioni sul livelli di trofia raggiunti dalle acque, avendo i dati relativi a due importanti periodi della vicenda limnologica: il periodo di stratificazione delle acque estivo-autunnale ed il periodo della piena circolazione invernale.

Per quanto riguarda l'ossigenazione delle acque, il dato più preoccupante è la constatazione che per molti mesi all'anno, non c'è ossigeno al di sotto dei 30 metri di profondità. Solo la St. 1, la meno profonda (19 m) non presenta mal fenomeni di anossia al fondo.

L'analisi dettagliata dei principali parametri di classificazione trofica delle acque (Tab. 7) ha evidenziato una situazione spesso ipertrofica che giustifica dunque l'intensificarsi dei fenomeni di "blooms" algali verificatesi in questi ultimi anni. La persistente anossia al fondo nelle stazioni più profonde del lago, inoltre, potrebbe essere causa di un ulteriore apporto di nutrienti (fosforo soprattutto), rimobilitati dai sedimenti dal potenziale di ossido-riduzione negativo.

La situazione relativa ai dati sulla composizione qualitativa e quantitativa del fitoplancton evidenzia una situazione alquanto degradata: le specie algali non sono molte e solo alcune tra loro sono dominanti. Le fioriture che si verificano in estate (Ceratium) ed in autunno (Oscillatoria), sono da attribuirsi oltre all'istaurarsi delle condizioni termiche ottimali, anche alla elevata disponibilità di nutrienti nelle acque.

Anche l'analisi dello zooplancton conferma un aumento di trofia di queste acque, se confrontato con la situazione di qualche decennio fa. I valori di densità zooplanctonica eccedono di molto quelle segnalate in passato; si sono, inoltre, riscontrate modificazioni qualitative che

	ST.1	ST.2	ST.3	ST.4
Clorofilla a estiva (µg/l)	8.86	9.67	6.14	8.82
Clorofilla a autunnale (µg/l)	19.09	15.8	14.24	17.02
Fosforo tot. invernale (µg/l)	45.6	61.09	103.2	154.0
Azoto tot. invernale (µg/l)	2310.0	2270.0	2360.0	2380.0
Trasparenza Disco Secchi (media periodo)	4.4m	4.5m	4.72m	4.7m
O_2 ipolimnico (mg/l) (^{2} media del periodo)	9.9	0.9	5.2	1.74

Tab. 7. Valori dei principali parametri di trofia delle acque nelle diverse stazioni del Lago di Ledro.

Considerando un afflusso medio giornaliero di liquami di 1800 m^3
Kg 9.090 di Azoto tot. /anno
Kg 426 di Fosforo tot./anno
Kg 7.884 di BOD_5/anno
Considerando un volume di 75.8 $x10^6$ m^3 per il Lago di Ledro
Kg 200112 di N totale
Kg 6255 di P totale

Tab. 8. Carichi totali annui di azoto e fosforo e di BOD_5 derivanti dal depuratore di Pieve di Ledro al lago

riguardano specie note nella letteratura come amanti di acque ad elevato grado di trofia (Braioni et al., 1983).

In conclusione, il Lago di Ledro non riesce a smaltire, nonostante l'elevato ricambio delle sue acque, eccellerete anche dai rimaneggiamenti a scopo idroelettrico, i carichi di nutrienti che gli derivano dal suo bacino idrografico.

Lo scarico del depuratore di Pieve di Ledro contribuisce, secondo i calcoli da noi eseguiti sulla base dei valori dei carichi annui di fosforo, azoto (Tab.8), per una piccola parte all'apporto complessivo di nutrienti: 4.5% per l'azoto e 6.8% per il fosforo.

BIBLIOGRAFIA

Barbato G.; 1977 - Note idrobiologiche sul Lago di Ledro. Ann. Mus. Civ. St. Nat. Brescia, 14, 92-109.

Braioni M.G. e Gelmini D.; 1983 - Rotiferi Monogononti. CNR Q 1/200.

Cesellato S. e Duzzin B.; 1974 - Indagini sul Lago di Garda. Biologia. Quaderni IRSA n°18, 185-186.

Cordella P., Paganelli A. e Cappelletti E.M.; 1975 Clorofilla a nella zona centrale del Lago d'Iseo: relazioni tra la Concentrazione superficiale e la concentrazione media dello strato eufotico. Riv. Idrobiol., 14 (3), 273-282.

Golterman H.L., Clymo R.S. and Ohnstad H.A.H.; 1978 Methods for physical and chemical analysis of fresh waters. LBP Handbook N.8. Second Edition. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

IRSA (AA VV); 1980 - Indagini sulla qualità delle acque lacustri italiane. Quaderni IRSA CNR 43, 166-169.

Largaiolli V.; 1931 - Ricerche biolimnologiche sui laghi trentini. St. Trent. Mus. Sc. Nat. Trento, 13, 26-31.

Lund J.W.G., Kipling C. e Le Gun E.D.; 1958 - The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. Hydrobiologia, 11, 143-170.

Pavesi P.; 1883 - Fauna pelagica dei laghi italiani. Atti Soc. Sc. Nat. Padova, 8, 340-403.

Tonolli V.; 1956 - II Lago di Ledro nelle sue vicende di Lago naturale, lago-serbatoio e lago rifornito. Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 9, 25-48.

Trevisan R., Andreoli C., Lunelli F.; 1988 - Bloom estivo di *Ceratium hirundinella* (O.F. Muller) Berg. (Dinoflagellate) nel Lago di Ledro (Trento). Giorn. Bot. Ital., 122 (Suppl. 1), 142.

Vittori A.; 1973 - Osservazioni limnologiche sui principali laghi della provincia di Trento. Esperienze e Ricerche. Nuova Serie, 4, 373-387.

Vittori A.; 1977 - Osservazioni limnologiche sui principali laghi della provincia di Trento. Esperienze e Ricerche. Nuova Serie, 6, 394-402.

Vittori A., Leonardi G., Pinamonti V. e Siligardi M.- 1985 -Osservazioni limnologiche dello stato trofico di otto laghi del Trentino. Esperienze e Ricerche. Nuova Serie, 14, 167-175.

Vollenweider R.A.; 1965 - Materiale ed idee per una idrochimica delle acque insubriche. Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 19, 213-286.

Vollenweider R.A.; 1968 - Scientific fondamentals of the eutrophication of lakes and flowing water, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. O.E.C.D. Rep. Das/CSR, 68.27.

Vollenweider R.A.; 1974 - A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments. IBP. 4-18.

ATTI DELL'8°CONGRESSO A.I.O.L.
PALLANZA 1-3 GIUGNO 1988 da pag. 275 a pag. 282

IL PERIFITON DEL LAGO D'ORTA.

A. CATTANEO.
Dipartimento di Biologia, McGill University, Montreal, Canada

RIASSUNTO

La variazione -spaziale e stagionale del perifiton è stata studiata nel Lago d'Orta, vittima di un forte inquinamento industriale. Mentre la biomassa sia delle alghe che degli invertebrati risulta piuttosto variabile da stazione a stazione e soprattutto da stagione a stagione, la composizione tassonomica si mantiene pressoché costante con la dominanza di Cloroficee e di Tricotteri. Paragoni con laghi puliti mostrano che 1'inquinamento del Lago d'Orta ha influito più sulla qualità che sulla quantità del perifiton.

SUMMARY

Periphyton spatial and seasonal variations have been studied in highly acidified Lake Orta. While algae and invertebrate biomasses are variable between stations and especially between dates, the taxonomic composition remains remarkably Constant, with the dominance of green algae and caddis-f1ies. A comparison with unpolluted lakes shows that Lake Orta pollution affects periphyton quality but not its quantity.

1. INTRODUZIONE

II Lago d'Orta è vittima di un ben documentato inquinamento Industriale, in cui acidità ed alte concentrazioni di metalli (Mosello, Baudo e Tartari, 1986) hanno drasticamente alterato i popolamenti lacustri. Mentre la risposta del plancton e del bentos profondo è stata ampiamente studiata (Bonacina, Bonomi, Barbanti, Mosello e Ruggiu, 1988), la risposta delle comunità litorali ha ricevuto meno attenzione. Data la scarsità delle macrofite, la comunità più importante nel litorale del Lago d'Orta è il perifiton, ossia l'insieme di batteri, alghe ed invertebrati che colonizza le sue rive sassose. La conoscenza di questa comunità può essere utile sia dal punto di vista del ripopolamento ittico, in quanto gli invertebrati perifitici rappresentano una buona fonte di cibo per i pesci (Healey, 1984), che per l'utilizzo delle rive, spesso deturpate da un eccessivo sviluppo di masse algali. Lo scopo di questa ricerca è di quantificare la risposta delle alghe e degli invertebrati del perifiton all'attuale inquinamento. Data la forte variabilità spaziale e stagionale che si osserva in questa comunità (Brown ed Austin, 1973, Cattaneo, 1987), il perifiton è stato raccolto in varie stazioni e in diversi mesi. Questi dati dovrebbero costituire una base su cui seguire il processo di recupero dei lago in seguito alla drastica riduzione degli scarichi industriali, già in effetto, e al progettato trattamento di "liming". Il raffronto con i seppur scarsi dati raccolti precedentemente nel litorale di questo lago e con i quadri osservati in laghi non affetti da questo tipo di inquinamento, permettono una valutazione dello stato attuale e suggeriscono alcune previsioni per la sua evoluzione.

2. METODI

La variazione spazialo è stata studiata in Agosto, Settembre e Novembre 1987 campionando sette stazioni lungo il perimetro del lago con simili caratteristiche di substrato (ciottoli), di pendenza e, per quanto possibile, di ondazione (fig.l). I campioni venivano raccolti a 60-70 cm di profondità usando per le alghe una siringa munita di spazzolai che raschiava quantitativamente, sott'acqua, una superficie di 5.7 cm^2 (Loeb, 1981). In questa maniera venivano raccolte cinque repliche su sassi scelti a caso. In laboratorio una parte di questi campioni veniva filtrata per l'analisi della clorofilla. I filtri di fibra di vetro "Gelman Type A-E", congelati fino al momento dell'analisi, venivano immersi in etanolo al 96%, per 24 ore. Gli estratti si leggevano poi allo spettrofotometro a 750, 665 e 649 nm (Bergman e Peters 1980). Porzioni equivalenti delle cinque repliche venivano raggruppate in un singolo campione che, dopo fissazione con Lugol's, serviva all'identificazione e conteggio delle alghe. Aliquote venivano filtrate su filtri Millipore (0.45 µm) resi poi trasparenti con olio d'immersione (McNabb, 1960) e contati al microscopio a 1250, 500 a 125 ingrandimenti per tener conto delle alghe di varie grandezze. Il volume delle alghe si calcolava approssimandole a solidi di volume noto.

Gli invertebrati erano raccolti lavando cinque pietre scelte a caso accanto a quelle campionate per le alghe. Tutto il materiale veniva raccolto in un unico campione, passato attraverso un setaccio a maglie di 125 µm e fissato con formalina al 47%. I conteggi erano eseguiti al binoculare a 25 ingrandimenti dividendo gli animati secondo i gruppi tassonomici e le classi di grandezza. La biomassa veniva calcolata a partire da relazioni empiriche tra lunghezza e peso (Smock 1980, McCauley 1984). L'area delle pietre si determinava avvolgendole con carta d'alluminio che veniva poi pesata.

La variazione stagionale è .stata seguita a due stazioni, Valle e Crabbia, che sono state campionate mensilmente nella maniera sopracitata da Agosto ad Aprile.

Ad ogni campionamento si è raccolto un campione d'acqua vicino alle pietre che è stato analizzato per pH, conducibilità, concentrazione di ammoniaca, azoto e fosforo totali, silicati (tab.l).

Tabella 1. Valori medi (massimi e minimi indicati tra parentesi) di vari parametri chimici misurati a varie stazioni e a varie date. n= 29.

pH		5.44 (4.38 - 6.20)
Conducibilità	(µS/cm2)	106.8 (95.2 - 119.3)
Ammoniaca $N\text{-}NH_4^+$	(µg/l)	1421 (1269 - 1583)
Silicati Si	(µg/l)	4.06 (3.78 - 4.38)
Azoto totale	(mg/l)	5.01 (4.64 - 5.53)
Fosforo totale	(µg/l)	3.4 (2 - 5)

3. RISULTATI

Variazione spazia1e. Nonostante tutte le maggiori sorgenti di inquinamento siano localizzate nel bacino meridionale (Bonacina ed altri, 1988), i dati chimici raccolti alle varie stazioni non mostrano un gradiente significativo sud-nord. Anche la leggera tendenza a valori più alti di conducibilità e più bassi di pH nel bacino meridionale osservata nell'autunno (Figura la) scompare poi nell'inverno-primavera (Figura 2a). La concentrazione di clorofilla mostra una certa variabilità ma non ordinata lungo il gradiente sud-nord (Figura 1b). La composizione tassonomica, esaminata in Settembre, si mantiene notevolmente costante lungo il perimetro del lago (Figura lc). Tutti i popolamenti sono nettamente dominati dal le Cloroficee (70-80%), soprattutto Cylindrocystis, Scenedesmus, Gloecocystis, alcune forme coccoidi non ancora identificate e le forme filamentose Ulothrix e Mougeotia. Le Diatomee costituiscono in media solo il 15%. del volume totale. La specie più importante è la piccola Pinnularia subcapitata, seguita da varie specie di Eunotia. Ancor più ridotta la presenza delle Cianoficee che non superano, il 10%. e sono rappresentate pressoché interamente dai sottili filamenti del Phormidium tenue.

Anche la biomassa degli invertebrati si mostra variabile da stazione a stazione, mentre la composizione del popolamento rimane assai stabile (Figura 1d).Dappertutto dominano i Tricotteri quasi esclusivamente rappresentati da Ecnomus tenellus, accompagnato qualche volta da Mystacides azurea. Importanti sono anche i Chironomidi dove dominano i generi Dicrotendipes e Psectrocladius. Sono sempre presenti anche Cladoceri, Copepodi ed Oligocheti (Naididae), ma raramente raggiungono 1% della biomassa. Si sono osservate larve di Odonati, ma il metodo e la piccola area di campionamento usati in questo studio non si prestano ad una raccolta quantitativa di larve cosi grandi e veloci.

Variazione stagionale. Le variazioni di clorofilla osservate durante la stagione sono più vistose di quelle spaziali (Figura 2b). In entrambe le stazioni studiate la biomassa cresce dai valori minimi osservati in Agosto al massimo In Novembre per poi scendere nuovamente durante l'inverno. A tutte le date le Cloroficee si mantengono dominanti. Le Diatomee sono relativamente più importanti a Novembre e a Marzo quando raggiungono il 30%, del volume totale. Ad alcune date altre alghe divengono relativamente abbondanti come il Dinobryon in Agosto (7%) ed il Cryptomonas in Gennaio (7%). Gli invertebrati analogamente alle alghe vanno da valori bassi in Agosto ad un massimo in Novembre. Nell'inverno ed inizio primavera i valori scendono drasticamente alla stazione di Valle, mentre sì mantengono piuttosto alti a Crabbia. Ad ogni data, in entrambe le stazioni, il popolamento si mantiene dominato dai Chironomidi e dai Tricotteri.

4. DISCUSSIONE

Le scarse notizie sul litorale del Lago d'Orta anteriori all'inizio dell'inquinamento (1927) ci danno il quadro di popolamenti ricchi in Diatomee, di cui Bonardi (1885) cita 65 specie e Giaj-Levra (1925) addirittura 125, e con una fauna piuttosto varia di molluschi,

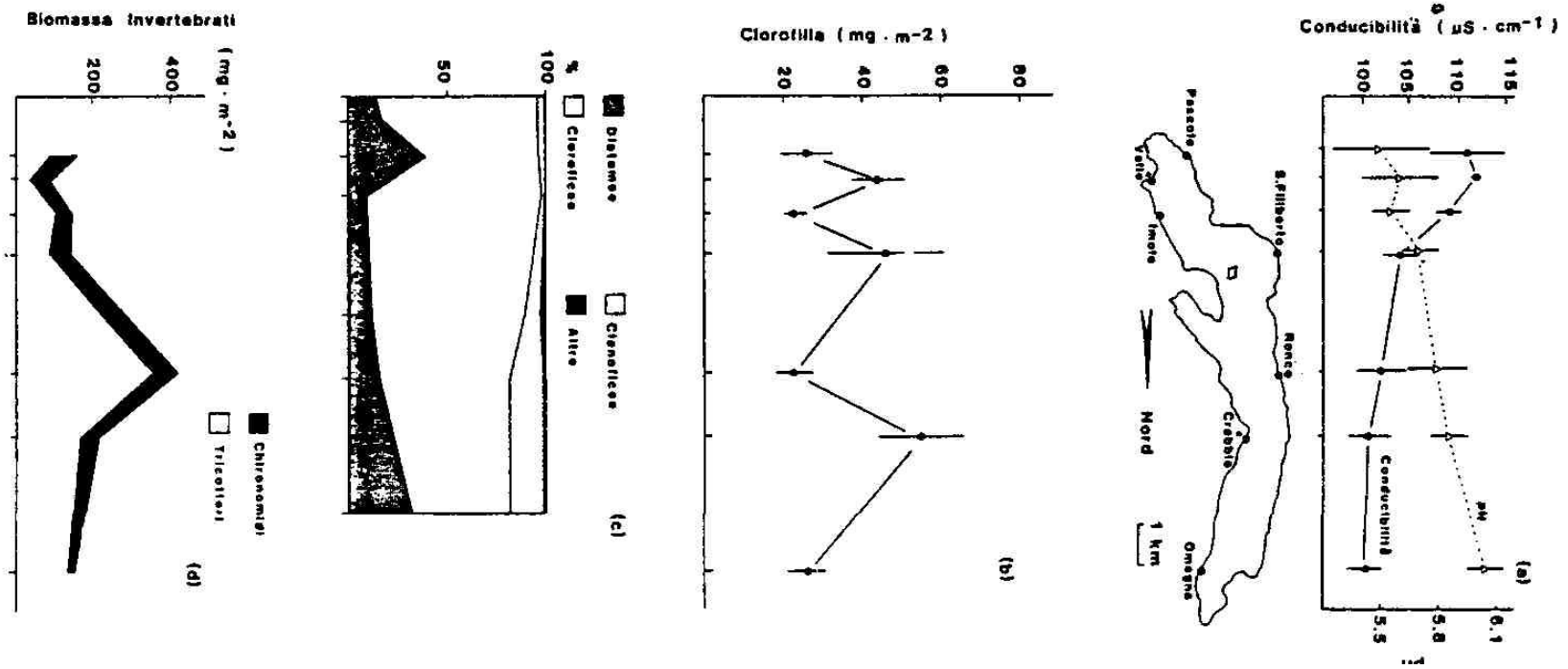


Figura 1. Variazione spaziale del pH e della conducibilità (a), della clorofilla (b), della composizione algale (e) e degli invertebrati (d). I valori di pH, conducibilità e clorofilla sono le inedie dei dati di Agosto, Settembre e Novembre. Le barre rappresentano l'errore standard con n=3 nel pannello (a) e n=.15 in (b). La composizione algale (espressa come percentuale del volume totale) e la biomassa di invertebrati (espressa come peso secco per unità di superficie di substrato) si riferiscono al campionamento di Settembre.

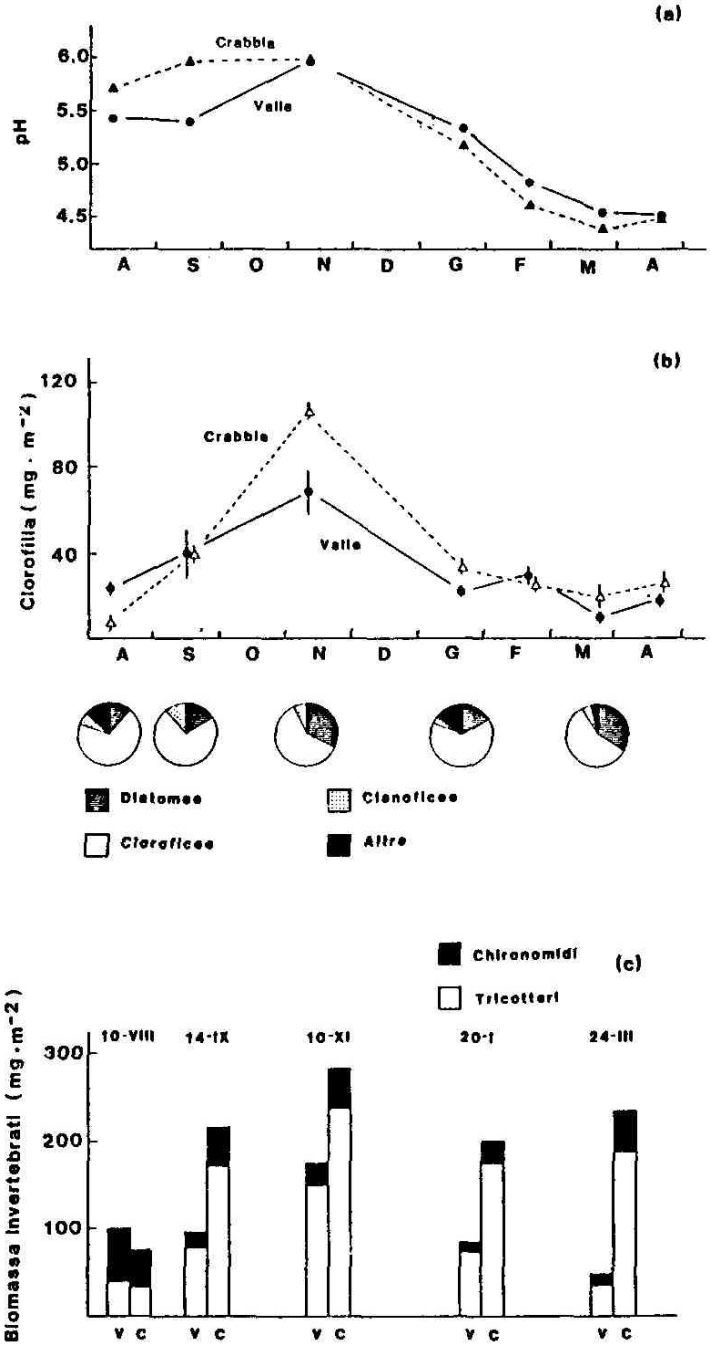


Figura 2. Andamento stagionale del pH (a), della clorofilla (b) e della biomassa degli invertebrati (c) alle due stazioni di Valle (V) e Crabbia (C). Per la clorofilla le barre rappresentano l'errore standard con n=5. La composizione tassonomica, (come percentuale di volume) è la media delle due stazioni.

oligocheti ed insetti (citato in Oioli, 1969). Drammaticamente contrastante è la situazione negli anni cinquanta-sessanta: Kann (1964) descrive un popolamento algale estremamente ridotto sia in densità che in numero di specie, dominato dalla Cianoflcea Phormidium tenue, mentre la fauna litorale appare ugualmente scarsa e rappresentata pressoché interamente dai tricottero Mystactdes azurea (Moretti, 1958). Mentre con questi dati è possibile solo un raffronto qualitativo, un paragone quantitativo si può fare con i risultati raccolti da Oioli (1969) vent'anni fa sulla fauna litorale. Per questo paragone ho usato la stazione di Crabbia, campionata in entrambi gli studi. Le biomasse, riportate da Oioli come peso fresco, sono state trasformate in peso secco moltiplicandole per 0.15 (Rasmussen e Kalff, 1987) e i valori del presente studio, sin qui espressi per unità di substrato, sono stati calcolati per unità di fondo moltiplicando per un fattore 3 sperimentalmente determinato. I valori medi odierni (603 mg/m^2) sono risultati circa 20 volte più alti di quelli riportati da Oioli (31 mg/m^2) nonostante quest'ultimo, campionando una superficie più estesa ed anche il sedimento sottostante le pietre, potesse includere animali probabilmente sottovalutati nel presente studio. Sembra perciò possibile concludere che la biomassa degli invertebrati è aumentata notevolmente, tuttavia anche 20 anni fa i popolamenti erano dominati da Chironomidi e Tricotteri . Mentre tra i primi i generi dominanti (Endochironomus e Polypedilum) erano diversi da quelli attuali, tra i Tricotteri dominava come adesso l' Ecnomus tenellus.

Se si può dunque parlare di un miglioramento rispetto alla situazione precedente, probabilmente dovuto agli impianti di depurazione degli scarichi ammoniacali entrati in funzione nel 1981 (Bonacina ed altri, 1988), occorre ora confrontare la situazione attuale con quella prevista In laghi di simile trofia non soggetti ad inquinamento. Le previsioni (Tab. 2) sono basate per quanto riguarda le .alghe su relazione empiriche sviluppate su dati di laghi di varia trofia in Québec, Canada (Cattaneo, 1987), mentre la biomassa di invertebrati è calcolata usando un'equazione multivariata basata sulla letteratura, suggerita da Rasmussen e Kalff (1987). La biomassa algale, sia calcolata come clorofilla che come biovolume, tende ad essere più alta delle previsioni. Mentre in un lago cosi oligotrofo (Tab. l) si prevede una forte dominanza delle Diatomee (Tab. 2), il Lago d'Orta è a tutte le stazioni e a tutte le date dominato dalle Cloroficee. In parecchi laghi e fiumi acidi è stata osservata un'alta biomassa algale

Tabella 2. Confronto tra i dati osservati sul Lago d'Orta e quelli previsti per un lago di simile trofia basandosi su equazioni empiriche.

	L. Orta	Previsioni
Clorofilla (mg/m2)	31.5	20.8
Volume algale (µm3 x 10^6/cm2)	194	88
% Diatomee	22	84
Invertebrati (peso secco mg/m2)	552	825

dovuta allo sviluppo di Cloroficee, soprattutto filamentose (Muller, 1980; Mulholland, Elwood, Palumbo e Stevenson, 1986). La dominanza delle Cloroficee appare dovuta al loro migliore adattamento, rispetto alle Diatomee, a valori bassi di carbonio (Turner, Jackson, Findlay, Graham, De Bruyn e Vandermeer, 1987), e la loro alta biomassa alla riduzione degli invertebrati in ambiente acido o alla loro incapacità di utilizzare le alghe filamentose .(Stokes, 1984). Nel lago d'Orta tuttavia la biomassa degli invertebrati è solo leggermente inferiore (Tab. 2) a quanto previsto dalle equazioni generali ed inoltre tutti i maggiori gruppi sembrano cibarsi delle alghe verdi anche filamentose osservate nei loro stomaci.

In conclusione l'inquinamento attuale del lago d'Orta sembra interferirò più sulla qualità che sulla quantità del perifiton. Il progettato trattamento di "liming" dovrebbe portare ad un popolamento algale dominato dalle Diatomee, come suggeriscono la storia passata (Bonari, 1885, Giaj-Levra, 1925), le alte concentrazioni di silicati (Tab. l)e le osservazioni in altri laghi oligotrofi (Tab. 2). Una comunità a Diatomee non comporterebbe i negativi effetti estetici delle alghe verdi filamentose ed, essendo più appetibile, dovrebbe ospitare una fauna, se non più abbondante, più ricca in specie.

5. RINGRAZIAMENTI

Sono grata a tutti i membri dell'Istituto Italiano di Idrobiologia di Pallanza per la loro generosa ospitalità. In particolare ringrazio Carla Bonacina per molte interessanti discussioni ed Annamaria Nocentini per l'aiuto nell'identificazione degli invertebrati. Gabriele Tartari e Benigno Sulis hanno gentilmente analizzato i miei campioni d'acqua.

BIBLIOGRAFIA

Bergman M. e Peters R.H.; 1980 - A simple reflectance method for the measurement of particulate pigment in lake water, and its application to phosphorus-chlorophyl1-seston relationships. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 37: 111-114.

Bonacina C., Bonomi G., Barbanti L., Mosello R. e Ruggiu D.; 1988 - Recovery of an industrially acidified, ammonium and heavy metals polluted lake (Lake Orta, N.Italy), due to the adoption of treatment plants. Verh. Internat. Verein. Limnol., 23: 535-544.

Bonardi E.; 1885 - Sulle Diatomee del Lago d'Orta. Bollettino Scientifico. Anno VII n. l. Pavia.

Brown S.D, e Austin A.P.; 1973 - Spatial and temporal variation in periphyton and physico-chemical conditions in the littoral of a lake. Arch. Hydrobiol. 71: 181-232.

Cattaneo A.; 1987 - Periphyton in lakes of different trophy. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 44: 296-303.

Giaj-Levra P.; 1925 - Diatomee del Lago d'Orta. Atti Soc. Ligustica Sc. Lett., 5.

Healey M.; 1984 - Fish predation on aquatic insects. In: The ecology of aquatic insects, Resh V.H, e Rosemberg D.M. (Eds.), Praeger Scientific, pp. 255-288.

Kann E.; 1963 - Oekologische untersuchungen des eulitoralen algenaufwuchses in Lago Maggiore, Lago di Mergozzo und Lago d'Orta Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 8: 257-270.

Loeb S.L.; 1981 - An in situ .method for measuring the primary productivity and standing crop of the epilithlc periphyton communlty in lentic systems, Limnol. Oceanogr. 26: 394-399.

McCauley E.; 1984 - The estimation of the abundance and biomass of zooplankton In samples. In: A manual on methods for the assesment of secondary productivity in freshwater, Downing J.A. e Rigler F.H. (Eds.), Blackwell Scientific Pubblications, pp. 228-565.

McNabb C.D.; 1960 - Enumeration of freshwater phytoplankton concentrated on the membrane filter. Limnol. Oceanogr. 5: 57-61.

Moretti G.; 1954 — La distribuzione dei Tricotteri lungo il litorale del Lago d'Orta. Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 8: 257-270.

Mosello R., Baudo R. e Tartari G.A.; Ì986 - Metal concentration in a highly acidic lake: L. Orta (Northern Italy). Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 44: 73-96.

Mulholland P. J. , Elwood J.W., Palumbo A.V. e Stevenson R.J.; 1986 - Effects of stream acidification on periphyton composition, chlorophyll, and productivity. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 43: 1846-1858.

Muller P.; 1980 - Effects of artificial acidification on the growth of periphyton. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 37: 355-363.

Oioli G.F.; 1969 - Ricerche sulla fauna litorale del Lago d'Orta. Tesi di Laurea, Università degli studi di Milano.

Rasmussen J.B. e Kalff J.; 1987 - Empirical. models for zoobenthic biomass in lakes. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 44: 990-1001.

Smock L.A.; 1980 - Relationships between body size and biomasses of aquatic insects. Freshwater Biol. 10: 375-383.

Stokes P.; 1984 - pH-related changes in attached algal communities of sofwater lakes. In: Early biotic responses to advancing lake acidification, Hendrey G.R. (Ed.), Butterworth Publish., pp. 43-61.

Turner M.A., Jackson M.B., Findlay D.L., Graham R.W., De Bruyn E.R. e Vandermeer E.M.; 1987 - Early responses of periphyton to expertmental lake acidification. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 44 (Suppl.1): 135-149.

ATTI DELL'8°CONGRESSO A.I.O.L.
PALLANZA 1-3 GIUGNO 1988 da pag. 283 a pag. 292

CARATTERIZZAZIONE DI UN ESTUARIO IN ACQUE BASSE IN LAGUNA DI VENEZIA. ANALISI GRANULOMETRICA E DI CONTENUTO IN METALLI PESANTI DEI SEDIMENTI SUPERFICIALI

R. CECCHI*, F. COSTA**, G.GHERMANDI***, S. VAZZOLER**, R. ZONTA**

* Istituto Geofisico e Geodetico, Università di Messina
** Istituto Studio Dinamica Grandi Masse, C.N.R. Venezia
*** Osservatorio Geofisico, Università di Modena

RIASSUNTO

Le concentrazioni di metalli pesanti sono state analizzate nei sedimenti superficiali di una foce in acque basse in Laguna di Venezia.
Viene poi presentato un tentativo di confronto fra le distribuzioni ottenute e le analisi granulometriche di alcuni dei campioni raccolti.

SUMMARY

Heavy metals concentrations in surface sediments of a shallow water estuary of Venice Lagoon were analyzed.
An attempt was made to compare heavy metals distributions and some of the data on sediment sizes.

1. INTRODUZIONE

I fiumi che versano nella Laguna di Venezia contribuiscono in modo rilevante all'inquinamento dell'ecosistema (S. BERNARDI et. al., 1986), Le loro foci interessano aree a basso fondale e scarso ricambio idrico, dove l'azione dispersiva che la marea è in grado di realizzare sugli agenti inquinanti veicolati risulta poco efficace. Si possono così instaurare processi di accumulo e conseguenti effetti degenerativi dello stato della zona. Il controllo del carico inquinante dei principali corpi idrici versanti e la conoscenza del destino dei polluttanti immessi in queste aree è quindi questione di fondamentale importanza per la salvaguardia delle condizioni ambientali della Laguna di Venezia.

La definizione e lo sviluppo di un modello processuale di simulazione del suddetto impatto ambientale sulle

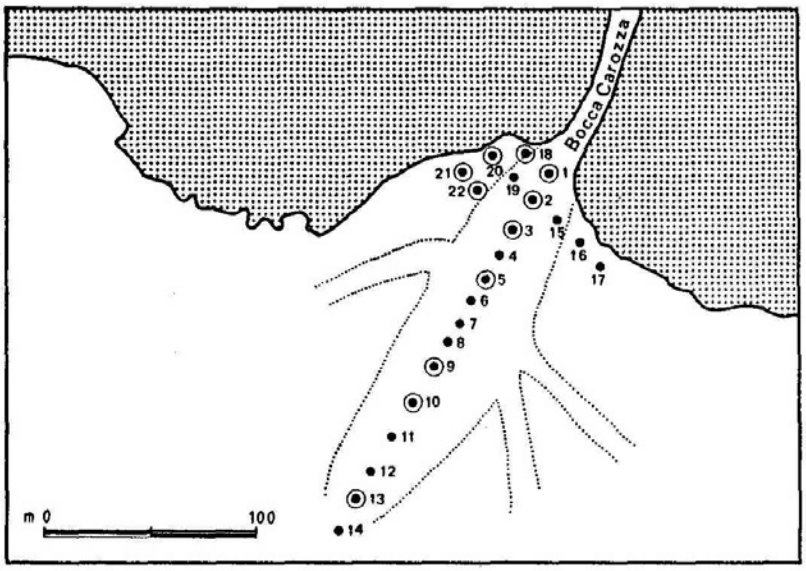


Figura 1. Bocca Carozza: punti di prelievo.

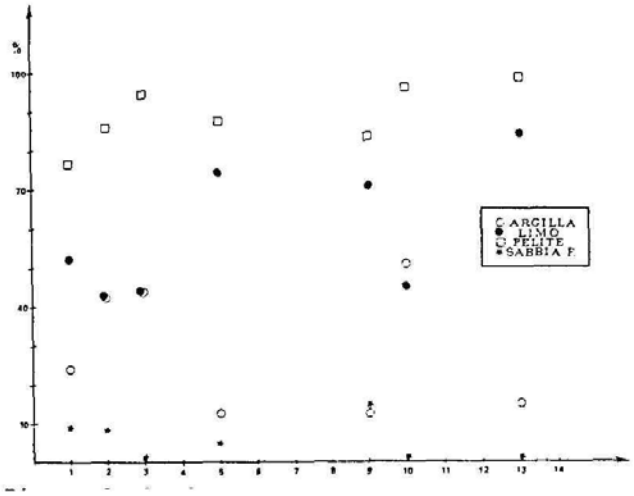


Figura 2. Dati granulometrici disponibili sullo asse 1-14. Pelite = Limo + Argilla.

aree estuarine a basso fondale potrebbe consentire un utile monitoraggio. La formulazione del modello e però condizionata alla conoscenza dei molteplici meccanismi, di delicata identificazione e misura, che interessano gli agenti inquinanti. Quindi alla discriminazione e valutazione della loro influenza (negli effetti a breve e lungo periodo) sulla qualità di acqua e sedimento. Infine al fornire a ciascuno di essi un'espressione analitica, parametrizzabile rispetto alle variabili fisico-chimiche comunemente utilizzate quali traccianti nelle matrici d'interesse. Appare infatti plausibile la necessità di individuare un ristretto numero di parametri misurabili che si evolvono con la marea - quale ad esempio la forza del campo salino (S. BERNARDI, R. CECCHl, F. COSTA, G. GHERMANDI, S. VAZZOLER e R. ZONTA, 1987) - tali da consentire la descrizione e la quantifica delle interazioni che influenzano il comportamento fisico-chimico di acqua e sedimento. Relativamente all'interpretazione delle distribuzioni dei metalli nei sedimenti, un tipo di indagine che potrebbe conferire maggior significatività alle analisi delle concentrazioni di tali elementi e quella che coinvolge la granulometria dei campioni prelevati. I1 presente scritto descrive un tentativo di confronto, attraverso la dinamica dell'acqua, fra le distribuzioni delle concentrazioni di metalli pesanti e della granulometria in sedimenti superficiali di un estuario tipico della Laguna di Venezia.

2. CAMPIONAMENTO ED ANALISI

Nel mese di Dicembre 1987, è stata raccolta una ventina di campioni di sedimento superficiale (5 cm) nella zona di foce della Bocca Carezza (Figura 1) profondità media attorno ai 50 cm - nella Laguna Nord. I campioni sono stati digeriti a freddo con HC1 1N, un attacco acido che consente di estrarre dal campione la frazione non reticolare (sia organica che inorganica) dei metalli pesanti (R. CHESTER and F.G. VOUTS1NOU, 1981) e quindi analizzati con la tecnica A.A.S. I1 prelievo, il trattamento e le analisi dei campioni hanno seguito procedure standard (REPARTO MISURE AMBIENTALI, 1987). In alcuni di essi è stata analizzata la composizione granulometrica (le sabbie sono state determi-

Staz.	Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn	Mn
1	0.171	12.61	26.73	8138	21.92	34.84	106.9	366.4
2	0.176	14.09	31.17	9142	23.68	38.37	117.8	416.6
3	0.178	14.40	33.61	9423	24.61	37.51	118.5	450.1
4	0.207	16.69	41.72	9953	26.52	44.70	138.9	289.1
6	0.214	27.58	44.67	10613	34.18	40.48	144.2	395.8
7	0.187	17.38	44.49	10016	26.51	40.66	146.4	300.5
8	0.172	18.57	45.82	10481	28.15	50.91	148.8	374.4
9	0.189	18.27	49.12	10781	29.05	41.93	148.3	302.5
10	0.181	17.38	40.45	9977	26.66	37.75	144.4	332.6
11	0.173	17.99	42.87	10254	26.38	38.38	147.2	326.8
12	0.154	18.29	48.26	11031	26.98	40.47	146.6	296.8
13	0.165	17.41	42.33	10478	26.72	38.13	145.0	330.3
14	0.183	17.41	42.93	10537	27.02	48.63	145.6	345.2
15	0.177	12.90	36.09	8457	23.09	42.59	101.1	365.9
16	0.189	13.75	27.51	8700	23.32	38.27	114.8	373.3
17	0.201	15.87	37.12	10328	26.34	38.92	138.6	356.2
18	0.220	15.93	36.96	9436	26.15	41.77	136.4	309.5
19	0.201	15.85	37.68	9421	25.42	46.36	134.6	340.9
20	0.158	15.57	36.82	9370	27.24	36.52	129.3	314.3
21	0.189	15.32	35.14	9311	25.53	40.85	127.4	363.4
22	0.219	15.30	36.00	9300	25.20	41.40	135.6	333.0

Tabella 1. Concentrazioni in m g / K g dei metalli pesanti nei campioni di sedimento superficiale prelevati.

Staz. N°	SABBIA GROSSA $2 > \varphi > 0.25$	SABBIA FINE $0.25 > \varphi > 0.063$	LIMO $0.063 > \varphi > 0.002$	ARGILLA $\varphi < 0.002$
1	13.8	9.0	52.6	24.1
2	6.0	8.2	43.0	42.7
3	3.4	1.8	47.4	47.3
5	7.6	4.8	74.6	12.9
9	1.4	14.6	71.2	12.8
10	2.6	0.8	45.0	51.5
13	0.2	0.6	84.6	14.6
18	1.0	0.4	79.2	19.4
20	0.6	1.0	85.0	13.3
21	0.2	3.6	70.4	25.7
22	0.2	7.8	77.0	15.0

Tabella 2. Dati granulometrici; i diametri sono espressi in mm, le frazioni in percentuale. Le differenze a 100 delle somme delle frazioni sono le percentuali di frammenti di conchiglia.

nate con setacci, limo ed argilla con tubi Appiani). I risultati delle misure sono contenuti nelle Tabelle 1 e 2.

La Figura 2 fornisce una rappresentazione grafica dei dati granulometrici disponibili sull'asse principale della foce (punti da 1 a 14), mentre nelle Figure 3a e 3 b sono riportate le concentrazioni dei metalli pesanti rilevate lungo il medesimo asse. L'approssimazione delle singole determinazioni delle concentrazioni è stata assunta pari a + 5% su ogni singolo dato, per tener conto sia dell'errore strumentale che dell'errore sistematico del campionamento, in armonia con quanto suggerito in bibliografia (confronta, per esempio: R. CHESTER and F. VOUTS1NOU, 1981).

3. DISTRIBUZIONI

Come già osservato in un precedente campionamento (S. BERNARDI et al., 1988), nel primo tratto 1-3 dell'asse principale della foce si verifica un progressivo aumento della concentrazione di pressocchè tutte le specie analizzate, con andamenti linearizzabili. Nel medesimo tratto, anche il contenuto di pelite ($\varphi<63$ μm) è assimilabile ad una retta. Ciò sta ad indicare che la spinta idrica della Bocca Carezza realizza nei sedimenti di questo settore un marcato frazionamento dei diametri (più evidente nelle percentuali di argilla) e che il metallo pesante reso disponibile alla misura dal trattamento di digestione potrebbe essere legato alle frazioni granulometriche fini.

Proseguendo lungo l'asse, ad eccezione del Mn le concentrazioni mostrano un'ulteriore tendenza ad aumentare per poi manifestare andamenti tendenzialmente costanti, in alcuni casi (Zn, Cr) più strettamente che in altri (Pb, Cd). Esiste comunque la possibilità che si verifichino per certi metalli variazioni di concentrazione dovute a particolari interazioni subite dalla singola specie analizzata. In tal senso, è da osservare come Fe, Ni, Cr, Zn (in parte Cu), mostrino un andamento molto simile e, nel tratto 8-14, opposto al Mn. Le analogie o le discrepanze nelle forme delle distribuzioni sono messe in evidenza dalla seguente matrice di regressione, simmetrica, relativa ai punti 1-14.

	Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn	Mn
Cd	1.000	0.513	0.081	0.086	0.545	0.191	0.136	0.010
Cr	0.513	1.000	0.402	0.710	0.975	0.212	0.671	-0.104
Cu	0.081	0.402	1.000	0.567	0.455	0.485	0.433	-0.303
Fe	0.086	0.710	0.567	1.000	0.774	0.399	0.937	-0.439
Ni	0.545	0.975	0.455	0.774	1.000	0.320	0.720	-0.146
Pb	0.191	0.212	0.485	0.399	0.320	1.000	0.370	-0.168
Zn	0.136	0.671	0.433	0.937	0.720	0.370	1.000	-0.548
Mn	0.010	-0.104	-0.303	-0.439	-0.146	-0.168	-0.548	1.000

Le concentrazioni negli ultimi 5 campioni (9-14) mostrano un andamento apparentemente opposto al contenuto di pelite, con l'eccezione del Mn la cui variabilità sembra ancora seguire quella dei piccoli diametri.

L'area rappresentata dai campioni 18, 20, 21 e 22 presenta valori di concentrazione omogenei per gran parte dei metalli. C'è però da sottolineare l'esistenza di un massimo per il Mn in corrispondenza del massimo contenuto di argilla (e minimo di limo - punto 21) e di minimi abbastanza netti per Pb e Cd nel campione che presenta la massima frazione di limo (punto 20). I1 contenuto di pelite in questi campioni è significativamente superiore ai valori ottenuti nei punti 1 e 2, quindi la spinta idrica della Bocca non è tale da distogliere il deposito delle particelle fini nelle zone laterali prossime al punto di immissione in Palude.

Nei campioni le cui posizioni di prelievo appartengono al tratto 20-17 (punti: 20-19-2-15-16-17) le concentrazioni di Fe, Zn, Ni e Cr hanno andamenti abbastanza simili (anche se non ben definiti, una volta introdotto l'errore). Presentano un valore minimo in corrispondenza del punto 15 - che appartiene alla zona di influenza della Bocca - e massimi più (Fe, Zn) o meno (Ni, Cr) marcati nei punti laterali.

Negli stessi punti, il Cd mostra un'analoga distribuzione tranne un minimo netto nel punto 20. Pb e Cu hanno andamento altalenante, mentre il Mn presenta un massimo verso il centro (punto 2) e minimi sui lati (punti 20 e 17) .

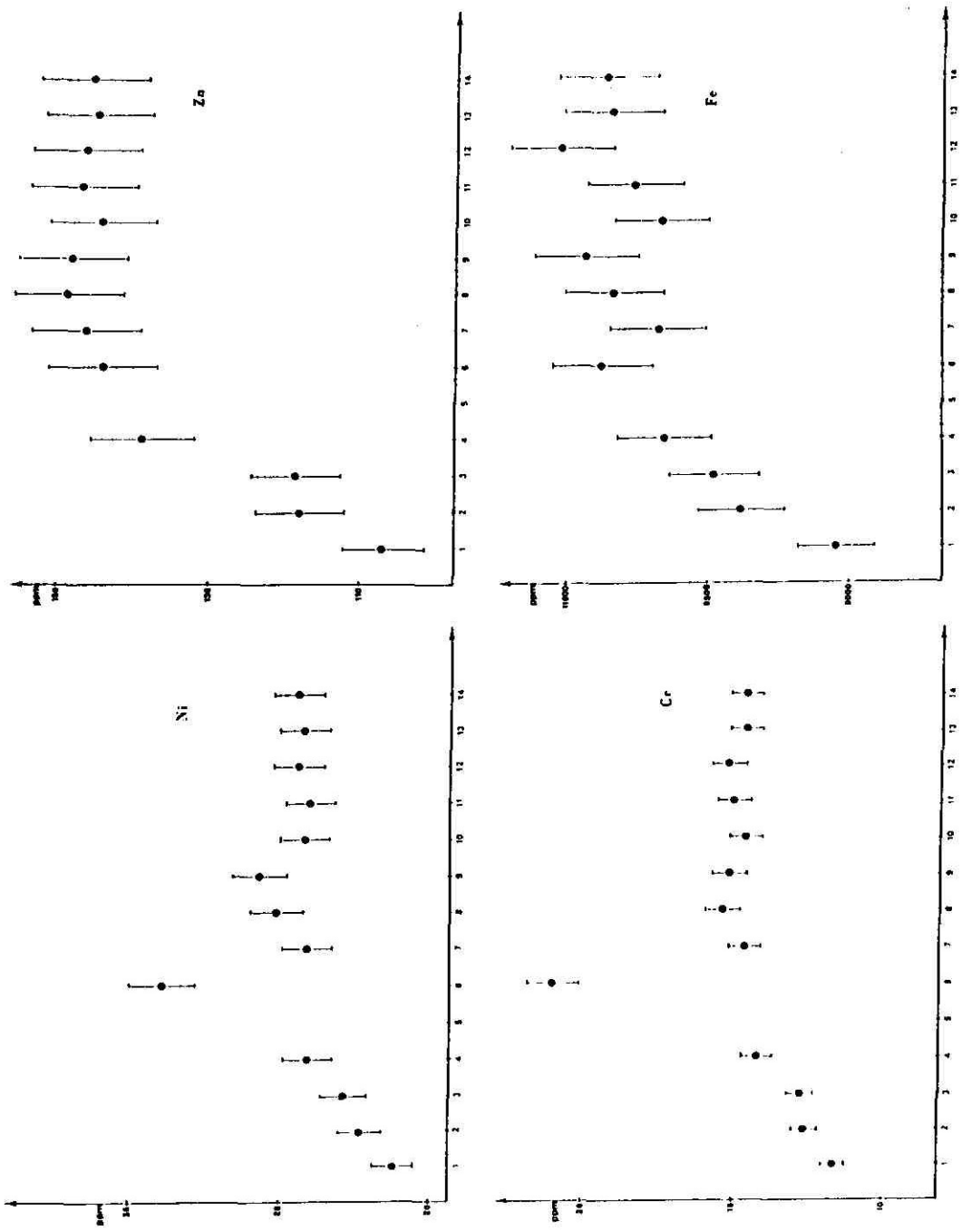


Figura 3a. Concentrazioni di metalli pesanti lungo l'asse principale: Fe, Zn, Ni, Cr.

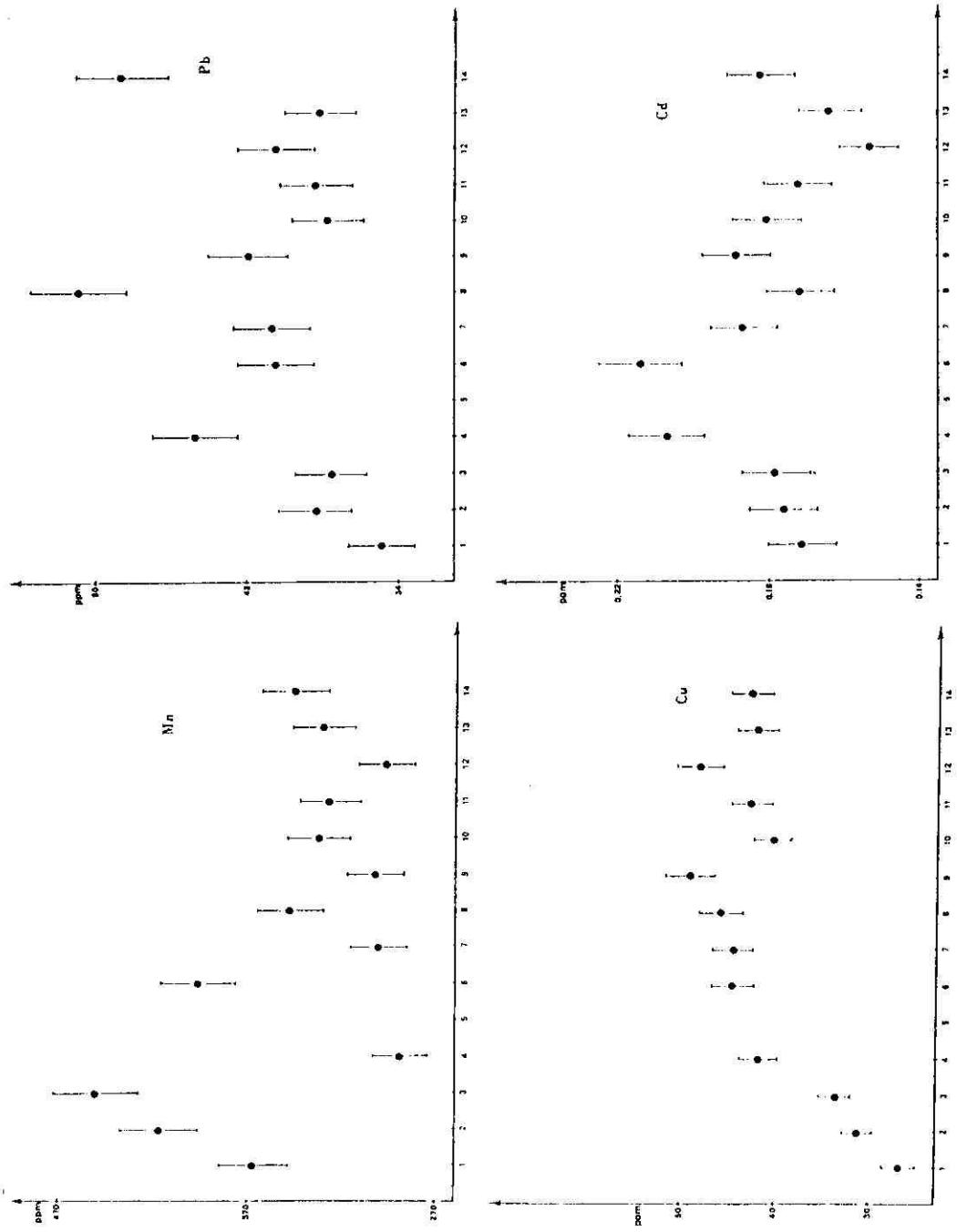


Figura 3b. Concentrazioni di metalli pesanti lungo l'asse principale: Cu, Pb, Cd, Mn.

4. CONSIDERAZIONI

Al di fuori del primo tratto dell'asse principale - che appartiene ad un ambito idrologico ed idrodinamico differente dalla restante area di foce della Bocca Carezza - a questo stato delle conoscenze non sembra possibile indicare alcuna ben definita relazione fra la distribuzione del singolo metallo pesante (frazione non residuale) ed i relativi dati di granulometria.

I metalli pesanti veicolati in aree estuarine, sottoforma di soluto o adsorbito alle particelle a grana fine (argille) subiscono, durante i processi di mixing, sedimentazione e diagenesi, interazioni diverse - ed "in competizione" fra loro - in grado di trattenerli nel sedimento (o, al contrario, di provocarne il rilascio). In particolare, le potenzialità dei composti organici di legare i metalli pesanti, il precipitare di questi ultimi sotto la forma di ossidi o la loro presenza nell'acqua interstiziale non sono correlabili alla granulometria del campione.

Inoltre - nel nostro caso - nel confrontare le concentrazioni di metallo pesante con i diametri delle particelle nel sedimento va tenuto presente che il contenuto di pelite è elevato in tutti i campioni raccolti e lungo l'asse principale della foce ha variazioni contenute (con un massimo attorno al 10%).

II solo Mn - la cui distribuzione è anomala nel quadro dei metalli analizzati - sembra mostrare un andamento correlabile alla presenza di argilla nel sedimento; per altri metalli sembra invece possibile ipotizzare addirittura un andamento inverso ai contenuti di pelite.

Le distribuzioni di Ni, Cr, Zn e parzialmente Cu, hanno andamenti simili a quella del Fe: è possibile che quest'ultimo - presente in acqua e sedimento in larga percentuale - ne influenzi le distribuzioni attraverso fenomeni di coprecipitazione (confronta, per esempio: J.D. BURTON, 1976).

Infine, alcune particolarità nelle loro distribuzioni fanno pensare che Pb e Cu risentano in maggior misura rispetto agli altri metalli di interazioni con la materia organica.

5. RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare il Prof. G. PERIN e il Prof. G.P. TRAVERSO per le utili discussioni.

BIBLIOGRAFIA

Bernardi S., Cecchi R., Costa F., Ghermandi G., Vazzoler S.; 1986 - Trasferimento di Acqua Dolce e di Inquinanti nella Laguna di Venezia. Inquinamento 28 n, 1/2, 46-65.

Bernardi S., Cecchi R., Costa F., Ghermandi G., Vazzoler S., Zonta R.; 1987 - I metalli pesanti nei sedimenti superficiali di un estuario in acque basse nella Laguna di Venezia. Considerazioni sull'impostazione di un modello di sedimentazione e rimobilizzazione. Atti del 1° Congresso Internazionale di Geoidrologia, Firenze 2-6 Dicembre.

Bernardi S., Cecchi R., Costa F., Ghermandi G., Vazzoler S., Zonta R.; 1988 - Preliminary investigation on the distribution of heavy metals in surface sediments of Cona tidal Marsh (Venice Lagoon). Il Nuovo Cimento C, sarà pubblicato.

Burton J.D.; 1,976 - Basic Properties and processes in Estuarine Chemistry. In: Estuarine Chemistry. Burton J.D. and Liss P.S. (Eds), Academic Press, pp. 1 - 36.

Chester R. and Voutsinou F.G.; 1981 - The Initial Assessment of Trace Metal Pollution in Coastal Sediments. Mar. Pollut. Bull. 12, 3, 84-91.

Reparto Misure Ambientali, 15DGM-CNR, Venezia; 1987 Prelievo e trattamento di campioni d'acqua e sedimento in Palude di Cona - Laguna di Venezia. Tech. Note n. 102, 33 pp.