

Alghe

- ❖ sono organismi vegetali non vascolari – ovvero privi di tessuti di conduzione – provvisti di clorofilla *a* e pigmenti accessori
- ❖ l'apparato vegetativo viene indicato con il termine di “tallo”, che può essere rappresentato da una singola cellula, può derivare dalla semplice aggregazione di più cellule
- ❖ il tallo e **non è differenziato** in radici, rami e foglie
- ❖ prevalentemente **acquatici** (amb. marino e continentale)
- ❖ di dimensioni variabili da pochi micron a decine di metri (es. *Sargassum*)
- ❖ uni o pluricellulari, quasi ogni cellula può compiere la fotosintesi
- ❖ bentoniche (o planctoniche)

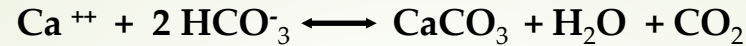
Alghe calcaree

E' un gruppo artificiale che comprende le alghe con uno “scheletro” calcareo e quelle non calcaree imputabili di strutture organo-sedimentarie (il nannoplancton calcareo non è incluso). Generalmente rientrano nel campo della micropaleontologia in quanto tendono a disgregarsi in segmenti più piccoli rispetto alla forma originale.

Sono presenti fin dal **Cambrico** con un processo evolutivo continuo e per questo hanno un'applicazione biostratigrafica e paleoambientale. Risultano, inoltre, importanti nella produzione di sedimento carbonatico, nella costruzione di bioherme e di strutture organo-sedimentarie.

il meccanismo per la precipitazione di CaCO₃ e la funzione esatta dello scheletro non è perfettamente conosciuta (funzione di scudo per la luce, sostegno o protezione dai predatori):

- in alcuni casi la precipitazione di CaCO₃ avviene tramite la reazione:



- in altri casi la calcificazione è il risultato di azione metabolica intracellulare o di assorbimento di sali dall'acqua.
- sono sempre presenti polisaccaridi acidi, come l'acido alginico, che molto probabilmente fungono da siti di nucleazione per i cristalli di calcite (Borowitzka, 1977; Bilan & Usov, 2001).
- il tasso di calcificazione nelle alghe calcaree è maggiore durante le ore di luce rispetto a quelle notturne; è presente inoltre un maggiore tasso di calcificazione durante il periodo estivo rispetto a quello invernale (Martin et al., 2006).
- solo circa il 5-10% delle alghe attuali esibisce calcificazione (maggiore % in ambienti più caldi)

La calcificazione può avvenire in differenti parti dell'alga:

- ❖ all'interno della cellula;
- ❖ associata alla parete cellulare;
- ❖ al contorno esterno della cellula;
- ❖ come deposito sulla pianta.

E' ovvio che da questo dipenderà la morfologia e la conservazione fossile dell'alga.

classificazione

- per le forme viventi è basata su criteri biologici (pigmento, ultrastruttura cloroplasti, organi di riproduzione, ecc.); la presenza di uno scheletro calcareo NON è criterio tassonomico
- per le forme estinte la classificazione si basa sulle stesse caratteristiche morfologiche utilizzate anche nelle forme viventi (caratteri dello tallo).

TABLE I

A classification of fossil skeletal calcareous algae

	Approximate number principal genera	Some common genera
Phylum CYANOPHYTA (blue-green algae) Class CYANOPHYCEAE	5*	<i>Girvanella</i>
Phylum RHODOPHYTA (red algae) Class RHODOPHYCEAE Order CRYPTONEMIALES		
Family SOLENOPORACEAE	2	<i>Parachaetetes</i> <i>Solenopora</i>
Family CORALLINACEAE Subfamily MELOBESIEAE (crustose corallines)	15	<i>Archaeolithothamnium</i> <i>Lithothamnium</i> <i>Lithophyllum</i> <i>Lithoporella</i> <i>Melobesia</i>
Subfamily CORALLINEAE (articulated corallines)	5	<i>Corallina</i> <i>Jania</i>
Family UNCERTAIN (ancestral corallines)	5	<i>Archaeolithophyllum</i> <i>Cuneiphyucus</i>
Phylum CHLOROPHYTA (green algae) Class CHLOROPHYCEAE Order SIPHONALES		
Family CODIACEAE	15	<i>Ortonella</i> <i>Penicillus</i> <i>Halimeda</i>
Order DASYCLADALES		
Family DASYCLADACEAE	30	<i>Acetabularia</i> <i>Cymopolia</i> <i>Dasycladus</i> <i>Mizzia</i> <i>Neomeris</i>
Phylum CHAROPHYTA Class CHAROPHYCEAE Order CHARALES	15	<i>Chara</i> <i>Trochiliscus</i>

*Some genera classified as blue-green algae may belong to other algal phyla or are organisms of uncertain affinity

Alghe rosse (Divisione Rhodophyta): maggiore presenza di pigmento rosso - ficoeritrina

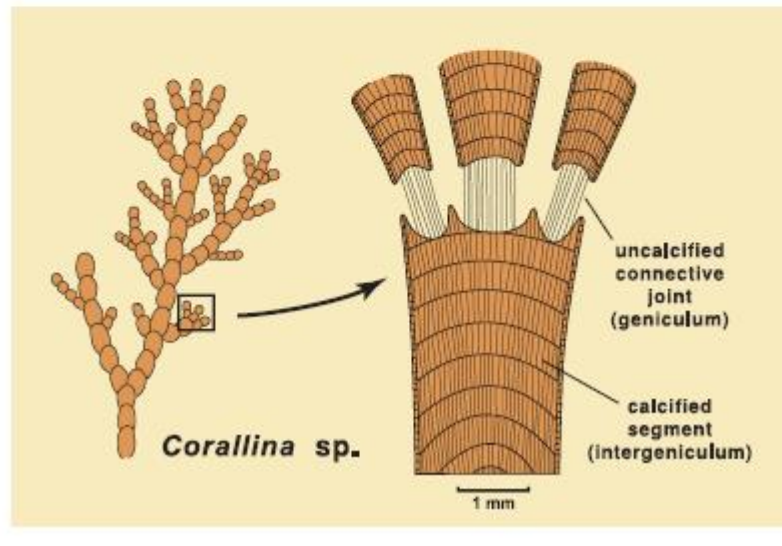
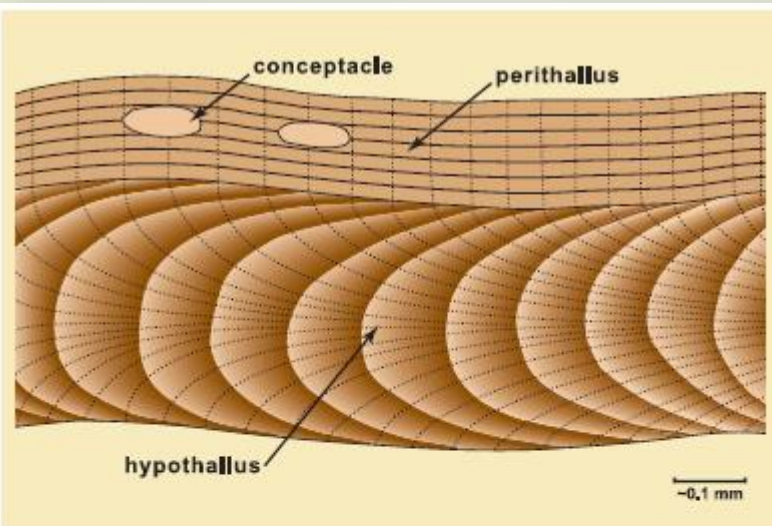
Il tallo consiste di filamenti adiacenti costituiti da più cellule collegate fra di loro. La calcificazione avviene all'interno e sulla parete cellulare, per cui il tessuto e gli organi riproduttivi sono conservati in dettaglio. Le cellule hanno forma prismatica o cilindrica, dimensioni (5-20 microns). Sono presenti attualmente circa 4000 specie, **prevalentemente marine**. Le alghe rosse hanno in genere uno scheletro **high-Mg calcitico**

Sono riconosciute tre principali famiglie:

1. **Corallinaceae**
2. **Solenoporaceae**
3. **coralline ancestrali (alghe filloidi)**

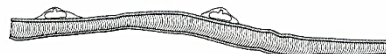
1. **Famiglia Corallinaceae**: compaiono nel Giurassico, ampiamente diffuse nell'attuale dall'ambiente tropicale a quello polare, dalla superficie fino a circa 200 m di profondità.

- il tessuto cellulare è spesso caratterizzato da due tipi di arrangiamento: una parte basale o centrale detta *hypothallium* (crescita laterale) e una parte esterna o marginale detta *perithallium* (crescita verticale);
 - l'**hypothallium** ha cellule di dimensioni maggiori di quelle del **perithallium**;
- le strutture riproduttive (sporangia) sono riunite in cavità singole calcificate (concettacolo) o riunite in righe che hanno sede nel perithallium.



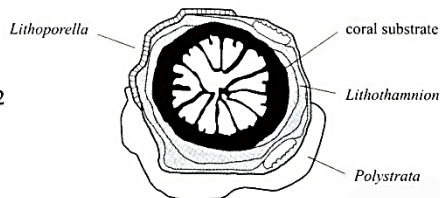
Encrusting

Type 1



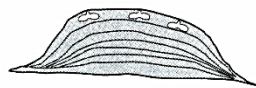
Neogoniolithon

Type 2



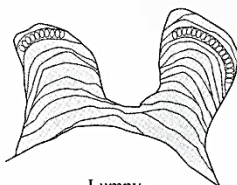
Protuberances

Spongites



Warty

Sporolithon



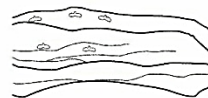
Lumpy

Mesophyllum



Fruticose

Lamellae



Spongites

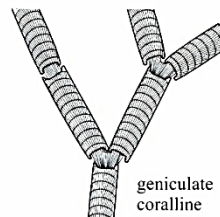
Layered



Lithothamnion

Foliose

Arborescent



geniculate
coralline

Fig. 4. Growth forms of coralline algae in the Lower Oligocene Gornji Grad Beds.

Sulla base del tipo di crescita sono suddivise in due sottofamiglie: Melobesieae e Corallineae.

sottofamiglia Melobesieae

Giurassico - Attuale

- sono le Corallinaceae incrostanti, hanno forma laminare, nodulare, rigidamente arborescente;
- generalmente attaccate al substrato, alcune forme sono libere;
- importanti nelle biocostruzioni, sia come elemento cementante, che come elemento di scogliera.

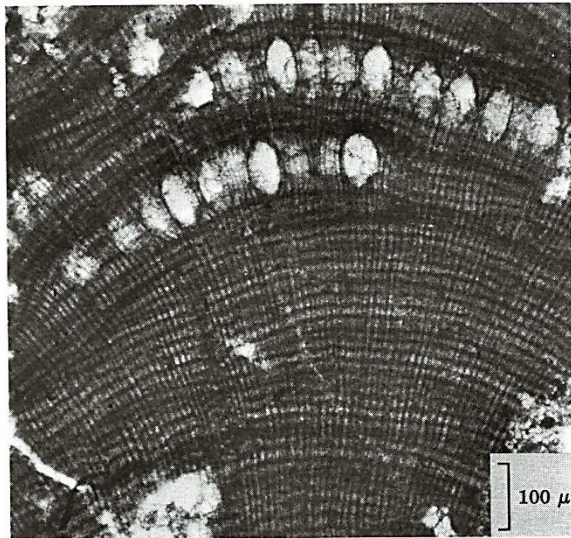


Fig. 5. Crustose coralline alga *Archaeolithothamnium*. Section of perithallium containing rows of individual sporangia. Eocene, Guam.

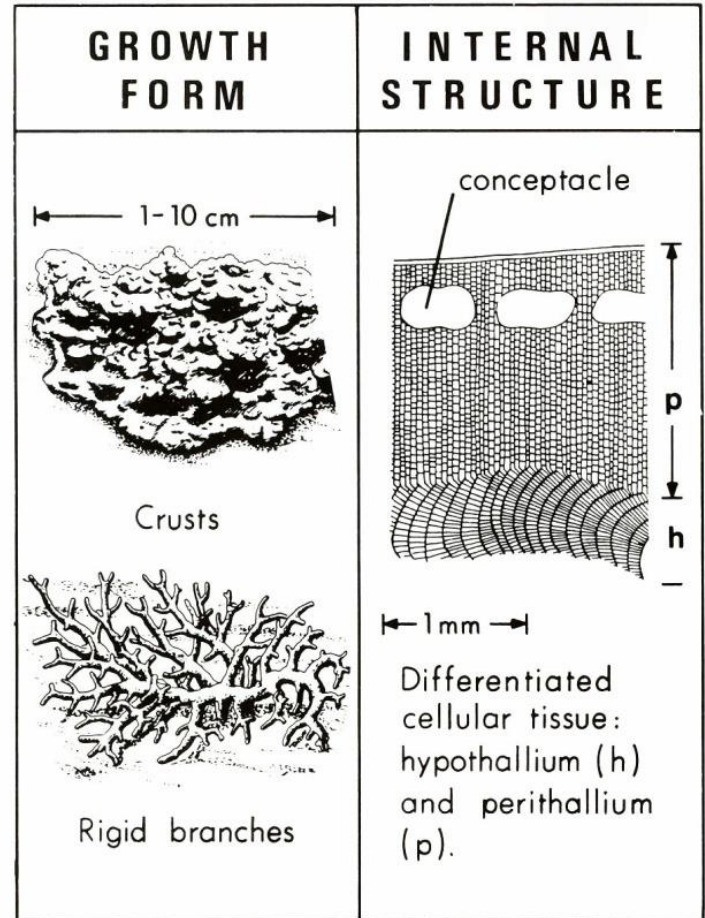


Fig. 4. Typical growth forms and internal morphology of crustose coralline algae (subfamily Melobesieae).

sottofamiglia Corallineae

Cretacico – Attuale

- hanno una forma eretta, ramificata, con articolazione (*genicula*); il peritallo è limitato ad un sottile livello esterno;
- generalmente si disgregano alla dimensione della sabbia.



Corallina, attuale



Fig. 9. Articulated-segmented coralline alga *Corallina* showing arcuate rows of cellular tissue (hypothallium) within segments. Miocene, Saipan.

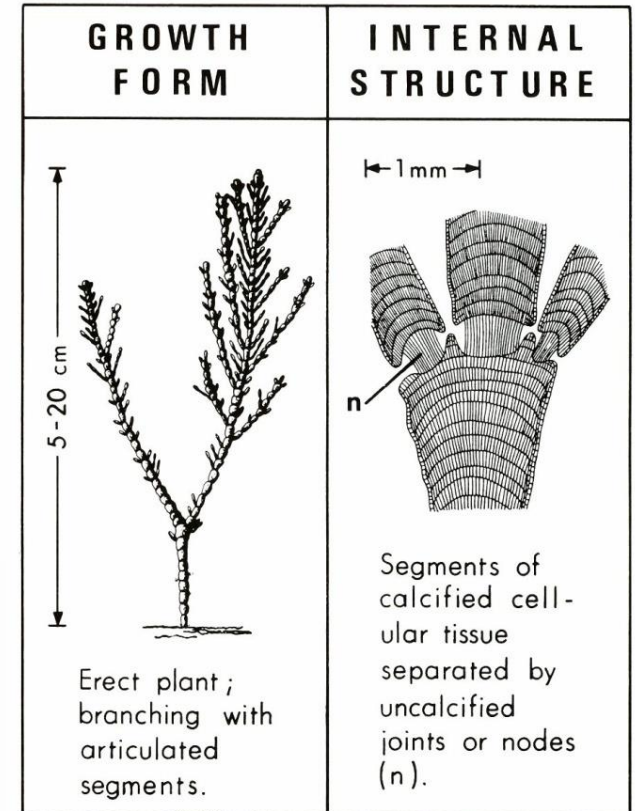


Fig. 8. Typical growth form and internal structure of articulated coralline red algae (subfamily Corallineae).



concettacoli

Esempi di Melobesieae

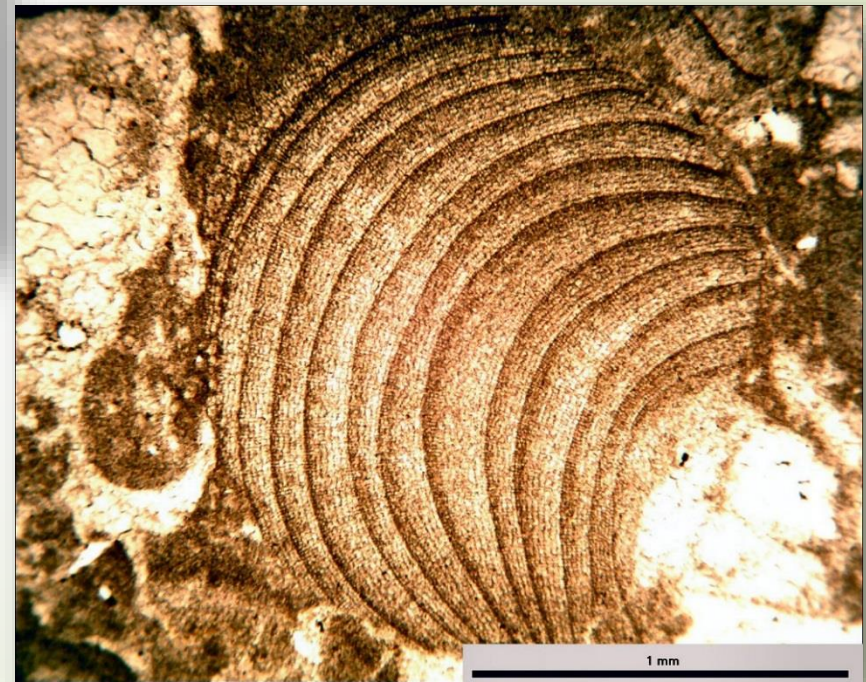
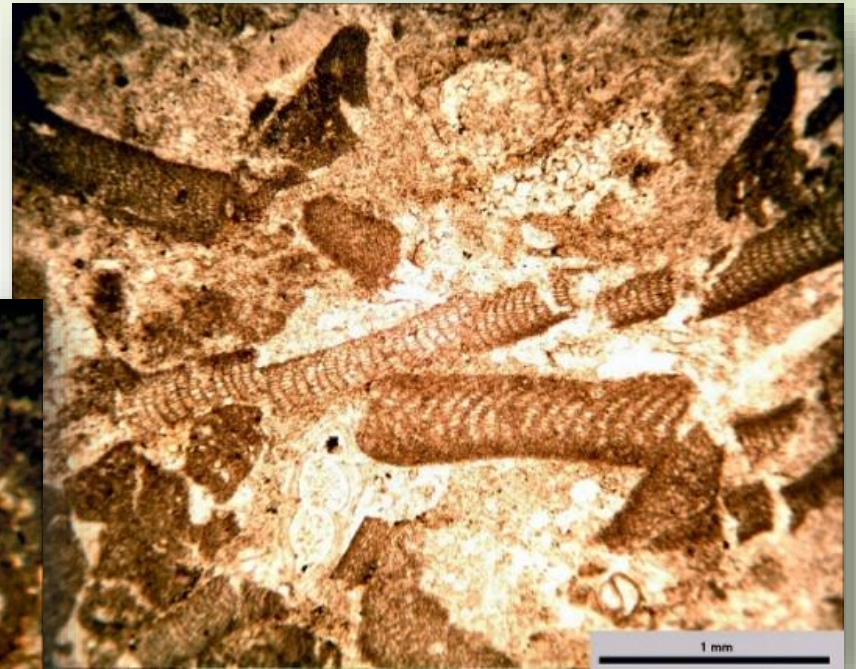


Fig. 6. Crustose coralline alga showing differentiation of cellular tissue. Eocene, Guam.

Esempi di Corallineae



Incertae sedis: Thaumtoporella parvooversiculifera

2. **Famiglia Solenoporaceae:** compaiono nel Cambrico sup. e si estinguono nel Miocene; le cellule (più grandi delle Corallinaceae) sono disposte in file a disposizione radiale, tallo di forma nodulare o incrostante; non sono riconosciuti organi di riproduzione.

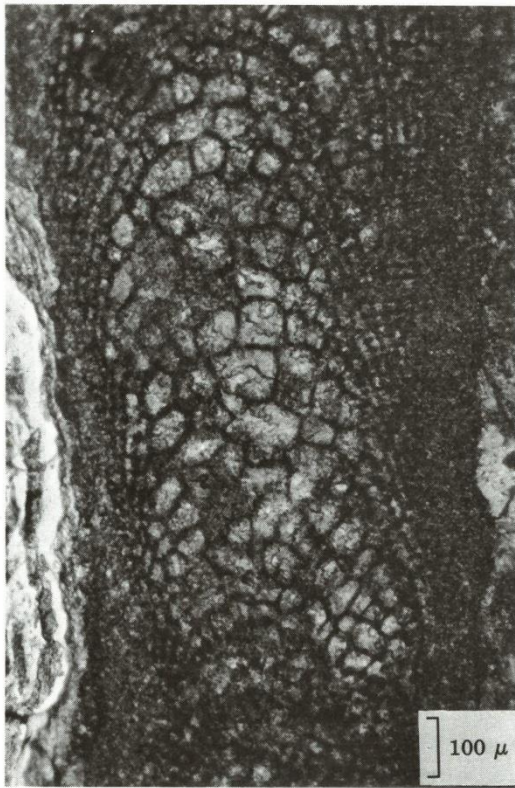


Fig. 11. Ancestral coralline alga *Archaeolithophyllum* showing arrangement of cells in hypothallium (central portion) and outer perithallium. Pennsylvanian, Missouri.

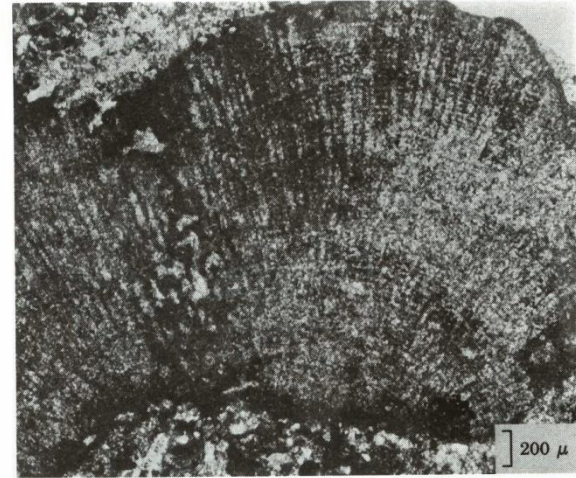


Fig. 10. Solenoporacean red alga *Parachaetetes*. Vertical section of nodular growth form showing cellular tissue. Upper Devonian, Western Australia.

3. **coralline ancestrali (alge filloidi):** forme estinte che presentano caratteri molto simili alla attuali Corallinaceae; compaiono nel Carbonico, rivestono particolare importanza nel Pennsylvaniano superiore e si estinguono nel Permico. Hanno forma eretta o incrostante, possiedono i concettacoli e il tessuto è differenziato. Il genere più comune è *Archaeolithophyllum*.

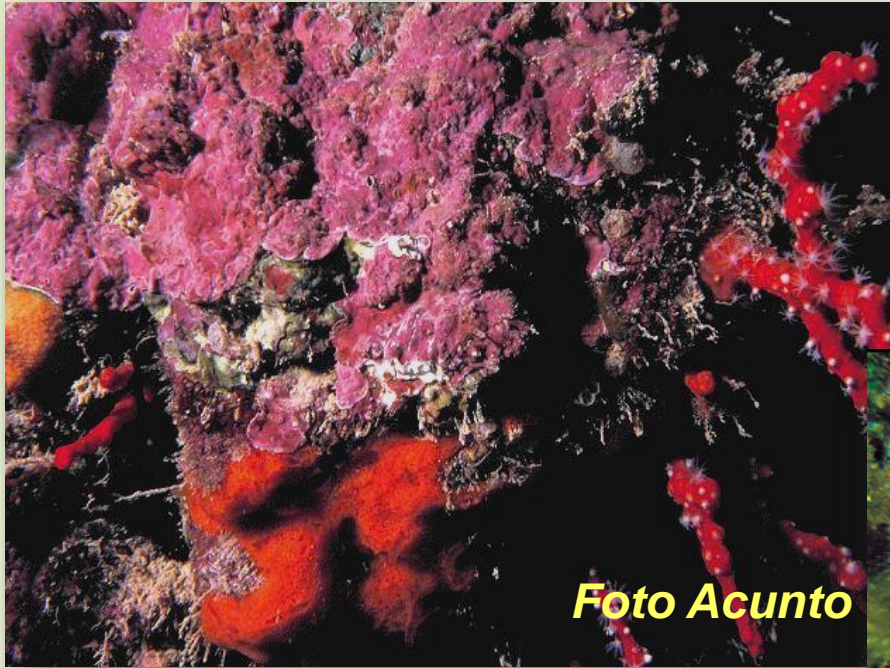


Foto Acunto

Esempio di alghe rosse
nell'ambiente attuale



Foto Acunto



Foto Acunto

Alghe verdi (Divisione Chlorophyta) – prevalenza della clorofilla sugli altri pigmenti

Comprendono attualmente 9000 specie, per la maggior parte viventi attualmente in acqua dolce o in ambienti infralitorali costieri (NB: nel fossile sono presenti solo in **paleoambienti marini!!**).

La calcificazione delle alghe verdi è molto variabile e può determinare elementi scheletrici molto fragili oppure depositarsi in superficie, creando lo stampo del tallo. Si depositano nel sedimento come frammenti del tallo originario, dando luogo ad un cospicuo accumulo di “fango carbonatico” aragonitico sia nell’ambiente attuale, che nei sedimenti carbonatici del passato.

Sono riconosciute due principali famiglie:

1. **Udoteaceae (ex Codiaceae)**
2. **Dasycladaceae**

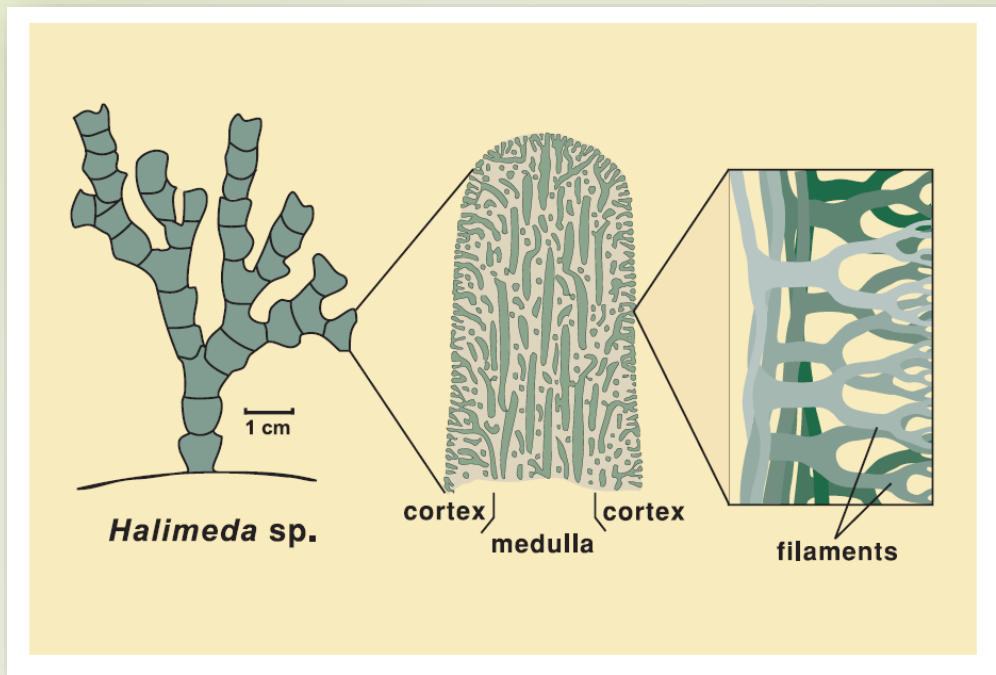
1. **Famiglia Udoteaceae**: compaiono nell’Ordovico, diffuse nell’attuale in ambienti ad elevato idrodinamismo. La struttura è sempre data da cellule tubulari.

Sono riconosciuti due principali forme di scheletro:

- **incrostante o nodulare** (comuni nel Paleozoico);
- **cespuglioso o eretto** con ramificazioni (comuni nel Mesozoico e Cenozoico).

Forme **incrostanti**: le cellule tubolari sono variamente ramificate o disposte a ventaglio

Forme **cespugliose**: il tallo ha una parte assiale (medulla, poco calcificata) formata da filamenti densamente intrecciati, dai quali si dipartono gli otricoli (rametti) che costituiscono la parte calcificata dello scheletro.



**Esempi di Udoteaceae
attuali:**

*Halimeda, Penicillus, Udotea,
Rhipocephalus.*



Fig. 13. Underwater photograph of living calcareous codiacean green algae, *Halimeda* and *Penicillus*. Individual plants are 10 to 15 cm high. Shallow lagoonal environment, Eleuthera Island, Bahamas.

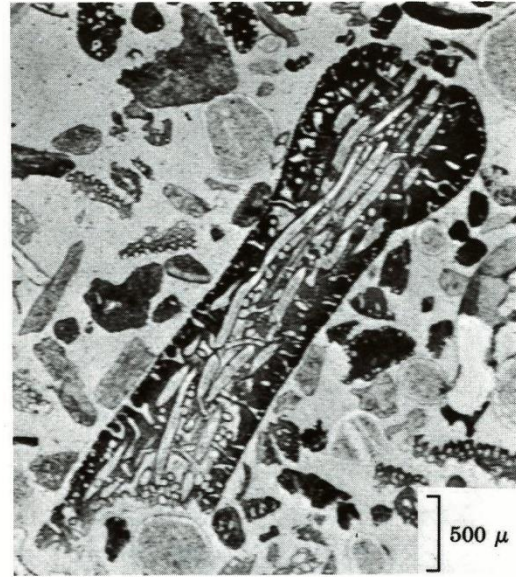
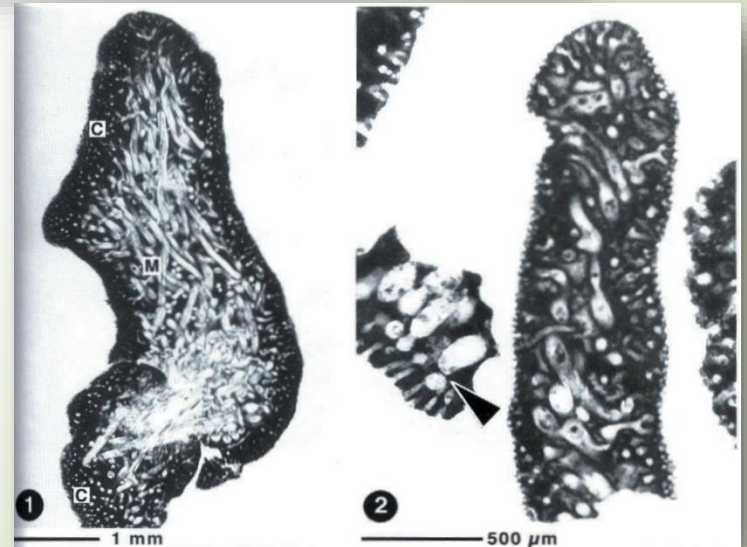
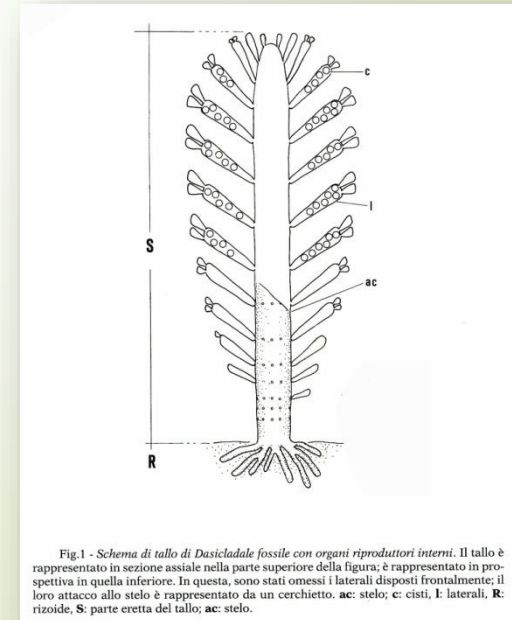
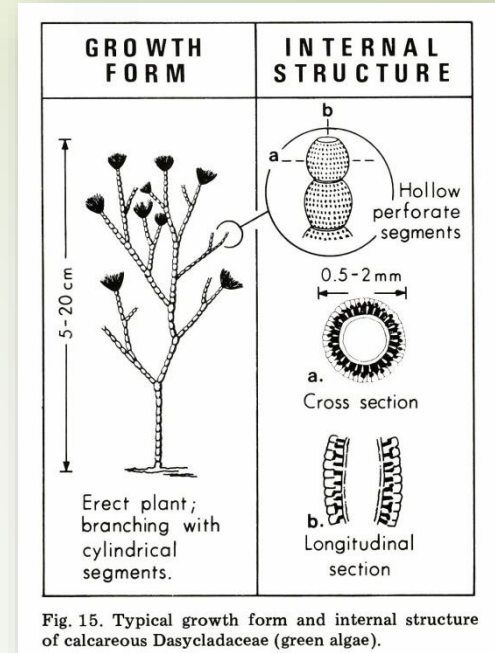


Fig. 14. Section of codiacean green alga *Halimeda* showing internal tubular filaments. Recent, Florida.

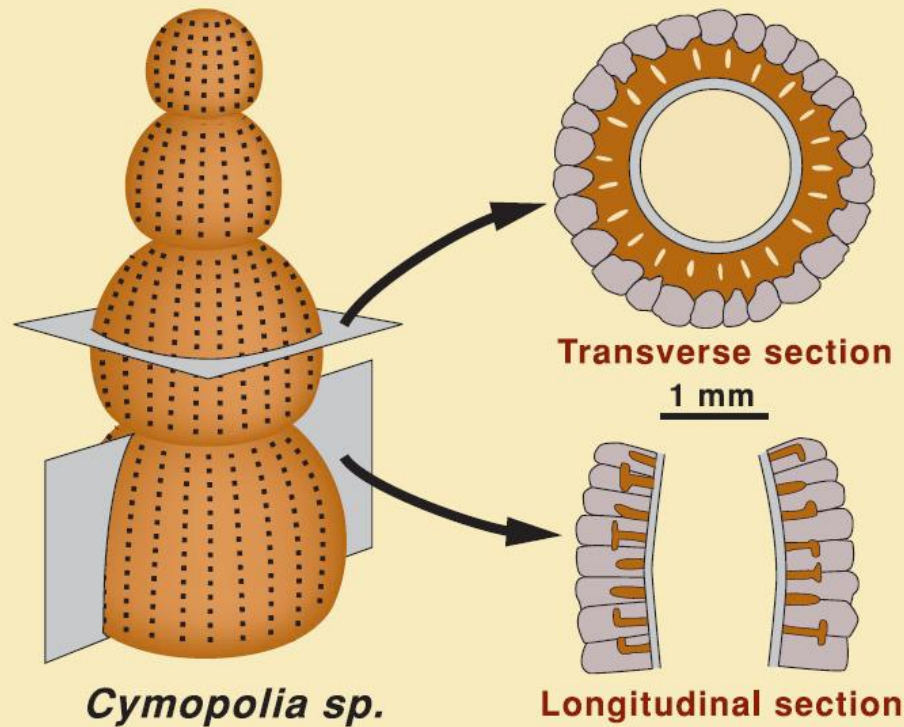


2. **Famiglia Dasycladaceae**: compaiono nel Cambriaco, ampiamente diffuse nel Permiano, Malm-Creta inf., Paleocene-Eocene; nell'attuale rappresentata da circa 40 specie in 10 generi.

- di grande importanza sistematica, attualmente elevate al rango di classe;
- il tallo è costituito da una parte assiale eretta, lo **stelo**, e da una breve porzione basale, il **rizoide**, che funge da ancoraggio.
- le forme principali del tallo sono a bastoncino, claviforme, globosa, ad ombrello
- sono costituite da un'unica cellula che ha sede per la maggior parte nel rizoide
- la riproduzione è di norma sessuata; gli organi riproduttori hanno sede all'interno dello stelo, oppure all'interno o esterno dei laterali;
- lo stelo può essere semplice oppure munito di appendici laterali disposte a simmetria radiale; i **laterali (funzione assimilatrice, riproduttrice o di sostegno)** possono essere semplici, oppure ramificati una o più volte.



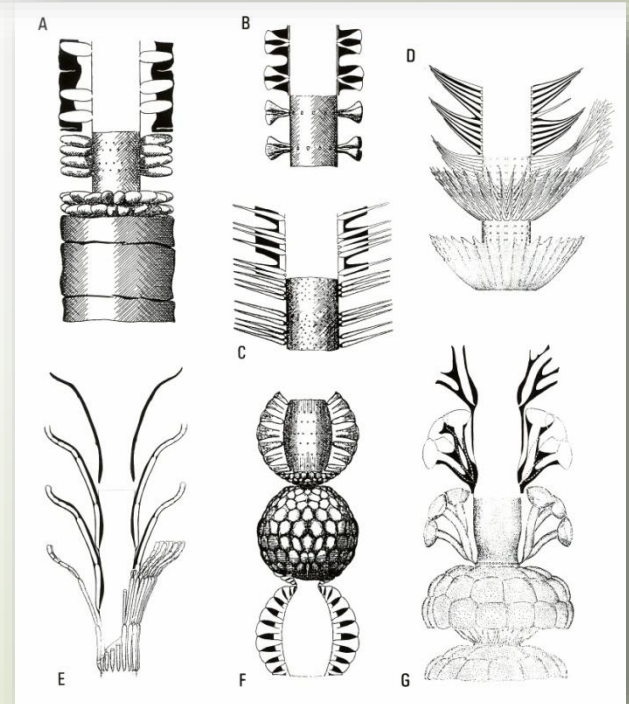
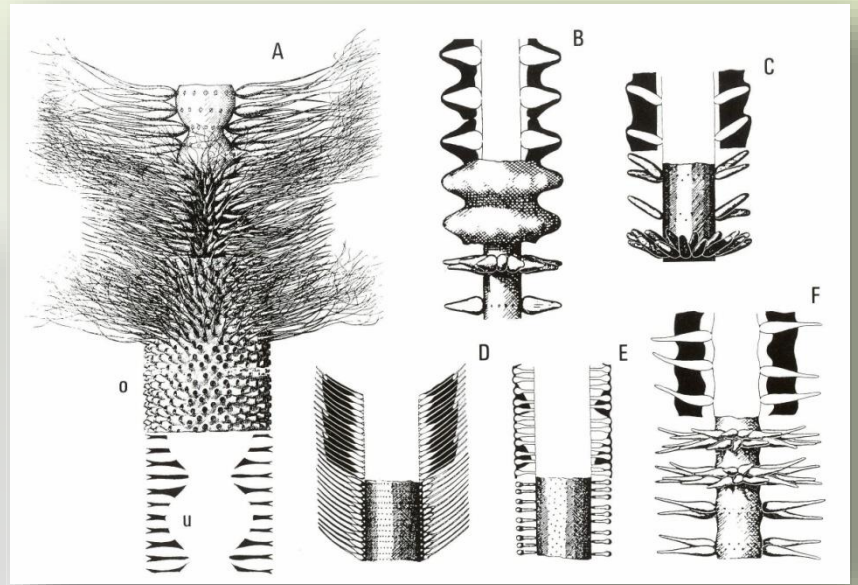
Lo scheletro delle Dasycladaceae è extracellulare ed è dovuto alla calcificazione della guaina di mucillagine che circonda gli elementi del tallo. Esso può essere continuo, ma anche discontinuo, sia in senso trasversale, che longitudinale; lo spessore varia da una sottile pellicola ad un robusto manicotto.



La calcificazione si presenta alla fine della fase vegetativa



Acetabularia acetabulum (attuale) - da Cerrano et al., 1999:
Guida alla Biologia Marina del Mediterraneo.



Esempi di sezioni nello studio delle Dasycladaceae

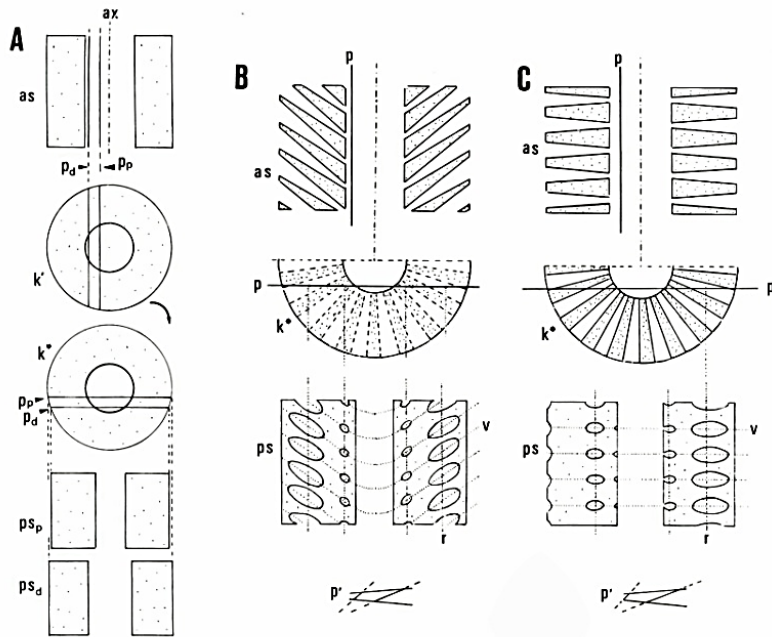
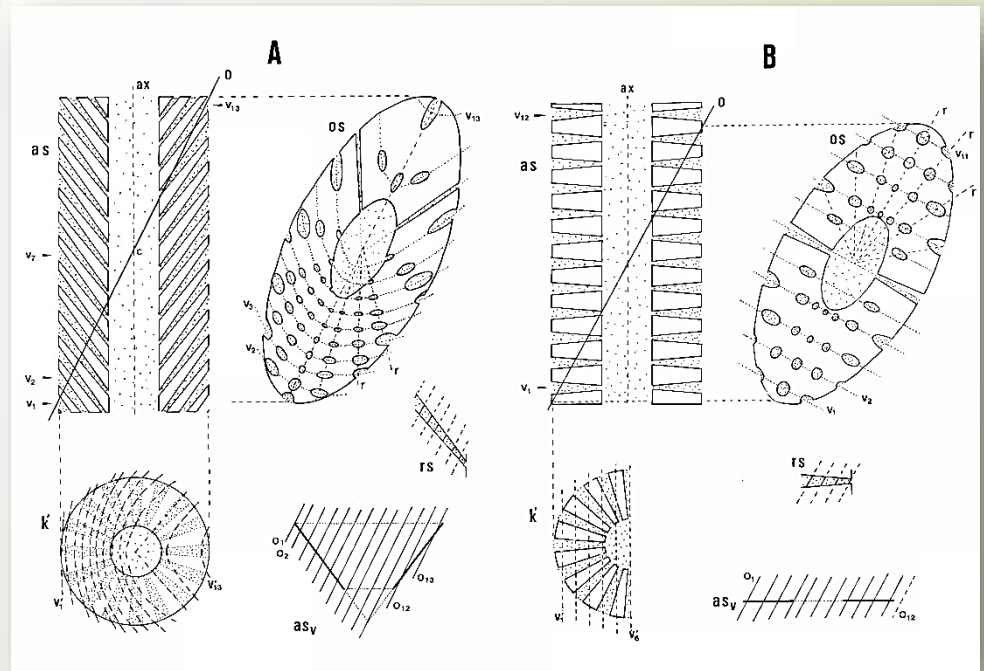
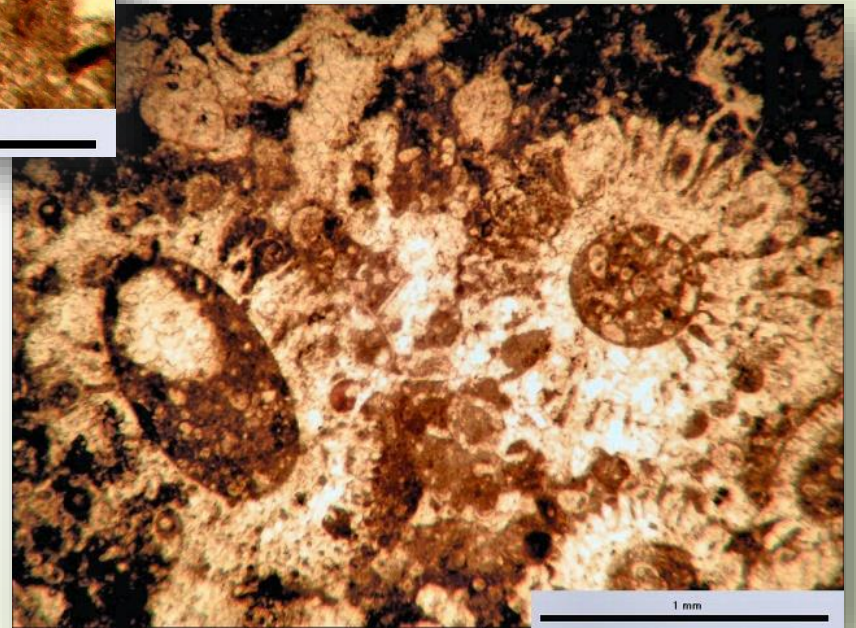
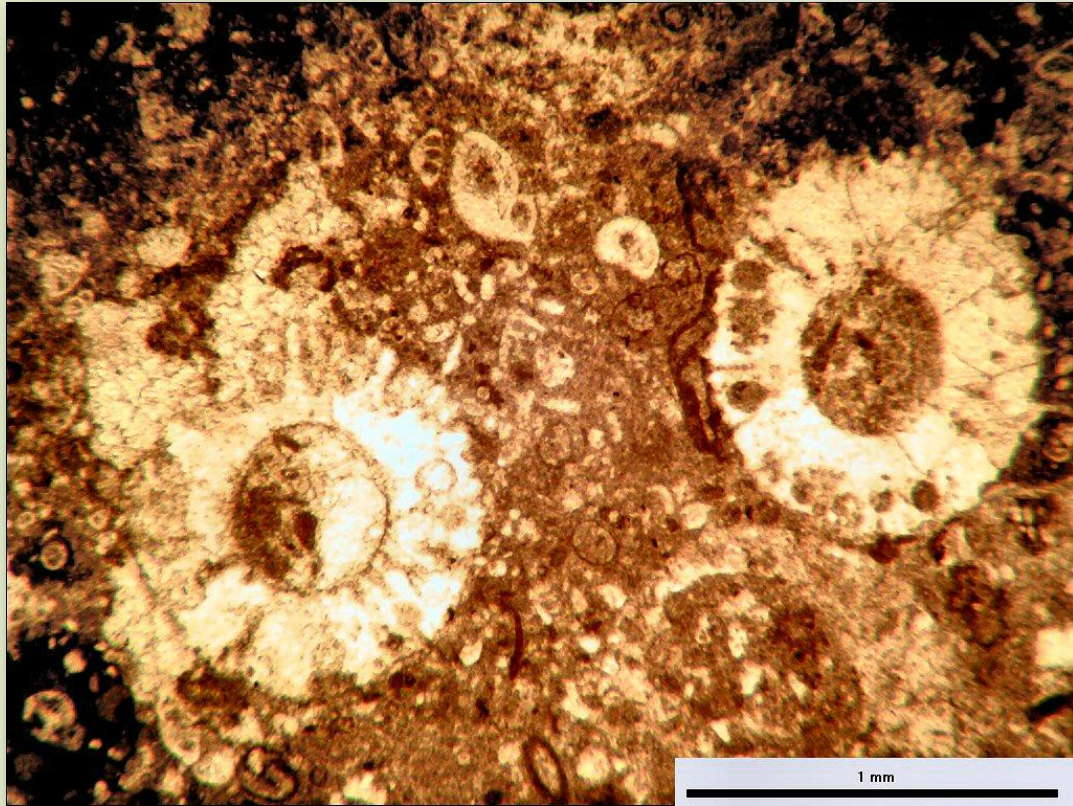


Fig. 29 - Sezioni parassiali di scheletri cilindrici con pori euspondili floiofori. (Disegno schematico). A: forma esterna della sezione assiale *as* di riferimento. *k'* è la proiezione verticale dello scheletro corrispondente su un piano orizzontale. *k** è *k'* ruotata di 90°; da essa si ricavano le forme complessive delle sezioni parassiali *ps_d* (distale) e *ps_p* (prossimale), relative alle intersezioni *p_d* e *p_p*, al fine di mostrarne le relazioni reciproche.

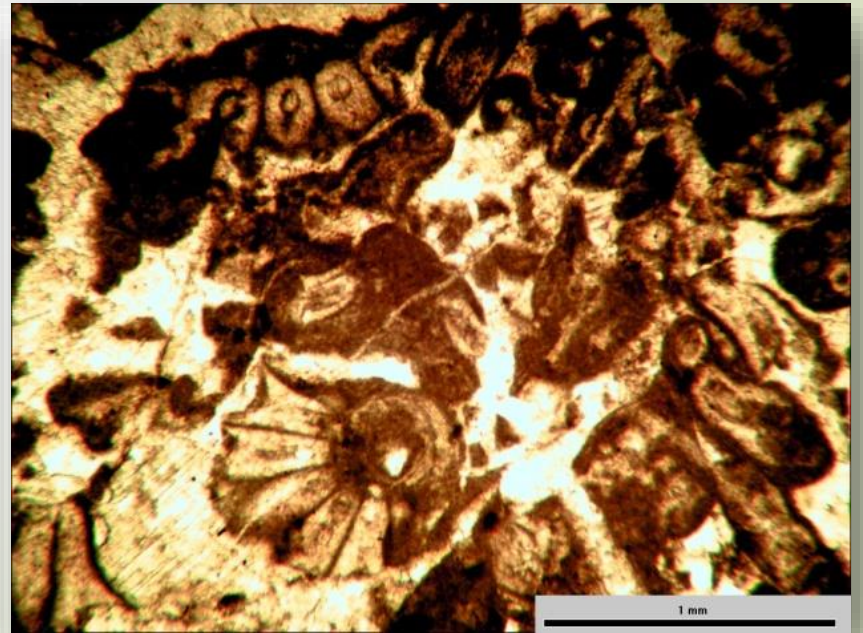
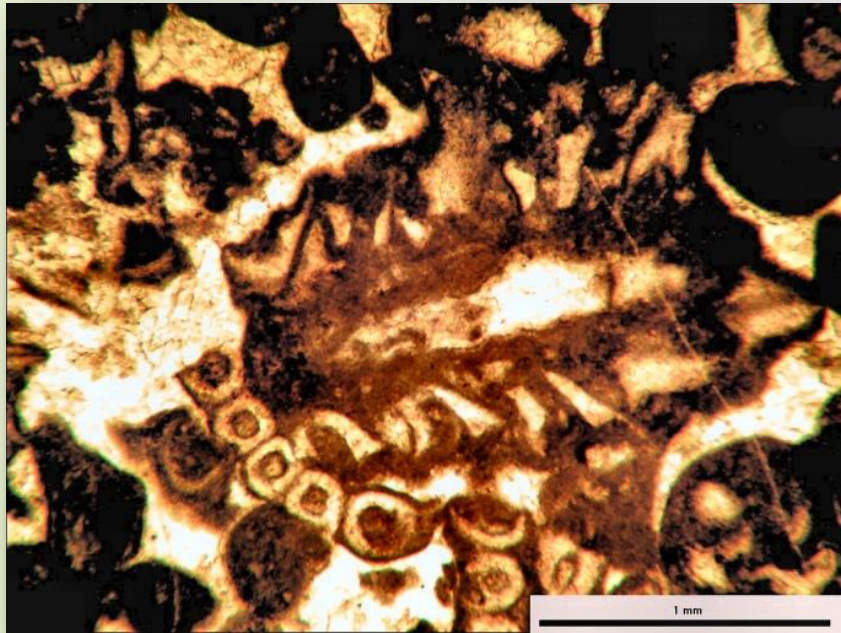
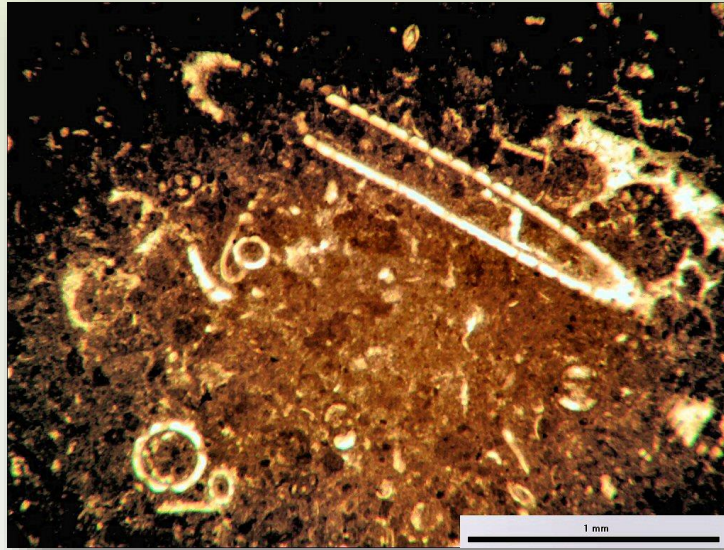
B e C si riferiscono a scheletri con pori rispettivamente obliqui e perpendicolari; le due colonne contengono sezioni e proiezioni dello stesso tipo di A ma *k'* è omessa. Nelle sezioni parassiali ogni sezione di poro si trova simultaneamente lungo l'intersezione (ideale) *r* del semipiano radiale (linea parallela all'asse della sezione) e lungo l'intersezione *v* della superficie verticale relativa al poro stesso. L'intersezione *v* si interrompe in corrispondenza della cavità dello scheletro interessata dalla sezione; essa è un'iperbole nel caso di pori obliqui; è un segmento rettilineo nel caso di pori perpendicolari. La sezione *ps* mostra tante allineamenti, simili e sovrapposti, quanti sono i verticilli intersecati. Se i pori fossero aspondili le loro sezioni si disporrebbero irregolarmente. Ulteriori indicazioni nel testo (par.22).

I segmenti intercettati da *p* sulle proiezioni dei pori di una metà di *k** sono stati riportati in *p'* (proiezione di un poro) con le stesse inclinazioni ed alla stessa distanza dall'asse dello scheletro. Ciò vuole evidenziare che, in una sezione parassiale dello scheletro, le sezioni dei pori di un verticillo corrispondono a sezioni pseudoseriate di uno stesso poro.





Esempi di microfacies a Dasycladaceae



Divisione Charophyta

Silurico- Attuale

- fisiologicamente e biologicamente simili alle alghe verdi, hanno però organi sessuali complessi, in cui i gameti sono circondati da una parete di cellule sterili;
- le dimensioni possono raggiungere l'ordine del metro;
- la calcificazione comprende generalmente solo l'organo riproduttivo (**gyrogonite** o **oogone**), che si situa alla base delle ramificazioni;
- le Charophyta attualmente popolano le acque dolci o quelle a salinità molto bassa.



Chara baltica, alga calcarea

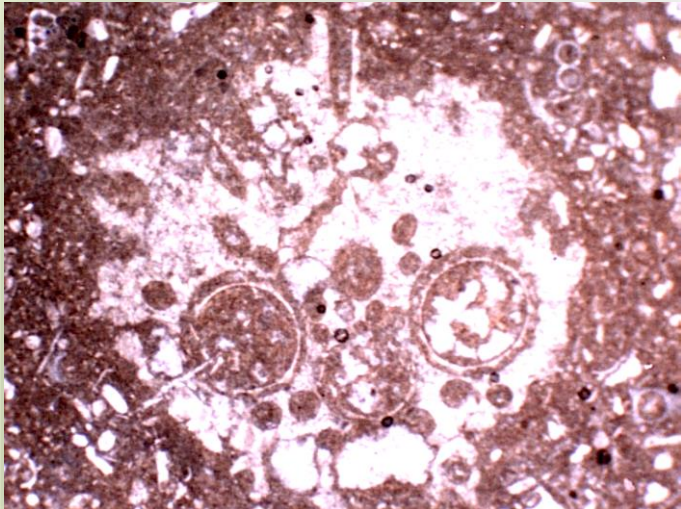
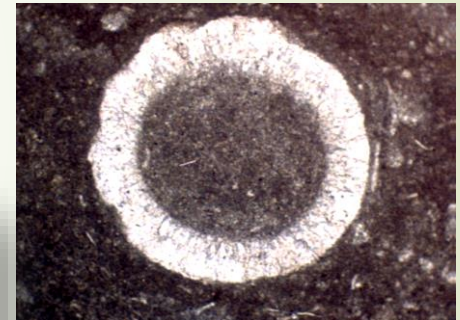
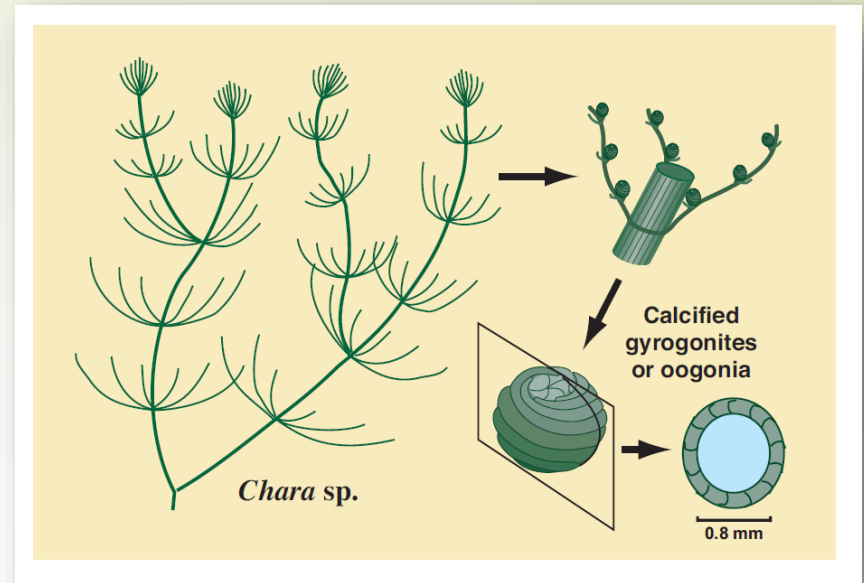


Figura D.9: a) *Lagynophora liburnica* (Stache), sez. dei girogoniti e verticilli, S2 (x55); b) Stache G. (1889) *Die Liburnische Stufe und deren Grenzhorizonte*, tav. IV, fig. 11; Daniano



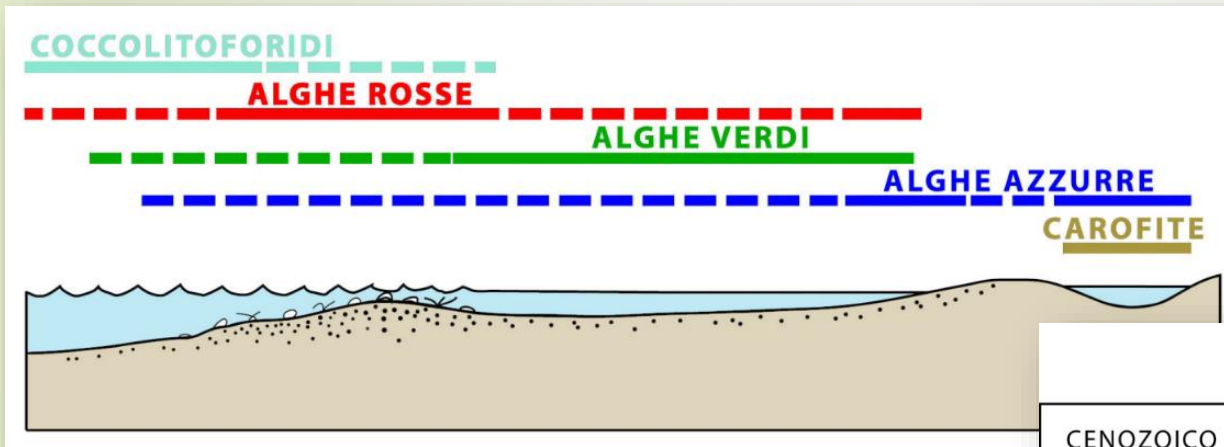
- ✓ Gli anterozoi (gameti maschili) sono vermiformi, con due flagelli e sono avvolti a spirale. L'oosfera (gamete femminile) non esce dal suo involucro dopo la fecondazione, rimane a lungo in stato di riposo, mentre il suo involucro si calcifica (oogone); è questo uno stadio molto primitivo di frutto. Mancano le spore.
- ✓ Le Caroficee appaiono esteriormente come un alberello in cui i rami si staccano dal fusto per verticilli equidistanti.
- ✓ Formano delle praterie sul fondo degli stagni e dei ruscelli (ambienti di acque dolci).
- ✓ Si fissano al fondo con dei filamenti ramificati detti "rizoidi" che hanno la funzione di radici, pur avendo una struttura assai più semplice.
- ✓ Alcune specie contengono molto carbonato di calcio e partecipano alla formazione del travertino.



ecologia e paleoecologia

La maggior parte delle alghe calcaree viventi ha una distribuzione batimetrica e geografica preferenziale, la cui conoscenza è di applicazione al paleoambiente.

I principali fattori che influenzano la loro distribuzione sono la luce, la temperatura, l'energia di fondo ed il tipo di substrato.



“Alghe azzurre” (Cyanobacteria) – substrato fangoso

Alghe verdi – substrato sabbioso/fangoso

Alghe rosse – substrato roccioso/rigido

	CHLOROPHYTA alghe verdi	RHODOPHYTA alghe rosse
CENOZOICO		coralline
CRETACICO		
GIURASSICO		
TRIASSICO		
PERMIANO		
CARBONIFERO		solenopore
DEVONIANO	codiacee	coralline ancestrali
SILURIANO		
ORDOVICIANO		
CAMBRIANO		

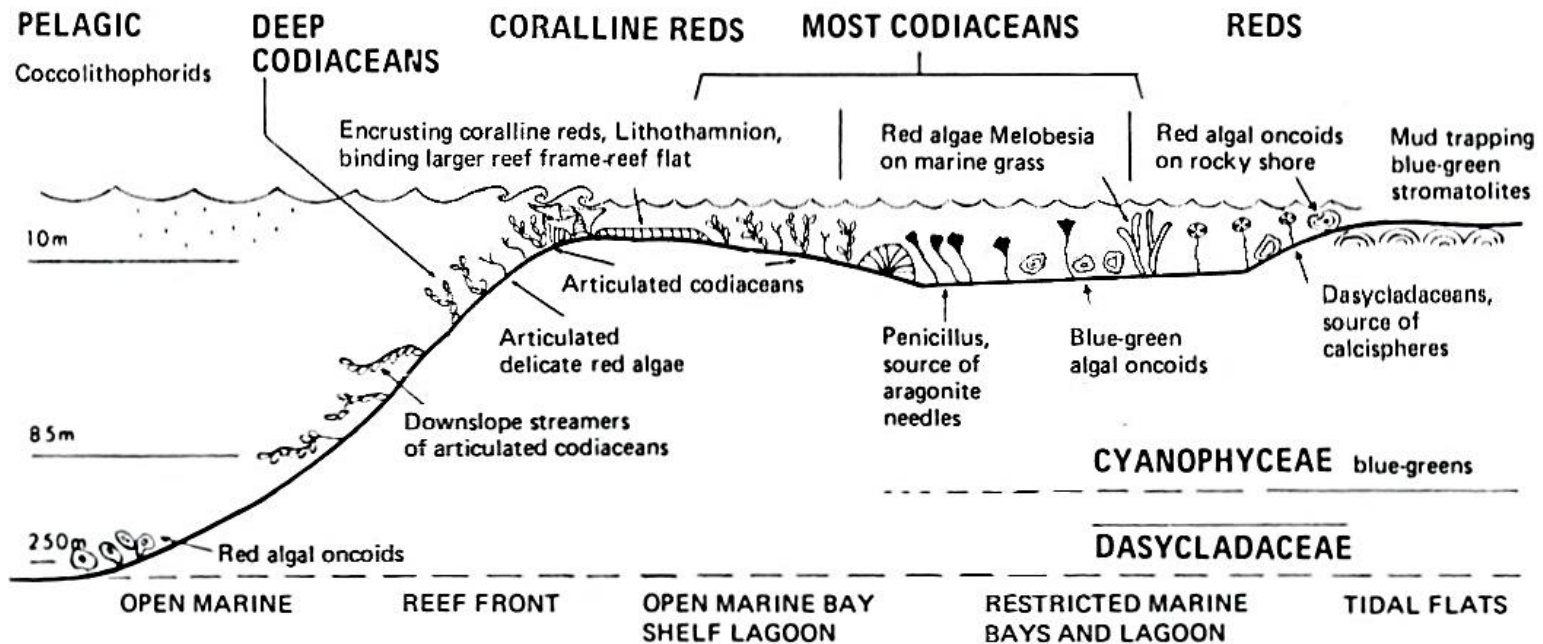


Fig. 49. Ecology of calcareous marine algae; depositional environments along an idealized profile of a carbonate shelf margin. After Wilson (1975). This diagram shows only the main areas of spatial distribution for some algal groups. Recent dasycladacean algae, for instance, are also found in various restricted environments (lagoons, protected reef flats, mangrove zones) as well as in near-coastal hard bottoms, where they grow on rocks (see Valet, 1979)

TABLE 1

Comparison of several environmental and facies attributes typical of (sub)tropical and non-tropical shelf carbonates. Based mainly on Lees (1975), Nelson (1978) and Leonard et al. (1981); see also Brookfield (1988) and Nelson et al. (1988b)

Environmental and facies parameters	Tropical-subtropical carbonates	Temperate-polar carbonates
<i>Setting</i>		
Latitude	between 30° N and 30° S	beyond 30° N and 30° S
Depositional	rimmed shelves or platforms	open shelves or ramps
Tectonic	stable	stable to unstable
Terrigenous supply	low	low to high
<i>Water properties</i>		
Mean temperature	above 23°C	below 20°C
Minimum temperature	about 14°C	below 12°C
Salinity	normal to hypersaline	normal (to reduced)
Carbonate saturation	supersaturated to saturated	saturated to undersaturated
Circulation	restricted to open	open
<i>Structures</i>		
Reefs	abundant	rare or absent
Algal mats (and stromatolites)	common	absent or not preserved
<i>Bulk sediment properties</i>		
Carbonate content	very high (> 90%)	moderate to very high (50–100%)
Texture	muds, sands and gravels	mainly sands and gravels
Sedimentation rate	relatively high (> 10 cm/1000 y)	relatively low (< 10 cm/1000 y)
<i>Non-skeletal carbonate components</i>		
Ooids	common	absent
Aggregates	common	absent
Peloids	common	rare or absent
<i>Major skeletal carbonate components</i>		
Flora	calcareous green algae calcareous red algae	calcareous red algae coccolithophorids
Fauna	hermatypic corals benthic foraminifers molluscs	bryozoans bivalve molluscs benthic foraminifers barnacles echinoderms serpulids brachiopods