



REGIONE DEL VENETO

Esame di fine corso

Cod. Progetto 4262/2/668/2015 - Cod. Intervento 4262/004/636/DEC/22

Titolo: Tecnico per la gestione di impianti di produzione della carta

Sede del corso: Verona - VR - 37138 - Via Don Giovanni Minzoni, 50

Cellulosa al solfito

di Zanier Francesco



**Scuola Interregionale
di tecnologia per tecnici Cartari**

Istituto Salesiano «San Zeno» - Via Don Minzoni, 50 - 37138 Verona
fcs.istitutosallesianosanzeno.it - scuolacartaria@sanzeno.org

INDICE

1. Introduzione

2. Materia prima

- 2.1 La selezione della materia prima
- 2.2 Stoccaggio legname
- 2.3 Tranciatura vagliatura e movimentazione
- 2.4 Maturazione e omogeneizzazione

3. Preparazione liscivio

- 3.1 La Lignina
- 3.2 Meccanismo d'azione Liscivio vs Lignina
- 3.3 Protezione della cellulosa
- 3.4 Produzione anidride Solforosa (SO₂)
- 3.5 Formazione del liscivio
- 3.6 Parametri di controllo e qualità

4. Cottura cippato

- 4.1 Delignificazione
- 4.2 Rendimento
- 4.3 Configurazione impiantistica

5. Lavaggio

6. Imbianchimento

- 6.1 I due metodi principali
- 6.2 Evoluzione tecnologica nel processo al bisolfito
- 6.3 La sequenza EPH

7. Caratteristiche del prodotto e il suo utilizzo in processo produttivo

1. INTRODUZIONE

Lo stabilimento delle Cartiere Burgo situato a Tolmezzo rappresenta un esempio di integrazione industriale, distinguendosi per una struttura produttiva completamente verticalizzata.

Questa particolare configurazione permette alla fabbrica di gestire in totale autonomia l'intero ciclo di trasformazione, partendo dalla materia prima grezza, ovvero il tronco d'abete, fino ad arrivare al prodotto finito, che si distingue in una serie di soluzioni che variano dalla carta alimentare ai supporti per la stampa e l'imballaggio. Il centro operativo di questa realtà è suddiviso in tre aree funzionali distinte, che comprendono il reparto dedicato alla Cellulosa e al Ligninsolfonato, quello destinato alla produzione della Carta e infine il settore dell'Allestimento.

All'interno di questo sistema industriale, il reparto Cellulosa ricopre un ruolo storico e strategico, portando avanti da circa sessant'anni la fabbricazione di pasta chimica attraverso il metodo al bisolfito di calcio. L'obiettivo centrale dell'analisi che segue è quello di approfondire i criteri e i parametri tecnici che alimentano questo specifico processo produttivo, fondamentali per ottenere una cellulosa che rispetti gli standard qualitativi necessari all'impiego nelle carte naturali da stampa. Comprendere tali variabili è essenziale, poiché ogni variazione nei parametri operativi incide direttamente sulle proprietà chimico-fisiche della cellulosa e, di conseguenza, sulla resa del foglio finale.

Per esaminare con chiarezza questo percorso tecnologico, è opportuno suddividere l'attività in diverse fasi sequenziali.

Il ciclo di lavorazione accompagna il legno attraverso un cambiamento continuo, che ha inizio nel momento in cui il legname fa il suo ingresso nello stabilimento e prosegue attraverso i vari stadi di trasformazione, fino a quando la fibra non è pronta per essere miscelata nell'impasto che darà vita alla carta.

2. MATERIA PRIMA

2.1 LA SELEZIONE DELLA MATERIA PRIMA

La qualità della cellulosa prodotta a Tolmezzo dipende intrinsecamente dalle caratteristiche biologiche del legno di abete utilizzato.

La scelta della materia prima non è casuale, ma risponde a precise necessità chimico-fisiche: il tronco d'albero presenta infatti una struttura eterogenea, dove la concentrazione di lignina e la densità delle fibre variano dal cuore verso l'esterno.

Per bilanciare queste proprietà, si utilizzano diverse tipologie di legno: i refili di segheria, composti solitamente da parti più giovani e meno compatte, e il tondello o stangame, che comprende il durame (il cuore del tronco), caratterizzato da fibre morte con funzione di sostegno. L'integrazione di queste diverse componenti permette di ottenere un impasto finale equilibrato in termini di resistenza e resa chimica.

2.2 LO STOCCAGGIO E LA GESTIONE DEL PIAZZALE LEGNAME

L'area logistica nevralgica dello stabilimento è il Piazzale Legname, dove avviene la ricezione e la prima organizzazione dei materiali. Qui, il legname viene accatastato meticolosamente in base alla tipologia (tondelli, refili o legno già cippato) in sotto aree dedicate. Questa suddivisione non è solo fisica ma anche digitale: un sistema di monitoraggio computerizzato permette di conoscere in tempo reale le quantità stoccate. Tale rigore gestionale è fondamentale per garantire il corretto “dosaggio” della miscela produttiva, che deve rispettare proporzioni volumetriche precise — solitamente il 10% di refili, il 30% di tondello e il 60% di cippato d'acquisto — per assicurare l'omogeneità della cottura successiva.

2.3 TRANCIATURA, VAGLIATURA E MOVIMENTAZIONE

Una volta selezionata la miscela, il legno deve essere ridotto in una forma fisica idonea all'attacco chimico: i cosiddetti chips (minuzzoli di legno).

Il processo di tranciatura trasforma i tronchi e i refili in frammenti di dimensioni costanti. Segue poi la fase di vagliatura, essenziale per eliminare frazioni troppo grandi o polveri eccessive che comprometterebbero la qualità della pasta. La movimentazione all'interno del piazzale assicura che il flusso di materiale verso i digestori sia costante e conforme agli standard dimensionali richiesti (spessori e lunghezze specifiche per i refili e sezioni variabili per lo stangame), preparando la materia per la trasformazione chimica vera e propria.



2.4 MATURAZIONE E OMOGENEIZZAZIONE DEL PRODOTTO

L'ultima fase del trattamento nel piazzale riguarda la maturazione e la stabilizzazione della miscela. Unire strati interni del legno (più densi e ricchi di cellulosa strutturale) con gli strati esterni (più ricchi di sostanze nutritive e cellule di accrescimento come il fofolema) richiede un tempo di stabilizzazione che favorisca l'uniformità del lotto. Questo processo garantisce che, nel momento in cui il legno entrerà nel ciclo del bisolfito di calcio, i parametri di cottura possano essere applicati a una massa il più possibile omogenea, minimizzando gli scarti e massimizzando la qualità delle carte naturali fini prodotte dallo stabilimento.



Vista aerea del deposito cippato

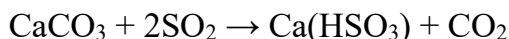
3. PREPARAZIONE DEL LISCIVIO

Il liscivio di produzione è una soluzione acquosa di bisolfito di calcio e anidride solforosa libera. Il processo di produzione della pasta di cellulosa tramite solfito acido è un passaggio fondamentale nell'industria cartaria.

L'obiettivo è separare la cellulosa (la fibra nobile) dalla lignina (il “collante” naturale del legno) senza danneggiare la struttura della prima.

3.1 LIGNINA

La lignina è un polimero complesso, tridimensionale e amorfo che conferisce rigidità alle piante. È composta principalmente da unità di fenilpropano. Mentre la lignina resiste bene agli acidi forti comuni, è estremamente sensibile agli agenti ossidanti e solfonanti come i solfiti e i bisolfiti. Il liscivio sfrutta esattamente questa “debolezza” per smantellare la struttura legnosa.



3.2 MECCANISMO D'AZIONE: LISCIVIO VS LIGNINA

Quando il liscivio entra in contatto con il legno ad alte temperature e pressioni (all'interno dei bollitori), avvengono due reazioni chimiche simultanee:

1. Solfonazione: gli ioni bisolfito si legano alle catene laterali delle unità di fenilpropano della lignina. Questo introduce gruppi idrofili (che amano l'acqua) nella struttura della lignina.
2. Idrolisi: i legami eterei che tengono unite le varie unità di lignina vengono spezzati dall'ambiente acido.

Risultato: la lignina viene trasformata in ligninsolfonato di calcio, una sostanza idrosolubile. Una volta resa solubile, la lignina può essere lavata via, lasciando libere le fibre di cellulosa.

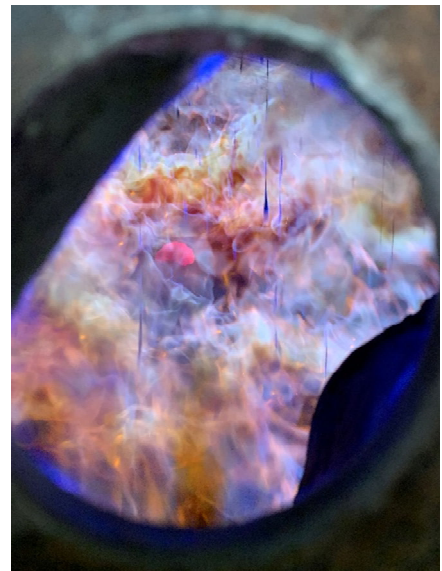
3.3 PROTEZIONE DELLA CELLULOSA

Il liscivio deve essere aggressivo contro la lignina ma inerte verso la cellulosa.

- Se il pH è troppo basso o la temperatura troppo alta per troppo tempo, la cellulosa subirebbe un'idrolisi acida, spezzando le sue lunghe catene molecolari.
- Conseguenze: una cellulosa degradata perde la sua “resistenza meccanica”, portando a un prodotto finito (carta) fragile e di bassa qualità.
- Il Ruolo del Bisolfito: il sistema a base di bisolfito di calcio permette di sciogliere la lignina mantenendo l'integrità delle fibre, a patto che i parametri di processo (tempo/temperatura) siano rigorosamente controllati.

3.4 PRODUZIONE E RAFFREDDAMENTO DEL GAS SO₂

- Combustione: lo zolfo viene bruciato in forni rotanti rivestiti in materiale refrattario. L'ossigeno viene immesso in tre punti strategici per garantire la completa ossidazione.
- Primo Raffreddamento (Torre di Lavaggio): il gas esce dal forno a circa 1000°C e viene abbattuto a 30-40°C tramite spruzzi di acqua acida.
- Vincolo tecnico: la temperatura non deve superare i 60°C per proteggere le condutture in plastica.
- Pulizia: in questa fase si eliminano le prime impurità e parte dell'anidride solforica.



3.5. FORMAZIONE DEL LISCIVIO (TORRI JENSSEN)

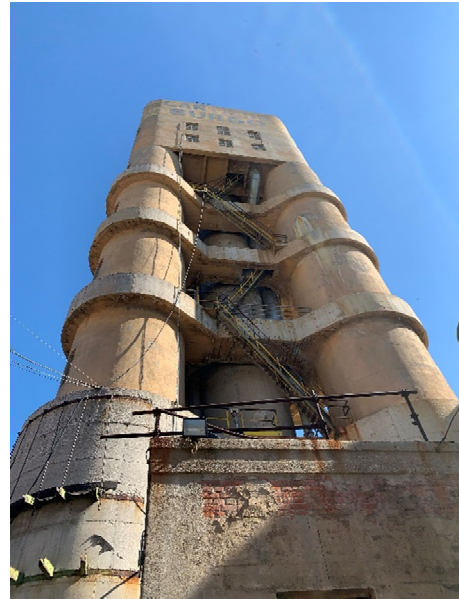
Il processo avviene in due torri alte 40 metri riempite di calcare (sassi), lavorando in controcorrente (l'acqua scende dall'alto, il gas sale dal basso):

- Seconda Torre: il gas residuo incontra l'acqua di rete, creando un "liscivio debole".
- Prima Torre: il gas fresco incontra il liscivio debole della seconda torre, arricchendosi ulteriormente.
- Arricchimento finale: il liscivio concentrato viene prelevato dalla base e inviato a un serbatoio dove riceve ulteriore gas dai bollitori di cottura.

3.6 PARAMETRI DI CONTROLLO E QUALITÀ

Per una cottura ottimale del legno, si monitorano due valori:

- Percentuale di Calcio: fondamentale per proteggere la cellulosa. Una carenza di calcio renderebbe la reazione troppo aggressiva, degradando le fibre.
- Percentuale di liscivio: regola la velocità di rimozione della lignina. Se troppo alta, rischia di indebolire le proprietà meccaniche della carta.



4. LA COTTURA DEL CIPPATO

4.1 IL PROCESSO DI DELIGNIFICAZIONE DEL LEGNO

MEDIANTE LA COTTURA CON BISOLFITO

La trasformazione del legno in cellulosa si basa sulla separazione delle fibre di cellulosa dalle sostanze incrostanti, principalmente la lignina, attraverso un trattamento termochimico in condizioni controllate di pressione e temperatura. Il processo risiede nell'azione del liscivio di cottura (bisolfito di calcio). Per garantire l'efficacia del trattamento, il liscivio deve mantenere un pH fortemente acido (tra 1 e 1.5), necessario a stabilizzare la base calcio in soluzione.

Durante la reazione, si osserva un innalzamento del pH dovuto all'ingresso dell'anidride solforosa e alla liberazione della base calcio dai suoi legami chimici.

$$SO_2 \text{ totale} = SO_2 \text{ combinata} + SO_2 \text{ libera}$$

Mentre la quota libera reagisce con la lignina rendendola solubile, la base calcio funge da agente protettivo per la fibra di cellulosa. Il risultato chimico è la formazione di acido ligninsolfonico, che dopo una prima fase di solfonazione a temperature moderate (60-70°C), subisce un'idrolisi che ne permette il passaggio in soluzione.

Dinamica della Reazione e Fattori d'Influenza

La velocità con cui il legno viene privato della lignina, appunto la (delignificazione), è espressa dalla funzione:

$$V = K (H^+) (HSO_3^-)$$

Dove K rappresenta il target di delignificazione, H^+ la concentrazione di ioni idrogeno con funzione catalitica e HSO_3^- la presenza di solfiti.

4.2 I PARAMETRI PER IL RENDIMENTO

- Gestione Termica: la temperatura operativa ideale oscilla tra 128°C e 132°C. Un incremento troppo rapido della temperatura può causare il fenomeno dell'incotto (nucleo del chip scuro e non trattato), poiché la SO_2 penetra nel legno più velocemente della base calcio, provocando la condensazione della lignina in ambiente acido.

- Bilancio del Liscivio: una concentrazione totale del 6-7% garantisce una penetrazione efficace. Un aumento della SO₂ combinata favorisce una qualità superiore della pasta e una minore degradazione delle fibre.
- Morfologia del cippato: le dimensioni ottimali dei frammenti di legno sono di circa 25-35 mm. Un legno troppo secco ostacola la penetrazione chimica a causa dell'aria nelle tracheidi, mentre un legno troppo "verde" presenta una lignina meno reattiva, allungando i tempi di produzione.

4.3. CONFIGURAZIONE IMPIANTISTICA E CICLO OPERATIVO

La produzione avviene in bollitori verticali in acciaio da 270 m³, dotati di scambiatori di calore esterni per il riscaldamento indiretto tramite vapore. Il ciclo completo dura circa 14 ore e viene gestito tramite sistemi automatizzati.

Fasi:

1. Caricamento (Sistema "Svensson"): il legno viene immesso ad alta velocità e compresso tramite getti di vapore (3.5-5 bar). Questa tecnica aumenta la densità di carico del 35% e facilita l'espulsione dell'aria dai pori del legno, accelerando la successiva impregnazione.
2. Immissione Liscivio: il liquido viene prelevato da serbatoi di stoccaggio a pressione differenziata, dove viene preventivamente arricchito recuperando i gas di sgaso dei bollitori in linea.
3. Cottura e Sgaso: durante il riscaldamento, l'eccesso di pressione generato dalla SO₂ gassosa viene estratto e recuperato, ottimizzando i consumi e mantenendo i parametri di sicurezza.
4. Controllo Qualità e Analisi del Prodotto

Per determinare il successo della cottura e il contenuto di lignina residua, si utilizzano metodologie standardizzate (ISO e TAPPI).

Numero KAPPA: È il parametro principale misurato in continuo. Rappresenta il consumo di permanganato di potassio da parte della pasta. Per l'impianto in oggetto, il target è fissato a 9 gradi K.

5. LAVAGGIO

5.1 PROCESSO DI LAVAGGIO E SEPARAZIONE DELLA PASTA GREZZA

Processo di Lavaggio e Classifica Cellulosa

Qui si descrive il ciclo produttivo della pasta di cellulosa a partire dallo scarico fino alla fase di sbianca, con particolare attenzione ai sistemi di separazione e recupero delle fibre.

Fase di Accumulo e Separazione Primaria

Il processo ha inizio nel Blow Tank, il serbatoio di accumulo dove la pasta viene convogliata dopo la cottura. Da qui, il materiale passa attraverso lo Screen separanodi, un primo sistema di vagliatura grossolana.

- Il "Separa Nodi": in questa fase, le impurità grossolane come i nodi (parti lignee compatte derivanti dalle diramazioni dei rami) e gli incotti (chip non penetrati correttamente dal liscivio) vengono separati.
Gli scarti non vengono eliminati ma inviati a un lavanodi dotati di cilindri dentati che frantumano le parti resistenti per recuperarne la fibra.
- L'accettato, ovvero la fibra liberata che riesce a passare attraverso i fori del cestello, prosegue il suo percorso verso il primo filtro di lavaggio.

Lavaggio Chimico e Filtrazione

La pasta prosegue verso il Chemi Washer, un sistema di lavaggio multistadio a tappeto che separa il liscivio nero dalle fibre, il liquido estratto viene poi raccolto nella tina sottostante. Successivamente, il flusso attraversa una serie di organi filtranti:

- Filtro Kufferat: Utilizzato per il recupero delle acque e il lavaggio fine. L'acqua recuperata viene stoccata in un apposito serbatoio di recupero.
- Pressa a vite: Serve per disidratare ulteriormente gli scarti finali e la pasta prima di successivi trattamenti, riducendo i volumi di acqua nel ciclo.

Sistema di Classifica (Screening)

Il centro della pulizia della fibra avviene nel settore dei vagli (Screen), disposti in cascata per massimizzare l'efficienza:

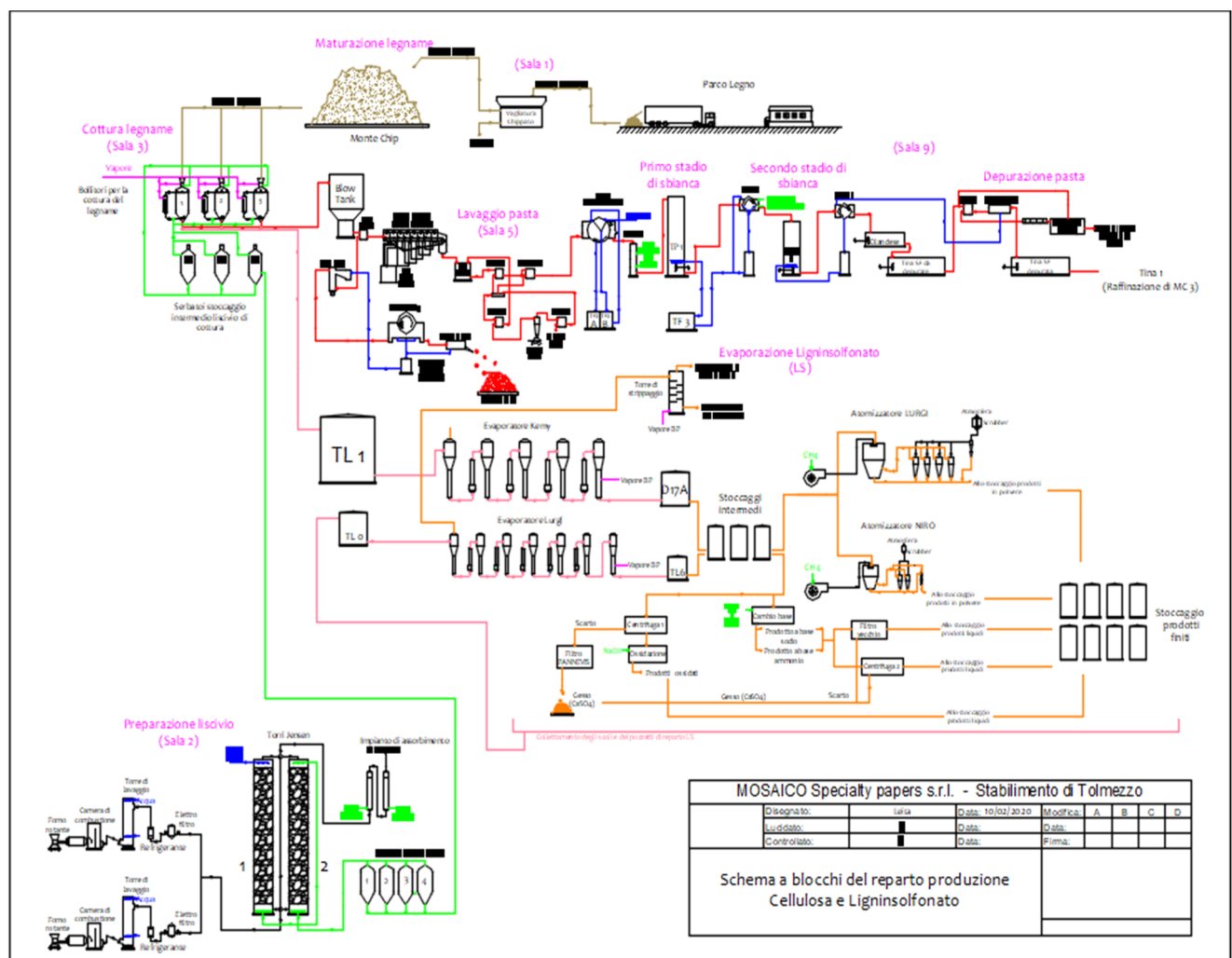
1. 1° Screen e 1° Screen bis: rappresentano la prima barriera di selezione fine.
2. L'Accettato: la fibra liberata che riesce a passare attraverso i fori dei cestelli di questi vagli rappresenta il materiale nobile. Questo flusso prosegue direttamente il suo percorso verso il primo filtro di lavaggio (Filtro 2) per le fasi finali di pulizia.

3. 2° e 3° Screen: gestiscono il materiale che non passa al primo stadio. Qui avviene una separazione ulteriore tra fibre accettabili e scarti pesanti (come la sabbia, rimossa dal Cleaner sabbia), che vengono poi rimandati al "Lava Nodi" per un ultimo tentativo di recupero.

Lavaggio Finale e Avviamento alla Sbianca

L'accettato pulito giunge al Filtro 2 "Rauma Repola", un filtro rotativo sottovuoto dove avviene l'ultimo lavaggio con acqua calda.

- La pasta lavata cade per gravità attraverso un condotto dove avviene l'aggiunta di agenti chimici come Acqua Ossigenata H_2O_2 e Soda Caustica $NaOH$.
- Stoccaggio e Sbianca: il mix viene inviato alla torre TP 1, che segna l'inizio della sezione di Sbianca. Il sistema è supportato da serbatoi di stoccaggio filtrati (TF2 A/B e TF3) per garantire la continuità del flusso idraulico.



Sistema di Lavaggio a Pressione (RAUMA)

La fibra pulita viene inviata a un sistema di due filtri rotativi Rauma-Repola operanti in serie, dove la densità della pasta viene portata al 2.5%. Il funzionamento si basa sulla differenza di pressione generata da un ventilatore: la pasta si deposita sulla rete di un tamburo rotante formando un pannello fibroso di circa due centimetri.

Il lavaggio avviene con una logica in contro-corrente, una soluzione che ottimizza l'efficienza idrica e chimica:

1. L'acqua più pulita entra nell'ultimo stadio del secondo filtro a 50°C.
2. Mentre la pasta avanza verso l'uscita, l'acqua percorre il cammino inverso, arricchendosi progressivamente di liscivio rimosso dalle fibre.



Vantaggi del Sistema

L'intero modulo di lavaggio opera in un ambiente ermeticamente chiuso, garantendo la gestione sicura dei vapori acidi e una separazione netta del pannello fibroso tramite aspirazione. L'impiego dell'acciaio inossidabile e la circolazione dell'aria a circuito chiuso rendono l'impianto estremamente resistente alla corrosione e performante anche con portate ridotte.

6. IMBIANCHIMENTO

Quando trasformiamo il legno in pasta per fare la carta, la lignina (una sostanza naturale del legno) subisce dei cambiamenti che rendono l'impasto di colore giallo o marrone. L'imbianchimento è quel processo che serve a eliminare o trasformare queste macchie colorate per ottenere una carta bianca.

6.1. I DUE METODI PRINCIPALI

Esistono due strade per ottenere il bianco, a seconda di cosa vogliamo fare con la lignina:

- Rimozione totale della lignina: si usano sostanze forti (come cloro, ossigeno o ozono) per sciogliere e lavare via i residui di lignina. La pasta diventa molto bianca e pura.
- Modifica della lignina (senza rimuoverla): si usano sostanze come i perossidi o gli idrosolfiti. In questo caso la lignina resta dov'è, ma viene "trasformata" chimicamente in modo che non risulti più scura. Il vantaggio è che non si perde materiale (alta resa), ma il grado di bianco è meno alto.

6.23. L'EVOLUZIONE ECOLOGICA NEL PROCESSO AL BISOLFITO

In passato si usava molto il cloro, che però è molto inquinante perché crea sottoprodotti tossici per l'ambiente.

Oggi la tendenza è cambiata radicalmente:

- Sostituzione del Cloro: per proteggere l'ambiente, il cloro è stato quasi del tutto abbandonato in favore del perossido d'idrogeno (comunemente noto come acqua ossigenata).
- Vantaggio Ambientale: il perossido d'idrogeno non genera sostanze nocive e permette di ottenere ottimi risultati sia estetici (bianco) che di resistenza della carta.

6.3. IL SEGRETO CHIMICO: LA SEQUENZA "EPH"

Nel processo specifico analizzato, l'imbianchimento avviene in più fasi (chiamate sequenze), ognuna con un compito preciso. La sequenza indicata è la EPH.

Per far sì che il perossido funzioni al meglio, è necessario un ambiente chimico particolare:

1. Si usano delle sostanze alcaline (basi).
2. Queste sostanze aiutano a liberare lo ione perossidrilico OHO^- , che è il vero "agente pulitore" incaricato di eliminare il colore scuro.

7. CARATTERISTICHE E VALORE STRATEGICO

Analisi del Prodotto: La Cellulosa "SF"

La cellulosa identificata con la sigla "SF" è una pasta chimica a fibra lunga prodotta internamente tramite processo acido. Sebbene i processi acidi possano determinare resistenze meccaniche assolute leggermente inferiori rispetto ad altri metodi (come il processo Kraft), la fibra "SF" presenta peculiarità morfologiche che la rendono unica e tecnicamente preziosa per l'impasto.

Caratteristiche Distintive

- **Elevata Flessibilità:** le fibre risultano più elastiche, facilitando l'intreccio meccanico durante la formazione del foglio.
- **Spessore delle Fibre:** la morfologia della fibra garantisce alla carta un "bulk" (spessore specifico) superiore, caratteristica fondamentale per il tatto e per la rigidità del foglio.
- **Efficienza Chimica:** l'utilizzo della pasta "SF" permette una sensibile riduzione del consumo di colla nell'impasto, ottimizzando i costi chimici di produzione.

Applicazioni nelle Linee Produttive

La versatilità della cellulosa "SF" ne consente l'impiego in una sola linea dello stabilimento, con dosaggi variabili in base al target qualitativo:

Per prodotti complessi come le carte per fotocopiatrici e moduli continui, dove solitamente si predilige la fibra corta per la planarità, l'integrazione della nostra fibra lunga "SF" permette di bilanciare perfettamente le doti di resistenza superficiale e stabilità dimensionale, essenziali per i processi di stampa laser e xerografica.

Confronto e Validità Rispetto al Mercato

Rispetto alle cellulose a fibra lunga reperibili sul mercato (spesso prodotte con processi solfato/Kraft), la "SF" si distingue per una caratteristica specifica: l'equilibrio tra lavorabilità (maggiori #SR con l'uso di meno energia) e prestazioni ottiche (grado di bianco).

Mentre le paste di acquisto servono a garantire picchi di resistenza alla trazione, la pasta "SF" autoprodotta agisce come collante qualitativo dell'impasto, migliorando la resistenza alle doppie pieghe (fondamentale nei quaderni) e garantendo lo spessore necessario senza appesantire eccessivamente la grammatura.

Analisi Strategica dell'Autoproduzione

L'Italia soffre storicamente di una carenza di materie prime legnose, dipendendo fortemente dall'importazione di cellulosa dall'estero. In questo scenario, la validità della pasta "SF" non è solo tecnica, ma soprattutto economica e logistica:

1. Ciclo Integrato: la trasformazione diretta da legno a carta nello stesso sito elimina i costi di essiccazione, imballaggio e trasporto della cellulosa.
2. Controllo dei Costi: l'autoproduzione permette all'azienda di "ridurre" le fluttuazioni dei prezzi del mercato internazionale della cellulosa.
3. Personalizzazione: essendo destinata esclusivamente al consumo interno, la produzione della pasta "SF" può essere tarata esattamente sulle esigenze delle due linee continue, senza dover rispettare standard commerciali rigidi imposti dalla vendita a terzi.

Conclusioni

La cellulosa "SF" rappresenta il pilastro dell'efficienza produttiva dello stabilimento. Sebbene presenti valori meccanici nominali leggermente diversi dalle paste standard di mercato, la sua elevata flessibilità e il contributo allo spessore la rendono superiore per le applicazioni specifiche del nostro stabilimento (specialmente per carte grafiche e moduli continui). L'autoproduzione della "SF" è da considerarsi un asset strategico. Essa garantisce un vantaggio competitivo in termini di costi e permette di ottenere caratteristiche di stampa e resistenza superiori, confermando la validità del modello di ciclo industriale integrato rispetto all'acquisto totale di materie prime esterne.