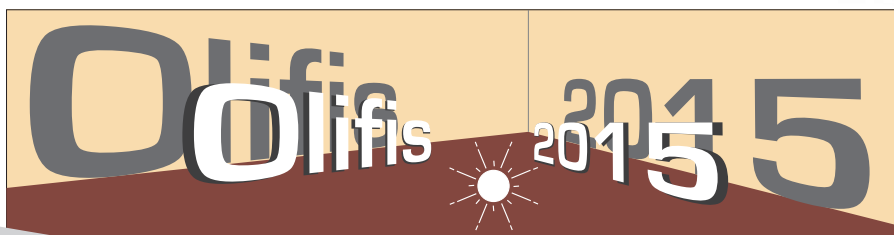




Associazione per l'Insegnamento della Fisica



*Non sfogliare questo fascicolo  
finché l'insegnante non ti dica di farlo.  
Leggi **ATTENTAMENTE** le istruzioni!*

**GARA DI 2° LIVELLO  
VENERDÌ 13  
FEBBRAIO 2015**

La prova consiste di due parti: nella prima parte si chiede di rispondere a dei quesiti che vertono su argomenti diversi della fisica; nella seconda parte di risolvere dei problemi.

- Hai 1 ora e 20 minuti di tempo a disposizione per rispondere ai quesiti della prima parte; dopo questo tempo le tue soluzioni saranno ritirate e ti verranno consegnati i testi dei problemi per i quali avrai ancora 1 ora e 40 minuti.
- Per ottenere il massimo punteggio previsto non basta riportare i risultati numerici corretti; devi anche indicare le leggi e i principi validi nella situazione in esame su cui si fondano i tuoi procedimenti risolutivi.
- Nel riportare la soluzione scrivi in forma simbolica le relazioni usate, prima di sostituire i dati numerici. Cerca di sviluppare il procedimento risolutivo in forma algebrica sostituendo i dati numerici alla fine. Fai seguire dati e risultati numerici dalle corrette unità di misura. Leggi attentamente la NOTA che precede i testi.
- Puoi usare la calcolatrice tascabile.
- Non è permesso l'uso di manuali di alcun tipo.
- I valori delle costanti fisiche di uso più comune, insieme ad alcuni dati utili, sono riportati a pagina 2.
- Per prima cosa leggere **ATTENTAMENTE** le istruzioni riportate subito prima dei testi.

Ora aspetta che ti sia dato il via e... Buon lavoro !

## ALCUNE COSTANTI FISICHE (\*)

COSTANTE	SIMBOLO	VALORE	UNITÀ
Velocità della luce nel vuoto	$c$	$2.9979 \times 10^8$	$\text{m s}^{-1}$
Carica elementare	$e$	$1.60218 \times 10^{-19}$	C
Massa del protone	$m_p$	$1.67262 \times 10^{-27}$	kg
		$= 9.3825 \times 10^2$	$\text{MeV } c^{-2}$
Massa dell'elettrone	$m_e$	$9.1094 \times 10^{-31}$	kg
		$= 5.1099 \times 10^2$	$\text{keV } c^{-2}$
Unità di massa atomica	$u$	$1.66054 \times 10^{-27}$	kg
Costante dielettrica del vuoto	$\varepsilon_0$	$8.8542 \times 10^{-12}$	$\text{F m}^{-1}$
Permeabilità magnetica del vuoto	$\mu_0$	$1.25664 \times 10^{-6}$	$\text{H m}^{-1}$
Costante di Avogadro	$N$	$6.0221 \times 10^{23}$	$\text{mol}^{-1}$
Costante di Boltzmann	$k$	$1.38065 \times 10^{-23}$	$\text{J K}^{-1}$
Costante di Faraday	$F$	$9.6485 \times 10^4$	$\text{C mol}^{-1}$
Costante di Planck	$h$	$6.6261 \times 10^{-34}$	J s
Costante di Stefan-Boltzmann	$\sigma$	$5.6704 \times 10^{-8}$	$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$
Costante gravitazionale	$G$	$6.6738 \times 10^{-11}$	$\text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$
Costante universale dei gas	$R$	8.3145	$\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$
Temperatura standard (0°C)	$T_0$	273.15	K

## ALTRI DATI CHE POSSONO ESSERE NECESSARI (\*)

Accelerazione media di gravità	$g$	9.8067	$\text{m s}^{-2}$
Pressione atmosferica standard	$p_0$	$1.01325 \times 10^5$	Pa
Volume molare di un gas perfetto in condizioni standard ( $p_0, T_0$ )	$V_m$	$2.2414 \times 10^{-2}$	$\text{m}^3 \text{mol}^{-1}$
Calore specifico dell'acqua	$c_a$	$4.1855 \times 10^3$	$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$
Calore di fusione dell'acqua	$\lambda_f$	$3.335 \times 10^5$	$\text{J kg}^{-1}$
Calore di vaporizzazione dell'acqua (a 100°C)	$\lambda_v$	$2.272 \times 10^6$	$\text{J kg}^{-1}$

(\*) Valori arrotondati, con errore relativo minore di  $10^{-5}$ , da considerare **esatti**

Materiale elaborato dal Gruppo



**PROGETTO OLIMPIADI**

*Segreteria Olimpiadi Italiane della Fisica*

e-mail: [segreteria@olifis.it](mailto:segreteria@olifis.it) - Tel. 0732 1966045

WEB: [www.olifis.it](http://www.olifis.it)

**NOTA BENE**

È possibile utilizzare, riprodurre, distribuire, comunicare al pubblico questo materiale alle due seguenti condizioni: citare la fonte; non usare il materiale, nemmeno parzialmente, per fini commerciali.

## Prima parte: **QUESITI**

TEMPO: 1 ora e 20 minuti.

Si consiglia di leggere il testo di tutti i 10 quesiti che ti sono proposti prima di iniziare a risolverli, tenendo presente che non sono stati ordinati per argomento.

Cerca poi di rispondere al maggior numero possibile dei quesiti.

- Riporta il tuo nome su TUTTI i fogli che consegnerai, nell'angolo in alto a SINISTRA.
- Sui fogli di risposta indica il numero del quesito in testa alla relativa soluzione, secondo questo esempio:

Quesito 7      Soluzione: ...

Se usi più fogli numera le pagine, nell'angolo in alto a DESTRA. Se la soluzione di un quesito prosegue su due fogli diversi riporta una nota esplicativa, come:

*SEGUE A PAGINA... (numero della pagina)*

- Per ogni risposta corretta e chiaramente motivata verranno assegnati 3 punti.
- Nessun punto verrà detratto per le risposte errate.
- Nessun punto verrà assegnato alle mancate risposte.

**NOTA importante sui DATI NUMERICI:** I dati numerici forniti nei singoli problemi, qualunque sia il numero di cifre con cui vengono scritti, si devono considerare noti con un'incertezza dello 0.1 %, salvo esplicita indicazione contraria. Le costanti fornite nella tabella generale si possono invece considerare note con incertezza trascurabile. Di conseguenza si scrivano i risultati numerici, quando richiesti, con un numero di cifre appropriato all'incertezza del risultato stesso.



1

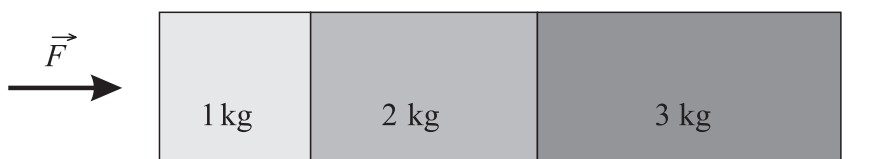
Un recipiente contiene dell'acqua e, sopra questa, uno strato d'olio. Un raggio di luce, proveniente dal basso, incide sulla superficie acqua-olio con un angolo di  $40^\circ$  rispetto alla direzione verticale. L'indice di rifrazione dell'acqua è 1.33, quello dell'olio 1.45.

- Si determini l'angolo di rifrazione (rispetto alla direzione verticale) del raggio quando emerge in aria.



2

Tre scatole sono spinte lungo una superficie liscia orizzontale con una forza  $\vec{F}$  parallela al piano, come mostrato in figura.



- Qual è l'intensità della forza che la scatola centrale esercita sulla scatola di sinistra?



3

Una pallina viene lanciata verticalmente verso il basso. Nei primi tre secondi percorre uno spazio quintuplo di quello che percorre nel primo secondo.

- Trascurando la resistenza dell'aria, qual è la sua velocità iniziale  $v_0$ ?



4

L'intensità della forza risultante  $F$  che agisce su un corpo aumenta da 0 a  $F_1 = 100 \text{ N}$  al ritmo costante di  $10 \text{ N s}^{-1}$ . In questo tempo il corpo, partendo da fermo, raggiunge la velocità

$v = 50 \text{ m s}^{-1}$ .

- Calcolare la massa del corpo.



5

Una bombola che contiene un gas è fornita di una valvola di sicurezza che automaticamente fa fuoriuscire un po' di gas quando la pressione interna supera 2 MPa. Quando la temperatura è  $10^\circ\text{C}$  la quantità massima di gas che la bombola può contenere è 15 kg. Si tratti il gas come un gas perfetto.

- Quanto gas può contenere al massimo la bombola quando la temperatura è  $30^\circ\text{C}$ ?



6

Un recipiente contenente acqua a  $20^\circ\text{C}$  viene posto su una piastra riscaldante che fornisce calore ad un tasso costante. Dopo 1 min la sua temperatura è  $40^\circ\text{C}$ .

- Quando l'acqua ha raggiunto l'ebollizione, quale percentuale dell'acqua iniziale passa allo stato aeriforme in 10 min?

(Si trascurino l'evaporazione che avviene nella prima fase e il trasferimento di calore all'aria.)



7

Un cilindro stretto, alto 1 m e aperto in cima, è parzialmente riempito d'acqua. La colonna d'aria nel cilindro risuona con una nota a 880 Hz quando è alta 48.4 cm. Aggiungendo altra acqua poco per volta, si trova la successiva risonanza alla stessa frequenza quando la colonna d'aria è alta 29.2 cm.

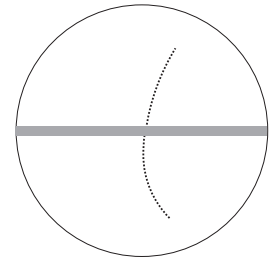
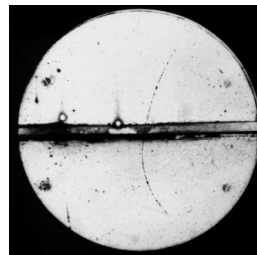
- Determinare la velocità del suono in aria nelle condizioni dell'esperimento.

*Nota: I tubi sonori si comportano come se avessero una lunghezza efficace leggermente maggiore della loro lunghezza effettiva. Qui si trascuri questo fatto che peraltro non influisce sulla soluzione.*



8

Nel 1932 Anderson scoprì una nuova particella, denominata *positrone*, osservando la traccia da essa lasciata in un rivelatore (camera a nebbia). Come indica il suo nome, il positrone ha una carica elettrica positiva. La foto a sinistra è quella originale e mostra chiaramente la traccia di un positrone che si sta muovendo nella camera a nebbia e attraversa una lastra di piombo orizzontale, spessa 6 mm, che la divide in due.



Nella regione è presente un campo magnetico uniforme perpendicolare al piano della foto. Nella figura a destra la situazione è schematizzata per chiarezza. Si supponga che il moto avvenga nel piano della foto.

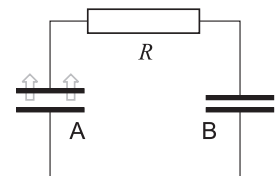
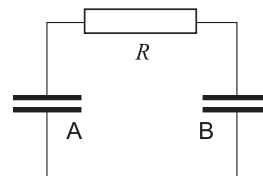
- Motivando adeguatamente la risposta, dire se il positrone attraversa la lastra di piombo dall'alto al basso o viceversa, e il verso del campo magnetico.



9

I due condensatori ideali a facce piane e parallele, A e B, rappresentati nella figura, sono uguali ed entrambi caricati alla stessa d.d.p. Sia  $q_0$  la carica presente su ciascuno di essi.

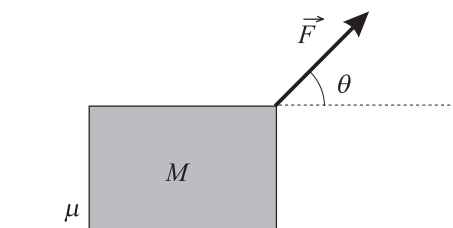
- Se la distanza fra le armature del primo viene raddoppiata, quanta carica attraversa il resistore  $R$ ?



10

Una scatola che ha una massa  $M = 7\text{ kg}$  è trainata su un pavimento orizzontale a velocità costante; il coefficiente d'attrito dinamico tra la scatola e il pavimento è  $\mu = 0.1$ . La direzione della forza  $\vec{F}$  forma un angolo  $\theta = 64^\circ$  con il piano orizzontale.

- Calcolare la componente normale della forza che il pavimento applica alla scatola.





Associazione per l'Insegnamento della Fisica



**GARA DI 2° LIVELLO  
VENERDÌ 13  
FEBBRAIO 2015**

Seconda parte: **PROBLEMI**  
TEMPO: 1 ora e 40 minuti.

- Esponi con chiarezza il procedimento risolutivo e tieni conto che nella valutazione si prenderanno in considerazione anche le soluzioni parziali.
- Riporta il tuo nome su TUTTI i fogli che consegnerai, nell'angolo in alto a SINISTRA.
- Utilizza un foglio diverso per ogni problema che hai risolto, numerandone le pagine, nell'angolo in alto a DESTRA.
- Indica il numero del problema in testa alla relativa soluzione, secondo questo esempio:

Problema 2

Soluzione: ...

- Indica chiaramente la domanda (1., 2., ...) cui si riferisce la parte di soluzione che stai scrivendo.

**NOTA importante sui DATI NUMERICI:** I dati numerici forniti nei singoli problemi, qualunque sia il numero di cifre con cui vengono scritti, si devono considerare noti con un'incertezza dello 0.1 %, salvo esplicita indicazione contraria. Le costanti fornite nella tabella generale si possono invece considerare note con incertezza trascurabile. Di conseguenza si scrivano i risultati numerici, quando richiesti, con un numero di cifre appropriato all'incertezza del risultato stesso.

*Materiale elaborato dal Gruppo*



**PROGETTO OLIMPIADI**  
*Segreteria Olimpiadi Italiane della Fisica*

e-mail: [segreteria@olifis.it](mailto:segreteria@olifis.it) - Tel. 0732 1966045

WEB: [www.olifis.it](http://www.olifis.it)

### **NOTA BENE**

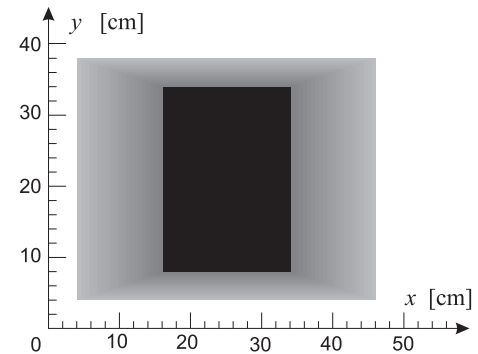
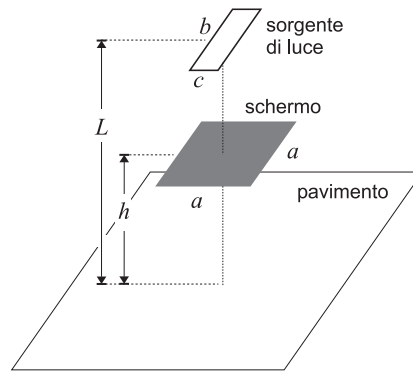
È possibile utilizzare, riprodurre, distribuire, comunicare al pubblico questo materiale alle due seguenti condizioni: citare la fonte; non usare il materiale, nemmeno parzialmente, per fini commerciali.

## P

## 1 – Giochi d'ombra

[Punti 10]

Una sorgente di luce rettangolare, di lati  $b$  e  $c$  con  $b > c$ , è fissata al soffitto di una stanza di altezza  $L = 3.00$  m. Uno schermo opaco quadrato di lato  $a = 10$  cm, disposto orizzontalmente, è collocato sotto la lampada ad un'altezza  $h$  rispetto al pavimento (v. figura a sinistra). I lati della sorgente sono paralleli a quelli dello schermo.



La figura a destra mostra schematicamente la forma e le dimensioni dell'ombra gettata dallo schermo sul pavimento della stanza, costituita da un'ombra vera e propria circondata da una zona di penombra; per motivi di chiarezza, i confini tra le varie zone sono stati rappresentati in maniera molto più netta di quanto appaiano nella realtà.

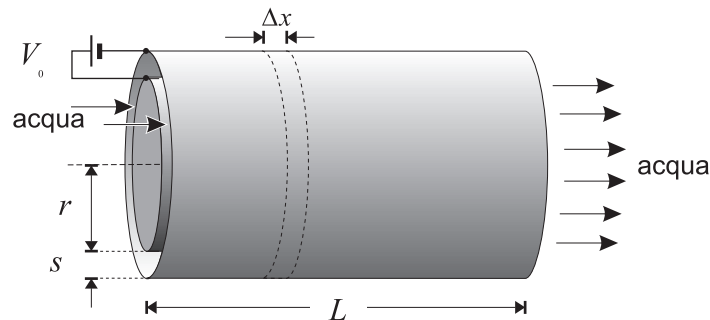
1. Determinare le dimensioni della sorgente di luce,  $b$  e  $c$ , e l'altezza  $h$  dello schermo.
2. Specificare l'orientazione della lampada chiarendo se il suo lato lungo ( $b$ ) è parallelo all'asse  $x$  o a quello  $y$  della figura a destra.

## P

## 2 – Riscaldatore elettrico

[Punti 10]

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.



1. 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  $\delta$  la densità dell'acqua, con  $\rho$  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  $\Delta x$ . 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  $\Delta T$  che subisce.

## P

## 3 – Tappeto elastico

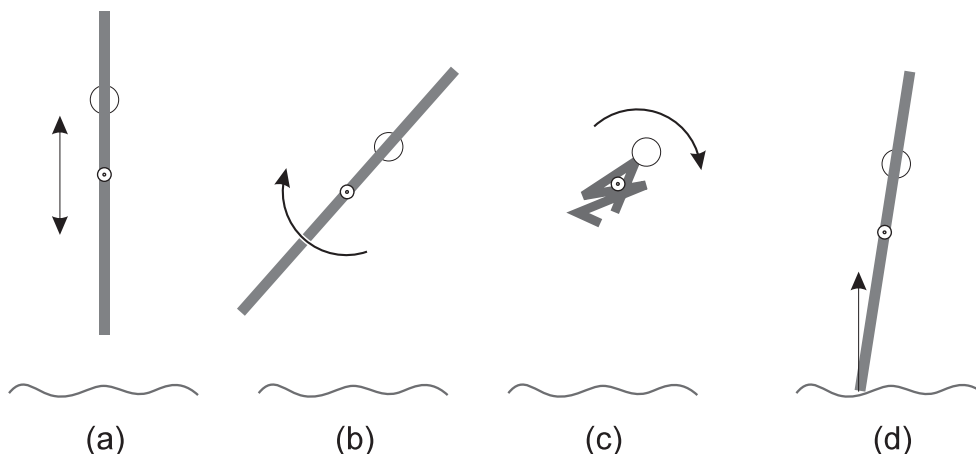
[Punti 20]

Valeria è una ragazzina che sta saltando sul tappeto elastico al parco giochi. Fa inizialmente alcuni semplici rimbalzi in verticale aumentando ad ogni rimbalzo l'altezza massima raggiunta.

Per studiarne il moto consideriamo il suo centro di massa (CdM)  $C$ . Fissiamo un sistema di riferimento con l'origine nel punto in cui si trova  $C$  all'istante del distacco dal tappeto elastico e l'asse  $y$  verticale e orientato verso l'alto.

1. Esprimere il tempo di volo  $t_0$  (tra un rimbalzo e l'altro) e la velocità  $v_0$  al momento del distacco dal tappeto in funzione dell'altezza  $h$  raggiunta, ovvero la variazione di quota del CdM. Calcolare i valori numerici di  $t_0$  e  $v_0$  per  $h = 2$  m.

Nei suoi salti, Valeria si mantiene dritta verticalmente, e tiene le braccia tese verso l'alto. Molto grossolanamente, possiamo assimilarla ad un'asta rigida e uniforme di lunghezza  $\ell$  e massa  $m$ , come mostrato in figura (a).



A un certo punto, quando giudica di aver raggiunto un'altezza massima sufficiente, Valeria vorrebbe fare una capriola (salto mortale) in aria, ma si rende conto che se resta rigida ciò non è possibile.

2. Perché?

Valeria allora fa in modo di ruotare (più avanti vedremo come), subito dopo un rimbalzo, attorno ad un asse orizzontale passante per il suo CdM, come mostrato in figura (b). Sia  $\omega_0$  la sua velocità angolare.

Valeria si rende però presto conto che sta ruotando troppo lentamente e non riuscirà a completare la capriola. Allora si rannicchia di scatto, come mostrato in figura (c) e in questo modo riesce a ridurre il proprio momento d'inerzia  $I$  di un fattore 4. La sua velocità angolare diventa  $\omega_1$ .

3. Trovare la relazione tra  $\omega_0$  e  $\omega_1$ .

Dopo aver compiuto buona parte della rotazione, Valeria si distende di nuovo. È davvero brava, perché riesce a farlo nel momento esatto che le consente di completare la rotazione e atterrare sul tappeto in posizione verticale. Durante il suo salto, ha trascorso metà tempo in posizione rannicchiata.

4. Ricordando che il tempo di volo è  $t_0$ , trovare la velocità angolare  $\omega_0$  in funzione dell'altezza massima  $h$  e calcolare il valore numerico di  $\omega_0$  per  $h = 2$  m.

Come abbiamo detto sopra, per fare la capriola Valeria fa in modo di avere una velocità angolare già all'inizio del suo salto. Per ottenere questo, alla fine del salto precedente arriva sul tappeto con un piccolo angolo  $\alpha$  rispetto alla verticale, perché in questo modo la spinta verticale che riceve dal tappeto le imprime un momento angolare rispetto al CdM, come mostrato in figura (d).

Si supponga che il modulo della velocità con cui Valeria arriva sul tappeto, e con cui ne riparte, sia in entrambi i casi  $v_0$ , e che prima dell'urto sia  $\omega = 0$ . Si tratti l'urto col tappeto come istantaneo. Si ricordi che il momento d'inerzia  $I$  di un'asta rigida e uniforme rispetto ad un asse perpendicolare all'asta e passante per il suo centro vale  $I = m\ell^2/12$ .

5. Ricavare  $\alpha$  in funzione di  $\ell$  e di  $h$ . Si trascuri la piccola inclinazione  $\alpha$  che la ragazzina ha in partenza e si consideri ancora una rotazione di  $360^\circ$ ; posto che sia ancora  $h = 2$  m e che sia  $\ell = 1.80$  m, calcolare il valore numerico di  $\alpha$ .



## 4 – Radiazione termica

[Punti 20]

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<sup>(\*)</sup>. Detta  $\Delta E$  la quantità di energia emessa da una piccola porzione della superficie del corpo di area  $\Delta A$ , in un piccolo intervallo di tempo  $\Delta t$ , 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:  $\text{W m}^{-2}$ .

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 radiazione compresa in un piccolo intervallo di lunghezza d'onda  $\Delta\lambda$  (centrato su un particolare valore di  $\lambda$ ) e l'ampiezza dell'intervallo stesso:  $I_s = \Delta I/\Delta\lambda$ ; ovviamente,  $I_s$  è funzione della 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  $T_1 = 2000 \text{ K}$  e  $T_2 = 1300 \text{ K}$ .

1. Utilizzando questi due grafici determinare il rapporto tra le intensità spettrali delle radiazioni emesse, alla lunghezza d'onda di  $4 \mu\text{m}$ , da due corpi alle temperature  $T_1 = 2000 \text{ K}$  e  $T_2 = 1300 \text{ K}$ .

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  $\lambda_m$  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  $\sigma$  è una costante universale, chiamata appunto *costante di Stefan-Boltzmann*.

3. Determinare il valore di  $m$  e dare una stima di quello di  $\sigma$  **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  $\lambda_m = 0.48 \mu\text{m}$ .

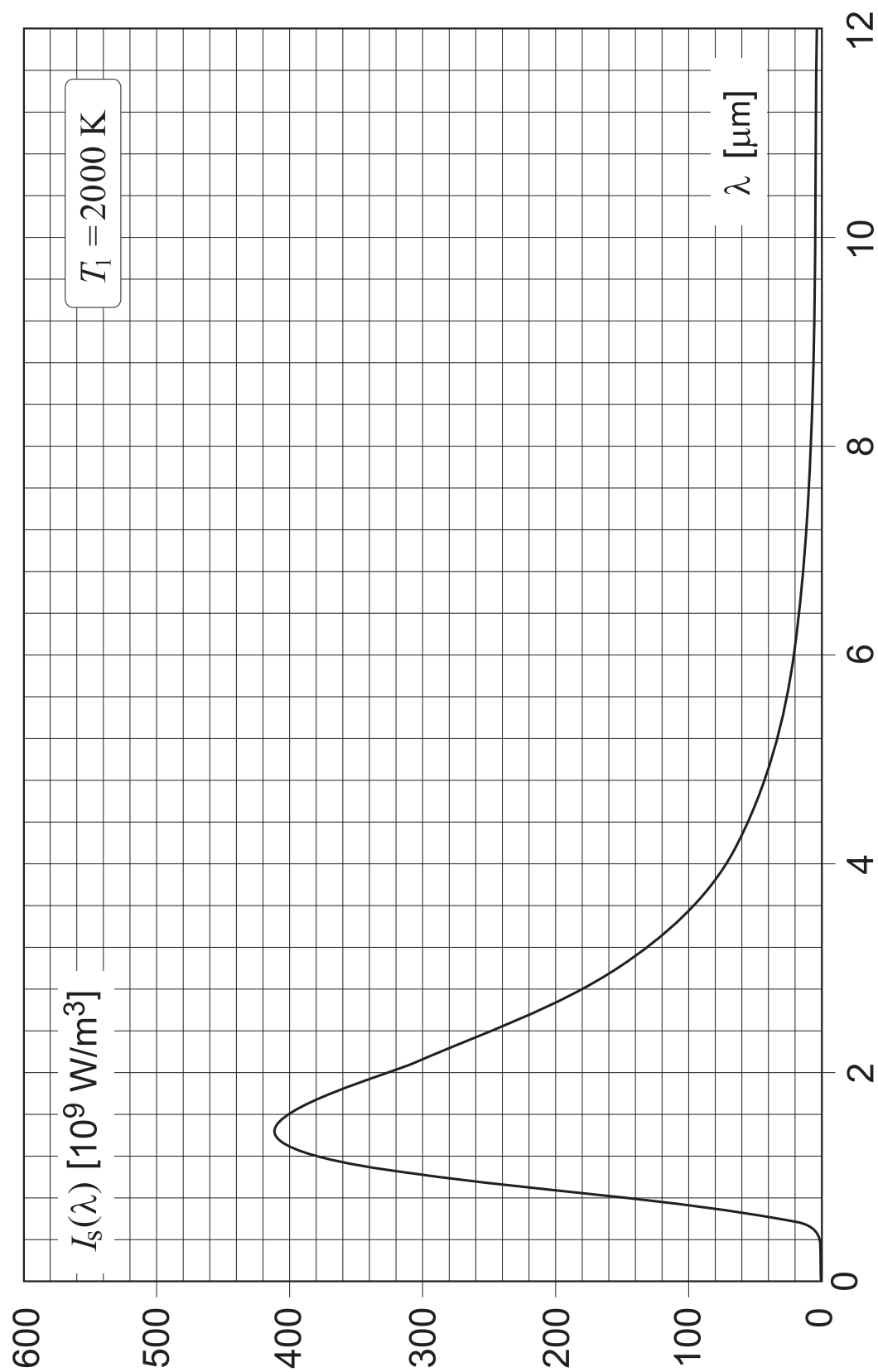
4. Stimare il tempo necessario al Sole per perdere l'1 % della sua massa a causa della radiazione termica.

La massa del Sole vale  $M_\odot = 2.0 \times 10^{30} \text{ kg}$  ed il suo raggio è  $R_\odot = 7.0 \times 10^8 \text{ m}$ .

.

(\*) 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 **Emetenza radiante** (unità nel SI:  $\text{W/m}^2$ ), 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:  $\text{W/sr}$ ). Analogamente per le grandezze riferite all'unità di lunghezza d'onda nella distribuzione spettrale: **Emetenza spettrale radiante** (che si misura quindi in  $\text{W/m}^3$ ) ed **Intensità spettrale radiante** (unità:  $\text{W/(m sr)}$ ).



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

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