

DJM : Il futuro dei cilindri essiccatori è in acciaio.



di : Ing. Fabrizio Perna - De Iuliis C&A

L'essiccamento operato nella seccheria della macchina da carta risulta essere il processo più energivoro per una cartiera. E' quindi essenziale investire per ottimizzare i consumi della sezione di seccheria, che costituiscono un costo vivo rilevante per ogni cartiera.

Nel passato, i cilindri essiccatori delle cartiere sono stati generalmente costruiti in ghisa, materiale di facile reperibilità e di basso costo, ma soprattutto di facile lavorabilità, che ancora oggi permette un'agevole costruzione dei cilindri.

Attualmente, la richiesta di sempre maggiori velocità della macchina continua e di formati sempre più ampi imposti dal mercato richiede un aumento proporzionale del numero di cilindri essiccatori per mantenere lo stesso livello di capacità asciugante della macchina.

L'uso dei moderni acciai e le moderne tecniche di lavorazione hanno portato a non rendere più vantaggioso l'utilizzo di cilindri in ghisa, la cui sostituzione può portare grandi benefici a livello di gestione della macchina, in particolar modo per quanto riguarda il risparmio energetico. In questo breve excursus tecnico si proverà a dimostrarne le ragioni.

I fattori che più influenzano lo scambio termico attraverso i cilindri essiccatori infatti sono:

- diametro, spessore e materiale costitutivo dei cilindri;

- pressione e temperatura di esercizio;
- sistema di scarico della condensa.

Posti i limiti sulla massima pressione di esercizio, e sulla massima condensa estraibile dai cilindri con le attuali tecnologie, è logico investire, per migliorare l'efficienza della seccheria nella sostituzione dei cilindri in ghisa con cilindri in acciaio.

Il passaggio da cilindro in ghisa a cilindro in acciaio permette infatti 4 vantaggi fondamentali :

- maggiore efficienza termica, in quanto l'assottigliamento dello spessore del mantello del cilindro comporta un cospicuo aumento dello scambio termico;
- maggiore superficie asciugante utile, dovuta alla maggiore tavola utile conseguente al minore ingombro delle testate;
- maggiore velocità nel raggiungere la temperatura di lavoro, data dall'aumento dello scambio termico;
- aumento degli standard di sicurezza, legato ai maggiori coefficienti di sicurezza utilizzati per l'acciaio.

Scambio termico

Un cilindro essiccatore può essere trattato a livello teorico come un recipiente in pressione a parete sottile ($s \ll 2R$). E' possibile quindi schematizzare lo scambio termico tra il vapore e il foglio di carta con il modello semplificato schematizzato in figura 1 e basato sulle seguenti ipotesi:

- il mantello del cilindro può essere trattato come una piastra piana ($s \ll 2R$);
- il trasferimento globale di calore mantello-carta include in se anche il trasferimento di calore attraverso il sottile strato di aria tra mantello e foglio di carta

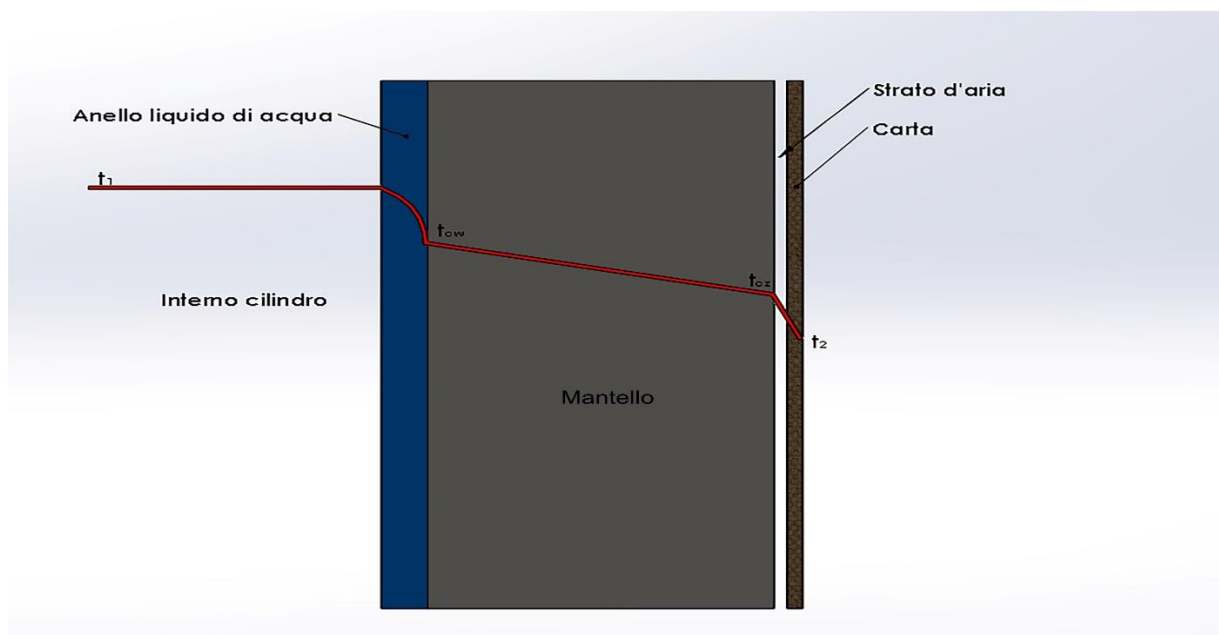


FIGURA 1 : Andamento qualitativo della temperatura nel sistema.

Partendo quindi dalle precedenti ipotesi, l'equazione che rappresenta il flusso termico che interessa la superficie del cilindro è dato da:

$$q = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right) (t_1 - t_2) \quad (1)$$

dove :

q = flusso termico, W m⁻²;

t₁ = temperatura del vapore all'interno del cilindro, °C;

t₂ = temperatura esterna del foglio di carta, °C;

α₁ = conduttanza termica vapore – superficie interna mantello, W m⁻² K⁻¹;

s = spessore della parete, m;

α₂ = conduttanza termica superficie esterna mantello – superficie esterna foglio di carta, W m⁻² K⁻¹;

λ = conducibilità termica del mantello, W m⁻¹ K⁻¹.

Assumendo il valore della somma $\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}$ costante sia per cilindri in ghisa che in acciaio e uguale a 1,35 · 10⁻³ m² K W⁻¹, l'unico parametro su cui agire per variare il flusso termico è lo spessore del mantello del cilindro essiccatore, che va dimensionato secondo le norme (ASME / UNI), che definiscono gli spessori minimi da utilizzare nel dimensionamento dei mantelli. Nella seguente trattazione si è scelto di utilizzare la normativa UNI EN 13445-3:2019, che permette di giungere alla seguente formulazione del flusso termico trasmesso dal vapore al foglio di carta.

$$q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} (t_1 - t_2) = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\frac{pDe}{2(f/i)z+p}}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} (t_1 - t_2) \quad (2)$$

dove:

p = pressione del vapore all'interno del cilindro, Pa;

De = diametro esterno del mantello, m;

f = tensione di snervamento materiale, N/mm²;

i = coefficiente di sicurezza, secondo norma UNI EN 13445-3:2019 adim.;

z = coefficiente di giunzione, secondo norma UNI EN 13445-3:2019, adim.;

Dalla (2) si ricava che, a parità di pressione e diametro del cilindro, lo scambio termico dipende da λ e da f, ossia dalle caratteristiche del materiale utilizzato.

I valori di λ e di f per l'acciaio P 275 NH e la ghisa G25, utilizzati per la costruzione di cilindri essiccatori, sono riportati in Tabella 1, dalla quale risulta evidente che, anche se praticamente a parità di caratteristiche termiche, le migliori caratteristiche meccaniche giocano a favore dell'acciaio rispetto al miglioramento dello scambio termico.

Tabella 1 - valori di λ e di f per acciaio P 275 NH e ghisa G25

materiale	λ [W m ⁻¹ K ⁻¹]	f [N/mm ²]
-----------	---	---------------------------

acciaio P 275 NH	49	275
ghisa G25	46	110

Tavola Utile

Il secondo fattore da tenere in considerazione nella scelta dei cilindri essiccatori da utilizzare nella sezione di seccheria della macchina continua è la tavola utile. Il mercato della carta infatti, sta spostando i propri trend verso formati sempre più larghi, per cui le cartiere, per essere competitive, devono ampliare la propria tavola utile. Come vedremo, i cilindri essiccatori in acciaio, a parità di ingombri, presentano una tavola utile decisamente maggiore, permettendo così un prezioso recupero di centimetri di formato e un aumento dell'energia termica trasferita al foglio di carta, senza necessariamente modificare le strutture esterne di appoggio.

In Figura 2 è riportato il disegno costruttivo di due cilindri essiccatori, uno in acciaio ed uno in ghisa. E' evidente che rispetto alla testata del cilindro in ghisa, quella del cilindro in acciaio, grazie alla saldabilità del materiale e alle migliori caratteristiche meccaniche, ha dimensioni minori ed è posizionata più all'estremità.

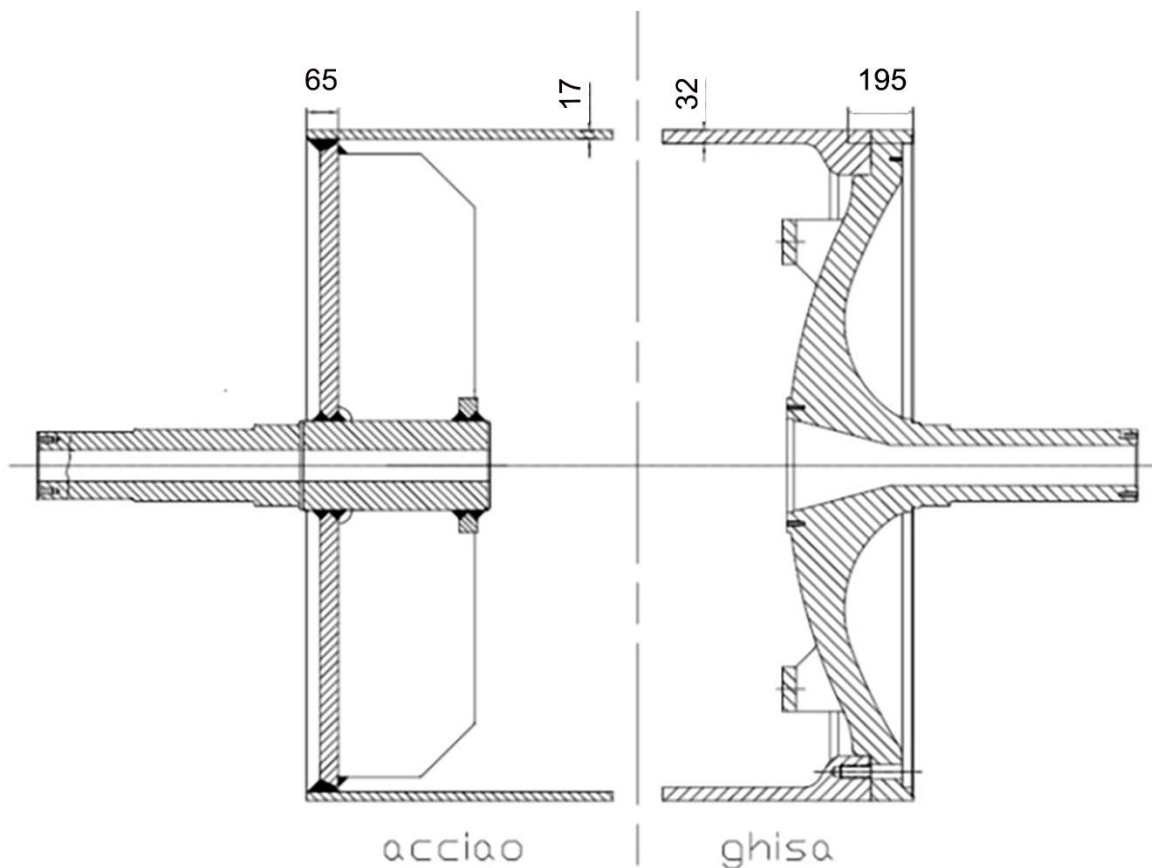


FIGURA 2 : Disegno costruttivo cilindri essiccatori in acciaio ed in ghisa.

Inoltre, dato il diverso tipo di disegno e di tecnica costruttiva, nel caso del cilindro in acciaio il mantello mantiene uno spessore costante fino alla testata, il che determina l'andamento della temperatura mostrato nelle Figure 3 e 4, con un uniforme distribuzione del calore nel mantello fino alle estremità del cilindro.

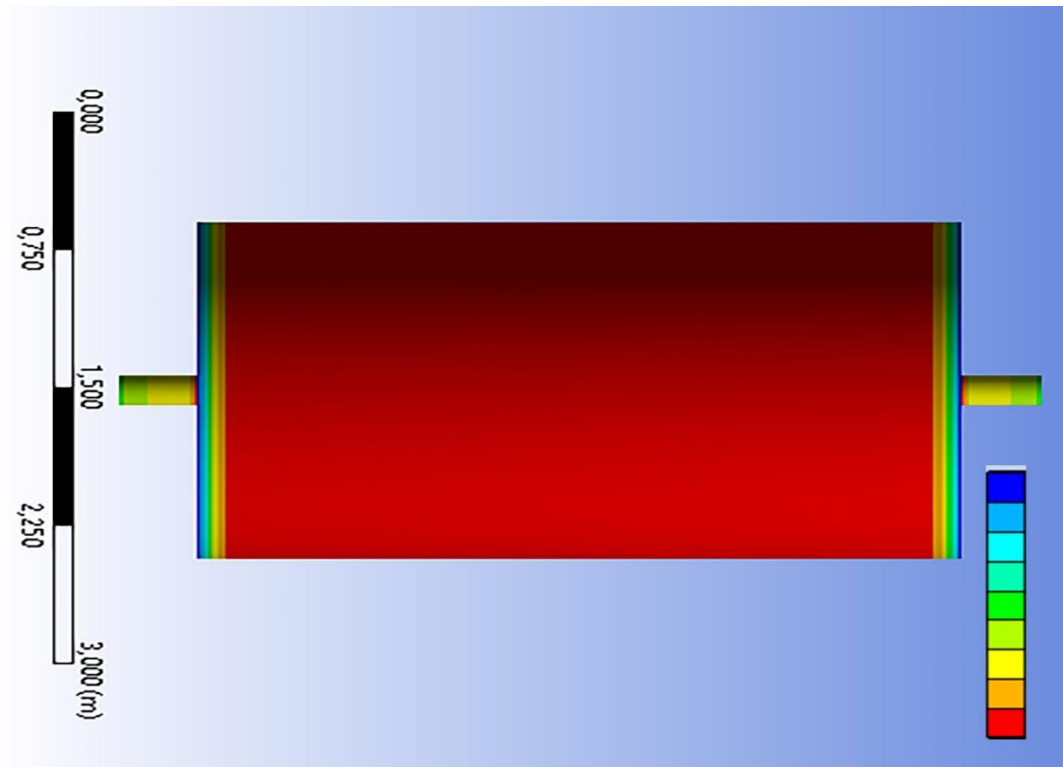


FIGURA 3 : Andamento delle temperature sul mantello del cilindro essiccatore in acciaio P275NH.

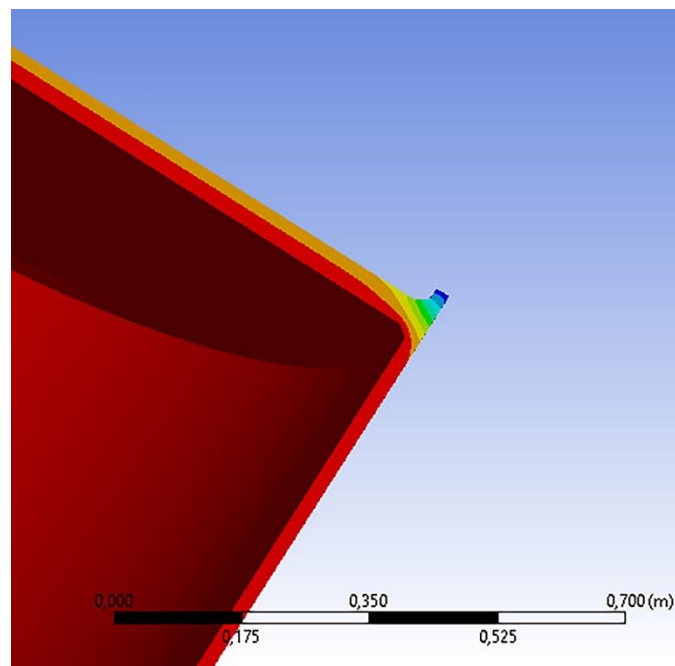


FIGURA 4 : Andamento delle temperature nello spessore del cilindro essiccatore in acciaio P275NH.

Le Figure 5 e 6 mostrano che invece nel cilindro in ghisa, che come detto ha la testata leggermente più rientrata e presenta una variazione di spessore nei lati estremi del mantello, l'andamento della temperatura è tale da non permettere di ottenere un processo di asciugatura uniforme del foglio.

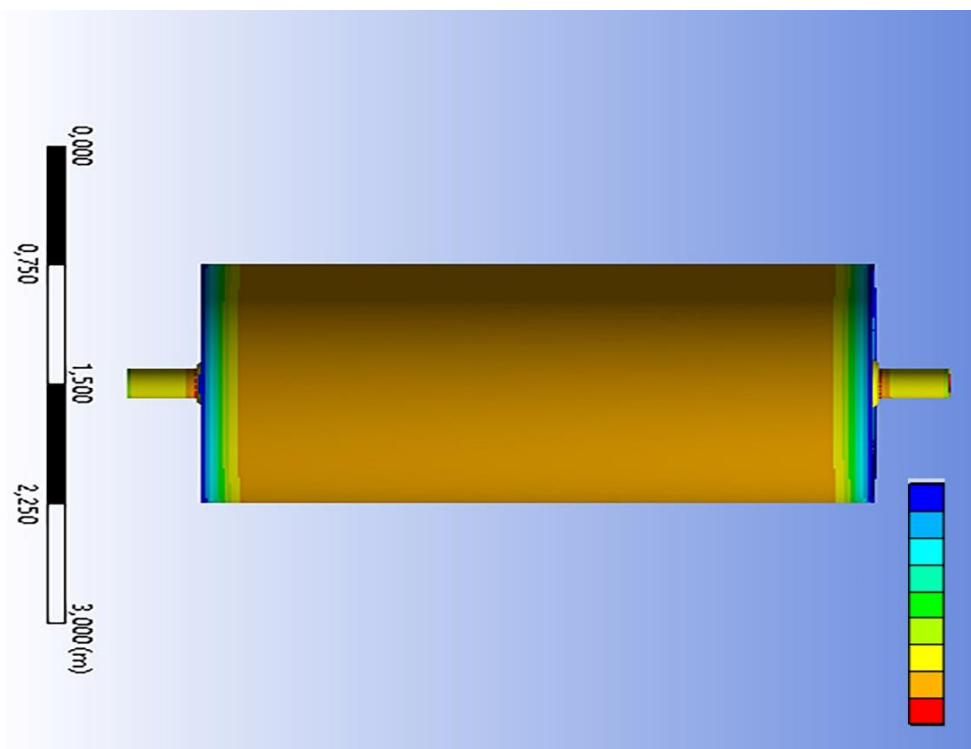


FIGURA 5 : Andamento delle temperature sul mantello del cilindro essiccatore in ghisa G25.

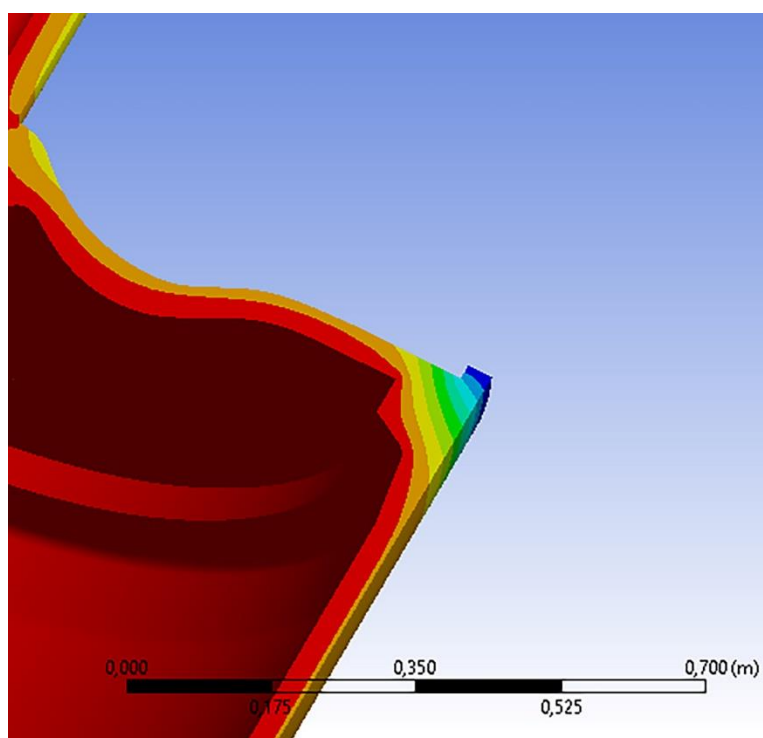


FIGURA 6 : Andamento delle temperature nello spessore del cilindro essiccatore in ghisa G25.

Dal punto di vista della geometria, utilizzando un cilindro in acciaio e non in ghisa si ha generalmente un aumento di circa 130 mm per lato di tavola utile, quindi 260 mm di differenza di tavola, semplicemente per il diverso disegno costruttivo. Tutto ciò significa che, oltre a poter utilizzare un formato più largo, si ha una minore dispersione termica attraverso le pareti del cilindro, con un generale aumento di efficienza.

Caso di studio

Nel seguito sono messi a confronto due modelli possibili di seccheria, uno con cilindri in ghisa e l'altro con cilindri in acciaio, per comprendere i vantaggi delle due differenti tecnologie. Si parta dall'ipotesi di cilindri dello stesso diametro e stessa pressione di esercizio, quindi alle medesime condizioni di lavoro, che siano intercambiabili tra loro senza modifiche alle strutture della macchina; l'unica variazione sarà dovuta al diverso spessore del mantello, legato alle diverse resistenze dei due materiali. I dati relativi ai due modelli sono riportati in Tabella 2.

Tabella 2 – Dati relativi ai due modelli di seccheria considerati

materiale	Diametro [mm]	spessore del mantello [mm]	tavola [mm]	pressione di esercizio [bar]
acciaio P 275 NH	1500	17	2400	3
ghisa G25	1500	32	2400	3

Le aree utili all'asciugatura per i due cilindri sono ricavate con la relazione:

$$A = 2\pi r * (L - b) \quad (3)$$

dove:

L= tavola cilindro, mm.

b= riduzione tavola utile, mm.

Dalla (3) risulta quindi:

$$A_{P275NH} = 12,98 \text{ m}^2$$

$$A_{G25} = 9,42 \text{ m}^2$$

Utilizzando le relazioni (1) e (2), il passaggio ai cilindri in acciaio in questo caso permette un **incremento della superficie effettivamente utile per l'asciugatura pari a 13%**, con l'importante beneficio dell'**eliminazione dei problemi di umidità laterale ai bordi del foglio finito**.

In riferimento allo scambio termico, ragionando a parità di valori delle temperature t_1 e t_2 di Figura 1, il **passaggio a cilindri in acciaio garantisce un aumento pari al 18%**, a causa del minor spessore del mantello, pur mantenendo un **maggiore coefficiente di sicurezza**.

Considerando il contributo dovuto alle diverse caratteristiche dei materiali e all'allargamento della tavola utile, **l'utilizzo del cilindro in acciaio aumenta lo scambio termico del 33%**, aumento che si traduce immediatamente in un risparmio della quantità di vapore necessaria alla seccheria e quindi in un minor numero di cilindri essiccatori necessari a ottenere le stesse prestazioni ottenibili con il cilindro in ghisa.

Un secondo tipo di analisi riguarda la situazione più drastica in cui una cartiera intenda effettuare un più profondo upgrade della propria seccheria, variando non solo il materiale dei cilindri

essiccatori, ma anche il loro diametro e la loro pressione di esercizio. I dati relativi ai cilindri e ai valori di pressione di esercizio alla seccheria pre e post intervento sono riportati in Tabella 3.

Tabella 3 – Dati relativi ai cilindri e ai valori di pressione di esercizio alla seccheria pre e post intervento

materiale	Diametro [mm]	spessore del mantello [mm]	tavola [mm]	pressione di esercizio [bar]
acciaio P 275 NH	1830	20	2400	10
ghisa G25	1500	32	2400	3

In prima analisi appare chiaro che il maggior diametro e la maggiore superficie della tavola utile dei cilindri in acciaio comportano una superficie asciugante molto superiore, calcolabile con la (3) e pari a 38%. A fronte di ciò, il mantello in acciaio, pur mantenendo un elevato coefficiente di sicurezza, avrà uno spessore minore del mantello in ghisa, la qualcosa genererà un incremento dello scambio termico vapore- carta pari a 14% a vantaggio dell'acciaio.

In definitiva, quindi, **lo scambio termico ottenibile con il cilindro in acciaio è maggiore del 57% rispetto al quello che si ha con l'omologo cilindro in ghisa.** Ovviamente, l'ipotesi di base è che la differenza di temperatura tra l'interno della cappa ed il vapore immesso nel cilindro sia uguale per le due tipologie di cilindro.

Conclusioni

Il passaggio dai cilindri in ghisa a quelli in acciaio appare una scelta vincente per tutte le cartiere che vogliano rimodernare le proprie seccherie e migliorarne l'efficienza riducendone i costi di gestione. Naturalmente, all'aumento di efficienza dal punto di vista dello scambio termico non corrisponde un proporzionale aumento dell'acqua estratta dalla carta, che dipende anche da altri fattori fisici qui non trattati. In ogni caso, già da questa prima parziale analisi emergono con evidenza i vantaggi legati all'utilizzo dell'acciaio in seccheria, che rappresenterà sicuramente il futuro delle cartiere.

Bibliografia :

- Kawka W.; Reczulsky M. : *The optimization of heating steam pressure on thermal effectiveness of drying cylinders*. Technical university of Lodz 2011
- Karlson M. : *Papermaking Part Drying*. Fapet Oy, Helsinki 2000
- Keranen J. : *Increasing the drying efficiency of cylinder drying*. University of Jyvaskyla. 2011
- Holik H. : *Handbook of paper and board*. Wiley-VCH.
- UNI EN 13445-3:2019 *Recipienti a pressione non esposti a fiamma - Parte 3: Progettazione* . 2019