

## Lezione 2 24/02

Il prof inizia con un chiarimento della differenza tra citosol e citoplasma. Il citoplasma si definisce come delimitato esternamente dalla membrana plasmatica e comprende il citosol e gli organuli cellulari, escluso il nucleo. Infatti è sbagliato dire escluso il nucleo e i vacuoli, perché i vacuoli sono già compresi nella definizione degli organuli cellulari. Tutto ciò che sta tra il nucleo e la membrana plasmatica è citoplasma.

Ora osserviamo la parete cellulare delle piante: abbiamo detto che è composta da una fase microfibrillare e da una fase di matrice amorfa. La fase microfibrillare comprende la cellulosa, la fase di matrice comprende le emicellulose, le pectine, l'acqua, le proteine strutturali e enzimatiche e i composti fenolici.

La cellulosa: il cellobiosio è un dimero che rappresenta l'unità strutturale fondamentale della cellulosa, ed è formato da  $\beta$ -D-glucosio unite da legame 1 $\rightarrow$ 4. Ogni polimero è unito da legami idrogeno. Le molecole di cellulosa formano le microfibrille che poi formano le macrofibrille.

Se noi invece analizziamo la fase matriciale, vediamo che le emicellulose sono quelle che fanno collegamenti crociati tra le fibrille di cellulosa e conferiscono la forza portante della parete. Non importa che ricordiate per l'esame con quale tipo di soluzione vengano estratte, l'importante è che ricordiate la definizione. Le pectine invece sono i polisaccaridi più complessi, ricchi in acido galatturonico e conferiscono plasticità alla parete. Osserviamo nel dettaglio la composizione delle emicellulose, è importante che vi ricordiate che le cellulose comprendono lo xiloglucano che hanno uno scheletro di  $\beta$ -1-4-o-glucano con ramificazioni di xilosio. Poi il arabinoxilano che ha uno scheletro  $\beta$ -1-4-oxialno con ramificazioni di arabinosio e acido glucaronico. Le pectine invece comprendono il ramnogalatturano 1 con residui di acido galatturonico e ramnosio che si alternano; ramnogalatturano 2; e omogalatturano formato da una catena lineare di residui di acido galatturonico; xilogalatturonani: catene lineari di residui di acido galatturonico con ramificazioni di xilosio; arabinani; arabinogalattano 1 con scheletro di  $\beta$ -1-4-o-galattano con ramificazioni di arabinosio.

Le pectine sono in grado di formare gel, e si usano nell'industria alimentare (marmellata), farmaceutica e cosmetica.

## Formazione di gel

L'acqua, che può arrivare al 60% in peso in una parete primaria, ha anche una funzione strutturale, andando a formare gel con le pectine e formando legami idrogeno con gli altri polimeri della parete. Anche alcuni ioni, come il borato ( $B^-$ ) e il calcio divalente ( $Ca^{2+}$ ) sono strutturalmente importanti, andando a formare legami di una certa rigidità tra polimeri pectici (Fig. 2.6).

Formazione di ponti di borato ( $B^-$ ) tra residui di apiosio (Api) e molecole adiacenti di RGII

Interazioni elettrostatiche tra gruppi carbossilici dei galatturonani e lo ione  $Ca^{2+}$  o  $Mg^{2+}$

Come si forma il gel? Tra le componenti ci sono gruppi carbossilici che formano legami grazie a ioni calcio e borato. Questi legami stabilizzano i polisaccaridi tra di loro. Il gel si forma grazie ai ponti di borato si stabiliscono tra i residui di apiosio e le molecole adiacenti di RG2 ramnogalatturonani 2; e alle interazioni elettrostatiche tra i gruppi carbossilici dei galatturonani e lo ione calcio e magnesio. Il calcio e il borato si

intercalano tra i residui polisaccaridici e ne stabiliscono la struttura, creando le interazioni tra i diversi polisaccaridi.

## Le proteine:

### Fase matriciale: PROTEINE



#### Le proteine strutturali

- Appena secrete sono relativamente solubili diventano sempre più insolubili durante la maturazione cellulare o a seguito di ferite e attacco dei patogeni
- Si ritiene che il processo di insolubilizzazione sia dovuto a legami intermolecolari di difenilettere fra le tirosine
- Vengono indotte durante le ferite o attacco dei patogeni

#### Proteine con attività enzimatica

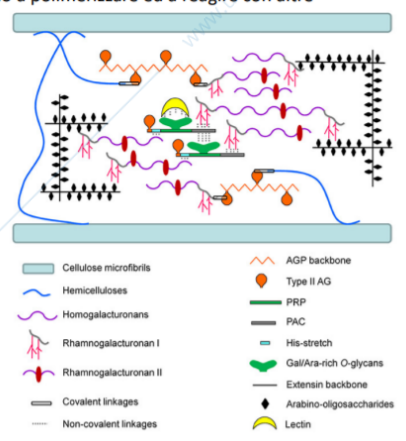
- Enzimi ossidativi – perossidasi
- Enzimi idrolitici per la degradazione dei legami dei polisaccaridi di parete (pectinasi, cellulasi, emicellulasi)
- Enzimi per l'espansione cellulare (transglucosidasi)
- Altre proteine per l'espansione : espansine

All'interno della fase matriciale ci sono le proteine che sono strutturali e con attività enzimatica. Tra quelle strutturali dovete ricordare quelle che vengono secrete subito dopo un attacco patogeno, cioè sono secrete proteine che vanno a stabilizzare i ponti tra i polisaccaridi. Tra quelle con attività enzimatica ricordate le perossidasi e le laccasi, e le espansine che sono importanti durante l'espansione cellulare. Altre proteine importanti durante la crescita della cellula sono le pectinasi, cellulasi e emicellulasi, che servono a degradare la parete per far sì che poi la cellula si allunghi e si distenda.

**Le proteine strutturali** sono generalmente GLICOSILATE (glicoproteine) e appartengono a 4 GRUPPI, caratterizzati da SEQUENZE AMINOACIDICHE ALTAMENTE RIPETUTE. La struttura regolare e l'alto grado di glicosilazione, che consente la formazione di legami con i polisaccaridi, ne fanno degli ottimi componenti strutturali. Possono essere estratte e purificate quando sono nella via di secrezione ma una volta raggiunta la parete tendono a polimerizzare ed a reagire con altre componenti parietali diventando insolubili e non estraibili.

1. Hydroxyprolin Rich Glyco Proteins = estensine (HRGP)
2. Proline Rich Proteins (PRP)
3. Glycine Rich Proteins (GRP)
4. Arabino Galattan Proteins (AGP)

(la componente polisaccaridica è dominante. Oltre che in parete si trovano nella faccia esterna della membrana plasmatica e la loro espressione è tessutipecifica. Più che una funzione strutturale si ritiene abbiano un ruolo di molecole segnale nei processi di sviluppo)



Se guardate la figura ci sono in blu le microfibrille di cellulosa che sono tenute assieme da emicellulose. All'interno vedete proteine che appartengono alle 4 classi: HRGP, PRP, GRP, AGP. Sono glicoproteine. In generale nella membrana plasmatica le glicoproteine stabiliscono legami con i polisaccaridi. Allo stesso modo esse stabiliscono interazioni con i polisaccaridi, cioè stabiliscono tra di loro i legami dei diversi componenti. Quindi ne abbiamo di diversi tipi perché a seconda della glicoproteina, essa può legare un

componente rispetto ad un altro. Quindi ad esempio qua dovete ricordare il meccanismo generale, cioè il fatto che le glicoproteine vanno a legare le componenti di parete e ricordare la famiglia, non il nome per esteso ma solo le sigle. All'esame vi chiederò la famiglia: glicoproteine.

### Fase matriciale: PROTEINE

#### Proteine con attività enzimatica

#### Esempio: Laccasi e perossidasi

Attivazione monomeri radicali di monolignoli per la sintesi di lignina.

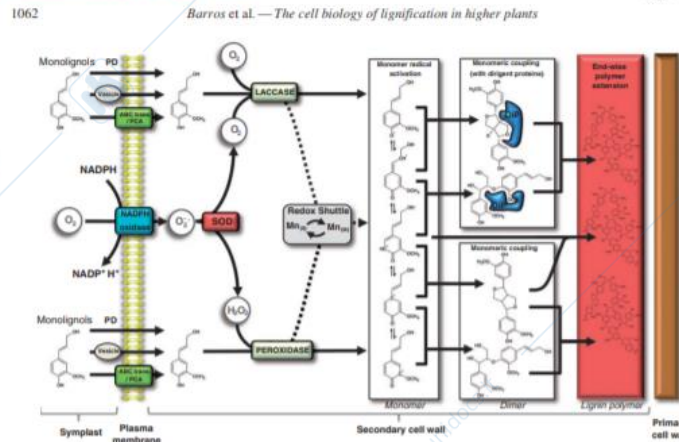


Fig. 5. General lignin polymerization. Lignin monomers are exported across the plasma membrane either by passive diffusion (PD), by exocytosis (vesicle) or through ABC transporters and/or proton-coupled antiporter (PCA). Laccases and peroxidases activate the monomer radicals, resulting in the end-wise addition of and/or cross-attack of the radical oligomers with the existing polymer(s). Classical production of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> derives from a two-step enzymatic process: NADPH oxidase and superoxide dismutase (SOD). Dirigent proteins (DIPs) stereospecifically restrict the radical coupling to one type of linkage. Manganese (Mn) acts as a redox shuttle to mediate radical activation (Ono et al., 2002). This schematic representation does not support equal importance or intervention of different possibilities used by specific cell types to form the lignin polymer.

Nella fase matriciale invece abbiamo laccasi e perossidasi come proteine più importanti. Queste proteine intervengono durante infezioni da patogeno, perché attivano i monomeri radicali di mono-lignoli per formare la lignina. In questo modo formando la lignina, vanno a porre lignina nella parete e creare una barriera contro i patogeni perché le molecole di lignina si intercalano tra i polisaccaridi e quindi i patogeni che cercano di degradare la parete non ci riescono perché le molecole di lignina proteggono i polisaccaridi, come facessero un mantello attorno ai polisaccaridi. In questo modo il patogeno non riesce a tagliarle e la cellula vegetale reagisce all'attacco. Le perossidasi usano dei substrati come perossido di idrogeno, le laccasi usano il singoletto di ossigeno (O<sub>2</sub>). Questa ultima cosa non importa che ve la ricordiate.

Abbiamo detto che nella fase matriciale troviamo anche i fenoli, che sono usati come costituenti della lignina. Il nome della classe è fenilpropanoidi e sono usati dalle diverse proteine enzimatiche.

Adesso andiamo a vedere la sintesi della cellulosa, quindi la componente microfibrillare:

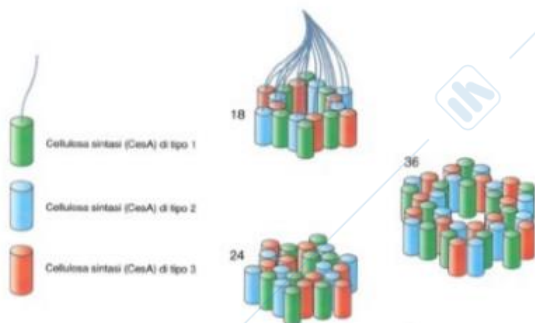
### BIOSINTESI DELLA PARETE CELLULARE

#### CELLULOSA

viene sintetizzata a livello della membrana plasmatica nel complesso della rosetta. E' un complesso multienzimatico trimerico (3 subunità diverse, 1,2,3) che si associa in gruppi di 6-8 a dare il complesso cellulosa-sintasi (CESA), glucosiltrasferasi.

BIOSINTESI E COMPONENTI DELLA PARETE

31

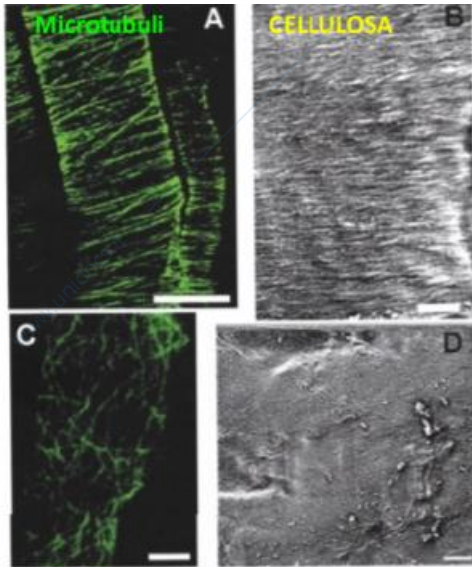


Poiché ogni molecola di CESA sintetizza 1 molecola di β-glucano da ogni rosetta si originano microfibrille con diametro medio di 18-24 catene di β-glucano.

In questo caso abbiamo, a livello della membrana plasmatica, fibrille di cellulosa e proteine che compongono il complesso della cellulosa-sintasi. Ogni complesso multienzimatico trimerico di cellulosa sintasi è formata da 3 subunità diverse, verde, blu e arancione. Ovvero abbiamo la cellulosa sintasi di tipo 1, di tipo 2, e di tipo

3. Queste si possono associare in gruppi di 6, 8, 9. Ogni molecola di CESA sintetizza una molecola di betaglucano.

Meccanismo: vediamo una molecola globulare con molecole di UDP-glucosio, che è la forma energizzata dello zucchero. Lo zucchero è legato alla catena on legame 1-4, e via via che gli zuccheri sono agganciati, vengono portati all'esterno verso la parete cellulare. Il complesso ha bisogno di essere guidato, nel formare le microfibrille, dai microtubuli e proteine accessorie che legano il complesso della cellulosa sintasi ai microtubuli.



Per capire meglio la relazione tra cellulosa e microtubuli, osserviamo queste immagini: vediamo che nell'immagine A i microtubuli sono disposti in modo ordinato, quindi anche la cellulosa in B sarà disposta in file parallele. Nell'immagine C, poiché i microtubuli sono disordinati, anche le microfibrille in D lo saranno.

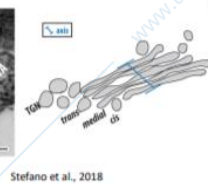
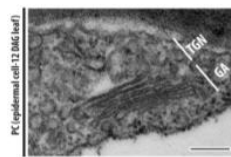
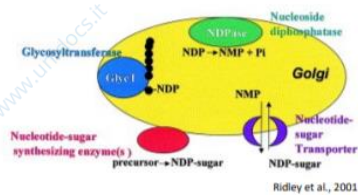
Normalmente nella cellula vegetale osserviamo una disposizione delle fibrille molto ordinata in file parallele. L'immagine D rappresenta infatti un mutante, in cui i microtubuli sono disordinati.

### BIOSINTESI DELLA PARETE CELLULARE

#### COMPONENTI MATRICIALI

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

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



Osserviamo come avviene la sintesi delle componenti matriciali: come sono aggiunti gli zuccheri per formare le catene polisaccaridiche formano le emicellulose e le pectine. La biosintesi di pectine emicellulose inizia nel golgi. Ci sono le glicosiltrasferasi che trasferiscono i residui di zucchero.

Cosa succede? Nella cisterna CIS vengono portati all'interno degli NDP zuccheri, cioè zuccheri attivati energeticamente. Una volta portati all'interno tramite le glicosiltrasferasi vengono agganciati tra di loro per formare emicellulose o pectine. Esse sono formate da residui di zuccheri diversi. Poi si passa alla cisterna MEDIAL dove saranno aggiunti altri tipi di zuccheri; in ogni cisterna voi avrete delle glicosiltrasferasi diverse in maniera tale che gli zuccheri vengano aggiunti in maniera sequenziale. Ad esempio se vogliamo formare lo xiloglatturonano osserviamo che nella cisterna CIS avremo l'acido galatturonico, mentre nella MEDIAL

avremo lo xiloso. Quindi si forma la catena principale, a cui poi sono aggiunte le ramificazioni. Attraverso poi delle vescicolette nel trans golgi network esse vengono portate verso la parete nella via secretoria e rilasciate nella plasmamembrana. Le vescicole poi si fondono con la membrana plasmatica e rilasciano il contenuto, cioè emicellulose e pectine che andranno poi nella parete, dove è già presente la cellulosa. Il trans golgi network è un comparto indipendente dall'apparato del golgi, non corrisponde al trans del golgi, ma è a parte e corrisponde a una via di smistamento, perché da esso ci sono vescicole che possono raggiungere compartimenti diversi, come membrana plasmatica e vacuoli.

Slide riassuntiva: pool di NDP zuccheri che vengono portati nella cisterna e usare per formare emicellulose e pectine, che poi sono portate all'esterno. Vi ho messo questa slide per vedere come gli zuccheri sono riciclati, infatti al momento della degradazione di parete, vengono rilasciati degli zuccheri e riutilizzati. Ci sono enzimi che hanno degradato componenti di parete, vengono rilasciati gli zuccheri che sono riportati all'interno grazie a trasportatori e saranno riutilizzati per formare pectine o emicellulose. Così come sono riutilizzati UDP glucosio per formare le emicellulose. Questo accade in situazioni: ad esempio quando si deve accrescere una cellula, e quindi allentata la parete e vengono digeriti i polisaccaridi di parete per far distendere la cellula.

### Trasporto di Componenti della parete cellulare

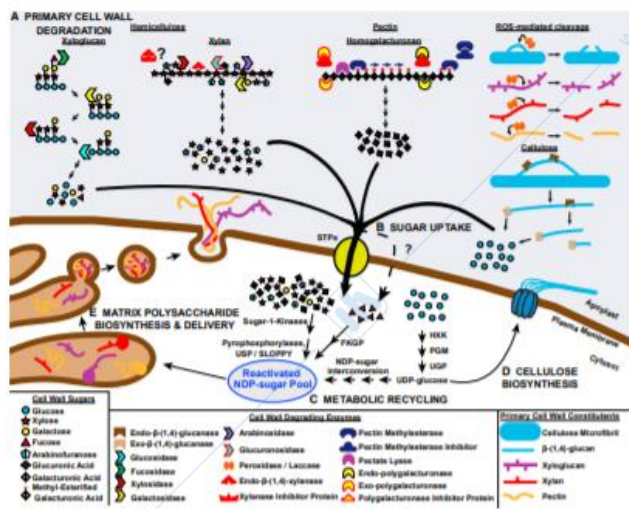
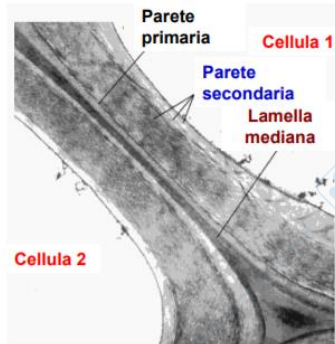


Figure 2. Metabolic Recycling Pathways for Major Primary Cell-Wall Polysaccharides.

### Architettura parete

La parete cellulare è formata da lamella mediana, parete primaria, e la parete secondaria.

## Architettura della parete

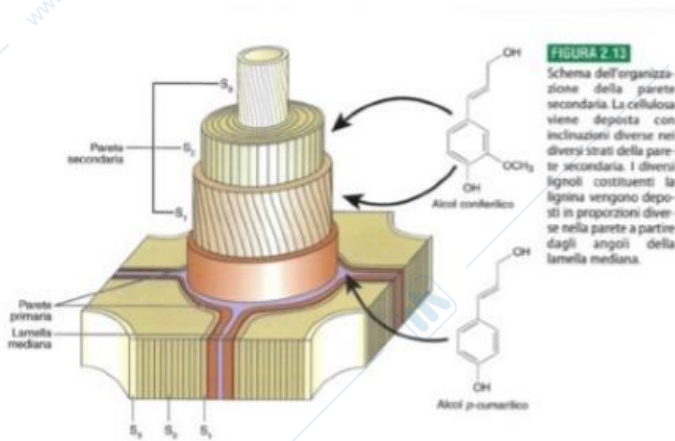


La **Lamella mediana** è la porzione più esterna della parete e quindi della cellula. È composta da sostanze pectiche. Nelle cellule con pareti secondarie la lamella mediana viene incrociata da lignina e tende a scomparire

Parete primaria (solitamente sottile)

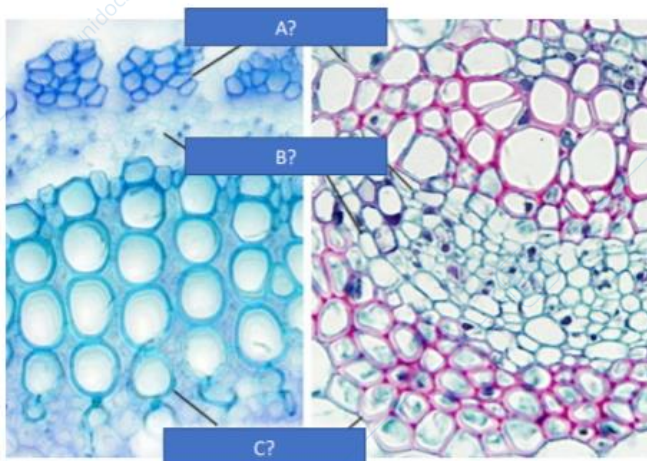
Parete Secondaria

La parete secondaria è costituita da 3 strati: S1, S2, S3. Osservando il disegno si vede che le fibrille di cellulosa sono disposte con angoli diversi nei diversi strati, questo per dare maggiore stabilità e rigidità.



**FIGURA 2.13**  
Schema dell'organizzazione della parete secondaria. La cellulosa viene depositata con inclinazioni diverse nei diversi strati della parete secondaria. I diversi lignoli costituenti la lignina vengono depositati in proporzioni diverse nella parete a partire dagli angoli della lamella mediana.

Parete Primaria e Secondaria

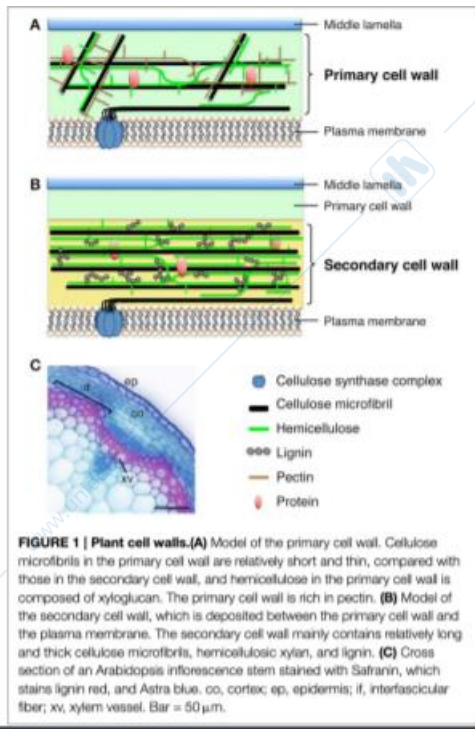


**B:** parete primaria poiché sottile, con cellule in cui si osservano i nuclei. La presenza del nucleo ci dimostra che sono cellule vive. Quindi la presenza della parete primaria in una cellula ci dimostra che la cellula è viva, poiché mantiene al suo interno tutti i nutrienti e gli organuli

**C:** parete secondaria perché spessa, con cellule con il lume cavo, cioè senza organuli.

Per passare dalla situazione A (c'è solo la parete primaria) alla situazione B (ci sono entrambe), dipende dal momento, cioè una volta formata la parete primaria, la cellula continua a mandare vescicolette con composizione diversa, perché nella secondaria c'è pure la lignina ad esempio, e quindi si crea un secondo

strato. In generale la parete secondaria è l'ultimo strato apposto. Per prima si forma la lamella mediana durante la divisione, poi la parete primaria, poi la parete secondaria.



Vediamo in modo schematico le componenti della parete. Vediamo che la lamella mediana è formata principalmente da sostane peptiche. Nella parete primaria avremo un po' di cellulosa, e molte sostanze peptiche. Nella secondaria c'è molta cellulosa e poche sostanze peptiche e molta emicellulosa. Infatti le sostanze peptiche sono responsabili dell'elasticità, per cui le troveremo maggiormente nella parete primaria, poiché la secondaria deve essere più rigida.

Schema composizione parete: Membrana plasmatica, parete secondaria, parete primaria, lamella mediana.

**Parete primaria**

- Depositata da cellule in accrescimento
- Sostanze peptiche 35%, emicellulose 25%, cellulosa 25%, proteine 1-8%
- Spessore da 0,1 a 1μm

**Parete secondaria:**

- viene depositata tra la parete primaria e la membrana plasmatica
- viene depositata dopo che l'espansione cellulare è completa
- spesso costituita da strati distinti S1, S2 e S3
- ha funzione di supporto
- Può contenere un'elevata proporzione di cellulosa e lignina
- Può contenere suberina, cutina e cere

La parete primaria e la lamella mediana si trova in tutte le cellule, mentre la parete secondaria solo in xilema, sughero e sclerenchima, perché la parete secondaria è formata da cellule morte.

**In tutte le cellule**

- Lamella mediana
- Parete primaria

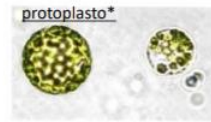
**Xilema; Sughero; Sclerenchima**

- Parete secondaria

## Proprietà chimico-fisiche delle parete cellulare



- plasticità,
- elasticità,
- resistenza alla compressione e alla trazione,
- porosità e permeabilità all'acqua e ai gas,
- carica elettrica.



**FIGURA 21**  
Micrografia al microscopio ottico di protoplasti di cellule di foglia di pomodoro, ottenuti in vitro rimuovendo la parete cellulare con enzimi (1981). L'assenza di parete fa assumere alle cellule una forma sferica (osservazione di M. Silvestri e L. Traverso).

La **plasticità** dipende soprattutto dalla componente pectica. Le pectine formano gel anche in parete, e quindi sono la componente che meglio asseconda il **protoplasto\*** nella sua crescita. La plasticità è però controllata anche mediante l'azione di proteine specifiche (espansine, xiloglucanoendotransglucosilasi,  $\beta$ -glucanasi, poligalatturonasi, pectinmetilesterasi, ecc.) che, rimodellando i legami che intercorrono tra i polimeri della matrice, conferiscono alla cellula la possibilità di cambiare forma. L'acqua è abbondante in pareti plastiche, scarsa in quelle rigide.

L'**elasticità** è legata alla componente fibrillare. Cellule ricche di cellulosa, come quelle del collenchima, tornano nella loro posizione e forma originali una volta che viene rimossa la forza deformante, quindi plasticità ed elasticità dipendono dall'equilibrio tra componente pectica e cellulosa.

## Proprietà chimico-fisiche delle parete cellulare



la **resistenza alla trazione e alla compressione** è data da cellulosa e lignina. Il contributo della cellulosa è massimo quando la forza ha la stessa direzione delle microfibrille. La lignina conferisce resistenza sia per le sue caratteristiche strutturali, sia perché, occupando il posto dell'acqua, importante per la plasticità, ne riduce il contenuto in parete.

La **porosità**, ovvero la dimensione degli spazi attraverso cui le molecole sciolte in acqua possono liberamente muoversi attraverso le maglie dei polimeri parietali, dipende dalle pectine. Il limite dei pori è di circa 10 nm, per cui in parete possono muoversi liberamente solo piccole molecole (saccarosio, ormoni, piccoli peptidi, ioni inorganici).

La **carica elettrica** negativa è determinata (in gran parte) dalla componente pectica, in particolare dai residui carbossilici dell'acido galatturonico. L'abbondanza dei residui carbossilici (acidi) mantiene il pH della parete tra 4-6.

Riassunto delle proprietà fisico-chimico della parete.

plasticità: dipende dalle pectine, e la ritrovate nella lamella mediana e nelle cellule in accrescimento

Protoplasto: cellula vegetale priva della parete cellulare

Elasticità: dipende dalla componente fibrillare, cioè dalla cellulosa. (ha detto di ricordare le cose sottolineate)

Resistenza a trazione e compressione: è dato da cellulosa e lignina. La lignina infatti conferisce resistenza.

Porosità: all'interno si muovono ioni. Ad esempio quando avete un'espansione, alcune componenti di parete vengono digeriti, come gli zuccheri, che devono essere in grado di muoversi dalla parete per raggiungere la membrana plasmatica per poi essere riportati all'interno nella parete. Quindi all'interno della parete c'è una porosità che può permettere a zuccheri, ioni, peptidi di muoversi all'interno. Ci sono degli studi che fanno evidenziano che ci sono dei peptidi che si muovono all'interno, funzionando come molecole segnale, per segnalare la presenza di patogeno o come mezzo di difesa da stress biotici e abiotici.

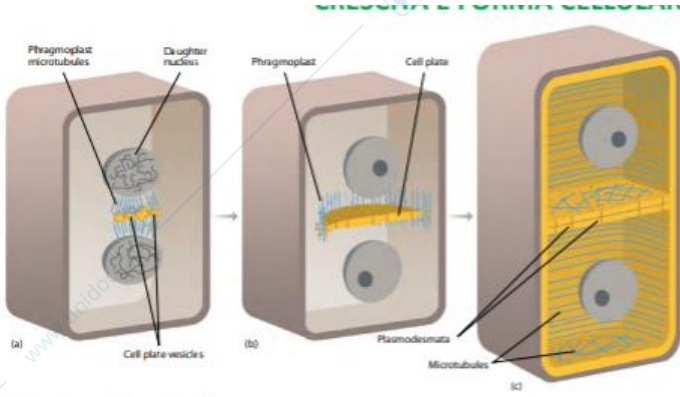
Naturalmente ha una carica elettrica, che è negativa, perché se vi ricordate quando vi ho fatto vedere la slide con i residui carbossilici, si vedeva cariche negative, che venivano bilanciate dagli ioni calcio e magnesio. Quindi la parete ha un PH di 4-6, non è in realtà così acida come potrebbe essere senza calcio e magnesio.

La differenza tra la parete primaria e quella secondaria in termini di plasticità e elasticità è: quella primaria è elastica perché consente a una cellula che si deve espandere il passaggio da una forma più piccola e una più grande. Se ci fosse la secondaria questo passaggio sarebbe impossibile perché ci sarebbe troppa lignina che blocca l'elasticità. In termini di elasticità voi potete passare, in un protoplasto, esso può a prendere acqua dall'esterno e gonfiandosi, aumentare quindi di dimensioni, oppure perdere acqua e tornare alle dimensioni iniziali.

Tutto questo non possiamo averlo nella parete secondaria che è molto rigida, però essa ha vantaggi nella funzione strutturale.

Crescita cellulare: è una funzione della parete. Il tasso di accrescimento cellulare è controllato dal valore della pressione di turgore e dal grado di estensibilità della parete. Le microfibrille di cellulosa possono avere i ponti di emicellulosa, ma tra di loro ci sono dei movimenti per cui si verificano degli slittamenti per estendersi.

Lamella mediana:



viene indicata nella foto cell plate, cioè piastra cellulare. Avete una cellula che si deve dividere, il golgi sta mandando vescicole con i componenti polisaccaridi per formare il setto. Dovete formare la lamella mediana nel centro, quindi le vescicole rilasciano i componenti polisaccaridi e appongono la cell plate, che andrà a formare la lamella mediana. Essa è costituita per la maggior parte da sostanze peptiche, ed è quella più esterna, la più lontana dalla membrana plasmatica, sta a contatto tra le due cellule.

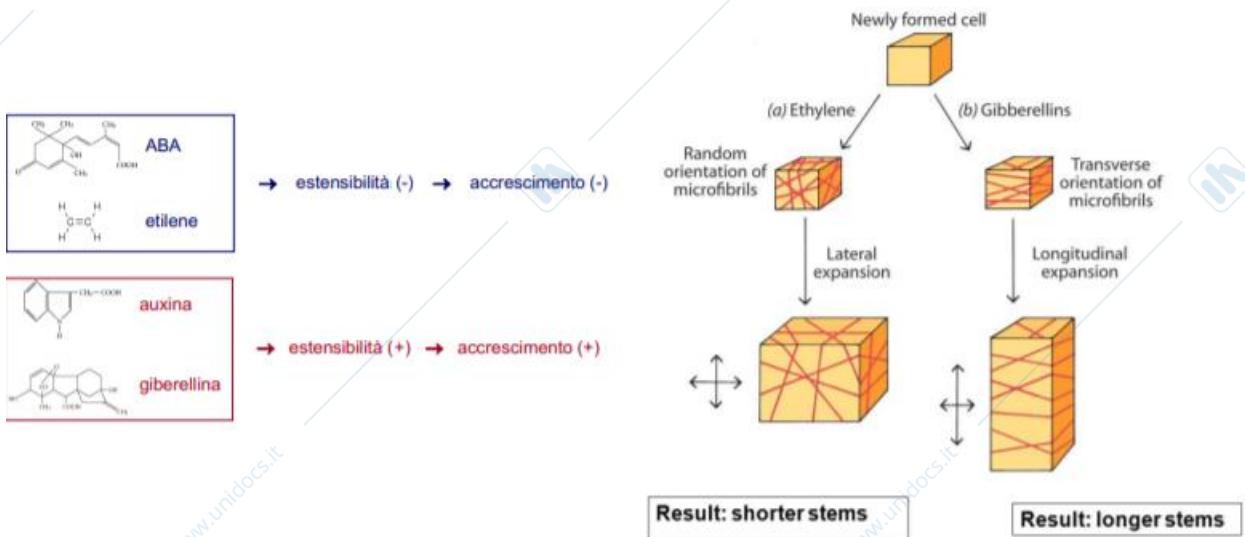
Una volta formata, la nuova cellula cresce per *distensione*. La parete bilancia la pressione di turgore che si crea all'interno della cellula a causa dell'entrata dell'acqua. Fintanto che la resistenza opposta dalla parete bilancia la pressione di turgore, la cellula non può crescere. Affinché questo possa avvenire, è necessario che la parete si "rilassi", ovvero che i polimeri che la compongono possano scivolare tra loro in modo controllato.

ci sono degli ormoni che controllano l'accrescimento cellulare, modificando l'orientamento delle fibre di cellulosa e l'estensibilità della parete. Abbiamo l'acido abscissico ABA e l'etilene che influenzano negativamente l'estensibilità e l'orientamento; auxina e giberellina invece influenzano positivamente. La giberellina, rispetto all'etilene cambia l'orientamento delle microfibrille, in questo modo la cellula assume diverse forme, proprio perché le microfibrille si orientano diversamente.

### FUNZIONI DELLA PARETE CELLULARE : CRESCITA E FORMA CELLULARE



I fitormoni controllano l'accrescimento cellulare modificando l'orientamento delle fibre di cellulosa e l'estensibilità della parete:

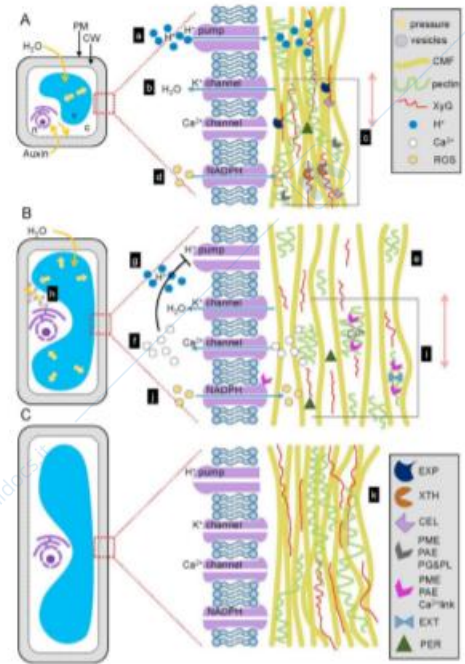


## FUNZIONI DELLA PARETE CELLULARE : CRESCITA E FORMA CELLULARE

### Ipotesi crescita acida

- L'auxina attiva la pompa protonica della membrana
- H<sup>+</sup> vengono pompate dal citosol verso la parete cellulare
- ALLENTAMENTO STRUTTURALE DELLA PARETE CELLULARE

**Figure 1.** The role of auxin in cell wall expansion. Isodiametric plant cell preparing for elongation (A), undergoing elongation (B) and fully elongated (C). The cell contains intracellular structures such as nucleus (n) and vacuole(s) (v) in the cytosol (c) and is surrounded by plasma membrane (PM). Outside of the PM the cell wall (CW) is present (A-C). The PM consists of a phospholipid bilayer (in blue), while the cell wall consists of different polysaccharides such as cellulose microfibrils (CMFs in yellow), pectins (green double line), XyGs (red line) and other polysaccharides (not shown). Auxin activates plasma membrane H<sup>+</sup>-ATPase proton pumps, which pump protons (H<sup>+</sup>) into the wall matrix, leading to wall acidification (a). Acidification of the apoplast activates potassium channels, which transport potassium ions (K<sup>+</sup>) to the cytosol, stimulating water (H<sub>2</sub>O) uptake and maintaining tensile stress (yellow arrows in A and B) (b). Acidic pH activates wall-loosening proteins and enzymes, which loosen the connections between different cell wall polysaccharides (c). PMEs activate plasma membrane nicotinamide adenine dinucleotide phosphate (NADPH), transporting superoxide anions to the cell wall where they are converted to hydrogen peroxide (d). Wall-loosening proteins and enzymes cause CMF sliding and moving apart, which increases wall porosity (e). Cell wall extension leads to the activation of calcium channels and calcium efflux into the cytosol (f). Accumulation of cytosolic calcium inhibits H<sup>+</sup>-ATPase proton pumps and protoplast alkalization (g). Newly synthesized polysaccharides are inserted into the wall, where they arrive via vesicular trafficking (h). Wall alkalization activates PMEs, which in turn activate wall-degrading enzymes (i) and NADPH (j) causing crosslinking of the wall polysaccharides and growth cessation (k).



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

Esempio dell'azione dell'auxina, che è la teoria più accreditata per la crescita cellulare. L'auxina attiva la pompa protonica della membrana, quindi l'ormone va a livello nucleare attraverso modifica dell'espressione genica, attiva le pompe protoniche. Ioni e protoni sono pompate dal citosol verso la parete cellulare. Abbiamo un allentamento strutturale della parete, perché essendo più acido, vi ricordate che c'erano dei legami che si stabilivano tra le diverse sostanze peptiche, come i legami a idrogeno, questi legami vengono destabilizzati e la parete si rilassa. A questo punto, oltre al rilassamento della parete, dovuto alle pompe protoniche, l'auxina attiva degli enzimi che vanno a digerire alcuni legami specifici. Nel vacuolo abbiamo il passaggio di acqua, quindi esso non fa che premere contro la membrana cellulare, e quindi contro la parete cellulare, per cui la cellula continua a espandersi. Il vacuolo si stende, perché viene richiamata acqua dall'esterno, quindi esso si rigonfia e preme contro la parete cellulare con una pressione di turgore.

Cosa sapere: auxina attiva la pompa protonica, quindi i protoni sono pompate dal citosol verso la parete, si ha il rilassamento della parete, il vacuolo esercita una pressione contro la parete, e la cellula si distende.