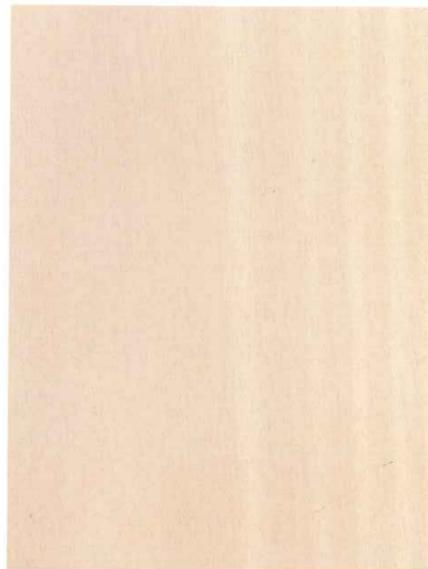


## 2.22 – TIGLIO

Nome scientifico:	<i>Tilia</i> sp.
Famiglia:	Tiliaceae
Nome Inglese:	Lime
Nome Francese:	Tilleul
Nome Tedesco:	Linde

**Caratteristiche macroscopiche**

Legno biancastro o lievemente giallognolo, indifferenziato. Gli anelli di accrescimento, discretamente individuabili, sono ampi ed a decorso regolare. Le fini specchiature dei raggi conferiscono alle superfici radiali un aspetto sericeo.

La tessitura è fine e la fibratura diritta.

**Caratteristiche microscopiche**

Vasi a sezione ellittica spigolosa, di piccolo diametro (inferiore a 75 micron) regolarmente decrescente passando dal legno primaticcio a quello tardivo.

Le pareti dei vasi presentano sottili ispessimenti spiralati.

Perforazione unica; punteggiature intervascolari piccole e numerose; punteggiature raggio-vaso uguali a quelle intervascolari

Raggi eterogenei, pluriseriati, larghi da 1-6 file di cellule ed alti fino ad oltre 70.

I raggi in corrispondenza del limite dell'anello annuale si allargano in maniera molto netta.

**Caratteristiche fisiche e meccaniche**

Massa volumica: 0,65 g/cm<sup>3</sup> (a U=12%)

Ritiro: Radiale=5,6% - Tangenziale=9,2% Volumetrico=15%

Le resistenze meccaniche variano con la massa volumica e con il variare dell'umidità del legno.

Per resistenza a compressione assiale al 12% di umidità si può assumere il valore medio di 45 N/mm<sup>2</sup>.

Per resistenza a flessione statica al 12% di umidità si può assumere il valore medio di 93 N/mm<sup>2</sup>.

**Durabilità naturale**

Funghi: 5  
Anobium: n/d  
Termiti: NR

**Impregnabilità**

Durame: 1  
Alburno: 1

**Impiego del legname**

Legno facilmente attaccabile dai funghi, di facile lavorazione, trova impiego per falegnameria fine, sculture e intaglio, cornici, giocattoli e strumenti musicali.

## APPENDICE

## Ultrastruttura del legno

*Ultrastructure of wood*

(*Marco Fioravanti*)

**1 - Struttura ed organizzazione dei polimeri costitutivi del legno.**

*Structure and organization of constitutive polymers.*

L'esigenza di realizzare questa appendice nasce dalla constatazione dell'enorme progresso realizzato dalle conoscenze scientifiche relativamente alla struttura ed all'organizzazione dei polimeri costitutivi del legno. La trattazione di questi argomenti non deve essere vista come un tentativo di snaturare lo spirito originale dell'opera, che aveva ed ha un taglio fortemente applicativo, si è partiti però dal presupposto che l'apprendimento di alcuni aspetti dell'ultrastruttura del legno rappresentano ormai un elemento indispensabile, non solo per una compiuta conoscenza della sua struttura anatomica, ma anche e soprattutto per una piena comprensione di alcuni comportamenti fisici (anisotropia, adsorbimento e desorbimento) e meccanici (viscoelasticità, comportamento mecano-sorpitivo) del materiale.

In questo capitolo vengono brevemente illustrate la struttura dei più importanti polimeri costitutivi del legno (cellulosa, emicellulose e lignina), ed esposte le modalità con cui questi possono dare luogo a strutture più complesse che costituiscono, di fatto, i mattoni con i quali si costruisce la struttura della parete cellulare così come descritta nelle altre parti del testo.

**2 - La cellulosa. - Cellulose.**

La cellulosa è uno dei composti più abbondanti in natura, essendo uno dei componenti principali dei Batteri, delle Alghe e delle piante superiori, ed anche nel legno rappresenta il costituente quantitativamente più importante, con percentuali che vanno dal 40 al 50% del peso secco.

Si tratta di un polimero omogeneo e lineare composto dall'unione di tante unità di  $\beta$ -D glucopiranosio. Il glucosio in questa forma assume una configurazione spaziale che richiama la struttura di una sedia (figura 1), con la presenza di gruppi ossidrilici in posizione equatoriale che favorisce la formazione di un legame glicosidico (legame chimico molto stabile) fra il carbonio in posizione 1 di una molecola di glucosio e quello in posizione 4 della molecola successiva. L'unione di due molecole di glucosio da luogo al *cellobiosio*, l'unità elementare della cellulosa, il cui grado di polimerizzazione (il numero di unità che compongono una singola catena) nel caso del legno può oscillare fra 3.000 e 5.000.

La cellulosa in natura è presente sia allo stato cristallino sia in quello non-cristallino, con due forme allelomorfe dette cellulosa I e cellulosa II<sup>1</sup>. Fra queste la cellulosa I è quella più abbondante, e di essa si conoscono due strutture sub allelomorfe, identificate con il nome di cellulosa I  $\alpha$  e  $\beta$ . Queste due forme coesistono all'interno delle strutture vegetali e si differenziano per il modo con cui le singole catene tendono ad aggregarsi nella formazione di unità strutturalmente più complesse.

<sup>1</sup> La principale differenza fra Cellulosa I e II risiede nel fatto che nella cellulosa I le singole catene si aggregano fra loro parallelamente, mantenendo tutte lo stesso verso, mentre nella cellulosa II le catene hanno un andamento antiparallelo

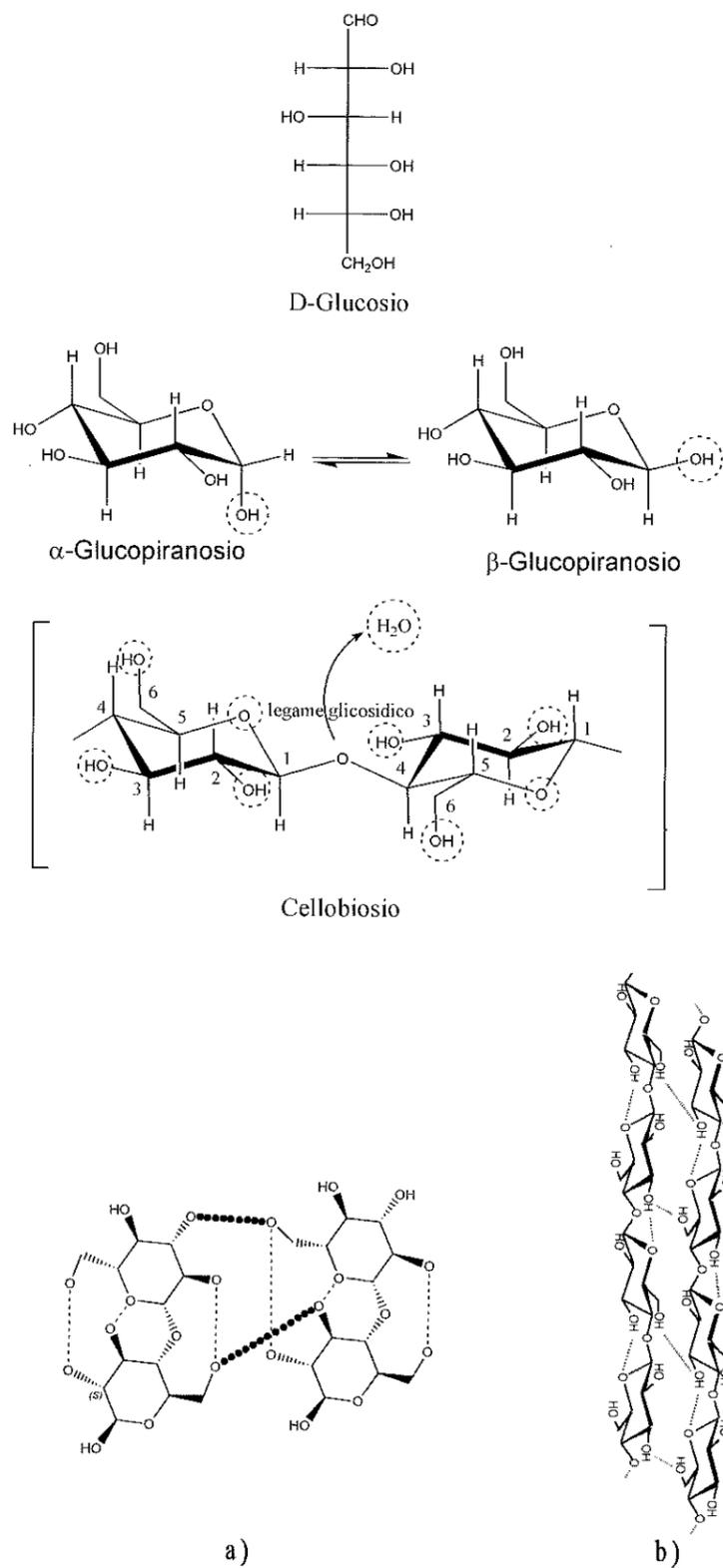


Figura 1 – Gli zuccheri in forma emiacetalica non possono mantenere strutture planari ed assumono forme tridimensionali quali, ad esempio, quella cosiddetta a  *sedia*  che si ritrova nella cellulosa. Questa, a seconda della posizione nella quale si trova il gruppo ossidrilico (OH) del carbonio in posizione 1, può dare luogo alla forma  $\alpha$  e quella  $\beta$ . Nella forma  $\beta$  il gruppo OH (detto glucoside) è in posizione equatoriale rispetto alla struttura della molecola, posizione questa che favorisce la formazione dei legami covalenti fra le due molecole di glucosio con coinvolgimento degli atomi di carbonio in posizione 1 e 4 (legame 1-4  $\beta$ glicosidico). Nella figura sono evidenziati (cerchi tratteggiati) i gruppi funzionali che rimangono liberi dopo la formazione del legame glicosidico, e che possono formare legami idrogeno.

Figura 2 – Gli schemi riportati in figura evidenziano i legami idrogeno *intra* molecolari (O3-H-O5, O2-H-O6) ed *inter*-molecolari (O3-H-O6) che possono formarsi nell'ambito della molecola di cellulosa (a). Essendo coinvolti tutti i gruppi OH residui e l'ossigeno emiacetalico, la struttura che si origina è di natura paracristallina (b). Se si assume di rappresentare i legami che si formano sia lungo l'asse maggiore (covalenti + legami idrogeno), sia trasversalmente (legami idrogeno) alla struttura di catena con delle molle di dimensioni diverse in funzione dell'energia di legame (maggiore per i legami covalenti rispetto ai ponti idrogeno) (c), l'immagine che se ne ottiene evidenzia la forte anisotropia (diverso comportamento in diverse direzioni) che caratterizza la struttura della cellulosa.

L'esame della struttura di una catena elementare (figura 1) consente di rilevare come per ogni unità di glucosio rimangono 3 gruppi ossidrilici (OH), relativi agli atomi di carbonio in posizione 2, 3 e 6, e l'ossigeno del carbonio in posizione 5, in grado di dare luogo ad ulteriori legami intra ed intermolecolari. Questi legami non sono più di natura covalente, come nel caso del legame equatoriale in posizione 1-4, ma sono determinati dall'instaurarsi di forze di van der Waals e di legami idrogeno<sup>2</sup>, e come tali si caratterizzano per una energia di legame decisamente più debole. Tuttavia la formazione di questi legami è indispensabile per garantire la possibilità di formare strutture a più elevato grado di organizzazione (figura 2).

All'interno della singola catena i legami intra-molecolari, dovuti alla formazione di legami idrogeno fra le posizioni 3 e 5 (il più stabile nella cellulosa I  $\beta$ ) e quella 2 e 6, hanno la funzione di aumentare la stabilità planare della catena, favorendo in questo modo anche la successiva formazione di legami intermolecolari.

L'aggregazione delle singole catene non avviene ovviamente in maniera casuale, ma secondo schemi precisi che si differenziano per la cellulosa I  $\alpha$  e per quella I  $\beta$ . Nella prima la struttura della maglia è di tipo triclinico ad una catena, mentre la seconda presenta una struttura monoclinica a due catene (vedi figura 3 e tab.I).

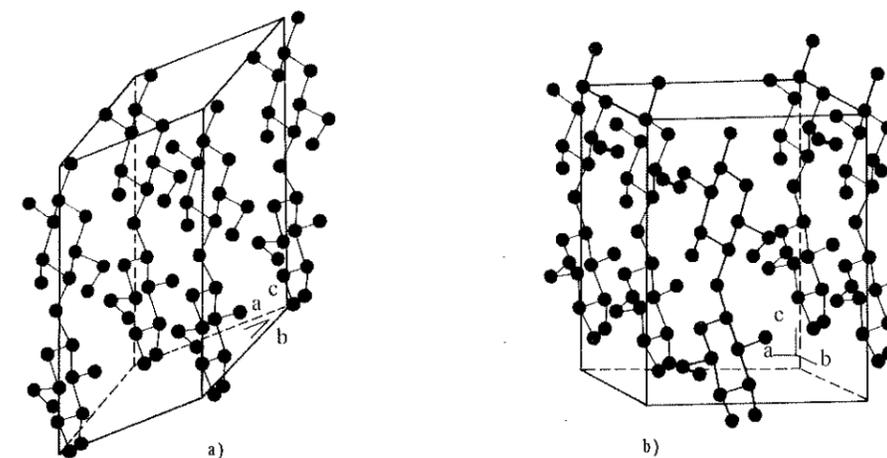


Figura 3 – Schemi rappresentativi della struttura triclinica del reticolo della cellulosa I  $\alpha$  (a) e quella monoclinica della cellulosa I  $\beta$  (da P. Navi, F.Heger, Comportement thermo-hydromécanique du bois. - PPVR, 2005).

	a	b	c	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
Cellulosa I $\alpha$	0,674 nm	0,593 nm	1,036 nm	117°	113°	81°
Cellulosa I $\beta$	0,801 nm	0,817 nm	1,036 nm	90°	90°	97°

Tab. I Valori dimensionali delle strutture cristalline della Cellulosa I  $\alpha$  e  $\beta$  (da Navi-Heger)

2 Il legame idrogeno può essere definito come un legame nel quale l'idrogeno, in certe particolari condizioni, è attratto mediante forze talvolta anche cospicue verso due atomi anziché uno soltanto, tanto da poter essere considerato alla stregua di un legame che unisce i due atomi. L'energia del legame idrogeno, comunque dovuto a forze dipolari, può essere di poco inferiore a quella di un legame covalente o di poco superiore a quella delle forze di van der Waals. Nel caso dei polimeri polisaccaridici tale energia è tipicamente compresa fra 4 e 15 Kcal mol<sup>-1</sup>.

3 In cristallografia tri-clino e mono-clino si riferiscono ciascuno ad uno dei sette sistemi cristallografici. Nel sistema triclinico gli assi sono tutti inegualmente inclinati ed i parametri fondamentali diseguali fra loro (vedi anche tab. I).

Secondo le acquisizioni più recenti (R.M. Brown *Pure Appl. Chem.* 71, 1999) il processo di formazione di questi due tipi di cellulosa avviene per fasi successive, durante le quali si assiste prima alla formazione di strutture transitorie dove le catene elementari sono legate attraverso forze di van der Waals, e solo successivamente si avrebbe la formazione dei legami idrogeno intermolecolari che garantiscono la stabilità e la natura cristallina all'aggregato macromolecolare. Queste due strutture possiedono una densità di  $1,582 \text{ g cm}^{-3}$  per la triclina e di  $1,599 \text{ g cm}^{-3}$  per la monoclina, suggerendo una maggiore stabilità termodinamica per la forma monoclina della quale sono più ricchi i legni di latifoglie rispetto a quelli di conifere.

Alcuni studi (Yamamoto e Horii *Macromolecules* 26, 1993) hanno mostrato come, a seguito di trattamenti ad alta temperatura ed alta concentrazione di vapore, si può avere una trasformazione delle unità di cellulosa I  $\alpha$  con aumento delle unità di tipo  $\beta$ .

Nel legno la cellulosa forma delle *fibrille*, aventi dimensioni trasversali variabili fra 1,2 e 4,8 nm, lunghezza compresa fra 60 e 150 nm, e contenenti ciascuna fino ad oltre 200 catene elementari. La struttura delle fibrille è stata oggetto di numerosi modelli interpretativi ognuno dei quali concorda però sulla presenza di zone puramente cristalline alternate con altre di minor ordine molecolare, dove rimangono gruppi idrossilici in grado di formare legami idrogeno diversi da quelli già impegnati in legame intra ed intermolecolari. Queste aree sono localizzate, in direzione longitudinale, nelle zone di congiunzione fra le singole fibrille, mentre in sezione trasversale queste sono localizzate negli aggregati macromolecolari più esterni (vedi figura 4), dove la cellulosa mostra la maggiore reattività (aspetto questo sfruttato anche nella lavorazione industriale della cellulosa). Studi recenti (Nischiyama, Langan, Chanzy - *J. Am. Chem. Soc.* 124, 2002) hanno messo in evidenza come, nel caso della cellulosa I  $\beta$ , la reattività delle zone non cristalline debba essere in larga parte attribuita alla rottura di legami intra molecolari dei gruppi in posizione 2 e 6, mentre assolutamente stabili si mantengono, nella cellulosa nativa, i legami formati in posizione 3 e 5.

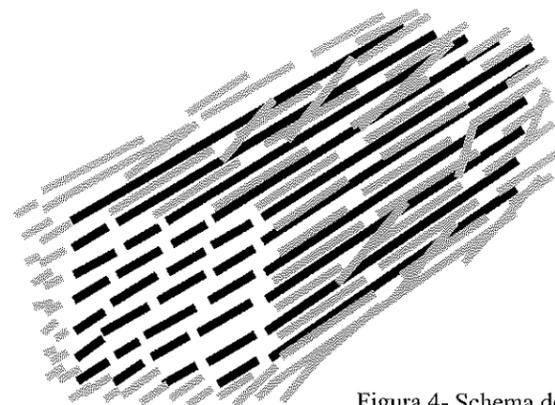


Figura 4- Schema della struttura della fibrilla di cellulosa: a zone di elevata organizzazione strutturale si alternano zone a minor grado di organizzazione, collocate nelle parti esterne della fibrilla e nelle zone di congiunzione longitudinale.

### 3 - Le emicellulose. - *Hemicelluloses.*

Oltre alla cellulosa nel legno sono presenti altri polisaccaridi che vengono genericamente indicati come emicellulose. Il nome, originariamente attribuito nella convinzione che si trattasse di complessi intermedi nella sintesi della cellulosa, sembra indicare una similitudine con la cellulosa che però non trova riscontro nella struttura dei polimeri.

Le emicellulose infatti sono una categoria di composti a se stanti che costituiscono dal 20 al 30% del peso secco del legno, ed ai quali viene oggi assegnata una importanza crescente per la influenza che questi esercitano nel determinare il comportamento fisico-meccanico del legno.

Così come la cellulosa, anche le emicellulose sono dei polimeri derivanti dalla aggregazione di zuccheri e acidi. Gli zuccheri, a cinque e sei atomi di carbonio, sono il D-xilosio, D-mannosio, L- arabinosio, D-glucosio, D-ramnosio (in piccole quantità), mentre gli acidi sono rappresentati da acido 4D-O-metil glucuronico, da acido D-glucuronico e da acido D-galatturonico (figura 5). Il nome con cui sono identificati i diversi polimeri è composto dalle iniziali dei monomeri che partecipano, in proporzioni diverse, alla loro costruzione, così, ad esempio, quelli costituiti dall'unione di galattosio, glucosio e mannosio prendono il nome di *galattoglucomannani*.

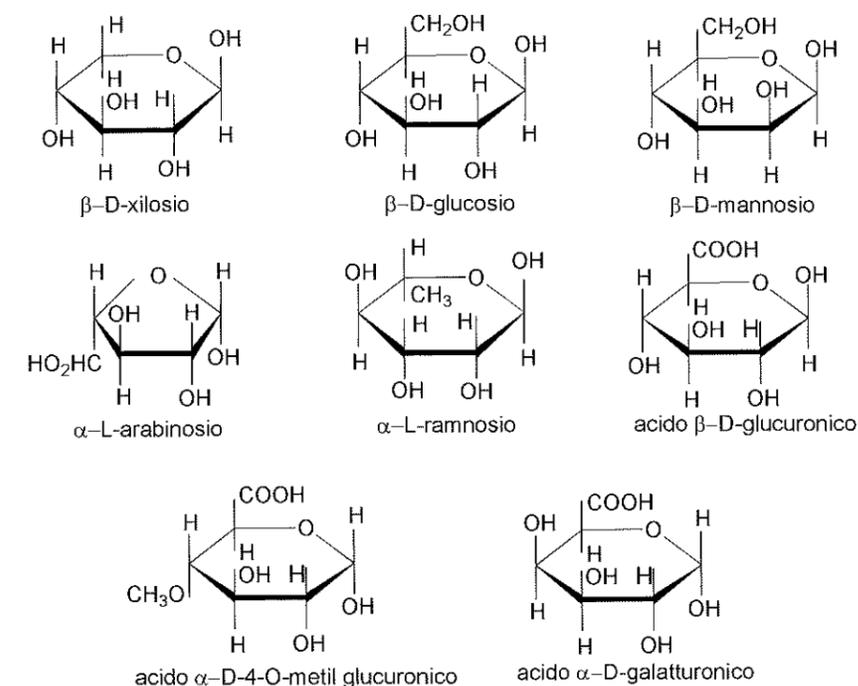


Figura 5 - Formule di struttura dei principali costituenti delle emicellulose

La composizione delle emicellulose è differente fra Conifere e Latifoglie e, talvolta, può esserlo anche in funzione della specie legnosa e del tipo di legno (il diverso contenuto in emicellulose è, ad esempio, uno degli elementi caratterizzanti il legno di compressione). Nelle Conifere prevalgono i galattoglucomannani, gli arabinoglucuronoxilani, e gli arabinogalattani, mentre nelle Latifoglie i polimeri più importanti sono rappresentati da glucuronoxilani e glucomannani.

Rispetto alla cellulosa le emicellulose presentano alcune importanti peculiarità che possono essere riassunte come segue (figura 6):

- 1) nelle emicellulose le catene sono sempre costituite dalla aggregazione di zuccheri ed acidi diversi (catene eteropolimeriche), mentre la cellulosa è composta da solo glucosio;
- 2) nelle emicellulose le catene presentano un grado di polimerizzazione circa 10 volte inferiore a quello della cellulosa, raggiungendo normalmente valori compresi fra 200 e 300 unità;
- 3) nella cellulosa tutte le catene sono orientate nel senso della lunghezza delle fibrille elementari, mentre nel caso delle emicellulose, in corrispondenza dei gruppi ossidrilici degli atomi di carbonio in posizione 2 e 3 e 6 di alcuni degli -osi costituenti i diversi polimeri, si può avere la formazione di brevi catene laterali, orientate perpendicolarmente rispetto alla catena principale;
- 4) In alcuni casi nelle unità di glucosio e mannosio, limitatamente alle posizioni 2 e 3, i gruppi ossidrilici (OH) possono essere parzialmente sostituiti nelle posizioni da un gruppo acetilico ( $\text{CH}_3\text{CO}$ ).

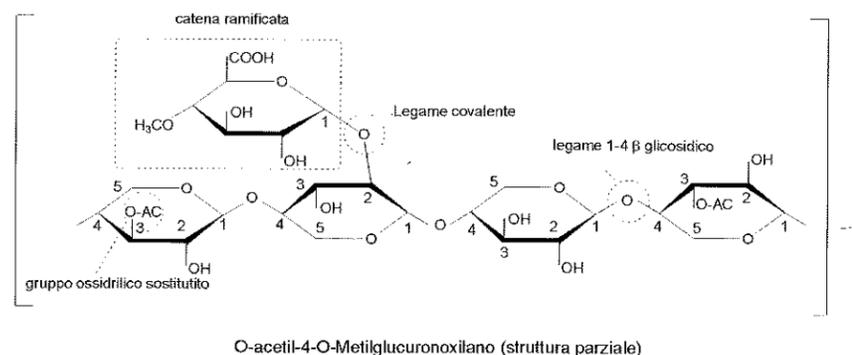


Figura 6 – Esempio della struttura di una catena di emicellulosa di glucuronoxilani. Così come nella cellulosa il legame fra le molecole che costituiscono la struttura principale sono di tipo covalente con coinvolgimento degli atomi di carbonio in posizione 1-4. I restanti gruppi ossidrilici, oltre ai normali legami idrogeno, possono andare incontro a reazioni di sostituzione, oppure formare legami eteri con acidi (nel caso specifico acido glucuronico).

A causa di queste differenze, i polimeri emicellulosici assumono diversità strutturali importanti rispetto alla cellulosa, in particolare per quanto riguarda la presenza di catene laterali. La formazione della catena principale infatti segue un meccanismo analogo a quello descritto per la cellulosa, ed i legami che si formano lungo l'asse maggiore della catena sono legami eteri che possono interessare le posizioni 1-4, o quelle 1-3 dei singoli zuccheri coinvolti (prevalentemente glucosio, xilosio, mannosio). Sulla catena principale possono agganciarsi, con legami di condensazione in posizione 2, 3 o 6, delle catene laterali costituite da una singola unità o da più unità (un esempio è rappresentato dal  $\beta$  D galattopiranosio presente come singolo monomero nei galattoglucomannani o come polimero negli arabinogalattani del legno di Larice).

Da un punto di vista strutturale, il basso grado di polimerizzazione delle catene principali e la presenza di catene laterali, rendono difficile la formazione di strutture altamente organizzate quali quelle tipiche della regione cristallina della cellulosa<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Recenti acquisizioni hanno dimostrato che in prossimità delle zone di collegamento con gli elementi fibrillari della cellulosa, anche le emicellulose possono aumentare il loro grado di ordine strutturale, arrivando anche a modificare la composizione dei polimeri. Questo avviene in particolare nei galattoglucomannani dove, nelle zone legate alle fibrille di cellulosa, il rapporto fra glucosio mannosio e galattosio passa da quello normale di 3:1:1, a quello di 30:10:1.

Questo fa sì che, rispetto alla cellulosa, le emicellulose siano caratterizzate da una forte igroscopicità, determinata dalla presenza di un alto numero di gruppi ossidrilici non impegnati in legami inter o intra molecolari, da una maggiore solubilità, e che contribuiscano in maniera importante a determinare i comportamenti viscosi del legno.

#### 4 - La lignina. - Lignin.

Il terzo componente principale del legno è rappresentato dalla lignina che, insieme alla cellulosa, costituisce uno dei composti più abbondanti nelle piante superiori. Così come per le emicellulose anche nel caso della lignina la composizione qualitativa e quantitativa può variare fra Conifere e Latifoglie, dove rappresenta rispettivamente il 25-35% ed il 18-20% del peso secco del legno.

Nell'albero la sintesi della lignina avviene ad opera di reazioni biochimiche piuttosto complesse, e la sua struttura molecolare in situ non è ancora perfettamente conosciuta, a causa delle alterazioni che si determinano sulla struttura nativa nel corso del processo di estrazione.

La polimerizzazione avviene a seguito di reazioni di deidrogenazione operate da enzimi che per la loro attività impiegano tre precursori quali: l'alcool coniferilico (o guaiacilpropano), l'alcool sinapico (o siringilpropano) e l'alcool cumarilico (figura 7). Questi differiscono fra loro per la presenza o meno di gruppi metossilici sull'anello benzenico: nessuno nell'alcool cumarilico, uno nell'unità guaiacilica e due in quella siringilica. Nelle Conifere sono nettamente prevalenti le unità guaiaciliche (nell'Abete rosso ad esempio i rapporti fra guaiacile, siringile e alcool cumarilico sono circa 80:6:14), mentre nelle Latifoglie le unità guaiaciliche e siringiliche sono circa equivalenti (nel Faggio i rapporti sono 49:46:5).

Uno dei modelli di polimerizzazione più conosciuti della lignina è quello a 16 unità di fenilpropano riportato in figura 8, ma è probabile che il grado di polimerizzazione sia molto più alto e raggiunga le 100 unità. All'interno del polimero i legami che possono stabilirsi sono per oltre due terzi legami eteri, ed i restanti legami C-C.

Studi recenti hanno evidenziato con certezza, all'interno delle unità macromolecolari, la presenza di sotto-unità a diverso grado di condensazione, le quali si distribuiscono in maniera specifica nelle diverse regioni della parete cellulare, evidenziando una funzionalità diversa di queste tipologie di lignina presenti all'interno della parete.

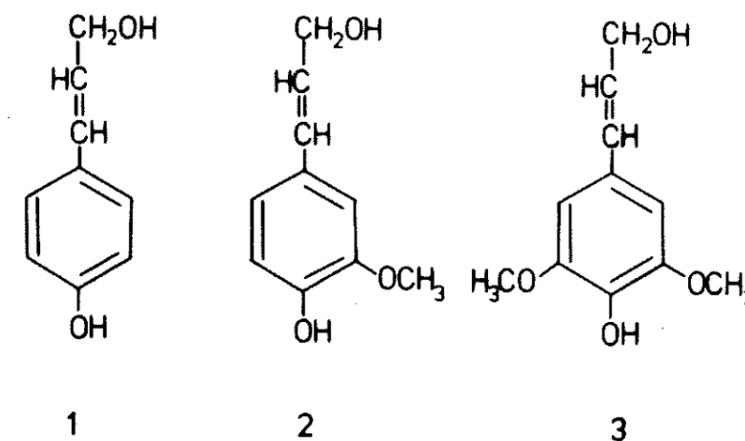


Figura 7 – Struttura dei precursori della lignina: alcool cumarilico (1), alcool coniferilico (o guaiacilpropano) (2) ed alcool sinapico (o siringilpropano) (3).

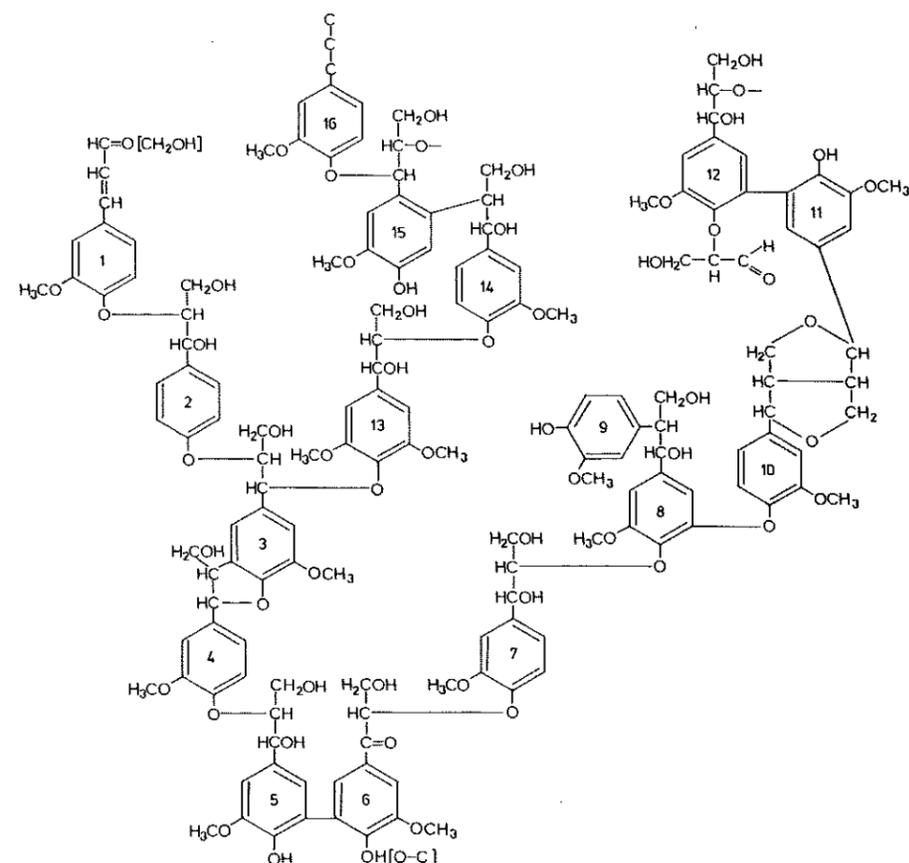


Figura 8 – Modello a 16 unità di fenilpropano circa la possibile struttura Lignina (da Sjöström Wood Chemistry: Fundamental and Applications, Academic Press 1981).

## 5 - Associazione dei polimeri all'interno della parete cellulare.

### *Assembling of wooden polymers within the cell wall.*

La parete cellulare, già descritta nei capitoli precedenti di questo volume, si caratterizza per la presenza di una struttura a strati concentrici che si formano nel corso delle diverse fasi del processo di costruzione della parete. Oltre alle proto pareti ed alla lamella mediana composta, nella parete secondaria sono sempre presenti almeno due strati ( $S_1$ ,  $S_2$ ), ed occasionalmente un terzo ( $S_3$ ). Questi strati possono essere distinti l'uno rispetto all'altro perché all'interno di ciascuno di essi la distribuzione delle microfibrille è diversa sia per aspetti quantitativi, negli strati più esterni della parete secondaria ( $S_1$  ed  $S_3$ ) il numero di pacchetti di microfibrille è sempre molto contenuto, sia per il loro arrangiamento strutturale (vedi figura 9). In particolare le microfibrille si dispongono con un certo angolo di inclinazione rispetto all'asse longitudinale della cellula, dando vita a quello che viene chiamato l'angolo di inclinazione microfibrillare (MFA) (normalmente indicato dalla lettera  $\theta$ ). Tale angolo è sempre molto grande (circa  $45^\circ$ ) nei due strati esterni, mentre nello strato centrale ( $S_2$ ) diminuisce sensibilmente risultando, normalmente, compreso entro gli  $8-10^\circ$ . L'MFA nello strato  $S_2$  può variare in funzione del tipo di legno, maggiore nel legno giovanile e nel legno di compressione, della velocità di accrescimento dell'albero e del periodo vegetativo in cui il legno si forma (maggiore nel legno primaverile rispetto al legno tardivo).

Dall'angolo di inclinazione delle microfibrille dipende l'anisotropia cellulare nei riguardi dei ritiri longitudinali e trasversali, ed una parte di quella meccanica.

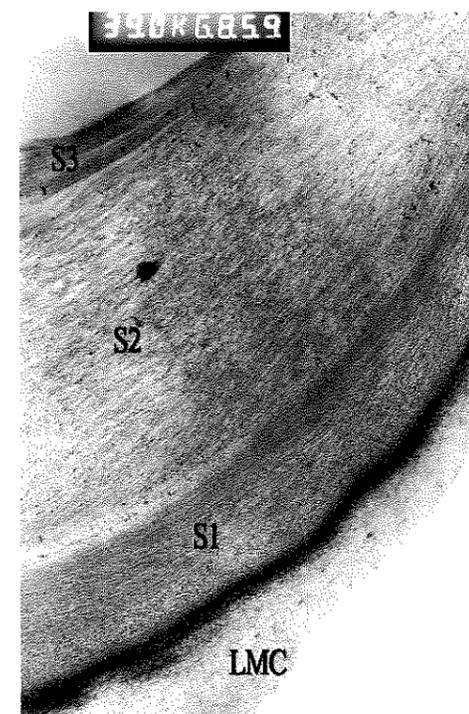


Figura 9 – Immagine al microscopio elettronico a trasmissione (TEM) della struttura della parete cellulare in sezione trasversale; sono visibili la lamella mediana composta (LMC), e la parete secondaria con i suoi differenti strati ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ). La sezione, precedentemente delignificata, permette di evidenziare la componente fibrillare della struttura di parete, ed il diverso angolo di inclinazione delle microfibrille di cellulosa nell'ambito dei diversi strati della parete reso visibile dal diverso allineamento delle fibrille rispetto al piano di taglio (Foto R.Caramiello, Castagno (*Castanea sativa* Mill.) x 39.000 circa).

L'MFA da solo non consente però di spiegare altri comportamenti tipici del legno quali ad esempio la diffusione e la viscosità, per comprendere i quali è necessario capire come avviene l'associazione molecolare fra i polimeri che costituiscono la parete.

Un modello univocamente accettato che descriva compiutamente il modo con cui si organizzano i polimeri all'interno della parete cellulare ancora non esiste, anche perché è molto difficile studiare le caratteristiche di alcuni di questi polimeri, e la lignina più di ogni altro, allo stato nativo. Esistono comunque delle interpretazioni ormai molto avanzate della possibile struttura della parete, fondate su alcuni elementi certi acquisiti nel corso degli anni.

Secondo tali modelli<sup>5</sup> la struttura della parete deve essere considerata come un *continuum* nel quale le fibrille di cellulosa si trovano disperse all'interno di una matrice amorfa, costituita da emicellulose e da lignina. Come descritto nei paragrafi precedenti la struttura delle fibrille è di natura cristallina nelle parti interne, ma tende ad acquisire un grado di progressiva disorganizzazione strutturale nelle parti periferiche. In queste zone la presenza di gruppi ossidrilici liberi, originati principalmente dalla rottura di legami idrogeno fra le posizioni 2 e 6 di due molecole di glucosio successive, conferisce a queste strutture la possibilità di formare legami polari anche con gli altri polimeri costitutivi. In particolare le emicellulose circondano la struttura della fibrilla di cellulosa, formando con essa una struttura nella quale è ancora mantenuto ad elevato grado di organizzazione molecolare. Tra queste i galattoglucomannani, nella loro forma più organizzata (30:10:1), sembrano essere i polimeri più strettamente legati alla cellulosa, tanto da essere quelli più difficili da rimuovere dal legno mediante idrolisi selettiva, nonostante che i legami che si instaurano fra i due polimeri siano quasi esclusivamente legami di tipo idrogeno.

Esternamente a queste catene più organizzate e più strettamente legate alla cellulosa, si dispongono le altre emicellulose che, all'interfaccia opposta, si legano con la lignina, formando in questo caso però legami di tipo covalente (quindi molto più stabili energeticamente) (Figura 10).

<sup>5</sup> D.Fengel, G. Wegener – 1983 – *Wood: Chemistry, Ultrastructure and Reactions* – Heger F. 2004 – Tesi 3004 EPFL, Losanna CH)

Secondo questo modello strutturale, le emicellulose vengono a costituire una zona di transizione spiccatamente amorfa fra cellulosa e lignina. Sotto l'azione di agenti chimici, fisici o meccanici, questa zona mostra una forte reattività ed è quella che regola la diffusione delle sostanze polari nel legno (acqua, colle, ecc.), il suo comportamento igrotermico e quello viscoelastico.

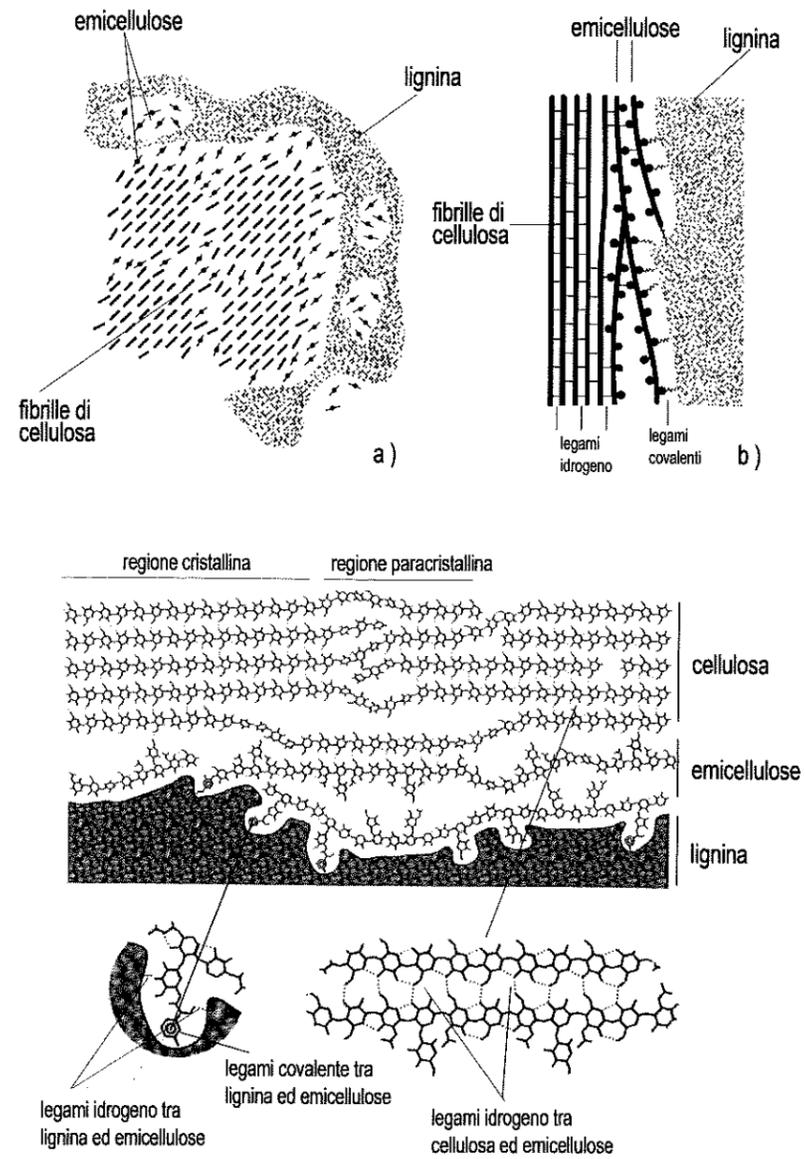


Figura 10 – Schema relativo alle più recenti interpretazioni dell'assemblaggio dei diversi polimeri costituenti la struttura della parete cellulare del legno, visto in sezione trasversale (a) e in sezione longitudinale (b e c) (da da Navi-Heger op.cit.).