

Fenomeni elettrici

Conduttori: materiali in cui sono presenti cariche elettriche libere (metalli, conduttori elettrolitici)

Isolanti: mancanza (o quasi) di cariche elettriche libere di muoversi.

Semiconduttori: caratteristiche intermedie.

Proprietà dei conduttori: se ad un conduttore isolato viene fornita una certa quantità di carica, questa si dispone (all'equilibrio) sulla superficie. I punti sulla superficie si trovano allo stesso potenziale (se tra due punti ci fosse una ddp) si avrebbe spostamento di carica positiva dai punti a alto potenziale a quelli a basso potenziale.



Fenomeni elettrici

Condensatore

Condensatore: un insieme di due armature conduttrici, poste l'una di fronte all'altra e separate da un materiale isolante.

Sulle armature è presente una quantità di carica Q (su una armatura $+Q$ e sull'altra $-Q$); tale carica si distribuisce in maniera uniforme sulle armature del conduttore. Si forma all'interno del condensatore un campo elettrico uniforme che ha modulo $E = \Delta V/d$.

Se si carica un condensatore si verifica sperimentalmente che il rapporto tra la carica accumulata sulle armature e la ddp è costante (dipende dalla geometria del condensatore e dal materiale tra le armature)

Si definisce capacità del condensatore il rapporto:

$$C = Q/\Delta V$$

Unità di misura nel sistema MKS: farad (F): una capacità di un F si ha quando il condensatore caricato con una carica di 1 C ha ai suoi capi una ddp di 1V.

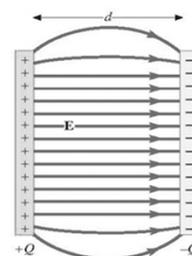


Figura 11.14

Linee di forza del campo elettrico E tra le armature di un condensatore piano carico. Il campo è praticamente *uniforme* e di modulo $E = \Delta V/d$.



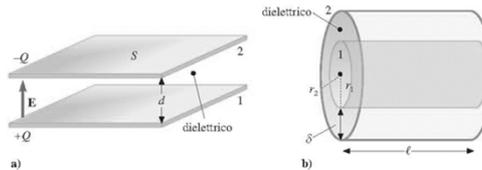
Fenomeni elettrici

Capacità del condensatore dipende dalla geometria e dal materiale frapposto tra le armature.

Esistono diversi tipi di condensatori (condensatori piani, cilindrici, sferici)

Figura 11.13

(a) Condensatore piano. Tra le due armature è interposto un materiale isolante (dielettrico). (b) Condensatore cilindrico. Tra le due armature è interposto un materiale isolante (dielettrico). La loro distanza è solitamente molto più piccola del raggio esterno.



Scannicchio
Fisica biomedica
EdiSES

EdiSES

Fenomeni elettrici

Consideriamo un condensatore piano di area A e distanza d tra le armature.

Avevamo visto per il campo elettrico di una lastra carica con carica Q e densità di carica ($\sigma=Q/A$):

$$E_1 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon_2}$$

Se consideriamo due lastre una carica positivamente e una negativamente, il campo all'interno raddoppia.

$$E_2 = 2E_1 = \frac{\sigma}{\epsilon_0\epsilon_2} = \frac{Q}{A\epsilon_0\epsilon_2}$$

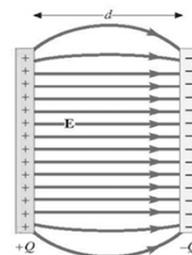


Figura 11.14

Linee di forza del campo elettrico E tra le armature di un condensatore piano carico. Il campo è praticamente *uniforme* e di modulo $E = \Delta V/d$.

Per il modulo di E (E costante):

$$E = \frac{\Delta V}{\Delta x} \quad \Delta V = E \Delta x = Ed$$

EdiSES

Fenomeni elettrici

$$\Delta V = \frac{dQ}{A \epsilon_0 \epsilon_r}$$

$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{Q A \epsilon_0 \epsilon_r}{dQ}$$

$$C = \frac{A \epsilon_0 \epsilon_r}{d}$$

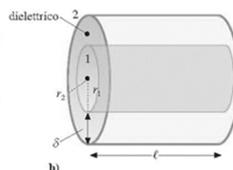
In un mezzo

$$C = \frac{A \epsilon_0}{d}$$

Nel vuoto

Per il condensatore cilindrico:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r 2\pi \frac{\kappa_2}{\delta} l$$



La capacità dipende dalla geometria e dalla costante dielettrica relativa del mezzo.



Fenomeni elettrici

Energia immagazzinata nel condensatore

Un condensatore carico immagazzina energia mantenendo separate cariche positive e negative. L'energia immagazzinata è uguale al lavoro compiuto per caricare le armature del condensatore stesso.

Nel processo di carica del condensatore il potenziale sale da zero (quando è scarico) a $V_0 = Q/C$

Per aggiungere una quantità di carica Δq bisogna vincere la repulsione elettrostatica delle cariche già accumulate e quindi compiere un lavoro:

$$L = V \Delta q = \frac{q}{C} \Delta q$$

Il lavoro totale sarà la sommatoria dei lavori necessari per aggiungere le varie quantità di carica fino ad arrivare alla carica totale Q ;

$$L_{TOT} = \sum L = \sum \frac{q}{C} \Delta q$$

Considerando incrementi infinitesimi di carica la sommatoria diventa un integrale:

$$L_{TOT} = \int_0^Q V dq$$

Fenomeni elettrici

$$L_{tot} = \int_0^Q V dq = \int_0^Q \frac{q}{C} dq = \frac{1}{C} \int_0^Q q dq \quad \leftarrow \text{Forma matematica simile al lavoro della molla}$$

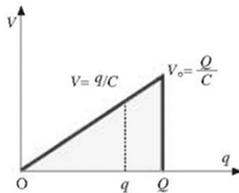


Figura 11.17
 Processo di carica di un conduttore isolato di capacità C . L'area sottesa dalla retta tra 0 e Q rappresenta il lavoro necessario per trasferire la carica Q sul conduttore.

$$= \frac{1}{C} \left[\frac{1}{2} q^2 \right]_0^Q = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2} Q V_0 = \frac{1}{2} C V_0^2$$

Espressione dell'energia immagazzinata nel condensatore carico

Si può vedere anche come l'area sotto la curva della V in funzione di q .

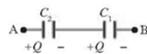
$$V = \frac{1}{C} q \quad \left(\text{retto di pendenza } \frac{1}{C} \right) \quad \frac{1}{2} \text{ base} \times \text{altezza} = \frac{1}{2} q \frac{Q}{C} = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

Controllo delle dimensioni: $\frac{C^2}{F} = \frac{C^2 V}{C} = C V = J$



Fenomeni elettrici

Condensatori in serie: $1/C = 1/C_1 + 1/C_2$



La carica Q sulle armature deve essere identica per entrambi i condensatori, mentre la differenza di potenziale tra gli estremi A e B è data dalla somma delle differenze di potenziale ai capi di ciascun condensatore:

$$V_A - V_B = \Delta V_1 + \Delta V_2 = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)$$

da cui

$$\frac{V_A - V_B}{Q} = \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

Le armature esterne dei due condensatori si caricano con la stessa quantità di carica.

$$V_A - V_B = \Delta V_1 + \Delta V_2 =$$

$$= \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

$$\Delta V = Q C$$

Equivalente ad un unico condensatore di capacità

$C:$
 $1/C = 1/C_1 + 1/C_2$



Fenomeni elettrici

Condensatori in parallelo:

Ai capi dei due condensatori stessa ΔV e $Q_1 = \Delta V C_1$ e $Q_2 = \Delta V C_2$

La carica totale erogata dalla batteria $Q = Q_1 + Q_2 = \Delta V C_1 + \Delta V C_2 = \Delta V (C_1 + C_2)$

Capacità equivalente = $C_1 + C_2$

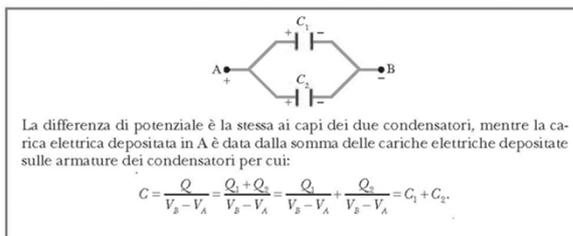


Figura 11.16

Condensatori in parallelo.

Scannichio
Fisica biomedica
EdiSES



Fenomeni elettrici

Corrente elettrica

Conduttore di sezione S e lunghezza l . Per avere movimento di carica all'interno del conduttore occorre applicare una d.d.p.

Se $V_A > V_B$, $\Delta V = V_B - V_A < 0$ $E = -\Delta V / \Delta x > 0$

Campo elettrico diretto dai punti a potenziale maggiore a quello a potenziale minore.

$F = qE$ Cariche positive si muovono lungo la direzione di E .
Cariche negative si muovono lungo la direzione opposta.

Si può ottenere una corrente continua (flusso continuo di cariche) se si mantiene un campo elettrico stabile cioè una ddp ai capi del conduttore.

Definizione di intensità di corrente (i): $i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$

Unità di misura A: $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$; grandezza fisica fondamentale. Il C è derivata. Una carica di 1 C corrisponde alla quantità di carica che attraversa una sezione di un conduttore percorso da 1 A di corrente in 1 s.

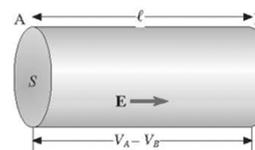


Figura 11.18

Tra le estremità del conduttore è applicata una differenza di potenziale $V_A - V_B$. Nel caso $V_A > V_B$ il campo elettrico, per la definizione di gradiente, è diretto da A verso B e nella stessa direzione si muovono le cariche elettriche positive.



Fenomeni elettrici

Leggi di Ohm

Per la maggior parte dei conduttori valgono le leggi di Ohm:

Prima legge:

$$V_A - V_B = R i$$

Seconda legge:

$$R = \rho \frac{\ell}{S}$$

R=resistenza elettrica del conduttore

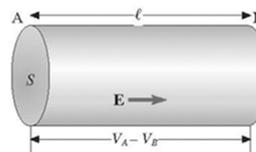
ρ = resistività elettrica del materiale.

Unità di misura della resistenza: Ohm (Ω)

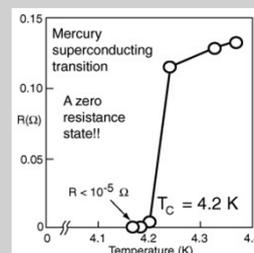
$$1\Omega = 1V/A$$

In generale la resistività del materiale dipende dalla temperatura:

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha (t - t_0)]$$



Alcuni materiali a temperature inferiori alla T_c (vicina alla temperatura dell'elio liquido) diventano superconduttori (es il mercurio, niobio o varie leghe): resistenza nulla. Usati nella produzione di campi magnetici elevati e stabili, per es. per MRI.



Fenomeni elettrici

TABELLA 12.3 Valori di resistività per alcune sostanze

CLASSE	SOSTANZE	ρ (20°C) in ohm·cm
conduttori metallici	argento	$1.62 \cdot 10^{-6}$
	rame	$0.17 \cdot 10^{-5}$
	mercurio	$9.60 \cdot 10^{-5}$
	ferro	$1.10 \cdot 10^{-5}$
	alluminio	$0.28 \cdot 10^{-5}$
semiconduttori	germanio	1.08
	silicio	100
conduttori elettrolitici	KCl (soluzione 1/10 normale)	85.4
	liquido interstiziale (uomo)	60
	siero (25°C)	83.33
	liquido cerebrospinale (18°C)	84.03
	assoplasma di assoni	200
isolanti	membrana di assoni	10^9
	acqua bidistillata	$5 \cdot 10^5$
	alcol etilico	$3 \cdot 10^5$
	vetro	10^{13}
	mica	10^{16}

Unità di misura della resistività:

$$\rho = \Omega \cdot m$$

Spesso si utilizza l'unità pratica $\rho = \Omega \cdot cm$

Fenomeni elettrici

Forza elettromotrice e circuiti in corrente continua.

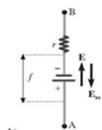
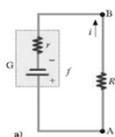


Figura 11.21

(a) Schema di un generatore G. Esso fornisce una forza elettromotrice (f.e.m.) e possiede una propria resistenza interna, indicata con r . (b) A circuito aperto si stabilisce uno stato di equilibrio fra il campo elettrico E e il campo delle forze E_e agenti nel generatore, che tendono a mantenere separate le cariche di segno opposto. Il lavoro, per unità di carica, delle forze E_e nel generatore è uguale alla forza elettromotrice f .

Il passaggio di corrente continua attraverso un conduttore può avvenire se viene mantenuta una ddp ai suoi capi. Un generatore (per es pila, dinamo) mantiene una tale ddp trasformando in energia elettrica energia di altra natura (es chimica o meccanica).

f.e.m. = ddp misurata ai capi del generatore quando non eroga corrente (circuito aperto). Il generatore ha una sua resistenza interna r . Usando la legge di Ohm:

$$V_{AB} = V_A - V_B = Ri$$

$$V_{AB} = V_A - V_B = f - ri$$

$$f = (R + r)i$$

$$f = (R + r)i \quad \text{chiuso}$$

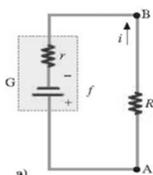
$$F = V_A - V_B \quad \text{aperto}$$

Circuito elettrico: In generale contiene elementi attivi (f) e passivi (resistenze, condensatori etc).



Fenomeni elettrici

Generatore di corrente e generatore di ddp



1) Generatore di ddp.

Se $R \gg r$, il termine $r \cdot i$ nella $V_{AB} = f - r \cdot i$ è trascurabile.

$$V_{AB} = f$$

La differenza di potenziale ai capi del generatore è praticamente indipendente dalla corrente erogata.

2) Generatore di corrente.

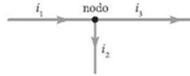
Se $R \ll r$, dalla $f = (r + R)i$ otteniamo: $f = ri$.

La corrente è indipendente dalla ddp ai capi del generatore, ma dipende solo dalla forza elettromotrice.



Fenomeni elettrici

I Principio di Kirkhoff



I Principio di Kirkhoff

La somma algebrica delle intensità di corrente in un nodo è uguale a zero:
 $i_1 - i_2 - i_3 = 0$.

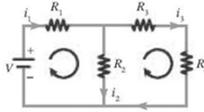
II Principio di Kirkhoff

In ciascuna maglia la somma algebrica delle cadute di potenziale nelle resistenze è uguale alla d.d.p. del generatore, se è presente, oppure a zero se nella maglia non vi è generatore:

$$\begin{cases} i_1 R_1 + i_2 R_2 = V \\ i_1 R_1 + i_2 R_2 - i_3 R_3 = 0 \end{cases}$$

(fissato un verso convenzionale di circolazione della corrente e ricordando che la d.d.p. dell'eventuale generatore è da intendersi positiva se la corrente ha verso dal polo negativo al polo positivo).

II Principio di Kirkhoff



Nodo è un punto dove confluiscono più di due conduttori

Conservazione della carica

Conservazione dell'energia

Maglia è un percorso chiuso all'interno di un circuito



Fenomeni elettrici

Resistenze in serie

Le due resistenze sono attraversate dalla stessa corrente:



Le resistenze sono attraversate dalla stessa corrente i , mentre la d.d.p. tra gli estremi A e B è data dalla somma delle d.d.p. ai capi di ciascuna resistenza per cui:

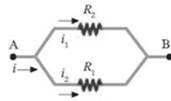
$$R = \frac{V_A - V_B}{i} = \frac{\Delta V_1 + \Delta V_2}{i} = \frac{\Delta V_1}{i} + \frac{\Delta V_2}{i} = R_1 + R_2$$

Figura 11.23
Resistenze in serie.



Fenomeni elettrici

Resistenze in parallelo



La d.d.p. ai loro capi è identica mentre la somma delle correnti che le attraversano è uguale alla corrente che passa tra gli estremi A e B, per cui:

$$\frac{i}{V_A - V_B} = \frac{1}{R} = \frac{i_1 + i_2}{V_A - V_B} = \frac{i_1}{V_A - V_B} + \frac{i_2}{V_A - V_B} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Figura 11.24

Resistenze in parallelo.



Scannichio
Fisica biomedica
EdiSES



Fenomeni elettrici

ESEMPIO 19-3 **Resistori in serie e in parallelo.** Due resistori da 100Ω vengono collegati (a) in parallelo e (b) in serie a una batteria da 24.0 V (fig. 19-7). Calcolate la corrente attraverso ciascun resistore e la resistenza equivalente dei due circuiti.

Parallelo:

$$1/R_{\text{eq}} = 1/R_1 + 1/R_2 = 2/100 = 1/50$$

$$R_{\text{eq}} = 50 \Omega$$

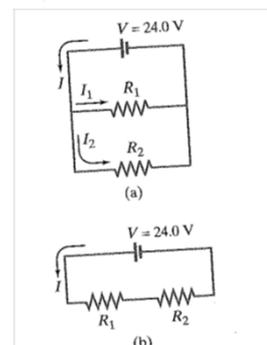
$$I_1 = 24 \text{ V} / 100 \Omega = 0.24 \text{ A} = I_2$$

$$I = I_1 + I_2 = 0.48 \text{ A}$$

Serie:

$$R_{\text{eq}} = R_1 + R_2 = 200 \Omega$$

$$I = 24 \text{ V} / 200 \Omega = 0.12 \text{ A}$$



Fenomeni elettrici

ESEMPIO 19-4 Circuiti con resistenze in serie e in parallelo. Quanta corrente eroga la batteria del circuito illustrato nella figura 19-8a?

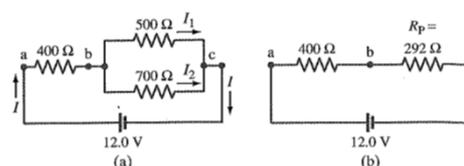
Resistenza equivalente tra le due in parallelo:

$$1/R_{\text{eq}} = 1/R_1 + 1/R_2$$

$$R_{\text{eq}} = 292 \Omega$$

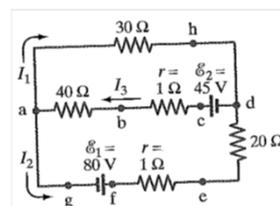
$$R_{\text{tot}} = (400 + 292) \Omega = 692 \Omega$$

$$I = 12 \text{ V} / 692 \Omega = 0.0173 \text{ A}$$



Fenomeni elettrici

ESEMPIO 19-8 Applicazione delle leggi di Kirchhoff. Calcolate le correnti I_1 , I_2 e I_3 che scorrono nei tre rami del circuito in figura 19-13.



Fenomeni elettrici

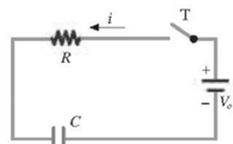


Figura 11.26

Circuito RC. Alla chiusura dell'interruttore T la batteria carica le armature del condensatore fino a che queste raggiungono una d.d.p. uguale a V_0 , cioè hanno accumulato una carica $Q = CV_0$.

Circuito RC: un circuito in cui un condensatore ed una resistenza sono collegati in serie.

Carica del condensatore

A circuito aperto non fluisce corrente.

Quando il circuito viene chiuso inizia a fluire corrente.

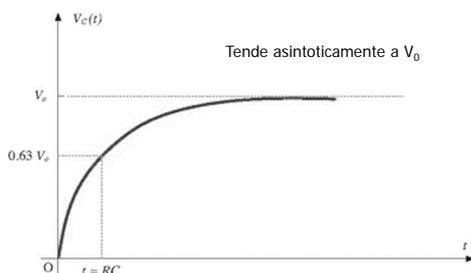
Cariche positive si accumulano su una delle due armature del condensatore e cariche negative sull'altra. La ddp ai capi del condensatore aumenta con la carica accumulata: $V=Q/C$.

Si arriverà ad avere $V_c=V_0$. (uguale alla ddp fornita dalla batteria). A quel punto cessa il moto delle cariche.



Fenomeni elettrici

Si può dimostrare che la ddp ai capi del condensatore segue la legge:



$$V_c = V_0 \left(1 - e^{-t/RC}\right)$$

$$= V_0 \left(1 - e^{-t/\tau}\right)$$

Con $\tau=RC$

Tempo caratteristico $\tau=RC$, che misura la rapidità con cui il condensatore si carica (costante di tempo del circuito).

Quando $t=\tau=RC$, V ha raggiunto il 63% del valore max

$$V_c = V_0 (1 - e^{-1}) = V_0 (1 - 0.37) = V_0 (0.63)$$

Controllo dimensionale di RC:

$$[R \cdot C] = \Omega \cdot F = \frac{V}{A} \cdot \left(\frac{C}{V}\right) = \frac{C}{A} = \frac{C \cdot s}{C} = s$$

Esempio: circuito RC con $R=200 \text{ K}\Omega$ e $C=3.0 \text{ }\mu\text{F}$ $RC=200 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^{-6} = 0.6 \text{ s}$



Fenomeni elettrici

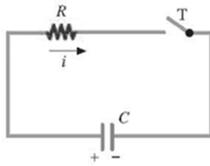


Figura 11.29

Circuito RC privo di generatore. Alla chiusura dell'interruttore T , il condensatore, precedentemente caricato, si scarica fino a che la d.d.p. tra le armature e la carica elettrica depositata su di esse si annullano. Si osservi che il verso della corrente, fornita dalla relazione (11.72), è opposto a quello di Figura 11.26.

Scarica del condensatore

Supponiamo di avere un condensatore precedentemente caricato ad un certo potenziale $V_c = V_0$. Si chiude il circuito e si lascia scaricare il condensatore. In questo caso:

$$V_c = V_0 e^{-\frac{t}{RC}} = V_0 e^{-t/\tau}$$

$$i = \frac{V_0}{R} e^{-t/\tau}$$



Fenomeni elettrici

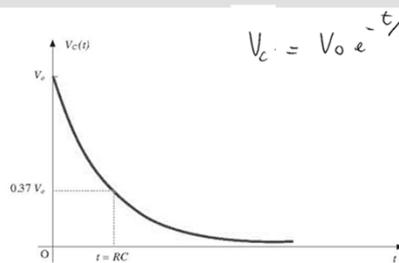


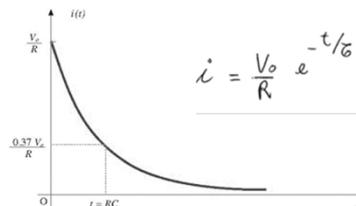
Figura 11.30

Processo di scarica del condensatore: la d.d.p. tra le armature (V_c) diminuisce esponenzialmente nel tempo con una costante di tempo pari a RC fino a raggiungere il valore asintotico zero

$$V_c = V_0 e^{-t/\tau}$$

Per $t = \tau$

$$V_c = V_0 e^{-1} = \frac{V_0}{e} = (0.37)V_0$$

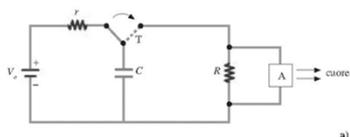


$$i = \frac{V_0}{R} e^{-t/\tau}$$



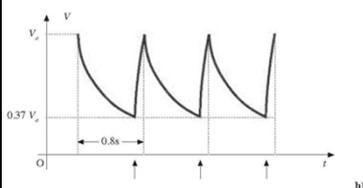
Fenomeni elettrici

Stimolatore cardiaco



a)

Un circuito che fornisca impulsi elettrici con una periodicità = quella naturale del battito cardiaco.



b)

La resistenza r è molto piccola in modo che il tempo di carica del circuito (rC) sia molto breve. Una volta che il condensatore è carico l'interruttore cambia posizione; il condensatore viene scollegato dal generatore e si scarica attraverso la resistenza R . L'interruttore è un dispositivo attivo che conduce solo quando la ddp supera una certa soglia (in questo caso $0.37 \cdot V_0$).

Se vogliamo ottenere 75 impulsi al min (trascuriamo il breve tempo di ricarica): abbiamo bisogno di $75/60=1.25$ impulsi/s. Oppure un impulso ogni $1/1.25=0.8$ s.



Fenomeni elettrici

Se vogliamo ottenere 75 impulsi al min (trascuriamo il breve tempo di ricarica): abbiamo bisogno di $75/60=1.25$ impulsi/s.

Oppure un impulso ogni $1/1.25=0.8$ s. Supponiamo che il circuito contenga un condensatore da 0.4 microF e calcoliamo la resistenza necessaria.

$$\frac{75}{60} = 1.25 \text{ impulsi/s} \quad \tau = 0.8 \text{ s}$$

$$R = \frac{\tau}{C} = \frac{0.8 \text{ s}}{0.4 \cdot 10^{-6} \text{ F}} = 2 \cdot 10^6 \Omega$$



Fenomeni elettrici

Effetto termico della corrente elettrica.

L'energia elettrica può essere trasformata in altre forme di energia (esempio meccanica nei motori elettrici, energia termica per mezzo di elementi resistivi, onde e.m. (luce), nelle lampade ad incandescenza etc).

La trasformazione in energia termica e luminosa (per esempio nelle lampade) avviene perché gli elettroni in moto urtano continuamente gli atomi del reticolo cedendo una parte della loro energia cinetica ad ogni urto.

Il lavoro necessario per spostare una carica Δq attraverso la ddp ΔV equivale a:

$$L = \Delta q \Delta V$$

$$L = i \Delta V \Delta t$$

La potenza corrispondente a questo lavoro:

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

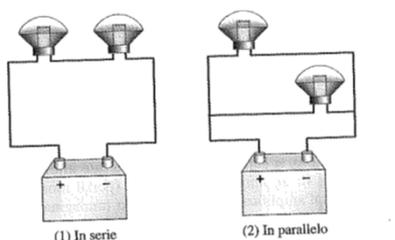
$$W = i \Delta V = i^2 R = \frac{\Delta V^2}{R}$$

La prima espressione vale in generale, mentre la seconda vale per i conduttori ohmici.



Fenomeni elettrici

ESEMPIO CONCETTUALE 19-2 **Serie o parallelo?** (a) Le lampadine in figura 19-6 sono identiche e hanno identica resistenza R . Quale configurazione produce luce più intensa? (b) In che modo ritenete siano collegati i fari delle automobili?



In serie $R_T = 2R$
In parallelo $R_T = R/2$

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

In parallelo minore resistenza, maggiore corrente.

In parallelo maggiore potenza trasformata; a parità di ddp, maggiore corrente.



Fenomeni elettrici

Esempio di dipolo: la molecola dell'acqua

*29. (III) Il vettore momento di dipolo punta dalla carica negativa verso quella positiva. La molecola d'acqua, si veda la figura 17-24, ha momento di dipolo \vec{p} risultante dalla somma di due momenti di dipolo \vec{p}_1 e \vec{p}_2 . La distanza tra ciascun atomo H e l'atomo O è approssimativamente $0.96 \cdot 10^{-10}$ m e le due rette che congiungono O con i due atomi H formano un angolo di 104° . Sapendo che il valore sperimentale del momento di dipolo totale è $p = 6.1 \cdot 10^{-30}$ C · m, calcolate la carica q su ciascun atomo di idrogeno.

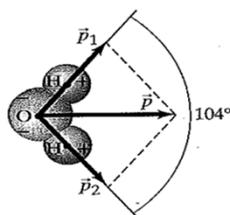


FIGURA 17-24
Problema 29.



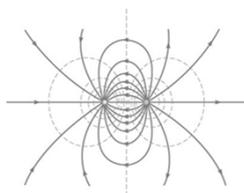
Fenomeni elettrici

Strato dipolare e polarizzazione/depolarizzazione delle cellule

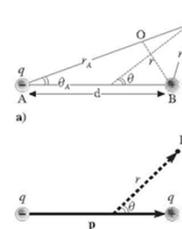
Avevamo calcolato il potenziale del dipolo elettrico a grande distanza dal dipolo :

$$V(P) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{d \cos\theta}{r^2}$$

Il potenziale è positivo o negativo a seconda del punto in cui lo valutiamo (se l'angolo è acuto positivo, se l'angolo è ottuso negativo; positivo vicino alla carica positiva, negativo vicino alla carica negativa).



Linee di forza del campo elettrico (arancione) e superfici equipotenziali (azzurro)



Fenomeni elettrici

Strato dipolare: una distribuzione superficiale di cariche separato da una distanza d da una distribuzione di cariche di segno opposto.

Se S è la superficie: $\rho = Q/S =$ densità superficiale di carica [C/m²].

Il momento di dipolo elettrico per unità di superficie vale:

$$p_s = (\rho/S) = (Q/S)d = \rho d$$

Il momento di dipolo usuale contiene la carica; il dipolo per unità di superficie contiene la densità di carica.

Ed è diretto dalla carica negativa alla carica positiva.

Si può dimostrare che il potenziale in un punto P , lontano dallo strato dipolare, dipende dal momento di dipolo elettrico visto attraverso l'angolo solido che sottende dal punto P lo strato dipolare (Ω)

n direzione e verso del momento di dipolo.



Figura 11.9
Schema di strato dipolare. La distanza d tra le due superfici cariche è costante.

Scannicchio
Fisica biomedica

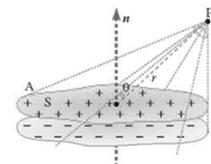
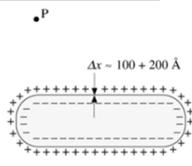


Figura 11.10
Calcolo del potenziale nel punto P dovuto ad uno strato dipolare. Il



Fenomeni elettrici

Il tracciato ECG



Cellula a riposo, potenziale nel punto P nullo: due strati dipolari danno un contributo complessivo nullo (a grande distanza).

Appena prima della contrazione del muscolo cardiaco la struttura della membrana si modifica, ioni positivi possono entrare nella cellula e si raggiunge un piccolo eccesso di carica negativa sulla superficie. Questa perturbazione si propaga nella cellula (depolarizzazione).

Base del tracciato ECG, che misura esternamente, il potenziale d'azione delle cellule cardiache.

Propagazione del potenziale d'azione

