

Formulario di Fisica

Tecnica ITPS

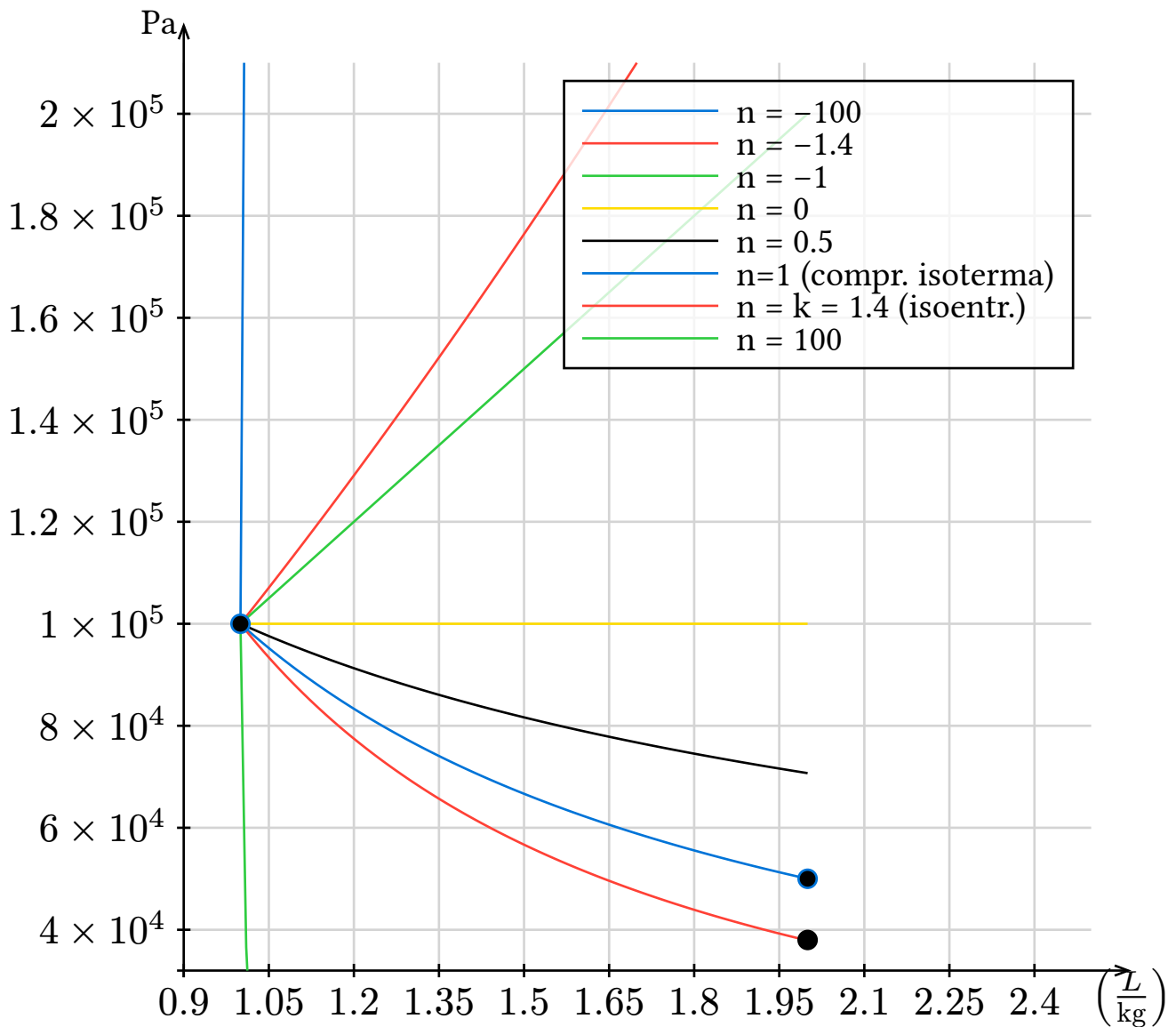
CONTENTS

1 Trasformazioni	4
1.1 Trasformazione Politropica	4
1.1.1 Equazione di stato	4
1.2 Casi Particolari	5
1.3 Lavoro massico durante una Trasformazione Politropica	5
1.4 Calore massico scambiato	6
 2 Macchine	 7
2.1 Rendimenti	7
2.1.1 Turbina adiabatica	7
2.1.2 Pompa	7
 3 Cicli Termodinamici	 8
3.1 Cicli Simmetrici	8
3.2 Rendimenti	8
3.2.1 Carnot (Gas)	8
3.2.2 Ciclo frigorifero Carnot (Gas) (Indiretto)	9
3.2.3 Pompa di Calore (Gas) (Indiretto)	9
3.2.4 Brayton Joule (Gas)	9
3.2.5 Brayton Joule con rigenerazione (Gas)	10
3.2.5.1 Come calcolare T_x e T_y	10
3.2.5.2 Efficienza	11
3.2.6 Rankine (Vapore)	11
 4 Aria Umida (miscela bicomponente)	 12
4.1 Umidità Assoluta	12
4.2 Umidità Relativa	12
4.3 Entalpia	13
 5 Conduzione del calore: Regime non Stazionario	 14
5.1 Numero di Biot	14
5.2 Lunghezza Caratteristica	14
5.3 Tempo di Raffreddamento	14
5.4 Temperatura finale al tempo t	15

6 Scambiatori di Calore	16
6.1 Temperatura Media Logaritmica	16
6.2 Potenza termica scambiata dal fluido freddo	16
6.3 Coefficiente globale di scambio	17

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

1 TRASFORMAZIONI



1.1 Trasformazione Politropica

Con essa si indica una qualsiasi trasformazione termodinamica.

1.1.1 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)

1.2 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**: $k = \frac{C_p}{C_v}$

1.3 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:

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

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

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

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

1.4 Calore massico scambiato

$$\Delta u = q + w \quad \Rightarrow \quad q = \Delta u - w$$

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

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

$$\Rightarrow$$

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

Due casi per il lavoro:

- $n < 1$:

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

2 MACCHINE

2.1 Rendimenti

*rendimenti isoentropici

2.1.1 Turbina adiabatica

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

2.1.2 Pompa

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

3_ CICLI TERMODINAMICI

3.1 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*

3.2 Rendimenti

Formula generale (cicli diretti):

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

3.2.1 Carnot (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.

3.2.2 Ciclo frigorifero Carnot (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. $\Delta s_{12} = \Delta s_{34}$

3.2.3 Pompa di Calore (Gas) (Indiretto)

Si ottiene invertendo il cicli di Carnot diretto.

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

3.2.4 Brayton Joule (Gas)

2 adiab. isoentropiche:

(pompa $1 \rightarrow 2$ + turbina $3 \rightarrow 4$)

+ 2 isobare:

$q_h: 2 \rightarrow 3$

$q_c: 4 \rightarrow 1$

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

3.2.5 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 $T_2 \rightarrow T_3$

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

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

3.2.5.1 Come calcolare T_x e T_y

Nello scambiatore verrà scambiata una **quantità di calore che dipende in primo luogo dal Δ 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 varia solo la sezione dei due condotti.

In secondo luogo **dipende dall'efficienza dello scambiatore ε (epsilon).**

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

Massimo calore scambiabile:

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

Calore scambiato effettivamente:

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

Il ΔT causato dallo scambiatore è uguale da ambe due le parti. Perciò:

$$\begin{aligned} T_x &= T_2 + \Delta T_{\text{scambiatore}} \\ T_y &= T_4 - \Delta T_{\text{scambiatore}} \end{aligned}$$

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

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

3.2.5.2 Efficienza

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

Oppure:

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

3.2.6 Rankine (Vapore)

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

4 ARIA UMIDA (MISCELA BICOMPONENTE)

4.1 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
- φ : Umidità relativa
- p_S : Pressione di saturazione del vapore alla data T
- p_{totale} : Pressione totale

Formule correlate :

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

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

4.2 Umidità Relativa

$$\varphi = \frac{P_v}{P_{sat}}$$

- φ : Umidità relativa
- P_v : Pressione parziale vapore
- P_{sat} : Pressione di saturazione del vapore

4.3 Entalpia

Se $U_a < U_{sat}$

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

Dove:

- $c_{p_{AS}} = 1.007 \frac{kJ}{kg}$: calore specifico aria secca
- $c_{p_v} = 1.86 \frac{kJ}{kg}$: calore specifico vapore
- $h_{0,v} = 2506.1 \frac{kJ}{kg}$: entalpia vapore a 0 C°
- T : temperatura in Celsius
- U_a : umidità assoluta

5. CONDUZIONE 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 ≤ 0.1

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

T_i : iniziale

T_f : finale

T_∞ : 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_∞ (temperatura fluido convettivo) e τ . 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

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