

ANGELUCCI A.* - BONI C. F.* - BONO P.* - CAPUTO C.* - CARBONE F.**
CIANCETTI G. F.*** - CIVITELLI G.** - D'ALESSANDRO L.* - LA MONICA G. B.*
LUPIA PALMIERI E.* - MARIOTTI G.* - MATTEUCCI R.* - SIRNA G.*

L'ARCIPELAGO DELLE ISOLE DAHLAK NEL MAR ROSSO MERIDIONALE: ALCUNE CARATTERISTICHE GEOLOGICHE

Premessa. — Tra il 1972 ed il 1976 l'allora Istituto di Geologia e Paleontologia dell'Università di Roma « La Sapienza » organizzò una serie di spedizioni scientifiche nell'arcipelago delle Isole Dahlak (Mar Rosso meridionale) per studiare i caratteri della sedimentazione carbonatica in un'area poco nota, pur nel fiorire di studi analoghi da parte di ricercatori di tutto il mondo. Il programma iniziale prevedeva l'esame dell'intero arcipelago, da realizzare mediante brevi spedizioni per le difficoltà economiche e logistiche che si sarebbero incontrate nel caso di spedizioni ad ampio respiro. Furono realizzate quattro missioni, rispettivamente nel dicembre 1972, dicembre 1973, dicembre 1974 ed aprile 1976. Il mutamento del quadro politico locale costrinse a interrompere la ricerca, malgrado le indagini non avessero coperto ancora l'intero arcipelago. Fino a quel momento era stata esaminata la parte centrale (fig. 1) prospiciente il Canale di Massaua, mentre mancano ancora le indagini nel versante orientale, in tutto il settore meridionale e nell'estremità settentrionale. Per questo motivo la presente nota riguarda i risultati finora conseguiti, non sempre estrapolabili all'intero arcipelago. Il Dipartimento di Scienze della Terra

* Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Roma « La Sapienza ».

** Centro di Studio per la Geologia dell'Italia Centrale, Consiglio Nazionale delle Ricerche.

*** Dipartimento di Scienze della Terra, Facoltà di Ingegneria, Università di Ancona.

Lavoro eseguito col contributo del Ministero degli Affari Esteri (Direzione Generale delle Relazioni culturali) e del Centro di Studio per la Geologia dell'Italia Centrale del C.N.R.

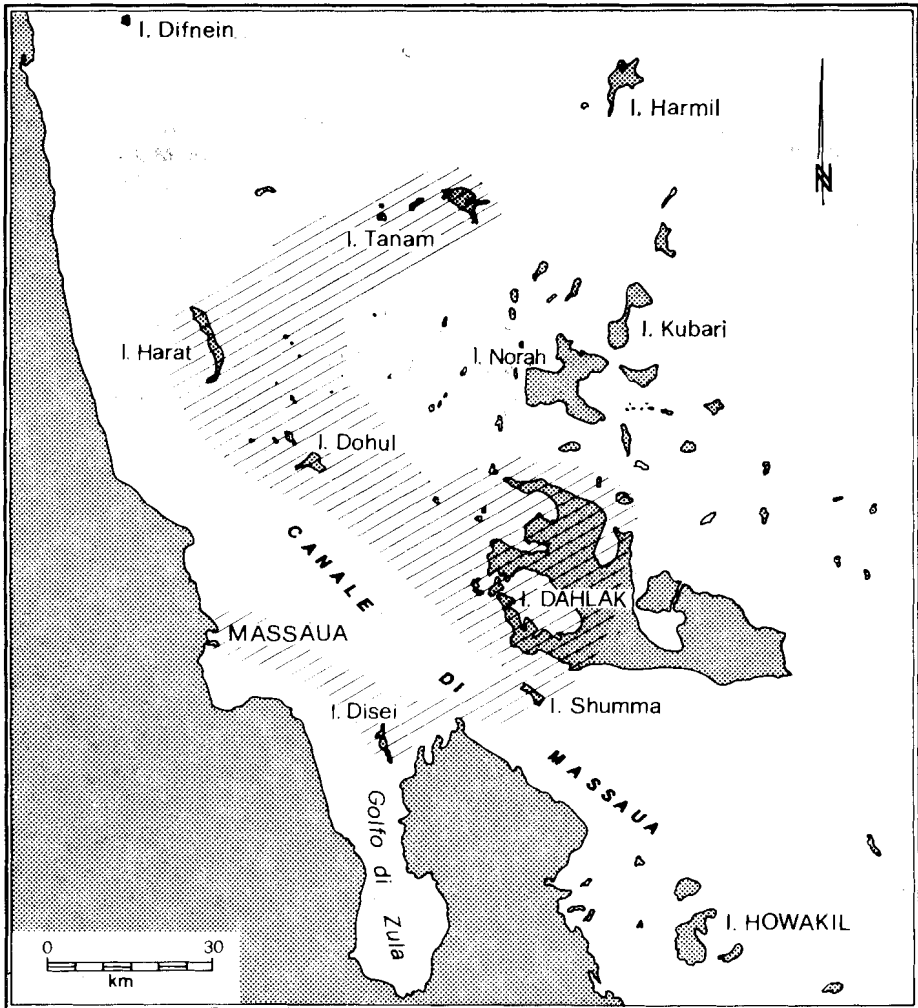


FIG. 1 — L'ARCIPELAGO DELLE ISOLE DAHLAK.
Il tratteggio indica l'area investigata fino ad ora.

dell'Università degli Studi di Roma « La Sapienza » è interessato a proseguire, non appena possibile, le ricerche in modo da completare il programma previsto per la determinazione dei caratteri generali della sedimentazione carbonatica in quel settore del Mar Rosso.

Vari autori hanno studiato, già da tempo, alcune caratteristiche geologiche dell'arcipelago. In particolare i lineamenti geologici generali sono stati esaminati da Cordero Lanza di Montezemolo (1930),

Maddalena (1937), Frazier (1970) e da Angelucci e altri (1981); i caratteri paleontologici e stratigrafici da Montanaro (1933, 1937, 1939, 1943), da Nardi (1934, 1937), da Rossi (1954) e da Matteucci (1974); gli aspetti sedimentologici da Angelucci e altri (1975, 1978, 1982) da Bono e altri (1976, 1983) e da Civitelli e altri (1980). Ricerche settoriali sono state effettuate da Rodriguez (1919), Crema (1927), Oren (1964), Horowitz (1967), Nir (1971), Conforto e altri (1976) e da Belluomini e altri (1980).

Lineamenti morfologici e climatici. — Le Isole Dahlak costituiscono un arcipelago del Mar Rosso meridionale ove il Canale di Massaua le separa dalla costa eritrea. Si tratta di circa 130 tra scogli, isolette ed isole, tutte basse e pianeggianti, che nel loro insieme raggiungono un'estensione areale di circa 1450 km², distribuendosi fra circa 15° e 17° lat. N, e 38° e 41° long. E da Greenwich. Soltanto due delle isole maggiori presentano un'estensione considerevole (Dahlak con 758 km² e Norah con 135 km²), mentre le altre sono tutte molto piccole. Le quote massime sono dell'ordine della decina di metri; la vegetazione, molto rada, è costituita per lo più da mangrovie, nelle aree costiere o lagunari, e da acacie, nelle parti più interne.

L'assetto morfologico delle isole e dei bacini da esse limitati risulta chiaramente controllato da una tettonica assai recente, ed almeno in parte ancora attiva; questa tettonica ha portato al sollevamento, fino all'emersione, di placche calcarenitiche ed alla loro frammentazione in *horst* e *graben*, a seguito di sistemi di fratture variamente orientati e collegati alle fasi di espansione del Mar Rosso. Tali placche presentano morfologia tabulare o sono leggermente incurvate a scudo, raccordandosi al mare mediante ripe che, nella gran parte dei casi, sono vere scarpate di faglia, interpretabili morfologicamente come paleofalesie, orlate a tratti da modeste fasce sabbiose.

Le parti sommitali delle isole sono interessate essenzialmente da azioni termoclastiche. In alcuni casi (isola di Isratu) si individuano depressioni, di forma e dimensioni variabili, il cui aspetto fa pensare a modesti bacini endoreici, al cui modellamento ha contribuito anche il carsismo; attualmente essi agiscono da centro di richiamo per le acque nei limitati periodi di precipitazione. In tali occasioni può esistere un ruscellamento diffuso, incapace di creare forti incisioni, ma in grado di trasportare i materiali prodotti dal termoclastismo verso il fondo dei bacini stessi. A volte si individuano anche depressioni continue e canaliformi, di chiara origine tettonica. Esse sono caratterizzate da scarpate su entrambi i versanti con solchi di battaglia fossili, in parte rielaborati dall'attività bioerosiva e dall'azione eolica; un tempo collegavano zone lagunari opposte.

La linea di costa delle isole è spesso irregolare e caratterizzata da fasce sabbiose, in genere comprese fra modesti speroni rocciosi, che si alternano con tratti di costa alta più o meno rettilinei: sono coste di emersione, come testimoniato dalla presenza di paleofalesie in corrispondenza di scarpate di faglia. Esistono anche dei tomboli dall'aspetto tipico, come nella zona orientale di Isratu, in cui il cordone sabbioso poco elevato, che collega il corpo principale dell'isola ad un isolotto calcareo di forma ellissoidica, mostra evidenti tracce degli accrescimenti successivi, a luoghi mascherati da modesti cordoni dunari trasversali rispetto all'asse del tombolo stesso.

Nelle isole di dimensioni maggiori si osservano anche lagune di varia estensione, a forma generalmente quadrangolare (Isratu, Dahlak) il cui contorno è definito da linee strutturali; oppure aree lagunari allungate ed a volte divise in bracci distinti, spesso impraticabili per la presenza di vegetazione a mangrovia.

Un quadro climatico dell'arcipelago delle Isole Dahlak può essere ottenuto facendo riferimento ai dati delle due stazioni meteorologiche di Nakhra e di Massaua (tab. 1) disponibili per il periodo compreso fra il 1901 e il 1942 (Fantoli, 1966) e ad alcune osservazioni dirette eseguite nel corso delle spedizioni degli scriventi (Angelucci e altri, 1978).

Da un punto di vista termico l'area considerata rientra nel dominio del clima megatermico, con temperature medie annue superiori ai 25 °C e valori medi mensili e stagionali delle temperature minime che superano sempre i 15 °C. L'inverno e l'estate rappresentano rispettivamente la stagione più fredda e più calda dell'anno per entrambe le stazioni sopra citate, mentre i valori termometrici registrati in autunno risultano più elevati di quelli primaverili. L'escursione termica giornaliera è più elevata durante l'estate, ma nel complesso non si discosta molto dai valori registrati nelle altre stagioni; in particolare a Massaua appare chiara l'influenza termoregolatrice del mare che, pur consentendo temperature medie sufficientemente elevate durante tutto l'anno, tende a contenere notevolmente la variabilità delle escursioni termiche stesse.

In entrambe le stazioni considerate si riconosce un andamento analogo dell'umidità relativa, con valori massimi nel periodo invernale. Il regime delle precipitazioni, invece, presenta notevoli differenze nelle due stazioni: infatti esso risulta piuttosto regolare a Massaua, con un massimo a febbraio ed uno a dicembre; appare anomalo e del tutto particolare a Nakhra, ma ciò è da imputare sia al breve periodo di

TAB. 1

QUADRO CLIMATICO DI RIFERIMENTO PER L'AREALE
DELLE ISOLE DAHLAK

(valori medi, stagionali e annui, del periodo 1901-1942)

stazioni	temperature (°C)				
	I	P	E	A	anno
Nakhra (6 m s.m.) . .	27,2	30,0	35,2	32,6	31,2
Massaua (8 m s.m.) . .	25,8	28,7	34,0	30,8	29,8

stazioni	umidità relativa (%)				
	I	P	E	A	anno
Nakhra	72,6	65,3	50,1	60,0	62,0
Massaua	73,3	70,4	54,6	62,9	65,3

stazioni	precipitazioni									
	I		P		E		A		anno	
	mm	g.p.	mm	g.p.	mm	g.p.	mm	g.p.	mm	g.p.
Nakhra . .	31,0	6,0	2,4	1,5	79,8	7,1	32,6	3,1	145,8	17,7
Massaua . .	89,9	19,3	47,5	6,8	10,5	0,9	22,6	3,4	170,5	30,4

funzionamento della stazione, sia al verificarsi di un anno particolarmente piovoso (1938) che esercita un notevole peso sui valori medi. Le precipitazioni medie annue non differiscono molto nelle due stazioni, mentre la densità media annua delle precipitazioni risulta più elevata a Nakhra e ciò perché le piogge sono concentrate in un numero di giorni piovosi che è poco più della metà di quello registrato a Massaua. In base a quanto esposto, da un punto di vista pluviometrico si può parlare senz'altro di un clima arido, essendo le precipitazioni medie annue chiaramente inferiori ai 250 mm.

Il confronto fra l'andamento della temperatura e quello delle precipitazioni risulta di particolare interesse, soprattutto in relazione alle possibilità di sviluppo della vegetazione e alle condizioni di deflusso delle acque superficiali. Gli indici di aridità mensili ed annui (de Martonne, 1926; Thornthwaite, 1948) risultano sempre molto bassi, per cui è da ritenere molto accentuata l'evaporazione e di conseguenza molto limitato o quasi inesistente lo scorrimento delle acque. I diagrammi ombrotermici costruiti per le due stazioni (Angelucci e altri,

1978) mostrano chiaramente come le curve termiche siano sempre al di sopra di quelle delle piogge, evidenziando così un bilancio d'acqua negativo: si hanno, cioè, dodici mesi secchi, che contraddistinguono un tipico clima desertico caldo.

L'esame delle caratteristiche anemometriche della zona mette in evidenza una certa rotazione stagionale dei venti, spiegabile solo in parte con la diversa ubicazione delle due stazioni, ed una netta prevalenza dei venti che spirano dal primo e dal secondo quadrante. Ciò fa presumere che nel gruppo insulare i mari più efficaci agli effetti del modellamento delle coste siano quelli da N o NE (semestre caldo) e da S o SE (semestre freddo), con moto ondoso caratterizzato di norma da onde piccole, pur non mancando per buona parte dell'anno onde grosse ed in alcuni casi (specie in agosto) onde di burrasca o addirittura di tempesta; difatti le velocità medie dei venti sono di solito inferiori agli 8 m/s, ma si registrano pure medie delle massime intorno agli 11 m/s, con massimi assoluti (in agosto) fino a 25 m/s.

Lineamenti geologici. — La serie stratigrafica dell'arcipelago delle Isole Dahlak è nota grazie ai sondaggi ed alle indagini geofisiche effettuate per la ricerca petrolifera (Frazier, 1970).

La serie sedimentaria inizia con depositi terrigeni del Miocene inferiore, trasgressivi su un basamento non raggiunto dalle perforazioni, ma evidenziato da indagini geofisiche; i termini basso miocenici affiorano anche nella vicina costa eritrea. Superiormente si ha un complesso evaporitico del Miocene superiore potente complessivamente fino a tremila metri, costituito inizialmente da alternanze di argilliti, livelli salini e livelli anidritici, cui segue un « complesso salino » con rare intercalazioni argillose e anidritiche di spessore variabile fra i mille e i duemila metri. La sequenza evaporitica termina con qualche centinaio di metri di argilla con intercalazioni anidritiche e lenti saline. La serie prosegue con sequenze calcaree (« Dahlak Reef Limestones ») di età plio-pleistocenica di spessore variabile fra i 50 e i 400 m, che formano l'arcipelago. Esse mostrano facies del tutto analoghe a quelle attualmente in via di sedimentazione. Prevalgono, infatti, le calcareniti bioclastiche grossolane, cui si associano biolititi e calcareniti a grana sottile; mancano le facies micritiche e oolitiche. Datazioni assolute col metodo del ^{230}Th (Conforto e altri, 1976) effettuate su cinque campioni prelevati a Dahlak e a Entedebir, hanno indicato età di 120.000 e 160.000 anni B.P. Tali età, pur non generalizzabili dato l'esiguo numero di campioni esaminato, sono ben correlabili con la geocronologia regionale, la quale individua fra i 200.000 e gli 80.000

anni fa, varie fasi di sollevamento del livello marino (Lalon e altri, 1973; Hoang e altri, 1973; Thurber e altri, 1965).

Le sequenze calcaree delle isole Dahlak furono costruite nelle ultime fasi quaternarie e probabilmente sono coeve con gli analoghi terreni affioranti nella depressione dell'Afar che, tramite il Golfo di Zula, era in comunicazione col Mar Rosso fino a 70.000 anni fa, quando fu sbarrato da eruzioni vulcaniche (Ho Ang e altri, 1937). Anche se finora non se ne hanno prove è tuttavia probabile che scogliere coralline fossero fiorenti nell'area anche durante le fasi calde più recenti, identificabili fra 100.000 e 50.000 anni fa, quando la temperatura dell'acqua era legata ad un clima tropicale e subtropicale (Herman, 1968); ce lo indicano le microfaune e il rapporto isotopico carbonio-ossigeno (Deuser e Degens, 1969). Queste scogliere sarebbero perciò coeve con le costruzioni coralligene affioranti nell'Afar e datate 80.000 anni B.P. e lungo le coste arabe e sudanesi, datate 91.000 anni B.P.

Durante l'ultima fase glaciale la piattaforma delle Dahlak era, con ogni probabilità, emersa per la maggior parte e unita al continente, mentre ora ne è separata dal profondo solco del Canale di Massaua. Il ritrovamento di *Melanoides tuberculata*, un gasteropodo polmonato presente nell'Afar, in livelli siltoso-argillosi vicino al villaggio di Gembeli sull'Isola Dahlak, potrebbe confermare l'ipotesi della connessione fra arcipelago e continente. L'età di questi Gasteropodi è di circa 6480 anni B.P. (Belluomini, 1980) e corrisponde ad una fase umida olocenica panafricana.

Aspetti della sedimentazione attuale nell'arcipelago. — Le numerose osservazioni di carattere sedimentologico effettuate a più riprese dagli scriventi in diverse isole dell'arcipelago delle Dahlak hanno permesso di chiarire, in alcuni casi, le principali relazioni che intercorrono tra distribuzione delle facies attuali e caratteristiche dell'ambiente deposizionale.

La distribuzione delle facies sedimentarie attuali appare condizionata dalla storia recente dell'arcipelago che è situato in un'area particolarmente attiva della crosta terrestre. Infatti, nel Mar Rosso alla tettonica di *spreading*, che ne sta provocando un'incipiente oceanizzazione, si sommano movimenti tettonici locali legati alla presenza nel substrato della potente coltre evaporitica messiniana. Le variazioni di livello marino verificatesi durante il Quaternario hanno ulteriormente influenzato la distribuzione delle facies (Cochram, 1983).

La piattaforma delle Isole Dahlak può essere suddivisa in vari settori (Angelucci e altri, 1981) che presentano caratteristiche morfologiche e sedimentologiche differenti:

a) *piccole isole coralline*. Occupano l'intero settore settentrionale e parte del settore orientale della piattaforma; in quest'ultimo mancano osservazioni dirette. Nella parte settentrionale le isole, piccole o molto piccole, appaiono circondate in prevalenza da bassi fondali, talora raccordati da banchi sabbiosi. In altri casi, invece, le indagini batimetriche hanno messo in luce scarpate subverticali che raccordano le isole ad aree circoscritte di notevole profondità; queste ultime sembrano allineate secondo direttrici parallele alla costa eritrea. La sedimentazione è quasi esclusivamente di natura bioclastica, il grado di arrotondamento, la selezione, nonché la taglia media dei granuli variano in relazione all'idrodinamismo e alla morfologia dei fondali.

Gli isolotti prospicienti il Canale di Massaua, o ad esso collegati attraverso aree più profonde, sono bordati, nei versanti esposti all'azione meccanica del mare, da *fringing reefs* particolarmente rigogliosi (tav. I). Fra i sedimenti attuali predominano sabbie bioclastiche da grossolane a medie, in prevalenza ben classate. Sono presenti anche praterie algali e diffusi fenomeni di bioturbazione.

TAV. I — AMBIENTE DI SCOGLIERA.

- 1) *Acropora hiacyntus* in una ben sviluppata colonia palmata. Il substrato « in ombra » è meno densamente colonizzato rispetto all'area circostante. Isola di Dohul.
- 2) Colonie di *Acropora* sp. e di *Stylophora pistillata* (in basso e al centro), si sviluppano su un substrato duro parzialmente interessato da sedimentazione sabbiosa. Isola di Dohul.
- 3) Una imponente colonia di *Porites* sp. sviluppata in ambiente di acque relativamente poco agitate. Isola di Tanam.

TAV. II — AMBIENTI DI BASSA ENERGIA.

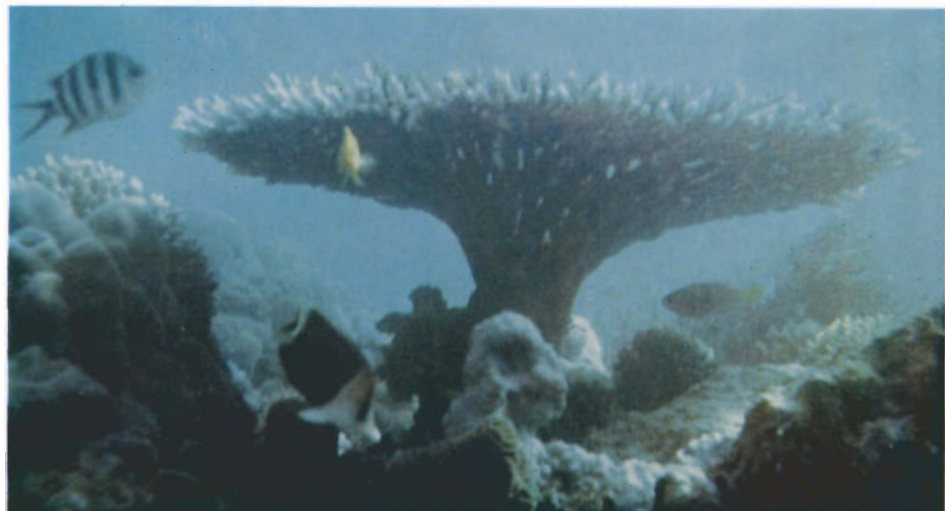
- 1) La laguna interna di Dhu Bellu nel settore nord-orientale dell'isola. Si notino i canali di marea e le barre.
- 2) Il settore marino a oriente dell'isola (in una panoramica dall'aereo) è caratterizzato da bassi fondali e da energia meccanica assai modesta.

TAV. III — ALCUNI AMBIENTI SOPRATIDALI.

- 1) Vasta depressione all'interno dell'isola di Isratu, parzialmente occupata da una laguna; nella parte più interna si sviluppano marginalmente ambienti evaporitici di tipo sabkha.
- 2) Croste algali in ambiente di sabkha.
- 3) Laguna meridionale nel settore occidentale dell'isola di Isratu, bordata da mangrovieto.
- 4) Ambiente bordiero di laguna interna soggetto alle oscillazioni di marea. Il sedimento, fortemente bioturbato, è intrappolato fra le radici delle mangrovie.

TAV. IV — « DAHLAK REEF LIMESTONES »: ALCUNE LITOFACIES.

- 1) Sequenza terminale affiorante lungo una scarpata di faglia nell'isola di Isratu.
- 2) I coralli coloniali in posizione di crescita sono presenti a vari livelli della formazione. Particolare della foto precedente.
- 3) Le biocalcareni mal classate e massive di ambiente subtidale sono fra le litofacies più diffuse. Isola Dahlak.
- 4) Le calcareniti ben classate, con laminazione talora incrociata, indicano ambienti di spiaggia e eolici. Isola di Tanam.



1



2



3





1



2



3



4



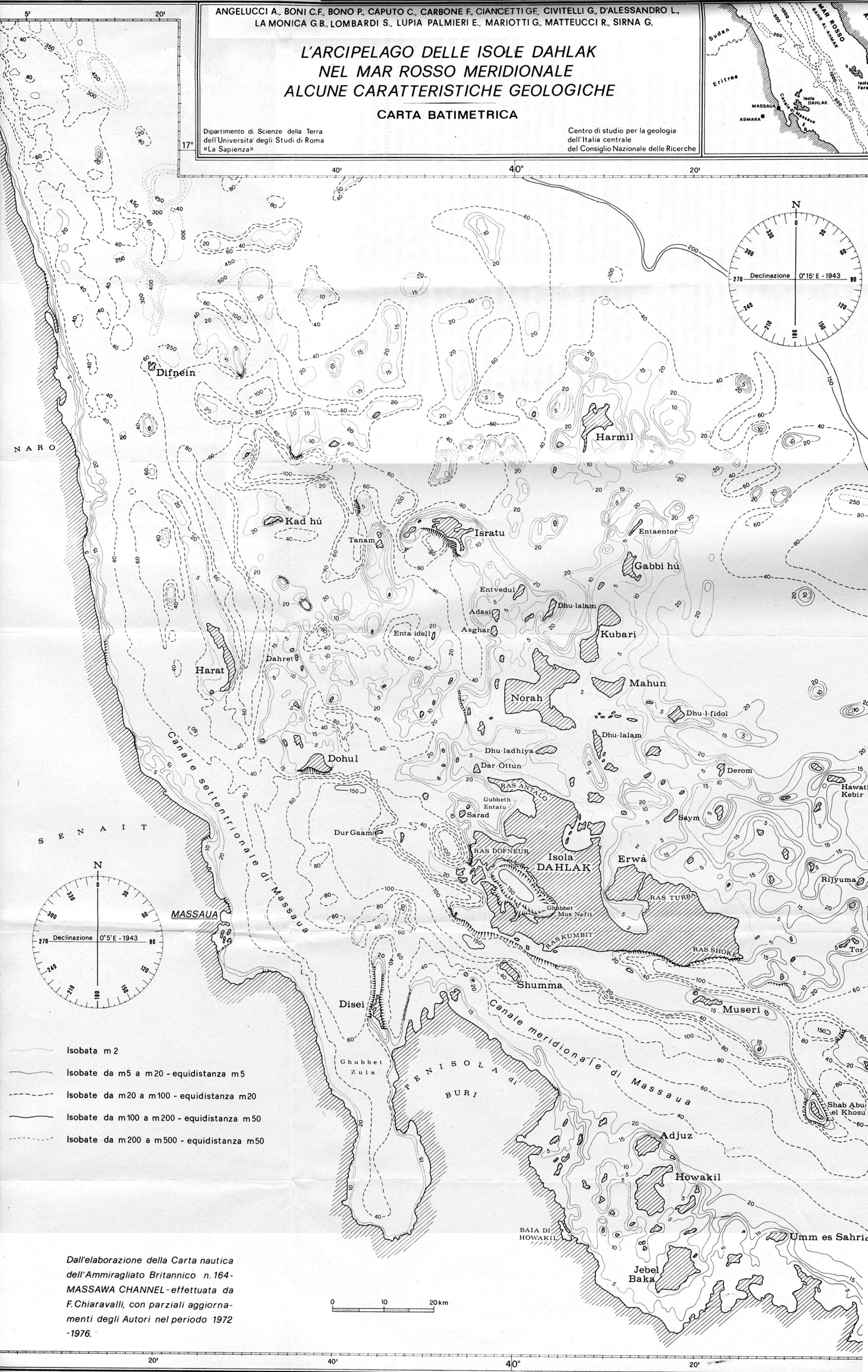
ANGELUCCI A., BONI C.F., BONO P., CAPUTO C., CARBONE F., CIANCETTI G.F., CIVITELLI G., D'ALESSANDRO L.,
LA MONICA G.B., LOMBARDI S., LUPA PALMIERI E., MARIOTTI G., MATTEUCCI R., SIRNA G.

L'ARCIPELAGO DELLE ISOLE DAHLAK NEL MAR ROSSO MERIDIONALE ALCUNE CARATTERISTICHE GEOLOGICHE

CARTA BATIMETRICA

Dipartimento di Scienze della Terra
dell'Università degli Studi di Roma
«La Sapienza»

Centro di studio per la geologia
dell'Italia centrale
del Consiglio Nazionale delle Ricerche



- Isobata m 2
- Isobate da m 5 a m 20 - equidistanza m 5
- Isobate da m 20 a m 100 - equidistanza m 20
- Isobate da m 100 a m 200 - equidistanza m 50
- Isobate da m 200 a m 500 - equidistanza m 50

Dall'elaborazione della Carta nautica
dell'Ammiragliato Britannico n. 164-
MASSAWA CHANNEL - effettuata da
F. Chiaravalli, con parziali aggiorna-
menti degli Autori nel periodo 1972
-1976.

b) *grande scogliera corallina dell'Isola Dahlak (Dahlak reef)*. Si tratta di un grande complesso di scogliera localizzato sul versante occidentale, all'estremità meridionale della maggiore isola dell'arcipelago. Si sviluppa in direzione NO-SE ed è limitato sia a NE che a SO da depressioni batimetriche profonde 100-150 m. A SO questa scogliera è bordata dal tratto meridionale del Canale di Massaua, mentre la depressione esistente sul lato nord orientale sembra allineata con analoghe depressioni di forma ellissoidica presenti poco più a nord e ricollegate da vari autori alla presenza di domi salienti (tav. f.t.). In questo settore le indagini finora condotte sono insufficienti per una ricostruzione soddisfacente della distribuzione delle facies.

c) *lagune di acque basse* (tav. II, 1). Sono diffuse principalmente nelle isole più grandi e presentano sviluppo areale molto variabile. Hanno circolazione d'acqua limitata e terminano spesso verso l'interno con aree di *sabka*. Nelle zone palustri marginali si sviluppa talora la vegetazione a mangrovie (tav. III, 3, 4). Sono caratterizzate da sedimenti bioclastici fini mal classati, per la presenza della componente micritica che in corrispondenza dei canali di marea diminuisce fino a scomparire.

d) *altofondi sabbiosi* (tav. II, 2). Si sviluppano lungo tutto il settore orientale della piattaforma ove sono associati a piccole isole e a patch reefs. In quel settore degradano regolarmente verso est, con profondità variabili da qualche decina di centimetri fino a 50 m. Anche in quest'area le osservazioni dirette sono estremamente limitate.

e) *depressioni profonde*. Sono localizzate lungo il lato occidentale dell'arcipelago e seguono in prevalenza un allineamento parallelo al Canale di Massaua, distante da esso meno di 10 km; secondo Frazier (1970) sono dovute a domi salini che, giunti ad affiorare sul fondo del mare, sono stati successivamente svuotati per dissoluzione. Tale ipotesi sembra la più soddisfacente e si può presumere che i domi si siano a loro volta impostati lungo una dislocazione tettonica parallela a quella che ha determinato la formazione del Canale di Massaua. Da un punto di vista sedimentologico, queste depressioni costituiscono delle vere e proprie trappole sedimentarie, cosicché il loro fondale è coperto da sedimenti pelitici contenenti frazioni bioclastiche fini.

In particolare il Ghubbet Mus Nefit, all'interno dell'Isola Dahlak, è un ampio e profondo golfo (circa 170 m di profondità massima) che comunica col mare aperto attraverso due stretti canali (tav. f.t.) dei quali il più settentrionale è in via di colmamento, mentre il più meridionale, anche se poco profondo (10-15 m) è sede di fortissimi flussi idrici in corrispondenza delle fasi della marea. All'interno del

Ghubbet sono presenti, lungo i bordi, facies di alta energia, testimoniate da rigogliosi *fringing reefs*, mentre al centro, in corrispondenza della zona più profonda, si ha un sedimento molto fine nel quale sono presenti, accanto ad una fauna bentonica, numerosi organismi pelagici (foraminiferi planctonici, radiolari, pteropodi) accompagnati da conchiglie di molluschi allo stato giovanile.

f) *depressioni aride all'interno delle isole* (fig. 2). Occupano settori emersi e ribassati di numerose isole. La loro genesi appare strettamente legata all'assetto tettonico ad horst e graben della piattaforma. Il più delle volte ricalcano la paleogeografia di antichi bracci di mare che in tempi recenti si spingevano all'interno (fig. 2, 1), come è dimostrato dalla presenza diffusa di solchi di battigia e di depositi di spiaggia di alta energia.

La sedimentazione in queste aree è legata principalmente alla distribuzione e selezione ad opera del vento del materiale clastico di degradazione dei calcari organogeni dei « Dahlak Reef Limestones ». Su questi sedimenti (fig. 2, 2) si sovraimpongono depositi evaporitici tipici degli ambienti di sabkha, a luoghi rappresentati da suoli induriti ricchi in solfati, caratterizzati da strutture poligonali di essiccamento (fig. 2, 6). In prossimità di laghetti interni o di pozze di ristagno si osserva lo sviluppo di estesi tappeti stromatolitici e di popolose comunità a gasteropodi, in prevalenza *Bittium*.

g) *Canale di Massaua*. Si tratta di un solco ben delineato che separa la piattaforma, su cui sorge l'arcipelago, dal continente africano. Ha andamento SE-NO nella parte meridionale, dove raggiunge anche profondità superiori ai 150 m, e S-N nella parte settentrionale. Di questa area mancano ancora i dati sperimentali atti a chiarirne le caratteristiche sedimentarie.

FIG. 2 — ASPETTI GEOLOGICI E SEDIMENTOLOGICI DELLE ISOLE DAHLAK.

- 1) Depressione arida all'interno dell'isola di Isratu. Tali depressioni di origine tettonica in molti casi conservano testimonianze di periodi di sommersione.
- 2) Tipico suolo all'interno di una depressione, prodotto dal disfacimento di calcari organogeni. Nella foto la componente organogena principale è data da Lamellibranchi.
- 3) Tipica costa a falesia di un'isola con un solco di battente d'onda ben sviluppato.
- 4) Imponente accumulo di gusci di gasteropodi (Strombidi) su una spianata d'abrasione, a ridosso di un'antica linea di costa.
- 5) Fascia intertidale in bassa marea: caratteristico il vistoso sviluppo della zona bioturbata (mounds).
- 6) Suolo a poligoni con bordi rialzati tipici di ambienti con fenomeni di disseccamento per evaporazione (sabkha).
- 7) Corallo massivo in posizione di crescita all'interno dei calcari pleistocenici che affiorano all'interno delle isole.
- 8) Cementazione precoce di sabbie di spiaggia (beach rock) lungo la costa dell'isola di Wusta; tali depositi sono diffusi lungo molte spiagge dell'arcipelago.

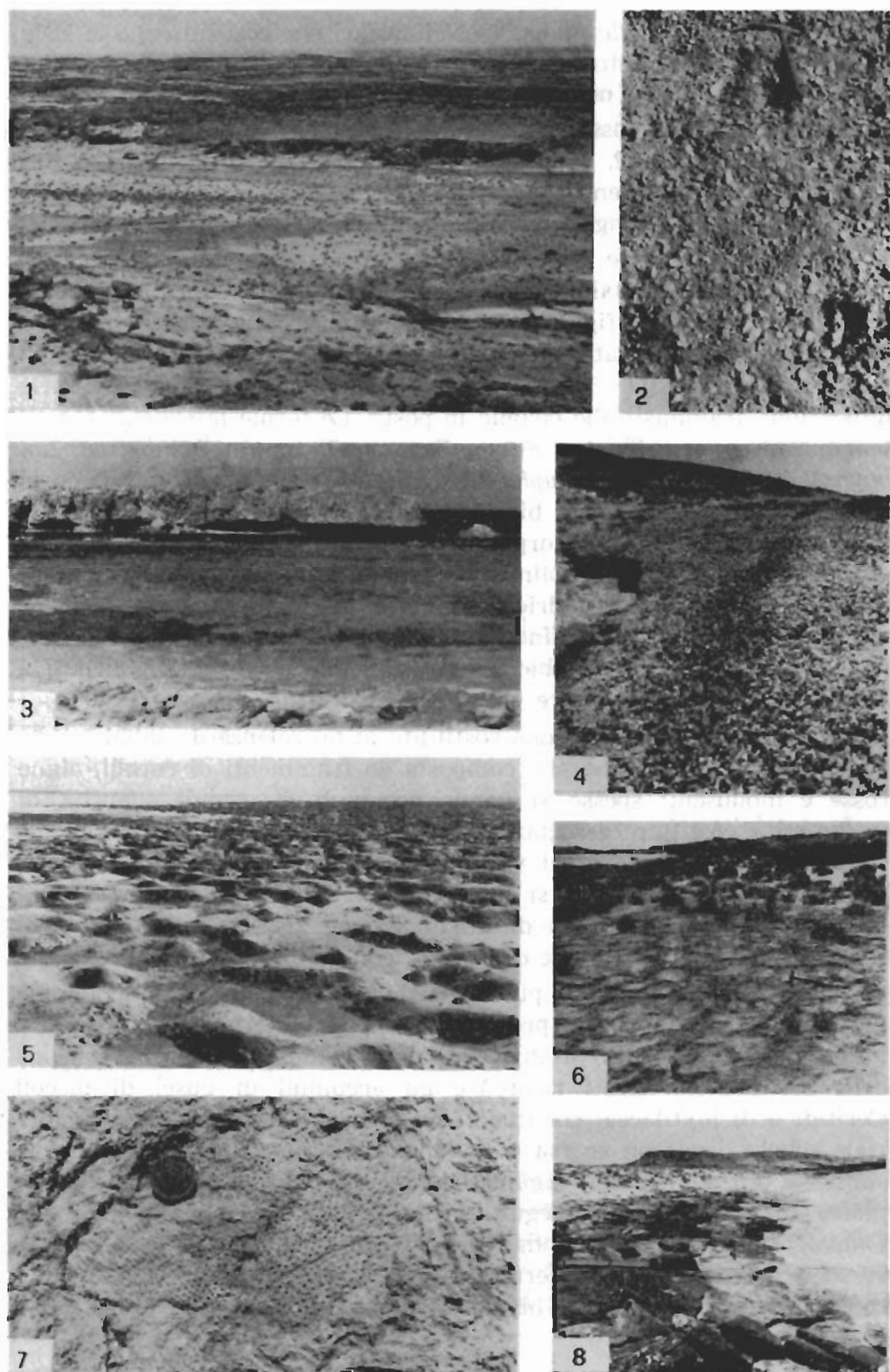


FIG. 2

Considerazioni sulle faune. — Nei calcari che costituiscono le isole (« Dahlak Reef Limestones ») sono riconoscibili diverse facies, analoghe a quelle presenti negli ambienti sedimentari attuali.

Principalmente possono essere distinte facies biolititiche con coralli prevalenti (fig. 2, 7), per lo più in posizione di crescita, facies calciruditiche e calcarenitiche bioclastiche, spesso ricche in molluschi; le facies a matrice fangosa sembrano invece meno rappresentate.

Frequentemente le facies coralline in posto sottostanno ai sedimenti bioclastici, ma talora sono da essi intercalate, soprattutto sotto forma di patch reefs (fig. 2, 7). Le colonie massive o crostoso-massive sono le più rappresentate, accompagnate in via subordinata da colonie fogliari e ramificate. Sono frequenti frammenti coloniali di varie dimensioni, frammisti alle colonie in posto. Le forme prevalenti appartengono ai generi: *Porites*, *Favia*, *Favites*, *Platygira*, *Goniastrea*, *Lobophyllia*, *Hydnophora*, *Cyphastrea*, *Stylophora*, *Acropora*. I corpi isolati frammisti alle facies bioclastiche sono costituiti spesso da associazioni oligotipiche; tali corpi, delle dimensioni massime di qualche decina di metri, sono attualmente presenti in aree di retroscogliera con sufficiente ricambio idrico. Ai corpi di scogliera sono associati alghe rosse incrostanti, echinodermi e molluschi prevalentemente litofagi e sessili; le tracce di bioerosione (spugne perforanti, policheti e lamelibranchi) sono sempre estremamente diffuse.

Le facies bioclastiche sono costituite in prevalenza da sabbie organogene più o meno elaborate, composte da frammenti di coralli, alghe rosse e molluschi; spesso si hanno accumuli di grandi quantità di molluschi a costituire associazioni sia oligotipiche fino a monotipiche, sia, più generalmente, assai variate. Un elenco, anche se incompleto, delle specie più frequenti si ha nelle tabb. 2 e 3. Sono osservabili tutti gli stadi del processo di fossilizzazione, dagli accumuli biogeni subfossili a quelli fortemente cementati, con gusci dissolti e/o sostituiti.

Negli ambienti attuali più aperti le associazioni faunistiche sono piuttosto variate, mentre procedendo verso l'interno, in particolare nelle lagune, si ha un progressivo impoverimento e specializzazione delle associazioni. Basti ricordare gli accumuli di gusci di piccoli Ceritidi o di Mytilacea, costituenti da soli la quasi totalità del materiale scheletrico (con scarsa o nulla matrice fine) di piccole spiagge sui bordi più interni delle lagune. Un'analisi speditiva (e quindi incompleta) di queste faune, eseguita nella laguna di Khor Melill (Isola Dahlak), ha evidenziato come, procedendo lungo l'asse della laguna, verso il limite subtidale-intertidale, dalle circa 20 specie (ugualmente suddivise tra gasteropodi e bivalvi) dall'alto subtidale si passi a meno

TAB. 2

GASTEROPODI

distribuzione delle specie fossili	Dohul	Harat	Dahret	Dergoman Kebir	Isola Dahlak	Tanam Wusta Isratu
<i>Nerita albicilla</i>					*	
<i>Nerita undata</i>						*
<i>Vermetus gigas</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Thericium erythreonense</i>				*		
<i>Thericium fasciatum</i>				*		
<i>Thericium vertagus</i>				*		
<i>Thericium coeruleum</i>				*		
<i>Tibia curvirostris</i>				*	*	
<i>Strombus fasciatus</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Strombus muricatus</i>					*	
<i>Strombus tricornis</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Cypraea erythreensis</i>	*					*
<i>Cypraea panterina</i>	*				*	*
<i>Cypraea turdus</i>					*	*
<i>Natica powisiana</i>				*	*	*
<i>Fusinus marmoratus</i>					*	*
<i>Ficus paradisiacus</i>				*		
<i>Oliva eritrosthoma</i>				*		
<i>Persicula cypraeiformis</i>		*		*		
<i>Turris garnonsi</i>				*		
<i>Conus amadis</i>					*	
<i>Conus arenatus</i>				*	*	*
<i>Conus generalis</i>				*	*	
<i>Conus schech</i>				*	*	*
<i>Conus sumatrensis</i>	*			*	*	
<i>Conus textile</i>						*
<i>Terebra cumingi</i>				*	*	*
<i>Trochus dentatus</i>					*	*
<i>Pyrula paradisiaca</i>					*	
<i>Nassarius arcularius</i>					*	*
<i>Trunculariopsis trunculus</i>						*

della metà nel basso intertidale. Nel medio intertidale la riduzione è ancora più drastica (4 o 5 specie) e tendono a scomparire i gasteropodi. Sempre in questa laguna è spesso frequente, al di sotto dell'interfaccia di sedimentazione, un orizzonte indurito la cui associazione conchigliare non è molto diversa da quella attuale. Questo livello

TAB. 3

BIVALVI

distribuzione delle specie fossili	Harat	Dahret	Dohul	Dergaman Kebir	Isola Dahlak	Tanam Wusta Isratu
<i>Arca imbricata</i>		*			*	*
<i>Arca navicularis</i>			*	*	*	*
<i>Barbatia lacerata</i>				*		*
<i>Barbatia nivea</i>			*			
<i>Anadara antiquata</i>			*	*	*	*
<i>Glycymeris pectunculus</i>		*		*	*	*
<i>Pinctada margaritifera</i>		*	*		*	
<i>Chlamys senatoria</i>				*	*	*
<i>Chlamys sanguinolenta</i>						*
<i>Chlamys lessepsi</i>				*		
<i>Plicatula plicata</i>		*		*	*	*
<i>Sponylus aculeatus</i>				*	*	*
<i>Lima bullifera</i>					*	
<i>Lima lima</i>					*	
<i>Codakia tigerina</i>		*		*	*	*
<i>Diplodonta globosa</i>					*	
<i>Diplodonta rotundata</i>						*
<i>Cardita bicolor</i>				*	*	
<i>Cardita variegata</i>		*		*		
<i>Cardium rugosum</i>	*		*	*	*	*
<i>Tellina pharaonis</i>				*		*
<i>Tellina papyracea</i>						*
<i>Tellina rastellum</i>						*
<i>Tellina scobinata</i>		*				
<i>Asaphis deflorata</i>		*		*	*	
<i>Circe corrugata</i>	*		*	*	*	
<i>Gafrarium pectinatum</i>				*	*	*
<i>Callista florida</i>			*	*	*	*
<i>Dosinia pubescens</i>					*	
<i>Tridacna gigas</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Mactra maculosa</i>						*
<i>Ostrea cristagalli</i>						*
<i>Chama</i> sp.						*
<i>Antigona orientalis</i>					*	*
<i>Modiola auricolata</i>					*	
<i>Venus orientalis</i>						*
<i>Hemicardium hemicardium</i>					*	*

passa al substrato carbonatico (« Dahlak Reef Limestones ») per mezzo di una superficie di erosione, parzialmente elaborata dall'attività di spugne ed alghe perforanti. In questo orizzonte sono presenti (fig. 3) *Anadara antiquata* (LINNEO), *Gafrarium pectinatum* (LINNEO), *Tellina pharaonis* HANLEY, *Diplodonta globosa* (FORSKAL), *Diplodonta rotundata* MONTAGU, *Callista florida* (LAMARCK), *Plicatula plicata* (LINNEO), *Lucina* cfr. *edentula* (REEVE), e, più sporadicamente, altre specie appartenenti a *Dosinia*, *Tellina*, *Asaphis*, *Clementia*, *Arca*, *Ostrea*, *Tridacna*, tra i bivalvi. Tra i gasteropodi prevalgono: *Strombus fasciatus* BORN, *Strombus tricornis* LAMARCK, *Conus schech* JICKELI, *Ficus paradisiacus* (MARTINI), *Bythium parvulum* (NARDINI), e inoltre specie riferibili a *Conus*, *Trochus*, *Natica*, *Pleurothoma*, *Nassarius*, *Theridium*, *Oliva*. Queste determinazioni evidenziano chiaramente, per le porzioni interne lagunari quali quelle considerate, la mancanza di generi estremamente abbondanti nella panchina fossile sottostante, e riconosciuti in moltissime parti dell'arcipelago, quali *Barbatia*, *Glycymeris*, *Codakia*, *Chlamys*, *Lima*, *Spondylus*, *Chama*, *Mactra*, *Venus*, *Cardium*, *Cardita*, tra i bivalvi e *Nerita*, *Cypraea*, *Pisania*, *Fusinus*, *Tibia*, *Turris*, *Terebra* tra i gasteropodi.

In alcuni casi, e anche questo è stato osservato più volte in diverse isole, sono presenti accumuli monotipici di gusci di *Strombus* (fig. 2, 4) o di *Arca*. Questi accumuli, prodotti dall'energia delle mareggiate, sono classati dal vento che asporta la frazione fine. Lungo la sponda meridionale di Khor und Abi (Isola Dahlak) sono presenti cordoni costituiti da gusci o singole valve equidimensionali ed isoorientati. A luoghi tali cordoni sono già fortemente cementati.

Le associazioni attuali comprendono, oltre ai molluschi, altre componenti faunistiche e floristiche quali echinodermi, artropodi, briozoi, spugne, alghe rosse. E' interessante notare il gioco antagonista che svolgono le alghe rosse, incrostanti, e le spugne, perforanti, anche se analoghe attività vengono svolte anche da altri gruppi (foraminiferi, policheti, briozoi). Il risultato è un'intensa alterazione delle superfici esposte, dei gusci e dei fondi duri. Gli echinodermi, rappresentati da parecchi generi, soprattutto Clypeastridi e Cidaroidi, sono a luoghi assai frequenti.

I foraminiferi, presenti nella maggior parte dei sedimenti lagunari, costituiscono associazioni, a volte anche abbastanza ricche, caratterizzate da forme quali Soritidi, Peneroplidi, Miliolidi nelle aree centrali delle lagune e da maggiore frequenza di Rotalidi lungo i canali di marea e sui bordi.

Tutte le facies dei « Dahlak Reef Limestones », soprattutto quelle

bioclastiche, sono molto discontinue e presentano passaggi sia rapidi che graduali in senso orizzontale e verticale. Ciò si verifica anche negli ambienti attuali, in prossimità delle isole. Nelle aree di retroscogliera l'instaurarsi di patch reefs e barre sommerse, legate all'accentuato idrodinamismo ed a deboli fenomeni tettonici, produce una segmentazione notevole di ambienti sedimentari e relative associazioni biologiche.

E' da ricordare, infine, che le faune riconosciute presentano una stretta affinità, come composizione, con le malacofaune plio-pleistoceniche della provincia Indonesia-Malgascia (Angelucci e altri, 1978), essendo costituite da specie note nell'Oceano Indiano già a partire dal Miocene e Pliocene, anche se la presenza di *Trunculariopsis trunculus*, potrebbe indicare collegamenti postmiocenici tra Mediterraneo e Mar Rosso.

Osservazioni idrologiche e idrochimiche. — Per meglio definire le caratteristiche di alcuni ambienti lagunari presenti nell'Isola Dahlak, sono state fatte osservazioni sui sistemi di ricambio delle acque interne e sul loro chimismo. Sono stati considerati (fig. 4):

— il Ghubbet Entatu e la sua laguna interna di Khor Melill, tra loro connessi da un canale di marea;

FIG. 3 — ALCUNI MOLLUSCHI DEI « DAHLAK REEF LIMESTONES ».

- 1 - *Arca navicularis* BRUGUIERE - Dahret, Grande Dahlak, $\times 1$.
- 2 - *Anadara antiquata* (LINNEO) - Dergoman Kebir, Grande Dahlak, $\times 0,5$.
- 3 - *Gafrarium pectinatum* (LINNEO) - Grande Dahlak, $\times 0,8$.
- 4 - *Glycymeris pectunculus* (LINNEO) - Dergoman Kebir, $\times 0,8$.
- 5 - *Codakia tigerina* (LINNEO) - Dergoman Kebir, $\times 0,8$.
- 6 - *Chlamys senatoria* GMELIN - Dergoman Kebir, $\times 0,8$.
- 7 - *Cyparea panterina* SOLANDER - Harat, $\times 0,5$.
- 8 - *Natica powisiana* RECLUZ - Dergoman Kebir, $\times 0,8$.
- 9 - *Conus amadis* MARTINI - Grande Dahlak, $\times 0,5$.
- 10 - *Persicula cypraeiformis* (NARDINI) - Dahret, $\times 0,8$.
- 11 - *Spondilus aculeatus* BOLT. - Dergoman Kebir, $\times 0,5$.
- 12 - *Turris garnonsi* (REEVE) - Dergoman Kebir, $\times 0,8$.
- 13 - *Ficus paradisiacus* (MARTINI) - Dergoman Kebir, $\times 0,8$.
- 14 - *Cypraea erythraeensis* REEVE - Harat, $\times 0,8$.
- 15 - *Tellina scobinata* LINNEO - Dahret, $\times 0,8$.
- 16 - *Tibia curvirostris* (LAMARCK) - Grande Dahlak, $\times 0,8$.
- 17 - *Nerita albicollina* LINNEO - Grande Dahlak, $\times 0,8$.
- 18 - *Plicatula plicata* LINNEO - Grande Dahlak, Dergoman Kebir, $\times 1$.
- 19 - *Pinctada margaritifera* (LINNEO) - Grande Dahlak, $\times 0,8$.
- 20 - *Conus generalis* LINNEO - Grande Dahlak, $\times 0,5$ esempl. Giov.
- 21 - *Theridium fasciatum* (BRUG.) - Dergoman Kebir, $\times 0,8$.
- 22 - *Strombus fasciatus* BORN - Dergoman Kebir, $\times 0,5$.
- 24 - *Strombus muricatus* (MARTINI) - Grande Dahlak, $\times 0,8$.
- 25 - *Terebra cumingi* (DESH) - Dergoman Kebir, $\times 0,8$.

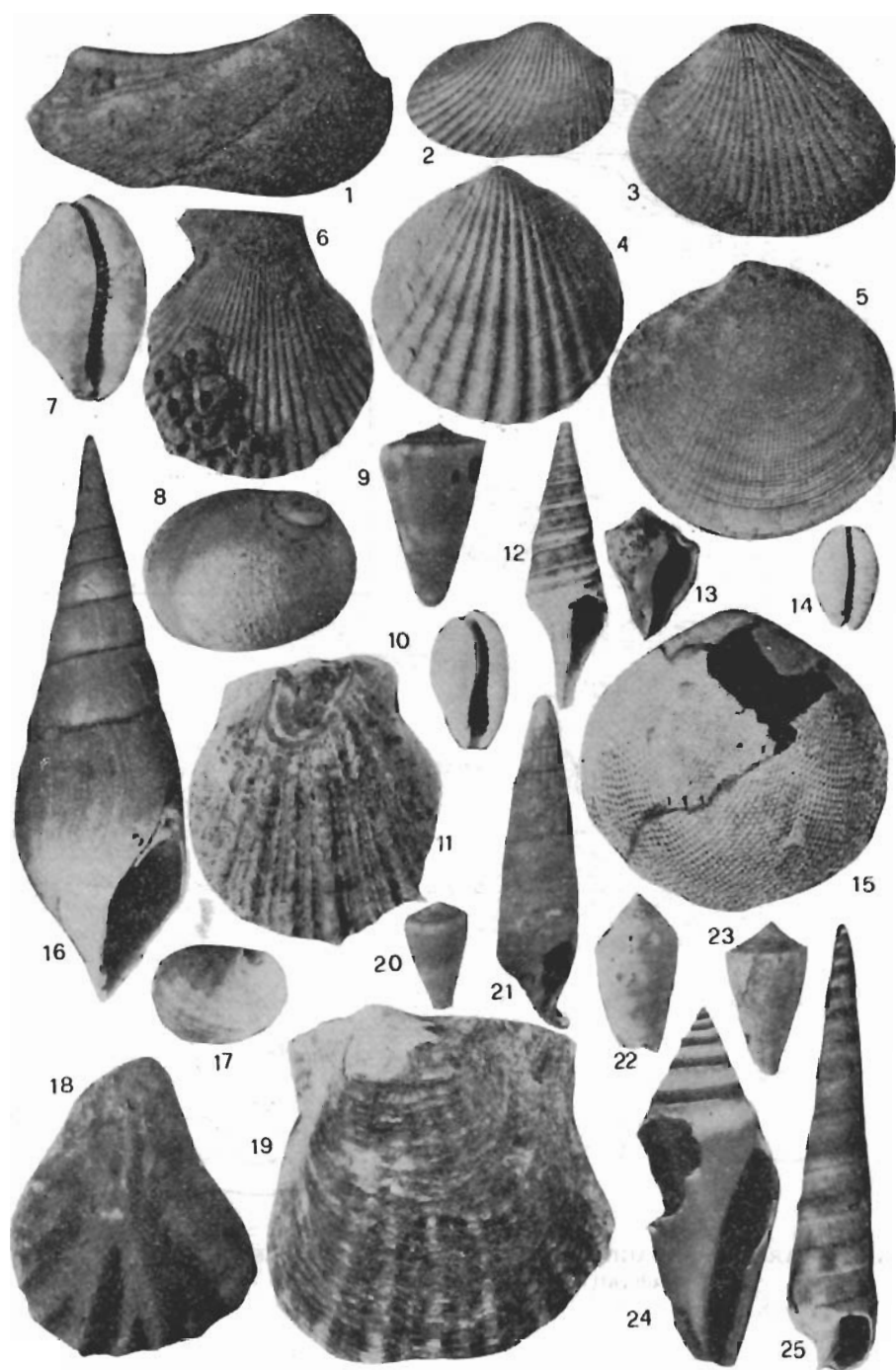


FIG. 3

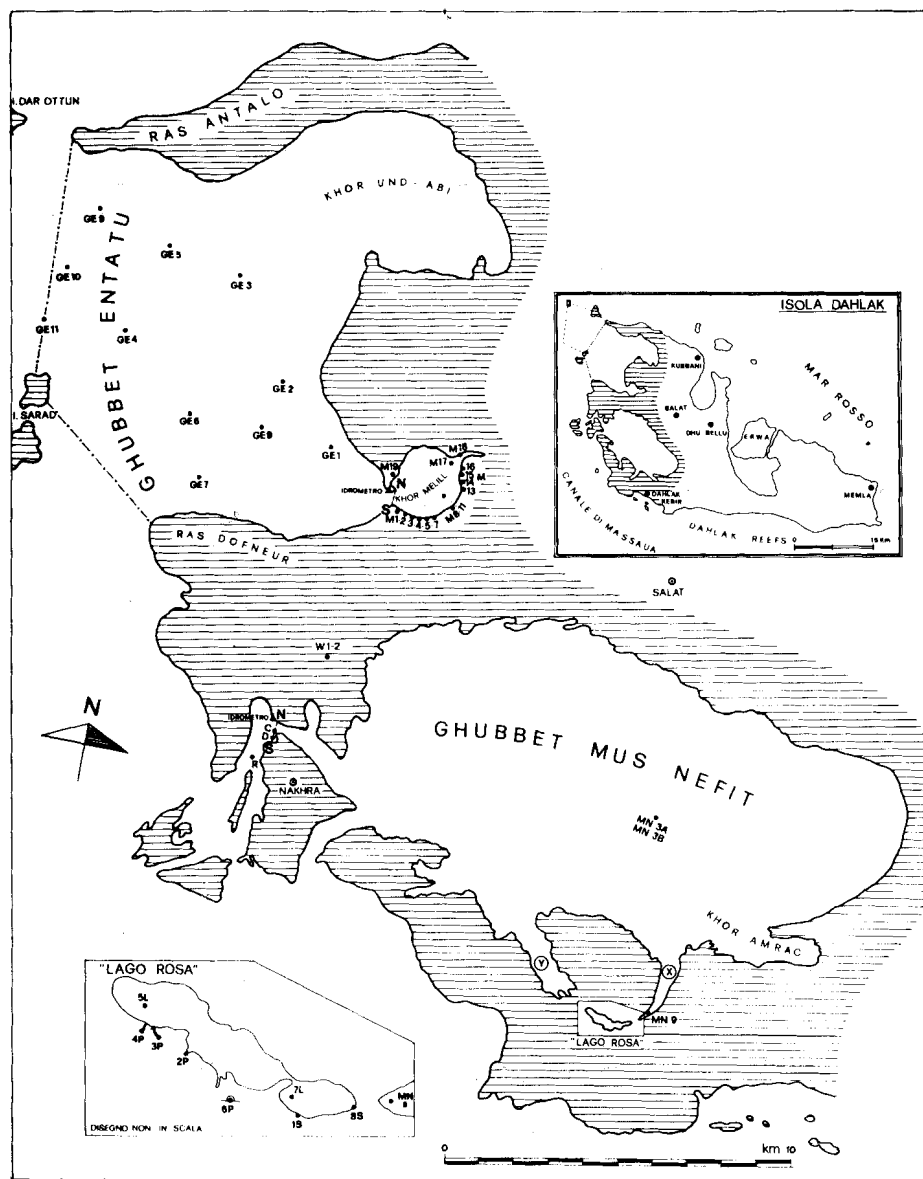


FIG. 4 — AREA DI INDAGINE NEL SETTORE OCCIDENTALE DELL'ISOLA DAHLAK.
Sono ubicati i punti di campionamento delle acque.

TAB. 4

ANALISI CHIMICA DEI CAMPIONI D'ACQUA

campione numero	T.D.S. (g/l)	Na+ (ppm)	K+ (ppm)	Ca++ (ppm)	Mg++ (ppm)	Cl- (ppm)	SO ₄ -- (ppm)
Canale di Massaua							
CM	40,51	12.300	645	452	1.524	22.850	2.740
Gubbert Entatu							
GE 1	41,53	12.750	475	450	1.496	23.490	2.870
GE 4	40,96	12.500	500	485	1.540	23.000	2.930
Mus Nefit							
MN 9	41,74	12.650	541	495	1.552	23.530	2.970
MN 3A	41,78	12.500	515	520	1.512	23.900	2.840
MN 3B	41,53	12.650	485	471	1.546	23.500	2.880
Canale di marea Mus Nefit							
Cc	41,70	12.900	500	471	1.544	23.380	2.910
Dc	41,79	12.450	760	481	1.536	23.620	2.940
Cs	40,56	12.650	490	491	1.550	22.440	2.940
Ds	40,79	12.100	469	500	1.560	23.210	2.855
Lago Rosa							
IS	65,04	19.250	1.110	935	2.308	36.200	5.240
2P	48,47	15.150	525	865	1.570	27.000	3.360
3P	41,62	12.750	465	676	1.374	23.600	2.755
4P	47,07	14.350	526	746	1.640	26.650	3.160
5L	90,67	28.000	1.350	1.480	3.060	50.500	6.280
6P	36,02	11.000	371	670	1.155	20.400	2.430
7L	81,66	25.600	1.700	1.318	2.940	47.400	2.700
8S	41,65	12.750	554	535	1.528	23.380	2.900
Pozzi							
W1	3,28	721	30	210	170	1.640	510
W2	6,52	1.560	180	304	325	3.450	700

Le analisi sono state effettuate a un mese dalla campionatura. La salinità totale (T.D.S.) è stata ottenuta dalla somma dei singoli ioni. I metodi analitici adottati sono quelli proposti dallo Standard Methods for the Examination of water and Wastewater (13th edition, 1971. APHA, AWWA, WPCW). Gli elementi alcalini e alcalino-terrosi sono stati determinati per mezzo di una spettrofotometro ad assorbimento atomico Perkin Elmer.

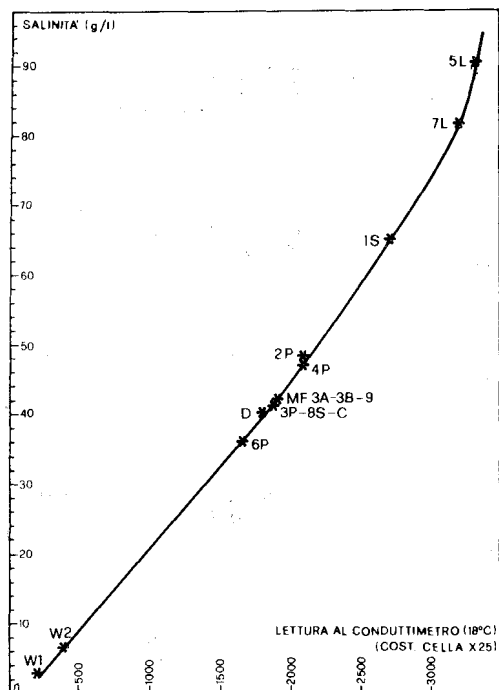


FIG. 5 — ABACO DI CONVERSIONE CONDUCTIBILITA' ELETTRICA/SALINITA'.

In ascissa i valori di conducibilità letti all'apparecchio, provvisto di una cella a costante nominale $\times 25$, corretti a 18°C , e in ordinata i corrispondenti valori di salinità dedotti dall'analisi chimica dei campioni di tab. 4.

- il Ghubbet Mus Nefit ed il Canale di Massaua, tra loro connessi da due canali di marea;
- il Lago Rosa: un piccolo lago salato in una depressione interna a meridione del Mus Nefit.

Inoltre è stato analizzato il chimismo delle acque di due pozzi utilizzati dai residenti.

Per definire i caratteri chimici delle acque sono stati esaminati 20 campioni (tab. 4). Ad integrazione dei dati chimici, in molti punti sono state effettuate determinazioni di temperatura e di conducibilità elettrica delle acque. Per trasformare questi valori in salinità totale, è stato costruito un abaco di conversione (fig. 5). Nei canali di marea sono state eseguite misure di velocità del flusso, in ingresso e in uscita, abbinate a osservazioni sedimentologiche sul fondo.

Nel Ghubbet Entatu sono stati prelevati 10 campioni di acqua, dalla superficie fino a 28 metri di profondità; su due (GE1, GE2) è stata eseguita l'analisi chimica, mentre di tutti, al momento del prelievo, è stata misurata la temperatura e la conducibilità elettrica, trasformata poi in salinità con l'abaco di fig. 4. Le temperature erano

comprese fra 27,3 °C e 27,9 °C; la loro distribuzione è apparentemente casuale e risulta indipendente dalla profondità di prelievo. Anche la salinità è risultata molto omogenea in tutti i campioni, con valori compresi tra 41,0 e 41,5 g/l, con variazioni, quindi, dello stesso ordine di grandezza degli errori strumentali.

La laguna di Khor Melill ha una superficie di circa 13 km² e forma ellissoidica, con assi di 3,5 e 2,5 km circa; è collegata al Ghubbet Entatu da un canale di marea di ampiezza variabile da 0,8 a 0,4 km e mediamente poco profondo (Bono e altri, 1976). La profondità della laguna è in media inferiore a 2 metri. All'interno sono state misurate le temperature e la conducibilità elettrica anche delle acque che saturano i depositi intertidali durante l'alta marea (1). In pozze isolate di limitata estensione, ubicate nella fascia alto intertidale, la salinità raggiungei 50 g/l, mentre le acque fluenti verso la laguna hanno salinità variabile tra 50 e 44 g/l.

In conclusione, si può dire che le acque della laguna, poco profonde, subiscono un marcato processo di evaporazione che determina, ovviamente, un sensibile incremento della salinità; non si arriva alla sovrasaturazione soltanto per il costante ricambio assicurato dal canale di marea.

Il Ghubbet Mus Nefit si apre nel settore occidentale dell'Isola Dahlak ed ha forma ellissoidica con assi di 7 e 15 km circa; la superficie approssimativa è di 110 km² e la profondità massima di circa 170 m. Lungo la costa meridionale sono presenti alcuni golfi; due di

(1) LAGUNA DI KHOR MELILL. Determinazioni chimico-fisiche sulle acque (T = temperature in °C; S = salinità in g/l).

1: Pozza residua nell'alto intertidale (prof. 15 cm e diametro 5 m), separata dalla laguna da un cordone sabbioso (T = 26,8; S = 50,5).

2: Emergenza da un deposito conchigliare incoerente della piana tidale (T = 26,8; S = 50,0).

3: Emergenza da una frattura del « beach rock » della piana tidale (T = 27,9; S = 48,2).

4, 5: Emergenze da un piccolo cordone sabbioso appoggiato al « beach rock » della piana tidale, allo sbocco di una linea di erosione e drenaggio superficiale (T = 25,6; S = 45,2).

7: Emergenza sulla piana tidale (T = 28,4; S = 46,5).

8, 9, 10, 11: Emergenze sulla piana tidale lungo un allineamento dall'intertidale superiore verso la linea di riva, in marea calante (T = 28,8; S = 44,8-45,4).

12: Acqua della laguna a circa 50 m dalla riva (T = 26,5; S = 44,0).

13, 14: Pozze di acqua residue nell'alto intertidale con depositi sapropelatici (T = 29,3; S = 47,5).

15: Emergenza alla base di un esteso terrazzo di calcari conchigliari profondamente inciso da un solco di battigia (T = 27,2; S = 43,6).

16: Pozza artificiale aperta sulla piana tidale connessa alla laguna da un canale (T = 26,3; S = 44,3).

17: Acqua della laguna in prossimità della riva (T = 29,4; S = 46,5).

18: Acqua della laguna in una diramazione incisa nella piana tidale (T = 29,4; S = 46,5).

19: Acqua della laguna in una diramazione presso l'imbocco (T = 28,0; S = 44,8).

questi (x e y in fig. 4) tendono a congiungersi in una zona depressa che ospita un lago interno (« Lago Rosa »). Il bacino di Mus Nefit è connesso col mare aperto attraverso due canali che assicurano il ricambio delle acque nel corso del ciclo di marea. Il canale meridionale è lungo circa 2 km, largo 0,5 km e profondo mediamente 10 m; il canale settentrionale, più articolato, è lungo circa 5 km, largo da 0,5 a 1 km e ha profondità media di 5 m alla sezione di rilevamento delle portate.

In un punto del bacino (fig. 4, punto MN) sono stati determinati i caratteri chimico-fisici delle acque in superficie, a 90 e a 140 m di profondità (2). Nel canale settentrionale sono state fatte determinazioni analoghe (fig. 4, punti C e D) in corrispondenza del ciclo di marea saliente e di quello calante, unitamente a misure idrodinamiche di flusso (fig. 6). Nel canale meridionale, che assicura il maggior ricambio delle acque, non sono state effettuate osservazioni per la difficoltà di ancoraggio.

Il Lago Rosa, lungo approssimativamente 1500 m e largo al più 300, è privo di connessione superficiale diretta con il bacino di Mus Nefit. Al momento dell'indagine le acque presentavano una colorazione rosata probabilmente a causa di un intenso sviluppo algale. La depressione che ospita il lago è dovuta ad un sistema di faglie e fratture ad andamento periclinale rispetto al Mus Nefit; la direzione principale è NO-SE, ma sono presenti anche dislocazioni ad essa perpendicolari. Le faglie sono beanti, hanno rigetti verticali dell'ordine del metro ed interessano la già citata formazione dei « Dahlak Reef Limestones »; la morfologia è a gradinata, con una successione di dorsali e depressioni che in corrispondenza del lago scendono a quota inferiore a quella del mare. Per questo motivo durante l'alta marea le acque marine si versano nel lago attraverso il reticolo di fratture che interessa il substrato calcareo, come è stato osservato direttamente durante l'indagine. In particolare il fenomeno è stato notato ai margini sud-orientali, dove evidenti emergenze di acqua fluente, con valori di salinità compresi fra 41,65 (camp. S8) e 65,04 g/l (camp. S1), alimentano il lago. Tali manifestazioni mancano nei settori centrale

(2) BACINO DI MUS NEFIT. Determinazioni chimico-fisiche sulle acque (Temperatura in °C; Salinità in g/l calcolata da analisi chimica).

BACINO (29 e 30-11-1974)

MN 3B - Settore centrale prof. m 140 (T = 26,6; S = 41,53).

MN 3A - Settore centrale prof. m 90 (T = 26,6; S = 41,79).

MN 9 - Presso la costa occidentale, in superficie (T = 28,4; S = 41,74).

CANALE SETTENTRIONALE (26 e 27-11-1974)

Cc - Marea calante (T = 29,0; S = 41,70).

Dc - Marea calante (T = 29,1; S = 41,79).

Cs - Marea saliente (T = 28,2; S = 40,56).

Ds - Marea saliente (T = 28,2; S = 40,79).

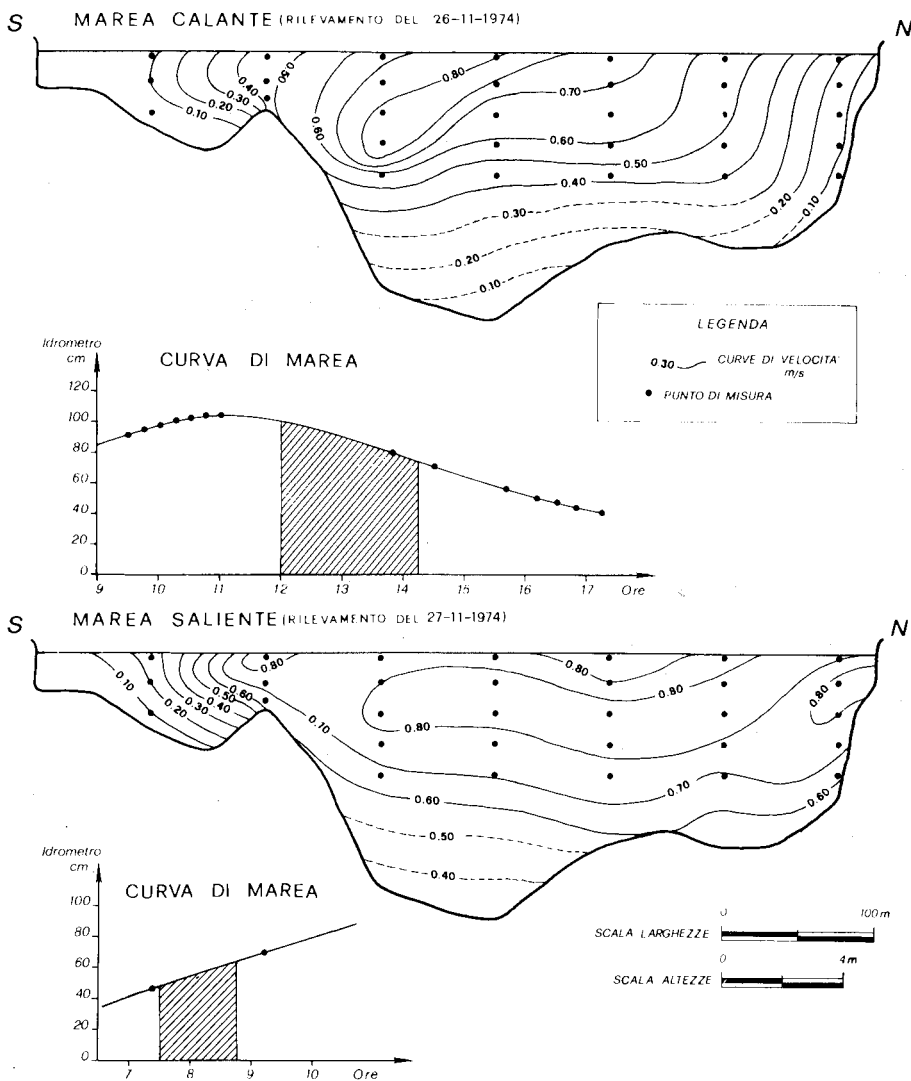
MUS NEFITFLUSSO NEL CANALE SETTENTRIONALE

FIG. 6 — SEZIONI DI MISURA DEL FLUSSO DI MAREA NEL CANALE SETTENTRIONALE DI MUS NEFIT.

Lungo le sezioni vengono indicate le isolinee di velocità che raggiungono valori prossimi ad un metro al secondo. Nel momento delle prove le portate sono risultate di circa 1200 m³/s in marea calante di circa 1800 m³/s in marea saliente.

e nord-occidentale dove, invece, sono presenti pozze di varia dimensione e profondità, colmate da acqua limpida, non fluente, di salinità nettamente inferiore a quella delle acque lacustri, ma superiore a quella del mare. Nel punto 6P, distante alcune decine di metri dalla riva, la salinità scende a 36 g/l perché l'acqua marina è parzialmente miscelata con acqua meteorica circolante nel reticolo di fratture, localmente interessato da carsismo embrionale.

Durante l'indagine è stato rilevato un flusso di acqua dal Ghubbet Mus Nefit al Lago Rosa. Questa osservazione permette di affermare che esiste talora una connessione idraulica tra i due bacini. Essa è favorita da due fattori: la permeabilità particolarmente elevata delle sponde del lago, a causa dell'intensa fratturazione dei calcari che lo ospitano e la continua azione della marea, capace di creare gradienti idraulici sufficienti a garantire il deflusso delle acque nei due sensi.

Dalle osservazioni idrochimiche effettuate (3) sembra probabile che tale interscambio sia tanto veloce da mantenere la salinità delle acque lacustri entro valori non superiori a 100 g/l per cui non si verificano le condizioni idonee allo sviluppo di quel processo evaporitico che sarebbe logico aspettarsi in una depressione simile, se imposta in rocce meno permeabili.

L'esistenza di falde d'acqua dolce nell'Isola Dahlak è legata all'affioramento di rocce con permeabilità interstiziale, mentre la permeabilità dei « Dahlak Reefs Limestones » è caratterizzata da un esteso reticolo di faglie e fratture beanti. Quando le sequenze sabbioso-marnoso-argillose presenti al tetto della sottostante serie evaporitica si trovano a quote superiori al livello del mare, si stabiliscono le condizioni idonee alla presenza di modeste falde sospese. Questa situazione, non frequente, si riscontra vicino al villaggio di Gembeli

(3) LAGO ROSA (Salinità delle acque in g/l, calcolata da analisi chimica).

MN 9 - Acqua di Mus Nefit in superficie (S = 41,74).

1S - Emergenza di acqua fluente risaliente con debole pressione (S = 65,04).

2P - Acqua in depressione naturale distante alcuni metri dalla riva. Depositi sapropellici e particolare concentrazione di piccoli gasteropodi (S = 48,47).

3P - Acqua in frattura beante larga da 15 a 30 cm, con particolare concentrazione di piccoli gasteropodi (S = 41,62).

4P - Acqua in frattura beante connessa con la laguna. Evidente fenomeno di opalescenza in corrispondenza della zona di miscelazione (S = 47,07).

5L - Acqua della laguna nel settore nord-occidentale, torbida e con caratteristica colorazione rosata (S = 90,67).

6P - Acqua in depressione naturale interna, ad alcune decine di metri dal lago, di forma ellittica (4 x 3 m) profonda circa 2 m, alla base di una parete di calcari conchigliari rotti da un reticolo di fratture concrezionate da CaCO₃ e localmente interessati da fenomeni di dissoluzione carsica, che hanno dato origine a condotti subcircolari di diametro 5-20 cm frequentemente ostruiti da concrezioni calcitiche (S = 36,02).

7L - Acque del lago nel settore sud-orientale (S = 81,66).

8S - Emergenza di acqua fluente ai margini sud orientali del lago con marcata concentrazione di piccoli gasteropodi (S = 41,65).

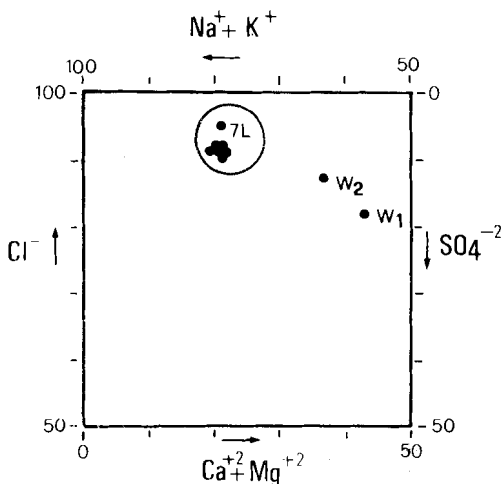
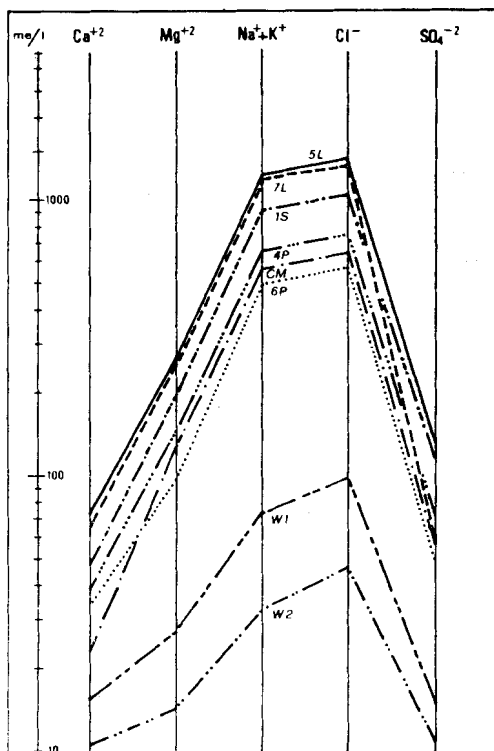


FIG. 7 — RISULTATI DELLE ANALISI CHIMICHE RIPORTATI IN UN DIAGRAMMA « TIPO CHEBOTAREV » MODIFICATO.

Tutti i campioni cadono nel campo delle acque a cloruri alcalini e possono essere raggruppati all'interno del cerchio riportato in figura; fanno eccezione i campioni W1 e W2 caratterizzati da valori percentuali di calcio, magnesio e solfati relativamente più alti.

FIG. 8 — DIAGRAMMA « TIPO SCHOELLER ».

Sono riportati i risultati delle analisi ritenute più rappresentative. I rapporti tra i singoli ioni rimangono pressoché costanti; fanno eccezione le acque dei campioni W1 e W2 che presentano un diverso rapporto Ca/Mg. Il campione 6P presenta un rapporto Ca/Mg intermedio tra quello delle acque dei pozzi e quello degli altri campioni. La discriminazione principale è data dal grado di salinità.



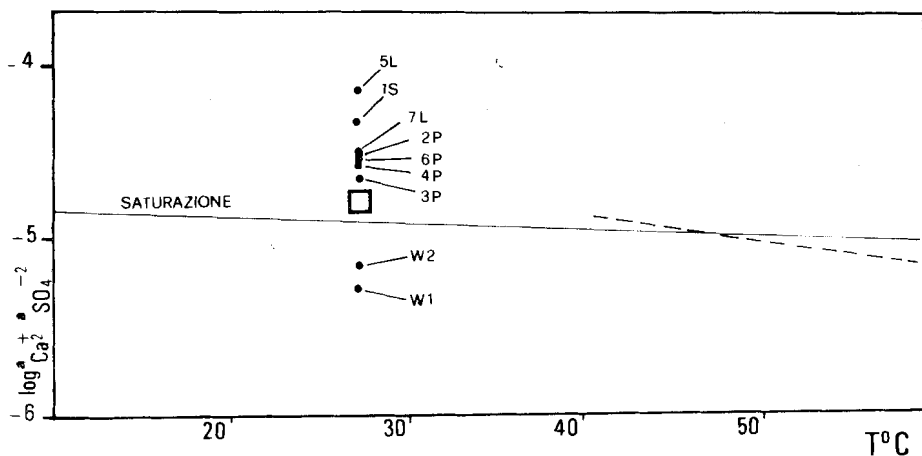


FIG. 9 — PUNTI RAPPRESENTATIVI DELLE ACQUE.

In ordinate i valori del prodotto delle attività degli ioni calcio e solfato e in ascisse le temperature. La linea continua separa le acque sottosature in gesso da quelle sovrassature. La maggior parte delle acque, incluse quelle del Canale di Massaua, cadono all'interno del riquadro e sono in equilibrio o prossime alla saturazione rispetto a CaSO_4 . Le acque di Lago Rosa risultano più saturate rispetto alle precedenti, fino ad essere decisamente sovrassature (5L, 1S, 7L ecc.). Le acque dei campioni W1 e W2 sono invece sottosature.

(pozzi W_1 e W_2). Si tratta di acque con salinità relativamente elevata (tab. 4) per il concorso di due fattori: il fenomeno di *breezing* diffuso nell'ambito considerato e la probabile lisciviazione delle evaporiti contenute nel substrato che sostiene la falda.

I dati dell'analisi chimica delle acque sono riassunti nella tab. 4; su questa base sono stati costruiti i grafici delle figg. 7, 8 e 9. Tutti i campioni esaminati cadono nel campo delle acque a cloruri alcalini (fig. 7). Dalla fig. 8 appare evidente che i rapporti ionici sono sostanzialmente costanti e che l'unica discriminante è la diversa salinità totale. Fa eccezione il campione 6P nel quale il rapporto Ca/Mg appare simile a quello delle acque continentali dei campioni W1 e W2. Considerando questa anomalia e le osservazioni compiute nel punto di campionamento, pare confermata l'ipotesi di una miscelazione, sia pur limitata, di acque marine e continentali. Dalla fig. 9 risulta che la maggior parte delle acque, comprese quelle del Canale di Massaua, sono prossime all'equilibrio rispetto alla saturazione del CaSO_4 . Si discostano palesemente da un lato i campioni a più alta salinità (in particolare 5L, 7L, 1S e subordinatamente 2P, 6P, 4P, 3P) prelevati in corrispondenza del Lago Rosa, dall'altro i campioni dei pozzi W1 e W2.

Le acque del bacino di Mus Nefit (salinità compresa fra 41,5 e 41,8 g/l) sono del tutto analoghe a quelle del bacino di Entatu e leggermente più salate di quelle del Canale di Massaua (40,5 g/l). La stessa differenza di salinità è stata riscontrata nel canale settentrionale del bacino di Mus Nefit tra le acque che entrano nel bacino durante l'alta marea (da 40,6 a 40,8 g/l) e quelle che ne escono nel corso della bassa marea (da 41,7 a 41,8 g/l). Sensibile differenza di temperatura esiste, per contro, tra le acque profonde (26,6 °C a -140 e a -90 m) e quelle di superficie (28,4 °C).

I campioni del Lago Rosa hanno indici che denotano sovrassaturazione rispetto alle acque marine; si tratta quindi di un ambiente che dovrebbe consentire la precipitazione di solfati e presumibilmente anche di carbonati, se le particolari condizioni idrogeologiche non limitassero lo sviluppo del processo. Le misure di velocità del flusso di marea, eseguite con un mulinello SIAP 4001 nel canale settentrionale di Mus Nefit, indicano un massimo di poco superiore a 0,8 m/s; la distribuzione delle velocità è indicata in fig. 6. Le portate sono di circa 1200 m³/s in marea calante e di circa 1800 m³/s in marea saliente.

Nel punto R (fig. 4) sono state eseguite misure di velocità in corrispondenza di fondali sabbiosi (-3/-4 m) caratterizzati da barre con strutture sedimentarie superficiali. Le osservazioni compiute si possono riassumere dicendo che strutture di tipo *mounds* si conservano per valori di velocità inferiori a 0,1 m/s; per valori superiori si cominciano ad osservare *ripples* ondulati, lineari e lunati di dimensioni crescenti con la velocità delle acque. Per velocità superiori a 0,3 m/s sono stati osservati *mega ripples* con lunghezza d'onda di 2-3 m e altezza della cresta di 15-20 cm in sabbie grossolane. Questi dati corrispondono a quelli già rilevati (Bono e altri, 1976) nel canale di Khor Melill.

BIBLIOGRAFIA

- ANGELUCCI A., BEFANI G., BIAGI P.F., BONO P., CAPUTO C., CARBONE F., CATENACCI V., CIANCETTI G.F., CIVITELLI G., D'ALESSANDRO L., GIROTTI O., LA MONICA G.B., LUPIA PALMIERI E., MARIOTTI G., MATTEUCCI R., SIRNA G. e TORO B., *Geological framework of Tanam, Wusta and Isratu in the Dahlak Islands (Southern Red Sea)*, in « Geol. Rom. », Roma, 1978, pp. 345-388.
- ANGELUCCI A., BONI C., BONO P., CIANCETTI G.F., CIVITELLI G., D'ALESSANDRO L., LA MONICA G.B., LOMBARDI S., LUPIA PALMIERI E., MARIOTTI G., MATTEUCCI R. e TORO B., *Il Ghubbet Entatu nell'arcipelago delle Isole Dahlak (Mar Rosso): un esempio di sedimentazione carbonatica*, Congresso « Shallow Tethys », in « Boll. Soc. Paleont. Ital. », Modena, 1982, pp. 189-200.

- ANGELUCCI A., CIVITELLI G., FUNICIELLO R., MARIOTTI G., MATTEUCCI R., PASSERI L., PIALLI G. P., PRATURLON A. e SIRNA G., *Preliminary report on the actual carbonate sedimentation at the Dahlak Islands (Red Sea Ethiopia)*, in « Geol. Rom. », Roma, 1975, pp. 41-61.
- ANGELUCCI A., MATTEUCCI R. e PRATURLON A., *Outline of geology and sedimentary environments of the Dahlak Islands (Southern Red Sea)*, in « Boll. Soc. Geol. Ital. », Roma, 1981, pp. 405-419.
- BELLUOMINI G., ESU D., MANFRA L. e MATTEUCCI R., *Gasteropodi dulcicoli e terrestri nell'isola di Dahlak Kebir. Testimonianze di una fase umida olocenica nelle Isole Dahlak, Mar Rosso*, in « Boll. Malacologico Ital. », Roma, 1980, pp. 368-390.
- BERGGREN W. A., *Micropaleontologic investigations of Red Sea Cores. Summation and results*, in « DEGENS E. T. e ROSS D. A., eds., Hot brines and recent heavy metal deposits in Red Sea », Springer-Verlag, New York, 1969, pp. 329-335.
- BONO P., CARBONE F., CIANCETTI G. F., CIVITELLI G. e MARIOTTI G., *Caratteristiche idrologiche e sedimentologiche delle lagune dell'Isola di Isratu (Isole Dahlak, Mar Rosso)*, in « Geol. Rom. », Roma, 1983, pp. 249-270.
- BONO P., CIVITELLI G. e PIALLI G. P., *Caratteristiche sedimentologiche e idrologiche della laguna di Khor Melil (Isole Dahlak, Mar Rosso)*, in « Geol. Rom. », 15, Roma, 1976, pp. 69-82.
- CIVITELLI G. e MATTEUCCI R., *La scogliera di Tanam (Isole Dahlak, Mar Rosso)*, in « Boll. Soc. Geol. Ital. », Roma 1980, pp. 313-316.
- COCHRAN J. K., *A model for development of Red Sea*, in « AAPG Bull. », Tulsa, 1983, pp. 41-69.
- CONFORTO L., DELITALA M. C. e TADDEUCCI A., *Datazione col ^{230}Th di alcune formazioni coralligene delle Isole Dahlak (Mar Rosso)*, in « Soc. Ital. di Min. e Petr., Rendiconti », Roma, 1976, pp. 153-158.
- CORDERO LANZA DI MONTEZEMOLO G., *Notizie geologiche sulle Isole Dahlak*, in « Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem. », Pisa, 1930, pp. 226-244.
- CREMA C., *Movimenti del suolo a Bu-L-Hissar nell'Arcipelago Dahlak (Mar Rosso)*, in « Boll. Soc. Geol. Ital. », Roma, 1927, pp. 91-94.
- DEUSER W. G. e DEGENS E. T., *O18/O16 and C13/C12 Ratios of Fossils from the Hot-Brine Deep Area of the Central Red Sea*, in « DEGENS E. T. e ROSS D. A., eds., Hot brines and recent heavy metal deposits in Red Sea », Springer-Verlag, New York, 1969, pp. 336-347.
- FANTOLI A., *Contributo alla climatologia dell'altopiano etiopico, Regione eritrea*, in « Min. Aff. Esteri, Coop. Scient. Tecn. », Roma, 1966, p. 230.
- FRAZIER S. B., *Adjacent structure of Ethiopia: that portion of the Red Sea coast including Dahlak Kebir island and the Gulf of Zula*, in « Philos. Trans. Royal Soc. London », Londra, 1970, pp. 131-141.
- HERMAN Y., *Evidence of climatic changes in Red Sea Cores. Means of correlations of Quaternary successions*, in « Proceed. VII Congress INQUA, 8 », Salt Lake City, 1968, pp. 325-348.
- HERMAN Y. e ROSEMBERG P. E., *Mineralogy and Micropaleontology of a Goëththite-Bearing Red Sea Cores*, in « DEGENS E. T. e ROSS D. A., eds., Hot

- brines and recent heavy metal deposits in the Red Sea », Springer-Verlag, New York, 1969, pp. 448-459.
- HOANG C. T., LALOU C. e FAURE H., *Les récifs soulevés à l'Ouest du Golfe d'Aden (T.F.A.I.) et les hauts niveaux de coraux de la dépression de l'Afar (Ethiopie), géochronologie et paléoclimats interglaciaires*, in « Colloque Int. C.N.R.S. », Parigi, 1973, pp. 103-114.
- HOROWITZ A., *The geology of Musweri Island (Dahlak Archipelago, Southern Red Sea)*, in « Israel Jour. Earth Sc. », Gerusalemme, 1967, pp. 74-83.
- LALOU C., NGUYEN H. V., FAURE H. e MOREIRA L., *Datation par la méthode uranium-thorium des hauts niveaux de coraux de la dépression de l'Afar (Ethiopie)*, in « Rev. Geophys. Geol. Dyn. », Parigi, 1973, pp. 393-404.
- MADDALENA L., *Études pour recherches pétrolifères effectuées dans l'Archipel des Îles Dahlak (Mer Rouge)*, in « Il Congrès Mondial du Pétrole », Parigi, 1937.
- (de) MARTONNE E. M., *Une nouvelle fonction climatologique: l'indice d'aridité*, in « La Météorologie », Parigi, 1926, pp. 449-458.
- MATTEUCCI R., *Cymbaroporella tabelliformis (BRADY) foraminifero endolitico del Mar Rosso*, in « Geol. Rom. », Roma, 1974, pp. 29-43.
- MONTANARO E., *Faune attinologica plio-pleistocenica dell'Africa orientale*, in « Paleontographia Ital. », Pisa, 1933, pp. 141-109.
- MONTANARO GALLITELLI E., *Sull'età di certi calcari madreporici della fossa eritrea*, in « Atti III Congr. Studi Coloniali », Firenze, 1937, pp. 186-192.
- ID., *Ricerche sull'età di certi depositi insulari e marginali del Mar Rosso (Isole Dahlak, Penisola di Buri, dintorni di Massaua fino a El Sahel)*, in « Paleontographia Ital. », Pisa, 1939, pp. 15-17.
- ID., *Coralli costruttori delle scogliere emerse di Massaua e Gibuti*, in « Reale Acc. », Roma, 1943, p. 76.
- NARDINI S., *Molluschi delle spiagge emerse del Mar Rosso e dell'Oceano Indiano. Parte I: Gasteropodi*, in « Paleontographia Ital. », Pisa, 1934, pp. 14-18.
- ID., *Molluschi delle spiagge emerse del Mar Rosso e dell'Oceano Indiano. Parte II: Lamellibranchi*, in « Paleontographia Ital. », Pisa, 1937, pp. 225-278.
- NIR Y., *Geology of Entedebir island and its recent sediments. Dahlak Archipelago, Southern Red Sea*, in « Israel Jour. Earth Sc. », Gerusalemme, 1971, pp. 13-40.
- OREN D. H., *Hydrography of Dahlak Archipelago (Red Sea)*, in « Sea Fish. Res. Stat., Haifa Bull. », Haifa, 1964, pp. 3-22.
- RODRIGUEZ F., *Affioramenti di idrocarburi presso l'isola di Bullisar nell'Arcipelago delle Dahlak (Mar Rosso)*, in « Conv. Naz. Col. », Roma, 1919.
- ROSSI L., *Madreporari, Stoloniferi e Milleporini. Spedizione subacquea italiana nel Mar Rosso*, in « Ricerche Zoologiche, riv. biol. col. », Roma, 1954, pp. 23-72.
- THORNTHWAITE C. W., *An approach toward a rational classification of climates*, in « Geogr. Review », New York, 1948, pp. 55-94.
- THURBER D. L., BROECHER W. S. e KAUFMAN, *The comparison of radio-carbon ages of carbonates with uranium series ages*, in « Proc. Sixit. Int. Conf. Radiocarbon Tritium Dating, conf. 650652 », Washington, 1965, pp. 367-382.

THE DAHLAK ISLANDS ARCHIPELAGO (SOUTHERN RED SEA): SOME GEOLOGICAL CHARACTERISTICS. — The Dahlak Islands Archipelago (Southern Red Sea) at present forms the relict of a larger carbonate platform, grown on Messinian evaporitic deposits. The platform — whose structural equivalent is the Farasan Islands Archipelago along the Saudi Arabia coast — underwent a severe displacement by the spreading tectonics of the Red Sea and by local motifs connected with the rising of salt domes. The result is a very articulated pattern made up by horst and by graben sometimes being deep and which act generally as sedimentary traps. Around the emerging areas developed reef complexes, characterized by a remarkable spreading of bioclastic deposits. A notable importance in the present arrangement of these islands had the sea-level changes occurred many times during the Quaternary. These fluctuations caused deep changes of environments giving rise to wide abrasion platforms sometimes reaching the interior of the isles.

Comparative investigations on morphology, tectonics, sedimentology, paleontology, and hydrology carried out during several years, evidenced a present model of sedimentation strictly connected with Quaternary tectonic motifs, partly acting. The model is different from most of the environments with present carbonate sedimentation, where facies distribution seems mainly related to the paleogeography of the platform.