



## Formulario Calorimetria- Psicrometria

fisica tecnica ambientale (Politecnico di Torino)



Scansiona per aprire su Studocu

# Formulario di TERMODINAMICA

## Termodinamica

↳ TERMODINAMICA  $\Rightarrow$  tratta le varie forme di ENERGIA, gli scambi di energia e di massa fra i sistemi, le trasformazioni da una forma all'altra di energia, l'effetto di queste trasformazioni sui sistemi termodinamici.

↳ TIPOLOGIE di ENERGIA

↳ e. MECCANICA  $E_m = E_p + E_c$

↳ e. POTENZIALE  $E_p$

↳ e. CINETICA  $E_c$

↳ e. NUCLEARE  $E_{nc}$

↳ e. INTERNA  $U$

↳ TRASFORMAZIONI

↳ APERTA  $\Rightarrow$  stato finale diverso dallo stato iniziale

↳ CHIUSO (ciclica)  $\Rightarrow$  stato finale uguale allo stato iniziale

↳ ADIABATICA  $\Rightarrow$  senza scambio di calore

↳ REVERSIBILE  $\Rightarrow$  trasformazioni che possono essere ripercorse al contrario poiché molto lente

- FLUSSO DI CALORE  $\Rightarrow \phi = \frac{Q}{t} \quad [W]$

- POTENZA  $\Rightarrow W = \frac{L}{t} \quad [W]$

- REGOLA DELLE FASI (GIBBS)  $\Rightarrow V = C - f + 2$

$V = n^\circ$  variabili intensive

$C =$  componenti

$f =$  fasi

- VARIABILI che definiscono lo stato del sistema

↳  $Q > 0$   $\Rightarrow$  calore assorbito

↳  $Q < 0$   $\Rightarrow$  calore ceduto

↳  $L > 0$   $\Rightarrow$  lavoro prodotto dal sistema sull'esterno

↳  $L < 0$   $\Rightarrow$  lavoro prodotto dall'esterno sul sistema

- TEMPERATURA  $\Rightarrow T = t(^{\circ}C) + 273,15 \quad [K]$

- ENTALPIA  $\Rightarrow H = U + p \cdot V \quad [J]$

- ENTALPIA SPECIFICA  $\Rightarrow h = H/m \quad [J/kg]$

- ENERGIA INTERNA SPECIFICA  $\Rightarrow u = U/m \quad [J/kg]$

## Calorimetria

- CAPACITÀ TERMICA  $\Rightarrow C = \frac{Q}{\Delta t} \quad [J/Kg^{\circ}C]$

- CALORE SPECIFICO  $\Rightarrow c = \frac{Q}{\Delta t \cdot m}$

$C_{H_2O} = 4126 \quad J/Kg^{\circ}C \quad (4,126 \quad KJ/Kg^{\circ}C)$

- VARIAZIONE di TEMPERATURA  $\Rightarrow \Delta t = t_{eq} - t_c$

- ENERGIA TERMICA  $\Rightarrow Q = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1) \quad [J \text{ o } KJ] \quad m = \frac{Q}{c(t_2 - t_1)} \quad c = \frac{Q}{t - t_1} \quad t_1 = \frac{Q - c \cdot m \cdot t_2}{c \cdot m} \quad t_2 = \frac{Q + c \cdot m \cdot t_1}{c \cdot m}$

- PORTATA TERMICA  $\Rightarrow \dot{Q} = \frac{Q}{\Delta \tau} \quad [W \text{ o } KW] \quad \dot{Q} = \dot{m} \cdot c \cdot (t_2 - t_1)$

- TEMPO PER IL RISCALDAMENTO  $\Rightarrow \Delta \tau = \frac{Q}{\dot{Q}}$



- TEMPERATURA D'EQUILIBRIO  $\Rightarrow$   $t_{eq} = \frac{t_1 \cdot V_1 + t_2 \cdot V_2}{V_1 + V_2}$   $t_{eq} = \frac{m_1 c_1 t_1 + m_2 c_2 t_2}{m_1 c_1 + m_2 c_2}$
- ENERGIA TERMICA FORNITA  $\Rightarrow$   $Q_u = Q \cdot \eta$   $\eta$  = rendimento medio dell'impianto termico
- ENERGIA TERMICA  $\Rightarrow$   $Q = P_c \cdot V_{gas} \quad [J]$   $P_c$  = potere calorifico  $[J/m^3]$   $V_{gas} = V \cdot \text{consumo} \quad [m^3]$
- I PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA =  $Q - L = U_2 - U_1$

# Formulario PSICROMETRIA

## Miscela di GAS

- LEGGE di GIBBS - DALTON (pressione)  $\Rightarrow p = \sum_{i=1}^N p_i$
- LEGGE di GIBBS - DALTON (energia interna)  $\Rightarrow U = \sum_{i=1}^N U_i$
- EQUAZIONE di STATO dei GAS IDEALI  $\Rightarrow pV = m R^* T$   
 $R^* = \text{costante di elasticità dei gas}$   
 $p = \frac{m R^* T}{V}$     $V = \frac{m R^* T}{p}$     $m = \frac{pV}{R^* T}$     $T$  in Kelvin
- EQUAZIONE di STATO dei GAS IDEALI (portate)  $\Rightarrow p\dot{V} = \dot{m} R T$     $\dot{V} = [\text{m}^3/\text{s}]$     $\dot{m} = [\text{kg}/\text{s}]$
- PRESSIONE TOTALE  $\Rightarrow p = p_1 + p_2$     $[\text{Pa}]$

## Psicrometria

- MASSA ARIA UMIDA  $\Rightarrow m_{\text{TOT}} = m_a + m_v$   
 $m_a = \text{massa di aria secca}$   
 $m_v = \text{massa di vapore acqua}$
- EQUAZIONE di STATO per l'ARIA SECCA  $\Rightarrow p_a \cdot V = m_a \cdot R_a^* \cdot T$   
 $p_a = \text{pressione parziale a. secca}$   
 $R_a = \text{costante dei gas per a. secca} = 287,2 \text{ J/kgK}$
- EQUAZIONE di STATO per il VAPORE ACQUO  $\Rightarrow p_v \cdot V = m_v \cdot R_v^* \cdot T$     $R_v = 461,5 \text{ J/kgK}$
- Umidità SPECIFICA  $\Rightarrow x = \frac{m_v}{m_a}$     $[\text{kg}_v/\text{kg}_a]$   
 $x = 0,622 \cdot \frac{p_v}{p - p_v} = 0,622 \cdot \frac{p_{vs}(t) \varphi}{p - p_{vs}(t) \varphi}$     $[\text{kg}_v/\text{kg}_a]$
- Umidità RELATIVA  $\Rightarrow \varphi = \frac{m_v}{m_{vs}}$     $[\%]$     $m_{vs} = \text{massa di vapore alla saturazione a pari temp.}$   
 $\varphi = \frac{p_v}{p_{vs}(t)}$   
 $\varphi = \frac{p \cdot x}{(0,622 + x) p_{vs}(t)}$
- ENTALPIA SPECIFICA  $\Rightarrow h = c_{pa} \cdot t + x (r_0 + c_{pv} t)$   
 $x = \frac{h - c_{pa} \cdot t}{r_0 + c_{pv} t}$   
 $c_{pa} = \text{calore specifico dell'aria secca a } 1013 \text{ mbar} = 1,006$   
 $c_{pv} = \text{calore specifico del vapore a } 6 \text{ mbar} = 1,875$   
 $r_0 = \text{calore di vaporizzazione dell'acqua} = 2501$
- TEMPERATURA  $\Rightarrow p_{vs}(t) = \frac{p \cdot x}{\varphi(x + 0,622)}$
- MASSA DI VAPORE  $\Rightarrow \Delta m_v = m_a (x_2 - x_1)$     $[\text{kg}]$   
 $\Delta m_v \cdot (r_0 + c_{pv} \cdot t_2) = m_a (h_2 - h_1)$     $h_2 = h_1 + \frac{\Delta m_v (r_0 + c_{pv} t_2)}{m_a}$
- PORTATA DI VAPORE  $\Rightarrow \Delta \dot{m}_v = \dot{m}_a (x_2 - x_1)$     $[\text{kg}/\text{s}]$
- PORTATA TERMICA  $\Rightarrow \dot{Q} = \dot{m}_a (h_{\text{THS}} - h_a)$     $[\text{kW}]$     $\dot{Q} > 0$     $\dot{Q} < 0$

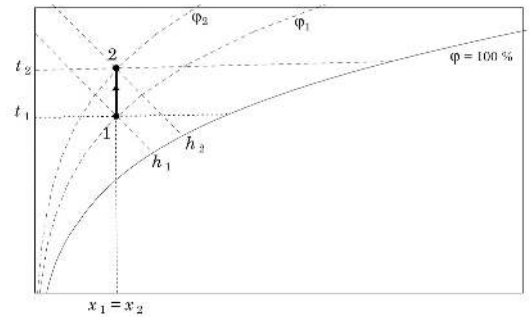
- PORTATA TERMICA D'ACQUA  $\Rightarrow \dot{Q} = \dot{m}_{H_2O} \cdot c_{pH_2O} (t_{H_2O1} - t_{H_2O2})$  [KW]  $c_{pH_2O} = 4,186 \text{ KJ}$
- UMIDITA' SPECIFICA DELL'A MISCELA  $\Rightarrow x_m = \frac{\dot{m}_i x_i + \dot{m}_e x_e}{\dot{m}_i + \dot{m}_e}$  [KgV / KgA]
- ENTALPIA SPECIFICA DELL'A MISCELA  $\Rightarrow h_m = \frac{\dot{m}_i h_i + \dot{m}_e h_e}{\dot{m}_i + \dot{m}_e}$
- TEMPERATURA DELL'A MISCELA  $\Rightarrow t_m = \frac{h_m - v_0 \cdot x_m}{c_{pa} + c_{pv} \cdot x_m}$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]
- UMIDITA' RELATIVA DELL'A MISCELA  $\Rightarrow \varphi_m = \frac{x_m \cdot p}{(0,622 + x_m) p_{vs}(t_m)}$  [·/·]
- PORTATA TERMICA TOTALE  $\Rightarrow \dot{Q}_{TOT} = \dot{Q}_{RISC} + \dot{Q}_{RISC-R} = \dot{m}_a (h_1 - h_m) + \dot{m}_a (h_m - h_2)$

## Trasformazioni dell'aria umida

### - RISCALDAMENTO a umidità specifica costante

- $t$  aumenta
- $x$  resta costante
- $h$  aumenta
- $\varphi$  diminuisce

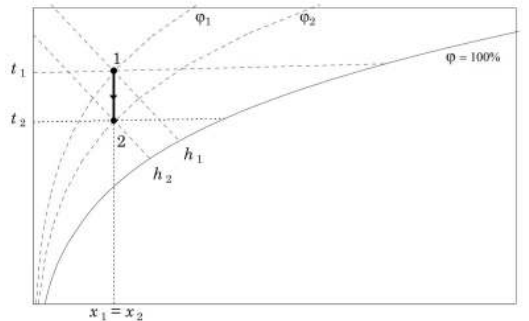
$$h_2 = h_1 + \frac{\dot{Q}_{1,2}}{\dot{m}_a} \quad t_2 = t_1 + \frac{\dot{Q}_{1,2}}{\dot{m}_a (c_{pa} + x c_{pv})}$$



### - RAFFREDDAMENTO a umidità specifica costante

- $t$  diminuisce
- $x$  resta costante
- $h$  diminuisce
- $\varphi$  aumenta (< 100%)

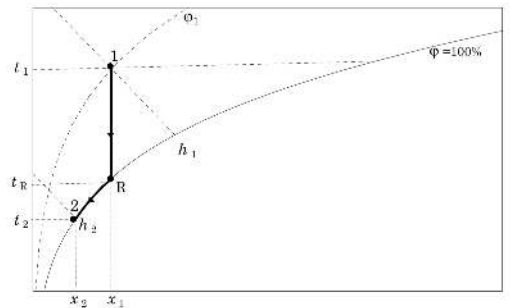
$$h_2 = h_1 - \frac{|\dot{Q}_{1,2}|}{\dot{m}_a} \quad t_2 = t_1 - \frac{|\dot{Q}_{1,2}|}{\dot{m}_a (c_{pa} + x c_{pv})}$$



### - RAFFREDDAMENTO e DEUMIDIFICAZIONE

- $t$  diminuisce
- $x$  diminuisce
- $h$  diminuisce
- $\varphi$  aumenta fino al 100%

$$|\dot{m}_v| = \dot{m}_a (x_1 - x_2) \quad |\dot{Q}_{1,2}| = \dot{m}_a (h_1 - h_2)$$

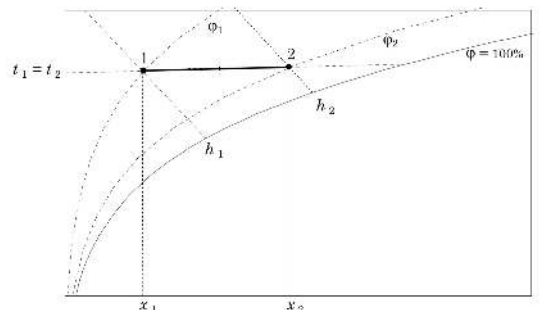


### - UMIDIFICAZIONE per INIEZIONE di VAPORE

#### - umidificazione ISOTERMA

- $t$  resta costante
- $x$  aumenta
- $h$  aumenta
- $\varphi$  aumenta

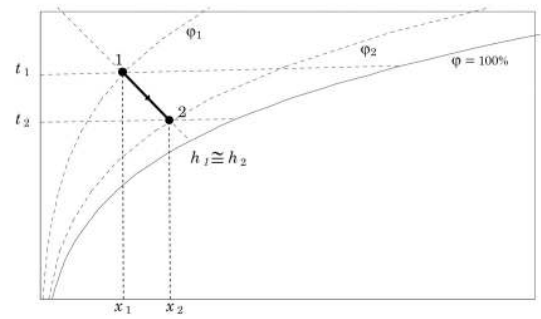
$$\dot{m}_v = \dot{m}_a (x_1 - x_2) \quad \dot{m}_v h_v = \dot{m}_a (h_2 - h_1)$$



## - Umidificazione per iniezione d'acqua

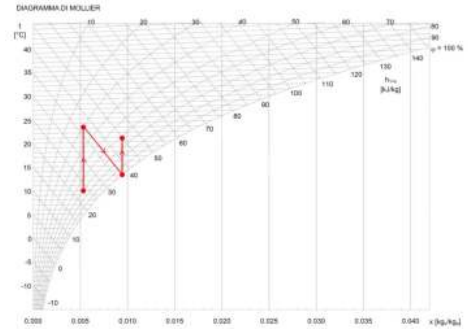
### - umidificazione adiabatica ( $\dot{h}_i \cong 0$ )

- $t$  diminuisce
- $x$  aumenta
- $h$  resta costante
- $\phi$  aumenta



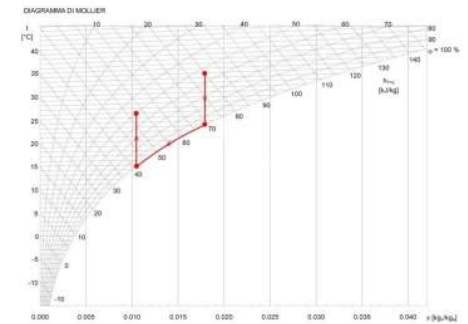
## - Condizionamento invernale

### - RISCALDAMENTO, Umidificazione, POST-RISCALDAMENTO



## - Condizionamento estivo

### - RAFFREDDAMENTO e DEUMIDIFICAZIONE, POST-RISCALDAMENTO



## Note

- da  $\text{kg/h}$  a  $\text{kg/s} \Rightarrow \dot{m}_a = [\text{kg/h}] \cdot \frac{1}{3600}$

- PORTATA MASSICA D'ACQUA  $\Rightarrow \dot{m}_{H_2O} = \dot{V}_{H_2O} \cdot \rho_{H_2O} = n \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{1}{1000} \cdot \rho$

- saturazione adiabatica  $\Rightarrow \phi = 100\%$

## Tipi di temperature

- Temperatura di rugiada  $\Rightarrow$  il vapore acqueo di una massa raggiunge una condizione di saturazione adiabatica ( $t_{ro}$ )

- Temperatura di saturazione adiabatica  $\Rightarrow$  temperatura per cui l'acqua, evaporando adiabaticamente, porta una massa di aria umida a saturazione ( $t_{sa}$ )

- Temperatura di bulbo umido  $\Rightarrow$  temperatura cui si porta l'acqua in condizioni di equilibrio di scambio termico convettivo e di massa con aria in moto forzatamente turbolento ( $t_{bu}$ )

- Temperatura di sat. isentalpica  $\Rightarrow$  temperatura dell'aria sat. al medesimo valore di entalpia ( $t_{si}$ )