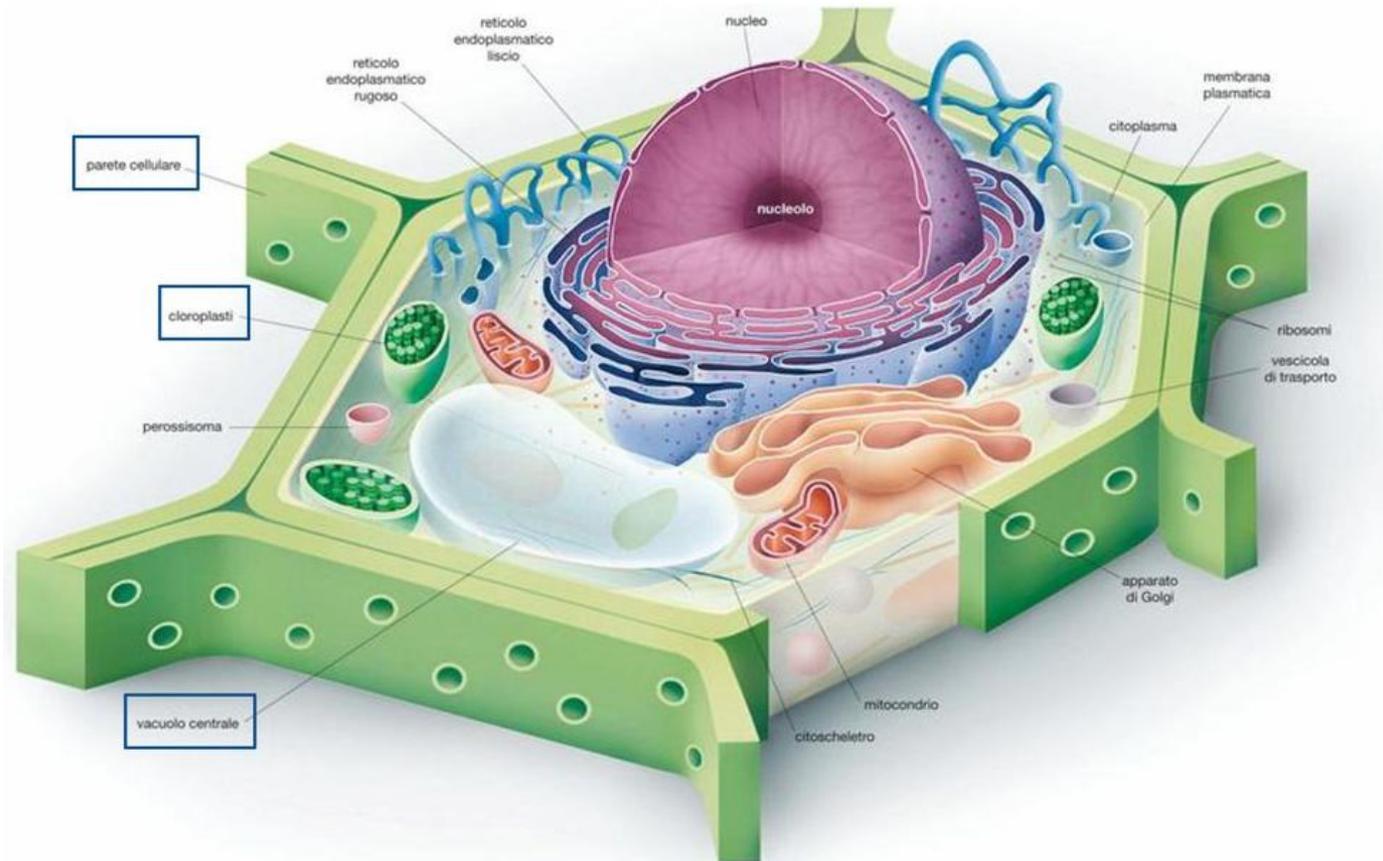


# La parete cellulare

Esternamente alla membrana plasmatica è presente una rigida struttura che la circonda.

## La parete cellulare

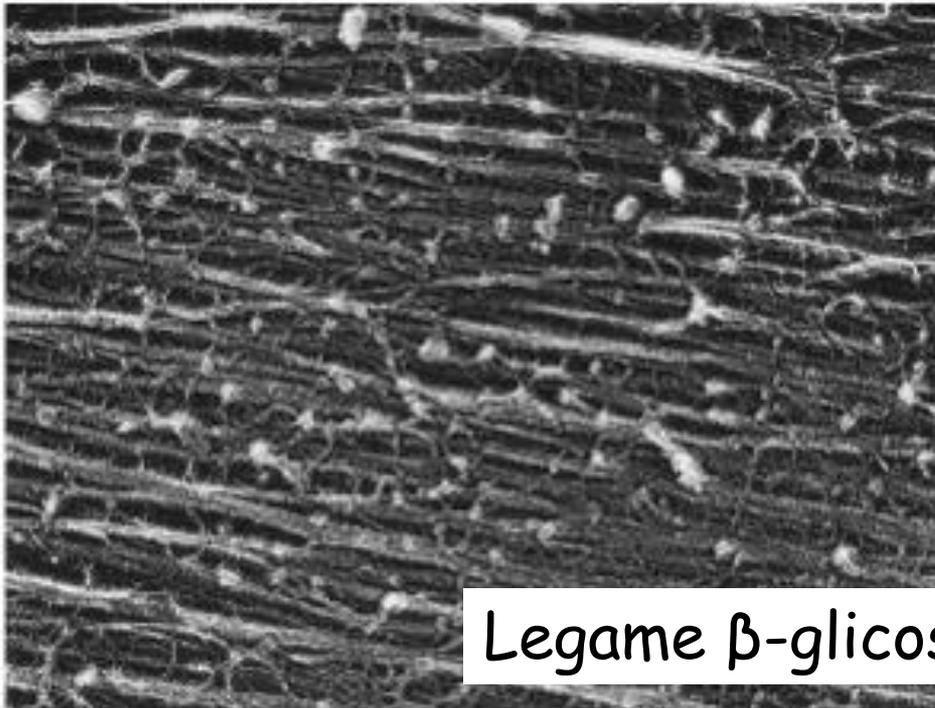




# PARETE E MEMBRANA

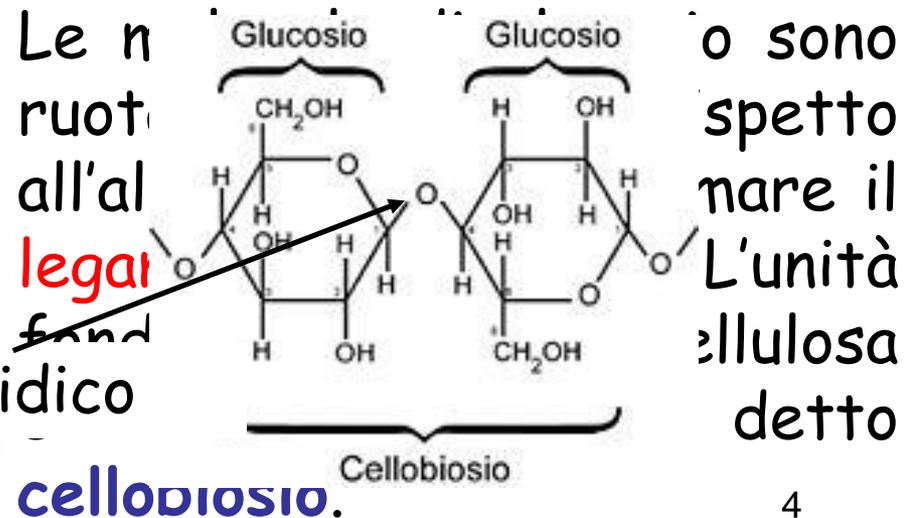
- La parete ha uno spessore che può arrivare a parecchi micron
- Lo spessore della membrana è circa 1000 volte più piccolo (nm)
- La parete è fatta in gran parte da polisaccaridi
- La membrana da lipidi complessi e proteine
- La parete ha doti di resistenza meccanica, ma vale poco come barriera chimica (è scarsamente selettiva)
- La membrana non ha molta resistenza meccanica, ma è formidabile come barriera chimica (è altamente selettiva).

La parete è composta da microfibrille costituite da un polisaccaride, la **cellulosa**.



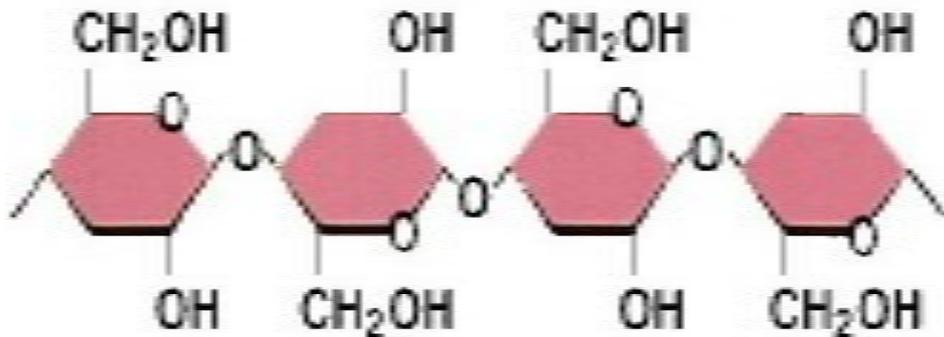
Legame  $\beta$ -glicosidico

La cellulosa è una catena lineare, non ramificata dello zucchero **glucosio**.





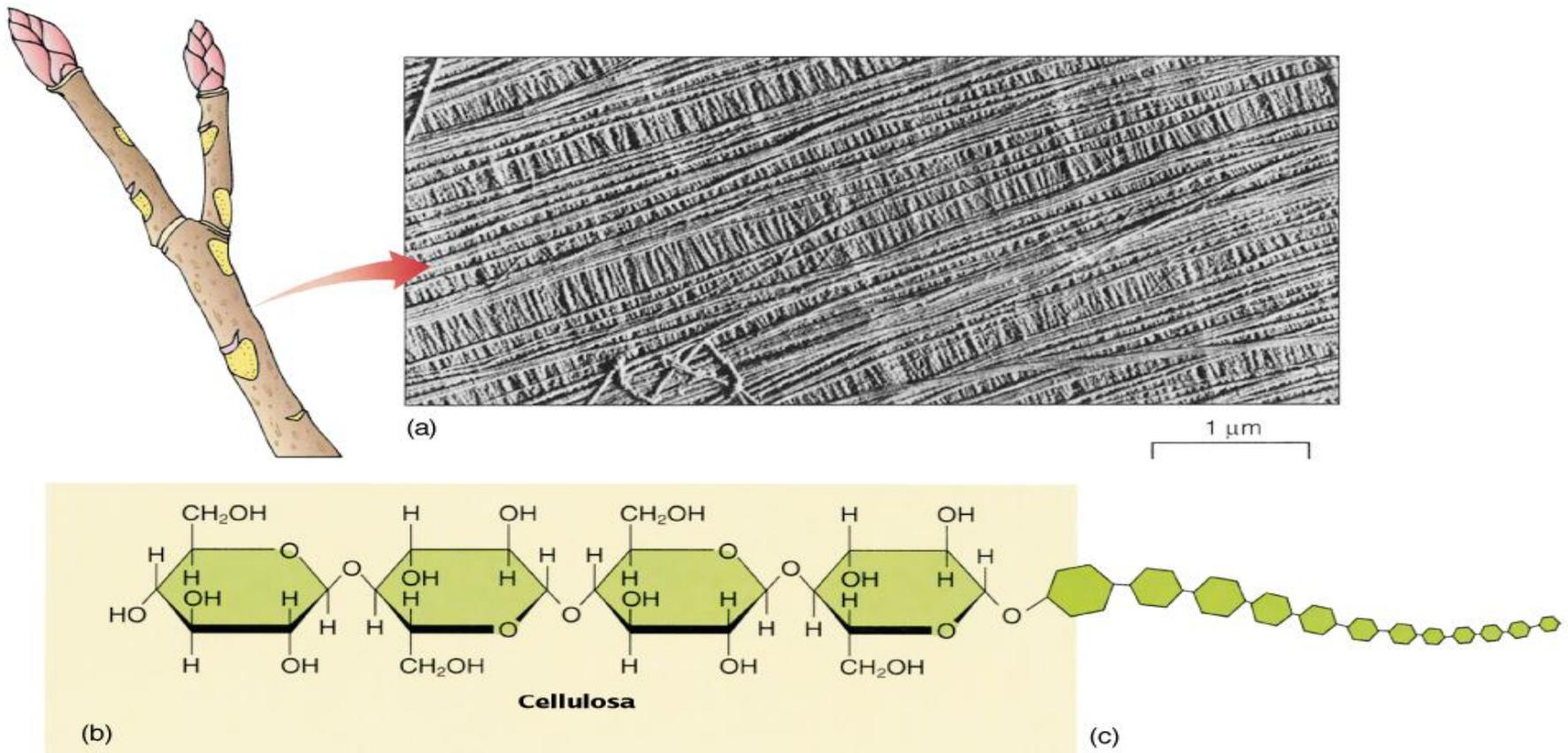
## PARETE CELLULARE Dei Vegetali



**CELLULOSA**

La parete cellulare vegetale è caratterizzata dalla presenza di **CELLULOSA** (la molecola organica più abbondante sulla Terra!)

# La cellulosa: polimero dell' $\beta$ -glucosio con legami $\beta$ -1-4 che non possono essere scissi dall'uomo, ma da alcuni microrganismi, simbionti degli erbivori.



■ **Figura 3-10 La cellulosa, un polisaccaride strutturale.** (a) Fotografia al microscopio elettronico di fibre di cellulosa della parete cellulare. Le fibre visibili nella fotografia sono costituite da fasci di molecole di cellulosa che interagiscono attraverso legami a idrogeno. (b) e (c) La molecola della cellulosa è un polisaccaride non ramificato costituito da circa 10.000 unità di  $\beta$ -glucosio legate da legami glicosidici. (a, Omikron/Photo Researchers, Inc.)

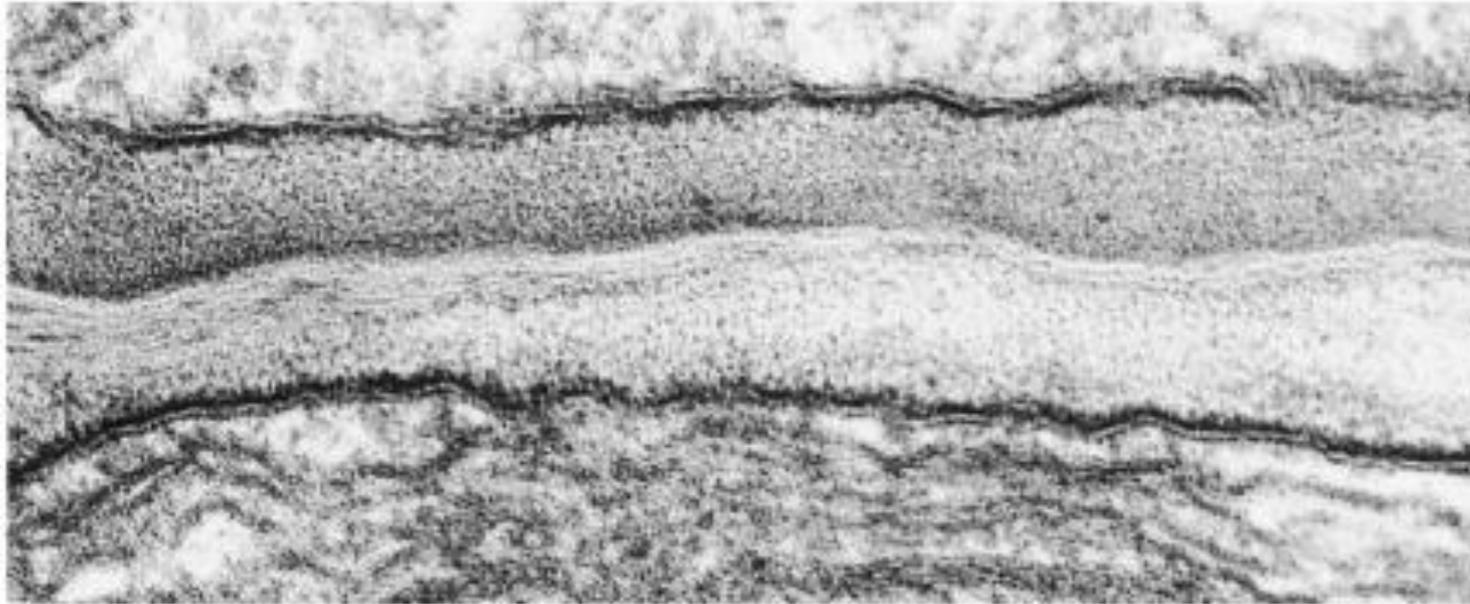
# COMPOSIZIONE

La parete cellulare delle piante è costituita principalmente da **POLISACCARIDI**:

- cellulosa
- emicellulose
- pectine

Contiene anche **PROTEINE**:

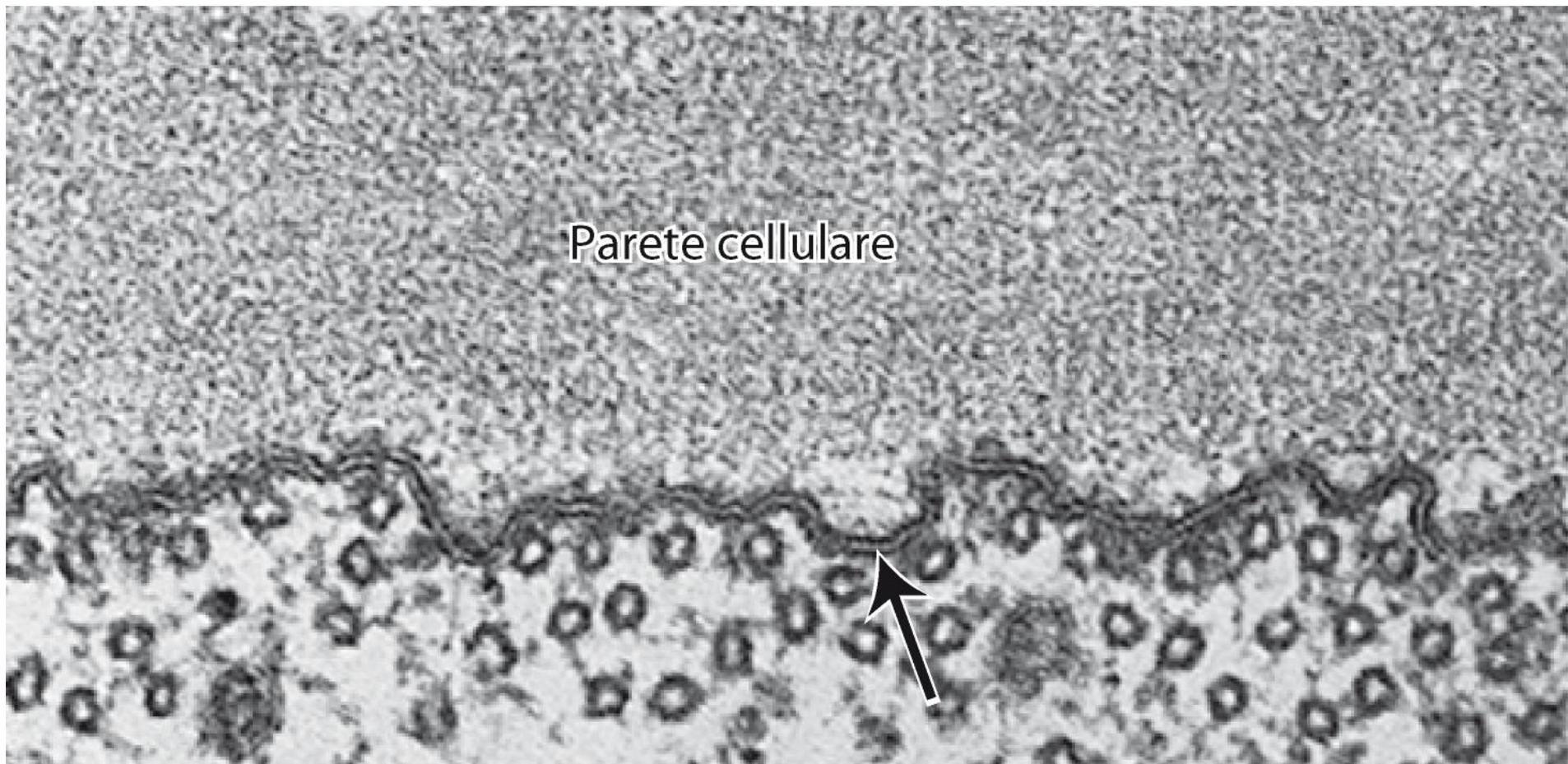
- alcune con funzione strutturale
- altre con funzione enzimatica



Membrana plasmatica

Parete cellulare comune

Membrana plasmatica

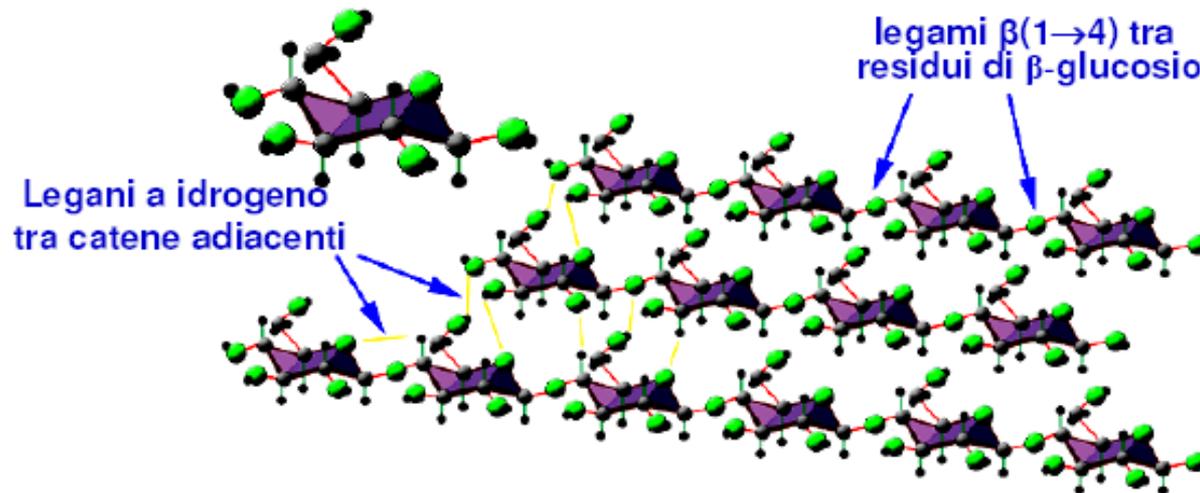


Parete cellulare

0,25  $\mu\text{m}$

## Fase microfibrillare: **LA CELLULOSA**

Tra molecole adiacenti di cellulosa possono formarsi legami a idrogeno



Due catene possono allinearsi ed essere unite da legami idrogeno.

Una microfibrilla è formata da circa 40 catene, è flessibile, ma anche estremamente resistente, pari a quella di una lamina di acciaio di uguale spessore.

La cellulosa forma un'impalcatura e tra una microfibrilla e l'altra sono presenti altre molecole di polisaccaridi, **pectine ed emicellulose**, e **proteine**.

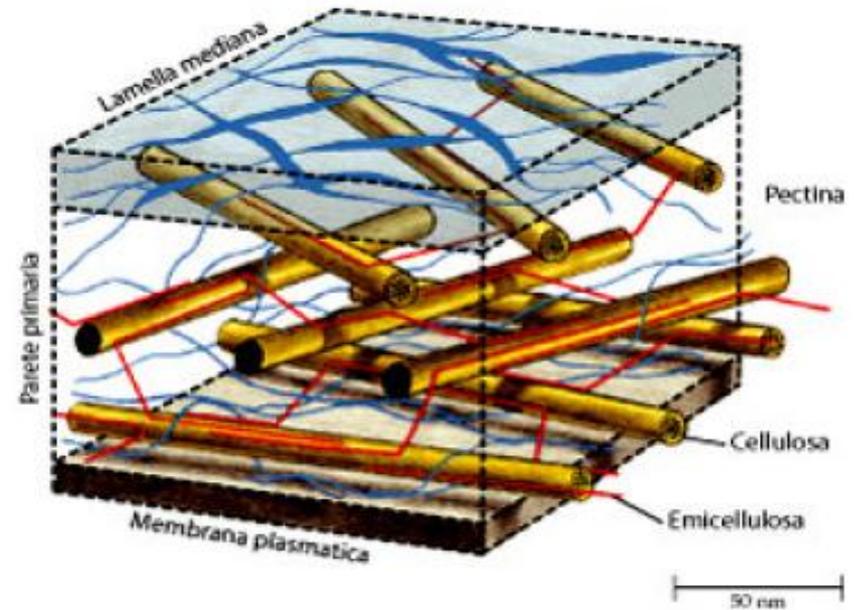
# ARCHITETTURA

## FASE MICROFIBRILLARE

- cellulosa

## FASE DI MATRICE

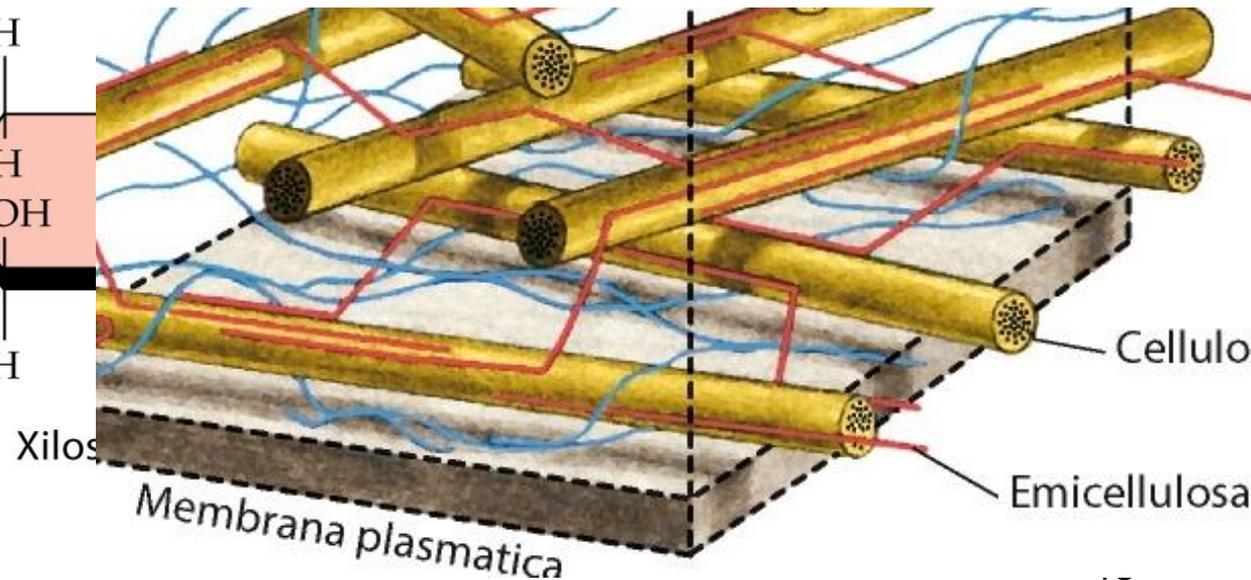
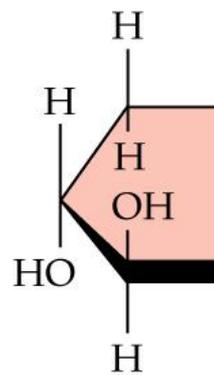
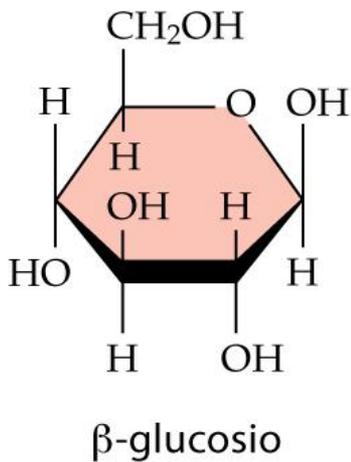
- H<sub>2</sub>O
- Polisaccaridi
- Proteine
- Composti fenolici



Le molecole non cellulosiche formano una matrice nella quale è immersa l'impalcatura di cellulosa.

Le **emicellulose**, xilogucani, xilani, variano da pianta a pianta e anche fra le diverse tipologie di cellule.

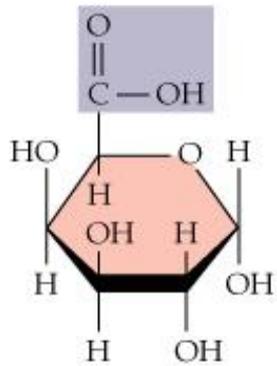
Le emicellulose sono saldamente legate alle microfibrille di cellulosa mediante legami idrogeno. Limitano l'estensibilità della parete cellulare, tenendo insieme microfibrille adiacenti. Svolgono un ruolo importante nella regolazione delle dimensioni cellulari.



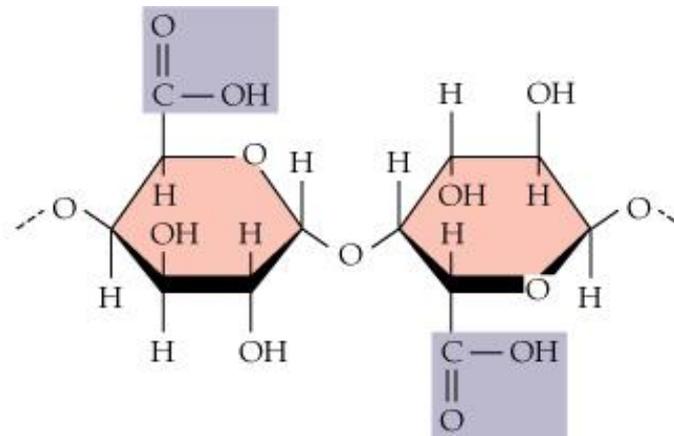
Le **pectine**, caratterizzano i primi strati della parete. È la sostanza che cementa le pareti di cellule vicine nelle dicotiledoni, e in minor misura nelle monocotiledoni.

Sono polisaccaridi fortemente idrofili e grazie all'acqua che assorbono conferiscono alla parete plasticità e flessibilità, caratteristiche necessarie per la sua distensione.

Le pectine sono importanti per i processi di gelificazione.

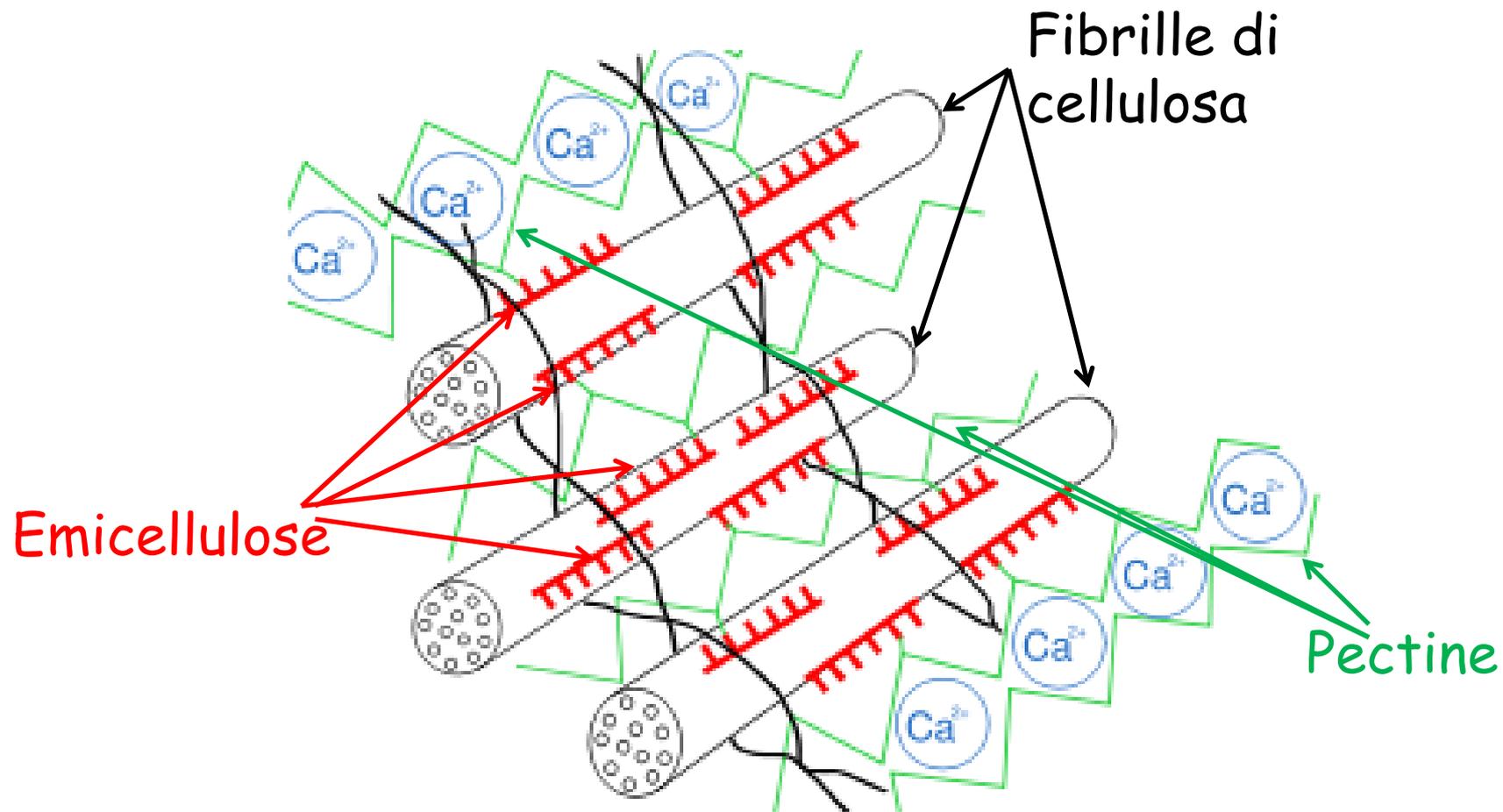


(a) Acido  $\alpha$ -galatturonico



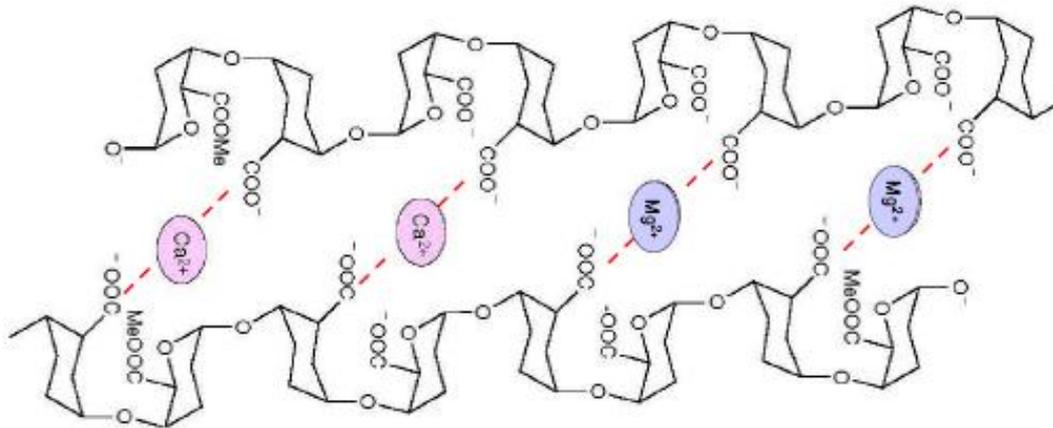
(b) Acido peptico

Sono formate da monomeri di **acido  $\alpha$ -galatturonico**. Il polimero è l'acido peptico.



# Fase matriciale: PECTINE

## Formazione di gel



Interazioni elettrostatiche tra gruppi carbossilici dei galatturonani e lo ione Ca<sup>2+</sup> o Mg<sup>2+</sup>

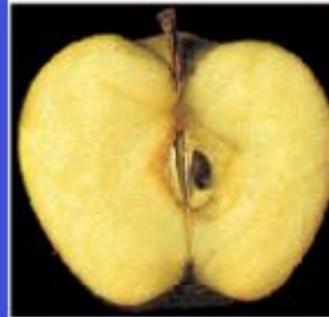
## La componente di matrice: le pectine



pectine

ramnogalatturonano I  
ramnogalatturonano II  
arabinano  
galattano  
arabinogalattano I  
omogalatturonano

(A)



Nella mela Le pectine determinano la compattezza della polpa

(B)



Quando una pesca matura, le pectine del pericarpo si rilassano

(C)



Il pericarpo del pomodoro si rilassa, le pectine si lisano, c'è un processo di liquefazione con la formazione del loculo, in cui si trovano i semi

## Fase matriciale: **PECTINE**

Le pectine sono in grado di formare **GEL**, anche dopo essere state estratte dalla parete

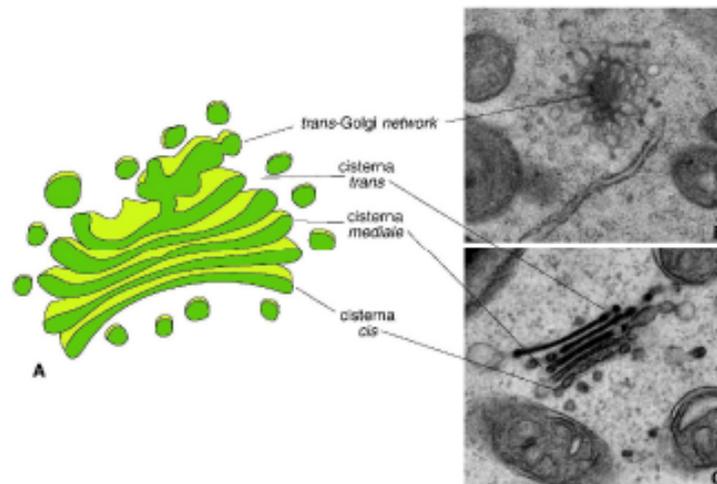
Per questo trovano largo impiego nell'**INDUSTRIA ALIMENTARE E COSMETICA**



## Biogenesi della parete: **COMPONENTI MATRICIALI**

La biosintesi di pectine ed emicellulose avviene nell'apparato del Golgi ad opera di specifiche glicosiltrasferasi

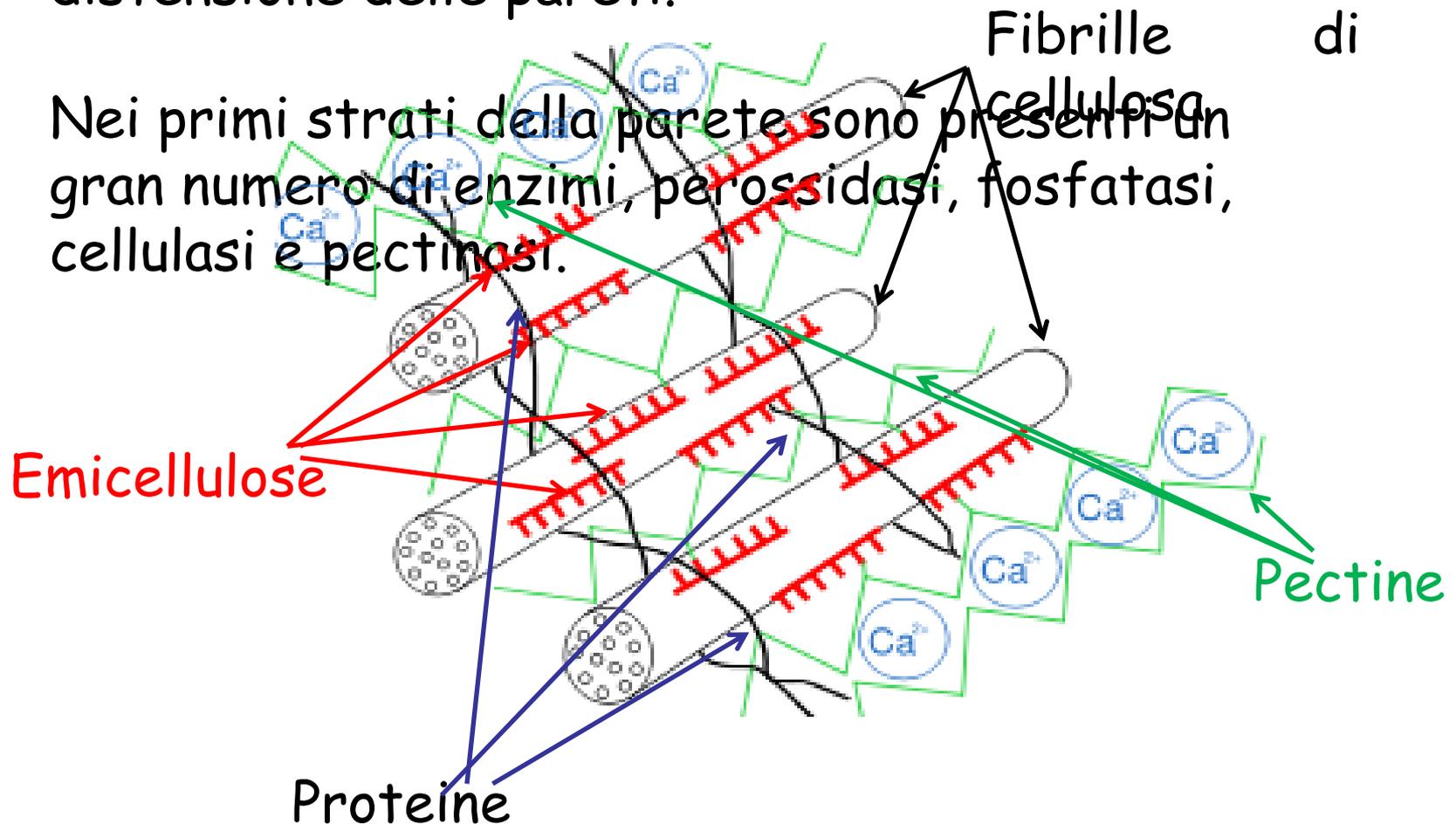
Una volta sintetizzati, i polimeri raggiungono la parete mediante trasporto vescicolare

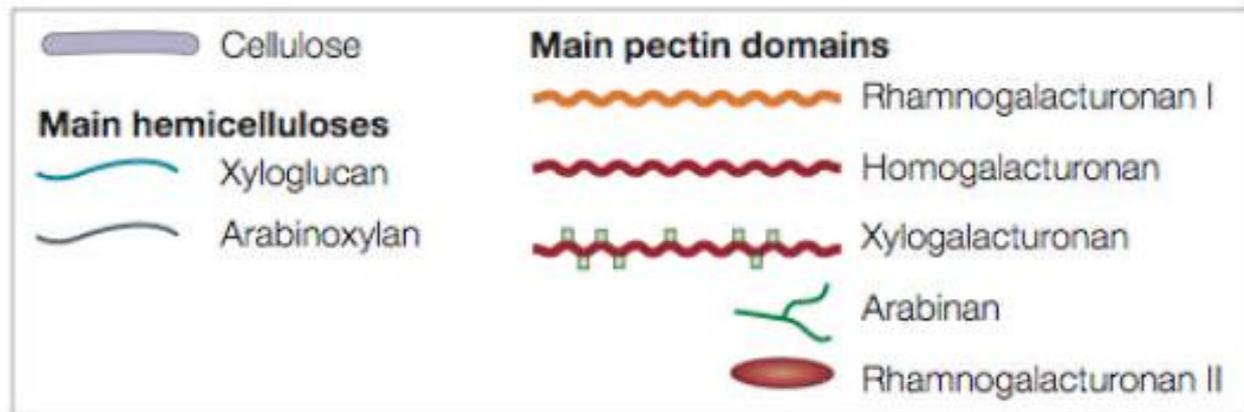
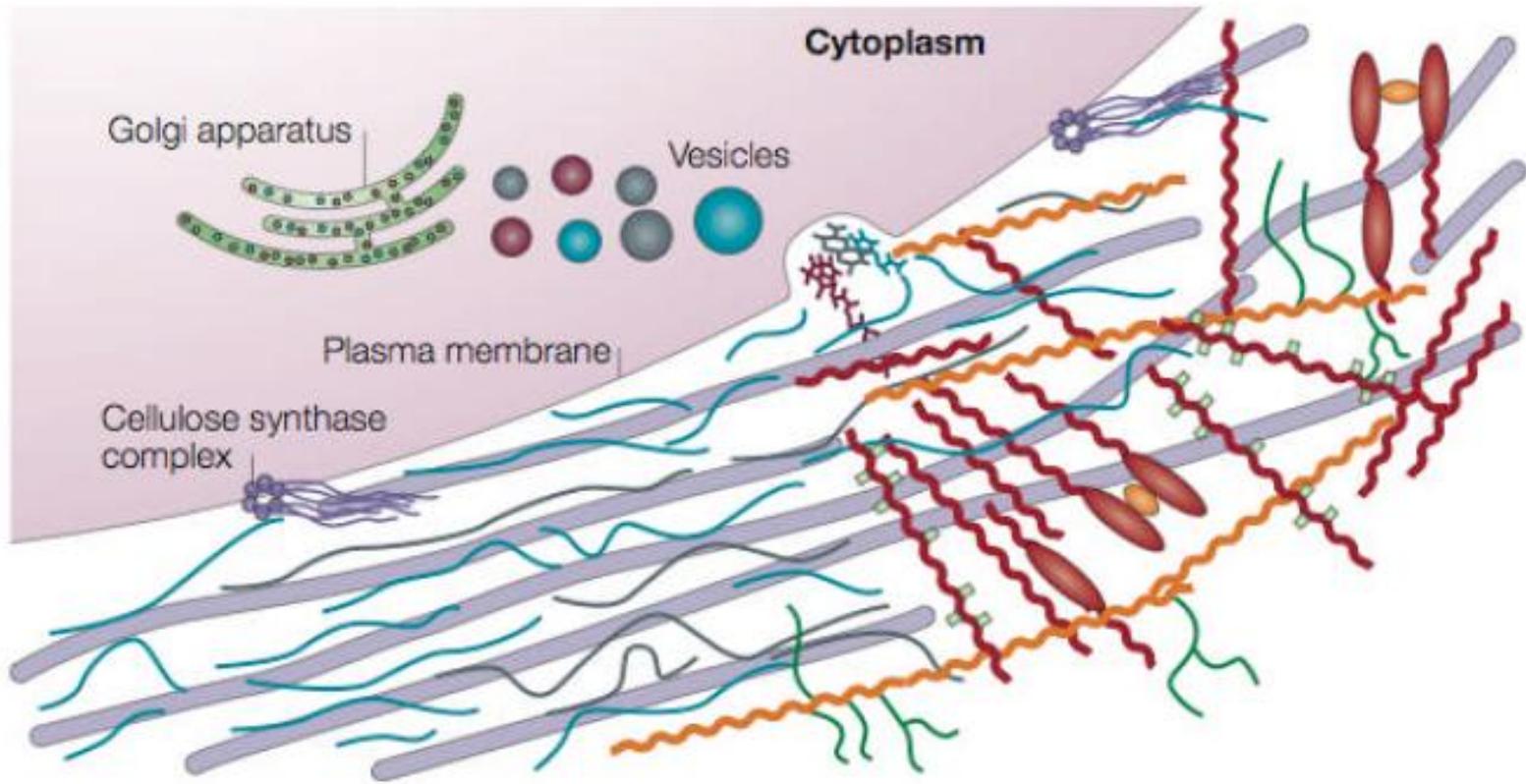


Le pareti cellulari possono contenere anche proteine strutturali come glicoproteine ed enzimi.

Le proteine strutturali meglio caratterizzate, ed abbondanti, sono le estensine, coinvolte nella distensione delle pareti.

Nei primi strati della parete sono presenti un gran numero di enzimi, perossidasi, fosfatasi, cellulasi e pectinasi.

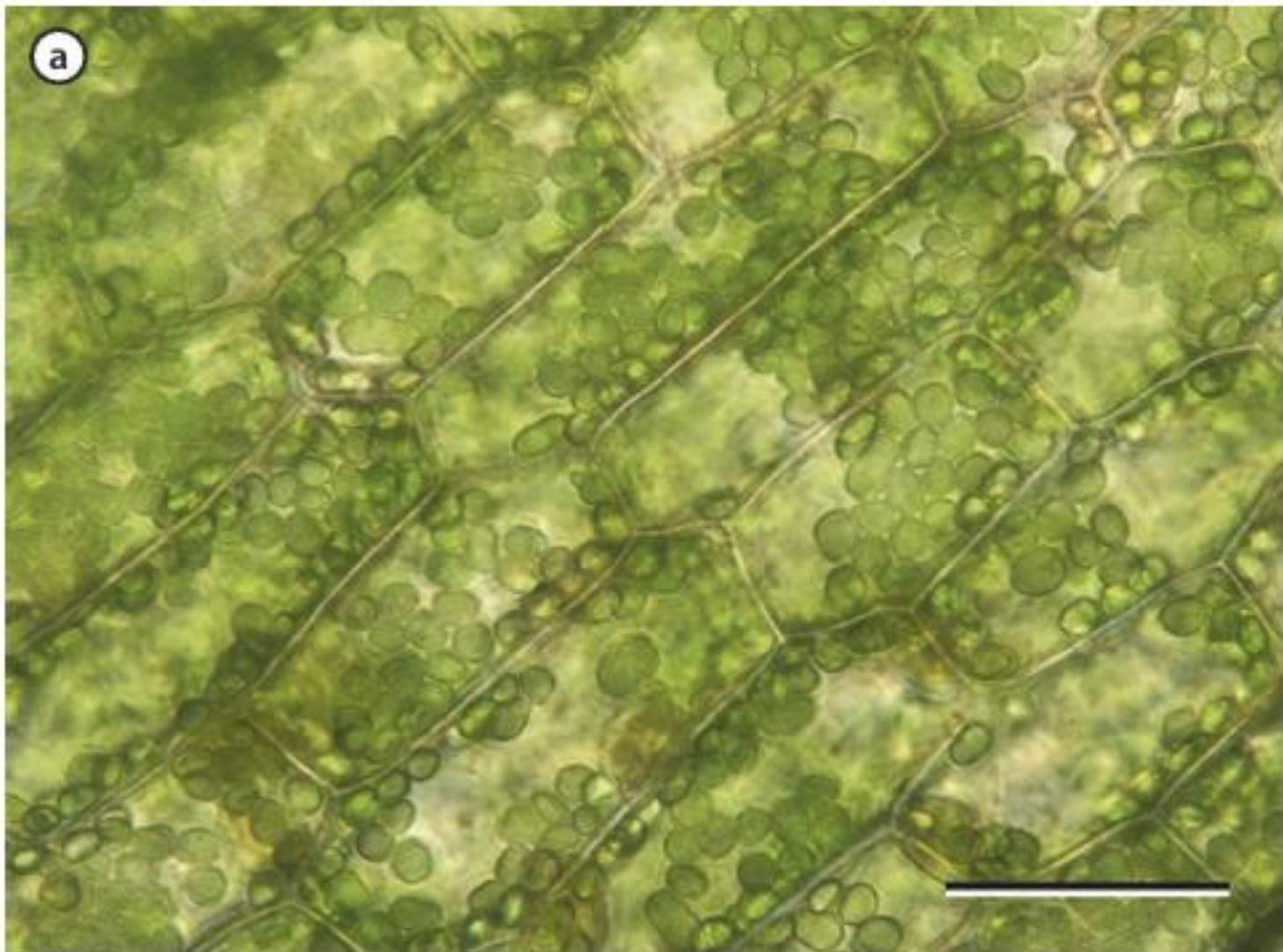




La parete cellulare può essere distinta in parete primaria, presente in tutte le cellule, e parete secondaria presente **solo** in alcune cellule.

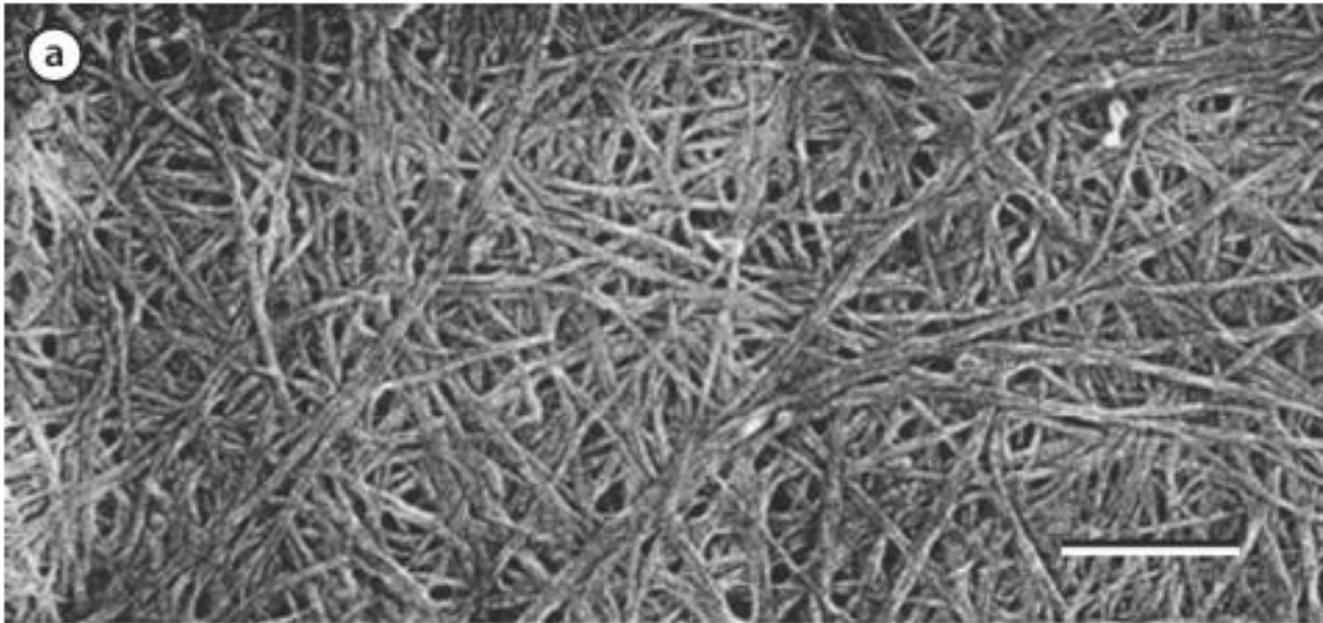
La parete primaria viene depositata mentre la cellula è in crescita. Le cellule in attiva divisione o quelle coinvolte in attivi processi metabolici, come fotosintesi, respirazione o secrezione e le cellule meristematiche presentano solo la parete primaria.

Le pareti primarie, di solito, non sono omogeneamente ispessite. Ma presentano aree meno ispessite dette **punteggiature primarie**. È attraverso le punteggiature primarie che i **PLASMODESMI** (collegamenti citoplasmatici) collegano due protoplasti adiacenti.



■ Fig. 5.1 a Chloroplast-containing elodea (*Elodea canadensis*) leaf cells separated by translucent primary cell walls. Scale bar = 50  $\mu\text{m}$  (RR Wise)

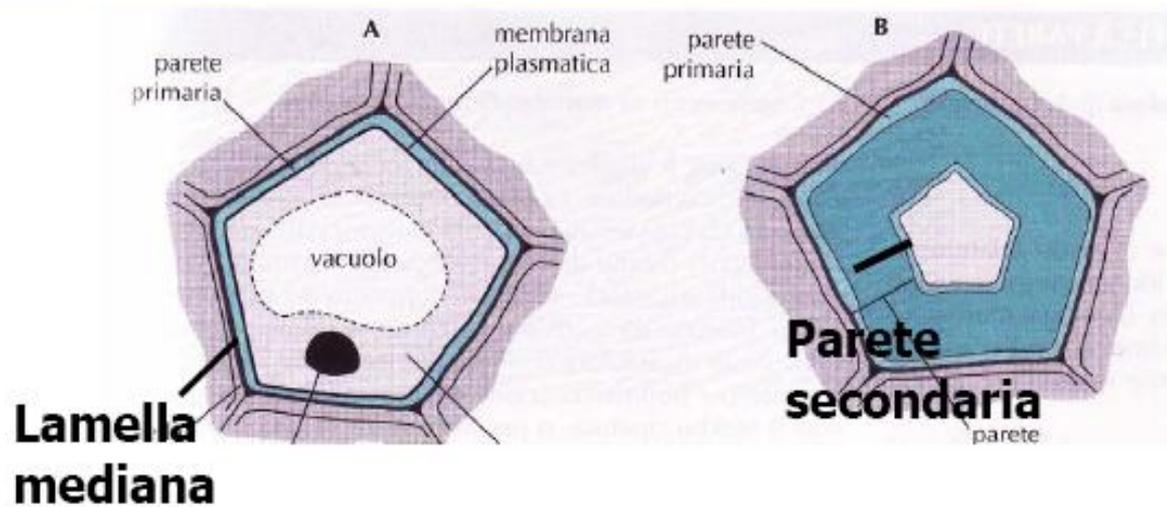
**Cellule con solo parete primaria**



## Fibrille di cellulosa in una parete primaria

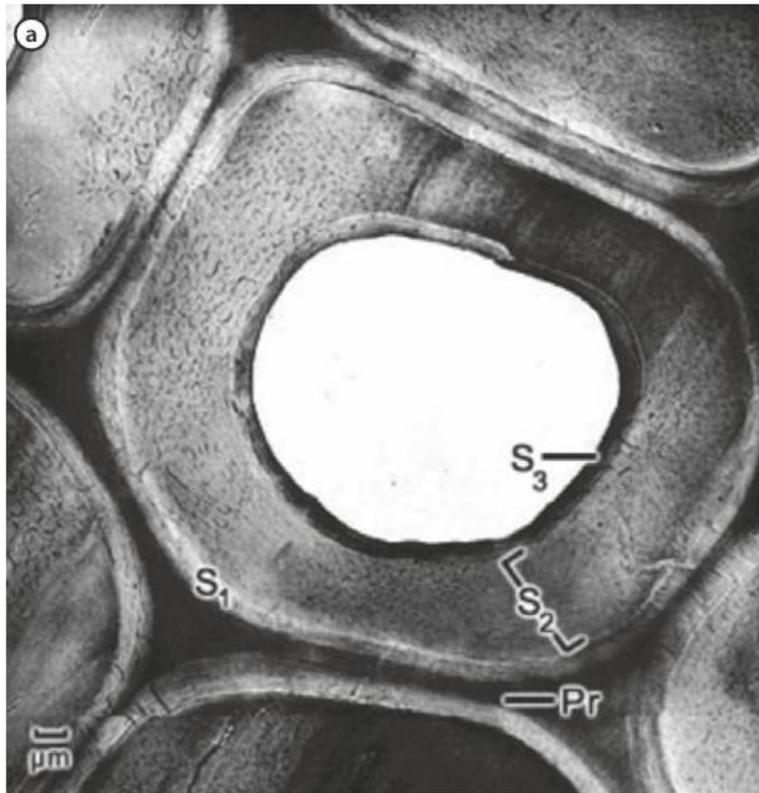
■ **Fig. 5.2 a** This transmission electron micrograph shows the primary cell wall of an onion (*Allium cepa*) parenchyma cell from a bulb after the extraction of noncellulosic polysaccharides. Although the extraction process enhances the cellulose microfibrils, it has altered their parallel orientation from that in the intact cell wall. Scale bar = 0.2  $\mu\text{m}$  (Crang and Vassilyev 2003)

Quindi la maggior parte delle cellule di un organismo vegetale possiede solo una parete primaria. Alcune cellule, però, completano il differenziamento depositando una parete secondaria **all'interno della parete primaria**. Sono le cellule specializzate per sostegno e conduzione, che in alcuni casi possono morire.



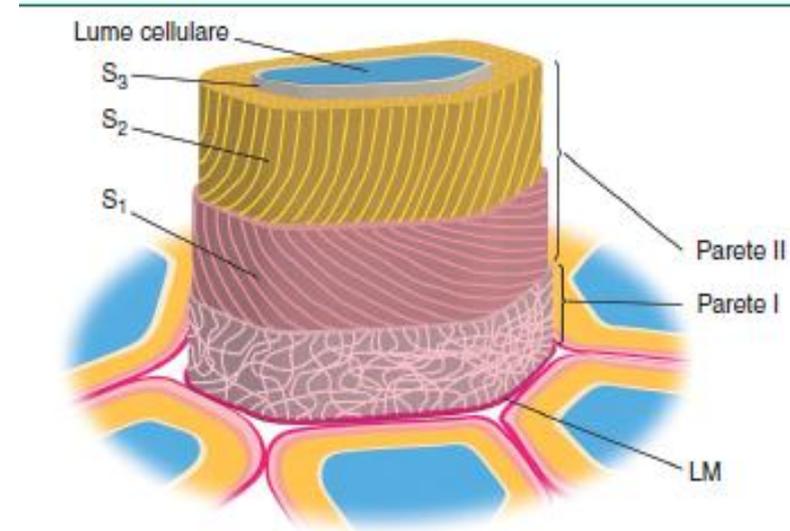
La matrice delle pareti secondarie è composta di emicellulosa, e glicoproteine e gli enzimi possono mancare.

# Parete secundaria



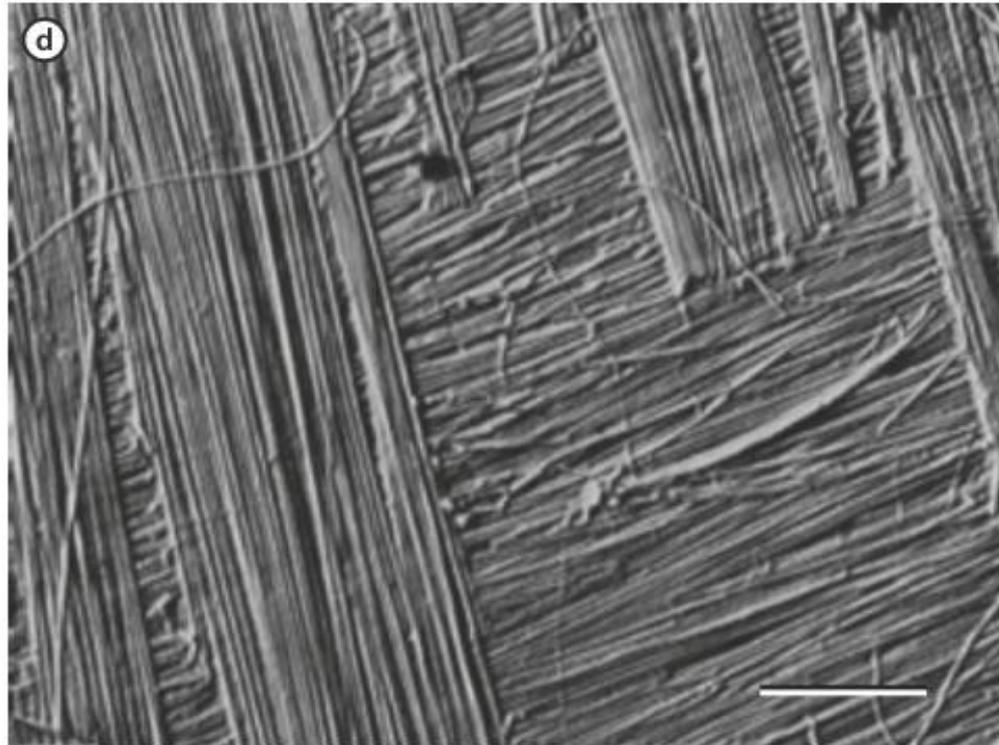
■ Fig. 5.4 a Cross-section of late-wood tracheids of longleaf pine (*Pinus palustris*) showing the layers of the secondary wall ( $S_1$ ,  $S_2$ , and  $S_3$ ), the thin primary wall (Pr), and the true middle lamella, which is markedly thickened at the cell corners. The combination of the primary cell walls and the middle lamella is often termed a compound middle lamella. Scale bar = 1  $\mu\text{m}$  (Crang and Vassilyev 2003)

Nella parete secondaria si possono distinguere tre diversi strati, S1, S2 e S3.



Gli strati differiscono per il diverso orientamento delle fibrille di cellulosa.

La cellulosa è più abbondante nelle pareti secondarie che in quelle primarie. Le sostanze pectiche possono mancare nella parete secondaria.



■ Fig. 5.1 d Orientation of numerous cellulose microfibrils as shown by scanning electron microscopy that are enveloping the protoplasmic cell surface of a plant. The microfibrils shown here are firmly held to the adjacent fibrils by hydrogen bonds between their  $-OH$  groups. Scale bar =  $1 \mu m$  (Crang and Vassilyev 2003)

Il diverso orientamento delle microfibrille di cellulosa nei tre strati aumenta la resistenza della parete.

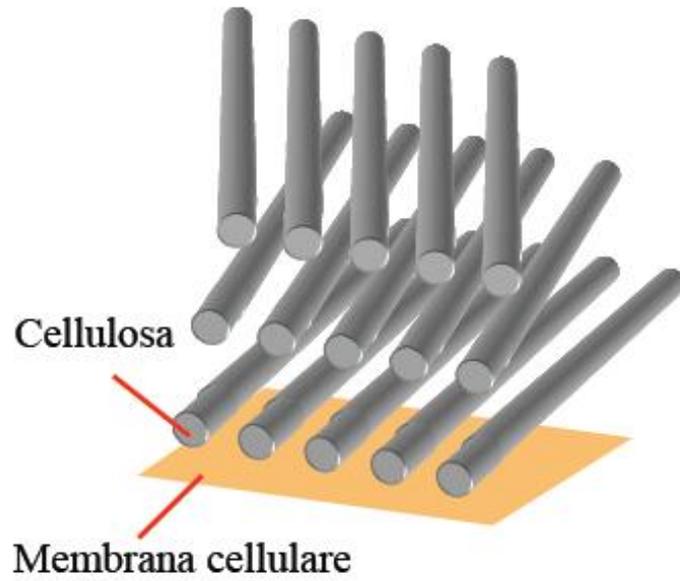
Un altro costituente importante delle pareti secondarie di alcune cellule vegetali è la lignina. La **lignina** conferisce rigidità e resistenza alla parete.

Viene sintetizzata e depositata dopo che una cellula ha completato il suo accrescimento ed è presente nelle cellule con funzione meccanica, o di sostegno.

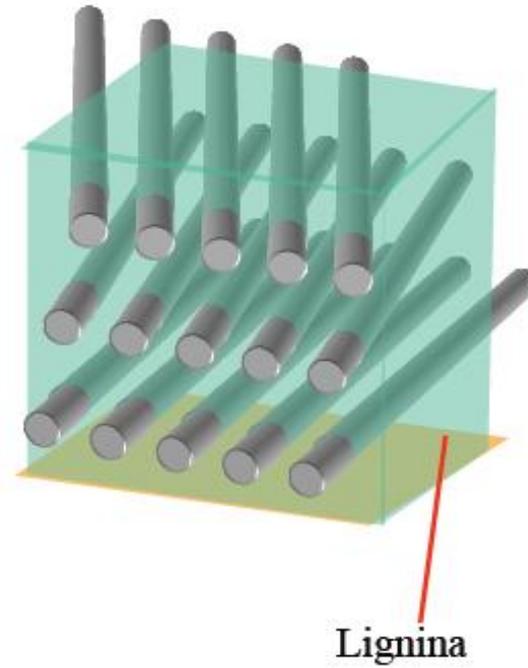
**Cutina, suberina e cere**, composti lipidici, si depositano sulle pareti dei tessuti esterni di protezione, come epidermide e sughero.

## Parete secondaria

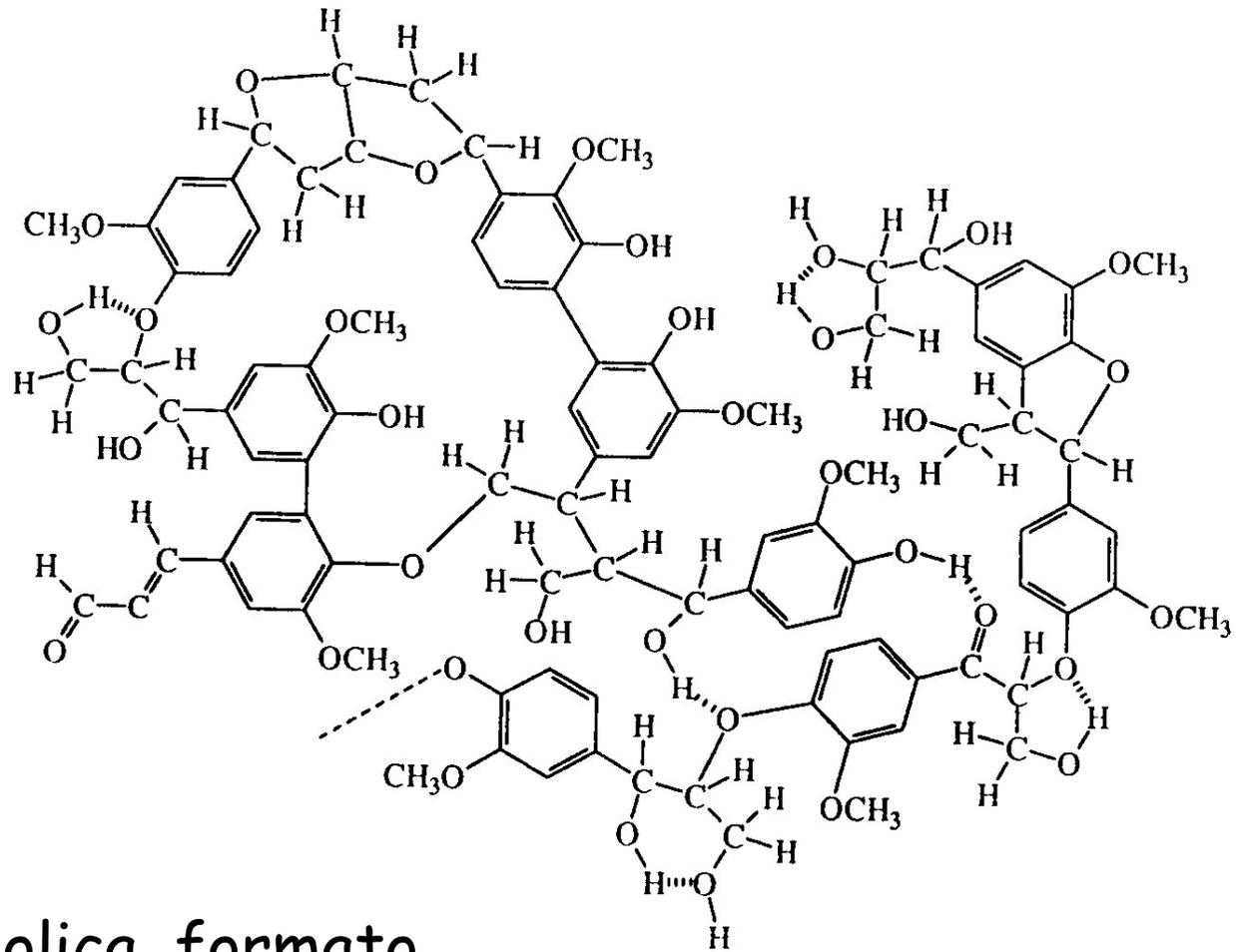
Non lignificata



Lignificata



# Formula della lignina



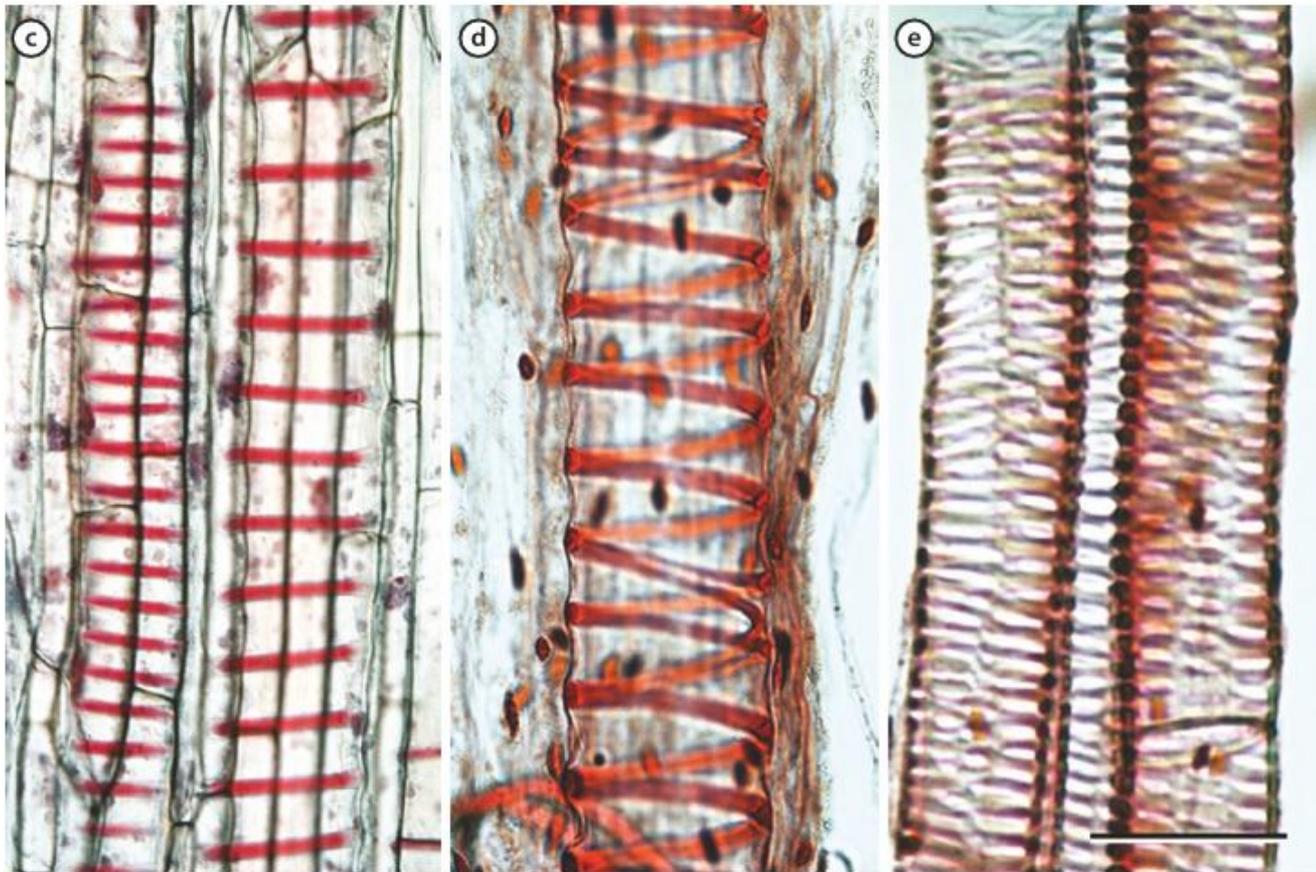
Polimero di natura fenolica, formato da tre monomeri:  
Alcol cumarilico  
Alcol coniferilico  
Alcol sinapilico

Esempi di parete lignificata:  
le cellule xilematiche (“il legno”)

le isole petrose della polpa delle pere

**Isola petrosa**





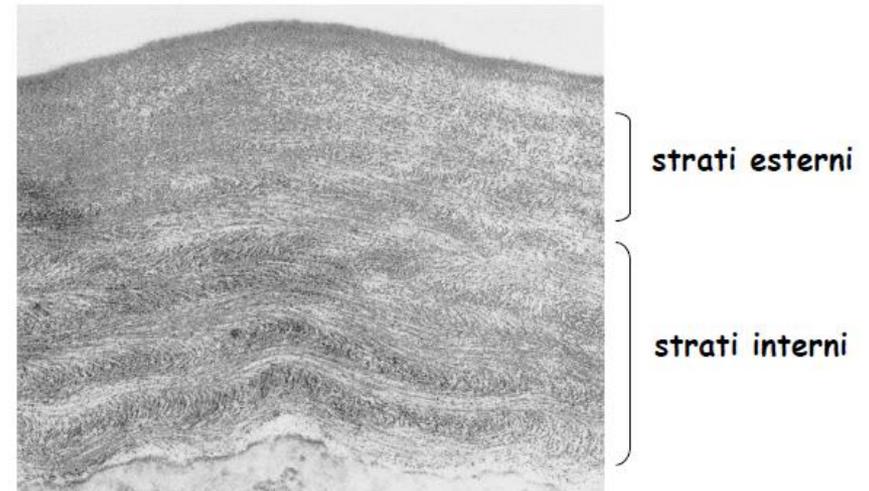
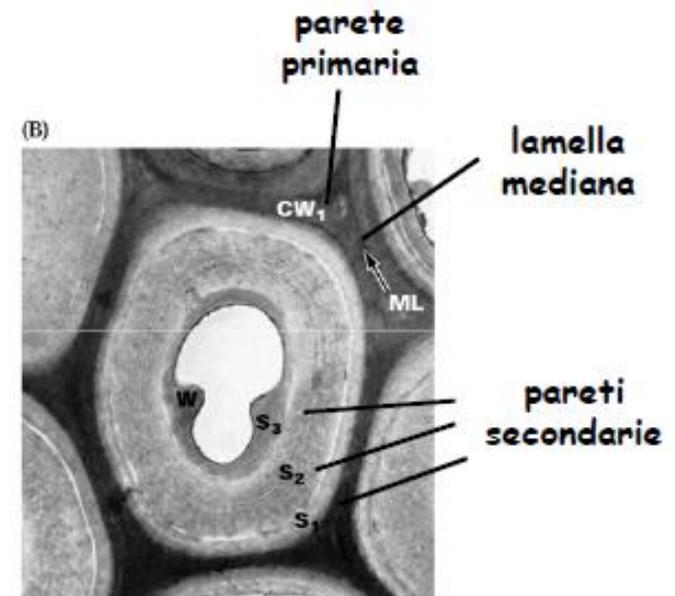
**Cellule  
xilematiche  
con parete  
secondaria  
lignificata**

■ **Fig. 5.4** Variations in secondary cell wall thickening patterns in protoxylem tracheary elements from celery (*Apium* sp.) petiole. **c** Annular thickenings, **d** helical thickenings, **e** reticulate thickenings. Scale bar in **e** = 50  $\mu\text{m}$  for all three panels (**c–e** RR Wise)

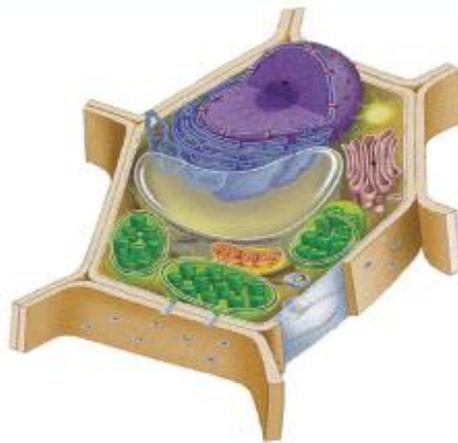
Quindi:

## PARETE SECONDARIA

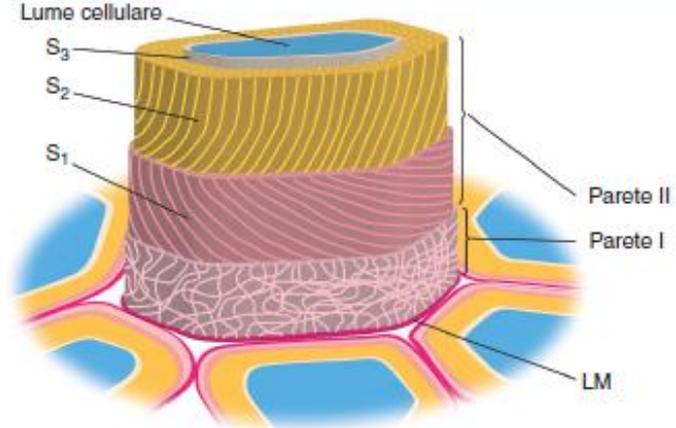
- ✓ depositata tra parete primaria e membrana plasmatica
- ✓ depositata dopo che l'espansione cellulare è completa
- ✓ spesso costituita da strati distinti
- ✓ ha funzione di supporto
- ✓ può contenere un'elevata proporzione di cellulosa e lignina
- ✓ può contenere suberina, cutina e cere



# Ricapitolando:



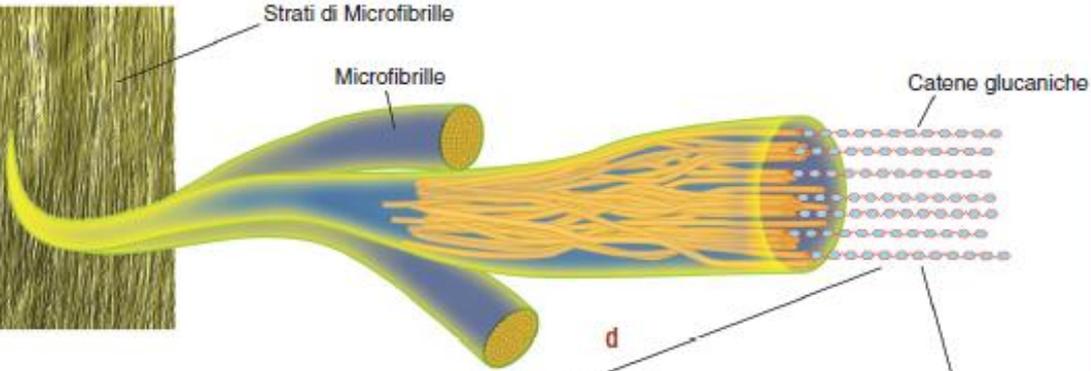
a



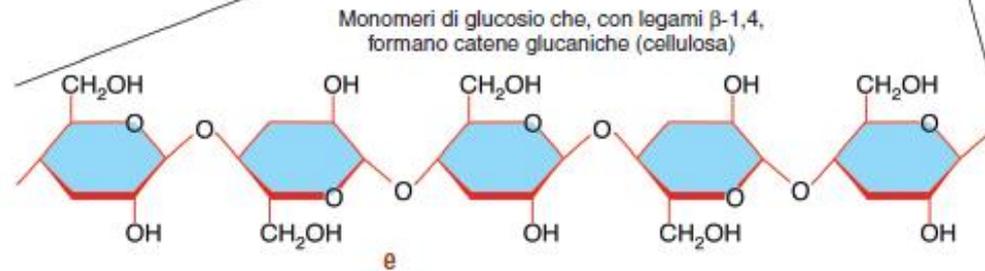
b



c



d

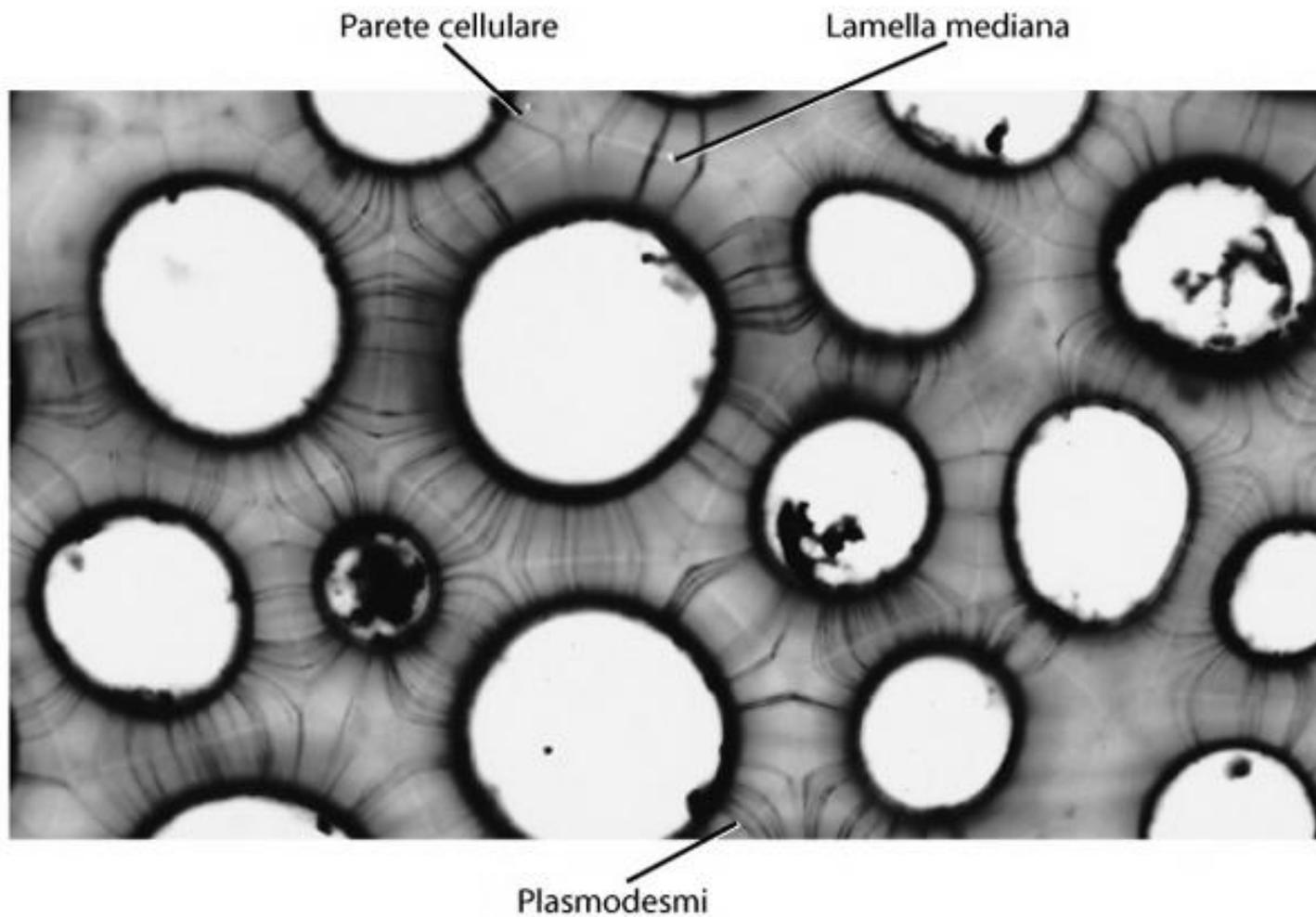


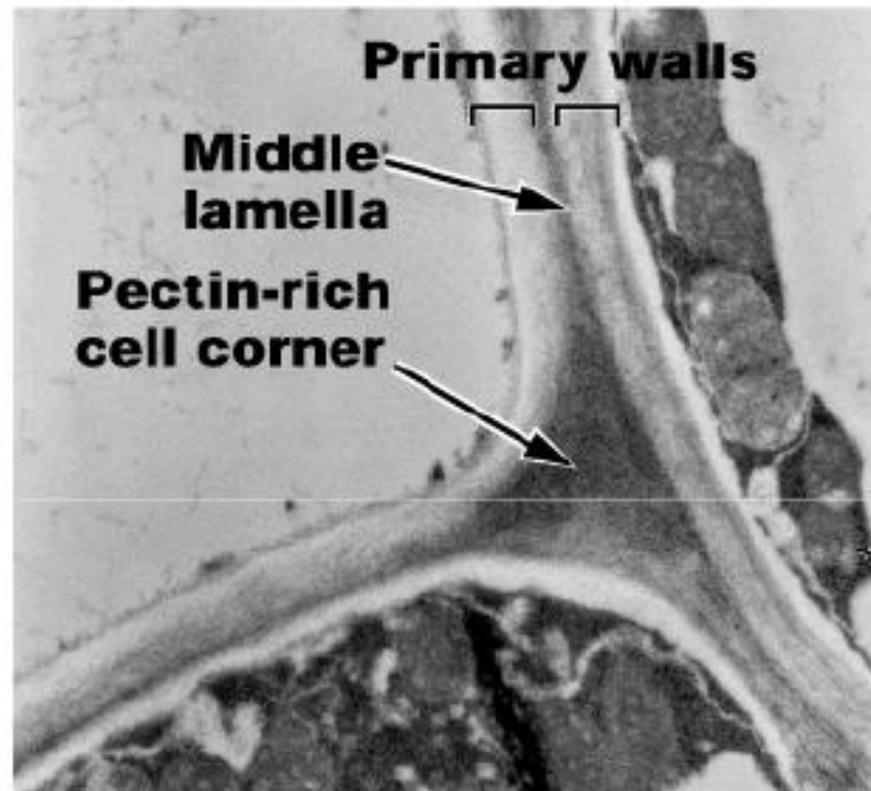
e

Nei vegetali pluricellulari, la parete di una cellula è unita alla parete di quella adiacente mediante una struttura che fa da collante, la **lamella mediana**.

La lamella mediana è composta da **sostanze pectiche o pectine**.

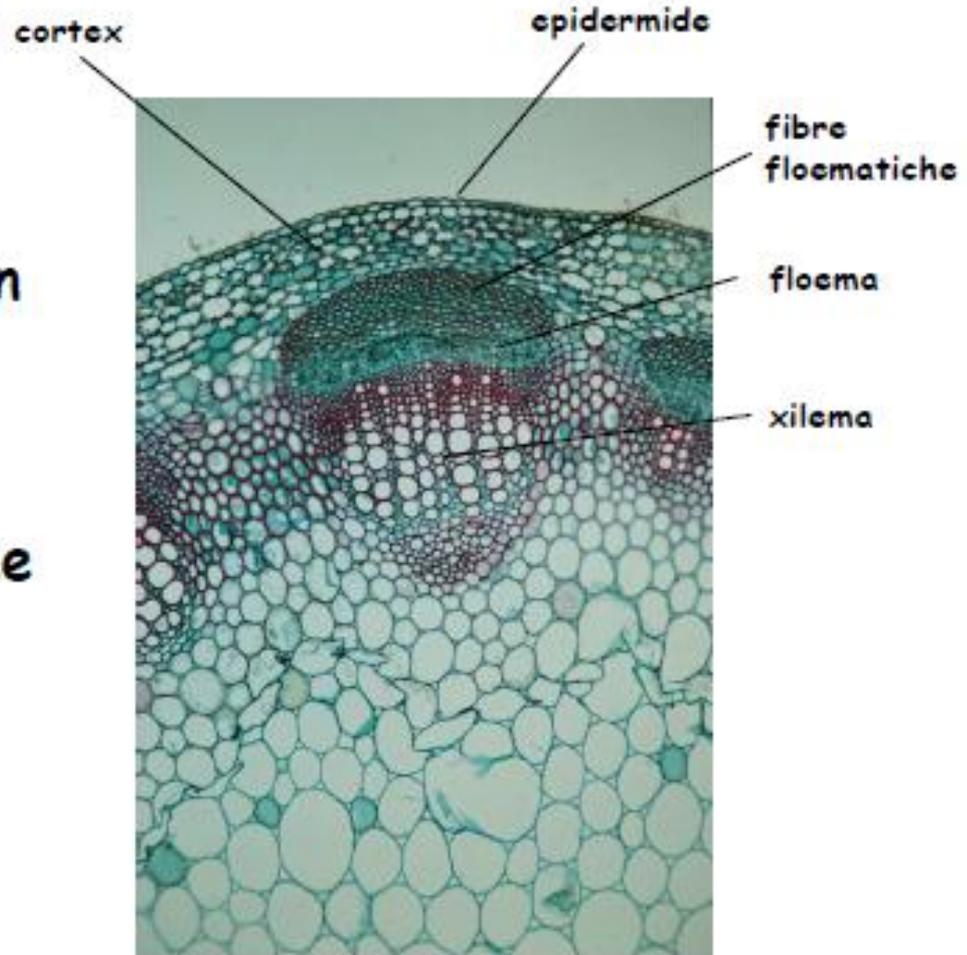
È costituita dal polimero dell'acido galatturonico che mediante legami con ioni  $\text{Ca}^{2+}$  forma un gel che conferisce consistenza alla lamella mediana e al tempo stesso flessibilità, e tiene unite le cellule vicine.





Tutte le cellule vegetali possiedono lamella mediana e parete primaria

la parete cellulare non è una struttura uniforme, ma varia notevolmente in aspetto e composizione nelle varie cellule



# Accrescimento della parete

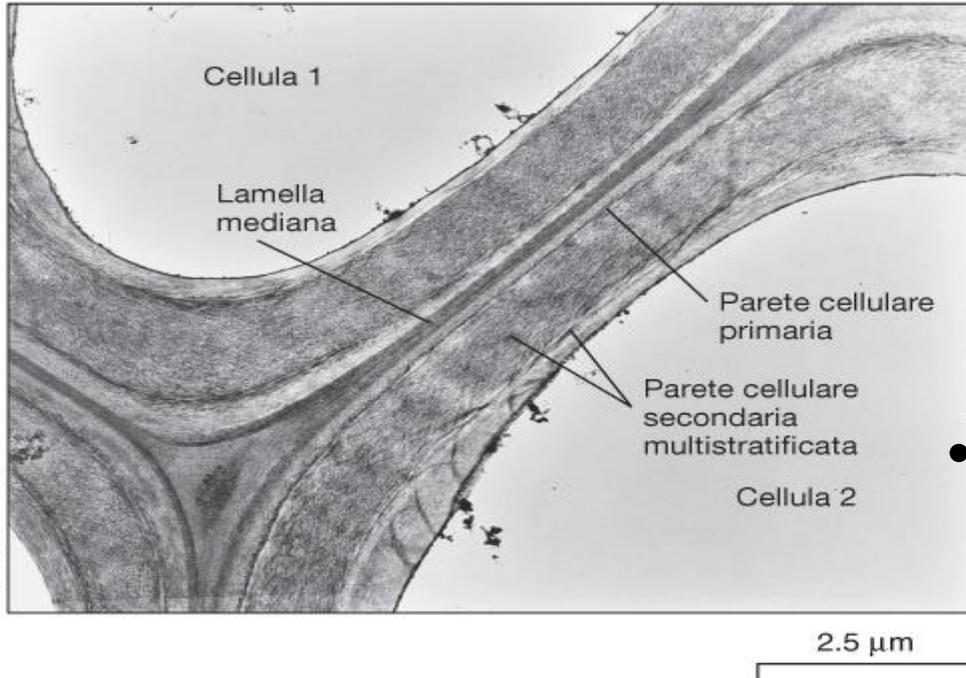


FIGURA 4-28

Le pareti delle cellule vegetali.

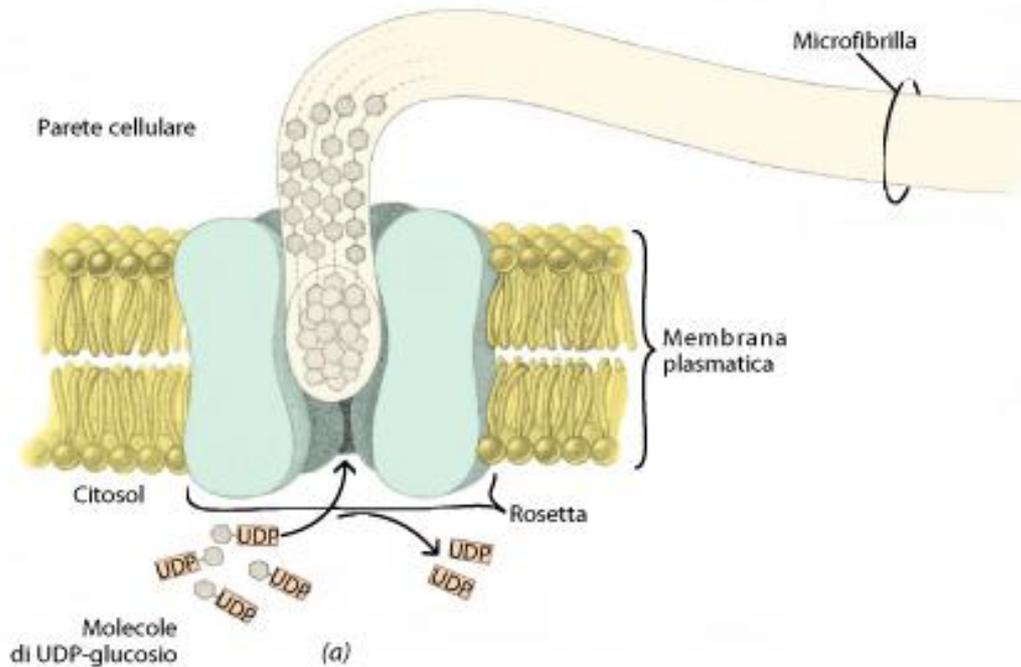
In questa fotografia al microscopio elettronico a trasmissione sono mostrate le pareti cellulari di due cellule vegetali adiacenti. Le cellule sono cementate dalla lamella mediana, costituita da uno strato di polisaccaridi adesivi detti pectine. La cellula di una pianta in crescita secerne prima una sottile parete primaria che si stende man mano che la cellula cresce. Una volta che la cellula ha smesso di crescere, all'interno della parete primaria vengono secreti degli strati più spessi che costituiscono la parete secondaria.

- La parete si ispessisce in direzione **centripeta** (gli strati più giovani sono vicini alla membrana cellulare).

# Come si organizza la parete cellulare e come cresce?

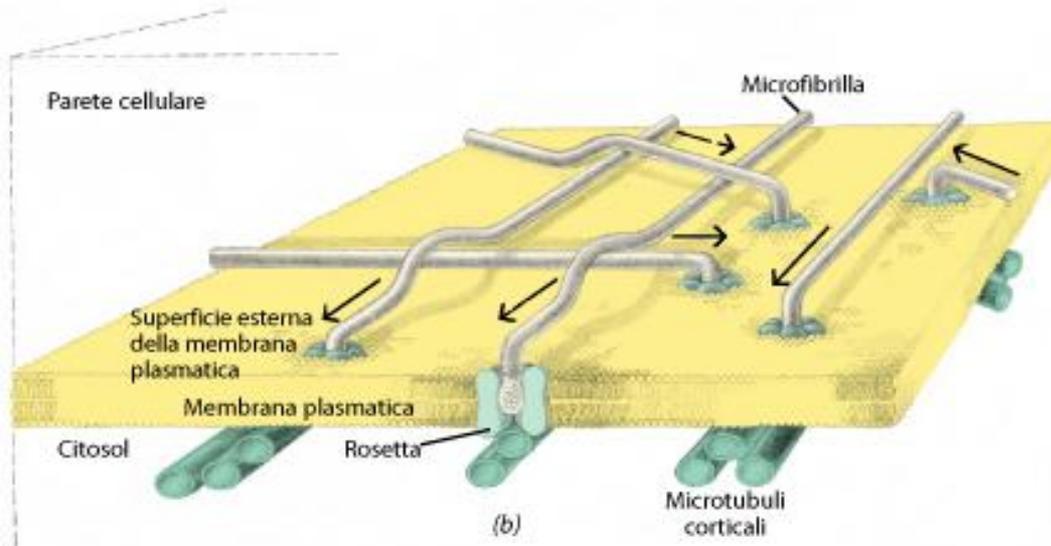
Le microfibrille di cellulosa vengono sintetizzate dalla **cellulosa sintasi**, complessi enzimatici localizzati nella membrana plasmatica.

Nelle spermatofite questi complessi hanno la forma di anelli o rosette costituite da 6 subunità, disposte a formare un esagono, che attraversa la membrana. Al centro della rosetta c'è un foro detto globulo.

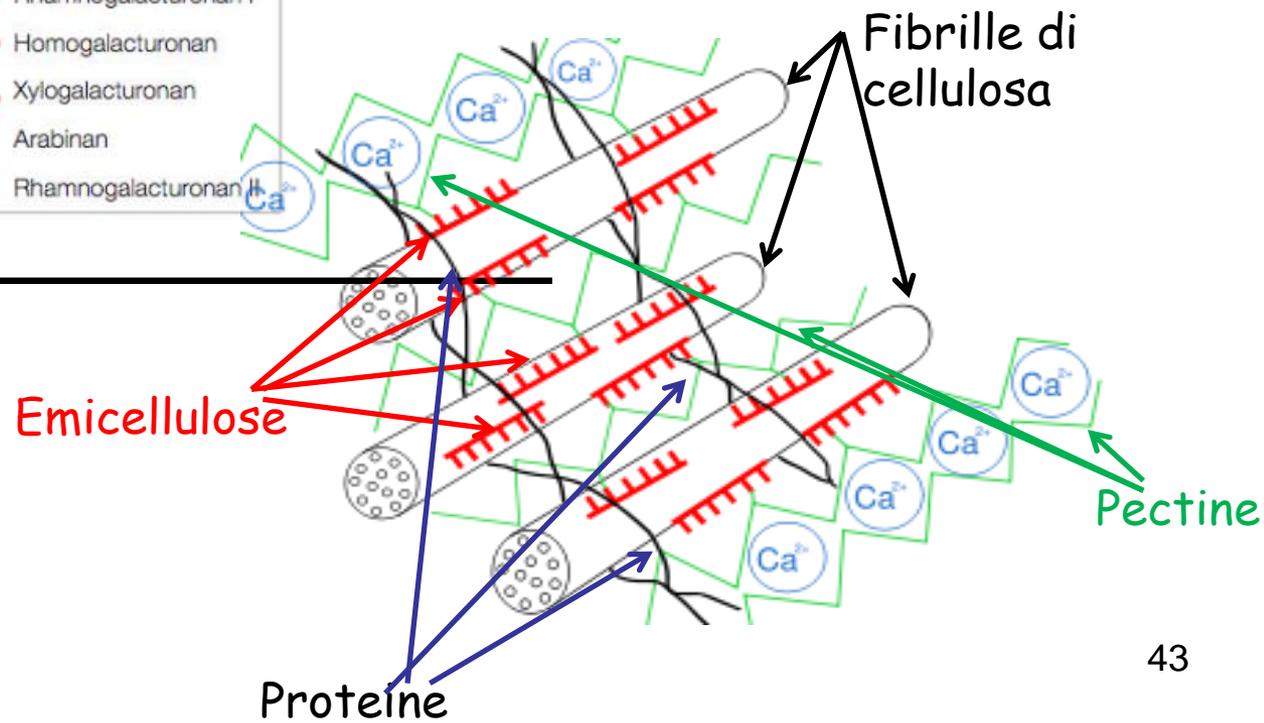
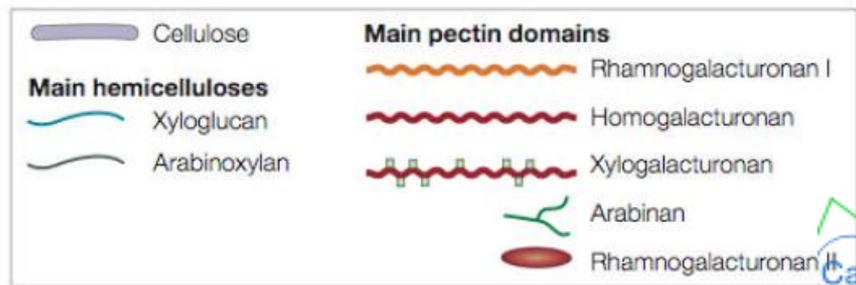
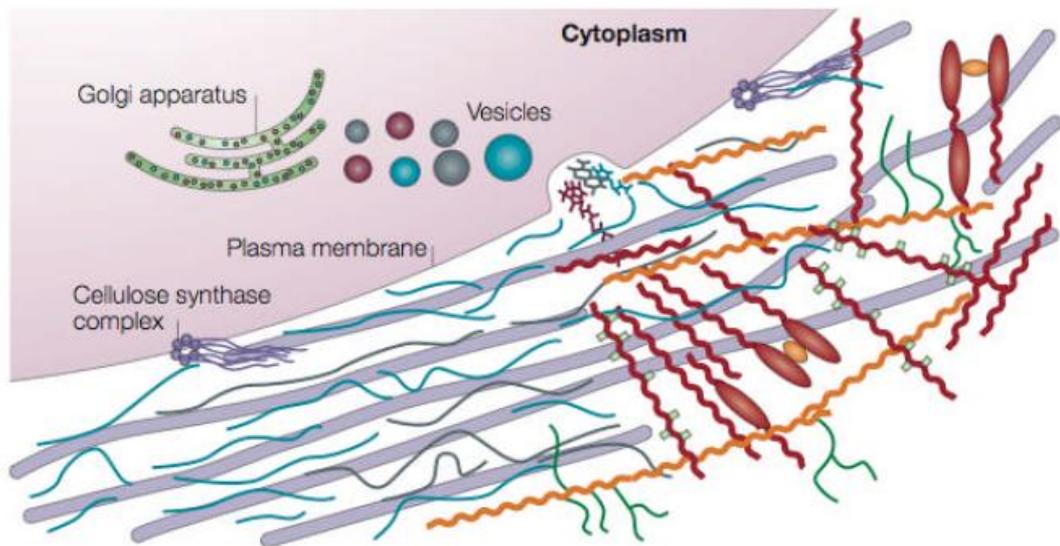


Durante la sintesi della cellulosa, i complessi si muovono nel piano della membrana ed espellono le microfibrille al di sopra della membrana.

Le rosette sono inserite nella membrana e ricevono i monomeri (molecole di glucosio) delle microfibrille mediante le vescicole di secrezione provenienti dal reticolo del Golgi.



Il movimento delle rosette è guidato<sup>42</sup> dai microtubuli corticali.

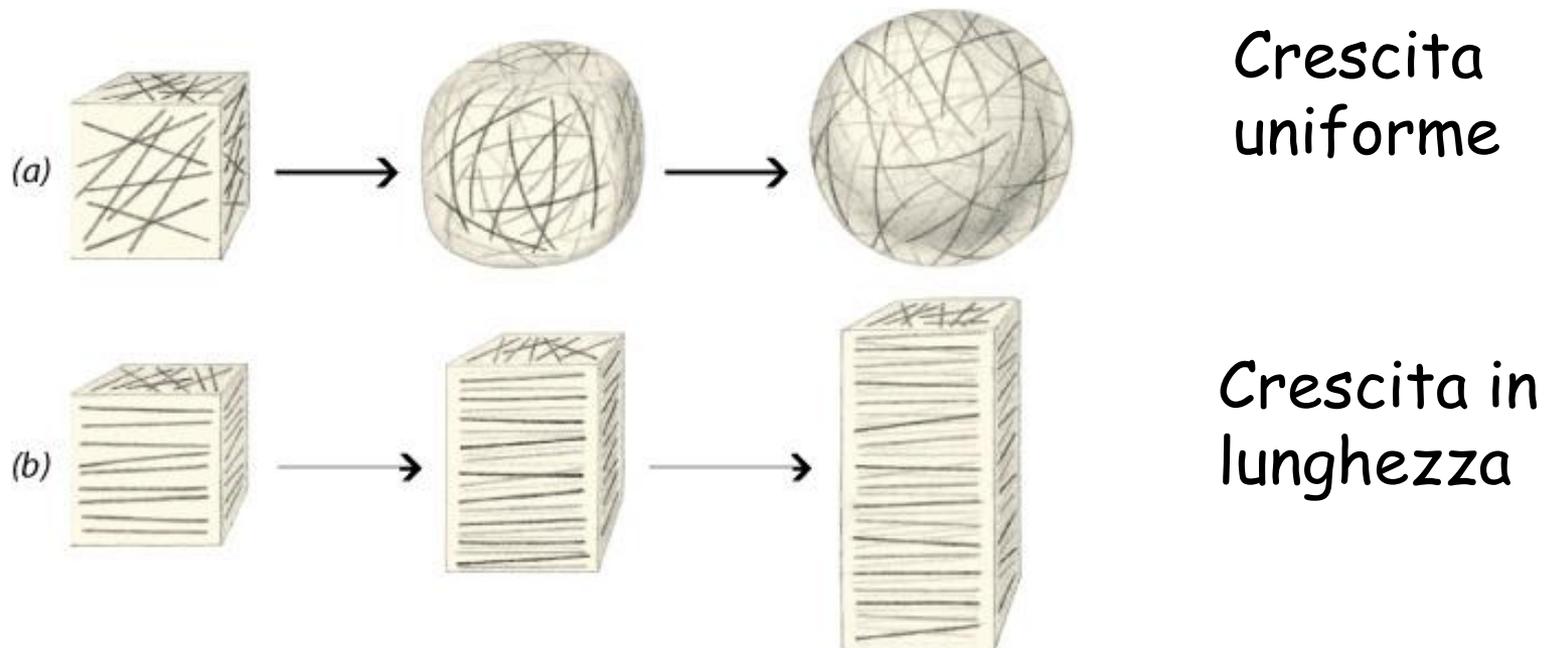




■ Fig. 5.1 e A portion of a developing root cell from maize (*Zea mays*) showing many dictyosomes with swollen trans vesicles containing polysaccharides that are emptying their contents at the site of the cell wall (CW). Scale bar = 1  $\mu$ m. (Micrograph courtesy of Hilton H. Mollenhauer; HH Mollenhauer, Texas A&M University)

Nelle cellule che si ingrandiscono più o meno uniformemente in tutte le direzioni, le microfibrille vengono depositate in maniera casuale, formando un reticolo irregolare.

Le cellule che si accrescono in lunghezza hanno le microfibrille depositate perpendicolarmente all'asse di allungamento.



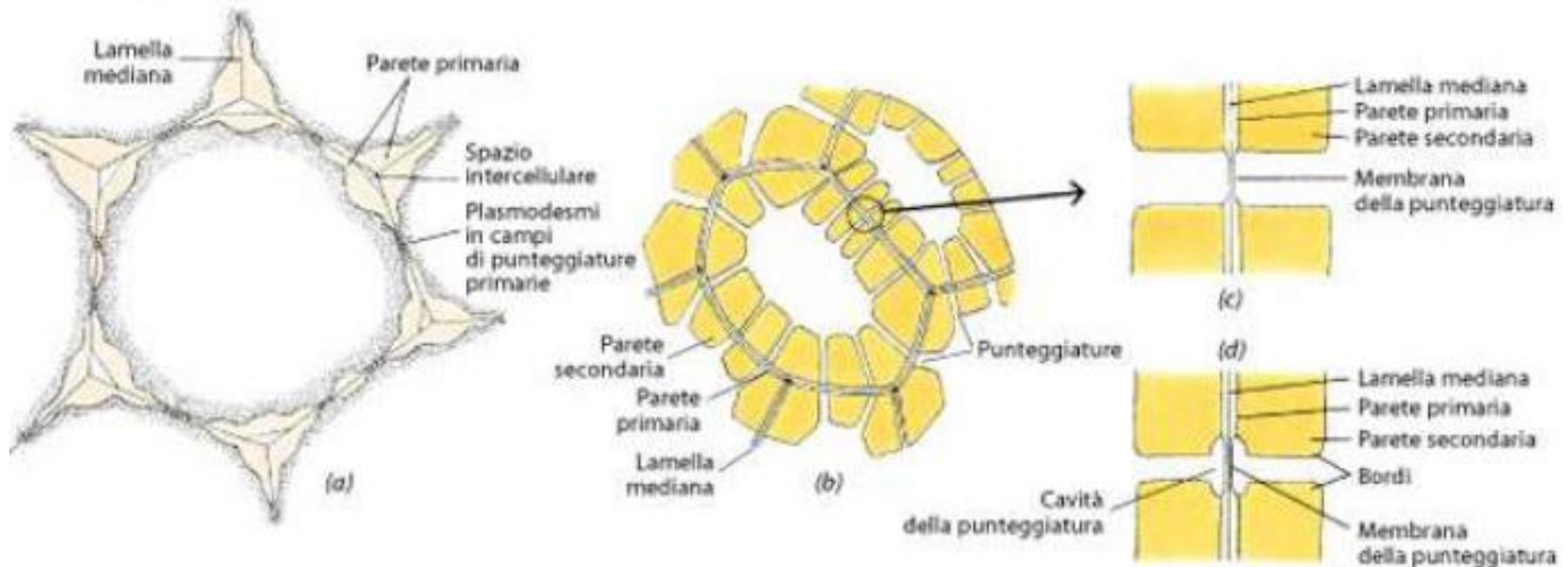
# Connessioni cellulari

Un'altra peculiare struttura mette in comunicazione due cellule adiacenti i **Plasmodesmi**. Sono collegamenti tra le membrane plasmatiche di due cellule attigue.

In corrispondenza di un plasmodesma la membrana di una cellula si estroflette attraversando la parete cellulare e formando un canale si collega con la membrana della cellula vicina.

**I plasmodesmi sono canali citoplasmatici.**

# PLASMODESMI

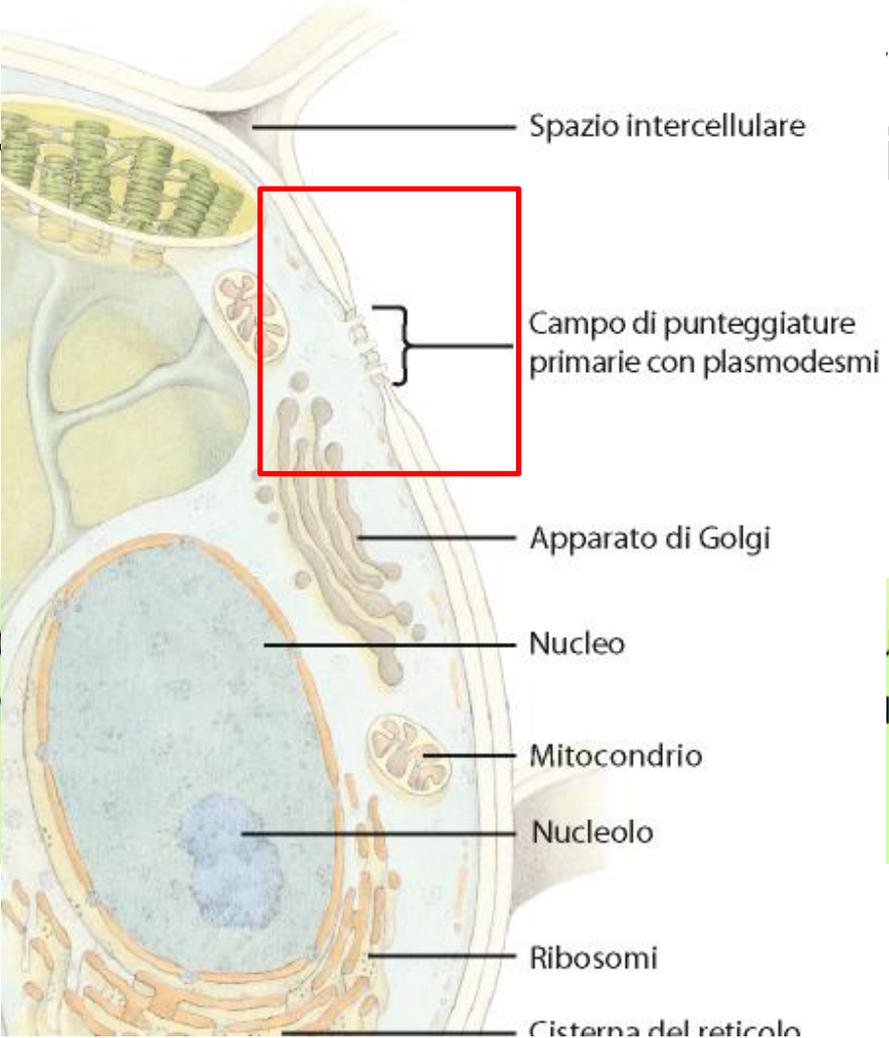


La parete cellulare di una cellula vegetale ha una consistenza ed uno spessore che garantiscono un adeguato sostegno alle cellule e all'intero organismo vegetale, ma non permetterebbe alcuno scambio tra cellule contigue.

Questo è garantito da assottigliamenti della parete che consentono il transito di molecole e soluti da una cellula all'altra attraverso la membrana cellulare.

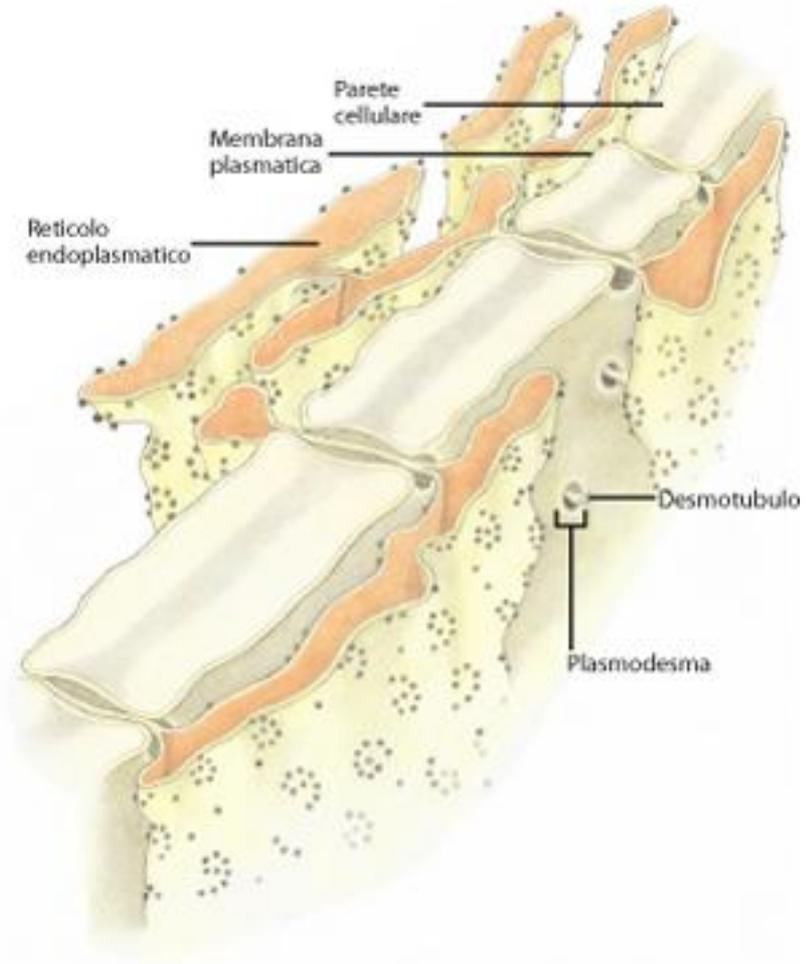
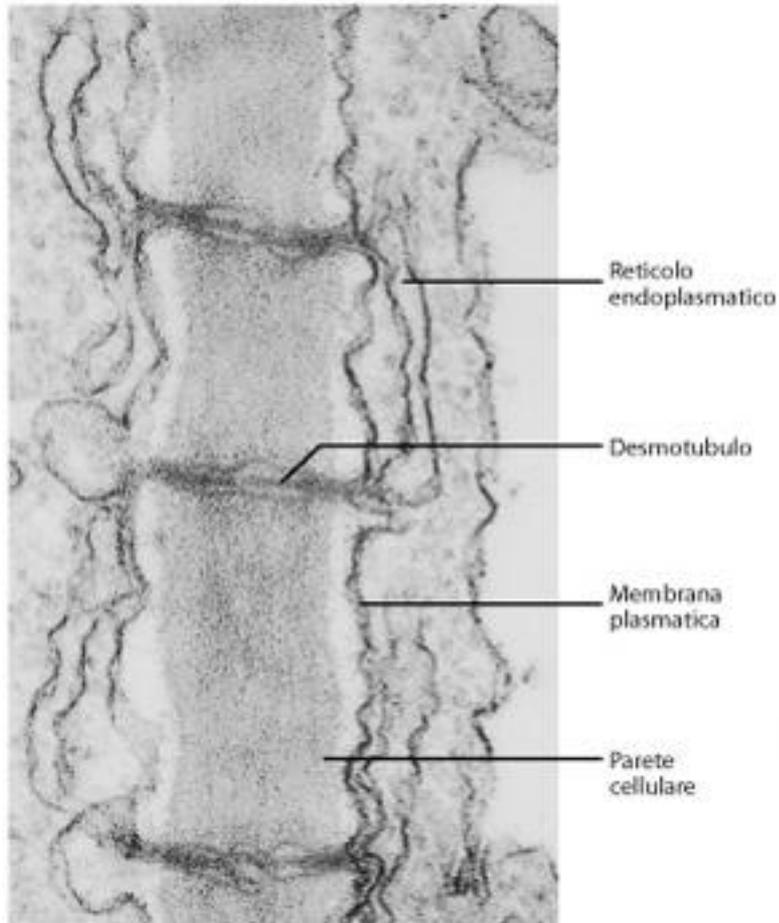
- La lamella mediana è formata dai plasmodesmi che collegano le cellule vicine.

I plasmodesmi (canali citoplasmatici) tra cellule adiacenti sono riuniti generalmente in campi di plasmodesmi primarie.

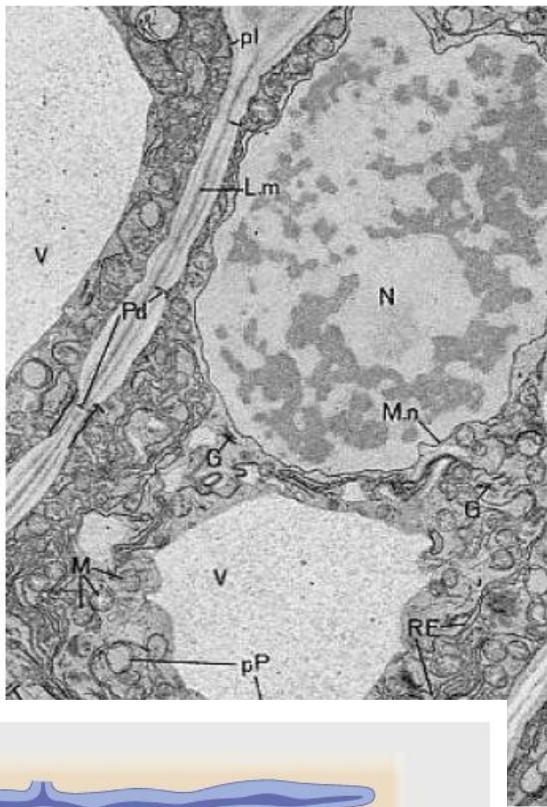


state  
ione

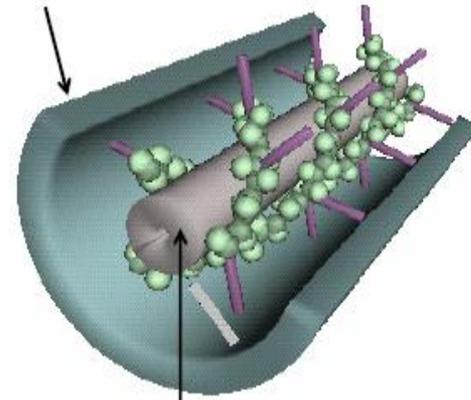
le  
re



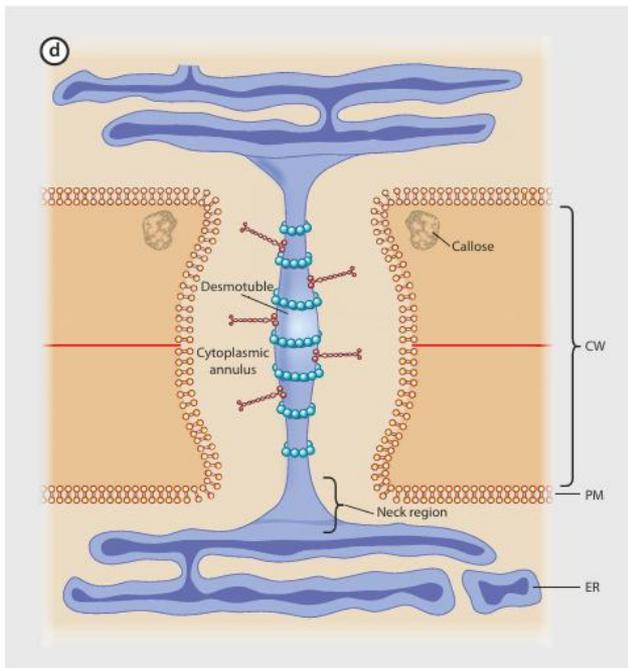
I plasmodesmi contengono un tubulo, prolungamento del reticolo endoplasmatico, detto **DESMOTUBULO**.



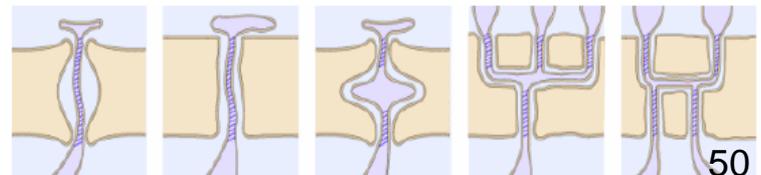
plasmalemma

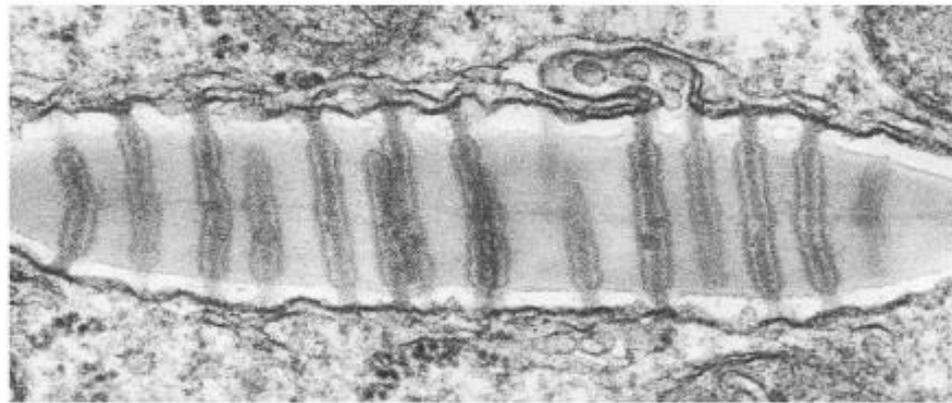


desmotubulo



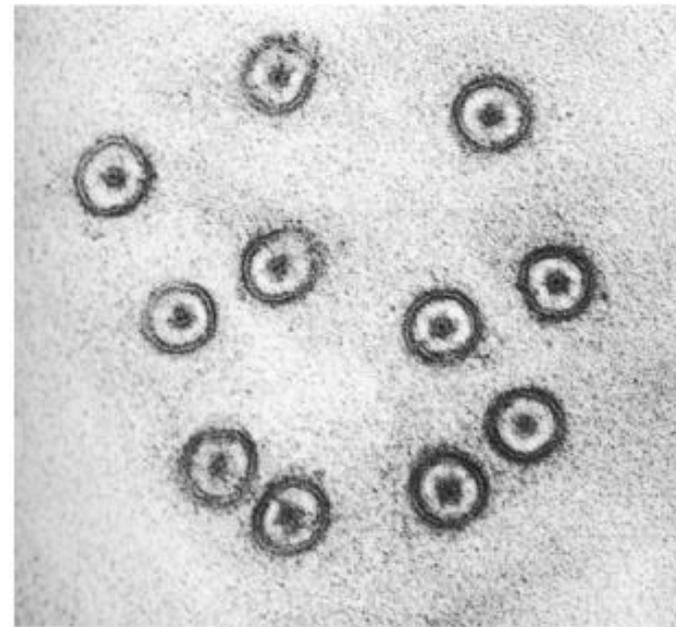
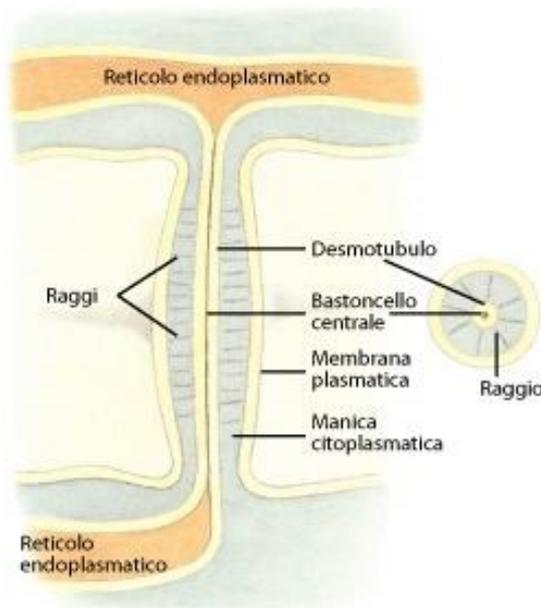
I plasmodesmi possono avere  
diversa morfologia





(a)

200 nm



(b)

100 nm

## Plasmodesmi nella parete delle cellule fogliari della canna da zucchero

I plasmodesmi possono essere:

- Primari, cioè formati in corrispondenza della piastra cellulare durante la citodieresi
- Secondari, cioè formati in cellule già sviluppate

Attraverso i plasmodesmi avviene lo scambio tra cellule, di informazioni (RNA), proteine, molecole presenti nel citoplasma, zuccheri, aminoacidi.

Attraverso i Plasmodesmi avviene la **comunicazione cellula-cellula**, detta anche comunicazione a **breve distanza**.

E' stato dimostrato che i virus delle piante possono indurre la formazione di plasmodesmi attraverso i quali diffondono le particelle virali.

**I Plasmodesmi consentono alle cellule di comunicare**

Il citoplasma di cellule contigue collegato da plasmodesmi è detto **simplasto**.

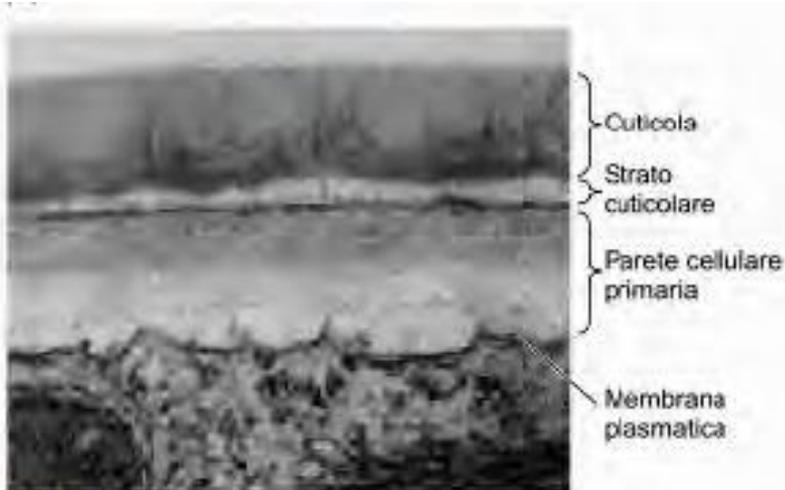
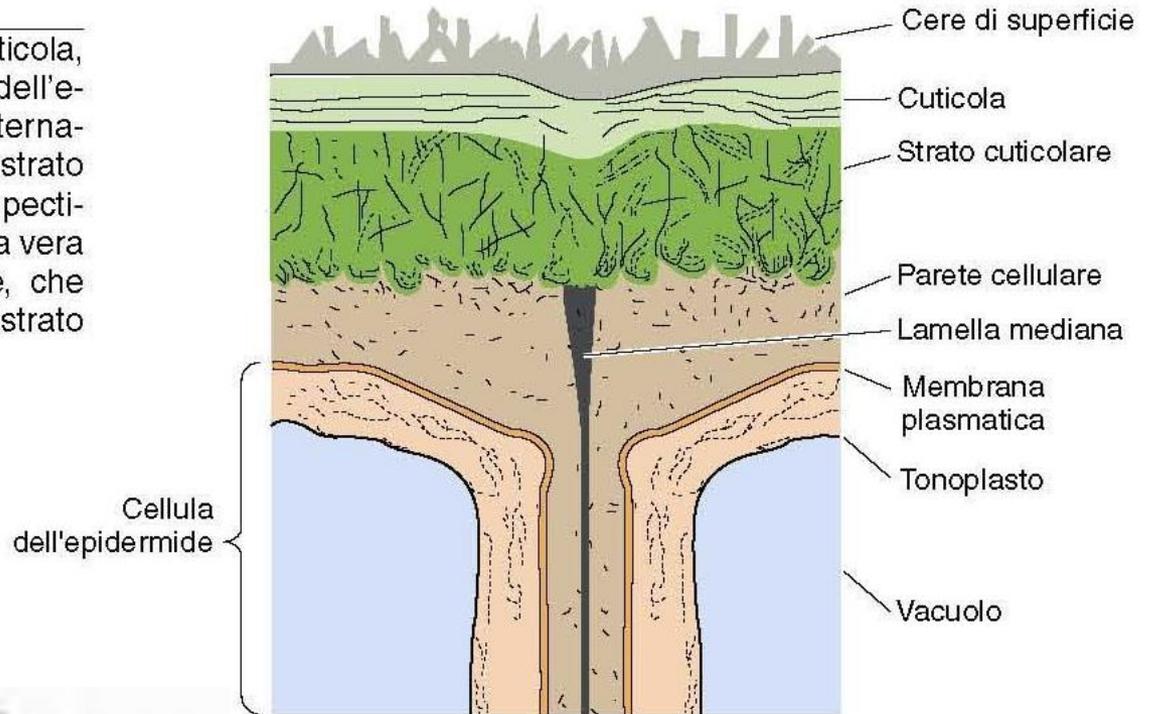
L'ambiente esterno alla cellula è l'**apoplasto**.  
L'apoplasto è uno spazio continuo con un ruolo importante per la vita dell'intero organismo.

# Modificazioni della parete

- Le pareti possono essere impregnate di **Lignina** che conferisce rigidità e resistenza agli attacchi microbici. La lignificazione inizia dalla parete secondaria e procede verso l'esterno.
- Le cellule epidermiche possono essere impregnate di **Cutina**, sostanza idrofoba che protegge la cellula dall'evaporazione, dalle infezioni, dai danni meccanici
- La cutina è associata a cere nelle **cuticole**, particolarmente abbondanti nelle piante xerofitiche.

**Figura 2.14**

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 (da L. Taiz, E. Zeiger, 2006).



## Funzioni della cuticola



**Barriera alla perdita d'acqua**

**Resistenza a patogeni e insetti**

Quindi:

Le pareti hanno uno spessore variabile che dipende dal tipo di cellula e dall'età della cellula.

È il protoplasto che sintetizza tutti i componenti della parete e ne controlla l'assemblamento.

La formazione della parete è centripeta lo strato più giovane è quello più interno alla cellula, vicino alla membrana plasmatica, mentre quello più vecchio è quello più lontano.

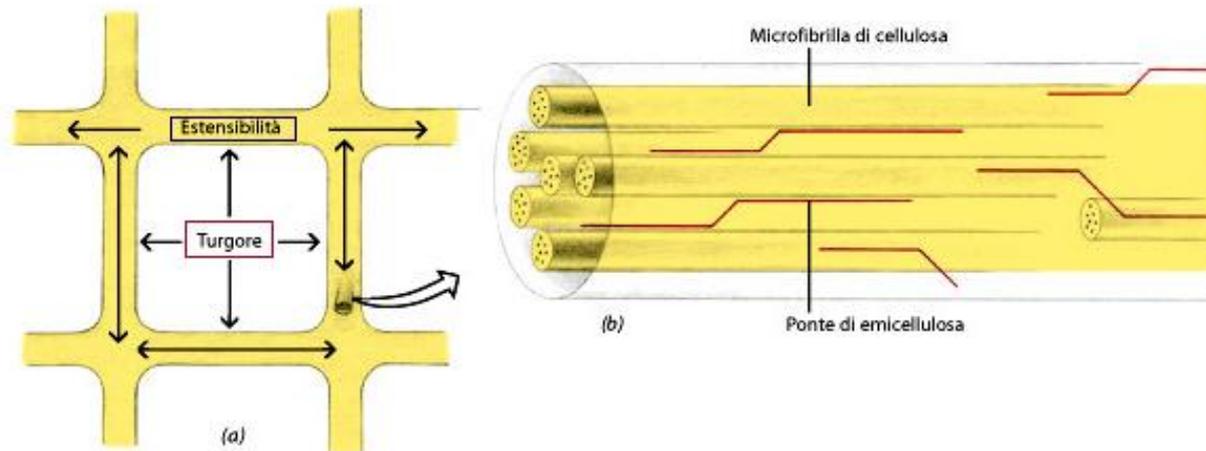
Gli strati più esterni, quelli depositati per primi, costituiscono la **parete primaria**.

Le cellule che devono essere particolarmente resistenti depositano altri strati di parete, internamente ai primi che vanno a formare la **parete secondaria**.

# FUNZIONI: CRESCITA E FORMA CELLULARE

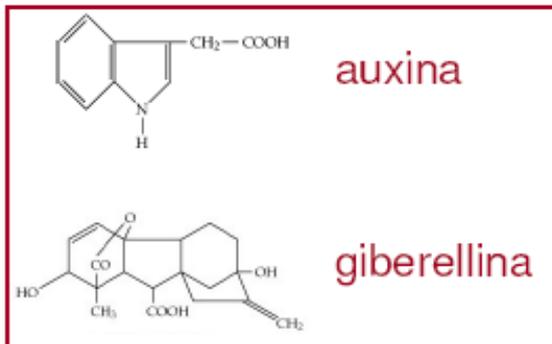
Il tasso di **accrescimento cellulare** è controllato da:

- valore della **pressione di turgore**
- grado di **estensibilità** della parete

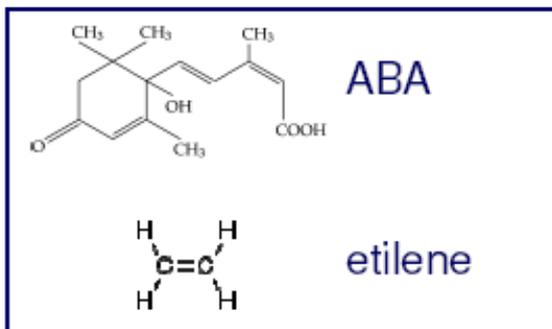


# FUNZIONI: CRESCITA E FORMA CELLULARE

I **fitormoni** controllano l'accrescimento cellulare modificando l'**estensibilità** della parete:

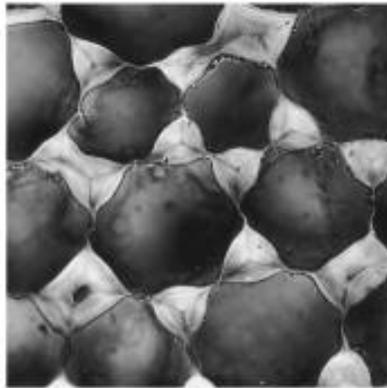


→ estensibilità (+) → accrescimento (+)

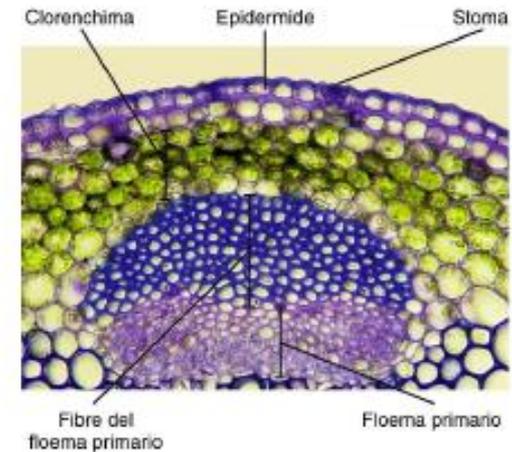
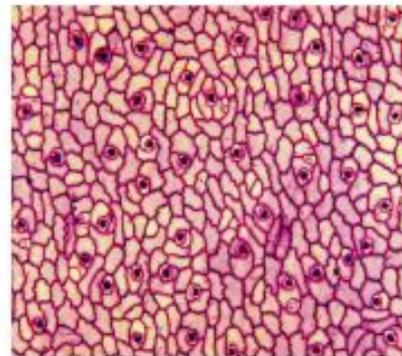
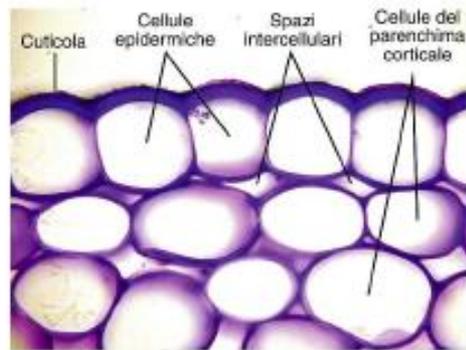
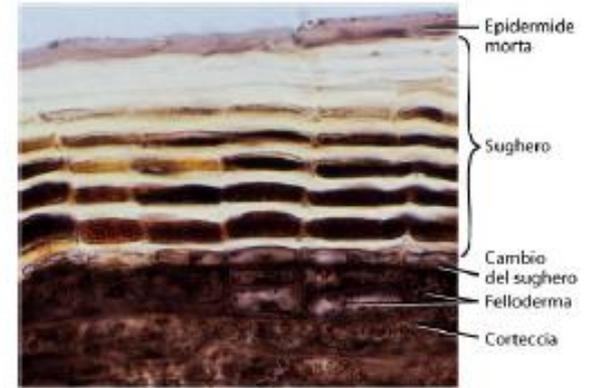
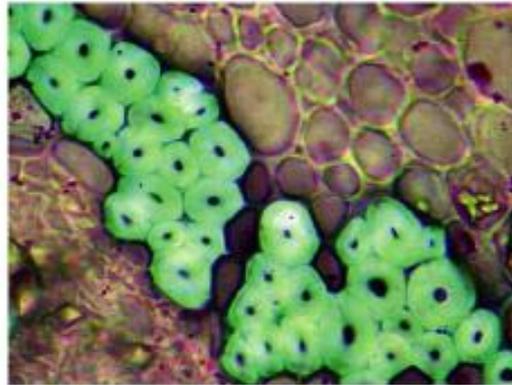


→ estensibilità (-) → accrescimento (-)

# FUNZIONI: CRESCITA E FORMA CELLULARE

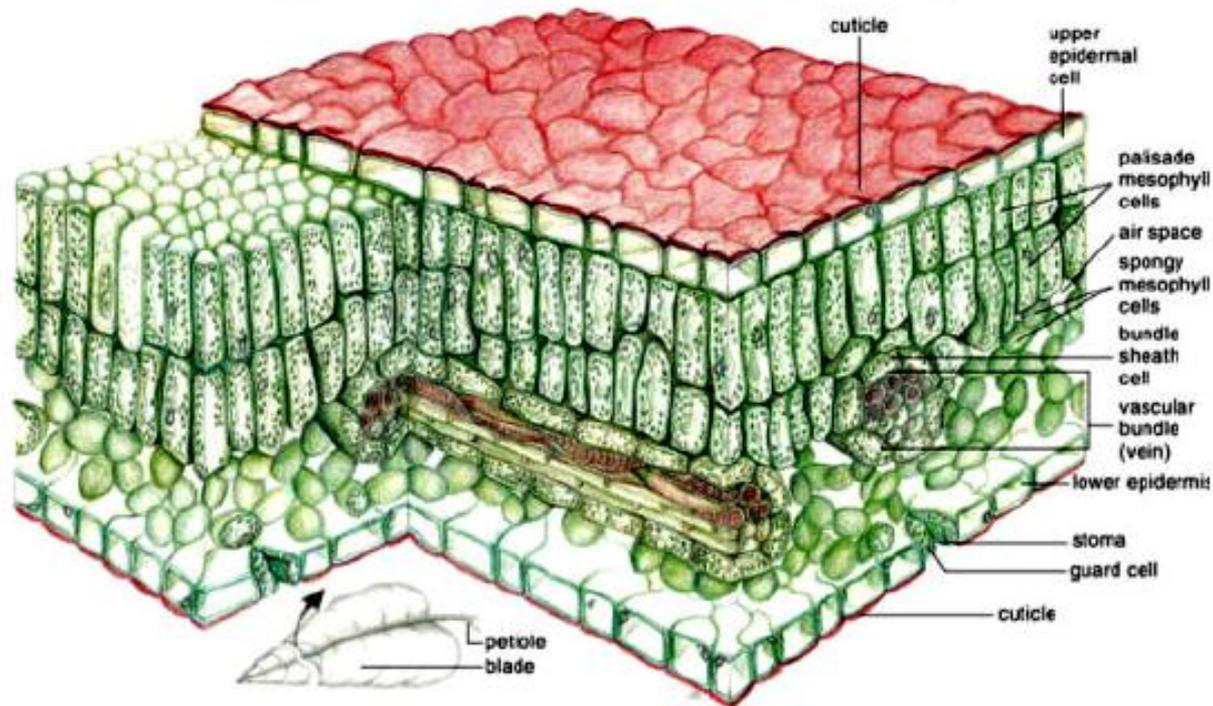


25 µm



# FUNZIONI: CRESCITA E FORMA CELLULARE

La forma delle singole cellule riflette la forma del tessuto



# FUNZIONI: CRESCITA E FORMA CELLULARE

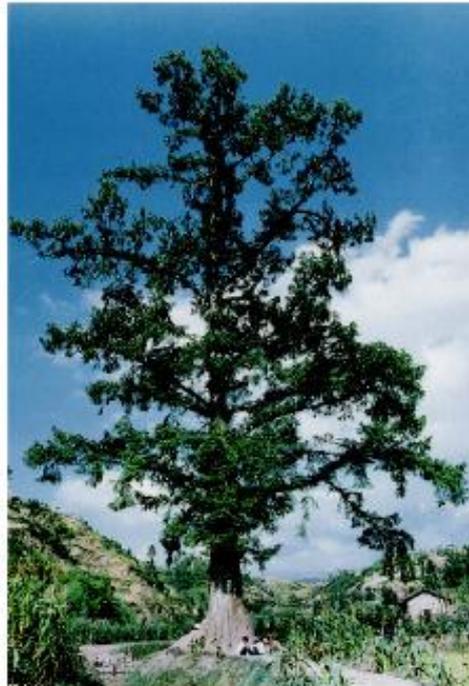
La forma delle singole cellule riflette la forma dell'organo



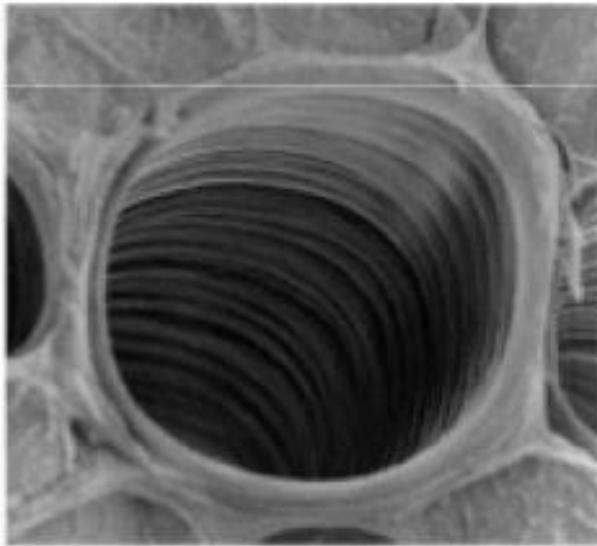
Cellule allungate

# **FUNZIONI: SOSTEGNO MECCANICO**

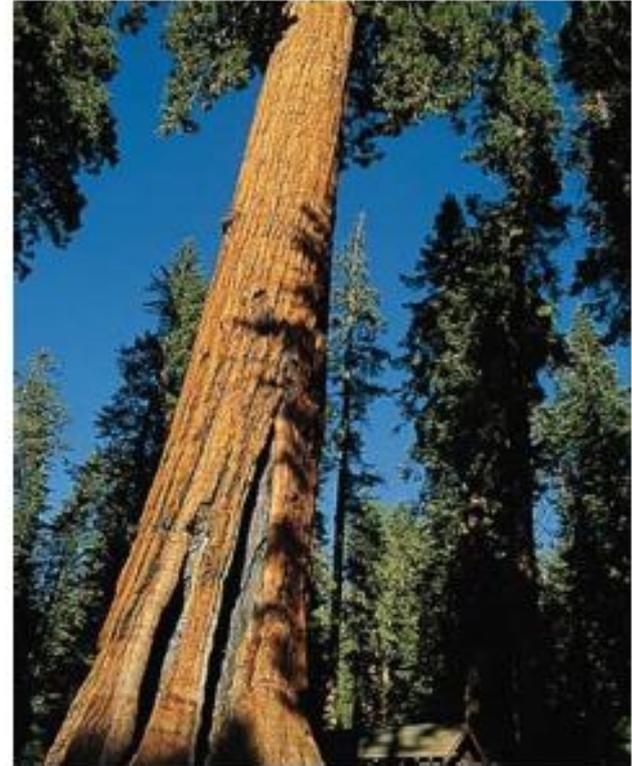
**La parete cellulare fornisce ai tessuti vegetali le proprietà fisiche adeguate all'accrescimento contro gravità**



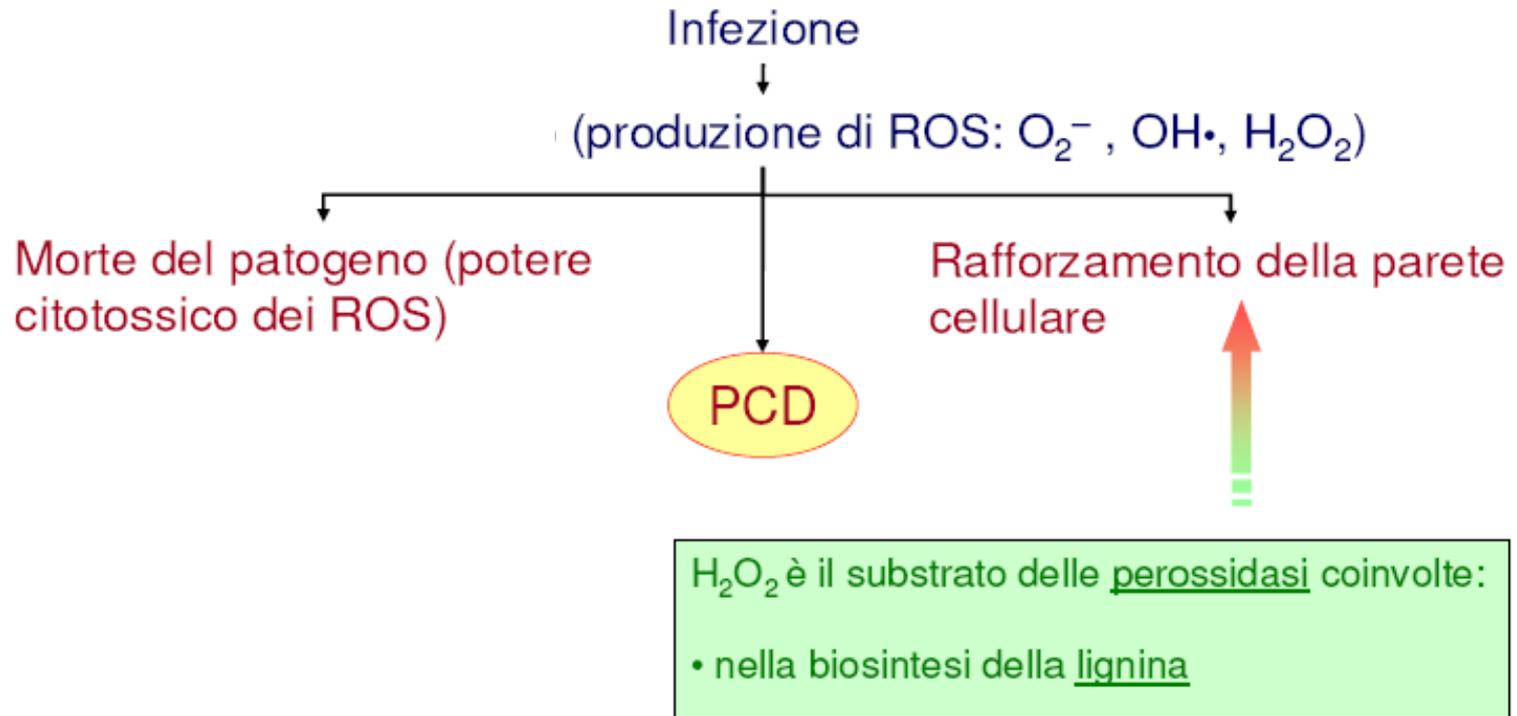
## conferimento della forza meccanica



Cellula  
xilematica



# FUNZIONI: DIFESA DA PATOGENI



## Riassumendo: **La parete cellulare**

- **É costituita da materiale di secrezione del citoplasma**
- **Ha una importante funzione di sostegno**
- **Determina la forma cellulare**
- **Partecipa ai processi di trasporto**, in quanto molecole piccole ed idrofile (acqua, saccarosio, potassio, ed ormoni come le auxine) possono liberamente attraversarla
- **Partecipa al riconoscimento** fra le cellule

# La parete cellulare

- E' una **struttura dinamica** in grado di modificarsi in seguito a stimoli ambientali e fisiologici (alcune porzioni di parete possono essere degradate grazie agli enzimi cellulasi e pectinasi per permettere il funzionamento di definite cellule, es. i vasi conduttori).

- La parete si può modificare per **gelificazione**, quando è arricchita con emicellulose, pectine, gomme e mucillagini (sostanze idrofile che rigonfiano le pareti di acqua) come per es. nei tegumenti dei semi
- La parete può essere impregnata di fenoli come i **tannini** che rendono le cellule più resistenti ai marciumi

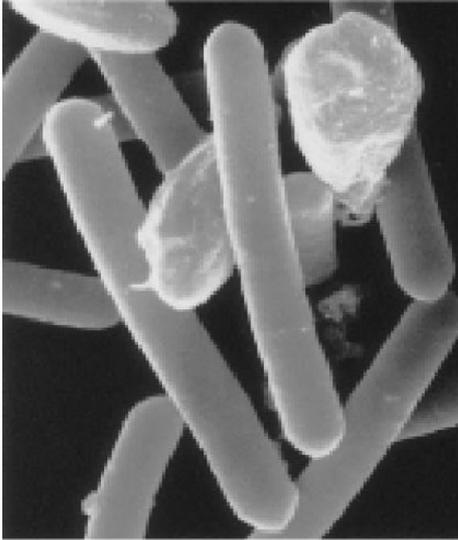
Il successo degli organismi pluricellulari dipende dalla capacità delle singole cellule di comunicare tra loro in modo da poter collaborare alla funzionalità di tessuti ed organi.

La comunicazione si realizza mediante segnali chimici e cioè mediante sostanze che vengono sintetizzate all'interno delle cellule e poi trasportate all'esterno fino a raggiungere le cellule vicine.

Queste sostanze devono essere piccole in modo da poter passare attraverso la parete cellulare.

# IN QUALI ORGANISMI È PRESENTE LA PARETE CELLULARE?

*Clostridium botulinum*



Quasi tutti i  
procarioti

*Amanita muscaria*



Tutti i  
funghi

*Macrocystis pyrifera*



Numerosi  
protisti

*Cactus barile*



Tutte le  
cellule  
vegetali

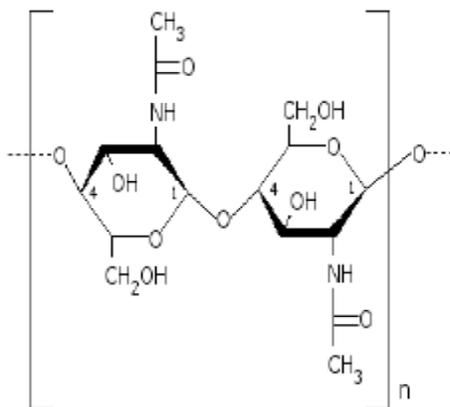
Nei diversi organismi la parete cellulare varia in  
**composizione chimica e struttura**



## PARETE CELLULARE DEI FUNGHI



La parete cellulare dei funghi è  
composta soprattutto da **CHITINA**



La chitina è un **polisaccaride**  
costituito da residui di **N-  
ACETILGLUCOSAMMINA**

La chitina si ritrova anche  
nell'**esoscheletro degli artropodi**



# Applicazioni biotecnologiche

## Utilizzi della cellulosa e del legno

2b

### CELLULOSA

Produzione:  $10^{10}$  -  $10^{11}$  tonnellate all'anno

Utilizzazioni:

- Fibre tessili: cotone (Gossypium) peli fino al 90%
- lino (Linum usatissimum) fibre fino al 80%
- canapa " " 70%
- canapa di Manila (Musa textilis) (funi)
- sisal (Agave sisalana) (corde)
- juta (Chorchorus capsularis) (sacchi)

fibre superficiali - fibre tenere o liberiane (cellule sclerentimatiche provenienti dal floema fust. Dic.)

fibre dure o strutturali  
o da foglie (monoc)  
fasci vascolari guaine fogliari

- Carta: papiro (Cyperus papyrus) (midollo) Egitto 2500 a. C.
- corteccia pestata Cina 100 a. C.
- pasta da legno Germania 1840

Piante tessili	21 milioni di tonnellate	cotone	14
		juta	4
		lino	0,7
		fibre dure (sisal)	0,5

legno e prodotti	1844	Conifere	Dicotiledoni
legna		102	753
tronchi x compensati		431	189
legno x pasta		152	64
" x pali, fiammiferi		86	67

#### Modificazioni chimiche della cellulosa:

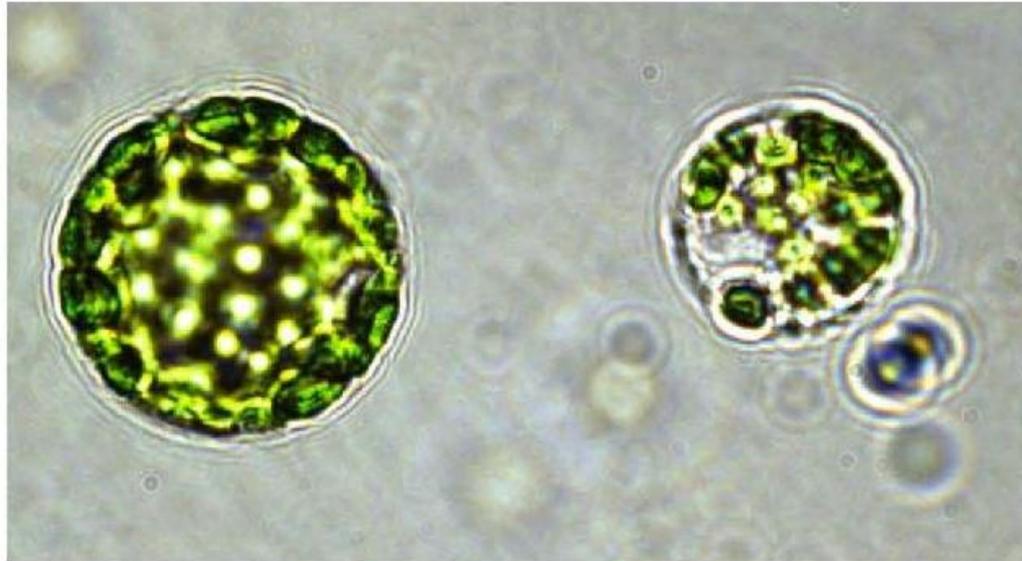
Nitrocellulosa - Acetato di cel. - Metilcell. - Fibre di raion  
Pellicole di celluloido - Materiali da imballaggio  
Stabilizzanti alimentari (carbossimetilcellulosa)

Per la sua ampia disponibilità e per il rapido processo di sintesi, la cellulosa è considerata una materia prima rinnovabile.

In questi ultimi decenni è stata studiata con grande attenzione la possibilità di utilizzarla come fonte di glucosio per la produzione di **bioetanolo**, oggi ampiamente usato nel settore del trasporto come carburante alternativo a quelli di origine fossile.

Attualmente, la maggior parte di bioetanolo è prodotta dall'amido o da altri zuccheri provenienti da vegetali coltivati per questo scopo (frumento, mais, canna da zucchero e soia).

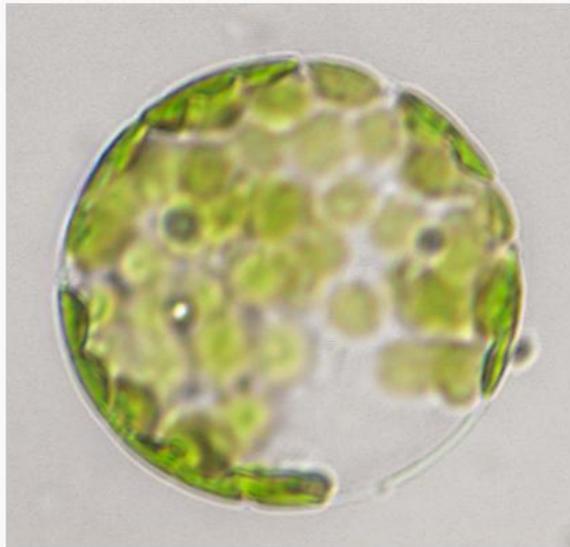
# La cellula vegetale può sopravvivere senza parete?



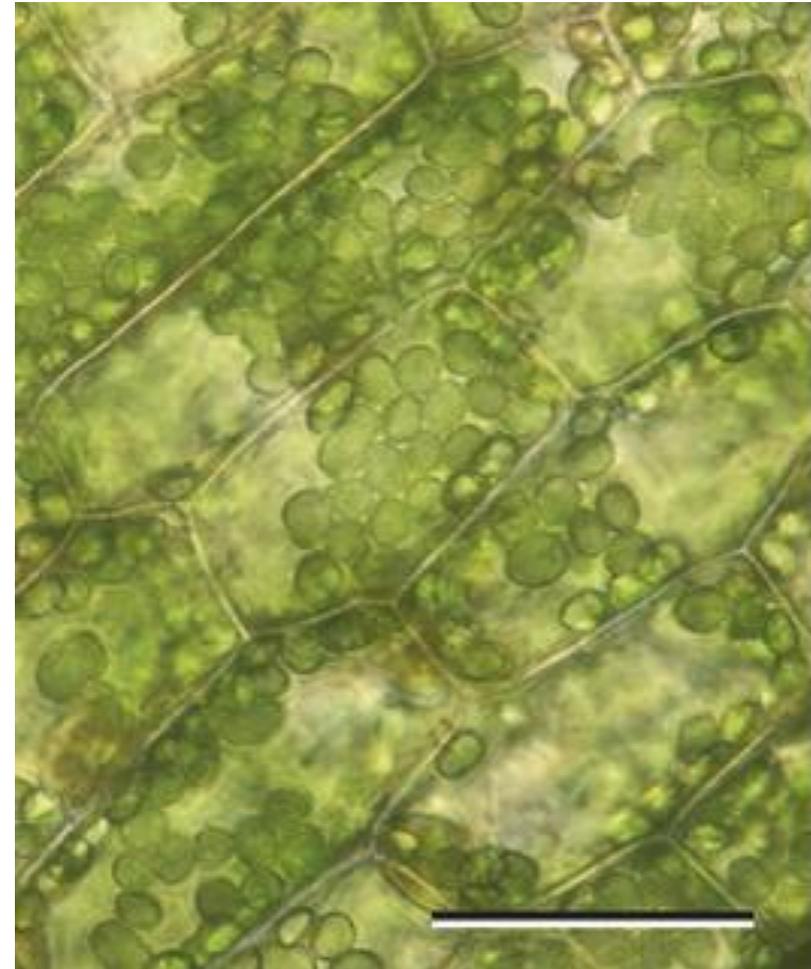
**Figura 2.1**

Micrografia al microscopio ottico di protoplasti di cellule del mesofillo di pomodoro. L'assenza di parete fa assumere alle cellule una forma sferica (osservazione di M. Silvestrin e L. Trainotti).

# Protoplasti da foglie



# Stesse cellule con parete



# Applicazione Biotecnologica dei protoplasti:

Coltura cellulare in provetta per ottenere tante cellule ma anche nuove intere piante.

