

## **Entalpia e dintorni**

La parola entalpia (o contenuto termico) esprime la quantità di energia (calore) utilmente utilizzabile posseduta da un kg di acqua o di vapore.

Domanda: *vorrei sapere quanta energia assorbe un kg di acqua passando attraverso la caldaia, cioè da quando entra in forma di acqua di alimento, a quando esce in forma di vapore, saturo umido o surriscaldato che sia.*

Per determinare la quantità di energia assorbita da un singolo kg, devo conoscere:

- quale era il suo stato energetico (cioè il valore della sua entalpia) in ingresso, quand'era acqua,
- quale è il suo stato energetico (cioè il valore della sua entalpia) in uscita, quand'è diventato vapore.

La differenza tra questi due stati energetici, cioè l'energia posseduta in uscita e quella già posseduta all'ingresso, determina la quantità di energia assorbita nel passaggio in caldaia.

L'energia posseduta da un kg di acqua in ingresso viene denominata  $h_a$ : entalpia dell'acqua di alimento.

L'energia posseduta da un kg di vapore in uscita, viene denominata  $h_u$  (entalpia del vapore saturo umido), se si tratta di vapore umido, tipico delle caldaie senza surriscaldatore, oppure  $h_s$  (entalpia del vapore surriscaldato) se si tratta, appunto, di vapore surriscaldato.

Il valore cercato, si ricava quindi dalle seguenti sottrazioni:

$h_u - h_a$  nel caso del vapore saturo umido,

oppure,

$h_s - h_a$  nel caso del vapore surriscaldato.

Per fare il calcolo mi servono dei valori numerici esatti relativi ad ogni specifico caso.

Ecco come li trovo:

### **$h_a$ : entalpia o contenuto termico dell'acqua di alimento.**

$h_a$  : fino a 120°C assumo come contenuto termico, un valore pari ad una kcal/kg°C. Quindi, ad esempio, se ho una temperatura dell'acqua di alimento pari a 108°C, assumo  $h_a = 108$  kcal/kg. Poiché non si utilizzano più le kcal come unità di misura, ma si utilizzano i kJ, eseguo la trasformazione moltiplicando il valore numerico in kcal per 4,186. Riferendosi all'esempio di cui sopra, si ha che 108 kcal/kg, moltiplicate per 4,186 (kJ/kcal), corrispondono a 452 kJ/kg.

$h_a = 452$  kJ/kg.

$h_a$  : oltre 120°C trovo un valore di temperatura corrispondente a quello che serve a me, nella tabella entalpica del vapore saturo, e vedo quale valore corrisponde a questa temperatura nella colonna dell'entalpia del liquido  $h_l$ : assumo questo valore come  $h_a$ .

Ad esempio, se ho una temperatura dell'acqua di alimento pari a 165°C, nella tabella, vedo che a questa temperatura il valore corrispondente è  $h_l = 697,1$  kJ/kg. Assumo questo valore come  $h_a$ , quindi:  $h_a = 697,1$  kJ/kg.

Per quanto riguarda la determinazione del contenuto termico dell'acqua in entrata (acqua di alimento), ora ci siamo.

Ecco ora come si procede per il vapore in uscita.

**Caso 1: vapore saturo umido.**

**$h_u$  : entalpia o contenuto termico del vapore umido.**

Devo fare ricorso ad una formula:

$$h_u = (1-x)h_l + xh_v$$

o, se si preferisce, ad un'altra che e' equivalente:

$$h_u = h_l + rx$$

dove r e' il calore latente di vaporizzazione,  $r = h_v - h_l$

I valori di  $h_l$  ed  $h_v$ , che devo introdurre nella formula, li trovo nella tabella dei contenuti termici.

Preso la pressione di esercizio del generatore (quella indicata dal manometro mentre esso è in funzione), sommo un bar per ottenere la pressione assoluta.

Conoscendo il valore della pressione assoluta, leggo sulla tabella i corrispondenti valori di  $h_l$  ed  $h_v$  di cui ho bisogno.

Devo conoscere il titolo x del vapore che mi viene dato dal costruttore del generatore, o, in assenza di questo dato, assumo un valore coerente: (ad es.  $x = 0,9$ ).

Inserisco i dati nella formula e sviluppo il calcolo, ottenendo il valore di  $h_u$  cercato.

Nota: i valori di  $h_l$  ed  $h_v$  che ho cercato in tabella, mi servono, in pratica, solo per determinare  $h_u$  tramite la formula.

**Caso 2: vapore surriscaldato.**

**$h_s$ : entalpia o contenuto termico del vapore surriscaldato.**

Nel caso del vapore surriscaldato, devo conoscere il valore della pressione di esercizio della caldaia. Analogamente a quanto detto per il vapore umido devo sommare un bar per ottenere la pressione assoluta, e devo conoscere anche il valore della temperatura alla quale il vapore viene surriscaldato. Con il valore della pressione assoluta ed il valore della temperatura di surriscaldamento, nella tabella entalpica del vapore surriscaldato, incrociando i due valori di temperatura e pressione appena descritti, ottengo il valore di  $h_s$ .

Dato che ora siamo in grado di determinare i tre valori di entalpia relativi all'acqua di alimento  $h_a$ , al vapore umido  $h_u$  ed al vapore surriscaldato  $h_s$ , a seconda dei casi, la differenza tra  $h_u$  ed  $h_a$  oppure tra  $h_s$  ed  $h_a$  mi consente di determinare la quantità di energia che il singolo kg di acqua diventato poi vapore (umido o surriscaldato a seconda dei casi) ha assorbito nel suo passaggio in caldaia.

Moltiplicando questa differenza per la producibilità, posso determinare la potenza assorbita dalla caldaia (potenza termica assorbita dalla superficie di riscaldamento e trasferita all'acqua: potenza utile).

$$\text{Potenza utile [kW]: } W (h_u - h_a)/3600$$

$$\text{Potenza utile [kW]: } W (h_s - h_a)/3600$$

Nota: per avere unità di misura coerenti, devo prendere la producibilità in kg/h e dividerla per 3600 (che sono i secondi in un'ora) così ottengo la producibilità nella atipica unità di misura di kg/s, che moltiplicati per i kJ/kg (unità di misura dell'entalpia) mi consentono di ottenere la potenza in kJ/s = kW.

### **Dimensionamento di un surriscaldatore.**

Con questa domanda si chiede all'aspirante caldaista di determinare la potenza trasferita al vapore dal surriscaldatore.

Si devono conoscere:

- stato energetico del vapore in ingresso nel surriscaldatore  $h_u$
- stato energetico del vapore in uscita dal surriscaldatore  $h_s$
- producibilità del generatore  $W$

La potenza in kW assorbita dal surriscaldatore e' data da:

$$W (h_s - h_u)/3600$$

*producibilità in kg/h*

*entalpia in kJ/kg*

*potenza in kJ/s = kW.*

### **Determinazione della sollecitazione (tensione) del materiale costituente i tubi sottoposti a pressione dall'interno.**

$$\bar{\sigma} = pd/2s$$

Dove:

*p e' la pressione in MPa*

*d e' il diametro in mm*

*s e' lo spessore in mm*

*$\bar{\sigma}$  (sigma) e' la tensione cui e' sottoposto il materiale in N/mm<sup>2</sup>.*

Nota:

a parità di pressione e di spessore, la tensione cui e' sottoposto il materiale e' proporzionale al diametro, quindi, piu' sono piccoli (come diametro) i tubi, e minore e' la sollecitazione a parità di spessore,

oppure, potremmo anche dire che, a parità di sollecitazione ammissibile e di pressione, avendo tubi piu' piccoli, si potra' avere minore spessore, a vantaggio dello scambio termico.