

XXI corso di Tecnologia per Tecnici Cartari
edizione 2014/2015

La seccheria: dall'essiccatore in ghisa all'acciaio

di Martini Giacomo



**Scuola Interregionale
di tecnologia per tecnici Cartari**

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

INDICE

1. Introduzione alla seccheria

2. Il vapore

- 2.1 Vaporizzazione
- 2.2 Vapore saturo e surriscaldato
- 2.3 Condensazione

3. Lo scambio termico

- 3.1 Conduzione
- 3.2 Convezione

4. Asciugatura del foglio

- 4.1 Processo di asciugatura del foglio
- 4.2 Trasferimento del calore sulla carta

5. Componenti della seccheria

- 5.1 Cilindri essiccatori e la loro evoluzione
- 5.2 Disposizione dei cilindri
- 5.3 Tele essiccatrici
- 5.4 Giunto rotante
- 5.5 Sifoni per estrazione condense

6. Impianti vapore e cappe

- 6.1 Impianto a cascata
- 6.2 Impianto a termocompressori
- 6.3 Ventilazione
- 6.4 Cappe aperte
- 6.5 Cappe chiuse con recuperatori di calore
- 6.6 Pocket ventilation

7. Il vantaggio del cilindro essiccatore in acciaio

- 7.1 Norme di costruzione ASME
- 7.2 Lo scambio termico in seccheria
- 7.3 Vantaggi dell'impiego del cilindro in acciaio
- 7.4 Definizione di evaporato specifico (dryng rate)
- 7.5 Analisi delle Differenze fra acciaio e ghisa
- 7.6 Dati relativi all'asciugatura della carta prima e dopo la modifica di 10 essiccatori (da ghisa ad acciaio) nella post-seccheria (rilevazioni Cristini feltri)

1. INTRODUZIONE ALLA SECCHERIA

La seccheria è la parte della macchina continua situata dopo le presse, ed ha il compito di asciugare il foglio già formato ma non completamente asciutto, senza modificarne le caratteristiche. La carta arriva nella seccheria con un contenuto d'acqua compreso tra il 50% e il 60%, quindi come si può ben dedurre, dal punto di vista energetico, questo processo è molto energivoro. A differenza della tavola piana, dove l'acqua viene tolta tramite drenaggio, e delle presse dove viene tolta tramite pressione meccanica, nella seccheria l'acqua viene tolta tramite l'evaporazione garantita dallo scambio termico che c'è tra i cilindri essiccatori (riscaldati tramite vapore) e la carta. Logicamente più basso è il contenuto d'acqua all'uscita delle presse, meno sforzo energetico verrà richiesto alla seccheria. I cilindri essiccatori sono divisi in gruppi per gestire al meglio lo scarico delle condense e per assicurare alla carta una certa curva d'asciugamento.

La carta arriva alla seccheria con circa il 50-60% d'acqua, (una parte legata chimicamente alla fibra chiamata Acqua legata, ed una parte chiamata Acqua libera costituita da goccioline superficiali), ed è quindi ancora molto bagnata; se venisse a contatto con cilindri ad alte temperature l'elevata differenza termica porterebbe alla formazione dello spolvero, cioè all'adesione delle fibre al cilindro, e quindi a probabili rotture della carta stessa. Per questo motivo solitamente in seccheria si tende a lavorare tramite una curva d'asciugatura, partendo da 50°-60°C (permettendo l'evaporazione dell'acqua libera) nei primi cilindri, e progressivamente la temperatura viene aumentata, fino ad arrivare ad un massimo di circa 160°C, per permettere l'evaporazione dell'acqua legata, ed arrivare ad un grado di secco della carta pari al 95%.

2. IL VAPORE

2.1 VAPORIZZAZIONE

La vaporizzazione non è altro che il passaggio di un liquido allo stato di vapore. Quando questo fenomeno avviene spontaneamente, e solamente sulla superficie libera del liquido viene chiamato evaporazione, che a seconda del liquido può avvenire più o meno facilmente. Quando questo fenomeno non avviene spontaneamente ma è provocato dal calore diretto, non solo sulla superficie ma su tutta la massa, prende il nome di ebollizione.

Nell'ebollizione il calore serve solamente per trasformare il liquido in vapore e non per aumentare la sua temperatura, anche aumentando la fonte di calore la temperatura rimarrà invariata; questa temperatura viene chiamata Temperatura di Ebollizione diversa da liquido a liquido. La temperatura di ebollizione di un liquido varia solamente al variare della pressione.

2.2 VAPORE SATURO E SURRISCALDATO

Finché il vapore si trova in presenza del liquido che lo ha generato è chiamato Vapore Saturo, che può essere suddiviso in vapore saturo secco e vapore saturo umido. Secco se non ha in sospensione particelle d'acqua, umido se ci sono.

La percentuale del vapore saturo secco nel vapore saturo umido prende il nome di Titolo del vapore. Dopo che il liquido è completamente diventato vapore continuando a fornire calore, il vapore inizia ad aumentare la propria temperatura, prendendo il nome di Vapore surriscaldato. A differenza del vapore saturo dove c'è correlazione tra temperatura e pressione, nel vapore surriscaldato questa correlazione viene a cadere visto che può assumere anche temperature superiori a quelle di ebollizione.

In poche parole, il vapore surriscaldato a pari pressione, ha una temperatura ed un volume superiore a quello saturo.

2.3 CONDENSAZIONE

In pratica è il processo inverso della vaporizzazione, cioè sottraendo calore al vapore saturo secco, esso comincerà a trasformarsi in liquido mantenendo costante la sua temperatura.

La temperatura di condensazione a pari pressione è la stessa di quella di ebollizione.

Il calore che restituirà il vapore durante la condensazione è pari a quello che era necessario per la vaporizzazione.

3. LO SCAMBIO TERMICO

3.1 CONDUZIONE

In base alle leggi della termodinamica portando a contatto due corpi solidi, uno più caldo e uno più freddo, questi due tendono a uniformare le loro temperature, praticamente il corpo più caldo trasferisce il suo calore a quello più freddo.

Nel caso della seccheria questo avviene tra i primi cilindri essiccatori riscaldati con il vapore e il foglio di carta ancora bagnato.

Lo scambio termico risulta tanto migliore quanto più i due corpi sono a contatto e in maniera uniforme; anche per questo motivo vengono utilizzate le tele essiccatrici, che comprimono la carta al cilindro. D'altra parte lo scambio termico risulta peggiore se il contatto non è uniforme a causa di irregolarità del cilindro o ruvidità della carta stessa o a causa dell'anello liquido che si forma all'interno dell'essiccatore.

3.2 CONVEZIONE

Lo scambio termico avviene tra un solido e un fluido (liquido o gassoso). Praticamente c'è una migrazione di masse fluide fredde dovuta alla differenza di temperatura.

Nella seccheria questo avviene nei tiri liberi, cioè nel passaggio che fa la carta per andare dai cilindri inferiori e quelli superiori, dove la carta incontra l'aria riscaldata.

4. ASCIUGATURA DEL FOGLIO

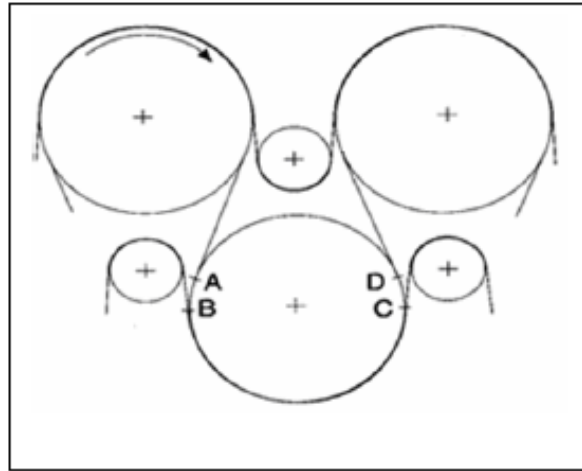
4.1 PROCESSO DI ASCIUGATURA DEL FOGLIO

All'uscita delle presse la carta contiene ancora il 55% circa d'acqua, che non può più essere tolta meccanicamente, ecco perché verrà tolta tramite evaporazione.

L'asciugatura del foglio all'interno della seccheria può essere suddivisa in tre fasi:

1. In una prima fase la carta, che arriva dalle presse ancora molto bagnata e con bassa resistenza meccanica, quindi soggetta facilmente a rotture, viene riscaldata con temperature dei cilindri molto basse circa 40° / 50°. Questo perché una differenza di temperatura troppo elevata tra la carta ed il cilindro essiccatore, potrebbe creare lo spolvero di fibra, cioè un'adesione delle fibre al mantello, e conseguentemente una probabile rottura. In questa zona si ha l'evaporazione dell'acqua libera, ed un conseguente consolidamento del foglio dovuto alla contrazione delle fibre, quindi alla creazione di legami più resistenti.
2. In una seconda fase, la temperatura dei cilindri viene aumentata fino a circa 100°C; in questa zona si verifica un pareggio tra il calore fornito e quello sottratto, quindi si ha una zona a temperatura costante, dove l'acqua che evapora è costante.
3. Nella terza fase l'acqua libera è stata completamente evaporata, rimane solamente quella legata chimicamente alle fibre. Logicamente in questa zona si ha una netta diminuzione dell'acqua evaporata, in più vengono abbassate le temperature dei cilindri per evitare danni al foglio di carta. Alla fine della terza fase, l'umidità della carta sarà del 0.1/0.2%, cercare di togliere anche questa piccola percentuale sarebbe inutile visto che la carta tenderebbe in ogni caso a riassorbire l'umidità ambientale, inoltre sarebbe energeticamente molto dispendioso.

4.2 TRASFERIMENTO DEL CALORE SULLA CARTA



Il calore viene ceduto dal vapore al cilindro, che poi lo trasferisce alla carta, tramite conduzione quindi contatto, favorito dalla forza di compressione applicata dalla tela essiccatrice.

In pratica:

- nella zona A e B c'è un primo riscaldamento, in cui la carta però non viene asciugata,
- passando da B a C per conduzione viene trasferito tutto il calore del cilindro alla carta, ed inizia l'asciugamento,
- infine tra C e D dove la carta non è più a contatto con il mantello dell'essiccatore, si ha un picco d'asciugamento per poi stabilizzare la temperatura.

Questo processo avviene ogni volta che la carta passa in un cilindro essiccatore. Ciò che influisce maggiormente sul trasferimento del calore sono due parametri: la temperatura del vapore saturo che viene mandato all'interno dei cilindri e il coefficiente di trasferimento complessivo del calore (in poche parole quanto calore, di quello che cede il vapore, arriva effettivamente sul foglio).

Per gestire il primo basta regolare la pressione all'interno dei cilindri, più questa è alta più la temperatura sarà alta.

Il secondo parametro è formato da un insieme di resistenze più o meno gestibili che fanno aumentare questo coefficiente:

- Lo spessore dello strato di condensa all'interno del cilindro e il suo livello di turbolenza. Può essere gestito con un'adeguata scelta dei sifoni in base alla velocità della macchina,

e per le alte velocità con l'utilizzo delle barre di turbolenza. Uno strato di condensa poco turbolento diventa uno strato isolante (questa è una delle variabili più importanti e maggiormente gestibile).

- Lo spessore delle incrostazioni interne del cilindro.
- Lo spessore del mantello del cilindro. Purtroppo una variabile non gestibile se non in fase di costruzione del cilindro.
- Deposito di fibre o spolvero sul mantello dell'essiccatore. Per gestirlo basta attuare un buon sistema di pulizia tramite raschie.
- Lo strato sottile d'aria che si crea tra il foglio e il mantello nel momento in cui vanno a contatto. La tela ha proprio lo scopo di eliminare il più possibile questo strato. Nei primi cilindri è più spesso dovuto alla poca permeabilità che ha il foglio ancora bagnato. Nell'ultima zona della seccheria lo strato si riduce per l'aumento della permeabilità del foglio, quindi l'aria tende ad attraversarlo ed il contatto con il cilindro risulta migliore.
- Le proprietà stesse della carta: una carta più ruvida avrà sicuramente un peggior contatto con il mantello o per lo meno un contatto più irregolare, quindi un maggior contenuto d'acqua con cui arriva dalle presse.

5. COMPONENTI DELLE SECCHERIA

5.1 CILINDRI ESSICCATORI

I cilindri essiccatori sono realizzati solitamente in ghisa, la loro lunghezza dipende esclusivamente dalla larghezza della macchina, mentre il loro diametro dipende dai vincoli costruttivi.

Logicamente più grande è il diametro, migliore sarà l'asciugamento della carta, avendo una maggiore superficie di contatto con il foglio.

Un elevato diametro però comporta anche un maggiore spessore del mantello di ghisa e quindi un minore scambio termico, in conclusione un peggiore asciugamento.

Nella maggior parte dei casi, in ogni modo il diametro è di 1,5 / 1,8 m.

Il cilindro è costituito alle sue estremità da due testate che permettono la sua rotazione, una di esse, quella lato trasmissione, è cava per permettere l'ingresso del vapore e l'uscita delle condense.

Nella testata lato conduzione, invece è presente un piccolo ingresso chiamato passo d'uomo che permette un eventuale ispezione del cilindro.

Il mantello di ghisa ha uno spessore di circa 25/30 mm e, visto che dovrà andare a contatto con la carta, è fondamentale che la sua superficie sia il più possibile liscia e regolare in modo da avere un miglior contatto con la carta. Per la pulizia della superficie del cilindro vengono utilizzate delle raschie. I cilindri vengono suddivisi in batterie, questo perché durante l'asciugamento, la carta tende a contrarsi quindi applicando delle piccole differenze di velocità si cerca di controllarlo ed evitare così grinze o rotture.

5.2 DISPOSIZIONE DEI CILINDRI

I cilindri vengono disposti in due file sfalsate e sovrapposte, dove il foglio passa alternativamente da un cilindro superiore a quello inferiore.

Sia nella fila inferiore che in quella superiore vengono messe delle tele essiccatrici per migliorare il contatto tra la carta ed il cilindro.

Nella prima parte delle seccheria la carta è ancora molto umida quindi nei passaggi tra il cilindro superiore e quello inferiore, è facile avere delle pieghe e rotture, quindi per evitare questo, nelle macchine più nuove è stata adottata una configurazione chiamata "slalom".

In pratica c'è un'unica tela essiccatrice per tutti i cilindri che accompagna la carta non lasciando mai tiri liberi, però è facile intuire che nei cilindri inferiori (se la tela viene montata

in quelli superiori), la tela si trova tra la carta ed il cilindro riducendo quindi lo scambio termico tra di loro. Infatti, spesso, in questa tipologia di configurazione i cilindri inferiori non vengono riscaldati.

5.3 TELE ESSICCATRICI

Le tele essiccatrici come già spiegato prima, hanno il compito di comprimere il più possibile la carta al cilindro, in modo da migliorare lo scambio termico e permettere poi la rimozione dell'acqua.

Negli ultimi decenni le tele hanno avuto un elevato miglioramento sia per quello che riguarda i materiali impiegati che per il sistema di tessitura.

Questa evoluzione ha portato ad un netto miglioramento per quanto riguarda la durata e la permeabilità della tela, quindi in sostanza a migliori performance dell'asciugamento.

Le tecniche di tessitura che sono state studiate in questi anni, hanno dato vita a diversi gradi di permeabilità, indicata come CFM, cioè la quantità d'aria che attraversa un piede quadrato di tela in un minuto, in modo da poter diversificare le varie batterie della seccheria, e sostenere le alte velocità delle nuove macchine.

La quantità d'acqua presente nella carta all'interno della seccheria diminuisce notevolmente tra una batteria e l'altra, quindi per i primi cilindri servirà una tela con un basso CFM, perché la grande quantità d'acqua faciliterà il lavoro, conseguentemente meno acqua ci sarà nella carta maggiore dovrà essere il CFM, cioè la permeabilità della tela.

5.4 GIUNTO ROTANTE

Si trova nella testata del cilindro lato trasmissione: in sostanza è formato da due parti ben distinte ed isolate, una utilizzata per l'ingresso del vapore, l'altra per l'estrazione delle condense.

I giunti possono essere autoportanti se vengono applicati al perno, supportati se vengono fissati alla struttura della macchina.

5.5 SIFONI PER ESTRAZIONI CONDENSE

Prima di tutto bisogna spiegare cosa sono le condense. Il vapore che viene immesso, arriva a contatto con le pareti del cilindro cedendogli il calore quindi riducendo la sua temperatura.

Quando la temperatura arriva sotto al valore di ebollizione si ha il passaggio dallo stato gassoso a quello liquido, quindi alla formazione della condensa che va a depositarsi sul fondo del cilindro. In passato a motivo delle basse velocità della macchina continua, per risolvere il problema erano utilizzati dei sifoni costituiti da una specie di cucchiaino legato al cilindro che toglieva una parte della condensa ad ogni giro del cilindro stesso. Con l'aumento delle velocità però si è stati costretti a modificare il sistema di raccolta delle condense, questo perché con le alte velocità ci si è accorti che le condense non andavano più a depositarsi sulla parte inferiore del cilindro ma seguivano il moto di rotazione andando a formare o una cascata o un anello liquido tutto intorno al cilindro essiccatore. Un aumento dello spessore dell'anello liquido andrà ad incidere negativamente sullo scambio termico. Il sifone non è altro che il sistema che viene utilizzato per estrarre le condense, tramite una pressione differenziale tra quella in entrata e quella in uscita.

I sifoni si suddividono in tre tipi:

1) Sifoni fissi, utilizzati fino a 300m/min.

Sifone fisso con supporto interno: la scarpetta è inserita in una flangia fissata all'interno del cilindro e messa a 3/5mm dal mantello. Il tubo di raccolta della condensa viene posizionato in modo da rimanere sempre a contatto con la pozza, fino a 100 m/min il tubo è verticale, oltre viene posizionato in direzione della rotazione con un angolo di 5°/10° tra i 100e 200 m/min e oltre i 15° sopra i 200 m/min. La pressione differenziale richiesta è molto bassa 0,15 / 0,30 bar. Pressioni più elevate non aumenterebbero il volume di condensa estratta ma inciderebbero solamente sull'erosione dei tubi dovuta alla forte velocità di estrazione. Sifone fisso per alte velocità: il sistema risulta rigido grazie ad un tubo orizzontale di grande diametro sostenuto a sbalzo del giunto collegato direttamente alla struttura della macchina. La rigidità è molto importante perché ad alte velocità il carico idrodinamico che esercita la condensa potrebbe provare dei danni nel tubo di estrazione. All'interno il mantello deve presentare una scanalatura dove sarà posizionata la scarpetta, ad una distanza tra 1.5 / 3 mm. La pressione differenziale richiesta è di 0,15 / 0,35 bar.

2) Sifoni rotanti a tazza, utilizzati fino a 200 m/min.

La scarpa del sifone viene fissata al mantello, raccoglie la condensa mentre passa sul fondo, durante la rotazione viene sollevata e mandata ad un tubo centrale per essere estratta.

3) Sifoni rotanti, utilizzati per tutte le alte velocità.

Sono fissati al cilindro quindi ruotano insieme adesso. Sono sistemi molto affidabili e con un esigenza di manutenzione molto più bassa degli altri sifoni. La distanza

ravvicinata (1.5 / 3 mm) tra la scarpa del sifone e il mantello dell'essiccatore permette di ridurre al minimo lo spessore dell'anello liquido in modo da avere il miglior scambio termico possibile. Negli ultimi anni con l'aumentare delle velocità sono state anche introdotte le barre di turbolenza: studiando le condense nei vari strati dell'anello si è notato che la velocità della condensa è minore che quella del cilindro e quindi la condensa ruota più lentamente. Le barre sono fissate al cilindro quindi avendo la sua stessa velocità non fanno altro che impattare con la condensa disgregandola e generando turbolenze utili al fine di estrarla.

6. IMPIANTI VAPORE E CAPPE

L'impianto vapore è un insieme di pompe, valvole e tubazione che consente al vapore di entrare nei cilindri asciugando la carta.

6.1 IMPIANTO A CASCATA

Il vapore arriva dalle caldaie tramite un linea centrale e viene immesso nelle varie batterie della seccheria; per ogni batteria c'è una valvola parzializzatrice che permette di regolare la pressione, in modo da ottenere temperature diverse tra di esse.

Quindi in base a quello che ho spiegato precedentemente la pressione partirà più bassa per poi salire ad ogni batteria.

Il vapore che viene immesso all'interno del cilindro condenserà, come abbiamo già visto, per poi essere estratto tramite i sifoni. Oltre alla condensa però viene estratta anche una parte del vapore immesso, fondamentale per il corretto funzionamento dei sifoni, in quanto fa da vettore per l'acqua. Questo vapore viene chiamato Vapore attraversante. Il vapore attraversante è $\frac{1}{4}$ di quello iniettato.

La condensa ed il vapore attraversante estratti dalla batteria, vengono raccolti nei separatori, nei quali avviene una divisione fisica tra acqua e vapore per differenza di peso.

Nei separatori la pressione è inferiore ai cilindri, quindi una parte della condensa torna a cambiare di stato, da qui nasce il Vapore Nascente che insieme a quello Attraversante (insieme prendono il nome di vapore flash) vengono riutilizzati per riscaldare batterie a

pressione minore di quella di provenienza. Fondamentale per questo sistema è controllare sempre il livello dei separatori, perché un livello troppo alto causerà difficoltà d'estrazione o nella peggiore delle ipotesi un allagamento dei cilindri.

Come si è già ben capito questo impianto prende il nome di cascata perché il vapore flash del primo gruppo, va ad alimentare il secondo, il secondo il terzo e così via.

L'acqua ed il vapore dell'ultimo gruppo vengono raccolti in un condensatore, che li riporta completamente allo stato liquido per poi essere rimandato alla caldaia per ricominciare il ciclo. L'impianto a cascata permette di recuperare tutto il vapore attraversante ed il vapore nascente. Molto importante per questa tipologia di impianto è il controllo delle differenze di pressione tra un gruppo ed un altro, pressioni sbagliate ostacolerebbero l'estrazione delle condense e quindi causerebbero allagamenti dei cilindri.

6.2 IMPIANTO A TERMOCOMPRESSORI

Rispetto all'impianto a cascata, ha bisogno di una linea ad alta pressione per alimentare i termocompressori. Il gruppo principale viene alimentato dalla linea diretta che viene dalle caldaie, anche qui è presente una valvola PCV per la regolazione della pressione.

La condensa ed il vapore attraversante del primo gruppo vengono raccolti in un separatore.

Il vapore flash che fuoriesce dal separatore non va ad alimentare un altro gruppo come nel sistema a cascata, ma viene inviato ai termocompressori.

Il termocompressore aspira il vapore, lo ricomprime alla pressione d'esercizio dei cilindri e lo immette nella linea diretta di alimentazione.

Il vantaggio di questo sistema è che non occorre avere batterie a pressione decrescente.

6.3 VENTILAZIONE

Dalla seccheria bisogna allontanare una grande quantità di aria contenente l'acqua evaporata corrispondente a tutta quella che viene tolta dalla carta. Per allontanare 1kg d'acqua occorrono circa 50 m³ d'aria. In passato l'acqua veniva tolta tramite dei camini sul soffitto, i quali però creavano delle fumane che allontanandosi formano della rugiada che cadendo sulla carta portava a frequenti rotture. Da qui e dopo altri sistemi troppo dispendiosi economicamente, nascono le cappe che coprono tutta la seccheria.

Le prime cappe aspiravano le fumane tramite dei ventilatori, introducendo aria calda dalla parte inferiore. In un secondo momento furono aggiunti dei riscaldatori sul soffitto per evitare la formazione della rugiada. Gli stessi poi vennero sostituiti con degli scambiatori di calore.

Praticamente tramite tubazioni viene presa l'aria dall'esterno, viene riscaldata, per infine essere mandata sul soffitto, mentre altre tubazione la portano sotto la seccheria in modo che questa aria risalga assorbendo umidità, per poi essere estratta sottoforma di fumana.

L'utilizzo delle cappe per il recupero delle fumane ha permesso, attraverso gli scambiatori di recuperare il 60% del calore che contengono, il quale viene riutilizzato per riscaldare l'aria che poi verrà reintegrata nell'ambiente.

Con l'applicazione delle cappe si sono raggiunti miglioramenti per quanto riguarda:

- la raccolta dell'umidità evaporata
- la diminuzione del fabbisogno d'aria
- la diminuzione e il controllo dei movimenti dell'aria
- la riduzione dell'impiego di energia.

6.4 CAPPE APERTE

Vengono utilizzate per macchine con una produzione ridotta e in paesi caldi.

Solitamente la quantità di fumana raccolta ha un basso contenuto termico, per questo non vengono installati recuperatori di calore.

Praticamente la cappa ricopre tutta la seccheria e gli estrattori immettono direttamente nell'ambiente.

6.5 CAPPE CHIUSE CON RECUPERATORI DI CALORE

Sono le cappe più diffuse. La seccheria viene completamente ricoperta da una cappa coibentata con materiale isolante ad elevato spessore. Le pareti laterali ed il tetto sono fatte in alluminio per evitare la ruggine. Nel lato conduzione sono installate porte sollevabili.

Le fumane a differenza delle cappe aperte hanno un alto contenuto termico e minore portata, da qui l'utilizzo di recuperatori di calore.

6.6 POCKET VENTILATION

È il più moderno concetto di "ventilazione", il quale, grazie a degli accorgimenti particolari porta alla ricerca delle cosiddette sacche di umidità presenti nei vari spazi cilindro-cilindro dove si ha un accumulo di aria satura di acqua la quale non permette alla carta di proseguire la sua asciugatura in modo ottimale. Con la semplice introduzione di cassette soffianti (aria

calda secca recuperata dalle cappe) in tali zone, ne consegue la maggior differenza tra la temperatura dell'aria nelle sacche ed il punto di rugiada (temperatura alla quale un quantitativo di aria, con un dato carico di vapore, inizia a condensare). Quanto maggiore sarà la distanza tra le due, tanto maggiore sarà la capacità di assorbimento d'umidità da parte dell'aria. È importante ricordare che quando i valori di temperatura del punto di rugiada eguagliano o si avvicinano molto alla temperatura dell'aria nella medesima posizione, si possono avere dei fenomeni di condensazione nelle sacche, fenomeno certamente inconcepibile nella fase di asciugatura del foglio.

7. IL VANTAGGIO DEL CILINDRO ESSICCATORE IN ACCIAIO

Il cilindro essiccatore è l'elemento più importante per l'asciugamento della carta in seccheria. Questo organo fondamentale è generalmente in fusione di ghisa ma come vedremo in seguito può essere realizzato anche in acciaio. Definito che la lunghezza del cilindro essiccatore è in funzione del tipo di macchina, per determinare il diametro dei cilindri si deve tener conto dei seguenti criteri costruttivi: conduzione del foglio, potenza essiccante e costi d'esercizio. Maggiore è il diametro, maggiore sarà la superficie di contatto con il foglio, di conseguenza si avrà un miglior essiccamento. Di contro, diametri elevati portano ad un aumento dello spessore del mantello che è inversamente proporzionale allo scambio termico. Va ricordato inoltre che anche l'aumento della lunghezza del cilindro porta ad un aumento dello spessore della sua struttura; e non dimentichiamo che è comunque necessario mantenere uno spessore tale da permettere all'essiccatore di sopportare la pressione interna del vapore.

Il cilindro essiccatore è formato sostanzialmente da tre parti: due testate (lato comando e lato servizio) che chiudono un mantello circolare. Sulle due testate sono ricavati i perni che ne consentono la rotazione, quello del lato comando è cavo per consentire l'introduzione del vapore e l'estrazione della condensa. Il mantello esterno è rettificato in modo da presentare una superficie speculare che sia il più regolare e liscia possibile e quindi favorire un miglior contatto con il foglio di carta, il quale non si attacca e non viene segnato da eventuali irregolarità. Il criterio con il quale si sceglie la disposizione degli essiccatori, come ad esempio la divisione in "batterie", dipende dal tipo di carta che si intende fabbricare e specialmente dalle caratteristiche di restringimento presentato dalla carta durante l'asciugamento. Quindi i

cilindri essiccatori sono divisi in più batterie, in modo da consentire una regolazione della tensione del foglio durante l'asciugamento.

7.1 NORME DI COSTRUZIONE ASME

I cilindri essiccatori per svolgere la loro funzione di asciugare la carta sono caricati all'interno di vapore d'acqua in pressione, questo comporta una verifica strutturale dei materiali utilizzati con lo scopo di garantire un corretto funzionamento in sicurezza. In fase di progetto dei cilindri essiccatori il costruttore è tenuto a fare un'analisi delle sollecitazioni, quindi deve osservare un metodo per valutare l'effettiva pericolosità delle sollecitazioni su questa particolare struttura, classificata come recipiente in pressione. La sicurezza progettuale può essere riscontrata con più normative di riferimento, riconosciute a livello nazionale, europeo o mondiale; per l'esposizione del presente studio abbiamo consultato le ASME American Society of Mechanical Engineers. Fondata nel 1880, la suddetta associazione americana degli ingegneri meccanici, oltre ad essere una associazione professionale, ha sviluppato una serie di norme per il dimensionamento dei recipienti in pressione destinati ad impieghi comuni e speciali e vengono considerate norme di riferimento anche da autorità locali. Queste norme sono raccolte in più volumi e sono periodicamente aggiornate, riconosciute con il nome di ASME Boiler and Pressure Vessels Code. Secondo le norme ASME lo spessore del manto si calcola considerando la tensione longitudinale lungo la circonferenza del cilindro in pressione.

$$s = \frac{P \cdot R}{\sigma_a \cdot E - 0,6 \cdot P}$$

P: pressione del vapore all'interno del cilindro
R: raggio interno del cilindro
 σ_a : tensione massima ammiss. del materiale
E: coeff. di giunzione

Acciaio al Carbonio Tipo P 275 NH
tensione ammiss. materiale $\sigma = 485 \text{ MPa}$

Fusione di Ghisa Tipo G 25
tensione ammiss. materiale $\sigma = 344 \text{ MPa}$

Da questa formula si può pienamente dedurre che, essendo al denominatore la tensione ammissibile del materiale, maggiore sarà essa, minore sarà la risultante dello spessore necessario per la fabbricazione del mantello del cilindro.

7.2 LO SCAMBIO TERMICO IN SECCHERIA

H_v : conduttanza dell'anello liquido

$H_v = 2153 \text{ Kcal}/(\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C h})$

s : spessore del manto

$s = 17 \text{ mm}$ per l'acciaio $s = 32 \text{ mm}$ per la ghisa

k : conducibilità termica del manto

$k = 37 \text{ Kcal}/(\text{m } ^\circ\text{C h})$

H_m : conduttanza fra manto e carta

$H_m = 900 \text{ Kcal}/(\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C h})$

c : spessore della carta

$c = 2,66 \text{ micron}$

k_c : conducibilità della carta

$k_c = 0,043 \text{ Kcal}/(\text{m } ^\circ\text{C h})$

Coefficiente globale di
scambio termico

$$U = \frac{1}{\frac{1}{H_v} + \frac{s}{k} + \frac{1}{H_m} + \frac{c}{k_c}}$$

$U = 477 \text{ Kcal}/(\text{mq } ^\circ\text{C h})$ per l'acciaio

$U = 400 \text{ Kcal}/(\text{mq } ^\circ\text{C h})$ per la ghisa

I processi fisici che prendono parte all'essiccazione del foglio sono principalmente due: la conduzione e la convezione. La trasmissione del calore per conduzione è l'unico meccanismo che consente la propagazione del calore nei solidi ed avviene per contatto diretto. Nel caso del cilindro essiccatore tale propagazione avviene attraverso i manti di cilindri essiccatori e attraverso la carta umida da asciugare. Lo scambio termico dovuto alla convezione si verifica tra un solido e un fluido. Tale fenomeno, nell'ambito della macchina continua, si manifesta nell'anello liquido di condensa all'interno del cilindro e sullo strato di vapore che si forma tra la superficie del manto essiccatore ed il foglio. Questo ultimo effetto è dovuto al movimento dell'aria riscaldata nei pressi della superficie del foglio e l'indice di trasmissione del calore può essere calcolato in funzione della velocità del flusso d'aria e dalla sua temperatura. Lo scambio termico descritto risulta migliore quanto più stretto ed uniforme è il contatto tra i due solidi, nel nostro caso il foglio di carta ed il manto del cilindro. Cause che limitano questo contatto sono la ruvidità intrinseca della carta, la finitura superficiale del mantello dell'essiccatore e l'elevato spessore dell'anello liquido di condensa all'interno del cilindro. Tale spessore può essere ridotto grazie all'impiego di speciali sifoni atti all'estrazione della condensa.

7.3 VANTAGGIO DELL'IMPIEGO DEL CILINDRO IN ACCIAIO

Dalle leggi fisiche (viste sopra) si evince che il calore scambiato dal vapore all'interno del cilindro alla carta è in funzione allo spessore del manto metallico, è chiaro che più lo spessore del manto è basso più alto è il valore del coefficiente globale di scambio, in tal senso migliora

ovviamente lo scambio termico in seccheria. Lo spessore del manto dipende dalle norme di costruzione ASME, le quali impongono un valore minimo dello spessore. A parità di pressione interna, raggio interno e coefficiente di giunzione del cilindro, lo spessore dipende dalla tensione ammissibile del materiale utilizzato per la costruzione. La tecnologia meccanica insegna che l'acciaio possiede una resistenza alla tensione superiore alla ghisa, infatti nelle tabelle ASME troviamo che l'acciaio utilizzato per la costruzione dei recipienti in pressione, come il cilindro essiccatore, ha una tensione ammissibile di circa il 40% superiore a quella della ghisa. Quindi, per la costruzione del cilindro essiccatore, è evidente che l'impiego dell'acciaio, anziché della ghisa, offre la possibilità di ridurre notevolmente lo spessore del manto e di conseguenza migliorare lo scambio termico durante l'asciugatura del foglio.

7.4 DEFINIZIONE DI EVAPORATO SPECIFICO (DRYNG RATE)

L'evaporato specifico è un parametro fondamentale per il dimensionamento della seccheria. Ogni tipo di seccheria ha per ogni tipo di carta un valore dell'evaporato specifico. Di solito l'evaporato specifico è rappresentato da un grafico in cui varia in funzione della pressione o della temperatura del vapore. L'evaporato specifico della seccheria indica la massa di acqua evaporata nell'unità di tempo per una determinata superficie essiccante. Il valore di questo parametro si ricava in modo empirico, ovvero con l'esperienza, anche se è possibile calcolarlo con delle formule matematiche, ma solo per ottenere una stima approssimata. La difficoltà nel determinare questo valore è giustificata dal fatto che dipende da molte variabili in gioco durante l'essiccamento del foglio, come ad esempio la regolazione delle cappe aspiranti, il tipo di carta prodotta o l'applicazione di amido fra una batteria essiccatrice e l'altra, che inumidisce ulteriormente la carta.

$$\text{Dryng Rate} = \frac{\text{Massa H}_2\text{O evaporata}}{\text{Superficie risultante}}$$

Dove

Massa H₂O ev. = prod. oraria carta * [(grado secco uscita/grado secco ingresso) - 1]

Superficie risultante = (diametro est cil essiccatore * π * Lunghezza formato carta * numero tot cilindri seccheria)

7.5 ANALISI DELLE DIFFERENZE FRA ACCIAIO E GHISA

È interessante mettere a confronto due modelli ipotetici di seccheria, uno con cilindri in acciaio e l'altro con cilindri in ghisa. A tale scopo sono stati raccolti dei dati che potrebbero simulare il regolare funzionamento di un certo tipo di cartiera. L'unico dato differente fra i due modelli è lo spessore del manto, infatti dalle norme costruttive ASME per l'acciaio risulta sicuramente inferiore a quello della ghisa. Nel nostro caso tale differenza è pari al valore di 15 mm, non si discosta molto dagli standard reali e mette in evidenza notevoli effetti sulla resa dell'impianto. Per l'acciaio abbiamo utilizzato uno spessore di 17 mm mentre per la ghisa di 32 mm. Dopodiché è stato ricavato il calore trasferito dal cilindro alla carta. Questo valore risultante deve essere stornato delle perdite di calore dovute ai fenomeni fisici di seguito elencati: calore perso per convezione tra carta e aria, calore sensibile fornito alla carta secca, calore sensibile fornito all'acqua. Depurando così il calore trasferito dal calore perso e non utilizzabile per l'evaporazione, si ottiene finalmente il calore disponibile per l'evaporazione. Da questo ultimo dato è stato possibile ricavare l'acqua evaporata nell'unità di tempo, andando a dividere il suo valore per il calore latente dell'acqua alla temperatura media della carta in seccheria. Di seguito le formule utilizzate per il calcolo dell'acqua evaporata:

$$\dot{m}_{ev} = \dot{m} \cdot \left(\frac{X_o}{X_i} - 1 \right)$$

in cui

\dot{m}_{ev} : massa di acqua evaporata

\dot{m} : produzione oraria di carta

X_o : grado secco fine seccheria = 94 %

D : diametro esterno X_i : grado secco ingresso seccheria = 50 %
 $D = 1,5$ m)ie effettiva di
scambio termico

220° : Angolo di avvolgimento della carta sul cilindro

L : larghezza del formato della carta

$L = 2,9$ m

$$A = D \cdot \pi \cdot \frac{220}{360} \cdot L \cdot n$$

n : numero totale dei cilindri essiccatori

$n = 45$

$$A = 376 \text{ mq}$$

t_{vi} : temperatura vapore ingresso seccheria
152 °C

t_{vo} : temperatura vapore uscita seccheria
180 °C

t_{ci} : temperatura carta ingresso seccheria
40 °C

t_{co} : temperatura carta uscita seccheria
90 °C

Differenza media logaritmica
della temperatura

$$\Delta t_{ln} = \frac{(t_{vi} - t_{ci}) - (t_{vo} - t_{co})}{\ln[(t_{vi} - t_{ci}) / (t_{vo} - t_{co})]}$$

101 °C

$U = 477$ Kcal/(mq °C h) per l'acciaio

$U = 400$ Kcal/(mq °C h) per la ghisa

$A = 376$ mq

101 °C

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot \Delta t_{ln}$$

18.114.552 Kcal/h

per l'acciaio

15.190.400 Kcal/h

per la ghisa

Lo scambio termico disponibile
per l'evaporazione

$$\dot{Q}_d = \dot{Q} - \text{perdite}$$

PERDITE DI CALORE:

- Calore perso per convezione tra carta e aria 4.869.581 Kcal/h
- Calore sensibile fornito alla carta secca 372.120 Kcal/h
- Calore sensibile fornito all'acqua 618.550 Kcal/h

Infine, avendo a disposizione il valore della massa evaporata nell'unità di tempo, è stato possibile ottenere il Drying Rate. Dai calcoli sperimentali abbiamo ricavato la seguente tabella, dove possiamo notare la differenza fra acciaio e ghisa.

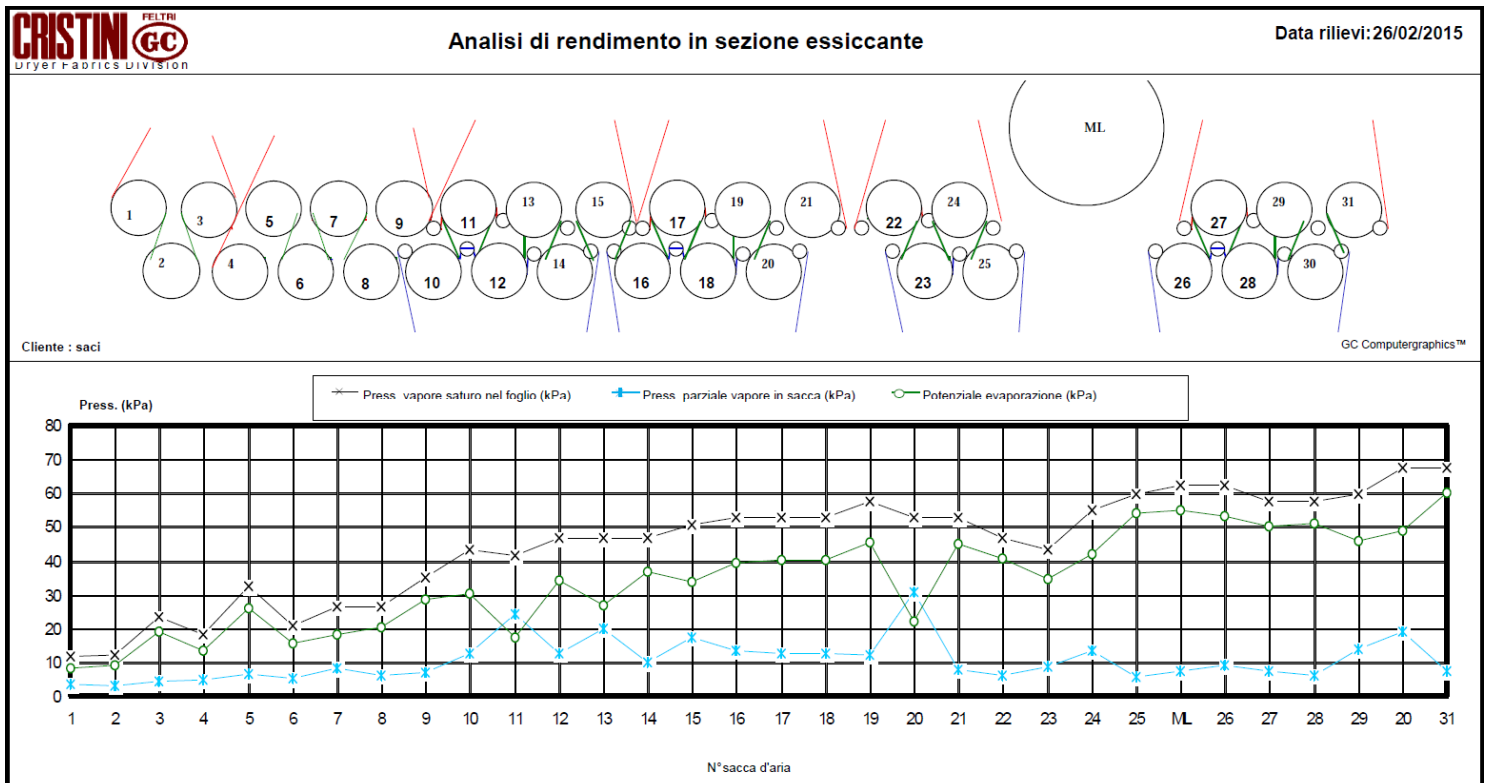
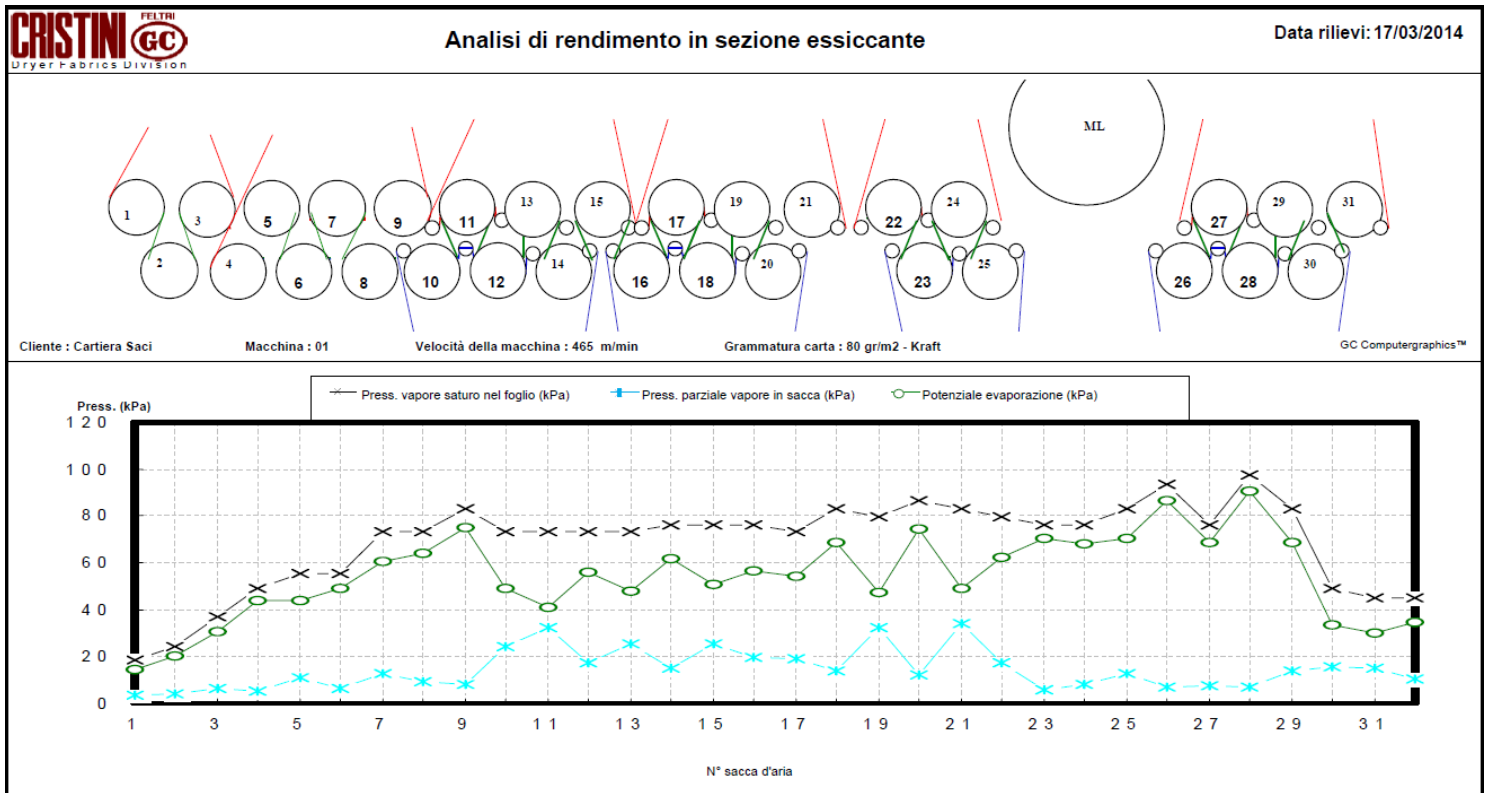
$$D.R. = \frac{\dot{m}_{ev}}{A_r}$$

$$A_r = D \cdot \pi \cdot L \cdot n = 1,5 \cdot \pi \cdot 2,9 \cdot 45 = 615 m^2$$

Confronto dei Parametri	Cilindri in Acciaio	Cilindri in Ghisa
Spessore del manto s	17 mm	32 mm
Coefficiente globale di scambio U	477 Kcal/(mq °C h)	400 Kcal/(mq °C h)
Calore trasferito dai cilindri alla carta Q	18.114.552 Kcal/h	15.190.400 Kcal/h
Calore disponibile per l'evaporazione Qd	12.254.301 Kcal/h	9.330.149 Kcal/h
Acqua Evaporata Mev	21.810 Kg/h	16.579 Kg/h
Evaporato specifico D.R.	35,5 Kg/(h mq)	27,0 Kg/(h mq)

Se dalla tabella andiamo a calcolare il rapporto del coefficiente globale di scambio fra i cilindri in acciaio ed i cilindri in ghisa, otteniamo una differenza del 19%. La stessa differenza in più del numero dei cilindri in ghisa, rispetto ai cilindri in acciaio, per avere la stessa massa di acqua evaporata.

7.6 ANALISI DI RENDIMENTO SECCHERIA PRIMA/DOPO



La pressione del vapore all'interno del foglio dipende dalla sua temperatura; poiché la relazione è esponenziale, è importante tenere la temperatura del foglio alta. L'effetto di diminuire il valore di temperatura di 6° a 90°C è il 500% maggiore che a 50°C. Quindi, quando il foglio è caldo, è meglio tenerlo tale, fino a fine evaporazione; un raffreddamento del foglio diminuirà notevolmente l'efficienza di seccheria. La pressione parziale del vapore nell'aria è proporzionale al quantitativo di umidità; questo valore deve essere di entità più bassa possibile, al fine di permettere la massima evaporazione al foglio di carta. Il valore medio riscontrato, circa 5-20kPa, è da considerarsi normale.

Come possiamo notare dai due grafici, dal cilindro n°22 al 31 (essendo le due batterie di cilindri sostituite dalla ghisa all'acciaio), c'è stato un aumento esponenziale del potenziale di evaporazione del foglio di carta: esso indica la capacità da parte del feltro fibroso di far evaporare (quindi essiccare) l'acqua nell'aria circostante. Esso deriva dalla differenza tra la pressione di vapore all'interno del foglio e la pressione parziale del vapore nell'aria. Teoricamente, con elevate temperature del foglio e basse umidità in sacca, possiamo trovare differenze nella pressione di vapore (potenziale) pari a 50kPa: ciò ci indica come normale un potenziale di evaporazione superiore a 25kPa per macchine con questa velocità e tipo di produzione. Discreto, quindi il potenziale in tutta la sezione essiccante, tolto le sacca n, 20 dove si nota un abbassamento del valore dovuto all'elevata umidità data dalla presenza dell'umettatrice.

BIBLIOGRAFIA:

Documentazione e appunti: Paolo Zaninelli - Scuola Cartaria “San Zeno” Verona

Analisi di rendimento in sezione essiccante: Cristini Feltri

Studi, appunti e formule fisiche sui cilindri essiccatori: Toscotec spa

Consulenza tecnica: Cartiere Saci spa