

I foraminiferi bentonici della Sacca di Goro (Italia) e la loro possibile utilizzazione come bioindicatori dell'inquinamento da metalli pesanti

Rodolfo Coccioni

Istituto di Geologia e Centro di Palinologia dell'Università, Campus Scientifico,
Località Crocicchia, I-61029 Urbino

Riassunto

Tra la primavera e l'autunno del 1997 è stata effettuata una dettagliata analisi delle associazioni a foraminiferi bentonici e della concentrazione di differenti metalli in tracce nella Sacca di Goro (Italia). Le biocenosi identificate sono caratterizzate da una ridotta diversità tassonomica e da un numero significativamente elevato di esemplari che sviluppano una varietà di anomalie morfologiche. Queste anomalie sembrano risultare dall'azione combinata di alcuni fattori quali l'arricchimento in Th e la riduzione di salinità. Questo studio conferma e avvalorata la possibilità di utilizzare i foraminiferi bentonici come tecnica per il monitoraggio continuo, *in situ*, dell'inquinamento da metalli in traccia.

Introduzione

I foraminiferi sono comunemente utilizzati in differenti campi delle Scienze della Terra e delle Scienze Ambientali per una serie di motivi: 1) sono organismi capaci registrare nel loro guscio le fondamentali variazioni ambientali ed i processi evolutivi della storia della vita del nostro pianeta; 2) sono ampiamente distribuiti in tutti gli ambienti marini; 3) le loro ridotte dimensioni e la loro abbondanza consentono di ottenere associazioni statisticamente significative anche da campioni non particolarmente abbondanti; 4) hanno un'elevata diversità tassonomica; 5) hanno un ciclo vitale talmente breve (generalmente solo alcuni mesi) da consentire di valutare accuratamente le variazioni ambientali che si verificano in un ristretto intervallo di tempo.

I foraminiferi bentonici in particolare, vivendo in corrispondenza o appena al di sotto dell'interfaccia acqua-sedimento possono fornire utili informazioni sulle condizioni di fondo.

Negli ultimi decenni sono stati effettuati numerosi studi (Watkins, 1961; Lidz, 1965; Wright, 1968; Boltovskoy e Boltovskoy, 1968; tra gli altri) sulle associazioni a foraminiferi bentonici in differenti zone del mondo esposte a differenti tipi di inquinamento marino (vedi anche Alve, 1995, *cum bibl.*). Questi studi rappresentano un primo tentativo di sviluppare nuove metodologie per il monitoraggio biologico dei differenti tipi di contaminazione a mare e, contribuendo ad una migliore conoscenza della biologia dei foraminiferi (si veda Lee e Anderson, 1991), hanno dimostrato che i foraminiferi bentonici possono essere sensibili ed economici bioindicatori dell'inquinamento negli ambienti marini e di transizione.

Numerosi studi (Schafer et al., 1980; Naidu et al., 1985; Ellison et al., 1986; Alve, 1991; Sharifi et al., 1991; Banerji, 1992; Stubbles, 1993; Yanko et al., 1994, 1998; Ashraf, 1997; Coccioni et al., 1997) effettuati in differenti ambienti marini hanno analizzato la risposta dei foraminiferi bentonici all'inquinamento da metalli pesanti che si è notevolmente accresciuto negli ultimi decenni con effetti deleteri sugli ecosistemi. Queste ricerche hanno documentato che questo particolare tipo di in-

quinamento, favorendo probabilmente processi patologici a livello cellulare, svolge un ruolo molto importante nell'indurre una serie di fenomeni quali: sviluppo di gusci morfologicamente anormali, variazioni dell'abbondanza e della composizione tassonomica delle associazioni, variazioni delle dimensioni degli individui e modificazioni della struttura della parete del guscio. Di conseguenza, la maggior parte dei sopracitati autori ha suggerito di utilizzare la presenza di esemplari deformati di foraminiferi bentonici come potenziale bioindicatore, *in situ*, dell'inquinamento provocato da metalli pesanti; il tipo di deformazione del guscio potrebbe fornire addirittura informazioni relative al tipo di inquinante e sarebbe perfino possibile individuare un diverso grado di sensibilità dei taxa a questo particolare tipo di inquinamento.

Tuttavia, significative quantità di gusci anormali possono risultare anche dallo stress naturale dell'ambiente relativo sia a condizioni estreme (Zaninetti, 1982; Zampi e D'Onofrio, 1984, 1987; Almogi-Labin et al., 1992; tra gli altri) che a rapidissime variazioni dei parametri ecologici (Seiglie, 1964; Closs e Madeira, 1968; Caralp, 1989; tra gli altri).

Sulla base di un'accurata revisione dei dati esistenti in letteratura, Boltovskoy et al. (1991) hanno messo in evidenza che le variazioni morfologiche riscontrate nei foraminiferi bentonici possono essere messe in relazione a differenti parametri ambientali (temperatura, salinità, solubilità carbonatica, profondità, nutrienti, substrato, livelli di ossigeno disciolto, illuminazione, inquinamento, movimenti delle masse d'acqua, elementi in traccia e rapide variazioni ambientali). Questi Autori hanno concluso che le variazioni morfologiche dei gusci derivano più verosimilmente dalla variazione combinata di questi parametri.

Recentemente, sulla base di studi effettuati in laboratorio e negli ambienti naturali, Stouff et al. (1999) hanno dimostrato che lo sviluppo di anomalie morfologiche nei foraminiferi bentonici, e in particolare nel genere *Ammonia*, può derivare da una varietà di cause: alterazioni durante l'ontogenesi, ipersalinità (sebbene anomalie morfologiche simili si ritrovano sia in ambienti caratterizzati da valori variabili e/o estremi della salinità che in ambienti a salinità normale), schizogonia, decalcificazione e rigenerazione del guscio.

Allo stato attuale quindi, risulta difficile, spesso impossibile, separare la/e causa/e di uno stress ambientale antropico da quella/e di uno stress ambientale naturale ed individuare una singola causa specifica. È altrettanto difficile, spesso impossibile, separare gli effetti dell'inquinamento chimico da quelli degli elementi in traccia poichè tra gli inquinanti possono essere presenti molti di questi elementi. Inoltre, l'importanza di certi parametri è stata probabilmente sovrastimata poichè essi sono stati misurati molto più frequentemente di altri. Appare quindi necessario stabilire l'effettivo ruolo che i metalli pesanti hanno sulla distribuzione, sulla crescita e sullo sviluppo di morfologie anormali nei foraminiferi bentonici, prima di utilizzare questi organismi come bioindicatori dell'inquinamento da metalli pesanti.

Vengono qui presentati i risultati delle analisi condotte sui sedimenti superficiali della Sacca di Goro relativamente alle associazioni a foraminiferi bentonici ed alla concentrazione di elementi in traccia (Fig. 1).

La Sacca di Goro è particolarmente adatta per testare la risposta dei foraminiferi bentonici all'inquinamento da metalli pesanti poichè è stata oggetto di un programma pluriennale (1988-1991) per il monitoraggio dei principali parametri fisici, chimici e biologici (Bencivelli e Castaldi, 1991; Bencivelli et al., 1994). Nei suoi sedimenti, inoltre, si ritrovano numerosi esemplari morfologicamente anormali e significative concentrazioni di metalli pesanti.

Area di studio

La Sacca di Goro è la laguna più meridionale del delta del fiume Po (Fig. 1). Con un'area totale di 26 km² ed una profondità media di 1.5 m, la sacca è la più importante fonte di reddito per la comunità locale che trova occupazione principalmente nella molluscocoltura. L'accresciuta frequenza ed intensità dell'inquinamento ambientale che ha interessato la sacca negli ultimi anni ha messo in

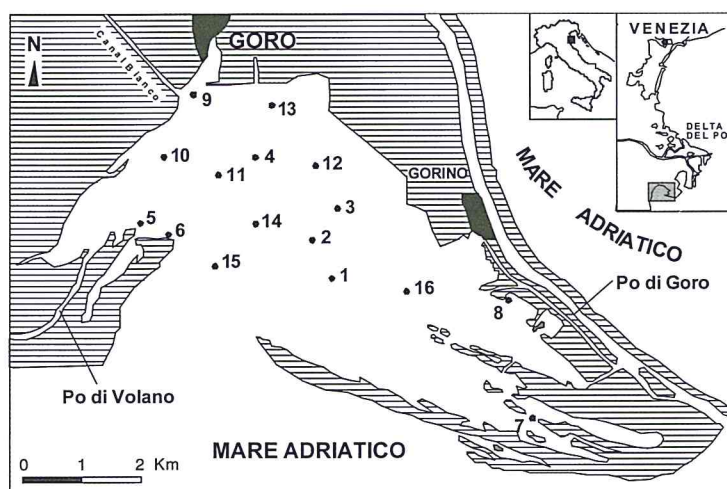


Figura 1 - Le stazioni di campionamento nella Sacca di Goro. Coordinate UTM: 1) 0288077, 4965804; 2) 0287807, 4966540; 3) 0288123, 4967016; 4) 0286848, 4967864; 5) 0285170, 4966480; 6) 0284866, 4966248; 7) 0291319, 4963352; 8) 0290938, 4965461; 9) 0285697, 4968975; 10) 0285367, 4967847; 11) 0286198, 4967555; 12) 0287765, 4967769; 13) 0287064, 4968601; 14) 0286875, 4966790; 15) 0286018, 4966098; 16) 0289165, 4965517.

anni, opere che hanno bloccato la sua evoluzione naturale (Colombo et al., 1991).

I sedimenti della sacca sono prevalentemente fangosi, fatta eccezione per l'area ubicata in prossimità della sua bocca dove sono presenti sedimenti essenzialmente sabbiosi (Dal Cin e Pambianchi, 1991).

I parametri chimico-fisici variano sensibilmente attraverso la sacca a causa dell'afflusso di acqua dolce dal Po di Volano e in considerazione dello scambio d'acqua con il Mar Adriatico. Nell'intervallo 1988-1991 (vedi Colombo et al., 1991 e 1994), i valori della temperatura e della salinità sono risultati rispettivamente compresi tra 5°C-27.1°C (mediamente 16.6°C) e 6.5‰-32.2‰ (mediamente 23.5‰) nelle acque superficiali e 4.2°C -27.5°C (mediamente 16.6°C) e 11.7‰-31‰ (mediamente 26.9‰) nelle acque di fondo. Non si sono riscontrate significative variazioni dei valori medi della temperatura entro la sacca (vedi Colombo et al., 1991 e 1994). I valori più bassi della salinità, sia delle acque superficiali che di quelle di fondo, caratterizzano la parte orientale (valori medi rispettivamente di 21.7‰ e 24.2‰) e quella occidentale (valori medi rispettivamente di 20.7‰ e 26.1‰) della sacca. I valori più elevati di questi parametri (rispettivamente 26% e 28.4‰ in media) caratterizzano le zone prossime alla sua bocca. Sulla base dei valori di salinità riscontrati, la Sacca di Goro può essere considerata un corpo d'acqua polialino. Relativamente al pH sono stati misurati valori compresi tra 7.3 e 9.1 nelle acque superficiali e tra 7.4 e 9 nelle acque di fondo. La concentrazione di ossigeno nelle acque di fondo si è mantenuta generalmente al di sopra del livello critico, con valori compresi tra 3.7 mg/l e 12.4 mg/l.

Negli ultimi anni, tuttavia, per effetto dell'aumentato carico di sostanze solide e liquide dall'entroterra attraverso il Po di Volano (Fig.1) che drena aree fortemente industrializzate per una superficie totale di circa 3000 km², nella Sacca di Goro si sono manifestate gravi crisi distrofiche con anossia sia a livello dei sedimenti sia delle masse d'acqua, con ripercussioni negative sulle risorse biologiche sfruttate e sulle attività economiche ad esse correlate (vedi Bencivelli e Castaldi, 1991; Bencivelli et al., 1994; Vollenweider et al., 1992).

La Sacca di Goro può essere considerata attualmente come un corpo d'acqua eutrofico, da moderatamente a fortemente inquinato (Fagioli et al., 1991, 1994; Barbanti et al., 1992; Pugnetti et al., 1992; Rinaldi et al., 1992; Pambianchi et al., 1994).

crisi il suo ecosistema e, conseguentemente, anche l'attività economica ad essa connessa (Bencivelli e Castaldi, 1991; Bencivelli et al., 1994; Vollenweider et al., 1992).

La Sacca di Goro si è formata durante gli ultimi due secoli in seguito al protendersi verso mare del ramo deltizio meridionale, il Po di Goro, con i suoi apporti solidi rimaneggiati e ridistribuiti dalle correnti marine costiere. Dall'inizio di questo secolo la sacca ha cominciato a assumere una configurazione più precisa e dal 1960 ha assunto la topografia attuale (Ciabatti, 1967). La Sacca di Goro si è conservata in seguito a numerosi interventi di consolidamento degli scanni e di arginature effettuati in questi ultimi

Materiali e metodi

Questo studio è basato su 47 campioni superficiali prelevati, per mezzo di una benna di tipo Hakmann, in sedici stazioni selezionate entro la Sacca di Goro (Fig. 1). Due sets di campioni (30 g di sedimento secco per campione) sono stati prelevati in ciascuna stazione nel corso di tre diversi campionamenti effettuati nell'arco di un periodo di sei mesi, un ragionevole intervallo di tempo per ottenere valide informazioni sulle associazioni a foraminiferi, sulla concentrazione degli elementi in traccia e sul contenuto in carbonio organico totale.

I tre campionamenti sono stati effettuati rispettivamente nella primavera (aprile), nell'estate (luglio) e nell'autunno (ottobre) del 1997. A causa di sfavorevoli condizioni meteorologiche, in primavera non è stato possibile campionare una delle stazioni.

Seguendo il metodo descritto da Walton (1952), il primo set di campioni, immediatamente dopo il prelevamento, è stato trattato con una soluzione tampone di Rosa Bengala in modo da differenziare gli esemplari vivi, colorati, da quelli morti, non colorati. In questo lavoro è stato seguito il metodo proposto da De Stigter et al. (1998) per distinguere correttamente gli esemplari vivi. Nonostante i suoi limiti (vedi Boltovskoy e Wright, 1976; Walker et al., 1974; Gooday, 1986; Bernhard, 1988; Jorissen et al., 1995), il metodo del Rosa Bengala rimane il metodo più pratico e corretto (vedi anche Lutze e Altenbach, 1991) per analizzare le biocenosi.

I campioni del primo set sono stati lavati attraverso setacci da 63 e 125 μm e successivamente asciugati. Almeno 300 esemplari sono stati separati dalla frazione maggiore di 125 μm e contati per l'analisi faunistica, distinguendo gli individui vivi da quelli morti e gli individui normali da quelli morfologicamente anormali.

La correlazione tra la percentuale di esemplari anormali e la concentrazione dei metalli pesanti è stata effettuata, comunque, prendendo in considerazione gli esemplari presenti. Tra i parametri faunistici è stata presa in considerazione anche la densità faunistica della frazione maggiore di 125 μm , espressa come il numero di esemplari vivi per g di sedimento secco.

Le anomalie morfologiche riconosciute sono state fotografate al microscopio elettronico a scansione e riprodotte nelle tavole 1 e 2. Il materiale utilizzato per questo studio è conservato presso l'Istituto di Geologia dell'Università di Urbino.

L'identificazione dei foraminiferi è stata effettuata seguendo la classificazione proposta da Loeblich e Tappan (1988). Inoltre, in accordo con Poag (1978) e Jorissen (1988), alcune specie (*Ammonia beccarii*, *Ammonia parkinsoniana*, *Ammonia tepida*, *Criboelphidium decipiens*, e *Haynesina lidoensis*) sono state considerate come forme e tre morfotipi sono stati assegnati ad *A. parkinsoniana* forma *tepida* (vedi appendice).

Seguendo metodi standard di laboratorio (Franzini et al., 1972, 1975; Leoni e Saitta, 1976; Leoni et al., 1982) ed utilizzando uno spettrometro Philips PW 1480, in alcuni campioni appartenenti al secondo set sono state determinate le concentrazioni (in ppm) di diciannove elementi in traccia (Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Nb, Pb, Hg, Ga, Sr, Ba, Y, Zr, Rb, La, Ce, Th) e di tre altri inquinanti (S, As, Br). Sugli stessi campioni è stato anche determinato il contenuto in carbonio organico totale (COT, espresso come % in peso) utilizzando il metodo di combustione LECO (Leco Industrial Furnace).

Nella valutazione di possibili relazioni tra il numero ed il tipo di esemplari vivi anormali e la concentrazione degli elementi in traccia, sono stati presi in considerazione tutti gli elementi sopracitati che complessivamente includono metalli pesanti s.s., non-metalli, metalli terre-rare e un metallo attinide. Nel presente studio, al fine di poter confrontare i risultati con quelli emersi dagli studi precedenti e di esporre nuovi dati, sono valutate solamente le concentrazioni di nove elementi in traccia (V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Hg, Pb, Th).

Risultati e discussione

Analisi dei foraminiferi

Struttura e composizione

Nei sedimenti superficiali della Sacca di Goro sono state identificate 97 specie (95 calcaree e 2 agglutinanti, incluse 5 *formae* e 3 morfotipi) di foraminiferi bentonici, appartenenti a 50 generi. Le maggior parte delle specie identificate è presente nelle associazioni con percentuali modestissime e con esemplari morti che sono qui considerati come trasportati e ridepositati nella sacca.

La percentuale di esemplari vivi è compresa tra 0 (stazioni 1 e 5, aprile 1997; stazione 1, luglio 1997) e 21% (stazione 4, luglio 1997)

Sono stati riconosciuti come vivi solamente gli esemplari riferibili ad 8 specie (incluse 2 *formae* e 3 morfotipi) (Fig. 2). Le biocenosi sono dominate da *A. parkinsoniana* forma *tepida* mf. 2 (34-38%), *Haynesina germanica* (33-35%), *Criboelphidium gunteri* (11-16%) e, subordinatamente, da *A. parkinsoniana* forma *tepida* mf. 3 (4-11%) e *Quinqueloculina seminulum* (3-5%) che nel loro insieme costituiscono il 98% delle associazioni. *A. parkinsoniana* forma *parkinsoniana*, *A. parkinsoniana* forma *tepida* mf. 1, *Trochammina inflata*, *Ammonia perlucida*, *Cassidulina laevigata carinata* e *Elphidium advenum* sono presenti nelle biocenosi con percentuali molto ridotte.

Le associazioni a foraminiferi bentonici della Sacca di Goro sono caratterizzate da ridottissima diversità tassonomica e sono composte da specie che hanno differenti strategie di vita ed appartengono a morfogruppi diversi. Queste associazioni sono ben confrontabili con le associazioni ad *Ammonia beccarii* delle zone lagunari mediterranee (vedi Murray, 1991). La dominanza di *A. parkinsoniana* forma *tepida* nelle biocenosi deriva dalla sua singolare adattabilità per gli ambienti ipotalini ed inquinati mentre le elevate percentuali dei suoi morfotipi 2 e 3 sono relative alla loro tolleranza verso gli ambienti scarsamente ossigenati (Jorissen, 1988).

Gli individui riferibili ad *A. parkinsoniana* forma *tepida* sono per la maggior parte megalosferici, confermando le condizioni di stress della sacca. Infatti, gli individui megalosferici si originano durante il ciclo a sessuato che secondo Furssenko (1978) avviene preferibilmente sotto condizioni di stress. La presenza di numerosi individui megalosferici di *A. beccarii* (corrispondenti alle forme qui determinate come *A. parkinsoniana* forma *tepida*) è stata riscontrata da Zampi e D'Onofrio (1984, 1987) nelle Lagune di S. Gilla (Sardegna) e di Orbetello (Toscana) e messa in relazione, dagli stessi autori, con

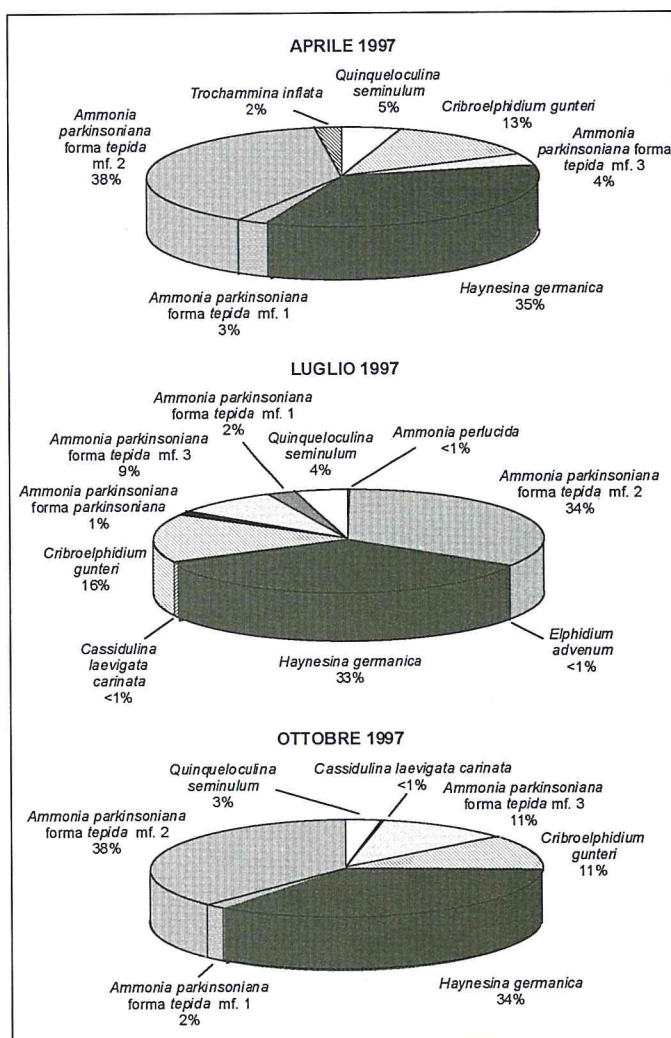


Figura 2 - Percentuali medie dei diversi taxa (specie, *formae* e morfotipi) che costituiscono le biocenosi a foraminiferi bentonici della Sacca di Goro.

l'alterazione antropica di parametri chimico-fisici come l'ossigeno disciolto e il pH. Infine, abbondanti esemplari megalosferici di *A. tepida* sono stati rinvenuti da Yanko et al. (1994) lungo le coste israeliane, in un'area soggetta ad inquinamento da metalli tossici.

La diversità tassonomica delle biocenosi è relativamente più elevata in luglio, quando, in accordo con Rinaldi et al. (1992), il flusso di nutrienti è più abbondante. La densità faunistica varia da 0 (stazioni 1 e 6, campionamento primaverile) a 96 (stazione 6, campionamento autunnale); i valori sono generalmente più elevati nelle stazioni dove i sedimenti sono prevalentemente fangosi suggerendo una stretta correlazione tra la densità faunistica ed il tipo di substrato (Figg. 3 e 4).

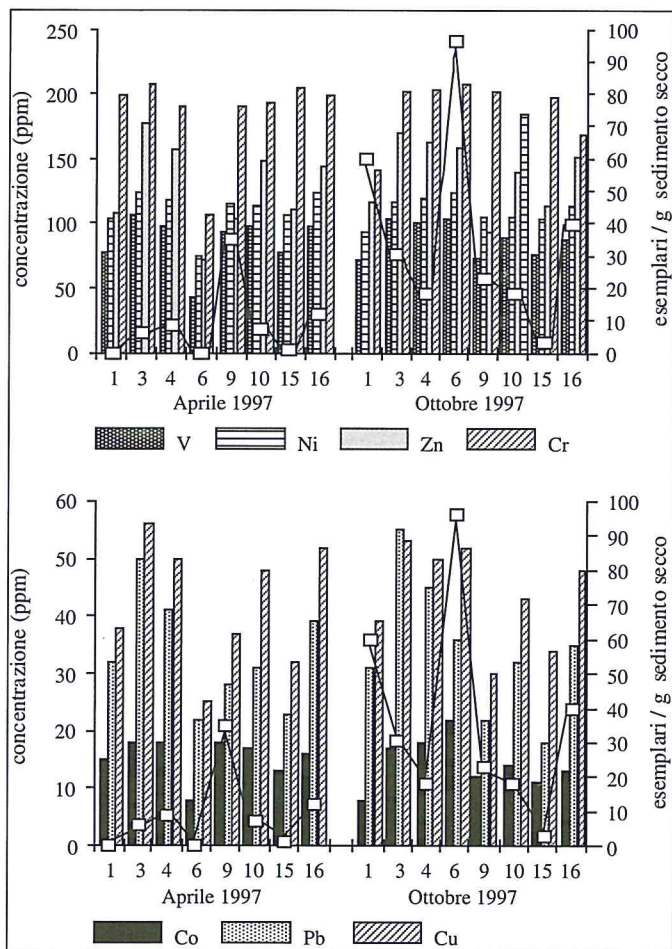


Figura 3 - Confronto tra le concentrazioni di V, Ni, Zn, Cr, Co, Pb e Cu e le densità faunistiche delle biocenosi nelle stazioni selezionate durante il campionamento primaverile (aprile 1997) e quello autunnale (ottobre 1997) nella Sacca di Goro.

interessati da anomalie morfologiche che si sviluppano indipendentemente dalle loro affinità tassonomiche, dalle loro strategie di vita e dalla loro morfologia.

Le biocenosi anormali sono dominate, in ordine decrescente di abbondanza, da *A. parkinsoniana* forma *tepida* mf. 2, *H. germanica*, *C. gunteri* e *A. parkinsoniana* forma *tepida* mf. 3, sebbene marcate va-

Anormalità morfologiche

Lo sviluppo di anomalie morfologiche nel guscio dei foraminiferi è una caratteristica piuttosto comune nella Sacca di Goro (Tavv. 1 e 2.). Esso è senz'altro attribuibile a morfogenesi patologica piuttosto che a danneggiamento meccanico.

Le anomalie morfologiche sono state osservate in tutte le stazioni per l'intero intervallo di tempo considerato. La percentuale di esemplari deformati, tuttavia, varia da stazione a stazione, raggiungendo il suo massimo valore (37%) nella stazione 15, campionamento autunnale. I valori medi di questa percentuale variano leggermente (9-17%) nell'intervallo di tempo considerato. La percentuale di individui anormali risulta generalmente più elevata nelle stazioni ubicate in prossimità dei margini occidentale ed orientale della sacca dove, in accordo con Colombo et al. (1991, 1994), i valori della salinità sono più ridotti. Ciò indicherebbe l'esistenza di una correlazione negativa tra il numero di esemplari deformati e i valori della salinità. Va qui segnalato che un analogo aumento del numero di esemplari deformati in aree inquinate ed a salinità ridotta è stato riscontrato da Yanko et al. (1998) lungo le coste israeliane.

Nell'ambito delle biocenosi, 7 taxa (*A. parkinsoniana* forma *tepida* mf. 1, *A. parkinsoniana* forma *tepida* mf. 2, *A. parkinsoniana* forma *tepida* mf. 3, *C. laevigata carinata*, *C. gunteri*, *H. germanica* e *Q. seminulum*) (Fig. 5) sono

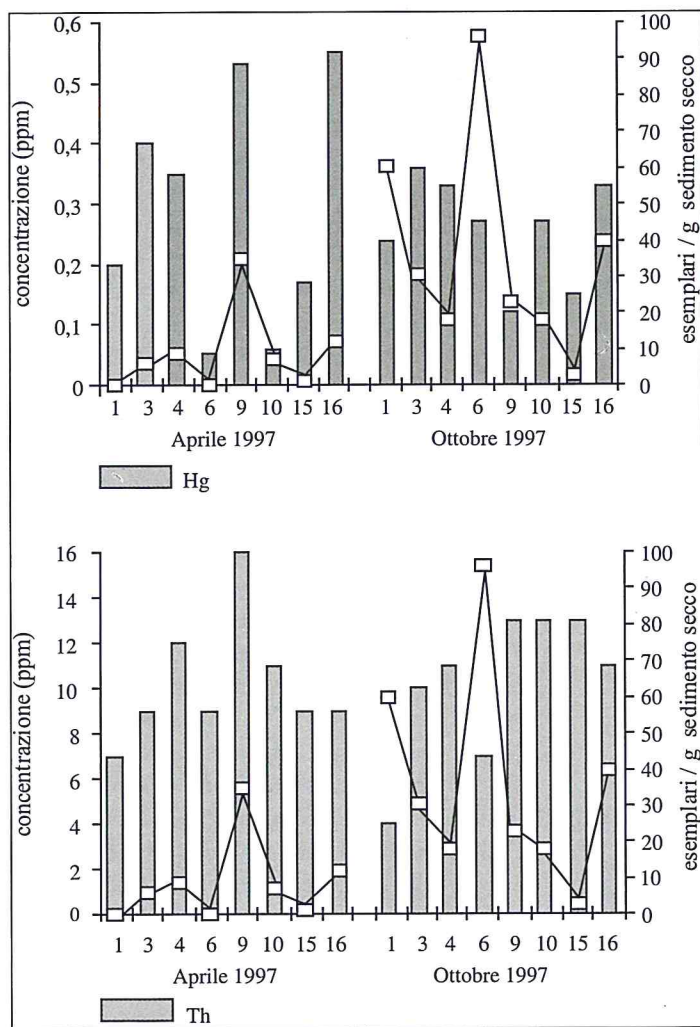


Figura 4 - Confronto tra le concentrazioni di Hg e Th e le densità faunistiche delle biocenosi nelle stazioni selezionate durante il campionamento primaverile (aprile 1997) e quello autunnale (ottobre 1997) nella Sacca di Goro.

riazioni della loro abbondanza siano state osservate nell'intervallo di tempo considerato. L'ordine decrescente di abbondanza dei suddetti taxa appare riflettere il loro grado di sensibilità alla variazione morfologica.

Anche sulla base di lavori precedenti (Alve, 1991; Sharifi et al., 1991; Almogi-Labin et al., 1992; Yanko et al., 1994, 1998) e considerando la porzione di guscio coinvolta e il tipo di variazione morfologica sono state riconosciute 7 differenti tipi di anomalie morfologiche: 1) riduzione delle dimensioni di una o più camere, 2) presenza di una o più camere di forma aberrante; 3) disposizione distorta delle camere e/o variazione della direzione di avvolgimento, 4) presenza di una o più camere aggiuntive anormali, 5) presenza di una o più camere sporgenti, 6) "fratelli siamesi", 7) sviluppo incompleto del guscio (Tab. 1 e Tavv. 1-2). Le anomalie morfologiche più comuni sono quelle riferibili ai primi tre tipi, sebbene in uno stesso esemplare possono coesistere diversi tipi di anomalie. La variazione morfologica può provocare occasionalmente una deformazione del guscio così intensa da rendere impossibile non solo l'individuazione della parte di guscio coinvolta nel processo ma perfino la determinazione tassonomica.

Specie/formae/morfotipi	1	2	3	4	5	6	7
<i>Ammonia parkinsoniana</i> forma <i>tepida</i> mf. 1	■	■	■				
<i>Ammonia parkinsoniana</i> forma <i>tepida</i> mf. 2	■	■	■	■	■	■	■
<i>Ammonia parkinsoniana</i> forma <i>tepida</i> mf. 3	■	■	■	■	■	■	■
<i>Cassidulina laevigata carinata</i>	■	■					
<i>Criboelphidium gunteri</i>	■	■	■	■	■	■	■
<i>Haynesina germanica</i>	■	■	■	■		■	■

Tabella 1 - Percentuali dei taxa rinvenuti nella Sacca di Goro nelle diverse stazioni del campionamento estivo (luglio 1997): T, esemplari complessivamente presenti nella biocenosi e nella tanatocenosi; TD, esemplari anormali complessivamente presenti nella biocenosi e nella tanatocenosi; L, esemplari presenti nella biocenosi; LD, esemplari anormali presenti nella biocenosi.

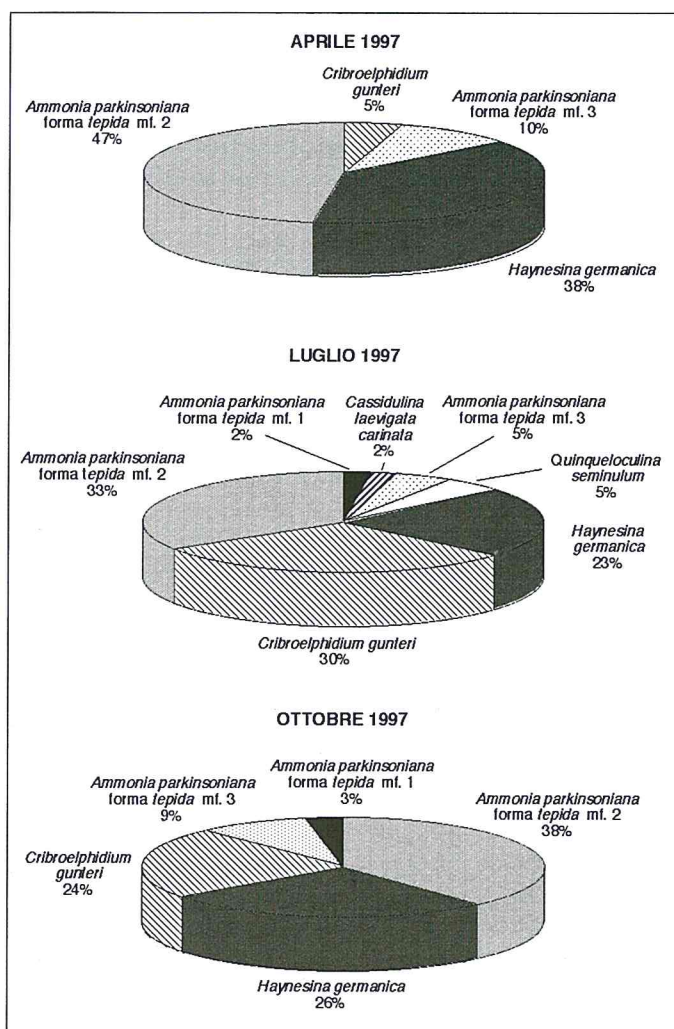


Figura 5 - Percentuali medie dei diversi taxa (specie, *formae* e morfotipi) che costituiscono le biocenosi morfologicamente anormali della Sacca di Goro.

do, da un lato, e lo sviluppo di morfologie anormali, la concentrazione di elementi in traccia ed il contenuto in materiale organico, dall'altro.

In tutte le stazioni, le concentrazioni di Cr e Ni sono più elevate di quelle misurate nelle peliti non inquinate delle aree circostanti della piana alluvionale (vedi Fagioli et al. 1991, 1994). I sedimenti risultano moderatamente arricchiti in Cu e Zn; occasionalmente si rilevano anche concentrazioni più elevate di Pb.

Sulla base dei valori di riferimento forniti per alcuni elementi dall'Environmental Protection Agency (EPA) (vedi Prater e Anderson, 1977) e tenendo in considerazione anche le concentrazioni degli elementi in tracce fornite da Fagioli et al. (1991, 1994), si può affermare che la Sacca di Goro, relativamente all'ultimo decennio ed almeno per quanto riguarda Cr, Ni, Cu, Zn e Pb, costituisce un corpo d'acqua da moderatamente a fortemente inquinato.

Nessuna evidente relazione è stata individuata tra la percentuale di esemplari anormali nelle biocenosi e le concentrazioni di V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Hg e Pb (Fig. 7). Al contrario, sebbene non siano particolarmente elevate (4-16 ppm, con un valore medio di 10 ppm), le concentrazioni del Th risultano positivamente correlabili con le percentuali di esemplari anormali nelle biocenosi (Fig. 8).

Geochimica dei sedimenti

La concentrazione degli elementi in traccia e il contenuto in COT misurati in primavera e in autunno variano da stazione a stazione (Tab. 2).

Comunque, la proporzione relativa dei differenti elementi in traccia è simile in tutte le stazioni suggerendo per la Sacca di Goro la stessa fonte (o le stesse fonti) di inquinamento nell'intervallo di tempo considerato.

Come noto, la distribuzione e la concentrazione degli elementi in traccia in ambiente acquatico dipende da diversi fattori (composizione chimica, dimensione del materiale particellato, attività biologica sul fondo marino, ecc.) ed è fortemente influenzata da alcuni parametri chimico-fisici (salinità, temperatura, Eh, pH, ecc.) che controllano la loro stabilità. Nel presente studio, comunque, nessuna relazione è stata individuata tra la concentrazione dei metalli pesanti ed i valori dei parametri chimico-fisici presentati da Colombo et al. (1991, 1994) né tra la densità faunistica delle biocenosi e la concentrazione degli elementi in traccia e il contenuto in COT (Figg. 4-6).

Sulla base di queste osservazioni sembra ragionevole sostenere che nella Sacca di Goro non esiste nessuna relazione tra la vita dei foraminiferi bentonici nei sedimenti di fon-

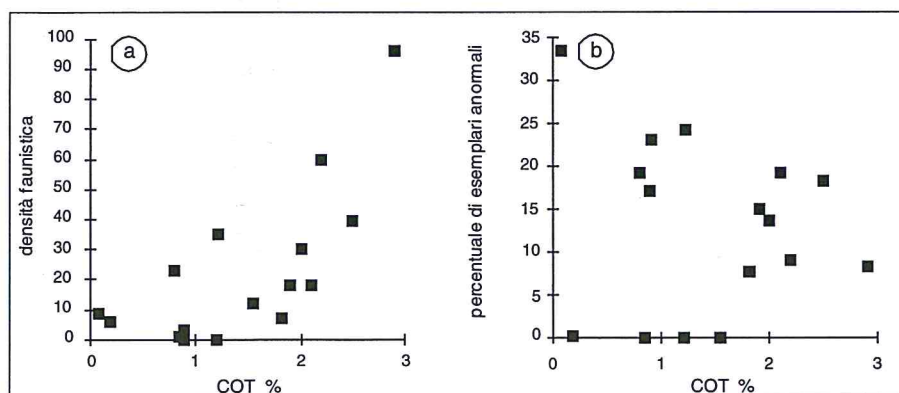


Figura 6 - Confronto tra il COT % e le densità faunistiche (frazione > 125 µm) delle biocenosi (a) e le percentuali di esemplari anormali nelle biocenosi (b) nelle stazioni selezionate durante il campionamento primaverile (aprile 1997) e quello autunnale (ottobre 1997) nella Sacca di Goro.

Tabella 2 - Concentrazioni dei più significativi metalli in traccia e contenuti del carbonio organico totale (COT) nei sedimenti delle stazioni selezionate nel campionamento primaverile (aprile 1997) ed in quello autunnale (ottobre 1997) messi a confronto con i valori di riferimento forniti dall'Environmental Protection Agency (EPA). SLR = valore inferiore al limite di rilevamento.

APRILE 1997

Stazione	V ppm	Cr ppm	Co ppm	Ni ppm	Cu ppm	Zn ppm	Hg ppm	Pb ppm	Th ppm	COT %
1	77	199	15	104	38	108	0.2	32	7	1.21
3	106	208	18	123	56	177	0.4	50	9	0.18
4	98	190	18	118	50	157	0.35	41	12	0.07
6	43	106	8	75	25	72	0.053	22	9	0.89
9	93	190	18	115	37	104	0.53	28	16	1.22
10	97	193	17	113	48	148	0.06	31	11	1.82
15	76	205	13	107	32	111	0.17	23	9	0.85
16	97	199	16	124	52	144	0.55	39	9	1.55

OTTOBRE 1997

Stazione	V ppm	Cr ppm	Co ppm	Ni ppm	Cu ppm	Zn ppm	Hg ppm	Pb ppm	Th ppm	COT %
1	72	141	8	94	39	117	0.24	31	4	2.20
3	103	202	17	116	53	170	0.36	55	10	2.00
4	100	203	18	120	50	162	0.33	45	11	2.10
6	103	207	22	123	52	159	SLR	36	7	2.90
9	73	202	12	105	30	94	0.12	22	13	0.80
10	89	185	14	105	43	139	0.27	32	13	1.90
15	76	198	11	104	34	114	0.15	18	13	0.90
16	87	169	13	113	48	151	0.33	35	11	2.50

Elemento	Non inquinato	Moderatamente inquinato	Molto inquinato
Cr	< 25	25-75	>75
Ni	< 20	20-50	> 50
Cu	< 25	25-50	> 50
Zn	< 90	90-200	> 200
Cd	-	-	> 6
Hg	< 1	-	> 1
Pb	< 40	40-60	> 60

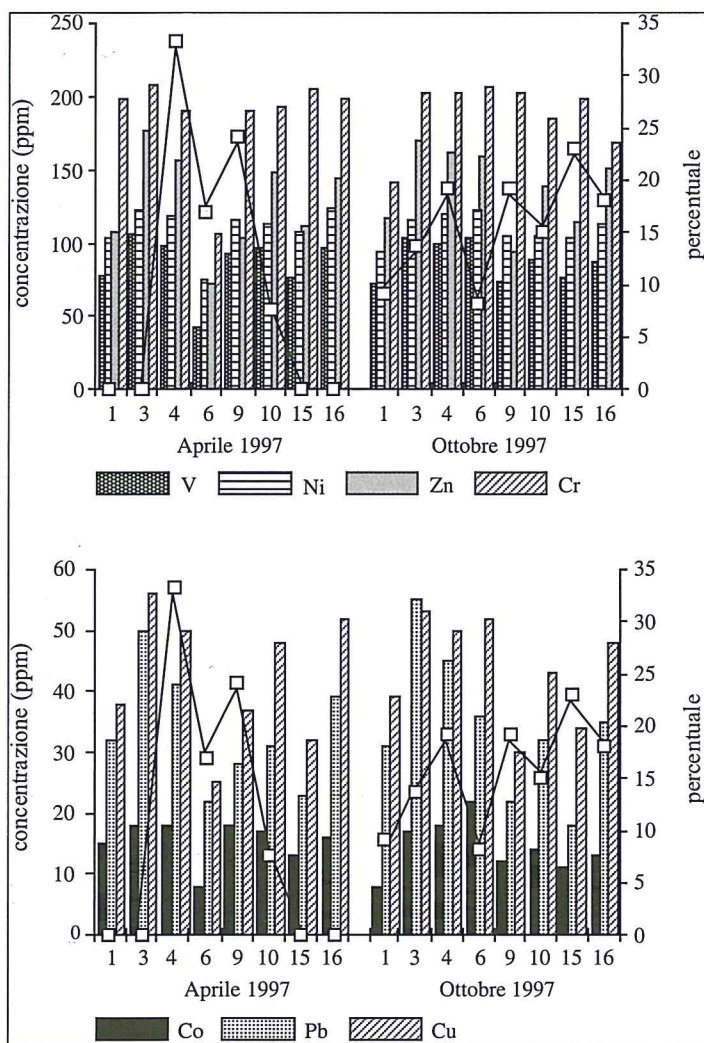


Figura 7 - Confronto tra le concentrazioni di V, Ni, Zn, Cr, Co, Pb e Cu e le percentuali di esemplari anormali nelle biocenosi nelle stazioni selezionate durante il campionamento primaverile (aprile 1997) e quello autunnale (ottobre 1997).

Conclusioni

1. Le biocenosi a foraminiferi bentonici della Sacca di Goro sono caratterizzate da una bassissima diversità tassonomica e da un significativo numero di esemplari che sviluppano una varietà di anomalie morfologiche.
2. Il numero di esemplari anormali è più elevato nelle aree a salinità inferiore.
3. L'aumento delle concentrazioni di Cr, Ni, Cu, Zn e Pb nei sedimenti non ha un marcato effetto sulla distribuzione dei foraminiferi e sullo sviluppo delle anomalie morfologiche.
4. È stata individuata una correlazione positiva tra la concentrazione di Th e la percentuale di esemplari anormali; pertanto questo elemento potrebbe avere un ruolo importante nello sviluppo di anomalie morfologiche. Evidentemente sono necessari ulteriori studi su un intervallo di tempo più lungo e su un'area più ampia per comprendere meglio questo tipo di correlazione.
5. Differenti specie di foraminiferi bentonici mostrano una diversa propensione allo sviluppo di anomalie morfologiche.

Questo risultato non è sorprendente se si considera che il Th, nonostante la sua radioattività, non è particolarmente rischioso negli ambienti naturali ma diviene particolarmente pericoloso quando colpisce i componenti scheletrici (Bowie e Plant, 1983). Purtroppo, i meccanismi che controllano la distribuzione e la concentrazione di questo elemento nella Sacca di Goro non sono ancora noti. Nella vicina Laguna di Venezia, secondo Albani et al. (1995), il Th (concentrazione media di 5.6 ppm), al pari di altri elementi come Mn, P, V, Ga, Rb e Nb, proverrebbe principalmente dai suoli agricoli dell'entroterra sebbene non si possano escludere addizionali immissioni locali.

Come noto, il Th è un metallo attinide utilizzato attualmente soprattutto per applicazioni nucleari ed elettroniche. Non si può escludere comunque che le elevate concentrazioni riscontrate negli ultimi anni (fino a 119 ppm durante l'estate 1996, dati inediti) potrebbero in qualche modo essere messe in relazione con la redistribuzione, diretta e/o indiretta, dei prodotti di "fall-out" susseguenti alle recenti esplosioni nucleari includendo tra queste anche l'incidente del reattore nucleare di Chernobyl avvenuto il 26 aprile 1986.

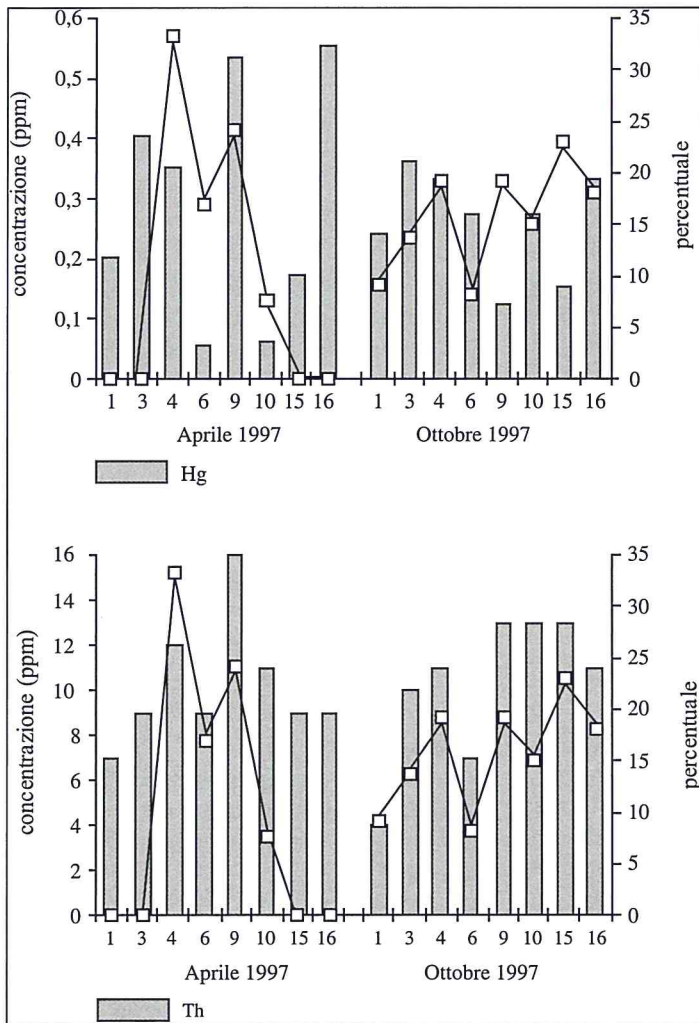


Figura 8 - Confronto tra le concentrazioni di Hg e Th e le percentuali di esemplari anomali nelle biocenosi nelle stazioni selezionate durante il campionamento primaverile (aprile 1997) e quello autunnale (ottobre 1997).

6. La presenza di individui anormali nella Sacca di Goro, anche in accordo con studi precedenti, può essere attribuita a stress ambientale risultante da inquinamento antropico da metalli in traccia e/o da effetti naturali (estreme condizioni e/o rapide variazioni dei parametri ecologici).

7. Le anomalie morfologiche osservate nell'intervallo di tempo considerato nella Sacca di Goro derivano più probabilmente da una combinazione di fattori ed è improbabile, allo stato attuale, individuare una causa specifica.

8. Esperimenti di laboratorio associati allo studio dei meccanismi biochimici e cristallografici coinvolti nello sviluppo di anomalie morfologiche sono indispensabili per meglio comprendere la reazione morfologica dei foraminiferi bentonici ai diversi livelli e tipi di inquinamento.

9. Questo studio, comunque, conferma e rafforza la possibilità di utilizzare i foraminiferi bentonici come tecnica per il monitoraggio continuo, *in situ*, dell'inquinamento da metalli in traccia.

Ringraziamenti

Si ringraziano J. Pignatti e G. Valleri per la revisione critica del manoscritto. Questo studio è stato effettuato con fondi MURST 60% (resp. R. Coccioni).

Bibliografia

- Albani A.D., Rickwood P.C., Favero V.M. e Barbero R.S. (1995) - *The geochemistry of recent sediments in the Lagoon of Venice: Environmental implications*. Atti Istituto Veneto Scienze, Lettere ed Arti, 153:235-321.
- Almogi-Labin A., Perelis-Grossovicz L. e Raab M. (1992) - *Living Ammonia from a hypersaline inland pool, Dead Sea area, Israel*. Journal of Foraminiferal Research, 22, 257-266.
- Alve E. (1991) - *Benthic foraminifera in sediment cores reflecting heavy metal pollution in Sørford, Western Norway*. Journal of Foraminiferal Research, 21, 1-19.
- Alve E. (1995) - *Benthic foraminifera response to estuarine pollution: a review*. Journal of Foraminiferal Research, 25, 190-203.

- Ashraf M.S. (1997) - *Thanatocoenotic foraminiferal assemblage and impact of heavy metals Pollution on Ammonia beccarii (s.l.), Manzalah Lagoon, Egypt*. Abstract Volume EUG 9, Strasbourg, France, 23-27 March 1997, p. 663.
- Banerji R.K. (1992) - *Heavy Metals and Benthic Foraminiferal Distribution along Bombay Coast, India*. In: *Studies in Benthic Foraminifera* (Y. Takayanagi & T. Saito, eds.), pp. 151-157, Tokai University Press, Tokyo.
- Barbanti A., Ceccherelli V.U., Frascari F., Rosso G. e Reggiani G. (1992) - *Nutrient release from sediments and the role of bioturbation in the Goro Lagoon (Italy)*. In: *Marine Coastal Eutrophication*, (R.A. Vollenweider, R. Marchetti and R. Viviani, eds.), pp. 475-487, Elsevier, Amsterdam.
- Bencivelli S. e Castaldi N. (a cura di) (1991) - *Studio integrato sull'ecologia della Sacca di Goro in relazione ai problemi dell'inquinamento, della conservazione e dello sviluppo, 1° anno di ricerche*. Franco Angeli s.r.l., Milano, 263 pp.
- Bencivelli S., Castaldi N. e Finessi D. (a cura di) (1994) - *Studio integrato sull'ecologia della Sacca di Goro in relazione ai problemi dell'inquinamento, della conservazione e dello sviluppo, 2° anno di ricerche*. Franco Angeli s.r.l., Milano, 303 pp.
- Bernhard J. M. (1988) - *Postmortem vital staining in benthic foraminifera: duration and importance in population and distributional studies*. *Journal of Foraminiferal Research*, 18, 143-146.
- Boltovskoy E. e Boltovskoy A. (1968) - *Foraminíferos y tecamebas de la parte inferior del Río Quequén Grande (sistemática, distribución, ecología)*. Museo Argentino de Ciencias Naturales, *Revista de Hidrobiología*, 2(4), 127-164.
- Boltovskoy E. e Wright R. (1976) - *Recent foraminifera*. Dr. W. Junk, The Hague.
- Boltovskoy E., Scott D.B. e Mediolì F.S. (1991) - *Morphological variations of benthic foraminiferal tests in response to changes in ecological parameters: a review*. *Journal of Paleontology*, 65, 175-185.
- Bowie S.H.U. e Plant J.A. (1983) - *Natural Radioactivity in the Environments*. In: *Applied Environmental Geochemistry*, (I. Thornton, ed), pp. 481-494, Academic Press, London.
- Caralp M.H. (1989) - *Size and morphology of the benthic foraminifer *Melonis barleeanum*: Relationship with marine organic matter*. *Journal of Foraminiferal Research*, 19, 235-245.
- Ciabatti M. (1967) - *Ricerche sull'evoluzione del Delta Padano*. *Giorn. Geol.*, 34, 1-26.
- Closs D. e Madeira M.L. (1968) - *Seasonal variations of brackish foraminifera in the Patos Lagoon, southern Brazil*. Universidade do Rio Grande do Sul, Escola de Geologia, Publicação especial 15, 1-51.
- Coccioni R., Gabbianelli G., Gentiloni Silverj D., Fonti P., Kaminski M.A., Monechi S. e Tateo F. (1997) - *Benthic foraminiferal to heavy metal pollution in the Goro Lagoon (Italy)*. The First International Conference "Application of Micropaleontology in Environmental Sciences", Tel Aviv, June 15-20, 1997, 47-48.
- Colombo G., Camerota C., Bisceglia R., Zaccaria V., Gaiani V. e Carrieri A. (1991) - *Variazioni spaziali e temporali delle caratteristiche fisico-chimiche delle acque e della biomassa fitoplanctonica della Sacca di Goro*. In: *Studio integrato sull'ecologia della Sacca di Goro in relazione ai problemi dell'inquinamento, della conservazione e dello sviluppo, 1° anno di ricerche*, (S. Bencivelli e N. Castaldi, a cura di), pp. 9-38, Franco Angeli s.r.l., Milano.
- Colombo G., Bisceglia R., Zaccaria V. e Gaiani, V. (1994) - *Variazioni spaziali e temporali delle caratteristiche fisico-chimiche delle acque e della biomassa fitoplanctonica della Sacca di Goro nel quadriennio 1988-1991*. In: *Studio integrato sull'ecologia della Sacca di Goro in relazione ai problemi dell'inquinamento, della conservazione e dello sviluppo, 2° anno di ricerche*, (S. Bencivelli, N. Castaldi e D. Finessi, a cura di), pp. 9-82, Franco Angeli s.r.l., Milano.
- Dal Cin R. e Pambianchi P. (1991) - *I sedimenti della Sacca di Goro (Delta del Po)*. In: *Studio integrato sull'ecologia della Sacca di Goro in relazione ai problemi dell'inquinamento, della conservazione e dello sviluppo, 1° anno di ricerche*, (S. Bencivelli e N. Castaldi, a cura di), pp.253-263, Franco Angeli s.r.l., Milano.
- De Stigter H.C., Jorissen F.J. e Van der Zwaan G.J. (1998) - *Bathymetric distribution and microhabitat partitioning of live (Rose Bengal stained) benthic foraminifera along a shelf to bathyal transect in the southern*

- Adriatic Sea*. Journal of Foraminiferal Research, 21, 40-65.
- Ellison R. L., Broome R. e Ogilvie R. (1986) - *Foraminiferal Response to Trace Metal Contamination in the Patapsco River and Baltimore Harbour, Maryland*. Marine Pollution Bulletin, 17(9), 419-423.
- Fagioli F., Landi S., Locatelli C. e Vecchiotti R. (1991) - *Valutazione del carico di metalli nelle acque, nei sedimenti e nei principali organismi accumulatori*. In: Studio integrato sull'ecologia della Sacca di Goro in relazione ai problemi dell'inquinamento, della conservazione e dello sviluppo, 1° anno di ricerche, (S. Bencivelli e N. Castaldi, a cura di), pp. 135-172, Franco Angeli s.r.l., Milano.
- Fagioli F., Righini F., Landi S. e Locatelli S. (1994) - *Valutazione del carico di metalli nelle acque, nei sedimenti e nei principali organismi accumulatori*. In: Studio integrato sull'ecologia della Sacca di Goro in relazione ai problemi dell'inquinamento, della conservazione e dello sviluppo, 2° anno di ricerche (S. Bencivelli, N. Castaldi e Finessi, D., a cura di), pp. 177-226, Franco Angeli s.r.l., Milano.
- Franzini M., Leoni L. e Saitta M. (1972) - *Revisione di una metodologia analitica per fluorescenza-X basata sulla correzione completa degli effetti di matrice*. Rend. Soc. It. Min. Petrol., 31, 365-378.
- Franzini M., Leoni L. e Saitta M. (1975) - *A simple method to evaluate the matrix effects in X-ray analysis*. X-Ray Spectrom., 1, 151-154.
- Furssenko A.V. (1978) - *Vvedenie v izuchenie foraminifer (Introduction to study of Foraminifera)*. (V.I. Gudina, ed.), 242 p., Nauka, Novosibirsk.
- Gooday A., J. (1986) - *Meiofaunal foraminifera from the bathyal Porcupine Seabight (northeast Atlantic) size structure, standing crop, taxonomic composition, species diversity and vertical distribution in the sediment*. Deep-Sea Research, 33, 1345-1373.
- Jorissen F.J. (1988) - *Benthic foraminifera from the Adriatic Sea: principles of phenotypic variation*. Utrecht Micropal. Bull., 37, 1-176.
- Jorissen F.J., de Stigter H.C. e Widmark J.G.V. (1995) - *A conceptual model explaining benthic foraminiferal microhabitats*. Marine Micropaleontology, 26, 3-15.
- Lee J.J. e Anderson O.R. (1991) - *Biology of foraminifera*. Academic Press, London, 368 pp.
- Leoni L. e Saitta M. (1976) - *X-ray fluorescence analysis of 29 trace elements in rock and mineral standard*. Rend. Soc. It. Min. Petrol., 32, 497-510.
- Leoni L., Menichini M. e Saitta M. (1982) - *Determination of S, Cl and F in silicate rocks by X-ray fluorescence analyses*. X-Ray Spectrom., 11, 156-158.
- Lidz L. (1965) - *Sedimentary environment and foraminiferal parameters: Nantucket Bay, Massachusetts*. Limnology and Oceanography, 10, 392-402.
- Loeblich A.R.Jr. e Tappan H. (1988) - *Foraminiferal Genera and their classification*. Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1 and 2, 1-970 and 1-212.
- Lutze G.F. e Altenbach A. (1991) - *Technik und Signifikanz der Lebendfärbung benthischer Foraminiferen mit Bengalrot*. Geol. Jahrb., 128, 251-265.
- Murray J.W. (1991) - *Ecology and Palaeoecology of Benthic Foraminifera*. Longman Scientific and Technical, Harlow, 397 pp.
- Naidu T.Y., Rao D.C. e Rao M.S. (1985) - *Foraminifera as pollution indicators in the Visakhapatnam Harbour Complex, east coast of India*. Bull. Geol. Min. Met. Soc. India, 52, 88-96.
- Pambianchi P., Rosso G. e Frascari F. (1994) - *Nutrienti e sostanza organica nei sedimenti della Sacca di Goro*. In: Studio integrato sull'ecologia della Sacca di Goro in relazione ai problemi dell'inquinamento, della conservazione e dello sviluppo, 2° anno di ricerche, (S. Bencivelli, N. Castaldi e D. Finessi, a cura di), pp. 269-289, Franco Angeli s.r.l., Milano.
- Poag C.W. (1978) - *Paired foraminiferal ecophenotypes in Gulf Coast estuaries: ecological and paleoecological implication*. Trans. Gulf Coast Ass. of Geol. Soc., 28, 395-421.
- Prater L.B. e Anderson M.A. (1977) - *A 96 hour bioassay of other creek Ohio*. Water Pollut. Control Fed., 49, 2099-2106
- Pugnetti A., Viaroli P. e Ferrari I. (1992) - *Processes leading to dystrophy in a Po River Delta lagoon (Sacca di Goro): phytoplankton-macroalgae interactions*. In: Marine Coastal Eutrophication, (R.A. Vollenweider, R. Marchetti and R. Viviani, eds), pp. 445-456, Elsevier, Amsterdam.

- Rinaldi A., Montanari G., Ghetti A., Ferrari C.R. e Ferrari A. (1992) - *Eutrophy and dystrophy in the Goro Lagoon (Italy)*. In: Marine Coastal Eutrophication, (R.A. Vollenweider, R. Marchetti, and R. Viviani, eds), pp. 457-470, Elsevier, Amsterdam.
- Schafer C. T., Smith J. N. e Loring D. H. (1980) - *Recent Sedimentation Events at the Head of Saguenay Fjord, Canada*. Environ. Geol., 3, 139-150.
- Seiglie G.A. (1964) - *Significación de los foraminíferos anormales de la laguna Unare*. Laguna, 1, 6.
- Sharifi A.R., Croudace I.W. e Austin R.L. (1991) - *Benthic foraminiferids as pollution indicators in Southampton Water, southern England, U.K.* Journal of Micropaleontology, 10(1), 109-113.
- Stouff V., Geslin E., Debenay J.-P. e Lesourd M. (1999) - *Origin of morphological abnormalities in Ammonia (Foraminifera): studies in laboratory and natural environments*. Journal of Foraminiferal Research, 29, 152-170.
- Stubbles S. (1993) - *Recent benthic Foraminifera as indicators of pollution in Restronguet Creek, Cornwall*. Proceedings of the Ussher Society, 8:200-204.
- Vollenweider R.A., Marchetti R. e Viviani R. (eds.) (1992) - *Marine Coastal Eutrophication*. Elsevier, Amsterdam, 1043 pp.
- Walker D., Linton A.E. e Schafer, C.T. (1974) - *Sudan Black B: a superior stain to Rose Bengal for distinguishing living from non-living foraminifera*. Journal of Foraminiferal Research, 4, 205-215.
- Walton W.R. (1952) - *Techniques for recognition of living foraminifera*. Contr. Cushman Found. Foram. Res., 3, 56-60.
- Watkins J.G. (1961) - *Foraminiferal ecology around the Orange County, California, ocean sewer outfall*. Micropaleontology, 7, 199-206.
- Wright R.C. (1968) - *Miliolidae (foraminiferos) recientes del estuario del Rio Quequén Grande (Prov. de Buenos Aires)*. Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales 'Bernardino Rivadavia', Hidrobiología, 2, 225-256.
- Yanko V., Ahmad M. e Kaminski M.A. (1998) - *Morphological deformities of benthic foraminiferal tests in response to pollution by heavy metals: implications for pollution monitoring*. Journal of Foraminiferal Research, 28, 177-200.
- Yanko V., Kronfeld J. e Flexer A. (1994) - *Response of benthic foraminifera to various pollution sources: implications for pollution monitoring*. Journal of Foraminiferal Research, 24, 1-17.
- Zampi M. e D'Onofrio S. (1984) - *I foraminiferi dello stagno di S. Gilla (Cagliari)*. Atti Soc.Tosc.Sci.Nat., Mem., 91, 237-277
- Zampi M. e D'Onofrio S. (1987) - *I foraminiferi della laguna di Levante (Orbetello, Grosseto)*. Atti Soc.Tosc.Sci.Nat. Mem., 93, 101-127
- Zaninetti L. (1982) - *Les foraminifères des marais salants de Salin-de-Girand (Sud de la France): milieu de vie et transport dans le salin, comparaison avec les microfaunes marines*. Géologie Méditerranéenne, 9, 447-470.

Manoscritto ricevuto il 10/12/1999, accettato il 7/2/2000.

Appendice 1: Lista faunistica (specie, formae e morfotipi menzionati nel testo)

- Ammonia beccarii* (Linnaeus) forma *beccarii* Linnaeus = *Nautilus beccarii* Linnaeus 1758
Ammonia parkinsoniana (d'Orbigny) forma *parkinsoniana* (d'Orbigny) = *Rosalina parkinsoniana* d'Orbigny, 1839
Ammonia parkinsoniana (d'Orbigny) forma *tepida* Cushman = *Rotalia beccarii* (Linnaeus) var. *tepida* Cushman, 1926
Ammonia perlucida (Heron-Allen and Earland) = *Rotalia perlucida* Heron-Allen and Earland, 1913
Cassidulina laevigata carinata Silvestri, 1896
Criboelphidium gunteri (Cole) = *Elphidium gunteri* Cole, 1931
Criboelphidium poeyanum (d'Orbigny) forma *decipiens* (Costa) = *Polystomella decipiens* Costa, 1856
Elphidium advenum (Cushman) = *Polystomella advena* Cushman, 1922
Haynesina germanica (Ehrenberg) = *Nonion germanica* Ehrenberg, 1840
Haynesina granosa (d'Orbigny) forma *lidoensis* (Cushman) = *Elphidium lidoense* Cushman, 1936
Quinqueloculina seminulum (Linnaeus) = *Serpula seminula* Linnaeus, 1758
Trochammina inflata (Montagu) = *Nautilus inflatus* Montagu, 1808

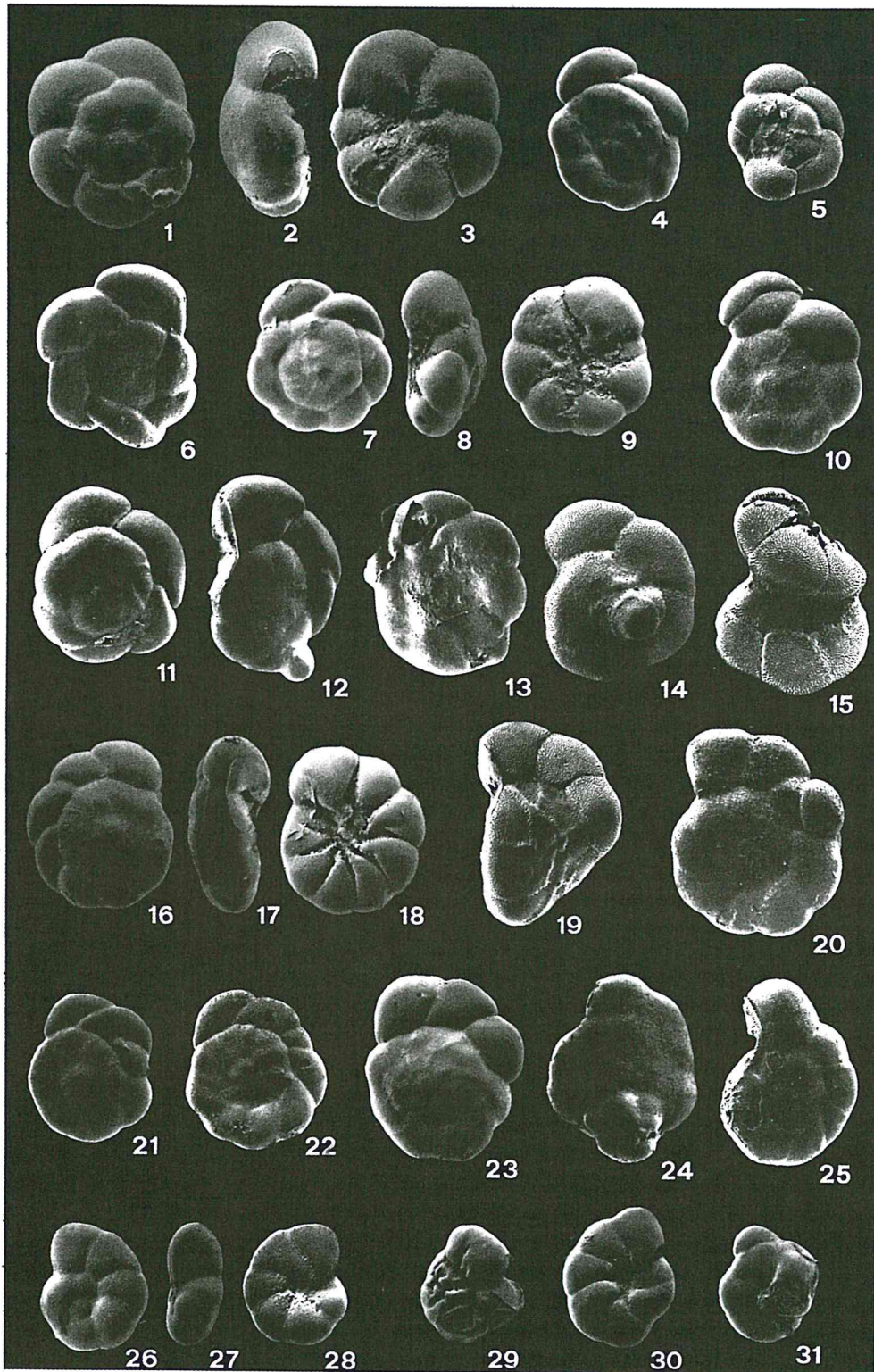
Appendice 2

Fotografie al microscopio elettronico a scansione di esemplari normali e di esemplari con anomalie morfologiche di foraminiferi bentonici della Sacca di Goro. 1-6: *Ammonia parkinsoniana* (d'Orbigny) forma *tepida* (Cushman) morfotipo 1, esemplare normale (1 vista spirale, 2 vista laterale, 3 vista ombelicale, x54), esemplari con disposizione distorta delle camere (4, x 36 e 6, x96) ed esemplare con camera di dimensioni ridotte (5, x54); 7-15: *Ammonia parkinsoniana* (d'Orbigny) forma *tepida* morfotipo 2, esemplare normale (7 vista spirale, 8 vista laterale, 9 vista ombelicale, x36) ed esemplari con camera di forma aberrante provvista di camera aggiuntiva anormale (10, x54; 12, x82.5; 13, x85), esemplare con disposizione distorta delle camere (11, x85), esemplare con camera sporgente (14, x104) e "fratelli siamesi" (15, x54); 16-25: *Ammonia parkinsoniana* (d'Orbigny) forma *tepida* morfotipo 3, esemplare normale (16 vista spirale, 17 vista laterale, 18 vista ombelicale, x36), esemplare con variazione della direzione di avvolgimento (19, x54), esemplari con una o più camere di dimensioni ridotte (20, x80; 21, x36; 22, x36), esemplare con guscio non completamente sviluppato (23, x36), esemplare con camera aggiuntiva anormale (24, x54) ed esemplare con camera di forma aberrante (25, x78); 26-31: *Ammonia perlucida* (Heron-Allen e Earland), esemplare normale (26 vista spirale, 27 vista laterale, 28 vista ombelicale, x36), "fratelli siamesi" (29, x36), esemplari con guscio non completamente sviluppato (30, x71) e camera aggiuntiva anormale (31, x36).

Appendice 3

Fotografie al microscopio elettronico a scansione di esemplari normali e di esemplari con anomalie morfologiche di foraminiferi bentonici della Sacca di Goro. 1-4: *Ammonia perlucida* (Heron-Allen e Earland), esemplare con camera sporgente (1, x36), esemplare con camera aggiuntiva anormale (2, x54), esemplare con camera di dimensioni ridotte (3, x71) ed esemplare con camera di forma aberrante (4, x36); 5-14: *Criboelphidium gunteri* (Cole), esemplare normale (5 vista di fianco e 6 vista laterale; x36), "fratelli siamesi" (7, x71), esemplare con camera di dimensioni ridotte e camera aggiuntiva anormale (8, x54), esemplari con camera di ridotte dimensioni (9, x107; 11, x54; 12, x90), esemplare con camera di dimensioni ridotte e camera di forma aberrante (13, x54) ed esemplare con camera sporgente (14, x54); 15-17: *Quinqueloculina seminulum* (Linnaeus), esemplare normale (15, x54), esemplare con disposizione distorta delle camere (16, x54) ed esemplare con camera di forma aberrante (17, x54); 18-21: *Trochammina inflata* (Montagu), esemplare normale (18 vista spirale, 19 vista laterale, 20 vista ombelicale; x54) ed esemplare con camera di forma aberrante (21, x71); 22-30: *Haynesina germanica* (Ehrenberg), esemplare normale (22, vista di fianco e 23, vista laterale; x71), esemplari con guscio non completamente sviluppato (24, x36; 30, x36), "fratelli siamesi" (25, x36), esemplare con disposizione distorta delle camere e camera aggiuntiva anormale (26, x54), ed esemplari con camera di dimensioni ridotte (27, x107; 28, x75; 29, x54).

Appendice 2



Appendice 3

