

8° Corso di Tecnologia per Tecnici Cartari
edizione 2000/2001



Il processo di produzione delle paste chimiche e il loro trattamento

di Baldi Fabrizio

Scuola Interregionale di Tecnologia per Tecnici Cartari

Via Don G. Minzoni, 50 - 37138 Verona



Indice

1 - Introduzione

2 - Criteri generali per la trasformazione di vegetali in paste

2.1 - Le paste chimiche

2.1.1 - Le paste alla soda

2.1.2 - Il processo kraft

2.1.3 - Il recupero dei liscivi

2.1.4 - Il processo al solfito

2.1.5 - Il recupero chimico

3 - L'imbianchimento delle paste chimiche

3.1 - I componenti chimici per l'ottenimento della sbianca

4 - I componenti chimici dei legni

4.1 - La cellulosa

4.2 - Le emicellulose

4.3 - La lignina

4.4 - Gli estrattivi

5 - Descrizione morfologica della fibra

5.1 - Le dimensioni delle fibre

5.2 - L'interazione fibra-acqua

6 - Descrizione morfologica della fibra

6.1 - Variabili che influenzano lo spappolamento

6.1.1 - pulper in discontinuo

6.2 - Variabili che influenzano la raffinazione

6.1.2 - Modificazione delle fibre per raffinazione

6.3 - L'intensità di raffinazione

6.4 - Scolantezza e raffinabilità

7 - Effetti della raffinazione sulle caratteristiche della carta

8 - Conclusione

1. Introduzione

La produzione di carta necessita, in base al suo uso finale, di un'attenta e mirata scelta della materia prima fibrosa, in quanto quest'ultima determina le caratteristiche ottiche, meccaniche e chimiche del "pannello fibroso".

Tutte le fibre usate nell'industria cartaria provengono dal mondo vegetale; a seconda della loro natura si distinguono in fibre legnose e non legnose, a significare se sono state estratte da materiale arboreo o piante erbacee; comunque sia le fibre di maggior interesse cartario provengono da specie legnose come conifere e latifoglie e le più note sono:

- Larici, Abeti, Cedri, Pini, Cipressi (conifere).
- Betulle, Faggi, Aceri, Pioppi, Castagni, Eucalipti, Tigli, Querce (latifoglie).

Tra i tanti elementi per cui un vegetale può essere considerato fonte di materia prima fibrosa, sono da valutare il contenuto di cellulosa e la possibilità di estrarla facilmente.

L'attenzione riservata dall'industria verso moltissime specie arboree piuttosto che ai vegetali a corto ciclo vegetativo, dipende dal fatto che le tecnologie più diffuse per la produzione di paste per carta si sono sviluppate maggiormente nella direzione del legno rispetto a tutte le altre materie prime fibrose le quali richiedono interventi mirati e differenziati per ognuna di esse.

Le paste chimiche e meccaniche (comprendendo fra queste tutti i procedimenti intermedi: chemimeccaniche, chemitermomeccaniche, termomeccaniche, pressomeccaniche) derivanti dalla lavorazione del legno, sono le materie prime più usate attualmente dall'industria cartaria italiana; il tasso di utilizzo (consumo di carta da macero su produzione di carte e cartoni) di materie prime da carta da macero ammonta al 49.1% (1999, dati ISTAT) ed è limitato alla produzione di *Newsprint*, carte e cartoni da imballaggio e per ondulatori e in piccole parti nell'industria *tissue*: ciò è dovuto al fatto che il tasso di raccolta di carte da riciclare è uno dei più bassi in Europa. Sarebbe comunque auspicabile un maggiore utilizzo di tale materia prima in quanto la posizione geografica dell'Italia e le sue caratteristiche morfologico-ambientali fanno sì che l'approvvigionamento di materie prime fibrose per la produzione della carta avvenga quasi esclusivamente per

importazione incidendo notevolmente sui costi di produzione. Qui di seguito vengono riportate le tabelle con i dati ASSOCARTA che riassumono l'import-export di materie prime negli ultimi 10 anni.

CARTA DA MACERO

anni	RACCOLTA INTERNA (1)		IMPORTAZIONI		ESPORTAZIONI		CONSUMO (2)		Tasso di raccolta (3)	Tasso di utilizzo (4)
	1000 t	Var. %	100 t	Var. %	100 t	Var. %	100 t	Var. %	%	%
1990	2372.0	13.2	747.8	-18.9	6.4	82.9	3113.4	3.3	31.0	50.0
1991	2552.1	7.6	691.9	-7.5	2.7	-57.8	3241.3	4.1	32.4	50.4
1992	2648.9	3.8	726.9	5.1	4.6	70.4	3371.3	4.1	31.1	50.4
1993	2678.3	1.1	799.9	10.0	29.6	543	3448.6	2.3	32.4	51.0
1994	2710.1	1.2	1069.3	33.7	36.9	24.7	3742.5	8.5	29.6	51
1995	2788.1	2.9	1089.3	1.9	54.0	46.2	3823.5	2.2	30.8	30.8
1996	2914.2	4.5	1018.6	-6.5	33.6	-37.7	3899.3	2.0	33.1	52.1
1997	3080.2	5.7	925.8	-9.1	52.8	57.0	3953.2	1.4	32.0	49.2
1998	3300.5	7.2	853.6	-7.8	41.8	-20.8	4112.4	4.0	33.3	49.9
1999	3628.8	9.8	706.2	-17.3	127.7	206	4207.3	2.2	35.2	49.1
(1) CONSUMI-IMPORT+EXPORT										
(2) I DATI DI CONSUMO SONO RILEVATI DA ISTAT PRESSO LE CARTIERE										
(3) RACCOLTA APPARENTE DI MACERO/CONSUMO APPARENTE DI CARTE E CARTONI										
(4) CONSUMO DI CARTA DA MACERO SU PRODUZIONI DI CARTE E CARTONI										

Tab. 1

PASTE DI LEGNO PER CARTA - TOTALE
90% DI SICCIITÀ ATMOSFERICA

anni	PRODUZIONE		IMPORTAZIONI		ESPORTAZIONI		CONSUMO APPARENTE		Esport. su produz.	Import. su consumo
	1000 t	Var. %	100 t	Var. %	100 t	Var. %	100 t	Var. %	%	%
1990	596.4	-13	2049.80	-2.4	69.9	4.2	2576.30	-5.2	11.7	79.6
1991	509.4	-14.6	2309.10	12.7	59.5	-14.9	2759.00	7.1	11.7	83.7
1992	442.1	-13.2	2451.10	6.1	12.4	-79.2	2880.80	4.4	2.8	85.1
1993	424.5	-4	2477.20	1.1	34.2	176	2867.50	-0.5	8.1	86.4
1994	460.9	8.6	2666.00	7.6	26.7	-21.9	3100.30	8.1	5.8	86
1995	490.5	6.4	2714.20	1.8	17.8	-33.2	3186.90	2.8	3.6	85.2
1996	447.2	-8.8	2784.90	2.6	18.4	3.2	3123.70	0.8	4.1	86.7
1997	467.6	4.6	3030.20	8.8	11.9	-35.2	3485.9	8.5	2.5	86.9
1998	462.5	-1.1	3075.70	1.5	12.9	7.9	3525.30	1.1	2.8	87.2
1999	444.2	-4	3118.20	1.4	15.4	20	3546.90	0.6	3.5	87.9

Tab. 2

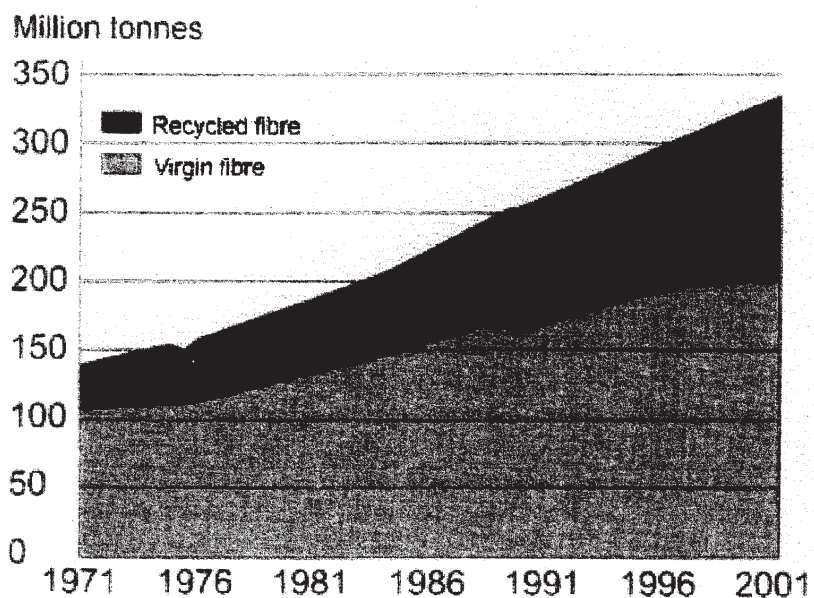


Fig. 1 Consumo mondiale di fibre vergini e riciclate per la produzione di carta e cartone. (Jaakko Poyry)

2. Criteri generali per la trasformazione dei vegetali in paste

I legni, come è stato visto, costituiscono la principale fonte di fibra per l'industria cartaria.

In essi la cellulosa è accompagnata dalle emicellulose e soprattutto dalla lignina, la cui funzione principale è quella di tener saldate e unite tra loro le numerose fibre in maniera da conferire resistenza e rigidità ai tessuti legnosi. Il fine dei vari processi di trasformazione di un vegetale in pasta è, quindi, quello di favorire nel modo più idoneo e opportuno la separazione delle fibre. Il risultato può essere raggiunto mediante diversi tipi di energia, somministrata in modo tale da vincere la forza coesiva della lignina, la quale una volta modificata e/o asportata parzialmente, non può più esplicare la sua originaria funzione naturale di legante fra le fibre.

L'energia, a seconda del procedimento adottato per pervenire alla separazione delle fibre, è di tipo MECCANICO, CHIMICO e TERMICO.

Con la sola *energia meccanica* si ottengono le cosiddette PASTE LEGNO; quando vi si ricorre, le fibre subiscono uno scollamento energetico, che provoca la loro separazione in maniera imperfetta pregiudicandone l'integrità; si produce, cioè, una pasta costituita da una massa cospicua di frammenti di fibre, schegge, di fascetti e di fino.

In questo caso la lignina, non essendo stata modificata chimicamente, mantiene ancora la rigidità dei frammenti di fibre e delle schegge originatesi dal legno; la pasta che ne deriva, possiede una resa elevata (circa 95%), è economicamente apprezzata e svolge un ruolo molto importante soprattutto nelle carte LWC, dove l'impasto fibroso è costituito per il 50% proprio da questo prezioso prodotto che conferisce alla carta qualità ottiche, di buona ricettività degli inchiostri, di morbidezza e sofficietà.

I legni impiegati nella produzione di pasta meccanica devono possedere requisiti particolari fra i quali la loro *colorazione* e il valore di *densità basale* (massa del legno allo stato secco/volume del legno a massima imbibizione). Per quanto riguarda il colore, tra le conifere l'abete è la pianta che possiede tutti i requisiti per dare una pasta meccanica di elevato livello qualitativo; tra le latifoglie, invece, si prende in considerazione quasi esclusivamente il pioppo nelle sue molteplici varietà. Per quanto riguarda la densità

basale sono preferibili tutti quei legni che hanno un valore compreso tra 300 e 450 Kg/m₃, quali quelli presentati dalle conifere, in linea generale; fra le latifoglie l'unico legno preso in considerazione è quello di pioppo, per valori di densità basale in linea con quelli menzionati.

Se invece viene fornita al legno *energia chimica*, contemporaneamente a quella *termica*, in maniera piuttosto drastica, la lignina viene sottoposta a modifiche e a profonde alterazioni della sua struttura che ne favoriscono l'allontanamento; le fibre separate le une dalle altre, integre e flessibili, possono così presentare buone caratteristiche meccaniche, tipiche di una pasta chimica (impropriamente detta cellulosa) molto apprezzata, ma costosa commercialmente; la resa di quest'ultima si aggira intorno al 30%. Queste paste trovano impieghi in tutti i tipi di carte in cui, oltre alle caratteristiche di resistenza meccanica, è richiesta anche pulizia, sofficità, buona speratura, superficie liscia e uniforme, potere assorbente; per tale utilizzo sono indicati i legni sia di conifera che di latifolia.

Tra i due sistemi di fabbricazione della pasta meccanica e della pasta chimica, esistono numerosi processi, i quali, basandosi sull'impiego di energia chimica e termica, seguita da un trattamento meccanico, a seconda dell'intensità e della durata delle condizioni operative, producono tutta una serie di paste con rese oscillanti tra il 60% e l'85% e caratteristiche meccaniche generalmente intermedie a quelle prese come riferimento.

Sono questi i caratteri distintivi di un gruppo di paste, comunemente note come paste *semichimiche*, in cui l'azione del calore e dei reattivi, ha provocato solo un parziale attacco della lignina; proprio per quest'ultima ragione è richiesta successivamente anche l'azione meccanica per effettuare una buona separazione delle fibre.

L'uso della pasta chimica per la produzione di carte tecniche e da stampa di alta qualità è di fondamentale importanza nell'industria cartaria italiana; le caratteristiche ottiche e meccaniche di questo prodotto non sono sostituibili da qualsiasi altra materia prima: la *cellulosa* (d'ora in poi la chiamerò così per praticità) oltre ad essere di non facile reperimento è anche molto più costosa delle altre materie prime; inoltre la produzione di tale pasta è stata condizionata (e lo è ancora in parte) da problemi di inquinamento ambientale che comunque hanno incentivato la ricerca che ha fatto considerevoli passi avanti e ad oggi i maggiori produttori di cellulosa europei hanno investito nelle nuove tecnologie per chiudere al massimo i cicli

di lavorazione e per limitare gli scarichi in atmosfera; il cartaio, a questo punto, deve essere molto ben informato sulla provenienza della cellulosa che compra, perché potrebbe essere in parte responsabile di problemi ambientali irreversibili (vedi diossine).

2.1 Le paste chimiche

La pasta chimica viene prodotta cuocendo il legno, opportunamente frammentato in “chips”, in un “digester” assieme a prodotti chimici che hanno la funzione di dissolvere la lignina così da rendere possibile il distacco e la liberazione delle fibre.

Generalmente una produzione di cellulosa si divide in due linee di processo: la linea fibre e la linea di recupero dei liscivi.

La linea delle fibre consiste nella trasformazione del legno in pasta per la produzione di carta; i prodotti della cottura sono fibre libere fra di loro e i liscivi (“liquors”) che contengono prodotti chimici e sostanze del legno dissolte (es. polisaccaridi, emicellulose).

I motivi che portano alla rigenerazione dei liscivi sono diversi:

- Il “black liquor” non può essere scaricato nel circuito delle acque sporche o nella rete fognaria per ovvi motivi ambientali;
- I prodotti chimici di cottura possono essere riutilizzati nel processo (previa opportuna rigenerazione);
- Le sostanze del legno dissolte nei liscivi sono utili come fonte di energia dopo la loro combustione.

Vengono usati due differenti processi per la produzione di cellulosa, vale a dire il processo al solfato (KRAFT) e il processo al bisolfito di magnesio.

Il processo al solfato è quello attualmente più in uso e che dà le migliori caratteristiche meccaniche; il processo di cottura avviene in ambiente alcalino. Nel processo al bisolfito il liscivio di cottura è acido o neutro, i legni maggiormente usati sono l’abete rosso, la betulla, il faggio ecc.: il pino, per contro, non è molto usato.

Le proprietà delle paste chimiche variano a seconda della materia prima di legno e dai processi per il loro ottenimento e vanno ricercate per ottenere convenientemente i vari tipi di carta.

Le paste KRAFT bianchite di latifolia e le paste al bisolfito bianchite,

danno come risultato una carta con una buona superficie di stampa e sono usate per produrre le cosiddette “*fine paper*”. Le cellulose al bisolfito sono talvolta usate come “elemento di rinforzo” nelle carte newsprint.

Le lunghe fibre di conifera danno carte resistenti e per i tipi bianchiti anche buone caratteristiche di stampa.

Le paste gregge KRAFT di conifera sono usate quando la richiesta di resistenza è alta, soprattutto per imballaggio, carta da sacchi, cartoncino per alimenti e “*liner*” (la parte esterna all’onda del cartone da imballaggio).

Il contenuto di lignina nei legni scandinavi di pino e di abete rosso si aggira intorno al 27% e per la betulla 20%; le tecnologie attuali non permettono di cuocere fino ad avere la completa dissoluzione della lignina senza produrre effetti degradanti sulle proprietà meccaniche e sulla resa della fibra. Il numero K per una cellulosa è usato per determinare il contenuto residuo di lignina: questo numero può variare da un valore di 10 ad anche più di 100, corrispondente a contenuti di lignina da 1,5-2% fino al 15%.

La resa di una pasta è definita dalla quantità di cellulosa al secco, espressa in percentuale, che è stata ottenuta da una data quantità di legno al secco. Le rese delle paste KRAFT e di quelle al bisolfito variano dal 25% al 60%.

2.1.1 LE PASTE ALLA SODA

Esiste un terzo procedimento per la produzione di cellulosa che prende il nome dal reattivo usato per la delignificazione (NaOH). La produzione di questo tipo di paste è molto limitata quantitativamente ma anche territorialmente agli Stati Uniti. Per l'ottenimento della cellulosa sono richiesti lunghi tempi di cottura che variano da 3 a 8 ore: i valori più elevati sono impiegati per ottenere una maggiore delignificazione, al fine di destinare le relative paste all'imbianchimento, oppure sono riservate ai legni di conifera aventi, notoriamente, un contenuto più elevato di lignina rispetto alle latifoglie.

Proprio per tale differenza di sostanza incrostante, i legni di latifoglia sono preferiti per produrre paste da sottoporre ad imbianchimento per due ragioni principali:

- sono legni che richiedono condizioni di delignificazione meno severe delle conifere
- le paste sono più facilmente bianchibili.

Le conifere sono destinate principalmente alla produzione di paste gregge poiché la loro maggiore quantità di lignina richiederebbe condizioni più drastiche di cottura se si dovessero bianchire

Le principali caratteristiche ed impieghi sono riassunte nella tabella seguente:

CARATTERISTICHE	IMPIEGHI
- Elevata sofficità e assorbenza	- Carte da stampa e da edizioni
- Buone caratteristiche meccaniche (inferiori alla Kraft)	- Carta assorbente
- Resa inferiore al processo Kraft	- Carta da avvolgere e da imballaggio
- Dure alla raffinazione (anche per contenuto di lignina)	- Buste per lettere, da spedizione
- Colorazione scura delle paste gregge	- Carte igieniche
- Resistenza all'ingiallimento (bianchite)	

Tab. 3

Le caratteristiche meccaniche, come le rese (40-45%) sono inferiori a quelle delle paste al solfato; attualmente le paste alla soda sono state soppiantate da altri tipi di paste per le varie utilizzazioni.

2.1.2 IL PROCESSO KRAFT (o al solfato)

Il processo al solfato prende il nome dal solfato di sodio (Na_2SO_4) che è il prodotto chimico che si aggiunge ai liscivi dopo la cottura, per compensare le perdite di zolfo e di sodio nel processo. Oggigiorno si riescono a limitare le perdite e la domanda di solfato di sodio è diminuita drasticamente.

I liscivi di cottura usati nel processo al solfato sono chiamati “*White liquors*”: i principi attivi sono l'idrossido di sodio (NaOH) e il solfuro di sodio (Na_2S). Il white liquor inoltre contiene altri chimici come il carbonato di sodio (Na_2CO_3) e il solfato di sodio: questi ultimi prodotti, comunque, non partecipano al processo di delignificazione.

Il liscivio contenuto nella pasta dopo la cottura è chiamato “*Black liquor*” e viene separato dall'impasto fibroso tramite lavaggio. Dopo il lavaggio la cellulosa subisce trattamenti quali epurazione, bianchimento, essiccamento, mentre i prodotti chimici vengono restituiti alla linea di recupero per essere riutilizzati.

Le industrie per la produzione di paste Kraft si distinguono per il loro caratteristico odore di solfato: ciò è causato dallo sprigionamento di diversi gas contenenti zolfo quali il solfuro d'idrogeno e il mercaptano metilico; fortunatamente questi odori non infastidiscono più gli abitanti dei paesi circostanti perché i sistemi di combustione e di abbattimento dei gas hanno ormai minimizzato il problema.

La lavorazione del legno in una “*Pulp mill*” è praticamente uguale per tutti i processi: la materia prima arriva in fabbrica sotto forma di tronchi i quali vengono scortecciati nei cosiddetti “tamburi scortecciatori” che sono degli enormi cilindri che possono avere da 4 a 6 metri di diametro e fino a 60 metri di lunghezza e dove la corteccia si stacca dai tronchi a seguito dello sbattimento fra di essi e contro le pareti del tamburo stesso: le cortecce vengono recuperate e bruciate in caldaie per la produzione di vapore.

Successivamente il legno così scortecciato subisce un primo lavaggio con acqua fresca, passa attraverso una “trappola” dove è posizionato un magnete che cattura i corpi estranei ferrosi (nello stabilimento di Burgo Ardenne si estraggono ancora materiali bellici degli scontri fra americani

e tedeschi avvenuti in quella zona durante l'ultimo conflitto) dopo di che, un sistema di lame rotanti, sminuzza il legno in chips, con misura ben precisa in tutte le dimensioni per agevolare l'attacco dei reagenti chimici: le schegge o le parti troppo grandi vengono scartate.

I chips vengono stoccati in mucchi da 60-80.000 ton e vengono prelevati, per la cottura, dalla base di questi mucchi: l'entità degli stoccaggi a cielo aperto permette di avere una certa permanenza dei chips prima della cottura in modo da favorire reazioni di fermentazione che iniziano una prima degradazione della lignina.

Il legno è quindi pronto per essere cotto; ci sono due metodi diversi per la cottura: a batch o in continuo.

Nella cottura a batch il digester è "caricato" con chips, white liquor e black liquor. Il liscivio di cottura prima di essere immesso passa attraverso degli scambiatori di calore e viene riscaldato con vapore; la temperatura nei cuocitori è di 170°C e la pressione di 8 bar, valori che vanno tenuti assolutamente costanti; il tempo di delignificazione è strettamente correlato al valore della temperatura, al contenuto di umidità del legno, alla concentrazione dei reattivi nel liscivio e alla solfidità con la quale si opera (solfidità = rapporto fra solfuro di sodio e *alcali attivo* ossia somma della quantità di soda e solfuro presenti nel liscivio e realmente efficaci ai fini della delignificazione): infatti aumentando o diminuendo una di queste variabili indipendentemente l'una dall'altra o contemporaneamente, si diminuisce o si aumenta il tempo di cottura richiesto per avere in corrispondenza i valori di resa e le caratteristiche desiderate. Nel riscaldamento del bollitore per pervenire alla temperatura prestabilita di 170°C è importante che il liscivio alcalino penetri all'interno del legno prima che venga raggiunto il valore di 120°C, perché altrimenti avverrebbe la condensazione della lignina in assenza degli alcali; tale inconveniente darebbe luogo al cosiddetto INCOTTO, cioè alla formazione di un materiale non delignificato che deve essere scartato.

A cottura ultimata una valvola alla base del cuocitore apre in maniera repentina e il contenuto viene scaricato in una "*Blow Tank*" (dall'inglese: tina di sfogo): in questo modo la depressurizzazione improvvisa espelle con violenza la massa che viene proiettata all'esterno provocando l'apertura dei minuzzoli con la conseguenza di avere la separazione delle fibre in modo integro. Nei processi di cottura a batch solitamente vengono utilizzati più cuocitori così da permettere maggior flessibilità degli impianti.

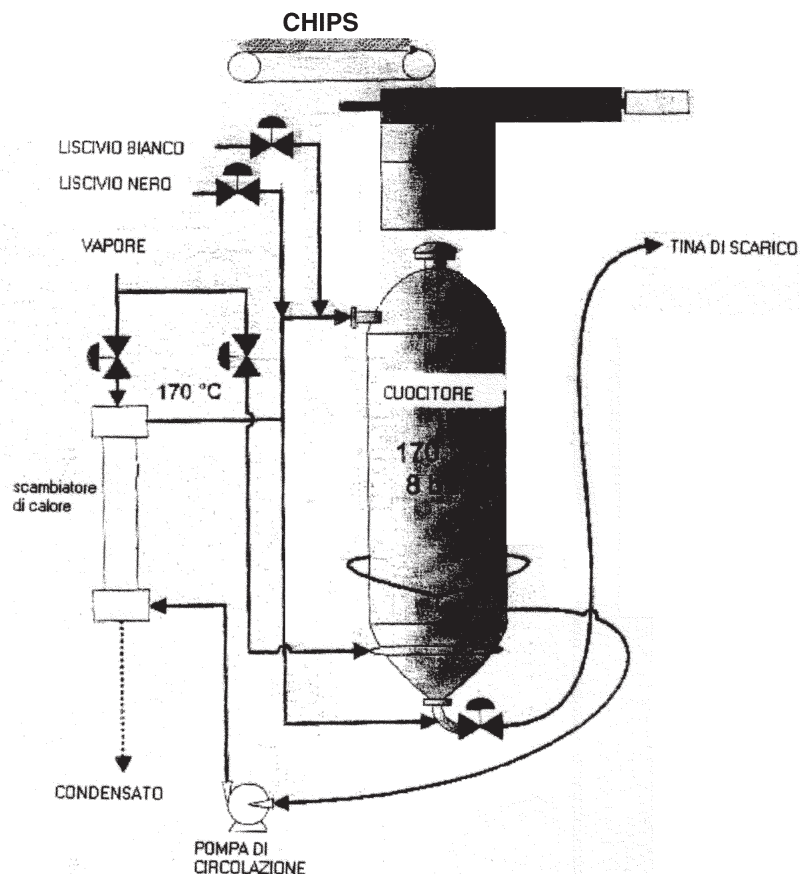


Fig. 2 Cuocitore a batch

Nel metodo di cottura in continuo i chips e il white liquor sono introdotti dall'alto del cuocitore, che è un grosso tubo verticale dove i chips cuociono e scendono lentamente verso il basso trasformandosi in pasta.

Il processo si compie attraverso diversi stadi:

- preriscaldamento dei chips con vapore;
- ulteriore riscaldamento dei chips con vapore ed espulsione dell'aria per favorire la penetrazione dei chimici all'interno del legno *Steaming vessel*;
- impregnazione del legno con i prodotti chimici che può avere luogo sia in un recipiente separato *impregnation vessel* sia nella parte iniziale del cuocitore;
- cottura, durante la quale si ottiene la delignificazione;
- lavaggio, nella parte bassa del cuocitore.

I prodotti chimici per le operazioni di lavaggio sono pompati alla base del cuocitore ed il loro flusso è opposto a quello della pasta.

Nel sistema vengono controllati costantemente gli apporti di alcali, la temperatura e il tempo di cottura in modo da avere una pasta con numero K adeguato a ciò che si vuole ottenere.

La pasta destinata all'imbianchimento deve avere bassi contenuti di lignina così da diminuire il consumo di chimici per la sbianca; questo è importante non solo per ragioni ambientali ma anche per ottimizzare i costi di produzione.

È estremamente importante, per la pasta chimica, un buon lavaggio dopo la cottura: i prodotti chimici che non sono allontanati portano ad un più alto consumo di chimici nel reparto sbianca, più alto impatto ambientale e qualità inferiori. Gli impianti di lavaggio comunemente installati dopo una cottura a batch sono i cosiddetti “*drum filter*” (filtri a tamburo) oppure ci possono essere delle presse di lavaggio. In genere per avere una pasta abbastanza pulita è necessario fare diversi cicli di lavaggio: dopo la cottura la pasta contiene diversi contaminanti come cortecce, nodi di legno, incotti ecc., questi sono rimossi da epuratori che permettono di allontanare le parti grossolane; gli idrocycloni (cleaners) sono usati per rimuovere particelle fini come la sabbia.

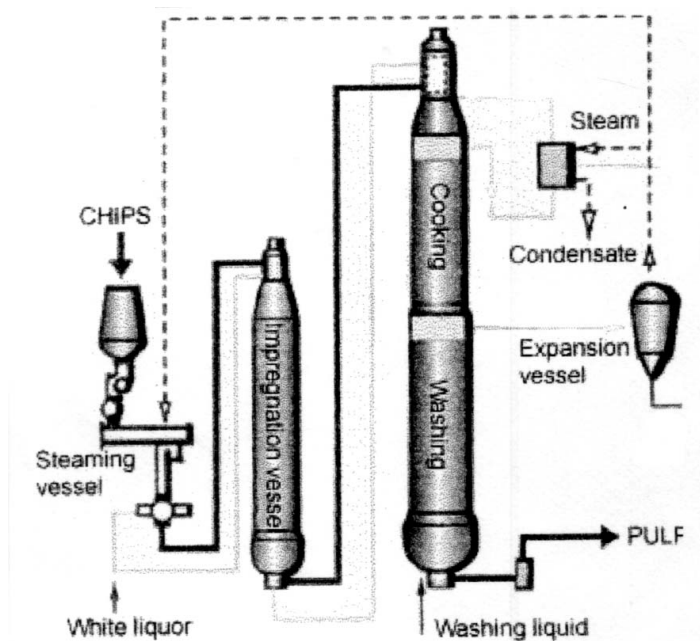


Fig. 3 Cuocitore in continuo

2.1.3 IL RECUPERO DEI LISCIVI

Il liscivio, separatosi dalla pasta espulsa dal bollitore, unito alle acque dei primi lavaggi, viene avviato verso l'impianto di recupero per la combustione.

Le operazioni di recupero, a cui si sottopone il liscivio nero, sono della massima importanza poiché rendono possibile il processo: esse consistono in una serie di reazioni che portano alla rigenerazione dei composti di partenza pronti per essere riutilizzati nella cottura successiva, oltre alla produzione di calore e all'ottenimento di sottoprodotti.

Il black liquor e le acque di lavaggio che inizialmente contengono disciolte le sostanze organiche e vari sali di sodio, nella misura di circa il 18%, vengono concentrati in particolari evaporatori a multiplo effetto, fino a raggiungere il valore di concentrazione del 35%. Nel corso di tale lavorazione si separano i saponi degli acidi grassi e degli acidi resinici (*Tall oil*) che vengono allontanati, recuperati e opportunamente impiegati nella collatura della carta; il liscivio, successivamente, è sottoposto ad un procedimento di ossidazione e quindi a ulteriore concentrazione in evaporatori a contatto diretto che portano il contenuto in solidi a valori del 65%.

Al liquido che ha assunto una consistenza vischiosa, si aggiunge il solfato di sodio (Na_2SO_4), e quindi viene introdotto in particolari forni per il recupero di energia. Il materiale organico che brucia, produce anidride carbonica e calore necessario ad ottenere vapori sia per i turbogeneratori, sia per le esigenze della cartiera (se siamo in presenza di uno stabilimento integrato), mentre i composti inorganici si depositano allo stato fuso sul fondo del forno di combustione.

In tali condizioni, il solfato di sodio presente insieme a quello aggiunto, è ridotto a solfuro di sodio (Na_2S); l'anidride carbonica viene assorbita dal residuo alcalino per dare carbonato.

La massa fusa dei sali, sciolta in acqua, dà il liscivio verde, pronto per essere sottoposto a caustificazione con la calce, al fine di riottenere i reattivi di partenza (White liquor); esso contiene per la massima parte soda, carbonato e solfuro di sodio oltre al solfito ed è pronto per l'impiego in cottura.

CARATTERISTICHE ED IMPIEGHI DELLE PASTE KRAFT

Paste meno delignificate (resa >50%)	Paste più delignificate (resa <50%)
CARATTERISTICHE	
Colore bruno	Colore bruno meno scuro
Non vengono bianchite	Sono destinate all'imbianchimento
Sono leggermente scheggie	Non sono scheggie
Migliori caratteristiche di resistenza	Caratteristiche di resistenza inferiori
Legni di conifera	Legni di latifolia e di conifera
IMPIEGHI	
In tutti i tipi di carte in cui sono importanti le caratteristiche meccaniche di resistenza; in questo caso sono favoriti i legni di conifera;	In tutti i tipi di carte in cui, oltre alle caratteristiche meccaniche, è richiesta anche pulizia, sofficità, buona speratura, superficie uniforme e potere assorbente; per tale utilizzo sono indicati i legni sia di conifera che quelli di latifolia;
Carta per sacchi di elevata robustezza (cemento, farina ecc.)	Carte da stampa e da edizioni
Carta, cartoncini e copertine liner	Supporti da impregnare e da patinare
Cartoni piani	Carte sanitarie, igieniche tissue
Imballaggio di vario genere	Carte alimentari
	Carte per buste

Tab. 4

2.1.4 IL PROCESSO AL SOLFITO

La grande maggioranza delle industrie che producono pasta bianchita al solfito, usa il magnesio come prodotto chimico di base per il processo di cottura.

Vi sono anche alcuni stabilimenti in Svezia che usano sodio o calcio.

Il metodo usato per la cottura è quello cosiddetto a *"batch"*, o in discontinuo.

I cuocitori sono simili a quelli usati per il processo al solfato.

Nella preparazione della pasta al solfito, il bisolfuro di magnesio $[Mg(HSO_3)_2]$ è usato come prodotto chimico attivo per la cottura acida

(pH 4). Le condizioni di cottura (temp., P, t di cottura) hanno un'ampia forbice di valori rispetto a quelle della pasta al solfato (120°-160° di t e da 7/8 ore a 24/25 ore di tempo di cottura). La pasta viene lavata ed epurata, e il liscivio di lavorazione evapora. Nel processo al solfito le resine sono difficilmente separabili dalle fibre. Un metodo utilizzato per rimuovere la resina è quello di far circolare la pasta in una speciale pressa ad elica, in modo da distaccare la resina ed allontanarla; il filtrato della pressa viene acidificato e le particelle di resina si aggregano in fiocchi, vengono poi espulse dal ciclo tramite dei flottatori.

2.1.5 IL RECUPERO CHIMICO

Il liscivio ottenuto dalla cottura della pasta col bisolfuro di magnesio non può essere evaporato se il suo contenuto di solidi supera il 60%, se questo valore fosse più alto la sua viscosità aumenterebbe repentinamente e l'evaporazione risulterebbe difficoltosa.

Il "*black liquor*" evaporato viene bruciato in una caldaia e i prodotti di combustione sono ossido di magnesio (MgO) e anidride solforosa (SO₂). L'ossido di magnesio accompagna il gas di combustione come cenere volatile. La cenere viene separata tramite separatori elettrostatici, dopo di che è separata in acqua fredda e lavata su di un filtro per rimuovere le sostanze solubili che non appartengono al processo.

CARATTERISTICHE ED IMPIEGHI DELLE PASTE AL SOLFITO

Cont. Lignina	Tipo di pasta	Caratteristiche	Impieghi
0	Bianchibile	Paste per usi chimici a cui si richiede assenza di lignina e di emicellulose e nessuna resistenza meccanica	Lacche, filati, esplosivi e derivati cellulosici in genere
3-4%	Morbida	Paste molto chiare, pulite, morbide, voluminose e soffici; danno una buona speratura	Carte per edizioni, per fotocopie, per etichette per buste; carte tissue, sanitarie
5-6%	Normale	Paste chiare e con discrete proprietà di resistenza	Carte da scrivere e da stampa, carta giornale, sacchetti, carte da impacco, carta velina, paraffinate, cartoncini pieghevoli
7-8%	Forte	Paste meno chiare, trasparenti raffinandole, presentano il fenomeno dell'incarto; danno buone resistenze meccaniche	Carte da impacco, da avvolgere e da imballaggio in genere; carte lisce monolucide
3-4%	Extra forte	Paste ben delignificate, ricche di emicellulose, facilmente raffinabili, con buone resistenze meccaniche	Carte con buone caratteristiche meccaniche; si presentano dense, compatte, trasparenti se raffinate; carte oleate impermeabili ai grassi, carte pergamin

Tab. 5

3. L'imbianchimento delle paste chimiche

Dopo la cottura la pasta al solfato assume un colore marrone-brunastro, mentre la pasta al solfito è di colore giallo-grigiastro: in generale, per produrre una carta bianca, è necessario bianchire la cellulosa.

Esistono due tipi di sbianca: la sbianca che preserva la lignina e quella che la rimuove.

La "*Lignin-removing bleaching*" è una continuazione del processo di cottura con l'ausilio di prodotti chimici meno aggressivi e temperature più basse; il procedimento converte la lignina in sostanze solubili che possono essere lavate.

La "*Lignin-preserving bleaching*" invece ottiene la sbianca attraverso prodotti chimici che rendono incolore la lignina ma non la rimuovono: questo metodo è fortemente usato nelle paste meccaniche.

La sbianca per rimozione è il metodo più ampiamente usato per le paste chimiche dove la lignina è disciolta dai chimici ed emerge il colore bianco-trasparente della fibra. Il grado di bianco per la pasta e la carta viene misurato in bianco ISO, che è espresso come una percentuale del bianco assoluto. La KRAFT greggia di conifera raggiunge un grado di bianco di circa 26% ISO; la pasta greggia al solfito è più bianca, 60-65% ISO. Le paste bianchite invece raggiungono gradi di bianco da 70% a 90% ISO; la carta giornale (quotidiano o newsprint) ha bianchi di 65-70% ISO; le carte da scrivere e da stampa hanno gradi di bianco compresi fra 75% e 90% ISO e sono prodotte con paste altamente bianchite.

In passato il reagente più usato per la sbianca delle paste era il gas cloro perché era molto efficace ed economico; si scoprì che quest'uso provocava delle emissioni di residui organici clorurati, dannosi per gli organismi di fiumi, laghi, mari e quindi anche per l'uomo. La conseguenza di questa scoperta è stata il lavoro di ricerca e sviluppo che si è compiuto negli ultimi vent'anni per arrivare ad una riduzione e poi ad una eliminazione totale del gas cloro. Le soluzioni adottate sono, per la pasta al solfato, una cottura modificata, una delignificazione tramite gas d'ossigeno, sbianca con biossido di cloro anziché cloro, sbianca con perossido d'idrogeno e ozono.

In generale, per ottenere un bianchimento accettabile senza interferi-

re con l'ambiente, è essenziale avere una pasta con basso contenuto di lignina: la prima soluzione adottata, come già detto, è la modificazione del processo di cottura attraverso prolungata delignificazione; da ciò deriva l'abbassamento del numero K per le paste di conifera che è sceso da livelli di 32 a 20 o anche meno.

La sbianca si ottiene integrando diversi stadi dove si attuano processi di delignificazione e decolorazione in modo da non aggredire eccessivamente le fibre, che potrebbero perdere in resa e caratteristiche.

3.1 I componenti chimici per l'ottenimento della sbianca

Delignificazione al gas d'ossigeno. La sbianca con ossigeno oggi è uno dei più efficaci metodi per rimuovere quel 40-50% di lignina rimasta dopo la cottura e le paste di conifera raggiungono numeri K di 10-12. Il gas d'ossigeno e l'idrossido di sodio (o liscivio bianco ossidato) sono aggiunti alla pasta, nella quantità di 10-15%, alla base del reattore del gas d'ossigeno dopo un riscaldamento con vapore ad una temperatura di circa 95° C. In ambiente alcalino il gas d'ossigeno ossida la lignina, rendendola solubile in acqua: il processo di delignificazione continua finché non si raggiunge il numero K adeguato; se il processo continua troppo a lungo si potrebbe perdere in caratteristiche meccaniche.

Biossido di cloro. Altro stadio di sbianca è quello con ClO_2 : la sbianca con questo composto avviene in ambiente acido a pH di 2-3 e temperature di circa 50°C; il gas cloro ossida la lignina, molta della quale viene convertita in sostanze che sono solubili in acqua e possono essere rimosse. Il metodo di sbianca con l'ausilio di gas d'ossigeno e biossido di cloro è denominato ECF (elementary chlorine free).

Perossido d'idrogeno (H_2O_2). All'inizio degli anni '90 venne introdotto un metodo di sbianca chiamato *lignox*; questo trattamento, in genere, è praticato in uno stadio successivo a quello del gas d'ossigeno e consiste nell'aggiunta di reattivi ossidanti quali il perossido di idrogeno e il perossido di sodio (Na_2O_2).

L'imbianchimento con perossido d'idrogeno avviene in ambienti alcalini (pH 9-10,5), il tempo di contatto è di circa 3-4 ore alla temperatura di 50-60° C. Si aggiunge, oltre ad idrossido di sodio nella misura di 1-3%

rispetto alla pasta, del silicato sodico in quantità del 1-5%; la funzione di quest'ultimo è quella di sostituire in parte la soda (più costosa), di agire da tampone del pH e di prevenire la decomposizione dell'acqua ossigenata causata dalla presenza di eventuali metalli pesanti. Si aggiunge, inoltre, un complessante (ad es. EDTA) che ha la funzione di stabilizzare il perossido.

Gas-ozono. Gli ultimi sviluppi della ricerca in materia di sbianca sono venuti dal gas-ozono (O_3): dopo lo stadio di delignificazione del gas d'ossigeno, viene usato come presbianca e riduce il numero K di circa 5 unità; la sbianca verrà completata da uno stadio al perossido. Il processo si sviluppa totalmente con l'assenza di gas-cloro e la cellulosa ottenuta è denominata TCF (Totally chlorine free).

Nella figura seguente un esempio di processo TCF, dove gli stadi all'o-ozono e al perossido sono intervallati da trattamenti con complessanti per preservare il perossido.

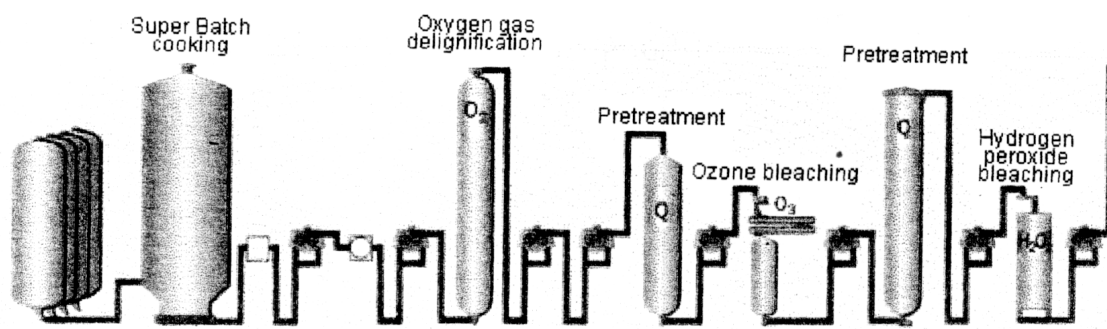


Fig. 4 Sbianca TCF

legenda:

O_2 = stadio al gas d'ossigeno

O_3 = stadio al gas-ozono

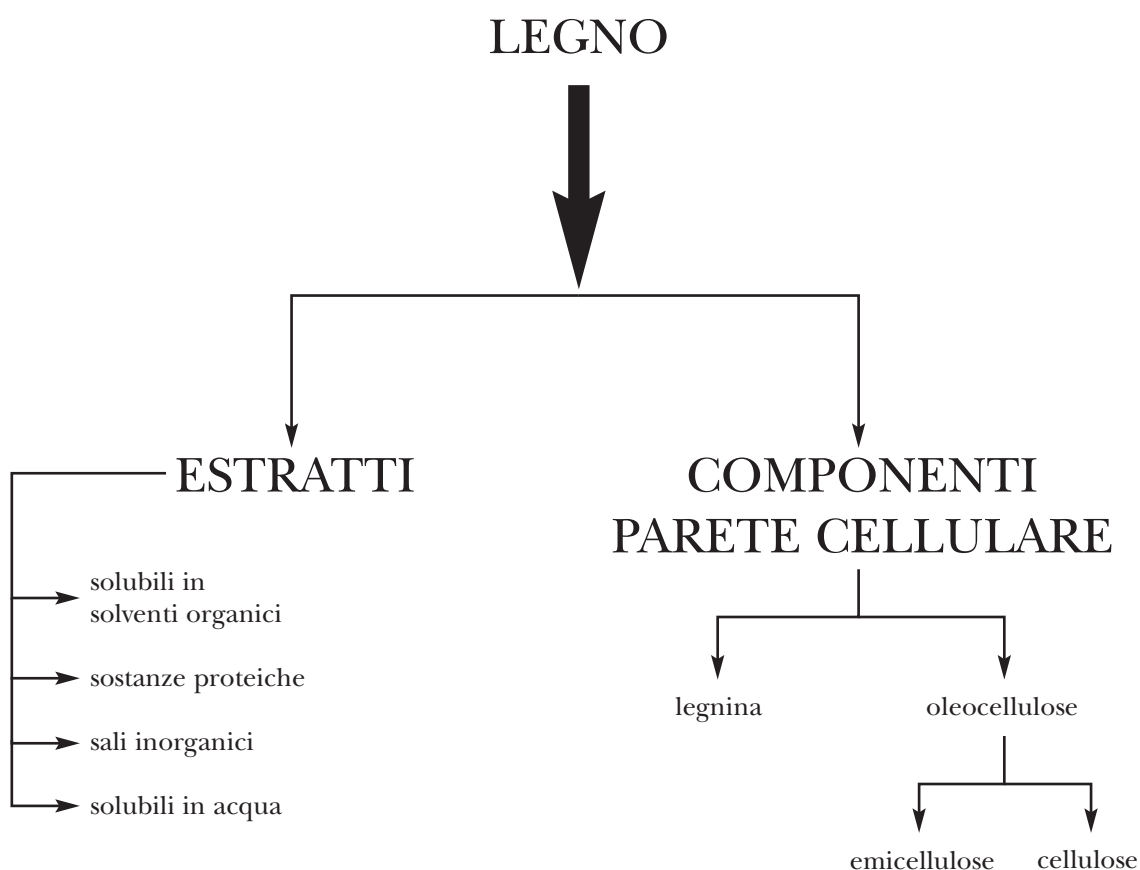
Q = trattamento con complessanti

H_2O_2 = stadio al perossido

4. I componenti chimici dei legni

La componente chimica dei legni è caratterizzata dalla presenza di polimeri quali la cellulosa, le emicellulose e la lignina insieme agli estrattivi di natura organica e inorganica.

La cellulosa, le emicellulose e la lignina compongono al 90% l'intera massa legnosa: la tabella seguente mostra in maniera schematica la composizione chimica dei legni.



I componenti chimici si presentano in quantità variabili a seconda della specie e dell'età del vegetale.

	CONIFERE	LATIFOGLIE	PAGLIA
CELLULOSA	42 $\pm$ 2%	45 $\pm$ 2%	42 $\pm$ 2%
EMICELLULOSA	27 $\pm$ 2%	30 $\pm$ 5%	33 $\pm$ 2%
LIGNINA	28 $\pm$ 3%	20 $\pm$ 4%	15 $\pm$ 2%
ESTRATTIVI	3 $\pm$ 2%	5 $\pm$ 3%	10 $\pm$ 2%

Tab. 6

4.1 La cellulosa

I processi di delignificazione descritti finora, sono serviti per liberare dai contaminanti le fibre di cellulosa che costituiscono un elemento fra i componenti della struttura botanica dei vegetali e sono la materia prima per la fabbricazione della carta.

La cellulosa è il principale componente chimico delle fibre ed è un carboidrato complesso la cui struttura, molto simile a quella dell'amido, dà, per idrolisi acida, un solo zucchero: il glucosio. 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 glucosilico.

Queste catene molecolari della cellulosa, a struttura filiforme, si trovano incorporate nella parete delle fibre, associate a costituire dei fasci di molecole. Le singole catene filiformi della cellulosa sono associate a formare più fasci che prendono il nome di *micelle*; a loro volta, fasci di queste micelle si riuniscono fra loro per formare *microfibrille* che a loro volta si associano in *macrofibrille*.

La molecola della cellulosa risponde alla formula chimica bruta $(C_6H_{10}O_5)_n$, dove n rappresenta il grado di polimerizzazione, conosciuto anche come DP (Degree of polymerization); in altri termini n o DP indica il numero delle unità glucosiliche che compongono la molecola della cellulosa e che ne determinano la lunghezza.

In natura esiste una sola cellulosa, comune a tutti i vegetali, ma con differenti valori di DP, 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 (5.000 per i legni, 7.000-8.000 per le piante annuali).

La determinazione del grado di polimerizzazione è un'indagine molto importante al fine di verificare lo stato di integrità della cellulosa; infatti dal livello del suo valore, è possibile conoscere l'entità della degradazione che la catena cellulosica ha subito a seguito del processo industriale di delignificazione del legno o di imbianchimento di una pasta.

In pratica l'indagine si effettua misurando la viscosità di una soluzione diluita (da 0,5 a 2,5%) di cellulosa in cuprammonio o i cuprietilendiamina; valori alti di viscosità corrispondono a valori elevati di DP e indicano una

notevole lunghezza della catena cellulosica, ossia che la catena stessa ha subito una trascurabile depolimerizzazione o accorciamento, a tutto vantaggio delle caratteristiche di resistenza del polimero.

4.2 Le emicellulose

Altro componente della parete cellulare delle fibre sono le emicellulose, costituite da molecole di zuccheri differenti che possono essere il *mannosio*, il *glucosio*, il *galattosio*, lo *xilosio* e l'*arabinosio*.

A differenza della cellulosa (struttura cristallina), le emicellulose come la lignina, sono allo stato amorfo e sono aggregate alla cellulosa dalla quale possono essere separate parzialmente in condizioni opportune, per l'azione di basi e di acidi; il loro numero di DP delle loro molecole varia da 10 a 200 unità.

La caratteristica principale delle emicellulose è la loro facile idratabilità, quando vengono in contatto con l'acqua: la conseguenza dell'imbibizione è il rigonfiamento delle emicellulose che a loro volta trasferiscono tale caratteristica alle pareti delle fibre di cui sono parte integrante.

Queste due azioni, imbibizione e rigonfiamento, determinano una lubrificazione degli stati interni della fibra, aumentandone la flessibilità. Con il rigonfiamento aumenta il volume specifico e l'area di legame tra le varie fibre che si ripercuote positivamente sulle prestazioni del foglio.

4.3 La lignina

Anche la lignina 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 fra loro le fibre per conferire ed esaltare la compattezza e la resistenza della pianta. La lignina è conosciuta come materiale incrostante, poiché ricopre le fibre come la corteccia intorno al tronco.

4.4 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, della cellulosa e delle emicellulose.

Le quantità degli estrattivi sono variabili anche nell'ambito della stessa specie e possono arrivare anche a valori del 30% e più, specialmente nelle piante secolari.

Tra gli estrattivi vengono inclusi anche i composti di natura inorganica, quali i sali dei metalli alcalini e alcalinoterrosi (calcio, magnesio, ecc.) rappresentati principalmente da silicati; questi ultimi però non vengono determinati sotto forma di ossidi mediante estrazione, ma solo dopo la combustione della materia organica (ceneri).

5. Descrizione morfologica della fibra

Dal punto di vista morfologico, la parete della fibra è costituita da diversi strati (vedi fig.): partendo dall'esterno si trova la lamella divisoria L composta principalmente da lignina, più all'interno una prima parete sottile P formata da filamenti poco numerosi avvolti da un sottile film di lignina, pectine ed emicellulose; ma lo strato più importante è la parete secondaria S che da sola costituisce più dell'80% dello spessore totale. Al suo interno le fibrille cellulosiche sono organizzate in famiglie di eliche parallele, le cui inclinazioni variano permettendo di individuare tre sottostrati: S1, S2, S3. Gli strati P e S1 mostrano una maggiore difficoltà ad idratarsi trasversalmente, proprio a causa dell'inclinazione importante delle loro microfibrille rispetto all'asse della fibra. Lo strato S2 ha, invece, una tendenza maggiore ad espandersi in direzione trasversale, una volta entrato in contatto con l'acqua, ma la presenza delle pareti P e S1 sembra ostacolare questo fenomeno.

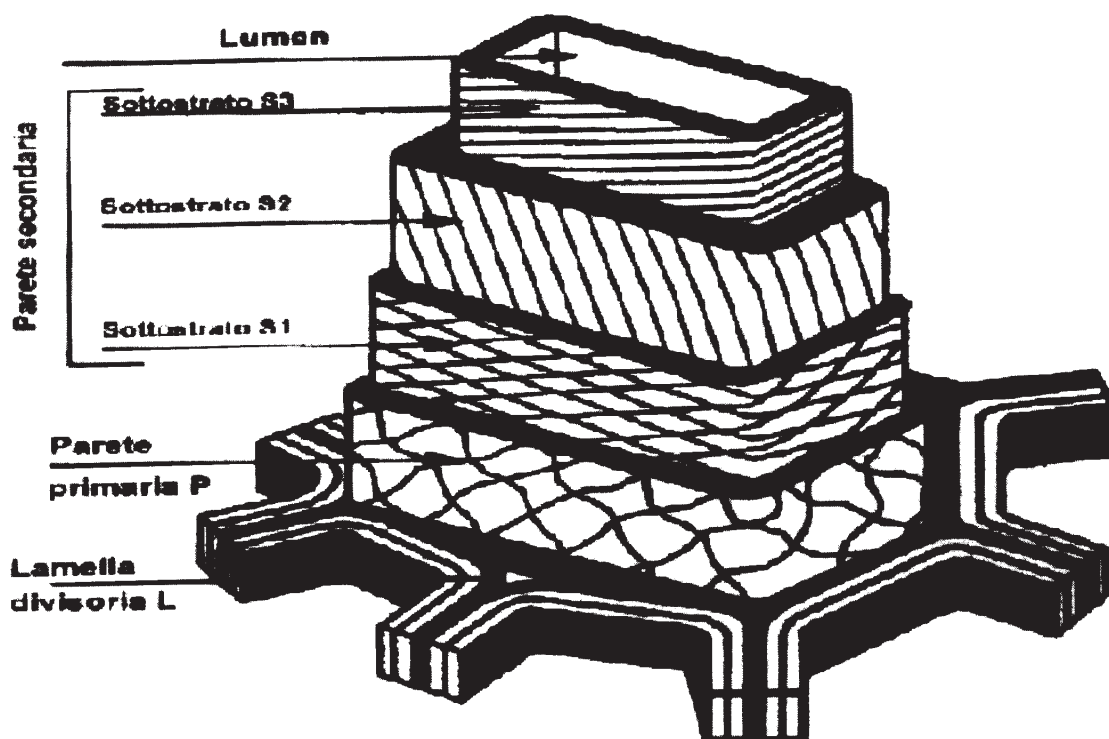


Fig. 5 Struttura morfologica della fibra

5.1 Le dimensioni delle fibre

Per quanto riguarda le dimensioni, in una fibra si prendono in considerazione la lunghezza l (mm), il diametro o la larghezza della fibra s (micron), lo spessore della parete cellulare p (micron), la larghezza o il diametro del lume c (micron), riportati schematicamente nel disegno seguente:

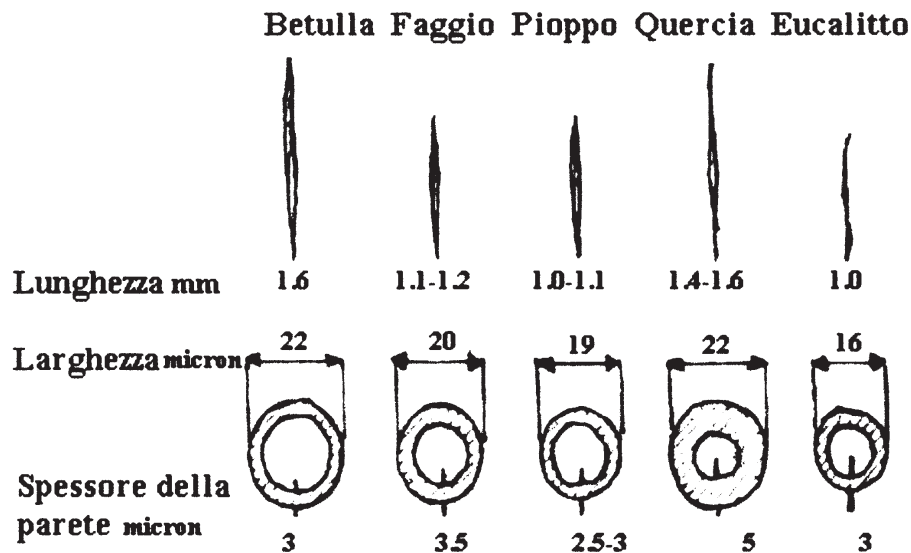


Fig. 6 Le dimensioni delle fibre

L'industria cartaria divide generalmente le fibre in lunghe e corte, le fibre lunghe vanno da 2,5 a 4 mm, quelle medie da 1 a 2 mm e quelle corte da 0,1 a 1 mm.

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 $\longrightarrow F = l/s$

Indice di feltrabilità di Runkel $\longrightarrow R = 2p/c$

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 tale valore, migliore è la formazione del foglio. F è in relazione alla lacerazione e alle doppie pieghe; l'indice di Runkel, inve-

ce, 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 di legarsi tra loro; esso è in relazione alle caratteristiche di resistenza alla trazione e allo scoppio del foglio di carta.

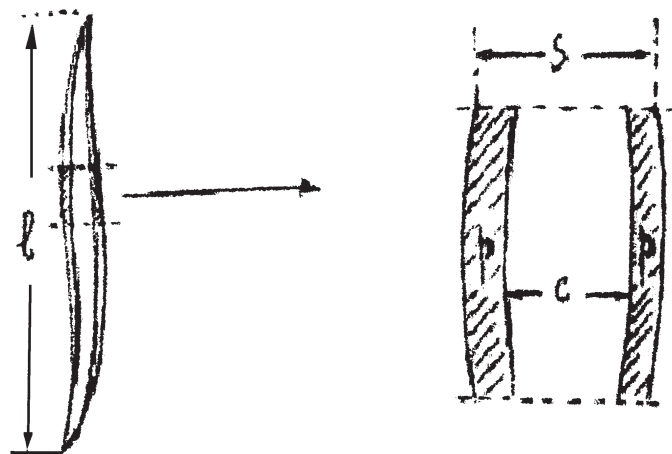


Fig. 7

5.2 L'interazione fibra acqua

La carta è un sistema cellulosa-acqua-aria ed è comune sottolineare che la relazione cellulosa-acqua è il più importante fattore chimico per l'esistenza della carta e per le sue proprietà. Il legame che lega fra loro le fibre nella costituzione del pannello fibroso sulle tele della macchina continua è detto *legame idrogeno*; in particolare il polimero cellulosico è ricco di gruppi ossidrilici ed è pertanto altamente polare ed interagisce con un liquido altamente polare come l'acqua.

La quantità di umidità o di acqua assorbita dalla fibra cellulosica dipende da molti fattori connessi all'origine e allo stato della fibra. Nella fibrilla elementare, le catene cellulosiche si trovano allineate lungo l'asse di sviluppo e formano tra di loro legami tra gruppi ossidrilici contigui; il parallelismo tra le catene genera ordine e pertanto cristallinità. La microfibrilla presenta un certo grado di cristallinità e pertanto si deduce che il rimanente materiale presenti un certo grado di disordine (amorfo).

Come già detto, associazioni di microfibrille formano fibrille, le quali sono associate in strati che compongono poi le pareti della fibra. Il sistema cellulosico viene così descritto come costituito da microfibrille in funzione

di armatura immerse in una matrice costituita da macromolecole sporgenti dalla microfibrilla e da polisaccaridi. Possiamo pertanto concludere che l'interazione dell'acqua con la fibra cellulosica è condizionata dallo stato e dalla composizione della matrice e in misura molto minore dalla struttura della microfibrilla il cui apporto a tale interazione si può considerare costante.

L'acqua, data l'interazione con gli ossidrili che compongono la fibra cellulosica, dovrebbe essere un buon solvente, e invece non lo è, in quanto non è capace di penetrare zone in cui i legami idrogeno sono molto intensi, zone sia della matrice che delle microfibrille. Il fatto che sia un cattivo solvente è estremamente utile, perché è possibile operare sulla struttura della fibra allo scopo di regolare l'interazione acqua-fibra in funzione dei nostri scopi.

Assorbimento. La cellulosa secca è estremamente igroscopica e prende umidità avidamente da qualunque sorgente. L'assorbimento aumenta con l'umidità relativa e può essere di tre tipi: *adsorbimento*, *imbibizione*, *azione capillare*.

L'adsorbimento è il primo meccanismo di presa di acqua da parte della cellulosa; esso è un processo esotermico sia perché l'acqua assume la forma di un solido sia perché si forma legame con l'ossidrile cellulosico. Il massimo di quantità di acqua adsorbita si può stimare intorno al 4%, di cui prima parte (0,5-1%) è fortemente legato alle superfici esposte del polimero che non è possibile asportare senza alterare il polimero stesso.

L'imbibizione è il meccanismo che segue l'adsorbimento e la relativa acqua captata è da considerare acqua non legata, cioè libera, posta tra elementi strutturali tra loro distanti. In una atmosfera satura, questo meccanismo sino ad un contenuto del 30% (saturazione).

L'assorbimento capillare si verifica quando la cellulosa viene immersa in acqua; l'imbibizione continua è può raggiungere un contenuto del 200% e anche oltre. Questa acqua è trattenuta da forze capillari e trovasi nelle irregolarità superficiali e nei pori. Essa non ha alcun effetto sul grado di rigonfiamento delle fibre che dipende dall'acqua adsorbita e da quella di imbibizione.

6. Spappolamento e raffinazione della fibra

Per poter produrre carta quindi, le paste chimiche necessitano di una “preparazione” adatta e mirata ad ottenere le caratteristiche richieste: stiamo parlando di fase di pulperaggio e processo di raffinazione.

Lo spappolamento, per le cartiere non integrate, è la fase in cui le fibre vengono a contatto con l’acqua e provocano gli effetti descritti nel paragrafo precedente; la raffinazione, invece, è il procedimento meccanico per cui si agisce sulla parete delle fibre le quali sviluppano caratteristiche fisico-morfologiche tali da conferire alla carta prodotta le proprietà meccaniche e ottiche richieste.

In cartiera l’operatore che segue la preparazione impasti, e in particolare la raffinazione, deve garantire costanza nelle portate e nei parametri di scolantezza in quanto il rischio è quello di influenzare negativamente la produzione: condizioni fondamentali per avere costanza in produzione sono, come ovvio, la disponibilità di materie prime e l’accertamento della loro idoneità alla lavorazione mediante periodiche prove in laboratorio oltre ad avere impianti dimensionati alle portate e sempre in perfetta efficienza

Esistono svariati tipi di macchine per la raffinazione delle fibre: le più largamente usate attualmente sono i **raffinatori conici** e i **raffinatori a disco**.

I raffinatori conici sono sostanzialmente costituiti da un rotore tronco-conico e uno statore con superficie interna pure conica (fig.). Sia il rotore che lo statore sono muniti di lame metalliche disposte lungo le generatrici del cono, con inclinazioni più o meno accentuate. Le caratteristiche delle lame variano entro limiti molto ampi, come materiale, spessore, altezza, lunghezza, numero e disposizione. L’asse del rotore ruota entro supporti particolari, che permettono di spostarlo orizzontalmente in modo che le lame rotanti possano essere allontanate o avvicinate allo statore.

I raffinatori a dischi sono basati sullo stesso principio dei conici, ma le lame sono poste su dischi. Anche in questo caso abbiamo uno statore ed un rotore, si può regolare la distanza delle lame fra rotore e statore per agire diversamente sulle fibre, e per lo stesso motivo si può ricorrere alla regolazione della valvola dell’accettato in modo da frenare il cammino della pasta e quindi assoggettarla ad un’azione raffinante più intensa, a scapito della portata.(fig.8)

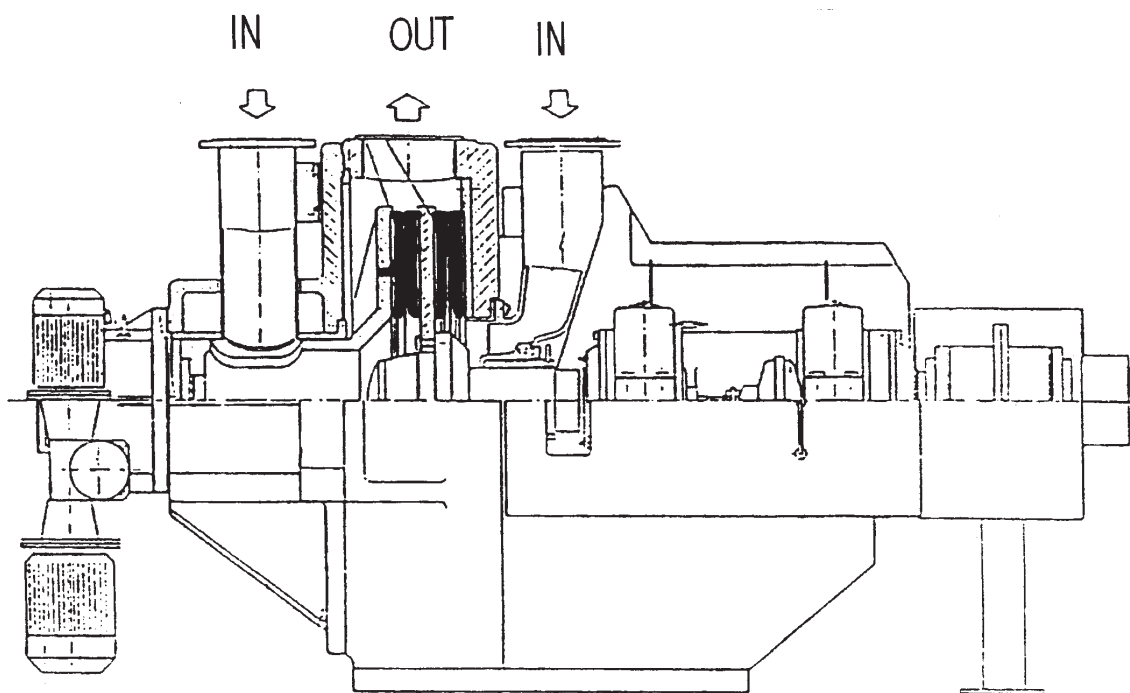


Fig. 8 Esempio di raffinatore a doppio disco

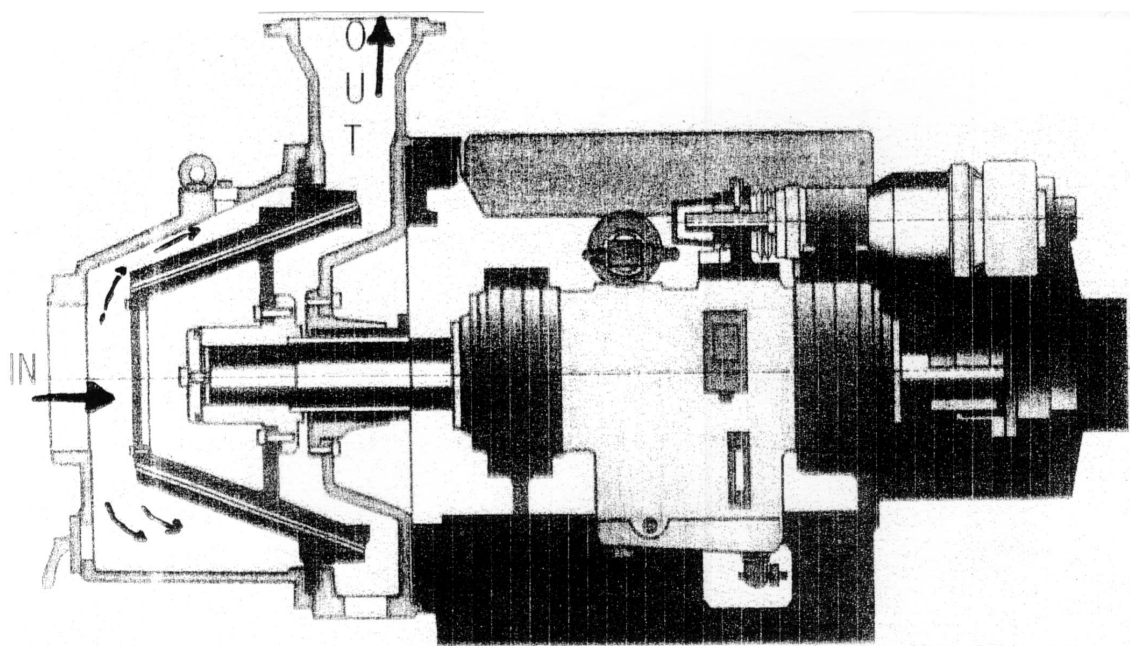


Fig. 9 Esempio di raffinatore conico

6.1 Variabili che influenzano lo spappolamento.

Le variabili della fase di pulperaggio, per quanto concerne la pasta, riguardano i metodi di essiccazione della cellulosa (con cilindri essiccatori, cappe ad aria, infra-zone o infrarossi) che condizionano il grado di secco della cellulosa; bisogna considerare il tempo di stoccaggio, a quale temperatura e quindi l'umidità. Ci sono anche le variabili di processo, ossia il tipo di pulper (a batch o in continuo), il tipo di rotore, la potenza del motore e i suoi giri al minuto ed anche il pH dell'impasto e la sua temperatura; controllando quindi l'energia adottata, il tempo impiegato, la temperatura, la consistenza, siamo in grado di proporre una pasta alla fase di raffinazione con caratteristiche tali da minimizzare i consumi, ma soprattutto per dare alla macchina la costanza di cui necessita per l'ottenimento dei migliori risultati. È molto importante sapere che la fibra, nella fase di spappolamento, subisce una prima azione di taglio e fibrillazione, dovuta allo scontro di talune fibre contro il rotore; la formula seguente esprime meglio questo concetto:

6.1.1 PULPER IN DISCONTINUO

$$\text{SEC (Specific Energy Control)} = \frac{\text{Pi} \times 0.8 \times [\text{Ts} + (\text{Td} \times 0.5)] / 60}{\text{Vn} \times \text{Cs} / 100} \quad (\text{Kwh/t})$$

$$\text{Pr} = \text{Vn} \times \text{Cs} / 100 \times 60 / (\text{Tf} + \text{Ts} + \text{Td} + \text{Tsp})$$

Pi = potenza installata, kw

Pr = produzione, t/h

Ts = tempo di spappolamento, min

Td = tempo di scarico, min

Vn = volume operativo, m³

Cs = consistenza, %

Tf = tempo di carico, min

Tsp = tempo morto

Si nota quindi che è molto importante controllare anche i tempi di processo facendo in modo che la pasta non rimanga troppo nel pulper con il

rotore in movimento, perché ciò potrebbe incidere negativamente sulla qualità della fibra e sui consumi.

6.2 Variabili che influenzano la raffinazione

Come già sappiamo le fibre di cellulosa per poter produrre carta necessitano di un trattamento meccanico, chiamato raffinazione, in modo da ottenere le caratteristiche desiderate; il rapporto fra lunghezza e spessore della fibra (indice di feltrabilità) è una delle variabili più importanti soprattutto in fase di scelta dei sistemi di raffinazione; infatti le dimensioni fisiche delle fibre condizionano la scelta del rotore e dello statore dei raffinatori: le diverse geometrie delle lame vengono utilizzate proprio in base a questa caratteristica. Le fibre lunghe di conifera necessitano lame più larghe rispetto a quelle di latifolia e intensità di raffinazione più alta, inoltre si è visto che le nuove paste TCF necessitano di un'energia specifica maggiore anche del 20%, che raggiungono più facilmente il grado di raffinazione richiesto ma le resistenze meccaniche sono più basse rispetto alle paste bianchite in maniera tradizionale con cloro.

Anche per la fase di raffinazione, quindi, è necessario considerare le variabili intrinseche della pasta utilizzata, in più bisogna tenere sotto controllo le variabili di processo come consistenza, portata, temperatura.

Altro parametro è l'Energia Specifica Totale Netta (ESNT), applicata all'impasto ed espressa in Kwh/t, viene determinata (essendo note portata in tina e consistenza), secondo la seguente espressione:

$$ESNT = \frac{J_{pv} - J_{nl}}{Q_{lpm} \times C\%} \times K_{cost}$$

J_{pv} = potenza attuale (Kwh/t)

J_{nl} = potenza a vuoto (Kwh/t)

Q_{lpm} = portata raffinato (l/min)

$C\%$ = consistenza, %

K_{cost} = costante di conversione(= 0.0006)

6.2.1 MODIFICAZIONE DELLE FIBRE PER RAFFINAZIONE

La raffinazione delle paste chimiche provoca nelle fibre una serie di trasformazioni:

- taglio
- fibrillazione
- apertura

Il taglio avviene per azione delle lame e per azione idrodinamica dell'acqua, provoca la rottura delle fibre secondo piani perpendicolari al loro asse longitudinale e pertanto ogni fibra genera due o più fibre aventi idealmente lo stesso diametro e lunghezza inferiore alla fibra originale. Il processo di taglio produce quindi fibre corte e rigide che non sono flessibili e che formano un foglio voluminoso con basse resistenze.

La fibrillazione è un'azione complessa che comprende la rottura delle fibre secondo piani paralleli al loro asse longitudinale ed il danneggiamento delle pareti esterne con formazione di fibrille. La fibrillazione pertanto crea fibre lunghe, flessibili e fibrillate con basso volume ad alta resistenza.

L'apertura rappresenta una combinazione dei due effetti già menzionati. Sebbene non ci sia una netta separazione tra le fasi di taglio o fibrillazione, si può comunque accentuare o l'una o l'altra alterando "l'intensità di raffinazione", applicando criteri particolari al raffinatore in fase di progettazione o variandone la potenza applicata durante il funzionamento.

6.3 L'intensità di raffinazione

L'intensità di raffinazione I_r è definita dal rapporto tra la potenza effettiva N_e (potenza che agisce effettivamente sulle fibre) ed il numero di incroci di lama per unità di tempo (lunghezza totale delle lame che si incontrano al secondo: L_s);

$$\text{Pertanto:} \quad I_r = N_e / L_s \quad (\text{Watt} \cdot \text{s.} / \text{Km})$$

Della potenza fornita al raffinatore detta potenza totale N_t , una parte viene persa in potenza di conduzione della macchina ed è detta N_c (definita come potenza necessaria alla conduzione della macchina senza che si eserciti un'azione sulla fibra, cioè a dischi completamente aperti), l'altra parte è la potenza che agisce effettivamente sulla fibra detta N_e ,

Quindi: $N_e = N_t - N_c$ (Watt)

Poiché l'azione di raffinazione delle fibre avviene sui bordi d'attacco delle lame, definiamo il loro numero d'incroci nell'unità di tempo come lunghezza totale delle lame che si incontrano al secondo L_s .

$$L_s = n/60 * Z_r * Z_s * l \quad (\text{Km/s})$$

Dove:

n = numero di giri al minuto

Z_r = numero lame disco rotante

Z_s = numero lame disco fisso

l = lunghezza effettiva della lama espressa in Km

$$\text{Pertanto: } I_r = (N_t - N_c) / (n/60 * Z_r * Z_s * l) = N_e / (n/60 * Z_r * Z_s * l) \quad (\text{Watt*s/Km})$$

Se l'intensità di raffinazione è sufficientemente alta, il fenomeno predominante che avviene a carico delle fibre è un'azione di taglio; se invece l'intensità di raffinazione è discretamente bassa il fenomeno predominante è la fibrillazione.

Ne deriva che con lame strette (a parità di dimensioni di macchina) ho una L_s più elevata e quindi una I_r più bassa e pertanto favorisco una buona azione di fibrillazione ed un minimo taglio della fibra. Viceversa con lame larghe, ho una L_s più bassa, una I_r più elevata e pertanto provo una preponderante azione di taglio ed una minima fibrillazione della fibra.

Come si può intuire, la fibrillazione può essere incrementata aumentando il numero delle lame, aumentando la velocità del raffinatore o le dimensioni (lame più lunghe) a parità di tonnellaggio.

Altri due fattori che riguardano la I_r sono la densità di impasto fibroso e l'angolo di incrocio delle lame del raffinatore in quanto influenzano in modo diretto la L_s .

Infatti un aumento della densità comporta una maggiore azione fibra-fibra (fibre più vicine tra loro) e quindi una migliore distribuzione sui bordi d'attacco delle lame (incremento apparente di L_s) il che provoca più fibrillazione e minor taglio.

L'altro fattore, cioè l'angolo di intersezione delle lame è determinante

se si vuole predominante o l'azione di taglio o di fibrillazione in quanto varia la "lunghezza di contatto" tra le due lame. Tanto più le lame di rotore e statore sono parallele tra loro, tanto più è predominante l'azione di taglio; aumentando invece l'angolo intersecante delle lame aumenta la lunghezza di contatto per le fibre e pertanto predominante sarà la fibrillazione.

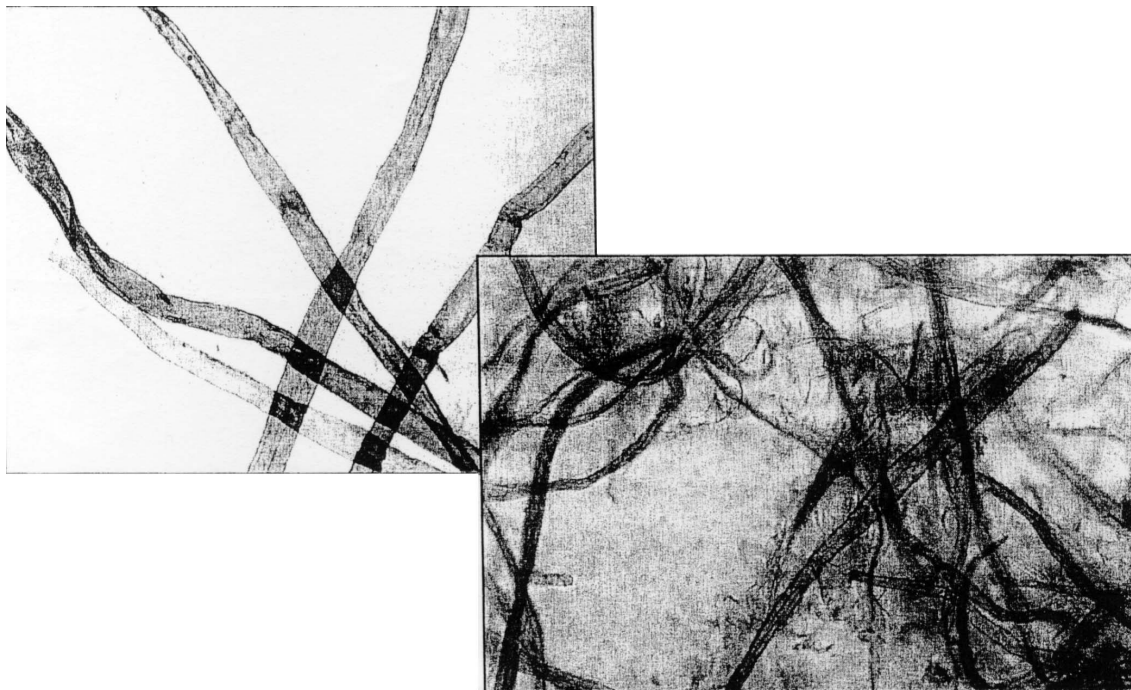


Fig. 10 Effetti sulla fibra prima e dopo la raffinazione

6.4 Scolantezza e raffinabilità

La scolantezza dell'impasto fibroso dopo la raffinazione è un parametro molto significativo: si determina con un misuratore di drenaggio che, a seconda delle condizioni di prova, dà risultati più o meno trasferibili al comportamento dell'impasto sulle tele della macchina continua durante la formazione del foglio. Il valore della scolantezza ($^{\circ}$ Schopper-Riegler) dipende dalla superficie specifica e dal rigonfiamento delle fibre. La prima, come conseguenza delle lacerazioni prodotte sulle fibre dal trattamento meccanico di raffinazione è determinata anche dal contenuto di parti fini; il secondo dipende dal tipo di fibra e dalle condizioni di produzione. Entrambe contribuiscono alla formazione dei pori, attraverso i quali l'ac-

qua può passare, la cui grandezza diminuisce al crescere della superficie specifica e all'aumentare del rigonfiamento: conseguentemente diminuisce la porosità all'acqua; quindi aumentando il tempo di raffinazione, ossia l'energia specifica, si diminuisce il drenaggio e si incrementa il valore di °SR.

La scolantezza viene misurata anche in Canadian Standar Freeness (CFS), un test che inizialmente era usato per le paste meccaniche è che tuttavia oggi le cartiere nord americane utilizzano per i loro monitoraggi. In questo caso con l'incrementare della raffinazione si abbassano i valori di CFS dovuti a decremento di drenaggio; al contrario si hanno valori alti di CFS per drenaggio elevato.

Con il termine raffinabilità si fa riferimento alla rapidità di aumento della superficie sia specifica che della massa fibrosa, misurati entrambi con la sola determinazione della scolantezza. In presenza di acqua, che plastifica la fibra penetrando ove possibile nella matrice della struttura fibrosa, l'azione meccanica del raffinatore si manifesta con la lacerazione di detta matrice, sia all'interno che all'esterno della fibra e formazione di altre superfici che divengono pertanto accessibili all'acqua. Quanto più una pasta è stata raffinata, tanto maggiore sarà la quantità di acqua in essa ritenuta e quindi minore è la sua scolantezza. La proporzionalità tra le due grandezze non è comunque diretta, perché la scolantezza dipende dalla superficie specifica dell'intera massa fibrosa e l'aumentare di detto valore potrebbe coincidere con un'azione di taglio invece che di fibrillazione, con tutte le conseguenze che ne derivano.

7. Effetti della raffinazione sulle caratteristiche della carta

La fibra raffinata cambia le sue caratteristiche fisico-morfologiche e quindi il suo comportamento in macchina continua può essere modificato enormemente.

Per quanto riguarda il sottoscritto, presso lo stabilimento Burgo di Verzuolo (CN) il controllo sulle materie prime fibrose avviene periodicamente e naturalmente si fanno prove utili alla nostra specifica produzione, che essendo LWC, riguardano soprattutto le caratteristiche meccaniche e ottiche delle cellulose: le paste chimiche utilizzate sono tutte di conifera fibra lunga, bianchite al solfato provenienti da nord Europa e nord America.

Dalle prove fatte si può notare:

	Incremento raff.	Decremento raff.
Densità apparente	+	-
Spessore	-	+
Compressibilità	-	+
Stabilità dimensionale	-	+
Formazione	+ uniforme	- uniforme
Resistenza legami interni	+	-
Porosità	-	+
Liscio	+	-
Opacità	-	+
Grado di bianco	-	+
Grado di raffinazione °SR	+	-
Lunghezza di rottura	+	-
Fattore di lacerazione	-	+
Indice di resistenza	+	-

Chiaramente i fattori influenzabili sono parecchi e interconnessi fra di loro, è impossibile quindi trovare una regola univoca per ottenere le migliori soluzioni: bisogna trovare quindi il giusto compromesso in base alla carta che si vuole produrre.

A seguito vengono riportati alcuni grafici che riassumono le proprietà ottico meccaniche di diversi tipi di cellulosa fibra lunga: significativo l'indice di resistenza che è ottenuto dal prodotto fra lunghezza di rottura e fattore di lacerazione/10000.

8. Conclusioni

La conoscenza della materia prima per la produzione della carta, ossia della fibra di cellulosa, della sua struttura chimico-fisica e del suo ottenimento è di fondamentale importanza per il cartaiolo: queste nozioni sono necessarie per capire molte situazioni e comportamenti nel processo produttivo senza le quali non sarebbe possibile agire con una certa sicurezza nei confronti delle macchine.

Sicuramente, “saper far carta” non è cosa facile, le variabili di processo sono infinite, e benché l'evoluzione tecnologica abbia fatto passi da giganti, non è ancora possibile controllarle tutte; a questo punto resta la convinzione che l'esperienza sia fattore fondamentale per controllare queste variabili che sfuggono.

Il processo cartario si differenzia dai comuni processi industriali poiché si tratta con un materiale “vivo”, difficile da standardizzare: saper fare il cartaiolo è come conoscere un mestiere.

Bibliografia

- **Prove sulle materie fibrose, sulla carta e sul cartone** - Edoardo Grandis - (ATILCELCA 1989);
- **Introduzione alla fabbricazione della carta** - (ATILCEA);
- **Le paste per carta** - Dott. Dino Nisi
(RELAZIONE TENUTA AGLI ALLIEVI 8[^] CORSO PER TECNICI CARTARI DI VERONA);
- **Consultazione del sito della Wenster Michingan University** - www.wmich.edu;
- **Archivio Burgo** - Stabilimento di Verzuolo