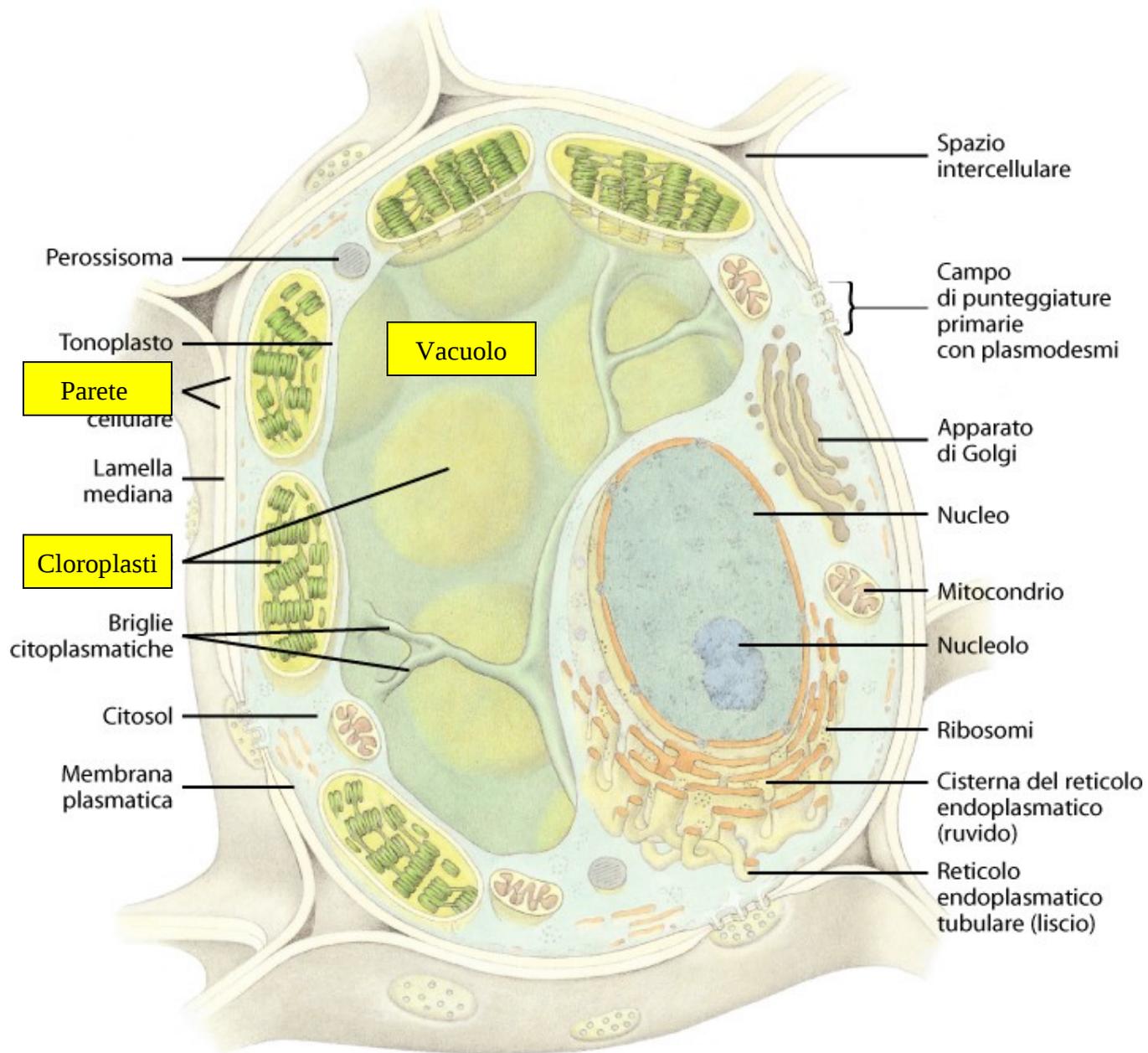


# La cellula vegetale



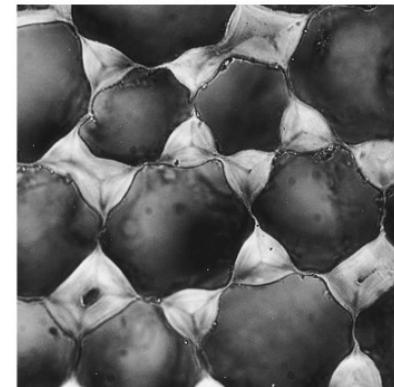
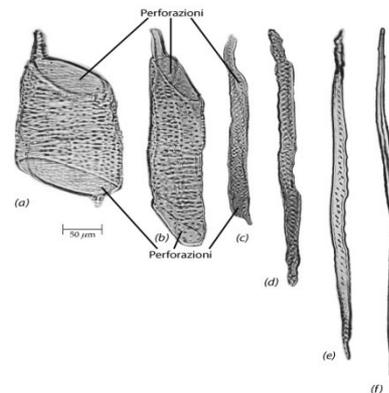
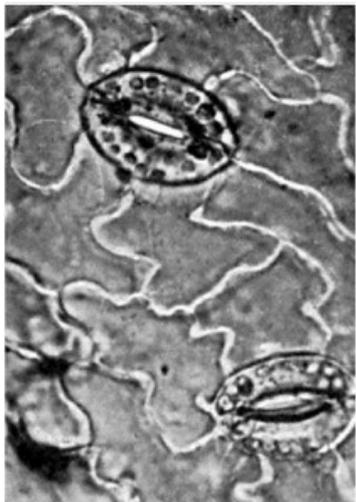
# La Parete

**Involucro semirigido che riveste la cellula e che si trova subito al di fuori del plasmalemma e può essere spessa anche alcuni  $\mu\text{m}$**

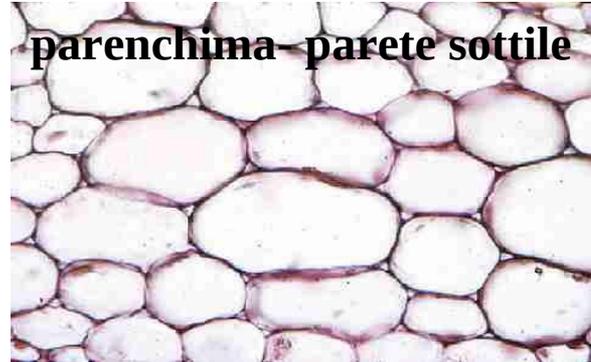
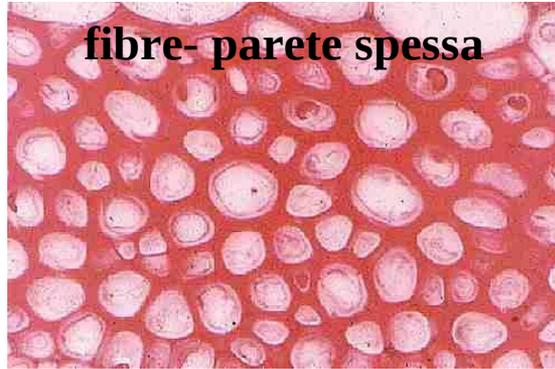
Struttura dinamica che varia nel tempo, si modifica durante il differenziamento ed è molto importante per i rapporti intra ed inter-specifici.

## Funzioni della parete

(1) Conferisce la forma alla cellula => all'organo => incide sulla morfologia della pianta



(2) dà sostegno alla cellula

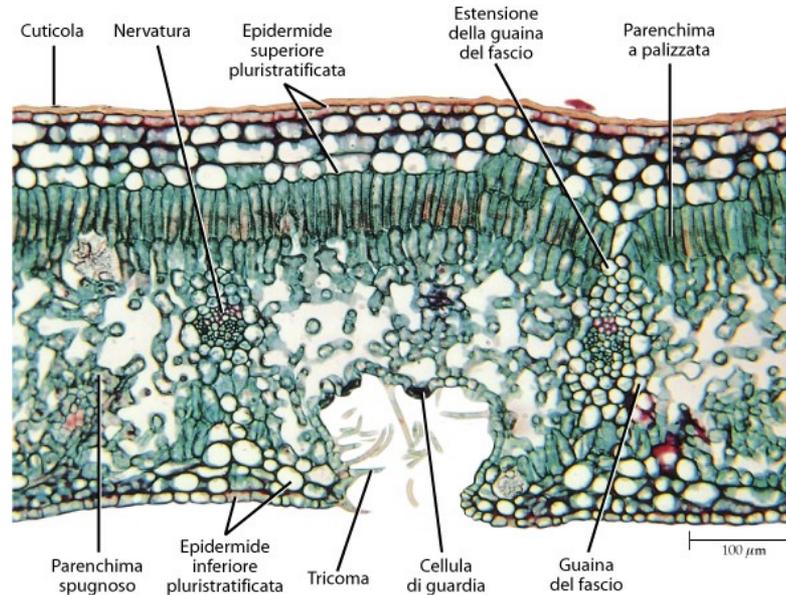


Insieme delle pareti → formano un esoscheletro

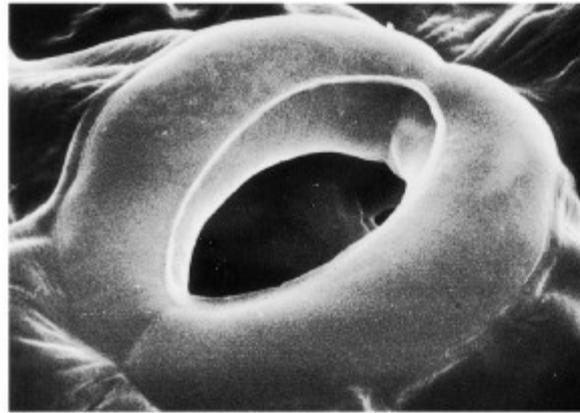
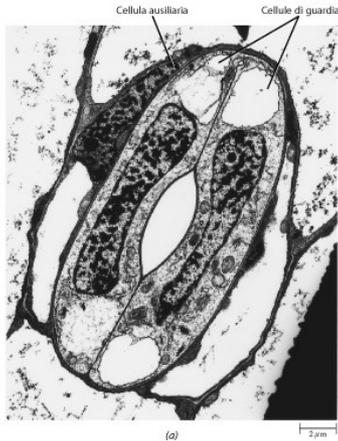
+

Turgore cellulare

Sistema meccanico  
generale

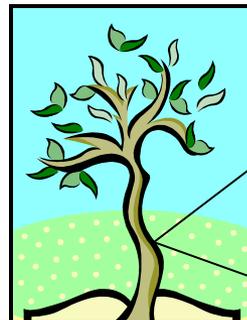


(3) Parete (composizione-struttura) + vacuolo (turgore) danno alla cellula la possibilità di cambiare forma

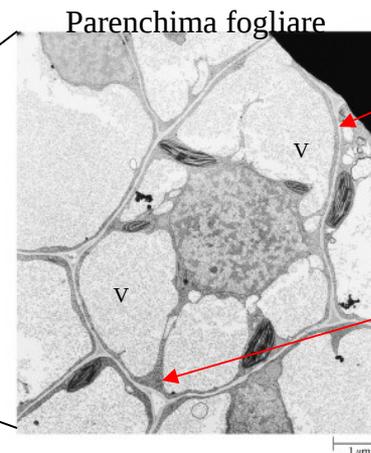


(4) protegge la cellula dai liquidi ipotonici esterni

Controbilancia la pressione osmotica del vacuolo



Soluzione nel Terreno  
 $\Psi = \text{circa } 0,5 \text{ bar}$



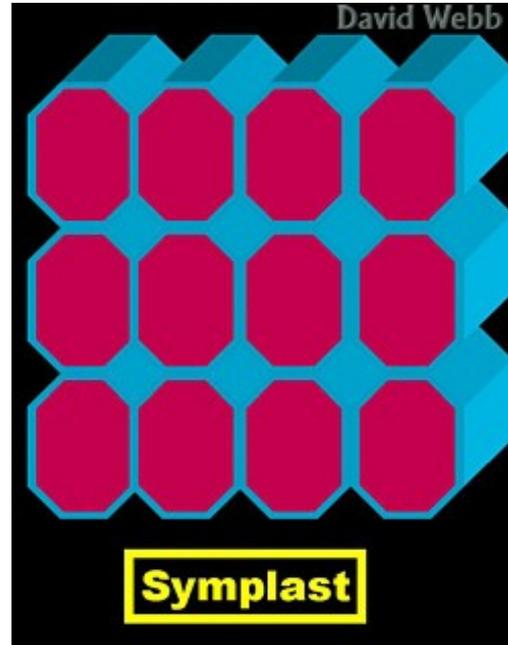
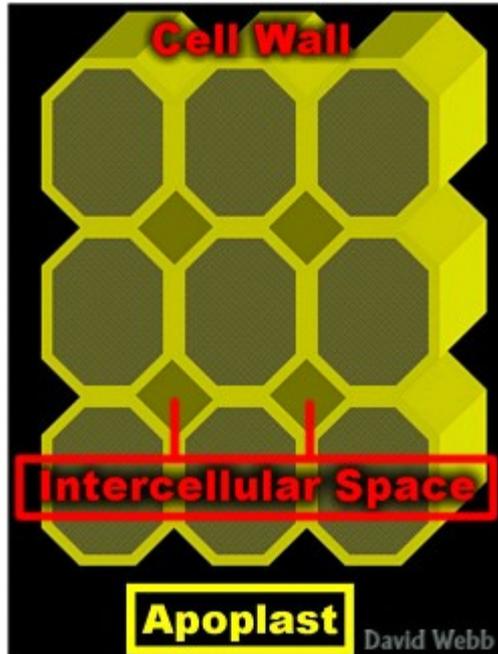
La soluzione del terreno va ad “impregnare” le pareti cellulari

Il citoplasma ha un potenziale minore rispetto alla soluzione esterna

=> Acqua tenderebbe ad entrare

## (5) Media gli scambi della cellula con l'esterno

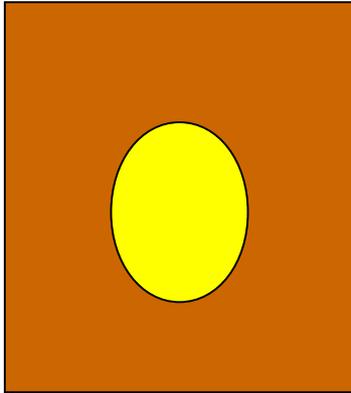
- Diffusione sostanze (negli organismi pluricellulari costituisce l'apoplasto)



- Interazione con cellule vicine
- Interazione con altri organismi (interviene nei fenomeni di riconoscimento: es. fecondazione, innesto)

(6) In alcune piante funzione di riserva

es. - nei datteri (semi) → le riserve sono costituite da emicellulose di parete

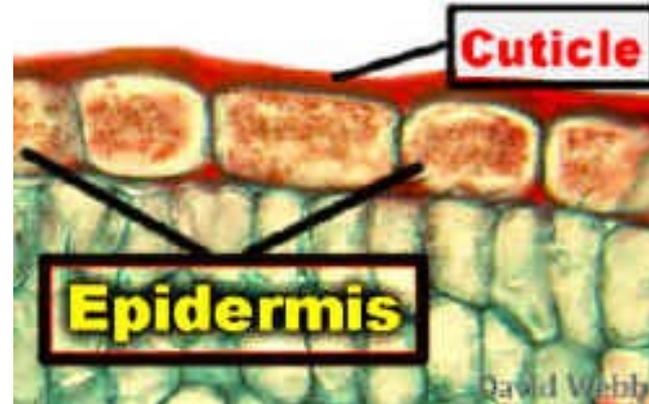
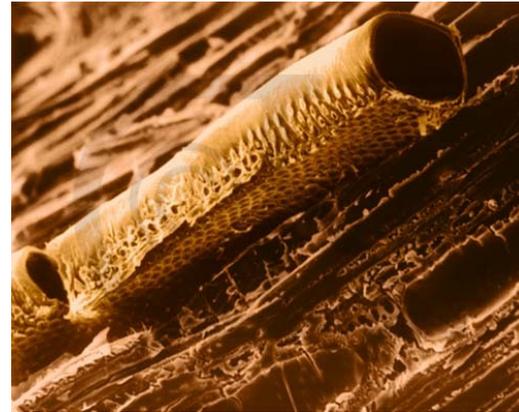


cellule semi datteri con lume piccolo

-nelle pareti del legno possono essere presenti emicellulose di riserva

(7) funzioni specifiche in base al tipo cellulare e correlate alle modificazioni secondarie della parete

Es. lignificazione



## Importanza ecologica

La parete costituisce il principale componente del flusso di carbonio dell'ecosistema

# Costituenti chimici della parete

Matrice

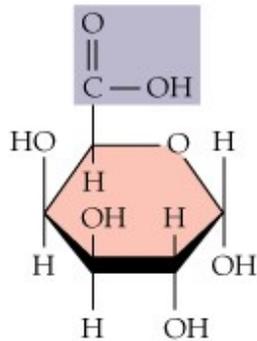
Componente fibrillare

Componenti della matrice

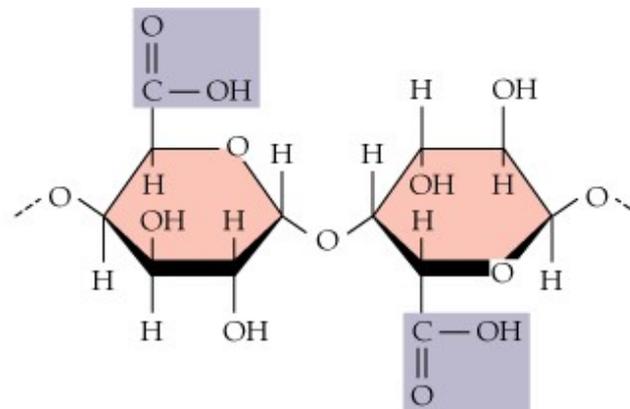
- **Pectine**
- **Emicellulose**
- **Proteine (strutturali ed enzimatiche)**
- **acqua**

## • Pectine

Polimeri il cui componente principale è l'acido galatturonico



(a) Acido  $\alpha$ -galatturonico



Acido pectico  
(legame 1-4)

## Esempio di pectina

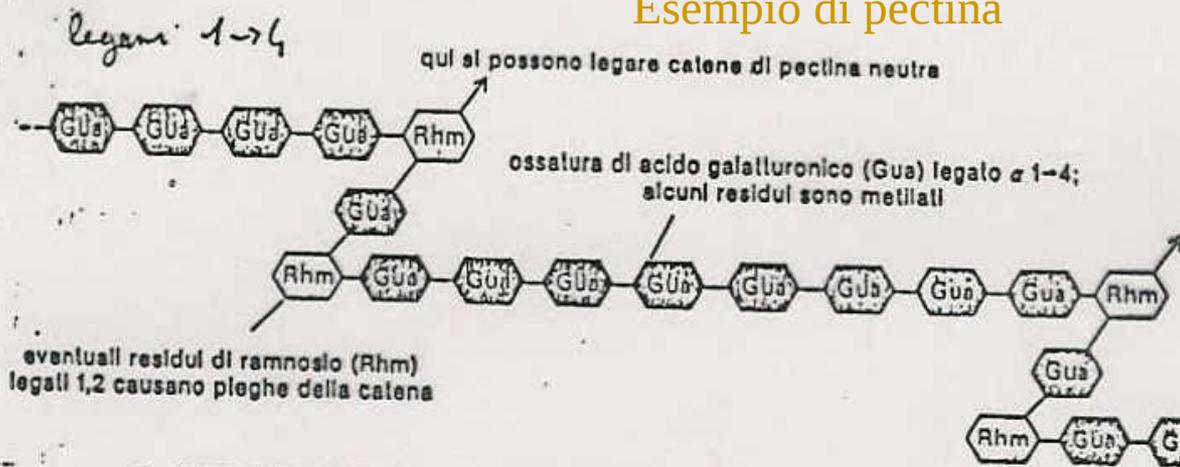
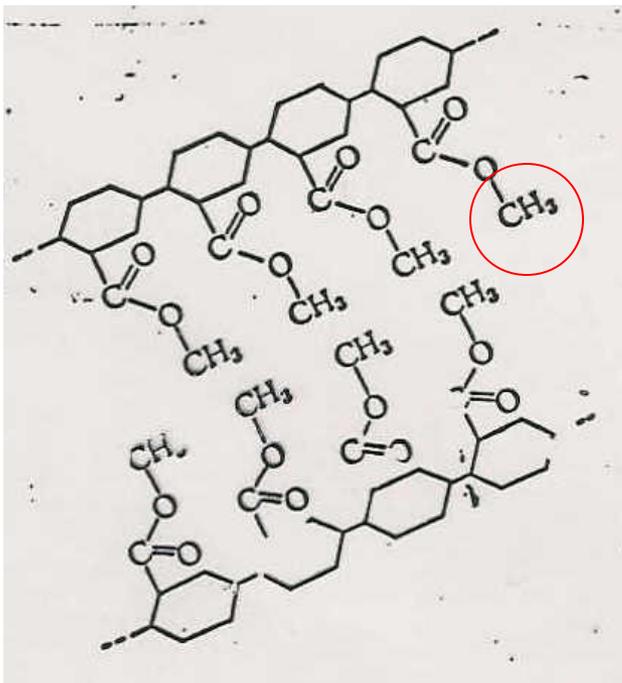


Figura 19.7. Esempio di molecola di pectina a carattere acido [ramnogalatturonano] proveniente dalla parete cellulare di una pianta superiore. I residui ramnosio inseriti tanto in tanto nella catena le conferiscono un andamento a zig-zag servono anche da siti di «ancoraggio» per le pectine neutre che li legano trasversalmente all'emicellulosa (vedi fig. 19.4).

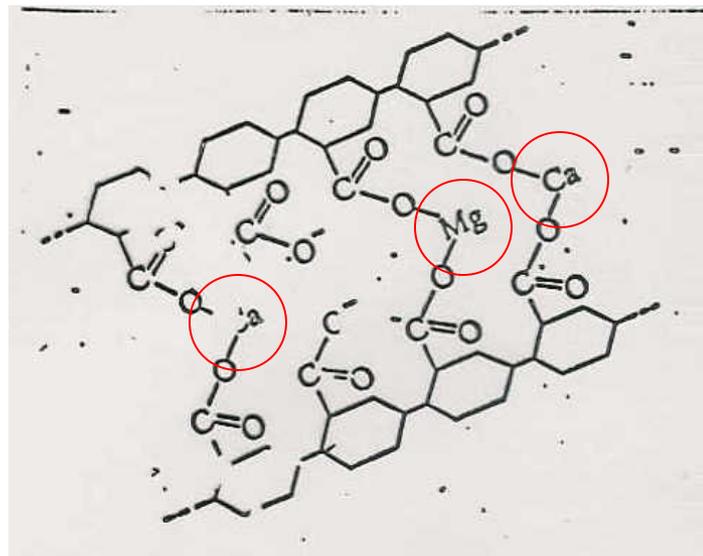
de Allert

### Pectine neutre



### Gruppi carbossilici esterificati

### Pectine acide



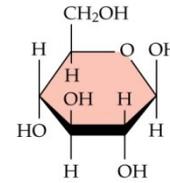
- Pectine acide:  $\rightarrow$  ad aggregarsi  $\Rightarrow$  masse dense
- Pectine neutre non formano masse dense
- Pectine: importanti come scambiatori di ioni ( $\Rightarrow$  per nutrizione minerale)

## Emicellulose

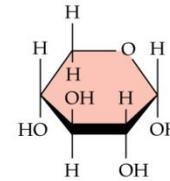
Polimeri eterogenei costituiti generalmente da:  
uno scheletro lineare con legami  $\beta$ 1-4 +ramificazioni laterali  $\beta$ 1-6

Es. Xiloglucani: scheletro di residui di glucosio

con attaccati molecole di xilosio

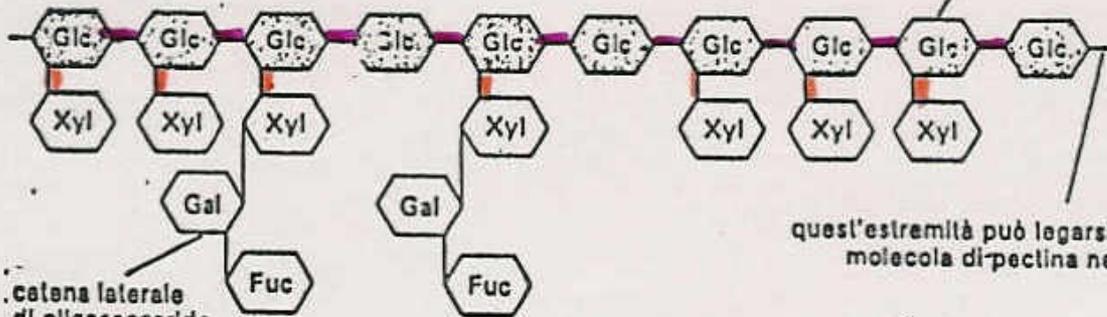


$\beta$ -glucosio



Xilosio

catena di unità glucosio collegate  $\beta$  1-4 che può costituire legami idrogeno verso la superficie della microfibrilla di cellulosa



catena laterale di oligosaccaride fuorilucante

quest'estremità può legarsi con una molecola di pectina neutra

Figura 19.6. Esempio di una molecola di emicellulosa della parete cellulare di una tipica fanerogama. L'ossatura è costituita di una catena di residui glucosio del tipo di quella presente nella cellulosa congiunta mediante ponti idrogeno con la superficie delle microfibrille di cellulosa. Nel caso riportato si raffigura uno xiloglucano, che presenta molecole di xilosio legate a più unità glucosio. Possono essere presenti anche altri zuccheri, come il galattosio e il fucosio.

in Alberti

# Proteine (strutturali ed enzimatiche)

La maggior parte sono **glicoproteine**

## **Principali proteine strutturali:**

- **Estensina** (famiglia) → glicoproteine ricche in idrossiprolina (formate da una catena polipeptidica basica con residui di arabinosio e galattosio)

### Funzioni:

- Importante per l'organizzazione della parete

Formano legami isotirosinici (tra molecole di estensina)

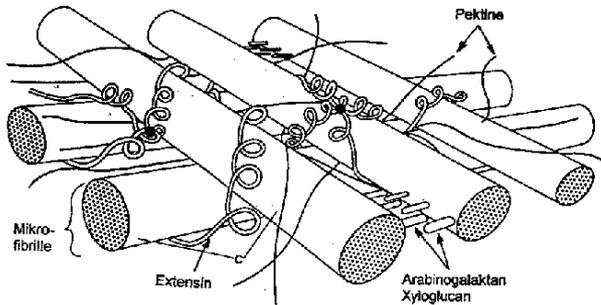
↓  
Rete glicoproteica a porosità definita

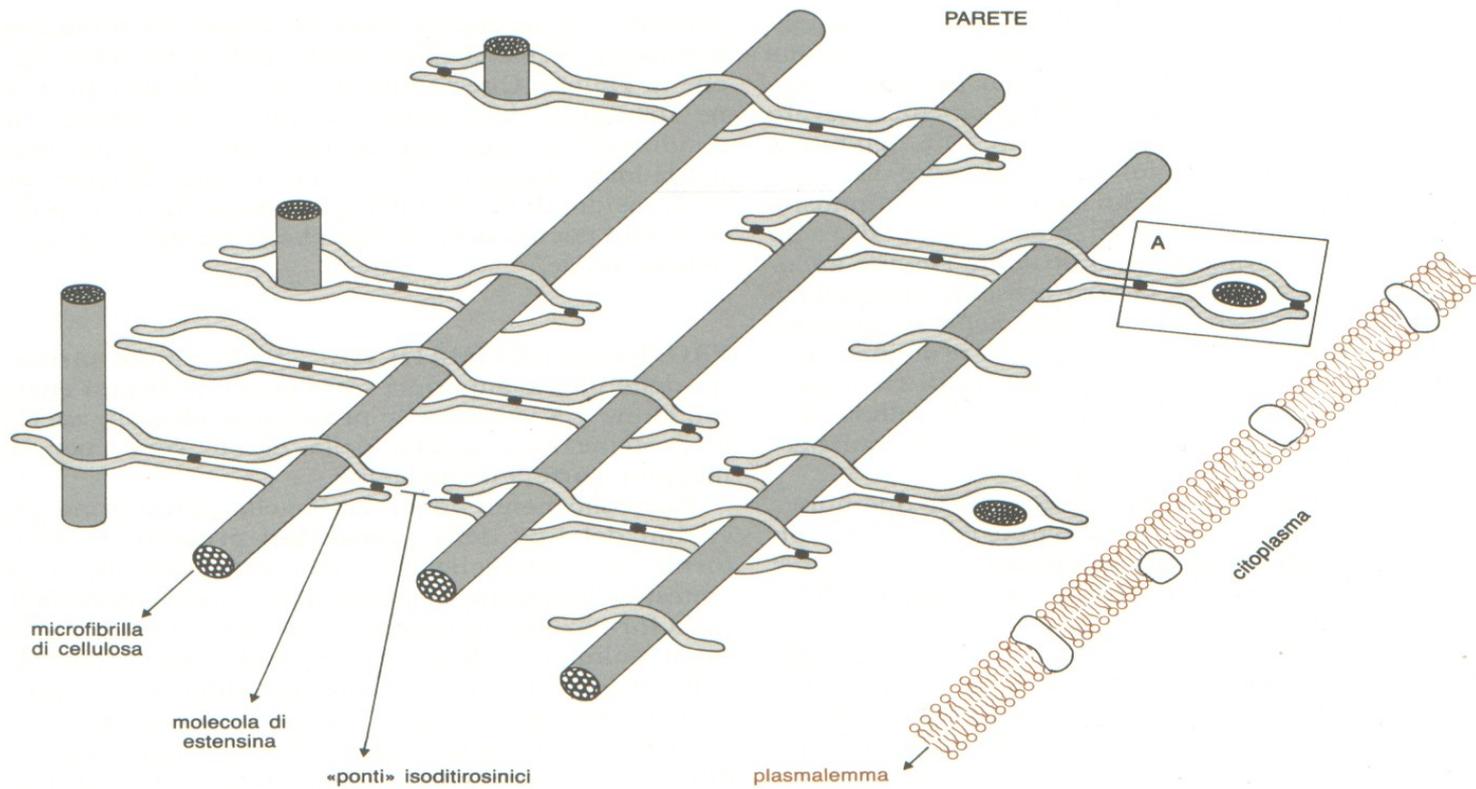
↓  
All'interno dei pori potrebbero scorrere le fibrille di cellulosa

↓  
Conferimento di notevoli proprietà meccaniche alla parete

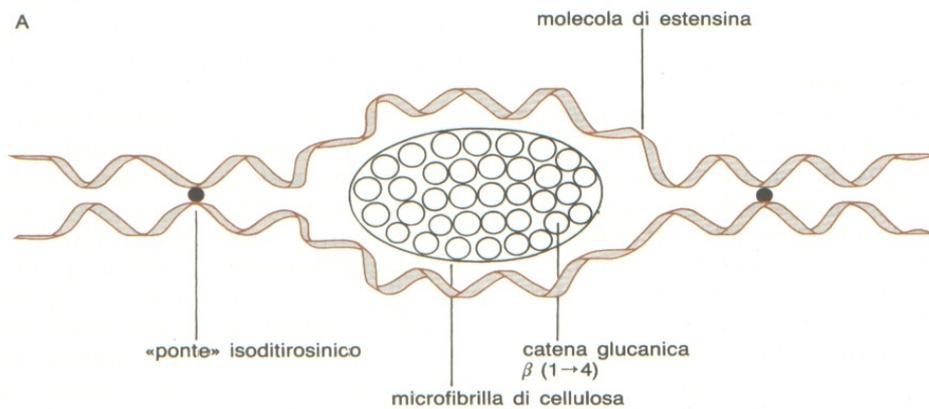
- Importante nei meccanismi di difesa durante l'invasione dei patogeni

Barriera poco idrolizzabile





**Fig. 10.18** • Interazioni tra molecole di estensina e microfibrille di cellulosa secondo il modello «trama e ordito» proposto dal Prof. D.T.A. Lamport. Le molecole di estensina nella parete si dispongono ortogonalmente al plasmalemma; attraverso la formazione di «ponti» isoditirocinici si viene a formare una rete a porosità definita (trama) attraverso la quale decorrono le microfibrille di cellulosa orientate parallelamente al plasmalemma (ordito).



- **Arabinogalattano proteine** → glicoproteine ricche in idrossiprolina (formate da una catena polipeptidica acida)

Funzione: sembra che intervengano

- nel riconoscimento cellula-cellula
- nelle comunicazioni intercellulari
- durante la morfogenesi

- **Proteine ricche in glicina** → il loro contenuto aumenta durante il differenziamento e durante lo stress

- **Proteine ricche in prolina** → 2 classi

Sempre presenti in parete anche se aumentano in condizioni di stress

Presenti solo in seguito all'interazione con batteri N-fissatori (sono le noduline)

## Principali proteine enzimatiche:

### • Perossidasi

utilizzano  $H_2O_2$

- responsabili della formazione di legami interfenolici (quindi anche isotirosinici) tra i componenti della parete

=> ruolo nella crescita per distensione

- coinvolte nella sintesi della lignina

### • Idrolasi (fosfatasi, proteasi esterasi)

- durante la crescita per distensione idrolizzano legami specifici (wall loosening)

- durante processi come germinazione, maturazione frutto idrolizzano i componenti della parete per ricavarne energia

delle perforazione  
pareti trasversali

- idrolasi specifiche per degradare la parete di patogeni

## • acqua

Il grado di idratazione è molto importante per

- le caratteristiche meccaniche (grado di plasticità, elasticità)
- le reazioni enzimatiche

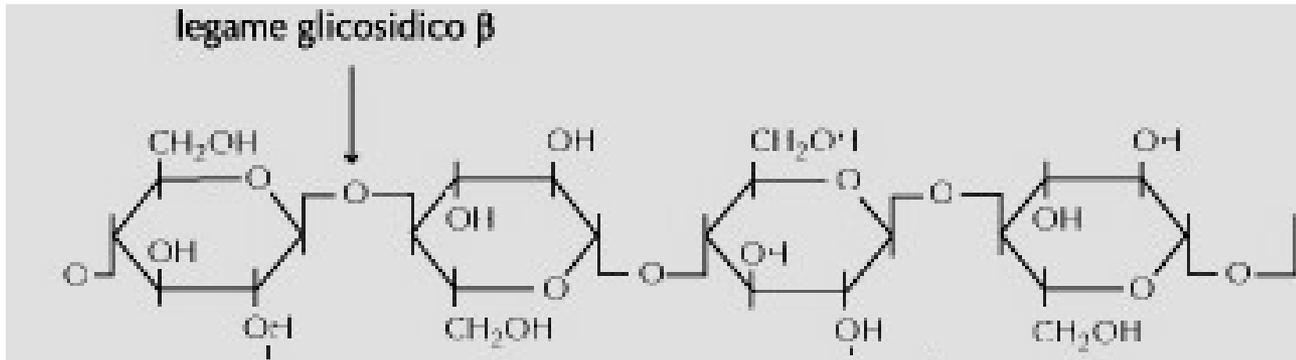
Matrice

Componente fibrillare

Componente fibrillare

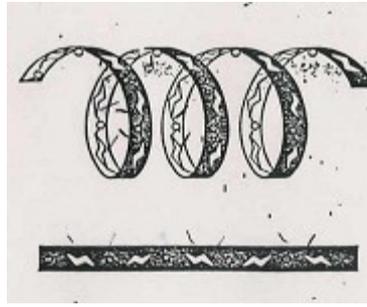
—————→ Cellulosa

- $\beta$ -polimero del glucosio (legami 1-4)
- Catena lineare (alcune migliaia di residui)



# Confronto

amido →



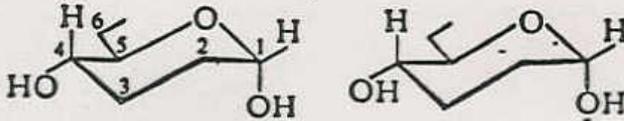
amilosio (catena elicoidale)

cellulosa →

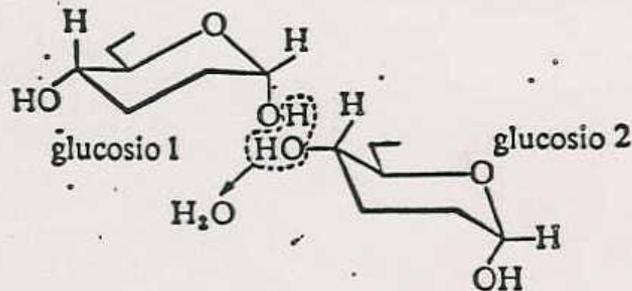


cellulosa (catena lineare)

## AMIDO

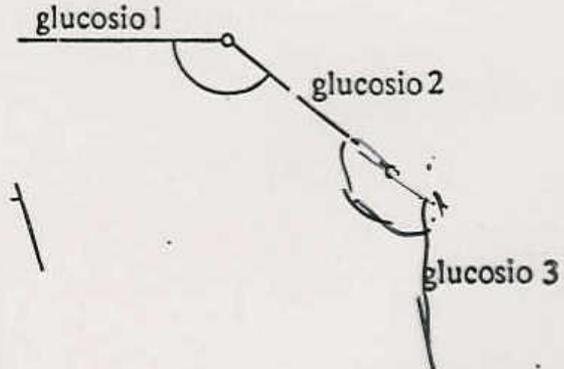
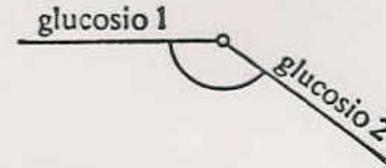


Queste sono due molecole dell' $\alpha$ -glucosio (monomero dell'amido) in cui è rappresentata la posizione dei gruppi  $-H$  e  $-OH$  legati ai carboni 1 e 4. I due gruppi  $-OH$  legati a questi carboni possono reagire fra loro formando un legame glucosidico.



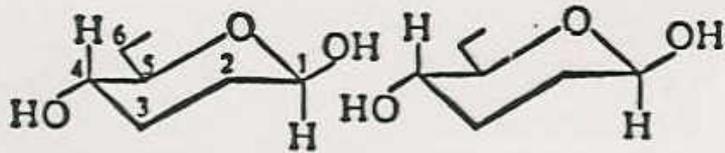
Se le due molecole devono reagire fra loro per formare il legame glucosidico 1-4 esse devono necessariamente orientarsi in modo che i piani dei due anelli formino tra loro un certo angolo.

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

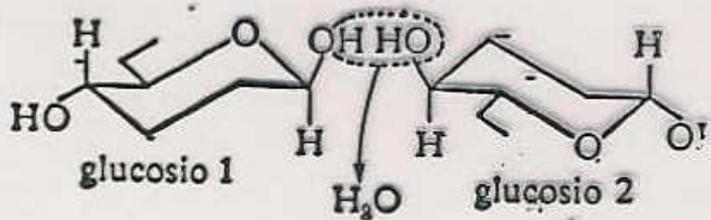


Se una terza molecola di glucosio s'attacca alla molecola 2 si formerà tra 3 e 2 un angolo uguale a quello fra 2 e 1 ... e così via.  
Risultato: dall'unione di molte molecole di  $\alpha$ -glucosio si formerà una catena non diritta, ma fortemente incurvata.

# CELLULOSA

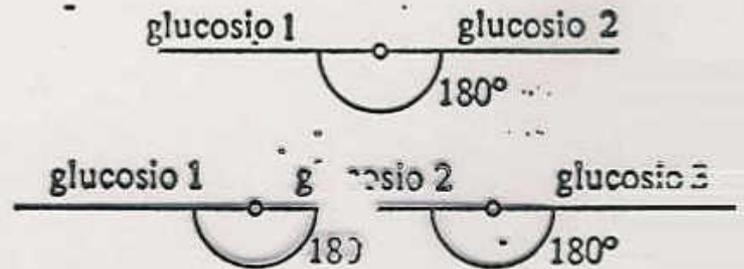


Queste sono invece due molecole di  $\beta$ -glucosio (monomero della cellulosa) in cui è rappresentata la posizione dei gruppi  $-H$  e  $-OH$  legati ai carboni 1 e 4. Se le due molecole sono orientate nello stesso modo il legame glucosidico 1-4 non può formarsi perché i due gruppi  $-OH$  coinvolti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



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

La loro disposizione reciproca può essere rappresentata in questo modo:



Se una terza molecola di glucosio... attacca alla molecola 2, il suo anello giacerà sullo stesso piano del due precedenti... e così via. Risultato: da l'unione di molte molecole di  $\beta$ -glucosio si forma una catena diritta.

Fig. 3-49.

da Longo

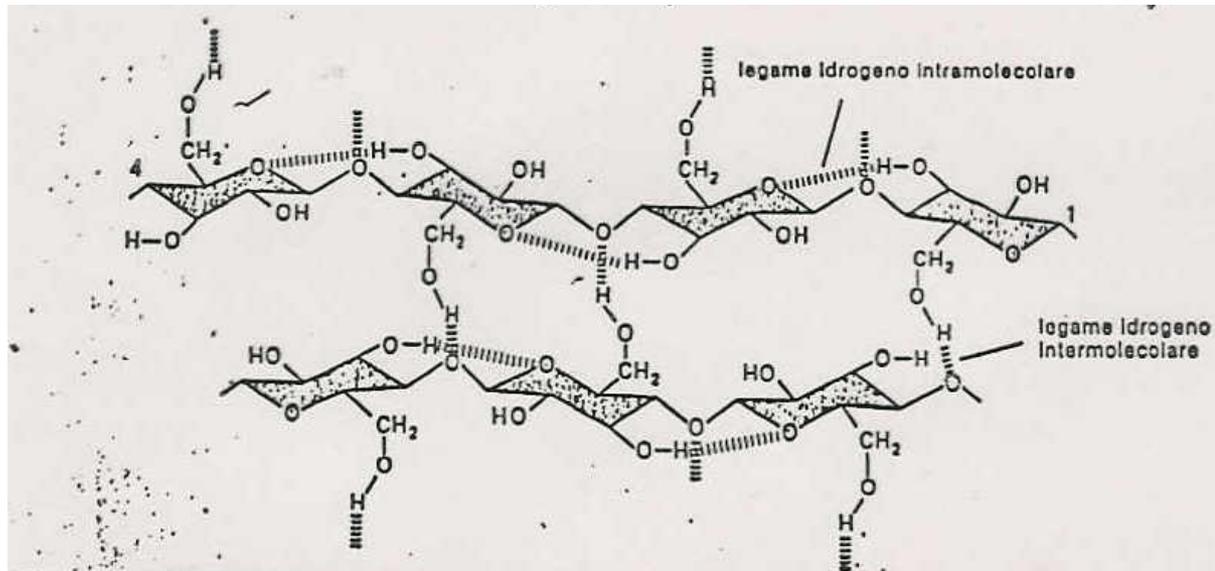
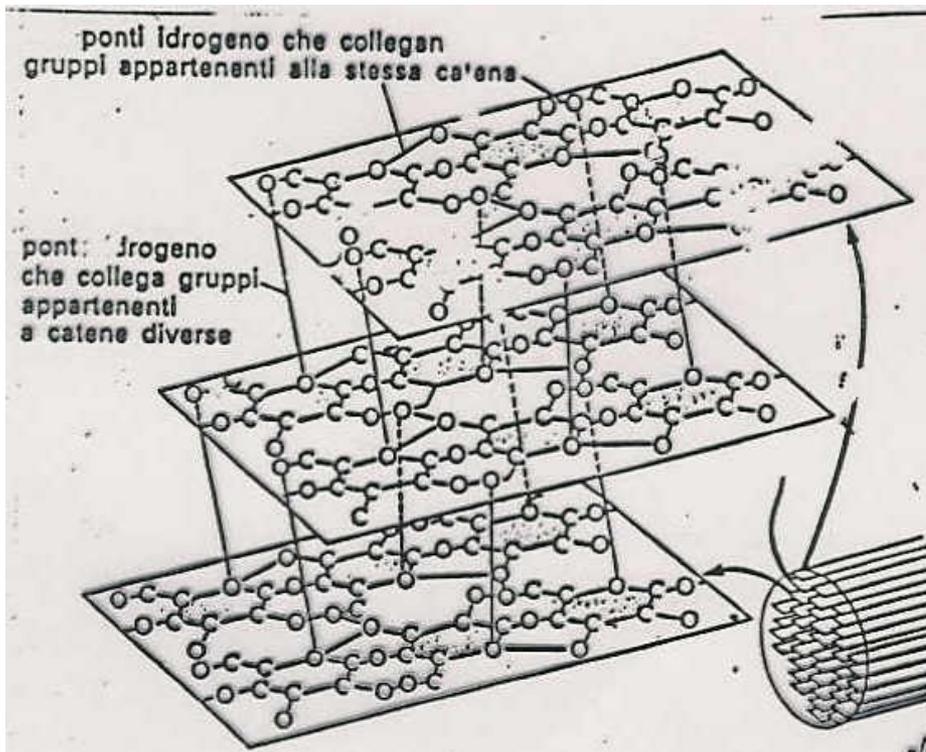


Figura 19.5. Due catene glucosio legato  $\beta 1 \rightarrow 4$  della cellulosa. Ciascuna catena gode della stabilità conferita dai legami idrogeno intramolecolari; le catene adiacenti sono strettamente collegate, trasversalmente, con una microfibrilla grazie a legami idrogeno intermolecolari.

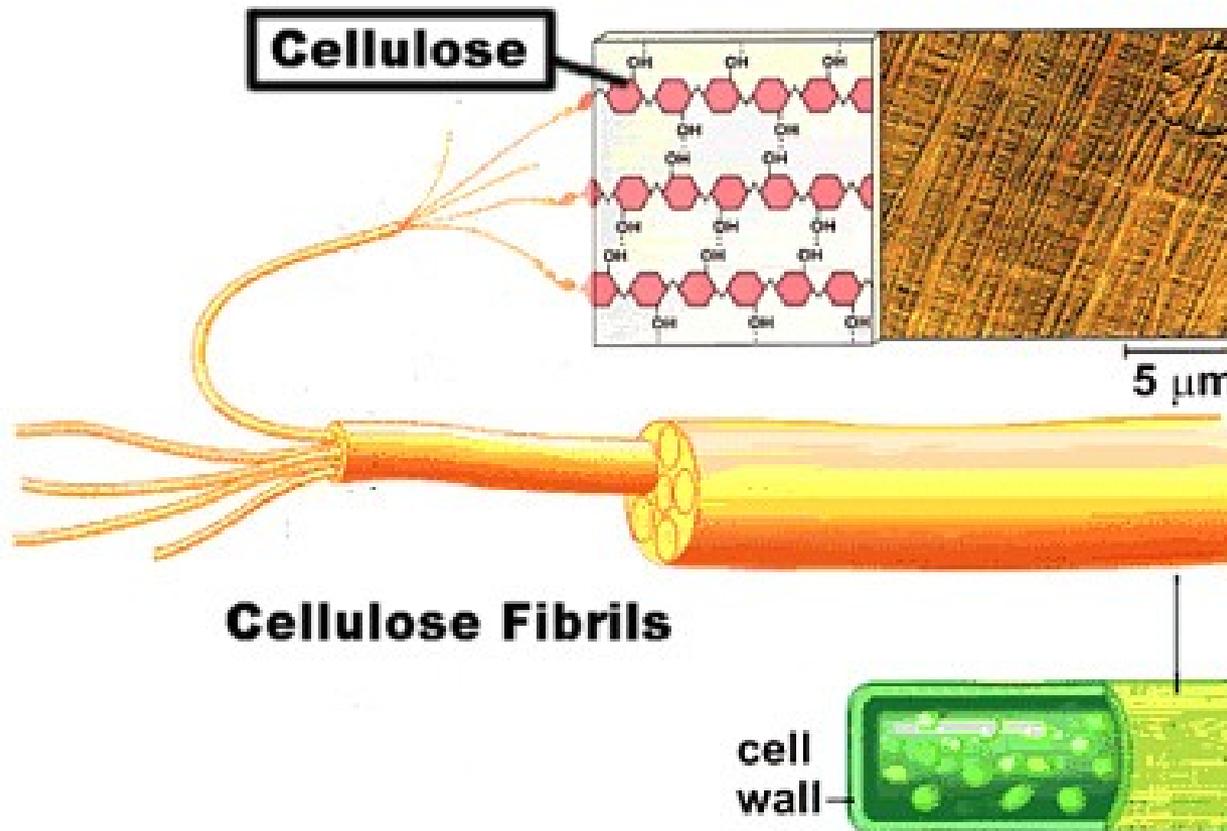
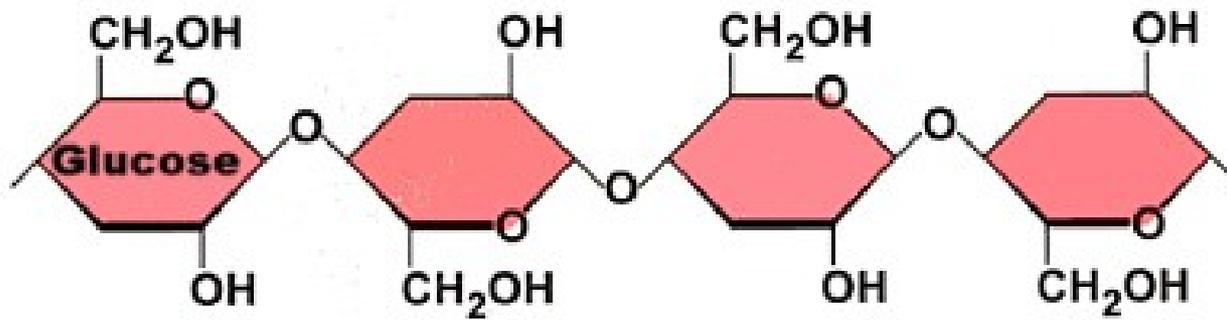
da Alberts



Forte tendenza a formare a formare ponti H intra ed inter-molecolari  
quindi: formazione di strutture cristalline con elevata resistenza alla trazione ed alla degradazione

quindi: cellulosa = molecola adatta a svolgere funzioni strutturali e meccaniche

In sintesi:



# Come sono organizzati i componenti della parete?

## Architettura della parete

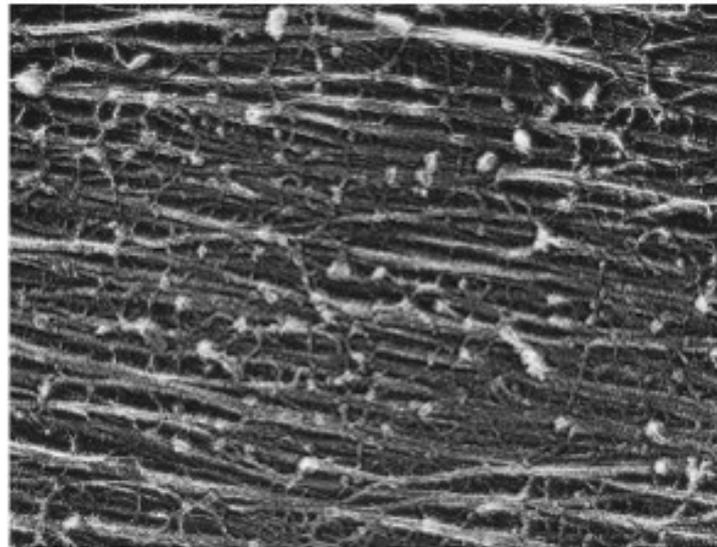
La composizione e l'organizzazione della parete variano fra le diverse piante e nei diversi momenti della vita della cellula

Le variazioni possono coinvolgere:

- le percentuali dei vari componenti
- la disposizione delle fibrille di cellulosa
- i legami tra i vari componenti



Le differenze di composizione e di organizzazione influenzano le proprietà della parete



Parete primaria di una cellula di carota

# Modello

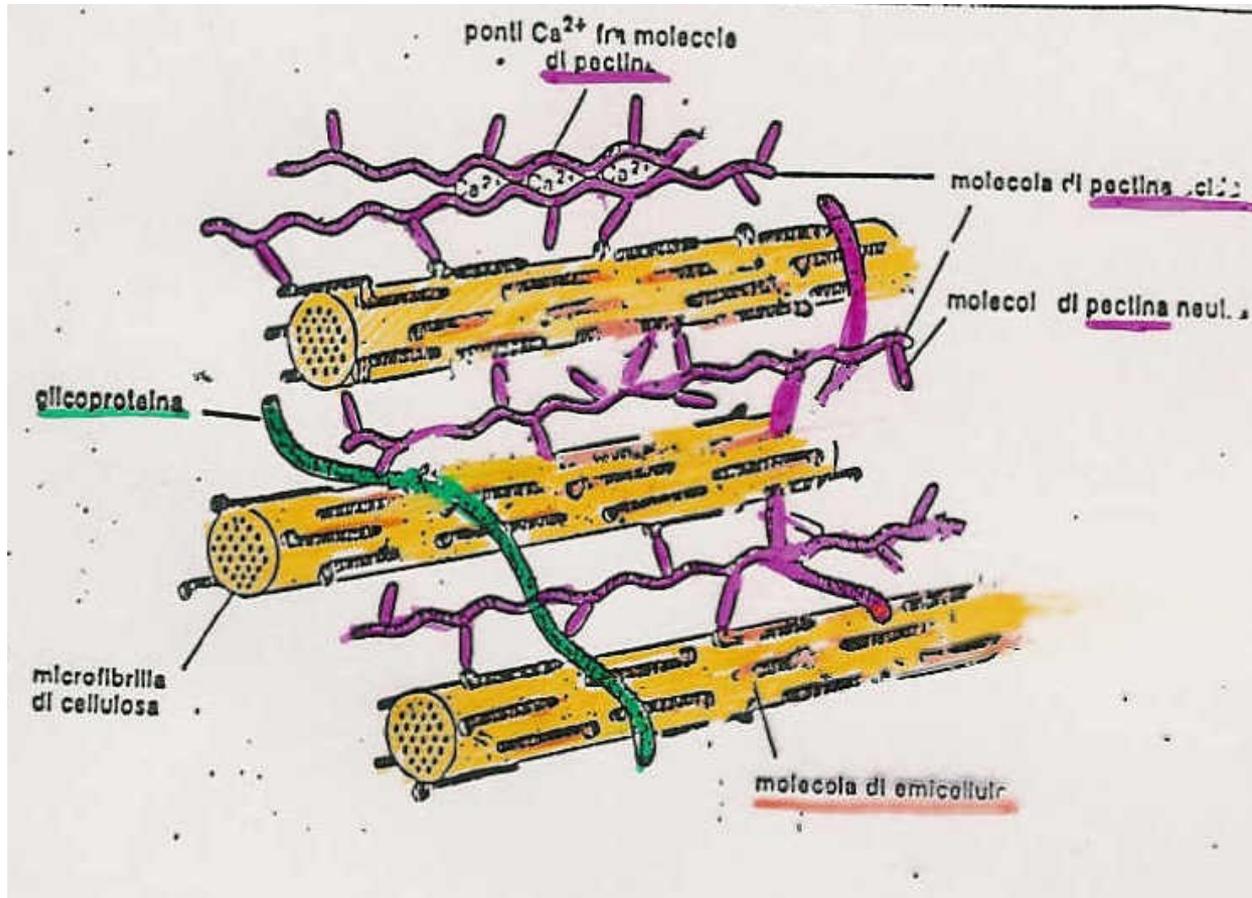
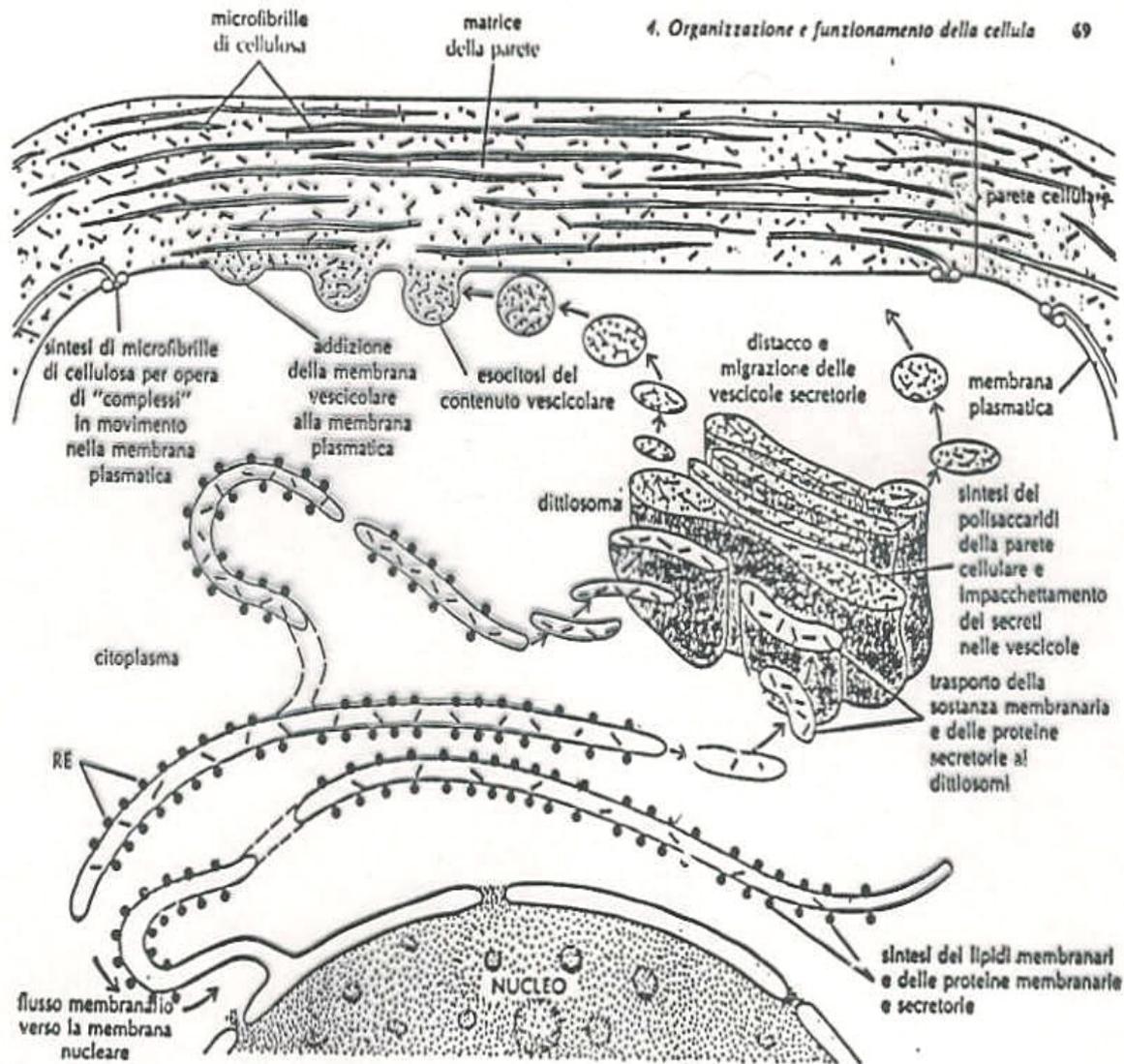


Figura 19.4. In questa rappresentazione schematica si mostra come possono essere reciprocamente connessi i due componenti principali della parete cellulare primaria, le fibre e la matrice. Le molecole di emicellulosa (per esempio, gli xilani) sono congiunti da legami covalenti con la superficie delle microfibrille di cellulosa. Alcune di queste molecole emicellulosiche sono a propria volta legate trasversalmente con le molecole acide di pectina (per esempio con i galatturonani) tramite le molecole di pectine neutre (per esempio arabinogalattani). Le glicoproteine della parete cellulare sono probabilmente congiunte con le molecole delle pectine. I particolari della struttura delle microfibrille di cellulosa sono riportati nelle figure 12.62 e 19.5.

da F. L. ...

# Come si forma la parete?

Componenti della matrice → sintesi nel ER (proteine) e nel Golgi (polisaccaridi)



vescicole di secrezione

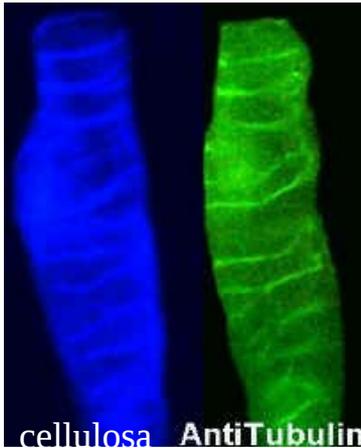
esocitosi

cellulosa

Sintesi sulla superficie del plasmalemma

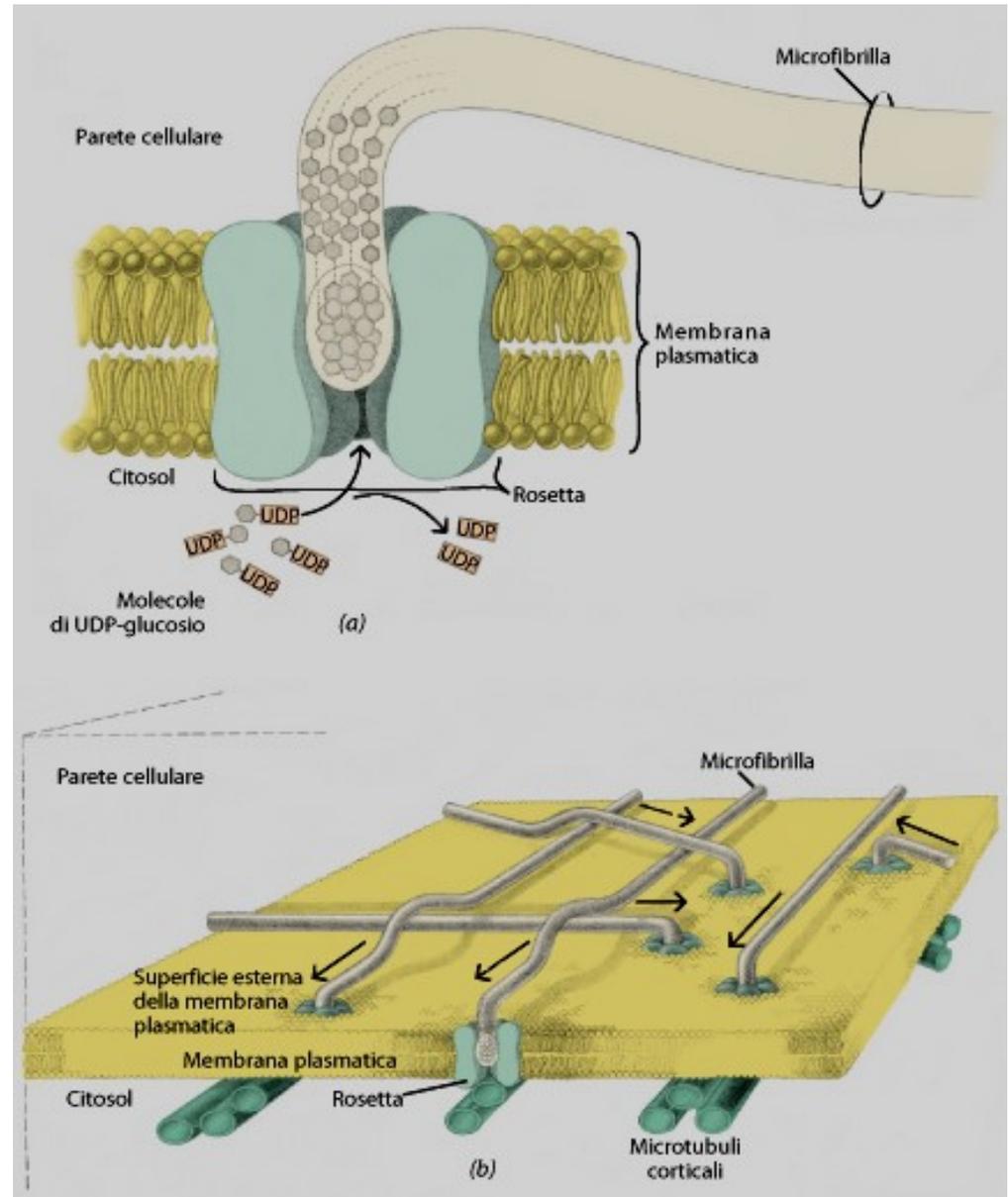
# Sintesi della cellulosa sulla superficie del plasmalemma

- Rosette (sul plasmalemma) = Cellulosa sintasi
- La cellulosa sintasi è attiva solo sulla membrana plasmatica
- I microtubuli corticali intervengono nell'orientamento delle microfibrille di cellulosa



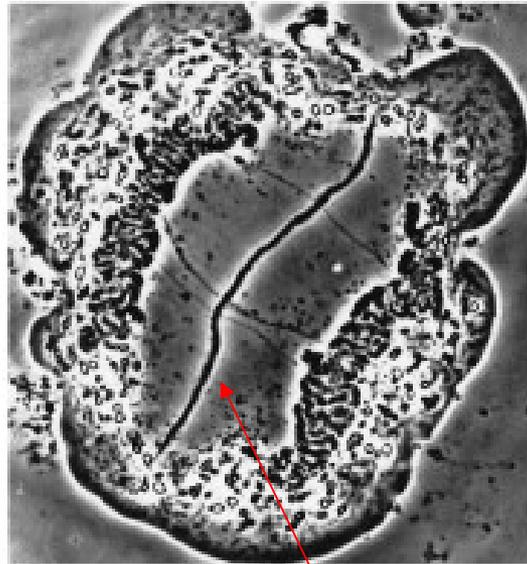
D. H. Burk and Z.-H. Ye  
**Alteration of Oriented Deposition of Cellulose Microfibrils by Mutation of a Katanin-Like Microtubule-Severing Protein**

PLANT CELL, 2002; 14(9): 2145 - 2160.



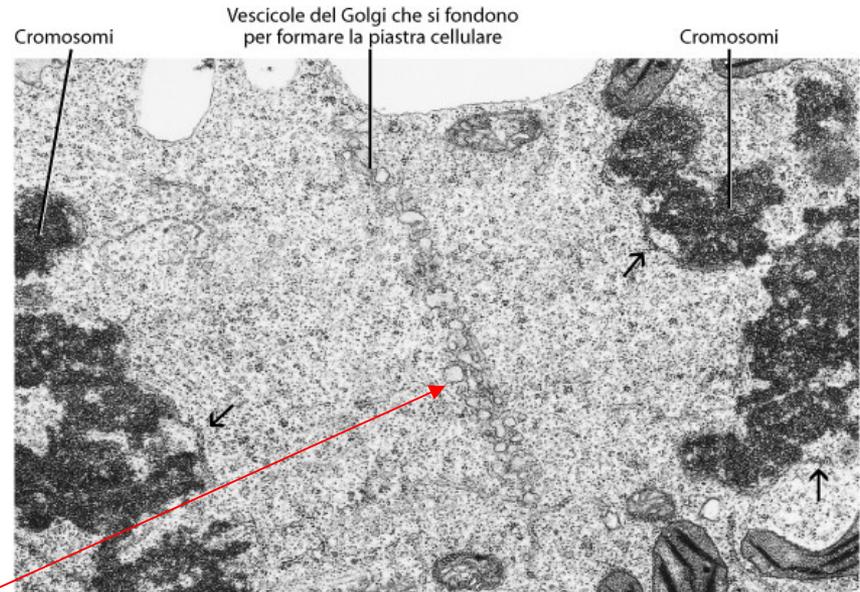
# Quando si forma la parete cellulare?

Inizia a formarsi durante la divisione cellulare



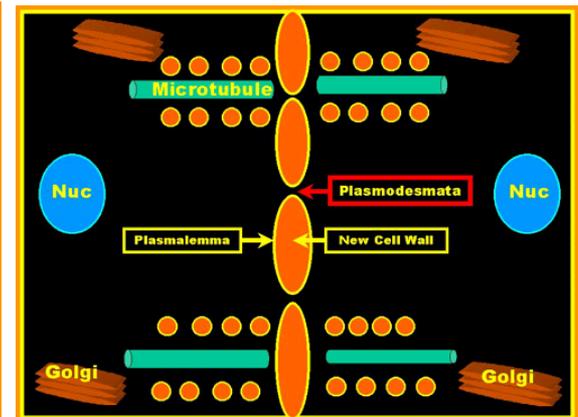
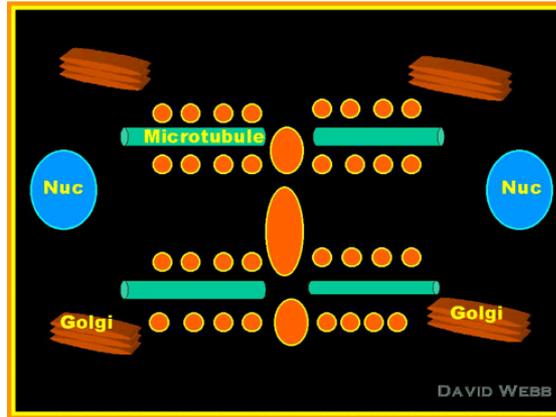
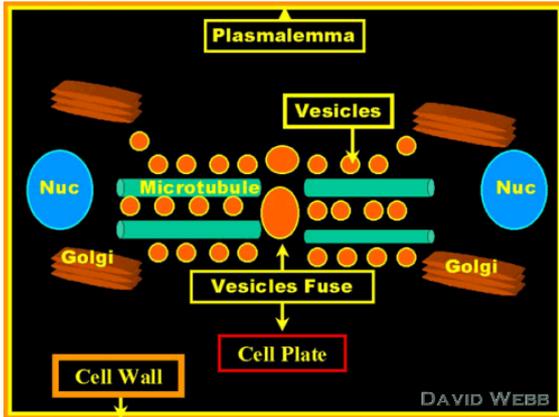
Microscopio ottico

20  $\mu$ m



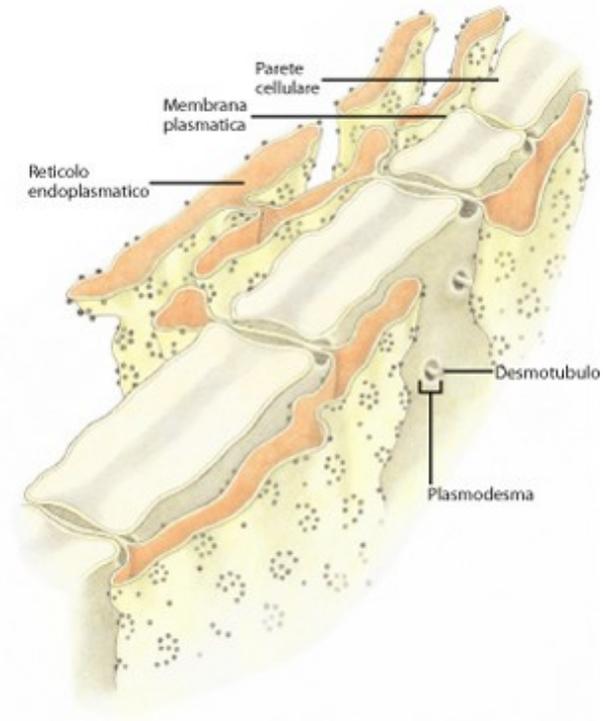
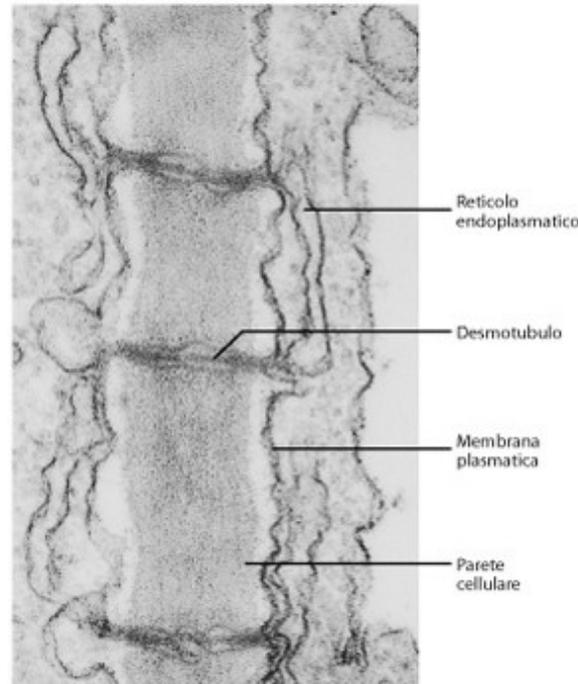
Setto di separazione inizialmente formato dalla **lamella mediana** e dai due nuovi plasmalemmi

# Formazione del setto



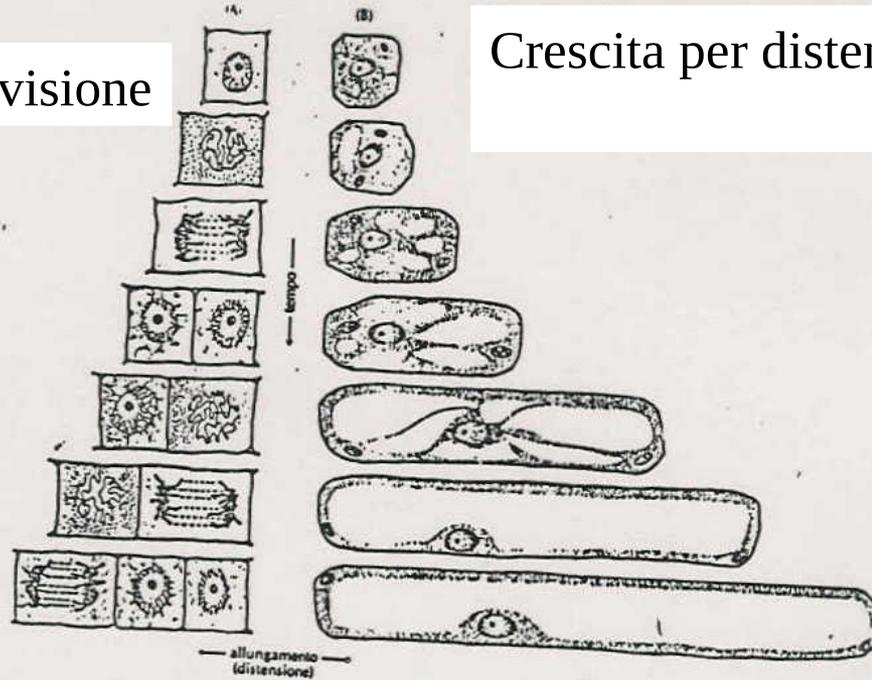
Il setto non è continuo:

plasmodesmi



Crescita per divisione

Crescita per distensione



Crescita per distensione

progressivo assottigliamento di ciascuna di: parte della cellula, con aumento del vacuolo

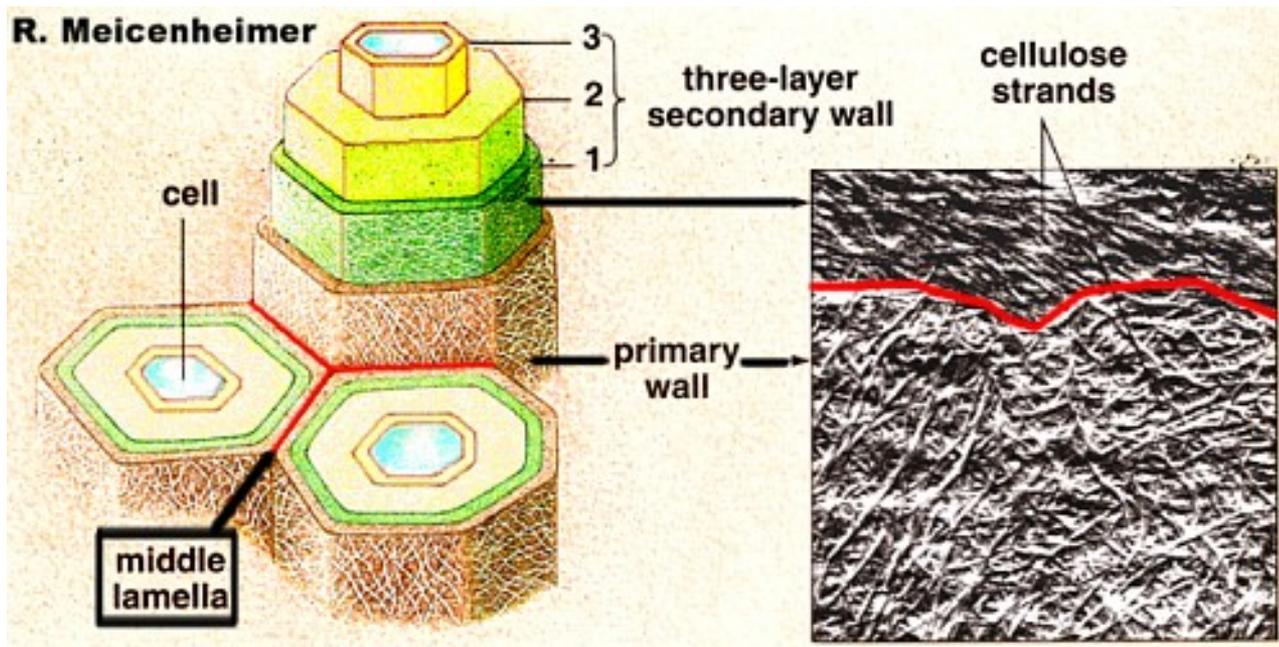
il vacuolo crescendo esercita una spinta contro la parete la parte primaria è plastica e secondo l'accrescimento la cellula può aumentare in volume di molte volte

e assumere la sua forma definitiva

la massa citoplasmatica aumenta di poco, ma va ad occupare una superficie molto più ampia.

forte aumento di superficie del plasmalemma e del tonoplasto

- Contemporaneamente alla formazione della lamella mediana inizia l'apposizione della **parete primaria** che continua durante la distensione cellulare sotto il ctr della cellula “figlia” (caratterizza la cellula durante la crescita per distensione)
- apposizione della **parete secondaria** al termine della crescita per distensione (caratterizza la cellula adulta differenziata)



This Cartoon Depicts the Layers of Primary and Secondary Cell Walls in a Sclerenchyma Fiber.

## Lamella mediana (0,1 $\mu\text{m}$ di spessore)

Ha la funzione di cementare le due cellule figlie

Composizione chimica:

- matrice
- non è presente la cellulosa

## Parete primaria (massimo 1 $\mu\text{m}$ di spessore)

Permette la distensione cellulare

La parete si accresce principalmente in superficie

Composizione chimica: Matrice altamente idratata (acqua: circa 60%)

Cellulosa	circa 20%
	grado di polimerizzazione < rispetto alla parete II
	(circa 2000-6000 residui vs circa 13 000)

Caratteristiche meccaniche: plasticità (permette deformazioni permanenti)

## Parete secondaria (3-5 $\mu\text{m}$ di spessore)

Presente in relazione alle funzioni svolte dalla cellula

Composizione chimica: matrice: % bassa  
cellulosa: circa 80%

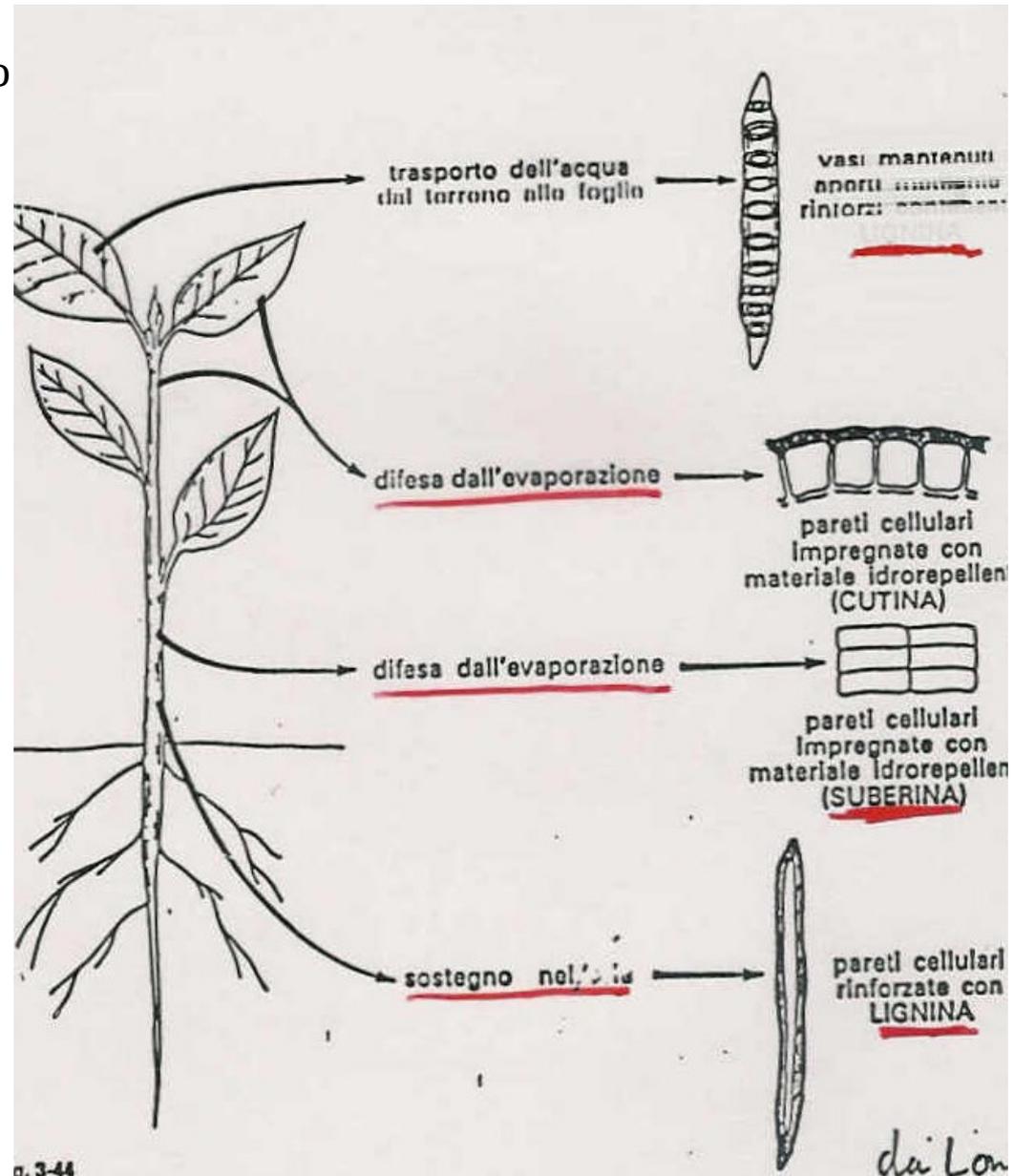
Caratteristiche meccaniche: grande resistenza, forte elasticità (non permette deformazioni permanenti ma cambiamenti di forma)

# Modificazioni secondarie della parete



Modificazioni chimiche che avvengono durante il differenziamento dei tessuti e che conferiscono alla parete proprietà specifiche in relazione alle funzioni da svolgere

1. Cutinizzazione
2. Suberificazione
3. Lignificazione
4. Gelificazione
5. Mineralizzazione



**Piante terrestri non vascolari**

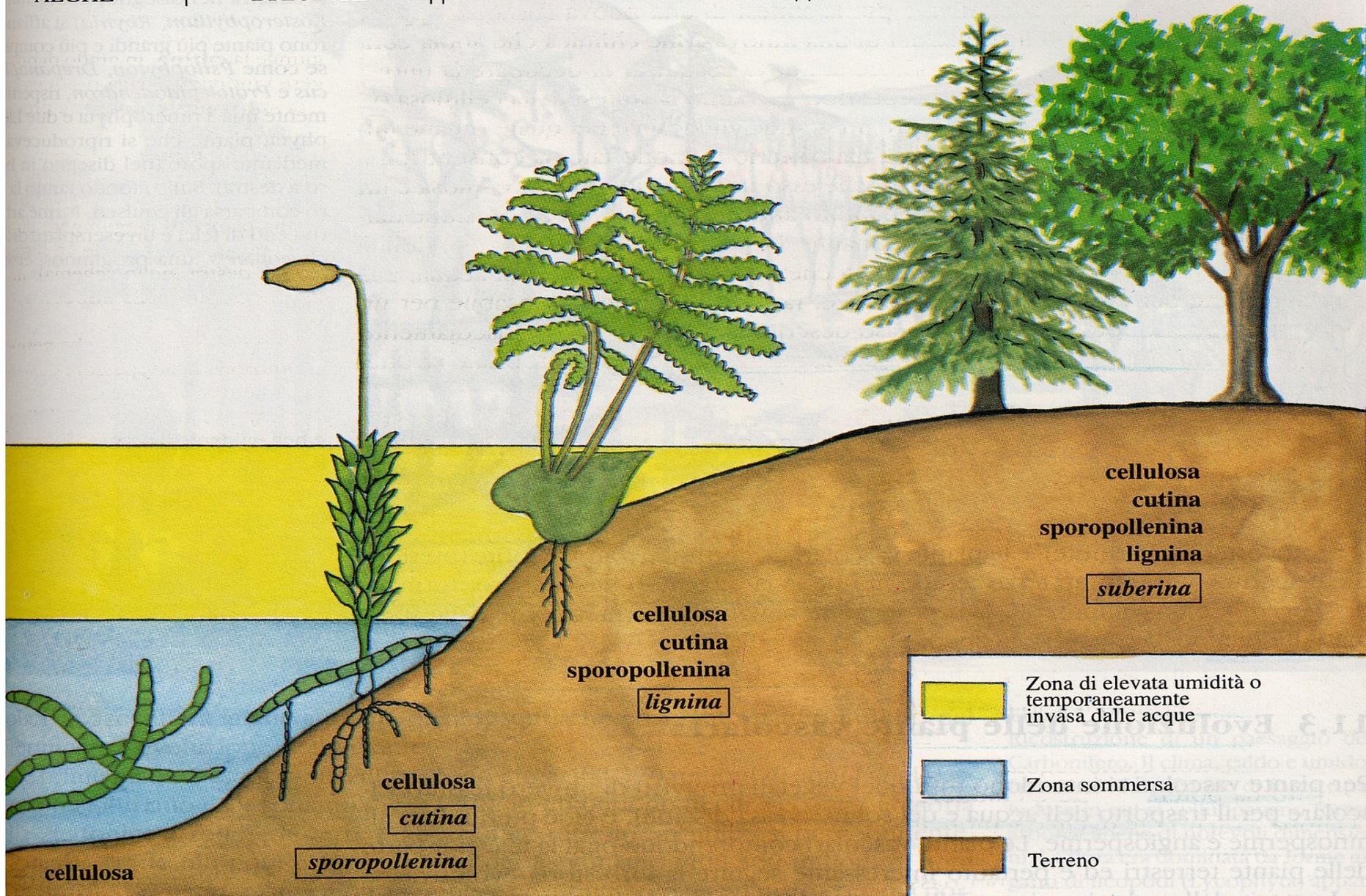
**Piante terrestri vascolari (CORMOFITE)**

ALGHE

BRIOFITE

PTERIDOFITE

SPERMATOFITE



cellulosa  
cutina  
sporopollenina  
lignina  
**suberina**

cellulosa  
cutina  
sporopollenina  
**lignina**

cellulosa  
**cutina**  
**sporopollenina**

-  Zona di elevata umidità o temporaneamente invasa dalle acque
-  Zona sommersa
-  Terreno

→ *Tempo*

# Cutinizzazione e Suberificazione

↓  
cutina

↓  
suberina

sostanze grasse impermeabili all'acqua

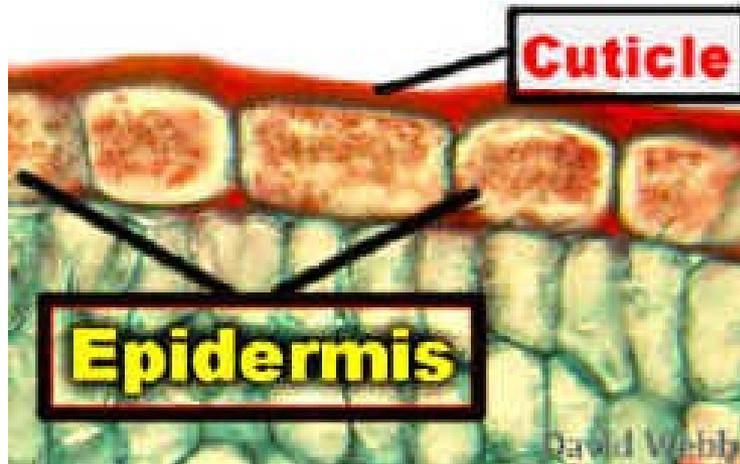
## Cutinizzazione

(Epidermide)

→ deposizione di cutina generalmente solo sulla parete tangenziale esterna delle cellule epidermiche (la cellula rimane viva)

↓  
eventualmente **cuticularizzazione**

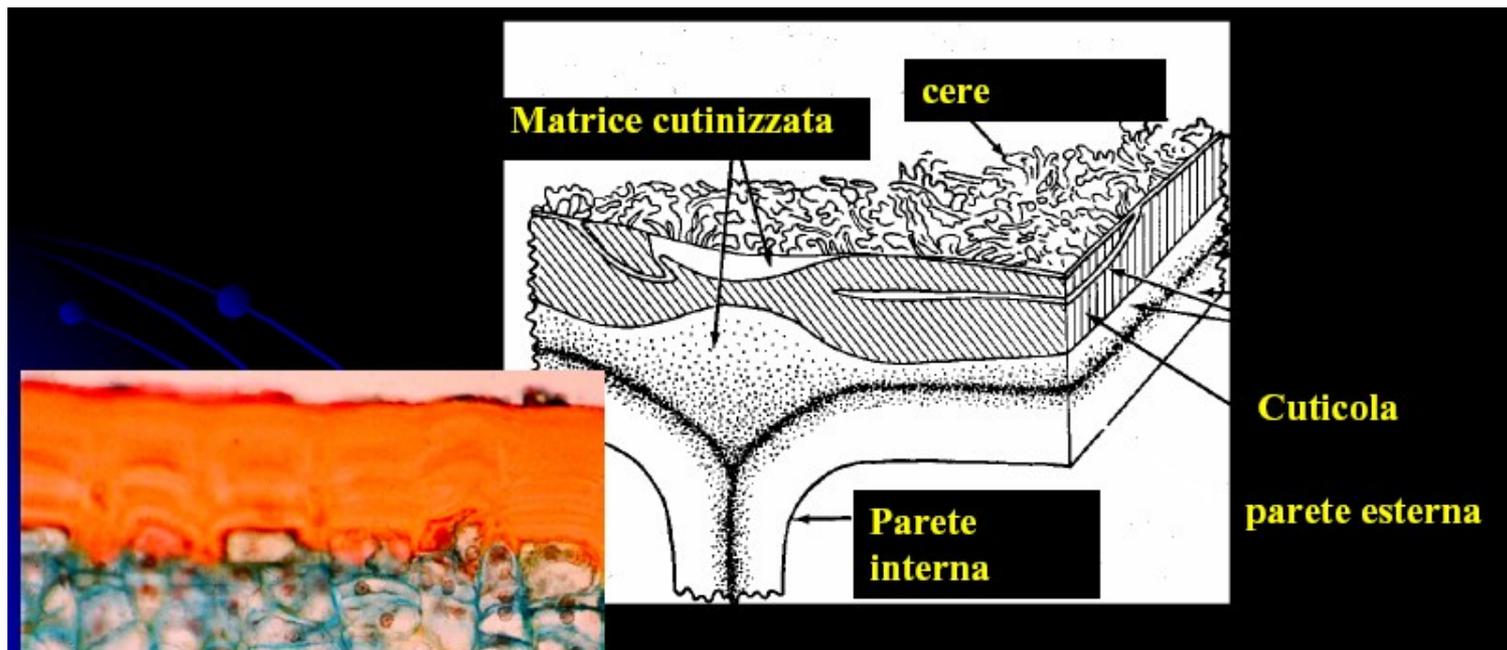
↓  
Funzione principale: protezione dalla perdita d'acqua



# Cutina e cuticola

Cutina riversata all'esterno delle pareti tangenziali esterne + cere

↓  
Impregna le pareti tangenziali esterne e talvolta quelle radiali



Le cere sono quelle che danno l'aspetto traslucido (bianco - blu ) alle foglie

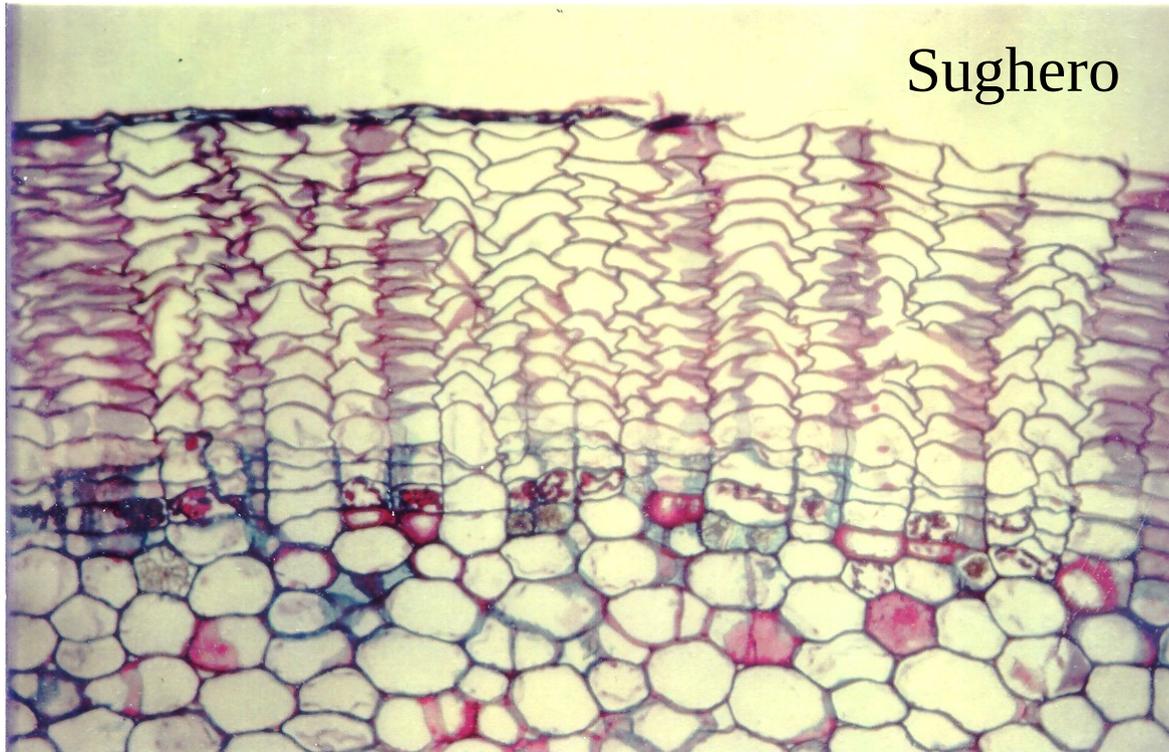


## Suberificazione

(Es Sughero)

→ deposizione di strati di suberina su tutte le pareti della cellula epidermiche (la cellula muore e si riempie d'aria)

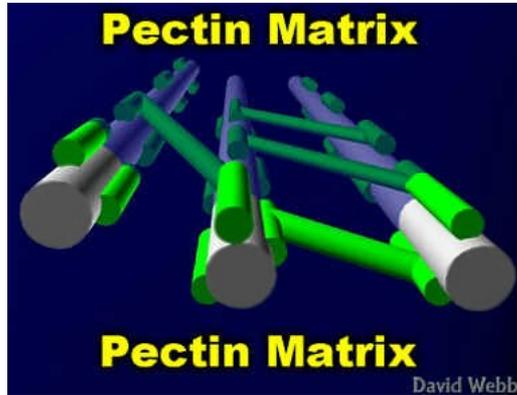
- Funzioni:
- protezione dalla disidratazione
  - resistenza all'attacco di patogeni
  - strato coibente



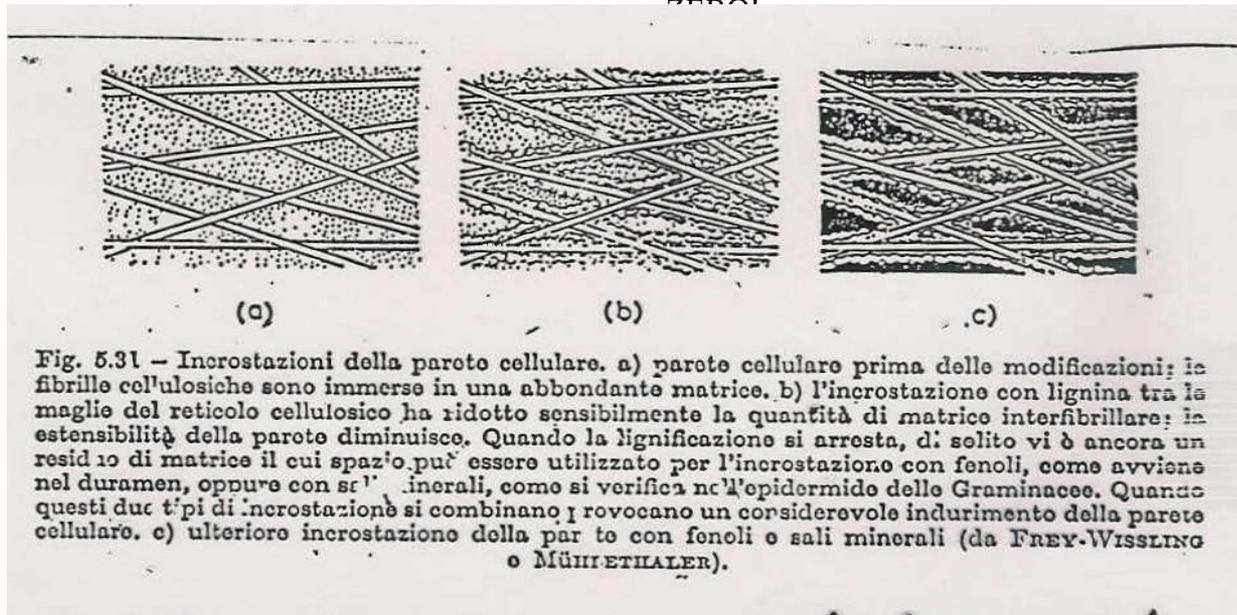
# Lignificazione → deposizione di lignina tra le fibrille di cellulosa

**Lignina:** sostanza idrofobica (polimero eterogeneo complesso di molecole aromatiche) resistente soprattutto alla compressione

Pectins are hydrophilic and are 75% water. Consequently, water soluble molecules can move by diffusion through the Pectin Matrix.



Pectins can be replaced by Lignin which is impervious to water. Lignin adds a tremendous amount of strength to Cell Walls and also makes them inflexible. It also makes them impervious to aqueous solutions. Its Matrix porosity is



**Gelificazione** → deposizione di mucillagini nella matrice



conferisce forte capacità di trattenere l'acqua

**Mineralizzazione** → impregnazione con silice o carbonato di calcio



conferisce durezza

Esempi:

foglie graminacee

Pelo urticante dell'urtica

Equiseti

Alghe rosse coralline

Diatomee