

Il Ghubbet Entatu nell'arcipelago delle Isole Dahlak (Mar Rosso): un esempio di sedimentazione carbonatica

A. ANGELUCCI*, C.F. BONI*, P. BONO*, F. CARBONE**, G. CIANCETTI*, G. CIVITELLI**, L. D'ALESSANDRO*,
R. FUNICIELLO*, G.B. LA MONICA*, S. LOMBARDI*, E. LUPIA PALMIERI*, G. MARIOTTI*, R. MATTEUCCI*,
B. TORO**

* Istituto di Geologia e Paleontologia, Università di Roma

** Centro di Studio per la geologia dell'Italia centrale, C.N.R., Roma

(manoscritto ricevuto l'8 giugno 1982
accettato il 2 dicembre 1982)

KEY WORDS — Carbonate sedimentation, Marine geology, Faunal assemblages, Dahlak Archipelago.

RIASSUNTO — Il Ghubbet Entatu è un vasto golfo di debole profondità situato all'estremità nord-occidentale dell'Isola Dahlak, la più grande dell'omonimo arcipelago, nel Mar Rosso meridionale.

Esso costituisce una delle numerose depressioni di varia profondità (da 30 a oltre 150 m) legate, probabilmente, ad una tettonica salina determinata dalla presenza di un potente spessore di depositi evaporitici al di sotto delle sequenze carbonatiche superficiali. La tettonica salina, sovrimposta a quella regionale, caratterizza e regola l'assetto fisiografico e la sedimentazione attuale dell'intero arcipelago.

Nel Ghubbet Entatu, di forma ellissoidica e diametro massimo di circa 15 km, la depressione centrale, profonda circa 30 metri, ospita una sedimentazione carbonatica pelitica; le aree circostanti, e anche gran parte delle insenature più interne (Khor Melill e Khor Und Abi), hanno una sedimentazione bioclastica più o meno ben sciacquata.

La distribuzione dei sedimenti sembra prevalentemente legata alla influenza delle maree e la depressione centrale funziona da trappola per la frazione più fine del sedimento stesso.

L'area centrale, a sedimentazione micritica, contiene una ricca associazione a Bivalvi (tra cui prevalente *Corbula*), spesso con gusci giovanili e sempre perfettamente integri, a Foraminiferi (tra cui assolutamente prevalente *Challengerella bradyi*) e a Pteropodi (tra cui prevalente *Creseis acicula*). L'area periferica e interna ha associazioni faunistiche meno ricche ad *Arcidae*, *Plicatula*, *Miliolidae* e *Textulariidae*.

ABSTRACT — [Ghubbet Entatu bight in the Dahlak Archipelago (Red Sea): a case of carbonate sedimentation]. — Ghubbet Entatu is a shallow bight at the northwestern end of the Dahlak Archipelago in Southern Red Sea. This bight is one of the many hollows, ranging in depth from 30 m to more than 150 m, probably to be connected with salt tectonics due to a thick evaporite sequence underlying carbonate rocks. Salt tectonics is superimposed to the regional one, and it controls the morphological assessment and the sediment characteristics of the whole archipelago.

In the Ghubbet Entatu bight, ellipsoidal in shape and with a maximum length of 15 km about, the 30 m deep central hollow is interested by lime mud sedimentation, whereas along the bight borders and in the small bays like Khor Melill and Khor Und Abi, skeletal sediments without mud prevail. Sediment pattern seems to be linked to the tide and the central hollow acts as a trap for the finest sedimentary particles.

The micrite is characterized by abundant pelecypods (*Corbula* prevails) with young and well preserved shells, foraminifera (the most frequent is *Challengerella bradyi*) and pteropods (essentially *Creseis acicula*). In coarser sediments the faunal assemblage with *Arcidae*, *Plicatula*, *Miliolidae* and *Textulariidae* is less rich.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'arcipelago delle Isole Dahlak, formato da un centinaio di isole, tra cui Dahlak Kebir di 758 km² è la più grande, si estende su una vasta piattaforma di debole profondità, separata per mezzo del canale di Masawa dalla costa eritrea (fig. 1).

Sondaggi effettuati per la ricerca di idrocarburi (Agip e Gulf) hanno mostrato che i calcari di piattaforma (« Dahlak reef limestones ») che costituiscono

le isole, hanno uno spessore variabile da 50 a 400 m circa e poggiano su una potente successione evaporitica, costituita da oltre 2000 m di livelli salini, con sporadiche intercalazioni argillitiche ed anidritiche. Secondo Frazier (1970) il complesso salino poggia su sedimenti marini del Miocene inferiore.

I calcari affioranti sono costituiti prevalentemente da calcareniti più o meno sciacquate e da biolititi. Datazioni assolute col metodo del ²³⁰Th (Conforto *et al.*, 1975) su alcuni campioni hanno fornito due età

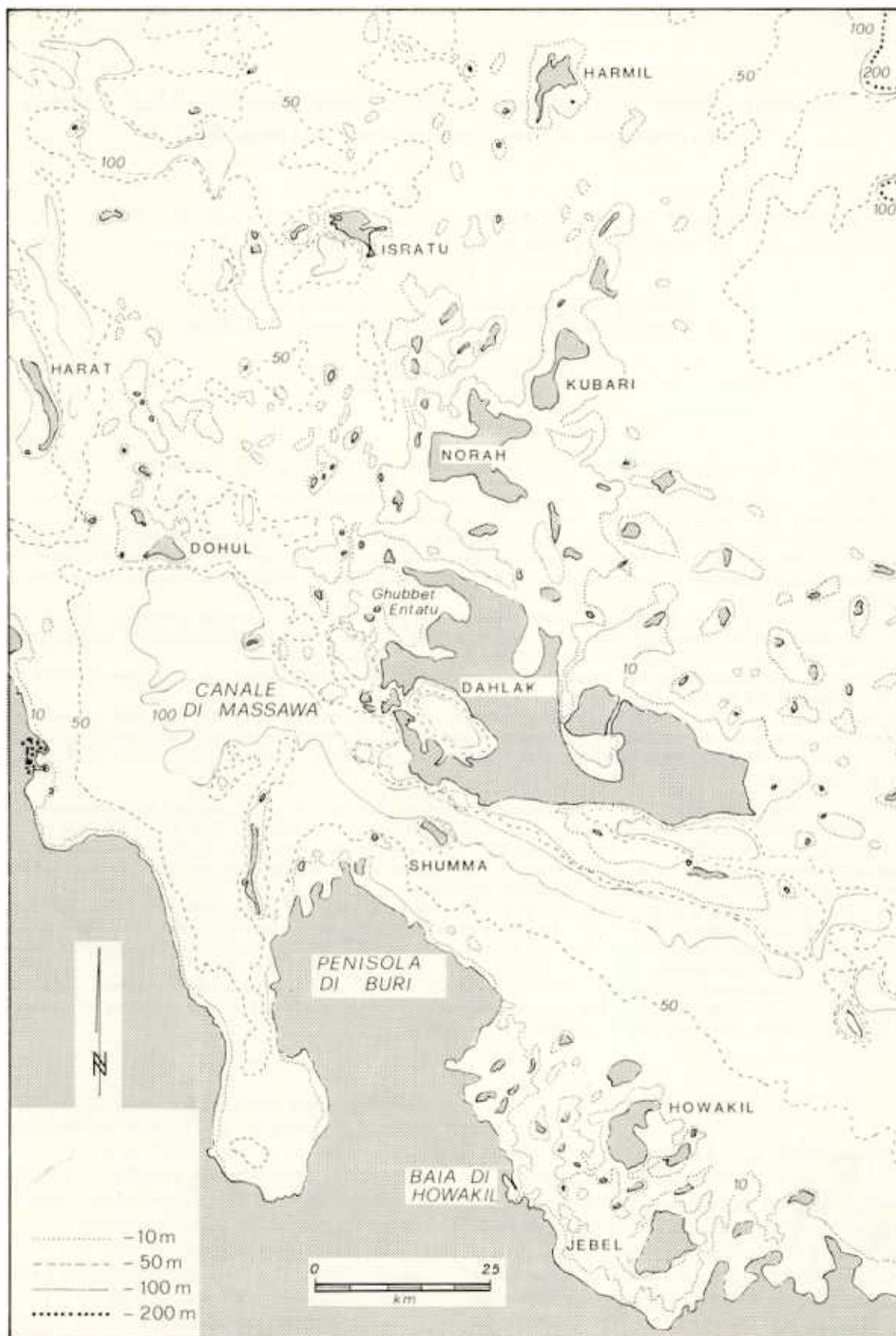


Fig. 1 - Carta batimetrica dell'Arcipelago delle Isole Dahlak.

(120.000 e 160/170.000 anni fa), che sono in buon accordo (Angelucci *et al.*, 1981) con le datazioni assolute di calcari corallini dell'Afar e di zone contermini del Mar Rosso.

Secondo Frazier (1970) l'area è interessata da due sistemi tettonici disgiuntivi con direzioni NW-SE e NNE-SSW, legati alle prime fasi di apertura del Mar Rosso e interessanti anche il basamento. Lungo le stesse direttrici tettoniche si è sovrapposta una tettonica salina, in particolare con la risalita di domi salini, alla cui presenza sarebbero legate le numerose depressioni ovoidali più o meno profonde, che caratterizzano la fisiografia dei fondali (fig. 1). Tali depressioni sono più frequenti lungo il canale di Massawa; la più evidente e profonda di esse, il Ghubbet Mus Nefit, è circondata da una fitta rete di faglie ad andamento concentrico.

La tettonica, tuttora attiva, ha condizionato l'attuale assetto fisiografico dell'arcipelago e la distribuzione dei sedimenti. Le facies di scogliera, limitate a frange bordanti le isole, sono per lo più fiorenti sul versante sud-occidentale; la costruzione recifale di maggior sviluppo si ha lungo il versante sud-occidentale di Dahlak Kebir, impostata su un alto strutturale che è limitato, verso il canale di Massawa, da una faglia regionale e, sul lato opposto, dalla coalescenza di due depressioni ovoidali. La grande diffusione delle facies bioclastiche individua in trappole strutturali (lagune sbarrate da soglie tettoniche, depressioni ovoidali) le aree di deposizione dei sedimenti più fini.

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE E BATIMETRICHE

Il bacino di Ghubbet Entatu ha forma planimetrica grosso modo ovoidale, con asse maggiore, esteso circa 15 km, diretto NW-SE; l'asse minore massimo, normale al precedente, è di circa 9 km ed è ubicato verso l'estremità sudorientale. Le profondità maggiori si riscontrano nella zona centrale e sono di poco superiori ai 30 m. Il bacino è localizzato al margine nordoccidentale dell'Isola Dahlak Kebir ed è limitato verso NE e nord dall'allineamento della penisola di Ras Antalo (Isola Dahlak) con le isole di Dar Ottun, Duliacus, Dalcus e Dabanet; verso sud e SW dalla penisola di Ras Dofneur (Isola Dahlak) e dal gruppo insulare di Sarad.

Pur essendo i margini del bacino discontinui, gli scambi con il mare aperto sono assai limitati per la modestia dei fondali di buona parte dei bracci di mare interposti fra le diverse isole e fra queste e le penisole. L'apertura più consistente si ha verso l'estremità nordoccidentale del bacino, ove si rileva la presenza di un canale stretto e profondo, con una soglia compresa fra le isole di Sarad e Duliacus. Al largo si rinviene

un'altra struttura, l'Isola di Dhu-ryry, che si sviluppa in direzione pressoché meridiana, fino a degradare verso un bacino, anch'esso parzialmente chiuso, sito a SE dell'isola stessa. Questo è parallelo e simile a quello di Ghubbet Entatu, anche se di forma ellissoidica più regolare e nettamente più profondo (oltre 100 m). A SE si sviluppa il Ghubbet Mus Nefit, la depressione più profonda dell'intero arcipelago (circa 170 m), con forma ed orientazione analoghe a quelle dei bacini di cui sopra.

Il Ghubbet Entatu, verso SE, è caratterizzato da due insenature notevolmente accentuate, ma con fondali poco profondi, che alla bocca non superano i 2 m. Entrambi gli specchi d'acqua sono chiusi da soglie poco pronunciate ed affioranti in concomitanza di bassa marea accentuata. La barra di soglia dell'insenatura più meridionale (Khor Melill) è incisa da un canale di marea profondo circa 4 m (fig. 2, profilo G-H); l'insenatura di Khor Und Abi ha una bocca di maggiore ampiezza e la sua soglia non presenta forme di erosione.

Nel dettaglio, il bacino di Ghubbet Entatu, come è visibile dalla carta batimetrica e dagli ecogrammi (fig. 2), ha sezione a scodella, con fondo piatto e regolare, da cui si risale mediante ripiani suborizzontali, raccordati da pendii piuttosto acclivi, talora irregolari. Tale situazione è evidente dai profili A-B e C-D di fig. 2 — che uniscono l'insenatura di Khor Und Abi con l'Isola di Sarad — e dal profilo E-F, ubicato trasversalmente alla sponda meridionale del bacino. Per via delle caratteristiche idrodinamiche dello specchio d'acqua, tali ripiani non possono trovare spiegazione in fenomeni di erosione o di accumulo attuali; sono piuttosto da ricollegare a fatti strutturali, in parte nascosti dalla sedimentazione, che potrebbero, a loro volta, aver condizionato la sedimentazione stessa. Infatti, come è visibile dagli ecogrammi, la struttura a ripiani è accompagnata da contropendenze che possono impedire al materiale detritico più grossolano di giungere al fondo del bacino. Le parti più rilevate, evidenziate dalle ecografie e probabilmente limitanti bacini minori, sono di difficile interpretazione: da alti strutturali ad antichi accumuli dunari, da barre a corpi biocostruiti preesistenti.

CARATTERISTICHE IDRODINAMICHE E GEOCHIMICHE

Il ricambio delle acque nel bacino del Ghubbet Entatu è assicurato dal flusso di marea attraverso una soglia che corre approssimativamente lungo la congiungente Ras Dofneur — isole di Sarad ed il promontorio di Ras Antalo (fig. 2). Il suo sviluppo è di circa 10,8 km e la profondità media di 10 m; il massimo di profondità (m 30) si raggiunge tra le isole di Sarad,

l'isola di Dar Ottun ed il promontorio di Ras Antalo (6,4 km), in corrispondenza di una marcata incisione, mentre nel restante tratto (4,4 km) i valori medi si mantengono intorno a 2 - 3 metri.

La velocità media del flusso di marea attraverso una soglia o un canale, a parità di escursione, risulta evidentemente proporzionale al rapporto tra il volume che entra o esce dal bacino e la sezione idraulica attraverso la quale il flusso si sviluppa.

Nel Ghubbet Entatu la superficie del bacino, delimitato verso il mare aperto dalla soglia sopra descritta, è di circa 85 km². Per una escursione di marea registrata di 115 cm, il volume d'acqua affluito nel bacino durante il flusso di marea saliente (6 h 15') è pari a 98 milioni di m³. La superficie della sezione idraulica che corre in corrispondenza della soglia è di 105.000 m², mentre il rapporto tra volume e sezione è pari a 933 m; ne consegue che la portata media che attraversa la sezione nel periodo considerato è pari a 4350 m³/s, con una velocità media di 0.04 m/s. Analoghi calcoli eseguiti lungo la soglia più esterna, che collega Ras Dofneur — isole di Sarad-Doliacus-Dar Ot-

tun — promontorio di Ras Antalo, lunga 18 km, con profondità media di 6,3 m, superficie di 119 km², volume affluito di 133 milioni m³, portata media di 5900 m³/s, fornisce una velocità media di flusso leggermente superiore, pari a 0,05 m/s.

Condizioni di maggiore energia si riscontrano in corrispondenza del canale di marea che collega la piccola laguna interna di Khor Melill con il bacino, dove sono state eseguite misure sistematiche di velocità di flusso. La superficie della laguna è in alta marea di 13 km² e, in bassa marea, di 7 km²; per una escursione di marea di 115 cm, il volume di acqua affluito nella laguna durante il flusso di marea saliente (6 h 15'), in base a misure dirette eseguite in corrispondenza della bocca, è risultato pari a 7 milioni di m³ (Bono *et al.*, 1976). La superficie della sezione idraulica all'ingresso della laguna è di 1400 m², mentre il rapporto tra il volume affluito e la sezione è pari a 5×10^3 m; ne consegue che la portata media che attraversa la sezione nel periodo considerato è di 311 m³/s con una velocità media di 0,22 m/s.

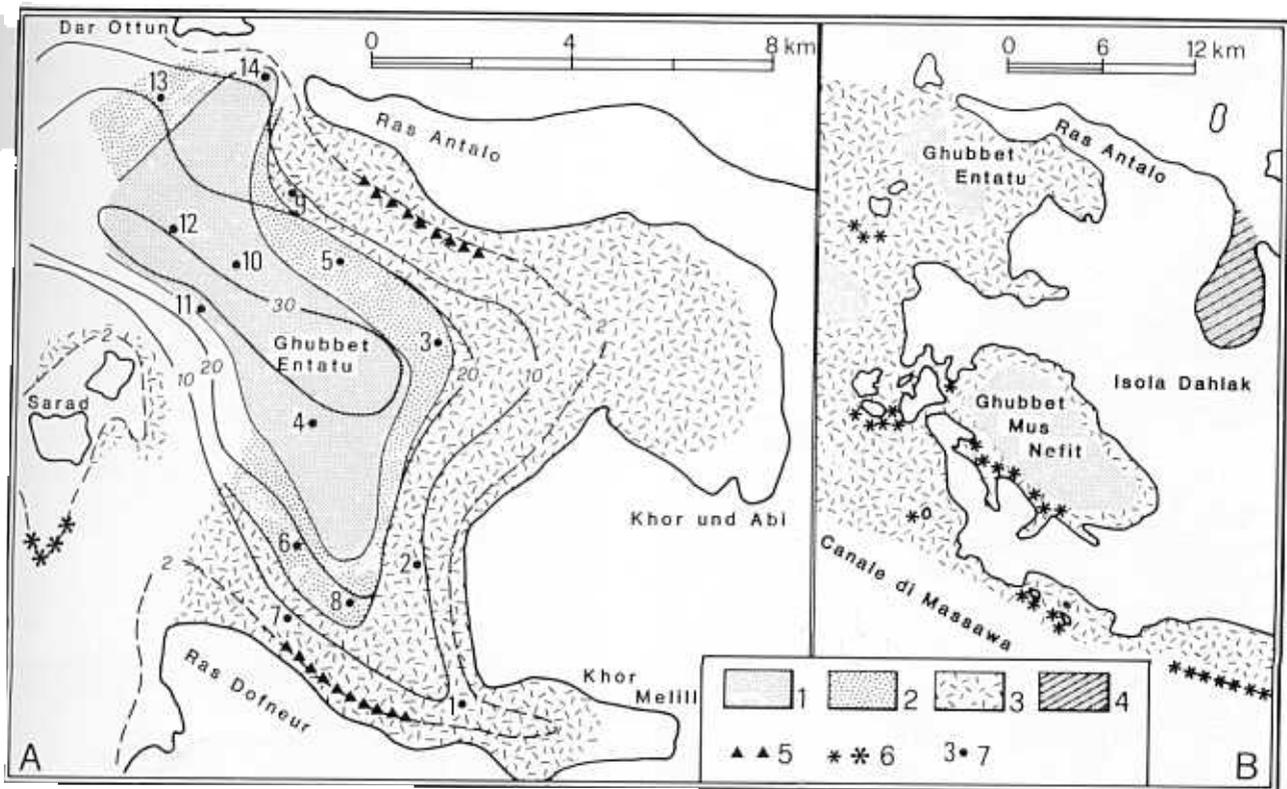


Fig. 3 - Distribuzione dei sedimenti nel Ghubbet Entatu (A) e nel settore nord-occidentale dell'Isola Dahlak (B).

- 1) Sedimenti pelitici con faune integre a *Challengerella bradyi*, *Corbula sulculosa*, *Creseis acicula*.
- 2) Sedimenti bioclastici a matrice siltoso-pelitica con *Corbula sulculosa*.
- 3) Sedimenti bioclastici sciacquati con Arcidae e *Plicatula plicata*.
- 4) Sedimenti pelitici con Soritidi.
- 5) Banchi biocostruiti con coralli prevalentemente morti.
- 6) Banchi biocostruiti con coralli vivi.
- 7) Posizione dei dragaggi.

I massimi di velocità registrati in superficie nel settore centrale del canale, in marea saliente, sono risultati di 0,5 m/s, mentre al fondo si sono registrati massimi di 0,4 m/s, per fondali inferiori al metro, e di 0,2 m/s per fondali di circa 4 metri. Velocità confrontabili, anche se lievemente inferiori, sono state registrate in marea calante.

Nella laguna di Khor Melill il flusso di marea nell'arco di 24 ore assicura un ricambio confrontabile con il volume mediamente immagazzinato.

Le condizioni idrodinamiche nel canale di marea della laguna di Khor Melill, dove verosimilmente si toccano i massimi valori di velocità di flusso di tutto il bacino di Ghubbet Entatu, danno origine, in depositi sabbiosi, a forme di fondo di vario tipo in relazione alla velocità di flusso che le genera.

Per valori di velocità inferiori a 0,1 m/s, in settori prossimi alla sezione, si conservano forme di tipo « mound »; per valori superiori compaiono forme tipo « ripples », ondulate, lineari e lunate, di dimensioni crescenti con la velocità delle acque: per velocità superiori a 0,3 m/s si formano « megaripples » con lunghezza d'onda variabile tra 2 e 3 metri ed altezza della cresta di 15-20 cm, in sabbie grossolane. Analoghe osservazioni sono state fatte in altri punti dell'Isola Dahlak, con risultati sostanzialmente identici.

Sebbene non siano stati direttamente rilevati dati diretti alla bocca della laguna di Khor Und Abi, si può, in prima approssimazione, ritenere che le condizioni idrodinamiche siano simili a quelle riscontrate nella laguna di Khor Melill, anche se è presumibile che le velocità di flusso siano lievemente inferiori.

Riguardo alla temperatura e al chimismo delle acque del Ghubbet Entatu, campionate in 10 punti ben distribuiti e a profondità variabili da 2 a 29 metri, si è riscontrata una notevole uniformità in tutto il bacino: i valori di temperatura variano da 27,3 °C a 27,9 °C e la salinità totale tra 41,0 e 41,5 g/l, di poco superiore quindi a quella del canale di Massawa (40,5 g/l). Nella laguna di Khor Melill la salinità risulta mediamente più elevata con valori di 44,0 g/l nel settore centrale e di 46,5 g/l nel settore più interno, mentre le temperature (che risentono notevolmente della insolazione) superano i 29 °C nelle ore più calde.

DISTRIBUZIONE DEI SEDIMENTI E DELLE ASSOCIAZIONI FAUNISTICHE

In tab. 1 sono riportati i risultati dell'analisi granulometrica e i valori degli indici statistici relativi a campioni (GE 1-14) dragati nel Ghubbet Entatu (fig. 3). Si tratta di sedimenti poco o pochissimo classati, con curve meso o platicurtiche; l'asimmetria è positiva per i campioni 1-3, 5, 6-9, e negativa per i campioni 4, 10-12, 14, mentre il campione 13 risulta avere una distribuzione simmetrica.

Si possono distinguere tre popolazioni di sedimenti: una, con granuli prevalenti, priva o quasi di matrice pelitica (campioni 1, 2, 7, 9), una con matrice prevalente (campioni 4, 10-12, 14) e una con granuli e matrice siltosa (campioni 6, 8, 13) o siltoso-pelitica (campioni 3, 5). Anche la composizione dei campioni rispecchia la ripartizione in tre gruppi individuata su base granulometrica. Si tratta, in ogni caso, di sedimenti carbonatici biogeni (tav. 1), essendo presenti solo tracce di fosforo, ferro, silicio e alluminio, rivelate dall'analisi mediante microsonda elettronica. I campioni del primo gruppo sono esclusivamente composti da sabbie bioclastiche con granuli non o poco arrotondati e fortemente micritizzati. La maggior parte dei bioclasti, la cui natura è riconoscibile, è attribuibile a frammenti di gusci di molluschi; frammenti scheletrici di echinodermi e coralli sono nettamente subordinati. I coralli sono leggermente più frequenti e meno alterati nel campione 9, mentre il campione 1 mostra i granuli più elaborati e di dimensioni medie minori. I campioni del secondo gruppo (4, 10-12, 14) sono costituiti quasi interamente da gusci integri di lamellibranchi, con buona presenza di forme giovanili e di foraminiferi, con assoluta prevalenza del rotalide *Challangerella bradyi* Billman, Hottinger & Oesterle. I campioni del terzo gruppo (3, 5, 6, 8, 13) posseggono caratteristiche intermedie tra i due gruppi precedenti; tuttavia in essi prevale la componente bioclastica su quella integra. I campioni del primo gruppo hanno il residuo di lavaggio più abbondante; quelli del secondo gruppo hanno un residuo di lavaggio assai scarso. Infine i campioni del secondo gruppo posseggono un apprezzabile contenuto in materia organica,

SPiegAZIONE DELLA TAVOLA 1

Figg. 1-4 Residui di lavaggio di quattro campioni del Ghubbet Entatu.

- 1) facies pelitica (camp. GE2) a gusci integri, con *Challangerella bradyi*, *Corbula sulculosa*, *Creseis acicula*, *Calyptraea* cfr. *chinensis*;
- 2) facies bioclastica a matrice pelitica (camp. GE5), con *Phacoides semperianus*, *Corbula sulculosa*, *Plicatula plicata*;
- 3) facies bioclastica a matrice pelitica (camp. GE3) con *Circe scripta*, *Phacoides semperianus*, *Corbula sulculosa*, *Calyptraea* cfr. *chinensis*;
- 4) facies bioclastica sciacquata (camp. GE2) con bioclasti bioerosi e incrostatati; è riconoscibile un individuo giovanile di *Fungia*.



Campioni	Profond. in m	Sost. organica %	GRANULOMETRIA			INDICI STATISTICI				
			% > 62 μ	% 62-4 μ	% < 4 μ	Md	Mz \emptyset	$\delta \emptyset$	SK \emptyset	Kg \emptyset
GE 1	6	1,62	95,76	4,08	—	1,2	1,41	1,49	0,34	3,84
GE 2	11	1,80	94,33	4,49	0,21	0,75	0,93	1,75	0,33	4,06
GE 3	25	1,82	59,84	28,57	11,58	2,2	2,81	3,92	0,13	1,78
GE 4	28	10,47	9,07	64,03	26,89	5,75	5,95	2,21	—0,53	4,95
GE 5	24	3,24	70,70	19,62	6,72	2,25	2,42	2,76	0,26	2,73
GE 6	18	3,07	86,12	11,98	—	0,95	1,35	2,04	0,27	2,55
GE 7	8	1,52	97,15	2,64	0,16	1,40	1,43	1,39	0,21	3,98
GE 8	20	3,91	79,50	17,87	0,27	0,3	1,51	2,31	0,18	2,23
GE 9	11	1,48	98,03	1,40	0,21	0,6	0,72	1,63	0,23	3,78
GE 10	27	9,12	15,23	49,44	32,69	6,05	5,91	2,73	—0,60	4,05
GE 11	27	9,52	10,49	63,82	23,73	5,70	5,92	2,02	—0,31	3,86
GE 12	29	8,87	13,49	61,06	25,45	5,65	5,68	2,42	—0,50	4,38
GE 13	18	4,71	89,61	10,28	—	1,31	1,43	1,90	0,03	2,40
GE 14	8	11,31	12,38	52,30	35,32	6,55	6,17	2,53	—0,65	4,46

Analisi granulometriche e indici statistici relativi dei campioni esaminati del Ghubbet Entat

quasi del tutto assenti in quelli del primo gruppo.

Le bioclastiti sciacquate si distribuiscono nelle parti più costiere e meno profonde del Ghubbet e presentano caratteri simili anche all'interno delle insenature di Khor Melill e Khor Und Abi (fig. 3). I frammenti più grossi dei gusci ancora integri, in particolare quelli di *Plicatula plicata* (Linneo), la forma più frequentemente conservata integra, conservano sempre le tracce di una intensa attività bioerosiva da parte soprattutto di Poriferi clonidi e di Policheti; una intensa bioerosione è evidente anche sul substrato duro eroso, costituito dai « Dahlak reef limestones », che affiora, più o meno coperto da un velo di sedimento, in alcuni tratti della zona intertidale o subtidale delle coste delle isole e del promontorio di Ras Dofneur. La bioerosione svolge quindi un ruolo notevole nella produzione dei bioclasti, affiancandosi efficacemente all'erosione meccanica delle onde e dei frangenti.

Va notato come i gusci di *Plicatula* e i frammenti più grossolani siano contemporaneamente sede di un intenso insediamento di organismi incrostanti, quali Melobesie, Briozoi, Foraminiferi (*Sagenina*, *Planorbulinella*, *Placopsilina*, *Bdelloidina* ecc.) e soprattutto Policheti sedentari (*Serpulidi* e *Spirorbidi*, fig. 4); questi ultimi talora formano dei veri e propri micro-reefs, svolgendo così una modesta azione stabilizzatrice dei fondali. Anche piccole colonie di Corallo trovano posto su tali substrati, così come numerosi esemplari di *Sorites*; questo foraminifero, tipicamente epifita su vegetazione, è quasi del tutto assente nel sedimento, mentre le forme incrostate mostrano evidenti morfologie di adattamento al substrato (fig. 4 A). L'associazione microfaunistica delle sabbie bioclastiche è piut-

tosta scarsa; essa è dominata da miliolidi dal guscio robusto (*Quinqueloculina lamarckiana* D'Orbigny, *Quinqueloculina costata* D'Orbigny) e da *Textularia* (*Textularia agglutinans*).

Sono discretamente rappresentati gli *Elphidium* (*Elphidium craticulum* Fichtel & Moll) e *Challengella bradyi* Bilmann, Hottinger & Oesterle, per lo più con esemplari di piccole dimensioni. Tra i molluschi sono presenti numerose Arcidae, talora a costituire rilevanti popolamenti, *Macrocallista florida* (Lamarck), *Anomia* sp., *Corbula sulculosa* Adams, *Gafrarium pectinatum* Linneo, *Chama* sp., *Venus* sp., *Ostrea* sp., *Nassarius* sp., Conidi, Ceritidi, *Pirenella* sp. Invece Ceritidi ed Arcidae (in particolare *Anadara* cfr. *antiquata* (Linneo)) sono più frequenti nelle parti più costiere della baia, come risulta dagli impressionanti accumuli dei gusci di questi due molluschi nelle spiagge emerse di Ras Dofneur.

Il secondo tipo di sedimento, costituito da peliti fini con numerosi gusci di molluschi e foraminiferi integri, occupa la parte centrale del Ghubbet, nella zona dove si raggiungono le batimetrie maggiori, superiori ai 20 m; solo verso il braccio di mare compreso tra l'isola di Dar Ottun e la punta del promontorio di Ras Antalo, tale tipo di sedimento è presente a batimetrie assai basse (camp. 14, m 8). La macrofauna è caratterizzata dall'abbondanza di gusci giovanili di lamellibranchi, di *Corbula sulculosa* Adams e di *Jagonia* cfr. *divergens* (Philippi), accompagnati da *Anadara* sp., *Lucina edentula* Linneo, *Phacoides semperianus* (Issel), *Calyptraea* cfr. *chinensis* (Linneo), *Nassarius* cfr. *coronatus* (Brug.), *Chrysallida* cfr. *indistincta* (Montagu), *Mangelia* sp., *Pulsellum virginalis* (Boiss),



Fig. 4 - Gusci di *Plicatula plicata* bioerosi ed incrostati da Melobesie, Serpulidi e Spirorbidi; nel particolare (A) si osserva un *Sorites* incrostato, con morfologia adattata al substrato, e una colonia corallina giovanile.

Balanus amphitrite Darwin, Ovulidae, e piccoli Pyramidellidae. Di particolare interesse è la presenza di nicchi di Pteropodi ed Heteropodi, totalmente assenti negli altri campioni esaminati, eccetto il 3 e il 13 dove sono rarissimi. L'associazione è costituita dalle seguenti forme: *Creseis acicula* (Rang) *Creseis chierchiaei* (Boas) *Creseis* cfr. *virgula* (Rang), *Cavolinia longirostris* (De Blainville), *Cavolinia* cfr. *tridentata* (Forsk.) *Limacina* sp., *Atlanta* cfr. *plana* Richter. L'associazione è a bassa diversità essendo costituita da 7 specie (le specie conosciute in Mar Rosso sono 17 e nell'Oceano Indiano 20), di cui molte (*Cavolinia* spp., *Atlanta* sp., *Limacina* sp.) rappresentate solo da scarsi esemplari. La specie nettamente dominante e molto abbondante è *Creseis acicula*, una tipica forma epipelagica; essa è nota come la specie più eurialina ed euriterma tra gli Pteropodi ed è considerata (Chen, 1968) come un indicatore di acque poco profonde in Mar Rosso. *C. acicula* è stata rinvenuta, come specie dominante, nelle associazioni a Pteropodi nelle aree del golfo di Aquaba a maggiore salinità (Almogi-Labin, 1982), con valori (41‰) confrontabili con quelli rilevati ad Entatu. L'assenza di Pteropodi nei campioni a granulometria non fine è imputabile prevalentemente alla loro fragilità oltre che, per i campioni più interni, alle basse profondità. La presenza di Pteropodi nel Ghubbet Entatu non sembra connessa ad apporti dal mare aperto, attraverso flussi di marea, ma ad uno sviluppo in loco nella porzione superficiale delle acque, testimoniata sia dalla composizione omogenea dell'associazione, costituita solo da forme epipelagiche, sia dalla

quasi totale assenza di foraminiferi planctonici, rappresentati solo da scarsi individui. Dai campioni provenienti dalla parte centrale del Ghubbet, le tracce di bioerosione sui gusci sono completamente assenti o preliminari. Sono invece molto diffusi i fori circolari la cui morfologia è tipica delle tracce di predazione dei Naticidi (icnospecie *Ochinus paraboloides* Bromley), anche se i gusci di tali gasteropodi sono piuttosto rari.

I campioni 3, 5, 6, 8, 13 mostrano caratteri intermedi: accanto ad una abbondante frazione bioclastica si hanno percentuali subordinate di gusci integri di lamellibranchi [*Arca afra erythraea* Issel, *Phacoides semperianus* (Linneo)] e di gasteropodi (per lo più piccole, Pyramidellidae, *Cerithiopsis pulvis* Issel, *Nassarius* sp.); va inoltre notato il rilevante sviluppo, nel campione 3, di *Circe scripta* (Linneo), a costituire una ricca popolazione, associata a *Lioconcha castrensis* (Linneo), *Jagonia* cfr. *divergens* (Philippi), *Corbula sulculosa* Adams, *Calyptraea* cfr. *chinensis* (Linneo), *Anadara* sp.. Il sedimento delle lagune interne (Khor Melil e Khor Und Abi) è sempre costituito da sabbie carbonatiche bioclastiche ben selezionate, con percentuali di fango nettamente subordinate. Anche nelle aree più protette delle lagune, il sedimento si mostra di colore chiaro e non fetido, a testimonianza di un buon ricambio ed ossigenazione delle acque; le condizioni energetiche e la dinamica delle acque lagunari sono altresì documentate nella laguna di Khor Melill (Bono et al., 1976) sia dalla presenza di sporadici cespi di coralli vivi anche in zone centrali delle lagune, che da strutture sedimentarie da corrente, quali diffusi megaripples, sia lineari che lunati, che presentano una chiara vergenza verso il Ghubbet Entatu.

LE COSTE E LE AREE TIDALI

Lungo la costa che da Ras Antalo a Ras Dofneur circonda il Ghubbet Entatu è presente una modesta falesia, alta tra 1 e 3 m, incisa al piede da un solco di battigia talora assai profondo, intagliata nei « Dahlak reef limestones ». In alcuni tratti, in particolare lungo i promontori più avanzati verso mare, il solco di battigia coincide con la linea di riva attuale; più frequentemente esso ne è separato da una fascia emersa di ampiezza variabile da pochi metri fino a molte centinaia di metri (fondo orientale delle baie di Khor Melill e Khor Und Abi). In questa fascia costiera sopratidale sono presenti facies di spiaggia, con morfologie e sviluppo assai differenziati e con la presenza di accumuli dunari, talora bioclastici, talaltra conchigliari (Strombidi ed Arcidi in prevalenza), che proteggono ampie aree pianeggianti, inondate solo sporadicamente da maree eccezionali o in occasioni di forti mareggiate. Le facies che si succedono procedendo dal limite di alta marea verso la zona continentale sono rap-

presentate da: una fascia prossima all'alto intertidale, costituita da alternanze di tappeti algali disseccati e chiazze di terreno soffice senza evidenti strutture superficiali; una fascia caratterizzata da una sottile crosta superficiale crepacciata in piccoli poligoni irregolari dai bordi rialzati; una fascia più interna con croste cementate di 4-5 cm di spessore, organizzate in ampie maglie poligonali dal contorno subesagonale.

La zona intertidale è divisibile in due subzone: alto intertidale e basso intertidale. La prima, che in parte è costituita da una vera e propria spiaggia, presenta una vasta gamma di situazioni deposizionali che si sostituiscono lateralmente. A luoghi è presente una « beach rock », debolmente immergente verso il centro della baia, costituita da strati spessi circa 15 cm. Lateralmente sono diffusi tappeti algali discontinui e irregolari, per forma e distribuzione, che in genere poggiano sul substrato duro costituito dai « Dahlak reef limestones » abrasivi. In questa subzona lo spessore del sedimento è sempre esiguo; la sua distribuzione ad opera delle correnti di marea determina ampie fasce caratterizzate da microripples, lineari o ondulate, asimmetrici (vergenti verso terra) e a cresta piatta (questa caratteristica è determinata dalle fasi di riflusso di marea). Il passaggio verso il basso intertidale è graduale ed avviene con un aumento dello spessore del sedimento; parallelamente le strutture da corrente lasciano progressivamente il posto a strutture da bioturbazione prodotte dagli organismi fossatori. I « mounds » sono le più diffuse ed evidenti di tali strutture e mostrano dimensioni variabili ma strettamente dipendenti dallo spessore del sedimento.

La zona subtidale presenta caratteristiche di rielaborazione del sedimento da parte dell'infrafauna ancora più accentuate; solo nelle aree in cui il fondale risulta abbondantemente colonizzato da *Thalassia*, i « mounds » sono scarsi o del tutto assenti.

Lungo i promontori di Ras Antalo e Ras Dofneur, a circa 2 m di profondità corre una fascia abbastanza continua costituita da una scogliera corallina morta, sulla quale si è impiantata una ricca vegetazione a Sargassi e Corallinacee. I coralli vivi sono costituiti prevalentemente da sparse colonie crostose e da sferoidi di modeste dimensioni di Favidi e Poritidi, attaccati su clasti grossolani immersi nelle sabbie bioclastiche. Solo lungo il lato occidentale del promontorio di Ras Antalo, a circa 200 m dalla spiaggia, si sviluppa una comunità a *Porites* abbastanza rigogliosa, sostituita, verso est, da sedimento bioclastico grossolano.

Elemento morfologico di rilievo è, lungo lo stesso promontorio, a circa 1 km dalla costa, la presenza di una barra sabbiosa che, da un fondale di 6-7 m, si eleva fino a circa 1 m dalla superficie e si sviluppa, con carattere più o meno continuo, parallelamente alla

costa, scomparendo progressivamente verso est. I fondali compresi tra la barra e la costa, pianeggianti, sono costituiti da sabbie bioclastiche con sparse chiazze di vegetazione, prevalentemente a *Thalassia*, e con grossi « mounds ».

CONCLUSIONI

La parte centrale più profonda del Ghubbet Entatu è caratterizzata da una sedimentazione carbonatica pelitica, mentre le sue porzioni periferiche, comprese le parti centrali delle insenature di Khor Melill e Khor Und Abi, hanno una sedimentazione bioclastica più o meno ben sciacquata. Tale distribuzione dei sedimenti è sostanzialmente regolata dalla energia conferita alle acque dal flusso di marea in relazione alla morfologia e alla profondità dei fondali. Nella laguna di Khor Melill, studiata in maggior dettaglio rispetto a Khor Und Abi, profonda mediamente meno di 2 m, il flusso di marea ricambia ogni 24 ore l'intera massa d'acqua immagazzinata, conferendo all'ambiente una energia tale da portare e mantenere in sospensione le granulometrie più fini delle sabbie. Questi sedimenti vengono scaricati in marea calante nel bacino principale contiguo, dove le condizioni energetiche sono tanto ridotte da consentire la deposizione dei fanghi in sospensione. L'apporto di fango dalla laguna verso il bacino è stato riconosciuto chiaramente con osservazioni qualitative durante le misure di flusso: le acque che entrano nella laguna in marea saliente sono limpide, mentre quelle che in marea calante ne escono sono decisamente torbide. Ai limiti del bacino di Ghubbet Entatu la velocità media di flusso, conferita dalla marea (0,04 m/s) lungo la soglia, risulta pari a 1/5 di quella misurata alla bocca della laguna di Khor Melill (0,22 m/s); è presumibile quindi, anche se non si dispone di misure dirette, che le velocità al fondo lungo la soglia solo localmente superino i valori che consentono il trasporto delle frazioni granulometriche maggiori del silt. I valori di massima energia valutati lungo la soglia devono ulteriormente diminuire nel settore più interno del bacino, dove non solo mancano certamente le condizioni per il trasporto attivo delle frazioni sabbiose, ma è logico aspettarsi delle condizioni di energia talmente basse da favorire la lenta deposizione dei fanghi carbonatici riversati nel bacino dalle lagune contigue di Khor Melill e Khor Und Abi, e dalle aree costiere del bacino stesso. La presenza costante di sedimenti pelitici nelle aree depresse ovoidali legate alla tettonica salina (fig. 3 B), le caratterizza come trappole sedimentarie. Risulta altresì evidente il ruolo della tettonica attiva nella distribuzione dei sedimenti; anche la laguna di Dhu Bellu, dove è in atto una sedimentazione micritica (Angelucci *et al.* 1980) risulta protetta da una soglia tettonica.

RINGRAZIAMENTI

Gli Autori ringraziano il prof. I. Di Geronimo, Università di Catania, per la determinazione di alcuni molluschi, i tecnici M. Salvati e M. Albano per l'esecuzione dei disegni e L. Spinuzzi che ha curato le riprese e la stampa delle fotografie. Il lavoro è stato in parte supportato dal Centro di Studio per la geologia dell'Italia centrale del C.N.R.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ALMOGI-LABIN, A., REISS, Z., 1977, Quaternary Pteropods from Israel, 1, Holocene and Pleistocene Pteropods from the Mediterranean continental shelf and slope of Israel: *Revista Espanola de Micropaleontologia*, v. 9, n. 1, pp. 5-48, tav. 1-9, figg. testo 1-9.
- 1982, Stratigraphic and Paleocyanographic significance of the Quaternary Pteropods from deep sea cores in the Gulf of Aqaba (Elat) and Northernmost Red Sea: *Marine Micropaleontology*, v. 7, pp. 53-72, tav. 1-2; figg. testo 1-8, Amsterdam.
- 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., LUPA PALMIERI, E. N., MARIOTTI, G., MATTEUCCI, R., SIRNA, G. & TORO, B., 1978, Geological framework of Tanam, Wusta and Isratu in the Dahlak Islands (Southern Red Sea): *Geol. Rom.*, v. 17, pp. 345-388, Roma.
- , CIVITELLI, G., FUNICIELLO, R., MARIOTTI, G., MATTEUCCI, R., PASSERI, L., PIALI, G. P., PRATURLON, A. & SIRNA, G., 1975, Preliminary report on the actual carbonate sedimentation at the Dahlak Islands (Red Sea, Ethiopia): *Geol. Rom.*, v. 14, pp. 41-61, Roma.
- , MATTEUCCI, R., PRATURLON, A., (1981), Outline of geology and sedimentary environments of the Dahlak Islands (southern Red Sea): *Boll. Soc. Geol. It.*, v. 99, pp. 405-419, Roma.
- BARASH, A. L. & DANIN, Z., 1977, Addition to the knowledge of Indo-Pacific Mollusca in the Mediterranean: *Conchiglie*, an. XIII, n. 5-6, pp. 85-116, fig. 1, tav. 1-2, Milano.
- BELLUOMINI, G., ESU, D., MANFRA, L. & MATTEUCCI, R., 1980, Gasteropodi dulcicoli e terrestri nell'isola Dahlak Kebir - Testimonianza di una fase umida olocenica nelle Isole Dahlak, Mar Rosso: *Boll. malac. ital.*, v. 16, pp. 368-390, Milano.
- BERGGREN, W., 1969, Micropaleontologic investigations of Red Sea cores - Summation and synthesis of results. *In* Degens and Ross D.A. (Eds.), *Hot brines and recent heavy metal deposits in the Red Sea*: Springer Verlag pp. 329-335, New York.
- BILLMAN, H., HOTTINGER, L., OESTERLE, H., 1980, Neogene to Recent *Rotaliæ Foraminifera* from the Indopacific Ocean; their canal system, their classification and their stratigraphic use: *Schweiz. Palaont. Abh.* v. 101, pp. 71-113, tav. 1-39, figg. testo 1-27.
- BONO, P., CIVITELLI, G. & PIALI, G. P., 1976, Caratteristiche sedimentologiche e idrologiche della laguna di Kor Melill (Isole Dahlak, Mar Rosso): *Geol. Rom.*, v. 15, pp. 69-82, Roma.
- , CARBONE, F., CIANCETTI, G., CIVITELLI, G. & MARIOTTI, G., 1983, Analisi sedimentologica e idrologica delle lagune dell'isola di Isratu (Mar Rosso): *Geol. Rom.*, v. 22, Roma (in stampa).
- BROMLEY, R. G., 1981, Concepts in ichnotaxonomy illustrated by small round holes in shells: *Acta Geol. Hispan.* - Concepts and methods in Paleontology, v. 16, n. 1-2, pp. 55-64, pltt. 1-3 fig. 1.
- BUCCHERI, G., 1978, Pteropoda Euthecosomata ed Heteropoda (Mollusca, Gasteropoda) in sedimenti batiali pleistocenici della East Yucatan Scarp (Mar dei Caraibi): *Boll. Soc. Paleont. Ital.*, v. 17, n. 1, pp. 118-147, tav. 1-2, 1 fig., Modena.
- CHEN, C., 1969, Pteropods in the Hot Brines Sediments of the Red Sea. *In* Degens E.T. and Ross D.A. (Eds.), *Hot brines and recent heavy metal deposits in the Red Sea*: Springer Verlag, pp. 313-316, New York.
- CIVITELLI, G., MATTEUCCI, R., 1981, La scogliera a frangia di Tanam (Isole Dahlak, Mar Rosso): *Boll. Soc. Geol. It.* Springer Verlag, pp. 313-316, New York.
- CONFORTO, M., DELITALA, M. C. & TADDEUCCI, A., 1976, Dattazioni col 230 Th di alcune formazioni coralligene delle Isole Dahlak (Mar Rosso): *Soc. It. Miner. Petr., Rendiconti*, v. 32, pp. 153-158, Roma.
- CORDERO LANZA DI MONTEZEMOLO, G., 1930, Notizie geologiche sulle Isole Dahlak: *Atti Soc. Tosc. Sc. Natur. Mem.*, v. 40, pp. 226-244, Pisa.
- CREMA, C., 1927, Movimenti del suolo a Bu-L-Hissar nell'arcipelago Dahlak (Mar Rosso meridionale): *Boll. Soc. Geol. It.* v. 46, pp. 91-94, Roma.
- DI GERONIMO, I., 1970, Heteropoda e Pteropoda Thecosomata in sedimenti abissali recenti dello Jonio: *Thalassia Salentina*, v. 4, pp. 41-115, tavv. 1-2.
- , & ROBBA, E., 1979, Contributo alla conoscenza delle malacofaune del Benadir (Somalia Meridionale): *Boll. Malacol.*, an. XV, n. 7-8, pp. 165-195, tavv. 1-7, figg. 1-2, tab. 1, Milano.
- DRAKE, C. L. & GIRDLE, R. A., 1964, A geophysical study of the Red Sea: *Royal Astron. Soc. Geophys. Journ.*, v. 8, pp. 473-495, London.
- FACCA, G., 1965, Etiopia: *Enciclopedia del petrolio*, Colombo Ed., v. 4, pp. 339-359, Roma.
- FRAZIER, S. B., 1970, Adjacent structure of Ethiopia: that portion of the Red Sea coast including Dahlak Kebir island and the Gulf of Zula: *Philos. Trans. Royal Soc.*, v. 267, (1181), pp. 131-141, London.
- FRONTIER, S., 1973, Zooplancton de la region de Nosy-Bé. VI Pteropodes, Heteropodes. Première P. partie: espèces holonériques et néritiques-internes (contribution a l'étude d'une baie eutrophiq. tropical): *Cah. ORSTOM*, ser. Oceanogr., v. 11, n. 3, pp. 273-289.
- GVIRZMAN, G., BUCHBINDER, B., SHEN, A., NIR, Y. & FRIEDMAN, G. M., 1977, Morphology of the Red Sea fringing reef: a result of the erosional pattern of the last-glacial low-stand sea level and the following Holocene re-colonization: *Mem. B.R.G.M.*, v. 89, pp. 480-491, Paris.
- HERMAN, Y., 1968, Evidence of climatic changes in Red Sea cores. Means of correlation of Quaternary successions: *Proceed. VII Congress INQUA*, Salt Lake City, v. 8, pp. 325-348.
- , 1971, Vertical and horizontal distribution of Pteropods in Quaternary sequences. *In* Funnel B. M. e Riedel R. (Eds.), *The Micropaleontology of Oceans*: Cambridge University Press, pp. 463-486, tavv. 1-2, figg. 1-11.
- , & ROSENBERG, P. E., 1969, Mineralogy and Micropaleontology of a Goethite-Bearing Red Sea core. *In* Degens E.T. and Ross D.A. (Eds.), *Hot brines and recent heavy metal deposits in the Red Sea*: Springer Verlag, pp. 448-459, New York.
- HORNUNG, A. & MERMOD, G., 1924, Mollusques de la Mer Rouge, recueillis par A. Issel. p.p., Pyramellides: *Ann. Museo Civico Storia Nat.*, G. Doria, vol. LI, pp. 282-311, figg. 1-25, Genova.

- HOROWITZ, A., 1967, The geology of Museri Island (Dahlak archipelago, Southern Red Sea): *Israel J. Earth Sc.*, v. 16, pp. 74-83, Jerusalem.
- HUGES CLARKE, M. W. & KEIJ, A. J., 1973, Organisms as producers of carbonate sediment and indicators of environment in the Southern Persian Gulf. *In* Purser B.H. (Ed.). *The Persian Gulf*: Springer Verlag, pp. 33-56.
- LAMY, M., 1918, Les Tellines de la Mer Rouge: *Bull. Muséum Nat. D'Hist. Nat.*, v. 24, pp. 26-33, Paris.
- MACFAYDEN, W. A. 1931, The undercutting of coral reef limestone on the coast of some islands in the Red Sea: *Geol. Mag.* v. 75, pp. 27-34, London.
- MADDALENA, L., 1937, Etudes pour recherches petroliferes effectuées dans l'Archipel des Iles Dahlak (Mer Rouge): II Congrès Mondial du Pétrole, Paris.
- MATTEUCCI, R., 1974, *Cymbaloporella tabellaeformis* (Brady) foraminifero endolitico del Mar Rosso: *Geol. Rom.*, v. 13, p. 29-43, Roma.
- NARDINI, S., 1934, Molluschi delle spiagge emerse del Mar Rosso e dell'Oceano Indiano. Parte I, Gasteropodi: *Palaeontographia Italica*, v. 34, pp. 171-267, Pisa.
- , 1937, Molluschi delle spiagge emerse del Mar Rosso e dell'Oceano Indiano. Parte II, Lamellibranchi: *Palaeontographia Italica*, v. 37, pp. 225-278, Pisa.
- NIR, Y., 1971, Geology of Entedebir island and its recent sediments. Dahlak Archipelago, Southern Red Sea: *Israel J. Earth Sc.*, v. 20, pp. 3-40, Jerusalem.
- OREN, D. H., 1964, Hydrography of Dahlak Archipelago (Red Sea): *Sea Fish. Res. Haifa Bull.*, v. 35, pp. 3-22.
- VALERI, P., BELLOTTI, P. & TORTORA, P., 1980, Classificazione dei valori degli indici statistici secondo Folk e Ward, calcolata per il metodo dei momenti: *Geologia tecnica*, v. 27, n. 2, pp. 41-48, Roma.