NUMERO: 1407A - ANNO: 2015

A P P U N T I

STUDENTE: Sabbia

MATERIA: Sistemi Energetici + Eserc. Prof.Mancò

ESERCITAZIONE 1

ESERCIZIO 1

$T_1 = 25°C = 298\ K$ $\quad T_2 = 50°C = 323\ K$ $\quad T_3 = 323\ K$ $\quad p_{amb} = 100\ kPa$

$p_{1rel} = 210\ kPa$ $\quad p_2 = p_3$ $\quad V = 0{,}025\ m^3$

$p_1 = 310\ kPa$ $\quad p_3 = p_1$

g

$p_1 = p_{1rel} + p_{amb} = (210 + 100)\ kPa = 310\ kPa = p_1$

$pV = mRT \longrightarrow m = \frac{pV}{RT}$

$$m_1 = \frac{p_1 V}{R T_1} = \frac{310 \cdot 10^3\ Pa \cdot 0{,}025\ m^3}{287\ \frac{J}{kg\,K} \cdot 298\ K} = 0{,}09062\ kg = m_2$$

$$p_2 = \frac{m_2 R T_2}{V} = \frac{0{,}09062 \cdot 287\ \frac{J}{kg\,K} \cdot 323\ K}{0{,}025\ m^3} = 366\,006{,}7\ J/m^3$$

$$= 366\,006{,}7\ Pa = 366\ kPa$$

$p_{2rel} = p_2 - p_{amb} = (366 - 100)\ kPa = 236\ kPa$

$\Delta p = p_{2rel} - p_{1rel} = (236 - 210)\ kPa = 26\ kPa$

$$m_3 = \frac{p_3 V_3}{R T_3} = \frac{310 \cdot 10^3\ Pa \cdot 0{,}025\ m^3}{287\ \frac{J}{kg\,K} \cdot 323\ K} = 0{,}0836\ kg$$

$m_{sp} = m_1 - m_3 = (0{,}09062 - 0{,}0836)\ kg = 7\ g$

*

ESERCIZIO 2

$V_1 = 0{,}015\ m^3 = V_2$

$T_1 = 30°C = T_2 = 303\ K$

$p_{rel1} = 150\ kPa$ $\quad p_{amb} = 98\ kPa$ $\quad p_1 = 52\ kPa$

$p_{rel2} = 200\ kPa$ $\quad p_2 = 102\ kPa$

$$m_1 = \frac{p_1 V_1}{R T_1} = \frac{52 \cdot 10^3\ Pa \cdot 0{,}015\ m^3}{287\ \frac{J}{kg\,K} \cdot 303\ K} = 0{,}00897\ kg$$

$$m_2 = \frac{p_2 V_2}{R T_2} = \frac{102\ 10^3\ Pa \cdot 0{,}015\ m^3}{287\ J/kg \cdot K \cdot 303\ K} = 0{,}0176\ kg$$

$m_2 - m_1 = (0{,}0176 - 0{,}00897)\ kg = 0{,}00862\ kg$

ESERCIZIO 5

Il contenitore è RIGIDO → NON C'È lavoro di spostamento

$\Rightarrow$ $l_e = 0$

ESERCIZIO 6

$p_1 = 150\ kPa$ $\quad$ $p_3 = 350\ kPa$ $\quad$ Q_e? l_e?

$T_1 = 27°C = 300\ K$ $\quad$ $T_3 = ?$ $\quad$ $l_w = 0$

$V_1 = 200\ l = 0{,}2\ m^3$ $\quad$ $V_3 = 2V_1 = 0{,}4\ m^3$

$$\frac{p_1 V_1 = m R T_1}{p_3 V_3 = m R T_3} \rightarrow \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_3 V_3}{T_3}$$

$$T_3 = \frac{T_1 p_3 V_3}{p_1 V_1} = \frac{300\ K \cdot 350 \cdot 10^3\ Pa \cdot 0{,}4\ m^3}{150 \cdot 10^3\ Pa \cdot 0{,}2\ m^3} = 1400\ K$$

$$l_e = \int_1^3 p\,dV = -\int_1^2 p\,dV - \int_2^3 p\,dV = -p_3 (V_3 - V_2) =$$

($\int_1^2 p\,dV = 0$)

$$= -350 \cdot 10^3\ Pa\ (400 - 200)\ 10^{-3}\ m^3 = -70000\ J = -70\ kJ$$

DAL GRAFICO SI EVINCE CHE $V_2 = V_1$

IL SISTEMA FA LAVORO SULL'ESTERNO

$$Q_e + l_e = \Delta E = \Delta U = m c_v \Delta T$$

$$Q_e = -l_e + m c_v \Delta T =$$

$$= 70000\ J + 0{,}3484\ kg \cdot 813\ \frac{J}{kg\,K}\ (1400 - 300)\ K =$$

$$= 381\,602{,}8\ J = 381\ kJ$$

$$c_v = c_p - R = (1100 - 287)\ \frac{J}{kg\,K} = 813\ J/kg\,K$$

$$m = \frac{p_1 V_1}{R T_1} = \frac{150 \cdot 10^3\ Pa \cdot 0{,}2\ m^3}{287\ \frac{J}{kg\,K} \cdot 300\ K} = 0{,}3484\ kg$$

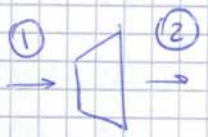
ESERCIZIO 8

$P_1 = 80\ kPa$

$T_1 = 10°C = 283K$

$C_1 = 200\ m/s$

$A_1 = 0,4\ m^2$



$C_2 \simeq 0$

$\dot{m}$?

T_2 = ?

$q_e = 0$

$$\rho = \frac{P}{RT} = \frac{80 \cdot 10^3\ Pa}{287\ \frac{J}{kg\,K} \cdot 283\ K} = 0,985\ kg/m^3$$

$$\dot{m} = \rho A C = 0,985\ \frac{kg}{m^3} \cdot 0,4\ m^2 \cdot 200\ m/s = 18,8\ kg/s$$

$q_e + l_v = \Delta h + \Delta ec + \Delta eg$

$q_e = 0$ (ADIABATICA) $\quad l_v = 0$ (PERCHÉ NEL DIFF NON C'È LAVORO)

$$h_2 - h_1 = c_p(T_2 - T_1)$$

IS: $\Delta h + \Delta ec = 0 \rightarrow h_2 - h_1 + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2} = 0 \rightarrow c_p(T_2 - T_1) - \frac{C_1^2}{2} = 0$

$$T_2 - T_1 = \frac{C_1^2}{2c_p} \rightarrow T_2 = T_1 + \frac{C_1^2}{2c_p} =$$

$$= 283\ K + \frac{200^2\ m^2/s^2}{2 \cdot 1005\ \frac{J}{kg\,K}} = 302,9\ K$$

ESERCIZIO 11

$p_1 = 1\ atm$ $\quad p_2 = 3{,}5\ atm = 354{,}6 \cdot 10^3\ Pa$ $\quad c_2 = 7\ m/s$ $\quad c_1 \simeq 0$

$T_1 = 20°C = 293\ K$ $\quad d = 1\ cm = 0{,}01\ m$

ARIA

$q_e = 0,\ l_w = 0$ $\quad p_i = ?$

$$\dot{m} = \rho A c = \frac{p}{RT_2} \cdot \frac{\pi}{4} d^2 \cdot c_2 =$$

$$= \frac{354{,}6 \cdot 10^3\ Pa}{287\ \frac{J}{kg\,K} \cdot 419\ K} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0{,}01^2\ m^2 \cdot 7\ \frac{m}{s} = 0{,}016\ kg/s$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$ → per trovare T_2 uso l'eq. della politropica dato che la trasformaz. è REVERSIBILE [dato γ per l'ARIA è noto $\gamma = 1{,}4$]

$$= 293\ K \left(\frac{3{,}5\ atm}{1\ atm}\right)^{0{,}286} = 419\ K$$

$$q_e + e_i = \Delta h + \Delta ec + \Delta eg$$

($q_e = 0$, $\Delta eg = 0$)

$$e_i = \Delta h + \Delta ec = c_p \Delta T + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} = 1004{,}5\ \frac{J}{kg\,K}\,(419 - 293)\,K + \frac{7^2\ m^2}{2\ s^2} =$$

$$= 126{,}54\ \frac{kJ}{kg}$$

$$P_i = \dot{m} \cdot e_i = 0{,}016\ \frac{kg}{s} \cdot 126{,}54\ \frac{kJ}{kg} = 202{,}5\ W$$

ESERCIZIO 14

ELIO $c_p = 5{,}234 \frac{kJ}{kg\,K}$ $\gamma = 1{,}667$ $q_e = 0$

$p_1 = 400$ kPa $T_1 = 200°C = 533$ K ELIO

$p_2 = 100$ kPa $T_2 = 60°C = 333$ K $c_2 = 200$ m/s $l_w = ?$

$$l_w = l_i - \frac{n}{n-1} RT_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] - \Delta ec \quad (=)$$

(A) devo calcolare n, perché non essendo reversibile $n \neq \gamma$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}}$$

$$\ln(T_2/T_1) = \frac{n-1}{n} \ln(p_2/p_1)$$

$$\frac{n-1}{n} = \frac{\ln(T_2/T_1)}{\ln(p_2/p_1)} = \frac{\ln(333/533)}{\ln(100/400)} = 0{,}33931 \rightarrow n = 1{,}5136$$

(B) devo calcolare R

$$R = \frac{\gamma - 1}{\gamma} c_p = \frac{0{,}667}{1{,}667} \cdot 5{,}234 \text{ kJ/kg K} = 2094{,}23 \text{ J/kg K}$$

(C) devo calcolare l_i

$$q_e^{=0} + l_i = \Delta h + \Delta ec + \Delta ep^{=0}$$

$$l_i = c_p \Delta T + \frac{c_2^2}{2} = 5{,}234 \frac{J}{kg\,K} (333 - 533)\,K + \frac{200^2}{2} \frac{m^2}{s^2} =$$

$$= -1'046'800 \frac{J}{kg} + 20'000 \frac{J}{kg} = -1'066'800 \text{ J/kg}$$

$$(=) \; -1'066'800 \frac{J}{kg} - \frac{1{,}51}{0{,}51} \cdot 2094{,}23 \frac{J}{kg\,K} \cdot 533\,K \left[\left(\frac{100}{400} \right)^{0{,}339} - 1 \right]$$

$$= -188{,}73 \text{ kJ/kg}$$

$$= -1'066'800 \frac{J}{kg} - (-1'239'234{,}64 \frac{J}{kg}) - \frac{200^2}{2} \frac{m^2}{s^2} =$$

$$=$$

(quanto pesa quanto Δec)

$$- \frac{200^2}{2} \frac{m^2}{s^2}$$

$$l_w = l_i - \frac{n}{n-1} RT_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] - \Delta ec$$

$$\frac{n-1}{n} = \frac{\ln(T_2/T_1)}{\ln(P_2/P_1)} = \frac{\ln(275/423)}{\ln(3/10)} = 0{,}357 \rightarrow n = 1{,}557$$

$$l_w = -114{\cdot}680 \frac{J}{kg} - \frac{1{,}557}{0{,}557} \cdot 287 \frac{J}{kg\,K} \cdot 423\,K \left[\left(\frac{3}{10} \right)^{\frac{0{,}557}{1{,}557}} - 1 \right] - \frac{65^2 - 80^2}{2} \frac{m^2}{s^2} =$$

$$= -114{\cdot}680 \frac{J}{kg} + 118{\cdot}747{,}76 \frac{J}{kg} - 1662{,}5 \frac{J}{kg} = 2{,}6 \frac{kJ}{kg}$$

ESERCIZIO 16

ARIA

$P_1 = 100\,kPa$ $\quad P_2 = 1\,MPa$

$T_1 = 22°C = 295\,K$

$q_e = -16\,kJ/kg$

$P_i = 500\,kW$

$\dot{V}_1 = 150\,m^3/min = 2{,}5\,m^3/s$

$$\dot{m} = \rho A c = \rho \dot{V} = \frac{P_1}{RT_1} \dot{V} = \frac{100 \cdot 10^3\,Pa}{287 \frac{J}{kg\,K} \cdot 295\,K} \cdot 2{,}5\,m^3/s = 2{,}95 \frac{kg}{s}$$

$$q_e + e_i = \Delta h + \Delta ec + \Delta eg$$

$$\Delta h = q_e + e_i - q_e + \frac{P_i}{\dot{m}} = -16 \frac{kJ}{kg} + \frac{500\,kJ/s}{2{,}95\,kg/s} = 153{,}49 \frac{kJ}{kg}$$

$$\Delta h = c_p \Delta T = c_p (T_2 - T_1) = 153{,}49\,kJ/kg$$

$$T_2 = T_1 + \frac{153{,}49\,kJ/kg}{c_p} =$$

$$= 295\,K + \frac{153{,}49\,kJ/kg}{1004\,kJ/kg\,K} = 447{,}88\,K = 174°C$$

ESERCIZIO 18

$\Delta z = 20\ m$ $\quad lw = 4\ m$ $\quad Pa = ?$

$d = 10\ cm = 0{,}1\ m$ $\quad \eta m = 0{,}97$

$c_1 = 2\ m/s$

$$li = \int v\,dp + lw + \Delta ec + \Delta eg = \frac{p_2 - p_1}{\rho} + lw + \Delta eg \quad (=)$$

$\Delta ec = 0$; $\rho = 0$ → con un salto di 20 m ed Δp è trascurabile

$$(=)\ 9{,}8 \cdot 4\ \frac{m^2}{s^2} + 9{,}8 \cdot 20\ \frac{m^2}{s^2} = 235{,}2\ J/kg$$

$$\dot{m} = \rho A c = 1000\ \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{\pi}{4}\ 0{,}1^2\ m^2 \cdot 2\ m/s = 15{,}7\ kg/s$$

$$Pi = \dot{m} \cdot ei = 235{,}2\ \frac{J}{kg} \cdot 0{,}15{,}7\ \frac{kg}{s} = 3{,}6\ kW \approx 3{,}7\ kW$$

$$Pa = \frac{Pi}{\eta m} = \frac{3{,}7\ kW}{0{,}97} = 3{,}8\ kW$$

ESERCIZIO 19

VAPOR D'ACQUA – TURBINA

$p_1 = 40\ bar = 4\ MPa$ $\quad p_2 = 2\ bar = 0{,}2\ MPa = 200\ kPa$ $\quad qe = 0$

$T_1 = 400\ °C$ $\quad T = 150\ °C$ $\quad Pi = ?$

$c_1 = 250\ m/s$ $\quad c_2 = 30\ m/s$ $\quad \dot{m} = 10\ kg/s$

$$qe - li = \Delta h + \Delta ec + \Delta eg$$

$\Delta eg = 0$

→ devo cambiare segno al lavoro per ottenere una potenza positiva perché la turbina fornisce lavoro all'esterno

$$ei = -\Delta h - \Delta ec = -(h_2 - h_1) - \left(\frac{c_2^2 - c_1^2}{2}\right) =$$

$$= -(3220 - 2770) \cdot 10^3\ \frac{J}{kg} - \left(\frac{30^2 - 250^2}{2}\right) \frac{m^2}{s^2} =$$

(da Mollier)

$$= 480\,800\ J/kg$$

$$Pi = \dot{m} \cdot ei = 10\ \frac{kg}{s} \cdot 480\,800\ \frac{J}{kg} = 4{,}8\ MW$$

ESERCIZIO 22

$\dot{V} = 20 \frac{l}{h} = 20 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{h} = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{3600} \frac{m^3}{s} = 5{,}56 \cdot 10^{-6}\, m^3/s$

$P = 60\ kW$

$H_i = 44\ MJ/kg \quad \rho = 800\ kg/m^3$ (COMBUSTIBILE) $\eta = ?$

$\dot{m}_b = \dot{V}_b \cdot \rho = 5{,}56 \cdot 10^{-6} \frac{m^3}{s} \cdot 800 \frac{kg}{m^3} = 0{,}0045\ kg/s$

$\dot{Q}_e = H_i (\cdot \dot{m}_b) = 44 \frac{MJ}{kg} \cdot 0{,}0045 \frac{kg}{s} = 0{,}1956\ MW = 195{,}6\ kW$

$\eta = \frac{P}{\dot{Q}_e} = \frac{60\ kW}{195{,}6\ kW} = 30{,}7\%$

ESERCIZIO 23

ESCE: $750\ kJ/min = 12{,}5\ kW = \dot{Q}_2$

ENTRA: $6\ kW = L$

$COP = \frac{\dot{Q}_2}{L} = \frac{12{,}5\ kW}{6\ kW} = 2{,}08$

$COP = \frac{\dot{Q}_2}{\dot{Q}_1 - \dot{Q}_2} \quad \dot{Q}_1 - \dot{Q}_2 = \frac{\dot{Q}_2}{COP}$

$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 + \frac{\dot{Q}_2}{COP}$

$\dot{Q}_1 = 1 + (1 + 1/COP)$

$\dot{Q}_1 = \left(1 + \frac{1}{COP}\right) \dot{Q}_2 = 12{,}5\ kW \left(1 + \frac{1}{2{,}08}\right) = 18{,}51\ kW = 1100 \frac{kJ}{min}$

ESERCIZIO 24

$P_a = 450\ W = L \qquad 5 \times 10\ kg = 50\ kg \qquad \Delta T = 12\ °C \qquad \Delta t = ?$

$COP = 2{,}5 \qquad c_p = 4{,}2\ kJ/kg\,K$

$COP = \dot{Q}_2 / L \longrightarrow \dot{Q}_2 = COP \cdot L = 450\ W \cdot 2{,}5 = 1125\ W$

$\dot{Q}_2 = m c_p \frac{dT}{dt}$ ⟶ metto "dt" perché a differenza degli altri qui ho m non ṁ

$-\dot{Q}_e\, dt = m c_p\, dT$

$-\int_0^{t_f} \dot{Q}_e\, dt = \int_{T_i}^{T_e} m c_p\, dT$

$-\dot{Q}_2\, t_f = m c_p (T_e - T_i)$

$t_f = \frac{m c_p (T_e - T_i)}{-\dot{Q}_2} = \frac{50\ kg \cdot 4{,}2 \frac{kJ}{kg\,K} \cdot (-12)\ K}{-1125\ J/s} = 2240\ s$

$COP = \frac{\dot{Q}_2}{L} = \frac{\dot{Q}_2}{\dot{Q}_1 - \dot{Q}_2} = \frac{\dot{Q}_2}{\dot{Q}_2\left(\frac{\dot{Q}_1}{\dot{Q}_2} - 1\right)} = \frac{1}{\left(\frac{\dot{Q}_1}{\dot{Q}_2} - 1\right)} = \frac{1}{\left(\frac{T_1}{T_2} - 1\right)_{Carnot}} = \frac{1}{\left(\frac{20}{8} - 1\right)} = 0{,}67$ ⟶ la più alta e ottimistica

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 17 di 104

ESERCIZIO 27

$L = 250\ kJ \longrightarrow T_1 = 400\ K$

$Q_1 = 800\ kJ \longrightarrow T_2 = 300\ K$

~~$L = Q_1 - Q_2 \longrightarrow Q_2 = Q_1 - L = (800 - 250)\ kJ = 550\ kJ$~~ → NON TORNA!

$\eta_{term} = \frac{L}{Q_1} = \frac{250}{800} = 0{,}3125$

$\eta_{carnot} = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{300}{400} = 0{,}25$

$\eta_{term} > \eta_{carnot} \Longrightarrow$ PRETESA NON RAGIONEVOLE

ESERCIZIO 28

$Q_2 = 30000\ kJ$

$L = 2\ kW$

$t = 20\ min = 1200\ s$

$Q_2 = \frac{30000\ kJ}{1200\ s} = 25\ kW$

$COP = \frac{Q_2}{L} = \frac{25\ \cancel{kW}}{2\ \cancel{kW}} = 12{,}5$

$COP_{rev} = \frac{Q_2}{L} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{1}{\frac{Q_1}{Q_2} - 1} = \left(\frac{1}{T_1/T_2 - 1}\right)_{carnot} =$

$= \left(\frac{1}{298/243 - 1}\right) = 4{,}448$

$COP > COP_{rev} \Longrightarrow$ PRETESA NON RAGIONEVOLE

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 19 di 104

ESERCIZIO 30

$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$

$$\cancel{\dot{m}}\frac{T_1}{T_1} = \cancel{\dot{m}}\frac{T_2}{T} \rightarrow \frac{T}{T_1} = \frac{T_2}{T} \rightarrow T^2 = T_1 T_2$$

$$T = \sqrt{T_1 T_2} = \sqrt{1200 \cdot 300}\ K = 600\ K$$

ESERCIZIO 31

$p_2 = 700\ kPa$ $\quad l_i^{MIN} = ?$ $\quad$ ARIA

$p_1 = 100\ kPa$

$T_1 = 17°C = 290\ K$

(A) $q_e = 0$

$$q_e + e_i = \Delta h + \cancel{\Delta e_c} + \cancel{\Delta e_g} \rightarrow e_i = c_p \Delta T =$$

$$e_i = c_p (T_2 - T_1) = c_p T_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1\right] =$$

$$= 1004{,}5 \frac{J}{kg\,K}\ 290\ K \left[\left(\frac{700}{100}\right)^{\frac{0{,}4}{1{,}4}} - 1\right] = 216.625{,}8\ \frac{J}{kg} = 216{,}6\ \frac{kJ}{kg}$$

(B) TRASF. ISOTERMA $\rightarrow pV = COST.$

$$l_{isot.} = -\int_1^2 v\,dp = \int_1^2 \frac{RT}{p}\,dp = RT\ ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right) =$$

$$= 287 \frac{J}{kg\,K}\ 290\ K\ ln(7) = 161{,}96\ kJ/kg$$

ESERCIZIO 33

$\frac{l_t}{l} = ?$ $\quad p_b = 1\,MPa = 10^6\,Pa$ $\quad p_a = 20\,kPa = 20 \cdot 10^3\,Pa$ $\quad q_e = 0 \quad l_w = 0$

(A)

$l_T = h_e - h_f$

IL VAPORE ESCE DALLA TURBINA COME VAPORE SATURO A 20 kPa

DAI DATI 1 e 2 TROVO h_f : ENTRA SU MOLLIER INCROCIO 20 kPa (2) CON $x = 1$

$h_f = 2610$

h_e LO TROVO SEMPRE SU MOLLIER RISALENDO ESATTAMENTE DA h_f FINO AD INCROCIARE 1 MPa

$h_e = 3590$

$l_T = h_e - h_f = (3590 - 2610)\,kJ/kg = 980\,kJ/kg$

(B) $l_p = \int v\,dp + \cancel{l_w}^{=0} + \dots = \frac{p_b - p_a}{\rho} = \frac{(10^6 - 20 \cdot 10^3)\,Pa}{983{,}13\,\frac{m^3}{kg}} = 996{,}82\,\frac{J}{kg}$

ρ ← vedi tabella LIQUIDO SATURO a 9,02 MPa

POICHÉ IL FLUIDO ENTRA NELLA POMPA COME LIQUIDO SATURO

$\frac{l_t}{l_p} = \frac{980\,kJ/kg}{996{,}82\,J/kg} = \frac{980 \cdot 10^3\,\cancel{J/kg}}{996{,}82\,\cancel{J/kg}} = 983{,}13$

ESERCIZIO 34

	p	T	h
e	7 MPa	500 °C	3410
s	1 MPa	220 °C	2880
*f	50 kPa	80 °C	2360

TROVATI CON MOLLIER

$\dot{m} = 15\,kg/s$

→ • $c_p \Delta T = h$ NON SI PUÒ USARE PERCHÉ SI PARLA DI VAPORE

• $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$ NON SI PUÒ USARE NON SO PERCHÉ

$P_i = \dot{m}(h_e - h_s) + 0{,}9\,\dot{m}(h_s - h_f) =$

$= 15\,\frac{kg}{s}(3410 - 2880)\,\frac{kJ}{kg} + 0{,}9 \cdot 15\,\frac{kg}{s}(2880 - 2360)\,\frac{kJ}{kg} = 14{,}97\,MW$

* solo il 90% passa allo stadio "f"

ESERCIZIO 36

R134a $\Delta E_g = 0$ $\Delta e_g = 0$ $\Delta T = ?$

$q_e = 0$

$P_1 = 800$ kPa $x_1 = 0$

$P_2 = 140$ kPa

VALVOLA DI STROZZAMENTO

$q_e + \cancel{q_l} = \Delta h + \cancel{\Delta e_c} + \cancel{\Delta e_c} \longrightarrow h_1 = h_2$ ISENTALPICA

TROVO T_1 INCROCIANDO $x = 0$ e $P_1 = 800$ kPa $= 8$ bar

$T_1 = 30$ K

TROVO T_2 TIRANDO giù dall'incrocio tra $x = 0$ e P_1 (poiché la trasformazione è ISENTALPICA) fino a incontrare $P_2 = 140$ kPa

$\therefore T_2 = -20$ K

$\Delta T = T_1 - T_2 = 30 - (-20) =$ 50 K

ESERCIZIO 38

R134a
$T_{1R} = 80°C$
$p_{1R} = 1\,MPa$
$T_{2R} = 30°C$
$p_{2R} = 1\,MPa$

ARIA
$\dot{V}_A = 800\ m^3/min$
$T_{1A} = 27°C$
$p_{1A} = 100\,kPa$
$T_{2A} = 60°C$
$p_{2A} = 95\,kPa$
$(\Delta T_a = 33K)$

$\dot{m}_R$?

$$\dot{m}_a = \rho \dot{V}_a = 1{,}16 \frac{kg}{m^3} \cdot 800 \frac{m^3}{min} \cdot \frac{1\,min}{60\,s} = 15{,}5\ kg/s$$

$$\rho = \frac{p}{RT} = \frac{100 \cdot 10^3\ Pa}{287 \frac{J}{kg\,K} \cdot 300\,K} = 1{,}16 \frac{kg}{m^3} \qquad \left[\frac{Pa}{J}\right] = \left[\frac{1}{m^3}\right]$$

$$\dot{m}_R (h_{1R} - h_{2R}) = \dot{m}_a c_{pa} \Delta T_a$$

$h_{1R} = 400\ kJ/kg$ → INCROCIANDO p_{1R} e T_{1R}
$h_{2R} = 240\ kJ/kg$

$$\dot{m}_R = \frac{\dot{m}_a c_{pa} \Delta T_a}{(h_{1R} - h_{2R})} = \frac{15{,}5 \frac{kg}{s} \cdot 1{,}004 \frac{kJ}{kg\,K} \cdot 33\,K}{(400 - 240)\ kJ/kg} = 2{,}3\ kg/s$$

ESERCITAZIONE 2

ESERCIZIO 1

METANO

$\bar{H} = \sum N_R (\bar{h}_f^\circ)_R - \sum N_P (\bar{h}_f^\circ)_P$

$CH_4 + 2(O_2 + 3{,}76\,N_2) \longrightarrow CO_2 + 2H_2O + 2 \cdot 3{,}76\,N_2$

POT. CALORIFICO INFERIORE

$H_{REAG} = -74810$ KJ/kmol

$H_{PROD} = \underbrace{-393509}_{CO_2} + 2\underbrace{(-241818)}_{H_2O_g} = -877145$ KJ/kmol

$\bar{H}i = H_{REAG} - H_{PROD} = (-74810 + 877145)$ KJ/kmol $= 802335$ KJ/kmol

$Hi = \frac{\bar{H}i}{MM} = \frac{802335 \text{ KJ/kmol}}{(12+4\cdot1) \text{ kg/kmol}} = 50146$ KJ/kg

POTERE CALORIFICO SUPERIORE

$H_{REAG} = -74.810$ KJ/kmol

$H_{PROD} = \underbrace{-393.509}_{CO_2} + 2\underbrace{(-285.830)}_{H_2O_l} = -965.169$ KJ/kmol

$\bar{H}_S = H_{REAG} - H_{PROD} = (-74.810 + 965.169)$ KJ/kmol $= 890.359$ KJ/kmol

$H_S = \frac{\bar{H}_S}{MM} = \frac{890.359 \text{ KJ/kmol}}{(12+4\cdot1) \text{ kg/kmol}} = 55641$ KJ/kg

METANOLO

$2CH_3OH + 3(O_2 + 3{,}76\,N_2) \rightarrow 2CO_2 + 4H_2O + 8 \cdot 3{,}76\,N_2$

POT. CALORIFICO INF.

$H_{REAG} = 2 \times (-238.660) = -477.320$ KJ/kmol

$H_{PROD} = 2 \times (-393.509) + 4(-241.818) = -1.754.290$ KJ/kmol

$\bar{H}i = H_{REAG} - H_{PROD} = (-477.320 + 1.754.290)$ KJ/kmol $=$

$= 1.276.970$ KJ/kmol

$Hi = \frac{\bar{H}i}{MM} = \frac{1.276.970 \text{ KJ/kmol}}{2\times(12+16+4\times1) \text{ kg/kmol}} = 19953$ KJ/kg

POTERE CALORIFICO SUP.

$H_{REAG} = -477.320$ KJ/kmol

$H_{PROD} = 2 \times (-393.509) + 4(-285.830) = -1.930.230$ KJ/kmol

$\bar{H}_S = H_{REAG} - H_{PROD} = (-477.320 + 1.930.230)$ KJ/kmol $= 1.452.910$ KJ/kmol

$H_S = \frac{\bar{H}_S}{MM} = \frac{1.452.910 \text{ KJ/kmol}}{64 \text{ kg/kmol}} = 22703$ KJ/kg

ESERCIZIO 2

$H_2 = 45\%$ $CH_4 = 30\%$ $C_2H_6 = 15\%$ $N_2 = 10\%$

$$0{,}3\,CH_4 + 0{,}15\,C_2H_6 + 0{,}45\,H_2 + 0{,}1\,N_2 + a(O_2 + 3{,}76\,N_2) \longrightarrow$$
$$\longrightarrow b\,CO_2 + c\,H_2O + d\,N_2$$

Iniziando dai prodotti

b = CONTRIBUTO CARBONIO

$= 0{,}3 + (0{,}15 \times 2) = 0{,}6$

c = CONTRIBUTO IDROGENO

$= \frac{(0{,}3 \times 4) + (0{,}15 \times 6) + (0{,}45 \times 2)}{2} = 1{,}5$

d = CONTRIBUTO AZOTO

$= \frac{(0{,}1 \times 2) + (a \times 3{,}76 \times 2)}{2} = 5{,}176$

POTEVO ANCHE NON CALCOLARLO!

a = OSSIGENO

$= \frac{(2 \times b) + c}{2} = \frac{(2 \times 0{,}6) + 1{,}5}{2} = 1{,}35$

$$X_{STEC} = \frac{m_{a\ TEORICA}}{m_b} = \frac{a[32 + (3{,}76 \times 28)]}{[(0{,}3 \times 16) + (0{,}15 \times 30) + (0{,}45 \times 2) + (0{,}1 \times 28)]}$$

$= 14{,}256$

a × ("PACCHETTO ARIA")

COMPOSIT. % DATE

$\overline{Hi} = 0{,}3 \cdot (-74'810) + 0{,}15\,(-84'680) + -0{,}6 \cdot (-393'509) - 1{,}5\,(241'818) =$
$= -35'145 + 598'832{,}4 = 563'687{,}4$

$Hi = \frac{\overline{Hi}}{m_b} = \frac{563'687{,}4}{} = 43'360$

$\overline{Hs} =$

$Hs =$

ESERCIZIO 4

$\alpha = ?$ $e = ?$

$CO_2 = 10\%$ $CO = 0{,}53\%$ $O_2 = 2{,}37\%$ $N_2 = 87{,}1\%$

$$bCH_4 + a(O_2 + 3{,}76N_2) \rightarrow 0{,}1CO_2 + 0{,}0053CO + 0{,}0237O_2 + 0{,}87N_2 + cH_2O$$

b = CARBONIO

$= 0{,}1 + 0{,}0053 = 0{,}1053$

a = OSSIGENO

$$= \frac{(0{,}1 \times 2) + 0{,}0053 + (0{,}0237 \times 2) + c}{2} = 0{,}23165$$

c = CONTENUTO IDROGENO

$$= \frac{b \times 4}{2} = 2b = 2 \times 0{,}1053 = 0{,}2106$$

$$\alpha = \frac{Ma}{Mb} = \frac{0{,}23165[32 + (3{,}76 \times 28)]}{0{,}1053 \times 16} = 18{,}875$$

Per calcolare l'eccesso d'aria devo calcolare l'α_{ST} che ricavo dalla reazione senza composti percentuali, ma stechiometrica. Io α_{ST} lo trovo non dalla reazione usata prima, perché CO e O_2 si formano solo a causa dell'eccesso d'aria. Scrivo eccesso d'aria la reazione nuova:

$$CH_4 + 2(O_2 + 3{,}76N_2) \rightarrow CO_2 + 2H_2O + 3{,}76N_2$$

$$\alpha_{ST} = \frac{Ma}{Mb} = \frac{2[32 + 3{,}76 \cdot 28]}{(12+4)} = 17{,}16$$

$$e = \frac{\alpha}{\alpha_{ST}} - 1 = \frac{18{,}875}{17{,}16} - 1 = 0{,}1 = 10\%$$

ESERCIZIO 6

$\rho = 977{,}75 \frac{kg}{m^3}$

IMPIANTO COGENERATIVO $\rightarrow \eta_m = 1 \quad \eta_b = 1$

$P_u = 342\ kW = P_i$

$\dot{V}_n = 15{,}5\ Nm^3/h \rightarrow 0{,}496\ kg/s$

$\Delta T_n = 20\ K$

$T = 70°C = 343\ K \qquad T = 90°C = 363\ K$

$c_{pH_2O} = 4186 \frac{J}{kg\,K}$

$\dot{m}_a = 1784\ kg/h \qquad p_a = 100\ kPa \qquad T_a = 25°C$

$H_i = 9{,}5\ kWh/Nm^3 \qquad M = 44{,}4\ kg/kmol$

$= 99\ kW \qquad c_{pg} = 1{,}1\ kJ/kg\,K \qquad T = 120°C \qquad \dot{m}_b = ?$

$Nm^3 \rightarrow p_0 = 101{,}325\ kPa \qquad T_0 = 0°C$

$pV = mRT \longrightarrow m = \frac{pV}{RT} = \frac{101325\ Pa \cdot 1\ m^3}{447{,}8 \frac{J}{kg\,K} \cdot 273\ K} = 0{,}777\ kg$

$p = 101325\ Pa$
$T = 273\ K$
$V = 1\ m^3$
$R = (8314 / 44{,}4)\ J/kg\,K = 447{,}8\ J/kg\,K$

$H_i = 9{,}5 \frac{kJ}{s} \frac{h}{Nm^3} = 9{,}5 \frac{kJ}{s} \cdot \frac{3600\,s}{1\,h} \frac{h}{Nm^3} = 34200 \frac{kJ}{Nm^3} =$

$= 34200 \frac{kJ}{0{,}777\ kg} = 44015{,}4\ kJ/kg$

$\eta_b \dot{m}_b H_i + \dot{Q}_e + P_i = \sum \dot{m}_p (h - h^\circ)_p + \sum \dot{m}_R (h - h^\circ)_R + \sum m_e h_e + \sum m_i h_i$

$\dot{m}_b H_i + \dot{Q}_e + P_i = \dot{m}_g c_{pg} (T_g - T_0) - \dot{m}_a c_{pa} (T_a - T_0) - \dot{m}_b c_{pb} (T_b - T_0) + \dot{m}_n c_{pn} \Delta T_n$

$\dot{m}_b H_i + \dot{Q}_e + P_i = (\dot{m}_a + \dot{m}_b) c_{pg} (T_g - T_0) + \dot{m}_n c_{pn} \Delta T_n$

$\dot{m}_n = \dot{V}_n \cdot \rho_n = 15{,}5 \frac{m^3}{h} \cdot 977{,}75 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{1\,h}{3600\,s} = 4{,}2\ kg/s$

$\dot{m}_b = \frac{\dot{m}_a c_{pg} (T_g - T_0) - \dot{Q}_e - P_i + \dot{m}_n c_{pn} \Delta T_n}{H_i - c_{pg} (T_g - T_0)} =$

$= \frac{0{,}496 \frac{kg}{s} \cdot 1{,}1 \frac{kJ}{kg\,K} \cdot 95\,K - 99\,kJ/s + 4{,}2 \frac{kg}{s} \cdot 4{,}186 \frac{kJ}{kg\,K} \cdot 20\,K}{44015{,}4 \frac{kJ}{kg} - 1{,}1 \frac{kJ}{kg\,K} \cdot 95\,K} =$

$= \frac{51{,}93 - 99 + 351{,}62}{(44015{,}4 - 104{,}5)\ kJ/kg} \frac{kJ}{s} =$

ESERCIZIO 3

$$e_{IS} = \Delta h_{IS} = (h_e - h_{f(IS)}) = (3430 - 2820)\frac{kJ}{kg} = 610\frac{kJ}{kg}$$

↓ MOLLIER

$$e_i = \eta_{IS} \cdot e_{IS} = 0{,}75 \cdot 610\frac{kJ}{kg} = 458\ kJ/kg$$

ESERCIZIO 4

η_y? η_{IS}?

$$\eta_y = \frac{\frac{\gamma-1}{\gamma}}{\frac{m-1}{m}} = \frac{0{,}4}{1{,}4} = 0{,}896$$

$$\frac{m-1}{m} = \frac{\ln(T_2/T_1)}{\ln(P_2/P_1)} = \frac{\ln\left(\frac{423}{298}\right)}{\ln\left(\frac{300}{100}\right)} = 0{,}3188$$

$$\eta_{IS} = \frac{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{m-1}{m}} - 1} = \frac{\left(\frac{423}{298}\right)^{\frac{0{,}4}{1{,}4}} - 1}{\left(\frac{423}{298}\right)^{0{,}3188} - 1} = 0{,}879$$

ESERCIZIO 6

ARIA 900 kPa $q_w = 0$ $q_i = ?$

100 kPa
300 K

(A) $q_e = 0$

$$q_{is} = \Delta h = c_p(T_2 - T_1) = c_p T_1\left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right) =$$

$$= c_p T_1\left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right] =$$

$$= 1004{,}5 \frac{J}{kg\,K}\, 300\,K\left[\left(\frac{900}{100}\right)^{\frac{0{,}4}{1{,}4}} - 1\right] = 263{,}2 \frac{kJ}{kg}$$

(B) POLITROPICA CON $M = 1{,}3$

$$q_{i\,Pol} = \int v\,dp + q_w = \frac{M}{M-1} R T_1\left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{M-1}{M}} - 1\right] =$$

$$= \frac{1{,}3}{0{,}3} 287 \frac{J}{kg\,K}\, 300\,K\left[(9)^{\frac{0{,}3}{1{,}3}} - 1\right] = 247{,}8\ kJ/kg$$

(C) ISOTERMA $q_w = -\text{cost}$

$$l_{iso} = \int_1^2 v\,dp = \int_1^2 \frac{RT}{p}\,dp = RT \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right) =$$

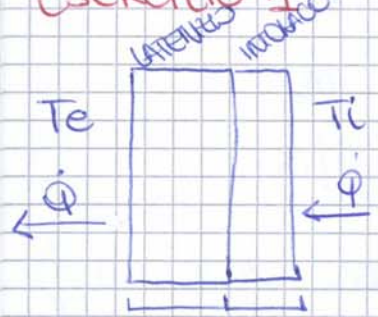
$$= 287 \frac{J}{kg\,K}\, 300\,K \ln(9) = 189{,}2\ kJ/kg$$

(D) COMPRESSIONE UNIFORME BISTADIO INTERREFRIGERATA POLITROPICA CON $M = 1{,}3$

- Alla fine del 1° stadio si riporta la T a quella di inizio del 1° stadio
- UNIFORME = rapporto delle p uguale

ESERCITAZIONE 4

ESERCIZIO 1



$k_e = 0{,}7 \frac{W}{m \cdot °C}$ $\quad S_{ISO}?$

$k_i = 0{,}4$

$k_{ISO} = 0{,}042$

$\Delta X_e = S_e = 19{,}6\ cm \quad 3{,}8\ cm = S_i = \Delta X_i$

CON PANNELLI → $\Phi_p = \dfrac{T_i - T_e}{\frac{S_e}{k_e A} + \frac{S_{ISO}}{k_{ISO} A} + \frac{S_i}{k_i A}}$

SENZA PANNELLI → $\Phi = \dfrac{T_i - T_e}{\frac{S_e}{k_e A} + \frac{S_i}{k_i A}}$

$$\frac{T_i - T_e}{\frac{S_e}{k_e A} + \frac{S_{ISO}}{k_{ISO} A} + \frac{S_i}{k_i A}} \cdot \frac{\frac{S_e}{k_e A} + \frac{S_i}{k_i A}}{T_i - T_e} = 0{,}2$$

$$\frac{S_e}{k_e} + \frac{S_{ISO}}{k_{ISO}} + \frac{S_i}{k_i} = 5\left(\frac{S_e}{k_e} + \frac{S_i}{k_i}\right)$$

$$\frac{S_{ISO}}{k_{ISO}} = 5\frac{S_e}{k_e} - \frac{S_e}{k_e} + 5\frac{S_i}{k_i} - \frac{S_i}{k_i}$$

$$S_{ISO} = k_{ISO} \cdot 4\left(\frac{S_e}{k_e} + \frac{S_i}{k_i}\right) = 0{,}0377\ m = 3{,}77\ cm$$

$$\Phi_p = \Phi - 0{,}8\Phi = 0{,}2\Phi \rightarrow \frac{\Phi_p}{\Phi} = 0{,}2$$

$$\dot{\Phi} = \frac{T_i - T_{av}}{\frac{\ln(r_e/r_i)}{2\pi K_{AC} L}} = \frac{T_{av} - T_e}{\frac{\ln(R/r_e)}{2\pi K_{AM} L}}$$

$$T_i - T_{av} = \dot{\Phi} \frac{\ln(r_e/r_i)}{2\pi K_{AC} L}$$

$$T_{av} = T_i - \dot{\Phi} \frac{\ln(r_e/r_i)}{2\pi K_{AC} L}$$

$$T_{av} = T_i - \frac{\dot{\Phi}}{L} \frac{\ln(r_e/r_i)}{2\pi K_{AC}} \cdot L$$

$$T_{av} = T_i - \frac{(T_i - T_e)}{\frac{\ln(r_e/r_i)}{2\pi K_T} + \frac{\ln(R/r_e)}{2\pi K_{ATI}}} \cdot \frac{\ln(r_e/r_i)}{2\pi K_{AC}}$$

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 43 di 104

$$= \frac{1}{\frac{\Delta}{8{,}1\ \frac{W}{m^2K}} + \frac{0{,}01\,m}{0{,}35\ \frac{W}{mK}} + \frac{1}{4{,}244\ \frac{W}{m^2K}} + \frac{1}{1{,}047\ \frac{W}{m^2K}} + \frac{0{,}02\,m}{0{,}9\ \frac{W}{mK}} + \frac{1}{23{,}2\ \frac{W}{m^2K}}}$$

$= 0{,}71\ W/m^2K$

$\dot{Q}_V = A_V U_V (T_i - T_e) = 0{,}7\,m^2 \cdot 5{,}76\ \frac{W}{m^2 \cancel{C}} \cdot (20 - (-8))\,\cancel{C} = 113\,W$

$\dot{Q}_m = A_m U_m (T_i - T_e) = (9 - 0{,}7)\,m^2 \cdot 0{,}71\ \frac{W}{m^2 \cancel{C}} (20 - (-8))\,\cancel{C} = 165\,W$

$\dot{Q}_F = \dot{Q}_V \cdot \dot{Q}_m = (113 + 165)\,W = 278\,W$

PARETE CON PORTA FINESTRA

$A_V + A_m = 9\,m^2$

$\dot{Q}_P = \dot{Q}_V + \dot{Q}_m = [A_V U_V (T_i - T_e)] + [A_m \cdot U_m (T_i - T_e)]$

$U_V = 5{,}76\ W/m^2 \cdot C$ → come quello della parete con finestra

$U_m = 0{,}71\ W/m^2 \cdot C$ → " " " " " "

$\dot{Q}_V = A_V U_V (T_i - T_e) = 2\,\cancel{m^2} \cdot 5{,}76\ \frac{W}{\cancel{m^2} \cdot \cancel{C}} (20 - (-8))\,\cancel{C} = 323\,W$

$\dot{Q}_m = A_m U_m (T_i - T_e) = (9 - 2)\,\cancel{m^2} \cdot 0{,}71\ \frac{W}{\cancel{m^2} \cdot \cancel{C}} (20 - (-8))\,\cancel{C} = 139\,W$

$\dot{Q}_P = \dot{Q}_V + \dot{Q}_m = (323 + 139)\,W = 462\,W$

Quindi in conclusione il flusso totale sarà:

$\dot{Q}_{TOT} = 3\dot{Q}_F + \dot{Q}_P =$

$= (3 \cdot 278\,W) + 462\,W = 1296\,W$

ESERCIZIO 4

TUBO DI ACCIAIO $d_{est} = 2,375\ in = 0,0603\ m \rightarrow r_e = 0,0301625\ m$

$d_{int} = 2,067\ in = 0,0525\ m \rightarrow r_i = 0,026251\ m$

CONDUCIBILITA' TERMICA $27\ Btu/h\,ft\,°F = 46,73\ W/m\,°C = K_{AC}$

FLUIDO

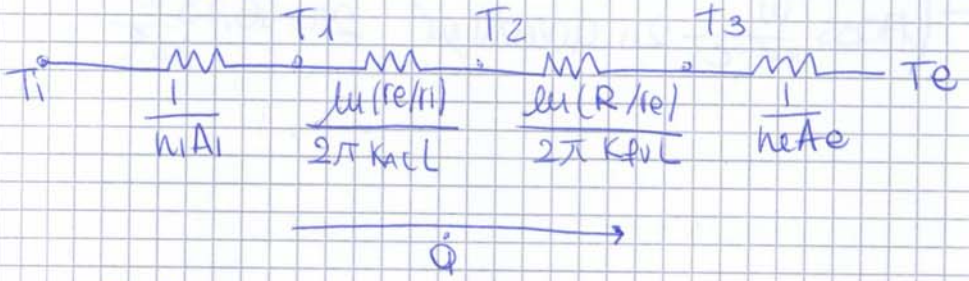
COEFF. CONVETTIVO $30\ Btu/h\,ft^2\,°F = 170,35\ W/m^2\,°C = h_i$

COPERTURA ESTERNA $5\ in = 0,127\ m$

COEFF. CONVETTIVO $2\ Btu/h\,ft^2\,°F\ (K = 0,0398\ W/m\,°C) = K_{FV}$

$\rightarrow 11,30\ W/m^2\,°C = h_e$

$T_{FLUIDO} = 320\,°F = 160\,°C$ $\quad T_{EST} = 70\,°F = 21,1\,°C$



$r_i = \frac{d_{int}}{2} = 0,026251\ m$

$r_e = \frac{d_{est}}{2} = 0,0301625\ m$

$R = r_e + \text{COPERTURA} = 0,1571625\ m$

$A_i = 2\pi r_i L$

$A_e = 2\pi R L$

$$\dot{Q} = \frac{T_i - T_e}{\frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln(r_e/r_i)}{2\pi K_{AC} L} + \frac{\ln(R/r_e)}{2\pi K_{FV} L} + \frac{1}{h_e A_e}} =$$

$$= \frac{T_i - T_e}{\frac{1}{h_i 2\pi r_i \cancel{L}} + \frac{\ln(r_e/r_i)}{2\pi K_{AC} \cancel{L}} + \frac{\ln(R/r_e)}{2\pi K_{FV} \cancel{L}} + \frac{1}{h_e 2\pi R \cancel{L}}} =$$

$$= \frac{(160 - 21,1)\,°C}{\frac{1}{170,35\ \frac{W}{m^2\,°C} \cdot 2\pi \cdot 0,026251\ \cancel{m}} + \frac{\ln\left(\frac{0,0301625}{0,026251}\right)}{2\pi \cdot 49,13\ \frac{W}{m\,°C}} + \frac{\ln\left(\frac{0,1571625}{0,0301625}\right)}{2\pi \cdot 0,0398\ \frac{W}{m\,°C}} + \frac{1}{11,36\ \frac{W}{m^2\,°C} \cdot 2\pi \cdot 0,1571625\ \cancel{m}}} =$$

Ora ricavo Ue

$$Ue = \frac{1}{\frac{Ae}{Ai}\frac{1}{hi} + \frac{Ae\,ln(re/ri)}{2\pi K_{AC} L} + \frac{Ae\,ln(R/re)}{2\pi K_{TU} L} + \frac{1}{he}} =$$

=

=

$= 0{,}151\ W/m^2 C$

METODO ALTERNATIVO PER CALCOLARE Ui e Ue CON $\dot{\Phi}/L$

$$Ui = \frac{\dot{\Phi}}{Ai\,(Ti-Te)} = \frac{\dot{\Phi}}{2\pi ri \cdot L(Ti-Te)} = \frac{\dot{\Phi}}{L}\,\frac{1}{2\pi ri\,(Ti-Te)}$$

$$Ue = \frac{\dot{\Phi}}{Ae\,(Ti-Te)} = \frac{\dot{\Phi}}{2\pi R L\,(Ti-Te)} = \frac{\dot{\Phi}}{L}\,\frac{1}{2\pi R\,(Ti-Te)}$$

Potere calorifico → 49356 kJ/kg

CASO A

$$P_g = (\lambda \alpha_{ST} + 1)\frac{c_{pg}(T_g - T_0)}{H_i} =$$

$$= (1{,}10 \times 17{,}16 + 1)\frac{1{,}1\ kJ/kg\,K\ (523 - 298)K}{49356\ kJ/kg} = 9{,}8\%$$

$$\eta = 1 - P_g - P_i - P_{di} - P_r =$$

$$= 1 - 9{,}8\% - 2\% - 1\% - 2{,}5\% = 84{,}7\%$$

CASO B

$$P_g = (\lambda \alpha_{ST} + 1)\frac{c_{pg}(T_g - T_0)}{H_i} = (1{,}1 \times 17{,}6 + 1)\frac{1{,}1\ kJ/kg\,K\,(523 - 413)K}{49356\ kJ/kg} =$$

$$= 7{,}6\%$$

$$\eta = 1 - P_g - P_i - P_{di} - P_r = 1 - 7{,}6\% - 2\% - 1\% - 2{,}5\% = 86{,}9\%$$

CASO C

$$P_g = (\lambda \alpha_{ST} + 1)\frac{c_{pg}(T_g - T_0)}{H_i} = (1{,}1 \times 17{,}6 + 1)\frac{1{,}1\ kJ/kg\,K\ (523 - 423)K}{49356\ kJ/kg} =$$

$$= 5{,}4\%$$

$$\eta = 1 - P_g - P_i - P_{di} - P_r = 1 - 5{,}4\% - 2\% - 1\% - 2{,}5\% = 89{,}1\%$$

$$P_{g(Hs)} = (\lambda \alpha_{ST} + 1) \frac{C_{pg}(\bar{T}_g - \bar{T}_0)}{H_s}$$

$$= (1{,}268 \cdot 17{,}16 + 1) \frac{1{,}1 \frac{kJ}{kg\,K} (311 - 298)\,K}{55647 \frac{kJ}{kg}} = 5{,}85\,\%$$

ESERCITAZIONE 6

ESERCIZIO 1

OLIO $\rho = 900\ kg/m^3$ $\nu = 0,00001\ m^2/s$ $Q = 0,2\ m^3/s$

CONDOTTO DI GHISA $\varepsilon = 0,26\ mm$ $l = 500\ m$ $d = 200\ mm = 0,2\ m$

y_d? PERDITA DI CARICO

$$y_d = f \frac{L}{D} \frac{C^2}{2g}$$

$$C = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi \cdot D^2} \cdot 4 = \frac{0,2\ m^3/s}{\pi \cdot (0,2)^2\ m^2} 4 = 6,37\ m/s$$

$$f = f\left(Re, \frac{\varepsilon}{D}\right) \longrightarrow \frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,26\ mm}{200\ mm} = 0,0013$$

$$Re = \frac{DC}{\nu} = \frac{0,2\ m \cdot 6,37\ m/s}{0,00001\ m^2/s} = 127\,324 \approx 10^5$$

$$f = f\left(Re, \frac{\varepsilon}{D}\right) = f(127\,324;\ 0,0013) \xrightarrow{\text{DIAGRAMMA di MOODY}} 0,023$$

$$y_d = f \frac{L}{D} \frac{C^2}{2g} = 0,023 \cdot \frac{500\ m}{0,2\ m} \cdot \frac{(6,37)^2\ m^2/s^2}{2 \cdot 9,81\ m/s^2} = 118\ m$$

Caduta di Pressione Δp

$\Delta p = (y_d - \Delta z)\rho g$

$\Delta z = L \sin\alpha$

NB = NEL CASO DI CONDOTTO CIRCOLARE LA LUNGHEZZA DA USARE È IL DIAMETRO

ESERCIZIO 3

$Q = 1{,}7\ m^3/h = 0{,}000472\ m^3/s$ $T = 20°C$ ACQUA $\rho = 998{,}3\ kg/m^3$

$d_{in} = 1\ in = 25{,}4\ mm = 0{,}0254\ m$ $l = 60\ m$

$\mu = 1{,}003 \cdot 10^{-3}\ kg/ms$ $K = 0{,}25$ $f = 0{,}184\ Re^{-0{,}2}$

(A) Calcolare la caduta di pressione Δp

$\Delta p = (y_d - \Delta z)\ \rho\ g$ ($\Delta z = 0$)

$y_d = f \frac{L}{D} \frac{c^2}{2g}$ (=)

$c = \frac{Q}{A} = \frac{0{,}000472\ m^3/s}{\pi (0{,}0254)^2\ m^2} \cdot 4 = 0{,}932\ m/s$

$Re = \frac{Dc}{\nu} = \frac{\rho c D}{\mu} = \frac{998{,}3\ kg/m^3 \cdot 0{,}932\ m/s \cdot 0{,}0254\ m}{1{,}003 \cdot 10^{-3}\ kg/ms} = 23500$

$f = 0{,}184\ Re^{-0{,}2} = 0{,}184\ (23500)^{-0{,}2} = 0{,}0246$

(=) $0{,}0246 \cdot \frac{60\ m}{0{,}0254\ m} \cdot \frac{(0{,}932)^2\ m^2/s^2}{2 \cdot 9{,}81\ m/s^2} = 2{,}57\ m$

$\Delta p_d = y_d\ \rho\ g = 2{,}57\ m \cdot 998{,}3\ kg/m^3 \cdot 9{,}81\ m/s^2 = 25{,}2\ kPa = 0{,}252\ bar$

(B) Caduta di pressione con 3 VALVOLE EXTRA

$\Delta p_{TOT} = \Delta p_d + \Delta p_c = (0{,}252 + 0{,}00325)\ bar = 0{,}255\ bar$

$\Delta p_c = y_c \cdot \rho\ g = 0{,}0332\ m \cdot 998{,}3\ kg/m^3 \cdot 9{,}81\ m/s^2 = 325\ Pa = 0{,}00325\ bar$

$y_c = 3K \frac{c^2}{2g} = 3 \cdot 0{,}25 \cdot \frac{(0{,}932)^2\ m^2/s^2}{2 \cdot 9{,}81\ m/s^2} = 0{,}0332\ m$

La DENSITÀ ρ È STATA TROVATA NELLE TABELLE DEL LIQUIDO SATURO IN CORRISPONDENZA DI $T = 20°C$

ESERCITAZIONE 7

CLASSIFICAZIONE delle TURBOMACCHINE

① $l_i = U_2 C_{u2} - U_1 C_{u1}$

$l_i > 0 \rightarrow$ TURBOCOMPRESSORE / TURBOPOMPA

$l_i < 0 \rightarrow$ TURBINA

② $U_1 = U_2 \rightarrow$ ASSIALE

$U_1 \neq U_2 \rightarrow$ RADIALE $\begin{cases} U_1 > U_2 & \text{CENTRIPETA} \\ U_2 > U_1 & \text{CENTRIFUGA} \end{cases}$

③ $W_1 = W_2 \rightarrow$ AZIONE

$W_1 \neq W_2 \rightarrow$ REAZIONE

NB = Tutte le macchine radiali sono a reazione.

ESERCIZIO 1

(VEDI DISEGNO del TESTO)

① $l_i = U_2 C_{u2} - U_1 C_{u1} = \cancel{U_2 C_2}^{=0} - U_1 C_1 = -U_1 C_1 < 0 \rightarrow$ TURBINA

dal disegno si deduce che $C_2 = 0$

② dal disegno si deduce che: $U_1 > U_2 \rightarrow$ RADIALE CENTRIPETA

infatti $W_1 \neq W_2 \rightarrow$ REAZIONE

ESERCIZIO 2

① $l_i = U_2 C_{u2} - U_1 C_{u1} = U(C_{u2} - C_{u1}) > 0 \rightarrow$ COMPRESSORE

$U_1 = U_2$; $C_2 > C_1$

② $U_1 = U_2 \rightarrow$ ASSIALE

③ $W_1 \neq W_2 \rightarrow$ REAZIONE

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 59 di 104

ESERCIZIO 4

$C_1 = 300\ m/s$ $\quad \alpha_1 = \cos\alpha_1 = \cos(30)$ $\quad M = ?$

(VEDI TRIANGOLI VELOCITÀ ESERCIZIO 3)

$\dot{m} = 20\ kg/s$ $\quad n = 3000\ giri/min$

$C_{u2} = 0$

$C_{u1} = C_1 \cos\alpha_1 = 300\ m/s \cdot \cos(30) = 259,8\ m/s$

$\frac{U}{C_1} = \cos\alpha_1 \rightarrow U = C_1 \cos\alpha_1 = C_{u1} = 259,8\ m/s$

$l_i = -U_1 C_{u1} = -(259,8)^2\ m^2/s^2 = -67496,04\ \frac{J}{kg}$

$l_i = \frac{L_{ICW}}{\dot{m}} \rightarrow M = \frac{\dot{m} l_i}{\omega} = \frac{20\ kg/s \cdot 67,5\ J/kg}{40,2\ m/s}$

$\omega = \omega_1 - \omega_2 = (300 - 259,8)\ m/s = 40,2\ m/s$

$U = C \cos\alpha_1$

$\omega = 2\pi n / 60$

$\omega = 2\pi \cdot 3000 / 60 = 6000\pi / 60 = 314,16\ rad/s$

$l_i = \frac{M \omega}{\dot{m}} \rightarrow M = \frac{\dot{m} l_i}{\omega} = \frac{20\ \frac{kg}{s}\ (-67496,04)\ \frac{J}{kg}}{314,16} = -4296,9$

$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 \cdot 3000\ \pi}{60} = 314,16$

ESERCITAZIONE 8 → VEDI QUADERNO 2

ESERCITAZIONE 9

ARIA → $\gamma = 1,4$

ESERCIZIO 1

$p_1 = 0,1\ MPa$ $T_1 = 300\ K$ $(p_2/p_1) = \beta = 6$ $T_3 = 1200\ K$

(a) $p_1 = p_4 = 0,1\ MPa$

$p_2 = 6 \cdot p_1 = 6 \cdot 0,1\ MPa = 0,6\ MPa = p_3$

$p_1 = 0,1\ MPa$ $p_2 = 0,6\ MPa$ $p_3 = 0,6\ MPa$ $p_4 = 0,1\ MPa$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \rightarrow T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} =$$

$$= 300\ K \cdot 6^{\frac{0,4}{1,4}} = 500,54\ K$$

$$\frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2} \rightarrow T_4 = T_1 \left(\frac{T_3}{T_2}\right) = 300\ K \frac{1200\ K}{500,54\ K} = 719,2\ K$$

$T_1 = 300\ K$ $T_2 = 500,54\ K$ $T_3 = 1200\ K$ $T_4 = 719,2\ K$

(b) $q_c + e_i = \Delta h + \Delta e_c + \Delta e_g$

$e_i = \Delta h = c_p \Delta T$

$$e_C = c_p (T_2 - T_1) = 1004,5 \frac{J}{kg\,K} (500,54 - 300)\,K =$$

$$= 201,4\ kJ/kg$$

$$e_{iT} = c_p (T_3 - T_4) = 1004,5 \frac{J}{kg\,K} (1200 - 719,2)\,K = 482,9 \frac{kJ}{kg}$$

(c) $$\eta_{id} = \frac{1 - c_p (T_4 - T_1)}{c_p (T_3 - T_2)} =$$

$$= 1 - \frac{1004,5 \frac{J}{kg\,K} (719,2\ K - 300)\,K}{1004,5 \frac{J}{kg\,K} (1200 - 500,54)\,K} = 0,4 = 40\%$$

Si poteva anche calcolare $\eta_{ID} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 40\%$

ESERCIZIO 3

$c_{pg} = 1{,}147\ kJ/kg\,K$

$P_u = 1300\ kW \qquad \eta_M = 0{,}95 \qquad T_4 = 576\,°C = 849\ K$

$\dot{m}_g = 7{,}6\ kg/s \qquad T_0 = 25\,°C = 298\ K \qquad H_i = 47400\ kJ/kg$

$T_0 = 25\,°C$ ARIA ASPIRATA e COMB. $\qquad q_b = ?$

$q_b = \frac{\dot{m}_b}{P_u}$ → lo trovo dal BILANCIO ENERGETICO

$\eta_b \dot{m}_b H_i = P_i + (\dot{m}_a + \dot{m}_b)\cdot(h_4 - h_0) - \dot{m}_a(h_1 - h_0) - \dot{m}_b(h_b - h_0)$

($\eta_b = 1$; $h_1 - h_0 = 0$; $h_b - h_0 = 0$)

$\dot{m}_b H_i = P_i + \dot{m}_g \cdot c_{pg}(T_4 - T_0)$

$\dot{m}_b H_i = \frac{P_u}{\eta_m} + \dot{m}_g \cdot c_{pg}(T_4 - T_0)$

$$\dot{m}_b = \frac{P_u}{\eta_m H_i} + \frac{\dot{m}_g\, c_{pg}(T_4 - T_0)}{H_i}$$

$$= \frac{1300 \cdot 10^3\ J/s}{0{,}95 \cdot 47400 \cdot 10^3\ J/kg} + \frac{7{,}6\ kg/s \cdot 1147\ J/kg\,K\ (849-298)\,K}{47400 \cdot 10^3\ J/kg} =$$

$$= 0{,}029\ kg/s + 0{,}101\ kg/s = 0{,}130\ kg/s$$

$$q_b = \frac{\dot{m}_b}{P_u} = \frac{0{,}130\ kg/s}{1300\ kJ/s} = 0{,}0001\ kg/kg$$

$$q_b = 0{,}0001\ \frac{kg}{kg}\ \frac{3600\ s}{1\ h} = 0{,}36\ \frac{kg\ s}{kJ\ h} =$$

$$= 0{,}36\ \frac{kg}{kW\,h} = 360\ kg/MW\,h$$

ESERCIZIO 5

$c_{pg} = 1{,}147\ kJ/kg\,K$

$\dot{m}_a = 443\ kg/s$ $\quad H_i = 47400\ kJ/kg$

$P_u = 123\ MW$

$\eta_b = 0{,}99$ $\quad \eta_M = 0{,}995$

$T_u = 525\,°C = 798\ K$

COND. AMB $\quad T_0 = 15\,°C = 288\ K$ $\quad P_{AMB} = 101{,}3\ kPa$

$C_b = 0{,}12\ €/m^3$ → DETERMINARE IL COSTO DI OGNI KWH DI EN. EL. PRODOTTA

q_b ?

$\rho = 0{,}75\ kg/m^3$

$$\eta_b \dot{m}_b H_i = P_i + (\dot{m}_a + \dot{m}_b) c_{pg} (T_u - T_0) + \dot{m}_a (h_1 - h_0) - \dot{m}_b (h_0 - h_2)$$

$$\eta_b \dot{m}_b H_i = \frac{P_u}{\eta_M} + (\dot{m}_a + \dot{m}_b) c_{pg} (T_u - T_0)$$

ISOLO $\dot{m}_b$:

$$\eta_b \dot{m}_b H_i = \frac{P_u}{\eta_M} + \dot{m}_a c_{pg} (T_u - T_0) + \dot{m}_b c_{pg} (T_u - T_0)$$

$$\dot{m}_b \eta_b H_i - \dot{m}_b c_{pg} (T_u - T_0) = \frac{P_u}{\eta_M} + \dot{m}_a c_{pg} (T_u - T_0)$$

$$\dot{m}_b (\eta_b H_i - c_{pg} (T_u - T_0)) = \frac{P_u}{\eta_M} + \dot{m}_a c_{pg} (T_u - T_0)$$

$$\dot{m}_b \left(0{,}99 \cdot 47400 \frac{kJ}{kg} - 1{,}147 \frac{kJ}{kg\,K} \cdot 510\,K\right) = \frac{123 \cdot 10^3\ kJ/s}{0{,}995} + 443\ kg/s \cdot 1{,}147 \frac{kJ}{kg\,K} \cdot 510\,K$$

$$\dot{m}_b (46926 \frac{kJ}{kg} - 584{,}97 \frac{kJ}{kg}) = 123668{,}1 \frac{kJ}{s} + 259145{,}7\ kJ/s$$

$$\dot{m}_b = \frac{382759{,}8\ kJ/s}{46341{,}03\ kJ/kg} = 8{,}26\ kg/s$$

$$q_b = \frac{\dot{m}_b}{P_u} = \frac{8{,}26\ kg/s}{123 \cdot 10^3\ kJ/s} = 6{,}72 \cdot 10^{-5} \frac{kg}{kJ} =$$

$$= 6{,}72 \cdot 10^{-5} \frac{kg}{kJ} \cdot \frac{3600\ s}{1\ h} = 0{,}24 \frac{kg\ s}{kJ\ h} =$$

$$= 0{,}24 \frac{kg}{\frac{kJ}{s}\ h} = 0{,}24 \frac{kg}{kWh}$$

POSSO ANCHE ESPRIMERLO CON:

$$q_b = \frac{q_b}{\rho} = \frac{0{,}24\ kg/kWh}{0{,}75\ kg/m^3} = 0{,}32\ m^3/kWh$$

COSÌ POSSO CALCOLARE IL COSTO

ESERCIZIO 6

$T_0 = 25°C$

$T_2 = 310°C = 583\ K$

$T_3 = 1000°C = 1273\ K$

$T_4 = 485°C = 758\ K$

$H_i = 44150\ kJ/kg$

COMBUSTIBILE ENTRA A $T = 25°C$

$P_u = 15\ MW$

$\eta_b = 0{,}99 \quad \eta_M = 0{,}97$

$\Delta e = 0$

$\Delta ec = 0 \quad \Delta eg = 0$

$\dot{m}_a$?

$\dot{m}_b$?

ARIA: $\gamma = 1{,}4$, $c_p = 1005\ J/kg$

COMBUSTIBILE: $\gamma_g = 4/3$, $c_{pg} = 1147\ J/kgK$

$$\underset{=0}{q_e} + e_i = \Delta h + \underset{=0}{\Delta ec} + \underset{=0}{\Delta eg} \longrightarrow e_i = \Delta h$$

$$\begin{cases} \eta_b \cdot \dot{m}_b H_i = \dfrac{P_u}{\eta_M} + (\dot{m}_b + \dot{m}_a)(h_4 - h_0) & (I) \\ P_i = (\dot{m}_a + \dot{m}_b) e_T - \dot{m}_a e_c & (II) \end{cases}$$

$$e_i^T = c_{pg}(T_3 - T_4) = 1147 \frac{J}{kg\,K}(515)\,K = 590{,}7\ kJ/kg$$

$$e_i^C = c_p(T_2 - T_1) = 1005 \frac{J}{kg\,K}\, 235{,}9\,K = 237{,}1\ kJ/kg$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4} \longrightarrow T_1 = \frac{T_2 T_4}{T_3} = \frac{583 \cdot 758\ K^2}{1273\ K} = 347{,}1\,K$$

$$P_i = \frac{P_u}{\eta_M} = \frac{15\ MW}{0{,}97} = 15{,}46\ MW = 15{,}46 \cdot 10^3 \frac{kJ}{s} = 15460 \frac{kJ}{s}$$

$P_i = \dot{m}_a e_T + \dot{m}_b e_T - \dot{m}_a e_c$ → isolo $\dot{m}_a$

$\dot{m}_a e_T - \dot{m}_a e_c = \dot{m}_b e_T + P_i$

$\dot{m}_a (e_T - e_c) = P_i - \dot{m}_b e_T$

ESERCITAZIONE 10

ESERCIZIO 1

$p_a = p_f = 0,1 MPa$
$p_b = p_e = 5 MPa$

$p_e = 50 bar = 5000 kPa = 5 MPa$
$T_e = 400°C = 673 K$
$p_f = 1 bar = 100 kPa = 0,1 MPa$ $\quad \eta_{is} = 0,8$
$\eta_y = 0,8$ $\quad \eta_n = 0,98$ $\quad \eta_b = 0,9$ $\quad H_i = 43,1 MJ/kg$
$\Delta T_{cond} = 10°C$
$x_f = ?$ $\quad \eta = ?$ $\quad \eta_u = ?$ $\quad \eta_G = ?$ $\quad q_b = ?$ $\quad \dot{m}_a/\dot{m}_{gr} = ?$

(A) TITOLO DEL VAPORE ALL'USCITA DELLA TURBINA? x_f

$h_f = 2568 \simeq 2570 \longrightarrow$ INCROCIO CON $p_f = 100 kPa$

$\Longrightarrow x_f = 0,95$

(B) RENDIMENTO DEL CICLO η_{ciclo}

$\eta_{ciclo} = \frac{e_u}{q_1}$ dove $e_u = e_G - e_p$

$e_G = \eta_{is}(h_e - h_{fis}) = (h_e - h_f) =$ $\quad h_e = 3200$, $h_{fis} = 2410$ dal MOLLIER

$= 0,8(3200 - 2410)\ kJ/kg = 632\ kJ/kg$

$e_p = \frac{1}{\eta_y} \cdot \frac{p_b - p_a}{\rho_a} = \frac{1}{0,8} \cdot \frac{(50-1)10^5\ Pa}{958,6\ kg/m^3} = 6389\ J/kg$

$e_u = e_G - e_p = (632 - 6,389)\ kJ/kg = 625,15\ kJ/kg$

$q_1 = h_e - h_b =$ $\quad e_p = h_b - h_a$

$= (3200 - 423)\frac{kJ}{kg} =$ $\quad h_b = e_p + h_a =$

$= (6,389 + 417)\ kJ/kg = 423\ kJ/kg$

$= 2775\ kJ/kg$

$\eta_{ciclo} = \frac{e_u}{q_1} = \frac{625,15\ kJ/kg}{2775\ kJ/kg} = 0,225$

VALORE PRESO DALLA TABELLA "SATURED LIQUID" alla $p = 0,1 MPa$

ESERCIZIO 2

DATI dell'ESERCIZIO 1

Impianto modificato solo $p_f = 0{,}05$ bar $= 5$ kPa $= p_{av}$

$\eta_M = 0{,}97$

(A) x_f

$h_e = 3200$ $\quad h_{is} = 2030$ $\quad h_f = h_e - \eta_{is}(h_e - h_{is}) = (3200 - 936)$ kJ/kg $= 2264$ kJ/kg

$h_f = 2264 \simeq 2265 \longrightarrow$ INCROCIO CON $p_f = 5$ kPa $\longrightarrow$ $x_f = 0{,}87$

(B) RENDIMENTO CICLO

$\eta_{is} = 2030$

$\eta = \dfrac{e_i}{q_1}$

$e_i = e_T - e_p$

$e_T = \eta_{is}(h_e - h_{is}) = 0{,}8(3200 - 2030)$ kJ/kg $= 936$ kJ/kg

$e_p = h_b - h_{av} = \dfrac{1}{\eta_p}\dfrac{p_b - p_{av}}{\rho_{av}} = \dfrac{1}{0{,}8}\cdot\dfrac{(5000 - 5)10^3 Pa}{994{,}7\ kg/m^3} = 5{,}02\ \dfrac{kJ}{kg}$

$e_i = e_T - e_p = (936 - 5{,}02)$ kJ/kg $= 930{,}98$ kJ/kg

$q_1 = h_e - h_b = (3200 - 2894)$ kJ/kg $= 3057{,}26$ kJ/kg

$h_b = e_p + h_{av} = (5{,}02 + 137{,}72)$ kJ/kg $= 142{,}74$ kJ/kg

h_{av}: TABELLA

$\eta_{ciclo} = \dfrac{e_i}{q_1} = \dfrac{930{,}98\ kJ/kg}{3057{,}26\ kJ/kg} = 0{,}305$

(C) RENDIM. UTILE

$\eta_U = \dfrac{e_u}{q_1} = \dfrac{\eta_M e_i}{q_1} = \dfrac{0{,}97 \cdot 930{,}98\ kJ/kg}{3057{,}26\ kJ/kg} = 0{,}295$

(D) RENDIM. GLOBALE

$\eta_G = \eta_M \eta_{ciclo} \eta_b = 0{,}97 \cdot 0{,}305 \cdot 0{,}9 = 0{,}267$

ESERCIZIO 3

$p_e = 100\ bar = 10\ MPa = p_b$

$T_e = 500\ °C$

$p_f = 0{,}05\ bar = 5\ kPa = p_a$

$\eta_M = 0{,}97$

grandezze → vedi ESERCIZIO 1

(a) x_f

$h_e = 3370\ kJ/kg$

$h_{fis} = 2010\ kJ/kg$

$h_f = h_e - \eta_{is}(h_e - h_{fis}) = 2282 \approx 2280\ kJ/kg$

$x_f = 0{,}89$

(B) REND. CICLO

$\eta_{ciclo} = \frac{e_i}{q_1}$

$e_i = e_i^T - e_i^P$

$e_i^T = (h_e - h_f) = (3370 - 2282)\ kJ/kg = 1088\ kJ/kg$

$e_i^P = \frac{1}{\eta_Y}\frac{p_b - p_a}{\rho_a} = \frac{1}{0{,}8}\cdot\frac{(10\cdot10^3 - 5)\ kPa}{994{,}7\ kg/m^3} = 12{,}56\ kJ/kg$

$e_i = e_i^T - e_i^P = (1088 - 12{,}56)\ kJ/kg = 1075{,}44\ kJ/kg$

$q_1 = h_e - h_b = (3370 - 150{,}28)\ kJ/kg = 3219{,}72\ kJ/kg$

$e_i^P = h_b - h_a$

$h_b = e_i^P + h_a = (12{,}56 + 137{,}72)\ kJ/kg = 150{,}28\ kJ/kg$

$\eta_{ciclo} = \frac{e_i}{q_1} = \frac{1075{,}44\ kJ/kg}{3219{,}72\ kJ/kg} = 0{,}334$

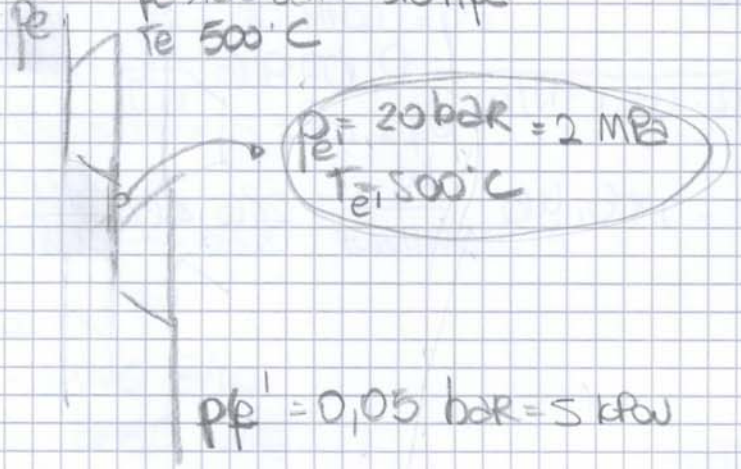
(C) REND. UTILE

$\eta_u = \frac{\eta_T e_i}{q_1} = \frac{0{,}97\cdot1075{,}44\ kJ/kg}{3219{,}72\ kJ/kg} = 0{,}324$

(D) REN. GLOBALE

$\eta_G = \eta_T \eta_{ciclo} \eta_b = 0{,}97\cdot0{,}9\cdot0{,}334 = 0{,}292$

ESERCIZIO 4



(A)

$h_e' = 3470$ kJ/kg

$h_{f,is}' = 2270$ kJ/kg

$h_f' = h_e' - \eta_{is}(h_e' - h_{f,is}') = 3470 - 98(3470 - 2270) = 2510$ kJ/kg

$x_f = 0,98$

(B)

$\eta_{caldo} = e_i / q_A$

$e_i = e_i^T - e_i^P$

$e_i^T = e_i^{T1} + e_i^{T2}$

$e_i^{T1} = (h_e - h_e') = 3310$ kJ/kg $- 3470$ kJ/kg $= -100$ kJ/kg

$e_i^{T2} = (h_e' - h_f) = (347$

ESERCITAZIONE 11

ESERCIZIO 1

$p_0 = 101{,}3$ kPa $T_0 = 288$ K (15 °C) → CONDIZ. AMBIENTE

$\dot{m}_{aa} = 118$ kg/s

$\beta_C = p_2/p_1 = 20$

$\eta_{is}^C = 0{,}9$

PERDITA PRESS nel COMBUSTORE $\Delta p_b = 3\%$

$\eta_b = 0{,}995$

$T_4 = 827$ K

$T_6 = 448$ K T all'uscita dal GVR

$\Delta p_s = 37$ mbar

$\eta_M^{TG} = 0{,}96$

$P_u^{TG} = 42.200$ kW

$H_i = 44100$ kJ/kg

$p_e = 6$ MPa $T_e = 520$ °C → VAPORE prodotto dal GVR e all'ingresso alla TURBINA a VAPORE TV

$p_f = 0{,}1$ bar $T_f = 319$ K → VAPORE in USCITA dalla TV e in ENTRATA al CONDEN.

$x_f = 0{,}89$

$\eta_y^P = 0{,}85$

$\eta_m^{PM} = 0{,}95$

$c_p = 1005$ J/kg K $\gamma = 1{,}4$ $c'_p = 1148$ J/kg K $\gamma' = 4/3$

SCRIVO IL 1° PRINCIPIO PER I SISTEMI REAG. ALL'IMPIANTO A GAS → PERTINENTE $\dot{m}_b$

$\eta_b \dot{m}_b H_i = P_i + (\dot{m}_{aa} + \dot{m}_b)(h_4 - h_0) - \dot{m}_{aa}(h_4 - h_0) - \dot{m}_b(h_6 - h_0)$

$\eta_b \dot{m}_b H_i = P_i + \dot{m}_{aa}(h_4 - h_0) + \dot{m}_b(h_4 - h_0) - \dot{m}_b(h_6 - h_0)$ ($h_4 - h_0 = 0$)

$\eta_b \dot{m}_b H_i = P_u/\eta_m + \dot{m}_{aa} c'_p (T_4 - T_0) + \dot{m}_b c_p (T_4 - T_0)$

$\eta_b H_i \dot{m}_b - \dot{m}_b (T_4 - T_0) = P_u/\eta_m + \dot{m}_{aa} c'_p (T_4 - T_0)$

$$\dot{m}_b = \frac{P_u/\eta_m + \dot{m}_{aa} c'_p (T_4 - T_0)}{\eta_b H_i - c_p (T_4 - T_0)}$$

$$= \frac{42.200/0{,}96 + 118 \cdot 1{,}148 \cdot (827 - 288)}{0{,}995 \cdot 44100 - 1{,}148 \cdot (827 - 288)} = 2{,}5 \text{ kg/s}$$

$$\frac{\frac{kJ}{s} + \frac{kg}{s}\frac{kJ}{kg K} K}{\frac{kJ}{kg} - \frac{kJ}{kg K} K} = \frac{kJ/s}{kJ/kg} = \left[\frac{kg}{s}\right]$$

$$\eta_G = \frac{P_u^{TV} + P_u^{TG}}{\dot{m}_b H_i} = \frac{(18 \cdot 421{,}8 + 42\,200)\ kW}{2{,}5\ kg/s \cdot 47\,400\ kJ/kg} = 0{,}509$$

~~$P_u^{TV} + P_u^{TG} =$~~

$$q_b = \frac{\dot{m}_b}{P_u^{TV} + P_u^{TG}} = \frac{2{,}5\ kg/s}{(42\,200 + 18 \cdot 421{,}8)\ kJ/s} = 4{,}12 \cdot 10^{-5}\ \frac{kg}{kJ}$$

$$= 0{,}149\ \frac{kg}{kJ}\ \frac{s}{h} = 0{,}149\ \frac{kg}{kWh}$$

$l_T = c'_p(T_3 - T_4)$

$l_T = c'_p T_3 - c_p' T_4$

$c_p' T_4 = c'_p T_3 - l_T$

$T_4 = \frac{c'_p T_3 - l_T}{c'_p} = \frac{1{,}15 \frac{kJ}{kg K} \cdot 1200 K - 504{,}8 \frac{kJ}{kg}}{1{,}15 \frac{kJ}{kg K}} = 761{,}04 K$

Ora ho tutti i dati per ricavare $\dot{m}_{ia}$ e $\dot{m}_{ib}$ dal sistema

- Trovo $\dot{m}_{ia}$ e $\dot{m}_{ib}$
- $\dot{m}_g = \dot{m}_{ia} + \dot{m}_{ib}$

(B) BILANCIO al GVR

$\dot{m}_{iv}(h_e - h_b) = \dot{m}_g c'_{pg}(T_4 - T_6)$

$\dot{m}_{iv} = \frac{\dot{m}_g c'_{pg}(T_4 - T_6)}{(h_e - h_b)}$

PERCHÉ IL TESTO DICE DI TRASCURARE IL LAVORO DELLA POMPA

$h_e \rightarrow$ dal MOLLIER ; $h_b \simeq h_a \rightarrow e_{ip} = h_b - h_a = 0$

$e_p = \frac{1}{\rho}(p_b - p_a) = h_b - h_a$

$h_b = e_p + h_a$

Ora ho tutto per trovare $\dot{m}_{iv}$

(C) $\eta_G = \frac{P_u^{TG} + P_u^{TV}}{\dot{m}_{ib} H_i}$

$P_u^{TV} = P_u^t = \dot{m}_{iv} \cdot e_u^T = \dot{m}_v e_i^T \cdot \eta_H = \dot{m}_v (h_e - h_t) \eta_H$

$h_t = h_e - \eta_{is}(h_e - h_{t,is})$

dal MOLLIER

FACCIO IL BILANCIO AL COMBUSTORE

$\dot{m}_a c_a (T_2 - T_0) + \eta_b \dot{m}_b H_i - \dot{m}_g c_g (T_3 - T_0) = 0$

$\dot{m}_a c_a (T_2 - T_0) + \eta_b \dot{m}_b H_i - (\dot{m}_a + \dot{m}_b) c_g (T_3 - T_0) = 0$ } DIVIDO PER $\dot{m}_b$

$\alpha (T_2 - T_0) + \eta_b H_i - (\alpha + 1) c_g (T_3 - T_0) = 0$

RICAVO α

$\alpha = \dot{m}_a / \dot{m}_b$

$\dot{m}_g = \dot{m}_b + \dot{m}_a$

$\frac{\dot{m}_g}{\dot{m}_b} = (1 + \alpha) \longrightarrow \dot{m}_b = \frac{\dot{m}_g}{(1+\alpha)}$

$\dot{m}_a = \alpha \dot{m}_b$

$P_0 T_4 = P_1 T_4 \eta_M$

Ora ho tutto per calcolare η_G

$P_i^T = \dot{m}_g \cdot l_T = 2{,}8986 \frac{kg}{s} \cdot 413{,}97 \frac{kJ}{kg} = 1201{,}45\ kW$

$\dot{m}_g = \dot{m}_a + \dot{m}_b = (2{,}80 + 0{,}0386)\ kg/s = 2{,}8986\ kg/s$

$\Rightarrow P_i = P_i^T - P_i^C = (1201{,}45 - 553{,}39)\ kW = 648{,}06\ kW$

$P_u = \eta_m P_i = 0{,}98 \cdot 648{,}06\ kW = 635{,}10\ kW$

Ora posso calcolare q_b

$q_b = \frac{\dot{m}_b}{P_u} = \frac{0{,}0386\ kg/s}{635{,}10\ kJ/s} = 6{,}078 \cdot 10^{-5}\ kg/kJ$

$q_b = 6{,}078 \cdot 10^{-5} \frac{3600\ s}{1\ h} \frac{kg}{kJ} =$

$= 0{,}2188 \frac{kg}{\frac{kJ}{s}\ h} = 0{,}2188\ kg/kWh$

NB = per calcolare P_i potevo non calcolare P_i^T e P_i^C, ma calcolando direttamente dal BILANCIO ENERGETICO AL TURBOGAS

$\dot{m}_a c_{pa} (T_1 - T_0) + \eta_b \dot{m}_b H_i = P_i + \dot{m}_g c_{pg} (T_4 - T_0)$

In questo caso non mi serviva la T_2, ma la T_4.
La T_4 la calcolo dalla tabella di ESPANSIONE isoentropica

$T_4 = T_3 - \frac{l^T}{c'_p}$

Per calcolare $\dot{m}_v$ uso il BILANCIO ENERGETICO al GVR

$\dot{m}_g (h_4 - h_6) = \dot{m}_v (h_e - h_b)$

$\dot{m}_v = \frac{\dot{m}_g c'_p (T_4 - T_6)}{(h_e - h_b)} = \frac{2{,}8986 \frac{kg}{s} \cdot 1{,}148 \frac{kJ}{kg\,K} \cdot (638{,}94 - 413)\,K}{(2770 - 334{,}93)\ kJ/kg} = 0{,}3009 \frac{kg}{s}$

h_e: MOLLIER $P = 800\ kPa$, $x = 1$ $\Rightarrow$ IL GVR PRODUCE VAPORE SATURO SECCO A 0,8 MPa

h_b: TABELLE a $T = 80°C$, T di SCARICO CONDENSA

$T_4 - T_3 - \frac{l^T}{c'_p} =$

$= 1000\ K - \frac{413{,}97 \frac{kJ}{kg}}{1{,}148 \frac{kJ}{kg\,K}} = 638{,}94\ K$

$\dot{m}_b = \frac{Q_1}{\eta_b \cdot H_i}$

DOBBIAMO TROVARE Q_1

$Q_1 = \dot{m}(h_e - h_i) = 55{,}56 \frac{kg}{s}(3430 - 528{,}95)\frac{kJ}{kg} = 161{,}2\ MW$

$\dot{m} h_i = \dot{m}_s h_R + \dot{m}_A h_A$

$h_i = \frac{\dot{m}_s h_R + \dot{m}_A h_A}{\dot{m}} = \frac{100\ t/h \cdot 640.38 \frac{kJ}{kg} + 100\ t/h \cdot 417{,}51 \frac{kJ}{kg}}{200\ t/h} = 528{,}95 \frac{kJ}{kg}$

$\dot{m}_b = \frac{161{,}2 \cdot 10^3\ kJ/s}{0{,}88 \cdot 39774{,}6\ kJ/kg} = 4{,}6\ kg/s$

$q_b = \frac{\dot{m}_b}{P_u} = \frac{4{,}6\ kg/s}{33{,}6 \cdot 10^3\ kJ/s} = 1{,}37 \cdot 10^{-4} \frac{kg}{kJ}$

$= 0{,}49 \frac{kg}{kWh}$

$\eta_G = \frac{P_u}{\dot{m}_b H_i} = \frac{33{,}6 \cdot 10^3\ kJ/s}{4{,}6\ kg/s \cdot 39774{,}6\ kJ/kg} = 0{,}184$

$\eta_U = \frac{P_u + \dot{Q}_U}{\dot{m}_b H_i} = \frac{33{,}6 \cdot 10^3\ kJ/s + 105{,}6 \cdot 10^3\ kJ/s}{4{,}6 \frac{kg}{s} \cdot 39774{,}6\ kJ/kg} = 0{,}88$

$\eta_U = \frac{Q_1}{\dot{m}_b H_i} = \frac{161{,}2 \cdot 10^3\ kJ/s}{4{,}6 \frac{kg}{s} \cdot 39774{,}6\ kJ/kg} = 0{,}88$

$\dot{Q}_U = \dot{m}_s(h_s - h_R) + \dot{m}_f(h_f - h_a) =$

$h_s = 2929{,}8\ kJ/kg$

$h_R = 640{,}38\ kJ/kg$

$h_f = 2683{,}96\ kJ/kg$ → dalle TABELLE VAPORE SATURO

$h_a = 417{,}51\ kJ/kg$ → dalle TABELLE LIQUIDO SATURO

$= 21{,}78 \frac{kg}{s}(2929{,}8 - 640{,}38)\frac{kJ}{kg} + 21{,}78 \frac{kg}{s}(2683{,}96 - 417{,}51)\frac{kJ}{kg} = 126562{,}06\ kW = 126{,}6\ MW$

$\dot{m}_{ub} = \frac{Q_1}{\eta_{bTh}} = \frac{133,8 \cdot 10^3 \text{ kJ/s}}{0,9 \quad 39774,6 \text{ kJ/kg}} = 3,7 \text{ kg/s}$

$\eta_{Gt} = \frac{P_u}{\dot{m}_{ub} \, H_i} = \frac{}{3,45 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 39774,0 \text{ kJ/kg}} =$

$Q_1 = \dot{m}(h_e - h_i) = 41,07 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (3470 - 260,08) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 133,8 \text{ MW}$

$\dot{m}_u h_R + (\dot{m} - \dot{m}_u) h_A = \dot{m} h_i \rightarrow h_i = \frac{\dot{m}_u h_R + (\dot{m} - \dot{m}_u) h_A}{\dot{m}}$ (=)

$h_A \rightarrow p_A = p_t - 0,05 \text{ bar} = 0,005 \text{ MPa}$ e $x = 0$

$h_A = 137,72 \text{ kJ/kg}$

$h_R \rightarrow p_R = p_s = 2 \text{ bar} = 0,2 \text{ MPa}$ e $x = 0$

$h_R = 504,8 \text{ kJ/kg}$

h_i (=) $\frac{13,89 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 504,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 27,18 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 137,72 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{41,07 \text{ kg/s}} =$ 260,08 $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$\eta_{GU} =$

$IU = \frac{P_u + Q_u}{\dot{m}_{ub} H_i}$

$Q_U = \dot{m}_u (h_s - h_R)$

$h_d = 2803 \frac{kJ}{kg}$ → tabella SATURED VAPOR a 3 MPa

$h_f = 2756 \frac{kJ}{kg}$ → " " " a 0,6 MPa

$h_R = 1008 \frac{kJ}{kg}$ → " " LIQUID a 3 MPa

$h_a = 670,5 \frac{kJ}{kg}$ → " " " a 0,6 MPa

$\dot{Q}_U = \dot{m}_s (h_d - h_R) + (\dot{m} - \dot{m}_s)(h_f - h_a) =$

$= 83,33 \frac{kg}{s} (2803 - 1008) \frac{kJ}{kg} + 55,56 \frac{kg}{s} (2756 - 670) \frac{kJ}{kg} =$

$= 165\,724 \text{ kW}$

↳ ci servirà poi dopo per calcolare $\dot{m}_b$

- Calcoliamo $\dot{m}_b$

$\eta_b = \frac{\dot{Q}_1}{\dot{m}_b H_i} \rightarrow \dot{m}_b = \frac{\dot{Q}_1}{\eta_b H_i}$

TROVIAMO $\dot{Q}_1$

La potenza termica viene dal ACQUA-VAPORE

$\dot{Q}_1 = \dot{m} (h_e - h_j)$

PRIMO PRINCIPIO AL VOLUME DI CONTROLLO CHE CONTIENE IL DEGASATORE

$\dot{m}_s (h_s - h_d) = \dot{m} (h_j - h_{r+a})$

dove $\dot{m}_s h_r + (\dot{m} - \dot{m}_s) h_a = \dot{m} (h_{r+a})$

$\rightarrow h_{r+a} = \frac{\dot{m}_s h_r + (\dot{m} - \dot{m}_s) h_a}{\dot{m}} =$

$= \frac{\quad}{\quad} = 783,1 \text{ kJ/kg}$

DI CONSEGUENZA TROVO h_j

$h_j = \frac{\dot{m}_s (h_s - h_d)}{\dot{m}} h_{r+a} =$

$= \quad = 842,9 \text{ kJ/kg}$

ESERCIZIO 5

$P_u^{TG} = 48{,}44\ MW$
$\eta_{mTG} = 0{,}99$
$\dot{m}_g = 442{,}4\ t/h = 131{,}22\ kg/s$
$c_{pg} = 1{,}144\ kJ/kgK$
$T_u = 540°C = 813\ K$
$\eta_D = 0{,}996$
$H_i = 47400\ kJ/kg$
$p_0 = 100\ kPa$
$T_0 = 25°C = 298\ K$

$\dot{m}_v = 59\ t/h$
$p_e = 4\ MPa$
$T_e = 400°C$
$p_s = 1\ MPa$
$T_s = 300°C$
$\dot{m}_u = 31\ t/h$
$T_r = 85°C$
$p_t = 15\ kPa$
$P_u^{TV} = 9{,}816\ MW$
$\eta_{mTV} = 0{,}995$

da MOLLIER $h_s = 3050\ kJ/kg$

η_G
IU
x_f
T_s

$P_u = P_u^{TG} + P_u^{TV} = (48{,}44 + 9{,}816)\ MW = 58{,}256\ MW$

$\eta_{bmb\,Hi} = P_i^{TG} + \dot{m}_g c_{pg} (T_u - T_0)$ TRASCURIAMO $\dot{m}_a(h_a - h_0)$ e $\dot{m}_D(h_D - h_0)$

$$\dot{m}_b = \frac{P_u^{TG}/\eta_m + \dot{m}_g c_{pg}(T_u - T_0)}{\eta_D H_i} = \frac{48{,}93 \cdot 10^3\ \frac{kJ}{s} + 131{,}22\ \frac{kg}{s} \cdot 1{,}144\ \frac{kJ}{kgK} \cdot 519\ K}{0{,}996 \cdot 47400\ kJ/kg}$$

$$= 2{,}69\ kg/s$$

$$\eta_G = \frac{P_u}{\dot{m}_b H_i} = \frac{58{,}256 \cdot 10^3\ kJ/s}{2{,}69\ kg/s \cdot 47400\ kJ/kg} = 0{,}457$$

$\dot{Q}_U = \dot{m}_v (h_s - h_r)$

MOLLIER

$T_r = 85°C$ con $x = 0$ (TABELLE)

$$IU = \frac{P_u + \dot{Q}_U}{\dot{m}_b H_i}$$

ESERCITAZIONE 8

ESERCIZIO 5

NPSH = 7 m

T = 150 C

p_a = 4,76 bar

y_a = 3 m

z_i ?

$$z_i = \frac{p_a - p_v}{\rho g} - y_a - NPSH_R$$

$$= \frac{(1 - 4{,}76)\,bar}{917{,}06 \frac{kg}{m^3} \cdot 9{,}81 \frac{m}{s^2}} - 3\,m - 7\,m$$

$$= \frac{-3{,}76\,10^5 \frac{kg}{m\,s^2}}{917{,}06 \frac{kg}{m^2} \cdot 9{,}81 \frac{m}{s^2}} - 3\,m - 7\,m = (-41{,}8 - 3 - 7)\,m = -51{,}8$$

dalle tabelle → p_v = 4,76 bar ⟹ $\Delta p = 0$

$z_i = -y_a - NPSH_R = (-3 - 7)\,m = \boxed{-10\,m}$

non è giusto ?