FORMULARIO

RENDIMENTI MACCHINE A FLUIDO

$\eta_{COMPR.} = \frac{L_{ID.}}{L_{RE}} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_2'} = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_2'} = \frac{1-\beta^{\frac{K-1}{K}}}{1-\beta^{\frac{m-1}{m}}}$

$\eta_{(ESPANS.\ turbina)} = \frac{L_{RE.}}{L_{ID.}} = \frac{h_1 - h_2'}{h_1 - h_2} = \frac{T_1 - T_2'}{T_1 - T_2}$

$\eta = \frac{P_u}{\dot{m}_c \cdot PCI}$ (impianto motore termico)

MACCHINE A VAPORE E CICLO HIRN

$\eta_t = \frac{(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)}{(h_3 - h_2)}$ (rendimento limite ciclo hirn) ($h_3 - h_2$ → calore fornito; $h_3 - h_4$ → lavoro turbina; $h_2 - h_1$ → lavoro pompa) $\left(\eta = \frac{P_u}{\dot{Q}_f}\right)$

$\eta_t = \frac{(h_3 - h_4') + (h_3'' - h_4)}{(h_3 - h_1) + (h_3'' - h_4')}$ (rendimento limite ciclo hirn con 2 surriscaldamenti)

$\dot{m}_A h_A + (\dot{m}_A + \dot{m}_{co}) h_1 = \dot{m}_A h_1 + (\dot{m}_A + \dot{m}_{co}) h_{2c}$ (bilancio rigeneratore)

$\eta_{t,R} = \frac{\dot{m}_{co}(h_3 - h_4) + \dot{m}_A (h_3 - h_A)}{\dot{m}_{co}(h_3 - h_1) + \dot{m}_A (h_3 - h_A)}$ (rendimento con 1 spillamento)

$P = \dot{m}_V (h_3 - h_4) \cdot \eta_{TURBINA}$ (potenza impianto a vapore)

$L = h_V - h_L$ (calore latente)

$h = h_V \cdot x + h_L (1-x)$

pV^{γ} costante

$p^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} T$ costante → $T_2 = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} T_1 \rightarrow \beta$

$TV^{\gamma-1}$ costante

GENERATORI DI VAPORE (CALDAIE)

$\eta = \frac{\dot{m}_V (h_V - h_a)}{\dot{m}_c \cdot PCI}$ (h_V → entalpia vapore in uscita; h_a → entalpia acqua in ingresso)

TURBINE A GAS

$\eta = \frac{L_u}{Q_f} = \frac{Q_f - Q_c}{Q_f} = 1 - \frac{T_m \text{ sottrazione calore}}{T_M \text{ addizione calore}} = \frac{L_{TURBINA} - L_{COMPRESSORE}}{Q_f} = \frac{P_u}{\dot{m}_c \cdot PCI} = \frac{P_T - P_C}{\dot{m}_c \cdot PCI}$ (< 0)

$\rightarrow \eta_{ID} = \frac{(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)}{h_3 - h_2} = \frac{(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1)}{T_3 - T_2}$

$L_{T\,ID} = h_3 - h_4$

$L_{C\,ID} = h_2 - h_1$

$\eta_{RE.} = \frac{L_{T\,ID} \cdot \eta_t - L_{C\,ID}/\eta_c}{h_3 - h_2'}$ (dove h_2' lo calcolo con $\eta_c = \frac{h_2 - h_1}{h_2' - h_1}$)

$\eta = 1 - \frac{1}{\beta^{\frac{K-1}{K}}}$ → per calcolare β

MOTORI A COMBUSTIONE INTERNA

$\eta = \frac{\dot{m}_a}{\rho_a \cdot \frac{\pi D^2 C}{4} \cdot \frac{n}{60\varepsilon}} \eta_{cil}$ (CICLO OTTO) (con $V = \frac{\pi D^2 C}{4}$ cilindrata) $C = \frac{\dot{m}_c}{P_e}$

$\eta = \frac{P_{erogata}}{\dot{m}_c \cdot PCI}$

$\alpha = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_c}$

CICLO DIRETTO

$\eta = \frac{L_u}{Q_c} = 1 - \frac{Q_F}{Q_c}$

CICLO INVERSO

$COP_C = \frac{Q_c}{Q_c - Q_F}$

$COP_F = \frac{Q_F}{Q_c - Q_F}$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

CICLI COMBINATI

$$\eta_{CC} = \eta_G + (1+\eta_G)\cdot\xi\cdot\eta_V = \frac{P_{TV}+P_{TG}}{Q_{ASS\,TG}}$$ (utile elettriche)

con $\eta_G = \frac{\tau_G}{Q_G}$, $\eta_V = \frac{\tau_V}{Q_V}$, $\xi = \frac{Q_V}{Q_P+Q_V}$

$$\eta_{HRSG} = \frac{\dot{m}_V\,(h_{HRSG\,out} - h_{HRSG\,in})}{\dot{m}_{GAS\,TG}\cdot h_{TG\,out}}$$

$$R = \frac{E_{CONV} - E_{COG}}{E_{CONV}}$$

$$\eta_{COG} = \frac{P_{TEL}+P_{ELET.}}{Q_{ASS}}$$

TURBINE IDRAULICHE

$$P_{erogata} = H_u \cdot Q \cdot \rho \cdot g \cdot \eta_{TURBINA}$$

$H_u \rightarrow \Delta H + H_P$; $Q \rightarrow$ portata volumica

$$\eta_T = \frac{P_{erogata}}{P_{ass}} = \frac{P_{erogata}}{H_u \cdot Q \cdot \rho \cdot g}$$

$$n = \frac{60\cdot f}{p}$$

$n \rightarrow$ n° giri/minuto
$p \rightarrow$ n° poli
$f \rightarrow$ frequenza (50 Hz EU, 60 Hz USA)

$$n_S = \frac{n\cdot P^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{3}{4}}} \rightarrow \text{n° giri specifico}$$

COMPRESSORI DINAMICI

$$P_{assorbita} = \frac{Q\cdot\rho\cdot g\cdot H}{\eta_C}$$

COMPRESSORI VOLUMETRICI

$$\lambda = \frac{V_1 - V_4}{V_1 - V_3} \rightarrow \text{rendimento volumetrico di compressione (con } V_3 \text{ spazio morto)}$$

$$p_i = \sqrt{p_1 p_2} \rightarrow \text{pressione intermedia che minimizza il lavoro di compressione } (\beta_1 = \beta_2)$$

$$P_i = \frac{\pi D^2}{4}\cdot C\cdot PMI\cdot\frac{n}{60} \rightarrow \text{potenza indicata (con PMI potenza media indicata)}$$

$$\eta_M = \frac{P_i}{P_e} \rightarrow \text{rendimento meccanico (con Pe potenza effettiva)}$$

$$\lambda = 1 - \frac{V_3}{V}\left(\beta^{\frac{1}{m}} - 1\right)$$

POMPE IDRAULICHE

$$H_T = H_0 + (z_2 - z_1) + \frac{\Delta p}{\rho g}$$ (Δp in Pascal)

$$H_E = \int_{p_A}^{p_B} V\cdot dp + \frac{C_B^2 - C_A^2}{2g} + (z_B - z_A) \rightarrow H_m = \frac{\Delta p}{\gamma}$$ dove $\gamma = \rho g$ peso specifico $\left(\frac{kg}{m^2\cdot s^2}\right)$

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{Q\cdot\rho\cdot g\cdot H}{P_{ass}} \rightarrow P_{ass} = \frac{Q\cdot\rho\, g\, H}{\eta}$$

(se è in kg/m^3 devo moltiplicare per g)

$$h_{a\,MAX} = \frac{p_2}{\gamma} - \left[\frac{V_1^2}{2g} + \Delta H_a + \frac{p_v}{\gamma} + \frac{p_g}{\gamma} + \Delta h\right] = \frac{p_a}{\rho g} - \left[\frac{p_v}{\rho g} + \frac{p_g}{\rho g} + \Delta H_a + [NPSH]_R\right]$$

$$NPSH_R = \Delta h + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma}, \quad NPSH_A = \frac{p_a}{\gamma} - \left(h_A + \frac{p_v}{\gamma} + \frac{p_g}{\gamma} + \Delta H_a\right) \rightarrow NPSH_R < NPSH_A$$

MASTER COPY
Tel. 050 831220
Cell. 328 6837145

TERMODINAMICA

$\dot{m}_{IN} = \dot{m}_{OUT}$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{L} + \sum_i \dot{m}_{in}\left(h_i + \frac{1}{2}V_i^2 + gh_i\right) - \sum_j \dot{m}_{out}\left(h_j + \frac{1}{2}V_j^2 + gh_j\right)$$

$$\frac{dS}{dt} = \sum_i m_{in} \cdot s_{in} - \sum_j \dot{m}_j s_j + \frac{dQ}{T} + S_{GEN}$$

$$\Delta S = C_V \ln(T_2/T_1) + R \ln(V_2/V_1)$$

$$\Delta S = C_p \ln(T_2/T_1) - R \ln(P_2/P_1)$$

$pV = nRT$

$E = n \cdot C_V \cdot \Delta T$ $\qquad$ $Q = C_p \Delta T$ (isobara)

$h = C_p T$ $\qquad$ $Q = C_V \Delta T$ (isocora)

MONOATOMICO	BIATOMICO
$C_V = \frac{3}{2}R$	$C_V = \frac{5}{2}R$
$C_p = C_V + R = \frac{5}{2}R$	$C_p = \frac{7}{2}R$

$R^* = \frac{R}{MM} \cdot 1000 \rightarrow \frac{J}{K \cdot kg}$ $\quad \left(R \rightarrow \frac{J}{K \cdot mol}, \ MM \rightarrow \frac{g}{mol}\right)$

$Q = \dot{m} = \rho \cdot A \cdot w$

- pV^γ costante
- $p^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} T$ costante
- $TV^{\gamma-1}$ costante

$h = h_l(1-x) + h_v x$

$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ (calore) — c: calore specifico

$Q = P \cdot A \cdot t$ — P: potenza, A: superficie, t: tempo

IDRAULICA

$\dot{L}_N = -\dot{m}\left(\Delta e_{CIN} + \Delta e_{POT} + \frac{\Delta p}{\rho} + l_{ATT}\right)$

$L_{ATT\,DIST.} = \frac{1}{2} f \frac{W^2 L}{D_h}$, $L_{ATT\,CONC} = \frac{1}{2} K W^2$

○ C=64 □ C=57 ▢ C=96

$Re = \frac{\rho W D}{\mu}$ $\qquad$ $\nu = \frac{\mu}{\rho}$

$Re < 2100 \rightarrow$ laminare $\quad Re > 4500 \rightarrow$ turbolento

$f = \frac{C}{Re}$

$\varepsilon_r = \frac{e_A}{D_h}$

$D_h = \frac{4A}{P}$

$W = \frac{Q}{\rho A} \rightarrow Q = \rho \cdot A \cdot W$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

CONDUZIONE

$\rho C_V \frac{\partial T}{\partial t} = q^* + K\nabla^2 T$ (eq. Fourier)

se $\frac{\partial T}{\partial t} = 0 \rightarrow T(x) = -\frac{q^*}{2K}x^2 + Ax + B$

se $q^* = 0 \rightarrow \rho C_V \frac{\partial T}{\partial t} = K\nabla^2 T$

se $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$ e $q^* = 0 \rightarrow T = Ax + B$

$q = -\lambda \nabla T = -K\frac{\partial T}{\partial x}$

$-K\frac{\partial T}{\partial x} = \alpha(T - T_F)$

$R_T = \frac{\Delta}{K} = \frac{1}{\alpha}$

$\Delta T = R_T \cdot Q$ ← pot. termica in unità di superficie

coordinate cilindriche

$\nabla^2 T = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial T}{\partial r}\right)$

$q^* = 0 \rightarrow T(r) = A\ln r + B$

$q^* \neq 0 \rightarrow T(r) = -\frac{q^* r^2}{4K} + A\ln r + B$

$R_T = \frac{\ln(R_{est}/R_{int})}{2\pi l \lambda}$

CONVEZIONE

$N_u = \frac{\alpha L_C}{\lambda_F}$

$P_r = \frac{\mu C_p}{\lambda} = \frac{\nu}{\alpha}$

$P_e = R_e \cdot P_r$

FORZATA

$G_r = \frac{g\beta \cdot \Delta T \cdot l_C^2}{\nu^2}$

$R_a = G_R \cdot P_r$

NATURALE

IRRAGGIAMENTO

$F_{ij} A_i = F_{ji} A_j$

$\sum F_{ij} = 1$

$\dot{Q}_{irr} = \sigma \cdot A_1 \cdot F_{12}(T_1^4 - T_2^4)$

$\dot{Q}_{irr} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1 A_1} + \frac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2 A_2} + \frac{1}{F_{12} A_2}}$

master COPY COPISTERIA 050/8312126 388/9837745

COSTANTI

$R = 8,31 \frac{J}{mol \cdot K}$

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$

$\rho_{aria} = 1,2 \ kg/m^3$

$\rho_{acqua} = 1000 \ kg/m^3$

$C_{p\,aria} = 1004 \frac{J}{kg \cdot K}$

$C_{v\,aria} = 717 \frac{J}{kg \cdot K}$ $\quad C_p = C_v + R$

$MM_{aria} = 29 \ g/mol$

$\nu_{acqua} = 10^{-6} \ m^2/s$ (cinematica)

$\mu_{acqua} = 10^{-3} \ Pa \cdot s$ (dinamica)

$C = 4186 \frac{J}{kg \cdot K}$ (calore specifico acqua)

$K_{aria} = 1,4$ (Politropica)

$1 \ bar = 10^5 \ Pa = 0,9869 \ atm$

$1 \ atm = 1,013 \ bar$

$\rho_{metano} = 1,6 \ kg/m^3$

$1 \ bar \rightarrow 10 \ m$ di colonna acqua

$\chi_{stechiometrico} = 14,5$

$\nu_{aria} = 1,5 \cdot 10^{-5} \ m^2/s$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745