1) **A proposito di gas e entropia**

(esercizio tratto da "Elementi di fisica" , P. Mazzoldi, M.Nigro, C.Voci, Edises)

Tre n moli di gas ideale passano dalla stato A ($V_A = 30 \ 10^{-3}$ m^3, $p_A = 2 \ 10^5$ Pa) allo stato B ($V_B = 100 \ 10^{-3}$ m^3, $p_A = 4 \ 10^5$ Pa) effettuando una trasformazione rappresentata da un segmento nel piano p,V.
Sapendo che $\Delta S_{AB} = 148.2$ J/K, determinare :

a) se il gas è biatomico o monoatomico;
b) il calore scambiato dal gas.

2) **A proposito di gas e corpi solidi**

(esercizio tratto da "Elementi di fisica" , P. Mazzoldi, M.Nigro, C.Voci, Edises)

Dentro un contenitore adiabatico si trovano n = 1.5 mol di gas ideale monoatomico e un corpo solido di massa m = 0.25 kg alla temperatura di equilibrio $T_1 = 300$ K. Viene effettuata una rapida compressione, spendendo il lavoro W = - 5 kJ, alla fine della quale assumiamo che solo il gas abbia cambiato temperatura. Calcolare:

a) il valore della temperatura T_1 del gas.

Dopo un certo tempo nel contenitore, mantenuto ad un volume costante, si ristabilisce l'equilibrio termico alla temperatura $T_e = 362.2$ K. Calcolare:

b) il calore specifico del corpo.

3) **Cicli e rendimenti**

(esercizio tratto da "Elementi di fisica" , P. Mazzoldi, M.Nigro, C.Voci, Edises)

Un gas ideale biatomico, n = 0.42 mol, descrive il seguente ciclo reversibile:

1) dallo stato A ($V_A = V_1 = 10$ l, p_A = 1 bar) allo stato B ($V_B = V_2 = 2$ l) compressione isoterma;
2) dallo stato B allo stato C ($V_C = V_2$, p_C = 10 bar) riscaldamento isocoro;
3) dallo stato C allo stato D ($V_D = V_1$) espansione adiabatica;
4) dallo stato D allo stato A raffreddamento isocoro.

Calcolare: a) le coordinate termodinamiche dei quattro stati A,B,C e D, b) i lavori e le quantità di lavoro scambiati nelle quattro trasformazioni, c) il rendimento del ciclo.

4) Trasformazioni termodinamiche con cambiamenti di stato

(esercizio tratto da "Elementi di fisica" , P. Mazzoldi, M.Nigro, C.Voci, Edises)

In un recipiente adiabatico una massa m_1 = 0.01 kg di ghiaccio alla temperatura T_1 = - 5 °C viene immersa in una massa m_2 = 0.1 kg d'acqua alla temperatura di 20 °C alla temperatura T_2 = 20 °C. Il calore specifico dell'acqua è c = 4186 J/kg K, quello del ghiaccio è la metà; il calore latente di fusione del ghiaccio è $\lambda = 3.3 \ 10^5$ J/kg. Calcolare la temperatura di equilibrio T_e.

5) La temperatura massima

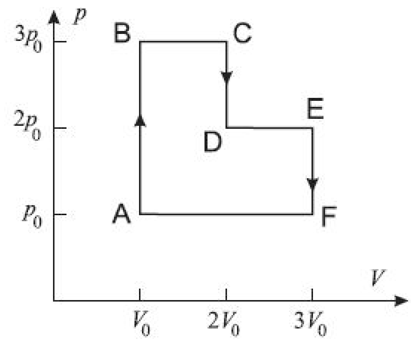
(problema 2 della gara locale delle Olifis del 1997)

Una certa quantità di gas elio effettua una trasformazione dallo stato A (3 dm^3, 40 kPa, 300 K) allo stato B (1 dm^3, 150 kPa, …). Il grafico della trasformazione è un segmento.
Trovare:

a) La temperatura di B
b) L'equazione che lega p e V nella trasformazione
c) La temperatura massima durante la trasformazione da A a B
d) Il lavoro compiuto durante il ciclo se dopo la trasformazione da A a B il sistema viene sottoposta ad una trasformazione isocora e, in seguito, ad una isobara.isobara.
e) Il rendimento del ciclo percorso in senso inverso (52 %, quello teorico è 79%)

6) Motore termico

(problema 1 della gara di secondo livello del 2013)



Un motore termico effettua il ciclo termodinamico mostrato nel piano cartesiano V − p in figura, costituito da trasformazioni quasi-stazionarie. Il fluido del motore è costituito da *n* moli di un gas perfetto monoatomico.

1. Giustificando le risposte, dire:
   a. In quali trasformazioni il gas compie lavoro e in quali lo riceve.
   b. In quali trasformazioni il gas si riscalda e in quali si raffredda.
   c. In quali trasformazioni l'energia interna del gas aumenta e in quali diminuisce.
   d. In quali trasformazioni il gas assorbe calore e in quali lo cede.
2. Calcolare il rendimento del motore.

Si ponga adesso $p_0 = 1 \times 10^5$ Pa e $V_0 = 0.02$ m^3, n = 1 mol.

3. Calcolare la temperatura più bassa T_b e quella più alta T_a raggiunte dal fluido durante il ciclo e individuare in quali stati il sistema raggiunge questi valori.

4. Determinare il rendimento di un motore che esegue un ciclo di Carnot tra le due temperature trovate nella domanda precedente.

7) **Radiazione termica** (Problema 4 della gara locale del 2015)

Il termine *radiazione termica* viene usato per quelle onde elettromagnetiche il cui spettro è continuo e dipende soprattutto dalla temperatura del corpo che le emette, a differenza di quel che avviene per altri tipi di onde elettromagnetiche, come le onde radio o quelle del telefono cellulare, che sono caratterizzate da frequenze discrete e ben definite, riconducibili alle caratteristiche dei dispositivi che le emettono.
Una grandezza utile per caratterizzare la radiazione termica emessa da un corpo è l'intensità della radiazione (*). Detta ΔE la quantità di energia emessa da una piccola porzione della superficie del corpo di area ΔA, in un piccolo intervallo di tempo Δt, l'intensità I è il rapporto $\Delta E/(\Delta A\ \Delta t)$. La sua unità di misura nel SI è quindi quella di una potenza per unità di superficie: W m^{-2}.
Per caratterizzare in dettaglio i fenomeni di emissione della radiazione la grandezza più utile è l'*intensità spettrale*, $I_s(\lambda)$, intesa come il rapporto tra l'intensità della componente di radiazione compresa in un piccolo intervallo di lunghezza d'onda $\Delta\lambda$ (centrato su un particolare valore di λ) e l'ampiezza dell'intervallo stesso: $I_s = \Delta I/\Delta\lambda$; ovviamente, I_s è funzione della lunghezza d'onda: ad ogni lunghezza d'onda associa l'intensità di radiazione emessa attorno a quella lunghezza d'onda.
In generale, l'intensità spettrale della radiazione termica emessa da un corpo dipende dalle proprietà del corpo, oltre che dalla sua temperatura, tuttavia in certi casi essa ha un andamento prossimo a quello di una funzione universale, che si calcola teoricamente sulla base della sola temperatura del corpo ed è appunto indipendente dalle sue proprietà: tale funzione è chiamata *spettro di corpo nero*.

ATTENZIONE: In un foglio a parte vengono forniti i grafici dell'intensità spettrale di corpo nero a due diverse temperature T_1 = 2000 K e T_2 = 1300 K .

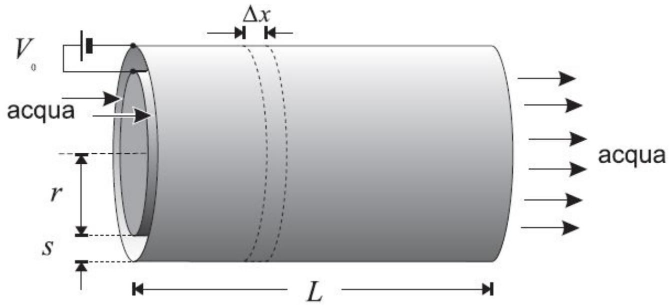
1. Utilizzando questi due grafici determinare il rapporto tra le intensità spettrali delle radiazioni emesse, alla lunghezza d'onda di 4 μm, da due corpi alle temperature T_1 = 2000 K e T_2 = 1300 K.
Una legge importante legata allo spettro di corpo nero fu derivata nel 1893 da Wilhelm Wien: egli dimostrò che, per un corpo nero, la lunghezza d'onda λ_m alla quale corrisponde il massimo dell'intensità spettrale è legata alla temperatura T dalla relazione $\lambda_m = bT^n$, dove n è un numero intero e b è una costante universale, chiamata appunto costante di Wien.
2. Determinare i valori di b ed n utilizzando esclusivamente i due grafici forniti.
Un'altra legge importante venne derivata, circa nello stesso periodo, da Joseph Stefan e, indipendentemente, da Ludwig Boltzmann: la legge afferma che l'intensità della radiazione emessa da un corpo nero, cioè l'intensità spettrale integrata su tutte le lunghezze d'onda

(sommando i contributi di radiazione delle varie lunghezze d'onda), è legata alla temperatura dalla relazione $I = \sigma T^{m}$, dove m è un numero intero e σ è una costante universale, chiamata appunto costante di Stefan-Boltzmann.
3. Determinare il valore di m e dare una stima di quello di σ attraverso i due grafici forniti, illustrando adeguatamente come si sono utilizzati: misure e calcoli eseguiti.
L'intensità spettrale della radiazione emessa dal Sole è approssimabile alla radiazione di corpo nero con $\lambda_m = 0.48$ µm.
4. Stimare il tempo necessario al Sole per perdere l'1 % della sua massa a causa della radiazione. La massa del Sole vale M = 2.0×10^{30} kg ed il suo raggio è R = 7.0×10^{8} m.

In questo problema useremo il termine "Intensità**" come riferito, in senso generico, al valore di una certa grandezza. La grandezza in questione si dovrebbe chiamare propriamente **Emettenza radiante** (unità nel SI: W/m^2), mentre si definisce **Intensità radiante** il flusso di energia per unità di tempo e di angolo solido in una certa direzione (unità di misura nel SI: W/sr). Analogamente per le grandezze riferite all'unità di lunghezza d'onda nella distribuzione spettrale: **Emettenza spettrale radiante** (che si misura quindi in W/m^3) ed Intensità spettrale radiante (unità: W/(m sr)).

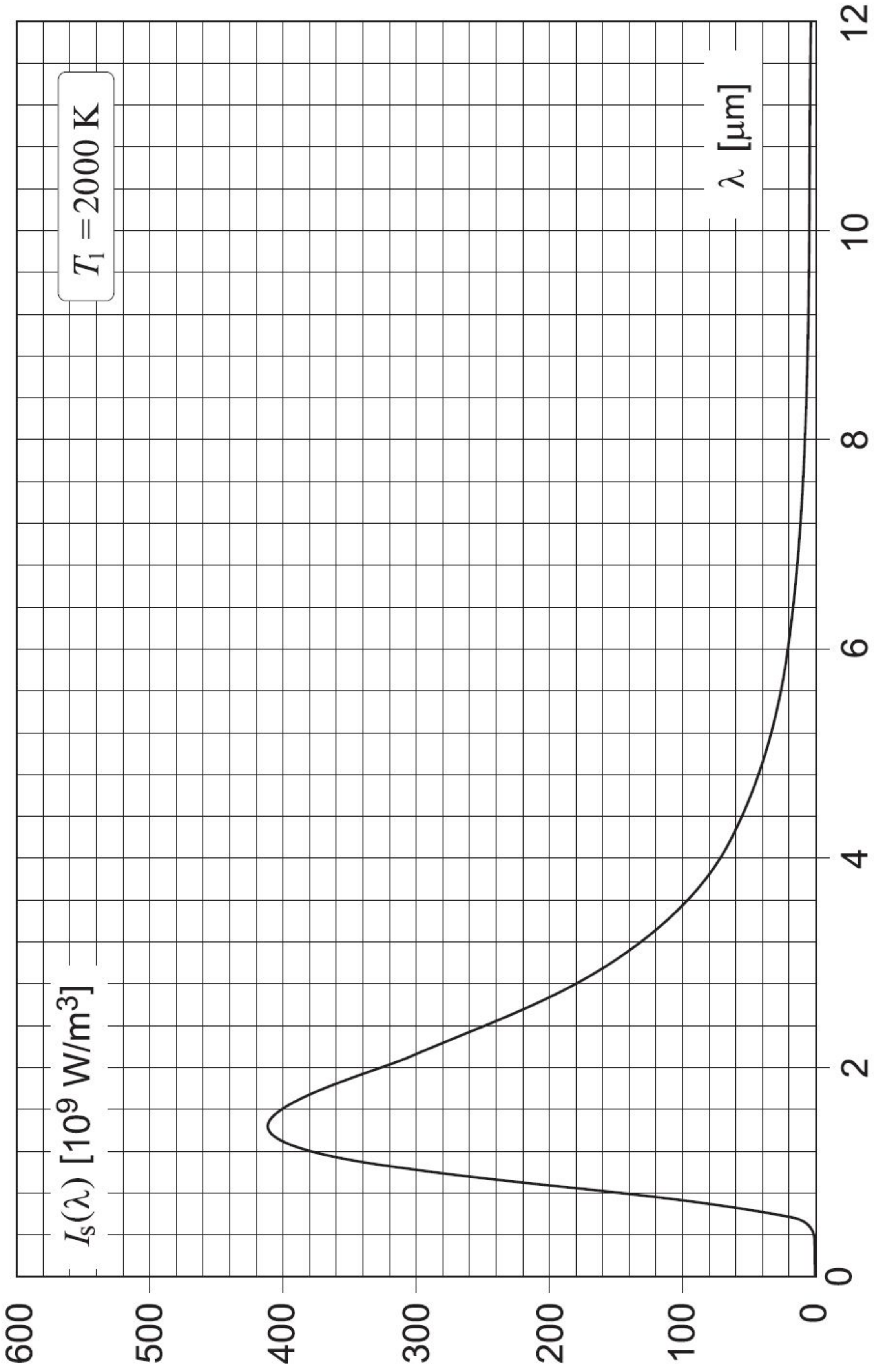
8) Riscaldatore elettrico (Problema 2 della gara locale del 2015)

Un riscaldatore elettrico di acqua è formato da due cilindri coassiali metallici di lunghezza L. Il raggio del cilindro interno vale r e s è la distanza tra i due cilindri, con $s \ll r$. I due cilindri sono collegati ad un generatore che fornisce una bassa tensione V_0. L'acqua scorre tra i due cilindri parallelamente al loro asse con velocità v e viene riscaldata dalla corrente elettrica che la attraversa.

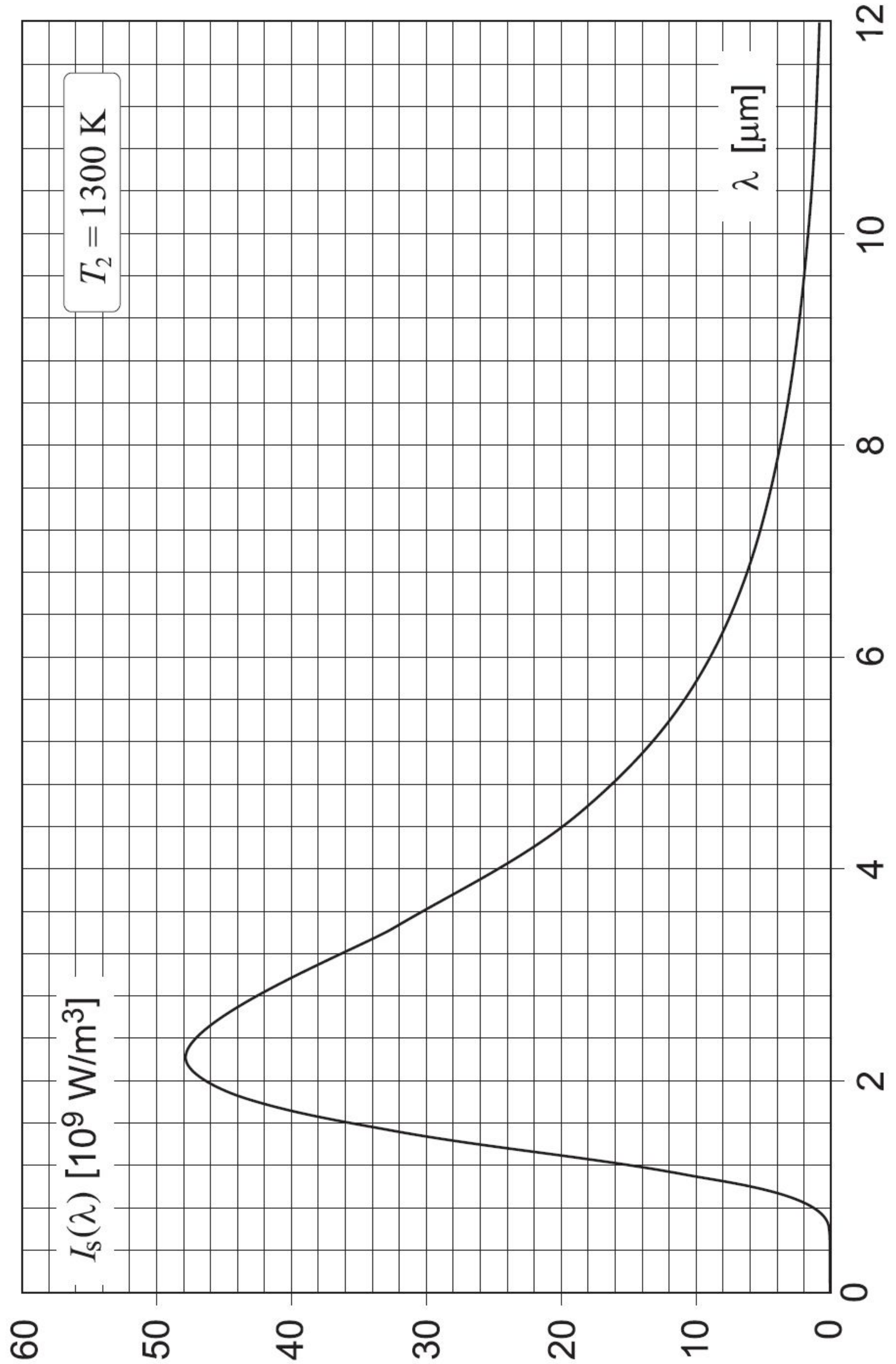


Specificare, motivando, se la corrente elettrica scorre: (a) parallelamente all'asse dei cilindri; (b) attorno al cilindro interno, descrivendo circonferenze perpendicolari all'asse; (c) perpendicolarmente all'asse dei cilindri, in direzione radiale.
Si indichi con δ la densità dell'acqua, con ρ la sua resistività e con c il suo calore specifico. Si trascurino la capacità termica dei due cilindri e il trasferimento di calore all'ambiente.
Si consideri un sottile tratto d'acqua di larghezza Δx. In funzione dei parametri forniti, si calcoli:
2. La sua resistenza elettrica.
3. La quantità di calore che assorbe nel passaggio attraverso l'intercapedine tra i cilindri.
4. La variazione di temperatura ΔT che subisce.

Problema 4: Radiazione termica - Grafico dello di corpo nero a 2000 K



Problema 4: Radiazione termica - Grafico dello di corpo nero a 1300 K



Risposte:

1) a) biatomico b) $\Delta U = 85$ kJ, $W = 21$ kJ

2) a) $T_1 = 567.3$ K b) c = 246.7 J/kg K

3) tabelle delle coordinate termodinamiche e delle quantità energetiche scambiate:

	V($10^{-3} m^3$)	**p** ($10^5\ Pa$)	**T(k)**
A	10	1	286,5
B	2	5	286,5
C	2	10	573,0
D	10	1,05	301,0

	W(J)	**ΔU(J)**	**Q(J)**
A → B	-1609,3	0	-1609,3
B → C	0	2499,9	2499,9
C → D	2373,3	-2373,3	0
D → A	0	-126,5	-126,5

Rendimento η = 764 J / 2499,9 J = 0,306

4) 10.8 °C e quindi il ghiaccio fonde tutto. Quantità maggiori di ghiaccio fino a 0.246 kg abbassano la temperatura di equilibrio fino a 0 °C, con masse superiori di ghiaccio non si riesce a far fondere completamente il ghiaccio.

5) a) 375 K b) p(V) = 205 kPa - 55 kPa/ dm^3 V c) 477 K
d) - 110 J e) 52 %, quello teorico (ciclo di Carnot operante tra temperatura massima e minima del ciclo) è 79%

6) 1. a) compie lavoro nelle trasformazioni BC e DE e ne assorbe nella compressione FA. Lavoro nullo nelle trasformazioni isocore. b) La temperatura aumenta nell'isocora AB e nell' espansione isobara BC, diminuisce in CD, aumenta nuovamente in DE e diminuisce in EF e FA. c) nei gas perfetti l'energia interna dipende *solo* dalla temperatura e quindi le variazioni dell'energia interna sono dello stesso segno delle variazioni della temperatura. d) il calore scambiato Q è positivo

nelle trasformazioni in cui aumenta la temperatura: AB, BC e DE, nelle altre diminuisce.
2. $\eta = 6/ 31 = 19\%$
3. la temperatura più bassa T_b è raggiunta in A = 241 K, quella più alta T_a è raggiunta in C e in D e vale 1444 K.
4. Tra le due temperature T_b e T_a una macchina di Carnot avrebbe il rendimento $\eta = 1- T_b /T_a = 83\%$

7) 1. $\eta = 2.8$ (accettati valori compresi tra 2.6 e 3.0)
2. b = 2.83 mmK (accettati valori compresi tra 2.63 e 3.03 mmK)
3. $N_1 = 115$ (accettati valori compresi tra 107 e 123), quindi $I_1 = 9.20\ 10^5$ W m^{-2} (accettati valori compresi tra 8.50 10^5 W m^{-2} e 9.90 10^5 W m^{-2}).
$N_2 = 201$ (accettati valori compresi tra 186 e 216), quindi $I_2 = 1.61\ 10^5$ W m^{-2} (accettati valori compresi tra 1.49 10^5 W m^{-2} e 1.73 10^5 W m^{-2}).
Il valore della costante $\sigma = 5.67\ 10^{-8}$ W m^{-2} K^{-4} (accettati valori compresi tra 5.10 e 6.24 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}) il valore ufficiale è 5.670373 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}
4. tempo compreso tra 2.4 e 5.6 [10^{18} s]

8) 1. corrente verso l’esterno in direzione radiale
2. $R = \rho s / (2\pi r \Delta x)$
3. $Q = (2\pi r \Delta x V_0^{\,2} L) / (\rho s v)$
4. $\Delta T= (V_0^{\,2} L) / (c\rho s^2 \delta v)$