



# POLITECNICO DI MILANO

## DIPARTIMENTO DI ENERGIA

### SISTEMI ENERGETICI PER INGEGNERIA FISICA

02/03/2017

#### Allievi fisici

Allegare alle soluzioni il presente testo indicando (in STAMPATELLO):

NOME E COGNOME.....

**Tempo a disposizione: 2 ore 30 minuti**

**Leggere attentamente le avvertenze:** Indicare chiaramente nome e cognome su tutti i fogli da consegnare. Rispondere brevemente ma con chiarezza solamente ai quesiti posti, evidenziando le necessarie unità di misura. Calcoli e spiegazioni - pur corretti in sé - che non rispondono ai quesiti posti non saranno considerati ai fini della valutazione del compito. Nel caso sia richiesta una soluzione grafica indicare con chiarezza sui grafici allegati la soluzione proposta.

**Tenere spenti i telefoni cellulari, non usare appunti, dispense, etc.** Riportare i risultati richiesti su questo foglio e procedimento/calcoli intermedi sul foglio a quadretti.

**Punteggio:** Punteggio totale pari a 35. Il docente si riserva di normalizzare i risultati in trentesimi con coefficienti correttivi in base all'esito medio delle risposte date.

#### **Dati per la risoluzione dei quesiti**

Costante universale dei gas  $\mathfrak{R} = 8314 \text{ J}/(\text{kmol}\cdot\text{K})$

**ESERCIZIO 1 (punti 4)**

Un impianto idroelettrico (densità acqua=  $1000 \text{ kg/m}^3$ , viscosità dinamica=  $1.137 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ) lavora tra due bacini A e B rispettivamente alla quota  $h_A=1000 \text{ m}$  e  $h_B=450 \text{ m}$ . Il condotto di aspirazione è costituito da 2 tubi in parallelo identici di diametro 500 mm e lunghezza 3000 m. Il condotto di scarico ha un diametro di 300 mm e lunghezza 50 m. La velocità nel tubo di scarico è pari a 1.5 m/s. La scabrezza assoluta dei tubi è 0.2 mm, il coefficiente  $K_c$  delle perdite di carico concentrate è 6 per tutti i condotti. Assumendo un rendimento idraulico della turbina di 86% e un rendimento organico elettrico di 98%, si chiede di:

- Rappresentare lo schema di impianto evidenziando le portate nei condotti
- Determinare il coefficiente di attrito "f" dei condotti (vedi diagramma Moody allegato)
- Determinare la massima potenza idealmente producibile dall'impianto
- Determinare le perdite dell'impianto
- Calcolare la potenza netta prodotta dalla turbina e il rendimento globale di impianto

**ESERCIZIO 2 (punti 4)**

Una portata volumetrica di  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  di vapore d'acqua si trova alla temperatura di  $T_1=167^\circ\text{C}$  e alla pressione  $P_1=50 \text{ kPa}$ . Il vapore viene raffreddato isobaricamente (in uno scambiatore di calore) fino ad avere una miscela bifase con titolo pari a 90%. Successivamente viene laminato adiabaticamente fino alla pressione  $P_3=0.02 \text{ bar}$ . Si chiede di:

- Identificare gli stati 1-2-3 e le trasformazioni  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$  (sul diagramma h-s allegato)
- Calcolare il lavoro e la potenza termica delle varie trasformazioni
- Se la trasformazione  $1 \rightarrow 3$  fosse eseguita in una turbina, quale sarebbe il suo  $\eta_{is}$ ?

**ESERCIZIO 3 (punti 5)**

Una goccia di piombo liquido, schematizzabile come una sfera di diametro pari a 2 mm, alla temperatura iniziale di 500°C cade con una velocità di 3 m/s in aria in quiete a 25°C. Nota la temperatura di solidificazione del piombo (357°C) e i valori di densità, calore specifico e conduttività termica (10250 kg/m<sup>3</sup>, 150 J/kg/K, 17 W/m/K). Si calcoli:

- il coefficiente di scambio termico convettivo
- il numero di Fourier per t=0.5 s
- la minima durata della caduta affinché si raggiunga la temperatura di solidificazione
- il calore scambiato nel processo di raffreddamento

Correlazioni per geometria sferica (Dimensione caratteristica → diametro della sfera)

Convezione Naturale	Convezione Forzata	Proprietà Aria @ T <sup>∞</sup> =25°C		
$Nu = 2 + \frac{0.589 Ra^{0.25}}{\left(1 + \left(\frac{0.469}{Pr}\right)^{16}\right)^{4/9}}$	$Nu = 2 + 0.6 Re^{0.5} Pr^{1/3}$	cp	1006.73	J/kgK
		k	0.0262	W/mK
		μ	1.873E-05	Pa*s
		densità	1.15	kg/m <sup>3</sup>

**ESERCIZIO 4 (punti 7)**

Si consideri un ciclo Joule-Brayton chiuso ad elio (gas perfetto monoatomico, MM=4 kg/kmol) con temperatura massima di 900°C e temperatura minima di 300°C. La temperatura di fine compressione è pari a 600°C. Il rendimento isoentropico di compressore e turbina è rispettivamente 88% e 92% mentre il rendimento organicoelettrico è 99%. Sapendo che la potenza netta è 10 MW, si chiede di:

- Disegnare lo schema di impianto e il ciclo termodinamico sul piano T-s riportando i valori di T e s dei punti (assumere s<sub>1</sub>=100 J/kg/K).
- Determinare il lavoro specifico del compressore, della turbina e il lavoro netto
- Determinare la portata massica di fluido circolante e la potenza termica entrante nel ciclo
- Determinare il rendimento netto e confrontarlo con il η di un ciclo semplice ideale
- Assumendo che le sorgenti di temperatura siano a T<sub>1</sub> e T<sub>3</sub>, calcolare η<sub>II</sub> del ciclo.

Che effetto avrebbe la pratica della rigenerazione sul ciclo semplice calcolato precedentemente (motivare la risposta)?

**QUESITO 5 (Rispondere ad una sola delle due domande) (punteggio 7.5)**

1- Ricavare il Principio di conservazione quantità di moto per flusso monodimensionale in condizioni stazionarie. Riportare graficamente le componenti per una curva (90°) di un condotto con sezione di ingresso pari a metà della sezione di uscita (fluido incomprimibile). (Attenzione alle proporzioni)

2- Discutere la necessità che spinge verso l'adozione di superfici alettate. Ricavare l'espressione del profilo di temperatura e la potenza scambiata (evidenziare le ipotesi utilizzate) per un'aletta di lunghezza infinita. Definire il concetto di efficacia ed efficienza.

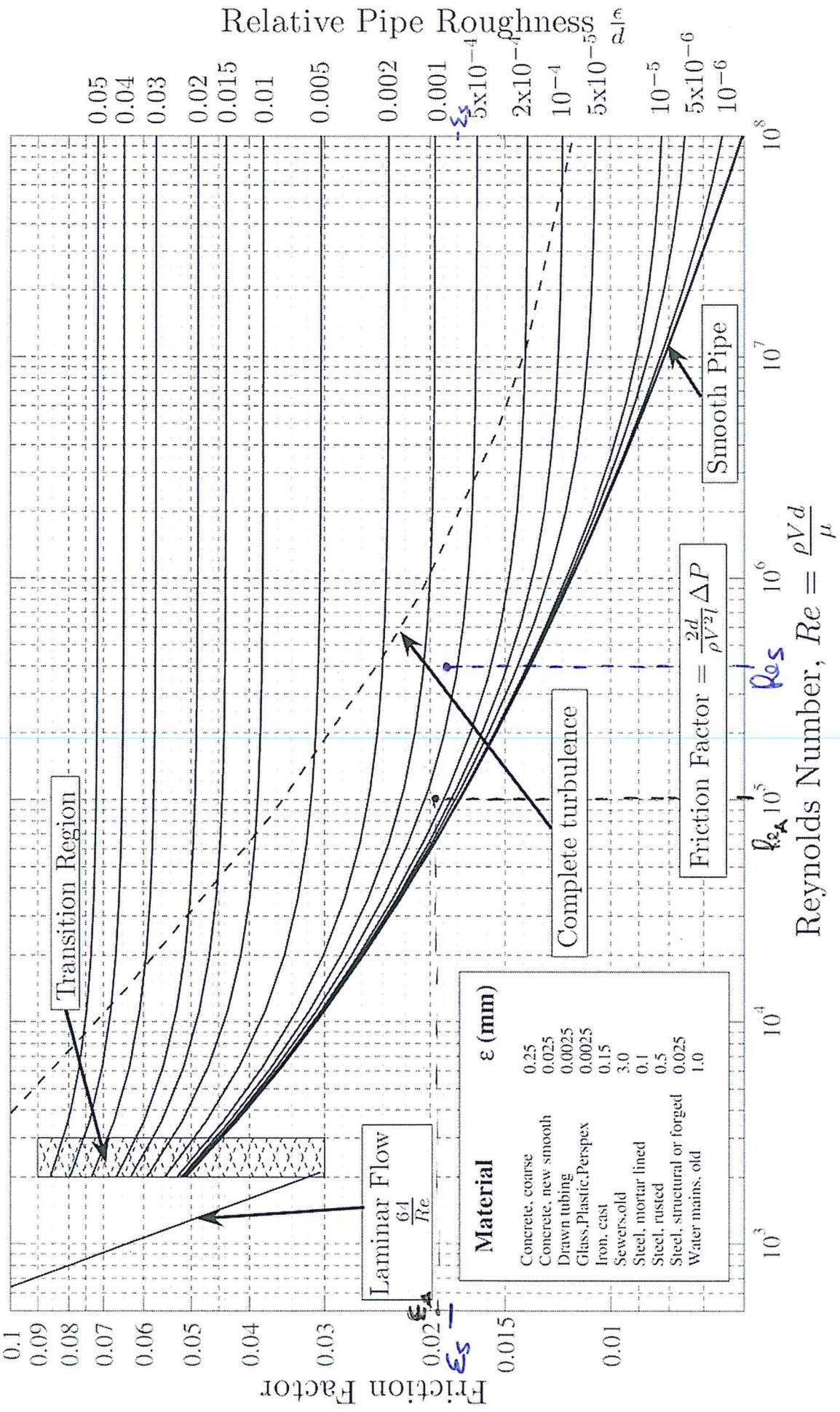
**QUESITO 6 (DOMANDE A RISPOSTA GUIDATA) (punteggio 7.5)**

Rispondere alle seguenti 15 domande a risposta guidata. Segnare la casella relativa alla **sola risposta corretta** (0.5 punto per risposta corretta, -0.125 punti se sbagliata).

Il calore specifico a volume costante c <sub>v</sub> [J/kgK] per un gas perfetto biatomico:	<input type="checkbox"/> È pari a 7/2R/MM <input type="checkbox"/> > c <sub>p</sub> <input type="checkbox"/> È uguale per tutti i gas perfetti biatomici <input checked="" type="checkbox"/> E' inversamente proporzionale all massa molecolare
In una parete (spess=50 cm, k=45 W/m/K) c'è una generazione di potenza ( $\phi=10 \text{ W/m}^3$ ). Una faccia è adiabatica mentre l'altra a 150°C, in condizioni stazionarie:	<input type="checkbox"/> Profilo T parabolico con massimo nel centro <input type="checkbox"/> Flusso termico è 5 W/m <sup>2</sup> indipendente da spessore <input checked="" type="checkbox"/> Profilo T parabolico con massimo sulla sup.adiabatica <input type="checkbox"/> Flusso termico dipendente da k

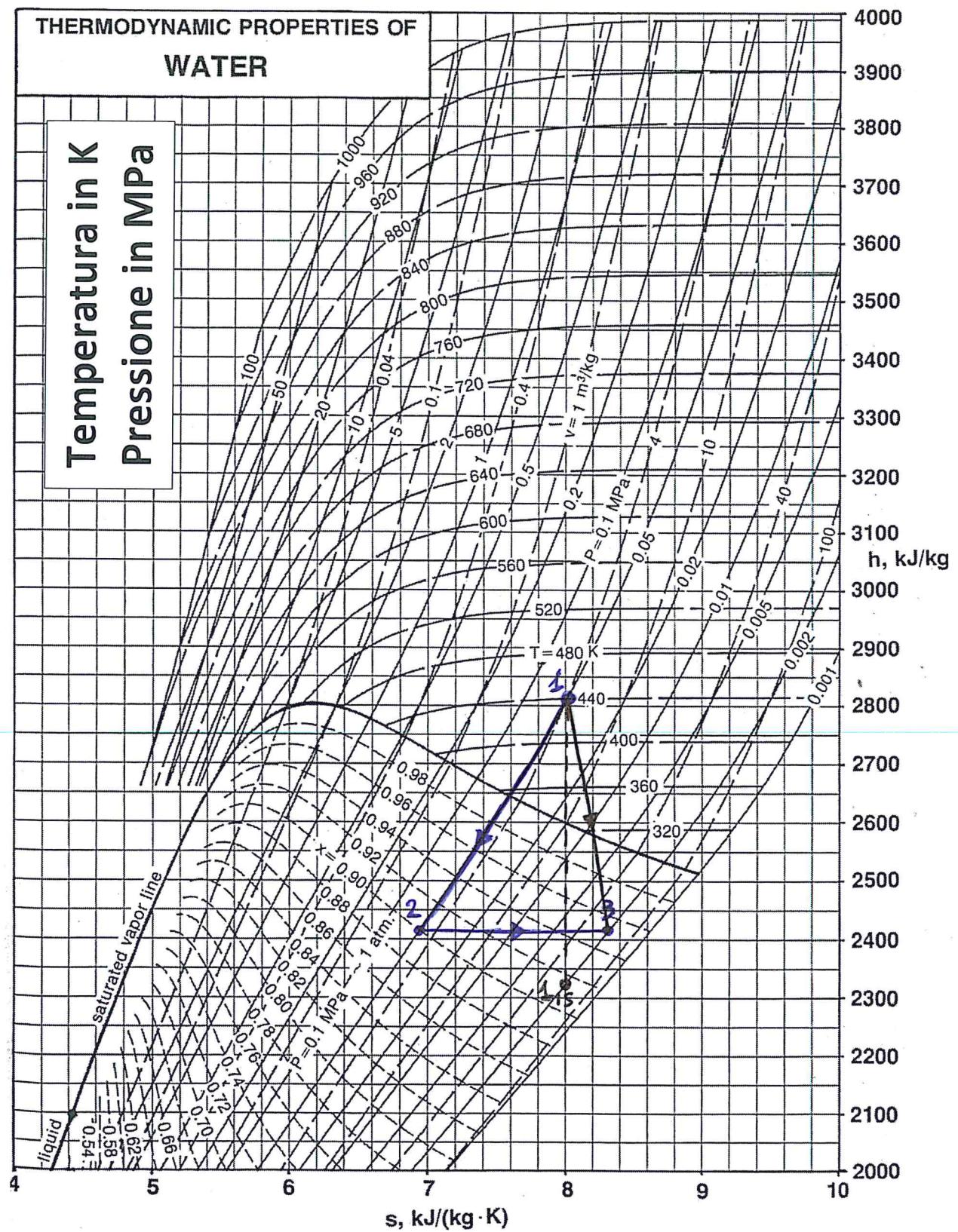
In un ciclo a Rankine saturo ideale, la rigenerazione continua ideale implica:	<input type="checkbox"/> Una riduzione del rendimento del ciclo <input type="checkbox"/> Un aumento del lavoro del ciclo <input checked="" type="checkbox"/> Un rendimento di Il principio pari a 1 <input type="checkbox"/> L'aggiunta di 2 scambiatori a superficie
Due tubi in parallelo (A e B) di stessa lunghezza e coefficiente di attrito, hanno $D_A=4D_B$ , il legame tra le portate massiche m:	<input type="checkbox"/> $m_A=4m_B$ <input type="checkbox"/> $m_A=1/16m_B$ <input type="checkbox"/> $m_A=m_B$ <input checked="" type="checkbox"/> $m_A=32 m_B$
Una lastra a $35^\circ\text{C}$ è in una stanza con aria a $15^\circ\text{C}$ ( $h=150 \text{ W/m}^2\text{K}$ ). Le pareti sono anch'esse a $15^\circ\text{C}$ . Se $\varepsilon_{\text{lastra}}=0.1$ e pareti come corpi neri:	<input checked="" type="checkbox"/> Il contributo radiativo è trascurabile <input type="checkbox"/> $Q_{\text{conv}}/Q_{\text{rad}}$ cresce con $T_{\text{lastra}}$ <input type="checkbox"/> Il flusso termico è $1540.8 \text{ W/m}^2$ <input type="checkbox"/> La potenza termica scambiata è $3120 \text{ W}$
Dati due corpi neri (A e B) a $T_A=1000 \text{ K}$ e $T_B=2000 \text{ K}$ : $\lambda_{\max} \rightarrow$ Lungh.onda di massima emissione, $E \rightarrow$ Pot.Emissivo totale	<input type="checkbox"/> $\varepsilon_A < \varepsilon_B$ <input type="checkbox"/> $E_A=8E_B$ <input checked="" type="checkbox"/> $\lambda_{\max A}=2\lambda_{\max B}$ <input type="checkbox"/> Nessuna delle precedenti
In una laminazione adiabatica: 1 → Stato iniziale 2 → Stato finale	<input type="checkbox"/> Per fluido reale è sempre $T_2 < T_1$ <input type="checkbox"/> Per gas perfetto ( $cp=\text{cost}$ ) può essere $T_2 < T_1$ <input type="checkbox"/> Se $T_1 > T_2$ , il fluido cede calore all'esterno <input checked="" type="checkbox"/> Per fluido reale può essere $T_2 > T_1$
Per una superficie di scambio alettata (con alette apice adiabatico a sezione quadrata): $L \rightarrow$ Lunghezza b → Lato quadrato	<input checked="" type="checkbox"/> Se $b \downarrow$ allora efficacia ( $\varepsilon$ ) $\uparrow$ <input type="checkbox"/> Se $h \uparrow$ allora $m \downarrow$ <input type="checkbox"/> Se $L \downarrow$ allora $(T(L)-T^\infty) \downarrow$ <input type="checkbox"/> Se $L \uparrow$ allora efficienza ( $\eta$ ) $\uparrow$
In un ciclo Joule-Brayton ideale aperto, all'aumentare del rapporto di compressione (a pari $T_1$ e $T_3$ ):	<input type="checkbox"/> Il rendimento presenta un massimo <input type="checkbox"/> Il lavoro netto aumenta <input type="checkbox"/> La potenza del compressore diminuisce <input checked="" type="checkbox"/> La $T_4$ diminuisce
A pari rapporto di compressione, considerando cicli ideali che elaborano lo stesso fluido:	<input checked="" type="checkbox"/> $\eta_{\text{otto}} > \eta_{\text{diesel}}$ <input type="checkbox"/> $\eta_{\text{otto}} = \eta_{\text{diesel}}$ solo se $T_{\text{max\_otto}} < T_{\text{max\_diesel}}$ <input type="checkbox"/> $\eta_{\text{otto}} > \eta_{\text{diesel}}$ solo se $T_{\text{max\_otto}} > T_{\text{max\_diesel}}$ <input type="checkbox"/> $\eta_{\text{otto}} < \eta_{\text{diesel}}$
La relazione $dh-vdp=du+pdv$ :	<input type="checkbox"/> Solo per i sistemi aperti monocomponenti <input checked="" type="checkbox"/> Sempre <input type="checkbox"/> Solo lungo un'isobara <input type="checkbox"/> Solo per gas perfetti
Per determinare le condizioni di equilibrio per una miscela di 2 componenti in fase liquida, sono necessarie:	<input type="checkbox"/> 1 variabile intensiva <input type="checkbox"/> Problema indeterminato (non sono noti i componenti) <input type="checkbox"/> P e T sono in corrispondenza biunivoca <input checked="" type="checkbox"/> 3 variabili intensive indipendenti
La produzione di energia elettrica con un ciclo combinato si basa su:	<input type="checkbox"/> Ciclo Rankine a carbone + recupero termico da fumi <input type="checkbox"/> Accoppiamento tra turbina a gas e energia rinnovabile <input checked="" type="checkbox"/> Accoppiamento tra turbina a gas e ciclo a vapore <input type="checkbox"/> Combustibili fossili solidi
Per una macchina motrice indicare l'affermazione vera:	<input type="checkbox"/> Pot. all'albero > Pot. ideale > Pot. Elettrica <input checked="" type="checkbox"/> Pot. ideale > Pot. all'albero > Pot. Elettrica <input type="checkbox"/> Pot. Elettrica > Pot. ideale > Pot. all'albero <input type="checkbox"/> Pot. Elettrica > Pot. all'albero > Pot. ideale
3 kg/s di acqua ( $c=4.2 \text{ kJ/kgK}$ ) a $150^\circ\text{C}$ fluiscono in tubo ( $D=10\text{cm}$ ) che si trova in un ambiente a $20^\circ\text{C}$ . Se $T_{\text{out}}=50^\circ\text{C}$ e il coefficiente globale di scambio è $25 \text{ W/m}^2\text{K}$ :	<input checked="" type="checkbox"/> La lunghezza L del tubo è circa 2.35 m <input type="checkbox"/> Il calore scambiato è $1260 \text{ kJ/kg}$ <input type="checkbox"/> $\Delta T_{\text{ml}}=341.35 \text{ K}$ <input type="checkbox"/> Differenza temperatura minima acqua-aria è $130^\circ\text{C}$

# Moody Diagram

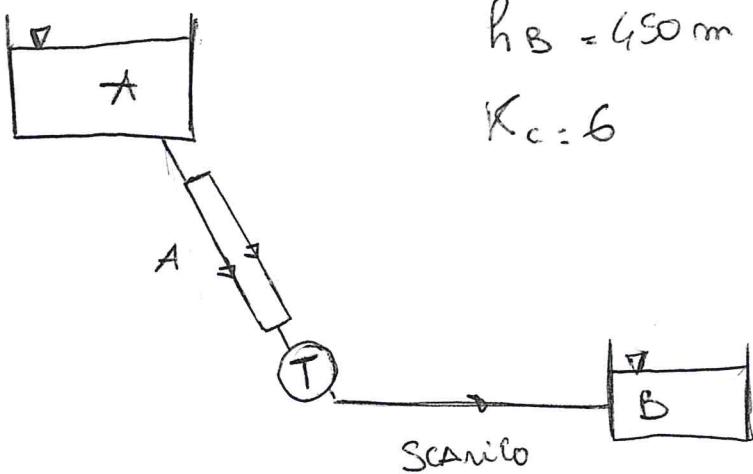


THERMODYNAMIC PROPERTIES OF  
WATER

Temperatura in K  
Pressione in MPa



Issue 02/03/2017



$$h_A = 1000 \text{ mm}$$

$$D_A = 500 \text{ mm} \quad L_A = 3000 \text{ mm}$$

$$h_B = 450 \text{ mm}$$

$$D_S = 300 \text{ mm} \quad L_S = 50 \text{ mm}$$

$$K_c = 6$$

### \*TUBO Scuilo\*

$$N_S = 1,5 \text{ m/s}$$

$$A_S = \frac{\pi D_S^2}{4} = 0,070685 \text{ m}^2$$

$$m_S = \rho A_S N_S = 106,03 \text{ kg/s}$$

- PERMUTE CAVICO Distribuite

$$Re_S = \frac{\rho N_S D_S}{\mu} = 3,96 \cdot 10^5 \quad \frac{\epsilon}{D_S} = 6,67 \cdot 10^{-6} \quad \text{SEABNESSA RELATIVA}$$

$$\delta \rightarrow \text{as Abaco di Moody} \quad f_S = 0,01873$$

$$\gamma_{S,01873} = f_S \frac{L_S}{D_S} \frac{N_S^2}{2} = 3,5115 \text{ J/kg}$$

- PERMUTE Concentrata

$$\gamma_{S,conc} = K_c \frac{N_S^2}{2} = 6,75 \text{ J/kg}$$

$$\gamma_S = \gamma_{S,conc} + \gamma_{0,conc} = 10,25 \text{ J/kg}$$

## \* ASPIRATION \*

$$\dot{m}_A = \frac{\dot{m}_S}{2} \quad (\text{Tubi idraulici in PANACEO}) = 53,01 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$N_A = \frac{\dot{m}_A}{g A_A} = \frac{\dot{m}_A}{\rho \frac{\pi D_A^2}{4}} = 0,27 \text{ m/s}$$

### - PENONE Distributore

$$V_{A,D} = f_A \frac{L_A}{D_A} \frac{N_A^2}{2} = 4,43 \frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{min}} \quad \text{dopo Moer} \left( \frac{\varepsilon_A}{D_A} = 4 \cdot 10^{-4}; Re_A = 1,13 \cdot 10^4 \right)$$

$f_A \rightarrow 0,01919$

### - PENONE Concentrato

$$V_{A,C} = K_C \frac{N_A^2}{2} = 0,2187 \frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{min}}$$

$$V_{\text{inflato}} = V_{S,0} + V_{S,C} + V_{A,D} + V_{A,C} = 14,678 \frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{min}}$$

$$E_{10} = (Z_B - Z_A) g = -5,396 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$$

$$P_{\text{tot, netto}} = \dot{m}_S (E_{10}) = -572 \text{ kW}$$

$$P_{\text{tot, netto, reale}} = \dot{m}_S (E_{10} - V_{\text{inflato}}) \cdot \eta_{\text{turb, Long-Ec}} = -481 \text{ kW}$$

$$\eta_{\text{inflato}} = \frac{P_{\text{tot, netto, reale}}}{P_{\text{tot, netto}}} = 0,8405$$

$$② V_1 = 5 \text{ m}^3/\text{s} \quad T_1 = 16^\circ\text{C} \quad P_1 = 50 \text{ kPa}$$

$$P_2 = P_1 \begin{pmatrix} \text{RAFFREDDAMENTO} \\ \text{ADIBATICO} \end{pmatrix} \quad X_2 = 0,9$$

$$P_3 = 0,02 \text{ bar}$$

$$\rightarrow \text{OTTENUTO il Volume Specieco } V_1 = 4,06 \text{ m}^3/\text{kg}$$

e definisco lo STATO 1  $h_1 = 2813,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$   $s_1 = 8,02 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$

$$\dot{m} = \dot{V} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] / V_1 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right] = 1,235 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad \underline{\text{POTERIA MASSIMA}}$$

$$\rightarrow \text{STATO 2} \rightarrow \text{RAFFREDDAMENTO ISOBARO fino a } X_2 = 0,9$$

$$h_2 = 2614,75 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad T_2 = 81,3^\circ\text{C} \quad s_2 = 6,943 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$\rightarrow \text{Lavorazione Adiabatica} \rightarrow \text{ISOENTROPICA} \quad h_3 = h_2 \quad \text{fino a}$$

$$P_3 = 0,02 \text{ bar} \quad s_2 = 6,943 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \quad T_3 = 17,5^\circ\text{C} \quad X_3 = 0,952$$

$\rightarrow$  CAVONO NUOVE TRASFORMAZIONI

$$l_{1 \rightarrow 2} = 0 \quad l_{2 \rightarrow 3} = 0$$

$\rightarrow$  POTERIA TERMICA

$$Q_{1 \rightarrow 2} = \dot{m} (h_1 - h_2) = 492,26 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

$$Q_{2 \rightarrow 3} = 0 \quad (\text{lavorazione Adiabatica})$$

$\rightarrow$  TRASFORMAZIONE 1 → 3 IN TURBINA

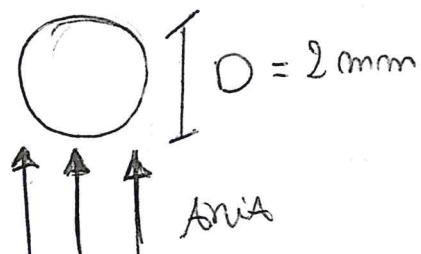
$$\Delta h_{\text{NETTO}} = h_1 - h_3 = 398,58 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Delta h_{\text{IS}} = h_1 - h_{3,15} = 485,26 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$P_h \left( \overset{\circ}{s_1}, P_3 \right) = 2328,09 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad \begin{pmatrix} \text{SEQUIMENTO VERTICALE} \\ \text{NEL DIAGRAMMA DI} \\ \text{MOLIERE} \end{pmatrix}$$

$$\eta_{IS} = \frac{\Delta h_{inlet}}{\Delta h_{IS}} = 0,82$$

③ SFERA di piombo in CALORE



$$T_{\infty} = 25^{\circ}\text{C} \quad N_{\infty} = 3 \text{ m/s} \quad T_{in(t=0)} = 500^{\circ}\text{C}$$

$$h_{\infty} = ? \quad T_{fin(t)} = 35^{\circ}\text{C}$$

SITUAZIONE CONVEZIONE FORZATA

Anis in QUIETE E SFERA IN CALORE

$$Nu = f(Re, Pr)$$

\* CALCOLO COEFF. SISTEMA TERMICO CONVENTIVO \*

$$Nu = 2 + 0,6 \left( \frac{Re}{Pr} \right)^{0,5} = 12,3$$

$$\frac{C_p \mu}{K} = 0,72$$

$$\frac{N_{\infty} D}{\mu} = 368,4$$

$$h = \frac{Nu K}{D} = 161,4 \frac{W}{m^2 K}$$

APPROCCIO PARSEOTTI CONCENTRATO

$$Bi = \frac{h(D)}{K \delta} = 3,362 \cdot 10^{-3} < 0,1 \quad (\text{APPROXIMAZIONE ACCETTABILE})$$

$$L_c = \frac{V}{A} = \frac{\frac{4}{3} \pi r^3}{4 \pi r^2} = \frac{r}{3} = \frac{D}{6}$$

$$Fou = \frac{\alpha t}{L_c^2} = 49,8 \quad (\text{Numero di Fourier} \times t = 0,50)$$

④

Temperatura finale  $\approx 35^\circ\text{C}$

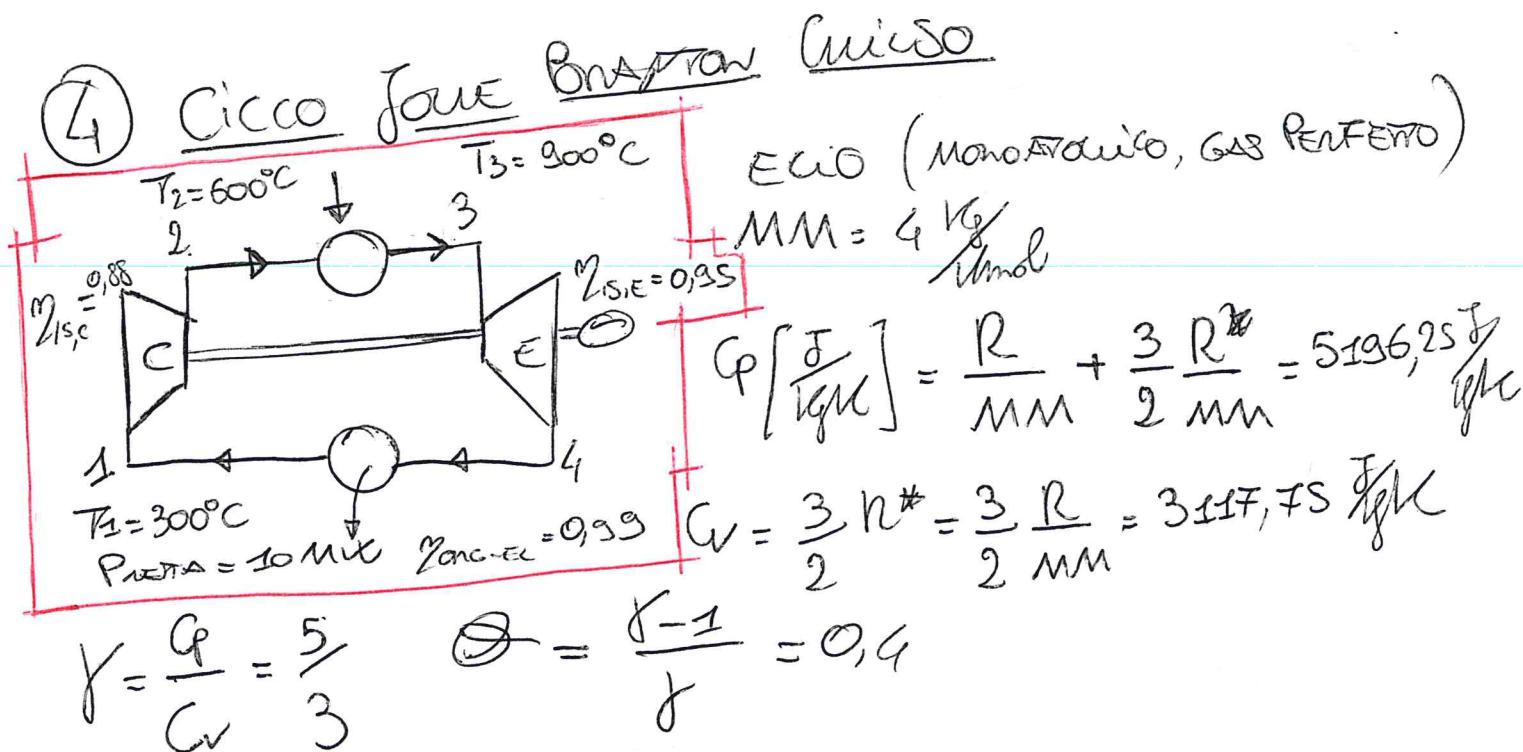
$$\Theta_{in}(t=0) = T_{in} - T_\infty = 475^\circ\text{C}$$

$$\Theta_{fin}(t) = T_{fin} - T_\infty = 332^\circ\text{C}$$

$$t = - \frac{g V c}{h A} \ln \left( \frac{\Theta_{fin}}{\Theta_{in}} \right) = 1,14 \text{ s}$$

CALORE Scambiato con SFERA

$$Q = g_c V (T_{fin} - T_{in}) = 0,92 \text{ J}$$



$\rightarrow$  COMPRESSEONE  
 $\Delta T_{NEALE} = T_2 - T_1 = 600^\circ\text{C} - 300^\circ\text{C} = 300^\circ\text{C}$

$$\Delta T_{IS} = \Delta T_{NEALE} \cdot \gamma_{IS, \text{carn}} = 264^\circ\text{C}$$

$$T_{2,IS} = T_1 + \Delta T_{IS} = 564^\circ\text{C}$$

$$\beta = \left( \frac{T_{2,IS}}{T_1} \right)^{1/\theta} = 2,58 \rightarrow \text{COMPRESSEONE ISOTERMICA GAS PERTFETTO}$$

(5)

$$\Delta S_{12} = C_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - R^* \ln \beta = 218,8 \text{ J/kgK}$$

$$l_{\text{caur}} = C_p (T_2 - T_1) = 1558,87 \text{ KJ/kg}$$

### ESPANSIONE

$$T_{4,1S} = T_3 / \beta^\Theta = 803,19 \text{ K} = 530,04^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{1S} = T_3 - T_{4,1S} = 369,96^\circ\text{C} \Rightarrow T_4 = -\Delta T_{1S} \cdot \gamma_{1S,\infty} + T_3 = 568,5^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{runs}} = C_p (T_3 - T_4) = 1826,28 \text{ KJ/kg}$$

$$\Delta S_{3 \rightarrow 4} = 118,315 \text{ J/kgK}$$

$$S_4 = \underbrace{S_3}_{\downarrow} + \Delta S_{3 \rightarrow 4} = 1971 \text{ J/kgK}$$

$$S_1 + \Delta S_{1 \rightarrow 3} = 100 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} + C_p \ln \frac{T_3}{T_1} - R^* \ln \beta = 1853,45 \text{ J/kgK}$$

$$l_{\text{netto}} = l_{\text{caur}} - l_T = 267,4 \text{ KJ/kg}$$

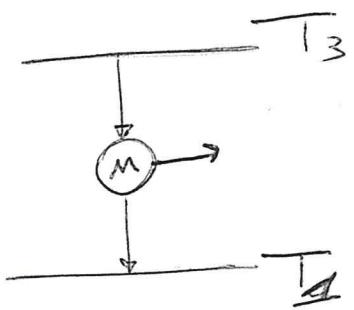
$$\dot{m} = \frac{P_{\text{NETTO}}}{l_{\text{netto}} \cdot \eta_{\text{eng-eu}}} = 37,8 \text{ kg/s} \quad (\text{Pompa eu o ciclo})$$

### POTERIA TERMICA ESTINTE

$$\dot{Q}_{\text{IN}} = \dot{m} C_p (T_3 - T_2) = 58,88 \text{ MW}$$

$$\eta_{I,\text{NETTO}} = \frac{\dot{m} l_{\text{netto}}}{\dot{Q}_{\text{IN}}} = 0,1698$$

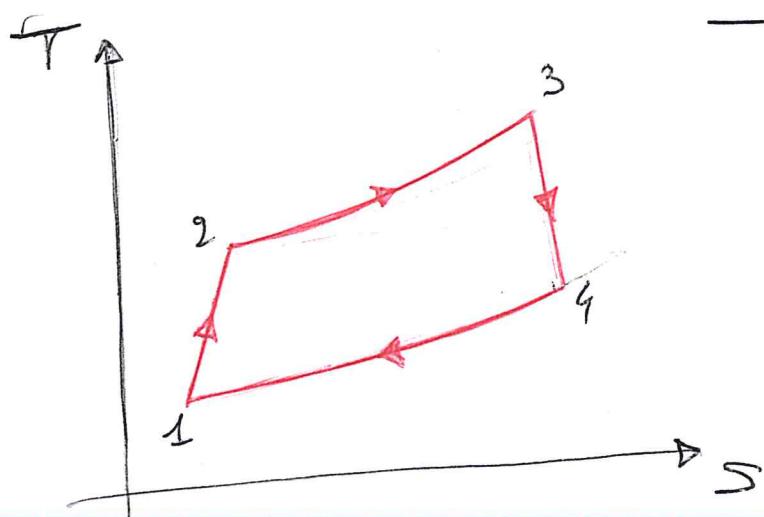
$$\text{rendimento Ciclo Brayton IDEALE} \quad \gamma_{I,\text{IDEAL}} = 1 - \beta^{-\Theta} = 0,315$$



ciclo Carnot operante tra  $T_3 = 900^\circ\text{C}$  e  $T_1 = 300^\circ\text{C}$

$$\eta_{\text{CARNOT}} = 1 - \frac{T_1}{T_3} = 0,511$$

$$\eta_{\text{II}} = \frac{\eta_{\text{NETO}}}{\eta_{\text{CARNOT}}} = 0,332$$



→ ESSENDO  $T_2 > T_4$  L'AGGIUNTA  
di un rigeneratore non porta NEBBE  
ACCRESCE VANTAGGIO

↓  
ORA HA SEI&O CA RIGENERATORE