



## 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

# Seccheria e prove per la riduzione dello spolvero

*di Zaninelli Nicola*



Scuola Interregionale  
di tecnologia per tecnici Cartari

Istituto Salesiano «San Zeno» - Via Don Minzoni, 50 - 37138 Verona  
[fcs.istitutosalesianosanzeno.it](http://fcs.istitutosalesianosanzeno.it) - [scuolacartaria@sanzeno.org](mailto:scuolacartaria@sanzeno.org)



# INDICE

## **1- STORIA DI CONDINO MILL**

1.1 Panoramica dello stabilimento

## **2- INTRODUZIONE**

2.1 Ruolo della seccheria

2.2 Gestione Termica

## **3- CAPPА TERMICA SULLA PRE-SECCHERIA**

3.1 Efficienza Energetica

## **4- SISTEMA DI TRATTAMENTO CHIMICO DEI CILINDRI ESSICCATORI PCA**

4.1 Analisi tecnica dei vantaggi

## **5- TELE DI SECCHERIA IN RYTON VS. CLASSICHE: DIFFERENZE E VANTAGGI**

5.1 Analisi delle differenze:

## **6- CILINDRI DI SECCHERIA**

6.1 Rivestimenti Superficiali

## **7- GESTIONE DEL VAPORE E CICLO DELLE CONDENSE NELLA MACCHINA CONTINUA**

7.1 Principi Termodinamici e Scambio Termico

7.2 Stati del Vapore: Saturo e Surriscaldato

7.3 La Generazione: Il Processo di Cogenerazione

7.4 Il Sistema di Distribuzione "a Cascata"

7.5 Interno del Cilindro: Sifoni e Rimozione Condensa

7.6 Recupero Finale e Ritorno in Centrale

## **8- SPOLVERO IN SECCHERIA**

8.1 Analisi delle Cause Principali

8.2 Analisi, Monitoraggio e prove in Pre-Seccheria

8.3 Prove sulla Macchina Continua

## **9- CONCLUSIONI**

9.1 Proposte d'intervento

## **10- BIBLIOGRAFIA**

# 1. STORIA DI CONDINO MILL

Condino Mill nasce a Condino (Borgo Chiese) in Valle del Chiese in Provincia di Trento; un'area che, tra fine ottocento e inizio novecento, vede i primi processi di industrializzazione. Lo stabilimento è stato fondato nel maggio 1964 con il nome di Cartiere Trentine. La produzione effettiva iniziò nel novembre dell'anno successivo. Per la zona fu una rivoluzione industriale, portando lavoro stabile in una valle prevalentemente agricola.

Nel 1985, la gestione passò alla Cartiera di Carmignano (Padovana)

Successivamente, lo stabilimento entrò a far parte del colosso svizzero Cham Paper Group. Sotto la guida svizzera, la cartiera si è specializzata in carte speciali ad alta tecnologia: carte per etichette autoadesive, imballaggi flessibili per il settore alimentare e farmaceutico, e carte per il settore del tabacco.

Nel 2018, la Cham Paper Group ha venduto il suo intero settore cartario alla multinazionale sudafricana Sappi, uno dei leader mondiali del settore. Da quel momento, lo stabilimento è diventato ufficialmente Sappi Condino Mill. Oggi lo stabilimento impiega circa 130 dipendenti e produce circa 60.000 tonnellate di carta all'anno.

La nostra cartiera è famosa per la produzione di Glassine (carta lucida e trasparente che serve da supporto per le etichette).

Le grammature di carta prodotte sono vaste, comprese tra 29 g/m<sup>2</sup> fino a 200 g/m<sup>2</sup>.

È considerata un modello di efficienza energetica, grazie alla centrale di cogenerazione che copre il proprio fabbisogno di corrente e riesce a immettere il surplus.

## 1.1 PANORAMICA DELLO STABILIMENTO

Lo stabilimento si sviluppa orizzontalmente per seguire il flusso lineare della produzione cartaria. Possiamo dividerlo in cinque aree principali:

### 1. Area Ricevimento e Preparazione Impasto

- **Magazzino Materie Prime:** dove vengono stoccate le balle di cellulosa (a fibra lunga e corta) provenienti dai fornitori certificati.
- **Pulper:** grandi vasche dove la cellulosa viene miscelata con acqua per essere spappolata e idratata.
- **Raffinazione:** raffinatori conici che aprono le fibre per dare alla carta le caratteristiche fisiche e meccaniche necessarie per le carte Glassine ad alta raffinazione.

## 2. La Macchina Continua (PM25)

A Condino l'attività ruota attorno alla Macchina Continua. Anche se datata, negli anni è stata ammodernata ed efficiente per stare al passo con i tempi e alle richieste dei clienti che negli anni sono cambiate.

Ora una descrizione rapida della PM25:

- Cassa d'afflusso idraulica con tavola piana e ballerino per la formazione del foglio.
- Sezione presse: troviamo una pressa Pick-up, un Kuster e una Pressa a scarpa.
- Seccheria: formata da Pre-Seccheria e Seccheria per un totale di 6 batterie.
- Speed Sizer: qui applichiamo trattamenti superficiali con alcol polivinilico e CMC, successivamente si trovano dei Krieger e un forno ad aria per asciugare la patina per poi entrare nella seccheria.

## 3. Reparto Allestimento

Questa è l'area che rende unico Condino Mill:

- Umettatrice: serve per umidificare la carta con una quantità di acqua nota, trattamento necessario per il passaggio successivo, la calandratura.
- Super calandra: per produrre la Glassine, la carta passa attraverso questo macchinario che, tramite pressione, calore e sfregamento, lucida la superficie rendendo la carta semi trasparente, liscia e diminuisce la porosità.
- Bobinatrici: dove le grandi bobine prodotte dalla macchina (bobine madri) vengono tagliate nei formati richiesti dai clienti.
- Imballatrici: è appena stato installato un nuovo imballo automatico che andrà a sostituire quello semi-manuale ormai obsoleto.

## 5. Servizi Ausiliari e Logistica

- Laboratorio: è presente un laboratorio interno per il controllo di qualità sulle carte prodotte e il controllo della carta in tutte le fasi di lavorazione. E' fondamentale anche per il controllo di materie prime in ingresso, per la gestione e controllo delle acque di scarico.
- Trattamento acque: impianto ITA, fondamentale per la purificazione delle acque, processo obbligatorio per poter scaricare nel fiume Chiese, garantendo il rispetto dei parametri ambientali Provinciali.
- Centrale di cogenerazione: è composta da una turbina a gas per la produzione del vapore (necessario per lo stabilimento) e dell'energia elettrica. Lo stabilimento ha anche un sistema di teleriscaldamento, che fornisce agli edifici pubblici del Comune (compresa la piscina comunale) acqua calda per il riscaldamento.



## 2. INTRODUZIONE

L'industria cartaria rappresenta oggi una delle filiere produttive a maggiore intensità energetica. Questa peculiarità deriva dalla natura stessa del processo di fabbricazione che, per trasformare una sospensione fibrosa in un prodotto finito commerciabile, richiede un ingente utilizzo di energia elettrica e termica. Se l'alto grado di automazione e il regime a ciclo continuo giustificano i consumi elettrici, è la necessità di rimuovere l'acqua dal foglio tramite calore a determinare l'elevato consumo di gas naturale.

Il processo di formazione della carta può essere riassunto come una progressiva operazione di disidratazione e strutturazione delle fibre. L'impasto giunge alla cassa d'afflusso con una consistenza estremamente bassa, solitamente compresa tra lo 0,4% e l'1% (ovvero 4-10 grammi di fibra per ogni chilogrammo d'acqua). La rimozione di questa enorme massa liquida avviene attraverso tre stadi fondamentali e interconnessi:

1. Drenaggio (Tavola Piana): la prima rimozione avviene per gravità, pulsazioni e vuoto, portando il secco del foglio a circa il 20-30%.
2. Pressatura Meccanica (Presse Umide): il foglio viene sottoposto a compressione meccanica tra feltri, elevando il secco fino a valori compresi tra il 38% e il 50% (variabile a seconda dei carichi e della tipologia di impasto).
3. Evaporazione (Seccheria): è l'ultima e più critica fase, oggetto del presente elaborato.

### 2.1 IL RUOLO DELLA SECCHERIA

La seccheria è la sezione della macchina continua deputata all'asciugamento finale del foglio. Sebbene le fasi precedenti siano più efficienti in termini di costi, la rimozione dell'acqua residua non può più avvenire per via meccanica senza compromettere l'integrità del prodotto. In questa fase, il calore viene trasferito dai cilindri essiccatori (solitamente in ghisa e alimentati a vapore) al foglio per evaporazione, portando il secco finale a valori prossimi al 95%.

Sotto il profilo termodinamico, l'acqua contenuta nel foglio in ingresso si presenta sotto due forme:

- Acqua Libera: presente sotto forma di molecole interstiziali o goccioline superficiali, più semplice da rimuovere.
- Acqua Legata: chimicamente vincolata ai gruppi ossidrilici delle fibre di cellulosa, che richiede un apporto energetico specifico per essere estratta.

## **2.2 GESTIONE TERMICA**

Un aspetto critico della gestione della seccheria è la corretta impostazione della curva di essiccamento. Il foglio entra in contatto con i primi cilindri in una condizione di elevata umidità e bassa temperatura; uno shock termico eccessivo in questa fase causerebbe il fenomeno dello "spolvero" (adesione delle fibre alla superficie calda del cilindro), con conseguenti rischi di rotture e cali qualitativi. Per ovviare a ciò, la seccheria è suddivisa in "batterie" a riscaldamento graduale e progressivo.

Esiste una correlazione fondamentale tra le sezioni della macchina: un incremento di un solo punto percentuale di secco in uscita dalle presse può tradursi in un risparmio energetico considerevole o in un aumento della capacità produttiva fino al 5%. Inoltre, un foglio più secco all'ingresso della seccheria possiede una maggiore resistenza meccanica, migliorando sensibilmente l'efficienza della macchina.

L'obiettivo di questo elaborato è analizzare nel dettaglio il sistema di asciugatura, l'impianto vapore e le dinamiche di scambio termico che permettono di ottimizzare l'efficienza di questa, diminuire o risolvere il problema dello spolvero.

## 3. CAPPa TERMICA SULLA PRE-SECCHERIA

### 3.1. EFFICIENZA ENERGETICA:

Di seguito analizzeremo l'importanza di tenere chiusi i portoni della cappa termica in pre-seccheria, descrivendo cosa succede. Quando si tengono i portoni aperti, si rompe l'equilibrio termodinamico della cappa, con l'ingresso, quella che in gergo chiamiamo aria falsa (aria ambiente, fredda rispetto all'interno).

- **Spreco di Calore:** la cappa deve evacuare l'umidità evaporata dalla carta. Se i portoni sono aperti, l'estrattore tira all'interno aria ambiente. Quest'ultima deve essere riscaldata dai cilindri e dalle batterie riscaldanti della cappa (Sistemi soffianti pocket), fino alla temperatura d'esercizio (di solito tra gli 80°C e i 100 °C). Così si finisce per disperdere energia nel riscaldamento dell'aria in modo inutile, riducendo l'efficienza termica complessiva.
- **Punto di Rugiada:** una cappa chiusa permette di lavorare con un'umidità specifica dell'aria molto più alta. Quanto più l'aria è prossima alla saturazione (senza però arrivare alla condensazione e alla formazione del gocciolamento sulla carta), tanto minore è la quantità di aria che è necessario movimentare.

### **Perché non si vedono differenze sulla carta?**

Il motivo per cui non si vedono differenze su di essa, nell'immediatezza, è legato alla compensazione automatica del sistema:

- **Effetto Feedback:** se si aprono i portoni, l'evaporazione potrebbe persino aumentare momentaneamente, perché l'aria fresca è più secca. Il sensore di umidità a fine seccheria (QCS) legge che la carta è più secca e ordina alle valvole del vapore di chiudersi leggermente, però successivamente deve aprire il vapore per compensare e riscaldare la perdita termica, data dall'aria fresca che entra. La macchina si adatta, ma il costo specifico per kg di carta prodotta sale sensibilmente.

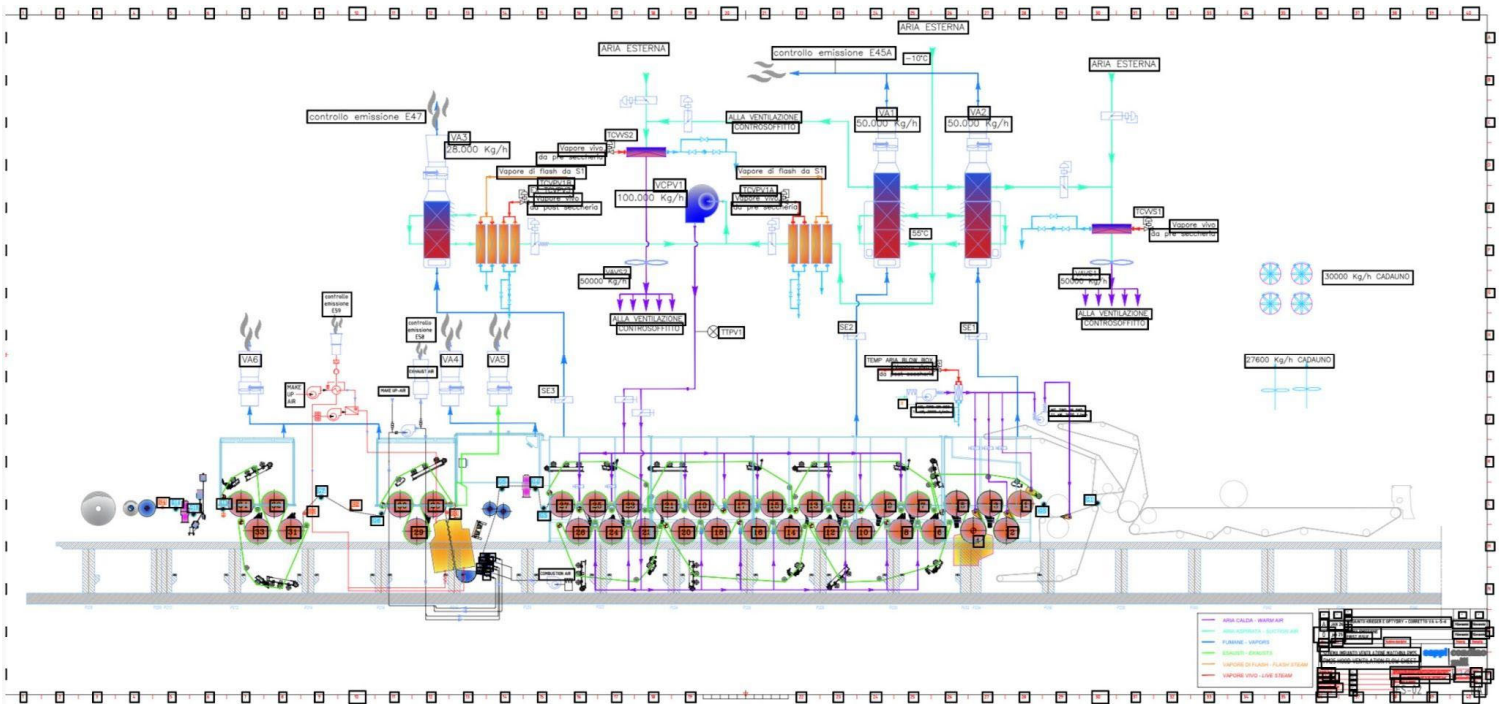
### **Gli effetti "invisibili" sulla carta (a lungo termine)**

Anche se non si vedono macchie o si provocano rotture, tenere i portoni aperti influisce sulla geometria del foglio:

- **Profilo di umidità trasversale (CD Profile):** con i portoni aperti, si creano delle correnti d'aria laterali. I bordi della carta tenderanno ad asciugarsi molto più velocemente del centro. Questo può causare problemi di "arricciamento" o di profilo di umidità che può creare problemi nelle lavorazioni successive.

- Stabilità del foglio: l'aria che entra dai portoni crea turbolenze. A velocità elevate e carte fini, queste turbolenze possono far sfarfallare il foglio nei tiri liberi (tra un cilindro e l'altro), aumentando il rischio di pieghe o micro-rotture.

Di seguito possiamo vedere lo schema della cappa termica di PM25 con l'impianto di aspirazione ed immissione d'aria e la schermata di controllo del sistema:



## **4. SISTEMA DI TRATTAMENTO CHIMICO DEI CILINDRI ESSICCATORI PCA**

A differenza delle tradizionali traverse oscillanti, che spruzzano acqua o prodotti chimici tramite ugelli, il PCA (Permanent Coating Application) è un sistema a contatto o a velo controllato (spesso basato su un applicatore a barra o feltro speciale) che distribuisce un film sottilissimo e uniforme di prodotto chimico (solitamente un release agent o un anti-sticking) su tutta la larghezza del cilindro.

Perché usarlo sulle nostre carte?

La Glassine è una carta con un alto grado di raffinazione e con presenza di fini. Se le fibre o le cariche superficiali spellano (picking) sui primi cilindri della seccheria, possono causare micro buchi sulla superficie, causando così una stesura del film di patinatura non omogeneo; inoltre le spellature possono anche causare l'inquinamento della patina con conseguente intasamento dei filtri e difetti (es.righe nell'applicazione).

### **4.1 ANALISI TECNICA DEI VANTAGGI**

#### **1. Gestione del gradiente termico (sui primi cilindri)**

- Il problema: normalmente, nei primi cilindri, devi tenere temperature basse per evitare che la carta umida si incolli (spellamento). Un altro problema è il cilindro dopo la Speed-Sizer che tende a sporcarsi di patina non ancora fissata sul supporto cartaceo.
- La soluzione PCA: creando una barriera chimica costante, il PCA riduce l'energia superficiale del cilindro. Questo ti permette di alzare la temperatura dei primi cilindri senza rischio di picking, accelerando l'evaporazione già all'inizio della seccheria. Oltretutto evita l'attaccamento della patina dopo la Speed-Sizer creando un film protettivo antiaderente.

#### **2. Addio all'effetto "Aerosol" e alle fasce**

- Ugelli: creano nebbie che possono condensare e cadere sulla carta creando difetti. In aggiunta, se un ugello si ottura parzialmente, si avrà una "fascia" di cilindro sporca e un profilo di umidità disomogeneo.
- PCA: l'applicazione è meccanica e totale. Non essendoci spruzzi in pressione, l'ambiente resta asciutto e pulito, e il film è perfettamente livellato su tutto il formato.

### 3. Semplicità Meccanica e Manutenzione

- Nessun azionamento elettrico: mentre una traversa tradizionale richiede un motore per l'oscillazione e sensori di fine corsa, il PCA è spesso un sistema statico o che sfrutta il moto del cilindro stesso.
- Dimensioni: essendo più compatto, si inserisce facilmente anche in seccherie affollate dove lo spazio tra i cilindri e le corde è minimo.

Tabella Comparativa Tecnica

Caratteristica	Sistema a Ugelli (Showers)	Sistema PCA Giuliani
Copertura	Intermittente (legata all'oscillazione)	Continua al 100%
Rischio Macchie	Alto (gocciolamento nebbie)	Nulla (niente aerosol)
Profilo Umidità	Possibili strisce (ugelli sporchi)	Omogeneo
Consumo Energetico	Richiede pompe e motori	Zero/Minimo
Manutenzione	Pulizia ugelli e guarnizioni motori	Sostituzione periodica elementi applicatori

## 5. TELE DI SECCHERIA IN RYTON VS. CLASSICHE: DIFFERENZE E VANTAGGI

La differenza principale tra le tele in Ryton (PPS - Polifenilensolfuro) e quelle classiche in plastica (generalmente Poliestere/PET) risiede nella capacità di resistere al degrado chimico-fisico in presenza di calore umido.

### 5.1 ANALISI DELLE DIFFERENZE

#### 1. Resistenza all'Idrolisi (Il fattore chiave)

È la differenza più critica in una cartiera che produce glassine o carte speciali ad alte prestazioni.

- Tele Classiche (Poliestere - PET): il poliestere soffre molto l'idrolisi. In presenza di vapore e alte temperature, la catena polimerica si "spezza", rendendo la tela fragile (il cosiddetto effetto "biscotto"). La vita utile cala drasticamente sopra i 100–110 °C in ambiente umido.
- Tele in Ryton (PPS): il PPS è quasi immune all'idrolisi. Può lavorare costantemente in presenza di vapore vivo senza perdere le proprietà meccaniche. Per chi produce carte che richiedono cicli di asciugatura spinti, è una scelta consigliata per evitare rotture improvvise.

#### 2. Resistenza Termica

- Tele Classiche: hanno un limite operativo di sicurezza che raramente supera i 130–140 °C. Oltre questa soglia, la tela perde stabilità dimensionale (si allunga o si restringe).
- Tele in Ryton: sopportano temperature di esercizio molto più elevate, fino a 170–190 °C. Questo permette di spingere di più sulla pressione del vapore nei cilindri essiccatori senza rischiare di deformare la tela.

#### 3. Resistenza Chimica e Pulizia

- Tele Classiche: possono essere degradate da lavaggi chimici aggressivi (acidi o basici forti) o da additivi chimici particolari presenti nell'impasto delle carte speciali.
- Tele in Ryton: hanno una resistenza chimica eccezionale (simile al Teflon). Questo le rende molto più facili da lavare: si possono usare detersivi più energici per rimuovere

pitch, colle o residui di fibre tipici della produzione di carte sottili e trasparenti come il glassine.

Tabella Comparativa:

Caratteristica	Tele Classiche (Poliestere/PET)	Tele in Ryton (PPS)
Resistenza Idrolisi	Scarsa (soffre il vapore)	Eccellente
Temperatura Max	~130°C	Fino a 200°C
Durata Meccanica	Media (10-12 mesi)	Molto elevata (24-36 mesi)
Costo	Standard	Elevato (anche 2-3 volte superiore)
Stabilità Dimensionale	Buona (se entro i limiti termici)	Ottima anche sotto stress termico

### Considerazioni:

#### 1. Quanto durano le tele in Ryton?

Se una tela in poliestere dura 12 mesi prima di essere sostituita, una tela in Ryton può arrivare tranquillamente a 24-36 mesi di vita operativa senza perdere le proprietà meccaniche.

Il vantaggio: Il Ryton non "cuoce"; mentre il poliestere dopo un anno si spezza con le mani (effetto biscotto) si "cuoce", il Ryton mantiene la sua flessibilità quasi intatta.

Il limite: la durata non dipende più dal decadimento del materiale, ma solo dall'usura meccanica, abrasione o da incidenti (come malloppi di carta sui cilindri). Se la tela viene danneggiata meccanicamente, il costo superiore del Ryton diventa difficile da ammortizzare.

2. Il problema dei "malloppi" nel passaggio coda: il problema (accumulo di carta sui cilindri che finisce sotto la tela) è una delle cause principali di danneggiamento prematuro delle tele,

perché va a creare uno spessore proprio sul bordo della tela (punto più delicato) rischiando di romperla, specialmente se ha qualche mese e perde la sua elasticità.

La risposta del Ryton: una tela in Ryton, anche dopo un anno, è ancora "fresca" e flessibile. Ha una resistenza maggiore agli urti meccanici rispetto a una tela in plastica degradata, quindi resiste meglio al passaggio del malloppo senza crepare o strappi al bordo.

### 3. Tele "Ibride" (Bordo in Ryton vs Tutta in Ryton):

Esistono soluzioni intermedie e sono molto usate proprio per bilanciare costi e prestazioni:

Tele con bordi rinforzati in Ryton: È una soluzione molto intelligente. Poiché l'idrolisi è più aggressiva sui bordi (dove c'è più turbolenza di vapore e aria calda), si usano fili di PPS per i primi 15-20 cm. Questo evita l'inizio della lacerazione laterale, che è il punto dove la tela è più sollecitata con il passaggio della coda negli avviamenti.

Tele alternate (ordito/trama): esistono tele dove solo i fili in una direzione sono in Ryton e gli altri in poliestere trattato. Questo garantisce una stabilità molto superiore alla plastica classica senza costare quanto una tela 100% Ryton.

### **Conclusioni:**

1. Meno fermate per rottura tela: La tela non diventa fragile col tempo, riducendo il rischio di segni sulla carta o rotture catastrofiche, aumento della vita della tela.
2. Permeabilità costante: Poiché il Ryton si sporca meno e resiste meglio ai lavaggi, la permeabilità della tela rimane stabile più a lungo, garantendo un profilo di umidità della carta più uniforme.
3. Efficienza energetica: Potendo usare temperature più alte senza degradare la tela, si può potenzialmente aumentare la velocità della macchina o ottimizzare il consumo di vapore.

In sintesi: Se la seccheria lavora al limite, con alte pressioni di vapore e temperature elevate, il Ryton è un investimento che si ripaga con la durata (che può essere doppia o tripla rispetto al poliestere) e la qualità del foglio.

Considerando le grammature spesso basse e le esigenze di elevato gradi di liscio del glassine, la stabilità superficiale del Ryton è un plus non da poco per evitare la marcatura del foglio.



## 6. CILINDRI DI SECCHERIA

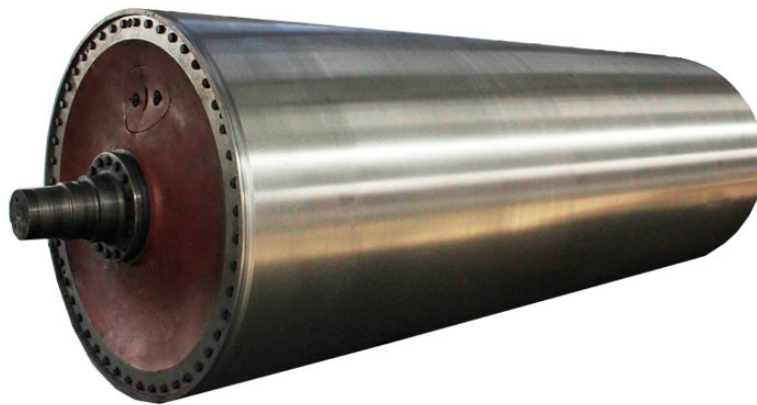
Il cilindro essiccatore è essenzialmente un recipiente a pressione rotante, progettato per scambiare calore in modo uniforme.

- Il Mantello: è la parte cilindrica centrale. In origine era realizzato in ghisa fusa negli stampi. La ghisa è preferita per l'ottima conducibilità termica, la resistenza all'usura e la capacità di mantenere la forma sotto stress termico. Negli impianti più moderni o per alte prestazioni si usa l'acciaio saldato, che permette pareti più sottili e quindi uno scambio termico più efficiente, pur supportando pressioni maggiori.
- Testate e Perni: le estremità del cilindro sono chiuse da testate (flangiate al mantello) che terminano nei perni. I perni poggiano sui cuscinetti e dal lato trasmissione sono forati internamente per permettere l'ingresso del vapore e l'uscita della condensa tramite i giunti rotanti.
- Il Giunto Rotante: è il componente meccanico che permette il collegamento tra le tubazioni fisse dell'impianto e il cilindro in rotazione. Gestisce contemporaneamente l'ingresso del vapore saturo e l'uscita della condensa.

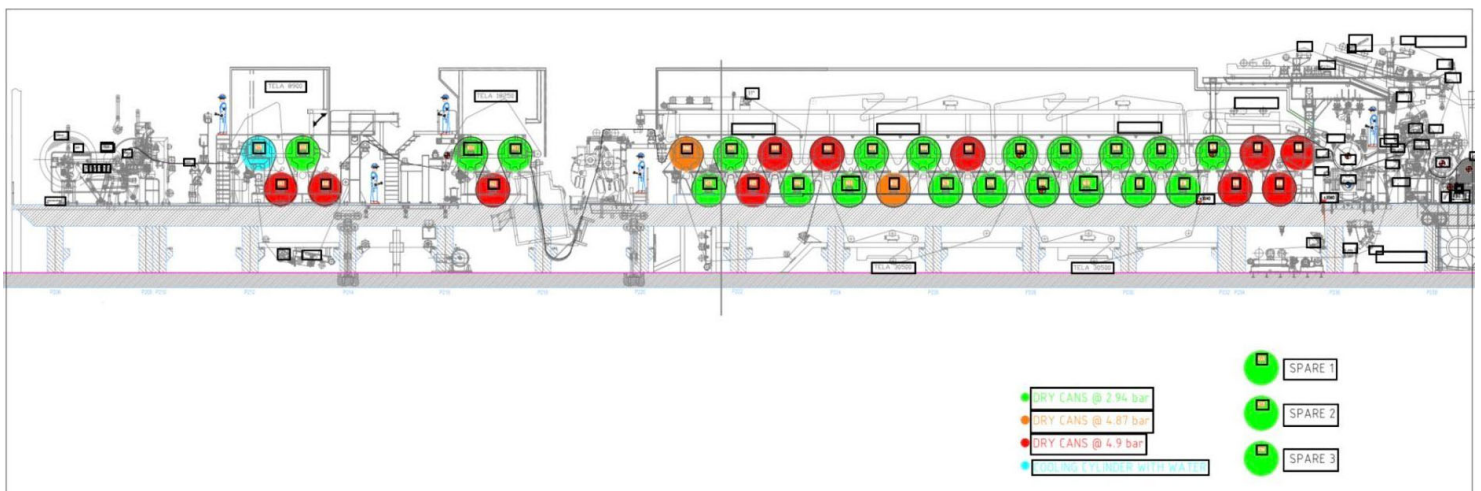
## 6.1. RIVESTIMENTI SUPERFICIALI

La superficie esterna deve essere perfettamente liscia per non segnare il foglio e per garantire il massimo contatto termico.

- Rettifica e Lucidatura: la finitura standard è la lucidatura dei cilindri
- Cromatura: spesso i primi cilindri della seccheria (dove il foglio è più umido) sono rivestiti in cromo, questo serve a prevenire la corrosione e l'accumulo di spellatura o sporco. Si usano anche dopo la Speed-Sizer, per evitare lo sporco derivante dalla patina.
- Rivestimento Antiaderente (Teflon): utilizzato per evitare che il foglio si attacchi al cilindro quando la carta è ancora molto bagnata o se ci sono residui di colle, patine e resine, però questo sistema riduce il potere di scambio termico.



Qui sotto possiamo notare come è fatta la seccheria di PM25 e con i vari colori le differenze di pressione dei cilindri in seccheria:



# 7. GESTIONE DEL VAPORE E CICLO DELLE CONDENSE NELLA MACCHINA CONTINUA

## 7.1. PRINCIPI TERMODINAMICI E SCAMBIO TERMICO

L'efficienza della macchina continua dipende direttamente dalla capacità di trasferire calore al foglio in modo uniforme. Il trasferimento di energia avviene attraverso tre meccanismi:

- **Conduzione:** è il meccanismo prevalente. Il calore fluisce per contatto diretto tra la superficie metallica del cilindro e la carta. L'efficienza cala drasticamente in presenza di rugosità del foglio, veli d'aria interstiziale o per l'effetto isolante dell'anello di condensa interno.
- **Convezione:** avviene nei "tiri liberi" (tratti tra un cilindro e l'altro), dove le masse d'aria asportano l'umidità evaporata dal foglio.
- **Irraggiamento:** utilizzato specificamente nelle Size Press o patinatrici tramite lampade a infrarossi per l'asciugamento rapido dei film applicati e la correzione del profilo di umidità.

## 7.2 STATI DEL VAPORE: SATURO E SURRISCALDATO

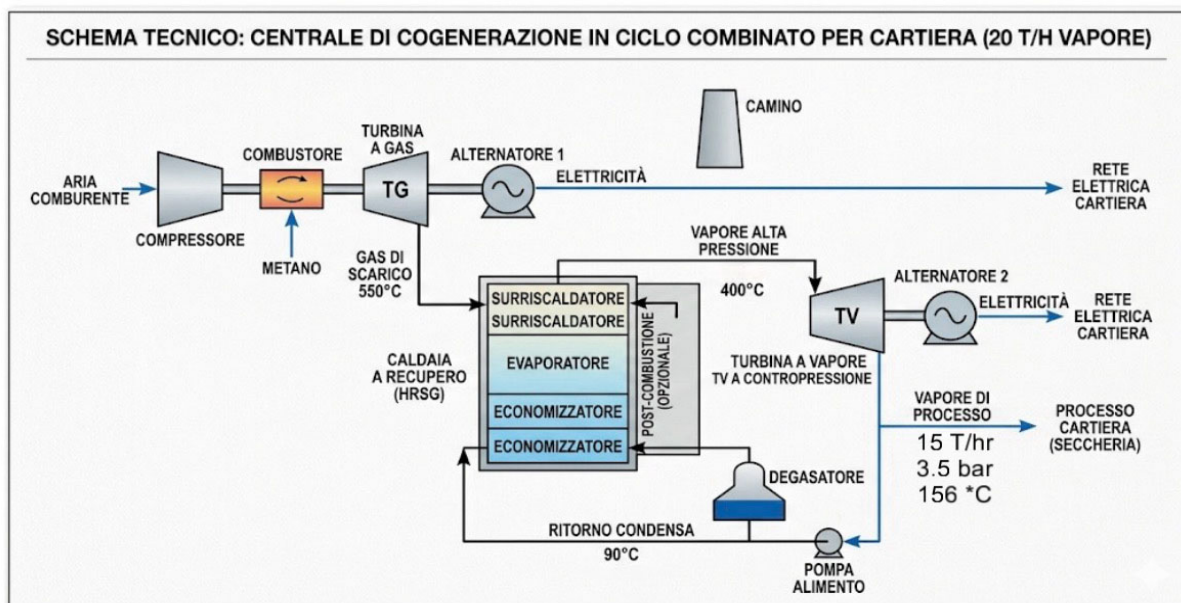
Il vapore è il vettore energetico principale per via del suo elevato calore latente.

- Vapore Saturo: è lo stato ideale per la seccheria. Condensando sulla parete interna del cilindro, cede l'energia del passaggio di stato (2257 kJ/kg a pressione atmosferica), mantenendo una temperatura costante a una data pressione.
- Vapore Surriscaldato: contiene più entalpia totale ma è meno efficiente nello scambio termico; comportandosi come un gas, ha un coefficiente di scambio inferiore finché non raggiunge la temperatura di saturazione.

## 7.3 LA GENERAZIONE: IL PROCESSO DI COGENERAZIONE

L'energia termica ed elettrica viene prodotta in modo combinato per massimizzare il rendimento del combustibile metano:

1. Turbina a Gas: produce energia elettrica tramite un alternatore.
2. Caldaia a Recupero: i fumi di scarico della turbina (circa 500-550 °C) vengono convogliati in caldaia per produrre vapore surriscaldato ad alta pressione.
3. Turbina a Vapore: il vapore surriscaldato (privo di goccioline d'acqua che creerebbero disastri in turbina) a 70 bar espande in una turbina a vapore producendo ulteriore energia elettrica.
4. Vapore di Processo: il vapore viene spillato dalla turbina in diverse posizioni con diverse pressioni d'esercizio e va ad alimentare la macchina continua, calandre e varie utenze dello stabilimento.



## 7.4. IL SISTEMA DI DISTRIBUZIONE "A CASCATA"

Per massimizzare l'efficienza energetica, la seccheria utilizza un sistema di recupero a cascata. Questo permette di utilizzare il vapore più volte prima della condensazione finale.

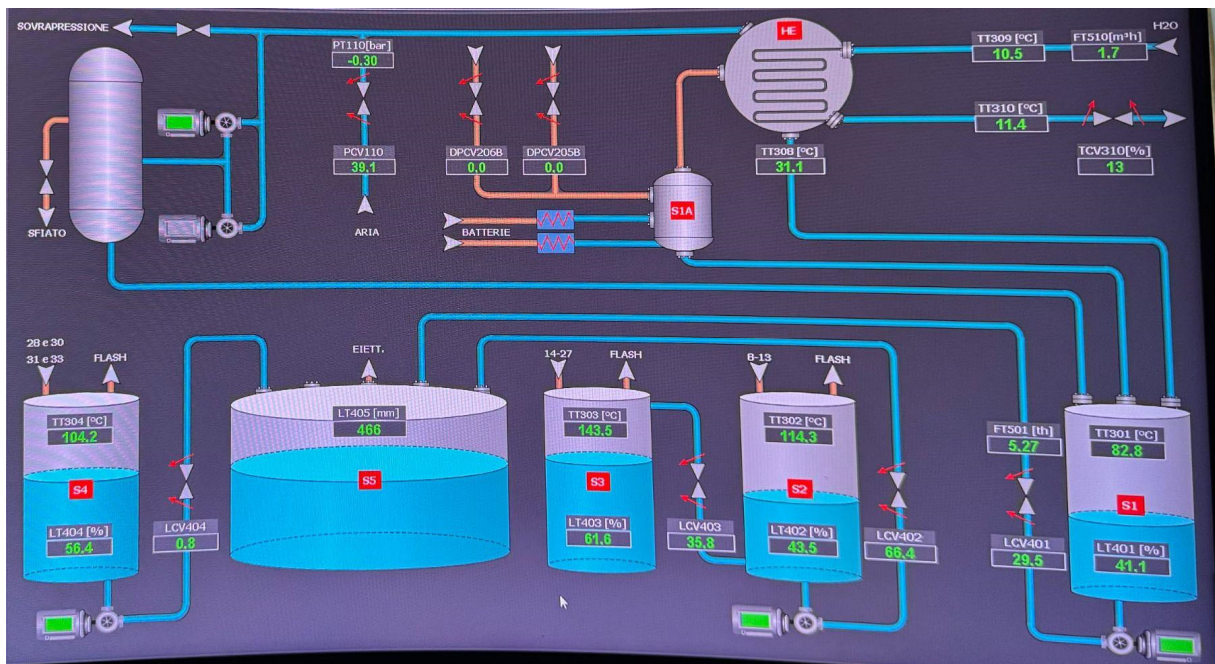
Tipologie di vapore nel sistema

- Vapore Vivo: proveniente direttamente dalla centrale termica.
- Vapore Attraversante: vapore che non condensa nel cilindro e viene espulso insieme alla condensa per facilitare il trascinamento nel sifone.
- Vapore di Flash (Nascente): vapore prodotto nei barilotti separatori quando la condensa calda subisce un calo di pressione.
- Vapore di Flash Totale: somma del vapore attraversante e di quello nascente, utilizzato per alimentare il gruppo termico successivo (a pressione inferiore).

Il sistema suddivide la seccheria in gruppi di Alta, Media e Bassa pressione:

1. Gruppo di Alta Pressione: posto alla fine della seccheria (carta quasi asciutta). Riceve vapore fresco.
2. Separazione nei Barilotti: il mix di condensa e vapore in uscita entra nel barilotto. L'acqua cade sul fondo, il vapore di flash sale e alimenta il gruppo precedente.
3. Gruppo di Bassa Pressione: posto all'inizio della seccheria (carta bagnata e fredda). Lavora a pressioni minime per evitare il "picking" (distacco di fibre che aderiscono al cilindro caldo).

Qui possiamo vedere il sistema di recupero delle condense dai vari gruppi termici. In alto a sinistra si può notare anche la pompa del vuoto, necessaria per mantenere un Delta P tra entrata ed uscita dal cilindro.



## 7.5 INTERNO DEL CILINDRO: SIFONI E RIMOZIONE CONDENSA

Il vapore entra nel cilindro tramite il giunto rotativo e condensa sulla parete interna.

A causa della forza centrifuga, la condensa forma un anello liquido. Se eccessivo, questo strato agisce da isolante termico, riducendo l'efficienza dello scambio di calore e aumenta notevolmente il peso del cilindro, sovraccaricando i motori di traino.

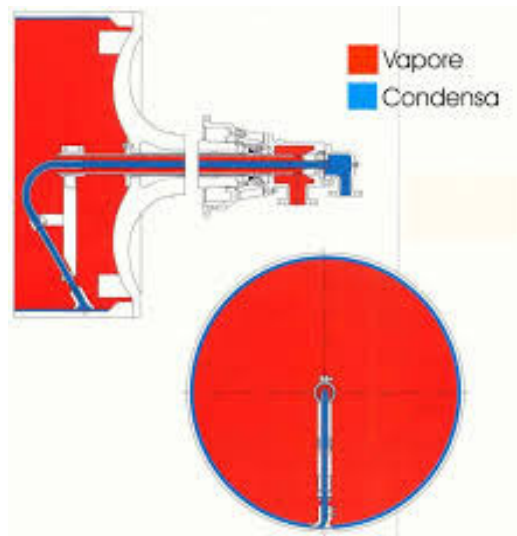
Per evitare questo problema e garantire l'uscita della condensa, si utilizzano due tipologie di sifoni:

- Sifone Fisso: statico, posizionato a pochi millimetri dalla parete; ideale per alte velocità.
- Sifone Rotante: solidale al cilindro, preferibile per velocità inferiori.

Il ruolo del Delta P: L'estrazione è garantita da una differenza di pressione tra il collettore di entrata e quello di uscita. Per mantenere questo gradiente costante, si utilizza un eccesso di vapore (maggiore di 90°C) che trascina l'acqua. In alcuni casi, pompe a vuoto assistono il processo per garantire l'evacuazione anche a basse pressioni operative.



Barre di turbolenza



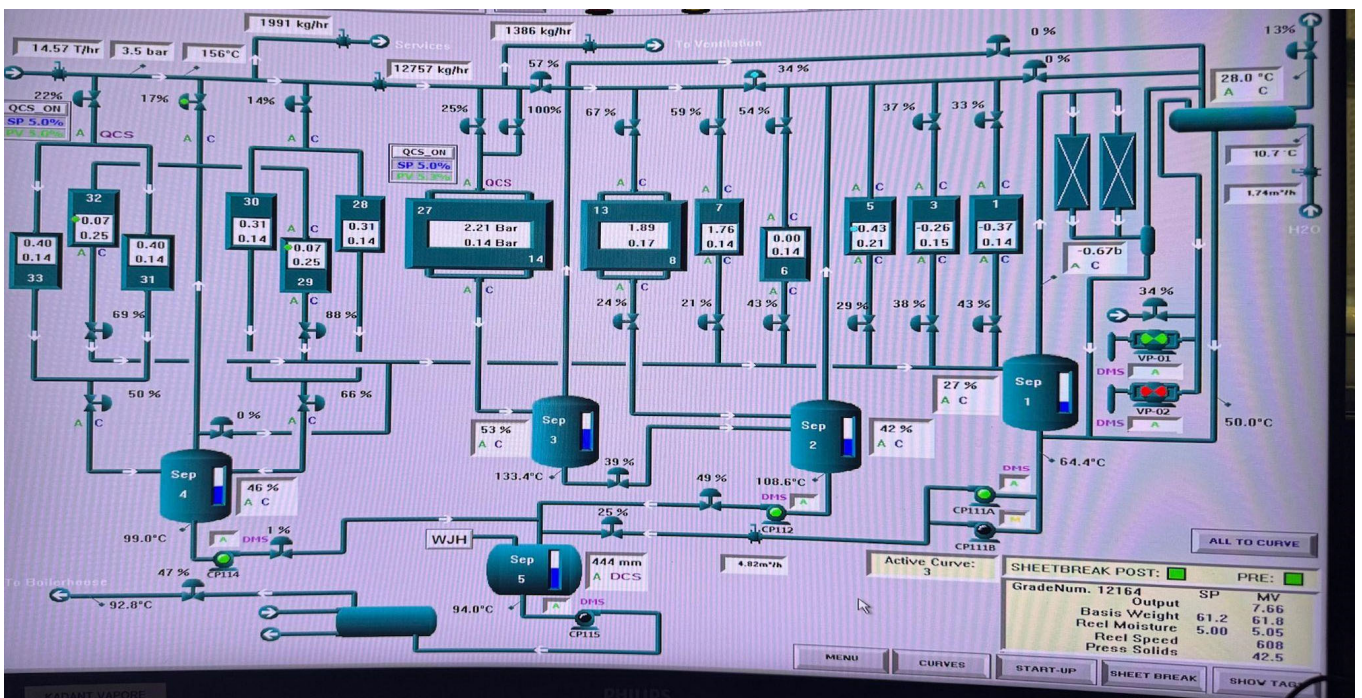
Particolare del giunto rotante del cilindro e sifone fisso

## 7.6 RECUPERO FINALE E RITORNO IN CENTRALE

Il ciclo si chiude con il recupero totale dell'energia residua:

- Scambio Termico Aria: l'ultimo vapore residuo viene utilizzato per preriscaldare l'aria di ventilazione della cappa di seccheria.
- Recupero Acque: la condensa calda passa attraverso uno scambiatore per scaldare l'acqua di lavaggio dei feltri.
- Ritorno al Degasatore: la condensa, essendo acqua già trattata e purificata, viene pompata nuovamente in centrale termica a temperature elevate (spesso maggiore di 90°C), garantendo un enorme risparmio di combustibile e additivi chimici.

Schermata di controllo e gestione del vapore in seccheria



## 8. SPOLVERO IN SECCHERIA

Il problema dello spellamento o spolvero è una sfida tecnica classica, ma complessa, legata all'equilibrio tra la formazione e la curva di temperatura della seccheria.

L'analisi dello spellamento sui cilindri inferiori della seconda batteria (i primi cilindri "caldi" a contatto diretto con il lato feltro della carta) suggerisce la presenza di un fenomeno di adesione superficiale eccessiva, causata dall'adesione dei fini e da un'evaporazione troppo violenta.

Ecco un'analisi delle possibili cause, analisi al microscopio e prove tecniche che ho svolto nella mia cartiera per ridurre il problema:

### 8.1 ANALISI DELLE CAUSE PRINCIPALI

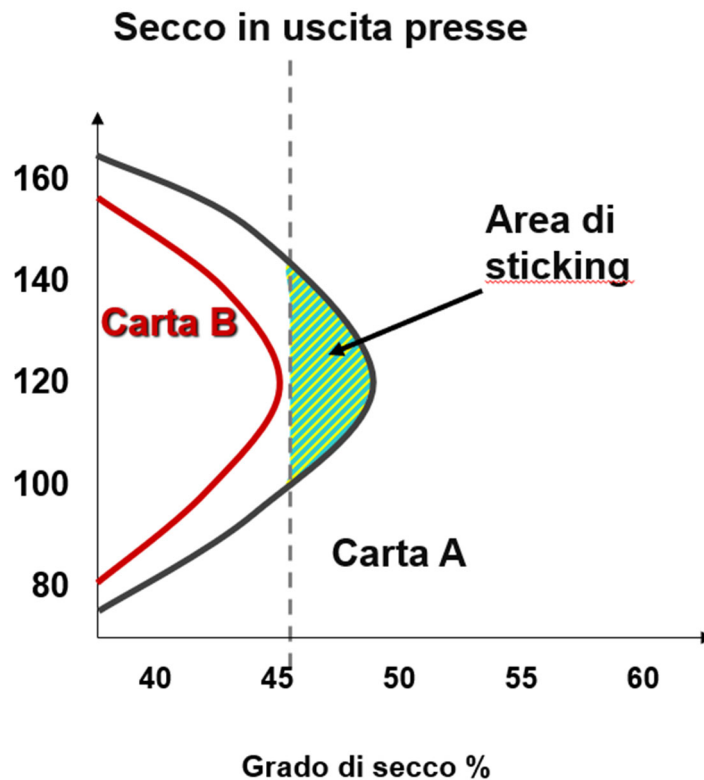
#### 1. Distribuzione dei fini nel foglio e drenaggio.

L'assetto del getto della cassa d'afflusso, caratterizzato da una traiettoria corta e un'incidenza inclinata verso il basso, qualche centimetro prima del forming board, è finalizzato a ottenere un drenaggio rapido e immediato, necessario per gestire fibre ad alto grado di raffinazione. Questa configurazione, tuttavia, compromette l'uniformità del foglio, determinando un doppio viso:

- Effetto "lavaggio" (lato tela): la violenza del drenaggio asporta i fini dalla faccia inferiore, lasciandola strutturalmente povera.
- Accumulo superficiale (lato feltro): fini e cariche rimangono intrappolati nello strato superiore. Utilizzando impasti di pura cellulosa molto raffinati, l'elevata densità di fibrille accentua questo fenomeno.
- Azione del ballerino: sebbene il rullo ballerino ottimizzi la formazione, la sua pressione meccanica tende a compattare i fini sulla superficie superiore, aumentando la superficie di contatto potenziale con i cilindri essiccatori.

#### 2. Configurazione delle Presse e Umidità Superficiale.

Le prime due presse con feltro superiore estraggono acqua verso l'alto, trascinando ulteriori fini in superficie. La pressa a scarpa (shoe press) con feltro solo sotto, invece, preme il lato ricco di fini contro la superficie liscia della pressa superiore. Questo può "lucidare" i fini in superficie, rendendoli pronti ad aderire al metallo caldo dei cilindri.



### 3. Profilo Termico.

Nella prima batteria (slalom), il lato superiore della carta (lato feltro) non tocca i cilindri per via della tela essiccatrice. Quando il foglio entra nella seconda batteria, il lato ricco di fini tocca per la prima volta i cilindri inferiori.

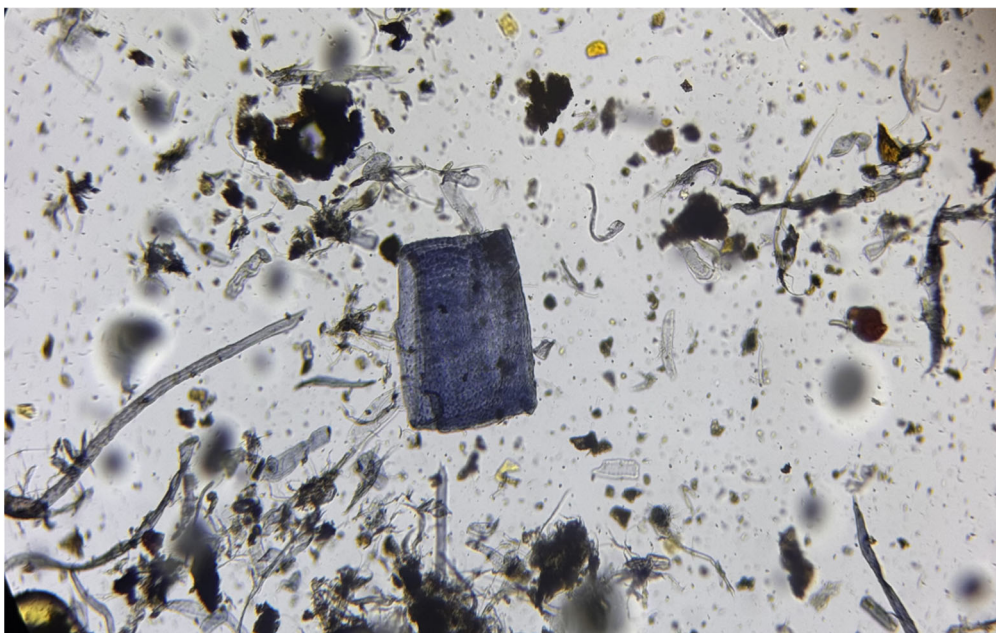
- Se la temperatura dei primi cilindri della seconda batteria è troppo elevata (sopra gli 80-90°C), l'acqua contenuta nello strato di fini evapora istantaneamente.
- Questo crea un effetto "colla": i fini si essiccano istantaneamente sulla superficie del cilindro prima che il legame interno del foglio sia abbastanza forte da trattenerli.

## 8.2. ANALISI, MONITORAGGIO E PROVE IN PRE-SECCHERIA

Durante il periodo di tirocinio ho eseguito alcune verifiche sulla situazione della seccheria, tenendola monitorata con le curve di temperatura, controllando la formazione dello spolvero per capire il punto di partenza e il fenomeno; successivamente ho effettuato alcune prove.

1. Analisi della spellatura: dopo aver individuato i cilindri che presentavano la spellatura di carta, principalmente i cilindri 6,8,10,12, sono i primi cilindri che il lato feltro della carta tocca. Ho prelevato dei campioni di spolvero e grazie a un microscopio li ho analizzati,

trovando un'elevata presenza di fini e vasi di Eucalipto. Nella foto che segue si possono distinguere bene i fini e il vaso di eucalipto quadrato di colore blu.

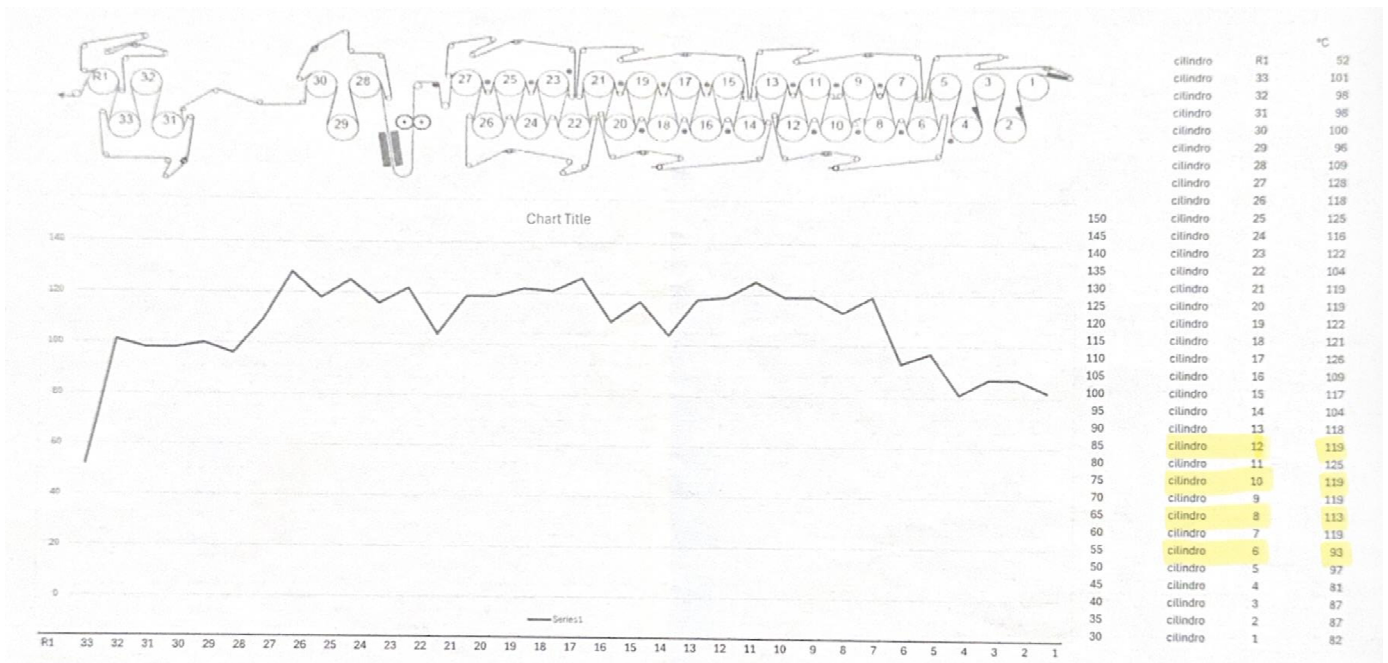


## 2. Analisi del profilo termico dei cilindri.

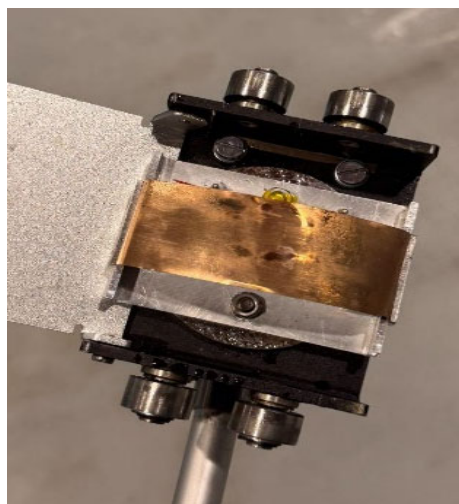
Attraverso un monitoraggio sistematico effettuato con termometro ad asta dedicato, ho analizzato la temperatura superficiale dei cilindri in relazione alle grammature prodotte e alle curve vapore impostate. L'analisi ha evidenziato una correlazione diretta tra l'elevata temperatura superficiale dei cilindri critici e l'aumento del fenomeno dello spolvero.

In occasione di fermate-macchina o rotture, sono stati effettuati interventi di pulizia tramite abbassamento delle raschie, al fine di valutare la velocità di riformazione del deposito. Si specifica che, operativamente, le raschie della sezione di pre-seccheria vengono mantenute sollevate per prevenire il distacco di accumuli di sporco e fibre dalla superficie del cilindro, evitando così difetti sulla carta.

Il grafico sottostante illustra il profilo termico della sezione seccheria della PM25. Si evidenzia che il cilindro n. 6, soggetto alle maggiori criticità di deposito, raggiunge temperature operative superiori ai 90°C.



Qui sotto il termometro utilizzato per la misurazione delle temperature dei cilindri di seccheria



### 8.3 PROVE SULLA MACCHINA CONTINUA

Prova riduzione temperatura - Cilindro 6.

Per contrastare lo spolvero e la spellatura, ho avviato dei test per ridurre la temperatura superficiale del cilindro 6. Ho scelto questo cilindro perché è il primo a toccare la carta ed è possibile regolare il vapore singolarmente.

Procedimento:

- Pulizia: prima di iniziare, ho abbassato le raschie per pulire bene la superficie dei cilindri sporchi.
- Regolazione: ho chiuso la valvola del vapore da 100% a 0%, portando la temperatura superficiale da 93 °C a 69 °C.
- Condizioni: la prova è durata 6 ore. Ho mantenuto costante grammatura, velocità della macchina, tipo di carta, raffinazione e vapore utilizzato nella seccheria.

**Risultati.** Al termine della prova non ho riscontrato spolvero sui cilindri. Sembra quindi che abbassare la temperatura del 6° cilindro abbia migliorato la situazione.

In condizioni normali, dopo appena un'ora di funzionamento, i cilindri risultano già coperti di spolvero.

**Prossimi passi.** Continuerò a fare prove con altri tipi di carta, che contengono diverse percentuali di ceneri e con diversi gradi di raffinazione per confermare il miglioramento. In futuro, si può valutare anche una modifica al dosaggio del ritentivo: lavorando sulla ritenzione in tavola piana, si potrebbe migliorare ancora il legame tra fini e fibre.

Foto di Spellatura sul cilindro 6 e temperatura superficiale del cilindro:



## 9. CONCLUSIONI

In base alle prove effettuate e all'analisi del processo, il problema dello spolvero e della spellatura è riconducibile a tre fattori principali:

- Drenaggio: un drenaggio troppo rapido in fase iniziale provoca uno sbilanciamento nella disposizione dei fini, rendendo il foglio più soggetto a distacchi.
- Carico di fini: è la causa primaria. La presenza di fini è legata sia alla materia prima in ingresso, sia a un eccesso di raffinazione che ne genera troppi.
- Temperatura: la temperatura superficiale dei primi cilindri supera il punto critico di adesione delle fibre, facilitando il deposito di materiale sul cilindro.

### 9.1 PROPOSTE D'INTERVENTO

Per provare a risolvere il problema, propongo il seguente piano d'azione:

1. Gestione Termica: mantenere il controllo rigoroso della temperatura sui primi cilindri, evitando i picchi che superano la soglia di adesione critica.
2. Ottimizzazione Chimica:
  - Provare a modificare il dosaggio di ritentivi per migliorare la ritenzione dei fini e delle cariche minerali in tavola piana.
  - Valutare l'utilizzo di agenti di distacco spruzzati sui primi cilindri per creare una micro-barriera antiaderente.
3. Controllo Processo: ottimizzare la curva di raffinazione per limitare la generazione di fini non necessari.

## **10. BIBLIOGRAFIA:**

- Documentazione e Materiale Didattico
  - Zaninelli Paolo, Appunti di tecnica cartaria, Scuola Grafica e Cartaria “San Zeno”
  - Cristini S.p.A.
- Studi e Analisi Tecnica
  - Cristini S.p.A.
  - Lezzerini Roberto
- Supporto Tecnico e Operativo
  - Consulenza tecnica di processo, Sappi Condino Mill.