

FORAMINIFERI BENTONICI PROFONDI ASSOCIATI A EVENTI ANOSSICI DEL PLEISTOCENE MEDIO E SUPERIORE NEL MEDITERRANEO ORIENTALE

ANTONINA VISMARA SCHILLING

Key-words: Benthic Foraminifera, Pleistocene sapropels, Eastern Mediterranean.

Abstract. A semi-quantitative study was carried out on benthic foraminifera from beneath, within and above the Middle to Late Pleistocene sapropels S-9, S-8, S-7, S-6, S-5, in two Western Mediterranean and Calabrian Ridge cores, in order to investigate how stagnation conditions developed in the Eastern Mediterranean during the considered interval.

Three benthic assemblages were recognized: a) transition assemblage, found close to the sapropel layers (beneath, above or intercalated) characterized by a great abundance of two small species, *Anomalinooides minimus* and *Eponides tumidulus*, associated with *Articulina tubulosa* and/or *Gyroidina neosoldanii*; b) sapropelitic assemblage, generally constituted by small epiphytic rotaliforms interpreted as transported by means of vegetal phytoclasts, small bolivinids or peculiarly by the association of *Bulimina exilis*, *Cassidulinooides tenuis*, *Ellipsopolymorphina fragilis* occurring in the uppermost unit of sapropel S-6; c) normal assemblage, found in well oxygenated sediments far from sapropels, characterized by a lower density but a higher diversity mainly related to the increase of miliolid and lagenid species.

Particularly, the transition assemblage indicates that the development of the anoxic conditions was not a sudden event as suggested by the sedimentary record, but, on the contrary, the deep Mediterranean waters underwent a gradual depletion of oxygen content. The sapropel deposition was only one stage of a much longer process.

The stratigraphic extent over which changes in benthic assemblages approaching sapropels occur, should reflect the rate at which stagnation conditions developed. The duration of the analyzed anoxic events was tentatively evaluated and appears to be approximately twice as long as the duration of the sapropel deposition.

The slowest recovery of a normal benthic fauna has been noticed after the deposition of sapropel S-5, in the warm climatic zone X (more than 4000 yr. long). The benthic assemblage above this sapropel is very poor, almost oligotypic, and it is very similar to that observed in the normal sediments above S-1 and on the floor of the present-day Eastern Mediterranean. This indicates that the Eastern Mediterranean today did not fully recover yet from the last stagnation but it is still in a transition period, similar to that occurred after the deposition of sapropel S-5.

Finally it is enhanced the peculiarity of sapropel S-6 deposited under the glacial conditions in the isotopic stage 6, characterized by an unusual increase of the primary productivity. Similarly, sapropel S-8, formed during the cold interstadial 7d within interglacial stage 7, is referred to an increase of the primary productivity, but of minor importance. The other investigated sapropels S-9, S-7, S-5, are more likely related to thermo-haline stratification of the water column, which repeatedly occurred during the interglacial stages in the Eastern Mediterranean.

Introduzione e scopo del lavoro.

Nel Pleistocene medio e superiore il record sedimentario del Mediterraneo orientale, come già noto dagli studi di numerose carote di mare profondo (Olausson, 1961; Ryan, 1972; Cita et al., 1977; Thunell et al., 1977, ecc.), è caratterizzato dal susseguirsi di sedimenti normali, sapropel e tephra. I sapropel sono dei fanghi neri, con contenuto in carbonio organico superiore al 2% (Kidd et al., 1978) e sono considerati l'espressione sedimentaria di episodi di stagnazione verificatisi ripetutamente in tutti i bacini e margini del Mediterraneo orientale con profondità superiore a 700 m (Ryan & Cita, 1977; Mc Coy, 1974). I tephra sono livelli di vetro vulcanico originatisi in seguito ad attività vulcanica esplosiva (Keller et al., 1978). I sapropel, come pure i tephra, sono quindi considerati orizzonti isocroni e possono essere usati per correlazioni a grandi distanze nel Mediterraneo orientale (Ryan, 1972; Sigl & Müller, 1975).

I sapropel del tardo Pleistocene, ritrovati in numerose carote a pistone e/o a gravità, sono stati ampiamente studiati da vari punti di vista: geochimico (Kulleberg, 1952; Nesteroff, 1973), sedimentologico (McCoy, 1974; Maldonado & Stanley, 1976), isotopico (Cita et al., 1977; Vergnaud—Grazzini et al., 1977; Williams & Thunell, 1979) e paleontologico (Cita et al., 1977; Williams & Thunell, 1979; Mullineaux & Lohmann, 1981; Parisi & Cita, 1982). Tali studi, in generale, in accordo con l'ipotesi formulata da Olausson (1961) e da Ryan (1972), tendono ad attribuire la deposizione dei sapropel pleistocenici e di quello olocenico alla periodica formazione di uno strato d'acqua superficiale a bassa salinità, il quale inibirebbe la circolazione verticale attraverso la colonna d'acqua, provocando in tal modo una mancata ossigenazione al fondo. L'ambiente riducente che si viene così a creare in prossimità del fondo, preserva molto bene la sostanza organica di origine pelagica.

Le cause che avrebbero determinato il periodico instaurarsi nel Mediterraneo orientale di uno strato d'acqua superficiale poco denso durante il tardo Pleistocene sono essenzialmente di tipo climatico, sebbene non tutte siano strettamente legate alla temperatura. In particolare le due maggiori fonti potenziali di tale lente a bassa salinità sarebbero il Mar Nero (Ryan, 1972; Cita et al., 1977; Thunell & Lohmann, 1979) e il Nilo (Rossignol—Strick et al., 1982; Rossignol—Strick, 1983). Il maggior apporto dal Mar Nero si sarebbe verificato subito dopo la massima espansione della calotta glaciale (glaciazione «Dnieper») datata a circa 200×10^3 anni (Cita & Grignani, 1982), quindi in corrispondenza della deposizione del sapropel S-6. L'apporto del Nilo sarebbe invece determinante soprattutto in corrispondenza del sapropel olocenico S-1 (Rossignol—Strick et al., 1982).

Secondo Cita & Grignani (1982) alcuni gruppi di sapropel pleistocenici sembrano modulati astronomicamente, o secondo i cicli di precessione di Milankovitch dell'ordine di 20.000 anni circa (sapropel S-3, S-4, S-5 e sapropel

S-6, S-7, S-8), o secondo i cicli di inclinazione dell'asse terrestre dell'ordine di 50.000 anni circa (sapropel S-9, S-10, S-11, S-12).

Rossignol-Strick (1983) infine confronta la curva dell'indice monsonico con la curva di Milankovitch mettendo in evidenza come, alle basse latitudini, questo indice raggiunga generalmente valori massimi durante gli stadi interglaciali e solo due volte nei periodi glaciali (in corrispondenza dello stadio glaciale 6 e dell'interstadio freddo 7d dello stadio interglaciale 7).

Durante i periodi di stagnazione, la fauna bentonica generalmente scompare (Parker, 1958; Olausson, 1961; Cita & Podenzani, 1980; Mullineaux & Lohmann, 1981; Parisi & Cita, 1982; Vismara Schilling, 1984) o si riduce molto.

Gli studi precedenti sulle faune bentoniche associate a sapropel antichi del Mediterraneo sono scarsi (Parker, 1958; Cita & Podenzani, 1980; Parisi & Cita, 1982). Questo studio ha quindi lo scopo di esaminare quantitativamente la risposta dei Foraminiferi bentonici: a) all'instaurarsi di episodi di stagnazione; b) all'evento anossico vero e proprio; c) al ripristinarsi di condizioni di ossigenazione normale nel Mediterraneo orientale durante il Pleistocene medio e superiore.

Gli eventi anossici pleistocenici presi in considerazione sono riferibili ai sapropel S-9, S-8, S-7, S-6, S-5.

Inquadramento stratigrafico.

La carota RC9-181 prelevata sulla Dorsale Mediterranea a sud di Creta (Fig. 1) è la più completa conosciuta finora, in quanto contiene tutti i dodici sapropel identificati nel tardo Pleistocene (S-2 fino a S-12) e nell'Olocene (S-1); ha inoltre velocità di sedimentazione più uniforme di qualsiasi altra carota a pistone (Ryan, 1972), per cui viene considerata come la sezione di riferimento ideale per il Mediterraneo orientale. Tale carota può essere correlata con

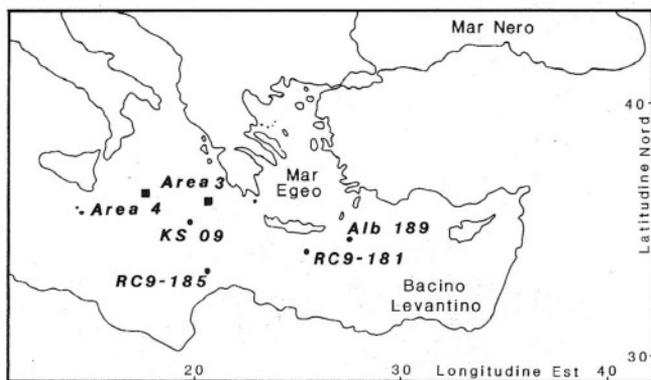
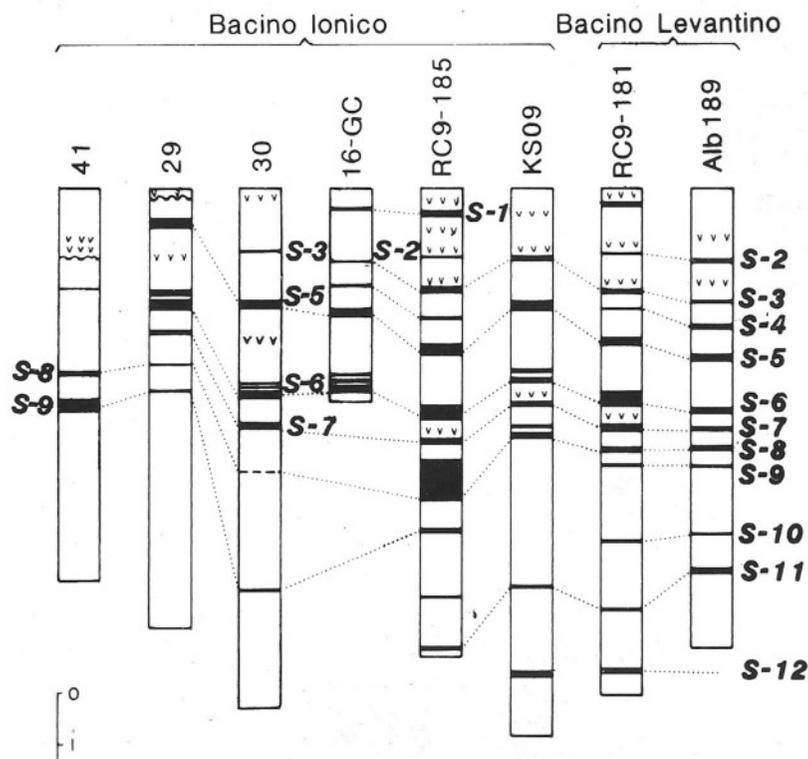


Fig. 1 — Ubicazione di tutte le carote considerate nel presente lavoro. Le carote del Progetto Cobblestone sono contrassegnate dal simbolo "■", le altre dal simbolo "●".

altre carote del Mediterraneo per mezzo dei sapropel che, come osservato precedentemente, rappresentano orizzonti isocroni (Cita et al., 1977). Nella Fig. 2 la carota RC9-181 è stata correlata con le carote KS 09 e RC9-185 prelevate sulla Dorsale Mediterranea, con la carota A1b 189 prelevata nel Bacino Levantino, con le carote 16 GC e 29 dell'Area 3 a Cobblestone e infine con le due carote 30 e 41 analizzate in questo lavoro, provenienti dalle Aree a Cobblestone 3 e 4 rispettivamente e studiate biostratigraficamente da Blechschmidt et al. (1982).

La Fig. 3, ripresa da Parisi & Cita (1982) e modificata per quanto riguarda la posizione del limite inferiore della zona climatica W, riassume tutta l'informazione stratigrafica attualmente disponibile per il Quaternario del Mediterraneo orientale: a sinistra la curva isotopica misurata su *Globigerinoides ruber* nella carota RC9-181 (da Vergnaud-Grazzini et al., 1977), in cui sono ben riconoscibili gli stadi isotopici di Emiliani (1966) da 1 a 11; quindi il log stra-



tigrafico di tale carota con i 12 sapropel identificati; la terza colonna mostra le zone climatiche riconosciute da Ericson & Wollin (1968) che vengono spesso usate negli studi sul Mediterraneo orientale (Ryan, 1972; McCoy, 1974; Keller et al., 1978); la quarta colonna infine contiene la zonazione a nannofossili usata da Blechschmidt et al. (1982).

Le età assolute che contraddistinguono i limiti tra le zone climatiche risultano soprattutto dalla cronologia dei sapropel del Mediterraneo orientale proposta da Cita et al. (1977). In particolare, seguendo Parisi & Cita (1982), la zona V è stata suddivisa in due sottozone sulla base delle medie della diversità della fauna bentonica: la sottozona V' che si correla con gli stadi isotopici da 11 fino a 8 e con parte dello stadio 7 includendo i sapropel S-11, S-10 e S-9; la sottozona V'' che si correla con lo stadio isotopico 7 e include i sapropel S-8 e S-7. L'età di -225.000 anni attribuita al limite tra le due sottozone è stata dedotta dall'interpolazione delle velocità di sedimentazione calcolate per la carota KS 09 (Cita et al., 1977; Parisi & Cita, 1982).

Le età che segnano i limiti delle zone a nannofossili sono state invece dedotte da Gartner (1977) e Berggren et al. (1980). Il limite tra la Zona a *Gephyrocapsa oceanica* e la Zona a *Emiliania huxleyi* viene riferito da Parisi & Cita (1982) a -220.000 anni, età questa senz'altro inferiore a quella stabilita per gli oceani aperti (-270.000) da Berggren et al. (1980). D'altra parte la comparsa di *E. huxleyi* tra i sapropel S-8 e S-7 è stata segnalata anche da Mazzei (in Blechschmidt et al., 1982) in tre carote dell'Area 3 a Cobblestone sulla Dorsale Mediterranea, tra cui figura anche la carota 30 considerata nel presente lavoro.

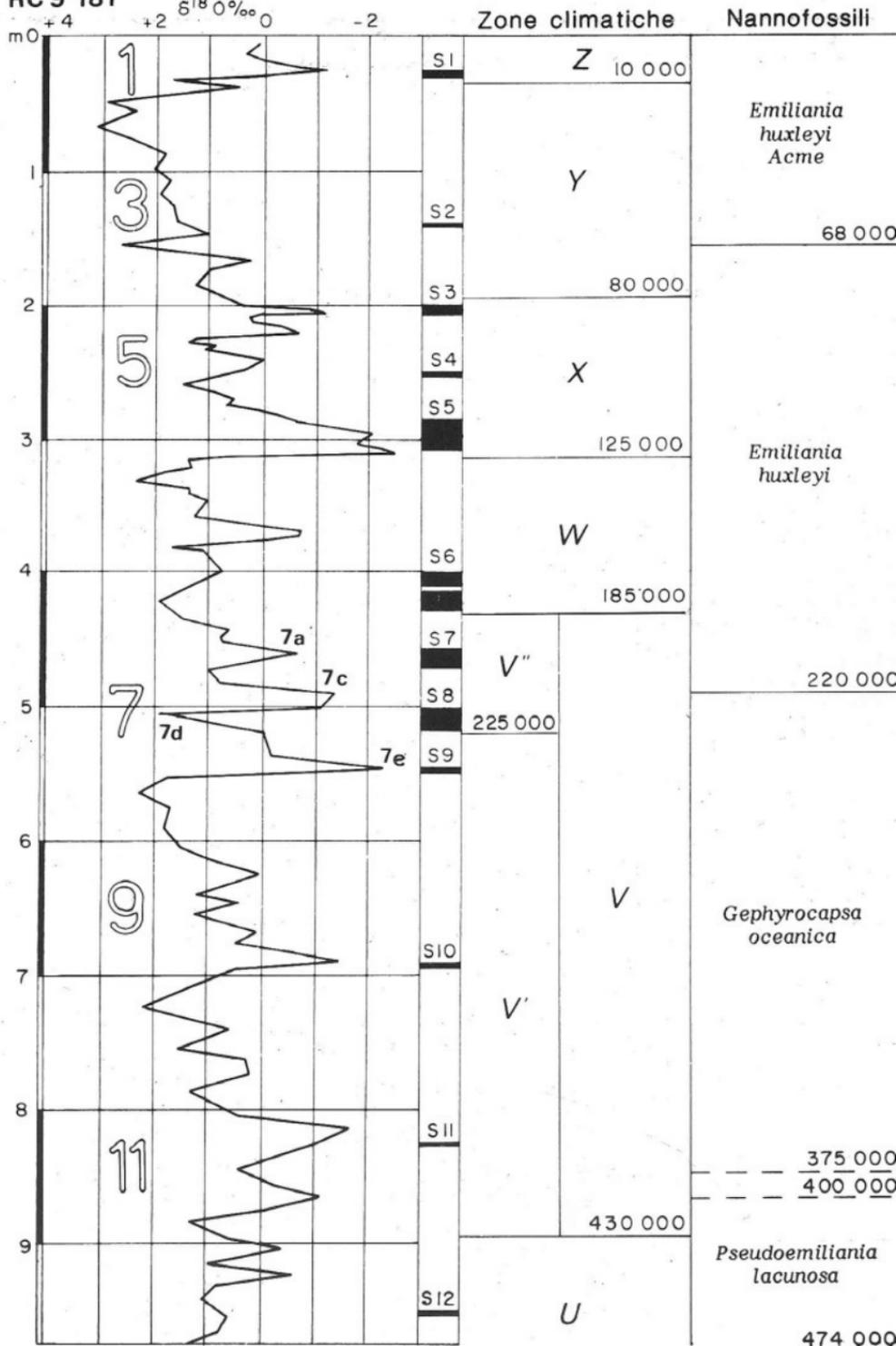
Le carote analizzate quantitativamente in questo studio, dal punto di vista dei Foraminiferi bentonici, sono la carota 41 dell'Area 4 a Cobblestone situata sulla Dorsale Calabria e la carota 30 dell'Area 3 a Cobblestone situata sulla Dorsale Mediterranea occidentale. Della prima sono stati studiati i sapropel S-9 e S-8, della seconda i sapropels S-7, S-6, S-5. L'intervallo considerato è quindi riferibile (Fig. 3) agli stadi isotopici 7, 6 e 5 ed è correlabile: a) inferiormente con la parte superiore della sottozona climatica V' e superiormente con la base della zona X, b) rispettivamente con la sommità della Zona a *G. oceanica* e con la porzione mediana della Zona a *E. huxleyi*, in un intervallo di tempo compreso tra circa -250.000 e -115.000.

Materiali e metodi.

Le coordinate geografiche, la profondità dell'acqua e la posizione fisiografica delle carote 41 e 30 sono indicate nella Tab. 1; il log stratigrafico nella Fig. 2.

La carota 30 è una carota di plateau (Plateau di Poseidon), è lunga 10,20 m e comprende 6 sapropel di cui il più recente è il sapropel S-1 (che si trova

RC 9-181



nel trigger) e il più antico è il sapropel S-9.

La carota 41 è pure una carota di plateau (Plateau di Ghiberti), è lunga 7,60 m e comprende 3 sapropel corrispondenti al sapropel S-9, S-8 e probabilmente S-7. In tale carota è presente una lacuna di sedimentazione all'interno del Pleistocene superiore, nella Zona a *E. huxleyi*.

Sono stati prelevati complessivamente 40 campioni di sedimento ad intervalli di circa 3-6 cm, al di sotto, all'interno e al di sopra dei sapropel S-9 e S-8 per la carota 41, e dei sapropel S-7, S-6, S-5, per la carota 30. Il volume di tali campioni è di circa 10 cc e il peso dopo essiccazione a 30° varia da 1,128 g a 12,7785 g (Tab. 2). Ciascun campione di sedimento pesato è stato quindi messo in acqua addizionata ad H_2O_2 e poi lavato con un setaccio a maglie di 63μ . La frazione di residuo così ottenuta ($> 63\mu$) è stata pesata e ne è stata calcolata la percentuale rispetto al peso del sedimento secco trattato (Tab. 2); dalla stessa sono stati poi isolati e contati tutti i Foraminiferi bentonici presenti. In quattro campioni la frazione di residuo ottenuta, essendo molto abbondante e ricca di benthos, è stata ulteriormente suddivisa mediante uno splitter, prima di essere analizzata.

Successivamente, seguendo la stessa metodologia usata da Cita & Zocchi (1978) e Vismara Schilling (1984), sono stati calcolati i seguenti valori numerici: a) la densità faunistica espressa dal numero di esemplari/g di sedimento secco trattato = «B Foraminiferal Number», inteso nel senso di Cita & Zocchi (1978); b) la diversità faunistica espressa dal numero delle specie presenti per campione; c) il grado di specializzazione della fauna: in questo studio si ritiene specializzata una fauna quando la somma dell'abbondanza relativa delle tre specie più frequenti superi il 50%; molto specializzata un'associazione in cui tale somma rappresenti più dell'80% dell'intera popolazione; d) la composizione della fauna, indicata dall'abbondanza relativa di ciascuna specie presente in ogni campione.

Commenti sui sapropel considerati.

Sapropel S-5.

Il sapropel S-5 ha un'età interpolata di circa -125.000 anni (Fig. 3), corrisponde alla trasgressione tirreniana (interglaciale Riss-Würm) e coincide

Fig. 3 — Inquadramento stratigrafico del record di mare profondo del Mediterraneo orientale (da Parisi & Cita, 1982 modificata). Le prime due colonne a sinistra indicano la curva isotopica ottenuta per *Globigerinoides ruber* nella carota RC9-181 e il log di tale carota che contiene 12 sapropel. La terza colonna mostra la distinzione delle zone climatiche (di Ericson & Wollin, 1968) e la quarta colonna le biozone a nanofossili (di Gartner, 1977).

con lo stadio isotopico 5 (sottostadio 5e). E' correlabile con la parte basale della zona climatica X di Ericson & Wollin (1968) e con la zona a nannofossili a *Emiliania huxleyi*. Questo sapropel si è deposto durante l'episodio più caldo del record di mare profondo del Mediterraneo orientale nel Pleistocene, come risulta: a) dal segnale isotopico nella carota RC9-181 (Vergnaud-Grazzini et al., 1977), b) dal segnale faunistico basato sui Foraminiferi planctonici in varie carote del progetto Cobblestone (Cita et al., 1982), c) dal segnale faunistico basato sugli Pteropodi nella carota 30 analizzata nel presente lavoro (Grecchi, 1984).

Il sapropel S-5 nella carota 30 ha uno spessore di 15 cm, non presenta alcuna interruzione e alcuna traccia di bioturbazioni; i contatti sono netti. Le analisi del contenuto in carbonio organico hanno dato un valore molto elevato corrispondente al 6,33% e l'analisi ottica del kerogene ha mostrato la predominanza di larghi fiocchi di sostanza organica amorfa (80%) rispetto ai fitoclasti continentali (Cita & Grignani, 1982).

Carota	Latitudine	Longitudine	Profondità dell'acqua (m)	Posizione fisiografica
BACINO IONICO				
KS 09	35°09'	20°09'	2800	Dorsale Mediterranea
RC9-185	34°27.1'	20°06.9'	2858	Dorsale Mediterranea
Area 3 a Cobblestone				
29	35°50.1'	20°49.6'	2866	Dorsale Mediterranea (Plateau di Eros)
30	35°50.5'	20°50.7'	2885	Dorsale Mediterranea (Plateau di Poseidon)
16-GC	35°52'	20°46'	2834	Dorsale Mediterranea (Plateau di Zeus)
Area 4 a Cobblestone				
41	36°13.8'	17°41.2'	3484	Dorsale Calabria (Plateau di Ghiberti)
BACINO LEVANTINO				
RC9-181	33°25'	25°01'	2286	Dorsale Mediterranea
Alb 189	33°54'	28°29'	2664	Dorsale Mediterranea

Tab. 1 - Coordinate geografiche, profondità dell'acqua e posizione fisiografica delle carote a Cobblestone prese in considerazione nel presente lavoro.

Sapropel S-6.

Il sapropel S-6, la cui base ha un'età interpolata di circa -185.000 anni (Fig. 3), si è depositato durante condizioni glaciali nello stadio isotopico 6 (Thunell et al., 1983) e si correla con la base della zona climatica W e con parte della Zona a *Emiliana huxleyi* (Fig. 3).

Tale sapropel, a differenza della maggior parte di quelli depositatisi negli ultimi 400.000 anni, corrisponde a un periodo freddo: il record isotopico basato su *Globigerinoides ruber* o *Globigerina bulloides* è caratterizzato da valori tipicamente glaciali (Emiliani, 1955; Cita et al., 1977; Vergnaud-Grazzini et al., 1977) sia al di sotto che al di sopra dello stesso sapropel S-6 (Thunell et al., 1983). Similmente anche le curve faunistiche ricavate dai Foraminiferi planctonici (Cita et al., 1977; 1982) indicano condizioni climatiche fredde in corrispondenza di tale sapropel; in particolare, la netta predominanza di *Neogloboquadrina dutertrei*, nota indicatrice di bassa salinità (Parker, 1958; Bè & Tolderlund, 1971; Cita et al., 1977; Thunell et al., 1977; Cita et al., 1982; Thunell et al., 1983), attesta l'esistenza di uno strato superficiale poco denso oltre che freddo.

Il sapropel S-6 nella carota 30 (Fig. 2), come pure in altre carote del Mediterraneo orientale (Cita et al., 1982) è suddiviso in tre subunità, separate l'una dall'altra da circa 2 cm di marna biancastra. Lo spessore complessivo di tale sapropel nella carota 30 è di 31,5 cm; i contatti sono netti e non vi è traccia di bioturbazioni.

Il contenuto in carbonio organico del sapropel S-6 nella carota 29 della Area 3 a Cobblestone, ben correlabile con la carota 30, corrisponde al valore 3,21% (Cita & Grignani, 1982); l'analisi ottica del kerogene indica la predominanza della sostanza organica amorfa (70%) rispetto ai fitoclasti continentali (Cita & Grignani, 1982).

Sapropel S-7, S-8, S-9.

Questi sapropel hanno un'età interpolata compresa tra circa -250.000 anni e -190.000 anni e si riferiscono tutti allo stadio isotopico 7 (Fig. 3). Sono compresi: a) nelle sottozone climatiche V'' (S-7 e S-8) e V' (S-9); b) tra la base della zona a nannofossili a *E. huxleyi* (S-7) e la parte superiore della Zona a *G. oceanica* (S-8 e S-9).

Lo stadio isotopico 7 (Fig. 3) ha tre picchi caldi, due dei quali (7a e 7e) corrispondono rispettivamente ai sapropel S-7 e S-9, e un picco freddo (7d) riferibile al sapropel S-8. Le curve faunistiche basate sui Foraminiferi planctonici, costruite per la carota KS 09 (Cita et al., 1977) e la carota 29 dell'Area 3 a Cobblestone (Cita et al., 1982), sono in accordo con il segnale isotopico. Anche l'assenza dello Pteropode *Limacina inflata* sotto il sapropel S-8 nella carota 30 (Grecchi, 1984), sembrerebbe in accordo con il segnale isotopico e faunistico. Per di più, la predominanza di *Neogloboquadrina dutertrei*, riscontrata anche nelle carote KS 09 e 29 prelevate sulla Dorsale Mediterranea (Cita

et al., 1982) ben correlabili con la carota 41 (Fig. 2), indicherebbe l'esistenza, al momento della deposizione del sapropel S-8, di uno strato superficiale a bassa salinità oltre che freddo, come osservato precedentemente anche per il sapropel S-6.

Il sapropel S-7 nella carota 30 ha uno spessore di 14,5 cm, i contatti sono netti e sono presenti bioturbazioni nella parte superiore. I sapropel S-8 e S-9 della carota 41 hanno uno spessore di 12 cm e 16,5 cm rispettivamente; i limiti inferiori sono un po' deformati per effetto del carotaggio e le bioturbazioni risultano assenti.

Risultati.

I valori numerici ottenuti per i 40 campioni esaminati sono indicati nella Tab. 2. I Foraminiferi bentonici contati sono 47.222 e le specie determinate 125. Nella Tab. 3 è riportata la distribuzione di tutte le specie o gruppi di spe-

Carota/ Sezione	Prof. (cm) dal top della sezione	Prof. (cm) dal top della carota	Litologia	Peso (g) sedim. secco trattato	% della fraz. di residuo >63 µ	Numero tot degli esemplari	Numero delle specie	"B Forami- niferali number"	Grado di specializ. (%)
30/2	37	188	marna	8.7430	3.19	54	18	6.17	57.34
	43	194	marna	7.2302	4.99	41	16	5.67	60.96
	49	200	marn/sapr	2.5110	12.05	3	3	1.19	100.00
	53	204	sapropel	1.1280	8.51	1	1	0.88	100.00
	58	209	sapropel	2.0246	8.95	0	0	0.00	0.00
	63	214	sapropel	2.0244	7.46	5	5	2.46	5.00
	65	216	marna	2.9379	8.12	259	37	88.15	61.37
	70	221	marna	6.1396	6.98	903	69	147.07	61.01
	79	230	marna	6.8428	8.04	1030	78	150.52	49.20
	44	332	marna	8.1336	3.61	1310	71	161.06	68.30
30/3	52	340	marna	8.4306	7.60	12420	35	1473.18	95.16
	59	347	marna	3.5228	11.85	916	14	260.02	83.39
	62	350	sapropel	3.1515	12.98	1176	12	375.15	91.15
	65	353	marna	5.2598	10.20	5408	28	1028.17	85.04
	68	356	sapropel	3.8486	14.45	204	25	53.00	41.16
	72	360	marna	5.6454	13.09	3856	23	683.03	90.24
	81	369	sapropel	5.1629	25.76	0	0	0.00	0.00
	89	377	sapropel	3.7143	6.96	41	21	11.03	34.13
	95	383	marna	5.7683	16.47	10019	67	1736.90	82.54
	111	399	marna	6.3320	7.30	1150	60	181.61	78.86
	123	411.5	marna	6.3508	9.43	1845	57	290.51	91.47
	132	420.5	marna	3.9506	10.83	1874	33	473.85	96.62
	135	423	sapropel	3.0115	2.64	63	7	20.91	90.46
	141	429	sapropel	3.0316	9.77	14	6	4.61	78.56
	146	434.5	sapropel	4.3653	17.16	23	17	5.28	39.12
	150	438	marna	5.4614	7.71	504	34	92.28	66.85
30/4	2	440	marna	8.4058	4.70	1290	56	153.46	70.68
	10.5	448.5	marna	5.9324	4.12	338	41	56.97	41.7
41/3	43	342	marna	12.7785	2.53	292	29	22.85	76.36
	50	349	marna	8.9488	11.36	775	16	86.60	95.34
	54	353	sapropel	6.0307	0.64	0	0	0.00	0.00
	61	360	sapropel	8.7760	10.62	7	6	0.79	57.06
	66	365	marna	10.4768	4.20	58	12	5.53	55.15
	71	370	marna	11.9324	2.30	160	14	13.40	70.62
	97	396	marna	7.8428	4.53	61	12	7.77	70.47
	108	407	marna	6.1080	8.65	840	13	137.52	93.79
	116	415	sapropel	6.5708	13.28	10	8	1.52	40.00
	125	424	sapropel	6.7756	12.05	5	4	0.73	80.00
	131	430	marna	5.9744	2.62	220	22	36.81	81.36
	141	440	marna	6.6893	0.39	35	7	5.23	77.13

Tab. 2 - Valori numerici calcolati per i 40 campioni analizzati, prelevati nelle due carote 41 e 30 dell'Area 4 e dell'Area 3 a Cobblestone, lungo la colonna stratigrafica contenente i sapropel S-9, S-8, S-7, S-6, S-5.

cie identificate in ciascun campione. I riferimenti tassonomici per i taxa identificati sono inclusi nell'appendice.

La Fig. 4 esprime graficamente le variazioni dei quattro valori numerici considerati e la Fig. 5 mette in evidenza le variazioni di frequenza percentuale di tutte le specie o gruppi di specie attraverso i sapropel considerati.

Percentuale della frazione di residuo superiore a 63μ .

La curva della frazione di residuo $> 63\mu$ (%) riportata nella Fig. 4 (a sinistra) mostra valori elevati in corrispondenza dei sapropel (Tab. 2) per la presenza di larghi fiocchi di sostanza organica, spore, frustoli vegetali, pirite e cristalli di gesso. I valori più elevati sono stati osservati nel sapropel S-6 (nella prima subunità) e sono dovuti quasi esclusivamente all'insolita abbondanza della fauna a bassa salinità a *Neogloboquadrina dutertrei*, come osservato anche nella carota 29 dell'Area 3 a Cobblestone (Cita et al., 1982).

Nella carota 30 i valori della percentuale della frazione di residuo variano da 2,64% (verso la sommità del sapropel S-7) a 25,76% (nella prima subunità del sapropel S-6), con una media di 9,46%; nella carota 41 i valori variano da 0,39 (sotto il sapropel S-9) a 13,28% (nel sapropel S-9), con una media di 6,09%.

Densità faunistica.

Le curve relative alla densità faunistica, espressa dal «B Foraminiferal Number» di Cita & Zocchi (1978), sono riprodotte nella seconda colonna della Fig. 4; i valori numerici sono tabulati nella Tab. 2.

Tre campioni, all'interno dei sapropel S-8, S-6, S-5, sono risultati privi di Foraminiferi bentonici. Il numero degli esemplari contati per campione varia da 0 a 12.420 (7 cm al di sopra del sapropel S-6) e il numero di esemplari/g di sedimento secco (= «B Foraminiferal Number») varia di conseguenza da 0 a 1736,90.

All'interno dei sapropel esaminati la fauna bentonica è generalmente assente o perlomeno molto scarsa; fa eccezione il campione 135 della carota 30 (in S-7) che contiene diversi esemplari di *Eponides tumidulus*, sicuramente provenienti dai sedimenti soprastanti che hanno riempito le cavità dovute a bioturbazioni, presenti nella parte sommitale di questo sapropel. Del tutto peculiari sono le due subunità superiori del sapropel S-6, che contengono una fauna particolare a *Bulimina exilis*, *Cassidulinoides tenuis*, *Ellipsopolymorphina fragilis* (vedere composizione della fauna).

Nei sedimenti normali ben ossigenati sotto il sapropel S-9, tra S-9 e S-8 e sopra S-5, rispettivamente nelle zone climatiche V' e X, i valori del «B Foraminiferal Number» (BFN) sono piuttosto bassi (da 5,23 a 13,40, con una media di 6,39). Nei sedimenti normali sotto S-7, tra S-7 e S-6, tra S-6 e S-5,

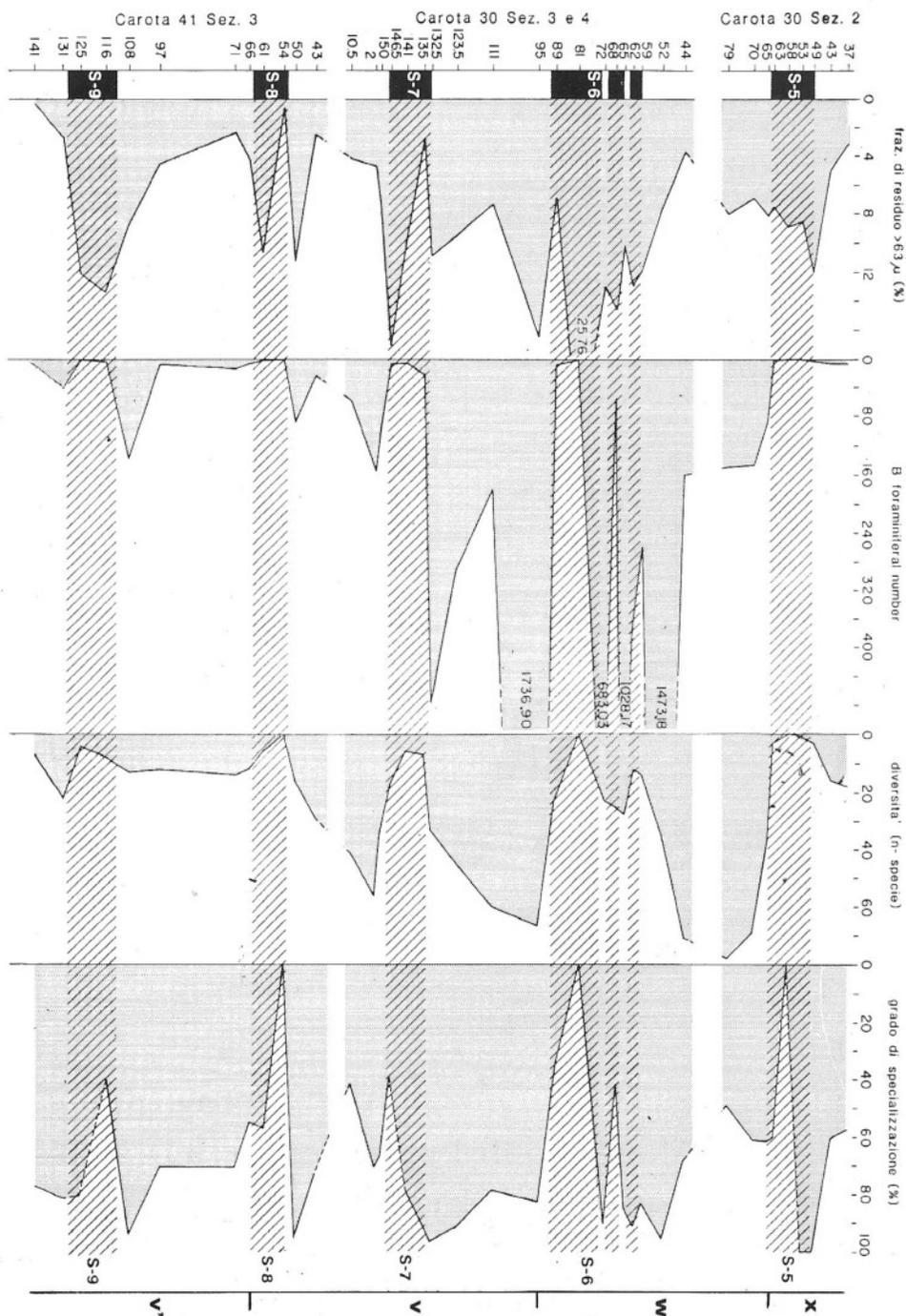


Fig. 4 - Variazioni dei quattro valori numerici calcolati attraverso i sapropel S-9, S-8, S-7, S-6, S-5, nelle due carote 41 e 30, rispettivamente dell'Area 4 e dell'Area 3 a Cobblestone. Le zone climatiche sono indicate all'estrema destra.

nelle zone climatiche V'' e W, invece tali valori sono sensibilmente più elevati (da 22,85 a 290,51, con una media di 143,92).

I livelli di transizione verso i sapropel (subito al di sotto di questi), o dai sapropel verso sedimenti normali ben ossigenati (subito al di sopra), o addirittura intercalati in questi, presentano quasi sempre dei picchi di densità. Soltanto per il campione immediatamente sotto S-8 e per i campioni sopra S-5 non si sono osservati tali picchi.

Più precisamente, dall'osservazione della curva della densità (Fig. 4) appaiono evidenti delle marcate oscillazioni che si ripetono nello stesso senso attraverso i vari sapropel considerati: la curva cioè si sposta bruscamente verso destra poco prima della deposizione del sapropel (= picco di densità), tende poi molto rapidamente a zero in corrispondenza dell'evento anossico, quindi di nuovo si sposta improvvisamente verso destra (= picco di densità) subito al di sopra del sapropel; assume infine un andamento più regolare nei sedimenti normali.

L'ampiezza di tali oscillazioni non è sempre costante: in corrispondenza del sapropel S-6 infatti, si registrano valori enormi, del tutto insoliti, del «B Foraminiferal Number», sia subito sotto il sapropel (BFN = 1736,90), sia in ciascuna delle due lamine marnose che separano le tre subunità sapropelitiche (BFN = 683,03 nella prima lamina; BFN = 1028,17 nella seconda lamina), sia subito sopra il sapropel (BFN = 1473,18).

La carota 30 è stata prelevata sul plateau di Poseidon e quindi l'elevata concentrazione della fauna bentonica di habitat profondo attraverso il sapropel S-6, non sembra imputabile a rimaneggiamento, o a risedimentazione.

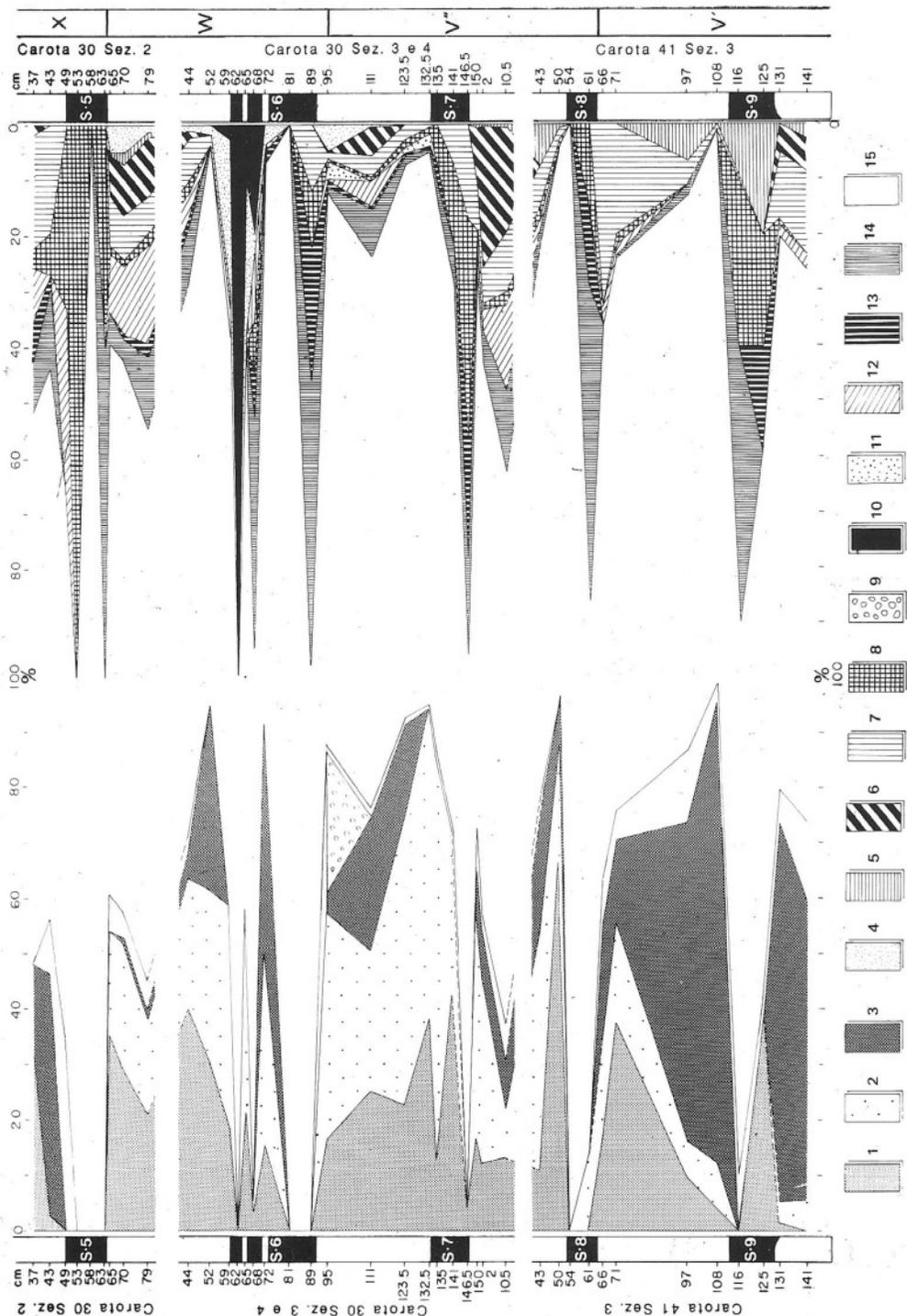
I valori dei picchi di densità osservati attraverso gli altri sapropel esaminati sono nettamente inferiori e variano da 36,82 (sotto S-9) a 473,85 (sopra S-7). Soltanto nei livelli al di sopra del sapropel S-5 non si è notata una ripresa della produttività della fauna bentonica, il BFN non supera il 6,17.

Diversità faunistica.

Come esposto precedentemente, le specie identificate sono 125 e la diversità faunistica (espressa dal numero dei taxa) varia da 0 a 78 (Tab. 2; Fig. 4). Il valore 0 è stato riscontrato in alcuni campioni sterili all'interno dei sapropel S-8, S-6, S-5; il valore massimo 78, sotto il sapropel S-5.

I livelli sapropelitici sono generalmente privi o poveri di benthos, in quanto il numero dei taxa presenti è assai ridotto e difficilmente supera le 8-12 specie per campione. Valori un po' più elevati si sono osservati in un campione della prima subunità (25) e nella seconda subunità (21) del sapropel S-6, per la presenza di piccoli rotaliformi, Bolivine, *Ellipsopolymorphina fragilis* ecc. (vedere composizione della fauna).

Nella carota 41, attraverso i sapropel S-9 e S-8, la diversità della fauna



non è molto elevata: i valori variano da 0 a 29, con una media di 13 (escludendo lo zero). Nella carota 30, attraverso i sapropel S-7, S-6, S-5, tali valori sono sensibilmente superiori e variano da 0 a 78, con una media di 31,61 specie per campione (escludendo lo zero). Valori molto elevati (56, 57 specie per campione) si sono osservati in corrispondenza dei picchi di densità che preludono rispettivamente alla deposizione dei sapropel S-7 e S-6. Il valore massimo ottenuto (78) invece caratterizza sedimenti normali prima del sapropel S-5.

Nei livelli immediatamente successivi a tutti gli eventi anossici considerati, all'elevata densità faunistica fa riscontro una bassissima diversificazione.

Composizione della fauna e grado di specializzazione.

La distribuzione in percentuale e in valore assoluto (n. di esemplari per campione) delle specie o gruppi di specie identificati nella frazione di residuo superiore a 63μ è riportata nella Tab. 3; le variazioni di frequenza sono evidenziate dalle curve delle frequenze cumulative di Fig. 5. In questa figura, sulla sinistra sono riportate le curve delle percentuali cumulative delle tre specie più rappresentate: *Anomalinoidea minimus*, *Eponides tumidulus*, *Articulina tubulosa* e di *Epistominella vitrea*; sulla destra, in contrapposizione, le curve delle frequenze cumulative delle altre specie o gruppi di specie componenti l'associazione bentonica.

Il grado di specializzazione (Tab. 2; Fig. 4) è dato dalla somma dell'abbondanza relativa delle tre specie più frequenti, e non delle cinque specie considerate da Massiotta et al. (1976), poichè nel presente studio è risultato che le

Fig. 5 — Variazioni delle percentuali di frequenza cumulative delle principali specie o gruppi di specie identificate nelle due carote 41 e 30 rispettivamente dell'Area 4 e dell'Area 3 a Cobblestone, contenenti i sapropel S-9, S-8, S-7, S-6, S-5. 1 = *A. minimus*; 2 = *E. tumidulus*; 3 = *A. tubulosa*; 4 = *G. neosoldanii* + *G. delicata*; 5 = *F. complanata* + *F. cf. mexicana*; 6 = *M. subrotunda*; 7 = *Fissurina* spp. + *Oolina* spp. + *Parafissurina* spp.; 8 = *Bolivina* spp. + *Brizalina* spp.; 9 = *E. vitrea*; 10 = *B. exilis* + *C. tenuis* + *Ellipsopolymorphina fragilis*; 11 = *Eggerella bradyi* + *Karrerella bradyi*; 12 = Miliolidi (esemplari giovanili + altre specie); 13 = *Cassidulina* spp.; 14 = rotaliformi di piccole dimensioni: *Asterigerina* spp. + *Asterigerinata* spp. + *G. praegeri* + *Glabratella* spp. + *H. rhodiensis* + *C. pseudoungerianus* + *Nonion* spp. + *N. turgida* + *P. corrugata* + *P. conica* + *Protoelphidium* sp. + *Pullenia* spp. + *Rosalina* spp. + *S. reticulata* + *Spirillina* spp. + *Elphidium* spp. + altre specie di rotaliformi; 15 = tutte le altre specie, tra cui *E. artica*, *Lagena* spp., *Bulimina* spp., *Chilostomella* spp., *Dentalina* spp., *Lenticulina* spp. e *R. translucens*. La colonna all'estrema destra indica le zone climatiche di Ericson & Wollin (1968).

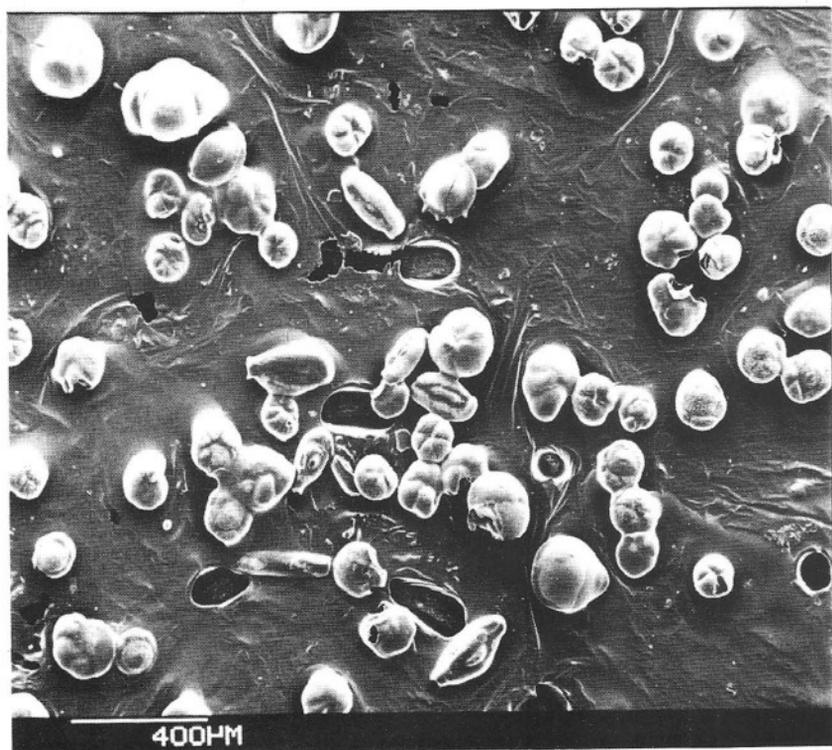


Fig. 6 – Associazione bentonica di transizione propria del livello immediatamente precedente il sapropel S-6 (95 cm dal top della sezione). Si riconoscono *A. minimus*, *E. tumidulus*, *E. vitrea*, *A. tubulosa*, *E. bradyi*, *G. neosoldanii*, e *P. lateralis*.

specie dominanti non sono quasi mai più di tre (1).

La variazione della composizione dell'associazione bentonica attraverso i sapropel considerati, riflette l'andamento della densità e della diversità precedentemente illustrate; si delineano così abbastanza chiaramente da una parte alcuni tipi di associazioni ricorrenti periodicamente lungo la colonna stratigrafica, e dall'altra un'associazione molto particolare che si ritrova in condizioni del tutto peculiari all'interno del sapropel S-6.

I principali tipi di associazione faunistica riconosciuti sono:

- a) associazioni di transizione proprie di sedimenti che precedono o immediatamente seguono i sapropel o che sono intercalati in essi;
- b) associazioni tipiche di alcuni livelli sapropelitici non privi di benthos;

(1) Nei campioni (all'interno dei sapropel) in cui il numero totale degli esemplari è inferiore a 10, i valori dell'abbondanza relativa delle singole specie o gruppi di specie e di conseguenza del grado di specializzazione sono molto elevati e non confrontabili con i valori ottenuti per i campioni più ricchi di benthos. Per questo le curve dell'abbondanza relativa e del grado di specializzazione sono tratteggiate in corrispondenza di questi campioni.

c) associazioni normali, proprie di sedimenti ben ossigenati, lontani dai sapropel.

a) Le associazioni di transizione sono specializzate o molto specializzate, costituite da due, tre, o talvolta solo da una delle seguenti specie: *A. minimus*, *E. tumidulus*, *A. tubulosa*, *Gyroidina neosoldanii* e più raramente *Miliolinella subrotunda*, *Epistominella vitrea*, *Eggerella bradyi*.

In particolare, nei sedimenti di transizione al di sotto, ma ancor più chiaramente al di sopra del sapropel S-9, *A. tubulosa* domina l'associazione con valori che variano da 68,18% a 81,54%. Per quanto riguarda gli altri sapropel invece, si osserva un arricchimento soprattutto in *A. minimus* e *E. tumidulus* (sopra S-8 e sopra S-7), che a loro volta possono essere associate a *G. neosoldanii*, *E. vitrea*, *M. subrotunda*, *E. bradyi*.

Degna di nota è la fauna di transizione del sapropel S-6, che è straordinariamente densa con picchi di densità che variano da 683,03 a 1736,90 Foraminiferi per grammo di sedimento. L'associazione che precede tale stagnazione (95 cm dal top della sezione) è caratterizzata per l'82% da *A. minimus*, *E. tumidulus*, *E. vitrea* (Fig. 6); il resto è rappresentato da *G. neosoldanii* (4,59%) ed *Eggerella bradyi* (3,36%) (1) e per il rimanente 10% da più di 60 specie, tutte molto rare, con percentuali inferiori all'1% (2).

Tipicamente di transizione e ricolonizzatrici sono le faune intercalate nel sapropel S-6, presenti cioè nelle due lamine marnose che separano le tre sub-unità sapropelitiche. Nella prima lamina l'associazione molto specializzata (il grado di specializzazione è di 90,24%) è dominata da *E. tumidulus* e *A. minimus* ma con sostituzione di *E. vitrea* da parte di *A. tubulosa* (40%). Il rimanente 10% della fauna è costituito da *G. neosoldanii* (3,73%) e da poche altre specie appartenenti ai generi *Cassidulina*, *Cassidulinoidea*, *Chilostomella*, *Fissurina*, *Rosalina*. Nella seconda lamina la fauna è ancora molto specializzata (il grado di specializzazione è di 85%) ma è dominata oltre che da *E. tumidulus* e *A. minimus*, anche da *G. neosoldanii* (26,70%) che in questo livello sostituisce *A. tubulosa*, la cui percentuale di frequenza è inferiore all'1%. Il rimanente 15% del-

(1) *Eggerella bradyi*, come anche *Karriella bradyi* e altre forme molto più rare che fanno passaggio verso questa specie, ha un guscio molto sottile e molto perforato (Tav. 16, fig. 4, 5) probabilmente costituito solo da materiale carbonatico agglutinato. È interessante notare come tali forme siano presenti quasi esclusivamente nei sedimenti di transizione sopra S-7, sotto e sopra S-6; sotto S-5 si è notato un esemplare soltanto di *Eggerella bradyi*, che manca poi totalmente nei livelli soprastanti, anche in prossimità del sapropel S-1 (Vismara Schilling, 1984). Bizon & Bizon (1984) affermano che *E. bradyi* e *K. bradyi* sono totalmente scomparse dal Mediterraneo dopo l'ultima glaciazione.

(2) *Epistominella vitrea* è abbondante solo in questo campione sotto il sapropel S-6, costituendo da sola il 25% dell'associazione; lungo la colonna stratigrafica compare infatti molto raramente e in percentuali inferiori all'1%. È stata istituita da Parker (1953) su esemplari provenienti dalla parte centrale del Golfo del Messico, al largo del delta del Mississippi, a 17 m di profondità; anche Phleger (1960) la considera di habitat marino deltizio. È inoltre vivente nel Canale di Leme nel Nord Adriatico (Daniels, 1970) con salinità intorno a 35-37‰. Alavi (1980) la ritrova comunemente nel Bacino della Cilicia, in sedimenti fangosi di piattaforma. Non è noto se si tratti di una specie epifita.

la popolazione bentonica é costituito da *Ellipsopolymorphina fragilis* (7,61%) e *Cassidulinoides tenuis* (1,84%) ben rappresentate nelle ultime due subunità di tale sapropel, da *Fissurina fasciata* (1,33%) e da poche altre specie appartenenti ai generi *Bolivina*, *Cassidulina*, *Rosalina*.

Infine i livelli di transizione al di sopra di S-6 contengono dapprima (campione 59) un'associazione molto simile a quella descritta per la seconda lamina marnosa intercalata (dominata cioè da *E. tumidulus*, *A. minimus*, *G. neosoldanii* con alto valore del grado di specializzazione (83,39%) e con qualche esemplare di *C. tenuis* e *Chilostomella ovoidea*); successivamente nel campione a 52 cm la fauna diventa densissima, con 1473 foraminiferi per grammo di sedimento, costituita per il 95,16% da *E. tumidulus*, *A. minimus*, *A. tubulosa* (Fig. 7). *A. tubulosa* (33,67%) in questo campione sostituisce *G. neosoldanii* (1,09%). Gli altri taxa che compongono il rimanente 5% dell'associazione sono circa 30 e appartengono ai generi *Bulimina*, *Cassidulina*, *Chilostomella*, *Cassidulinoides*, *Ellipsopolymorphina*, *Eggerella*, *Oolina*, *Parafissurina*.



Fig. 7 – Associazione bentonica di transizione propria del livello a 7 cm al di sopra del sapropel S-6 (52 cm dal top della sezione). Si riconoscono *A. minimus*, la cui ultima camera è molto fragile e appare spesso rotta o mancante, *E. tumidulus*, *A. tubulosa*, *G. neosoldanii*.

Dai dati esposti emerge quindi che le associazioni di transizione, che precludono alla deposizione dei sapropel, risentono ancora delle condizioni ben ossigenate precedenti e sono di conseguenza ancora molto diversificate, talora con specie anche non tipicamente di transizione come *M. subrotunda* e più raramente *Quinqueloculina* spp. Al contrario le associazioni che seguono i sapropel o che sono intercalate in essi, sono composte esclusivamente da specie che sono in grado di adattarsi meglio delle altre a tali particolari condizioni e di ricolonizzare l'ambiente, come appunto *E. tumidulus*, *A. minimus*, *A. tubulosa*, *G. neosoldanii*.

b) Nei sedimenti sapropelitici i Foraminiferi bentonici sono generalmente assenti (come in S-8, nella prima subunità del sapropel S-6 e in S-5); in altri livelli sono tuttavia presenti anche se in scarsa quantità; in altri ancora, come nelle due subunità superiori del sapropel S-6, sono abbondanti e rappresentati quasi esclusivamente da *B. exilis*, *C. tenuis*, *E. fragilis*. Generalmente i pochi esemplari che si ritrovano nei sapropel sono dei rotaliformi di piccolissime di-

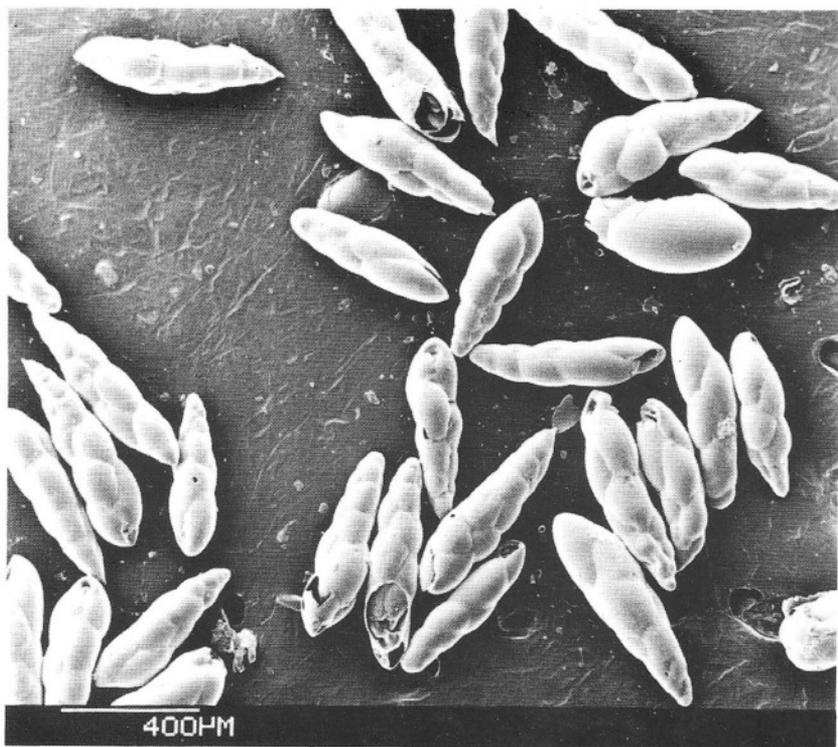


Fig. 8 — Associazione a *B. exilis*, *C. tenuis*, *E. fragilis*, tipica dell'episodio finale del sapropel S-6 corrispondente alla terza subunità sapropelitica. In questo campione (62 cm dal top della sezione) *B. exilis* rappresenta il 57,14% dell'associazione, *C. tenuis* il 30,61% e *E. fragilis* il 3,40%. Quest'ultima specie per la fragilità del guscio, appare spesso rotta come nel caso della figura.

mensioni (*Rosalina* spp., *Hanzawaia rhodiensis*, *Elphidium* spp., *Patellina corrugata*, *Asterigerinata* spp., *Asterigerina* spp., *Cassidulina* spp.) e/o rappresentanti dei generi *Bolivina* e *Brizalina*. Soltanto verso la sommità del sapropel S-7 sono presenti diversi esemplari di *E. tumidulus* e più raramente di *A. minimus*, ma la loro presenza è senz'altro imputabile alle bioturbazioni chiaramente visibili negli ultimi 7 cm di questo sapropel.

I rotaaliformi sopra citati appartengono per la maggior parte a forme epifite e la loro presenza nei sapropel potrebbe essere spiegata con il trasporto superficiale in mare aperto ad opera di fitoclasti vegetali (probabilmente frammenti di Alghe), che ben si conservano nei sedimenti sapropelatici. Ad avvalorare tale ipotesi si aggiunge l'osservazione di questi piccoli rotaaliformi nei sedimenti normali ben ossigenati, anche se in percentuali molto inferiori perchè diluiti nella normale fauna bentonica; diventano percentualmente più abbondanti solo all'interno dei sapropel per la scomparsa o la drastica riduzione della fauna bentonica autoctona. Per quanto riguarda le Bolivine e/o Brizaline, sembra più verosimile pensare a una loro probabile tolleranza a condizioni estreme (Boltovskoy & Wright, 1976).

L'associazione più particolare è quella riscontrata nel sapropel S-6, caratterizzata da *B. exilis*, *Cassidulinoidea tenuis*, *E. fragilis* (Fig. 8) e in minor abbondanza da *Fursenkoina* cf. *mexicana*. Tale associazione comincia a ritrovarsi sporadicamente (in percentuali inferiori all'1%) nella prima lamina biancastra intercalata, in cui si riscontrano i picchi di densità ad *A. tubulosa*, *E. tumidulus* e *A. minimus*. Diventa un po' più consistente nella seconda subunità sapropelitica (*E. fragilis* = 17,64%, *B. exilis* = 1,96%, *Fursenkoina* cf. *mexicana* = 13,72%); è ancora presente sebbene molto scarsa nella seconda lamina biancastra intercalata, in cui si registra nuovamente un picco di densità a *E. tumidulus*, *A. minimus* e *G. neosoldanii*. Infine, nella terza subunità sapropelitica, costituisce circa il 94% dell'intera popolazione bentonica: *B. exilis* rappresenta infatti in questo livello il 57,14%, *C. tenuis* il 30,61%, *E. fragilis* il 3,40% e *Fursenkoina* cf. *mexicana* il 2,72% (Tab. 3; Fig. 5). Queste specie diventano molto rare nei sedimenti soprastanti e poi rapidamente scompaiono. Un esemplare di *Fursenkoina* cf. *mexicana* è stato rinvenuto anche nel sapropel S-9.

La notevole presenza delle forme citate nell'ultima subunità del sapropel S-6, sembra indicare delle condizioni particolari, forse anche un po' più ossigenate per gli episodi finali di questo evento anossico; questo fatto differenzia nettamente il sapropel S-6 dagli altri presi in considerazione nel presente studio (vedere discussione).

c) Nelle associazioni normali che si incontrano lontano dai sapropel (soprattutto sopra S-8, tra S-7 e S-6, e tra S-6 e S-5), la densità diminuisce rispetto alle precedenti associazioni di transizione postsapropelitiche assumendo valori più vicini alla normalità; la diversità invece aumenta vistosamente

(Fig. 4) fino a raggiungere a volte i valori massimi nelle successive associazioni di transizione presapropelitiche.

Accanto alle due specie di piccole dimensioni *A. minimus* e *E. tumidulus* e ad *A. tubulosa*, che diminuiscono di frequenza pur rimanendo sempre abbondanti, si sviluppano soprattutto i Miliolidi e i Lagenidae (Fig. 5; Tab. 3). Tra i Miliolidi *M. subrotunda* raggiunge percentuali di frequenza che variano da 5,30% (tra S-7 e S-6) a 10,67% (tra S-6 e S-5) a 18,93% (prima di S-7). Il genere *Biloculinella* si differenzia in questi livelli nelle tre specie *B. cylindrica*, *B. globula*, *B. inflata*, con percentuali che non superano il 7% complessivamente. Il genere *Quinqueloculina* è ben rappresentato nei sedimenti normali, tra S-6 e S-5, soprattutto da *Q. padana* oltre che da *Q. oblonga* e *Quinqueloculina* spp. con percentuali che ammontano intorno al 7-10% complessivamente. Più rare sono le Triloculine, tra cui *T. lecalvezae*, *T. trigonula* e *Triloculina* spp. che non superano il 2%. *Ophthalmidium acutimargo* è pure associato a questi taxa, sebbene non molto abbondante: il valore massimo di 6,50% è stato osservato prima di S-7. Infine le Pyrgo (*P. depressa*, *P. lucernula*, *P. murrhyna*) sono molto rare in questi sedimenti e aumentano di poco (non superano il 2%) nei sedimenti di transizione presapropelitici.

Tra i Miliolidi menzionati, *M. subrotunda* e *Quinqueloculina* spp., si ritrovano, pur meno abbondanti, anche nelle successive associazioni anomale presapropelitiche; *Biloculinella* spp., *Pyrgoella sphaera* e *Triloculina* spp., sembrano invece più strettamente limitate agli intervalli più ossigenati.

Per quanto riguarda i Lagenidae, i generi *Fissurina*, fatta eccezione per *F. fasciata* presente per l'1,33% nella seconda lamina biancastra intercalata nel sapropel S-6, *Parafissurina*, *Oolina* e *Lagena* sono molto rari nei sedimenti di transizione postsapropelitici; sono ben rappresentati soprattutto nei livelli normali lontani dai sapropel, ma si ritrovano frequentemente anche nelle successive associazioni anomale presapropelitiche.

Degna di nota infine è la presenza di *Epistominella artica* (Tav. 17, fig. 15, 15a), in percentuali non superiori al 4%, nelle associazioni normali precedenti il sapropel S-5. Tale specie, istituita da Green (1960), è stata trovata fossile nell'Oceano Artico nei primi 3 m di diverse carote prelevate a profondità da 2000 a 3000 m (Lagoe, 1977). La sua presenza indicherebbe condizioni climatiche fredde, in accordo con l'andamento della curva climatica (Vergnaud-Grazzini et al., 1977) e con il segnale faunistico fornito dalla grande abbondanza in questi campioni (Grecchi, 1984) dello Pteropode *Limacina retroversa*, nota indicatrice climatica fredda.

Discussione.

I dati faunistici ottenuti ed opportunamente elaborati indicano chiaramente che l'associazione bentonica risente in modo determinante del deteriora-

mento delle condizioni al fondo, scomparendo per lo più durante tali periodi. Tuttavia la risposta della fauna non è così immediata come quella sedimentaria lungo le due carote esaminate, dove i sapropel si alternano ai sedimenti ossigenati con contatti netti, senza transizione; è in realtà più graduale e indica un progressivo cambiamento dell'ossigenazione al fondo. La deposizione dei sapropel rappresenta quindi solo una fase di un processo molto più lungo.

Inoltre l'analisi della densità, diversità, specializzazione e composizione delle associazioni faunistiche presenti negli intervalli contenenti i sapropel S-9, S-8, S-7, S-6, S-5, suggerisce caratteristiche diverse delle condizioni al fondo durante la deposizione di tali sedimenti nelle rispettive zone climatiche V (V', V''), W, e X (Fig. 4).

Densità faunistica.

La massima densità della fauna è stata osservata proprio attraverso il sapropel S-6, che si è depositato durante condizioni glaciali nello stadio isotopico 6 (Cita & Grignani, 1982; Cita et al., 1982; Thunell et al., 1983) ed è riferito alla base della zona W e a parte della Zona a *E. huxleyi* (Fig. 3). Lungo la colonna stratigrafica, i valori della densità sono sensibilmente inferiori anche in corrispondenza delle associazioni di transizione pre e postsapropelitiche. In particolare, attraverso il sapropel S-8 non si è notato un sensibile aumento della densità faunistica come invece ci si sarebbe aspettati, dato che la sua natura è simile a quella del sapropel S-6. Probabilmente l'influenza di diversi fattori, non ancora del tutto chiari, gioca un ruolo importante a questo riguardo. Per di più le due carote 30 e 41 sono ubicate in due aree geograficamente diverse che distano l'una dall'altra alcune centinaia di km e quindi il confronto fra queste carote è soltanto indiretto.

I dati quantitativi della densità non sono facilmente confrontabili con quelli riportati nei lavori precedenti sulle stagnazioni nel Mediterraneo orientale, avendo gli autori considerato soltanto la frazione di residuo superiore a 150μ (Parker, 1958) o a 105μ (Parisi & Cita, 1982); inoltre spesso non hanno preso in considerazione i sapropel più antichi (van der Zwaan, 1980; Mullineaux & Lohmann, 1981). Gli unici dati quantitativi confrontabili con quelli del presente studio, sono stati forniti da Cita & Podenzani (1980) per il sapropel S-5 nella carota RC9-185 (Fig. 2). Tali autori hanno riscontrato una fauna nettamente meno densa (BFN = 11,55) nei sedimenti che immediatamente precedono il sapropel S-5, non paragonabile quindi con i valori BFN di 147,07 e 88,15 ottenuti per gli stessi livelli nella carota 30 del presente lavoro. Probabilmente la produttività era più alta in questo luogo. E' tuttavia in accordo con Cita & Podenzani (1980) la drastica riduzione della fauna bentonica all'interno del sapropel e nei sedimenti normali successivi, nella zona climatica calda X.

Diversità e grado di specializzazione.

Le variazioni della diversità e del grado di specializzazione (Fig. 4) attraverso i sapropel considerati; mettono in evidenza come l'effetto più appariscente indotto dalle stagnazioni sia la drastica riduzione della diversificazione dell'associazione bentonica, a favore dello sviluppo di due o tre specie ricolonizzatrici e quindi a favore di una maggiore specializzazione faunistica. La curva della diversità in particolare, mostra dei picchi nelle associazioni di transizione presapropel S-7, presapropel S-6 e nelle associazioni normali prima di S-5, in un intervallo riferibile alla parte sommitale della sottozona V'' e alla zona climatica fredda W, in corrispondenza della base della Zona a *E. huxleyi* (Fig. 3). Al contrario, attraverso i sapropel più antichi S-9 e S-8, a cavallo del limite tra le due sottozone climatiche V' e V'' considerate calde nel loro complesso e riferibili alla parte sommitale della Zona a *G. oceanica*, i valori sono mediamente inferiori (Fig. 4).

Come per i Foraminiferi bentonici, anche il nannoplankton calcareo diventa molto più abbondante e diversificato proprio nella Zona a *E. huxleyi*, a partire dai livelli precedenti il sapropel S-7 fino a quelli precedenti il sapropel S-5, dalla parte sommitale della sottozona V'' per tutta la zona W (E. Erba, comunicazione personale, 1985).

Tutti questi dati dunque suggeriscono l'esistenza di acque più ricche di nutrienti e più ossigenate al fondo del Mediterraneo orientale durante periodi freddi. Tali osservazioni sembrano in accordo con quanto evidenziato nel Pacifico orientale da Berger (1984), che riscontra un aumento di produttività durante gli intervalli glaciali pleistocenici in seguito all'intensificarsi dell'upwelling costiero. Non sembrano accordarsi invece con i risultati ottenuti da Caralp (1984 b) per l'Atlantico nordorientale, dove la diversità e la densità dei Foraminiferi bentonici aumentano nei periodi caldi in relazione a un maggior apporto di nutrienti al fondo e diminuiscono negli stadi glaciali per la riduzione di tale apporto.

Il Mediterraneo orientale è tuttavia un bacino a circolazione ristretta e quindi difficilmente confrontabile con l'oceano. Per un mare di tal genere non sembra tanto determinante l'apporto di nutrienti di origine continentale attraverso i fiumi durante gli stadi interglaciali, quanto la possibilità che tali nutrienti e l'ossigeno arrivino al fondo per mezzo di un buon rimescolamento della massa d'acqua. Il fatto stesso che le ripetute stagnazioni del Mediterraneo orientale si siano verificate in massima parte negli stadi interglaciali caldi, conferma l'esistenza di una ridotta circolazione in questi periodi.

Composizione della fauna.

La composizione della fauna completa le informazioni ottenute dalla densità, diversità e grado di specializzazione, fornendo ulteriori indicazioni sulle

caratteristiche dell'ambiente al fondo e permettendo quindi di meglio tentare delle ricostruzioni paleoclimatiche e paleoecologiche.

Dall'analisi delle curve cumulative a sinistra della Fig. 5 si rileva come le due specie di piccole dimensioni *A. minimus* e *E. tumidulus* siano con *A. tubulosa* le più rappresentate lungo la colonna stratigrafica raggiungendo frequenze massime nelle associazioni di transizione che precedono, seguono o si intercalano nei sapropel. Tali specie, dunque, sono in grado di approfittare dell'aumentato apporto di nutrienti e della diminuzione di O_2 in un ambiente che si sta deteriorando, come pure di ricolonizzare il fondo subito dopo la deposizione del sapropel; diminuiscono di frequenza soltanto nei sedimenti normali, probabilmente per lo sviluppo di specie molto competitive appartenenti alle famiglie dei *Miliolidae* e/o *Lagenidae*. Esse cioè sembrano adattarsi facilmente a diverse condizioni ambientali anche difficili, dominando tutte le associazioni di transizione pre e postsapropelitiche, sia in condizioni climatiche calde (sottozona V' e V'') che fredde (zona W). L'unica differenza riscontrata è la loro enorme densità in corrispondenza della zona climatica fredda W, attraverso il sapropel S-6.

A. minimus, *E. tumidulus*, *A. tubulosa* si ritrovano comunemente nei fanghi profondi del Mediterraneo occidentale (Parisi, 1981; Bizon & Bizon, 1984) e spesso in associazioni oligotipiche anche in quelli del Mediterraneo orientale; la fauna ad *A. minimus* e *Glomospira charoides* è stata ritrovata infatti sia nel top della carota 30 qui studiata (Parisi et al., 1982) sia nei tops di altre carote prelevate nel Bacino Ionico (Massiotta et al., 1976), mentre la fauna ad *A. tubulosa* e *Quinqueloculina* spp. è stata rinvenuta nei tops di alcune carote dell'Area 4 a Cobblestone (Parisi et al., 1982). La fauna quasi oligotipica ad *A. minimus* caratterizza i sedimenti subito al di sopra del sapropel S-1 (Cita & Podenzani, 1980; Vismara Schilling, 1984).

I dati ottenuti dai sapropel più antichi (da S-11 a S-3) riportati da Parisi & Cita (1982) per la carota KS 09, non sono confrontabili in dettaglio con quelli del presente lavoro, perchè la frazione di residuo esaminata è più grossolana. Tuttavia studi in fase di elaborazione condotti sui sapropel dall'S-8 all'S-4 su frazioni di residuo superiore a 63μ (Zandini, 1985) confermano i risultati della presente ricerca.

La specie più significativa dal punto di vista ambientale sembra essere *Epistominella vitrea*, pure di piccole dimensioni (Tav. 17, fig. 9-11), ritrovata abbondante solo nell'associazione di transizione presapropel S-6. Tale specie, di habitat poco profondo, marino-deltizio (Parker, 1953; Phleger, 1960; Daniels, 1970; Alavi, 1980), indica una diminuzione di salinità delle acque avvenuta prima della deposizione di questo sapropel. Il ritrovamento di *E. vitrea* in grande abbondanza a più di 2800 m di profondità nella carota 30 potrebbe essere spiegato con un trasporto superficiale in mare aperto ad opera di fito-

clasti vegetali, assumendo che si tratti di una specie epifita. Purtroppo non esistono attualmente dati più precisi in proposito.

Tipicamente di transizione è da considerare *G. neosoldanii* che si trova associata ad *A. minimus* e *E. tumidulus* nelle faune di transizione attraverso il sapropel S-6 e in quella precedente il sapropel S-5, durante la zona climatica fredda W. In tali associazioni, in particolare in quelle intercalate nel sapropel S-6 e subito al di sopra di questo, si osserva una certa competitività per ricolonizzare l'ambiente tra *G. neosoldanii* e *A. tubulosa*; la presenza dell'una infatti sembra escludere quella dell'altra (Fig. 5; Tab. 3). A differenza di *A. minimus*, *E. tumidulus* e *A. tubulosa*, *G. neosoldanii* è molto rara nei sedimenti ben ossigenati lontani dai sapropel.

G. neosoldanii è una ben nota specie di transizione tra faune sapropelitiche e non sapropelitiche (Mullineaux & Lohmann, 1981; Katz & Thunell, 1984) ed è considerata tipica di acque poco ossigenate (Peypouquet & Elant, 1985); è inoltre caratteristica dei fondali profondi del Mediterraneo orientale (fauna a *G. neosoldanii* e *Gyroidina* spp. di Cita & Zocchi, 1978), in particolare del Bacino Levantino (Parker, 1958).

Per quanto riguarda la fauna sapropelitica, il sapropel S-6 con l'associazione a *B. exilis*, *C. tenuis*, *E. fragilis*, presente nella parte sommitale, si differenzia ancor più nettamente da tutti gli altri esaminati in questo studio. Tale associazione è infatti così caratteristica degli episodi finali di questa stagnazione, che il suo ritrovamento permette di fare delle correlazioni dirette e precise tra le carote del Mediterraneo orientale. Qualche sporadico ritrovamento di *B. exilis*, *C. tenuis*, *E. fragilis* è stato segnalato anche all'interno del sapropel S-8 (Parker, 1958), la cui natura si assume simile a quella del sapropel S-6.

I *Buliminidae* sono noti per la loro tolleranza a bassi livelli di O₂ (Bourdon, comunicazione personale, 1984). In particolare *B. exilis* è un importante costituente dei biotopi a bassissimo contenuto di O₂ nelle sezioni di Creta e della Sicilia del Pliocene inferiore (van der Zwaan, 1983); in queste sezioni scompare nel Pliocene superiore, dove viene sostituita da specie dei generi *Chilostomella* e *Globobulimina*. Attualmente è segnalata vivente in Mediterraneo nel Mar Egeo, in prossimità dello Stretto dei Dardanelli a 1587 m (Parker, 1958); è inoltre riportata nel Nord Atlantico tra 359 m e 2743 m (Parker, 1958) e nel Golfo del Messico a profondità abissali (Pflum & Frerichs, 1976). Caralp (1984 a) la segnala in zone di alta produttività dell'Atlantico nord-orientale a profondità comprese tra 2000 e 2600 m, a latitudini da subartiche a subtropicali, in depositi attuali, olocenici, glaciali (stadio isotopico 2) e interglaciali (stadio isotopico 5), in ambienti climatici diversi. Secondo tale autore il grande sviluppo di *B. exilis* non sarebbe tanto determinato dalla quantità di sostanza organica disponibile, quanto dalla scarsa evoluzione della stessa qualora raggiunga rapidamente il fondo.

La presenza dell'associazione a *B. exilis*, *C. tenuis*, *E. fragilis*, in particolare di *B. exilis*, indicherebbe dunque un ambiente poco ossigenato (con una concentrazione di ossigeno di $\div > 0,1$ ml/l, livello questo al di sotto del quale sopravvivono solo i batteri), ma con abbondante disponibilità di sostanza organica marina poco evoluta, dovuta all'aumento di produttività primaria.

Studi dettagliati sulle variazioni del tenore di CaCO_3 nei sapropel pleistocenici, effettuati da Cita et al. (1982) su varie carote delle Aree a Cobblestone e da Magnoni (1985) sulla carota 30, mettono in evidenza come il contenuto in carbonati all'interno dei sapropel S-3, S-5, S-7, S-9, sia generalmente inferiore alla media. E' invece superiore all'interno di S-6 e S-8, confermando così l'alta produttività in questi periodi di stagnazione realizzatisi durante condizioni climatiche fredde (zona W e picco freddo della sottozona V'). Durante gli eventi anossici «caldi» (van der Zwaan, 1980; Mullineaux & Lohmann, 1981; Parisi & Cita, 1982) la specie *B. exilis* (associata con *C. tenuis* ed *E. fragilis*) non si sviluppa anche se la concentrazione di ossigeno è minima. Sono segnalate occasionalmente (van der Zwaan, 1980; Mullineaux & Lohmann, 1981) solo specie esclusive di ambienti poco ossigenati, quali *Globobulimina affinis* e *Chilostomella mediterraneensis*.

Secondo l'ipotesi di Caralp (1984 a), sembrerebbe dunque che la sostanza organica che raggiunge il fondo durante gli eventi anossici corrispondenti a stadi interglaciali, sia molto evoluta dal punto di vista chimico o biologico e probabilmente in massima parte di origine continentale.

Riassumendo, tutti questi dati suggeriscono che il meccanismo di innesco della formazione del sapropel S-6 sia stato del tutto peculiare e sicuramente diverso da quelli ipotizzati per gli altri sapropel pleistocenici, confermando le affermazioni di Cita & Grignani (1982). E' molto verosimile anche quanto proposto da Thunell et al. (1983) sull'oceanografia del Mediterraneo durante la zona climatica fredda W, nello stadio glaciale 6; tali autori ipotizzano infatti che in questo stadio il livello del Mediterraneo fosse inferiore a quello del Mar Nero, per cui si sarebbe determinato un flusso d'acqua di tracimazione dal Mar Nero nel Mediterraneo. Tale flusso d'acqua meno densa avrebbe generato un consistente strato superficiale a bassa salinità ricco di nutrienti, che avrebbe a sua volta favorito l'enorme sviluppo di *Neogloboquadrina dutertrei* e l'abbondante produzione di sostanza organica marina; l'ossidazione di essa avrebbe gradualmente consumato tutto l'ossigeno in prossimità del fondo, determinando la deposizione del sapropel S-6 durante condizioni glaciali.

Per quanto riguarda la fauna bentonica normale ritrovata lontano dai sapropel, si è notato che essa assume valori più moderati di densità e di grado di specializzazione, in favore di una maggiore diversificazione. In questi sedimenti la fauna raggiunge infatti un maggior equilibrio con l'ambiente divenuto più stabile, e si diversifica maggiormente. Questa maggiore diversificazione dovuta

soprattutto allo sviluppo dei *Miliolidae*, è in accordo con quanto evidenziato da Mullineaux & Lohmann (1981) in frazioni di residuo superiori a 150μ : anche questi autori considerano l'associazione a «*Miliolidae* assortiti» e *Quinqueloculina* spp., tipica di sedimenti normali lontani dai sapropel.

La diversità della fauna bentonica, illustrata dalle curve di Fig. 4, appare maggiore nei sedimenti normali dopo la deposizione del sapropel S-6, nella zona climatica fredda W, in accordo con quanto osservato (Vismara Schilling, 1984) in sedimenti normali depositi prima del sapropel S-1, nella zona climatica fredda Y. Al contrario, essa è molto minore nella zona climatica calda X, dopo la deposizione del sapropel S-5 e nella sottozona V', pure considerata calda, dopo il sapropel S-9.

Al di sopra del sapropel S-5 (fino a 12 cm) l'associazione permane molto scarsa e dominata da *A. minimus* e/o *A. tubulosa*; non si osservano né picchi di ripopolamento né lo sviluppo successivo della fauna normale.

La presenza di faune simili a queste sul fondo del Mediterraneo orientale attuale induce a ritenere che tale mare non abbia ancora raggiunto un regime di circolazione normale; si ritiene infatti che esso si trovi nella fase di transizione successiva all'evento anossico olocenico materializzato dal sapropel S-1, molto simile a quella che ha seguito la deposizione del sapropel S-5. Il recente ritrovamento, proprio nel Mediterraneo orientale di bacini anossici attuali (Scientific Staff, 1985), conferma tale supposizione.

Conclusioni.

I dati ottenuti dal presente studio dimostrano come le varie stagnazioni che si sono succedute nel Mediterraneo orientale negli ultimi 250.000 anni abbiano influito in modo determinante sulla microfauna bentonica per periodi di tempo ben superiori a quelli deducibili esclusivamente dallo spessore dei vari sapropel. Le associazioni di transizione pre e postsapropelitiche, dominate da *A. minimus*, *E. tumidulus*, *A. tubulosa* e/o *G. neosoldanii*, *E. vitrea*, *E. bradyi*, *M. subrotunda*, sono un chiaro esempio della gradualità sia della messa in atto che della fine di questi eventi e di conseguenza degli ampi intervalli di tempo in cui la circolazione del Mediterraneo orientale è stata ripetutamente sconvolta. In particolare, assumendo che la carota 30 abbia avuto la stessa velocità di sedimentazione della carota 29 di riferimento per l'Area 3 (3,2 cm/1000 anni) e che la carota 41 abbia avuto la stessa velocità di sedimentazione della carota 45 di riferimento per l'Area 4 (5,5 cm/1000 anni), calcolate da Cita et al. (1982) e che tali velocità siano rimaste costanti, si è potuta valutare approssimativamente la durata globale di ciascun periodo di circolazione ridotta: i limiti che segneranno l'inizio e la fine di tali eventi sono stati posti al di sotto del primo campione con fauna di transizione presapropelitica e al di sopra dell'ultimo cam-

pione con fauna anomala postsapropelitica, a metà distanza dal campione con fauna normale rispettivamente precedente e successivo (Fig. 9). Il limite superiore dell'evento anossico rappresentato dal sapropel S-7 e quello inferiore dell'evento anossico materializzato dal sapropel S-6 non sono molto precisi a causa della campionatura più distanziata effettuata in corrispondenza di questo intervallo. Per il sapropel S-5 inoltre non si è potuto ubicare con precisione il limite superiore, in quanto tutti i campioni al di sopra di questo sapropel contengono fauna anomala.

Nella Fig. 9 sono indicate la durata approssimativa in migliaia di anni della sola deposizione dei sapropel considerati e la durata reale presunta di ciascuna stagnazione corrispondente. Per il sapropel S-6 si sono ottenuti valori molto elevati che andrebbero opportunamente corretti, tenendo conto dell'elevata velocità di sedimentazione durante questo evento anossico.

La durata effettiva dei vari periodi di ridotta ossigenazione al fondo risulta circa doppia della durata della sola deposizione dei livelli sapropelitici corrispondenti. Sembra inoltre, escludendo il sapropel S-6 per le ragioni sopra esposte, che l'evento anossico di minor durata sia rappresentato dal sapropel S-8 (~ 4.100 anni) riferibile al picco freddo della sottozona V'', mentre quelli di maggior durata siano materializzati dai sapropel S-7 (~ 12.200 anni) e S-5 (> 9.500 anni), riferibili a condizioni climatiche calde rispettivamente della sottozona V'' e della zona X. Il ripristinarsi di condizioni di circolazione normale dopo condizioni di stagnazione avviene più lentamente; ciò risulta particolarmente in corrispondenza del sapropel S-5, al di sopra del quale non si ha evidenza di una ripresa faunistica normale per un periodo di tempo non inferiore a 4.100 anni.

Questo studio ha permesso inoltre di ottenere alcune conclusioni di carattere paleoecologico e paleoceanografico:

a) negli ambienti a basso contenuto di ossigeno, come quelli di transizione pre e postsapropelitici (con una concentrazione di ossigeno compresa probabilmente tra 0,3 e 0,5 ml/l), la scarsità di ossigeno non appare un fattore limitante per la fauna bentonica; anzi gli esemplari molto abbondanti, di piccole dimensioni, con guscio sottile e appartenenti a poche specie (*A. minimus* e *E. tumidulus* soprattutto) sono caratteristici di questi ambienti;

b) secondo Phleger & Soutar (1973) specie con esemplari di piccole dimensioni sono legate alla rapida riproduzione in condizioni ottimali, caratterizzate dall'abbondanza di nutrienti. Esperimenti di Bradshaw (1961) dimostrano infatti come i Foraminiferi cresciuti a temperatura moderata e con quantità illimitata di cibo, si riproducano più rapidamente e abbiano dimensioni più piccole di quelli cresciuti in condizioni meno favorevoli. Quindi il singolare sviluppo di specie di piccole dimensioni viene considerato come un particolare adattamento competitivo in questi ambienti, ove vi è abbondanza di cibo, ma scarsità di ossigeno. La biomassa totale infatti, anche di alcune migliaia di Foraminiferi

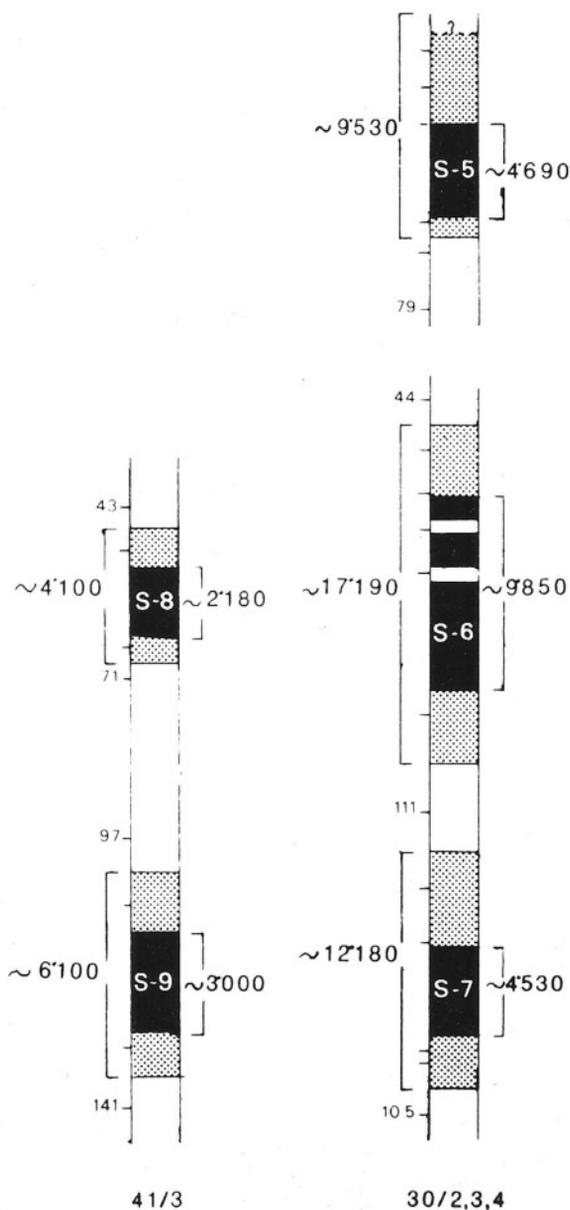


Fig. 9— Schema approssimativo della durata globale dei vari eventi anossici e della durata della sola deposizione dei livelli sapropelitici corrispondenti. I valori sono espressi in migliaia di anni.

bentonici, è piccola e richiede soltanto minimi quantitativi di O_2 per il metabolismo (Bradshaw, 1961);

c) all'interno dei sapropel la fauna bentonica è generalmente assente, perchè la concentrazione di O_2 scende al di sotto di 0,1 ml/l. Soltanto nella subunità superiore del sapropel S-6, probabilmente per un aumento di O_2 , si sviluppa la specie *B. exilis* indicatrice di grande produttività;

d) la densità delle faune di transizione attraverso il sapropel S-6, molto superiore a quella delle faune corrispondenti per gli altri sapropel considerati, mette pure in evidenza differenze di produttività superficiale in relazione al diverso apporto di nutrienti. I nutrienti di origine continentale, immessi nel Mediterraneo orientale dall'acqua di fusione dei ghiacci durante gli stadi interglaciali (stadi 7 e 5), non sembrano determinare un aumento di produttività e quindi di sostanza organica marina in prossimità del fondo, paragonabile a quello verificatosi in corrispondenza dell'immissione nel Mediterraneo dell'acqua del Mar Nero durante lo stadio glaciale 6;

e) la deposizione del sapropel S-6 è chiaramente dovuta al grande aumento di produttività, mentre per gli altri sapropel considerati, S-9, S-7, S-5, l'aumento di produttività non sembra tale da poterne causare da solo la formazione; essi sono piuttosto riconducibili alla stratificazione termalina della colonna d'acqua, verificatasi ripetutamente nel Mediterraneo orientale durante gli stadi interglaciali;

f) per il sapropel S-8 infine si assume un meccanismo di formazione simile a quello ipotizzato per il sapropel S-6, riconducibile quindi a un aumento di produttività ma di minori proporzioni; va tenuto conto infatti che il sapropel S-8 coincide con l'interstadio freddo (7d) dello stadio caldo 7, mentre il sapropel S-6 corrisponde allo stadio glaciale 6.

APPENDICE

Riferimenti tassonomici delle specie bentoniche identificate

- Anomalinoides minimus* Vismara Schilling & Parisi, 1981. Vismara Schilling & Parisi, 1981, p. 284, tav. 23,24.
- Articulina tubulosa* (Seguenza, 1862) (= *Quinqueloculina tubulosa* Seguenza). Parker, 1958, p. 255, tav. 1, fig. 12, 13.
- Astacolus crepidulus* (Fichtel & Moll, 1798) (= *Nautilus crepidulus* Fichtel & Moll). Barker, 1960, tav. 67, fig. 20.
- Asterigerina* spp.
- Asterigerinata* sp. aff. *A. mamilla* (Williamson, 1858) (= *Rotalina mamilla* Williamson). Parker, 1958, p. 264, tav. 3, fig. 5, 6.
- Asterigerinata* sp. 1.
- Asterigerinata* spp.
- Bilocolinella cylindrica* (Egger, 1895) (= *Miliolina cylindrica* Egger). Ellis & Messina, 1940, v. 29.

- Biloculinella globula* (Borneman, 1855) (= *Biloculina globula* Borneman). Alavi, 1980, p. 30, tav. 11, fig. 10.
- Biloculinella inflata* (Wright, 1902) (= *Biloculinella inflata* Wright). Ellis & Messina, 1940, v. 4.
- Bolivina* sp. aff. *B. albatrossi* Cushman, 1922. Parker, 1958, p. 259, tav. 2, fig. 3, 4.
- Bolivina* sp. aff. *B. compacta* Sidebottom, 1905. Alavi, 1980, p. 42, tav. 24, fig. 12; tav. 25, fig. 2, 4.
- Bolivina difformis* (Williamson, 1858) (= *Textularia variabilis* Williamson). Parker, 1958, p. 260, tav. 2, fig. 9.
- Bolivina* sp. aff. *B. dilatata* Reuss, 1850. AGIP, 1982, tav. 29, fig. 9.
- Bolivina pseudoplicata* Heron-Allen & Earland, 1930. Alavi, 1980, p. 43, tav. 25, fig. 6; tav. 26, fig. 4.
- Bolivina* spp.
- Brizalina* sp. 1
- Brizalina* spp.
- Bulimina* sp. aff. *B. aculeata* d'Orbigny, 1826. Alavi, 1980, p. 45, tav. 21, fig. 7.
- Bulimina costata* d'Orbigny, 1826. Alavi, 1980, p. 45, tav. 23, fig. 1; tav. 24, fig. 5.
- Bulimina exilis* Brady, 1884 (= *Bulimina elegans* d'Orbigny var. *exilis* Brady). Parker, 1958, p. 261, tav. 2, fig. 29.
- Bulimina* spp.
- Cassidulina carinata* Silvestri, 1896 (= *Cassidulina laevigata* d'Orbigny var. *carinata* Silvestri). Parker, 1958, p. 271, tav. 4, fig. 15.
- Cassidulina* sp. aff. *C. crassa* d'Orbigny, 1839. Parker, 1958, p. 271, tav. 4, fig. 12.
- Cassidulina laevigata* d'Orbigny, 1826. AGIP, 1982, tav. 43, fig. 5.
- Cassidulina subglobosa* Brady, 1881. Alavi, 1980, p. 71, tav. 36, fig. 4; tav. 37, fig. 4.
- Cassidulina* spp.
- Cassidulinoides tenuis* Phleger & Parker, 1951. Parker, 1958, p. 272, tav. 4, fig. 18, 19.
- Chilostomella elongata* Lagoe, 1977. Lagoe, 1977, pp. 127–128, tav. 5, fig. 8, 9.
- Chilostomella ovoidea* Reuss, 1850. Ellis & Messina, 1940, v. 7.
- Cibicidoides pseudoungerianus* (Cushman, 1922) (= *Truncatulina pseudoungeriana* Cushman). AGIP, 1982, tav. 52, fig. 1.
- Cyclogira involvens* (Reuss, 1850) (= *Operculina involvens* Reuss). Alavi, 1980, p. 12, tav. 11, fig. 1.
- Dentalina inflexa* (Reuss, 1866) (= *Nodosaria inflexa* Reuss). AGIP, 1982, tav. 13, fig. 4.
- Dentalina* sp. aff. *D. leguminiformis* (Batsch, 1791) (= *Nautilus leguminiformis* Batsch). AGIP, 1982, tav. 13, fig. 13, 13bis.
- Eggerella bradyi* (Cushman, 1911) (= *Verneuilina bradyi* Cushman). Parker, 1958, p. 255, tav. 1, fig. 8.
- Ellipsopolymorphina fragilis* Parisi, 1985 (= *Globobulimina* sp. Parker, 1958). Parisi, 1985, p. 426, tav. 26, 27.
- Elphidium* spp.
- Epistominella artica* Green, 1960. Lagoe, 1977, p. 126, tav. 4, fig. 14–16.
- Epistominella vitrea* Parker, 1953. Alavi, 1980, p. 49, tav. 27, fig. 4–7.
- Eponides tumidulus* (Brady, 1884) (= *Truncatulina tumidulus* Brady). Pflum et al., 1976, tav. 2, fig. 4, 5.
- Fissurina annectens* (Burrows & Holland, 1895) (= *Lagena annectens* Burrows & Holland). Buchner, 1940, p. 482, tav. 15, fig. 279–293.
- Fissurina castanea* (Flint, 1899) (= *Lagena castanea* Flint). Buchner, 1940, p. 496, tav. 18, fig. 368–373.
- Fissurina clathrata* (Brady, 1884) (= *Lagena clathrata* Brady). Buchner, 1940, p. 485, tav. 16, fig. 303–309.
- Fissurina cucullata* Silvestri, 1902. Buchner, 1940, p. 455, tav. 9, fig. 139–140.
- Fissurina diaphana* (Buchner, 1940) (= *Lagena diaphana* Buchner). Buchner, 1940, p. 480, tav. 14, fig. 266–271.

- Fissurina fasciata* (Egger, 1857) (= *Oolina fasciata* Egger). Buchner, 1940, p. 479, tav. 14, fig. 262–265.
- Fissurina foliformis* (Buchner, 1940) (= *Lagena foliformis* Buchner). Buchner, 1940, p. 454, tav. 8, fig. 128–132.
- Fissurina marginata* (Walker & Boys, 1784) (= *Serpula marginata* Walker & Boys). Buchner, 1940, p. 509, tav. 21, fig. 426, 427.
- Fissurina neptuni* Buchner, 1940. Buchner, 1940, p. 484, tav. 15, fig. 294–296.
- Fissurina* sp. aff. *F. nummiformis* (Buchner, 1940) (= *Lagena nummiformis* Buchner). Buchner, 1940, p. 457, tav. 8, fig. 135, 138.
- Fissurina orbignyana* Seguenza, 1862. Buchner, 1940, p. 504, tav. 20, fig. 410–412.
- Fissurina pseudoorbignyana* (Buchner, 1940) (= *Lagena pseudoorbignyana* Buchner). Buchner, 1940, p. 460, tav. 10, fig. 157–160.
- Fissurina trigono-orbignyana* (Balkwill & Millet, 1884) (= *Lagena trigono-orbignyana* Balkwill & Millet). Poignant, 1984, p. 508, tav. 4, fig. 9, 10.
- Fissurina* sp. 1.
- Fissurina* spp.
- Fursenkoina complanata* (Egger, 1893) (= *Virgulina complanata* Egger). Parker, 1958, p. 272, tav. 4, fig. 20.
- Fursenkoina* sp. aff. *F. mexicana* (Cushman, 1922) (= *Virgulina mexicana* Cushman). Parker, 1958, p. 272, tav. 4, fig. 26, 27.
- Fursenkoina* spp.
- Gavelinopsis praegeri* (Heron–Allen & Earland, 1913) (= *Discorbina praegeri* Heron–Allen & Earland). Parker, 1958, p. 264, tav. 3, fig. 24, 25.
- Glabrata* spp.
- Glandulina* sp. aff. *G. laevigata* (d'Orbigny, 1826) (= *Nodosaria laevigata* d'Orbigny). Ellis & Messina, 1940, v. 31.
- Globobulimina* sp. aff. *G. affinis* (d'Orbigny, 1839) (= *Bulimina affinis* d'Orbigny). Parker, 1958, p. 262, tav. 2, fig. 24, 25.
- Gyroidina delicata* Parker, 1958. Parker, 1958, p. 265, tav. 3, fig. 7–9.
- Gyroidina neosoldanii* Brotzen, 1936. Alavi, 1980, tav. 39, fig. 6, 7; tav. 40, fig. 1, 7; tav. 41, fig. 12.
- Gyroidina quinqueloba* Uchio, 1960. Ellis & Messina, 1940, v. 22.
- Hanzawaia rhodiensis* (Terquem, 1878) (= *Truncatulina rhodiensis* Terquem). Parker, 1958, p. 267, tav. 3, fig. 21–23.
- Karrerella bradyi* (Cushman, 1911) (= *Gaudryina bradyi* Cushman). Barker, 1960, tav. 46, fig. 1–4.
- Lagena laevis* (Montagu, 1803) (= *Vermiculum laevis* Montagu). Buchner, 1940, p. 418, tav. 3, fig. 34–46.
- Lagena nebulosa* (Cushman, 1923) (= *Lagena laevis* (Montagu) var. *nebulosa* Cushman). Buchner, 1940, p. 421, tav. 2, fig. 31, 32.
- Lagena* spp.
- Lenticulina* sp. aff. *L. cultrata* (de Monfort, 1808) (= *Robulus cultratus* de Monfort). AGIP, 1982, tav. 9, fig. 7.
- Lenticulina peregrina* (Schwager, 1866) (= *Cristellaria peregrina* Schwager). AGIP, 1982, tav. 11, fig. 2.
- Lenticulina* spp.
- Miliolidi (forme giovanili + altri generi).
- Miliolinella subrotunda* (Montagu, 1803) (= *Vermiculum subrotundum* Montagu). Alavi, 1980, tav. 15, fig. 1.
- Miliolinella* spp.
- Nonion* sp. 1.
- Nonion* spp.

- Oolina acuticosta* (Reuss, 1862) (= *Lagena acuticosta* Reuss). Buchner, 1940, p. 429, tav. 4, fig. 68, 69.
- Oolina pseudoglobosa* (Buchner, 1940) (= *Lagena pseudoglobosa* Buchner). Buchner, 1940, p. 463, tav. 11, fig. 167–172.
- Oolina* spp.
- Ophthalmidium acutumargo* (Brady, 1884) (= *Spiroloculina acutumargo* Brady). Loeblich & Tappan, 1964, p. 448, fig. 340, 2.
- Parafissurina felsina* (Fornasini, 1891) (= *Lagena* cfr. *ovum* Ehrenberg, Fornasini). Buchner, 1940, p. 528, tav. 26, fig. 546, 547.
- Parafissurina fornasinii* (Buchner, 1940) (= *Lagena fornasinii* Buchner). Buchner, 1940, p. 529, tav. 26, fig. 548, 549.
- Parafissurina inaequilateralis* (Wright, 1886) (= *Lagena marginata* (Walker & Boys) var. *inaequilateralis* Wright). Buchner, 1940, p. 525, tav. 25, fig. 526–531.
- Parafissurina lateralis* (Cushman, 1913) (= *Lagena lateralis* Cushman). Buchner, 1940, p. 520, tav. 23, fig. 487, 503.
- Parafissurina staphyllearia* (Schwager, 1866) (= *Fissurina staphyllearia* Schwager). Buchner, 1940, p. 523, tav. 24, fig. 507–521.
- Parafissurina* spp.
- Patellina corrugata* Williamson, 1858. AGIP, 1982, tav. 38, fig. 6.
- Patellinoides conica* (Heron–Allen & Earland, 1932) (= *Patellina conica* Heron–Allen & Earland). Loeblich & Tappan, 1964, p. 604, fig. 477, 2, 3.
- Protoelphidium* sp.
- Pullenia quinqueloba* (Reuss, 1851) (= *Nonionina quinqueloba* Reuss). Parker, 1958, p. 273, tav. 4, fig. 32, 33.
- Pullenia* sp. aff. *P. riveroi* Bermudez, 1939. Parker, 1958, p. 273, tav. 4, fig. 31.
- Pyrgo depressa* (d'Orbigny, 1826) (= *Biloculina depressa* d'Orbigny). Barker, 1960, tav. 2, fig. 12, 16, 17.
- Pyrgo lucernula* (Schwager, 1866) (= *Biloculina lucernula* Schwager). Parker, 1958, p. 256, tav. 1, fig. 15.
- Pyrgo murrhyna* (Schwager, 1866) (= *Biloculina murrhyna* Schwager). Barker, 1960, tav. 2, fig. 10, 11, 15.
- Pyrgoella sphaera* (d'Orbigny, 1826) (= *Biloculina sphaera* d'Orbigny). Barker, 1960, tav. 2, fig. 4.
- Quinqueloculina bosci* d'Orbigny, 1839. Alavi, 1980, tav. 11, fig. 9.
- Quinqueloculina oblonga* (Montagu, 1803) (= *Vermiculum oblonga* Montagu). AGIP, 1982, tav. 6, fig. 3.
- Quinqueloculina padana* Perconig, 1954. AGIP, 1982, tav. 6, fig. 4.
- Quinqueloculina stelligera* Schlumberger, 1893. Ellis & Messina, 1940, v. 43.
- Quinqueloculina* spp.
- Robertina translucens* Cushman & Parker, 1936. Parker, 1958, p. 263, tav. 2, fig. 34.
- Rosalina bradyi* (Cushman, 1915) (= *Discorbis globularis* d'Orbigny var. *bradyi* Cushman). Barker, 1960, tav. 56, fig. 8.
- Rosalina inflata* (Hornibrook, 1961) (= *Semirosalina inflata* Hornibrook). Loeblich & Tappan, 1964, p. 586, fig. 406, 1.
- Rosalina* sp. 1.
- Rotaliformi (vari generi).
- Spirillina vivipara* Ehrenberg, 1841. Parker, 1958, p. 264, tav. 3, fig. 4.
- Spirillina* spp.
- Spiroloculina canaliculata* d'Orbigny, 1846. Parker, 1958, p. 257, tav. 1, fig. 26–28.
- Spiroloculina grata* Terquem, 1878. Parker, 1958, p. 257, tav. 1, fig. 31.
- Trifarina* sp.
- Triloculina lecalvezae* Kaascheiter, 1961. Mullineaux & Lohmann, 1981, tav. 1, fig. 11, 12.

- Triloculina trigonula* (Lamarck, 1822) (= *Miliolites trigonula* Lamarck). Barker, 1960, tav. 3, fig. 15, 16.
- Triloculina* spp.
- Wiesnerella auriculata* (Egger, 1893) (= *Planispirina auriculata* Egger). Alavi, 1980, p. 14, tav. 11, fig. 2.

Ringraziamenti.

L'autore ringrazia sentitamente la prof. M.B. Cita per averle affidato i campioni raccolti nell'estate 1978 con la nave oceanografica Eastward in una crociera italo-americana finanziata dal CNR attraverso il contratto 78.01878 a M.B. Cita, come pure per gli utili suggerimenti; la prof. I. Premoli Silva per le stimolanti discussioni sui Foraminiferi bentonici associati ai sapropel; la dr. E. Parisi per aver messo gentilmente a disposizione la collezione di Foraminiferi bentonici istituita con riferimento a quella creata dalla prof. Moncharmont Zei dell'Università di Napoli, per i Foraminiferi bentonici del Mediterraneo.

Il manoscritto è stato criticamente rivisto dai prof. M.B. Cita, I. Premoli Silva e C. Rossi Ronchetti.

Le figure, le tabelle e le tavole sono state realizzate con la valida collaborazione di S. Antico, G. Chiodi e A. Rizzi.

La ricerca é stata finanziata con i fondi M.P.I. 40%, Resp. Prof. M. B. Cita.

BIBLIOGRAFIA

- Agip Mineraria (1982) - Foraminiferi padani (Terziario e Quaternario). Op. di 52 tav., Milano.
- Alavi S.N. (1980) - Micropaleontological studies of Recent sediments from the Cilicia Basin (N.E. Mediterranean). Thesis University of London, London.
- Balkwill F.P. & Millet T.F. (1884) - The Foraminifera of Galway. *Jour. Micr. Nat. Sci.*, v. 3, pp. 19-28, 78-90, 4 tav., London.
- Barker R.W. (1960) - Taxonomic notes on the species figured by H.B. Brady in his report on the Foraminifera dredged by H.M.S. Challenger during the years 1873-1876. *Soc. Econ. Paleont. Min.*, Spec. Publ., n. 7, pp. 1-238, 115 tav., Tulsa.
- Batsch A.J.G.C. (1791) - Sechs Kupfertafeln mit Conchylien des Seesandes, gezeichnet und gestochen von A.J.G.K. Batsch. 6 tav., Jena.
- Be' A.W.H. & Tolderlund D.S. (1971) - Distribution and ecology of living planktonic foraminifera in surface waters of the Atlantic and Indian Oceans. In B.H. Funnel & W.R. Riedel - *The Micropaleontology of Oceans*, pp. 105-149, London.
- Berger W.H. (1984) - The imprint of upwelling. *Science*, v. 223, pp. 1283-1284, Washington.
- Berggren W.A., Burckle L.H., Cita M.B., Cooke H.B.S., Funnel B.M., Gartner S., Hays J.D., Kennett J'P', Opdyke N.D., Pastouret L., Shackleton N.J. & Takayanagi Y. (1980) - Towards a Quaternary Time Scale. *Quaternary Res.*, v. 13, pp. 277-302, Washington.
- Bermudez P.J. (1939) - Resultados de la primera expedición en las Antillas del Ketch Atlantis bajo los auspicios de las Universidades de Harvard y Habana. *Soc. Cubana Historia Nat. Mem.*, a) v. 13, n. 1, pp. 9-12, 2 tav.; b) v. 13, n. 4, pp. 247-251, 33 tav., 1 fig., La Habana.
- Bizon G. & J.J. (1984) - Les Foraminifères des sédiments profonds. In *Ecologie des microorganismes en Méditerranée occidentale (ECOMED)*, Bizon J.J. & Burolet P.F. (Coordinat.), pp. 104-139, 12 tav., Paris.

- Blechs Schmidt G., Cita M.B., Mazzei R. & Salvatorini G. (1982) - Stratigraphy of the western Mediterranean and southern Calabrian Ridges, eastern Mediterranean. *Marine Micropaleont.*, v. 7, pp. 101–134, 4 tav., 10 fig., Amsterdam.
- Boltovskoy J.K. & Wright R. (1976) - Recent Foraminifera. V. di 115 pp., 17 tav., 133 fig., (W. Junk, Ed.), Baltimore.
- Borneman J.G. (1855) - Die Mikroskopische Fauna des Saptarienthones von Hermsdorf bei Berlin. *Zeit. Deut. Geol. Ges.*, v. 7, n. 2, pp. 1–349, 78 fig., Berlin.
- Bradshaw J.S. (1961) - Laboratory experiments on the ecology of foraminifera. *Cush. Found. Foram. Res., Contr.*, v. 12, pt. 3, pp. 87–106, 9 fig., 11 tab., Washington.
- Brady H.B. (1881) - Notes on some reticularian Rhizopoda of the Challenger Expedition. *Quart. Jour. Micro. Sci.*, n. s., v. 21, pp. 31–71, London.
- Brady H.B. (1884) - Report on the Foraminifera dredged by H.M.S. Challenger, during the years 1873–1876. Rept. Scient. Res. Explor. Voyage H.M.S. Challenger, Zoology, v. 9, pp. 1–814, 115 tav., London.
- Brotzen F. (1936) - Foraminifera aus dem schwedischen untersten Senon von Eriksdal in Schonen. *Sver. Geol. Undersök.*, s. C, v. 30, n. 3, n. 396, pp. 1–206, 14 tav., Stockholm.
- Buchner P. (1940) - Die Lagenen des Golfes von Neapel und der marinen Ablagerungen auf Ischia. *Nova Acta Leopoldina*, v. 9, n. 62, pp. 1–560, 29 tav., 642 fig., Halle.
- Burrows H.W. & Holland R. (1895) - In Jones T.R. (1895) - A monograph of the Foraminifera of the Crag. Part II. *Paleont. Soc. London, Monogr.*, pp. 73–210, 3 tav., London.
- Caralp M.H. (1984 a) - Impact de la matière organique dans les zones de forte productivité sur certains foraminifères benthiques. *Oceanologica Acta*, v. 7, n. 4, pp. 509–515, 4 fig., Paris.
- Caralp M.H. (1984 b) - Quaternary calcareous benthic foraminifera, Leg. 80. In Graciansky P.C., de Poag C.W. et al. - *Init. Repts. DSDP*, v. 80, pp. 725–755, 7 tav., 9 fig., Washington.
- Cita M.B., Broglia C., Malinverno A., Spezzi-Bottiani G., Tomadin L. & Violanti D. (1982) - Late Quaternary pelagic sedimentation in the southern Calabrian Ridge and western Mediterranean Ridge, Eastern Mediterranean. *Marine Micropaleont.*, v. 7, pp. 135–162, 14 fig., Amsterdam.
- Cita M.B. & Grignani D. (1982) - Nature and origin of Late Neogene Mediterranean sapropels. In Nature and origin of Cretaceous carbon-rich Facies, Schlanger S.S. & Cita M.B. (Eds.), pp. 165–196, 11 fig., Academic Press, London.
- Cita M.B. & Podenzani M. (1980) - Destructive effects of oxygen starvation and ash falls on benthic life. *Quaternary Res.*, v. 13, pp. 230–241, 4 tav., 9 fig., Washington.
- Cita M.B., Ryan W.B.F. & Kidd R.B. (1978) - Sedimentation rates in Neogene deep-sea sediments from the Mediterranean and geodynamic implications of their changes. In Hsü K.J., Montadert L. et al. - *Init. Repts. DSDP*, v. 42, n. 1, pp. 991–1002, Washington.
- Cita M.B., Vergnaud-Grazzini C., Robert C., Chamley H., Ciaranfi N. & D'Onofrio S. (1977) - Paleoclimatic record of a long deep-sea core from the Eastern Mediterranean. *Quaternary Res.*, v. 8, pp. 205–235, 11 fig., Washington.
- Cita M.B. & Zocchi M. (1978) - Distribution patterns of benthic Foraminifera on the floor on the Mediterranean Sea. *Oceanologica Acta*, v. 1, pp. 445–462, 3 tav., 10 fig., Paris.
- Cushman J.A. (1911) - A monograph of the Foraminifera of the North Pacific Ocean, Pt. 2, *Textulariidae*. *U.S. Nat. Mus. Bull.*, n. 71, pp. 1–108, 156 fig., Washington.
- Cushman J.A. (1913) - A monograph of the Foraminifera of the North Pacific Ocean. Pt. 3, *Lagenidae*. *U.S. Nat. Mus. Bull.*, n. 71, pp. 1–119, 47 tav., Washington.
- Cushman J.A. (1915) - A monograph of the Foraminifera of the North Pacific Ocean. Pt. 5,

- Rotaliidae*. U.S. Nat. Mus. Bull., n. 71, pp. 1–81, 31 tav., 62 fig., Washington.
- Cushman J.A. (1922) - The Foraminifera of the Mint Spring calcareous marl member of the Marianna Limestone. U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. n. 129–F, pp. 123–143, 7 tav., Washington.
- Cushman J.A. (1923) - The Foraminifera of the Atlantic Ocean. Pt. 4, *Lagenidae*. U.S. Nat. Mus. Bull., n. 104, pp. 1–228, 42 tav., Washington.
- Cushman J.A. & Parker F.L. (1936) - Notes on some Cretaceous species of *Buliminella* and *Neobulimina*. *Cush. Lab. Foram. Res., Contr.*, v. 12, pp. 5–10, 2 tav., Sharon (Mass).
- Daniels C.H. (1970) - Quantitative ökologische Analyse der zeitlichen und träumlichen Verteilung rezent Foraminiferen im Limski Kanal bei Rovinj. *Göttingen Arb. Geol. Paläont.*, v. 8, pp. 1–109, 8 tav., 62 fig., 7 tab., Göttingen.
- De Monfort D. (1808) - Conchyliologie systématique et classification méthodique des coquilles. V. 1, pp. 1–409, Paris.
- d'Orbigny A. (1826) - Tableau méthodique de la classe des Céphalopodes. *Ann. Sci. Nat. Paris*, s. 1, t. 7, pp. 96–314; atlas 8 tav., Crochard, Paris.
- d'Orbigny A. (1839) - Voyage dans l'Amérique Méridionale. Foraminifères. T. 5, pt. 5, pp. 1–86, 9 tav., Pitois–Levrault et Ce, Paris.
- d'Orbigny A. (1846) - Foraminifères fossiles du Bassin Tertiaire de Vienne (Autriche). Pp. 1–303, 21 tav., Gide et Comp., Paris.
- Egger J.G. (1857) - Die Foraminiferen der Miocän–Schichten bei Ortenburg in Nieder–Bayern. *N. Jahrb. Min. Geogn. Geol. Petref.–Kunde*, pp. 266–311, 11 tav., Stokholm.
- Egger J.G. (1893) - Foraminiferen aus Meeresgrundproben, gelothet von 1874 bis 1876 von S.M. Sch. Gazzelle. *K. Bayer. Akad. Wiss., München, Math.–Phys. Cl., Abhandl.*, v. 18, pt. 2, pp. 193–458, 21 tav., München.
- Egger J.G. (1895) - Wissenschaftliche Abhandlung über fossile Foraminiferen von Monte Bartolomeo am Gardasee. *Naturh. Ver. Passau*, v. 16, pp. 2–49, 5 tav., Passau.
- Ehrenberg C.G. (1841) - Über noch jetzt zahlreich lebende Thierarten der Kreidebildung den Organismus der Polythalamien. *K. Akad. Wiss. Berlin, Physik. Abh.*, pp. 81–174, Berlin.
- Ellis B.F. & Messina A. (1940 et seg.) - Catalogue of Foraminifera. *Am. Museum. Nat. Hist.*, New York.
- Emiliani C. (1955) - Pleistocene temperature variations in the Mediterranean. *Quaternaria*, v. 3, pp. 87–98, Roma.
- Emiliani C. (1966) - Paleotemperature analysis of Caribbean cores P 6304–8 and P 6304–9 and generalized temperature curve for the last 425000 years. *Journ. Geol.*, v. 74, pp. 109–126, 7 fig., Chicago.
- Ericson D.B. & Wollin W. (1968) - Pleistocene climates and chronology in deep–sea sediments. *Science*, v. 162, pp. 1227–1234, Washington.
- Fichtel L. & Moll J.P.C. (1798) - Testacea microscopica, aliaque minuta ex generibus *Argonauta* et *Nautilus*, ad naturam picta et descripta (Mikroskopische und andere kleine schalthiere aus den Geschlechtern *Argonaute* und *Schiffer*, nach der Natur gezeichnet und beschrieben). VII, pp. 1–123, 24 tav., Wien.
- Flint J.M. (1899) - Recent Foraminifera. A descriptive catalogue of specimens dredged by the U.S. Fish Commission Steamer Albatross. U.S. Nat. Mus. Ann. Rept. (1897), pt. 1, pp. 249–349, 80 tav., Washington.
- Fornasini C. (1891) - Secondo contributo alla conoscenza della microfauna terziaria italiana. *R. Acc. Ist. Bologna, Mem. Sci. Nat.*, s. 5, t. 1 (1890), pp. 477–483, Bologna.
- Gartner S. (1977) - Calcareous nannofossils biostratigraphy and revised zonation of the Pleistocene. *Marine Micropaleont.*, v. 2, pp. 1–26, Amsterdam.

- Grecchi G. (1984) - Molluschi planctonici e bentonici in sedimenti sapropelitici del Quaternario della Dorsale Mediterranea. *Boll. Malacologico*, v. 20, pp. 1-34, 3 tav., 4 fig., 3 tab., Milano.
- Green K.E. (1960) - Ecology of some arctic Foraminifera. *Micropaleont.*, v. 6, n. 1, pp. 57-78, 1 tav., New York.
- Heron-Allen E. & Earland A. (1913) - Clare Island Survey; Part 64- Foraminifera. *Roy. Irish Acad. Proc.*, v. 31, sect. 3 (1911-1915), pp. 1-188, 13 tav., Dublin.
- Heron-Allen E. & Earland A. (1930) - The Foraminifera of the Plymouth District. II. *Roy. Micro. Soc. London Jour.*, s. 3, v. 50, pt. 2, pp. 161-199, 2 tav., London.
- Heron-Allen E. & Earland A. (1932) - Some new genera of Foraminifera from the South Atlantic. IV. *Roy. Micro. Soc. London Jour.*, s. 3, v. 52, pp. 253-261, 2 tav., London.
- Hornibrook N. de B. (1961) - Tertiary Foraminifera from Oaman District (N.Z.), Pt. 1. Systematics and distribution. *New Zealand Geol. Survey Paleont. Bull.*, v. 34, n. 1, pp. 1-192, 28 tav., Wellington.
- Kaascheiter J.P.H. (1961) - Foraminifera of the Eocene of Belgium. *Inst. Roy. Sci. Nat. Mém.*, n. 147, Bruxelles.
- Katz M. E. & Thunell R. C. (1984) - Benthic foraminiferal biofacies associated with Middle Miocene to Early Pliocene oxygen-deficient conditions in the Eastern Mediterranean. *Journ. Foram. Res.*, v. 14, n. 3, pp. 187-202, 14 fig., Lawrence.
- Keller J., Ryan W.B.F., Ninkovic D. & Altherr R. (1978) - Explosive volcanic activity in the Mediterranean over the past 200,000 years as recorded in deep-sea sediments. *Bull. Geol. Soc. Am.*, v. 89, pp. 591-604, 6 tav., 16 fig., Boulder.
- Kidd R.B., Cita M.B. & Ryan W.B.F. (1978) - Stratigraphy of the Eastern Mediterranean sequences recovered during the DSDP leg 42 and their palaeoenvironmental significance. In Kstü K.J., Montadert L.M. et al. - *Init. Rept. DSDP*, v. 42, n. 1, pp. 421-433, 13 fig., Washington.
- Kulleberg B. (1952) - On the salinity of the water contained in marine sediments. *Meddl. Oceanogr. Inst. Göteborg.*, v. 21, pp. 1-38, Göteborg.
- Lagoe M.B. (1977) - Recent benthic Foraminifera from the Central Arctic Ocean. *Journ. Foram. Res.*, v. 7, n. 2, pp. 126-129, 5 tav., Lawrence.
- Lamarck J.B. (1822) - Histoire naturelle des animaux sans vertèbres. V. 7, pp. 1-711, Paris.
- Loeblich A.R. Jr. & Tappan H. (1964) - Sarcodina, chiefly «Thecamoebians» and Foraminiferida. In Moore R.C. (Ed.) - *Treatise on Invertebrate Paleontology, Protista*, 2 pt., pp. 1-900, 653 fig., Kansas University Press, Lawrence.
- Magnoni L. (1985) - Variazioni nel tenore in carbonato biogenico e fluttuazioni climatiche nel Quaternario del Mediterraneo Orientale. Tesina inedita, pp. 1-71, Milano.
- Maldonado A. & Stanley D.J. (1976) - The Nile Cone: submarine fan development by cyclic sedimentation. *Marine Geol.*, v. 20, pp. 27-40, Amsterdam.
- Massiotta P., Cita M.B. & Mancuso M. (1976) - Benthonic Foraminifers from bathyal depths in the Eastern Mediterranean. *Maritime Sediments*, Spec. Publ. 1, pp. 251-262, 4 tav., 7 fig., Halifax.
- Mc Coy F. (1974) - Late Quaternary sedimentation in the Eastern Mediterranean Sea. *Doct. Diss., Harvard Univ.*, pp. 1-132, Cambridge (Mass.).
- Montagu G. (1803) - Testacea Britannica, or natural history of British shells, marine land, and fresh-water, including the most minute. Pp. 1-606, 16 tav., J.S. Hollis Ed., London.
- Mullineaux L.S. & Lohmann G.P. (1981) - Late Quaternary stagnation and recirculation of the Eastern Mediterranean: changes in the deep water recorded by fossil benthic Foraminifera. *Journ. Foram. Res.*, v. 11, pp. 20-39, 5 fig., Lawrence.

- Nesteroff W.D. (1973) - Petrography and mineralogy of sapropels. In Ryan W.B.F. and Hsü K.J. et al. - *Init. Rept. DSDP*, v. 13, pp. 713-720, Washington.
- Oggioni E. (1984) - Risposta dei Foraminiferi bentonici a episodi di stagnazione nel Mediterraneo orientale. Distribuzione dei Foraminiferi bentonici in due carote della Dorsale Mediterranea. Tesi inedita, pp. 1-108, Milano.
- Olausson E. (1961) - Studies of deep-sea cores. *Repts. Swedish Deep Sea Exped. 1947-1948*, v. 8, n. 4, pp. 323-438, Göteborg.
- Parisi E. (1981) Distribuzione dei Foraminiferi bentonici nelle zone batiali del Tirreno e del Canale di Sicilia. *Riv. It. Paleont. Strat.*, v. 87, n. 2, pp. 293-328, 1 tav., 4 fig., Milano.
- Parisi E. (1985) - *Ellipsopolymorphina fragilis*, nuova specie di foraminifero bentonico del Pleistocene mediterraneo. *Riv. It. Paleont. Strat.*, v. 91, n. 3, pp. 425-436, 2 tav., Milano.
- Parisi E. & Cita M.B. (1982) - Late Quaternary paleoceanographic changes recorded by deep-sea benthos in the western Mediterranean Ridge. *Geogr. Fis. Dinam. Quaternaria*, v. 5, pp. 102-114, 8 fig., 3 tab., Torino.
- Parisi E., Vignali I. & Cita M.B. (1982) - Distribution of benthic Foraminifera in deep sea sediments from the southern Adriatic and Ionian Basins. *Ann. Géol. Pays Helléniques*, v. 31, pp. 1-15, 5 tab., Athen.
- Parker F.L. (1953) - Ecology of Foraminifera from San Antonio Bay and environs, southwest Texas. In Parker F.L., Phleger F.B. & Peterson J.F. (1953) - *Cush. Found. Foram. Res.*, Spec. Publ. n. 2, pp. 1-75, 4 tav., 49 fig., Washington.
- Parker F.L. (1958) - Eastern Mediterranean Foraminifera. *Repts. Swedish Deep Sea Exped. 1947-48*, v. 8, pp. 217-285, 6 tav., 6 fig., Göteborg.
- Perconig E. (1954) - Note paleontologiche sulla zona costiera di Agrigento (Sicilia). *Contr. Sc. Geol.*, v. 3, pp. 91-98, 4 tav., Roma.
- Peypouquet J.P. & Elant M.O. (1985) - Atlantic/Mediterranean relationships based upon Ostracoda from 20.000 B.P. to the Present. Geology of the Oceans, *75th Ann. Meet. Geol. Verein.*, (Kiel, 27 febbraio - 2 marzo 1985). Abstract. *Terra Cognita*, v. 5, n. 1, p. 79, Paris.
- Pflum C.E. & Frerichs W.E. (1976) - Gulf of Mexico deep-water foraminifers. *Cush. Found. Foram. Res.*, Spec. Publ. n. 14, pp. 1-125, 8 tav., 28 fig., 10 tab., Washington.
- Phleger F.B. (1960) - Ecology and distribution of Recent Foraminifera. Pp. 1-297, 11 tav., 83 fig., J. Hopkins Press, Baltimora.
- Phleger F.B. & Parker F.L. (1951) - Ecology of Foraminifera, northwest Gulf of Mexico. Pt. 2. Foraminifera Species. *Geol. Soc. Am. Mem.*, n. 46, pp. 1-64, 20 tav., Boulder.
- Phleger F.B. & Soutar A. (1973) - Production of benthic foraminifera in three east Pacific oxygen minima. *Micropaleont.*, v. 19, n. 1, pp. 110-115, 3 fig., New York.
- Poignant A. (1984) - The external and internal morphology of the *Oolininae*. Views of the entosolenian tube. *Benthos '83: 2nd Int. Symp. Benthic Foraminifera* (Pau, aprile 1983), pp. 501-509, 4 tav., Pau & Bordeaux.
- Reuss A.E. (1850) - Neues Foraminiferen aus den Schichten des österreichischen Tertiärbeckens. *K. Akad. Wiss. Wien, Math.-Naturwiss. Cl., Denkschr.*, v. 1, pp. 365-390, 6 tav., Wien.
- Reuss A.E. (1851) - Über die fossilen Foraminiferen und Entomostraceen der Septarienthonen der Umgegend von Berlin. *Deut. Geol. Gesell. Zeit.*, v. 3, pp. 49-51, 5 tav., Berlin.
- Reuss A.E. (1862) - Entwurf einer systematischen Zusammenstellung der Foraminiferen. *K. Akad. Wiss. Wien, Math.-Naturwiss. Cl., Sitzungsber.*, v. 44 (1861), pt. 1, pp. 355-396, Wien.
- Reuss A.E. (1866) - Die Foraminiferen und Ostrakoden der Kreide am Kanara-See bei Küstendsche. *K. Akad. Wiss. Wien, Math.-Naturwiss. Cl., Sitzungsber.*, v. 52, pt. 1, pp. 445-470, 1 tav., Wien.

- Rossignol—Strick M. (1983) - African Monsoons, an immediate climate response to orbital insolation. *Nature*, v. 304, n. 5921, pp. 46–49, Basingstoke.
- Rossignol—Strick M., Nesteroff W., Olive P. & Vergnaud—Grazzini C. (1982) - After the deluge: Mediterranean stagnation and sapropel formation. *Nature*, v. 295, n. 5845, pp. 105–110, Basingstoke.
- Ryan W.B.F. (1972) - Stratigraphy of Late Quaternary sediments in the Eastern Mediterranean. In Stanley D.J. (Ed.). - The Mediterranean Sea, pp. 149–170, 9 fig., Hutchinson & Ross, Dowden.
- Ryan W.B.F. & Cita M.B. (1977) - Ignorance concerning episodes of ocean-wide stagnation. *Marine Geol.*, v. 23, pp. 197–215, Amsterdam.
- Schlumberger C. (1893) - Monographie des Miliolidés du Golfe de Marseille. *Soc. Zool. France Mém.*, v. 6, pp. 57–80, 4 tav., 37 fig., Paris.
- Schwager C. (1866) - Fossile Foraminiferen von Kar—Nikobar. Novara Exped. 1857–1859, *Geol. Theil*, v. 2, pp. 187–268, 4 tav., Wien.
- Scientific Staff (1985) - Gypsum precipitation from cold brines in an anoxic basin in the eastern Mediterranean. *Nature*, v. 314, n. 6007, pp. 152–154, 4 fig., Basingstoke.
- Seguenza C. (1862) - Prime ricerche intorno ai Rizopodi fossili delle argille pleistoceniche dei dintorni di Catania. *Atti Acc. Gioenia Sc. Nat.*, v. 18, pp. 84–126, 2 tav., Catania.
- Sidebottom H. (1905) - Report on the Recent foraminifera from the coast of the island of Delos (Grecian Archipelago). Part II. *Manchester Lit. Philos. Soc., Mem. Proc.*, v. 49, n. 5, pp. 1–22, 3 tav., Manchester.
- Sigl W. & Müller C. (1975) - Identification and correlation of stagnation layers in cores from the eastern Mediterranean. *Rapp. CIESM*, v. 23, pp. 277–279, 2 fig., Monaco.
- Silvestri A. (1896) - Foraminiferi pliocenici della provincia di Siena. Parte I. *Acc. Pont. Nuovi Lincei Mem.*, v. 12, pp. 1–204, 5 tav., Roma.
- Terquem O. (1878) - Les Foraminifères et les Entomostracés—Ostracodes du Pliocène supérieur de l'Isle de Rhodes. *Soc. Géol. France Mém.*, s. 3, v. 1, pp. 1–135, 19 tav., Paris.
- Thunell R.C. & Lohmann G.P. (1979) - Planktonic foraminiferal fauna associated with eastern Mediterranean Quaternary stagnations. *Nature*, v. 281, pp. 211–213, Basingstoke.
- Thunell R.C., Williams D.F. & Kennett J.P. (1977) - Late Quaternary paleoclimatology, stratigraphy and sapropel history in eastern Mediterranean deep-sea sediments. *Marine Micropaleont.*, v. 2, pp. 371–388, 9 fig., Amsterdam.
- Thunell R.C., Williams D.F. & Cita M.B. (1983) - Glacial anoxia in the eastern Mediterranean. *Journ. Foram. Res.*, v. 13, n. 4, pp. 283–290, Lawrence.
- Uchio T. (1960) - Ecology of living benthonic Foraminifera from the San Diego, California area. *Cush. Found. Foram. Res.*, Spec. Publ. n. 5, pp. 1–72, Ithaca (New York).
- Vergnaud—Grazzini C., Ryan W.B.F. & Cita M.B. (1977) - Stable isotopic fractionation, climate change and episodic stagnation in the eastern Mediterranean during the Late Quaternary. *Marine Micropaleont.*, v. 2, pp. 353–270, 7 fig., Amsterdam.
- Vismara Schilling A. (1984) - Holocene stagnation event in the eastern Mediterranean. Evidence from deep-sea benthic Foraminifera in the Calabrian and western Mediterranean Ridges. *Benthos '83: 2nd Int. Symp. Benthic Foraminifera* (Pau, aprile 1983), pp. 585–596, 2 tav., 4 fig., 3 tab., Pau & Bordeaux.
- Vismara Schilling A. & Parisi E. (1981) - *Anomalinoidea minimus*, a new benthic foraminiferal species from Pleistocene and Holocene deep-sea deposits of the Mediterranean Sea. *Riv. It. Paleont. Strat.*, v. 87, n. 2, pp. 283–292, 2 tav., Milano.
- Walker G. & Boys W. (1784) - Testacea minuta rariora, nuperrime detecta in arena littoris Sandvicensis a Gul. Boys, arm. S.A.S. Multa addidit, et omnium figuras ope microscopii ampliatas accurate delineavit Geo. Walker. Pp. 1–25, 3 tav., J. March, London.

- Williams D.F., Thunell R.C. & Kennett J.P. (1978) - Periodic freshwater flooding and stagnation of the Eastern Mediterranean Sea during the Late Quaternary. *Science*, v. 201, pp. 252–254, Washington.
- Williams D.F. & Thunell R.C. (1979) - Faunal and oxygen isotopic evidence for surface water salinity changes during sapropel formation in the eastern Mediterranean. *Sediment. Geol.*, v. 23, pp. 81–93, 5 fig., Amsterdam.
- Williamson W.C. (1858) - On the Recent Foraminifera of Great Britain. *Roy. Soc. Publs.*, v. 20, pp. 1–107, 7 tav., London.
- Wright J. (1886) - Foraminifera of the Belfast Naturalist Field Club's cruise off Belfast Lough in the steam-tug «Protector» June, 1885; also Foraminifera found by dr. Malcomson, at Rock port, Belfast Lough. *Belfast Nat. Field Club Proc.*, n. 5, v. 1 (1873–1880), appendix 9, pp. 317–325, tav. 26, Belfast.
- Wright J. (1902) - Some Foraminifera from Rathlin Island. *Irish Nat.*, v. 11, pp. 211–213, 3 tav., Dublin.
- Wright R. (1978) - Neogene benthic Foraminifera from DSDP Leg 42A Mediterranean Sea. In Hsü K., Montadert L. et al. - *Init. Repts. DSDP*, v. 42, n. 1, pp. 709–726, 8 tav., Washington.
- Zandini L. (1985) - Risposta dei Foraminiferi bentonici a episodi di stagnazione nel Mediterraneo orientale. Distribuzione dei Foraminiferi bentonici nella carota 23 della Dorsale Mediterranea. Tesi inedita, pp. 1–108, Milano.
- Zwaan G. J. van der (1980) - The impact of climatic changes on deep-sea benthos. A micropaleontological investigation of a deep-sea core from the S.R. Adriatic. *Paleontology*, 1B, v. 83, n. 4, pp. 379–397, 8 fig., Utrecht.
- Zwaan G. J. van der (1983) - Quantitative analyses and the reconstruction of benthic foraminiferal communities. In Meulenkamp J. E. (Ed.) - Reconstruction of marine paleoenvironments. *Utrecht Micropal. Bull.*, v. 30, pp. 49–69, 15 fig., Utrecht.

TAVOLA 16

Fig. 1 — *Quinqueloculina oblonga* (Montagu). Carota 30, sez. 3, 44 cm; sopra il sapropel S-6; x 200.

Fig. 2 — *Fissurina* sp. 1. Carota 30, sez. 3, 52 cm; sopra il sapropel S-6; x 200.

Fig. 3 — *Gyroidina neosoldanii* Brotzen. Carota 30, sez. 3, 95 cm; sotto il sapropel S-6; x 210.

Fig. 4 — *Eggerella bradyi* (Cushman). Carota 30, sez. 3, 95 cm; sotto il sapropel S-6; x 200.

Fig. 5 — Ingrandimento della parete di *Eggerella bradyi* (Cushman); x 10.000.

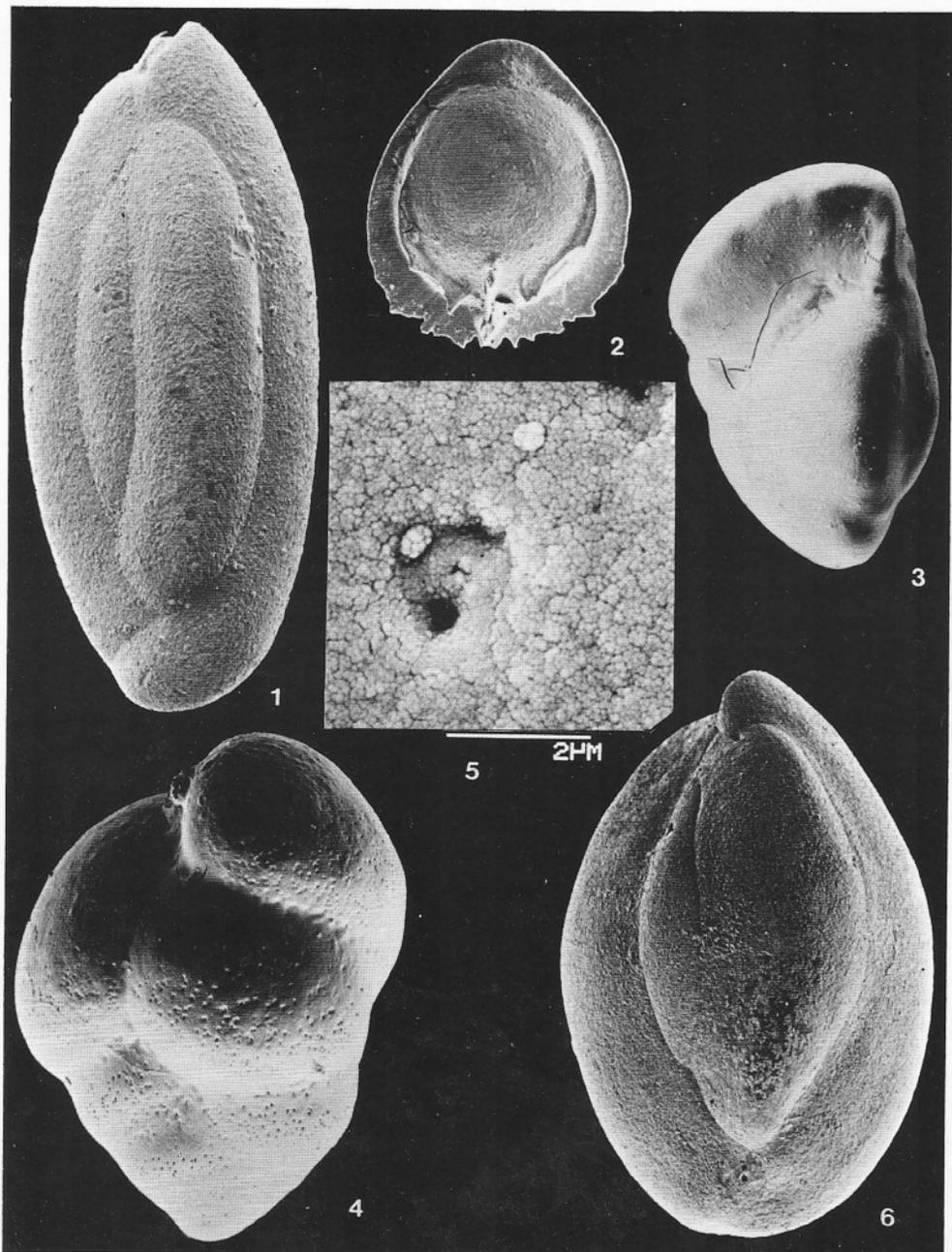


TAVOLA 17

- Fig. 1, 2 — *Eponides tumidulus* (Brady). Carota 30, sez. 3, 44 cm; sopra il sapropel S-6. Vedute spirale e ombelicale; x 200.
- Fig. 3 - 5 — *Anomalinoides minimus* Vismara Schilling & Parisi. Carota 30, sez. 3, 44 cm; sopra il sapropel S-6. Vedute laterale, spirale e ombelicale; x 200.
- Fig. 6, 7 — *Asterigerinata* sp. 1. Carota 30, sez. 3, 44 cm; sopra il sapropel S-6. Vedute ombelicali; x 200.
- Fig. 8 — *Asterigerina* sp. Carota 30, sez. 3, 44 cm; sopra il sapropel S-6. Veduta spirale; x 200.
- Fig. 9 - 11 — *Epistominella vitrea* Parker. Carota 30, sez. 3, 95 cm; sotto il sapropel S-6. Vedute spirale, ombelicale e laterale; x 200.
- Fig. 12 — *Nonion* sp. 1. Carota 30, sez. 3, 44 cm; sopra il sapropel S-6; x 200.
- Fig. 13 — *Bolivina difformis* (Williamson). Carota 30, sez. 3, 44 cm; sopra il sapropel S-6; x 200.
- Fig. 14 — *Elphidium* sp. Carota 30, sez. 3, 44 cm; sopra il sapropel S-6; x 200.
- Fig. 15, 15a — *Epistominella artica* Green. Carota 30, sez. 3, 44 cm; sopra il sapropel S-6. Veduta laterale (x 200) e ingrandimento della parete (x 3000).

