

10° Corso di Tecnologia per Tecnici Cartari
edizione 2002/2003

La Raffinazione

di Caumo Mauro

Scuola Interregionale di Tecnologia per Tecnici Cartari

Via Don G. Minzoni, 50 - 37138 Verona



INDICE

Introduzione

1. Il legno

- 1.1 – La composizione chimica dei legni
- 1.2 – La struttura delle fibre
- 1.3 – Dimensioni delle fibre

2. La raffinazione

- 2.1 – Aspetti teorici della raffinazione
- 2.2 – Modificazione delle fibre
- 2.3 – Importanza dell'omogeneità della raffinazione
- 2.4 – Parametri che influiscono sulla raffinazione
- 2.5 – Influenza dell'impasto
- 2.6 – Influenza del raffinatore
- 2.7 – Influenza delle guarniture
- 2.8 – Influenza della conduzione della raffinazione
- 2.9 – Influenza dell'intensità di raffinazione
- 2.10 – Influenza della densità
- 2.11 – Influenza della temperatura, pH e aggiunta di prodotti chimici

3. Sviluppo delle caratteristiche attraverso la raffinazione

4. I raffinatori

- 4.1 – Pile olandesi
- 4.2 – Raffinatori conici
- 4.3 – Raffinatori a disco
- 4.4 – Campi di applicazioni dei diversi tipi di raffinatori
- 4.5 – Considerazioni sui raffinatori a disco e a cono

INTRODUZIONE

Nella fabbricazione della carta le cellulose fornite dalle fabbriche di cellulosa sono da considerare mezze paste in quanto, prima di essere utilizzate nelle macchine da carta devono essere trasformate in paste finite di raffinazione. Perciò per preparazione di cellulosa per la fabbricazione della carta si intende proprio il necessario trattamento di raffinazione rivolto a tale scopo. Le fibre vengono lavorate meccanicamente tra guarniture in metallo o in basalto pressate l'una contro l'altra, impiegando acqua come mezzo. Si distinguono la raffinazione di taglio e quella di schiacciamento, processi integrati dall'attrito interno della pasta conseguente alle turbolenze.

Questo processo di fibrillazione, durante il quale viene interessata la parete primaria delle fibre, avviene ad una densità della pasta del 3-7%. Con la fibrillazione delle fibre e in funzione della durata del processo di raffinazione e del contenuto di emicellulosa aumenta il potere di rigonfiamento delle fibre. Le caratteristiche di resistenza della strutta del foglio di carta dipendono dai punti meccanici di ancoraggio delle microfibrille e dai legami chimici dell'idrogeno che si possono formare con la raffinazione. Le parti fini che si generano con detto processo agiscono come sostanza di "cementazione" della struttura.

Di volta in volta lo stato della pasta durante la raffinazione viene espresso in gradi Schopper-Riegler. Il grado di raffinazione (detto anche ingrassamento quale criterio di ritenzione all'acqua) sale lentamente all'inizio della raffinazione, sale più rapidamente nel campo dei gradi di raffinazione medi per poi ritornare lento nei gradi più alti. Questo andamento non è coerente con lo sviluppo della resistenza a trazione. Poiché con gradi di raffinazione crescenti cala la disidratabilità e d'altra parte le resistenze a trazione con grado di raffinazione medio (40-50 gradi SR) sono molto prossime all'ottimo, per la maggior parte delle carte basta una raffinazione media.

Dove si richiedono resistenze più elevate, particolarmente con cellulosa al solfato, sono già sufficienti gradi di raffinazione di 20-23 gradi SR per raggiungere il massimo di resistenza. Nel campo dei gradi di raffinazione più elevati, l'ottimo di resistenza può venire superato a causa di un eccessivo accorciamento delle fibre.

Un notevole ruolo gioca anche la resistenza alla raffinazione, più elevata nelle cellulose a fibra lunga che in quelle a fibra corta.

La raffinazione, per quanto riguarda il carattere della pasta, viene determinata principalmente dalla densità della pasta stessa durante la raffinazione. Si fa distinzione fra raffinazione magra e grassa, con tutti gli stadi 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 inferiore al 3% di secco assoluto.

La raffinazione grassa avviene in campi di densità della pasta del 5% di secco assoluto, le fibre vengono fortemente fibrillate originando strutture dense e trasparenti ad alta resistenza. Le paste grasse sono però difficili da drenare. 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. E' perciò vantaggioso raffinare in ambiente debolmente alcalino a temperatura non superiore a 45 gradi C.

1. IL LEGNO

Esaminando la sezione di un tronco, si può riconoscere una zona centrale di colore scuro, detta CUORE o DURAME, costituita da una serie di anelli concentrici chiari, alternati da una serie di 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 di 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 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.

Il cartaiolo fa distinzione fra legnami di conifera (pino, abete rosso) e legni di latifoglia (betulla, pioppo, eucalipto), poiché le loro fibre hanno dimensioni, caratteristiche e funzioni differenti. Il legno di conifera è detto OMOXILO, poiché ha un tessuto semplice, omogeneo, formato da due tipi differenti di elementi cellulari: le TRACHEIDI (presenti per il 90-95% dell'intera massa legnosa) e RAGGI PARENCHIMATICI o CELLULE RADIALI (presenti per il restante 5-10%).

Da tenere conto che attualmente si conoscono circa 1000 specie di conifere e circa 34000 specie di latifoglie, ma solo un modesto numero di esse è utilizzato dall'industria delle paste per carta. Le tracheidi sono lunghe, strette, fusiformi; danno al legno resistenza meccanica e provvedono al trasporto d'acqua, principalmente attraverso quelle cellule primaverili, che hanno pareti sottili e cavità molto larga (funzione di sostegno e di trasporto).

Il legno delle latifoglie invece è detto ETEROXILO, poiché, a differenza di quello delle conifere, è composto da una maggiore eterogeneità di elementi cellulari. Vi si distinguono: fibre di sostegno o FIBRE LIBRIFORMI, elementi di conduzione denominati VASI o TRACHEE, elementi di transizione, detti FIBRO-TRACHEIDI, che svolgono funzioni di sostegno e conduzione di elementi PARENCHIMATICI o RAGGI MIDOLLARI. Dal punto di vista cartario quello che risulta più interessante

non è tanto l'aspetto botanico del legno quanto le caratteristiche degli elementi cellulari che lo compongono e in particolare quelle delle tracheiti (per le conifere) e quelle delle fibre (per le latifoglie).

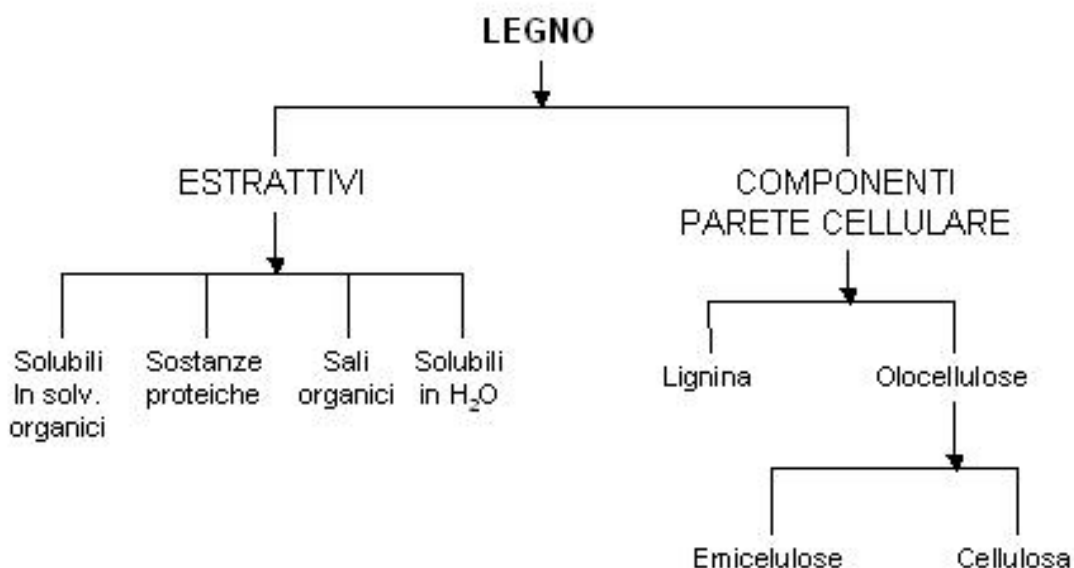
Il legno è un materiale costituito da fibre, le cui proprietà fisiche sono determinate dal grado molto elevato di ordine dei suoi elementi strutturali (le fibre). Questo ordine è necessario per garantire alla pianta alcune sue funzioni, come la robustezza meccanica, l'assorbimento e il trasporto delle sostanze nutritive. Il legno è un materiale molto robusto che può essere sottoposto a trazione e compressione. I moduli che entrano in gioco in queste sollecitazioni dipendono dall'umidità e dalla direzione, rispetto all'asse del tronco, in cui agiscono.

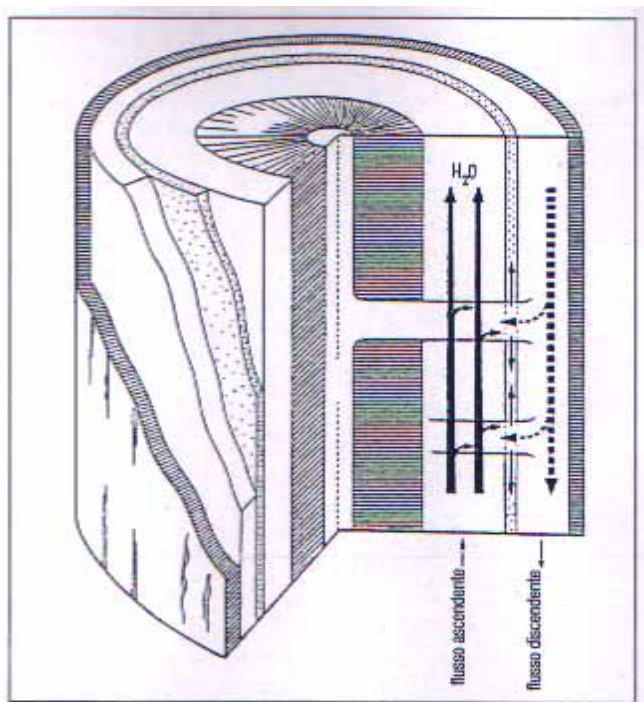
Le principali proprietà fisiche del legno sono la resistenza, la durezza, la rigidità e la densità (che fornisce generalmente un'indicazione delle proprietà meccaniche). La resistenza comprende un numero di caratteristiche eterogenee e varia notevolmente con il grado di stagionatura o di umidità del legno e con la direzione della venatura: il legno risulta sempre molto resistente se viene tagliato lungo la venatura piuttosto che perpendicolarmente ad essa.

Il legno possiede una grande resistenza alla compressione: in alcuni casi, proporzionalmente al peso, è superiore a quella dell'acciaio; ha inoltre bassa resistenza a trazione e una discreta resistenza al taglio. La durezza indica la capacità di resistere a sollecitazioni improvvise e ripetute.

1.1 LA COMPOSIZIONE CHIMICA DEI LEGNI

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. Questa ultima è caratterizzata dalla presenza di composti ad alto peso molecolare (POLIMERI), quali la CELLULOSA, le EMICELLULOSE e la LIGNINA insieme ad altri, relativamente più semplici, quali gli estrattivi di natura organica ed inorganica. La cellulosa, le emicellulose e la lignina vengono anche definite “componenti strutturali” del legno, poiché la loro quantità è pari al 90% rispetto all’intera massa legnosa. Dal punto di vista chimico il legno secco è costituito dai 4 gruppi di sostanze qui sotto mostrate:





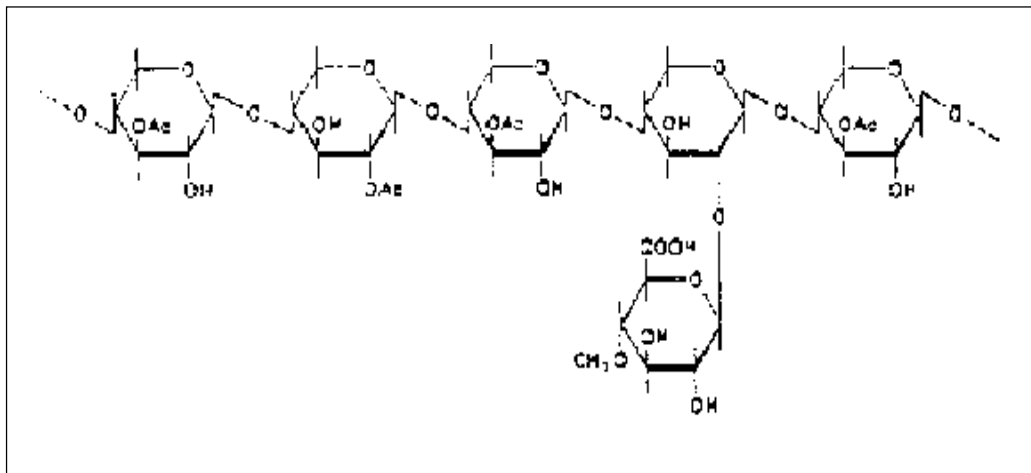
Il legno: struttura del tronco e vie del flusso delle sostanze

La cellulosa: è il composto principale della parete cellulare: è presente in tutti i legni in quantità pari mediamente a circa il 40-45%. La cellulosa è uno dei tanti polimeri che si trovano in natura. Legno, carta e cotone contengono tutti cellulosa. La cellulosa è una fibra eccellente. Lino, cotone e canapa sono costituiti da cellulosa fibrosa. La cellulosa è costituita da unità ripetute del monomero di glucosio. E' lo stesso glucosio che il corpo metabolizza per vivere, ma non può essere digerito sotto forma di cellulosa. La cellulosa è costituita da unità monomeriche di glucosio (un saccaride) e viene comunemente chiamata polisaccaride. Si tratta pertanto di un polimero naturale, costituito da una catena molecolare di notevole lunghezza, unite tra loro in maniera lineare, mediante il legame 1-4 beta glucosidico (cioè il carbonio in posizione 1 di molecola di glucosio legato al carbonio in posizione 4, della molecola successiva: tale gruppo che comprende due molecole di glucosio, forma un dimero e prende il nome di cellobiosio).

Si tiene conto che in natura esiste una sola cellulosa, comune a tutti i vegetali, ma differente della catena lineare variabile non solo da vegetale a vegetale ma anche nello stesso vegetale. La cellulosa allo stato puro (cioè, non accompagnata da altri composti chimici) si trova in natura solo in alcune piante annuali come il 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.

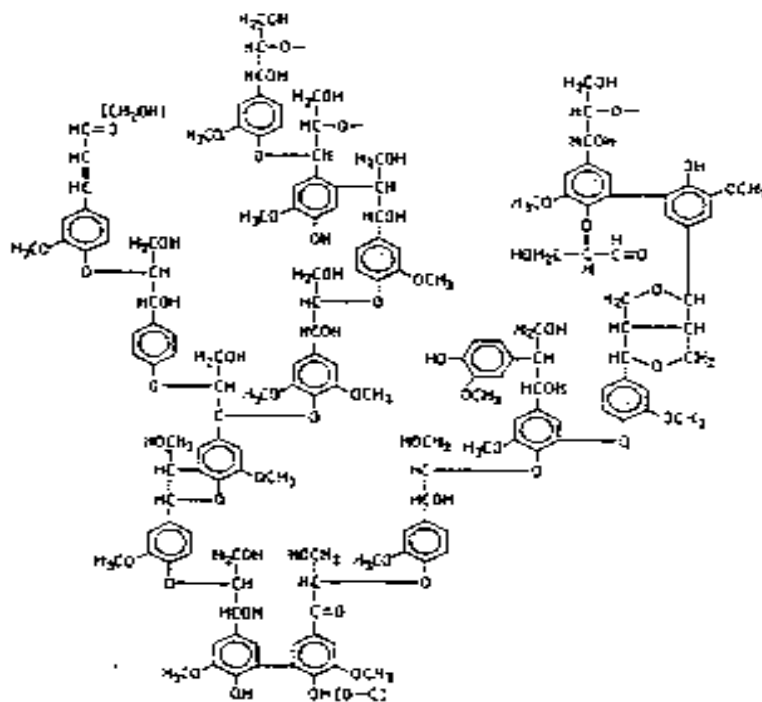
La emicellulosa: è un saccaride a basso peso molecolare di composizione irregolare. In contrapposizione alla cellulosa, la cui molecola lineare è formata da unità di solo glucosio, le emicellulose sono invece costituite da molecole di zucchero non differenti; inoltre hanno una struttura ramificata e non fibrosa. La caratteristica principale delle emicellulose è la loro facile idratabilità, quando vengono in contatto con l'acqua; inoltre esse sono responsabili di numerose proprietà delle fibre, proprietà derivanti dalla 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.



formula di struttura di alcune emicellulose

La lignina: è composta da una struttura polimerica di unità fenilpropaniche. Quindi anche la lignina al 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.

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. La lignina è anche conosciuta come materiale incrostante, poiché ricopre le fibre. Pertanto, i procedimenti di estrazione della cellulosa da un vegetale richiedono un attacco della lignina per disgregarne la molecola e allontanarne i frammenti mediante dissoluzione.



formula di struttura della lignina

Gli estrattivi: in moltissimi vegetali è sempre presente una categoria di sostanze, principalmente di natura organica, cui si attribuisce la denominazione di estrattivi.

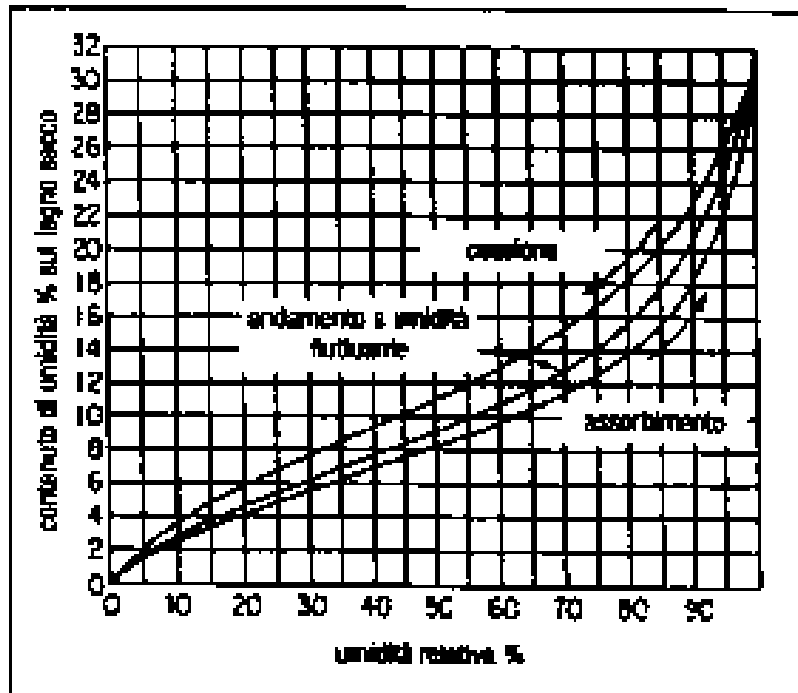
Gli estrattivi possono comprendere cere, resine, sostanze minerali ecc. e la loro quantità è variabile anche nell'ambito della stessa specie arrivando anche a valori del 30% e più. Tra gli estrattivi vengono anche inclusi i composti di natura inorganica, quali i sali dei metalli alcalini e alcalinoterrosi rappresentati principalmente da silicati.

Il legno contiene umidità. L'essiccamento del legno non produce soltanto una perdita di peso, ma anche una contrazione, che, secondo il tipo di legno, comporta una riduzione del volume originario fra il 9,5% e il 12,5% per le conifere, fra il 9,5% e il 17,3% per le latifoglie.

La contrazione dipende dalla direzione. Parallelamente all'asse del tronco il legno si ritira meno che in senso trasversale.

Questa dipendenza della contrazione dalla direzione è da mettersi in relazione all'orientamento ordinato delle fibre del legno: gli assi longitudinali delle fibre sono in prevalenza paralleli all'asse del tronco.

Il contenuto di umidità del legno dipende dall'umidità ambientale: il legno è igroscopico.



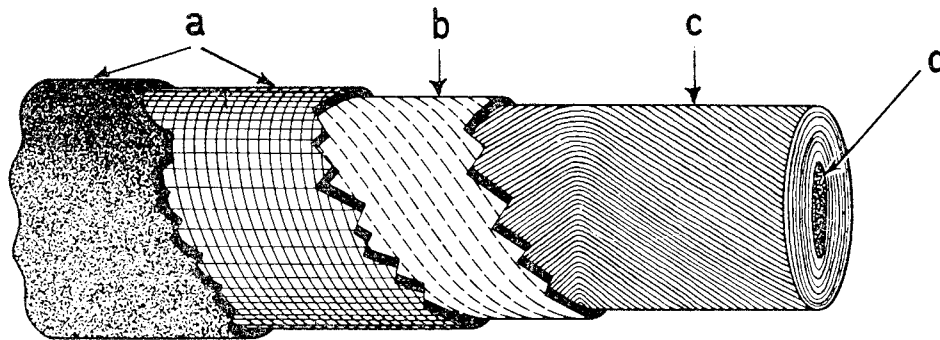
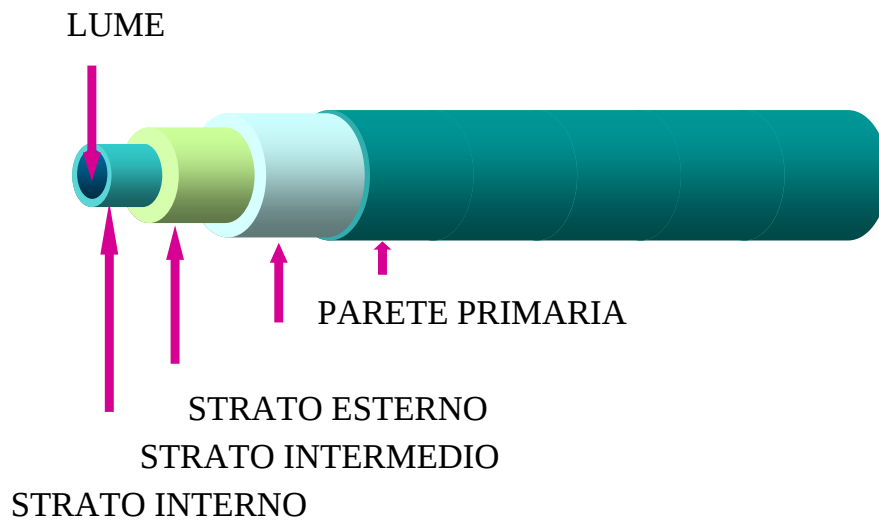
Le proprietà igroscopiche del legno. Il contenuto di umidità in funzione dell'umidità relativa.

1.2 LA STRUTTURA DELLE FIBRE

Come ogni tessuto vegetale, anche il legno è costituito da cellule che durante il processo di crescita si fissano in determinate zone del tronco e si sviluppano nella loro forma definitiva. Le singole cellule del legno si presentano di regola come un corpo cavo allungato e sottile che viene denominato fibra.

Le cellule devono garantire le funzioni di resistenza meccanica e di trasporto nel legno. Nelle conifere sono le tracheiti a provvedere a queste funzioni. Nelle latifoglie i compiti sono ripartiti; bisogna perciò sottolineare che la struttura delle conifere è più omogenea di quella delle latifoglie.

Per quanto riguarda la struttura della parete cellulare, sia che essa appartenga alla fibra o alla tracheite, c'è da rilevare che in tutti i vegetali essa è costituita per entrambi da quattro strati, in ognuno dei quali è presente un insieme di fibrille cellulosiche, immerse in una matrice di lignina e di emicellulosa; 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 trovano, oltre ad un differente orientamento delle fibrille. I quattro strati costituenti.



I quattro strati costituenti la parete cellulare sono contraddistinti nella figura:

PARETE PRIMARIA: è lo strato esterno della fibra, molto sottile (da 0,5 μm a 1 μm), consiste in una matrice amorfa di lignina, nel quale sono presenti le fibrille di cellulosa in minima quantità, disperse in maniera disordinata nella matrice preponderante di lignina e di emicellulose.

PARETE SECONDARIA: è sua volta suddivisa in tre strati, distinti in strato esterno, intermedio e interno.

STRATO ESTERNO: è molto sottile, inferiore a 1 μm , è 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.

STRATO INTERMEDIO: è lo strato con il maggior spessore rispetto agli altri adiacenti (fino a $5\ \mu\text{m}$). E' 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 a seconda del tipo di fibra.

STRATO INTERNO: esso è molto sottile ed ha un alto contenuto di cellulosa. Le fibrille, tutte parallele tra loro, hanno un andamento spiralato antiorario e formano un angolo di circa 80 - 100° con l'asse della fibra, sono quindi orientate con notevole angolo rispetto all'asse della fibra.

IL LUME: è una cavità derivata dall'invecchiamento della cellula. Nel caso dei tracheiti assolve il passaggio della linfa.

La struttura che ho illustrato garantisce alla fibra un'elevata resistenza alla trazione e alla piegatura e al tempo stesso un'elevata elasticità. La fibra acquista tali proprietà grazie alla presenza, come già spiegato, di zone di cellulosa cristallina e di cellulosa amorfa nelle microfibrille. L'emicellulosa conglobata riduce la forza dei legami intermolecolari della cellulosa almeno in alcune zone delle microfibrille. La parete della fibra risulta perciò meno fragile. L'emicellulosa agisce in pratica come un ammorbidente.

1.3 DIMENSIONI DELLE FIBRE

Per quanto riguarda le dimensioni, in una fibra si prendono 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). L'industria cartaria suddivide genericamente le fibre in lunghe o corte:

- | | |
|-----------------------------|--|
| fibre lunghe: da 2,5 a 4 mm | - lunghezza tipica delle conifere o tracheidi |
| fibre medie: da 1 a 2 mm | - lunghezza media tipica delle fibre di latifoglia |
| fibre corte: da 0,1 a 1 mm | - fibre di alcune latifoglie, di piante annuali o dei loro residui vegetali. |



Visione al microscopio di una fibra lunga

	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	-

Qui sopra sono riportate le dimensioni di alcune fibre tipiche, dalle quali si ricava che 1 cm³ può contenere circa 200.000 fibre.

La parete della fibra ha una densità di circa 1,55 g/cm³. Tale densità corrisponde a quella della cellulosa pura. La densità del complesso fibroso dipende invece dal rapporto fra il diametro del lumen e quello della fibra e dalla forma geometrica della fibra. Se la forma di una fibra isolata corrisponde a quella delle fibre nel legno, avrà approssimamente la densità del legno, ossia circa 0,5 g/cm³.

In base alle misure sopra riportate, si può ricavare una massa lineare della fibra (ossia riferita alla sua lunghezza) di 1,4 g/m. 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

$$F = l/S$$

INDICE DI FLESSIBILITÀ o INDICE DI RUNKEL

$$F = 2p/c$$

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 il valore, migliore è la formazione del foglio. L'indice di feltrabilità 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 loro; esso è in relazione alle caratteristiche di resistenza alla trazione e allo scoppio del foglio di carta.

Secondo i valori delle dimensioni interessate alla determinazione di R, l'indice di Runkel assume i seguenti significati:

$R = 2p/c < 0$ uguale 0,25

la fibra è molto flessibile, morbida; presenta la capacità a collocarsi 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.

$R = 2p/c < 0,25$ e < 0 uguale 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.

$R = 2p/c < 0,50$ e < 0 uguale 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.

$$R = 2p/c < 1$$

il valore del rapporto indica chiaramente che la larghezza del lume è diminuita fortemente mentre le pareti si sono ispessite; pertanto le fibre sono rigide e non hanno nessuna idoneità a fare carta.

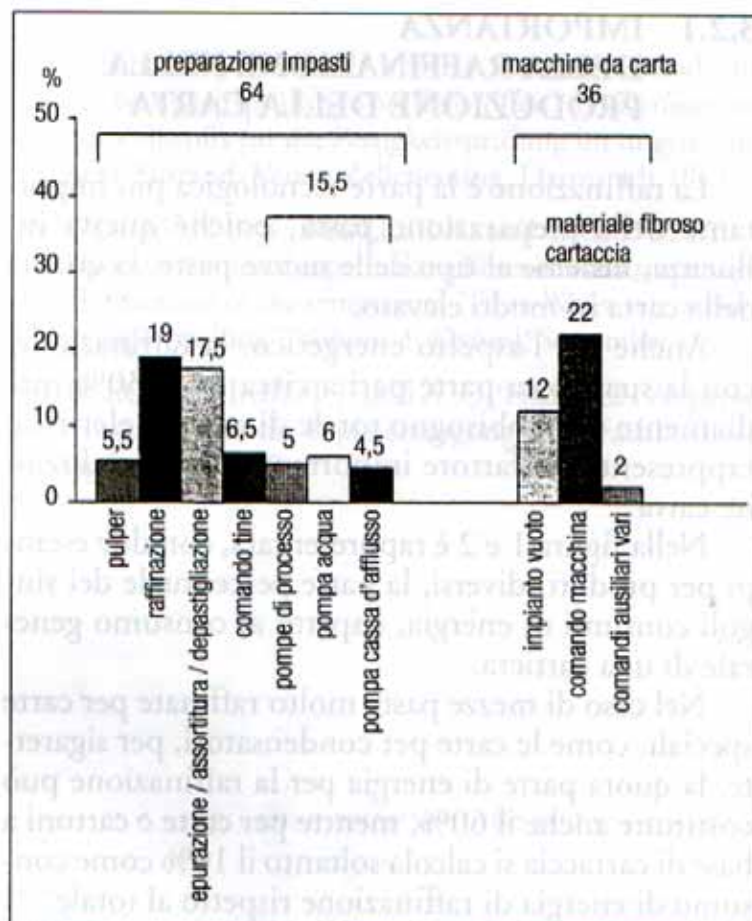
2. LA RAFFINAZIONE

La raffinazione è la parte tecnologica più importante della preparazione pasta, poiché questa 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 possono esser realizzate, oltre che con una scelta opportuna delle fibre, solamente se le fibre impiegate hanno subito un adeguato trattamento di raffinazione. Le caratteristiche cartarie del foglio ottenuto 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, 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 rigonfiamento di quella membrana e la formazione dei così detti “palloni” e “collane di perle”. Le molteplici ricerche effettuate nel campo della raffinazione perseguivano principalmente due scopi:

- rendere trasparente e misurabile in processo così complesso;
- trovare possibilità di risparmio.

Le basi teoriche più importanti della raffinazione sono state sviscerate negli 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 tra loro, si rende necessario un aumento della superficie specifica.



Potenza installata per la produzione di carta per ondulatori

La definizione generalmente accettata della raffinazione, come 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:

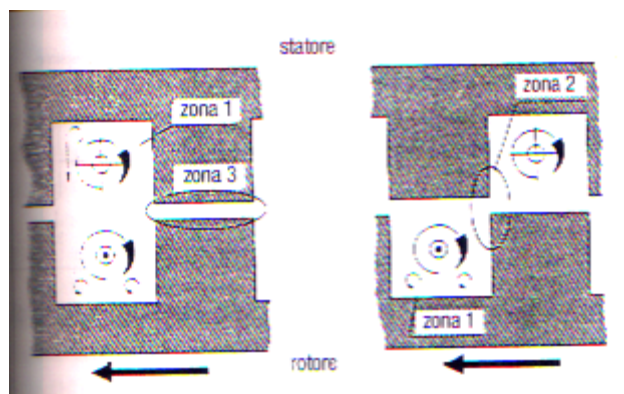
- adempire alle richieste (caratteristiche) del prodotto finale in funzione del tipo di impiego;
- formare in modo economico il foglio di carta.

Nel risultato finale di ogni processo di sminuzzamento, si formano particelle piccole in concomitanza con un aumento della superficie. Riferito alla raffinazione di fibre ciò significa:

- produzione di un rapporto determinato fra lunghezza e spessore, e cioè altrimenti detto, una determinata distribuzione della lunghezza delle fibre;
- produrre una determinata superficie specifica e quindi un determinato grado di idratazione

2.1 ASPETTI TEORICI DELLA RAFFINAZIONE

La raffinazione delle fibre oggi avviene soltanto con l'impiego di raffinatori con guarniture a lame. In questa figura è rappresentato lo spaccato di un raffinatore.



Nel trattamento della fibra nel raffinatore, fra le lame dello statore e quelle del rotore nella letteratura si distinguono tre aree di effetto accoppiato.

Queste sono:

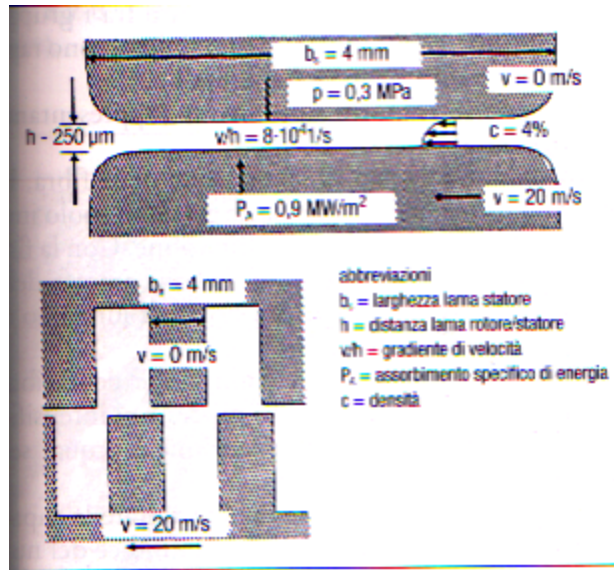
- area 1: fra le scanalature;
- area 2: incontro di due lame;
- area 3: scorrimento delle due lame.

Nell'area 1 le fibre come pure i fiocchi formati dai fini, vengono trasportati sullo spigolo della lama con una nuova formazione di reticolati fibrosi.

Nell'area 2 le fibre vengono separate dalla forza d'urto. Per effetto di forze radiali di taglio, si produce un accorciamento. Le fibre si orientano in direzione tangenziale.

Nell'area 3 le fibre vengono sfibrillate. La trasmissione di energia avviene sia per mezzo delle fibre stesse, sia attraverso le lame del raffinatore. In questa fase viene prodotta la parte fine, a seguito dello stacco di fibrille, la quale possiede particolare effetto legante.

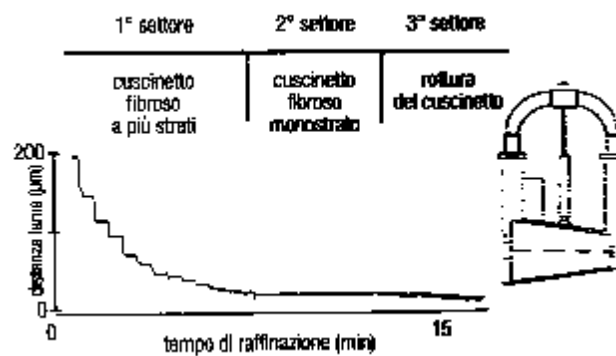
Questa figura mostra con più precisa raffigurazione delle relazioni che intercorrono durante lo scorrimento delle lame fra loro.



Qui sono inoltre riportati gli indici importanti della raffinazione nei raffinatori a lame.

Nei raffinatori moderni, regolati in potenza, la parte relativa al tipo di trasmissione di energia nella fessura fra le lame, lama-fibra e fibra-fibra, non è costante durante il tempo di raffinazione.

Fondamentale, l'evoluzione nel tempo può essere divisa in tre fasi rappresentate in figura.



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 di raffinazione, la resistenza alla deformazione della fibra si riduce e la flessibilità della fibra aumenta. Poiché la potenza del raffinatori viene mantenuta costante dalla regolazione, con l'aumento del tempo di raffinazione si riduce la distanza tra gli elementi raffinati.

FASE 2: 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 fra di loro. Con l'improvviso aumento dell'attrito fra rotore e statore, aumenta l'assorbimento di potenza del motore.

Il ritardo di regolazione provoca una variazione troppo grande del motovariatore, per cui le lame del raffinatore vengono distanziate di molto. 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.

2.2 MODIFICAZIONE DELLE FIBRE

La raffinazione provoca sulle fibre delle modifiche di natura fisica che possono verificarsi in misura più o meno intensa in dipendenza delle condizioni adottate nel trattamento. Nel complesso processo di raffinazione, è soprattutto interessante l'effetto sulla morfologia della fibra. Nella raffinazione le fibre sono sottoposte a molteplici sollecitazioni fisiche. La lavorazione della fibra inizia con la formazione di lamelle interne e con la parziale o totale eliminazione della parete primaria delle fibre.

Questo strato esterno della fibra non è, in base alla sua proprietà morfologica, rigonfiabile, fibrillabile e contiene soltanto poca emicellulosa. Questa rappresenta soltanto un guanto di protezione che, dopo la sua eliminazione, libera la parete secondaria della fibra 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 ponti idrogeno durante il processo successivo di essiccamento del contesto fibroso. In questo processo di lavorazione della fibra, la pre-idratazione delle mezze paste gioca un ruolo importante, poiché favorisce la raffinazione.

Con la fissazione di molecole di acqua nella zona amorfa delle fibre, si possono sciogliere i ponti idrogeno o almeno renderli più deboli. L'acqua che entra nelle fibre sia per tensione superficiale che per effetto dei legami chimico-fisici in un certo qual modo dilata la struttura della fibra amorfa, minandone la resistenza tra le varie molecole ed in più esercita una specie di lubrificazione che permette lo scorrimento tra fibrilla e fibrilla.

Con l'aumento della delaminazione delle fibre durante la raffinazione, questo processo si intensifica facendo aumentare anche la ritenzione d'acqua.

La ritenzione d'acqua serve per valutare la capacità di idratazione della fibra ed è un indice del numero dei punti di legame attivi della fibra stessa. Le fibre pre-idratate, data la loro elevata flessibilità, offrono una resistenza più elevata alla riduzione di lunghezza durante la raffinazione e favoriscono la fibrillazione. A parità di condizioni di raffinazione, una mezza pasta allo stato idratato mostra un aumento della resistenza del 15% circa rispetto alla stessa pasta non idratata. Come già accennato la raffinazione è una combinazione di forza di spinta e trazione.

Come conseguenza di queste forze si raggiunge una scissione delle valenze secondarie e principali all'interno delle fibre e, quindi, una divisione della fibra perpendicolare o parallela al suo asse lungo. Questi effetti vengono definiti come di "taglio" o di "ingrasso" o, appunto secondo l'effetto sulla fibra, come "accorciamento" o "sfibrillazione". Si distingue poi l'effetto sulla sfibrillazione, a seguito di forze di spinta assiali e tangenziali, in interno ed esterno.

La sfibrillazione interna come conseguenza della delaminazione della fibra, provoca un aumento elevato della ritenzione d'acqua e della idratazione della fibra.

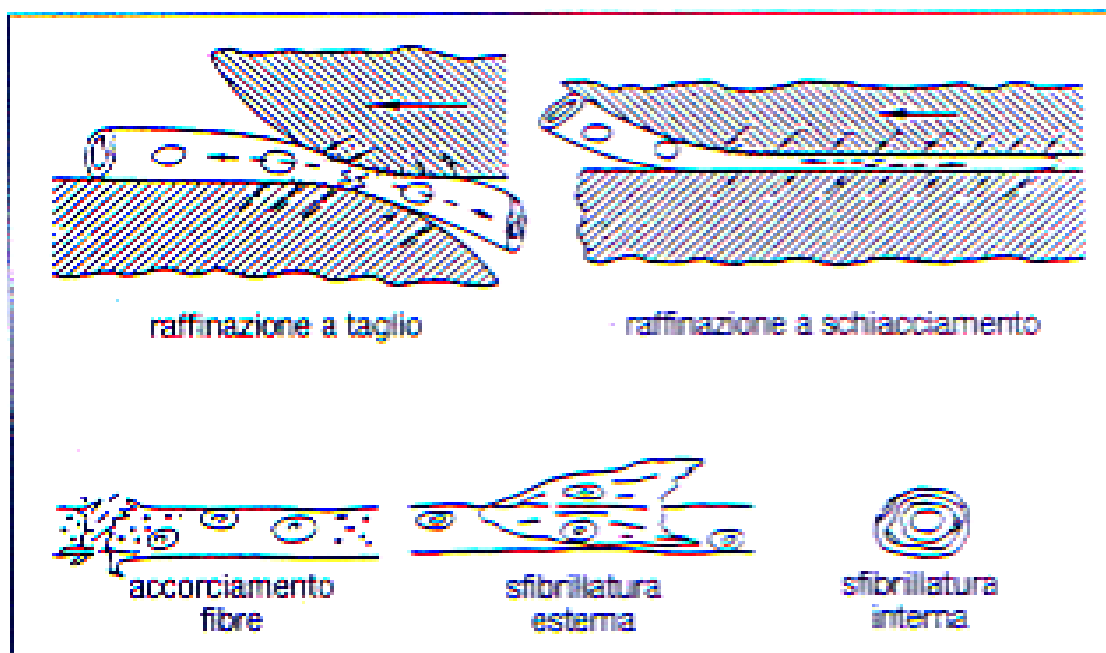
La sfibrillazione esterna si intende invece la formazione di fibrille, dopo la sbucciatura delle lamelle primarie, che, viste al microscopio, sembrano dei peli e che quindi, a causa dell'aumento della superficie fibrosa, provvedono ai molteplici punti di contatto tra le fibre. Un effetto di taglio viene invece dato dalle forze di spinta radiali ed assiali.

Il risultato di raffinazione è normalmente una miscela degli effetti di taglio e sfibrillazione, dove l'effetto voluto può essere più o meno accentuato, attraverso una regolazione determinata del processo di raffinazione. La prevalenza di un certo tipo di azione sulle altre dipende dalla densità della pasta e dalla "intensità di raffinazione".

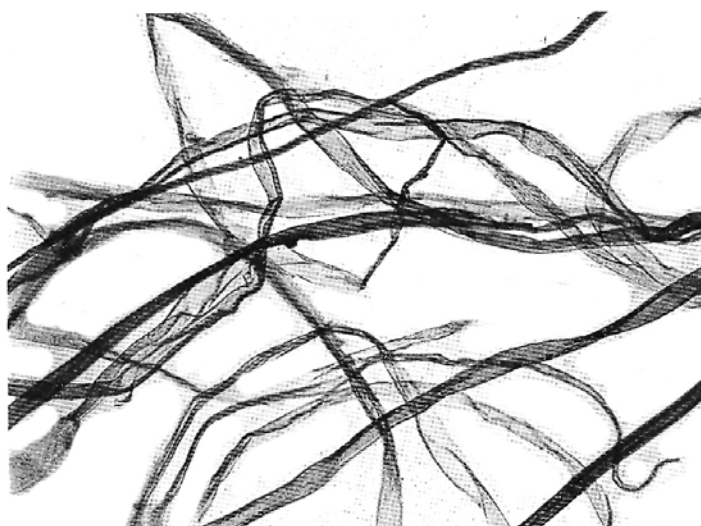
Se la densità è bassa e l'intensità di raffinazione sufficientemente alta, il fenomeno predominante che avviene a carico delle fibre è quello dell'accorciamento.

Se la densità viene aumentata e l'intensità di raffinazione diminuita, l'azione predominante diventa quella della fibrillazione.

Se infine l'intensità di raffinazione viene ulteriormente diminuita, il risultato principale della raffinazione è l'idratazione.



Lavoro del raffinator e il suo effetto sulla fibra.



Legami interfibrosi della fibra di cellulosa non raffinata

2.3 IMPORTANZA DELL'OMOGENITA' DELLA RAFFINAZIONE.

Un altro aspetto molto 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. Le guarniture dei raffinatori e le modalità di lavorazione dovranno essere tali da favorire al massimo la conservazione della lunghezza della fibra (lame spesse, alta velocità e densità di pasta elevata).

Questo effetto è particolarmente evidente nel caso della cellulosa con elevato spessore delle pareti delle fibre e nella cellulosa di latifoglie. La valutazione di omogeneità di un impasto fibroso è problematica. Il fabbisogno di lavoro si riferisce come misura integrale, al consumo di energia per tutte le fibre dell'impasto, mentre soltanto una parte di queste viene effettivamente trattata. L'esigenza di un impasto omogeneo si basa sul fatto che, fra fibra di simile superficie, vengono preferibilmente fermati i ponti idrogeno, mentre un impasto non omogeneo possiede molte capacità di legami inutilizzati.

Infatti, fra una fibra molto sfibrillata e una fibra rigida e 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.

2.4 PARAMENTTRI CHE INFLUISCONO SULLA RAFFINAZIONE

Il risultato di raffinazione viene definito da un molteplice numero di fattori che agiscono in modo complesso.

Influenza della pasta da raffinare	Influenza del raffinatore	Influenza del processo
Tipo di fibra e qualità	Tipo	Energia di raffinazione
Tipo di processo e cottura	Dimensione (potenza installata)	Apertura delle guarniture
Grado di cottura	Guarniture	Portata
Tipo di sbianca	Disegno della lama	Densità
Grado di sbianca	Numero delle lame	Numero di giri
	Lunghezza delle lame	Valore ph
	Larghezza delle lame	Idratazione delle fibre
	Spigolo delle lame	Temperatura
	Angolo delle lame	Aggiunta di prodotti chimici
	Materiale delle lame	
	Rugosità delle lame	
	Sezione delle scanalature	
	Ponte fra le scanalature	
	Numero di giri (velocità periferica)	

Da rilevare vi è inoltre che molti di questi parametri sono segnalati anche per l'aspetto economico.

2.5 INFLUENZA DELL'IMPASTO

Il tipo di cellulosa che s'intende utilizzare, ha notevole influenza sul proporzionamento dell'impianto di raffinazione. Se si impiega cellulosa al bisolfito greggia a media o ad alta resa, è piuttosto limitata l'energia specifica richiesta per raggiungere il grado di raffinazione.

Che il grado di raffinazione debba essere contenuto entro un limite è universalmente accettato, poiché nel caso delle cellulose al bisolfito è essenziale preservare al massimo la resistenza alla lacerazione, già poco elevata costituzionalmente ed inoltre tendente a decrescere rapidamente con il progredire della raffinazione. Altre esigenze consigliano di non superare tale limite, come ad esempio la necessità di conservare l'opacità, tendenzialmente scarsa in questo tipo di cellulosa, non che la morbidezza della carta prodotta.

Cellulose di conifere e latifoglie vengono normalmente impiegate insieme nella produzione della carta, poiché le loro caratteristiche si integrano positivamente. Cellulose di conifere sono di fibra lunga con lunghezze comprese tra 3 e 4 mm. A causa di questa lunghezza e della loro capacità di compenetrarsi, esse producono resistenze dinamiche e statiche molto buone. Le cellulose di latifoglie 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 insufficienza sulla qualità del prodotto finale. Il tipo di cottura della cellulosa ha importanza notevole sulla raffinabilità della fibra.

Attraverso la variazione della struttura microfibrillare, elevati contenuti di emicellulosa, ed anche a causa di un grado di polimerizzazione medio più elevato, cellulose e cottura alcalina (cellulose al solfato) mostrano una maggiore resistenza alla raffinabilità.

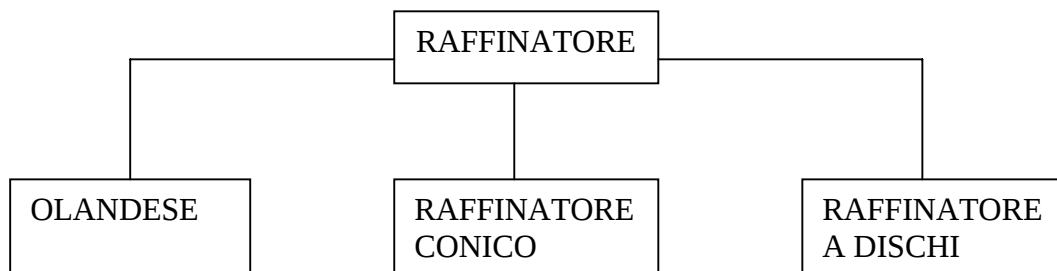
Esse possiedono, per contro, migliori caratteristiche di resistenza rispetto alle cellulose al solfito.

2.6 INFLUENZA DEL RAFFINATORE

E' da considerare attentamente l'influenza della raffinazione sul drenaggio e sull'uniformità di asciugamento. 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 dei numeri dei giri, spesso si utilizza la velocità periferica dello statore e del rotore.

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



Qui sopra c'è rappresentato le macchine fino ad ora realizzate. Con l'eccezione del numero di giri, nelle macchine a giri variabili i parametri di potenze installate (per i raffinatori conici variano tra i 200-400 Kw, per i raffinatori a dischi sono in genere superiori ai 250 Kw) hanno soltanto una influenza indiretta sul risultato di raffinazione, cioè essi danno di regola il campo di variazione per i parametri tecnologici più importanti. Essi sono però particolarmente importanti per gli aspetti economici.

Così è il numero di giri, le guarniture del rotore e dello statore, influenzano in modo determinante la perdita di energia, cioè quella parte di energia che non viene trasmessa all'impasto durante la raffinazione.

Queste perdite di 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. Queste perdite dette anche perdite di potenza, nel caso dei raffinatori a disco seguono la seguente formula:

$$P_{\text{(perdita)}} = K * n^3 * d^5$$

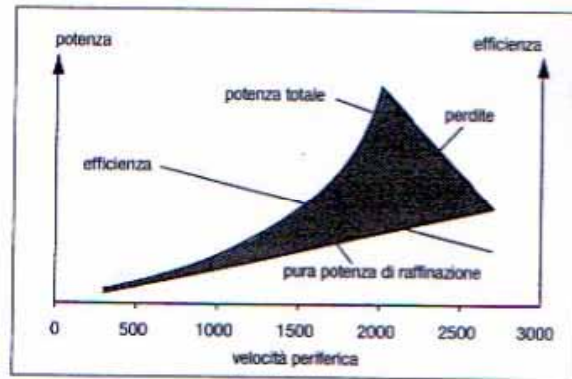
Dove:

K = fattore di proporzionalità

n = numero di giri del rotore

d = diametro rotore

Partendo da questa relazione, è chiaro che i raffinatori debbano girare il più lentamente possibile. La riduzione del numero di giri è però limitata dalla riduzione della portata che ne deriva.



Nella figura è riportato graficamente la relazione fra la 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.

2.7 INFLUENZA DELLE GUARNITURE

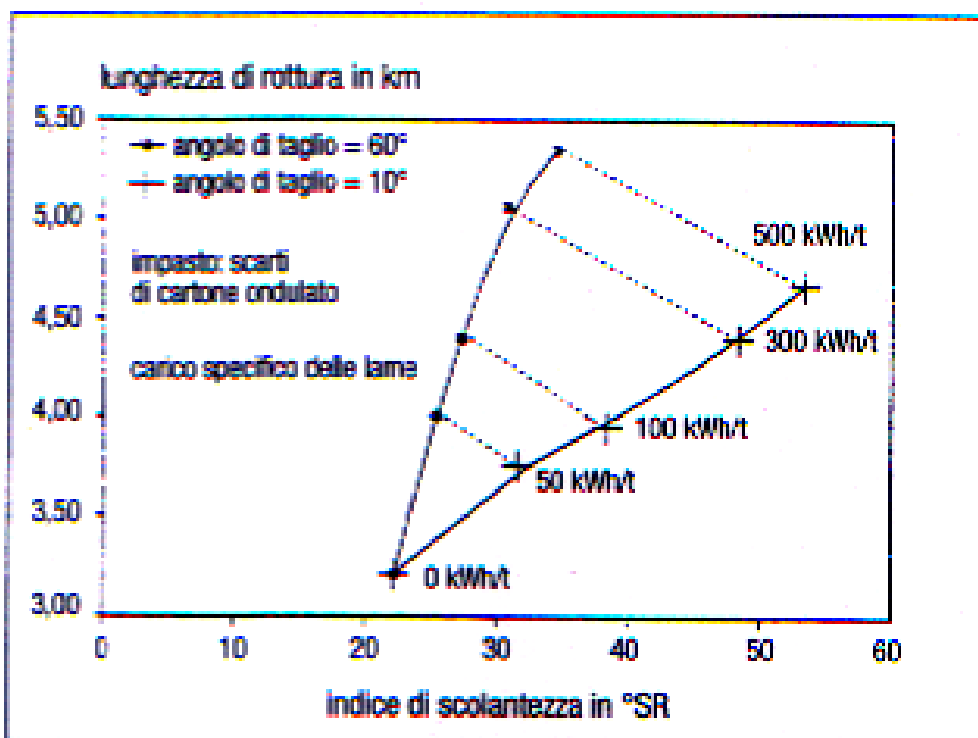
L'influenza più importante sul risultato di raffinazione, viene esercitata dalla guarnitura con i propri parametri. Ad esempio avendo le lame con spigoli arrotondanti avrò una raffinazione defribillante, al contrario delle lame a spigoli vivi avrò più un effetto di taglio.

I materiali più utilizzati per le lame sono per lo più acciai legati o lava di basalto.

La lava di basalto serve per una raffinazione più ingrassante, mentre le lame di acciaio, in funzione dell'angolo e dello spigolo, sono più del tipo "smagrante" (taglio di fibre). Le lame di lega di carbonio o bronzo non vengono più utilizzate.

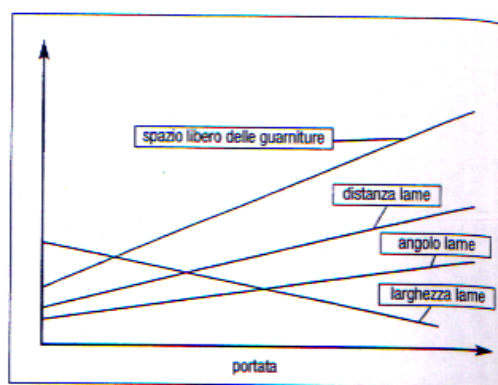
Una notevole influenza sul risultato di raffinazione è data dall'angolo delle lame, cioè l'angolo di taglio che deriva dalla sovrapposizione dello statore con il rotore. Questo angolo viene spesso indicato, nella letteratura tecnica, per la valutazione del risultato di raffinazione.

Un elevato angolo di taglio favorisce l'ingrassamento della fibra, mentre un basso angolo ha un effetto smagrante di taglio. Per ridurre il taglio delle fibre, vengono per lo più utilizzati angoli fra il 60-70°.



La figura mostra l'influenza dell'angolo di taglio su risultato di raffinazione, in base alla resistenza alla trazione e alla resistenza di disidratazione di un impasto riciclato. Si vede come l'aumento dell'angolo da 10 a 60° produce un aumento della resistenza di oltre 1.000 metri, a parità di indice di scolantezza di 30° SR. Contemporaneamente si ottiene un risparmio di energia pari a 250 Kw/t.

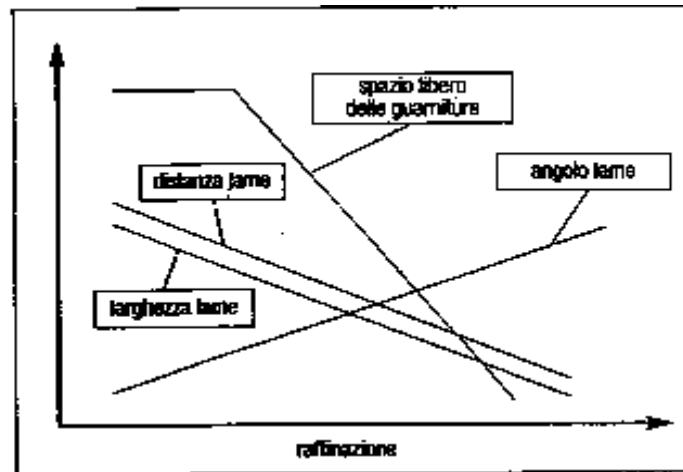
Per la scelta delle guarniture bisogna tenere conto sia del risultato di raffinazione, sia della portata, e quindi ottimizzare di conseguenza i parametri.



Qui sopra sono rappresentati i parametri più importanti delle guarniture sul risultato di raffinazione, con l'indicazione del trend di portata.

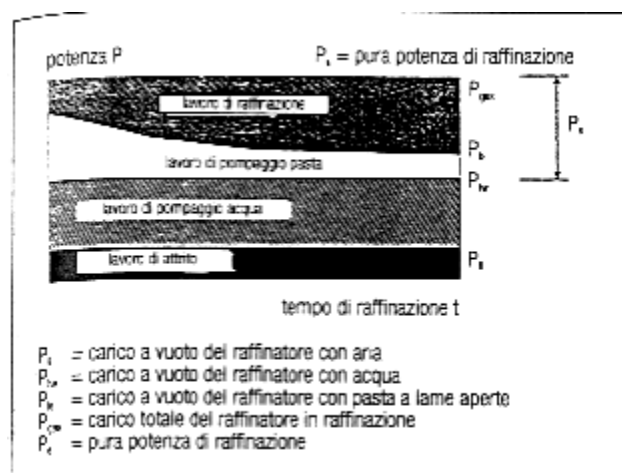
2.8 INFLUENZA DELLA CONDUZIONE DELLA RAFFINAZIONE

Uno dei parametri che maggiormente influiscono sul risultato di raffinazione è l'energia applicata.



Influenze dei parametri e delle guarniture sul risultato di raffinazione.

Con le macchine usate oggi, non si è però in grado di trasmettere tutta l'energia applicata alla raffinazione della pasta. In questa figura è riportato l'assorbimento totale di potenza, suddiviso per i diversi tipi di consumo in base alla durata del tempo di raffinazione.



La potenza totale P_{Ges} si compone con:

- P_{ll} = carico a vuoto con aria
- P_{lw} = carico a vuoto con acqua
- P_{ls} = carico a vuoto con pasta
- P_e = effettivo carico di raffinazione.

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

$$P_e = P_{Ges} - P_{lw} - P_{ll}$$

L'efficienza di raffinazione n_R è data pertanto:

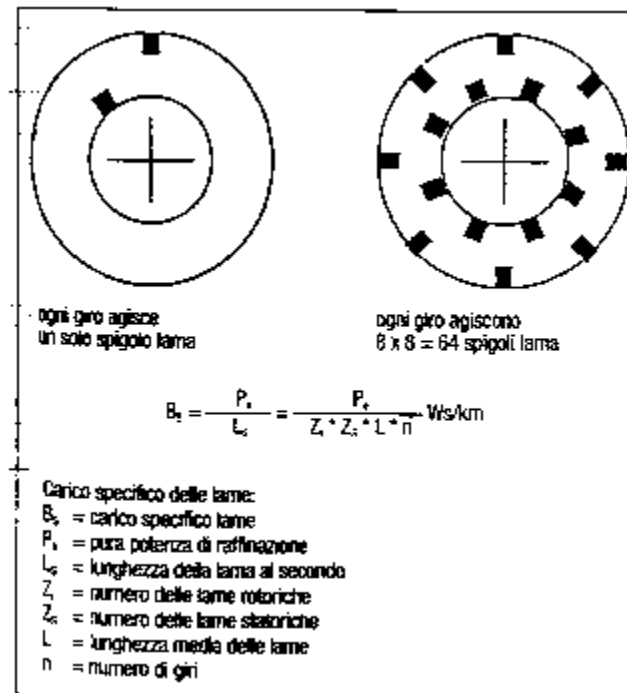
$$n_R = P_e / P_{Ges}$$

Per una valutazione del risultato di raffinazione, non viene pertanto considerata la potenza totale ma quella effettiva.

L'energia specifica di raffinazione è definita quale quoziente della potenza effettiva di raffinazione e la portata attraverso il raffinatore (kW h/t).

Questo rapporto indica quanta energia è necessaria per una determinata quantità di pasta e per unità di tempo. Questa affermazione non è peraltro 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 di fibre (<0,4 Wh/kg secco).

La maggior parte dell'energia viene dissipata sotto forma di attrito e riscaldamento della sospensione fibrosa. Così, la temperatura di un impasto al 4% di densità, con una energia applicata di 1 Wh/kg secco viene aumentata di circa 34°C.



Definizione del carico specifico di lama.

Poiché un calcolo esatto, dell'energia effettivamente assorbita dalla fibra, non è facilmente effettuabile, in genere viene utilizzata la pura energia di raffinazione. Questa permette anche un confronto delle diverse composizioni fibrose relativamente alla loro raffinabilità.

Si lavora comunque sempre nel tentativo di migliorare la scarsa efficienza dei raffinatori a lame.

2.9 INFLUENZA DELL'INTENSITÀ DI RAFFINAZIONE

E' ovvio che a parità di altre condizioni l'intensità di raffinazione varia in ragione diretta dalla potenza applicata, pertanto i due concetti di "trasferibilità di potenza" e di "intensità di raffinazione" non possono essere trattati in modo disgiunto.

L'intensità massima di raffinazione è correlata al modulo di rottura del film di fibre, caratteristico dell'impasto: l'applicazione di una potenza troppo elevata non solo non consente di raggiungere il limite superiore delle proprietà di resistenza che l'impasto potrebbe potenzialmente sviluppare, ma può anche provocare la rottura del film di fibre.

Molti studi sono stati condotti nel tentativo di razionalizzare e spiegare in termini matematici il processo di raffinazione, ma le formule proposte per la raffinazione a dischi non sempre sono state confermate dalle osservazioni sperimentali, sia in sede di laboratorio che nelle applicazioni industriali.

La ragione di queste contraddizioni è che le formule proposte sono concettualmente le stesse sviluppate per le Olandesi, poi estese ai raffinatori conici ed oggi applicate ai raffinatori a dischi.

Il parametro al quale più frequentemente si ricorre per caratterizzare la trasferibilità di potenze e quindi la capacità di raffinazione è “l’area di contatto”, definita come valore medio in un periodo delle aree istantanee di contatto.

Tramite le aree istantanee di contatto la spinta applicata al rotore viene trasmessa, attraverso il film di fibre, allo statore. Nell’ambito di questa teoria, l’intensità di raffinazione acquista i caratteri dimensionali di una pressione specifica e varia pertanto in ragione inversa dell’area di contatto, mentre la potenza applicabile, a parità di velocità periferica, risulta proporzionale all’area di contatto.

Accanto all’energia di raffinazione, l’intensità di raffinazione, con cui viene effettuata la raffinazione, è di notevole importanza per il risultato finale.

Per valutare l’intensità di raffinazione nei raffinatori a lame, Brecht e Siewerti negli anni Sessanta hanno formulato la teoria del carico specifico della lama (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 pura energia di raffinazione e lunghezza delle lame per secondo. Quest’ultima (L_s) rappresenta la lunghezza totale degli spigoli delle lame che ogni secondo i sovrappongono e quindi agiscono sulla fibra.

Si calcola secondo la formula:

$$L_s = Z_r * Z_s * L * n$$

dove:

Z_r = numero delle lame del rotore

Z_s = numero delle lame dello statore

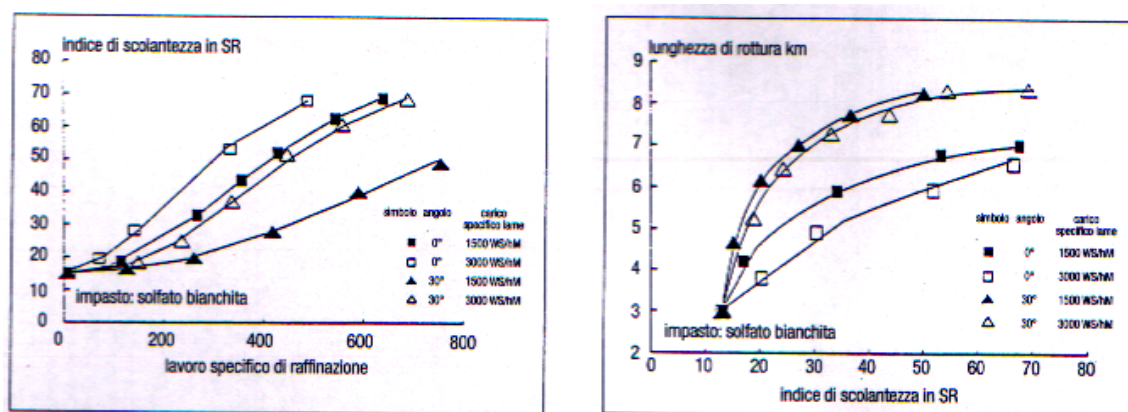
L = lunghezza totale degli spigoli delle lame in metri

n = numero giri del rotore al minuto

Come indice di intensità, il carico specifico della lama è direttamente correlato al risultato di raffinazione. Un elevato carico specifico 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.

L'influenza del carico specifico di lama sulla scolantezza e l'influenza del carico specifico di lama sulla lunghezza di rottura sono graficamente riportate in figura.



Con l'aumento del lavoro specifico aumenta l'indice di scolantezza SR°. Il gradiente di aumento è tanto più elevato, quanto maggiore è il carico specifico delle lame. Un aumento dell'indice di scolantezza non è però generalmente desiderato, durante la formazione del foglio tela.

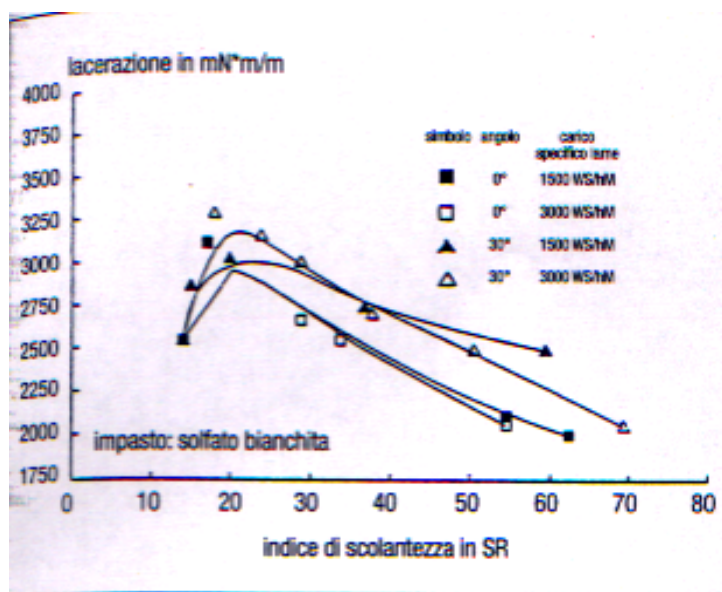
Relativamente alle resistenze meccaniche statiche, rappresentate nella figura come sviluppo della lunghezza di rottura, con la raffinazione si ottiene un miglioramento. Questo è, nel campo del basso indice di scolantezza (basso carico specifico), più elevato rispetto a quello nel campo opposto (elevato indice).

Le elevate intensità di raffinazione (3000 Ws/Km) porta, in seguito al taglio della fibra, ad un minor sviluppo delle resistenze, a parità di indice di scolantezza. Questa differenza è ancora più grande, rispetto alla cellulosa al solfato qui considerata, nel caso di fibre resistenti alla raffinazione (esempio cartaccia).

Si conferma anche il fatto già ben noto, che un angolo elevato delle guarniture, ha effetto positivo sul risultato di raffinazione. L'importanza maggiore del carico specifico delle lame consiste però nel fatto che, è 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 e il carico di lavoro del raffinatori.

Ciò permette un confronto dei risultati di raffinazione nei diversi raffinatori con guarniture differenti. Per quanto riguarda le guarniture, il numero di lame del rotore e dello statore e la loro larghezza 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 dello spigolo della lama.



Per un dato carico di potenza, si riduce così il carico specifico della lama, cioè si ha come risultato una raffinazione più delicata. Se invece è dato un costante carico specifico della lama, si può, con guarniture che hanno una più grande L_s , aumentare la trasmissione di energia (riduzione della distanza fra le guarniture).

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, e cioè la potenza pura assorbita ed il numero di giri del rotore. Per la maggior parte dei raffinatori che oggi lavorano ancora con un numero di giri fisso, rimane soltanto come parametro di regolazione la potenza applicata.

Il numero di raffinatori con la più costosa regolazione del numero di giri è però in aumento. Con il numero di giri si può influenzare in modo preciso la lunghezza al secondo.

Il numero di giri più elevato fa aumentare la lunghezza al secondo e quindi riduce il carico specifico di lama.

Per una buona defibrillazione si utilizzano velocità periferiche di 20-25 m/s. con il numero di giri si può pilotare il risultato di raffinazione (taglio, defibrillazione). Da tenere presente però che con l'aumento del numero di giri le perdite idrauliche del raffinatore aumentano esponenzialmente.

La potenza massima applicata deve essere circa il 10-20% inferiore al limite di carico. Oltre che a rappresentare la 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.

Queste caratteristiche hanno un'influenza sullo stato dello strato di fibre, che si forma sullo spigolo delle lame. Fibre di cellulosa di conifere producono uno strato più forte rispetto alle cellulose di latifoglie e permettono quindi un più elevato carico delle lame. Proseguendo nella raffinazione, questo strato si indebolisce e fa quindi ridurre il limite di carico della macchina.

Con l'aumento della densità o aumento dell'angolo della lama, che ha per effetto l'aumento di questo strato di fibre, si può aumentare il limite di carico. Ciò consente un risparmio di energia.

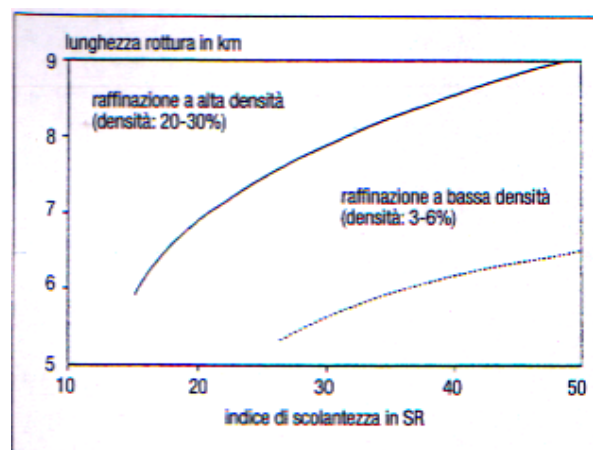
2.10 INFLUENZA DELLA DENSITA'

Per quanto riguarda la densità di raffinazione oggi si distingue in:

- densità bassa 3-6% (Low consistence refining LC)
- densità elevata 20-30% (High consistence refining HC)

La figura rappresenta l'influenza della densità sullo sviluppo della resistenza a trazione.

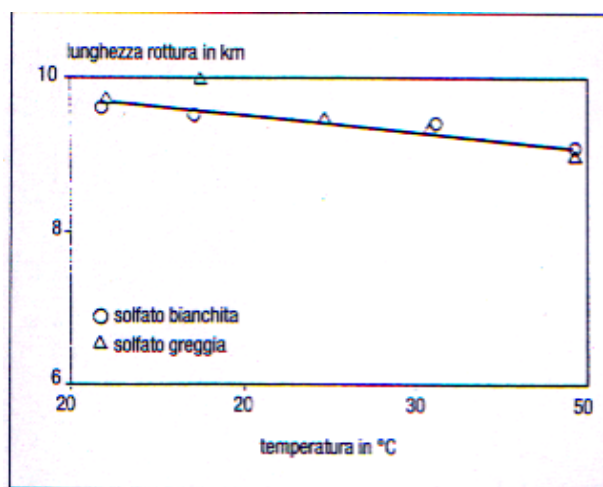
Con la raffinazione ad alta densità, in generale, si ottengono migliori caratteristiche di resistenza.



Il fabbisogno di energia per raggiungere lo stesso grado di scolantezza è e però in questo caso circa 2,5 volte il fabbisogno per la raffinazione a bassa densità.

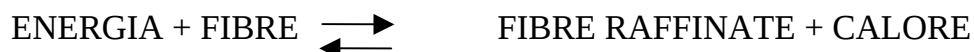
2.11 INFLUENZA DELLA TEMPERATURA, PH E AGGIUNTA DI PRODOTTI CHIMICI.

L'influenza della temperatura nella raffinazione è ben rappresentata nella figura, anche qui in relazione alla resistenza alla trazione.



Si vede come l'aumento di temperatura, da 20 a 80° C, ha per effetto una riduzione minima della resistenza alla trazione.

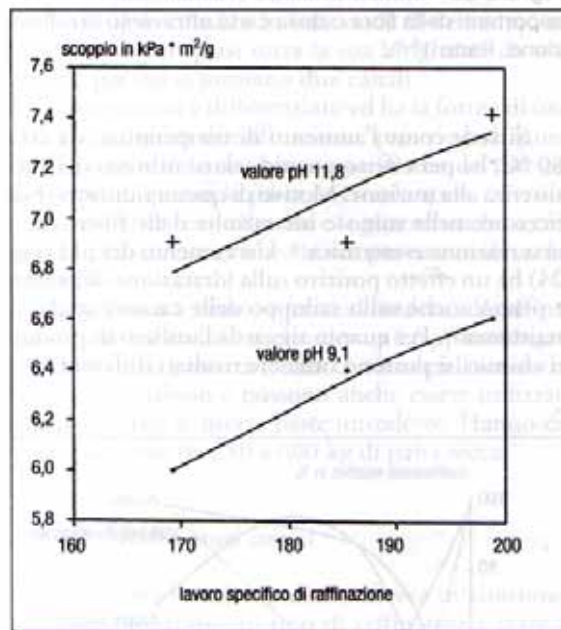
La temperatura gioca un ruolo importante nella raffinazione in quanto il processo produce calore:



Se immaginiamo che il processo sopra riportato sia una reazione chimica di equilibrio, il calore figurerebbe tra i prodotti; se voglio quindi favorire il processo di raffinazione e renderlo più efficiente devo sottrarre calore per spostare la reazione verso destra.

Il motivo di questa riduzione è da ricercare nella minore idratazione delle fibre, che è una reazione esotermica.

Mentre un aumento del pH, come si vede in figura, ha un effetto positivo sulla idratazione delle fibre e perciò anche sullo sviluppo delle caratteristiche di resistenza.

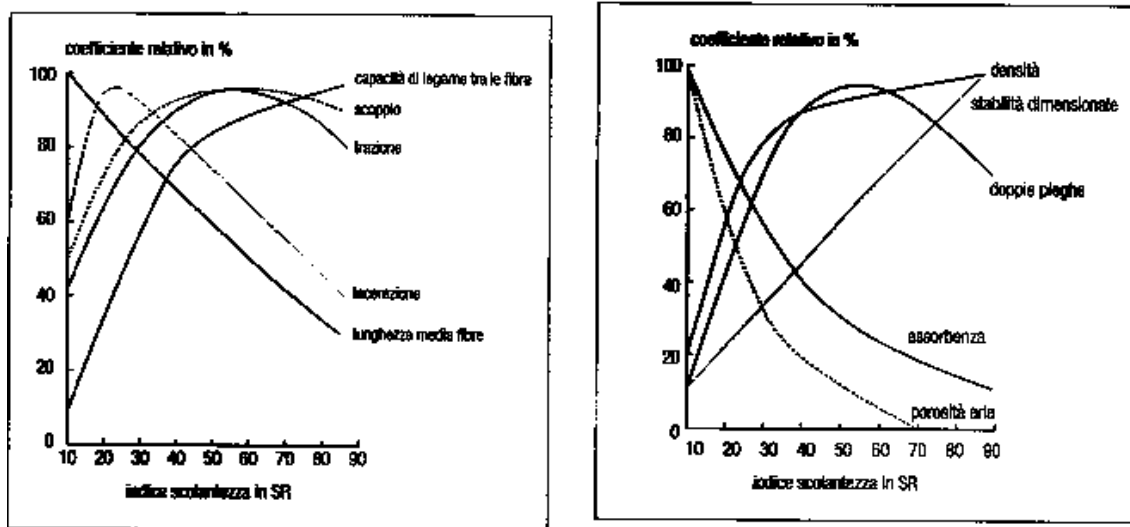


Per quanto riguarda l'utilizzo di prodotti chimici si possono ottenere risultati differenti.

3. SVILUPPO DELLE CARATTERISTICHE ATTRAVERSO LA RAFFINAZIONE

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

Il trend di sviluppo di alcune importanti caratteristiche è riportato nelle figure sottostanti.

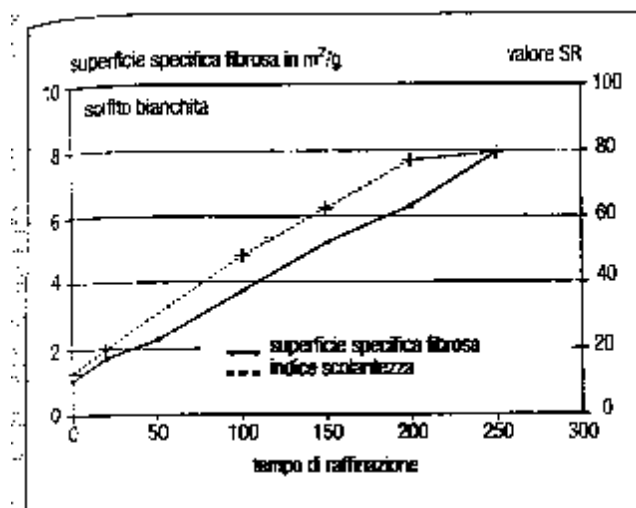


A causa della crescente produzione di fini e dell'aumento della superficie delle fibre, la disidratazione viene fortemente influenzata. La sospensione forma, durante la disidratazione sulla tela della macchina, uno spesso strato di fibre, che drena con difficoltà. La capacità del drenaggio deve, pertanto, essere tenuta in particolare considerazione accanto allo sviluppo delle altre caratteristiche, 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 sua superficie specifica fibrosa, attraverso la raffinazione.

Questo sviluppo è rappresentato nella figura qui di seguito, riferito ad una cellulosa al solfito bianchita.



La lunghezza delle fibre è particolarmente importante per le resistenze dinamiche della carta (lacerazione). La resistenza alla lacerazione, all'inizio della raffinazione, aumenta poiché, a questo punto l'influenza della defibrillazione, con il conseguente aumento delle resistenze statistiche del foglio, compensa l'influenza del taglio delle fibre.

Dopo aver raggiunto un massimo, allora l'effetto del taglio delle fibre prevale e la lacerazione diminuisce rapidamente con l'aumento della raffinazione. Questa svolta di processo si presenta 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 (lunghezza di rottura, scoppio). Questi miglioramenti si verificano subito all'inizio della raffinazione, a causa della migliorata capacità delle fibre di legarsi fra di loro, e raggiungono il loro massimo soltanto ad elevati gradi di raffinazione, compresi fra 70-80°SR.

Poi si verifica una perdita delle resistenze, poiché la riduzione della lunghezza delle fibre non viene più compensata dalla formazione di nuove capacità di legame.

Accanto all'influenza sulle caratteristiche di resistenza, la raffinazione ha effetto anche su altre caratteristiche. A seconda del tipo di utilizzo della carta, questa influenza si può anche rilevare in modo negativo.

Così, con l'aumento della raffinazione, si riduce la porosità della carta causando quindi un peggioramento dell'assorbimento dell'inchiostro da stampa. Analogamente si abbassa la permeabilità all'aria.

L'aumento della densità della carta, d'altra parte, permette la produzione di carte resistenti ai grassi.

L'opacità si riduce con l'aumento della raffinazione, cosa che risulta negativa per le carte da stampa. Al contrario, per le carte trasparenti ciò è invece una condizione necessaria.

Il rapporto fra lunghezza delle fibre legate e la lunghezza totale delle fibre, che con la raffinazione aumenta, ha per effetto una maggiore reattività della carta rispetto all'umidità ambientale, cioè la stabilità dimensionale della carta si riduce.

Il differente sviluppo di certe caratteristiche può quindi essere influenzato dal tipo e dalla intensità della raffinazione.

4. I RAFFINATORI

Le tre grandi categorie di raffinatori sono i raffinatori olandesi, il raffinatore di tipo conico e i raffinatori a dischi.

4.1 PILE OLANDESI

Queste macchine, sviluppate in Olanda nel XVII secolo, sostituirono i precedenti mulini battitori e rimasero, fino al XX secolo, costruttivamente inalterate.

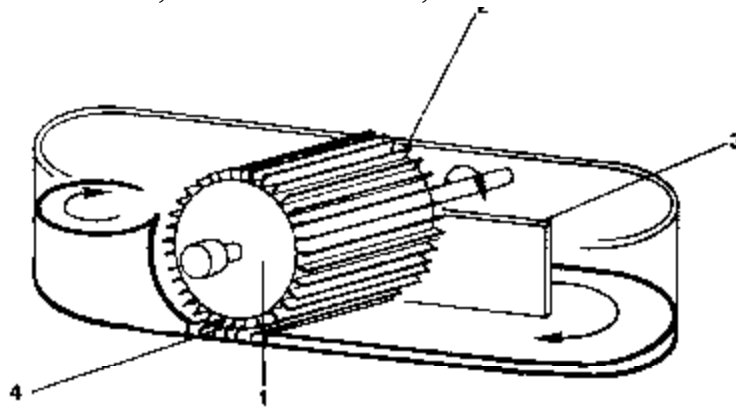
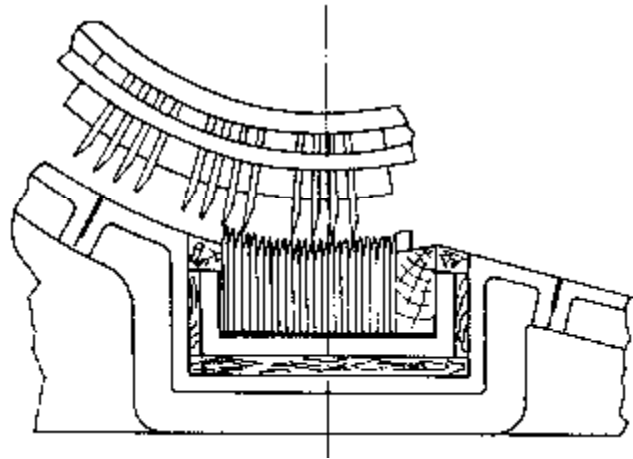


Fig. 4.6.a) - Schema di una olandese:
1 - cilindro; 2 - lama; 3 - parete divisoria; 4 - platina.



A causa della bassa efficienza, della necessità di grandi spazi, come pure a causa del personale di servizio necessario, oggi l'olandese non viene più utilizzata. Si usa soltanto nella lavorazione degli stracci.

L'olandese consiste in una vasca di cemento, divisa a metà per quasi tutta la sua lunghezza da una parete, per cui si formano due canali.

Il pavimento è differenziato ed ha la forma di una suola. Il cilindro di raffinazione, provvisto di lame, provoca un effetto di pompaggio in uno dei due canali e porta quindi la pasta in circolazione.

La distanza fra il cilindro e la guarnitura fissa collocata sotto di esso, viene variata per mezzo di un leverismo.

La potenza a vuoto, riferita al risultato di raffinazione, è in questo caso molto elevata e rappresenta circa il 50% della potenza totale. Le olandesi lavorano in modo discontinuo e possono anche essere utilizzate per spappolare le mezze paste introdotte. Hanno capacità variabile da 250 a 600 kg di pasta secca

4.2 RAFFINATORI CONICI

I raffinatori conici lavorano invece in continuo. Antesignano di questo tipo di raffinatore è stata la macchina inventata da Jordan, che venne impiegata dapprima per aiutare il lavoro delle olandesi.

Oggi i raffinatori conici tradizionali lavorano con coni da 16-26°, mentre quelli a grande angolo con coni da 50-60°.

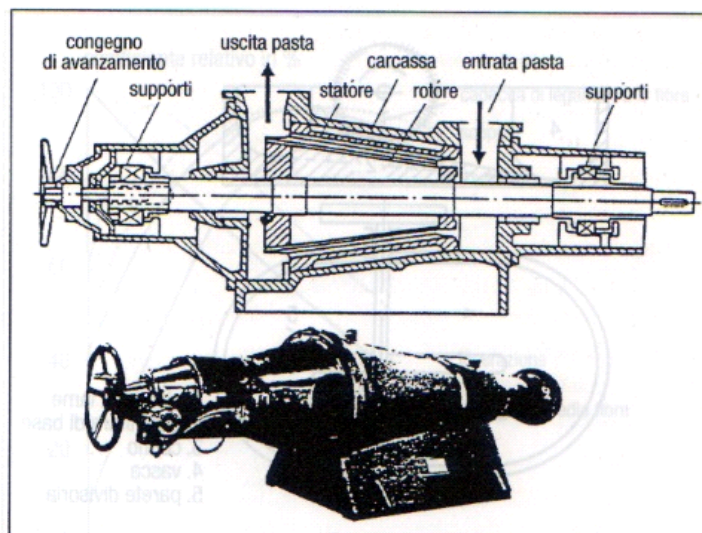
L'angolo del cono è definito come l'angolo dato dalle linee del mantello del rotore.

I raffinatori conici sono costituiti in genere da:

- una cassa con ingresso ed uscita pasta;
- uno statore conico;
- un rotore egualmente conico;
- un meccanismo di regolazione del rotore.

Le guarniture a forma conica vengono utilizzate per limitare le forze assiali.

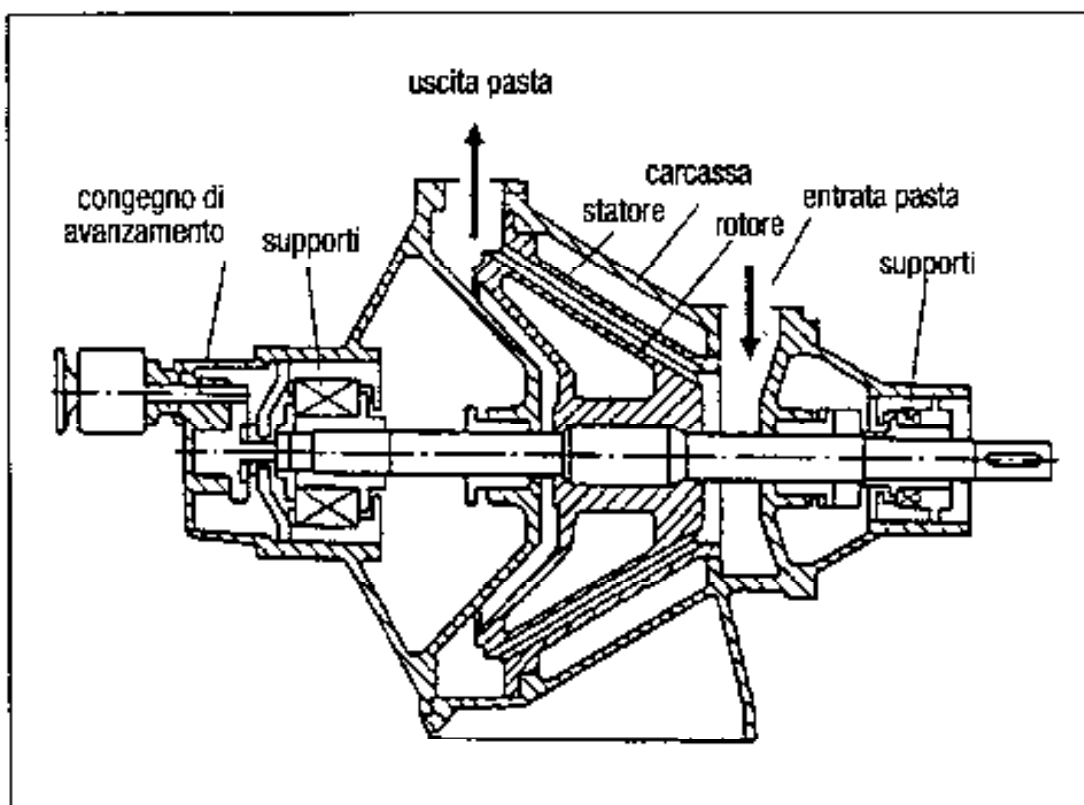
Un esempio lo si trova nella figura riportata qui in basso



Le forze effettive si scompongono in una componente assiale 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.

Questo svantaggio deve essere colmato attraverso supporti e meccanismi di regolazione del rotore, per altro costosi.

I vantaggi del raffinatori a grand'angolo, un esempio del quale è riproposto in figura, sono costituiti dalla sua maggiore superficie di raffinazione e dalla maggiore varietà delle disposizione delle lame.

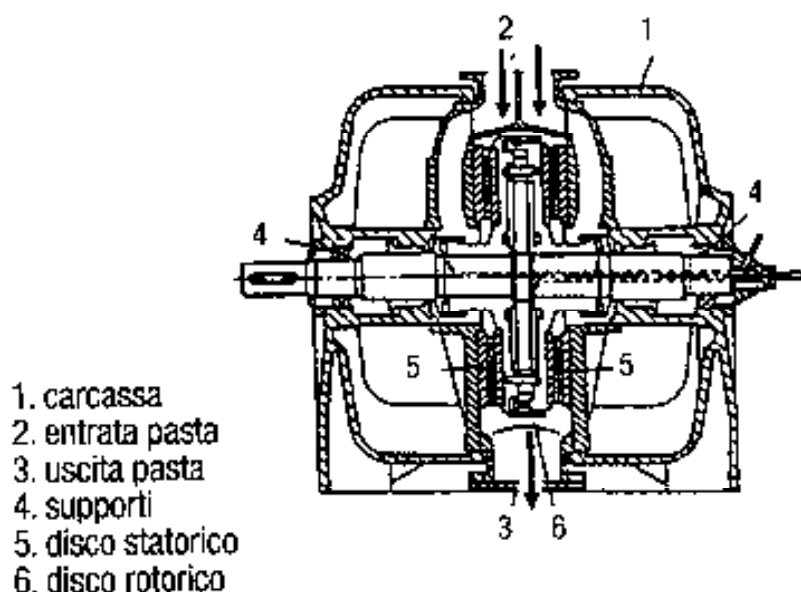


Le scanalature del raffinatori a grand'angolo possono essere il doppio di quelle del raffinatori a basso angolo, cosa che garantisce una maggiore durata delle guarniture. Le più elevate perdite per turbolenza, possono essere compensate riducendo le scanalature mediante riempimento per fusione di materiale plastico.

4.3 RAFFINATORI A DISCO

Il raffinatori a disco (vedi esempio riportato nella figura qui sotto), lavora pure in continuo come il raffinatori conico.

sezione di un raffinatori doppio scarico



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 raffinatori 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 facile.

I raffinatori a disco hanno guarniture di diametro compreso fra 750 e i 1500 mm.

La portata può arrivare fino a 450 t/g.

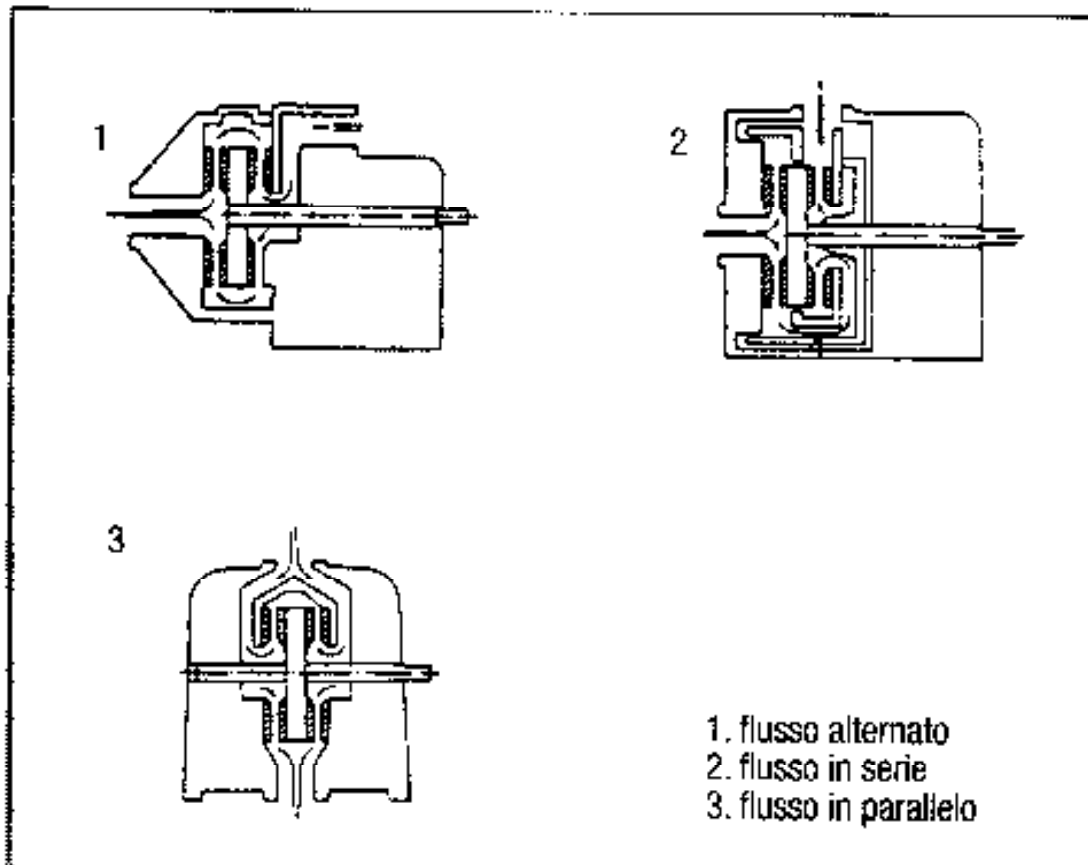
L'assorbimento di potenza può andar da 300 a 2200 kW.

A seconda del tipo di guarniture, i raffinatori a disco possono essere divisi in tre gruppi:

- raffinatori con disco fisso e disco rotante;
- raffinatori 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 doppio disco vengono poi ancora suddivisi a seconda del flusso della pasta, come mostrato nella figura qui di seguito.



Ci sono infatti tre possibilità:

- flusso alternato;
- flusso seriale;
- flusso parallelo.

Fra i raffinatori a dischi, quello a doppio disco è preferito per la raffinazione della cellulosa, poiché con questo si può raddoppiare la superficie di raffinazione senza un maggior impegno costruttivo rispetto al raffinatore monodisco.

4.4 CAMPI DI 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 200 kW per problemi costruttivi e di produzione.

Nel campo compreso fra i 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 i 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.

Questi sono, relativamente ai costi variabili, altrettanto vantaggiosi come i raffinatori a grande angolo, ma sono addirittura migliori per quanto riguarda il cambio delle guarniture.

Ciò permette la costruzione di macchine molto più grandi, che lavorano in modo più economico, a causa della minore perdita di potenza a vuoto.

La scelta delle dimensioni del raffinatore dipende molto dal programma di produzione della cartiera. Per cartiere che producono carte di massa, sono più vantaggiosi i raffinatori di grandi dimensioni. Nelle cartiere con continui cambi di produzione è invece più facile lo sfruttamento ottimale di piccole macchine, che spesso devono essere fermate e riavviate.

I dati tecnici per i diversi tipi di raffinatori sono riportati in tabella:

	Olandese	Raffinatore conico	Raffinatore grand'angolo	Raffinatore a dischi rotore a supporti bilaterali	Raffinatore a dischi rotore a supporti a sbalzo
Diametro rotore	Fino a 1830	Fino a 500	Fino a 1200	Fino a 1372	Fino a 1524
Velocità periferica, m/s	10-12	15-20	10-20	17-23	17-25
Potenza motore, kW	Fino a 350	Fino a 450	Fino a 600	Fino a 1850	Fino a 2200
Alimentazione	Tangenziale da piccolo a grande diametro del cono paralleli o alternati				
Portata t/d a 4,5%	-	100	200	400	450
Angolo cono, °	-	16-26	50-60	-	-
Carico a vuoto, %	50	40	25	15	15

4.5 CONSIDERAZIONI SUI RAFFINATORI A DISCO ED A CONO

La raffinazione 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 così 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 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 stazionarie non rimane costante durante l'usura delle lame. La differenza di velocità tra le due estremità del raffinatore conico produce turbolenza e quindi cavitazione, determinando l'usura non uniforme delle lame 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 è più favorevole per il raffinatore a dischi.

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.