

# Formulario di Fisica

## Tecnica ITPS

# **CONTENTS**

0.1	Trasformazione Politropica .....	3
0.1.1	Equazione di stato .....	4
0.2	Casi Particolari .....	5
0.3	Lavoro massico durante una Trasformazione Politropica .....	5
0.4	Calore massico scambiato .....	6
0.5	Calori specifici gas perfetti .....	7
0.5.1	A volume costante .....	7
0.5.2	A pressione costante .....	7
0.6	Trasformazione Isoentropica .....	7
<b>1</b>	<b>Macchine .....</b>	<b>9</b>
1.1	Rendimenti .....	9
1.1.1	Turbina adiabatica .....	9
1.1.2	Pompa .....	9
<b>2</b>	<b>Cicli Termodinamici .....</b>	<b>10</b>
2.1	Diretti e indiretti .....	10
2.2	Utilizzi dei cicli .....	10
2.3	Cicli Simmetrici .....	10
2.4	Rendimenti .....	11
2.4.1	Formula generale .....	11
2.4.2	Carnot: Diretto (Gas) .....	11
2.4.3	Carnot: Ciclo frigorifero (Gas) (Indiretto) .....	11
2.4.4	Carnot: Pompa di Calore (Gas) (Indiretto) .....	11
2.4.5	Brayton Joule (Gas) .....	12
2.4.6	Brayton Joule con rigenerazione (Gas) .....	12
2.4.6.1	Come calcolare $T_x$ e $T_y$ .....	13
2.4.6.2	Efficienza .....	14
2.4.7	Rankine (Vapore) .....	14
<b>3</b>	<b>Aria Umida (miscela bicomponente) .....</b>	<b>15</b>
3.1	Umidità Assoluta .....	15
3.2	Umidità Relativa .....	15
3.3	Entalpia .....	16
3.4	Temperatura di Rugiada .....	17
3.4.1	Metodo Analitico .....	17
3.4.2	TODO: Metodo grafico (diagramma psicrometrico) .....	18

<b>4</b>	<b>Trasmissione del calore: Regime Stazionario .....</b>	<b>19</b>
4.1	Coefficiente di conduzione (k) .....	19
4.2	Coefficiente di convezione (h) .....	19
4.3	Coefficiente di scambio termico globale (U) .....	19
4.4	Conduttanza termica .....	20
4.5	Resistenza termica .....	20
4.5.1	Di Conduzione .....	20
4.5.2	Di Convezione .....	21
4.5.3	Complessiva .....	21
4.6	Caso: Parete Piana .....	22
4.7	Caso: Parete Cilindrica .....	22
4.8	Calcolo resistenze .....	22
4.8.1	Serie .....	22
4.8.2	Parallelo .....	22
<b>5</b>	<b>Trasmissione del calore: Regime non Stazionario</b>	<b>23</b>
5.1	Numero di Biot .....	23
5.2	Lunghezza Caratteristica .....	23
5.3	Tempo di Raffreddamento .....	23
5.4	Temperatura finale al tempo t .....	24
<b>6</b>	<b>Scambiatori di Calore .....</b>	<b>25</b>
6.1	Temperatura Media Logaritmica .....	25
6.2	Potenza termica scambiata dal fluido freddo .....	25
6.3	Coefficiente globale di scambio .....	26

Document made with typst: [Link to typst documentation](#)

Trasformazioni

## 0.1 Trasformazione Politropica

$$p = p_1 \left( \frac{v_1}{v} \right)^n$$

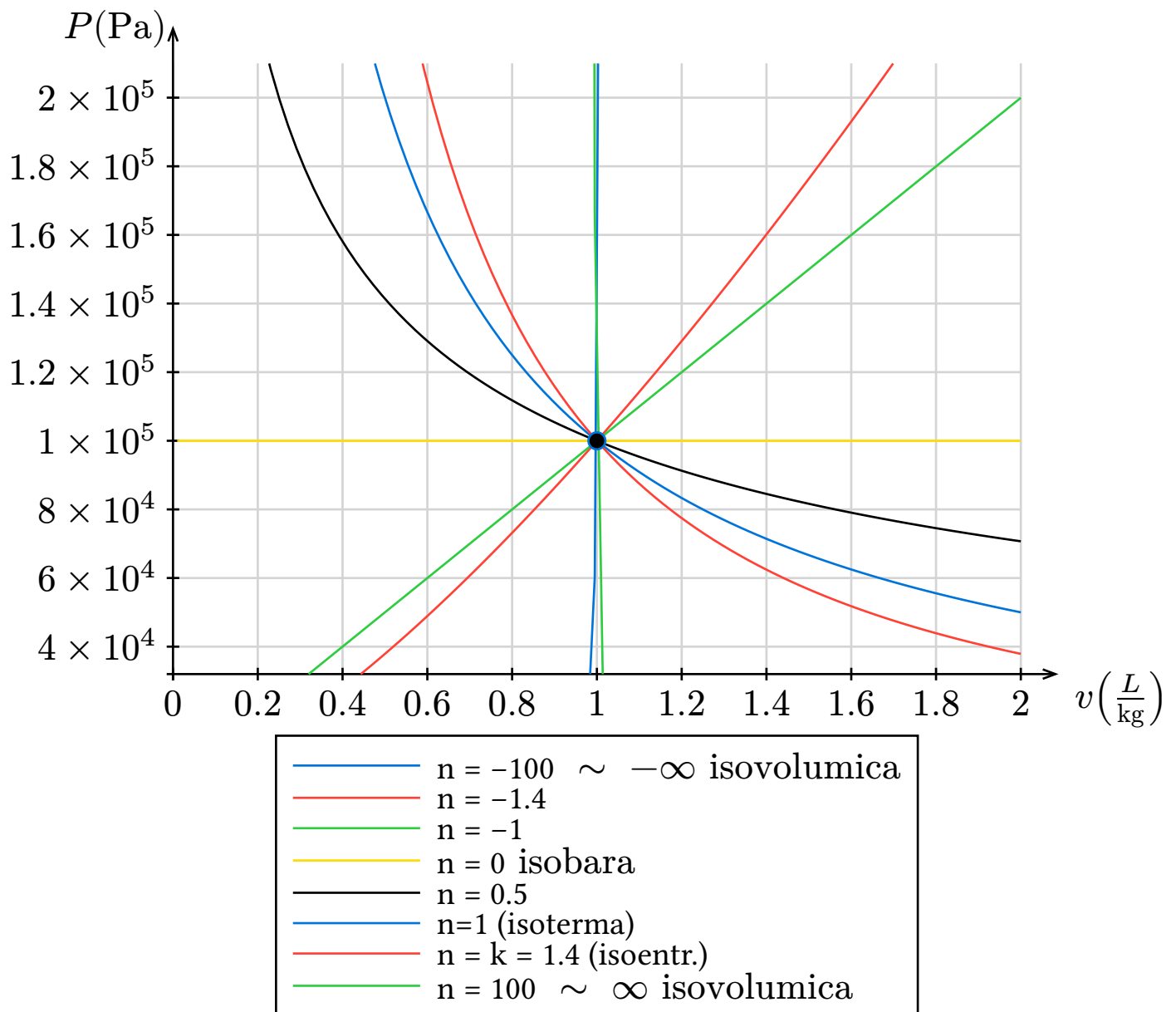


Figure 1: Differenti curve al variare dell'indice  $n$  della politropica  
(Plot made with cetz)

Con una trasf. politropica si può descrivere una qualsiasi trasformazione termodinamica.

### 0.1.1 Equazione di stato

$$p \cdot V^n = \text{costante}$$

Dove:

- $p$ : la pressione

- $V$ : il volume
- $n$ : l'indice politropico, **pari a  $k$  se** trasf. adiabatica e quasistatica(cioè isoen tropica)

## 0.2 Casi Particolari

- Per  $n = 0 \rightarrow$  **Isobara**:  $p = \text{costante}$
- Per  $n = \pm\infty \rightarrow$  **Isocora**:  $V = \text{costante}$
- Per  $n = 1 \rightarrow$  **Isoterma**:  $T = \text{costante}$
- Per  $n = k \rightarrow$  **Adiabatica**:  $k = \frac{C_p}{C_v}$

## 0.3 Lavoro massico durante una Trasformazione Politropica

Calcolando:

$$w = \int_{v_1}^{v_2} p \, dv = p_1 v_1^n \int_{v_1}^{v_2} v^{-n} \, dv$$

Si distinguono due casi:

- **Caso Generale** ( $n \neq 1$ ):

$$L_v = \frac{p_1 \cdot V_1}{n - 1} \left( \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1} - 1 \right)$$

- **Caso Isotermico** ( $n = 1$ ):

$$L_v = -p_1 \cdot V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

## 0.4 Calore massico scambiato

Il lavoro per un'espansione è da considerare come un contributo negativo all'energia interna ma se è un'espansione allora  $\Delta v = v_2 - v_1 > 0$  e si avrebbe un termine positivo di lavoro quindi si aggiusta mettendo un meno.

$$\Delta u = q - w$$

$$\Rightarrow$$

$$q = \Delta u + w$$

$$\Delta u = c_v \cdot (T_2 - T_1)$$

$$w = \int_{v_1}^{v_2} p \, dv$$

$$\Rightarrow$$

$$q = c_v \cdot (T_2 - T_1) + \int_{v_1}^{v_2} p \, dv$$

**Due casi per il lavoro:**

- $n \neq 1$ :

$$q = c_v \cdot (T_2 - T_1) + \frac{p_1 \cdot V_1}{n-1} \left( \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1} - 1 \right)$$

- $n = 1$ :

$$q = c_v \cdot (T_2 - T_1) - p_1 \cdot V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

## 0.5 Calori specifici gas perfetti

**N.B.**

**NO vapore**

**SÌ** aria umida ma solo per la parte di **aria secca**.

$$R^* = \frac{R}{M_m}$$

- R : Costante dei gas perfetti =  $8314 \frac{J}{\text{kmol } K}$
- Mm : Massa Molare del gas  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right]$  pari alla somma delle masse atomiche degli atomi che compongono la singola molecola.  
Esempio:  $N_2 = N + N = 14 + 14 = 28 \text{ kg/kmol}$

Calcolare calori specifici con l'indice **n** della politropica.

### 0.5.1 A volume costante

$$c_v = \frac{1}{n - 1} \cdot R^*$$

### 0.5.2 A pressione costante

$$c_p = \frac{n}{n - 1} \cdot R^*$$

## 0.6 Trasformazione Isoentropica

**Se** la trasformazione è **adiabatica e** anche **quasistatica** (deve essere specificato nella traccia dell'ex) **Allora n=k**.

Dove:

$$k = \frac{c_p}{c_v}$$

La quasistaticità è necessaria perchè se la trasformazione non è reversibile (presenza di forze non conservative che dissipano calore) si genera entropia. **Forze non conservative -> dissipazione calore**  
**-> generazione entropia.**



# **1 MACCHINE**

## **1.1 Rendimenti**

\*rendimenti isoentropici

### **1.1.1 Turbina adiabatica**

$$\eta = \frac{\text{Lavoro}_{\text{Estratto}}}{\text{Lavoro}_{\text{Isoentropico}}} = \frac{h_2 - h_1}{h_2^{\text{iso}} - h_1}$$

L'energia utile qui è il lavoro estratto dalla turbina, a spese del ciclo durante la trasformazione di espansione isoentropica.

### **1.1.2 Pompa**

$$\eta = \frac{\text{Lavoro}_{\text{tecnico isoentropico}}}{\text{Lavoro}_{\text{tecnico reale}}} = \frac{h_2^{\text{iso}} - h_1}{h_2 - h_1}$$

Qui isoentropico sta a numeratore perchè la spesa è data dal lavoro che diamo alla macchina(compressore) per ottenere una compressione, la compressione che otteniamo corrisponde al  $\Delta h_{\text{isoentropico}}$  che sarà sempre inferiore al lavoro che forniamo per il II° principio.

## 2 CICLI TERMODINAMICI

### 2.1 Diretti e indiretti

**Ciclo Diretto:** sfrutta “direttamente” il calore per produrre lavoro/calore utile.

**esempio:** motore endotermico, utilizza calore di combustione per espandere il gas combusto e compiere lavoro.

**Ciclo Indiretto:** si utilizza lavoro per ottenere lavoro/calore utile.

**esempio:** pompa di calore, pompa fornisce lavoro al fluido per far scambiare calore, tramite espansione e compressione.

### 2.2 Utilizzi dei cicli

- **Carnot** è il ciclo ideale teorico per gas perfetti e vapore.
  - Senso Orario: ciclo diretto, utilizza calore per produrre lavoro.
  - Senso Anti-orario: ciclo indiretto, utilizza lavoro per spostare calore.
- **Brayton-Joule** utilizzato nelle turbine a gas

### 2.3 Cicli Simmetrici

Per i cicli simmetrici valgono le seguenti equazioni:

$$v_1 v_3 = v_2 v_4$$

$$p_1 p_3 = p_2 p_4$$

$$T_1 T_3 = T_2 T_4$$

Seguono lo schema: *indici dispari = indici pari*

## 2.4 Rendimenti

### 2.4.1 Formula generale

$$\eta = \frac{|w_{\text{utile}}|}{q_H}$$

### 2.4.2 Carnot: Diretto (Gas)

- 2 isoterme + 2 adiabatiche isoentropiche

$$\eta = 1 - \frac{T_{\min}}{T_{\max}}$$

Si ricorda che  $4 \rightarrow 1$  e  $2 \rightarrow 3$  sono trasformazioni isoterme.

### 2.4.3 Carnot: Ciclo frigorifero (Gas) (Indiretto)

Coefficient Of Performance (COP):

$$COP_{\text{frigo}} = \frac{\Delta s_{12} \cdot T_{\min}}{\Delta s_{34} \cdot T_{\max} - \Delta s_{12} \cdot T_{\min}}$$

$$COP_{\text{frigo}} = \frac{T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}}$$

N.B.  $\Delta s_{12} = \Delta s_{34}$

### 2.4.4 Carnot: Pompa di Calore (Gas) (Indiretto)

Si ottiene invertendo in senso anti-orario il ciclo di Carnot.

Coefficient Of Performance (COP):

$$COP_{\text{pompa calore}} = \frac{\Delta s_{34} \cdot T_{\max}}{\Delta s_{12} \cdot T_{\min} - \Delta s_{34=12} \cdot T_{\max}}$$

$$COP_{\text{frigo}} = \frac{T_{\max}}{T_{\max} - T_{\min}}$$

N.B.  $\Delta s_{12} = -\Delta s_{34}$

## 2.4.5 Brayton Joule (Gas)

2 adiab. isoentropiche:

(pompa 1→2 + turbina 3→4)

+ 2 isobare:

$q_h$ : 2→3

$q_c$ : 4→1

$$\eta = 1 - \frac{c_p \cdot (T_4 - T_1)}{c_p \cdot (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

## 2.4.6 Brayton Joule con rigenerazione (Gas)

La rigenerazione la si può sfruttare se  $T_4 > T_2$ , sostanzialmente il gas uscente dalla turbina è più caldo di quello uscente dal compressore.

**Dall'uscita della turbina** senza rigenerazione si deve portare il gas da  $T_4$  a  $T_1$ , la rigenerazione permette di raffreddare da  $T_4$  a  $T_y$  (con  $T_1 < T_y < T_4$ ) quindi il calore da cedere sarà solo quello per portare il gas da  $T_y$  a  $T_1$ .

**Dall'uscita del compressore** senza rigenerazione si deve portare il gas da  $T_2$  a  $T_3$ , la rigenerazione permette di riscaldare da  $T_2$  a  $T_x$  (con  $T_2 < T_x < T_3$ ) quindi si riesce a recuperare del calore che altrimenti verrebbe disperso nell'ambiente per alimentare la trasformazione  $T_2 \rightarrow T_3$ .

$$\eta = \frac{Q_{\text{prodotto}} - Q_{\text{ceduto}}}{Q_{\text{prodotto}}} \\ = 1 - \frac{c_p \cdot (T_y - T_1)}{c_p \cdot (T_3 - T_x)}$$

- Ty: temperatura di uscita dallo scambiatore lato turbina. (parte raffreddata)
- Tx: temperatura di uscita dallo scambiatore lato compressore (parte riscaldata)

#### 2.4.6.1 Come calcolare Tx e Ty

Nello scambiatore verrà scambiata una **quantità di calore che dipende dal  $\Delta$  di temperatura** tra uscente dalla turbina e uscente dal compressore, ammesso che abbiano stessa portata massica e dovrebbe visto che il circuito è chiuso e la massa si conserva, la velocità dovrebbe variare solo la sezione dei due condotti.

Inoltre **dipende dall'efficienza dello scambiatore  $\varepsilon$ (epsilon).**

$$\varepsilon = \frac{Q_{\text{scambiato effettivamente}}}{Q_{\text{potenzialmente scambiabile se efficienza = 100\%}}}$$

**Massimo calore scambiabile:**

$$Q_{\text{max}} = c_p (T_4 - T_2)$$

**Calore scambiato effettivamente:**

$$Q_{\text{rigenerato}} = c_p |T_x - T_2| = c_p |T_1 - T_y|$$

Il  $\Delta T$  causato dallo scambiatore è uguale da ambe due le parti. Perciò:

$$T_x = T_2 + \Delta T_{\text{scambiatore}} \\ T_y = T_4 - \Delta T_{\text{scambiatore}}$$

Dove  $\Delta T_{\text{scambiatore}}$  è calcolabile come:

$$\Delta T_{\text{scamb.}} = \varepsilon \cdot (T_4 - T_2)$$

#### 2.4.6.2 Efficienza

$$\eta_{\text{rig.}} = 1 - \frac{|T_1 - T_y|}{T_3 - T_x}$$

Oppure:

$$\eta_{\text{rig.}} = 1 - \frac{|T_1 - (T_4 - \Delta T_{\text{scamb.}})|}{T_3 - (T_2 + \Delta T_{\text{scamb.}})}$$

#### 2.4.7 Rankine (Vapore)

$$\eta = \frac{|w|}{q_H} = 1 - \frac{|h_1 - h_4|}{h_3 - h_2}$$

### **3\_ ARIA UMIDA (MISCELA BICOMPONENTE)**

#### **3.1 Umidità Assoluta**

$$U_A = 0.622 \cdot \frac{p_{vapore\%}}{p_{totale} - p_{vapore\%}} = 0.622 \cdot \frac{\varphi \cdot p_S}{p_{totale} - \varphi \cdot p_S}$$

- $U_A$ : Umidità assoluta
- $\varphi$ : Umidità relativa
- $p_S$ : Pressione di saturazione del vapore alla data T
- $p_{totale}$ : Pressione totale

Formule correlate :

$$U_A = \frac{m_{H_2O}}{m_{Aria\ Secca}}$$

$$0.622 = \frac{R}{M m_{H_2O}} \cdot \frac{M m_{Aria\ Secca}}{R}$$

#### **3.2 Umidità Relativa**

$$\varphi = \frac{P_v(T = T_x)}{P_{sat}(T = T_x)}$$

- $T_x$ : Temperatura fissata
- $\varphi$ : Umidità relativa
- $P_V$ : Pressione parziale vapore

- $P_{\text{sat}}$ : Pressione di saturazione del vapore

## 3.3 Entalpia

Formula concettuale:

$h = \text{aria secca} + \text{vapore } 0^\circ\text{C} + \text{vapore da } 0^\circ\text{C a } T_x + \text{acqua condensata}$

- Il contributo del vapore è formato da **entalpia di formazione del vapore** + **vapore a  $T \geq T_{\text{condensazione}}$**
- L'acqua condensata è data dalla quantità di umidità ecceduta rispetto all'umidità di saturazione.

Ci sono due casi:

- **Senza condensa** – quando l'umidità assoluta finale che si ottiene in seguito ad una climatizzazione è **minore o uguale** della umidità di saturazione

Se  $U_a \leq U_{\text{sat}}$

$$h = c_{p_{AS}} \cdot T_x + U_a \cdot (c_{p_v} T_x + \Delta h_{0,v})$$

- **Con condensa** – quando l'umidità finale è maggiore di quella di saturazione

Se  $U_a > U_{\text{sat}}$

$$h = c_{p_{AS}} \cdot T_x + U_a \cdot (c_{p_v} T_x + \Delta h_{0,v}) + (U_a - U_{\text{sat}})$$

Dove:

- $c_{p_{AS}} = 1.007 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$  : calore specifico aria secca
- $c_{p_v} = 1.86 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$  : calore specifico vapore
- $h_{0,v} = 2506.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$  : entalpia vapore a  $0^\circ\text{C}$



- $T$  : temperatura in Celsius
- $U_a$  : umidità assoluta

## 3.4 Temperatura di Rugiada

È la temperatura alla quale il vapore contenuto nell'aria inizia condensarsi.

### 3.4.1 Metodo Analitico

Esempio:

- Umidità relativa = 60%
- Temperatura = 20 C°

Da questi dati si può ricavare qual è la **pressione parziale di vapore**. Cioè quella parte della pressione totale data dalla presenza di vapore, secondo la legge delle pressioni parziali, la pressione totale di un volume contenente gas/vapore è dato dalla somma delle pressioni parziali. Quindi:

$$P_{\text{tot}} = P_v + P_{\text{as}}$$

- $P_v$  : pressione parziale del vapore
- $P_{\text{as}}$  : pressione parziale dell'Aria Secca

Per calcolare la pressione parziale di vapore si può usare la definizione di umidità relativa:

$$\varphi = \frac{P_v}{P_{\text{sat}}(T=20C^\circ)}$$

$$\Rightarrow$$

$$P_v = \varphi \cdot P_{\text{sat}}(T=20C^\circ)$$

Quindi la  $P_v$  sarà il 60% della **attuale pressione di saturazione** cioè quella a 20C°, la  $P_{\text{sat}}$  **dipende solamente dalla temperatura**.

- Come si ricava la  $P_{\text{sat}}$ ?

Ad ogni valore di pressione di saturazione del vapore corrisponde una temperatura di saturazione.

Quindi basta vedere la pressione associata alla temperatura attuale, in questo caso  $20^\circ\text{C}$  sulla tabella di vapore-acqua satura. Da cui  $20^\circ\text{C} \Rightarrow 2.337 \text{ kPa}$ .

$$P_v = 0.6 \cdot 2.337 \text{ kPa} = 1.4022 \text{ kPa}$$

Se ora ci mettiamo nel caso in cui la  $P$  di saturazione del vapore è proprio  $1.4022 \text{ kPa}$  possiamo andare a vedere a che temperatura corrisponde questa condizione. Dalla tabella non c'è il valore esatto corrispondente a  $1.4022 \text{ kPa}$  ma ci sono valori in cui è compreso  $1.227 \text{ kPa}$  ( $10^\circ\text{C}$ ) e  $1.7039 \text{ kPa}$  ( $15^\circ\text{C}$ ), si procede con l'interpolazione lineare:

$$T_r = \frac{T_2 - T_1}{P_2 - P_1}(P_x - P_1) + T_1 = 11.8368 \text{ }^\circ\text{C}$$

Si potevano usare anche i valori della tabella con i valori di pressione tra  $1$  e  $1.5 \text{ kPa}$ , il risultato esce leggermente diverso. Essendo un'interpolazione sono entrambe approssimazioni, con l'assunzione che tra due valori vicini si può approssimare l'andamento lineare (come una retta).

**L'umidità relativa** *dipende* dalla **temperatura** (che varia la  $P_{\text{sat}}$ ) e dalla **quantità di vapore nell'aria** (rappresentata dalla pressione parziale di vapore).

È la relazione che c'è tra temperatura e pressione parziale di vapore.

### 3.4.2 TODO: Metodo grafico (diagramma psicrometrico)

## **4 TRASMISSIONE DEL CALORE:** **REGIME STAZIONARIO**

### **4.1 Coefficiente di conduzione (k)**

- Si indica con  $k$
- Si misura in  $\frac{W}{mK}$
- Si usa per i vari strati della parete
- Differente per ogni materiale, gas, solido, liquido.

### **4.2 Coefficiente di convezione (h)**

- Si indica con  $h$
- Si misura in  $\frac{W}{m^2 K}$
- Si usa per i fluidi convettivi
  - prima della parete
  - dopo la parete

### **4.3 Coefficiente di scambio termico globale (U)**

- È un coefficiente equivalente che tiene conto dei vari coefficienti di convezione e conduzione.
- Si indica con  $U$
- Si misura in  $\frac{W}{m^2 K}$

$$U = \sum_j \left( \frac{1}{h_j} \right) + \sum_i \left( \frac{s_i}{k_i} \right)$$

- In genere ci sono solamente due convezioni, **una interna** e **una esterna** che rappresentano i fluidi dentro e fuori un'ipotetica stanza. **Convezione fuori parete.**
- Mentre ci possono essere tanti più strati di conduzione nella parete. **Conduzione dentro parete.**

Quindi la formula si riduce a:

$$U = \frac{1}{h_i} + \sum_i \left( \frac{s_i}{k_i} \right) + \frac{1}{h_e}$$

convezione<sub>interna</sub> + conduzione + convezione<sub>esterna</sub>

## 4.4 Conduttanza termica

- Si misura in  $\frac{W}{K}$
- È l'inverso della resistenza termica

## 4.5 Resistenza termica

### 4.5.1 Di Conduzione

- Si indica con  $R_k$
- Si misura in  $\frac{K}{W}$

$$R_k = \frac{L}{S \cdot k}$$

- $L [m]$ : spessore dello strato

- $k \left[ \frac{W}{mK} \right]$ : coeff. di conduzione
- $S [m^2]$ : superficie di scambio dello strato

### 4.5.2 Di Convezione

- Si indica con  $R_h$
- Si misura in  $\frac{K}{W}$

$$R_k = \frac{1}{S \cdot h}$$

- $h \left[ \frac{W}{mK} \right]$ : coeff. di conduzione
- $S [m^2]$ : superficie di scambio dello strato

### 4.5.3 Complessiva

- Si misura in  $\frac{K}{W}$

$$R_{\text{tot}} = \frac{1}{S \cdot U}$$

- S: superficie di scambio
- U: coeff. globale di scambio

$$R_{\text{tot}} = \frac{\Delta T}{\dot{Q}}$$

- $\dot{Q}$  : potenza termica scambiata
- $\Delta T$  : differenza di temperatura tra interno ed esterno

## **4.6 Caso: Parete Piana**

## **4.7 Caso: Parete Cilindrica**

## **4.8 Calcolo resistenze**

### **4.8.1 Serie**

### **4.8.2 Parallelo**

## **5\_ TRASMISSIONE DEL CALORE:** **REGIME NON STAZIONARIO**

### **5.1 Numero di Biot**

$$Bi = \frac{R_k}{R_h} = \frac{hL_{caratteristica}}{k}$$

- $h \frac{W}{m^2K}$  : coeff. di scambio termico convettivo (fluidi)
- $k \frac{W}{mK}$  : coeff. di scambio termico conduttivo (solidi)
- L: lunghezza caratteristica
- $R_k$  : Resistenza alla conduzione
- $R_h$  : Resistenza alla convezione

### **5.2 Lunghezza Caratteristica**

$$L_{car.} = \frac{V}{S}$$

- V : Volume dell'oggetto
- S: Superficie dell'oggetto  
a contatto con il fluido termovettore

### **5.3 Tempo di Raffreddamento**

N.B.

Valida solamente se

il numero di Biot  $\leq 0.1$

$$t = \tau \ln \frac{T_i - T_\infty}{T_f - T_\infty}$$

$T_i$ : iniziale

$T_f$ : finale

$T_\infty$ : temperatura riferita al fluido in cui è immerso il corpo.

Con

$$\tau = \frac{\rho c}{h} L_{\text{caratteristica}}$$

$$\tau = \frac{M \cdot c}{h \cdot S}$$

## 5.4 Temperatura finale al tempo t

Dato l'istante t, data  $T_\infty$  (temperatura fluido convettivo) e  $\tau$ . La temperatura finale è pari a:

$$T_f = (T_i - T_\infty) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + T_\infty$$



## 6 SCAMBIATORI DI CALORE

### 6.1 Temperatura Media Logaritmica

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_i - \Delta T_u}{\ln \frac{\Delta T_i}{\Delta T_u}}$$

$$\Delta T_i = T_{max\_ingresso} - T_{min\_ingresso}$$

$$\Delta T_u = T_{max\_uscita} - T_{min\_uscita}$$

*i*: ingresso

*u*: uscita

### 6.2 Potenza termica scambiata dal fluido freddo

fluido freddo:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_{pf} \cdot (T_{fu} - T_{fi})$$

*fu*: fluido Freddo-Uscita

*fi*: fluido Freddo-Ingresso

fluido caldo:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_{pc} \cdot (T_{cu} - T_{ci})$$

*cu*: fluido Caldo-Uscita

*ci*: fluido Caldo-Ingresso

## 6.3 Coefficiente globale di scambio

$$U_{tot} = \frac{\Delta T_{ml}}{\dot{Q}} \left[ \frac{K}{W} \right]$$

((... ) => ... ,)