

**ESAME DI STATO
DI LICEO SCIENTIFICO
2006**

Indirizzo

Scientifico Tecnologico

Progetto Brocca

La prova

Il candidato svolga una relazione su uno solo dei seguenti due temi, a sua scelta, prestando particolare attenzione al corretto uso della terminologia scientifica e delle cifre significative nella presentazione dei risultati numerici.

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 di 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.

La soluzione

Secondo tema

L'effetto Joule

L'effetto Joule è il fenomeno per il quale il passaggio di corrente all'interno di un conduttore determina un aumento di temperatura di quest'ultimo. L'aumento di temperatura dipende da vari fattori, fra cui la capacità termica del conduttore, la possibilità che esso ceda calore all'ambiente, l'intervallo di tempo preso in esame, e in particolar modo la differenza di potenziale ai capi del conduttore e la corrente stabilita su di esso.

Una pila, e in generale un generatore di tensione, forniscono energia ai portatori di carica che circolano in un conduttore. Possiamo immaginare che in una pila, a circuito aperto, esista ai due morsetti una certa quantità di carica statica non bilanciata, di segno opposto. Una distribuzione di cariche di questo tipo possiede evidentemente una energia potenziale elettrica, dato che è possibile accelerare i portatori di carica permettendo loro di raggiungere le cariche di segno opposto. Quando si chiude il circuito avviene appunto questo. I portatori di carica (in un conduttore metallico, ad esempio, si tratta di elettroni) si muovono lungo il circuito sotto l'azione del campo elettrico generato dalla distribuzione di cariche: così facendo trasformano energia potenziale in energia cinetica, la quale viene poi trasformata in energia interna del conduttore negli urti disordinati fra gli elettroni e il reticolo cristallino. Tale aumento di energia interna si manifesta attraverso un *aumento di temperatura* del conduttore stesso: per effetto della corrente che è presente in esso, il conduttore *si scalda*. Questa spiegazione dell'effetto Joule ricorre esclusivamente a concetti classici, ma resta in prima approssimazione molto utile.

La dipendenza della resistenza dalla temperatura

Gli stessi concetti classici a cui abbiamo fatto ricorso per illustrare l'effetto Joule posso essere invocati per tentare di spiegare il fatto sperimentale per cui, nei conduttori metallici, l'aumento di temperatura fa aumentare la resistività del materiale e di conseguenza la resistenza del conduttore. Si può dire, allora, che l'aumento di temperatura fa aumentare la velocità del moto di agitazione termica tanto dei nuclei atomici nel reticolo cristallino quanto degli elettroni di conduzione. Il primo processo, però, non può essere molto significativo, perché le velocità termiche dei nuclei sono comunque molto piccole in confronto a quelle degli elettroni incidenti, e una variazione delle prime non può portare a una variazione apprezzabile delle seconde.

Resta dunque il secondo processo. Se gli elettroni hanno velocità termiche maggiori, il tempo che intercorre fra un urto e l'altro diminuisce; dunque diminuisce il tempo durante il quale in campo elettrico esterno (applicato dalla pila) può accelerarli nel moto di conduzione, prima che un urto casuale riporti l'elettrone a condizioni in media uguali a quelle precedenti l'accelerazione. Questa è la spiegazione classica della dipendenza della resistenza dalla temperatura.

Va detto, però, che questa spiegazione comporta serie difficoltà. Molti esperimenti mostrano che gli elettroni di conduzione non variano apprezzabilmente la propria energia quando il conduttore

viene scaldato: se l'aumento della resistività con la temperatura fosse davvero dovuto agli elettroni e fosse spiegabile secondo la fisica classica, il fenomeno non esisterebbe neppure.

Una spiegazione del fenomeno compatibile con il complesso delle osservazioni sperimentali viene data invece dalla teoria quantistica dei solidi. Si tratta però di un argomento molto avanzato, e non è verosimile che ci si aspetti che il candidato sia in grado di farvi ricorso.

Che il testo non richieda una spiegazione di carattere quantistico lo dimostra il diverso tenore della seconda parte della domanda. In essa non si chiede di “spiegare” il comportamento dei semiconduttori al variare della temperatura, ma soltanto di descriverlo. In effetti, i semiconduttori si comportano in maniera opposta a quella dei metalli: quando la temperatura aumenta, la resistività di un semiconduttore *diminuisce*. Il fenomeno è del tutto paradossale dal punto di vista classico, e può essere spiegato soltanto dalla teoria quantistica.

L'andamento della corrente all'aumentare della temperatura

In termini qualitativi, la variazione della corrente I al variare del tempo t nel filamento di una lampadina sottoposto a una differenza di potenziale costante può essere rappresentata come nella fig.(1), dove la differenza fra la curva ideale, corrispondente a una resistenza indipendente dalla temperatura, e la curva reale è stata opportunamente sottolineata. Al passare del tempo, dapprima

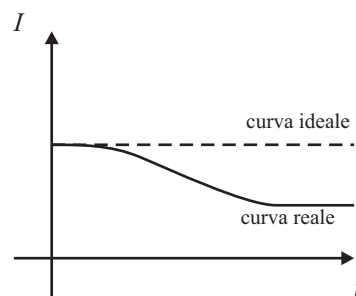


Figura 1: Relazione fra I e t

la temperatura del filamento aumenta e con essa diminuisce la corrente, secondo quanto previsto dalle legge di Ohm:

$$\Delta V = R \cdot I. \quad (1)$$

Se il filamento fosse isolato, la sua temperatura aumenterebbe costantemente, almeno fino a raggiungere la temperatura di fusione del materiale che lo costituisce. Ma il filamento perde energia per irraggiamento, e per questo motivo, raggiunta una particolare temperatura (che per una lampadina tradizionale è intorno ai 3000 K), si viene a creare una condizione di equilibrio dinamico: l'energia ulteriore che “entra” nel filamento come energia elettrica “fluisce” nell'ambiente come energia elettromagnetica. Restando costante l'energia, anche la temperatura del filamento, e di conseguenza la sua resistenza, non variano più, e la corrente si mantiene di qui in avanti costante.

Il corto circuito

Nella trattazione dei circuiti elettrici, l'espressione *corto circuito* indica il collegamento di due punti a potenziale differente mediante un conduttore di resistenza molto piccola. Per la legge di Ohm, questa situazione comporta una corrente di intensità molto elevata. Le considerazioni che precedono, e ancora meglio quelle che seguono, chiariscono che la presenza di una corrente elevata in un conduttore comporta che la temperatura di questo si alzi anche notevolmente. Se il conduttore è vicino a materiale infiammabile, la condizione di corto circuito può dare fuoco a questo materiale, comportando un principio di incendio.

La potenza elettrica

La grandezza fisica potenza è definita come il rapporto fra una variazione di energia (che può avere luogo perché un sistema guadagna o perde energia, o perché l'energia di un sistema passa da una forma ad un'altra) e l'intervallo di tempo in cui essa avviene:

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}. \quad (2)$$

È facile notare come, qualora l'energia possa essere scritta come una funzione del tempo, la potenza non rappresenti altro che la derivata dell'energia rispetto al tempo. In ogni caso, la potenza rappresenta la *velocità* con cui varia l'energia di un sistema, o una delle sue forme.

Come abbiamo visto, in un circuito elettrico l'energia elettrica si trasforma continuamente in energia interna dei conduttori che si scaldano. Si può quindi parlare di *potenza elettrica*, indicando con questo termine la velocità con cui l'energia elettrica si trasforma in energia interna (o in altre forme di energia).

Ricordiamo che l'energia posseduta da un sistema di cariche può essere scritta come il prodotto di una di esse per il potenziale elettrico prodotto dalle altre:

$$E_{el} = q \cdot V. \quad (3)$$

Se la carica in esame passa da un punto a un altro, attraversando una ddp ΔV , la corrispondente variazione di energia elettrica è:

$$\Delta E_{el} = q \cdot \Delta V. \quad (4)$$

Sostituendo la (3) nella (2), si ottiene:

$$P = \frac{q \cdot \Delta V}{\Delta t} = \frac{q}{\Delta t} \cdot \Delta V = I \cdot \Delta V \quad (5)$$

dove abbiamo applicato la definizione di intensità di corrente come velocità di spostamento della carica:

$$I = \frac{q}{\Delta t}. \quad (6)$$

Si giunge così a un risultato molto utile: *la potenza elettrica in un conduttore percorso da corrente è uguale al prodotto dell'intensità di corrente per la differenza di potenziale ai capi del conduttore*. Sostituendo nella (5) a ogni grandezza le corrispondenti unità nel Sistema Internazionale, si osserva come l'equazione si traduca in una identità:

$$A \cdot V = A \cdot \frac{J}{A \cdot s} = \frac{J}{s} = W. \quad (7)$$

La (5) si può anche scrivere, grazie alla legge di Ohm:

$$P = I \cdot R \cdot I = R \cdot I^2. \quad (8)$$

Questa relazione è utile per ricavare l'espressione della potenza nel caso di una corrente alternata di ampiezza massima I_0 e pulsazione ω . In tal caso la *potenza istantanea* sarà data dall'espressione:

$$P(t) = R \cdot [I_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)]^2. \quad (9)$$

Integrando la potenza $P(t)$ su un periodo $2\pi/\omega$ e dividendo il risultato per il periodo stesso, si ottiene l'espressione della *potenza media*:

$$\bar{P} = R \cdot \frac{I_0^2}{2} = R \cdot \left(\frac{I_0}{\sqrt{2}} \right)^2 \quad (10)$$

dove il termine $I_0/\sqrt{2}$ prende il nome di *corrente efficace*.

Si ottengono allo stesso modo le relazioni in termini di differenza di potenziale:

$$P = \frac{\Delta V^2}{R} \quad (11)$$

e

$$\bar{P} = \frac{\left(\frac{\Delta V_0}{\sqrt{2}}\right)^2}{R} \quad (12)$$

dove $\Delta V_0/\sqrt{2}$ è la *tensione efficace*.

Lo scaldabagno elettrico

Dalle relazioni precedenti si ricava che, per una potenza *media* di 1,2kW e una tensione *efficace* di 220 V, l'intensità di corrente *efficace* dev'essere pari a:

$$I_0 = \frac{\bar{P}}{\Delta V_0} = \frac{1,2 \text{ kW}}{220 \text{ V}} = 5,45 \text{ A.} \quad (13)$$

Una quantità d'acqua pari a 80L, ovvero con una massa di 80kg, ha una capacità termica pari a:

$$C = 80 \text{ kg} \cdot 4,18 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{K}}. \quad (14)$$

Per produrre una variazione di temperatura di $40^\circ\text{C} - 18^\circ\text{C} = 22^\circ\text{C} = 22 \text{ K}$ è necessaria un'energia:

$$\Delta E = C \cdot \Delta T = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot 22 \text{ K} = 7,3 \text{ MJ.} \quad (15)$$

Dalla (2), e tendo conto che la potenza utile è pari al 95% di quella totale, si ricava un intervallo di tempo necessario pari a:

$$\Delta t = \frac{\Delta E}{P_{ut}} = \frac{7,3 \text{ MJ}}{0,95 \cdot 1,2 \text{ kW}} = 6,4 \cdot 10^3 \text{ s} \simeq 107 \text{ min.} \quad (16)$$

Il termostato interromperà l'alimentazione dopo circa un'ora e quarantasette minuti.

Questo intervallo di tempo è pari a 1,78h. L'energia consumata in kilowattora è pertanto semplicemente $1,2 \text{ kW} \cdot 1,78 \text{ h} = 2,1 \text{ kWh}$. Dato il costo del servizio, ciò comporta una spesa di circa 27 centesimi.

Di tale spesa, il 5%, pari a poco più di un centesimo, è "inutile" o, meglio, è dovuta alle dispersioni di energia.