38. CONDENSATORI

38.1. Capacità di un conduttore

La relazione

[38.1] $$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r} \cdot \frac{Q}{r}$$

che esprime il potenziale di un conduttore sferico carico, lontano da altri corpi carichi, evidenzia che il potenziale è direttamente proporzionale alla carica. Tale proprietà, dimostrata per un conduttore sferico, è sempre valida, qualunque sia la forma del conduttore. Si vede facilmente che V è proporzione a Q; infatti, se, per esempio, si raddoppia la carica Q, raddoppia anche, in ogni punto dello spazio, l'intensità del campo elettrico da essa generato e, quindi, raddoppia il potenziale in tutti i punti dello spazio e, in particolare, quello del conduttore su cui si trova la carica Q.

Poiché Q e V sono proporzionali, il loro rapporto

[38.2] $$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{V - V_\infty} = \frac{Q}{V - V_{Terra}}$$

è costante; questo rapporto C si chiama *capacità elettrostatica del conduttore*. Essa è una *costante, caratteristica della sua forma e delle sue dimensioni*, così definita: *la* **capacità elettrostatica** *di un conduttore isolato e lontano da ogni altro corpo elettrizzato, è pari al rapporto tra la sua carica elettrica e il suo potenziale* (definito assumendo come eguale a zero il potenziale a distanza infinita).

Il termine capacità, adoperato per indicare il rapporto costante Q/V, si giustifica osservando che, a parità di potenziale V, un conduttore può immagazzinare una carica Q tanto più grande quanto maggiore è la sua capacità.

Poiché il potenziale non può aumentare oltre un certo limite, per evitare che le cariche si disperdano con un meccanismo analogo a quello che avviene nei conduttori a punta, si comprende la necessità di ricorrere a conduttori di grande capacità quando la carica accumulatasi è elevata.

Per esempio, per ottenere l'espressione della capacità di un conduttore di forma sferica, avente raggio r, immaginiamo di fornirgli la carica elettrica Q e calcoliamo il potenziale assunto: $V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r} \cdot \frac{Q}{r}$.

Di conseguenza nel S.I.:

[38.3] $$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{\frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r} \cdot \frac{Q}{r}} = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r r = 4\pi\varepsilon r$$

Cioè la capacità del conduttore sferico isolato è pari al suo raggio moltiplicato per una costante il cui valore dipende dalle unità usate e dalla costante dielettrica relativa del mezzo in cui la sfera è immersa.

La relazione [38.2] permette di definire l'unità di misura della capacità. Nel S.I. l'unità di capacità, che si chiama *farad*, simbolo F, è la capacità di un conduttore isolato che assume il potenziale di 1V quando gli viene data la carica di 1 C: 1 farad = 1 coulomb/1 volt.

Poiché, per la maggior parte degli usi pratici, il farad è troppo grande(*) si usano comunemente tre suoi sottomultipli: il *microfarad* (μF), il *nanofarad* (nF) e il *picofarad* (pF):

1 microfarad = 1 milionesimo di farad: $1\mu F = 10^{-6}$ F;
1 nanofarad = 1 millesimo di milionesimo di farad: $1nF = 10^{-9}$ F;
1 picofarad = 1 milionesimo di milionesimo di farad: $1pF = 10^{-12}$ F.

<u>Esempio</u>

- Come esempio numerico calcoliamo la capacità della Terra. Ricordando che il raggio della Terra è pari a 6370 km ($R_T = 6.37\times10^6$ m), si ottiene:

(*) Una sfera che avesse la capacità di 1 farad avrebbe il raggio di 9 milioni di kilometri

[38.4] $C = 4\pi\varepsilon_0 r = 7.08\times10^{-4}$ farad = 708 μF

Come si vede da questo esempio, anche una sfera conduttrice grande come la Terra ha un capacità di solo 708 μF. Questo esempio mostra dunque che la capacità di un conduttore isolato, anche se grandissimo, posto lontano da qualsiasi altro conduttore, è sempre molto piccola.

38.2. I condensatori

Abbiamo finora parlato della capacità di un conduttore *lontano da ogni altro conduttore* e abbiamo visto che essa è sempre molto piccola; vediamo ora che cosa accade se, invece, accanto a esso *si pone un altro conduttore*. Supponiamo, per esempio, che al conduttore *A* (Fig. 38.1), che abbia carica elettrica positiva, si avvicini un conduttore isolato *B scarico*. Per il fenomeno della induzione elettrostatica, in *B* si originano cariche indotte (negative nella sua parte più vicina ad *A* e positive nella parte più lontana), le quali alterano il potenziale di *A*: secondo la relazione $V=k_{el}Q/r$, a questo si aggiunge ora un termine negativo, dovuto alle cariche negative indotte più vicine, e un termine positivo *più piccolo*, dovuto alle cariche positive che sono più lontane. Quindi, a causa della presenza di *B*, il conduttore carico *A* (pur avendo la stessa carica) ha un potenziale minore; di conseguenza (per la definizione di capacità) la sua capacità è maggiore(*). Si può quindi dire che, in generale, *la capacità di un conduttore aumenta se vicino ad esso si pone un secondo conduttore scarico*.

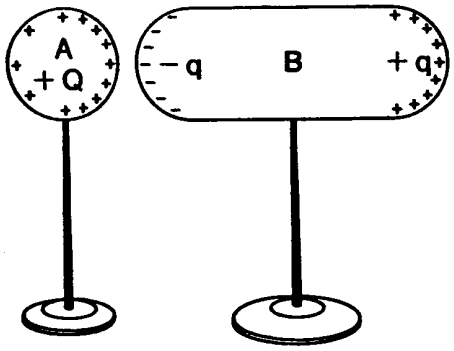

Fig. 38.1. Se al conduttore isolato *A*, che possiede la carica +*Q*, si avvicina il conduttore isolato e privo di carica *B*, questo subisce il fenomeno della induzione elettrostatica; conseguentemente il potenziale *V* di *A* si abbassa perché le cariche indotte –*q* vicine danno un contributo negativo maggiore del contributo positivo dato dalle cariche indotte +*q* lontane.

Ecco, quindi, un metodo *per fare aumentare la capacità di un conduttore*, cioè per ottenere che esso possa avere grande carica pur avendo piccolo potenziale. Particolare interesse presenta il caso dei **condensatori**, che *sono dispositivi costituiti da due conduttori affacciati, disposti in modo tale da avere una elevata capacità*. Questi due conduttori si chiamano *armature* del condensatore.

Nella rappresentazione grafica dei circuiti elettrici, i condensatori, detti anche **capacitori**(**), sono rappresentati con il simbolo mostrato nella Fig. 38.2. Questo simbolo ricorda, schematicamente, il tipo più semplice di condensatore, il condensatore piano, le cui armature sono due lamine metalliche piane, di area A molto estesa, poste, parallele, a una distanza molto piccola l'una dall'altra; tra esse può esservi il vuoto, oppure l'aria o un dielettrico solido o liquido.

Se si dà a una delle armature la carica elettrica +*Q*, mentre l'altra è messa a terra, su questa ultima viene indotta la carica negativa –*Q*. Nello spazio fra le due armature, e attorno a esse, nasce un campo elettrico le cui linee di forza (Fig. 38.3), nella parte centrale tra le due armature, sono segmenti rettilinei paralleli. Ciò significa che *nella regione centrale del condensatore piano il campo elettrico è uniforme*. Questa proprietà vale approssimativamente anche in altri tipi di condensatori, nei quali le armature, pur non essendo piane, sono sempre costituite da due lamine conduttrici affacciate, separate da uno strato di materiale isolante di spessore costante molto piccolo.

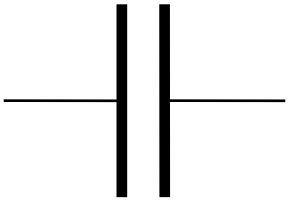

Fig. 38.2. Simbolo usato negli schemi dei circuiti elettrici per indicare un condensatore: i due segmenti spessi rappresentano le armature, mentre i segmenti sottili rappresentano i fili conduttori attraverso cui le armature vengono caricate e scaricate.

(*) Se il conduttore *B* che viene avvicinato ad *A* è messo a terra, o anche collegato, per mezzo di un filo metallico, a un altro conduttore posto a distanza, l'aumento della capacità di *A*, dovuto alla presenza di *B*, è ancora maggiore, perché le cariche positive indotte sono così lontane da non contribuire apprezzabilmente al potenziale di *A*.

(**) Questa parola proviene dal termine inglese *capacitor*, che ha il significato di «componente di un circuito elettrico che possiede una capacità».

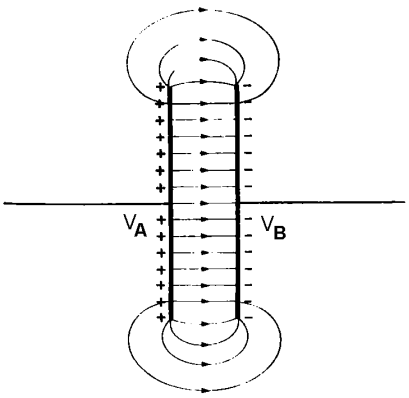

Fig. 38.3. Nella parte centrale di un condensatore piano le linee di forza del campo elettrico sono segmenti rettilinei paralleli: ciò significa che in quella regione il campo elettrico è uniforme.

Se, in un condensatore qualsiasi, si indicano con V_A e V_B i potenziali elettrici assunti dalle due armature quando possiedono, rispettivamente, le cariche $+Q$ e $-Q$, si può dimostrare, con considerazioni analoghe a quelle svolte nel paragrafo precedente per giustificare la [38.2], che la differenza di potenziale $V_A - V_B$ fra le due armature è proporzionale al valore della carica Q:

[38.5] $$Q \propto V_A - V_B$$

La *costante di proporzionalità*

[38.6] $$C = \frac{Q}{V_A - V_B}$$

si chiama **capacità del condensatore**.

Per trovare l'espressione della capacità di un condensatore, basta ricavare l'espressione della differenza di potenziale $V_A - V_B$ e inserirla nella [38.6]. Questo calcolo risulta semplice nel caso del condensatore piano, per il quale il valore E del campo elettrico uniforme esistente tra le due armature è dato da $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$; ricordando che anche σ è uniforme e data da $\sigma = \frac{Q}{A}$, si ha

[38.7] $$V_A - V_B = Ed = \frac{\sigma}{\varepsilon} d$$

per cui

[38.8] $$C = \frac{Q}{V_A - V_B} = \frac{Q}{\frac{\sigma}{\varepsilon} d} = \frac{\varepsilon Q}{\frac{Q}{A} d} = \varepsilon \frac{A}{d}$$

cioè

[38.9] $$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d}$$ (Sistema Internazionale)

In generale, si può dare la seguente regola valida, per lo meno approssimativamente, per un condensatore qualsiasi: *la capacità di un condensatore è proporzionale alla costante dielettrica relativa ε_r del dielettrico interposto fra le due armature e alla loro area A ed è inversamente proporzionale alla loro distanza d.*

Perciò, perché un condensatore abbia capacità elevata, è necessario usare un dielettrico con ε_r elevata e armature di grande area e poste a piccola distanza.

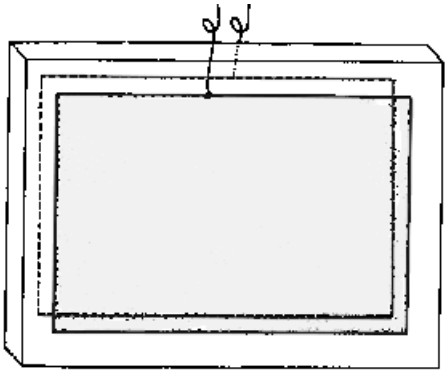

Fig. 38.4. Per costruire un condensatore piano, basta incollare sulle due facce di una lastra di vetro, bachelite o plastica, due sottili fogli di stagnola, collegati a due fili metallici che servono per la carica e scarica delle armature.

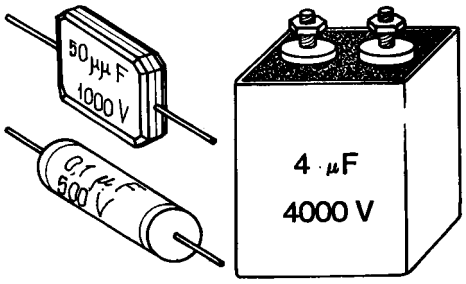

Fig. 38.5. Alcuni tipi di condensatori di uso corrente: su ciascuno di essi è indicato, oltre al valore della sua capacità, anche la massima differenza di potenziale che può essere applicata alle sue armature senza danneggiarlo.

Per costruire un condensatore piano basta prendere una lastra di vetro o di plastica e applicare sulle sue due facce due foglie di stagnola o di altro materiale conduttore (Fig. 38.4). I condensatori che si usano oggi sono, in generale, costituiti da due sottili strisce di alluminio, avvolte insieme con in mezzo una striscia di materiale isolante (per es. un sottile foglio di carta paraffinata o meglio di plastica); si ottengono così notevoli capacità in un volume relativamente piccolo. Di più alta capacità sono i condensatori elettrolitici.

Un tipo di condensatore oggi poco usato è la bottiglia di Leida(*), costituita da una bottiglia di vetro, rivestita all'interno e all'esterno da due lastre di stagnola.

Nella Fig. 38.5 sono disegnati alcuni tipi di condensatori, così come si presentano esternamente. Su ciascuno è indicata, oltre al valore della capacità, la massima differenza di potenziale che si può applicare tra le due armature; se si supera questo valore, il sottile strato di dielettrico che separa le armature, viene forato da una scintilla elettrica.

I condensatori sono usati correntemente come parti di circuiti elettrici percorsi da correnti elettriche variabili nel tempo; in particolare, sono usati nei circuiti elettrici ed elettronici del telefono, della radio, della televisione, dell'automobile, ecc. In alcune di queste applicazioni si usano spesso i condensatori a capacità variabile, formati (Fig. 38.6) da due serie di settori metallici piani e paralleli, uno dei quali è fisso, mentre l'altro può girare, comandato da una manopola: si può così far variare a piacere la superficie delle armature affacciate e, di conseguenza, la capacità del condensatore. Per indicare che un condensatore è variabile si usa, nella rappresentazione grafica dei circuiti, il simbolo della Fig. 38.7, ottenuta aggiungendo una freccia inclinata a quello della Fig. 38.2.

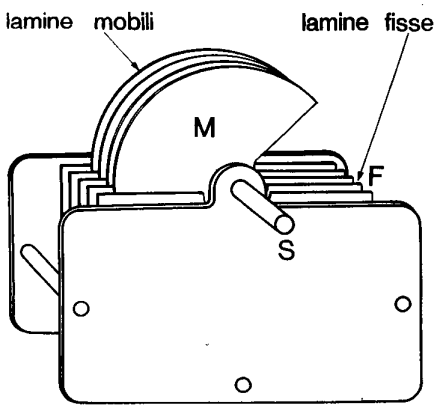

Fig. 38.6. Condensatore variabile: le lamine mobili *M* sono elettricamente isolate dalle lamine fisse *F* e rigidamente connesse all'albero *S* su cui di solito, è fissata una manopola (non mostrata in figura). Ruotando questa manopola, le lamine mobili si spostano rispetto a quelle fisse e la capacità del condensatore varia. Quando si gira la manopola della radio, per metterla in sintonia con una stazione trasmittente, non si fa altro che variare la capacità di un condensatore di questo tipo.

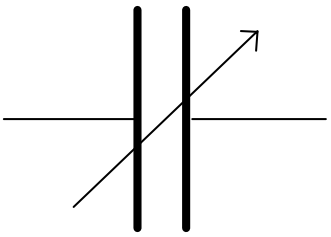

Fig. 38.7. Simbolo usato negli schemi dei circuiti elettrici per indicare un condensatore variabile..

38.3. Lavoro di carica di un condensatore

Per caricare un condensatore, cioè per produrre cariche opposte sulle armature è necessario portare cariche elettriche da una armatura all'altra. Ciò può essere fatto collegando le armature ai poli di un generatore (per esempio una batteria di pile).

L'armatura collegata col polo positivo perde elettroni ed assume così una carica positiva, mentre l'armatura collegata col polo negativo acquista elettroni e quindi assume una carica negativa opposta. Appena inizia però il trasferimento di elettroni, tra le armature si genera un d.d.p. ed il generatore deve compiere un lavoro contro questa d.d.p. perché possa continuare a portare elettroni da una armatura all'altra; questo lavoro è compiuto a spese della propria energia chimica (nel caso di una batteria di pile).

(*) Questo nome ha un'origine storica. Infatti il condensatore fu scoperto casualmente a Leida nel 1746, durante alcune ricerche destinate a vedere se l'acqua, contenuta in una bottiglia, conserva l'elettricità.

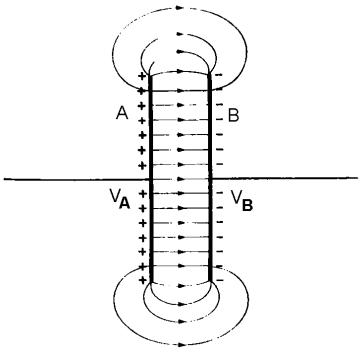

Fig. 38.8.

Ci proponiamo ora di calcolare il lavoro necessario per stabilire una d.d.p. $\Delta V = V_A - V_B$ tra le armature del condensatore (Fig. 38.8), supposto di capacità C.

Osserviamo subito (Fig. 38.9) che il calcolo non è immediato in quanto la d.d.p. tra le armature non si mantiene, ma aumenta con continuità durante il processo di carica. Per semplicità il processo di carica può essere descritto come il trasferimento di una carica $+Q$ dalla armatura B (che resta con carica $-Q$) alla armatura A (che acquista carica $+Q$):

– si suddivide la carica Q in tante cariche infinitesime Δq_i tali che $\sum_i \Delta q_i = Q$ e talmente piccole che il loro trasferimento da una armatura all'altra non faccia mutare sensibilmente il valore della d.d.p. se non quando siano arrivate sulla armatura A.

– si calcola poi il lavoro che viene fatto quando Δq_i passa dalla armatura B alla armatura A:

$L_1 = 0$	$\rightarrow$	ΔV_1	$0 = A_{rea1}$
$L_2 = \Delta q_1 \cdot \Delta V_1$	$\rightarrow$	ΔV_2	$L_2 = A_{rea2}$
$L_3 = \Delta q_2 \cdot \Delta V_2$	$\rightarrow$	ΔV_3	$L_3 = A_{rea3}$
.		.	.
.		.	.
.		.	.

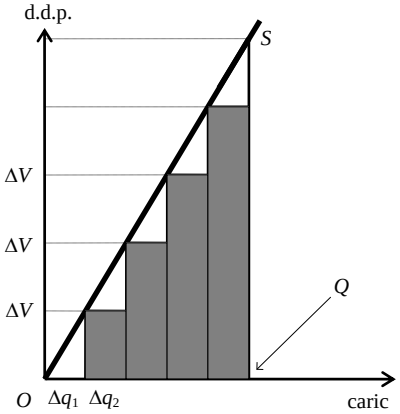

Fig. 38.9.

– Un valore approssimato del lavoro di carica si ottiene sommando i lavori L_i e coincide con l'area del rettangoloide inscritto.

– Per ottenere il valore preciso del lavoro di carica occorre fare il $\lim_{\Delta q_i \to 0} \sum_i L_i$ che ovviamente coincide con l'area del triangolo OQS; e dato che $C = \dfrac{Q}{\Delta V}$ si ha:

[38.10] $$L = \frac{1}{2} Q \cdot \Delta V = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} C \cdot (\Delta V)^2 = \frac{1}{2} C \cdot (V_A - V_B)^2 .$$

Le espressioni del lavoro trovato rappresentano naturalmente anche l'energia che il condensatore restituisce quando viene scaricato(*). Possiamo dire che il lavoro speso per caricare un condensatore è immagazzinato sotto forma di energia elettrica. Possiamo pensare l'energia elettrica come energia elettrostatica delle due distribuzioni di carica, ma possiamo dare anche una diversa interpretazione: poiché tra le armature del condensatore carico esiste un campo elettrico, il quale si annulla con la scarica, possiamo anche pensare che l'energia spesa per caricare il condensatore sia distribuita nel campo elettrico esistente tra le armature. Si trova che la densità di energia nello spazio tra le due armature è:

[38.11] $$\frac{L}{V_{olume}} = \frac{L}{A \cdot d} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon_r E^2 \ ^{(**)}.$$

In particolare ponendo $\varepsilon_r = 1$, si può calcolare la densità di energia accumulata nel vuoto:

[38.12] $$\frac{L}{V_{olume}} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2 ,$$

dato che questo valore non è nullo, se ne deve dedurre che il vuoto è in grado di accumulare energia come qualsiasi altro dielettrico. La questione non è di poco conto ed ha coinvolto in varie forme la comunità

(*) Infatti, ad esempio, collegando tra loro le armature di un condensatore, tramite un resistore, il condensatore è in grado di generare una corrente elettrica, chiamata corrente di scarica del condensatore. Essa avrà verso opposto a quello della corrente di carica e provocherà un riscaldamento del conduttore per effetto Joule, restituendo all'ambiente circostante l'energia precedentemente accumulata nel condensatore.

(**) Infatti $\dfrac{L}{V_{olume}} = \dfrac{\frac{1}{2} Q \cdot \Delta V}{A \cdot d} = \dfrac{1}{2} \cdot \dfrac{Q \cdot (Ed)}{A \cdot d} = \dfrac{1}{2} \cdot \dfrac{(\varepsilon_0 \varepsilon_r AE) \cdot (Ed)}{A \cdot d} = \dfrac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon_r E^2$.

scientifica in un vivace dibattito per buona parte del secolo scorso. Approfondendo lo studio dell'elettromagnetismo e della relatività, si acquisiranno gli strumenti concettuali necessari per affrontare il problema.

Problemi di fine capitolo

38.1. Le facce parallele di un condensatore piano, di superficie pari a 1000 cm^2 sono separate da uno strato di 3 mm di porcellana (ε_r = 6). Calcolare la quantità di carica accumulata su un'armatura quando il condensatore è sottoposto ad una d.d.p. di 100 V.

38.2. Calcolare il rapporto C_m/C_0 fra le capacità di un condensatore quando fra le piastre è immerso un dielettrico di costante dielettrica relativa ε_r e quando è presente il vuoto; quindi il rapporto fra le energie dello stesso condensatore caricato di una carica Q con il dielettrico e nel vuoto.

38.3. Un condensatore piano, con mica come dielettrico (ε_r = 5.4) ha una capacità di 100 pF; l'area delle armature è 100 cm^2. Viene applicata una d.d.p. di 50 V. Calcolare: (*a*) E nella mica; (*b*) la carica sulle armature; (*c*) la carica superficiale indotta (sul dielettrico).

38.4. Una sfera conduttrice isolata di raggio R, posta nel vuoto ha una carica Q. Calcolare la densità di energia a distanza $r > R$ dal centro della sfera. [$Q^2 / 32\pi^2\varepsilon_0 r^4$].

38.5. Se ai capi di un condensatore si dimezza la differenza di potenziale, allora possiamo affermare che:

- ☐ la carica sulle sue armature si dimezza e la capacità si dimezza [V] [F]
- ☐ la carica sulle sue armature raddoppia e la capacità rimane costante [V] [F]
- ☐ la carica sulle sue armature rimane costante e la capacità si dimezza [V] [F]
- ☐ la carica sulle sue armature si dimezza e la capacità raddoppia [V] [F]
- ☐ la carica sulle sue armature si dimezza e la capacità rimane costante [V] [F]

38.6. Un condensatore piano viene caricato e quindi isolato. Se ora avviciniamo le sue armature, quale delle grandezze seguenti diminuisce?

- ☐ la capacità [V] [F]
- ☐ la d.d.p. fra le armature [V] [F]
- ☐ il campo elettrico fra le armature [V] [F]
- ☐ la carica sulle armature [V] [F]
- ☐ nessuna delle precedenti [V] [F]

38.7. Dato un condensatore a facce piane parallele tenute a differenza di potenziale costante V, se viene raddoppiata la superficie delle sue armature, l'energia accumulata:

☐ diventa 1/4 di quella precedente ☐ si dimezza ☐ non cambia
☐ raddoppia ☐ quadruplica

38.8. Se un condensatore è collegato a una differenza di potenziale di 150 V e ha una capacità di 0.2 μF, la carica elettrica accumulata sulle sue armature vale:

☐ 0 ☐ 3 μF·V ☐ 30 μF·V ☐ 1 mC ☐ 750 mC

38.9. Due condensatori A e B di capacità diverse (quella di A maggiore di quella di B) sono collegati in parallelo e ai capi del circuito così formato viene applicata una differenza di potenziale costante. Possiamo affermare che:

- le differenze di potenziale ai capi dei condensatori sono uguali e le cariche sulle loro armature sono anche uguali. [V] [F]
- le differenze di potenziale ai capi dei condensatori sono diverse (quella di A minore di quella di B) e le cariche sulle loro armature sono anche diverse (quella di A maggiore di quella di B). [V] [F]
- le differenze di potenziale ai capi dei condensatori sono uguali e le cariche sulle loro armature sono diverse (quella di A maggiore di quella di B). [V] [F]
- le differenze di potenziale ai capi dei condensatori sono diverse (quella di A maggiore di quella di B) e le cariche sulle loro armature sono uguali. [V] [F]
- le differenze di potenziale ai capi dei condensatori sono uguali e le cariche sulle loro armature sono diverse (quella di A minore di quella di B). [V] [F]

38.10. Due condensatori *A* e *B* di capacità diverse (quella di *A* maggiore di quella di *B*) sono collegati in serie e ai capi del circuito così formato viene applicata una differenza di potenziale costante. Possiamo affermare che:
– le differenze di potenziale ai capi dei condensatori sono uguali e le cariche sulle loro armature sono anche uguali. [V] [F]
– le differenze di potenziale ai capi dei condensatori sono diverse (quella di *A* minore di quella di *B*) e le cariche sulle loro armature sono anche diverse (quella di *A* maggiore di quella di *B*). [V] [F]
– le differenze di potenziale ai capi dei condensatori sono uguali e le cariche sulle loro armature sono diverse (quella di *A* maggiore di quella di *B*). [V] [F]
– le differenze di potenziale ai capi dei condensatori sono diverse (quella di *A* maggiore di quella di *B*) e le cariche sulle loro armature sono uguali. [V] [F]
– le differenze di potenziale ai capi dei condensatori sono diverse (quella di *A* minore di quella di *B*) e le cariche sulle loro armature sono uguali. [V] [F]

38.11. Dimostrare che la capacità complessiva (equivalente) di un sistema di condensatori di capacità C_i, posti in serie, è data da: $\frac{1}{C_e} = \sum_i \frac{1}{C_i}$ mentre, se posti in parallelo, è data da: $C_e = \sum_i C_i$.

38.12. Due condensatori di capacità rispettivamente 0.3 μF e 0.8 μF, vengono collegati in serie a un generatore di differenza di potenziale costante 200 V. Quanto vale la carica sulle loro armature? [R. 44 μC]

38.13. Due condensatori sono collegati in serie, e hanno capacità rispettivamente di 30 μF e 80 μF. Sapendo che al sistema è applicata una differenza di potenziale di 150 V, calcolare: la capacità e la carica del condensatore equivalente al sistema; la differenza di potenziale e la carica di ciascuno dei due condensatori.

38.14. Un sistema è costituito da *n* condensatori identici di capacità *C* ed è collegato con una differenza di potenziale *V*. Calcolare: (*a*) la capacità totale dei condensatori quando sono collegati in serie e quando sono collegati in parallelo; (*b*) l'energia del sistema quando i condensatori sono collegati in serie e quando sono collegati in parallelo.

38.15. Supponiamo che la carica di un condensatore inizialmente scarico avvenga con una legge lineare che incrementa la carica di 0.1 mC ogni 10 s, a causa di una differenza di potenziale ai suoi capi che aumenta anch'essa linearmente, di 80 V ogni 2 s. Quanto vale l'energia accumulata dal condensatore in 20s? [R. 0.08 J]

38.16. Spiegare, precisando i termini del problema, la seguente affermazione: la capacità di un condensatore dipende dalle dimensioni delle sue armature, dalla loro distanza e dal dielettrico interposto.

38.17. Spiegare quali sono i limiti della seguente affermazione: avvicinando al massimo le armature di un condensatore piano ed estendendo al massimo la loro superficie, possiamo aumentarne la capacità del valore desiderato.

38.18. Tra le armature di un condensatore a facce piane e parallele è presente aria secca, (che ha una rigidità dielettrica di circa 3 MV/m). Sapendo che il condensatore ha una capacità di 1 μF e sulle sue armature è accumulata una carica di 5 mC, determinare la distanza minima tra le armature affinché il condensatore non si scarichi rapidamente. [R. 2 mm]

38.19. Immaginando che l'energia di un condensatore di capacità 0.1 mF collegato a una differenza di potenziale di 8800 V possa essere usata interamente per far salire un montacarichi della massa di 120 kg, quale altezza raggiungerebbe? [R. 3.3 m]

38.20. Due lastre piane parallele sono caricate con densità superficiale rispettivamente $+\sigma$ e $-\sigma$, e sono immerse nel vuoto. Successivamente al vuoto viene sostituito un dielettrico di costante dielettrica ε. Descrivere che cosa succede al campo elettrico e alla differenza di potenziale tra le due lastre.

38.21. Descrivere come si può operare per aumentare e rispettivamente diminuire la capacità di un condensatore, o, nel caso in cui non sia possibile modificarlo, utilizzando più condensatori in un circuito.

38.22. Se fra le armature di un condensatore piano, inizialmente senza dielettrico, collegato ad un generatore inseriamo una lastra di materiale dielettrico, l'energia del campo aumenta o diminuisce? Il generatore compie lavoro? Se facciamo la stessa operazione in un condensatore carico ma staccato dal generatore, che cosa cambia?
• Bisogna tener presente come cambia la capacità e come cambia l'energia in funzione della capacità.

- Nel caso che V sia costante (condensatore collegato al generatore), poiché C è proporzionale a ε e in qualsiasi dielettrico $\varepsilon > \varepsilon_0$, la capacità aumenta e quindi l'energia aumenta. Il generatore deve quindi compiere lavoro, portando una carica addizionale sulle armature.
- Nel caso in cui la carica q sulle armature sia costante (condensatore staccato dal generatore), la capacità cresce come nel caso precedente ma la differenza di potenziale deve diminuire. Si ha che l'energia immagazzinata è $\frac{1}{2}q^2/C$, e quindi quando la capacità aumenta l'energia *diminuisce.* In questo secondo caso l'energia in eccesso viene persa compiendo lavoro meccanico sulla lastra di dielettrico, che viene attirata all'interno del condensatore con una forza misurabile.
- È interessante calcolare il bilancio energetico nel primo caso considerato. Inizialmente la capacità è $A\varepsilon_0/d$, quindi la carica sulle armature è $VA\varepsilon_0/d$. Dopo l'inserimento del dielettrico, la carica diventa $VA\varepsilon/d$; quindi il generatore per spostare una carica $VA(\varepsilon - \varepsilon_0)/d$ attraverso una differenza di potenziale V compie un lavoro $V^2A(\varepsilon - \varepsilon_0)/d$. L'energia associata al campo inizialmente era $\frac{1}{2}V^2A\varepsilon_0/d$ e alla fine è $\frac{1}{2}V^2A\varepsilon/d$, quindi è aumentata di una quantità $\frac{1}{2}V^2A(\varepsilon - \varepsilon_0)/d$. Il lavoro compiuto dal generatore è *il doppio* dell'aumento di energia del campo. E il resto dov'è finito? E andato a compiere lavoro meccanico sulla lastra, esattamente come nel caso del condensatore staccato dal generatore.

38.23. In Fig. A è rappresentato un semplice modello di nuvola temporalesca. La base della nuvola è considerata orizzontale e il terreno sottostante è supposto piano ed orizzontale. La base della nuvola si trova ad una quota di 1.2 km; il suo potenziale rispetto al suolo è di -1.2×10^7 V.

(*a*) Qual è la minima carica positiva che deve possedere una gocciolina di pioggia che si trova fuori dalla nuvola, di raggio r = 1.0 mm, per non cadere?

[la densità dell'acqua è $\delta = 10^3\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$;

$q = \frac{4\pi r^3 \delta g h}{3\Delta V} = 4.1\times10^{-9}\,\text{C}$]

(*b*) L'aria si comporta come un conduttore dell'elettricità sotto l'azione di un campo elettrico di intensità dell'ordine di 3 MV/m. Ritieni probabile che la gocciolina perda rapidamente la propria carica e cominci a cadere?

[si calcoli il valore massimo del campo elettrico generato dalla goccia]

[Olimpiadi Regionali di Fisica, 1989]

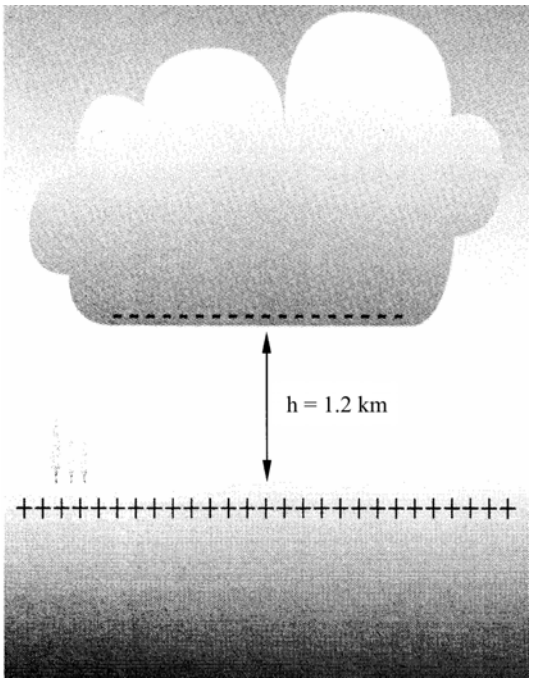

Fig. A.