UNIVERSITà degli studi di Cagliari

Sezione Energetica e Fisica Tecnica

***CORSO di Fisica Tecnica per gli Allievi Ing. Civili ed Elettrici***

**Problemi selezionati di Fisica Tecnica in vista della preparazione dell’esame.**

1) Definire formalmente ed analiticamente l’exergia.

Avendo a disposizione due serbatoi di energia termica (SET) uno a temperatura T1=800°C ed un altro a temperatura di 20°C, quanto vale l’exergia del calore del SET T1 in relazione al SET T2 ?

2) Un Serbatoio di Energia Termica (S.E.T.) (1), caratterizzato dalla temperatura t1 =926.85 [°C] cede 1000 [kcal] per conduzione termica ad un'altro S.E.T. (2), caratterizzato dalla temperatura t2= 426.85[°C]. Supponendo di disporre di una S.E.T. (0) ambiente, caratterizzato dalla temperatura t0=26.85[°C], determinare la quantità di energia che l'operazione precedente ha reso inutilizzabile agli effetti della sua conversione in lavoro, cioè determinare la perdita di Exergia. Calcolare la variazione di entropia dell'universo conseguente a tale processo e discutere la reversibilità o l'irreversibilità alla lu1ce del II principio della termodinamica

3) Un sistema di riscaldamento è utilizzato per mantenere a 23°C la temperatura dell'aria interna di un edificio. L'edificio disperde potenza termica (calorica e radiante) verso l'esterno tramite l'involucro edilizio costituito dalle murature e dalle superfici vetrate verticali ed orizzontali. La potenza termica dispersa è pari a 16 kW. L'energia termica generata all'interno, a causa della presenza delle persone, dell'illuminamento e degli utensili inseriti, è pari a 1.1 kW. Determinare la potenza elettrica richiesta dal sistema di riscaldamento nei seguenti casi:

* Pompa di calore con ωp.d.c.=3.8;
* Stufa elettrica ad effetto Joule.

4) Un impianto frigorifero basato su un ciclo inverso, operante tra le temperature t1=40°C e t2=-35°C, è in grado di sottrarre, per ogni ciclo completo, 900J dal S.E.T. avente la temperatura inferiore (t2). La macchina esibisce un coefficiente di prestazione in funzionamento frigorifero pari a εM.F = COP\_m.f.=1.8. Valutare l'incremento di lavoro meccanico necessario al funzionamento della macchina rispetto al ciclo inverso reversibile operante fra le medesime temperature.

5) Una macchina termica sviluppa 1 kW di potenza e cede calore all’atmosfera in ragione di 800 kcal/h. Calcolare il calore assorbito dalla macchina per unità di tempo e l’efficienza termica della macchina. Fissando un valore di riferimento per la temperatura media dell’atmosfera (ad esempio tamb = 15°C) quanto deve valere la temperatura di un SET T1, rappresentativa della sorgente a temperatura più elevata, affinché una macchina di Carnot abbia lo stesso rendimento della macchina termica considerata precedentemente?

6) Un inventore sostiene di avere progettato un motore che assorbe 28000 J/s alla temperatura di 850K, e cede una certa quantità di calore alla temperatura di 320K sviluppando una potenza pari a 16kJ/s. Consigliereste di investire denaro nella produzione di questo motore?

7) Si desidera realizzare una macchina per il ghiaccio operante in condizioni di regime permanente assorbendo dalla rete elettrica una potenza pari a 1 kW. Si determini la massima velocità di produzione di ghiaccio assumendo che l’acqua sia alimentata in fase liquida a 0°C, esca dalla macchina alla stessa temperatura, che l’energia termica specifica necessaria al processo di solidificazione sia pari a 333kJ/kg e che l’ambiente si trovi a 20°C.

8) Ci si propone di utilizzare l’energia solare per produrre potenza meccanica. Si pensa di effettuare questa conversione captando l’energia solare per mezzo di un collettore solare piano che a sua volta la trasferisce come calore al fluido operativo di una macchina termica. Quest'ultima, operando ciclicamente, scambia inoltre calore con l’aria atmosferica. L’esperienza indica che si può ottenere dal collettore un flusso termico specifico pari a 234W/m2 quando il collettore opera a 105°C. Assumendo pari a t0 =39°C la temperatura dell’aria atmosferica, calcolare la MINIMA area “A” del collettore che richiederebbe un impianto che fornisce la potenza meccanica pari a $\dot{L}=1 \left[kW\right]$.

9) Un inventore sostiene di avere progettato una macchina in grado di convertire il calore in lavoro caratterizzata dal fatto che assorbe 5972 cal da un serbatoio di energia termica alla temperatura di 525 °C, e cede 3,332 Wh ad un serbatoio di energia termica alla temperatura di 128°C. Alla luce dei principi della termodinamica, consigliereste di investire denaro nella produzione di questa macchina termica motrice?. Fornire le motivazioni dell’eventuale risposta.

10) Una macchina frigorifera opera tra due serbatoi di energia termica, assorbendo una quantità di calore Qc dal SET freddo, caratterizzato da una temperatura tc uguale a 2,85°C, e immettendo una quantità di calore QH nel SET caldo, caratterizzato da una temperatura di 46,85°C. Sulla base dei valori riportati in ciascuno dei casi elencati qui di seguito, determinare se il ciclo lavora in condizione di reversibilità, irreversibilità o di impossibilità.

QC=1290 kcal/h, L= 150 J/s; (Risp impossibile)

QC=1204 kcal/h, QH=1676 W; (Risp. irreversibile)

QH=1500 kcal/h, QC = 1293.75 kcal/h; (Risp. reversibile)

COP\_m.f.=5;(Risp. irreversibile)

 (Risp. εm.f.carnot=6.$6.\overbar{27}$, ωp.d.c. carnot=7$.\overbar{27}$)

11) Una macchina frigorifera opera tra due serbatoi di energia termica, assorbendo una quantità di calore Qc dal SET C freddo, caratterizzato da una temperatura tc uguale a -10.95°C, e immettendo una quantità di calore QH nel SET H caldo, caratterizzato da una temperatura th = 30.85°C. Sulla base dei valori riportati in ciascuno dei casi elencati qui di seguito, determinare se il ciclo lavora in condizione di reversibilità, irreversibilità o di impossibilità.

QC=1806kcal/h, QH=2514 W; (Risp. Irreversibile)

QC=1935 kcal/h, L= 225 J/s; (Risp. Impossibile)

QH=1000 kcal/h, QC = 862.5kcal/h; (Risp. Reversibile)

COP=8; (Risp. Impossibile)

 (Risp. εm.f.carnot=6.$6.\overbar{27}$, ωp.d.c. carnot=7$.\overbar{27}$)

12) Una macchina frigorifera di Carnot opera fra le due sorgenti t1S=+40°C e t2S= ‑10°C. Determinare l’efficienza frigorifera e l’efficienza della macchina considerata come pompa di calore. Quanto calore viene prelevato dalla sorgente inferiore t2S per ogni kWh fornito come lavoro alla macchina e quanto calore la macchina frigorifera cede alla sorgente superiore t1S ?

13) Si disponga, come ad esempio si può verificare in Islanda, di una sorgente termica di acqua calda a 100°C nell’immediata vicinanza di una sorgente costituito da un corpo idrico ghiacciato a 0°C. Immaginando di voler produrre lavoro, per esempio con una macchina motrice di Carnot, posta fra le due sorgenti, si vuole determinare la massa di ghiaccio che fonde per ogni joule di energia meccanica sviluppato dalla macchina di Carnot. (Si tenga presente che per fondere un kg di ghiaccio occorrono circa 80kcal).

14) Descrivere e commentare le principali leggi della radiazione termica e le principali caratteristiche di emissione dei corpi. Illustrare le equazioni fondamentali che regolano il bilancio di radiazione tra i corpi aventi superfici grigie e corpi neri mediante i fattori di vista.

15) Temperatura termodinamica: descrivere i passi fondamentali che portano alla sua definizione ed evidenziare le differenze con la definizione basata sulla temperatura empirica di gas ideale;

16) Partendo dal risultato del teorema di Clausius giungere a definire la funzione di Stato Termodinamica Entropia.

17) Enunciare e dimostrare il teorema di Clausius.

18) Quale risultato stabilisce il teorema di Carnot?

19) Mostrare l’equivalenza degli enunciati del secondo principio della termodinamica di Clausius e Kelvin-Plank

20) Dimostrare il teorema di Carnot e giungere a definire la Temperatura Termodinamica.

21) Uno scaldacqua a gas brucia 1.5 [m3] di metano ogni ora. Il metano ha un potere calorifico inferiore per Nm3 (metro cubo in condizioni normali di temperatura e pressione --> Tnorm=273.15[K] e pnorm = 101325[Pa]) di 8570 [kcal/m3] e lo scaldacqua è realizzato in maniera tale che solo il 90% del calore generato dalla combustione del metano viene effettivamente ceduto all’acqua da riscaldare. L’acqua entra nello scaldacqua alla temperatura *t1* di 15 [°C] ed esce alla temperatura *t2* pari a 50 [°C]. Percorrendo un tratto di tubo orizzontale sospeso in aria, avente un diametro interno "*Di"*pari a 12 mm e spessore "*s"* pari a 2 [mm], l’acqua esce alla temperatura *tu* di 40 [°C]. Calcolare la portata massica  di acqua calda prodotta dallo scaldacqua e la lunghezza L del tubo orizzontale, nel caso in cui si assumano i seguenti dati del problema:

* temperatura dell’aria esterna text pari a 10 [°C];
* coefficiente di scambio termico per convezione forzata all’interno del tubo pari a hint = 250[kcal/hm2K],
* coefficiente di scambio termico per adduzione esterno hext = 8 [kcal/hm2K]
* conducibilità termica del materiale costituente il tubo (acciaio) λt = 50 [kcal/hmK]



22) Si consideri un sistema che cambia di stato attraverso una trasformazione irreversibile. Si supponga che l'ambiente circostante possa essere considerato un SET a temperatura T0 e che Qirr sia il calore che il sistema scambia con tale SET e Lirr il lavoro scambiato durante tale processo irreversibile. Ipotizziamo che il sistema ritorni allo stato iniziale tramite una trasformazione reversibile potendo scambiare calore Qrev solo con l'ambiente circostante e inoltre scambiando una dose di lavoro Lrev. Confrontare il lavoro Lirr con il lavoro Lrev.

23) Uno scaldacqua di forma cilindrica con le seguenti dimensioni geometriche:

raggio interno rint =40 [cm];

raggio esterno rest= 42 [cm]

altezza h= 1 [m],

è caratterizzato da una stratigrafia di parete con le seguenti proprietà termotecniche:

strato interno di lamierino di acciaio di conducibilità termica λ1=40 [W/mK] e spessore s1=0.2[cm];

strato intermedio di isolante λ2=0.038 [W/mK] spessore s2=1.6 [cm]

strato esterno di lamierino di acciaio smaltato di conducibilità termica λ3=30 [W/mK] e spessore s3=0.2 [cm];

Lo scaldacqua contiene acqua alla temperatura di tH2O = 80[°C]. Determinare il flusso termico attraverso la superficie laterale dello scaldacqua cilindrico, assumendo le seguenti ipotesi:

a) temperatura superficiale interna dello scaldacqua approssimabile a quella dell'acqua contenuta nello scaldacqua

b) temperatura dell'aria esterna dell'ambiente circostante pari a taria ext = 20 [°C]

c) coefficiente di scambio termico superficiale interno hint = 30 [W/m2K]

coefficiente di scambio termico superficiale esterno hest = 18 [W/m2K] ]Trascurare il flusso termico attraverso la superficie del fondo e della parte superiore dello scaldacqua.

24) Un cavo elettrico isolato in PVC possiede il diametro interno dell'isolante pari a Di = 0.12 [cm] e spessore (dell'isolante) pari a sisol =3 [mm]. La massima temperatura di esercizio del cavo è pari a 70°C, inoltre il cavo è caratterizzato da una resistenza elettrica per unità di lunghezza pari a relettr. = $25\left[\frac{Ω}{km}\right]$. La conducibilità termica dell’isolante PVC è pari a λisol = 0.15 W/mK. Attraverso il conduttore metallico del cavo fluisce una intensità di corrente pari a 30 [A], (valore in corrente continua). Si consideri che la temperatura superficiale esterna del cavo sia pari a 38°C. Verificare se la temperatura all’interno del materiale isolante PVC sia inferiore alla massima temperatura di esercizio raccomandata. Nel caso in cui la specifica non venga rispettata, calcolare la massima corrente che può fluire per mantenere la temperatura dell’isolante inferiore alla massima temperatura di esercizio.

25) Una stufa caratterizzata da una potenza di 3 kW viene impiegata per riscaldare un ambiente le cui pareti sono realizzate mediante uno strato di spessore pari a 20 cm (s1) realizzato con mattoni (λ1=0.69 W/mK), uno strato di spessore pari a 5 cm (s2) di materiale isolante (λ2=0.05 W/mK) ed uno strato di 1 cm (s3) di intonaco (λ3=0.1 W/mK). La stanza ha un volume V di 100 m3 e si suppone fissato un ricambio d’aria del 15% ogni ora; sapendo che la superficie disperdente totale è pari a 25 m2 (S) si vuol sapere quanto vale la temperatura di regime della stanza (Tint) quando la temperatura di parete esterna (tp,ext) è pari a -5°C e la temperatura di parete interna (Tp,int) è pari a 18° C (si assuma che la pressione esterna dell’aria sia pari a 765 mm Hg).



26) Una corrente di aria disponibile alla pressione p1=1.01 bar e temperatura t1=25 °C è inviata ad un compressore dinamico in cui, seguendo un processo adiabatico quasi statico, l’aria giunge alla pressione di uscita p2=70 bar. La corrente in uscita viene poi successivamente inviata ad uno scambiatore di calore in cui, a pressione costante, riceve una potenza termica $\dot{Q}$ da un SET a 1400°C. All’uscita dello scambiatore la temperatura dell’aria è pari a 1250°C. La corrente ottenuta infine viene fatta espandere in una turbina a gas fino alla pressione iniziale seguendo un processo adiabatico quasi statico. Nell’ipotesi di regime stazionario, flussi monodimensionali nelle sezioni di ingresso e di uscita dei componenti di impianto e di trascurabilità dei termini cinetici e potenziali, ed assumendo $\dot{V}\_{4}=7200\left[\frac{m^{3}}{h}\right]$, calcolare:

1. La temperatura dell’aria all’uscita della turbina; (179°C)
2. La potenza meccanica da fornira al compressore C (1.1MW)
3. La potenza termica fornita dal SET (820 kW)
4. La potenza meccanica fornita dalla turbina a gas (1.69MW)

Ipotizzando che lo scambio termico tra l’aria e il SET avvenga tramite una lastra di lamierino di acciaio inox 18-8 (λ = 16[W/mK]) di superficie pari a 1m2 calcolare il massimo spessore del lamierino di acciaio che potrebbe avere lo scambiatore di calore per permettere un adeguato scambio termico tra il SET e l’aria fluente.

27) Il progetto di un sistema di distribuzione dell’acqua calda per il teleriscaldamento di un quartiere prevede la posa interrata di un lungo tratto di tubazione metallica cilindrica. Il diametro interno del tubo, previsto dal progetto, è pari a D1 =600 [mm], mentre lo spessore è pari a S1=1 [cm] e la lunghezza del tratto di tubazione è pari a 1500 [m]. La conducibilità termica del metallo è pari a λ1 = 20 [W/m°C]. Il tubo metallico dovrà essere inoltre rivestito di un materiale isolante al fine di ridurre le dispersioni termiche verso il terreno. Si consideri una temperatura locale del terreno in contatto con il tratto di tubazione pari a tterr=12 [°C], mentre la temperatura della parete interna della tubazione può mediamente essere considerata pari a tp,i = 90 [°C]. Dimensionare il tratto anulare di materiale isolante (determinare lo spessore di isolante coassiale con il tubo metallico) in modo tale che le dispersioni verso il terreno siano inferiori a 50 [W/m] (dove “m” a denominatore sta ad indicare “per ogni metro di tubazione”).

In fase progettuale vengono considerati due ipotesi.

La prima ipotesi prevede di utilizzare un materiale isolante che possiede una conducibilità termica pari a λ= 0.03 [W/mK] e un costo pari a 105 [euro/m3]

La seconda ipotesi prevede di utilizzare un materiale isolante caratterizzato da un conducibilità termica pari a 0.039 [W/mK] e un costo pari a 82 [euro/m3].

Valutare quale delle 2 soluzioni risulta la più economicamente vantaggiosa.

28) (*Esercizio adattato per far comparire solo la conduzione*) Una parete piana è costituita da due strati consecutivi posti l'uno dopo l'altro. Il primo strato è spesso 40 [cm] ed è realizzato in mattoni per muratura (λ1=0.65 W/mK), il secondo strato è spesso 27 [cm] ed è realizzato in calcestruzzo (λ2=1.21 W/mK). Determinare:

a) la resistenza e la conduttanza termica unitaria conduttiva

b) lo spessore di polistirolo espanso che occorre aggiungere alla parete originale al fine di raddoppiare la resistenza termica unitaria conduttiva. Si consideri un valore di conducibilità termica dell'isolante pari a λiso=0.045 [W/mK].

Qualora la temperatura di parete esterna sia paria a text 38°C e quella di parete interna sia paria a tint =25°C determinare la potenza termica calorica che fluisce attraverso la parete per unità di superficie della parete. Rappresentare graficamente l’andamento della temperatura attraverso la stratigrafia della parete.

29) Un piccolo generatore ausiliario di potenza funziona secondo lo schema rappresentato in figura. Un serbatoio rigido, contenente azoto a 140 bar (dato puramente descrittivo, non utile al fine dello svolgimento) e 20°C, è collegato, attraverso una valvola, ad una turbina adiabatica che aziona un alternatore della potenza di 75 kW; la pressione, nella sezione di ingresso della turbina, è mantenuta costante da un regolatore di pressione ed è pari a p1=7 bar. Il regolatore di pressione opera, tra ingresso ed uscita, una trasformazione isoentalpica (entalpia di ingresso = entalpia di uscita), mentre la trasformazione operata dalla turbina si deve supporre adiabatica quasi statica. L’azoto viene scaricato in uscita dalla turbina a pressione pari a 1 bar. Determinare la quantità di azoto necessaria per assicurare il funzionamento del motore per 1 ora. Si supponga che il serbatoio si mantenga isotermo durante il processo ad una temperatura pari a 20°C. Si consideri per l’azoto un rapporto cp/cv=1.399

30) Un sistema chiuso consiste di una massa m pari a 1 [kg] di aria avente un volume iniziale pari a V1 = 2 [m3] ed una pressione iniziale pari a p = 1 ata. Il sistema si trova all’interno di un sistema pistone cilindro rappresentato schematicamente in figura (il sistema pistone cilindro è supposto privo di fenomeni dissipativi legati all’attrito). Il sistema subisce un processo termodinamico a pressione media costante in cui il volume finale assume un valore pari a 3\*V1. Durante il processo termodinamico viene anche somministrato un lavoro d’elica pari a L∞ = 1kJ (lavoro entrante nel sistema). Determinare il calore Q che viene scambiato durante il processo, nell’ipotesi che l’aria si comporti come un gas ideale. Indicare anche se il calore scambiato viene ceduto oppure se viene assorbito dal sistema.



**Figura esercizio 29 Figura esercizio 30**