



La parete cellulare dei vegetali

- funzioni
- morfologia microscopica
- composizione e organizzazione
parete primaria e secondaria

Polisaccaridi e proteine

Acidi e basi

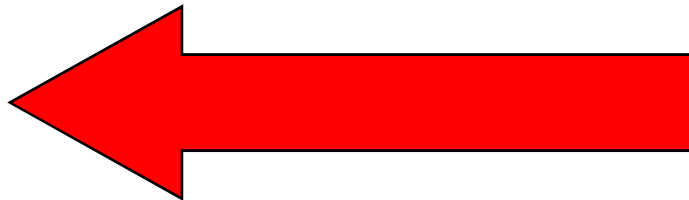
Gimno- ed angio-sperme

Di- e mono-cotiledoni



Una parete che avvolge la cellula esternamente è presente:

- nei procarioti
- nei funghi
- nei vegetali



Differiscono per organizzazione e composizione chimica



Funzioni della parete

1. Conferimento e mantenimento della forza meccanica
2. Controllo dell'espansione cellulare
3. Controllo del trasporto intercellulare
4. Protezione da microrganismi patogeni
5. Produzione di molecole segnale, specialmente in relazione ad attacchi di patogeni
6. Accumulo di sostanze di riserva

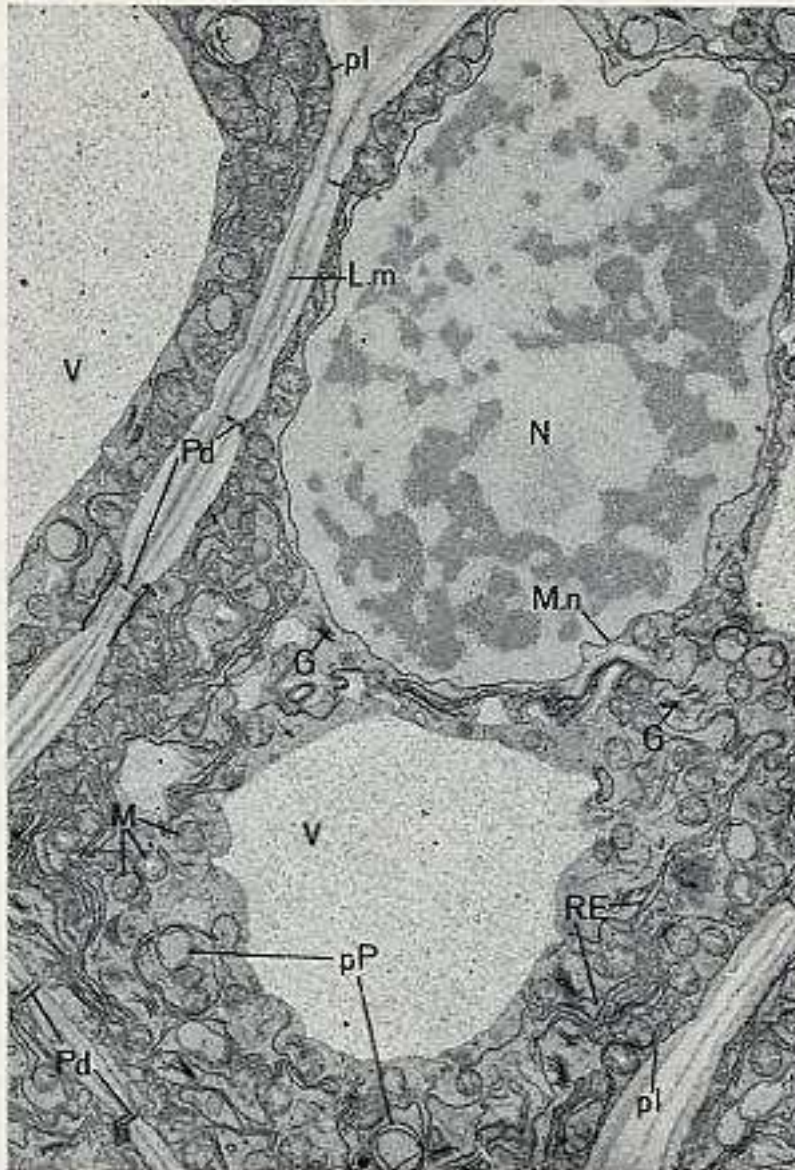
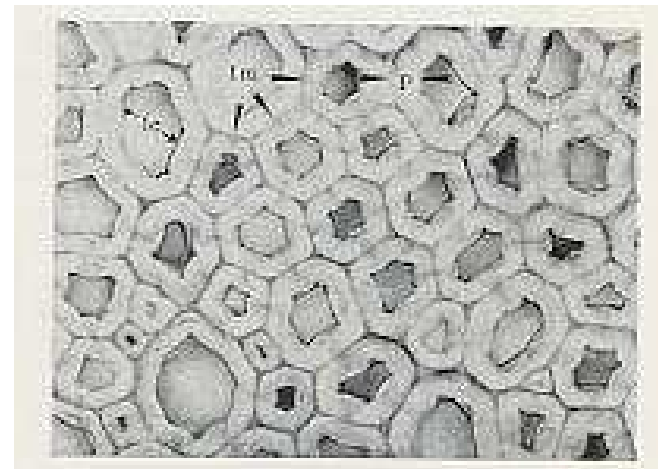


Fig. 5.11 – Cellula parenchimatica di coleotile di *Avena* vista al microscopio elettronico. Lungo la parete cellulare sono evidenti numerosi plasmodesmi (Pd). Le due graffette indicano un campo primario della punteggiatura. L.m, lamella mediana; pl, plasmalemma; V, vacuolo; N, nucleo; M.n, membrana nucleare; G, Golgi; R.E, reticolo endoplasmico; pP, proplastidi; M, mitocondri (da ARNOLDI e ROSSI).

I vegetali depongono la loro parete a strati.

Ciò permette di riconoscere tre zone: la **lamella mediana**, la **parete primaria**, la **parete secondaria**.





La parete cellulare di tutti gli eucarioti presenta un piano organizzativo generale comune:

una componente fibrillare polisaccaridica immersa in una matrice glicidica e proteica.

Un'importante componente è l'acqua (fino al 60% del totale).



La lamella mediana è costituita essenzialmente da pectine.

La parete primaria da pectine, cellulosa, emicellulose, proteine.

Esaminiamo queste diverse componenti chimiche.

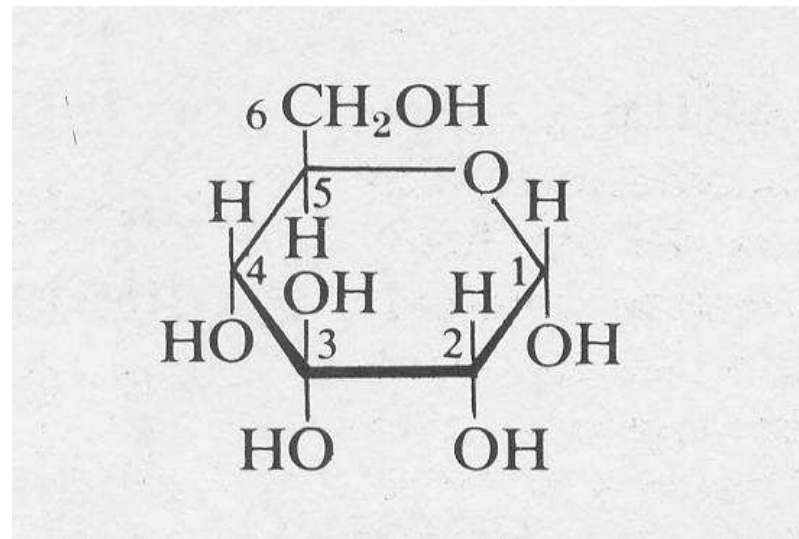


Saccaridi

si tratta di carboidrati, cioè sostanze con formula generale $C_n(H_2O)_n$

Il più conosciuto è il **glucoso**.

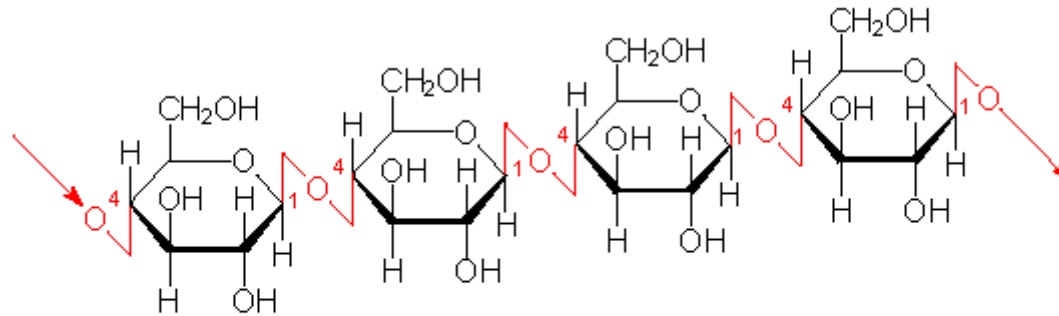
Possono formare catene (polimeri) ramificate o lineari di uno stesso monosaccaride (omopolimeri) oppure di diversi monosaccaridi (eteropolimeri).



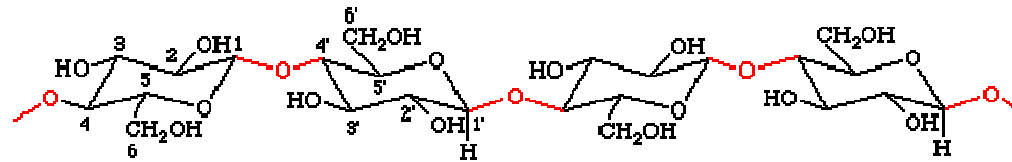


La cellulosa

- È la molecola organica più abbondante sulla terra
- In varie forme (carta, legno, materie plastiche cellulosiche, fibre tessili), si trova alla base di numerose attività economiche umane.
- È un omopolimero del glucosio (D(+)-glucopiranosio) con legami β 1- \rightarrow 4.

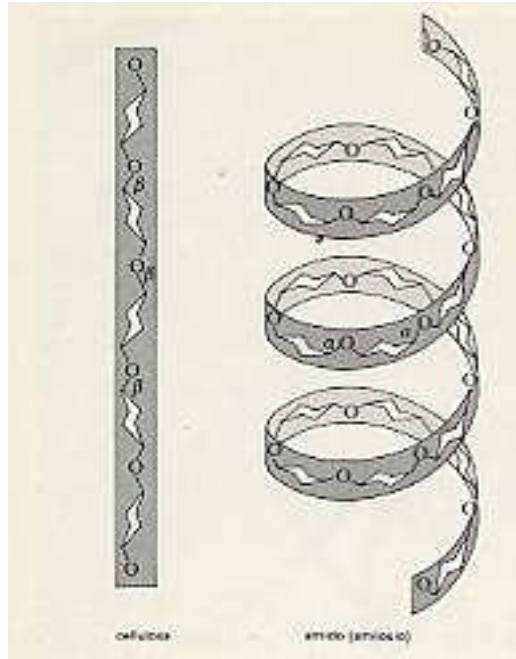


cellulose

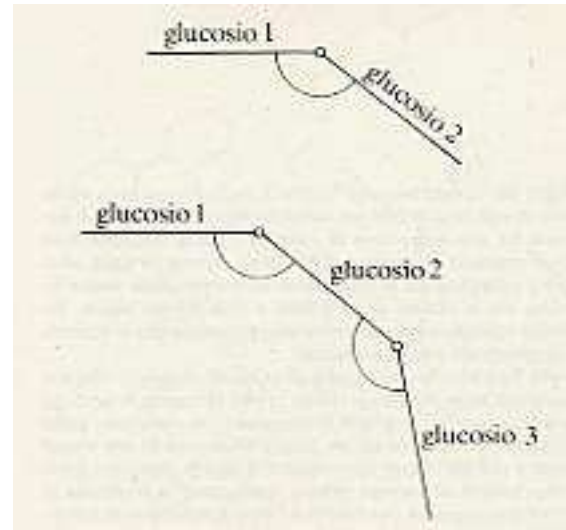
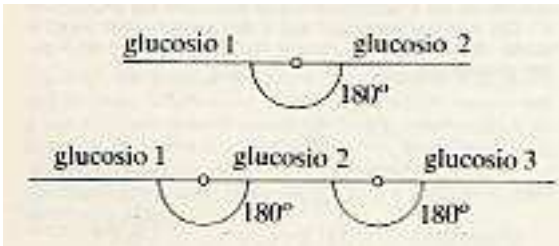
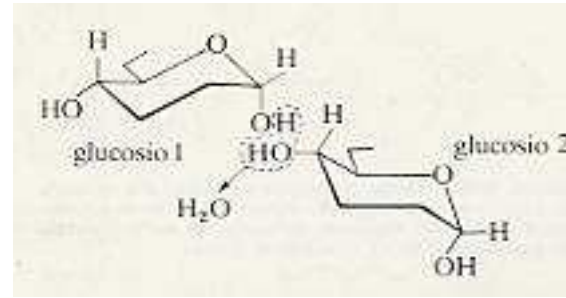
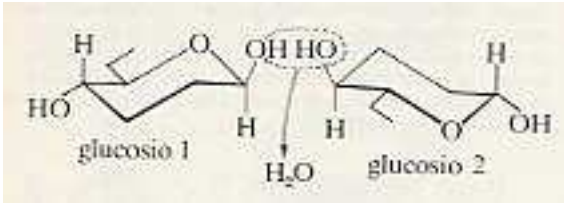
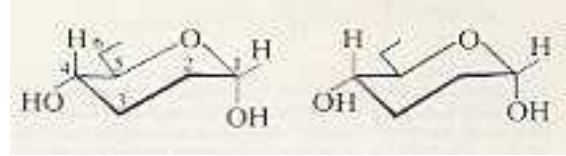
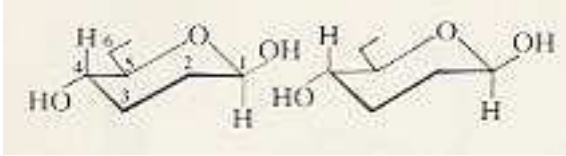


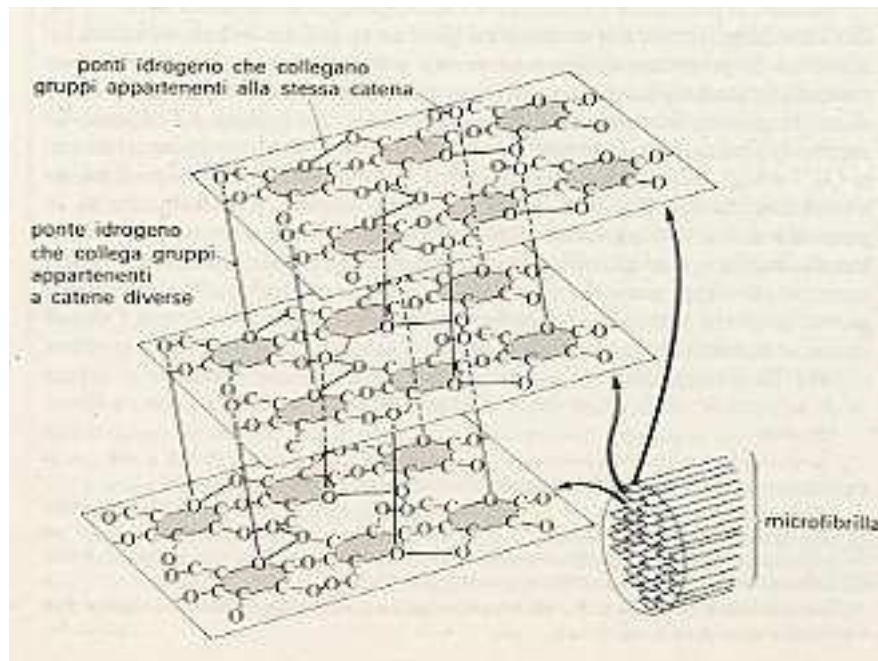
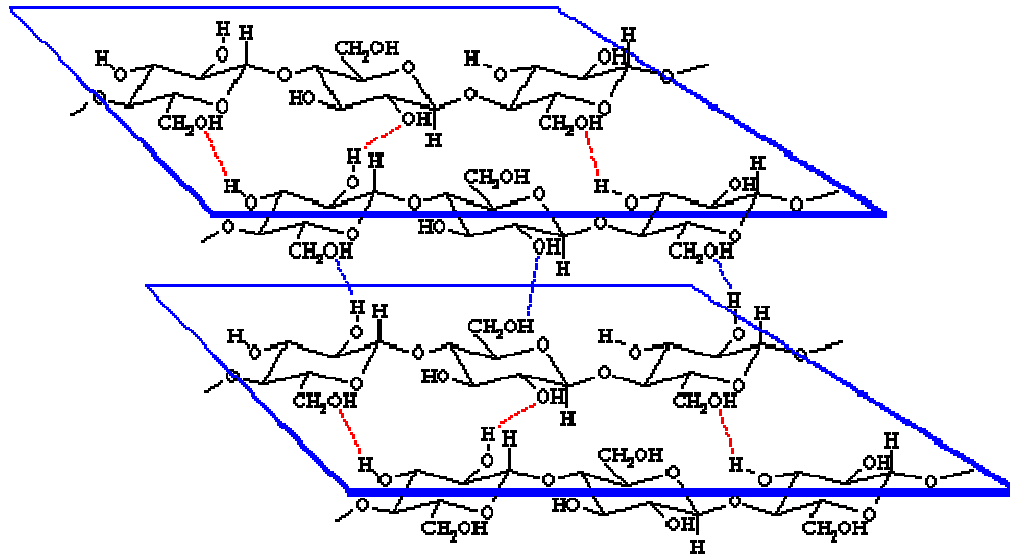
Il grado di polimerizzazione è compreso tra 2000 e 6000 nella parete primaria; è molto superiore nella parete secondaria (15-16000)

L'abbondanza relativa di questa componente è molto variabile (dal 2-4% delle pareti dell'endosperma dei cereali, al 94% di alcune pareti secondarie)



Il legame β 1- \rightarrow 4 non è il solo possibile; ad esempio, si può avere un legame α 1- \rightarrow 4. Ciò comporta però la formazione di un polimero con caratteristiche completamente differenti



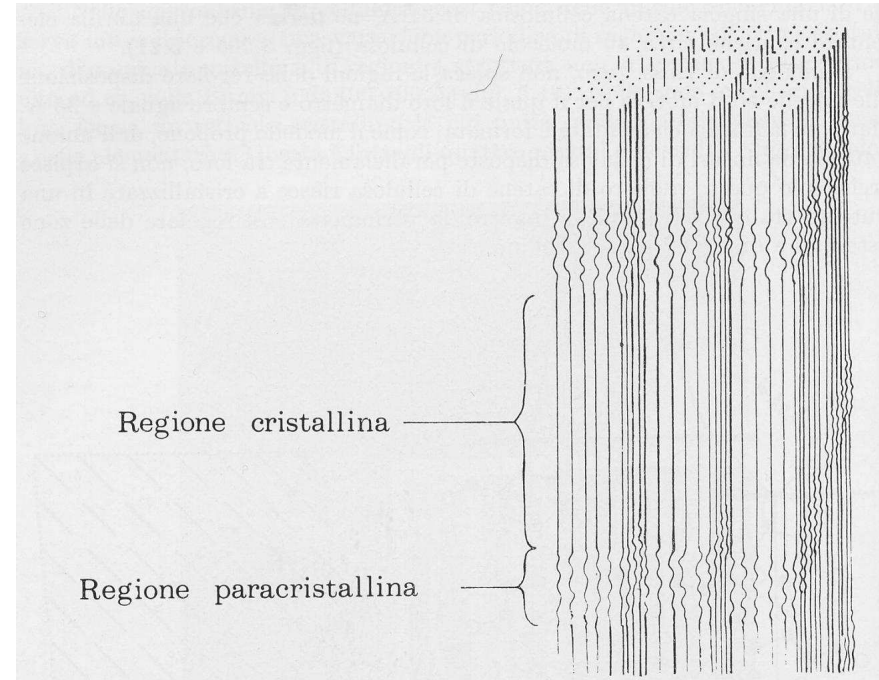


Le singole catene si aggregano, allineandosi parallelamente le une alle altre e formando delle microfibrille aventi diametro di 5-15 nm, costituite da 30-100 catene.

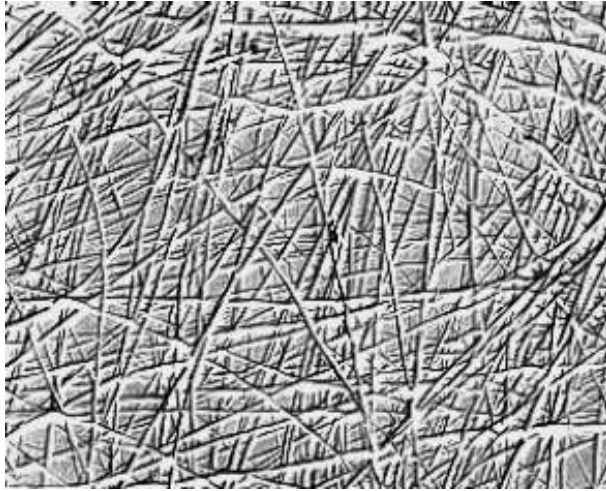
Le fibrille sono stabilizzate da legami idrogeno intracatena e intercatena



Lungo le fibrille si trovano zone (dette **micelle**) con struttura altamente ordinata, di tipo cristallino, alternate ad altre zone con aspetto meno organizzato.



A causa della sua organizzazione, la cellulosa presenta straordinarie caratteristiche di resistenza alla trazione ed agli attacchi enzimatici.



Microfibrille di cellulosa
con struttura dispersa

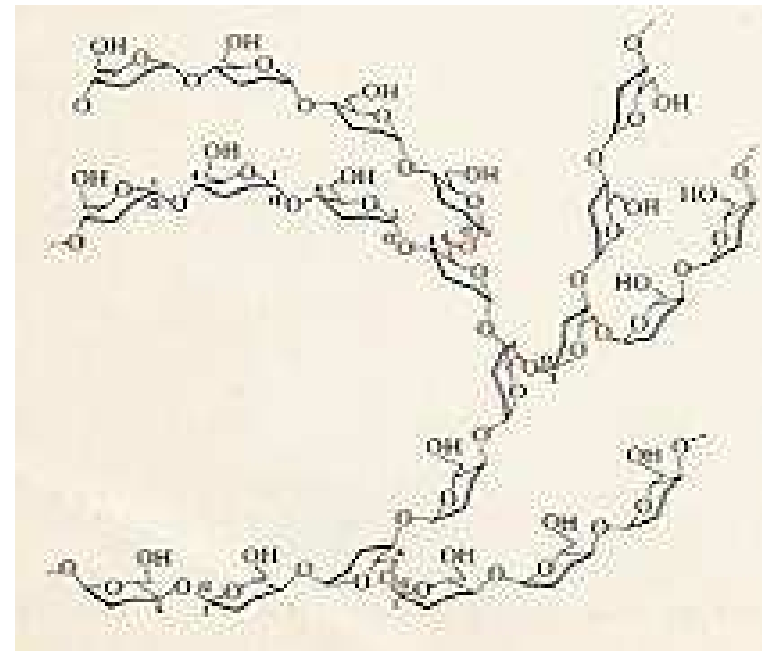
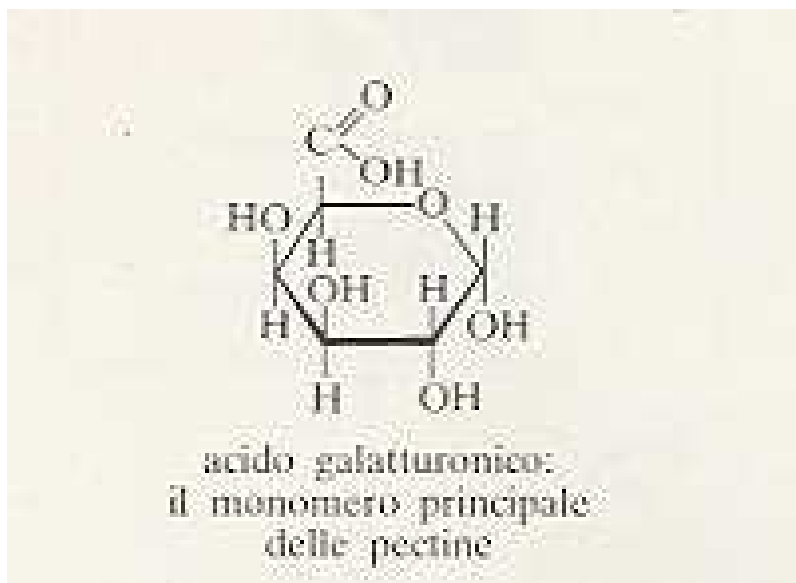


Microfibrille di cellulosa
con struttura orientata



Le pectine

si tratta di un gruppo di polisaccaridi che formano catene più o meno ramificate. La componente principale è l'**acido galatturonico** (che può formare omopolimeri) oppure avere catene laterali costituite da altri saccaridi (ramnoso, arabinoso, galattoso).

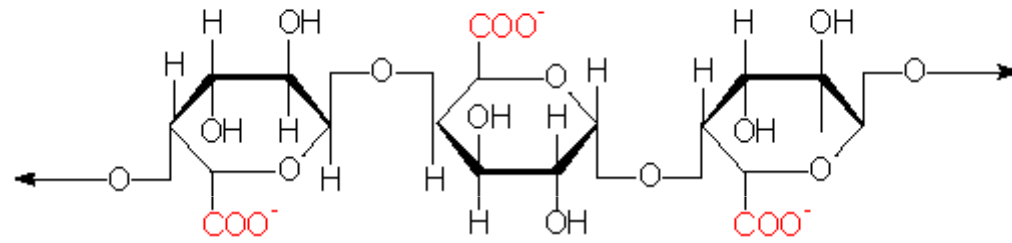




Il gruppo -COOH si chiama **gruppo carbossilico** e conferisce caratteristiche di **acidità**.

Un acido è una sostanza in grado di cedere un protone quando si trova in soluzione acquosa.

Un concetto complementare a quello di acido è quello di **base**; una base è una sostanza capace di accettare un protone.



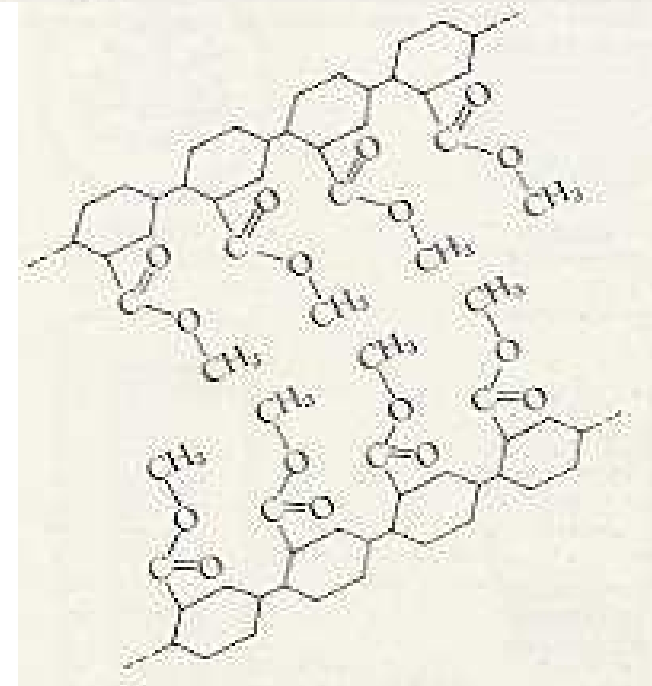
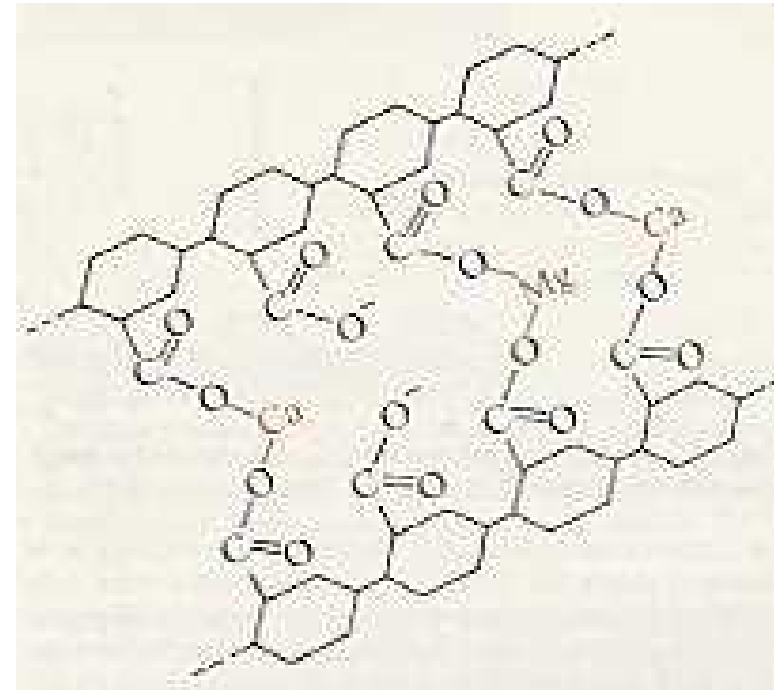
pectic acid (α - 1 , 4 - galacturonic acid)



La presenza del gruppo carbossilico conferisce alcune proprietà caratteristiche alle pectine.

Legando Ca^{++} e acqua, esse possono formare dei graticciati stabili (a nido d'ape). Per lo stesso motivo, esse possono funzionare come scambiatori ionici.

L'acidità delle pectine è modulata dalla metilazione reversibile dei carbossili (enzima: metilesterasi).





Le emicellulose

Sostanze estraibili dalla parete mediante trattamento con alcali.

Categorie in base alla composizione chimica - catene di monosaccaridi, più o meno ramificate.

Polimeri di xiloso, xiloso e glucoso, glucoso e mannosio, galattoso e mannosio, mannosio, glucoso, con vari tipi di legami (α o β , 1- \rightarrow 3, 1- \rightarrow 4, 1- \rightarrow 6)



Ramificazioni ed eterogeneità impediscono l'impacchettamento in fibrille.

Le emicellulose costituiscono il 40-45% delle pareti primarie e il 30-33% delle pareti secondarie.

Frequentemente svolgono il ruolo di accumulo di sostanze di riserva oppure di trattenimento dell'acqua.



Le proteine

Anche le proteine sono polimeri.

I monomeri sono gli **amminoacidi**, molecole che presentano un **gruppo amminico** ($-\text{NH}_2$) e un **gruppo acido carbossilico** ($-\text{COOH}$).

Gli amminoacidi si legano tra di loro con un particolare legame detto **peptidico** (da cui il nome di polipeptidi).



Esistono venti diversi amminoacidi. La loro sequenza definisce la **struttura primaria** di una proteina.

La catena che si forma può formare pieghe o eliche; questa viene detta **struttura secondaria**.

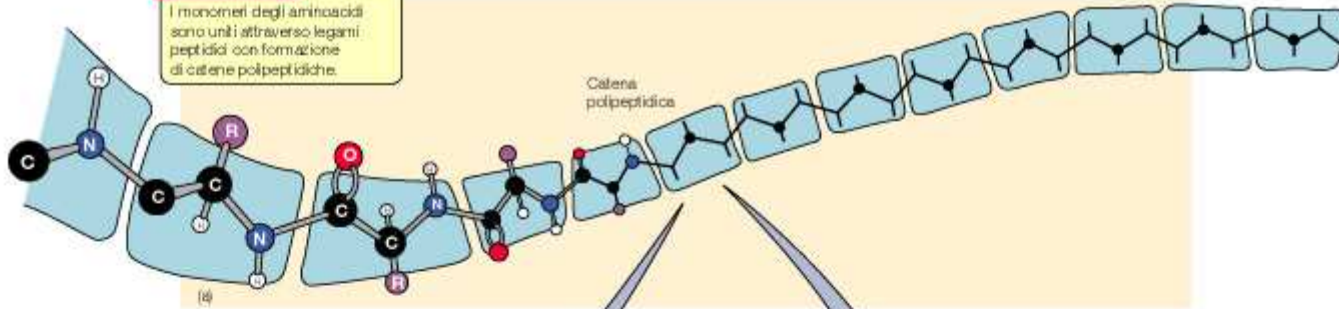
La forma che la proteina prende in seguito alla formazione di eliche e pieghe, è chiamata **struttura terziaria**.

Diversi polipeptidi si possono associare, in relazione alla loro forma e dare così **strutture quaternarie**.



Struttura primaria

I monomeri degli aminoacidi sono uniti attraverso legami peptidici con formazione di catene polipeptidiche.



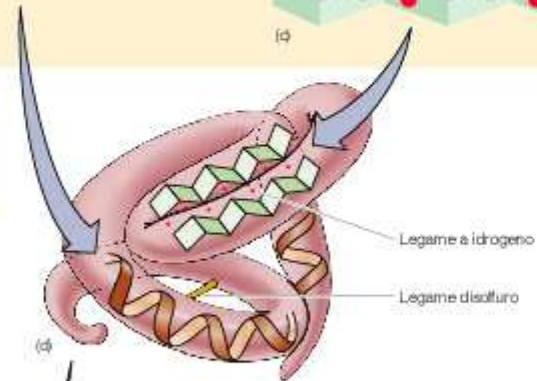
Struttura secondaria

Le catene polipeptidiche possono formare foglietti β oppure α eliche.



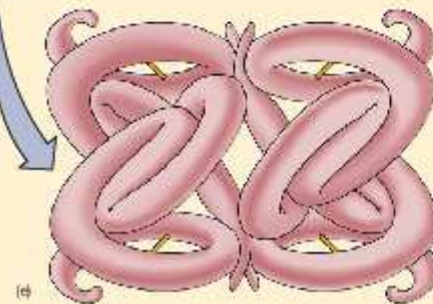
Struttura terziaria

Ogni catena polipeptidica si ripiega assumendo una forma peculiare. Il ripiegamento è stabilizzato da legami diversi, tra cui legami a idrogeno e disolfuro.



Struttura quaternaria

Due o più catene polipeptidiche, ognuna con la propria struttura terziaria, si associano a formare un complesso di maggiori dimensioni. L'ipotetica molecola rappresentata è un tetramero di quattro catene polipeptidiche.





Le proteine sono classificate in **globulari**, con forma approssimativamente tondeggiante, e **fibrose**, con forma di filamenti.

Esistono proteine **strutturali** ed **enzimatiche**.

Le prime contribuiscono alla formazione e organizzazione delle strutture.

Le seconde fungono da catalizzatori per le reazioni biochimiche. I catalizzatori sono acceleratori di reazioni chimiche.



Nella parete sono presenti sia proteine strutturali, sia enzimatiche.

Proteine strutturali

- HRGP: sono glicoproteine ricche di idrossiprolina. La più nota è l'estensina.
- Arabino-galattano-proteine, anche esse ricche di idrossiprolina, piccole e molto solubili.
- Proteine ricche di glicina: tipiche dei tessuti vascolari e delle risposte alle ferite.
- PRP: proteine ricche di prolina.
- Proteine di adesione: mediano le interazioni tra parete, plasmalemma e microtubuli del citoscheletro

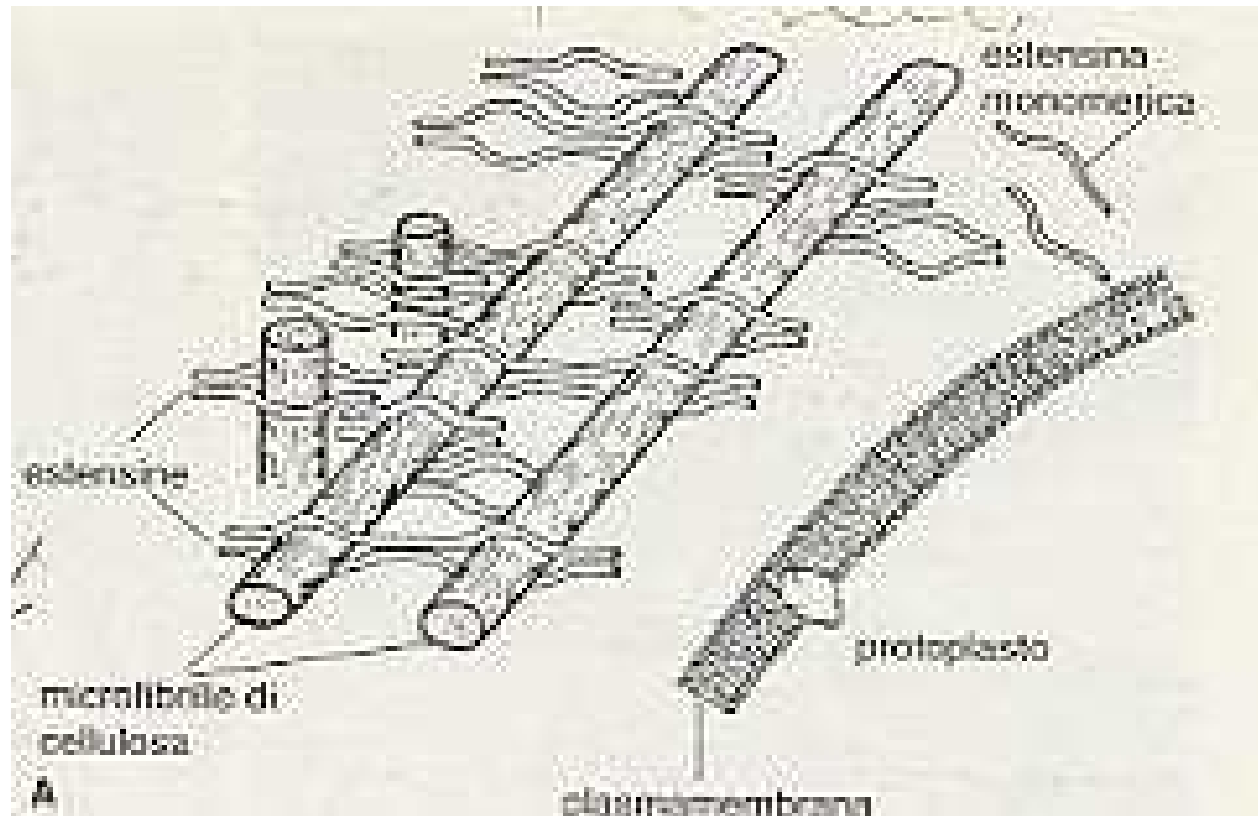


Tra le proteine enzimatiche troviamo:

cellulasi, pectinasi, perossidasi, pectin-
metilesterasi, fosfatasi acide, chitinasi e
glucanasi.

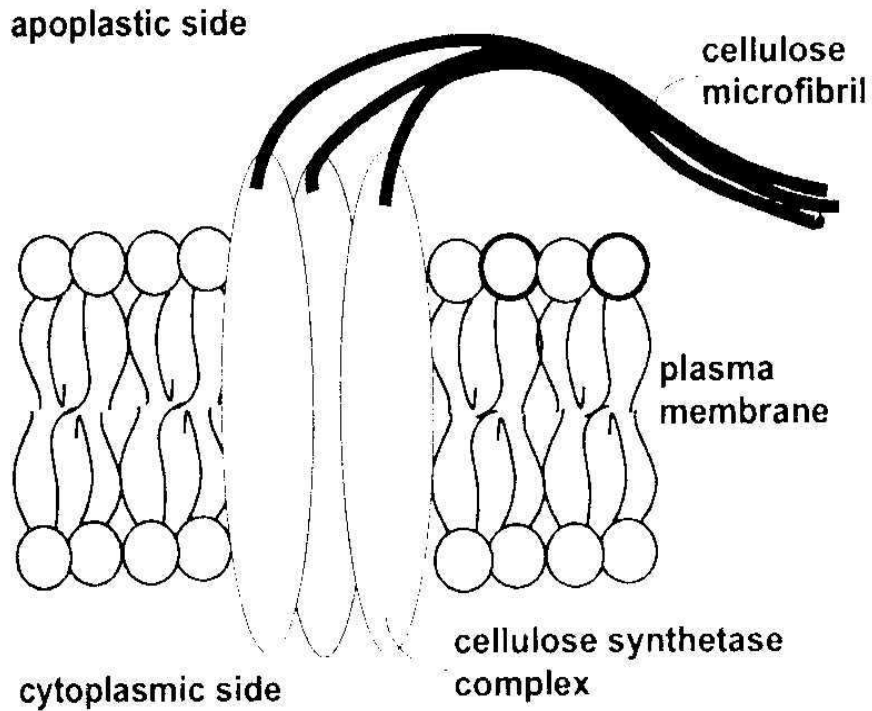


Schema dell'organizzazione della parete





Transverse cut through the membrane



View onto the outer membrane surface

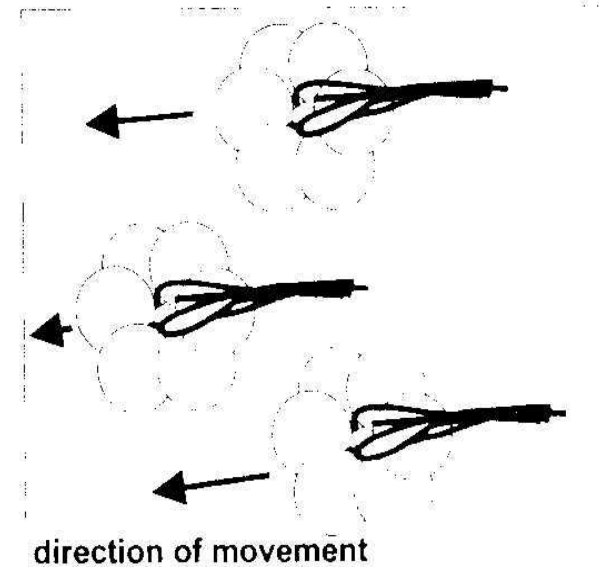


Fig. 1.3a,b. Cortical microtubules guide cellulose deposition. **a** According to the model by Heath (1974), a microtubule-based motor protein is linked physically to the terminal complexes. The driving force for the movement is provided by this protein, the direction of the movement is determined by the direction of cortical microtubules. **b** According to the model by Giddings and Staehelin (1991), the driving force for the movement is derived from the crystallization of cellulose, the direction of the movement is determined by membrane channels that form between cortical microtubules.

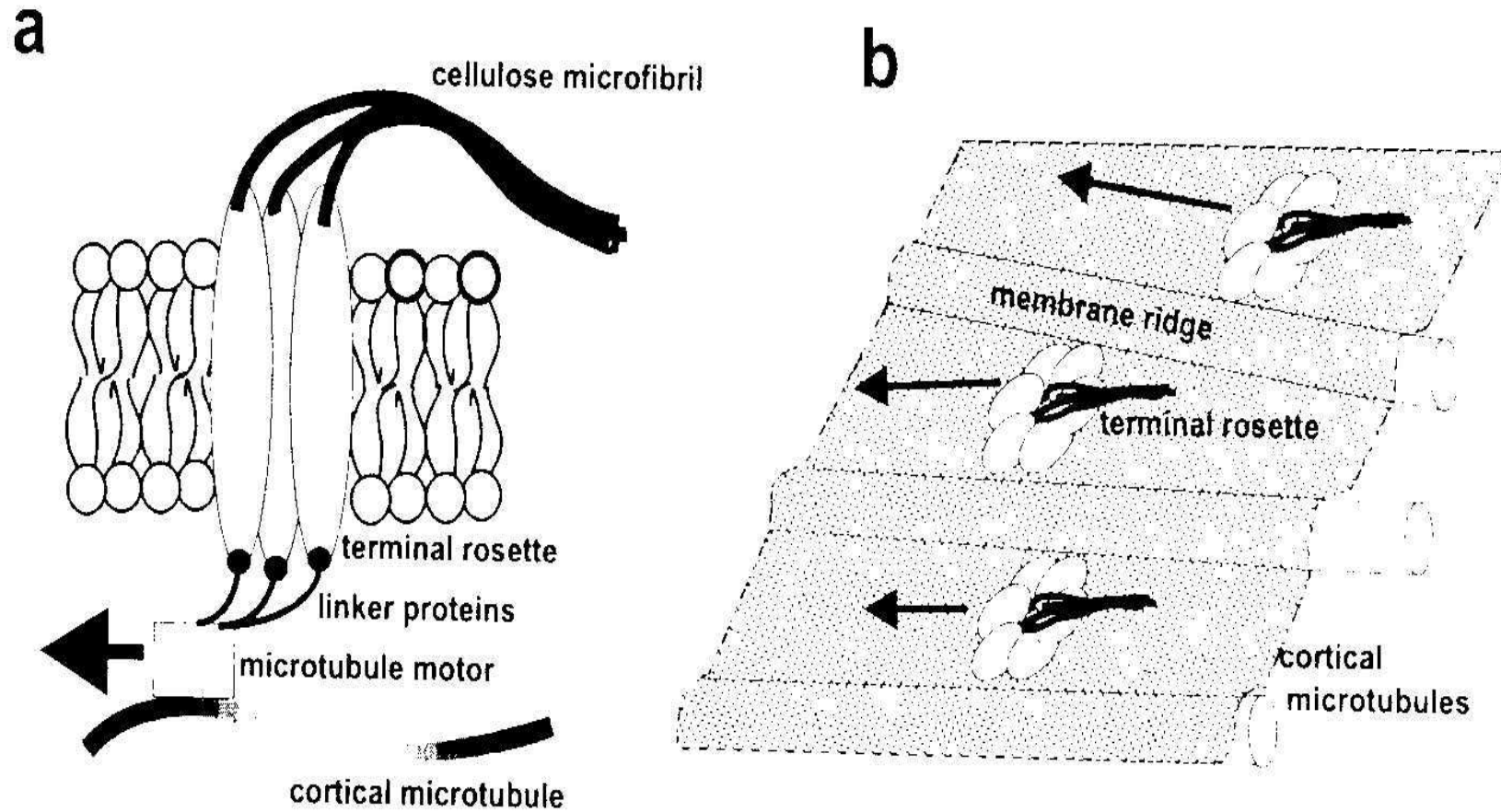


Fig. 1.2. Organization of cellulose-synthesizing enzymes in the plasma membrane. The complexes are arranged in rosette-like terminal complexes and the cellulose microfibrils are secreted towards the apoplastic side of the membrane. By directional movement of the terminal complexes within the membrane a directional deposition of cellulose is achieved.



Tab. 11.5 *Composizione comparativa di pareti primarie da differenti taxa.*

Componenti	Dicotiledoni	Monocotiledoni		Gimnosperme
		Graminacee	Altre famiglie	
Cellulosa	~ 9–40%	~2–40%	Presenti come nelle dicotiledoni	Presenti come nelle dicotiledoni (?)
Polisaccaridi di matrice	Polisaccaridi pectici Eteroglucani Eteroxilani	Glucurono arabinosilani Maggior quantità di β 1,3 e β 1,4–glucani Eteroglucani e polisaccaridi pectici (minor quantità)	Presenti come nelle dicotiledoni	Presenti come nelle dicotiledoni (?)
Proteine e glicoproteine	Estensine Altre proteine	Proteine Estensine (poche)	Presenti come nelle dicotiledoni	Estensine (in quantità minore che nelle dicotiledoni)
Acidi fenolici	Acido ferulico (solo nelle Caryophyllales)	Acido ferulico	Acido ferulico presente variabile	Non determinati



La parete secondaria.

È tipica delle cellule che hanno terminato il processo di distensione e differenziamento. Si distingue dalla parete primaria per la natura delle componenti, per le caratteristiche chimico fisiche e per il momento in cui viene deposta.

Le variazioni di composizione dipendono dalla comparsa di nuove sostanze (lignina, cere e cutine, suberina e sporopollenina) e dalla variazione di percentuale di quelle precedentemente presenti.

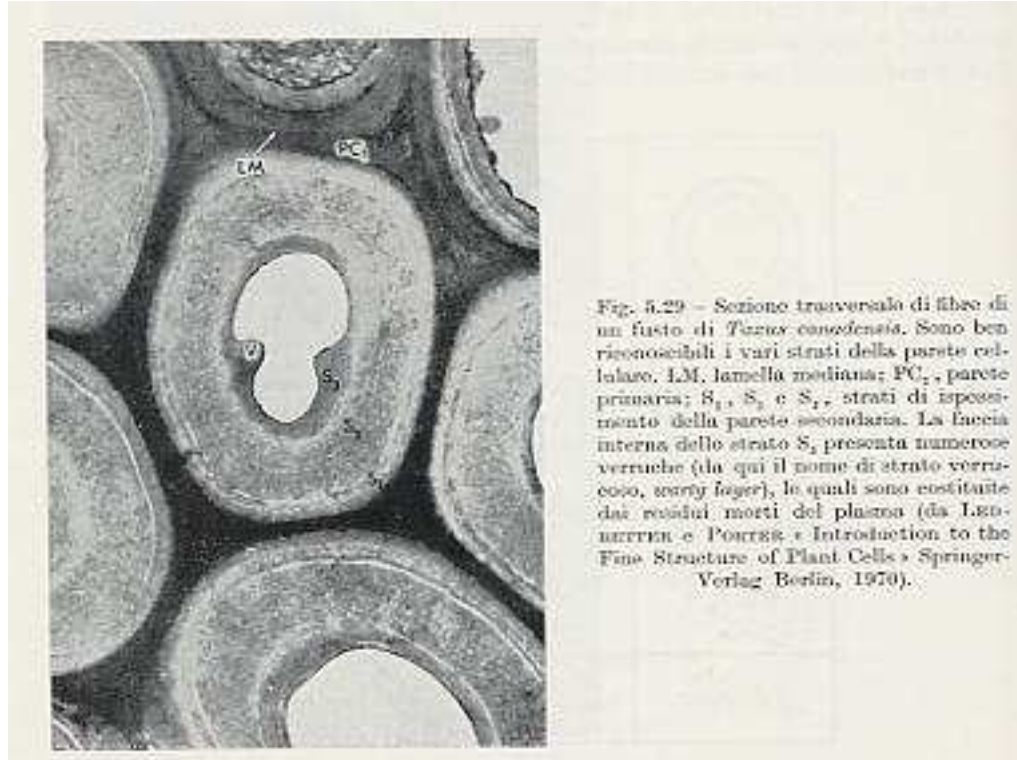


Fig. 5.29 - Sezione trasversale di fibre di un fusto di *Taxus canadensis*. Sono ben riconoscibili i vari strati della parete cellulare. L.M. lamella mediana; PC₁, parete primaria; S₁, S₂ e S₃, strati di ispessimento della parete secondaria. La faccia interna dello strato S₂ presenta numerose verruche (da qui il nome di strato verrucoso, warty layer), le quali sono costituite dai residui morti del plasma (da Lennarz e Pörrig: « Introduction to the Fine Structure of Plant Cells » Springer-Verlag Berlin, 1970).



Il contenuto di pectine e acqua cala drasticamente.

Aumenta la cellulosa ed aumentano le zone con struttura cristallina; inoltre i polimeri di cellulosa sono più lunghi. Microfibrille tendono ad associarsi e formare macrofibrille.



Lignina.

È un polimero di natura fenolica molto complesso.

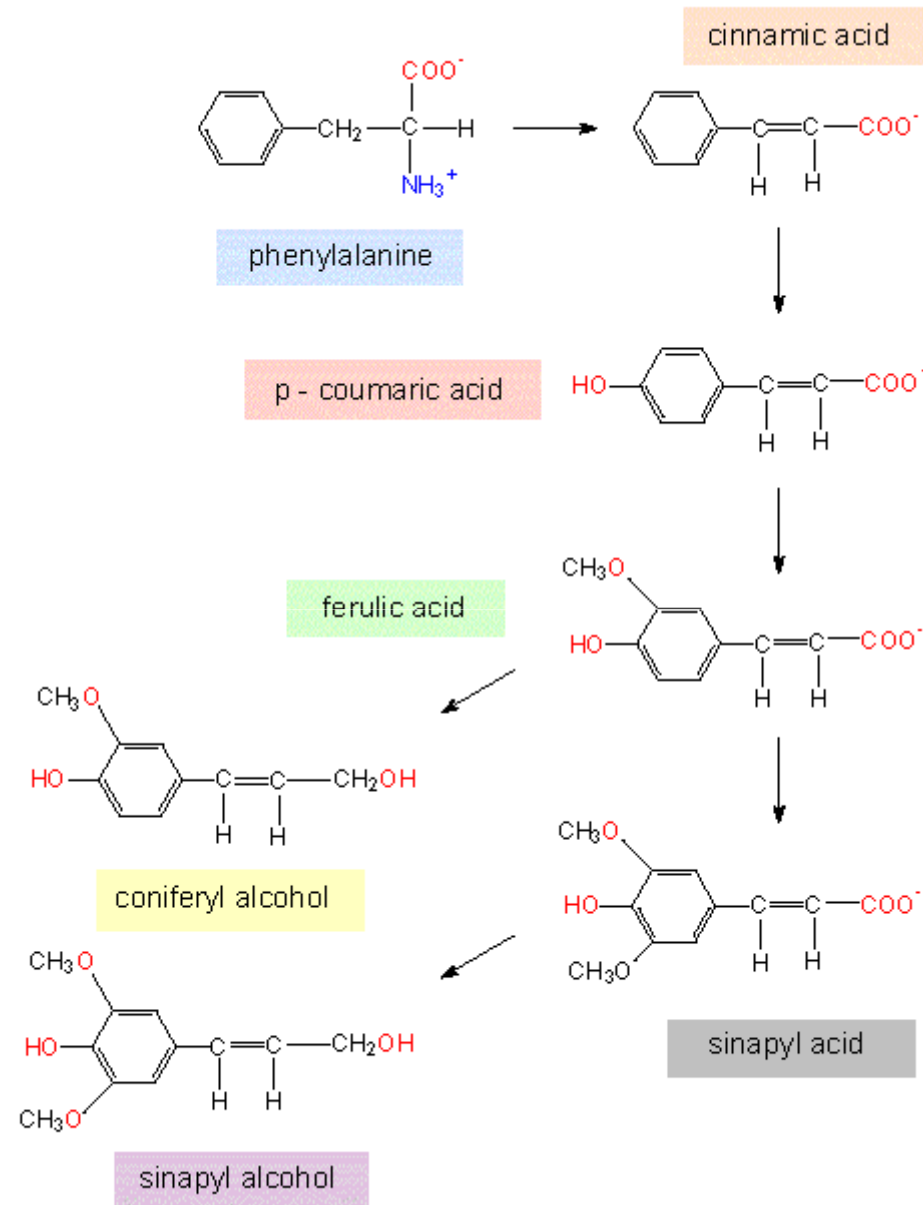
Non tutti i passaggi della sintesi sono chiari, è noto però che l'enzima chiave del processo è la fenilalanina-ammoniaca-liasi (PAL). Tre alcoli (basati sullo scheletro carbonioso del fenilpropano) vengono secreti nella parete come monomeri e qui polimerizzano , sostituendo l'acqua.

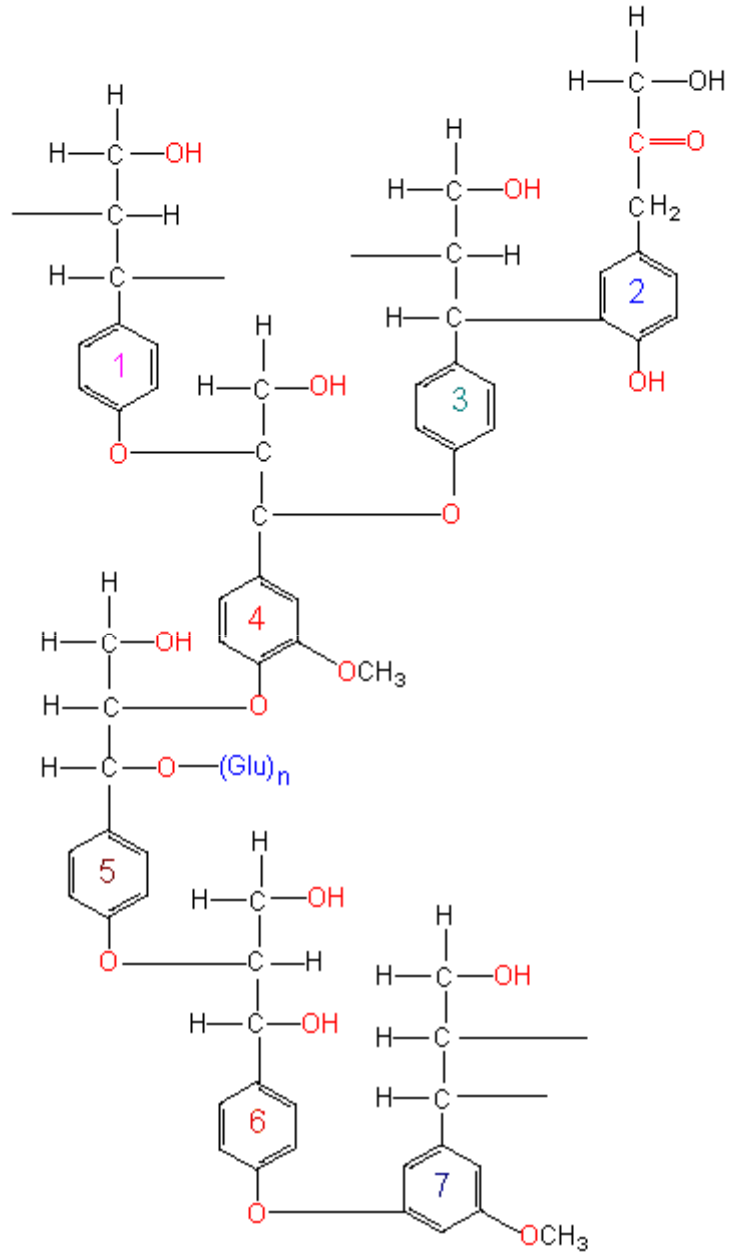
Il processo avviene lungo le fibrille di cellulosa, coinvolge tutta la parete e conduce alla morte cellulare.

La parete cellulare lignificata è idrofoba, resistente e non plastica.



Biosintesi dei componenti della lignina





Esempio di
lignina



Cere e cutine

La superficie esterna degli organi epigei delle piante superiori è rivestita da uno strato lipofilo, la cuticola, con diverse funzioni: controllo della temperatura; protezione dalle aggressioni chimiche e dal vento; protezione nei confronti di attacchi da parte di agenti patogeni.

La cuticola è costituita da cere (catene di idrocarburi a lunga catena ed esteri di acidi grassi) e cutine (poliestere a maglia tridimensionale di ossiacidi, acidi grassi e acidi epossidici).



Suberina

Impermeabilizza totalmente la cellula. Si tratta nuovamente di un poliestere, di acidi grassi, alcoli e ossiacidi, con componenti fenoliche lignino simili.

È tipica degli elementi esterni del fusto, ma può essere presente anche in zone diverse.



Sporopollenina

Polimero presente solo nello strato più esterno (esina) dei pollini, in alcune spore di alcune crittogame e di alcune alghe. Composizione chimica complessa, molto resistente ad acidi e basi.



Tab. 11.6 *Composizione comparativa di pareti secondarie lignificate di differenti taxa.*

Componenti	Dicotiledoni	Monocotiledoni		Gimnosperme
		Graminacee	Altre famiglie	
Cellulosa	~ 40–60%	~35–40%	Presenti come nelle dicotiledoni	~ 40–60%
Polisaccaridi di matrice	4–O metilglucurono–xilani Glucomannani	Glucurono–arabino–xilani Eteroglucani e (1–3,1–4) β –glucani	Presenti come nelle dicotiledoni	Glucomannani e galattoglucomannani > 4–O–metilglucurono–arabino–xilani
Acidi fenolici	Acido ferulico (solo nelle Caryophyllales)	Acido ferulico e p–coumarico	Presenti come nelle dicotiledoni	Non determinati
Lignina	~15–25% unità di guaiacile e siringile	~15–25% unità di guaiacile, siringile, p–idrossifenil propano Esteri di acido p–coumarico	Presenti come nelle dicotiledoni	~15–35% unità di guaiacile unità di siringile nelle Gnetales