

CAPITOLO 4

Biostratigrafia e Paleoecologia

Una volta analizzate le successioni clastiche da un punto di vista sedimentologico e definiti i loro caratteri stratigrafici e geometrici, si è proceduto con le analisi paleoecologiche e biostratigrafiche.

In particolare, le prime hanno come scopo quello di verificare le variazioni nella profondità deposizionale, eventualmente comparabili a quelle riconosciute attraverso l'osservazione dei rapporti verticali tra le associazioni di *facies* deltizie.

Questi ultimi evidenziano un generale *trend fining-deepening upward*, interrotto ciclicamente da fasi regressive; poiché si è ipotizzato che questa organizzazione sia in parte legata a delle modeste oscillazioni eustatiche, la datazione dei depositi, attraverso un'analisi biostratigrafica, si è resa necessaria al fine verificare se e in che modo tali oscillazioni potessero corrispondere a quelle del Pleistocene inferiore.

4.1. Campionamento:

Le analisi biostratigrafiche e paleoecologiche sono state eseguite su 36 campioni, dei quali 28 sono relativi alla successione pelitica, denominata "sezione R", lungo la quale, i campioni sono stati prelevati in sezione verticale ad un intervallo di circa ogni metro (figura 4.1); in particolare, questa successione affiora in sinistra orografica del Torrente Buda, nel settore più occidentale dell'area di studio e, procedendo verso

est, passa eteropicamente ai depositi più grossolani che rappresentano gli ambienti più prossimali del sistema deltizio.



Figura 4.1: Panoramica della “sezione R”.

Altri 3 campioni sono stati prelevati lungo la successione pelitica affiorante sempre nel settore occidentale dell’area di studio, in corrispondenza del centro abitato di Luzzi e denominata “sezione L”, rispettivamente, nella sua porzione inferiore, mediana e superiore, per uno spessore complessivo di circa 25 m.

Infine, in modo da verificare un’eventuale differenza di età rispetto alle successioni affioranti in sinistra del Fiume Crati, sono stati analizzati 3 campioni relativi, rispettivamente, alle sezioni S e T; la prima è ubicata in sinistra del Torrente Surdo, in corrispondenza della medesima località; la seconda in sinistra del Torrente Finita e precisamente in località Cozzo la Torre.

4.2. Biostratigrafia:

L'analisi biostratigrafica è stata basata sull'analisi delle associazioni a foraminiferi. A tal fine si è fatto principalmente riferimento allo schema biozonale di Sprovieri (1992, 1993), ma si è anche tenuto conto di bioeventi con valenza regionale segnalati in letteratura (Sprovieri & Hasegawa, 1990; Pasini & Colalongo, 1994, Patacca & Scandone, 2004; *inter alias*). Per la tassonomia dei foraminiferi bentonici si è fatto per lo più riferimento a Sgarrella e Moncharmont-Zei (1993).

L'analisi delle associazioni a foraminiferi bentonici è stata realizzata mediante analisi quantitativa. Per le associazioni a foraminiferi planctonici ci si è limitati ad un'analisi qualitativa finalizzata all'individuazione dei principali *markers* biostratigrafici.

Quasi tutte le sezioni analizzate (**L**, **R**, **S**) sono caratterizzate dalla presenza di *Hyalinea baltica*, in associazione con *Bulimina elegans marginata* e *Bulimina etnea*. In particolare, nella sezione **R**, *Hyalinea baltica* è presente fin dai campioni basali. Nella sezione stratotipica della Vrica (Pasini & Colalongo, 1994), la comparsa di *Bulimina elegans marginata* avviene a 1.84 Ma (Pasini & Colalongo, 1994) approssimando molto da vicino il limite Gelasiano-Calabriano. La comparsa di *Bulimina etnea* è riportata a circa 1.65 Ma, nell'ambito del Calabriano. La prima comparsa (FO) di *Hyalinea baltica* è segnalata (Pasini & Colalongo, 1994) intorno 1.5 Ma, e marca il limite tra i sottopiani Santerniano ed Emiliano. In nessuno dei campioni analizzati è stata rinvenuta *Globorotalia truncatulinoides excelsa*, la cui *First occurrence* avviene a 1.19 Ma, associata al passaggio Emiliano-Siciliano (Sprovieri, 1993).

Su questa base le successioni analizzate possono essere interamente

riferite all'Emiliano.

I campioni della sezione **T** non hanno fornito faune significative, essendo caratterizzati da forme tipiche di ambiente infralittorale (vedi oltre).

4.3. Paleoecologia:

L'analisi quantitativa delle associazioni a foraminiferi bentonici è stata condotta su 34 campioni, analizzando la frazione maggiore di 125 micron. Per ciascun campione, se possibile, sono stati classificati non meno di 300 individui, estratti da frazioni del residuo di lavaggio.

Per ciascun campione fossilifero è stato computato l'indice di diversità di Yule-Simpson, nella forma:

$$1/(\sum_{i=1}^p n_i^2)/N$$

in cui N è il totale degli individui, e n_i il numero di esemplari di ciascuna specie delle p specie.

I dati relativi alle associazioni a foraminiferi bentonici sono stati analizzati mediante tecniche di analisi composizionale, sulla base dell'approccio statistico sviluppato da Aitchison (1986). Queste tecniche sono fondamentalmente basate, invece che sull'analisi dei dati percentuali originali, sui logaritmi dei rapporti tra variabili (*logratios*). I dati in oggetto sono stati analizzati per mezzo di una *constrained cluster analysis* (Grimm, 1987) e su *relative variation biplots* (Aitchison and Greenacre, 2001).

La *constrained cluster analysis* è stata utilizzata per suddividere i campioni della sezione **R**, costituita 28 campioni, in intervalli mantenendo l'ordine stratigrafico. La suddivisione così ottenuta è stata

anche utilizzata per visualizzare i campioni nei biplots. La *constrained Cluster Analysis* è stata applicata ai dati log centrati utilizzando quindi la distanza di Aitchison (equivalente alla distanza euclidea tra dati logcentrati), come misura di similarità (Di Donato *et alii*, 2008).

Per quanto riguarda la descrizione dettagliata dei metodi e della terminologia relativa ai *relative variation biplots*, si fa riferimento a Aitchison and Greenacre (2001); in questa sede è sufficiente ricordare che la tecnica è basata sulla decomposizione in valori singolari della matrice dei dati logcentrati. Questa trasformazione può essere scritta, per ciascuna composizione, come (Aitchison, 1986):

$$clr(x) = \ln \left(\frac{x_i}{g(x)} \right) \quad \text{dove } g(x) = \left(\prod_{i=1}^d x_i \right)^{1/d} \text{ è la media}$$

geometrica della composizione. La caratteristica fondamentale dell'analisi è quella di rappresentare il set di dati multivariati in un sistema a dimensionalità ridotta, in genere un sistema bi-dimensionale, con la minor perdita possibile di informazione contenuta nel set di dati originale. Nei biplots sono rappresentate sia le variabili (nel nostro caso i taxa) che le osservazioni, con la finalità di investigare le relazioni tra variabili e tra queste e le osservazioni. In genere viene elaborato sia un *covariance biplot*, in cui viene data priorità alla rappresentazione delle variabili (mentre le osservazioni sono "sfericizzate"), sia un *form biplot* in cui viene data priorità alla rappresentazione delle osservazioni. Nell'interpretazione dei *relative variation biplots*, in parte simile a quella di una analisi delle componenti principali, assumono molta importanza i collegamenti (*links*) tra i vettori che rappresentano le variabili, e le relazioni tra questi e le osservazioni. In particolar modo la lunghezza di

un *link* è in relazione alla deviazione standard del *logratio* tra le due variabili. In pratica un *link* corto indica che le due variabili tendono ad essere presenti sempre nello stesso rapporto, al contrario un *link* lungo implica una variabilità ampia nel rapporto. Per quanto riguarda le osservazioni, le proiezioni di una osservazione sul collegamento tra due variabili è in relazione al *logratio*, per quella osservazione, delle variabili in oggetto.

I biplots sono stati elaborati includendo i campioni prelevati nelle diverse sezioni, che sono poi stati differenziati mediante colorazioni differenti. Come già scritto, per quanto riguarda la sezione **R**, è stata riportata la suddivisione ottenuta mediante la *constrained cluster analysis*.

Poiché l'analisi composizionale utilizza i logaritmi delle variabili, si rende necessaria una sostituzione dei valori nulli presenti nei dati originali. Per operare questa sostituzione si è seguito l'approccio di Daunis-i-Estadella *et alii* (2008) che viene applicata sui conteggi originali, seguendo un approccio bayesiano basato sulla stima a posteriori dei parametri di una distribuzione multinomiale (Walley, 1996). Al fine di ridurre il numero di sostituzioni, l'analisi dei dati è stata realizzata solo sui taxa più abbondanti. Inoltre i dati originali sono stati parzialmente aggregati in unità tassonomiche informali. Alcune indicazioni relative alla valenza ecologica dei principali taxa e delle principali unità tassonomiche sono riportate nella tabella 1:

<i>Ammonia beccarii</i>	Molto diffusa in fondali sabbiosi dell'infralittorale. Nell'Adriatico raggiunge elevate frequenze in sedimenti grossolani di mare basso (Jorissen, 1987). Nell'Adriatico centrale è abbondante tra 0 e 40 m (Morigi <i>et alii</i> , 2005).
<i>Ammonia tepida</i>	E' una specie eurialina. Nel Mediterraneo si ritrova in ambienti marini di mare basso, lagune e zone di delta (Fiorini & Vaiani, 2001, and references therein). Secondo Bradshaw (1957, 1961) il range ottimale di salinità per la sua riproduzione è limitato al 13-40‰. Nell'Adriatico attuale l'abbondanza di <i>A. tepida</i> (riportata come <i>Ammonia parkinsoniana</i> forma <i>tepida</i>) sembra essere in stretta relazione con il sistema di run-off del fiume Po (Jorissen, 1988), in un area caratterizzata per buona parte dell'anno da salinità ridotte. Almogi-Labin <i>et alii</i> (1995) interpretano associazioni fossili con <i>A. tepida</i> , <i>A. parkinsoniana</i> e <i>Cyprideis torosa</i> come indicatrici di condizioni mesoaline.
<i>Bigenerina nodosaria</i>	Nel Mediterraneo è riportata in fanghi batiali e circolittorali. Nel Golfo di Napoli è abbondante tra 60 e 500 m (Sgarrella and Zei-Moncharmont, 1993).
<i>Bolivina spathulata</i>	<i>Bolivina spathulata</i> è una specie opportunistica potenzialmente infaunale (Barmawidjaja <i>et alii</i> , 1992; Jorissen <i>et alii</i> , 1992).
<i>Bulimine</i> non costate (Include <i>B. aculeata</i> , <i>B. marginata</i> , <i>B. fusiformis</i> , <i>B. elongata</i> , <i>B. elegans marginata</i> , <i>B. etnea</i>).	<i>B. aculeata</i> e <i>B. marginata</i> , sono presenti nella zona infralittorale, tuttavia sono più abbondanti in fanghi del circolittorale e dell'epibatiale. <i>B. marginata</i> caratterizza anche associazioni profonde (Sgarrella and Moncharmont-Zei, e riferimenti inclusi). Attualmente <i>Bulimina aculeata</i> è abbondante in aree di elevata produttività (Schmiedl <i>et alii</i> , 2000; and references therein), ed è considerata una delle specie più opportuniste nel Mediterraneo (De Rijk <i>et alii</i> , 2000). Inoltre sembra in relazione, così come <i>Globobulimina</i> , con apporti di sostanza organica degradata nel sedimento (Schmiedl <i>et alii</i> , 2000). Nell'Adriatico attuale <i>B. marginata</i> (insieme a <i>B. aculeata</i>) caratterizza

	fondali fangosi di profondità intermedie, con correlazione positiva con la percentuale di sostanza organica.
<i>Cassidulina carinata</i>	Molto comune in fanghi del circolittorale e del batiale (Sgarrella & Zei-Moncharmont, 1993). E' inclusa tra le specie infaunali superficiali o intermedie, opportuniste. Comune in ambienti da mesotrofici a eutrofici con moderato impoverimento dell'ossigeno al fondo e nelle acque di poro (Schmiedl <i>et alii</i> , 2003). Nell'Adriatico centrale è presente a profondità >70m (Morigi <i>et alii</i> , 2005).
<i>Cassidulina crassa</i>	E' frequente in fanghi circolittorali a profondità maggiori di 100 m e abbondante in fanghi batiali (Sgarrella e Moncharmont-Zei, 1993).
<i>Cibicides lobatulus</i>	E' una specie molto comune, per lo più segnalata nella zona infralittorale, soprattutto in praterie a Posidonia dove in genere si ritrova attaccata alle foglie (Langer, 1888). E' anche presente in fondali detritici circolittorali (Sgarrella e Zei-Moncharmont, 1993).
<i>Cibicidoides pachyderma</i>	Nel Mar Mediterraneo è frequente a partire dalla zona epibatiale (Colom, 1974; Sgarrella e Moncharmont-Zei, 1993). Da epifaunale a infaunale poco profonda, richiede condizioni da oligo-mesotrofiche, e alte concentrazioni di ossigeno (Schmiedl <i>et alii</i> , 2000; 2003). Secondo Abu-Zied <i>et alii</i> (2008) nel Mediterraneo è una delle principali specie opportuniste in ambienti eutrofici.
<i>Elphidium macellum</i> - <i>Elphidium crispum</i>	Molto frequenti in a fondali sabbiosi infralittorali, anche associati alla presenza di copertura vegetale (Jorissen, 1987; Sgarrella e Monchermont-Zei, e riferimenti inclusi, 1993).
<i>Elphidium poyeanum</i> - <i>Elphidium granosum</i>	Nel Mare Adriatico <i>E.poyeanum</i> è associato a fondali sabbiosi dell'infralittorale (Jorissen, 1987), con una forte correlazione negativa rispetto alla batimetria. Preferisce, rispetto a <i>A.beccarii</i> , substrati a granulometria minore. <i>Elphidium granosum</i> è segnalato in sedimenti fini dell'infralittorale (Sgarrella e Zei-Moncharmont, 1993) e ambienti lagunari (Albani & Serandrei Barbero, 1990; Zampi & D'Onofrio, 1987).

<i>Globobulimina</i> sp.	Taxa infaunali profondi, molto resistenti a condizioni di scarsa ossigenazione. Sono comuni in margini continentali eutrofici (Mackensen and Douglas, 1989; Sen Gupta and Machain-Castillo, 1993; Schmiedl <i>et alii</i> , 2000).
<i>Globocassidulina subglobosa</i>	<i>G. subglobosa</i> è frequente in fanghi circalittorali e batiali. Nel Golfo di Napoli ha il suo optimum tra 80 e 110m (Sgarrella and Zei-Moncharmont, 1993). Nel record profondo del Mar Tirreno ha il suo optimum a circa 1000m. Nell'Adriatico è presente a profondità maggiori di 60 m, con una profondità media ponderata di 200m (Morigi <i>et alii</i> , 2005).
<i>Hoeglundina elegans</i>	E' segnalata in fondali del circalittorale (75-100m), e più frequente in fanghi epibatiali (Sgarrella and Zei-Moncharmont, 1993).
<i>Hyalinea baltica</i>	E' caratteristica di fanghi circalittorali e soprattutto batiali. Nel Mediterraneo nord occidentale si ritrova fino a 700 m (Bizon and Bizon, 1984). Può rinvenirsi anche in fanghi terrigeni costieri ((Blanc-Vernet, 1969).
<i>Melonis barleeaanum</i>	Nel Mediterraneo è abbondante in fanghi del circalittorale e del batiale (Sgarrella and Zei-Moncharmont, 1993). Nell'Adriatico è riportato nell'intervallo tra 60 e 100 m in fondali fangosi con alto contenuto di di sostanza organica (Jorissen, 1987).
<i>Quinqueloculina seminulum</i>	Nel Mediterraneo è abbondante nella zona infralittorale, si ritrova anche nella zona circalittorale (Sgarrella and Zei-Moncharmont, 1993).
<i>Sigmoilopsis schlumbergerii</i>	E' presente in fondali fangosi circalittorali e batiali. Nell'Adriatico è riportata per lo più tra 60 e 100 m in fondali fangosi ricchi di sostanza organica (Jorissen, 1987).
<i>Sphaeroidina bulloides</i>	Nel Mediterraneo è per lo più rinvenuta in fanghi circalittorali e batiali (Sgarrella & Zei-Moncharmont, 1993). E' inclusa nelle biofacies di acque profonde dell'Adriatico, risultando più abbondante nella scarpata superiore del suo settore meridionale (Jorissen,1987).

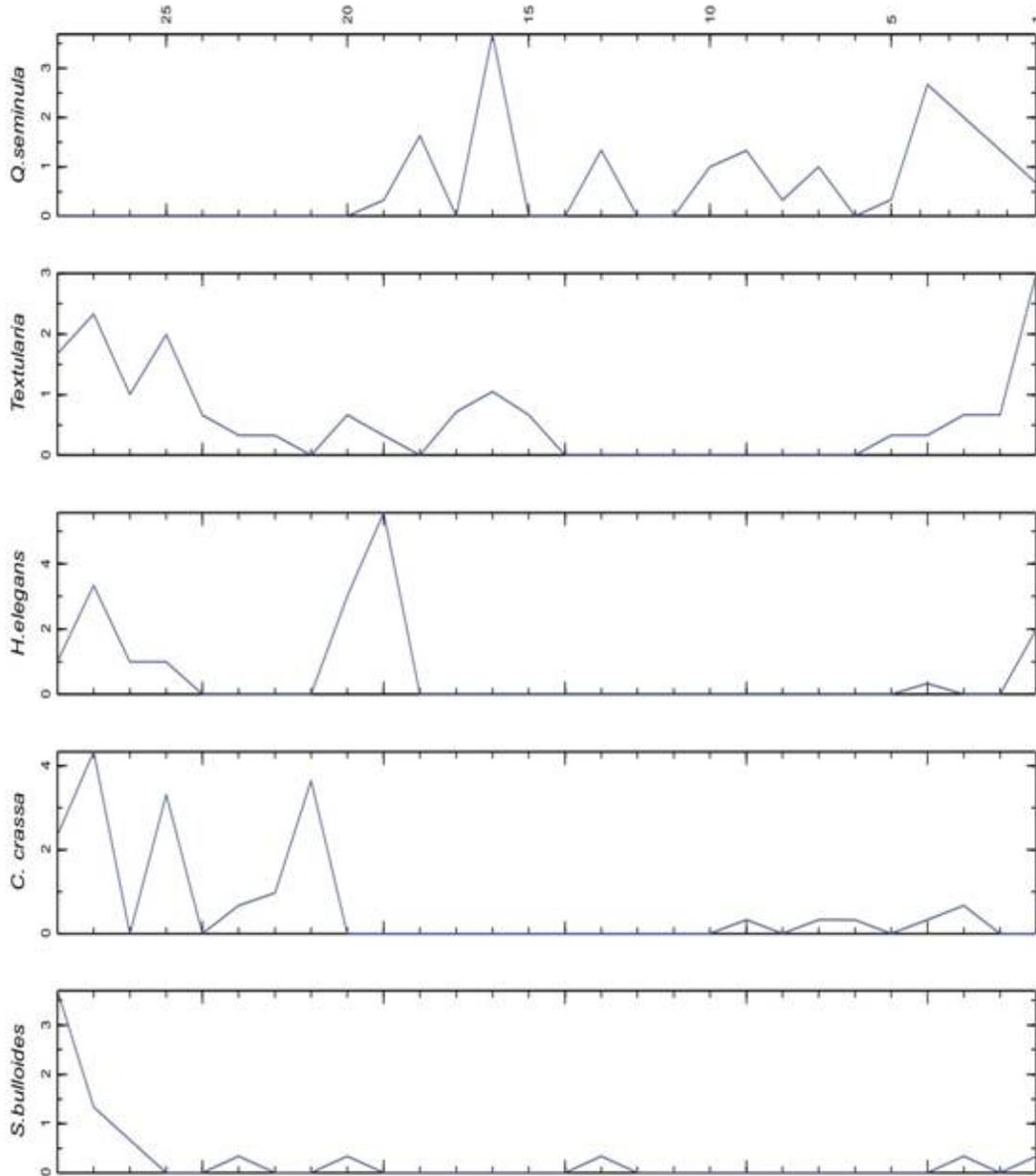
<i>Textularia</i>	Nell'Adriatico specie del genere <i>Textularia</i> sono presenti sia in biofacies di acque poco profonde che intermedie, in particolare in ambienti intermedi (in particolare tra 60 e 100 metri) tra il <i>clay-belt</i> e la piattaforma (Jorissen, 1987). Più in generale nel Mediterraneo il genere caratterizza fondali sabbioso-detritici dell'infra-circalittorale, in qualche caso sabbie fangose di tipo VTC (fanghi terrigeni costieri) o DC (detritico costiero).
<i>Uvigerina peregrina</i>	Presente dalla zona circalittorale, molto abbondante in fanghi batiali ha una distribuzione simile a quella di <i>U. mediterranea</i> (Sgarrella and Zei-Moncharmont, 1993), che è considerata una delle specie più opportuniste nel Mediterraneo (De Rijk <i>et alii</i> , 2000). <i>Uvigerina peregrina</i> sembra in relazione con la deposizione di sostanza organica fresca (Schmiedl <i>et alii</i> , 2000). Specie dei generi <i>Bolivina</i> , <i>Bulimina</i> e <i>Uvigerina</i> sono spesso associate a condizioni disossiche (Sen Gupta and Machain-Castillo, 1993).
<i>Valvulineria bradyana</i>	Caratteristica dei fanghi terrigeni costieri (Blanc-Vernet, 1969). Nel Mare Adriatico è associata a substrati fangosi con alto contenuto di sostanza organica (Jorissen, 1987) e si ritrova tra 40 e 80 m di profondità, con una media intorno i 60 m (Morigi <i>et alii</i> , 2005).

Tabella 1: Valenza ecologica dei principali taxa e delle principali unità tassonomiche.

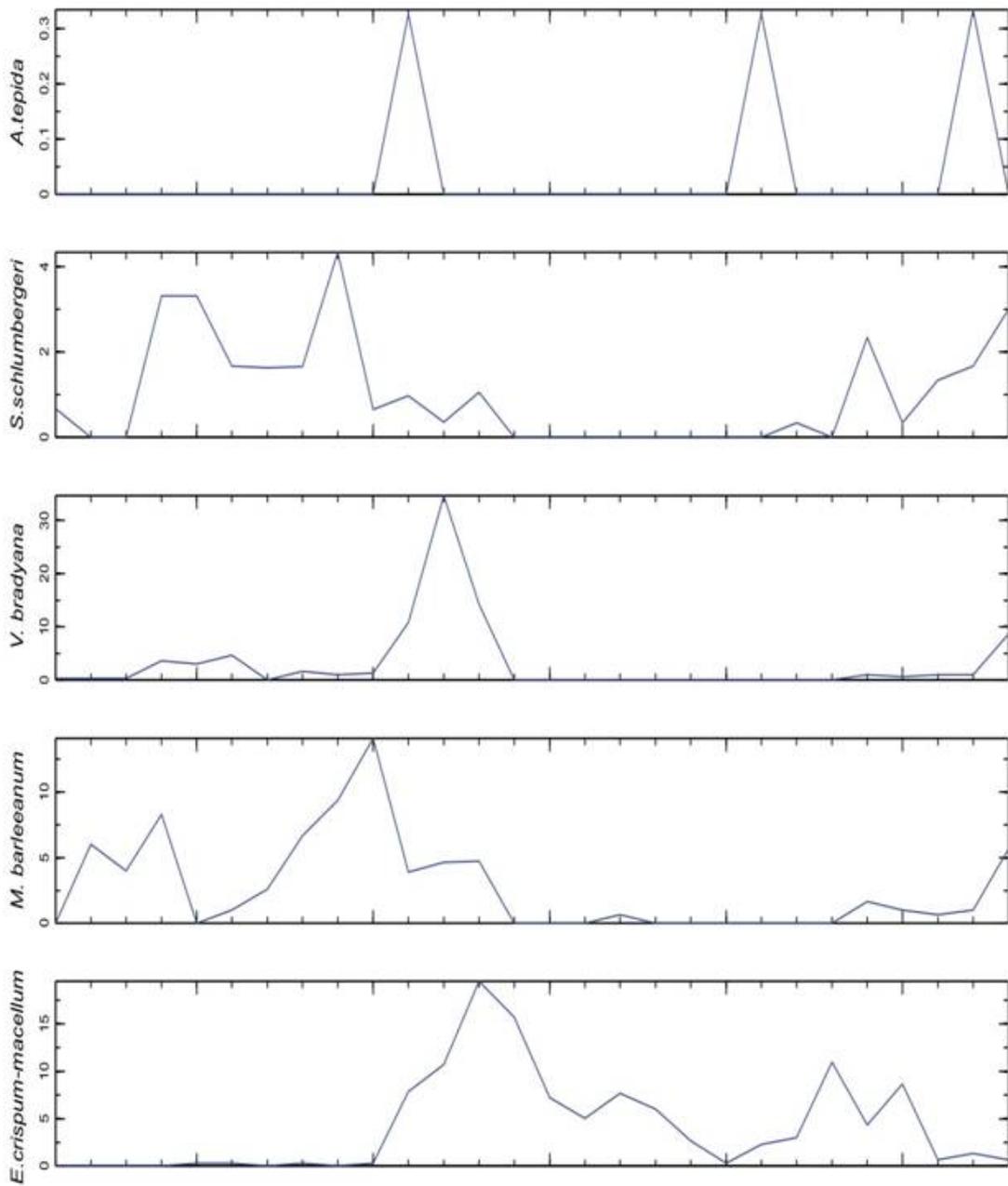
4.3.1. Risultati:

La figura 4.2 mostra la distribuzione dei foraminiferi bentonici nella sezione **R**. I taxa più abbondanti lungo questa sezione sono *C.carinata*, il gruppo "Bulimine non costate", *Bolivina spathulata*. Lungo la sezione si osservano alcuni importanti variazioni composizionali: la porzione inferiore è caratterizzata dall'abbondanza di *C.carinata*, Bulimine non costate, *Elphidium* spp.. Nell'intervallo centrale si osserva un picco di *Ammonia* e *Elphidium crispum-macellum*. Nella parte alta si osserva

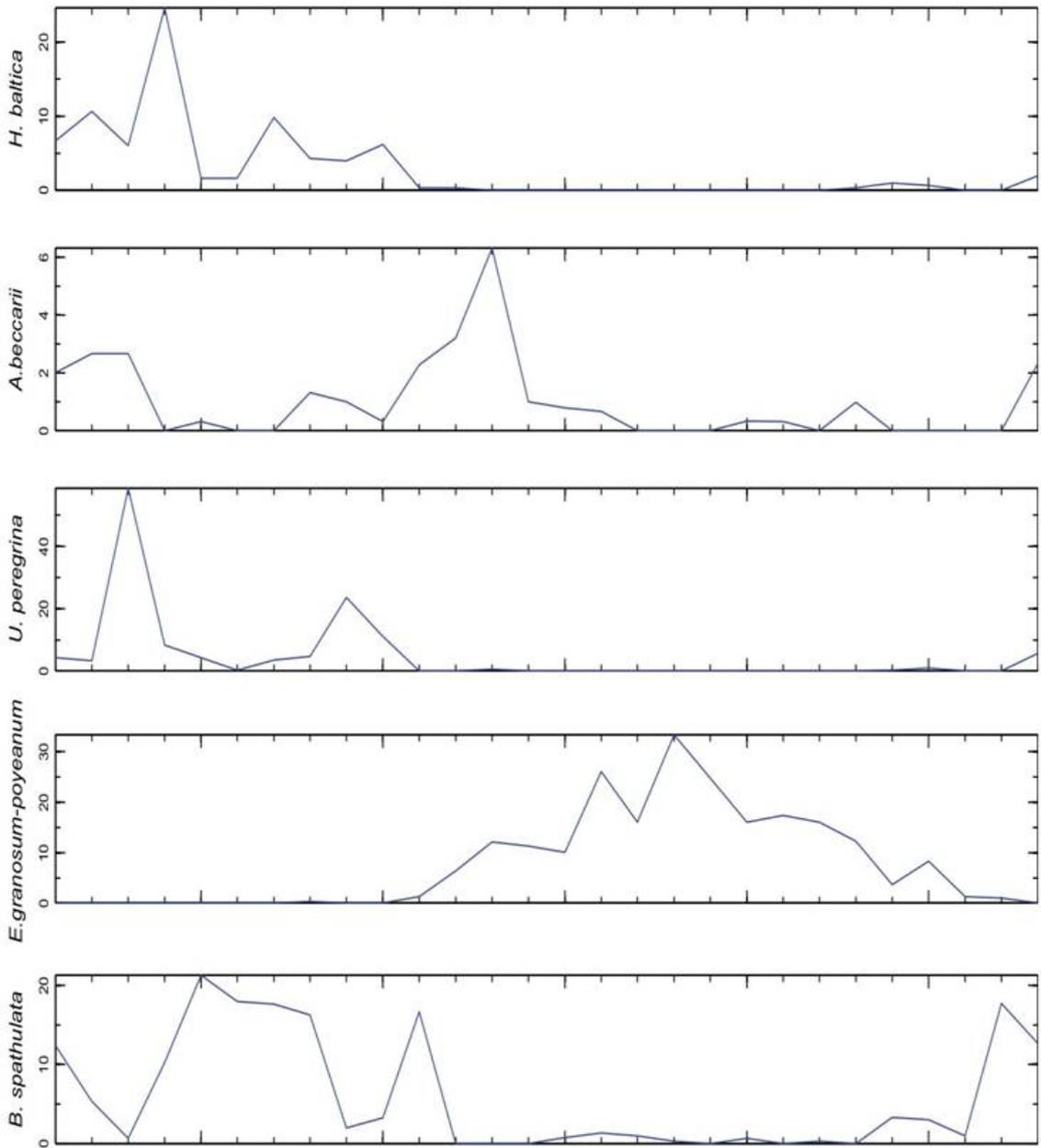
invece un incremento di *B.spathulata*, *Uvigerina peregrina*, *Hyalinea baltica*, *Melonis barleeanum*, *Cibicidoides* spp..



continua alla pagina seguente



continua alla pagina seguente



continua alla pagina seguente

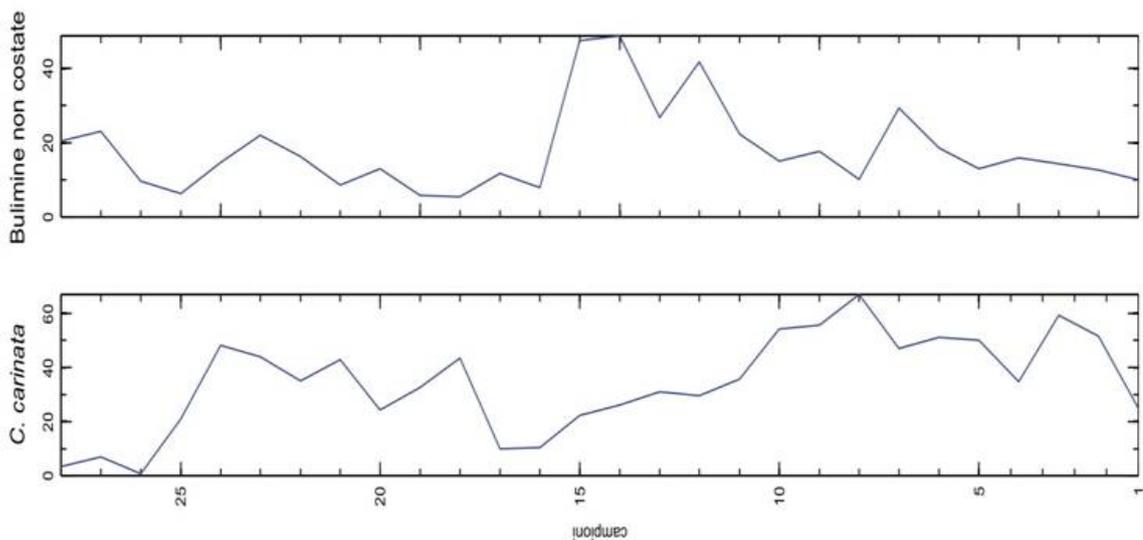


Figura 4.2: distribuzione dei foraminiferi bentonici lungo la sezione R.

L'incremento verso l'alto di taxa attualmente più abbondanti a partire da fondali epibatiali e la concomitante riduzione di taxa tipici di fondali dell'infralittorale quali *Elphidium granosum-poyeanum* suggerisce un progressivo incremento paleobatimetrico. L'abbondanza di *U.peregrina* e *B.spathulata* pare indicativa di condizioni di elevato flusso organico al fondo e ossigenazione ridotta.

4.3.2. Relative Variation Biplots:

I primi due assi dei biplots (figura 4.3) tengono in conto il 59.1% di variabilità totale. Il primo asse, che tiene in conto il 42.9% di variabilità, contrappone *Uvigerina peregrina*, *Hyalinea baltica*, *Melonis barleeanum*, ubicati sul lato positivo, rispetto a taxa del genere *Elphidium*, ubicati sul lato negativo. La lunghezza dei *links* tra le variabili collocate dai lati opposti dell'asse 1 corrisponde ad un'elevata deviazione standard nei *logratios* corrispondenti. Tenendo conto della valenza ecologica di questi taxa, si può interpretare questa contrapposizione in termini paleobatimetrici.

Il secondo asse mette in opposizione *Ammonia* rispetto a *Cassidulina*

carinata e *Bulimine* non costate. Una chiave interpretativa della variabilità orientata lungo quest'asse, potrebbe essere ricondotta alla contrapposizione tra condizioni di substrato fangoso con elevato flusso di sostanza organica e fondali più grossolani con tenori di sostanza organica minori.

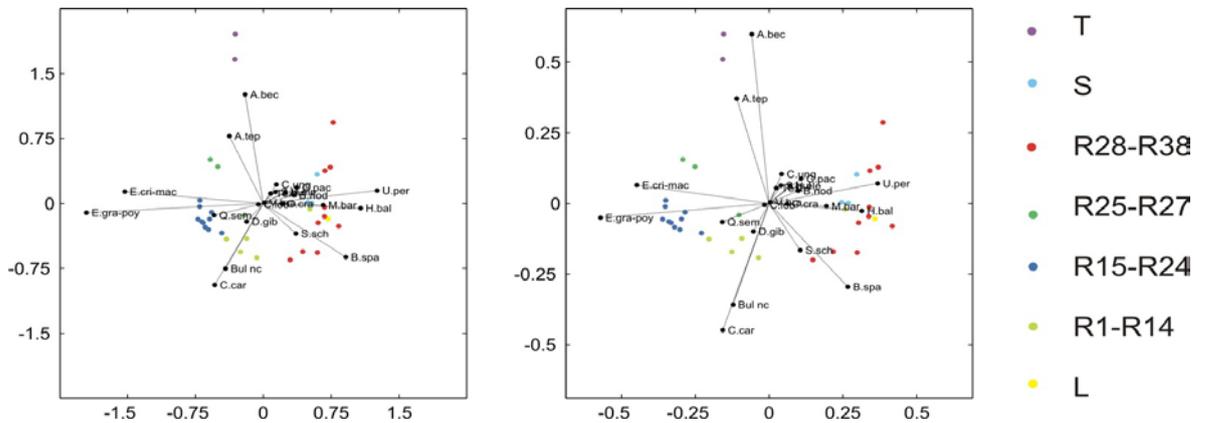


Figura 4.3: *Relative variation biplot* elaborati per le associazioni a foraminiferi bentonici delle sezioni analizzate. La diversa colorazione dei campioni è utilizzata per distinguere i campioni delle diverse sezioni. La successione R è stata suddivisa (vedi figura 4.4) in 4 intervalli.

Ai fini dell'interpretazione dei biplots è interessante considerare l'ubicazione dei campioni in relazione alle variabili. I campioni della sezione **T**, ben distinti rispetto alla restante parte dei campioni, sono collocati presso gli apici dei vettori relativi ad *Ammonia beccarii* e *Ammonia tepida*. Ciò evidenzia il carattere fortemente prossimale di questi campioni. Per quanto riguarda i campioni della sezione **R**, suddivisi sulla base della constrained cluster analysis in 4 intervalli (figura 4.4), si nota una netta separazione tra i campioni degli intervalli R1-R14, R15-R24 e R25-R27 collocati sul lato negativo dell'asse uno, tra gli apici di *C.carinata*, *Bulimine* non costate e *Elphidium* spp., rispetto a i campioni dell'intervallo R28-R38, collocati invece sul lato positivo in

prossimità dei vertici di *U. peregrina*, *H. baltica*, *B. spathulata*.

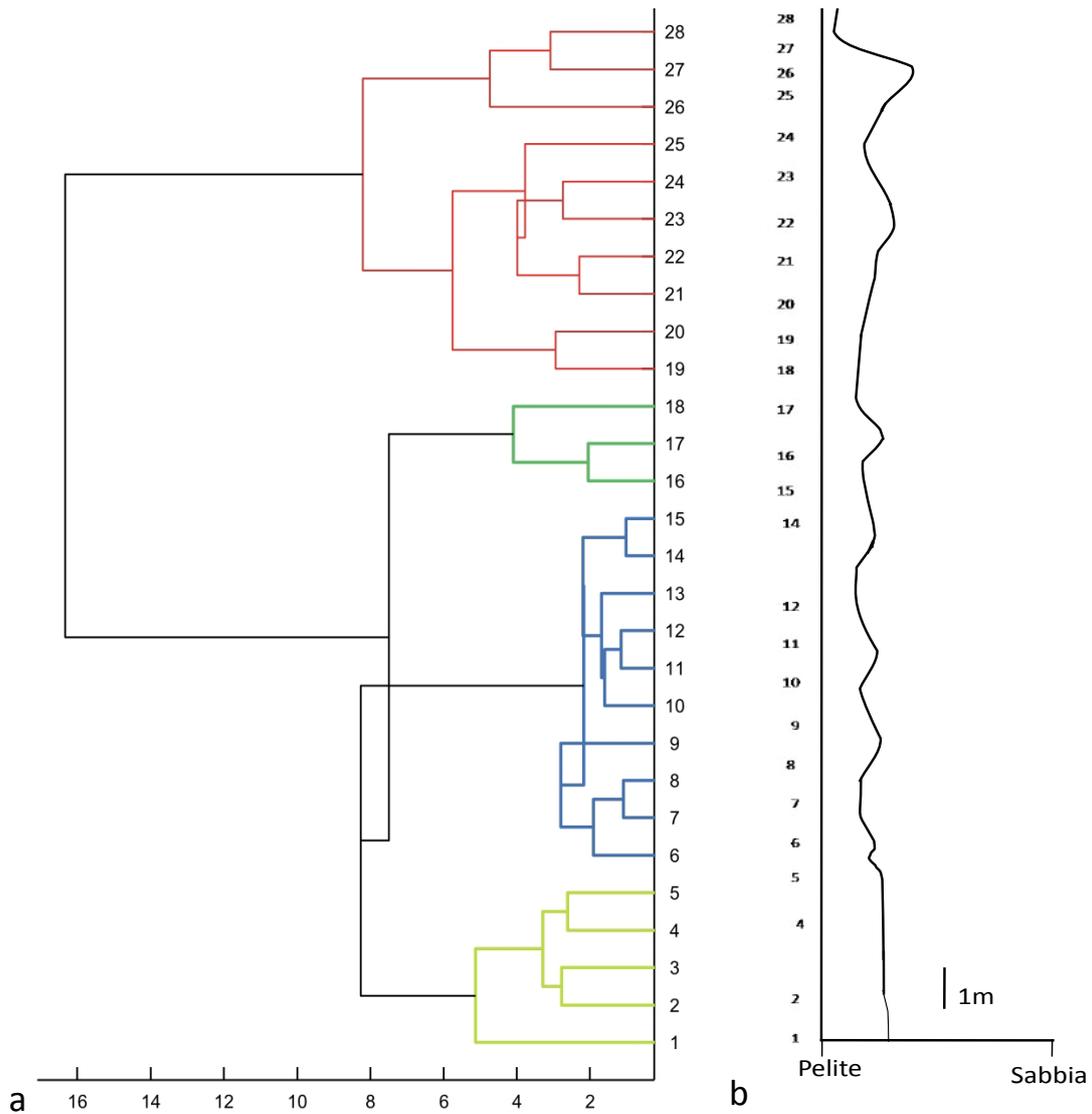


Figura 4.4a) *Constrained cluster analysis* relativa alle associazioni a foraminiferi bentonici della successione R. Gli intervalli in cui la sezione è stata suddivisa sono stati utilizzati per la rappresentazione dei campioni nei *relative variation biplots* (vedi Fig. 2); 4.4b) variazioni granulometrica lungo la sezione R.

Nel complesso i risultati indicano una tendenza verso l'alto della successione ad approfondimento, con condizioni inizialmente riferibili ad un ambiente infra-circalitorale che successivamente evolvono verso un ambiente francamente epibatiale.

E' comunque da notare che i campioni dell'intervallo R25-R27 mostrano

caratteri di maggior prossimalità rispetto a quelli sottostanti. Ciò potrebbe essere da imputare o ad all'instaurarsi di condizioni al fondo sottoposte all'influenza di ambiente infralittorale o, in alternativa, ad episodi di "*downslope displacement*" di taxa dell'infralittorale.

Inoltre, è stato importante riconoscere come questa variazione in termini paleoecologici avvenga in concomitanza alla comparsa di sedimenti relativamente più grossolani, così come visibile nella figura 4.4 b, nella quale sono riportate le variazioni granulometriche lungo la sezione R; ciò ben si accorda con l'organizzazione delle successioni più grossolane, per la quale si rimanda la capitolo 7.