



*Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca*

**BRST - ESAME DI STATO DI LICEO SCIENTIFICO**

CORSO SPERIMENTALE – Progetto “BROCCA”

**Indirizzo:** SCIENTIFICO TECNOLOGICO

**Tema di:** FISICA

**Secondo tema**

L'effetto Joule ha tantissime applicazioni pratiche, anche all'interno delle nostre case. Il candidato risponda ai seguenti quesiti e, dove è necessario effettuare calcoli, descriva i passaggi intermedi e commenti le conclusioni.

1. Descrivere e spiegare l'effetto Joule con una breve relazione scientifica.
2. Spiegare perché la resistenza di un conduttore aumenta con l'aumento della temperatura. Cosa succede, invece, nel caso di un semiconduttore?
3. Rappresentare graficamente e commentare l'andamento dell'intensità di corrente nel filamento di una lampada, in funzione del tempo, da quando è freddo a quando è diventato incandescente (si supponga costante la ddp applicata al filamento).
4. Spiegare il significato dell'espressione “corto circuito” che si sente qualche volta come causa d'incendio in un appartamento.
5. Spiegare il concetto di “potenza elettrica” e ricavare le formule che permettono di calcolare sia l'energia e sia la potenza in corrente continua e alternata. Ricavare anche le rispettive unità di misura come grandezze derivate del Sistema SI.
6. Uno scaldabagno elettrico, con una potenza di 1,2 kW, contiene 80 litri d'acqua alla temperatura di 18°C. Ammettendo che vi sia una dispersione d'energia del 5%, calcolare:
  - a) l'intensità di corrente che attraversa la resistenza, sapendo che la tensione di rete è 220 V;
  - b) quanto tempo è necessario, approssimando al minuto, perché il termostato interrompa l'alimentazione elettrica sapendo che esso è predisposto per interromperla quando l'acqua ha raggiunto la temperatura di 40°C;
  - c) la spesa da sostenere per portare l'acqua da 18°C a 40°C, sapendo che il costo del servizio è di 0,13 Euro/kWh;
  - d) la spesa sostenuta inutilmente a causa della dispersione di energia nello scaldabagno.

Durata massima della prova: 6 ore.

È consentito l'uso di tavole numeriche e della calcolatrice tascabile non programmabile e grafica.  
Non è consentito lasciare l'Istituto prima che siano trascorse 3 ore dalla dettatura del tema.

**Trascrizione ai fini dell'accessibilità**

ESAME DI STATO DI LICEO SCIENTIFICO  
CORSO SPERIMENTALE – Progetto “Brocca”  
Indirizzi: SCIENTIFICO – SCIENTIFICO TECNOLOGICO  
Tema di FISICA

**Secondo tema**

L'effetto Joule ha tantissime applicazioni pratiche, anche all'interno delle nostre case. Il candidato risponda ai seguenti quesiti e, dove è necessario effettuare calcoli, descriva i passaggi intermedi e commenti le conclusioni.

1. Descrivere e spiegare l'effetto Joule con una breve relazione scientifica.
2. Spiegare perché la resistenza di un conduttore aumenta con l'aumento della temperatura. Cosa succede, invece, nel caso di un semiconduttore?
3. Rappresentare graficamente e commentare l'andamento dell'intensità di corrente nel filamento di una lampada, in funzione del tempo, da quando è freddo a quando è diventato incandescente (si supponga costante la ddp applicata al filamento).
4. Spiegare il significato dell'espressione “corto circuito” che si sente qualche volta come causa d'incendio in un appartamento.
5. Spiegare il concetto di “potenza elettrica” e ricavare le formule che permettono di calcolare sia l'energia e sia la potenza in corrente continua e alternata. Ricavare anche le rispettive unità di misura come grandezze derivate del Sistema SI.
6. Uno scaldabagno elettrico, con una potenza di 1,2 kW, contiene 80 litri d'acqua alla temperatura di 18°C. Ammettendo che vi sia una dispersione d'energia del 5%, calcolare:
  - a) l'intensità di corrente che attraversa la resistenza, sapendo che la tensione di rete è 220 V;
  - b) quanto tempo è necessario, approssimando al minuto, perché il termostato interrompa l'alimentazione elettrica sapendo che esso è predisposto per interromperla quando l'acqua ha raggiunto la temperatura di 40°C;
  - c) la spesa da sostenere per portare l'acqua da 18 °C a 40 °C, sapendo che il costo del servizio è di 0,13 Euro/kWh;
  - d) la spesa sostenuta inutilmente a causa della dispersione di energia nello scaldabagno.

1.

L'effetto Joule consiste nella dissipazione termica di energia a seguito del passaggio di corrente in un elemento resistivo.

Supponiamo di avere un circuito costituito da un generatore  $\Delta V$  e una resistenza  $R$ , senza altri elementi utilizzatori; una carica  $\Delta q$  che attraversa tale differenza di potenziale riceve dal campo elettrico un lavoro pari a

$$\Delta L = \Delta q \cdot \Delta V;$$

la potenza erogata dal generatore risulta pertanto:

$$W = \frac{\Delta L}{\Delta t} = \frac{\Delta q \cdot \Delta V}{\Delta t} = i \cdot \Delta V$$

la relazione ottenuta ha validità generale, non avendo fatto alcuna assunzione sul rapporto esistente tra corrente e d.d.p.; nel caso particolarmente importante di un conduttore ohmico, introducendo la resistenza  $R$  del conduttore si ottengono, utilizzando la legge di Ohm, le relazioni:

$$W = i \cdot \Delta V = R i^2 = \frac{(\Delta V)^2}{R}$$

La potenza erogata dal generatore viene ceduta, sotto forma di energia termica, al conduttore che pertanto si riscalda.

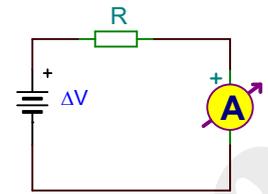
2.

La resistenza esprime l'opposizione offerta da un conduttore al passaggio della corrente a causa degli urti (anelastici) degli elettroni di conduzione con gli ioni del reticolo; all'aumentare della temperatura aumentano i moti di agitazione termica degli ioni e degli stessi elettroni, ostacolando maggiormente il passaggio degli elettroni, ovvero aumentando la resistenza del materiale; in un ampio regime di temperature, lontano dallo zero assoluto, dove si evidenziano fenomeni di superconduttività, e dal punto di fusione del materiale, la resistività aumenta linearmente con la temperatura  $\theta$

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha \theta)$$

dove  $\rho_0$  indica la resistività alla temperatura di  $0^\circ\text{C}$  e  $\alpha$  è una costante tipica di ogni materiale.

La dipendenza dalla temperatura può essere determinata in base ad un modello microscopico della conduzione: si supponga di avere un resistore di lunghezza  $l$  e sezione  $S$ ; il moto degli elettroni di conduzione, dovuto alla sovrapposizione tra la velocità di deriva ( $v_d$ ) e la velocità di agitazione termica ( $v_t$ ), molto maggiore, può approssimarsi come una successione di moti uniformemente accelerati intervallati da urti completamente anelatici in cui la particella cede



completamente la propria energia cinetica al reticolo; con ovvio significato dei simboli l'elettrone avrà quindi una velocità media, pari alla velocità di deriva, data da:

$$v_d = \bar{v} = \frac{1}{2} a \Delta t = \frac{eE}{2m} \Delta t$$

dove con  $\Delta t$  si è indicato il tempo medio tra due urti successivi; il fattore 2 deriva dal fatto che la velocità media, in un moto uniformemente accelerato con partenza da fermo, corrisponde alla metà della velocità massima raggiunta dal corpo. Essendo  $v_t \gg v_d$  si ha ancora

$$\Delta t = \frac{\lambda}{v_t}$$

dove  $\lambda$  è il libero cammino medio, ovvero la distanza mediamente percorsa da una particella tra due urti successivi, valore che dipende solo dalla struttura (dimensioni e densità atomica) del reticolo, da cui ancora, utilizzando per  $v_t$  il valore previsto dalla teoria cinetica,  $v_t = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$ , si ottiene

$$v_d = \frac{eE}{2m} \Delta t = \frac{eE \lambda}{2\sqrt{3k m T}}$$

la corrente è legata alla velocità di deriva dalla relazione  $i = n e S v_d$ , con  $n$  densità atomica (numero di atomi per unità di volume); introducendo il valore della d.d.p. ( $V$ ) applicata agli estremi del conduttore,  $V = \frac{E}{l}$  si ha infine:

$$i = \frac{n e^2 V S \lambda}{2l\sqrt{3k m T}} = \frac{n e^2 \lambda}{2\sqrt{3k m}} \cdot \frac{SV}{l\sqrt{T}} = \beta \frac{SV}{l\sqrt{T}}$$

da cui, esplicitando  $V$

$$V = \frac{\sqrt{T}}{\beta} \frac{l}{S} i = \rho \frac{l}{S} i$$

nella quale si riconoscono le due leggi di Ohm; essendo poi

$$\rho = \frac{\sqrt{T}}{\beta} = \frac{\sqrt{\theta_0 + \theta}}{\beta} = \frac{\sqrt{\theta_0}}{\beta} \sqrt{1 + \frac{\theta}{\theta_0}} \approx \rho_0 \left( 1 + \frac{1}{2\beta\sqrt{\theta_0}} \theta \right) = \rho_0 (1 + \alpha\theta)$$

con  $\theta_0 = 273 K$ , si evidenzia l'approssimato andamento lineare della resistività in funzione della temperatura (approssimazione valida per  $\theta \ll \theta_0$ ).

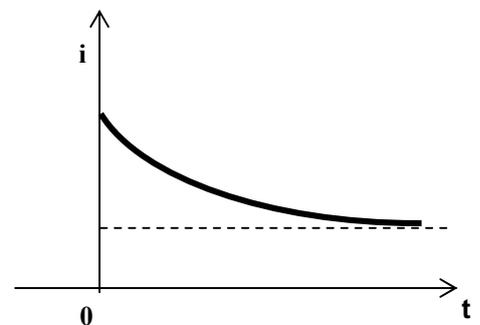
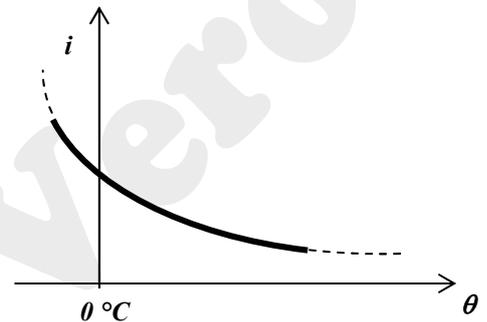
Per i semiconduttori il coefficiente  $\alpha$  è negativo per cui la resistività, e conseguentemente la resistenza del materiale, diminuisce all'aumentare della temperatura.

3.

In regime ohmico, assumendo per la resistenza la relazione  $R = R_0(1 + \alpha\theta)$  la corrente è data da:

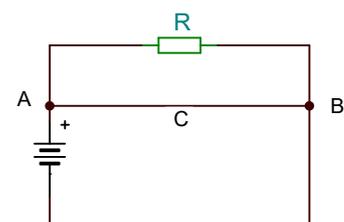
$$i = \frac{V}{R} = \frac{V}{R_0(1 + \alpha\theta)}$$

il cui andamento *in funzione della temperatura*, è espresso da una parte di un ramo di iperbole equilatera (esteso all'intervallo di temperatura specificato al punto 2, ovvero lontano dallo zero assoluto e dal punto di fusione ove l'approssimazione è priva di significato; il testo richiede tuttavia l'andamento *in funzione del tempo*, per cui, in assenza di indicazioni specifiche, si possono avanzare alcune ipotesi ragionevoli che portano ad una descrizione qualitativa del fenomeno: essendo il prodotto  $\alpha\theta \ll 1$ , la potenza dissipata per effetto Joule può ritenersi in prima approssimazione, dopo un breve transiente iniziale, circa costante nel tempo; inoltre la dissipazione di calore nell'ambiente esterno porta, come è esperienza comune, al raggiungimento di un equilibrio termico, per cui la corrente tende ad un valore asintotico non nullo (ovviamente purché la temperatura di equilibrio sia inferiore alla temperatura di fusione del conduttore); il grafico assume pertanto una forma analoga di quello già descritto.



4.

Per *corto circuito* si intende il collegamento tra due punti posti ad una differenza di potenziale finita tramite un conduttore di resistenza molto bassa (al limite nulla); nel circuito in figura i punti A e B sono collegati dal ramo contenente la resistenza R e dal ramo passante per C, in corto circuito perché privo di resistenza; in tali condizioni tutta la corrente *prende la via breve*



(da cui il nome *corto circuito*) si scarica nel ramo C, raggiungendo valori molto elevati e quindi potenzialmente pericolosi.

In pratica una situazione di corto circuito può realizzarsi per un difetto o un guasto nell'isolamento di fili conduttori che possono venire accidentalmente a contatto con loro o con parti metalliche dell'armatura di un congegno elettrico.

5.

La potenza esprime la velocità con la quale un sistema produce (o dissipa) lavoro

$$W = \frac{\Delta L}{\Delta t}$$

nel caso di corrente continua la potenza elettrica è già stata ricavata al punto 1; segue immediatamente l'espressione dell'energia prodotta (o dissipata) nel tempo  $\Delta t$ :

$$L = \Delta U = W \Delta t = i \Delta V \Delta t = Ri^2 \Delta t = \frac{(\Delta V)^2}{R} \Delta t$$

dove gli ultimi due valori sono validi solo in regime ohmico.

Nel caso di una corrente alternata del tipo  $i = i_0 \text{sen } \omega t$ , limitandosi al caso di correlazione in fase tra d.d.p. e corrente, la potenza efficace si ricava come valore medio della potenza istantanea su un periodo, ovvero

$$W = \frac{\int_0^T i \Delta V dt}{T} = \frac{i_0 V_0 \int_0^T \text{sen}^2 \omega t dt}{T} = \frac{i_0 V_0}{2} = i_{\text{eff}} V_{\text{eff}}$$

dove  $i_{\text{eff}} = \frac{i_0}{\sqrt{2}}$  esprime la corrente efficace, ovvero la corrente continua che, attraversando lo stesso conduttore, dissipa la stessa energia della corrente alternata considerata (analogamente per  $V_{\text{eff}}$ ); per l'energia dissipata istantaneamente si ha:

$$dU = i(t)V(t) dt = i_0 V_0 \text{sen}^2 \omega t dt$$

L'unità di misura S.I. dell'energia è il *joule* ( $J$ ), definito dal lavoro compiuto dalla forza unitaria ( $1 N$ ) che sposta di  $1 m$  il suo punto di applicazione:

$$1 J = 1 N \cdot 1 m = 1 \text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$$

L'unità di misura della potenza è il *watt* ( $W$ ), definito come la potenza di un sistema che sviluppa il lavoro di  $1 J$  in  $1 s$ :

$$1 W = 1 J / s = 1 \text{kg m}^2 \text{s}^{-3}$$

queste relazioni esprimono lavoro e potenza in termini delle grandezze fondamentali del S.I.; utilizzando grandezze di ambito elettrico si può riscrivere tale equazione nella forma

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 1 \frac{\text{J}}{\text{C}} \cdot \frac{\text{C}}{\text{s}} = 1 \text{ V} \cdot \text{A}$$

nella quale la sola unità di corrente elettrica (*ampere*) è fondamentale nel S.I.

6.

a)

La corrente richiesta è data da:

$$i = \frac{W}{\Delta V} = \frac{1.2 \cdot 10^3 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 5.45 \text{ A}$$

trattandosi ragionevolmente di corrente alternata, la tensione fornita e l'intensità ricavata sono da intendersi come valori efficaci.

b)

Il calore richiesto è pari a  $Q = c m \Delta\theta$ , dove  $c = 4184 \text{ J/(kg } ^\circ\text{C)}$  è il calore specifico dell'acqua (non fornito dal testo) e  $m$  la massa di acqua da scaldare; indicato con  $\eta = 0.95$  il rendimento dello scaldabagno, la potenza effettiva utilizzabile è  $W' = \eta W$ , da cui il tempo richiesto risulta:

$$\Delta t = \frac{c m \Delta\theta}{\eta W} = \frac{4184 \text{ J/(kg } ^\circ\text{C)} \cdot 80 \text{ l} \cdot 1 \text{ kg/l} \cdot 22 \text{ } ^\circ\text{C}}{0.95 \cdot 1200 \text{ W}} = 6460 \text{ s} = 1 \text{ h } 48 \text{ min} = 1.8 \text{ h}$$

c)

La spesa richiesta è data da:

$$S = 0.13 \text{ €/kWh} \cdot 1.2 \text{ kW} \cdot 1.8 \text{ h} = 0.28 \text{ €}$$

d)

In assenza di dispersione il tempo richiesto per scaldare l'acqua risulta pari a

$$\Delta t' = \eta \Delta t = 1 \text{ h } 42 \text{ min} = 1.70 \text{ h}$$

per cui la spesa risulta  $S' = \eta S = 0.27 \text{ €}$ ; l'aggravio di spesa risulta quindi pari a 0.01 €, pari al 5% della spesa sostenuta.