



GLI ECHINOIDI DELLA FORMAZIONE DI PANTANO (MIOCENE MEDIO-INFERIORE) DELL'EMILIA

Enrico Borghi - Società Reggiana di Scienze Naturali

Riassunto: Viene qui proposto l'elenco aggiornato degli echinoidi presenti nella formazione di Pantano (Burdigaliano superiore-Langhiano) dell'Emilia, basato sui risultati ottenuti dalla ricerca sul campo e sulle revisioni tassonomiche recentemente pubblicate nella letteratura specializzata. Le specie riconosciute sono 41 (comprendendo anche quelle in nomenclatura aperta) e appartengono a 33 generi diversi.

Il significato paleoecologico dei fossili viene approfondito mediante considerazioni attualistiche, sulla base della morfologia funzionale e sui dati riportati in studi riguardanti gli echinoidi di altre zone del Miocene europeo. L'echinofauna nel complesso è ben differenziata, anche perchè è costituita da elementi provenienti da ambienti diversi. Mancano o sono molto rare le forme strettamente litorali. Buona parte delle specie sono tipiche di profondità moderata (infralitorale, circalitorale superiore), che sono però ben rappresentate quantitativamente solo nei membri di Montecuccolo, Sassoguidano, Bismantova e nelle lenti conglomeratiche presenti alla base del membro di Santa Maria. Nella maggior parte degli altri depositi fossiliferi prevalgono invece le forme di profondità più elevata; si tratta in questo caso di poche specie rappresentate da un buon numero di esemplari, spesso ben sviluppati dimensionalmente. Le forme tipicamente batiali, in particolare *Mazettia*, *Heterobrissus* e *Histocidaris*, costituiscono la parte più caratteristica della echinofauna della Formazione di Pantano, che ha consentito di studiare alcune specie che altrove sono molto rare e ancora poco conosciute.

La coesistenza di forme di ambienti e batimetrie diverse, che si evidenzia nella maggior parte dei depositi fossiliferi esaminati, la postura casuale dei fossili all'interno del sedimento e il loro stato di conservazione indicano chiaramente che gli echinoidi hanno subito un trasporto. La presenza di forme batiali in queste concentrazioni eterogenee testimonia che la deposizione finale è avvenuta, comunque, in un ambiente profondo.

Parole chiave: Echinoidi, Miocene medio-inferiore, Emilia-Romagna.

Abstract: [THE ECHINOIDS OF THE PANTANO FORMATION (EARLY-MIDDLE MIOCENE) OF EMILIA (NORTHERN ITALY)]. Echinoids are among the most common macrofossils in the Pantano Formation (Late Burdigalian-Langhian) of the Northern Apennines (Italy), due to their high fossilization potential. They have been object of several studies above all during the second half of the '800 and at the beginning of the '900. Most of the original classifications are obsolete and need revision. An updated list (Tab. 1) is here provided, based on the results of revisions recently published in the literature and the study of new topo-typic material allowing classification based also on structural characters, which were not mentioned in the original descriptions. On the whole, 41 species are recognised in specific or open nomenclature, belonging to 33 different genera. Some of these attributions are discussed in Appendix 1. Echinoderms provide valuable evidence for palaeoenvironmental reconstruction (Kroh & Nebelsick, 2010). The paleoecological meaning of the echinoids under study is here investigated by a functional morphological approach, actualistic comparison with extant similar taxa and the data recently published in the literature regarding echinoid assemblages studied by modern methods from other Miocene European areas (e.g. Kroh, 2002; Kroh & Menkveld, 2006; Smith & Gale, 2009, Mancosu & Nebelsick, 2016). The analysis of auto- and syn-ecological indicators in most of the outcrops examined in the Pantano Formation suggests that the echinoids thrived in different environments and bathymetry, from inner littoral or near-shore shallow marine to muddy bathyal settings (Appendix 2). The posture of the echinoids (randomly oriented), their poor preservation (commonly represented as incomplete specimens) and the presence in the same fossiliferous deposits of bathyal and shallow water forms, clearly indicate that the fossils were dislocated from different environments by resedimentation events and deposited into deeper bottoms.

Key words: Echinoids, Early Miocene, Northern Apennines.



1 - Introduzione

Gli echinoidi sono i macrofossili più caratteristici della Formazione di Pantano (Burdigaliano superiore-Langhiano) dell'Emilia, sia per frequenza che per stato di conservazione. Sono stati oggetto di numerosi studi a partire dalla seconda metà dell'800. Tra questi: Mazzetti (1872, 1879, 1881, 1881a, 1896), Manzoni & Mazzetti (1878), Manzoni (1879, 1880 e 1881), Coppi (1884), Mazzetti & Pantanelli (1885, 1887), Stefanini (1908a, 1908b e 1909) e Laureri (1963). Le classificazioni riportate in questi lavori sono in buona parte ormai obsolete, dal momento che la sistematica degli echinoidi ha subito notevoli modifiche negli ultimi tempi, soprattutto perché è cambiata la metodologia di indagine. In particolare, in passato non si è tenuto in debito conto delle deformazioni, che sono presenti in gran parte dei fossili di questa formazione; ciò ha portato Mazzetti e Pantanelli (1885) ad elencare la presenza di ben 127 specie o varietà, spesso separate in base a differenze morfologiche non ripetitive. Studi recenti hanno permesso di aggiornare la classificazione di una parte degli echinoidi del Miocene medio-inferiore italiano (Stara & Borghi, 2012; Borghi, 2012 e 2013; Borghi & Stara, 2016; Stara et al., 2016; Borghi et al., 2017) e più in generale di quello europeo (Philippe, 1998; Kroh, 2005; Smith & Gale, 2009; Smith & Kroh, 2011). Si rendeva quindi indispensabile aggiornare anche la classificazione dell'echinofauna della Formazione di Pantano sulla base dei risultati di questi studi (Tab. 1).

Il secondo scopo di questo lavoro era quello di indagare le caratteristiche paleoecologiche delle specie sinora riconosciute. In tutti gli studi storici precedenti infatti emergeva la difficoltà di comprendere l'ambiente di vita originario di questi echinoidi. Manzoni (1879), Mazzetti (1879) e Stefanini (1909) intuirono che gli echinoidi da loro studiati provenivano da ambienti differenti e ipotizzarono la presenza di depositi di spiaggia (rappresentati dalla cosiddetta "Molassa serpentinoso") e altri di ambiente più profondo ("Schlier"), che appartenevano ad uno stesso bacino. Gli echinoidi costituiscono un importante strumento per la ricostruzione palaeoambientale, dal momento che possono fornire utili informazioni in base alla loro morfologia e a confronti attualistici con forme viventi (Kroh & Nebelsick, 2010). In base a questi metodi e ai dati relativi ad associazioni mioceniche simili descritte in letteratura con metodi moderni (e.g. Kroh, 2002; Kroh & Menkveld, 2006; Smith & Gale, 2009, Mancosu & Nebelsick, 2016), viene proposto il probabile significato paleoecologico degli echinoidi riconosciuti nella Formazione di Pantano. I numerosi esemplari rinvenuti in Emilia forniscono una delle rare occasioni di studio degli echinoidi che popolavano i fondi batiali fangosi nel Miocene medio-inferiore dell'area Mediterranea che, nel complesso, sono ancora poco conosciuti (Smith & Gale, 2009).

2 - Materiali e metodi

Gli echinoidi studiati sono stati esaminati presso il Museo di Storia Naturale, Sezione di Geologia e Paleontologia, dell'Università di Firenze (IGF), dove sono conservate le collezioni Manzoni e Stefanini e il materiale raccolto dall'autore, presso il Museo di Paleobiologia dell'Università di Modena (MPUM), dove si trova la collezione Mazzetti, e al Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra dell'Università di Parma, con la collezione Laureri. Oltre 1700 fossili sono stati esaminati e riconosciuti sul campo nel corso di oltre 30 anni di ricerche; nella maggior parte dei casi si trattava di esemplari incompleti e/o deformati, ma comunque classificabili; quelli meglio conservati e significativi sono stati raccolti e consegnati all'IGF. Ventisei esemplari appartenenti a 7 specie diverse conservano ancora in aderenza una parte delle spine.

Abbreviazioni: Fm= Formazione (formalizzata), TL= lunghezza del guscio, *= osservazioni dell'autore.

3 - Cenni geologici

La Formazione di Pantano fa parte del Gruppo di Bismantova assieme alla sovrastante Formazione di Cigarello (Amorosi et al., 1993). Giace in discordanza angolare sulle marne silicee della Formazione di Contignaco. L'età della base è diacrona, variando dal Burdigaliano superiore (Bonazzi & Fregni, 1989) al Langhiano basale (Papani et al., 1989). Il passaggio alla sovrastante Formazione di Cigarello è compreso in uno stretto intervallo di tempo all'interno del Langhiano (Fregni & Panini, 1995; Amorosi et al., 1996). La formazione comprende sette unità informali di rango inferiore: i membri di Sassoguidano (indicato come PAT1 nella Carta Geologica d'Italia, scala 1:50000), Montecuccolo (PAT2), Calvenzano (PAT3), S. Maria (PAT4), Pietra di Bismantova (PAT5), e Monte Castellaro (PAT6), ai quali si aggiunge la litofacies arenacea (PATa). Per una informazione più dettagliata sulla Formazione di Pantano si rimanda a Delfrati et al (2003). Le ricerche sul campo hanno portato a

individuare echinoidi fossili in quasi tutte le sottunità (ad esclusione di PAT3 e PAT6), oltre che in numerosi affioramenti indicati genericamente sulle carte geologiche come PAT. Molti degli echinoidi della collezione Manzoni (1880) furono raccolti nelle arenite siltose della zona di Jano, San Leo e Poggiolo, nel comune di Sasso Marconi (Bologna), che si trovano stratigraficamente al di sopra delle torbiditi del Membro di Calvenzano, quindi appartengono alla parte medio-alta della Formazione di Pantano che in quella zona è datata al Langhiano e rappresenta, secondo Panini et al. (2005), la deposizione in un ambiente di piattaforma esterna.

4 - Note storiche

I primi studiosi che si occuparono degli echinoidi della Formazione di Pantano proposero la presenza di due “formazioni” distinte: la “Molassa serpentinosa”, indicata come facies di mare basso, e lo “Schlier”, termine utilizzato dai geologi austriaci di quel tempo per indicare una formazione marnosa più profonda. Quest’ultimo termine fu introdotto anche nella geologia italiana per indicare affioramenti della Collina di Torino e dei dintorni di Ancona, Modena e Bologna, caratterizzati dall’associazione “*Aturia morisi* - *Pecten denudatus* - *Solenomya doderleini*” (Manzoni, 1879). In particolare, Manzoni affermò che “La Molassa e lo Schlier di queste province (Modena e Bologna) non sono altro che i due depositi, uno litoraneo e l’altro di alto fondo, dello stesso mare e dello stesso tempo”. Mazzetti (1879), pur condividendo parzialmente questo parere, non accettò l’ipotesi della contemporaneità delle due facies. Stefanini (1909, p. 45) ribadì che l’unica possibilità di spiegare la situazione litologica e paleontologica era che la “Molassa” rappresentasse i depositi di basso fondo e le “Marne” (lo “Schlier” di Manzoni, comprendendo con questo termine marne, marne arenacee e arenarie fini) i depositi di maggior profondità di uno stesso mare. Nel complesso, Stefanini (1909) riconobbe 59 specie (comprese le varietà) diverse di echinoidi nella Fm di Pantano. Di queste, 40 erano considerate esclusive della “Molassa” e 15 in comune con le “Marne”. Solo 2 furono indicate come esclusive delle “Marne”: *Mazettia paretii* (Fig. 1a) e “*Spatangus*” *destefanii* (Fig. 1b). Stefanini tuttavia sottolineò che alcune delle specie considerate in comune alle due facies, tra queste *Heterobrissus montesi* e *Toxopatus italicus*, erano nel complesso più frequenti e rappresentati da esemplari mediamente più sviluppati nelle “Marne”. Osservò inoltre che nella “Molassa” l’echinofauna risultava nettamente più diversificata.

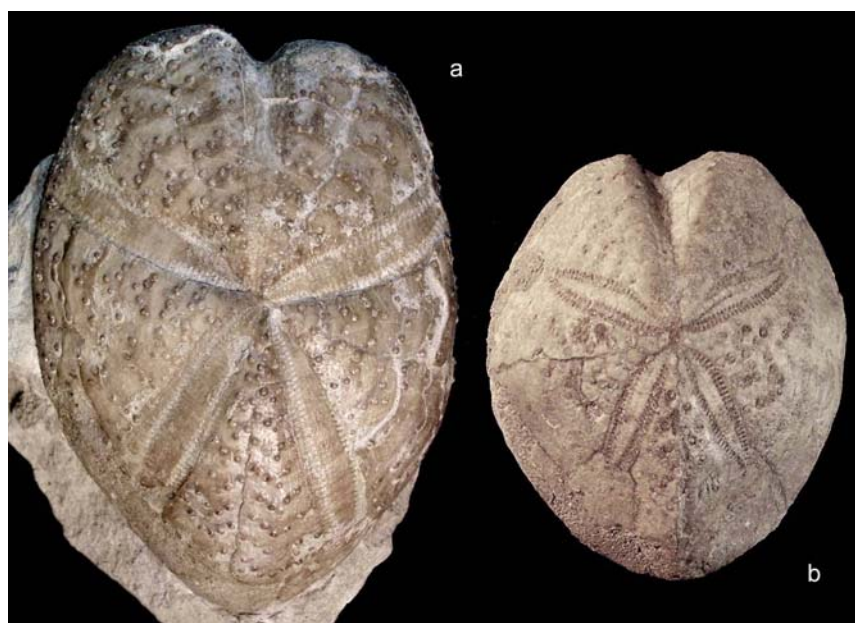


Figura 1 - a) *Mazettia paretii* (Manzoni, 1879), IGF.100327, TL = 136 mm; b) *Sardospatangus destefanii* (Stefanini, 1908a), IGF.Me02, TL = 84 mm. Langhiano di Monte Valestra (Reggio Emilia).

5 - Gli echinoidi fossili

5.1 La conservazione. Nel complesso i macrofossili sono piuttosto rari nella Fm di Pantano. Anche gli antichi studiosi (Manzoni, 1879, Mazzetti, 1881, Stefanini, 1908a) avevano evidenziato che i ricci si trovavano solo in pochi affioramenti di estensione limitata, spesso riuniti in concentrazioni che chiamavano “nidi”. Manzoni (1879) attribuì questa disomogeneità di distribuzione a “motivi in relazione alla qualità del fondale e all’abbondanza del pascolo”. La macrofauna della Formazione di Pantano è costituita soprattutto da molluschi, echinodermi, coralli solitari, spugne, cefalopodi e rari crostacei. Gli echinoidi tuttavia sono i fossili più rappresentativi, dal momento che sono relativamente frequenti e che possiedono un guscio di calcite con elevata percentuale di magnesio che conferisce loro un notevole potenziale di preservazione (Kroh & Nebelsick, 2010). Nel Langhiano dell’Emilia gli echinoidi conservano di norma il guscio, anche se ricristallizzato, mentre i molluschi (bivalvi e gasteropodi) sono spesso rappresentati solo da modelli. Tuttavia, anche per gli echinoidi le condizioni di conservazione sono mediamente scarse. Già il Mazzetti (1881) si lamentava che “i fossili che si raccolgono a Montese sono quasi tutti in pessimo stato di conservazione, e i pochi che si trovano interi sono corrosi e mancanti della massima parte dei caratteri esterni”. A questo proposito, Stefanini (1909) sottolineò che Manzoni e, soprattutto, Mazzetti non tennero in dovuto conto le deformazioni e le abrasioni presenti nei fossili studiati e spesso istituirono nuove specie o varietà sulla base di caratteri poco significativi e non ripetitivi o comunque non verificati su un congruo numero di esemplari.

I gusci degli echinoidi sono per lo più incompleti o deformati, la superficie a volte è talmente compenetrata dal sedimento che risulta di difficile preparazione. Gli esemplari sono spesso frammentati e mancano di parti più o meno estese che non sono quasi mai presenti nelle vicinanze del fossile. La frammentazione non è dovuta a permanenza prolungata sul fondale perché le linee di frattura nella maggior parte dei fossili osservati attraversano le piastre e non seguono le suture: ciò indica che il tessuto connettivo legava ancora il guscio al momento del trauma che ha portato alla rottura (Greenstein, 1992). E’ possibile quindi che almeno una parte degli echinoidi fosse ancora in vita al momento del trasporto. La presenza (non rara) di spine ancora aderenti al guscio corrobora questa ipotesi. In alcuni casi si nota che delle spine è rimasta solo la base in posizione fisiologica sul guscio mentre gli steli sono stati asportati; studi sperimentali (Banno, 2008) hanno dimostrato che ciò avviene quando una forte turbolenza colpisce un echinoide vivo. Al contrario, in ambiente tranquillo le spine si separano dal guscio staccandosi alla base senza frammentarsi, in un tempo (normalmente molto breve) che dipende principalmente dalla temperatura dell’acqua (Banno, 2008). A volte le linee di frattura seguono le suture tra le piastre, indicando che gli echinoidi sono rimasti esposti per un certo tempo sul fondale, prima del trasporto e del seppellimento definitivo; in alcuni di questi casi, la rara presenza di epibionti sia all’esterno che all’interno dei gusci conferma la permanenza prolungata sul fondale. In generale, gli echinoidi si presentano con postura casuale all’interno dei sedimenti e si trovano con maggior frequenza nella parte più alta stratigraficamente dei banchi arenitici gradati. Quando si trovano nella parte intermedia delle bancate risedimentate spesso, guardando attentamente, si riesce a riconoscere superfici di separazione di livelli tra loro amalgamati, che danno l’apparenza di una bancata unica.

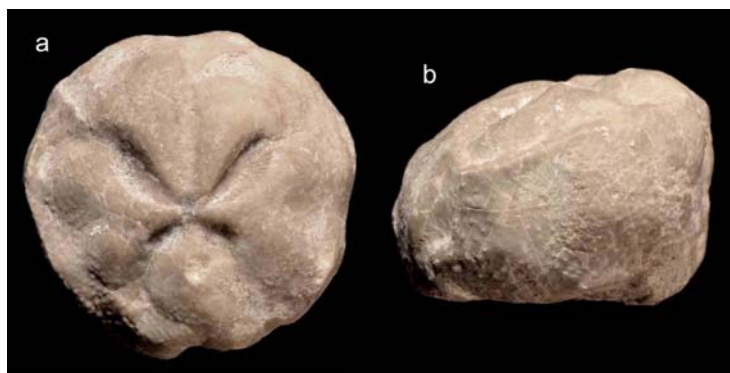


Figura 2 - *Ditremaster scillae* (Wright, 1855), IGF.104271, TL = 20 mm, Monte Valestra (Reggio Emilia).



5.2 Note sulla classificazione. Tre problemi principali hanno ostacolato sin dall'800 l'interpretazione della composizione dell'echinofauna della Fm di Pantano e dell'ambiente originario di vita:

- I fossili sono mediamente mal conservati e spesso una parte dei particolari morfologici risulta obliterata.
- Le specie in esame sono tutte estinte, non è quindi possibile avvalersi dell'osservazione di esemplari viventi cospecifici in migliore stato di conservazione.
- Gli echinoidi venivano spesso raccolti da abitanti del posto alla base di pareti oppure dopo l'aratura o lo "scasso" per l'impianto di nuovi vigneti (Manzoni, 1880), poi venivano venduti agli studiosi (Ugolini, 1889, Stefanini, 1909). Quindi gli elenchi riportati negli studi di fine '800 comprendevano forme provenienti da livelli e/o affioramenti differenti. Mazzetti raccolse personalmente una parte dei reperti della sua collezione lasciando però quasi sempre indicazioni insufficienti per risalire alla loro localizzazione stratigrafica esatta.

Un altro ostacolo alla revisione tassonomica consiste nel fatto che le metodologie moderne impongono il confronto anche di particolari morfologici che venivano tenuti in scarsa considerazione in passato. In particolare, l'architettura delle piastre del lato orale del guscio è oggi considerata fondamentale per la classificazione degli spatangoidi (Kroh & Smith 2010). Purtroppo, gli schemi della struttura non sono stati riportati nelle descrizioni originali ed è difficoltoso e poco attendibile ottenerli dalle illustrazioni. L'unica soluzione in questi casi è la revisione dei tipi, che però in parte sono andati perduti, e in parte non conservano i particolari morfologici necessari alla classificazione. Per ovviare a questi problemi si è reso necessario effettuare ricerche dirette sul campo per esaminare nuovo materiale topotipico, annotandone la posizione stratigrafica, la composizione della fauna associata e confrontando il materiale raccolto con altre associazioni mioceniche già descritte in letteratura.

Alcuni generi sono rappresentati nella Fm di Pantano da pochi esemplari che non conservano i particolari morfologici indispensabili per una attribuzione attendibile a livello specifico. In questi casi, pur confermando la presenza del genere, l'attribuzione specifica resta indeterminata. E' il caso dei rari esemplari attribuibili ai generi *Clypeaster* Lamarck, 1801, *Trachypatagus* Pomel, 1869 e *Meoma* Gray, 1851.

Considerazioni analoghe valgono anche per l'attribuzione generica delle numerose specie assegnate in passato a *Schizaster* L. Agassiz 1836, *Hemiaster* Desor, in Agassiz & Desor, 1847 e *Trachyaster* Pomel 1883, che sono piuttosto simili come aspetto generale a *Ova* Gray, 1825, *Opissaster* Pomel, 1883, *Aliaster* Valdinucci, 1974 e *Ditremaster* Munier-Chalmas, 1881. Questi generi si distinguono per particolari, come le fasciole, che spesso non si conservano nei fossili in oggetto. Inoltre i rapporti tra alcuni di questi generi non sono ancora del tutto chiari (vedi Stara, 2016, per un riassunto della situazione). Attualmente *Schizaster* viene distinto da *Ova* per la presenza di 4 pori anziché 2. *Opissaster* differisce da *Schizaster* per la mancanza della fasciola latero-anale e per la forma più globosa. *Aliaster* differisce da *Opissaster* per il solco anteriore meno profondo all'ambito; tuttavia viene attualmente considerato sinonimo di *Opissaster* da Smith & Kroh (2011). *Trachyaster* è un genere tuttora controverso e la stessa specie-tipo è poco conosciuta (Smith & Kroh, 2011). *Hemiaster* e *Ditremaster* si distinguono per il disco apicale etmofrattico anziché emolitico, *Hemiaster* inoltre ha il plastron asimmetrico. In base ai caratteri che è stato possibile osservare nei fossili in studio è stato possibile confermare la presenza nella Fm di Pantano solo dei generi *Schizaster*, *Ova*, *Opissaster* e *Ditremaster* (Fig. 2).

La denominazione *Dictyaster*, proposta da Stefanini (1908a) per un suo nuovo genere basato su alcuni esemplari raccolti nella Fm di Pantano, non è valida essendo stata utilizzata in precedenza per un asteroide. *Nudobrissus* Lambert, 1920 è la classificazione attualmente accettata in Smith & Kroh (2011) e Kroh & Mooi (2018). Tuttavia il genere è considerato *nomen dubium* (Kroh, 2005) perchè il tipo di Mazzetti e Pantanelli (1885) è mal conservato e vari aspetti della sua morfologia sono ancora sconosciuti. Un recente studio (Borghi & Stara, 2020, in questo stesso volume) che utilizza nuovo materiale topotipico conferma la validità di questo genere.

Per chi volesse approfondire, in Appendice 1 viene sviluppata una discussione più dettagliata di alcuni taxa.

5.3 Composizione della echinofauna. Le specie riconosciute nella Formazione di Pantano sono complessivamente 41 (comprendendo anche quelle in nomenclatura aperta), e vengono attribuite a 33 generi diversi (Tab. 1). Se si considera che Mazzetti e Pantanelli nel solo studio del 1885 avevano elencato ben 127 specie si comprende quanto sia cambiato l'approccio allo studio tassonomico nel corso del tempo. Alcune citazioni riportate nei lavori del passato restano tuttavia ancora in attesa di revisione a causa della perdita o dell'insufficiente stato di conservazione del materiale originale.

I taxa che spiccano per numero di esemplari e per numero di località nelle quali sono stati segnalati sono nell'ordine: *Sardospatangus* spp. (21% ca. del totale delle segnalazioni), *Mazettia paretii*, *Toxopatagus italicus*, *Echinolampas manzonii*, il gruppo degli Schizasteroidi (vedi 5.2), *Heterobrissus montesi*, *Cidaris mazzettii*, *Faorina* spp. e *Hypsochlypus montesiensis* (Fig. 3). *Brissopsis* e *Mariania*, pur essendo numericamente abbastanza ben rappresentati, si trovano concentrati solo in un numero limitato di affioramenti.

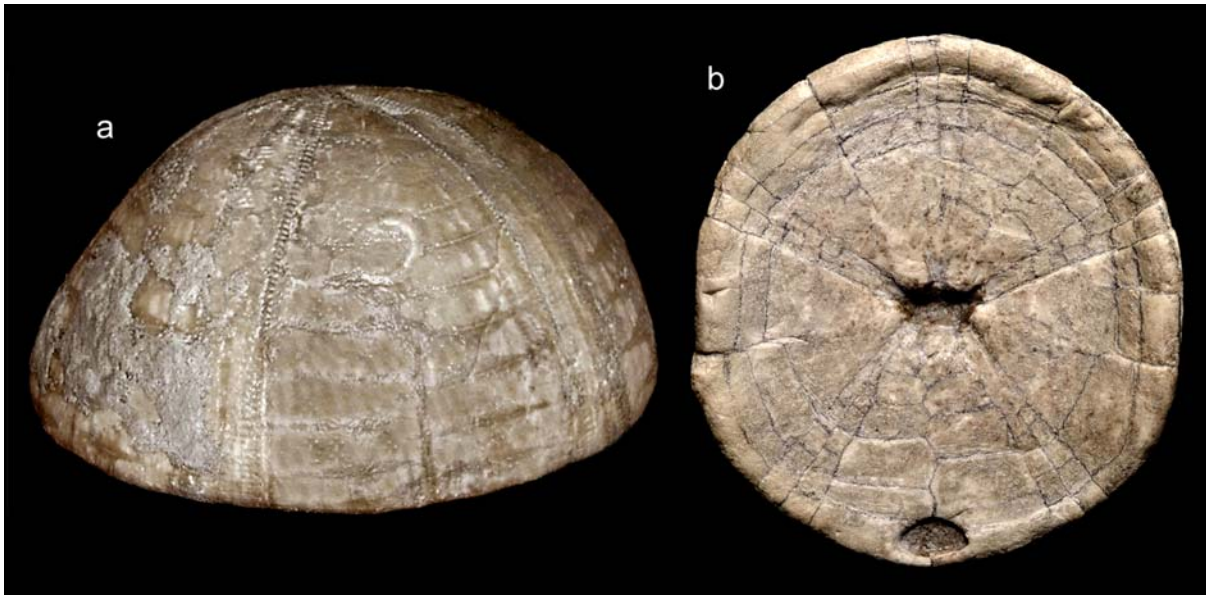


Figura 3 - *Hypsochlypus montesiensis* (Mazzetti, 1881): a) vista laterale obliqua, TL = 110 mm, Monte Valestra (Reggio Emilia); b) vista lato orale, TL = 95 mm, Santa Maria Villiana (Bologna).

5.4 Significato paleoecologico degli echinoidi fossili

Per approfondire questo argomento sono stati utilizzati soprattutto tre metodi di indagine:

- studi recenti che si sono occupati delle macrofaune del Miocene dell'area Mediterranea (Philippe, 1998; Kroh, 2002 e 2005; Kroh & Menkveld, 2006; Smith & Gale, 2009; Mancosu & Nebelsick, 2016) hanno fornito dati paleoecologici utili anche per gli echinoidi della Fm di Pantano
- le attitudini paleoecologiche delle specie viventi possono essere attribuite alle forme fossili ad esse strettamente imparentate (metodo attualistico)
- le caratteristiche morfologiche degli echinoidi fossili possono fornire informazioni utili per risalire alle loro modalità di vita (Smith, 1978 e 1980; Smith & Stockley, 2005; Stara et al., 2016).

Una sintesi dei risultati ottenuti è riportata nell'Appendice 2.

Due caratteristiche principali risultano valide per tutta la formazione:

- La completa assenza dei generi *Schizechinus*, *Amphiope*, *Parascutella*, *Echinoneus*, *Echinocardium*, *Brissus*, e la rarità di tutte le altre forme tipiche di bassa profondità, che sono invece normalmente ben rappresentate nel Miocene del Mediterraneo (Wright, 1855; Cotteau, 1877; Pomel, 1887; Lachkhem & Roman, 1995; Philippe, 1998; Stara & Borghi, 2014) e della Paratetide (Kroh, 2002; Kroh, 2005; Kroh & Menkveld, 2006).
- La netta dominanza degli echinoidi irregolari (ca. 97% del totale) rispetto ai regolari. Gli irregolari possiedono un potenziale di conservazione più elevato perché vivono in ambienti mediamente più profondi e con sedimentazione attiva, mentre i regolari vivono in ambienti prevalentemente erosivi (Smith, 1984).

In base ai dati batimetrici e paleoecologici ottenuti è stato possibile suddividere l'echinofauna della Fm di Pantano in 5 gruppi informali:

A – Forme tipiche o esclusive di bassa profondità, che vivevano prevalentemente su fondali sabbiosi: *Prionocidaris*, *Tylocidaris*, *Eucidaris*, *Tripneustes*, *Arbacina*, *Clypeaster*, *Trachypatagus*. Le prime 3 potevano



installarsi anche su substrati solidi. Questo gruppo comprende echinoidi che sono molto rari nella Fm di Pantano e si trovano in un numero ristretto di affioramenti e spesso relegati in posizioni stratigrafiche particolari.

B – Echinoidi che nel Miocene dell'area Mediterranea sono considerati tipici di piattaforma interna (Smith & Gale, 2009): *Echinolampas*, *Hypsochypus*, *Mariania*, *Brissopsis*, *Schizaster*, *Ova*, *Opissaster*, *Ditremaster*. Le specie del gruppo B sono più frequenti di quelle del gruppo A, ma si trovano anch'esse solo in una parte delle località esaminate. In questo gruppo solo *Echinolampas* è rappresentato da un notevole numero di esemplari, che però si trovano concentrati in posizioni stratigrafiche particolari, come alla base dei membri PAT4 e PAT5 e nel membro di Montecuccolo, mentre si rinvencono solo sporadicamente negli altri affioramenti.

C – Specie esclusive di fondali profondi (batiali) fangosi: *Histocidaris*, *Heterobrissus*, *Mazettia* e il raro *Palaeobrissus*. *Heterobrissus* e, soprattutto, *Mazettia* sono molto diffusi nella formazione e sono rappresentati da numerosi esemplari. Sono assenti alla base dei membri PAT4 e PAT5 e negli affioramenti del membro di Montecuccolo; solo sporadiche sono le segnalazioni nel membro di Sassoguidano. A questo gruppo Stefanini (1908a) aveva aggiunto anche *Sardospatangus destefanii*, che qui si preferisce lasciare nel gruppo E.

D/E – Esiste infine una serie di echinoidi che mostrano un intervallo batimetrico più ampio. Una parte (gruppo D) è considerata più tipica di ambiente di profondità moderata: *Pericosmus*, *Sardospatangus delphinus* e *S. aequidilatatus*. Altri (gruppo E) sono decisamente più frequenti nelle associazioni di mare profondo: *Cidaris mazzettii*, *Sardospatangus destefanii*, *S. subconicus*, *S. fabianii*, *Toxopatagus italicus* e il raro *Nudobrissus*. Questa ipotesi è corroborata dal fatto che nei depositi fossiliferi dove il gruppo C è prevalente gli esemplari appartenenti al gruppo E sono di norma dimensionalmente più sviluppati, come più volte sottolineato anche da Manzoni (1879, 1880) e Stefanini (1909).

Nel complesso, gli echinoidi più caratteristici della Fm di Pantano sono quelli tipici di ambiente profondo appartenenti ai gruppi C (*Mazettia* e *Heterobrissus*) ed E (*Cidaris mazzettii*, *Toxopatagus*, *Nudobrissus* e le 3 specie “profonde” di *Sardospatangus*). Questi taxa sono rari altrove: si trovano, seppur con minor frequenza, solo nel Miocene del Piemonte (Airaghi, 1901) e dell'Appennino Centrale (De Angelis d'Ossat, 1897; Ugolini, 1899; Canavari, 1910; Callegari, 1930). In Sardegna sono noti rari esemplari di *Mazettia*, *Nudobrissus* e *Toxopatagus* (Lambert, 1909 e P. Stara comunicazione personale, marzo 2019), mentre è stato raccolto un discreto numero di *Heterobrissus* a Isili (Stara et al., 2012).

6 - Interpretazione dei dati raccolti

La scarsità o l'assenza totale nella Formazione di Pantano delle forme litorali tipiche del Miocene dell'area Mediterranea è probabilmente dovuta alla bassa possibilità di conservazione di quei depositi e dei fossili in essi contenuti, che possono essere stati asportati per erosione successiva. Occasionalmente, esemplari di ambiente litorale sono stati trasportati in profondità e sono riusciti a conservarsi: è il caso degli esemplari unici o comunque molto rari di *Eucidaris*, *Prionocidaris*, *Tripneustes*, *Schizobrissus* e *Meoma*.

Nella maggior parte dei depositi fossiliferi esaminati si evidenzia la coesistenza di echinoidi con batimetria e affinità paleoecologiche differenti; dove presenti, le forme batiali testimoniano un deposito finale comunque profondo. La coesistenza di forme di ambiente diverso, la postura casuale dei gusci, l'incompletezza degli esemplari e la loro presenza prevalente nella parte superiore di livelli arenacei gradati, indicano che i fossili in oggetto hanno subito un trasporto. Non sono state trovate evidenze di fossili in posizione di vita. Per cercare di interpretare gli ambienti originali di vita è quindi necessario basarsi sulla frequenza e sul diverso sviluppo dimensionale delle varie specie presenti in ogni deposito fossilifero. Questo metodo era già stato proposto da Stefanini (1909), che prospettò l'esistenza per ogni specie di un'area di distribuzione più o meno vasta, composta da una zona caratterizzata da bassa frequenza e da esemplari mediamente più piccoli, e da un'altra ottimale per lo sviluppo (areale tipico). Questo concetto è stato confermato anche da studi dettagliati riguardanti popolazioni viventi. Ad esempio *Heterobrissus hystrix* (Agassiz, 1881), specie attuale molto affine al miocenico *H. montesi*, vive nei Carabi tra 220 e 1610 m di profondità (Serafy, 1979), con massima frequenza attorno a 550 m (Young et al. 1998). Rari esemplari adulti sono stati dragati anche a bassa profondità (alcuni anche a 20 m), ma Young et al. (1998) dimostrarono che l'areale di sopravvivenza di questa specie è strettamente legato alla tolleranza termica delle larve (limite max < 20°C). Dal momento che la temperatura dell'acqua nei Carabi nell'area Florida-Cuba è di 20°-21°C a 200 m di profondità, gli esemplari che vivono al di sopra di questa batimetria non

sono in grado di riprodursi e mostrano difficoltà di sopravvivenza e scarso sviluppo dimensionale. Quindi si presume che anche *Heterobrissus montesi*, visse prevalentemente su fondali fangosi batiali. Questa interpretazione generale della fauna della Fm di Pantano è supportata dall'esame di un buon numero di depositi fossiliferi. Particolarmente significativi sono i dati relativi alle località di Santa Maria Villiana e Jano-Poggiolo (Bologna), descritti da Manzoni (1879 e 1880), e quelli di Pescale (Modena) e Monte Valestra (Reggio Emilia). A Poggiolo, località classica della facies profonda "Schlier" (Manzoni, 1880), dove anche Panini et al. (2005) riconobbero un ambiente di piattaforma esterna, la maggior parte degli echinoidi appartiene ai gruppi C (44% del totale; Tab. 2) ed E (51%); mancano rappresentanti del gruppo A e sono molto scarsi quelli del B. *Sardospatangus* è costituito in prevalenza da *S. fabianii* e da *S. destefanii*, quest'ultimo considerato da Stefanini (1909) come esclusivo della facies profonda. Le specie dei gruppi C ed E (in particolare *Heterobrissus*, *Toxopatagus* e *Faorina*) raggiungono in questa località dimensioni nettamente superiori alla media (Manzoni, 1879). Una situazione simile si trova anche al Pescale dove *Mazettia* è dominante (37%). A Santa Maria Villiana si evidenzia una situazione molto diversa: i gruppi B (67%) e D (20%) prevalgono, mentre i rappresentanti del gruppo E sono pochi (<15%) e mostrano dimensioni ridotte, i gruppi A e C sono del tutto assenti. In questa località dominano le forme di profondità moderata, mentre *Heterobrissus* e *Mazettia* sono del tutto assenti. Al Monte Valestra sono stati monitorati vari livelli fossiliferi; quello considerato nella statistica (Tab. 2) affiora nella ex cava e prosegue verso monte per ca. 120 m; qui i gruppi C ed E sono ben rappresentati, mentre le forme di tipo A sono molto rare (<2%). *Heterobrissus* è presente, seppur in percentuale non elevata e gli esemplari sono di media grandezza, *Mazettia* (Fig. 1a) e *Toxopatagus* invece raggiungono notevoli dimensioni. Nel complesso quindi, nella Fm di Pantano le forme di media profondità dominano nei membri di Bismantova e di Montecuccolo e alla base del Santa Maria. Nella maggior parte degli affioramenti fossiliferi esaminati nella restante parte della formazione si nota la presenza diffusa di forme tipicamente batiali (gruppi C ed E): ciò testimonia che, nonostante la presenza di forme litorali (sporadiche) e di media profondità, la deposizione finale dei fossili è avvenuta comunque in un ambiente di mare profondo.

Ringraziamenti

Si ringraziano Stefano Dominici (Museo di Storia Naturale, Sezione di Geologia e Paleontologia, Università di Firenze), Paolo Serventi (Dipartimento del Museo di Paleobiologia e dell'Orto Botanico, Università di Modena) e Paola Monegatti (Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra dell'Università di Parma), per aver consentito l'esame dei fossili conservati presso le rispettive istituzioni. Sono grato a vari amici della Società Reggiana di Scienze Naturali: Pietro Patteri, per la rilettura critica del manoscritto, Giuseppe Ascari, per il paziente lavoro di preparazione di una parte dei fossili esaminati, Dimitri Bertolaso, Lorenzo Carrozzi, Sergio Magnani, e Davide Battilani (Vignola, Modena), per aver fornito materiali e informazioni utili per lo studio. Un ringraziamento va anche a Ildefonso Bajo Campos (Siviglia, Spagna) per i suggerimenti forniti.

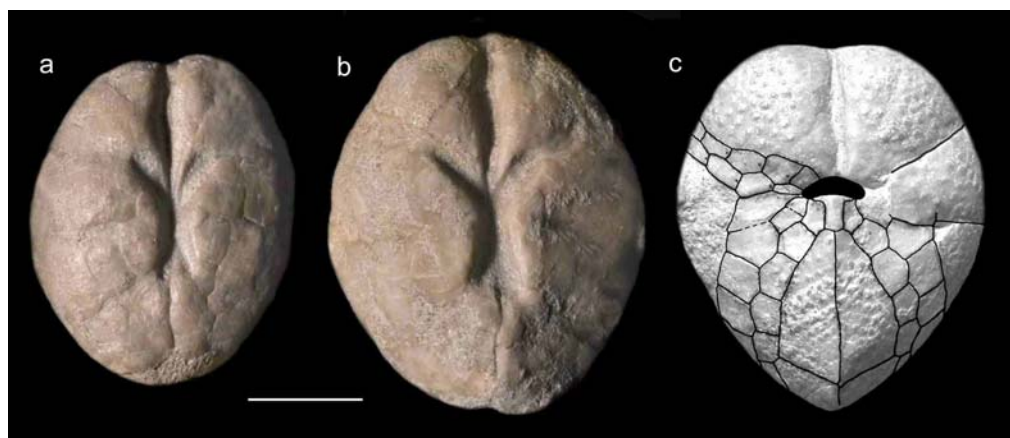


Figura 4 - *Brissopsis crescenticus* Wright, 1855, IGF.104270, Monte Valestra (Reggio Emilia: a-b) vista aborale, c) schema della piastra sul del lato orale. La barretta equivale a 1 cm.



Bibliografia

- AIRAGHI C. (1901). Echinidi terziari del Piemonte e della Liguria. *Palaeontographia Italica*, Pisa, 7: 22-126.
- AMOROSI A., COLALONGO M.L. & VAIANI C. (1993). Le unità epiliguri mioceniche nel settore emiliano dell'Appennino Settentrionale. Biostratigrafia, stratigrafia sequenziale ed implicazioni litostratigrafiche. *Paleopelagos*, 3: 209-244.
- AMOROSI A., COLALONGO M.L. & VAIANI C. (1996). Revisione litostratigrafica dell'Unità di Bismantova (Miocene epiligure, Appennino Settentrionale). *Bollettino della Società Geologica Italiana*, Roma, 115: 355-367.
- ANNINO, E., BARCA, S. & COSTAMAGNA, L.G. (2000). I lineamenti stratigrafici dell'Arburese (Sardegna sud-occidentale). *Rendiconti del Seminario facoltà di Scienze, Università di Cagliari. Supplemento*, 70, 404-426.
- ASSORGIA A., BARCA S. & SPANO C. (1997). A synthesis on the cenozoic stratigraphic, tectonic and volcanic evolution in Sardinia (Italy). *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 116: 407-420.
- BANNO T. (2008). Ecological and taphonomic significance of spatangoid spines: relationship between mode of occurrence and water temperature. *Paleontological Research*, Tokyo, 12(2): 145-157.
- BONAZZI U. & FREGNI P. (1989). La discontinuità di Serra di Porta tra le Formazioni di Antognola e di Bismantova (Pavullo nel Frignano, Appennino Modenese). *Memorie della Società Geologica Italiana*, 39 (1987): 285-295.
- BORGHI E. (2012). Il genere *Spatangus* (Echinoidea) nel Langhiano dell'Appennino Reggiano. *Notiziario della Società Reggiana di Scienze Naturali*, (2010): 43-61.
- BORGHI E. (2013). Il genere *Mazettia* (Maretiidae), un caratteristico echinoide del Miocene dell'Emilia-Romagna. *Notiziario della Società Reggiana di Scienze Naturali*, (2012): 9-20.
- BORGHI E. & STARA P. (2016). I cidaroidi (Echinoidea) del Miocene inferiore-medio dell'Emilia-Romagna e di San Marino. *Parva Naturalia*, 11 (2015-2016): 13-45.
- BORGHI E., CARROZZI L. & RINALDI O. (2017). *Tripneustes*, un raro echinoide rinvenuto nel Miocene dell'Appennino Reggiano. *Notiziario della Società Reggiana di Scienze Naturali*, (2016), 12: 7-12.
- BORGHI E. & MAGNANI S. (2020). Cidaridi completi (Echinoidea) con spine a ventaglio nel Miocene del Pescale (Modena). *Notiziario della Società Reggiana di Scienze Naturali*, (2019): 22-29.
- BORGHI E. & STARA P. (2020). *Nudobrissus* Lambert, 1920, un raro echinoide del Miocene medio-inferiore dell'Emilia e della Sardegna. *Notiziario della Società Reggiana di Scienze Naturali*, (2019): 6-13.
- CALLEGARI P. (1930). Su alcuni echinidi miocenici di San Severino Marche. *Memorie dell'Istituto Geologico della Regia Università di Padova*, 9: 1-24.
- CANAVARI I. (1910). La fauna dei calcari marnosi da cemento delle vicinanze di Fabriano. *Palaeontographia Italica*, 16: 71-118.
- CEREGATO A., RAFFI S., SCARPONI D. (2007). The circalittoral/bathyal paleocommunities in the Middle Pliocene of Northern Italy: The case of the *Korobkovia oblonga*-*Jupiteria concava* paleocommunity type. *Geobios*, 40 (2007): 555-572.
- COPPI F. (1884) - Il Miocene medio nei colli modenesi; appendice alla Paleontologia Modenese. *Bollettino del Regio Comitato Geologico d'Italia*, 15(5-6): 171-201.
- COTTEAU G. IN LOCARD A. (1877). Description des échinides des terrains tertiaires moyens de la Corse. *Annales Société Agricole Histoire Naturel et ars utiles*, Lyon: 374 pp
- DE ANGELIS D'OSSAT G. (1897). Contributo alla studio geologico dell'alta valle dell'Aniene. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, Roma, 16(1): 280-318.
- DELFERATI L., FALORNI P., IZZO P. & PETTI F.M. (2003). Carta Geologica d'Italia 1:50.000. Catalogo delle Formazioni, Fascicolo V: Unità validate. *Quaderni*, serie III, Volume 7. A.P.A.T.: 210 pp.
- DE LORIO, P. (1882). Description des échinides des environs de Camerino. *Mémoires de la Société de Physique et Histoire Naturelle*, Genève, 28(3): 32 pp.
- DONOVAN S.K., PORTELL R.W. & VELTKAMP C.J. (2005). Lower Miocene echinoderms of Jamaica, West Indies. *Scripta Geologica*, 129: 91-135.



- FREGNI P. & PANINI F. (1995). Dati biostratigrafici sulla Formazione di Cigarello (Gruppo di Bismantova) di Pavullo nel Frignano (Appennino modenese). Atti del Convegno “Rapporti Alpi-Appennino”, Peveragno (CN), 31 Maggio-1 Giugno 1994, *Scritti e Documenti dell'Accademia Nazionale Delle Scienze*, 14: 87-111.
- GREENSTEIN B.J. (1992). Taphonomic bias and the evolutionary history of the family Cidaridae (Echinodermata: Echinoidea). *Paleobiology*, Chicago, 18(19): 50-79.
- GREGORY J.W. (1891). The Maltese fossil Echinoidea and their evidence on the correlation of the Maltese rocks. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 36: 585-639.
- IKEDA H. (1935). Preliminary report on a new cidaroid sea-urchin from the western Pacific. *Proceedings of the Imperial Academy of Japan*, Tokyo, 11: 386-388.
- KROH A. (2002). The echinodermata of the Langhian (Lower Badenian) of the Molasse Zone and the northern Vienna Basin (Austria). *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien*, 104A: 155-183.
- KROH A. (2005). Catalogus Fossilium Austriae, Band 2, Echinoidea neogenica. *Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften*: 1-210.
- KROH A. & NEBELSICK H. (2010). Echinoderms and Oligo-Miocene carbonate systems: potential applications in sedimentology and environmental reconstruction. *International Association of Sedimentologists, Special Publication*, 42, 201-228.
- KROH A. & SMITH A.B. (2010). The phylogeny and classification of post-Palaeozoic echinoids. *Journal of Systematic Palaeontology*, 8(2): 147-212.
- KROH A. & MENKVELD-GFELLER U. (2006). Echinoids from the Belpberg Beds (Obere Meeresmolasse, Middle Burdigalian) in the area of Bern (Switzerland). *Birkhauser Verlag*, Basel: 1-7.
- KROH A. & MOOI R. (2018). World Echinoidea Database. *Nudobrissus Lambert, 1920*. Accessed through: World Register of Marine Species at <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=739877>, 2018-11-01.
- LACHKHEM H. & ROMAN J. (1995). Les échinoides irréguliers (Néognathostomes et Spatangoides) du Messinien de Melilla (Maroc septentrional). *Annales de Paléontologie*, 81(4): 247-278.
- LAMBERT J. (1909). Descriptions des échinides fossiles des terrains miocéniques de la Sardaigne - 2me partie. *Mémoires de la Société Paléontologique Suisse*, Genève, 35: 74-141.
- LAMBERT J. (1920). Sur quelques genres nouveaux d'Echinides. *Mémoires de la Société Académique de l'Aube*, 84: 145-174.
- LANE D.J.W., MARSH L.M., VANDENSPIEGEL D. & ROWE F.W.E (2000). Echinoderm fauna of the South China Sea: an inventory and analysis of distribution patterns. *The Raffles Bulletin of Zoology* (Suppl. 8): 459-493.
- LAURERI S. (1963). Nuovi Echinidi Elveziani della Media Val D'Enza (Reggio Emilia). *Bollettino della Società Geologica Italiana*, Roma, 81(1): 3-31.
- LAZZAROTTO A., SANDRELLI F., FORESI L.M., MAZZEI R., SALVATORINI G., CORNAMUSINI G., PASCUCCI V., (2002). *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 - foglio 295, Pomarance*. Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- MADEIRA P., KROH A., CORDEIRO R., MEIRELES R. & AVILA S.P. (2011). The fossil echinoids of Santa Maria Island, Azores (Northern Atlantic Ocean). *Acta Geologica Polonica*, 61(2011), 3: 243-264
- MANCOSU A. & NEBELSICK J.H. (2016). Echinoid assemblages from the early Miocene of Funtanazza (Sardinia): A tool for reconstructing depositional environments along a shelf gradient. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 454: 139-160.
- MANZONI A. (1879). Gli echinodermi fossili dello Schlier delle colline di Bologna. *Denkschriften der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, mathematisch-naturwissenschaftliche Classe*, 39: 149-164.
- MANZONI A. (1880). Echinodermi fossili della molassa serpentinoso e supplemento agli echinodermi dello Schlier della colline di Bologna. *Denkschriften der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften Mathematisch Naturwissenschaftliche Classe*, 42: 185-190.
- MANZONI A. (1881). Spugne Silicee della Molassa Miocenica del Bolognese. *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie*, 5(1), (1880): 173-176.
- MANZONI A. & MAZZETTI G. (1878). Echinodermi nuovi della Molassa Miocenica di Montese nella Provincia di Modena. *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali*, 3(2): 350-356.



- MAZZETTI G. (1872). Cenno intorno di fossili di Montese. *Annuario della Società dei Naturalisti di Modena*, 6: 1-12.
- MAZZETTI G. (1879). La molassa marnosa delle montagne modenesi e reggiane e lo Schlier delle colline del Bolognese. *Annuario della Società dei Naturalisti in Modena*, 13(1): 1-22.
- MAZZETTI G. (1881). Echinodermi fossili di Montese. *Annuario della Società dei Naturalisti in Modena*, serie 2, 15: 108-129.
- MAZZETTI G. (1881a). Echinodermi fossili di Pantano. *Annuario della Società dei Naturalisti in Modena*, serie 2 15: 127-129.
- MAZZETTI G. (1896). Catalogo degli Echinidi fossili della collezione Mazzetti esistente nella Regia Università di Modena. *Memorie della Regia Accademia di Scienze, Lettere ed Arti*, Modena, serie 2, 11: 409-461.
- MAZZETTI G. & PANTANELLI D. (1885). Cenno monografico intorno alla fauna fossile di Montese. Parte prima. *Atti della Società dei Naturalisti in Modena, Memorie*, 4(1885): 58-96.
- MAZZETTI G. & PANTANELLI D. (1887). Cenno monografico intorno alla fauna fossile di Montese. Parte seconda. *Atti della Società dei Naturalisti in Modena, Memorie*, 6(1887): 46-82.
- MOOI R. (1990). A new “living fossil” echinoid (Echinodermata) and the ecology and paleobiology of Caribbean cassiduloids. *Bulletin of Marine science*, 46(3): 688-700.
- MORTENSEN T. (1928). A Monograph of the Echinoidea. I. Cidaroida. C.A. Reitzel, Copenhagen. 551 pp.
- MORTENSEN T. (1950). A Monograph of the Echinoidea. V(1). Spatangoida. C.A. Reitzel, Copenhagen. 432 pp.
- NELLI B. (1907). Il Miocene del Monte Titano nella Repubblica di S. Marino. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 26: 239-320.
- PANINI F., BETTELLI G., PIZIOLO M. (2005). *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia, scala 1:50.000*. Foglio 237 Sasso Marconi. Servizio Geologico d'Italia, Roma: 176 pp.
- PAPANI G., TELLINI C., TORELLI L., VERNIA L. & IACCARINO S. (1989). Nuovi dati stratigrafici e strutturali sulla Formazione di Bismantova nella “sinclinale” Vetto-Carpineti (Appennino-Reggiano-Parmense). *Memorie della Società Geologica Italiana*, 39(1987): 245-275.
- PEREIRA P. (2010). Echinoidea from the Neogene of Portugal mainland. *Palaeontos*, 18: 1-154.
- PHELAN T. (1970). A field guide to Cidaroid Echinoids of the Northwestern Atlantic Ocean and Caribbean Sea. *Smithsonian Institute, Washington*, 40: 1-67.
- PHILIPPE M. (1998). Les échinides miocènes du Bassin du Rhône: révision systématique. *Nouvelles Archives Muséum d'Histoire naturelle de Lyon*, 36: 441 pp.
- POMEL A. (1887). Paléontologie ou description des animaux fossiles de l'Algérie. Zoophytes, 2e fasc.: Echinodermes. Adolphe Jourdan, Alger. 344 pp.
- RADWANSKI A., GORKA M. & WYSOCKA A. (2014). Badenian (Middle Miocene) echinoids and starfish from western Ukraine, and their biogeographic and stratigraphic significance. *Acta Geologica Polonica*, 64(2): 207-247.
- ROVERI E. (1966). Geologia della sinclinale Vetto-Carpineti (Reggio Emilia). *Memorie della Società Geologica Italiana*, 5: 241-267.
- SERAFY K.D. (1979). Memoirs of the Hourglass Cruises, echinoid (Echinodermata: Echinoidea). Florida, Department of Natural Resources, Marine Research Laboratory. 119 pp.
- SMITH A.B. (1978). A functional classification of the coronal pores of regular echinoids. *Palaeontology*, 21(4): 759-789.
- SMITH A.B. (1980). The structure, function, and evolution of tube feet and ambulacral pores in irregular echinoids. *Palaeontology*, 23(1): 39-83.
- SMITH A.B. (1984). Echinoid Palaeobiology. *Special topics in palaeontology*, London (Allen & Unwin), 1: x+190 pp.
- SMITH A.B. & STOCKLEY C.W. (2005). Fasciole pathways in spatangoid echinoids: a new source of phylogenetically informative characters. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 144: 15-35.
- SMITH A.B. & GALE A. (2009). The pre-Messinian deep-sea Neogene echinoid fauna of the Mediterranean: surface productivity controls and biogeographical relationships. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 281(2009): 115-125.

- SMITH A.B. & KROH A. (eds) (2011). The Echinoid Directory. World Wide Web electronic publication. <http://www.nhm.ac.uk/research-curation/projects/echinoid-directory> [accessed 05.02.2019].
- STARA P. (2016). Revisione tassonomica di echinidi (Ordine Spatangoida, Famiglia Schizasteridae) della Sardegna. Tesi di Laurea, Università di Cagliari, Facoltà di Biologia e Farmacia: 65 pp.
- STARA P. & BORGHI E. (2012). First fossil record of the genus *Faorina* (Echinoidea: Pericosmidae). *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 51(2): 85-98.
- STARA P. & BORGHI E. (2014). The echinoid genus *Amphiope* L. Agassiz, 1840 (Echinoidea Astriclypeidae) in the Oligo-Miocene of Sardinia (Italy). *Biodiversity Journal*, 2014, 5(1): 245-268.
- STARA P., BORGHI E. & KROH. A (2016). Revision of the genus *Mariania* (Echinoidea) with the description of two new species from the Miocene of Italy. *Bulletin of Geosciences*, 91(1): 65-88.
- STARA P., CHERBONNIER S. & BORGHI E. (2018). Redefinition of *Prospatangus thieryi* Lambert, 1909 (Echinoidea, Spatangoida), in *Sardospatangus* nov. gen. with two new species from Sardinia, Italy. *Annales de Paléontologie*, 104 (2018): 309-327.
- STEFANINI G. (1908a). Echinidi del Miocene medio dell'Emilia (Parte prima). *Palaeontographia Italica*, Pisa, 14: 65-119.
- STEFANINI G. (1908b). Echinidi miocenici di Malta. Esistenti nel Museo di Geologia di Firenze. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, Roma, 27: 435-483.
- STEFANINI G. (1909). Echinidi del Miocene medio dell'Emilia (Parte seconda). *Palaeontographia Italica*, Pisa, 15: 57-114.
- TORTONESE E. (1965). Echinodermata. Fauna d'Italia. Edizioni Calderini, Bologna. 422 pp.
- UGOLINI R. (1899). Sopra alcuni fossili dello Schlier del Monte Cedrone (Umbria). *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 18: 290-296.
- WRIGHT T. (1855). On fossil Echinoderms from the Island of Malta with notes on the stratigraphical distribution of the fossil organisms in the Maltese beds. *The Annals and Magazine of Natural History*, London., 2nd Series, 15: 101-127, 175-196, 262-277.
- YOUNG C.M., EKARATNE S.U.K. & CAMERON J. (1998). Thermal tolerances of embryos and planktotrophic larvae of *Archaeopneustes hystrix* (A. Agassiz) (Spatangoidea) and *Stylocidaris lineata* (Mortensen) (Cidarioidea), bathyal echinoids from the Bahamian Slope. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 223(1): 65-76.

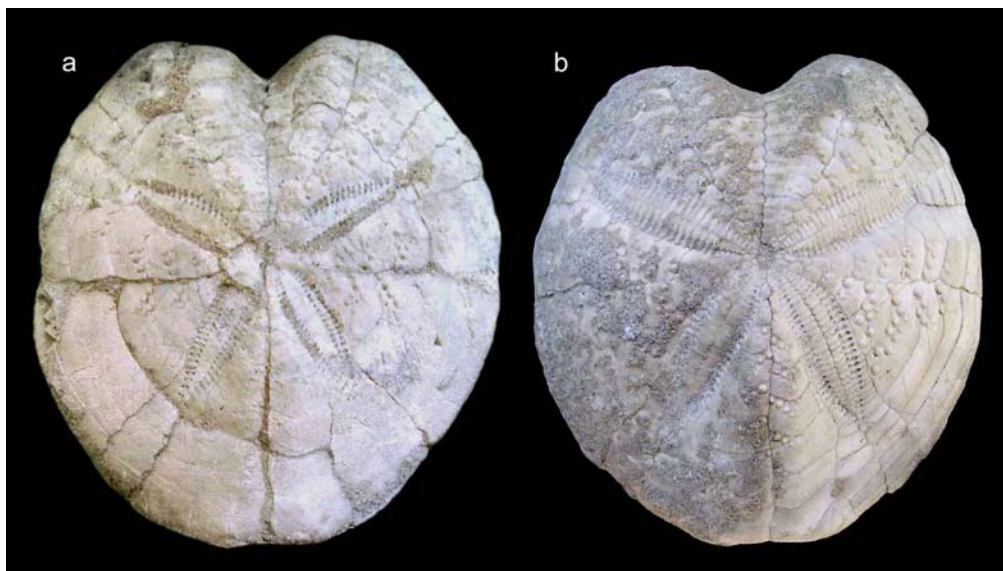


Figura 5 - a) *Sardospatangus delphinus* (Defrance, 1827), (IGF.102783), TL = 92 mm, Santa Maria Villiana (Bologna); b) *Sardospatangus aequidilatatus* Mazzetti, 1881 (IGF.14745), TL = 80 mm, Serra de' Guidoni (Bologna).



Classificazione aggiornata	Autori della classificazione	Citazioni nella Fm di Pantano poste in sinonimia	Autori delle citazioni nella Fm di Pantano
<i>Prionocidaris avenionensis</i> (Des Moulins, 1837)	Borghi & Stara (2016)	<i>Cidaris avenionensis</i> <i>Cidaris stemmacantha</i> <i>Cidaris avenionensis</i>	Manzoni (1873) Mazzetti (1881) Stefanini (1908a)
<i>Histocidaris rosaria</i> (Bronn, 1831)	Borghi & Stara (2016)	<i>Cidaris rosaria</i> <i>Cidaris acicularis</i> <i>Cidaris hirta</i> <i>Cidaris rosaria</i>	Manzoni, 1880 Mazzetti & Pantanelli (1885) Mazzetti & Pantanelli (1885) Stefanini (1908a)
<i>Tylocidaris (Sardocidaris) scarabellii</i> (Stefanini in Nelli, 1907)	Borghi & Stara (2016)	<i>Cidaris melitensis</i> <i>Cidaris melitensis</i> <i>Tylocidaris scarabellii</i> n. sp.	Mazzetti (1872) Manzoni (1880) Stefanini (1908a)
<i>Cidaris sahelensis</i> (Pomel, 1887)	Borghi & Magnani (2020)	-	-
<i>Cidaris mazzettii</i> (Stefanini, 1908a)	Borghi & Stara (2016)	<i>Dorocidaris papillata</i> <i>Cidaris peroni</i> <i>Dorocidaris Mazzettii</i> n.sp.	Manzoni (1879) Mazzetti & Pantanelli (1885) Stefanini (1908a)
<i>Eucidaris zeamays</i> (Sismonda, 1842)	Borghi & Stara (2016)	<i>Cidaris</i> cfr. <i>tessurata</i>	Stefanini (1908a)
<i>Arbacina catenata</i> (Desor in Agassiz & Desor, 1846)	*	<i>Psammechinus</i> sp. <i>Psammechinus monilis</i> ?	Mazzetti (1881) Mazzetti & Pantanelli (1885)
<i>Tripneustes planus</i> (Agassiz in Agassiz & Desor, 1846)	Borghi et al. (2017)	<i>Tripneustes parkinsoni</i> <i>Hipponoe parkinsoni</i> <i>Tripneustes parkinsoni</i>	Mazzetti (1872) Manzoni (1880) Stefanini (1908a)
<i>Clypeaster</i> sp.	*	<i>Clypeaster intermedius</i>	Mazzetti & Pantanelli (1885)
<i>Echinocyamus pseudopusillus</i> Cotteau, 1895	*	<i>Echinocyamus pusillus</i> <i>Echinocyamus</i> cfr. <i>studerii</i>	Manzoni (1880) Stefanini (1908a)
<i>Echinolampas hemisphaerica</i> (Lamarck, 1816)	Kroh (2005)	<i>Echinolampas hemisphaericus</i> <i>Echinolampas hemisfericus</i>	Manzoni (1881) Mazzetti (1882)
<i>Echinolampas manzonii</i> Pomel, 1883	Kroh (2005)	<i>Echinolampas depressa</i> <i>Echinolampas depressus</i> <i>Echinolampas angulatus</i>	Manzoni (1880, 1881) Mazzetti (1882) Stefanini (1908a)
<i>Hypsoclypus lucae</i> (Desor, in Agassiz & Desor, 1847)	Borghi & Ciappelli (2014)	<i>Conoclypeus plagiosomus</i> (pars) <i>Conoclypus plagiosomus</i> (pars) <i>Echinolampas plagiosomus</i>	Manzoni (1880 e 1881) Mazzetti & Pantanelli (1885) Stefanini (1908a)
<i>Hypsoclypus montesiensis</i> (Mazzetti, 1881)	Borghi & Ciappelli (2014)	<i>Conoclypeus plagiosomus</i> (pars) <i>Conoclypus montesiensis</i> n. sp. <i>Echinolampas montesiensis</i>	Manzoni (1880) Mazzetti (1881) Stefanini (1908a)
<i>Pliolampas vassalli</i> (Wright, 1855)	*	<i>Echinanthus angulosus</i> n. sp. <i>Milletia angulosa</i>	Mazzetti & Pantanelli (1885) Stefanini (1908a)
<i>Studeria pantanellii</i> (Stefanini, 1908a)	Kroh (2005)	<i>Tristomanthus pantanellii</i> n. sp.	Stefanini (1908a)
<i>Toxopatagus italicus</i> (Manzoni & Mazzetti, 1878)	*	<i>Hemipneustes italicus</i>	Manzoni & Mazzetti (1877)
<i>Heterobrissus montesi</i> Manzoni & Mazzetti, 1878	*	<i>Heterobrissus montesi</i> n. sp.	Manzoni & Mazzetti (1877)
<i>Palaeobrissus canavarii</i> (De Loriol, 1882)	Smith & Gale (2009)	<i>Cleistechinus canavarii</i> n. sp.	De Loriol (1892)
<i>Mazettia paretii</i> (Manzoni, 1879)	Borghi (2013)	<i>Maretia paretii</i> <i>Linopneustes paretii</i>	Manzoni (1879) Stefanini (1908a)
<i>Eupatagus pressus</i>	Stefanini	<i>Eupatagus pressus</i> n.sp.	Mazzetti & Pantanelli (1887)



Mazzetti & Pantanelli, 1887	(1908a)		
<i>Hemipatagus ocellatus</i> (Defrance, 1827)	Kroh (2005) *	<i>Spatangus ocellatus</i> ? <i>Spatangus ocellatus</i>	Manzoni (1873) Mazzetti & Pantanelli (1885)
<i>Lovenia anteroalta</i> (Gregory, 1891)	Stefanini (1908a) *	<i>Hemipatagus grignonensis</i> <i>Sarsella anteroalta</i>	Mazzetti & Pantanelli (1885) Stefanini (1908a)
<i>Mariania stefaninii</i> Stara, Borghi & Kroh, 2016	Stara, Borghi & Kroh (2016)	<i>Macropneustes marmorae</i> <i>Mariania marmorae</i>	Manzoni (1881) Stefanini (1908a)
<i>Sardospatangus subconicus</i> (Mazzetti, 1881)	Borghi (2012), Stara et al. (2018)	<i>Spatangus austriacus</i> (pars) <i>Spatangus subconicus</i> n. sp. <i>Spatangus arcuatus</i> n. sp. <i>Spatangus hemisphaericus</i> n. sp. <i>Prospatangus venzoi</i> <i>Prospatangus fabianii</i>	Manzoni, 1879 Mazzetti (1881) Mazzetti & Pantanelli (1885) Mazzetti & Pantanelli (1887) Laureri (1963) Laureri (1963)
<i>Sardospatangus aequidilatatus</i> (Mazzetti, 1881)	*	<i>Spatangus aequidilatatus</i> <i>Spatangus brissoides</i> <i>Spatangus aequidilatatus</i>	Mazzetti (1881) Mazzetti & Pantanelli (1885) Stefanini (1908a)
<i>Sardospatangus destefanii</i> (Stefanini, 1908a)	Borghi (2012), Stara et al. (2018)	<i>Spatangus austriacus</i> (pars) <i>Spatangus destefanii</i> n. sp. <i>Prospatangus</i> cfr. <i>airaghii</i>	Manzoni (1879) Stefanini (1908a) Laureri (1963)
<i>Sardospatangus fabianii</i> (Lambert, 1924)	Borghi (2012), Stara et al. (2018)	<i>Spatangus austriacus</i> (pars) <i>Spatangus austriacus</i> (pars) <i>Prospatangus fabianii</i>	Manzoni, 1879 Stefanini (1908a) Lambert (1924)
<i>Sardospatangus delphinus</i> (Defrance, 1827)	Stefanini (1908), Philippe (1998), Stara et al. (2018)	<i>Spatangus chitonosus</i> <i>Spatangus hemiornatus</i> n. sp. <i>Spatangus discoidalis</i> n. sp. <i>Spatangus semelanensis</i> n. sp. <i>Spatangus podex</i> n. sp. <i>Spatangus cor</i> n. sp. <i>Spatangus corsicus</i>	Manzoni (1879) Mazzetti & Pantanelli (1885) Mazzetti & Pantanelli (1885) Mazzetti & Pantanelli (1885) Mazzetti & Pantanelli (1885) Mazzetti & Pantanelli (1885) Stefanini (1908a)
<i>Trachypatagus</i> cfr. <i>tuberculatus</i> (Wright, 1864)	Stefanini (1908a), *	<i>Macropneustes peroni</i> <i>Trachypatagus tuberculatus</i>	Manzoni (1881) Stefanini (1908a)
<i>Brissopsis crescenticus</i> Wright, 1855	Kroh (2005)	<i>Brissopsis ottnangensis</i> <i>Toxobrissus elegans</i> <i>Hemiaster buklandi</i> ? <i>Brissopsis crescenticus</i> <i>Brissopsis lusitanica</i>	Manzoni (1879) Mazzetti & Pantanelli (1885) Mazzetti & Pantanelli (1885) Mazzetti (1896) Stefanini (1909)
<i>Schizobrissus cruciata</i> (Agassiz in Agassiz & Desor, 1847)	Kroh (2005), Smith & Kroh (2011)	<i>Linthia locardi</i> pars <i>Linthia insignis</i> <i>Macropneustes sahelensis</i>	Manzoni (1880) Mazzetti (1881) Stefanini (1909)
<i>Meoma</i> sp.	*	-	-
<i>Schizaster eurynotus</i> Sismonda, 1841	Kroh (2005)	<i>Schizaster leithanus</i> <i>Schizaster eurynotus</i>	Coppi (1884) Stefanini (1909)
<i>Ova karreri</i> (Laube, 1869)	*	<i>Schizaster melitensis</i>	Stefanini (1909)
<i>Opissaster cotteauii</i> (Wright, 1855)	Kroh (2005), Smith & Kroh (2011)	<i>Hemiaster cotteauii</i> <i>Trachyaster Lovisatoi</i>	Mazzetti (1882) Stefanini (1909)
<i>Ditremaster scillae</i> (Wright, 1855)	Kroh (2005)	<i>Trachyaster lovisatoi</i>	Stefanini (1909)
<i>Pericosmus latus</i> (Agassiz, 1840)	Kroh (2005), Stara & Borghi (2012)	<i>Pericosmus latus</i> (pars) <i>Pericosmus aequalis</i> <i>Pericosmus latus</i>	Manzoni (1880) Mazzetti & Pantanelli (1885) Stefanini (1909)
<i>Faorina maullui</i> Stara & Borghi, 2012	Stara & Borghi (2012)	<i>Pericosmus callosus</i> (pars) <i>Pericosmus orbignyi</i> (pars)	Manzoni (1879) Stefanini (1909)



<i>Faorina callosa</i> (Manzoni, 1879)	Stara & Borghi (2012)	<i>Pericosmus callosus</i> (pars) <i>Pericosmus orbignyi</i> (pars)	Manzoni (1879) Stefanini (1909)
<i>Nudobrissus malatinus</i> (Mazzetti & Pantanelli, 1885)	Borghi & Stara (2020)	<i>Pericosmus malatinus</i> <i>Pericosmus dilatatus</i> (pars) <i>Dyctiaster malatinus</i> <i>Dyctiaster excentricus</i>	Mazzetti & Pantanelli (1885) Mazzetti (1896) Stefanini (1908b) Stefanini (1908b)

Tabella 1 - Elenco con classificazione aggiornata degli echinoidi della Formazione di Pantano.

* = aggiornamento della classificazione proposta dall'autore.

Jano (BO)	N	%	Gruppo	Pescale (MO)	N	%	Gruppo
<i>Mazettia pareti</i>	79	31	C	<i>Mazettia pareti</i>	21	37	C
<i>Toxopatagus italicus</i>	65	25	E	<i>Toxopatagus italicus</i>	8	14	E
<i>Sardospatangus</i> spp.	51	20	E	<i>Cidaris mazzettii</i>	7	12	E
<i>Sardospatangus subconicus</i>	3	1	D	<i>Faorina</i> spp.	7	12	E
<i>Heterobrissus montesi</i>	31	12	C	<i>Sardospatangus</i> spp.	7	12	C
<i>Brissopsis</i> spp.	11	4	B	<i>Heterobrissus montesi</i>	5	9	C
<i>Faorina</i> spp.	10	4	E	<i>Histocidaris rosaria</i>	2	4	C
<i>Cidaris mazzettii</i>	5	2	E				
<i>Histocidaris rosaria</i>	2	1	C				
Totale	257			Totale	57		

S. Maria Villiana (BO)	N	%	Gruppo	Monte Valestra cava (RE)	N	%	Gruppo
<i>Echinolampas manzonii</i>	42	33	B	<i>Sardospatangus</i> spp.	86	35	E
<i>Sardospatangus</i> spp.	24	19	D	<i>Toxopatagus italicus</i>	37	15	E
<i>Schizaster</i> spp.	24	19	B	<i>Mazettia pareti</i>	27	11	C
<i>Hypsoclypus</i> spp.	11	9	B	<i>Schizaster</i> spp.	26	11	B
<i>Sardospatangus</i> spp.	9	7	E	<i>Heterobrissus montesi</i>	17	6	C
<i>Faorina callosa</i>	9	7	E	<i>Cidaris mazzettii</i>	12	5	E
<i>Schizobrissus locardi</i>	2	2	B	<i>Brissopsis crescenticus</i>	9	4	B
<i>Brissopsis crescenticus</i>	2	2	B	<i>Ditremaster scillae</i>	9	4	B
<i>Toxopatagus italicus</i>	1	1	E	<i>Nudobrissus malatinus</i>	7	3	E
<i>Pericosmus latus</i>	1	1	D	<i>Arbacina catenata</i>	3	1,5	A
<i>Echinolampas hemisphaericus</i>	1	1	B	<i>Hypsoclypus montesii</i>	3	1,5	B
<i>Cidaris mazzettii</i>	1	1	E	<i>Echinolampas manzonii</i>	2	1	B
<i>Meoma</i> sp.	1	1	B	<i>Faorina</i> spp.	2	1	E
				<i>Histocidaris rosaria</i>	2	1	C
				<i>Tripneustes planus</i>	1	0,5	A
Totale	128			Totale	243		

Tabella 2 - Numero (N) degli esemplari riconosciuti in quattro classiche località fossilifere della Fm di Pantano: Jano e S. Maria Villiana (Bologna), Pescale (Modena) e cava di Monte Valestra (Reggio Emilia). I dati sono tratti da Manzoni (1879, 1880) con l'aggiunta degli esemplari classificati sul campo dall'autore.

APPENDICE 1

Note sulla classificazione di alcune specie della Fm di Pantano

Pliolampas Pomel, 1888 e *Studeria* Duncan, 1891, sono due generi molto simili tra loro, tanto che alcuni studiosi hanno proposto di considerarli in sinonimia. Qui viene seguito il parere di Kier (1962) che li mantenne separati. *Studeria* si distingue per il periprocto marginale, non inframarginale come in *Pliolampas* (Smith &



Kroh, 2011). *Studeria pantanellii* (Stefanini, 1908a) è simile a *S. spratti* del Miocene di Malta, ma si distingue per il contorno ovale (Fig. 6), non appuntito posteriormente, la massima larghezza circa in corrispondenza del centro e il periprocto leggermente inclinato verso il basso.

Echinolampas Gray, 1825. *E. manzonii* Pomel, 1883 fu istituita sulla base dei fossili delle colline di Bologna figurati da Manzoni (1880; tav. 1, figg. 14-15). Gregory (1891, p. 607) designò l'esemplare di fig. 14 come il tipo (lectotipo) della specie. Le caratteristiche più peculiari sono la differenza nella lunghezza delle zone porifere nei petali appaiati, la forma ovale più o meno allungata del guscio, con la parte posteriore rostrata. *E. manzonii* è molto simile a *E. scutiformis* (Leske, 1778) con la quale è stata talvolta posta in sinonimia. Kroh (2005) dimostrò tuttavia che le due specie sono separate dalla dimensione dei petali (più lunghi in *E. scutiformis*), la disparità delle zone porifere (meno pronunciata in *E. scutiformis*) e la posizione del periprocto, situato in una zona più inframarginale in *E. manzonii*. Secondo Philippe (1998), *E. angulata* Merian in Agassiz & Desor, 1847 è sinonima di *E. scutiformis* (Leske, 1778): si comprende quindi il motivo delle numerose segnalazioni di *E. angulatus* nel Miocene dell'Emilia-Romagna e dell'Italia centrale (Manzoni, 1880 e 1881, Mazzetti 1882, De Angelis d'Ossat, 1897, Nelli, 1907, Stefanini, 1908a). Tutte queste citazioni sono state poste da Kroh (2005) in sinonimia con *E. manzonii* che, tra l'altro, mostra una notevole variabilità intraspecifica relativamente ad altezza e contorno del guscio. Centinaia di esemplari di *E. manzonii* sono conservati nelle collezioni Mazzetti e Manzoni, tuttavia la specie è frequente solo in alcune località dell'Emilia dove affiora quella che gli antichi studiosi chiamavano la "molassa serpentinosa" (Santa Maria Villiana, Serra dei Guidoni, dintorni di Montese). Si trova comunemente anche alla base dei membri di Santa Maria e della Pietra di Bismantova (*)

E. hemisphaerica (Lamarck, 1816) si distingue facilmente da *E. manzonii* per le maggiori dimensioni, il profilo più depresso, la minore disparità di lunghezza delle aree porifere e il contorno subcircolare del guscio.

La validità di *E. lorioli* e *E. peroni*, specie istituite da Stefanini (1908a) sulla base di pochi esemplari, è dubbia perché i tipi sembrano rappresentare casi marginali compresi nel campo di variabilità di *E. manzonii*.

Palaeobrissus canavarii (De Loriol, 1882). Un solo esemplare completo è stato raccolto nel Miocene italiano, a Camerino (De Loriol, 1882). Nella Fm di Pantano sono stati raccolti solo rari frammenti probabilmente attribuibili a questa specie.

Sardospatangus. In un recente studio (Stara et al., 2018) le tre specie più comuni originariamente attribuite a *Spatangus* nella Fm di Pantano, *S. subconicus* Mazzetti, 1881, *S. destefanii* Stefanini, 1908a, *S. fabianii* Lambert, 1924, sono state trasferite, assieme a molte altre del Miocene europeo, nel nuovo genere *Sardospatangus*, che si distingue da *Spatangus* soprattutto per la diversa struttura del plastron. Alcuni esemplari esaminati in IGF, in particolare quello figurato da Stefanini (1908°, tav. 4, fig. 2; Fig. 5a) corrispondono a quelli del Miocene del bacino del Rodano e del Portogallo assegnati da Philippe (1998) e Pereira (2010) a *S. delphinus* DeFrance, 1827. Differisce dalle tre 3 specie sopra citate essenzialmente per i petali più corti, il solco anteriore più largo e con le pareti laterali meno inclinate. La sinonimia di questa specie comprende (Philippe, 1998, Kroh, 2005; Pereira, 2010) *Spatangus corsicus* Desor in Agassiz & Desor, 1847, *S. simplex* (Desor, 1858), *S. rissoi* Desor, 1858, *S. austriacus* Laube, 1869 e *S. manzoni* Simonelli, 1883, tutte specie citate in passato anche nella Fm di Pantano.

Sardospatangus aequidilatatus (Mazzetti, 1881) si distingue per il solco anteriore che si allarga molto al margine assumendo una forma svasata (Fig. 5b); questa specie si avvicina a *S. pustulosus* (Wright, 1855) del Miocene di Malta, dal quale si riconosce per i petali più flessuosi e per i tubercoli primari più numerosi e più grandi.

Brissopsis. Nonostante siano state citate numerose specie appartenenti a questo genere nella Fm di Pantano, la sola riconosciuta con certezza è *Brissopsis crescenticus* Wright, 1855. Gli esemplari dell'Emilia mostrano la caratteristica marcata confluenza alla base degli ambulacri pari posteriori (Figg. 4a,b), che costituisce il principale carattere distintivo di questa specie. Viene riportato lo schema orale del plastron (Fig. 4c), che risulta non ancora pubblicato per questa specie e che corrisponde a quello di esemplari topotipici di Malta. La piastra labiale è stretta e allungata ed in contatto solo con la prima piastra ambulacrale adiacente. Lo schema non si discosta in modo significativo da quello riportato da Kroh (2005) e Pereira (2010) per *B. ottmagensis*. Tuttavia, quest'ultima specie si distingue per i petali posteriori non confluenti e più divergenti (50-70° invece di 45°), e per il valore più elevato del rapporto tra le lunghezze dei petali anteriori e posteriori. Anche *Brissopsis duciei* Wright, 1855 del Burdigaliano-Messiniano di Malta e *B. lyrifera* (Forbes, 1841), frequentemente citate nel Miocene dell'area mediterranea, differiscono da *B. crescenticus*, per i petali posteriori non confluenti.



Schizobrissus Pomel, 1869 e *Meoma* Gray, 1851, sono due generi affini attualmente considerati distinti (Lachkhem & Roman, 1995; Smith & Kroh, 2011): la differenza principale che li separa è la profondità del solco anteriore: ben marcato in *Schizobrissus*, nullo o superficiale in *Meoma*. Gli esemplari figurati da Stefanini (1909, tav. I, figg. 1 e 2) sono assegnati a *Schizobrissus*. Un solo esemplare (IGF.104269) è stato attribuito a *Meoma* (Fig. 7). I rari esemplari di *Schizobrissus* citati in passato nella Fm di Pantano furono assegnati (Manzoni, 1880; Mazzetti, 1881; Stefanini, 1909) ai generi *Linthia* e *Macropneustes*: *Schizobrissus* e *Meoma* si distinguono da *Macropneustes* per i petali più incavati e la fasciola peripetala più indentata negli interambulacri laterali appena dietro i petali anteriori. *Meoma* differisce da *Linthia* anche per il solco anteriore molto meno pronunciato. *Meoma* si distingue a prima vista da *Trachypatagus* per i petali molto più infossati.

Ova. Alcuni degli esemplari esaminati nelle collezioni Manzoni e Mazzetti (IGF e MPUM), originariamente attribuiti a *Schizaster*, conservano l'apparato apicale e mostrano 2 soli pori genitali; sono quindi da attribuire al genere *Ova*. In particolare alcuni di essi, classificati come *Schizaster melitensis* (e.g. Stefanini, 1909, tav. 5, fig. 7), appaiono conspecifici di *Ova karreri* (Laube, 1869), una specie molto diffusa nel Miocene europeo, in particolare in Austria (Kroh, 2005) e Portogallo (Pereira, 2010).

APPENDICE 2

A2.1 Morfologia funzionale. Negli echinoidi regolari la presenza di un'area ristretta di attacco muscolare attorno ai pori delle zone ambulacrali è considerata tipica di specie adattate alla vita su fondali profondi costituiti da sedimento non consolidato (Smith, 1978). E' il caso di *Histocidarid rosaria* e *Cidarid mazzetti*. Negli irregolari, il guscio elevato, la superficie orale larga e piana, la presenza di coppie di pori molto piccoli nell'ambulacro frontale (indice dell'assenza di pedicelli specializzati nella costruzione di canali respiratori) e la mancanza di pori larghi nella zona subanale indicano un echinoide che vive sulla superficie del fondale (Smith 1980). In questo caso ci sono quasi sempre dei rilievi ben sviluppati tra i peripodia nei fillodi (ad es. in *Mariania* e *Heterobrissus*) che indicano la presenza di pedicelli specializzati nella raccolta delle sostanze organiche dal fondale (Stara et al, 2016). La presenza di fasciole invece è tipica di echinoidi che vivono infossati in sedimenti relativamente fini e/o impermeabili (e.g. *Faorina*, *Pericosmus*, *Schizaster*, *Ova*, *Brissopsis*, *Opissaster*, *Ditremaster*). Le fasciole sono di norma assenti (e.g. *Mariania*, *Heterobrissus*, *Toxopatagus*) o poco sviluppate (e.g. *Mazettia*, *Sardospatangus*) nelle forme epibentiche o che vivono solo parzialmente infossate, di preferenza entro sedimenti più grossolani e permeabili (Smith & Stockley, 2005).

A2.2 Sintesi dei dati significativi disponibili per ogni taxon. (* = segnalazione dell'autore)

- *Prionocidarid avenionensis* (Des Moulins, 1837). Specie molto rara nella Fm di Pantano: segnalata solo a Serra de' Guidoni (Stefanini, 1908a), si trova con buona frequenza solo nella parte alta del membro della Pietra di Bismantova, presso Castelnuovo Monti (*). Echinoide di bassa profondità: la massima concentrazione di *Prionocidarid* nei mari attuali si trova a 0-100 m, è tipico della zona litorale su substrato solido, ma si trova anche su sabbia, raramente su fondali fangosi (Mortensen, 1928).

- *Histocidarid rosaria* (Bronn, 1831) è rappresentato da spine isolate, peraltro inconfondibili. Un solo guscio completo, anche se compresso, è stato raccolto a Jano (IGF.102212). Questa specie è frequente nel Piacenziano di Campore (presso Salsomaggiore), in sedimenti fangosi ricchi di materia organica attribuiti al piano batiale superiore (Ceregato et al., 2007). Tutte le specie attuali di *Histocidarid* vivono a profondità elevate (200-1440 m) e preferibilmente su fondali fangosi (Mortensen, 1928).

- *Tylocidarid (Sardocidarid) scarabellii* (Stefanini in Nelli, 1907) è noto solo a Serra de' Guidoni (Stefanini, 1908a) e a Santa Maria Villiana (comunicazione personale di S. Magnani 01-2020).

- *Cidarid mazzettii* (Stefanini, 1908a). E' il cidaroide più comune nella Fm di Pantano, rappresentato da spine isolate ma anche da gusci completi, alcuni dei quali conservano gli aculei in aderenza. Le caratteristiche morfologiche indicano un ambiente a profondità medio-elevata su sedimento non consolidato (Phelan, 1970). Anche secondo Manzoni (1879, 1880) "la specie si trova più frequentemente e dimensionalmente più sviluppata nello Schlier, quindi nelle facies più profonde del bacino miocenico".



- *Eucidaris zeamays* (Sismonda, 1842). Un solo esemplare è stato trovato presso Carpineti nel Reggiano (*). Le specie viventi di questo genere vivono di preferenza tra la zona di marea e 20-30 m di profondità, su substrato roccioso o sabbioso (Kroh, 2005). Tra le specie attualmente più diffuse, *E. tribuloides* (Lamarck, 1816) è prevalentemente litorale (Mortensen, 1928) e predilige substrati solidi, *E. thouarsii* (Agassiz & Desor, 1846) e *E. metularia* (Lamarck, 1816) si trovano rispettivamente a 0-45 e 0-40 m di profondità (Mortensen, 1928). *Eucidaris desmoulini* del Miocene medio di Maksymivka (Ucraina) faceva parte di un'associazione autoctona litorale secondo Radwanski et al (2014).
- *Tripneustes planus* (Agassiz in Agassiz & Desor, 1846). Tre soli esemplari sono stati segnalati nella Fm di Pantano, 2 da Mazzetti (1881) nel Modenese e uno a Monte Valestra nel Reggiano (Borghi et al., 2017). Nei mari attuali *Tripneustes* si trova a bassa profondità. Le due specie di più vasta diffusione, *T. ventricosus* e *T. gratilla*, vivono rispettivamente a 0-55 m e 0-75 m, ma con massima frequenza nella zona litorale (Kroh, 2005).
- *Arbacina catenata* Desor, 1858. Poco comune nell'area studiata, tuttavia si possono trovare a volte concentrazioni composte da alcuni esemplari (e.g. Lago dei Pini nel Reggiano*). *Genocidaris maculata*, echinoide molto vicino ad *Arbacina*, vive attualmente nel Mediterraneo tra 12 e 500 m, ma con massima frequenza a pochi metri di profondità (Tortonese, 1965).
- *Clypeaster* sp. Genere molto raro nella Fm di Pantano, segnalato da Mazzetti solo nel membro di Montecuccolo.
- *Echinocyamus pseudopusillus* Cotteau, 1895. Piuttosto raro, anche perché spesso passa inosservato date le piccole dimensioni (5-6 mm). *E. pusillus*, molto simile alla forma fossile, è comune nel Mediterraneo dove si trova tra 0 e 1250 m, ma con massima frequenza da 0 a poche decine di metri di profondità (Tortonese, 1965).
- *Echinolampas hemisphaerica* (Lamarck, 1816) ed *Echinolampas manzonii* Pomel, 1883. *Echinolampas* vive attualmente in ambienti molto diversi, tra 8 e 400 m, parzialmente immerso nel sedimento (Kroh, 2005). Si trova soprattutto nel membro di Montecuccolo, assieme a *Hypsochlypus*, *Studeria*, *Pliolampas*. E' molto frequente anche nelle lenti conglomeratiche alla base dei membri di S. Maria e di Bismantova (*).
- *Hypsochlypus lucae* (Desor, in Agassiz & Desor, 1847 e *H. montesiensis* (Mazzetti, 1881). Questo genere è frequente solo nel membro di Montecuccolo. Nel Pliocene di Pomarance (Pisa) *Hypsochlypus* viveva in un ambiente costiero, poco profondo, caratterizzato dalla presenza di fondali sabbiosi con abbondanti clasti e da elevata energia idrodinamica (Lazzarotto et al, 2002). Queste caratteristiche ambientali corrispondono a quelle descritte per gli affioramenti contenenti *H. pouyannei* nel Miocene superiore-Pliocene di Melilla e della zona di Orano in Algeria (Lachkheim & Roman, 1995).
- *Pericosmus latus* (Agassiz, 1840). Piuttosto raro nella Fm. di Pantano e spesso confuso con *Faorina*, che ha un aspetto generale simile ma diversa struttura del plastron. Nei mari attuali condivide spesso l'habitat di *Faorina* (Lane et al., 2000).
- *Faorina maullui* Stara & Borghi, 2012 e *F. callosa* (Manzoni, 1879). Il genere è presente in buon numero solo in alcune località. *Faorina chinensis* Gray, 1825, la specie-tipo del genere, vive attualmente come endobentico nell'Indo Pacifico, a 41-220 m di profondità, associato a *Pericosmus*, *Heterobrissus* e *Linopneustes* (Lane et al., 2000). Questo intervallo batimetrico corrisponde a quello prospettato per *F. maullui* nel Miocene inferiore di Funtanazza in Sardegna (Assorgia et al., 1997; Annino et al., 2000). Tuttavia *Faorina* è abbondante a Jano (Bologna), dove raggiunge dimensioni eccezionali (Manzoni, 1879), associato a una echinofauna profonda.
- *Brissopsis crescenticus* Wright, 1855. Specie segnalata solo in alcune località (es. Monte Valestra e Santa Maria Villiana*), spesso associata a *Ova*, *Ditremaster* e *Schizaster*. Le specie viventi di *Brissopsis* vivono ben infossati nel substrato. *B. crescenticus* è considerata una specie di profondità bassa/moderata (piattaforma interna) in numerose località dell'area mediterranea.
- *Schizobrissus locardi* (Cotteau in Locard, 1877). Rara, segnalata solo a Serra de' Guidoni (Stefanini, 1909) e presso Pavullo nel Modenese (comunicazione personale S. Magnani, gennaio 2019). Tipica di bassa profondità.
- *Meoma* sp. Un solo esemplare è noto nella Fm di Pantano (S. Maria Villiana). Tutte le specie viventi vivono nella zona tropicale tra 2 e 200 m, su sabbia, nella quale si infossano completamente (Kroh, 2005).
- *Heterobrissus montesi* Manzoni & Mazzetti, 1877. Specie frequente e caratteristica della formazione. Le popolazioni attuali del genere *Heterobrissus* abitano fondali fangosi batiali e sono epibionti detritivori. La

specie vivente più affine è *H. hystrix* (Agassiz, 1881), che vive nei Carabi a 220-1610 m (Mortensen, 1950; Serafy, 1979).

- *Palaeobrissus canavarii* (De Loriol, 1882). Un solo esemplare completo è noto nel Miocene inferiore di Camerino, in Umbria (De Loriol, 1882). Nella Fm di Pantano sono stati raccolti rari frammenti attribuibili a questa specie. L'unico rappresentante vivente, *Palaeobrissus hilgardi* A. Agassiz, 1883, vive sui fondali fangosi dei Carabi a 300-1025 m (Serafy, 1979). La mancanza di pori che denotino la presenza di pedicelli atti alla respirazione, il profilo piuttosto arrotondato e la presenza della sola fasciola subanale indicano che vive semi-infossato nel sedimento.

- *Mazettia paretii* (Manzoni, 1879). Specie molto frequente e caratteristica della formazione. Secondo Smith & Gale (2009) *Mazettia* è vicina a *Linopneustes* A. Agassiz, 1881, che vive attualmente a 55-710 m di profondità, con massima frequenza tra 200 e 500 m, su fondali fangosi (Smith & Gale, 2009).

- *Mariania stefaninii* Stara, Borghi & Kroh, 2016. Gli esemplari di *Mariania* del Miocene inferiore di Funtanazza (Sardegna) sono stati raccolti in un deposito attribuito al piano circalitorale (Assorgia et al., 1997; Annino et al., 2000). E' stata raccolta solo negli affioramenti del membro di Montecuccolo del Modenese-Bolognese.

- *Sardospatangus* è il genere più comune nella Fm di Pantano. In particolare, *S. subconicus* (Mazzetti, 1881) e *S. destefanii* (Stefanini, 1908a) sono presenti in molti degli affioramenti fossiliferi visitati. La presenza della sola fasciola subanale e il profilo del guscio indicano che probabilmente vivevano solo parzialmente infossati nel sedimento.

- *Schizaster eurynotus*. Le 4 specie viventi di questo genere vivono ben infossate nel sedimento, a 4-900 m di profondità (Kroh, 2005).

- *Ova karrereri* (Laube, 1869). E' possibile che siano presenti più specie di questo genere, per ora riconosciuto solo in poche località della formazione. *Ova canaliferus* vive attualmente nel Mediterraneo a profondità modesta, tra 9 e 100 m circa (Tortonese, 1965).

- *Trachypatagus* sp. Molto raro, segnalato solo a Serra de' Guidoni nel Bolognese (Stefanini, 1908a) e a Gaiato nel Modenese (comunicazione personale S. Magnani, gennaio 2019).

- *Toxopatagus italicus* (Manzoni & Mazzetti, 1877). Specie molto frequente e caratteristica della formazione. La mancanza di fasciole e la presenza di pori molto piccoli nell'ambulacro frontale fanno ritenere che visse sulla superficie del fondale o debolmente infossato nel sedimento.



Figura 6 - *Studeria pantanellii* (Stefanini, 1908a), TL = 20 mm, Santa Maria Villiana (Bologna).



Figura 7 - *Meoma* sp. (IGF.104269), TL = 84 mm, Santa Maria Villiana (Bologna).