

ESERCIZI DI TERMODINAMICA

a.a. 2019/2020

**Per gli Allievi dei corsi di laurea
L-17 Scienze dell'Architettura e LM-4 Architettura c.u.**

II CAPITOLO – SISTEMI CHIUSI

Prof. Ing. Marina Mistretta

ESERCIZIO 1

Un recipiente chiuso a pareti rigide e fisse contiene 800 l di acqua liquida alla temperatura $t_A=35\text{ }^\circ\text{C}$. Nel recipiente viene successivamente immerso un cilindro di metallo ($D=0,200\text{ m}$; $H=200\text{ mm}$) alla $t_M=93\text{ }^\circ\text{C}$, avente densità di 4000 kg/m^3 e calore specifico di 500 J/kgK . Calcolare la temperatura dell'acqua e del metallo all'equilibrio, nell'ipotesi di ritenere trascurabile il calore disperso verso l'ambiente esterno

DATI

V_A	800 l		
t_A	$35\text{ }^\circ\text{C}$		
ρ_A	1000 kg/m^3		
c_A	4.2 kJ/kgK		
ρ_M	4000 kg/m^3		
c_M	500 J/kgK	=	0.5 kJ/kgK
D	0.2 m		
H	200 mm	=	0.2 m
t_M	$93\text{ }^\circ\text{C}$		

Svolgimento

Il volume del cilindro di metallo è

$$V_M = \pi \cdot D^2 H / 4 = 6.28E-03\text{ m}^3$$

la massa del cilindro quindi è

$$m_M = V_M \cdot \rho_M = 2.51E+01\text{ kg}$$

Il volume dell'acqua

$$V_A = 8.00E-01\text{ m}^3$$

la massa d'acqua

$$m_A = V_A \cdot \rho_A = 8.00E+02\text{ kg}$$

Scrivendo il I principio relativamente al sistema acqua+ metallo si ha:

$$\Delta U = Q - L$$

Ma $Q=0$ poiché l'energia termica scambiata con l'ambiente esterno è nulla; analogamente $L=0$ perché il sistema non scambia lavoro di variazione di volume

Quindi il I principio diventa:

$$\Delta U = 0$$

Sfruttando la proprietà di additività dell'energia interna, si ha:

$$\Delta U = \Delta U_A + \Delta U_M = 0$$

Esplicitando l'energia interna si ha:

$$m_A c_A (t_F - t_A) + m_M c_M (t_F - t_M) = 0$$

Dove t_F è la temperatura all'equilibrio dell'acqua e del metallo.

Risolviendo l'equazione precedente si ha:

$$t_F = (m_A c_A t_A + m_M c_M t_M) / (m_A c_A + m_M c_M) = 35.22\text{ }^\circ\text{C}$$

ESERCIZIO 2

Un sistema cilindrico a pareti rigide e fisse, avente $D=0,200$ m ed $H_1=10$ cm, contiene ossigeno inizialmente alla $t_1=17,0$ °C e $p_1=1,00$ bar. Il sistema cede all'ambiente $0,0200$ kcal di energia termica. Calcolare la temperatura dell'ossigeno al termine della trasformazione

DATI

D=	0.2 m	=	
$H_1=$	10 cm	=	0.1 m
$t_1=$	17 °C	=	290.16 K
$p_1=$	1 bar	=	1.00E+05 Pa
Q=	-0.02 kcal	=	-8.37E-02 kJ

Svolgimento

dalle tabelle per l'ossigeno

R=	260.83 J/kgK
$c_v=$	0.656 kJ/kgK

Il volume occupato dall'ossigeno nello stato 1 è

$$V_1 = \pi \cdot D^2 \cdot H_1 / 4 = 3.14 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

dall'equazione di stato dei gas si può calcolare la massa di ossigeno

$$m = p_1 V_1 / (R T_1) = 4.15 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

Il primo principio si scrive (sistema a pareti rigide e fisse):

$$\Delta U = Q$$

Quindi

$$m c_v (t_2 - t_1) = Q$$

ovvero

$$t_2 = t_1 + (Q) / (m c_v) = -13.77 \text{ °C}$$

ESERCIZIO 3

Un sistema chiuso evolve secondo una trasformazione ciclica costituita da 3 trasformazioni elementari (1-2, 2-3 e 3-1). $Q_{12} = -300$ kcal; $L_{12} = 0$ kJ; $Q_{23} = 0$ kJ; $L_{23} = -100$ kJ; $L_{31} = 200 \cdot 10^{-3}$ kWh. Calcolare Q_{31} .

DATI

$$Q_{12} = -300 \text{ kcal} = -1.26 \times 10^3 \text{ kJ}$$

$$L_{12} = 0 \text{ kJ}$$

$$Q_{23} = 0 \text{ kJ}$$

$$L_{23} = -100 \text{ kJ}$$

$$L_{31} = 2.00 \times 10^{-1} \text{ kWh} = 7.20 \times 10^2 \text{ kJ}$$

Svolgimento

Il I principio relativo alla trasformazione 12:

$$\Delta U_{12} = Q_{12} - L_{12} = -1.26 \times 10^3 \text{ kJ}$$

Il I principio relativo alla trasformazione 23:

$$\Delta U_{23} = Q_{23} - L_{23} = 1.00 \times 10^2 \text{ kJ}$$

Il I principio relativo alla trasformazione 31:

$$\Delta U_{31} = Q_{31} - L_{31}$$

Ma

$$\Delta U_{31} = U_1 - U_3 = -(U_2 - U_1) - (U_3 - U_2) = -(\Delta U_{12} + \Delta U_{23}) = 1.16 \times 10^3 \text{ kJ}$$

Quindi

$$Q_{31} = \Delta U_{31} + L_{31} = 1.88 \times 10^3 \text{ kJ}$$

ESERCIZIO 4

Un ambiente di dimensioni 3,0 m x 2,00 m x 3,50 m, schematizzabile come un sistema chiuso a pareti rigide e fisse, contiene aria alla pressione $p_1=1,00$ bar ed alla temperatura $t_1= 15,0$ °C. L'aria contenuta nella stanza deve essere portata alla temperatura di 25,0 °C in 1,0 ore. Calcolare l'energia termica e la potenza termica necessaria al riscaldamento.

DATI

H=	3 m		
L=	2 m		
P=	3.5 m		
$t_1=$	15 °C	=	288.16 K
$p_1=$	1 bar	=	1.00E+05 Pa
$t_2=$	25 °C		
$\Delta\theta=$	1 h	=	3600 s

Svolgimento

dalla tabella

$$R= 287.13 \text{ J/kgK}$$

$$c_v= 0.717 \text{ kJ/kgK}$$

il volume dell'ambiente è

$$V= 21 \text{ m}^3$$

Dall'equazione di stato dei gas ideali è possibile calcolare la massa di aria:

$$m=p_1V_1/(RT_1)= 25.38 \text{ kg}$$

Il I principio viene scritto nella forma:

$$\Delta U=Q-L=Q$$

In quanto il lavoro di variazione di volume è nullo (sistema a pareti rigide e fisse)

Quindi

$$Q=mc_v(t_2-t_1)= 181.98 \text{ kJ}$$

La potenza termica è

$$P=Q/\Delta\theta \quad 5.06E-02 \text{ kW} \quad = \quad 50.55 \text{ W}$$

ESERCIZIO 5

Un recipiente cilindrico chiuso a pareti rigide e fisse contiene acqua liquida. Il diametro e l'altezza del recipiente sono rispettivamente pari a 1,00 m e 0,700 m. L'acqua si trova inizialmente alla temperatura di 25 °C; successivamente riceve dall'ambiente un'energia termica specifica di $168 \cdot 10^3 \text{ m}^2/\text{s}^2$. Calcolare: 1) la capacità termica dell'acqua; 2) la temperatura dell'acqua al termine del riscaldamento; 3) la potenza termica se il processo ha una durata di 0,30 h

DATI

D=	1 m		
H=	0.7 m		
$t_1=$	25 °C	=	298.16 K
q=	$1.68 \cdot 10^5 \text{ m}^2/\text{s}^2$	=	168 kJ/kg
$\Delta\theta=$	0.3 h	=	1080 s
c=	4.2 kJ/kgK		
$\rho=$	$1000 \text{ kg}/\text{m}^3$		

Svolgimento

Il volume dell'acqua è:

$$V_1 = \pi \cdot D^2 H / 4 = 0.5495 \text{ m}^3$$

La massa dell'acqua

$$m = V \cdot \rho = 549.5 \text{ kg}$$

La capacità termica è

$$C = m \cdot c = 2.31 \cdot 10^3 \text{ kJ/K}$$

IL primo principio viene scritto nella forma

$$\Delta U = Q - L = Q$$

Infatti il lavoro scambiato è nullo in quanto il sistema è a pareti rigide e fisse

Quindi l'equazione può essere scritta anche in forma specifica

$$\Delta u = c(t_2 - t_1) = q$$

Da cui:

$$t_2 = t_1 + q/c = 65 \text{ °C}$$

La potenza termica è il rapporto fra l'energia termica ed il tempo:

$$P = Q/\Delta\theta = (qm)/\Delta\theta = 85.48 \text{ kW}$$

ESERCIZIO 6

Una parete di calcsestruzzo(200 mm x 3,7 m x 3,0 m), avente densità e calore specifico rispettivamente di 1800 kg/m^3 e 900 J/kgK , si trova inizialmente alla temperatura di $13,0 \text{ }^\circ\text{C}$. Successivamente riceve energia termica dall'ambiente fino a araggiungere la temperatura di $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Calcolare l'energia termica

DATI

$s = 200 \text{ mm} = 0.2 \text{ m}$
 $L = 3 \text{ m}$
 $H = 3.7 \text{ m}$
 $t_1 = 13 \text{ }^\circ\text{C}$
 $t_2 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$
 $c = 900 \text{ J/kgK}$
 $\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$

Svolgimento

Il volume della parete è

$$V = H L s = 2.22 \text{ m}^3$$

La massa della parete è

$$m = \rho \cdot V = 4.00\text{E}+03 \text{ kg}$$

IL primo principio viene scritto nella forma

$$\Delta U = Q - L = Q$$

Infatti, la parete è solida e non scambia lavoro di variazione di volume

Esplicitando la funzione energia interna si ha

$$Q = mc(t_2 - t_1) = 4.32\text{E}+07 \text{ kJ}$$

ESERCIZIO 7

Un sistema chiuso evolve secondo una trasformazione ciclica in cui riceve 900 kcal di energia termica, cede all'ambiente 0,700 kWh di energia termica e cede un lavoro specifico di $200 \text{ m}^2/\text{s}^2$. Calcolare la massa del sistema

DATI

$$\begin{array}{lclcl} Q_1 = & 900 \text{ kcal} & = & 3.77\text{E}+03 \text{ kJ} \\ Q_2 = & -0.7 \text{ kWh} & = & -2.52\text{E}+03 \text{ kJ} \\ l = & 200 \text{ m}^2/\text{s}^2 & = & 0.2 \text{ kJ/kg} \end{array}$$

Svolgimento

IL primo principio viene scritto nella forma

$$\Delta U = (Q_1 + Q_2) - L = (Q_1 + Q_2) - lm = 0$$

La variazione di energia interna è nulla poiché la trasformazione è ciclica

Quindi:

$$m = (Q_1 + Q_2) / l = 6.24\text{E}+03 \text{ kg}$$

ESERCIZIO 8

Un sistema pistone cilindro ($D=100$ mm; $H_1=20$ cm) contiene aria alla $p_1=1,00$ bar=costante. Inizialmente il sistema si trova alla $t_1=20,0$ °C; successivamente ad un riscaldamento si porta alla $t_2=90$ °C. Calcolare ΔU , Q ed L

DATI

$t_1=$	20 °C	=	293.16 K
$p_1=$	1 bar	=	1.00E+05 Pa
$D=$	100 mm	=	0.1 m
$H=$	20 cm	=	0.2 m
$t_2=$	90 °C	=	363.16 K

Svolgimento

dalla tabella

$R=$	287.13 J/kgK
$c_v=$	0.717 kJ/kgK

Il volume iniziale è:

$$V_1 = \pi * D^2 H / 4 = 1.57E-03 \text{ m}^3$$

La massa d'aria può essere calcolata utilizzando l'equazione di stato dei gas ideali

$$m = pV_1 / (RT_1) = 1.87E-03 \text{ kg}$$

Con la stessa equazione di stato è possibile calcolare il volume finale

$$V_2 = mRT_2 / p_2 = 1.94E-03 \text{ m}^3$$

Poiché la trasformazione è isobara il lavoro di variazione di volume è:

$$L = p(V_2 - V_1) = 3.75E+01 \text{ J} = 3.75E-02 \text{ kJ}$$

La variazione di energia interna è:

$$\Delta U = mc_v(t_2 - t_1) = 9.36E-02 \text{ kJ}$$

Quindi, sulla base del primo principio

$$Q = L + \Delta U = 1.31E-01 \text{ kJ}$$

ESERCIZIO 9

Aria contenuta in un sistema pistone cilindro ($D=0.300$ m) subisce una trasformazione a pressione costante che la porta da $t_1=17$ °C fino a $t_2=54$ °C. Nello stato iniziale il pistone si trova ad un'altezza $H_1= 70$ cm. Calcolare la variazione di energia interna specifica, il volume finale e l'altezza finale.

DATI

$$\begin{aligned}t_1 &= 17 \text{ °C} & = & 290.16 \text{ K} \\t_2 &= 54 \text{ °C} & = & 327.16 \text{ K} \\D &= 0.3 \text{ m} \\H_1 &= 70 \text{ cm} & = & 0.7 \text{ m}\end{aligned}$$

Svolgimento

dalla tabella

$$\begin{aligned}R &= 287.13 \text{ J/kgK} \\c_v &= 0.717 \text{ kJ/kgK}\end{aligned}$$

Il volume iniziale è:

$$V_1 = \pi \cdot D^2 H_1 / 4 = 4.95 \text{E-}02 \text{ m}^3$$

Scrivendo le equazioni di stato relative agli stati 1 e 2, si ha:

$$\begin{aligned}p_1 V_1 &= mRT_1 \\p_2 V_2 &= mRT_2\end{aligned}$$

Facendone il rapporto membro a membro, utilizzando l'ipotesi di trasformazione isobara, si ha:

$$V_2 = V_1 \cdot T_2 / T_1 = 5.58 \text{E-}02 \text{ m}^3$$

L'altezza del pistone nello stato 2 è

$$H_2 = 4V_2 / (\pi \cdot D^2) = 7.89 \text{E-}01 \text{ m}$$

$$\Delta u = c_v (t_2 - t_1) = 26.529 \text{ kJ/kg}$$

ESERCIZIO 10

Ossigeno si trova in un sistema chiuso a pareti rigide e fisse alla $p_1=1,00$ bar e $t_1=10,0$ °C. Successivamente subisce una trasformazione dove riceve un lavoro specifico di $0,00300$ kWh/kg (lavoro di elica) ed energia termica fino a portarsi alla $t_2=90,0$ °C. Calcolare la pressione finale e l'energia termica specifica scambiata.

DATI

$p_1=$	1 bar	=	$1.00E+05$ Pa
$t_1=$	10 °C	=	283.16 K
$t_2=$	90 °C	=	363.16 K
$l=$	$3.00E-03$ kWh/kg	=	10.8 kJ/kg

Svolgimento

dalle tabelle per l'ossigeno

$$R= 260.83 \text{ J/kgK}$$

$$c_v= 0.656 \text{ kJ/kgK}$$

Scrivendo le equazioni di stato relative agli stati 1 e 2, si ha:

$$p_1 V_1 = m R T_1$$

$$p_2 V_2 = m R T_2$$

Poiché il volume del sistema è costante, rapportando membro a membro le due equazioni precedenti, si ha:

$$p_2 = p_1 \cdot T_2 / T_1 = 1.28E+00 \text{ bar}$$

Il primo principio viene scritto nella forma specifica come segue:

$$\Delta u = q - l$$

Quindi

$$q = c_v(t_2 - t_1) + l = 63.28 \text{ kJ/kg}$$

ESERCIZIO 11

Ad un sistema pistone cilindro è applicata una forza esterna di 100 N che esercita una pressione di 300 Pa. La forza esterna determina uno spostamento del pistone di 300 mm. Calcolare la variazione di volume del sistema

DATI

F= 100 N
p= 300 Pa
s= 300 mm = 0.3 m

Svolgimento

Dalla definizione di pressione

$$p=F/A$$

Quindi l'area di base del cilindro è:

$$A=F/p= 3.33E-01 \text{ m}^2$$

Quindi la variazione di volume è data da:

$$\Delta V=As= 1.00E-01 \text{ m}^3$$