



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

I Pulper

**e il processo di spappolamento
delle diverse materie prime fibrose**

di Brinza Ion



**Scuola Interregionale
di tecnologia per tecnici Cartari**

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

INDICE

1. INTRODUZIONE STORICA

2. INTRODUZIONE AL PROCESSO DI SPAPPOLAMENTO

- 2.1. Cos'è lo spappolamento (Pulping)
- 2.2. Struttura e principio di funzionamento di un pulper
- 2.3. Geometria del pulper e criteri di progettazione
- 2.4. Dimensionamento del rotore
- 2.5. Piastra forata del pulper: criteri di dimensionamento e funzione operativa
- 2.6. Obiettivi principali del pulping
- 2.7. Importanza del pulping nel processo cartario
- 2.8. Scelta del pulper
- 2.9. Gestione e dosaggio della materia prima nei pulper

3. TIPOLOGIA DI PULPER

- 3.1. Pulper a bassa densità
- 3.2. Pulper a bassa densità per cellulosa vergine (senza contaminanti)
- 3.3. Pulper a bassa densità in continuo per fogliaccio (applicazione particolare)
- 3.4. Pulper a bassa densità in continuo per macero con contaminanti
- 3.5. Gestione degli scarti nel pulper a bassa densità in continuo
- 3.6. Ragger
- 3.7. Cutter taglia corta del ragger
- 3.8. Grab bucket nel sistema pulper
- 3.9. Pompe per detrashing (Voith IntensaPump & ANDRITZ Detrashing Pump)
- 3.10. Trommel
- 3.11. Considerazioni sul funzionamento del pulper in continuo

4. TORNADO PULPER – KADANT

5. PULPER AD ALTA CONSISTENZA

- 5.1. Tipi di rotori ad alta
- 5.2. Applicazione del pulper ad alta consistenza per cellulosa e materiali privi di contaminanti (fogliacci o materiali simili)
- 5.3. Esempi pratici di applicazione del pulper ad alta consistenza con materiali senza contaminanti e piastra forata

- 5.4. Applicazione del pulper ad alta consistenza per fibra di cotone (carta moneta) senza piastra forata e contaminanti specifici.
- 5.5. Applicazione del pulper ad alta consistenza per macero selezionato con contaminanti (senza piastra forata)
- 5.6. Caso specifico – Applicazione del pulper ad alta consistenza per macero selezionato con contaminanti e piastra forata

6. PULPER A MEDIA CONSISTENZA

- 6.1. Campo di consistenza e modalità di lavoro
- 6.2. Configurazione costruttiva
- 6.3. Rotore e principio di funzionamento
- 6.4. Sequenza operativa
- 6.5. Materie prime e applicazioni
- 6.6. Vantaggi
- 6.7. Limiti e svantaggi
- 6.8. Considerazioni finali

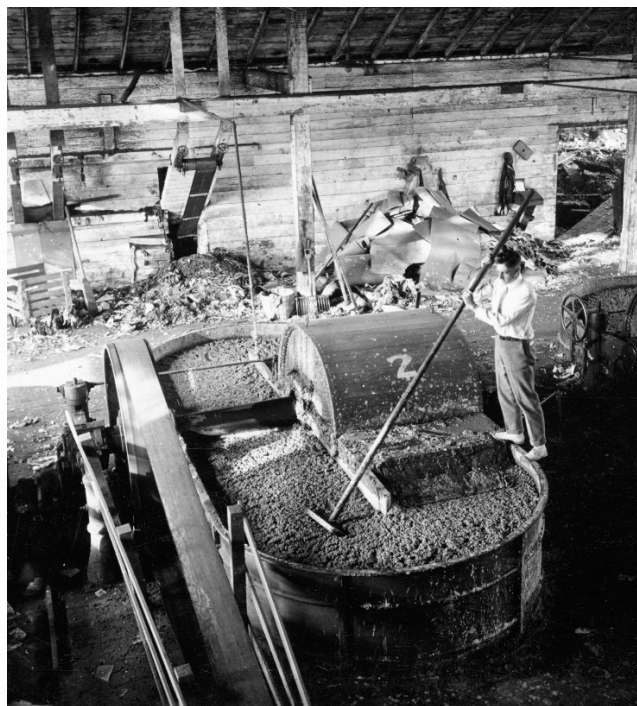
7. DRUM PULPER

- 7.1. Introduzione
- 7.2. Configurazione costruttiva e inquadramento tecnologico
- 7.3. Modalità di lavoro
- 7.4. Consistenze operative
- 7.5. Principio di funzionamento
- 7.6. Sezioni funzionali
- 7.7. Sequenza di processo
- 7.8. Materie prime trattabili
- 7.9. Vantaggi
- 7.10. Svantaggi
- 7.11. Considerazioni finali

8. RIFERIMENTI TECNICI E OEM CONSULTATI

9. RINGRAZIAMENTI

1. INTRODUZIONE STORICA



Lo spappolamento della materia prima (pulping) è una fase fondamentale del processo cartario e affonda le sue radici nella nascita stessa della carta. Fin dalle prime produzioni in Cina, il principio era già definito: disperdere fibre vegetali in acqua e ottenere una sospensione fibrosa utilizzabile per la formazione del foglio.

Evoluzione storica

Per molti secoli, lo spappolamento è stato un processo artigianale. Le fibre provenivano principalmente da stracci (lino, cotone, canapa), che venivano macerati e battuti meccanicamente tramite sistemi semplici (magli e pestelli). Questo metodo, seppur efficace, era lento e poco produttivo.

Una prima evoluzione tecnologica significativa si ebbe con l'introduzione dell'**Hollander beater**, sviluppato nei Paesi Bassi nel XVII secolo. Questo sistema consentiva uno spappolamento più continuo ed efficiente grazie all'azione combinata di un rotore cilindrico dotato di barre (in gergo lame) e di una piastra con contro-lame, migliorando notevolmente la produttività rispetto ai sistemi precedenti.

Nel XIX secolo, con l'introduzione della pasta di legno, la produzione cartaria subì una crescita significativa. L'utilizzo del legno come materia prima rese necessario sviluppare sistemi di spappolamento più potenti e adatti a grandi volumi produttivi.

Nascita del pulper moderno

Il vero salto tecnologico avvenne nel XX secolo con lo sviluppo dell'**Hydrapulper®**, introdotto nel 1939 da Black Clawson. Questo sistema rappresenta il primo vero pulper

moderno: una vasca dotata di rotore capace di disgregare rapidamente la materia prima in acqua.

Da questo momento, il pulper diventa una macchina centrale nella preparazione impasti, permettendo:

- maggiore capacità produttiva
- riduzione dei tempi di spapolamento
- migliore controllo del processo

Evoluzione moderna

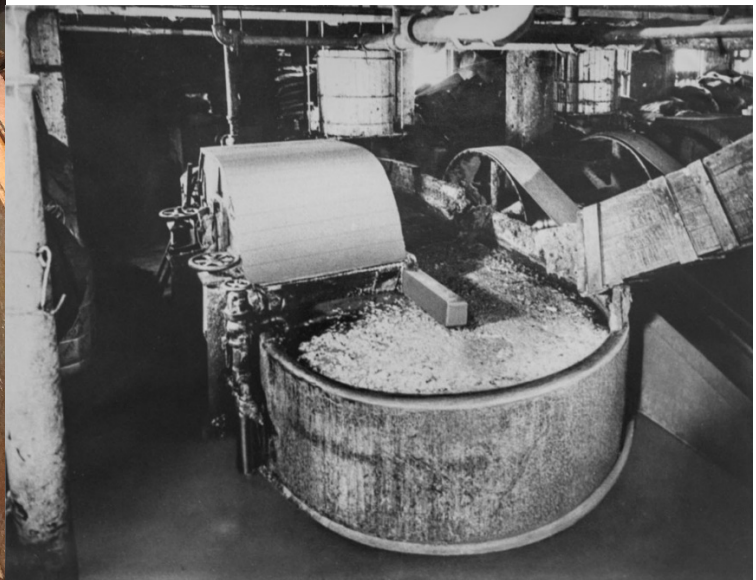
Con lo sviluppo del riciclo della carta, il pulperaggio si è evoluto ulteriormente. Oggi non si tratta solo di disgregare la materia prima, ma anche di:

- liberare le fibre senza danneggiarle
- separare i contaminanti
- preparare l'impasto per le fasi successive

Per questo motivo si sono sviluppate diverse tecnologie:

- pulper a bassa, media e alta consistenza
- sistemi batch e continui
- drum pulper per grandi capacità e materiali contaminati

I principali costruttori come Voith, Valmet e ANDRITZ hanno contribuito a questa evoluzione, sviluppando macchine sempre più efficienti dal punto di vista energetico e qualitativo.



2. INTRODUZIONE AL PROCESSO DI SPAPPOLAMENTO



2.1. COS'È LO SPAPPOLAMENTO (PULPING)

Lo **spappolamento**, o pulping, rappresenta la prima fase del processo di preparazione impasti in cartiera. In questa fase, la materia prima fibrosa, come cellulosa vergine, carta da macero oppure broke di produzione, viene disgregata in acqua fino a ottenere una sospensione fibrosa idonea ai trattamenti successivi.

L'obiettivo dello spappolamento non è soltanto “sciogliere” il materiale, ma trasformarlo in un **impasto omogeneo, pompabile e tecnicamente controllato**, garantendo al tempo stesso la massima **integrità delle fibre**.

In particolare, durante il pulping si cerca di:

- ridurre la materia prima in sospensione fibrosa pompabile
- separare le fibre senza accorciarle o danneggiarle
- liberare e iniziare a separare i contaminanti (plastiche, metalli, stickies)
- favorire la dispersione uniforme della fibra in acqua
- creare una sospensione stabile con consistenza controllata
- ridurre il consumo energetico evitando sovra-lavorazioni

Questa fase è **fondamentale per la qualità finale della carta**, perché influisce direttamente su formazione, resistenza e uniformità del foglio, soprattutto nelle produzioni tissue e grafiche.

Efficienza dello spappolamento

L'efficienza dello spappolamento è un parametro fondamentale per valutare le prestazioni del pulper e la qualità dell'impasto ottenuto. Un processo efficiente deve garantire la corretta apertura delle fibre, minimizzando al tempo stesso il danneggiamento e il consumo energetico.

Uno degli indicatori più utilizzati è lo **SQD (Stock Quality Degree)**, che misura il grado di qualità dell'impasto in uscita dal pulper confrontando il comportamento delle fibre con una condizione di riferimento considerata ottimale. In pratica, lo SQD valuta quanto le fibre sono state correttamente separate senza essere eccessivamente accorciate o danneggiate.

$$\% \text{ SQD} = \frac{\text{lunghezza di rottura dopo il pulper}}{\text{lunghezza di rottura dopo 10.000 rivoluzioni in laboratorio sulla pasta prelevata dopo il pulper}} \times 100$$

Un valore elevato di SQD indica uno spappolamento efficace, con buona apertura delle fibre e limitata degradazione meccanica. Al contrario, valori bassi possono evidenziare condizioni operative non ottimali, come eccessiva energia specifica, tempi di trattamento troppo lunghi o geometrie del rotore non adeguate.

Effetto della temperatura sullo spappolamento

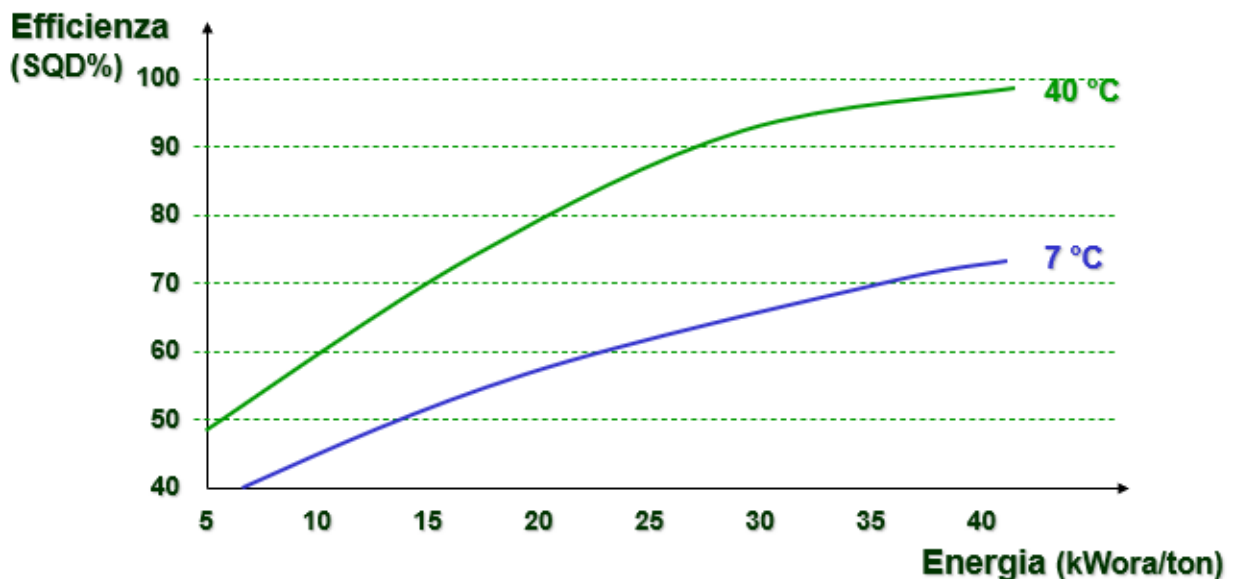
La temperatura dell'acqua nel pulper ha un impatto diretto sull'efficienza dello spappolamento e sul consumo energetico del processo. Aumentando la temperatura, si osserva generalmente un miglioramento significativo della capacità di disgregazione delle fibre.

Dal punto di vista fisico, temperature più elevate riducono la viscosità dell'acqua e favoriscono la penetrazione del liquido all'interno delle fibre, accelerandone il rigonfiamento e la separazione. Questo si traduce in una **maggiore efficienza (SQD)** a parità di energia specifica applicata.

Come si può osservare dal grafico, a **40°C** si raggiungono valori di efficienza molto più elevati rispetto a condizioni a freddo (ad esempio **7°C**), con un incremento più rapido dello SQD al crescere dell'energia. In pratica, ciò significa che:

- a temperature più alte si ottiene uno spappolamento migliore,
- è possibile ridurre il consumo energetico per raggiungere lo stesso risultato,
- si migliora la qualità finale dell'impasto.

Al contrario, lavorare a basse temperature comporta una minore efficienza: è necessario più tempo o più energia per ottenere lo stesso grado di apertura delle fibre.



2.2. STRUTTURA E PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DI UN PULPER

Dal punto di vista costruttivo, un pulper è essenzialmente una macchina semplice ma estremamente robusta, progettata per lavorare in condizioni gravose e con materiali eterogenei.

Un pulper è generalmente costituito da:

- **una vasca cilindrica**, dimensionata in funzione della capacità produttiva;
- **un fondo conico o inclinato**, che favorisce la circolazione del flusso e la raccolta del materiale verso il centro;
- **un rotore installato sul fondo**, che rappresenta l'elemento attivo principale della macchina.

Il **rotore**, azionato da un motore elettrico, genera un intenso moto turbolento all'interno della vasca.

Questa azione meccanica produce:

- forze di taglio (*shear forces*),
- turbolenze,
- urti tra fibre e materiale,

che permettono la disgregazione del materiale fibroso e la separazione delle fibre.

Il flusso generato dal rotore crea una **circolazione continua dell'impasto**, che viene trascinato (aspirato) verso il fondo e poi rilanciato verso l'alto lungo le pareti della vasca, garantendo un'azione uniforme su tutto il volume.

In molti casi, sul fondo del pulper è presente anche una **piastra forata (screen plate)** che consente il passaggio delle fibre già disgregate, trattenendo invece i materiali più grossolani o non idonei (questa parte verrà approfondita più avanti).

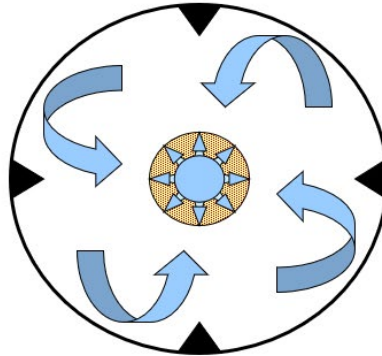
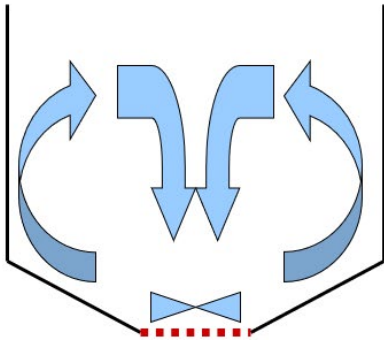
2.3. GEOMETRIA DEL PULPER E CRITERI DI PROGETTAZIONE

La **geometria della vasca del pulper** deve rispettare specifici criteri progettuali per garantire uno **spappolamento omogeneo, efficiente e rapido**.

Una volta definiti i parametri principali, quali:

- **volume utile di lavoro** (ad esempio 45 m³)
- **tipologia di pulper** (bassa, media o alta densità – LD, MD, HD)

è necessario progettare attentamente la geometria della vasca, tenendo conto dei fenomeni idrodinamici che governano la miscelazione e la disgregazione delle fibre.



Geometria della vasca e dispositivi di miscelazione

La vasca è generalmente di forma cilindrica con fondo conico o sagomato, e deve essere progettata per:

- rispettare il **volume di lavoro** richiesto
- favorire un **moto turbolento controllato**
- evitare zone morte o ristagni
- garantire una **circolazione efficace dell'impasto verso il rotore**

A tal fine, vengono installati **deflettori interni**, che hanno la funzione di:

- migliorare la **miscelazione**
- rompere i moti vorticosi indesiderati
- favorire l'**omogeneizzazione della sospensione fibrosa**

2.4. DIMENSIONAMENTO DEL ROTORE

Il **diametro del rotore** è un parametro fondamentale e deve essere definito in funzione:

- del volume della vasca e quindi il volume di lavoro
- del diametro della stessa
- diametro piastra forata e aria aperta (dove presente)

Generalmente, il dimensionamento segue **rapporti proporzionali consolidati**, che garantiscono:

- adeguata intensità di agitazione e omogeneizzazione
- corretto trasferimento di energia all'impasto
- efficienza nello spapolamento

Un rotore sottodimensionato riduce l'efficacia del processo, mentre uno sovradimensionato può comportare consumi energetici elevati e maggiore usura.

Caso specifico: pulper ad alta densità (HD)

Una precisazione importante riguarda i **pulper ad alta densità (HD)**.

In questa configurazione, il **livello dell'impasto all'interno della vasca deve essere mantenuto leggermente inferiore all'altezza totale del rotore.**

Questa condizione è fondamentale per:

- garantire un'efficace **azione di ricircolo e rimescolamento**
- evitare fenomeni di “copertura” del rotore che ne ridurrebbero l'efficienza
- la “copertura” del rotore non garantisce una mescolazione omogenea dell'impasto.
- mantenere condizioni ottimali di interazione tra rotore e sospensione ad alta consistenza

Di conseguenza, la scelta del rotore ed il disegno della vasca sono fondamentali per l'ottimo funzionamento del pulper.

Concetto chiave

La corretta progettazione geometrica del pulper, inclusi vasca, deflettori e rotore, è essenziale per assicurare uno spappolamento efficiente, uniforme e controllato, minimizzando consumi energetici e criticità operative.

2.5. PIASTRA FORATA DEL PULPER: CRITERI DI DIMENSIONAMENTO E FUNZIONE OPERATIVA

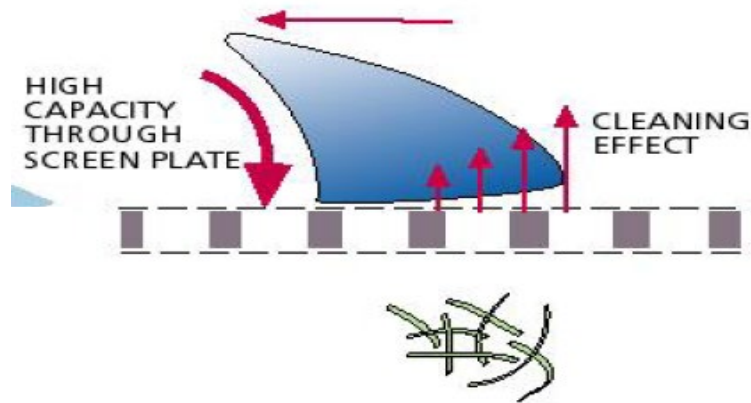
La **piastra forata**, quando presente sotto il rotore, (NON SEMPRE), rappresenta un elemento fondamentale per il corretto funzionamento del pulper, influenzando sia l'efficienza dello spappolamento sia le prestazioni di scarico e la prima fase di selezione dell'impasto.

Dimensionamento geometrico della piastra forata del pulper

Il diametro della zona forata della piastra deve essere progettato in modo da coincidere con l'area effettiva di lavoro delle alette del rotore. In questo modo si sfrutta correttamente l'azione idrodinamica del rotore lungo tutta la superficie utile della piastra.

Le **alette del rotore** sono progettate con un profilo simile a quello alare, con una duplice funzione:

- nella prima fase generano una spinta dell'impasto attraverso i fori della piastra, favorendo il passaggio della sospensione fibrosa;
- nella seconda fase creano una zona di depressione o risucchio che contribuisce a:
 - mantenere pulita la superficie forata,
 - Prevenire ed evitare l'intasamento dei fori
 - garantisce continuità ed efficienza di funzionamento
 - garantisce il passaggio dell'impasto attraverso la piastra



La **percentuale di area aperta** (forata) è generalmente intorno al **50% della superficie totale**, valore che rappresenta un buon compromesso tra:

- massima capacità di scarico
- resistenza meccanica della piastra

Valori superiori risulterebbero critici dal punto di vista strutturale, compromettendo la robustezza della piastra.

Anche la distanza tra rotore e piastra forata ha una importanza fondamentale per lo spappolamento. Normalmente vien mantenuta una distanza tra 3 e 6 mm. Si può anche arrivare a distanze di 10 mm su materiali puliti.

Diametro dei fori e prestazioni di processo

Il **diametro dei fori** è un parametro critico, in quanto influisce su diversi aspetti:

- **Prima selezione dell'impasto**
→ definisce ciò che può passare alla fase successiva
- **Tempo di scarico del pulper**
→ insieme all'area aperta, determina la capacità di evacuazione dell'impasto
- **Qualità dello spappolamento (in particolare per cellulosa vergine)**
→ fori di diametro ridotto, con maggiore presenza di spigoli, favoriscono l'azione di **depastigliatura** (riduzione dei fiocchi di cellulosa)

Tuttavia, fori troppo piccoli possono comportare:

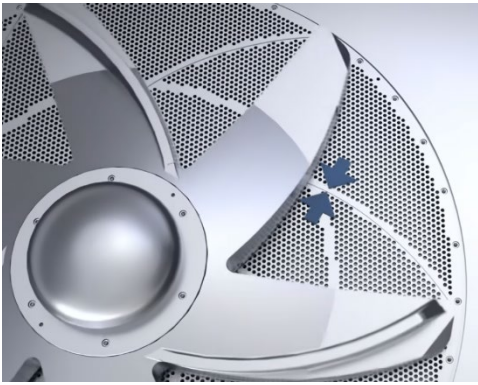
- maggiore rischio di **intasamento**
- aumento dei **tempi di scarico**
- riduzione della produttività dell'impianto

È quindi necessario individuare un corretto compromesso in funzione della materia prima trattata.

Elementi ausiliari e soluzioni anti-usura

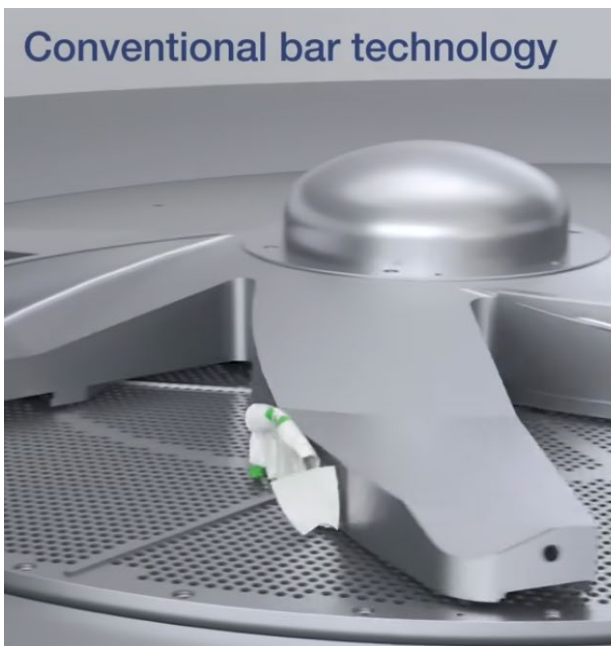
Per migliorare ulteriormente le prestazioni, sulla piastra forata possono essere installati:

- **listelli in materiale ad alta durezza**, con funzione di "coltello", che incrementano l'efficacia dello spappolamento (o anche listelli con riporti di saldatura dura)
- si possono fare dei canali di scarico sulla piastra forata che creano degli spigoli taglienti, favorendo lo spappolamento.



Le soluzioni più recenti prevedono inoltre:

- **listelli curvi** (ad esempio sviluppati da Voith), che hanno la funzione di:
 - deviare contaminanti plastici e materiali indesiderati
 - evitare che vengano ulteriormente macinati dal rotore
 - ridurre la frammentazione dei contaminanti e il loro passaggio alle fasi successive
 - ridurre la frizione tra rotore e piastra forata
 - minor consumo energetico
 - aumento della vita utile della piastra forata.



Protezione dall'usura

Data l'elevata sollecitazione meccanica e la possibile presenza di contaminanti, è fondamentale proteggere le superfici esposte all'usura.

In particolare:

- la **parte frontale del rotore** può essere rivestita con pietre (pezzi di lamiera) saldate in materiali ad alta resistenza all'usura, come:
 - **SAF 2205**
 - **Creusabro**
- in alternativa, possono essere realizzati **riporti di saldatura con materiali ad elevata durezza** (es. Stellite), per:
 - aumentare la durata operativa
 - ridurre la frequenza di manutenzione

Queste soluzioni risultano particolarmente indicate nel trattamento di **materie prime con elevato contenuto di contaminanti**.

Concetto chiave

La corretta progettazione della piastra forata, in combinazione con il rotore, è determinante per l'efficienza dello spappolamento, la qualità dell'impasto e la continuità operativa dell'impianto.

2.6. OBIETTIVI PRINCIPALI DEL PULPING

Il processo di spappolamento deve garantire contemporaneamente più risultati:

- separare le fibre nel modo più efficace possibile, limitandone il danneggiamento;
- favorire il distacco e la liberazione dei contaminanti presenti nel materiale;
- ottenere una sospensione omogenea e stabile;
- ridurre al minimo il consumo energetico, l'usura meccanica e i costi operativi.

In particolare, durante questa fase è fondamentale riuscire a liberare impurità come plastiche, metalli, sabbia, cordami, stickies e altri materiali indesiderati, senza però frammentarli eccessivamente, perché questo renderebbe più difficile la loro rimozione nelle fasi successive.

2.7. IMPORTANZA DEL PULPING NEL PROCESSO CARTARIO

Lo spappolamento è una fase determinante per l'efficienza complessiva della linea di preparazione impasti e per la qualità finale della carta. Un pulper ben dimensionato e correttamente gestito consente infatti di ottenere una migliore qualità dell'impasto, una minore presenza di contaminanti residui e una maggiore stabilità del processo.

Questo aspetto è particolarmente importante nella produzione di **carta tissue** e di **carte grafiche**, dove uniformità dell'impasto, pulizia e integrità delle fibre influenzano direttamente proprietà finali come formazione, resistenza, morbidezza, aspetto superficiale e stampabilità.

In conclusione, il pulping può essere definito come l'operazione iniziale con cui la materia prima fibrosa viene trasformata in una sospensione acquosa tecnicamente utilizzabile. Pur essendo la prima fase del processo, esso condiziona in modo decisivo tutte le lavorazioni successive e **rappresenta quindi uno dei punti chiave dell'intera preparazione impasti.**

È importante sottolineare che le operazioni di spappolamento e, soprattutto, di raffinazione rappresentano le principali fasi della preparazione impasti in cui la fibra di cellulosa subisce modifiche morfologiche significative e controllate. Altre fasi di processo possono influenzare la fibra in modo secondario o non intenzionale, ma non sono progettate per modificarne attivamente la struttura."

Durante queste due fasi, infatti, la fibra non viene soltanto trasportata o separata, ma viene fisicamente alterata nella sua struttura:

- **nello spappolamento**, attraverso l'azione meccanica che disperde e disgrega il materiale fibroso in acqua;
- **nella raffinazione**, attraverso un trattamento più controllato e intenso, che modifica fibrillazione, flessibilità, superficie e capacità di legame della fibra.

2.8. SCELTA DEL PULPER

La scelta del pulper è una fase fondamentale nella progettazione di un impianto di preparazione impasti, in quanto influenza direttamente la qualità della fibra, l'efficienza energetica e la continuità operativa del processo. La scelta deve essere effettuata considerando una serie di parametri chiave legati sia alle esigenze produttive sia alle caratteristiche del materiale da trattare.

In primo luogo, è necessario definire **quanto deve produrre l'impianto (la macchina continua)**, ovvero la capacità richiesta (t/giorno o t/ora). Questo parametro è strettamente collegato alla **capacità volumetrica del pulper (m³)**, che deve essere adeguata a garantire il tempo di permanenza necessario allo spapolamento senza creare colli di bottiglia nel processo.

È inoltre di **fondamentale importanza considerare la percentuale di scarto** che verrà eliminata durante le varie fasi di pulizia dell'impasto, come nel pulper (junk trap, ragger, detrashing), nella **pulper-pera / DHC (Drum or High Consistency Cleaner)** e nelle fasi successive di **screening**. Questa percentuale incide direttamente sul bilancio di massa dell'impianto: maggiore è lo scarto, maggiore dovrà essere la capacità iniziale del pulper per garantire la produzione netta richiesta. Inoltre, un'elevata presenza di contaminanti può richiedere configurazioni specifiche (ad esempio pulper più robusti, sistemi di estrazione scarti più efficienti o maggiore capacità di pulizia a valle).

Un altro aspetto fondamentale è la **consistenza di lavoro**, cioè la percentuale di fibra nella sospensione durante lo spapolamento. Pulper a bassa, media o alta densità presentano comportamenti molto diversi in termini di efficienza, consumo energetico e capacità di gestione dei contaminanti. La scelta dipende quindi dal tipo di materia prima (cellulosa vergine, macero, broke) e dal livello di impurità presente.

Il **tempo di spapolamento e il ciclo completo** rappresentano un ulteriore criterio di scelta: è necessario garantire un equilibrio tra qualità dello spapolamento e produttività. Tempi troppo brevi possono compromettere la disgregazione delle fibre, mentre tempi troppo lunghi riducono la capacità dell'impianto.

Dal punto di vista costruttivo, è essenziale considerare la **dimensione dei fori della piastra forata**, che determina la prima selezione del materiale e influisce sia sulla qualità dell'impasto in uscita sia sulla portata di scarico del pulper. Fori più piccoli migliorano la pulizia ma riducono la capacità, mentre fori più grandi aumentano la produttività ma possono lasciare passare contaminanti.

Infine, la **potenza del motore installato** deve essere adeguata al volume del pulper, alla consistenza di lavoro e al tipo di materiale trattato. Una potenza insufficiente compromette l'efficacia dello spapolamento, mentre un sovradimensionamento comporta costi energetici inutili.



2.9. GESTIONE E DOSAGGIO DELLA MATERIA PRIMA NEI PULPER

È fondamentale introdurre una precisazione riguardo alla selezione della materia prima da spappolare.

È infatti essenziale conoscere in modo accurato il tipo di materia prima che si intende trattare per la scelta del pulper e, soprattutto, garantire il più possibile una **composizione costante dell'impasto in ingresso al pulper**.

In particolare, nel caso delle **carte riciclate**, è necessario mantenere un controllo rigoroso sulla tipologia di macero in ingresso, al fine di assicurare uno **spappolamento uniforme ed efficace**.

Una miscela non omogenea può infatti comportare:

- presenza di **frazioni difficili da disgregare**
- formazione di **grumi o "flakes" non completamente spappolati**
- aumento del consumo energetico
- peggioramento dell'efficienza delle fasi successive (screening, cleaning)

Un esempio è rappresentato dalla **miscelazione impropria di diverse qualità di macero**, come:

- carte **wet strength (resistenti all'umido)**
- carte da imballaggio standard (OCC)

Questi materiali presentano comportamenti molto diversi allo spappolamento: le carte wet strength, essendo trattate con resine che ne aumentano la resistenza all'acqua, **richiedono condizioni di processo più severe (tempo, temperatura, chimica)** e non possono essere efficacemente disgregate nelle stesse condizioni operative di un macero da imballaggio convenzionale.

Nei pulper che operano in continuo, generalmente alimentati con **macero urbano misto**, la gestione della materia prima riveste un ruolo fondamentale per garantire la stabilità del processo e la qualità dell'impasto prodotto.

È importante considerare che la composizione del macero in ingresso può variare significativamente nel tempo. In particolare, nel caso in cui vengano ricevuti **lotti di macero con caratteristiche particolari**, questi devono essere **dosati con attenzione** e opportunamente miscelati con il flusso standard.

Esempi tipici includono:

- carte **resistenti all'umido (wet strength)**
- **anime di bobine** o cartoni ad alta resistenza
- materiali con elevata rigidità o trattamenti superficiali

Queste tipologie di materiale presentano una **maggiore resistenza allo spapolamento** e, se introdotte in quantità eccessiva, possono causare:

- presenza di **frazioni non disgregate**
- aumento del **tempo di permanenza nel pulper**
- incremento dei **consumi energetici**
- instabilità nelle fasi successive di processo

Per questo motivo, tali materiali devono essere **alimentati in modo controllato e graduale**, mantenendo un equilibrio con il resto del macero.

Allo stesso modo, vale il principio opposto: nel caso in cui si disponga di una **partita di macero di qualità superiore**, è necessario gestirne con attenzione il dosaggio. Un utilizzo non controllato potrebbe infatti **alterare le caratteristiche finali del prodotto**, modificando parametri come formazione, resistenza o uniformità del foglio.

In questi casi, è spesso vantaggioso:

- dosare il macero di alta qualità in modo mirato
- oppure **destinarlo a produzioni specifiche** che richiedono prestazioni più elevate

Preparazione delle fibre vergini nel pulper

Nel caso delle **fibre vergini**, alcuni impianti adottano la pratica di preparare direttamente la **ricetta dell'impasto all'interno del pulper**, spapolando simultaneamente diverse tipologie di fibra, come:

- fibra lunga
- fibra corta
- CTMP

Questa soluzione è generalmente adottata per **semplificare il processo** o per **limiti impiantistici**, come la disponibilità ridotta di vasche o linee dedicate.

Tuttavia, dal punto di vista tecnico, tale approccio è **sconsigliato**. È infatti preferibile spapolare **una sola tipologia di fibra alla volta**, per le seguenti ragioni:

- ogni tipo di fibra presenta **tempi di idratazione e disgregazione differenti**
- le condizioni ottimali di spapolamento (energia, tempo, consistenza) **non sono le stesse** per tutte le fibre
- lo spapolamento simultaneo può portare a:
 - **trattamenti non uniformi**
 - fibre sovra-lavorate e altre non completamente disgregate

- minore controllo sulla qualità finale dell'impasto

La gestione separata consente invece un **controllo più preciso del processo**, garantendo una migliore omogeneità e prestazioni più stabili nelle fasi successive.

Nonostante ciò, in alcuni impianti questa pratica rimane inevitabile a causa di:

- **vincoli di layout**
- **limitazioni produttive**
- necessità di semplificazione operativa

In questi casi, è fondamentale ottimizzare attentamente le condizioni operative e il dosaggio delle diverse fibre, al fine di **ridurre al minimo gli effetti negativi sul processo e sulla qualità del prodotto finale**.

Concetto chiave

La gestione controllata e consapevole delle diverse tipologie di macero rappresenta un elemento essenziale per garantire continuità operativa, efficienza di spappolamento e qualità costante del prodotto finale.

Caricamento e flussi della pasta

Il sistema di caricamento del pulper e la gestione dei flussi di pasta rappresentano un aspetto cruciale per garantire stabilità di processo, qualità dell'impasto e flessibilità produttiva. La modalità con cui le materie prime vengono introdotte e successivamente gestite lungo la linea influenza infatti sia l'omogeneità della sospensione fibrosa sia la capacità di adattarsi a diverse ricette produttive.

Il caricamento può avvenire principalmente in tre modalità operative.

La prima consiste nella **ricetta realizzata direttamente sul nastro di alimentazione**. In questo caso, le diverse materie prime (cellulosa, macero, additivi) vengono dosate a monte e convogliate insieme nel pulper. Questo approccio è semplice e affidabile, particolarmente adatto a produzioni standard con limitata variabilità.

La seconda modalità prevede lo **spappolamento separato delle diverse essenze fibrose**, con un successivo dosaggio in una tina di miscela. Questa soluzione offre maggiore controllo sulla qualità finale, permettendo di ottimizzare le condizioni di spappolamento per ciascun materiale e di regolare con precisione la composizione dell'impasto.

La terza configurazione è una soluzione intermedia: la **ricetta viene impostata sul nastro**, ma successivamente l'impasto viene **suddiviso tramite un frazionatore** per essere dosato in modo controllato nella tina di miscela. Questo sistema combina semplicità operativa e flessibilità, consentendo una regolazione più fine della produzione senza complicare eccessivamente il layout impiantistico.

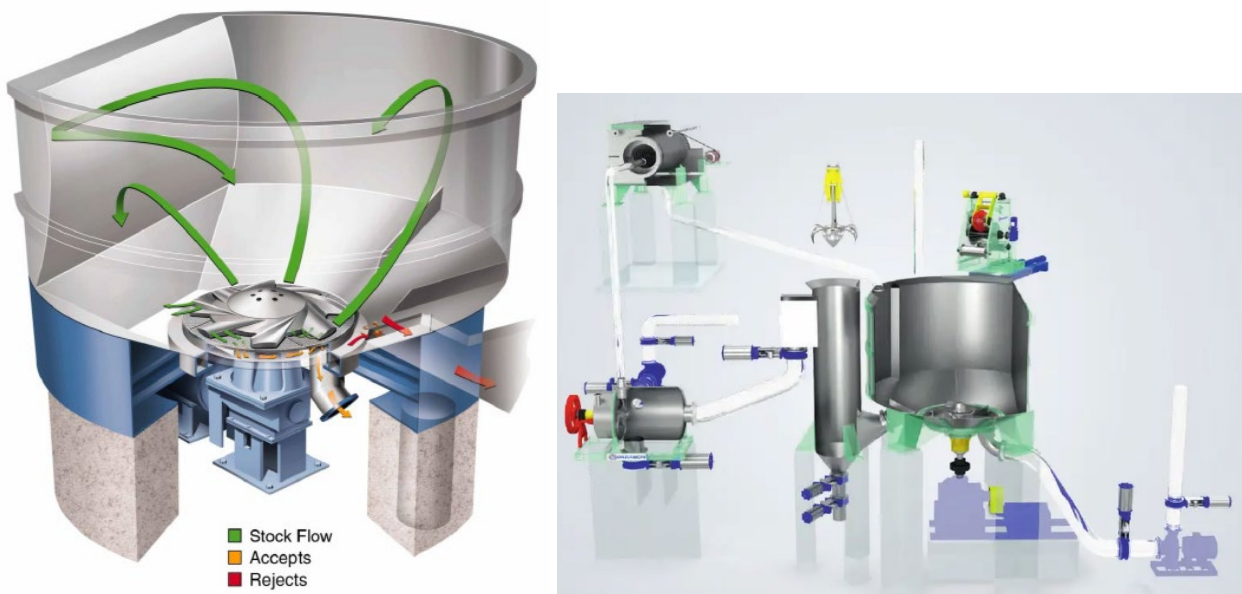
3. TIPOLOGIA DI PULPER

I pulper si dividono in 3 grandi tipologie

1. Pulper bassa densità (range consistenza di lavoro: 3.5-6%)
2. Pulper media densità (range consistenza di lavoro: 7-10%)
3. Pulper alta densità (range consistenza di lavoro: 12-18%)

La scelta della tipologia del pulper dev'essere fatta in base alle varie considerazioni tecniche di performance, spazi disponibili, materie prime da trattare, valutazione economiche e di manutenzione.

3.1. PULPER A BASSA DENSITÀ



Le configurazioni di pulper a bassa densità sono svariate e dipendono molto dal tipo di materia prima da trattare. Nel pulper a bassa densità si utilizza un rotore piatto o “basso” con alette. Le geometrie dei rotori variano a seconda del fabbricante anche se normalmente in Europa si utilizza quasi sempre una girante di tipo Beloit.

Possiamo di seguito provare a fare un elenco di vari PBD che sono utilizzati oggi nella maggior parte dei casi. Una prima distinzione importante va fatta tra

- pulper con vasca convenzionale (vasca cilindrica con fondo conico)
- pulper a “D”.

Quest'ultimo ha una vasca a forma di “D” che ottimizza la mescolazione dell'impasto e normalmente viene usato per il pulper che lavorano in continua con macero misto.

Un'altra importante divisione va fatta tra:

- pulper che lavorano in continua
- pulper che lavorano a batch.

Nel pulper a batch, la materia prima viene caricata insieme all'acqua e viene spappolato in un determinato tempo prestabilito a seconda della materia prima. Una volta finito il tempo di spapolamento si avvia la fase di scarico.

Caratteristiche:

- Consistenza: 3,5 – 6%
- Grande volume di acqua
- Girante molto piccolo (bassa)
- Tutte le fibre prima o dopo toccano la girante
- Il pulper fa un'azione molto violenta sulla fibra
- velocità di rotazione è molto elevata (velocità periferica girante ~15 m/s)
- Consumo energetico 25 -50 kWh/t
- Lavora di forza, apre bene la fibra lunga, ma tende a danneggiare le fibre poco resistenti

Principio di funzionamento:

- Rotore crea turbolenza
- Le fibre si separano per effetto idrodinamico
- Accettati passano attraverso **piastra forata (screen plate)**

Vantaggi:

- ✓ Ottima diluizione → facile pompaggio
- ✓ Buon controllo del processo
- ✓ Adatto a molte tipologie di carta
- ✓ Adatto per le carte umido resistenti
- ✓ Tecnologia semplice e robusta

Svantaggi:

- ✗ Alto consumo di acqua
- ✗ Consumo energetico medio-alto
- ✗ Minor efficienza nella rimozione contaminanti
- ✗ Rischia di rompere i contaminanti
- ✗ Danneggia di più le fibre

3.2. PULPER A BASSA DENSITÀ PER CELLULOSA VERGINE (SENZA CONTAMINANTI)



I pulper a bassa densità destinati allo spappolamento della **cellulosa vergine**, quindi di materiale generalmente privo di contaminanti significativi, presentano caratteristiche costruttive e operative relativamente semplici rispetto ai pulper impiegati per il macero.

Possono essere realizzati con **vasca cilindrica tradizionale** oppure con **vasca a “D”**, in funzione delle scelte costruttive del fornitore e delle esigenze impiantistiche. **Lavorano sempre a batch**, cioè con cicli discontinui di carico, spappolamento e scarico.

Una caratteristica tipica di questa tipologia di pulper è che la **piastra forata è installata sul fondo della vasca, al livello più basso**. In questo modo, una volta completata la fase di spappolamento, **l'intero impasto può essere scaricato attraverso la piastra forata**, garantendo uno svuotamento completo della vasca e un corretto invio dell'impasto alla fase successiva.

È generalmente presente anche uno **scarico laterale di emergenza**, utile per evacuare eventuali impurità accidentali che possano entrare nel pulper insieme alla cellulosa. Poiché, nel caso della cellulosa vergine, la presenza di contaminanti è normalmente molto limitata, questo scarico laterale **rimane quasi sempre chiuso mediante una flangia imbullonata** ed è utilizzato solo in casi eccezionali.

Altra considerazione da fare è che l'azione tra rotore e piastra forata favorisce la depastigliatura dell'impasto.

Spesso il pulper è dotato anche di una **trave rompiballe**. Questa ha la funzione di intercettare le balle di cellulosa in caduta dal nastro trasportatore prima che raggiungano direttamente il fondo vasca. In questo modo si evita che il materiale impatti direttamente contro il rotore del pulper, riducendo il rischio di danneggiamenti meccanici e contribuendo a preservare nel tempo la durata di cuscinetti e altri organi di trasmissione.

Facilità di esercizio e vantaggi operativi

È importante sottolineare anche la facilità di esercizio di questo tipo di pulper. Il pulper a bassa densità consente infatti uno spappolamento della cellulosa rapido, uniforme e ben controllabile.

Il principale vantaggio operativo è che l'impasto viene trattato direttamente a una consistenza già pompabile. Questo significa che, al termine dello spappolamento, non sono normalmente necessarie ulteriori fasi di diluizione per effettuare lo scarico del pulper. Eventualmente, solo nella fase finale dello scarico, può essere aggiunta una modesta quantità di acqua per agevolare il completo svuotamento della vasca e migliorare la pulizia interna del pulper.

Naturalmente, lavorando a consistenze più basse, il volume del pulper dovrà essere maggiore rispetto a quello di un pulper progettato per operare ad alta densità.

3.3. PULPER A BASSA DENSITÀ IN CONTINUO PER FOGLIACCIO (APPLICAZIONE PARTICOLARE)

Per alcune applicazioni particolari, un pulper a bassa densità (Standard) può essere utilizzato anche in **funzionamento continuo**.

Dal punto di vista costruttivo, il pulper è sostanzialmente uguale a un normale **pulper BD per cellulosa vergine**; la differenza principale riguarda la **modalità operativa**, che in questo caso è continua anziché batch.

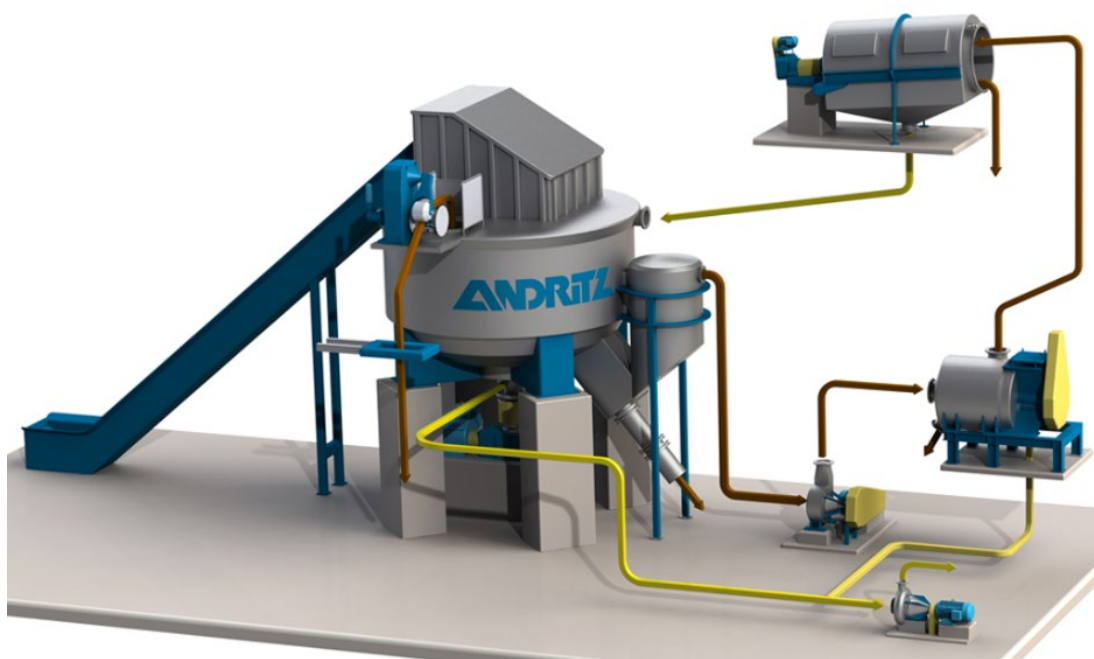
Un'applicazione tipica è lo **spappolamento del fogliaccio proveniente dalla ribobinatrice**. In questo caso, il fogliaccio viene raccolto, trasportato e caricato nel pulper in modo continuo mediante **ventilatori o aspiratori**.

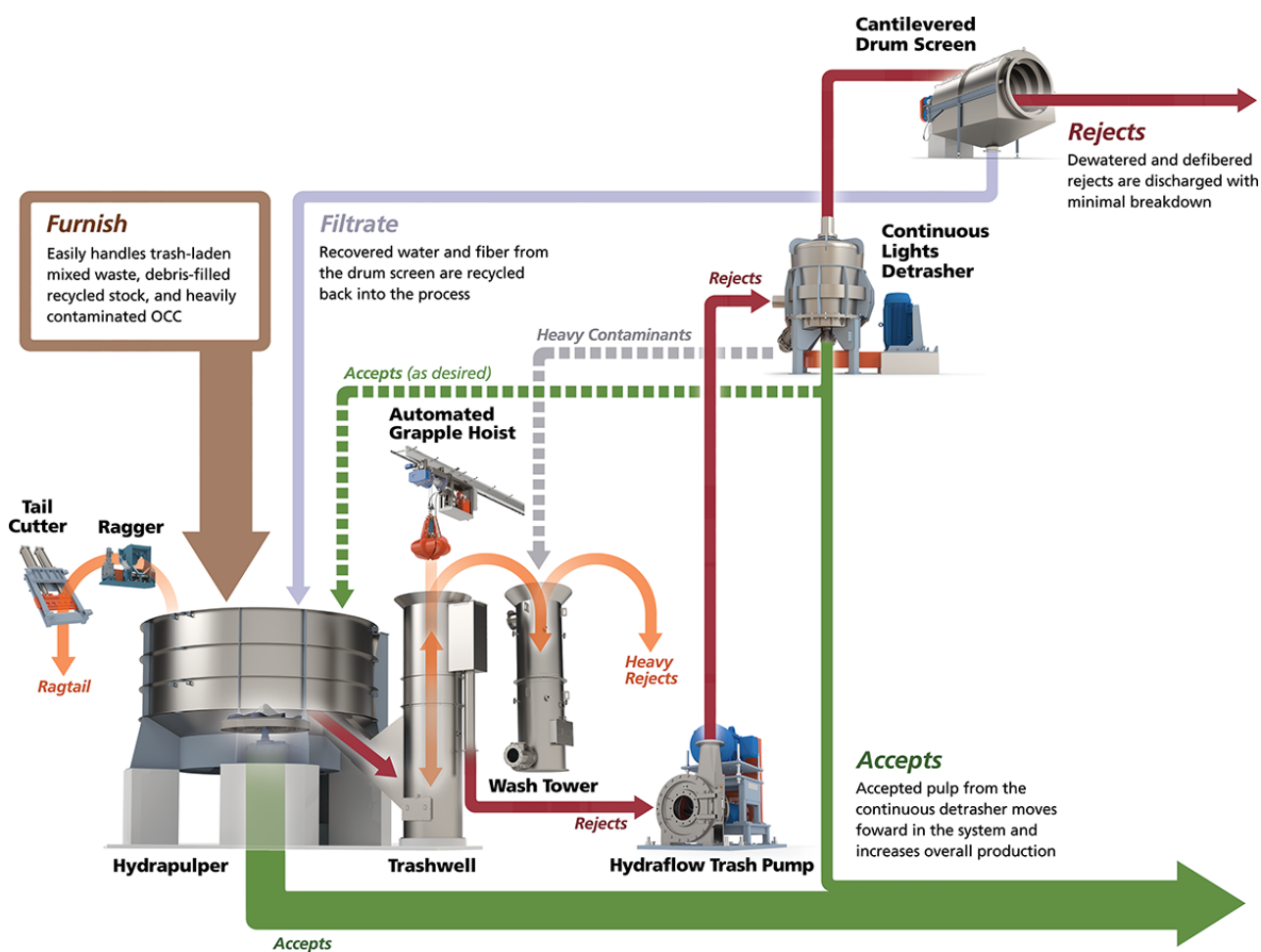
Sulla **mandata della pompa** che preleva l'accettato passato attraverso la **piastra forata**, viene normalmente installato un **misuratore di consistenza**. In base al valore rilevato, il sistema gestisce automaticamente il ricircolo o l'invio dell'impasto:

- se la consistenza è **corretta**, l'impasto viene inviato alla **tina successiva**;
- se la consistenza è **troppo bassa**, l'impasto viene **ricircolato al pulper** senza aggiunta di acqua;
- se la consistenza è **troppo alta**, l'impasto viene nuovamente **ricircolato al pulper** con **aggiunta di acqua** per riportarlo al valore desiderato.

Nel caso in cui il **livello nel pulper** diventi troppo alto, l'impasto viene comunque inviato alla tina, anche se questa condizione è generalmente da evitare. In esercizio normale, infatti, si preferisce lavorare con il pulper a **circa metà livello**, così da garantire una maggiore stabilità operativa e un miglior controllo della consistenza.

3.4. PULPER A BASSA DENSITÀ IN CONTINUO PER MACERO CON CONTAMINANTI





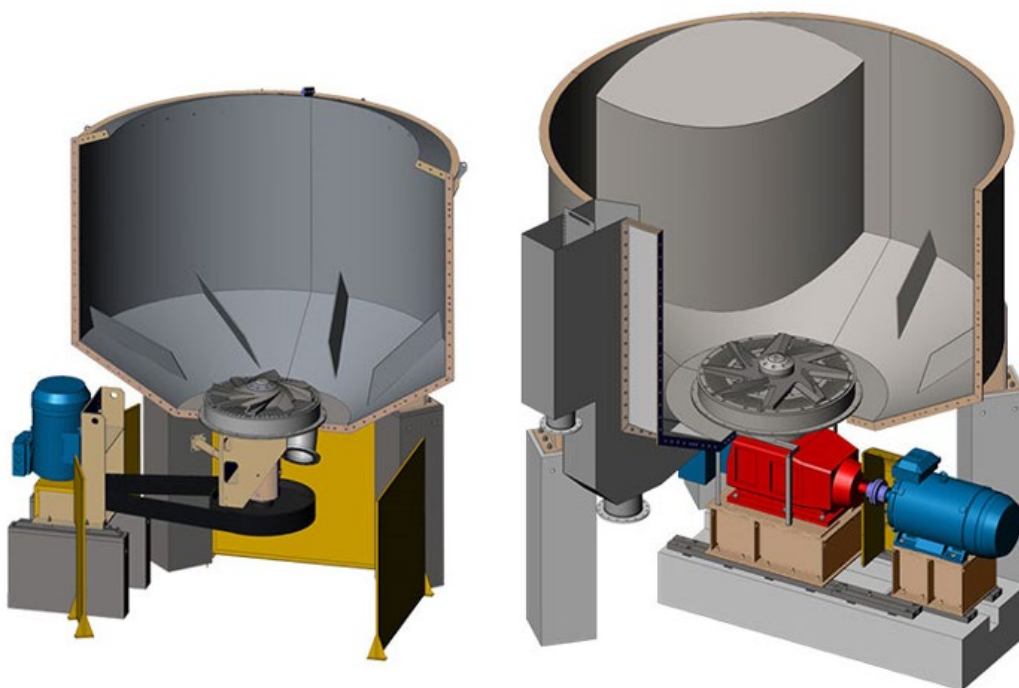
Il pulper a bassa densità impiegato per il trattamento del macero contenente contaminanti può essere realizzato sia con **vasca cilindrica tradizionale** sia con **vasca a “D”**, in funzione della configurazione impiantistica e delle esigenze di processo.

A differenza dei pulper a bassa densità utilizzati per la cellulosa vergine, questa tipologia di pulper **lavora normalmente in continuo**, così da garantire un'alimentazione costante alle fasi successive della preparazione impasti.

Una delle sue caratteristiche costruttive più importanti è che **la piastra forata è posizionata a un livello rialzato rispetto al fondo della vasca**.

Questa soluzione consente ai contaminanti pesanti, come **sassi, parti metalliche e altri corpi estranei ad alta densità**, di depositarsi sul fondo del pulper senza essere continuamente rimessi in circolo dal rotore. In questo modo si riduce il rischio di **urti, usura anomala e possibili incastri tra rotore e piastra forata**, migliorando sia l'affidabilità operativa sia la durata dei componenti.

L'impasto accettato, una volta attraversata la piastra forata, viene raccolto e, mediante una **pompa di estrazione**, inviato alla **tina dell'accettato** o alla fase successiva del processo.



3.5. GESTIONE DEGLI SCARTI NEL PULPER A BASSA DENSITÀ IN CONTINUO

Poiché il pulper opera in **regime continuo**, anche il sistema di gestione degli scarti è progettato per garantire uno **scarico continuo e controllato** dei contaminanti.

A tal fine, la geometria della vasca viene ottimizzata prevedendo, sul lato del pulper, un **condotto laterale di estrazione** collegato alla vasca stessa. Questo condotto può essere configurato in diverse modalità:

- collegamento **solo nella parte inferiore** (per favorire la raccolta dei contaminanti pesanti),
- collegamento **inferiore e superiore**,
- oppure lungo **tutta l'altezza della vasca**, mediante l'impiego di **paratie interne** che regolano i livelli e la separazione delle diverse frazioni.

Nella parte inferiore del condotto è installata una **junk trap**, destinata alla raccolta dei contaminanti pesanti, quali **sassi, metalli, vetro e altri corpi ad alta densità**.

La junk trap è generalmente dotata di **due valvole automatiche a funzionamento alternato**, che si aprono e chiudono a intervalli prestabiliti, consentendo lo scarico controllato degli scarti verso la **fossa scarti**, senza interrompere il funzionamento del pulper.

I contaminanti leggeri (plastiche, tessuti, stickies, ecc.), invece, tendono a concentrarsi nella parte superiore del condotto laterale. Questi possono essere:

- **aspirati mediante pompe dedicate** (tipo detrashing pump), progettate per gestire impasti con elevato contenuto di impurità, e inviati al **pulper secondario** per ulteriori trattamenti;
- oppure trasferiti **per gravità**, nel caso in cui il pulper secondario sia installato a una quota inferiore rispetto al pulper principale (tipicamente almeno **3 metri più in basso** rispetto al fondo vasca), garantendo così un flusso naturale senza necessità di pompaggio.

Questo sistema consente una **separazione efficace tra frazione pesante e frazione leggera**, migliorando l'efficienza complessiva del processo e riducendo il rischio di accumuli e intasamenti.

3.6. RAGGER



Visto l'elevato contenuto di contaminanti tipico di alcune materie prime — quali plastiche, fili metallici, sacchi, corde, tessuti e altri materiali grossolani — nei pulper a bassa densità operanti in continuo viene installata una macchina ausiliaria fondamentale per garantire la continuità di esercizio e la protezione delle apparecchiature a valle: il **ragger**.

Il ragger è un dispositivo meccanico progettato per l'estrazione continua dei contaminanti filamentosi e tenaci che, durante il processo di spapolamento, tendono ad avvolgersi attorno al rotore del pulper formando delle vere e proprie "treccie" (rag rope). Questi materiali, se non rimossi, possono compromettere l'efficienza del pulper, aumentare i consumi energetici e causare fermate impianto. Dal punto di vista costruttivo, il ragger è costituito da un robusto gancio o uncino rotante, installato lateralmente alla vasca del pulper, che intercetta e trascina progressivamente i contaminanti filamentosi. Il materiale estratto viene avvolto formando una fune compatta, che viene poi convogliata verso un sistema di taglio (ragger cutter) e successivamente scaricata in appositi contenitori.

Funzionamento della corda del ragger

Per avviare correttamente il processo di estrazione dei contaminanti filamentosi, il sistema ragger necessita inizialmente della formazione di una **corda (rag rope)** stabile. A tale scopo, viene introdotta manualmente una **corda di base**, generalmente di tipo mariniero, con un diametro indicativo di circa 10 cm, costituita da più trefoli intrecciati e caratterizzata da elevata resistenza meccanica.

Questa corda funge da **nucleo iniziale** attorno al quale i contaminanti presenti nell'impasto — come plastiche, nastri, corde e materiali filamentosi — iniziano progressivamente ad avvolgersi. Durante il funzionamento del pulper, tali materiali vengono intercettati dal gancio del ragger e si legano alla corda esistente, formando una treccia sempre più consistente.

Man mano che la corda di contaminanti cresce, il ragger svolge un'azione continua di **recupero e trascinamento**, estraendo la treccia dal pulper. Questo processo deve essere attentamente regolato:

- se il recupero è troppo lento, la corda può diventare eccessivamente grande e pesante, con rischio di rottura o sovraccarico del sistema;
- se è troppo rapido, non si consente una corretta formazione della treccia, riducendo l'efficienza di cattura dei contaminanti.

La corda finale si sviluppa quindi come una struttura composita, costituita dal nucleo iniziale e dai contaminanti progressivamente avvolti attorno ad esso.

In alcune applicazioni operative, per migliorare la resistenza e la capacità di aggregazione della corda, vengono volutamente introdotti **fili metallici sottili**. Questi elementi favoriscono la coesione della treccia, aumentandone la robustezza e facilitando l'aggancio di ulteriori materiali filamentosi.

Una gestione efficace del sistema richiede quindi:

- controllo del **tempo di recupero della corda**;
- monitoraggio della **quantità e tipologia di contaminanti** presenti;
- verifica della **resistenza meccanica della treccia**;

Un corretto equilibrio tra questi parametri garantisce un funzionamento stabile del ragger, migliorando l'efficienza di rimozione dei contaminanti e riducendo il rischio di fermate impianto.

Funzionamento ragger

Durante il funzionamento continuo del pulper:

- i contaminanti pesanti o voluminosi si liberano dalla sospensione fibrosa;
- i materiali filamentosi (plastiche, corde, nastri) vengono intercettati dal gancio del ragger;
- il movimento rotatorio consente l'avvolgimento progressivo di tali materiali;
- la "corda" formata si viene estratta in modo continuo senza interrompere il processo di spapolamento.

Vantaggi

L'installazione del ragger comporta numerosi benefici operativi:

- **continuità di esercizio**: evita fermate frequenti per pulizia manuale del pulper
- **protezione delle apparecchiature**: riduce il rischio di danneggiamento di rotore, piastra forata e pompe
- **riduzione dei consumi energetici**: evita accumuli che aumentano la resistenza al moto
- **maggior efficienza di pulizia grossolana**: rimozione precoce dei contaminanti filamentosi
- **miglior qualità dell'impasto**: minore trascinamento di materiali indesiderati nelle fasi successive

Svantaggi e limiti

Nonostante i vantaggi, il ragger presenta alcune criticità:

- **gestione dei rifiuti**: il materiale estratto deve essere raccolto, tagliato e smaltito
- **manutenzione**: soggetto a usura meccanica, soprattutto il sistema di taglio
- **non efficace sui contaminanti pesanti**: metalli o oggetti rigidi devono essere rimossi con sistemi dedicati (es. junk trap)
- **possibili intasamenti**: in caso di elevata presenza di materiali anomali o non filamentosi

Gestione operativa

Una corretta gestione del ragger è fondamentale per garantirne l'efficacia:

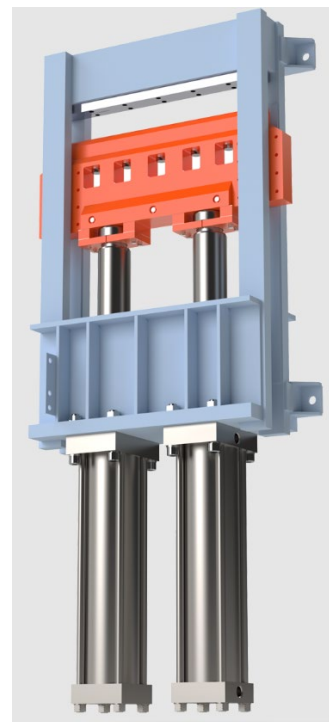
- controllo periodico della formazione della "rag rope"
- verifica del corretto funzionamento del sistema di taglio
- monitoraggio dell'usura del gancio e degli organi meccanici
- pianificazione dello smaltimento dei materiali estratti
- integrazione con altri sistemi di rimozione contaminanti (junk trap, detrashing systems)

In conclusione, il ragger rappresenta un elemento chiave nei pulper a bassa densità in continuo destinati al trattamento di materie prime contaminate. La sua presenza consente di migliorare significativamente l'affidabilità del processo e di ridurre l'impatto dei contaminanti sul resto dell'impianto, rendendo possibile una gestione più stabile ed efficiente della linea di preparazione impasti.

3.7. CUTTER TAGLIA CORTA DEL RAGGER

Il **cutter taglia corda del ragger** è il dispositivo installato a valle del sistema di estrazione del ragger, con la funzione di sezionare in modo continuo la “rag rope” (corda di contaminanti) in spezzoni di lunghezza ridotta e facilmente gestibili.

Durante il funzionamento, il ragger estrae e compatta i materiali filamentosi formando una fune continua costituita da plastiche, corde, nastri e altri contaminanti. Senza un sistema di taglio, questa fune crescerebbe indefinitamente, rendendo difficile la gestione e aumentando il rischio di inceppamenti. Il cutter interviene quindi automaticamente, tagliando la corda in segmenti corti e regolari.



Dal punto di vista costruttivo, il cutter è generalmente composto da:

- una **lama rotante o sistema a ghigliottina**, progettato per lavorare su materiali eterogenei e resistenti;
- un **sistema di azionamento** sincronizzato con la velocità del ragger;
- una **struttura robusta** in grado di sopportare urti e carichi variabili;

Funzionamento

- la rag rope viene trascinata dal ragger verso il cutter;
- il sistema di taglio intercetta la fune;
- avviene il taglio ciclico o continuo in base alla configurazione;
- i pezzi tagliati cadono in un contenitore o sistema di raccolta per lo smaltimento.

Vantaggi

- **Gestione semplificata dei rifiuti**: spezzoni più corti sono più facili da movimentare e smaltire
- **Maggiore sicurezza operativa**: si evitano accumuli pericolosi di materiale avvolto
- **Continuità del processo**: riduce il rischio di blocchi o sovraccarichi del ragger
- **Automazione**: riduce la necessità di interventi manuali

Aspetti critici

- **Usura delle lame** dovuta alla presenza di metalli o materiali abrasivi
- **Necessità di manutenzione periodica** per garantire un taglio efficace
- **Possibili inceppamenti** in caso di oggetti particolarmente rigidi o voluminosi

In sintesi, il cutter taglia corda rappresenta un complemento indispensabile del ragger, poiché consente di trasformare un flusso continuo e difficile da gestire di contaminanti in un materiale facilmente controllabile, migliorando sicurezza, efficienza e operatività dell'intero sistema di pulping.

3.8. GRAB BUCKET NEL SISTEMA PULPER



Il **grab bucket** è un dispositivo di sollevamento utilizzato nel sistema di alimentazione del pulper, in particolare negli impianti che trattano carta da macero o materiali sfusi con elevata variabilità. La sua funzione principale è quella di **prelevare, movimentare e caricare il materiale fibroso all'interno del tubo installato sulla parte laterale del pulper o direttamente all'interno del pulper** in modo controllato e flessibile.

Attenzione!!!

Il grab bucket (o polipo) si può usare per tirar via i contaminati all'interno del pulper SOLO QUANTO IL PULPER E' FERMO.

Dal punto di vista costruttivo, il grab bucket è costituito da una **benna a valve (a polipo o a conchiglia)** installata su un carroponete o su una gru. Le valve si aprono e si chiudono tramite un sistema idraulico o elettromeccanico, permettendo di afferrare quantità variabili di materiale e di rilasciarle all'interno della vasca del pulper.

Funzionamento

- il grab bucket preleva il materiale (balle aperte, macero sfuso, broke) dall'area di stoccaggio;
- viene sollevato e traslato sopra il pulper tramite carroponete;
- le valve si aprono, rilasciando il materiale nella vasca;
- il ciclo si ripete in funzione del fabbisogno produttivo.

Vantaggi

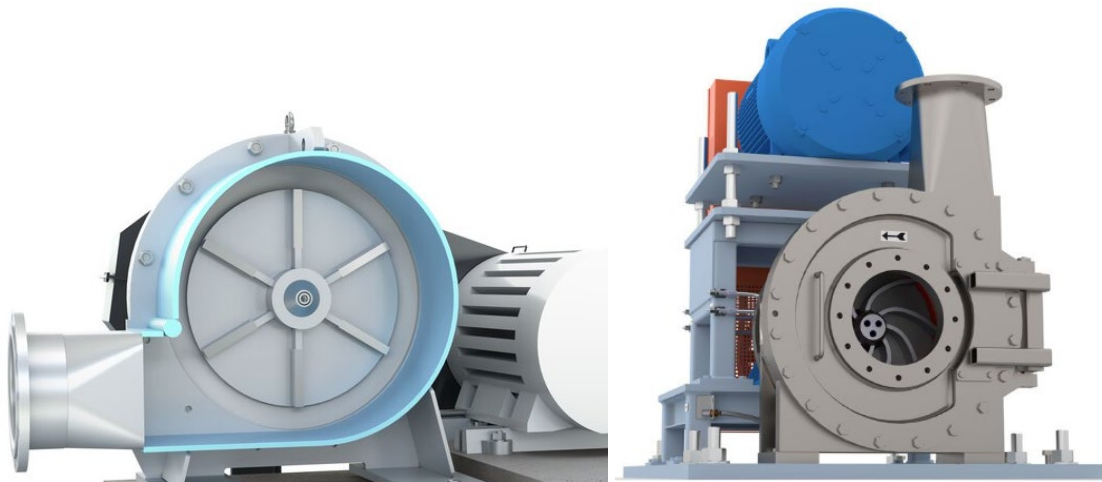
- **Elevata flessibilità operativa:** consente di gestire materiali di diversa natura e pezzatura
- **Controllo del carico:** possibilità di dosare la quantità di materiale introdotto nel pulper
- **Semplicità impiantistica:** non richiede sistemi complessi di trasporto continuo
- **Adatto a impianti discontinui o semi-continuo**

Svantaggi e limiti

- **Discontinuità di alimentazione** rispetto a sistemi automatici (nastri, trasporti pneumatici)
- **Dipendenza dall'operatore** o dal sistema di automazione del carroponete
- **Possibile introduzione non uniforme del materiale**, con impatti sulla stabilità del processo
- **Minore efficienza in impianti ad alta capacità**

In conclusione, il grab bucket rappresenta una soluzione robusta e versatile per il caricamento del pulper, particolarmente indicata in contesti dove la variabilità della materia prima è elevata e dove non è necessario un sistema di alimentazione completamente continuo e automatizzato.

3.9. POMPE PER DETRASHING (VOITH INTENSAPUMP & ANDRITZ DETRASHING PUMP)



Nel processo di preparazione impasti, in particolare nelle linee di pulping di carta da macero, è necessario utilizzare pompe specifiche per il trasferimento dell'impasto contenente elevate quantità di contaminanti grossolani. In questo contesto si inseriscono la **IntensaPump di Voith** e la **Detrashing Pump (DP) di ANDRITZ**, progettate per operare nella cosiddetta “zona sporca” del pulper.

Queste pompe sono installate a valle del pulper e hanno la funzione di trasferire una parte del flusso di impasto verso il sistema di detrashing (secondary pulper, detrashing machine, drum, ecc.), garantendo un funzionamento continuo e affidabile anche in presenza di materiali indesiderati.

Funzioni principali:

- estrazione controllata del flusso contaminato
- trasporto verso sistemi di pulizia
- protezione delle apparecchiature a valle

Considerazioni tecniche

L'utilizzo di pompe standard in questa posizione può causare:

- intasamenti frequenti
- usura accelerata
- instabilità di processo
- fermate impianto

Per questo motivo, i principali OEM (Voith, ANDRITZ, Kadant) utilizzano **pompe dedicate con girante aperta e passaggi larghi**.

Nel sistema Kadant (es. **Hydrapurge™ o HydraFlow™ detrashing system**), la pompa utilizzata per estrarre l'impasto contaminato dal pulper e trasferirlo al detrashing è denominata **HydraFlow™ Trash Pump**.

Questa pompa svolge la stessa funzione della **Detrashing Pump ANDRITZ** e della **IntensaPump Voith**, operando nella zona più critica del processo, dove sono presenti elevati livelli di contaminanti.

Caratteristiche principali

1. Girante (rotore) molto aperta – anti-intasamento

Una delle caratteristiche più importanti è la presenza di una **girante aperta (free-flow o vortex impeller)**:

- consente il passaggio di contaminanti di grandi dimensioni
- evita accumuli e fenomeni di clogging
- garantisce funzionamento continuo

La **IntensaPump** è esplicitamente progettata con:

- **ampio passaggio interno**
- **girante a vortice arretrata**
- grandi diametri di bocchello

Questo permette un pompaggio **praticamente “plug-free”** anche con elevata presenza di contaminanti

2. Idoneità al pompaggio di impasti contaminati

Queste pompe sono progettate per gestire:

- plastiche
- tessuti
- fili metallici
- stickies
- parti non disgregate

A differenza delle pompe centrifughe standard, il design interno:

- evita il taglio e l'accumulo dei contaminanti
- permette il loro trasferimento verso sistemi di separazione dedicati

3. Ampie sezioni di passaggio (large free passage)

- volute e bocchelli sovradimensionati
- spazio interno elevato

I detriti grossolani possono attraversare la pompa senza blocchi di conseguenza si ha una riduzione drastica dei fermi impianto.

Voith evidenzia che “**grandi detriti possono passare facilmente grazie al grande spazio interno e alla girante a vortice**”.

4. Elevata resistenza all’usura

- materiali anti-abrasione
- rivestimenti hard-facing sulla girante

Necessario per gestire:

- sabbia
- vetro
- metalli

garantisce lunga vita operativa anche in condizioni severe.

5. Funzionamento stabile e affidabile

- progettate per flussi discontinui e instabili
- tolleranza alla presenza di aria
- possibilità di regolazione tramite inverter
maggiore **runability** e minore manutenzione.

6. Efficienza energetica

Nonostante il design “robusto”, queste pompe:

- hanno ottimizzazione idraulica
- permettono riduzione dei consumi energetici
- lavorano con velocità variabile.

Conclusione

Le pompe di tipo **IntensaPump (Voith)** e **Detrashing Pump (ANDRITZ)** rappresentano una componente critica nei sistemi moderni di pulping, essendo progettate specificamente per il trasferimento di impasti altamente contaminati. Il loro design, caratterizzato da giranti aperte, ampi passaggi e alta resistenza all’usura, consente un funzionamento affidabile e continuo anche nelle condizioni più gravose tipiche della lavorazione della carta da macero.

3.10. TROMMEL

Il **trommel** è un componente fondamentale nei sistemi di pulperaggio, in particolare nelle linee di trattamento del macero. Si tratta di un vaglio rotante cilindrico, installato tipicamente a valle del pulper o integrato nel circuito di scarico degli scarti, con la funzione principale di separare e classificare i contaminanti in base alla dimensione e alla natura.



Funzionamento

Il trommel è costituito da un tamburo rotante forato o dotato di griglie. Il materiale proveniente dal sistema di detrashing (miscela di impasto, acqua e contaminanti) entra all'interno del tamburo:

- Le **frazioni fini** (fibre recuperabili e piccoli contaminanti) passano attraverso i fori del tamburo e vengono recuperate nel processo.
- I **contaminanti grossolani** (plastiche, tessuti, legno, corde, ecc.) avanzano lungo il tamburo per effetto della rotazione e della leggera inclinazione, fino allo scarico finale.

Spesso il trommel è dotato di **zone di lavaggio** con spruzzi d'acqua, che migliorano il recupero delle fibre ancora aderenti agli scarti.

Ruolo nel processo

Nel pulperaggio continuo, il trommel svolge un ruolo chiave nella gestione degli scarti:

- Riduce la **perdita di fibra** recuperando il materiale utile ancora presente nei rifiuti
- Migliora l'**efficienza complessiva** del sistema di pulizia
- Stabilizza il carico sulle apparecchiature successive (DHC, screening)

È quindi un elemento intermedio tra la fase di spapolamento/detrashing e le successive fasi di separazione.

Parametri di progettazione

La scelta e il dimensionamento del trommel dipendono da diversi fattori:

- **Diametro e lunghezza del tamburo** → influenzano il tempo di permanenza del materiale
- **Dimensione dei fori** → determina il grado di separazione e il recupero fibra
- **Velocità di rotazione** → incide sul trasporto e sull'efficienza di separazione
- **Portata e tipo di macero** → presenza di contaminanti leggeri o pesanti

Un corretto dimensionamento è essenziale per evitare:

- eccessiva perdita di fibra (fori troppo grandi o lavaggio inefficiente)
- intasamenti o bassa capacità (fori troppo piccoli o carico eccessivo)

Vantaggi principali

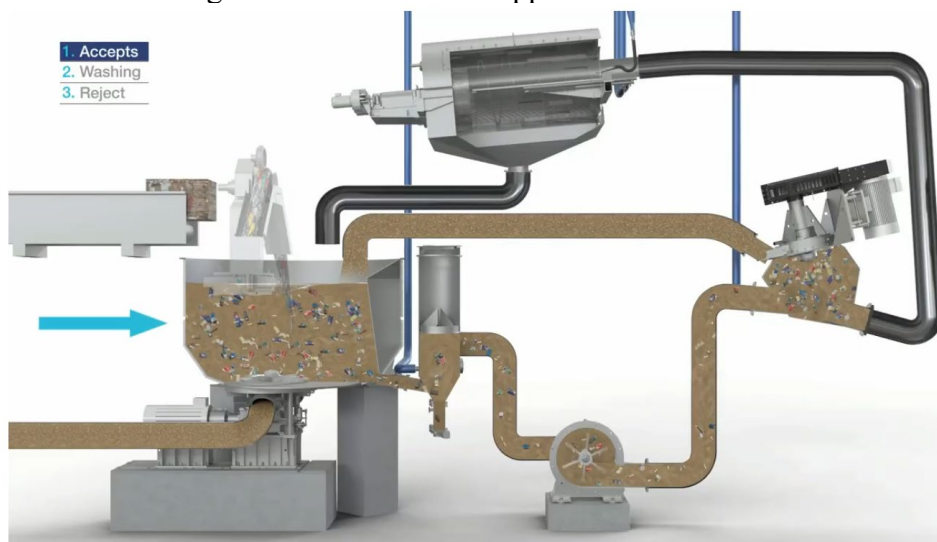
- Elevata **robustezza** e semplicità costruttiva
- Buona **affidabilità operativa** anche con materiali molto contaminati
- Possibilità di **recupero fibra** tramite sistemi di lavaggio integrati

Considerazioni operative

Nel contesto della scelta del sistema di pulperaggio, il trommel deve essere valutato anche in funzione della **percentuale di scarto complessiva** dell'impianto. Un trommel efficiente permette di ridurre significativamente la quantità di materiale fibroso che finisce in discarica, contribuendo sia alla resa dell'impianto sia ai costi operativi.

3.11. CONSIDERAZIONI SUL FUNZIONAMENTO DEL PULPER IN CONTINUO

Dall'immagine riportata è possibile comprendere in modo chiaro l'intero ciclo di funzionamento di un pulper in continuo e l'integrazione tra le diverse apparecchiature coinvolte.



In particolare, si evidenzia come la pompa di detrashing (ad esempio la **IntensaPump di Voith**) aspiri l'impasto direttamente dal tubo laterale collegato alla vasca del pulper. Questo sistema consente di estrarre una frazione di impasto contenente un'elevata concentrazione di contaminanti, che viene successivamente inviata all'unità di separazione (nel caso specifico, **IntensaMaXX**), dove avviene la distinzione tra accettato, lavaggio e scarti.

Questo approccio permette di:

- evitare accumuli eccessivi di contaminanti all'interno della vasca
- mantenere stabile la qualità dell'impasto
- garantire un funzionamento realmente continuo del sistema

Un'altra considerazione rilevante riguarda la **configurazione del rotore**. Come visibile, il rotore non è installato in posizione centrata, bensì **disassato rispetto all'asse della vasca**.

Questa scelta progettuale ha un impatto diretto sull'idrodinamica interna del pulper:

- migliora la turbolenza e la miscelazione dell'impasto
- riduce la formazione di zone morte
- evita la creazione di corsie preferenziali del flusso
- favorisce un'azione più efficace di spappolamento e dispersione delle fibre

Nel complesso, l'integrazione tra estrazione laterale, sistema di detrashing e configurazione del rotore rappresenta un elemento chiave per garantire efficienza, affidabilità e qualità nel funzionamento di un pulper a bassa densità in continuo.

Svantaggi del pulper in continuo con estrazione laterale solo dal fondo

Parere personale, nonostante i numerosi vantaggi operativi, questa configurazione presenta anche alcune criticità che devono essere attentamente considerate in fase di progettazione e gestione dell'impianto.

Il principale svantaggio riguarda il comportamento dei **contaminanti leggeri**. Materiali come plastiche, film, polistirolo (plispan) e altri elementi a bassa densità tendono a **galleggiare stabilmente sulla superficie dell'impasto**, senza mai sedimentare verso il fondo della vasca.

Di conseguenza:

- questi contaminanti non vengono intercettati efficacemente dal sistema di estrazione inferiore/laterale
- tendono ad accumularsi progressivamente all'interno del pulper
- possono creare zone di ricircolo superficiale e ridurre l'efficienza di spappolamento



Per mitigare questo problema, in alcune applicazioni il **tubo laterale di estrazione** viene progettato con:

- una **connessione anche nella parte superiore della vasca**
- sistemi di **paratie regolabili**, che permettono di variare il livello di pescaggio

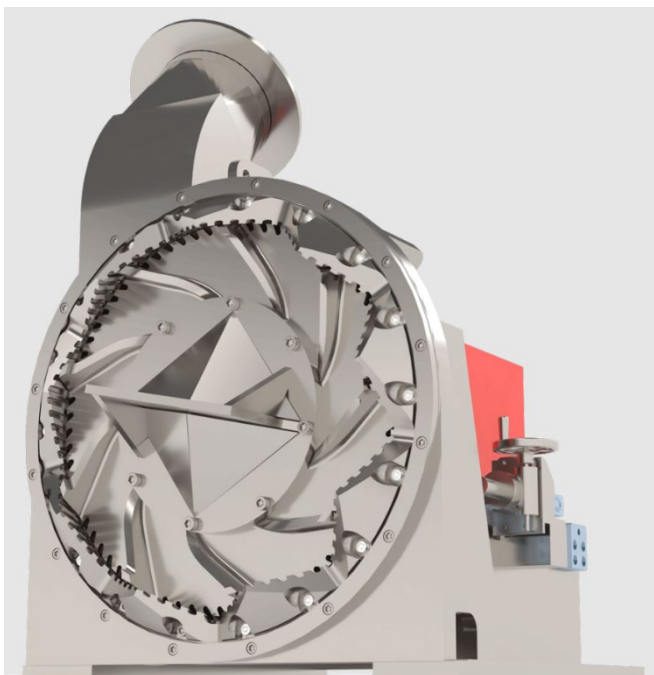
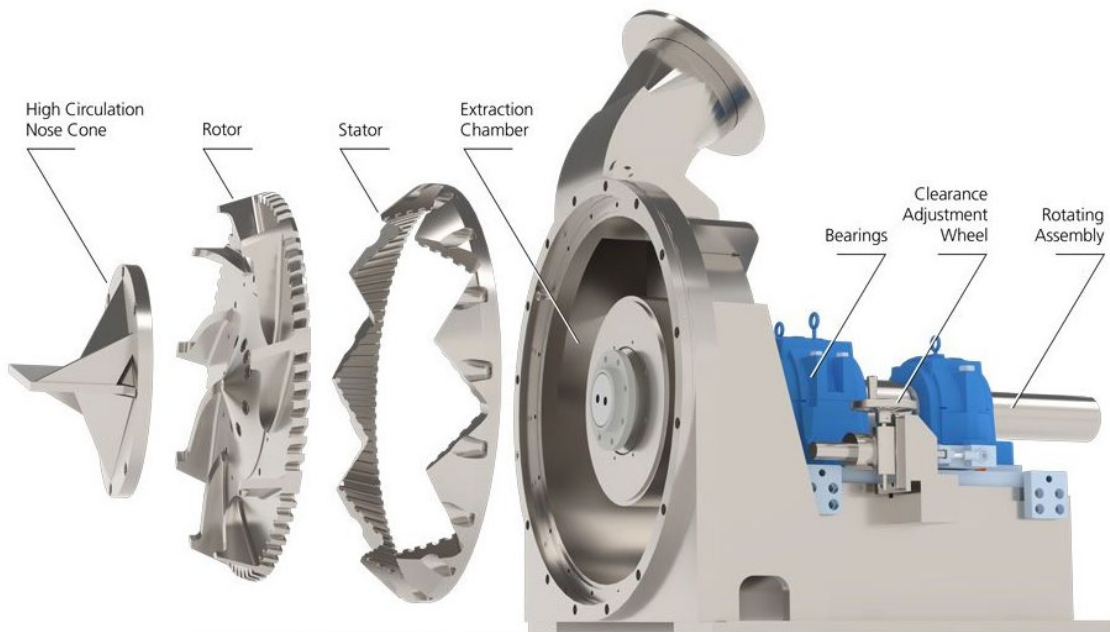
Questo accorgimento consente di:

- intercettare anche la frazione superficiale dell'impasto
- migliorare la rimozione dei contaminanti leggeri
- rendere il sistema più flessibile rispetto alle variazioni della qualità del macero

Spesso queste impurezze si accumulano nel tubo laterale e possono essere estratte con il grab bucket così si evita che finiscano nelle fasi successive e contaminino di più l'impasto.

In sintesi, la gestione dei contaminanti leggeri rappresenta uno degli aspetti critici nei pulper in continuo e richiede soluzioni progettuali dedicate per evitare accumuli e perdita di efficienza del sistema.

4. TORNADO PULPER – KADANT



Il **Tornado Pulper di Kadant** è un pulper progettato per trattare materiali considerati normalmente “impossibili da spappolare”, come carte ad alta resistenza umida, tessili o materiali sintetici, permettendo il recupero della fibra e la riduzione dei costi di smaltimento.

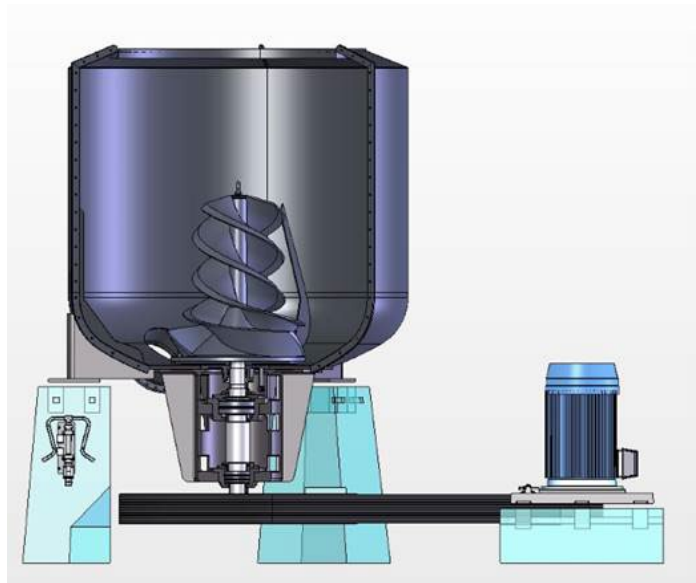
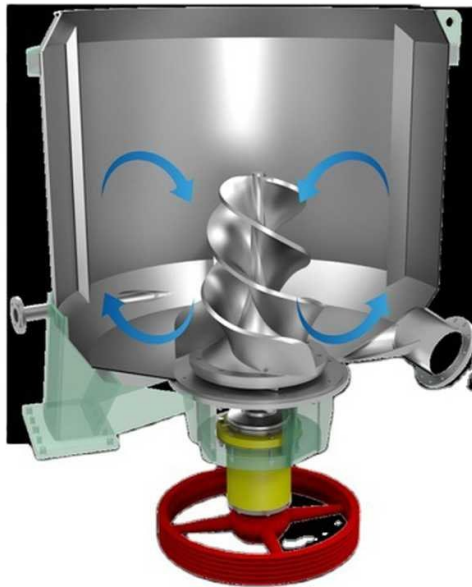
Il cuore della macchina è un sistema brevettato **rotore–statore**, in cui il rotore (unica parte in movimento) è dotato di nove lobi perfettamente bilanciati. Questa configurazione consente di svolgere simultaneamente più funzioni: un’agitazione molto intensa senza zone morte, una forte azione di pompaggio attraverso la zona di defibratura e un flusso continuo del materiale.

Durante il funzionamento, il materiale viene continuamente ricircolato: i pezzi più grandi vengono afferrati e frantumati grazie

all’interazione “a forbice” tra rotore e statore, evitando intasamenti e garantendo una rapida riduzione dimensionale. Allo stesso tempo, l’elevata portata e il passaggio ripetuto nella zona di lavoro permettono una separazione completa delle fibre, mantenendone l’integrità grazie a giochi molto ridotti tra rotore e statore.

Infine, il ricircolo esterno dell’impasto assicura una rapida immersione del materiale e un’elevata omogeneità, migliorando la consistenza del processo e l’efficienza complessiva dello spappolamento.

5. PULPER AD ALTA CONSISTENZA



Caratteristiche tecniche principali

- Consistenza: **12 – 18%**
- Basso contenuto d'acqua
- Girante robusta, progettata per alte coppie
- Azione meccanica basata su attrito fibra-fibra
- Velocità periferica: $\approx 8 - 12 \text{ m/s}$
- Consumo energetico: **15 – 30 kWh/t**
- Elevata concentrazione di materiale nella vasca
- Ridotto effetto di taglio diretto sulla fibra



Principio di funzionamento

- Il rotore genera un movimento intenso ma controllato dell'impasto ad alta consistenza, evitando turbolenze eccessive
- Le fibre si separano principalmente per:
 - sfregamento tra fibre (fiber-to-fiber friction)
 - azioni di taglio controllate
- I contaminanti tendono a rimanere integri
- Il processo favorisce il distacco della fibra dai materiali estranei
- L'impasto accettato viene estratto tramite piastra forata o inviato a sistemi di separazione successivi

Le configurazioni di pulper ad alta consistenza sono progettate per operare con impasti ad elevata concentrazione fibrosa e con materie prime particolarmente difficili da trattare, quali carta da macero contaminata, materiali poliaccoppiati (ad esempio Tetra Pak) e carte umido-resistenti.

A differenza dei pulper a bassa densità, questi impianti lavorano esclusivamente in modalità **batch**, in quanto l'elevata consistenza dell'impasto non consente il pompaggio continuo.

Nel pulper ad alta consistenza si utilizza una girante progettata per generare un'intensa azione di rimescolamento e attrito tra le fibre, piuttosto che un'azione puramente idrodinamica. Le geometrie dei rotori variano a seconda del costruttore, come Voith, Valmet, ANDRITZ e Kadant, ma sono generalmente caratterizzate da profili robusti e ottimizzati per lavorare ad alte coppie e consistenze elevate.

Caratteristiche operative

- Lavora con stock altamente concentrato: la forza di spappolamento deriva principalmente dall'attrito tra fibre piuttosto che dall'effetto idraulico
- Favorisce il distacco dell'inchiostro e riduce la frammentazione di plastiche, adesivi e stickies
- Tipicamente adottato in linee di deinking (DIP) o su macero di qualità medio-alta
- Permette di mantenere i contaminanti più integri, facilitando le fasi di separazione successive
- Richiede un attento design di rotore, pale guida e sistemi di scarico

Il pulper ad alta consistenza non lavora “di forza” come un pulper a bassa densità, ma lavora “**di processo**”: l'obiettivo non è solo disgregare il materiale, ma farlo in modo selettivo e controllato.

Il principale vantaggio di questa tecnologia è infatti quello di **non frammentare i contaminanti**, ma di favorire il loro distacco dalla fibra. Questo è un aspetto cruciale nelle moderne linee di riciclo, dove l'efficienza complessiva dipende dalla capacità di rimuovere efficacemente le impurità nelle fasi successive.

Tipologie di pulper ad alta consistenza

Una prima distinzione può essere fatta in base al sistema di estrazione dell'impasto:

- **Pulper con estrazione tramite piastra forata (screen plate)**
L'impasto accettato viene scaricato attraverso una piastra forata posta sul fondo della vasca, mentre i contaminanti vengono rimossi tramite bocchelli o tubazioni laterali dedicate.
- **Pulper con sistemi integrati di separazione contaminanti**
In questi sistemi, il pulper è parte di un processo più complesso che include tecnologie dedicate alla gestione degli scarti, come:
 - sistemi di detrashing
 - tamburi rotanti (drum)
 - separatori dedicati

Queste configurazioni possono essere presenti sia con che senza piastra forata e rappresentano oggi la soluzione più diffusa in Europa per il trattamento di macero contaminato.

Geometria della vasca

Le principali configurazioni geometriche includono:

- Vasca cilindrica con fondo conico o biconico (la più comune)
- Vasca cilindrica con fondo bombato
- Geometrie ottimizzate per aumentare il tempo di permanenza e lo sfregamento tra fibre

Vantaggi

- ✓ Elevata efficienza su materiali difficili
- ✓ Ideale per materiali poliaccoppiati
- ✓ Migliore preservazione della lunghezza delle fibre
- ✓ Favorisce la separazione dei contaminanti senza frammentarli
- ✓ Layout compatto
- ✓ Ridotto utilizzo di chimici in alcune applicazioni

Svantaggi

- ✗ Elevata potenza installata (motori di grandi dimensioni)
- ✗ Maggiore complessità operativa (controllo consistenza e coppia)
- ✗ Necessità di sistemi ausiliari per la gestione degli scarti
- ✗ Impossibilità di pompaggio diretto → necessaria diluizione
- ✗ Maggiori sollecitazioni meccaniche
- ✗ Funzionamento esclusivamente batch
- ✗ Alti costi di manutenzione

Applicazioni tipiche

- Carta da macero contaminata (selezionata e controllata)
- Materiali poliaccoppiati (es. Tetra Pak)
- Carte paraffinate che hanno bisogno di molto tempo di spappolamento ed alte temperature.
- Fibre di cotone per carta moneta
- Carte umido-resistenti (wet strength)
- Impianti di riciclo avanzato
- Linee dove è fondamentale preservare la qualità della fibra

5.1. Tipi di rotori ad alta

Nel pulper ad alta consistenza (HC), il rotore rappresenta l'elemento più critico dell'intero sistema. A differenza dei pulper a bassa densità, dove prevale l'azione idrodinamica, nei sistemi HC lo spappolamento avviene principalmente tramite **attrito fibra-fibra**, generato da una circolazione controllata dell'impasto e non per effetto idrodinamico.

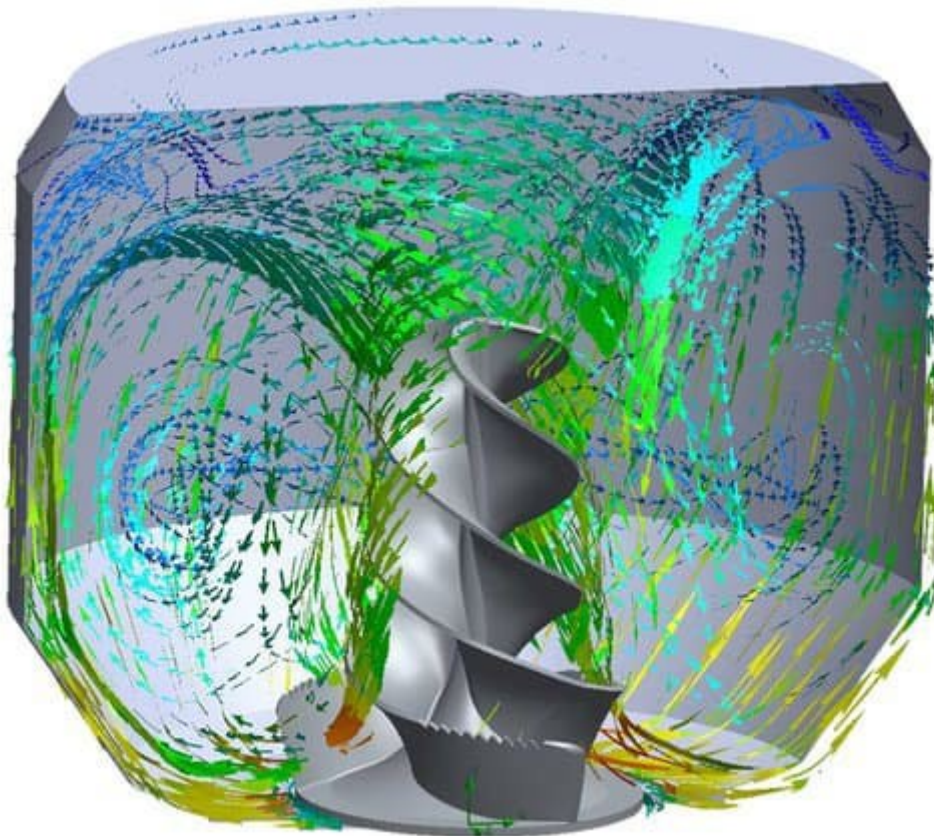
Il rotore ha quindi il compito di:

- generare un **campo di moto tridimensionale**
- favorire lo **sfregamento tra fibre**
- evitare la **frammentazione dei contaminanti**
- ottimizzare il **consumo energetico**

Negli ultimi anni, i principali costruttori – Voith, Valmet, ANDRITZ e Kadant – hanno sviluppato soluzioni sempre più evolute, portando a una vera e propria ingegnerizzazione del processo di pulping.

Sulla base dell'evoluzione tecnologica e delle caratteristiche costruttive, i rotori possono essere classificati in tre macro-categorie.

A Rotori di prima generazione (geometria conica “a spirale”)



I rotor di concezione più datata erano caratterizzati da:

- **forma conica regolare**, spesso descritta come “ad albero di Natale”
- **alette disposte a spirale** con inclinazione significativa ($\approx 40-45^\circ$, valore indicativo)
- sviluppo prevalentemente verticale

Principio di funzionamento:

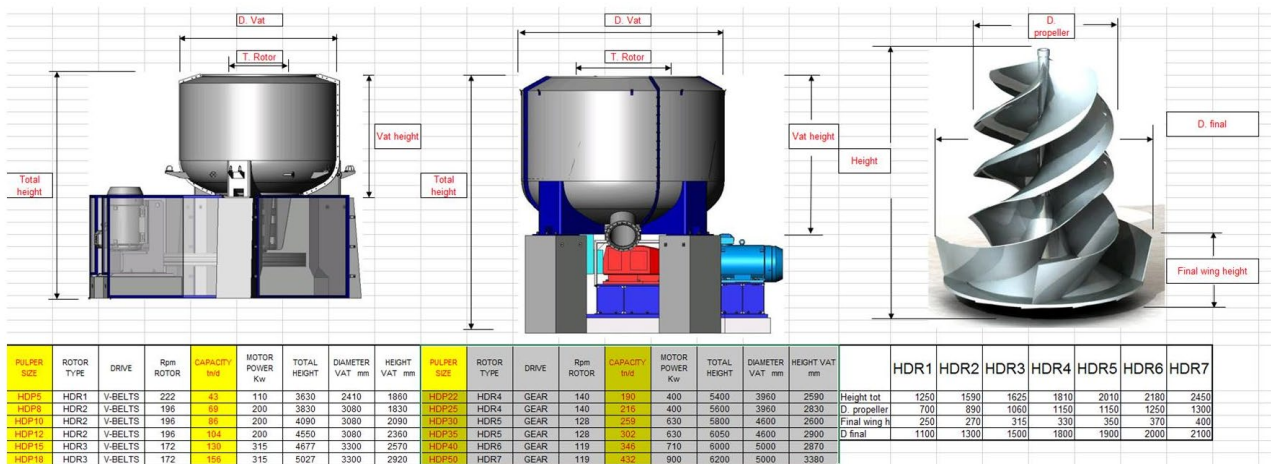
Il rotore imprimeva all'impasto un movimento forzato verso il basso, comprimendo il materiale sul fondo della vasca. Questo generava attrito tra le fibre, favorendo lo spappolamento.

Limiti principali:

- elevato consumo energetico
- azione relativamente aggressiva su fibra e contaminanti
- minore controllo dei flussi interni

Questi rotori risultavano efficaci nello spappolamento, ma poco ottimizzati in termini di selettività e qualità finale dell'impasto.

B. Rotori di seconda generazione (geometria ottimizzata con deflettori)



L'evoluzione successiva ha portato a rotori più sofisticati, oggi ampiamente utilizzati nei pulper ad alta consistenza.

Caratteristiche principali:

- geometria a spirale ottimizzata (angoli più studiati rispetto al passato)
- presenza di **deflettori saldati sulle alette**, per migliorare la distribuzione dei flussi
- **parte inferiore più ampia**, con diametro maggiore
- alette inferiori quasi verticali

Principio di funzionamento:

A differenza dei rotor tradizionali, questi non spingono semplicemente l'impasto verso il basso, ma generano una **circolazione tridimensionale**:

- spinta radiale verso le pareti della vasca
- risalita dell'impasto lungo i bordi
- ricaduta per gravità verso il centro

Questo ciclo continuo aumenta lo **sfregamento tra fibre** in modo più controllato.

Vantaggi:

- riduzione del consumo energetico
- maggiore uniformità di spapolamento
- azione più "dolce" su fibra e contaminanti
- migliore gestione dei materiali difficili

Questa tipologia rappresenta oggi uno standard industriale per molti OEM.

C. Rotori di ultima generazione (es. tecnologia Kadant "HeliSoft")



Le soluzioni più recenti sono rappresentate da rotor progettati per applicazioni ad alta criticità, come il trattamento di materiali poliaccoppiati (es. Tetra Pak).

Un esempio significativo è il rotore sviluppato da Kadant (tecnologia spesso indicata come *HeliSoft* o equivalente).

Caratteristiche principali:

- geometria **cilindrico-spirale**
- alette con **bassa inclinazione** ($\approx 10\text{--}15^\circ$, da verificare in funzione del modello)
- parte inferiore con diametro maggiorato
- alette inferiori quasi verticali

Principio di funzionamento (concettuale):

- generazione di un moto controllato e uniforme
- riduzione delle forze di taglio diretto
- massimizzazione dello sfregamento tra fibre senza frammentare i contaminanti

Vantaggi principali:

- consumo energetico molto ridotto
- azione estremamente “dolce”
- elevata capacità di **preservare l'integrità dei contaminanti**
- ottimale per:
 - materiali poliaccoppiati (es. Tetra Pak)
 - carte umido-resistenti
 - maceri difficili

Aspetto chiave:

Questo tipo di rotore nasce proprio dall'esigenza di **separare la fibra senza distruggere i contaminanti** (film plastici, alluminio). Se tali materiali venissero disgregati, comprometterebbero le fasi successive di pulizia (screening e cleaning).

Considerazioni finali

L'evoluzione dei rotori per pulper ad alta consistenza segue una chiara direzione:

- da un approccio **puramente meccanico e aggressivo**
- verso un approccio **ingegnerizzato, selettivo e “gentle”**

Oggi il focus degli OEM (Voith, Valmet, ANDRITZ, Kadant) è orientato a:

- ridurre i consumi energetici
- migliorare la qualità della fibra
- facilitare la rimozione dei contaminanti
- ottimizzare il trattamento di materie prime sempre più complesse

In questo contesto, i rotori di ultima generazione rappresentano lo stato dell'arte, soprattutto nelle applicazioni di riciclo avanzato.

5.2. APPLICAZIONE DEL PULPER AD ALTA CONSISTENZA PER CELLULOSA E MATERIALI PRIVI DI CONTAMINANTI (FOGLIACCI O MATERIALI SIMILARI)



Analogamente a quanto avviene per i pulper a bassa consistenza, anche i pulper ad alta consistenza possono essere configurati in modi differenti in funzione della materia prima da trattare e dell'obiettivo di processo.

In questo caso si analizza l'applicazione di un pulper ad alta consistenza destinato allo spappolamento di materiali sostanzialmente privi di contaminanti, come cellulosa, fogliacci o altri scarti fibrosi puliti. In tali condizioni operative non è necessario privilegiare in modo particolare la capacità di gestione dei contaminanti, ma piuttosto l'efficienza di spappolamento, la qualità della fibra e la semplicità impiantistica.

Per queste applicazioni si utilizzano spesso giranti di prima o seconda generazione, generalmente sufficienti quando il materiale in ingresso non contiene poliacoppiati, plastiche, fili metallici o altre impurità grossolane. Sull'anello inferiore della girante vengono normalmente installati dei foils, o alette a profilo alare, studiati per generare un effetto idrodinamico utile nelle fasi di diluizione e scarico dell'impasto. Al di sotto di tali elementi viene montata una piastra forata, con fori di diametro opportunamente dimensionato in base alla tipologia di materia prima trattata e al grado di spappolamento richiesto.

Il funzionamento del sistema prevede una prima fase di spappolamento ad alta consistenza, durante la quale l'azione meccanica della girante favorisce la disaggregazione del materiale principalmente attraverso l'attrito tra fibre. Terminato il tempo di lavorazione previsto, l'impasto viene diluito fino a raggiungere una consistenza pompabile, generalmente intorno al 5%. La diluizione viene effettuata

sia nella parte inferiore sia in quella superiore della vasca, in modo da favorire una sospensione più omogenea e facilitare la successiva estrazione dell'accettato.

A questo punto l'impasto diluito attraversa la piastra forata grazie all'azione combinata del rotore e dei foils, che generano condizioni favorevoli al passaggio della sospensione attraverso i fori, secondo un principio simile a quello già descritto per i pulper a bassa consistenza. L'accettato viene quindi aspirato da una pompa e inviato alla tina dell'impasto accettato o allo stadio successivo del processo.

Poiché in questa applicazione il materiale in ingresso è pulito, la presenza di impurità è normalmente molto limitata. Eventuali corpi estranei occasionali, comunque, possono essere scaricati attraverso un apposito bocchello laterale di sicurezza e convogliati a un cassone scarti, evitando così accumuli indesiderati all'interno della vasca.

Questa configurazione presenta i vantaggi tipici del pulper ad alta consistenza, ovvero un'azione di spappolamento particolarmente efficace, una buona preservazione della lunghezza della fibra e una elevata capacità di disgregare il materiale senza eccessiva frammentazione. Nel caso specifico di materiali senza contaminanti, si aggiunge anche il vantaggio di una configurazione relativamente semplice, con minori esigenze di separazione degli scarti e con una gestione operativa più lineare rispetto alle applicazioni dedicate a maceri contaminati o materiali poliaccoppiati.

Un ulteriore vantaggio significativo del pulper ad alta consistenza è la riduzione della formazione di "pastiglie" (flake o noduli di fibre non completamente disgregate).

Lavorando a elevata consistenza, infatti, il meccanismo prevalente di spappolamento è basato sull'attrito diretto tra fibre, che risulta più efficace nel separare i fiocchi fibrosi rispetto all'azione prevalentemente idraulica dei pulper a bassa consistenza. In questi ultimi, la presenza di elevate quantità di acqua può favorire una dispersione meno efficace delle fibre, con conseguente maggiore probabilità di formazione di agglomerati.

5.3. ESEMPI PRATICI DI APPLICAZIONE DEL PULPER AD ALTA CONSISTENZA CON MATERIALI SENZA CONTAMINANTI E PIASTRA FORATA.

Nel caso di utilizzo di un pulper ad alta consistenza per lo spappolamento di cellulosa vergine destinata alla produzione di carte tissue, l'impiego di questa tecnologia non rappresenta, nella maggior parte dei casi, una scelta obbligata dal punto di vista tecnico.

La cellulosa vergine, infatti, è un materiale facilmente spappolabile e richiede tempi di disgregazione relativamente brevi; per questo motivo, un pulper a bassa consistenza risulta generalmente più che adeguato e spesso preferibile per semplicità di gestione e continuità operativa.

Tuttavia, esistono alcune condizioni impiantistiche nelle quali l'adozione di un pulper ad alta consistenza può risultare vantaggiosa. In particolare:

- in presenza di elevati requisiti produttivi (alta capacità oraria),
- in caso di limitazioni di spazio disponibili in impianto.

In tali situazioni, il pulper ad alta consistenza consente di lavorare con volumi più contenuti a parità di produzione, grazie alla maggiore concentrazione dell'impasto.

Un ulteriore vantaggio è legato all'intensa azione di sfregamento tra fibra e fibra, tipica del funzionamento ad alta consistenza. Questo fenomeno può favorire una leggera fibrillazione superficiale delle fibre, con un potenziale effetto positivo sulle proprietà leganti dell'impasto e una conseguente possibile riduzione del fabbisogno energetico nelle fasi successive di raffinazione.

Dal punto di vista energetico, inoltre, il pulper ad alta consistenza presenta generalmente un consumo elettrico specifico inferiore rispetto a un pulper a bassa consistenza, in quanto lavora con quantità di acqua significativamente ridotte.

Un secondo esempio applicativo riguarda lo spappolamento di carte o maceri costituiti da fibre deboli oppure di fogliacci puliti (privi di contaminanti). In questo caso, l'utilizzo di un pulper ad alta consistenza con piastra forata consente di ridurre l'azione idrodinamica più "violenta" tipica dei pulper a bassa consistenza, preservando meglio l'integrità delle fibre e limitando fenomeni di taglio o accorciamento indesiderato.

Un'applicazione nella quale il pulper ad alta consistenza con piastra forata risulta invece particolarmente indicato — e spesso indispensabile — è il trattamento di carte umido-resistenti o paraffinate.

Questi materiali sono caratterizzati da una forte resistenza allo spappolamento, dovuta alla presenza di legami chimici rinforzati o trattamenti superficiali idrofobici. Di conseguenza:

- richiedono tempi di lavorazione più lunghi,
- necessitano di un maggiore apporto energetico.

Per migliorare l'efficienza del processo, è pratica comune riscaldare l'impasto mediante iniezione di vapore dal fondo della vasca, aumentando la temperatura e favorendo la rottura dei legami tra le fibre. In alcuni casi viene inoltre aggiunta soda caustica, che contribuisce ad accelerare il processo di disgregazione chimico-meccanica.

5.4.APLICAZIONE DEL PULPER AD ALTA CONSISTENZA PER FIBRA DI COTONE (CARTA MONETA) SENZA PIASTRA FORATA E CONTAMINANTI SPECIFICI.

Per lo spappolamento della fibra di cotone, tipicamente utilizzata nella produzione di carte speciali come la carta moneta, si impiega generalmente un pulper ad alta consistenza configurato **senza piastra forata**.

Questa scelta è legata alle caratteristiche peculiari della fibra di cotone, che si presenta molto lunga, resistente e con una forte tendenza a formare aggregati e filacci. L'assenza della piastra forata nel pulper consente di evitare fenomeni di intasamento e di garantire una maggiore libertà di movimento all'impasto durante la fase di lavorazione.

Il processo si sviluppa in due fasi principali:

1. Spappolamento ad alta consistenza

Il materiale viene caricato nel pulper e lavorato ad alta consistenza, dove l'azione meccanica del rotore genera un intenso sfregamento tra le fibre. Questo favorisce la disgregazione del cotone senza eccessiva rottura della fibra, preservando le proprietà meccaniche richieste per applicazioni ad alto valore aggiunto.

2. Diluzione e scarico per gravità

Una volta completato il tempo di spapolamento, l'impasto viene diluito in prossimità dello scarico laterale della vasca fino a raggiungere una consistenza idonea allo scorrimento.

Lo scarico avviene **per gravità**, senza l'ausilio di pompe:

- il bocchello laterale del pulper è collegato direttamente al pulper screen tramite una tubazione,
- sulla linea è installata una **valvola di intercettazione**, che consente di controllare l'apertura e la chiusura dello scarico.

Questa configurazione semplifica l'impianto e riduce criticità legate al pompaggio di un impasto contenente fibre lunghe e filacciose come il cotone

Il pulper screen rappresenta lo stadio successivo di separazione e può essere assimilato, dal punto di vista funzionale, a un pulper a bassa consistenza dotato di:

- piastra forata disposta verticalmente,
- rotore con geometria specifica per la gestione di fibre lunghe.

All'interno di questa macchina avviene la separazione tra:

- **accettato**, che attraversa la piastra forata e prosegue nel processo,
- **filacci di cotone e agglomerati fibrosi**, che non riescono a passare attraverso i fori e rimangono all'interno della vasca.

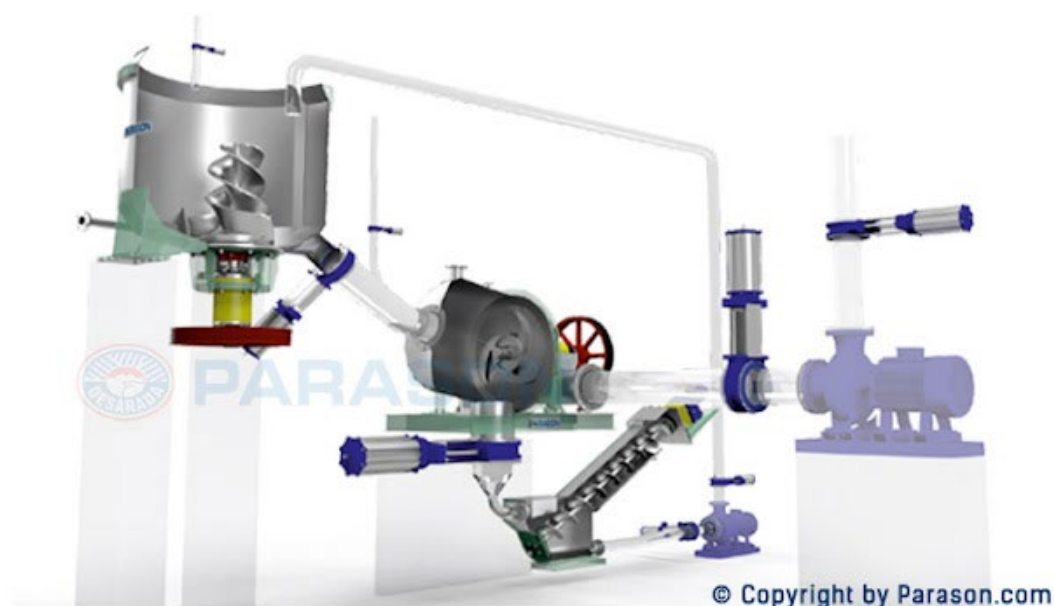
Questi ultimi vengono progressivamente accumulati e successivamente scaricati attraverso il bocchello di fondo del pulper screen, garantendo una rimozione efficace delle frazioni non idonee.

Questa configurazione impiantistica presenta diversi vantaggi:

- assenza di pompe nella fase di scarico → maggiore affidabilità e minore usura,
- riduzione del rischio di intasamento dovuto a fibre lunghe,
- migliore preservazione della qualità della fibra di cotone,
- separazione più efficiente dei filacci in uno stadio dedicato,
- semplicità e robustezza dell'impianto.

Nel complesso, l'utilizzo di un pulper ad alta consistenza senza piastra forata, con scarico per gravità verso un pulper screen, rappresenta una soluzione tecnica ottimale per la lavorazione di fibre di cotone destinate a produzioni speciali ad elevata qualità.

5.5. APPLICAZIONE DEL PULPER AD ALTA CONSISTENZA PER MACERO SELEZIONATO CON CONTAMINANTI (senza piastra forata)



Un'ulteriore applicazione del pulper ad alta consistenza senza piastra forata riguarda il trattamento di macero selezionato contenente contaminanti, quali plastiche, film, tessuti, fili o altri materiali indesiderati.

In questa configurazione, il principio di funzionamento del pulper è analogo a quanto descritto nel capitolo 5.4: lo spappolamento avviene ad alta consistenza senza la presenza di una piastra forata, consentendo una maggiore libertà di movimento dell'impasto e riducendo il rischio di intasamenti.

Il principale obiettivo, in questo caso, è duplice:

- ottenere una buona disgregazione della fibra,
- preservare l'integrità dei contaminanti, evitando la loro frammentazione.

Questo aspetto è fondamentale, in quanto contaminanti non frammentati risultano molto più facili da separare nelle fasi successive del processo.

Fase di spappolamento

Durante la lavorazione ad alta consistenza, il rotore genera un'intensa azione di sfregamento tra le fibre, favorendo il distacco della fibra dal materiale di scarto senza esercitare un'azione eccessivamente aggressiva sui contaminanti.

A differenza dei pulper a bassa consistenza, dove l'azione idrodinamica può frammentare plastiche e materiali leggeri, il funzionamento ad alta consistenza consente di mantenere i contaminanti in forma più integra (film plastici, stracci, corde, ecc.), migliorando l'efficienza complessiva della linea di pulizia.

Scarico e invio al pulper screen

Una volta completato il tempo di spappolamento, l'impasto viene diluito e scaricato lateralmente per gravità, tramite una tubazione dotata di valvola di intercettazione, direttamente verso un pulper screen.

Funzionamento del pulper screen

Nel caso di macero con contaminanti, il pulper screen assume un ruolo centrale nella separazione tra frazione buona e scarti.

Il rotore del pulper screen ha una funzione principalmente idraulica e di movimentazione:

- mantiene l'impasto in sospensione,
- favorisce il passaggio dell'accettato attraverso la piastra forata,
- mantiene pulita la superficie della piastra.

È importante sottolineare che il rotore è progettato per avere un'azione **delicata** (“docile”) sui **contaminanti**, evitando ulteriori rotture o sminuzzamenti. Questo permette di:

- mantenere i contaminanti di dimensioni maggiori,
- facilitarne la rimozione nelle fasi successive.

L'accettato attraversa la piastra forata e prosegue nel processo, mentre i contaminanti si accumulano all'interno della macchina.

Gli scarti accumulati vengono quindi scaricati dal fondo del pulper screen e inviati:

- a un **trommel** per una ulteriore separazione e lavaggio,
- oppure direttamente a una pressa scarti per la disidratazione e lo smaltimento.

Vantaggi della configurazione

- migliore conservazione dell'integrità dei contaminanti (minore frammentazione)
- maggiore efficienza nelle fasi successive di separazione (screening, cleaning)
- riduzione della formazione di micro-contaminanti difficili da rimuovere
- buona qualità della fibra grazie all'azione di spappolamento per attrito
- elevata robustezza del sistema in presenza di materiali difficili

Svantaggi e criticità operative

- **tempi di scarico elevati**: lo scarico per gravità e la separazione nel pulper screen richiedono tempi più lunghi rispetto a sistemi con piastra forata integrata
- **dimensionamento importante del pulper screen**: per gestire adeguatamente portate e contaminanti, è necessario installare macchine di grandi dimensioni
- **maggiore ingombro impiantistico complessivo**
- **possibile accumulo di contaminanti** se non correttamente gestiti i cicli di scarico
- **controllo più complesso del processo batch**, in quanto la fase di svuotamento diventa critica per la produttività

Approfondimento tecnico

Questa configurazione è spesso utilizzata in linee dove si vuole massimizzare la qualità della separazione iniziale, ad esempio nel trattamento di maceri di buona qualità ma con presenza di contaminanti leggeri (film plastici, etichette, nastri adesivi).

Il concetto chiave è quello di “**separare senza distruggere**”:

- il pulper ad alta consistenza separa la fibra dal contaminante,
- il pulper screen separa fisicamente le due frazioni,
- le fasi successive (trommel, detrashing, pressa) completano la gestione dello scarto.

Rispetto a un sistema con piastra forata integrata nel pulper, questa soluzione è meno compatta ma offre una maggiore efficienza nella gestione dei contaminanti complessi e una migliore qualità finale dell'impasto.

5.6. CASO SPECIFICO – APPLICAZIONE DEL PULPER AD ALTA CONSISTENZA PER MACERO SELEZIONATO CON CONTAMINANTI E PIASTRA FORATA



Una delle applicazioni più diffuse e rappresentative del pulper ad alta consistenza riguarda il trattamento di macero selezionato contenente contaminanti, in particolare materiali poliaccoppiati come il Tetrapak.

In questo caso, il sistema è basato su un pulper ad alta consistenza di volume pari a circa **30 m³**, equipaggiato con una girante specifica di tipo “Tetrapak”. Questa geometria è progettata per sfruttare il principio dello **sfregamento controllato**, che consente di separare efficacemente la fibra di cellulosa dal contenitore poliaccoppiato senza frammentare gli strati plastici e di alluminio. In questo modo si riduce significativamente l’introduzione di impurità fini nel circuito, migliorando l’efficienza complessiva delle fasi di pulizia successive.

Al di sotto della girante è installata una **piastra forata con fori di diametro Ø12 mm**, dimensionata per consentire il passaggio della fibra adeguatamente disgregata, trattenendo al contempo le frazioni più grossolane e i contaminanti.

La macchina è equipaggiata con una potenza installata di circa **700 kW (motore 4 poli)** e opera in modalità **batch**. La preparazione della ricetta avviene direttamente sul nastro caricatore, che alimenta il pulper con la miscela desiderata di materie prime.

Durante la fase di spappolamento, la consistenza dell’impasto si mantiene generalmente tra il **14% e il 16%**, mentre il tempo di lavorazione varia tra **20 e 30 minuti**, con un valore medio tipico di circa **25 minuti**, in funzione della tipologia di macero trattato.

Fase di scarico del pulper

Al termine del ciclo di spappolamento, si avvia la fase di scarico. In questa fase viene introdotta acqua sia:

- al di sopra della girante,
- al di sotto della piastra forata,

con l'obiettivo di diluire progressivamente l'impasto fino a una consistenza di scarico pari a circa **4-5%**, idonea al pompaggio.

Durante questa fase:

- la **pompa di scarico** aspira l'accettato attraverso la piastra forata,
- la **girante continua a ruotare**, mantenendo pulita la superficie della piastra e favorendo il passaggio della sospensione.

Nella fase finale dello scarico viene aggiunta ulteriore acqua per effettuare un **lavaggio degli scarti** presenti nella vasca, massimizzando il recupero della fibra utile.

Gestione degli scarti: trommel e pressa

Una volta completato lo scarico dell'accettato, i contaminanti residui rimasti all'interno del pulper vengono evacuati attraverso una **bocca laterale posta sul fondo** e inviati a un **trommel**.

Il trommel è costituito da un cilindro rotante forato (tipicamente con fori da **Ø15 mm**) e svolge una funzione di:

- separazione,
- lavaggio degli scarti.

Grazie all'azione combinata della rotazione e di spruzzatori d'acqua, viene recuperata ulteriore fibra ancora aderente ai contaminanti. L'accettato passa attraverso i fori del tamburo, mentre lo scarto residuo prosegue verso una **pressa scarti**, dove viene compattato e disidratato prima dello smaltimento.

Linea di accettato e pulizia

L'accettato proveniente dal pulper viene raccolto in una **tina di scarico pulper**, dalla quale viene rilanciato tramite pompa verso un **depuratore ad alta consistenza (HDC)** operante intorno al **4% di consistenza**.

Il depuratore sfrutta l'effetto centrifugo per separare i contaminanti pesanti (metalli, sabbie, vetro) dalla sospensione fibrosa.

All'aspirazione della pompa di alimentazione dell'HDC viene aggiunta acqua di diluizione tramite una **valvola modulante**, controllata da un trasmettitore di consistenza installato a valle, in modo da garantire condizioni operative stabili.

A valle del depuratore, l'impasto viene inviato a un **pulper screen** dotato di piastra forata con fori di circa **Ø4 mm**. In questa configurazione specifica, il pulper screen è posizionato in questa fase del processo per ottenere una pulizia più spinta dell'impasto.

Considerazioni tecniche: vantaggi e svantaggi

Vantaggi:

- Elevata efficienza nello spappolamento di materiali poliaccoppiati
- Ridotta frammentazione dei contaminanti → migliore separabilità
- Buon compromesso tra qualità dell'impasto e resa del processo

- Elevata qualità finale della pasta, adatta a produzioni più nobili (es. *shop bags*, carte per sacchetti alimentari)
- Recupero efficace della fibra tramite trommel e lavaggio scarti
- Consumi energetici complessivi più ridotti (ben distribuiti lungo la linea)

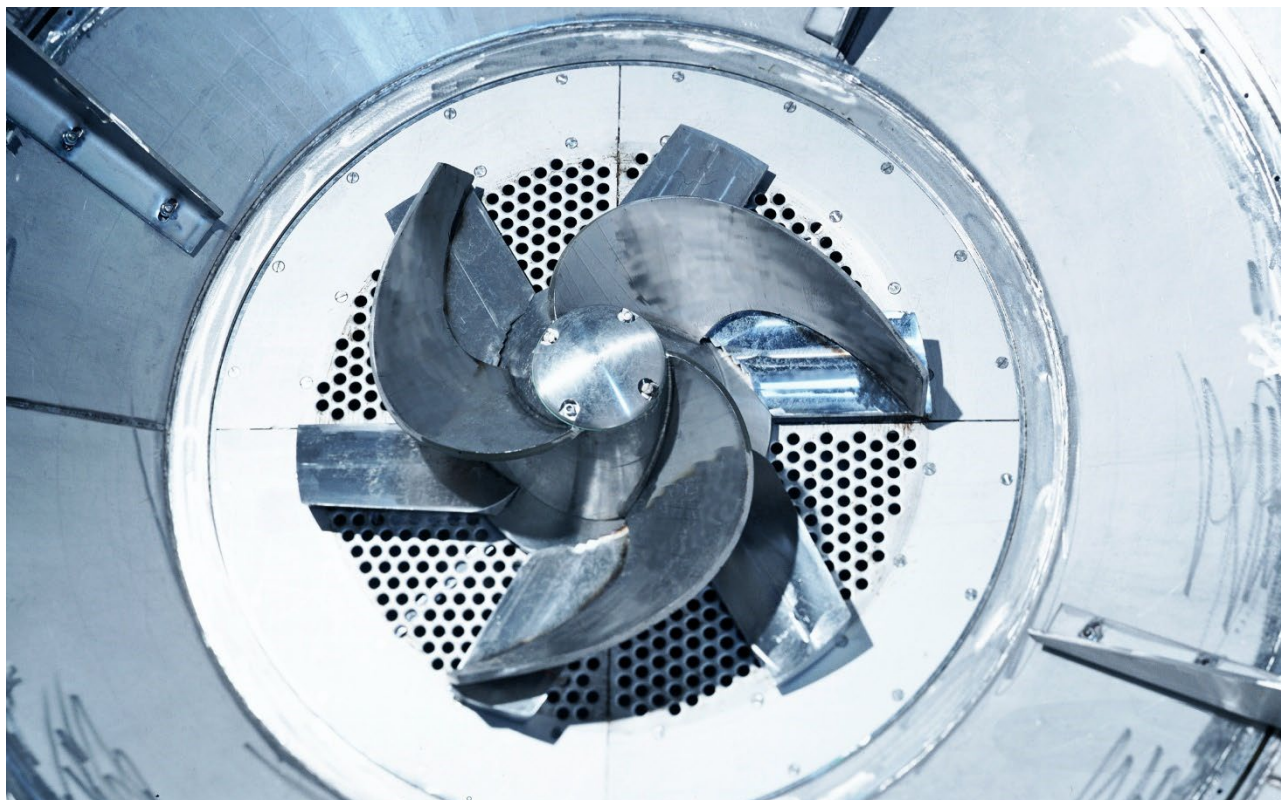
Svantaggi:

- Perdita di fibra associata allo scarico dei contaminanti (soprattutto nelle fasi di screening e trommel)
- Maggiore complessità impiantistica rispetto a soluzioni più semplici
- Necessità di un controllo accurato della diluizione e della consistenza

Considerazione finale

Questa configurazione rappresenta un **ottimo compromesso tra efficienza, qualità e consumo energetico**, soprattutto quando si trattano maceri selezionati ma contenenti contaminanti complessi come i poliaccoppiati. L'integrazione tra pulper ad alta consistenza con piastra forata, trommel, depurazione e pulper screen consente di ottenere un impasto pulito e adatto a produzioni di qualità medio-alta, mantenendo al contempo un buon livello di recupero della fibra.

6. PULPER A MEDIA CONSISTENZA



Il pulper a media consistenza rappresenta una soluzione intermedia tra i pulper a bassa densità (BD) e quelli ad alta consistenza (HC). Questa configurazione è stata sviluppata con l'obiettivo di migliorare l'efficienza energetica e la produttività, mantenendo al tempo stesso una buona qualità della fibra e una macchina relativamente semplice dal punto di vista costruttivo.

Il principio di funzionamento è simile a quello dei pulper a bassa densità, quindi basato su un'azione prevalentemente idrodinamica, ma con una consistenza più elevata che introduce anche una maggiore interazione tra fibre. Questo permette di trasferire in modo più efficace l'energia al materiale fibroso.

Il pulper a media consistenza viene utilizzato principalmente per la preparazione di impasti puliti, in particolare cellulosa vergine e broke, ed è molto diffuso nelle linee di produzione tissue. È una scelta interessante per impianti flessibili, per produzioni speciali o dove il furnish cambia spesso

6.1. CAMPO DI CONSISTENZA E MODALITÀ DI LAVORO

Il pulper MC lavora tipicamente in un intervallo di consistenza compreso tra **6% e 8%**, con possibili estensioni fino a circa **9%** in funzione della configurazione e della materia prima.

A questi valori l'impasto si presenta come una massa semifluida: non completamente diluita come nei BD, ma neanche compatta come negli HC. La quantità di acqua libera è ridotta e questo permette una migliore trasmissione dell'energia al materiale fibroso.

Il funzionamento è generalmente **batch**, in quanto la consistenza non consente una gestione semplice in continuo come nei pulper a bassa densità. La modalità batch è comunque perfettamente adatta alle applicazioni tipiche, dove si lavora con ricette e cicli ben definiti.

6.2. CONFIGURAZIONE COSTRUTTIVA

Dal punto di vista costruttivo, il pulper a media consistenza è molto simile a un pulper a bassa densità. È composto da:

- **vasca cilindrica verticale**
- **fondo conico o biconico**, per favorire la circolazione dell'impasto
- **rotore installato sul fondo**
- **piastra forata (screen plate)** per l'estrazione dell'accettato

La geometria della vasca è studiata per garantire una buona circolazione interna, evitare zone morte e distribuire in modo uniforme l'energia. Normalmente ha sempre un bocchello di scarico laterale per emergenza.

Rispetto ai BD, la macchina risulta generalmente più compatta, grazie alla maggiore consistenza di lavoro.

6.3. ROTORE E PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Il rotore rappresenta una soluzione intermedia tra BD e HC.

È caratterizzato da:

- maggiore sviluppo in altezza rispetto ai rotori BD
- alette progettate per lavorare con impasti più densi
- buona capacità di generare sia circolazione che spinta verso la piastra

Durante il funzionamento:

- il rotore mette in movimento l'impasto creando un moto circolatorio
- spinge il materiale verso la piastra forata
- genera una depressione che aiuta a mantenere puliti i fori

Lo spappolamento avviene quindi tramite:

- **azione idrodinamica**
- **interazione fibra-fibra**, favorita dalla maggiore consistenza

Questo consente una disgregazione efficace senza essere troppo aggressivi sulla fibra.

6.4. SEQUENZA OPERATIVA

Il funzionamento avviene normalmente in batch e può essere riassunto nelle seguenti fasi:

1. carico della materia prima (cellulosa o broke)
2. aggiunta dell'acqua fino alla consistenza desiderata
3. fase di spappolamento tramite rotore
4. passaggio dell'accettato attraverso la piastra forata
5. scarico dell'impasto verso le fasi successive

Rispetto ai pulper a bassa densità:

- si utilizza meno acqua
- la diluizione finale è più contenuta

Questo comporta una riduzione dei volumi da gestire nelle fasi successive.

6.5. MATERIE PRIME E APPLICAZIONI

Il pulper a media consistenza è adatto principalmente a:

- **cellulosa vergine**
- **paste di mercato**
- **broke pulito di produzione**
- **impianti multi-furnish**
- **fibre speciali / non-wood**
- **cartiere che privilegiano flessibilità e batch control**

Può lavorare solo con materiali **puliti o poco contaminati**.

Non è invece indicato per:

- macero con elevata presenza di contaminanti
- materiali poliaccoppiati
- applicazioni dove è richiesta una forte azione meccanica

Per queste situazioni risultano più adatti i pulper BD (per gestione contaminanti) o HC (per materiali difficili).

L'applicazione tipica è la **produzione di carta tissue**, dove si richiede alta qualità dell'impasto e buona efficienza energetica.

6.6. VANTAGGI

Il pulper a media consistenza presenta diversi vantaggi operativi.

Innanzitutto permette una **maggiore produzione a parità di volume**, grazie alla consistenza più elevata. Questo si traduce anche in una **riduzione degli ingombri**, con vasche più compatte rispetto ai pulper BD.

Dal punto di vista energetico, si ha una **migliore efficienza rispetto ai BD**, in quanto si movimentano meno acqua e una maggiore parte dell'energia viene trasferita direttamente alla fibra.

Un aspetto importante è la **migliore qualità della fibra rispetto ai pulper a bassa densità**. L'azione di spappolamento è infatti meno aggressiva dal punto di vista idrodinamico, grazie alla minore quantità di acqua libera, con una conseguente riduzione del rischio di taglio o danneggiamento delle fibre.

Si ha inoltre una **riduzione del consumo di acqua**, sia durante il processo sia nella fase di diluizione finale.

Infine, rispetto ai pulper ad alta consistenza, la macchina risulta più semplice:

- rotore meno complesso
- potenze installate inferiori
- minori sollecitazioni meccaniche

Questo comporta una **manutenzione più semplice e costi di esercizio ridotti**.

6.7. LIMITI E SVANTAGGI

Il principale limite del pulper MC è la **scarsa capacità di gestione dei contaminanti**. La presenza della piastra forata e l'assenza di sistemi di detrashing dedicati lo rendono inadatto al trattamento di macero sporco.

Inoltre, rispetto ai pulper ad alta consistenza, ha una **minore efficacia su materiali difficili**, dove è richiesta un'azione di sfregamento più intensa.

Infine, il funzionamento batch può risultare meno flessibile rispetto ai sistemi continui in alcune applicazioni industriali. Per questo motivo si usa solo su materie prime pulite o cellulose.

6.8. CONSIDERAZIONI FINALI

Il pulper a media consistenza rappresenta una soluzione molto efficace per la preparazione di impasti puliti, in particolare nella produzione di carta tissue.

Si può considerare come un buon compromesso tra BD e HC:

- più efficiente e compatto del BD
- più semplice e meno energivoro dell'HC

È quindi la scelta ideale quando si vogliono ridurre consumi energetici e idrici, aumentare la produttività e mantenere una buona qualità della fibra, a condizione di lavorare con materie prime pulite e controllate.

7. DRUM PULPER



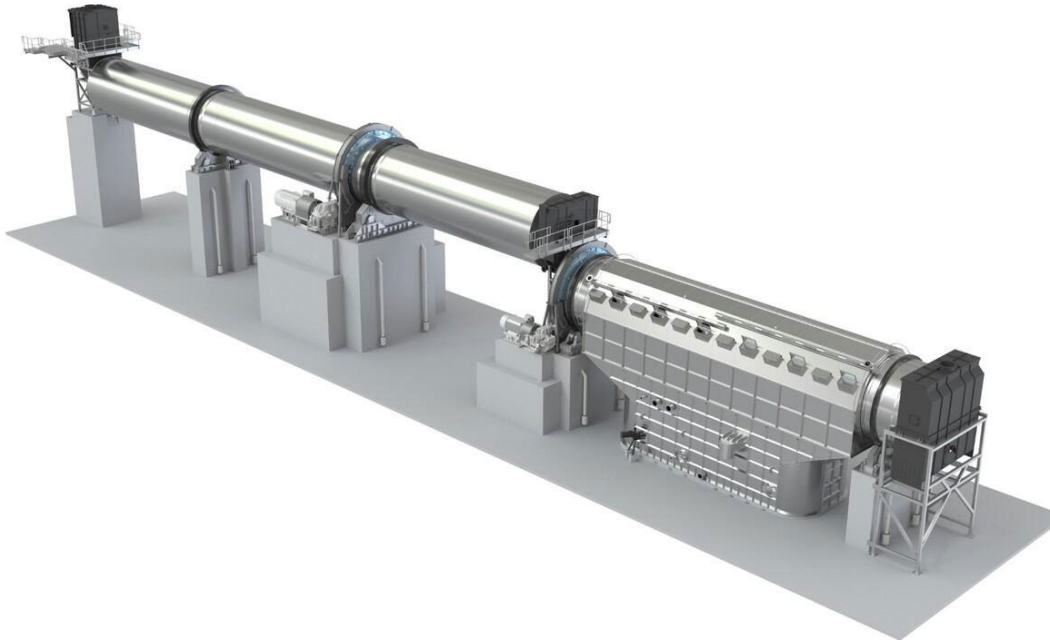
7.1. INTRODUZIONE

Il **drum pulper** rappresenta una tecnologia avanzata per lo spappolamento della carta da macero, progettata per operare in **continuo** e in condizioni di **consistenza relativamente elevata**. Questa macchina si distingue per il fatto di combinare due caratteristiche normalmente separate nei sistemi tradizionali: da un lato la continuità operativa tipica dei pulper a bassa densità, dall'altro una modalità di spappolamento più delicata, assimilabile a quella dei pulper ad alta consistenza.

I principali OEM, come ANDRITZ, Voith, Valmet e Kadant, descrivono il drum pulper come una soluzione particolarmente adatta al trattamento di maceri contaminati, in grado di garantire una buona qualità della fibra e una gestione efficiente delle impurità.

Questa tecnologia trova applicazione soprattutto in linee di riciclo ad alta capacità, in particolare per **OCC e macero urbano**, dove è fondamentale trattare grandi quantità di materiale mantenendo una buona resa e limitando la frammentazione dei contaminanti.

7.2. CONFIGURAZIONE COSTRUTTIVA E INQUADRAMENTO TECNOLOGICO



Il drum pulper è costituito da un **grande tamburo cilindrico rotante**, installato generalmente in posizione orizzontale o con una leggera inclinazione. Il materiale viene alimentato a un'estremità e avanza progressivamente lungo il tamburo fino alla zona di scarico.

Dal punto di vista costruttivo, la macchina si differenzia completamente dai pulper tradizionali a vasca, in quanto non utilizza un rotore immerso ma sfrutta il **movimento del materiale all'interno del tamburo** per generare lo spappolamento.

Gli OEM come ANDRITZ e Voith descrivono il drum come una macchina suddivisa in più zone funzionali, generalmente una **zona di pulping** e una **zona di screening**, integrate in un'unica unità. In alcune configurazioni avanzate, come nel caso dell'IntensaDrum Duo di Voith, queste funzioni possono essere separate in due tamburi distinti per aumentare la capacità e migliorare la gestione meccanica.

Dal punto di vista dimensionale, si tratta di una macchina di grandi dimensioni, con lunghezze che possono superare i **40–50 metri** e diametri fino a circa **4–5 metri**, rendendola una delle apparecchiature più imponenti della linea di preparazione impasti

7.3. MODALITÀ DI LAVORO

Il drum pulper opera esclusivamente in **modalità continua**, senza cicli batch. Il macero viene alimentato in modo costante e percorre il tamburo durante la rotazione, subendo progressivamente le fasi di impregnazione, spappolamento e separazione.

Questa modalità di lavoro garantisce una **elevata stabilità del processo**, con flussi regolari e capacità produttive molto elevate. Tuttavia, comporta anche una minore flessibilità rispetto ai sistemi batch, in quanto il **tempo di permanenza del materiale** non può essere regolato direttamente ma dipende dalla geometria della macchina e dalle condizioni operative.

Questo aspetto è particolarmente importante perché implica che materiali più difficili da spappolare potrebbero non essere completamente disgregati entro il tempo disponibile, con possibili perdite negli scarti.

7.4. CONSISTENZE OPERATIVE

Uno degli aspetti distintivi del drum pulper è il funzionamento a **consistenze elevate rispetto ai pulper continui tradizionali**, generalmente comprese tra circa **14% e 20%** nella zona di pulping.

Questa condizione operativa permette di sviluppare lo spappolamento principalmente tramite **attrito tra fibre e movimento della massa**, piuttosto che attraverso azioni idrauliche intense.

Come evidenziato da Voith, nella fase successiva viene introdotta acqua di diluizione per ridurre la consistenza e rendere più efficiente la fase di screening. Questo significa che il processo non è uniforme lungo tutto il tamburo, ma prevede una prima fase ad alta consistenza e una seconda fase più diluita per favorire la separazione.

7.5. PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Il principio di funzionamento del drum pulper si basa sul **sollevamento e sulla caduta del materiale all'interno del tamburo**.

All'interno della macchina sono presenti delle **alette (lifting bars)** che sollevano l'impasto durante la rotazione. Una volta raggiunta una certa altezza, il materiale ricade per gravità, generando un'azione meccanica ripetuta che provoca la separazione delle fibre.

Questo meccanismo, descritto chiaramente da Voith e ANDRITZ, consente uno spappolamento **molto più dolce rispetto ai sistemi con rotore**, in quanto non si generano elevate forze di taglio.

Il risultato è:

- minore danneggiamento della fibra
- minore frammentazione dei contaminanti
- migliore separazione nelle fasi successive

7.6. SEZIONI FUNZIONALI

Il drum pulper può essere suddiviso in diverse zone operative, ciascuna con una funzione specifica.

La **zona di alimentazione** è la prima parte della macchina, dove il macero entra nel tamburo e inizia la fase di impregnazione. È fondamentale che l'alimentazione sia il più possibile regolare per garantire un funzionamento stabile.

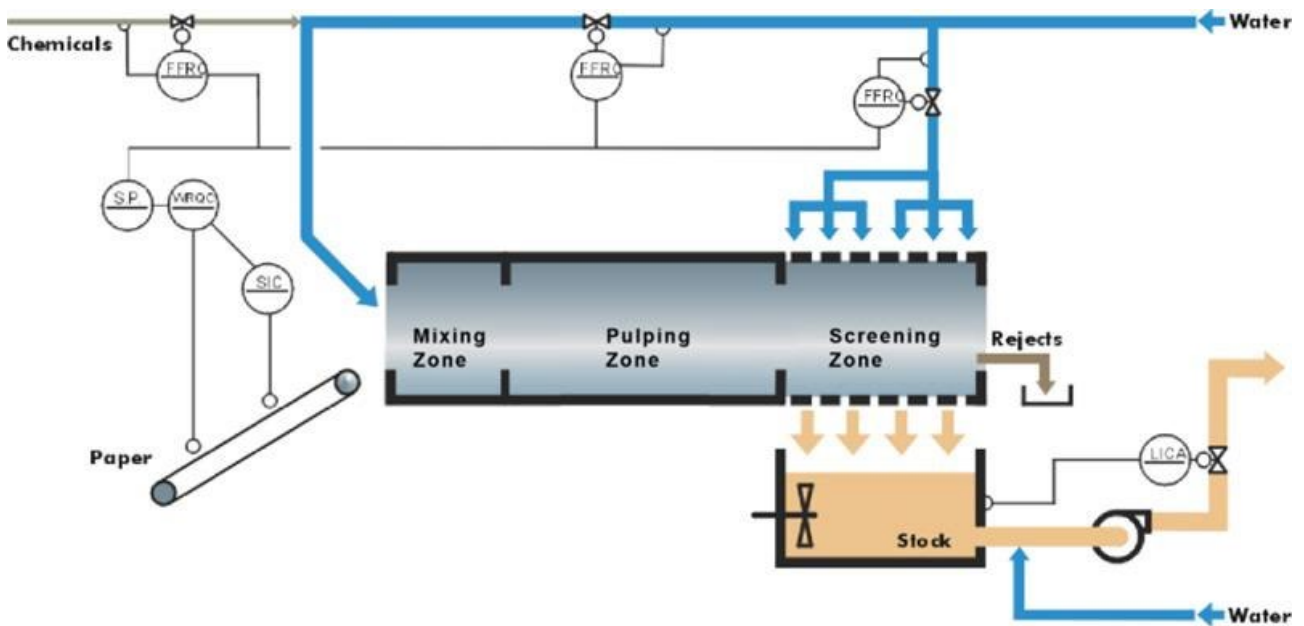
Segue la **zona di pulping**, dove avviene la disgregazione vera e propria del materiale. In questa fase il macero viene sollevato e fatto ricadere ripetutamente, favorendo la separazione delle fibre.

Successivamente si trova la **zona di diluizione**, dove viene aggiunta acqua per ridurre la consistenza e preparare l'impasto alla fase di screening.

Nella **zona di screening**, le fibre già liberate passano attraverso superfici forate, mentre i contaminanti grossolani continuano ad avanzare lungo il tamburo.

Infine, nella **zona di scarico**, i contaminanti vengono espulsi e inviati al sistema di trattamento degli scarti.

7.7. SEQUENZA DI PROCESSO



Il funzionamento del drum pulper segue una sequenza continua ben definita.

Il macero viene alimentato nel tamburo e si impregna progressivamente di acqua. Durante la rotazione, il materiale viene sollevato e lasciato cadere, iniziando il processo di spappolamento.

Le fibre si separano gradualmente e, una volta sufficientemente libere, passano attraverso la zona di screening, dove vengono raccolte come accettato.

I contaminanti, invece, non essendo completamente disgregati, avanzano verso la parte finale del tamburo e vengono scaricati.

Questo processo consente di combinare in un'unica macchina sia lo spappolamento sia una prima separazione grossolana, riducendo il carico sulle fasi successive della linea.

7.8. MATERIE PRIME TRATTABILI

Il drum pulper è particolarmente adatto al trattamento di **maceri riciclati con alto contenuto di contaminanti**.

Gli OEM come ANDRITZ e Valmet indicano come principali applicazioni:

- OCC (cartone ondulato)
- macero urbano misto
- carta da ufficio mista
- giornali e riviste
- materiali poliaccoppiati

Questa macchina è quindi ideale quando è necessario gestire materiali difficili, con presenza di plastica, stickies, fili e altri contaminanti.

Risulta invece meno indicata per:

- linee che richiedono elevata flessibilità
- materiali molto resistenti allo spappolamento
- Maceri che presentano grande varietà di materia prima.

7.9. VANTAGGI

Il principale vantaggio del drum pulper è la possibilità di lavorare in **continuo ad alta consistenza**, combinando produttività elevata e qualità della fibra.

Un altro aspetto molto importante è la **delicatezza dello spappolamento**, che riduce il danneggiamento delle fibre e migliora la qualità dell'impasto.

La macchina offre inoltre una **buona gestione dei contaminanti**, che non vengono frammentati e risultano più facili da separare.

Come evidenziato da Voith, questo porta anche a una **riduzione della fibra negli scarti** e a una migliore qualità dell'accettato.

Infine, il drum pulper consente di gestire **grandi capacità produttive**, risultando particolarmente adatto a impianti industriali di grande scala.

7.10. SVANTAGGI

Il principale svantaggio del drum pulper è rappresentato dalle **dimensioni molto elevate**, che comportano ingombri importanti e richiedono layout dedicati.

Un altro aspetto critico è la presenza di **potenze installate elevate** e una struttura meccanica complessa, che può comportare costi di investimento e manutenzione significativi.

Dal punto di vista di processo, il limite più importante è la **scarsa flessibilità sul tempo di spappolamento**, che può penalizzare materiali difficili da disgregare.

In alcuni casi, il drum può risultare meno efficiente nello spappolamento fine rispetto a sistemi dotati di stadi secondari dedicati.

7.11. CONSIDERAZIONI FINALI

Il drum pulper rappresenta una soluzione tecnologica molto interessante per il trattamento del macero, soprattutto quando si opera con **grandi portate e materiali contaminati**.

Questa macchina consente di ottenere un buon compromesso tra continuità di esercizio, qualità della fibra e gestione delle impurità.

Risulta particolarmente indicata per linee OCC e macero urbano, dove la robustezza del processo è un fattore determinante.

Allo stesso tempo, non è una soluzione universale, in quanto presenta limiti legati a ingombro, flessibilità e controllo del processo.

In conclusione, il drum pulper può essere considerato una macchina altamente efficace quando inserita nel contesto giusto, cioè in impianti di grande capacità dove l'obiettivo principale è trattare grandi quantità di macero in modo stabile ed efficiente.

8. RIFERIMENTI TECNICI E OEM CONSULTATI

Per la stesura della presente relazione tecnica sui sistemi di pulping, e in particolare sui pulper a bassa, media e alta consistenza e sul drum pulper, sono state analizzate informazioni tecniche provenienti dai principali costruttori (OEM) del settore cartario, oltre a materiale didattico e documentazione tecnica di riferimento.

In particolare, sono stati consultati i seguenti OEM:

- **Voith Paper**
Azienda leader a livello mondiale nella fornitura di impianti completi per la preparazione impasti. Particolarmente rilevanti sono le soluzioni relative ai pulper ad alta consistenza, ai sistemi di detrashing (es. IntensaPulper e IntensaScreenDrum) e alle tecnologie integrate per il trattamento del macero contaminato.
- **Valmet**
Importante riferimento per le tecnologie di pulping sia in continuo che batch. Le soluzioni Valmet coprono tutte le gamme di consistenza, con particolare attenzione all'efficienza energetica, alla qualità della fibra e all'ottimizzazione del processo.
- **Andritz**
OEM di riferimento per sistemi di pulping avanzati, tra cui il drum pulper (FibreFlow Drum) e i sistemi di pompaggio e detrashing. Le loro soluzioni evidenziano l'integrazione tra spappolamento e separazione dei contaminanti già nelle prime fasi del processo.
- **Kadant**
Specializzata in componenti e sistemi per la preparazione impasti, con particolare focus su pulper, sistemi di detrashing e tecnologie per il trattamento di materiali difficili e contaminati.
- **Toscotec**
Azienda italiana attiva nello sviluppo di soluzioni per il tissue e la preparazione impasti, con approcci orientati all'efficienza impiantistica e alla semplicità operativa.
- **A.Celli Paper**
Coinvolta nello sviluppo di linee per il tissue e nella gestione del broke, con contributi utili per la comprensione dei sistemi di pulping integrati nelle linee di produzione.

Oltre ai costruttori sopra citati, sono state considerate anche informazioni provenienti da altri fornitori e integratori di impianti, nonché appunti tecnici derivanti dal corso di formazione e dall'esperienza diretta in ambito cartario.

L'analisi incrociata delle diverse soluzioni OEM ha permesso di evidenziare come, pur esistendo differenze costruttive e di design, i principi fondamentali del pulping rimangano comuni, mentre le reali differenze si concentrano su:

- geometria dei rotori
- gestione dei contaminanti
- integrazione dei sistemi di separazione
- efficienza energetica
- qualità finale della fibra

9. RINGRAZIAMENTI

Desidero esprimere un sincero ringraziamento a tutte le persone e alle realtà che hanno contribuito in modo significativo alla mia formazione tecnica e professionale durante il percorso di studio.

Un ringraziamento particolare va al Professore **Zaninelli Paolo** per il corso di formazione di tecnico per la gestione di impianti cartari, svolto presso l'Istituto San Zeno di Verona. Il corso ha rappresentato una base fondamentale per la comprensione dei processi cartari e delle tecnologie impiantistiche.

Si ringraziano inoltre tutti i relatori intervenuti durante i sei mesi di formazione, che con le loro competenze ed esperienze hanno contribuito in modo concreto alla crescita tecnica e personale.

Un ringraziamento speciale va alla cartiera **PM3 di Carmignano del Brenta**, che mi ha dato la possibilità di svolgere lo stage all'interno dello stabilimento. Questa esperienza mi ha permesso di vedere da vicino macchinari di ultima generazione e di approfondire in modo pratico i concetti studiati.

In particolare, desidero ringraziare:

- **Ing. Salvatore Vettese**
- **Ing. Pirolo Emanuele**
- **Ing. Tippelmann Volker**, che mi ha spiegato in modo estremamente chiaro e approfondito numerosi concetti fondamentali.
- **Gino Bartolomei**, per la spiegazione completa e dettagliata dell'intero circuito acque.

A tutti loro va il mio più sentito ringraziamento per la disponibilità, la professionalità e il contributo concreto alla mia formazione.