

M. ZAMPI (*), S. D'ONOFRIO (**)

I FORAMINIFERI DELLO STAGNO DI S. GILLA (CAGLIARI) (1)

Riassunto — Vengono riportati i risultati dello studio delle associazioni a foraminiferi bentonici di alcuni campioni di sedimento prelevati nello stagno di S. Gilla (Cagliari).

L'analisi delle microfane a foraminiferi ha messo in evidenza la marcata oligotipia di tali associazioni in cui risultano dominanti, se non addirittura esclusive, le specie seguenti: *Ammonia beccarii* (LINNEO), *Elphidium gunteri* COLE e *Protelphidium anglicum* MURRAY.

In tutte le associazioni sono inoltre presenti individui delle tre specie con anomalie del plasmotraco.

Ammonia beccarii, in particolare, è caratterizzata da un'ampia variabilità morfologica dei suoi individui ed in tutti i campioni è rappresentata da morfotipi prevalentemente megalosferici, talvolta con proloculus assai grande e sporgente.

Attraverso un'analisi statistica di *Ammonia beccarii*, condotta utilizzando alcuni parametri morfometrici ritenuti particolarmente significativi, è stata evidenziata la correlazione tra la morfologia di questa specie e le particolari condizioni ambientali dello stagno di S. Gilla. Tale correlazione è stata inoltre confermata anche dal confronto morfometrico fra individui attuali di *Ammonia beccarii* e individui della stessa specie, ma di età olocenica, provenienti dal Golfo di Cagliari che, come è noto, in quel periodo costituiva un'ampia laguna alla quale apparteneva anche l'area dell'attuale stagno di S. Gilla.

Abstract — *Benthic foraminiferal assemblages of S. Gilla lagoon (Sardinia).* In the present paper the benthic foraminiferal assemblages of S. Gilla lagoon (Cagliari) are reported.

Ammonia beccarii (LINNEO), *Elphidium gunteri* COLE and *Protelphidium anglicum* MURRAY are the dominant or exclusive species of these oligotypical assemblages.

A great number of abnormalities of the shell were found in many specimens. *Ammonia beccarii* shows a great morphological variability and most specimens of these form are megalospheric, sometime with a giant, protruding proloculus.

(*) Istituto di Biologia Ambientale, Via delle Cerchia, 3 - Siena.

(**) Istituto di Geologia e Paleontologia, Via Zamboni, 67 - Bologna.

(1) Lavoro eseguito con il contributo M.P.I. 60% 1982 (responsabile M. Zampi) e con il contributo M.P.I. 60% 1983 (responsabile S. D'Onofrio).

The highly significant correlation between the morphology of *Ammonia beccarii* and the peculiar environmental conditions in the S. Gilla lagoon is shown by the statistic analysis of several significative morphometric parameters.

This correlation is further supported by morphometric comparison of specimens living in S. Gilla lagoon to day and Olocenic specimens of *Ammonia beccarii* from the Gulf of Cagliari; in the Olocene age the Gulf was a large lagoon including S. Gilla too.

Key words — Foraminifera, morphometry, teratologic specimens, lagoon.

INTRODUZIONE

Il presente lavoro riguarda lo studio delle associazioni a foraminiferi dello stagno di S. Gilla (Cagliari) e si inserisce in un ampio programma di ricerca riguardante le microfaune di ambiente salmastro. Tale studio ha lo scopo sia di ampliare la conoscenza di tali associazioni microfaunistiche descritte in Italia unicamente nella Laguna di Venezia (SILVESTRI, 1950, CITA e PREMOLI SILVA, 1967) ed in alcune lagune del delta del Po (D'ONOFRIO, MARABINI e VIVALDA, 1976), sia di verificare la possibilità di utilizzare i foraminiferi come indicatori ambientali, secondo le più recenti indicazioni fornite da SEIGLIE (1975). Lo stagno di S. Gilla, infatti, oltre ad essere naturalmente suddiviso in aree ecologiche ben distinte tra loro, risulta attualmente come uno degli ambienti più fortemente alterati dall'azione dell'uomo dato che in questa laguna si riversano già da alcuni anni gli scarichi dei numerosi insediamenti industriali che gravitano intorno alla città di Cagliari. Nei sedimenti dello stagno e nella macrofauna bentonica sono stati messi in evidenza, infatti, vari contaminanti tra cui, in particolare, elevati valori di Hg (RENZONI, dati non pubblicati).

EVOLUZIONE GEOMORFOLOGICA DELLO STAGNO DI S. GILLA

Lo stagno di S. Gilla, uno dei numerosi stagni costieri che circondano sia ad oriente che ad occidente la città di Cagliari, originariamente era parte di un'ampia laguna, di origine quaternaria, nota con il nome di stagno di Cagliari. Successivamente l'evoluzione naturale dello stagno è stata fortemente condizionata da fattori antropici che, soprattutto negli ultimi 50 anni, ne hanno

variato notevolmente la morfologia, riducendone la superficie, attualmente di circa 1497 ha (COTTIGLIA et al., 1973) e limitandone la comunicazione con il mare a due sole aperture artificiali. Attualmente la profondità media dello stagno è di 1,20 m nelle aree più interne, con un valore massimo di circa 3 m nel canale subacqueo scavato artificialmente al centro dello stagno (COTTIGLIA et al., 1973).

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE DELLE ACQUE DELLO STAGNO DI S. GILLA

Da rilevamenti effettuati da COTTIGLIA et al. (1973), risulta che i parametri chimico-fisici più direttamente correlati con il ciclo biologico dei foraminiferi quali salinità, pH, O_2 disciolto e temperatura, variano sensibilmente nelle diverse aree dello stagno in funzione della profondità, del ricambio idrico con il mare e della vicinanza delle foci dei corsi d'acqua, naturali od artificiali. La salinità, in particolare, espressa come concentrazione di cloruri, passa da valori del 20‰ in vicinanza delle bocche a mare a valori del 6 e dell'1‰ rilevati rispettivamente nel centro e nella parte più interna dello stagno, in prossimità della foce del Riu Cixerri e del Riu Mannu (Porcu, 1976). Periodiche variazioni di questo parametro sono state inoltre rilevate nell'area centrale dello stagno (COTTIGLIA et al., 1973), caratterizzata da uno scarso ricambio idrico, ad eccezione dei rari periodi in cui i forti venti vi sospingono le maree sigiziali, e particolarmente influenzata dal massiccio se pur discontinuo apporto delle acque dolci provenienti dagli scarichi industriali. Per quanto riguarda gli altri parametri chimico-fisici, i rilevamenti effettuati da COTTIGLIA et al. (1973) indicano valori massimi e minimi della temperatura delle acque, sia superficiali che di fondo, rispettivamente di 29°C in Agosto e 8°C in Febbraio, variazioni di pH sensibilmente accentuate nelle aree dello stagno più direttamente interessate dagli scarichi industriali e scarse concentrazioni di O_2 disciolto. Quest'ultime, in particolare, mantengono livelli accettabili solo in vicinanza delle foci a mare; diventano invece critiche, particolarmente in estate, sia nelle zone antistanti gli scarichi delle acque fognarie e dei residuati industriali, sia in quelle con scarso ricambio idrico. In queste aree, peraltro, l'analisi chimica delle acque ha evidenziato anche elevati valori di NH_3 . Abbastanza modeste, invece, soprattutto nella sta-

gione estiva, le concentrazioni dei sali di azoto e di fosforo rilevate nelle acque della laguna (COTTIGLIA et al., 1973) data la rapida utilizzazione da parte della vegetazione acquatica dell'ingente quantità di nutrienti immessa nello stagno.

CARATTERISTICHE BIOLOGICHE DELLO STAGNO DI S. GILLA

Il microbenthos è rappresentato principalmente da foraminiferi, diatomee e ostracodi, mentre la rimanente fauna bentonica è costituita da invertebrati quali nematodi, platelmiti, crostacei, policheti, molluschi e da varie specie di pesci. Tra il fitobenthos predominano le cloroficee, quali *Ulva*, *Enteromorpha* e *Cladophora*, mentre lo zooplancton è rappresentato per lo più da rotiferi, copepodi e larve di policheti, molluschi e pesci.

MATERIALI E METODI

Per questa ricerca sono stati utilizzati sei campioni provenienti da aree diverse dello stagno di S. Gilla (Fig. 1) e prelevati per mezzo di una benna simile alla Ross Clamshell Snapper. Sono stati analizzati inoltre anche i sedimenti di 12 carotaggi (di lunghezza variabile tra 50-70 cm) effettuati allo scopo di rilevare gli effetti degli scarichi industriali e urbani sulle biocenosi bentoniche (COTTIGLIA et al., 1973). Secondo i dati riportati da questi Autori, infatti, i sedimenti basali di tali carote si sarebbero sicuramente depositi in un periodo di tempo antecedente all'insediamento dell'agglomerato industriale.

Per l'analisi dei foraminiferi, in particolare, sono stati utilizzati 30 cc di sedimento, quantità ritenuta sufficiente ad evidenziare sia il numero che la frequenza delle specie realmente presenti nell'area campionata (BLANC-VERNET, 1969). Trattandosi di sedimenti freschi non è stato necessario usare in laboratorio particolari tecniche di lavaggio per questi campioni.

I residui di lavaggio da cui sono stati prelevati i foraminiferi appartengono tutti alla frazione fine di sedimento, essendo tali microrganismi rarissimi nelle frazioni media e grossolana.

Le distribuzioni percentuali dei foraminiferi sono state calcolate su almeno 500 individui, numero già ritenuto sufficientemente rappresentativo delle proporzioni dei vari taxa realmente esistenti nel sedimento (BLANC-VERNET, 1969).

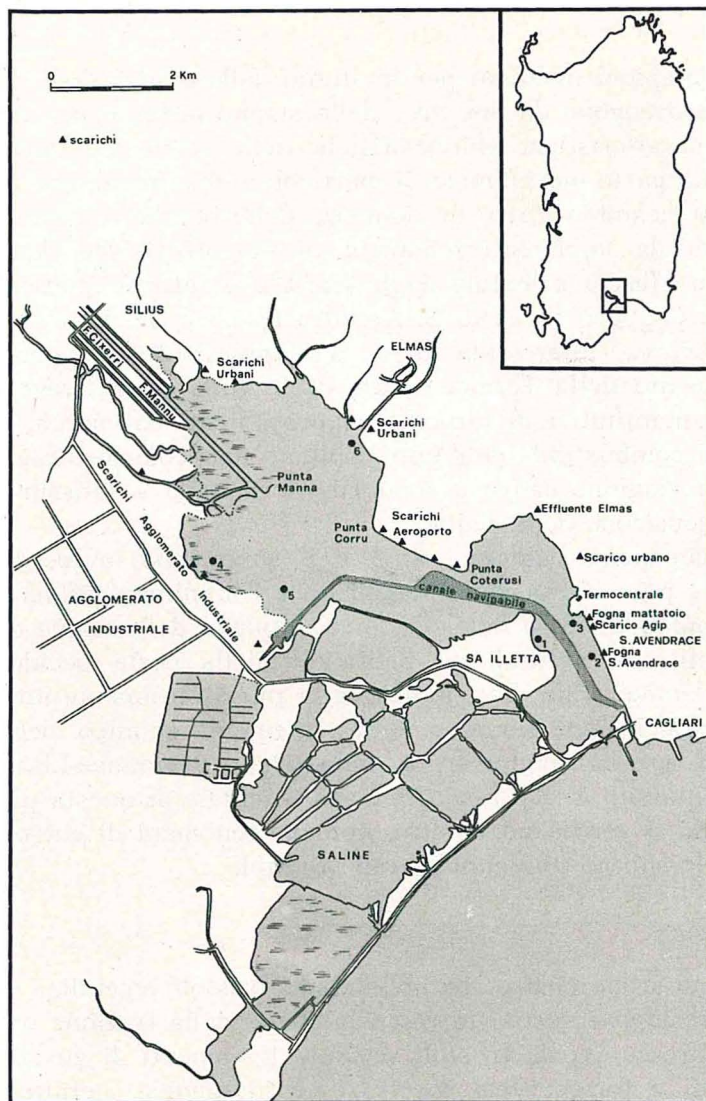


Fig. 1 - Stazioni di raccolta dei sedimenti dello stagno di S. Gilla.

Gli individui studiati sono stati osservati sia al microscopio ottico, sia al microscopio a scansione. I disegni sono stati eseguiti con una camera lucida applicata ad un microscopio Wild M5 con obiettivo 50x ed oculare 20x, ed i dati biometrici rilevati con un oculare micrometrico.

RISULTATI

I campioni utilizzati per lo studio delle associazioni a foraminiferi provengono da due aree dello stagno differenziabili tra loro per le caratteristiche chimico-fisiche delle acque (COTTIGLIA et al., 1973). La parte meridionale, in particolare (campioni 1, 2 e 3), con discreto ricambio idrico in vicinanza delle bocche a mare, è caratterizzata da imponenti fenomeni di eutrofizzazione determinati nella sua fascia orientale dagli scarichi di alcuni quartieri della città di Cagliari (fogne di S. Avendrace). Le condizioni distrofiche di quest'area, interessata anche dall'apporto delle acque di raffreddamento della Termocentrale di S. Gilla e da irregolari, ma elevati quantitativi di idrocarburi provenienti dai parchi dei serbatoi di combustibile dell'Agip risultano particolarmente accentuate nella stagione estiva e sono rilevabili dallo scarsissimo grado di ossigenazione delle acque.

I rimanenti campioni 4, 5 e 6 sono stati invece prelevati nell'area più interna dello stagno dove è minima l'influenza delle variazioni tidali ed è notevole, invece, quella delle acque dolci degli immissari, naturali ed artificiali, della costa occidentale e nord-orientale. Tale area, inoltre, è la più direttamente interessata dal massiccio inquinamento, prevalentemente chimico, degli scarichi del grosso agglomerato industriale Rumianca-Lisar-Selpa-Silius-Fluorsid. Anche lungo la costa orientale di questa parte dello stagno si verificano, inoltre, notevoli fenomeni di eutrofizzazione per lo sbocco di alcuni scarichi urbani.

Campione 1

Limo grigio chiaro con abbondanti frustoli vegetali.

Il residuo è costituito essenzialmente dalla frazione organogena, rappresentata da frustoli vegetali, frammenti di gusci bivalvi, ostracodi e foraminiferi. La frazione inorganica, peraltro molto scarsa, è costituita da frammenti di quarzo, calcite e mica.

L'associazione a foraminiferi (Fig. 2) è caratterizzata dai generi *Ammonia*, *Elphidium* e *Protelphidium*, rispettivamente rappresentati da *Ammonia beccarii*⁽¹⁾ (LINNEO) in quantità pari al 26%;

⁽¹⁾ *Ammonia beccarii* è rappresentata nello stagno esclusivamente dai morfotipi, di piccola taglia e a guscio liscio, indicati in letteratura o come varietà *tepida* (CUSHMAN) di *Ammonia beccarii* o come *Ammonia tepida* (CUSHMAN).

Campione 2

Elphidium margaritaceum CUSHMAN, al 9%; *E. gunteri* COLE, al 6%; *E. macellum* FICHTEL e MOLL, al 4%; *E. poeyanum* (D'ORBIGNY) all'1%; *Protelphidium anglicum* MURRAY al 9%; *P. granosum* (D'ORBIGNY) al 4% e da diverse forme di miliolidi quali *Quinqueloculina*

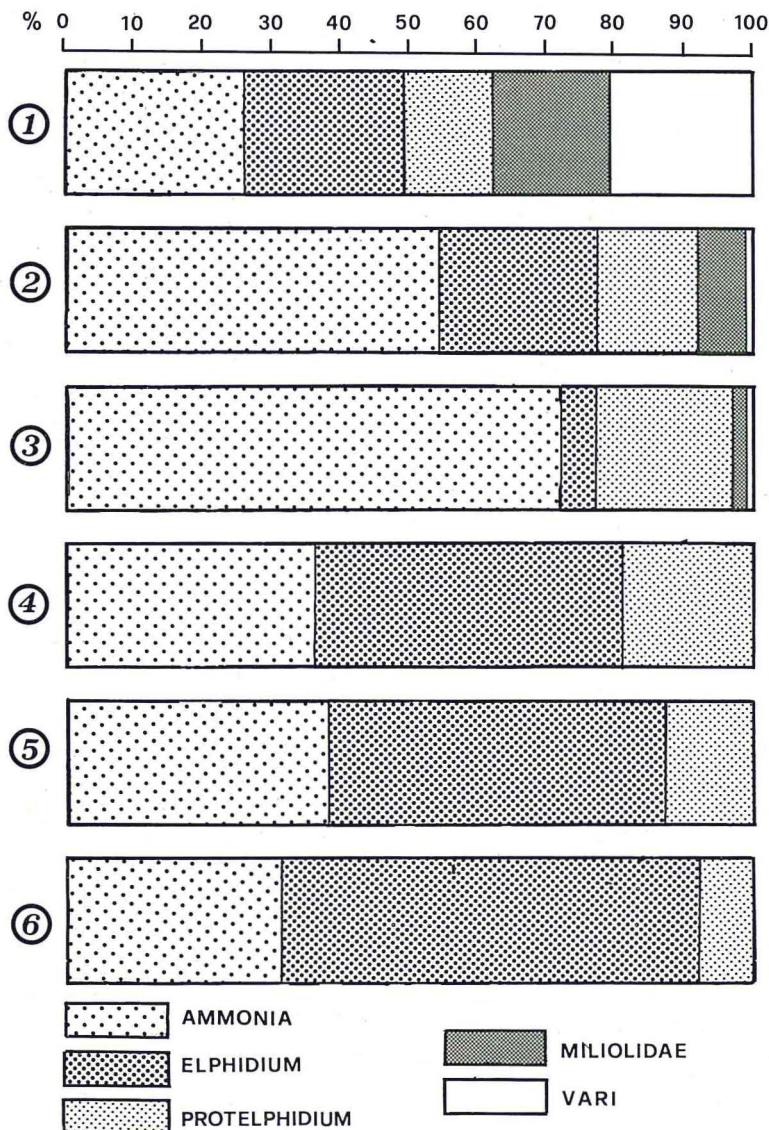


Fig. 2 - Distribuzione in percentuale dei foraminiferi nei campioni dello stagno di S. Gilla.

laevigata D'ORBIGNY in quantità pari al 4%; *Quinqueloculina stelligera* (SCHLUMBERGER), al 3%; *Spiroloculina grata* TERQUEM, al 6%; *Triloculina rotunda* D'ORBIGNY al 3% e *Miliolinella subrotunda* (MONTAGU) a 1%.

Sono presenti, se pur con scarsi esemplari, lagenidi (2%) con le specie *Lagena clavata* (D'ORBIGNY), *Fissurina* cf. *marginata* (WILLIAMSON), buliminidi (5%) con *Bolivina pseudoplicata* (HERON-ALLEN e EARLAND) e *Brizalina variabilis* (WILLIAMSON), altri rotalidi rappresentati da un discreto numero di individui (10%) di *Aubignyna perlucida* (HERON-ALLEN e EARLAND), cassidulinidi (3%) con *Fursenkolina punctata* (CUSHMAN) e rarissimi esemplari (1%) di *Cibicides lobatulus* (WALKER e JACOB) e *Rosalina globularis* (D'ORBIGNY).

L'associazione microfaunistica è caratterizzata inoltre da un marcato nanismo e da anomalie morfologiche nei gusci di quasi tutte le specie. Tali anomalie sono particolarmente accentuate in *Ammonia beccarii*, rappresentata da un'elevata percentuale di individui di piccole dimensioni i cui gusci mostrano spesso evidenti malformazioni (Tab. 1). Tra queste, le più frequenti sono dovute sia a variazioni della forma o delle dimensioni delle singole camere, sia ad una loro irregolare disposizione nella spira, talvolta così accentuata da rendere difficile il riconoscimento della specie (Fig. 9, nn. 13-14).

In *Ammonia beccarii*, inoltre, sono visibili anche vari tipi di malformazioni che interessano la morfologia del proloculus, il quale, peraltro, è già «anomalo» in circa due terzi degli individui

Tab.1- Variazioni fenotipiche negli esemplari di *Ammonia beccarii*, *Elphidium gunteri*, *Protelphidium anglicum* e *P. granosum* del campione n.1 .

Variazioni fenotipiche	Specie	<u>A.beccarii</u> N=141		<u>E.gunteri</u> N=33		<u>P.anglicum</u> N=47		<u>P.granosum</u> N=22	
		n	%	n	%	n	%	n	%
Dimensioni ridotte		65	46	20	61	6	13	9	41
Proloculus > 40 μ		96	68	-	-	-	-	-	-
Anomalie del proloculus		31	22	-	-	-	-	-	-
Anomalie della spira		12	9	8	24	-	-	1	5
Spira alta		-	-	-	-	-	-	-	-

esaminati per le dimensioni superiori a quelle che normalmente si riscontrano negli individui megalosferici.

Variazioni morfologiche sono pure frequenti nei gusci dei piccoli esemplari di *Elphidium gunteri* (Tab. 1), evidenziabili soprattutto dall'irregolarità del loro contorno; sono invece difficilmente visibili, sia in questa specie come in *Protelphidium anglicum* e *P. granosum*, le eventuali anomalie della forma e delle dimensioni del proloculus, rimanendo la camera iniziale parzialmente o totalmente nascosta dall'ornamentazione più o meno accentuata dell'area ombelicale.

Campione 2

Sedimento argilloso con abbondanti resti organogeni.

Il residuo è costituito prevalentemente da frustoli vegetali, piccoli gusci di *Bittium reticulatum* (DA COSTA), *Hydrobia acuta* (DRAPARNAUD), *Cerastoderma edule* (LINNEO), *Gibbula* sp. e *Natica* sp., ostracodi e foraminiferi.

La frazione inorganica, peraltro assai scarsa, è rappresentata da quarzo, poca mica e rari granuli concrezionati di carbonato di calcio.

Ammonia, *Elphidium* e *Protelphidium* con le specie *Ammonia beccarii* (54%), *Elphidium gunteri* (23%), *Protelphidium anglicum* (11%) e *P. granosum* (4%), caratterizzano l'associazione a foraminiferi (Fig. 2).

I miliolidi sono ancora rappresentati, se pur con un minor numero di esemplari rispetto a quelli riscontrati nel campione 1, da *Quinqueloculina laevigata* (1%), *Quinqueloculina stelligera* (2%), *Triloculina rotunda* (3%) e *Miliolinella subrotunda* (1%). Sono inoltre presenti rari esemplari di *Brizalina variabilis* e *Rosalina globularis*.

Ammonia beccarii è la specie numericamente dominante, con un elevato numero di individui di dimensioni assai ridotte (Tab. 2), spesso con non più di 7-8 camere nell'unico giro della spira (Fig. 9, nn. 15-18; Tav. 1, fig. 15; Tav. 2, figg. 4-6), grande diametro proloculare (Fig. 9, nn. 2, 6-12, 15-18; Tav. 1, figg. 7-8, 10-17; Tav. 2, figg. 1-6) e frequenti anomalie sia nell'avvolgimento (Fig. 9, nn. 13-14; Tav. 2, figg. 3, 8) che nella morfologia del proloculus (Fig. 9, nn. 8, 15-18; Tav. 1, figg. 11, 13, 15, 17; Tav. 2, figg. 5-6). Sono inoltre presenti anche alcune forme con spira molto alta,

non rilevabili nella precedente associazione microfaunistica (Fig. 9, n. 6; Tav. 2, figg. 1-2).

Aumenta notevolmente, rispetto a quella del campione 1, la frequenza della specie *Elphidium gunteri*, la cui popolazione è tuttavia caratterizzata da un nanismo assai accentuato (Tab. 2); sono frequenti, infatti, individui molto piccoli costituiti unicamente da tre o quattro camerette di forma rotondeggiante, di cui la prima in genere assai più voluminosa, che conferiscono a questi esemplari un aspetto simile ad una *Globigerina*. Il riconoscimento specifico di tali forme, peraltro, è reso possibile solo dalla tipica punteggiatura della parete del loro guscio.

Tab.2 - Variazioni fenotipiche negli esemplari di *Ammonia beccarii*, *Elphidium gunteri*, *Protelphidium anglicum* e *P. granosum* del campione n.2.

Variazioni fenotipiche	Specie	<i>A. beccarii</i> N=345		<i>E. gunteri</i> N=151		<i>P. anglicum</i> N=70		<i>P. granosum</i> N=23	
		n	%	n	%	n	%	n	%
Dimensioni ridotte		132	38	105	70	13	19	12	52
Proloculus > 40 μ		273	79	-	-	1	1	-	-
Anomalie del proloculus		75	22	-	-	-	-	-	-
Anomalie della spira		28	8	39	26	1	1	2	9
Spira alta		8	2	-	-	-	-	-	-

Gli esemplari di *Protelphidium anglicum*, più numerosi rispetto a quelli della precedente associazione, sono in genere regolarmente sviluppati (Tav. 1, fig. 5) e raramente presentano malformazioni nella spira (Tav. 1, fig. 6).

Protelphidium granosum, invece, mantiene invariata la sua frequenza, pur essendo anch'esso rappresentato da individui per lo più di piccole dimensioni, talvolta con spira anomala (Tab. 2).

Campione 3

Sedimento costituito unicamente da resti organogeni.

Il residuo è rappresentato interamente dalla frazione organogena, costituita da gusci di molluschi, interi od in frammenti, fru-

stoli vegetali, ostracodi e foraminiferi. Tra i molluschi, in particolare, sono presenti specie quali *Hydrobia acuta* e *Cerastoderma edule*, oltre a numerosi esemplari di *Bittium reticulatum* che da soli rappresentano buona parte della frazione grossolana del residuo stesso.

Ammonia beccarii costituisce, con un elevato numero di individui (72%), buona parte dell'associazione microfaunistica, peraltro ben individualizzata, oltre che da questa specie, da *Elphidium gunteri* (5%), *Protelphidium anglicum* (7%) e *P. granosum* (13%). Quest'ultime specie mostrano, tuttavia, variazioni dei loro valori percentuali rispetto a quelli riscontrati nei precedenti campioni (Fig. 2).

In particolare, decresce notevolmente il numero di individui di *Elphidium gunteri*, subisce una leggera flessione *Protelphidium anglicum*, mentre è particolarmente frequente *Protelphidium granosum*.

I miliolidi sono rappresentati solo da qualche individuo di *Spiroloculina grata* e da pochi esemplari, peraltro morfologicamente anomali, di *Quinqueloculina costata* D'ORBIGNY (Tav. 1, fig. 4). Non figurano nell'associazione microfaunistica altre famiglie di foraminiferi, ad eccezione dei lagenidi rappresentati da un unico esemplare di *Fissurina orbignyana* SEGUENZA.

Come nei precedenti campioni, sono ancora numerose le forme ridotte e le malformazioni dei gusci (Tab. 3). È ancora molto elevato il numero di individui di *Ammonia beccarii* con grande diametro proloculare e inoltre sono presenti esemplari di questa specie con un'accentuata convessità della loro superficie dorsale.

Tab.3 - Variazioni fenotipiche negli esemplari di *Ammonia beccarii*, *Elphidium gunteri*, *Protelphidium anglicum* e *P. granosum* del campione n.3.

Variazioni fenotipiche	Specie	<u>A. beccarii</u>		<u>E. gunteri</u>		<u>P. anglicum</u>		<u>P. granosum</u>	
		N=384		N=25		N= 40		N=70	
		n	%	n	%	n	%	n	%
Dimensioni ridotte		77	20	15	60	5	13	43	61
Proloculus > 40 μ		235	61	-	-	-	-	-	-
Anomalie del proloculus		60	16	-	-	-	-	-	-
Anomalie della spira		63	16	2	8	4	10	11	16
Spira alta		5	1	-	-	-	-	-	-

Campioni 4, 5 e 6

Sedimento argilloso con abbondanti resti organogeni.

I residui di questi tre campioni, prelevati nella parte settentrionale dello stagno di S. Gilla, sono molto simili tra loro e risultano costituiti da una frazione inorganica piuttosto abbondante, rappresentata generalmente da quarzo, poca mica, frammenti di calcite, granuli concrezionati ferruginosi (dovuti, molto probabilmente alla alterazione della limonite) e cristalli di gesso. Nel campione 4, in particolare, prelevato nell'area più direttamente interessata dalla confluenza degli scarichi dell'agglomerato industriale, tale frazione, assai ben rappresentata, è prevalentemente costituita da residui industriali che al microscopio ottico appaiono come piccole concrezioni bianche, amorfe, di consistenza pseudogommosa.

La frazione organogena dei tre campioni è costantemente rappresentata da poche specie di molluschi, tra cui sono molto frequenti piccole forme giovanili di *Hydrobia acuta*, rari serpulidi, abundantissimi ostracodi e foraminiferi. Presenti, anche se non molto abbondanti, frustoli vegetali ed oogoni di *Chara*, spesso carbonizzati. Tra i foraminiferi, in particolare, si verifica, rispetto alle associazioni precedentemente descritte, una drastica riduzione del numero di specie per la scomparsa di tutte le forme debolmente eurialine già segnalate nell'area meridionale dello stagno. Le microfaune di questi campioni sono infatti caratterizzate unicamente da *Ammonia beccarii*, *Elphidium gunteri* e *Protelphidium anglicum*, peraltro ugualmente frequenti all'interno di ogni singola associazione (Fig. 2). Tali specie, che già rappresentavano buona parte dei foraminiferi nelle associazioni microfaunistiche dei campioni precedentemente descritti, rimangono infatti le uniche ad essere costantemente rappresentate, se pur in proporzioni diverse da quelle riscontrate nei sedimenti dell'area meridionale dello stagno. In particolare, diminuiscono i valori percentuali di *Ammonia beccarii*, si mantiene quasi invariato il numero di individui di *Protelphidium anglicum*, mentre aumenta notevolmente la frequenza di *Elphidium gunteri*.

In questi campioni, inoltre, i gusci dei foraminiferi presentano frequentemente una decalcificazione della loro superficie esterna ed i plasmostraci di *Elphidium gunteri*, in particolare, appaiono quasi sempre decorticati, risultando così evidenziate sia le pa-

pille di materiale ialino che costituiscono l'ornamentazione dell'area ombelicale, sia i processi retrali (Tav. 1, figg. 1-3).

Protelphidium anglicum rimane sempre la specie con il minor numero di forme di dimensioni ridotte e la più bassa percentuale di malformazioni nei gusci (Tabb. 4, 5 e 6), sebbene talvolta si riscontrino anche tra i suoi esemplari avvolgimenti completamente aberranti.

Ammonia beccarii, invece, rimane costantemente caratterizzata da un elevato numero di individui di dimensioni assai ridotte, quasi sempre megalosferici e con frequenti anomalie proloculari o malformazioni nella spira (Tabb. 4, 5 e 6). Sono abbastanza frequenti anche le forme a spira alta, già segnalate nelle associazioni dell'area meridionale dello stagno.

Anche *Elphidium gunteri* è rappresentato da un elevato nu-

Tab.4 - Variazioni fenotipiche negli esemplari di *Ammonia beccarii*, *Elphidium gunteri* e *Protelphidium anglicum* nel campione n.4.

Variazioni fenotipiche	Specie	<u>A.beccarii</u> N=189		<u>E.gunteri</u> N=233		<u>P.anglicum</u> N=98	
		n	%	n	%	n	%
Dimensioni ridotte		100	53	197	85	21	21
Proloculus > 40 μ		152	80	-	-	2	2
Anomalie del proloculus		59	31	-	-	-	-
Anomalie della spira		8	4	32	14	8	8
Spira alta		13	7	-	-	-	-

Tab.5- Variazioni fenotipiche negli esemplari di *Ammonia beccarii*, *Elphidium gunteri* e *Protelphidium anglicum* nel campione n.5.

Variazioni fenotipiche	Specie	<u>A.beccarii</u> N=194		<u>E.gunteri</u> N=252		<u>P.anglicum</u> N=67	
		n	%	n	%	n	%
Dimensioni ridotte		96	49	219	87	14	21
Proloculus > 40 μ		172	89	-	-	2	3
Anomalie del proloculus		48	25	-	-	1	1
Anomalie della spira		8	4	26	10	10	15
Spira alta		17	9	-	-	-	-

mero di esemplari di dimensioni assai ridotte, tra cui numerosi individui nani caratterizzati da frequenti malformazioni del plasmotraco (Tabb. 4, 5 e 6).

Tab. 6 - Variazioni fenotipiche negli esemplari di Ammonia beccarii, Elphidium gunteri e Protelphidium anglicum nel campione n.6.

Variazioni fenotipiche	Specie	<u>A.beccarii</u> N=197		<u>E.gunteri</u> N=380		<u>P.anglicum</u> N=52	
		n	%	n	%	n	%
Dimensioni ridotte		26	13	177	47	5	10
Proloculus > 40 μ		147	75	-	-	-	-
Anomalie del proloculus		21	11	-	-	-	-
Anomalie della spira		13	7	43	11	5	10
Spira alta		6	3	-	-	-	-

DISCUSSIONE DEI RISULTATI

a) *Ammonia beccarii* e la sua variabilità morfologica.

Ammonia beccarii, dominante nell'area meridionale dello stagno e costantemente frequente nei rimanenti campioni, è la specie che maggiormente caratterizza, con la variabilità morfologica degli individui che la rappresentano, le associazioni a foraminiferi della laguna di S. Gilla. Alcuni morfotipi, in particolare (Fig. 9, nn. 1-4, 6; Tav. 1, figg. 7-8, 10, 14, 16; Tav. 2, figg. 1-2), realizzano le forme estreme di questa variabilità che, attraverso una serie di graduali modificazioni del numero e della forma delle camere, della convessità della spira, della curvatura e della limbatura dei setti, delle granulazioni dell'area ombelicale, della densità e del diametro delle perforazioni esterne del guscio, permette di differenziare nelle popolazioni di *Ammonia beccarii* numerosi ecofenotipi (Fig. 9, nn. 1-12, 15-18; Tav. 1, figg. 7-17; Tav. 2, figg. 1-6) chiaramente correlati con le condizioni ecologiche dello stagno. Tale correlazione, ben evidenziata da una comparazione morfometrica tra i gusci di *Ammonia beccarii* delle due aree campionate (stazioni 1 e 4), è stata ulteriormente confermata da un loro confronto biometrico con morfotipi analoghi provenienti dai sedimen-

ti quaternari della laguna del Golfo di Cagliari (sondaggio S₁, 4, 15 m: GANDIN, 1979) di cui lo stagno di S. Gilla faceva parte e dove *Ammonia beccarii* era rappresentata da forme assai più varie di quelle attualmente riscontrate nello stagno. Per tali comparazioni sono state usate le misure di 4 caratteristiche biometriche del guscio di *Ammonia beccarii* quali diametro assiale, diametro equatoriale, misurato a 90° dal precedente e passante per il centro del proloculus, altezza della spira e diametro del proloculus (Fig. 3). Tali misure sono state rilevate rispettivamente su due

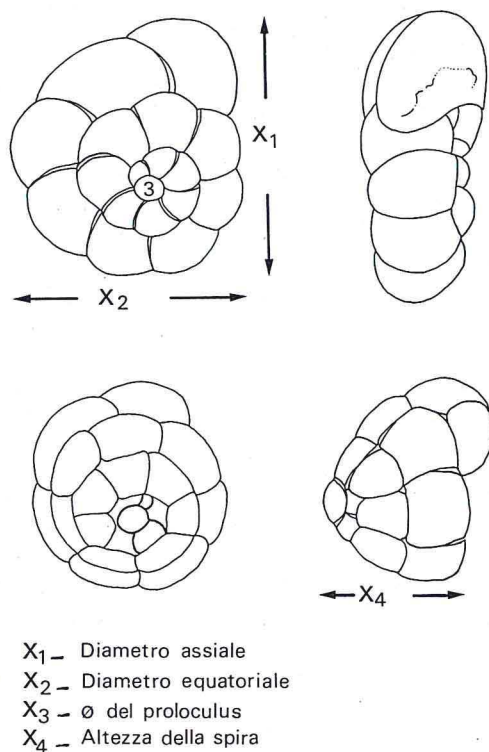


Fig. 3 - Variabili lineari del guscio utilizzate per l'indagine biometrica in *Ammonia beccarii* (LINNEO).

gruppi di 100 individui ciascuno, provenienti dai campioni 1 e 4 dello stagno e su 50 esemplari di un campione del sondaggio S₁. Oltre alle suddette misure è stato inoltre utilizzato, per questa indagine, il numero delle camere di tutti gli individui considerati.

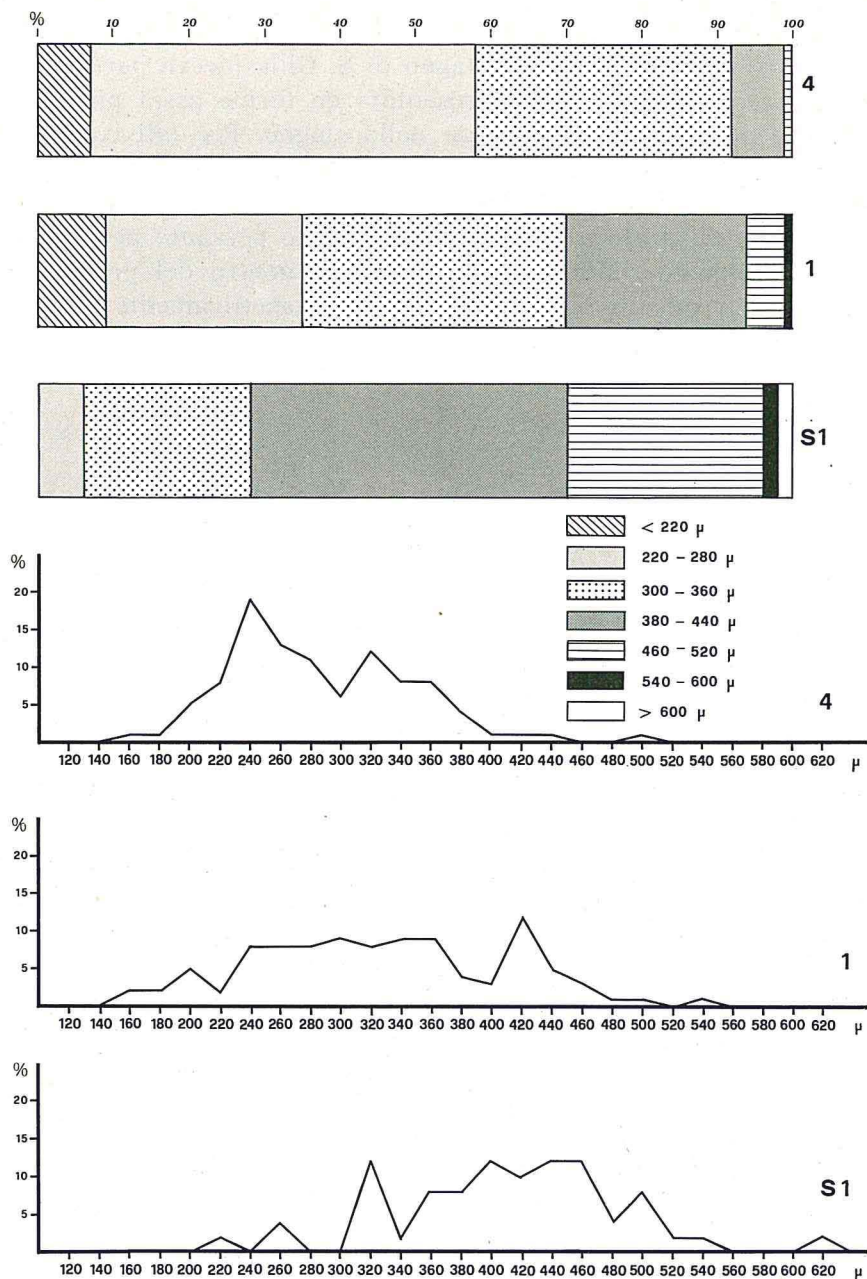


Fig. 4 - Variazione del diametro assiale del guscio nelle tre popolazioni di *Ammonia beccarii* (LINNEO) prese in esame; S₁: campione proveniente da un sondaggio del Golfo di Cagliari; 1 e 4: campioni dell'attuale stagno di S. Gilla.

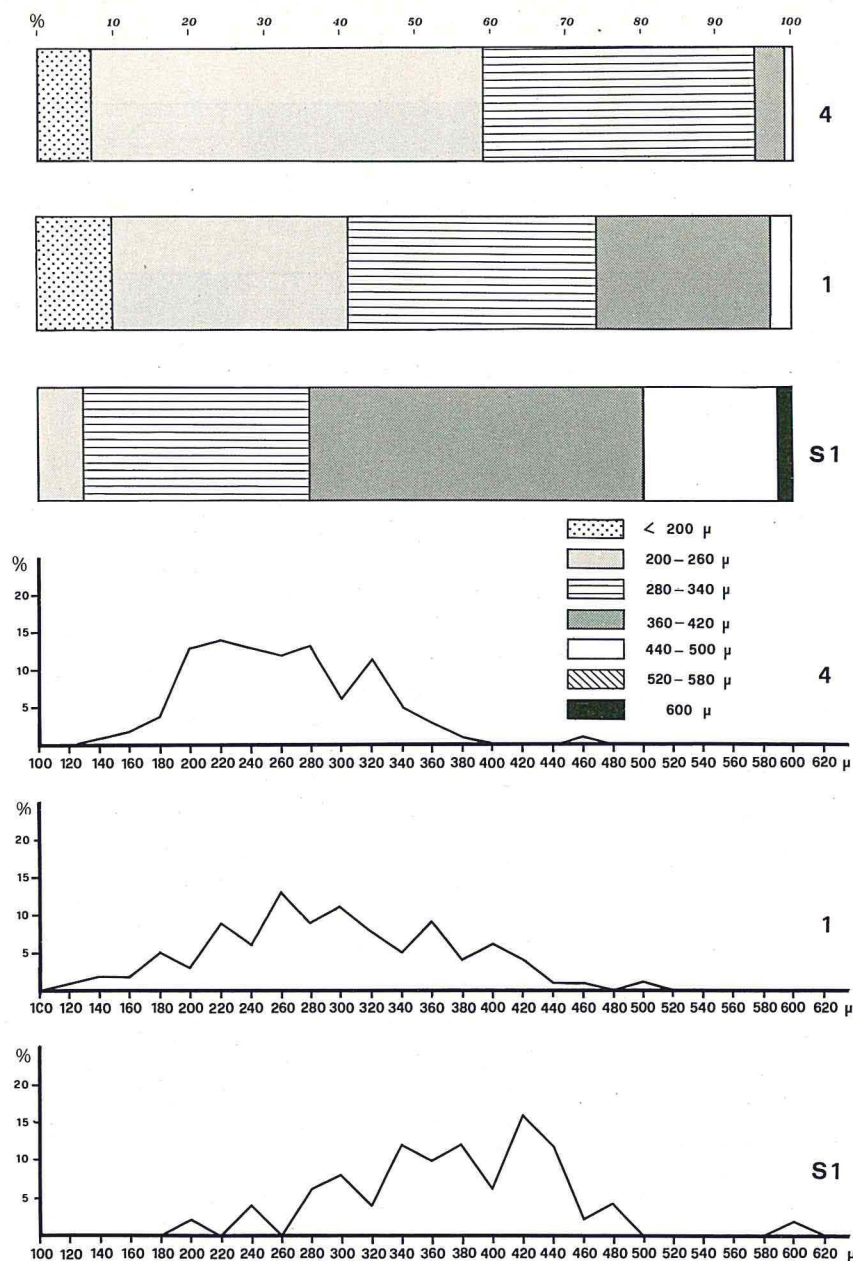


Fig. 5 - Variazione del diametro equatoriale del guscio nelle tre popolazioni di *Ammonia beccarii* (LINNEO) prese in esame; S₁: campione proveniente da un sondaggio del Golfo di Cagliari; 1 e 4: campioni dell'attuale stagno di S. Gilla.

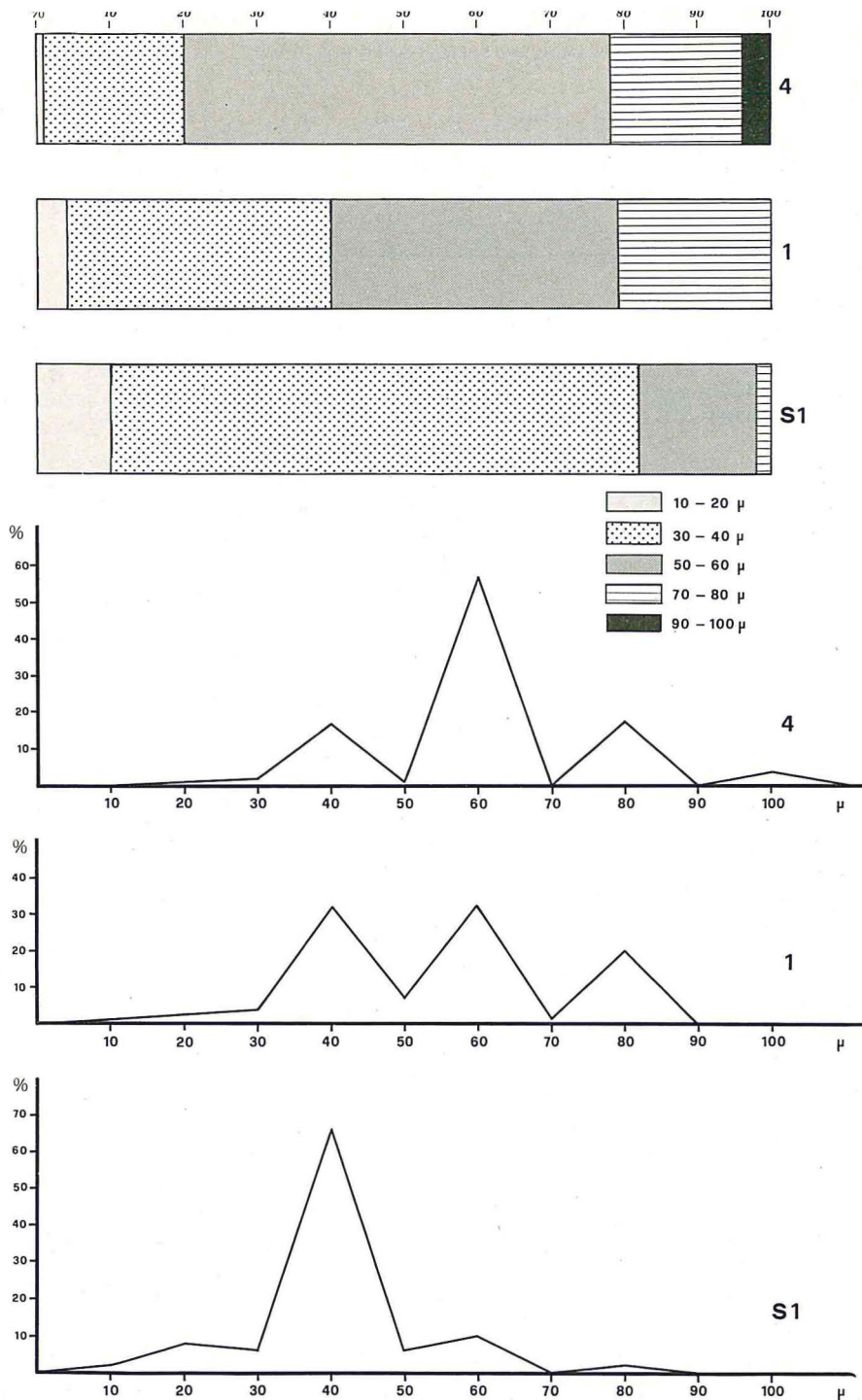


Fig. 6 - Variazione del diametro del proloculus nelle tre popolazioni di *Ammonia beccarii* (LINNEO) prese in esame; S₁: campione proveniente da un sondaggio del Golfo di Cagliari; 1 e 4: campioni dell'attuale stagno di S. Gilla.

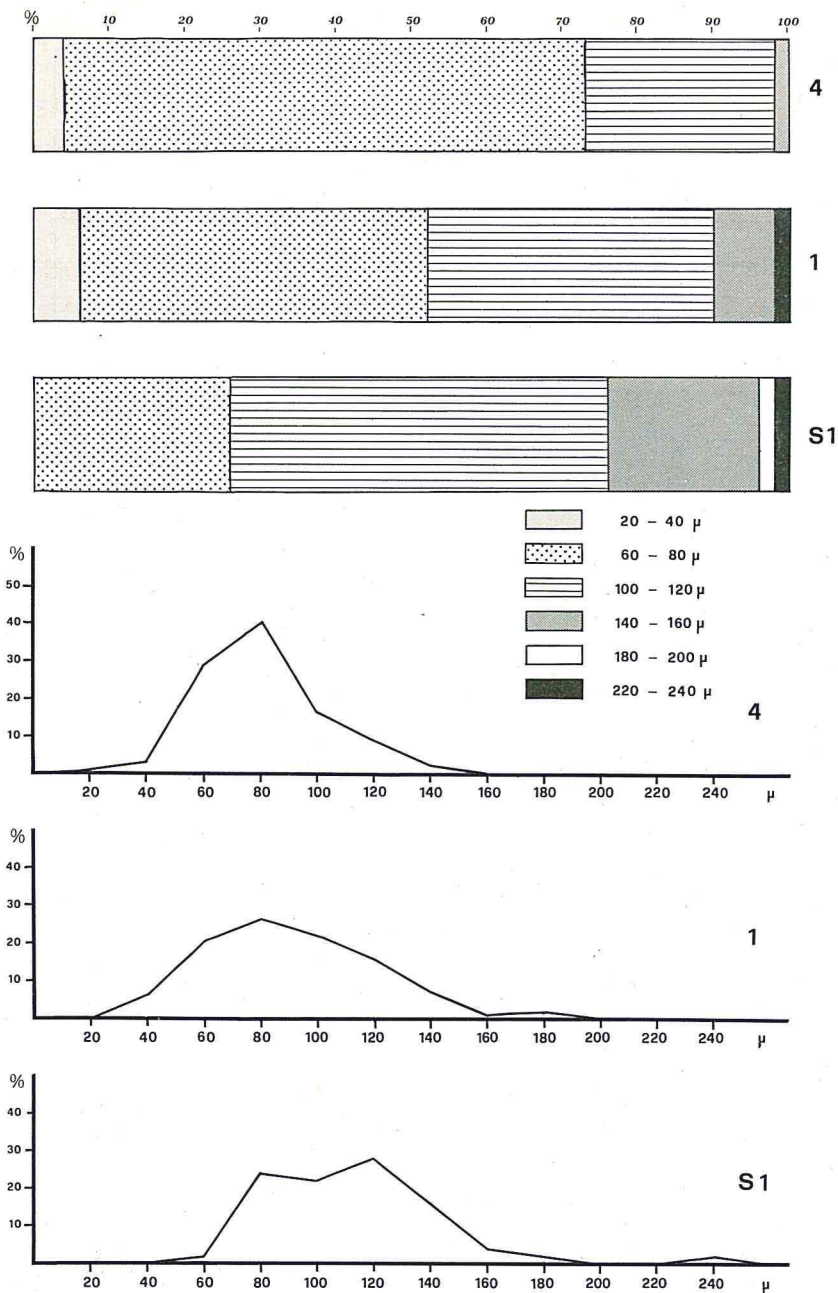


Fig. 7 - Variazione dell'altezza della spira nelle tre popolazioni di *Ammonia beccarii* (LINNEO) prese in esame; S₁: campione proveniente da un sondaggio del Golfo di Cagliari; 1 e 4: campioni dell'attuale stagno di S. Gilla.

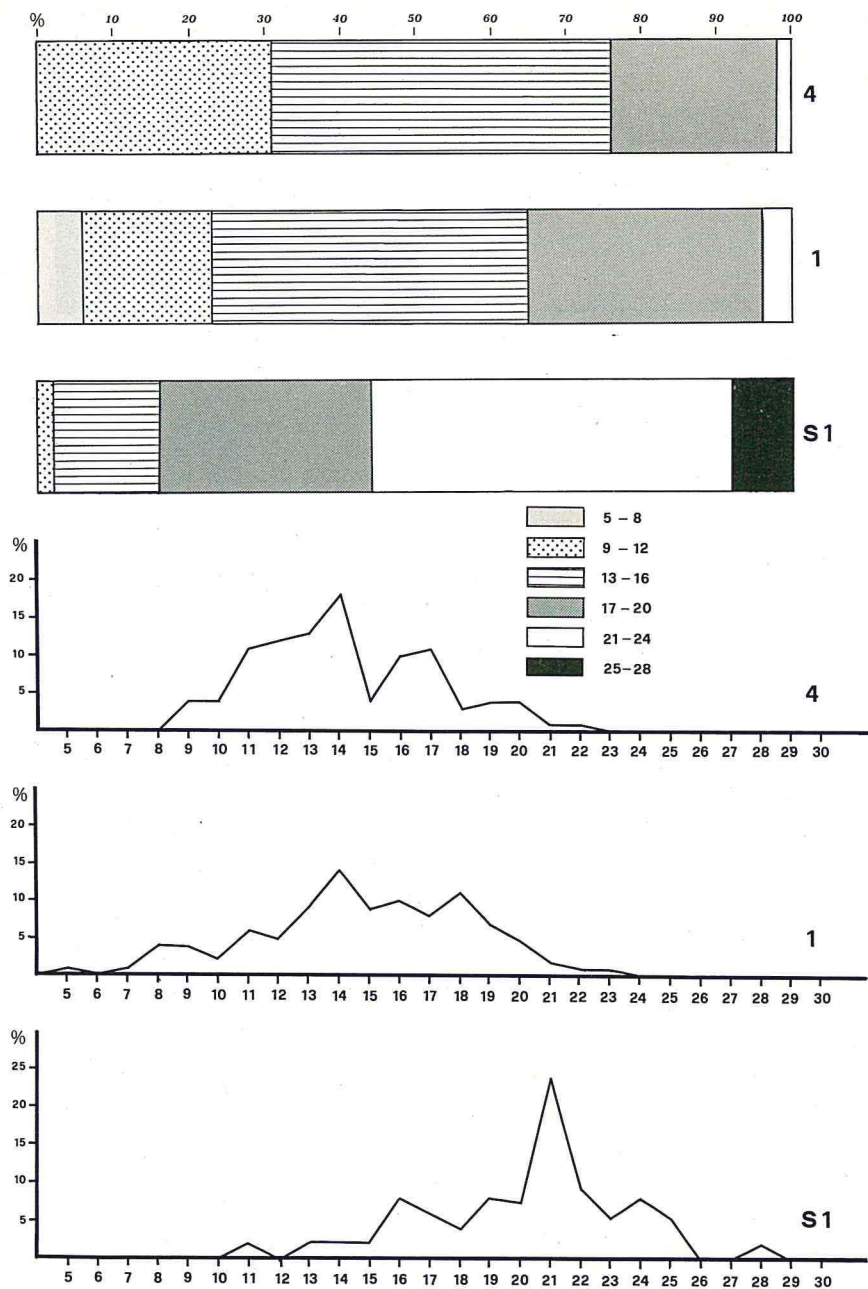


Fig. 8 - Variazione del numero delle camere nelle tre popolazioni di *Ammonia beccarii* (LINNEO) prese in esame; S₁: campione proveniente da un sondaggio del Golfo di Cagliari, 1 e 4: campioni dell'attuale stagno di S. Gilla.

I risultati sono riportati nelle figure 4, 5, 6, 7 e 8 dove un confronto tra le massime frequenze dei singoli parametri indica nelle tre popolazioni esaminate una progressiva riduzione del numero delle camere e delle dimensioni del guscio, contrapposte, peraltro, ad un sensibile aumento delle dimensioni del proloculus.

La popolazione quaternaria (S_1) è infatti prevalentemente rappresentata da morfotipi ad avvolgimento più serrato, con in media un numero di 20 camere e valori medi del diametro assiale e del diametro del proloculus rispettivamente di 420 μ e 40 μ . Le due popolazioni dello stagno presentano invece un numero ridotto di camere (15 in media nel campione 1, 14 nel campione 4), un avvolgimento più lasso della spira, dimensioni medie del diametro assiale alquanto inferiori (330 e 285 μ rispettivamente nei campioni 1 e 4) e diametro medio del proloculus di 55 (campione 1) e 60 μ (campione 4).

L'analisi della varianza ha confermato, inoltre, come le tre popolazioni, peraltro abbastanza omogenee, siano significativamente diverse (Tab. 7).

ANALISI DELLA VARIANZA - VALORI DI F

Tab.7

	$1/4/S_1$	$1/4$	$1/S_1$	$4/S_1$
NUMERO CAMERE	59.65	2.05	75.93	125.50
DIAMETRO ASSIALE	47.17	16.29	34.30	115.64
DIAMETRO EQUATORIALE	47.32	12.52	38.50	116.29
DIMENSIONI PROLOCULUS	23.63	6.83	22.38	53.89
ALTEZZA SPIRA	25.35	8.96	18.43	58.74

I valori dei coefficienti di correlazione tra i caratteri presi in esame, calcolati sui dati biometrici rilevati sia nelle singole popolazioni (Tabb. 8-10), sia sul numero complessivo degli individui

MATRICI DEI COEFFICIENTI DI CORRELAZIONE (r puro)

Tab. 8r

S 1	NUMERO CAMERE	DIAMETRO ASSIALE	DIAMETRO EQUATORIALE	DIMENSIONI PROLOCULUS	ALTEZZA SPIRA
NUMERO CAMERE		-0.0580	0.2436	-0.5193	0.1513
DIAMETRO ASSIALE			0.9379	0.0650	-0.1147
DIAMETRO EQUATORIALE				0	0.2986
DIMENSIONI PROLOCULUS					0.2080

Tab. 9

1	NUMERO CAMERE	DIAMETRO ASSIALE	DIAMETRO EQUATORIALE	DIMENSIONI PROLOCULUS	ALTEZZA SPIRA
NUMERO CAMERE		-0.1238	0.3756	-0.6098	0.2126
DIAMETRO ASSIALE			0.9322	-0.2543	-0.0775
DIAMETRO EQUATORIALE				0.3299	0.1836
DIMENSIONI PROLOCULUS					0.2680

esaminati (Tab. 11), hanno inoltre evidenziato la stretta dipendenza di due sole delle caratteristiche morfologiche (diametro assiale e diametro equatoriale) tra quelle considerate per tale analisi.

Abbastanza significativo, tuttavia, risulta anche il valore del coefficiente di correlazione tra il diametro del proloculus ed il numero delle camere. Tale valore, sempre negativo, è indice peraltro di una proporzionalità inversa tra i suddetti parametri. Una certa correlazione tra il diametro del proloculus e l'altezza della spira è invece riscontrabile solo nella popolazione del campione 4 (Tab. 10) ed è dovuta alla presenza, tra gli esemplari presi in considerazione per le misure biometriche, di diversi individui megalo-sferici con grande proloculus sporgente o con superficie dorsale fortemente convessa.

Non risulta invece affatto significativo l'indice di correlazione tra il numero delle camere e le dimensioni del diametro assiale;

Tab.10

4	NUMERO CAMERE	DIAMETRO ASSIALE	DIAMETRO EQUATORIALE	DIMENSIONI PROLOCULUS	ALTEZZA SPIRA
NUMERO CAMERE		-0.0244	0.2531	-0.4991	0.3582
DIAMETRO ASSIALE			0.9210	-0.0088	-0.1502
DIAMETRO EQUATORIALE				0.0453	0.2570
DIMENSIONI PROLOCULUS					0.4454

MATRICE DEI COEFFICIENTI DI CORRELAZIONE (r puro)

(calcolati sul totale degli individui dei tre campioni)

Tab.11

S ₁ , 1, 4	NUMERO CAMERE	DIAMETRO ASSIALE	DIAMETRO EQUATORIALE	DIMENSIONI PROLOCULUS	ALTEZZA SPIRA
NUMERO CAMERE		-0.1212	0.3402	-0.5436	0.2119
DIAMETRO ASSIALE			0.9346	-0.1612	-0.0890
DIAMETRO EQUATORIALE				0.1834	0.2346
DIMENSIONI PROLOCULUS					0.2867

ciò concorda con le osservazioni di BRADSHAW (1957) secondo cui le dimensioni delle logge di *Ammonia beccarii tepida* risulterebbero fortemente influenzate dai parametri ambientali ed in particolare modo dalla temperatura.

b) *Le dimensioni del proloculus ed il «trimorfismo» in Ammonia beccarii.*

Come risulta dall'indagine biometrica, le dimensioni del proloculus degli individui megalosferici di *Ammonia beccarii* dello stagno di S. Gilla sono molto variabili e si discostano notevolmente da quelle, in media sui 40 μ , attribuite alla forma *tepida* di questa specie e ritrovate in ambiente di estuario (foce del Tevere) od in ambiente marino franco (Baia di Augusta) dove tale forma,

associata ad altri ecofenotipi di *Ammonia beccarii*, è in genere presente, se pur numericamente poco rappresentata, nella frazione fine del sedimento.

Individui megalosferici con differenti dimensioni del proloculus erano già stati peraltro segnalati, oltre che da LISTER, SCHAUDINN, WINTER, RHUMBLER (fide LE CALVEZ, 1938) anche da HOFKER (1922, 1925, 1930), LE CALVEZ (1938), SIGAL (1959), MAYNC (1959), GLAÇON (1963), SEIGLIE (1975, 1976) e LEUTENEGGER (1979) in diverse specie di foraminiferi ed in particolare in *Ammonia beccarii tepida* (TINTANT, 1954; CITA e PREMOLI SILVA, 1967; TUFESCU, 1968) ed in *Ammonia catesbyana* (SEIGLIE, 1975, 1976).

Tali individui megalosferici, generalmente plurinucleati (LISTER, SCHAUDINN, RHUMBLER, fide LE CALVEZ, 1938; HOFKER, 1930; LE CALVEZ, 1938; CLAÇON, 1963; LEUTENEGGER, 1979) venivano interpretati o come schizonti che potevano comparire occasionalmente (SCHAUDINN, fide LE CALVEZ, 1938; LE CALVEZ, 1938) o per più volte (LISTER, RHUMBLER, fide LE CALVEZ, 1938) nel ciclo biologico delle specie in cui erano stati segnalati, oppure come generazioni megalosferiche plurinucleate facenti costantemente parte del loro ciclo riproduttivo (HOFKER, 1930; SIGAL, 1959; MAYNC, 1959; LEUTENEGGER, 1979).

I cicli trimorfici, tuttavia, così definiti da HOFKER (1925), venivano già messi in dubbio da LE CALVEZ (1938) che non aveva riscontrato in *Planorbulina mediterraneensis*, come del resto già osservato da RHUMBLER (fide LE CALVEZ, 1938) e recentemente anche da LEUTENEGGER (1979) in altre specie di foraminiferi, alcuna differenziazione morfologica tra i diversi individui megalosferici, i quali rimanevano peraltro contraddistinti unicamente dalla dimensione del loro proloculus.

Morfotipi megalosferici, apparentemente differenziati, oltre che dalla grandezza della prima camera, anche da altre caratteristiche morfologiche e morfometriche quali il numero delle logge, le dimensioni e la forma più o meno rigonfia della conchiglia, venivano invece riscontrati da TINTANT (1954) in una popolazione neogenica di *Ammonia beccarii tepida*. Un'analisi statistica effettuata per verificare la possibile esistenza di un ciclo trimorfico, evidenziava tuttavia in maniera assai chiara la gradualità delle variazioni sia delle dimensioni del proloculus, sia delle altre caratteristiche morfologiche ad esse correlate.

La validità dei cicli trimorfici veniva comunque successiva-

mente riaffermata da SIGAL (1959) e MAYNC (1959) rispettivamente in *Choffatella decipiens* e *Iberina lusitanica*, specie in cui i morfotipi megalosferici A₁ e A₂ di HOFKER risultavano tra loro differenziati, secondo gli Autori, proprio da quelle stesse caratteristiche morfologiche (numero di camere, dimensioni ridotte del guscio e forma della conchiglia) di cui TINTANT aveva peraltro riscontrato la graduale variazione in *Ammonia beccarii tepida*. SIGAL e MAYNC, come del resto recentemente LEUTENEGGER, ipotizzavano tuttavia la possibile dipendenza delle variazioni del ciclo riproduttivo delle specie prese in esame dalle condizioni ambientali. Tale ipotesi era già stata formulata peraltro anche da HOFKER (1922) che aveva osservato individui trimorfici in ambienti caratterizzati da bruschi cambiamenti di temperatura e salinità.

L'influenza dei fattori ecologici sia sulle dimensioni che sulla morfologia del proloculus veniva successivamente riaffermata da TUFESCU (1968) e SEIGLIE (1975, 1976) con studi effettuati su foraminiferi di ambienti caratterizzati o da naturali variazioni dei parametri chimico-fisici (*Ammonia tepida* del Lago Sinoe, TUFESCU) o da una loro alterazione prodotta da agenti contaminanti (*Ammonia catesbyana* ed altre specie di foraminiferi viventi in alcune baie di Porto Rico fortemente inquinate, SEIGLIE). La suddetta correlazione è risultata peraltro ampiamente confermata dalle osservazioni effettuate nello stagno di S. Gilla ed in particolare dall'indagine biometrica condotta su popolazioni di *Ammonia beccarii* prelevate sia in aree diversamente influenzate dall'apporto degli scarichi industriali e urbani (campioni 1 e 4), sia nella laguna olocenica del Golfo di Cagliari (campione S₁) dove le condizioni ambientali dello stagno, che di tale laguna faceva parte, erano peraltro assai dissimili da quelle attuali.

In *Ammonia beccarii* dello stagno di S. Gilla, inoltre, la graduale variabilità in funzione dei fattori ecologici, evidenziata per le dimensioni del proloculus (Fig. 6), è stata riscontrata anche per altre caratteristiche morfologiche e morfometriche degli individui esaminati, quali il numero delle camere (Fig. 8) e le misure dei diametri assiale ed equatoriale (Figg. 4 e 5). Quest'ultimi caratteri, quindi, più che strettamente dipendenti dalle dimensioni del proloculus e ad essi inversamente correlati (TINTANT, 1954; SIGAL, 1959; MAYNC, 1959) sono invece da considerarsi, unitamente alle dimensioni ed alla morfologia del proloculus, come la manifestazione di una attività genica che «considerata a livello morfologico

o fisiologico risulta controllare non tanto un particolare carattere, bensì la norma di reazione, evidenziata da DOBZHANSKY, a certe variabili ambientali» (OMODEO, 1971, p. 378).

I risultati desunti dallo studio dei foraminiferi dello stagno di S. Gilla appaiono peraltro confermati anche da altre osservazioni quali la frequenza di forme megalosferiche con proloculus di grandi dimensioni riscontrata sia in *Ammonia beccarii* e *Aubignyna perlucida* viventi nelle lagune di Marano (Udine), Orbetello (Grosseto), Sabaudia (Latina) e Lesina (Foggia), sia in *Ammonia beccarii* e *Protelphidium anglicum*⁽²⁾ presenti in aree della Baia di Augusta (Siracusa) fortemente alterate da apporti organici ed industriali. Tali dati appaiono inoltre ulteriormente convalidati dalla presenza quasi esclusiva di individui megalosferici a grande proloculus di *Ammonia beccarii* in ambienti fortemente distrofici quali le saline di Macchiareddu (Cagliari), con valori di salinità anche del 50-60‰, ed alcune aree della Laguna di Sabaudia con ipolimnio periodicamente anossico. Le osservazioni riportate sembrano concordare, inoltre, anche con i risultati degli esperimenti effettuati da BRADSHAW (1957) al fine di stabilire i limiti di tolleranza fisiologica di *Ammonia beccarii tepida* alle variazioni di certi parametri chimico-fisici quali temperatura e salinità. Gli individui che si riproducevano nelle colture di BRADSHAW, infatti, risultavano costantemente megalosferici e con diametro del proloculus di circa 57 µ.

Pur non avendo avuto la possibilità di verificare la natura mono o plurinucleata degli individui megalosferici di *Ammonia beccarii* dello stagno di S. Gilla, trattandosi di uno studio effettuato su tanatocenosi, è tuttavia assai probabile che essi rappresentino schizonti plurinucleati supplementari intercalati nel ciclo dimorfico sotto la pressione di condizioni ambientali sfavorevoli (le forme microsferiche, tra l'altro, con diametro inferiore a 20 µ, sono sempre in numero assai ridotto, mai superiore al 4-7% dell'intera popolazione).

In tal caso le forme suddette potrebbero anche essere considerate individui «trimorfici», ma non nel senso inteso da HOFKER (1925), bensì riservando a questo termine il significato strettamente biologico indicato da LE CALVEZ (1938), secondo cui più che di

(2) Il proloculus è visibile in questa specie solo negli esemplari privi di granulazioni nell'area ombelicale.

cicli trimorfici si può parlare della possibilità «de trouver chez les foraminifères trois sortes d'individus; des schizontes microsphériques, des schizontes mégalosphériques et des gamontes mégalosphériques» (LE CALVEZ, 1938, pp. 315-316) distinti solo biologicamente. La frequenza degli schizonti megalosferici, in particolare (tali forme, peraltro, possono comparire anche solo occasionalmente nel ciclo biologico dei foraminiferi (LE CALVEZ, 1938), dovrebbe essere indicativa, almeno a giudicare dai dati riportati in letteratura, dell'instaurarsi di condizioni ambientali molto probabilmente assai diverse da quelle ottimali o perlomeno di buona tolleranza fisiologica delle singole specie; ciò sembrerebbe dimostrato anche dal fatto che in ambiente marino con normali condizioni di temperatura e salinità tali forme sono estremamente rare. Queste osservazioni indurrebbero quindi a ritenere le forme megalosferiche riscontrate sia nello stagno di S. Gilla, sia in altri ambienti costantemente caratterizzati da forti variazioni dei parametri chimico-fisici come probabili schizonti.

Con il processo schizogonico, inoltre, possono facilmente originarsi embrioni di differenti dimensioni, dato che in tale tipo di riproduzione «n'existe aucune taille d'embryon déterminée a l'avance et leur volume résulte d'un simple quotient entre la masse cytoplasmique maternelle et le nombre des noyaux existants» (LE CALVEZ, 1938, p. 286). L'ipotesi di una riproduzione schizogonica sembrerebbe avvalorata anche dalle osservazioni di SCHNITKER (1974) sul processo di acclimatazione di vari ceppi di *Ammonia beccarii* in colture di laboratorio. Negli esperimenti di quest'Autore, infatti, l'unico tipo di riproduzione riscontrata è quella di tipo asessuato; ciò induce SCHNITKER, tra l'altro, a ritenere possibile anche in *Ammonia beccarii*, così come osservato in altri organismi pecilotermi, un processo di acclimatazione che implichi, oltre a variazioni nella struttura di particolari enzimi, anche certe ristrutturazioni biochimiche del citoplasma ed il processo schizogonico, secondo l'Autore, «with its several nuclear division and the remaking of the bulk of the cytoplasmic body, is the probable moment within the foraminiferan life cycle when some limited biochemical restructuring might occur» (SCHNITKER, 1974, p. 221).

Anche le generazioni esclusivamente megalosferiche degli esperimenti di BRADSHAW (1957), quindi, potrebbero proprio rappresentare ripetuti processi schizogonici di *Ammonia beccarii* tipica.

Tuttavia non è nemmeno da escludere che le forme megalosferiche di *Ammonia beccarii* dello stagno di S. Gilla rappresentino generazioni gamogoniche, con maggiore possibilità di adattamento, secondo SEIGLIE (1975, 1976), a condizioni ambientali sfavorevoli rispetto alla generazione asessuata.

c) *Le anomalie dei foraminiferi dello stagno di S. Gilla.*

Forme nane e anomalie del plasmostraco si riscontrano in quasi tutte le specie che costituiscono le associazioni microfaunistiche dello stagno di S. Gilla e con particolare frequenza tra gli individui di *Ammonia beccarii* ed *Elphidium gunteri*. In *Ammonia beccarii*, inoltre, sono visibili, tra i vari tipi di malformazioni, anche le alterazioni della morfologia del proloculus. Negli individui megalosferici, in particolare, la prima camera, oltre che di grandi dimensioni, si presenta talvolta voluminosa e sporgente, soprattutto negli individui nani (Fig. 9, 15-18; Tav. 1, fig. 15; Tav. 2, figg. 4-6), occupando buona parte del giro interno della spira che rimane così rappresentato da un numero assai ridotto di logge (Fig. 9, nn. 7-8; Tav. 1, figg. 11, 13, 17). In queste forme si può anche osservare un'apposizione di materiale ialino nella porzione apicale del proloculus (Tav. 1, fig. 13) che talora può estendersi lateralmente (Fig. 9, n. 8) a ricoprire in maniera parziale qualche camera del giro interno la cui morfologia rimane così alquanto indistinta.

Il materiale calcareo imperforato può invece formare ispessimenti intorno al proloculus ed alla base dei setti (Fig. 9, n. 5; Tav. 1, figg. 10-11, 13-14, 16-17; Tav. 2, figg. 1-3) senza tuttavia occupare parte della superficie delle prime logge. Può inoltre variare anche la forma della camera embrionale, ovoide o semilunare invece che rotondeggiante (Fig. 9, n. 12) e la sua posizione; non sono rari, infatti, decentramenti del proloculus, talvolta seguiti da una parziale fusione di quest'ultimo con la camera successiva, per lo più di dimensioni assai piccole e di forma irregolare. Quest'ultime anomalie, in particolare, sono state riscontrate anche nelle forme megalosferiche con proloculus di piccole dimensioni.

Sono inoltre presenti, nelle popolazioni di *Ammonia beccarii*, plasmostraci in cui si è verificata una fusione del proloculus nei primi stadi dell'ontogenesi; in qualche caso gli individui siamesi si sviluppano entrambi regolarmente, altre volte, invece, si ha solo un parziale accrescimento di una delle due forme.

Altre malformazioni di *Ammonia beccarii*, riscontrate peraltro

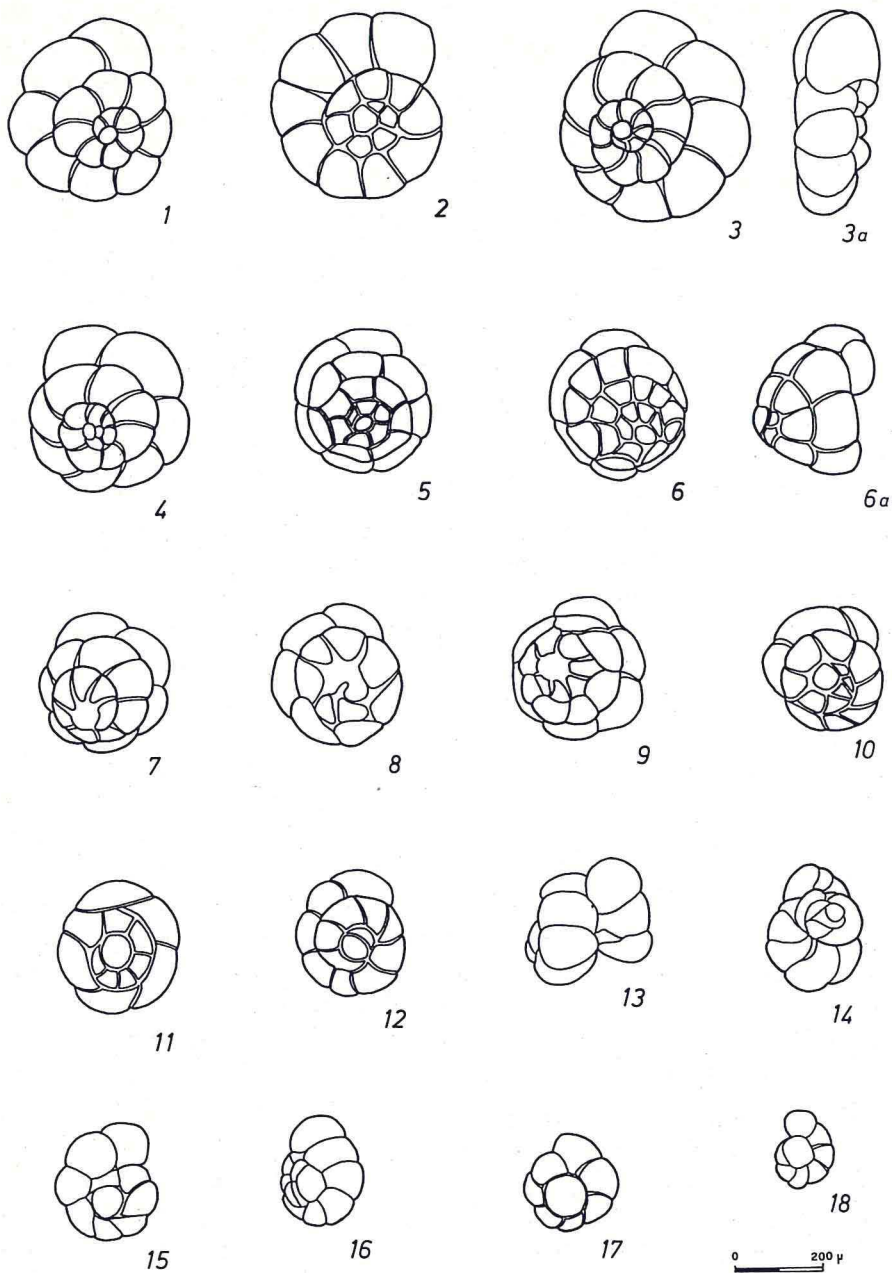


Fig. 9 - *Ammonia beccarii* (LINNEO): ecofenotipi dello stagno di S. Gilla.

in individui di dimensioni normali o addirittura superiori alla media e quindi abbastanza rare, riguardano un'apposizione di materiale calcareo a forma di bulla in corrispondenza del proloculus ed escrescenze di tipo tumorale sulle pareti di qualche camera del giro esterno della spira.

Alterazioni dell'accrescimento individuale quali un'anomala disposizione delle singole camere, il brusco variare delle loro dimensioni (Tav. 2, fig. 3) o l'irregolare disposizione dei giri della spira in differenti piani di avvolgimento (Fig. 9, nn. 13-14; Tav. 1, fig. 6; Tav. 2, fig. 8), sono state riscontrate in quasi tutte le specie delle associazioni microfaunistiche dello stagno e con maggiore frequenza in *Ammonia beccarii* ed *Elphidium gunteri*. In quest'ultima specie, in particolare, le malformazioni più frequenti sono quelle che interessano le dimensioni del diametro assiale della spira e tali anomalie conferiscono talvolta un caratteristico aspetto allungato, quasi svolto, ai gusci di *Elphidium gunteri*.

Anche gli individui nani di questa specie, come quelli di *Ammonia beccarii*, sono costituiti da una voluminosa loggia di aspetto globoso a cui sono unite poche camerette di forma e dimensioni più o meno regolari.

Tutte le anomalie riscontrate nei foraminiferi dello stagno possono essere imputate ad alterazioni metaboliche di questi organismi verificatesi o nel momento della loro formazione embrionale (alterazioni della morfologia del proloculus) o in diversi momenti del loro accrescimento (anomalie della forma e della posizione delle singole camere nella spira, modificazioni dell'avvolgimento).

Malformazioni del tutto simili a quelle riscontrate nelle associazioni microfaunistiche dello stagno di S. Gilla sono state peraltro segnalate, sia nelle stesse che in specie diverse di foraminiferi, anche in altri ambienti parimente contaminati quali la Baia di Guayanilla (SEIGLIE, 1975), la Baia di Augusta (ZAMPI, 1979) e la Cala di Dourduff (VÉNEC-PEYRÉ, 1981). Anomalie nei foraminiferi, tuttavia, già segnalate in diversi ambienti lagunari del tutto privi di apporti antropici (LE CALVEZ e LE CALVEZ, 1951; KURC, 1961; TUFESCU, 1968; GANDIN, 1979) sono state recentemente riscontrate da uno dei presenti Autori (ZAMPI, dati non pubblicati) anche nelle lagune di Marano, Orbetello, Sabaudia e Lesina, nelle saline di Macchiareddu nonché nei sedimenti basali di numerosi carotaggi effettuati nello stagno di S. Gilla.

Le specie più frequentemente interessate dalle malformazioni sono risultate, in tutte le associazioni esaminate, *Ammonia beccarii*, *Elphidium gunteri*, *Protelphidium anglicum*, *Aubignyna perlucida*, *Triloculina rotunda* e *Quinqueloculina laevigata*. In particolare, sia nei sedimenti prelevati nelle saline, sia in quelli provenienti dai fondali periodicamente anossici del braccio di Carnarola del Lago di Sabaudia, sono state riscontrate anomalie nella quasi totalità degli individui presenti (proloculus sporgente nelle forme esclusivamente megalosferiche di *Ammonia beccarii*: fig. 10; irregolare disposizione delle camere negli esemplari di *Quinqueloculina laevigata* del Lago di Sabaudia).

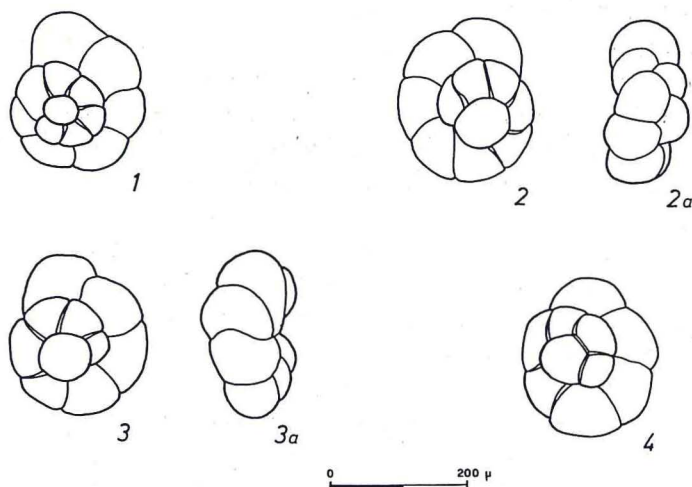


Fig. 10 - *Ammonia beccarii* (LINNEO): forme megalosferiche con grande proloculus sporgente delle saline di Macchiareddu.

I dati riportati evidenziano quindi, come già osservato per le dimensioni del proloculus, una stretta dipendenza delle malformazioni riscontrate nei foraminiferi con certe condizioni di stress quali si verificano o per una naturale instabilità dei parametri ambientali (lagune) o per l'influenza di apporti antropici sulle preesistenti condizioni ecologiche (Baia di Guayanilla, Baia di Augusta, Cala di Dourduff).

Più difficile stabilire quali siano i singoli fattori ecologici, peraltro strettamente correlati, dalle cui variazioni potrebbero dipendere i diversi tipi di malformazioni riscontrate nei foraminiferi; ciò risulta, peraltro, anche dai dati riportati in letteratura secondo cui identiche anomalie morfologiche, segnalate in una medesima specie o in taxa diversi, vengono correlate dai vari Autori ad alterazioni di differenti parametri chimico-fisici. L'irregolare disposizione delle camere di *Quinqueloculina costata* dello stagno di Canet (LE CALVEZ e LE CALVEZ, 1951), le spiralizzazioni anomale ed i vari tipi di malformazioni del proloculus di *Ammonia tepida* del Lago Sinoe (TUȚESCU, 1968) vengono attribuiti, ad esempio, a forti variazioni di salinità, mentre valori relativamente bassi del pH vengono invece indicati come una delle più probabili cause delle anomalie di miliolidi, buliminidi e nonionidi dello stagno di Thau (KURC, 1961). Certe alterazioni morfologiche di *Ammonia catesbyana*, quali una irregolare disposizione delle camere nella spira, escrescenze di tipo tumorale sulle pareti delle logge e camere supplementari a forma di bulla nell'area ombelicale, riscontrate da SEIGLIE (1975) in un'area lagunare della Baia di Guayanilla contaminata dagli scarichi di una centrale termoelettrica, vengono correlate con l'elevata temperatura delle acque, mentre sarebbe invece l'ingente quantità di nutrienti ad indurre, secondo HOFKER (1971), la formazione di una bulla ombelicale in individui di «*Streblus compactus*» viventi nella Baia di Piscadera, Curaçao.

Indubbiamente le forme megalosferiche di *Ammonia beccarii* con grande proloculus sporgente e talvolta anche con spira alta, indicano una scarsa ossigenazione delle acque, come dimostra la loro presenza in tutti gli ambienti lagunari distrofici (S. Gilla, Marano, Orbetello, Sabaudia e Lesina) e la loro elevata frequenza nei fondali anossici del Lago di Sabaudia e nelle saline di Macchia-reddu.

Tali osservazioni concordano, peraltro, con i dati riportati da SEIGLIE (1975), il quale aveva già riscontrato queste forme proprio in ambienti salmastri con abbondante materia organica e scarsa ossigenazione.

CONCLUSIONI

L'analisi delle microfaune dei sei campioni esaminati ha messo in evidenza la marcata oligotopia delle associazioni a foramini-

feri dello stagno di S. Gilla. *Ammonia beccarii*, *Elphidium gunteri*, *Protelphidium anglicum* e *Protelphidium granosum*, forme mixoaline già segnalate in numerosi ambienti salmastri del Mediterraneo (Stagni di Canet e Salses: LE CALVEZ e LE CALVEZ, 1951; Delta del Rodano: KRUIT, 1955; Stagno di Thau: KURC, 1961; Laguna di Venezia: CITA e PREMOLI SILVA, 1967; Lagune del Delta del Po: D'ONOFRIO, MARABINI e VIVALDA, 1976; Laguna olocenica del Golfo di Cagliari: GANDIN, 1979; Cala di Dourduff: VENÉC-PEYRÉ, 1981; Laguna di Orbetello: ZAMPI e D'ONOFRIO, in corso di stampa; Lagune di Marano, Sabaudia e Lesina: ZAMPI, dati non pubblicati) sono infatti le uniche specie, peraltro rappresentate da un elevato numero di individui, che si riscontrano in tutti i sedimenti dello stagno. Tutte le associazioni sono inoltre caratterizzate dallo spiccato polimorfismo degli individui, prevalentemente megalosferici, di *Ammonia beccarii*, da un'elevata percentuale di plasmotracci con dimensioni ridotte e dalla presenza di numerose forme nane e teratologiche. Quest'ultime, in particolare, così come le grandi dimensioni del proloculus di *Ammonia beccarii*, appaiono strettamente correlate alle naturali variazioni dei fattori ecologici, quali si riscontrano in tutti gli ambienti lagunari, ulteriormente potenziate a S. Gilla dagli scarichi industriali e urbani immessi nello stagno. In particolare, i bruschi cambiamenti dei valori del pH, registrati da COTTIGLIA et al. (1973) nelle stazioni di prelievo più direttamente interessate dalle acque reflue del complesso industriale, sono evidenziati dalla superficie corrosa o addirittura decorticata di numerosi plasmotracci sia di *Ammonia beccarii* che di *Elphidium gunteri*.

Delle specie presenti nelle associazioni, *Protelphidium anglicum*, caratterizzata da un esiguo numero di esemplari di dimensioni ridotte o con malformazioni, appare quella fisiologicamente meglio adattata alle attuali condizioni ecologiche dello stagno.

La maggiore diversità specifica, inoltre, si riscontra nella parte meridionale dello stagno ed in particolare tra le microfaune del campione 1, prelevato in un'area favorita da un maggiore ricambio idrico e meno influenzata dagli scarichi urbani. Nella parte settentrionale dello stagno, invece, più direttamente interessata dall'apporto sia delle acque fluviali, sia di quelle degli scarichi industriali, le alterazioni dei parametri chimico-fisici, e soprattutto della salinità, hanno notevolmente selezionato i taxa in grado di adattarsi alle mutate condizioni ecologiche dello stagno e le microfaune a foraminiferi sono rappresentate unicamente dalle tre

specie *Ammonia beccarii*, *Elphidium gunteri* e *Protelphidium anglicum*.

L'instaurarsi di un ambiente marcatamente ipoalino in questa parte dello stagno, come conseguenza dell'intervento antropico, è tra l'altro bene evidenziato da un confronto tra le associazioni a foraminiferi degli attuali campioni di fondo (campioni 4, 5 e 6) di quest'area con le microfaune dei sedimenti basali dei carotaggi effettuati da COTTIGLIA et al. (1973). In quest'ultime, infatti, sono ancora presenti i miliolidi rappresentati da poche specie, quali *Triloculina rotunda*, *Quinqueloculina laevigata* e *Quinqueloculina costata*, ma da numerosi individui, se pur caratterizzati da gusci sottili, di dimensioni ridotte e con attenuata ornamentazione. Gli stessi milioidi sono attualmente presenti soltanto nella parte meridionale dello stagno dove è ancora abbastanza attivo il ricambio idrico con il Golfo di Cagliari.

Un ulteriore confronto tra le associazioni microfaunistiche dei carotaggi con quelle dei sedimenti olocenici dell'antica laguna del Golfo di Cagliari, di cui lo stagno di S. Gilla faceva parte, ha inoltre messo in luce le progressive alterazioni ambientali verificatesi nello stagno negli ultimi 50 anni. Le associazioni a foraminiferi dei sedimenti olocenici (GANDIN, 1979) erano infatti assai più ricche di specie, eurialine, ma anche di ambiente marino franco, indice questo di un buon ricambio idrico dell'antica laguna. Individui di dimensioni ridotte, morfologicamente anomali, erano tuttavia presenti, ma solo in orizzonti particolari (fasi di laguna chiusa). Le microfaune dei sedimenti basali dei carotaggi appaiono invece già costituite da un numero assai minore di specie rispetto a quelle oloceniche, principalmente a causa della variata salinità, più elevata e uniforme prima delle rilevanti modifiche apportate alla rete fluviale, e conseguentemente alla morfologia dello stagno, dalla bonifica dei Contivecchi⁽³⁾.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Prof. Mauro Cottiglia dell'Istituto di Zoologia dell'Università di Cagliari per il prelievo dei carotaggi nello stagno di S. Gilla, il Dott. Roberto Fon-

⁽³⁾ La bonifica, con cui iniziò il frazionamento del grande stagno di Cagliari, fu realizzata in un arco di tempo compreso tra il 1920 e il 1925.

di del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Siena per l'esecuzione dei disegni dei foraminiferi e la Prof. Anna Gandin del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Siena per gli utili consigli dati durante la stesura del manoscritto.

BIBLIOGRAFIA

- BLANC-VERNET L. (1969) - Contribution à l'étude des Foraminifères de Méditerranée. *Rec. trav. St. Mar. Endoume*, **48**, 5-281.
- BOLTOVSKOY E., WRIGHT R. (1976) - Recent Foraminifera. Dr. W. Junk b.v., Publ., The Hague.
- BRADSHAW J.S. (1957) - Laboratory studies on the rate of growth of the foraminifer, *Streblus beccarii* (Linnè) var. *tepida* (Cushman). *Journ. of Paleont.*, **31** (6), 1138-1147.
- CAVALLI SFORZA L. (1961) - Analisi statistica per medici e biologi. Ed. Boringhieri, Torino, 1-204.
- CITA M.B., PREMOLI SILVA I. (1967) - Sui foraminiferi incontrati in un pozzo perforato nella Laguna di Venezia. *Memorie di Biogeografia Adriatica*, **7**, 29-51.
- COGNETTI G. (1977) - In 'Risanamento e protezione dell'ambiente idro-biologico delle Lagune di Orbetello'. Regione Toscana, Comune di Orbetello, 35-98.
- COTTIGLIA M., MASCIA C., TAGLIASACCHI MASALA M.L. (1973) - L'inquinamento nello stagno di Cagliari. *Notiz. Centro Reg. Program.*, Cagliari, **7**, 3-55.
- D'ONOFRIO S., MARABINI F., VIVALDA P. (1976) - Foraminiferi di alcune lagune del Delta del Po. *Giorn. Geol.*, ser. 2a, **40** (1), 267-274.
- GANDIN A. (1979) - Considerazioni ecologiche e stratigrafiche su tre sondaggi nel Golfo di Cagliari. *Giorn. Geol.*, ser. 2a, **43** (1), 103-132.
- GLAÇON G. (1963) - Foraminifères des dépôts actuels des côtes de Tunisie sud-orientale. *Thèse de doctorat, fac. de Sciences de Montpellier*, 1-270.
- GLAÇON G. (1964) - Radiographie de Foraminifères. *Bull. Soc. Geol. France*, **7** (6), 10-12.
- HOFKER J. (1922) - De Protozoen: flora en fauna der Zuiderzee. *Monogr. van een Brakwatergebiet*, 127-183.
- HOFKER J. (1925) - On heterogamy in Foraminifera. *Tijdschr. Ned. Dier Ver.*, **2** (1c), 68-70.
- HOFKER J. (1930) - Foraminifera of the Siboga Expedition. *Siboga Exped.*, part II, 79-170.
- HOFKER J. (1971) - Foraminifera of the Piscadera Bay, Curaçao. *Stud. Fauna Curaçao and other Carribean Is.*, **35**, 1-63.
- KRUIT C. (1955) - Sediments of the Rhone delta. I. Grain-size and microfauna. *Verh. Ned. Geol. Mjn.*, *Geol. Ser.*, **15** (3), 357-489.
- KURC C. (1961) - Foraminifères et Ostracodes de l'étang de Thau. *Inst. Pêches Marit.*, *Rev. Trav.*, **25**, 134-248.
- LE CALVEZ J. (1938) - Recherches sur les foraminifères. I. Développement et reproduction. *Arch. Zool. Exp. Gen.*, **80**, 163-333.

- LE CALVEZ J., LE CALVEZ Y. (1951) - Contribution a l'étude des Foraminifères des eaux saumâtres. I. Etangs de Canet et de Salses. *Vie et Milieux*, **2** (2), 237-254.
- LEUTENEGGER S. (1979) - Reproduction cycles of larger foraminifera and depth distribution of generations. In 'Depth-relations of recent larger Foraminifera in the Gulf of Aqaba-Eilat'. *Utrecht Micropal. Bull.*, **15**, 27-34.
- LISON L. (1961) - Statistica applicata alla biologia sperimentale. Ed. Ambrosiana, Milano, 1-364.
- LOEBLICH A.R., TAPPAN E. (1964) - Protista. In 'Treatise on Invertebrate paleontology', Moore Ed., part C, 1-2.
- MAYNC W. (1959) - The foraminiferal genera *Spirocyclus* and *Iberina*. *Micropal.*, **4** (1), 1-33.
- MURRAY S.W. (1973) - Distribution and ecology of living benthic foraminiferids. *Hernemann Educational Books*, 1-274.
- OMODEO P. (1971) - Lezioni di Biologia. Lib. Cortina, Padova, 1-854.
- PERDICARO R., MAGLIOCCHETTI LOMBI P., GIANGRANDE A. (1980) - Ricerche sul Lago di Sabaudia: considerazioni a seguito della crisi distrofica verificatasi nel luglio 1979. *Quad. Ist. Idrobiol. e Acquac.* «G. Brunelli», Casali di Paola, Sabaudia (Lt), anno I, **2**, 3-23.
- PORCU A. (1976) - L'evoluzione geomorfologica degli stagni di Cagliari e loro rappresentazione cartografica dal 1834 ad oggi. *Pubbl. 174 dell'Ist. di Geol., Paleont. e Geografia fisica di Cagliari*, 1-16.
- SCHNITKER D. (1974) - Ecotypic variation in *Ammonia beccarii* (Linné). *Journ. Foram. Res.*, **4** (4), 217-223.
- SEIGLIE G.A. (1975) - Foraminifers of Guayanilla Bay and their use as environmental indicators. *Rev. Espan. Micropal.*, **7** (3), 453-480.
- SEIGLIE G.A. (1976) - Significance of proloculus size in the foraminifer *Fursenkoina punctata* (d'Orbigny). *Micropaleont.*, **22** (4), 485-490.
- SHOWERS W.J. (1980) - Biometry of the foraminifera *Rosalina globularis* (d'Orbigny) in antarctic environments. *Journ. of Foram. Res.*, **10** (1), 61-74.
- SIGAL J. (1959) - Trimorphisme morphologique et trimorphisme structural. Un exemple: *Choffatella decipiens* Schlumberger 1905 (Foraminifères). *Boll. Soc. Geol. France*, **2** (1), 662-668.
- SILVESTRI A. (1950) - Foraminiferi della Laguna Veneta. *Boll. Pesca, Piscic. e Idrobiol.*, **26** (5), 22-98.
- TINTANT H. (1954) - Etudes sur la microfaune du Néogène de Turquie. *Bull. Scient. Bourgogne*, **14**, 185-208.
- TUFESCU M. (1968) - *Ammonia tepida* (Cushman) (ord. Foraminifera). Some features of its variability in the Black Sea basin. *Rev. Roum. Biol. Zoologie*, **13**, 169-177.
- VÉNEC-PEYRÉ M.T. (1981) - Le foraminifères et la pollution: étude de la microfaune de la Cale du Dourduff (embouchure de la rivière de Morlaix). *Cah. Biol. Mar.*, **22**, 25-33.
- ZAMPI M. (1979) - I foraminiferi della Baia di Augusta. Relazione C.O.I. P.A. per il C.S.E.I., Catania.

TAVOLE

TAVOLA 1

- Fig. 1-3 - *Elphidium gunteri* COLE: esemplari con plastrotraco decorticato (x80); camp. 1.
- Fig. 4 - *Quinqueloculina costata* D'ORBIGNY: esemplare con irregolare disposizione delle camere (x80); camp. 3.
- Fig. 5 - *Protelphidium anglicum* MURRAY (x80); camp. 1.
- Fig. 6 - *Protelphidium anglicum* MURRAY: esemplare con spira anomala (x80); 6a: particolare della superficie della parete di una delle prime camere (x625); camp. 4.
- Fig. 7 - *Ammonia beccarii* (LINNEO): forma megalosferica con proloculus leggermente sporgente e di dimensioni superiori a 40 μ ; il margine periferico appare marcatamente lobato; v. dorsale (x80); camp. 1.
- Fig. 8 - *Ammonia beccarii* (LINNEO): forma megalosferica con diametro del proloculus > di 40 μ e margine periferico marcatamente lobato; v. dorsale (x80); 8a: particolare della superficie dorsale della parete della penultima camera del giro esterno (x1250); camp. 1.
- Fig. 9 - *Ammonia beccarii* (LINNEO): forma megalosferica con proloculus di circa 40 μ ; v. dorsale (x80); camp. 1.
- Fig. 10 - *Ammonia beccarii* (LINNEO): forma megalosferica con grande proloculus e suture delle prime camere marcatamente limbate; v. dorsale (x80); camp. 4.
- Fig. 11 - *Ammonia beccarii* (LINNEO): forma megalosferica con grande proloculus sporgente e ridotto numero di camere nel giro interno della spira; v. dorsale (x80); camp. 4.
- Fig. 12 - *Ammonia beccarii* (LINNEO): forma megalosferica con diametro del proloculus > di 40 μ ; v. dorsale (x80); camp. 4.
- Fig. 13 - *Ammonia beccarii* (LINNEO): forma megalosferica con grande proloculus sporgente e suture delle prime camere marcatamente limbate; v. dorsale (x80); camp. 4.
- Fig. 14 - *Ammonia beccarii* (LINNEO): forma megalosferica con grande proloculus e suture delle prime camere marcatamente limbate; v. dorsale (x80); camp. 4.
- Fig. 15 - *Ammonia beccarii* (LINNEO): esemplare di piccole dimensioni con grande proloculus sporgente e ridotto numero di camere; v. dorsale (x160); camp. 4.
- Fig. 16 - *Ammonia beccarii* (LINNEO): forma megalosferica con grande proloculus ed evidenti ispessimenti di materiale ialino alla base delle suture delle prime camere; v. dorsale (x80); camp. 4.
- Fig. 17 - *Ammonia beccarii* (LINNEO): forma megalosferica con grande proloculus sporgente e ridotto numero di camere nel giro interno della spira. Sono evidenti gli ispessimenti di materiale ialino alla base delle suture delle prime camere; v. dorsale (x80); camp. 4.



1



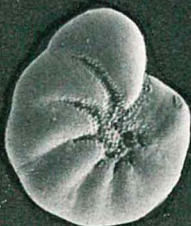
2



3



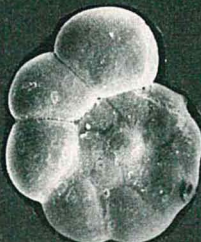
4



5



6



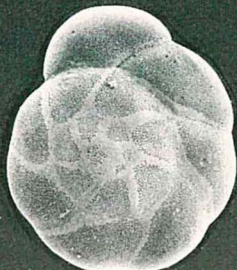
7



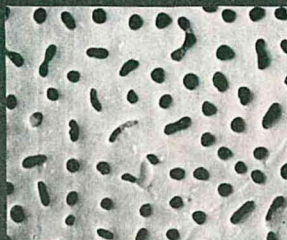
8



6a



9



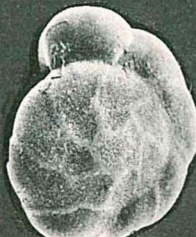
8a



10



11



12



13



14



15



16



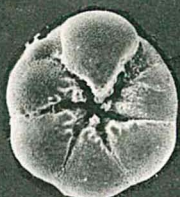
17

TAVOLA 2

- Fig. 1 - *Ammonia beccarii* (LINNEO): forma megalosferica con grande proloculus e spira alta. Sono evidenti gli ispessimenti di materiale ialino alla base delle suture delle prime camere; 1a: v. dorsale; 1b: v. ombelicale (x80); camp. 4.
- Fig. 2 - *Ammonia beccarii* (LINNEO): forma megalosferica con grande proloculus e spira alta; v. dorsale (x80); camp. 4.
- Fig. 3 - *Ammonia beccarii* (LINNEO): forma megalosferica con grande proloculus, evidenti ispessimenti di materiale ialino alla base delle suture delle prime camere ed ultima camera del giro esterno della spira morfologicamente anomala; v. dorsale (x80); camp. 4.
- Fig. 4 - *Ammonia beccarii* (LINNEO): esemplare di piccole dimensioni con grande proloculus; v. dorsale (x160); camp. 4.
- Fig. 5-6 - *Ammonia beccarii* (LINNEO): esemplari di piccole dimensioni con grande proloculus sporgente; v. dorsale (x160); camp. 4.
- Fig. 7 - *Ammonia beccarii* (LINNEO): forma megalosferica a spira alta; v. assiale (x160); camp. 4.
- Fig. 8 - *Ammonia beccarii* (LINNEO): esemplare con spira anomala (x160); camp. 4.
- Fig. 9 - *Ammonia beccarii* (LINNEO): forma megalosferica con diametro del proloculus di circa 40 μ ; 9a: v. dorsale; 9b: v. ombelicale (x80); 9c: particolare della superficie dorsale della parete della penultima camera del giro esterno della spira (x1250); camp. S₁, sondaggio.



1a



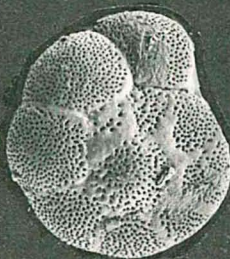
1b



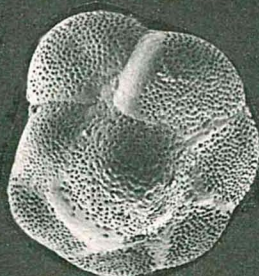
2



3



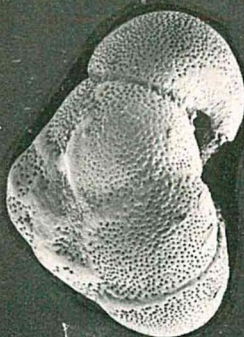
4



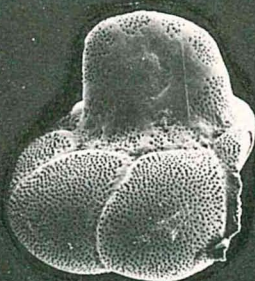
5



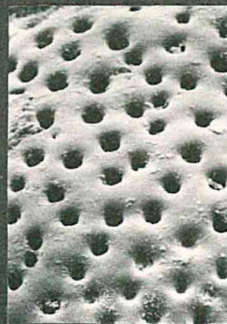
6



7



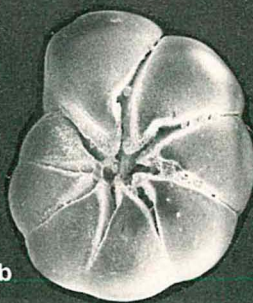
8



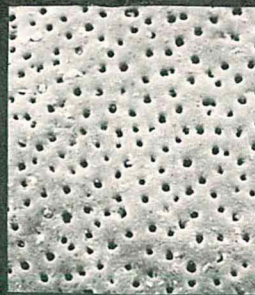
6a



9a



9b



9c