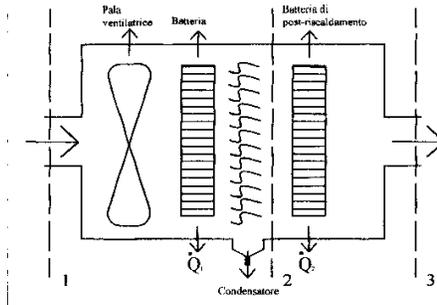


ESERCIZIO SUL VENTILATORE: dimensionare l'impianto di ventilazione per un ambiente di 470 m³ in modo da mantenere la temperatura costante.

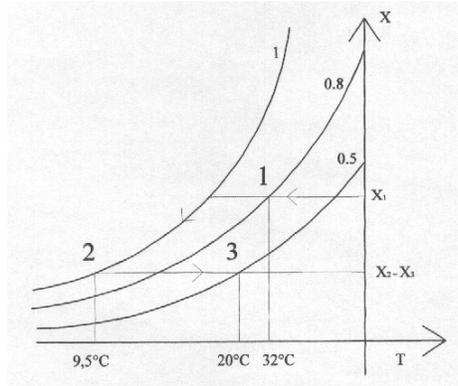


Dati:

$$\begin{aligned} \dot{L} &= 450 \text{ W} & T_2 &= 9,5^\circ\text{C} \\ \dot{V} &= 470 \text{ m}^3/\text{h} & \phi_2 &= 1 \\ T_1 &= 32^\circ\text{C} & T_3 &= 20^\circ\text{C} \\ \phi_1 &= 0,8 & \phi_3 &= 0,5 \end{aligned}$$

Incognite:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_1 &= ? \\ M_{\text{Cond}} &= ? \\ \dot{Q}_2 &= ? \end{aligned}$$



Utilizzando la pressione totale dell'aria e quella specifica, prendendo i valori dalle tabelle possiamo calcolare: la pressione dell'aria secca, il volume specifico e la massa.

$$P_{A3} = P_{\text{Tot}} - P_{V3} = 1,013 - \phi_3 C P_{S3} = 1,013 - 0,5 \cdot 0,02336 = 0,98883 \text{ BAR}$$

$$p \cdot v = R \cdot T \quad \rightarrow \quad \frac{R_A \cdot T}{p_A} = \frac{(8314/29) \cdot 293}{98883} = 0,8508 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\dot{M}_A = \frac{\dot{V}}{v} = \frac{470}{0,85} = 553 \text{ kg/h} \quad \rightarrow \quad \frac{553}{3600} = 0,1536 \text{ kg/s}$$

Il lavoro prodotto dal sistema è fatto dal ventilatore quindi possiamo scrivere:

$$H_2 - H_1 = \dot{Q}_1 - \dot{L} \quad \text{che diventa} \quad \dot{M}_A \cdot (J_2 - J_1) = \dot{Q}_1 \cdot \dot{L}$$

Ma anche la massa d'acqua condensata fornisce una entalpia, pertanto l'equazione andrà modificata considerando il nuovo fattore:

Lezione del 20/12/02 ore 10.30-12.30

$$\dot{M}_A \cdot (J_2 - J_1) + M_{H_2O_{Cond}} \cdot h_{H_2O_{liquida}} = \dot{Q}_1 \cdot L$$

Ma per risolvere questa equazione dobbiamo ottenere meno incognite quindi:

$$\dot{M}_A \cdot x_1 = \dot{M}_A \cdot x_2 + M_{H_2O_{Cond}} = \dot{M}_A \cdot (x_1 - x_2)$$

In cui, sostituendo i valori delle tabelle e quelli ricavati precedentemente, andiamo ad ottenere la massa di vapore oraria

$$= 553 \cdot (0,0246 - 0,0074) = 9,5 \text{ kg}_v/h$$

Adesso calcoliamo i titoli sapendo:

$$x = 0,622 \frac{P_{SAT} \cdot T_{RUG}}{P_{Tot} - (P_{SAT} \cdot T_{RUG})}$$

$$x_1 = 0,622 \frac{\varphi_1 \cdot P_{S1}}{P_{Tot} - (P_{S1} \cdot \varphi_1)} \quad e \quad x_2 = 0,622 \frac{\varphi_3 \cdot P_{S3}}{P_{Tot} - (P_{S3} \cdot \varphi_3)}$$

Sostituiamo i valori dati e forniti dalle tabelle e otteniamo:

$$x_1 = 0,622 \frac{0,8 \cdot 0,04755}{1,013 - (0,8 \cdot 0,04755)} = 0,0246 \text{ kg}_v/\text{kg}_A$$

$$x_2 = 0,622 \frac{0,5 \cdot 0,02336}{1,013 - (0,5 \cdot 0,02336)} = 0,874 \text{ kg}_v/\text{kg}_A$$

Possiamo ora calcolare le entalpie specifiche:

$$J_1 = T_1 + x_1 (2500 + 1,9 \cdot T_1) \quad e \quad J_2 = T_2 + x_2 (2500 + 1,9 \cdot T_2)$$

$$= 32 + 0,0246(2500 + 1,9 \cdot 32) = 95 \text{ kJ/kg}_A \quad = 9,5 + 0,0074(2500 + 1,9 \cdot 9,5) = 28 \text{ kJ/kg}_A$$

Adesso siamo in grado di risolvere l'equazione e calcolare quindi il lavoro che avrà valore negativo in quanto deve essere fornito al sistema per farlo funzionare.

$$\dot{M}_A \cdot (J_2 - J_1) + M_{H_2O_{Cond}} \cdot h_{H_2O_{liquida}} = \dot{Q}_1 \cdot L \rightarrow \dot{Q}_1 = -\dot{L} + \dot{M}_A \cdot (J_2 - J_1) + M_{H_2O_{Cond}} \cdot h_{H_2O_{liquida}}$$

$$\dot{Q}_1 = -0,450 + 0,1536(28 - 95) + \frac{9,5}{3600} \cdot 4,187 \cdot 8 = -10,7 \text{ kW}$$

Adesso possiamo impostare l'equazione di bilancio del calore considerando l'entalpia che entra ed esce dal sistema:

$$H_3 - H_2 = \dot{Q}_2 \quad \text{che diventa} \rightarrow \dot{M}_A \cdot (J_3 - J_2) = \dot{Q}_2$$

Per risolvere questa equazione serve calcolare J_3 che, però, si può trovare grazie ai valori tabulati e ai dati:

$$J_3 = T_3 + x_3 (2500 + 1,9 \cdot T_3) = 20 + 0,0074(2500 + 1,9 \cdot 20) = 39 \text{ kJ/kg}_A$$

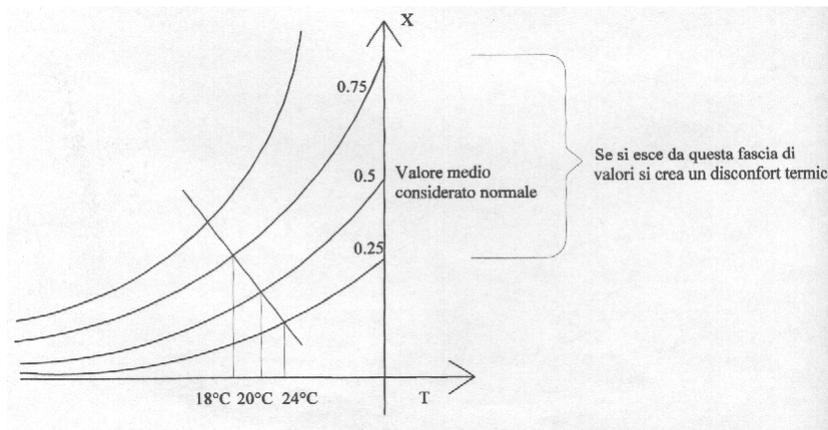
$$\dot{Q}_2 = \dot{M}_A \cdot (J_3 - J_2) = 0,1536 (39 - 28) = 1,7 \text{ kW}$$

Utilizzando questo tipo di impianto abbiamo fatto due procedimenti per ottenere aria fredda, avremmo potuto fare la stessa cosa anche con un solo passaggio buttando fuori dall'impianto aria satura e consumando meno energia e le condizioni termodinamiche create sarebbero state le stesse, ma le condizioni ambientali sarebbero state molto più mal sane. L'aria satura di vapore avrebbe creato un DISCONFORT TERMOIGROMETRICO.

CONFORT IGROMETRICO si ha quando la situazione ambientale è ottimale per la presenza umana. Esso dipende da vari fattori:

- dal metabolismo della persona o delle persone, cioè il loro stato di lavoro o di riposo. Il metabolismo si misura in met che indicano l'energia termica impiegata dal corpo umano per mantenere costante la temperatura corporea di 36,5°C e l'energia meccanica per il lavoro muscolare. (1 met equivale circa a 200W)
- dalla relazione tra la temperatura e l'umidità dell'ambiente;
- dalle condizioni di abbigliamento (dettate dalle stagioni). Si misurano in CLOTHING; 1 CLO equivale al vestiario di un impiegato. Bisogna quindi considerare l'isolamento che danno gli indumenti.

Tracciamo un diagramma psicrometrico in cui inseriamo un valore ϕ considerato medio, in un ambiente di lavoro, e altri due valori di ϕ che il nostro metabolismo percepisce come situazione limite e cerchiamo di fare delle osservazioni.



Se consideriamo una temperatura media di 20°C, presa sulla curva di $\phi = 0,5$, e tracciamo la retta di entalpia specifica costante passante per quel punto individuiamo altri due punti sulle curve di $\phi = 0,75$ e $\phi = 0,25$ che riportandoli sull'asse delle temperature danno rispettivamente $T = 18^\circ\text{C}$ e $T = 24^\circ\text{C}$. Uscendo da questa fascia di valori di temperatura e di umidità si crea un disconfort termoigrometrico.

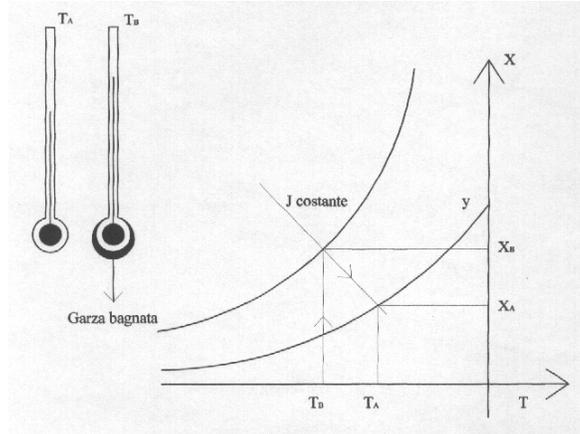
Possiamo osservare ancora che:

- più il grado igrometrico è elevato e più la temperatura si abbassa;
- più il grado idrometrico è basso e più la temperatura si alza.
-

E' per questo motivo che il clima afoso lo si percepisce sempre più caldo ed insopportabile che un clima secco.

MISURE IGROMETRICHE

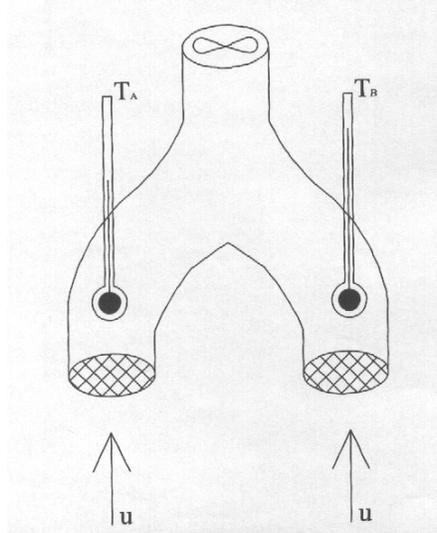
PSICROMETRO o IGROMETRO DI ASSMANN



Lo psicrometro è lo strumento che serve, appunto, a misurare l'umidità relativa dell'aria. Il principio sul quale è basato il funzionamento della maggior parte degli psicrometri è il seguente: due termometri affiancati sono lambiti da una corrente dell'aria-ambiente; il primo termometro ha il bulbo asciutto e misura la temperatura ambiente, l'altro termometro ha il bulbo avvolto da una garza impregnata d'acqua. La corrente d'aria che investe i due termometri determina l'evaporazione dell'acqua contenuta nella garza, e di conseguenza il bulbo del secondo termometro si raffredda sino al raggiungimento dell'equilibrio tra il calore ceduto per produrre l'evaporazione dell'aria e quello scambiato con l'ambiente: si leggono le temperature segnate dai termometri T_A e T_B sapendo che tra i due valori intercorre la seguente relazione: $P_A = P_B - A P_V (T_A - T_B)$.

In cui P_A è la pressione del vapore dell'acqua nell'ambiente, P_B è la pressione massima del vapore alla temperatura T_B , P_V è la pressione atmosferica e A è una costante dello strumento.

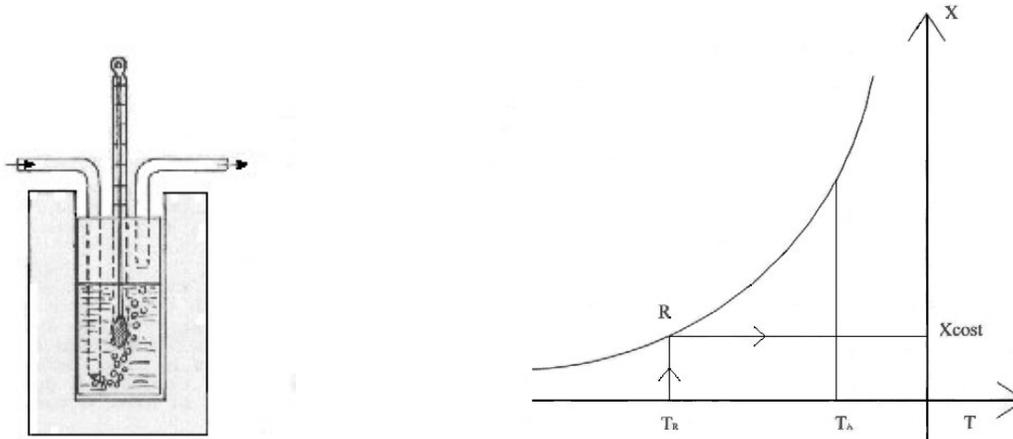
Anziché usare la formula sopra citata si possono utilizzare le tabelle psicrometriche che permettono di trovare, senza fare calcoli, il valore dell'umidità dalle due temperature lette sui termometri.



Lo psicrometro più usato è quello detto di Assmann o ad aspirazione: in esso il bulbo di ciascuno dei due termometri è contenuto in un tubo attraverso il quale fluisce l'aria ambientale che viene aspirata mediante un apposito ventilatore. I due tubi si riuniscono in sommità in un unico condotto e

sono a parete doppia e nichelata per evitare gli scambi di calore. La garza che ricopre il bulbo viene imbevuta di acqua solamente all'inizio della prova. Lo psicrometro di Assmann funziona con maggior precisione se si adottano alcuni accorgimenti: l'acqua da utilizzare deve essere distillata ed è meglio effettuare parecchie misurazioni ed assumere per temperatura del bulbo bagnato la minima tra tutte quelle rilevate. Esso ammette comunque un errore dell'1-2 %.

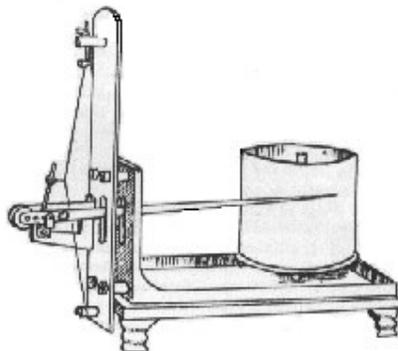
IGROMETRO A CONDENSAZIONE o AD APPANNAMENTO



Questo tipo di igrometro si basa sulla determinazione della temperatura alla quale il gas in esame diventa saturo di umidità. Il più semplice è quello del chitoni che consiste in una scatola metallica avente all'interno pareti speculari e contenente una lamina non in contatto con il recipiente. La scatola contiene etere che viene fatto evaporare mediante immissione di aria sino a che la lamina si appanna. Apposite tavole permettono di determinare, attraverso la temperatura alla quale ha inizio l'appannamento (rilevato da un apposito termometro contenuto nella scatola) la pressione massima del vapore e dedurre l'umidità relativa. Un altro tipo di igrometro a condensazione consiste in una tazza refrigerata con inserito un termometro; quando l'aria inizia a condensare si legge la temperatura e si lo stesso procedimento di prima.

Questi strumenti hanno il difetto di dover fare una misurazione in istante molto piccolo e, nel secondo caso, il calore prodotto dal motore refrigerante rischia di alterare, anche se di poco, i valori da rilevare. E' per questo motivo che questo tipo di apparecchi sono, ormai in disuso.

IGROMETRO A CAPELLO o AD ASSORBIMENTO



Gli igrometri ad assorbimento si basano sulle variazioni di dimensione di alcune sostanze in riferimento all'umidità relativa. Come elemento di riferimento si usa, per lo più, un capello di donna preferibilmente biondo. Il capello si tende o comprime a seconda dell'umidità e fa muovere una lancetta che indica il valore rilevato. Molto spesso questi strumenti sono, però, collegati a REGISTRATORI o IGROGRAFI che, mediante una punta scrivente, registrano le oscillazioni dello strumento sopra un tamburo rotante.

ESERCIZIO SULLO PSICROMETRO DI ASSMANN

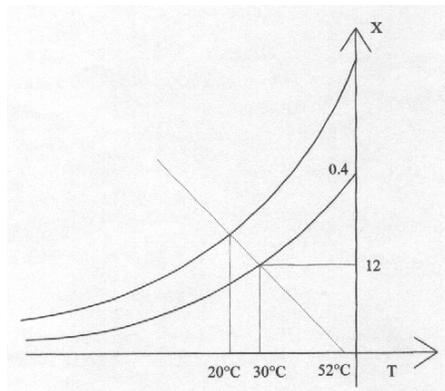
Dati:

$$T_A = 30^\circ\text{C}$$

$$T_B = 20^\circ\text{C}$$

Incognite:

$$J = ?$$



$$x_A = 12 \text{ g}_v / \text{kg}_A = 0,012 \text{ kg}_v / \text{kg}_A$$

Nel grafico abbiamo evidenziato le due temperature, il valore del titolo x_A e la retta che indica l'entalpia specifica, che rimane costante e l'andiamo a calcolare secondo al formula:

$$J = T_A + x_A (2500 + 1,9 T_A) = 30 + 0,012 (2500 + 1,9 \cdot 30) = 60,68 \text{ kJ/kg}_A$$

Calcoliamo adesso l'entalpia specifica usando le tabelle; per le temperature date si ottiene

$$J = 13,6 \text{ kcal/kg}_A \quad \text{ma} \quad 1 \text{ cal} = 4,187 \text{ kJ}$$

$$J = 13,6 \cdot 4,187 = 56,94 \text{ kJ/kg}_A$$

L'entalpia specifica calcolata nei due differenti metodi differisce di 3,74 kJ/kg_A. Questo errore è dovuto al fatto che nella realtà l'entalpia specifica non rimane sempre costante ma tende a variare, inoltre nella prima soluzione abbiamo usato le costanti impiegate e calcolate per la temperatura di 0°C, e quindi abbiamo dato una certa approssimazione.