XXII corso di Tecnologia per Tecnici Cartari
edizione 2015/2016

OptiFiner Pro: una nuova tecnologia per la raffinazione

di Urbani Lorenzo

Scuola Interregionale
di tecnologia per tecnici Cartari

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

INDICE

1 - INTRODUZIONE

2 - OPTIFINER PRO
- 2.1 - L'idea di Valmet
- 2.2 - Il funzionamento

3 - RAFFINATORI CONVENZIONALI
- 3.1 - La raffinazione
- 3.2 - I Raffinatori Conici
- 3.3 - I Raffinatori a Dischi

4 - EFFETTI E ANALISI DELLA RAFFINAZIONE SULLA FIBRA
- 4.1 - Effetti della raffinazione sulla fibra
- 4.2 - Sistemi di analisi della raffinazione

5 - ANALISI DELLE DIFFERENZE TRA RAFFINAZIONE TRADIZIONALE E OPTIFINER PRO
- 5.1 - Analisi Teorica delle differenze

6 - L'OPTIFINER PRO INSTALLATO SULLA MACCHINA CONTINUA F3
- 6.1 - Descrizione impianto
- 6.2 - Analisi dei risultati

7 - CONCLUSIONI

8 - BIBLIOGRAFIA

1. INTRODUZIONE

All’interno di questo elaborato si cercherà di esporre in modo semplice e chiaro uno studio sulle differenze che si riscontrano tra l’utilizzo di raffinatori a doppi dischi e l’utilizzo del OptiFiner Pro 3 della Valmet.
Innanzitutto andando ad evidenziare le differenze riscontrate nella raffinazione in base al tipo di lamatura applicata alla nuova tecnologia di raffinazione. Per far ciò si prenderanno in esame caratteristiche tecniche dell’impasto come i gradi shopper, la lunghezza e i fini ottenuti ante e post raffinazione tra le due diverse tipologie di raffinazione. L’analisi non verrà svolta soltanto analizzando l’impasto ma anche le caratteristiche della carta finale.
A seguito verranno esaminate le problematiche dell’uno e dell’altro sistema relative ai risultati ottenuti e le varie proposte per avvicinare e rendere paragonabili i comportamenti dei due tipi di tecnologie.
Per ultimo, ma non meno importante, si svolgerà un’analisi tecnica dei consumi energetici dei due sistemi in quanto l’OptiFiner Pro dovrebbe ottimizzare i consumi elettrici.

2. OPTIFINER PRO

2.1 L'IDEA DI VALMET

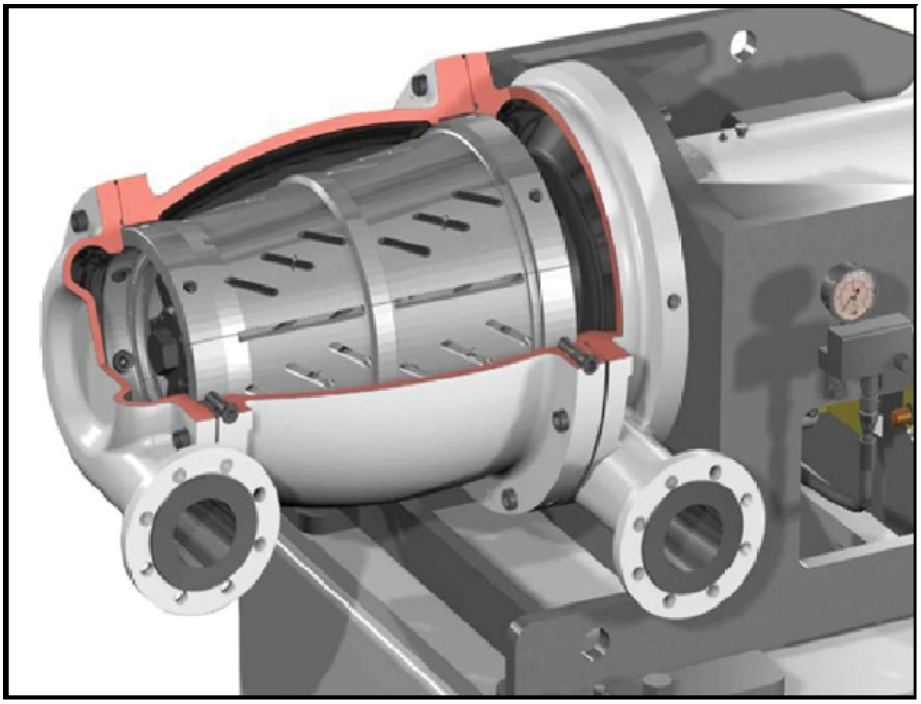
L'idea della Valmet nasce probabilmente per affrontare un problema fondamentale del periodo storico nel quale ci troviamo, cioè quello della ricerca di una sostanziale riduzione dei costi, senza però andare a influenzare in maniera significativa la qualità del prodotto finale. Infatti, con il continuo aumento dei costi dell'energia elettrica e delle materie prime, le cartiere mondiali si sono viste costrette a ricercare modi per ridurre i costi di produzione. Da qui l'idea Valmet è stata quella di affrontare il problema cercando di ridurre i consumi energetici, voce di costo influente per i bilanci delle cartiere, e allo stesso tempo cercando di aumentare la capacità produttiva in uno degli ambiti che ancora oggi rappresenta uno dei cardini per il consumo di energia elettrica, cioè quello rappresentato dalla raffinazione.
Ricordando che la fase di raffinazione svolge un ruolo fondamentale nello sviluppo di proprietà dell'impasto, influenzando notevolmente la runnability della macchina continua e quindi, di conseguenza, anche le qualità e le proprietà del prodotto finale, Valmet ha cercato di sviluppare un prodotto: l'OptiFiner Pro.

2.2.IL FUNZIONAMENTO

L'OptiFiner Pro nasce come evoluzione delle raffinazioni convenzionali e si pone come obiettivo quello di andare a sostituire, in impianti esistenti, almeno 2 raffinatori tradizionali, fornendo nel contempo un risparmio energetico che si attesti intorno al 20%.
L'OptiFiner Pro è un raffinatore innovativo utilizzabile per la lavorazione di impasti fibrosi di diverse composizioni a bassa consistenza. Infatti questa tecnologia è in grado di lavorare diverse tipologie di impasti fibrosi, che siano essi composti da fibre vergini, le quali necessitano di una buona intensità di raffinazione, fino a fibre riciclate, per le quali è necessario ottenere fenomeni di fibrillazione a basse intensità.
Finora si è descritto semplicemente il potenziale dell'OptiFiner Pro, il quale è dovuto a elementi innovativi nella struttura e nel funzionamento.

La struttura dell'OptiFiner Pro è costituita da:

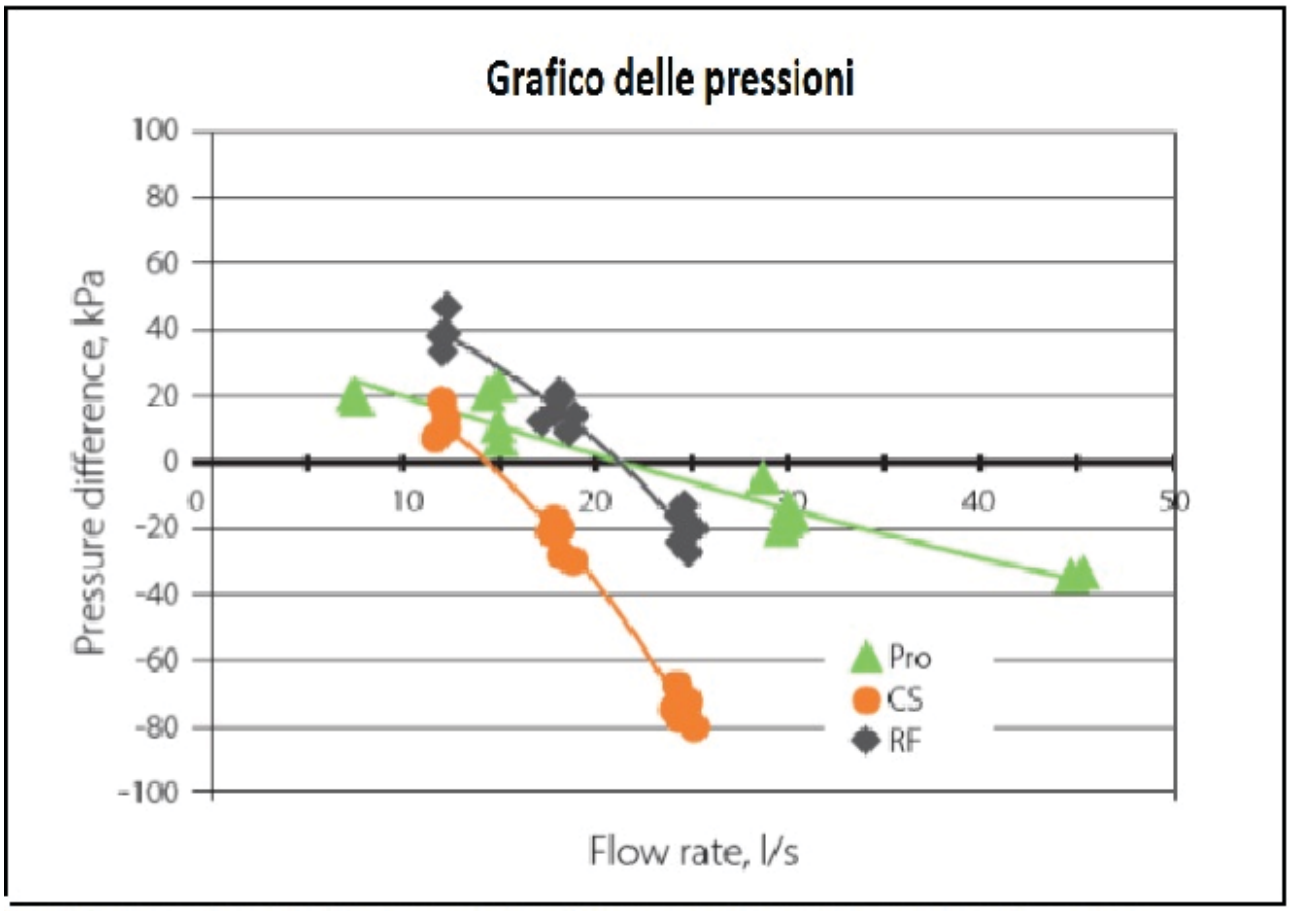
- ✓ Un carter con due ingressi e un'uscita per l'impasto fibroso;
- ✓ Un corpo tronco-conico fisso o "*Statore*";
- ✓ Un corpo tronco-conico rotante o "*Rotore*";
- ✓ Un meccanismo di regolazione della distanza dal rotore dallo statore.



Struttura dell'OptiFiner Pro

Quindi strutturalmente l'OptiFiner Pro riprende la struttura dei raffinatori conici utilizzando però un metodo completamente diverso per la raffinazione dell'impasto fibroso. Infatti l'OptiFiner adotta un nuovo tipo di sistema di alimentazione della camera di raffinazione: l'impasto fibroso viene immesso attraverso due tubazioni di mandata distinte e disposte alle due estremità della struttura tronco-conica. Un altro elemento innovativo che caratterizza l'OptiFiner Pro è costituito dalla nuova configurazione geometrica che viene applicata al rotore e allo statore che permette all'impasto fibroso di attraversarli. Con l'utilizzo di questa, l'attrito all'interno del raffinatore acquisisce un ruolo fondamentale nello sviluppo lineare delle pressioni, perché il percorso dell'impasto fibroso nella camera di raffinazione dall'entrata all'uscita è breve. Con questa nuova metodologia l'impasto fibroso viene raffinato in percorsi ridotti a poche decine di millimetri. Andando quindi ad analizzare le caratteristiche della curva delle pressioni dell'OptiFiner, grafico sottostante, e confrontandola con le curve di pressione di raffinatori tradizionali, nel caso specifico raffinatori conici e

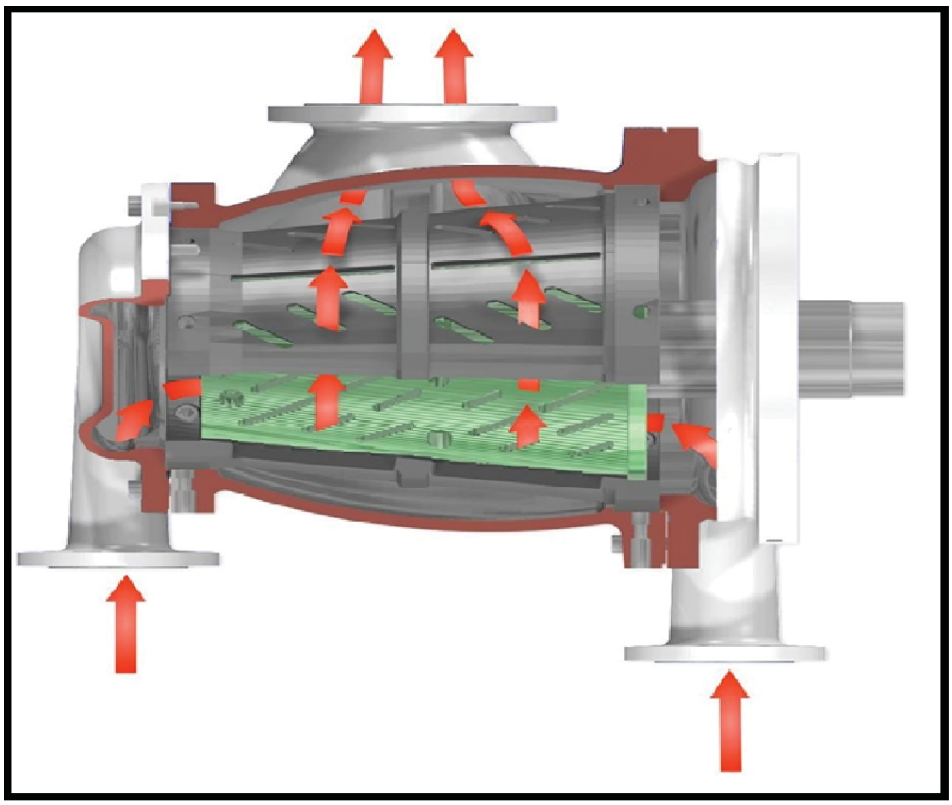
raffinatori cilindrici, si riscontra che essa risulta più lineare e con variazioni minori al variare del flusso di impasto.



Confronto tra le curve di pressione dell'Optifiner, di un raffinatore conico e di un raffinatore cilindrico.

Dal combinarsi di queste innovazioni si ottengono le principali caratteristiche che rendono momentaneamente unico per funzionamento l'OptiFiner Pro. Infatti con l'applicazione di queste nuove tecnologie l'impasto fibroso attraversa sia lo statore che il rotore, permettendone così una distribuzione ben più uniforme all'interno della camera di raffinazione. Questa distribuzione maggiormente uniforme e al contempo la modalità con la quale l'impasto fibroso viene immesso all'interno della camera di raffinazione fanno sì che aumenti la percentuale di fibre che attraversano la "bar gap" (gap tra le lamatura statorica e rotorica) subendo così un trattamento di raffinazione corretto, a discapito della percentuale di quelle che rimangono all'interno delle scanalature del rotore o dello statore senza mai attraversare la "bar gap". Questa configurazione inoltre permette che il tempo di permanenza dell'impasto

fibroso all’interno della camera di raffinazione venga ridotto così che esso perda la caratteristica di fattore chiave di intensità che aveva nei raffinatori tradizionali.



Flusso dell'impasto fibroso nell'OptiFiner Pro

Quindi, analizzando la conformazione interna e il funzionamento dell’OptiFiner Pro e sommando queste caratteristiche con la riduzione dei tempi dovuta ad esse, è possibile dimostrare, in linea teorica, che l’OptiFiner Pro è in grado di lavorare una maggior quantità di fibra riducendo però al contempo la quantità di fibra che subisce il trattamento tra le bar gap più volte. Inoltre il funzionamento dell’OptiFiner Pro permette che si sviluppi in modo uniforme l’usura delle lamature così che risulti possibile utilizzare per tutta la vita utile l’altezza delle lame dei diversi segmenti, senza che si riscontrino cambiamenti evidenti nelle pressioni.

Nella struttura complessiva l’OptiFiner Pro, a parità di capacità di produzione, risulta di dimensioni ridotte rispetto ad un qualsivoglia raffinatore tradizionale. Essendo quindi anche il rotore di dimensioni ridotte l’OptiFiner Pro necessita di minor potenza per la lavorazione, da ciò infatti si riscontra che la potenza a vuoto di un OptiFiner Pro è nel complessivo di circa il 50% più bassa di quella di un raffinatore tradizionale.

3. RAFFINATORI TRADIZIONALI

3.1 LA RAFFINAZIONE

La raffinazione è un processo produttivo fondamentale per la formazione dell'impasto, in soluzione acquosa, necessario alla macchina continua per la produzione di carta. Infatti, durante la raffinazione, le fibre di cellulosa, in soluzione acquosa, subiscono trattamenti fisici e meccanici che permettono loro di ottenere le caratteristiche necessarie a permettere la formazione del foglio di carta. Le fibre vengono lavorate in soluzione acquosa perché l'acqua permette loro di ottenere determinate caratteristiche di resistenza che dopo l'asciugatura trasferiscono alla carta.
La raffinazione è dunque un processo produttivo mediante il quale la fibra che si trova in sospensione acquosa, con una concentrazione variabile dal 3% al 10%, viene sottoposta a una lavorazione meccanica. Questa lavorazione meccanica avviene all'interno del raffinatore che è costituito da due elementi: un motore elettrico, che permette il funzionamento del raffinatore, e la zona di raffinazione dove viene lavorato l'impasto. La zona di raffinazione è essenzialmente costituita da due elementi, uno statore e un rotore, entrambi aventi sulle loro superfici delle lamature metalliche.
Le lamature sono costituite da un insieme di lame, con spessori e distanze millimetrici, che possono variare in lunghezza, larghezza, inclinazione e altezza. Le lame sono poi distribuite su tutta la superficie sia del rotore che dello statore e quando il raffinatore è in funzione le lamature dei due elementi vengono avvicinate e portate in posizione di lavoro; anche in questo caso si tratta di distanze millimetriche.
All'interno dello spazio che si viene a creare tra statore e rotore e in quello che si trova tra le singole lame viene sparato, con una determinata pressione, l'impasto fibroso, sempre costituito da fibre di cellulosa in sospensione acquosa, che subisce, anche a causa della turbolenza che si crea, elevate sollecitazioni meccaniche tra cui quelle di compressione, di taglio e di frizione.

Finora abbiamo descritto il funzionamento meccanico dei raffinatori, ora esporremo alcuni elementi che ne condizionano il risultato finale. Essendo quindi condizionabile la raffinazione non è un processo produttivo identico per tutte le tipologie di impasto e fa sì che magari per ottenere sempre la medesima tipologia di carta, partendo dalle medesime materie prime, sia necessario influenzare il processo di raffinazione. Solitamente in gergo tecnico si usa dire, riferendosi ad un impasto, che esso che sia o più grasso o più magro.

Un impasto fibroso viene reso più grasso per poter ottenere che esso si disidrati con maggiore difficoltà aumentandone così le resistenze meccaniche e ottenendo carte con una maggior grado di trasparenza. Solitamente per poter ottenere questo risultato si avvicina il rotore allo statore.
Mentre, al contrario di quanto descritto in precedenza, un impasto fibroso viene reso più magro, allontanando il rotore dallo statore, per poter ottenere che le fibre subiscano una scarsa fibrillazione rimanendo più voluminose, tenere, assorbenti, opache e si dreni più facilmente l'impasto; riducendo però le resistenze meccaniche ottenibili.
Ma non solo l'ingrassamento o lo smagrimento dell'impasto condizionano i risultati della raffinazione. Infatti anche il pH e la temperatura condizionano in maniera evidente la raffinazione. Studi hanno infatti riportato che lavorando gli impasti fibrosi a temperature basse e con pH acidi, le fibre non subiscono rigonfiamenti, quindi si riscontra un peggioramento per quel che riguarda il processo di raffinazione e lo sviluppo delle resistenze meccaniche in esso. Mentre, si verificano risultati migliori, quando il processo di raffinazione avviene a temperature superiori ai 45 °C e in condizioni di pH alcalino.
Infine, ma non di minore importanza, si ricorda che la raffinazione non è condizionata solamente dagli elementi sopra riportati ma anche, in maniera significativa, dalla tipologia di raffinatore utilizzato. Di seguito verranno descritte le due principali tipologie di raffinatori: i raffinatori conici e i raffinatori a dischi.

3.2 I RAFFINATORI CONICI

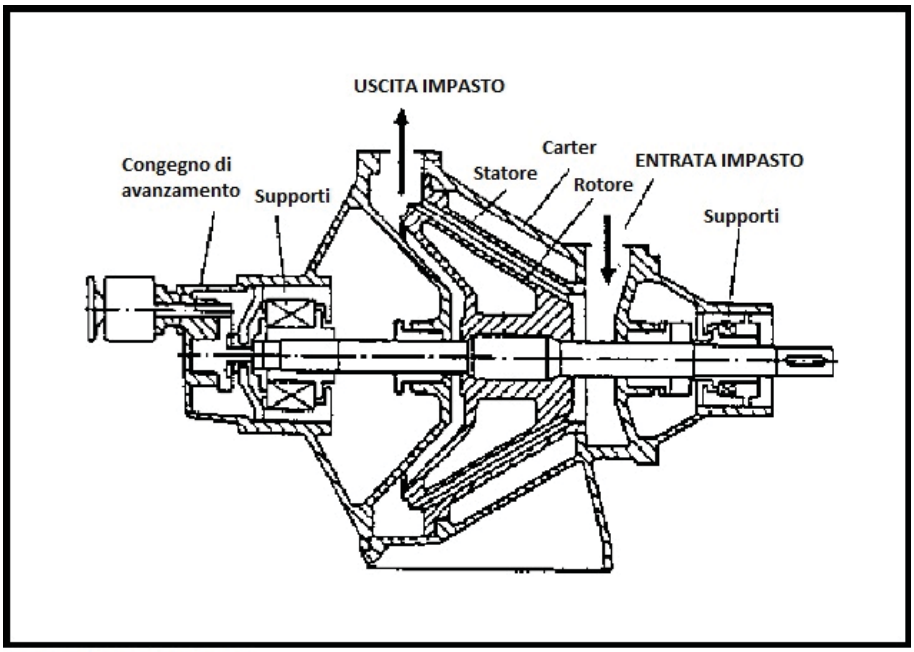
I primi raffinatori conici, che presero il nome di "*Jordan*", nascono in America intorno al 1800 per cercare di risolvere, o almeno di ridurre in modo sostanziale, un problema che si veniva via via delineando, cioè quello costituito dal fatto che i raffinatori "Olandesi" risultavano sempre meno sufficienti per i fabbisogni di produzione.
Nasce così questa nuova tipologia di raffinatore composto essenzialmente da:

- ✓ un carter con l'ingresso e l'uscita per l'impasto fibroso costituito sulla superficie interna da un corpo tronco-conico fisso o "*statore*";
- ✓ un corpo tronco-conico rotante o "*rotore*";
- ✓ un meccanismo di regolazione della distanza dal rotore dallo statore;
- ✓ un meccanismo di valvole per influenzare il flusso in ingresso e in uscita.

Elencate le parti fondamentali di cui sono composti i raffinatori conici è opportuno descriverne la forma e gli elementi fondamentali. Per quel che concerne la forma è importante ricordare che il funzionamento di questi raffinatori è influenzato anche dall'angolo di

inclinazione del cono. Oggi ne esistono due tipologie: i raffinatori conici ad angolo stretto, con angoli che vanno dai 16° ai 26°, e i raffinatori conici a grand'angolo, aventi angoli tra i 50° e i 60°. Le differenti tipologie di angolo condizionano in maniera significativa i risultati finali della raffinazione. L'angolo influisce infatti sulle forze che agiscono sull'impasto fibroso. Queste forze sono costituite da due diverse componenti: una componente assiale e una componente perpendicolare alla superficie di raffinazione. Il rapporto tra queste forze genera caratteristiche differenti all'impasto fibroso a seconda che si stia utilizzando un raffinatore ad angolo stretto o uno a grand'angolo. Perché questo rapporto nei raffinatori conici ad angolo stretto, nei quali le velocità periferiche sono più basse, accentua gli effetti di taglio a discapito di quelli di fibrillazione; mentre nei raffinatori conici a grand'angolo, nei quali si riscontrano velocità periferiche superiori, si accentuano i fenomeni di fibrillazione a discapito di fenomeni di taglio e con minore danneggiamento della fibra. Un'ulteriore vantaggio caratteristico dei raffinatori conici a grand'angolo è dovuto al fatto di avere una maggiore superficie di raffinazione e una maggiore varietà possibile nella disposizione delle lame.

Mentre per gli elementi fondamentali presenti sia sul rotore che sullo statore bisogna menzionare le guarniture. Le guarniture sono munite di lame metalliche disposte lungo le generatrici del cono, con inclinazioni più o meno accentuate. Queste lame hanno caratteristiche variabili che si modificano in base al materiale utilizzato, allo spessore, all'altezza, alla lunghezza, al numero e alla disposizione.



Schema Raffinatore Conico

Essendone state descritte le componenti si può procedere con una rapida descrizione del funzionamento. Nei raffinatori conici l'impasto fibroso compie un percorso tendenzialmente parallelo alle lame, entrando attraverso un tubo che si inserisce dal lato del carter, dove il cono ha diametro minore, ed uscendo dalla parte opposta. Il movimento dell'impasto fibroso non è condizionato solo dalla pressione di entrata ma è influenzato anche dalle forze centrifughe all'interno del raffinatore che lo spingono verso l'esterno. Andando a regolare il flusso di uscita, si può aumentare o diminuire l'effetto della raffinazione. Diminuendo il flusso di uscita si aumenta l'intensità a discapito della portata mentre, nel caso contrario, si riduce l'intensità per aumentare la portata. Un altro metodo per influenzare gli effetti della raffinazione è quello di aumentare o diminuire la distanza tra il rotore e lo statore: riducendola aumentano la lavorazione e i consumi elettrici, aumentandola diminuiscono la lavorazione e i consumi elettrici. Questo fa sì che si possa calcolare l'intensità di raffinazione attraverso la misura dell'energia applicata andando a esprimere questo valore in kWh/t.

3.3 I RAFFINATORI A DISCHI

Il processo industriale basato sul continuo miglioramento e sull'evoluzione della strumentazione industriale ha fatto sì che nel campo della raffinazione si sviluppasse un nuovo sistema di lavorazione basato sui raffinatori a disco.
I raffinatori a disco si dividono essenzialmente in due categorie: i raffinatori a disco singolo e i raffinatori a disco flottante, impropriamente detti "a doppio disco".
I raffinatori a disco singolo sono composti da:

- ✓ un carter con l'ingresso e l'uscita per l'impasto fibroso;
- ✓ due dischi metallici di notevole spessore, perfettamente paralleli, uno fisso detto "statore" e uno rotante detto "rotore";
- ✓ un meccanismo automatico per la regolazione della distanza del rotore dallo statore;
- ✓ un meccanismo di valvole per regolare la pressione in uscita.

Nei raffinatori a disco singolo lo statore è fissato al carter mentre il rotore è mobile assialmente mediante un servomotore che può essere meccanico, idraulico o pneumatico. In questi raffinatori l'impasto fibroso, mediante una pompa, entra sotto pressione all'interno attraverso il centro dello statore, percorre e attraversa la superficie dei dischi; anche in questo caso come nei raffinatori conici, provvisti di guarniture ed esce dalla periferia degli stessi attraverso la tubazione di uscita. Il flusso dell'impasto in uscita è controllato attraverso una valvola, posizionata all'interno della tubazione di scarico: questo fa sì che sia possibile regolare la portata all'interno del raffinatore e quindi influenzare la raffinazione.

La velocità dell'impasto fibroso all'interno del raffinatore non è però solamente condizionata dalla pressione in uscita ma anche da quella in entrata e dalle forze centrifughe. Inoltre il grado di raffinazione, oltre che da queste pressioni, è influenzato anche dalla consistenza dell'impasto fibroso, dalle geometrie delle guarniture e dalla distanza tra lo statore e il rotore. La distanza tra i dischi viene regolata manualmente o automaticamente in funzione dell'intensità di corrente; questa maggiore o minore distanza tra i dischi permette agli operatori di influenzare in modo significativo la raffinazione senza andare a modificare gli altri parametri. Anche in questo caso si è consoni controllare il consumo energetico specifico (kWh/t) per valutare il grado di raffinazione.
Successivamente all'introduzione dei raffinatori a disco fisso furono introdotti i raffinatori a disco flottante.
Questi raffinatori a disco flottante sono composti da:

- ✓ un carter con l'ingresso e l'uscita per l'impasto fibroso;
- ✓ due dischi fissi detti "statori", uno dei quali con la possibilità di compiere movimenti assiali per regolare le distanze tra il rotore e gli statori;
- ✓ un disco rotante tra i due dischi fissi detto "rotore", munito di guarniture su entrambe le superfici e flottante sul suo asse;
- ✓ un meccanismo di valvole per regolare la pressione in uscita.

Uno degli elementi di maggior rilievo dei raffinatori a dischi flottanti è riscontrabile nella loro versatilità; infatti avendo una doppia camera di raffinazione ne esistono due versioni: quella detta "MonoFlow" e quella detta "DuoFlow".
Nella versione MonoFlow le due camere sono disposte in serie, l'impasto fibroso quindi entra dal centro della prima camera, passando poi nella seconda per poi essere centrifugato verso la tubazione di uscita. Questo tipo di raffinatore fa sì che l'impasto fibroso subisca una lavorazione doppia.
Mentre nella versione DuoFlow l'impasto fibroso viene convogliato all'interno del raffinatore mediante due entrate distinte, una nella prima camera e l'altra nella seconda. In questa versione l'impasto entra centralmente e le due camere lavorano in parallelo.
La principale differenza tra queste due versioni di raffinatori sta nel fatto che mentre, per la versione MonoFlow si ha un elevato grado di raffinazione a discapito della portata, nella versione DuoFlow si verifica esattamente l'opposto, si ha quindi una riduzione del grado di raffinazione ma un raddoppiamento delle portate.

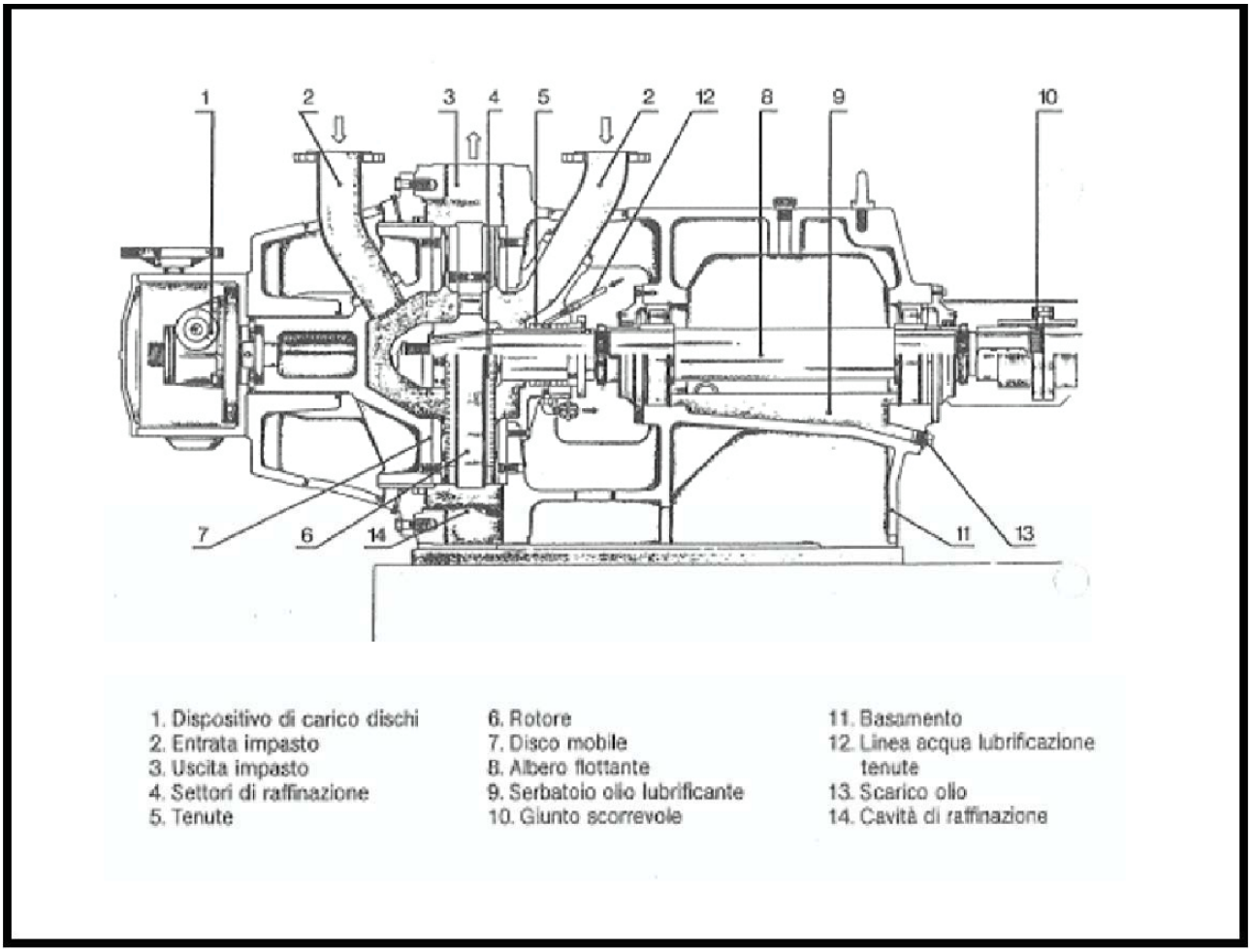
Per tutte le tipologie di raffinatori a dischi, siano essi a disco singolo o flottante, l'elemento che resta di fondamentale importanza è costituito dalle lamature.

Infatti queste hanno due grandi vantaggi:

1. sono estremamente versatili, possono infatti cambiare forma, spessore, profondità, disegno e materiale;
2. sono facilmente maneggiabili e sostituibili.

Questi sopraelencati sono anche due dei vantaggi che i raffinatori a disco possiedono rispetto ai raffinatori conici, ma non gli unici, perché i raffinatori a disco rispetto a quelli conici hanno anche:

- ✓ un minor consumo di energia “a Vuoto”;
- ✓ la possibilità di raggiungere potenzialità molto maggiori lavorando con carichi specifici più alti.



Schema raffinatore a disco flottante

4. EFFETTI E ANALISI DELLA RAFFINAZIONE SULLA FIBRA

4.1 EFFETTI DELLA RAFFINAZIONE SULLA FIBRA

Prima di passare all'analisi dei risultati effettivi dell'utilizzo della nuova tecnologia Valmet su un impianto esistente, ritengo opportuno esporre, in maniera sintetica, gli effetti che la raffinazione ha sulla fibra.

La fibra raffinata, a seguito del trattamento meccanico che subisce nell'impianto di raffinazione, risulta strutturalmente diversa da quella dell'impasto fibroso iniziale. Questo perché qualsivoglia trattamento di raffinazione provoca sull'impasto fibroso, in maniera e misura più o meno rilevanti in base all'intensità applicata, il verificarsi dei seguenti effetti:

- ✓ fibrillazione interna;
- ✓ fibrillazione esterna;
- ✓ accorciamento delle fibre;
- ✓ formazione parti "fini".

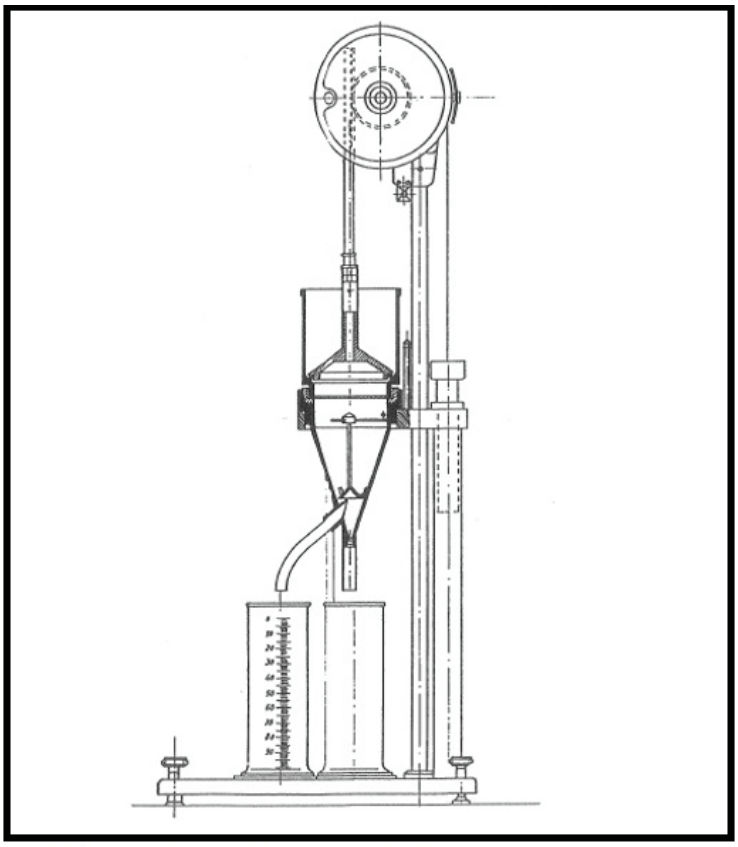
La fibrillazione interna risulta essere l'effetto di maggior importanza che la raffinazione crea sulla fibra. Questo perché l'effetto menzionato comprende tutte le modifiche fisiche che avvengono all'interno della parete fibrosa, tra le quali ci sono la snervatura, l'allentamento e l'apertura della struttura fisica. Questi effetti si verificano perché l'impasto fibroso, per azione della raffinazione, subisce una serie di sollecitazioni meccaniche di schiacciamento e di flessione che ne vanno a modificare la struttura interna. Queste sollecitazioni fanno sì che si vadano a rompere quei legami idrogeno esistenti tra fibra e fibra, e che questi vengano poi sostituiti da legami idrogeno tra acqua e fibra. La rottura di questi legami fa quindi in modo che si vengano a creare delle separazioni tra le fibrille, tra le microfibrille e tra gli strati lamellari che costituiscono la parete interna della fibra. Così si vengono a verificare quei fenomeni di snervamento, di allentamento e di apertura che permettono alla fibra di rigonfiarsi, dando ad essa quelle proprietà di flessibilità, di plasticità e di uniformità che poi andranno a rendere il foglio compatto e robusto.

La fibrillazione esterna è provocata da fenomeni di sfregamento che si verificano tra le lame dello statore e del rotore, la così detta bar gap. Questo sfregamento fa sì che si danneggi la superficie facendo così emergere delle parti sporgenti. Queste sporgenze, ancora attaccate in parte alla superficie esterna della fibra, si presentano sotto forma di membrane e filamenti.

La fibrillazione esterna, in un certo qual modo, come la fibrillazione interna ma in maniera meno rilevante, influisce sulla formazione dei legami tra le fibre e sullo svilupparsi delle resistenze meccaniche del foglio.
L'accorciamento delle fibre, dovuto al processo meccanico di raffinazione, condiziona le resistenze meccaniche del foglio secco, ma questa volta in modo negativo, in quanto le riduce. Il taglio permette però di migliorare la speratura del foglio.
La formazione di fini si verifica quando le membrane e i filamenti si distaccano completamente dalla fibra. Le parti fini sono costituite, essenzialmente da frammenti delle pareti primaria e secondaria distaccatisi della fibra e da frammenti fibrosi, venutisi a creare con l'accorciamento delle fibre. Durante la raffinazione l'aumento maggiore o minore delle parti fini condiziona in maniera rilevante la scolantezza: infatti ad un aumento delle parti fini corrisponde una riduzione della scolantezza e viceversa.

4.2 SISTEMI DI ANALISI DELLA RAFFINAZIONE

Nella maggior parte delle cartiere per valutare il "grado di raffinazione" dell'impasto si utilizza il "*Raffinometro Schopper-Riegler*
Questo strumento analizza una proprietà dell'impasto definita "ritenzione d'acqua", ovvero la capacità dell'impasto fibroso a trattenere l'acqua durante la fase di drenaggio su una tela.
Vi è infatti una relazione tra raffinazione e ritenzione d'acqua: all'aumentare della prima variabile aumenta anche la seconda. Nel caso specifico del raffinometro si analizza la ritenzione d'acqua di una sospensione omogenea di 2,0 g di impasto fibroso disperso in 1000 ml di acqua, durante il drenaggio attraverso una tela metallica con una dimensione delle maglie ben definita (UNI EN ISO 5267-1:2002).
Questo metodo di valutazione non descrive però nel dettaglio le caratteristiche dell'impasto fibroso, in quanto il risultato viene maggiormente influenzato dalla presenza di parti fini (taglio) e sottovaluta ampiamente gli altri effetti della raffinazione (fibrillazione).
Per avere un'analisi più completa bisogna utilizzare "analizzatori di impasto" che permettono di definire anche altri elementi quali la distribuzione della lunghezza delle fibre, la viscosità e altre caratteristiche.



Raffinometro Schopper Riegler

Esso è quindi costituito da:

- ✓ camera di scolamento cilindrica, il cui fondo è rastremato ed è chiuso da una tela in bronzo fosforoso avente un'area di 100 cm^2. La tela metallica è costituita da una trama avente 24 fili/cm e da un ordito avente 32 fili/cm;
- ✓ cappelletto di tenuta, ha forma conica e il vertice rivolto verso l'alto, mentre la base va a posizionarsi sul fondo della camera di scolamento facendo tenuta. Sul vertice superiore del cono è posizionata un'asta cava che serve a permettere il passaggio dell'aria ed è anche necessario per i movimenti di alzamento e abbassamento nella camera di scolamento;
- ✓ imbuto di raccolta, di forma conica e avente alla sua estremità inferiore un foro calibrato, si trova al di sotto della camera di scolamento;
- ✓ cilindro graduato che misura la quantità d'acqua che fluisce dal tubo laterale dell'imbuto. Esso è graduato in gradi Schopper-Riegler (°SR) e ciascun grado corrisponde a 10 ml di acqua. La graduazione sul cilindro dei gradi Schopper-Riegler è inversa rispetto a quella della quantità di acqua, cioè a 0 °SR corrispondono 1000 ml e a 100 °SR corrispondono 0 ml.

Durante la prova l'acqua che cola al di sotto si raccoglie nel tubo e viene divisa tra i due flussi: uno esce dall'ugello sul fondo dell'imbuto, mentre l'altro esce dal tubo laterale e risulta essere massimo all'inizio per poi diminuire costantemente al diminuire dell'acqua che cade nell'imbuto di raccolta fino a cessare quando questa è uguale o minore di quella che fuoriesce dall'ugello.
La quantità di acqua che fluisce dalla tubazione laterale è direttamente correlata con la tipologia dell'impasto fibroso utilizzato per la prova. Infatti se viene utilizzato un impasto magro, tipologia di impasto fibroso che lascia scolare l'acqua molto velocemente, l'acqua tende a fluire maggiormente attraverso la tubazione laterale. Mentre se viene utilizzato un impasto grasso, tipologia di impasto fibroso nella quale l'acqua si separa con difficoltà e con lentezza, l'acqua tende a fluire attraverso l'ugello principale. In sostanza, maggiore è l'acqua che fluisce dalla tubazione laterale nel cilindro graduato, minore sarà il grado Schopper-Riegler dell'impasto fibroso analizzato e viceversa.
Durante queste analisi di laboratorio, non sempre è possibile seguire alla lettera i processi metodologici citati dai metodi ATICELCA o dalle norme UNI, quindi cambiano alcuni dei fattori come i grammi di impasto fibroso utilizzati o la temperatura dell'impasto fibroso. Questi poi vengono analizzati tramite specifici diagrammi di correlazione (*Diagramma di correlazione del °SR in base alla temperatura dell'impasto* o *Diagramma di correlazione del °SR in base alla grammatura dell'impasto*) che permettono di ottenere gli effettivi, per quanto possibile precisi, gradi Schopper-Riegler dell'impasti fibroso analizzato.

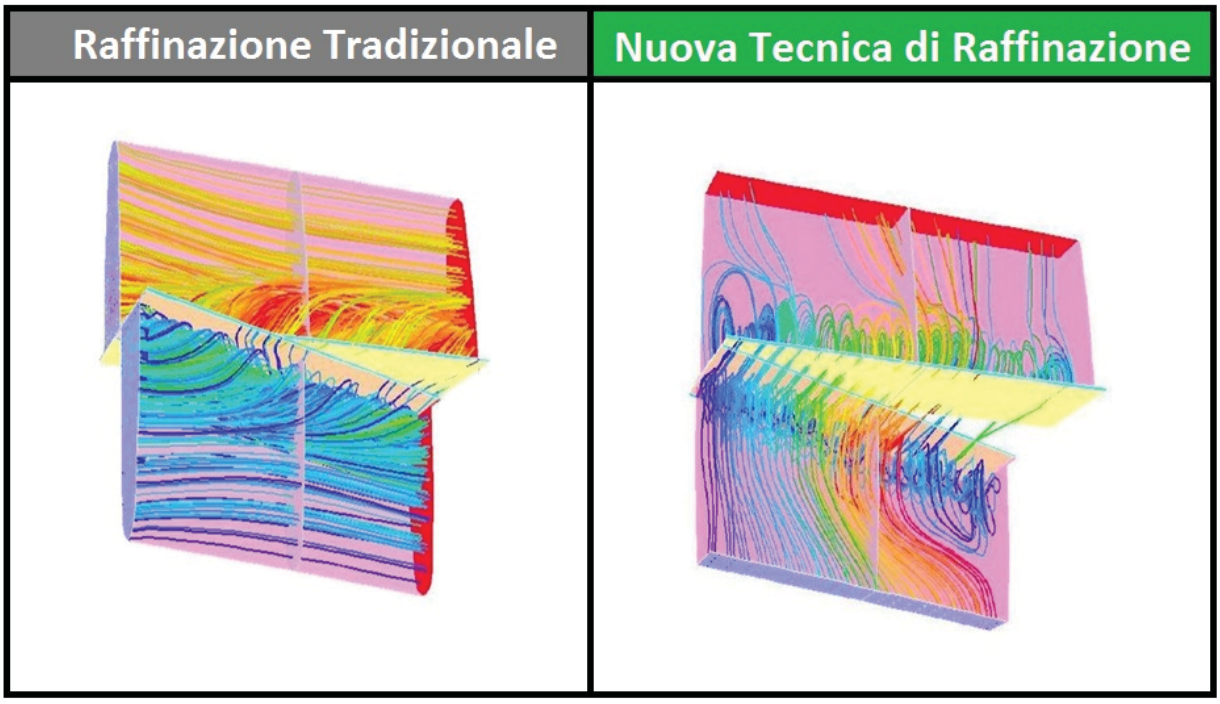
5. ANALISI DELLE DIFFERENZE TRA RAFFINAZIONE TRADIZIONALE E OPTIFINER PRO

5.1 ANALISI TECNICA DELLE DIFFERENZE

L'OptiFiner Pro, essendo un'evoluzione tecnica della raffinazione, presenta caratteristiche differenti rispetto alla raffinazione tradizionale. Questo fa sì che si crei il bisogno di descrivere le particolarità che differenziano un sistema dall'altro.
Quando però si espone come argomento la raffinazione tradizionale bisogna far riferimento ed espletare in modo esaustivo la medesima in quanto essa varia al variare della tipologia di raffinatore utilizzato. Dunque si necessita di dividere la raffinazione tradizionale in base alla forma geometrica dei raffinatori presi in considerazione e questi sono:

- ✓ raffinatori a disco;
- ✓ raffinatori conici;
- ✓ raffinatori cilindrici.

Da questa suddivisione è possibile partire per andare a descrivere la principale differenza che si denota tra i raffinatori tradizionali e il raffinatore OptiFiner Pro di nuova generazione della Valmet, cioè quella riguardante il modo in cui l'impasto fibroso viene immesso all'interno delle camere di raffinazione. Questo metodo di immissione varia al variare della conformazione geometrica del raffinatore utilizzato. Per i raffinatori a disco l'alimentazione della camera di raffinazione avviene dal centro dello statore. Mentre nei raffinatori conici l'impasto fibroso viene immesso in camera di raffinazione assialmente e partendo dalla superficie con minor diametro della struttura tronco-conica. Per quel che concerne invece l'ultima tipologia di raffinatori convenzionali l'impasto viene immesso tangenzialmente dalla superficie esterna. Ovviamente, come già descritto in precedenza, è differente anche il metodo di immissione adottato dall'OptiFiner Pro. In questo caso infatti l'impasto fibroso viene immesso in camera di raffinazione mediante due tubazioni di mandata che iniettano l'impasto in zone differenti della camera di raffinazione.



Rappresentazione Grafica del flusso dell'impasto fibroso nei Raffinatori Tradizionali e nell'OptiFiner Pro

Anche se ogni raffinatore tradizionale ha un suo metodo di immissione dell'impasto fibroso all'interno della camera di raffinazione, le problematiche che poi si riscontrano su di esso risultano essere alquanto similari. Infatti per tutti i raffinatori tradizionali l'impasto fibroso deve percorrere l'intero percorso tra le lamature all'interno della camera di raffinazione e questo fa sì che il controllo della raffinazione da parte dell'operatore, inteso sia come processo produttivo che come qualità del risultato, risulti impegnativo. Questo perché nei raffinatori tradizionali un'alta percentuale dell'impasto fibroso segue le scanalature delle piastre del rotore e dello statore senza mai attraversare la bar gap. Infatti studi precedenti dimostrano che nei raffinatori a dischi tradizionali solo il 30% delle fibre viene raffinato. Da ciò è possibile riscontrare che i raffinatori tradizionali, oltre ad avere la caratteristica di raffinare solo una parte ridotta di fibra, hanno anche una notevole discontinuità di trattamento. Infatti, essendo le fibre costrette a percorrere tutta la lunghezza della camera di raffinazione, sono ridotte in maniera considerevole le garanzie sull'omogeneità del trattamento, vedendo aumentato di conseguenza, sul risultato della raffinazione, la percentuale di fini a discapito delle resistenze acquisite. Il verificarsi di questi eventi è inoltre stato studiato da Valmet all'interno di un raffinatore conico tradizionale, mediante l'utilizzo di telecamere e la creazione di simulazioni grafiche al computer. Queste problematiche vengono, in linea teorica, superate con l'utilizzo dell'OptiFiner Pro, in quanto la sua conformazione garantisce che il flusso dell'impasto fibroso attraversi solo parti ridotte della camera di raffinazione, così da aumentare la

probabilità che la fibra attraversi la bar gap e, allo stesso tempo, per regolarizzare l'uniformità del trattamento.
Un altro elemento che differenzia, in modo significativo, le caratteristiche di funzionamento dell'OptiFiner Pro, rispetto a quelle possedute dai raffinatori tradizionali, riguarda l'usura delle lame. Per capire il perché bisogna ricordare che la capacità produttiva dei raffinatori tradizionali è fortemente limitata e condizionata dalla portata volumetrica degli stessi, quest'ultima condizionata dalle pressioni interne al raffinatore. Infatti, andando a considerare i raffinatori a disco tradizionali, la portata volumetrica risulta essere determinata e condizionata dalle seguenti caratteristiche del raffinatore in questione:

- ✓ il diametro;
- ✓ la velocità di rotazione;
- ✓ le pressioni idrauliche condizionate in modo rilevante dalle tipologie di lamature;
- ✓ l'angolo delle lame.

La portata volumetrica è condizionata anche dalla forza centrifuga che il raffinatore riesce ad applicare all'impasto fibroso.
Nel caso di un raffinatore a disco tradizionale, esso agisce come una pompa centrifuga che mediante la forza venutasi a generare dalla rotazione del rotore all'interno della camera di raffinazione, pompa l'impasto fibroso raffinato verso la tubazione d'uscita. Ma andando ad analizzare il funzionamento nel tempo di questa tipologia di raffinatori si nota che questa forza è anche influenzata dall'altezza delle lame. Quindi, a seguito dell'usura non uniforme delle lame distribuite sullo statore e sul rotore, a causa della conformazione del raffinatore e alla sua tipologia di funzionamento, le lame più vicine alla tubazione di mandata vengono consumate prima, il raffinatore perde parte delle sue caratteristiche di pompaggio, permettendo così il verificarsi di cadute di pressione. Di conseguenza, a seguito di questa usura non uniforme, per mantenere lo stesso tasso di produzione è necessario aumentare la velocità di rotazione e ridurre l'area di passaggio trasversale di impasto fibroso tra statore e rotore. Ma facendo ciò ed essendo presente all'interno dell'impasto fibroso il carbonato di calcio, materiale con un'alta viscosità, si riscontra nel raffinatore un aumento della frizione tra le piastre statoriche e quelle rotoriche che causano una riduzione complessiva di pressione di pompaggio e sporadiche cadute di pressione che vanno di conseguenza a ridurre la portata volumetrica del raffinatore. Con ciò si dimostra quindi che la capacità volumetrica di un raffinatore a disco tradizionale è fortemente dipendente dalla condizione delle lame. Questa dipendenza può essere dimostrata in tutte le tipologie di raffinatori tradizionali. Mentre, secondo gli studi della Valmet, la riduzione della capacità volumetrica dovuta all'usura delle lame non avviene e infatti, come spiegato nel paragrafo sul funzionamento dell'OptiFiner Pro, l'usura delle lame, essendo uniforme, non condiziona in alcun modo la raffinazione.

Per concludere viene ricordato che non tutta la potenza applicata ad un raffinatore è applicata sulla fibra. Infatti solitamente, nei raffinatori tradizionali, circa il 20% della potenza applicata, si parla in questi casi di “potenza a vuoto”, viene consumata per gli effetti provocati dalla rotazione del rotore all’interno di un fluido viscoso. Inoltre questa potenza viene aumentata anche all’aumentare del diametro, delle velocita di rotazione del rotore e, come spiegato in precedenza, dall’usura delle lame. Nell’OptiFiner Pro, grazie alla sua struttura, la “potenza a vuoto” è ridotta del 50% rispetto a raffinatori tradizionali con capacità produttive simili.

6. L’OPTIFINER PRO INSTALLATO SULLA MACCHINA CONTINUA F3

6.1 DESCRIZIONE DELL’IMPIANTO

Finora si sono analizzate e descritte il funzionamento dell’OptiFiner Pro, le tipologie di raffinazione tradizionale, gli effetti e le analisi della raffinazione, fino ad arrivare a confrontare in linea teorica la raffinazione tradizionale con la nuova generazione di raffinatori.

Si passa ora all’analisi tecnica di un caso reale, andando a visionare ed analizzare i risultati ottenuti dall’installazione dell’OptiFiner Pro sulla macchina continua F3.

L’installazione dell’OptiFiner Pro ha portato una sostanziale modifica al vecchio impianto di raffinazione che però non è stato smantellato.

Il vecchio impianto di raffinazione era costituito da due linee di raffinazione distinte:

- una adibita alla raffinazione dell’impasto fibroso del Pulper 1, nel quale veniva spappolata esclusivamente fibra corta, che per comodità definiremo “Linea fibra corta”;
- mentre l’altra dedicata alla raffinazione dell’impasto fibroso del Pulper 2, nel quale veniva spappolato una mix di fibra corta e fibra lunga, che per comodità definiremo “Linea fibra lunga”.

La linea per la fibra corta era costituita da due linee di raffinazione indipendenti, ognuna avente una sua pompa di alimentazione e un suo raffinatore a disco flottante. Mentre la linea fibra lunga era sempre costituita da due linee di raffinazione indipendenti, ognuna avente la sua pompa di alimentazione ma, in questo caso, su ogni linea erano posizionati due raffinatori flottanti in serie. I raffinatori menzionati fin qui, tutti a disco flottante o “a doppio disco”, sono così caratterizzati: cinque raffinatori, i 4 della linea fibra lunga e uno dei due della linea fibra corta, hanno un motore da 450 kW, 750 RPM e una potenza a vuoto di 136 kW, mentre l’altro raffinatore della linea corta ha un motore da 500 kW, 600 RPM e una potenza a vuoto di 70 kW.

Raffinatori	Caratteristiche			
	Potenza [kW]	*Velocità di Rotazione [PRM]*	*Potenza a Vuoto [kW]*	*Portata [l/min]*
Raf 0	500	600	70	4500
Raf 1	450	750	136	1800
Raf 2	450	750	136	1800
Raf 3	450	750	136	1800
Raf 4	450	750	136	1800
Raf 5	450	750	136	1800
Raf Opti	1500	750	95	2400 - 6600

Tabella Caratteristiche Raffinatori

Con la modifica dell'impianto si è proceduto all'installazione di un raffinatore OptiFiner Pro 3 avente un motore da 1500 kW, 750 RPM e una potenza a vuoto di 95 kW. Inoltre l'OptiFiner Pro 3 si caratterizza per la variabilità delle sue portate, in quanto, esso è in grado di lavorare con portate che vanno dai 2400 l/min ai 6600 l/min, di molto maggiore rispetto a quella dei raffinatori già presenti nell'impianto, che si attesta tra i 1800 l/min e 4500 l/min. Vista l'enorme portata di impasto fibroso che l'OptiFiner pro 3 sarebbe in grado di lavorare e anche a causa della sua installazione, l'impianto di raffinazione originario ha subito delle modifiche. Innanzitutto il nuovo raffinatore è collegato con entrambe le tine di stoccaggio: questo fa sì che esso possa essere alimentato simultaneamente da entrambe o soltanto da una di esse. Per di più sono state modificate le precedenti linee di raffinazione creando tre nuove linee di raffinazione:

- ✓ la Linea 1 composta dai raffinatori 0 e 3 e la Linea 3 composta dai raffinatori 4 e 5, entrambe collegate al Pulper 1;
- ✓ la Linea 2 composta dai raffinatori 1 e 2 collegata al Pulper 2.

6.2 ANALISI DEI RISULTATI

A seguito della modifica dell'impianto si è proceduto con un serie di analisi atte a studiare i benefici e gli svantaggi apportati dall'utilizzo dell'OptiFiner Pro 3. Quelli che verranno di seguito affrontati e analizzati riguardano principalmente i consumi energetici e gli effetti della raffinazione sull'impasto fibroso.

Linee di raffinazione	Potenza a vuoto dei raffinatori (kW)							Totale Potenza a vuoto per Linea di raffinazione (kW)
	Raf 0	*Raf 1*	*Raf 2*	*Raf 3*	*Raf 4*	*Raf 5*	*Raf Opti*	
Linea 1	70			136				206
Linea 2		136	136					272
Linea 3					136	136		272
Linea Opti							95	95

Tabella delle Potenze a vuoto delle diverse linee di raffinazione

Durante il processo di raffinazione, come già esplicato in precedenza, non tutta la potenza erogata dal raffinatore viene impiegata per la lavorazione della fibra, ma bensì, una parte spesso rilevante, viene utilizzata dallo stesso raffinatore al solo scopo di permettere il moto rotatorio del rotore a vuoto, viene quindi questa considerata energia non utile. Da ciò si può dedurre che, come descritto, dalla sostituzione di una linea di raffinazione con l'OptiFiner Pro 3 si ottengono benefici energetici dovuti alla riduzione della potenza a vuoto erogata. Questi benefici, oltre ad essere evidenti, risultano anche semplici da calcolare in quanto basta sommare i valori delle potenze a vuoto della linea di raffinazione sostituita, che solitamente, ma non in assoluto, risulta essere la Linea 1 e quindi corrispondenti a circa 206 kW. A questo valore va sottratta la potenza a vuoto dell'OptiFiner Pro 3 che corrisponde a 95 kW, ottenendo un risparmio energetico di 111 kW.

Andando di conseguenza a confrontare il risparmio ottenuto mediante questa sostituzione con il consumo complessivo dovuto alle potenze a vuoto dei raffinatori precedenti, si verifica che l'installazione dell'OptiFiner Pro 3 ha apportato una riduzione dei consumi energetici che si attesta intorno al 15%. Ipotizzando, grazie alle enormi portate che possono essere lavorate dall'OptiFiner Pro 3, che un giorno ci si limiti al solo utilizzo di esso, il risparmio energetico dovuto alla riduzione delle potenze a vuoto si attesterebbe tra l'85% e il 90%. Questa riduzione della potenza a vuoto nell'OptiFiner Pro 3, come si è descritto nei capitoli precedenti, è da attribuire alla conformazione geometrica e ai condotti di ingresso e di uscita in grado di distribuire in modo uniforme il flusso dell'impasto fibroso.

Non risultano invece così rosei e positivi, come invece è avvenuto per la valutazione dei consumi energetici, i risultati che questa nuova tecnologia ha sugli effetti della raffinazione.

Infatti vengono alla luce problematiche per quel che concerne la percentuale di parti fini all'interno dell'impasto fibroso, la lunghezza della fibra e di conseguenza i gradi Schopper-Riegler. E si è inoltre riscontrato che queste problematiche, che di seguito verranno analizzate presentando i risultati di alcune prove di laboratorio, si verificano per entrambe le tipologie d'impasto. Cioè sia nel caso in cui l'OptiFiner Pro 3 sia alimentato con fibra corta sia che esso sia alimentato con fibra mista, un mix di fibra corta e fibra lunga.
Premettendo che per entrambe le tipologie di impasto fibroso utilizzate si sono riscontrate problematiche di runnability in macchina continua, si è deciso di procedere, qui di seguito, ad un'analisi dei dati raccolti sui campioni presi all'uscita delle varie linee di raffinazione, così da cercare di comprenderne le motivazioni e, di conseguenza, per poter tentare di risolverle. Queste problematiche di runnability si sono riscontrate nella parte umida dalla macchina continua, con un aumento spinto del vuoto nelle cassette aspiranti, un aumento delle difficoltà di drenaggio della sezione pressa e con un conseguente abbassamento del grado di secco all'entrata della seccheria. Queste problematiche presenti nella parte umida hanno ovviamente avuto ripercussioni anche sulla seccheria in quanto si sono palesate con la formazione di crespe e, di conseguenza, costringendo gli operatori a variare spesso il tiraggio delle varie sezioni della seccheria con un conseguente aumento delle rotture. Queste problematiche, probabilmente dovute alla presenza di fibre raffinate in maniera non uniforme, sono anche evidenziate dalle analisi svolte in laboratorio che mostrano sostanziali differenze tra l'impasto fibroso in uscita dalle linee di raffinazione originarie e l'impasto fibroso in uscita dall'OptiFiner Pro, sia nel caso che si utilizzi la fibra corta o la fibra mista.

Analisi Fibra Mista						
Numerazione Prove	Campione Out Linea 3			Campione Out Opti		
	Gradi SR	*Lunghezza Fibra*	*% Parti Fini*	*Gradi SR*	*Lunghezza fibra*	*% Parti Fini*
PROVA 4	24	0,93	5,9	22	0,89	6,4
PROVA 5	25	0,93	5,9	23	0,91	6,1
PROVA 6	25	0,93	5,3	23	0,90	5,6

Analisi di laboratorio fibra mista

Prendendo infatti i dati riferiti all'impasto fibroso misto, come già detto composto da fibra corta e da fibra lunga, si denotano una riduzione della lunghezza della fibra e una riduzione dei gradi Schopper-Riegler con un leggero aumento delle parti fini. Come si nota in tabella, la lunghezza della fibra tra la lavorazione tradizionale e la lavorazione mediante l'OptiFiner Pro 3, subisce un accorciamento della fibra in media di 0,03 mm con un leggero aumento

delle parti fini. Ma apportando anche una riduzione di 2 punti all'analisi dei gradi Schopper-Riegler.

Analisi Fibra Corta						
Numerazione Prove	Campione Out Linea 2			Campione Out Opti		
	Gradi SR	*Lunghezza Fibra*	*% Parti Fini*	*Gradi SR*	*Lunghezza fibra*	*% Parti Fini*
PROVA 1	27	0,74	5,4	24	0,71	5,8
PROVA 2	27	0,73	6,2	23	0,70	6,1
PROVA 3	29	0,73	5,9	25	0,71	5,5

Analisi di laboratori su fibra corta

In una certa misura questo si è verificato anche quando ad essere trattato dal sistema di raffinazione tradizionale o dall'OptiFiner Pro 3 è l'impasto fibroso composto esclusivamente da fibra corta, nel quale l'accorciamento della fibra è sempre intorno al 0,03 mm, ma senza un evidente aumento delle parti fini. In questo caso l'analisi dei gradi Schopper-Riegler è notevolmente influenzata con differenze che si attestano in media intorno ai 4 °SR.
Dei dati, fin qui analizzati, si può affermare, visto l'evidente accorciamento della misura media della fibra, che l'impasto fibroso all'interno dell'OptiFiner Pro 3, subisce un forte trattamento di taglio. Che può essere dovuto sia, come descritto in precedenza, dalla maggiore quantità di fibra trattata dall'OptiFiner Pro rispetto ad un raffinatore tradizionale, sia dalla conformazione strutturale dell'OptiFiner Pro che possiede caratteristiche più affini e similari ai raffinatori conici che a quelli a disco, e per questo potrebbe verificarsi un maggior effetto di taglio.

7. CONCLUSIONI

L’OptiFiner Pro è una nuova tecnologia che si integra in modo ottimale con la situazione economica mondiale in quanto, come descritto in precedenza, permette un notevole risparmio energetico, voce che incide in maniera significativa sul costo del prodotto finale. Infatti l’OptiFiner si integra in maniera ottimale con i tentativi svolti in questi anni dalle industrie cartarie per cercare di razionalizzare e ottimizzare i consumi energetici dovuti alla lavorazione della fibre, che storicamente incide in maniera significativa sui consumi energetici globali della produzione di carta.
Per questo è possibile affermare che l’OptiFiner Pro è un’ottima innovazione applicabile a molti sistemi anche se è ancora necessario studiare miglioramenti tecnici per superare le differenze di lavorazione rispetto a sistemi tradizionali che utilizzano raffinatori a dischi. Infatti dall’analisi svolta in precedenza si può affermare che l’OptiFiner Pro si integrerebbe meglio in sistemi di raffinazione che utilizzano raffinatori conici, potendo affermare che in teoria in questi casi si otterrebbero ottimi risultati sia per quel che concerne la lavorazione della fibra che i consumi energetici.

8. BIBLIOGRAFIA

- ✓ "***Prove sulle materie fibrose sulla carta e sul cartone***", Edoardo Grandis, ATICELCA;
- ✓ "***Introduzione alla fabbricazione della carta***", ATICELCA;
- ✓ Materiale didattico "***OptiFiner Pro***", Walter Morniroli, Valmet;
- ✓ Tesina "***La raffinazione***", Caumo Mauro, Scuola Interregionale di Tecnologia per Tecnici Cartari;
- ✓ Tesina "***Il processo di raffinazione della fibra di cellulosa***", Lionello Patuzzi, Scuola Interregionale di Tecnologia per Tecnici Cartari;