FORMULARIO MACCHINE A FLUIDO

FORMULARIO TURBINE

$n = \dfrac{50 \cdot 60}{\overline{p}}$	*Velocità di rotazione* (con p, Coppie di poli)
$n_s = \dfrac{n \cdot \sqrt{P_u \cdot 1{,}36 \cdot 10^3}}{\sqrt[4]{H_u{}^5}}$	*Numero di giri specifico* (con n, Velocità di rotazione; P_u, Potenza utile; H_u, Salto utile)
$H_u = H_g - perdite$	*Salto utile* (con H_g, Salto geodetico)
$P_u = \rho \cdot g \cdot H_u \cdot \dot{V} \cdot \eta_{tot}$	*Potenza utile* (con ρ, Densità; g, Accelerazione di gravità; H_u, Salto utile; V, Portata volumetrica; η_{tot}, Rendimento totale)
$P_i = \dot{m}_R \cdot L_i$	*Potenza interna* (con m_R, Portata massica reale; L_i, Lavoro interno)
$\eta_m = \dfrac{P_u}{P_i}$	*Rendimento meccanico* (con P_u, Potenza utile; P_i, Potenza interna)
$L_i = \eta_y \cdot g \cdot H_u$ $L_i = (c_{1u} - c_{2u}) \cdot u$	*Lavoro interno* (con η_y, Rendimento idraulico; g, Accelerazione di gravità; H_u, Salto utile; c, Velocità fluido; u, Velocità di trascinamento)
$\eta_{tot} = \eta_m \cdot \eta_v \cdot \eta_y$	*Rendimento totale* (con η_m, Rendimento meccanico; η_v, Rendimento volumetrico; η_y, Rendimento idraulico)
$\chi = \dfrac{h_1 - h_2}{h_0 + \dfrac{c_0{}^2}{2} - h_2}$	*Grado di reazione* (con h, Entalpia fluido; c, Velocità fluido)
$\dot{m}_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot \Delta T = \dot{m}_v (h_1 - h_l)$	(con m_{H2O}, Portata massica acqua; c_{H2O}, Calore specifico acqua; ΔT, Gradiente termico; m_v, Portata massica vapore; h_l, Entalpia liquida acqua)
$\eta_{\theta i, persa} = \dfrac{L_i}{h_0 - h_{2ss} + \dfrac{c_0{}^2}{2}}$	*Rendimento interno nel caso in cui l'energia cinetica venga perduta* (con L_i, Lavoro interno; h, Entalpia; c, Velocità fluido)
$\eta_{\theta i, rec} = \dfrac{L_i}{h_0 - h_{2ss} + \dfrac{c_0{}^2}{2} - \dfrac{c_2{}^2}{2}}$	*Rendimento interno nel caso in cui l'energia cinetica venga recuperata* (con L_i, Lavoro interno; h, Entalpia; c, Velocità fluido)
$d_{mozzo} = \sqrt{d_{\max}{}^2 - \dfrac{4\dot{V}_R}{\pi \cdot c_{1a}}}$	*Diametro mozzo* (con d_{max}, Diametro massimo; V_R, Portata volumetrica; c, Velocità fluido)
$d_{getto} = \sqrt{\dfrac{4\dot{V}_R}{i \cdot \pi \cdot c_1}}$	*Diametro getto* (con V_R, Portata volumetrica; i, Numero getti; c, Velocità fluido)

$d_m = \frac{d_{\max} + d_{mozzo}}{2}$	*Diametro medio* (con d_{max}, Diametro massimo; d_{mozzo}, Diametro mozzo)
$\dot{m} = \rho \cdot c_a \cdot \xi \cdot \pi \cdot d_m \cdot l \cdot (1-\varepsilon)$	*Portata massica* (con ρ, Densità fluido; c, Velocità fluido; ξ, Coefficiente di perdita nella condotta forzata; d_m, Diametro medio; l, Lunghezza spigolo girante, ε, Grado di parzializzazione, V, Portata volumetrica) (nelle turbine a vapore la prima, nelle turbine idrauliche la seconda e la terza)
$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V}$	
$\dot{m}_R = \rho \cdot \dot{V}_R = \rho \cdot \eta_v \cdot \dot{V}$	
$\eta_{\theta i} = \frac{L_i}{h_0 - h_{1s}}$	*Rendimento interno* (con L_i, Lavoro interno; h, Entalpia)
$\varphi = \frac{c_1}{c_{1s}}$	*Coefficiente di perdita dello statore* (c, Velocità fluido)
$\psi = \frac{w_2}{w_{2s}}$	*Coefficiente di perdita del rotore* (con w, Velocità fluido) (nelle turbine a reazione la prima e nelle turbine ad azione la seconda)
$\psi = \frac{w_2}{w_1}$	
$C_e = \frac{P_u}{\omega}$	*Coppia disponibile all'albero* (con P_u, Potenza utile; ω, Velocità angolare albero)
$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$	*Velocità angolare albero* (con n, Velocità di rotazione)
$u = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \cdot \frac{d_m}{2} = \frac{\omega \cdot d_m}{2}$	*Velocità di trascinamento* (con n, Velocità di rotazione; d_m, Diametro medio)
$C_{rb} = \dot{m} \cdot \frac{d_m}{2} \cdot (c_{2u} - c_{1u}) =$ $= -\dot{m} \cdot \frac{d_m}{2} \cdot c_1 (\Psi \cos \beta'_2 + 1)$	*Coppia a rotore bloccato* (con m, Portata massica; d_m, Diametro medio; c, Velocità fluido; α, Angolo di palettatura, Ψ, Coefficiente di perdita del rotore)
$H_u = H_g \cdot \xi_c$	*Salto utile* (con H_g, Salto geodetico; ξ_c , Coeff. di perdita nella condotta forzata)
$cdc + gdz + vdp = -dL_a \rightarrow$ $\frac{c_1^2 - c_0^2}{2} + g(-H_g) + \frac{1}{\rho}(p_1 - p_0) =$ $= -\frac{c_{1s}^2 - c_1^2}{2} \rightarrow$ $p_1 = p_0 + \rho g H_g - \frac{1}{2} \rho \frac{c_1^2}{\varphi^2}$	*Pressione all'uscita dal distributore* (con c, Velocità fluido; g, Accelerazione di gravità; ρ, Densità; H_g, Salto geodetico; p, Pressione; φ, Coefficiente di perdita dello statore)

Condizione di massimo rendimento:

$$\frac{u}{c_1} = \frac{1}{2}\cos\alpha_1$$

$$\eta_{\theta i} = \frac{\varphi^2}{2}(1+\psi)\cos^2\alpha_1$$

$$w_{1u} = u$$

$$c_{1u} = 2u$$

Condizione di palettatura simmetrica:

$$\beta_1 + \beta_2 = \pi$$

Numero di giri specifico:

$$n_s = \begin{cases} 0 \div 50 \rightarrow \text{Pelton} \\ 40 \div 50 / 400 \div 500 \rightarrow \text{Francis} \\ > 400 \div 500 \rightarrow \text{Kaplan} \end{cases}$$

Condizioni per la turbine Pelton:

$$\alpha_1 = \beta_1 = 0^\circ$$

β'_2 *deve essere piccolo*

$$c_1 = \varphi\sqrt{2 \cdot g \cdot H_u}$$

$$\frac{u}{c_1} = \frac{1}{2} \rightarrow u = w_1 \textit{ (max rendimento)}$$

Condizioni per la turbina Francis:

$$L_i = (c_{1u} \cdot u_1) - (c_{2u} \cdot u_2)$$

$$\alpha'_2 = 90^\circ$$

$$\varepsilon = 0$$

Condizioni per la turbine Kaplan:

c_2 *assiale*

w_1 *rivolta verso destra*

$$\varepsilon = 0$$

Relazioni tra velocità:

$$\begin{cases} c_{1a} = w_{1a} / c_{2a} = w_{2a} \\ w_{1u} = c_{1u} - u / w_{2u} = c_{2u} - u \end{cases}$$

Equazione monodimensionale energetica in forma termica:

$$cdc + dh = 0 \rightarrow cdc = -dh$$

Es. $\frac{c_{1s}^2 - c_0^2}{2} = h_0 - h_{1s}$ (ideale) e

$$\frac{c_1^2 - c_0^2}{2} = h_0 - h_1 \text{ (reale)}$$

Rendimenti:

$$\eta_m = 0{,}97$$

$$\eta_v = 1$$

Coefficiente di ingombro palare:

$$\xi = 0{,}96$$

Grado di parzializzazione:

$\varepsilon = 0$ *per le turbine a reazione*

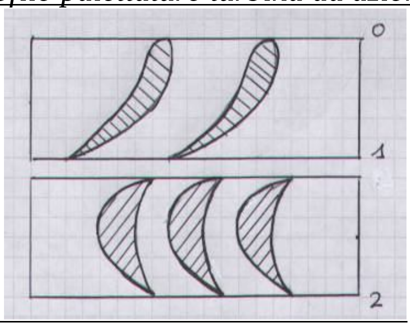
Dati tecnici:

$$\rho_{H20} = 1000 \ kg/m^3$$

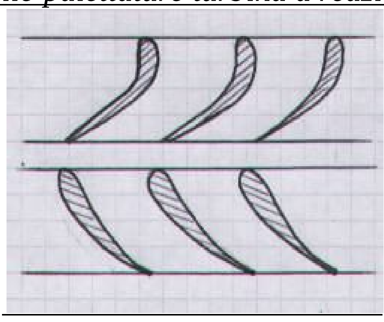
$$\rho_{vapore} = \frac{1}{v} \textit{ (da Mollier)}$$

$$c_{p\,H20} = 4186 \ J/Kg \cdot K$$

Profilo palettature turbina ad azione:



Profilo palettature turbina a reazione:



FORMULARIO MOTORI

$\rho = \dfrac{V_i}{V_f}$	*Rapporto volumetrico* (con V_i, Volume iniziale; V_f, Volume finale)
$\alpha = \dfrac{\dot{m}_{a_r}}{\dot{m}_c}$	*Dosatura* (con m_{ar}, Portata massica aria reale; m_c, Portata massica combustibile)
$E / D = \dfrac{\alpha_r}{\alpha_{st}}$	*Eccesso/Difetto* (α_r, Dosatura reale; α_{st}, Dosatura stechiometrica)
$\alpha_{st} = \dfrac{aria}{combustibile}$	*Dosatura stechiometrica*
$P_i = \dot{m}_c \cdot H_i \cdot \eta_b \cdot \eta_{term}$ $P_i = \dfrac{p_{mi} \cdot V_t \cdot n}{60 \cdot \varepsilon}$ $P_i = P_e + P_p$	*Potenza interna* (con m_c, Portata massica combustibile; H_i, Potere calorifico; η_b, Rendimento del combustibile; η_{term}, Rendimento termico; p_{mi}, Pressione media indicata; V_t, Cilindrata motore; n, Velocità di rotazione; ε, Numero di rotazioni dell'albero, P_e, Potenza erogata, P_p, Potenza persa)
$P_e = \eta_o \cdot P_i$ $P_e = \eta_{gl} \cdot \dot{m}_c \cdot H_i$ $P_e = \dfrac{p_{me} \cdot V_t \cdot n}{60 \cdot \varepsilon}$ $P_e = \omega \cdot C_r$	*Potenza erogata* (con η_o, Rendimento organico o meccanico; P_i, Potenza indicata; η_{gl}, Rendimento globale; m_c, Portata massica combustibile; H_i, Potere calorifico; p_{me}, Pressione media effettiva; V_t, Cilindrata motore; n, Velocità di rotazione; ε, Numero di rotazioni dell'albero; ω, Velocità angolare; C_r, Coppia all'albero)
$P_p = Perd_{mecc} \cdot \dot{m}_c \cdot H_i$	*Potenza persa* (con $Perd_{mecc}$, Perdite meccaniche; m_c, Portata massica combustibile; H_i, Potere calorifico)
$p_{me} = \eta_o \cdot p_{mi}$	*Pressione media effettiva* (con η_o, Rendimento organico o meccanico; p_{mi}, Pressione media indicata)
$C_s = \dfrac{1}{H_i \cdot \eta_{gl}}$ $C_s = \dfrac{\dot{m}_c}{P_e}$	*Consumo specifico di combustibile* (con H_i, Potere calorifico; η_{gl}, Rendimento globale; m_c, Portata massica combustibile; P_e, Potenza erogata)
$C_h = C_s \cdot P_e$	*Consumo orario di combustibile* (con m_c, Portata massica combustibile; P_e, Potenza erogata)
$V_t = \dfrac{i \cdot \pi \cdot \Phi^2 \cdot c}{4}$	*Cilindrata motore* (i, Numero dei cilindri ; Φ, Alesaggio; c, Corsa)

$u = \frac{2 \cdot c \cdot n}{60}$	*Velocità del pistone* (c, Corsa; n, Velocità di rotazione)
$\Delta p_m = p_{mi} - p_{me} = \% p_{mi}$	*Differenza Pressione media* (con p_{mi}, Pressione media indicata; p_{me}, Pressione media effettiva)
$Q = \frac{H_i \cdot \eta_b}{\alpha + 1} \pm q$	*Calore* (con H_i, Potere calorifico; η_b, Rendimento del combustibile; α, Dosatura, q, Calore (+ introdotto, - estratto))
$\eta_m = \frac{P_e}{P_p + P_e} = \frac{1}{1 + \frac{P_p}{P_e}} = \frac{1}{1 + (Perd_{mecc} \cdot C_s \cdot H_i)}$	Rendimento meccanico (con P_p, Potenza persa; P_e, Potenza erogata; $Perd_{mecc}$, Perdite meccaniche; C_s, Consumo specifico di combustibile; H_i, Potere calorifico)
$\eta_i = \frac{L_i}{Q}$ $\eta_i = \frac{p_{mi} \cdot V_1}{c_v (T_3 - T_2)}$	*Rendimento indicato* (con L_i, Lavoro interno; Q, Calore; p_{mi}, Pressione media indicata; V, Volume; c_v, Calore specifico a volume costante; T, Temperatura)
$\eta_{gl} = \eta_i \cdot \eta_o$ $\eta_{gl} = \eta_{term} \cdot \eta_o \cdot \eta_b$	*Rendimento globale* (con η_i, Rendimento indicato; η_o, Rendimento organico; η_{term}, Rendimento termico; η_b, Rendimento del combustibile)
$\eta_{term} = 1 - \frac{1}{\rho^{(k-1)}}$	*Rendimento ciclo Otto* (con ρ, Rapporto volumetrico; k, Rapporto tra calori specifici)
$pV = RT \rightarrow \frac{V}{\rho} = RT$	*Equazione di stato dei gas ideali* (p, Pressione; V, Volume; T, Temperatura; R, Costante universale dei gas perfetti)
$p_1 V_1^{\,k} = p_2 V_2^{\,k}$	*Funzione PV politropica* (con p, Pressione; V, Volume; k, Rapporto tra calori specifici)
$k = \frac{c_p}{c_v}$	*Rapporto tra calori specifici* (con c_p, Calore specifico a pressione costante; c_v, Calore specifico a volume costante)
$R = c_p - c_v$	*Equazione di Mayer* (con c_p, Calore specifico a pressione costante; c_v, Calore specifico a volume costante)
$\dot{m}_{a,t} = \frac{V_t \cdot n \cdot \rho_a}{60 \cdot \varepsilon}$	*Portata massica aria teorica* (V_t, Cilindrata motore; n, Velocità di rotazione; ρ_a, Densità aria; ε, Numero rotazioni dell'albero)
$\lambda_v = \frac{\dot{m}_{a,r}}{\dot{m}_{a,t}}$	*Coefficiente di riempimento* (con m_{ar}, Portata massica aria reale; m_{at}, Portata massica aria teorica)
$P_{ass} = \frac{\dot{m}_a \cdot L_i}{\eta_m} = \dot{m}_a \cdot L_R$	*Potenza assorbita dal compressore* (m_a, Portata massica aria; L_i, Lavoro interno; η_m, Rendimento meccanico; L_R, Lavoro reale)

Condizioni standard:

$$T = 25^\circ C = 298{,}15K$$

$$P = 1\,bar = 10^5\,Pa$$

Condizioni normali:

$$T = 0^\circ C = 273{,}15K$$

$$P = 1\,atm = 1{,}013 \cdot 10^5\,Pa$$

Dati tecnici:

$$c_p = 1004\ J / Kg \cdot K$$

$$c_v = 717\ J / Kg \cdot K$$

$$R = 288{,}28\ J / Kg \cdot K$$

$$k = 1{,}4$$

Tipi di combustibili:

Isottano – C_8H_{18} – H_i = 44,8 MJ / kg – α = 15,1
Metano - CH_4 – H_i = 50 MJ / kg – α = 17,16
Propano – C_3H_8 – H_i = 46,3 MJ / kg – α =15,61
Butano – C_4H_{10} – H_i = 45,7 MJ / kg – α = 15,4
Nonano - C_9H_{20} – H_i = 44,7 MJ / kg – α = 15

Caratteristiche chimiche:

Potere calorifico C = 33831 kJ / kg
Potere calorifico H = 121423 kJ / kg
Peso atomico H: 1
Peso atomico C: 12
Peso atomico O: 16
Peso atomico N: 14

Rendimenti:

$$\eta_m = \eta_o = 0{,}65 \div 0{,}85$$

$$\eta_{gl} = \begin{cases} 0{,}165 \div 0{,}295 \ \text{Otto} \ \varepsilon = 2 \\ 0{,}23 \div 0{,}28 \ \text{Diesel} \ \varepsilon = 2 \end{cases}$$

Numero di rotazioni dell'albero:

$$\varepsilon = \begin{cases} 1, \text{Motore a due tempi} \\ 2, \text{Motore a quattro tempi} \end{cases}$$

Dosatura stechiometrica:

$$Combustibile + Aria \mapsto CO_2 + H_2O + \frac{79}{21} N_2$$

Es. Isottano - C_8H_{18} – H_i =44,8 MJ / kg – α = 15,1

$$C_8H_{18} + \frac{25}{2}\left(O_2 + \frac{79}{21}N_2\right) \Leftrightarrow 8CO_2 + 9H_2O + \frac{79}{21}N_2$$

$$\alpha_{st} = \frac{comburente}{combustibile} = \frac{\frac{25}{2}\left(16 \cdot 2 + \frac{79}{21} \cdot 14 \cdot 2\right)}{12 \cdot 8 + 1 \cdot 18} = 15{,}1$$

Es. H/C = 1,9

$$C_nH_{1,9n} + \left(n + \frac{1{,}9}{4}n\right)\left(O_2 + \frac{79}{21}N_2\right) \Leftrightarrow nCO_2 + \frac{1{,}9n}{2}H_2O + \left(n + \frac{1{,}9}{4}n\right)\frac{79}{21}N_2$$

$$\alpha_{st} = \frac{comburente}{combustibile} = \frac{\left(\frac{1{,}9n}{4} + n\right)\left(16 \cdot 2 + \frac{79}{21} \cdot 14 \cdot 2\right)}{12 \cdot n + 1 \cdot n \cdot 1{,}9} = 14{,}6$$

Es. Frazione molare X_{CO2} = 12,3%

$$C_8H_{15} + n_{O2}\left(O_2 + \frac{79}{21}N_2\right) \Leftrightarrow 8CO_2 + \frac{15}{2}H_2O + n_{O2}\frac{79}{21}N_2 + \left(n_{O2} - \frac{15}{4} - 8\right)O_2$$

$$X_{CO2} = \frac{8}{8 + \frac{15}{2} + n_{O2} - \frac{15}{4} - 8 + \frac{79}{21}n_{O2}} = 0{,}123 \rightarrow n_{O2} = 13$$

$$\alpha_{st} = \frac{comburente}{combustibile} = \frac{13\left(16 \cdot 2 + \frac{79}{21} \cdot 14 \cdot 2\right)}{12 \cdot 8 + 1 \cdot 15} = 16$$

FORMULARIO CAVITAZIONE

$NPSH_{imp} = \frac{p_a - p_v}{\rho \cdot g} + \frac{c_a^{\ 2}}{2g}$	*NPSH (Net Positive Suction Head) impianto* (con p_a, Pressione in aspirazione; p_v, Tensione di vapore; ρ, Densità acqua; g, Accelerazione di gravità; c, Velocità fluido)
$NPSH_{pompa} = \sigma \cdot H_m$	*NPSH (Net Positive Suction Head) pompa* (con σ, Parametro di cavitazione; H_m, Prevalenza manometrica)
$k = \frac{\omega \cdot \sqrt{\dot{V}}}{(g \cdot H_m)^{0,75}}$	*Numero caratteristico di macchina* (con ω, Velocità angolare; V, Portata volumetrica; g, Accelerazione di gravità; Hm, Prevalenza manometrica)
$H_m = \frac{p_m - p_a}{\rho \cdot g} + \frac{c_m^{\ 2} - c_a^{\ 2}}{2g}$	*Prevalenza manometrica* (con p_m, Pressione in mandata; p_a, Pressione in aspirazione; ρ, Densità acqua; g, Accelerazione di gravità; c, Velocità fluido)
$\Delta H = H_m - H_g$	*Perdite di carico dell'impianto* (con H_m, Prevalenza manometrica; H_g, Salto geodetico)
$\dot{V} = c \cdot \Omega = c \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4}$	*Portata volumetrica* (con c, Velocità fluido; Ω, Area sezione trasversale; d, Diametro)

<u>*Condizione di cavitazione:*</u>

$NPSH_{pompa} > NPSH_{imp} \rightarrow$ Cavitazione presente

$NPSH_{pompa} < NPSH_{imp} \rightarrow$ Cavitazione non presente

FORMULARIO VENTILATORI

$\dot{V} = c \cdot \Omega$	*Portata volumetrica* (con c, Velocità media fluido; , Area sezione trasversale)
$P_u = \frac{L_i \cdot \dot{V} \cdot \rho}{\eta_m}$	*Potenza del motore* (con L_i, Lavoro interno; V, Portata volumetrica; ρ, Densità; η_m, Rendimento meccanico)
$P_i = \dot{m} \cdot L_i$	*Potenza interna* (con m, Portata massica, L_i, Lavoro interno)
$\eta_m = \frac{P_i}{P_u}$	*Rendimento meccanico* (con P_i, Potenza interna; P_u, Potenza utile (del motore))
$\frac{c_1^{\ 2} - c_0^{\ 2}}{2} + \frac{1}{\rho}(P_1 - P_0) = L_i\left(1 - \frac{res\ pass}{100}\right)$	(con c, Velocità fluido; ρ, Densità; P, Pressione; L_i, Lavoro interno; res pass, Resistenze passive)

FORMULARIO GENERATORI DI VAPORE

$\dot{m}_a = \alpha \cdot \dot{m}_c$	*Portata massica aria* (con α, Dosatura; m_c, Portata massica combustibile)
$\alpha = \dfrac{\text{peso atomico aria}}{\text{peso atomico combustibile}}$	*Dosatura*
$\dot{m}_f = \dot{m}_c + \dot{m}_a$	*Portata massica dei fumi* (con m_c, Portata massica combustibile; m_a, Portata massica aria)
$P_{ass} = \dfrac{\dot{m}_v \cdot g \cdot H}{\eta_p}$	*Potenza assorbita dalla pompa* (con m_v, Portata massica vapore; g, Accelerazione di gravità; H, Prevalenza; η_p, Rendimento pompa)
$P_{f,p} = \dot{m}_f \cdot c_{pf} \cdot (T_u - T_1)$	*Potenza persa per i fumi* (con m_f, Portata massica fumi; c_{pf}, Calore specifico a pressione costante dei fumi; T, Temperatura)
$P_{ic,p} = \dot{m}_c \cdot H_i \cdot (1-\eta_b)$	*Potenza persa per imperfezione nella combustione* (con m_c, Portata massica combustibile; H_i, Potere calorifico; η_b, Rendimento combustibile)
$\eta_{gen} = \dfrac{\dot{m}_v \cdot (h_v - h_{H_2O})}{\dot{m}_c \cdot H_i}$	*Rendimento generatore* (con m_v, Portata massica vapore; h, Entalpia; m_c, Portata massica combustibile; Hi, Potere calorifico)
$h_{H_2O} = c_{p,H_2O}(T_1 - T_{(237,15K)})$	*Entalpia dell'acqua* (con c_p, Calore specifico a pressione costante; T, Temperatura)
$H = \dfrac{P_v - P_1}{\rho_{H_2O} \cdot g}$	*Prevalenza* (con P, Pressione; ρ, Densità acqua; g, Accelerazione di gravità)
$P_{gl,p} = (1-\eta_{gen}) \cdot \dot{m}_c \cdot H_i$	*Potenza globale persa* (con η_{gen}, Rendimento generatore; m_c, Portata massica combustibile; H_i, Potere calorifico)
$P_{term,p} = -P_{i,p} - P_{f,p} - P_{gl,p}$	*Potenza persa per trasmissione termica* (con P_{ip}, Potenza persa per imperfezioni; P_{fp}, Potenza persa per i fumi; P_{glp}, Potenza globale persa)

FORMULARIO UGELLI

$\dot{m} = \rho_r \cdot c_r \cdot \Omega_r$	*Portata massica* (con ρ_r, Densità fluido critica; c_r, velocità critica; Ω_r, Area sezione trasversale minima)
$c_r = \sqrt{k \cdot R \cdot T_r}$	*Velocità critica* (con k, Rapporto calori specifici; R, Costante universale dei gas perfetti; T_r, Temperatura critica)
$\dfrac{p_r}{\rho_r} = R \cdot T_r$	*Equazione di stato dei gas ideali per valori critici* (con p, Pressione; ρ, Densità; R, Costante universale dei gas perfetti; T, Temperatura)
$T_r = T_o \cdot \left(\dfrac{2}{k+1}\right)$	*Temperatura critica* (con T_o, Temperatura ingresso; k, Rapporti calori specifici)
$p_r = p_o \cdot \left(\dfrac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$	*Pressione critica* (con p_o, Pressione ingresso; k, Rapporti calori specifici)
$c_u = \sqrt{2 \cdot \dfrac{k}{k-1} \cdot R \cdot T_0 \cdot \left[1 - \left(\dfrac{p_u}{p_o}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]}$	*Equazione di De Saint Venant – Velocità d'uscita* (con k, Rapporto calori specifici; p_o, Pressione ingresso; V_o, Volume ingresso; p_u, Pressione uscita)
$\Omega_u = \dfrac{\dot{m}}{\rho_u \cdot c_u}$	*Area sezione d'uscita* (con m, Portata massica fluido; ρ_u, Densità fluido d'uscita; c_u, Velocità fluido d'uscita)
$\rho_u = \dfrac{p_u}{R \cdot T_u}$	*Densità fluido d'uscita* (con p_u, Pressione esterna; R, Costante universale dei gas; Te, Temperatura esterna)

<u>Condizioni per due ugelli:</u>

$$\dot{m} = \Omega_{r1} \cdot c_{r1} \cdot \rho_{r1} = \Omega_{r2} \cdot c_{r2} \cdot \rho_{r2}$$

$$dh = 0 \rightarrow c_p (T_{oII} - T_{oI}) = 0 \Leftrightarrow T_{oI} = T_{oII}$$

$$\rho_{rII} = \frac{P_{rII}}{R \cdot T_{rII}} \text{ e } \rho_{rII} = \frac{\dot{m}}{c_{rI} I \cdot \Omega_{rII}} \Leftrightarrow P_{oII} = P_{uI}$$

$$c_{uI} = \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k-1} \cdot R \cdot T_{oI} \cdot \left[1 - \left(\frac{p_{uI}}{p_{oI}}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]} \qquad c_{uII} = \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k-1} \cdot R \cdot T_{oII} \cdot \left[1 - \left(\frac{p_{uII}}{p_{oII}}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]}$$

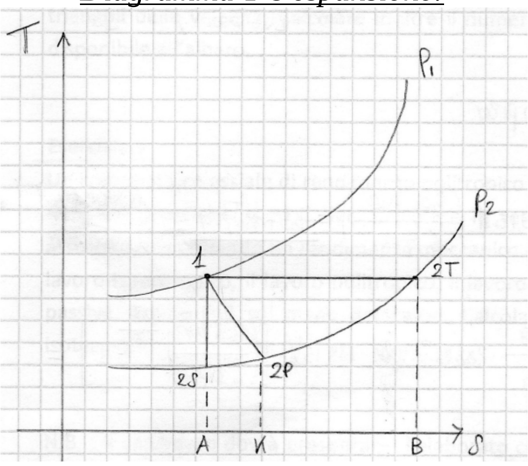
$$\frac{T_{uI}}{T_{oI}} = \left(\frac{p_{uI}}{p_{oI}}\right)^{\frac{k-1}{k}}$$

FORMULARIO COMPRESSIONE-ESPANSIONE

$TV^{k-1} = \text{cost}$	*Relazione TV per trasformazioni isoentropiche* (con T, Temperatura; V, Volume; k, Rapporto dei calori specifici)
$TV^{m-1} = \text{cost}$	*Relazione TV per trasformazioni politropiche* (con T, Temperatura; V, Volume; m, Esponente dell'espansione politropica)
$Tp^{\frac{1-k}{k}} = \text{cost}$	*Relazione TP per trasformazioni isoentropiche* (con T, Temperatura; p, Pressione; k, Rapporto dei calori specifici)
$Tp^{\frac{1-m}{m}} = \text{cost}$	*Relazione TV per trasformazioni politropiche* (con T, Temperatura; p, Pressione; m, Esponente dell'espansione politropica)
$pV^{k} = \text{cost}$	*Relazione PV per trasformazioni isoentropiche* (con p, p, Pressione; V, Volume; k, Rapporto dei calori specifici)
$pV^{m} = \text{cost}$	*Relazione PV per trasformazioni politropiche* (con V, Volume; p, Pressione; m, Esponente dell'espansione politropica)
$L_R = \frac{k}{k-1} \cdot R \cdot T_1 \cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right] \pm Q$	*Lavoro reale* (con k, Rapporto tra calori specifici; R, Costante universale dei gas perfetti; T, Temperatura; p, Pressione; m, Esponente dell'espansione politropica; Q, Calore (- estratto, + introdotto))
$L_R = c_p (T_2 - T_1) \pm Q$	*Lavoro reale ricavato dall'equazione monodimensionale energetica in forma termica* (con c_p, Calore specifici a pressione costante; T, Temperatura; Q, Calore (- estratto, + introdotto))
$L_s = \frac{k}{k-1} \cdot R \cdot T_1 \cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$	*Lavoro isoentropico* (con k, Rapporto tra calori specifici; R, Costante universale dei gas perfetti; T, Temperatura; p, Pressione)
$L_p = \frac{m}{m-1} \cdot R \cdot T_1 \cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right]$	*Lavoro politropico* (con m, Esponente dell'espansione politropica; R, Costante universale dei gas perfetti; T, Temperatura; p, Pressione)
$L_T = R \cdot T_1 \cdot \ln\left(\frac{p_2}{p_1} \right)$	*Lavoro isotermo* (con R, Costante universale dei gas perfetti; T, Temperatura; p, Pressione)
$L_a = L_R - L_p$	*Lavoro delle resistenze passive in compressione* (con L_R, Lavoro reale; L_p, Lavoro politropico)
$L_a = L_p - L_R$	*Lavoro delle resistenze passive in espansione* (con L_R, Lavoro reale; L_p, Lavoro politropico)
$L_{cr} = L_p - L_s$	*Lavoro di controrecupero* (con L_p, Lavoro politropico; L_s, Lavoro isoentropico)
$\eta_p = \frac{L_p}{L_R}$	*Rendimento politropico in compressione* (con L_p, Lavoro politropico; L_R, Lavoro reale)

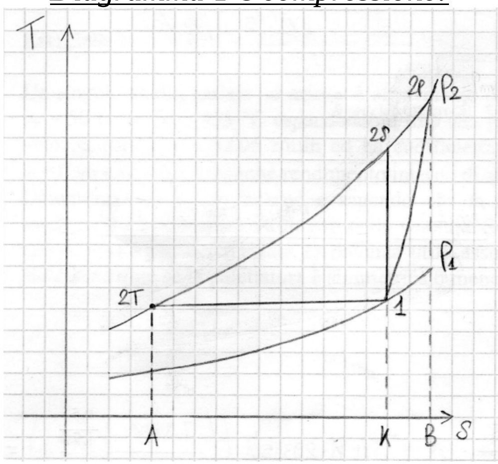
$\eta_s = \frac{L_s}{L_R}$	*Rendimento isoentropico in compressione* (con L_s, Lavoro isoentropico; L_R, Lavoro reale)
$\eta_T = \frac{L_T}{L_R}$	*Rendimento isotermo in compressione* (con L_t, Lavoro isotermo; L_R, Lavoro reale)
$\eta_p = \frac{L_R}{L_p}$	*Rendimento politropico in espansione* (con L_p, Lavoro politropico; L_R, Lavoro reale)
$\eta_s = \frac{L_R}{L_s}$	*Rendimento isoentropico in espansione* (con L_s, Lavoro isoentropico; L_R, Lavoro reale)
$\eta_T = \frac{L_R}{L_T}$	*Rendimento isotermo in espansione* (con L_t, Lavoro isotermo; L_R, Lavoro reale)
$\eta_m = \frac{P_i}{P_{ass}} = \frac{\dot{m} L_R}{P_{ass}}$	*Rendimento meccanico* (con P_i, Potenza interna; P_{ass}, Potenza assorbita)

<u>*Diagramma T-s espansione:*</u>



L_T: A-2S-1-2T-B
L_s: A-2S-2P-2T-B
L_p: A-2S-1-2P-2T-B
L_R: K-2P-2T-B
L_a: A-2S-1-2P-K
L_{cr}: 1-2S-2P

<u>*Diagramma T-s compressione:*</u>



L_T: A-2T-1-K
L_s: A-2T-2S-1-K
L_p: A-2T-2S-2P-1-K
L_R: A-2T-2S-2P-B
L_a: K-1-2P-B
L_{cr}: 1-2S-2P