GAS

Volume molare	$\overline{v} = V/N = [m^3/kmole]$
Volume specifico	$v = \overline{v}/M = [m^3/kg]$
Costante tipica	$R^* = R/M$
Equazione di stato	$pv = R^*T$
Legge di Avogadro	Se $T = 273K$ e $p = 1atm$ allora $\overline{v} = 22.41 m^3/kmole$

SISTEMI CHIUSI

I principio	$\Delta U = Q^{\leftarrow} - L^{\rightarrow}$	
I principio (differenziale)	$du = \delta q^{\leftarrow} - \delta L^{\rightarrow}$	
Energia interna totale	$U = m \cdot u$	
II principio	$\Delta S = \int \frac{dQ^{\leftarrow}_{rev}}{T}$	In un sistema isolato vale $\Delta S \geq 0$
Entropia totale	$S = m \cdot s$	
Bilancio energetico	$\Delta U_{tot} = \sum \Delta U_i$	
Bilancio entropico	$\Delta S_{tot} = \sum \Delta S_i + S_{irr}$	
In un processo reversibile	$du = Tds + Pdv$ $ds = \frac{du}{T} + \frac{P}{T}dv$	
Capacità termica	$C_x = (\frac{dQ^{\leftarrow}}{dT})_x$	
Calore specifico	$c_x = \frac{C_x}{m}$	
Entalpia	$h = u + Pv$	
Entalpia (differenziale)	$dh = \delta q^{\leftarrow} + vdP$	
Quantità di calore	$\delta q^{\leftarrow} = dh - vdP$	
Calore spec. a V cost.	$c_v = (\frac{\partial u}{\partial T})_v$	
Calore spec. a P cost	$c_p = (\frac{\partial h}{\partial T})_p$	
Relazione di Mayer	$c_p = c_v + R^*$	

CALORI SPECIFICI PER I GAS PERFETTI

Gas monoatomico	$c_v = \frac{3}{2}R^*$ $c_p = \frac{5}{2}R^*$
Gas biatomico o lineare	$c_v = \frac{5}{2}R^*$ $c_p = \frac{7}{2}R^*$
Gas poliatomico	$c_v = \frac{6}{2}R^*$ $c_p = \frac{8}{2}R^*$

TRASFORMAZIONI POLITROPICHE

Indice della politropica	$n = \frac{c_x - c_p}{c_x - c_v}$
Per i gas reali	$n = -\frac{vdP}{Pdv}$
Per le trasformazioni isoentropiche vale	$n = k = \frac{c_p}{c_v}$

TRASFORMAZIONI DEI GAS

Trasf.	Info	$l^{\rightarrow} = \int pdv$	$q^{\leftarrow} = \int dq$	Δu	Δh	Δs
Isobara	$p = cost$	$p\Delta V$	$c_p\Delta T$	$c_v\Delta T$	$c_p\Delta T$	$c_p ln(\frac{T_2}{T_1})$
Isocora	$v = cost$	0	$c_v\Delta T$	$c_v\Delta T$	$c_p\Delta T$	$c_v ln(\frac{T_2}{T_1})$
Isoterma	$T = cost$	$R^*Tln(\frac{v_2}{v_1})$ $-R^*Tln(\frac{p_2}{p1})$	$R^*Tln(\frac{v_2}{v_1})$ $-R^*Tln(\frac{p_2}{p1})$	0	0	$R^*ln(\frac{v_2}{v_1})$ $-R^*ln(\frac{p_2}{p1})$
Isoentropica	$dQ = 0$	$-c_v\Delta T$	0	$c_v\Delta T$	$c_p\Delta T$	$c_p ln(\frac{T_2}{T_1}) - R * ln(\frac{p_2}{p_1}) = 0$ $c_v ln(\frac{T_2}{T_1}) + R * ln(\frac{v_2}{v_1}) = 0$
Politropica	$c_x = cost$ $Pv^k = cost$	$(c_x - c_v)\Delta T$	$c_x\Delta T$	$c_v\Delta T$	$c_p\Delta T$	$c_p ln(\frac{T_2}{T_1}) - R * ln(\frac{p_2}{p_1})$ $c_v ln(\frac{T_2}{T_1}) + R * ln(\frac{v_2}{v_1})$

MACCHINE TERMODINAMICHE

Bilancio energetico $\Delta U_{tot} = \Delta U_{SCalda} + \Delta U_{Macchina} + \Delta U_{SFredda} + \Delta U_{SLavoro} = 0$

Bilancio entropico $\Delta S_{tot} = \Delta S_{SCalda} + \Delta S_{Macchina} + \Delta S_{SFredda} + \Delta S_{SLavoro} = S_{irr}$

Rendimento di II princ. $\eta_{IIP} = \frac{\eta_{re}}{\eta_{id}}$ In generale $\begin{matrix} \Delta U_{Macchina} = 0 \\ \Delta S_{Macchina} = 0 \end{matrix}$

MACCHINA MOTRICE (Es: TURBINA)

Contributi

$$\begin{cases} \Delta U_C = & Q_C^{\leftarrow} = -Q_C \\ \Delta S_C = & \frac{Q_C^{\leftarrow}}{T} \end{cases} ; \begin{cases} \Delta U_F = & Q_F^{\leftarrow} = Q_F \\ \Delta S_F = & \frac{Q_F^{\leftarrow}}{T} \end{cases} ; \begin{cases} \Delta U_L = & -L_L^{\rightarrow} = L_L \\ \Delta S_L = & 0 \end{cases}$$

Equazioni di bilancio

$$\begin{cases} Q_F = & Q_C - L_L \\ L_L = & Q_C(1 - \frac{T_F}{T_C}) - T_F S_{irr} \end{cases}$$

Rendimento $\eta = \frac{L}{Q_C} = 1 - \frac{T_F}{T_C} - \frac{T_F}{Q_C} S_{irr}$

Rendimento isentropico $\eta_{isT} = \frac{L_{reale}^{\rightarrow}}{L_{ideale}^{\rightarrow}} = \frac{h_A - h_{B_{re}}}{h_A - h_{B_{id}}}$, A: punto iniziale, B_{re}: punto finale reale

MACCHINA OPERATRICE (Es: COMPRESSORE)

Contributi

$$\begin{cases} \Delta U_C = & Q_C^{\leftarrow} = Q_C \\ \Delta S_C = & \frac{Q_C^{\leftarrow}}{T} \end{cases} ; \begin{cases} \Delta U_F = & Q_F^{\leftarrow} = -Q_F \\ \Delta S_F = & \frac{Q_F^{\leftarrow}}{T} \end{cases} ; \begin{cases} \Delta U_L = & -L_L^{\rightarrow} = -L_L \\ \Delta S_L = & 0 \end{cases}$$

Equazioni di bilancio

$$\begin{cases} Q_F = & Q_C - L_L \\ L_L = & Q_C(1 - \frac{T_F}{T_C}) + T_F S_{irr} \\ L_L = & Q_F(\frac{T_C}{T_F} - 1) + T_C S_{irr} \end{cases}$$

Efficienza (COP)

Macchina frigorifera $\epsilon_f = \frac{Q_F}{L} = \frac{T_F}{T_C - T_F + \frac{T_C T_F S_{irr}}{Q_F}}$

Pompa di calore $\epsilon_{pdc} = \frac{Q_C}{L} = \epsilon_f + 1$

Rendimento isentropico $\eta_{isT} = \frac{L_{reale}^{\rightarrow}}{L_{ideale}^{\rightarrow}} = \frac{h_A - h_{B_{id}}}{h_A - h_{B_{re}}}$, A: punto iniziale, B_{id}: punto finale ideale

MACCHINA OPERATRICE CON SERBATOIO DI CALORE CALDO REALE

Contributi

$$\begin{cases} \Delta U_C = & Q_C^{\leftarrow} = -mc_v(T_2 - T_1) \\ \Delta S_C = & -mc_v ln(\frac{T_2}{T_1}) \end{cases} ; \begin{cases} \Delta U_F = & Q_F^{\leftarrow} = Q_F \\ \Delta S_F = & \frac{Q_F^{\leftarrow}}{T} \end{cases} ; \begin{cases} \Delta U_L = & -L_L^{\rightarrow} = L_L \\ \Delta S_L = & 0 \end{cases}$$

Equazioni di bilancio

$$\begin{cases} Q_C = & mc_v(T_1 - T_2) \\ Q_F = & mc_v T_F ln(\frac{T_1}{T_2}) \\ L_L = & mc_v(T_1 - T_2) + mc_v T_F ln(\frac{T_1}{T_2}) \end{cases}$$

Rendimento $\eta = \frac{L}{Q_C} = \frac{(T_1 - T_2) - T_F ln \frac{T_1}{T_2}}{T_1 - T_2}$

SISTEMI APERTI

Portata massiccia $\dot{m} = \rho w \Omega$ ρ: densità, w: velocità, Ω: sezione d'ingresso

Energia associata al trasporto di massa $E_m^{\leftarrow} = \sum \dot{m}_k^{\leftarrow}(h + gz + \frac{w^2}{2})_k$

Lavoro d'elica $L_e^{\rightarrow}$

Lavoro di pulsione $L_p^{\leftarrow} = \sum m_k P_k v_k$

Bilancio di massa $(\frac{dm}{dt})_{tot} = \dot{m}_{tot} = \sum \dot{m}_i$

Bilancio di energia $(\frac{dE}{dt})_{tot} = \dot{E}_{tot}^{\leftarrow} = E_m^{\leftarrow} + Q^{\rightarrow} - L_e^{\rightarrow} + L_p^{\leftarrow} = \sum \dot{m}_k^{\leftarrow}(h + gz + \frac{w^2}{2})_k + \dot{Q}^{\leftarrow} - \dot{L}_e^{\rightarrow}$

Bilancio di entropia $(\frac{dS}{dt})_{tot} = \dot{S}_{tot} = \sum \dot{m}_k^{\leftarrow} s_k + \dot{S}_Q^{\leftarrow} + \dot{S}_{irr}$

Regime stazionario

$$\begin{cases} \dot{m}^{\leftarrow} = 0 \Rightarrow & \dot{m}_i^{\leftarrow} = \dot{m}_u^{\leftarrow} \\ \dot{E}^{\leftarrow} = 0 \Rightarrow & \dot{m}_i^{\leftarrow}((h_i - h_u) + g(z_i - z_u) + \frac{(w_i^2 - w_u^2)}{2}) + \dot{Q}^{\leftarrow} - \dot{L}_e^{\rightarrow} \\ \dot{S}^{\leftarrow} = 0 \Rightarrow & \dot{m}_i^{\leftarrow}(s_i - s_u) + \dot{S}_Q^{\leftarrow} + \dot{S}_{irr} \end{cases}$$

CICLO DI CARNOT: due isentropiche + due isoterme

Rendimento $\eta_{id} = \frac{L}{Q_C} = 1 - \frac{Q_F}{Q_C} = 1 - \frac{T_1}{T_3} = 1 - \frac{T_F}{T_C}$

Bilancio entropico $-\frac{Q_C}{T_C} + \frac{Q_F}{T_F} = S_{irr}$

Irreversibilità esterna

$$\begin{gathered} T_1 > T_F,\, T_2 < T_C \\ \eta_{re} = 1 - \frac{T_1}{T_2} < \eta_{id} \\ \frac{Q_C}{T_2} = \frac{Q_F}{T_1} = \Delta S \\ Q_C(\frac{T_1}{T_F T_2} - \frac{1}{T_C}) = S_{irr} > 0 \end{gathered}$$

Irreversibilità interna

$$\begin{gathered} s_1 < s_2,\, s_3 < s_4 \\ \frac{Q_C}{T_C} = s_3 - s_2 \\ \frac{Q_F}{T_F} = s_4 - s_1 \\ s_2 + s_4 - s_3 - s_1 = S_{irr} > 0 \end{gathered}$$

CICLO JOULE-BRAYTON: due isentropiche + due isobare

Rapporto di compressione manometrico

	$\beta = \frac{p_2}{p_1}$
minimo	$\beta_{min} = 1 \Leftrightarrow p_2 = p_1$
massimo	$\beta_{max} = (\frac{T_3}{T_1})^{\frac{k}{k-1}}$
ottimale	$\beta_{opt} = \sqrt{\beta_{max}} \Leftrightarrow T_4 = T_2 = \sqrt{T_1 T_3}$

Rendimento $\eta_{id} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{1}{\beta^{\frac{k-1}{k}}}$

Lavoro specifico $l = c_p(T_3 - T_4) - c_p(T_2 - T_1) = c_p T_3(1 - \frac{1}{\beta^{\frac{k-1}{k}}}) - c_p T_1(\beta^{\frac{k-1}{k}} - 1)$

CICLO JB IDEALE CON RIGENERAZIONE

Rendimento $\eta_{id} = \frac{\dot{L}}{\dot{Q}} = 1 - \frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_4} = 1 - \frac{T_1}{T_3}\beta^{\frac{k-1}{k}}$

CICLO JB INVERSO

CoP $\epsilon = \frac{Q_F}{Q_C - Q_F} = \frac{1}{\beta^{\frac{k-1}{k}} - 1}$

CICLO OTTO: due isentropiche + due isocore

Rapporto di compressione volumetrico

	$r_v = \frac{V_1}{V_2}$
ottimale	$r_{vopt} = (\frac{T_3}{T_1})^{\frac{1}{2(k-1)}}$

Rendimento $\eta_{id} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{1}{r_v^{k-1}}$

Lavoro specifico

$$\begin{aligned} l &= c_v(T_3 - T_4) - c_v(T_2 - T_1) \\ l &= c_v T_3(1 - \frac{T_4}{T_3}) - c_v T_1(\frac{T_2}{T_1} - 1) \\ l &= c_v T_3(1 - \frac{1}{r_v^{k-1}}) - c_v T_1(r_v^{k-1} - 1) \end{aligned}$$

CICLO DIESEL: due isentropiche + una isocora + una isobara

Rapporto di compressione volumetrico $r = \frac{V_1}{V_2}$

Rapporto di combustione $z = \frac{V_3}{V_2}$

Rendimento: $\eta_{id} = 1 - \frac{c_v(T_4 - T_1)}{c_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \cdot \frac{1}{k} \cdot \frac{(z^k - 1)}{z - 1}$