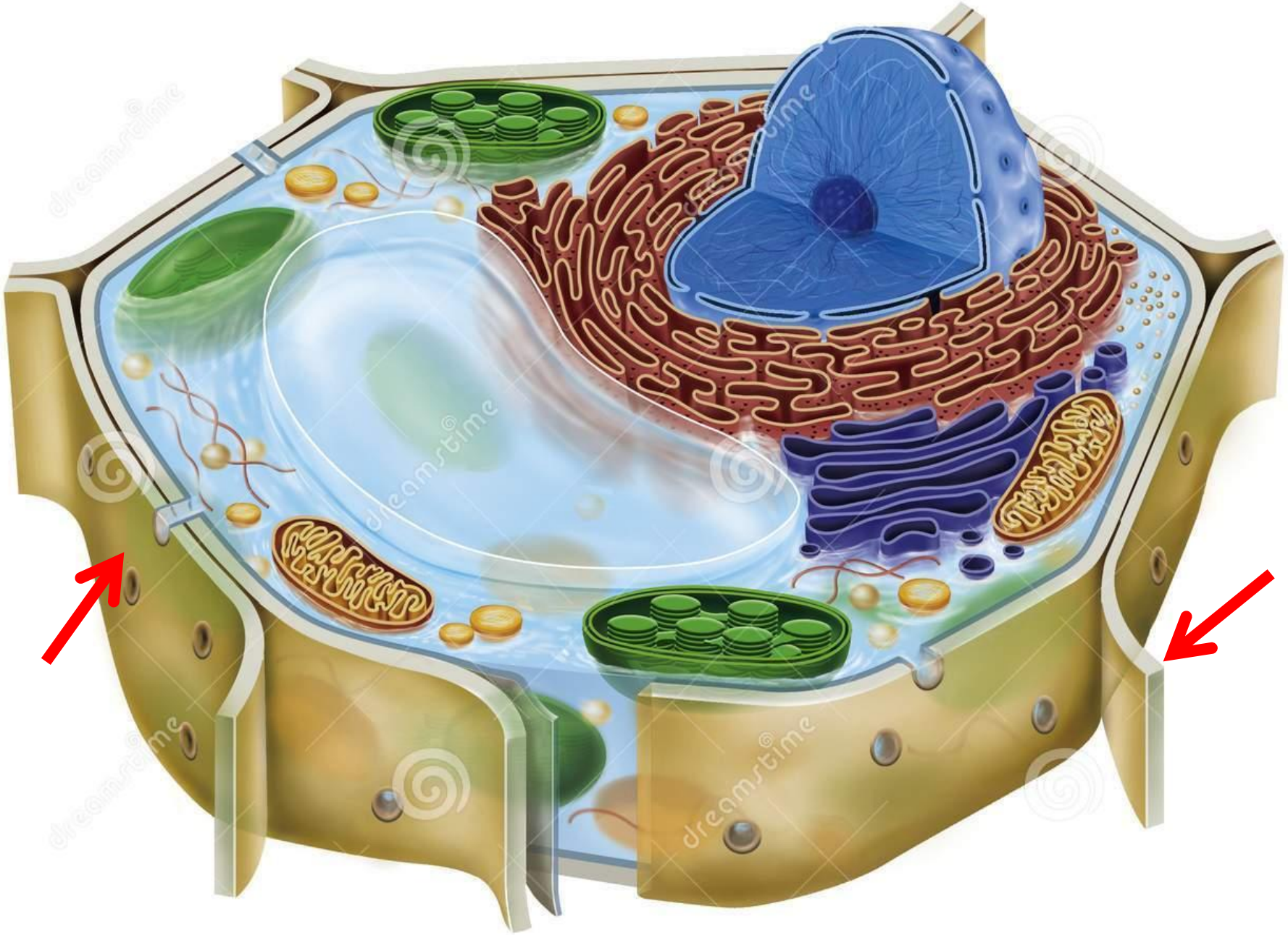
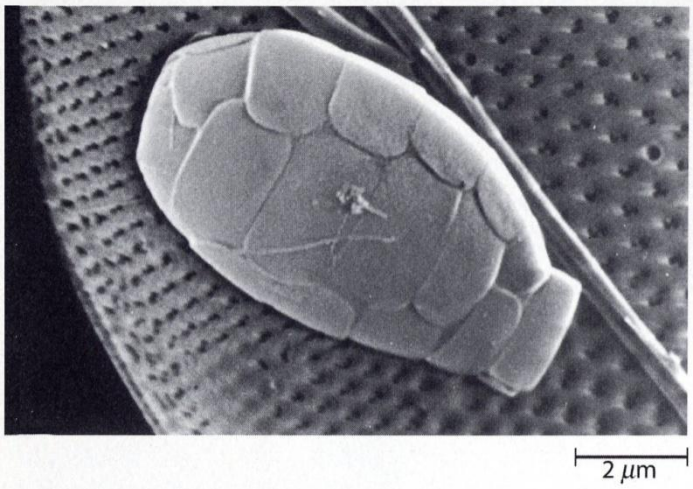
LA PARETE CELLULARE

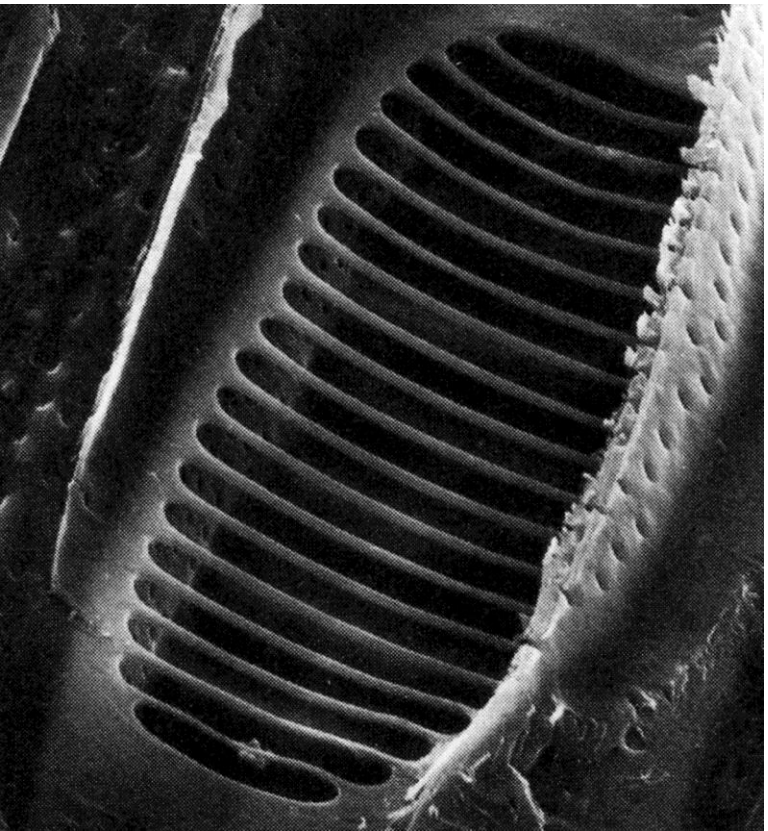


PARETE CELLULARE:

- in piante, funghi e batteri;
- composizione variabile tra vegetali, funghi e batteri;
- rigida;
- le cellule animali sono delimitate solamente dalla membrana!!



La crisoficea unicellulare *Calycomonas sp.* presenta un ricoprimento di placchette cellulosiche (lorica). Sullo sfondo una diatomea, con parete silicizzata. (SEM)



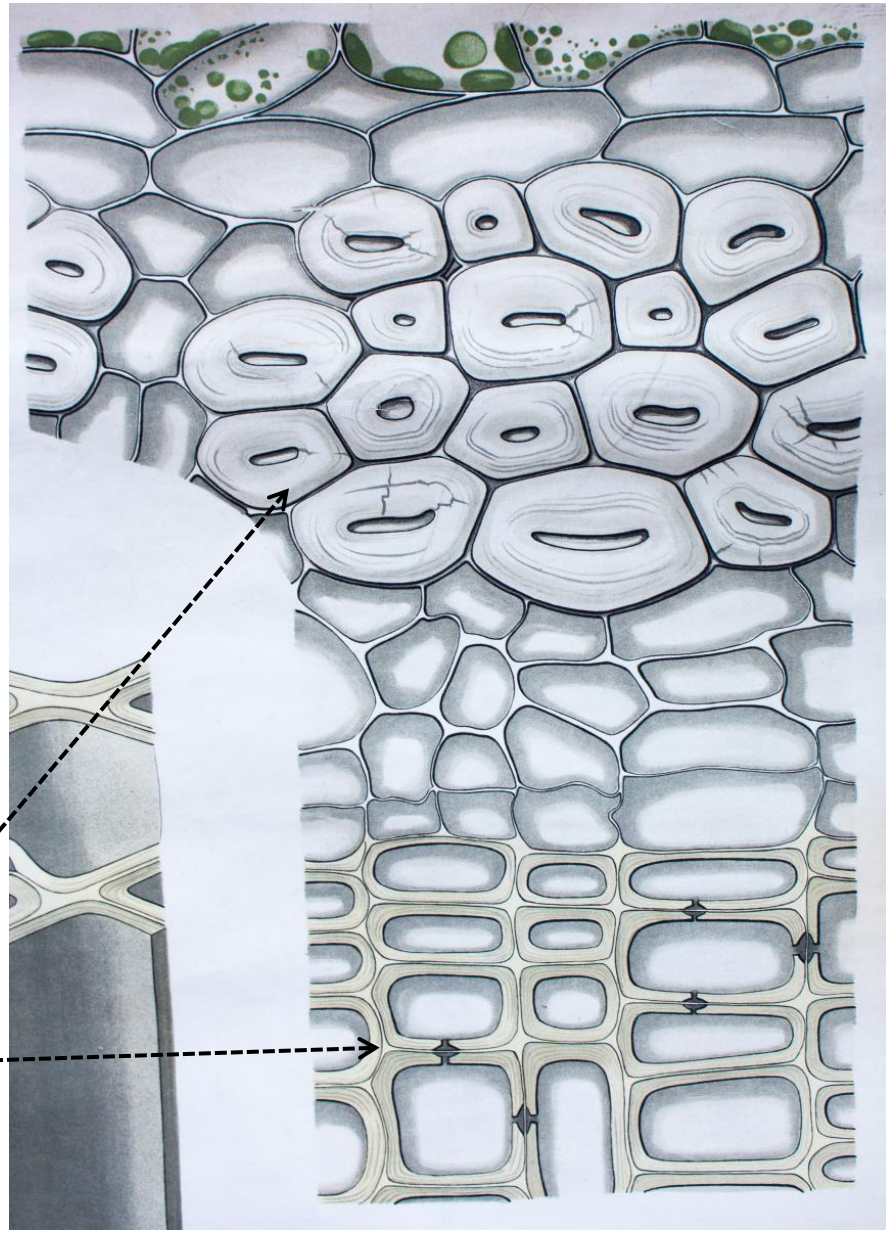
Eccezioni: ***i)*** numerosi gameti, prima della fecondazione sono sprovvisti di parete; ***ii)*** certe alghe flagellate delimitate da un involucro, spesso di natura proteica e discontinuo.

Conferisce una forma definita alla cellula, formando intorno ad essa una sorta di scatola, più o meno forata, e relativamente rigida.

Parete + vacuolo = sistema osmotico → assorbimento di acqua e turgidità cellulare.

Barriera fisica per ogni sostanza in entrata ed uscita dalla cellula.

Può **persistere in loco** anche dopo la morte della cellula (in certi casi le pareti svolgono la loro funzione proprio dopo che il citoplasma è andato perso !!!): e.g. tessuti di sostegno (e.g. sclerenchima), di protezione (e.g. sughero), e di trasporto dell'acqua (e.g. xilema).



Parete = prodotto del citoplasma vivente, ogni cellula è responsabile della costruzione della propria parete cellulare.

Parete cellulare: vantaggi - costrizioni:

- Il movimento autonomo è impossibile, a meno che non si adottino dei trucchi.

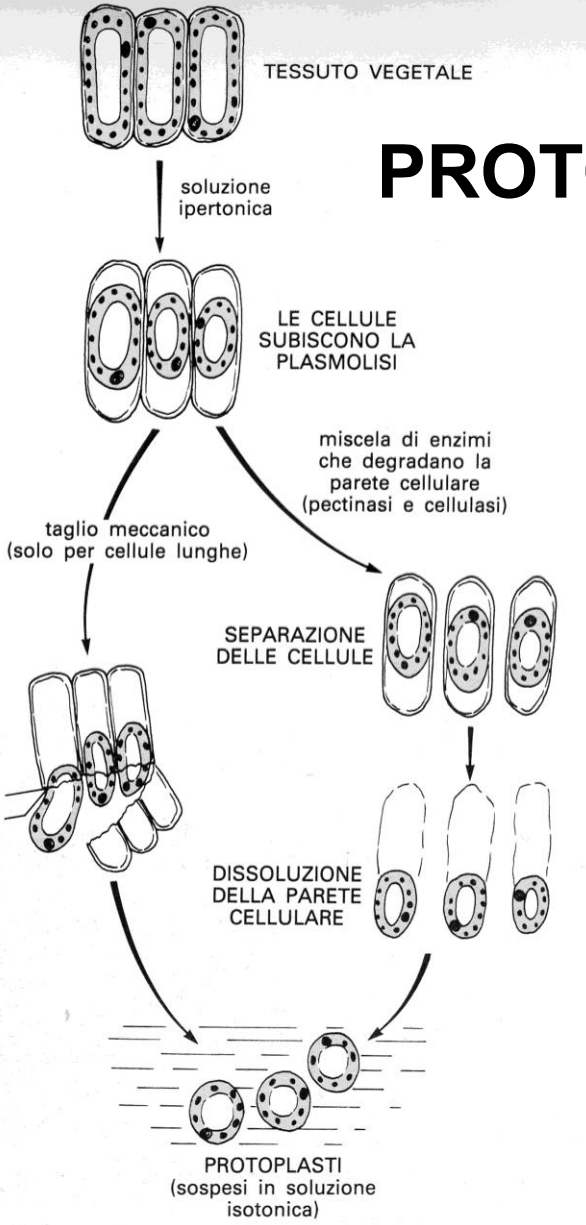
- È impossibile la fagocitosi.

- La divisione cellulare deve prevedere la costruzione di una nuova parete tra le due cellule figlie (eccezioni!).

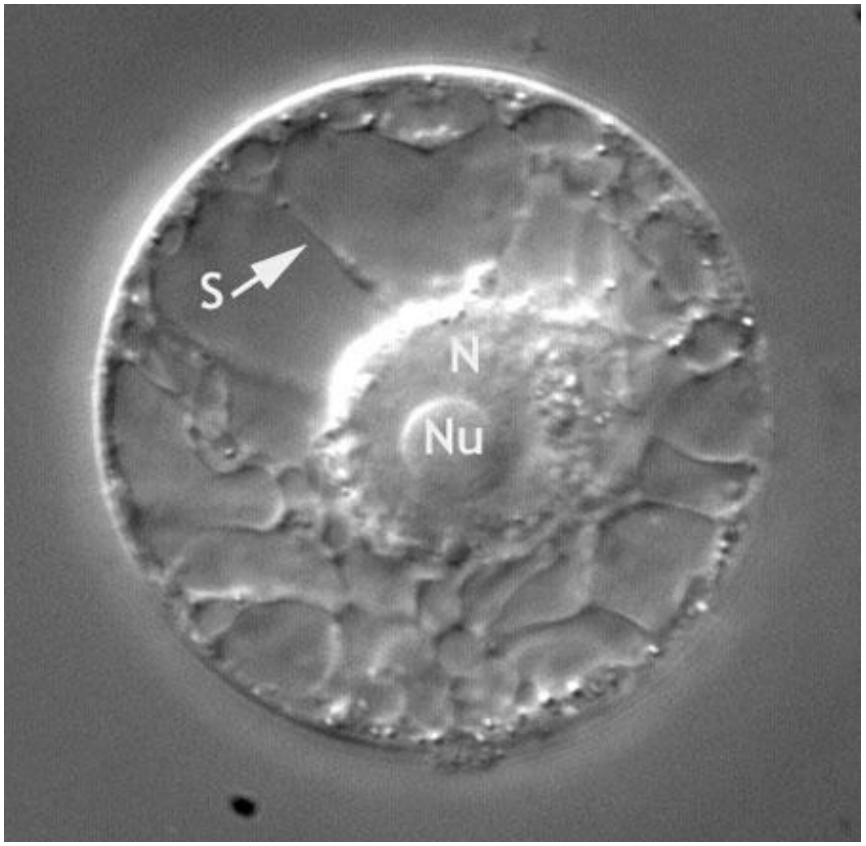
- La formazione di gameti o spore richiede la rottura della parete della cellula-madre da cui le cellule figlie derivano.

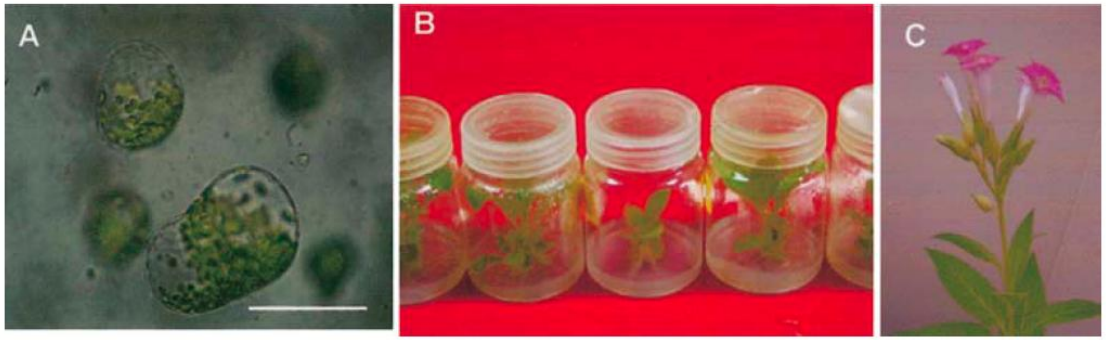
- Se la parete viene eliminata artificialmente, la cellula è in grado di ricostruirla in tempi rapidi.

PROTOPLASTI



Questo schema rappresenta i metodi usati per protoplasti da un tessuto vegetale.

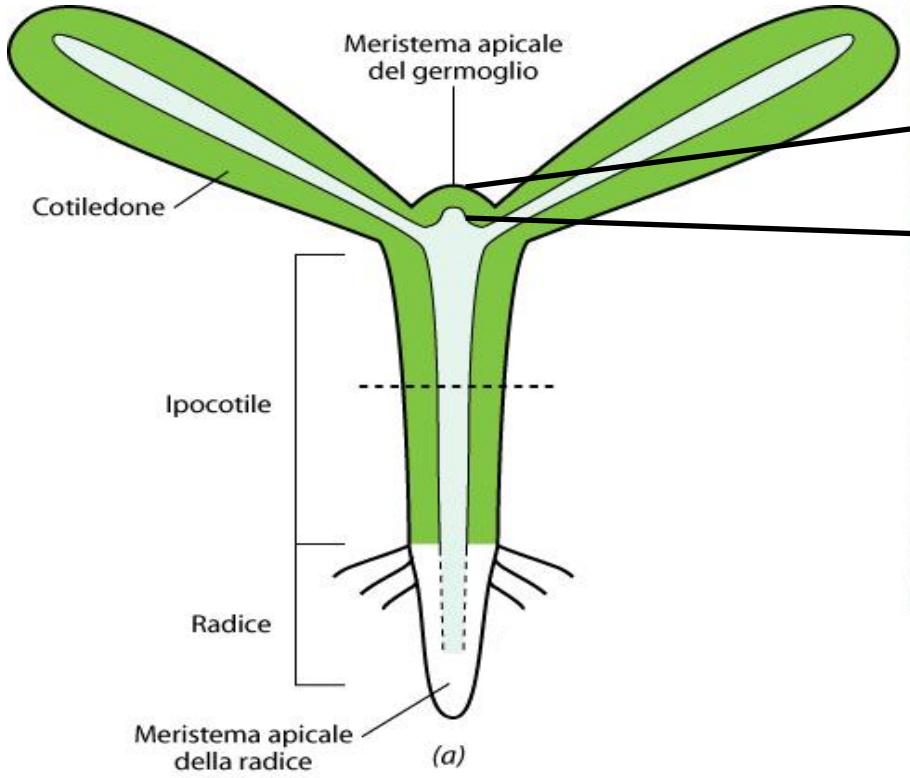


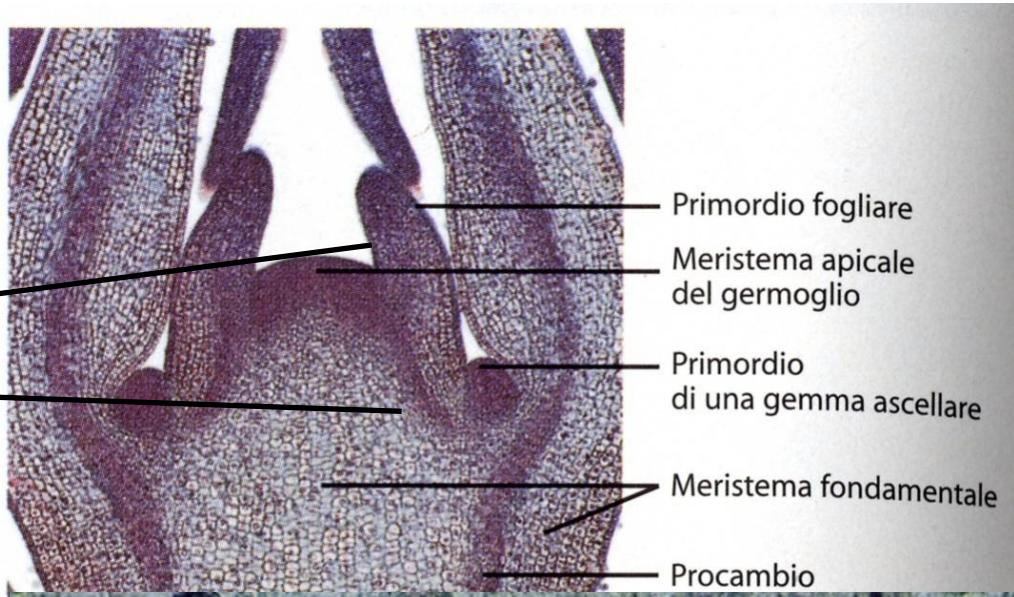


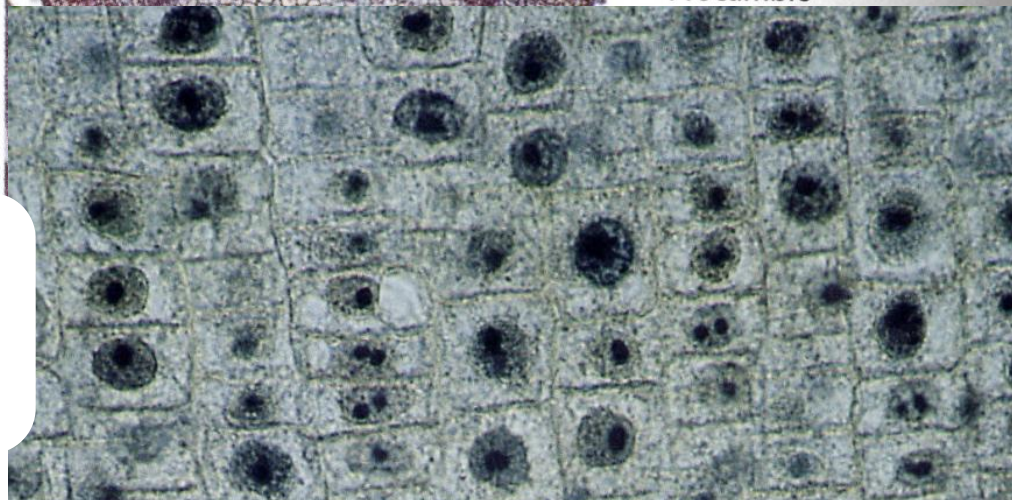
Transgenic tobacco SR-1. A) Cell division of protoplast 5 days after co-transformation. B) Transgenic tobacco SR-1 regenerated plants 4 months after being treated with phytohormones. C) Adult plant.

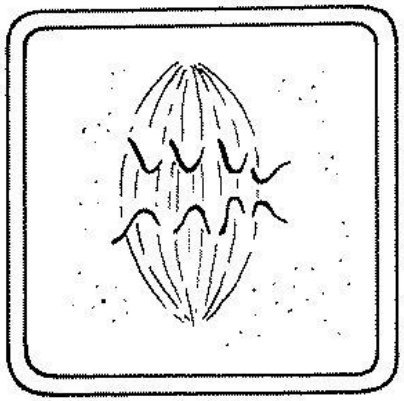
Come inizia a formarsi la parete di una cellula vegetale?

Siamo all'interno di tessuti in attiva divisione …. in particolari punti del corpo di una pianta … i **MERISTEMI**.

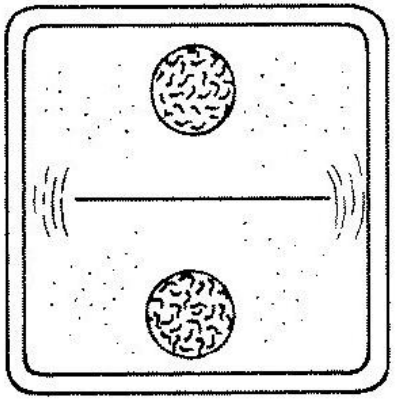




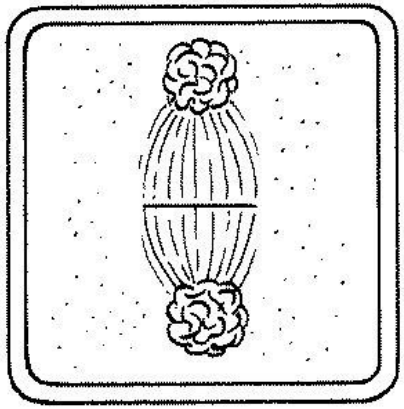




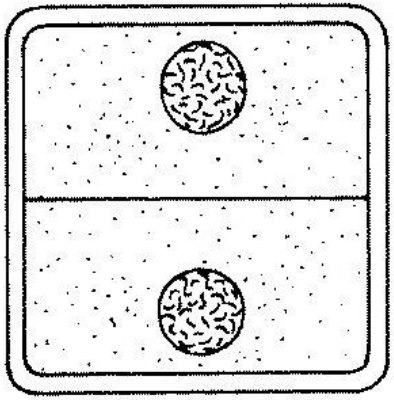
Anafase



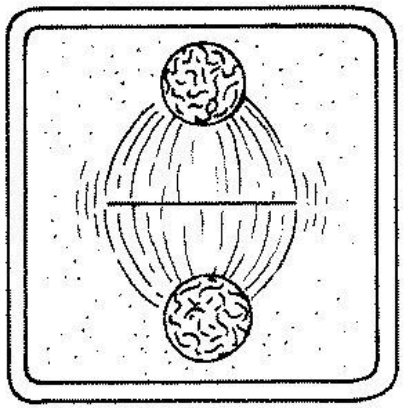
La piastra cellulare è quasi c
ta. Nella zona centrale della
il fragmoplasto è scompars



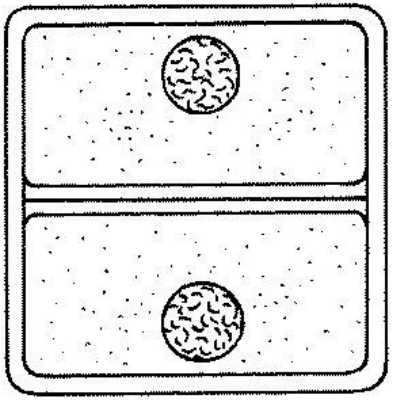
Formazione di
piastra cellulare
← → f(x)
fragmoplasto



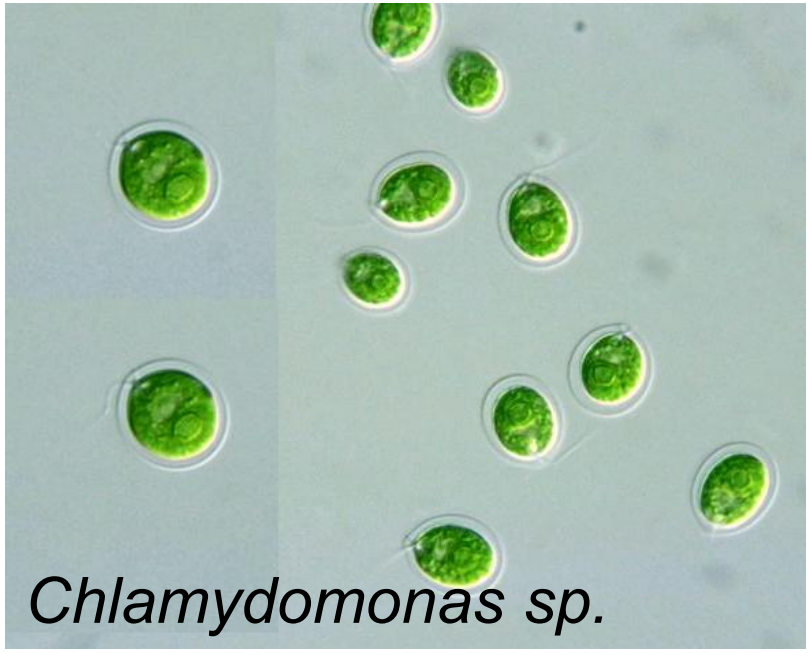
Il setto di separazione tra
cellule (lamella mediana) è
to. Il fragmoplasto è sco
del tutto.



Allargamento
del
fragmoplasto



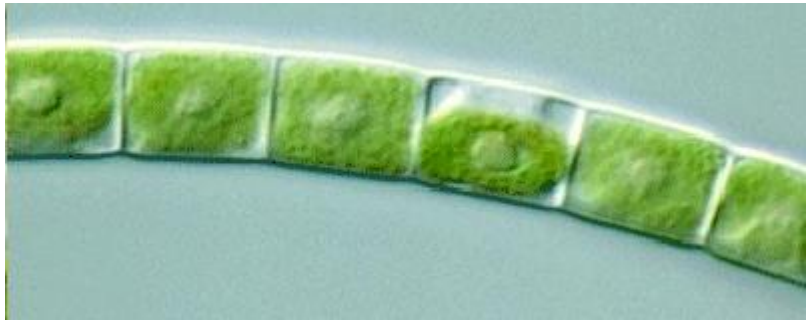
Ciascuna delle due cellule fi
struisce la sua propria pare
dosso della lamella median



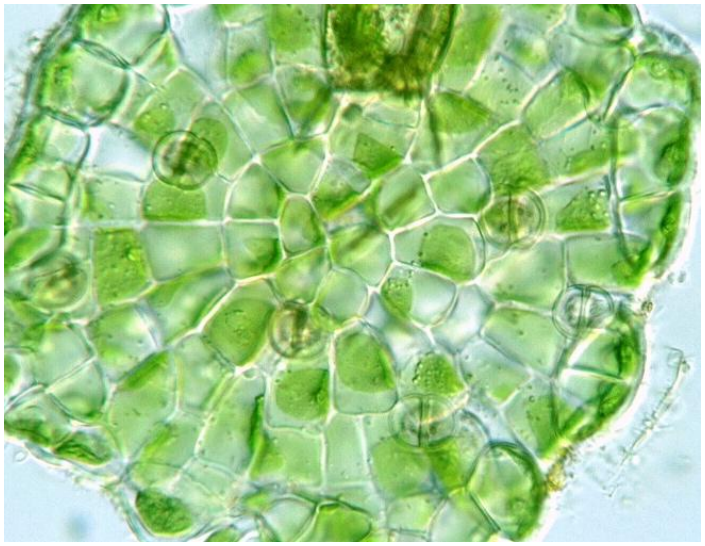
Chlamydomonas sp.



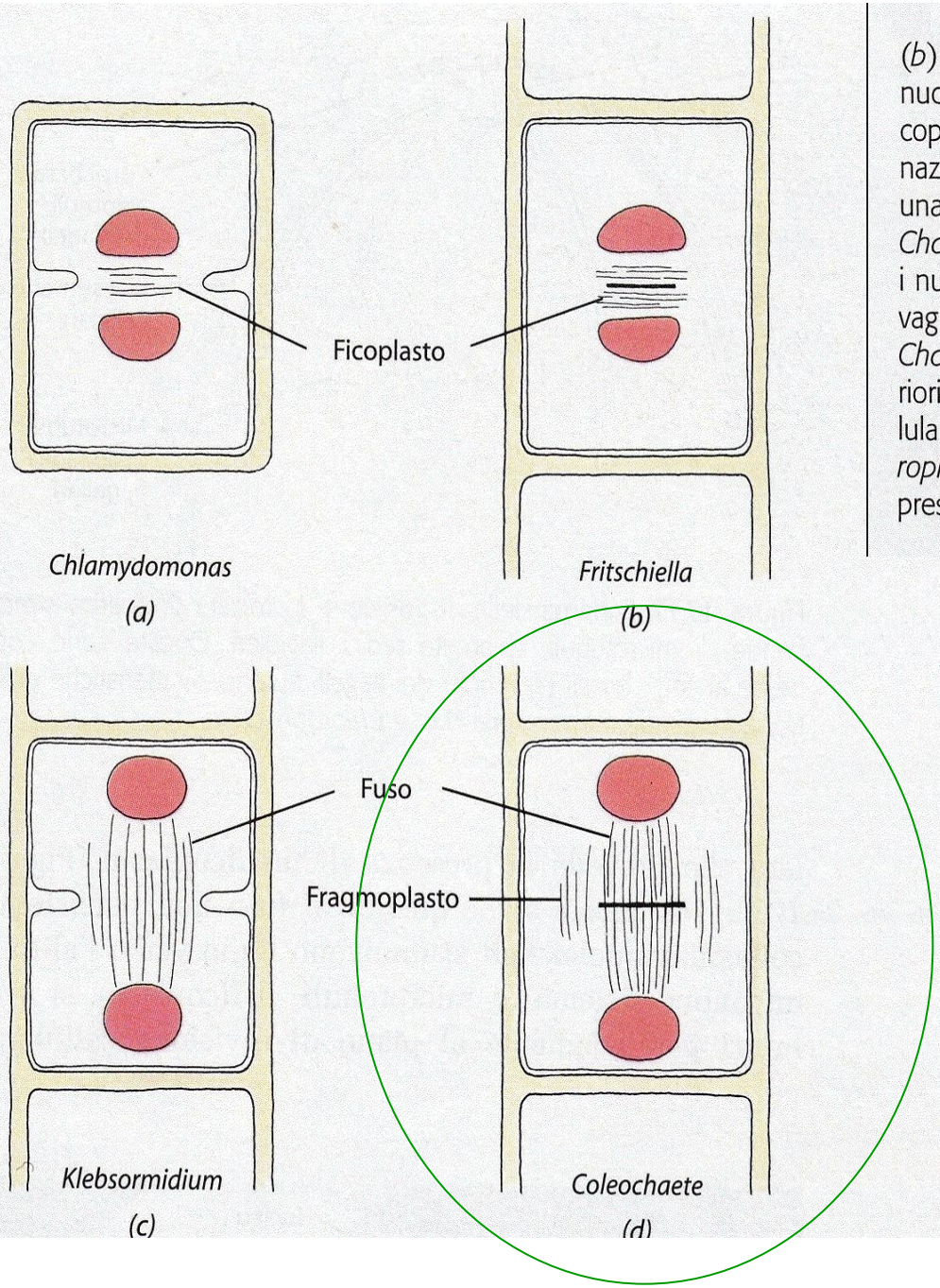
Fritschiella sp.



Klebsormidium sp.



Coelochaete sp.

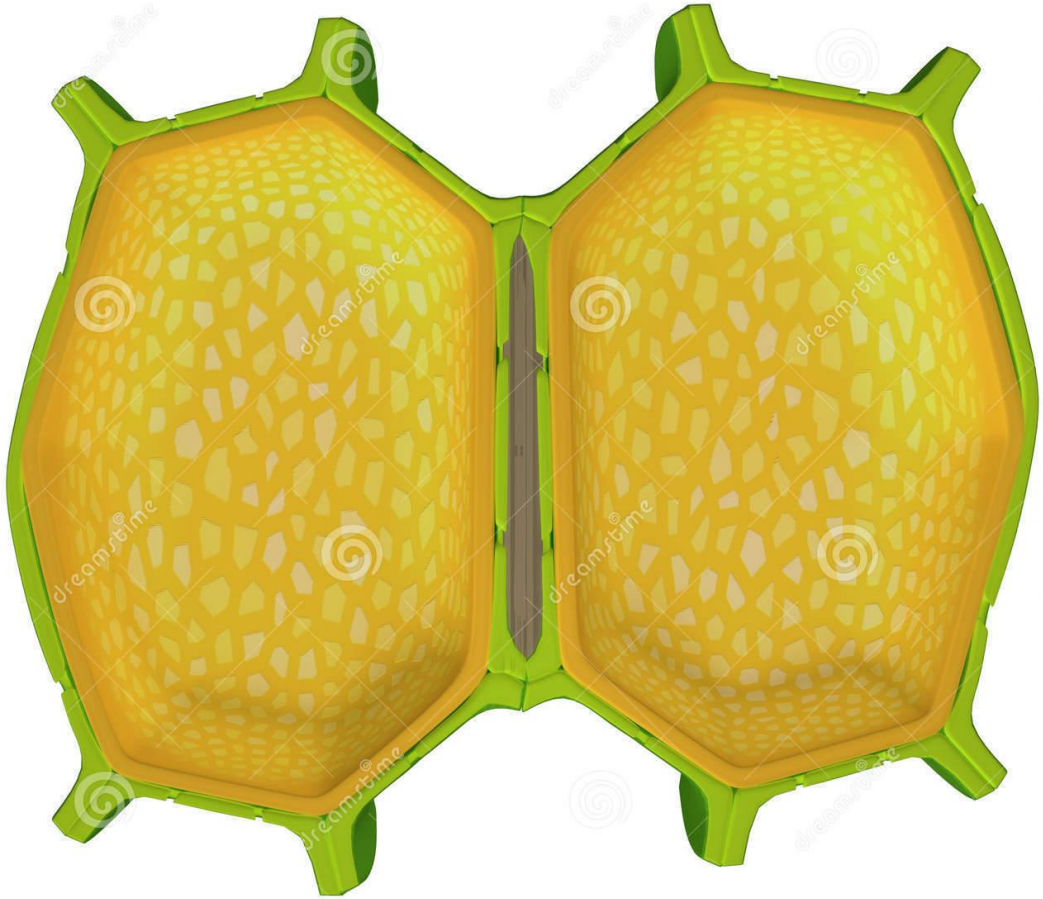


Citodieresi in due classi del phylum *Chlorophyta*. (*a*), (*b*) Nella classe *Chlorophyceae* il fuso mitotico non è persistente e i nuclei figli, che sono relativamente vicini tra loro, sono separati dal ficoplasto. La citodieresi in *Chlamydomonas* avviene mediante invaginazione, mentre in *Fritschiella* si realizza attraverso la formazione di una piastra cellulare. (*c*) Nei rappresentanti più semplici della classe *Charophyceae*, come *Klebsormidium*, il fuso mitotico è persistente e i nuclei figli sono relativamente distanti. La citodieresi avviene per invaginazione. (*d*) In *Charophyta* più evolute, come *Coleochaete* e *Chara*, è presente un fragmoplasto, simile a quello delle piante superiori, e la citodieresi si realizza mediante formazione di una piastra cellulare, come nelle piante superiori. Le *Ulvophyceae*, al pari delle *Charophyceae*, si caratterizzano per un fuso mitotico persistente, ma non presentano né fragmoplasto, né piastra cellulare.

Questa modalità di divisione è solo uno dei quattro modelli presenti nelle alghe verdi

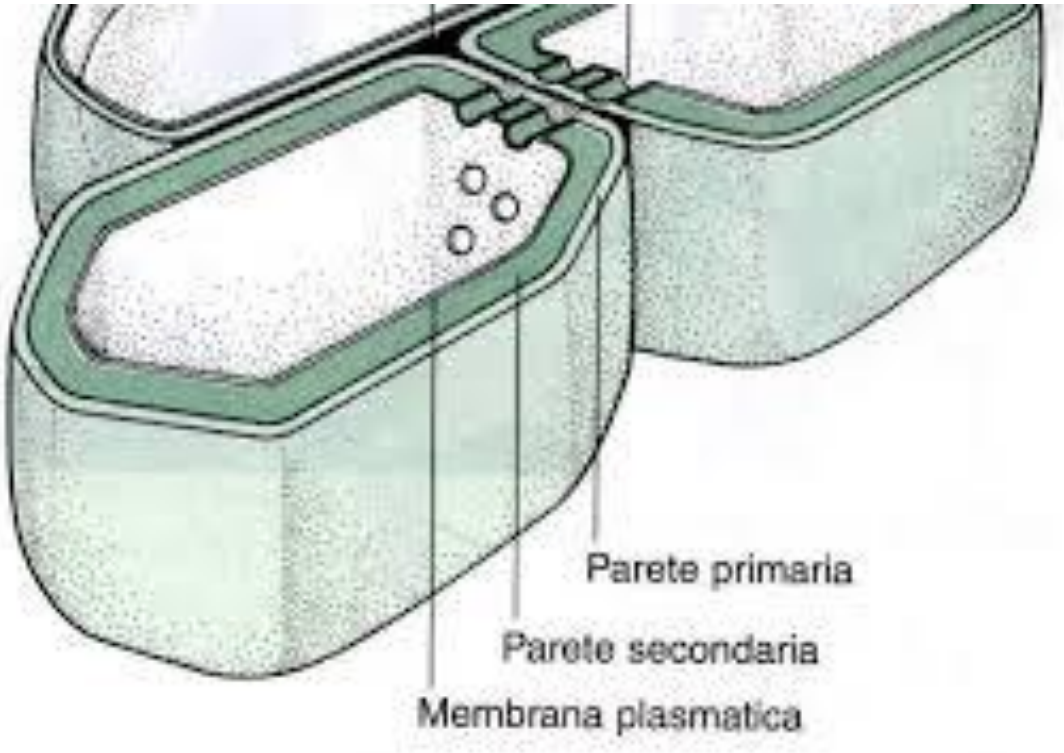
Una volta formata la lamella mediana, ciascuna cellula inizia a depositare la propria parete, e contemporaneamente (se non si tratta di una cellula meristematica che deve mantenere la capacità di dividersi), ad accrescersi in dimensione.

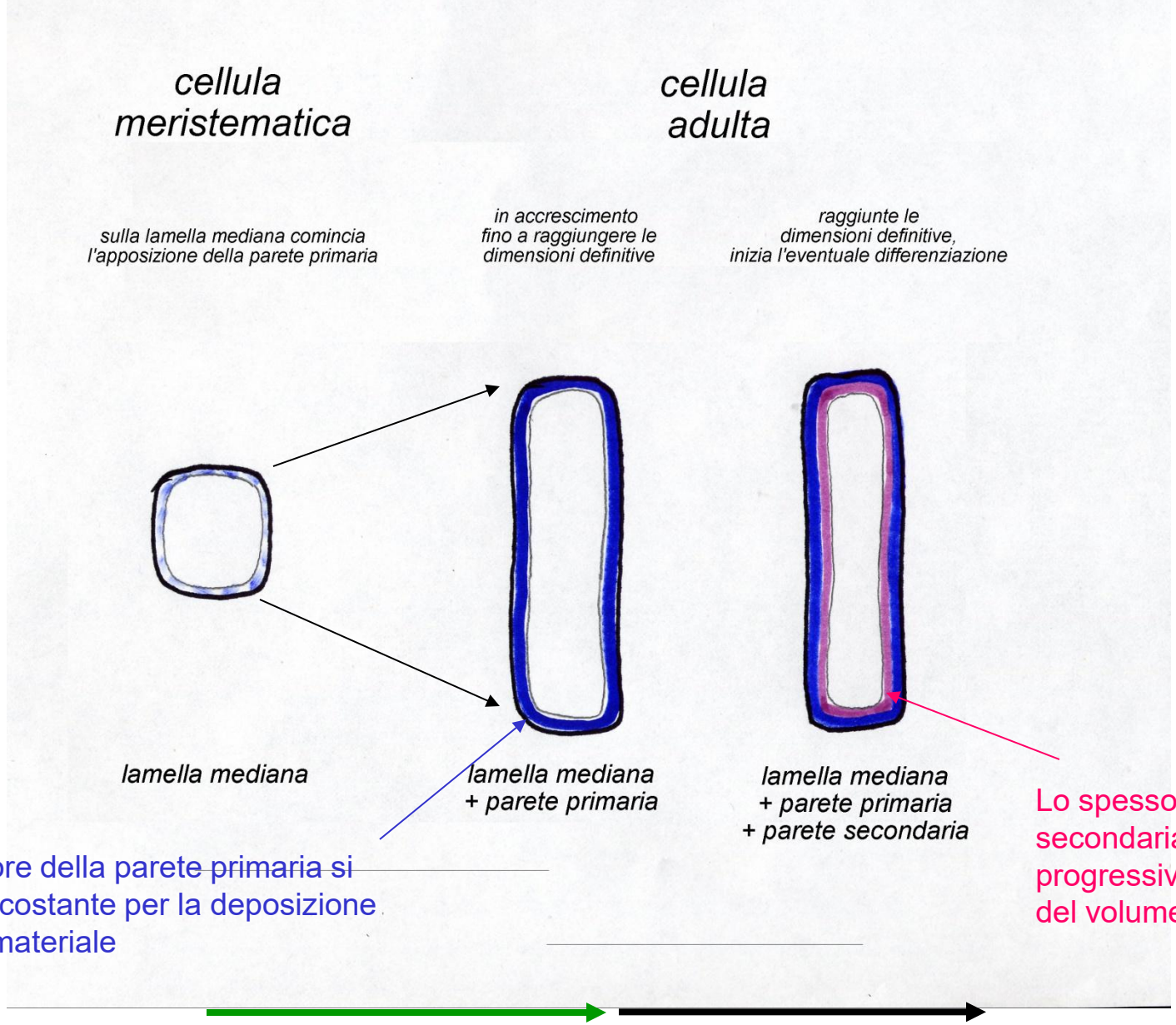
Formazione della parete ed **accrescimento**, vanno di pari passo, per cui la parete (= **parete primaria**) mantiene sempre lo stesso spessore, che è piuttosto esiguo.



La cellula raggiunge le sue dimensioni definitive → differenziazione → deposizione di una nuova frazione della parete cellulare = **parete secondaria**, con caratteristiche compositive e meccaniche dipendenti strettamente dalle funzioni della cellula.

La **parete secondaria → riduzione del volume cellulare** (la parete primaria, più esterna, non aumenta più di dimensioni).



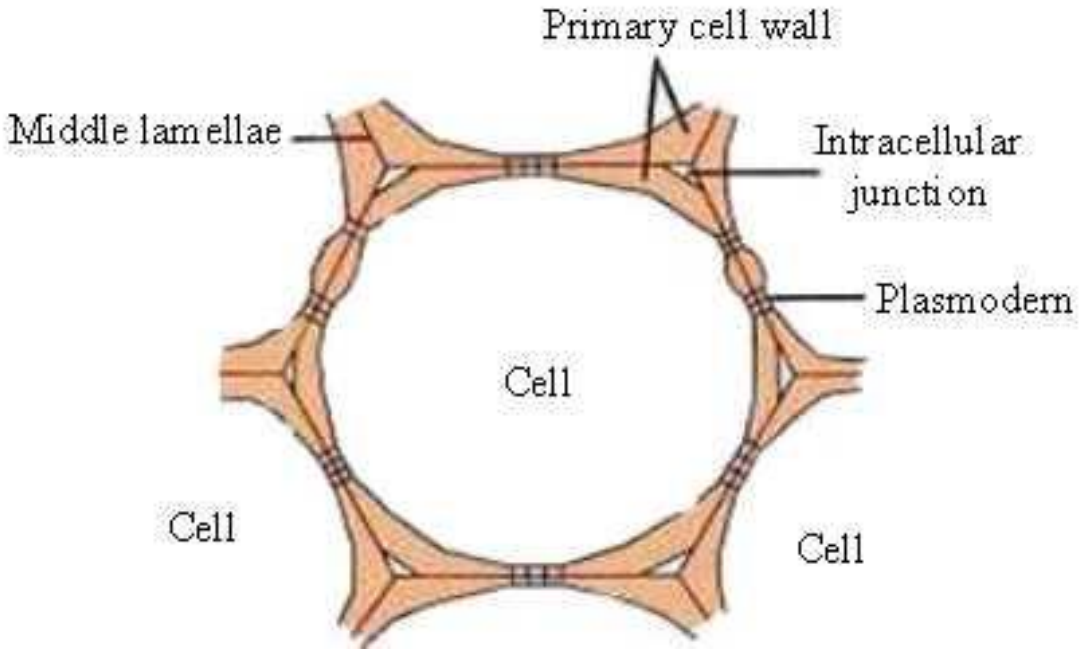

cellula meristematica
cellula adulta
sulla lamella mediana comincia l'apposizione della parete primaria
in accrescimento fino a raggiungere le dimensioni definitive
raggiunte le dimensioni definitive, inizia l'eventuale differenziazione
lamella mediana
lamella mediana + parete primaria
lamella mediana + parete primaria + parete secondaria
Lo spessore della parete primaria si mantiene costante per la deposizione di nuovo materiale
Lo spessore della parete secondaria aumenta progressivamente a spese del volume cellulare
Le dimensioni aumentano
Il volume cellulare diminuisce

PARETE CELLULARE

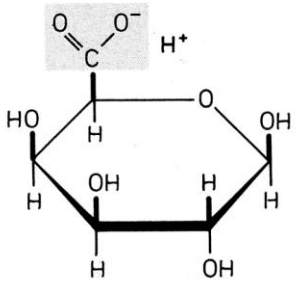
LAMELLA MEDIANA (comune tra 2 cellule contigue): *SOSTANZE PECTICHE + proteine strutturali ed enzimatiche,* ***NO CELLULOSA.***

PARETE PRIMARIA

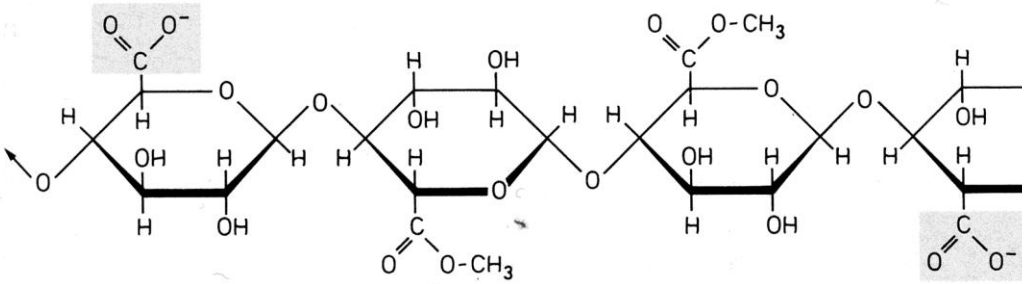
(accrescimento embrionale e per distensione; si forma a ridosso della lamella mediana): *1) MATERIALE FIBRILLARE* (**cellulosa** nelle piante superiori, **chitina** nei funghi); 2*) MATRICE:* **H_2O** (70% del peso fresco), emicellulose, sostanze pectiche, proteine e lipidi (che riempiono gli interstizi del materiale fibrillare).



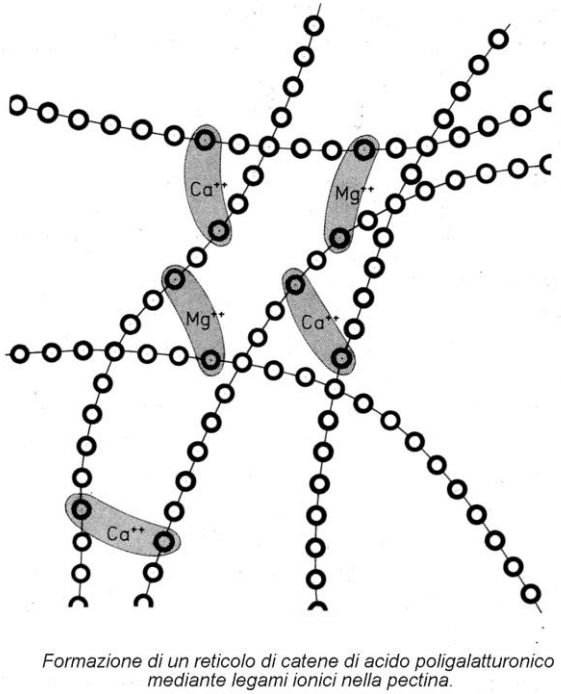
La lamella mediana è particolarmente ricca di **pectine** (<u>eteropolisaccaridi</u>), che hanno la funzione di “incollare” tra di loro le cellule.



Acido D-galatturonico



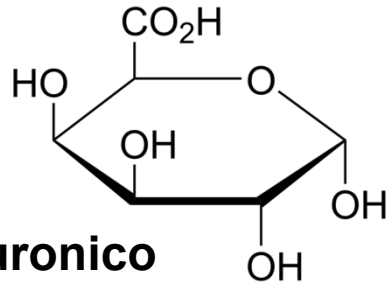
Acido pectico (frammento)



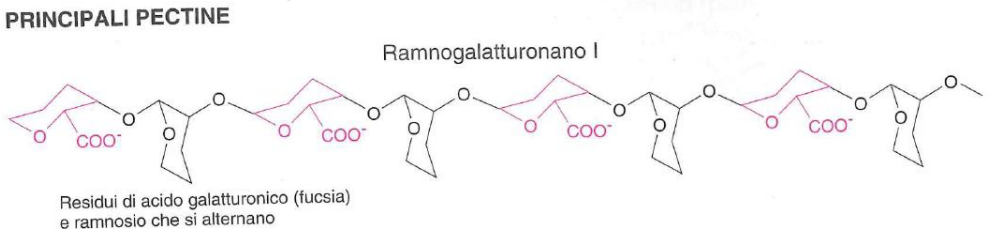
Formazione di un reticolo di catene di acido poligalatturonico mediante legami ionici nella pectina.

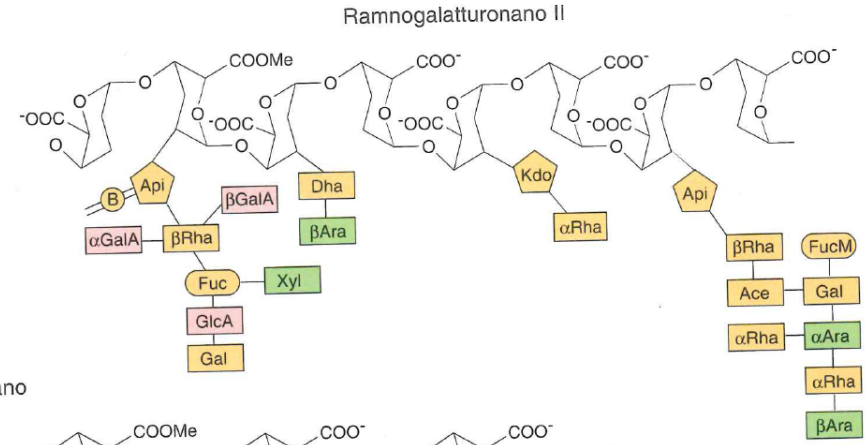
Se le pectine vengono rimosse (azione enzimatica), le cellule si separano: è quanto succede con la maturazione della polpa di una mela...

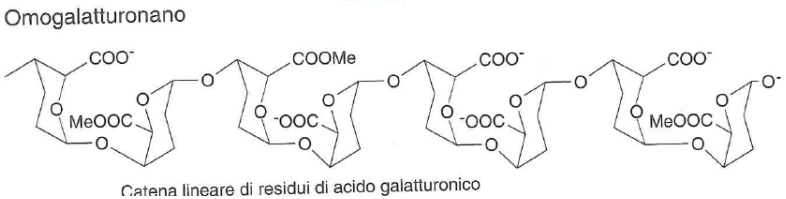
PECTINE

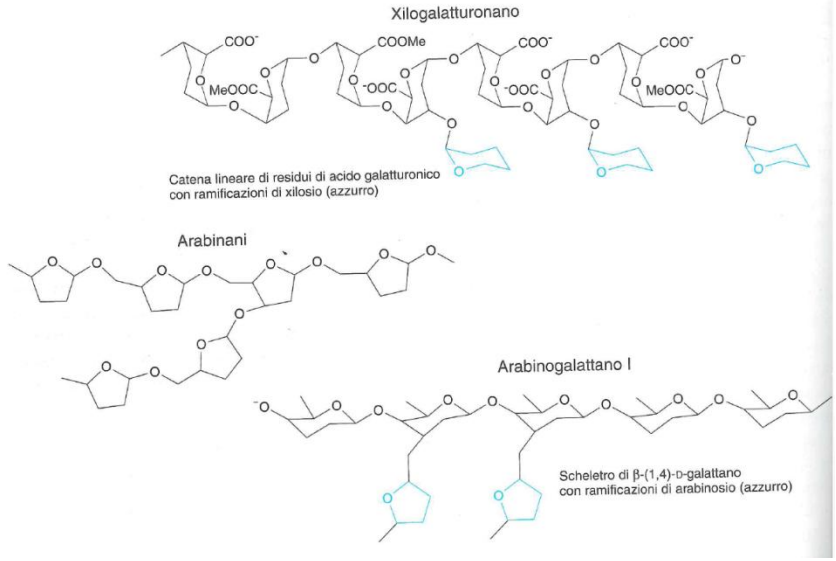


Acido galatturonico









Polisaccaridi lineari o ramificati di **acido galatturonico**

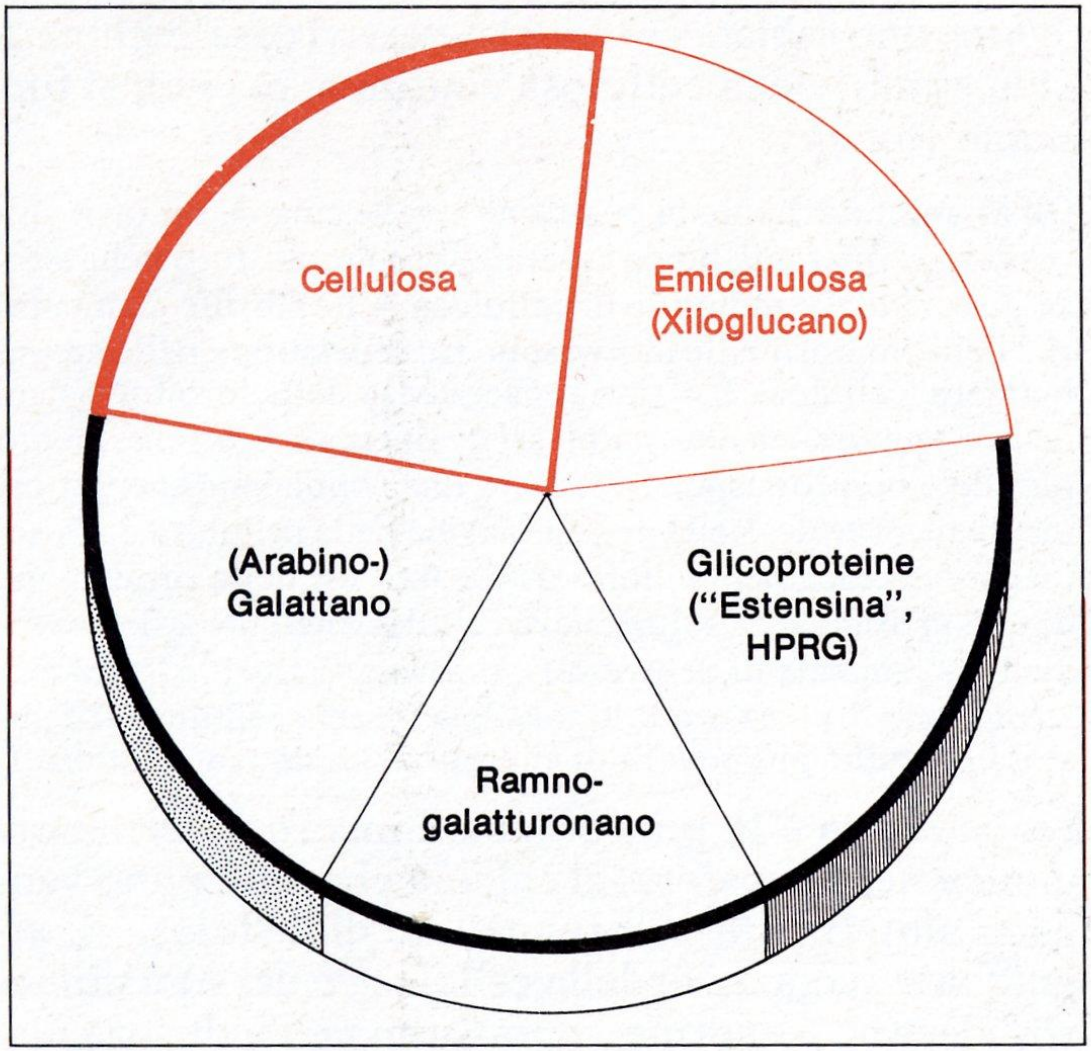
Zuccheri neutri: **galattosio, ramnosio, arabinosio, etc.**

Tendenza a gelificare -> industria alimentare e cosmetica

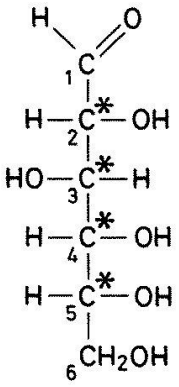
La **parete primaria** è formata da molti costituenti diversi, che sono specie-specifici.

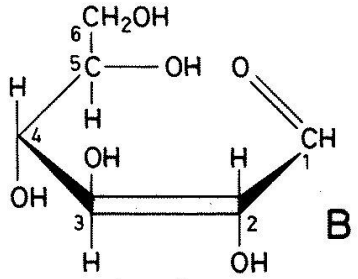
I composti più importanti sono dei **polimeri di carboidrati = glicani= polisaccaridi** (c. il 90% in peso) → **cellulosa** che però rappresenta solo una frazione, non necessariamente la più importante, in termini di massa.

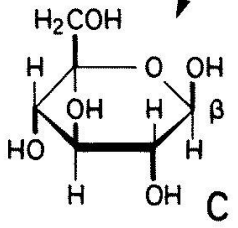
Glicani strutturali vs. glicani di riserva

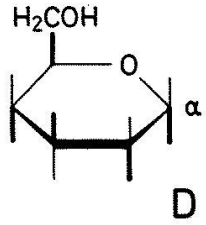


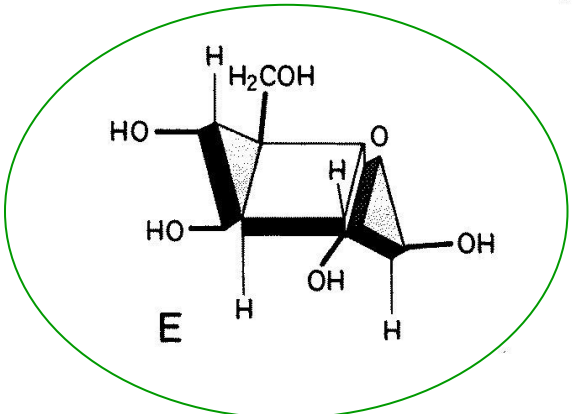
Composizione (sostanza secca) della parete cellulare primaria di una coltura cellulare di *Acer pseudoplatanus*. Lo xiloglucano dell'emicellulosa è pari alle fibrille strutturali della cellulosa. Arabinogalattani e ramnogalatturonani costituiscono le pectine. HPRG = Glicoproteine ricche di idrossiprolina. (Da dati di P. Albersheim e collab.).







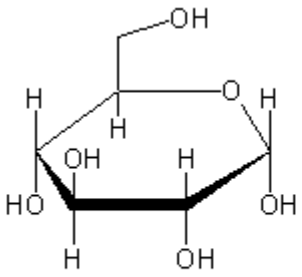




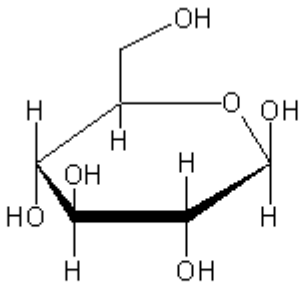
Formule di struttura dei monosaccaridi: **A-E**, esempio D-glucosio (Glc). **A**, formula di proiezione di un aldoesoso, gli atomi di carbonio in posizione 2-5 sono sostituiti asimmetricamente (formano legami con 4 diversi partners) e sono indicati con l'asterisco *; posizioni alternative dell'idrossile in C_2-C_4 darebbero luogo ad altri zuccheri (p. es. in C_2: D-mannosio; in C_4: D-galattosio); se il gruppo OH fosse situato alla sinistra di C_5, si avrebbe L-glucosio. **B**, a causa dell'ampiezza dell'angolo di legame con gli atomi di C (circa 110°) e della libertà di movimento dei legami semplici, i gruppi aldeidici (C_1) e l'idrossile in C_5 possono avvicinarsi a formare un semiacetale intramolecolare (**C, D**). Quindi anche C_1 diventa asimmetrico così che, a seconda della posizione dell'idrossile, si possono distinguere α-D-glucosio (**C**) ed β-D-glucosio (il primo è per esempio il monomero del polisaccaride di struttura cellulosa, il secondo il monomero dei polisaccaridi di riserva amido e glicogeno). La rappresentazione del Glc come anello a 6 segmenti (**B-D**: «forme piranosiche») è realizzata in prospettiva, l'anello è obliquo rispetto all'osservatore, come un libro posato su un tavolo. A causa dell'angolo di legame gli anelli piranosici non possono essere veramente piatti; una rappresentazione più realistica viene data in **E** (forma a «poltrona»). In questa conformazione — la più frequente — il C_6 e i gruppi OH dei restanti atomi di C sono quasi sullo stesso «livello» dell'anello (equatoriale); l'ostacolarsi reciproco di questi gruppi è quindi minimo, l'entropia massima, la molecola organica in questa forma è particolarmente stabile: β-D-Glc in forma a «poltrona» è la molecola organica più frequente sulla terra.

È il contrario:
α- = amido;
β- = cellulosa

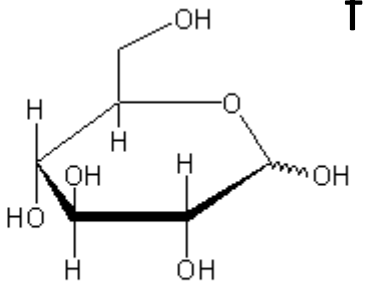
Esosi (glucosio, fruttosio, lattosio)



α-D-glucopiranoso

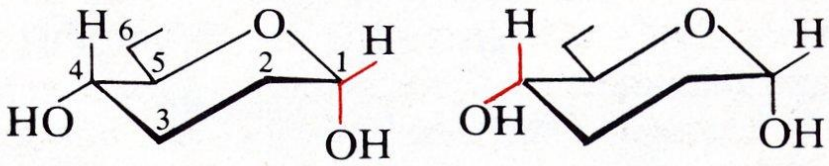


β-D-glucopiranoso

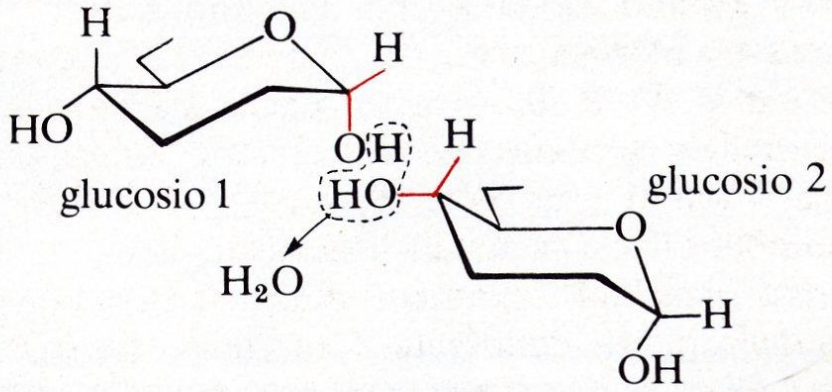


Generico anomero

AMIDO (AMILOSIO)

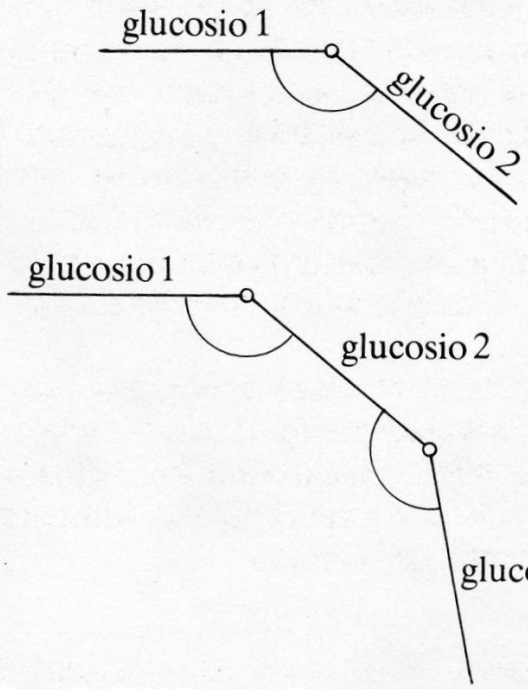


Queste sono due molecole dell'α-glucosio (monomero dell'amido) in cui è rappresentata la posizione dei gruppi —H e —OH legati ai carboni 1 e 4. I due gruppi —OH legati a questi carboni possono reagire fra loro formando un legame glucosidico.



Se le due molecole devono reagire fra loro per formare il legame glucosidico 1-4 esse devono necessariamente orientarsi in modo che i piani dei due anelli formino tra loro un certo angolo.

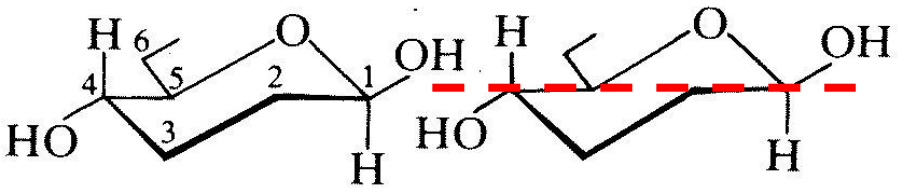
La disposizione reciproca delle due molecole può essere simboleggiata in questo modo:



Se una terza molecola di glucosio si attacca alla molecola 2 si formerà tra 3 e 2 un angolo uguale a quello fra 2 e 1 ... e così via.

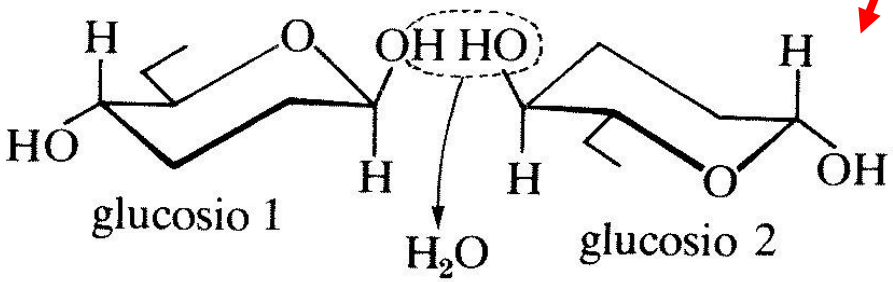
Risultato: dall'unione di molte molecole di α-glucosio si formerà una catena non diritta, ma fortemente incurvata.

CELLULOSA



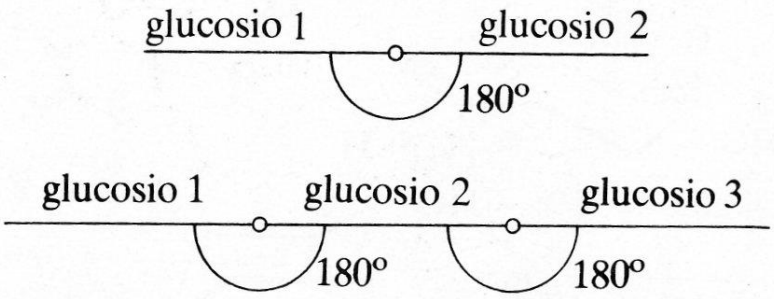
180°

Queste sono invece due molecole di β-glucosio (monomero della cellulosa) in cui è rappresentata la posizione dei gruppi —H e —OH legati ai carboni 1 e 4. Se le due molecole sono orientate nello stesso modo il legame glucosidico 1-4 non può formarsi perché i due gruppi —OH coinvolti sono troppo lontani.



Il legame può invece formarsi facilmente se una delle due molecole è ribaltata (ruotata di 180°) rispetto all'altra. I due anelli vengono a giacere all'incirca sulla stesso piano.

La loro disposizione reciproca può essere rappresentata in questo modo:



Se una terza molecola di glucosio si attacca alla molecola 2. il suo anello giacerà sullo stesso piano dei due precedenti... e così via. Risultato: dall'unione di molte molecole di β-glucosio si forma una catena diritta.

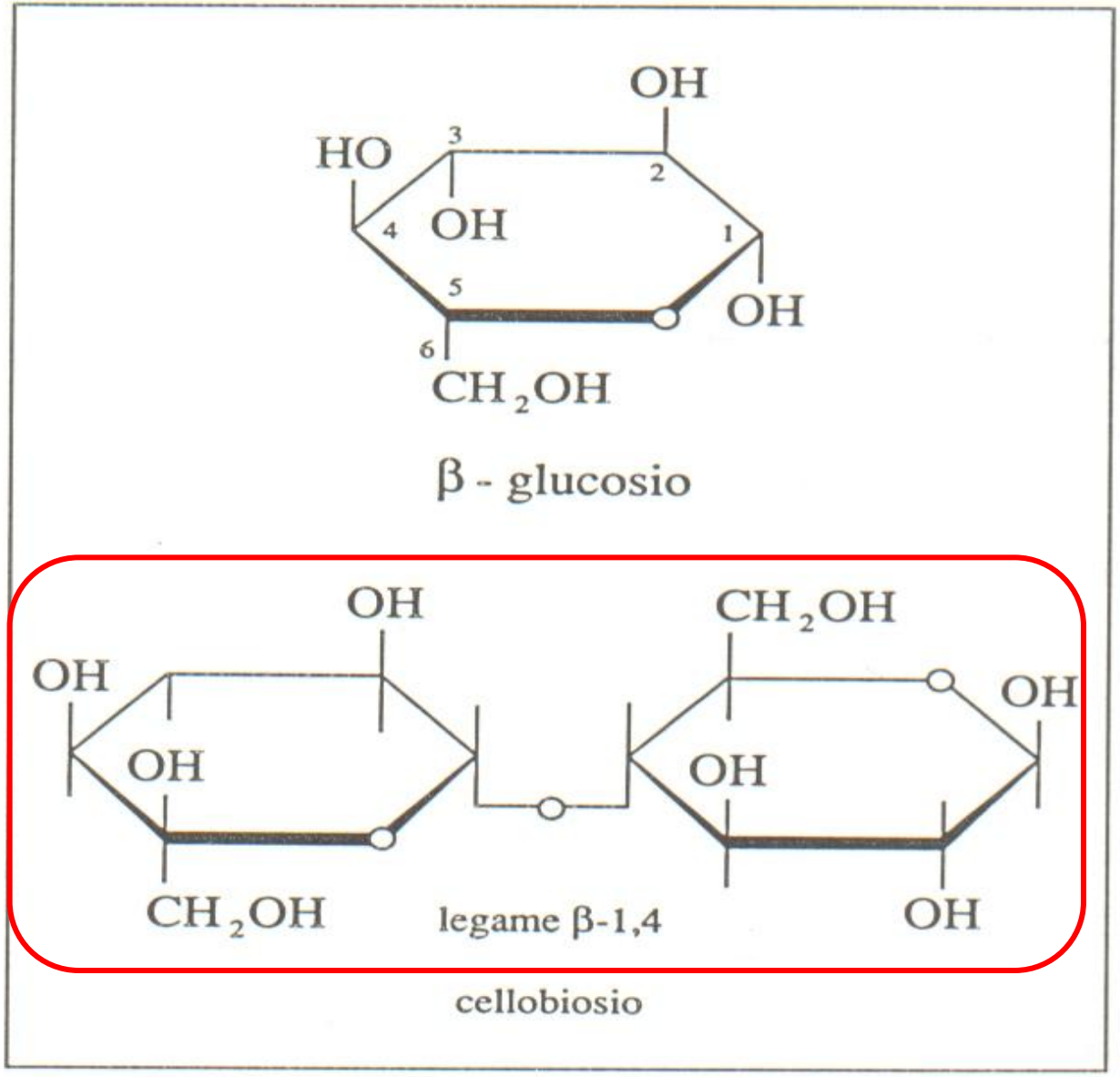


Figura 2.24. - Molecola di cellulosa.

Cellobiosio = disaccaride del glucosio

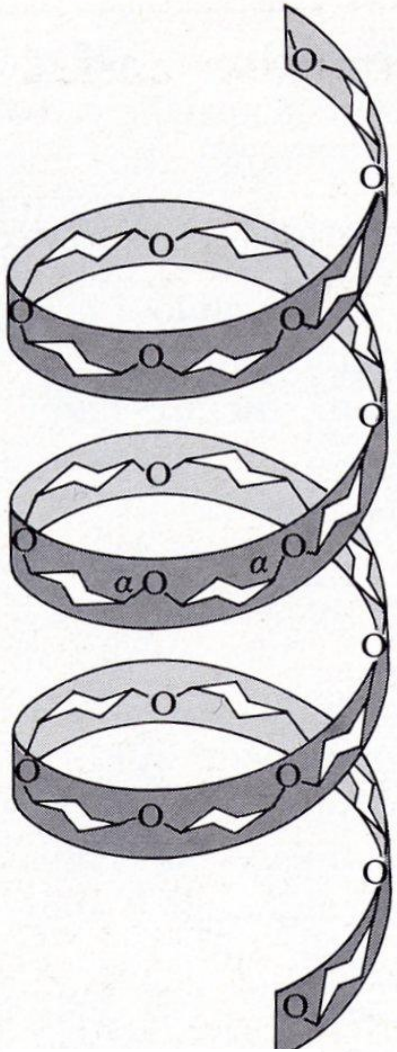
CELLULOSA

AMIDO (AMILOSIO)

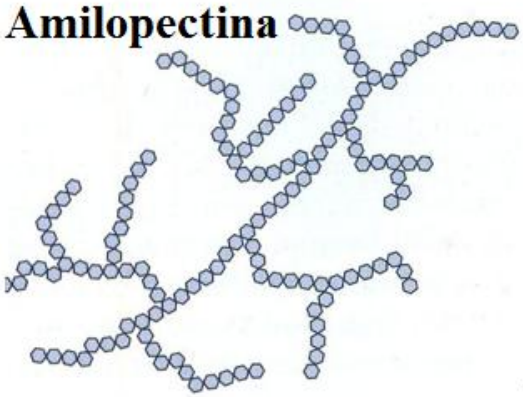
omoglicani

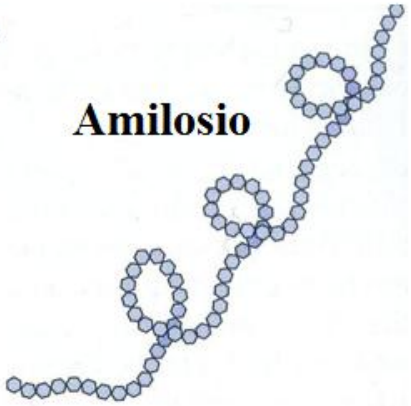


β-glucosio

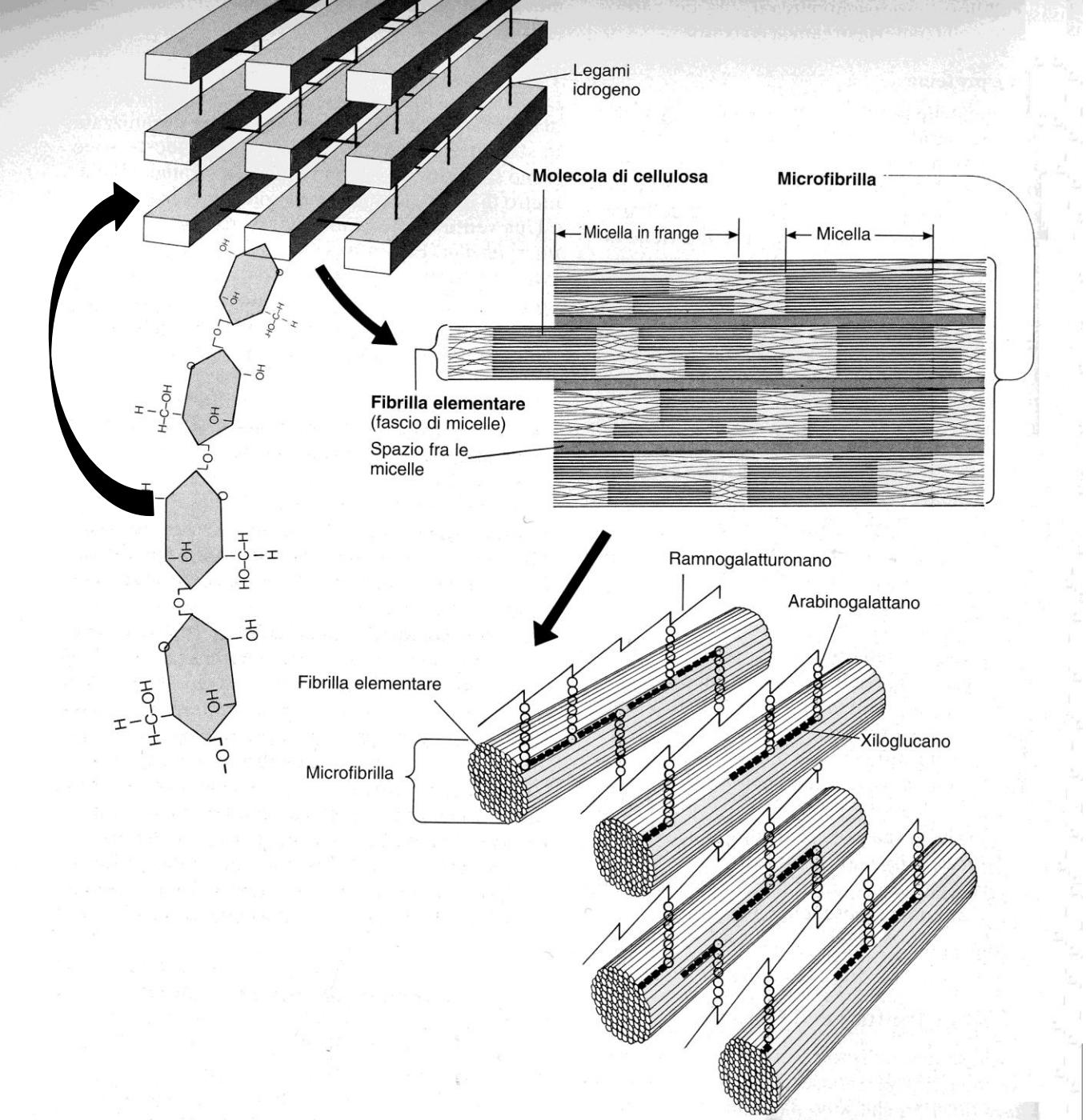


α-glucosio





Un tratto della catena della cellulosa e di quella dell'amilosio (la forma non ramificata dell'amido). La cellulosa è una molecola lineare; invece nell'amido i legami α-1,4 costringono la catena a ripiegarsi. Nel caso particolare dell'amilosio la molecola assume una forma elicoidale.
(Da Dickerson e Geis «Chimica, materia e universo», Zanichelli).



Struttura delle fibrille di cellulosa della parete. In alto: modello

microfibrille in macrofibrille (da AL-

rabinosio e del galattosio) mediante un

Macromolecola

↓

Fibrilla elementare

↓

Microfibrilla

↓

Macrofibrilla

Complessi rosetta della cellulosa sintasi (vecchio modello)

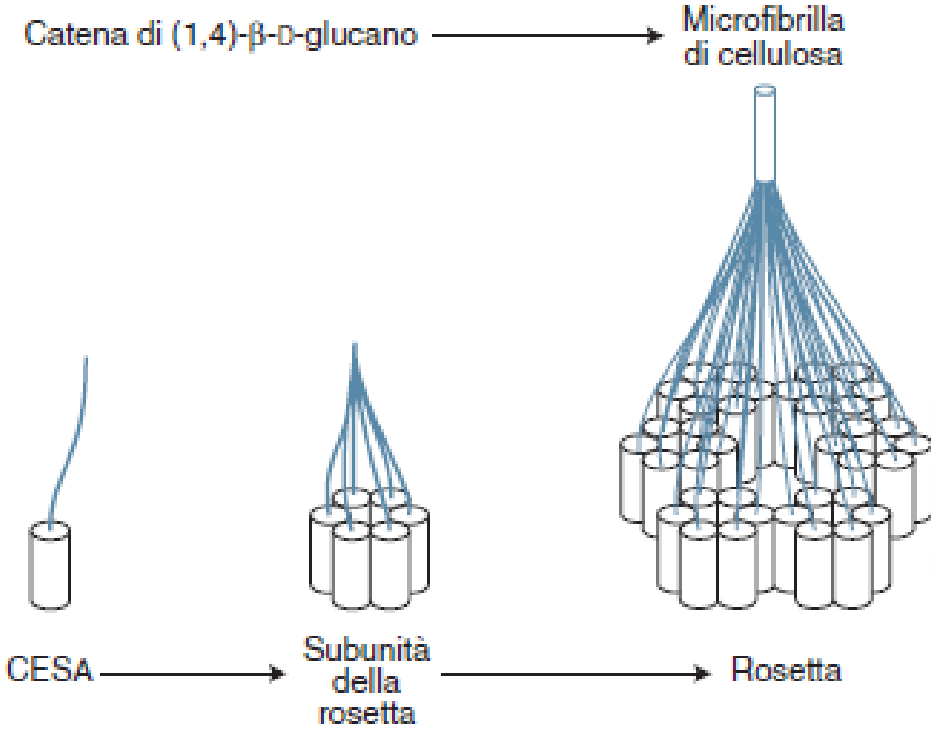


Figura 2.8
Struttura schematica di un complesso della rosetta, formato da sei subunità ciascuna contenente sei polipepdidi di cellulosa sintasi (CESA). Da ogni CESA viene sintetizzato un poliglucano (filamento azzurro) che si associa agli altri a formare una microfibrilla di cellulosa.

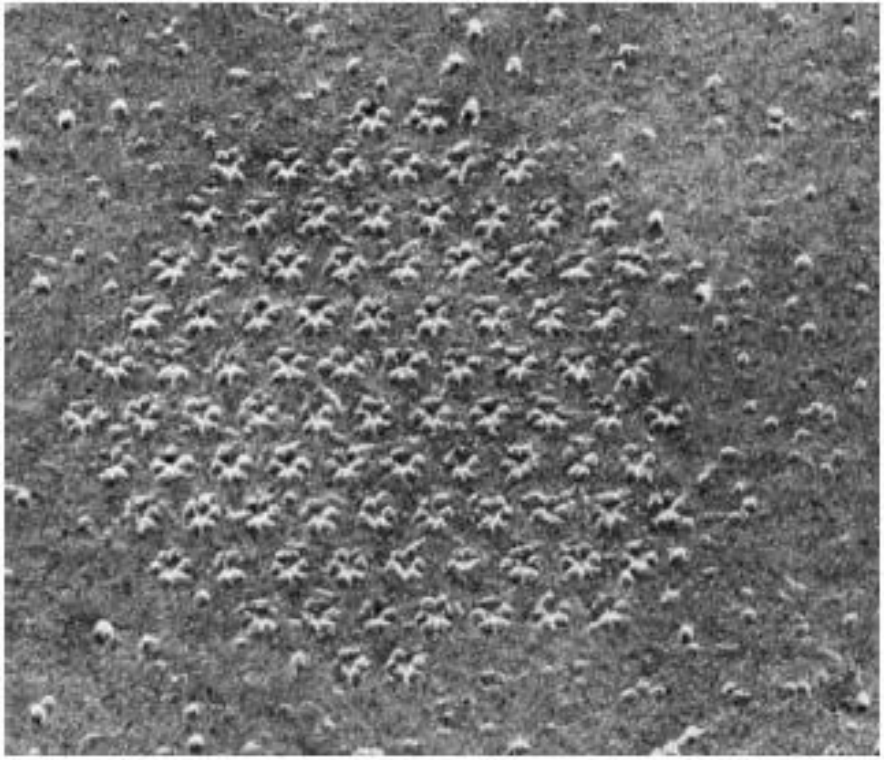


Figura 2.9
Micrografia al microscopio elettronico a scansione di complessi rosetta dell'alga verde *Spirogyra* (da T.H. Giddings et al., 1980).

Macromolecola
↓
Fibrilla elementare
↓
Microfibrilla
↓
Macrofibrilla

Studi sul batterio Rhodobacter sphaeroides

Complessi rosetta della cellulosa sintasi (Nuovo modello)

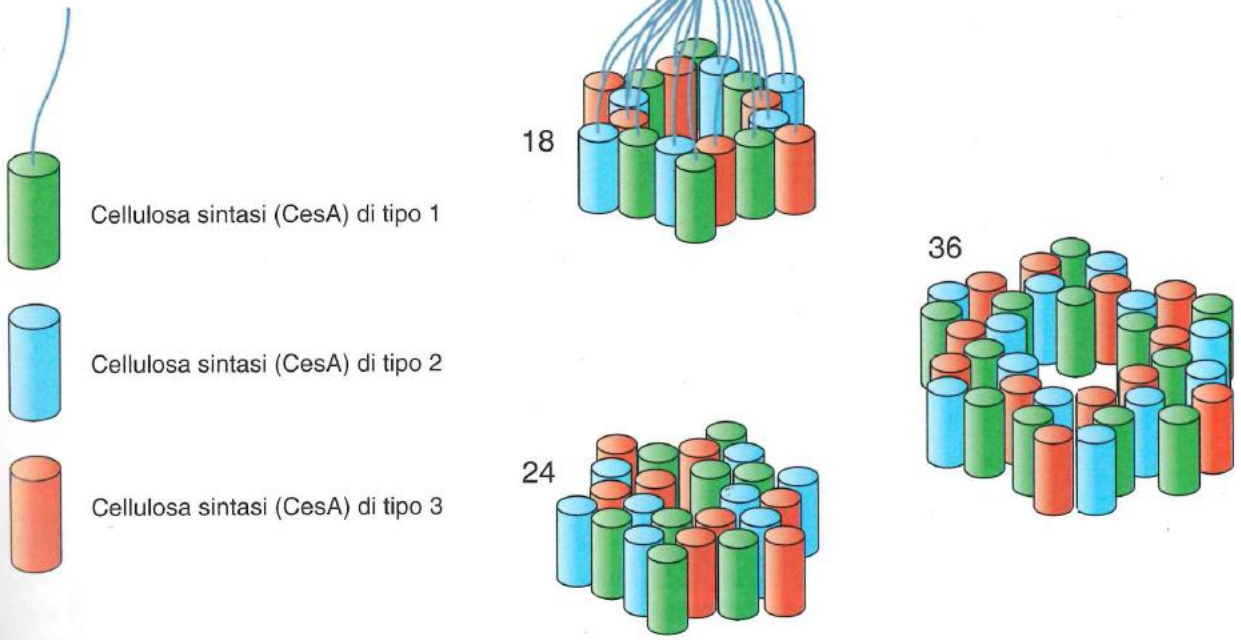
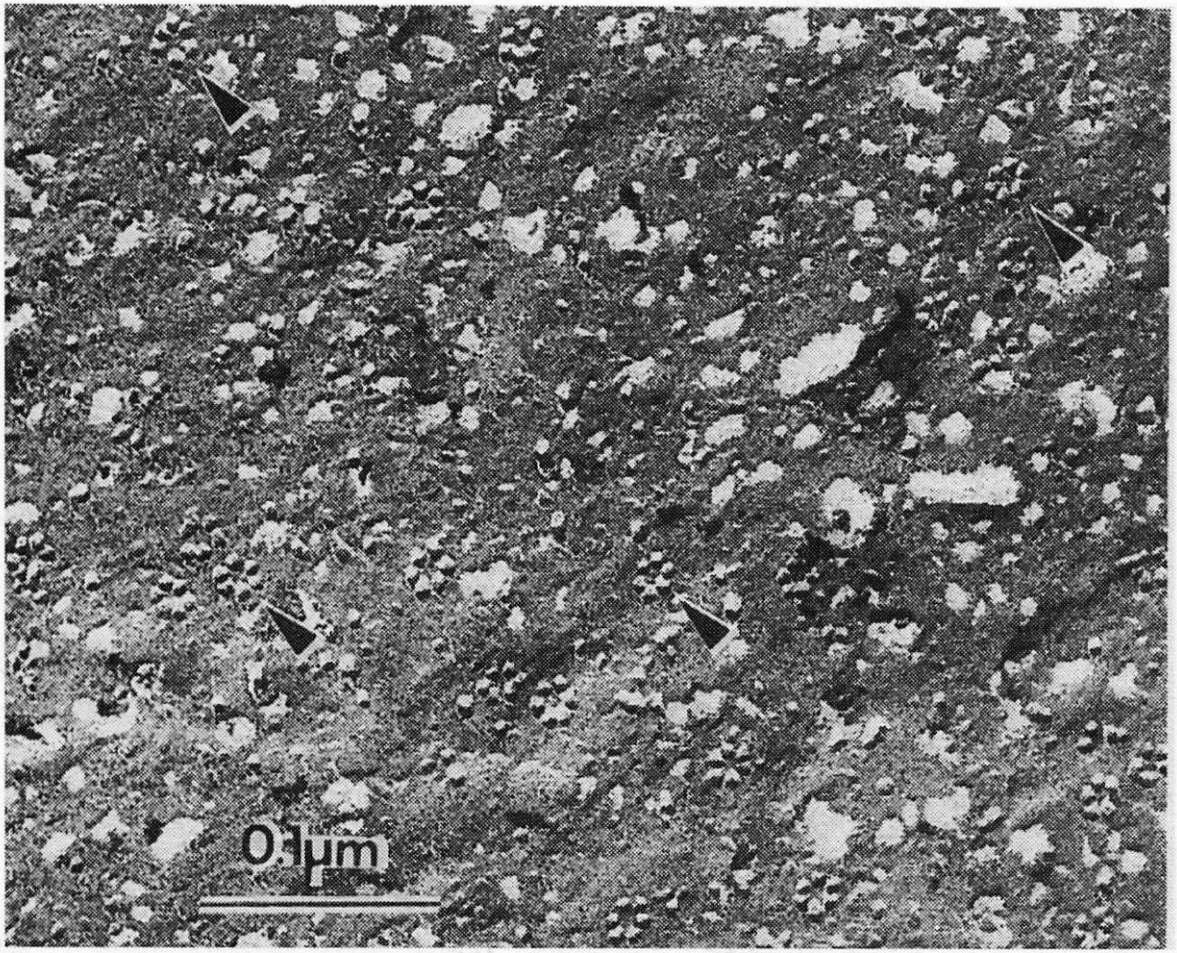
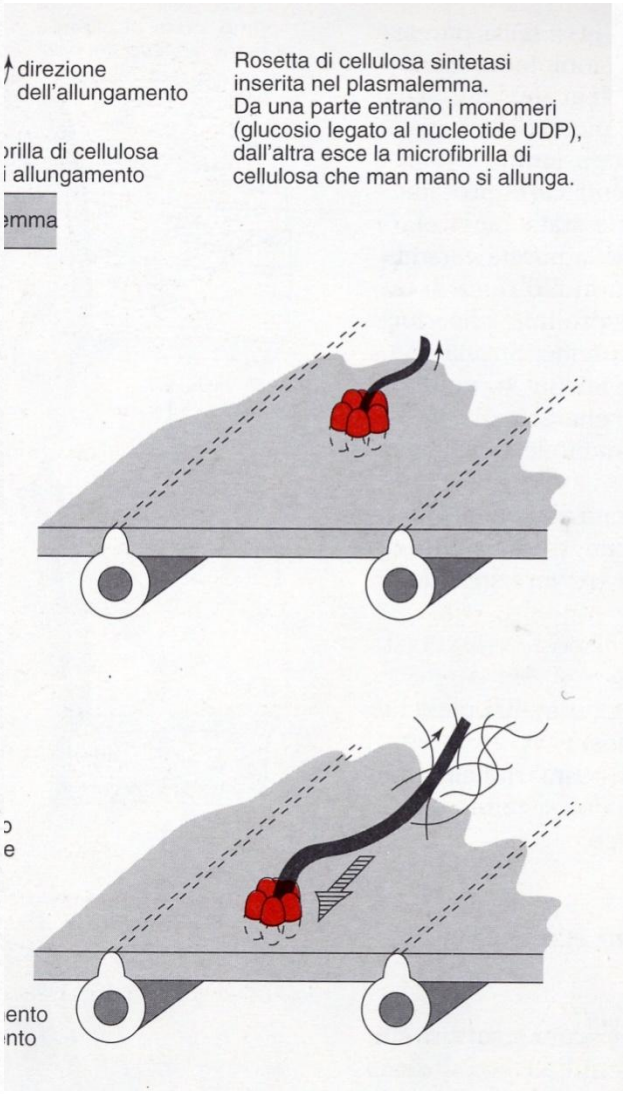


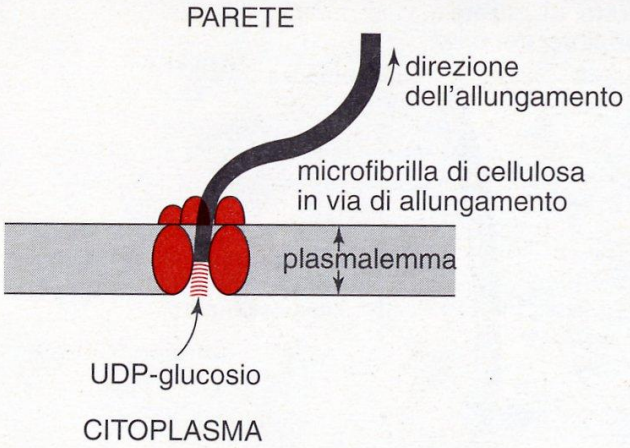
FIGURA 2.8

Struttura schematica di un complesso della cellulosa sintasi (CSC, o rosetta), formato da subunità ciascuna contenente 18, 24 o 36 polipeptidi di cellulosa sintasi (CESA). Da ogni CESA viene sintetizzato un β-glucano (filamento grigio-azzurro) che si associa agli altri a formare una microfibrilla di cellulosa.

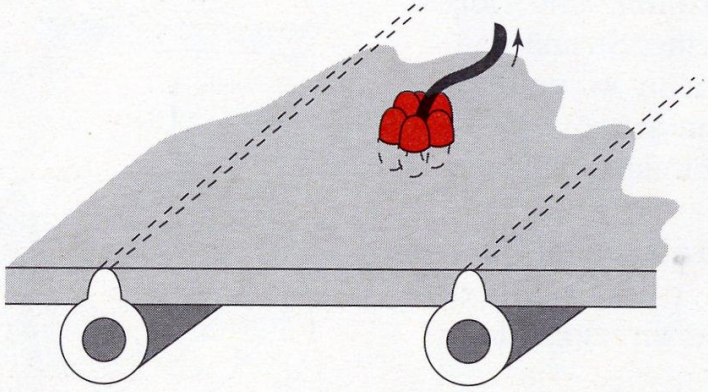




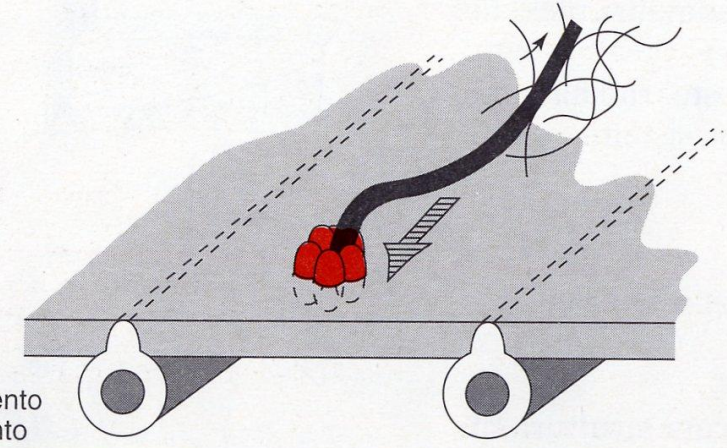
Complessi di Cellulosa-sintasi a rosetta nella membrana cellulare del muschio *Funaria hygrometrica* (protonema). Delle più di venti rosette visibili nella figura, quattro sono evidenziate dalle frecce. (Preparato al ME di U. Rudolph).



Rosetta di cellulosa sintetasi inserita nel plasmalemma. Da una parte entrano i monomeri (glucosio legato al nucleotide UDP), dall'altra esce la microfibrilla di cellulosa che man mano si allunga.

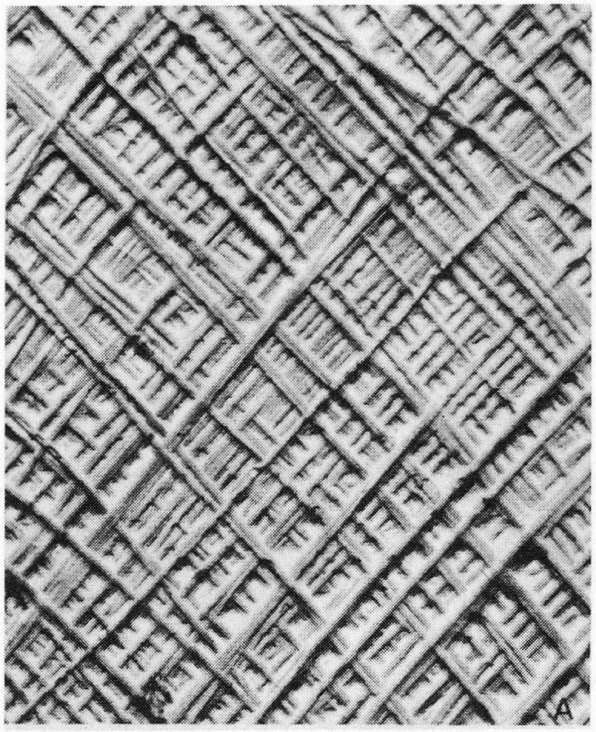


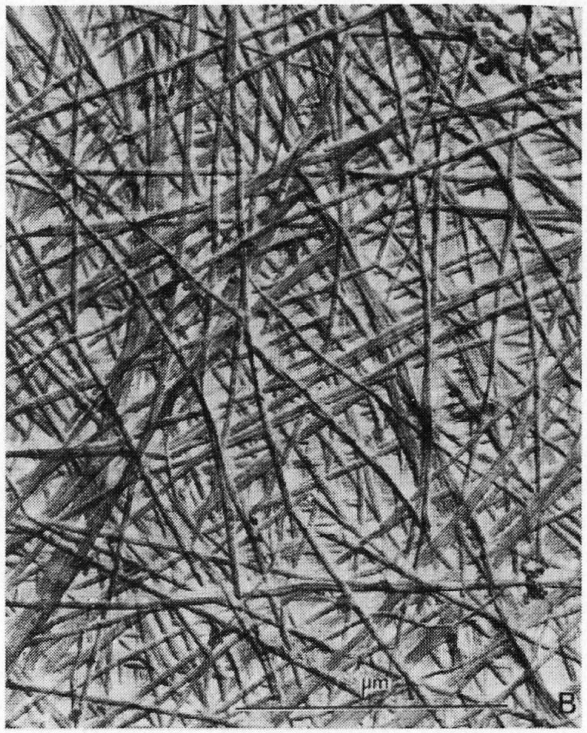
1. Rosetta di cellulosa sintetasi inserita in una zona del plasmalemma delimitata da due microtubuli. Dalla rosetta esce una microfibrilla di cellulosa in via di crescita.

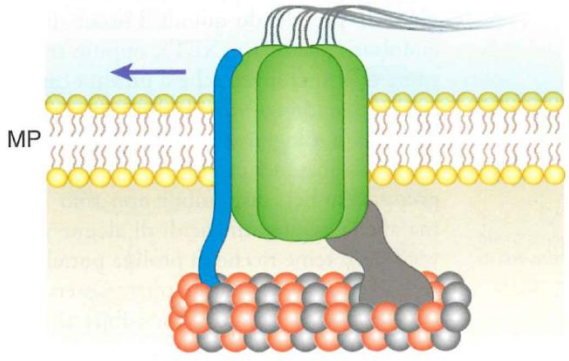


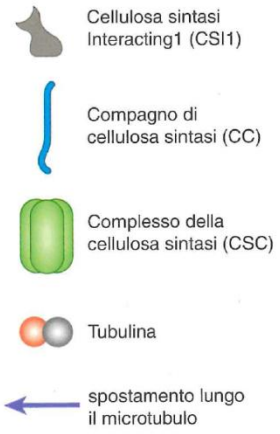
2. Stessa situazione in un istante successivo. La microfibrilla si è allungata e la sua estremità libera si è integrata nel reticolo di molecole della parete rimanendo bloccata. Di conseguenza l'ulteriore allungamento della microfibrilla provoca lo spostamento della rosetta in direzione opposta. Ma lo spostamento di questa può avvenire solo nella zona di plasmalemma delimitata dai microtubuli. A sua volta lo spostamento della rosetta determina l'orientamento della microfibrilla in crescita.

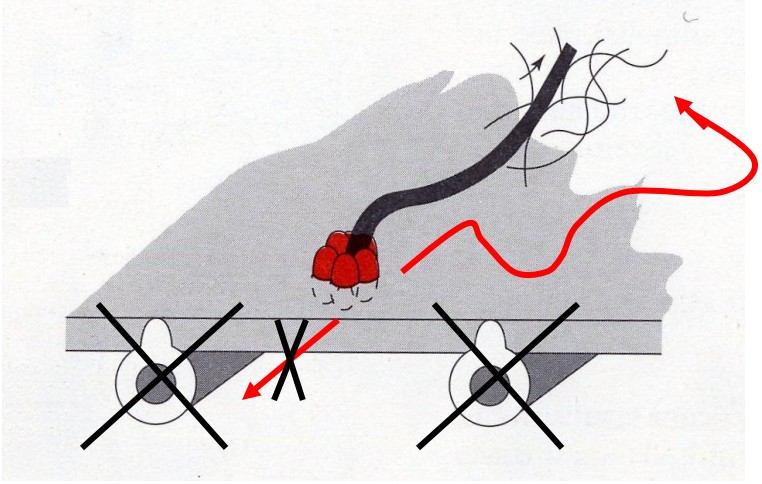
Tessitura parallela e tessitura diffusa di microfibrille di cellulosa. La parete dell'alga *Oocystis solitaria* consiste di molte lamelle poste l'una sull'altra. **A**, in condizioni normali le fibrille di armatura decorrono in senso parallelo in una data lamella, di lamella in lamella avviene un cambiamento di direzione di 90° (tessitura incrociata). **B**, la colchicina, sotto la cui azione si dissolvono i microtubuli corticali posti all'interno della membrana cellulare, determina una tessitura diffusa. (A e B stesso ingrandimento; foto al ME: D.G. Robinson).











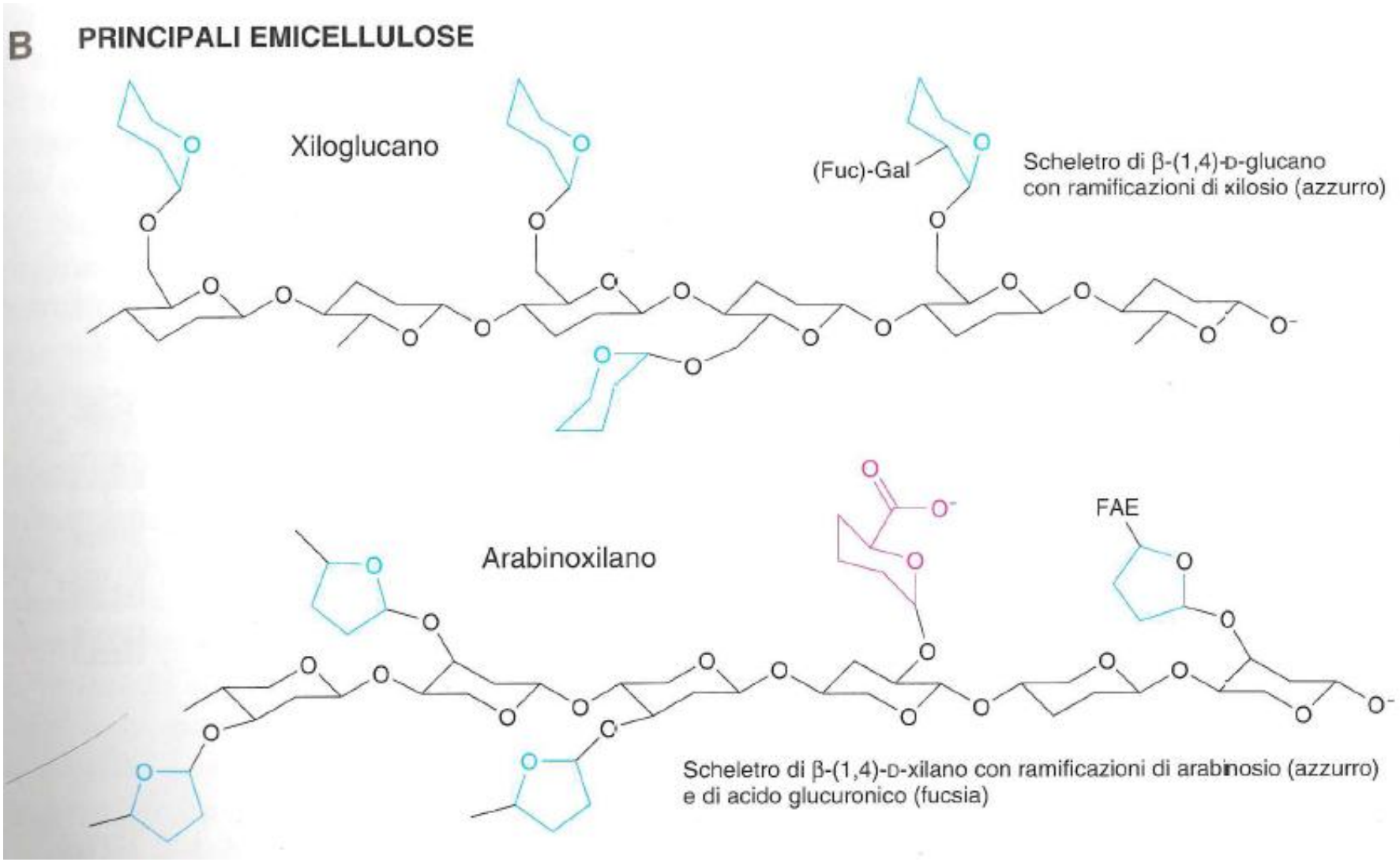
COMPOSIZIONE della MATRICE

Gli spazi tra le fibrille di cellulosa sono occupati **dalla MATRICE** costituita **principalmente da H_2O, e poi da EMICELLULOSE, SOSTANZE PECTICHE (o sali di acidi pectici es. pectati di Ca o Mg) e GLICOPROTEINE.**

La composizione chimica della matrice varia considerevolmente tra specie diverse, tra cellule della stessa pianta e durante i processi di crescita e differenziamento dello stesso tessuto.

- Le **EMICELLULOSE** sono un gruppo eterogeneo di polisaccaridi ed interagiscono con le fibrille di cellulosa e con gli altri polimeri della matrice.
- Sono costituite da catene lineari di glucosio che hanno ramificazioni laterali formate da diversi tipi di zuccheri (es. xilosio, galattosio, fucosio).

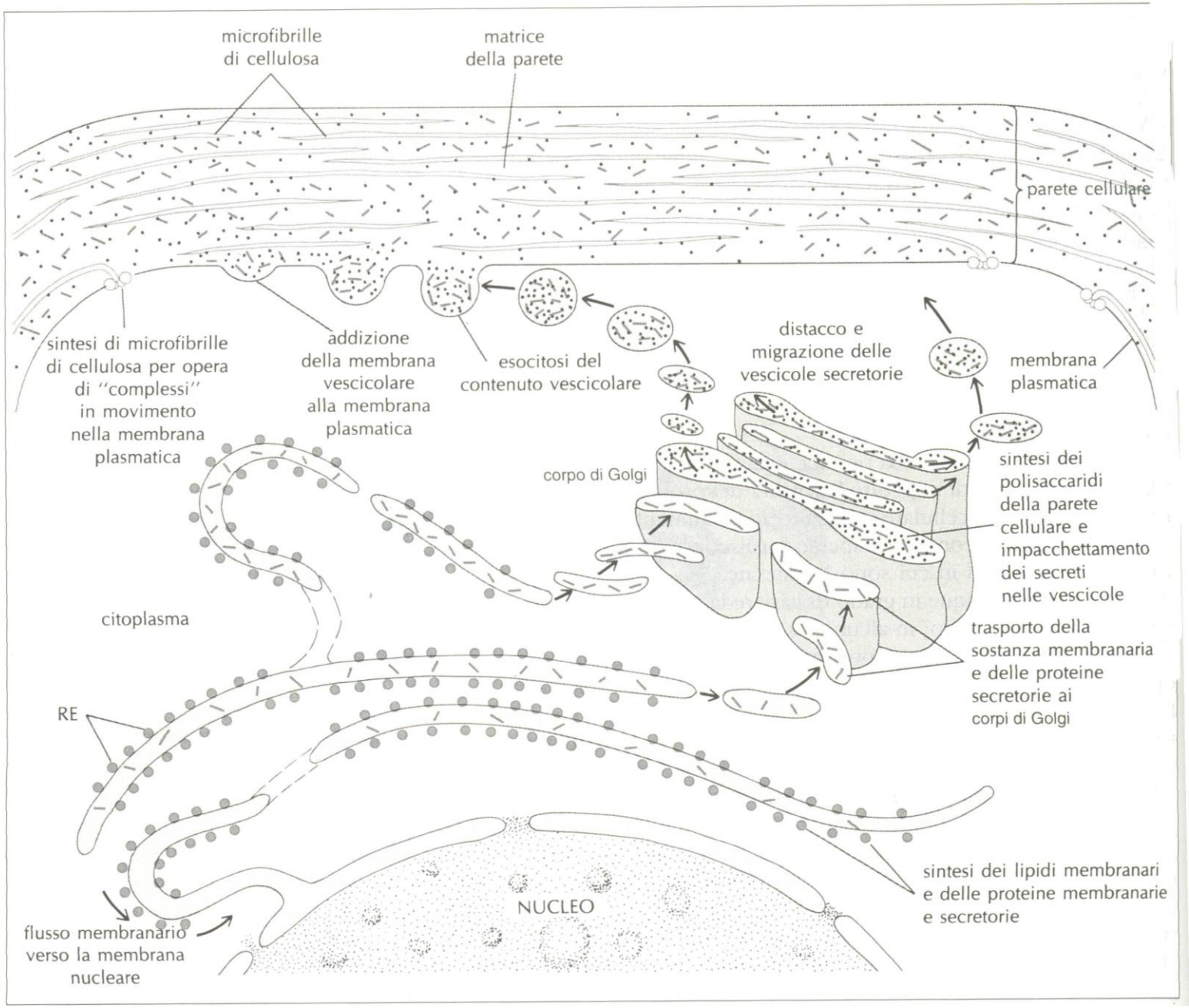
EMICELLULOSE

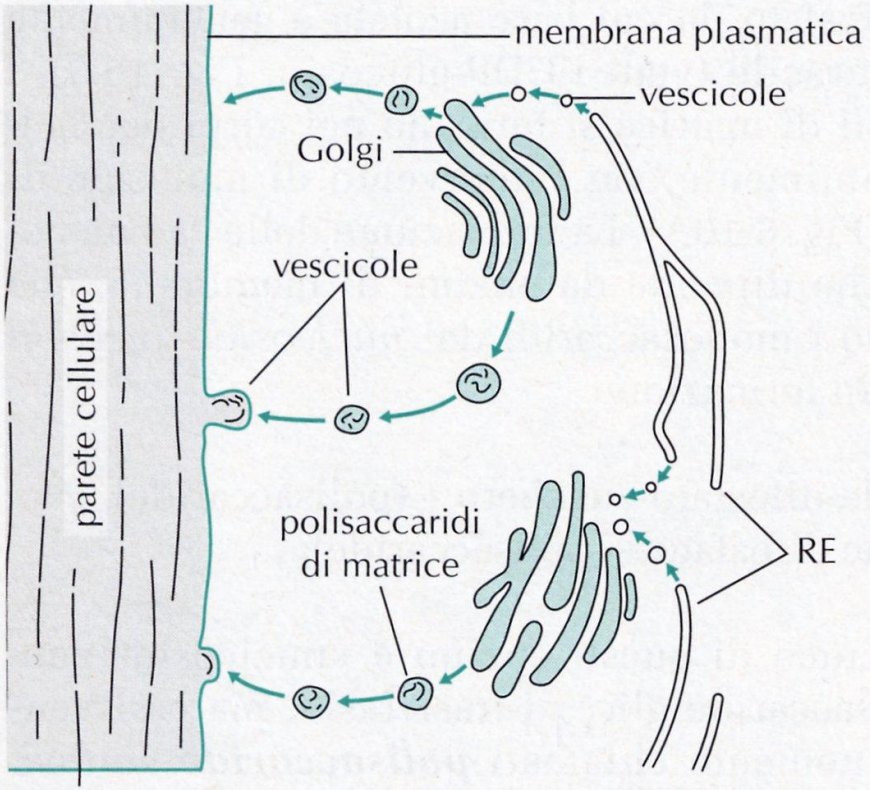


GLICOPROTEINE di PARETE:

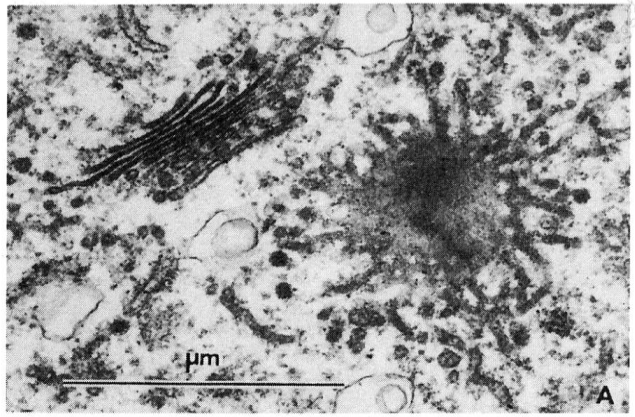
Proteine strutturali (ricche di aminoacidi quali serina, idrossiprolina e lisina che formano legami covalenti con le emicellulose) alle quali si legano molecole di zuccheri in particolare arabinosio e galattosio.

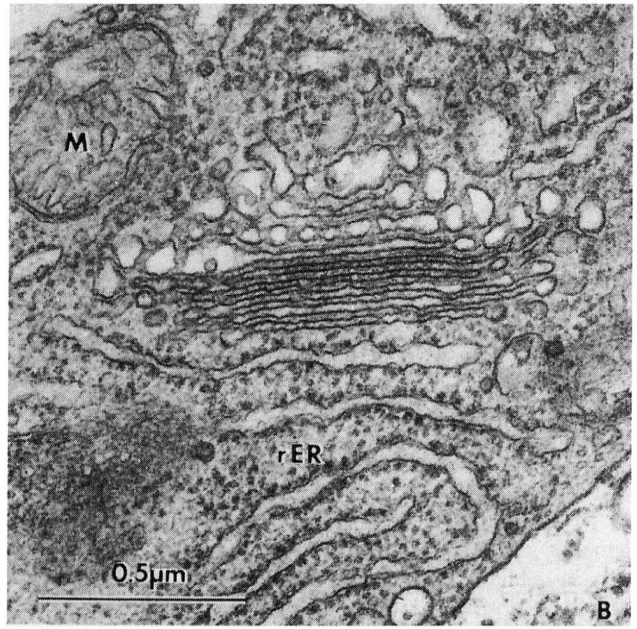
- **Glicoproteine ricche in idrossiprolina** (**HGRP**; **e.g. ESTENSINE** che favoriscono l'estensibilità della parete);
- **Proteine ricche in prolina (PRP)**
- **Proteine ricche in glicina (GRP)**
- **Arabinogalattanoproteine (AGP)**
- **LECTINE** che svolgono un ruolo importante nei processi di riconoscimento e compatibilità tra le varie cellule (es. impollinazione e resistenza ai parassiti)


microfibrille di cellulosa
matrice della parete
parete cellulare
sintesi di microfibrille di cellulosa per opera di "complessi" in movimento nella membrana plasmatica
addizione della membrana vescicolare alla membrana plasmatica
esocitosi del contenuto vescicolare
distacco e migrazione delle vescicole secretorie
membrana plasmatica
corpo di Golgi
sintesi dei polisaccaridi della parete cellulare e impacchettamento dei secreti nelle vescicole
citoplasma
trasporto della sostanza membranaria e delle proteine secretorie ai corpi di Golgi
RE
NUCLEO
sintesi dei lipidi membranari e delle proteine membranarie e secretorie
flusso membranario verso la membrana nucleare



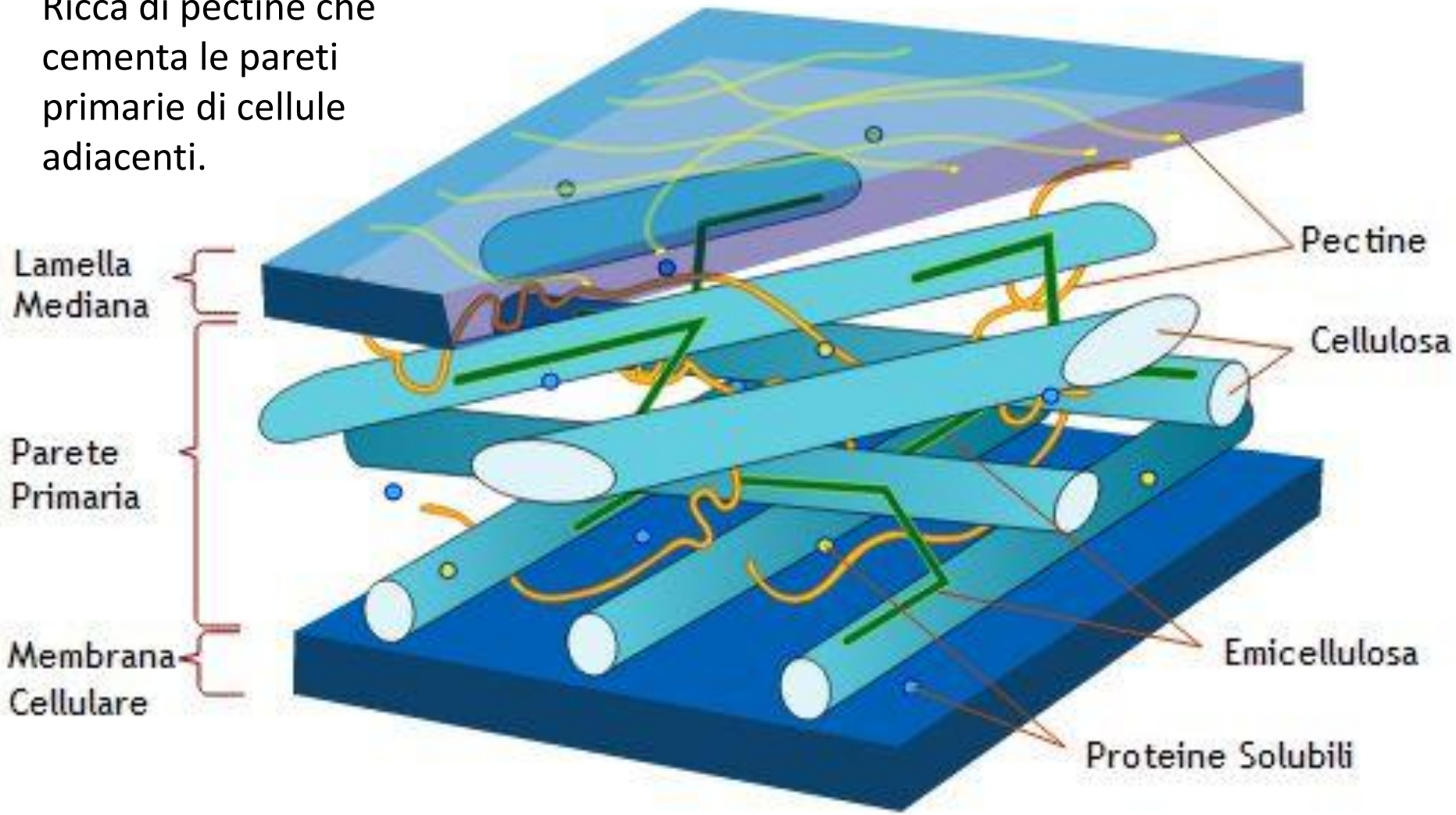
L'assemblaggio dei polisaccaridi nella parete cellulare (schematico). I polisaccaridi di matrice, sintetizzati da enzimi localizzati nell'apparato del Golgi, vengono trasportati mediante vescicole che poi si fondono con la membrana plasmatica e rilasciano il loro contenuto nella parete.



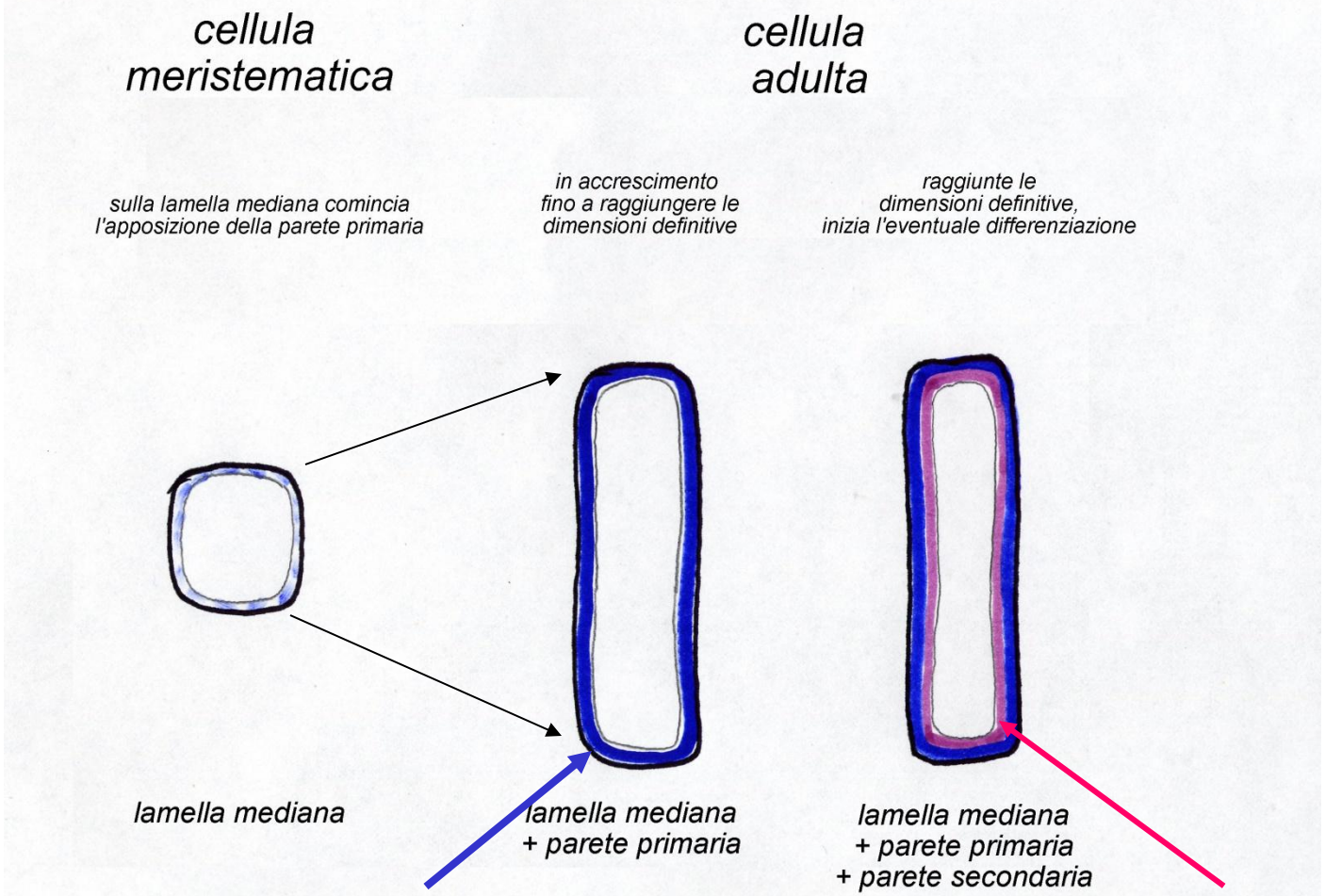


Dittiosomi al ME. **A**, un dittiosoma sezionato trasversalmente e uno sezionato tangenzialmente in una cellula della ligula dell'isoete *Isoëtes lacustris*; periferia delle cisterne a rete tubulare e con molte piccole vescicole. **B**, dittiosoma in sezione trasversale in una cellula ghiandolare di *Veronica beccabunga*; lato *cis* di sotto, rivolto verso l'rER; sul lato *trans* filamenti sottili del Golgi riconoscibili tra le cisterne; le cisterne più esterne della faccia *trans* sono fenestrate e dilatate («reticolo *trans* del Golgi»); M mitocondrio. (A, foto al ME di U. Kristen; B, foto al ME di J. Lockhausen e di U. Kristen).

Ricca di pectine che cementa le pareti primarie di cellule adiacenti.



Microfibrille di cellulosa unite trasversalmente da **emicellulose** (legami H) impregnato da intreccio di **pectine** e **polisaccaridi idrofili**



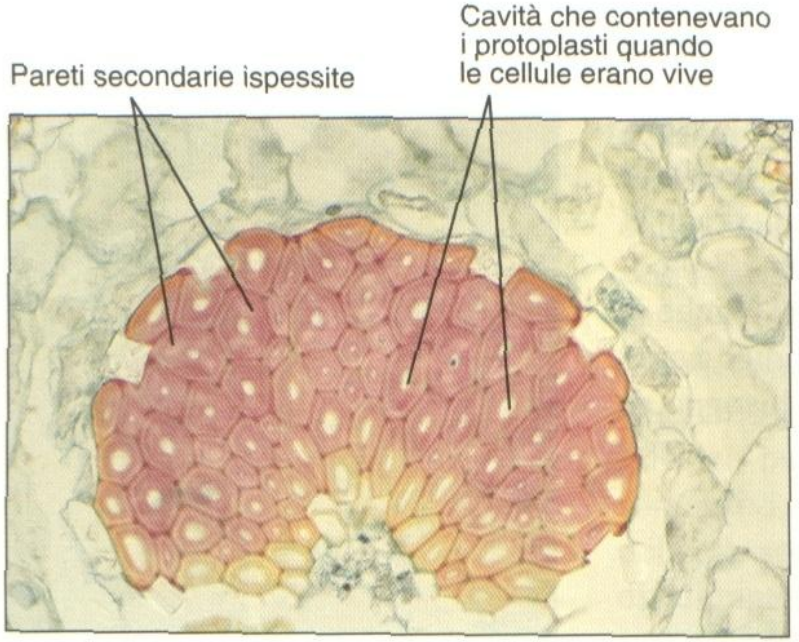
Lo spessore della parete primaria si mantiene costante per la deposizione di nuovo materiale

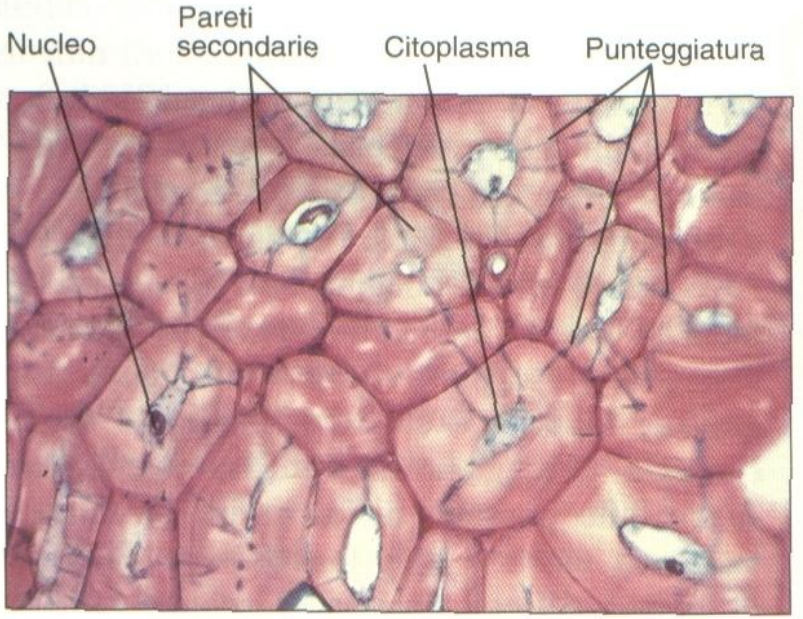
Lo spessore della parete secondaria aumenta progressivamente a spese del volume cellulare

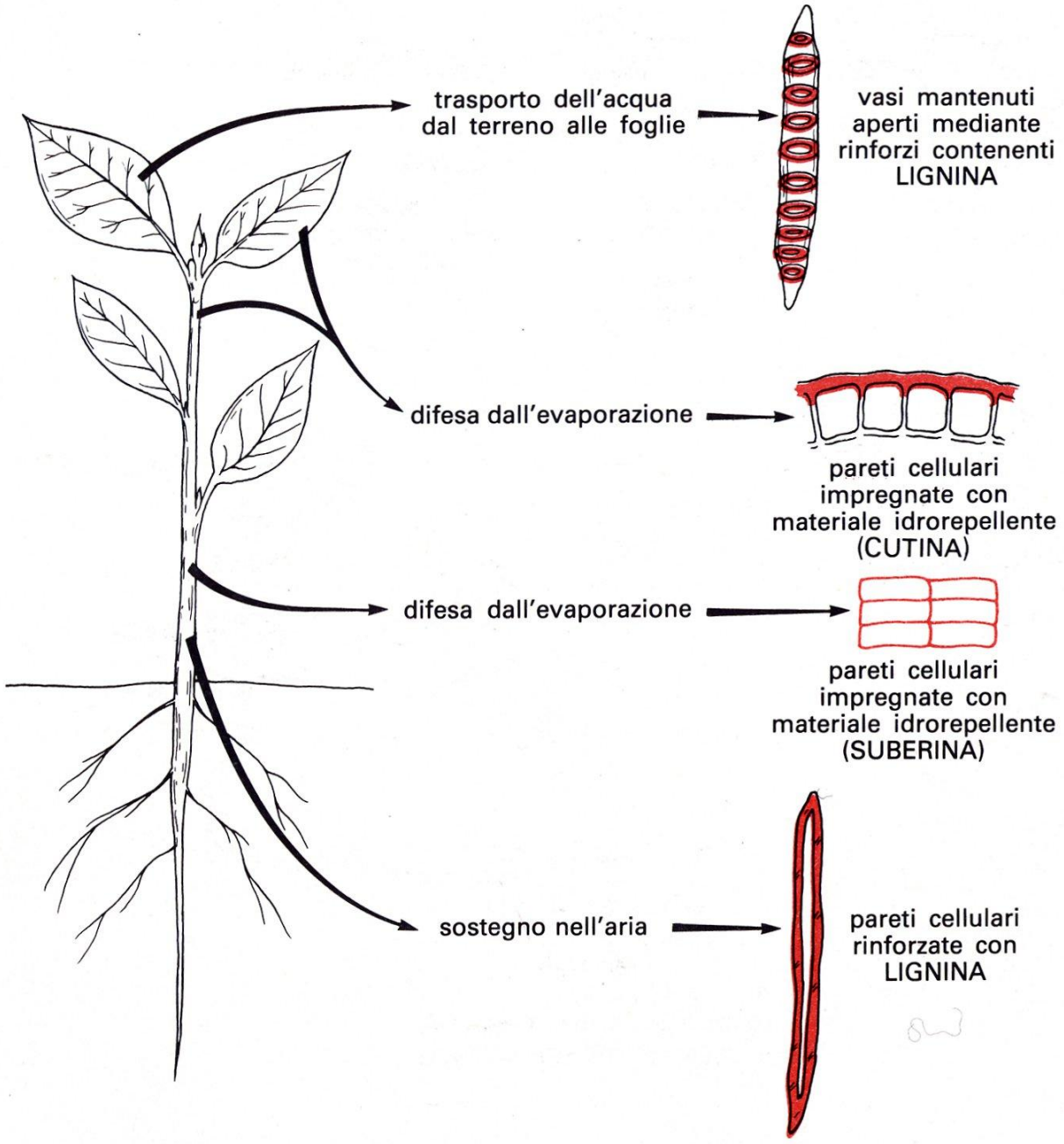
Le dimensioni aumentano **Il volume cellulare diminuisce**

PARETE SECONDARIA

- (si forma dopo l'accrescimento per distensione a ridosso della parete primaria, in senso centripeto per apposizione di lamelle sovrapposte):
- ***MATERIALE FIBRILLARE*** cellulosa con fibrille strettamente impachettate e parallele con orientamento rispetto all'asse longitudinale della cellula diverso a seconda dei vari strati (95% del peso fresco),
- ***MATRICE*** **(**molto scarsa).

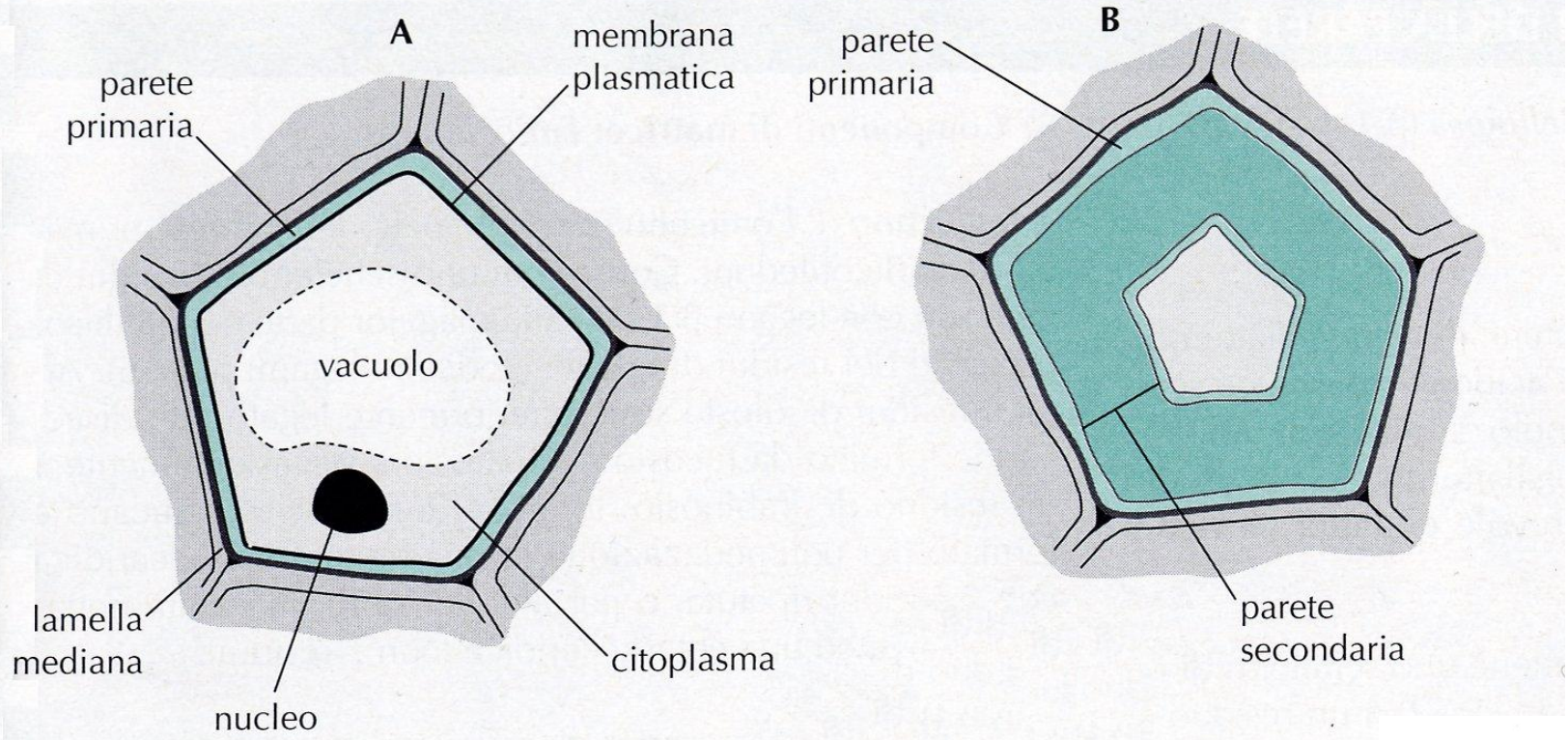


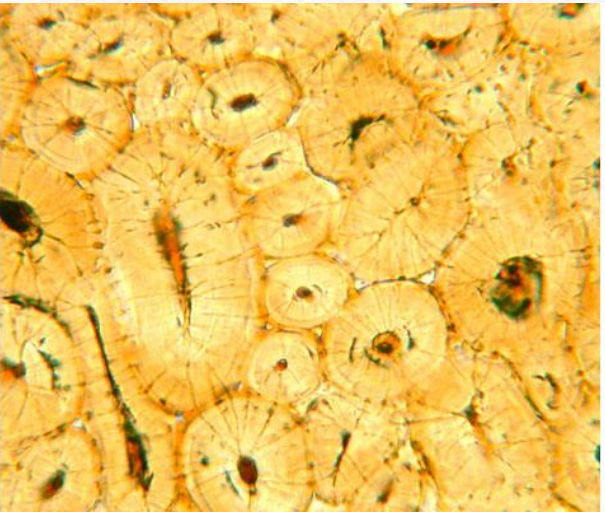




L'«invenzione» della cutina, della suberina e della lignina durante l'evoluzione delle piante è stata un presupposto indispensabile per la conquista delle terre emerse. Senza queste sostanze non sarebbero infatti stati possibili il sostegno nell'ambiente aereo, la protezione dall'evaporazione e il trasporto dell'acqua. È probabile che «precursori» evolutivi di queste sostanze esistessero già negli antenati delle piante terrestri. Sostanze simili alla lignina forse avevano una funzione di difesa dai parassiti.

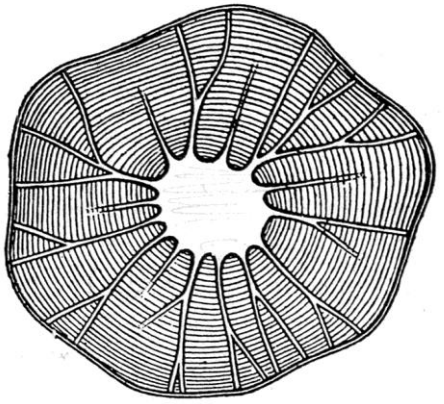
composizione della **parete secondaria** → **f(x)** che devono essere svolte dalla singola cellula, <u>molto più cellulosa che matrice</u>.



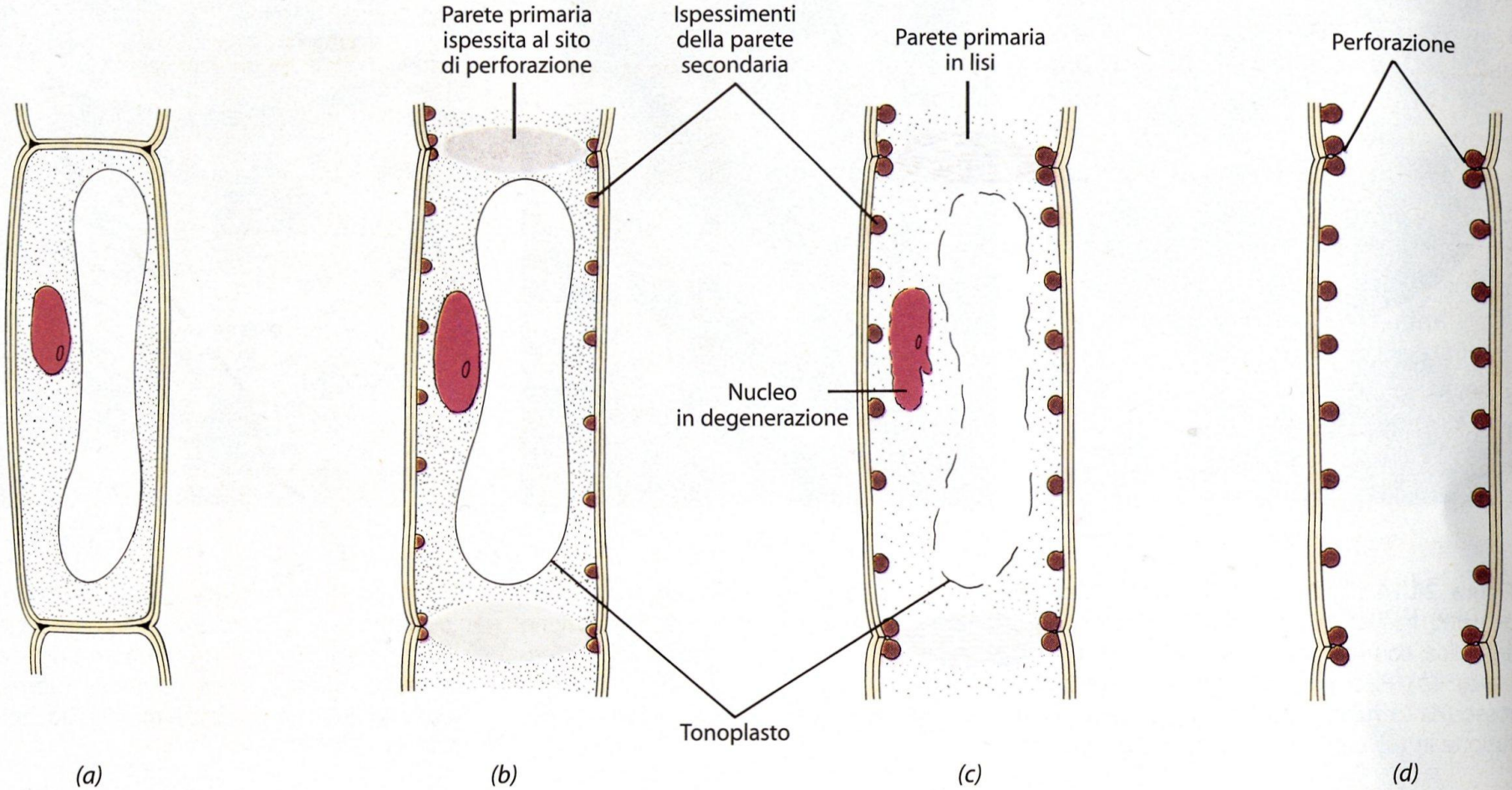


n sezioni trasversali di una cellula giovane (**A**), di u
formata (**B**)

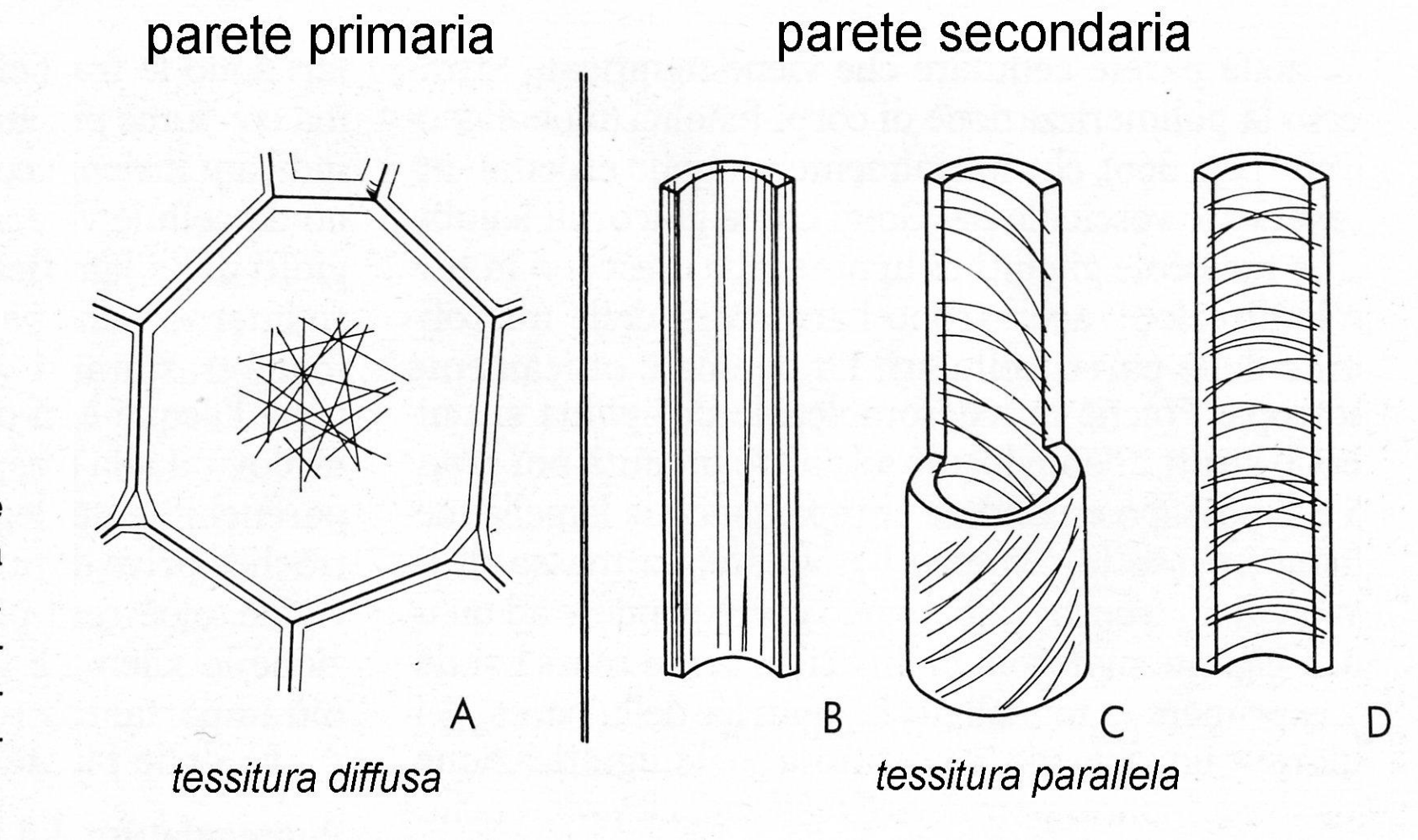
Disegno semischematico di una **sclereide** in sezione trasversale.



Vasi conduttori (xylema)



Schema di sviluppo dell'elemento di un vaso. (*a*) Elemento vasale giovane, altamente vacuolato, privo di parete secondaria. (*b*) La cellula si è estesa lateralmente, ha inizio la deposizione della parete secondaria, e la parete primaria a livello del sito di perforazione è aumentata in spessore. (*c*) La deposizione della parete secondaria è completata e la cellula è allo stadio di lisi. Il nucleo è in via di degenerazione, il tonoplasto si rompe e la parete a livello della perforazione si è parzialmente disintegrata. (*d*) La cellula è ora matura: manca di protoplasto ed è aperta alle due estremità.



Disposizione parallela delle macrofibrille di cellulosa nelle pareti secondarie. (B) tessitura **a fibra**; (C) tessitura **a vite**, la più frequente; (D) tessitura **tubolare**.

Fibre:
microfibrille di cellulosa unite in modo compatto, resistenti allo strappo, flessibili





→ **fibre tessili vegetali** economicamente importanti!!!

MODIFICAZIONI della PARETE SECONDARIA

La parete cellulare, durante la vita della cellula, assume spesso nuove caratteristiche chimico-fisiche, in stretto rapporto con le funzioni che deve svolgere.

- **INCROSTAZIONE**, cioè infiltrazione di materiali tra gli spazi interfibrillari delle molecole di cellulosa

- **APPOSIZIONE** sulla parete di materiali che ne aumentano l'impermeabilizzazione

- **GELIFICAZIONE**

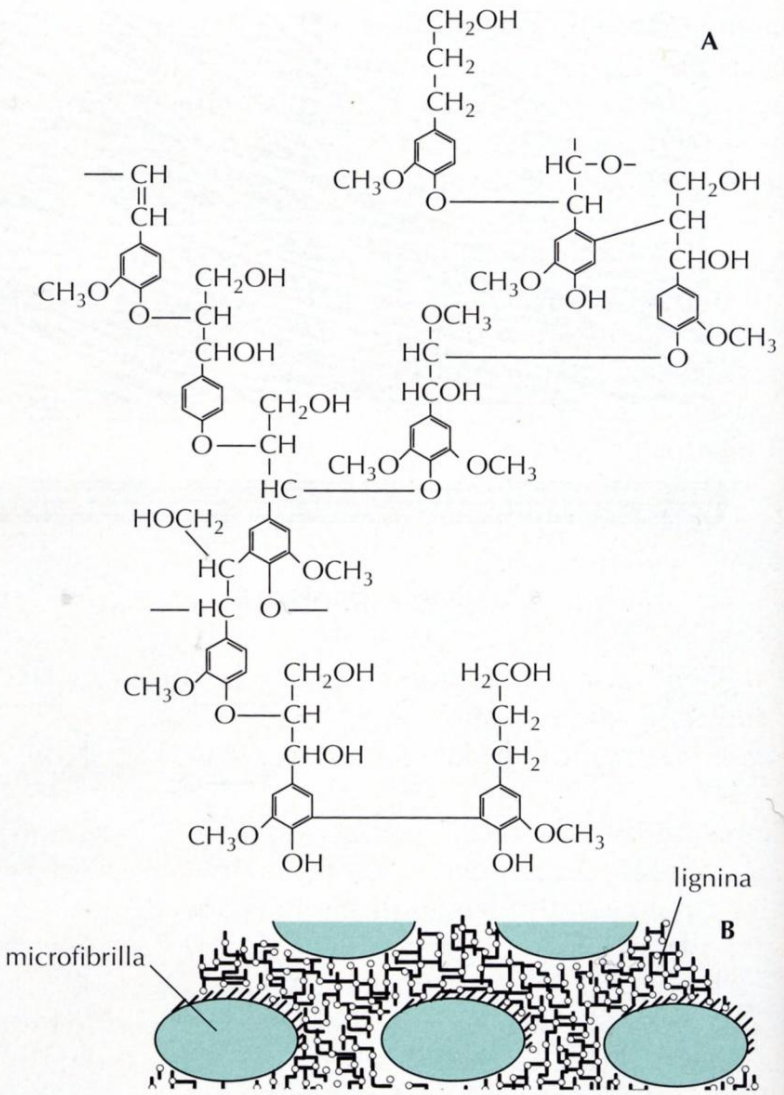
INCROSTAZIONE:

1) Lignificazione
2) Pigmentazione
3) Mineralizzazione

APPOSIZIONE:

1) Cutinizzazione
2) Cerificazione
3) Suberificazione

GELIFICAZIONE

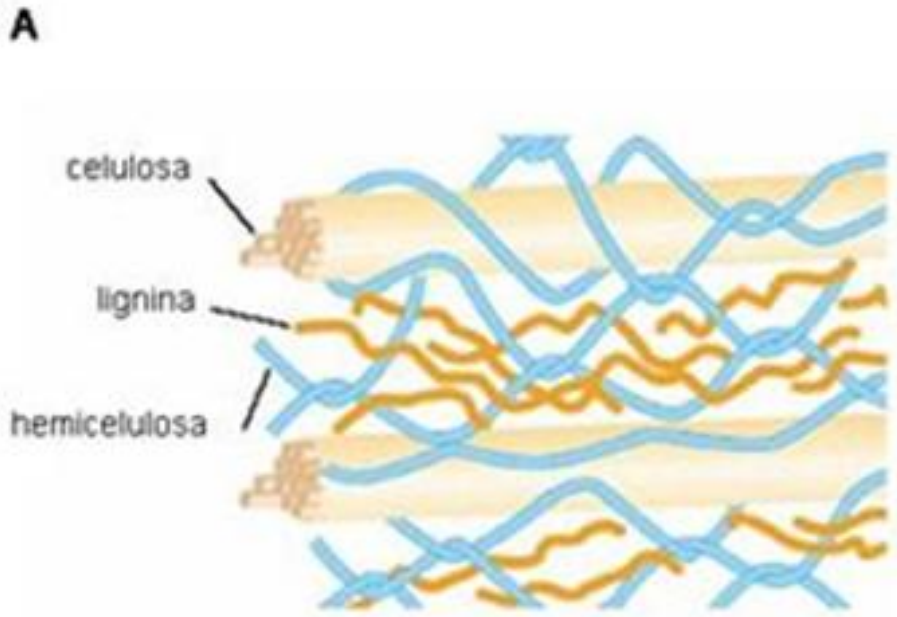


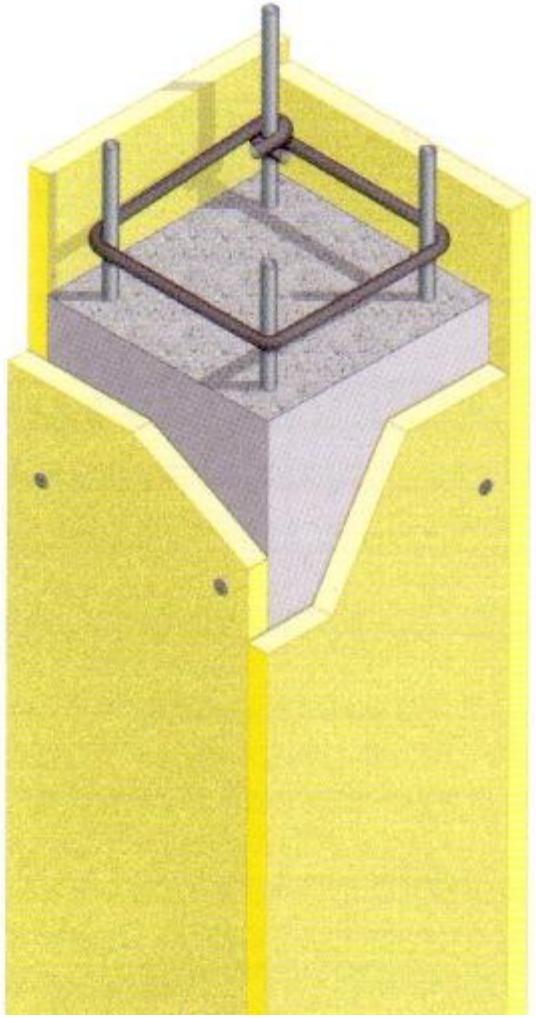
(**A**) Una struttura parziale di lignina. Le unità fenilpropanoidi sono legate con diversi tipi di legame a formare un reticolo complesso impermeabile all'acqua. (**B**) Schema delle subunità di lignina che si infiltrano a formare un reticolo nello spazio interposto fra le microfibrille di cellulosa.

La **lignina**: composti organici più abbondanti del mondo vivente.

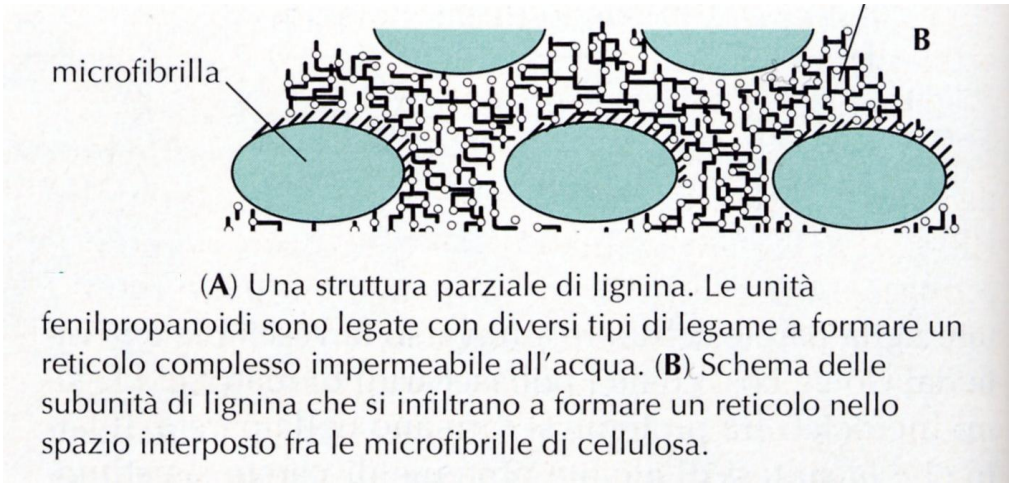
macromolecola che impregna tutta la materia legnosa.

composizione complessa, specie-specifica, di difficile caratterizzazione.
I polimeri di lignina sono strutture complesse con un peso molecolare di almeno 10.000 uma.





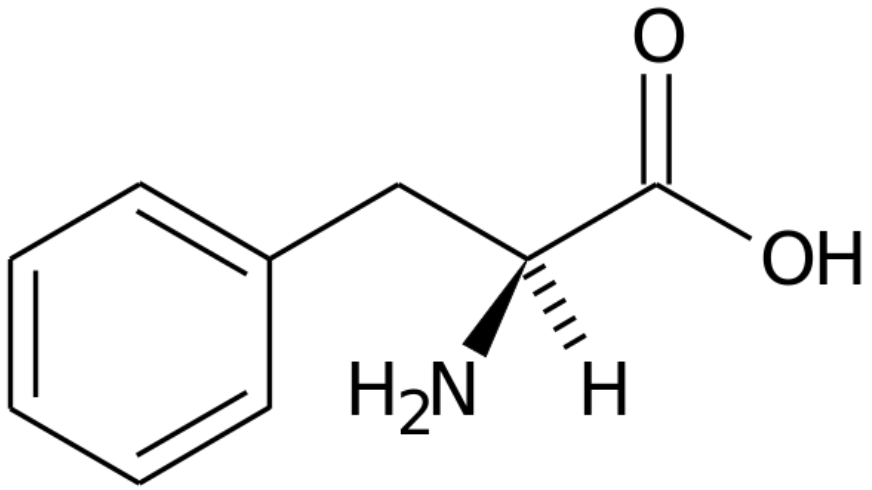
Incrostando le fibrille di cellulosa, l'eteropolimero che ne risulta conferisce rigidità e durezza alla parete, svolgendo una f(x) analoga al cemento nella struttura del cemento armato, mentre le fibrille di cellulosa assumono la funzione dei tondini di acciaio.



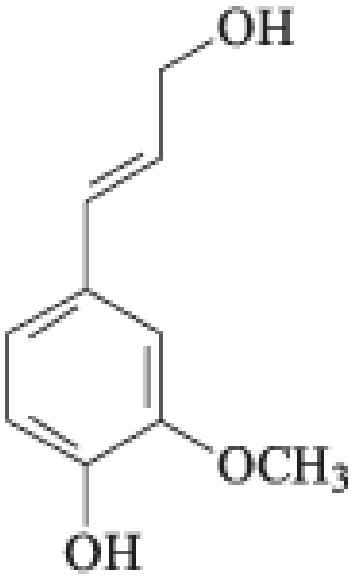
(**A**) Una struttura parziale di lignina. Le unità fenilpropanoidi sono legate con diversi tipi di legame a formare un reticolo complesso impermeabile all'acqua. (**B**) Schema delle subunità di lignina che si infiltrano a formare un reticolo nello spazio interposto fra le microfibrille di cellulosa.

La **LIGNINA** appartiene alla classe dei cosiddetti composti **FENILPROPANOIDI**: non è un carboidrato, bensì rientra nella classe dei composti aromatici.

Biosintesi: **aminoacido fenilalanina** → enzima fenilalanina-ammoniaca liasi → **ACIDO CINNAMICO**.

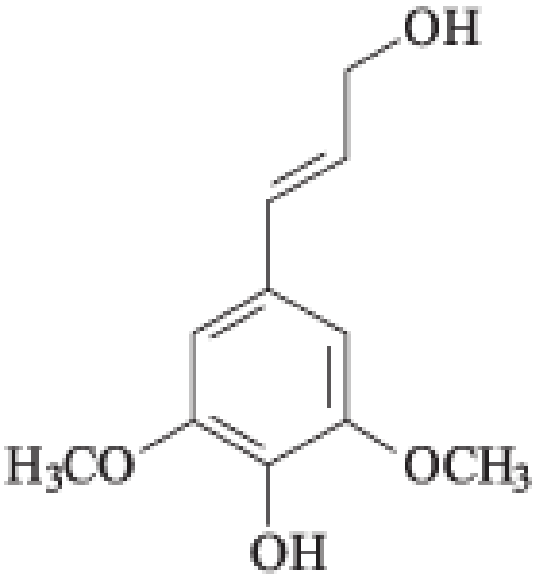


Idrossilazioni + metilazioni + riduzioni (enzimaticamente catalizzate) → tre monomeri precursori: **alcol cumarilico, alcol coniferilico** e **alcol sinapilico**.



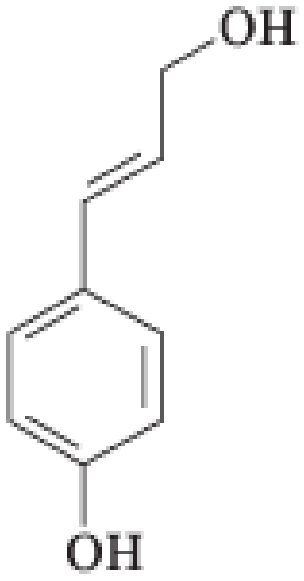
Álcool coniferílico

Conifere (e.g. *Pinus*, *Abies*)



Álcool sinapílico

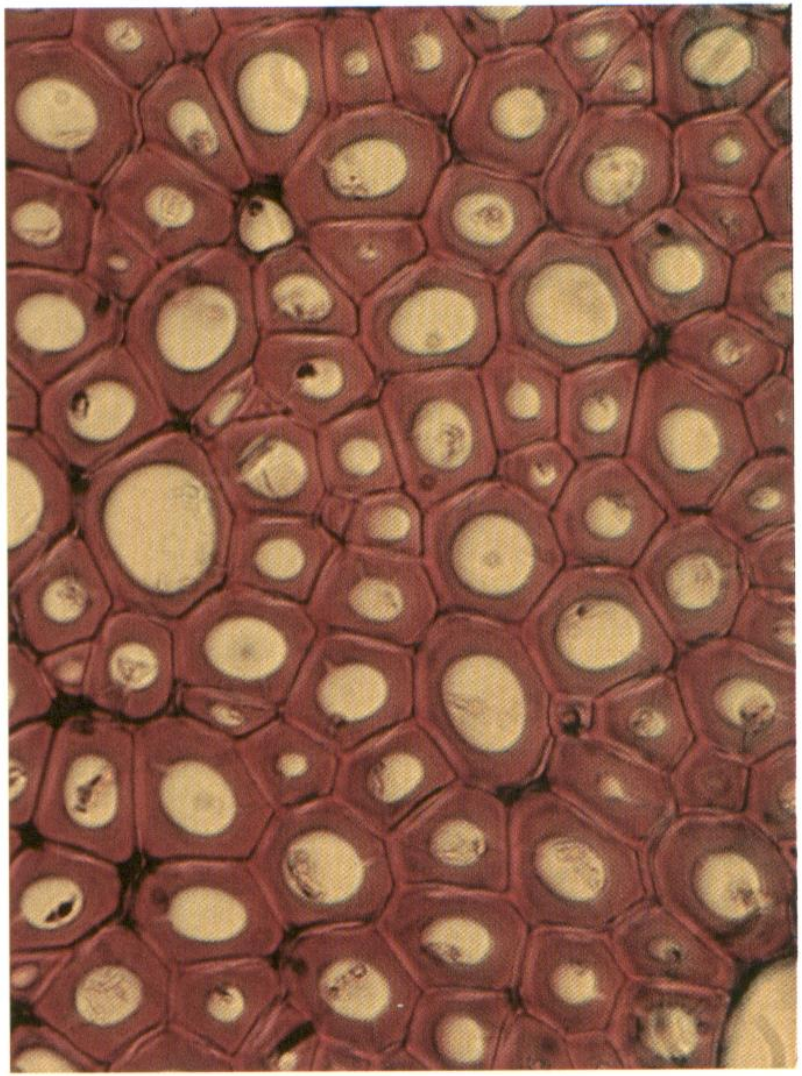
Angiosperme legnose (e.g. *Quercus*, *Acer*, *Tilia*)



Álcool *p*-cumarílico

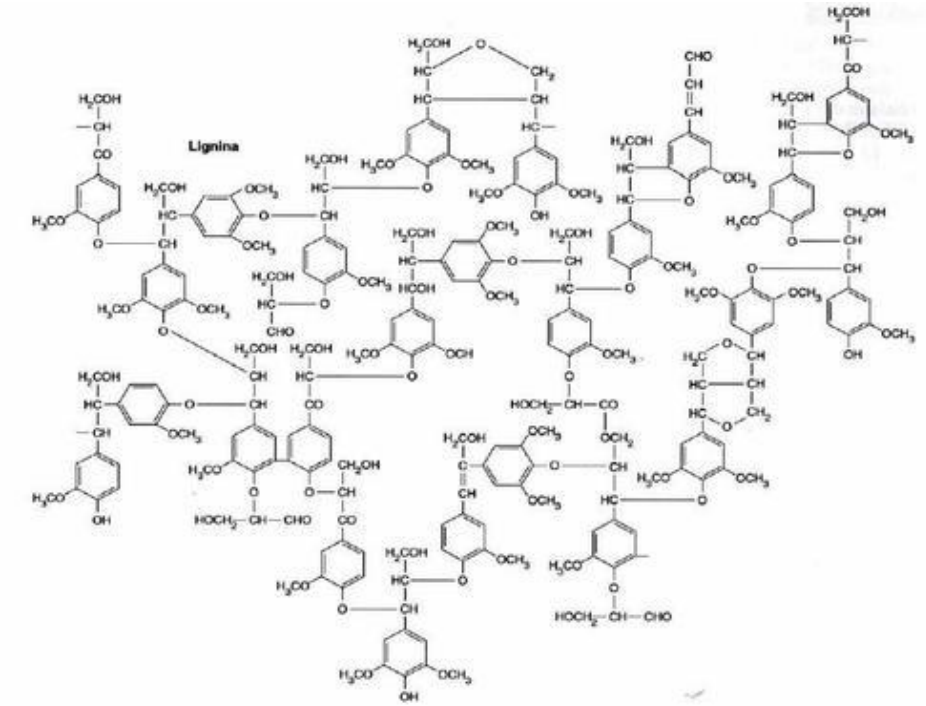
Monocotiledoni (e.g. graminacee: bambù, *Triticum* spp., *Zea mais*)

Colorante FLUOROGLUCINA ACIDA
→colore rosso delle fotografie.



Tav. 8 Fascio di fibre sclerenchimatiche in sezione trasversale. Esse appaiono poligonali e con le pareti fortemente ispessite e lignificate. Il lume cellulare è vuoto in quanto si tratta di cellule tipicamente morte.

La copolimerizzazione radicalica casuale dei tre precursori, catalizzata *in loco* dall'enzima **perossidasi**, porta alla formazione di una **macromolecola a struttura disordinata, tridimensionale, ramificata, insolubile in acqua e nei solventi più comuni**.



Lignina f(x):

- I tessuti lignificati → resistenza agli attacchi dei microorganismi, non permettendo la penetrazione di enzimi distruttivi nella parete cellulare.

- Impermeabilizzazione delle cellule: è idrofoba, destinando così a morte progressiva la cellula, che soltanto allora svolgerà il compito previsto (e.g. sostegno, trasporto della linfa grezza).

- L'acquisizione dei processi di lignificazione è stato un processo fondamentale nell'evoluzione delle piante terrestri. Questa molecola, di fatto, permette ai vegetali di accrescersi in altezza.

Se la cellulosa può essere degradata solo da alcuni organismi, un numero ancora più ridotto è in grado di degradare le lignine, che sono composti molto stabili.

Ceppo marcescente → parte residua = lignine variamente trasformate e degradate, parte delle quali entrano nella costituzione degli acidi umici del terreno.

Funghi del **marciume bianco** (ligninasi; processo aerobio)





Nel processo della produzione della carta (che consiste in primo luogo di cellulosa) la lignina deve essere rimossa. Questo processo, che comporta anche la sbiancatura della polpa di carta, è molto costoso e a forte impatto ambientale, perché richiede l'uso di acidi forti (es. H_2SO_4).

In molti legni la funzione di rinforzo delle lignine viene parzialmente sostituita dalla silice o dai carbonati, che incrostano la parete rendendola particolarmente dura e resistente. I legni acquistano così particolari caratteristiche molto apprezzate in «ebanisteria»: possono ad esempio essere lucidati.



Cassa con intarsi in legno pregiato, avorio, tartaruga e madreperla del Piffetti (1701-1777), considerato «tra i più originali protagonisti del supremo arredamento dell'intero mondo occidentale».

PIGMENTAZIONE

lignificazione + pigmentazione.

- **Impregnazione della parete ad opera di sostanze più o meno colorate (bruno-rossastre) come i TANNINI ed i POLIFENOLI.** Queste sostanze hanno **forti proprietà antisettiche**.
- Es: semi di ricino, legno d'ebano, cortecce degli alberi, foglie di *Quercus*

MINERALIZZAZIONE

- Deposizione di sostanze minerali quali **carbonato di calcio (Ca2CO3), ossalato di Ca, biossido di silicio (SiO2, silice)** che la rendono assai dura e resistente.

- **CALCIFICAZIONE** = incrostazione di carbonato di calcio: es. peli delle foglie di zucca ed in certe alghe. - Molte alghe sono impregnate di carbonato di calcio sono responsabili della formazione della roccia calcarea (es. alga *Chara*), mentre altre sono responsabili della formazione, assieme ai coralli, delle barrire coralline e degli atolli.



silicati (*Carex*, *Equisetum*)

carbonato di calcio (alghe calcaree, tricomi)

Lythophyllum stictaeforme



Il **pelo urticante dell'ortica** è dato da un ago di silice nella porzione apicale e da carbonato di calcio nella porzione basale.



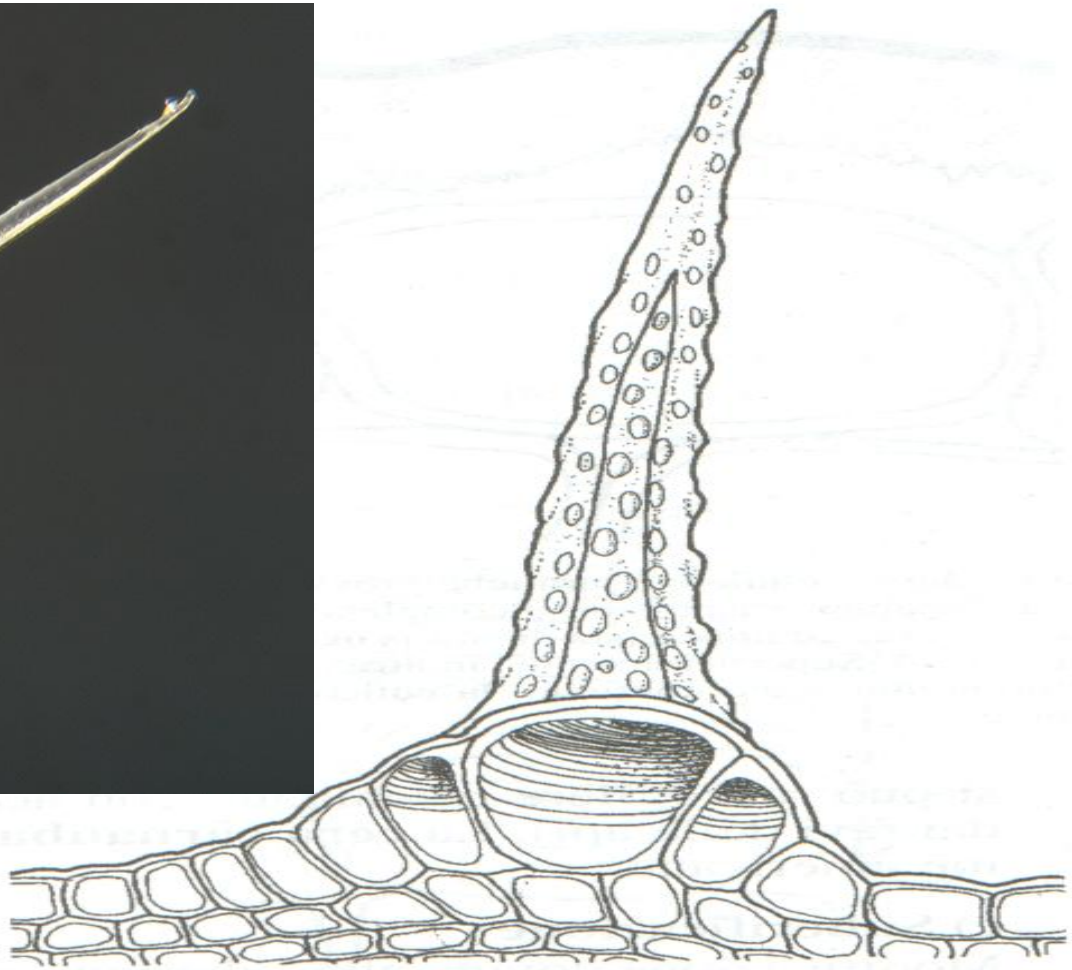


Fig. 3.8 - Parete cellulare mineralizzata: pelo con parete incrostata di carbonato di calcio (*Lithospermum*).

La parete cellulare in alcuni tessuti……

Le pareti secondarie di certi tessuti sono caratterizzate da altre molecole rispetto a cellulosa e lignina → specifica funzione che il tessuto svolge.

EPIDERMIDE e SUGHERO: tessuti di protezione esterni del corpo di una pianta, riducono la perdita di acqua (impermeabilizzazione) ed impediscono l'ingresso di agenti patogeni.

conquista delle terre emerse



Epidermide: copre tutte le strutture subaeree in struttura primaria (derivanti dai meristemi primari = foglie, giovani fusti)

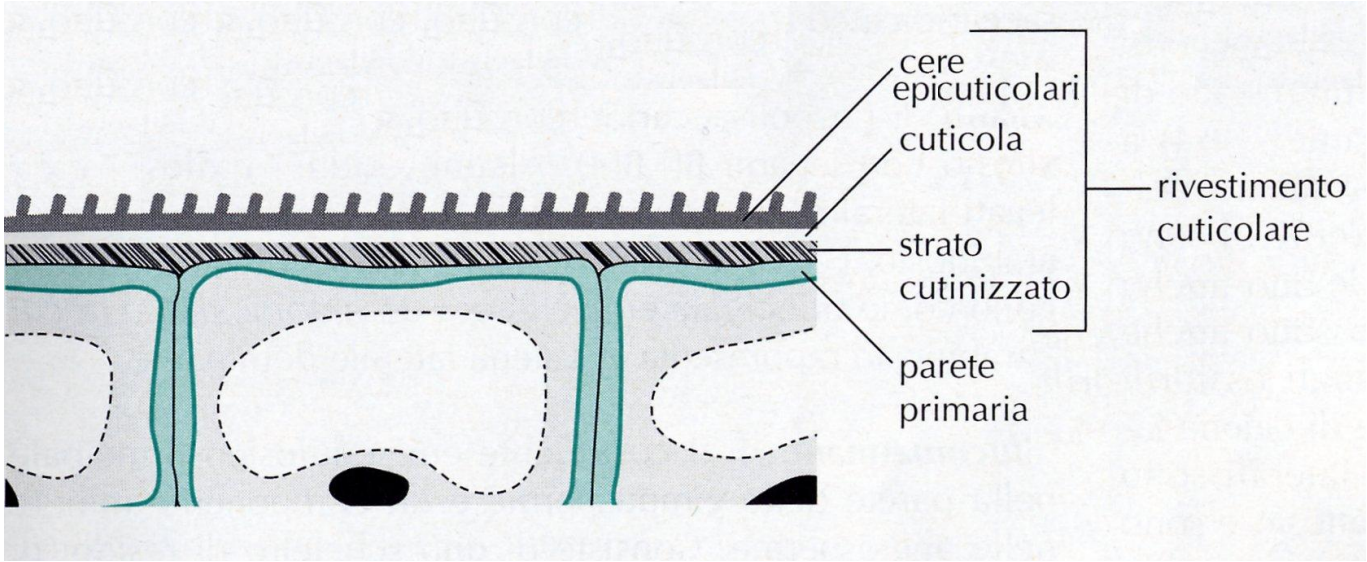
Sughero: sostituisce l'epidermide quando questa si lacera durante l' accrescimento in spessore del fusto.

CUTINIZZAZIONE e CERIFICAZIONE (apposizione)

La parete delle cellule che sono disposte sulla superficie delle foglie o di un giovanissimo ramo (STRATO di EPIDERMIDE) è protetta nella faccia rivolta verso l'esterno da una pellicola, **detta CUTICOLA che è costituita da CUTINA un polimero degli acidi grassi.**

La cuticola conferisce alla parete utili doti di impermeabilità all'acqua ed, in minor misura, ai gas atmosferici. La cellula, però essendo coperta di cuticola solo sulla faccia esterna, può ricevere acqua e nutrimento dalle cellule vicine e rimane vitale.

Epidermide: generalmente monostratificata, la parete secondaria rivolta verso l'esterno è costruita in modo del tutto particolare, mediante un processo di **ACCROSTAZIONE** di strati di sostanze impermeabilizzanti.

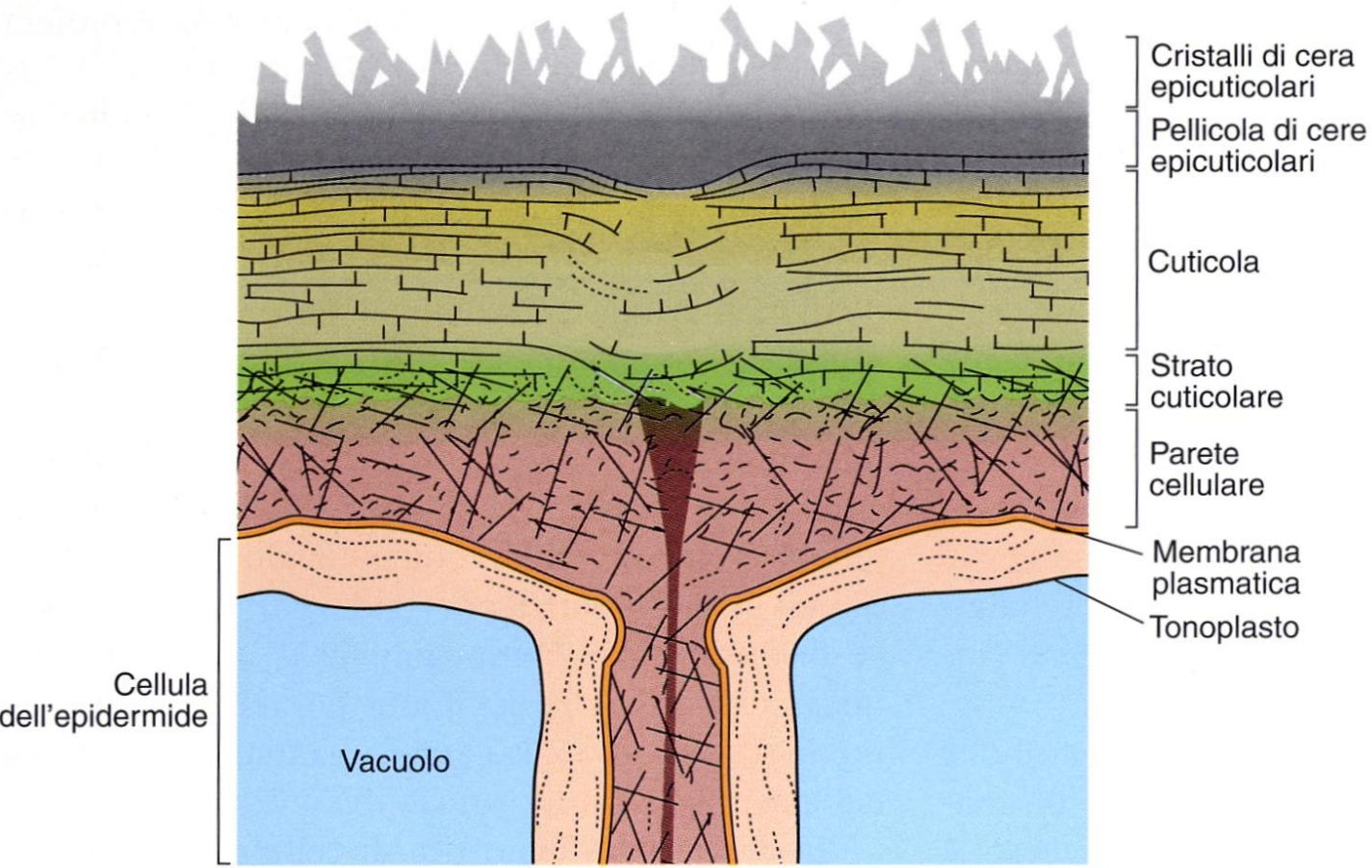


Cuticola: strato fortemente lipofilo costituito da una maglia tridimensionale di **cutina** in cui sono "bloccate" le **cere**.

Cutina

- **estere tra acidi grassi** C16 (acido palmitico) e C18 (acido stearico), il gruppo carbossilico di un acido grasso è legato al gruppo ossidrilico di un altro acido grasso,

- forma una maglia tridimensionale inestensibile; impermeabile



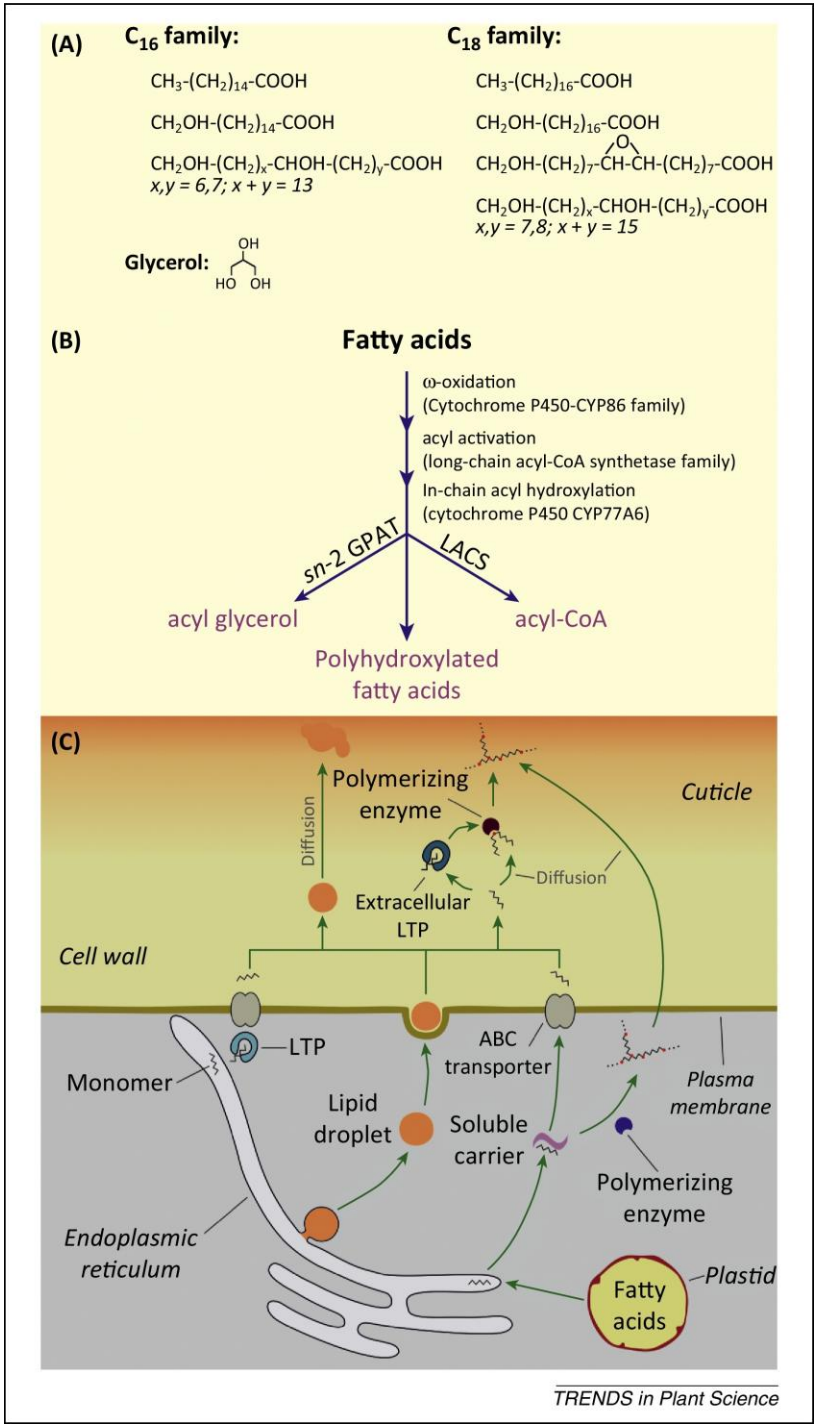
Rappresentazione schematica di una cuticola, lo strato protettivo che ricopre le cellule dell'epidermide di foglie e giovani fusti. Esternamente alla parete primaria, un primo strato cuticolare comprende, oltre alla cutina, pectine, cellulosa e altri carboidrati. La cuticola vera e propria è costituita da cutina e cere, che sono anche il costituente unico dello strato esterno.

In epidermide le molecole chiave che caratterizzano la parete secondaria vengono rilasciate dal Golgi secondo tre ipotetici meccanismi:

1) come gocce lipidiche che poi si fondono con la membrana plasmatica;

2) Legati ad un carrier che, legandosi ad un trasportatore di membrana, viene estruso dalla cellula per depositarsi in parete;

3) Sfruttando la vicinanza tra ER e membrana plasmatica, che permette ad una proteina di trasferimento di lipidi (LTP) di legarsi ad un trasportatore che estrude il contenuto di acidi grassi in parete





Nelumbo nucifera



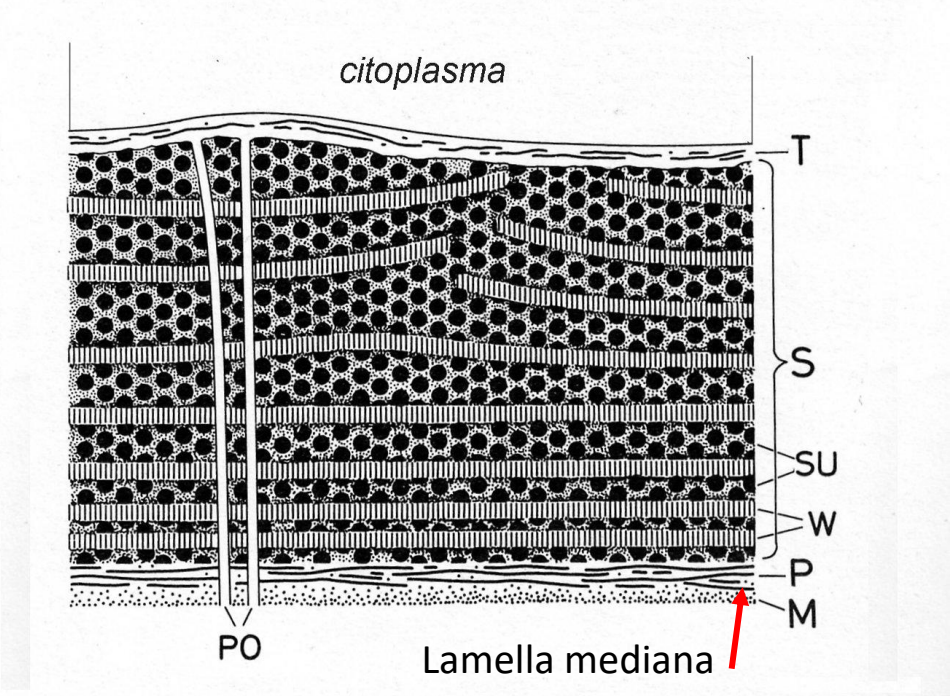
Superficie fogliare di un loto, fortemente repellente per lo strato di **cere epicuticolari** (=lipidi a lunga catena).

SUBERIFICAZIONE

- coinvolge tutta la parete.
- avviene soprattutto nelle piante che si estendono in larghezza
- deposizione di lamelle di suberina alternate a lamelle di cellulosa a partire dalla lamella mediana.
- La parete delle cellule suberificate non è così spessa come quella di quelle lignificate
- La parete ha grande proprietà di impermeabilizzazione e fa da coibente.
- Le cellule hanno lume cellulare ridotto.
- Le cellule suberificate sono cellule morte.

Sughero: in genere pluristratificato, tutte le pareti vengono costruite mediante **accrostazione**, grazie alla deposizione di spessi strati isolanti di **suberina** e **cere**.

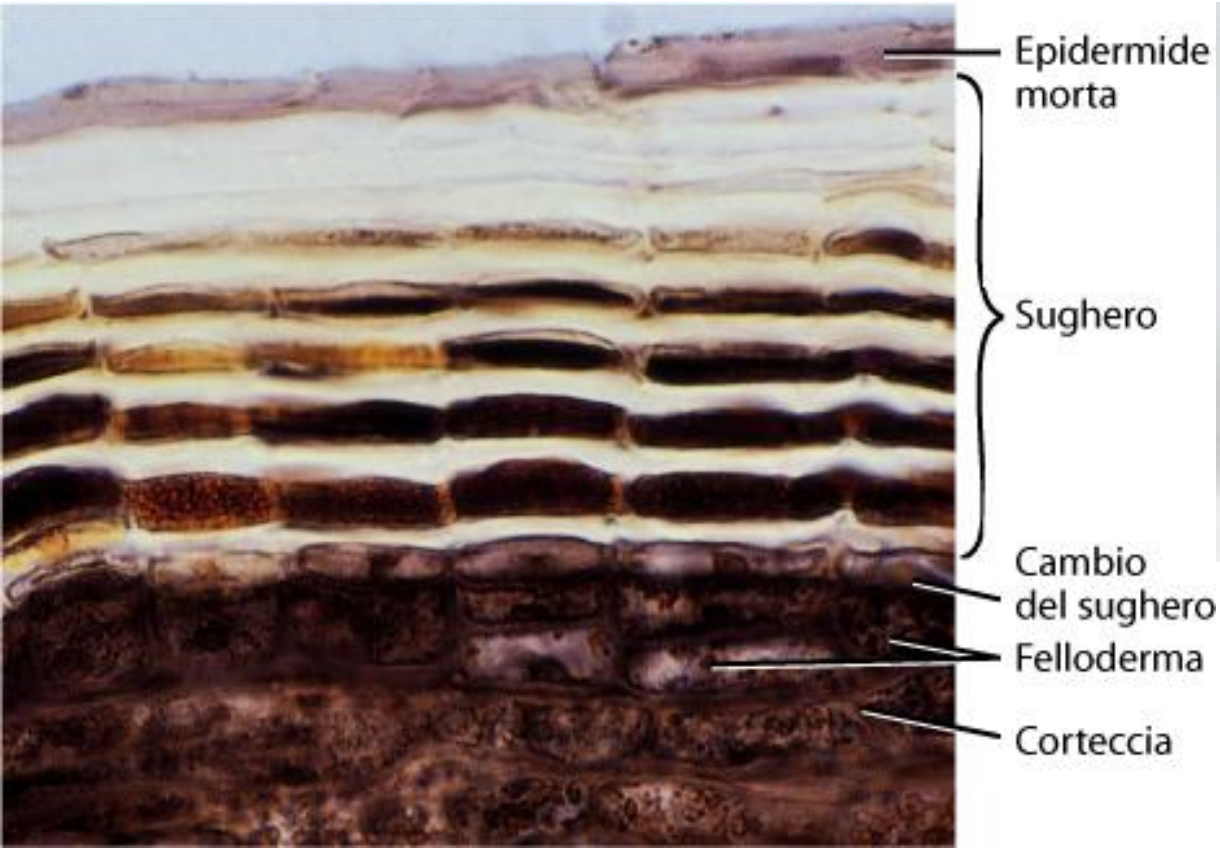




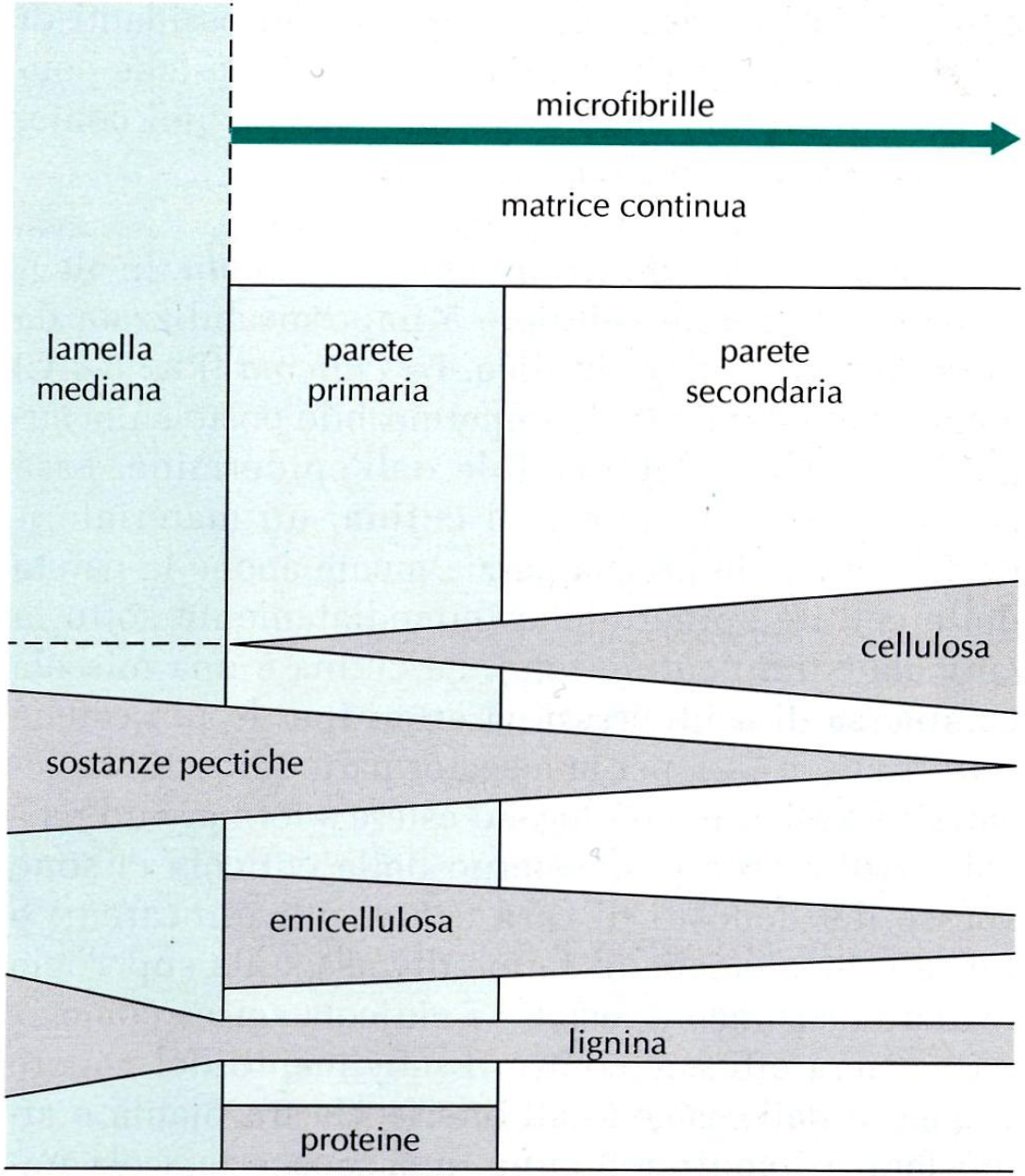
Modello ultrastrutturale della parete cellulare suberificata. M, lamella centrale; P, saccoderma con fibrille di cellulosa; S parete secondaria = strato di suberina con pellicole di cera W tra lamelle di suberina SU. Lo strato di suberina lipofila non contiene cellulosa. T, parete terziaria, nella quale compaiono di nuovo fibrille di armatura. PO, vecchi plasmodesmi (originale).

Suberina: lunghezza maggiore degli acidi grassi della cutina, e per la presenza di legami con fenoli (alcoli aromatici) → aumento di impermeabilità.

- Le cellule epidermiche, svolgono la loro funzione da vive.
- Le cellule del sughero ben presto muoiono, lasciando delle piccole cavità vuote, che aumentano l'effetto isolante.







Componenti delle pareti cellulari e loro abbondanza nei vari strati (schematico).

GELIFICAZIONE

- Frequente è la formazione di **MUCILLAGINI dovuta d un aumento delle sostanze pectiche.**

- La parete, in tal caso, assume un aspetto mucillaginoso e in presenza di acqua si rigonfia enormemente.

- Cellule a mucillagine si trovano nei fiori del tiglio, nelle radici, nelle foglie e nei fiori e nel tallo di alcune **alghe rosse** che proprio per la loro caratteristica sono utilizzate per la produzione della gelatine detta “agar” e sono pertanto dette agarofite (Gracilaria, Gelidium, Gelidiella, etc.) .

Carragenine: gelatine di largo uso alimentare, medicinale e industriale → chiarificare miele e birra, fabbricazione della carta, di appretti e altro ancora.

Agarofite (“s.lat.”)

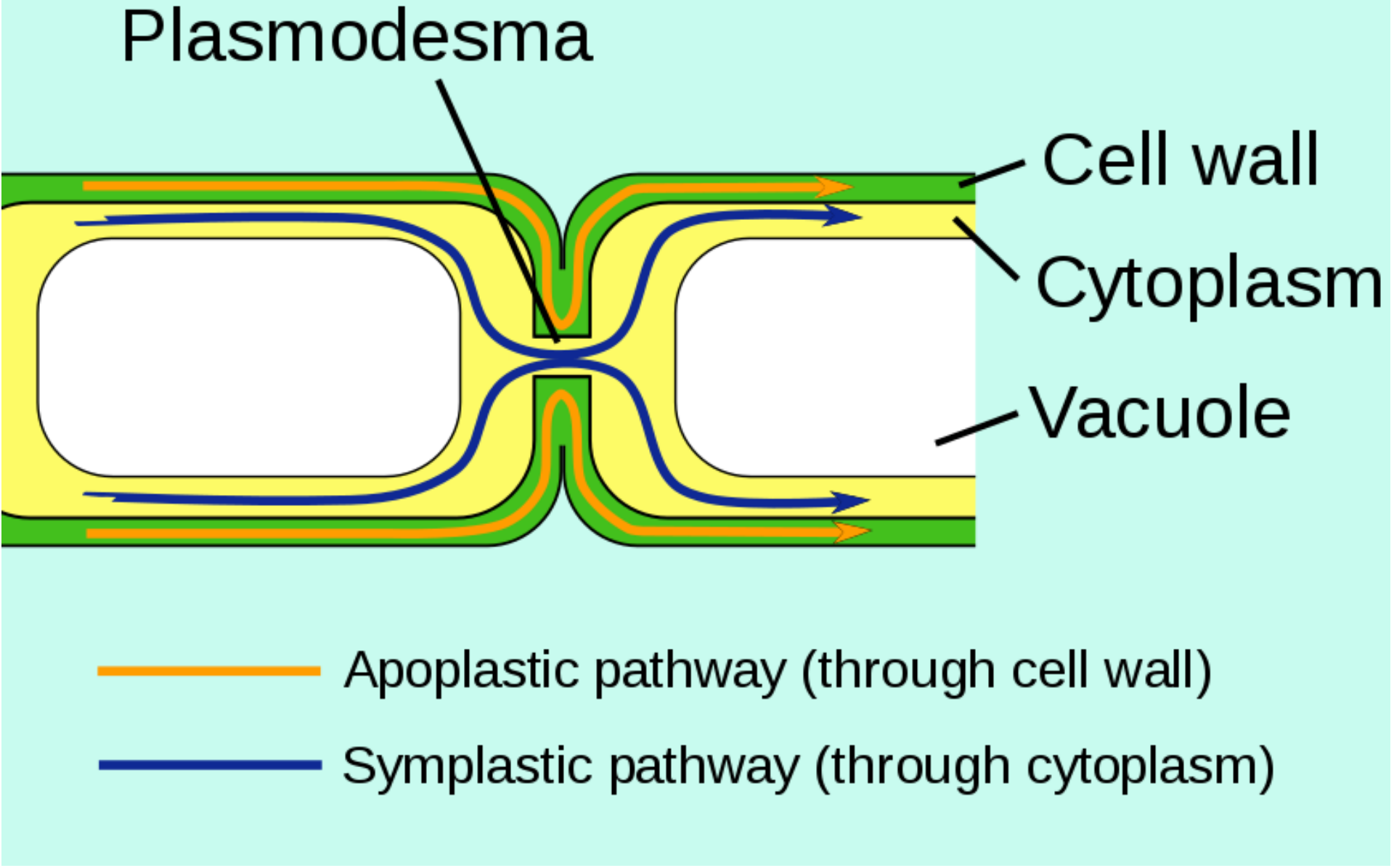
AGAR: estratto dalle pareti cellulari di alcuni generi di alghe rosse, capsule per farmaci, materiale per impronte dentarie, base cosmetici, gelificante di terreno di coltura solido in microbiologia

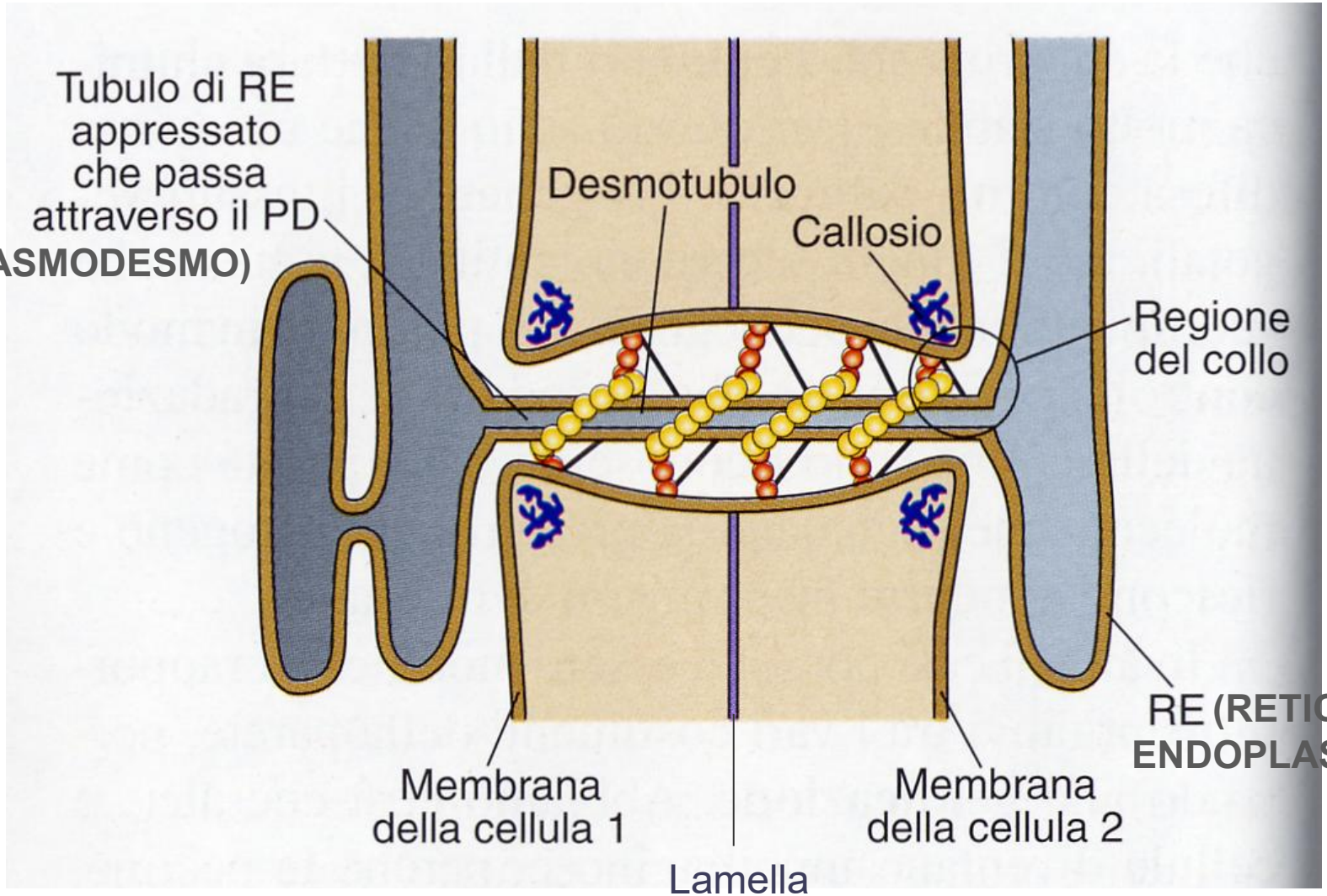


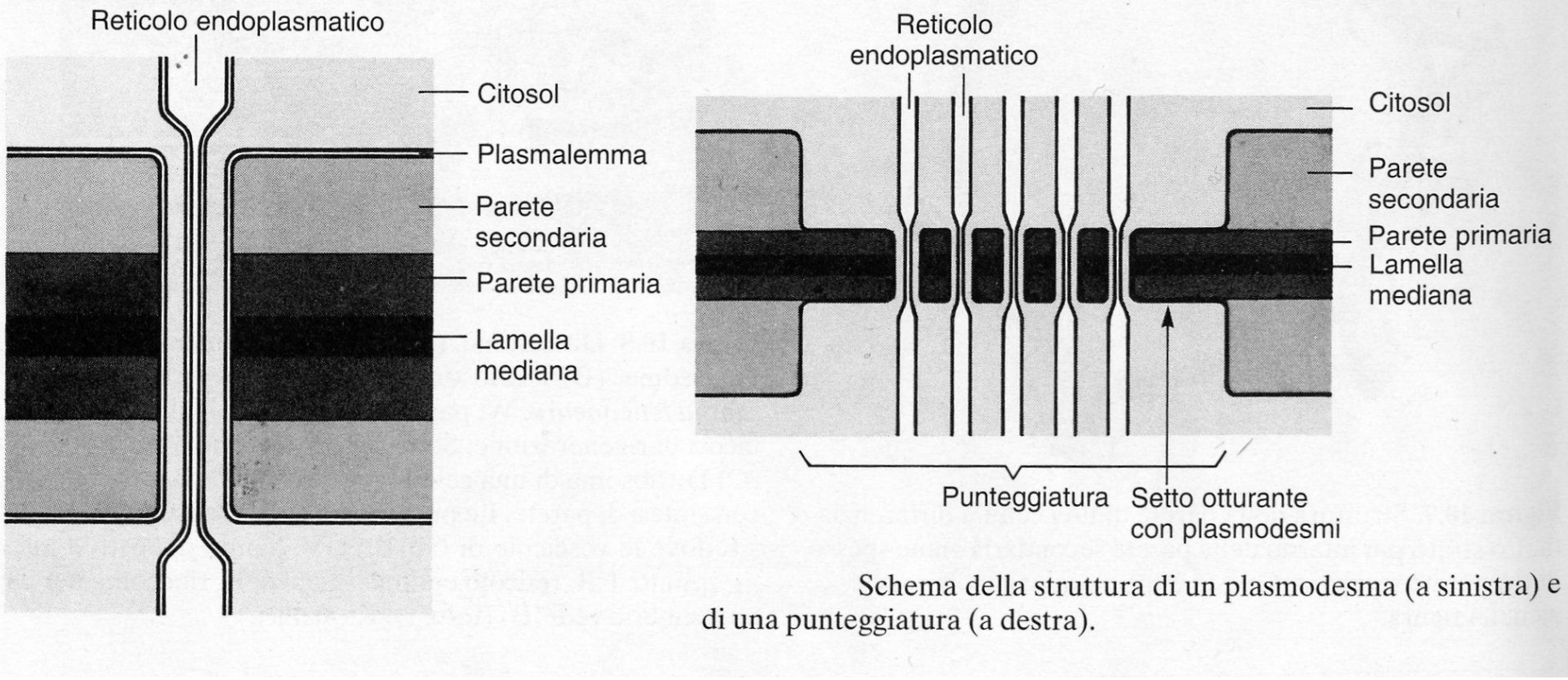


ALGINATI: agenti emulsionanti e stabilizzanti di alimenti, industria tessile, cosmetica, farmaceutica e cartiera.

Simplasto vs Apoplasto




Tubulo di RE appressato che passa attraverso il PD
(PLASMODESMO)
Desmotubulo
Callosio
Regione del collo
RE (RETICOLO ENDOPLASMATICO)
Membrana della cellula 1
Membrana della cellula 2
Lamella mediana



Schema della struttura di un plasmodesma (a sinistra) e di una punteggiatura (a destra).

Nei tessuti vegetali, grazie ai plasmodesmi, si crea un **continuum di cellule viventi** che viene definito **SIMPLASTO**. Ad esso si contrappone l'**APOPLASTO**, **lo spazio non plasmatico all'esterno delle membrane cellulari**, che forma un secondo continuum, contrapposto al primo.

Simplasto vs. **Apoplasto**

