

ESERCIZIO 1 7 punti

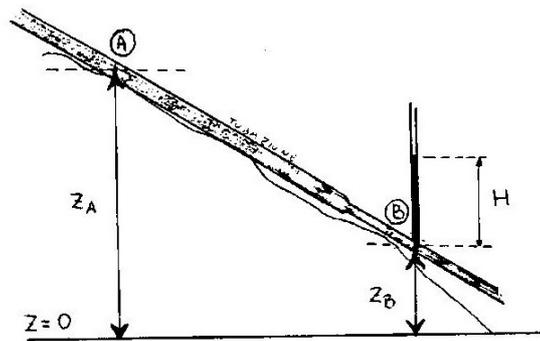
Una tubazione che trasporta acqua è posata sul declivio di una collina.

Si considerino due punti, denominati A e B, di tale tubazione. Nel punto A, la quota del terreno è Z_A e la tubazione ha un diametro interno D_a , mentre nel punto B la quota è Z_B ed il diametro interno è D_b .

Un manometro misura la pressione dell'acqua entro il tubo nel punto A ed indica il valore P_a . La portata d'acqua è Q . Il moto è permanente. Si consideri l'acqua come un fluido ideale.

Calcolare l'innalzamento H dell'acqua nel tubicino (liberamente comunicante con l'atmosfera) collegato alla tubazione nel punto B, rispetto alla quota del terreno nello stesso punto (vedere figura allegata).

Disegnare la linea dei carichi piezometrici e la linea dei carichi totali in modo qualitativamente corretto.



DATI

Quota terreno nel punto A :	$Z_A =$	150 m s.l.m.
Quota terreno nel punto B :	$Z_B =$	90 m s.l.m.
Diametro interno tubazione nel punto A :	$D_a =$	88 mm
Diametro interno tubazione nel punto B :	$D_b =$	80 mm
Pressione nel punto A :	$P_a =$	1,20 bar rel.
Portata d'acqua nella tubazione :	$Q =$	60 m ³ /h
Massa specifica dell'acqua :	$d =$	1.000 kg/m ³

CALCOLI

Velocità dell'acqua all'interno della tubazione nel punto A e nel punto B :	A	B
- sezione della tubazione nei due punti : $S = 3,14 \times D^2 / 4$	0,00607904	0,005024 m ²
- velocità del fluido nei due punti : $V = Q / S =$	2,74	3,32 m/s

Teorema di Bernoulli:

$$Z_A + P_a / (d \times g) + V_a^2 / 2g = Z_B + P_b / (d \times g) + V_b^2 / 2g$$

$$P_b = (Z_A - Z_B) \times (d \times g) + P_a + (V_a^2 - V_b^2) \times d / 2 \qquad P_b = 706.856 \text{ N/m}^2$$

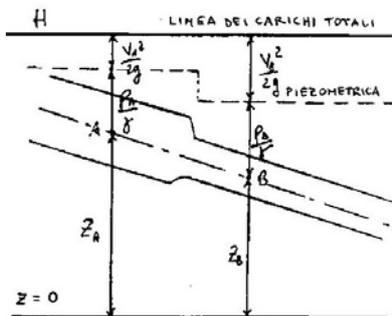
Il tubicino nel punto B è collegato alla parete laterale della tubazione e quindi in modo che l'acqua lambisca l'ingresso senza creare una pressione dinamica (cioè l'altezza cinetica viene persa).

Pertanto l'acqua nel tubicino arriva ad una quota totale Z_x pari alla quota piezometrica in B:

$$Z_x = Z_B + P_b / (d \times g) = 162,05 \text{ m}$$

L'innalzamento H sopra alla tubazione è pertanto pari a $Z_x - Z_B = P_b / (d \times g)$

$$H = P_b / (d \times g) = 72,05 \text{ m}$$



ESERCIZIO 2 10 punti

Una macchina frigorifera è basata su un ciclo termodinamico, caratterizzato dai dati sotto riportati.

La macchina è azionata da energia elettrica (che ha un prezzo di C_e Euro/kWh) e funziona per un tempo necessario per raffreddare un volume V di acqua dalla temperatura iniziale T_1 alla temperatura finale T_2 .

Calcolare:

- a. la potenza frigorifera della macchina;
- b. l'energia elettrica assorbita dal frigorifero nel tempo di funzionamento
- c. il costo complessivo dell'energia elettrica assorbita.

DATI

COP del frigorifero	COP =	3,0
lavoro assorbito per ogni ciclo	L =	50 Joule/ciclo
frequenza con la quale viene ripetuto il ciclo	F =	30 cicli/s (Hertz)
costo energia elettrica	C_e =	0,100 Euro/kWh
volume di acqua da raffreddare	V =	15 m ³
Temperatura iniziale dell'acqua	T ₁ =	30 °C
Temperatura finale dell'acqua	T ₂ =	10 °C

CALCOLI

energia frigorifera per ciclo	$E_f = L \times COP$	150 Joule/ciclo
potenza frigorifera	$P_f = E_f \times F$	4.500 W = kW 4,5
potenza elettrica	$P_e = L \times F$	1,5 kW
densità dell'acqua	d =	1.000 kg / m ³
calore specifico dell'acqua	c =	4,186 kJ / kg °C
massa di acqua	$m = V \times d$	15.000 kg
calore assorbito	$Q = c \times m \times (T_1 - T_2)$	349 kWh
tempo necessario per raffreddare vol. V	$T = Q / P_f$	77,52 h
energia elettrica totale consumata	$E_e = P_e \times T$	116,3 kWh
costo energia elettrica	$C = C_e \times E_e$	11,63 Euro

ESERCIZIO 3 16 punti

Una macchina motrice è basata su un ciclo termodinamico sviluppato su una massa m di metano (CH₄, gas poliatomico, con massa molare MM) e caratterizzato dalle seguenti trasformazioni:

- riscaldamento isocoro, a partire dal punto 1 (p_1 , T_1) sino al punto 2 (p_2);
- riscaldamento isobaro, sino al punto 3 (V_3);
- raffreddamento isocoro, sino al punto 4, che ha $p_4 = p_1$;
- raffreddamento isobaro, sino al punto 1 iniziale.

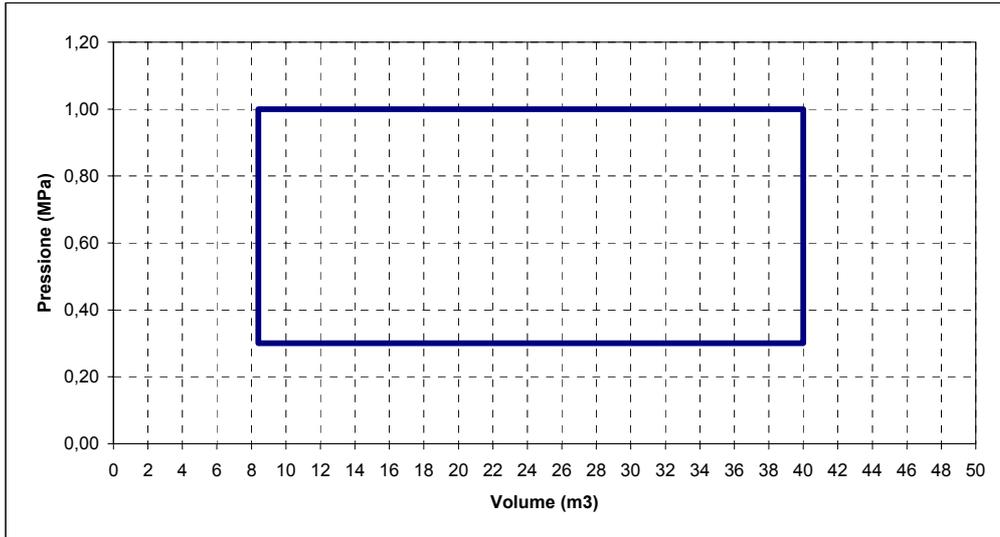
Calcolare:

- A. pressione, volume e temperatura del gas in tutti i punti del ciclo (compilare tabella);
- B. lavoro, calore, variazione di energia interna e variazione di entropia in tutte le trasformazioni del ciclo (compilare tabella);
- C. il lavoro sviluppato dal gas nel ciclo;
- D. il rendimento del ciclo motore.

DATI

Massa di metano m =	15,00 kg
Massa molare del metano MM =	16,00 kg/kmol
Pressione p_1 =	3,00 bar
Temperatura T_1 =	50,00 °C
Pressione p_2 =	10,00 bar
Volume V_3 =	40,00 m ³
Pressione $p_4 = p_1$ =	3,00 bar

CALCOLI



Calcolo punti del ciclo:

gas poliatomico

$$K = C_p / C_v =$$

$$C_v = 3 R =$$

$$C_p = 4 R$$

$$1,333$$

$$24,94 \text{ kJ/kmol K}$$

$$33,26 \text{ kJ/kmol K}$$

$$0,93750 \text{ kmol}$$

$$8,396 \text{ m}^3$$

$$8,396 \text{ m}^3$$

$$1,077,2 \text{ K} = 804,0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$10,00 \text{ bar} = 1.000.000 \text{ Pascal}$$

$$5.131,6 \text{ K} = 4.858,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$40,000 \text{ m}^3$$

$$3,00 \text{ bar} = 300.000 \text{ Pascal}$$

$$1.539,5 \text{ K} = 1.266,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{num. moli } n = m / M =$$

$$V_1 = n R T_1 / p_1 =$$

$$V_2 = V_1 =$$

$$T_2 = T_1 \times p_2 / p_1 =$$

$$p_3 = p_2 =$$

$$T_3 = p_3 V_3 / n R =$$

$$V_4 = V_3 =$$

$$p_4 = p_1 =$$

$$T_4 = p_4 V_4 / n R =$$

Riepilogo punti del ciclo

Punto	p (Pa)	p (bar)	V (m3)	T (°C)	T (K)
punto 1	300.000	3,00	8,3963	50,0	323,2
punto 2	1.000.000	10,00	8,3963	804,0	1.077,2
punto 3	1.000.000	10,00	40,0000	4.858,4	5.131,6
punto 4	300.000	3,00	40,0000	1.266,3	1.539,5

Calcolo lavoro, calore, variazione energia interna

Lavoro L kJ/ciclo	Calore Q kJ/ciclo	DE = Q + L kJ/ciclo	DS kJ/ciclo
L1-2 = 0,0	Q1-2 = n Cv (T2 - T1) = 17.632,3	17.632,3	DS1-2 = n Cv ln(T2/T1) = 28,154
L2-3 = - p (V3 - V2) = -31.603,7	Q2-3 = n Cp (T3 - T2) = 126.414,6	94.811,0	DS2-3 = n Cp ln(T3/T2) = 48,674
L3-4 = 0,0	Q3-4 = n Cv (T4 - T3) = -84.000,0	-84.000,0	DS3-4 = n Cv ln(T4/T3) = -28,154
L4-1 = - p (V1 - V4) = 9.481,1	Q4-1 = n Cp (T1 - T4) = -37.924,4	-28.443,3	DS4-1 = n Cp ln(T1/T4) = -48,674
ciclo	-22.122,6	22.122,6	0,0

calore entrante nel ciclo

$$Q_e = Q_{1-2} + Q_{2-3} = 144.046,9 \text{ kJ/ciclo}$$

rendimento

$$\eta = L / Q = 0,154 = 15,4\%$$