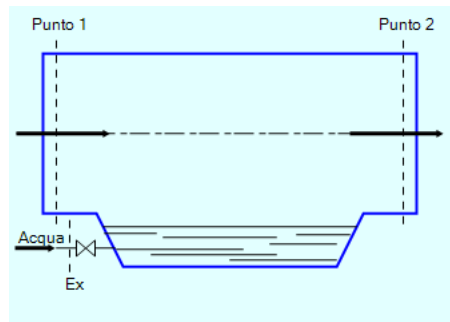


Raffreddamento con Umidificazione Adiabatica



Formulario relativo alla trasformazione

$$h_1 = h_2 = h_{TS}$$

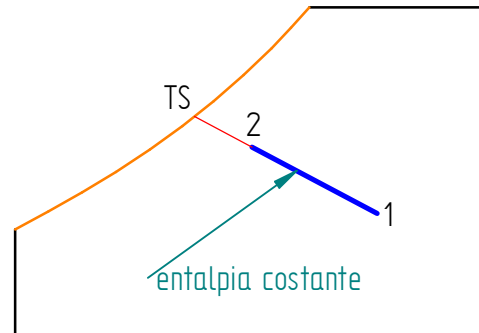
$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a$$

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

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

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

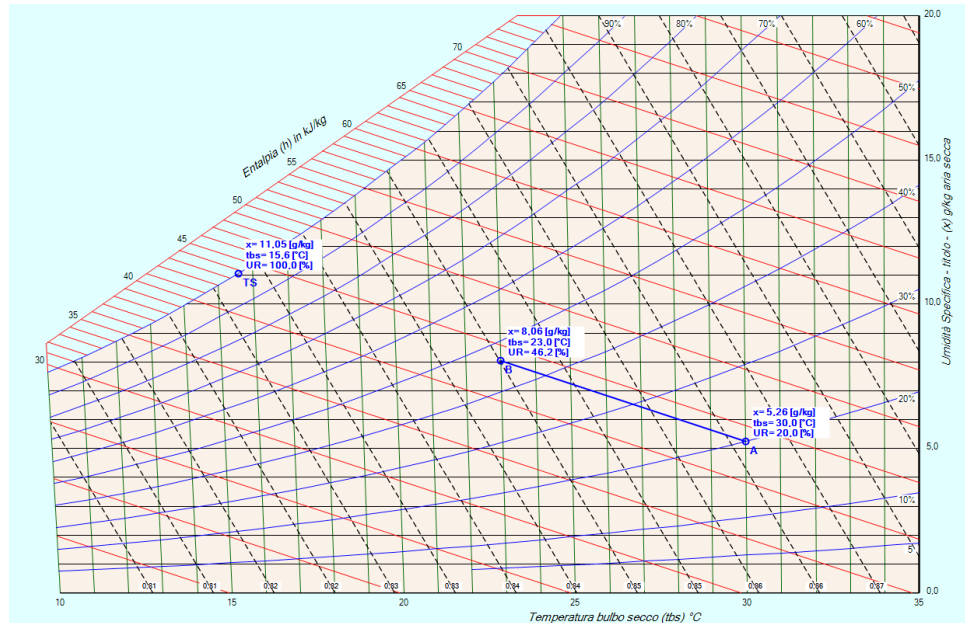
$$\eta_s = \frac{x_1 - x_2}{x_1 - x_{TS}}$$



Esempio n. 01.04

Si desidera raffreddare, mediante umidificazione adiabatica, una portata d'aria di 1100 [kg/h] avente: temperatura $t_1=30$ [°C] ed umidità relativa $UR_1 = 20\%$, fino ad una temperatura di 23 [°C]. Calcolare le condizioni dell'aria dopo la trasformazione, e il rendimento della umidificazione.

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 30 [°C] $p_{vs1} = 4248,293$ [Pa], a 25 [°C] $p_{vs2} = 3173,458$ [Pa]

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

$$x_1 = 0,622 \cdot \frac{\varphi_1 p_{vs1}}{p - \varphi_1 p_{vs1}} = 0,622 \cdot \frac{0,2 \cdot 4248,293}{1,013 \cdot 10^5 - 0,2 \cdot 4248,293} = 0,005261 \quad \left[\frac{kg_v}{kg_a} \right] = 5,26 \quad \left[\frac{g_v}{g_a} \right]$$

per l'entalpia si ha:

$$h_1 = 1,006 \cdot t_1 + x_1 \cdot (2500 + 1,875 \cdot t_1) = 1,006 \cdot 30 + 0,005261 \cdot (2500 + 1,875 \cdot 30) = 43,63 \quad \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

La conoscenza di h_1 ci permette di individuare il punto TS, in particolare la temperatura t_{TS} vale: 15,6 [°C], con una pressione di saturazione $p_{vsTS} = 1773,10$ [Pa], ricordato che il punto si trova sulla curva di saturazione si ha:

$$x_{TS} = 0,622 \cdot \frac{p_{vsTS}}{p - p_{vsTS}} = 0,622 \cdot \frac{1773,10}{1,013 \cdot 10^5 - 1773,10} = 0,01108 \quad \left[\frac{kg_v}{kg_a} \right] = 11,08 \quad \left[\frac{g_v}{g_a} \right]$$

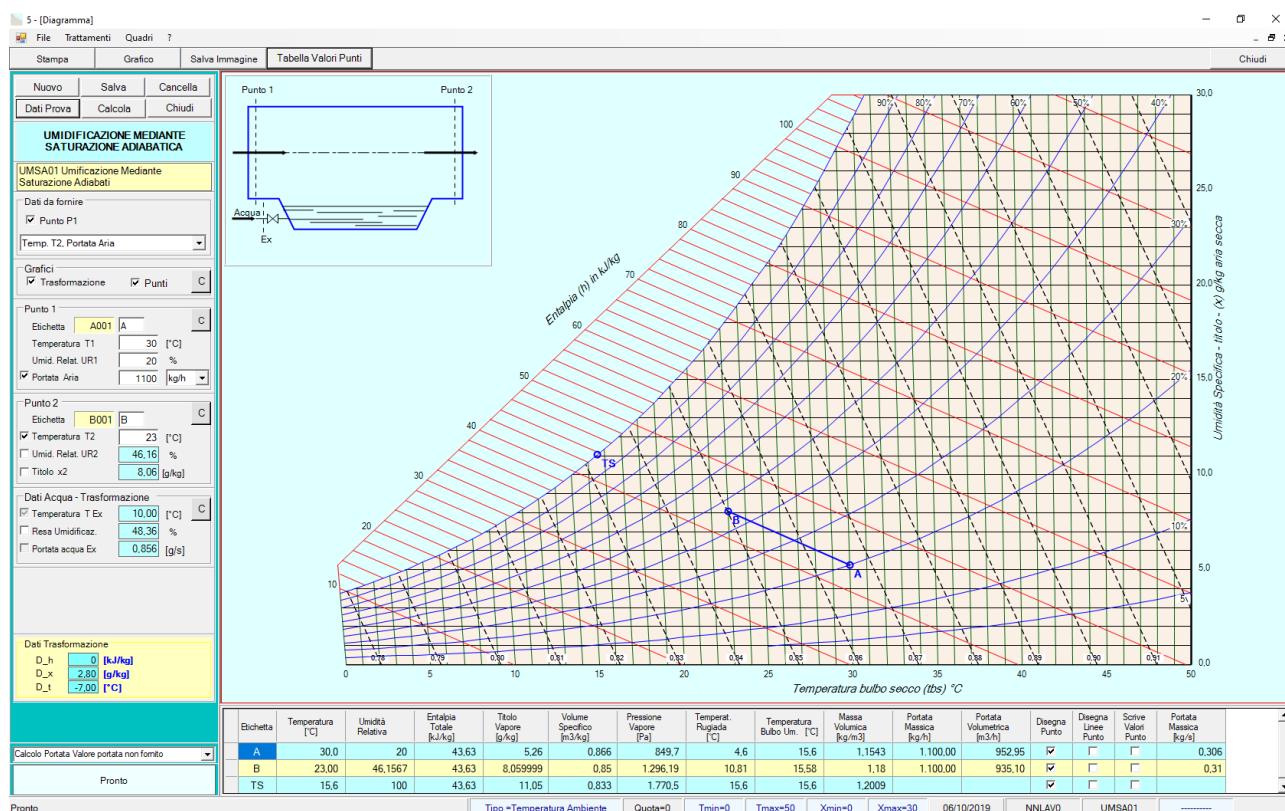
Il punto 2 appartiene alla linea dell'entalpia costante per cui, conoscendo la temperatura si calcola il titolo

$$x_2 = \frac{h_2 - 1,006 \cdot t_2}{2500 + 1,875 \cdot t_2} = \frac{43,63 - 1,006 \cdot 23}{2500 + 1,875 \cdot 23} = 0,008057 \quad \left[\frac{kg_v}{kg_a} \right] = 8,06 \quad \left[\frac{g_v}{g_a} \right]$$

Il rendimento di saturazione vale:

$$\eta_s = \frac{x_1 - x_2}{x_1 - x_{TS}} = \frac{5,26 - 8,06}{5,26 - 11,08} = 0,4865 = 48,65\%$$

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

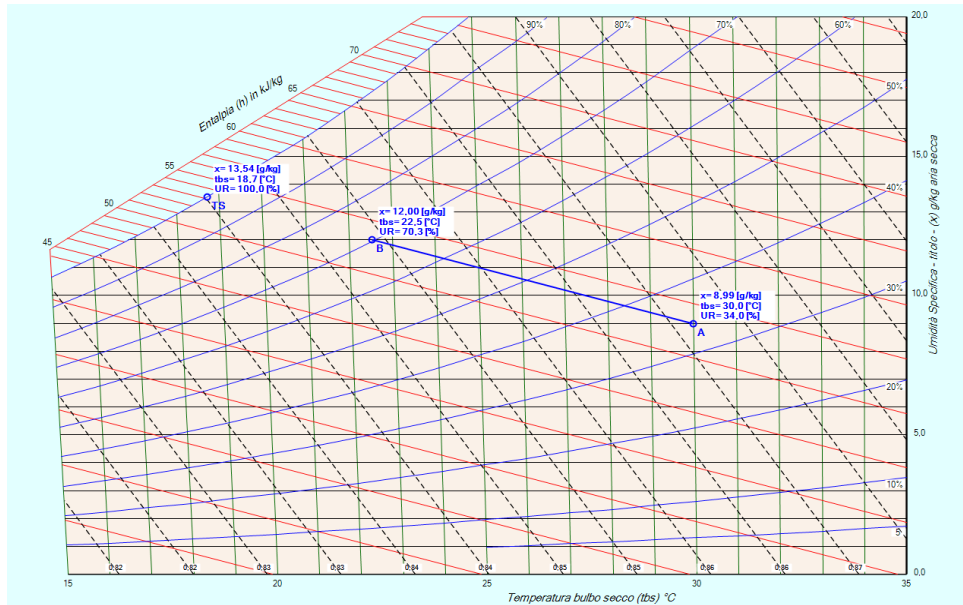


Esempio n. 02.04

Una portata di 6000 m³/h, alla temperatura di 30 [°C] e titolo di 9 [g_v/kg_a], viene umidificata, fino ad un titolo pari a 12,5 [g_v/kg_a].

Calcolare le condizioni dell'aria dopo la trasformazione, e la portata dell'acqua di reintegro.

L'immagine riporta la soluzione grafica fornita dal programma



Dalla tabella del vapor saturo si ricava la pressione di saturazione per 30 [°C] si ha $p_{vs1} = 4248,293$ [Pa].

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

$$\varphi_1 = \frac{x_1 \cdot p}{p_{vs1} \cdot (x_1 + 0,622)} = \frac{0,009 \cdot 1,013 \cdot 10^5}{4248,293 \cdot (0,009 + 0,622)} = 0,3401 = 34,01\%$$

per l'entalpia si ha:

$$h_1 = 1,006 \cdot t_1 + x_1 \cdot (2500 + 1,875 \cdot t_1) = 1,006 \cdot 30 + 0,009 \cdot (2500 + 1,875 \cdot 30) = 53,18 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

Il punto 2 appartiene alla linea dell'entalpia costante per cui, conoscendo il titolo si può calcolare la temperatura

$$t_2 = \frac{h_2 - 2500 \cdot x_2}{1,006 + 1,875 \cdot x_2} = \frac{53,18 - 2500 \cdot 0,012}{1,006 + 1,875 \cdot 0,012} = 22,53 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

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

$$v_1 = \frac{R_a \cdot T_1}{p_{a1}} = \frac{287 \cdot (273,15 + 30)}{1,013 \cdot 10^5 - 0,34 \cdot 4248,293} = 0,87 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right]$$

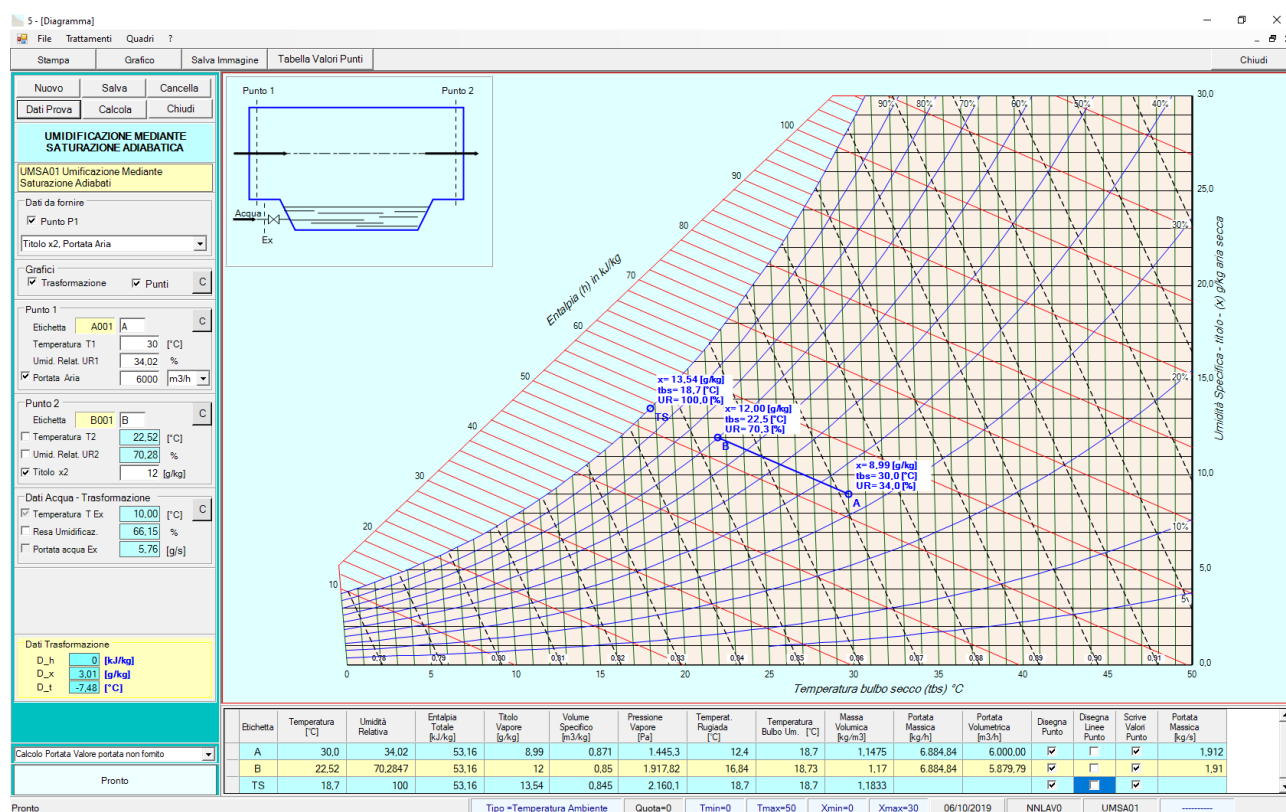
Dalla portata volumetrica: $\dot{V}_{a1} = 6000 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] = \frac{6000}{3600} = 1,67 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$

si ricava la portata massica dell'aria $\dot{m}_{a1} = \frac{\dot{V}_{a1}}{v_{a1}} = \frac{1,67}{0,8713} = 1,913 \left[\frac{kg}{s} \right]$

La portata d'acqua condensata sarà:

$$\dot{m}_{ex} = \dot{m}_{a1} \cdot (x_2 - x_1) = 1,913 \cdot (0,0012 - 0,009) = 0,00575 \left[\frac{kg}{s} \right] = 20,70 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

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

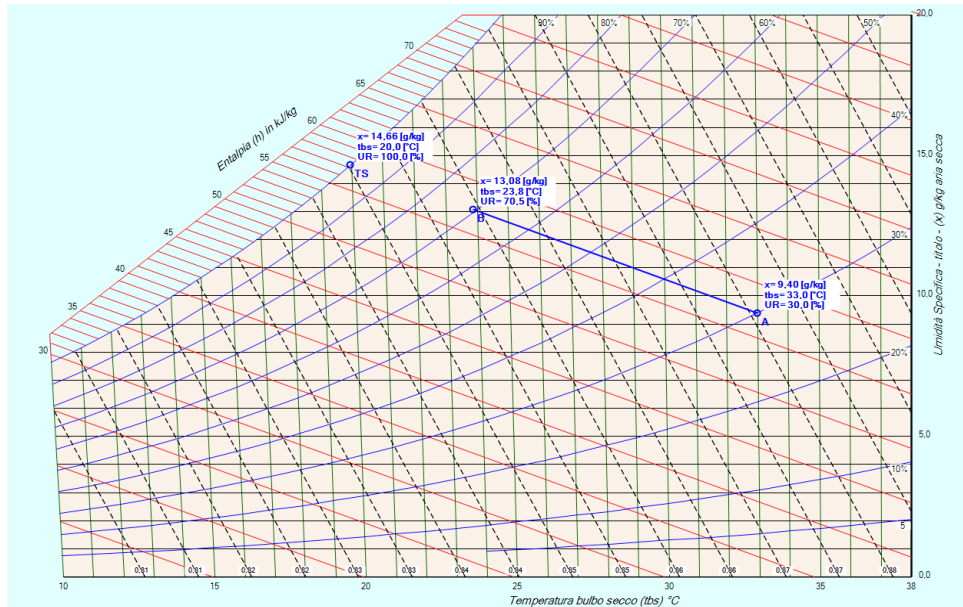


Esempio n. 03.04

Una portata di 900 l/s, alla temperatura di 33 [°C] ed umidità relativa del 30%, viene umidificata, con una resa di umificazione del 70%.

Calcolare le condizioni dell'aria dopo la trasformazione.

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]

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

$$x_1 = 0,622 \cdot \frac{\varphi_1 p_{vs1}}{p - \varphi_1 p_{vs1}} = 0,622 \cdot \frac{0,3 \cdot 5029,914}{1,013 \cdot 10^5 - 0,3 \cdot 5029,914} = 0,009405 \left[\frac{kg_v}{kg_a} \right] = 9,40 \left[\frac{g_v}{kg_a} \right]$$

per l'entalpia si ha:

$$h_1 = 1,006 \cdot t_1 + x_1 \cdot (2500 + 1,875 \cdot t_1) = 1,006 \cdot 33 + 0,009405 \cdot (2500 + 1,875 \cdot 33) = 57,29 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

La conoscenza di h_1 ci permette di individuare il punto TS, in particolare la temperatura t_{TS} vale: 20,0 [°C], con una pressione di saturazione $p_{vsTS} = 2339,826$ [Pa], ricordato che il punto si trova sulla curva di saturazione si ha:

$$x_{TS} = 0,622 \cdot \frac{p_{vsTS}}{p - p_{vsTS}} = 0,622 \cdot \frac{2339,826}{1,013 \cdot 10^5 - 2339,826} = 0,014705 \left[\frac{kg_v}{kg_a} \right] = 14,71 \left[\frac{g_v}{kg_a} \right]$$

Dalla relazione

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

definizione del rendimento di saturazione si ha

$$x_2 = x_1 + \eta_s \cdot (x_1 - x_{TS}) = 0,009405 + 0,70 \cdot (0,014705 - 0,009405) = 0,01312 \left[\frac{kg_v}{kg_a} \right] = 13,12 \left[\frac{g_v}{g_a} \right]$$

Dal titolo e dall'entalpia si ricava la temperatura.

$$t_2 = \frac{h_2 - 2500 \cdot x_2}{1,006 + 1,875 \cdot x_2} = \frac{57,29 - 2500 \cdot 0,01312}{1,006 + 1,875 \cdot 0,01312} = 23,76 \text{ } [^{\circ}C]$$

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

