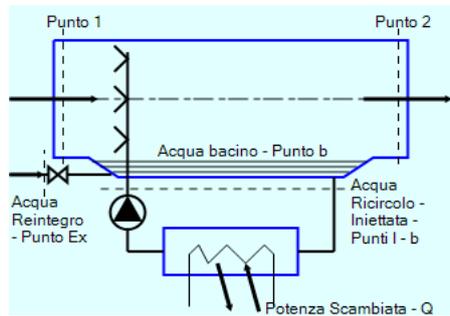


Umidificazione con acqua liquida



Formulario relativo alla trasformazione

\dot{m}_{ex} = portata acqua di reintegro

\dot{m}_I = portata acqua di ricircolo

$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a$

$\dot{m}_{v1} = \dot{m}_{ex} + \dot{m}_{v2}$

$h_{ex} = 4,187 \cdot t_{ex}$

$h_I = 4,187 \cdot t_I$

$h_b = 4,187 \cdot t_b$

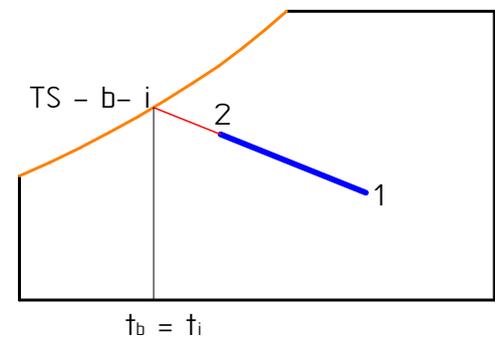
$\dot{m}_{ex} = \dot{m}_a \cdot (x_2 - x_1)$

$\dot{m}_a \cdot (h_2 - h_1) = \dot{m}_{ex} \cdot h_{ex} + \dot{m}_I \cdot (h_I - h_b)$

$(h_2 - h_1) = (x_2 - x_1) \cdot h_{ex} + \left(\frac{\dot{m}_I}{\dot{m}_a}\right) \cdot 4,187 \cdot (t_I - t_b)$

$\dot{Q} = \dot{m}_I \cdot (h_I - h_b)$

$\eta_s = \frac{x_1 - x_2}{x_1 - x_{TS}}$



Dalla relazione dei gas ideali, applicata all'aria, si ricava il volume specifico nel punto 1

$$v_1 = \frac{R_a \cdot T_1}{p_{a1}} = \frac{287,13 \cdot (273,15 + 30)}{1,013 \cdot 10^5 - 0,3 \cdot 4248,293} = 0,87 \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

Dalla portata volumetrica: $\dot{V}_{a1} = 1000 \left[\frac{m^3}{h} \right] = \frac{1000}{3600} = 0,278 \left[\frac{m^3}{s} \right]$

si ricava la portata massica dell'aria $\dot{m}_{a1} = \frac{\dot{V}_{a1}}{v_{a1}} = \frac{0,278}{0,87} = 0,319 \left[\frac{kg}{s} \right]$

Si calcola adesso la portata dell'acqua di reintegro

$$\dot{m}_{ex} = \dot{m}_a \cdot (x_2 - x_1) = 0,319 \cdot (0,012571 - 0,007923) = 0,00148 \left[\frac{kg}{s} \right] = 5,34 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

L'entalpia dell'acqua iniettata vale $h_I = 4,187 \cdot t_I = 4,187 \cdot 35 = 146,55 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$

e quella dell'acqua di reintegro $h_{EX} = 4,187 \cdot t_{EX} = 4,187 \cdot 10 = 41,87 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$

La temperatura dell'acqua di bacino si ipotizza essere uguale a quella di saturazione adiabatica del punto 1

$$t_b = t_{SA1} = 17,87 \left[^\circ C \right]$$

da cui $h_b = 4,187 \cdot t_b = 4,187 \cdot 17,87 = 74,82 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$

Dalla relazione

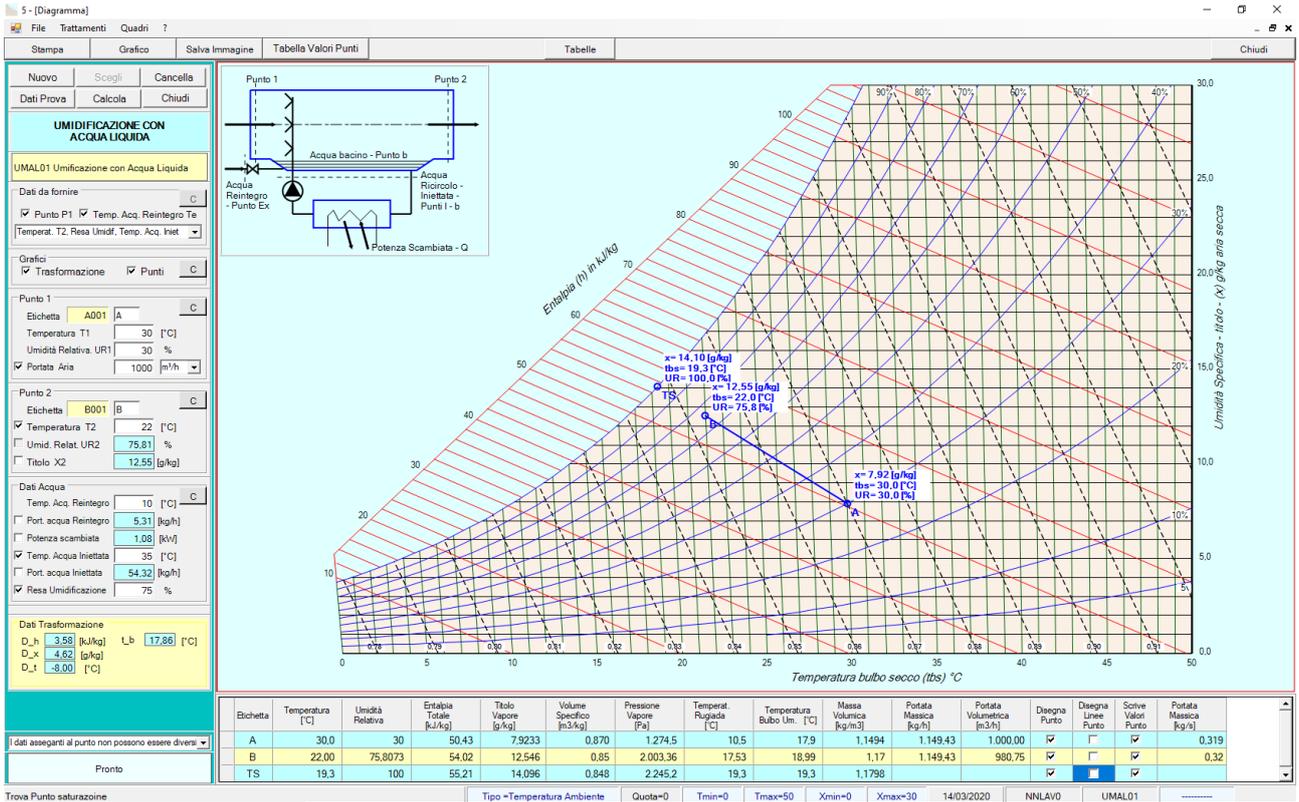
$$\dot{m}_a \cdot (h_2 - h_1) = \dot{m}_{ex} \cdot h_{ex} + \dot{m}_I \cdot (h_I - h_b)$$

è possibile ricavare la portata iniettata.

$$\dot{m}_I = \frac{\dot{m}_a \cdot (h_2 - h_1) - \dot{m}_{ex} \cdot h_{ex}}{(h_I - h_b)} = \frac{0,319 \cdot (54,08 - 50,43) - 0,00148 \cdot 41,87}{(146,55 - 74,82)} = 0,0153 \left[\frac{kg}{s} \right] = 55,17 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

La potenza scambiata nella batteria sarà

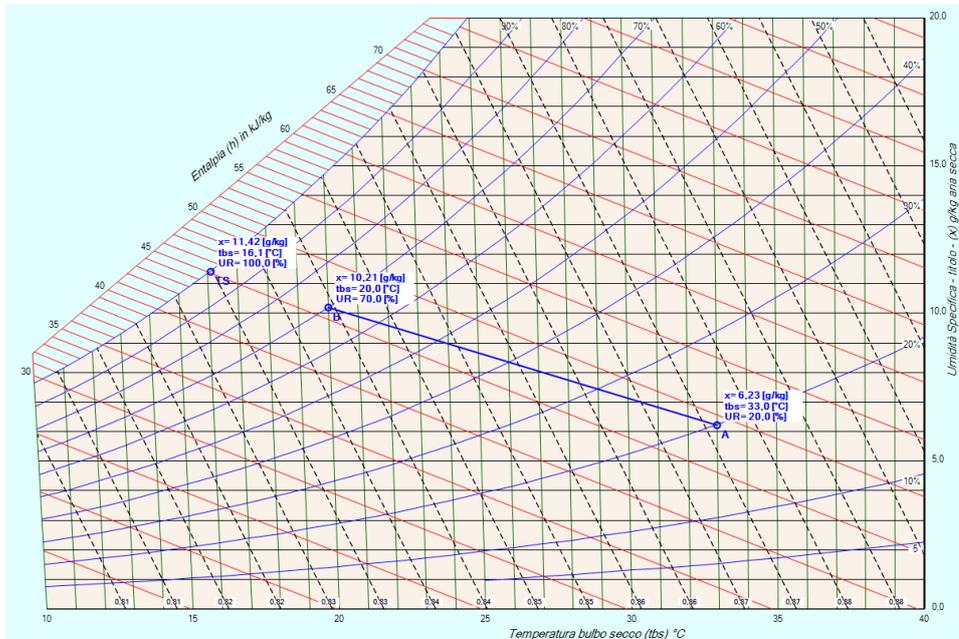
$$\dot{Q}_b = \dot{m}_I \cdot (h_I - h_b) = 0,0153 \cdot (146,55 - 74,82) = 1,09 \left[kW \right]$$



Esempio n. 02.05

Una portata di 100 kg/h di aria umida avente temperatura di 33 °C ed umidità del 20% viene portata alla temperatura di 20 °C ed umidità del 70%, calcolare l'efficienza dell'umidificatore, potenza scambiata e portata dell'acqua di reintegro.

L'immagine riporta la soluzione grafica fornita dal programma



Dalla tabella del vapor saturo si ricavano le pressioni di saturazione per le due temperature:
a 33 [°C] $p_{vs1} = 5029,914$ [Pa], a 20 [°C] $p_{vs2} = 2339,826$ [Pa]

Si calcolando i parametri di stato dei punti 1 e 2

Indicata con φ_1 l'umidità relativa del punto 1 si ha:

$$x_1 = 0,622 \cdot \frac{\varphi_1 p_{vs1}}{p - \varphi_1 p_{vs1}} = 0,622 \cdot \frac{0,2 \cdot 5029,914}{1,013 \cdot 10^5 - 0,2 \cdot 5029,914} = 0,0062373 \left[\frac{kg_v}{kg_a} \right] = 6,37 \left[\frac{g_v}{kg_a} \right]$$

per l'entalpia:

$$h_1 = 1,006 \cdot t_1 + x_1 \cdot (2500 + 1,875 \cdot t_1) = 1,006 \cdot 33 + 0,0062373 \cdot (2500 + 1,875 \cdot 33) = 49,18 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

Definita con φ_2 l'umidità relativa del punto 2. si ha:

$$x_2 = 0,622 \cdot \frac{\varphi_2 p_{vs2}}{p - \varphi_2 p_{vs2}} = 0,622 \cdot \frac{0,7 \cdot 2339,826}{1,013 \cdot 10^5 - 0,7 \cdot 2339,826} = 0,010221 \left[\frac{kg_v}{kg_a} \right] = 10,22 \left[\frac{g_v}{kg_a} \right]$$

per l'entalpia:

$$h_2 = 1,006 \cdot t_2 + x_2 \cdot (2500 + 1,875 \cdot t_2) = 1,006 \cdot 20 + 0,010221 \cdot (2500 + 1,875 \cdot 20) = 46,05 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

La variazione di entalpia e di umidità assoluta vale:

$$\Delta h = h_2 - h_1 = 46,05 - 49,18 = -3,13 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 0,010022 - 0,006237 = 0,003785 \left[\frac{kg}{kg} \right]$$

La conoscenza dei punti 1 e 2 permette l'individuazione del punto di saturazione TS.

Questo punto sarà individuato mediante calcoli iterativi ottenendo:

$$t_{TS} = 16,09 \text{ [}^\circ\text{C]} \text{ e } \phi_{TS} = 1,$$

La pressione di saturazione viene ricavata per interpolazione dalla tabella della pressioni.

La temperatura t_{TS} si pone tra

$t_i = 16 \text{ }^\circ\text{C}$ a cui corrisponde una pressione di saturazione $p_{vsi} = 1817,013 \text{ [Pa]}$ e

$t_s = 17 \text{ }^\circ\text{C}$ a cui corrisponde una pressione di saturazione $p_{vss} = 1936,496 \text{ [Pa]}$.

Ipotizzando, nell'intervallo considerato, un collegamento lineare tra temperatura e pressione di saturazione si potrà scrivere

$$p_{vsTS} = p_{vsi} + (t_{TS} - t_i) \cdot \frac{p_{vss} - p_{vsi}}{t_s - t_i} = 1817,013 + (16,09 - 16) \cdot \frac{1936,496 - 1817,013}{17 - 16} = 1827,777 \text{ [Pa]}$$

anche per il punto Ts si calcolano entalpia e titolo

$$x_{TS} = 0,622 \cdot \frac{1 \cdot p_{vsTS}}{p - 1 \cdot p_{vsTS}} = 0,622 \cdot \frac{1827,777}{1,013 \cdot 10^5 - 1827,777} = 0,011428 \left[\frac{kg_v}{kg_a} \right] = 11,43 \left[\frac{g_v}{kg_a} \right]$$

$$h_{TS} = 1,006 \cdot t_{TS} + x_{TS} \cdot (2500 + 1,875 \cdot t_{TS}) = 1,006 \cdot 16,09 + 0,011428 \cdot (2500 + 1,875 \cdot 16,09) = 45,10 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

Con questi dati il rendimento di saturazione vale:

$$\eta_s = \frac{x_1 - x_2}{x_1 - x_{TS}} = \frac{6,37 - 10,22}{6,37 - 11,43} = 0,7608 = 76,08 \%$$

Per le portate si ha:

$$\dot{m}_a = \frac{100}{3600} = 0,02778 \left[\frac{kg}{s} \right] \quad \text{e} \quad \dot{m}_l = \frac{15}{3600} = 0,004167 \left[\frac{kg}{s} \right]$$

Si calcola adesso la portata dell'acqua di reintegro

$$\dot{m}_{ex} = \dot{m}_a \cdot (x_2 - x_1) = 0,0278 \cdot (0,010221 - 0,006237) = 0,000111 \left[\frac{kg}{s} \right] = 0,398 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

La temperatura dell'acqua di bacino si ipotizza essere uguale a quella di saturazione adiabatica del punto 1

$$t_b = t_{SA1} = 17,45 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad \text{da cui} \quad h_b = 4,187 \cdot t_b = 4,187 \cdot 17,45 = 73,06 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

L'entalpia dell'acqua di reintegro si ricava dalla sua temperatura:

$$h_{ex} = 4,187 \cdot t_{ex} = 4,187 \cdot 10 = 41,87 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

dalla relazione $\dot{m}_a \cdot (h_2 - h_1) = \dot{m}_{ex} \cdot h_{ex} + \dot{m}_I \cdot (h_I - h_b)$

si ricava h_I

$$h_I = h_b + \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_I} \cdot (h_2 - h_1) - \frac{\dot{m}_{ex}}{\dot{m}_I} \cdot h_{ex} = 73,06 + \frac{0,02778}{0,004167} (46,06 - 49,18) - \frac{0,000111}{0,004167} \cdot 41,87 = 51,14 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

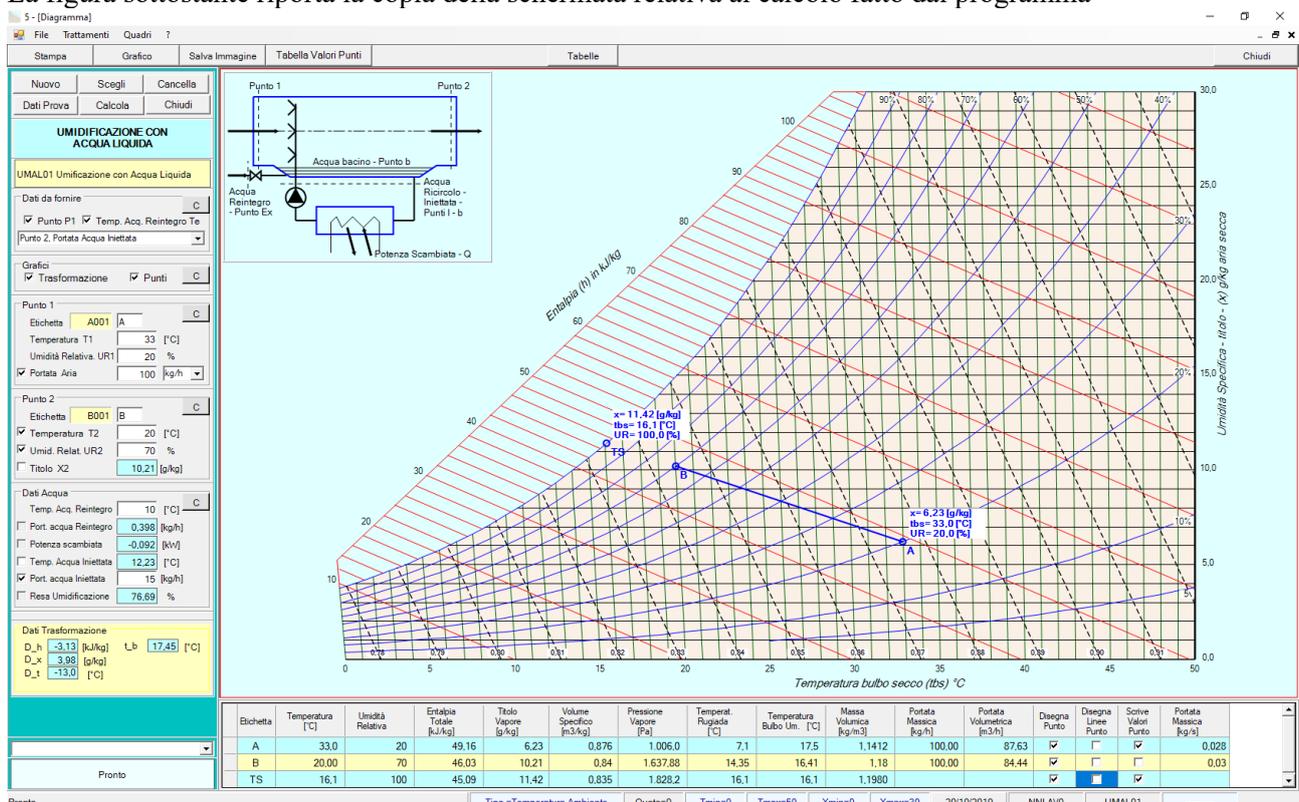
e la temperatura con l'acqua (liquida) viene iniettata

$$t_I = \frac{h_I}{4,187} = \frac{51,14}{4,187} = 12,21 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Infine si trova la potenza scambiata nella batteria

$$\dot{Q}_b = \dot{m}_I \cdot (h_I - h_b) = 0,004167 \cdot (51,14 - 73,06) = 0,0615 \text{ [kW]} = -0,091 \text{ [kW]}$$

La figura sottostante riporta la copia della schermata relativa al calcolo fatto dal programma



Esempio n. 03.05

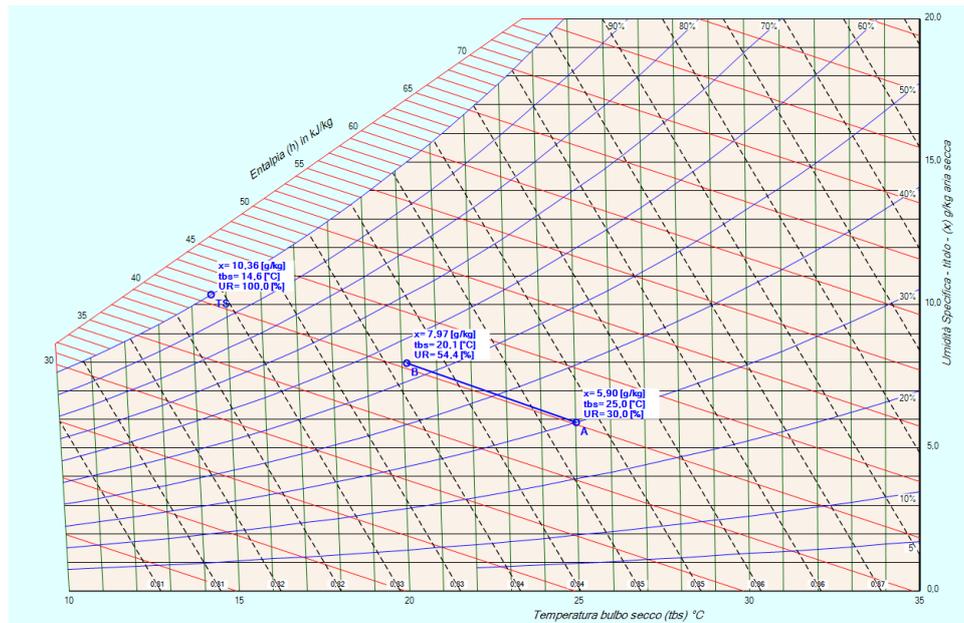
Una portata di 7000 [m³/h] di aria umida, avente temperatura di 25 [°C] ed umidità del 30%, viene fatta passare attraverso un umidificatore ad acqua liquida.

La portata di acqua iniettata è: m₁= 12 [kg/h] e quella di reintegro è: m₁=17 [kg/h].

L'acqua viene iniettata alla temperatura t_i= 50 [°C]

Calcolare i parametri del punto 2, la potenza scambiata, il rendimento dell'umidificatore.

L'immagine riporta la soluzione grafica fornita dal programma



Si calcolano le condizioni del punto 1

Alla temperatura t₁= 25 [°C] corrisponde una pressione di saturazione p_{vs1} = 3173,458 [Pa]

Indicata con φ₁ l'umidità relativa del punto 1 si ha:

$$x_1 = 0,622 \cdot \frac{\varphi_1 p_{vs1}}{p - \varphi_1 p_{vs1}} = 0,622 \cdot \frac{0,3 \cdot 3173,458}{1,013 \cdot 10^5 - 0,3 \cdot 3173,458} = 0,0058997 \left[\frac{kg_v}{kg_a} \right] = 5,90 \left[\frac{g_v}{kg_a} \right]$$

per l'entalpia:

$$h_1 = 1,006 \cdot t_1 + x_1 \cdot (2500 + 1,875 \cdot t_1) = 1,006 \cdot 25 + 0,0058997 \cdot (2500 + 1,875 \cdot 25) = 40,18 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

Dalla relazione dei gas ideali applicata all'aria si ricava il volume specifico nel punto 1

$$v_1 = \frac{R_a \cdot T_1}{p_{a1}} = \frac{287,13 \cdot (273,15 + 25)}{1,013 \cdot 10^5 - 0,3 \cdot 3173,458} = 0,853 \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

Dalla portata volumetrica: $\dot{V}_{a1} = 7000 \left[\frac{m^3}{h} \right] = \frac{7000}{3600} = 1,944 \left[\frac{m^3}{s} \right]$

si ricava la portata massica dell'aria $\dot{m}_{a1} = \frac{\dot{V}_{a1}}{v_{a1}} = \frac{1,944}{0,853} = 2,280 \left[\frac{kg}{s} \right]$

L'entalpia dell'acqua iniettata vale $h_I = 4,187 \cdot t_I = 4,187 \cdot 50 = 209,35 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$

e quella dell'acqua di reintegro $h_{EX} = 4,187 \cdot t_{EX} = 4,187 \cdot 10 = 41,87 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$

La portata dell'acqua di reintegro vale $\dot{m}_{ex} = \frac{12}{3600} = 0,003333 \left[\frac{kg}{s} \right]$

La portata dell'acqua iniettata vale $\dot{m}_I = \frac{17}{3600} = 0,0047222 \left[\frac{kg}{s} \right]$

Con calcoli iterativi si ricava la temperatura di saturazione relativa al punto 1, $t_{1s} = 14,33 \text{ [}^\circ\text{C]}$

Per la temperatura t_b dell'acqua di bacino si ipotizza : $t_b = t_{1s}$

Si ricava adesso il titolo del punto 2 $x_2 = x_1 \frac{\dot{m}_I}{\dot{m}_a} = 0,0058997 + \frac{0,0047222}{2,28} = 0,0079710 \left[\frac{kg_v}{kg_a} \right]$

La potenza scambiata nella batteria sarà

$$\dot{Q}_b = \dot{m}_I \cdot (h_I - h_b) = 0,0047222 \cdot (209,35 - 41,87) = 0,705 \text{ [kW]}$$

Si è in grado adesso di ricavare l'entalpia del punto 2

$$h_2 = h_1 + (x_2 - x_1) \cdot h_{ex} + \frac{\dot{m}_I}{\dot{m}_a} \cdot 4,187 (t_I - t_b)$$

$$h_2 = 40,18 + (0,0079710 - 0,0058997) \cdot 41,87 + \frac{0,0047222}{2,27981} \cdot 4,187 \cdot (50 - 14,33) = 40,49 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

Si ricava la temperatura del punto 2

$$t_2 = \frac{h_2 - 2500 \cdot x_2}{1,006 + 1,875 \cdot x_2} = \frac{40,49 - 2500 \cdot 0,0079710}{1,006 + 1,875 \cdot 0,0079710} = 19,13 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Individuato il punto di 2 si è in grado di calcolare il punto di saturazione T_{TS}

si ha: $x_{TS} = 0,01036 \text{ [kg}_v / \text{kg}_a]$

Si calcola infine il rendimento di umidificazione

[

$$\eta_s = \frac{x_1 - x_2}{x_1 - x_{TS}} = \frac{5,89 - 7,97}{5,89 - 10,35} = 0,4663 = 44,63\%$$

La figura sottostante riporta la copia della schermata relativa al calcolo fatto dal programma

