XII corso di Tecnologia per Tecnici Cartari
edizione 2004/2005

La raffinazione della fibra

di Zanelli Walter

Scuola Interregionale di Tecnologia per Tecnici Cartari

Il corso è realizzato grazie al contributo di:

BANCA POPOLARE DI VERONA
GRUPPO BANCO POPOLARE DI VERONA E NOVARA

Camera di Commercio, Industria, Artigianato e Agricoltura di Verona.

INDICE

Introduzione

1. Chi subisce tale operazione

1.1 Il legno

1.2 La struttura botanica del legno

1.3 Composizione chimica del legno

1.4 Le fibre del legno

1.5 La struttura e composizione chimica delle fibre

1.6 Dimensioni delle fibre

2. La raffinazione

2.1 Definizione e scopo di tale operazione

3. Aspetti teorici della raffinazione

3.2 Sviluppo nel tempo dell'apertura nei raffinatori

3.3 Importanza dell'omogeneità della raffinazione

4. Chi esegue tale operazione

4.1 Breve introduzione

4.2 Pile olandesi

4.3 Raffinatori conici

4.4 Raffinatori a dischi

4.5 Sistemi di raffinazione

4.6 Energia sfruttata dalla raffinazione

4.7 Influenza dell'intensità di raffinazione

4.8 Suddivisione dell'energia in ingresso per ogni singolo stadio

4.9 Campi d'applicazione dei diversi tipi di raffinatori

4.10 Considerazioni sui raffinatori a disco e a cono

5. Che cosa succede durante tale operazione

5.1 Sollecitazioni fisiche a cui le fibre vengono sottoposte

5.2 Pre-idratazione delle fibre

5.3 Effetti della raffinazione sulle fibre

6. Parametri che influiscono sul risultato di raffinazione

6.1 Influenza dell'impasto

6.2 Influenza del raffinatore

6.3 Influenza delle guarniture

6.4 Influenza della densità

6.5 Influenza della temperatura, pH e aggiunta di prodotti chimici

7. Effetti della raffinazione

7.1 Sviluppo delle caratteristiche attraverso la raffinazione

INTRODUZIONE

La raffinazione è un processo che, grazie all'ausilio di particolari sollecitazioni, modifica fisicamente la fibra (tende quindi ad aprirla, ad idratarla, ecc.) per ottenere successivamente un prodotto finito con determinate caratteristiche; ma le "**richieste fatte alla raffinazione**" (le caratteristiche che dovrebbe avere il prodotto ultimato) sono, in parte, in contrasto fra di loro.**La raffinazione dovrebbe pertanto essere ottimizzata in funzione del tipo d'utilizzo previsto per il prodotto ultimato**.

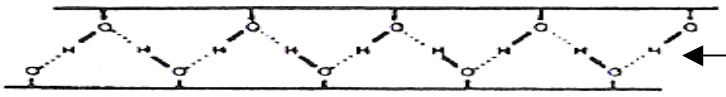
Le paste che arrivano in cartiera vengono considerate e definite con il termine: "mezze paste", in quanto prima di essere utilizzate in macchina continua devono essere trasformate in "paste finite". Le fibre di cellulosa, prima di subire il processo di raffinazione, si presentano all'osservazione microscopica con superfici in sostanza lisce, incapaci quindi di instaurare dei legami le une con le altre. La raffinazione si preoccupa proprio di ciò, in altre parole consiste nel sottoporre le fibre ad un'azione meccanica, trasformandole cosi in un prodotto finito, pronto all'uso.

L'azione meccanica che avviene sulle fibre è duplice: **di taglio** e **di schiacciamento**. In funzione della densità della pasta, al tipo di lame presenti sulle guarniture dei raffinatori, alla velocità di rotazione delle superfici e ad altri parametri le fibre subiranno prevalentemente, come appena menzionato, un effetto di taglio o di schiacciamento; il secondo, solitamente, è quello maggiormente considerato e voluto, da chi produce carta, poiché favorisce la "FIBRILLAZIONE" delle fibre con tutti i suoi vantaggi.

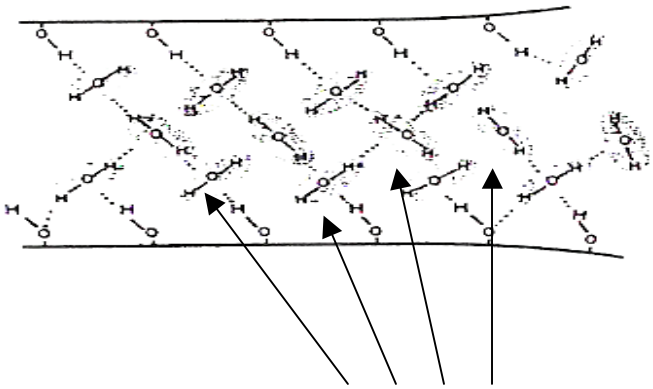
Altri effetti della raffinazione sono il collassamento della struttura tubolare e il taglio più o meno spinto delle fibre. Le **parti fini** che si generano con quest'ultimo effetto, agiscono come sostanza di "cementificazione" della struttura (foglio) ultimata.

L'azione di raffinazione è favorita dall'acqua che oltre a svolgere la funzione di mezzo di trasporto per le fibre, le impregna, rendendole più plastiche, flessibili, maggiormente resistenti alla riduzione di lunghezza (meno fini) e più soggette alla fibrillazione (interna ed esterna).

La possibilità delle fibre di legarsi, le une con le altre, è dovuta alla formazione di legami, definiti con il termine: " **ponti a idrogeno**", essi si stabiliscono fra le fibre adiacenti. **Con la fibrillazione** aumentano sia il numero dei gruppi funzionali liberi disponibili per la formazione del legame a ponte idrogeno fra le fibre (sono i **gruppi funzionali liberi "OH"**, presenti sulla superficie delle fibre, che permettono la formazione dei legami a ponte idrogeno), sia le probabilità di contatto fibra-fibra a causa di un significativo **aumento di superficie** delle stesse.



Legame a **ponte d'idrogeno**



Molecole d'acqua

I legami "ponti a idrogeno" sono indispensabili per legare le fibre le une alle altre. L'inserimento di **molecole d'acqua** può danneggiare in parte tali relazioni, rendendo però le fibre più flessibili ed elastiche.

Mentre le fibre sono sospese in acqua, le fibrille si protendono nel mezzo acquoso orientandosi perpendicolarmente alla fibra; drenando l'acqua, sulla tavola piana, le fibrille ricadono sulle fibre intrecciandosi fra loro e stabilendo cosi i legami "ponte a idrogeno" appena citati.

Di volta in volta lo stato della pasta durante la raffinazione viene espresso in gradi **Schopper-Riegler (SR°).** Il **grado di raffinazione**, detto anche "ingrassamento", sale lentamente all'inizio del processo, più rapidamente nel campo dei gradi di raffinazione medi (40-50 SR°) per poi ritornare lento nei gradi più alti. Quest'andamento non è coerente con lo sviluppo di alcune caratteristiche, dell'impasto raffinato, che il processo di raffinazione della fibra andrà a modificare, come ad esempio: "la resistenza a trazione"; poiché, raggiunto il campo dei gradi medi di raffinazione, i valori di resistenza a trazione sono gia molto prossimi all'ottimo (le caratteristiche di resistenza a trazione della struttura del foglio di carta dipendono dai punti meccanici di ancoraggio delle microfibrille e dai legami chimici dell'idrogeno, "ponti a idrogeno" che si possono formare durante la raffinazione). Contrariamente alla resistenza a trazione, all'aumentare dei gradi di raffinazione altre caratteristiche, che tale processo sollecita, peggioreranno com'è nel caso della "scolantezza" (disidratazione) e dell'"opacità" dell'impasto.

Si fa distinzione fra **raffinazione magra** e **grassa**, con tutti gli stati intermedi.

Raffinare “magro” significa principalmente accorciare le fibre con scarsa fibrillazione e basso sviluppo di resistenze. Le fibre restano voluminose, tenere, assorbenti e opache, e la pasta si drena facilmente. Si raffina magro ad una densità dell’impasto inferiore al **3%** di secco assoluto.

La raffinazione “grassa” avviene in campi di densità dell’impasto che si aggirano attorno al **5%** di secco assoluto, le fibre sono molto fibrillate originando strutture dense e trasparenti ad alta resistenza. Le paste grasse sono però difficili da drenare.

La raffinazione quindi, per quanto riguarda il carattere della pasta, è determinata principalmente dalla densità della stessa durante il processo.

Le **temperature** più elevate e valori di **pH** acidi costituiscono un impedimento al rigonfiamento e una condizione peggiorativa per la raffinazione e lo sviluppo di resistenze. È perciò vantaggioso raffinare a temperatura non superiore a 45°, in ambiente prossimo alla neutralità, e o debolmente alcalino poiché a pH più bassi (acidi) viene ostacolata la penetrazione dell’acqua, mentre pH più alti (basici o alcalini) rendono le fibre scivolose.

In conclusione si può affermare che la raffinazione esalta la capacità di legame fra le fibre, soprattutto attraverso il fenomeno della fibrillazione e inoltre consente di andare a modificare, variando i parametri precedentemente citati (densità della pasta, il tipo di guarniture e la velocità di rotazione delle superfici ecc.), alcune caratteristiche del prodotto finito.

1. CHI SUBISCE TALE OPERAZIONE

1.1 IL LEGNO

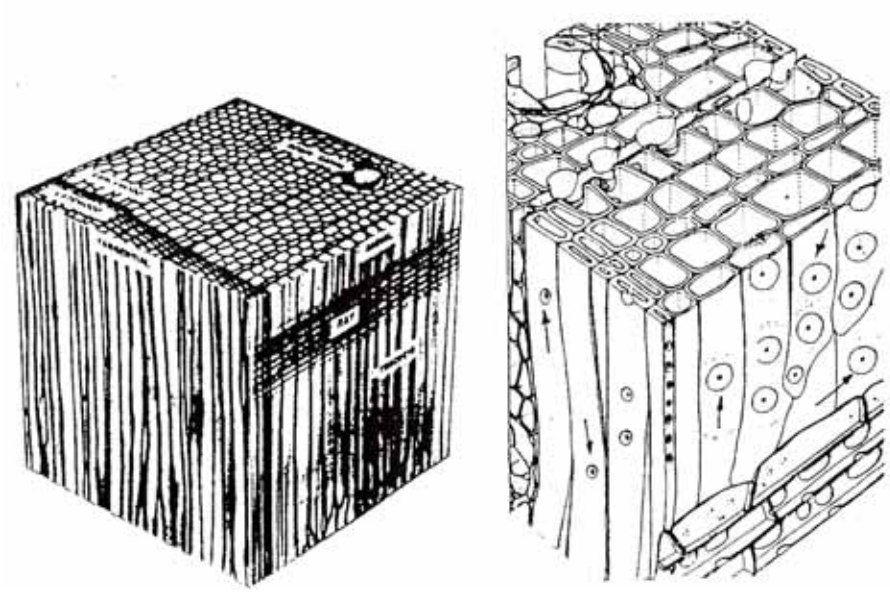
I tessuti vegetali, come è noto, sono costituiti da fibre o cellule filiformi con le quali è possibile fabbricare in modo opportuno il foglio di carta. Dal punto di vista teorico, tutti i vegetali in natura sono adatti ad essere trasformati in materia prima fibrosa cartaria, ma solo pochi di questi, oltre a soddisfare il requisito d'idoneità, presentano anche la possibilità tecnica ed economica di un loro impiego.
Tra i tanti elementi per i quali un vegetale può essere considerato fonte di materia prima fibrosa, sono da valutare il contenuto di cellulosa e la possibilità di estrarla facilmente. A questi aspetti che costituiscono un importante criterio per la loro scelta soddisfano moltissime specie arboree e poche piante annuali. L'impiego di legname proveniente da alberi di differenti varietà, finalizzato a tale scopo, è ormai diffuso in tutto il mondo, con eccezione di quei paesi carenti di risorse forestali per i quali l'unica alternativa è rappresentata dall'importazione di legname o il ricorso alle piante annuali. In un contesto più generale sarebbe auspicabile una maggiore utilizzazione di quest'ultime su scala mondiale, ma al momento non sono largamente impiegate dall'industria cartaria.

COMPOSIZIONE

Esaminando la sezione di un tronco, si può riconoscere una zona centrale di colore scuro, detta CUORE o DURAME, costituita da una serie d'anelli concentrici chiari, alternati da una serie d'anelli scuri, ben differenziati. Il cuore è formato da fibre molto corte che hanno solo la funzione di sostegno dell'intero tronco. Procedendo verso l'esterno, a ridosso del cuore, si trova una zona chiara, detta ALBURNO, che svolge non solo la funzione di supporto dell'intera struttura arborea, ma anche quella di deposito delle sostanze nutritive; tramite i suoi tessuti, favorisce gli scambi idrici tra parte apicale e le radici della pianta. Procedendo verso la corteccia, dopo l'alburno, si trova un sottile strato di cellule, che prende il nome di CAMBIO con funzioni d'accrescimento della parte legnosa; in effetti, esso ha la caratteristica di produrre cellule legnose nella parte affacciata all'alburno e cellule di corteccia nella parte esterna. A ridosso del cambio infine si trova la corteccia; essa è composta da due strati: uno interno detto FLOEMA ed uno esterno, denominato RITIDOMA. Vi è poi il MIDOLLO che è la parte più interna, centrale del tronco. È utile ricordare che lo XILEMA o TESSUTO LEGNOSO è costituito dall'insieme di fibre o cellule allungate, orientate parallelamente all'asse del tronco.

1.2 LA STRUTTURA BOTANICA DEL LEGNO

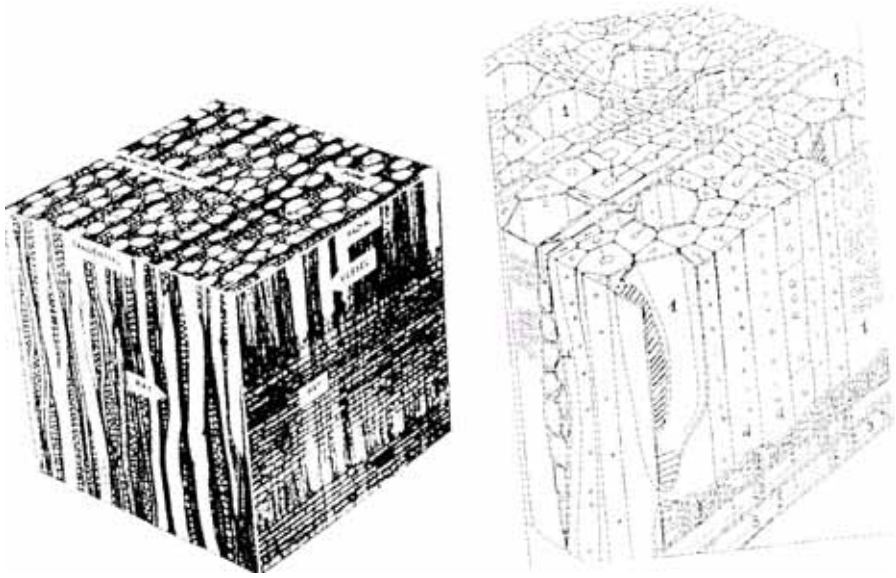
Dal punto di vista botanico, le specie di interesse cartario vengono distinte in legni di CONIFERA e legni di LATIFOGLIA. I primi sono caratterizzati da foglie aghiformi e frutti a forma di cono (da qui il nome di conifera), mentre i secondi sono alberi a foglia larga.
Le conifere sono conosciute anche come legni OMOXILI, poiché la loro massa risulta costituita da una struttura semplice, omogenea, formata per il 90%-95% da elementi o cellule filiformi dette TRACHEIDI, e per il 5%-10% da RAGGI PARENCHIMATICI o CELLULE RADIALI.



In questa struttura delle conifere sono ben visibili le tracheidi a forma di tanti “tubicini” disposti parallelamente alla direzione dell’asse del tronco. Le tracheidi svolgono nella pianta la duplice funzione di dare rigidità e sostegno alla massa legnosa e di far circolare i liquidi nutritivi (linfa). Poiché detti elementi sono chiusi alle due estremità, il flusso della linfa deve avvenire da una tracheide all’altra tramite le aperture o finestre che si trovano in buon numero sulle loro pareti.

Il legno delle latifoglie invece è conosciuto come legno ETEROXILO, poiché, a differenza di quello delle conifere è caratterizzato dalla presenza nella sua struttura di più elementi cellulari di differente natura e funzione.
Fra questi si distinguono le fibre di sostegno, dette fibre LIBRIFORMI o SCLERENCHIMATICHE; gli elementi di conduzione, detti comunemente VASI o TRACHEE; gli elementi di transizione, chiamati FIBRE TRACHEIDI, con funzioni miste

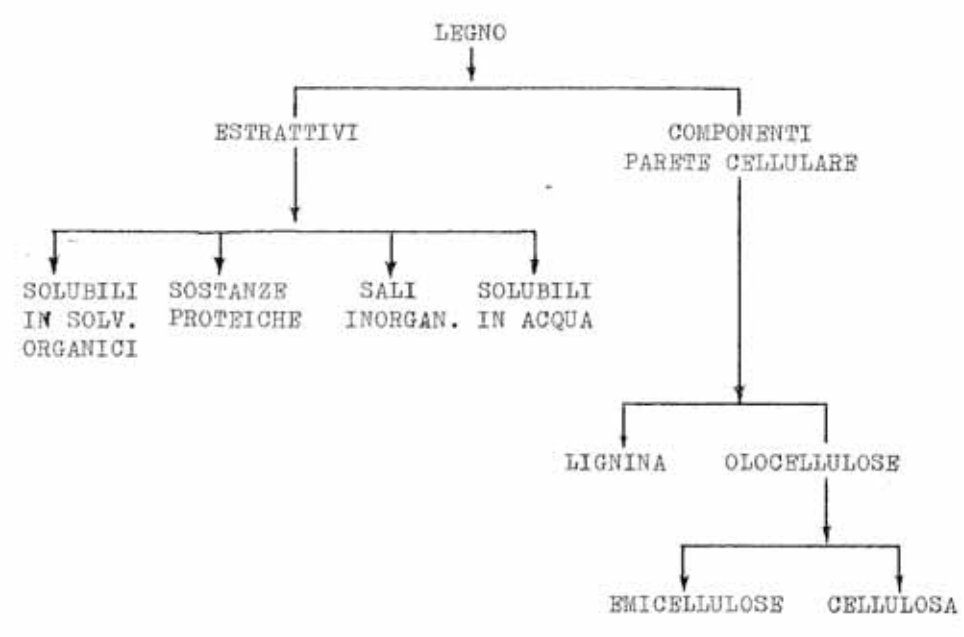
di sostegno e conduzione e infine gli elementi detti RAGGI PARENCHIMATICI o RAGGI MIDOLLARI con funzione di deposito e di collegamento tra i vari elementi.
La figura seguente mostra quanto appena descritto.



Dal punto di vista cartario, quello che è più importante non è la struttura botanica del legno quanto invece la composizione chimica, le caratteristiche delle tracheidi e delle fibre libriformi che lo compongono.
Tutte le fibre, a loro volta, possiedono una struttura comune, mentre sono differenti per le loro dimensioni; la grandezza, la lunghezza, la larghezza, il volume ecc., sono tipiche d'ogni specie vegetale e di notevole influenza sulle prestazioni cartarie.

1.3 COMPOSIZIONE CHIMICA DEL LEGNO

Il legno è un materiale non omogeneo, molto complesso, sia per quanto riguarda la sua struttura botanica e sia per quanto riguarda la sua composizione chimica. Quest'ultima è caratterizzata dalla presenza di composti ad alto peso molecolare (polimeri), quali la CELLULOSA, le EMICELLULOSE e la LIGNINA insieme con altri, relativamente più semplici, quali gli ESTRATTIVI di natura organica ed inorganica.
La cellulosa, l'emicellulosa e la lignina vengono anche chiamate "componenti strutturali" del legno, poiché la loro quantità totale è, nella maggioranza dei casi, dell'ordine del 90% rispetto all'intera massa legnosa.
La tabella seguente mostra in maniera schematica la composizione chimica dei legni.

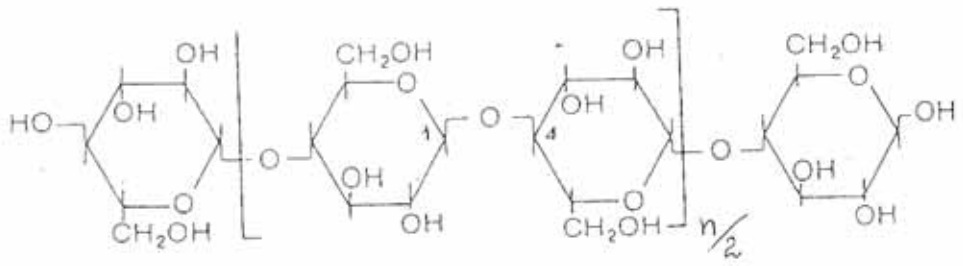


La lignina, l'emicellulosa e la cellulosa sono presenti in tutti i legni e le piante annuali, ma la loro quantità varia a seconda della specie e dell'età del vegetale.
Nella tabella seguente sono riportati alcuni dati in riferimento alla percentuale di presenza d'ognuno dei 4 elementi, nelle 3 diverse specie vegetali collocate al primo posto delle 3 colonne più a destra.

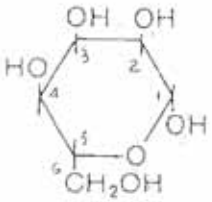
Componente Chimico \ Categoria Vegetale	Conifere	Latifoglie	Paglia
CELLULOSA	42 ± 2%	45 ± 2%	42 ± 2%
EMICELLULOSE	27 ± 2%	30 ± 5%	33 ± 2%
LIGNINA	28 ± 3%	20 ± 4%	15 ± 2%
ESTRATTIVI	3 ± 2%	5 ± 3%	10 ± 2%

Dal punto di vista chimico il legno secco è costituito da 4 gruppi di sostanze: la CELLULOSA, l'EMICELLULOSA, la LIGNINA e gli ESTRATTIVI.

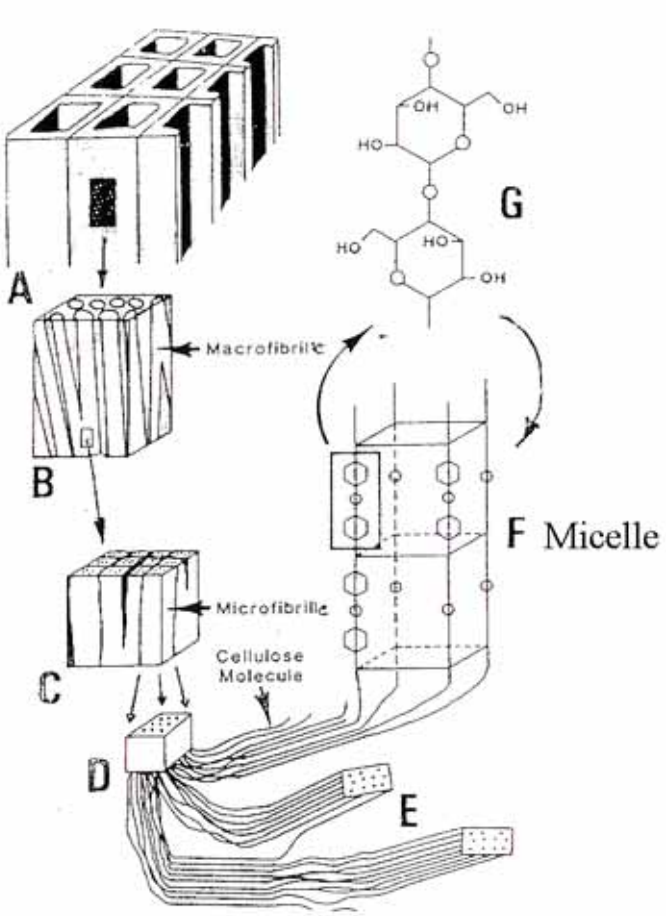
LA CELLULOSA: è il composto principale della parete cellulare ed è presente in tutti i legni in quantità pari mediamente a circa il 40 – 45%.
Dal punto di vista chimico è un carboidrato complesso. La cellulosa è costituita da unità monometriche di glucosio e viene comunemente chiamata polisaccaride.
Si tratta pertanto di un polimero naturale, costituito da una catena molecolare di notevole lunghezza, formata da numerose unità di glucosio, unite le une alle altre in maniera lineare, mediante il legame 1-4 beta glucosidico (cioè il carbonio in posizione 1 di una molecola di glucosio è legata al carbonio in posizione 4, della molecola successiva: tale gruppo che comprende 2 molecole di glucosio forma un dimero e prende il nome di CELLOBIOSIO).



MOLECOLA DEL GLUCOSIO



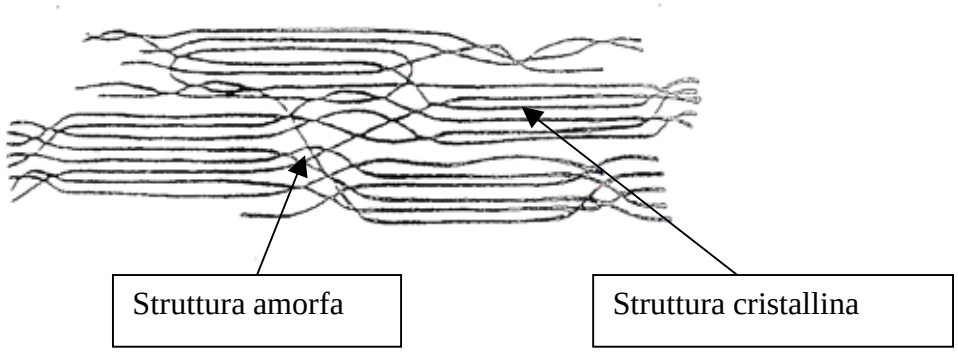
Queste catene molecolari della cellulosa, a struttura filiforme, si trovano incorporate nella parete delle fibre non in forma singola e separata ognuna dalle altre, ma associate a costituire dei fasci di molecole, come riportato nella figura successiva. Le singole catene filiformi della cellulosa (G), sono associate a formare più fasci che prendono il nome di MICELLE (F); a loro volta, fasci di queste micelle (E) si riuniscono tra loro (D) per formare le MICROFIBRILLE (C) che, analogamente al caso precedente, si associano (B) per costituire le MACROFIBRILLE.



Una tale disposizione delle molecole della cellulosa si ritrova nella parete cellulare d'ogni fibra (A). La molecola della cellulosa risponde alla formula chimica bruta ($C_6H_{10}O_5$) dove l'indice "n" rappresenta il grado di polimerizzazione.

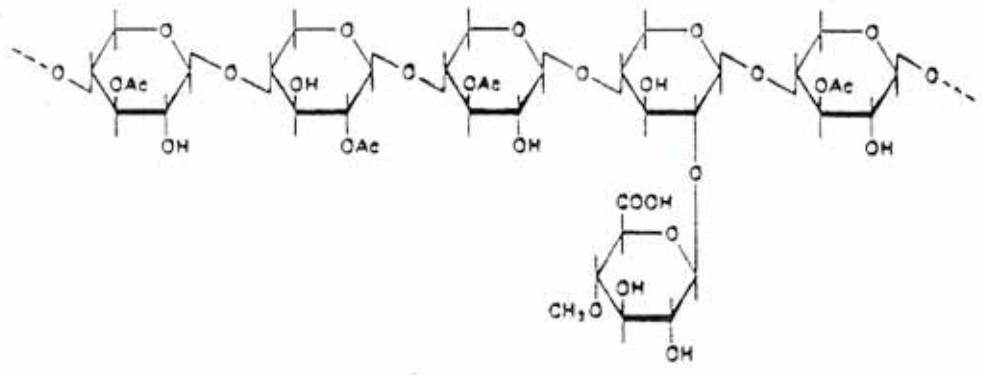
In altri termini "n" indica il numero delle glucosiche (monomeri di glucosio) che compongono la molecola della cellulosa e che ne determinano la lunghezza. In natura esiste una sola cellulosa, comune a tutti i vegetali, ma differente per la lunghezza della catena lineare variabile non solo da vegetale a vegetale ma anche nello stesso vegetale. Per tale ragione il grado di polimerizzazione in ogni vegetale viene espresso da un valore medio; quando esso assume valori alti (ossia, che mediamente le catene della cellulosa sono molto lunghe) risultano migliori le caratteristiche di resistenza della cellulosa stessa (qualitativamente si ha una migliore prestazione della carta). Il grado di polimerizzazione medio per ogni vegetale assume valori differenti; orientativamente l'ordine di grandezza è di 7000-8000 per le piante annuali (ad esempio cotone, lino, ecc.); di circa 5000 per i legni in genere e valori inferiori per altri tipi di vegetali. Nella molecola della cellulosa predomina una **struttura cristallina** nella misura di circa il 75%, mentre la parte rimanente è allo **stato amorfo**.

Una rappresentazione puramente indicativa della struttura amorfa e cristallina della cellulosa è riportata nella figura seguente:



Ove è chiaramente visibile la parte cristallina (corrisponde alle linee parallele, ordinate) e la parte amorfa (caratterizzata dal disordine, dall'intreccio, dall'aggrovigliarsi delle catene della cellulosa).
La cellulosa allo stato puro (non accompagnata da altri composti chimici) si trova in natura solo in alcune piante annuali come cotone, ramiè, lino, ecc.; nel cotone la purezza raggiunge un livello elevato, pari al 99,5%; nelle piante legnose, invece, la cellulosa è sempre accompagnata dalle emicellulose, dalla lignina e dagli estrattivi.

EMICELLULOSA: è un saccaride a basso peso molecolare di composizione irregolare in contrapposizione alla cellulosa, la cui molecola lineare è formata da unità di solo glucosio, le emicellulose sono invece costituite da molecole di zuccheri differenti; inoltre hanno una struttura ramificata e non fibrosa. A differenza della cellulosa, il cui legame delle varie unità glucosidiche è 1-4 beta, nelle emicellulose sono presenti anche legami 1-3 e 1-5. La caratteristica principale delle emicellulose è la loro facile idratazione, quando vengono in contatto con acqua; inoltre esse sono responsabili di numerose proprietà delle fibre, derivanti dalla loro struttura chimica.
In natura le emicellulose sono amorfe e possiedono proprietà adesive; tendono pertanto a cementare o ad assumere un aspetto corneo tipico, quando si disidratano. La figura seguente mostra la struttura molecolare dell'emicellulosa:



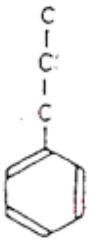
Le emicellulose sono presenti in ogni vegetale in misura variabile. La tabella seguente mostra alcuni dati che si riferiscono alla percentuale d'emicellulosa, ed elementi che la compongono, nelle due specie vegetali indicate:

	LATIFOGLIE	CONIFERE
Emicellulose	25 ÷ 35 %	25 ÷ 30 %
Glucuronxilano	molto abbondante	scarsa
Glucomannano	scarsa	abbondante
Glucuron arabinoxilano	tracce	medio-scarsa
Galattoglucomannano	molto piccola	medio-scarsa
Arabinogalattano	piccola	molto piccola
Altri galattani	tracce	tracce

Nella tabella seguente sono riassunte le principali differenze tra cellulosa ed emicellulose:

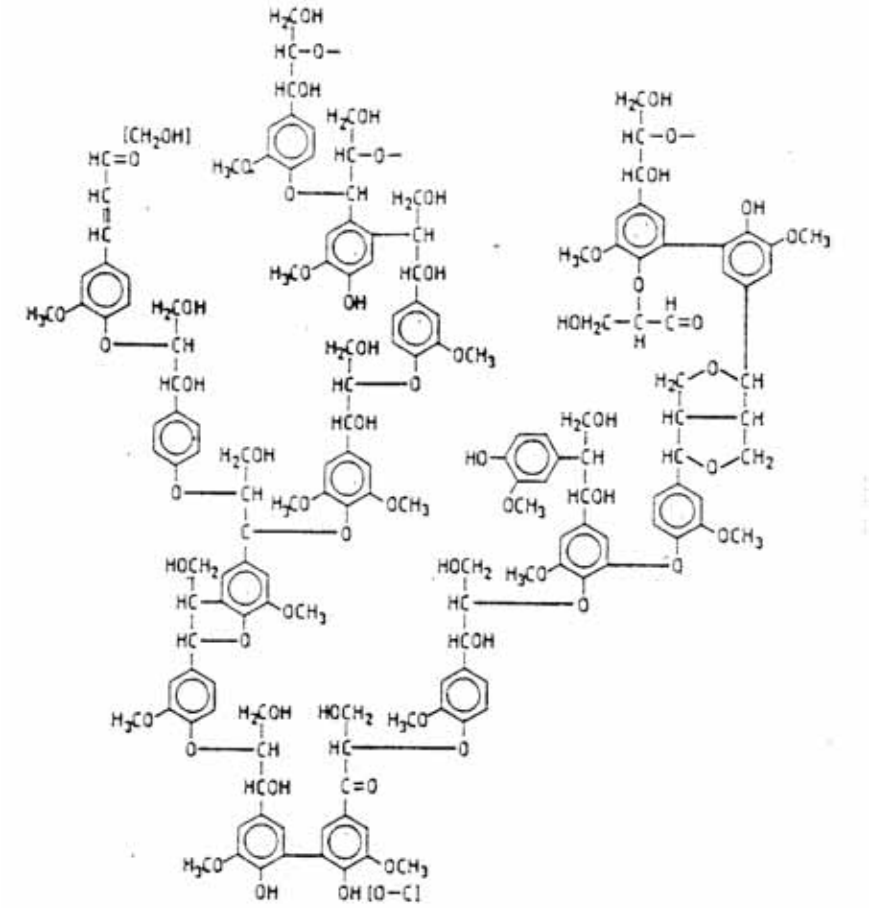
POLIMERO / CARATTERISTICHE	CELLULOSA	EMICELLULOSE
FORMA DEL POLIMERO	LINEARE, FIBROSA	RAMIFICATA, NON FIBR.
COMPONENTI	SOLO GLUCOSIO	PENTOSI, ESOSI, AC. URONICI, AC. ACETICO
NUMERO ZUCCHERI	FINO A 5000	DA 10 A 200
TIPO DI POLIMERO	UNICO: VARIA SOLO PER LA LUNGHEZZA DELLA CATENA	NUMEROSI: VARIANO PER LA LUNGHEZZA DELLA CATENA, PER I COMPONENTI E PER LA LORO DISPOSIZIONE
STRUTTURA	STATO AMORFO E CRISTALLINO	SOLO AMORFO
COMPORTAMENTO NEI CONFRONTI DELL' ACQUA	IDRATABILE	FACILMENTE IDRATABILE

LIGNINA: è composta da una struttura polimerica d’unità fenilpropaniche. Anche la lignina, a pari della cellulosa e delle emicellulose è un polimero la cui molecola, molto complessa e a struttura tridimensionale, è formata da una sola unità, il FENILPROPANO, ripetuta numerosissime volte.



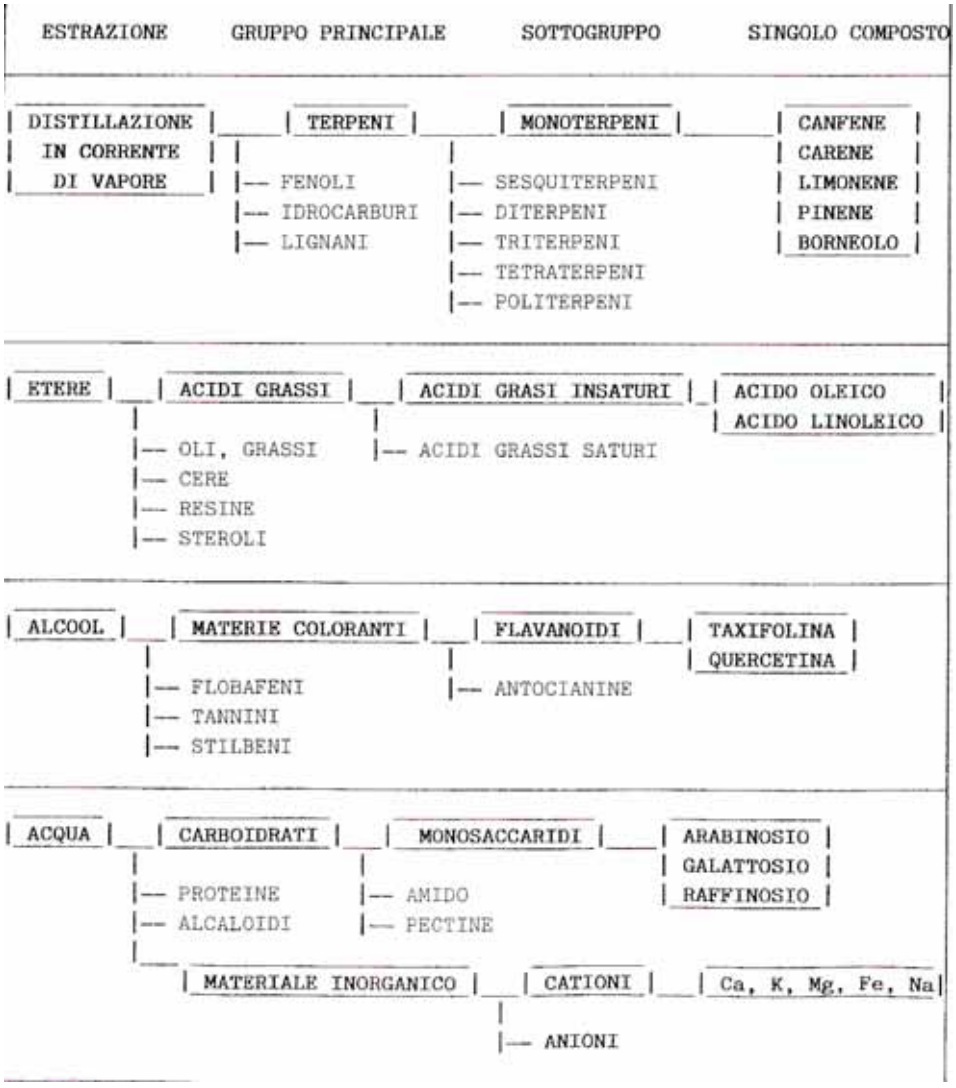
Nella figura seguente è riportata la molecola di fenilpropano che da origine, con altre medesime concatenate assieme, alla lignina:

Essa svolge in tutti i vegetali la funzione di legare e cementare tra loro le fibre per conferire ed esaltare la compattezza e la resistenza della pianta.
Nella figura seguente è riportata la struttura della molecola della lignina:



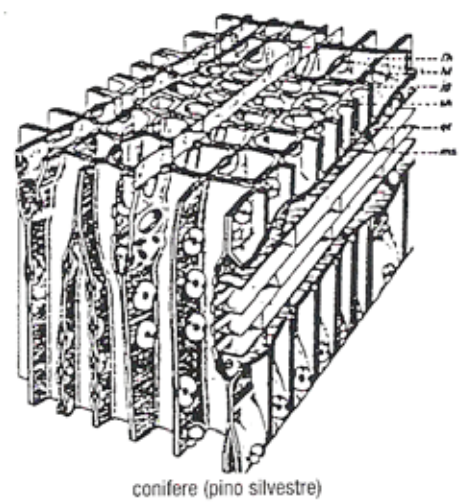
La lignina è conosciuta anche come materiale incrostante, poiché ricopre le fibre, da ciò deriva il termine di DISINCROSTAZIONE usato per indicare il processo di cottura o di delignificazione di un legno al fine di separare le fibre. Per tanto, i procedimenti d’estrazione della cellulosa da un vegetale richiedono un attacco della lignina per disgregarne la molecola e allontanarne i frammenti mediante dissoluzione.

GLI ESTRATTIVI: in moltissimi vegetali è sempre presente una categoria di sostanze, principalmente di natura organica, cui si attribuisce la denominazione di MATERIALE ESTRANEO o ESTRATTIVI. Questi, pur ritrovandosi depositati nel lume e nelle pareti cellulari delle fibre, non sono considerati composti strutturali del legno al pari della lignina, delle emicellulose e della cellulosa. Gli estrattivi comprendono sostanze di natura chimica differente, che la tabella sottostante riporta suddivisi in categorie, secondo il solvente o le modalità che ne permettono la separazione dal legno; il nome stesso di “estrattivo”, deriva dalla possibilità di poterli estrarre tramite acqua calda o fredda, oppure ricorrendo a solventi organici neutri. Le loro quantità sono variabili anche nell’ambito della stessa specie e possono arrivare anche a valori del 30% e più, specialmente nelle piante secolari. La variabilità del contenuto d’“estrattivi” si riscontra quindi, non solo nell’ambito della stessa pianta, in dipendenza dell’età, ma anche in generi differenti di piante. Tra gli estrattivi vengono inclusi anche i composti di natura inorganica, quali sali dei metalli alcalini e alcalino-terrosi (calcio, magnesio, ecc.)

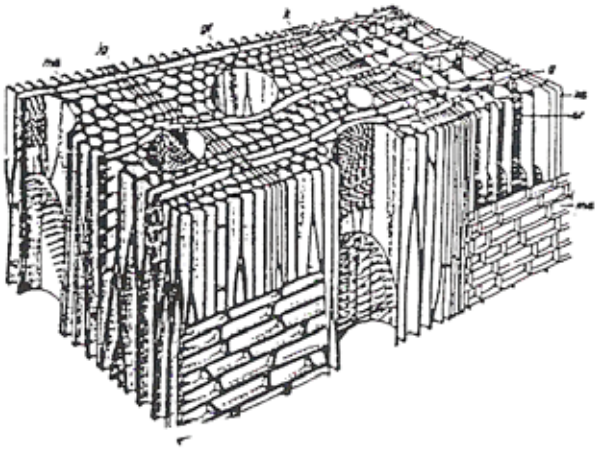


1.4 LE FIBRE DEL LEGNO

Come detto in precedenza, lo xilema o tessuto legnoso è costituito da un insieme di cellule allungate, orientate parallelamente all'asse del tronco. Le singole cellule allungate del legno si presentano di regola come un corpo cavo allungato e sottile che viene denominato fibra. Le fibre devono garantire le funzioni di resistenza meccanica e di trasporto nel legno. Nelle conifere sono le tracheiti ad occuparsi di queste funzioni.
Nelle latifoglie i compiti sono ripartiti: le fibre, cellule del libro hanno in prevalenza funzione di sostegno, mentre le trachee garantiscono il trasporto. Perciò la struttura delle conifere è più omogenea di quella delle latifoglie.
Nella figura seguente sono riportate le due strutture appena citate:



conifere (pino silvestre)

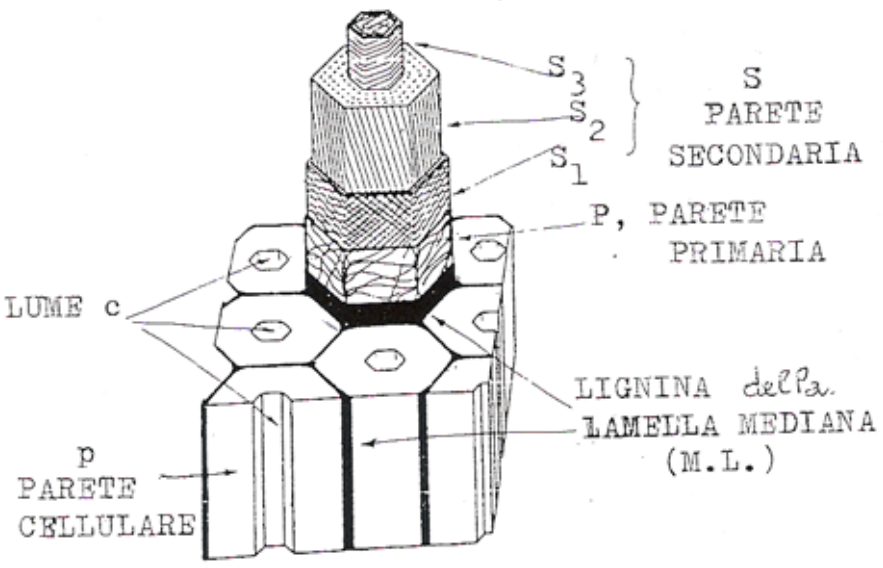


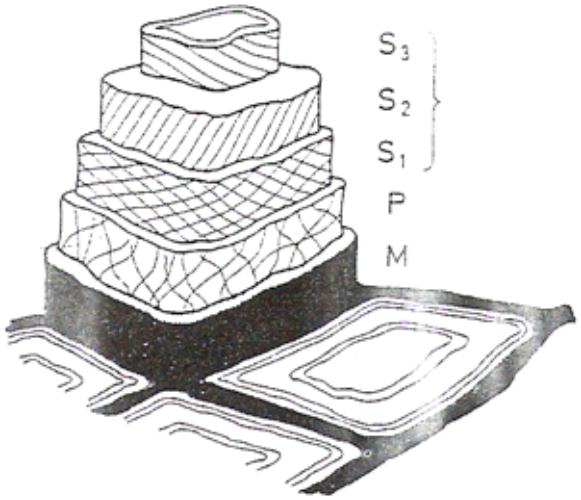
latifoglie (betulla)

1.5 LA STRUTTURA E COMPOSIZIONE CHIMICA DELLE FIBRE

Per quanto riguarda la struttura della parete cellulare, sia che essa appartenga alla fibra o alla tracheide, c'è da rilevare che in tutti i vegetali essa è costituita per entrambe da quattro strati, in ognuno dei quali è presente un insieme di fibrille cellulosiche immerse in una matrice di lignina e d'emicellulose.
N.B. **FIBRILLA**: struttura formata da microfibrille legate assieme dalla lignina interposta fra esse; **MICROFIBRILLA**: struttura formata da molecole di cellulosa cristallizzate ed ordinate secondo strutture filiformi; i legami che tengono insieme le molecole di cellulosa nelle microfibrille sono costituiti da ponti di idrogeno; nelle microfibrille vi sono anche zone nelle quali le molecole di cellulosa sono disposte in maniera irregolare e amorfa. Tali zone che, in una certa misura, fungono da articolazioni, conferiscono alla micro fibrilla una certa elasticità.

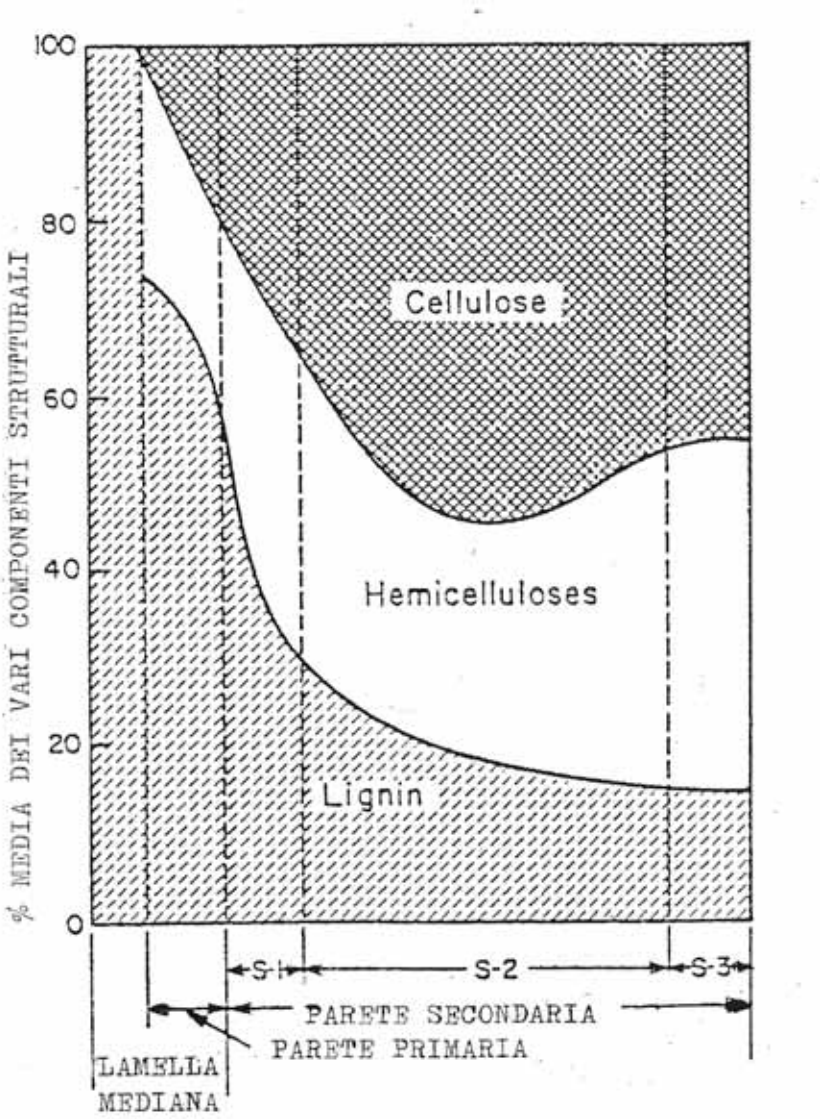
La differenza, che si riscontra nelle fibre dei vari vegetali, riguarda lo spessore degli strati e le quantità relative della lignina, delle emicellulose e della cellulosa, che in essi si trovano, oltre ad un differente orientamento delle fibrille.
I quattro strati costituenti la parete cellulare sono contraddistinti con le lettere alfabetiche M, P e S (S1, S2 e S3):





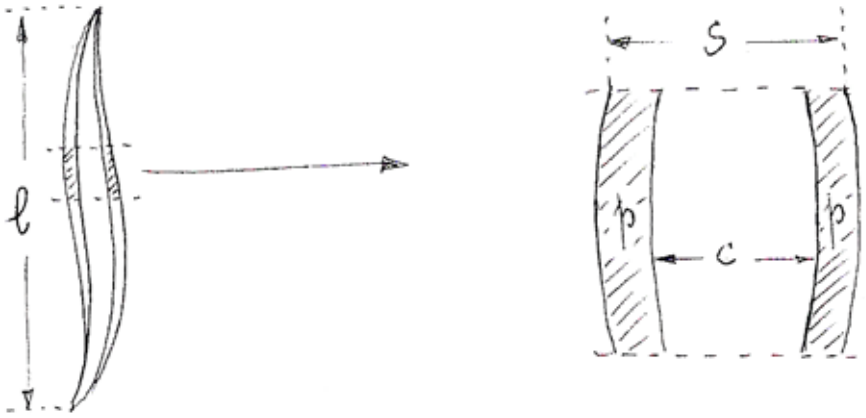
I vari strati hanno la seguente composizione:
M = è lo spazio intermedio tra fibre contigue e consiste esclusivamente di lignina amorfa e non contiene fibrille;
P o PARETE PRIMARIA = è lo strato esterno della fibra, molto sottile (da 0,5 μm a 1μm), nel quale sono presenti le fibrille di cellulosa in minima quantità, disperse in maniera disordinata nella matrice preponderante di lignina e di emicellulose;
S o PARETE SECONDARIA = è a sua volta suddivisa in tre strati, distinti dalle lettere S1, S2 e S3:
S1 o STRATO ESTERNO = è molto sottile, inferiore a 1μm, e dove il contenuto di fibrille cellulosiche aumenta; esse fanno parte di due sistemi paralleli, quasi ortogonali tra loro, e la cui inclinazione forma un angolo di circa 60° con l'asse principale della fibra;
S2 o STRATO INTERMEDIO = è lo strato con il maggiore spessore rispetto agl'altri adiacenti (fino a 5μm); è caratterizzato da un alto contenuto di cellulosa, le cui fibrille fanno parte di un unico fascio parallelo, che forma una spirale in senso orario lungo l'asse del tronco e che forma un angolo con l'asse della fibra da 10 a 50°, variabile asseconda del tipo di fibra;
S3 o STRATO INTERNO o TERZIARIO = al pari di P e di S1, esso è molto sottile, ma a differenza di questi, ha un contenuto elevato di cellulosa. Le fibrille, tutte parallele tra di loro, hanno un andamento spiralato antiorario e formano un angolo di circa 80 – 100° con l'asse della fibra;
LUME = è una cavità derivata dall'invecchiamento della cellula. Nel caso dei tracheiti assolve il passaggio della linfa;

Il grafico seguente mostra la distribuzione quantitativa dei vari componenti strutturali del legno nelle varie pareti cellulari:



1.6 DIMENSIONI DELLE FIBRE

Come già menzionato, tutte le fibre possiedono una struttura comune, mentre sono differenti per le loro dimensioni; dimensioni che sono tipiche d'ogni specie vegetale e di notevole influenza sulle prestazioni cartarie. In una fibra si prende in considerazione la lunghezza "l" (in mm), il diametro o la larghezza della fibra "s" (in μm), lo spessore della parete cellulare "p" (in μm), la larghezza o diametro del lume "c" (in μm), riportati schematicamente nel disegno seguente:



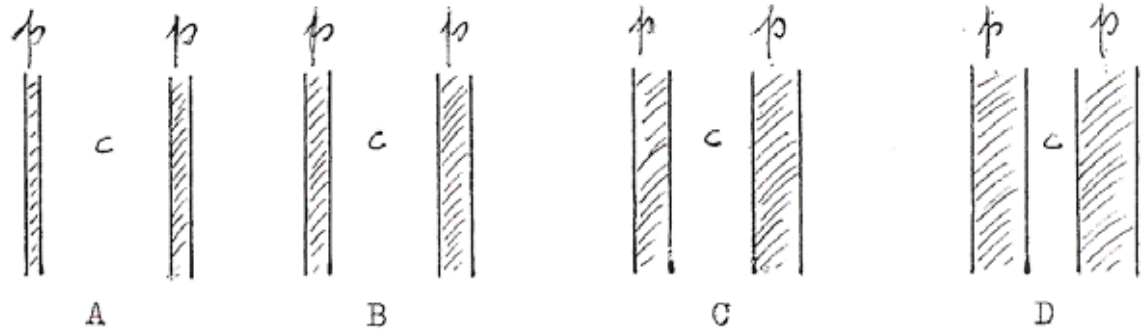
L’industria cartaria suddivide generalmente le fibre in “lunghe” e “corte”:
Le fibre lunghe vanno da 2,5-4mm (lunghezza tipica delle tracheidi)
Le fibre medie vanno da 1-2mm (lunghezza media tipica delle fibre di latifoglia)
Le fibre corte vanno da 0,1-1mm(lunghezza media tipica delle fibre di alcune latifoglie o di piante annuali).

	Lunghezza mm	Larghezza µm	Spessore della parete µm
Pino silvestre	2,6-4,4	30-75	–
Abete rosso	2,6-3,8	25-69	ca 2,4
Faggio	0,7-1,7	15-29	ca 3,3
Paglia	0,5-2,0	10-20	–

Mettendo in relazione tra loro le dimensioni ottenute mediante l’analisi microscopica, si riesce a stabilire il comportamento e l’idoneità cartaria di una fibra. Gli indici più comuni che permettono di fare tali valutazioni sono:
INDICE DI FELTRABILITÀ F = l/s (lacerazione, doppie pieghe)
INDICE DI FLESSIBILITà o DI RUNKEL R = 2p/c (trazione e scoppio)

L’indice di **FELTRABILITÀ** indica l’idoneità di una fibra a produrre carta; l’esperienza ha dimostrato che il valore minimo del rapporto tra lunghezza e larghezza della fibra non può andare al di sotto di 50 per poter fabbricare carta. Anzi, più è alto tale valore, migliore è la formazione del foglio.
“F” è in relazione alla lacerazione e alle doppie pieghe.
L’indice di **RUNKEL** invece, correlando lo spessore della parete cellulare con la larghezza del lume della fibra, indica quanto essa sia flessibile e quindi dà una misura della capacità

delle fibre a legarsi tra di loro; esso è in relazione alle caratteristiche di resistenza alla trazione e allo scoppio del foglio di carta.
A seconda dei valori delle dimensioni interessate alla determinazione di “R”, l’indice di RUNKEL assume i seguenti significati:
R = 2p/c ≤ 0,25 → La fibra è molto flessibile, morbida; presenta la capacità di collassarsi facilmente. Tali fatti rappresentano la condizione ottimale per la fabbricazione della carta. Il valore del rapporto indica che il lume “c” è molto ampio rispetto allo spessore delle pareti.
Caso “A” della rappresentazione seguente.
R = 2p/c > 0,25 e ≤ 0,50 → La fibra risulta meno flessibile del caso precedente; dà ancora buoni risultati nella fabbricazione della carta. Il valore del rapporto sta ad indicare che, a parità di diametro della fibra, lo spessore delle pareti è aumentato e di conseguenza è diminuita la larghezza del lume.
Caso “B” della rappresentazione seguente.
R = 2p/c > 0,50 e ≤ 1 → La fibra comincia ad essere meno flessibile e morbida di quanto descritto in precedenza; presenta cioè caratteristiche meccaniche modeste. Il valore del rapporto indica che, essendo ulteriormente aumentato lo spessore delle pareti rispetto al caso precedente, è diminuita di conseguenza la sezione del lume.
Caso “C” della rappresentazione seguente.
R = 2p/c > 1 → Il valore del rapporto indica chiaramente che la larghezza del lume è diminuita fortemente mentre le pareti si sono ingrossate;pertanto le fibre sono rigide e non hanno nessuna tendenza a fare carta.
Caso “D” della rappresentazione seguente.



In conclusione, quindi, una fibra è idonea alla fabbricazione della carta quando presenta un indice di feltrabilità superiore a 50 e un indice di Runkel inferiore a 1.

2. LA RAFFINAZIONE

2.1 DEFINIZIONE E SCOPO DI TALE OPERAZIONE

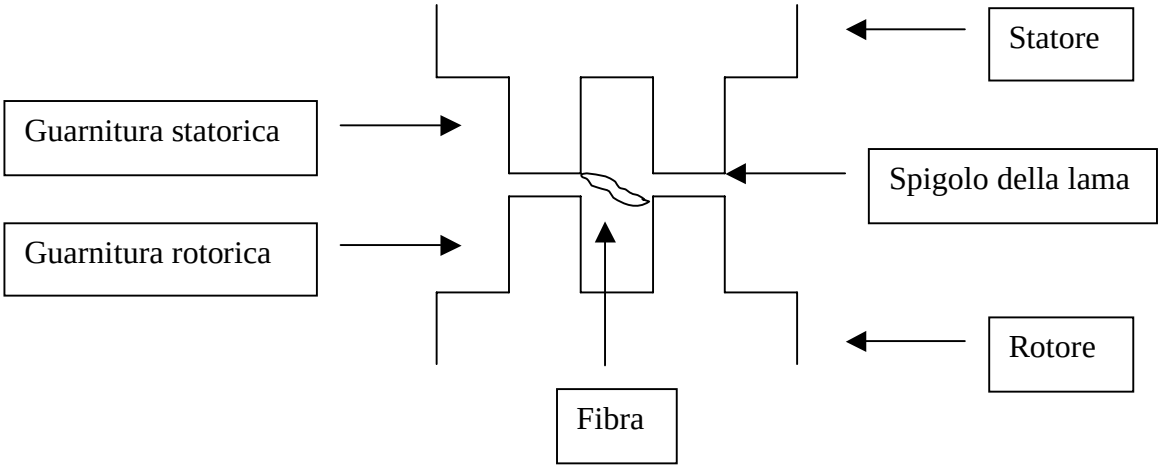
La raffinazione è il processo tecnologico più importante prima che l'impasto fibroso arrivi in cassa d'afflusso, poiché questo influenza, insieme al tipo di mezze paste, la qualità della carta in modo elevato.
È universalmente accettato che la raffinazione è un processo fondamentale nella fabbricazione della maggior parte delle carte: ogni tipo di carta, in dipendenza del suo impiego, deve possedere caratteristiche particolari che gli possono essere conferite, oltre che con una scelta opportuna delle fibre che la costituiscono, solamente se le fibre stesse impiegate hanno subito un adeguato trattamento di raffinazione. Le caratteristiche cartarie del foglio ottenuto quindi dipendono essenzialmente dalle condizioni che sono state adottate per la raffinazione delle fibre che lo costituiscono.
Lo scopo è quello di sviluppare al massimo le proprietà plastiche e feltranti delle fibre, tale processo deve cioè tendere ad aumentare la superficie delle stesse, sia liberando il maggior numero di fibrille (specialmente quelle della membrana secondaria che costituisce la parte essenziale della fibra) sia facilitando, con accorgimenti adatti, il loro rigonfiamento.
Le basi teoriche più importanti della raffinazione sono state sviscerate negl'anni Sessanta.Punto focale dell'interesse era, allora, la raffinazione della cellulosa. Le ricerche odierne tengono invece più in considerazione le possibilità di raffinazione nella rivitalizzazione della cartaccia, dove, a causa dell'essiccamento e quindi della corneificazione interna ed esterna della superficie fibrosa con conseguente riduzione della capacità di legare le fibre fra di loro, si rende necessario un aumento della superficie specifica.
La definizione generalmente accettata della raffinazione, come un semplice processo di "sminuzzamento", non è molto pertinente per quanto riguarda la raffinazione del materiale fibroso. Mentre al tempo della produzione di carta a mano la raffinazione doveva, in prima linea, operare una riduzione delle lunghe fibre di stracci, con la tecnologia moderna si parla di una trasformazione della fibra al fine di:
Adempiere alle caratteristiche richieste del prodotto finale in funzione del tipo d'impiego;
Formare in modo economico il foglio di carta.
Nel risultato finale d'ogni processo di "sminuzzamento", si formano particelle più piccole (fini) in concomitanza con un aumento della superficie specifica.
Riferito alla raffinazione di fibre ciò significa:
Produzione di un rapporto determinato fra lunghezza e spessore;

Produzione d’una determinata superficie specifica e quindi d’un determinato grado d’idratazione.
Mentre un aumento della superficie specifica ha un generale effetto positivo sulle resistenze della carta (le fibre si legano con più facilità le une alle altre), la capacità di drenaggio della sospensione fibrosa al contrario peggiora durante il suo sviluppo. Inoltre, la qualità della formazione (speratura) è legata alla lunghezza delle fibre, da ciò ne deriva che fibre lunghe tenderanno a formare dei fiocchi che influenzeranno negativamente la formazione del foglio rispetto a quelle corte.
Si dimostra per tanto che le richieste fatte alla raffinazione della fibra sono, in parte, in contrasto fra di loro. La raffinazione dovrebbe perciò essere ottimizzata in funzione del tipo d’utilizzo previsto.

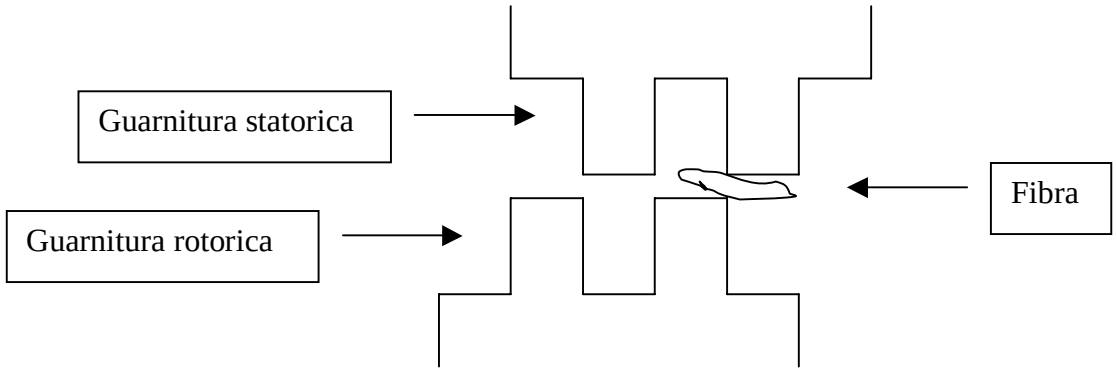
3. ASPETTI TEORICI DELLA RAFFINAZIONE

La raffinazione delle fibre oggi avviene soltanto con l'impiego di raffinatori con guarniture a lame.
Durante il trattamento della fibra nel raffinatore, fra le lame dello statore e quelle del rotore, nella letteratura, si distinguono tre aree d'effetto accoppiato:

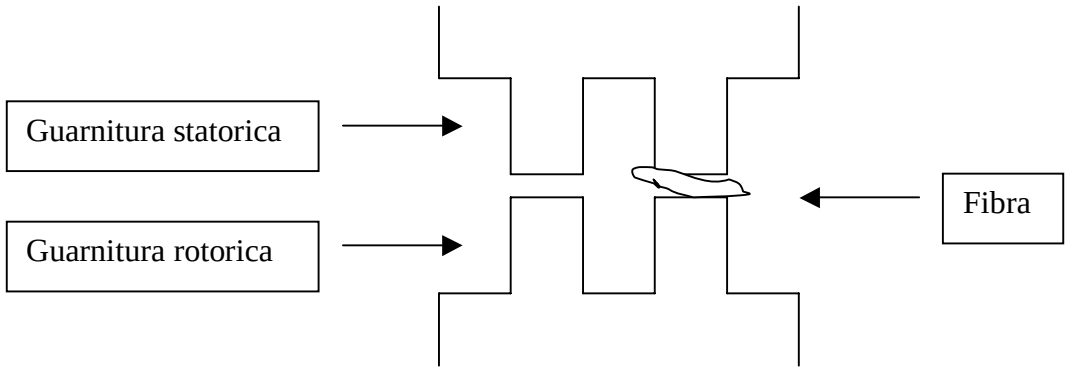
area 1; le fibre come i fiocchi formati dai fini, vengono trasportati sullo spigolo della lama. Durante questo breve "trasporto" fibre e fini verranno a contatto con la conseguente formazione, mediante i ponti ad idrogeno, d'ulteriori reticoli fibrosi.



area 2; le fibre vengono separate dalla forza d'urto. Per effetto di forze radiali di taglio si produce un accorciamento.

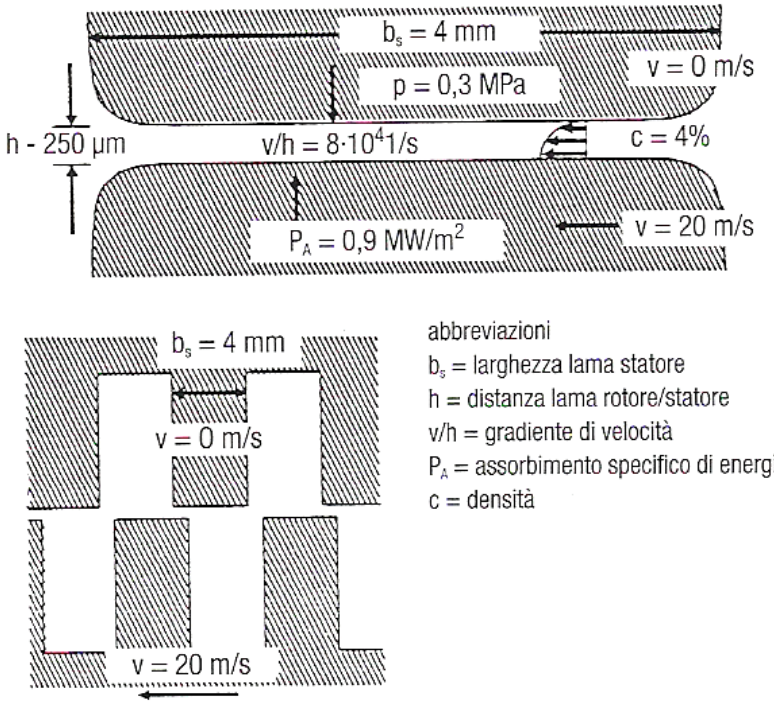


area 3; le fibre vengono fibrillate.



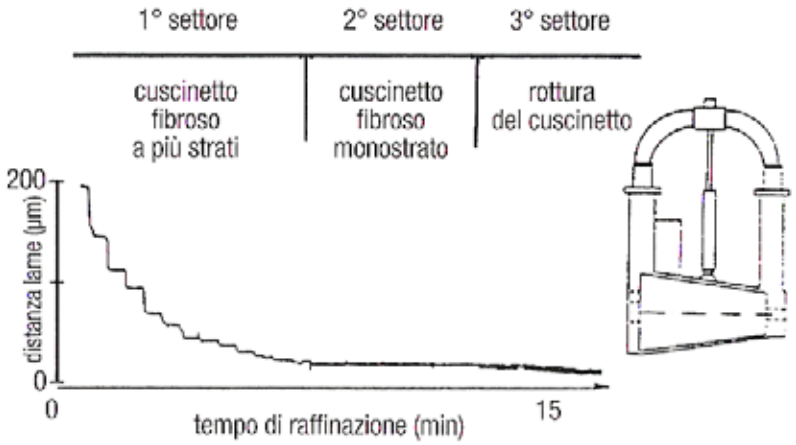
La trasmissione d'energia avviene sia per mezzo delle fibre stesse (contatto fibra-fibra), sia attraverso le lame del raffinatore (contatto fibra-lama); in quest'ultima fase, a causa del severo impatto fibra-lama, viene prodotta la parte fine, a seguito dello stacco di fibrille dalle fibre e dal taglio delle estremità delle stesse, la quale possiede particolare effetto legante.

La figura seguente mostra una più precisa raffigurazione delle relazioni che intercorrono durante lo scorrimento delle lame fra di loro, sono anche riportati gl'indici importanti della raffinazione nei raffinatori a lame.



3.1 SVILUPPO NEL TEMPO DELL'APERTURA DEI RAFFINATORI

Nei raffinatori moderni, regolati in potenza, la parte relativa al tipo di trasmissione d'energia nella fessura fra le lame (area 3), lama-fibra (area 2) e fibra-fibra (area 1), non è costante durante il tempo di raffinazione.
Fondamentalmente, l'evoluzione nel tempo può essere divisa in tre fasi rappresentate nella figura seguente.



Fase 1; all'inizio della raffinazione si forma, nell'area di raffinazione fra le lame, un cuscinetto di fibre a più strati. Attraverso l'effetto della raffinazione, la flessibilità della fibra aumenta. Poiché la potenza del raffinatore viene mantenuta costante dalla regolazione, con l'aumento del tempo di raffinazione si riduce la distanza fra gli elementi raffinanti.
L'influenza di un accorciamento della fibra è qui relativamente modesta.

Fase 2: per mantenere costante l'energia trasmessa dal raffinatore all'impasto, la posizione del rotore si stabilisce su un determinato livello che corrisponde circa ad uno spessore di fibra. Si forma un cuscinetto ad un solo strato. L'accorciamento delle fibre aumenta.

Fase 3: il cuscinetto fibroso si rompe. Le lame dei raffinatori vengono in contatto tra loro. L'improvviso aumento dell'attrito fra rotore e statore, aumenta l'assorbimento di potenza del motore.

Nella prassi, il trattamento di raffinazione si limita alla “fase 1”. **In questo campo si trova un compromesso fra un accorciamento accettabile delle fibre e la resistenza meccanica richiesta.**

3.2 IMPORTANZA DELL’OMOGENEITÀ DI RAFFINAZIONE

Un altro aspetto importante, che si riscontra nelle nuove ricerche, è la valutazione del risultato di raffinazione secondo la sua omogeneità.
A causa della piccola fessura fra le guarniture e l’elevato volume nelle scanalature, soltanto una parte delle fibre viene raffinata, mentre la maggior parte esce dal raffinatore senza essere trattata.
Quest’effetto è particolarmente evidente nel caso della cellulosa con elevato spessore delle pareti delle fibre e nella cellulosa di latifoglie.
La valutazione d’omogeneità di un impasto fibroso è problematica.
L’esigenza di un impasto omogeneo si basa sul fatto che i legami a ponte-idrogeno si instaurano prevalentemente tra fibre di simile superficie specifica (raffinate in ugual modo), di conseguenza un impasto non omogeneo, in cui sarà presente una percentuale elevata di fibre ancora intatte che non hanno subito quindi il processo di raffinazione, possiederà molte capacità di legami inutilizzati.
(N. B. tra una fibra molto fibrillata e una fibra rigida, non trattata, non esistono legami ottimali)
Attraverso particolari costruttivi, come l’utilizzo di guarniture con elevati angoli delle lame e piccole scanalature si cerca di ottenere un risultato quanto più omogeneo possibile di raffinazione.

4. CHI ESEGUE TALE OPERAZIONE

4.1 BREVE INTRODUZIONE

Sebbene i raffinatori sono basati essenzialmente sullo stesso principio, cioè il passaggio forzato della pasta fra due superfici, una delle quali rotante e l'altra fissa o rotante in senso inverso, munite entrambe di guarniture, (di metallo o basalto), le quali sono costituite da barre in rilievo (comunemente definite "lame") intervallate da scanalature, vi è una continua evoluzione nella loro progettazione al fine di: migliorare la resa energetica, diminuire l'ingombro, privilegiare uno degli effetti della raffinazione su un altro, ecc.
Nei vari tipi di raffinatori l'azione fibrillante, di schiacciamento, è favorita dalla larghezza delle barre, dalla maggiore distanza delle barre sull' elemento rotante e dalla minore distanza su quello statico, dal maggior angolo di intersezione fra le barre e dalla velocità. L'azione di taglio è favorita dalle condizioni opposte.
I raffinatori possono essere raggruppati in tre grandi classi: i **pile olandesi**, i **raffinatori a dischi** e quelli **conici**.

4.2 PILE OLANDESI

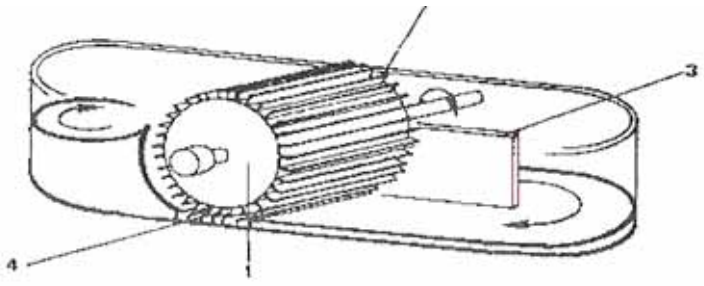
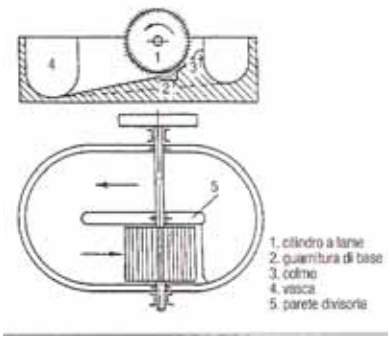


Fig. 4.6.a) - Schema di una olandese:
1 - cilindro; 2 - lama; 3 - parete divisoria; 4 - platina.

Queste macchine, sviluppate in Olanda nel XVII secolo, sostituirono i precedenti mulini battitori e sono rimaste, fino ai nostri tempi, costruttivamente inalterate.
A causa della bassa efficienza, dell'alto consumo energetico, della necessità di grandi spazi, come pure a causa del personale di servizio necessario, oggi l'olandese è stata abbandonata da molte aziende cartarie, **ma non da tutte** in quanto viene tutt'ora adoperata per ottenere un **elevatissimo grado di raffinazione** dell'impasto, difficilmente ottenibile con le macchine moderne, per la creazione di carte "speciali", come ad esempio la **pergamena**.

L’olandese sostanzialmente non è altro che una semplice vasca di cemento, divisa a metà per quasi tutta la sua lunghezza da una parete, grazie alla quale si verranno a formare, durante la lavorazione della fibra, due canali di flusso che daranno un senso di rotazione preferenziale all’impasto messo in moto dal cilindro a lame sotto raffigurato.

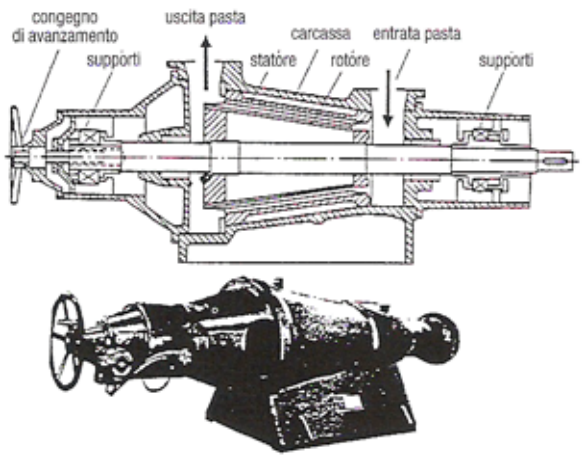


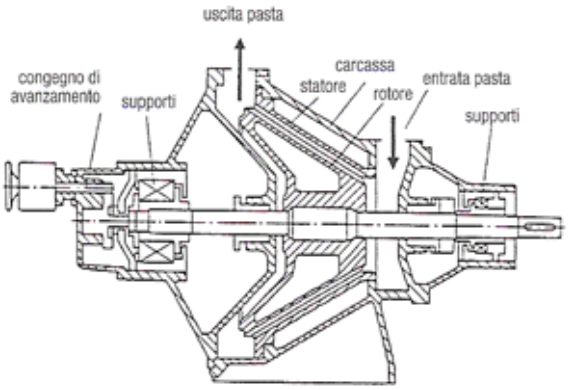
Il cilindro a lame o di raffinazione, provvisto di lame appunto, è il cuore di
tale macchina, esso non ha soltanto la funzione di andare a contatto con la fibra, lavorandola come noto , ma inoltre provoca un effetto di pompaggio in uno dei due canali preferenziali portando la pasta in circolazione. Il moto dell’impasto è molto importante al fine di evitare che sia solo una parte delle fibre a subire gli effetti della raffinazione. Sotto il cilindro una guarnitura fissa favorisce la lavorazione delle fibre e la distanza fra essa ed il cilindro soprastante viene variata per mezzo di un leverismo. La potenza a vuoto, riferita al risultato di raffinazione, è molto elevata e rappresenta circa il 50% della potenza totale.
Le olandesi lavorano in modo **discontinuo**, possono essere utilizzate per spappolare le mezze paste prodotte ed hanno una capacità variabile da 250 a 600kg di pasta secca.

RAFFINATORI CONICI E A DISCHI
In generale il sistema è costituito da due parti importanti: una parte fissa chiamata “statore” e da una rotante definita con il termine di “rotore”. Entrambe portano sulla superficie delle guarniture costituite da lame tra le quali si creano delle “gole”. La larghezza, la lunghezza e l’inclinazione delle lame e la larghezza e la profondità delle “gole” costituiscono la configurazione interna del raffinatore da cui ne dipendono le prestazioni.
I moderni raffinatori a bassa consistenza possono essere classificati in due principali classi: conici e a dischi.

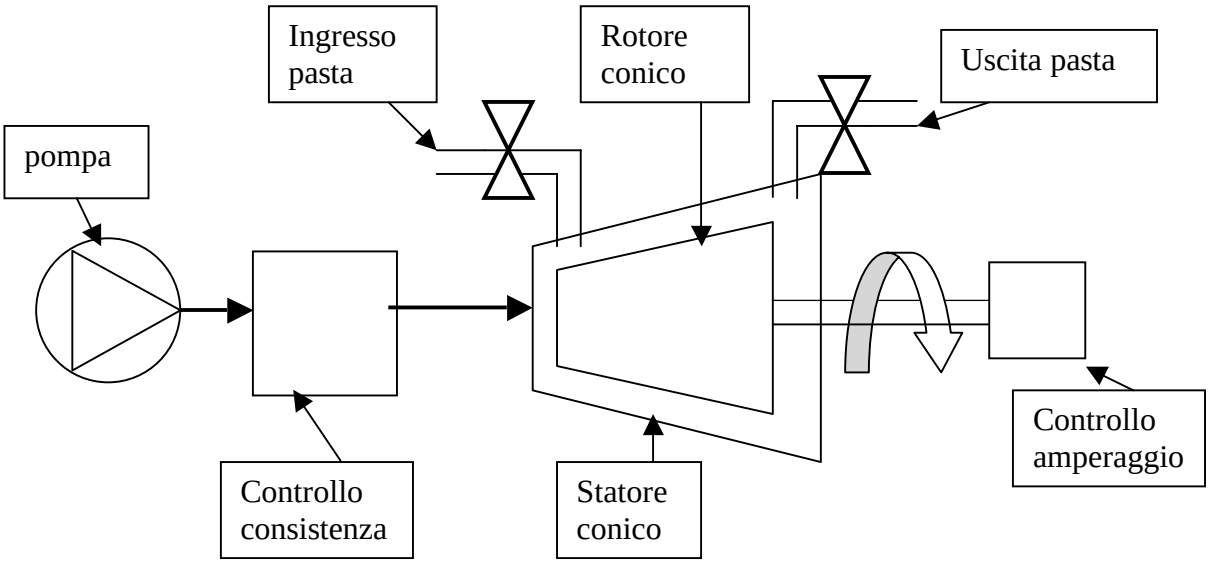
4.3 RAFFINATORI CONICI

I raffinatori conici lavorano in **continuo**. La caratteristica che contraddistingue i vari tipi di raffinatore conico è l’angolo del cono appunto; il primo a comparire sul mercato è stato il “**jordan**”, cosi definito dal nome dell’uomo che lo ha progettato, esso aveva un angolo del cono paria **10°** e veniva sfruttato in principio per aiutare il lavoro delle olandesi, inseguito è comparso il “**conflo**”con un angolo di **20°** ed infine quello di tipo “**claflin**” con un angolo del cono di **30°.**
Oggi i raffinatori conici tradizionali lavorano con angoli dei coni che variano da 16°a 26°, mentre quelli a grande angolo con coni che variano da 50° a 60°.





L'angolo del cono è definito come l'angolo dato dalle linee del mantello del rotore.
Le parti principali che costituiscono un raffinatore conico, sono:
-una cassa con ingresso ed uscita pasta
-uno statore conico
-un rotore conico
-un meccanismo di regolazione del rotore

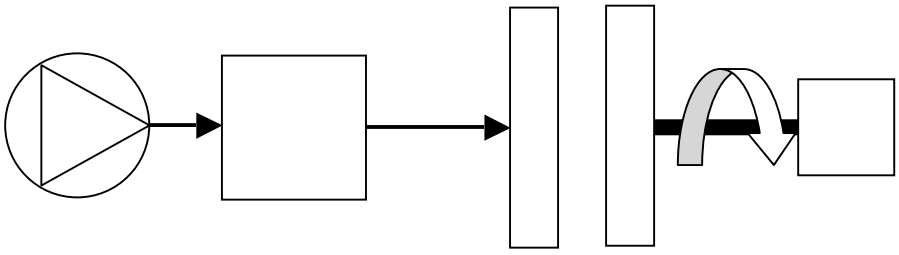


Le guarniture a forma conica sono utilizzate per limitare le forze assiali.
Le forze effettive in gioco durante questo tipo di raffinazione, si scompongono in una **componente assiale** (parallela) ed una **perpendicolare** alla superficie di raffinazione.
Il rapporto delle forze che agiscono assialmente su quelle che agiscono perpendicolarmente alla superficie di raffinazione è, nel caso dei raffinatori a basso angolo, molto più favorevole rispetto a quello dei raffinatori a grand'angolo e quelli a disco, **da ciò deriva che l'effetto di taglio sarà molto più accennato nei raffinatori a basso angolo piuttosto che in quelli**

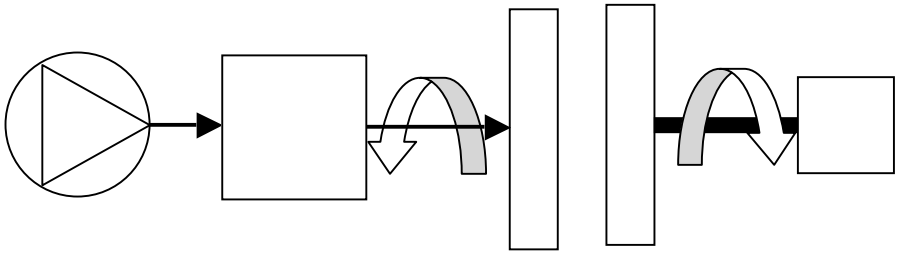
a grand’angolo e a dischi; quest’ultimi assolvono prevalentemente ad un’azione di fibrillazione.
I vantaggi del raffinatore a grand’angolo sono costituiti dalla sua maggiore superficie di raffinazione (ad una percentuale superiore di fibre è assicurato il tocco almeno una volta delle lame, in tal modo meno fibre usciranno intatte dal raffinatore), e dalla maggiore varietà di disposizione delle lame.
Le scanalature del raffinatore a grand’angolo possono essere il doppio di quelle del raffinatore a basso angolo (la superficie di raffinazione è maggiore e quindi, nonostante le scanalature siano molto più grandi, in ogni caso un’alta percentuale di fibra sarà raffinata), cosa che garantisce una maggior durata delle guarniture.

4.4 RAFFINATORI A DISCHI

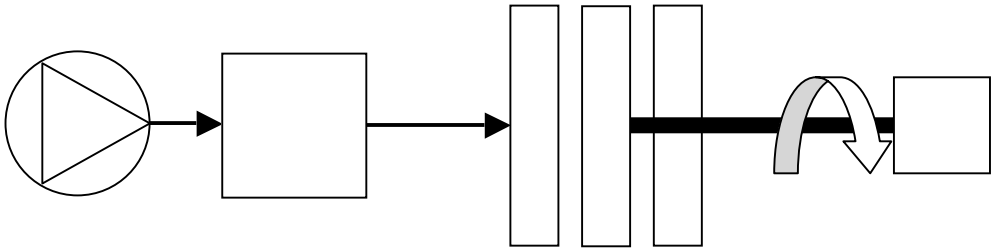
Il raffinatore a disco lavora in **continuo**, come il precedente conico.
A causa dell’elevata velocità periferica di 17-25 m/s la sua azione è soprattutto di tipo fibrillante. Tenendo conto delle guarniture a forma di disco, questo tipo di raffinatore si distingue per la sua costruzione molto compatta. La perdita di potenza per pompaggio a vuoto è più elevata rispetto alle altre macchine.Si cerca perciò di contenere questa perdita, utilizzando fessure poco profonde. Il cambio delle guarniture è molto semplice. I raffinatori a disco hanno guarniture di diametro compreso fra 750 e i 1500 mm. L’assorbimento di potenza può andare da 300 kW (a vuoto) a 2200 kW (a pieno carico). A seconda del tipo di guarniture, i raffinatori a disco possono essere divisi in tre assetti base:
-raffinatore con un disco fisso ed uno rotante



-raffinatore con due dischi rotanti in senso opposto

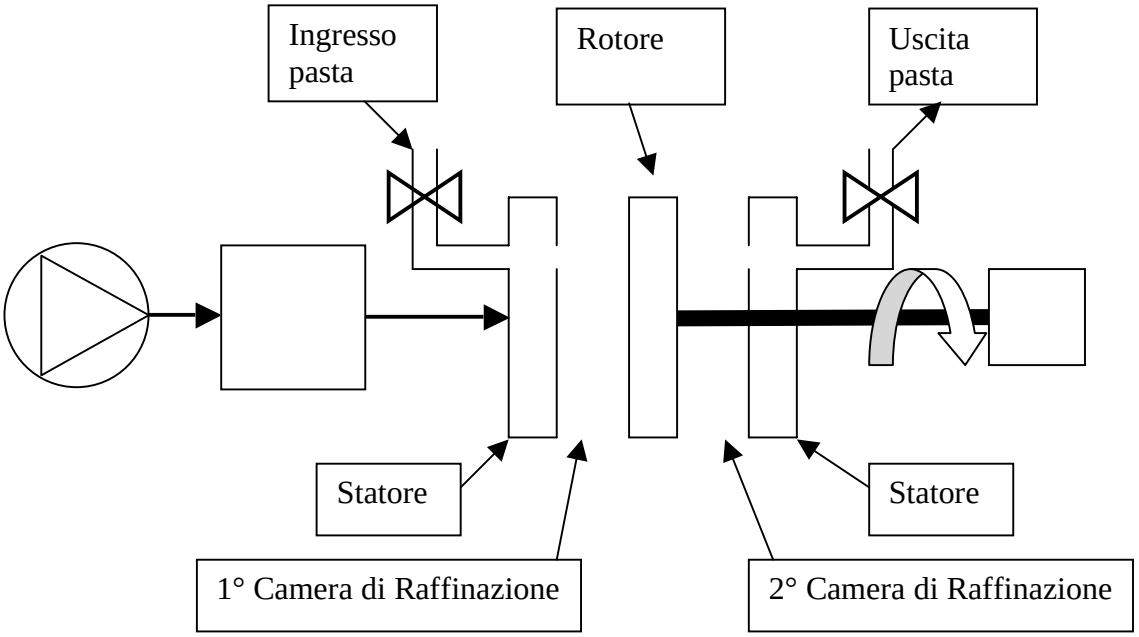


-raffinatore con tre dischi, di cui soltanto quello centrale è rotante (raffinatore a doppio disco).



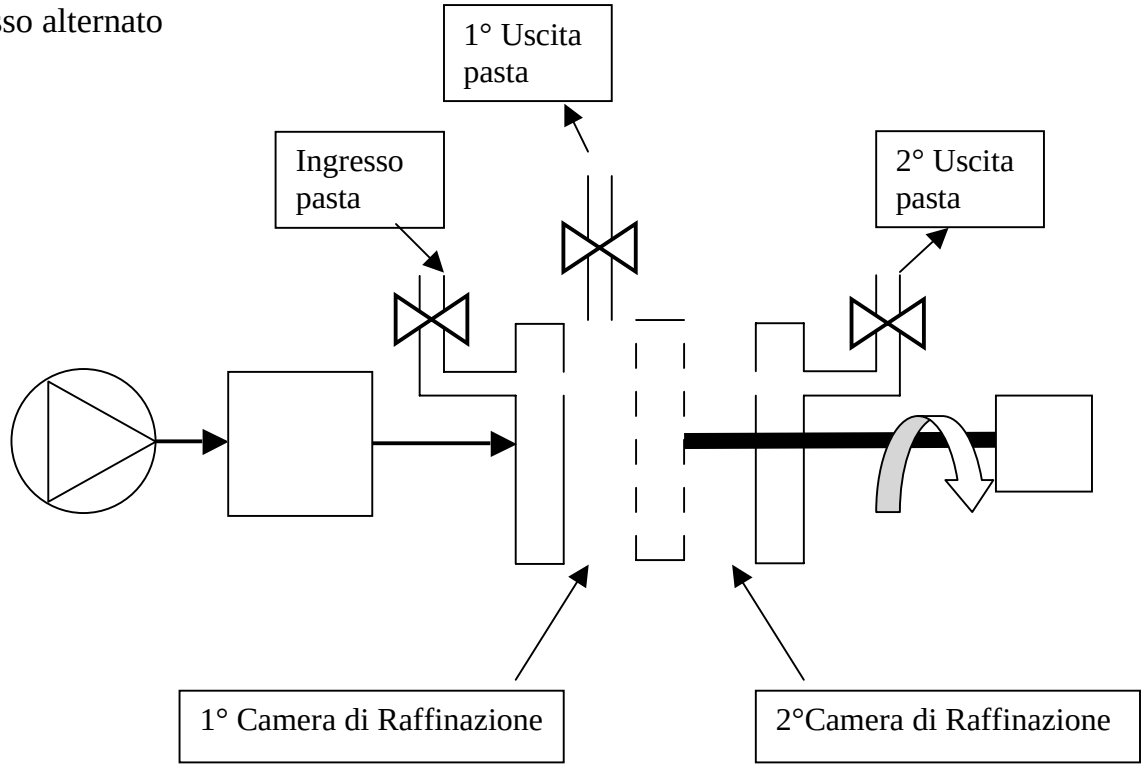
I raffinatori a dischi vengono poi ancora suddivisi secondo il flusso della pasta, come mostrato nella rappresentazione qui di seguito.
Ci sono, infatti, tre possibilità:

-flusso seriale



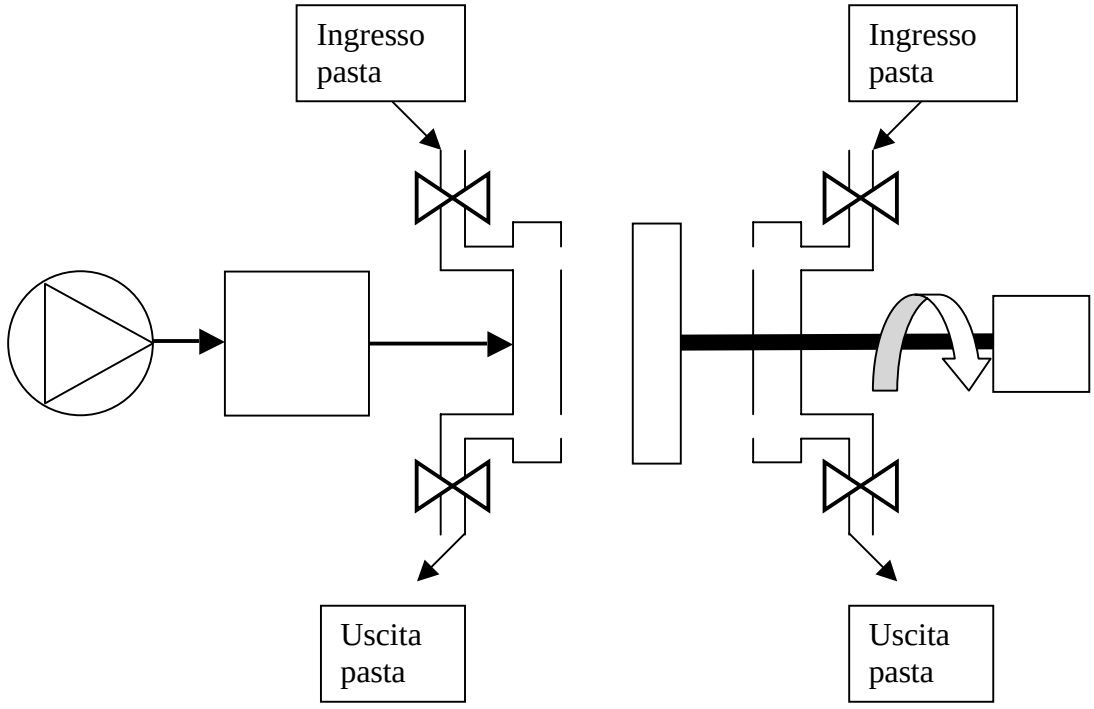
L’impasto fibroso entra nella prima “camera di raffinazione” inseguito viene fatto fluire nella seconda per poi uscire dal raffinatore. Lo svantaggio di questo metodo sono le ridotte prestazioni di portata, al contrario il grado di raffinazione e l’omogeneità saranno ottimi in quanto per un tempo elevato teoricamente (nella realtà ciò non accade), tutte le fibre saranno a contatto con le lame poste sulle guarniture del raffinatore.

-flusso alternato



L’impasto fibroso entra nella prima “camera di raffinazione”, una parte di esso subisce una sola lavorazione ed esce dall’alto come mostrato in figura, il rimanente, grazie ad una pressione esercitata dalle fibre in ingresso, viene fatto fluire, mediante i fori presenti sul rotore, nella seconda “camera” dove verrà sottoposto ad un’ulteriore raffinazione. Lo svantaggio di questo metodo sono le ridotte prestazioni di portata, al contrario il grado di raffinazione e l’omogeneità dell’impasto fibroso saranno buoni, anche se un pò inferiori al flusso seriale precedentemente citato. (fibre molto raffinate avranno in ogni caso buon’affinità con altre lavorate meno, per questo motivo l’omogeneità dell’impasto rimarrà accettabile)

-flusso parallelo

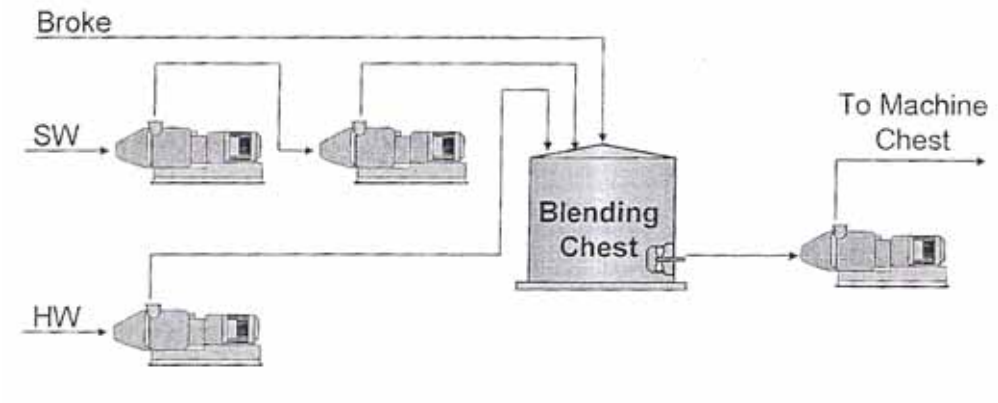


L’impasto entra contemporaneamente in entrambe le camere di raffinazione, ciò comporta che la quantità di fibra che subirà il processo sarà maggiore in questo caso rispetto a quelli precedenti. Gli svantaggi di questo metodo saranno sia la scarsa omogeneità dell’impasto fibroso, sia il basso grado di raffinazione a fine processo, poiché le fibre subiranno per un tempo inferiore l’azione delle lame rispetto ai casi gia citati. Contrariamente il vantaggio sarà dovuto all’elevato quantitativo di fibra raffinata a parità di tempo. (l’omogeneità dell’impasto fibroso sarà carente in quest’ultimo esempio poiché, fibre scarsamente raffinate avranno affinità pressoché nulla con altre vergini)

4.5 SISTEMI DI RAFFINAZIONE

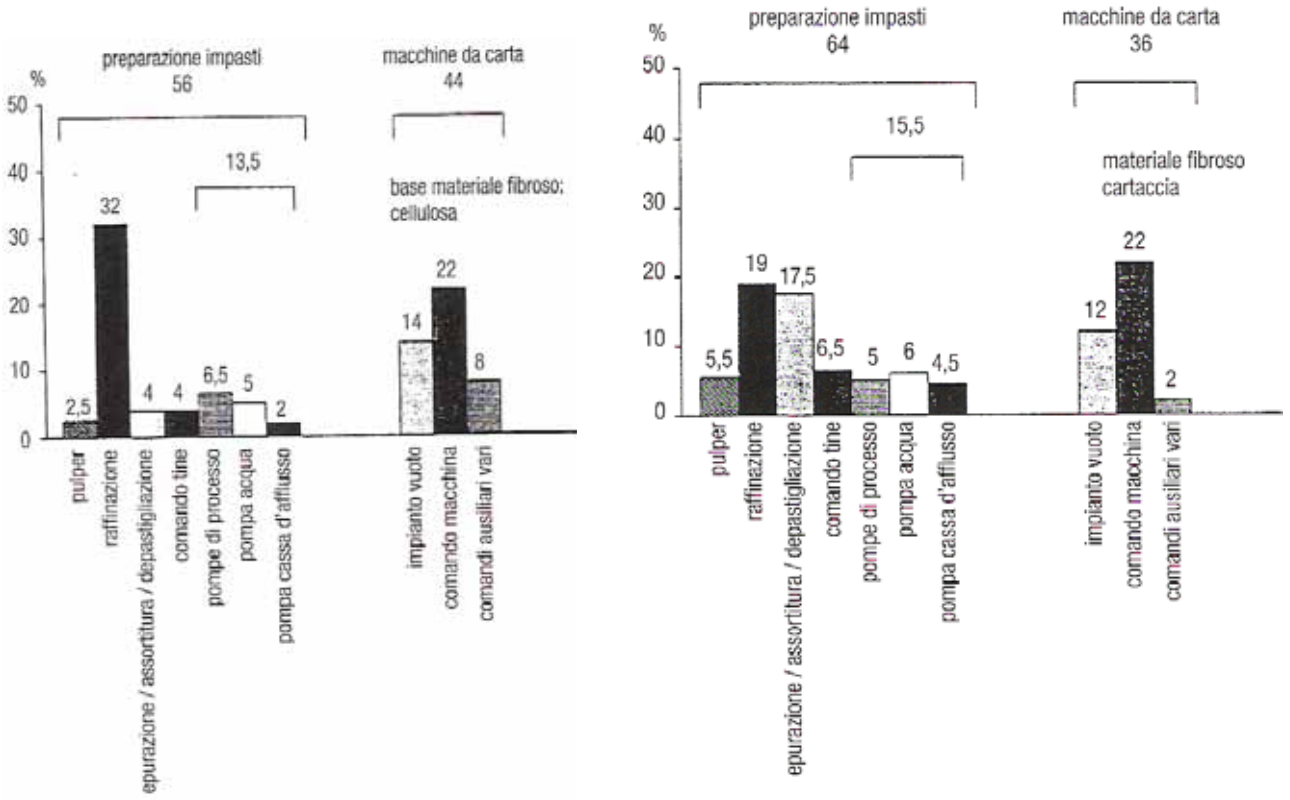
Il sistema di raffinazione può operare o a batch (raffinazione separata, ogni tipologia di fibra componente l’impasto subirà una lavorazione mirata) o in continuo (raffinazione mista, tutte le fibre che costituiscono l’impasto vengono lavorate nel medesimo modo). Il sistema a “batch” è usato qualche volta per raggiungere elevati gradi di raffinazione per speciali tipi di carta. In questo modo il numero dei raffinatori in serie può essere ridotto.
Raffinazioni separate sono largamente usate per le più grandi macchine per la carta, mentre quelle più piccole usano molto spesso una raffinazione mista.
Nel sistema definito a batch, la raffinazione d’ogni tipo di fibra componente l’impasto può essere ottimizzata, mentre nel sistema misto (in continuo) la raffinazione è sempre un compromesso, ovvero: raffinando per poco tempo non si andrebbe a lavorare bene la fibra

lunga, al contrario si potrebbe ottenere un grado di raffinazione ottimo ma si rischierebbe di danneggiare troppo la fibra corta.
La miglior configurazione di un sistema di raffinazione combina questi due sistemi (a batch e in continuo), cosi che viene usato un raffinatore di rifinitura.
Il numero di raffinatori in serie da usare, generalmente può variare da uno a sei e dipende principalmente dal grado di raffinazione richiesto e dalle proprietà delle fibre stesse.



4.6 ENERGIA SFRUTTATA DALLA RAFFINAZIONE

Per l'aspetto energetico, la raffinazione, con la sua quota parte pari a circa il 25-30% mediamente del fabbisogno totale d'energia elettrica, rappresenta un fattore importante nella produzione di carta.
Nelle seguenti raffigurazioni è rappresentata, con due esempi per prodotti diversi, la parte percentuale dei singoli consumi d'energia, rispetto al consumo generale di una cartiera.

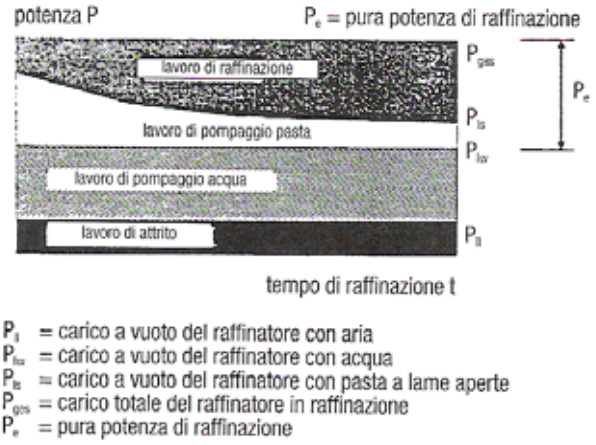


Nel caso di mezze paste molto raffinate per carte speciali, come le carte per condensatori, per sigarette ecc., la quota parte d'energia per la raffinazione può costituire anche il 60%, mentre per carte e cartoni a base di cartaccia si calcola soltanto il 10% come consumo d'energia di raffinazione rispetto al totale.

Uno dei parametri che maggiormente influisce sul risultato di raffinazione quindi è l'energia dedicata a tale processo.

Con le macchine oggi in uso, non si è però in grado di trasmettere tutta l'energia applicata alla raffinazione della pasta.

Nella figura seguente è riportato l'assorbimento totale di potenza, suddiviso per i diversi tipi di consumo in base alla durata del tempo di raffinazione.



P_l = carico a vuoto del raffinatore con aria
P_{lw} = carico a vuoto del raffinatore con acqua
P_{ls} = carico a vuoto del raffinatore con pasta a lame aperte
P_{gas} = carico totale del raffinatore in raffinazione
P_e = pura potenza di raffinazione

La potenza totale “Pges”, si compone con:
Pll = carico a vuoto con aria
Plw = carico a vuoto con acqua
Pls = carico a vuoto con pasta
Pe = effettivo carico di raffinazione.

Il carico effettivo “Pe” che normalmente è compreso fra 55 e 90%, si ricava da:

$$Pe = Pges - Plw - Pll$$

L’efficienza di raffinazione “Nr” è data pertanto:

$$Nr = Pe / Pges$$

Per una valutazione del risultato di raffinazione, non viene per tanto considerata la potenza totale (Pges) ma quella effettiva (Pe).
L’energia specifica di raffinazione è definita quale quoziente della potenza effettiva di raffinazione e la portata attraverso il raffinatore (kwh/t):

$$\text{ENERGIA SPECIFICA} = Pe\ (kw) / [\, c(\%) * Q(t/h)\,]$$

(c = consistenza, Q = portata)
Questo rapporto indica quanta energia è necessaria per una determinata quantità di pasta e per unità di tempo.
Quest’ultima affermazione non è per altro esatta, poiché la pasta viene raffinata a densità compresa fra 3 e 6% e, quindi, l’energia effettiva applicata viene utilizzata solo in piccola percentuale per la raffinazione delle fibre (< 0,4 Wh / kg secco). La maggior parte dell’energia è dissipata sottoforma d’attrito e riscaldamento della sospensione fibrosa.
Accanto all’energia specifica sopraccitata, l’intensità di raffinazione, con cui viene effettuato tale processo, è di notevole importanza per il risultato finale.
Per valutare l’intensità di raffinazione nei raffinatori a lame, negl’anni Sessanta è stata formulata la “teoria del carico specifico della lama (Bs)” (energia di raffinazione rapportata alla lunghezza dello spigolo della lama).
Questa indica quanta è la pura energia che viene trasmessa alla sospensione fibrosa dalle lame che si sovrappongono.
Essa è definita come il quoziente fra la pura energia di raffinazione (Pe) e la lunghezza delle lame per secondo (Ls). Quest’ultima (Ls) rappresenta la lunghezza totale degli spigoli delle lame che ogni secondo si sovrappongono e quindi agiscono sulla fibra.
Si calcola secondo la formula:

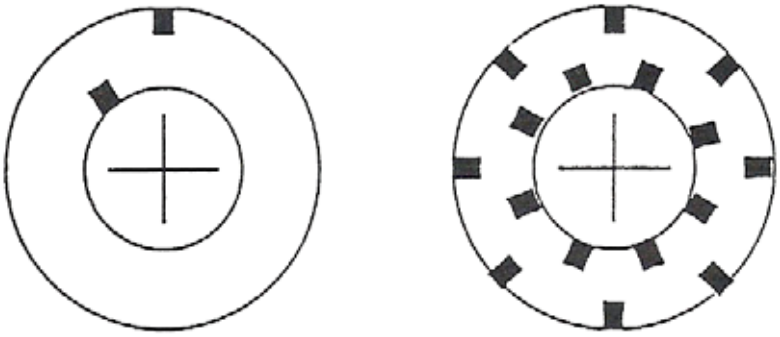
$$Ls = Zr * Zs * L * n$$

Dove:

Zr = numero delle lame del rotore
Zs = numero delle lame dello statore
L = lunghezza totale degli spigoli delle lame in metri

N = numero di giri del rotore al minuto

La figura seguente mostra quanto appena sostenuto:

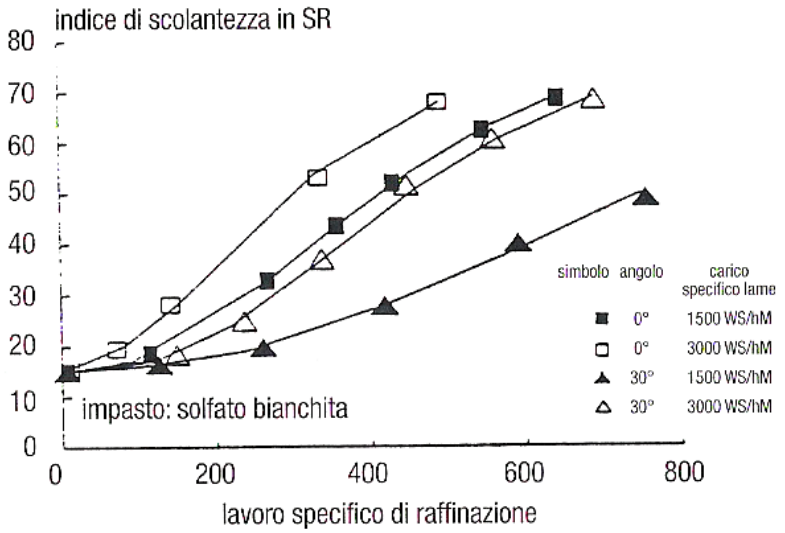


$$B_S = \frac{P_e}{L_S} = \frac{P_e}{Z_r * Z_S * L * n} \text{ Ws/km}$$

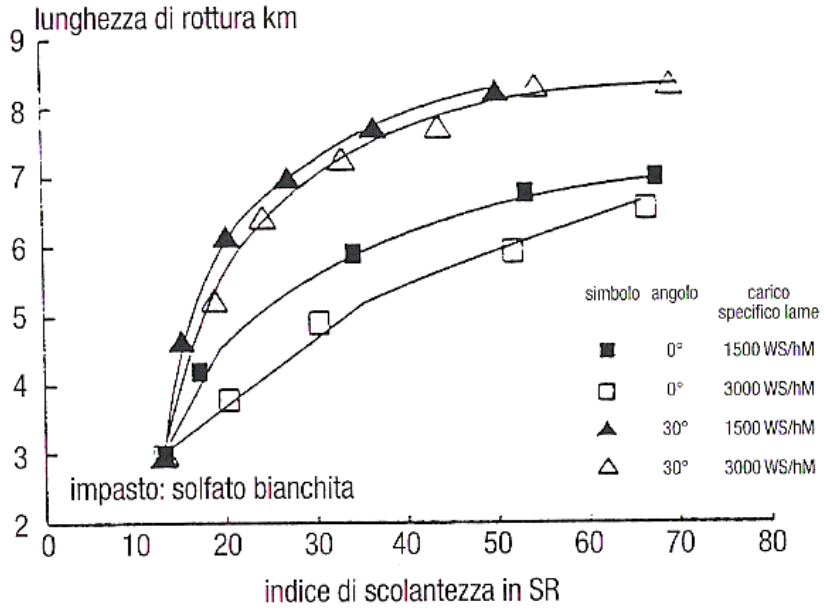
Carico specifico delle lame:
B_S = carico specifico lame
P_e = pura potenza di raffinazione
L_S = lunghezza della lama al secondo
Z_r = numero delle lame rotoriche
Z_S = numero delle lame statoriche
L = lunghezza media delle lame
n = numero di giri

Come indice d'intensità, il carico specifico della lama (Bs) è direttamente correlato al risultato di raffinazione. Un elevato carico specifico della lama (Bs) significa la trasmissione di un'elevata quantità di energia al secondo, ciò che normalmente ha per effetto un raccorciamento delle fibre. Al contrario un carico specifico basso favorisce la defibrillazione della fibra.

Con l'aumento del lavoro specifico della lama (Bs), aumenta l'indice di scolantezza (°SR) ovvero la capacità dell'impasto di farsi attraversare dall'acqua. Il gradiente d'aumento è tanto più elevato, quanto maggiore è il carico specifico della lama.



Un aumento dell'indice di scolantezza non è però generalmente desiderato, durante la formazione del foglio sulla tela.
Relativamente alle resistenze meccaniche statiche (ad esempio: l'indice di rottura) con la raffinazione si ottiene un miglioramento.



Si conferma anche il fatto gia ben noto, che un angolo elevato delle guarniture, ha effetto positivo sul risultato di raffinazione.
L'importanza effettiva del carico specifico delle lame (Bs) consiste però nel fatto che, a parità delle altre condizioni (angolo, materiale, larghezza delle lame, densità e tipo di fibra) il risultato di raffinazione è sempre lo stesso, se si mantiene costante il carico specifico della

lama (Bs). Ciò permette un confronto dei risultati di raffinazione nei diversi raffinatori con guarniture differenti.

GUARNITURE: per quanto riguarda le guarniture, il numero di lame del rotore e dello statore e la loro lunghezza costituiscono i più importanti parametri. Con l'aumento del numero delle lame e/o della loro lunghezza, a parità di numero di giri, aumenta la lunghezza al secondo (Ls).
Per un dato carico di potenza (Pe), si riduce cosi il carico specifico della lama (Bs), cioè si ha come risultato una raffinazione più delicata (fibrillante).
Se invece è dato un costante carico specifico di lama (Bs), si può, con guarniture che hanno un maggiore "Ls", aumentare la trasmissione d'energia "Pe". Se però nella prassi si parte da un tipo di guarnitura, allora esistono due parametri per il raggiungimento di un determinato carico specifico di lama (Bs): la potenza pura assorbita (Pe) ed il numero di giri del rotore (n).
Con il numero dei giri (n) si può influenzare in modo preciso la lunghezza al secondo "Ls" (lunghezza totale degli spigoli delle lame che ogni secondo si sovrappongono e quindi agiscono sulla fibra), e di conseguenza il carico specifico di lama (Bs):

$$Bs = \frac{Pe}{Ls} = \frac{Pe}{Zr * Zs * L * n} \quad [Ws/km]$$

Per una buona fibrillazione (si otterrà con bassi valori di Bs) si utilizzano velocità periferiche di 20-25 m/s.
Con il numero dei giri al secondo (n) dunque si può pilotare il risultato della raffinazione, ovvero: aumentando tale parametro, di conseguenza aumenterà anche "Ls" e come è possibile intuire dalla formula precedente il carico specifico di lama "Bs" tenderà a diminuire cosicché prevarrà l'effetto di fibrillazione, se invece si andrà a diminuire il numero di giri (n) "Ls" e "Bs" si comporteranno in maniera contraria ed il risultato sarà il prevalere dell'effetto di taglio.
Da tener presente però che con l'aumento dei giri le perdite idrauliche aumentano esponenzialmente.
Le possibilità di variazione del carico specifico di lama (Bs) e del tempo di raffinazione sono limitate dalla potenza del raffinatore (Pe), ogni **macchina ha un valore di soglia oltre il quale non può andare.**

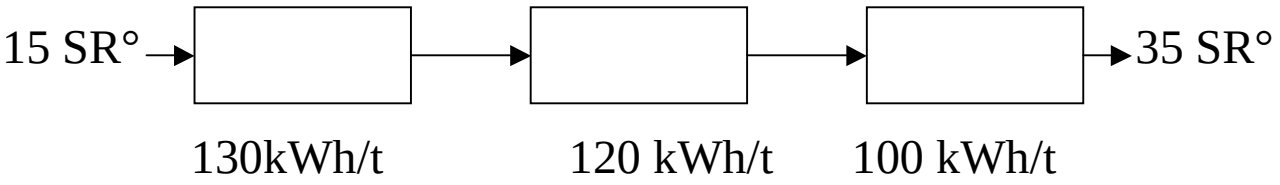
POTENZA APPLICATA: la potenza massima applicata deve essere di circa il 10-20% inferiore al valore limite di carico. Oltre che a rappresentare una sicurezza, evita anche un danneggiamento delle lame delle guarniture per contatto diretto.

Il limite di carico dipende, in prima linea, dalla lunghezza delle fibre e dal grado di raffinazione che si vuole ottenere. Fibre di cellulosa di conifere producono uno strato più forte rispetto alle cellulose di latifoglie e permettono quindi un più elevato carico applicabile. Proseguendo nella raffinazione, lo strato formatosi tra le guarniture si andrà ad indebolire facendo quindi ridurre il limite di carico della macchina.
Con l'aumento della densità o dell'angolo delle lame poste sulle guarniture, **si può aumentare il limite di carico**, ovvero il limite massimo di potenza (Pe) da applicare al raffinatore in quanto si andrà ad ispessire lo strato fibroso che si verrà a formare tra i dischi dello stresso. Ciò consente un risparmio d'energia.

N.B. Maggiore sarà l'angolo del cono, prevarrà l'effetto fibrillante su quello di taglio poiché lo strato di fibre posto tra le lame delle guarniture diverrà più compatto e spesso. I raffinatori conici a basso angolo prevalentemente, TAGLIANO LA FIBRA mentre i raffinatori conici a grand'angolo e quelli a disco prevalentemente FIBRILLANO LA FIBRA.

4.8 SUDDIVISIONE DELL'ENERGIA IN INGRESSO PER OGNI SINGOLO STADIO

In successivi stadi di raffinazione l'energia d'ingresso dovrebbe progressivamente diminuire, a causa del progressivo collasso delle fibre. Fibre vergini hanno un consumo più elevato d'energia rispetto ad altre gia lavorate una o più volte. In questo modo il risultato di raffinazione può essere ottimizzato, evitando inoltre un contatto indesiderato fra le guarniture poste sui dischi di statore e rotore. Quanto detto inizialmente risulta ovviamente valido se la dimensione del raffinatore, il tipo di configurazione e la velocità di rotazione sono mantenuti gli stessi nella linea di raffinazione.



4.9 CAMPI D'APPLICAZIONE DEI DIVERSI TIPI DI RAFFINATORI

La scelta fra i diversi tipi di raffinatori si basa soprattutto secondo il campo di potenza richiesta. Nel caso dei raffinatori a basso angolo, questa si situa al massimo fino a 200kW per problemi costruttivi e di produzione.
Nel campo compreso fra 200-400 kW, i raffinatori a grand'angolo sono i più vantaggiosi. Hanno costi di guarniture bassi, a causa dell'angolo del cono possono essere costruiti in modo compatto, offrono anche vantaggi economici nelle potenze più elevate. Il limite di potenza si aggira sui 450 kW. Oltre questo limite, le guarniture diventano troppo pesanti e difficili da maneggiare per la sostituzione.
Oltre i 400 kW è pertanto più indicato l'uso di raffinatori a disco. Quest'ultimi sono, relativamente ai costi variabili, altrettanto vantaggiosi come i raffinatori a grand'angolo, ma sono addirittura migliori per quanto riguarda il cambio delle guarniture.
La scelta delle dimensioni del raffinatore dipende molto dal programma di produzione della cartiera. Stabilimenti indirizzati alla produzione di carte di massa (esempio: CARTIERE DEL GARDA, FEDRIGONI ARCO ecc.), prediligono raffinatori di grandi dimensioni, al contrario cartiere con continui cambi di produzione (esempio: FEDRIGONI VARONE ecc.) preferiscono macchine di dimensioni inferiori, molto più dinamiche che bene si pongono a continue fermate e ripartenze.

4.10 CONSIDERAZIONI SUI RAFFINATORI A DISCO E A CONO

La raffinazione eseguita dai raffinatori a dischi per la preparazione della pasta è stata accettata e sperimentata con successo in numerose installazioni. I risultati delle prove effettuate su scala industriale sono oggi disponibili e le differenze tra il raffinatore a dischi ed il raffinatore conico sono cosi significative che l'esitazione a procedere con questo tipo di raffinatore non è più giustificata.
Generalmente si ammette che il raffinatore a dischi promuove, rispetto al raffinatore conico, una migliore idratazione ed un minor taglio, determinando per lo stesso valore di scolantezza, un più pronunciato sviluppo delle resistenze meccaniche senza ridurre eccessivamente l'indice di lacerazione. Questa conclusione non esclude perciò che, utilizzando piastre di configurazione idonea, sia possibile ottenere da un raffinatore a dischi anche una marcata azione di taglio.
Il raffinatore a dischi consente una notevole economia dell'energia assorbita e presenta un minor costo di manutenzione.

Nel confronto tra il raffinatore a dischi ed il raffinatore conico vengono generalmente sottolineati gli aspetti geometrici ed idraulici delle due macchine. Si ammette che nel raffinatore a dischi il parallelismo delle piastre promuove il trattamento uniforme delle fibre e l'usura uniforme delle piastre stesse, mentre nel raffinatore conico la relazione tra i punti posti sulle lame rotanti e su quelle stazionarie non rimane costante; la differenza di velocità tra le due estremità del raffinatore conico produce turbolenza e quindi cavitazione, determinando l'usura non uniforme delle guarniture lungo la linea di contatto.
Si ammette che le perdite idrauliche alla stessa velocità periferica risultano più elevate per il raffinatore conico che per il raffinatore a dischi, quindi il rapporto tra la potenza spesa in lavoro utile sulle fibre e la totale potenza applicata (Pe/Pges) è più favorevole per il raffinatore a dischi.

$$Nr = Pe / Pges$$

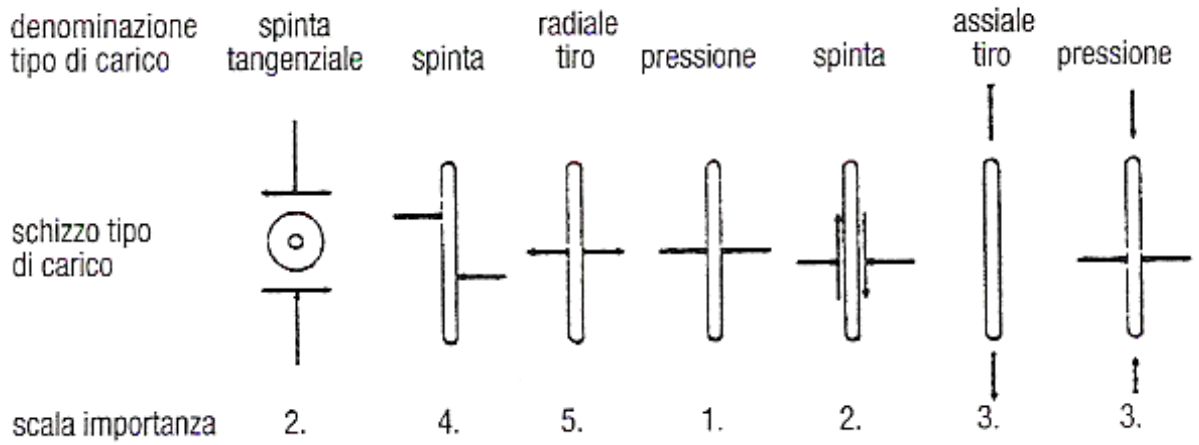
Nr = indice d'efficienza di raffinazione
Pe = potenza spesa in lavoro utile sulle fibre
Pges = totale potenza applicata sulle fibre

Infine si ammette che il raffinatore a dischi è più flessibile del raffinatore conico, nel senso che le moderne tecniche di fonderia e di lavorazione dei semilavorati consentono per la configurazione dei dischi un numero grande di combinazioni, mentre le modalità costruttive del pacco rotorico e statorico del raffinatore conico pongono un limite assai più ristretto alla variabilità di configurazione delle lamature.

5. CHE COSA SUCCEDE DURANTE TALE PROCESSO

5.1 SOLLECITAZIONI FISICHE A CUI LE FIBRE VENGONO SOTTOPOSTE

La raffinazione dell'impasto è una delle fasi più importanti del processo di fabbricazione della carta. Com'è noto, la raffinazione consiste in un'azione meccanica d'attrito sulle fibre, in presenza d'acqua, esercitata da elementi metallici opportunamente configurati. **La raffinazione sottopone le fibre a molteplici sollecitazioni fisiche**, tra cui le più importanti sono quelle di pressione e spinta:



Le fibre vengono sempre raffinate sottoforma di fiocco in presenza d'acqua. Questo significa che esse subiscono un trattamento meccanico, ma una buona parte dell'azione di raffinazione avviene per **contatti "fibra-fibra"** quando l'impasto passa attraverso il raffinatore.
Quando il bordo della barra del rotore si avvicina al bordo della barra dello statore, il fiocco di fibre viene compresso e riceve un severo impatto. Inseguito i bordi scivolano lungo il fiocco e le barre pressano lo stesso contro la loro superficie piana.

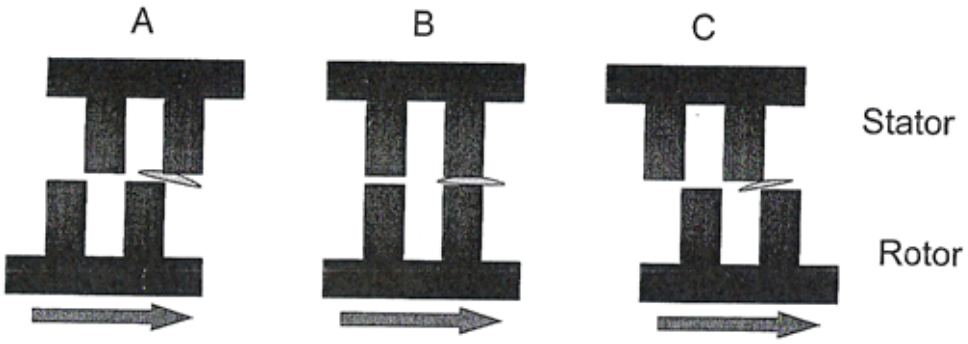
Normalmente la distanza in una raffinazione a bassa consistenza è di 0,1-0,4 mm. **Lo spazio tra le due guarniture** dipende dall'impasto, ed è maggiore se costituito da forti fibre lunghe e minore se composto da deboli fibre corte. La maggior parte dell'azione di raffinazione avviene quando le barre, le lame slittano una sull'altra.

Ci sono sempre numerose fibre che non subiscono alcun tipo di lavorazione durante il processo a causa del fatto che esse sono trattate in fiocchi ed alcune, di conseguenza, sono protette all'interno degli stessi.

Una parte delle fibre inoltre passa attraverso le scanalature che fanno parte delle guarniture presenti sui dischi del raffinatore.

La luce tra i dischi è il fattore principale per regolare il risultato di raffinazione.

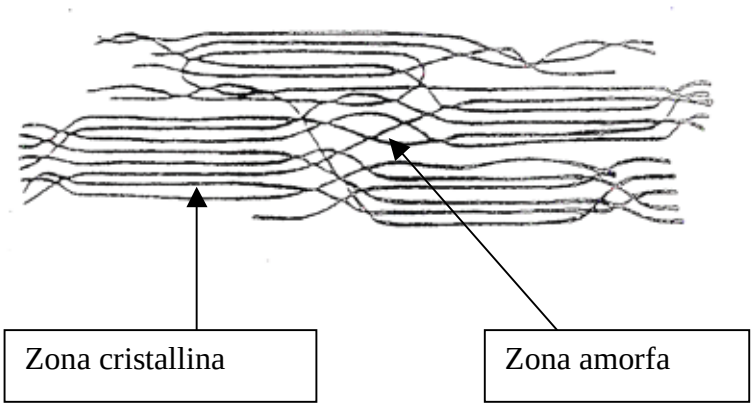
Nella figura seguente è possibile notare quanto appena detto, ovvero le posizioni che la fibra, il fiocco di fibre, assume durante il passaggio fra le lame poste sulle guarniture di statore e rotore.

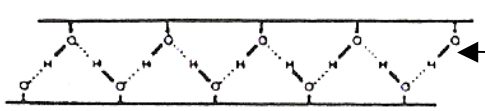


5.2 PRE-IDRATAZIONE DELLE FIBRE

In questo processo di lavorazione della fibra la **pre-idratazione** gioca un ruolo importante poiché **favorisce la raffinazione**.

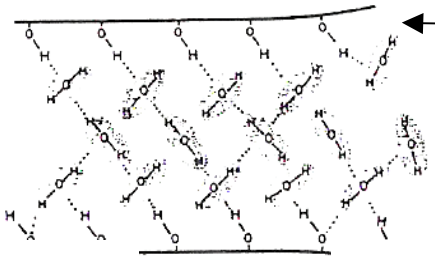
Con la fissazione di molecole d'acqua nella zona amorfa della fibra si possono sciogliere i ponti idrogeno o almeno renderli più deboli.





legami a ponti di idrogeno
fra due molecole di cellulosa

Legame a ponte idrogeno



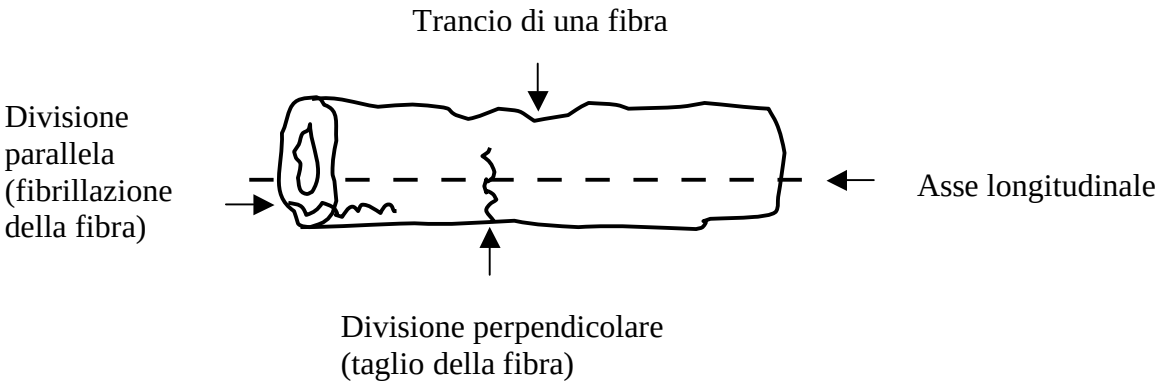
rottura dei legami a ponti di idrogeno
fra due molecole di cellulosa per inserimento
di molecole d'acqua

Pre-idratazione delle fibre, le molecole d'H2O indeboliscono i legami a ponte idrogeno posti tra le fibre rendendole più idonee a subire il processo della raffinazione.

L'acqua che entra nelle fibre sia per tensione superficiale che per effetto dei legami chimico-fisici (le molecole d'acqua hanno affinità con i gruppi liberi "OH" posti sulla superficie delle fibre) in un certo qual modo dilata la struttura della fibra amorfa, aumentandone la resistenza tra le varie molecole ed in più esercita una specie di lubrificazione che permette lo scorrimento tra fibrilla e fibrilla.
La ritenzione d'acqua serve per valutare la capacità d'idratazione della fibra ed è un indice dei punti di legame attivi (gruppi liberi "OH" posti sulle fibre) della fibra stessa.
Le fibre pre-idratate, data la loro elevata flessibilità, offrono una maggiore resistenza alla riduzione di lunghezza durante la raffinazione (meno fini) e favoriscono la fibrillazione (interna ed esterna). A sua volta la raffinazione man mano che procede aumenta l'affinità delle fibre verso l'acqua poiché le molecole d'acqua si legano mediante legami ponti idrogeno ai gruppi idrofili liberi "OH" (affini all'acqua) disponibili sulla superficie delle fibre che risultano tanto più numerosi quanto più è spinta la fibrillazione e quindi la raffinazione.
N.B. A parità di condizioni di raffinazione, una pasta pre-idratata mostra un aumento della resistenza del 15% rispetto alla stessa pasta non pre-idratata.

5.3 EFFETTI DELLA RAFFINAZIONE SULLE FIBRE

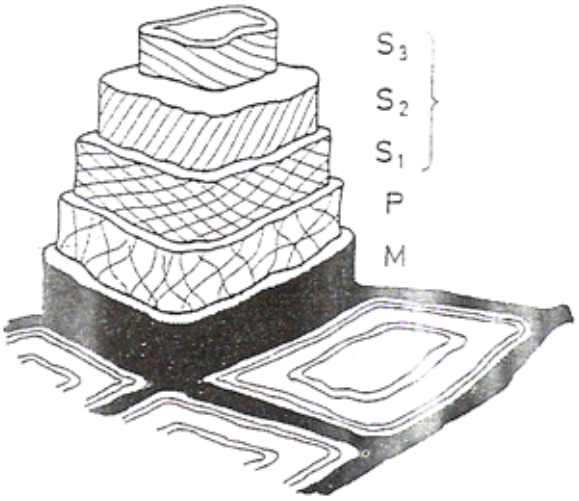
Il processo della raffinazione è una combinazione di forze di spinta e trazione, come conseguenza ad esse si otterrà una divisione della fibra perpendicolare o parallela al suo asse "lungo" (longitudinale):



L'effetto esercitato sulle fibre dalla raffinazione può essere suddiviso in tre gruppi, in tre azioni principali durante le quali le fibre subiranno alcuni processi. Le tre azioni esercitate dalla raffinazione sulle fibre sono: l'AZIONE DI TAGLIO, l'AZIONE DI FIBRILLAZIONE e l'AZIONE D'APERTURA.

La lavorazione della fibra inizia con la parziale o totale eliminazione della parete primaria (P) **e della lamella mediana** (M), le quali non sono altro che due strati di protezione, non rigonfiabili e fibrillabili in base alle loro proprietà morfologiche, della parete secondaria (S1) con la propria struttura di fibrille. Si rende perciò necessario creare dei punti di contatto, questo è possibile trasformando le fibre in filamenti pelosi: in un primo momento, per azione meccanica, si andranno a rompere, a strappare i due strati più esterni della fibra (P e M), e **successivamente mediante un'azione di fibrillazione** (interna ed esterna) **si andranno a generare delle fibrille semilibere nello strato S1** che, unite per un capo alla fibra stessa, hanno l'altro capo libero e proteso verso l'esterno in modo da potersi sovrapporre e legare con analoghe fibrille di fibre vicine per formare una fitta maglia la quale, in strati sovrapposti, andrà a costituire il foglio.

Nella rappresentazione seguente è possibile notare le varie parti che compongono la fibra con la sigla ad esse associata:



L'effetto esercitato sulle fibre dalla raffinazione, come gia detto in precedenza, può essere suddiviso in tre azioni durante le quali le fibre subiranno i seguenti processi:

-rimozione della parete primaria.

La lamella mediana (M) e la parete primaria (P) rappresentano le pareti più esterne della fibra, esse sono molto compatte, praticamente lisce (a causa dell'alta percentuale di lignina presente in esse e della scarsa presenza d'emicellulosa) e difficilmente fibrillabili concedendo cosi

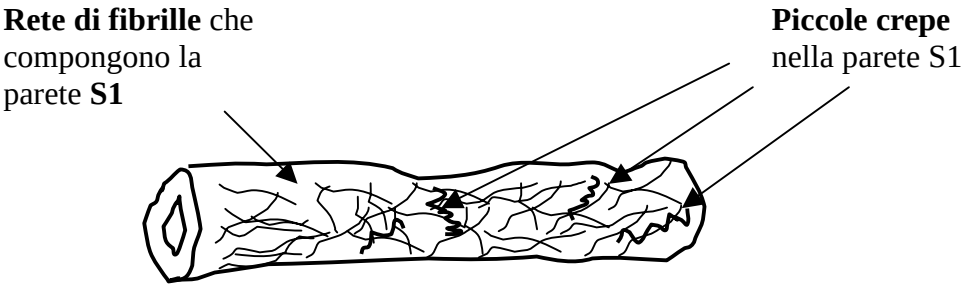
scarse possibilità di legame tra una fibra e l'altra per formare il foglio. Queste pareti, inoltre, vengono eliminate perché impediscono il rigonfiamento delle fibre a causa della loro elevata rigidità. La rimozione avviene per dissoluzione chimica o per azione meccanica.
Una volta che la lamella mediana e la parete primaria sono state rimosse, si ha diretto accesso alla parete secondaria e, più specificatamente, allo strato S1 con la propria struttura di fibrille. Questa parete contiene emicellulosa dal potere legante e cellulosa, che, a seguito della loro struttura chimica, sono determinanti per la formazione di legami a ponti idrogeno durante il processo.
- delaminazione e rigonfiamento della fibra (fibrillazione interna dello strato S3), promovendone la flessibilità ed aumentando l'area di legame della stessa.
L'obbiettivo della raffinazione è quello di allentare gli strati interni S1, S2 e soprattutto S3 mediante compressione meccanica della fibra. L'interconnessione tra le fibrille sarà separata aumentando cosi la flessibilità della fibra senza diminuire la sua resistenza.
Questo allentamento delle fibrille nei tre strati, crea dei vuoti e ciò aumenta la superficie esterna della fibra.
-fibrillazione esterna ed interna dello strato S1 promovendo flessibilità e capacità di legame della fibra.
Una divisione parallela all'asse longitudinale della fibra la causerà: un'AZIONE DI FIBRILLAZIONE (raffinazione a schiacciamento).
Nelle figure seguenti è possibile notare la divisione parallela all'asse longitudinale della fibra causata dall'azione di fibrillazione ed il modo in cui essa viene effettuata (raffinazione a schiacciamento).

L'"AZIONE DI FIBRILLAZIONE" è una "procedura" complessa che comprende la **rottura delle fibre secondo piani paralleli al loro asse longitudinale** (fibrillazione

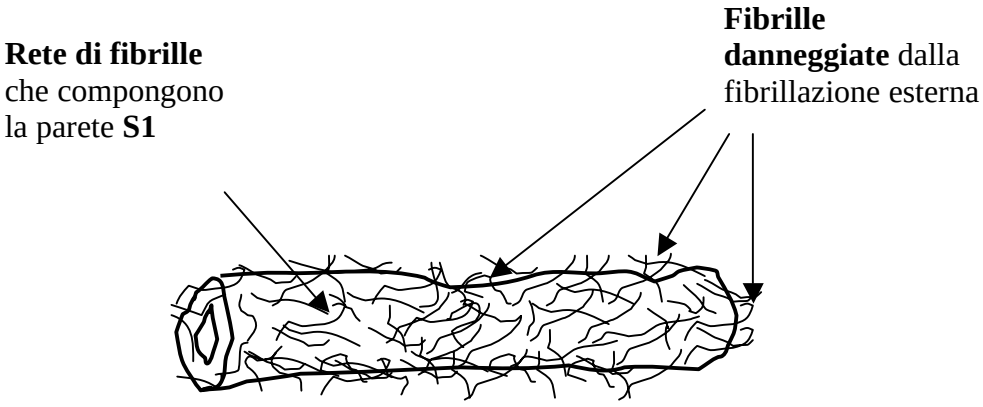
INTERNA), ed il **danneggiamento delle pareti esterne "M, P e S1",** delle fibre stesse, con formazione di fibrille (fibrillazione ESTERNA).
Si creano cosi fibre lunghe, flessibili e fibrillate, le quali daranno origine ad un foglio molto resistente ma poco voluminoso.
Questo processo di fibrillazione, durante il quale è interessata la parete primaria delle fibre principalmente, avviene ad una densità della pasta del 3-7%.
Con la fibrillazione delle fibre in funzione della durata del processo di raffinazione e del contenuto d'emicellulosa, aumenta il potere di rigonfiamento delle stesse.

La fibrillazione si divide in:

-FIBRILLAZIONE INTERNA, vengono a crearsi delle piccole crepe nell'intreccio di fibrille che formano la parete secondaria "S1", di conseguenza aumenterà l'idratazione, l'assorbimento, la flessibilità, la collassabilità e la plasticità della fibra.

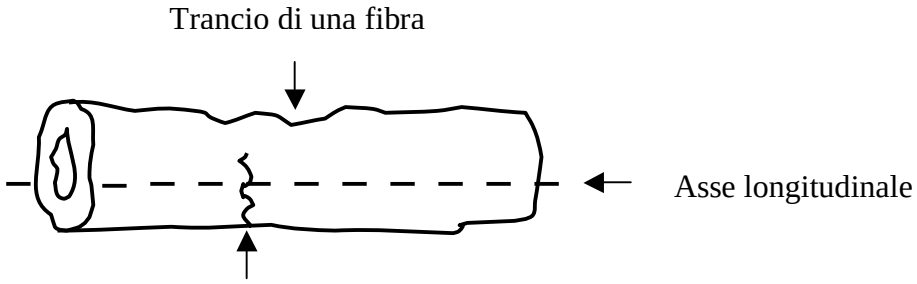


-FIBRILLAZIONE ESTERNA, sulla superficie della fibra, a causa dello schiacciamento subito, si vengono a distaccare e rompere delle fibrille nello strato "S1". La superficie delle fibre diviene "pelosa". In questo modo si va ad aumentare, a massimizzare la superficie esterna delle fibre e si sviluppa la maggior parte della capacità di legame meccanica (per l'aumento dei punti di contatto tra fibre) e chimica (per l'aumento dell'anionicità delle fibre) delle stesse.

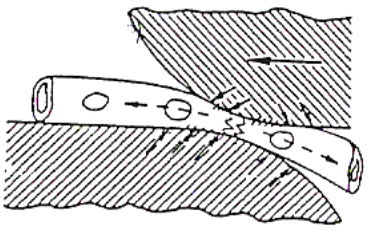


sfibrillatura
esterna

-taglio delle fibre che riduce la lunghezza e le proprietà di resistenza delle stesse.
Una divisione (rottura) perpendicolare all'asse longitudinale della fibra, la causerà: un'AZIONE DI TAGLIO (raffinazione a taglio).
Nelle figure seguenti è possibile notare la divisione perpendicolare all'asse longitudinale della fibra causata dall'azione di taglio ed il modo in cui essa viene effettuata (raffinazione a taglio).



Divisione **perpendicolare**
(taglio della fibra)



raffinazione a taglio

L'"AZIONE DI TAGLIO" provoca **la rottura delle fibre secondo i piani perpendicolari al loro asse longitudinale**, e, pertanto, ogni fibra genera due o più fibre aventi lo stesso diametro ma una lunghezza inferiore rispetto a quella originaria. L'azione di taglio nella

raffinazione avviene quando il lavoro, l'azione delle barre è troppo intensa e supera la resistenza meccanica della fibra. Si creano cosi fibre corte e rigide che daranno origine ad un foglio voluminoso, ma con basse resistenze meccaniche a causa della debole capacità di legame che hanno le une con le altre (una fibra "corta" ha un minor numero di punti di contatto rispetto ad una di maggiori dimensioni, ne consegue che un foglio formato da fibre "corte" possiede delle resistenze meccaniche inferiori rispetto ad uno creato con fibre "lunghe"). In una raffinazione normale quest'azione dovrebbe essere evitata il più possibile.

-creazione di fini dai differenti strati.

Durante il processo della RAFFINAZIONE oltre che ad apportare una modifica fisica (superficiale ed interna) significativa alle fibre in gioco, come sopra evidenziato, si ha la comparsa di altri "minuscoli" elementi definiti con il termine di: "FINI"; essi non sono altro che dei **microscopici frammenti di fibre staccatisi dalle stesse a causa delle ripetute sollecitazioni a cui sono sottoposte durante l'azione delle lame**, durante il processo.

La comparsa dei "fini" avviene quasi esclusivamente per due ragioni:

Durante l'azione di taglio, quando le fibre vengono tagliate essi sono generati dal **taglio dei bordi** delle stesse

Durante l'azione di fibrillazione, quando le fibre vengono fibrillate essi sono generati dall'**allentamento delle fibrille**.

I "fini"**,** va detto, sono parte integrante del foglio, hanno il vantaggio di renderlo più uniforme ed inoltre un elevato contenuto di essi porta ad una diminuzione della lacerazione ma, nel medesimo tempo apportano, recano problemi di ritenzione e diminuiscono la porosità del foglio

L'"AZIONE d'APERTURA", è l'ultima, ma non meno importante, tipologia d'azione esercitata sulle fibre dalla raffinazione, essa rappresenta una combinazione delle due azioni precedenti (TAGLIO e FIBRILLAZIONE). Sebbene non ci sia una netta separazione tra le fasi di taglio e di fibrillazione, è possibile accentuare l'una o l'altra agendo sui parametri di raffinazione:

L**'intensità di raffinazione**, quando sufficientemente alta prevale l'azione di taglio, quando discretamente bassa prevale la fibrillazione;

La fibrillazione, essa può essere incrementata aumentando il numero o la lunghezza delle lame o la velocità del raffinatore;

La densità dell'impasto, un aumento di essa comporta un corrispettivo aumento dei contatti fibra-fibra favorendo cosi la fibrillazione, una diminuzione favorisce l'azione di taglio. La consistenza è spesso determinata da altri processi e non può essere variata. La consistenza raccomandata per la raffinazione della fibra lunga è nell'intervallo tra 3,5% e 4,5% di secco, mentre per la fibra corta si aggira attorno a 4,5% e 5%. A più basse consistenze di raffinazione le fibre incominciano ad essere tagliate, e ciò accade perché v'è un letto di fibre meno voluminoso tra le barre del raffinatore, in altre parole meno contatti fibra-fibra più contatti fibra-lame.

6. PARAMETRI CHE INFLUISCONO SUL RISULTATO DI RAFFINAZIONE

6.1 INFLUENZA DELL'IMPASTO (tipi di fibre)

Il grado di raffinazione dell'impasto deve essere contenuto entro un certo limite imposto dalle caratteristiche finali della pasta che si vogliono ottenere; andando a raffinare troppo o troppo poco si otterranno miglioramenti d'alcune caratteristiche a scapito di altre che peggioreranno o tutt'al più rimarranno inalterate. Da ciò è possibile intuire come **la raffinazione sia un processo soggettivo, da applicare in maniere differenti al variare degl'impasti, che dovrebbe pertanto essere ottimizzato in funzione del tipo di risultato finale desiderato**.

Cellulose di conifere e di latifoglie vengono normalmente impiegate insieme nella produzione della carta, poiché le loro caratteristiche si integrano positivamente. Le **cellulose di conifere** sono di fibra lunga, con lunghezze comprese fra 3-4mm.A causa di questa lunghezza e della loro capacità di compenetrarsi, esse producono **resistenze dinamiche e statiche molto buone**.

Le **cellulose di latifoglia** hanno lunghezze di circa 1mm e **favoriscono**, pertanto, **una buona formazione con rapida disidratazione**.

La giusta scelta delle mezze paste e un'adeguata raffinazione hanno una grande influenza sulla qualità del prodotto finale.

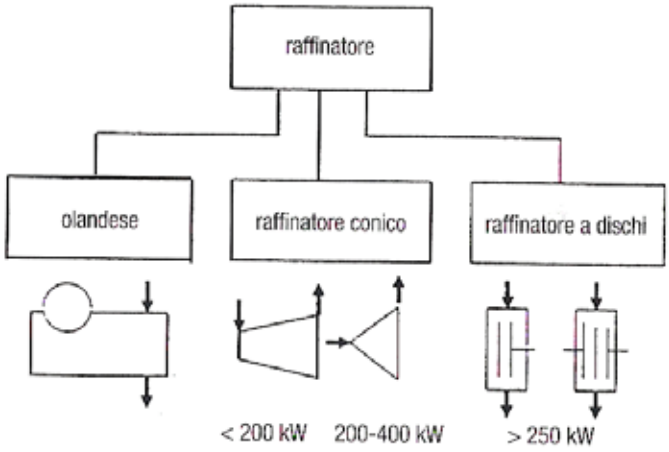
6.2 INFLUENZA DEL RAFFINATORE

Importanti parametri costruttivi del raffinatore sono il tipo, la dimensione e anche il numero dei giri. Strettamente legata alla dimensione, si colloca la potenza installata del motore.

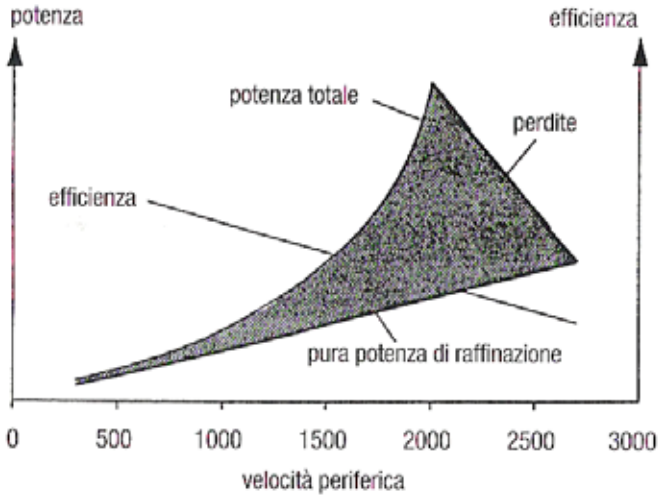
Al posto del numero di giri, spesso si utilizza la velocità periferica dello statore e del rotore.

Per quanto riguarda il tipo di costruzione, a parte altri aspetti, i raffinatori si distinguono in prima linea fra discontinui (pile olandesi) e continui (raffinatori conici e a dischi).

Nella figura seguente sono rappresentate le macchine finora realizzate, con indicate le potenze installate.



Il numero dei giri, le guarniture del rotore e dello statore, influenzano in modo determinante le perdite d'energia cioè quella parte di potenza che non viene trasmessa all'impasto durante la raffinazione. Queste perdite d'energia, definite anche come perdite idrauliche, risultano dall'efficienza di pompaggio del raffinatore, dalla turbolenza della sospensione fibrosa nelle scanalature delle guarniture e dall'attrito fra rotore e impasto.
Nella figura seguente è riportata graficamente la relazione fra perdita di potenza e velocità periferica. Si vede come, a causa dell'aumento esponenziale della perdita, l'efficienza del raffinatore diminuisce con la velocità periferica.



6.3 INFLUENZA DELLE GUARNITURE

Esistono molti parametri che influenzano il risultato di raffinazione, com'è possibile notare nella seguente figura:

Influenza della pasta da raffinare:

- tipo di fibra e qualità;
- tipo di processo di cottura;
- grado di cottura;
- tipo di sbianca;
- grado di sbianca.

Influenza del raffinatore:

- tipo;
- dimensione (potenza installata);
- guarniture:
  - disegno della lama;
  - numero delle lame;
  - lunghezza delle lame;
  - larghezza delle lame;
  - spigolo delle lame;
  - angolo delle lame;
- materiale delle lame;
- rugosità delle lame:
  - sezione delle scanalature;
  - ponte fra le scanalature;
  - numero di giri (velocità periferica).

Influenza del processo:

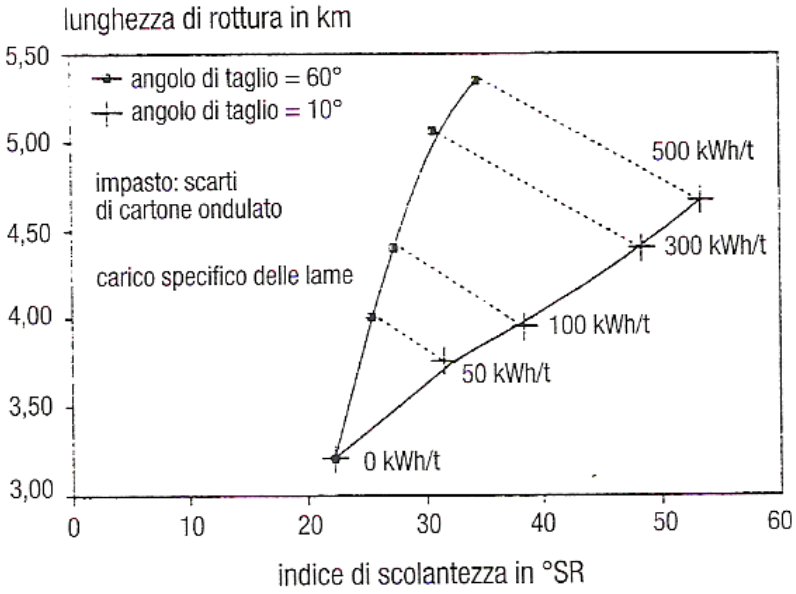
- energia di raffinazione;
- apertura delle guarniture;
- portata;
- densità;
- numero di giri;
- valore pH;
- idratazione delle fibre;
- temperatura;
- aggiunta di prodotti chimici.

Il parametro che però maggiormente caratterizza il prodotto finale è la guarnitura statorica o rotorica, del disco o del cono, con le proprie caratteristiche; asseconda del tipo della guarnitura, della lunghezza e larghezza delle sue lame ecc., si otterrà un risultato finale differente, ad esempio: **spigoli arrotondati delle lame** delle guarniture favoriscono una raffinazione fibrillante, al contrario delle lame a **spigoli vivi** favoriranno più un effetto di taglio.

MATERIALI DELLE LAME: come materiali per le lame delle guarniture si usano oggi, per lo più **acciai legati o lava di basalto**. La lava di basalto favorisce una raffinazione "ingrassante", al contrario quella delle lame d'acciaio, in funzione dell'angolo e dello spigolo, è più del tipo "smagrante" (taglio delle fibre). Le lame di lega di carbonio o bronzo non vengono più utilizzate.

ANGOLO DELLE LAME: una notevole influenza sul risultato di raffinazione è data dall'angolo delle lame, cioè dall'angolo di taglio che deriva dalla sovrapposizione dello statore con il rotore. Quest'angolo viene spesso indicato, nella letteratura tecnica, per la valutazione del risultato di raffinazione. Un **elevato angolo** di taglio favorisce **l'ingrassamento della fibra** (fibrillazione della fibra), contrariamente un **basso angolo** ha un **effetto smagrante di taglio**. Per ridurre il taglio delle fibre vengono, per lo più utilizzati angoli fra 60-70°.

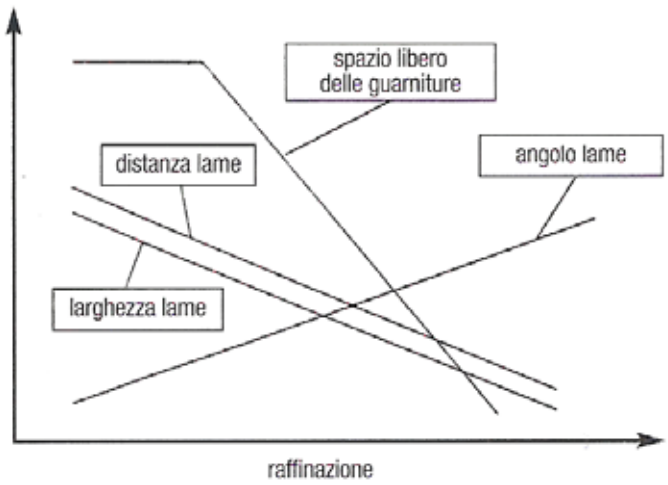
La figura seguente mostra l'influenza dell'angolo di taglio sul risultato di raffinazione, in base alla resistenza alla trazione e alla resistenza alla disidratazione d'un impasto riciclato.



Si vede come l'aumento dell'angolo da 10 a 60° produce un aumento della resistenza di oltre 1000m, a parità d'indice di scolantezza di 30 °SR. Contemporaneamente si ottiene un risparmio di energia di 250 kWh/t.

Per quanto riguarda i parametri relativi al NUMERO DELLE LAME e alla loro LUNGHEZZA, tornare al sottotitolo "INFLUENZA DELL'INTENSITA' DI RAFFINAZIONE" (seconda parte).

Nella seguente figura è rappresentata l'influenza dei più importanti parametri delle guarniture sul risultato di raffinazione.

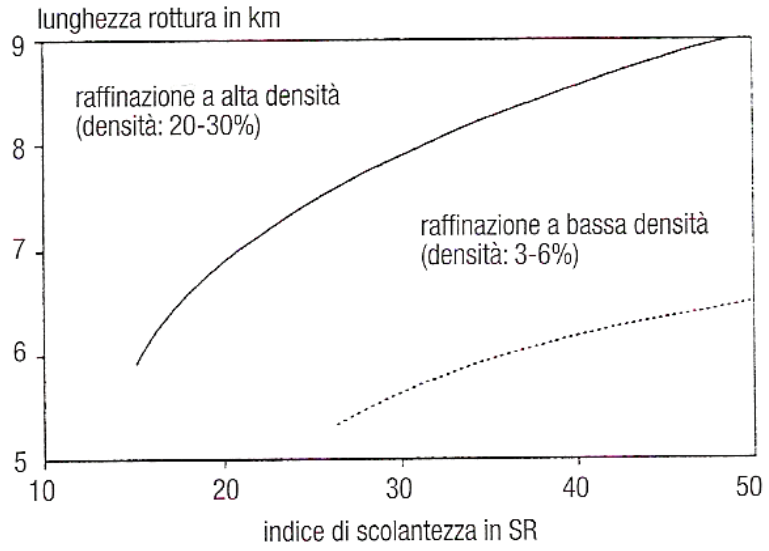


Per la scelta delle guarniture bisogna tener conto del risultato di raffinazione che si vorrà ottenere, e quindi ottimizzare di conseguenza i parametri.

6.4 INFLUENZA DELLA DENSITÀ DELL'IMPASTO

Per quanto riguarda la densità di raffinazione oggi si distingue in:
- **densità bassa 3-6%** (Low consistencs refining "LC")
- **densità elevata 20-30%** (High consistence refining "HC")

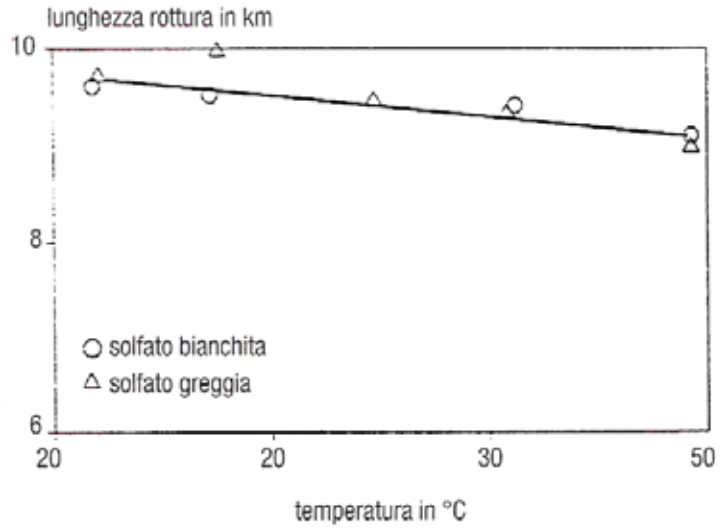
nella figura seguente è rappresentata l'influenza della densità sullo sviluppo della resistenza alla trazione.



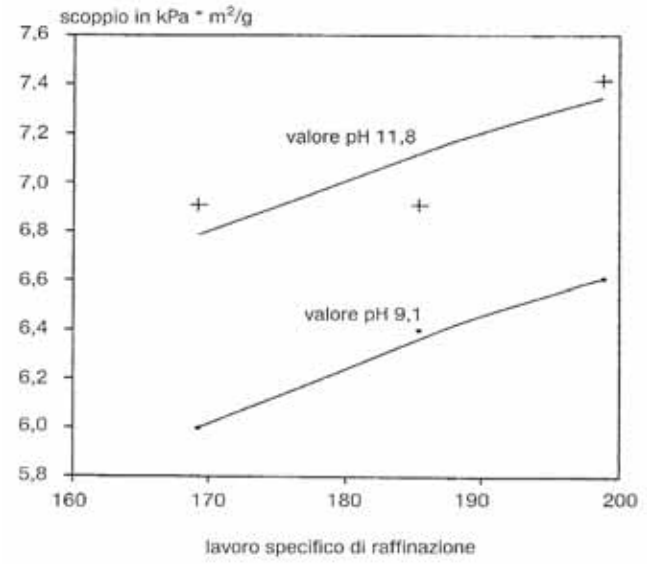
Con la raffinazione ad alta densità, in generale, si ottengono migliori caratteristiche di resistenza (maggiore sarà l'effetto di fibrillazione rispetto a quello di taglio). Il fabbisogno d'energia per raggiungere lo stesso grado di scolantezza, è però in questo caso circa 2,5 volte il fabbisogno per la raffinazione a bassa densità.

6.5 INFLUENZA DELLA TEMPERATURA, pH, PRESSIONE E TEMPO DI BAGNATURA

Una temperatura troppo elevata, durante la raffinazione, **scioglie le emicellulose** presenti soprattutto nella parete secondaria (S1, S2 e S3) delle fibre ed inoltre **chiude la superficie** delle stesse esercitando un'influenza negativa sulle proprietà di resistenza.
L'influenza della temperatura nella raffinazione è rappresentata nella figura seguente, anche qui in relazione alla resistenza alla trazione.



Si vede come l'aumento di temperatura, da 20 a 50°C ha per effetto, come sopra menzionato, una riduzione se pur minima della resistenza alla trazione.
Il processo di raffinazione (consiste nel passaggio da fibre a cui viene data energia, alle medesime raffinate ma aumentate di temperatura) quindi produce calore, per tentare di favorirlo, facilitarlo sarebbe necessario toglierne una parte di quest'energia, di questo calore e portarlo in tal modo ad una **temperatura ottimale di circa 40°C**. Cosi facendo si limiterebbe al massimo la riduzione della resistenza alla trazione delle fibre.
Il motivo di questa riduzione della resistenza a trazione delle fibre, con l'aumento del calore durante la raffinazione, è da ricercare nella minore idratazione delle fibre stesse.
Un accrescimento, non eccessivamente significativo**, del pH**, durante la raffinazione, **ha un effetto positivo sull'idratazione delle fibre** e perciò anche sullo sviluppo delle caratteristiche di resistenza. Nella figura seguente è possibile notare quanto appena detto, analizzando ad esempio l'influenza del pH di raffinazione sulla resistenza allo scoppio:



Il valore di pH dovrebbe rimanere prossimo alla neutralità (pH = 7), poiché a valori più bassi viene ostacolata la penetrazione dell'acqua nelle fibre dell'impasto, mentre valori di pH molto elevati rendono le fibre troppo scivolose, non idonee quindi a legarsi per formare il foglio di carta.

L'alta pressione, durante la raffinazione, **aiuta l'acqua a penetrare all'interno delle fibre**, ma la pressione è spesso data dal processo; se si desidera avere una produzione più elevata, si cercherà di mantenere una pressione maggiore cosi da avere a disposizione un quantitativo superiore d'impasto pronto per essere utilizzato in macchina. Ciò aumenta anche il costo del pompaggio.
I raffinatori sono tipicamente disegnati per operare ad una pressione superiore a 6 al loro interno.

Un periodo di bagnatura abbastanza lungo assicura che l'acqua abbia il tempo necessario di penetrare all'interno delle fibre rendendole più flessibili.

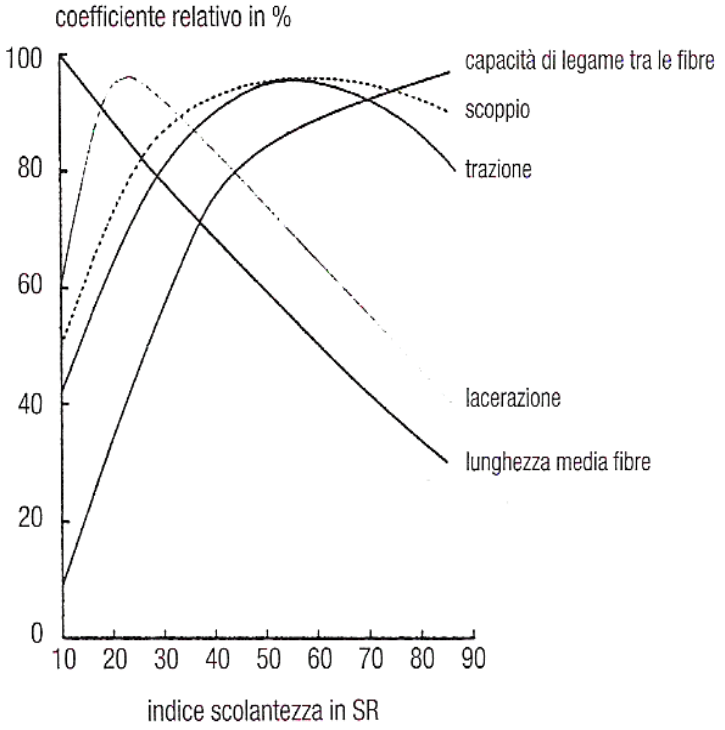
7. EFFETTI DELLA RAFFINAZIONE

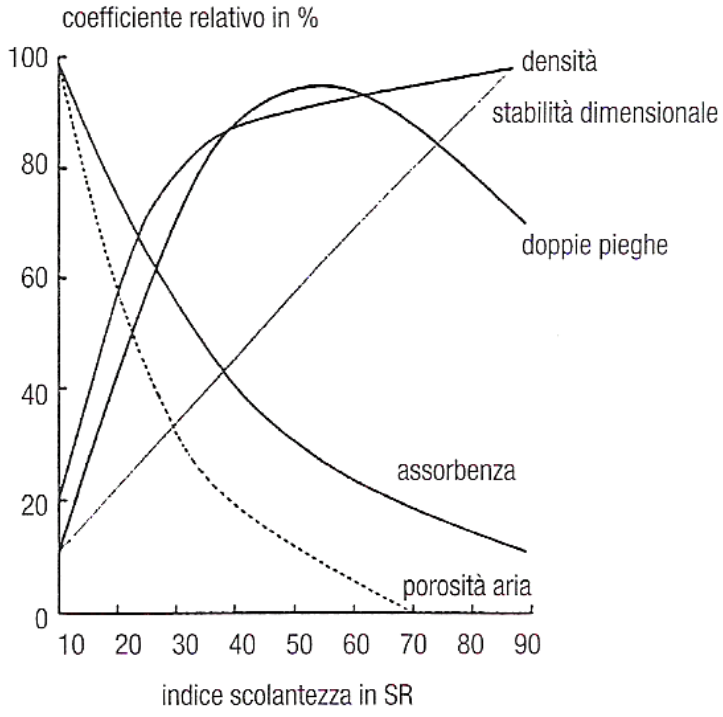
7.1 SVILUPPO DELLE CARATTERISTISCHE ATTRAVERSO LA RAFFINAZIONE

“Le richieste fatte alla raffinazione sono, in parte, in contrasto fra loro” raffinando molto, o al contrario molto poco otterrò un miglioramento d’alcune caratteristiche ma nello stesso tempo un peggioramento di altre; **”la raffinazione quindi va ottimizzata in base alle caratteristiche che dovrà avere il prodotto finito”.**

Le caratteristiche di una sospensione fibrosa quindi vengono differentemente modificate durante la raffinazione. In genere, le cellulose hanno uno stesso trend di sviluppo delle loro proprietà, anche se con una raffinazione mirata i rispettivi effetti possono essere più o meno evidenziati.

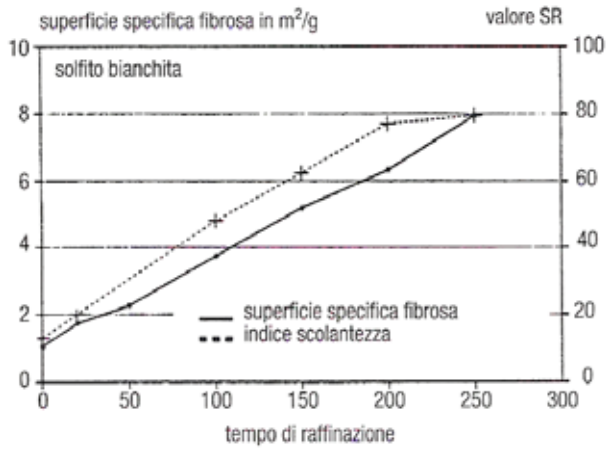
Il trend di sviluppo d’alcune importanti caratteristiche è riportato nelle figure qui di seguito:





A causa della crescente produzione di fini e dell’aumento della superficie delle fibre, durante il processo, la scolantezza viene fortemente influenzata. La sospensione forma, durante la disidratazione sulla tela di macchina, uno spesso strato di fibre, che drena con difficoltà.

La capacità di drenaggio (scolantezza) deve, pertanto, essere tenuta in particolare considerazione accanto allo sviluppo delle altre proprietà, in particolare quelle delle resistenze meccaniche.
Le caratteristiche della carta vengono per lo più definite attraverso le forze di legame fra le fibre e la loro lunghezza. Un'importante premessa per lo sviluppo dei legami interfibrosi è l'aumento considerevole della superficie specifica della fibra, attraverso la raffinazione.
Questo sviluppo è rappresentato nella figura qui di seguito:



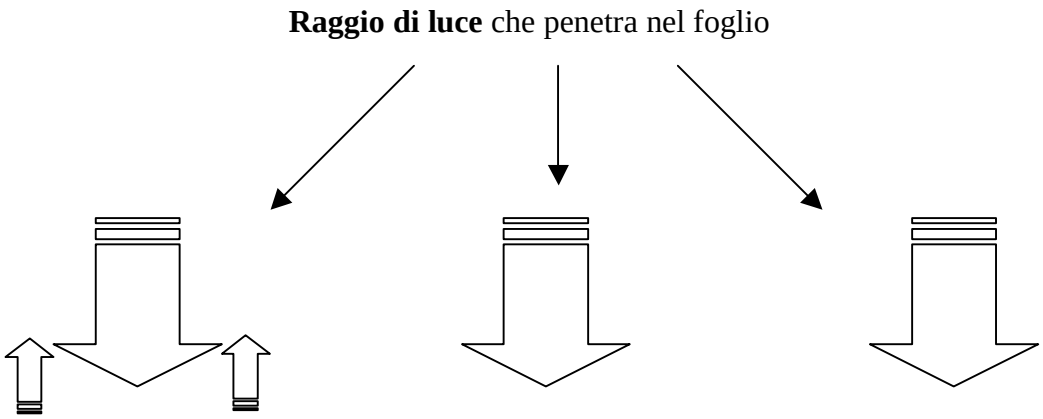
La lunghezza delle fibre è particolarmente importante per le resistenze dinamiche della carta, ne è un esempio la "lacerazione".
LACERAZIONE: caratteristica che sta ad indicare la resistenza della singola fibra. La resistenza alla lacerazione, all'inizio del processo, aumenterà poiché, in principio l'influenza della defibrillazione, con il conseguente aumento delle resistenze statiche del foglio, compenserà il taglio delle fibre.
Dopo aver raggiunto un massimo, l'effetto del taglio delle fibre prevarrà e la resistenza alla lacerazione diminuirà rapidamente con il progredire della lavorazione. Questa svolta di processo si presenterà nel livello inferiore di raffinazione e cioè fra 20-30°SR.
Per quanto riguarda il legame fra le fibre, da questo dipendono soprattutto le resistenze statistiche, ne sono un esempio: "la lunghezza di rottura e le doppie pieghe".
LUNGHEZZA DI ROTTURA: questa caratteristica sta ad indicare il carico massimo che si potrà applicare, ad una "striscetta" di carta, larga un cm, prima che essa si spezzi. (In realtà questa prova servirebbe per conoscere quanti metri, della sua stessa carta, la "striscetta" larga un cm riuscirebbe a sostenere prima di rompersi.)
Chiaramente più le fibre vengono raffinate, maggiori saranno i punti di contatto che esse sfrutteranno per legarsi le une con le altre, di conseguenza le resistenze statistiche miglioreranno fin dall'inizio del processo e raggiungeranno il loro massimo soltanto ad elevati gradi di raffinazione, compresi fra 70-80°SR.

Successivamente si verificherà un peggioramento delle resistenze statiche, poiché l'azione di taglio prevarrà su quella di fibrillazione, ovvero la riduzione della lunghezza delle fibre non verrà più compensata dalla formazione di nuove capacità di legame.
Accanto all'influenza sulle proprietà di resistenza, la raffinazione ha effetto anche su altre caratteristiche. Asseconda del tipo d'utilizzo della carta, quest'influenza si potrà anche rilevare in modo negativo. Cosi, con l'aumento della raffinazione, si ridurrà la porosità della carta causando quindi un peggioramento dell'assorbimento dell'inchiostro da stampa. Analogamente si abbasserà la permeabilità all'aria.

DOPPIE PIEGHE: questa caratteristica sta ad indicare il numero massimo di pieghe che un medesimo punto del foglio potrà sopportare.
Il comportamento di quest'effetto della raffinazione è simile a quello precedente dello scoppio e della lunghezza di rottura, com'è possibile osservare dalle caratteristiche dei grafici posti ad inizio capitolo.

L'opacità si ridurrà con l'aumento della raffinazione, cosa che risulterà negativa per le carte da stampa. Al contrario, per le carte trasparenti ciò sarà una condizione necessaria.

OPACITÀ: caratteristica che sta ad indicare la capacità del foglio di disperdere, diffondere i raggi di luce che lo attraversano.
Più si va a raffinare un impasto più l'opacità tenderà a diminuire, ovvero: all'aumentare del grado di raffinazione, crescerà di conseguenza la superficie delle fibre, a causa dei processi che subiranno gia citati in precedenza (fibrillazione esterna, interna ecc.), per forza di cose aumenteranno i punti di contatto ("pelucchi") ed i gruppi funzionali liberi "OH" presenti su esse, cosicché migliore sarà la capacità delle fibre stesse di assorbire acqua; acqua e fibra daranno origine ad un corpo omogeneo con identico peso specifico ed indice di rifrazione (1,3); ne conseguirà che la luce che attraverserà il foglio ultimato non verrà deviata, da ciò è facilmente intuibile che l'opacità diminuirà e la carta risulterà più trasparente. Meno si procede nella raffinazione dell'impasto, ragionando contrariamente a quanto appena sostenuto, l'opacità sarà maggiore e la carta risulterà per forza di cose meno trasparente.



L'impasto **NON** raffinato da origine ad un **corpo ETEROGENEO e OPACO** (formato da acqua, fibra, bolle d'aria ecc.) con un **indice di rifrazione instabile**, conseguenza a ciò è la **DISPERSIONE del**

L'impasto **POCO** raffinato da origine ad un **corpo SEMIOMOGENEO** (formato in maggioranza da acqua e fibra), con un **indice di rifrazione piuttosto stabile**, conseguenza a ciò è la **PARZIALE DEVIAZIONE del raggio di luce.**

L'impasto **RAFFINATO** da origine ad un **corpo OMOGENEO e TRASPARENTE** (formato da acqua e fibra) con un **indice di rifrazione STABILE**, conseguenza a ciò è il **quasi TOTALE** passaggio **del raggio di luce** attraverso il foglio.

La ritenzione d'acqua aumenterà [illegible] li raff [illegible] lla scolantezza che per forza di cose, essendo per definizione l'effetto contrario, andrà a diminuire.

RITENZIONE D'ACQUA: capacità dell'impasto di trattenere, di non farsi attraversare dall'acqua. Quest'effetto può essere giudicato osservando la risposta, in gradi Shopper-Riegler (°SR), di uno strumento, definito con il termine: "SCIOPPERIMETRO".

Funzionamento: si va ad inserire una soluzione al 2% di secco, d'acqua e fibra, nello strumento; più il grado di raffinazione dell'impasto in uso sarà elevato (più fini, più punti di contatto fra le fibre), più lo strato che si verrà a formare sulla retina, inserita all'interno dello sciopperimetro, sarà denso e compatto e quindi impermeabile al mezzo acquoso. L'acqua lo trapasserà lentamente, finendo in un apposito contenitore graduato posto sotto lo strumento, cosicché i gradi Shopper-Riegler (°SR) che si andranno a misurare saranno elevati e viceversa.

Come già menzionato in precedenza, proprietà contraria alla ritenzione d'acqua, è la scolantezza.

SCOLANTEZZA: capacità dell'impasto di disidratarsi, di farsi attraversare dall'acqua.

Questa caratteristica, proprietà tenderà a diminuire quanto più il grado di raffinazione sarà elevato poiché il feltro che si verrà a formare sarà più compatto ed impermeabile.