

Esercizi di Termodinamica e Termodinamica applicata agli impianti di potenza

Corso di Macchine
"Ingegneria per Ambiente e il Territorio"
Docente: ing. Carlo Carcasci (c.carcasci@ing.unifi.it)

1. Indice

1.	Indice	1
1.	Concetto di energia e potenza	3
a)	Consumo di un asciugacapelli	3
b)	Consumo di una lampadina ad incandescenza	3
c)	Consumo di un forno elettrico	3
d)	Consumo di un forno a gas	3
e)	Consumo di uno scaldabagno elettrico	3
f)	Consumo di uno scaldabagno a gas	3
2.	Bilancio Energetico	3
a)	Scaldabagno ad accumulo	3
b)	Scaldabagno istantaneo	3
c)	Scaldabagno ad accumulo "a regime"	4
d)	Acqua al punto di ebollizione	4
e)	Ebollizione dell'acqua	4
f)	Esperimento di Joule	4
g)	Scambiatore di calore a superficie	4
h)	Scambiatore di calore a miscela	4
i)	Scambiatore aria-gas	4
j)	Scambiatore acqua-aria	4
k)	Lampadine	5
l)	Ventilatore	5
m)	Pompa in un circuito chiuso	5
n)	Miscelazione portate acqua	5
o)	Problema della "vasca"	5
p)	Degasatore di un impianto a vapore	5
q)	Condensatore di un impianto a vapore	5
3.	Trasformazioni Termodinamiche di semplici macchine e componenti di impianti di potenza	5
a)	Pompa idraulica	5
b)	Pompa idraulica. Da misure sul campo.	6
c)	Compressore	6
d)	Turbina-Espansore di gas	6
e)	Turbina-Espansore di vapore	6
f)	Caldaia a recupero (generatore di vapore: HRSG: Heat Recovery Steam Generator)	6
g)	Pistone in fase di compressione	6
h)	Pistone in fase di espansione	6
i)	Pompa della bicicletta	7
j)	Impianto di riscaldamento domestico	7
4.	Termodinamica applicata agli impianti di potenza	7
a)	Pompa azionata da un motore a combustione interna	7
b)	Motore a combustione interna	7
c)	Turbina a gas	7

1. Concetto di energia e potenza

a) Consumo di un asciugacapelli

Quanta energia consuma un asciugacapelli da 800 W se tenuto acceso per 30 min?
Quanto costa "asciugarsi i capelli" considerando un costo dell'energia elettrica di 0.20 €/kWh?

b) Consumo di una lampadina ad incandescenza

Quanta energia consuma una lampadina da 100 W se tenuta accesa per 4 ore?
Quanto costa "illuminare" la stanza considerando un costo dell'energia elettrica di 0.20 €/kWh?

c) Consumo di un forno elettrico

Quanta energia consuma un forno elettrico di potenza 2.0 kW se tenuto acceso per 30 min (la resistenza termica resta accesa solo per metà tempo)?
Quanto costa accendere il forno considerando un costo dell'energia elettrica di 0.20 €/kWh?

d) Consumo di un forno a gas

Quanta energia consuma un forno a gas di potenza 2.5 kW se tenuto acceso per 40 min (la fiamma resta accesa solo per metà del tempo)?
Quanto metano è necessario (potere calorifico inferiore di $LHV=35.89 \text{ MJ/Nm}^3$)?
Quanto costa accendere il forno considerando un costo del metano di 0.345 €/Nm³?

e) Consumo di uno scaldabagno elettrico

Quanta energia consuma uno scaldabagno elettrico di potenza 1.2 kW se tenuto acceso per un'ora?
Quanto costa tener acceso lo scaldabagno elettrico considerando un costo dell'energia elettrica di 0.20 €/kWh?

f) Consumo di uno scaldabagno a gas

Quanta energia consuma uno scaldabagno a gas di potenza 2.0 kW se tenuto acceso per 30 min?
Quanto metano è necessario (potere calorifico inferiore di $LHV=35.89 \text{ MJ/Nm}^3$)?
Quanto costa accendere accendere lo scaldabagno considerando un costo del metano di 0.345 €/Nm³?

2. Bilancio Energetico

a) Scaldabagno ad accumulo

Quanto tempo occorre per portare l'acqua dalla temperatura di 10°C alla temperatura di utilizzo di 70°C. Lo scaldabagno elettrico assorbe una potenza di 1.5 kW e il suo volume è di 100 l.
Quanto costa tener acceso lo scaldabagno elettrico considerando un costo dell'energia elettrica di 0.20 €/kWh?

b) Scaldabagno istantaneo

Quanta potenza termica deve generare uno scaldabagno "a gas" per riscaldare una portata di acqua ($c=1.0 \text{ kcal/kgK}$) pari a 10.0 l/min dalla temperatura da 10°C a quella di utilizzo di 50°C?
Quanto metano è necessario (potere calorifico inferiore di $LHV=35.89 \text{ MJ/Nm}^3$)?

Quanto costa accendere accendere lo scaldabagno considerando un costo del metano di 0.345 €/Nm^3 ?

c) Scaldabagno ad accumulo "a regime"

Lo scaldabagno elettrico ha una potenza di 1.5 kW e il suo volume è di 100.0 l . Il termostato è settato in modo tale che l'escursione della temperatura dell'acqua sia di $\pm 5.0^\circ\text{C}$.

Sapendo che la dispersione termica è di 100 W , determinare:

Quanto tempo la resistenza elettrica resta accesa

Quanto tempo la resistenza elettrica resta spenta

Quanto costa "mantenere a regime" lo scaldabagno elettrico considerando un costo dell'energia elettrica di 0.20 €/kWh ?

d) Acqua al punto di ebollizione

Quanta energia è necessaria per portare 5 l di acqua al punto di ebollizione (pressione ambiente) dalla temperatura di 10°C ?

Quanto metano è necessario (potere calorifico inferiore di $\text{LHV}=35.89 \text{ MJ/Nm}^3$)?

Quanto costa portare ad ebollizione l'acqua e farla evaporare completamente, considerando un costo del metano di 0.345 €/Nm^3 ?

e) Ebollizione dell'acqua

Quanta energia è necessaria per portare 5 l di acqua al punto di ebollizione e farla evaporare completamente (pressione ambiente) dalla temperatura di 10°C ?

Quanto metano è necessario (potere calorifico inferiore di $\text{LHV}=35.89 \text{ MJ/Nm}^3$)?

Quanto costa portare ad ebollizione l'acqua e farla evaporare completamente, considerando un costo del metano di 0.345 €/Nm^3 ?

f) Esperimento di Joule

In un contenitore adiabatico, la cui capienza è di 100.0 l , si agita acqua con un'elica azionata da un motore elettrico la cui potenza è di 400 W . Determinare la temperatura dell'acqua dopo 20 min sapendo che la temperatura iniziale è di 20°C .

g) Scambiatore di calore a superficie

Scambiatore a superficie acqua - acqua controcorrente costituito da due tubi concentrici. Siano 15°C e 20°C le temperature di ingresso e di uscita dell'acqua che si riscalda e 90°C e 70°C quelle dell'acqua che si raffredda. La portata di quest'ultima sia 50 kg/s . Calcolare la portata in massa dell'acqua che si riscalda.

h) Scambiatore di calore a miscela

Scambiatore a miscela in cui fluiscono due portate di acqua $m_1=10 \text{ kg/s}$ e $m_2=100.0 \text{ kg/s}$ alle temperature $T_1 = 90^\circ\text{C}$ e $T_2 = 5^\circ\text{C}$. Calcolare la temperatura della portata uscente.

i) Scambiatore aria-gas

L'aria (fluido da scaldare, $c_p=1.004 \text{ kJ/kg K}$, $R=287 \text{ J/kgK}$) ha una portata di 50 kg/s e in ingresso ha una temperatura di 300°C . I gas caldi ($c_p=1.200 \text{ kJ/kg K}$, $R=292 \text{ J/kgK}$) hanno una portata pari a 1.03 volte quella dell'aria e la loro temperatura è 500°C . Sapendo che la minima differenza di temperatura tra i due fluidi è di (pinch point) 40°C , determinare la temperatura dell'aria in uscita.

j) Scambiatore acqua-aria

Dell'aria calda ($m=20 \text{ kg/s}$, $T=300^\circ\text{C}$, $c_p=1.004 \text{ kJ/kg K}$, $R=287 \text{ J/kgK}$) deve essere raffreddata fino a 60°C . A tale scopo è disponibile acqua a 15°C e il massimo

salto di temperatura consentito è di 6°C . Determinare la portata di acqua necessaria usando uno scambiatore a superficie controcorrente.

k) Lampadine

In una stanza le cui dimensioni sono $5 \times 4 \times 3 \text{ m}$, sono presenti 3 lampade da 100 W ciascuna. Esse stanno accese per 8 h. Sapendo che la temperatura iniziale è di 20°C , quanto è, mediamente, la temperatura finale dell'aria ($c_p=1.004 \text{ kJ/kg K}$, $R=287 \text{ J/kgK}$) nella stanza?

l) Ventilatore

In una stanza le cui dimensioni sono $5 \times 5 \times 3 \text{ m}$, è in azione per 8 h un ventilatore da 80 W. Qual'è la temperatura finale dell'aria ($c_p=1.004 \text{ kJ/kg K}$, $R=287 \text{ J/kgK}$) sapendo che la temperatura iniziale è di 25°C .

m) Pompa in un circuito chiuso

Una pompa da 800 W elabora acqua in un circuito chiuso di 1.5 m^3 di capacità per 2 h, senza dissipazione di calore. Sapendo che la temperatura iniziale dell'acqua è di 15°C , stimare il suo aumento di temperatura.

n) Miscelazione portate acqua

Essendo disponibile acqua a 15°C e a 60°C , determinare le portate di acqua alle due temperature che devono essere miscelate per ottenere 20 l/min di acqua alla temperatura di 38°C .

o) Problema della "vasca"

Una vasca contiene inizialmente 30 l di acqua ($c = 1.0 \text{ kcal/kg}^{\circ}\text{C}$) alla temperatura di 30°C . È disponibile acqua a 15°C e a 65°C (portata massima per ciascun rubinetto è di 25 l/min). Determinare le masse di acqua calda e fredda al fine di ottenere 50 l di acqua alla temperatura di 40°C e infine determinare il tempo minimo necessario per ottenerla.

p) Degasatore di un impianto a vapore

Un degasatore di un impianto a vapore deve elaborare 1.5 t/h di acqua (alle condizioni di 40.0°C e 4.0 bar), ha a disposizione vapore a 200°C . Determinare la portata di vapore necessario.

q) Condensatore di un impianto a vapore

Un condensatore di un impianto a vapore (scambiatore a superficie controcorrente) deve condensare 10.0 t/h di vapore con titolo $x=0.86$ alla pressione di 0.1 bar . Per raffreddarlo è disponibile acqua alla temperatura di 15.0°C . Il massimo salto di temperatura consentito per l'acqua è di 5.0°C . Determinare la portata di acqua di refrigerazione necessaria.

3. Trasformazioni Termodinamiche di semplici macchine e componenti di impianti di potenza

a) Pompa idraulica

Determinare la potenza e l'energia elettrica richiesta per azionare una pompa che deve sollevare benzina ($\rho=0.75 \text{ kg/dm}^3$) ad una altezza di 20 m , con una portata di 100 l/min . Determinare inoltre il numero di giri specifico della pompa che dovrà essere installata.

b) Pompa idraulica. Da misure sul campo.

Determinare la potenza richiesta per azionare una pompa di cui è noto che la portata è pari a $Q=40$ l/min. Inoltre sono state svolte alcune misure alla flangia di aspirazione (A) e di Mandata (M); i tubi alle flange sono di diametro di 4.0 cm e di 6.0 cm, rispettivamente. Inoltre si misurano pressioni di -0.8 bar e 3.6 bar (pressioni riferite alla pressione ambiente). La flangia in mandata è posta ad un dislivello di 30 cm rispetto alla flangia di aspirazione. Determinare, inoltre, il numero di giri specifico della pompa.

c) Compressore

Sia dato un compressore che elabora una portata pari a $m=35.0$ kg/s di aria ($c_p=1.004$ kJ/kg K, $R=287$ J/kgK) in condizioni ambiente ($T=20^\circ\text{C}$ e $p=101325$ Pa) con un rapporto di compressione di $\beta=12$. Determinare la potenza assorbita dal compressore e la temperatura finale dell'aria compressa, ipotizzando un rendimento isoentropico pari a $\eta_{is}=0.89$.

d) Turbina-Espansore di gas

Sia data una turbina che espande una portata pari a $m=20$ kg/s di fumi ($c_p=1.200$ kJ/kg K, $R=292$ J/kgK) a partire da una pressione di 20.0 bar e una temperatura di 800°C , fino alla pressione ambiente ($p=101325$ Pa). Determinare la potenza fornita dalla turbina e la temperatura finale dei fumi espansa, ipotizzando un rendimento isoentropico pari a $\eta_{is}=0.91$.

e) Turbina-Espansore di vapore

Sia data una turbina a vapore che espande una portata di 50 kg/s di vapore a partire da una pressione di 150.0 bar e una temperatura di 550°C , fino alla pressione del condensatore ($p=0.10$ bar). Determinare la potenza fornita dalla turbina e la temperatura finale del vapore, ipotizzando un rendimento isoentropico pari a $\eta_{is}=0.82$.

f) Caldaia a recupero (generatore di vapore: HRSG: Heat Recovery Steam Generator)

Determinare la portata di vapore alla pressione di 100 bar che si può generare con una caldaia a recupero che sfrutta una portata di $m_{gas}=48$ kg/s gas caldi alla temperatura di $T_{gas}=550^\circ\text{C}$ ($c_{p,gas}=1200$ J/kgK). L'acqua di alimento ha una temperatura di $T_{h_2o}=20^\circ\text{C}$. Sono assegnati la differenza di temperatura di "Approach", di "Pinch point" e di "sottoraffreddamento", rispettivamente: $\Delta T_{app}=40^\circ\text{C}$, $\Delta T_{pp}=15^\circ\text{C}$ e $\Delta T_{pp}=5^\circ\text{C}$. I gas di scarico non devono scendere al di sotto della temperatura limite di $T_{stack}=120^\circ\text{C}$.

g) Pistone in fase di compressione

Un pistone di un motore a combustione interna, dopo aver aspirato aria ($c_p=1.004$ kJ/kg K, $R=287$ J/kgK) alle condizioni di 20°C e 1.101 bar, effettua la compressione. Sapendo che la cilindrata è 500 cm^3 e il rapporto di compressione (rapporto fra volume nocivo e volume massimo) è di 12:1, determinare la massa di aria contenuta nel cilindro, la pressione e la temperatura finale e il lavoro speso per la compressione.

h) Pistone in fase di espansione

In un cilindro di un motore a combustione interna, dopo la fase di combustione, i fumi ($c_p=1.200$ kJ/kg K, $R=292$ J/kgK) raggiungono la temperatura di 2000°C e la pressione di 60 bar. Sapendo che la cilindrata è 600 cm^3 e il rapporto di compressione (rapporto fra volume nocivo e volume massimo) è di 12:1, determinare la massa di fumi contenuti nel cilindro, la pressione e la temperatura finale e il lavoro generato.

i) Pompa della bicicletta

Pompa di bicicletta comprime aria in una camera d'aria. Inizialmente i volumi della camera d'aria V_a della pompa V_b sono rispettivamente 1 m^3 e 100 cm^3 , mentre la pressione è 1 bar e la temperatura 20°C . Al termine della compressione il volume della pompa è nullo mentre quello della camera d'aria è rimasto invariato. Supponendo la compressione adiabatica, valutare:

- La massa d'aria nella camera d'aria a fine compressione
- La pressione nella camera d'aria a fine compressione
- Il lavoro di compressione.

j) Impianto di riscaldamento domestico

Determinare il diametro dei tubi e i dati di progetto della pompa necessaria per un impianto di riscaldamento di una stanza di un appartamento. Noto che la dispersione termica della stanza (dimensioni: $4 \times 5 \times 3 \text{ m}$) è 40.0 kcal/h per ogni metro cubo (La dispersione termica dipende da diversi fattori: temperature interna ed esterna, esposizione della stanza, numero pareti esterne, ampiezza finestre, ect. Esistono programmi che calcolano la dispersione termica delle stanze. Il valore qui considerato è un valore di riferimento). Il salto di temperatura dell'acqua (calore specifico: 4.187 kJ/kgK) dell'impianto di riscaldamento nel radiatore (termosifone) è di $\Delta T_{\text{H}_2\text{O}} = 10^\circ\text{C}$.

Per evitare vibrazioni e rumore, la velocità massima consentita nelle tubazioni è di $v_{\text{max}} = 2.0 \text{ m/s}$. Supponiamo che in commercio si possono trovare tubazioni con diametro minimo di 5 mm e diametri maggiori con step di 2.5 mm: 5.0, 7.5, 10.0, 12.5,

Tener presente che i radiatori distano 10 m dalla pompa e servono almeno 8 curve (Coefficienti di perdita di pressione dei tubi distribuite e localizzate: $f = 0.02$ -volendo essere più precisi, si dovrebbe considerare che la tubazione è in rame e quindi la scabrezza assoluta è circa di 0.0015 mm e quindi usare il diagramma di Moody- e $f = 0.50$, rispettivamente).

4. Termodinamica applicata agli impianti di potenza**a) Pompa azionata da un motore a combustione interna**

Determinare la potenza e l'energia richiesta per azionare una pompa che deve sollevare una portata di $Q = 3000 \text{ l/min}$ di acqua ad una altezza di $H = 50 \text{ m}$. Se la pompa è azionata da un motore a combustione interna (rendimento termodinamico $\eta_{\text{th}} = 20\%$), determinare l'energia richiesta, la portata di combustibile ($\text{LHV} = 33.00 \text{ MJ/dm}^3$) necessaria e il costo per il funzionamento ($c_{\text{fuel}} = 1.100 \text{ €/l}$).

b) Motore a combustione interna

Un autovettura mossa da un motore a combustione interna, percorre $s = 200 \text{ km}$ a velocità costante di $v = 130 \text{ km/h}$ e, a causa degli attriti, assorbe $W = 35 \text{ CV}$. Supponendo un rendimento termodinamico del motore del $\eta_{\text{th}} = 35\%$, determinare l'energia richiesta, la massa di combustibile ($\text{LHV} = 33.00 \text{ MJ/dm}^3$) necessario e il suo costo ($c = 1.100 \text{ €/l}$).

c) Turbina a gas

Una turbina a gas ha un rendimento del $\eta_{\text{th}} = 33.4\%$ e produce una potenza di $W = 30.0 \text{ MW}$. Determinare la portata di combustibile metano (potere calorifico inferiore di $\text{LHV} = 50040 \text{ kJ/kg}$)