



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

DIPARTIMENTO SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE

**Corso di Laurea Magistrale
Biologia Marina**

**USO DI REPLICHE E SUB-REPLICHE NELL'ANALISI DELLA
FAUNA A FORAMINIFERI BENTONICI: UN CASO DI
STUDIO IN ADRIATICO**

**Replicates and subreplicates in the analysis of benthic
foraminifera fauna: a case study in the Adriatic Sea.**

Tesi di Laurea Magistrale di:

Giulia Marini

Relatore:

Chiar.ma Prof.ssa Alessandra Negri

Correlatore:

Prof.ssa Anna Sabbatini

Sessione estiva

Anno Accademico 2020/2021

INDICE

1. INTRODUZIONE	1
1.1 Cosa sono i foraminiferi	1
1.2 Struttura dei foraminiferi	2
1.3 Origine dei foraminiferi	7
1.4 Ciclo vitale	10
2. STORIA DELLA SISTEMATICA DEI FORAMINIFERI	14
3. ECOLOGIA DEI FORAMINIFERI BENTONICI	29
3.1 Trox-model e ALD ₁₀	34
3.2 Ecologia della componente monotalamica a guscio organico..	51
3.3 Componente politalamica a guscio calcareo ed agglutinante...	54
4. STUDI DI BIOMONITORAGGIO	58
5. SCOPO DELLA TESI	71
6. MATERIALI E METODI	73
6.1 Campionamento	73
6.2 Studio della biocenosi a foraminiferi bentonici.....	75
6.3 Analisi quantitativa della biocenosi a foraminiferi bentonici...	78
6.4 Stime della profondità di vita o ALD ₁₀	81
6.5 Materia organica	83

6.6	Indicatori di qualità.....	85
7.	RISULTATI.....	87
7.1	Densità totale della fauna a foraminiferi bentonici per frazione di taglia (fraz. >150µm).....	88
7.2	Composizione tassonomica e distribuzione percentuale delle specie principali per frazione di taglia (fraz. >150 µm).....	90
7.3	Densità della biocenosi a foraminiferi bentonici considerando le singole pseudorepliche (P1, P2, P3) di ogni replica R1, R2, R3 (fraz. >150 µm).....	91
7.4	Distribuzione delle specie più abbondanti (fraz. >150 µm).....	95
7.5	Indici di diversità (fraz. >150 µm).....	99
7.6	Distribuzione verticale nel sedimento dei foraminiferi bentonici: densità e composizione tassonomica (fraz. >150 µm).....	105
7.7	ALD ₁₀ e microhabitat della biocenosi (fraz. >150 µm).....	132
7.8	Densità totale della fauna a foraminiferi bentonici (fraz. 63-150 µm).....	136
7.9	Composizione tassonomica e distribuzione percentuale delle specie principali (fraz. 63-150 µm).....	138
7.10	Densità della biocenosi a foraminiferi bentonici (fraz. 63-150 µm).....	139

7.11	Distribuzione delle specie più abbondanti (fraz. 63-150 μm)	142
7.12	Indici di diversità (fraz. 63-150 μm)	146
7.13	Distribuzione verticale nel sedimento dei foraminiferi bentonici: densità e composizione tassonomica (fraz. 63-150 μm)	150
7.14	ALD ₁₀ e microhabitat della biocenosi (fraz. 63-150 μm).....	167
8.	DISCUSSIONI	170
8.1	Osservazioni generali sulla comunità a foraminiferi bentonici viventi	171
8.2	Variabilità tra pseudorepliche e repliche	177
8.3	FOBIMO e Foram-AMBI.....	187
	CONCLUSIONI	199
	BIBLIOGRAFIA	202
	ALLEGATI	240
	Tabelle di densità pseudorepliche	241
	Tabelle di densità riassuntive repliche	259
	Tabelle frequenze relative %	262
	TAVOLE FOTOGRAFICHE	268

1. INTRODUZIONE

1.1 Cosa sono i foraminiferi

I foraminiferi sono un grande gruppo di eucarioti unicellulari eterotrofi ameboidi raggruppati all'interno del regno dei Protista (organismi che non formano tessuti) (Margulis, 1990). Appartengono alla meiofauna, di cui ne sono un'importante componente, poiché la maggior parte di essi ha una taglia inferiore ai 2 mm. Le loro dimensioni vanno dai 50 ai 400 μm ; tuttavia, ci sono alcune specie, per lo più tropicali, che superano il centimetro e sono esistite delle specie, oggi estinte, che includono organismi le cui dimensioni potevano arrivare fino agli 11-14 cm (*Nummuliti* e *Fusuline*).

La maggior parte dei foraminiferi è rappresentata da taxa bentonici, infatti sono documentate soltanto 40 specie planctoniche (Hemleben et al., 1989).

I foraminiferi sono gli organismi con guscio più abbondanti negli ambienti marini (Hayward et al., 2015), ad esempio un centimetro cubo (cm^3) di sedimento può contenere centinaia di specie viventi di foraminiferi bentonici, nonché molti gusci di foraminiferi morti sia bentonici che planctonici.

In alcune aree geografiche ed intervalli geologici, i gusci dei foraminiferi si sono accumulati così tanto da formare imponenti spessori rocciosi; infine, grazie al loro ampio record fossile, essi rappresentano uno dei gruppi di

microfossili con le più vaste applicazioni che vanno dagli studi di biostratigrafia alle ricostruzioni degli ambienti del passato (Haq & Boersma, 1998).

I foraminiferi bentonici sono ubiquitari negli oceani del mondo ed hanno una vasta distribuzione nelle comunità bentoniche sia di ambienti superficiali che profondi (Gooday et al., 1992). Studi recenti hanno evidenziato la loro presenza anche in ambienti terrestri (Meisterfeld et al., 2001; Holzmann & Pawlowski, 2002; Holzmann et al., 2003) ed esistono anche specie di acqua dolce, descritte sin dal XIX secolo (Blanc, 1876; Penard, 1899, 1905).

1.2 Struttura dei foraminiferi

Il corpo protoplasmatico dei foraminiferi è delimitato da una membrana incapsulata in una parete secreta o agglutinata ovvero il guscio che, assieme agli pseudopodi (filamenti sottili, chiamati anche rizopodi o granuloreticulopodi), li distingue dagli altri protisti e li separa dall'ambiente circostante, e consiste di un nucleo e di un citoplasma, quest'ultimo differenziato in endoplasma ed ectoplasma. L'endoplasma ha funzioni vegetative e riproduttive ed è la porzione più abbondante del citoplasma e contiene, oltre a tutti gli organelli citoplasmatici tipici di una cellula eucariotica, minerali, goccioline oleose, prodotti di escrezione, e resti di altri

organismi quali Diatomee, Flagellati, zoospore, alghe, mentre l'ectoplasma è rappresentato dagli pseudopodi.

Gli pseudopodi non sono permanenti ma variano nel tempo sia nella forma che nella grandezza. Tramite l'estroflessione e la retrazione degli pseudopodi (termine coniato da Dujardin nel 1853) sono in grado di svolgere molte delle funzioni tipiche degli organismi pluricellulari, seppur essendo unicellulari, come ad esempio la respirazione, la nutrizione, il movimento, la crescita, la riproduzione e la capacità di risposta ai differenti stimoli ambientali. Inoltre, grazie ad essi, i foraminiferi riescono anche ad ottimizzare l'adesione al substrato, la protezione, nonché favorire alcuni aspetti della respirazione e riproduzione ed interagire con l'ambiente circostante. Queste strutture sono di diverse tipologie in relazione allo stile di vita di ogni specie, infatti quelli dei foraminiferi bentonici sono molto sottili e spesso si anastomizzano in una massa a forma di ragnatela.

La principale caratteristica dei rizopodi (così sono definiti gli pseudopodi dei foraminiferi) è il flusso citoplasmatico bidirezionale con cui i granuli sono trasportati in entrambe le direzioni, granuli di varia natura come vacuoli digestivi, vacuoli contenenti sostanze di rifiuto, trasportati attraverso i rizopodi, presumibilmente per essere escreti.

Gli pseudopodi sono racchiusi in una membrana e contengono un citoscheletro centrale di microtubuli che possono presentarsi singolarmente, ma tipicamente si manifestano come dei fasci poco organizzati. Inoltre, i foraminiferi hanno sviluppato la capacità di assemblare e disfare velocemente i microtubuli, permettendo così una rapida retrazione dei rizopodi e successiva estroflessione quando richiesto.

Gli pseudopodi vengono utilizzati anche per la costruzione del guscio, che rappresenta la struttura più complessa dei foraminiferi e la sua natura, nonché composizione, sono le principali chiavi tassonomiche utilizzate per il loro riconoscimento. È formato da materiali diversi e può presentare una notevole varietà di forme.

In base alla composizione, il guscio può essere:

- *guscio organico*: costituito da tectina, una sottile membrana glicoproteica non fossilizzabile, formata da un complesso di proteine e mucopolisaccaridi;
- *guscio agglutinante*: costituito da particelle di sedimento cementate, prese casualmente o selettivamente dall'organismo in base alla loro composizione mineralogica e/o alla dimensione. Le specie

caratterizzate da questa tipologia di guscio presentano ornamentazioni esterne poco visibili.

- *guscio calcareo*: è totalmente secreto dall'organismo, attraverso la deposizione di cristalli di carbonato di calcio (CaCO_3) sotto forma di calcite od aragonite, sullo strato di matrice organica (tectina), con quantità variabili di magnesio. Questo tipo di guscio è caratterizzato esternamente da ornamentazioni di svariate forme: creste, spine, solchi, ecc. a differenza dei foraminiferi con guscio agglutinante.

Tra gli organismi a guscio calcareo si possono distinguere due forme: porcellanacea e ialina, in base al loro aspetto in luce riflessa.

L'esistenza del guscio calcareo e quindi la capacità di fossilizzare hanno fatto sì che lo studio dei foraminiferi sia stato oggetto di grande interesse da parte degli studiosi di scienze della Terra, in particolare dei paleontologi.

La funzione principale del guscio è quella di protezione della cellula e di compartimentazione del protoplasma, infatti, internamente è suddiviso in cavità (camere) che contengono il citoplasma. Le camere vengono aggiunte progressivamente man mano che l'organismo si sviluppa. In base alla quantità di camere presenti, distinguiamo due gruppi di foraminiferi: quelli

monotalamici in cui abbiamo una sola camera e le forme *politalamiche* caratterizzate da più camere tutte comunicanti tra loro. In questo secondo caso, le camere possono avere una modalità di disposizione attorno alla prima, chiamata proloculus, molto diversa. Mentre, in base alla disposizione delle camere si può risalire al tipo di specie, poiché cambia a seconda se si tratti di una modalità uniseriale (la più primitiva e semplice), biseriale, a gomito (le estremità delle camere sono fisse ai due poli), a spirale, ad anelli concentrici. Ogni avvolgimento del guscio è chiamato spira.

Le camere, internamente, sono tra loro separate da dei setti, ma sono comunque interconnesse grazie a delle aperture (foramen) che danno appunto il nome a questi organismi. Le camere e le aperture costituiscono anche esse dei caratteri chiave per la classificazione delle specie di foraminiferi. La camera più esterna è caratterizzata dall'apertura principale da cui sono estrusi gli pseudopodi. I foraminiferi dotati di più camere presentano delle suture, ovvero delle linee esterne di congiunzione tra camere adiacenti che possono distribuirsi nello spazio in diversi modi: struttura evoluta quando le camere successive avvolgono quelle precedenti, struttura involuta quando le camere precedenti sono visibili (fig. 1.2a).

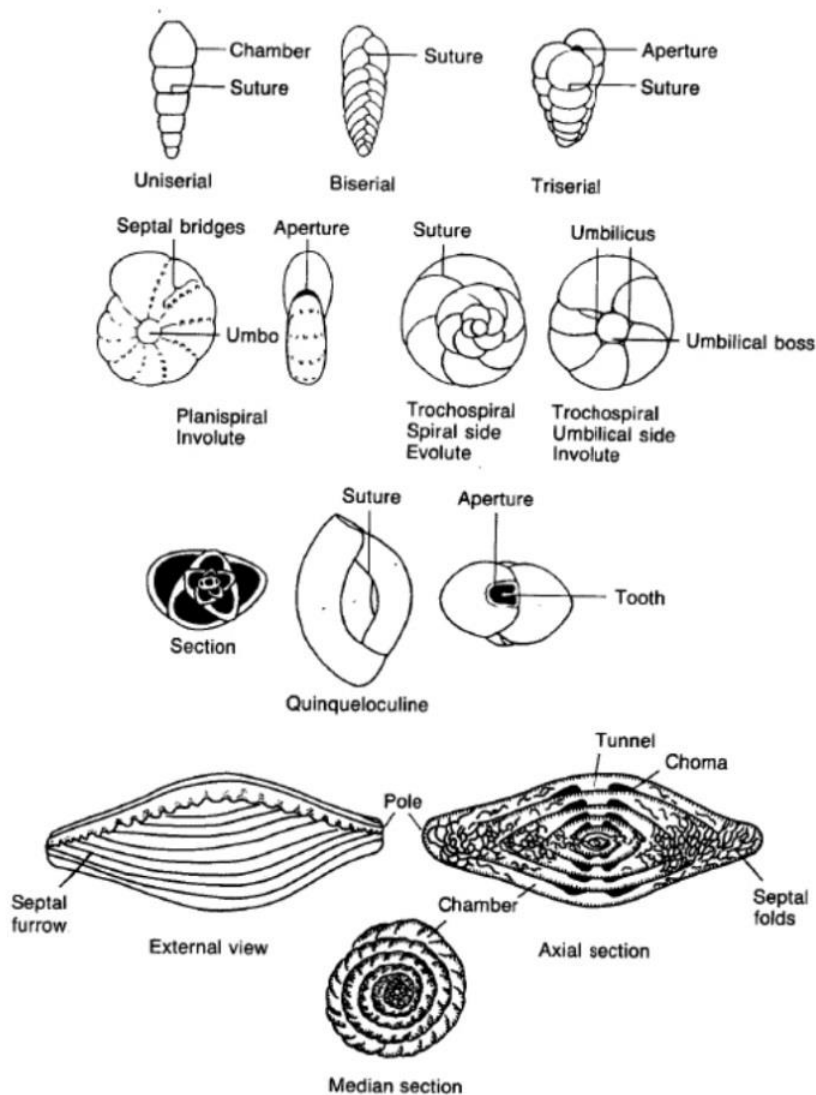


Fig. 1.2a: varie tipologie di gusci dei foraminiferi (da “Fossil Prokaryotes and Protists” by Jere H. Lipps – Boston Blackwell Scientific Publications, 1993).

1.3 Origine dei foraminiferi

Le specie bentoniche forniscono più informazioni dal punto di vista paleoambientale, infatti la loro comparsa risale a circa 716-635 milioni di anni

fa (Bosak et al., 2011) (mentre le specie planctoniche risalgono al Mesozoico – 230 milioni di anni fa (Ma)) e, nel corso del Fanerozoico, hanno invaso la maggior parte degli ambienti marini marginali raggiungendo l'apice del loro sviluppo nel Terziario inferiore (Cenozoico) diversificandosi così tanto da essere abili nello sviluppare diverse modalità di vita. Li ritroviamo attualmente nelle più diverse condizioni ambientali (temperatura, profondità, tipologia di fondale).

Ci sono delle considerazioni importanti da fare sulla comparsa dei primi foraminiferi, poiché stando allo studio svolto da Bosak et al. (2011), con cui si è cercato di risalire all'origine dei Foraminiferi basandosi sulla Formazione di Rasthof in Namibia (una successione carbonatica sita a nord della Namibia, unica nel suo genere, formatasi durante la regressione successiva alla glaciazione di Stuart Chuos, quando il livello degli oceani era ai massimi livelli), dove è stata riportata la scoperta di microfossili piccoli e tubulari all'interno di strati di rocce carbonatiche costituenti lo strato superiore delle sequenze sedimentarie che riflettono le principali glaciazioni nei record geologici (i cosiddetti “cap carbonate”, in questo caso denominati “Stuartian cap carbonate” (ca. 716-635 Ma)), ciò che ha indotto a pensare che i primi foraminiferi si fossero originati a partire da queste rocce è che questi microfossili fossero provvisti di tubi lunghi 200-1300 μm e larghi 20-70 μm

ed avessero preservato pieghe, costrizioni e creste. Il loro guscio era flessibile e composto da materiale carbonatico e detritale. La combinazione di queste caratteristiche morfologiche e fisiologiche la si ritrova in alcune specie di foraminiferi tubulari agglutinati a singola camera e in nessun'altra specie eucariotica agglutinante. La conservazione di questi primi Foraminiferi all'interno di queste rocce carbonatiche depositatesi immediatamente dopo la glaciazione di Stuart Chuos, indica che la variabilità morfologica dei protisti attuali è prosperata in ecosistemi microbiologicamente dominanti ed hanno contribuito al ciclo del carbonio negli oceani Neoproterozoici molto prima della comparsa di animali più complessi.

I primi Foraminiferi sono riportati nei primi strati del Cambriano (Culver, 1991), mentre quelli presunti (putativi) sono riportati negli assemblaggi fossili più recenti dei 580 Ma (Lipps & Rozanov, 1996; Gaucher & Sprechmann, 1999; McIlroy et al., 2001). Comunque, entrambe le condizioni – prima dei 580 Ma e dopo – (Douzery et al., 2004; Berney & Pawlowski, 2006) e la presenza di amebe testate, organismi correlati ai Foraminiferi negli strati più vecchi di 716 Ma (Porter et al., 2003), indicano che i primi foraminiferi fossero presenti nei record fossili da 1150 a 690 Ma (Pawlowski et al., 2003). In ultimo, alcuni dei primi Foraminiferi potrebbero aver avuto gusci ricchi di minerali (Pawlowski et al., 2003) e potrebbero essere prosperati negli

ambientanti poveri di ossigeno (Bernhard et al., 2006), lasciando così un record fossile. I foraminiferi sono uno degli unici due gruppi, assieme alle amebe testate a possedere questi gusci tubulari ricchi di minerali. Queste caratteristiche sono state riscontrate in un set di foraminiferi bentonici monotalamici agglutinati come diversi Saccamminidi.

Questi gusci tubulari della formazione di Rasthof condividono caratteristiche simili con un gruppo di microfossili tubulari, del tardo Neoproterozoico ed inizio Cambriano, del genere *Platysolenites*, che sono largamente interpretati come i primi Foraminiferi (Lipps & Rozanov, 1996; McIlroy et al., 2001).

1.4 Ciclo vitale

Poco si sa sui cicli vitali e sullo stile di vita della maggior parte delle specie di foraminiferi, infatti delle 4000 specie esistenti, si conosce il ciclo vitale completo soltanto di 30 specie.

Le poche specie studiate hanno comunque permesso di dimostrare che i foraminiferi mostrano una grande varietà di cicli vitali: alternanza di generazioni, apogamia, fissione binaria, diverse tipologie di gameti e modalità di fertilizzazione. L'intero ciclo vitale (sia fase sessuata che asessuata) viene completato in un anno nelle regioni temperate, come il bacino del Mediterraneo. Inoltre, nei foraminiferi si osserva un accentuato dimorfismo

del guscio, che si può manifestare con delle differenze nella taglia o nella morfologia ed è il risultato dell'alternanza eterofasica di due generazioni: agamica e sessuata (fig. 1.4a).

La prima generazione è aploide (gamonte) da cui si generano degli individui agamici, con camera iniziale (proloculus) microsferica, ma di taglia adulta grande. La seconda generazione è diploide (agamonte o schizonte) e dà origine ad una forma macrosferica (megalosfera) tipica dei sessuati, con camera iniziale grande, ma di taglia adulta piccola (Goldstein, 1999). Questo ciclo, ad esempio, è stato osservato nella specie bentonica *Elphidium crispum* (Schaudinn & Lister, 1895).

Le due forme originano due vie differenti in quanto, la microsferica dopo divisione multipla del nucleo, produce per schizogonia numerosi individui ameboidi uninucleati, espulsi dal guscio parentale ed ognuno di essi forma il proprio guscio macrosferico con citoplasma uninucleato. La forma macrosferica, al momento della riproduzione, origina per sporogonia dei piccoli microgameti flagellati che si fondono a due a due per isogamia, originando lo zigote che si sviluppa nuovamente nella forma microsferica dando inizio ad un nuovo ciclo.

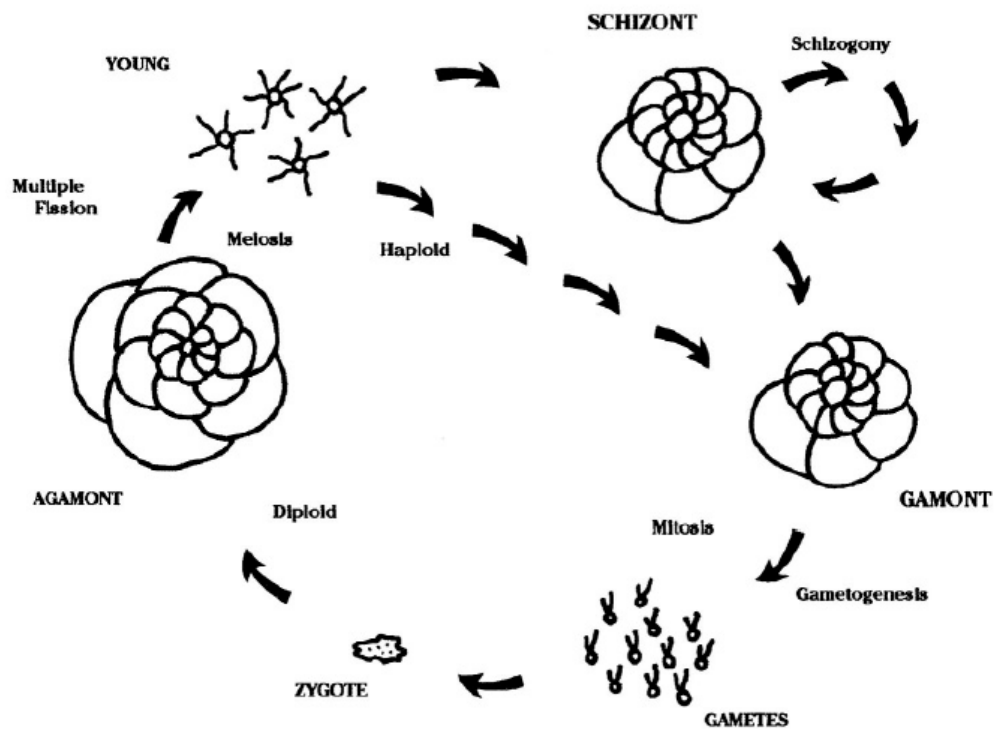


Fig. 1.4a: schema del ciclo di vita dei foraminiferi che include un'alternanza regolare tra un gamonte megalosferico, aploide, uninucleato e un agamonte microsferico, multinucleato, diploide. La meiosi si verifica nell'agamonte come parte della fissione multipla e i gameti sono prodotti dalla mitosi. In alcune specie, il ciclo vitale include anche uno schizonte che viene prodotto dall'agamonte che a sua volta si riproduce asessualmente e può intercettare numerosi cicli asessuati successivi. Tuttavia, il tipo di divisioni nucleari nello schizonte non è stato documentato per nessuna specie (da “Modern Foraminifera”, di Barun K. Sen Gupta, Kluwer Academic Publishers, 1999).

Le dimensioni del proloculus delle forme macrosferiche variano considerevolmente tra le specie: numerose generazioni macrosferiche possono intervenire tra quelle microsferiche, ciascuna rappresentata da individui caratterizzati da differenti proloculi. Inoltre, alcune specie mostrano una serie di gusci macrosferici con pronuclei di grandezza variabile, seguita da un guscio microsferico: questo fenomeno è chiamato polimorfismo.

Seppur la fase sessuata sia inferiore a quella asessuata, il suo intervento è determinante per incrementare la sopravvivenza della specie, infatti, anche a seguito di incidenza delle condizioni ambientali sulla riproduzione, quando sono sfavorevoli si ha la riproduzione sessuata al fine di migliorare la specie grazie al mescolamento del materiale genetico, favorendo così la variabilità e l'adattamento dei foraminiferi all'ambiente (Alve & Goldstein, 2003).

2. STORIA DELLA SISTEMATICA DEI FORAMINIFERI

I foraminiferi furono descritti per la prima volta nel XVIII e XIX secolo (Linné, 1758; Fichtel & Moll, 1798; De Montfort, 1808), ma fu il naturalista francese d'Orbigny a fornire una solida base per i loro studi, grazie alla pubblicazione del manuale “Tableau Méthodique de la Classe des Céphalopodes” (1826), commettendo però degli errori dal momento che descrisse i foraminiferi come dei piccoli cefalopodi, in quanto si pensava ci fossero delle somiglianze con il Nautilus (Lipps et al., 2011) e credendo che i granuloreticulopodi fossero dei piccoli tentacoli. Infatti, ciò ha creato non poca confusione nelle successive raccolte tassonomiche, finché F. Dujardin (1835a, c) non li ha descritti come degli organismi, il cui corpo (denominato “sarcode”, sostituito poi con “protoplasma”, ad indicare la sostanza costitutiva del corpo dei Protozoi) altro non era che una massa gelatinosa provvista di pseudopodi. Dujardin concluse inoltre che i Foraminiferi non erano cefalopodi come si credeva, ma bensì organismi unicellulari.

Il nome “foraminiferi” deriva dal termine “*foramina*” ad indicare le aperture delle camere che garantiscono la comunicazione tra le diverse parti del guscio; sulla base di questo, d'Orbigny stabilì che i foraminiferi fossero classificati come un ordine a sé stante.

Nella classificazione di d'Orbigny del 1826, i foraminiferi furono suddivisi in 5 ordini, in seguito la sua classificazione includeva tutti gli ordini con aggiunta dei Monostegues (forme a singola camera) e dei Cyclostegues (forme in cui le camere erano organizzate in annuli) (Sen Gupta, 2003). In questo modo d'Orbigny, nel 1852, descrisse un totale di 72 generi. Dato che le caratteristiche della parete erano considerate un importante criterio nella tassonomia, d'Orbigny raggruppò sia i calcarei che gli agglutinanti nella stessa famiglia, poiché le camere avevano lo stesso arrangiamento.

Questa classificazione rimase invariata fino al XX secolo, quando venne criticata da alcuni ricercatori inglesi, poiché questi organismi unicellulari presentano caratteristiche morfologiche così variabili che è impossibile arrivare ad una loro chiara sistematica. Infatti, sono state osservate differenze in molti dettagli, nonché nella struttura della parete, parametro di primaria importanza utilizzato per distinguere le famiglie provviste di perforazioni del guscio da quelle che ne erano sprovviste. In seguito, questo schema fu modificato da Jones nel 1876 separando i gruppi a struttura porcellanacea dagli arenacei.

Sebbene d'Orbigny venga visto come il fautore dello studio dei foraminiferi, una prima conoscenza dei loro gusci risale al XVII secolo nelle sabbie in riva

agli oceani, ma un'inusuale scoperta fu fatta da Leeuwenhoek che, nel 1700, descrisse le dimensioni di questi gusci non più grandi di un granello di sabbia. Successivamente, nel 1846, il predetto naturalista conteggiò 68 generi di foraminiferi moderni, stimando l'esistenza di 1000 specie.

Nel 1854 si assiste ad un importante contributo di Schultze (1854) che fornì una primaria suddivisione dei Foraminiferi in due gruppi, *Monotalamici* (ad una camera singola) e *Politalamici* (caratterizzati da un guscio a più camere). Questa classificazione venne però rimpiazzata da una successiva basata sulla presenza e sull'assenza di pori (Reuss, 1861; Carpenter et al., 1862). In seguito, i foraminiferi furono identificati come protisti con guscio. La loro biologia non è stata mai esaminata così intensamente come è stato fatto per alcuni protisti "cugini", quali i ciliati ad esempio, ma una certa attenzione è stata data al loro ciclo sessuale, caratterizzato dall'alternanza di una fase sessuata con una asessuata, poiché ciò porta ad un marcato dimorfismo sessuale.

Uno dei migliori lavori sui foraminiferi fu scritto, a suo tempo, da H.B. Brady nella sua monografia risalente al 1884, in cui incluse sia i generi antichi che quelli moderni evidenziando l'esistenza di 10 famiglie e 29 sottofamiglie.

Inoltre, Brady eseguì il riconoscimento tassonomico basandosi su multipli caratteri anziché sulla sola composizione della parete. In base a ciò, egli catalogò tutti i generi conosciuti che avessero un arrangiamento seriale delle camere, all'interno di un'unica famiglia, Textularidae (divenuta in seguito Textulariidae). Oltre alla suddetta, altre famiglie sono state identificate nel presente lavoro, quale la Gromidae (caratterizzata da parete organica), Astorhizidae e Lituolidae (caratterizzate da parete agglutinante), Miliolidae (caratterizzata da parete calcarea imperforata), Chilostomellidae, Lagenidae, Globigerinidae, Rotaliidae, Nummulinidae (caratterizzate da parete calcarea perforata).

Successivamente alla visione di Brady, ne subentrò una seconda, quella di J.A. Cushman, ritenuto essere il maggior tassonomo di foraminiferi nella prima metà del XX secolo, con forti richiami alla visione del suo predecessore. La prima classificazione (1925) di Cushman non era altro che un adattamento alla versione di Brady con qualche irrisoria modifica.

La maggiore espansione della tassonomia dei foraminiferi avvenne tra il 1927 ed il 1928 quando il numero delle famiglie aumentò a 45 e la nuova classificazione di Cushman fu basata sulle conoscenze inerenti alla storia geologica dei generi, in modo da mostrarne le diverse relazioni. Nella

versione finale, le famiglie arrivarono ad essere 50. Con questo lavoro, Cushman diede molta importanza alla struttura della parete, a tal punto da farla divenire la prima chiave tassonomica per il riconoscimento, proprio per questo motivo il XX secolo è stato un periodo fondamentale per la tassonomia dei foraminiferi.

Cushman non portò grandi cambiamenti, ma semplicemente adattò le famiglie conosciute in una sequenza dove si partiva dalle famiglie con parete agglutinante, membranacea e ad una sola camera che vennero considerate primitive, arrivando alle famiglie calcaree, perforate con più camere e una simmetria trocospirale, che vennero considerate le più evolute. Questo permise a Cushman di produrre delle importanti chiavi di riconoscimento tassonomico.

Altri risultati importanti, furono raggiunti tramite l'opera tassonomica "Magnum Opus" in cui con lo sviluppo delle tecniche tassonomiche ed utilizzo di nuove chiavi di riconoscimento, A.R. Loeblich & H. Tappan (1987, 1989, 1992) descrissero 878 generi moderni suddividendoli in 12 sottordini, che differivano principalmente nell'ultrastruttura e nella mineralogia del guscio. Nel 1992, Vickerman stimò ce ne fossero circa 10000 specie, un

numero che era soltanto 1/8 di quello stimato all'interno del regno "Protoctista" (Hammond et al., 1995).

Nelle più recenti modifiche apportate alla tassonomia dei Foraminiferi (Sen Gupta, 1999; Mikhalevich, 2004; Kaminski, 2005), il numero degli ordini s'incrementò fino ad arrivare a 16, lasciando però invariate le basi della loro classificazione.

Nel periodo post-Cushman vennero redatti dei manuali di sistematica sui foraminiferi (Loeblich & Tappan, 1964a), riservando una certa attenzione ai dettagli delle pareti dei taxa calcarei fino ad ora ignorati. Ad esempio, nuove ricerche tassonomiche intorno al 1950 hanno incluso la natura delle lamelle della parete, utilizzata per il riconoscimento delle superfamiglie (Reiss, 1958). Infatti, ciò ha permesso di distinguere due tipologie di pattern a seguito delle analisi con luce polarizzata: *radiale* (dove sono state osservate delle bande concentriche ed è dovuto all'orientamento perpendicolare dei cristalli di calcite in relazione alla curvatura del guscio) e *granulare* (in cui si riflette la mancanza di un orientamento definito). Da alcuni studi successivi è emerso che i cristalli non erano disposti casualmente, ma seguivano un arrangiamento obliquo od erano uniti in fasci. Comunque, la distinzione tra i due pattern è stata una chiave tassonomica importante per alcuni livelli. Dal lavoro di

Loeblich & Tappan (1964a) è emerso che la composizione della parete e la sua tessitura permisero di separare i sottordini in questo modo: parete organica degli Allogromiina, parete agglutinante dei Textulariina, parete microgranulare e calcarea degli estinti Fusulinina, parete porcellanacea e calcarea dei Miliolina, parete calcarea e ialina per i Rotaliina.

Attualmente i foraminiferi sono classificati in base alle caratteristiche del guscio, in particolare la composizione della parete e sua microstruttura sono di primaria importanza per la classificazione e sono utilizzate per definire i sottordini e le superfamiglie. La tipologia della camera e i setti aggiuntivi sono una chiave tassonomica di secondaria importanza, mentre in terza posizione abbiamo le aperture dei gusci e loro modificazioni. Infine, il fatto che le camere formano delle simmetrie e se l'organismo in esame sia a vita libera o associato al fondale, sono chiavi di minore importanza ma comunque utilizzate nel riconoscimento. Nonostante gli innumerevoli studi sulla sistematica dei foraminiferi, la loro classificazione è ancora oggi oggetto di dibattito, poiché tradizionalmente sono inclusi nel phylum Granuloreticulosa e nella classe Foraminifera. Altre classificazioni invece racchiudono i foraminiferi nel phylum Rhizopoda (Corliss, 1994) o Reticulosa (Cavalier-

Smith, 1993) o li considerano addirittura come un phylum separato (Cavalier-Smith, 1998).

Lo studio più recente in merito alla sistematica dei foraminiferi, “New supraordinal classification of Foraminifera: molecules meet morphology”, risale al 2013 (Pawlowski et al., 2013) con il quale si è cercato, anche tramite tentativi basati sull'utilizzo delle sequenze SSU (small subunit) rRNA come marcatori biomolecolari, di raggruppare i sottordini in taxa di livello superiore (higher level taxa) (Hohenegger & Baal, 2004; Hohenegger, 2011). La classificazione proposta da Mikhalevich (1998, 2000, 2004) e Mikhalevich & Debenay (2001) era basata su un “macrosistema” che suddivideva i foraminiferi in 7 classi che vertevano sull'intera organizzazione della parete. Questo sistema ha rivelato alcune interessanti tendenze nell'evoluzione dei Foraminiferi, basate principalmente sulla struttura morfologica del guscio. Molti studi tassonomici riguardavano delle revisioni sui taxa di livello inferiore (lower level taxa) (Hottinger, 1980; Gudmundson, 1994; Revets, 1996), ma soltanto pochi studi hanno fornito una visione più generale della loro classificazione come quella dei foraminiferi agglutinanti, i cui aggiornamenti sono pubblicati regolarmente (Kaminski, 2004). Oggi si contano in generale circa 15000 specie.

La mancanza di progressi nella classificazione dei foraminiferi di livello superiore è dovuta principalmente alla difficoltà di stabilire relazioni evolutive tra i principali gruppi, definiti esclusivamente in base alle caratteristiche morfologiche, e il gran numero di taxa coinvolti. Nonostante l'eccellente numero di record fossili, gli schemi filogenetici dei foraminiferi sono limitati alle caratteristiche tessiturali e morfologiche del guscio (e.g. Cushman, 1948; Grigelis, 1978; Tappan & Loeblich, 1988; Vachard et al., 2010).

Con l'avvento degli studi molecolari, tutto questo è cambiato, portando grandi novità nell'evoluzione dei Foraminiferi (Pawlowski, 2000; Bowser et al., 2006), infatti grazie all'interpretazione dei dati molecolari riportati nel lavoro di Pawlowski et al. (2013) si è giunti ad una nuova classificazione di questi organismi, tant'è che vengono considerati come Phylum, composto di tre gruppi principali (fig. 2.a):

1. la classe GLOBOTHALAMEA che comprende quelle specie politalamiche con camere tipicamente globulari;
2. la classe TUBOTHALAMEA che raggruppa le specie politalamiche le cui camere sono solitamente tubulari;

3. l'assemblaggio parafiletico dei monotalamici che raggruppa quelle specie a camera singola (monotalamiche) aventi una parete organica od agglutinata.

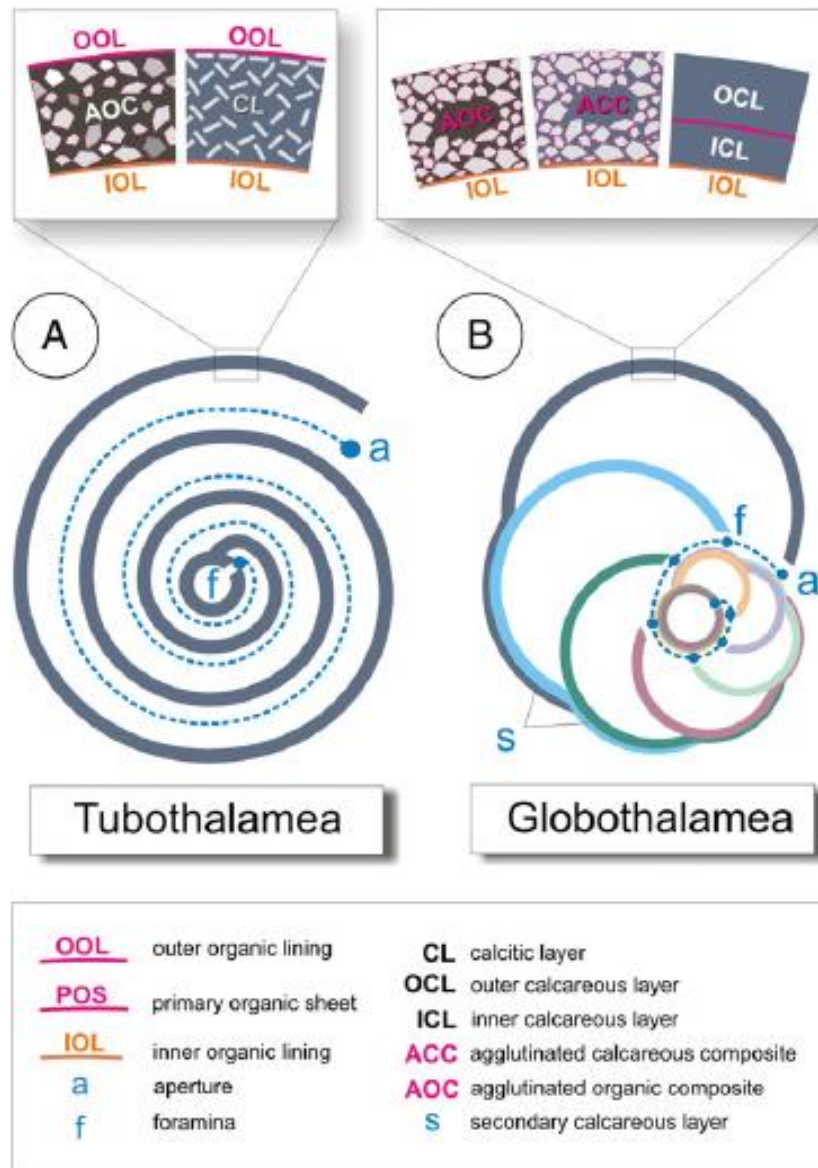


Fig. 2.a: Caratteristiche morfogenetiche fondamentali identificate all'interno di Tubothalamea e Globothalamea. A) Tubothalamea possiede

una o più camere tubolari allungate costruite dal composito organico agglutinato (AOC) o dallo strato calcitico (CL) composto da composito organico-calcareo (test porcellanei). La distanza foraminale (f-a) tra un'apertura (a) e l'ultimo foraminum (f) è massimizzata. B) Globothalamea mostra camere globulari o semiglobulari costruite con AOC o composito calcareo agglutinato (ACC) o strato calcitico/aragonitico (CL). La distanza foraminale (f-a) tra un'apertura (a) e l'ultimo foraminum (f) è ridotta al minimo. Gli strati calcitici secondari sono limitati alle prove calcaree. Le strutture organiche "viola" (OOL, POS, AOC, ACC) fungono da matrice organica, in parte responsabile della formazione delle camere (Pawlowski et al., 2013).

sinistra a destra) probabilità posteriori (BI) e valori bootstrap (ML). L'albero era radicato con *Allogromia sp.*, *A. triangularis* e *A. rara*, come suggerito dalle filogenesi proteiche. Simboli di colore indicano lignaggi staminali di *Globothalamea* e *Tubothalamea*, nonché gruppi con parete agglutinata e calcarea (Pawlowski et al., 2013).

Questa nuova classificazione è relativamente conservativa, poiché altri ordini tradizionali come Rotaliida, Miliolida, Spirillinida e Robertinida sono preservati, nonostante le loro definizioni siano state modificate nel corso del tempo.

Nel caso dei Rotaliida, la distinzione con i Buliminida (Sen Gupta, 1999) basata principalmente sulla presenza/assenza di un dente interno, non è supportata dai dati molecolari (Schweizer et al., 2008); inoltre questo ordine, in precedenza esclusivamente costituito da specie bentoniche, comprende ora anche specie planctoniche classificate nell'ordine dei Globigerina, il tutto supportato da evidenze molecolari riguardanti ramificazioni tra specie bentoniche (Ujiié et al., 2008) e alcune specie planctoniche (Darling et al., 2009).

Dallo studio di Pawlowski et al. (2003) è emersa la necessità di ridefinire anche gli ordini Miliolida e Spirillinida, poiché nonostante siano entrambi di

natura calcarea e monofiletica, in questa nuova classificazione includono anche alcuni generi agglutinati e di conseguenza non possono essere distinti in base alla sola composizione della parete e struttura.

In questo nuovo sistema di classificazione, gli ordini bicamerati Allogromiida ed Astrorhizida sono stati rimpiazzati da un assemblaggio parafiletico di specie monotalamiche. Ciò perché la distinzione di questi due ordini, caratterizzati rispettivamente da un guscio organico ed agglutinato, non può essere mantenuta poiché la transizione da guscio organico ad agglutinato trova spazio in differenti lignaggi monotalamici (Pawłowski et al., 2002a, b, 2003). Il numero dei lignaggi nella sistematica dei foraminiferi è in rapida crescita, grazie all'identificazione di nuovi filotipi, inoltre molte specie sono state descritte sia alle alte latitudini che in habitat di ambienti profondi (e.g. Pawłowski et al., 2002a, b; Gooday et al., 2004). Attualmente, negli ambienti marini sono stati identificati 22 cladi monotalamici, inclusi 8 lignaggi ambientali, (Pawłowski et al., 2011), con l'aggiunta di 4 cladi provenienti dalle acque superficiali (Lejzerowicz et al., 2010).

Un altro ordine che è possibile rappresentare tramite un assemblaggio parafiletico è quello dei Textulariida. Nonostante la maggior parte dei textulariidi sia ramificata insieme alla base dei Rotaliida, questi

raggruppamenti non sono supportati da evidenze scientifiche. Le sequenze dei generi *Reophax* e *Leptohalysis* spesso si ramificano in modo indipendente.

Il punto cruciale su cui si basa il nuovo sistema di classificazione dei Foraminiferi è il passaggio da un individuo ad una sola camera ad uno con più camere. Questa transizione si è manifestata in due linee evolutive: Globothalamea e Tubothalamea.

Nonostante questi nuovi ed importanti studi sulla classificazione dei Foraminiferi, ci sono tre ordini, Lagenida, Fusulinida (estinto) e Involutinida, che rimangono “*incertae sedis*” (termine utilizzato nella tassonomia per indicare l’incapacità di collocare esattamente un taxon (specie o genere) all’interno di uno schema di classificazione). L’ordine Lagenida rimane tale poiché ci sono delle carenze informative e scientifiche su quali siano le linee evolutive ad esso associate. Inoltre, sono necessari nuovi marcatori filogenetici per risolvere le relazioni filogenetiche più strette alla base dei cladi comprendenti specie a più camere.

Per la mia tesi ho seguito la classificazione di Loeblich & Tappan (1987, 1988) ed ho considerato la componente monotalamica (uniloculare, una sola camera) a guscio organico ed agglutinante e la componente politalamica (multiloculare, più camere) a guscio agglutinate e calcareo.

3. ECOLOGIA DEI FORAMINIFERI BENTONICI

Essendo il mio lavoro basato sui foraminiferi bentonici, di seguito verranno descritti i loro aspetti ecologici, tralasciando quelli planctonici.

I foraminiferi bentonici sono organismi che si trovano a tutte le profondità ed in tutti gli ambienti marini e per questo giocano un ruolo ecologico molto importante.

Tra i foraminiferi bentonici troviamo specie epifaunali (vivono sulla superficie del substrato), sessili o vagili e specie infaunali che colonizzano gli spazi interstiziali del sedimento (fig. 3a). È documentata anche l'esistenza di specie che colonizzano ambienti di acqua dolce, le cui principali descrizioni risalgono al diciannovesimo secolo (Blanc, 1876; Penard, 1899, 1905).

Non vivono esclusivamente all'interfaccia acqua – sedimento, ma forme viventi possono essere riscontrate anche all'interno dei sedimenti, talvolta fino a 10 cm di profondità.

Entro questo intervallo di profondità, avvengono grandi cambiamenti nel sedimento, soprattutto nel caso di sedimenti a granulometria fine, infatti nell'interfaccia acqua – sedimento, l'acqua di mare può essere satura di ossigeno, presentando inoltre materia organica di alta qualità che è spesso disponibile, inoltre essendo una zona fotica, è ricca di radiazione luminosa.

Scendendo in profondità nel sedimento, le condizioni cambiano drasticamente: spesso si assistono a condizioni di ipossia ed anossia, associate alla presenza di sostanze tossiche come l' H_2S , inoltre la restante materia organica può essere refrattaria e con un basso valore nutritivo, perciò non più biodisponibile per gli organismi (Jorissen, 2003). Nonostante in profondità nel sedimento si manifestino queste condizioni e risultino ostili per molti organismi (Fenchel & Finlay, 1995), si possono trovare altrettanti organismi infaunali, compresi appunto i foraminiferi.

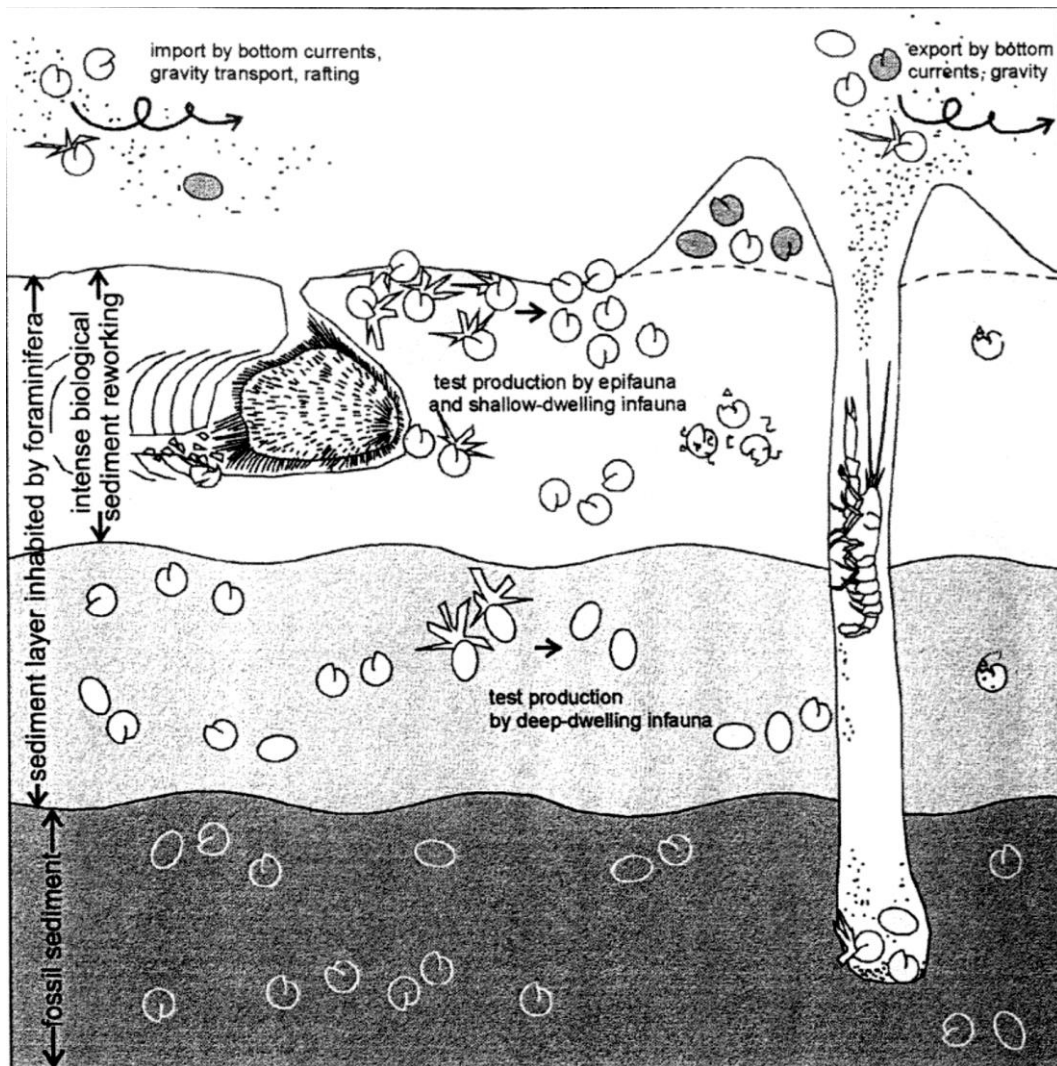


Fig. 3a: habitat diversificati occupati dai foraminiferi (bianchi) in un ambiente marino bentonico (da “Modern Foraminifera” di Barun K. Sen Gupta, Kluwer Academic Publishers, 2003).

Il substrato più comune con il quale i foraminiferi interagiscono è il sedimento, infatti alcune specie si infossano attivamente nel sedimento alla velocità di 1 cm/h, mentre altre specie possono dislocarsi anche sulle rocce, alghe, praterie di macroalghe dove possono essere fitali od epifitici.

Molte specie, essendo a vita libera, utilizzano gli pseudopodi per il movimento, ma possono utilizzarli anche per ancorarsi al substrato. Un esempio di questi molteplici stili di vita è dato dal genere *Elphidium*, specie opportunistica di acque poco profonde.

La loro esistenza non può prescindere dalla presenza dei “microhabitat”, termine con cui si intende un microambiente caratterizzato dalla combinazione di fattori fisici, chimici e biologici (ad esempio ossigeno, nutrienti, interazioni biologiche, ecc.). Queste caratteristiche separano microhabitat adiacenti e spesso ravvicinati, inoltre rendono un determinato habitat idoneo per alcune specie ma non per altre. In ogni caso questi microhabitat sono dislocati nell’interfaccia acqua-sedimento, ovvero nella parte inferiore della colonna d’acqua e sullo strato superiore del sedimento.

Ciò che condiziona la loro esistenza è l’insieme dei fattori abiotici (chimici e fisici come la temperatura, salinità, tipologia di substrato, granulometria del sedimento, grado di torbidità, pH, luce, nutrienti, ossigeno e presenza di vegetazione sul fondo) di cui alcuni limitanti, cioè esistono valori soglia di tali fattori che possono portare all’incapacità di riproduzione o morte dei foraminiferi. In molti casi, questi fattori sono correlati tra loro, producendo così maggiori effetti sulla biocenosi di foraminiferi, rispetto a quanto ne abbia un fattore preso singolarmente.

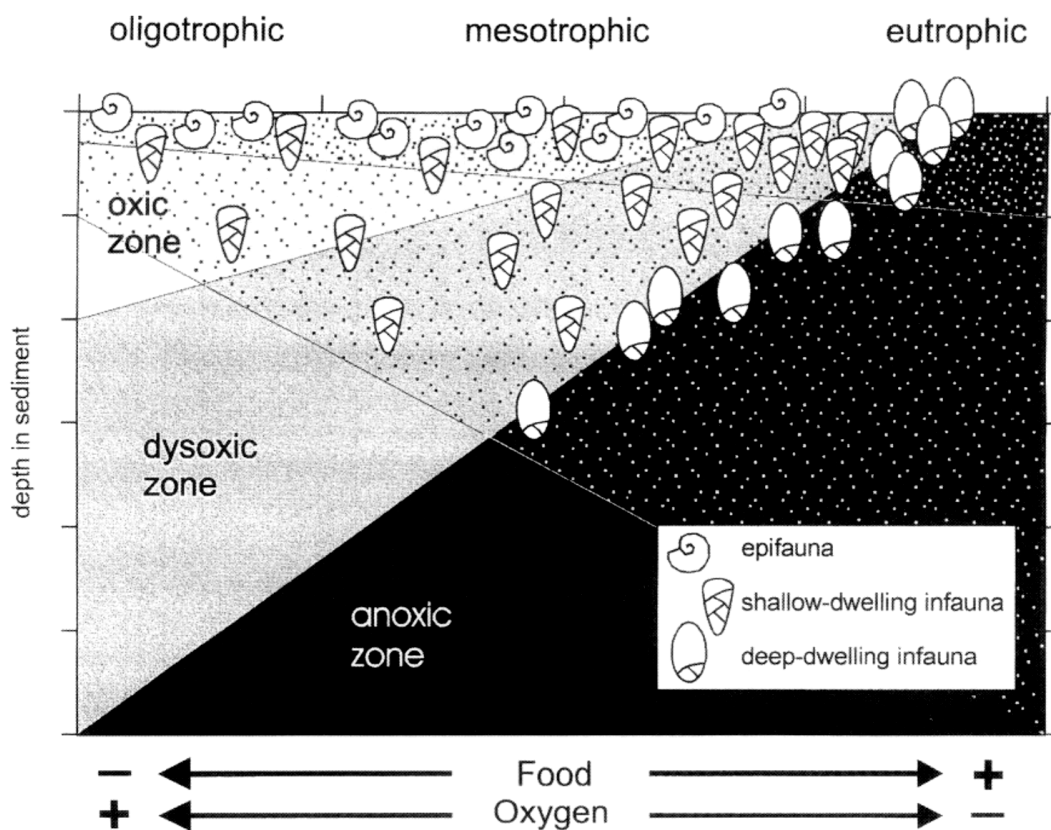


Fig. 3b: Schema ipotetico che mostra le variazioni dei microhabitat dei taxa infaunali in funzione della profondità ad un livello critico di O_2 nel sedimento (da “Modern Foraminifera”, di Barun K. Sen Gupta, Kluwer Academic Publishers, 2003).

Studi recenti sulla fauna vivente (Jorissen et al., 1995) evidenziano che i principali fattori limitanti la distribuzione dei foraminiferi sono la disponibilità di materia organica e la concentrazione di ossigeno nelle acque di fondo ed interstiziali (TROX-model).

3.1 Trox-model e ALD₁₀

In seguito allo sviluppo del concetto di ALD (Average Living Depth, ovvero profondità media di vita degli organismi), è stato proposto il *TROX-model*, un modello concettuale che descrive la penetrazione in profondità nel sedimento della fauna a foraminiferi (o profondità del microhabitat, fig. 3.1.1) come una funzione dell'interazione negativa tra ossigeno e disponibilità di cibo.

Il modello segue l'assunzione di Shirayama (1984) in cui viene spiegato che la profondità nel sedimento, nella quale gli organismi possono vivere, è determinata dalla disponibilità di ossigeno e che, in sua presenza, la distribuzione verticale degli organismi è controllata dalla disponibilità di cibo. Si suggerisce che le specie di foraminiferi abbiano dei livelli critici sia di ossigeno che di nutrienti (in termini di qualità e di quantità di cibo). Entrambi i parametri comunque possono variare notevolmente da specie a specie. In questo modello, la profondità del microhabitat è determinata da un livello critico di nutrienti in ambienti oligotrofici, mentre in ambienti eutrofici è limitata da un livello critico di ossigeno.

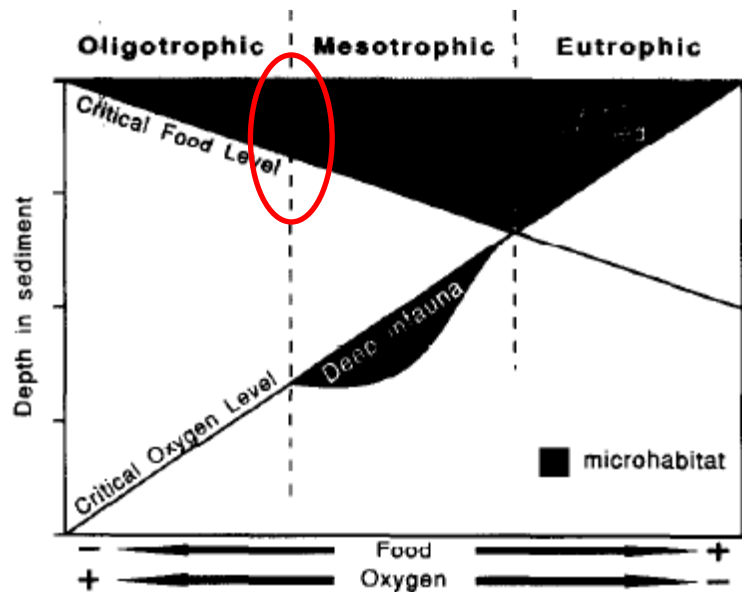


Fig. 3.1a: grafico che evidenzia il modo in cui la massima profondità nel sedimento del microhabitat (zona nera) cambia in funzione della discesa verso il basso del flusso di materia organica (da “A conceptual model explaining benthic foraminiferal Microhabitats”, Jorissen et al., 1995).

Nelle aree eccessivamente oligotrofiche (a sinistra della figura 3.1a), tutte le particelle di nutrienti metabolizzabili, saranno consumate alla superficie del sedimento; in questo modo la parte di sedimento sottostante conterrà soltanto piccole quantità di materia organica refrattaria (non biodisponibile per gli organismi) e per questo motivo le specie infaunali sono qui assenti e troviamo organismi concentrati negli strati sedimentari superficiali.

Passando ad un ambiente mesotrofico, ecco che la materia organica penetra più in profondità nel sedimento e questo garantisce la presenza degli organismi a profondità maggiori rispetto alle condizioni oligotrofiche.

Quando invece ci si sposta verso delle zone più eutrofiche (a destra in figura 3.1a), si ha un maggiore approfondimento del microhabitat nel sedimento. Ciò è dovuto al fatto che la materia organica metabolizzabile non è più limitata al solo sedimento superficiale, ma è parzialmente trasportata dalla bioturbazione anche negli strati sedimentari più profondi, dove fornisce le condizioni nutrizionali necessarie al sostentamento dei taxa infaunali.

Nel mio lavoro, considerando i dati ottenuti dal calcolo dell'ALD₁₀ (indice che descrive la distribuzione verticale nel sedimento della fauna totale e dei taxa individuali e permette di dare un'idea sulla dislocazione del microhabitat) in relazione all'intervallo 0-10 cm, per la frazione >150 µm, è emerso che le specie dominanti nelle tre repliche R1, R2, R3 sono *Micrometula hyalostriata*, *Lagenammina sp.*, *Ammonia parkinsoniana*, *Ammonia tepida*, *Bulimina aculeata*, *Quinqueloculina seminula*, *Eggerella advena*, *Eggerella scabra* e *Leptohalysis scottii* (Tab. 3.1.1).

Replique \ Specie osservate	<i>Micrometula hyalostrata</i>	<i>Lagenammia sp.</i>	<i>Ammonia parkinsoniana</i>	<i>Ammonia toepida</i>	<i>Bulimina aculeata</i>	<i>Quinqueloculina seminula</i>	<i>Eggerella advena</i>	<i>Eggerella scabra</i>	<i>Leptohalysis scottii</i>
R1	0,70	2,15	0,33	2,50	1,19	3,91	1,82	4,33	2,16
R2	0,74	2,71	3,47	2,32	1,90	2,39	3,61	3,00	1,97
R3	1,24	3,07	2,05	1,23	2,38	2,25	2,90	3,78	1,39

Tab. 3.1.1: valori ALD₁₀ emersi dal mio lavoro.

Da quanto calcolato è emerso che, le tre repliche, nell'insieme mostrano una maggiore concentrazione di specie nell'intervallo compreso tra 2 e 3 cm di profondità (fig. 3.1b). Andando ad analizzare ogni singola specie, avendo stabilito che esistono diverse categorie di microhabitat: epifaunale dagli 0 ai 4 cm, a seguire infaunale compreso tra i 4 e i 5 cm, chiudendo con l'infaunale profondo dai 5 cm in giù (Jorissen et al., 1995), si è visto che *Micrometula hyalostrata* mostra un andamento simile nelle repliche R1 e R2, discostandosi nella R3 dove mostra una profondità di vita di 1,24, *Lagenammia sp.* mostra una maggiore profondità nel sedimento crescendo da R1 ad R3 (da 2,15 a 3,07), *Ammonia parkinsoniana* presenta una maggior profondità media nel sedimento nella replica R2 (2,71), *Ammonia tepida* è dislocata ad una profondità che decresce da R1 ad R3 (da 2,50 a 1,23), *Bulimina aculeata* presenta andamento opposto in quanto la sua profondità

nel sedimento si accresce da R1 ad R3, *Quinqueloculina seminula* si ritrova in un livello più profondo nella replica R1 (3,91), *Eggerella advena* è più infossata nella replica R2, *Eggerella scabra* manifesta la profondità più elevata nel sedimento di tutte le specie di tutte e tre le repliche (4,33), infine *Leptohalysis scottii* ha una profondità che va dai 2,16 di R1 fino a calare ad 1,39 di R3.

Quindi, considerando il TROX-model, si può affermare che l'associazione a foraminiferi bentonici per quanto concerne le repliche R1, R2, R3 della frazione >150 µm, si inserisce in un ambiente ai confini tra un sistema oligotrofico ed uno mesotrofico (condizione evidenziata con il cerchio rosso in figura 3.1a).

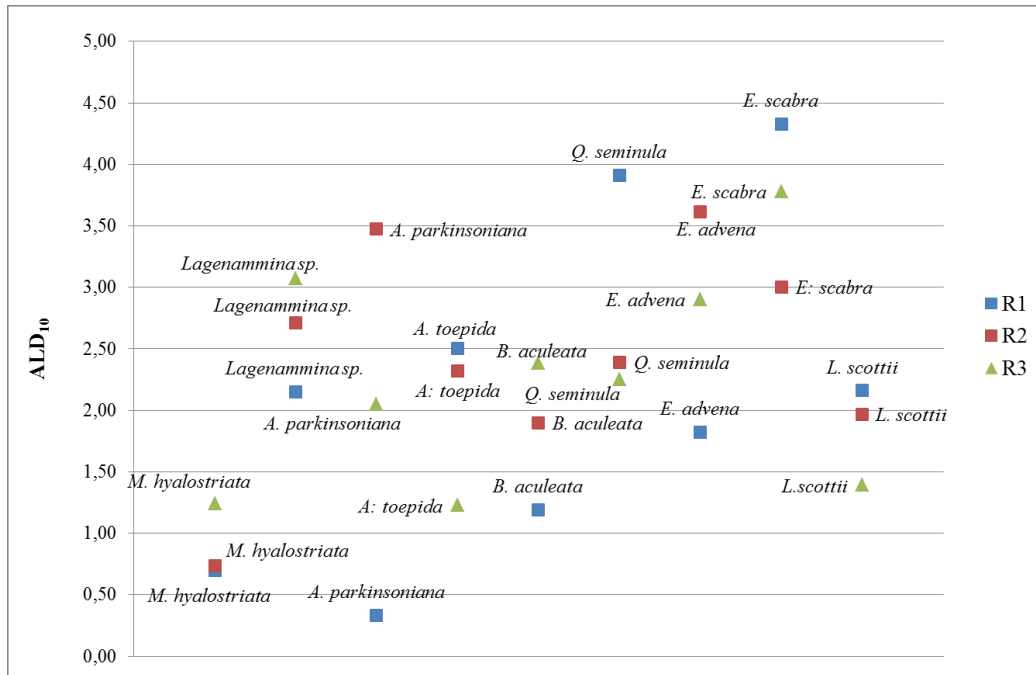


Fig. 3.1b: andamento dei valori di ALD (Average Living Depth) all'interno delle repliche R1, R2, R3 per la frazione >150 μm .

Oltre ai fattori abiotici, intervengono anche quelli biotici quali la predazione, disponibilità di cibo e competizione che interessano sia lo spazio che i nutrienti, poiché c'è una correlazione tra le due condizioni in quanto la quantità di spazio disponibile diminuisce all'aumentare dell'approvvigionamento di cibo.

Sia i fattori abiotici che biotici influiscono sulle relazioni col substrato, sull'orientamento del guscio e forma. A tal riguardo, Brasier (1982a) ha sviluppato una teoria per spiegare che l'evoluzione e le diverse morfologie

sono strettamente correlate a quel dato ecosistema, infatti le forme a vita libera mostrano una gamma morfologica più ampia rispetto a quelle sessili.

Considerando l'approvvigionamento di nutrienti, molte specie si nutrono ad un livello trofico basso e giocano un ruolo cruciale nel trattamento a lungo termine della materia organica fresca prodotta per via fotosintetica che viene trasportata sul fondo sotto forma di aggregati (Gooday, 1993; Gooday et al., 2008).

Almeno in alcune situazioni ambientali, essi elaborano la stessa quantità di materia organica come batteri, nonostante la loro biomassa sia solo una piccola frazione di quella batterica (Moodley et al., 2002).

I foraminiferi hanno un'abbondanza tale da essere un'importante componente della catena trofica marina e i loro predatori includono scafopodi, isopodi, serpenti marini e piccoli pesci (Lipps, 1983).

Sono in grado di utilizzare un vasto range di meccanismi nutritivi in relazione alla morfologia dei loro gusci, quali pascolo, attività sospensivora, deposivora, carnivora, parassitismo, uptake diretto di DOC (dissolved organic carbon), simbiosi, e di risorse da cui attingere per il loro metabolismo. Ad esempio, quelle specie che hanno una consistente porzione citoplasmatica, sono capaci di attingere direttamente dalla DOM (dissolved organic matter) presente nell'ambiente circostante. Molte specie che vivono nella zona fotica

sono solite consumare alghe, batteri, funghi e piccoli animali (Lee et al., 1966; Lipps, 1983; Lee, 1980; Bernhard & Bowser, 1992). In tutto questo sono fondamentali gli pseudopodi poiché permettono di attingere al cibo, infatti nei foraminiferi sospensivori vengono estroflessi per catturare le particelle nutritive sospese lungo la colonna d'acqua, mentre in alcune specie svolgono la funzione digestiva extra-talamica, cioè all'esterno del guscio (Jepps, 1942; Meyer-Reil & Koster, 1991; Lee et al., 1991b; Faber & Lee, 1991b).

Le specie che vivono sotto la zona fotica invece, non possono contare sulle cellule algali viventi come fonte di cibo, quindi in questo caso riveste una grande importanza il flusso di fitodetriti freschi che dalle specie planctoniche arriva direttamente a quelle bentoniche, che hanno perciò un ruolo passivo nell'acquisizione dei nutrienti.

In dettaglio, unendo sia i fattori biotici che abiotici, Jorissen et al. (1995) hanno cercato di dare una spiegazione alla distribuzione verticale nel sedimento dei foraminiferi, illustrandone quattro tipologie come da figura sottostante, in cui vengono descritti quattro modelli principali, che manifestano una certa variabilità nello spazio e nel tempo e che anche per una singola specie esistono modelli diversi. È importante, tuttavia, definire questi

diversi modelli di distribuzione, perché riflettono la risposta degli organismi a un insieme di parametri di controllo (Sen Gupta, 2003):

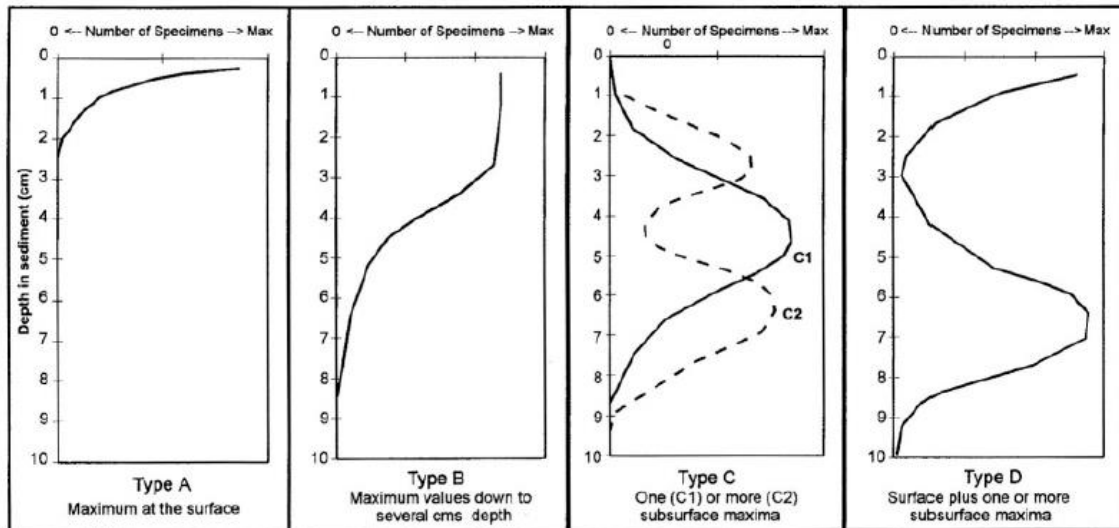


Fig. 3.1c: profili che descrivono la distribuzione delle specie in base ai fattori abiotici e biotici (da “Modern Foraminifera” di Barun K. Sen Gupta, pag. 169, Kluwer Academic Publishers, 2003).

Considerando la figura 3.1c, di seguito vengono di seguito descritti i 4 profili:

- *profilo A*): mostra un massimo di popolazione nell'intervallo più alto, che nella maggior parte degli studi ha uno spessore di 1 o 0,5 cm. Pochi individui si trovano più in profondità nel sedimento. I taxa che di solito mostrano questo modello di distribuzione verticale sono comuni negli ambienti oceanici profondi. Sono stati definiti facenti parte dell'epifauna (es. *Hoeglundina elegans* descritta da Corliss &

Emerson, 1990, Corliss, 1991; vedi fig. 3.1d(a)) o superficiali (es. *Uvigerina peregrina*, descritta dagli stessi autori; vedi fig. 3.1d(b)). In realtà, le specie abbondanti non sono mai completamente limitate all'intervallo più alto e si trovano sempre in piccole quantità ai livelli inferiori. Buzas (1974) e Buzas et al. (1993) sostengono che in ambienti con fondo molle, anche i taxa che vivono esclusivamente al livello più alto sono molto probabilmente infaunali. Essi suggeriscono che il termine "epifaunale" sia usato solo per le specie che vivono su substrati duri, come rocce, molluschi o coralli, o forse su pellicole batteriche all'interfaccia sedimento-acqua. Per tali stili di vita, Lutze & Thiel (1989) hanno proposto il termine "epifauna elevata", pertanto, per tutti i taxa che di solito mostrano schemi di distribuzione di tipo A, si può concludere che hanno una marcata preferenza per le condizioni presenti nella parte superiore del sedimento, oppure non tollerano le condizioni negli strati sedimentari più profondi.

- *Profilo B*): vengono mostrate densità simili in diversi intervalli successivi, senza una chiara distinzione tra il livello più alto e più in profondità nel sedimento, come *Hopkinsina pacifica* nella figura

successiva (fig. 3.1d) proveniente da un campione di Barmawidjaja et al. (1992). Le specie che mostrano una distribuzione secondo questo profilo sono state considerate come “superficiali infaunali” (se i valori massimi si verificano nei 2 cm superiori), o, nei casi in cui le alte densità continuano a livelli molto più profondi, come “transitorie” (Rathburn et al., 1996). Questo tipo di distribuzione è relativamente comune in ambienti di acque poco profonde con sedimento grossolano, forse perché esso è intensamente scavato a una profondità considerevole. Questo profilo è molto raro negli ambienti di acque profonde, dove le caratteristiche dell'acqua interstiziale cambiano rapidamente entro un breve intervallo di profondità, e dovrebbe perciò essere tipico dei taxa che non hanno una chiara preferenza per lo strato di sedimenti più in alto (o che non competono con successo con altri taxa) e che tollerano le condizioni che si trovano più in profondità nel sedimento.

- *Profilo C*): mostra valori relativamente bassi nel primo intervallo/i e uno (c1) o più (c2) massimi verso il basso. *Melonis barleeanus* (fig. 3.1d(d); Corliss & Emerson, 1990; Corliss, 1991) e *Globobulimina affinis* (come in figura successiva, fig. 3.1d, stessi autori) forniscono

esempi tipici. A giudicare dalla precisa profondità alla quale si trovano i massimi, le specie con tali schemi di distribuzione sono state definite intermedie (*M. barleeanus*) o infaunali profonde (*G. affinis*). I taxa con una distribuzione di tipo C sono oggetto di dubbi su come e perché prosperano nell'ambiente scarsamente ossigenato dei livelli più profondi del substrato.

- *Profilo D*): mostra una combinazione di un massimo di superficie con uno o più massimi più profondi nel sedimento. *Bulimina marginata* o *B. aculeata* di Kitazato (1989) sono esempi tipici. I taxa con un tale profilo di distribuzione trovano apparentemente ambienti adatti sulla superficie del sedimento e più in profondità nel sedimento.

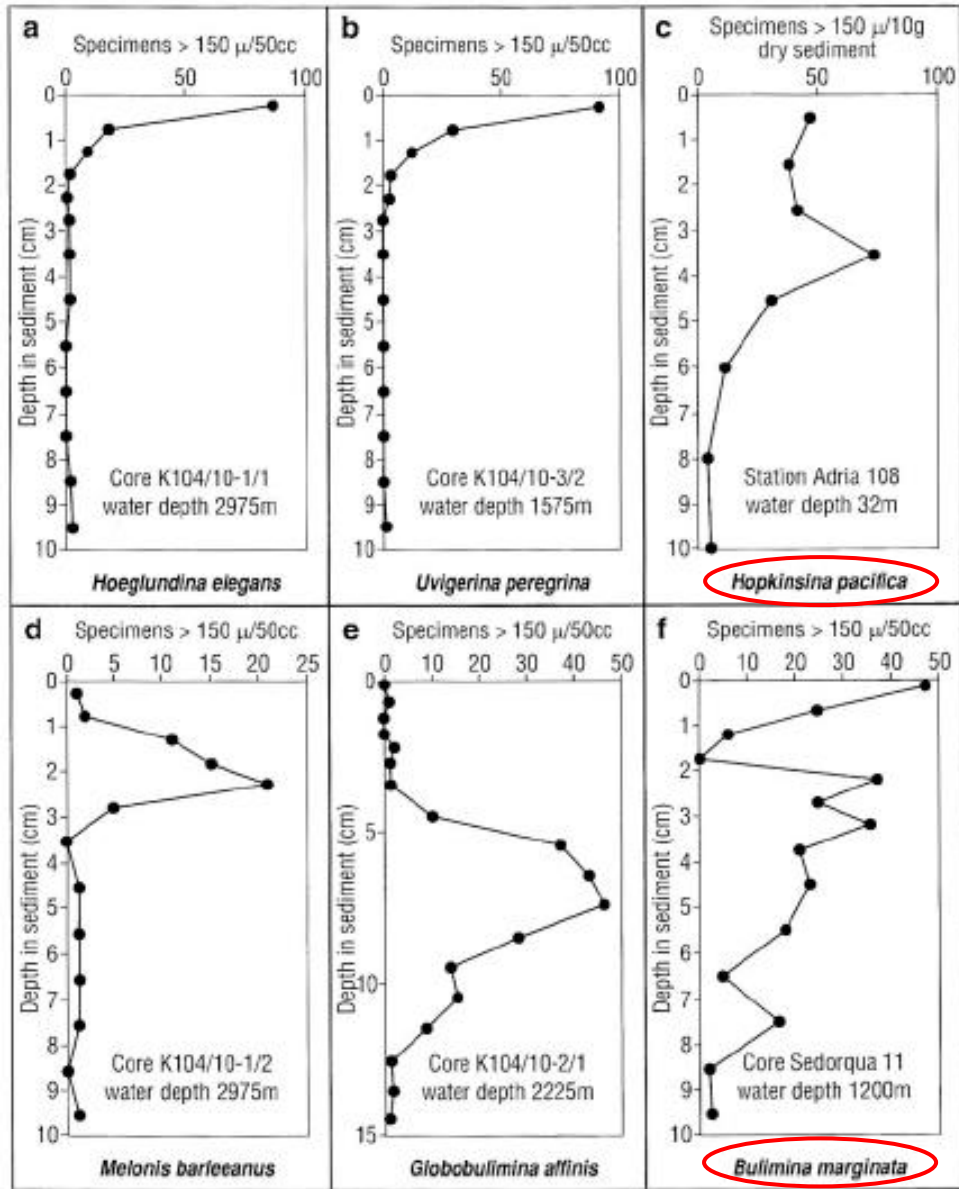


Fig. 3.1d: tipici esempi di distribuzione verticale di specie bentoniche, *Hoeglundina elegans*, *Uvigerina peregrina*, *Hopkinsina pacifica*, *Melonis barleeanus*, *Globobulimina affinis*, *Bulimina marginata*.

Come già accennato all'inizio del paragrafo, i fattori che controllano i pattern di distribuzione verticale dei foraminiferi sono molteplici ed interagiscono tra loro:

- *ossigenazione delle acque di fondo*: è un parametro che gioca un ruolo determinante nel definire il limite verticale inferiore della distribuzione a foraminiferi;
- *disponibilità dei nutrienti*: è un parametro che può controllare la profondità di vita dei foraminiferi nel sedimento. Ad esempio, negli ambienti oligotrofici, dove l'ossigeno riesce a penetrare a buone profondità (Rutgers van der Loeff, 1990), ma anche dove la piccola quantità di materia organica esistente viene subito consumata all'interfaccia acqua-sedimento (Reimers et al., 1986; Carney, 1989), i foraminiferi sono limitati ai centimetri superiori del sedimento.
- *competizione e predazione*: la ridotta pressione predatoria nei microhabitat infaunali è di certo un vantaggio per i foraminiferi bentonici. Inoltre, i maggiori picchi di densità dei foraminiferi possono essere creati grazie ad una ridotta pressione dei loro predatori. Ad oggi non si sa esattamente quale sia il motivo che spinga i foraminiferi a scegliere i microhabitat di tipo infaunale per evitare la predazione. Alla

superficie del sedimento, lo spazio a disposizione per gli habitat è ridotto e la competizione per lo spazio è intensa.

- *bioturbazione*: può influenzare i microhabitat dei foraminiferi in diversi modi: creando dei microambienti ossici in profondità nel sedimento (Aller & Aller, 1986; Meyers et al., 1987, 1988) oppure intrappolando le particelle ricche di nutrienti ed introducendole parzialmente nel sedimento. La bioturbazione può anche trasportare attivamente i foraminiferi negli strati sedimentari più profondi e causare delle manifestazioni accidentali di taxa infaunali che usualmente sono riscontrabili negli strati sedimentari superficiali.

Considerando l'insieme dei fattori, negli ambienti ricchi di nutrienti la competizione per le risorse è minima e l'ambiente sarà quindi popolato da quei taxa opportunistici con un grande potenziale riproduttivo (quali le specie appartenenti ai generi *Bulimina*, *Bolivina*, *Uvigerina* od anche la specie *Ammonia tepida*, in quanto riescono a tollerare delle condizioni di carenza di ossigeno ed inquinamento elevato. In base a ciò, Alve (1995a) ha concluso che, in generale, le specie più abbondanti e geograficamente diffuse sono le più tolleranti nei confronti di un ambiente inquinato. Se tale conclusione è valida, queste specie euritopiche (cioè in grado di sopportare ambienti

altamente variabili, poiché dotate di condizionamenti specie-specifici minimi e capaci di acquisire specificità con l'apprendimento. Sono specie a scarsa economicità biologica e ad elevato dispendio adattativo, che acquisiscono vantaggi selettivi decisivi solo in condizioni di eterogeneità e variabilità ambientale (Falzone, 2004)) possono offrire la possibilità di effettuare degli studi comparativi in aree geograficamente separate e non ancora totalmente esplorate (Sen Gupta, 2003).

Inoltre, a causa del loro alto tasso di turnover, questi taxa diverranno subito dominanti. Molti taxa epifaunali (*Hoeglundina elegans*, *Uvigerina peregrina*) con distribuzione di tipo A (fig. 3.1c), molto probabilmente avranno una strategia di tipo opportunistico e possono perciò rapidamente regolarsi in base al rifornimento intermittente di nutrienti e spesso possono dominare le associazioni fossili anche se raggiungono alte densità soltanto durante i periodi più eutrofici (Jorissen & Wittling, 1999).

Dato che la conversione batterica anaerobica della materia organica da refrattaria a labile è un processo molto lento (Fenchel & Finlay, 1995), i taxa che vivono nelle profondità dei sedimenti (*Bulimina marginata*, *Bulimina aculeata*) si sono adattati a vivere in ambienti con un rifornimento relativamente costante di nutrienti di bassa qualità (profilo D fig. 3.1c). Logicamente questi taxa avranno una strategia di vita finalizzata ad un

utilizzo efficiente dei nutrienti, in combinazione con una maggiore resistenza agli stress ambientali.

In condizioni normali, la loro densità può essere bassa ma costante nel tempo. Comunque, questi taxa normalmente infaunali sono conosciuti per avere alte densità in quei casi dove la concentrazione di ossigeno nelle acque di fondo è molto bassa (e.g. Phleger & Soutar, 1973; Sen Gupta & Machain-Castillo, 1993). In queste circostanze, i taxa opportunistici epifaunali o quelli infaunali non saranno in grado di tollerare le concentrazioni minime di ossigeno e saranno destinate perciò a scomparire. Il risultato di questa parziale estinzione è che i taxa infaunali normalmente profondi li si potranno ritrovare negli habitat dislocati a livello dell'interfaccia acqua-sedimento e potrebbero essere in grado di colonizzare questi ambienti così ricchi di nutrienti tali da raggiungere scorte elevate.

In seguito a questa descrizione generale dell'ecologia dei foraminiferi bentonici e dei principali fattori che ne regolano la distribuzione, vengono descritte nel dettaglio le principali caratteristiche concernenti l'ecologia delle componenti più importanti dell'associazione a foraminiferi bentonici che caratterizzano gli ambienti costieri mediterranei.

3.2 Ecologia della componente monotalamica a guscio organico

La componente organica ha una notevole importanza nelle comunità marine bentoniche (Gooday, 2002, Habura et al., 2008) e le specie ad essa riconducibili, sono state riscontrate a tutte le profondità negli oceani e sono particolarmente comuni nei mari profondi, ecosistemi antartici (Bowser et al., 1995, 2002; Pawlowski et al., 2002), zone costiere artiche ed estuari (e.g. Dahlgren, 1962; Nyholm, 1974 e letteratura precedente; Cato et al., 1980; Gooday & Fernando, 1992; Korsun, 1999, 2002; Korsun & Hald 1998, 2000; Gooday, 2002; Sabbatini et al., 2007).

La loro presenza è stata comunemente riscontrata anche nei sedimenti caratterizzati da fanghi ed ambienti non influenzati da onde ed idrodinamismo (Gooday, 2002). Nei sedimenti sabbiosi, la componente organica costituisce una parte notevole dell'associazione a foraminiferi (Hannah & Rogerson, 1997).

Questa componente è purtroppo ancora poco trattata dalla sistematica e spesso viene ignorata dai ricercatori. In questo lavoro si è voluto darle importanza per spiegare che anch'essa è in grado di fornire informazioni basilari sulla biocenosi in esame.

Tra gli organismi a guscio organico ritroviamo diverse famiglie, quali Allogromidi, Saccamminidi e Psammosphaeridi.

Gli Allogromidi sono foraminiferi dotati di un guscio organico la cui parete è formata quasi totalmente da materiale proteinaceo trasparente, mentre le altre tre famiglie successive sono caratterizzate da un guscio organico con particelle fini agglutinate tra loro e debolmente cementate alla parete esterna che rimane in questo modo flessibile (Gooday, 2002). Gli Allogromidi sembrano rispondere in misura minore rispetto ai foraminiferi calcarei, al flusso di carbonio organico e sono meno tolleranti alle anossie nel sedimento anche se alcune specie sono state ritrovate in sedimenti anossici (Gooday, 2002). La loro dieta è generalmente batterivora, ma alcuni consumano anche altre fonti di cibo come diatomee (Pancotti, 2004 – tesi di laurea). Molte specie contengono grandi masse di stercomata (pellet di scarto), ciò riflette probabilmente l'ingestione di particelle di sedimento associate a materia organica (Gooday, 2002).

Uno studio molto importante effettuato a sud della foce del fiume Po (Sabbatini et al., 2013), ha evidenziato il ruolo notevole della componente organica e, nonostante l'Adriatico sia un bacino largamente studiato per quanto concerne la componente calcarea ed agglutinante, poco si sa di esso in relazione alla componente organica. Grazie a questo studio si è dedotto che, in termini di importanza, i foraminiferi monotalamici organici, nell'area esaminata, rappresentano l'83% della fauna vivente. Probabilmente l'elevata

abbondanza delle specie organiche è associata a valori medio-alti di clorofilla a e relative basse concentrazioni di ossigeno. Inoltre, questa densità elevata riflette la capacità di questa componente di tollerare gli stress ambientali che si manifestano in un ambiente dinamico come le rive di un fiume dove sono solite manifestarsi variazioni di salinità, temperatura e materia organica, perciò l'abbondanza di questi organismi rafforza l'ipotesi che si tratti di specie opportuniste (Sabbatini et al., 2013).

Un altro studio svolto nei pressi del fiume Isonzo ha rivelato, di nuovo, la notevole importanza della componente "soft", che rappresenta dal 19% al 57% dell'intera fauna vivente a foraminiferi bentonici. Le abbondanze relative ed assolute di questi morfotipi diminuiscono con la distanza dalla costa e dal fiume, ancora una volta ad indicare che questi foraminiferi preferiscono condizioni caratterizzate da elevati input di materia organica e basse concentrazioni di ossigeno (Sabbatini et al., 2010). Questo è in linea con l'evidenza che i taxa organici monotalamici sono comuni negli ambienti di transizioni dove le condizioni sono da considerarsi stressanti (Nyholm, 1952; Duijnsteet et al., 2004; Gooday et al., 2005).

3.3 Componente politalamica a guscio calcareo ed agglutinante

È una componente, le cui caratteristiche ecologiche sono maggiormente studiate, perciò si possiedono molte più informazioni e dati a riguardo.

Genere *Ammonia*: è un genere dominante nelle associazioni di mare basso.

Ammonia parkinsoniana vive per lo più nei primi centimetri di sedimento ed è considerata molto resistente alle variazioni ambientali e agli stress dovuti al carico organico nonché agli input stagionali di materia organica al fondo (Jorissen, 1987; Van der Zwaan e Jorissen, 1991).

Ammonia beccarii è una forma infaunale e vagile che predilige substrati fangosi-sabbiosi. Jorissen (1987) afferma che la specie sia tipica della zona litorale e che lungo le coste italiane si trova a profondità tra i 15 e 20 m; inoltre, la specie è tipica di campioni con una discreta percentuale di materia organica, tollera ampie variazioni di salinità (è tipica del Mar Nero) e sopporta lunghi periodi in condizioni di carenza di ossigeno. È una specie considerata opportunistica e ben tollerante all'inquinamento (Alve, 1995; Yanko et al., 1999) ed è abbondante in ambienti di laguna interni (Albani et al., 2007). Anche Pucci (2006 – tesi di dottorato) afferma che la specie è tipica di zone instabili dal punto di vista ambientale e soggette a stress. Nel suo studio infatti *A. beccarii* è tipica del nord Adriatico in zone strettamente influenzate dal pennacchio torbido del fiume Po.

Ammonia perlucida sembra tollerare bene quegli ambienti variabili della fascia costiera dell'Adriatico settentrionale dove l'input di nutrienti induce periodiche deficienze di ossigeno (Van der Zwaan & Jorissen, 1991). Le frequenze maggiori si riscontrano in acque costiere, fino a 20 m. Van der Zwaan & Jorissen (1991) trovano che *A. perlucida* è assente nella zona prospiciente il Po mentre a sud di esso ha distribuzione irregolare determinata probabilmente dalla sua sensibilità all'inquinamento chimico.

Ammonia tepida sembra preferire ambienti con inquinamento organico e bassa salinità (Pucci, 2006 – tesi di dottorato); inoltre predilige ambienti con substrati ricchi di sostanza organica e basse percentuali di sabbia (Borsetti et al., 1984).

Genere *Bolivina*: comprende forme vagili che prediligono substrati pelitici ricchi di nutrienti; secondo Pucci (2006 – tesi di dottorato) esiste una correlazione positiva con il contenuto di nutrienti e negativa con l'aumento di taglia dei granuli di sedimento.

Genere *Bulimina*: è conosciuto per prediligere ambienti ricchi di materia organica e per la sua tolleranza alle basse concentrazioni di ossigeno. In particolare, alte densità di *Bulimina marginata* sono spesso considerate tipiche di ambienti estremamente soggetti a stress, in cui il disturbo è soprattutto legato alla mancanza di ossigeno (Murray, 1991).

È consuetudine raggruppare le diverse specie appartenenti al genere *Bolivina* in un unico gruppo che comprende anche i diversi morfotipi di passaggio delle specie. Lo stesso accade per le specie appartenenti al genere *Bulimina*. Questo raggruppamento viene fatto per comodità nell'interpretazione dei dati e perché il significato ecologico delle specie non varia.

Genere *Eggerella*: *Eggerella scabra* è descritta come specie di mare basso (Murray, 1991). Resiste bene in condizioni di carenza di ossigeno ed è abile nello sfruttare risorse di cibo al disotto della superficie (De Stigter et al., 1998). Inoltre, predilige zone lontane dalla costa caratterizzate da substrato fine (Pucci, 2006 – tesi di dottorato). Tollera comunque condizioni di stress tipiche di ambienti soggetti ad eutrofia (Ernst et al., 2005).

Secondo Pucci (2006 – tesi di dottorato) da studi di laboratorio, *Bulimina spp.* ed *E. scabra* sono indifferenti sia alle condizioni di ossigeno che alla quantità di materia organica nel sedimento, non rispondendo al TROX-model.

Genere *Nonionella*: comprende esemplari infaunali, vagili che prediligono sedimenti pelitici (Murray, 1991; Donnici & Serandrei Barbero, 2002).

Nonionella turgida ha la capacità di migrare verso la superficie alla ricerca di substrati ricchi di materia organica disponibile (Pucci, 2006 – tesi di dottorato). Sempre secondo Pucci, *N. turgida* non si ritrova in prossimità di zone soggette a stress come la foce del Po ed in ambienti sottocosta

caratterizzati da substrati sabbiosi, ma la sua abbondanza aumenta verso il largo. In altri studi effettuati in Mar Adriatico, *N. turgida* viene riscontrata con maggiore frequenza nei primi centimetri di sedimento, e una forte diminuzione della sua abbondanza si osserva negli strati più profondi (Barmawidjaja et al., 1992).

Genere *Textularia*: *Textularia agglutinans* come altre forme agglutinanti, richiede molto poco ossigeno per sopravvivere. Vive nei primi centimetri di sedimento e la sua abbondanza decresce in maniera graduale con la profondità (De Stigter et al., 1998).

Genere *Miliolidae*: organismi epifaunali poco tolleranti alla scarsità di ossigeno, ma molto competitivi in condizioni ambientali normali; tollerano bene ampie variazioni di salinità (32-50‰) (Pucci, 2006 – tesi di dottorato). In particolare, il genere *Quinqueloculina* è tipico di mare basso e domina aree con alte percentuali di sabbia (Murray, 1991); alcune specie sono epifite ed erbivore e vivono su tappeti vegetali. *Quinqueloculina seminula* predilige ambienti ben ossigenati ma tollera anche diversi giorni di anossia (Moodley et al., 1998a, b).

4. STUDI DI BIOMONITORAGGIO

Gli organismi appartenenti alla meiofauna sono il principale oggetto degli studi di biomonitoraggio (Grall & Glémarec, 1997; Borja, et al., 2000; Rosenberg, et al., 2004).

Negli ultimi decenni la scelta dei metodi per la valutazione dello stato dell'ambiente si è indirizzata verso lo studio delle componenti biologiche dell'ecosistema capaci di fornire risposte, caratterizzate da diverse sensibilità, alle modificazioni dell'ambiente. Quindi analizzare le risposte che gli organismi sono in grado di dare, in seguito alle variazioni ambientali naturali ed antropiche, costituisce una strategia valida atta a determinare dei cambiamenti ambientali, in un periodo di tempo lungo.

Negli ecosistemi marini, sono le comunità bentoniche ad essere utilizzate principalmente per comprendere gli effetti dei disturbi a livello ambientale che si ripercuotono sulla biodiversità, in quanto rappresentano una “memoria biologica” di questi ambienti e dei loro cambiamenti (Bianchi & Zurlini, 1984).

Tutto questo fa sì che all'interno delle comunità bentoniche venga individuato quell'organismo, o quegli organismi, in grado di dare una risposta rappresentativa delle condizioni di quell'ecosistema. Ciò ricade sotto il nome

di “indicatore biologico”, ovvero quegli organismi facilmente riconoscibili e capaci di dare un’immagine dinamica ed integrata delle variazioni ambientali. Gli indicatori biologici sono organismi sensibili ai cambiamenti ed ogni loro modifica (assenza, presenza, alterazione fisiologica, molecolare, ecc.) indica la presenza di fattori di stress naturali/antropici.

I requisiti, che un indicatore deve possedere per essere considerato tale, sono, oltre alla facile riconoscibilità, la reperibilità, il facile utilizzo, l’affidabilità e la possibilità di essere utilizzato in ampie aree geografiche, poiché deve fornire lo stesso tipo di risposta al confrontare situazioni identiche nel tempo e nello spazio (Sandulli, 2004).

I foraminiferi bentonici, rispondendo a tutte queste caratteristiche, potrebbero essere utilizzati come bioindicatori della qualità degli ecosistemi marini: questo è stato documentato in vari studi (Alve, 1991; Coccioni, 2000) in cui si mostrava la risposta forte di questi organismi all’impatto antropico, in termini di densità e composizione dei popolamenti e di morfologia delle diverse specie.

A partire dal 1960 i foraminiferi bentonici sono stati utilizzati per descrivere lo stato degli ecosistemi marini (Resig, 1960; Watkins, 1961; Bandy et al., 1964a, b, 1965a, b; Seiglie, 1968) utilizzando vari metodi per il loro campionamento (Murray, 1991; Schönfeld, 2012; Schönfeld et al., 2012):

benne, carote a gravità o a pistone, che però non trattengono il materiale all'interfaccia acqua-sedimento dove si concentra la maggior parte dei foraminiferi viventi (Massiotta et al., 1976; Jorissen, 1987; Parisi, 1981).

Inoltre, in alcuni studi, i campioni sono stati prelevati mediante carotatori a pistone o a gravità, che però non consentono di mantenere indisturbato il sedimento superficiale in cui è concentrata la frazione di foraminiferi viventi (Massiotta et al., 1967; Jorissen, 1987; Parisi, 1981).

Per far fronte a queste problematiche relative alla metodologia di campionamento, nella maggior parte degli studi (ecologici e di biomonitoraggio) sono stati impiegati i box corer (De Stigter, 1996; Soetaert et al., 1991; Barmawidjaja et al., 1992; Jorissen et al., 1992; de Rijk et al., 1999, 2000; Jannink, 2001; Serandrei Barbero et al., 2003; Ferraro et al., 2006; Di Leonardo et al., 2007; Hyams-Kaphzan et al., 2009) o i carotieri idraulici (Schmiedl et al., 2000; Fontanier et al., 2008; Mojtahid et al., 2009, 2010; Goineau et al., 2011, 2012).

Il biomonitoraggio utilizzando i foraminiferi è notevolmente aumentato durante le ultime decadi, tant'è che al giorno d'oggi si contano più di 50 differenti gruppi di lavoro in questo campo. I foraminiferi, per l'appunto, presentano molti vantaggi rispetto agli organismi della macrofauna più

comunemente utilizzati (Alve, 1995a; Mojtabid et al., 2006; Bouchet et al., 2007; Alve et al., 2009; Jorissen et al., 2009):

- nei sedimenti marini mostrano una maggiore densità rispetto alla macrofauna e questo significa che è necessario selezionare volumi di sedimento più piccoli al fine di avere una valutazione affidabile. Questo aspetto è molto importante nei sedimenti profondi dove la macrofauna è scarsa;
- sono ubiquitari in ambiente acquatico (Debenay et al., 2001) compresi gli ambienti oceanici profondi (Wild et al., 2001);
- la fauna a foraminiferi bentonici è variabile, da 20 a 50 specie per 300 individui nelle zone costiere, elevata biodiversità quindi (Alve 1991, 1995; Coccioni et al., 2003, 2005);
- le diverse specie occupano diverse nicchie nel sedimento, possono vivere nel sedimento (infaunali) o sul sedimento (epifaunali) dove si accumulano grandi quantitativi di inquinanti (Corliss, 1985) e mostrano una grande varietà di strategie trofiche (sospensivori, strutture specializzate per utilizzare del fitodetrito fresco, detritivori);
- i foraminiferi hanno un ciclo vitale breve che non inficia gli studi di biomonitoraggio, inoltre rispondono velocemente ai cambiamenti ambientali;

- dopo la riproduzione o dopo la morte, i gusci calcarei ed agglutinanti della maggior parte dei foraminiferi si preservano nel sedimento, fossilizzando. Quindi assumono importanza i fossili dei foraminiferi che possono essere utilizzati in quelle zone dove non è stato fatto nessuno studio ambientale, poiché si hanno delle informazioni nel tempo delle condizioni pregresse, forniscono perciò informazioni sullo “stadio zero” di quell’ambiente prima dell’inquinamento. Queste zone “pre-impattate” forniscono importanti informazioni sull’arrivo delle specie non indigene e sulla scomparsa delle specie locali (sensibili all’inquinamento). Questo in particolare è importante perché nella maggior parte dei casi non ci sono dati disponibili sulla composizione faunistica e diversità prima dell’impatto antropico;
- la loro analisi è semplice ed economica.

Nonostante gli enormi vantaggi, questi studi sono ancora allo stadio iniziale perché spesso i dati non sono confrontabili e resta perciò da capire in che modo questo gruppo tassonomico reagisce a fronte di diverse situazioni ambientali degradate (Alve, 1995).

Inoltre, considerando il quantitativo di sedimento da campionare, sorgono altre incongruenze poiché i campioni provenienti dalle benne o dai box-corer sono spesso limitati ai primi centimetri (0-1, da 0-2 a 0-5, a 0-7) sia negli

studi volti alla comprensione della distribuzione degli organismi, sia in quelli relativi all'inquinamento (Albani et al., 1984; Barmawidjaja et al., 1992; Panieri, 2005, 2006a, b; Bergin et al., 2006; Romano et al., 2008, 2009a, b; Bergamin et al., 2009; Carboni et al., 2009; Sabbatini et al., 2010; Aloulou et al., 2012; Arieli et al., 2011).

Alcuni autori hanno esaminato soltanto i primi 2 centimetri di sedimento; altri hanno considerato i primi 3, 4, 5 o 7 cm (Frontalini et al., 2011) o addirittura i 20 cm (Ferraro et al., 2006, 2009) senza tenere conto però della profondità a cui vive ogni singola specie.

Altri autori ancora hanno invece affrontato la questione della distribuzione verticale delle singole specie nel sedimento. Generalmente, i primi 2 cm sono sotto-campionati ad intervalli di mezzo centimetro, mentre dai 2 cm in poi, ad intervalli di 1 cm.

Sono pochi gli autori che hanno esaminato gli strati di sedimento fino a 10 cm di profondità (De Stigter, 1996; Schmiedl et al., 2000; Jannink, 2001; Fontanier et al., 2008; Hyams-Kaphzan et al., 2009).

Altri studi erano limitati ai primi 5 centimetri (Hohenegger et al., 1993, Pancotti, 2011; Pucci et al., 2009, Mojtahid et al., 2009, 2010; Goineau et al., 2011, 2012).

Un altro problema concerne le repliche dei campioni, il quale forniscono informazioni importanti su piccola scala circa densità e diversità. Nonostante questo metodo sia lo standard utilizzato per studiare gli organismi della macro- e meiofauna, l'utilizzo delle repliche è ancora raro negli studi inerenti la distribuzione dei foraminiferi (Hohenegger et al., 1993; Duijnsteet et al., 2004; Fontanier et al., 2008; Lampadariou et al., 2009; Pancotti, 2011; Goineau et al., 2012) e negli studi sul biomonitoraggio (Ferraro et al., 2006; Panieri, 2006b; di Leonardo et al., 2007; Cherchi et al., 2009; Arieli et al., 2011).

Una nuova questione è quella sollevata dal FOBIMO (FORaminiferal BIo-MONitoring), un workshop tenutosi in Svizzera nel giugno del 2010, in cui si sono riuniti diversi ricercatori presentando un protocollo da seguire al fine di poter utilizzare i foraminiferi negli studi ambientali. Il FOBIMO è stato messo in atto poiché il monitoraggio degli ecosistemi marini è diventato una delle priorità principali, al fine di pianificare un programma per mantenere gli ecosistemi in buono stato (secondo la MSFD, Marine Strategy Framework Directive, del 2015) ed è importante che in questo programma siano inseriti anche i foraminiferi bentonici.

Quindi il FOBIMO è stato progettato sulla base dei vantaggi che si possono avere utilizzando i foraminiferi come indicatori biologici, in secondo luogo è stato posto in essere per sopperire alla mancanza dei metodi standardizzati per il trattamento e l'utilizzo di questi organismi (Martin, 2000; Scott et al., 2001), infine per fornire nuovi input agli studi ambientali basati sui foraminiferi.

Lo scopo principale del FOBIMO è quello di fornire un metodo dettagliato per la raccolta dei campioni, il loro sub-campionamento, la loro conservazione ed analisi della fauna a foraminiferi bentonici nei monitoraggi ambientali. Tutto ciò al fine di raggiungere il seguente obiettivo: definire un protocollo dettagliato ed uguale, da utilizzare ogni volta si debbano intraprendere degli studi di biomonitoraggio, al fine di valutare la presenza di eventuali impatti causati dall'inquinamento antropico/climatico.

Il protocollo FOBIMO segue una logica ben precisa e rigida: raccomanda di campionare preferibilmente il solo intervallo 0-1 cm di sedimento, indica inoltre che sono necessarie tre repliche per ogni campione al fine di avere una migliore variabilità del sistema in esame, ed ogni replica va trattata indipendentemente dalle altre. I campioni devono essere mantenuti sotto fissativo, utilizzando inoltre un colorante che risalti i foraminiferi viventi. Il tempo minimo di conservazione con il colorante (si specifica che si utilizzi il

Rosa Bengala) deve essere di almeno 14 giorni, dopodiché si procede al lavaggio dei campioni con setaccio a maglia 63 μm . Un'altra raccomandazione è quella di considerare la frazione dei 125 μm ed infine si raccomanda di non prendere affatto in esame la componente organica.

Questa esclusione è giustificata dal fatto che, nonostante questa componente sia una significativa parte delle comunità marine bentoniche, molte specie di Allogromidi sono facilmente trascurate, inoltre mancano delle caratteristiche descrittive di queste specie, che assieme all'impossibilità di non poterle descrivere su base morfologica, fanno sì che ci sia una scarsa conoscenza sulla loro distribuzione ed ecologia. Inoltre, hanno un basso potenziale di fossilizzazione (Gooday, 2012). Infine, in quegli studi che analizzano le condizioni acquatiche ossiche ed anossiche, l'esclusione della componente organica non rappresenta una perdita significativa di informazioni dal punto di vista ecologico (Bouchet et al., 2012). Questo punto, assieme al fatto che non viene considerata la frazione 150 μm , ma soltanto la 125 μm , ed insieme al considerare solo l'intervallo 0-1 cm, hanno portato il mio presente lavoro a valutare solo alcune delle linee guida del FOBIMO, poiché si ritiene sia di fondamentale importanza considerare anche la componente organica al fine di avere una comprensione dell'andamento della fauna totale a foraminiferi bentonici. Inoltre, il considerare più intervalli spaziali di sedimento fa sì che si

possano avere informazioni sulla profondità media di vita di una determinata specie.

Un ulteriore punto da tenere in considerazione studiando i foraminiferi e la loro ecologia, comprende le tecniche accurate per distinguere gli individui vivi da quelli morti (Bernhard, 1989). Negli ultimi vent'anni sono state sviluppate diverse metodologie (con accuratezze diverse) per distinguere i foraminiferi viventi dai morti (Bernhard, 2000) ed è importante la scelta di un metodo accurato a seconda del tipo di studio da intraprendere (Murray, 2000). Bernhard (2000) in base a questo descrive i differenti metodi e le loro applicazioni, distinguendo i “terminal methods” (che causano la morte degli individui) dai “non-terminal-methods” (in cui gli individui trattati sono mantenuti in vita). Tra i “terminal methods” il metodo del Rosa Bengala è quello più utilizzato, soprattutto in studi riguardanti la distribuzione dei foraminiferi bentonici, in quanto è relativamente veloce ed economico (Bernhard, 2000).

Il rosa bengala è una sostanza ad affinità proteica che permette la colorazione del citoplasma (Walton, 1952). Il limite di questo metodo consiste nel fatto che il citoplasma impiega del tempo per essere completamente degradato per cui può reagire con la molecola di Rosa Bengala anche dopo settimane o mesi dopo la morte (Bernhard, 1988; Hannah & Rogerson, 1997) e, teoricamente,

anni dopo la necrosi (Corliss & Emerson, 1990). Inoltre, i loro gusci (ed il protoplasma in essi contenuto) rimangono nel sedimento e possono essere colorati dal Rosa Bengala, rischiando di avere una sovrastima dell'associazione vivente (Murray, 2000). Il metodo del Rosa Bengala è quindi indicato per studi ecologici e di distribuzione su larga scala, ma non è appropriato per precisi studi sperimentali a breve termine (Bernhard, 2000) in cui è fondamentale conoscere il numero esatto di individui viventi dopo pochi giorni. Per gli studi sperimentali a breve termine è decisamente consigliato l'utilizzo di "non-terminal methods" che permettono l'identificazione degli individui viventi senza che questi vengano danneggiati, permettendo così il loro utilizzo in momenti successivi all'esperimento (Bernhard, 2000).

Comunque, in questi studi, l'utilizzo della frazione vivente di organismi è oggetto di un dibattito ancora acceso (Murray, 1982; Bergamin et al., 2003). Tra i diversi lavori pubblicati, molti di essi sono stati condotti utilizzando approcci differenti: Scott & Mediolì (1980) prima e Murray (1982, 2000) in seguito, hanno dimostrato che solo gli organismi vivi sono utili in questo tipo di indagine, dato che sono in grado di riflettere realmente le condizioni dell'ambiente circostante.

Anche Alve & Murray (1994) hanno stabilito che solo i risultati ottenuti mediante l'utilizzo di organismi vivi possono essere presi in considerazione,

dato che numerosi processi post-mortem tra cui la dissoluzione dei gusci calcarei o il loro trasporto, influenzano la frazione di organismi morti. Inoltre, gli organismi viventi sono sottoposti a variazioni nel tempo e nello spazio, dovute soprattutto al fatto che essi sono caratterizzati da un ciclo vitale irregolare e da una distribuzione piuttosto eterogenea (patches). Per questo, solo gli organismi campionati durante le diverse stagioni dell'anno sono utili negli studi ecologici e di monitoraggio ambientale, dato che riflettono realmente i cambiamenti nell'ambiente marino.

Considerando la componente organica, poco si sa circa il suo utilizzo come indicatore biologico della qualità di un ecosistema ed è poco utilizzata negli studi di monitoraggio, a differenza della componente calcarea ed agglutinante, anche perché non è stata ancora raggiunta una standardizzazione dei protocolli. Recentemente, Schönfeld (2012) ha affrontato questo problema evidenziando che c'è ancora molto lavoro da fare. Il punto principale è la discriminazione tra la componente vivente e quella morta (Murray, 2000) e negli ultimi 20 anni nuovi metodi sono stati messi a punto per migliorare questa situazione ed ognuno ha un suo grado di accuratezza.

In risposta a queste problematiche, lo studio di Sabbatini et al., 2013 sembra dare manforte all'importanza di questa componente nel biomonitoraggio, poiché la risposta opportunistica dei Saccamminidi ad un incremento del

carbonio organico di alta qualità nutrizionale nel loro ambiente di vita, suggerisce il loro ruolo potenziale come specie indicatrici dell'eutrofizzazione bentonica delle acque superficiali.

Altri studi hanno evidenziato che la componente organica è importante anche in condizioni di infiltrazioni di idrocarburi, sempre considerando l'Adriatico centrale.

Studiare la componente organica ha avuto particolare rilevanza al fine di evidenziare l'importanza dei foraminiferi bentonici monotalamici organici, poiché potrebbero essere presi in considerazione come bioindicatori di inquinamento.

Allo stesso tempo, si focalizza l'importanza su come sia necessario includere questa componente in questa tipologia di studi per migliorare la nostra scarsa conoscenza su questi morfotipi, al fine di un loro utilizzo potenziale nel biomonitoraggio.

5. SCOPO DELLA TESI

Per il mio lavoro di tesi ho studiato la fauna vivente a foraminiferi bentonici di 9 carote di sedimento campionate in Mar Adriatico a circa 20 m di profondità in una zona antistante Ancona. Il materiale è stato campionato mediante una benna; sono state effettuate tre calate e per ogni calata della benna o replica sono state prelevate 6 pseudorepliche. In dettaglio ho analizzato 3 delle 6 pseudorepliche di ogni replica per capire se, per lo studio delle biocenosi a foraminiferi bentonici, fosse necessario campionare e studiare tre repliche o soltanto tre pseudorepliche da una sola replica (o calata). Questo studio si affianca ad un altro lavoro di tesi dove la stessa ipotesi iniziale (le restanti 3 pseudorepliche di ogni replica, P4 – P5 – P6) è stata testata studiando la biocenosi a foraminiferi bentonici con il metodo “a secco” (sedimento secco visto al microscopio). A questo proposito, i miei dati sono stati prodotti analizzando il sedimento “ad umido o fresco” (sedimento visto in acqua al microscopio).

I dati, quindi, sono stati utilizzati anche per comprendere la differenza in termini di abbondanza, composizione tassonomica, diversità e distribuzione verticale nel sedimento della fauna a foraminiferi bentonici studiata con entrambi i metodi. Infatti, la componente con guscio organico (non rigido) si

perde seccando il campione in stufa, al contrario della componente con guscio calcareo ed agglutinante (rigido) che, in proporzioni differenti, si trova in entrambe le serie di campioni in esame.

Infine, i dati ecologici relativi alle repliche e pseudorepliche e ad entrambi i protocolli utilizzati (umido vs secco) sono stati elaborati statisticamente, per valutare l'esistenza o meno di una differenza significativa tra i due metodi; in questo modo ho potuto valutare, in relazione ai miei dati, la bontà di un protocollo rispetto ad un altro e la sua eventuale applicazione negli studi ecologici e di biomonitoraggio.

Si tratta di un argomento sensibile, poiché spesso la risposta dei foraminiferi bentonici alle variazioni ambientali viene valutata studiando soltanto il materiale a secco, quando invece la componente organica è in grado di fornire un notevole numero di informazioni.

Inoltre, il progetto di tesi è stato formulato anche per valutare l'uso delle repliche spaziali negli studi di biomonitoraggio ambientale nell'ambito dell'iniziativa FOBIMO (FOraminiferal BIo-MOnitoring).

6. MATERIALI E METODI

6.1 Campionamento

L'intero lavoro verte su tre repliche, denominate R1, R2 ed R3, ottenute a seguito di tre calate nel sedimento effettuate con la benna Van Veen montata sulla motonave Actea del Dipartimento di Scienze della Vita e dell'Ambiente (DISVA) – dell'Università Politecnica delle Marche, nel mese di settembre dell'anno 2011, in Adriatico centrale, in un'unica stazione di fronte la città di Ancona (latitudine: 43°40.338'N; longitudine: 13°32.881'E) ad una profondità di 21,1 metri, temperatura dell'acqua al prelievo: 21.9°C.

Dalle tre repliche sono state prelevate sei pseudorepliche ciascuna, indicate con P1, P2, P3, P4, P5, P6. Per il seguente studio sono state analizzate le pseudorepliche P1, P2, P3, di ogni replica, per un totale di 9 repliche, mentre le rimanenti P4, P5 e P6 sono state già analizzate nel precedente lavoro di tesi “Valutazione dell'uso delle repliche spaziali per l'analisi delle associazioni a foraminiferi bentonici negli studi ambientali” (Balducci, 2014).

Contestualmente alle carote, sono stati prelevati superficialmente nell'intervallo 0-1 cm, dei campioni di sedimento utilizzati per svolgere le analisi sulla materia organica.

In seguito al prelievo, le carote di sedimento (contenute in tubi di plastica forati in ambo i lati, di lunghezza 15 cm) sono state congelate a -20°C nel laboratorio di Paleoecologia dell'Università Politecnica delle Marche. Lo stesso tipo di trattamento a -20°C è stato operato anche per i campioni di sedimento relativi alle analisi sulla materia organica ed analizzati in seguito nel laboratorio di *Biologia ed Ecologia Marina* del Prof. Danovaro.

Successivamente, le carote di sedimento (le tre repliche) sono state scongelate man mano che proseguiva l'analisi in modo da poter campionare i campioni di sedimento.

Il taglio dei campioni è avvenuto mediante l'utilizzo di un coltello e di un righello, con due scale diverse, poiché per i primi 2 cm di sedimento sono stati ricavati 4 campioni, ciascuno avente uno spessore di 0,5 cm, così da avere una maggiore quantità di dati in quella fascia di sedimento superficiale. Per i restanti cm, fino ad una profondità di 10 cm delle intere carote, i campioni sono stati presi centimetro dopo centimetro. Per ogni campione è stato predisposto un becker di plastica, unitamente alla formaldeide tamponata al 4% per favorirne la conservazione, assieme al sodio borato e con l'aggiunta di un colorante, il Rosa Bengala, per almeno 24 ore.

Il Rosa Bengala è un agente comunemente usato negli studi ecologici (Bernhard, 2000; Scott et al., 2001; Murray, 2006) per due motivi principali: è

facile da utilizzare e non è eccessivamente costoso. Questo colorante ad affinità proteica rende distinguibili gli organismi viventi (che avranno una colorazione intensa poiché il colorante si lega al loro citoplasma) al momento del campionamento da quelli morti. In questo lavoro sono stati considerati viventi solamente gli individui ben colorati.

Alcuni autori ritengono che questo metodo potrebbe condurre ad una sovrastima degli individui viventi (Bernhard, 1988; Murray & Bowser, 2000) anche se Murray & Bowser (2000) concludono che dopo la morte di un foraminifero, il problema della colorazione di individui morti è trascurabile perché i gusci che contribuiscono al sedimento sono svuotati a causa di predazione, eventi riproduttivi o della crescita. Inoltre, analisi comparative di differenti metodologie con utilizzo di Rosa Bengala hanno dimostrato che, se usato con attenzione, può dare risultati attendibili al 96%.

6.2 Studio della biocenosi a foraminiferi bentonici

Le specie, in base alle caratteristiche morfologiche, sono state suddivise nei seguenti gruppi:

- Monotalamici organici,
- Monotalamici agglutinanti,
- Politalamici calcarei,

- Politalamici miliolidi,
- Politalamici agglutinanti.

Il mio lavoro ha incluso anche le specie appartenenti alla componente organica (gruppo dei monotalamici), poiché si ritiene che esse siano una componente quantitativamente e qualitativamente importante della fauna a foraminiferi bentonici e possano essere utilizzate come proxies dello stato di salute di un ecosistema al pari delle altre specie di foraminiferi sia calcaree che agglutinanti.

Successivamente, si è proceduto con il lavaggio dei campioni. La tecnica consiste nell'utilizzare due setacci, uno con maglia più larga (150 μm) ed un secondo a maglia più fine (63 μm), in modo da ottenere i campioni di sedimento di entrambe le frazioni di taglia.

Entrambi i residui sono stati poi riposti in un contenitore di plastica in attesa dell'analisi al microscopio e conservati sempre con formaldeide tamponata al 4%, con aggiunta di due gocce di Rosa Bengala.

L'analisi al microscopio è avvenuta utilizzando uno stereomicroscopio. Prima si è lavorato sulla frazione 150 μm ed in seguito sulla 63-150 μm .

Circa la componente calcarea ed agglutinante, sono stati presi in considerazione solamente i foraminiferi colorati di un rosa acceso e su di essi si è proceduto, mediante l'utilizzo di un pennello a punta finissima, col

picking. Questa tecnica è stata applicata per i foraminiferi con guscio, che successivamente venivano posizionati in griglie di micropaleontologia provviste di 36 caselle, dette “slides”, separandoli specie per specie.

A volte è stato necessario procedere con un’analisi più dettagliata, cioè rompere i gusci di alcuni foraminiferi per accertarsi che il citoplasma fosse ben colorato, è questo il caso del gruppo dei Miliolidi, poiché avendo un guscio porcellanaceo non trasparente, non sempre è stato facile capire se la colorazione, e quindi la vitalità, fosse limitata al guscio oppure appartenesse realmente al citoplasma dell’individuo.

Per gli organismi appartenenti alla componente organica si è proceduto utilizzando una pipetta al fine di prelevarli e posizionarli in vetrini da microscopio, utilizzando la glicerina per il loro mantenimento.

Dopo il picking si è proceduto al riconoscimento e alla classificazione dei foraminiferi. La classificazione degli organismi è stata fatta tramite l’osservazione dei principali caratteri tassonomici e distintivi quali morfologia e struttura del guscio; forma, numero e disposizione delle camere; posizione e forma dell’apertura; ornamentazioni ed eventuali caratteri accessori. Dove possibile gli organismi sono stati identificati a livello di specie, altrimenti la classificazione è stata definita solo a livello di genere seguendo le

classificazioni di Agip S.p.A. (1982), Jorissen (1987), Loeblich & Tappan (1994), Atlante dei Monotalamici dell'Adriatico centrale.

6.3 Analisi quantitativa della biocenosi a foraminiferi bentonici

L'analisi quantitativa dei dati ha riguardato l'elaborazione dei singoli conteggi per ottenere dati di densità, frequenza relativa (%), composizione tassonomica e diversità (Vedi sezione "Allegati"). In particolare, tramite i dati ottenuti dallo studio della biocenosi a foraminiferi bentonici, sono state stilate le seguenti tabelle per ogni pseudoreplica:

- descrittive della densità di ogni pseudoreplica;
- rappresentative sia della diversità che della ricchezza specifica.

All'interno di ogni tabella, le densità totali sono espresse come numero di foraminiferi viventi su una superficie di 10 cm², standardizzate successivamente ad un volume di 50 cm³ al fine di operare un confronto tra loro.

La formula utilizzata per la standardizzazione è la seguente:

$$ind. 50 cm^3 = \frac{n^{\circ} reale \times 50}{V}$$

dove il n° reale indica il numero effettivo per una data specie ad una determinata profondità nel sedimento, mentre V sta ad indicare il volume della carota di sedimento con diametro 3,6 cm.

Dopodiché, partendo dalle densità, sono state calcolate le frequenze relative che esprimono il peso in percentuale di ogni specie all'interno di ogni pseudoreplica. Tutto questo è stato effettuato sia per la frazione grossolana di taglia $>150 \mu\text{m}$, sia per la frazione fine 63-150 μm , per le quali sono state calcolate anche la composizione tassonomica, la biodiversità e la distribuzione verticale della biocenosi a foraminiferi bentonici.

Inoltre, i dati per ogni pseudoreplica, relativa alla frazione 150 μm , sono stati raggruppati in tre intervalli di profondità: 0-2 cm, 0-5 cm, 0-10 cm; per la frazione 63-150 μm si è deciso di raggruppare i dati relativi al solo intervallo 0-2 cm. Per ognuno di questi intervalli, tramite il programma di elaborazione statistica PAST (PAleontological STatistics, ovvero un software che permette l'esecuzione di una serie di analisi numeriche standard, nonché l'integrazione dei dati provenienti da fogli di calcolo Excel con le statistiche univariate e multivariate, serie temporali, permette inoltre lo studio delle biocenosi tramite il calcolo dei principali indici di biodiversità. È quindi specifico per la paleontologia e l'ecologia. (Hammer et al., 2001)).

Per le repliche sono state effettuate inoltre, delle stime di biodiversità tramite il calcolo di alcuni indici che permettono di analizzare il peso di ogni specie nella comunità e di avere informazioni sullo stato di un ecosistema (presenza o meno di stress) (Marchetti, 1993).

Gli indici che sono stati considerati nel presente lavoro sono:

- numero delle specie (S): è un indice diretto del numero di specie presenti in un campione;
- indice di Shannon-Wiener ($H \log_e$): l'indice è relativamente indipendente dalle dimensioni del campione e dà scarsa importanza alle specie rappresentate da pochissimi esemplari; il valore dell'indice cresce all'aumentare del numero di specie e se tutte le specie sono rappresentate da un numero simile di individui;
- indice di dominanza (D): indica la misura di quanto gli individui di un campione siano distribuiti uniformemente tra le varie specie, o piuttosto concentrati in poche di esse;
- indice di dominanza di Simpson (1-D): è un indice di diversità ambientale che assume valori compresi tra 0 e 1, rispettivamente ambiente povero e/o inquinato oppure ambiente in ottimo stato. Se l'indice assume valore =0 non c'è diversità, mentre se assume valore =1 si raggiunge la condizione di maggior diversità;

- indice di Pielou (J) o equitabilità: è un indice di evenness e indica come gli individui in una data comunità sono distribuiti numericamente nelle singole specie che la compongono, esprime quindi il grado di omogeneità di questa distribuzione; l'indice ha valori compresi tra 0 e 1 dove valori minimi indicano una biocenosi monotona in cui dominano poche specie, mentre valori massimi indicano una uguale percentuale di frequenza delle specie;
- indice di Fisher-Alpha: misura la diversità specifica ed è indipendente dalle dimensioni del campione.

Per le pseudorepliche invece, assieme agli indici di diversità è stato calcolato un ulteriore indice che è l'ES (X) – expected species number, ovvero quel numero di specie attese per un numero definito di individui, quest'ultimo riportato tra parentesi. Permette di stimare il numero di specie quando i campioni sono caratterizzati da un numero di individui molto diversi tra loro.

6.4 Stime della profondità di vita o ALD_{10}

Per descrivere la distribuzione verticale nel sedimento della fauna totale e dei taxa individuali ed avere un'idea sul microhabitat, è stato effettuato il calcolo

dell'ALD₁₀ (Average Living Depth), il cui obiettivo è di individuare la profondità di vita media nel sedimento delle specie dominanti.

Questo metodo è stato proposto da Jorissen et al. (1995), i quali suggeriscono che sia preferibile descrivere la distribuzione verticale delle specie da un punto di vista quantitativo piuttosto che qualitativo, calcolando una profondità di vita media, definita come segue:

$$ALD_x = \sum_{i=0,x} \frac{(n_i * D_i)}{N}$$

dove x è il livello più profondo della carota (cm), n_i indica il numero di individui nell'intervallo i , D_i è la media dell'intervallo i , N è il numero totale di individui nel livello considerato.

In questo lavoro, per ogni pseudoreplica relativa alla frazione 150 μm è stato calcolato l'ALD₁₀ (ovvero la profondità di vita media calcolata nell'intervallo 0-10 cm di profondità) delle specie dominanti l'associazione, mentre per le pseudorepliche inerenti la frazione 63-150 μm l'ALD₁₀ è stato calcolato considerando la sola profondità 0-2 cm.

Per ciascuna delle specie più abbondanti (valori ottenuti tramite il conteggio delle frequenze relative percentuali), sono stati riportati i dati relativi all'ALD₁₀ e sono state considerate tre differenti categorie di microhabitat

(secondo Jorissen et al., 1995): epifaunale (0-4 cm), infaunale (4-5 cm) e infaunale profondo (dai 5 cm in giù).

6.5 Materia organica

Per l'analisi della materia organica ci si è serviti di campioni di sedimento superficiali dello spessore di 0-1 cm prelevati contestualmente alle carote di sedimento.

La determinazione della concentrazione della clorofilla-a e dei feopigmenti è stata effettuata seguendo la procedura di Jeffrey (1980). L'estrazione è avvenuta usando 5 ml di acetone al 90% (12 ore al buio a 4°C). dopo l'estrazione i pigmenti sono stati analizzati fluorometricamente per la stima della clorofilla-a e, dopo acidificazione con 200 µl 0.1N HCl, per la stima dei feopigmenti. La somma di clorofilla-a e dei feopigmenti è stata utilizzata per stimare i fitopigmenti totali che successivamente sono stati convertiti in grammi di carbonio equivalente usando 40 come fattore di conversione (Pusceddu et al., 1999).

L'analisi delle proteine totali è avvenuta utilizzando la procedura di Hartree (1972) adattata all'analisi dei sedimenti da Danovaro & Fabiano (1990). Questa usa un metodo colorimetrico che produce una colorazione blu stabile e proporzionale al tenore proteico della miscela di reazione. La lettura è stata

effettuata con uno spettrofotometro ad una lunghezza d'onda di 650 nm. I valori delle concentrazioni sono stati riportati ad una curva di taratura ottenuta da una soluzione standard di albumina bovina e sono stati espressi in mg di equivalenti di albumina bovina per grammo di sedimento secco.

L'analisi dei carboidrati totali è stata effettuata usando il metodo di Dubois et al. (1956), applicata ai sedimenti da Gerchakov & Hatcher (1972). Questa procedura è basata sulla reazione tra zuccheri e fenolo in presenza di acido solforico concentrato. La lettura è stata fatta allo spettrofotometro ad una lunghezza d'onda di 600 nm e le concentrazioni sono state ricavate utilizzando curve di taratura facendo reagire una soluzione standard di D(+)-glucosio secondo la medesima metodica. Le concentrazioni vengono espresse in mg di equivalenti di glucosio per grammo di sedimento secco.

L'estrazione dei lipidi totali è stata fatta seguendo la metodica di Bligh & Dyer (1959), usando metanolo e cloroformio (2:1 vol/vol) facendoli reagire con acido solforico a 180°C. L'analisi spettrofotometrica, ad una lunghezza d'onda di 375 nm, è avvenuta dopo carbonizzazione secondo la procedura di Marsh & Weinstein (1959) riadattata ai sedimenti marini da Danovaro & Fabiano (1990). Il calcolo della concentrazione dei lipidi si basa sulle curve di taratura ottenute facendo reagire soluzioni standard di tripalmitina in

cloroformio secondo la stessa procedura. Le concentrazioni vengono espresse in mg di equivalenti di tripalmitina per grammo di sedimento secco.

Le concentrazioni di proteine, carboidrati e lipidi sono poi state convertite in equivalenti di carbonio utilizzando fattori di conversione: rispettivamente 0.49, 0.40 e 0.75 gC g⁻¹ (Fabiano et al., 1995). La somma delle tre componenti biochimiche convertite in equivalenti di carbonio è riportata come carbonio organico biopolimerico (BPC, BioPolymeric Carbon).

6.6 Indicatori di qualità

Come descrittori di biodisponibilità della materia organica nei sedimenti, sono stati selezionati il contributo del C autotrofo proveniente dalla clorofilla-a e del C proteico al C biopolimerico totale e il rapporto proteine-carboidrati (Pusceddu et al., 2009).

Il contributo del C autotrofo al C biopolimerico indica la quantità di carbonio algale che contribuisce alla biodisponibilità del carbonio organico dopo aver convertito la concentrazione di clorofilla-a in carbonio equivalente usando un valore medio di 40 µg C µg⁻¹ chl-a (Pusceddu et al., 1999, 2009). I pigmenti fotosintetici sono componenti labili e il contributo dei fitopigmenti al C biopolimerico generalmente indica se la materia organica è fresca (Dell'Anno et al., 2002).

Il contributo del C proteico al C biopolimerico indica la disponibilità della materia organica in quanto le proteine sono una componente labile (Fabiano et al., 2001).

Il rapporto proteine-carboidrati indica la presenza di materia organica refrattaria (Danovaro et al., 1993), ed è uno dei parametri più usati per classificare lo stato trofico bentonico (Dell'Anno et al., 2002).

7. RISULTATI

I risultati sono stati elaborati considerando la frazione di taglia $>150 \mu\text{m}$ e per tutta la lunghezza della carota; successivamente gli stessi sono stati riassunti per i 3 livelli di profondità 0-2 cm, 0-5 cm, 0-10 cm; vengono riportati i grafici relativi a densità, composizione tassonomica e distribuzione verticale nel sedimento.

Con i dati ottenuti, è stato possibile costruire delle tabelle di densità per ogni carota di sedimento (R1, R2, R3) considerando le pseudorepliche P1, P2, P3, sia per la frazione $>150 \mu\text{m}$ sia per quella 63-150 μm , così strutturate: nelle righe (allegati 1-18) sono stati riportati gli intervalli di profondità nel sedimento, dal cm 0 fino al cm 10, includendo anche i tre livelli riassuntivi quali 0-2 cm, 0-5 cm, 0-10 cm ed il numero di specie contenute all'interno di ognuno dei tre intervalli, mentre nelle colonne sono state riportate le singole specie in ordine alfabetico, suddivise per gruppo di appartenenza (monotalamici organici ed agglutinanti, politalamici calcarei, miliolidi ed agglutinanti). Alla fine di ogni gruppo, scorrendo la tabella da sinistra verso destra, sono evidenziate le colonne che esprimono il totale degli individui monotalamici e politalamici, l'ultima colonna a destra indica il totale degli individui per ogni campione (inteso come pseudoreplica).

In seguito, vengono riportati i risultati delle analisi quantitative effettuate sulla biocenosi a foraminiferi bentonici (colorata con Rosa Bengala) per ogni carota campionata e relative pseudorepliche, e frazione di taglia.

7.1 Densità totale della fauna a foraminiferi bentonici per frazione di taglia (frazione >150 µm)

In figura 7.1a è riportato il grafico relativo alla frazione di taglia >150 µm, che descrive le densità relative alle tre repliche R1, R2 ed R3 per ogni livello di profondità (0-2 cm, 0-5 cm, 0-10 cm), da cui si evince che la replica R1 presenta la densità maggiore rispetto alle altre due, con un picco di 1952 individui/50 cm³ nell'intervallo 0-10 cm.

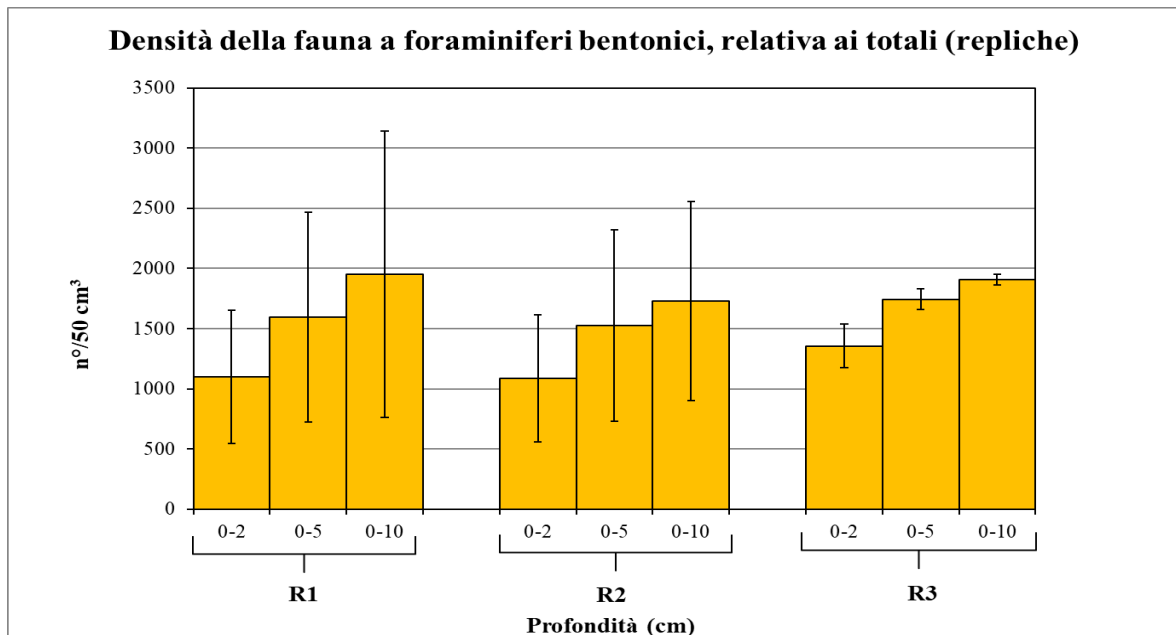


Fig.7.1a: grafico che evidenzia la densità della fauna a foraminiferi bentonici, relativa ai totali, con relative deviazioni standard, rappresentativo della densità della biocenosi delle tre repliche R1, R2, R3. In ascissa si riportano i tre intervalli di profondità principali 0-2 cm, 0-5 cm, 0-10 cm; in ordinata il numero di individui su un volume di 50 cm³.

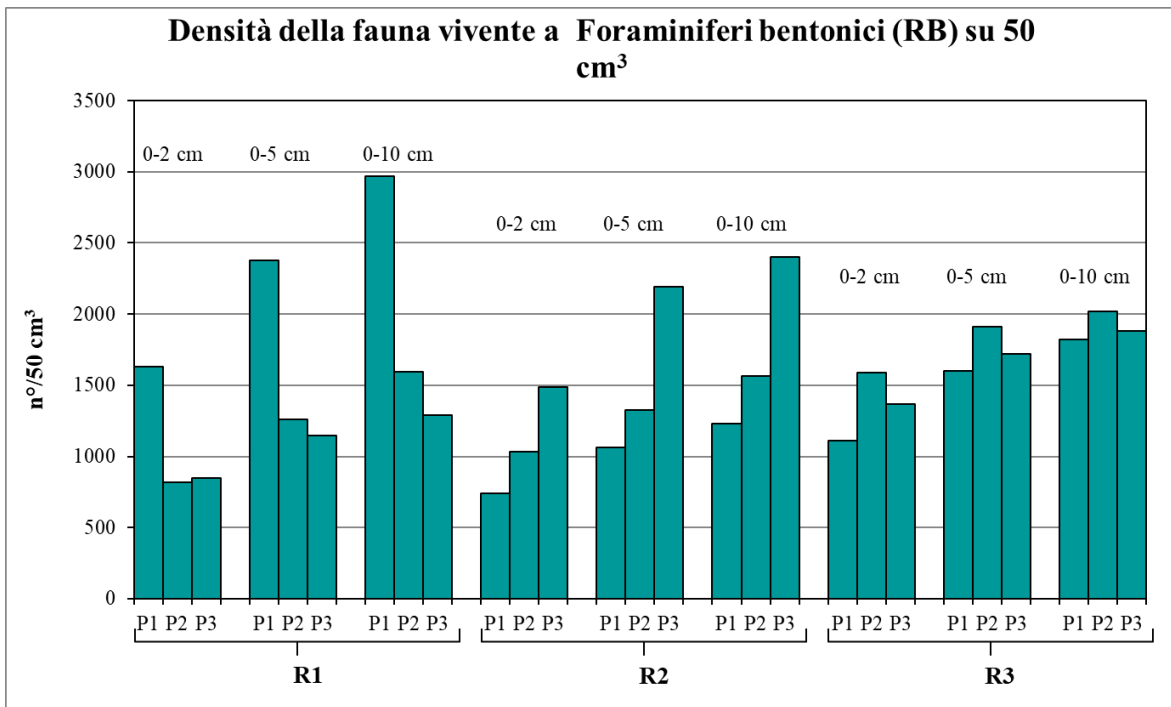


Fig. 7.1b: densità totale della fauna vivente a foraminiferi bentonici rappresentata per ogni pseudoreplica (P1, P2, P3) delle tre repliche (R1, R2, R3) e per ogni profondità di sedimento (0-2, 0-5, 0-10 cm). RB = rosa bengala.

A differenza del grafico in fig. 7.1a, in cui sono evidenziate le tre repliche (R1, R2, R3), il secondo grafico in fig. 7.1b descrive la densità della biocenosi relativa alle singole pseudorepliche (P1, P2, P3) di ogni replica R1, R2, R3, considerando gli intervalli di profondità 0-2 cm, 0-5 cm e 0-10 cm, da cui si evince che la pseudoreplica P1 della replica R1, nello strato di sedimento 0-10 cm, presenta i valori più alti (2970 individui/50 cm³), mentre i valori minori sono nella pseudoreplica P1 dell'intervallo 0-2 cm della replica R2 (740 individui/50 cm³).

7.2 *Composizione tassonomica e distribuzione percentuale delle specie principali per frazione di taglia (frazione >150 µm)*

Il seguente grafico (fig. 7.2a) descrive la composizione tassonomica della fauna vivente in relazione alla biocenosi di foraminiferi bentonici mono- e politalamici, considerando le sole repliche R1, R2, R3.

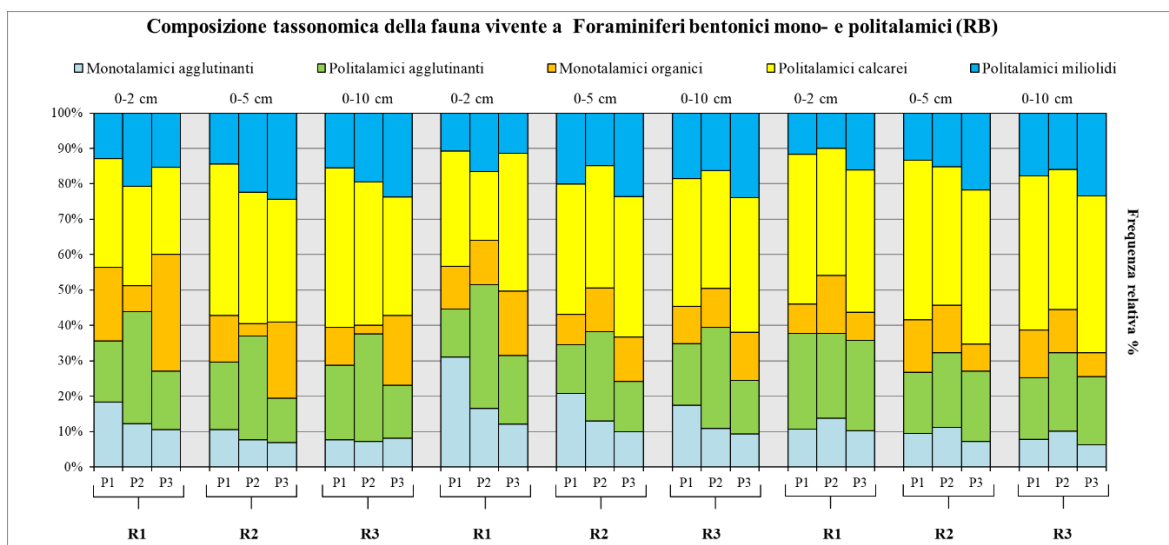
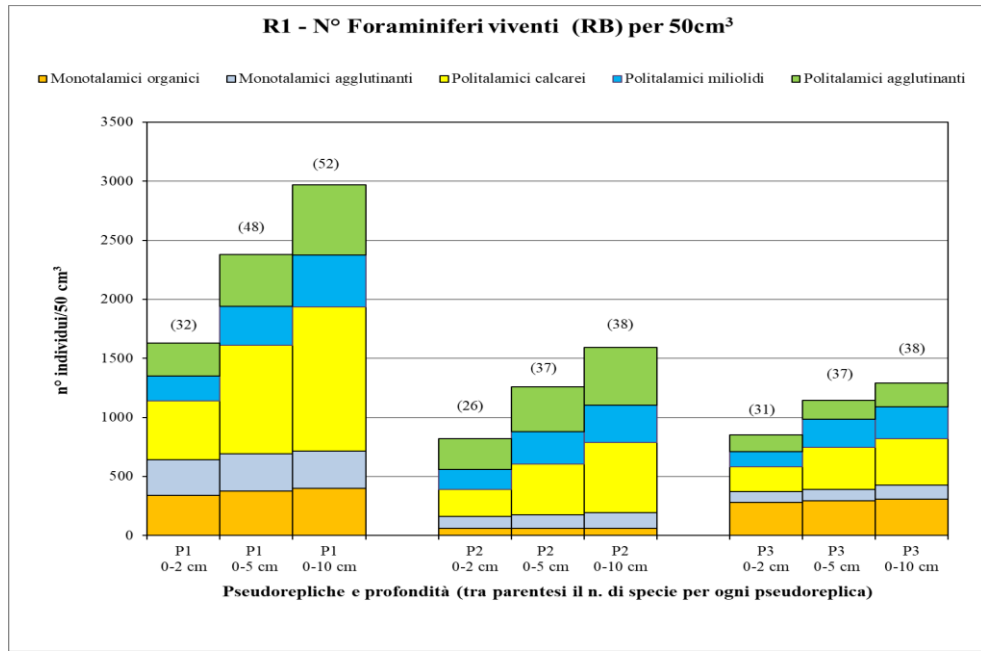


Fig. 7.2a: composizione tassonomica della fauna vivente a foraminiferi bentonici considerando le nove pseudorepliche (P1, P2, P3) per ognuna delle tre repliche (R1, R2, R3).

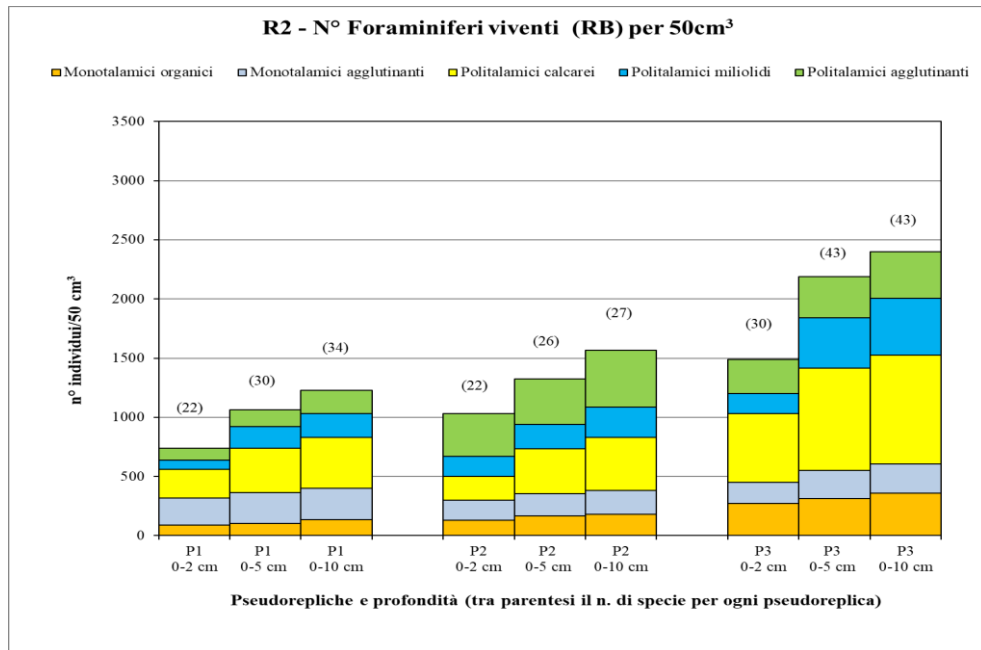
Nel grafico in fig. 7.2a si osserva che confrontando le 9 pseudorepliche, si ha una % di foraminiferi agglutinanti (mono- e politalamici) confrontabile con la % di calcarei.

7.3 Densità della biocenosi a foraminiferi bentonici considerando le singole pseudorepliche (P1, P2, P3) di ogni replica R1, R2, R3 (frazione >150 μm)

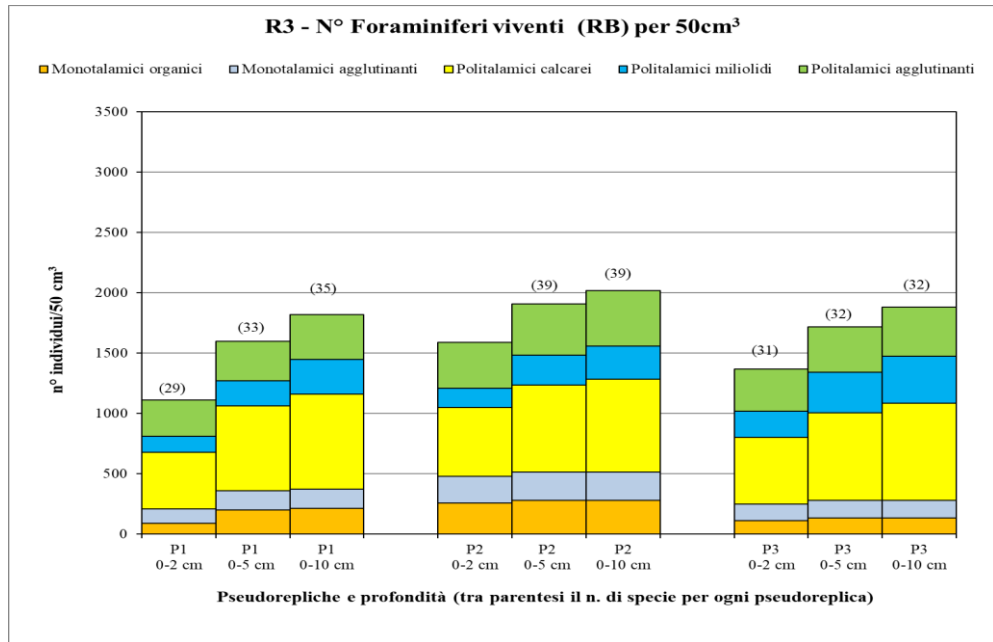
Di seguito, in figura 7.3a (A., B., C.) sono riportati i grafici relativi alla densità della biocenosi a foraminiferi bentonici, espressa come numero di foraminiferi per 50 cm³, distribuita per composizione tassonomica e per numero di specie per ogni pseudoreplica, replica e livello (0-2 cm, 0-5 cm e 0-10 cm).



A.



B.



C.

Figura 7.3a: istogrammi della densità della biocenosi a foraminiferi bentonici distribuita per composizione tassonomica e del numero di specie per ogni pseudoreplica, replica e livello. Grafico A.: replica R1, grafico B.: replica R2, grafico C.: replica R3. Il numero tra parentesi riportato nei tre grafici indica il numero di specie riscontrate all'interno di ogni pseudoreplica.

La distribuzione dei cinque gruppi di foraminiferi segue un andamento crescente in tutte e tre le repliche. I foraminiferi politalamici calcarei hanno un contributo maggiore in tutte e nove le pseudorepliche.

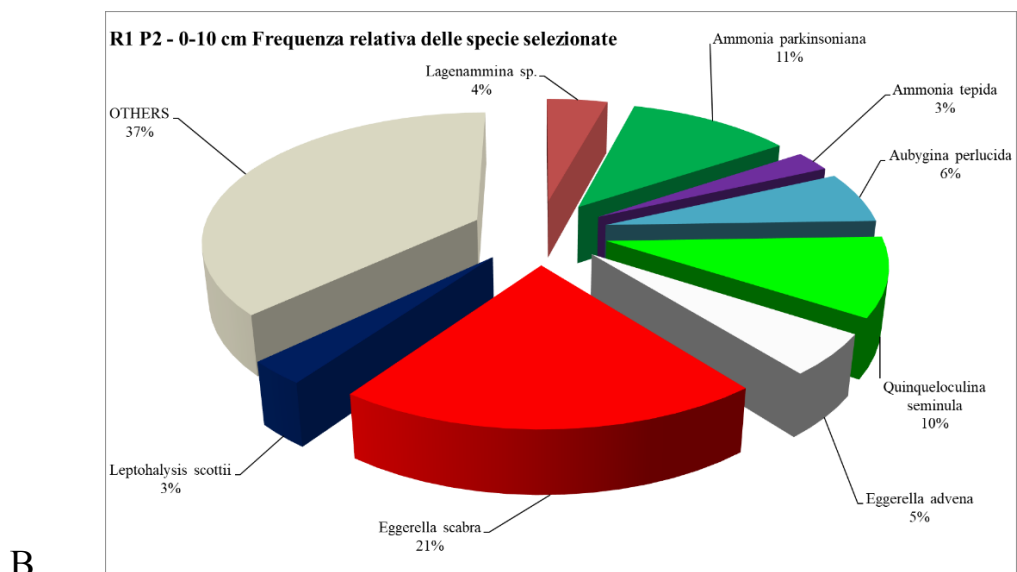
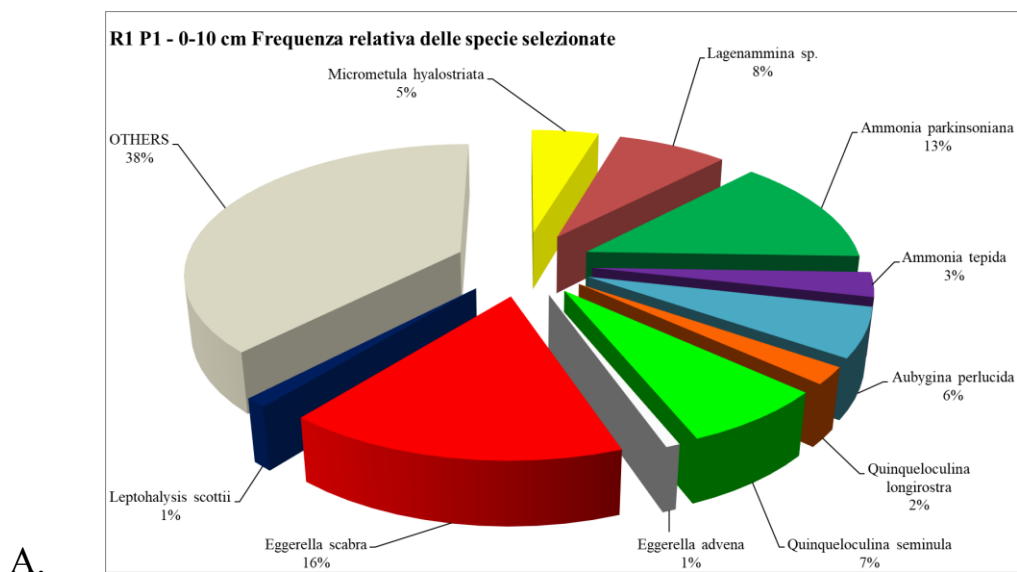
Replica R1 (figura 7.3a, grafico A.): la pseudoreplica P1 ha un maggiore contributo di individui rispetto alle altre due pseudorepliche P2 e P3. Il gruppo dei calcarei è quello più rappresentato, valore minimo specie (26) in P2 0-2 cm e valore massimo specie (52) in P1 0-10 cm.

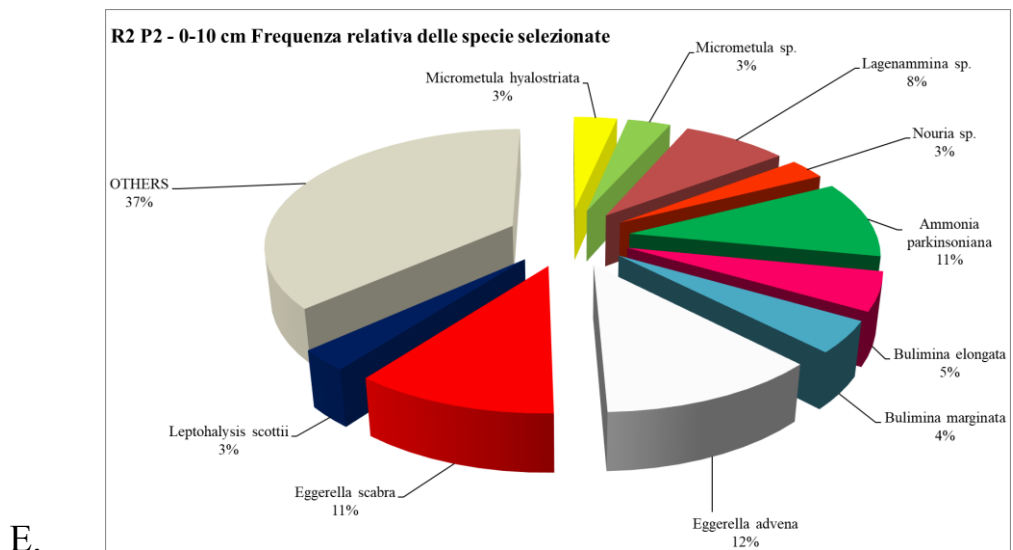
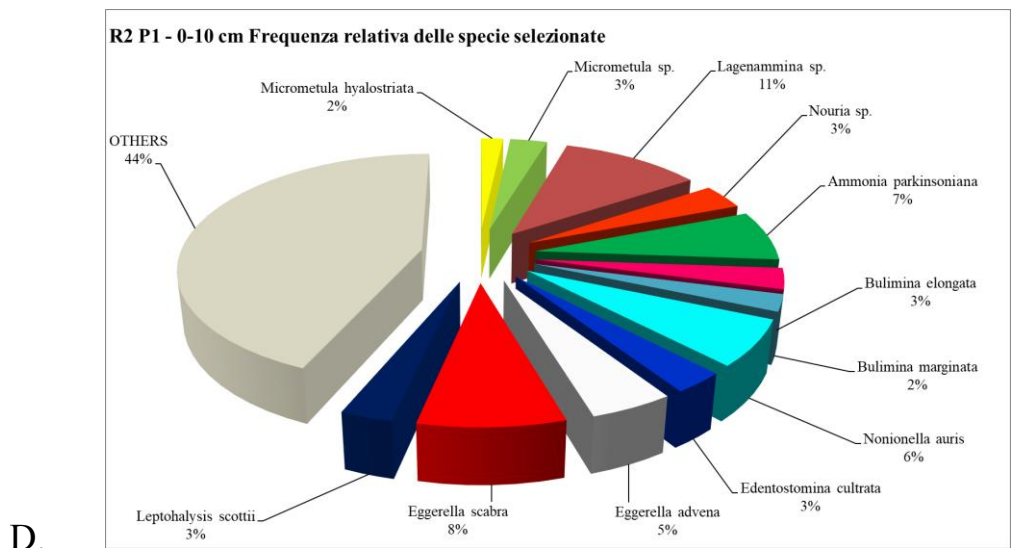
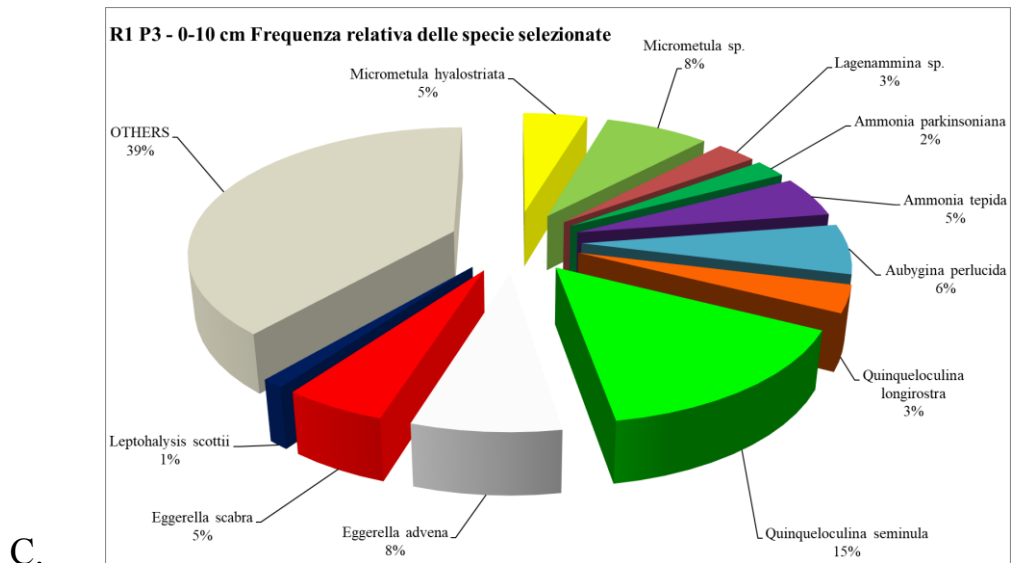
Replica R2 (figura 7.3a, grafico B.): la pseudoreplica P3 offre un maggiore contributo rispetto alle altre due pseudorepliche P1 e P2. I foraminiferi agglutinanti sia mono- che politalamici sono comparabili con i calcarei tranne che nella pseudoreplica P3 in cui i calcarei sono numericamente superiori agli agglutinanti. Si riscontra un valore minimo delle specie (22) sia in P1 che P2, entrambe nell'intervallo 0-2 cm. Il valore massimo delle specie presenti (43) è osservabile nella pseudoreplica P3 sia nell'intervallo 0-5 cm che nell'intervallo 0-10 cm.

Replica R3 (figura 7.3a, grafico C.): i calcarei restano superiori agli agglutinanti in tutte e tre le pseudorepliche P1, P2, P3. Il valore minimo delle specie (29) è riscontrabile nella pseudoreplica P1 relativamente all'intervallo 0-2 cm, mentre il valore massimo (39) lo si osserva nella pseudoreplica P2 per gli intervalli 0-5 cm e 0-10 cm.

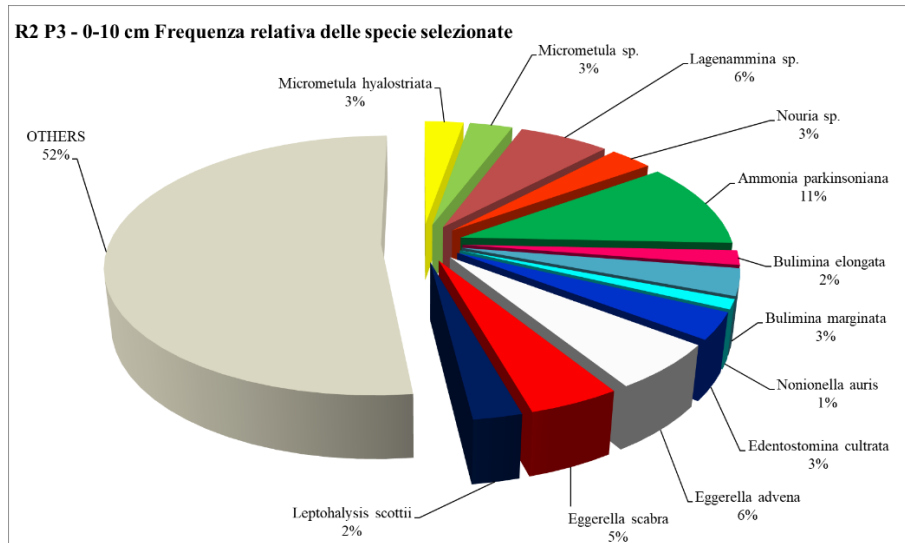
7.4 Distribuzione delle specie più abbondanti (frazione >150 µm)

Di seguito sono illustrati i grafici a torta, relativi alla distribuzione delle specie più abbondanti, presenti cioè con una percentuale >5% per tutte le pseudorepliche P1, P2, P3, di ogni replica R1, R2, R3, lungo tutta la lunghezza della carota (0-10 cm).

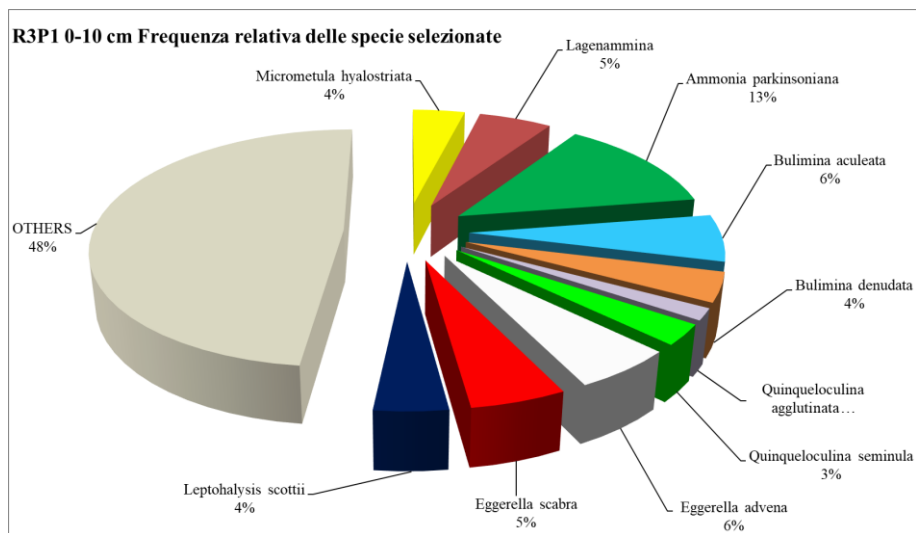




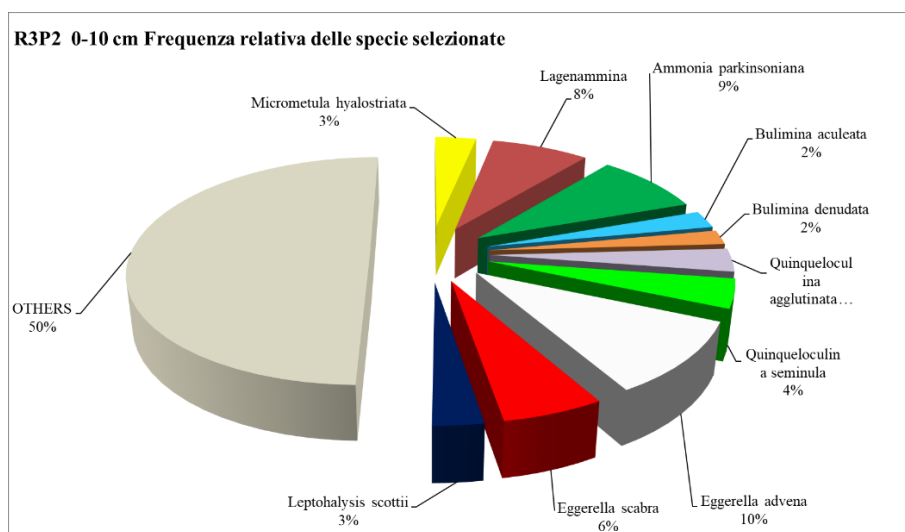
F.

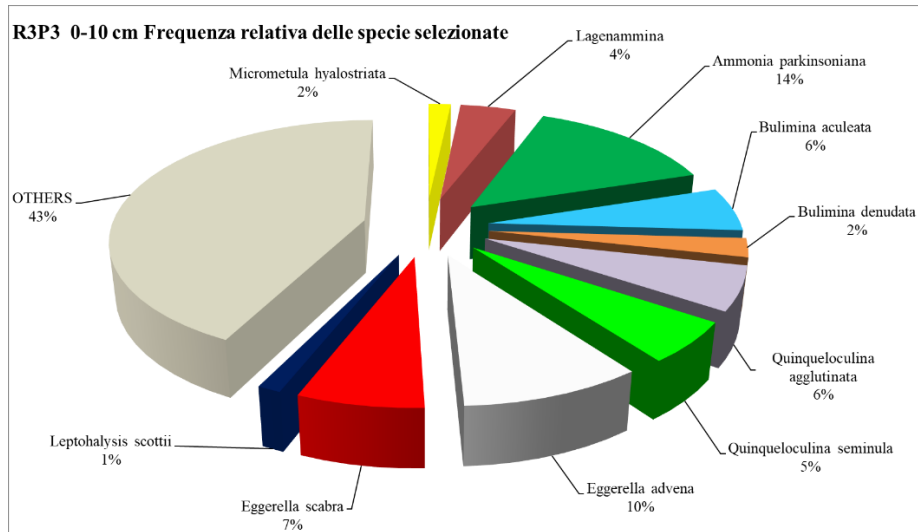


G.



H.





I.

Figura 7.4a: serie di grafici a torta che evidenziano, per ogni pseudoreplica, la distribuzione percentuale delle specie più abbondanti (>5%).

Replica R1

Nella pseudoreplica P1 prevalgono *Eggerella scabra* (16%), *Ammonia parkinsoniana* (13%), a seguire in percentuale minore troviamo *Lagenamma sp.* (8%).

Nella pseudoreplica P2 le specie più abbondanti sono *Eggerella scabra* (21%) ed *Ammonia parkinsoniana* (11%), infine *Quinqueloculina seminula* (10%).

Nella pseudoreplica P3 la specie con una percentuale più alta è *Quinqueloculina seminula* (15%), mentre le specie *Micrometula sp.* ed *Eggerella advena* sono alla pari con entrambe l'8% di abbondanza.

Replica R2

Nella pseudoreplica P1 prevalgono *Lagenammina sp.* (11%), a seguire troviamo *Eggerella scabra* (8%), *A. parkinsoniana* 7%.

Nella pseudoreplica P2 sono tre le specie preponderanti, infatti prevalgono *Eggerella advena* (12%), *Eggerella scabra* (11%) ed *Ammonia parkinsoniana* (11%).

Nella pseudoreplica P3 prevalgono *Ammonia parkinsoniana* (11%), *Eggerella advena* (6%), *Lagenammina sp.* (6%).

Replica R3

Nella pseudoreplica P1 prevalgono *Ammonia parkinsoniana* (13%), *Bulimina aculeata* (6%), *Eggerella advena* (6%), *Lagenammina sp.* (5%).

Nella pseudoreplica P2 prevalgono *Eggerella advena* (10%), *Ammonia parkinsoniana* (9%), *Lagenammina sp.* (8%).

Nella pseudoreplica P3 prevalgono *Ammonia parkinsoniana* (14%), *Eggerella advena* (10%), *Eggerella scabra* (7%).

7.5 Indici di diversità (frazione >150 µm)

Di seguito, in tabella 1, sono riportati gli indici di diversità per ogni replica, relativamente ai tre intervalli di profondità 0-2 cm, 0-5 cm, 0-10 cm:

	0-2 cm			0-5 cm			0-10 cm		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Dominance_D	0,05954	0,06207	0,06691	0,05699	0,04258	0,04991	0,06098	0,04249	0,04611
Simpson_1-D	0,9405	0,9379	0,9331	0,943	0,9574	0,9501	0,939	0,9575	0,9539
Shannon_H	3,246	3,098	3,189	3,382	3,453	3,383	3,359	3,458	3,435
Evenness_e^H/S	0,5351	0,5829	0,5277	0,4746	0,6722	0,6135	0,4424	0,6756	0,6465
Equitability_J	0,8385	0,8516	0,833	0,8194	0,8969	0,8738	0,8046	0,8982	0,8873
Fisher_alpha	15,64	11,23	13,68	17,28	12,1	12,2	16,52	11,37	11,63

Tabella 7.5.1: si riportano i valori degli indici di diversità che descrivono la biocenosi vivente a foraminiferi bentonici, in relazione alle tre repliche R1, R2, R3 e alle tre principali profondità nel sedimento (0-2 cm, 0-5 cm, 0-10 cm).

Da cui si evince che l'indice di dominanza (D e 1-D) indicano valori abbastanza costanti in tutte le repliche e relative profondità, anche se l'andamento costante è più evidente nell'indice 1-D e quest'ultimo indica un ambiente in ottimo stato in quanto i valori sono prossimi ad 1. Shannon Wiener (H): i valori indicano una buona presenza di specie.

Equitabilità: valore più basso registrato in 0-10 cm di R1 (0,8046), valore più alto registrato in 0-5 cm di R2 (0,8969) ad indicare che in questo secondo caso ci si avvicina ad una uguale % di frequenza delle specie.

Fisher: il valore più alto in 0-5 cm di R1 (17,28) ad indicare una maggiore

diversità specifica, il valore più basso si registra in 0-2 cm di R2 (11,23) ad indicare una minore diversità specifica.

Nella tabella successiva si riporta il numero di specie:

	Numero di specie								
	0-2 cm			0-5 cm			0-10 cm		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
R1	32	26	31	48	37	37	52	38	38
R2	22	22	30	30	26	43	34	27	43
R3	29	34	31	33	39	32	35	39	32

Tabella 7.5.2: si riporta il numero di specie riscontrato all'interno di ogni calata (replica, R1, R2, R3) e relative pseudorepliche (P1, P2, P3), in base ai tre intervalli di sedimento considerati (0-2 cm, 0-5 cm, 0-10 cm).

Il maggior numero di specie è riscontrabile nell'intervallo di profondità 0-10 cm della pseudoreplica P1 della replica R1, con un valore di 52; mentre il valore minore è rappresentato dall'intervallo 0-2 cm delle pseudorepliche P1 e P2 della replica R2.

Nella successiva tabella 7.5.3 vengono riportati gli indici di diversità sia per le pseudorepliche che per le repliche (“fresco” sta per “umido”):

PSEUDOREPLICHE e METODO	SPECIE	N (num. individui)	INDICE MARGALEF (d)	ES (51)	ES (51) media
Fresco R1 P1	32	1630	4,1913	17,7	19,1
Fresco R1 P2	26	820	3,7262	18,6	

Fresco R1 P3	31	850	4,4476	21,1	
Fresco R2 P1	22	740	3,1786	17,3	18
Fresco R2 P2	22	1030	3,0271	17,4	
Fresco R2 P3	30	1490	3,9691	19,2	
Fresco R3 P1	29	1110	3,9931	19,5	20,1
Fresco R3 P2	34	1590	4,4767	22	
Fresco R3 P3	31	1370	4,1536	18,8	
Secco R1 P4	15	600	2,1885	12,7	15,1
Secco R1 P5	24	830	3,4219	17,3	
Secco R1 P6	20	880	2,8024	15,2	
Secco R2 P4	21	760	3,0151	16,6	16,4
Secco R2 P5	22	760	3,1658	16,6	
Secco R2 P6	21	790	2,9976	15,8	
Secco R3 P4	23	880	3,2449	16,1	15,9
Secco R3 P5	20	640	2,9405	15,4	
Secco R3 P6	21	590	3,1347	16,3	

REPLICHE (per l'intervallo 0-2 cm) e METODO	SPECIE	N (num. individui)	INDICE MARGALEF (d)	ES (51)	ES (51) media
Fresco R1	50	3300	6,0481	22,8	21,8
Fresco R2	39	3260	4,6975	20,8	
Fresco R3	46	4070	5,4143	21,8	
Secco R1	24	2310	2,9697	16,2	16,9
Secco R2	24	2310	2,9697	17,0	
Secco R3	27	2110	3,3967	17,3	

Tabella 7.5.3: indici di diversità per pseudorepliche e repliche, con in ultima colonna ES che è il numero di specie attese per un numero definito di individui (numero tra parentesi) che permette di stimare il numero di specie, quando i campioni sono caratterizzati da un numero di individui molto diversi tra loro.

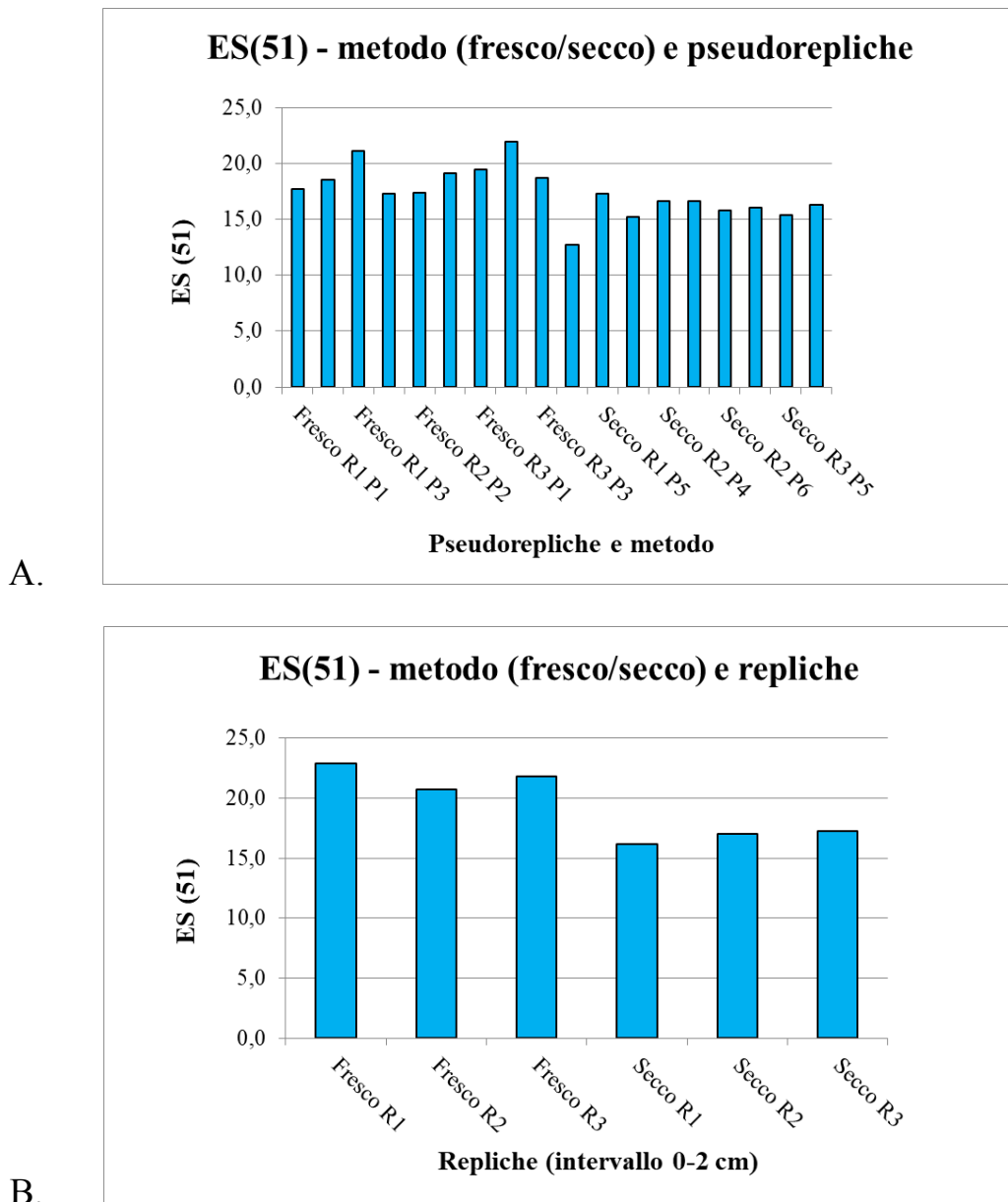


Figura 7.5a: grafici che evidenziano i valori dell'ES (expected number of species – numero di specie atteso) in base ai valori indicati nella colonna “ES (51)” della tabella 7.5.3. Grafico A.: ES per le pseudorepliche rapportate al metodo (fresco – secco); grafico B.: ES per le repliche rapportate al metodo (fresco – secco).

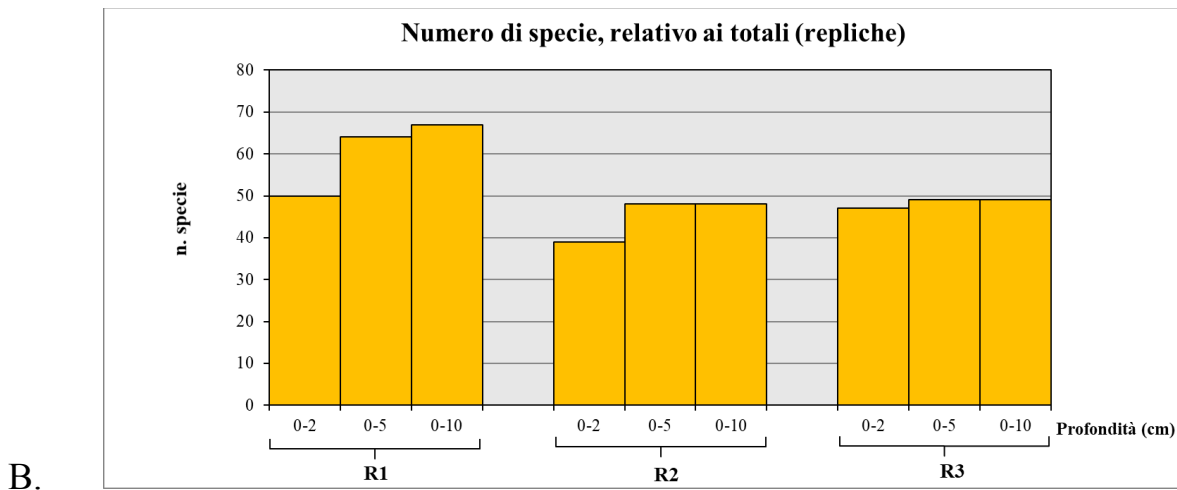
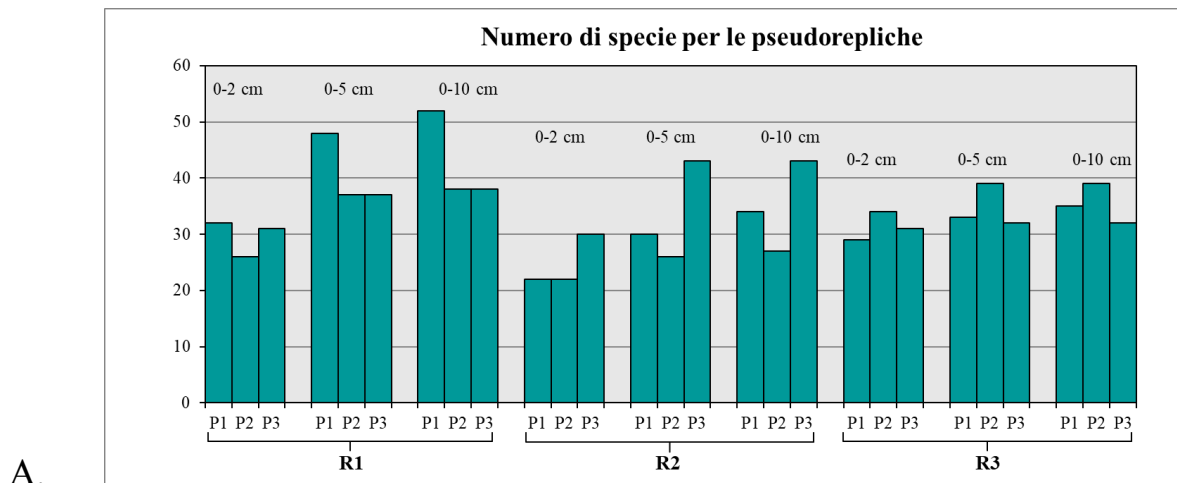


Figura 7.5b: numero di specie. Grafico A. per ogni pseudoreplica (P1, P2, P3) e per ogni livello di profondità (0-2 cm, 0-5 cm, 0-10 cm); grafico B. per ogni replica (R1, R2, R3) e per ogni livello di profondità (0-2 cm, 0-5 cm, 0-10 cm).

7.6 Distribuzione verticale nel sedimento dei foraminiferi bentonici: densità e composizione tassonomica (frazione >150 µm)

Sono stati analizzati i campioni fino a 10 cm di profondità e la densità è stata calcolata su 50 cm³, in funzione della profondità. Sono state rappresentate solo le specie con un'abbondanza >5% calcolata sull'intera carota.

REPLICA R1

Nella pseudoreplica P1 si osserva un picco corrispondente a 590 individui/50 cm³ in corrispondenza di 0.5-1 cm, dopodiché si ha una notevole diminuzione della densità di foraminiferi nei due intervalli successivi fino ai 2 cm. Scendendo in profondità si continua ad osservare un calo della densità che però mostra un leggero aumento a livello dei 4-5 cm, fino a giungere ai centimetri più profondi dove si manifesta però un aumento nell'ultimo intervallo dei 9-10 cm.

Considerando le specie monotalamiche, nelle forme organiche si distingue una discreta presenza di *Micrometula hyalostriata* che si manifesta negli intervalli superficiali del sedimento, da 0,5-1 cm fino all'intervallo 2-3 cm, con un andamento decrescente. Invece, sempre nell'ambito dei monotalamici organici, la specie *Micrometula sp.* stranamente mostra, seppur minima, una presenza negli intervalli più profondi quali 5-6 cm e 7-8 cm.

La specie monotalamica agglutinante *Lagenammina sp.* è presente fino all'intervallo 3-4 cm per poi scomparire del tutto, mostrando una presenza massiccia nell'intervallo 0,5-1 cm. A seguire *Ammonia parkinsoniana*, la cui presenza è costante fino all'intervallo 9-10 cm. Un andamento simile lo manifesta la specie *Aubygnina perlucida* in quanto la si trova nell'intervallo superficiale 0,5-1 cm per poi riapparire in modo costante dall'intervallo 2-3 cm fino all'ultimo 9-10 cm. Troviamo poi *Ammonia tepida* che si manifesta nell'intervallo 0-0,5 cm, per poi scomparire e riapparire dall'intervallo 1,5-2 cm fino al 4-5 cm, scomparendo di nuovo e ricomparendo con valori minimi nell'intervallo 9-10 cm.

Un'altra specie quasi sempre presente, tranne che nell'intervallo 5-6 cm è *Quinqueloculina seminula*; possiamo dire essa segue un andamento abbastanza simile a quello di *Ammonia parkinsoniana*. Sempre nel gruppo delle Quinqueloculine, la specie *Quinqueloculina longirostra*, a differenza della precedente, mostra una presenza meno massiccia e meno costante: infatti la troviamo a basse densità, negli intervalli 0-0,5 cm, 1,5-2 cm, 3-4 cm e 5-6 cm. Considerando le specie politalamiche agglutinanti, si osserva una presenza costante lungo tutti gli intervalli della specie *Eggerella scabra*, con una diminuzione di densità dall'intervallo 5-6 cm all'intervallo 8-9 cm, per poi subire un incremento nell'ultimo intervallo 9-10 cm. Mentre *Eggerella*

advena si trova soltanto più in profondità, negli intervalli 5-6 cm e 6-7 cm.

Infine, *Leptohalysis scottii* è presente negli intervalli 0,5-1 cm, 1,5-2 cm, 2-3 cm.

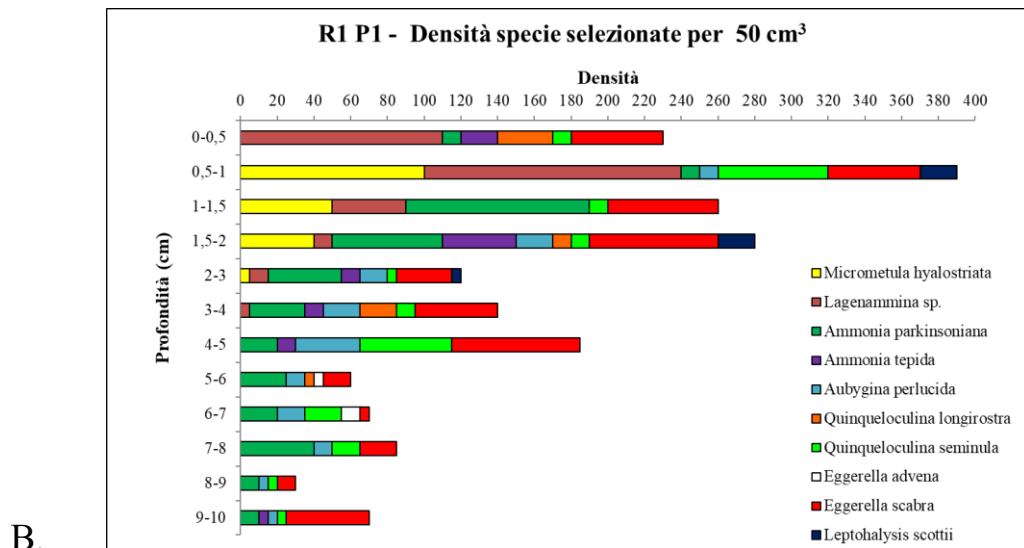
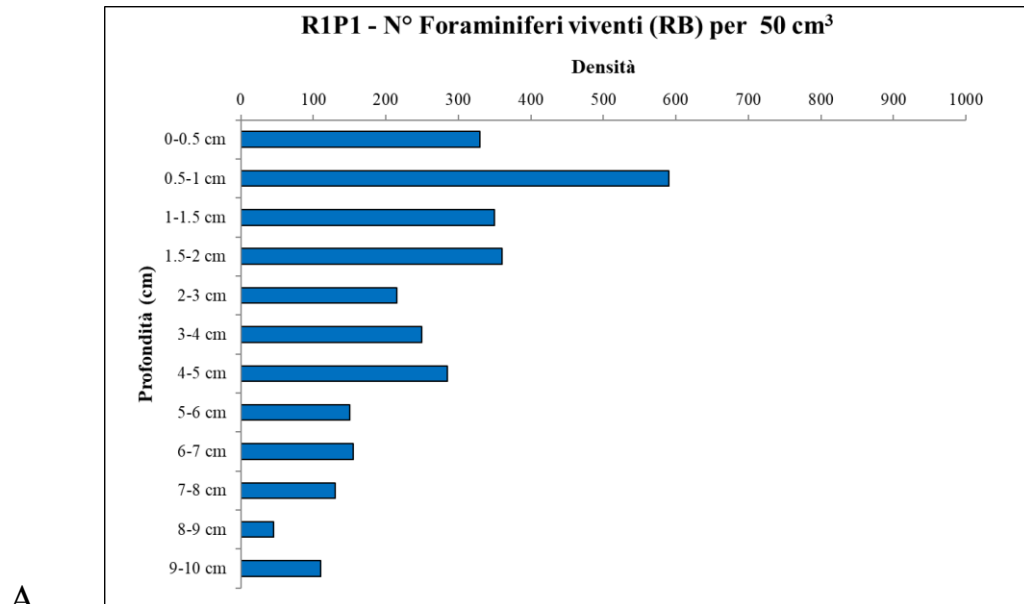


Figura 7.6a: REPLICA R1 PSEUDOREPLICA P1. Il grafico A. descrive la distribuzione verticale degli individui nel sedimento. Il grafico B.

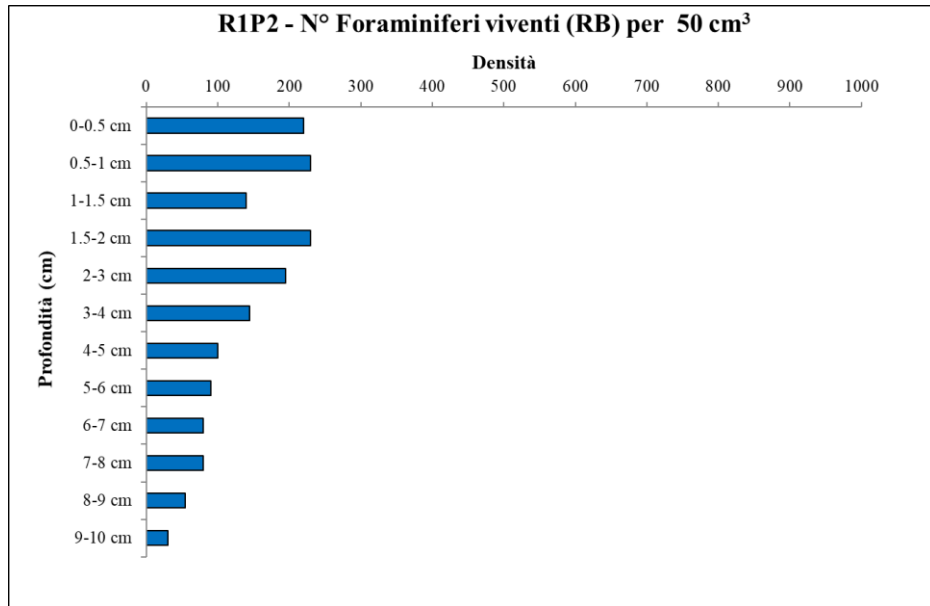
descrive l'abbondanza degli individui di ogni specie, in relazione alla profondità.

Nella pseudoreplica P2, la densità massima di individui, con un valore di 230 si ha negli intervalli 0,5-1 cm e 1,5- 2 cm. L'andamento della densità è costante nelle prime due frazioni del primo centimetro, per poi diminuire notevolmente nella frazione 1-1,5 cm, aumentando subito dopo fino a calare gradualmente arrivando a soltanto 30 individui alla profondità di 9-10 cm.

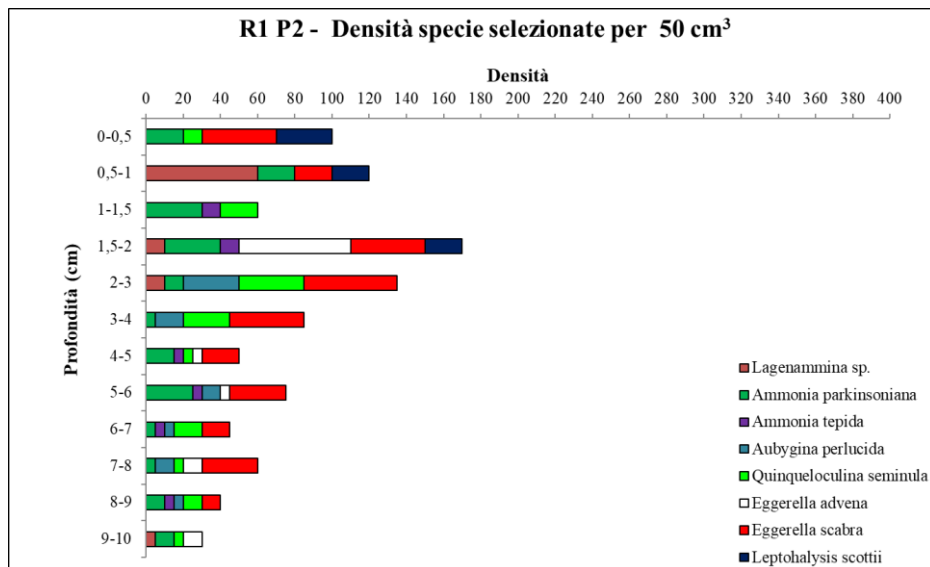
Non è presente qui la componente organica. Considerando la componente politalamica, come nella pseudoreplica P1, considerando le specie calcaree, *Ammonia parkinsoniana* ha un andamento costante lungo tutta la carota di sedimento. Poi troviamo *Ammonia tepida* con un andamento scostante, infatti è presente negli intervalli 1-1,5 cm e 1,5-2 cm per poi scomparire, ricomparendo nuovamente dagli strati intermedi dal 4-5 cm al 6-7 cm, ripresentandosi infine ad una profondità maggiore, nell'intervallo 8-9 cm. *Aubygnina perlucida* si manifesta subito sotto lo strato superficiale, a partire dall'intervallo 2-3 cm fino al 3-4 cm, per poi ricomparire sotto la fascia intermedia 5-6 cm arrivando all'intervallo 8-9 cm.

Considerando i foraminiferi calcarei miliolidi, *Quinqueloculina seminula* ha un andamento relativamente costante, dato che gli unici intervalli in cui non è presente sono 0,5-1 cm, 1,5-2 cm e 5-6 cm.

Per la componente politalamica agglutinante, si osserva che la specie *Eggerella advena* ha un picco di abbondanza nel sedimento sub-superficiale, nell'intervallo 1,5-2 cm, per poi riapparire scendendo in profondità negli intervalli 4-5 cm e 5-6 cm, continuando con questo andamento scostante poiché si manifesta nuovamente nell'intervallo 7-8 cm e 9-10 cm. La specie *Eggerella scabra* ha una presenza più costante, infatti, gli unici intervalli in cui è assente sono l'1-1,5 cm e quello più in profondità cioè il 9-10 cm. Infine, distinguiamo *Leptohalysis scottii* con una densità di 30 individui nell'intervallo superficiale 0-0,5 m (massima densità della specie) che va diminuendo nell'intervallo successivo, per poi scomparire a livello di 1-1,5 cm e riapparire nell'intervallo 1,5-2 cm.



A.



B.

Figura 7.6.b: REPLICA R1 PSEUDOREPLICA P2. Il grafico A. descrive la distribuzione verticale degli individui nel sedimento. Il grafico B. descrive l'abbondanza degli individui di ogni specie, in relazione alla profondità.

La pseudoreplica P3, in base a ciò che si evince dal grafico che descrive la densità dei foraminiferi, ha un andamento molto più naturale delle due

pseudorepliche precedenti P1 e P2. Infatti, si manifesta un picco di densità nell'intervallo sub-superficiale 0,5-1 cm che ha un valore di densità pari a 300 individui/50 cm³, anche se l'intervallo successivo (1-1,5 cm) decresce di poco (ha un valore di 270 individui/50 cm³). In generale si assiste ad un decremento notevole e lineare della densità degli organismi, infatti negli intervalli profondi ci sono valori molto bassi, ad indicare che la maggior parte delle specie è dislocata a profondità minori.

Considerando il grafico che descrive le specie più abbondanti su un volume di 50 cm³, per la suddetta pseudoreplica, la componente organica è ben descritta dalla presenza della specie *Micrometula hyalostriata* negli intervalli 0,5-1 cm e 1-1,5 cm, che scompare del tutto scendendo in profondità nel sedimento. Invece, la specie *Micrometula sp.* oltre ai due intervalli menzionati, continua a mostrare, seppure con valori minimi, una presenza anche negli intervalli 1,5-2 cm e 2-3 cm.

Per la componente monotalamica agglutinante, *Lagenammia sp.* è presente soltanto nell'intervallo superficiale 0-0,5 cm e leggermente più infossata nell'intervallo 1-1,5 cm.

Per quanto concerne le specie politalamiche calcaree, *Ammonia parkinsoniana* mostra un andamento completamente diverso dalle

pseudorepliche P1 e P2, in quanto qui si manifesta soltanto in tre strati, uno subsuperficiale (0,5-1 cm) e due più in profondità (6-7 cm ed 8-9 cm).

Ammonia tepida si concentra in modo costante soltanto negli strati quasi intermedi della carota, vale a dire dall'1,5-2 cm al 4-5 cm. Un andamento simile si osserva con *Aubygnina perlucida* che si manifesta nello strato subsuperficiale 0,5-1 cm, poi leggermente in profondità nell'intervallo 1,5-2 cm, andando a ripresentarsi nuovamente negli intervalli 3-4 cm e 4-5 cm.

Considerando la componente dei politalamici miliolidi, distinguiamo la specie *Quinqueloculina longirostra* che, oltre a manifestarsi subito sotto la superficie del sedimento (intervallo 0,5-1 cm e 1-1,5 cm), eccola ricomparire anche nell'intervallo 3-4 cm.

Quinqueloculina seminula ha un andamento diverso e mostra una maggiore abbondanza, infatti è presente in modo continuo dall'intervallo 0,5-1 cm fino all'intervallo 7-8 cm, per poi manifestare un'assenza nell'intervallo successivo e ricomparire in quello finale 9-10 cm, qui come unica specie.

Eggerella advena si manifesta ad intervalli alterni partendo dall'0,5-1 cm ed arrivando all'intervallo 7-8 cm. Anche *Eggerella scabra* mostra un andamento simile ad *Eggerella advena* con la differenza che è presente anche nell'intervallo 8-9 cm. Infine, *Leptohalysis scottii* ha un andamento alquanto fuori dal comune poiché oltre a manifestarsi normalmente nello strato

superficiale 0-0,5 cm, lo si riscontra anche verso gli strati intermedi (intervallo 2-3 cm).

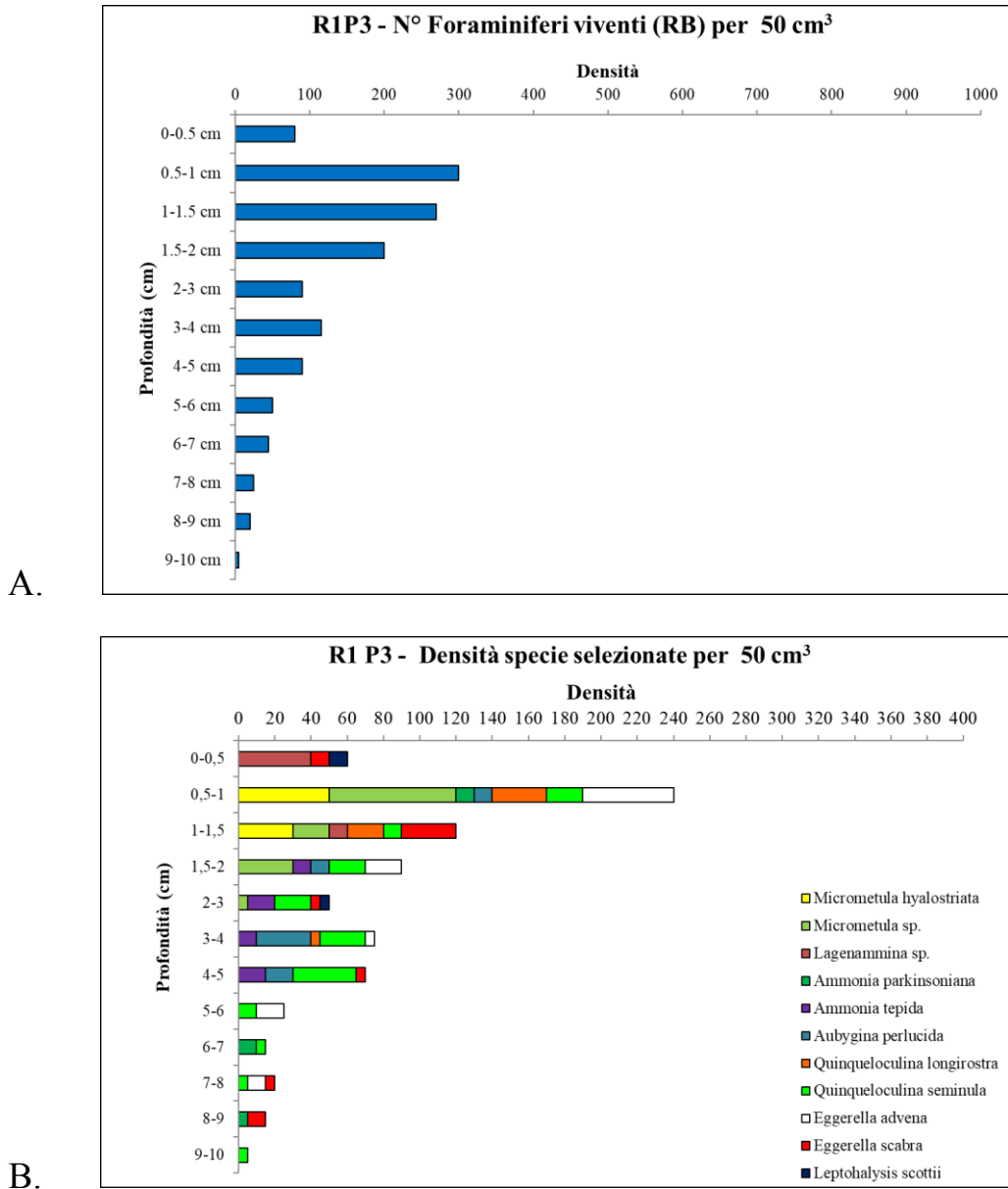


Figura 7.6c: REPLICA R1 PSEUDOREPLICA P3. Il grafico A. descrive la distribuzione verticale degli individui nel sedimento. Il grafico B. descrive l'abbondanza degli individui di ogni specie, in relazione alla profondità.

REPLICA R2

La pseudoreplica P1, mostra una densità con un andamento scostante, infatti se la norma vuole che gli strati superficiali siano caratterizzati da una densità maggiore di individui, qui accade il contrario: le due frazioni 0-0,5 cm e 0,5-1 cm, presentano una densità più bassa rispetto allo strato 1-1,5 cm che, in tutta la carota, è quello che possiede un picco di abbondanza (per un valore di 260 individui/cm³). L'intervallo intermedio 5-6 cm ha la minore abbondanza tra tutti, con soltanto 15 individui. Dopodiché i valori rimangono pressoché costanti, oscillando tra 30 e 45 individui fino all'ultimo centimetro considerato, ovvero 9-10 cm. Considerando il grafico delle specie più abbondanti, ciò che salta all'occhio è appunto l'intervallo 5-6 cm che non manifesta alcuna specie tra quelle con un maggior peso, ricavate dall'analisi delle frequenze relative.

Le specie della componente monotalamica organica, *Micrometula hyalostriata* e *Micrometula sp.* sono concentrate negli intervalli sub-superficiali 0,5-1 cm, 1-1,5 cm e 1,5-2 cm.

Considerando i monotalamici agglutinanti, *Lagenammia sp.* si manifesta negli strati superficiali ed in quelli intermedi, spazia quindi tra lo 0-0,5 cm ed il 4-5 cm, con un'assenza negli intervalli 1,5-2 cm e 2-3 cm. In questa pseudoreplica compare una specie che nella precedente replica non si è

riscontrata: *Nouria sp.* che si trova tra gli strati 0-0,5 cm e 1,5-2 cm, ma non nello strato 1-1,5 cm.

Per la componente dei foraminiferi politalamici calcarei, *Ammonia parkinsoniana* mostra una maggior densità nello strato 1-1,5 cm per poi diminuire negli strati successivi fino a valori minimi negli strati profondi. *Bulimina elongata* era assente nella precedente replica, mentre in questa pseudoreplica è presente soltanto nello strato di sedimento superficiale 0-0,5 cm e 1,5-2 cm con una densità rispettivamente di 20 e 30 individui. *Bulimina marginata* si trova negli strati subito sotto la superficie del sedimento (1-1,5 cm e 1,5-2 cm) e nello strato intermedio 4-5 cm. Considerando gli strati intermedi, troviamo *Nonionella auris* concentrata solo in questa zona del sedimento (intervalli 3-4 cm e 4-5 cm). *Edentostomina cultrata* ha una posizione prevalentemente superficiale, concentrandosi negli intervalli 0-0,5 cm, 0,5-1 cm, 1-1,5 cm e ricomparendo nello strato leggermente più profondo 2-3 cm.

Le specie del raggruppamento dei politalamici agglutinanti sono così distribuite: *Eggerella advena* si manifesta in superficie fino all'intervallo 1-1,5 cm per poi riapparire in profondità negli intervalli 6-7 cm ed 8-9 cm. *Eggerella scabra*, anche se mostra un'abbondanza maggiore nello strato 2-3 cm, caratterizza soprattutto gli strati profondi. Infine, *Leptohalysis scottii*

come da norma si manifesta soltanto negli strati superficiali dallo 0-0,5 cm fino all'1-1.5 cm.

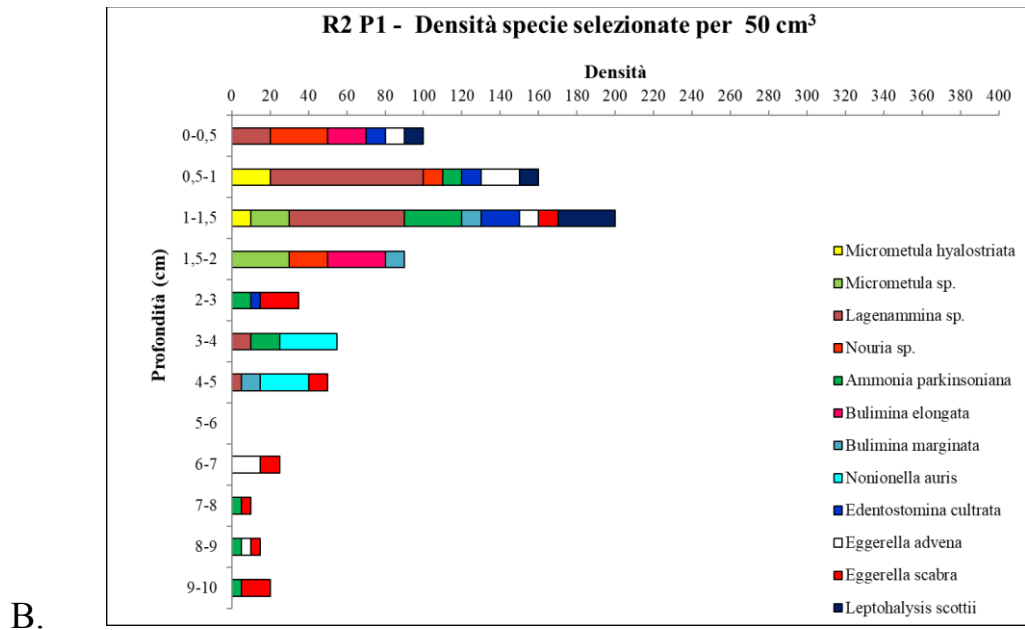
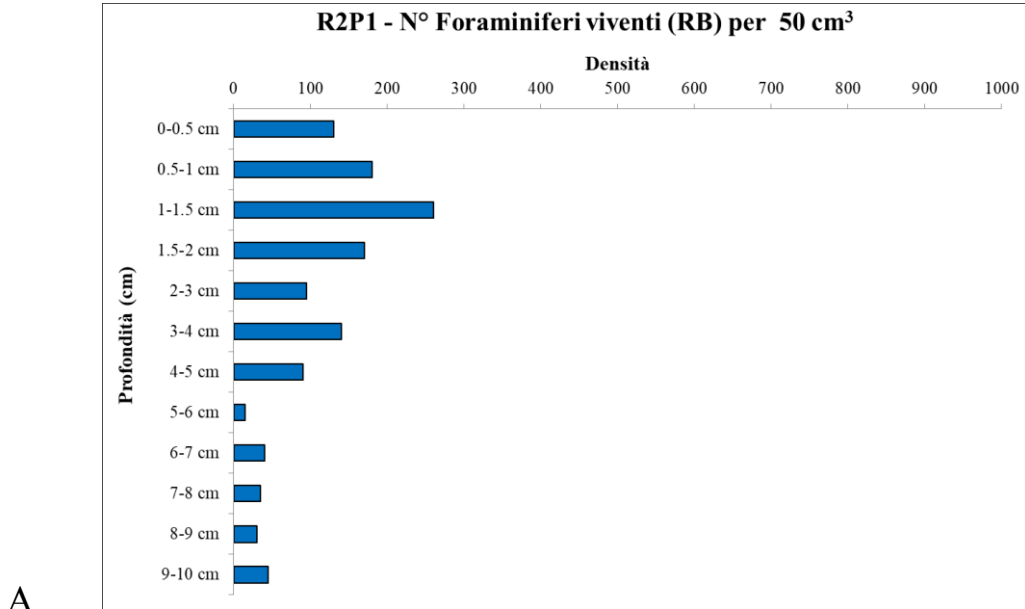


Figura 7.6d: REPLICA R2 PSEUDOREPLICA P1. Il grafico A. descrive la distribuzione verticale degli individui nel sedimento. Il grafico B.

descrive l'abbondanza degli individui di ogni specie, in relazione alla profondità.

La pseudoreplica P2, dal grafico che descrive il numero di foraminiferi su un volume di 50 cm³, presenta un andamento più regolare rispetto alla pseudoreplica P1, con gli strati superficiali che sono caratterizzati da maggiori densità (400 individui nella frazione 0-0,5 cm e 370 individui nell'intervallo 0,5-1 cm), andando via via a decrescere in modo abbastanza regolare con l'aumentare della profondità, con la leggera anomalia dello strato finale 9-10 cm che, con 25 individui, mostra una maggior, seppur lieve, densità rispetto allo strato 8-9 cm, che presenta soltanto 10 individui.

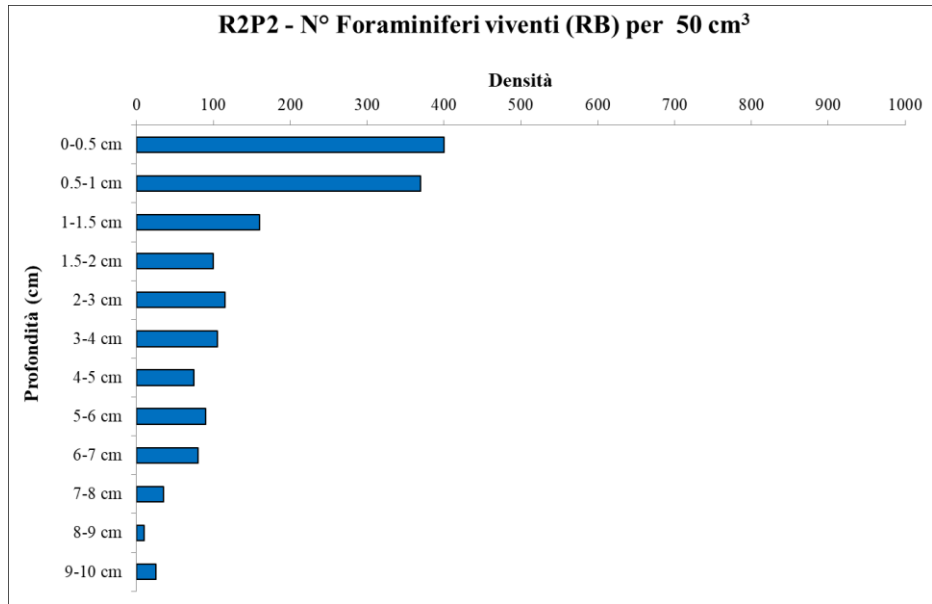
Dal grafico rappresentativo della densità delle sole specie selezionate su di un volume di 50 cm³, si evince intanto che lo strato 8-9 cm è rappresentato da una sola specie e che la componente monotalamica organica, rappresentata da *Micrometula hyalostriata*, è presente oltre che nel primo centimetro come da norma, anche nello strato intermedio a 4-5 cm. *Micrometula sp.*, invece presenta una distribuzione più continua che va dallo strato subsuperficiale 0,5-1 cm fino allo strato intermedio 2-3 cm.

Delle specie facenti parte della componente monotalamica agglutinante, *Lagenammina sp.* presenta un andamento ad intervalli in quanto gli unici

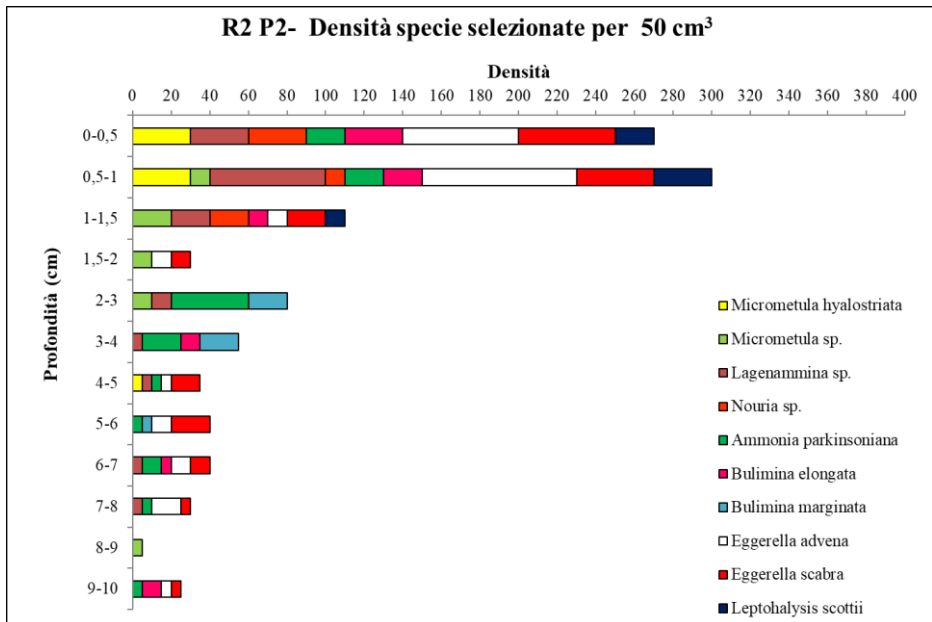
strati in cui è assente sono l'1,5-2 cm, il 5-6 cm e gli ultimi due strati profondi; *Nouria sp.*, invece la troviamo soltanto nei primi tre strati iniziali, fino all'1-1,5 cm.

La componente politalamica calcarea è innanzitutto descritta dalla specie *Ammonia parkinsoniana* che mostra un andamento abbastanza irregolare in quanto è assente negli strati 1-1,5 cm, 1,5-2 cm e 8-9 cm. *Bulimina elongata* colonizza quasi tutta la carota con un andamento irregolare ed è presente nei primi 3 cm e anche nell'ultimo strato di sedimento, a differenza di *Bulimina marginata* che si riscontra solo negli strati intermedi 2-3 cm, 3-4 cm e 5-6 cm dove *B. elongata* è assente.

Tra la componente politalamica agglutinante si annovera *Eggerella advena* con un andamento pressoché costante lungo tutta la carota di sedimento, ad eccezione di alcuni intervalli in cui è assente (2-3 cm, 3-4 cm, 8-9 cm); *Eggerella scabra* ha lo stesso andamento di *Eggerella advena*. *Leptohalysis scottii*, si manifesta come da norma nei primi tre strati più superficiali.



A.



B.

Figura 7.6e: REPLICA R2 PSEUDOREPLICA P2. Il grafico A. descrive la distribuzione verticale degli individui nel sedimento. Il grafico B. descrive l'abbondanza degli individui di ogni specie, in relazione alla profondità.

La pseudoreplica P3 ha un andamento irregolare, poiché la maggiore densità è riscontrabile nell'intervallo 1-1,5 cm con 580 individui, per poi decrescere drasticamente all'intervallo 1,5-2 cm con un valore di 230 individui, ed aumentare nuovamente, anche se di poco, negli strati intermedi, registrando via via una diminuzione fino all'intervallo 8-9 cm, dopodiché si nota un leggero incremento nello strato 9-10 cm, che manifestano rispettivamente 20 e 40 individui.

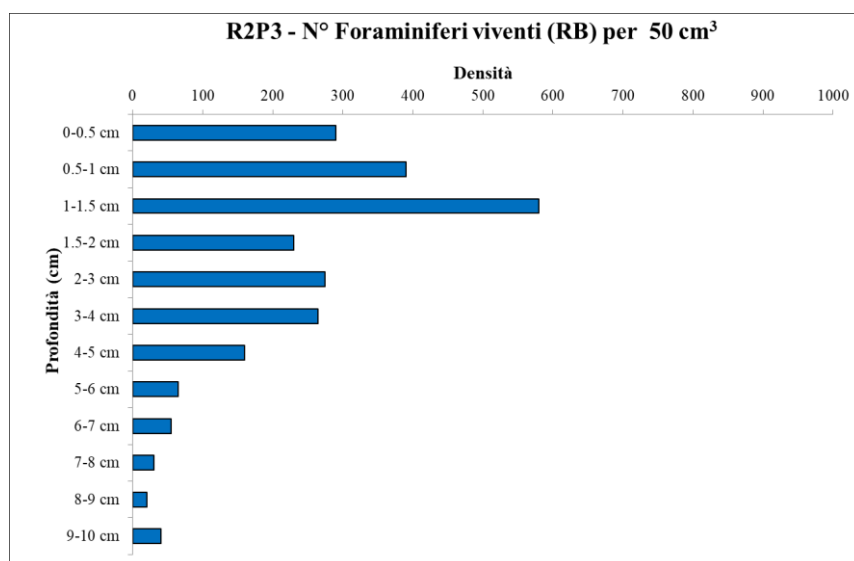
In base alle specie selezionate più abbondanti, per la componente monotalamica organica, *Micrometula hyalostriata* è presente in modo continuo fino all'intervallo 1-1,5 cm per poi riapparire di nuovo negli intervalli 2-3 cm e 3-4 cm. Questo a differenza di *Micrometula sp.* che si manifesta soltanto nei primi tre cm in superficie.

Per le specie monotalamiche agglutinanti, *Lagenammia sp.* ha lo stesso andamento di *Micrometula hyalostriata*, mentre *Nouria sp.* si trova soltanto nello strato superficiale 0-0,5 cm per poi ricomparire in modo continuo tra gli strati 2-3 cm e 6-7 cm.

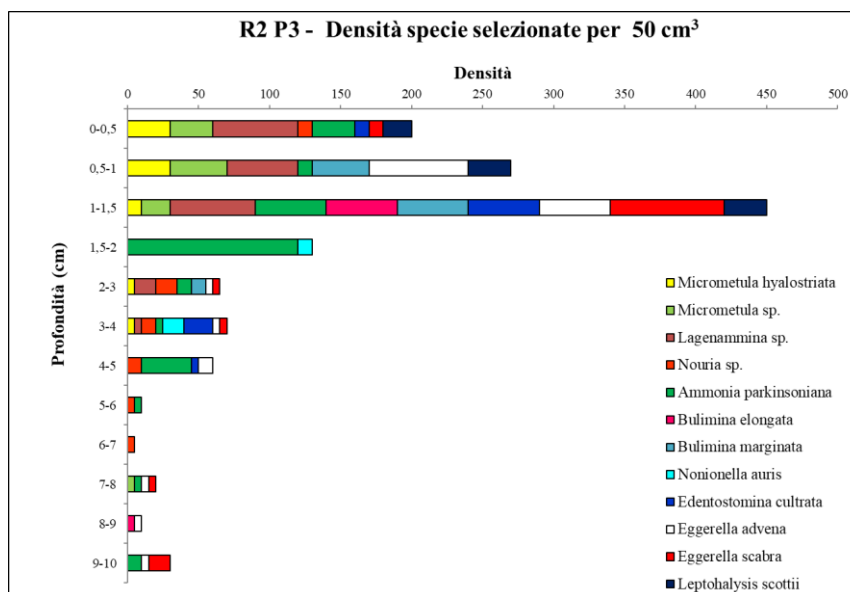
Circa le specie politalamiche calcaree, *Ammonia parkinsoniana* è sempre presente tranne che nello strato 8-9 cm, con un picco di abbondanza nello strato 1,5-2 cm. *Bulimina elongata* si manifesta soltanto in due strati: superficiale (1-1,5 cm e profondo 8-9 cm), mentre *Bulimina marginata* si

mantiene più superficiale e leggermente intermedia (0,5-1 cm, 1-1,5 cm e 2-3 cm). *Nonionella auris* è riscontrabile soltanto negli strati 1,5-2 cm e 3-4 cm, mentre *Edentostomina cultrata* ha un range leggermente più ampio di distribuzione, infatti seppur in maniera irregolare la si riscontra dallo strato superficiale 0-0,5 cm fino al 4-5 cm.

Per la componente politalamica agglutinante, *Eggerella advena* è distribuita abbastanza ovunque lungo tutta la carota ad eccezione dello strato superficiale ed alcuni intermedi; simile condizione per *Eggerella scabra* tranne che essa si manifesta sia nello strato superficiale che in quello più profondo 9-10 cm. In ultimo, *Leptohalysis scottii* si trova soltanto nei primi tre strati iniziali.



A.



B.

Figura 7.6f: REPLICA R2 PSEUDOREPLICA P3. Il grafico A. descrive la distribuzione verticale degli individui nel sedimento. Il grafico B. descrive l'abbondanza degli individui di ogni specie, in relazione alla profondità.

Replica R3

La pseudoreplica P1 ha un andamento la cui densità aumenta tra 1-1,5 cm e 1,5-2 cm, per poi decrescere in modo scostante fino ai 9-10 cm. Il picco massimo di densità si verifica a 1,5-2 cm con 430 individui, mentre il numero minimo di individui lo si riscontra negli intervalli 7-8 cm e 8-9 cm, entrambi hanno infatti soltanto 30 individui. L'intervallo 5-6 cm non mostra specie rilevanti evidenziate dall'analisi delle frequenze relative.

Le specie monotalamiche organiche sono rappresentate dalla sola *Micrometula hyalostriata* che si manifesta dall'intervallo 1,5-2 cm fino all'intervallo 3-4 cm, con un picco massimo di densità pari a 40 individui riscontrabile nell'intervallo 2-3 cm.

Considerando le specie monotalamiche agglutinanti, *Lagenamma sp.* si trova dall'intervallo 1-1,5 cm all'intervallo 2-3 cm con un numero di individui che si aggira tra i 30 e i 40, dopodiché non c'è più traccia di questa specie.

Per le specie politalamiche calcaree, *Ammonia parkinsoniana* si trova quasi ovunque lungo la carota, dagli intervalli superficiali fino all'intervallo 1,5-2 cm è sempre presente, ma ha un picco massimo di individui nell'intervallo 1,5-2 cm in cui se ne riscontrano 70. Scendendo troviamo ai 2-3 cm un calo drastico di individui della suddetta specie, pari a 25, per poi aumentare fino a 40 nell'intervallo successivo dei 3-4 cm. Dopodiché la densità diminuisce di otto volte nell'intervallo 4-5 cm arrivando a toccare un minimo di 5 individui, è assente completamente dall'intervallo 5-6 cm al 6-7 cm, ricomparendo nuovamente al 7-8 cm e all'ultimo intervallo dei 9-10 cm con un valore di 15 individui.

La specie *Bulimina aculeata* è presente nell'intervallo subsuperficiale 0,5-1 cm con valori di 10 individui, lo stesso valore lo si riscontra subito dopo all'intervallo 1-1,5 cm e 1,5-2 cm, nonché al 2-3 cm e 3-4 cm, per poi

aumentare di 5 individui all'intervallo 4-5 cm, scomparendo al 5-6 cm e 6-7 cm, manifestandosi di nuovo al 7-8 cm ed 8-9 cm, dove rispettivamente si riscontrano 5 e 10 individui, mentre nell'intervallo finale dei 9-10 cm arriva ad un valore di 15, il massimo di questa specie.

Bulimina denudata si trova sempre dall'intervallo superficiale 0-0,5 cm fino all'intervallo 1,5-2 cm, con una densità massima registrata nell'intervallo 1-1,5 cm che presenta ben 40 individui. È assente nell'intervallo 2-3 cm, per poi ricomparire nel 3-4 cm, ultimo intervallo dove la specie è riscontrabile.

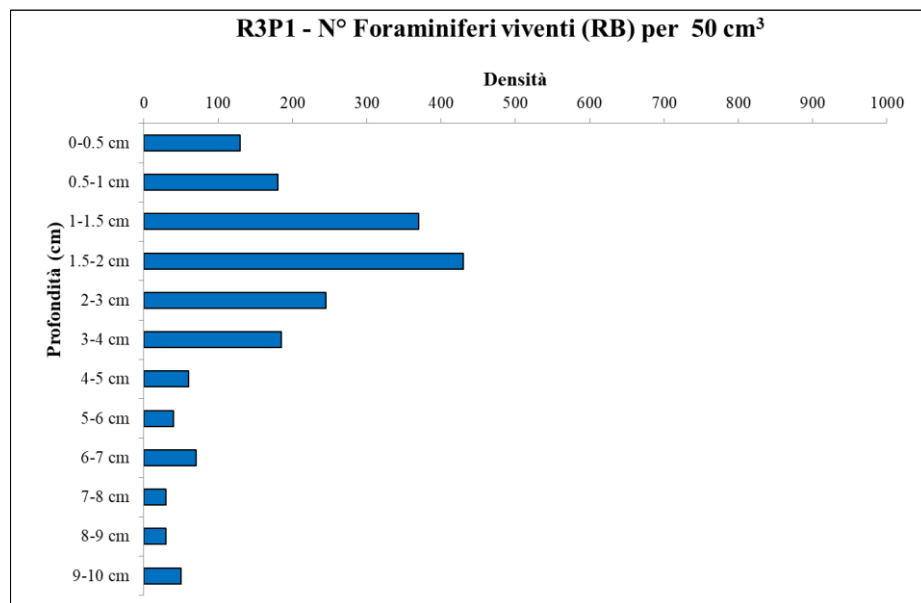
La componente politalamica dei miliolidi è così composta: *Quinqueloculina agglutinata* è presente soltanto negli intervalli 2-3 cm, 3-4 cm e 4-5 cm con rispettivamente 10, 5 e 5. *Quinqueloculina seminula* è presente solo in tre intervalli: 2-3 cm, 3-4 cm e 6-7 cm, in questo ultimo intervallo è la sola specie presente.

Infine, per le specie politalamiche agglutinanti, *Eggerella advena*, presente nell'intervallo 0,5-1 cm, con un picco di individui pari a 70 nell'intervallo successivo 1-1,5 cm, che si riduce a 50 nell'intervallo 1,5-2 cm, ricomparendo nell'ultimo intervallo della carota a 9-10 cm con un valore di 5 individui.

Eggerella scabra si trova nell'intervallo 0,5-1 cm, con un picco di densità pari a 40 individui nell'intervallo 1-1,5 cm, nell'intervallo 1,5-2 cm la sua densità si riduce ad un valore di 10 individui, mentre nei tre intervalli successivi fino

a 4-5 cm si aggira attorno ai 5-15 individui. Infine negli intervalli 8-9 cm e 9-10 cm la sua densità è di 5 individui. Infine *Leptohalysis scottii* ha un picco massimo di 40 individui in superficie, nell'intervallo 0-0,5 cm, continuando a manifestarsi fino all'intervallo 1,5-2 cm con una densità che oscilla tra 10 e 30 individui.

A.



B.

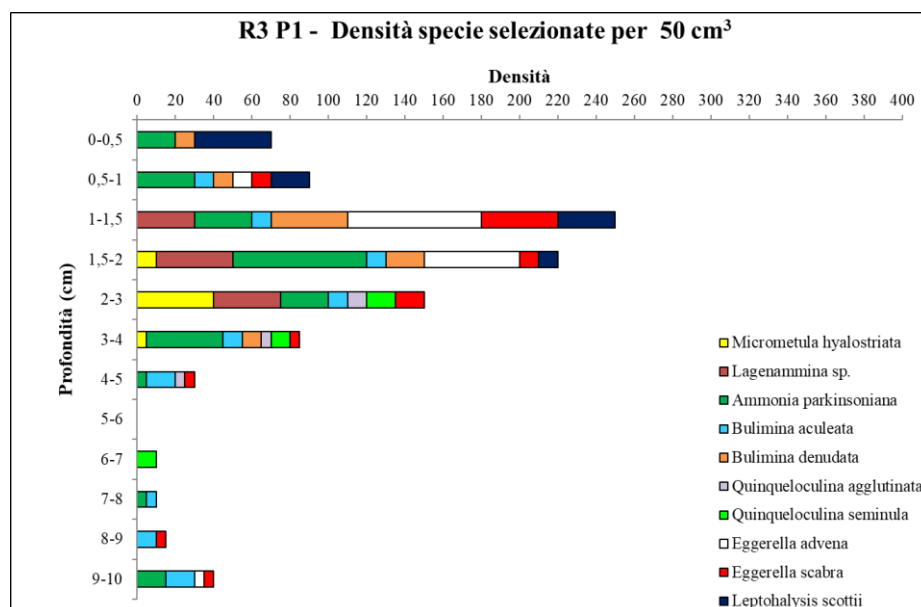


Figura 7.6g: REPLICA R3 PSEUDOREPLICA P1. Il grafico A. descrive la distribuzione verticale degli individui nel sedimento. Il grafico B. descrive l'abbondanza degli individui di ogni specie, in relazione alla profondità.

La pseudoreplica P2 mostra una densità elevata pressoché costante a partire dall'intervallo 0,5-1 (picco massimo di individui pari a 480) cm fino all'intervallo 1,5-2 cm. Subito dopo c'è un drastico calo degli individui che si attesta ad un valore di 105, per poi manifestare un leggero aumento toccando i 160 individui all'intervallo 3-4 cm, dopodiché la densità si riduce con andamento simile fino all'intervallo finale 9-10 cm.

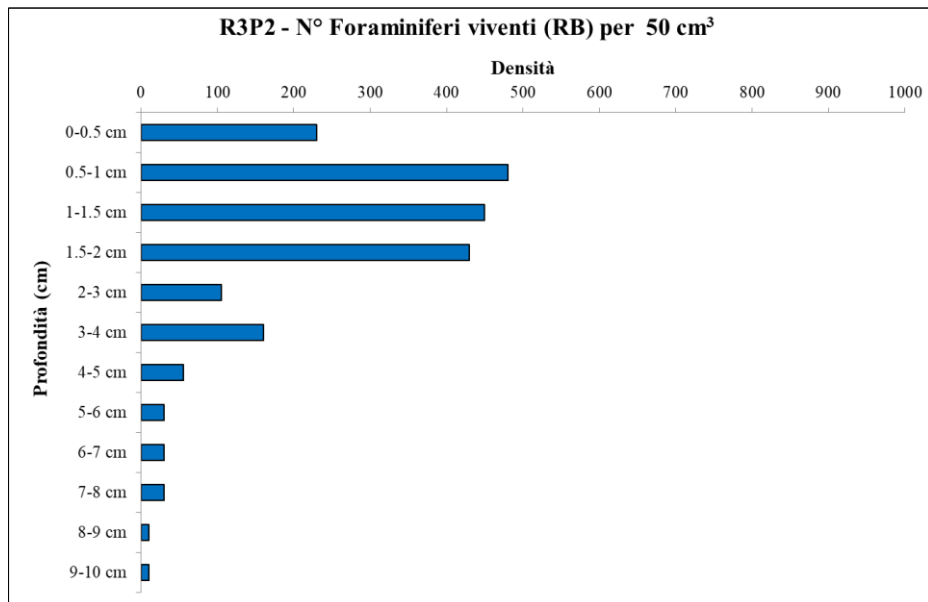
Considerando la componente monotalamica organica, l'unica specie rappresentativa è qui *Micrometula hyalostriata*, che mostra un picco di 40 individui all'intervallo 0,5-1 cm, valore che si riduce a 10 e a 30 negli intervalli 1-1,5 cm e 1,5-2 cm rispettivamente, per poi scomparire del tutto negli intervalli successivi. L'unica specie monotalamica agglutinante è *Lagenammia sp.* che si osserva nei primi quattro intervalli superficiali fino a 1,5-2 cm, con un picco di individui pari ad 80 nell'intervallo 1-1,5 cm. Non si manifesta nell'intervallo 2-3 cm, ma ricompare subito dopo seppur in piccole quantità (intervallo 3-4 cm, 5 individui).

Per la componente politalamica calcarea, *Ammonia parkinsoniana* si manifesta in modo continuo dall'intervallo 0-0,5 cm superficiale fino ai 2-3 cm, con un picco massimo nell'intervallo 0,5-1 cm che mostra 80 individui. Scompare nell'intervallo 3-4 cm per poi esser nuovamente visibile in quello sottostante dei 4-5 cm, seppure con una densità relativamente bassa di 5 individui. *Bulimina aculeata* è presente soltanto nei primi tre intervalli superficiali 0-0,5 cm, 0,5-1 cm (dove si verifica la massima densità) e 1-1,5 cm con valori da 10 a 30 individui. Ricompare in minima parte all'intervallo 3-4 cm. *Bulimina denudata* è presente solo nell'intervallo superficiale 0-0,5 cm e nell'intervallo 1-1,5 cm dove mostra qui una densità pari a 40 individui. Considerando i foraminiferi politalamici miliolidi, la specie *Quinqueloculina agglutinata* si trova anch'essa nel primo intervallo 0-0,5 cm con 20 individui, valore che si riduce a 10 nell'intervallo 1-1,5 cm e a 5 nell'intervallo 2-3 cm, mostrando nei due successivi fino all'intervallo 4-5 cm un leggero aumento a 10 individui. *Quinqueloculina seminula* è costante nei quattro intervalli intermedi dai 2-3 cm ai 6-7 cm, mostrando una maggiore abbondanza di individui (20) nell'intervallo 3-4 cm.

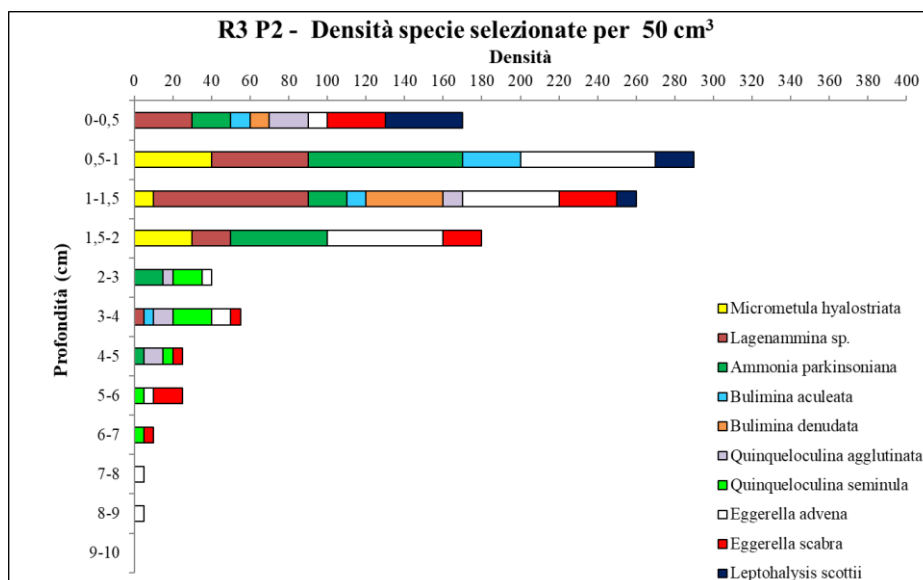
Per le specie politalamiche agglutinanti, *Eggerella advena* ha un andamento costante dall'intervallo iniziale 0-0,5 cm fino ai 3-4 cm, con un massimo di densità a 0,5-1 cm (70 individui). Gli unici intervalli dove è assente sono il 4-

5 cm e il 5-6 cm e il 9-10 cm. La sua densità si riduce con l'aumentare della profondità. *Eggerella scabra* ha un andamento relativamente costante, con un picco di densità in ben due intervalli, 0-0,5 cm e 1-1,5 cm di 30 individui, valore che si riduce con l'aumentare della profondità arrivando a 5 individui, tranne che nell'intervallo 5-6 cm che presenta 15 individui.

Leptohalysis scottii, infine, si trova soltanto nei primi tre intervalli superficiali con una densità massima di 40 individui nell'intervallo 0-0,5 cm.



A.



B.

Figura 7.6h: REPLICA R3 PSEUDOREPLICA P2. Il grafico A. descrive la distribuzione verticale degli individui nel sedimento. Il grafico B. descrive l'abbondanza degli individui di ogni specie, in relazione alla profondità.

La pseudoreplica P3 ha un andamento pressoché simile alla P2 in quanto la maggiore densità di individui si concentra negli intervalli iniziali, in modo costante fino all'1,5-2 cm, con un picco massimo di individui pari a 370 riscontrabile all'intervallo 1-1,5 cm, scendendo man mano che si arriva agli intervalli più profondi.

Le specie monotalamiche organiche sono rappresentate da *Micrometula hyalostriata* che si trova soltanto negli intervalli 0,5-1 cm e 1-1,5 cm, ambedue le profondità hanno lo stesso numero di individui (20).

Lagenammina sp., della componente monotalamica agglutinante presenta 50 individui nell'intervallo 0-0,5 cm, scendendo a 40 e a 10 nei due intervalli subito successivi, per poi essere completamente assente.

La componente politalamica calcarea, vede *Ammonia parkinsoniana* avere una densità elevata (picco massimo di 100 individui nell'intervallo 0,5-1 cm) nei primi tre intervalli superficiali, decrescendo fino all'intervallo 3-4 cm e ricomparendo in piccole quantità negli intervalli 6-7 cm e 8-9 cm.

Bulimina aculeata si manifesta in modo decrescente dall'intervallo 1-1,5 cm fino al 5-6 cm, ricomparendo al 7-8 cm e al 9-10 cm.

Bulimina denudata è presente in piccole quantità soltanto in alcuni punti della carota.

Le specie di miliolidi, quali *Quinqueloculina agglutinata* e *Quinqueloculina seminula* hanno rispettivamente un picco massimo di individui nell'intervallo 4-5 cm (30) e nell'intervallo 3-4 cm.

I foraminiferi politalamici agglutinanti sono ben rappresentati da *Eggerella advena* che ha un massimo di individui nell'intervallo superficiale 0-0,5 cm con un valore pari a 90, per subire poi un calo a 30 individui nell'intervallo subito sottostante e tornare ad una buona densità di 70 individui nell'intervallo 1-1,5 cm, manifestandosi in piccole quantità (valore pari a 5) nell'intervallo 8-9 cm. Considerando *Eggerella scabra*, presente una densità

massima nell'intervallo 1,5-2 cm con un valore di 40 individui, diminuendo lungo il resto della carota. Infine *Leptohalysis scottii* ha stranamente dei valori bassi superficiali con una densità massima di 20 individui nell'intervallo 0,5-1 cm.

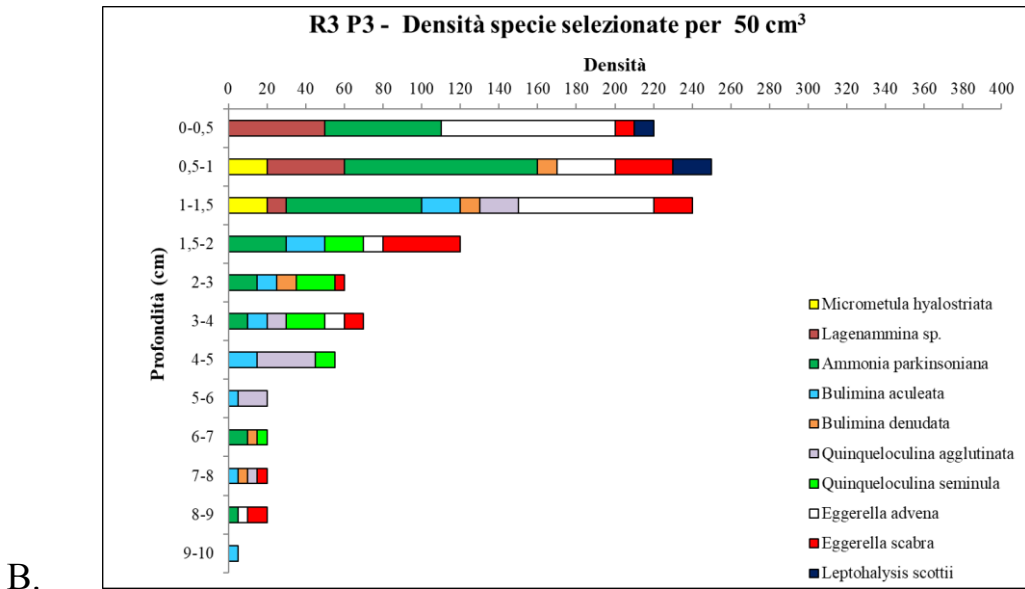
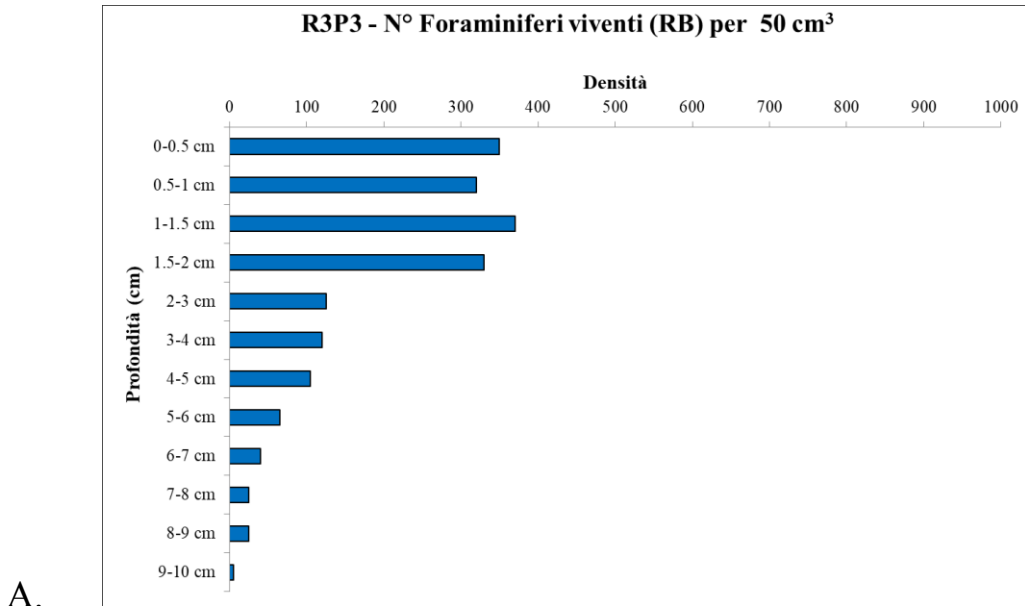


Figura 7.6i: REPLICA R3 PSEUDOREPLICA P3. Il grafico A. descrive la distribuzione verticale degli individui nel sedimento. Il grafico B.

descrive l'abbondanza degli individui di ogni specie, in relazione alla profondità.

7.7 ALD₁₀ e microhabitat della biocenosi (frazione >150 µm)

Per descrivere la distribuzione verticale nel sedimento della fauna totale e dei taxa individuali ed avere un'idea sul microhabitat, è stato effettuato il calcolo dell'ALD₁₀ (Average Living Depth).

In questo lavoro, per ciascuna pseudoreplica è stato calcolato l'ALD₁₀ (profondità di vita media calcolata nell'intervallo 0-10 cm di profondità) delle specie dominanti l'associazione: *Micrometula hyalostriata*, *Lagenammina sp.*, *Ammonia parkinsoniana*, *Ammonia tepida*, *Bulimina aculeata*, *Quinqueloculina seminula*, *Eggerella advena*, *Eggerella scabra*, *Leptohalysis scottii*.

Nella seguente tabella sono riportati i valori per ciascuna di queste specie e tali valori sono stati associati a differenti categorie di microhabitat (secondo Jorissen et al., 1995): epifaunale (0-4 cm), infaunale (4-5 cm) e infaunale profondo (dai 5 cm in giù).

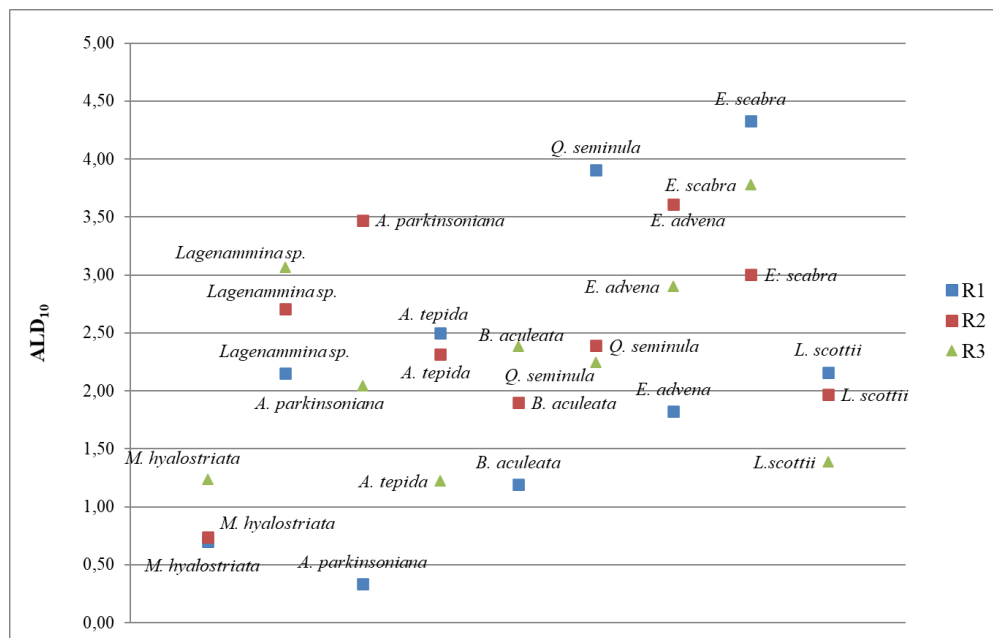
Specie	ALD ₁₀											
	P1	P2	P3	R1	P1	P2	P3	R2	P1	P2	P3	R3
<i>Micrometula hyalostrata</i>	1,16		0,94	0,7		1,07	1,14	0,74	2,53	1,19		1,24
<i>Lagenammina sp.</i>	0,75	2,08	0,25	2,15	3,13	2,13	2,88	2,71	5,13	2,33	1,75	3,07
<i>Ammonia parkinsoniana</i>	0,75	0,25		0,33	1,34	5,5	3,58	3,47	2,02	1,25	2,88	2,05
<i>Ammonia toepida</i>	2,5	3,5	1,5	2,5	3,45		3,5	2,32	1,38	1,75	0,55	1,23
<i>Bulimina aculeata</i>	2,88	0,25	0,45	1,19	0,83	2,04	2,82	1,9	2,72	1,58	2,85	2,38
<i>Quinqueloculina seminula</i>	1,59	4,43	5,7	3,91	1,88	4	1,3	2,39	1,65	1,6	3,5	2,25
<i>Eggerella advena</i>		4,47		1,82	4,39	3,28	3,17	3,61	3,92	1,21	3,58	2,9
<i>Eggerella scabra</i>	4,17	3,25	5,56	4,33	3,5	2,45	3,06	3	7,17	1,05	3,13	3,78
<i>Leptohalysis scottii</i>	2,42	4,06		2,16	1,15	1	3,75	1,97	2	2,17		1,39

Tabella 7.7.1: valori dell'ALD₁₀ per le pseudorepliche di ogni replica (R1, R2, R3) relativi alle specie dominanti l'associazione a foraminiferi bentonici, per la frazione >150 µm.

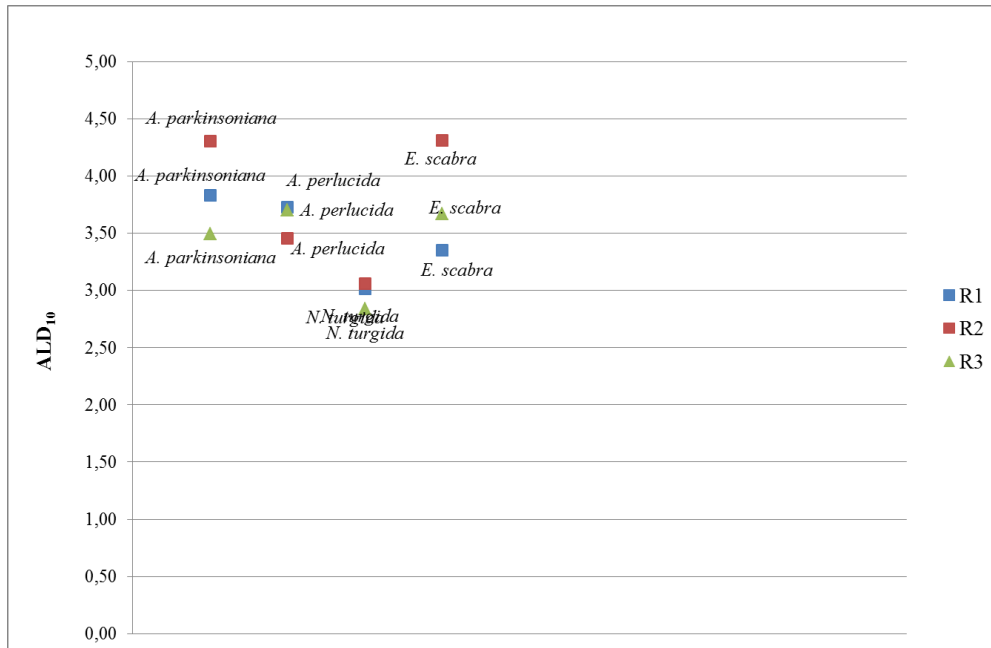
Dalla tabella si evince che le quattro specie presenti in tutte le pseudorepliche sono *Lagenammina sp.*, *Bulimina aculeata*, *Quinqueloculina seminula* ed *Eggerella scabra*. In base ai loro valori, *Lagenammina sp.* è presente nei livelli superficiali, è quindi epifaunale, tranne che nella pseudoreplica P1 della replica R3 dove con un valore di 5,13 diventa infaunale. *Bulimina aculeata* è epifaunale poiché i suoi valori rimangono entro i 3 cm di profondità. *Quinqueloculina seminula* è prevalentemente epifaunale tranne che in due eccezioni, ovvero 4,43 nelle pseudorepliche P2 e P3 della replica R1 e pseudoreplica P2 della replica R2 in cui si osserva ad una profondità tipica di organismi infaunali. *Eggerella scabra* mostra sia caratteristiche epi- sia infaunali, divenendo infaunale profonda (con un valore di 7,1) nella pseudoreplica P1 della replica R3.

Le restanti sono così distribuite: *Micrometula hyalostriata* è epifaunale, come anche *Ammonia parkinsoniana* ed *Ammonia tepida*. *Eggerella advena* è infaunale, mentre *Leptohalysis scottii* è epifaunale.

Questi valori sono stati riportati su un grafico, confrontato poi con quello relativo al lavoro “Valutazione dell’uso delle repliche spaziali per l’analisi delle biocenosi a foraminiferi bentonici negli studi ambientali” (Balducci, 2014):



A.



B.

Figura 7.7a: confronto tra due grafici che evidenziano le medie dei valori dell'ALD₁₀ delle specie dominanti delle associazioni a foraminiferi bentonici. a) grafico relativo al presente lavoro da cui si evince che le specie spaziano da una condizione epifaunale ad una infaunale. b) grafico relativo al lavoro di Balducci (2014), in cui le specie sono per lo più epifaunali.

Successivamente sono stati elaborati anche i dati relativi alla *frazione di taglia 63-150 μm* soltanto per i primi 2 cm di profondità, poiché si ritiene che la maggior parte degli individui di taglia piccola siano concentrati nei primi centimetri di sedimento. Vengono riportati i grafici relativi a densità, composizione tassonomica e distribuzione verticale nel sedimento.

7.8 Densità totale della fauna a foraminiferi bentonici (frazione 63-150 μm)

I grafici successivi (fig. 7.8a) mostrano la densità totale della biocenosi in ogni campione.

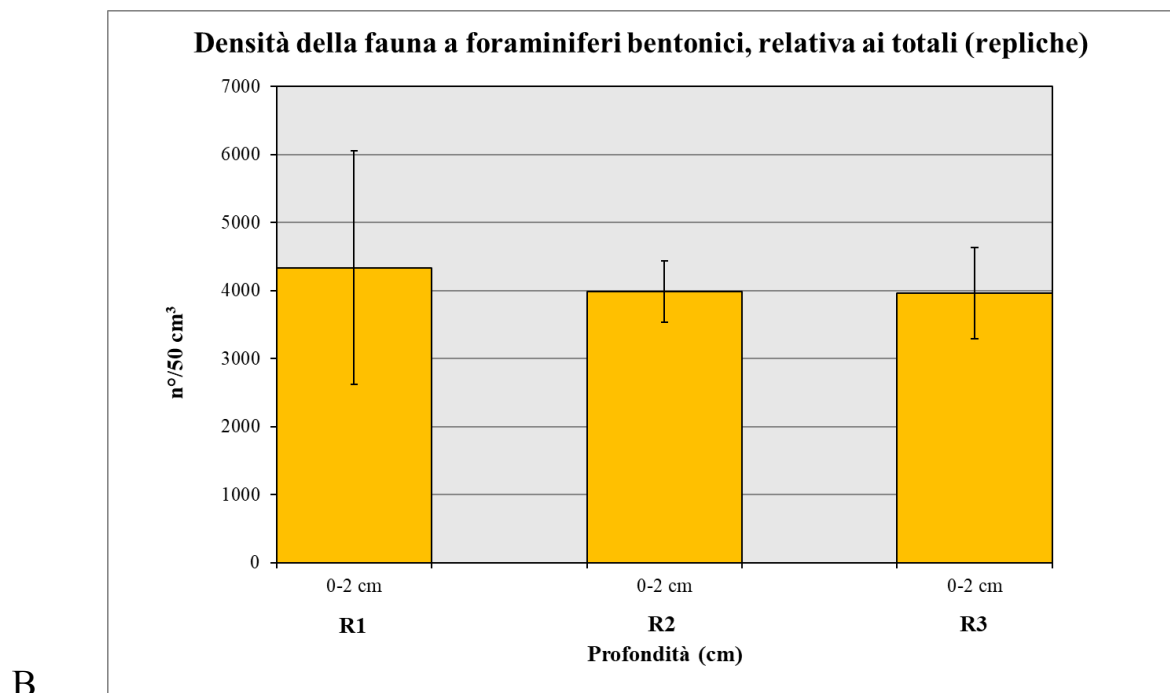
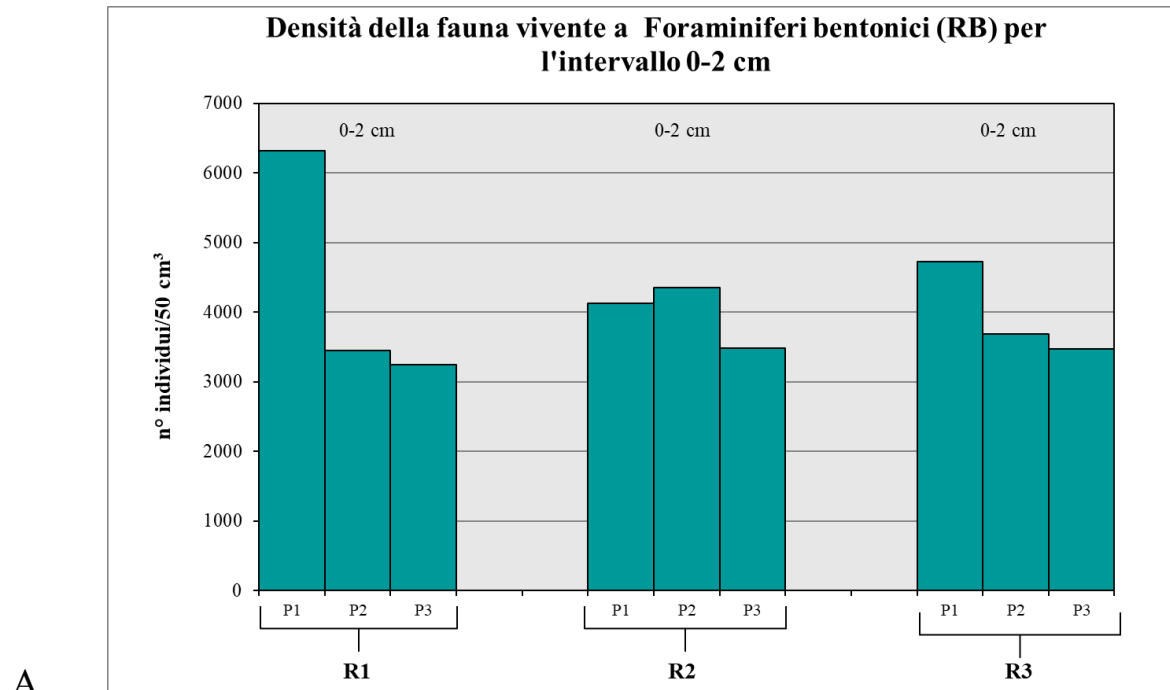


Figura 7.8a: grafico A. densità totale della fauna vivente a foraminiferi bentonici rappresentata per ogni pseudoreplica (P1, P2, P3) delle tre repliche (R1, R2, R3) per il livello 0-2 cm; grafico B. densità totale della biocenosi rappresentata per ogni replica in relazione al livello di profondità 0-2 cm.

I grafici riportati in fig. 7.8a descrivono la densità totale della biocenosi all'interno di ogni replica (R1, R2, R3). Il grafico A. descrive la densità relativa alle singole pseudorepliche per il solo intervallo di profondità 0-2 cm, da cui si evince che la pseudoreplica P1 della replica R1 presenta i valori maggiori, mentre i valori minori sono nella pseudoreplica P3 dell'intervallo 0-2 cm della replica R1 (3240 individui/50 cm³).

Il grafico B. invece descrive le densità relative alle tre repliche R1, R2 e R3 totali per l'intervallo sedimentario 0-2 cm, espresse come valore mediato delle tre pseudorepliche, da cui si evince che la replica R1 presenta la densità maggiore rispetto alle altre due, con un picco 4337 individui/50 cm³.

7.9 *Composizione tassonomica e distribuzione percentuale delle specie principali (frazione 63-150 μm)*

I seguenti grafici A. e B. riportati in fig. 7.9a, descrivono la composizione tassonomica della fauna vivente in relazione alla biocenosi di foraminiferi bentonici mono- e politalamici.

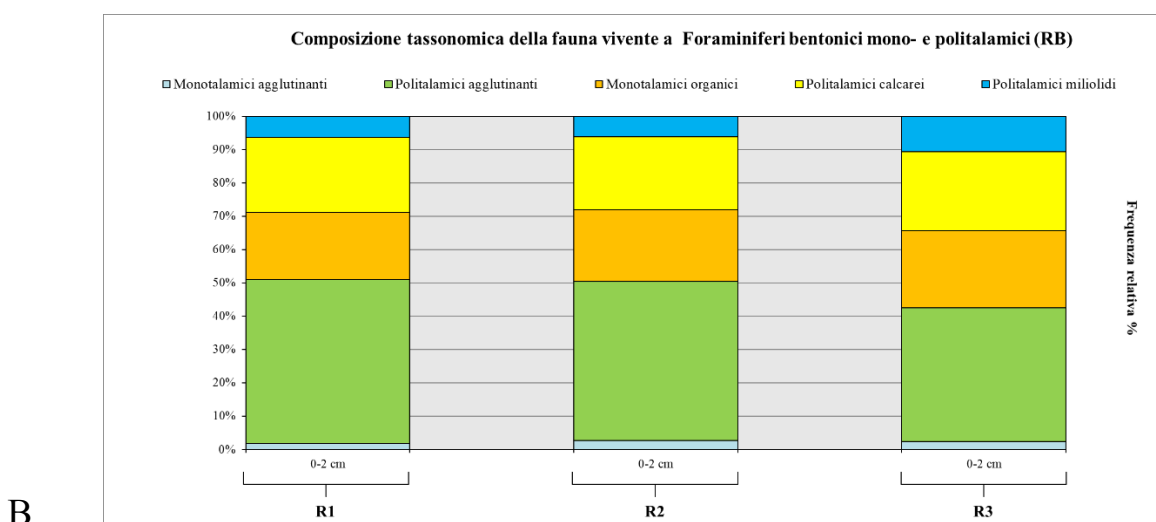
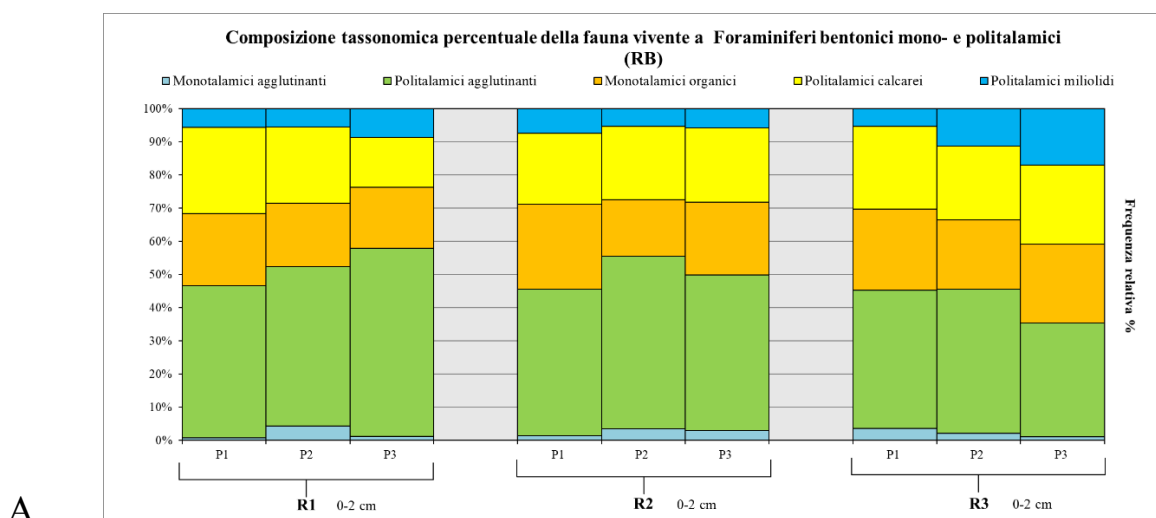
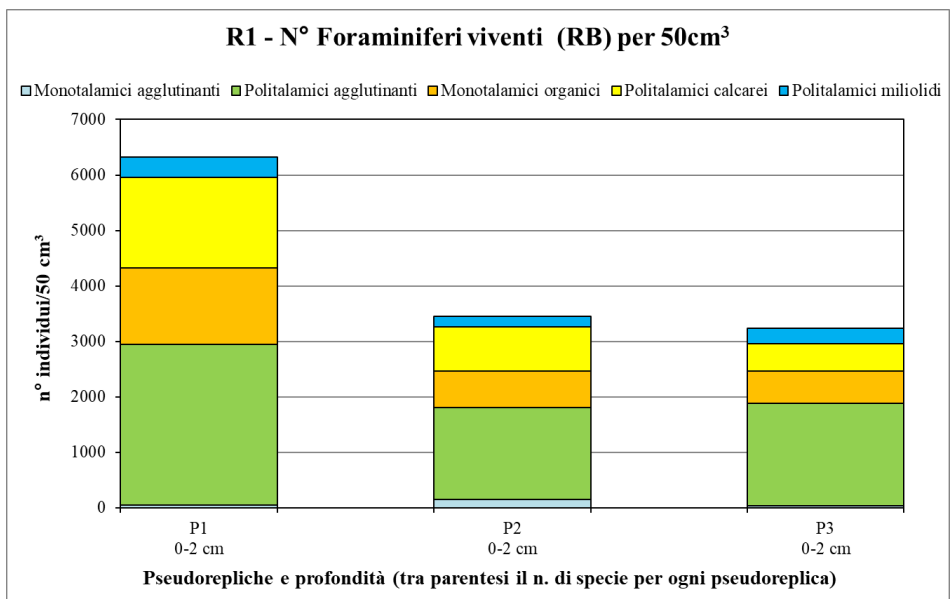


Figura 7.9a: composizione tassonomica della fauna vivente a foraminiferi bentonici per l'intervallo 0-2 cm; grafico A. per ogni pseudoreplica; grafico B. per ogni replica.

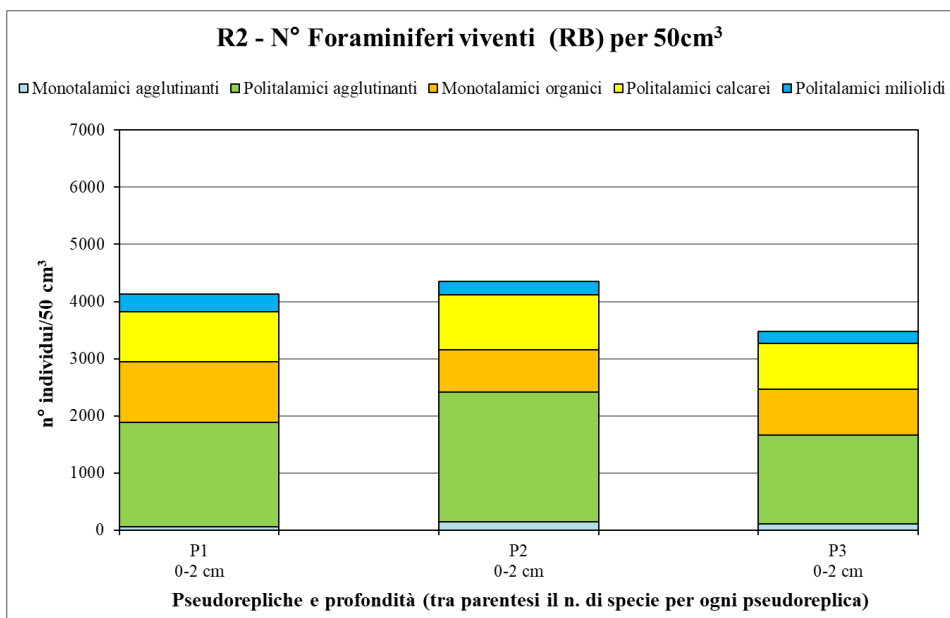
Il grafico A. in figura 7.9a, descrive la composizione tassonomica della fauna a foraminiferi bentonici relativa alle singole pseudorepliche, da cui si evince che confrontando le 9 pseudorepliche, si ha una % di politalamici agglutinanti maggiore rispetto alle altre componenti. Il grafico B. descrive la composizione tassonomica delle tre repliche all'interno delle quali vengono riassunti i dati relativi alle singole pseudorepliche. Le densità totali degli individui (esprese in valori percentuali) nelle tre repliche sono abbastanza simili, soltanto che nella replica R3, c'è una percentuale di politalamici agglutinanti minore rispetto alle repliche R1 e R2.

7.10 Densità della biocenosi a foraminiferi bentonici (frazione 63-150 μm)

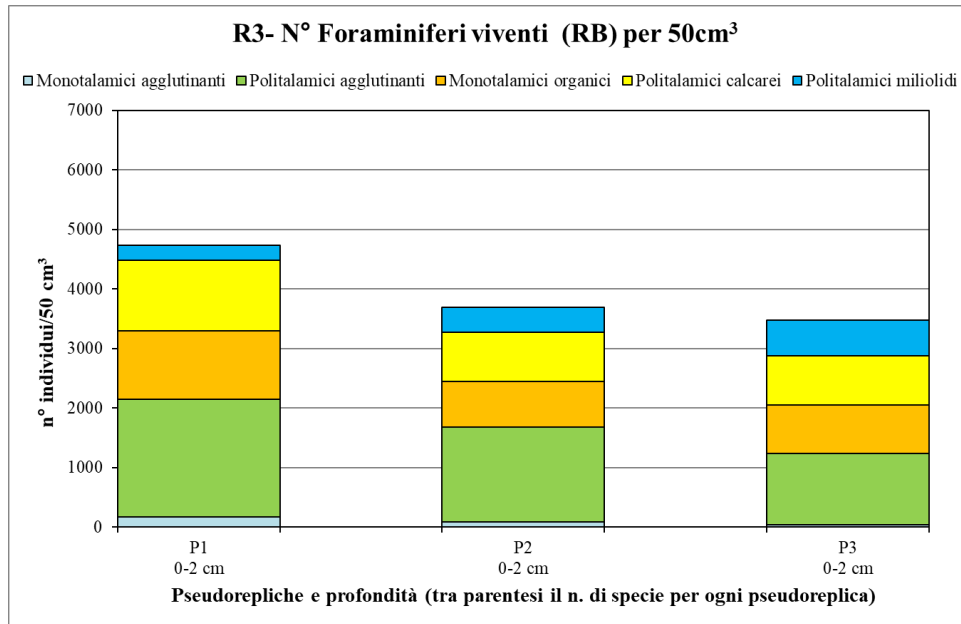
Di seguito sono riportati i grafici relativi alla densità della biocenosi a foraminiferi bentonici, espressa come numero di foraminiferi per 50 cm³, distribuita per composizione tassonomica e del numero di specie per ogni pseudoreplica e replica, in relazione al livello 0-2 cm.



A.



B.



C.

Figura 7.10a: istogrammi della densità della biocenosi a foraminiferi bentonici distribuita per composizione tassonomica e numero di specie per ogni pseudoreplica e replica in base al livello di profondità 0-2 cm. Grafico A. replica R1, grafico B. replica R2, grafico C. replica R3.

Dai tre grafici riportati in fig. 7.10a, relativi alla densità della biocenosi a foraminiferi bentonici, si evince che la distribuzione dei cinque gruppi di foraminiferi segue un andamento diverso tra le tre repliche. Gli agglutinanti politalamici hanno un contributo maggiore rispetto agli altri.

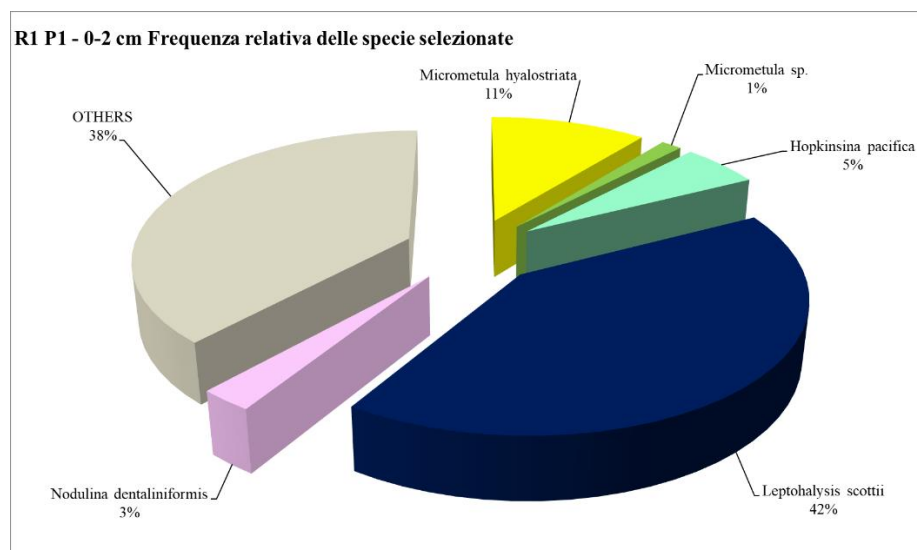
Replica R1: come da figura 7.10a, la pseudoreplica P1 ha un maggiore contributo rispetto alle altre due pseudorepliche P2 e P3. Il gruppo dei politalamici agglutinanti è quello più rappresentato.

Replica R2: come da figura 7.10a, la pseudoreplica P2 offre un maggiore contributo rispetto alle altre due. I foraminiferi politalamici agglutinanti sono di gran lunga superiori agli altri gruppi in tutte e tre le pseudorepliche.

Replica R3: come da figura 7.10a, la pseudoreplica P1 fornisce un maggiore numero di individui rispetto alla P2 e P3. I foraminiferi del gruppo dei politalamici agglutinanti sono dominanti in tutte e tre le pseudorepliche, inoltre nella P3 sono quasi assenti le specie monotalamiche agglutinanti.

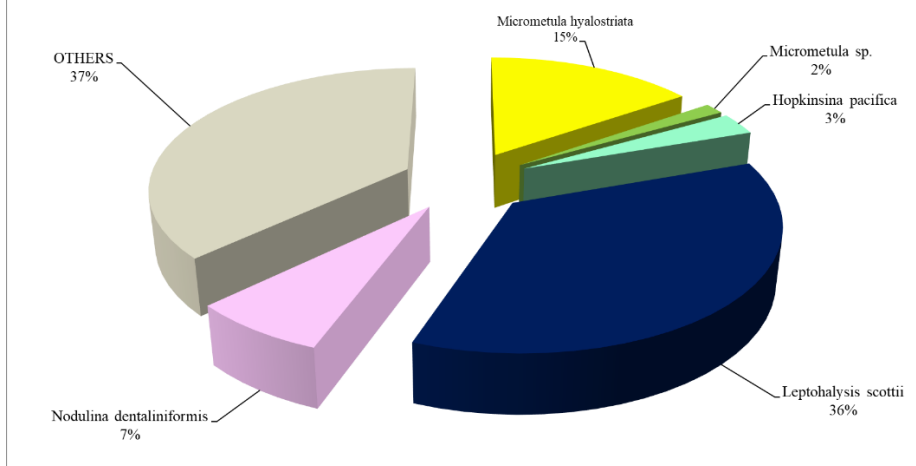
7.11 Distribuzione delle specie più abbondanti (frazione 63-150 µm)

Di seguito sono illustrati i grafici a torta, relativi alla distribuzione delle specie più abbondanti, presenti cioè con una percentuale >5% per tutte le pseudorepliche P1, P2, P3, di ogni replica R1, R2, R3, lungo tutta la frazione di sedimento considerata (0-2 cm).



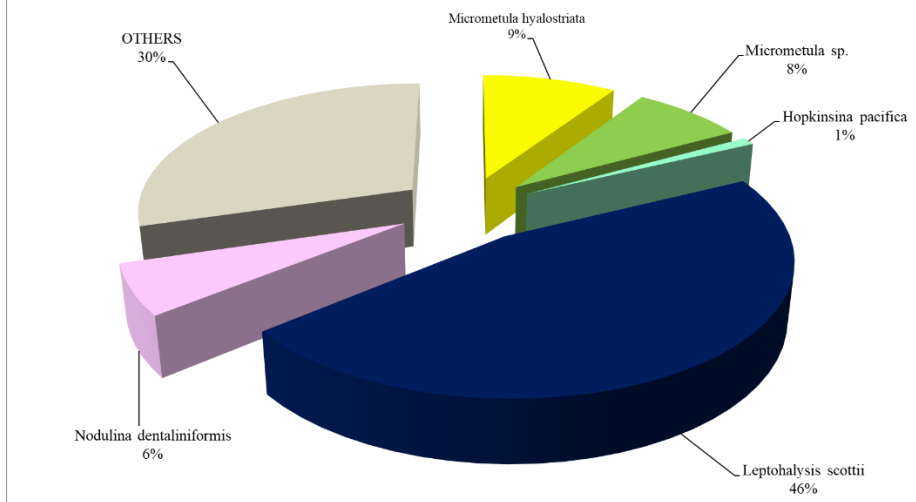
A.

R1 P2 - 0-2 cm Frequenza relativa delle specie selezionate



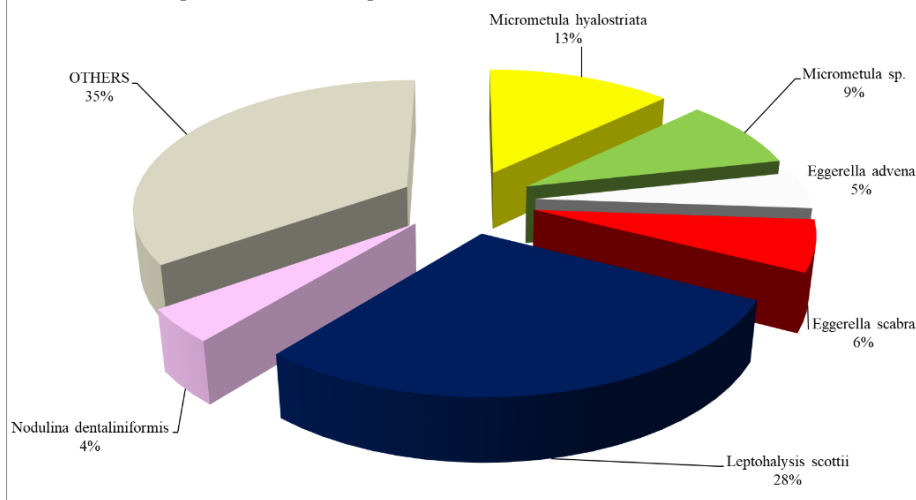
B.

R1 P3 - 0-2 cm Frequenza relativa delle specie selezionate

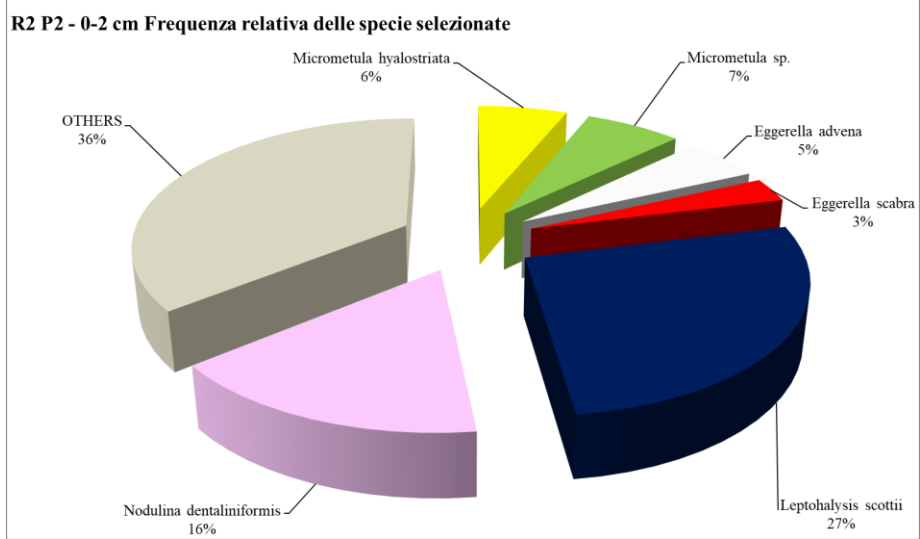


C.

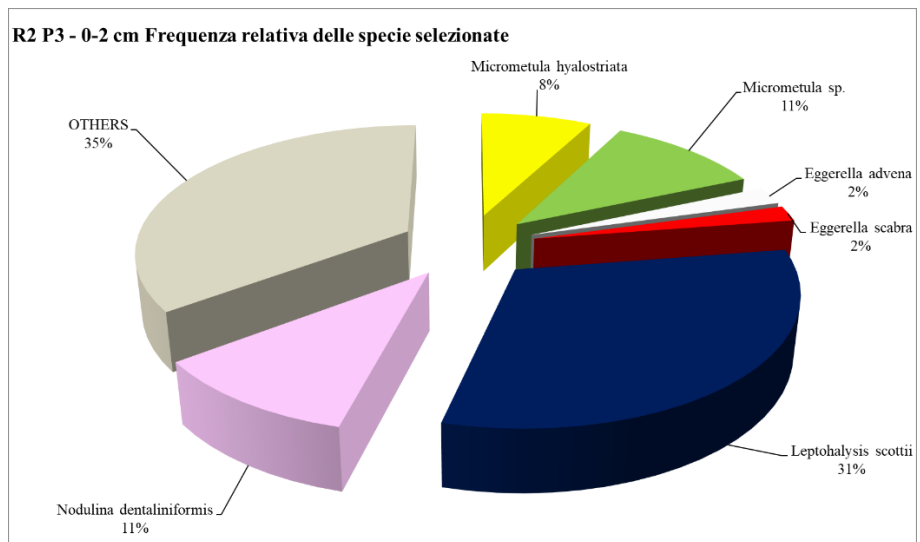
R2 P1 - 0-2 cm Frequenza relativa delle specie selezionate



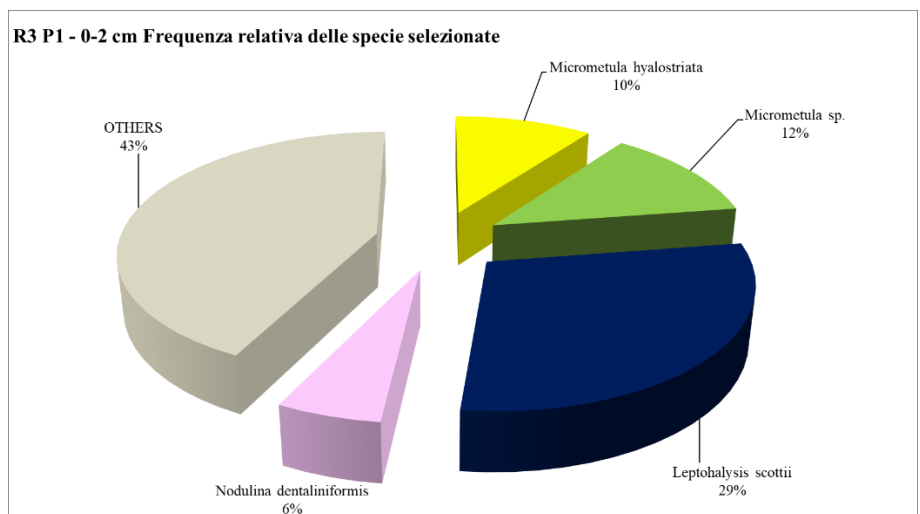
D.



E.



F.



G.

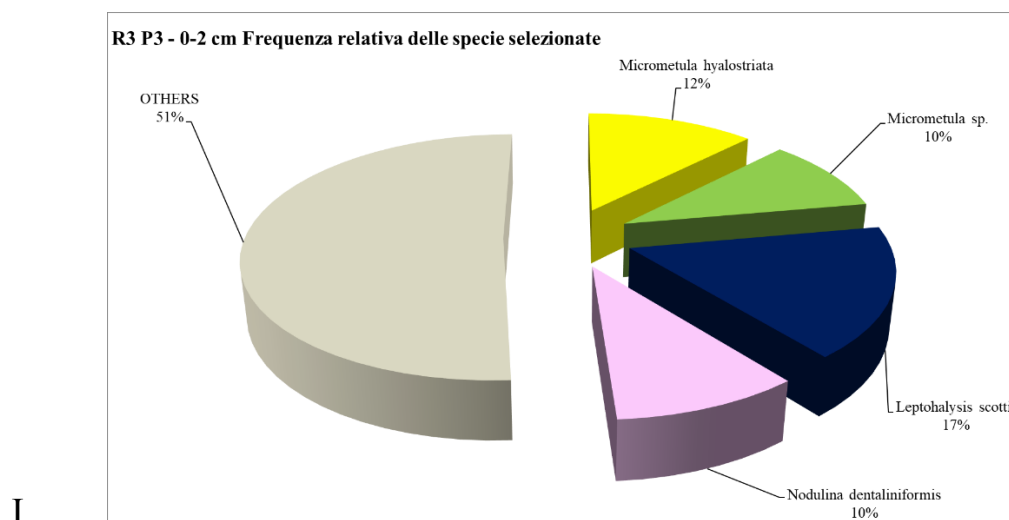
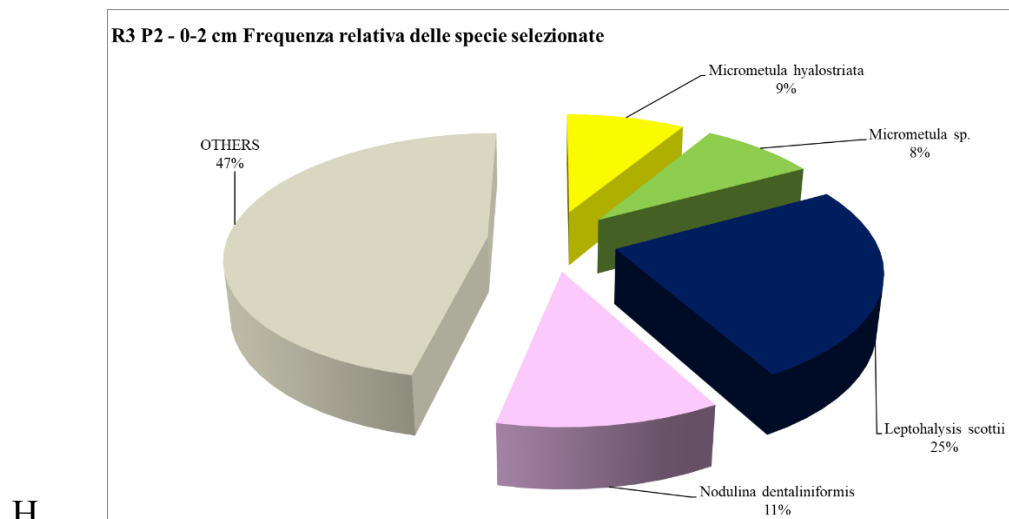


Figura 7.11a: distribuzione percentuale delle specie più abbondanti (>5%): A. R1P1, B. R1P2, C. R1P3, D. R2P1, E. R2P2, F. R2P3, G. R3P1, H. R3P2, I. R3P3.

REPLICA R1

Nella pseudoreplica P1 prevale la specie *Leptohalysis scottii* con una percentuale del 42%. Nella pseudoreplica P2 come prima prevale

Leptohalysis scottii con il 42%. Nella pseudoreplica P3 prevale *Leptohalysis scottii* con il 46%.

REPLICA R2

Nella pseudoreplica P1 la specie *Leptohalysis scottii* ha la più alta percentuale delle specie indicate, con un valore del 28%. Nella pseudoreplica P2 la specie *Leptohalysis scottii* ha una percentuale del 27%. Nella pseudoreplica P3 la specie *Leptohalysis scottii* è presente con un valore del 31%.

REPLICA R3

Nella pseudoreplica P1 la specie prevalente è *Leptohalysis scottii* con il 29%. Nella pseudoreplica P2, la specie che prevale è *Leptohalysis scottii* che si trova qui al 25%. Nella pseudoreplica P3 prevale la specie *Leptohalysis scottii* con il 17% e a seguire *Micrometula hyalostriata* con il 12%.

La frazione indicata sotto il nome “*OTHERS*” non rientra nella descrizione percentuale, in quanto non considerata rappresentativa delle biocenosi a foraminiferi bentonici viventi, poiché composta da specie che hanno valori percentuali molto bassi rispetto alla soglia del 5%.

7.12 Indici di diversità (frazione 63-150 μm)

I valori di biodiversità sono riportati nella seguente tabella:

	0-2 cm		
	R1	R2	R3
Dominance_D	0,2156	0,1283	0,1125
Simpson_1-D	0,7844	0,8717	0,8875
Shannon_H	2,495	2,699	2,687
Evenness_e^H/S	0,181	0,3302	0,4588
Equitability_J	0,5934	0,709	0,7752
Fisher_alpha	15,22	9,305	6,199

Tabella 7.12.1: valori degli indici di diversità che descrivono la biocenosi vivente a foraminiferi bentonici, in relazione alle tre repliche R1, R2, R3 per quanto riguarda l'intervallo di profondità 0-2 cm.

Dalla tabella 7.12.1 si evince che l'indice di dominanza (D e D-1) indicano valori abbastanza costanti in tutte le repliche fino alla profondità considerata (0-2 cm), anche se l'andamento costante è più evidente nell'indice D-1 ad indicare un ambiente in buono stato in quanto i valori sono prossimi all'1.

Shannon Wiener (H): i valori indicano una buona presenza di specie.

Equitabilità: valore più basso registrato in R1 (0,5934), valore più alto registrato in R3 (0,7752) ad indicare che in questo secondo caso ci si avvicina ad una uguale % di frequenza delle specie.

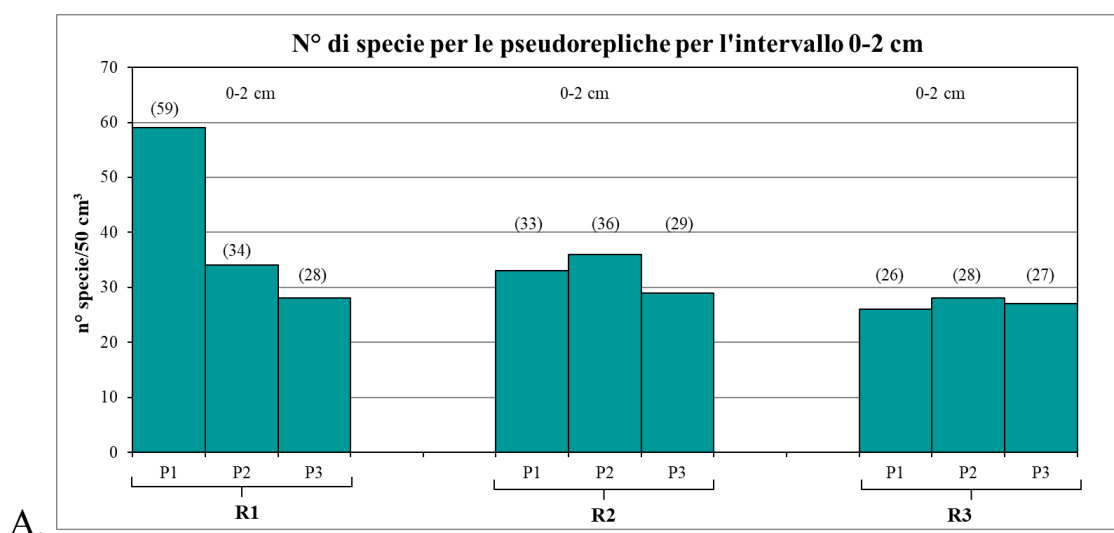
Fisher: il valore più alto in R1 (15,22) ad indicare una maggiore diversità

specifica, il valore più basso si registra in R3 (6,199) ad indicare nella terza replica una minore diversità specifica.

Per quanto riguarda invece il numero di specie, i risultati sono i seguenti riportati in tabella:

	Numero specie		
	0-2 cm		
	P1	P2	P3
R1	59	34	28
R2	33	36	29
R3	26	28	27

Tabella 7.12.2: numero di specie riscontrato all'interno di ogni calata (replica) e pseudoreplica, in base ai tre intervalli di sedimento considerati (0-2 cm, 0-5 cm, 0-10 cm).



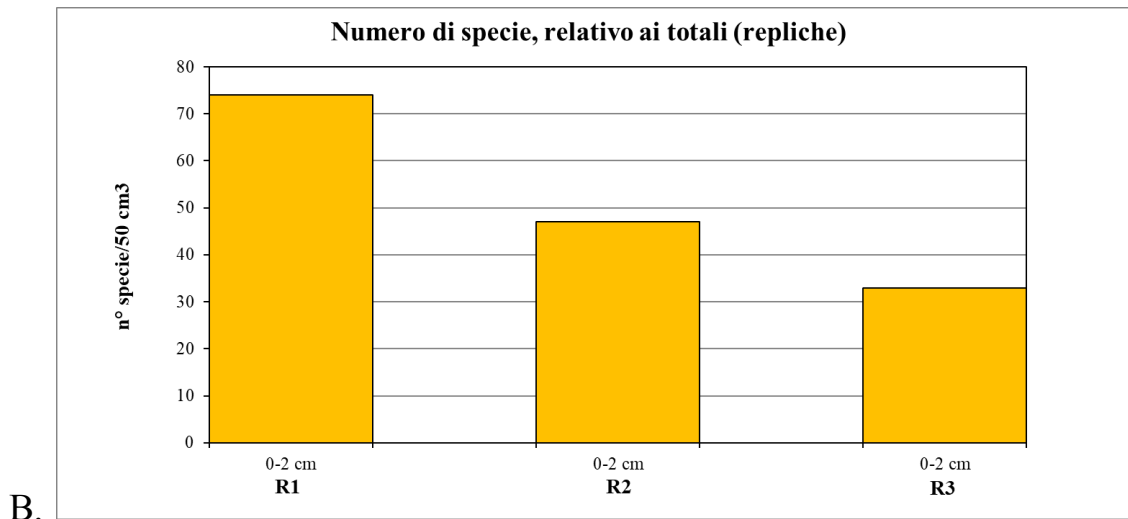


Figura 7.12a: numero di specie A. per ogni pseudoreplica (P1, P2, P3) relativamente al livello 0-2 cm; B. per ogni replica (R1, R2, R3) in relazione all'intervallo 0-2 cm.

Nel grafico a) viene descritto il numero di specie trovato in ciascuna delle pseudorepliche (P1, P2, P3) di R1, R2 ed R3 per l'intervallo 0-2 cm. Il numero di specie più alto, pari a 59 è stato osservato nella pseudoreplica P1 all'interno della replica R1. Il valore più basso (26) è stato riscontrato nella pseudoreplica P1 della replica R3.

Nel grafico b) si riporta invece il numero delle specie relativo ai totali, ovvero in ognuna delle tre repliche R1, R2 ed R3, sempre in relazione al solo intervallo 0-2 cm. Il numero di specie più elevato è pari a 74 ed è stato trovato nella replica R1. Il numero di specie più basso è 33, osservato nella replica R3.

7.13 Distribuzione verticale nel sedimento dei foraminiferi bentonici: densità e composizione tassonomica (frazione 63-150 µm)

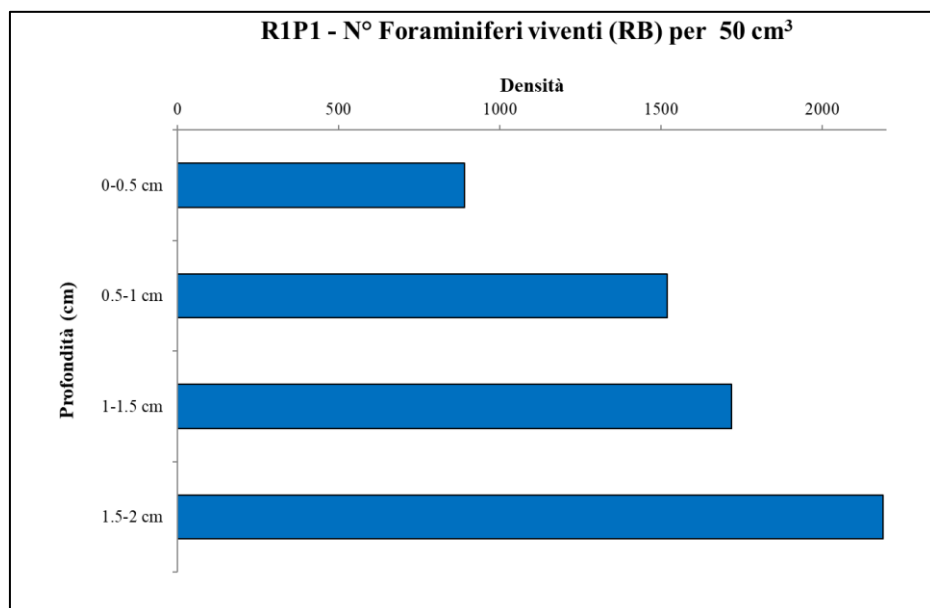
La densità è stata calcolata su un volume di 50 cm³, in funzione della profondità. Ogni replica è descritta da due grafici. Nel primo è indicato l'andamento generale della densità della pseudoreplica in relazione alla profondità (in questo caso 0-2 cm), nel secondo grafico sono state rappresentate soltanto le specie che in seguito al calcolo della frequenza relativa % mostravano un'abbondanza >5%, calcolata sull'intera carota.

REPLICA R1

La pseudoreplica P1 manifesta un andamento crescente man mano che si arriva all'intervallo 1,5-2 cm con un picco di densità di 2190 individui/50 cm³ (figura sotto). Le specie qui riscontrabili sono, per quanto riguarda la componente monotalamica organica, *Micrometula hyalostriata* che si manifesta in tutti e quattro gli intervalli con una densità massima di 240 individui riscontrabile nell'intervallo 0,5-1 cm; troviamo poi *Micrometula sp.* che è presente in piccole quantità in tutti gli intervalli, con una densità massima di 30 individui nell'intervallo superficiale 0-0,5 cm. È assente la componente monotalamica agglutinante.

Le specie politalamiche calcaree sono rappresentate soltanto da *Hopkinsina pacifica* che si riscontra in tutti gli intervalli con maggiore densità nell'intervallo 1-1,5 cm.

La componente politalamica agglutinante vede una massiccia presenza di *Leptohalysis scottii* con una densità pari a 630 individui nell'intervallo subsuperficiale 0,5-1 cm, 550 individui nell'intervallo successivo 1-1,5 cm e un picco massimo di 1380 individui nell'intervallo 1,5-2 cm. Infine, troviamo *Nodulina dentaliniformis* in piccole quantità, ma con una densità maggiore, di 80 individui, nell'intervallo iniziale 0-0,5 cm.



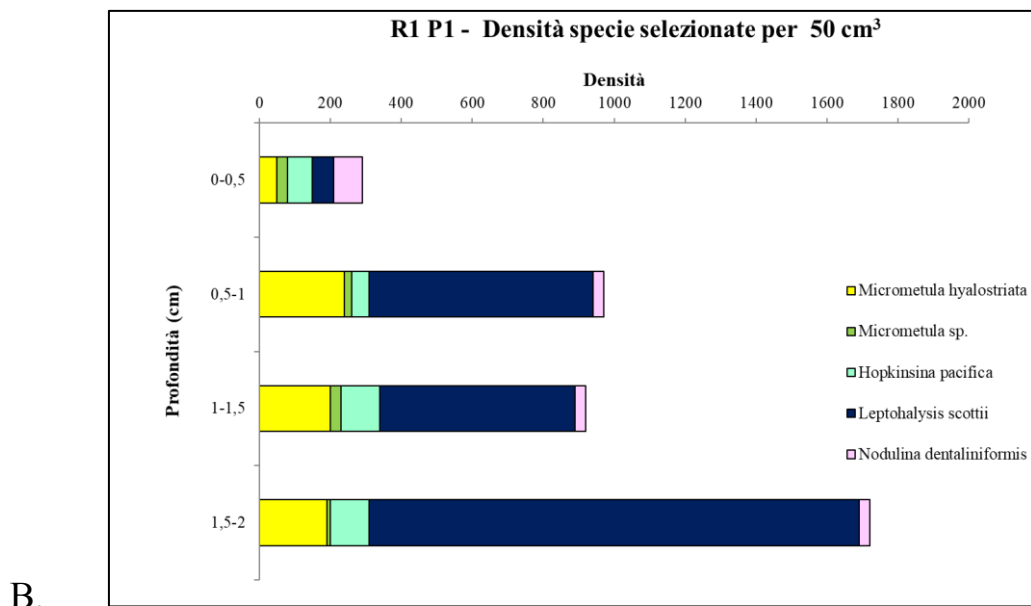


Figura 7.13a: REPLICA R1 PSEUDOREPLICA P1. il grafico A. descrive la distribuzione verticale degli individui nel sedimento. Il grafico B. descrive l'abbondanza degli individui di ogni specie, in relazione alla profondità.

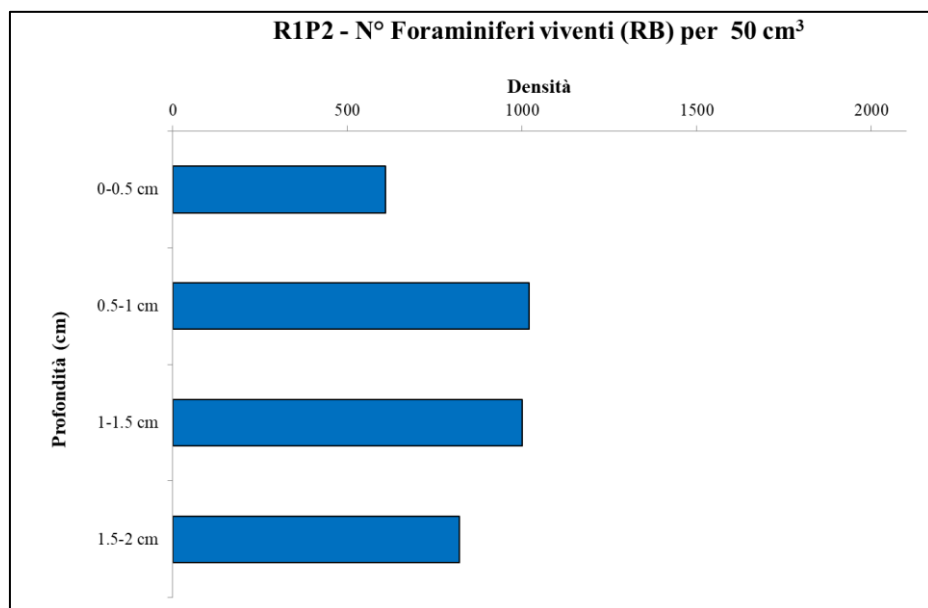
La pseudoreplica P2 ha un'abbondanza decisamente minore della P1, infatti troviamo un picco massimo di individui pari a 1020 individui/50 cm³ nell'intervallo 0,5-1 cm, inoltre presenta un andamento non lineare in quanto gli intervalli centrali sono caratterizzati da densità maggiori rispetto a quello iniziale e a quello finale.

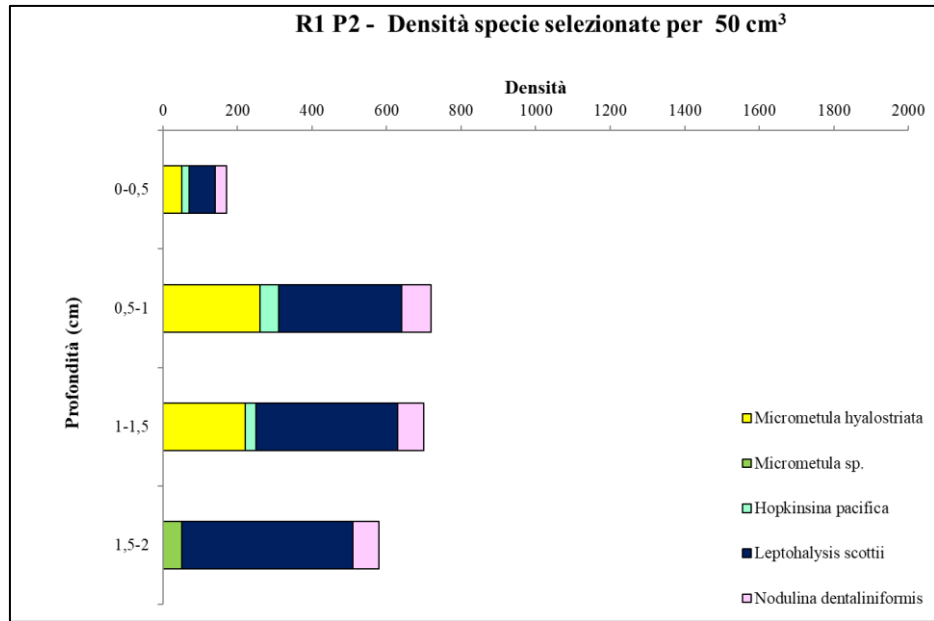
Considerando la densità delle specie selezionate, distinguiamo per la componente monotalamica organica, *Micrometula hyalostrata* con una presenza significativa nell'intervallo 0,5-1 cm (260 individui), è presente

anche *Micrometula sp.*, però soltanto nell'intervallo 1,5-2 cm con 50 individui. Anche qui, come la pseudoreplica P1, manca la componente monotalamica agglutinante.

Per la componente politalamica calcarea troviamo *Hopkinsina pacifica* con densità non rilevanti e assente nell'intervallo 1,5-2 cm.

La componente agglutinante fornisce valori interessanti per *Leptohalysis scottii* poiché la sua densità è maggiore nell'intervallo 1,5-2 cm con un valore di 460 individui. *Nodulina dentaliniformis* invece presenta valori minori della specie precedente con una densità pressoché costante, che si aggira tra i 30 e gli 80 individui.





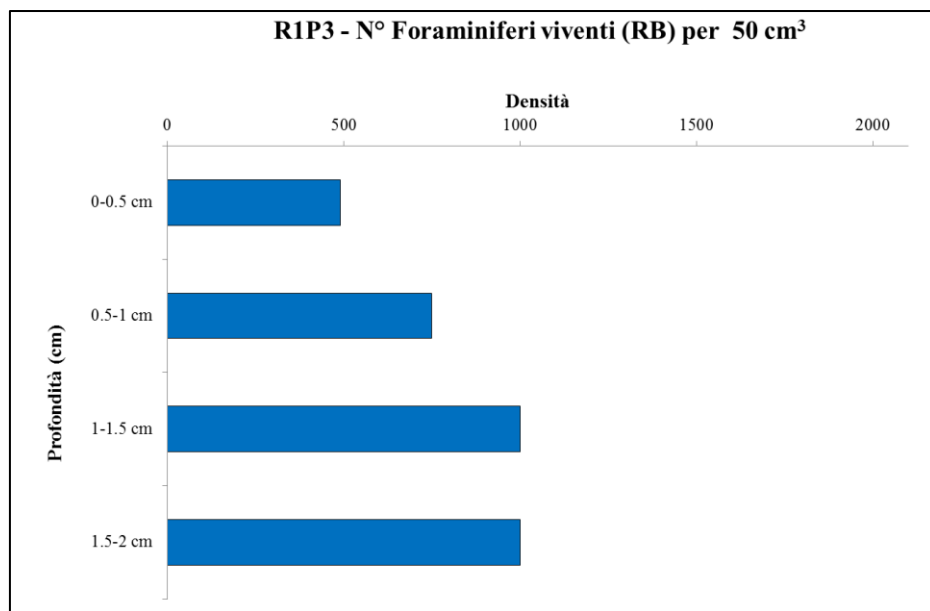
B.

Figura 7.13b: REPLICA R1 PSEUDOREPLICA P2. il grafico A. descrive la distribuzione verticale degli individui nel sedimento. Il grafico B. descrive l'abbondanza degli individui di ogni specie, in relazione alla profondità.

La pseudoreplica P3 ha un profilo crescente con la profondità, infatti la densità massima calcolata corrispondente a 1000 individui è riscontrabile negli intervalli 1-1,5 cm e 1,5-2 cm.

La specie monotalamica organica *Micrometula hyalostrata* si manifesta soltanto negli intervalli da 0,5-1 cm a 1,5-2 cm, con un leggero aumento con la profondità, fino ad un massimo di 120 individui nell'ultimo intervallo. *Micrometula sp.* invece ha una densità minore che rimane pressoché costante nei quattro intervalli.

La componente politalamica calcarea vede la presenza di *Hopkinsina pacifica* soltanto nei tre intervalli successivi al primo superficiale. Infine, la componente politalamica agglutinante è caratterizzata da *Leptohalysis scottii* che ha una densità crescente con la profondità fino ad un picco massimo di 590 individui nell'intervallo 1,5-2 cm. *Nodulina dentaliniformis* ha densità minori ma relativamente costanti da un intervallo al successivo. Anche qui manca la componente monotalamica agglutinante.



A.

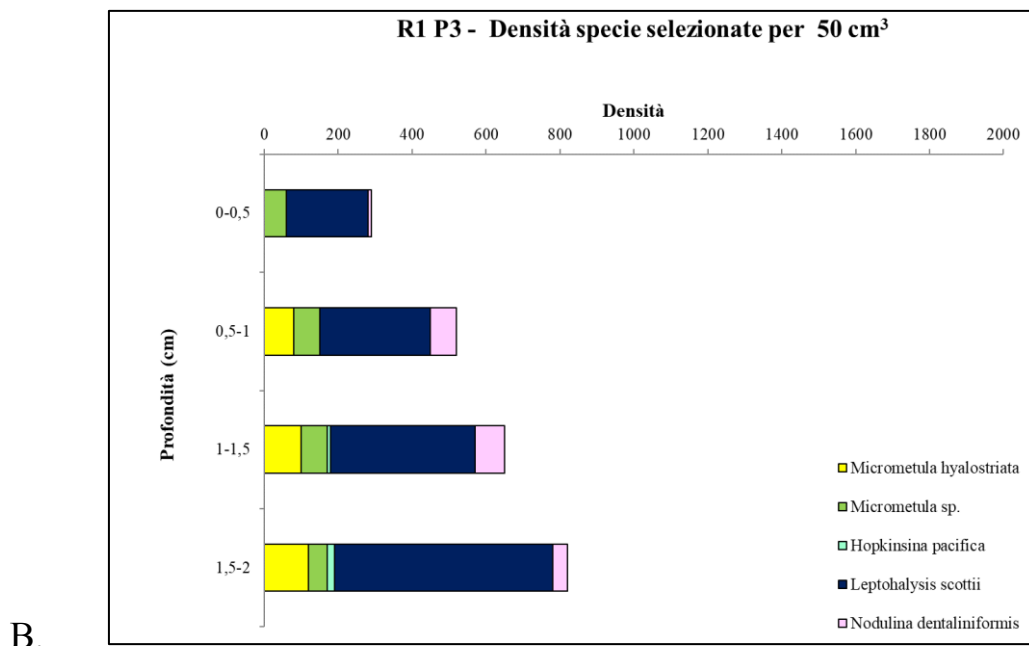


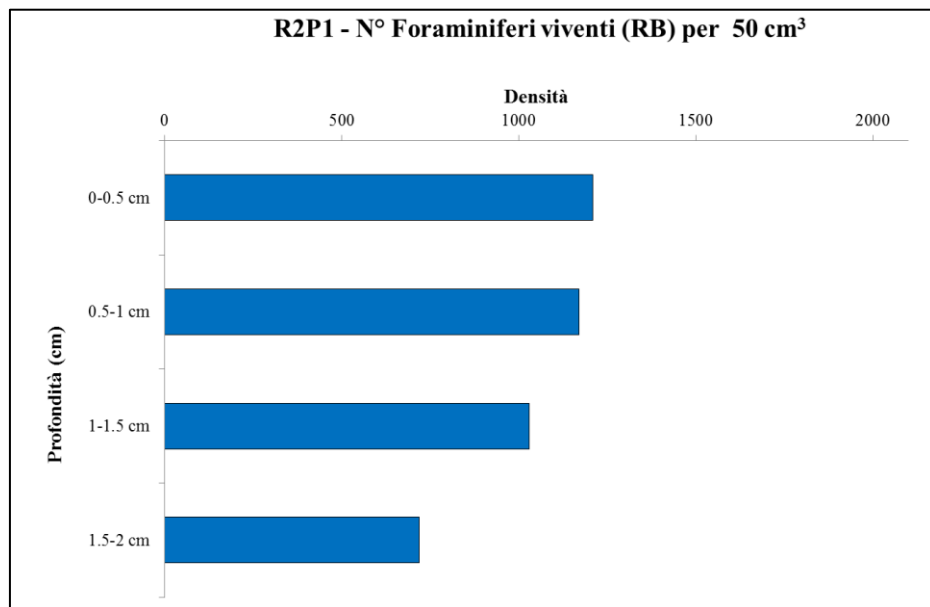
Figura 7.13c: REPLICA R1 PSEUDOREPLICA P3. il grafico A. describe la distribuzione verticale degli individui nel sedimento. Il grafico B. describe l'abbondanza degli individui di ogni specie, in relazione alla profondità.

REPLICA R2

La pseudoreplica P1 ha una densità decrescente con la profondità, massima abbondanza nel primo intervallo 0-0,5 cm con 1210 individui.

La componente organica è rappresentata da *Micrometula hyalostrata* che ha una densità scostante lungo i quattro intervalli, maggiormente abbondante nel primo. *Micrometula sp.* presenta più individui nel secondo intervallo 0,5-1 cm con 150 individui. Sono assenti la componente monotalamica agglutinante, la

componente politalamica calcarea e miliolidi. Per la frazione calcarea agglutinante è presente *Eggerella advena* con una densità che oscilla tra i 20 e i 60 individui (quest'ultimo valore è riscontrabile nei primi due intervalli 0-0,5 cm e 0,5-1 cm), *Eggerella scabra* con una densità che diminuisce fortemente nell'ultimo intervallo passando dai 70 individui dell'intervallo 1-1,5 cm ai 30 dell'intervallo 1,5-2 cm, *Leptohalysis scottii* ha una densità preponderante sulle altre specie con un picco di abbondanza nell'intervallo 0,5-1 cm rappresentato da 400 individui. Infine, l'ultima specie qui presente per la componente politalamica agglutinante è *Nodulina dentaliniformis* che ha una massima densità nel primo intervallo superficiale.



A.

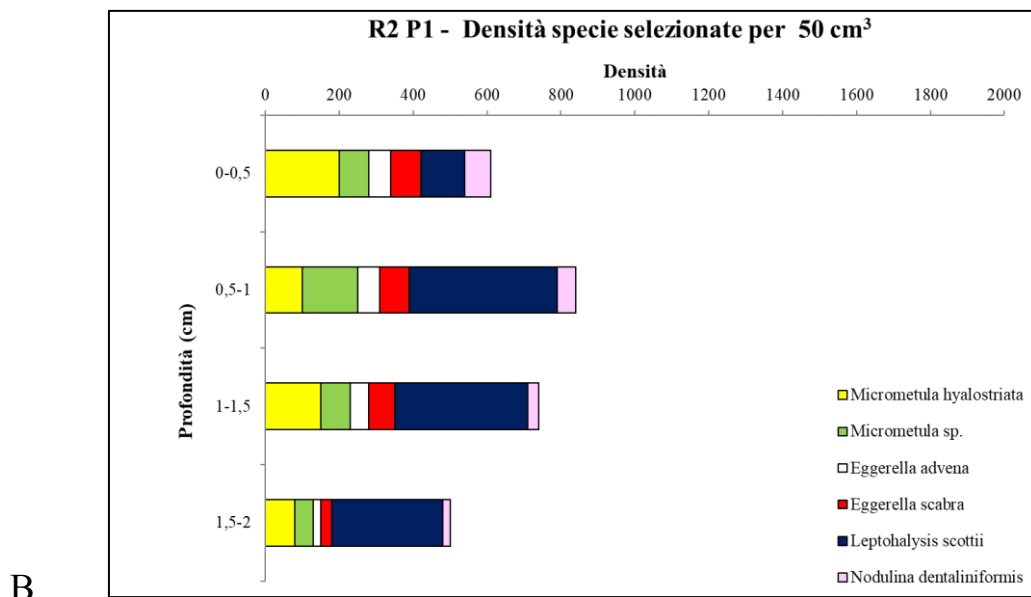
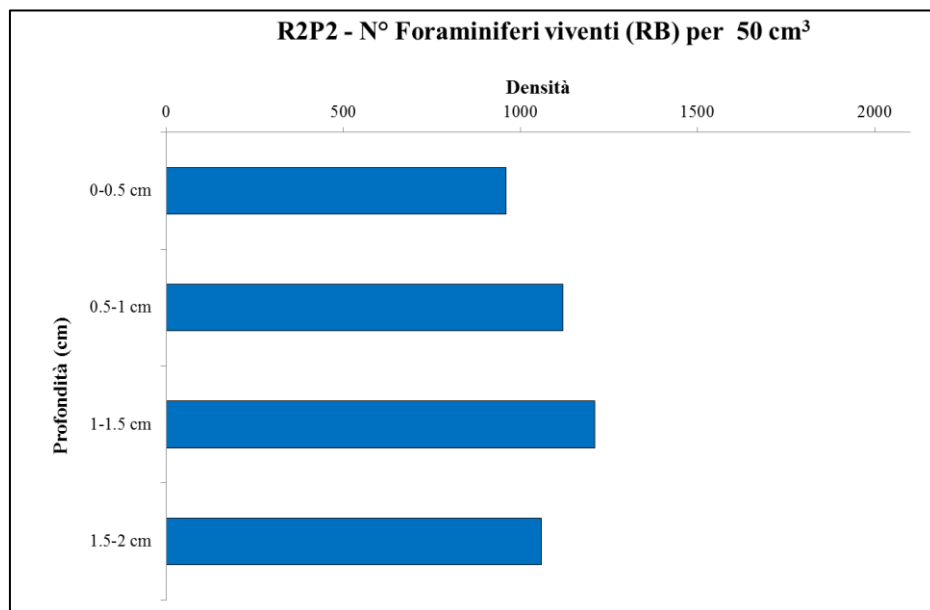


Figura 7.13d: REPLICA R2 PSEUDOREPLICA P1. il grafico A. descrive la distribuzione verticale degli individui nel sedimento. Il grafico B. descrive l'abbondanza degli individui di ogni specie, in relazione alla profondità.

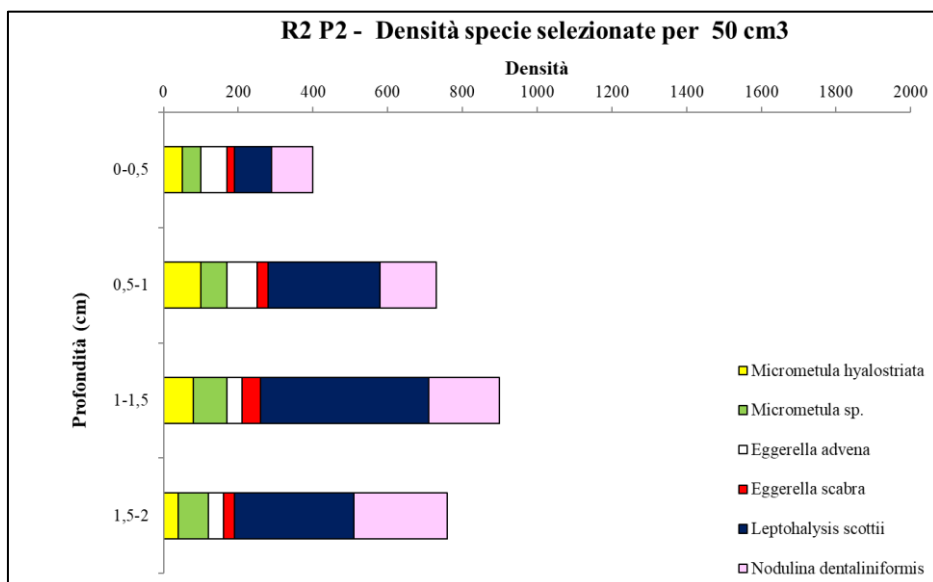
La pseudoreplica P2 ha un profilo costante lungo la carota, con una densità massima individuabile nell'intervallo 1-1,5 cm, in cui sono presenti 1210 individui. Considerando le specie, per la componente monotalamica organica distinguiamo *Micrometula hyalostriata* che ha una densità abbastanza costante lungo la carota, *Micrometula sp.* che presenta un maggior numero di individui con un picco massimo di 90 individui nel terzo intervallo 1-1,5 cm.

La componente politalamica agglutinante comprende *Eggerella advena* che ha densità simile nei primi due intervalli, *Eggerella scabra* che presenta valori

più esigui, *Leptohalysis scottii* ha una densità preponderante con 450 individui nel terzo intervallo 1-1,5 cm ed infine *Nodulina dentaliniformis* che presenta una densità massima nell'intervallo finale 1,5-2 cm con 250 individui.



A.

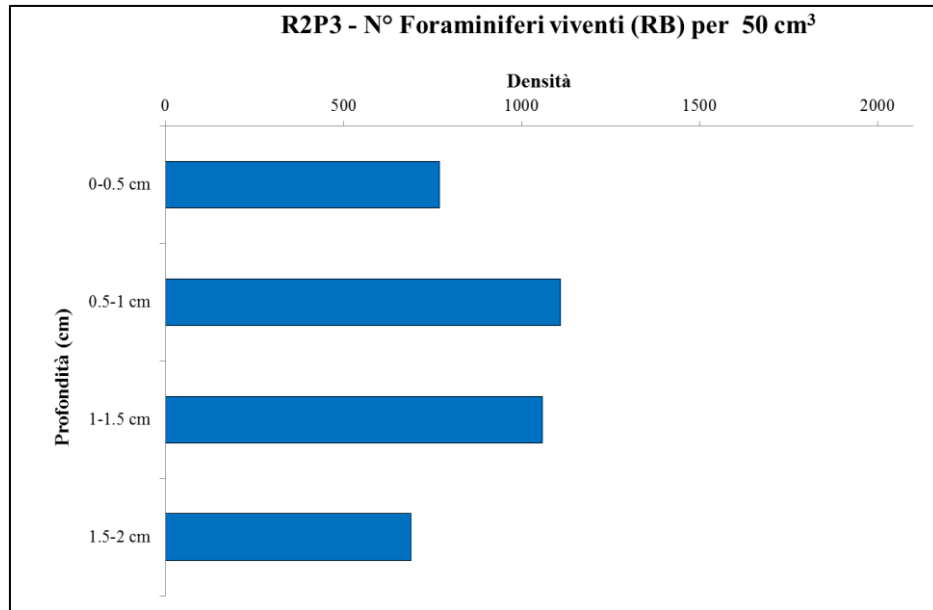


B.

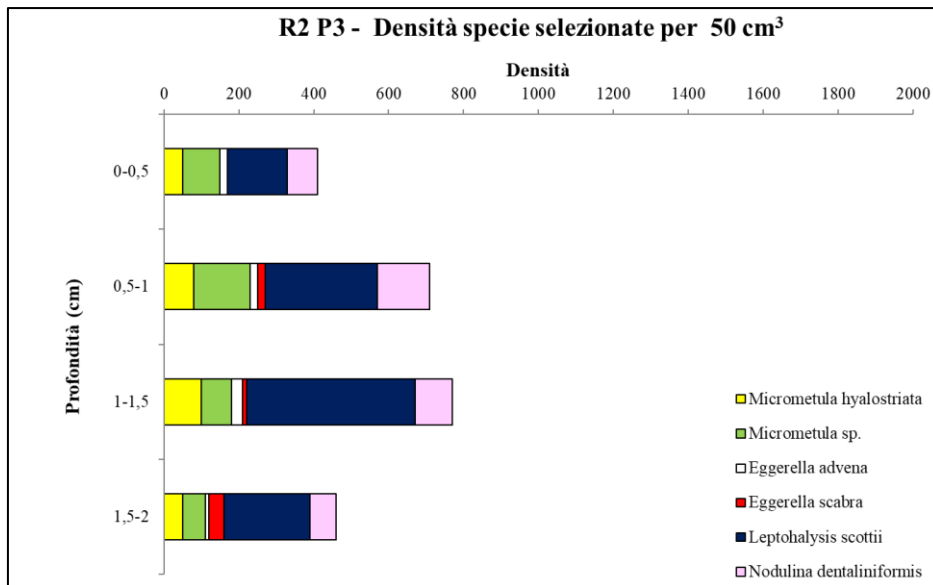
Figura 7.13e: REPLICA R2 PSEUDOREPLICA P2. il grafico A. descrive la distribuzione verticale degli individui nel sedimento. Il grafico B. descrive l'abbondanza degli individui di ogni specie, in relazione alla profondità.

La pseudoreplica P3 presenta una densità che aumenta negli intervalli centrali, il picco massimo di abbondanza si registra nell'intervallo 0,5-1 cm con 1110 individui. Considerando le specie monotalamiche organiche *Micrometula hyalostriata* ha dei valori di densità che oscillano tra i 50 e i 100 individui, *Micrometula sp.* ha una densità maggiore nel secondo intervallo 0,5-1 cm con 150 individui.

La componente politalamica agglutinante vede la presenza di *Leptohalysis scottii* con massima densità di 450 individui nell'intervallo 1,5-2 cm, infine *Nodulina dentaliniformis* ha una densità massima di 140 individui nel secondo intervallo.



A.

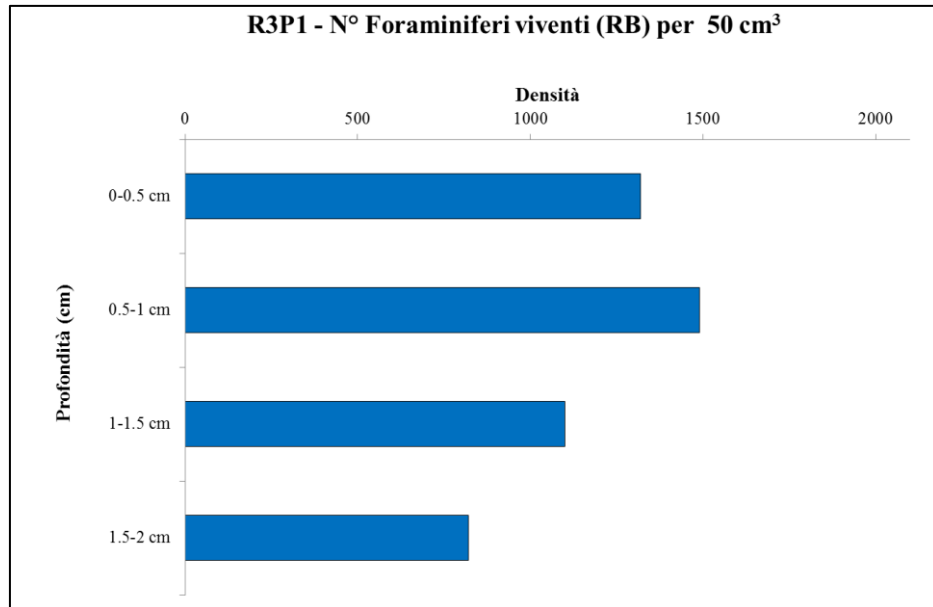


B.

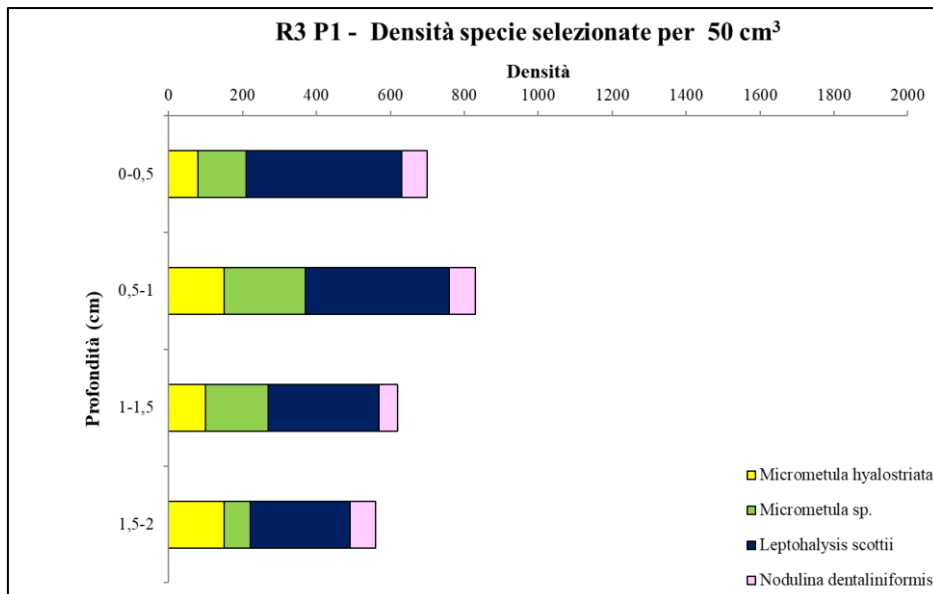
Figura 7.13f: REPLICA R2 PSEUDOREPLICA P3. il grafico A. descrive la distribuzione verticale degli individui nel sedimento. Il grafico B. descrive l'abbondanza degli individui di ogni specie, in relazione alla profondità.

REPLICA R3

La pseudoreplica P1 ha un profilo che diminuisce con la profondità a partire dalla frazione 1-1,5 cm, la densità massima la si evidenzia nell'intervallo 0,5-1 cm con 1490 individui. Considerando le specie monotalamiche organiche c'è una bassa presenza di *Micrometula hyalostriata* che mostra un picco massimo di individui nell'intervallo 0,5-1 cm con un valore di 150. A seguire l'altra specie *Micrometula sp.* che nell'ultimo intervallo mostra una drastica diminuzione a differenza degli altri tre intervalli, la sua densità massima di 220 individui è nell'intervallo 0,5-1 cm. Manca tutta la componente politalamica calcarea e miliolidi, mentre quella agglutinante è rappresentata da *Leptohalysis scottii* che manifesta il massimo numero di individui (420) nel primo intervallo 0-0,5 cm diminuendo gradualmente con la profondità, e da *Nodulina dentaliniformis* che è esiguamente presente con una densità massima in tre livelli, quali 0-0,5 cm, 0,5-1 cm e 1,5-2 cm.



A.

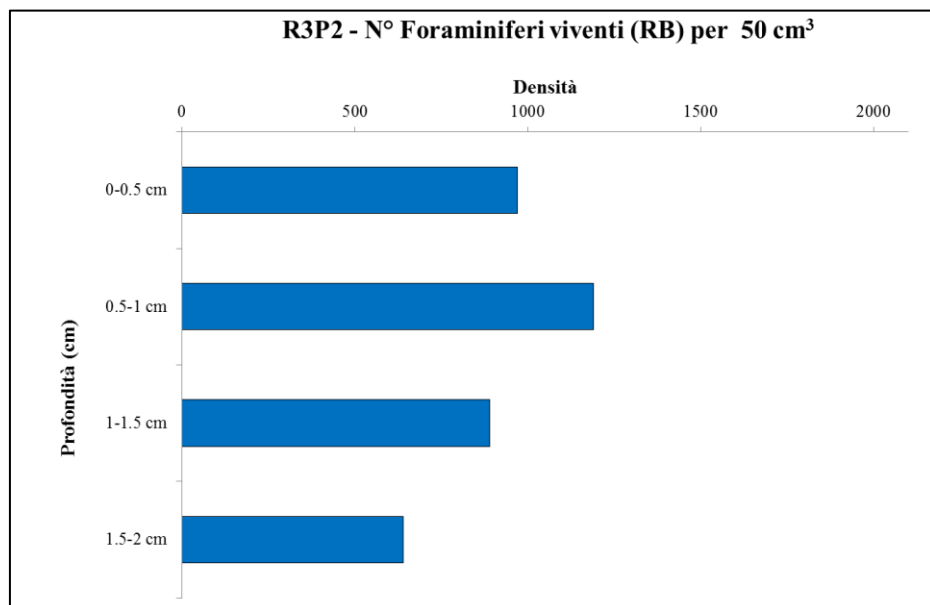


B.

Figura 7.13g: REPLICA R3 PSEUDOREPLICA P1. il grafico A. descrive la distribuzione verticale degli individui nel sedimento. Il grafico B. descrive l'abbondanza degli individui di ogni specie, in relazione alla profondità.

La pseudoreplica P2 presenta un andamento simile a quello della precedente pseudoreplica, con la differenza che il picco massimo di individui (1190) è minore rispetto alla P1. Per la componente monotalamica organica, *Micrometula hyalostrata* e *Micrometula sp.* mostrano abbondanze simili in tutti e quattro gli intervalli, con dei picchi massimi di abbondanza dello stesso valore (100 individui), rispettivamente nell'intervallo 1-1,5 cm 0,5-1 cm.

La componente politalamica agglutinante è indicata da *Leptohalysis scottii* che mostra maggiore abbondanza nei primi due intervalli, in particolare in 0,5-1 cm si registra un picco massimo di individui di 330. Infine, *Nodulina dentaliniformis* ha un'abbondanza massima nell'intervallo 1-1,5 cm con 150 individui.



A.

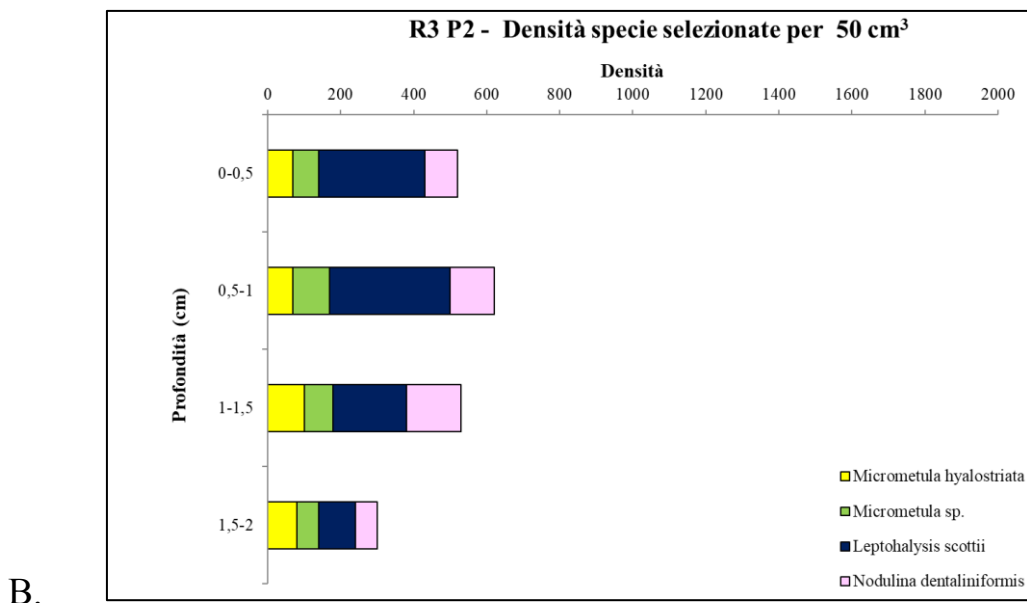


Figura 7.13h: REPLICA R3 PSEUDOREPLICA P2. il grafico A. descrive la distribuzione verticale degli individui nel sedimento. Il grafico B. descrive l'abbondanza degli individui di ogni specie, in relazione alla profondità.

La pseudoreplica P3 ha un profilo diverso dalle altre due poiché la densità massima si manifesta nel primo intervallo 0-0,5 cm con 1170 individui.

La componente monotalamica organica è indicata dalla presenza di *Micrometula hyalostrata* che ha un picco massimo nell'intervallo subsuperficiale 0,5-1 cm con 180 individui. Anche *Micrometula sp.* mostra una densità massima di 120 individui nello stesso intervallo. La componente politalamica agglutinante vede la specie *Leptohalysis scottii* essere maggiormente presente (con 210 individui) nell'intervallo 1-1,5 cm, mentre

Nodulina dentaliniformis ha massima abbondanza di 180 individui nell'intervallo iniziale 0-0,5 cm.

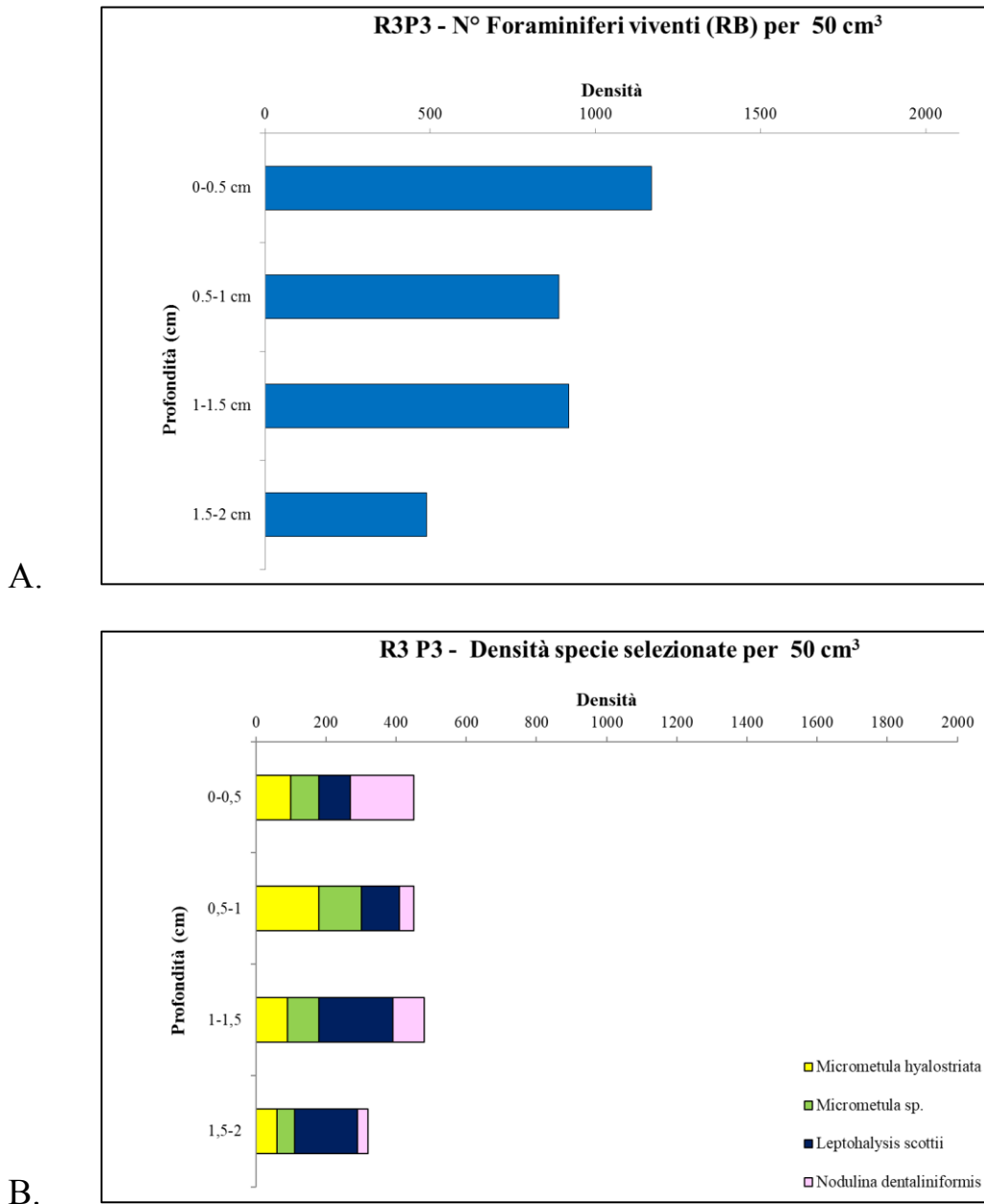


Figura 7.13i: REPLICA R3 PSEUDOREPLICA P3. il grafico A. descrive la distribuzione verticale degli individui nel sedimento. Il grafico B.

descrive l'abbondanza degli individui di ogni specie, in relazione alla profondità.

7.14 ALD₁₀ e microhabitat della biocenosi (frazione 63-150 µm)

Anche qui, come per la frazione >150 µm, è stato calcolato il valore dell'ALD₁₀ per le specie dominanti l'associazione a foraminiferi bentonici, che in tal caso sono: *Micrometula hyalostriata*, *Micrometula sp.*, *Ammonia parkinsoniana*, *Bolivina striatula*, *Leptohalysis scottii*, *Nodulina dentaliniformis*.

Nella successiva tabella sono riportati i valori per ciascuna di queste specie e tali valori, come per la frazione >150 µm, sono stati associati a differenti categorie di microhabitat (secondo Jorissen et al., 1995): epifaunale (0-4 cm), infaunale (4-5 cm) e infaunale profondo (dai 5 cm in giù).

	ALD ₁₀											
	P1	P2	P3	R1	P1	P2	P3	R2	P1	P2	P3	R3
Specie												
<i>Micrometula hyalostriata</i>	1	0,91	1,32	1,08	0,85	0,95	1,02	0,94	1,08	1,05	0,88	1
<i>Micrometula sp.</i>	1,25	1,75	0,97	1,32	0,89	1,09	0,88	0,95	0,9	0,96	0,91	0,92
<i>Ammonia parkinsoniana</i>	1,42	0,25	0,88	0,85	0,83	0,89	0,75	0,83	0,92	1,75	0,75	1,14
<i>Bolivina striatula</i>	0,86	0,65	1,75	1,09	1,25	0,7	0,75	0,9	0,87	0,75	1	0,87
<i>Leptohalysis scottii</i>	1	0,63	0,94	0,85	1,17	0,94	1,25	1,12	0,89	1,14	0,96	1
<i>Nodulina dentaliniformis</i>	1,05	0,81	1,58	1,15	0,56	1	1,25	0,94	1,08	0,5	0,75	0,78

Tabella 7.14.1: valori dell'ALD₁₀ relativi alle specie dominanti l'associazione a foraminiferi bentonici, per la frazione 63-150 µm.

Dalla tabella 7.14.1 si evince che tutte le specie elencate sono di tipo epifaunale, ed i loro valori sono di seguito stati descritti tramite un grafico che evidenzia appunto questa condizione.

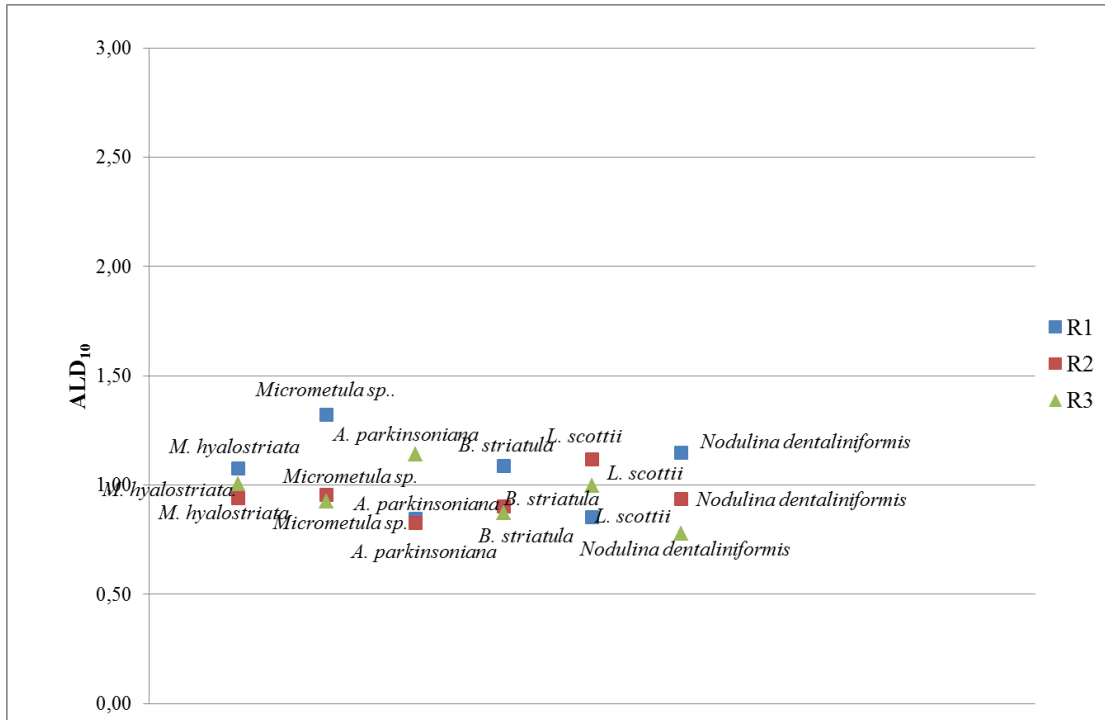


Figura 7.14a: grafico che rappresenta la condizione epifaunale delle specie dominanti l'associazione, relativamente alle tre repliche, R1, R2 ed R3 per la frazione 63-150 µm.

In base ai valori dell'ALD₁₀, qui in relazione al solo intervallo sedimentario 0-2 cm:

Specie osservate	<i>Micrometula hyalostrata</i>	<i>Micrometula sp.</i>	<i>Ammonia parkinsoniana</i>	<i>Bolivina striatula</i>	<i>Leptohalysis scottii</i>	<i>Nodulina dentaliniformis</i>
Repliche						
R1	1,08	1,32	0,85	1,09	0,85	1,15
R2	0,94	0,95	0,83	0,9	1,12	0,94
R3	1	0,92	1,14	0,87	1	0,78

Tabella 7.14.2: valori ALD₁₀ emersi dal mio lavoro, per la frazione 63-150 μm .

si può dedurre come ci sia una concentrazione nell'intervallo che va da 0,50 a 1,50. Le specie sono così distribuite: *Micrometula hyalostrata* manifesta una maggiore profondità nel sedimento nella R1, *Micrometula sp.* anch'essa ha lo stesso andamento di *Micrometula hyalostrata*, *Ammonia parkinsoniana* ha una maggiore profondità nella R3, *Bolivina striatula* in R1, *Leptohalysis scottii* sia in R2 seguita subito da R3, infine *Nodulina dentaliniformis* presenta maggiore affossamento in R1.

Quindi anche per questa frazione, stesso discorso della precedente frazione, troviamo una maggiore densità di specie al confine tra una condizione oligotrofica ed una condizione mesotrofica, sicuramente più spostata in questo caso verso l'oligotrofia, essendo la profondità di vita minore rispetto a quella registrata per la frazione $>150 \mu\text{m}$.

8. DISCUSSIONI

Scopo del presente studio è valutare l'utilizzo delle repliche e delle subrepliche spaziali nell'analisi delle biocenosi a foraminiferi bentonici negli studi ambientali; per fare questo si è proceduto a effettuare analisi come descritto nel paragrafo dei risultati.

Si sono quindi confrontati i dati ottenuti per i diversi parametri faunali (abbondanza, composizione tassonomica, diversità) di 3 repliche da cui sono state prelevate 3 subrepliche ciascuna, analizzando il sedimento ad umido. Grazie a questo tipo di analisi è stato possibile considerare anche le specie di foraminiferi a guscio organico. In particolare, si è cercato di capire se e come le repliche e le pseudorepliche (analizzate ad umido) differiscano tra loro.

In queste discussioni commenterò e discuterò i dati relativi agli intervalli 0-2 cm e 0-10 cm per evidenziare eventuali differenze. Successivamente tratterò statisticamente i risultati solamente relativi all'intervallo più superficiale. Infine, utilizzerò i dati della tesi di Balducci (2014) ottenuti su campioni prelevati con la stessa strategia di campionamento (3 repliche da cui sono state prelevate 3 subrepliche ciascuna) e analizzati a secco, per confrontarli statisticamente e ottenere informazioni su eventuali differenze nelle due metodologie.

8.1 Osservazioni generali sulla comunità a foraminiferi bentonici viventi

Per quanto riguarda la densità della fauna vivente a Foraminiferi bentonici, si possono osservare delle differenze tra le pseudorepliche (fig. 8.1a):

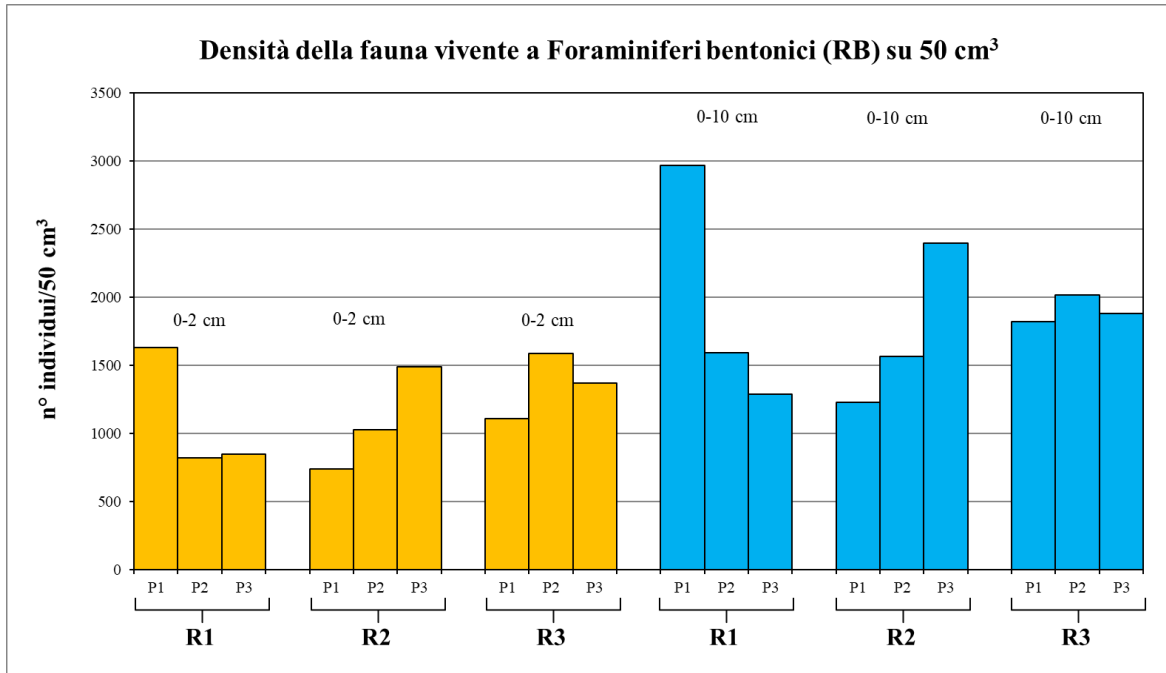
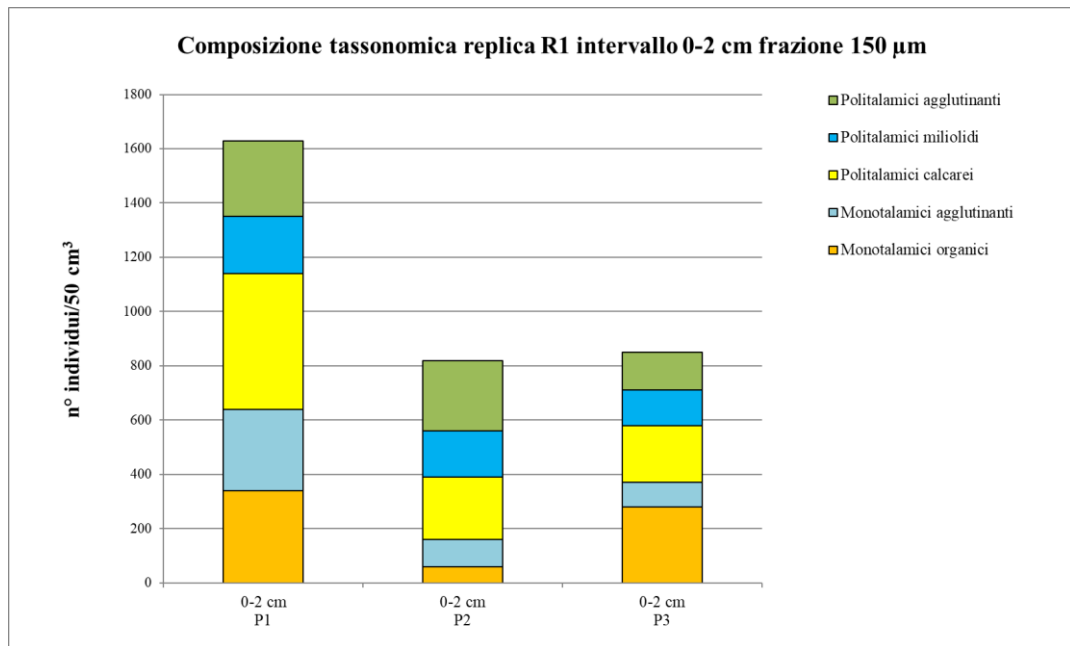


Figura 8.1a: grafico che descrive la densità totale della fauna vivente a foraminiferi bentonici rappresentata per ogni pseudoreplica (P1, P2, P3) delle tre repliche (R1, R2, R3) e per due profondità di sedimento (0-2 cm e 0-10 cm).

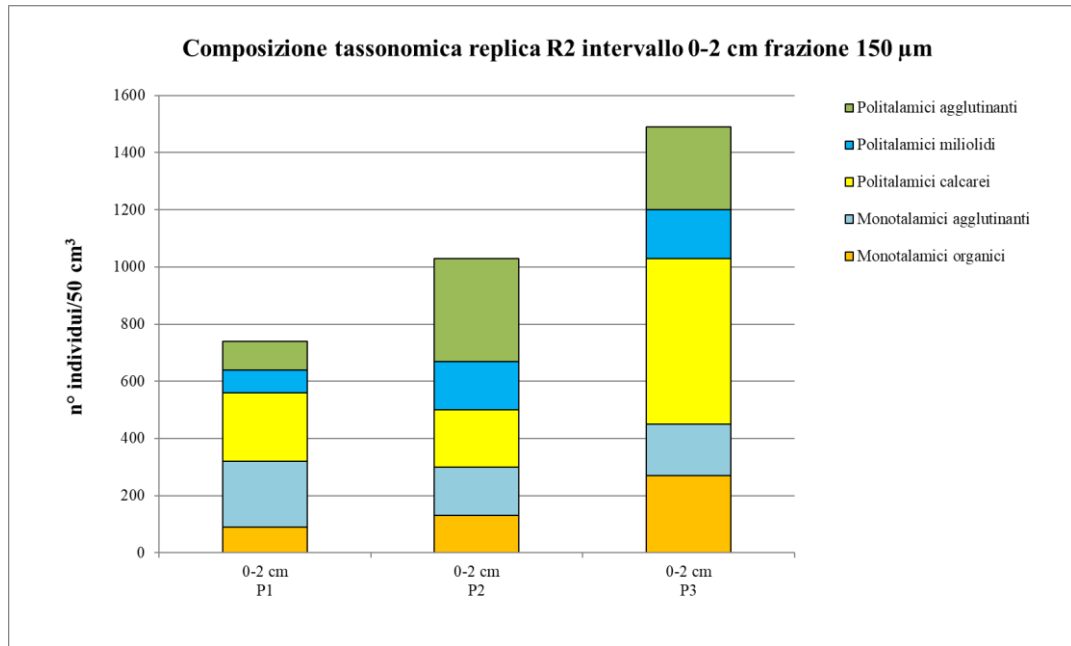
Si osserva infatti che la densità di individui su un campione volumetrico di 50 cm³ varia notevolmente da una replica all'altra e questa differenza è evidenziabile sia nell'intervallo di profondità 0-2 cm sia nell'intervallo 0-10

cm. Tali differenze tra le repliche sono imputabili alla variabilità della densità tra le singole pseudorepliche.

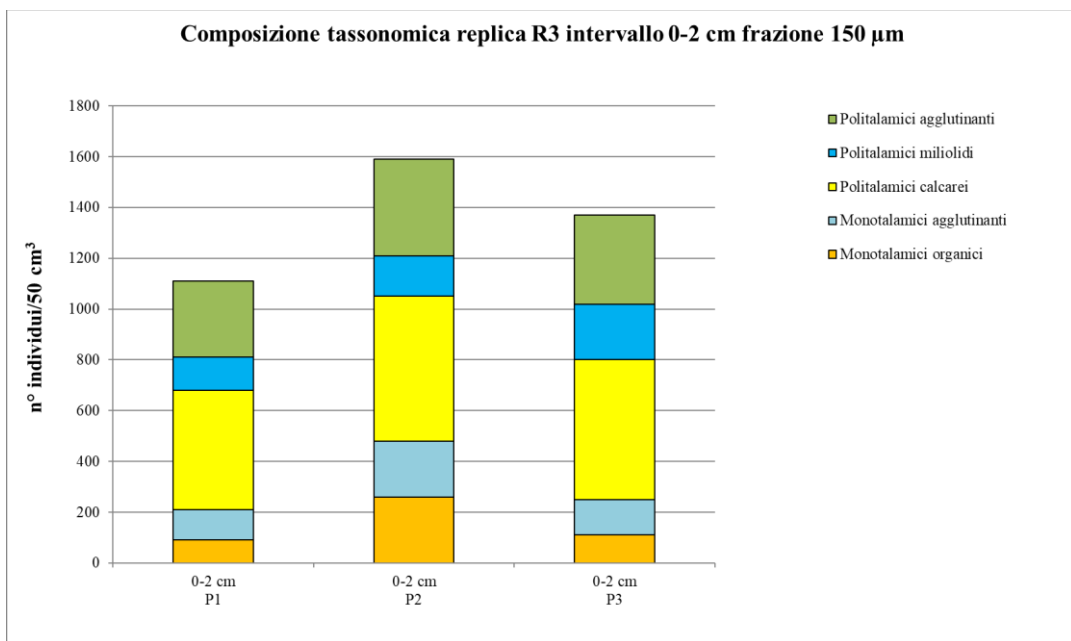
Considerando la composizione tassonomica, in base alla proporzione di colori, non si osservano differenze sostanziali in termini di rapporto fra i diversi gruppi (monotalamici organici, monotalamici agglutinanti, politalamici calcarei, politalamici miliolidi, politalamici agglutinanti) e i foraminiferi politalamici calcarei risultano essere la componente maggiore per tutte le pseudorepliche e repliche analizzate:



A.



B.



C.

Figura 8.1b: i tre grafici A) – B) – C) descrivono la composizione tassonomica per l'intervallo 0-2 cm relativamente alla frazione 150 μm , per ciascuna replica (rispettivamente R1 – R2 – R3), con in ordinata il numero di individui su un volume di 50 cm^3 .

Considerando invece la composizione tassonomica descritta in percentuale (successiva fig. 8.1c), sempre per le tre repliche e relative pseudorepliche nei due intervalli studiati, si osserva lo stesso trend con un'apparente variazione nella replica R1 e R2 dell'intervallo 0-2 cm dove risultano più abbondanti rispettivamente i monotalamici organici (P3 della R1) e i monotalamici agglutinanti (P1 della R2):

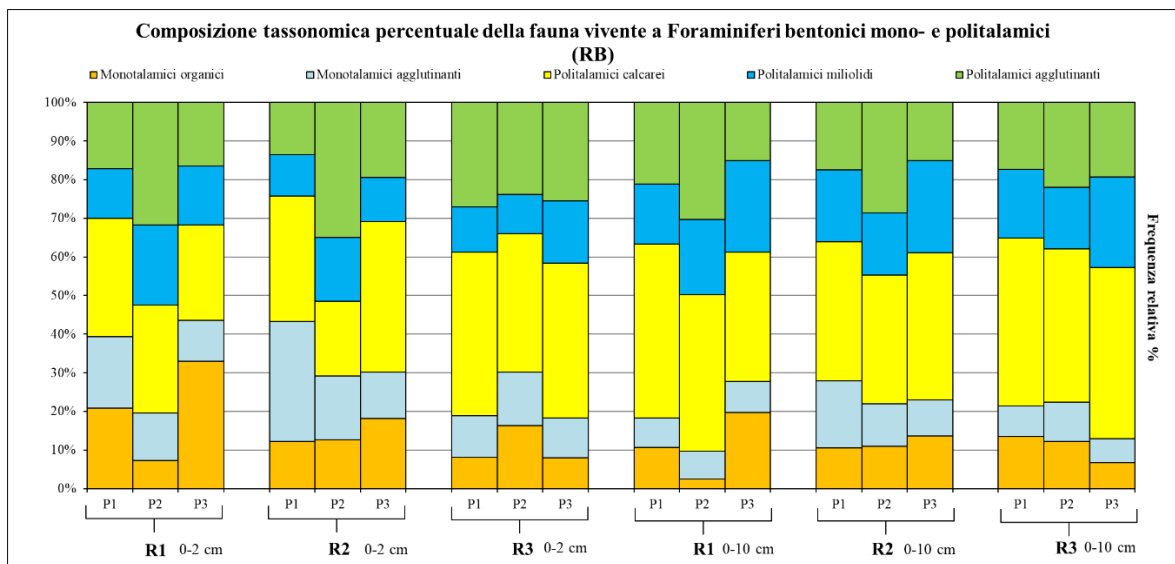


Figura 8.1c: grafico che descrive, per ciascun gruppo, la composizione tassonomica percentuale delle tre repliche e relative pseudorepliche. Gli intervalli di profondità considerati sono lo 0-2 cm e lo 0-10 cm.

Nel grafico successivo (fig. 8.1d) invece viene descritto il numero di specie per ogni pseudoreplica relativamente ai due intervalli di profondità: 0-2 cm e 0-10 cm.

Come si osserva, il numero di specie non è particolarmente diverso tra le repliche dell'intervallo 0-2 cm, mentre diviene più importante quando si considera l'intervallo 0-10 cm.

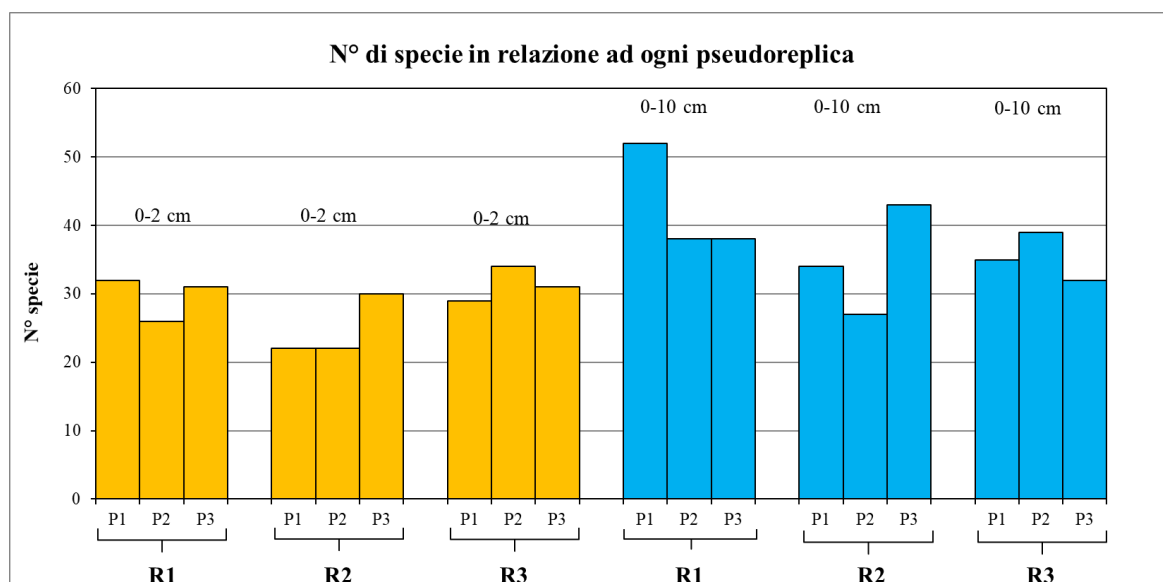


Figura 8.1d: numero di specie per ogni pseudoreplica relativamente ai due intervalli di profondità: 0-2 cm e 0-10 cm.

Infine, nella figura 8.1e si osserva una visione d'insieme e il dato è integrato descrivendo la densità totale dei foraminiferi per ciascuna replica e relativi intervalli di profondità (0-2 cm e 0-10 cm), da cui si evince che la replica R1 presenta la densità maggiore rispetto alle altre due repliche, con un picco di

1952 individui/50 cm³ nell'intervallo 0-10 cm. Inoltre, la replica R1 presenta una maggiore deviazione standard e quindi una maggiore variabilità, a differenza della replica R3 in cui la deviazione standard è minore e di conseguenza lo è anche la variabilità.

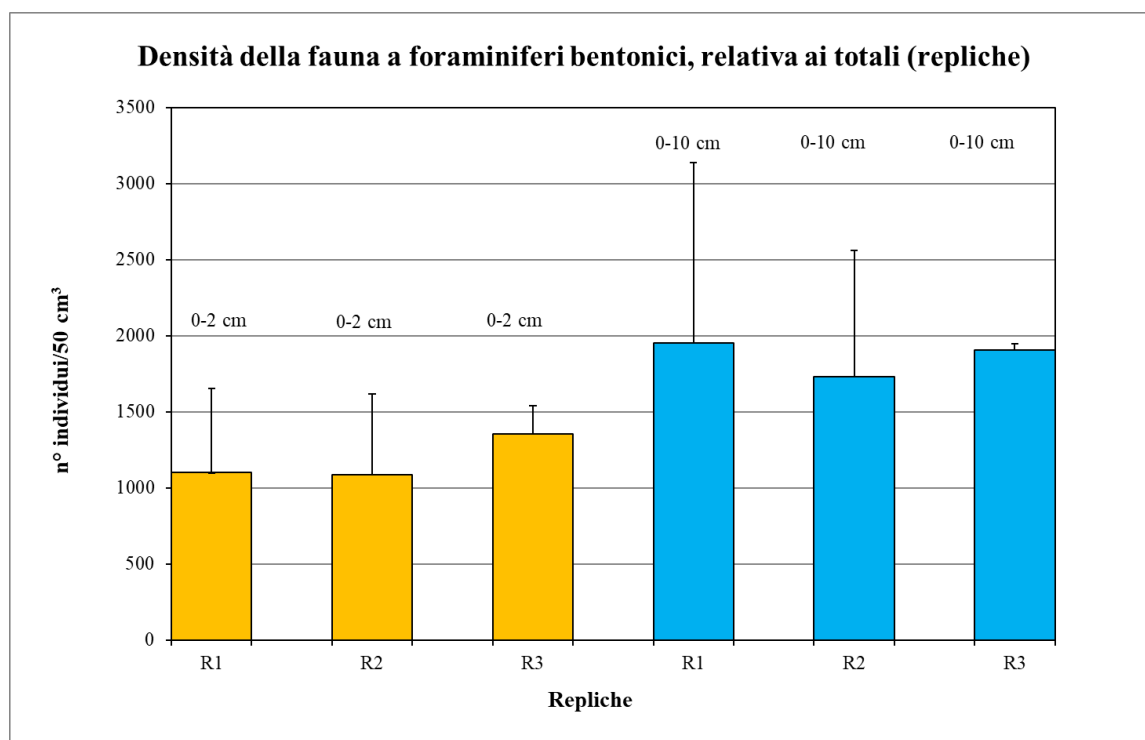


Fig. 8.1e: densità totale dei foraminiferi per ciascuna replica e relativi intervalli di profondità (0-2 cm e 0-10 cm).

I dati faunali ottenuti in questa tesi rispecchiano la distribuzione dell'associazione vivente a foraminiferi bentonici degli ambienti costieri adriatici. Nardelli (2012) ha descritto la fauna a foraminiferi bentonici viventi di siti campionati davanti la costa di Civitanova Marche la cui densità varia da

un minimo di 100 a un massimo di 700 individui su 10 cm² con la dominanza della componente politalamica calcarea.

8.2 Variabilità tra pseudorepliche e repliche

Sono state a questo punto effettuate delle analisi statistiche (Permanova, CAP (Canonical Analysis of Principal Coordinates), Permanova sulla materia organica e calcolo degli indici di diversità) sui dati da me ottenuti mediante l'analisi ad umido e ripetute per il confronto con i dati della tesi di laurea di Balducci (2014) ricavati invece con un'un'analisi a secco su altre 9 pseudorepliche campionate dalle stesse 3 repliche. Il metodo a secco ha implicato l'essiccazione dei campioni di sedimento in stufa che sono stati poi visti allo stereomicroscopio a secco appunto, a differenza dei miei campioni in cui il sedimento è stato mantenuto in una soluzione tamponata di formalina al 4%. Per entrambi i metodi è stata eseguita preventivamente la colorazione con il Rosa Bengala che ha permesso di discriminare gli individui considerati vivi al momento del campionamento rispetto a quelli morti.

L'analisi statistica PERMANOVA non ha rilevato differenze significative tra le repliche e le pseudorepliche analizzate a umido considerando tutti i

parametri faunali di densità, composizione in specie e composizione tassonomica.

In dettaglio, l'analisi PERMANOVA (tabella 8.2.1) effettuata sull'abbondanza totale degli individui confrontando il metodo utilizzato (umido/secco) e le repliche (R1, R2, R3) evidenzia che la differenza significativa esistente è imputabile al tipo di metodo usato ($P = 0,008^*$) piuttosto che alle diverse repliche ($P = 0,819$).

ABBONDANZA							
<i>Source</i>	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>Pseudo-F</i>	<i>P(perm)</i>	<i>perms</i>	<i>P(MC)</i>
<i>Me (metodo)</i>	1	1832,2	1832,2	11,805	0,008	998	0,008*
<i>Re (replica)</i>	2	75,938	37,969	0,24465	0,816	999	0,819
<i>MexRe (metodo x replica)</i>	2	277,03	138,51	0,8925	0,469	999	0,446
<i>Res</i>	12	1862,4	155,2				
<i>Total</i>	17	4047,5					

Tabella 8.2.1: dati ottenuti dall'analisi PERMANOVA sull'abbondanza totale degli individui. Confronto tra metodo utilizzato (umido/secco) con le repliche.

La tabella 8.2.2 mostra invece i risultati relativi alla composizione specifica da cui si deduce chiaramente che quando osserviamo le specie che compongono l'associazione bentonica a foraminiferi emergono delle

differenze sulla base sempre del metodo utilizzato (umido e secco) (P 0,001*), mentre quando consideriamo le repliche non si evidenziano differenze (P 0,207).

COMPOSIZIONE IN SPECIE							
<i>Source</i>	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>Pseudo-F</i>	<i>P(perm)</i>	<i>perms</i>	<i>P(MC)</i>
<i>Me</i>	1	15011	15011	19,637	0,001	998	0,001*
<i>Re</i>	2	2225,4	1112,7	1,4556	0,21	997	0,207
<i>MexRe (metodo x replica)</i>	2	2761,3	1380,7	1,8061	0,12	999	0,103
<i>Res</i>	12	9173,2	764,43				
<i>Total</i>	17	29171					

Tab 8.2.2: dati ottenuti dall'analisi PERMANOVA sulla composizione specifica. Confronto tra il metodo utilizzato (umido/secco) con le repliche.

La successiva tab. 8.2.3 mostra invece che a livello di grandi gruppi tassonomici ancora una volta la differenza significativa sta nel metodo di analisi (P 0,001*) mentre non c'è significatività tra l'uso di repliche (P 0,307).

GRANDI GRUPPI TASSONOMICI							
<i>Source</i>	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>Pseudo-F</i>	<i>P(perm)</i>	<i>perms</i>	<i>P(MC)</i>
<i>Me</i>	1	4716,4	4716,4	21	0,001	999	0,001*
<i>Re</i>	2	222,48	111,24	0,49531	0,752	999	0,759
<i>MexRe (metodo x replica)</i>	2	563,44	281,72	1,2544	0,339	999	0,307
<i>Res</i>	12	2695,1	224,59				
<i>Total</i>	17	8197,4					

Tab 8.2.3: dati ottenuti dall'analisi PERMANOVA sui grandi gruppi tassonomici. Confronto tra il metodo utilizzato (umido/secco) con le repliche.

La Canonical Analysis of Principal coordinates (CAP) mostrata in figura 8.2a rappresenta su grafico i risultati della PERMANOVA per la composizione in specie e riporta con simboli diversi (triangoli vs punti) le subrepliche provenienti dalle repliche a umido e a secco. In questo caso il metodo ad umido è indicato con il termine fresco.

È evidente una netta separazione tra i campioni analizzati con i due diversi metodi che occupano due parti ben distinte della figura mentre non c'è una netta separazione tra le pseudorepliche (e quindi repliche) per entrambi i metodi utilizzati.

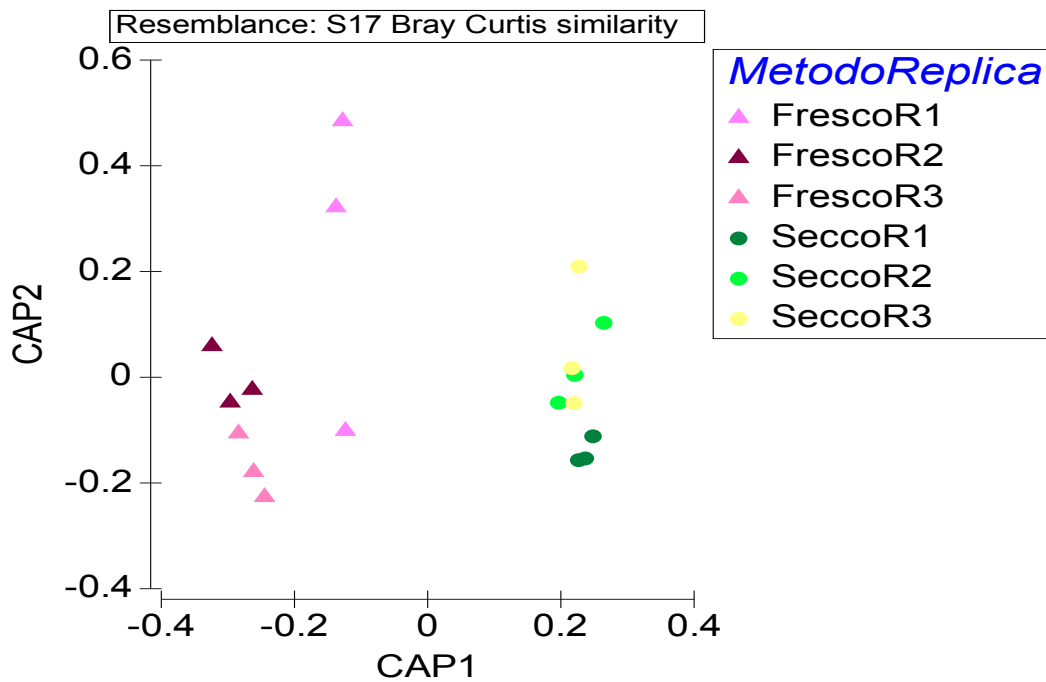


Figura 8.2a: grafico CAP relativo alla composizione specifica.

Identica è la situazione quando si considerano i grandi gruppi tassonomici (grafico successivo di figura 8.2b) in cui ritorna netta la distinzione tra le pseudorepliche analizzate ad umido e a secco. Le pseudorepliche analizzate a secco sono meno disperse rispetto a quelle studiate ad umido (fresco).

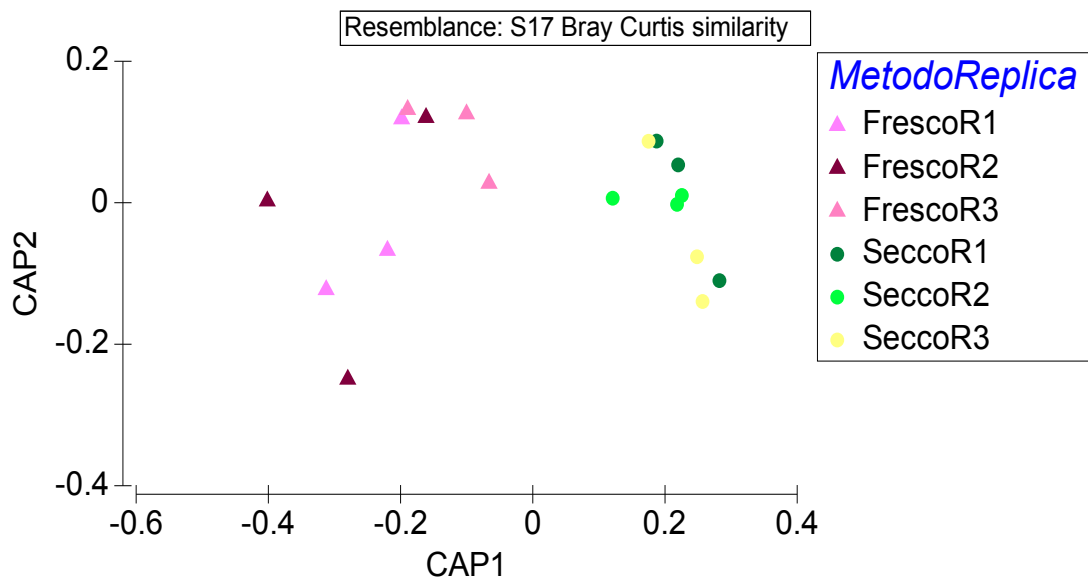


Figura 8.2b: grafico CAP relativo alla composizione specifica.

Gli indici di diversità calcolati nell'intervallo di profondità 0-2 cm sono stati descritti nei risultati. In questo paragrafo l'intento è di confrontare gli indici di diversità della tabella 8.2.4 in cui è presente il dato relativo alle pseudorepliche e al metodo utilizzato, con la tabella 8.2.5 in cui gli indici di diversità sono espressi considerando le repliche e il metodo utilizzato. Interessante è il valore di S che indica il numero di specie totali e il valore di ES (51) che esprime il numero di specie atteso su un campione di 50 individui. Questo indice serve a standardizzare il valore di biodiversità quando il numero totale di individui per campione è molto variabile.

	S	N	d	J'	Fisher	ES(51)	H'(loge)	1-Lambda'
Umido R1 P1	32	1630	4,191265	0,811841	5,644651	17,71119	2,813626	0,909286
Umido R1 P2	26	820	3,726169	0,899718	5,114679	18,58456	2,931368	0,933619
Umido R1 P3	31	850	4,447583	0,906631	6,313769	21,13346	3,11336	0,942008
Umido R2 P1	22	740	3,178615	0,899691	4,261224	17,3183	2,780983	0,915774
Umido R2 P2	22	1030	3,027108	0,914006	3,951896	17,37586	2,825232	0,926529
Umido R2 P3	30	1490	3,969052	0,879955	5,320545	19,17424	2,992901	0,93527
Umido R3 P1	29	1110	3,993089	0,89025	5,449626	19,48094	2,997737	0,93502
Umido R3 P2	34	1590	4,476707	0,900856	6,108997	21,95042	3,176742	0,943277
Umido R3 P3	31	1370	4,153648	0,839982	5,639578	18,76318	2,884488	0,914728
Secco R1 P4	15	600	2,18855	0,89257	2,79052	12,74834	2,417123	0,891486
Secco R1 P5	24	830	3,421893	0,883182	4,618047	17,29099	2,806801	0,921999
Secco R1 P6	20	880	2,802392	0,897763	3,641975	15,20139	2,689459	0,920985
Secco R2 P4	21	760	3,015082	0,894398	3,997864	16,62926	2,723016	0,911865
Secco R2 P5	22	760	3,165836	0,883317	4,234308	16,64257	2,730372	0,912905
Secco R2 P6	21	790	2,997587	0,879552	3,962061	15,81756	2,677816	0,911264
Secco R3 P4	23	880	3,244875	0,847284	4,322507	16,09781	2,656653	0,901334
Secco R3 P5	20	640	2,940508	0,858804	3,920533	15,40239	2,572748	0,892019
Secco R3 P6	21	590	3,134736	0,878738	4,250856	16,29501	2,675336	0,9076

Tabella 8.2.4: indici di diversità calcolati in base alle pseudorepliche ed al metodo utilizzato.

	S	N	d	J'	Fisher	ES(51)	H'(loge)	1-Lambda'
Umido R1	50	3300	6,0481	0,8415	8,3602	22,849	3,292	0,943353
Umido R2	39	3260	4,6975	0,8551	6,2277	20,751	3,1327	0,940143
Umido R3	46	4070	5,4143	0,8362	7,2672	21,813	3,2016	0,936934
Secco R1	24	2310	2,9697	0,8655	3,7328	16,195	2,7507	0,918784
Secco R2	24	2310	2,9697	0,8757	3,7328	16,982	2,7831	0,918109
Secco R3	27	2110	3,3967	0,8403	4,3673	17,257	2,7696	0,908631

Tabella 8.2.5: indici di diversità calcolati in base alle repliche ed al metodo utilizzato.

Dal confronto si evince che il numero di specie è sottostimato se consideriamo le pseudorepliche rispetto alle repliche. Per le pseudorepliche si va da un minimo di 22 ad un massimo di 34 specie per il metodo ad umido mentre se consideriamo le repliche la biodiversità varia tra 39 e 50. Tale differenza è meno evidente considerando il metodo a secco.

In ultima analisi, risulta chiaro dalle analisi statistiche che in termini di abbondanza, composizione specifica e composizione tassonomica è equivalente analizzare le pseudorepliche o le repliche. Quindi è sufficiente prelevare le pseudorepliche da un'unica replica per avere una rappresentazione realistica della fauna vivente a foraminiferi bentonici. Questo risultato vale sia per il metodo ad umido che a secco.

Invece, per quanto riguarda la biodiversità l'utilizzo delle pseudorepliche potrebbe essere limitante poiché non esprime la variabilità o patchness tipica delle comunità bentoniche. Ovviamente il tipo di strategia di campionamento dipenderà dal tipo di analisi (i.e., ecologica vs biomonitoraggio).

Alla luce di tutto ciò, un buon compromesso sarebbe quello di non optare per il campionamento di 3 pseudorepliche, ma di 2 repliche così da poter avere

una buona rappresentazione sia della densità che della biodiversità della fauna a foraminiferi bentonici.

Lo studio statistico ha analizzato il risultato basato su repliche e subrepliche relativamente alla composizione della materia organica (CAP):

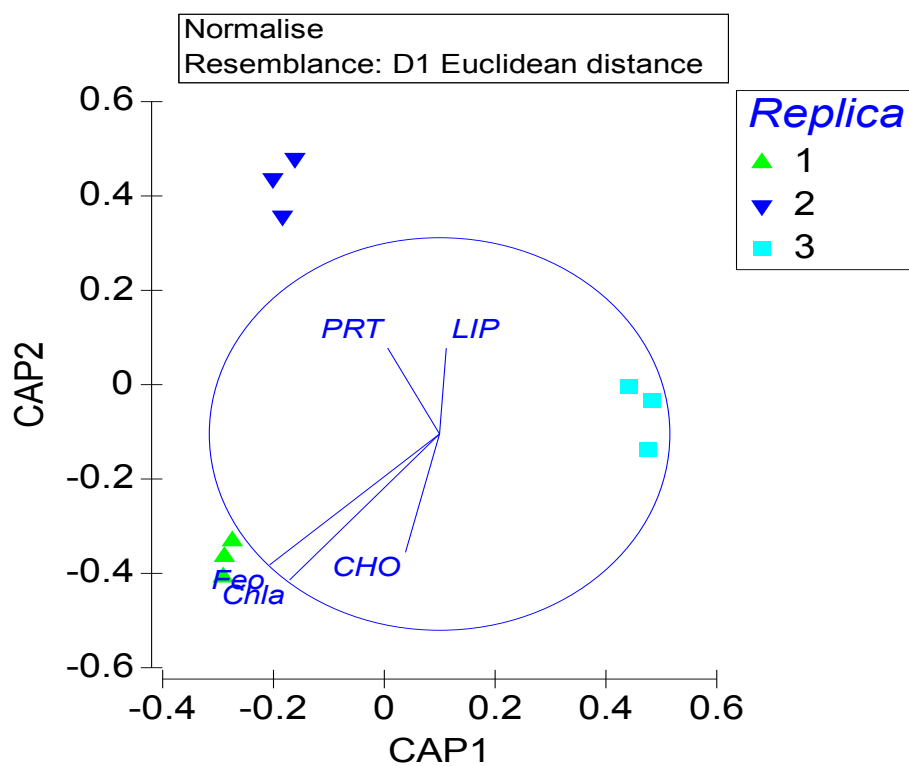


Figura 8.2c: CAP effettuata sulla materia organica.

Anche in questo caso, l'utilizzo delle repliche è maggiormente significativo rispetto alle pseudorepliche (0,027*):

<i>Source</i>	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>Pseudo-F</i>	<i>P(perm)</i>	<i>Unique perms</i>	<i>P(MC)</i>
<i>Re</i>	2	21,988	10,994	3,662	0,003	276	0,027*
<i>Res</i>	6	18,012	3,0021				
<i>Total</i>	8	40					

Tabella 8.2.6: dati ottenuti dall'analisi PERMANOVA sulla materia organica.

Il grafico in figura 8.2c indica chiaramente che le differenze sono riscontrabili tra le tre repliche, condizione che non si verifica invece per le pseudorepliche perché risultano essere concentrate in tre zone distinte del grafico (al centro, in basso, in alto). Il grafico ci mostra inoltre che le 3 repliche rispondono diversamente ai parametri relativi alla composizione biochimica della materia organica. La replica R1 è correlata al contenuto di clorofilla, feopigmenti e carboidrati mentre le altre due repliche non sembrano dipendere dal tipo di materia organica.

Infine, l'analisi SIMPER, considera il grado di dissimilarità tra i due metodi e relative repliche evidenziando le specie responsabili di questa discrepanza:

Metodo x Replica	% dissimilarità	Specie responsabili
Umido R1 x Secco R1	62,6	<i>Lagenammia sp.</i>
Umido R2 x Secco R1	68,67	<i>Lagenammia sp.</i> , <i>Eggerella advena</i>
Umido R3 x Secco R1	64,25	<i>Eggerella advena</i>
Umido R1 x Secco R2	57,22	<i>Lagenammia sp.</i>
Umido R2 x Secco R2	66,26	<i>Lagenammia sp.</i>
Umido R3 x Secco R2	60,67	<i>Eggerella advena</i>
Umido R1 x Secco R3	60,4	<i>Lagenammia sp.</i>
Umido R2 x Secco R3	68,48	<i>Lagenammia sp.</i>
Umido R3 x Secco R3	63,05	<i>Eggerella advena</i>

In ultimo, l'analisi SIMPER mostra che c'è sempre una % di dissimilarità tra le repliche e il metodo utilizzato. Le specie responsabili di questa dissimilarità sono *Lagenammia sp.* ed in misura minore *Eggerella advena*, due specie agglutinanti.

8.3 FOBIMO e Foram-AMBI

La necessità di questo approccio di studio (repliche vs pseudorepliche e metodo secco/umido) risiede, oltre al fatto che il monitoraggio degli ecosistemi marini è diventato una delle principali priorità nella ricerca, anche nel fatto che gli studi di biomonitoraggio in cui vengono utilizzati i foraminiferi come bioindicatori di qualità ambientale (Schönfeld et al., 2012) richiedono un protocollo specifico, che va sotto il nome di FOBIMO (*FORaminiferal Bio-MOnitoring*).

Il protocollo prevede il campionamento possibilmente di repliche ma considera equivalente l'utilizzo del metodo a secco o ad umido. Si evince invece, dai dati del mio lavoro che è importante che il materiale sia visto ad umido, Infatti, c'è una differenza significativa tra i due metodi utilizzati e per tutti i parametri faunali utilizzati.

Il protocollo FOBIMO (Schönfeld et al., 2012) si riferisce ad una serie di metodologie messe a punto in seguito ad un workshop tenutosi in Svizzera nel 2011 che prevede una serie di accorgimenti da seguire meticolosamente per poter definire metodi standardizzati per il campionamento e il trattamento dei campioni, che devono essere allo stesso tempo scientificamente validi e di facile applicazione (metodologie per il campionamento, la replicazione del campione, il sub-campionamento, la conservazione e la colorazione dei campioni, nonché il loro trattamento, le analisi della fauna a foraminiferi bentonici, la loro gestione nonché quella dei dati emersi dagli studi di biomonitoraggio).

Come accennato nell'introduzione, questo protocollo segue una logica ben precisa e rigida, infatti prevede il campionamento del solo intervallo 0-1 cm, possibilmente di un massimo di 3 repliche (ciascuna poi va trattata indipendentemente dalle altre) ritenendole sufficienti per determinare l'EcoQS (Ecological Quality Status – stato di qualità ecologica (Bouchet et

al., 2012)) di una determinata area, ma considera equivalente l'utilizzo del metodo a secco o ad umido, mentre dai dati del mio lavoro si evince che è importante che il materiale sia visto ad umido. Inoltre, il suddetto protocollo focalizza l'attenzione sul fatto che i campioni prelevati in periodi autunnali offrono una migliore visione d'insieme della comunità analizzata (in accordo a ciò, questo studio si è basato su dei campioni prelevati nel mese di settembre 2011).

I campioni devono essere mantenuti sotto fissativo, utilizzando inoltre un colorante che risalti i foraminiferi viventi. Il tempo minimo di conservazione con il colorante (si specifica che si utilizzi il Rosa Bengala) deve essere di almeno 14 giorni, dopodiché si procede al lavaggio dei campioni con setaccio a maglia 63 μm .

Un'altra raccomandazione è quella di considerare la frazione dei 125 μm ed infine si raccomanda di non prendere affatto in esame la componente organica.

Non essendoci una uniformità in letteratura sulla frazione considerata (Sabbatini et al., 2014) in questo studio si è tuttavia focalizzata l'attenzione sulla frazione di taglia di 150 μm , procedura che permette il confronto con altre metodologie normalmente usate in ecologia (Danovaro & Fabiano, 1990;

Danovaro et al., 1993; Pusceddu et al., 1999; Pusceddu et al., 2000; Pusceddu et al., 2009).

La presente tesi ha tuttavia voluto mettere l'accento su due problemi importanti del protocollo in oggetto:

- 1) uso di repliche o subrepliche (discusso in precedenza),
- 2) la necessità di considerare anche la componente organica

L'esclusione della componente organica, per il FOBIMO, è giustificata dal fatto che, nonostante sia una parte significativa delle comunità marine bentoniche, molte specie di Allogromidi sono difficili da identificare e la loro corretta identificazione e classificazione richiede molto tempo. Poiché è una componente trascurata c'è ancora una scarsa conoscenza sulla loro distribuzione ed ecologia. Inoltre, hanno un basso potenziale di fossilizzazione (Gooday, 2012) e non contribuiscono a ricostruire il record sedimentario di un dato tipo di inquinamento. Tuttavia un recente lavoro (Fossile et al., 2021) in cui si è focalizzata l'attenzione sulla componente organica, ha testato l'indice Foram-AMBI (che verrà discusso in seguito) considerando sia questa componente della fauna a foraminiferi bentonici viventi, sia la sola componente fossilizzabile, ritenendo che la prima possa essere importante per una migliore valutazione dell'EcoQS, poiché si è

sottolineata l'abbondanza nelle aree costiere, nonché la facilità di identificazione, dei generi monotalamici *Psammophaga* e *Micrometula*.

Il risultato del lavoro di Fossile et al. (2021) ha permesso una valutazione dell'Eco-QS in generale buona di siti costieri adriatici impattati non considerando la componente monotalamica. In particolare, due gruppi di monotalamici sono stati considerati tra le specie opportuniste (con cicli vitali molto brevi) in risposta ad un gradiente organico, *Micrometula* spp. che include *M. hyalostriata* e *Micrometula* sp. e *Psammophaga* spp. comprendente *P. cf. cristallifera*, *P. cristallifera* e *P. cristallifera magnetica*. Nei miei campioni sono presenti alcuni rappresentanti di questi gruppi ed in particolare *Micrometula* sp.

In dettaglio, l'inclusione di questi due generi di foraminiferi ha determinato variazioni nei punteggi del Foram-AMBI e FSI solo in corrispondenza delle due stazioni meno profonde (35 e 33, rispettivamente a 15,4 m e 32,5 m di profondità) dove queste specie sono presenti. Alla stazione 35, per la frazione grossolana (150 µm) il punteggio Foram-AMBI aumentava da 2,62 (esclusi questi due generi) fino a 2,76 (in cui venivano invece considerati) e da 3,20 (dove non erano conteggiati) fino a 3,38 (dove invece lo erano) per la frazione >63 µm. I valori indicati erano correlati con il range di qualità dell'area considerata (EcoQS) e con la classificazione dell'inquinamento (Borja et al.,

2003). Analogo comportamento nel punteggio Foram-AMBI si osservava per la stazione 33 considerando la frazione $>63 \mu\text{m}$: il valore passava da 2,93 (esclusa la componente monotalamica) a 3,16 (si considerava tale componente) sebbene in questo caso il range di qualità ambientale e la classificazione dell'inquinamento non variassero.

Mentre il valore FSI calcolato per la stazione 35, per la frazione grossolana ($150 \mu\text{m}$) si riduceva da 2,04 (escludendo la componente predetta) a 1,96 (considerando questa componente) e da 2,93 (escludendo la componente monotalamica) a 2,66 (includendo tale componente) per la frazione $>63 \mu\text{m}$, evidenziando una leggera diminuzione nella qualità ambientale ma non modificando l'EcoQS (moderato). Anche in questo caso, per l'FSI lo stesso trend si osserva per la stazione 33 considerando il $>63 \mu\text{m}$, passando da 1,28 (esclusa la suddetta componente) a 1,26 (inclusi i generi monotalamici).

Considerando l'appartenenza di *Micrometula* al gruppo delle specie opportuniste, è doveroso un approfondimento sull'indice "Foram-AMBI", un coefficiente biotico il cui acronimo sta per "Azti Macrobenthos Biotic Index", AMBI (Borja et al., 2000), sviluppato per determinare sia la qualità ecologica delle coste europee, sia l'impatto che un disturbo ha su una determinata area, essendo rappresentativo dello stato di salute della relativa comunità macrobentonica (Muxika et al., 2005), da effettuarsi analizzando la modalità

di risposta delle comunità dei fondi molli ai cambiamenti della qualità delle acque e dei sedimenti per cause naturali/antropiche (Borja et al., 2003; Gorostiaga et al., 2004). La determinazione di questo indice passa attraverso cinque diversi gruppi ecologici che vengono determinati a seconda della relativa sensibilità o tolleranza all'incremento di materia organica:

- gruppo I (GI): specie estremamente sensibili all'arricchimento di materia organica e presenti in condizioni non inquinate (stato iniziale);
- gruppo II (GII): specie indifferenti all'arricchimento, presenti a basse densità con variazioni non significative nel tempo (si passa dallo stato iniziale ad una condizione di leggero squilibrio);
- gruppo III (GIII): specie tolleranti ad un eccesso di materia organica, stimulate da un relativo incremento (persistenza del disequilibrio);
- gruppo IV (GIV): specie opportunistiche di secondo ordine, si sviluppano in condizioni di disequilibrio (all'interno del quale, in base al lavoro di Fossile et al. (2021), sembrerebbe appartenere il genere *Psammophaga*, anche se in relazione con l'aumento di TOC (total organic carbon, carbonio organico totale) questo genere sembrerebbe più indicato per il gruppo successivo);
- gruppo V (GV): specie opportunistiche di primo ordine, che compaiono in condizioni di forte disequilibrio.

La formula che esprime il coefficiente biotico (BC) è:

$$AMBI = \{(0 \times \% GI) + (1,5 \times \% GII) + (3 \times \% GIII) + (4,5 \times \% GIV) + (6 \times \% GV)\} / 100$$

in cui il valore di AMBI spazia da 0 (situazione in cui tutte le specie appartengono al gruppo I in condizioni di assenza di inquinamento) a 6 (in cui tutti gli organismi appartengono al gruppo V e l'ambiente è fortemente inquinato). Il valore corrispondente a 7 indica un ambiente privo di vita (azoico). In base ai valori assunti è possibile classificare le aree di studio seguendo lo schema proposto dagli autori (Borja et al., 2000; Muxika et al., 2005). Il risultato ottenuto è una "classificazione dell'inquinamento" di un sito che è una funzione del BC. Di conseguenza, questa rappresenta la "salute" della comunità bentonica, rappresentata dai numeri interi del BI (Borja et al., 2000).

L'incertezza nell'assegnare *Micrometula* e *Psammophaga* all'interno del gruppo V suggerisce la necessità di disporre di più dati per effettuare la corretta assegnazione di entrambi i generi, sebbene promettente. Tuttavia, questi generi sono abbondanti nelle aree costiere e facili da identificare, quindi la loro inclusione nell'indice aiuterebbe a valutare l'EcoQS.

Sempre Fossile et al. (2021) suggeriscono che la frazione più fine possa rappresentare meglio i taxa a guscio “soft”, che però sono spesso esclusi sia dai programmi di biomonitoraggio (Schönfeld et al., 2012) sia dalla valutazione di EcoQS correlata all'utilizzo degli indici Foram-AMBI e FSI. Secondo Fossile et al. (2021) sarebbe opportuna una rivalutazione delle specie monotalamiche organiche, considerando che alcune di queste specie opportunistiche (es., *Psammophaga* spp.; Sabbatini et al., 2012) possono fornire una valutazione precisa della qualità ambientale relativa all'arricchimento di materia organica.

Al contrario, in quegli studi che analizzano le condizioni acquatiche ossiche ed anossiche, l'esclusione della componente organica sembrerebbe non rappresentare una perdita significativa di informazioni dal punto di vista ecologico (Bouchet et al., 2012).

Quindi, come suggerito da Fossile et al. (2021) e, precedentemente, da Sabbatini et al. (2013), non considerare queste forme che in realtà sono estremamente abbondanti, anche come dimostrato dai miei dati, è un problema che va superato, soprattutto negli ambienti costieri delle zone temperate (Sabbatini et al., 2013) al fine di ottenere una più completa panoramica tassonomica ed ecologica sulle associazioni a foraminiferi.

Un altro punto a favore della componente organica emerge dal lavoro di Sabbatini et al. (2012), svolto al fine di capire se solo alcuni morfotipi dominanti in condizioni di bassa qualità di materia organica o se anche i foraminiferi monotalamici organici fornissero una risposta in presenza di materia organica di bassa qualità o meno, analizzando lo stato trofico dei sedimenti costieri dell'Adriatico centrale, in cui è stata evidenziata una correlazione positiva tra la variabilità stagionale (e quindi disponibilità) di materia organica e la risposta di alcuni morfotipi monotalamici organici. In particolare, una fioritura di *Psammophaga sp. 1* (che nei miei campioni ho ritrovato in tutte le pseudorepliche tranne nella P2 della replica R1 della frazione di taglia 150 µm) era associato ad un aumento della quantità della materia organica disponibile sul fondo, causata da una forte fioritura fitoplanctonica invernale. Questa risposta opportunistica dei saccamminidi ad un impulso di carbonio organico di alta qualità nutrizionale suggerisce il loro ruolo potenziale come indicatori dell'eutrofizzazione bentonica nelle acque superficiali. Questo morfotipo sembra sia più sensibile ai cambiamenti nella qualità nutrizionale della sostanza organica sedimentaria rispetto ai foraminiferi dal guscio calcareo (si manifesta una più rapida risposta) e ciò lo si può affermare col fatto che era solo la specie politalamica agglutinante *Leptohalysis scottii* a mostrare la stessa risposta di *Psammophaga sp. 1* nei

campioni del lavoro citato (Sabbatini et al., 2012) a differenza degli altri foraminiferi a guscio calcareo di quell'area di studio che non manifestavano variazioni in risposta alla disponibilità di materia organica. Ciò suggerisce fortemente la potenziale perdita di informazioni ecologiche a causa della trascuratezza dei taxa monotalamici a guscio organico.

L'importanza della componente monotalamica è supportata anche dallo studio di Nardelli (2012) che per primo ha descritto la risposta di questi taxa agli inquinanti organici nel mare Adriatico evidenziando come siano sempre abbondanti numericamente (20-80% dell'abbondanza totale dei foraminiferi analizzati), in particolare il morfotipo *Psammosphaeride sp. 1*, seguito da *Psammophaga spp. 1 e 2* e *Saccamminide sp. 2* che ho ritrovato anche nei miei campioni.

Quindi studiare questa componente, anche se non può fornire informazioni sugli ecosistemi passati perché priva della capacità di fossilizzazione, può comunque aggiungere informazioni di importanza qualitativa negli studi di biomonitoraggio, in particolare negli ecosistemi di acque poco profonde dove i taxa a guscio organico possono rappresentare più dell'80% dei foraminiferi viventi. Infine, ulteriori studi ecologici di alcuni importanti taxa "Allogromidi" in ambienti costieri potrebbero portare al riconoscimento di

specie sensibili o opportunistiche potenzialmente utilizzabili come bioindicatori allo stesso modo dei foraminiferi a guscio duro.

9. CONCLUSIONI

Da questo lavoro si è quindi compresa l'importanza di utilizzare non soltanto una singola metodologia di campionamento (metodo a secco), ma anche il metodo ad umido, al fine di non perdere informazioni sulla biodiversità di una determinata area di studio e sulle relative patchness (variabilità) e composizione specifica. Questa indicazione di metodologia di lavoro si può confrontare con quella indicata nel protocollo FOBIMO che non considera obbligatorio l'uso del metodo ad umido ed esclude a priori la componente monotalamica organica. Queste condizioni invece, insieme al confronto dell'uso di repliche e pseudorepliche, vengono mantenute nel presente lavoro che ha permesso di evidenziare:

1. nessuna differenza significativa nell'uso di repliche o pseudorepliche spaziali considerando densità, composizione specifica e tassonomica e importanza della stima della biodiversità se vengono usate le sole pseudorepliche al posto delle repliche.

Considerando le analisi statistiche effettuate, quindi, ci sono due situazioni differenti: se si fa riferimento densità, alla composizione specifica e a quella tassonomica, non c'è differenza se si analizzano le

repliche o le pseudorepliche, per entrambe le metodologie di analisi (secco/umido). La discrepanza si manifesta invece se si considera come parametro la biodiversità in cui si suggerisce pertanto l'utilizzo delle repliche poiché è sembrato essere più significativo (in accordo con il protocollo FOBIMO). Quindi, sarebbe opportuno utilizzare due repliche affinché si possa avere una condizione maggiormente rappresentativa dell'associazione a foraminiferi bentonici di quella data area di studio.

2. differenza significativa nell'uso del metodo a secco rispetto a quello a umido. In particolare, nelle repliche e rispettive pseudorepliche studiate ad umido si registra la persistenza di specie monotalamiche organiche come *Micrometula hyalostriata* e *Micrometula sp.* e specie monotalamiche agglutinanti come *Lagenammia sp.* che sono assenti e sottostimate usando il metodo a secco. In particolare, il genere *Micrometula* è stato valutato come opportunista da Fossile et al., 2021 e il suo inserimento per il calcolo dell'indice Foram-AMBI permette una migliore valutazione dell'EcoQS.

Inoltre, la presenza costante del genere *Lagenammia* ha permesso di ipotizzare che sia legata a specifiche condizioni ecologiche, infatti l'ecosistema costiero dell'Adriatico centrale risente dell'elevata produttività

di questo bacino, che viene considerato come una delle aree più produttive del Mediterraneo (Sournia, 1973; Degobbis et al., 1979, Jorissen et al., 1995) grazie al sistema di correnti superficiali che circolano in senso antiorario. In particolare, nell'Adriatico centrale è forte l'influenza stagionale e la circolazione favorisce il trasporto della materia organica e dei fitodetriti lungo le coste adriatiche da nord a sud. Queste condizioni sono molto evidenti in estate quando la stratificazione della colonna d'acqua si mantiene rendendo il sedimento al fondo anossico.

Il confronto di metodo a umido e a secco ha permesso di evidenziare l'importanza della componente soft e dunque di comprendere quanto sia importante questo metodo per evitare sottostime di densità e della biodiversità delle associazioni a foraminiferi.

BIBLIOGRAFIA

- Albani, A., Serandrei Barbero, R., Donnici, S. (2007). Foraminifera as ecological indicators in the Lagoon of Venice, Italy. *Ecological Indicators*, 7: 239–253.
- Albani, A.D., Favero, I., Serandrei Barbero, R. (1984). Benthonic foraminifera as indicators of intertidal environments. *Geo-Mar Lett.*, 4:43–47.
- Aller, J.Y. & Aller, R.C. (1986). Evidence for localized enhancement of biological associated with tube and burrow structures in deep-sea sediments at the HEEBLE site, western North Atlantic, *Deep-Sea Res. Pt. A*, 33, 755–790.
- Aloulou, F., Elleuch, B., Kallel, M. (2012). Benthic foraminifera assemblages as pollution proxies in the Northern Coast of Gabes Gulf, Tunisia. *Environ Monit Assess* 184:777–795.
- Alve, E. (1991). Foraminifera, climatic change, and pollution: a study of Late Holocene sediments in Drammensfjord, SE Norway. *The Holocene* 1: 243–261.

- Alve, E. (1995a). Benthic foraminiferal responses to estuarine pollution: a review. *Journal of Foraminiferal Research* 25: 190–203.
- Alve, E., Murray, J. (1994) Ecology and taphonomy of benthic foraminifera in a temperate mesotidal inlet. *Journal of Foraminiferal Research* 24: 18–27.
- Alve, E., Goldstein, S.T. (2003). Propagule transport as a key method of dispersal in benthic foraminifera (Protista). *Limnology and Oceanography*, 48: 2163 – 2170. *Limnol. Oceanogr.* 48: 2163–2170.
- Alve, E., Lepland, A., Magnusson, J., Backer-Owe, K. (2009). Monitoring strategies for re-establishment of ecological reference conditions: possibilities and limitations. *Marine Pollution Bulletin* 59: 297–310.
- Arieli, R.N., Almogi-Labin, A., Abramovich, S., Herut, B. (2011). The effect of the thermal pollution on benthic foraminiferal assemblages in the Mediterranean shoreface adjacent to Hadera power plant (Israel). *Mar. Pollut. Bull.* 62: 1002–1012.
- Balducci, A. (2014). Valutazione dell'uso delle repliche spaziali per l'analisi delle biocenosi a foraminiferi bentonici negli studi ambientali. Tesi di Laurea. Università Politecnica delle Marche.

- Bandy, O.L., Ingle, J.C., Resig, J.M. (1964a). Foraminiferal trends, Laguna Beach outfall area, California. *Limnology and Oceanography* 9: 112–123.
- Bandy, O.L., Ingle, J.C., Resig, J.M. (1964b). Foraminifera, Los Angeles County outfall area, California. *Limnology and Oceanography* 9: 124–137.
- Bandy, O.L., Ingle, J.C., Resig, J.M. (1965a). Foraminiferal trends, Hyperion outfall, California. *Limnology and Oceanography*, 10: 314–332.
- Bandy, O.L., Ingle, J.C., Resig, J.M. (1965b). Modifications of foraminiferal distributions by the Orange County outfall, California. *Ocean Science and Ocean Engineering*, 1: 55–76.
- Barmawidjaja, D.M., Jorissen, F., Puskaric, S., Van der Zwann, G.J. (1992). Microhabitat selection by benthic foraminifera in the northern Adriatic Sea. *Journal of Foraminiferal Research* 22: 297–317.
- Bergamin, L., Romano, E., Gabellini, M., Ausili, A., Carboni, M.G. (2003). Chemical-physical and ecological characterization in the environmental project of a polluted coastal area: the Bagnoli case study. *Mediterr. Mar. Sci.* 4: 5–20.

- Bergamin, L., Romano, E., Celia, M. (2005). Pollution monitoring of Bagnoli Bay (Tyrrhenian Sea, Naples, Italy): a chimica-physical and ecological approach. *Aquat Ecosyst Health* 8: 293–302.
- Bergin, F., Kucuksezgin, F., Uluturhan, E., Barut, I.F., Meric, E., Avsar, N., Nazik, A. (2006). The response of benthic foraminifera and ostracoda to heavy metal pollution in Gulf of Izmir (Eastern Aegean Sea). *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 66: 368–386.
- Berney, C., and Pawlowski, J.A. (2006). A molecular timescale for eukaryote evolution recalibrated with the continuous microfossil record. *Royal Society of London Proceedings, ser. B*, v. 273, p. 1867–1872.
- 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.
- Bernhard, J.M. (1989). The distribution of benthic foraminifera with respect to oxygen concentration and organic carbon levels in shallow-water Antarctic sediments. *Limnol. Oceanogr.* 34: 1131–1141.
- Bernhard J.M., Bowser S.S. (1992). Bacterial biofilms as a trophic resource for certain benthic foraminifera. *Marine Ecology Progress Series* 83(2-3): 263-272.

- Bernhard, J.M. (2000). Distinguishing live from dead foraminifera: methods review and proper applications, *Micropaleontology*, 46 (Suppl. 1): 38–46.
- Bernhard, J.M., Habura, A., and Bowser, S.S. (2006). An endobiont-bearing Allogromiid from the Santa Barbara Basin: Implications for the early diversification of foraminifera. *Journal of Geophysical Research*, v. 111, G03002.
- Bianchi, C.N., Zurlini, G. (1984). Criteri e prospettive di una classificazione ecotipologica dei sistemi marini costieri italiani. *Acqua Aria* 8: 785–796.
- Blanc, H., (1876). Un nouveau foraminifère de la faune profonde du Lac. *Biblio Universelle (Archives Sci. Phys. Nat.) ser. 3*, 16: 362–366.
- Bligh E.G., & Dyer W.J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.* 37: 911–917.
- Borja, A.; Franco, J. & Pérez, V. (2000). A Marine Biotic Index to Establish the Ecological Quality of Soft-Bottom Benthos within European Estuarine and Coastal Environments. *Marine Pollution Bulletin*, 40: 1100-1114.
- Borja, A., Muxika, I., Franco, J. (2003). The application of a marine biotic index to different impact sources affecting soft-bottom benthic communities along European coasts. *Mar. Pollut. Bull.* 46: 835–845.

- Borja, A., Muxika, I. (2005). Guidelines for the use of AMBI (AZTI's marine biotic index) in the assessment of the benthic ecological quality. *Mar. Pollut. Bull.* 50: 787–789.
- Borsetti, et al. (1984). Le intercalazioni vulcanoclastiche nei sedimenti oligomiocenici dell'Appennino settentrionale e centrale. *Giornale di Geologia*. 1984, Vol. 45, Num. 2, pp. 159–198.
- Bosak, T., Lahr, D.J.G., Pruss, S.B., Macdonald, F.A., Gooday, A.J., Dalton, L. Matys, E.D. (2011). Possible early foraminiferans in post-Stuartian (716-635 Ma) cap carbonates. *Geology*, v. 40; no. 1; p. 67–70.
- Bowser, S.S., Gooday, A.J., Alexander, S.P., and Bernhard, J.M. (1995). Larger agglutinated foraminifera of McMurdo Sound, Antarctica: “are *Astrammina rara* and *Notodendrodes antarctikos* allogromiids incognito?”: *Marine Micropaleontology*, v. 26, p. 75–88.
- Bowser, S.S., Habura, A., Pawlowski, J. (2006). Molecular evolution of Foraminifera. In: Katz, L., Bhattacharya, D. (Eds.), *Genomics and Evolution of Microbial Eukaryotes*. University Press, Oxford, pp. 78–93.
- Bouchet, V.M.P., Debenay, J.P., Sauriau, P.G., Radford-Knoery, J., Soletchnik, P. (2007). Effects of short-term environmental disturbances on living benthic foraminifera during the Pacific oyster summer

mortality in the Marennes-Oleron Bay (France). *Marine Environmental Research* 64: 358–383.

Bouchet, V.M.P., Alve, E., Rygg, B., Telford, R.J., (2012). Benthic foraminifera provide a promising tool for ecological quality assessment of marine waters. *Ecological Indicators* 23: 66–75.

Brady, H.B. (1884). Report on the Foraminifera dredged by H.M.S. Challenger, during the years 1873–1876. *Rep. Sci. Results Challenger Exped., Zool.*, 9: 1–814.

Brasier, M.D. (1982) Architecture and evolution of the foraminifera test, a theoretical approach, in Banner F.T. and Lord, A.R. (eds.). *Aspects of micropaleontology*: George Allen and Unwin, Oxford, p. 1–41.

Buzas, M.A. (1974). Vertical distribution of *Ammobaculites* in the Rhode River, Maryland. *Journal of Foraminiferal Research* (1974) 4 (3): 144–147.

Buzas, M.A. et al. (1993). A statistical evaluation of the microhabitats of living (stained) infaunal benthic foraminifera. *Marine Micropaleontology* Volume 20, Issues 3–4, January 1993, Pages 311–320.

Carboni, et al. (2009). Benthic foraminifera from two coastal lakes of southern Latium (Italy). Preliminary evaluation of environmental quality. *Marine Pollution Bulletin*, Volume 59, Issues 8–12, 2009, p. 268–280.

- Carpenter, W.P., Parker, W.K., Jones, T.R. (1862). Introduction to the study of the Foraminifera. The Ray Society by R. Hardwicke in London. 1–319.
- Carney, R.S. (1989). Examining relationships between organic carbon flux and deep-sea deposit feeding. In: Lopez, G., Taghon, G. & Levinton, J. (eds). Ecology of Marine Deposit Feeders. Notes on Coastal and Estuarine Studies, 31: 24–58.
- Cato, I., Olsson, L. and Rosenberg, R. (1980). Recovery and decontamination of estuaries, in Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries, (eds E. Ollauson and I. Cato), John Wiley and Sons Ltd., Chichester, pp. 403–40.
- Cavalier-Smith, T. (1993). Kingdom protozoa and its 18 phyla. Microbiol. Rev. 57: 953–994.
- Cavalier-Smith, T. (1998). A revised six-kingdom system of life. Biol. Rev. Camb. Philos. Soc. 73: 203–266.
- Cherchi, A., Da Pelo, S., Ibba, A., Mana, D., Buosi, C., Floris, N. (2009). Benthic foraminifera response and geochemical characterization of the coastal environment surrounding the polluted industrial area of Portovesme (South-Western Sardinia, Italy). Mar. Pollut. Bull. 59: 281–296.

- Coccioni, R. (2000). Benthic foraminifera as bioindicators of heavy metal pollution – a case study from the Goro Lagoon (Italy). In: Martin RE (ed) Environmental micropaleontology: the application of microfossils to environmental geology. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- Coccioni, R., Marsili, A., Venturati, A. (2003). Foraminiferi e stress ambientale. In: Coccioni, R. (Ed.), Verso la gestione integrata della costa del Monte San Bartolo: risultati di un progetto pilota, vol. 1. Quaderni del Centro di Geobiologia dell'Università degli Studi di Urbino, pp. 99–118.
- Coccioni, R., Frontalini, F., Marsili, A., Troiani, F. (2005). Foraminiferi bentonici e metalli in traccia: implicazioni ambientali. In: Coccioni, R. (Ed.), La dinamica evolutiva della fascia costiera tra le foci dei fiumi Foglia e Metauro: verso la gestione integrata di una costa di elevato pregio ambientale, vol. 3. Quaderni del Centro di Geobiologia dell'Università degli Studi di Urbino, pp. 57–92
- Corliss, B.H. (1985). Microhabitats of benthic foraminifera within deep-sea sediments. *Nature* 314, 435–438.

- Corliss, B.H. (1991) Morphology and microhabitat preferences of benthic foraminifera from the northwest Atlantic. *Ocean. Marine Micropaleontology*, 17: 195–236.
- Corliss, B.H. and Emerson, S. (1990). Distribution of Rose Bengal-stained deep-sea benthic foraminifera from the Nova Scotian continental margin and Gulf of Maine. *Deep-Sea Research*. 37: 381–400.
- Corliss, J.O. (1994). An interim utilitarian ('user friendly') hierarchical classification and characterization of the protists. *Acta Protozoologica* 33:1–51.
- Culver, S. J. (1991). Early Cambrian foraminifera from West Africa: *Science*, v. 254, p. 689–691.
- Cushman, J.A. (1948). *Foraminifera: Their Classification and Economic Use*, 4th Ed., Harvard University Press, Cambridge.
- Dahlgren, L. (1962). A new monothalamous foraminifer, *Ovammia opaca* n. gen., n. sp., belonging to the family Saccamminidae. *Zoologiska Bidrag från Uppsala*, 33: 197–200.
- Danovaro, R. and Fabiano M. (1990). Batteri, pigmenti clorofilliani, lipidi, protidi e carboidrati nel sedimento. *Rapporti Tecnici Istituto Scienze Ambientali Marine, Università di Genova*, 32: 1–15.

- Danovaro, R., Fabiano M. and Della Croce N. (1993). Labile organic matter and microbial biomasses in deep-sea sediments (Eastern Mediterranean Sea). *Deep-Sea Research*, 40(5): 953–965.
- Danovaro, R., Carugati, L., Berzano, M., Cahill, A.E., Carvalho, S., Chenuil, A., Corinaldesi, C., Cristina, S., David, R., Dell’Anno, A., Dzhembekova, N., Garcés, E., Gasol, J.M., Goela, P., Féral, J.-P., Ferrera, I., Forster, R.M., Kurekin, A.A., Rastelli, E., Marinova, V., Miller, P.I., Moncheva, S., Newton, A., Pearman, J.K., Pitois, S.G., Reñé, A., Rodríguez-Ezpeleta, N., Saggiomo, V., Simis, S.G.H., Stefanova, K., Wilson, C., Martire, M.L., Greco, S., Cochrane, S.K.J., Mangoni, O., Borja, A. (2016). Implementing and innovating marine monitoring approaches for assessing marine environmental status. *Front. Mar. Sci.* 3, 213.
- Darling, K.F., Thomas, E., Kaemann, S.A., Seears, H.A., Smart, C.W., Wade, C.M. (2009). Surviving mass extinction by bridging the benthic/planktic divide. *Proceedings of the Natural Academie of Sciences of the United States of America* 106: 12629–12633.
- de Montfort, P.D. (1808). *Conchyliologie systématique et classification méthodique des coquilles* 1, F. de Schoell, Paris, p. 409.

- de Rijk, S., Troelstra, S.R., Rohling, E.J. (1999). Benthic foraminiferal distribution in the Mediterranean Sea. *J. Foraminifer. Res.* 29: 93–103.
- de Rijk, S., Jorissen, F., Rohling, E.J., Troelstra, S.R. (2000). Organic flux on bathymetric zonation of Mediterranean benthic foraminifera. *Mar. Micropaleontol.* 40: 151–166.
- De Stigter, H.C. (1996). Recent and fossil benthic foraminifera in the Adriatic Sea: Distribution patterns in relation to organic carbon flux and oxygen concentration at the seabed”. *Geologica Ultraiectina* 144: 254.
- De Stigter, H.C., Jorissen, F.J., 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* 28: 40–65.
- Dell’Anno, A., Mei, M.L., Pusceddu, A., Danovaro, R. (2002). Assessing the trophic state and eutrophication of coastal marine systems: A new approach based on the biochemical composition of sediment organic matter. *Marine Pollution Bulletin.* 44(7): 611–622.
- Debenay, J.-P., Tsakiridis, E., Souldard, R., Grossel, H. (2001). Factors determining the distribution of foraminiferal assemblages in Port Joinville Harbor (Ile d’Yeu, France): the influence of pollution. *Marine Micropaleontology* 43: 75–118.

- Degobbis, D., Smodlaka, L., Pojed, L., Skrivanic L., Precali, R. (1979).
Increased eutrophication of the northern Adriatic Sea. *Mar Pollut Bull*
10: 298–301.
- Di Leonardo, R., Bellanca, A., Capotondi, L., Cundy, A., Neri, R. (2007).
Possible impacts of Hg and PAH contamination on benthic foraminiferal
assemblages: an example from the Sicilian coast, central Mediterranean.
Sci. Total Environ. 388: 168–183.
- Donnici, S., Serandrei Barbero, R. (2002). The benthic foraminiferal
communities of the northern Adriatic continental shelf. *Mar.*
Micropaleontol. 44: 93–123.
- Douzery, E.J.P., Snell, E.A., Bapteste, E., Delsuc, F., Phillipe, H. (2004). The
timing of eukaryotic evolution: does a relaxed molecular clock reconcile
proteins and fossils? *National Academy of Sciences Proceedings*, v. 101:
15386–15391.
- Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A. & Smith, F. (1956).
Colorimetric methods for determination of sugars and related substances.
Anal. Chem., 28: 350–356.
- Duijnste, I., de Lugt, I., Vonk-Noordegraaf, H., Van der Zwaan, B. (2004).
Temporal variability of foraminiferal densities in the northern Adriatic
Sea. *Marine Micropaleontology* 50: 125–148.

- Faber, W.W., and Lee, J.J. (1991b). Histochemical evidence for digestion in *Heterostegina depressa* and *Operculina ammonoides* (Foraminifera). *Endocytobiosis and Cell Research*, 8: 53–9.
- Fabiano, et al. (2001). Fluxes of phytopigments and labile organic matter to the deep ocean in the NE Atlantic Ocean. *Progress in Oceanography* 50: 89–104.
- Falzone, A. (2004). *Filosofia del linguaggio e psicopatologia evoluzionistica*. Rubbettino Editore, Soveria Mannelli (Catanzaro).
- Fenchel, T. and Finlay, B.J. (1995). *Ecology and Evolution in Anoxic Worlds*, Oxford University Press, Oxford.
- Ferraro, L., Sprovieri, M., Alberico, I., Lirer, F., Prevedello, L., Marsella, E. (2006). Benthic foraminifera and heavy metals distribution: a case study from the Naples Harbour (Tyrrhenian Sea, southern Italy). *Environ. Pollut.* 142: 274–287.
- Ferraro, L., Sammartino, S., Feo, M.L., Rumolo, P., Salvagio Manta, D., Marsella, E., Sprovieri, M. (2009). Utility of benthic foraminifera for biomonitoring of contamination in marine sediments: a case study from the Naples Harbour (Southern Italy). *J Environ Monit* 11: 1226–1235.
- Fichtel, L., von, and Moll, J.P.C. (1798 and 1803 (reprint)). *Testacea microscopica*, aliaque minuta ex generibus Argonauta et Nautilus, ad

naturam picta et descripta (Microscopische und andere klein Schalthiere aus den geschlechtern Argonaute und Schiffer). Camesina, Vienna.

Fontanier, C., Jorissen, F.J., Lansard, B., Mouret, A., Buscail, R., Schmidt, S., Kerhervé, P., Buron, F., Zaragosi, S., Hunault, G., Ernoult, E., Artero, C., Anschutz, A., Rabouille, C. (2008). Live foraminifera from the open slope between Grand Rhone and Petit Rhone Canyons (Gulf of Lions, NW Mediterranean). *Deep-Sea Res. I* 55: 1532–1553.

Fossile, E., Sabbatini, A., Spagnoli, F., Dell’Anno, A., de Marco, R., Dinelli, E., Droghini, E., Tramontana, M., Negri, A. (2021). Sensitivity of foraminiferal-based indices to evaluate the ecological quality status of marine coastal benthic systems: a case study of the Gulf of Manfredonia (Southern Adriatic Sea). *Mar. Pollut. Bull.* 163: 111933.

Frontalini, F., Semprucci, F., Coccioni, R., Balsamo, M., Bittoni, P., Covazzi-Harriague, A. (2011). On the quantitative distribution and community structure of the meio and macrofaunal communities in the coastal area of the Central Adriatic Sea (Italy). *Environ. Monit. Assess.* 180: 325–344.

Gaucher, C., Sprechmann, P. (1999). Upper Vendian skeletal fauna of the Arroyo del Soldado Group, Uruguay: *Beringeria*, v. 23, p. 55–91.

- Gerchakov, S.M., Hatcher, P.G. (1972). Improved technique for analysis of carbohydrates in sediments, *Limnology and Oceanography* 17 (6): 938–943.
- Goineau, A., Fontanier, C., Jorissen, F.J., Lansard, B., Buscail, R., Mouret, A., Kerhervé, P., Zaragosi, S., Ernoult, E., Artéro, C., Anschutz, P., Metzger, E., Rabouill, C. (2011). Live (stained) benthic foraminifera from the Rhône prodelta (Gulf of Lion, NW Mediterranean): environmental controls on a river-dominated shelf. *J Sea Res* 65: 58–75.
- Goineau, A., Fontanier, C., Jorissen, F.J., Buscail, R., Kerhervé, P., Cathalot, C., Pruski, A.M., Lantoiné, F., Bourgeois, S., Metzger, E., Legrand, E., Rabouille, C. (2012). Temporal variability of live (stained) benthic foraminiferal faunas in a river-dominated shelf – faunal response to rapid changes of the river influence (Rhône prodelta, NW Mediterranean). *Biogeosciences* 9: 1367–1388.
- Goldstein, S. T., (1999). Foraminifera: a biological overview. In: Sen Gupta, B.K. (Ed.), *Modern Foraminifera*, Kluwer Academic Publisher: 37–55.
- Gooday, A.J. (1993). Deep-sea benthic foraminiferal species which exploit phytodetritus: Characteristic features and controls on distribution. *Marine Micropaleontology*, 22: 187–205.

- Gooday, A.J. (2002). Biological response to seasonally varying fluxes of organic matter to the ocean floor: a review. *Journal of Oceanography*, Vol. 58, pp. 305 to 332.
- Gooday, A.J. and Fernando, O.J. (1992). A new allogromiid genus (Rhizopoda: Foraminiferida) from the Vellar Estuary, Bay of Bengal: *Journal of Micropaleontology*, v. 11, p. 233–239.
- Gooday, A.J., Levin, L.A., Linke, P., Heeger, T. (1992). The role of benthic foraminifera in deep-sea food webs and carbon cycling. In: Rowe, G. T. and Pariente, V. (eds), *Deep-sea food chains and the global carbon Cycle*: Kluwer, Netherlands, p. 63–91.
- Gooday, A.J., Holzmann, M., Guiard, J., Cornelius, N., Pawlowski, J. (2004). A new monothalamous foraminiferan from 1000–6300 m water depth in the Weddell Sea: morphological and molecular characterization. *Deep-Sea Research II* 51: 1603–1616.
- Gooday, A.J., Bowser, S.S., Cedhagen, T., Cornelius, N., Hald, M., Korsun, S., Pawlowski, J. (2005). Monothalamous foraminiferans and gromiids (Protista) from western Svalbard: A preliminary survey. *Marine Biology Research*, 2005; 1: 290–312.
- Gooday, A.J., Nomaki, H., Kitazato, H., Austin WEN, James, R.H. (2008). Modern deep-sea benthic foraminifera: A brief review of their

biodiversity and trophic diversity, Biogeochemical controls on paleoceanographic environmental proxies, London Geological Society, vol. 303, pg. 97–119.

Grall, J., Glémarec, M. (1997). Using biotic indices to estimate macrobenthic community perturbations in the Bay of Brest. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 44: 43–53.

Grigelis, A.A. (1978). Higher foraminiferal taxa. *Paleontological Journal*, 12: 1–9.

Gudmundson, G. (1994). Phylogeny, ontogeny, and systematics of recent Soritacea Ehrenberg, 1839 (Foraminiferida). *Micropaleontology* 40: 101–155.

Habura, A., Goldstein, S. T., Broderick, S. & Bowser, S. S. (2008). A bush, not at tree: the extraordinary diversity of cold-water basal foraminiferans extends to warm-water environments. *Limnol. Oceanogr.*, 53: 1339–1351.

Hammer, Ø., Harper, D., Ryan, P.D. (2001). PAST: palaeontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. Electron.* 4: 1–9.

- Haq, B.U., and Boersma, A. (1998). Introduction to Marine Micropaleontology, second edition, 376 pp. Elsevier Science, Amsterdam.
- Hammond, P.M. 1995. The current magnitude of biodiversity. In Global Biodiversity Assessment, ed. VH Heywood, pp. 113–38. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press.
- Hannah, F., and Rogerson, A. (1997). The temporal and spatial distribution of foraminiferans in marine benthic sediments of the Clyde Sea area, Scotland. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 44, 377–83.
- Hartree, E.F. (1972). Determination of protein: a modification of the Lowry method that gives a linear photometric response. *Anal. Biochem.* 48, 422–427.
- Hayward, B.W., Cedhagen, T., Kaminski, M. et al. (2015). World Modern Foraminifera database. World Register of Marine Species. Available at: <http://www.marinespecies.org/>
- Hemleben, C.H., Spindler, M., and Anderson, O.R. (1989). Modern Planktonic Foraminifera, Springer Verlag, Berlin, 363 pp.
- Hohenegger, J. (2011). Large Foraminifera – Greenhouse Constructions and Gardens in the Oceanic Microcosm. The Kagoshima University Museum, Kagoshima.

- Hohenegger, J., Piller, W. and Baal, C. (1993). Horizontal and vertical spatial microdistribution of foraminifers in the shallow subtidal Gulf of Trieste, Northern Adriatic Sea. *Journal of Foraminiferal Research*, 23: 79–101.
- Hohenegger, J., Baal, C. (2004). Gehäusebau bei Foraminiferen. In: Hofrichter, R. (Ed.). *Das Mittelmeer. Fauna, Flora, Ökologie*, vol. II/1 Bestimmungsführer, pp. 122–123.
- Holzmann, M., Pawlowski, J. (2002). Freshwater foraminifera from Lake Geneva: past and present. *J. Foraminifer Res.* 32: 344–350.
- Holzmann, M., Habura, A., Giles, H., Bowser, S., Pawlowski, J. (2003). Freshwater foraminiferans revealed by analysis of environmental DNA samples. *J. Eukaryot. Microbiol.* 50: 135–139.
- Hottinger, L. and Leutenegger, S. (1980). The structure of calcarinid foraminifera. *Schweizer Paläontologische Abhandlungen*, 101: 115–151.
- Hyams-Kaphzan, O., Almogi-Labin, A., Benjamini, C., Herut, B. (2009). Natural oligotrophy vs. pollution-induced eutrophy on the SE Mediterranean shallow shelf (Israel): environmental parameters and benthic foraminifera. *Marine Pollution Bulletin* 58: 1888–1902.
- Jannink, N.T. (2001). Seasonality, biodiversity, and microhabitats in benthic foraminiferal communities. *Geologica Ultraiectina* 203: 1–192.

- Jepps, M.W. (1942). Studies on *Polystomella Lamarck* (Foraminifera). J. Mar. Biol. Assoc. UK, 25(3): 607–666.
- Jorissen, F.J. (1987). The distribution of benthic foraminifera in the Adriatic Sea. *Marine Micropaleontology* 12: 21–48.
- Jorissen, F.J., Barmawidjaja, D.M., Puskaric, S. and Van der Zwaan, G.J. (1992). Vertical distribution of benthic Foraminifera in the northern Adriatic Sea: The relation with high organic flux. *Marine Micropaleontology*, 19: 131–46.
- Jorissen, F.J., de Stigter H.C., Widmark, J.G.V. et al. (1995). A conceptual model explaining benthic foraminiferal microhabitats. *Marine Micropaleontology* 26: 3–15.
- Jorissen & Wittling (1999). Ecological evidence from live–dead comparisons of benthic foraminiferal faunas off Cape Blanc (Northwest Africa). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 149: 151–170.
- Jorissen, F.J., Bicchi, E., Duchemin, G., Durrieu, J., Galgani, F., Cazes, L., Gaultier, M., Camps, R. (2009). Impact of oil-based drill mud disposal on benthic foraminiferal assemblages on the continental margin off Angola. *Deep-Sea Research II*, 56: 2270–2291.
- Kaminski, M.A. (2004). The year 2000 classification of the agglutinated Foraminifera. In: Bubík, M., Kaminski, M.A. (Eds.), *Proceedings of the*

Sixth International Workshop on Agglutinated Foraminifera:
Grzybowski Foundation Special Publication, 8, pp. 237–255.

Kaminski, M.A. (2005). Foraminifera. In: Selley, R.C., Cocks, L.R.M.,
Plimer, I.R. (Eds.), *Encyclopedia of Geology*. Elsevier, pp. 448–453.

Kitazato, H. (1989). Vertical distribution of benthic foraminifera within
sediments (Preliminary Report). *Benthos Results (Bulletin Japanese
Association of Benthology)*, 35/36, 41–51.

Korsun, S. (1999). Benthic foraminifera of the Ob estuary, West Siberia:
Berichte zur Polarforschung, v. 300, p. 59–70.

Korsun, S. (2002). Allogromiids in foraminiferal assemblages on the western
Eurasian Arctic shelf: *Journal of Foraminiferal Research*, v. 32, p. 400–
413.

Korsun S., e Hald M. (1998). Modern Benthic foraminifera of Novaya
Zemlya tidewater glaciers, Russian Arctic. *Artic and Alpine Research*, 3:
61–77.

Lampadariou, N., Tselepides, A., and Hatziyanni, E. (2009): Deep-sea
meiofaunal and foraminiferal communities along a gradient of primary
productivity in the eastern Mediterranean Sea, *Sci. Mar.*, 73: 337–345.

- Lee, J.J. (1980). Nutrition and physiology of the foraminifera, in *Biochemistry and Physiology of Protozoa*, v. 3, (eds M. Levandowsky and S.H. Hutner), Academic Press, New York, pp. 43–66.
- Lee, J.J., McEnery, M., Pierce, S. et al. (1966). Tracer experiments in feeding littoral foraminifera. *Journal of Protozoology*, 13: 659–70.
- Lee, J.J., Faber, W.W., and Lee, R.E. (1991b). Granular reticular digestion – a possible preadaptation to benthic foraminiferal symbiosis? *Symbiosis*, 10, 47–61.
- Lejzerowicz, F., Pawlowski, J., Fraissinet-Tachet, L., Marmeisse, R., (2010). Molecular evidence for widespread occurrence of Foraminifera in soils. *Environmental Microbiology* 12: 2518–2526.
- Linné, C. (1758). *Systema naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis*. G. Engelmann (Lipsiae), 10: 1–824.
- Lipps, J.H. (1983). Biotic interactions in benthic foraminifera. In *Biotic Interactions in Recent and Fossil Benthic Communities* (eds M.J.J. Tevez and P.L. McCall), Plenum, New York, p. 331–376.
- Lipps, J.H., and Rozanov, A.Y. (1996). The Late Precambrian–Cambrian agglutinated fossil Platysolenites: *Paleontological Journal*, v. 30, p. 679–687.

- Lipps, J.H., Finger, K.L., Walker, S.E. (2011). What should we call the foraminifera? *J. Foraminifer. Res.* 41: 309–313.
- Lister, J.J. (1895). Contributions to the life history of the Foraminifera. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B*, 186: 401–53.
- Loeblich, A.R. & Tappan, H. (1964a). Sarcodina, Chiefly ‘Thecamoebians’ and Foraminiferida, in *Treatise on Invertebrate Paleontology*, (ed R.C. Moore), Geological Society of America, Boulder, Part C, v. 1–2, 900 pp.
- Loeblich, A. R. & Tappan, H. (1987). Foraminiferal genera and their classification. Von Nostrand Reinhold Co., New York.
- Lutze, G.F. and Thiel, H. (1989). Epibenthic foraminifera from elevated microhabitats: *Cibicidoides wuellerstorfi* and *Planulina ariminensis*. *Journal of Foraminiferal Research*, 19: 153–8.
- Marchetti, R. (1993). *Ecologia applicata*. CITTA’ STUDI EDIZIONI.
- Margulis, L. (1990). Introduction in *Handbook of Protista* (eds I. Margulis, J.O. Corliss, M. Melkonian, D.J. Chapman). Jones e Bartlett, Boston, pp. 11–23.
- Marsh, J.B., Weinstein, W.J. (1959). A simple charring method for determination of lipids. *J. Lipid Res.* 7: 574–576.
- Martin, R.E. (2000). *Environmental micropaleontology*. The application of

microfossils to environmental geology. Kluwer, New York, 481 pp.

Massiotta, R., Cita, M.B., Mancuso, M. (1976). Benthonic foraminifers from bathyal depths in the Eastern Mediterranean. Marit. Sediments Spec. Publ. 1: 251–262.

McIlroy, D., Green, O.R., Brasier, M.D. (2001). Paleobiology and evolution of the earliest agglutinated Foraminifera: Platysolenites, Spirosolenites and related forms: Lethaia, v. 34, p. 13–29,

Meisterfeld, R., Holzmann, M. & Pawlowski, J. (2001). Morphological and molecular characterization of a new terrestrial allogromiid species: *Edaphoallogromia australica* gen. et spec. nov. (Foraminifera) from Northern Queensland (Australia). Protist 152: 185–192.

Meyer-Reil, L.A. and Köster, M. (1991). Fine-scale distribution of hydrolytic activity associated with foraminiferans and bacteria in deep-sea sediments of the Norwegian- Greenland Sea. Kieler Meeresforschungen, Sonderheft Nr., 8: 121–6.

Meyers, M.B., Fossing, H. and Powell, E.N. (1987). Microdistribution of interstitial meiofauna, oxygen and sulfide gradients, and the tubes of macro-infauna, Marine Ecology Progress Series, 35: 223–41.

Meyers, M.B., Powell, E.N. and Fossing, H. (1988). Movement of oxybiotic and thiobiotic meiofauna in response to changes in pore-water oxygen

and sulfide gradients around macroinfaunal tubes. *Marine Biology*, 98: 395–414.

Mikhalevich, V.I. (2004). On the heterogeneity of the former *Textulariina* (Foraminifera). In: Bubik, M., Kaminski, M.A. (Eds.), *Proceedings of the Sixth International Workshop on Agglutinated Foraminifera: Grzybowski Foundation Special Publication*, 8, pp. 317–349.

Mojtahid, M. (2010). Microhabitat selection of benthic foraminifera in sediments off the Rhône River mouth (NW Mediterranean). *Journal of Foraminiferal Research*, v. 40, no. 3, p. 231–246.

Mojtahid, M., Jorissen, F., Durrieu, J., Galgani, F., Howa, H., Redois, F., Camps, R. (2006). Benthic foraminifera as bio-indicators of drill cutting disposal in tropical east Atlantic outer shelf environments. *Marine Micropaleontology* 61: 58–65.

Mojtahid, M., Jorissen, F.J., Lansard, B., Fontanier, C., Bombled, B., Rabouille, C. (2009). Spatial distribution of live benthic foraminifera in the Rhône prodelta: faunal response to a continental-marine organic matter gradient. *Mar. Micropaleontol.* 70: 177–200.

Moodley, L., Schaub, B.E.M., van der Zwaan, G.J. and Herman, P.M.J. (1998a). Tolerance of benthic foraminifera (Protista: Sarcodina) to hydrogen sulphide. *Marine Ecology Progress Series*, 169: 77–86.

- Moodley, L., van der Zwaan, G.J., Rutten, G.M.W. et al. (1998b). Subsurface activity of benthic foraminifera in relation to porewater oxygen content: laboratory experiments. *Marine Micropaleontology*, 34: 91–106.
- Moodley, L., Middelburg, J.J., Boschker, H.T.S., Duineveld, G.C.A., Pel, R., Herman P.M.J., Heip, C.H.R. (2002). Bacteria and Foraminifera: key players in a short-term deep-sea benthic response to phytodetritus. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol. 236: 23–29.
- Murray, J. (1982). Benthic foraminifera: the validity of living, dead or total assemblages for the interpretation of palaeoecology. *Micropalaeontol.* 1: 137–140.
- Murray, J. (1991). “Ecology and Paleoecology of Benthic Foraminifera”. Longman, p. 398.
- Murray, J. (2000). “Major aspects of foraminiferal variability (standing crop and biomass) on a monthly scale in an intertidal zone”. *Journal of Foraminiferal Research*, 30, (3): 177-191.
- Murray, J. (2006). *Ecology and Applications of Benthic Foraminifera*. Cambridge University Press, Cambridge, 426 pp.
- Murray, J.W., Bowser, S.S. (2000). Mortality, protoplasm decay rate, and reliability of staining techniques to recognize ‘living’ foraminifera: a review. *Journal of Foraminiferal Research* 30: 66–77.

- Muxika, I., Borja A., Bonne W. (2005). The suitability of the marine biotic index (AMBI) to new impact sources along European coasts. *Ecol. Ind.* 5: 19–31.
- Nardelli, M.P. (2012). Response of benthic foraminifera to pollution through experimental and in situ studies: advances in biological aspects and tools for future application in biomonitoring. Tesi di laurea. Università Politecnica delle Marche.
- Nyholm, K.G. (1952). Studies on recent Allogromiidae (1). *Micrometula hyalostriata* n. gen., n. sp., from the Gullmar Fjord, Sweden. *Contrib. Cushman Found Foraminiferal Res.* 3:14–17, plates 4 and 5.
- Nyholm, K.G. (1974). New monothalamous Foraminifera. *Zoon*, 2: 117–122.
- Pancotti, I. (2004). biodiversità della fauna a foraminiferi bentonici nell'area del mare di Ross (Antartide) confronto tra biocenosi e tanatocenosi – tesi di laurea.
- Pancotti, I. (2011). Variazioni longitudinali, batimetriche e biogeografiche di abbondanza, biomassa e diversità della meiofauna a foraminiferi bentonici nel Mediterraneo profondo e Atlantico. Università Politecnica delle Marche.

- Panieri, G. (2005). Benthic foraminifera from a recent, shallow water hydrothermal environment in the Aeolian Arc (Tyrrhenian Sea). *Mar. Geol.* 218: 207–229.
- Panieri, G. (2006a). Foraminiferal response to an active methane seep environment: a case study from the Adriatic Sea. *Mar. Micropaleontol.* 61: 116–130.
- Panieri, G. (2006b). The effect of shallow marine hydrothermal vent activity on benthic foraminifera (Aeolian Arc, Tyrrhenian Sea). *J. Foraminifer. Res.* 36: 3–14.
- Parisi, E. (1981). Distribuzione dei foraminiferi bentonici nelle zone batiali del Tirreno e del Canale di Sicilia. *Rivista Italiana di Paleontologia* 87(2): 293–328.
- Pawlowski, J. (2000). Introduction to the molecular systematics of foraminifera. *Micropaleontology* 46 (Supplement no.1): 1–12.
- Pawlowski, J., Fahrni, J.F., Brykzyska, U., Habura, A., Bowser, S.A. (2002). Molecular data reveal high taxonomic diversity of allogromiid Foraminifera in Explorers Cove (McMurdo Sound, Antarctica). *Polar Biology*, volume 25, p. 96–105.

- Pawłowski, J., Holzmann, M., Berney, C., Fahrni, J., Cedhagen, T., Bowser, S.S. (2002b). Phylogeny of allogromiid Foraminifera inferred from SSU rRNA gene sequences. *Journal of Foraminiferal Research* 32: 334–343.
- Pawłowski, J., Holzmann, M., Berney, C., Fahrni, J., Gooday, A.J., Cedhagen, T., Habura, A., and Bowser, S.S. (2003). The evolution of early Foraminifera: *Proc. Natl. Acad. Sci. (USA)*, v. 100, p. 11494–11498.
- Pawłowski, J., Fontaine, D., Aranda da Silva, A., Guiard, J. (2011). Novel lineages of Southern Ocean deep-sea foraminifera revealed by environmental DNA sequencing. *Deep Sea Research II* 58: 1996–2003.
- Pawłowski, J., Holzmann, M., Tyszka, J. (2013). New supraordinal classification of Foraminifera: Molecules meet morphology. *Marine Micropaleontology* 100: 1–10.
- Penard, E. (1899). Les rhizopodes de faune profonde dans le lac Léman *Rev. Suisse Zool.* 7: 82–99.
- Penard, E. (1905). Notes sur quelques Sarcodines – 12. *Paulinella chromatophora*. Lauterborn. *Rev. Suisse Zool.* 13: 585–616.
- Phleger, F.B and Soutar, A. (1973). Production of benthic Foraminifera in three east Pacific oxygen minima. *Micropaleontology*, 19: 110–15.

- Porter, S.M., Meisterfeld, R., and Knoll, A.H. (2003). Vase-shaped microfossils from the Neoproterozoic Chuar Group, Grand Canyon: A classification guided by modern testate amoebae: *Journal of Paleontology*, v. 77, p. 409–429.
- Pucci, F. (2003). Biodiversità della fauna a foraminiferi bentonici lungo la fascia costiera marchigiana: confronto tra biocenosi e tanatocenosi. Tesi di laurea.
- Pucci, F., Geslin, E., Barras, C., Morigi, C., Sabbatini, A., Negri, A., Jorissen, F.J. (2009). Survival of benthic foraminifera under hypoxic conditions: results of an experimental study using the Cell Tracker Green method. *Mar. Pollut. Bull.* 59: 336–351.
- Pusceddu, A., Cattaneo-Vietti, R., Albertelli, G., Fabiano, M. (1999). Origin, biochemical composition, and vertical flux of particulate organic matter under the pack ice in Terra Nova Bay (Ross Sea, Antarctica) during late summer 1995. *Polar. Biol.* (1999) 22: 124–132.
- Pusceddu, A., Sarà, G., Armeni, M., Fabiano, M., Mazzola, A. (1999). Seasonal and spatial changes in the sediment organic matter of a semi-enclosed marine system (W-Mediterranean Sea). *Hydrobiologia*, March 1999, Volume 397: 59–70.

- Pusceddu, A., Dell'Anno, A., Fabiano, M., Danovaro, R. (2009). Quantity and bioavailability of sediment organic matter as signatures of benthic trophic status. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 375: 41–52.
- Rathburn, A.E., Corliss, B.H., Tappa, K.D. and Lohmann, K.C. (1996). Comparisons of the ecology and stable isotopic compositions of living (stained) benthic foraminifera from the Sulu and South China Seas. *Deep-Sea Research*, 43: 1617–46.
- Reimers, C.E., Fisher, K.M., Merewether, R. et al. (1986). Oxygen microprofiles measured in situ in deep ocean sediments. *Nature*, 320: 741–4.
- Reiss, Z. (1958). Classification of lamellar Foraminifera. *Micropaleontology*, 4: 51–70.
- Resig, J.M. (1960). Foraminiferal ecology around ocean outfalls off southern California, in *Waste Disposal in the Marine Environment*, (ed E. Person), Pergamon Press, London, pp. 104–21.
- Reuss, A.E. (1861). Entwurf einer Systematischen Zusammenstellung der Foraminiferen. *Sitzungsberichte der K. Akademie der Wissenschaften*, Wien, 44: 354–96.
- Revs, S.A. (1996). The generic revision of the Bolivinitidae (Cushman, 1927). *Cushman Foundation Special Publication*, No. 34, pp. 1–55.

- Romano, E., Bergamin, L., Finoia, M.G., Carboni, M.G., Ausili, A., Gabellini, M. (2008). Industrial pollution at Bagnoli (Naples, Italy): benthic foraminifera as a tool in integrated programs of environmental characterisation. *Mar. Pollut. Bull.* 56: 439–457.
- Romano, E., Bergamin, L., Finoia, M.G., Magno, M.C., Mercatali, I., Ausili, A., Gabellini, M. (2009a). The effects of human impact on benthic foraminifera in the Augusta harbour (Sicily, Italy). In: Moksness E., Dahl E., Støttrup J.G. (eds). *Integrated coastal zone management*. Wiley-Blackwell Publishing, London.
- Romano, E., Bergamin, L., Ausili, A., Pierfranceschi, G., Maggi, C., Sesta, G., Gabellini, M. (2009b). The impact of the Bagnoli industrial site (Naples, Italy) on sea-bottom environment. Chemical and textural features of sediments and the related response of benthic foraminifera. *Mar. Pollut. Bull.* 59: 245–256.
- Rosenberg, R., Blomqvist, M., Nilsson, H.C., Cederwall, H., Dimming, A., (2004). Marine quality assessment by use of benthic species-abundance distributions: a proposed new protocol within the European Union Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin* 49: 728–739.

- Rutgers van der Loeff, M. M. (1990). Oxygen in pore waters of deep-sea sediments. *Philosophical Transactions Royal Society London, A*, 331: 69–84.
- Sabbatini, A., Morigi, C., Negri, A., Gooday, A. (2007). Distribution and biodiversity of stained monothalamous foraminifera from Tempelefjord, Svalbard. *J. Foraminiferal Research* 37 (2): 93–106.
- Sabbatini, A., Bonatto, S., Gooday, A.J., Morigi, C., Pancotti, I., Pucci, F., Negri, A. (2010). Modern benthic foraminifers at Northern shallow sites of Adriatic Sea and soft-walled, monothalamous taxa: a brief overview. *Micropaleontology*, 56 (3–4): 359–376.
- Sabbatini, A., Bonatto, S., Bianchelli, S., Pusceddu, A., Danovaro, R., Negri, A. (2012). Foraminiferal assemblages and trophic state in coastal sediments of the Adriatic Sea. *Journal of Marine Systems*, 105: 163–174.
- Sabbatini, A., Nardelli, M.P., Morigi, C., Negri, A. (2013). Contribution of softshelled monothalamous taxa to foraminiferal assemblages in the Adriatic Sea. *Acta Protozool.* 52 (3):181–192.
- Sabbatini, A., Morigi, C., Nardelli, M.P., Negri, A. (2014). Foraminifera. In: Goffredo S., Dubinsky Z. (eds) *The Mediterranean Sea: its history and present challenges*. Springer, Dordrecht, p. 237.

- Sandulli, R. (2004). Il ruolo degli indicatori biologici nella valutazione dello stato dell'ambiente marino. *Biologia Marina Mediterranea* 11: 185–192.
- Schaudinn, F. (1895). Über den Dimorphism bei Foraminiferen. *Sitzungsberichte der Gesellschaft naturforschender Freunde zu Berlin*, 5, 87–97.
- Schmiedl, G., de Bovee, F., Buscail, R., Charrière, B., Hemleben, C., et al. (2000). Trophic control of benthic foraminiferal abundance and microhabitat in the bathyal Gulf of Lions, Western Mediterranean Sea. *Mar. Micropaleontol.* 40: 167–188.
- Schönfeld, J. (2012). History and development of methods in recent benthic foraminiferal studies. *J Micropalaeontol* 31: 53–72.
- Schönfeld, J., Alve, E., Geslin, E., Jorissen, F., Korsun, S., Spezzaferri, S., Members of the FOBIMO group (2012). The FOBIMO (FORaminiferal BIO-MONitoring) initiative – towards a standardized protocol for soft-bottom benthic foraminiferal monitoring studies. *Mar. Micropalaeontol.* 94–95: 1–13.
- Schultze, M.S. (1854). Über den Organismus der Polythalamien (Foraminiferen), nebs Bemerkungen über die Rhizopoden im Allgemeinen: Leipzig, Wilhelm Engelmann, 68 p.

- Schweizer, M., Pawlowski, J., Kouwenhoven, T.J., Guaird, J., van der Zwaan, G.J. (2008). Molecular phylogeny of the Rotaliida (Foraminifera) based on complete small subunit rDNA sequences. *Marine Micropaleontology* 66, 233–246.
- Scott, D.B. & Medioli, F.S. (1980a). Quantitative studies of marsh foraminiferal distributions in Nova Scotia: Implications for sea level studies. Cushman Foundation for Foraminiferal Research Special Publication, No. 17, pp. 1–58.
- Scott, D.B. and Medioli, F.S. (1980b) Living vs. total foraminiferal populations: their relative usefulness in paleoecology. *Journal of Paleontology*, 54, 814–31.
- Scott, D.B., Medioli, F.S., Schafer, C.T. (2001). *Monitoring in Coastal Environments using Foraminifera and the Camoebian Indicators*. Cambridge University Press. 177 pp.
- Seiglie, G.A. (1968). Foraminiferal assemblages as indicators of high organic carbon content in sediments and of polluted waters. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 52: 2231–41.
- Sen Gupta, B. K. (2003). *Modern Foraminifera*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

- Sen Gupta, B.K. and Machain-Castillo, M.L. (1993). Benthic foraminifera in oxygen-poor habitats. *Marine Micropaleontology*, 20: 183–201.
- Serandrei Barbero, R., Morisieri, M., Carbognin, L., Donnici, S. (2003). An inner shelf foraminiferal fauna and its response to environmental processes (Adriatic Sea, Italy). *Revista Española de Micropaleontología* 35: 241–264.
- Shirayama, Y. (1984). Vertical distribution of meiobenthos in the sediment profile in bathyal, abyssal and hadal deep sea systems of the Western Pacific. *Oceanologica Acta*, 7: 123–129.
- Soetaert, K., Heip, C., Vincx, M. (1991). The meiobenthos along a Mediterranean deep-sea transect off Calvi (Corsica) and in an adjacent canyon. *Mar. Ecol.* 12: 227–242.
- Tappan, H., Loeblich, Jr. A.R. (1988). Foraminiferal evolution, diversification, and extinction. *J. Paleontol.* 62: 695–741.
- Ujiié, Y., Kimoto, K., Pawlowski, J. (2008). Molecular evidence for an independent origin of modern triserial planktonic foraminifera from benthic ancestors. *Marine Micropaleontology* 69: 334–340.
- Vachard, D., Pille, L., Gaillot, J. (2010). Palaeozoic Foraminifera: systematics, palaeoecology and responses to global changes. *Revue de Micropaleontologie* 53: 209–254.

- Van der Zwaan, G.J. and Jorissen, F.J. (1991). Biofacial patterns in river-induced shelf anoxia, in *Modern and Ancient Continental Shelf Anoxia*, (eds R.V. Tyson and T.H. Pearson), Geological Society of London Special Publication, No. 58, pp. 65–82.
- Vickerman, K. (1992). The diversity and ecological significance of Protozoa. *Biodiversity and Conservation*, 1: 334–41.
- Walton, W.R. (1952). Techniques for recognition of living foraminifera. *Contributions of the Cushman Foundation for Foraminiferal Research* 3: 56–60.
- Watkins, J.G. (1961). Foraminiferal ecology around the Orange County, California, ocean sewer outfall. *Micropaleontology*, 7: 199–206.
- Wild, O., Prather M.J., Akimoto H. (2001). Indirect long - term global radiative cooling from NO_x Emissions. *Geophysical Research Letters* 28.9: 1719–1722.
- Yanko, V., Arnold, A., Parker, W. (1999). Effect of marine pollution on benthic foraminifera. In: Sen Gupta, B.K. (Ed.), *Modern Foraminifera*. Kuwer Academic, Dordecht, pp. 217–235.

ALLEGATI

RIP2 TABELLA DENSITA' FRAZIONE 63-150 µm

ALL. 11

REPLICA	PSEUDOREPLICA	PROFONDITA' (cm)	Allogromide sp. I	Allogromide spp.	Gloegullina sp.	Micrometula sp. hyalostriata	Micrometula sp.	Pammophaga sp. I	Pammophaga sp. 2 (Sonia)	Pammospheride sp. I	Totale monotalamici organici	Agglutinanti	Calcarei	Mitofidi	Mitofidi "no guscio"	Quinqueoculina longirostra	Quinqueoculina semmla	Spiroculina sp.	Totale politalamici mitofidi	Eggerella advena	Eggerella scabra	Lepohalysis scotti	Nodulina denaliniiformis	Textularia agglutinans	Textularia conica	Totale politalamici agglutinanti	Totale politalamici	Numero totale foraminiferi	N. SPECIE		
RI	P2	0-0.5 cm	1	1	1	5	1	1	1	1	9	8	17	4	1	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	12	44	61
RI	P2	0.5-1 cm	1	1	1	26	1	1	1	1	29	2	31	2	1	3	2	3	1	1	3	2	33	8	2	1	48	71	102	34	
RI	P2	1-1.5 cm	1	1	1	22	1	1	1	1	5	5	28	4	1	3	2	3	1	3	2	38	7	4	2	50	72	100	34		
RI	P2	1.5-2 cm	2	1	1	53	5	1	1	2	66	15	81	16	1	8	11	5	1	19	1	46	7	2	2	56	77	82	34		
RI	P2	0-2 cm	2	1	1	53	5	1	1	2	66	15	81	16	1	8	11	5	1	19	1	46	7	2	2	56	77	82	34		
RI	P2	0-0.5 cm	1	1	1	5	1	1	1	1	9	8	17	4	1	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	12	44	61
RI	P2	0.5-1 cm	1	1	1	26	1	1	1	1	29	2	31	2	1	3	2	3	1	3	2	33	8	2	1	48	71	102	34		
RI	P2	1-1.5 cm	1	1	1	22	1	1	1	1	5	5	28	4	1	3	2	3	1	3	2	38	7	4	2	50	72	100	34		
RI	P2	1.5-2 cm	2	1	1	53	5	1	1	2	66	15	81	16	1	8	11	5	1	19	1	46	7	2	2	56	77	82	34		
RI	P2	0-2 cm	2	1	1	53	5	1	1	2	66	15	81	16	1	8	11	5	1	19	1	46	7	2	2	56	77	82	34		
RI	P2	0-0.5 cm	1	1	1	5	1	1	1	1	9	8	17	4	1	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	12	44	61
RI	P2	0.5-1 cm	1	1	1	26	1	1	1	1	29	2	31	2	1	3	2	3	1	3	2	33	8	2	1	48	71	102	34		
RI	P2	1-1.5 cm	1	1	1	22	1	1	1	1	5	5	28	4	1	3	2	3	1	3	2	38	7	4	2	50	72	100	34		
RI	P2	1.5-2 cm	2	1	1	53	5	1	1	2	66	15	81	16	1	8	11	5	1	19	1	46	7	2	2	56	77	82	34		
RI	P2	0-2 cm	2	1	1	53	5	1	1	2	66	15	81	16	1	8	11	5	1	19	1	46	7	2	2	56	77	82	34		

STANDARDIZZAZIONE AD UN VOLUME DI 50cm³

REPLICA	PSEUDOREPLICA	PROFONDITA' (cm)	Allogromide sp. I	Allogromide spp.	Gloegullina sp.	Micrometula sp. hyalostriata	Micrometula sp.	Pammophaga sp. I	Pammophaga sp. 2 (Sonia)	Pammospheride sp. I	Totale monotalamici organici	Agglutinanti	Calcarei	Mitofidi	Mitofidi "no guscio"	Quinqueoculina longirostra	Quinqueoculina semmla	Spiroculina sp.	Totale politalamici mitofidi	Eggerella advena	Eggerella scabra	Lepohalysis scotti	Nodulina denaliniiformis	Textularia agglutinans	Textularia conica	Totale politalamici agglutinanti	Totale politalamici	Numero totale foraminiferi	N. SPECIE				
RI	P2	0-0.5 cm	10	0	0	50	0	10	10	10	90	80	170	40	10	40	30	30	0	30	0	10	10	20	20	20	20	100	210	110	440	610	
RI	P2	0.5-1 cm	0	10	10	260	0	0	10	290	20	20	310	20	0	30	10	30	0	30	0	10	10	20	20	20	20	10	200	100	480	710	1020
RI	P2	1-1.5 cm	0	0	220	0	0	0	0	230	50	50	280	40	0	10	30	20	0	10	0	10	380	70	40	0	500	720	1000	340	500	720	1000
RI	P2	1.5-2 cm	0	0	50	0	0	0	0	50	0	0	50	60	0	20	20	10	0	20	0	10	460	70	20	0	560	770	820	340	560	770	820
RI	P2	0-2 cm	20	10	10	530	50	10	10	20	660	150	810	160	10	80	110	50	30	20	30	40	1240	250	80	20	1660	2640	3450	3450	1660	2640	3450
RI	P2	0-0.5 cm	10	0	0	50	0	10	10	10	90	80	170	40	10	40	30	30	0	30	0	10	10	20	20	20	20	100	210	110	440	610	
RI	P2	0.5-1 cm	0	10	10	260	0	0	10	290	20	20	310	20	0	30	10	30	0	30	0	10	10	20	20	20	20	10	200	100	480	710	1020
RI	P2	1-1.5 cm	0	0	220	0	0	0	0	230	50	50	280	40	0	10	30	20	0	10	0	10	380	70	40	0	500	720	1000	340	500	720	1000
RI	P2	1.5-2 cm	0	0	50	0	0	0	0	50	0	0	50	60	0	20	20	10	0	20	0	10	460	70	20	0	560	770	820	340	560	770	820
RI	P2	0-2 cm	20	10	10	530	50	10	10	20	660	150	810	160	10	80	110	50	30	20	30	40	1240	250	80	20	1660	2640	3450	3450	1660	2640	3450

R= replica
P= pseudoreplica

ALL. 13

R2P1 TABELLA DENSITA' FRAZIONE 63-150 µm

REPLICA	PSEUDOREPLICA	PROFONDITA' (cm)	Allogromide sp.1	Micrometula sp.	Micrometula hyalostrata	Micrometula sp.	Pammophaga sp.2 (Sonia)	Pammospheride sp. 1	Pammospheride sp.2 (Sonia)	Totale monolamici organici	Lagenammina	Totale monolamici agglutinanti	TOTALE MONOTALAMICI	Agglutinanti	Politalamici Calcarei	Mitioidi	Agglutinanti	Totale politalamici agglutinanti	TOTALE POLLALAMICI	Numero totale foraminiferi	N. SPECIE		
R2	P1	0-0.5 cm	1	20	8	3	4	36	2	38	4	1	39	11	11	6	8	12	7	33	83	121	
R2	P1	0.5-1 cm	1	10	15	2	27	2	29	3	1	1	23	3	1	5	6	8	40	5	60	88	117
R2	P1	1-1.5 cm	1	15	8	4	28	1	29	1	1	1	18	3	1	5	6	8	40	5	51	74	103
R2	P1	1.5-2 cm	8	5	2	15	1	16	1	1	2	1	8	1	1	10	2	3	30	2	38	56	72
R2	P1	0-2 cm	2	53	36	6	106	6	112	9	2	2	88	18	2	31	19	26	118	17	182	301	413

STANDARDIZZAZIONE AD UN VOLUME DI 50cm³

REPLICA	PSEUDOREPLICA	PROFONDITA' (cm)	Allogromide sp.1	Micrometula sp.	Micrometula hyalostrata	Micrometula sp.	Pammophaga sp.2 (Sonia)	Pammospheride sp. 1	Pammospheride sp.2 (Sonia)	Totale monolamici organici	Lagenammina	Totale monolamici agglutinanti	TOTALE MONOTALAMICI	Agglutinanti	Politalamici Calcarei	Mitioidi	Agglutinanti	Totale politalamici agglutinanti	TOTALE POLLALAMICI	Numero totale foraminiferi				
R2	P1	0-0.5 cm	10	200	80	30	40	360	20	380	40	0	390	110	0	0	0	0	0	0	330	830	1210	
R2	P1	0.5-1 cm	0	100	150	0	20	270	30	10	0	0	230	30	0	0	0	0	0	0	600	880	1170	
R2	P1	1-1.5 cm	10	150	80	40	0	280	10	290	10	0	180	30	0	0	0	0	0	0	510	740	1030	
R2	P1	1.5-2 cm	0	80	50	20	0	150	10	160	10	0	80	10	0	0	0	0	0	0	380	560	720	
R2	P1	0-2 cm	20	530	360	60	30	1060	60	1120	90	20	880	180	20	30	310	190	260	1180	170	1820	3010	4130

R= replica
P= pseudoreplica

R2P3 TABELLA DENSITA' FRAZIONE 63-150 µm

REPLICA	PSEUDOREPLICA	PROFONDITA' (cm)	Micrometula hyalostata	Micrometula sp.	Pammophaga sp. 1	Pammospherde sp. 1	Saccaminde sp. 8	Vellara sp.	Totale monotalamici organici	Agglutinanti	Calcarei	Pollitalamici	Miloidi	Miloidi "no guscio"	Quinqueloculina semina	Spiroculina sp.	Triloculina sp.	Totale pollitalamici miloidi	Eggerella advena	Eggerella scabra	Lepthalysis scottii	Nodulina dentatiformis	Textularia agglutinans	Totale pollitalamici agglutinanti	TOTALE POLLITALAMICI	N. SPECIE
R2	P3	0-0.5 cm	5	10	6	6	1	21	2	23	1	23	4	23	4	1	4	4	2	2	16	8	1	27	54	77
R2	P3	0.5-1 cm	8	15	1	1	2	27	4	31	1	31	1	23	7	1	9	9	2	2	30	14	1	48	80	111
R2	P3	1-1.5 cm	10	8	1	1	2	19	2	23	1	23	2	19	2	2	4	4	3	1	45	10	1	60	83	106
R2	P3	1.5-2 cm	5	6	1	1	1	13	1	14	3	17	2	16	2	2	2	4	1	4	23	7	35	55	69	
R2	P3	0-2 cm	28	39	2	7	1	3	80	8	3	91	13	81	5	1	2	21	8	7	114	39	2	170	272	363

STANDARDIZZAZIONE AD UN VOLUME DI 50cm³

REPLICA	PSEUDOREPLICA	PROFONDITA' (cm)	Micrometula hyalostata	Micrometula sp.	Pammophaga sp. 1	Pammospherde sp. 1	Saccaminde sp. 8	Vellara sp.	Totale monotalamici organici	Agglutinanti	Calcarei	Pollitalamici	Miloidi	Miloidi "no guscio"	Quinqueloculina semina	Spiroculina sp.	Triloculina sp.	Totale pollitalamici miloidi	Eggerella advena	Eggerella scabra	Lepthalysis scottii	Nodulina dentatiformis	Textularia agglutinans	Totale pollitalamici agglutinanti	TOTALE POLLITALAMICI	N. SPECIE
R2	P3	0-0.5 cm	50	100	0	60	0	210	10	230	10	230	40	230	40	0	0	40	20	20	160	80	10	270	540	770
R2	P3	0.5-1 cm	80	150	0	10	20	270	40	310	10	310	70	230	70	10	10	90	20	20	300	140	0	480	800	1110
R2	P3	1-1.5 cm	100	80	0	0	0	190	20	230	10	230	20	190	20	0	0	40	30	10	450	100	10	600	830	1060
R2	P3	1.5-2 cm	50	60	0	10	0	130	10	140	0	160	0	160	0	20	0	40	10	40	230	70	0	350	550	690
R2	P3	0-2 cm	280	390	20	70	10	3	800	80	30	810	50	810	130	10	20	210	80	70	1140	390	20	1700	2720	3630

R= replica
P= pseudoreplica

ALL. 16

R3P1 TABELLA DENSITA' FRAZIONE 63-150 µm

REPLICA	PSEUDOREPLICA	PROFONDITA' (cm)	Micrometula sp.	Micrometula sp. 1	Micrometula sp. 2 (Sonia)	Parmospheride sp. 1	Vellaria sp.	Totale monotalamici organici	Agglutinanti	Calcarei	Milioliti	Agglutinanti	Totale politalamici	Numero totale foraminiferi	N. SPECIE															
R3	P1	0-0.5 cm	8	13	1	1	24	6	30	2	3	7	5	7	5	7	34	11	1	1	12	7	42	7	56	102	132			
R3	P1	0.5-1 cm	15	22	1	1	39	4	43	4	5	6	2	5	6	8	1	38	6	3	1	10	7	5	39	7	58	106	149	
R3	P1	1-1.5 cm	10	17	1	1	28	4	32	4	2	3	2	6	3	2	1	30	6	3	1	3	5	5	30	5	45	78	110	
R3	P1	1.5-2 cm	15	7	1	1	25	3	28	3	1	5	2	5	2	1	1	16	17	4	2	2	2	2	27	7	38	54	82	
R3	P1	0-2 cm	48	59	2	3	116	17	133	13	5	15	20	3	14	22	11	118	17	4	2	2	25	21	12	138	26	197	340	473
			TOTALE MONOTALAMICI			TOTALE MONOTALAMICI			TOTALE MONOTALAMICI			TOTALE MONOTALAMICI			TOTALE POLITALAMICI			TOTALE POLITALAMICI			TOTALE POLITALAMICI			TOTALE POLITALAMICI			TOTALE POLITALAMICI			

STANDARDIZZAZIONE AD UN VOLUME DI 50cm³

REPLICA	PSEUDOREPLICA	PROFONDITA' (cm)	Micrometula sp.	Micrometula sp. 1	Micrometula sp. 2 (Sonia)	Parmospheride sp. 1	Vellaria sp.	Totale monotalamici organici	Agglutinanti	Calcarei	Milioliti	Agglutinanti	Totale politalamici	Numero totale foraminiferi	N. SPECIE															
R3	P1	0-0.5 cm	80	130	10	10	240	60	300	20	30	70	50	70	50	70	340	110	10	0	0	120	70	0	420	70	560	1020	1320	
R3	P1	0.5-1 cm	150	220	0	10	390	40	430	40	50	60	20	50	60	80	10	380	60	30	10	100	70	50	390	70	580	1060	1490	
R3	P1	1-1.5 cm	100	170	0	0	280	40	320	40	20	30	60	0	20	30	10	300	0	0	10	30	50	50	300	50	450	780	1100	
R3	P1	1.5-2 cm	150	70	0	10	250	30	280	30	0	30	10	0	50	0	10	160	0	0	0	20	20	20	270	70	380	540	820	
R3	P1	0-2 cm	480	590	20	30	1160	170	1330	130	50	150	200	30	140	220	110	60	40	50	40	20	250	210	120	1380	260	1970	3400	4730
			TOTALE MONOTALAMICI			TOTALE MONOTALAMICI			TOTALE MONOTALAMICI			TOTALE MONOTALAMICI			TOTALE POLITALAMICI			TOTALE POLITALAMICI			TOTALE POLITALAMICI			TOTALE POLITALAMICI			TOTALE POLITALAMICI			

R = replica
P = pseudoreplica

R3P3 TABELLA DENSITA' FRAZIONE 63-150 µm

REPLICA	PSEUDOREPLICA	PROFONDITA' (cm)	Allogromide sp.	Micrometula hyalostriata	Micrometula sp.	Psamphoga sp. 1	Saccamidae sp. 8	Vellaria sp.	Totale monotalamici organici	Agglutinanti	TOTALE MONOTALAMICI	Ammonia "giovane"	Ammonia parkinsoniana	Ammonia toepida	Aubygina perlucida	Bolivina spatulata	Bolivina striatula	Britzalina	Bulimina aculeata	Bulimina elongata	Bulimina marginata	Bulimina (cf) germanica	Hopkinsina pacifica	Nomonella sp.	Totale politalamici calcarei	Milioidi "no guscio"	Quinqueloculina semina	Quinqueloculina stelligera	Totale politalamici milioidi	Eggerella advena	Eggerella scabra	Leptohalysis scotti	Nodulina dentaliformis	Totale politalamici agglutinanti	TOTALE POLLITALAMICI	Numero totale foraminiferi	N. SPECIE
R3	P3	0-0.5 cm	10	8	1	19	1	18	1	1	19	5	2	2	6	10	2	2	2	2	2	2	2	1	32	29	1	30	2	7	9	18	36	98	117		
R3	P3	0.5-1 cm	18	12	1	33	4	1	1	3	5	4	1	1	3	5	3	1	3	1	1	1	1	1	18	12	2	15	5	3	11	4	23	56	89		
R3	P3	1-1.5 cm	9	9	2	22	4	1	3	2	2	4	1	3	2	2	2	2	3	1	3	1	1	1	24	8	1	9	5	2	21	9	37	70	92		
R3	P3	1.5-2 cm	6	5	11	1	12	1	4	1	4	1	4	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	4	1	5	1	1	18	3	23	37	49		
R3	P3	0-2 cm	1	43	34	1	1	2	82	4	86	1	17	2	7	13	17	3	8	2	5	3	3	2	83	53	4	2	59	13	13	59	34	119	261	347	

STANDARDIZZAZIONE AD UN VOLUME DI 50cm³

REPLICA	PSEUDOREPLICA	PROFONDITA' (cm)	Allogromide sp.	Micrometula hyalostriata	Micrometula sp.	Psamphoga sp. 1	Saccamidae sp. 8	Vellaria sp.	Totale monotalamici organici	Agglutinanti	TOTALE MONOTALAMICI	Ammonia "giovane"	Ammonia parkinsoniana	Ammonia toepida	Aubygina perlucida	Bolivina spatulata	Bolivina striatula	Britzalina	Bulimina aculeata	Bulimina elongata	Bulimina marginata	Bulimina (cf) germanica	Hopkinsina pacifica	Nomonella sp.	Totale politalamici calcarei	Milioidi "no guscio"	Quinqueloculina semina	Quinqueloculina stelligera	Totale politalamici milioidi	Eggerella advena	Eggerella scabra	Leptohalysis scotti	Nodulina dentaliformis	Totale politalamici agglutinanti	TOTALE POLLITALAMICI	Numero totale foraminiferi
R3	P3	0-0.5 cm	0	100	80	0	0	180	10	10	190	50	20	60	100	0	20	0	20	0	20	20	20	10	320	290	10	300	20	70	90	180	360	980	1170	
R3	P3	0.5-1 cm	10	180	120	10	10	330	0	0	330	40	10	30	50	0	0	0	30	10	0	0	0	0	180	120	20	10	150	50	30	110	40	230	560	890
R3	P3	1-1.5 cm	0	90	90	0	10	200	20	20	220	40	10	30	20	20	20	20	30	10	30	10	10	10	240	80	0	10	90	50	20	210	90	370	700	920
R3	P3	1.5-2 cm	0	60	50	0	0	110	10	10	120	40	10	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	40	10	0	50	10	180	30	230	370	490	
R3	P3	0-2 cm	10	430	340	10	10	20	820	40	860	10	170	20	70	130	170	30	80	20	50	30	30	20	830	530	40	20	590	130	130	590	340	1190	2610	3470

R = replica
P = pseudoreplica

REP. (P1-P2-P3) MASSIMO FREQUENZA RELATIVA %
FRONTE 63-150 µm

REP. (P1-P2-P3)	PROFONDITA' (cm)	Mesofitici	Organici	Agglutinati	Polifitici	Calcari	Mitotici	Agglutinati	TOTALE POLIFITICI	TOTALE MONOFITICI	Numero totale formanti															
R2	P1 0,2 cm	0,48	0,00	12,83	8,72	0,00	1,45	0,73	1,45	27,12	0,00	7,51	4,60	6,30	26,57	4,12	0,48	44,07	72,88	100,00						
R2	P2 0,2 cm	0,00	0,69	6,21	6,67	1,38	0,69	0,00	0,00	17,01	1,84	1,61	3,45	20,46	0,00	0,23	0,00	0,46	5,29	26,90	16,09	0,92	52,18	79,54	100,00	
R2	P3 0,2 cm	0,00	0,00	7,71	10,74	0,55	0,00	1,93	1,38	22,04	2,20	0,83	3,03	25,07	0,83	0,00	1,93	1,38	2,20	1,93	31,40	10,74	0,55	46,83	74,93	100,00

FREQUENZA RELATIVA % REPLICAZIONE PER IL SOLO INTERVALLO 0-2 CM DA CUIHO RACAVATO I GRABCI A TORTA

REP. (P1-P2-P3)	PROFONDITA' (cm)	Mesofitici	Organici	Agglutinati	Polifitici	Calcari	Mitotici	Agglutinati	TOTALE POLIFITICI	TOTALE MONOFITICI	Numero totale formanti
R2	P1 0,2 cm	13	7	5	6	2	2	31	11	4	29
R2	P2 0,2 cm	13	7	5	6	2	2	31	11	4	29
R2	P3 0,2 cm	8	11	2	2	2	2	31	11	4	29

R= replica
P= pseudoreplica

R3 (P1-P2-P3) RIASSUNTO FREQUENZA RELATIVA %
 FRAZIONE: 63-150 µm

Replica	Profondità (cm)	Allogramma sp.	Gliogramma	Micrometelia sp.	Micrometelia hyalostriata	Micrometelia sp.	Agglutinanti	Totale monolamici organici	Nourta polymorphides	Lagenammina	Ammonia "giovane"	Ammonia parkinsoniana	Ammonia loeplida	Abygina perlucida	Bohrina spinulata	Bohrina striatula	Bohrina sp.	Bulimina aculeata	Bulimina elongata	Bulimina denudata	Bulimina marginata	Haynesina (cf) germanica	Hopkinsina pacifica	Nonionella sp.	Totale polihalamici calcarei	Milioidi "no gusto"	Quinqueloculina longirostrata	Quinqueloculina seminula	Quinqueloculina stelligera	Totale polihalamici milioidi	Eggerella advena	Eggerella scabra	Lophalyxis scottii	Nodulina dentaliformis	Textularia agglutinans	Totale polihalamici agglutinanti	Totale POLITALAMICI	Numero totale foraminiferi
R1	P1	0,00	0,00	10,15	12,47	0,42	24,52	3,59	0,00	3,59	28,12	0,00	2,75	1,06	0,00	3,17	4,23	0,63	2,96	4,65	2,33	1,27	0,85	0,00	1,06	24,95	3,59	0,85	0,42	5,29	4,44	2,54	29,18	5,50	0,00	41,65	71,88	100,00
R1	P2	0,00	0,81	8,67	8,40	1,08	0,27	1,90	0,27	2,17	23,04	0,54	3,52	0,27	1,36	3,25	1,63	2,17	2,44	0,00	0,54	1,90	2,17	0,27	22,22	10,84	0,00	0,54	0,00	11,38	2,17	4,61	24,93	11,38	0,27	43,36	76,96	100,00
R1	P3	0,29	0,00	12,39	9,80	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	24,78	0,29	4,90	0,58	2,02	3,75	4,90	0,86	2,31	0,58	0,00	1,44	0,86	0,86	0,58	23,92	15,27	0,00	1,15	0,58	17,00	3,75	17,00	9,80	0,00	34,29	75,22	100,00

FREQUENZA RELATIVA % REPLICA R1 PER IL SOLO INTERVALLO 0-2 CM DA CUI HO RICAVATO I GRAFICI A TORTA

Replica	Profondità (cm)	Micrometelia hyalostriata	Micrometelia sp.	Lophalyxis scottii	Nodulina dentaliformis	OTHERS	Allogramme sp.	Gliogramma	Psamophaga sp. 1	Psamophaga sp. 2 (Sonia)	Psamospheride sp. 1	Saccamite sp. 8	Vellaria sp.	Lagenammina	Nourta polymorphides	Ammonia "giovane"	Ammonia parkinsoniana	Ammonia loeplida	Abygina perlucida	Bohrina spinulata	Bohrina striatula	Bohrina sp.	Bulimina aculeata	Bulimina elongata	Bulimina denudata	Bulimina marginata	Haynesina (cf) germanica	Hopkinsina pacifica	Nonionella sp.	Milioidi "no gusto"	Quinqueloculina longirostrata	Quinqueloculina seminula	Quinqueloculina stelligera	Eggerella advena	Eggerella scabra	Textularia agglutinans
R1	P1	10	12	29	5	43	0,00	0,00	0,42	0,63	0,42	0,00	0,42	3,59	0,00	2,75	1,06	0,00	3,17	4,23	0,63	2,96	4,65	2,33	1,27	0,85	0,00	1,06	3,59	0,85	0,42	4,44	2,54	0,00		
R1	P2	9	8	25	11	47	0,00	0,81	1,08	0,27	1,63	0,00	0,00	1,90	0,27	0,54	3,52	0,27	1,36	3,25	1,63	2,17	2,44	0,00	0,54	1,90	2,17	0,27	10,84	0,00	0,54	0,00	2,17	4,61	0,27	
R1	P3	12	10	17	10	51	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	0,58	1,15	0,00	2,9	4,90	0,58	2,02	3,75	4,90	0,86	2,31	0,58	0,00	1,44	0,86	0,86	0,58	15,27	0,00	1,15	0,58	3,75	3,75	0,00

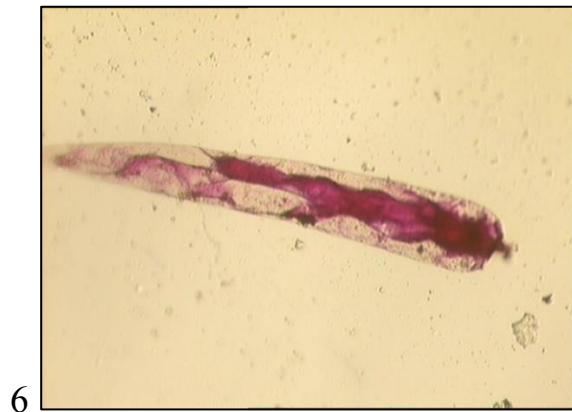
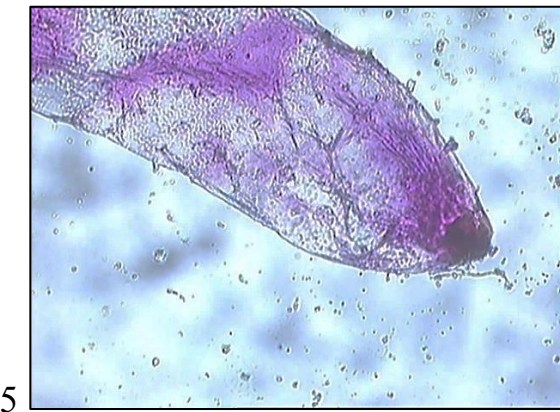
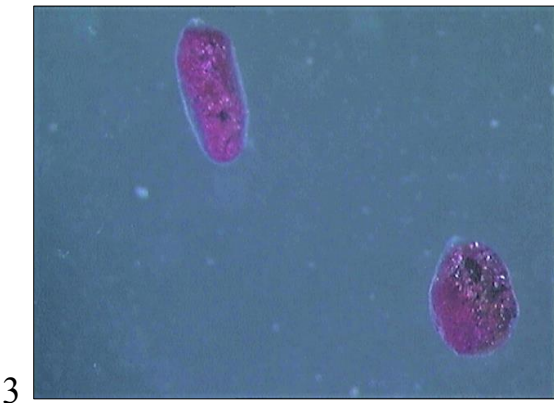
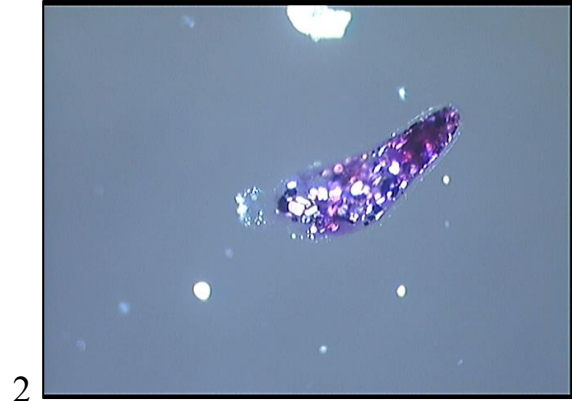
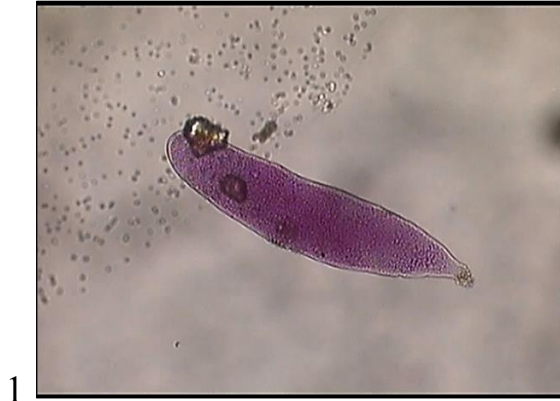
R= replica
 P= pseudoreplica

TAVOLE FOTOGRAFICHE

TAVOLA 1 – SPECIE MONOTALAMICHE ORGANICHE

1. *Gloiogullmia sp.* (ingrandimento 10x)
2. *Psammophaga sp. 1* (ingrandimento 10x)
3. *Psammophaga sp. 3*
4. *Micrometula hyalostriata* (ingrandimento 20x)
5. *Micrometula hyalostriata* (ingrandimento 40x)
6. *Micrometula sp.* (ingrandimento 20x)

TAVOLA 1



TAVOLE 2 E 3 – SPECIE POLITALAMICHE CALCAREE

1. *Ammonia parkinsoniana* ed *Ammonia perlucida* (ventrale) (7.5x)
2. *Aubygnina perlucida dorsale* (7.5x)
3. *Aubygnina perlucida ventrale* (7.5x)
4. *Bolivina striatula* (7.5x)
5. *Bulimina elongata* – 3 individui (7.5x)
6. *Bulimina denudata* (7.5x)
7. *Bulimina marginata* (7.5x)
8. *Brizalina spathulata* (7.5x)
9. *Haynesina germanica* (7.5x)
10. *Nonionella stella* (7.5x)
11. *Nonionella turgida* (7.5x)

TAVOLA 2

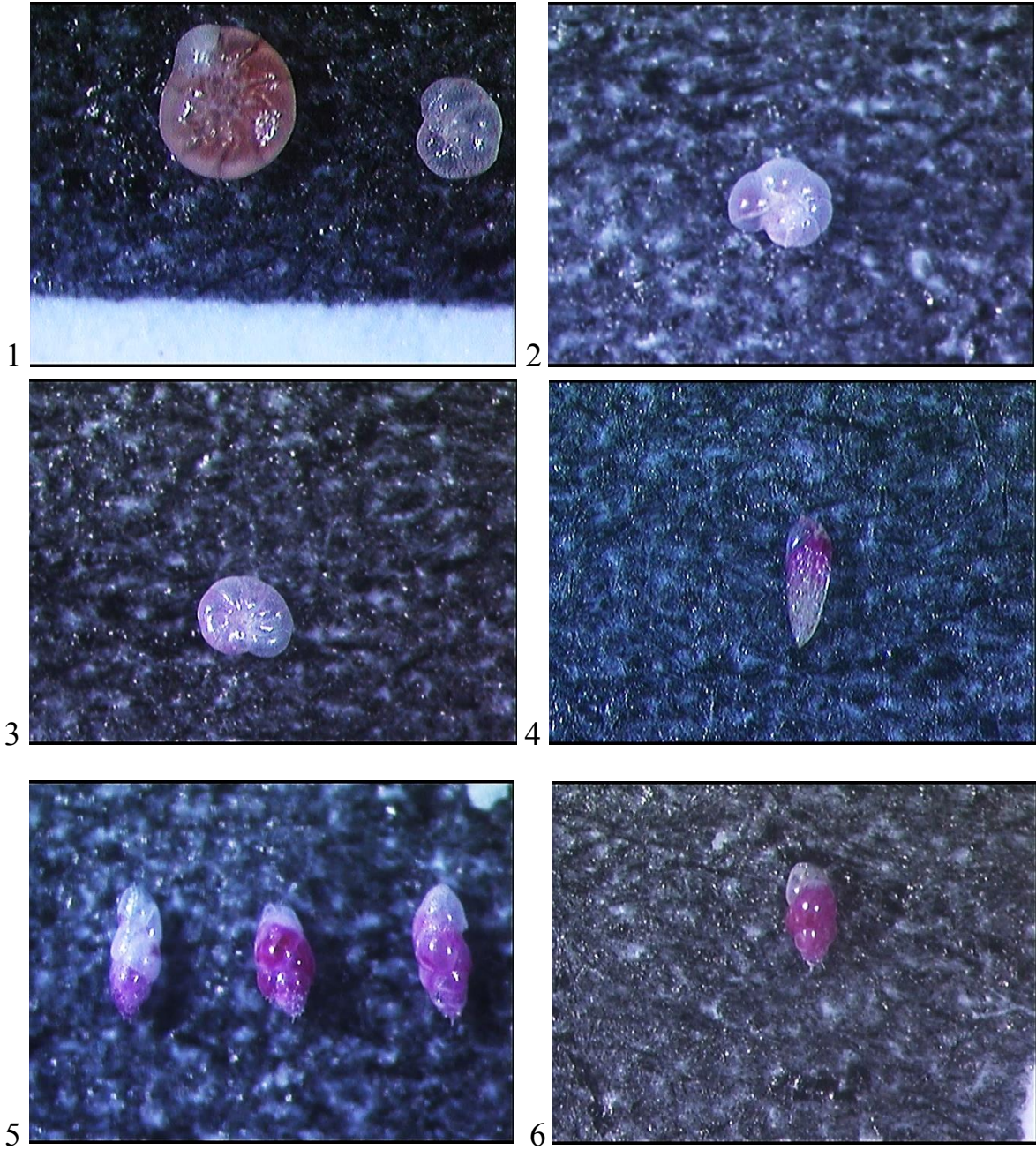


TAVOLA 3

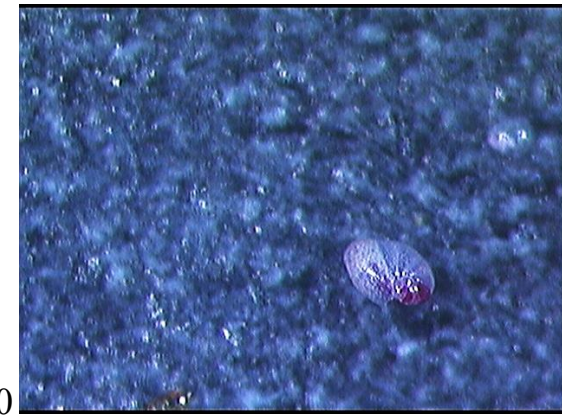
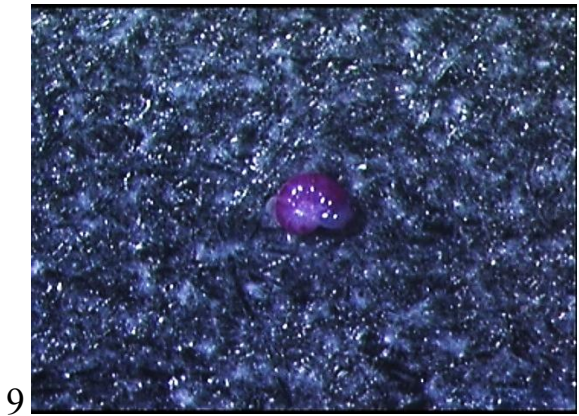
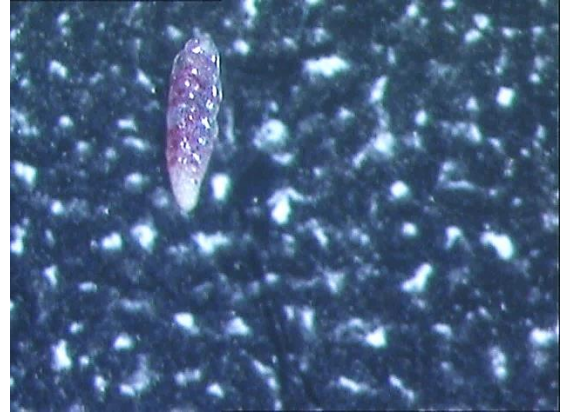


TAVOLA 4 – SPECIE POLITALAMICHE MILIOLIDI

1. *Quinqueloculina longirostra* (7.5x)
2. *Quinqueloculina seminula* (7.5x)
3. *Spiroloculina* sp. (7.5x)

TAVOLA 4



TAVOLA 5 – SPECIE POLITALAMICHE AGGLUTINANTI

1. *Eggerella scabra* (7.5x)
2. *Eggerella scabra* con uova di *Turbellaria epifita* (7.5x)
3. *Leptohalysis scottii* (10x)
4. *Leptohalysis scottii* (20x)

TAVOLA 5

