



REGIONE DEL VENETO

Esame di fine corso

Cod. Progetto 4262/2/668/2015 - Cod. Intervento 4262/003/636/DEC/22

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

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

L'impianto vapore

di Ametrano Simone



**Scuola Interregionale
di tecnologia per tecnici Cartari**

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

INDICE

1. PREMESSA

2. INTRODUZIONE

3. PRINCIPI TEORICI FONDAMENTALI

- 3.1 Lo scambio termico
- 3.2 Il vapore saturo e il vapore surriscaldato
- 3.3 La trasmissione di calore
- 3.4 La pressione assoluta e la pressione relativa

4. LE COMPONENTI DELL'IMPIANTO VAPORE

- 4.1 Il cilindro essiccatore
- 4.2 Il giunto rotante
- 4.3 I dispositivi per l'estrazione della condensa
- 4.4 Sistema del vuoto per estrazione condensa dai cilindri ("vortec")
- 4.5 Le barre di turbolenza
- 4.6 Le tele essiccatrici

5. LA VENTILAZIONE E LE CAPPE

- 5.1 Le cappe aperte
- 5.2 Le cappe chiuse

6. GLI IMPIANTI VAPORE E CONDENZA

- 6.1 Impianti a cascata
- 6.2 Impianto a termocompressori

1. PREMESSA

Lo stabilimento PM3 (gruppo SACI di Verona) venne costruito a metà del '900 dall'ex Gruppo CARIOLARO per la produzione di carta bianca da stampa disinchiostrata. Con il passare degli anni, per necessità del mercato, si cominciò a produrre anche carte da imballo riciclate. A metà del 2012 subentrò la cartiera "Carmenta" mantenendo quasi invariata la produzione di carte da stampa e carte riciclate da imballo. Nel 2014 passò sotto il gruppo SACI, con nome PM3, orientando tutta la produzione sulle carte da imballo, che spazia da carte fluting a carte shopper.

Lo stabilimento PM3 ha una capacità produttiva di circa 190 tonnellate lorde e 160 tonnellate nette giornaliere. Usufruisce di una macchina continua lunga 100 m con un formato utile di 2,4 m di larghezza e con velocità massima di 900 m/min.

Le grammature variano dai 40 g/m² ai 170 g/m².

Di seguito, in questo trattato, andremo a descrivere le componenti e le funzioni di un impianto vapore di cartiera.

Concluderemo, poi, andando ad analizzare le modifiche recentemente apportate all'impianto vapore dello stabilimento PM3.

Come vedremo l'argomento si colloca perfettamente all'interno del periodo storico/economico che stiamo vivendo poiché la modifica apportata è atta ad ottimizzare e ridurre i consumi specifici di vapore e di conseguenza favorire il risparmio energetico.

2. INTRODUZIONE

Come noto l'industria cartaria è una delle filiere produttive maggiormente energivore, questo essenzialmente dovuto alla tipologia della lavorazione che richiede un elevato utilizzo di energia e di gas naturale. Per quanto concerne la prima è dovuto essenzialmente all'alto grado di automazione presente in cartiera ed al fatto che ci si trova di fronte a una tipologia di azienda in cui la produzione è a ciclo continuo. Per quel che riguarda il gas naturale, l'elevato consumo è dovuto alle grandi necessità termiche necessarie per l'asciugatura del foglio fibroso.

Ci soffermiamo quindi, brevemente, sulle fasi di lavorazione della carta.

Il processo di fabbricazione della carta è essenzialmente basato sul drenaggio e la disidratazione di una dispersione di fibre in acqua. L'impasto fibroso arriva in cassa d'afflusso con una consistenza che solitamente varia tra lo 0,2% e l'1% (2-10 gr di fibra per kg di impasto). Per disidratare la carta da tutta l'acqua ci sono tre fasi importanti:

- la prima è il drenaggio, che avviene sulla tavola piana tramite gravitazione, pulsazioni e vuoto; in questa fase l'impasto fibroso si disidrata fino al raggiungimento di circa il 20% di secco;
- la seconda avviene nella sezione presse, dove l'acqua viene rimossa per compressione meccanica aumentando il secco fino al 35% - 50%: questo grado di secco, ovviamente, varia in base al numero di presse, alla distribuzione dei carichi ed alla tipologia di impasti fibrosi (nel nostro caso il secco della sezione presse varia dal 38% al 45%);
- la terza e ultima fase è l'asciugatura; in questa fase l'impasto fibroso entra nella seccheria dove, per evaporazione, viene rimossa l'acqua restante. L'azione di evaporazione è assicurata dallo scambio termico tra i cilindri essiccatori e la carta, e dalla suddivisione, nel migliore dei modi, dei cilindri essiccatori in gruppi termici, in modo da permettere un esatto scarico delle condense, che risulta nella configurazione di una corretta curva d'essiccamento della carta.

Come si evince facilmente l'ultima fase richiede la maggior quantità di impiego energetico; infatti, secondo alcune statistiche viene consumata, sotto forma termica, anche più del 50% dell'energia totale della fase produttiva.

Andando ad analizzare con attenzione le tre fasi ci accorgiamo che esistono enormi e fondamentali correlazioni tra di esse dal momento che una non può essere efficiente ed efficace se la precedente non lo è. Questo è particolarmente evidente tra la fase due e tre poiché, spingendo con la disidratazione dell'impasto fibroso nella sezione presse e guadagnando quindi

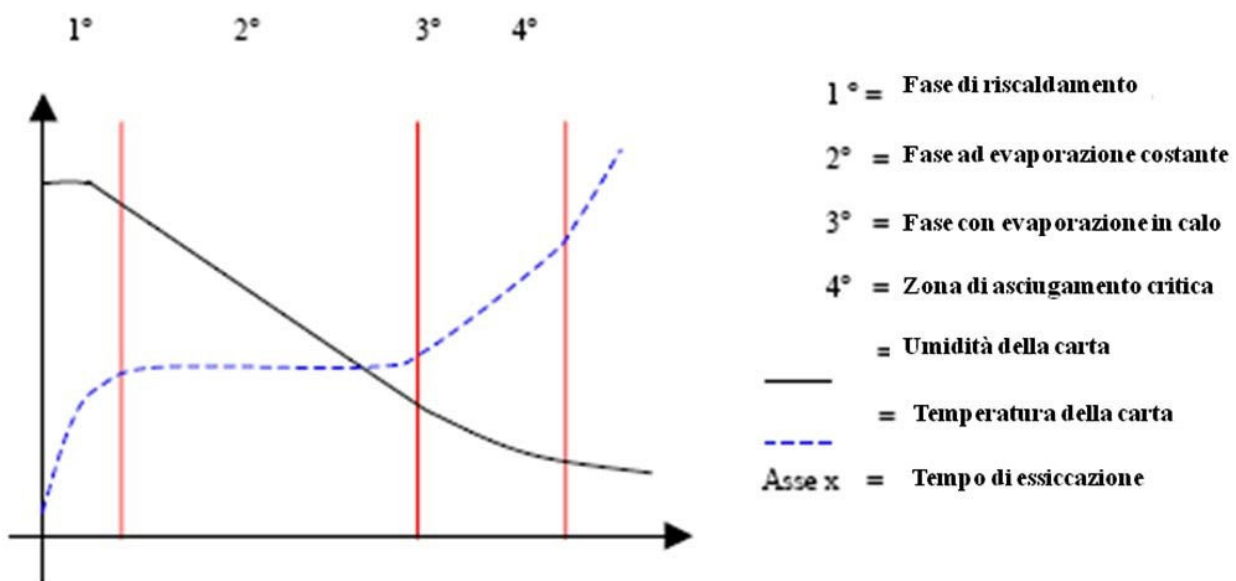
un punto percentuale di secco in ingresso alla seccheria è possibile guadagnare fino anche a un 5% di produzione. Un alto secco prima dell'ingresso in seccheria è fondamentale anche perché aumenta la resistenza del foglio e di conseguenza migliora la “runability” della macchina.

Abbiamo appena descritto, seppur in maniera approssimativa e rapida, come nasce la carta e perché tutte le fasi di lavorazione sono importanti. Andiamo quindi a introdurre quello che poi sarà l'argomento principale dell'elaborato cioè l'asciugatura.

Quando l'impasto fibroso esce dalla sezione presse contiene ancora più del 50% di acqua. Questo è composto in parte da molecole d'acqua, che per semplicità chiameremo “acqua libera”, che potrebbero teoricamente essere rimosse per azione meccanica ma ciò richiederebbe delle pressioni di Nip “eccessivamente” elevate. Un'altra parte, che per semplicità chiameremo “acqua legata”, è composta da molecole di acqua che sono andate a legarsi chimicamente con le molecole di fibra presenti all'interno dell'impasto fibroso.

Analizzata la tipologia di acqua presente all'interno dell'impasto fibroso andiamo adesso ad analizzare e osservare il sistema in cui quest'acqua viene rimossa permettendo la produzione della carta grazie all'azione della seccheria.

Il grafico di seguito riportato indica le varie fasi di asciugamento che poi di seguito andremo a descrivere.



Come si nota facilmente dal grafico l'asciugatura della carta avviene in 4 fasi:

- Prima Fase:
Fase di Riscaldamento: L'impasto ha già la forma di carta, ma è ancora molto bagnato e freddo (30-40°C). Entra in contatto con cilindri a bassa temperatura (circa 50°C) per evitare danni come lo spolvero fibroso e l'ostruzione delle tele essiccatrici.
- Seconda Fase:
Fase di Evaporazione Costante: I cilindri vengono portati rapidamente oltre i 100°C. In questa fase il calore fornito è bilanciato da quello perso per evaporazione, e si elimina l'acqua libera in modo costante.
- Terza Fase:
Fase con Evaporazione in Calo: Terminata l'evaporazione dell'acqua libera, resta solo l'acqua legata, più difficile da rimuovere. Si riduce la temperatura per evitare danni al foglio.
- Quarta Fase:
Fase di Asciugamento Critica: La carta raggiunge una temperatura elevata e un grado di secco tra il 90% e il 95%. Non si cerca di arrivare al 100% perché la carta riassorbirebbe umidità dall'ambiente.

3. PRINCIPI TEORICI FONDAMENTALI

Come avviene spesso quando ci si trova a parlare o ad esporre un argomento conviene sempre ricordare e analizzare i principi teorici che stanno alla base dell'argomento trattato. Quindi, di seguito andremo ad esporre in maniera rapida e semplice i principi teorici fondamentali utili alla comprensione dell'asciugamento attraverso un impianto vapore della carta.

I principi di cui parleremo sono:

- lo scambio termico;
- il vapore saturo e il vapore surriscaldato;
- la trasmissione del calore;
- la pressione assoluta e la pressione relativa.

3.1 LO SCAMBIO TERMICO

Lo scambio termico, durante la fase di asciugamento del nastro di carta, può avvenire essenzialmente in tre modi:

- la conduzione;
- la convezione;
- l'irraggiamento.

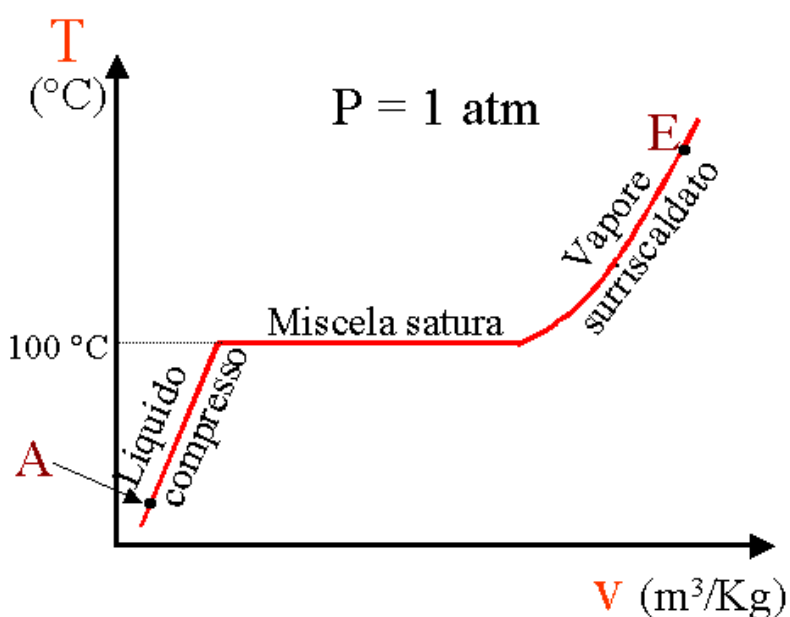
Lo scambio termico per **conduzione** avviene quando due corpi a temperatura diversa sono a contatto: il calore passa dal corpo più caldo a quello più freddo in proporzione alla differenza di temperatura, secondo il primo principio della termodinamica. Nella produzione della carta, questo accade soprattutto nei primi cilindri essiccatori, dove il nastro di carta ancora umido e freddo assorbe calore fino a raggiungere la temperatura necessaria per innescare l'evaporazione dell'acqua. L'efficacia della conduzione dipende dalla qualità del contatto tra carta e cilindro, che deve essere stretto e uniforme. Tuttavia, questo contatto può essere ostacolato da fattori come la ruvidità della carta, la finitura del cilindro, la presenza di un anello liquido all'interno del cilindro e lo strato d'aria che si forma tra carta e superficie calda.

Lo scambio termico per **convezione** avviene attraverso il movimento di masse d'aria calda che, mescolandosi, tendono a uniformare la temperatura. Questo fenomeno si verifica nei cosiddetti "tiri liberi", cioè negli spazi in cui la carta passa liberamente da un cilindro all'altro. Qui, l'aria riscaldata trasferisce calore alla carta e il processo dipende soprattutto dalla velocità e dalla temperatura dell'aria.

Infine, lo scambio termico per **irraggiamento** è il trasferimento di calore tramite onde elettromagnetiche, come avviene tra il Sole e la Terra. Nell'industria cartaria è usato dopo le size press e le patinatrici, dove si impiegano sistemi a raggi infrarossi, alimentati a gas o elettricamente, per asciugare rapidamente le soluzioni applicate sulla superficie della carta (come patina o amido) e per correggere il profilo di umidità del foglio.

3.2 IL VAPORE SATURO E IL VAPORE SURRISCALDATO

Come si può controllare e vedere dal grafico sottostante per ottenere vapore è necessario portare l'acqua alla sua temperatura di ebollizione; questa è 100 °C alla pressione atmosferica.



Presa questa informazione come base, risulta importante e significativo notare che se servono 99,1 Cal/Kg per portare l'acqua da 0°C alla temperatura di ebollizione, ne serviranno ben 539,4 Cal/Kg per farla evaporare. Mentre si fa bollire dell'acqua il calore fornito non innalzerà la temperatura dell'acqua oltre i 100°C (la temperatura, infatti, rimane costante durante l'ebollizione), ma servirà a indebolire i legami fra

le molecole, le quali, di conseguenza, saranno libere di occupare tutto il volume a loro disposizione (ovvero passeranno dallo stato liquido allo stato vapore), fino al punto in cui tutta l'acqua si sarà trasformata in vapore.

Il vapore saturo è la condizione in cui un liquido è in equilibrio con il suo vapore. In questo stato, il numero di particelle che lasciano la superficie del liquido è uguale a quelle che vi ritornano. Questo vapore è pronto per entrare negli essiccatori, dove, a contatto con i cilindri raffreddati dal nastro di carta umido, condensa e rilascia il calore latente al suo interno.

Il vapore surriscaldato, invece, è vapore che è stato portato a una temperatura superiore a quella di ebollizione (detta anche temperatura di saturazione). A parità di pressione, con l'aumento della temperatura, cresce anche l'entalpia (contenuto termico) del vapore. Pertanto, il vapore surriscaldato ha una temperatura ed un contenuto energetico superiore.

3.3 LA TRASMISSIONE DI CALORE

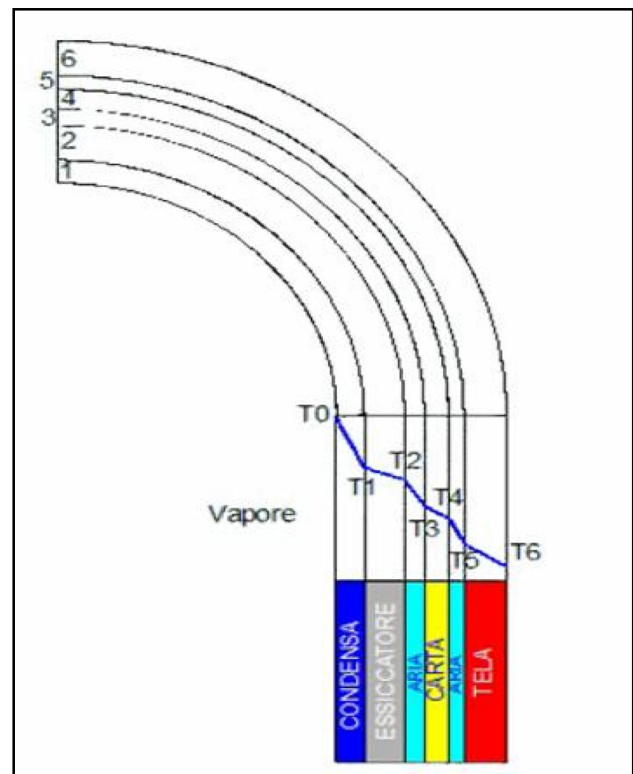
La “Trasmissione di Calore” è un fenomeno di trasporto in cui è coinvolta energia termica tra due sistemi termodinamici ed è causato da una differenza di temperatura tra i due sistemi, con trasferimento da quello caldo a quello freddo. Questo è alla base del sistema che spiega come il vapore iniettato in pressione all’interno dei cilindri essiccatori raggiunge poi il nastro di carta e riesce ad asciugarlo. Per semplificarne la comprensione viene analizzato il disegno qui di seguito riportato.

La temperatura (T_0) è la temperatura di condensazione del vapore all’interno del cilindro mentre la temperatura (T_6) è la temperatura a cui avviene l’evaporazione dell’acqua contenuta nella carta.

La quantità di energia trasmessa dal vapore al foglio di carta dipende da diverse resistenze che si oppongono al trasferimento del calore:

- gas non condensabili (il vapore spesso porta una piccola quantità di gas non condensabili, generalmente aria, che tendono a concentrarsi sulla superficie, dove avviene la condensazione);
- l’anello liquido di condensa;
- la parete metallica del cilindro (la resistenza al trasferimento del calore dipende direttamente dalla conduttività termica del materiale e non può essere modificata);
- lo strato d’aria tra il foglio e il cilindro (corrisponde alla resistenza al contatto tra il nastro di carta e il cilindro essiccatore e dipende principalmente dalla ruvidità della carta, dalla porosità del mantello e dalla tensione delle tele essiccatrici).

Questo permette poi di comprendere e sviluppare sistemi per analizzare la temperatura superficiale di cilindri e del nastro di carta e quindi in seguito in maniera indiretta della curva di asciugamento.



3.4 LA PRESSIONE ASSOLUTA E LA PRESSIONE RELATIVA

La pressione (P) è una grandezza fisica, definita come il rapporto tra il modulo della forza agente ortogonalmente (F) su una superficie di area (S).

$$P = F / S$$

I fluidi subiscono soltanto l'effetto della pressione (legge di Pascal), mentre i solidi risentono anche dell'effetto di tensione.

La pressione, come la tensione, rientra nel concetto di sollecitazione.

La pressione può essere di due tipi:

- Pressione Assoluta o Reale: è la pressione misurata assumendo come riferimento il vuoto;
- Pressione Relativa: è la pressione misurata assumendo come riferimento un'altra pressione (ad esempio quella atmosferica terrestre).

Se in un recipiente la pressione assoluta è di 10 atm e all'esterno c'è la pressione atmosferica (1 atm), la pressione relativa all'interno è pari alla differenza, cioè **9 atm**. Quando la pressione è inferiore a quella atmosferica si parla invece di **depressione** o **sottovuoto**.

4. LE COMPONENTI DELL'IMPIANTO VAPORE

Avendo appena descritto i principi fondamentali con cui comprendere il funzionamento e le logiche di asciugamento del nastro di carta è opportuno e doveroso andare a comprendere e analizzare, sempre in maniera molto semplice e rapida, tutti gli elementi meccanici.

Quindi di seguito andremo a discutere e analizzare le seguenti componenti:

- il cilindro essiccatore;
- il giunto rotante;
- i dispositivi per l'estrazione della condensa;
- le barre di turbolenza;
- le tele essiccatrici.

4.1 IL CILINDRO ESSICCATORE

La caldaia produce il vapore alla pressione e, di conseguenza, alla temperatura desiderata. Il vapore viene poi mandato in macchina continua, o più precisamente ai cilindri essiccatori, che generalmente erano realizzati in fusione di ghisa ed ora, sempre più spesso, in acciaio.

La loro lunghezza è in funzione alla larghezza della macchina continua ed il diametro dipende dai vincoli di costruzione, puntando, nel possibile, sempre ad un diametro maggiore, perché più è grande, maggiore sarà la superficie di contatto con il foglio e di conseguenza un incre-

mento di essiccamento. Nella maggior parte dei casi il loro diametro è di 1,5-1,8 m. Le ampie dimensioni risultano importanti e significative per quanto concerne il diametro dei cilindri ma devono essere ridotte al minimo le distanze tra i cilindri per ridurre al minimo gli stress che il nastro di carta subisce nei “tiri liberi” presenti tra un cilindro e l'altro.

Il mantello esterno ha uno spessore che può variare tra i 25 e 30 mm. Essendo questo a contatto con la carta deve avere una superficie il più liscia possibile, così che si riducano i rischi che il nastro di carta si attacchi alla superficie; inoltre,



permette che si abbiano il maggior numero di più punti di contatto con il nastro e, di conseguenza, un maggior scambio termico possibile.

Ovviamente è di fondamentale importanza per il mantenimento dell'efficienza dei cilindri durante la fase di asciugatura che la pulizia della superficie sia ottimale. Per fare ciò a contatto con la superficie del cilindro vengono installati, ancorati non al cilindro ma sulle spalle della seccheria, dei supporti che sorreggono una raschia, che durante la fase di lavoro è a contatto la superficie del cilindro. Questa lama raschiatrice può essere fissa oppure oscillante ed una volta consumata si sostituisce con una nuova. L'attrito che ne causa il consumo rende necessario che siano per lo più prodotte in materiali plastici così da ridurre il rischio di fenomeni di incendio per sfregamento.

Per generare il movimento in un impianto di seccheria, i cilindri essiccatori sono divisi in più gruppi, detti "batterie". Queste batterie sono comandate singolarmente in quanto durante l'asciugamento avviene una contrazione del nastro di carta ed è necessario regolare la seccheria in modo da poter controllare l'entità dell'accorciamento tramite piccole differenze di velocità tra le sezioni, riducendo la possibilità di grinze, pieghe o rotture.

La disposizione dei cilindri di seccheria può essere di due tipi principali:

- Batterie Slalom (o Unorun): utilizzano una singola tela che accompagna il nastro di carta lungo i cilindri. Sono usate soprattutto nelle prime fasi dell'asciugatura, quando la carta è più fragile, per minimizzare i tiri liberi e ridurre rischi di grinze, sbandieramenti e rotture. Tuttavia, l'efficienza dello scambio termico è inferiore, perché nei cilindri inferiori la tela si interpone tra carta e superficie calda.
- Batterie Doppio Strato: prevedono il passaggio alternato del nastro di carta tra cilindri superiori e inferiori, con l'uso di due tele (una superiore e una inferiore) che migliorano il contatto con i cilindri. Questo sistema comporta la presenza di tiri liberi tra i passaggi, ma permette un miglior scambio termico rispetto alla Slalom.

È molto importante osservare che il cilindro essiccatore alle sue estremità è chiuso da due testate, su queste ci sono i perni che ne permettono la rotazione; uno dei due, solitamente quello posto lato "comando" della macchina continua, è cavo e serve per l'iniezione e l'estrazione della condensa. Nelle macchine molto larghe questo particolare costruttivo può essere presente su entrambe le testate per favorire una maggiore uniformità di riscaldamento su tutto il formato del cilindro. Sulla testata posta sul lato "servizio" della macchina continua è presente un ingresso, chiamato "passo d'uomo", che serve per un'eventuale ispezione all'interno del cilindro essiccatore.

Bisogna soffermarsi, per un momento, anche sulle possibili problematiche che possono riguardare i cilindri essiccatori che possono essere:

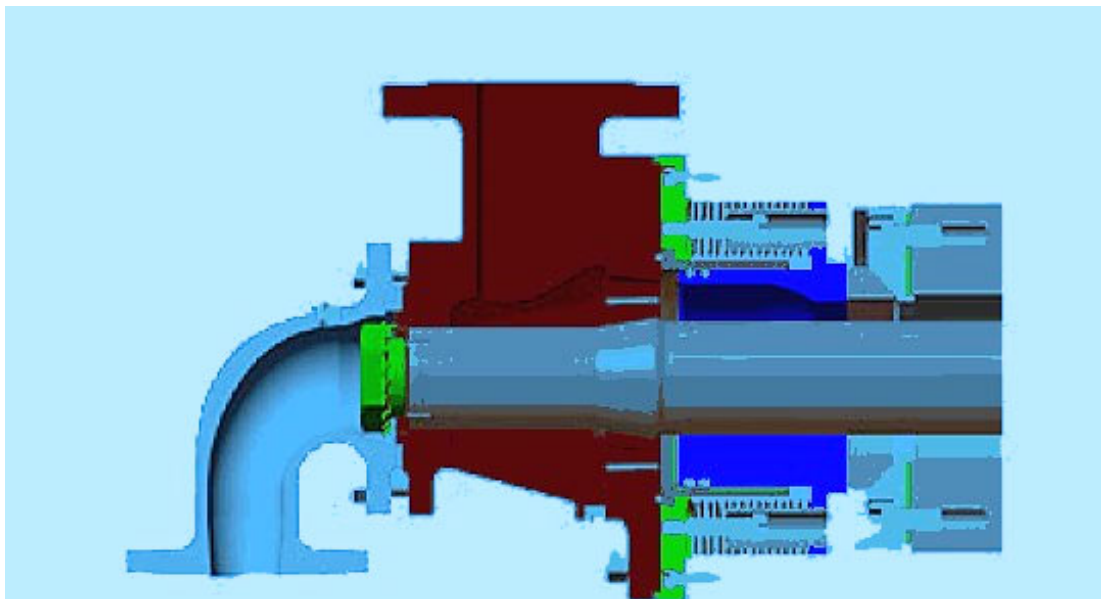
- la formazione e gestione della condensa;
- le irregolarità della superficie del mantello.

Per quanto riguarda la prima, su macchine relativamente veloci, con velocità superiori ai 300 m/min, la condensa crea un sottilissimo film sulla parete del mantello, ponendo una forte resistenza alla trasmissione del calore e diminuendo la resa termica del cilindro; mentre su macchine meno veloci, la condensa può formare pozze d'acqua che andranno a influenzare l'omogenea irradiazione del flusso termico.

Per quel che invece riguarda le irregolarità della superficie del mantello il problema è rappresentato dalla presenza di fori o scanalature che vanno ad inficiare il perfetto contatto tra il nastro di carta e la superficie del cilindro. Queste ultime possono essere provocate anche da un non perfetto utilizzo delle raschie di seccheria.

4.2 IL GIUNTO ROTANTE

Il giunto rotante (sezione di un giunto visibile nell'immagine sottostante) si trova solitamente sul lato comando della testata del cilindro essiccatore. Il suo interno è diviso in due canali separati da carboni di tenuta (grafite). In uno viene immesso il flusso di vapore, nell'altro viene estratta la condensa. I giunti possono essere autoportanti quando vengono applicati al perno senza altri elementi di fissaggio alla macchina, supportati quando vengono fissati alla struttura meccanica della macchina.

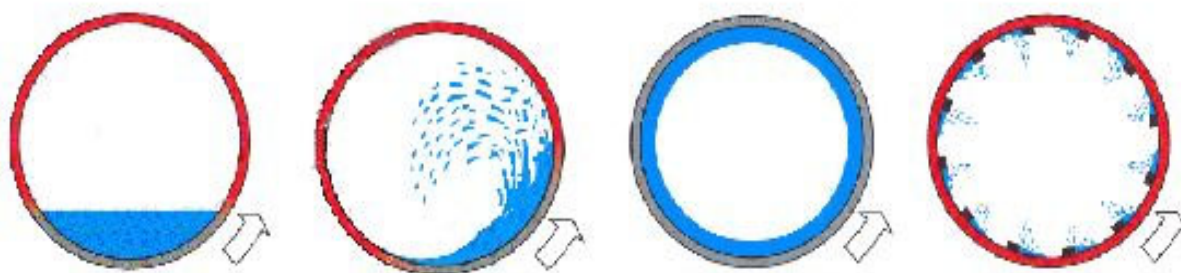


4.3 I DISPOSITIVI PER L'ESTRAZIONE DELLA CONDENSA

La gestione della condensa nei cilindri essiccatori può essere problematica. Quando il vapore entra in contatto con le pareti del cilindro, cede il suo calore e la sua temperatura scende sotto il punto di ebollizione, causando il passaggio da vapore a liquido, con la formazione di condensa. Questo fenomeno crea un fluido bifase, che contiene sia acqua che vapore.

Andando ad analizzare il comportamento di questo fluido all'interno di diverse tipologie di cilindri essiccatori, con diverse velocità di rotazione e diversi diametri si sono potuti osservare i seguenti fenomeni:

- una pellicola di condensa aderisce al mantello dell'essiccatore a tutte le velocità;
- a mano a mano che aumenta la velocità di rotazione del cilindro, una certa quantità di condensa passa attraverso gli stadi seguenti:
 - la maggior parte della condensa si raccoglie in una pozza sul fondo dell'essiccatore (pozza);
 - questa pozza si sposta lungo la parete nel cilindro nella direzione di rotazione (cascata lieve);
 - la condensa ricade sotto forma di "pioggia" dalla parete del cilindro (cascata);
 - per effetto della forza centrifuga, la condensa forma uno strato continuo sulla parete, che prende il nome di "anello" (spessore 1-1,5 mm);
- la velocità angolare alla quale cessa uno stadio e si passa a quello successivo, dipende dalla quantità di condensa e dal diametro del cilindro;
- in uno stesso essiccatore si sono osservate contemporaneamente la formazione dell'anello e della pioggia.

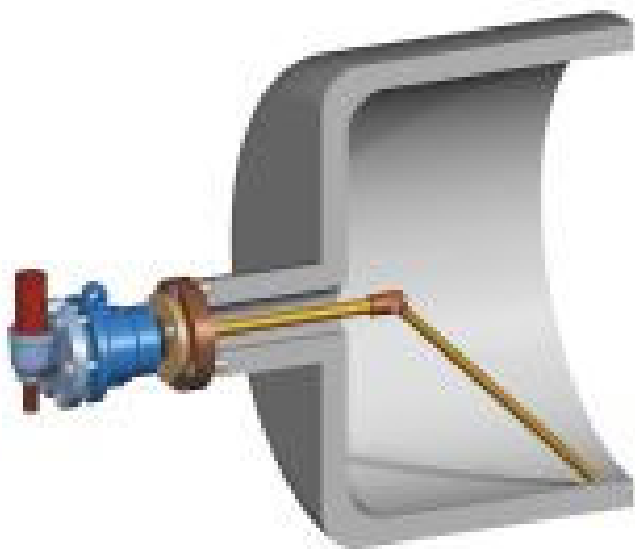


Le ricerche sull'essiccatore hanno evidenziato che il disegno e le dimensioni del sifone influenzano il comportamento della condensa e l'uniformità della temperatura del mantello. Il sifone è il dispositivo che consente il passaggio di condensa, vapore, aria e gas non condensabili dall'interno dell'essiccatore verso l'esterno, attraverso il giunto rotante.

Un sifone ben progettato deve minimizzare lo spessore e le variazioni della pellicola di condensa. Con dimensioni corrette e pressione differenziale adeguata, è possibile mantenere un anello sottile di condensa anche a basse velocità.

Un malfunzionamento può provocare il fenomeno della pioggia interna, che aumenta il consumo energetico, può danneggiare i cuscinetti e riduce l'efficienza dello scambio termico.

Vi sono due tipi principali di sifone, i rotanti e i fissi.



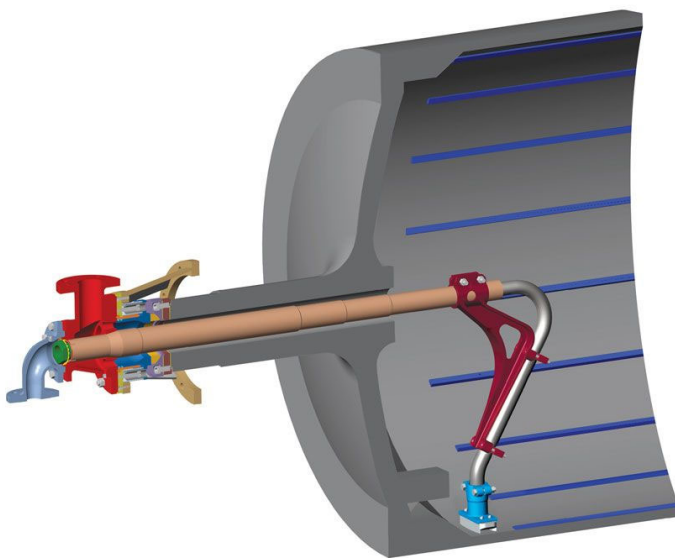
I sifoni rotanti girano insieme al cilindro essiccatore, mentre i sifoni fissi rimangono immobili rispetto ad un punto esterno dell'essiccatore.

Di solito il sifone rotante esige meno manutenzione di quello fisso, perché l'apertura del sifone rotante, chiamata "scarpa", è fissa rispetto all'interno del mantello dell'essiccatore ed è bloccata nella sua posizione.

La pressione differenziale necessaria per far fluire la condensa fuori dal cilindro dipende dalle dimensioni del sifone,

in relazione al carico di condensa e alla velocità.

Il sifone fisso presenta l'apertura della bocca aspirante opposta al senso di rotazione del cilindro. Il sistema drenante funziona sul principio di utilizzo dell'energia cinetica dell'anello liquido in abbinamento alla combinazione differenziale di pressione/vapore attraversante. In funzione alla distanza tra la scarpa e il cilindro, non tutto il film di condensa viene rimosso, ne rimarrà uno spessore minimo. Ovviamente minore sarà la distanza tra la scarpa e il cilindro, migliore sarà la condizione operativa, e di conseguenza minore sarà lo spessore di condensa minore sarà anche la caduta di temperatura che il vapore cederà alla carta.



4.4 SISTEMA DEL VUOTO PER ESTRAZIONE DELLA CONDENSA DAI CILINDRI (“VORTEC”)

Il sistema è composto da un serbatoio dell'acqua montato su skid, completo di due pompe dell'acqua e di tubi “Venturi”. L'acqua dal serbatoio viene pompata attraverso un tubo di Venturi e quindi viene restituita al serbatoio. Il flusso d'acqua attraverso il tubo crea l'aspirazione necessaria per estrarre il vapore flash e i gas.

In condizioni adeguate, la pompa Vortec può creare un vuoto fino a -0,95 barg.

Lo skid contiene due pompe ed eiettori, uno dei quali è in funzione continua mentre l'altro si avvia solo se richiesto dalle condizioni operative del processo.

La pompa dell'acqua è in funzione continua, in modo che il tubo di espulsione aspiri tutto il vapore flash non condensato dalla bobina flash e i gas non condensabili dal sistema a vapore. Di solito viene utilizzata una valvola di sfiato dell'aria per controllare il livello di vuoto raggiunto. Il flusso dalla valvola dell'aria fresca che si mescola con gli inseparabili caldi aiuta a mantenere fresca l'acqua nel serbatoio.

La temperatura dell'acqua nel serbatoio richiede un certo controllo, in base al livello di vuoto richiesto. Si consiglia una temperatura di 25°C per il vuoto più profondo, mentre 35°C è sufficiente per un vuoto normale di circa -0,7 barg. Temperature più elevate sono indesiderabili, ma temperature più basse sono molto accettabili.

La temperatura dell'acqua viene misurata da un trasmettitore montato sul lato anteriore del serbatoio. Quando la temperatura dell'acqua nel serbatoio è superiore al set point, la valvola dell'acqua dolce si apre fino a quando la temperatura non viene ridotta al valore desiderato.

L'acqua dolce non deve essere chimicamente pura, ma deve essere pulita e fredda quanto è disponibile, preferibilmente a meno di 20°C. La vasca è dotata di un tubo di troppo pieno, che scarica per gravità in un imbuto o in una vasca atmosferica che deve trovarsi ad un'altitudine inferiore rispetto alla Vortec per evitarne l'allagamento.

La prevalenza della pompa, come indicato sul manometro, deve essere di circa 3,5 - 4,0 bar.

Le valvole di isolamento sono fornite sul lato di aspirazione di ogni pompa. Questi dovrebbero essere normalmente aperti, ma chiudendo una valvola, la pompa associata può essere rimossa per la manutenzione quando la seconda unità è in funzione.

Sul tubo di aspirazione è presente un tubo di sfiato atmosferico, dotato di valvola di non ritorno.

Questa linea serve a scaricare la pressione in eccesso che potrebbe accumularsi durante il riscaldamento degli essiccatori, quando il flusso d'aria supera la capacità di aspirazione per un breve periodo.

L'aria rimossa dall'eiettore viene trasferita nel serbatoio dell'acqua, che sfocia nello scarico, e anche da due deflettori sulla parte superiore del serbatoio dell'acqua.

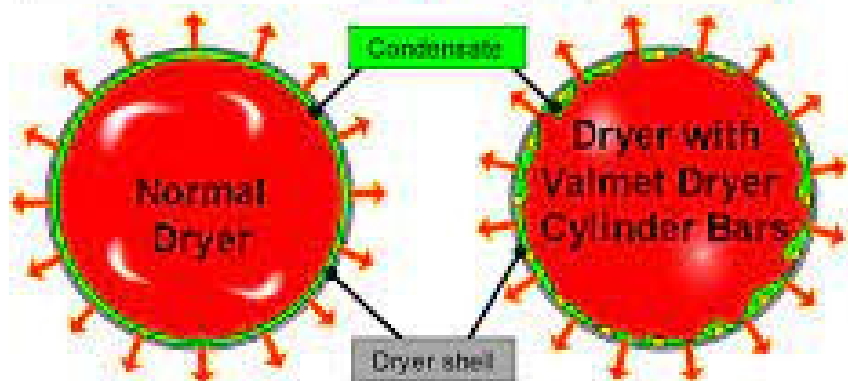
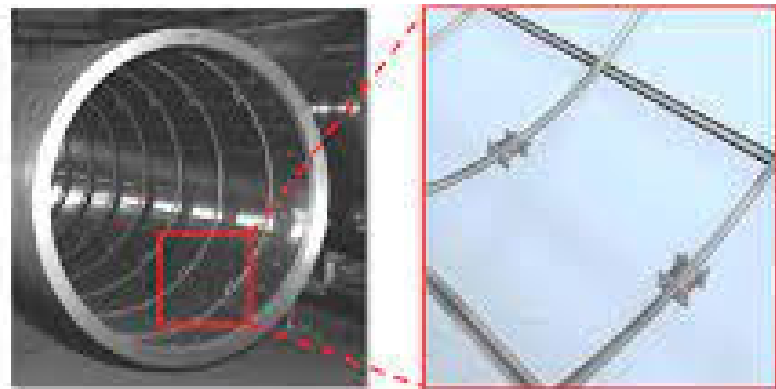
4.5 LE BARRE DI TURBOLENZA

L'acqua condensata all'interno del cilindro essiccatore rotante è soggetta a due forze: la *forza centrifuga* e la *forza di gravità*. La forza centrifuga, per formare l'anello liquido, deve sconfiggere la forza di gravità, mentre quest'ultima agisce sul condensato stratificato decelerandone il flusso. È la differenza tra la velocità di rotazione delle barre di turbolenza e quella del condensato che crea la rimozione di quest'ultimo e la turbolenza risultante. Non appena l'integrità statica del condensato stratificato viene disgregata diminuisce la sua resistenza al calore.

Le barre di turbolenza sono quindi capaci di migliorare l'efficienza essiccante.

Permettono inoltre i seguenti vantaggi:

- conservazione dell'energia / riduzione dei costi energetici;
- essiccamento più veloce / velocità della macchina alta;
- minor pressione vapore;
- corretto profilo d'umidità / aumento della qualità produttiva.



4.6 LE TELE ESSICCATRICI

Le tele di seccheria hanno il compito di mantenere il foglio di carta a stretto contatto con la superficie del cilindro essiccatore allo scopo di favorire il trasferimento di calore e la successiva rimozione dell'acqua presente nella carta.

Gli elementi di vestizione della seccheria hanno subito, nel corso degli anni, un grande processo evolutivo. Si è passati, infatti, da tele costituite essenzialmente di cotone, lana e cotone o anche amianto e cotone a materiali più sintetici. Grazie allo sviluppo del settore

petrolchimico, si è passati dalle fibre naturali, che intrecciandosi andavano a formare i feltri essiccatori, alle fibre sintetiche (poliestere-poliammide-acrilici) delle tele essiccatrici.

Questa evoluzione ha portato svariati vantaggi, come una maggior durata della tela, una maggior permeabilità, migliore stabilità dimensionale; tutto ciò si traduce in incremento dell'asciugamento e conseguente aumento di produzione.

Diverse tecniche di tessitura e di fili utilizzati permettono di variare la permeabilità del feltro, questa è espressa in CFM e indica quanta aria attraversa un piede quadrato di tela in un minuto. Ovviamente tutte le tele presenti nella seccheria non avranno il valore di CFM uguale: solitamente nella prima parte (subito dopo la parte umida) si hanno valori di CFM bassi, in quanto il loro lavoro sarà facilitato dalla gran quantità di acqua presente nel foglio; man mano che l'umidità diminuisce la permeabilità della tela deve aumentare per facilitare l'allontanamento del vapore ancora generato dall'essiccamento. È fondamentale la giusta scelta della tela essiccatrice per ogni singola batteria, questo perché ogni singola zona richiede una tela più o meno permeabile.

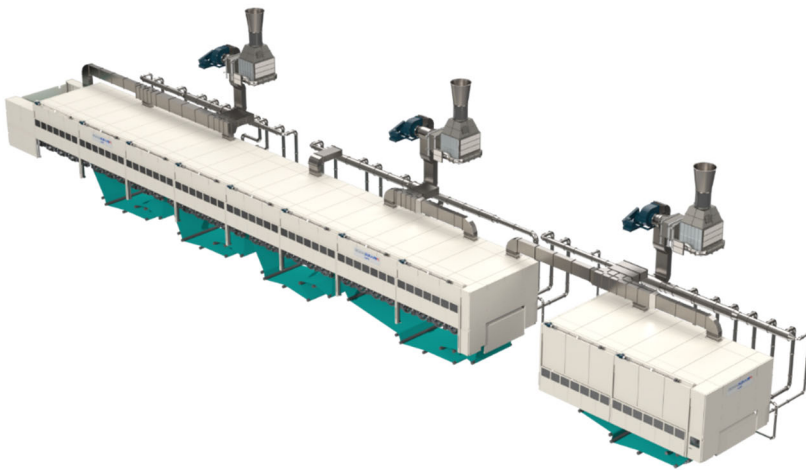
Le tele essiccatrici contribuiscono all'asciugamento della carta promuovendo il trasferimento del calore e la successiva evaporazione dell'acqua presente in essa. È intuitivo che quanto più la permeabilità delle tele è alta, e quindi vicina alle condizioni di tela nuova, tanto più sarà favorito il trasferimento del calore e tanto meno sarà possibile che materiale contaminante (soprattutto per chi come materia prima usa macero), come asfalto, oli, peci, plastiche, fini e stickies in generale vada ad aderire al nastro di carta, provocando difetti o rotture con conseguente perdita di produzione.

Il contaminante tende ad ostruire gli spazi vuoti della tela e riducendone quindi la permeabilità, ostacolando l'evaporazione e causando un profilo non uniforme di umidità in senso trasversale. L'ostruzione delle tele causa un innalzamento della temperatura della carta, provocando così la fusione dei contaminanti presenti sulla superficie della carta che porterà ad una nuova deposizione del contaminante sulla tela.

5. LA VENTILAZIONE E LE CAPPE

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'umidità veniva eliminata tramite camini sul soffitto, ma ciò causava la formazione di fumane che, condensandosi in rugiada, ricadevano sulla carta provocando rotture. Dopo alcuni tentativi costosi, si è passati all'uso delle cappe, che coprono l'intera seccheria. Le prime cappe aspiravano le fumane con ventilatori, introducendo aria calda dal basso. Successivamente, per evitare la formazione di rugiada sul soffitto, furono installati prima riscaldatori, poi sostituiti da scambiatori di calore. Il sistema moderno preleva aria esterna, la riscalda e la immette nella parte superiore della seccheria, mentre altra aria risale da sotto, assorbe umidità e viene poi estratta come fumana. Grazie agli scambiatori, si può recuperare fino al 60% del calore contenuto nelle fumane, riutilizzandolo per riscaldare l'aria di reintegro.



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.

Non meno importante da ricordare è che esistono almeno due principali tipologie di cappe:

- le cappe aperte;
- le cappe chiuse.

5.1 LE CAPPE APERTE

Sono utilizzate in macchine a bassa produzione e in climi caldi. Ricoprono tutta la seccheria, ma la fumana estratta ha un basso contenuto termico, per cui non si usano recuperatori di calore; l'aria viene semplicemente espulsa nell'ambiente.

5.2 LE CAPPE CHIUSE

Sono le più diffuse. Ricoprono completamente la seccheria e sono coibentate con materiale isolante spesso; hanno pareti e tetto in alluminio per evitare la ruggine e porte sollevabili sul lato conduzione. La fumana estratta ha un alto contenuto termico e una portata minore, rendendo efficiente l'uso di recuperatori di calore.

6. GLI IMPIANTI VAPORE E CONDENSA

Dopo aver descritto le componenti e quali sono i principi fisici che si trovano dietro al funzionamento di un impianto vapore si è giunti al momento di descrivere le varie tipologie di impianti vapore esistenti ad oggi sul mercato. Gli impianti vapore sono studiati per realizzare la massima efficienza per ogni tipo di macchina continua, dove è di fondamentale importanza la scelta del tipo di sifone, se fisso o rotante e delle barre di turbolenza in base ai tipi di carta prodotti, alla velocità di produzione e alle pressioni di esercizio. Nel corso del progetto si devono considerare le portate di vapore che attraversano i sifoni, i differenziali per ottimizzare la resa e l'eliminazione della possibilità di allagamento del cilindro essiccatore. I risultati degli impianti vapore e condensa hanno evidenziato valori interessanti nell'aumento della capacità di essiccamento e nella riduzione dei consumi specifici di vapore per unità di carta prodotta. Le prestazioni di questi impianti hanno portato un notevole miglioramento qualitativo nelle caratteristiche della carta e un profilo trasversale di umidità del foglio notevolmente più uniforme.

I due principali metodi di gestione del vapore in cartiera sono:

- impianti a cascata;
- impianti con termocompressori.

6.1 IMPIANTI A CASCATA

L'impianto a cascata è un sistema semplice che permette lo scarico della condensa grazie alla differenza di pressione tra le batterie. Questa differenza deve essere sufficientemente grande per evacuare la condensa e il vapore, permettendo anche l'eliminazione continua dei gas non condensabili. La portata del vapore dipende dal differenziale di pressione, dal diametro del sifone, dal disegno della scarpa e dalla velocità di condensazione, e non può essere regolata a un valore fisso.

Il differenziale di pressione necessario varia in base alla velocità della macchina, al diametro dell'essiccatore e al tipo di sifone, solitamente tra 0,15 e 0,25 bar.

Le pressioni minime in una seccheria influenzano la temperatura dei cilindri, che di solito è tra 85-100°C per carte ad alta grammatura, ma per altre tipologie di carta non deve superare i 80-85°C, e in alcuni casi deve scendere a 65°C per evitare problemi di spolvero. L'allontanamento continuo della condensa e dei gas non condensabili permette un essiccamento uniforme e migliora la trasmissione del calore al foglio, riducendo così la quantità di vapore necessaria. Il vapore e la condensa provenienti dalle diverse sezioni sono separati in un separatore di vapore, dove la condensa viene separata dal vapore grazie alla riduzione della velocità del

flusso e alla modifica della direzione del flusso stesso. Il livello della condensa viene regolato automaticamente per mantenere il sistema chiuso e ottimizzare la separazione.

Per un sistema economico ed efficiente, il vapore fluente deve essere riutilizzato, senza compromettere la flessibilità della macchina. Il sistema più comune per riutilizzare il vapore è il sistema in cascata, dove il vapore passa attraverso le diverse sezioni della seccheria e viene scaricato o utilizzato in un condensatore al termine del ciclo.

6.2 IMPIANTO A TERMOCOMPRESSORI

L'impianto a compressori, 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, solitamente qui è presente una valvola PCV per la regolazione della pressione.

La condensa ed il vapore attraversante di un 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.

I termocompressori aspirano il vapore, lo ricomprimono alla pressione d'esercizio dei cilindri e lo immettono nuovamente nella linea diretta di alimentazione.

Il vantaggio di questo sistema è che non si hanno batterie a pressione decrescente mentre lo svantaggio sta nel fatto che comunque l'impianto disperde un grande quantitativo di energia.