Formulario di Fisica Tecnica ITPS

Contents

1 Trasformazioni

1.1 Trasformazione Politropica

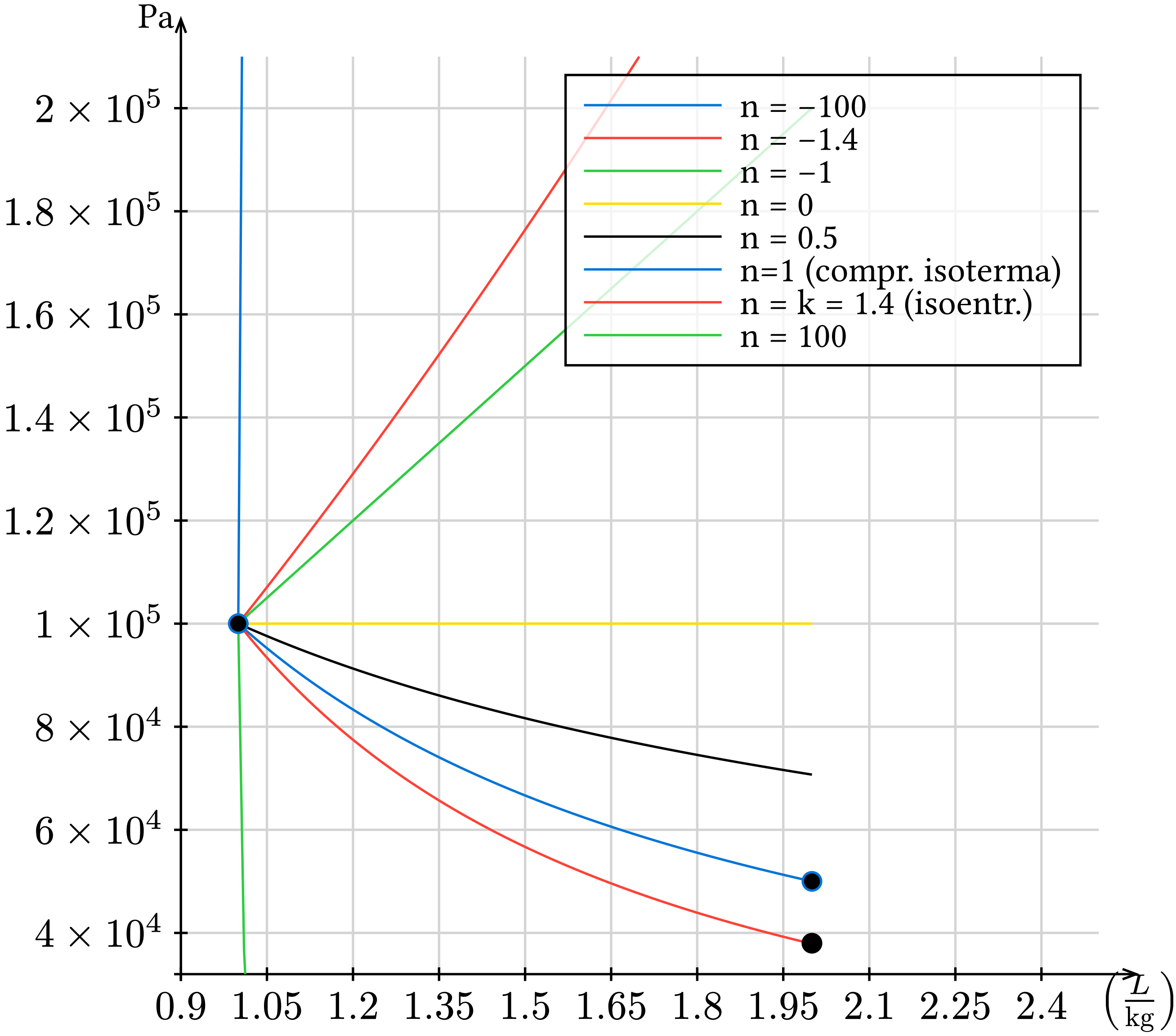

Figure 1: Differenti curve al variare dell'indice n della politropica
(Plot made with cetz)

Con una trasf. politropica 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:

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

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** ($n = 1$):

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

1.4 Calore massico scambiato

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

$$\Delta u = c_v \cdot (T_2 - T_1)$$
$$w = \int_{v_1}^{v_2} p \, \mathrm{d}v$$

$$\Rightarrow$$
$$q = c_v \cdot (T_2 - T_1) - \int_{v_1}^{v_2} p \, \mathrm{d}v$$

Due casi per il lavoro:
- $n < 1$:

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

1.5 Calori specifici gas perfetti

N.B.
NO vapore
SÌ aria umida ma solo per la parte di **aria secca**.

$$R^* = \frac{R}{\mathrm{Mm}}$$

- R : Costante dei gas perfetti = 8314 $\frac{J}{\mathrm{kmol}\ K}$
- Mm : Massa Molare del gas $\left[\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{kmol}}\right]$ pari allla somma delle masse atomiche degli atomi che compongono la singola molecola.
  Esempio: N2 = N + N = 14 + 14 = 28 kg/kmol

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

1.5.1 A volume costante

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

1.5.2 A pressione costante

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

1.6 Trasformazione Isoentropica

Se la trasformazione **è adiabatica e** anche **quasistatica** (deve essere specificato nella traccia dell'exe) **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.

2 Macchine

2.1 Rendimenti

*rendimenti isoentropici

2.1.1 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.

2.1.2 Pompa

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

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.

3_ CICLI TERMODINAMICI

3.1 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.

3.2 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

3.3 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: $indici\ dispari = indici\ pari$

3.4 Rendimenti

3.4.1 Formula generale

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

3.4.2 Carnot: Diretto (Gas)

- 2 isoterme + 2 adiabatiche isoentropiche

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

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

3.4.3 Carnot: Ciclo frigorifero (Gas) (Indiretto)

Coefficient Of Performance (COP):

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

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

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

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

3.4.5 Brayton Joule (Gas)

2 adiab. isoentropiche:
(pompa 1⟶2 + turbina 3⟶4)

+ 2 isobare:
q_h: 2⟶3
q_c: 4⟶1

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

3.4.6 Brayton Joule con rigenerazione (Gas)

La rigenerazione la si può sfruttare se T4>T2, 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 T4 a T1, la rigenerazione permette di raffreddare da T4 a Ty (con T1<Ty<T4) quindi il calore da cedere sarà solo quello per portare il gas da Ty a T1.

Dall'uscita del compressore senza rigenerazione si deve portare il gas da T2 a T3, la rigenerazione permette di riscaldare da T2 a Tx (con T2<Tx<T3) quindi si riesce a recuperare del calore che altrimenti verrebbe disperso nell'ambiente per alimentare la trasformazione T2 $\rightarrow$ T3.

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

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

3.4.6.1 Come calcolare Tx e Ty

Nello scambiatore verrà scambiata una **quantità di calore che dipende 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 variare solo la sezione dei due condotti.

Inoltre **dipende dall'efficienza dello scambiatore ε(epsilon)**.

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

Massimo calore scambiabile:

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

Calore scambiato effettivamente:

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

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:

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

3.4.6.2 Efficienza

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

Oppure:

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

3.4.7 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

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

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

Formule correlate :

$$U_A = \frac{m_{H2O}}{m_{Aria\ Secca}}$$

$$0.622 = \frac{R}{Mm_{H2O}} \cdot \frac{Mm_{Aria\ Secca}}{R}$$

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 $U_a < U_{sat}$

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

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

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

- 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

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

- 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

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