

# Le Alghe Verdi

## Phylum *Chlorophyta*

**Classe *Chlorophyceae*** (la classe più numerosa)

**Classe *Ulvophyceae*** (sono essenzialmente marine)

## Phylum *Charophyta*

**Classe *Charophyceae*** (includono membri con caratteri affini alle piante superiori)

Le alghe verdi comprendono almeno 17.000 specie e sono organismi diversi da tutte le altre alghe sia per la morfologia che per il ciclo riproduttivo.

- Vivono in prevalenza nelle acque dolci, ma ce ne sono anche di acqua salata, alcune sono terrestri e vivono sui tronchi degli alberi;
- Presentano cloroplasti con tilacoidi riuniti in gruppi di 2-6 membrane, hanno clorofilla a e b e luteina (carotenoide);
- Il composto di riserva è l'amido (accumulato nei cloroplasti), **ma compaiono anche gli amiloplasti;**
- Numerose specie vivono in simbiosi con altri organismi a formare licheni, ma anche in associazioni con celenterati marini, spugne.

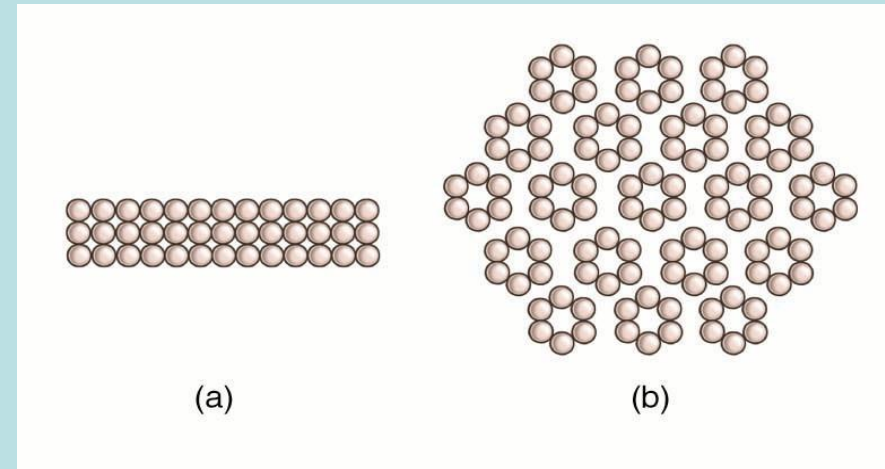
La parete cellulare delle alghe verdi è costituita da una frazione fibrillare immersa in una matrice amorfa.

La parete delle forme non flagellate è di natura prevalentemente cellulosa.

La cellulosa-sintasi inserita nella membrana plasmatica può essere:

(a) allineate in file multiple (Chlorophyceae e Ulvophyceae)

(b) aggregate a rosetta (Charophyceae)



La cellulosa sintasi disposta in file genera microfibrille di cellulosa di dimensioni più grandi.

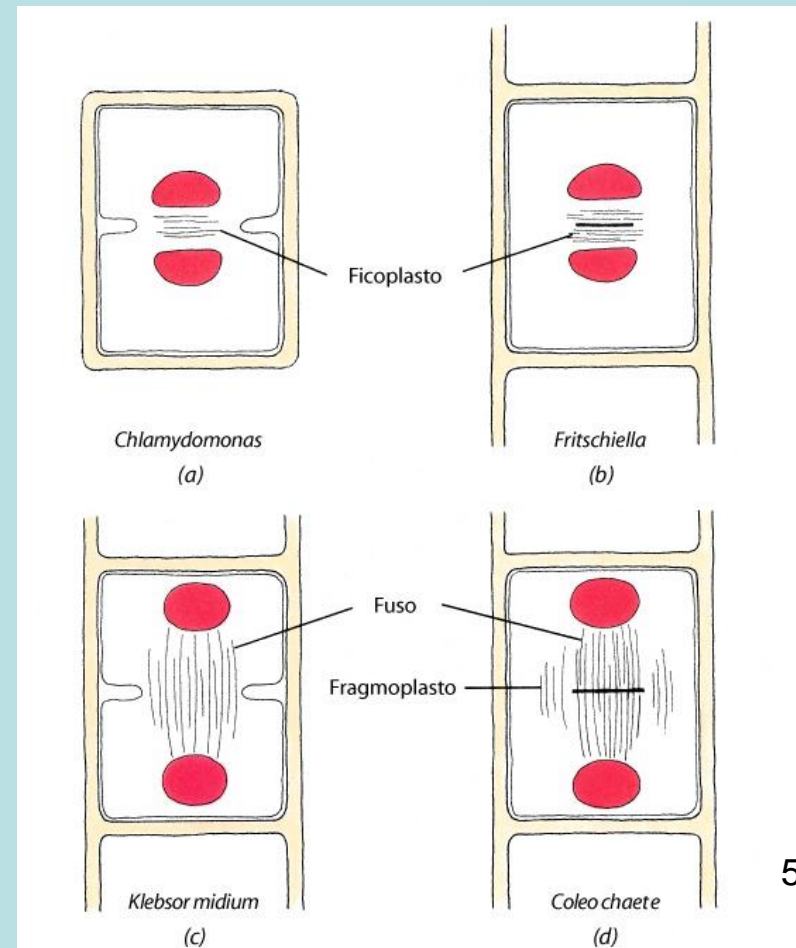
Le forme unicellulari e coloniali  
presentano esternamente un  
rivestimento di  
**SPOROPOLLENINA.**

Le modalità di divisione cellulare variano tra le alghe verdi.

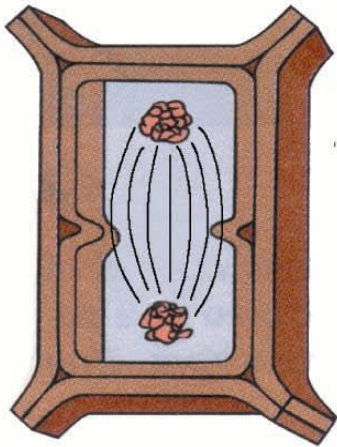
Nelle *Chlorophyceae* compare il FICOPLASTO.

Il fuso mitotico collassa alla telofase e un ficoplasto si sviluppa parallelo al piano di divisione cellulare. Il ficoplasto è costituito da un assetto microtubulare, simile al fragmoplasto, che assicura che il solco di divisione passi esattamente fra i due nuclei figli.

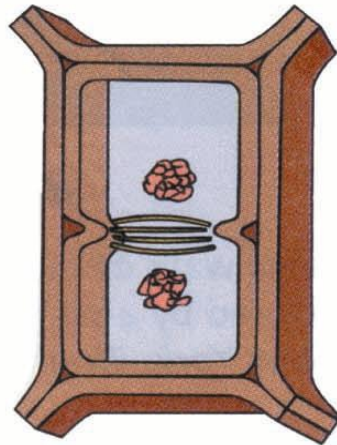
Nelle *Charophyceae* più evolute, durante la citodieresi, si organizza un **fragmoplasto** simile a quello delle piante superiori.



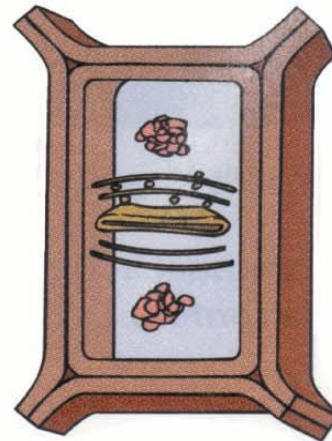
- (a) *Ulvophyceae* (fuso)
- (b) e (c) *Chlorophyceae* (ficoplasto, b con solco, c con piastra)
- (d) *Charophyceae* (fuso e fragmoplasto)



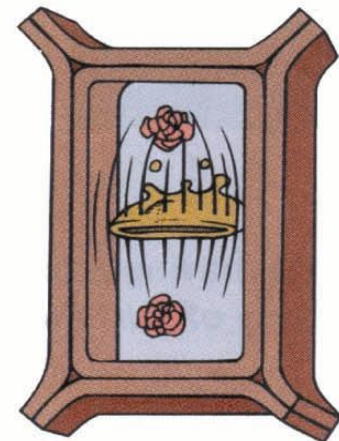
(a)



(b)



(c)

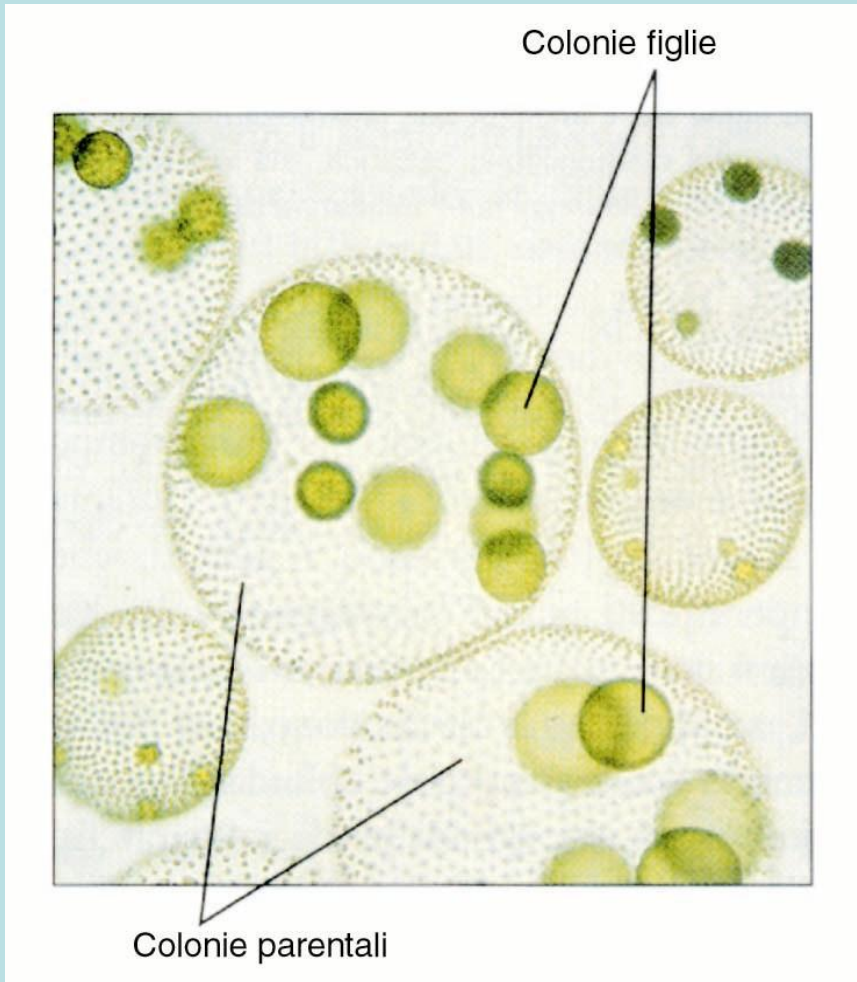


(d)

**E' da sottolineare la comparsa del  
fragmoplasto e dei plasmodesmi**

# Tipi di organizzazione

## Volvox (coloniale)

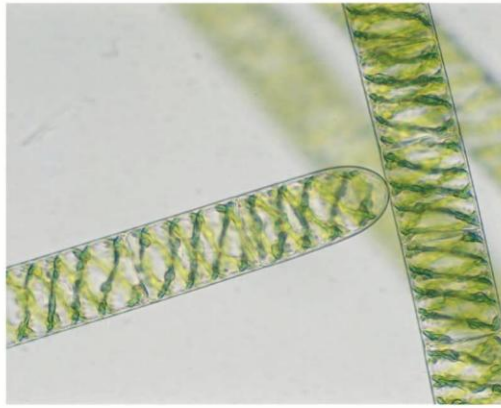


È costituita da una sfera cava contenente da 500-60.000 cellule vegetative biflagellate, interconnesse, che effettuano la fotosintesi e da un minor numero di cellule più grandi non flagellate specializzate nella riproduzione.

La riproduzione sessuale è oogama.



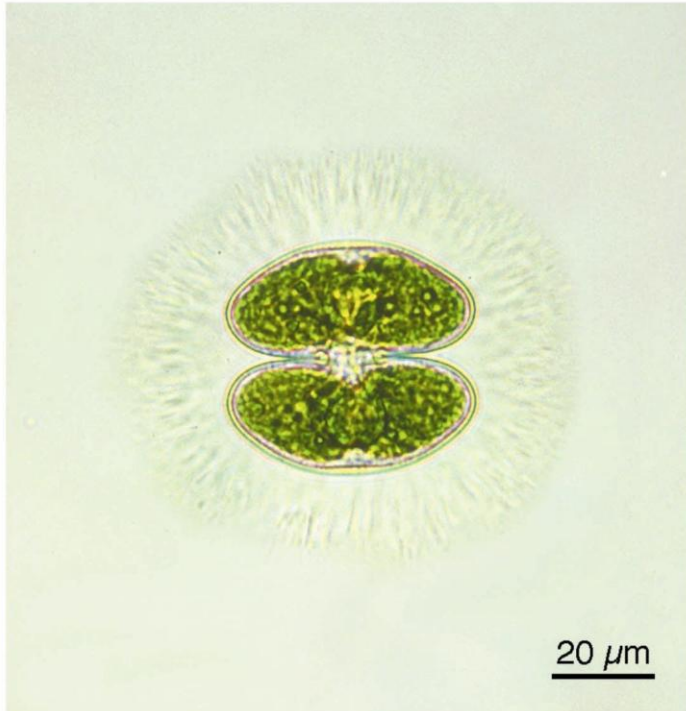
# Esempi di tallo *Chlorophyceae*



(a)



(b)



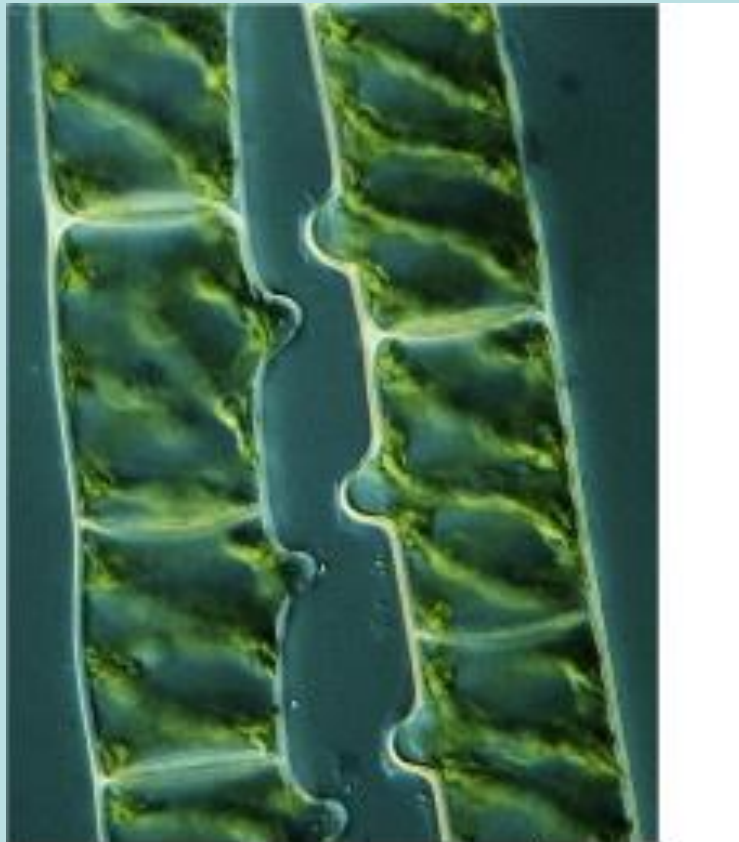
(c)

**Spirogyra (tricale). Le cellule dopo la formazione possono rimanere unite da collegamenti secondari.**

**Cosmarium (unicellulare a due semicellule)**

**Spirogyra è formato da un filamento semplice, spesso forma masse galleggianti in acque dolci. Ogni filamento è circondato da una guaina mucillaginosa.**

**Il nome è dato dalla disposizione elicoidale del/dei cloroplasti nastriformi con molti pirenoidi all'interno di ciascuna cellula uninucleata. La riproduzione vegetativa avviene per frammentazione.**

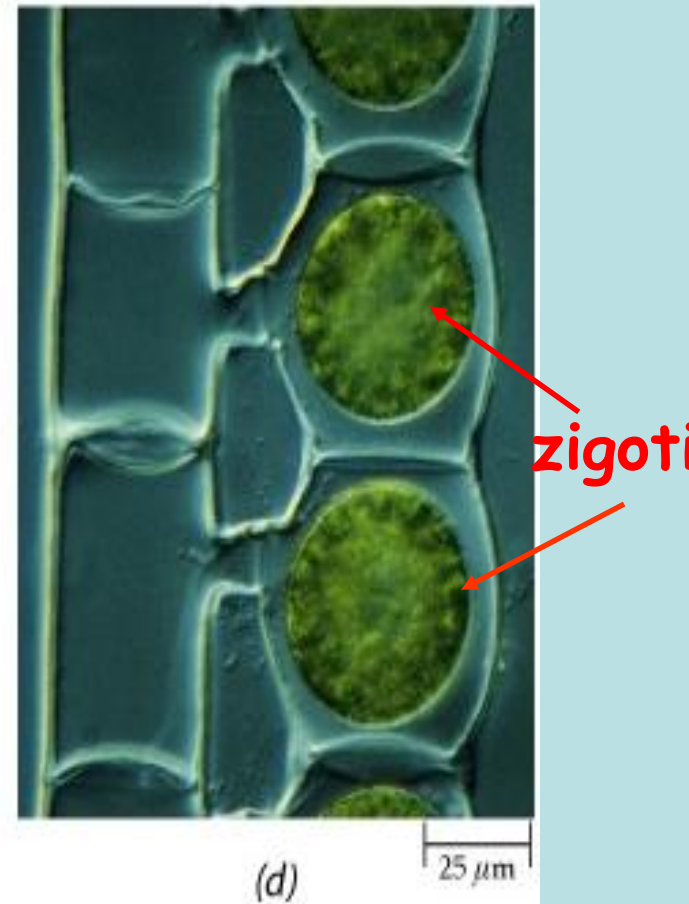
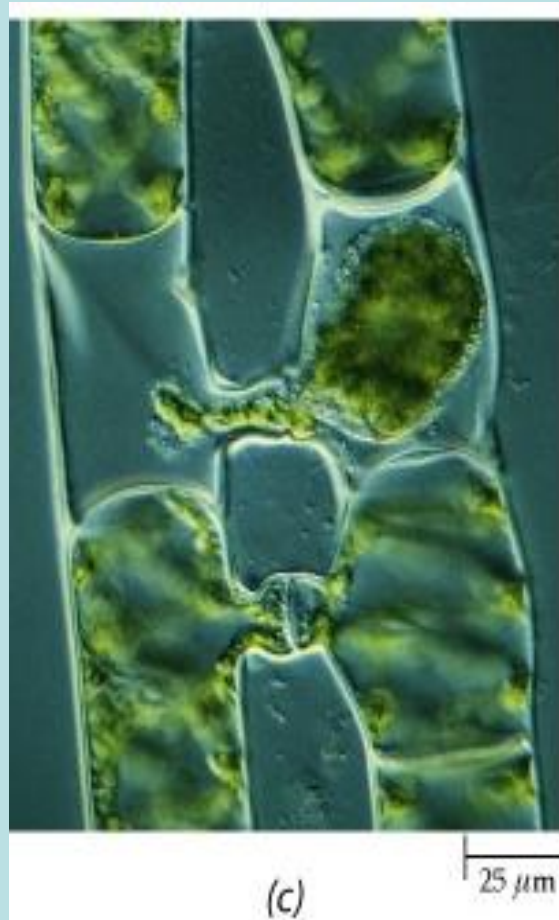


(a)

25  $\mu\text{m}$

Lo zigote si circonda di sporopollenina.

La riproduzione sessuale avviene mediante la formazione di un tubo di coniugazione tra due filamenti adiacenti. I contenuti delle due cellule adiacenti fungono da isogameti.



La meiosi è zigotica quindi il ciclo biologico è aplonte.

# *Ulvophyceae*

Possono avere tallo filamentoso o laminare

Gli organismi appartenenti a questa classe hanno un'alternanza di generazione aplodiplonte con meiosi sporica (all'interno di sporocisti si formano le meiospore) o con ciclo vitale diploide, quelli più evoluti, con meiosi terminale.

, Ulva o lattuga di mare  
(tallo laminare bistratificato)



Il tallo è  
ancorato al  
substrato tramite  
una ventosa

Hanno una mitosi chiusa, in cui l'involucro nucleare non scompare, così come il fuso, durante la citodieresi.

# La lattuga di mare ha un'alternanza di generazione isomorfa, ciclo aplodiplonte

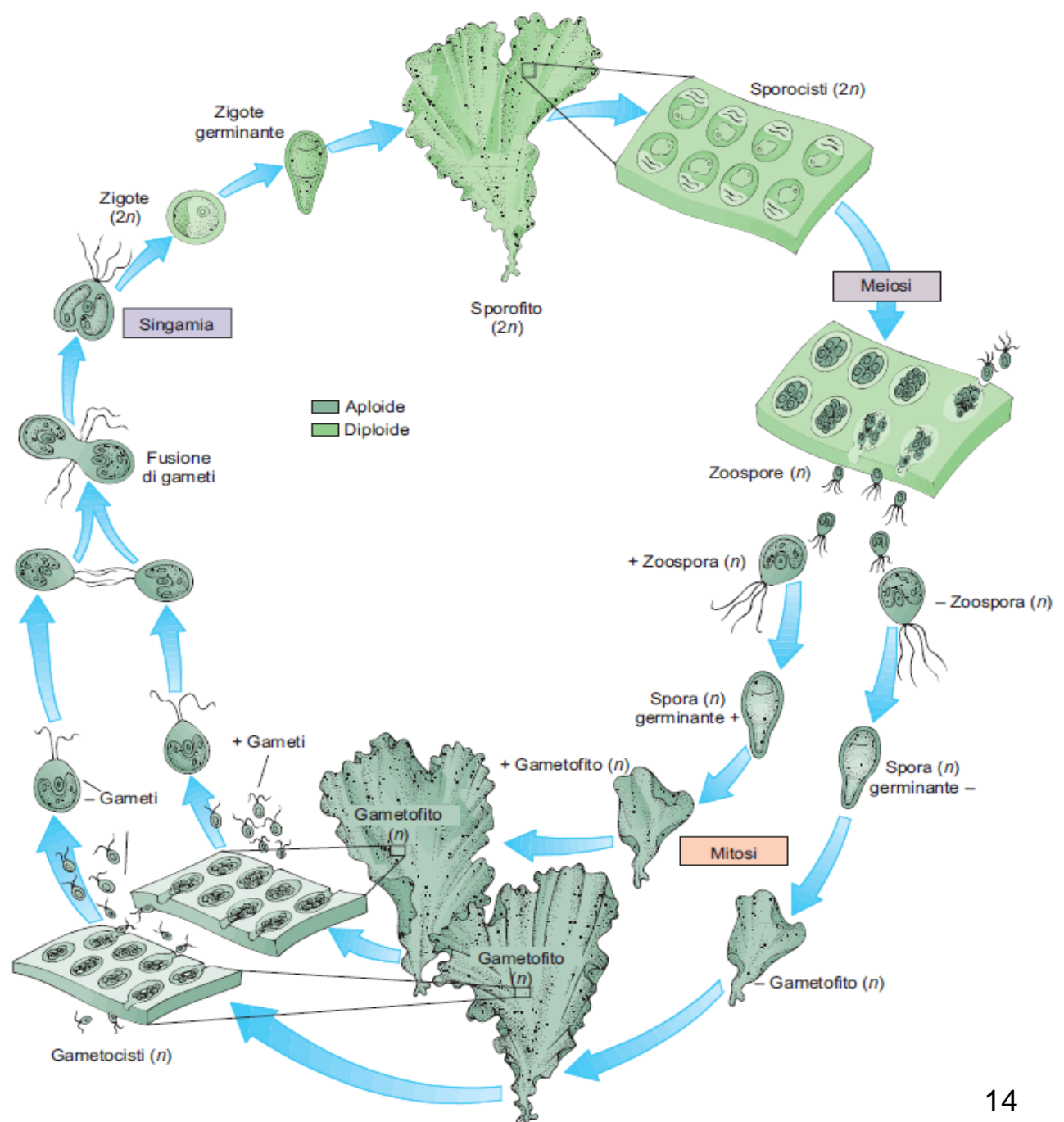
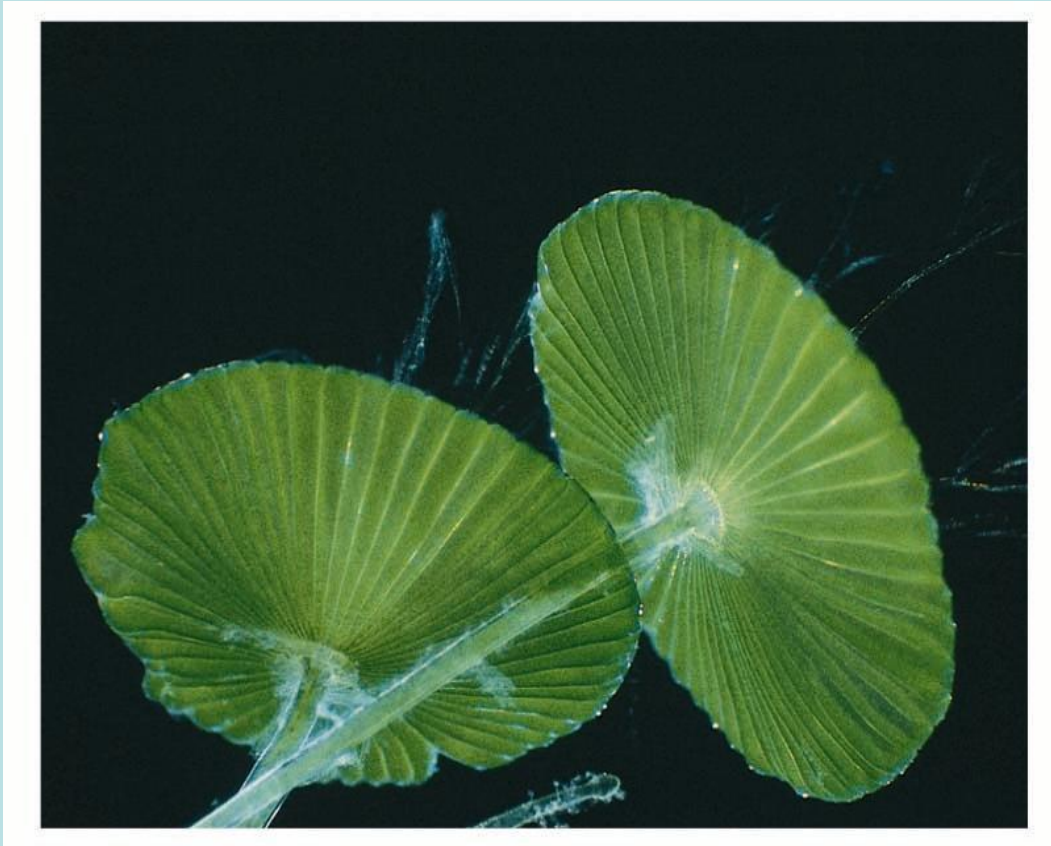


Figura 19.17 Il ciclo di *Ulva* è digenetico aplo-diploide isomorfo. Vedi dettagli nel testo.

# Acetabularia (organizzazione sifonale) una cellula gigante ancorata al substrato con rizoidi



**Alga unicellulare  
cenocitica**

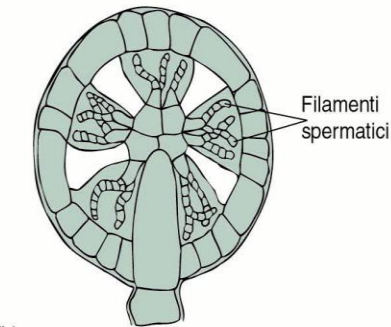
# Charophyceae

Chara (tallo macroscopico con “nodi ed internodi” e verticilli di “rami”)

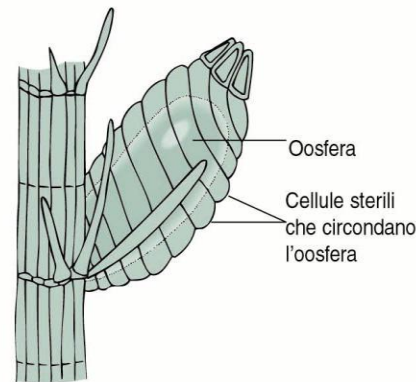
**Globulo, struttura contenete i filamenti spermatici (gameti maschili) con rivestimento di cellule sterili**



(a)



(b)



(c)

Presentano divisione cellulare e riproduzione simili alle piante superiori.

Inizio di formazione dei plasmodesmi e fragmoplasto.

Gli zigoti sono circondati da sporopollenina.

**Nucula, struttura contenete l'oosfera avvolta da cellule protettive sterili.**



- Studi biochimici ed ultrastrutturali hanno evidenziato una stretta relazione fra alghe verdi (*Classe Charophyceae*) e piante superiori. Le alghe verdi sono considerate i diretti progenitori delle piante superiori.

## Lumaca di mare fotosintetizzante



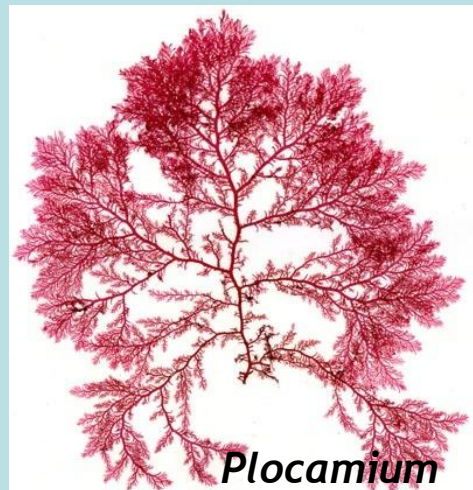
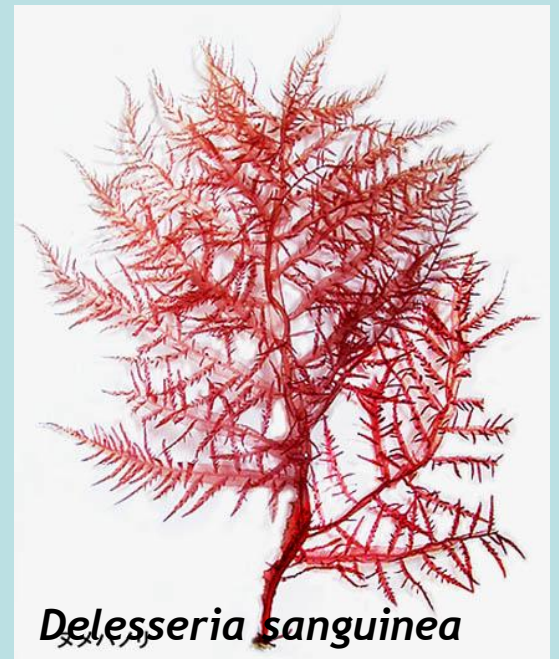
Il processo di fotosintesi avviene **all'interno** dei **cloroplasti** che *Elysia chlorotica* riesce a **rubarli** alle **alghe verdi** di cui si nutre, appartenenti alla specie *Vaucheria litorea*. Il processo di acquisizione dei cloroplasti da parte del gasteropode viene definito **cleptoplastia**, dal greco *kleptes*, "ladro", e *plastòs*, che fa riferimento appunto ai cloroplasti.

# RHODOPHYTA

Le *Rhodophyta* sono alghe di colore da rosso vivo fino a violetto, rosso-porpora, rosso-bruno, raramente anche verde-blu o verde-oliva

Mancano forme o stadi flagellati ed organismi unicellulari sono presenti solo nelle *Bangiophycidae*, un gruppo relativamente isolato dal punto di vista filogenetico

I talli di queste alghe sono prevalentemente tricali o pseudoparenchimatici.

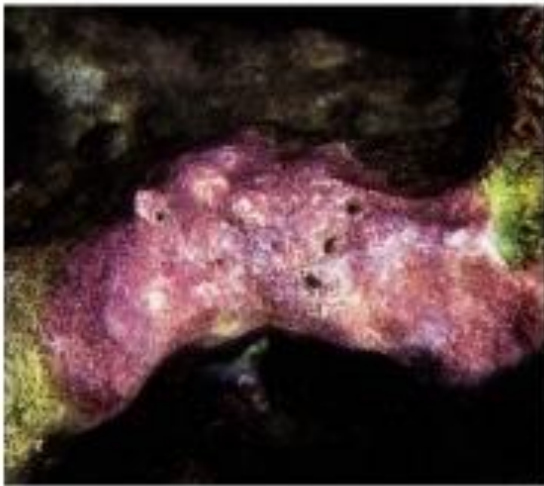




(a)



(b)



(c)



(d)

Alge rosse  
marine,  
coralline

Sono organismi per lo più marini, vivono in acque calde tropicali, alcune anche in acque fredde.

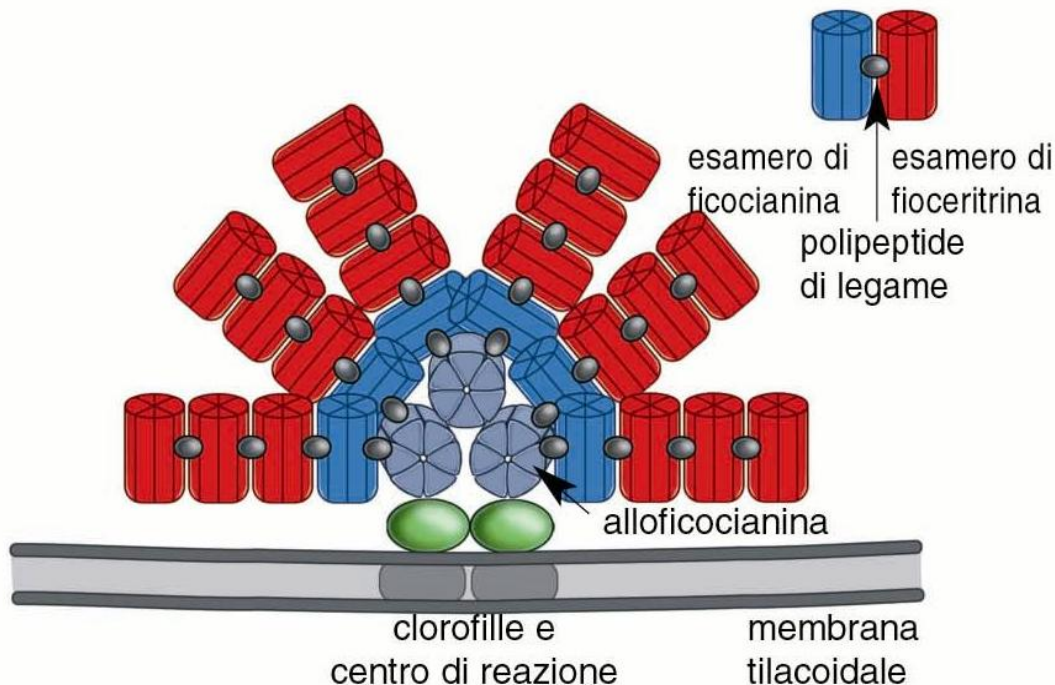
I talli possono essere filamentosi, con filamenti singoli o aggregati a formare talli pseudoparenchimatici più o meno massicci.

Il cloroplasto delle alghe rosse contiene ficobiline che mascherano il colore della clorofilla a e conferiscono i brillanti colori delle tonalità del rosso.

Questi pigmenti sono ben adattati all'assorbimento della luce blu e verde che penetra nelle profondità marine

I pigmenti fotosintetici, clorofilla a e ficobiline come ficocianina e ficoeritrina, in queste alghe sono associati a proteine a formare ficobiliproteine.

I ficobilisomi sono disposti su ambo i lati delle membrane tilacoidali. Svolgono una funzione antenna, captano la luce e la convogliano al centro di reazione inserito nella membrana tilacoidale.



**Unità base del ficobilisoma formata da esameri di ficobiliproteine.**

# Alcune alghe rosse vivono in ambienti quasi estremi

- Acque calde ( $55^{\circ}\text{C}$ ) e acide (pH 2-4!!!) preclusi ad altri organismi autotrofi fotosintetici;
- La maggior parte sono autotrofe, alcune eterotrofe (parassite obbligate di altre alghe rosse).

# Le alghe rosse mancano di stadi flagellati

- La sostanza di riserva è l'amido delle floridee (polimero di glucosio ramificato), accumulano anche floridoside, un glucoside con funzione di osmoregolazione.

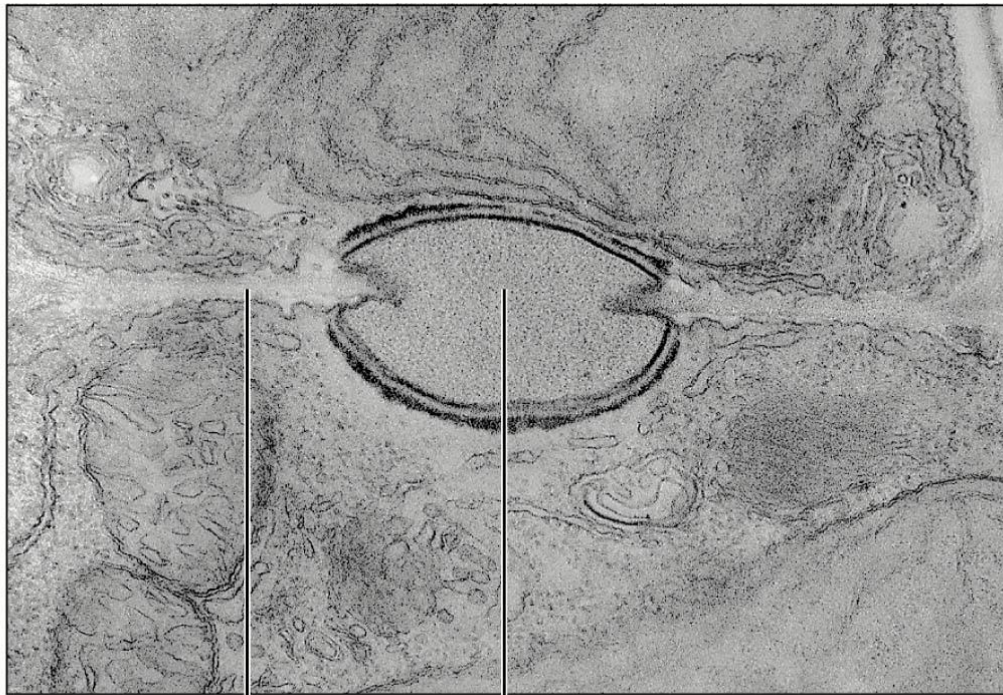


# La citodieresi è interessante

- Avviene per formazione di un solco di separazione (invaginazione ad anello del plasmalemma) che si riempie di polisaccaridi di parete e non si completa al centro (il foro è detto PIT CONNECTION)
- Il foro si riempie presto con un tappo proteico (PIT-PLUG)

# Le pareti trasversali delle alghe rosse presentano un foro centrale chiuso da un tappo proteico

Le cellule sono interconnesse da punti di connessione primari che si formano al momento della citodieresi, ma si possono formare anche fra filamenti adiacenti nel momento in cui vengono a contatto.



Parete di separazione    Tappo di punteggiatura

**La mitosi è chiusa**

Le pareti cellulari della maggior parte delle alghe rosse hanno una componente rigida interna, formata da microfibrille di cellulosa e uno strato esterno mucillaginoso costituito da polimeri solforati del galattosio, l'agar e la carragenina (polimero del D-galattosio).

## Il ciclo riproduttivo trimetagenetico

Alcune alghe rosse hanno un ciclo biologico complesso, che spesso coinvolge l'alternanza di tre distinte generazioni, gametofito, carposporofito e tetrasporofito.

- 1) Gametofio aploide
- 2) Carposporofito diploide
- 3) Tetrasporofito diploide

# GAMETI

**Gametofito maschile**

Spermazi (n)

Spermazio (n)

Spermatangi

Tricogino

Cellula uovo (porzione basale del carpogonio con nucleo) (n)

**Fecondazione**

**ZIGOTE**

Gametofito femminile (n)

Gametofito maschile (n)

Ramo carpogoniale

Cellula ausiliaria (n)

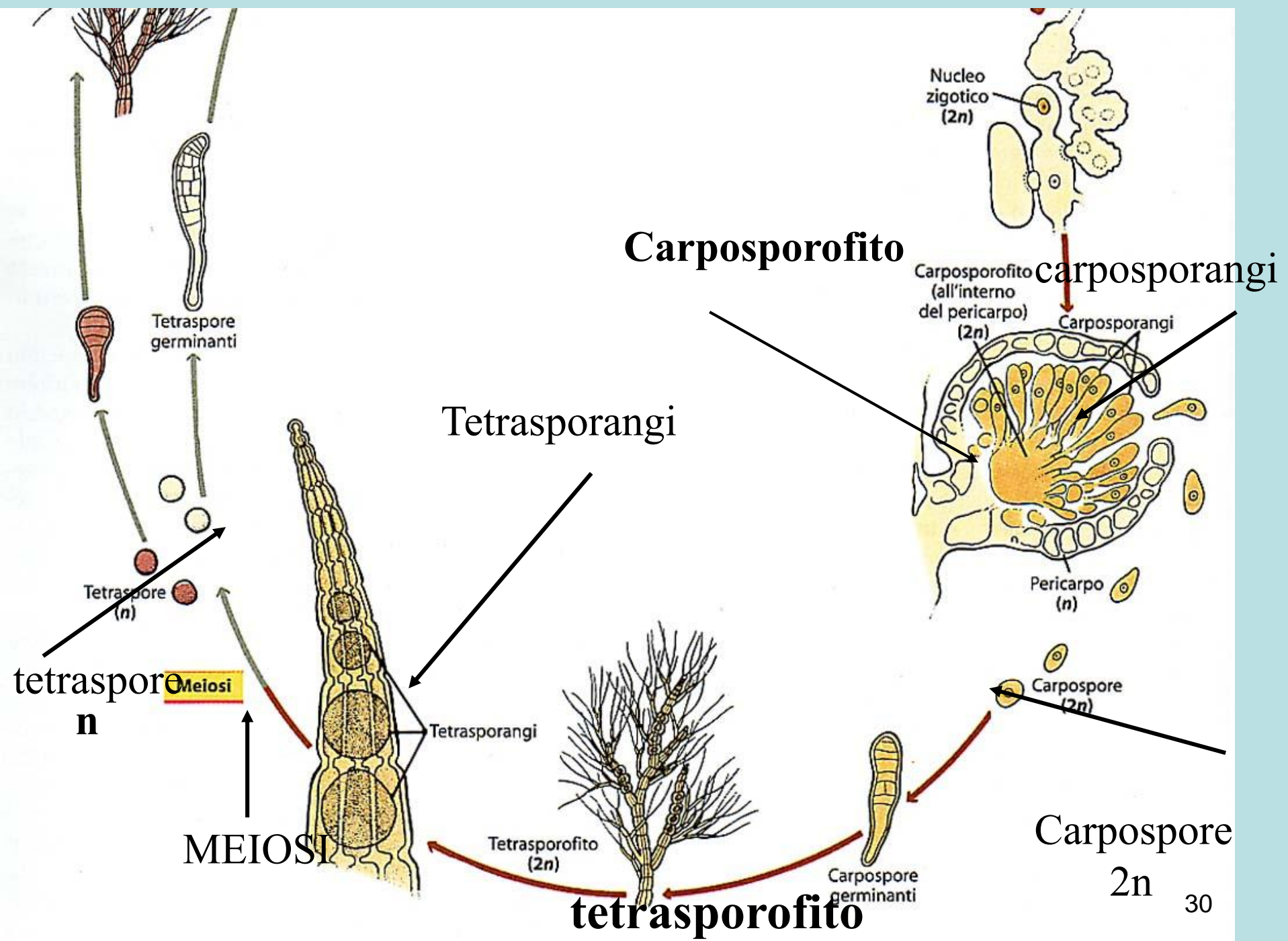
Nucleo zigotico (2n)

Cellula assiale

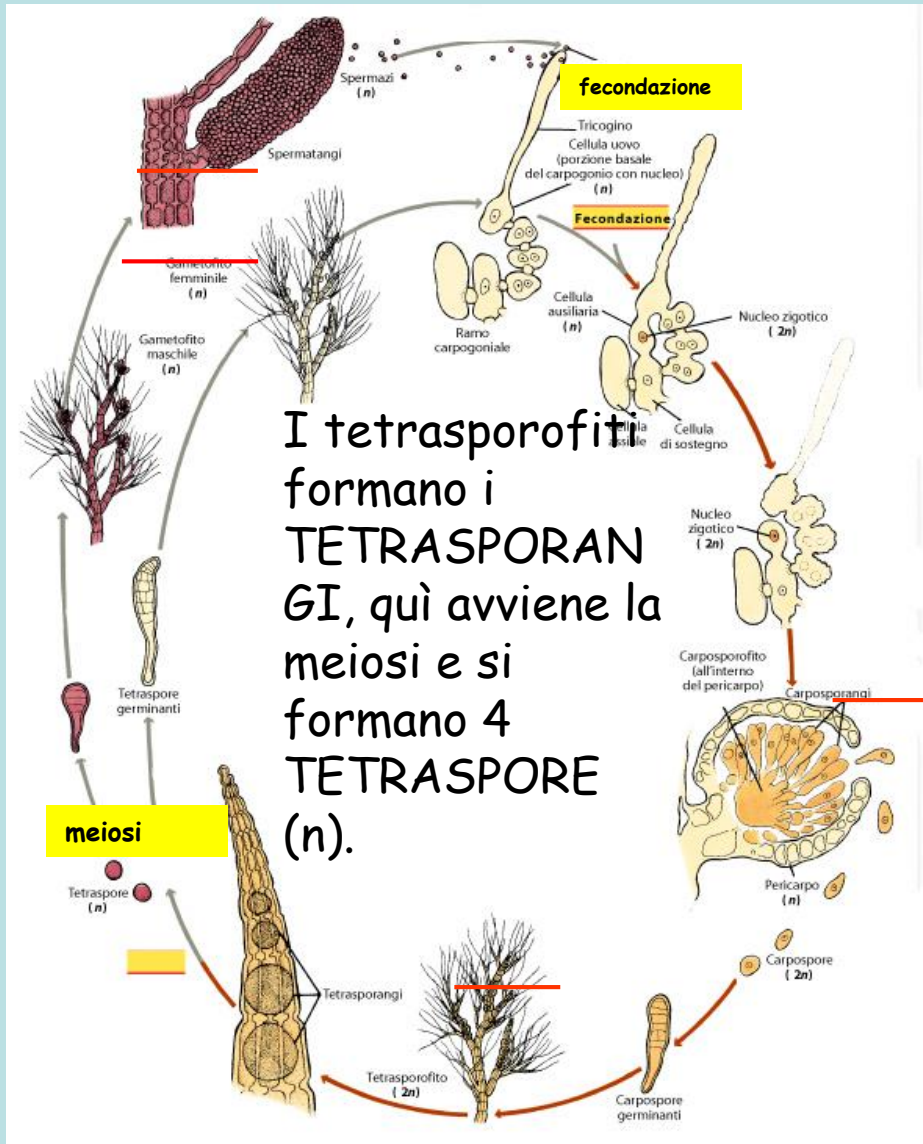
Cellula di sostegno

Nucleo zigotico (2n)

**Gametofito femminile**



# CICLO di Polysiphonia



I tetrasporofiti formano i TETRASPORANGI, qui avviene la meiosi e si formano 4 TETRASPORE (n).

I gametofiti maschili producono gli **spermatangi** che liberano gli **spermazi**. I gameti femminili si formano sul gametofito femminile in strutture dette **carpogoni**. La parte basale ingrossata del carpogonio contiene il nucleo che funge da cellula uovo e la parte superiore si allunga a formare il tricogino attraverso cui uno spermazio raggiunge il nucleo femminile. Si fondono e si origina lo zigote che produce le spore diploidi, Carpospore (2n).

Queste vengono liberate, germinano e formano il TETRASPOROFITO (2n).

# Esempio del tallo gametofitico con carposporofiti





# Le alghe eteroconte

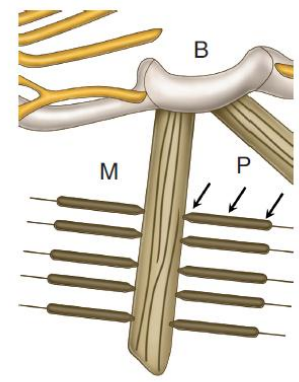
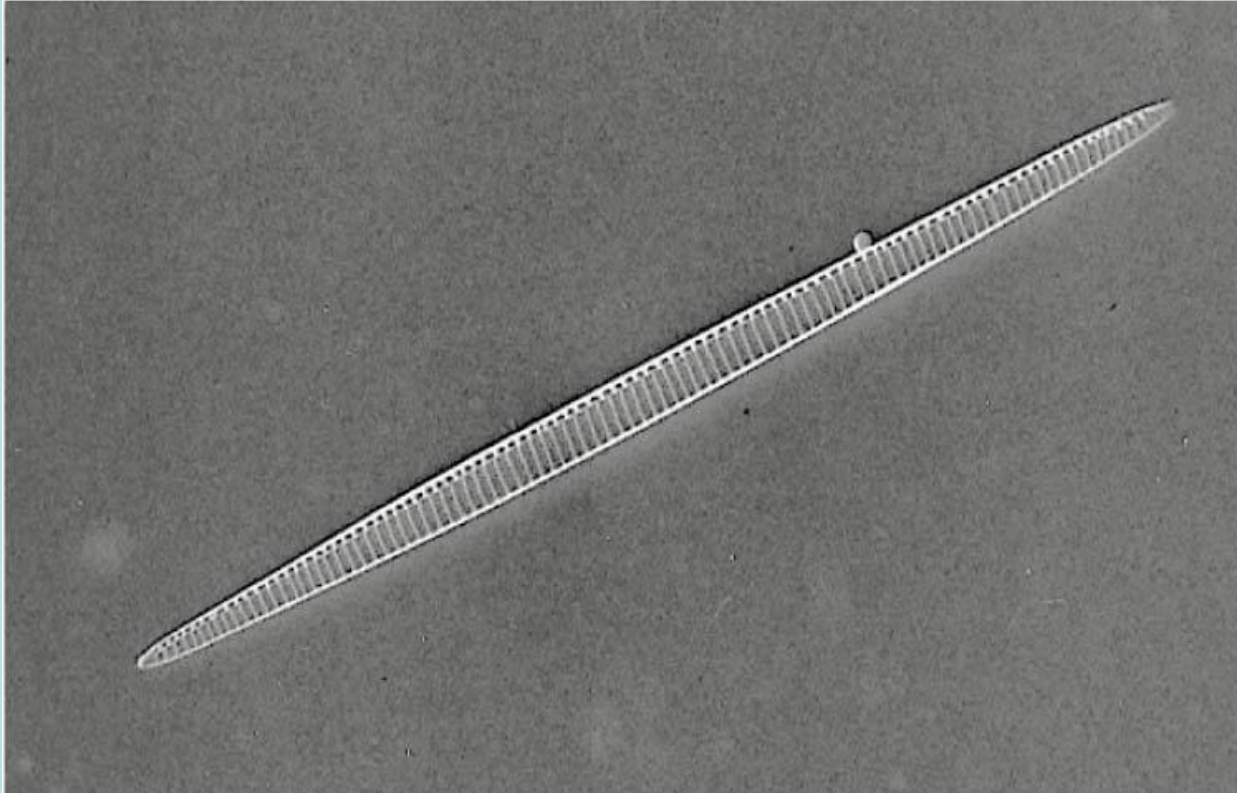


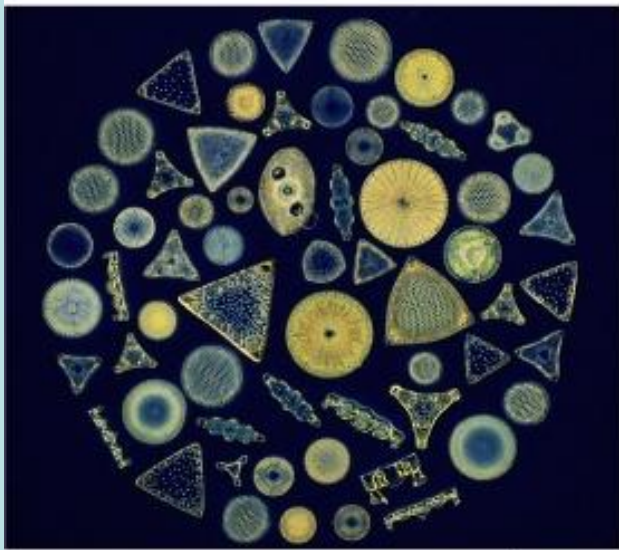
Figura 19.28 Flagello pleuronematico con mastigonemi tripartiti. (B = base; M = tubulo; P = pelo).

- Comprendono alghe unicellulari come le diatomee o pluricellulari come le alghe brune (tipiche di mari freddi)
- Hanno tutte forme flagellate con due flagelli diversi fra loro
- Il cloroplasto è avvolto da 4 membrane ed i tilacoidi sono in gruppi di 3
- Le clorofille sono: a, c1 e c2, fra le xantofille è presente la fucoxantina
- La principale sostanza di riserva è la crisolaminarina (vacuolare).

# Bacillariophyta o diatomee

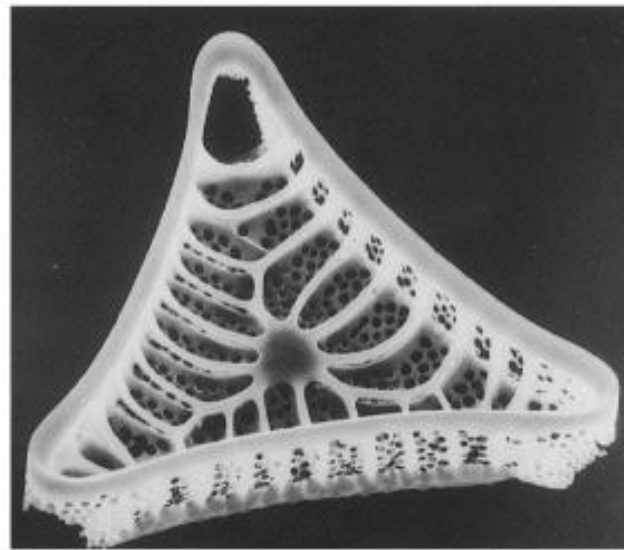


Sono importanti costituenti del fitoplancton



(a)

0,3 mm

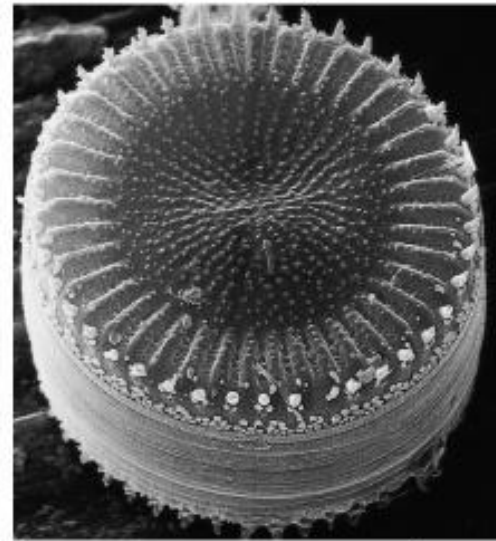


(b)

30  $\mu$ m

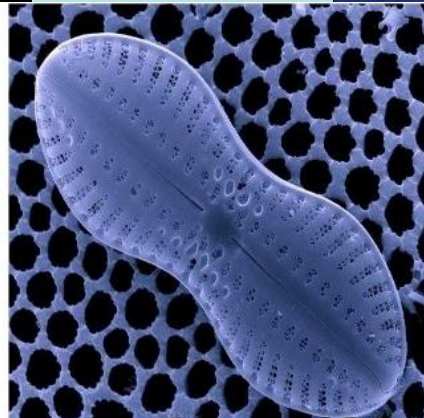
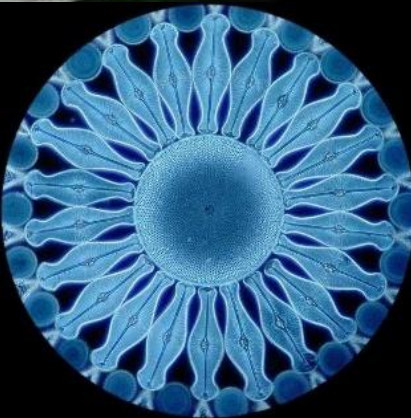
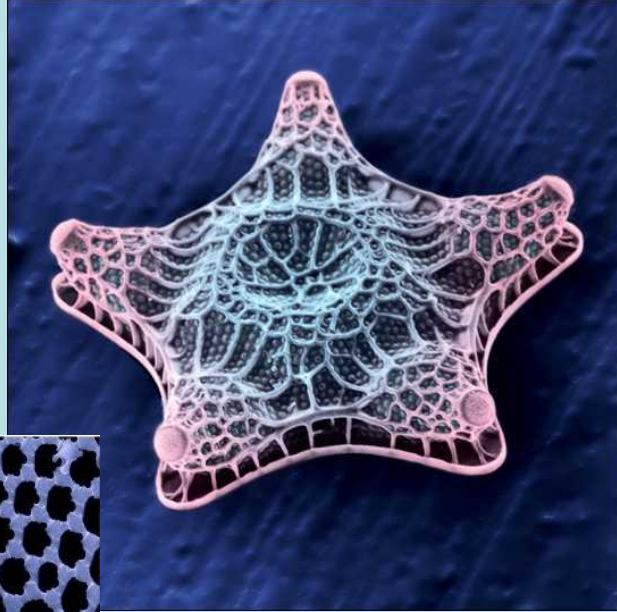
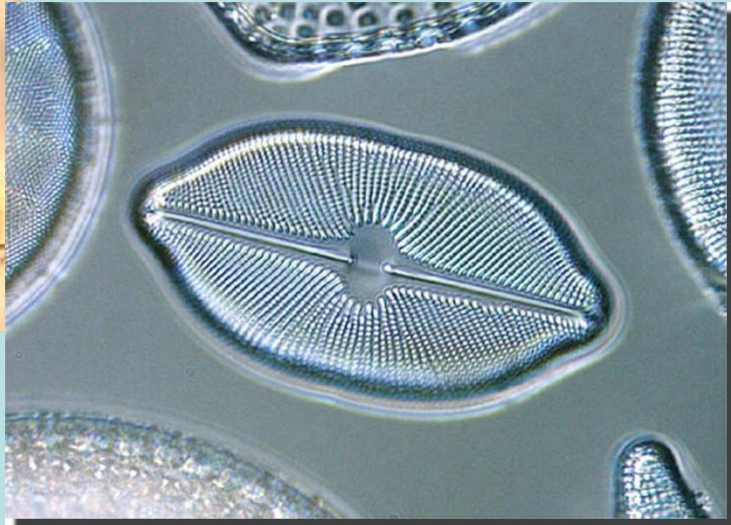
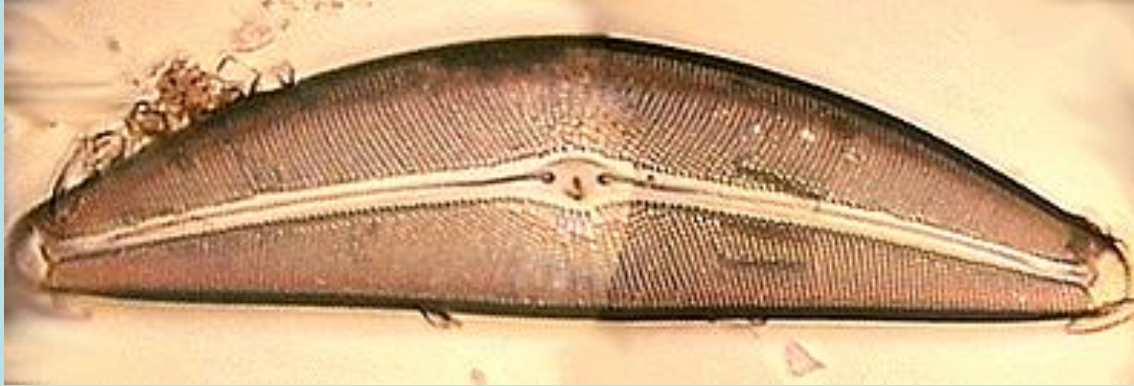


(c)



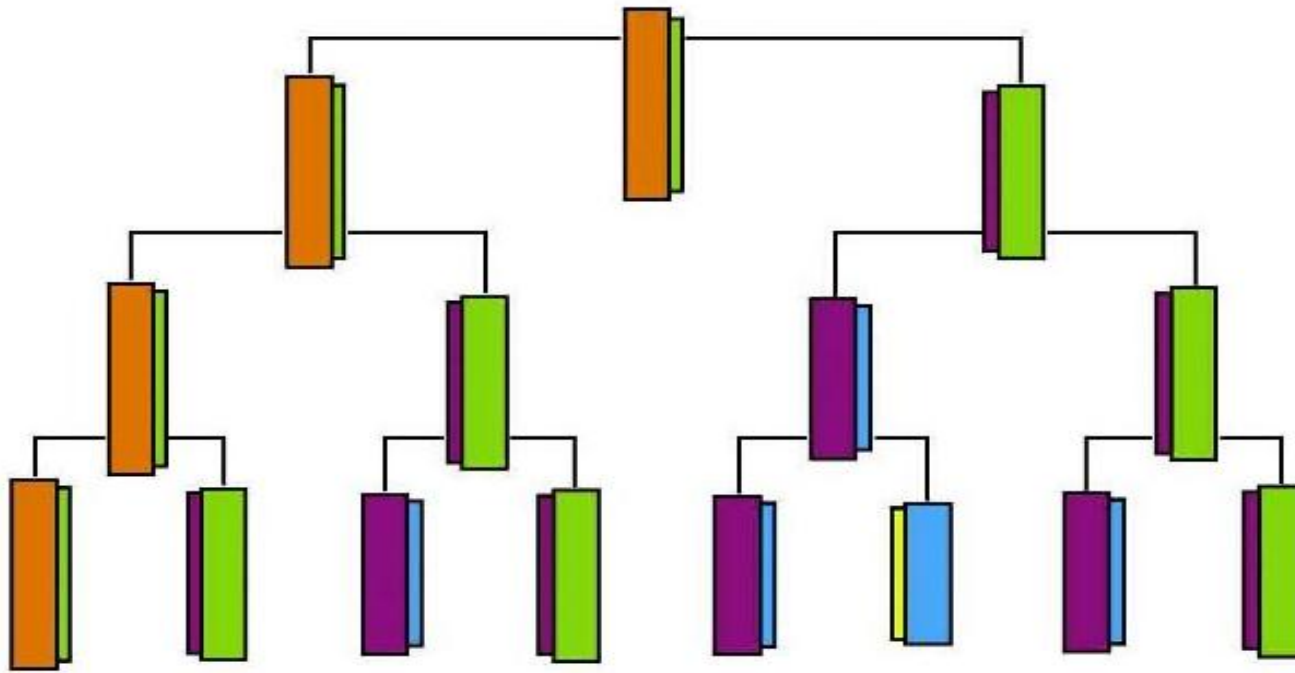
(d)

5  $\mu$ m



# Alghe unicellulari, talvolta coloniali

- Presenti in acqua dolce, marina, salmastra, ma anche terricole
- Spesso endosimbionti di foraminiferi e spugne
- Parete cellulare (**frustulo**) silicizzata e divisa in due valve.
- **Ciclo sessuale diplonte**

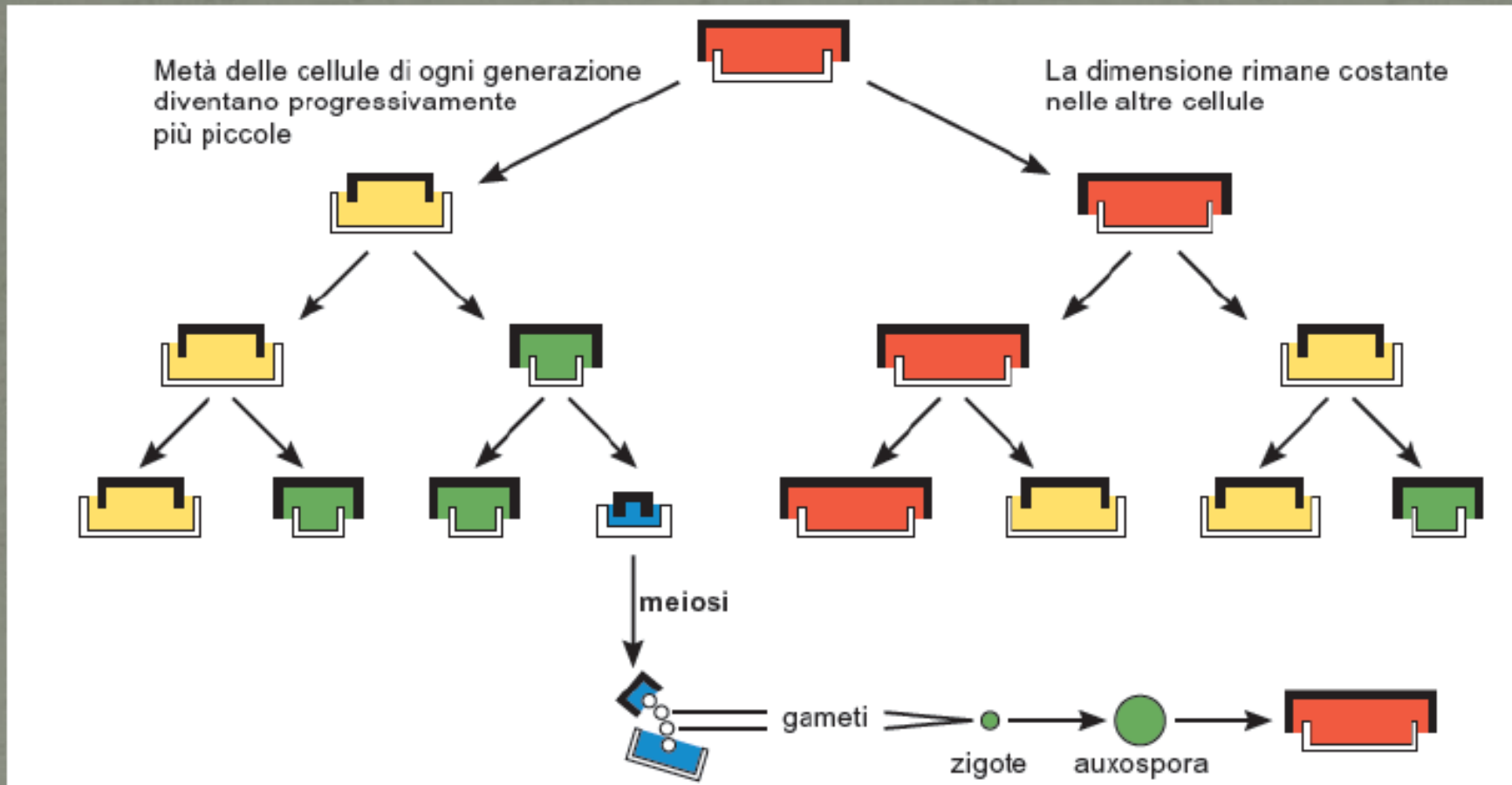


**Figura 18.68**

Moltiplicazione vegetativa delle diatomee (disegno di G.P. Felicini).

La riproduzione è prevalentemente vegetativa.

Durante ogni divisione ogni cellula figlia riceve metà frustulo della madre, di conseguenza le cellule figlie sono sempre più piccole delle cellule madri. Raggiunta la dimensione critica si riproducono sessualmente.



**Auxospora: cellula  $2n$  di grandi dimensioni**



**Cava di farina fossile in California. Il colore bianco è dovuto all'elevata presenza di frustuli di diatomee, accumulati a partire dal Mesozoico.**

**In Italia c'è un'importante cava di farina fossile in Toscana.**

**Utilizzo: agenti filtranti per impianti di depurazione di acque di piscine, abrasivi nella pasta dentifricio, deodoranti e decoloranti.**



# Phaeophyceae o Alghe brune

*Durvillea antarctica*



(a)

*Laminaria*

Visibili le ventose  
basali per l'ancoraggio  
al substrato



(b)



(c)

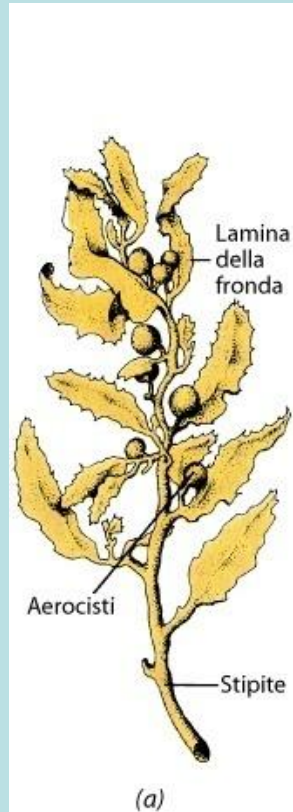
*Fucus vesiculosus*

Le cisti sono piene  
d'aria e servono  
per spostare le  
fronde verso l'alto  
per permettere di  
captare meglio la  
luce.

Vivono nelle acque delle regioni temperate, boreali e polari.

Le alghe brune dominano le coste rocciose delle regioni più fredde del globo. Tuttavia sono presenti anche nei mari tropicali come l'oceano Atlantico a nord dei Caraibi.

Il Mar dei Sargassi prende il nome da enormi distese di alghe brune: **i Sargassi**.



(a)



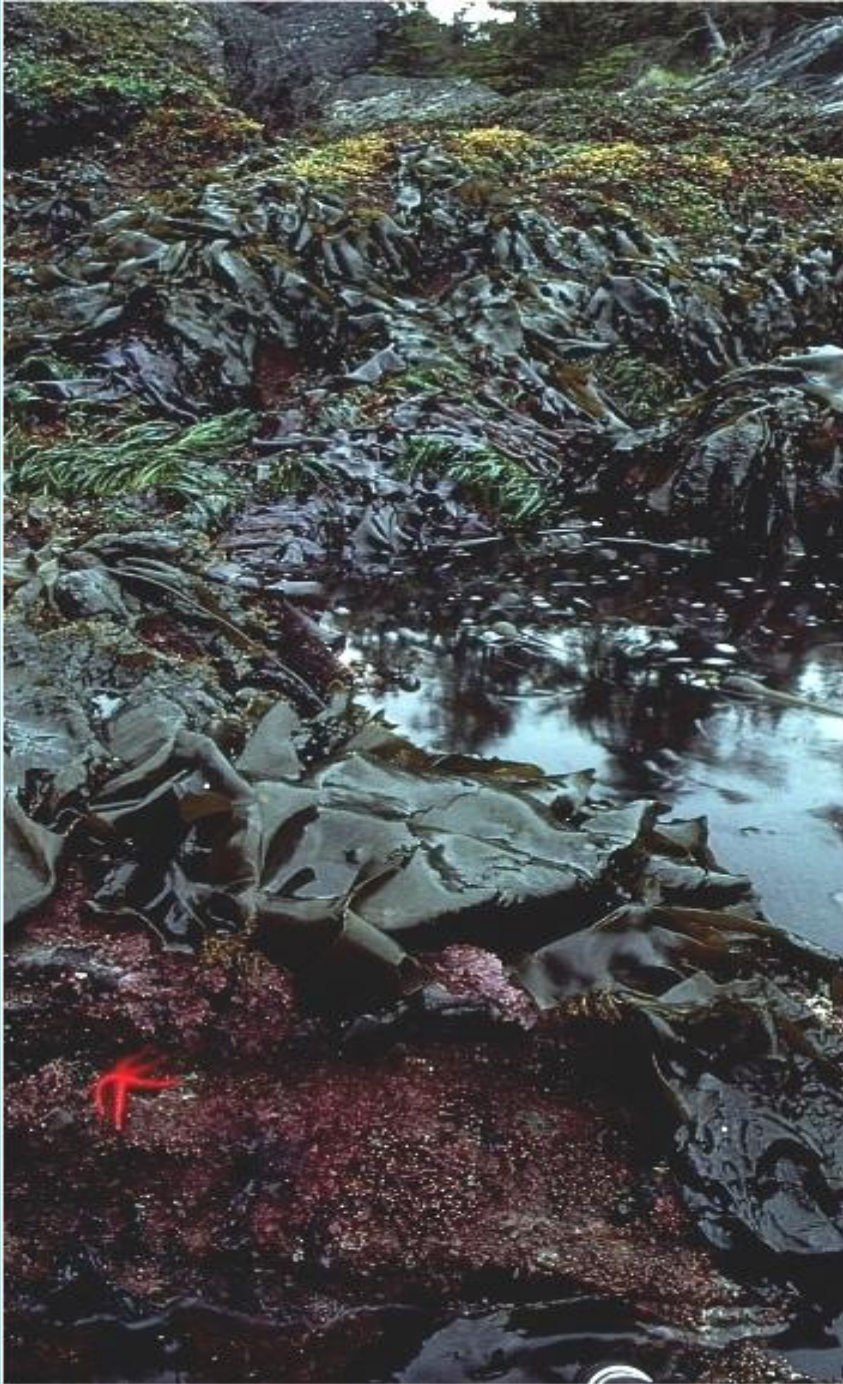
(b)

Sargassum  
appartiene  
all'ordine *Fucales*

# Il tallo delle alghe brune

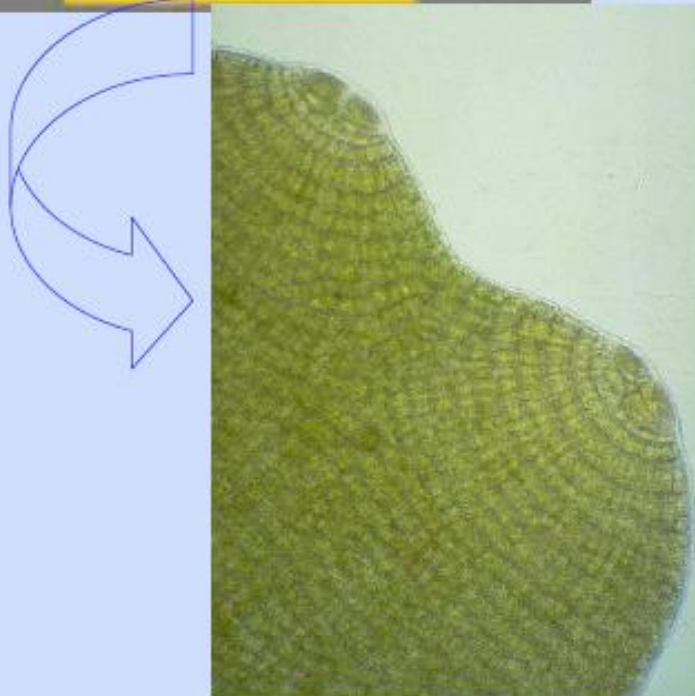
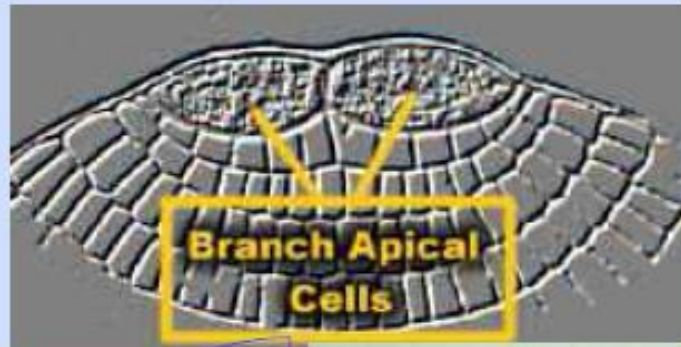
- Le alghe brune sono quasi tutte marine e pluricellulari
- Il tallo può essere costituito da filamenti semplici ramificati oppure essere più complesse, in cui i filamenti si aggregano in **pseudoparenchimi**.

Ci sono forme gigantesche che raggiungono i 60 m di lunghezza.

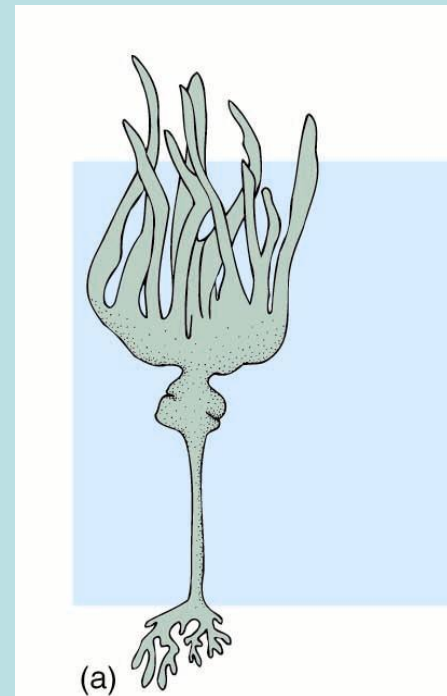


**Alghe brune ancorate alle rocce, fotografate durante una bassa marea.**

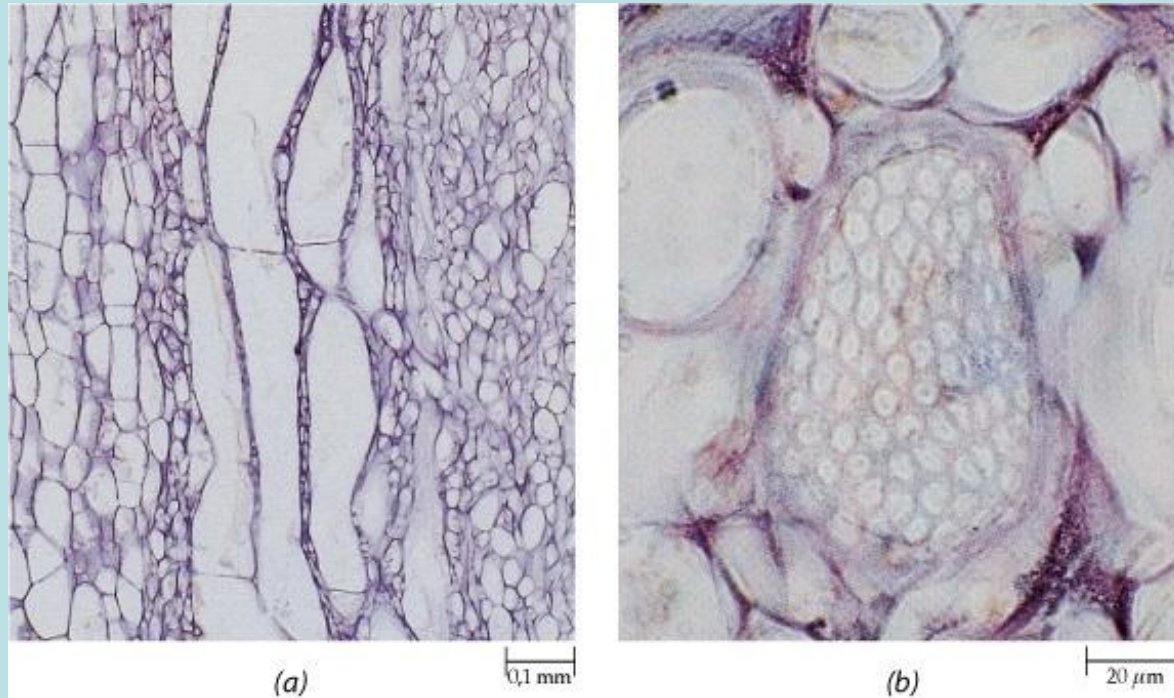
## Modelli di crescita del tallo delle alghe brune



- Nelle Laminariali il tallo è diviso in **apteri** (strutture di attacco al substrato), **stipite** e **lamina**
- La crescita è assicurata da uno strato pseudomeristemato fra lamina e stipite
- Lamina e stipite sono costituiti da strati di cellule ‘pseudomidollari’ circondati da cellule di tipo ‘pseudocorticali’ delimitati da uno strato superficiale a funzione fotosintetica e da un meristema detto meristoderma.
- Nelle laminarie giganti il “midollo” è attraversato da ife a trombetta o cellule “cribrose”



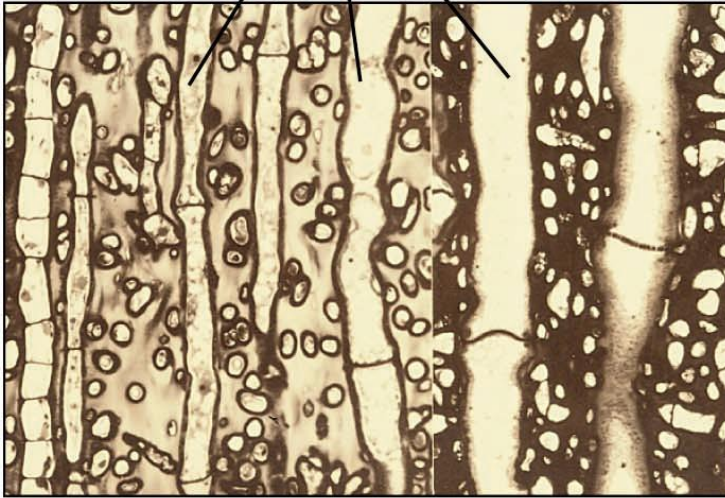
*Macrocystis  
integrifolia*



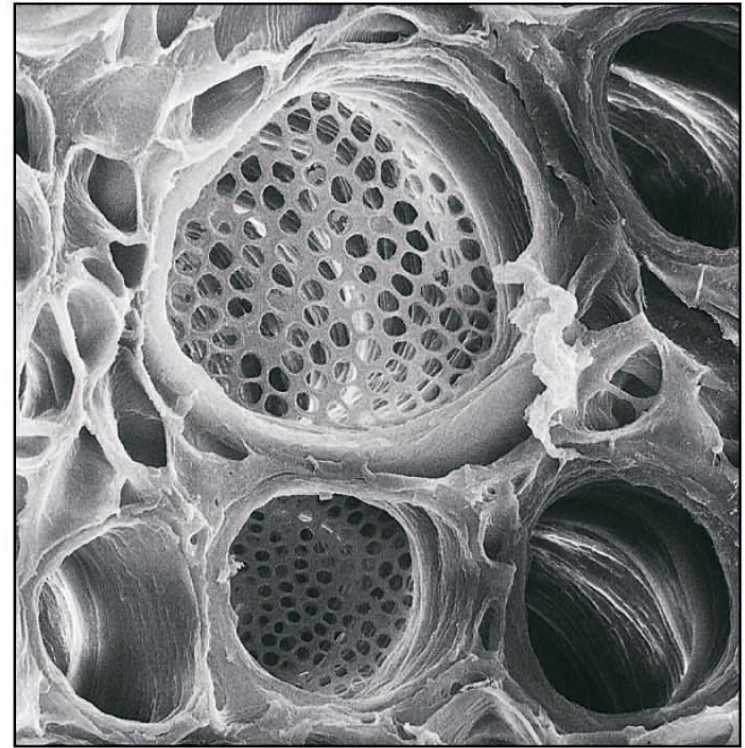
Nello stipite di alcune *Laminariales* sono presenti **le ife a trombetta** che somigliano ai tubi cribrosi perchè posseggono placche cribrose come nelle piante e con simile funzione di trasporto

•Le cellule possono essere collegate da prolungamenti citoplasmatici.

lfe a trombetta



(a)

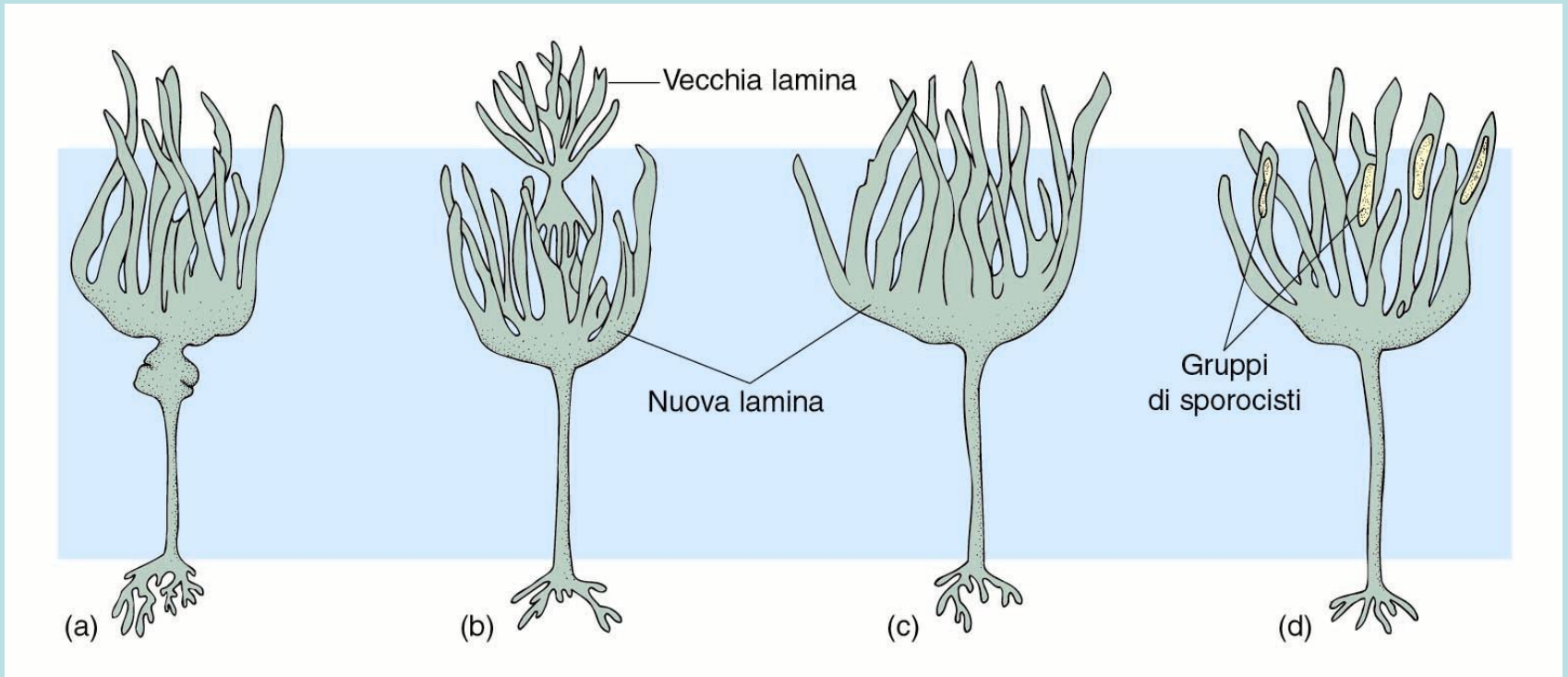


(b)

Attraverso le placche i prodotti della fotosintesi vengono trasportati da una cellula all'altra. I composti traslocati sono soprattutto mannitolo ed aminoacidi

Il mannitolo ha anche una funzione osmoregolatrice<sup>48</sup>





**Macrocyctis ha una lamina annuale, mentre lo stipite e gli apteri sono perenni. La lamina si forma ogni anno per attività di un "meristema" alla base della lamina vecchia. L'attività del meristema spinge verso l'alto la vecchia lamina<sup>49</sup> fino al distacco.**

Le cellule contengono numerosi cloroplasti.

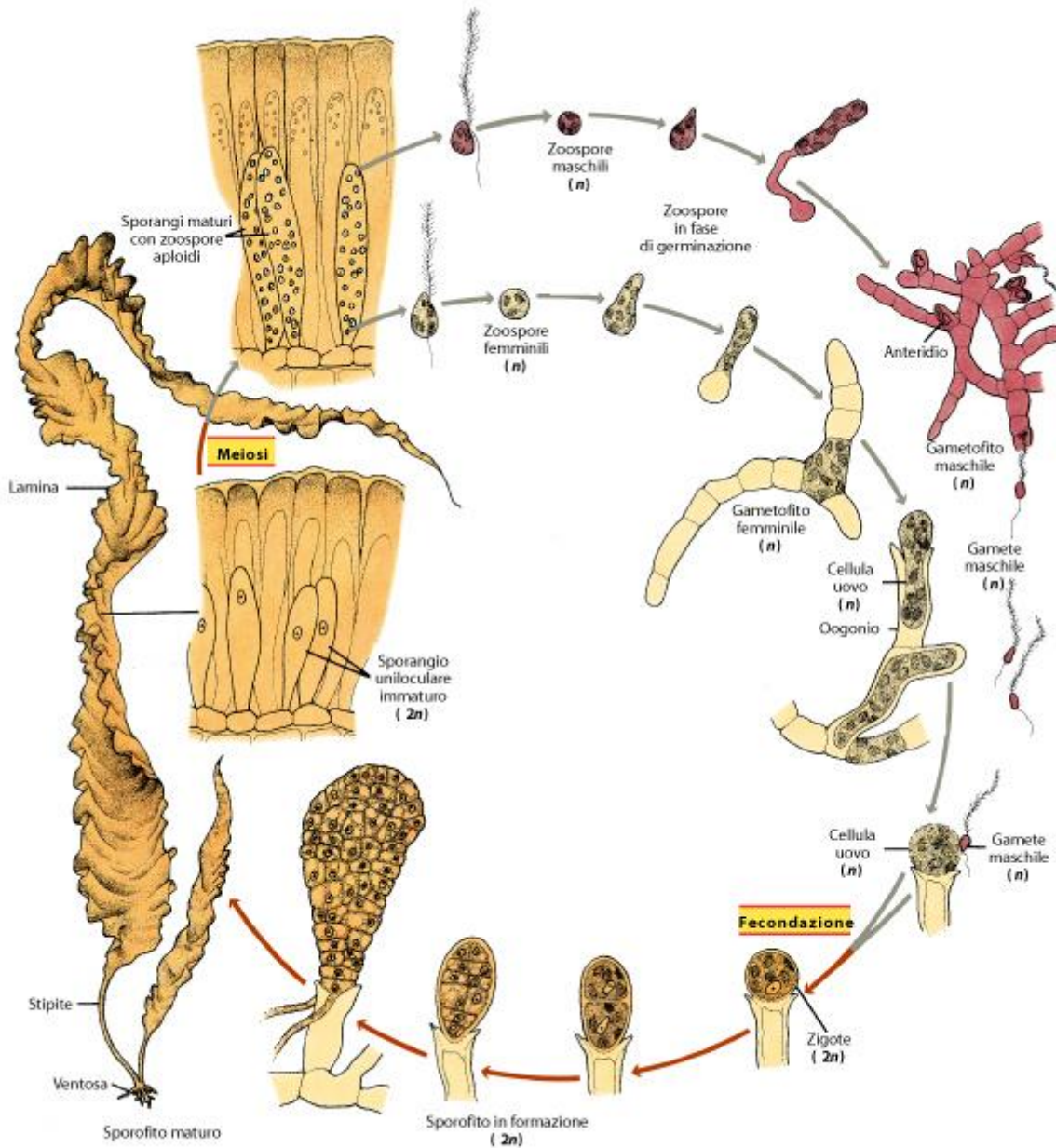
I pigmenti sono la clorofilla a, c e carotenoidi come fucoxantina che conferisce a questi organismi il colore brunastro tipico.

Il composto di riserva delle alghe brune è la **laminarina** (polimero del glucosio con legami  $\beta$  1-3), un carboidrato che si accumula nei vacuoli.

# La metagenesi nelle alghe brune

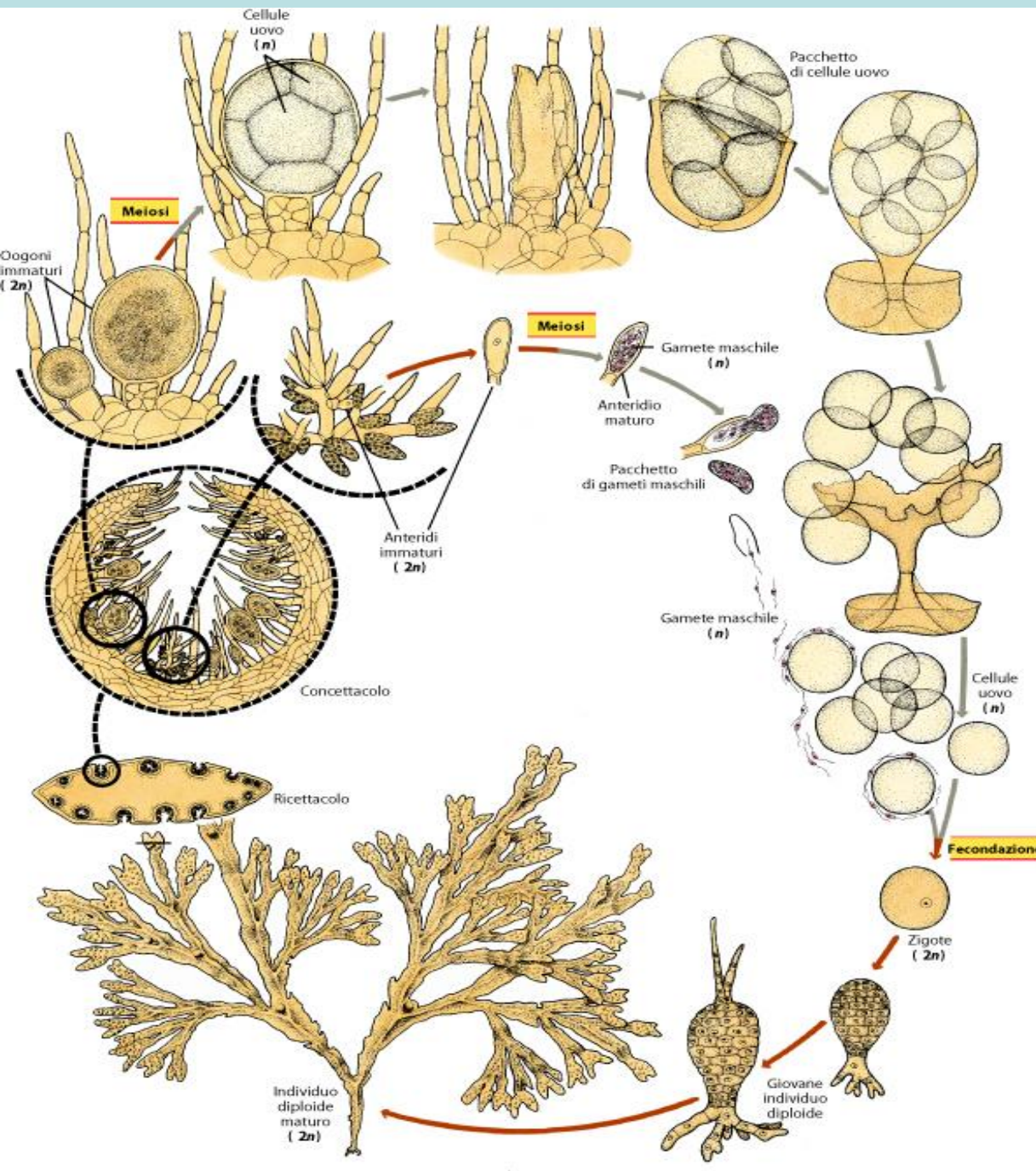
- Ciclo aplo-diploide (meiosi intermedia)
- Ciclo diploide (meiosi finale)

# Ciclo di Laminaria



Il ciclo biologico è caratterizzato da **meiosi sporica** o **intermedia** quindi il ciclo metagenetico è **Aplo-diploide**.

# Ciclo di Fucus



Il ciclo biologico di Fucus è caratterizzato da **meiosi terminale** è quindi il ciclo metagenetico è **Diploide o Diplonte**.

Diffusione    clorofille    altri pigmenti    molecole di riserva

Rhodophyta <b>Alghe rosse</b>	4000 specie ca.	Clorofilla <i>a</i> e <i>d</i>	ficobiline caroteni xantofille	Amido delle floridee
Phaeophyta <b>Alghe brune</b>	2000 specie ca.	Clorofilla <i>a</i> e <i>c</i>	$\beta$ -carotene fucoxanti na	Laminarina
Chlorophyta <b>Alghe verdi</b>	6700 specie ca.	Clorofilla <i>a</i> e <i>b</i>	caroteni xantofille	Amido
Charophyta Alghe a candelabro	300 specie ca.	Clorofilla <i>a</i> e <i>b</i>	$\beta$ -carotene xantofille	Amido



## Le alghe e l'ambiente

- Produzione di ossigeno negli ambienti acquatici e suolo
- depurazione di reflui civili e agro-zootecnici mediante utilizzo di microalghe (*Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus obliquus*, *Chlamydomonas*) al fine di ottenere acque purificate, utilizzabili per uso domestico ed industriale (es. l'irrigazione),
- utilizzo delle microalghe nel settore di energia rinnovabile, ad esempio per la produzione di biogas (*Scenedesmus*);
- progettazione e costruzione di impianti per la produzione di alghe al fine alimentare per l'uomo e per la preparazione di mangimi per l'alimentazione animale.

## *Le nuove frontiere delle microalghe*

*alimenti funzionali, energia pulita, acque depurate  
e biofertilizzanti*



# Simbiosi MUTUALISTICA

**LICHENI:** associazione tra un fungo, un'alga e batteri. L'alga espleta le sue specifiche funzioni (es. fotosintesi); i funghi forniscono sali minerali ed acqua e proteggono l'alga dal disseccamento.



**Lichene**

- Formano talli cosmopoliti su terreno, rocce, cortecce, foglie, muri, supporti di metallo.
- Il fungo (micobionte) di solito è un **ascomicete**, di rado un basidiomicete o deuteromicete.
- Le specie di micobionte sono migliaia
- L'alga, prevalentemente una clorofita (il ficobionte), produce con la fotosintesi i carboidrati necessari a se stessa ed al fungo.
- **SOLTANTO TRENTA SPECIE ALGALI** formano associazioni simbiotiche con funghi.

**Nei licheni si osservano tre principali forme di accrescimento:**

**1) Crostosa**

**2) Fogliosa**

**3) Frutticosa.**



# I licheni



(a)



(b)



(c)

Lichene  
foglioso  
che forma  
parte del  
nido di un  
colibrì



Il lichene frondoso giallo-arancio della *Xantoria*, spicca sul grigio dei licheni crostosi che ricoprono completamente la roccia.



*Evernia prunastri*: su rametto morto

Le *Xantoria* sono molto comuni, ritrovandosi sia sulle rocce che sulle cortecce di alberi vivi, che su rami caduti.



## LICHENI FRUTTICOSI

Con tallo  
eretto  
simile ad  
una  
piccola  
pianta



Il lichene delle renne, abbondante  
nell'Antartide.

**Soredi, gruppi di ife intrecciate con alghe unicellulari o cianobatteri.**

**Corteccia superiore protettiva**

**rizine**

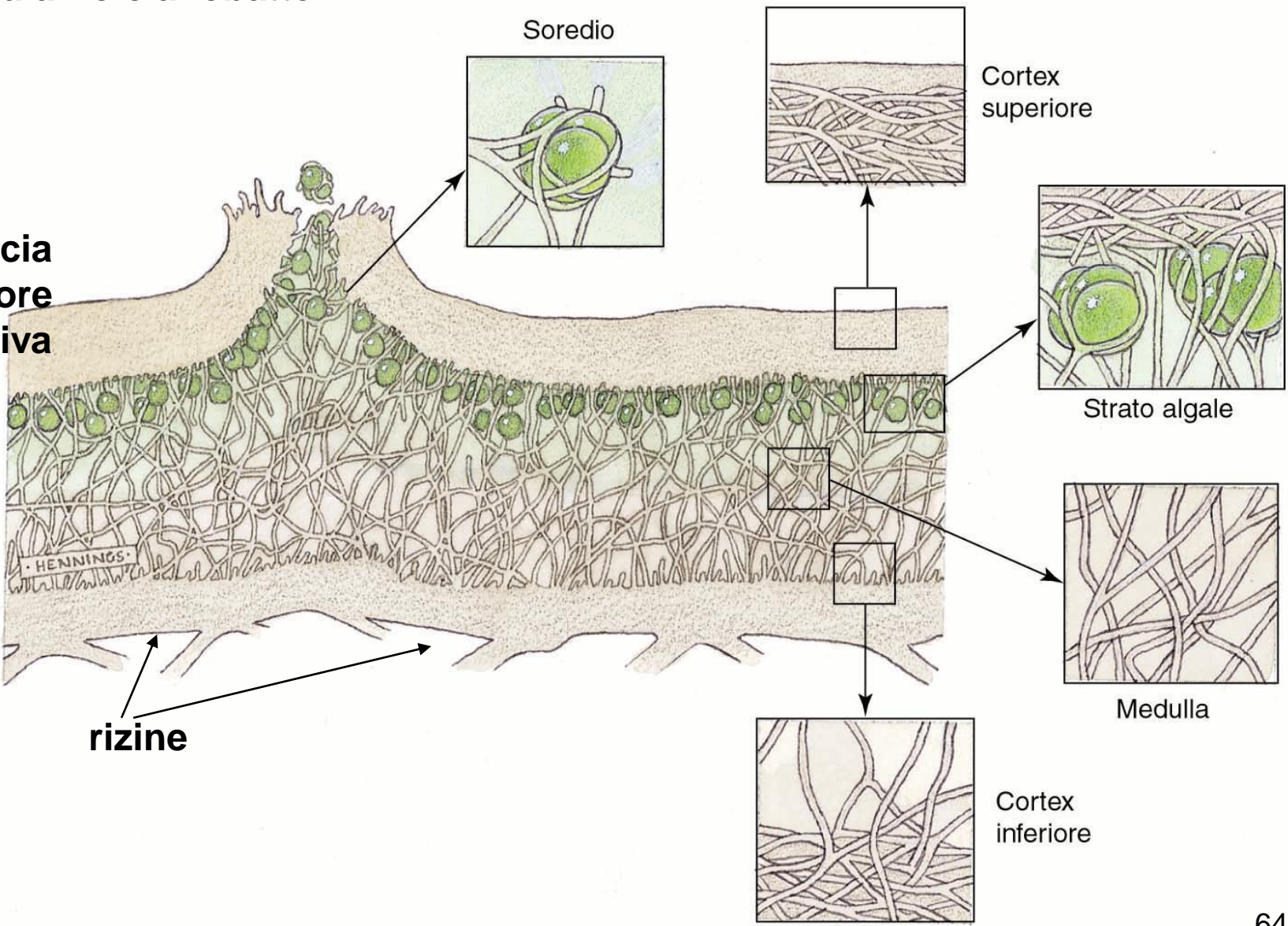
Soredio

Cortex superiore

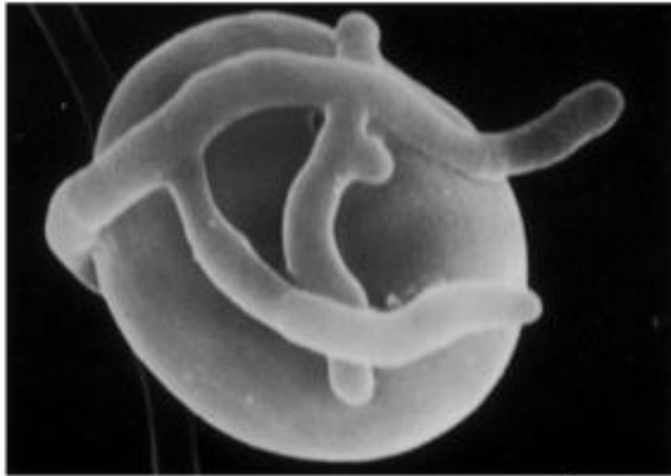
Strato algale

Medulla

Cortex inferiore

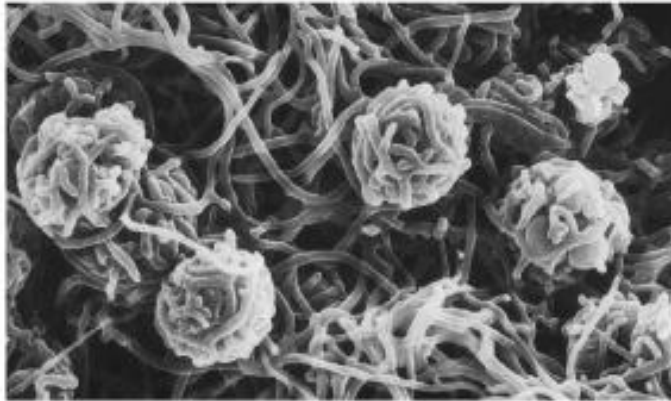






(a)

25  $\mu\text{m}$



(c)

20  $\mu\text{m}$



(b)

2  $\mu\text{m}$

**Alge circondate da ife fungine**

# I licheni si riproducono per via asessuata (soredi, spore, frammentazione tallo)

- l'alga non si riproduce sessualmente, che vantaggi ha?
- Il fungo preleva dall'ambiente sostanze minerali che trasmette all'alga.
- Il mantello fungino protegge i cloroplasti dell'alga dall'eccessiva luce e temperatura.

La componente fungina produce conidi, ascospore, o basidiospore a seconda del gruppo di appartenenza.

I micobionti producono grandi quantità di metaboliti secondari chiamati **ACIDI LICHENICI**. Questi sfaldano le rocce con conseguente formazione di suolo.

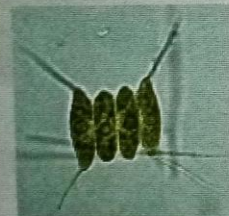
I licheni che coinvolgono i cianobatteri, arricchiscono il suolo anche con azoto organico.

I licheni hanno notevoli capacità di accrescersi in habitat inospitali e di vivere in condizioni anche non ottimali per lungo tempo, **ma l'inquinamento li uccide.**

- Si procurano la maggior parte dei nutrienti dal pulviscolo atmosferico e dalla pioggia, per questo sono estremamente sensibili all'inquinamento dell'aria (se l'aria è inquinata c'è deserto lichenico);
- Sono capaci di colonizzare rocce nude, favorendone la degradazione (humus).

# Microalgae in Human Nutrition

General composition of different human food sources and microalgae  
(% of dry matter)



Commodity	Protein	Carbohydrate	Lipid	Ash	Dietary fibre	Caloric content (kcal g <sup>-1</sup> )
Meat	43	1	34	-	-	5.66
Milk	26	38	28	-	-	5.68
Fish	55	-	38	-	-	6.67
Egg	49	3	45	-	-	7.10
Soybean	37	30	20	-	12.2	5.23
<i>Arthrospira</i> sp.	65	13	6	8	7.1	4.81
<i>Chlorella vulgaris</i>	52	21	13.5	5	8	5.10
<i>Scenedesmus obliquus</i>	53	14	11.5	7.9	6.8	4.68
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	66	20	7.3	6.5	5	5.28
<i>Tetraselmis</i> sp.	53	13	19	14.4	-	5.33
<i>Nannochloropsis</i> sp.	28	14	39.3	14.8	-	5.84
<i>Isochrysis</i> (T-ISO)	46	12	32.7	9.2	-	6.17

# Fotobioreattore

