9 | Elettrostatica

L'elettricità si manifesta attraverso interazioni fra corpi (attrazioni e repulsioni) quando su di essi sono presenti *cariche elettriche*. Le cariche elettriche sono di due tipi, chiamate convenzionalmente *positive* e *negative*.

Cariche di segno opposto si attraggono, cariche dello stesso segno si respingono.

I costituenti dell'atomo sono particelle cariche: l'*elettrone*, portatore di una carica negativa e il *protone*, portatore di una carica positiva.

Nel SI la carica non è considerata una grandezza fondamentale: la si ricava dall'intensità di corrente, misurata in ampere, definita nel § 10.1 insieme al concetto di corrente elettrica. Per ora basti sapere che l'unità di misura scelta per la carica elettrica si chiama **coulomb** (corrispondente alla carica posseduta da 10^{19} protoni) e che le sue dimensioni sono $[Q] = [i] \cdot [T]$, dove $[i]$ è la dimensione dell'intensità di corrente.

Dal punto di vista dei fenomeni elettrici, i materiali si dividono in due categorie:

- **conduttori**: materiali dotati di cariche elettriche (elettroni o ioni) libere di muoversi.

  I metalli sono i conduttori per eccellenza e devono tale proprietà al tipo di legame che li caratterizza: il legame metallico.

- **isolanti** (o **dielettrici**): le cariche in essi contenute non sono libere di muoversi.

  L'isolante per eccellenza è il vuoto perché è privo di cariche elettriche; ma anche molti materiali come l'aria, la ceramica, la carta o l'acqua distillata sono buoni isolanti (l'acqua utilizzata nelle abitazioni conduce perché, non essendo distillata, contiene sali e quindi ioni).

9.1 | Carica elettrica e legge di Coulomb

Si è visto che i corpi caricati elettricamente interagiscono fra loro (mediante attrazioni o repulsioni). Le forze di interazione a distanza tra le cariche elettriche sono regolate dalla legge di Coulomb, la quale afferma che il modulo della forza **F** (attrattiva o repulsiva) tra due cariche Q_1 e Q_2 poste a distanza r nel vuoto è:

$$|\mathbf{F}| = K_0 \cdot \frac{|Q_1 \cdot Q_2|}{r^2} = \frac{|Q_1 \cdot Q_2|}{4\pi\varepsilon_0 \cdot r^2} \qquad [9]$$

dove $K_0 = 1/4\pi\varepsilon_0$ è la *costante di Coulomb* nel vuoto e ε_0 è la *costante dielettrica* del vuoto.

La **forza di Coulomb è diretta lungo la congiungente le cariche e il verso dipende dal segno delle cariche**: cariche di segno opposto si attraggono, cariche dello stesso segno si respingono.

Sperimentalmente si verifica che due cariche di 1 C, poste a un metro di distanza nel vuoto, si respingono con una forza di $9 \cdot 10^9$ N. Sostituendo i valori nella [9], si ricava il valore di K_0:

$$F = K_0 \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \quad \Rightarrow \quad K_0 = F \cdot \frac{r^2}{Q_1 \cdot Q_2} \quad \Rightarrow \quad K_0 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

Il valore numerico di K dipende, oltre che dalle sue dimensioni e unità di misura, anche dalla scelta del sistema di misura.

FISICA

Due cariche elettriche puntiformi, a 1 m di distanza, si attraggono con la forza di 1 N. Se vengono poste a 2 m di distanza, quanto vale la forza?

Se la distanza fra le cariche raddoppia, la forza elettrostatica diventa quattro volte più piccola. Infatti, sostituendo $2r$ a r nella formula della legge di Coulomb:

$$F = K_0 \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \Rightarrow F' = K_0 \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{(2r)^2} = K_0 \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{4r^2} = \frac{F}{4}$$

9.1.1 | Costante dielettrica

La forza di Coulomb tra due cariche elettriche dipende dal mezzo che separa le cariche. Se le cariche sono poste in un mezzo e non nel vuoto, la legge di Coulomb diventa:

$$|\mathbf{F}| = K \cdot \frac{|Q_1 \cdot Q_2|}{r^2} = \frac{|Q_1 \cdot Q_2|}{4\pi\varepsilon \cdot r^2}$$

dove ε è la **costante dielettrica** del mezzo. È questa che esplicita, nella legge di Coulomb, la dipendenza della forza elettrostatica dal mezzo che separa le cariche:

$$F = K \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

dove $\varepsilon = \varepsilon_0\varepsilon_r$ è la costante dielettrica del mezzo ed ε_r è la **costante dielettrica relativa** del mezzo rispetto al vuoto. La costante dielettrica relativa del mezzo che separa le cariche è tanto maggiore quanto più la forza elettrica tra le cariche è ridotta dalla presenza del mezzo stesso.

La causa di tale riduzione è la *polarizzazione*[1] *del dielettrico*. Maggiore è la dipolarità delle molecole di un dielettrico, maggiore è la polarizzazione e minori sono le forze elettriche nel suo interno: ciò implica una notevole riduzione dell'interazione elettrostatica.

ε_r è **un indice della polarizzabilità del dielettrico** a cui si riferisce.
Per ogni materiale $\varepsilon_r \geq 1$.

L'acqua ha un'alta polarizzabilità ($\varepsilon_r = 81$), dovuta alla dipolarità della sua molecola; l'aria ha invece una bassa polarizzabilità ($\varepsilon_r = 1{,}0006$), mentre il vuoto non si polarizza affatto ($\varepsilon_r = 1$).

Quali sono le dimensioni della costante dielettrica?
E quelle della costante dielettrica relativa?

Si parte ricavando ε dall'espressione della legge di Coulomb:

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \Rightarrow \varepsilon = \frac{1}{4\pi F} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

Le dimensioni di tutte le grandezze a destra dell'uguale sono note, perciò:

$$[\varepsilon] = 1 \cdot \frac{[Q]^2}{[L]^2} \cdot \frac{1}{[F]} = \frac{[i]^2 \cdot [T]^2}{[L]^2 \cdot [M] \cdot [L]/[T]^2} = \frac{[i]^2 \cdot [T]^4}{[L]^3 \cdot [M]}$$

Per quanto riguarda l'unità di misura di ε nel SI, si veda più avanti il § 9.5.1.
La costante dielettrica relativa è invece una grandezza adimensionale, perché definita come rapporto di due costanti dielettriche.

1. Esistono due tipi di polarizzazione:
   1. polarizzazione per orientamento (è ciò che succede a molecole dipolari come l'acqua);
   2. polarizzazione per deformazione (è la polarizzazione delle molecole apolari come il cloro).

   In entrambi i casi la rotazione delle molecole è dovuta all'interazione tra il dipolo elettrico della molecola (che può essere naturale o indotto) e il campo elettrico esterno. Tale interazione si traduce nell'applicazione di una coppia di forze alla molecola che, ruotando, si dispone lungo la direzione del campo elettrico.

9.1.2 | Analogie e differenze con la legge di gravitazione universale

Confrontando la legge di gravitazione universale con la legge di Coulomb si nota una stretta analogia:

$$F_{\text{grav}} = G \cdot \frac{M \cdot m}{r^2} \qquad F_{\text{coul}} = K \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2}$$

Vi sono tuttavia alcune differenze importanti:

- la forza di gravità non dipende dal mezzo che separa le masse, mentre la forza di Coulomb dipende dal dielettrico (isolante) che separa le cariche;
- la forza gravitazionale è sempre attrattiva mentre quella elettrostatica può anche essere repulsiva;
- la forza elettrostatica è molto più intensa di quella gravitazionale.

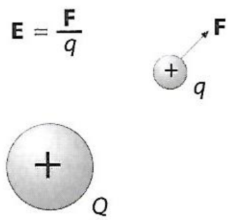
9.2 | Campo elettrico

La forza di Coulomb è una forza presente tra due cariche poste a una distanza r. La fisica moderna ha sostituito al concetto di forze a distanza con quello più completo di **campo di forze**. Secondo questa visione, il campo elettrico è una perturbazione dello spazio dovuta alla presenza di cariche.

Una regione dello spazio è sede di un campo elettrico quando una carica ferma posta in essa è soggetta a forze di natura elettrostatica.

Ogni carica elettrica genera intorno a sé un campo elettrico. Per determinare tale campo si fa uso della carica esploratrice q che, per convenzione, si assume di segno positivo. Si definisce vettore **intensità del campo elettrico E** il rapporto tra la forza elettrostatica a cui è soggetta la carica esploratrice in quel punto e la carica stessa:

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q}$$



dove **F** è la forza elettrostatica e q la carica esploratrice.

L'unità di misura del campo elettrico nel Sistema internazionale è:

$$\frac{\text{newton}}{\text{coulomb}} \quad \left(\text{oppure } \frac{\text{volt}}{\text{metro}}\right)$$

Si supponga ora che il campo elettrico sia generato da una carica puntiforme Q e si indichi la carica esploratrice con q. Dalle espressioni della forza di Coulomb e del campo elettrico si ha:

$$E = \frac{F}{q} = K \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2} \cdot \frac{1}{q} = K \cdot \frac{Q}{r^2}$$

Il campo elettrico in un punto non dipende dal valore q della carica esploratrice; dipende solo dalla carica generatrice e dalla posizione del punto nello spazio.

Vale il **principio di sovrapposizione**: in un generico punto P, il campo elettrico **E** generato da più cariche Q_1, Q_2, ... è dato dalla somma vettoriale dei campi elettrici $\mathbf{E}_1$, $\mathbf{E}_2$, ... generati nel punto P dalle singole cariche, rispettivamente.

Calcolare l'accelerazione applicata a una particella di massa *m* e carica positiva *q* immersa in un campo elettrico uniforme E.

Si ricava la forza **F** applicata alla particella dalla definizione di campo elettrico:

$$\mathbf{F} = \mathbf{E} \cdot q$$

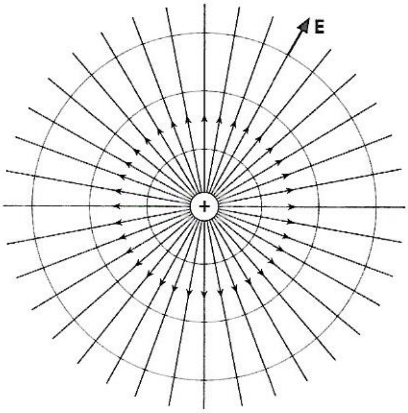
Poi, grazie alla seconda legge di Newton, si trova l'accelerazione:

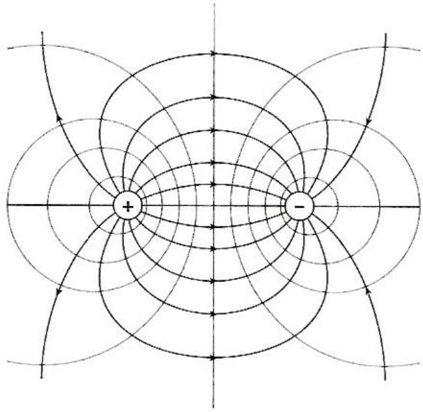
$$\mathbf{F} = m \cdot \mathbf{a} \;\Rightarrow\; \mathbf{a} = \frac{\mathbf{F}}{m} = \mathbf{E} \cdot \frac{q}{m}$$

Il vettore **a** è parallelo e concorde al vettore **E** poiché q ed m sono entrambe positive.

9.2.1 | Linee di forza del campo elettrico

Un metodo per rappresentare il campo elettrico è disegnare le sue **linee di forza**, cioè linee orientate e dirette concordemente al campo e in ogni punto tangenti al vettore **E** associato a quel punto. Nella figura che segue le linee di forza sono rappresentate con delle frecce (le altre curve continue rappresentano le superfici equipotenziali del campo elettrico; si veda più avanti il § 9.3.3).





(a) Linee di forza del campo elettrico generato da una carica puntiforme positiva.
(b) Linee di forza del campo elettrico generato da due cariche puntiformi di segno opposto.

Le linee di forza del campo elettrico sono per convenzione sempre uscenti dalle cariche positive ed entranti in quelle negative.

Si consideri un punto materiale di carica + q posto all'interno di un campo elettrico generato da due cariche di segno opposto. A causa delle forze elettriche, se tale carica è libera di muoversi, lo fa percorrendo una certa traiettoria. È vero che la traiettoria seguita dalla carica coincide in generale con una linea di forza?
Per rispondere è necessario pensare alla direzione della forza che agisce sulla carica libera: essa è tangente alle linee di forza del campo.
Se la carica seguisse la traiettoria curvilinea delle linee di forza, dovrebbe esistere una forza centripeta in grado di tenerla legata alle linee di forza. Tale forza, nel caso considerato, non esiste e quindi la carica non può muoversi lungo le linee di forza.

9.3 | Energia potenziale elettrica

L'**energia potenziale** E_p di una carica q associata a un punto P di un campo elettrico è il lavoro che bisogna compiere *contro le forze del campo* per portare la carica dall'infinito (cioè dai limiti del campo) al punto P.
L'unità di misura dell'energia potenziale elettrica è il joule.

Nel caso di un campo elettrico generato da una sola carica Q, l'energia potenziale E_p è positiva se la carica generatrice e la carica q sono concordi, negativa se sono discordi. È possibile dare un'espressione matematica all'energia potenziale elettrica associata a una carica q posta a distanza r dalla carica puntiforme Q:

$$E_p = K \cdot \frac{Q \cdot q}{r}$$

L'energia potenziale E_p è direttamente proporzionale ai valori della carica che genera il campo, della carica esploratrice e inversamente proporzionale alla distanza tra le due cariche.

9.3.1 | Potenziale elettrico

Una carica q posta in un campo elettrico acquista energia potenziale elettrica E_p. Al variare del valore della carica esploratrice q, il valore di E_p cambia, ma il rapporto tra E_p e q rimane costante.

Si definisce **potenziale elettrico** l'espressione: $V_p = \frac{E_p}{q}$

Il potenziale elettrico associato a un punto a distanza r dalla carica generatrice del campo è:

$$V_p = \frac{E_p}{q} = K \cdot \frac{Q \cdot q}{r} \cdot \frac{1}{q} = K \cdot \frac{Q}{r}$$

Il potenziale in un punto è una quantità indipendente dal valore della carica esploratrice. Dipende invece dal valore della carica che genera il campo e dalla posizione del punto.

Il potenziale elettrico coincide *numericamente* con l'energia potenziale dell'unità di carica.
L'unità di misura del potenziale elettrico è il volt (simbolo: V): $V = J/C$.

Si calcoli il valore del campo elettrico E generato da due cariche puntiformi positive, entrambe di intensità *Q*, e del potenziale elettrico *V* associato al campo, nel punto centrale P del segmento che unisce le due cariche.
Sia $2d$ la distanza tra le due cariche: **E** e V vanno calcolati nel punto P che dista d da ciascuna carica. I campi generati dalle due cariche sono entrambi uscenti e hanno modulo:

$$E_1 = E_2 = k \cdot \frac{Q}{d^2}$$

Per il principio di sovrapposizione, **E** è dato dalla somma vettoriale dei due campi. Poiché nel punto P $\mathbf{E}_1$ e $\mathbf{E}_2$ hanno stessa intensità e verso opposto, la loro somma è zero e così **E**.
Poiché V è uno scalare, il potenziale nel punto P è dato dalla somma *algebrica* dei potenziali generati dalle singole cariche in quel punto, e vale:

$$V = k \cdot \frac{Q}{d} + k \cdot \frac{Q}{d} = 2k \cdot \frac{Q}{d}$$

9.3.2 | Differenza di potenziale

Si consideri un campo elettrico generato da una carica puntiforme (o da un insieme di cariche) e si prenda il valore del potenziale elettrico in due punti differenti A e B: V_A e V_B.

$V_B - V_A$ = *differenza di potenziale elettrico* o *tensione* tra A e B (*d.d.p.* tra A e B).

La tensione è una grandezza scalare che si misura in volt. Si può dimostrare che $V_B - V_A$ corrisponde *numericamente* al lavoro che bisogna fare contro le forze del campo per spostare la carica unitaria da A a B. Equivalentemente, indicando con $L_{A \to B}$ il lavoro che le forze del campo compiono per portare la carica q da A a B (e ricordando che $E_p = q \cdot V_p$) si ha:

$$L_{A \to B} = E_{p_A} - E_{p_B} = q \cdot V_A - q \cdot V_B = q \cdot (V_A - V_B) = -q \cdot \Delta V = -(E_{p_B} - E_{p_A}) = -\Delta E_p$$

Il lavoro che le forze del campo compiono per portare una carica positiva dal punto A al punto B **è uguale alla differenza di energia potenziale tra i due punti, cambiata di segno.**

Una carica di +8 C si muove da un punto a potenziale di 6 V a un punto a potenziale di 2 V. Quanto vale il lavoro fatto dalla forza del campo?
Per quanto visto, si tratta di utilizzare la formula:

$$L = -\Delta E_p = -q \cdot \Delta V = -8\ \text{C} \cdot (2-6)\ \text{V} = +32\ \text{J}$$

Si osserva che, se il lavoro richiesto fosse stato quello delle forze *esterne* (dunque quello *contro* le forze del campo), allora la formula da usare sarebbe stata $L = \Delta E_p = q \cdot \Delta V$.

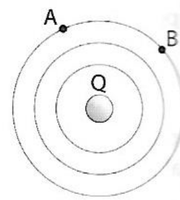
FISICA

9.3.3 | Superfici equipotenziali

Le superfici equipotenziali di un campo sono le superfici i cui punti si trovano tutti allo stesso potenziale e **sono sempre ortogonali alle linee di campo**.

Se due punti A e B si trovano sulla stessa superficie equipotenziale, il lavoro che le forze del campo compiono per portare una carica da A a B è nullo; si ha infatti che $L = q \cdot (V_A - V_B) = 0$.

Se il campo è generato da una carica puntiforme Q, le superfici equipotenziali sono le superfici delle sfere che hanno il centro nella carica Q.



9.3.4 | relazione tra potenziale e campo elettrico

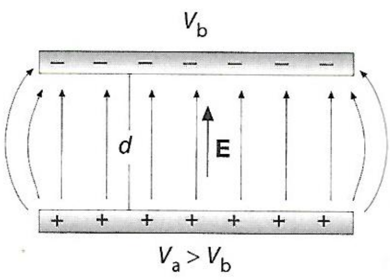
Nel caso in cui sia noto il potenziale elettrico V in tutti i punti di una data regione di spazio, è possibile calcolare il campo elettrico **E** che ha sede in quella regione.

Il vettore campo elettrico **E** uscente da un punto A ha direzione perpendicolare alla superficie equipotenziale passante per A; il suo verso va dai punti a potenziale maggiore a quelli a potenziale minore; e il suo modulo è pari a:

$$E = -\frac{\Delta V}{\Delta s}$$

dove $\Delta V = V_B - V_A$ è la variazione del potenziale spostandosi lungo un tratto Δs lungo la direzione e nel verso del campo.

È possibile stabilire un **campo elettrico uniforme** nella regione di spazio compresa tra due piastre metalliche parallele a e b, caricate una positivamente e l'altra negativamente.
Se le piastre sono poste a una distanza d e tra loro c'è una differenza di potenziale ΔV, il modulo del campo elettrico vale $E = |\Delta V|/d$. Le linee di forza del campo **E** sono ortogonali alle piastre e il verso va dai punti a potenziale maggiore a quelli a potenziale minore.



9.4 | Teorema di Gauss

Il teorema di Gauss si applica quando la carica è distribuita su un conduttore esteso anziché essere puntiforme. Prima di enunciarlo, è necessario definire il concetto di flusso di un vettore.

Il flusso Φ di un vettore **v** attraverso la superficie S è dato dal prodotto scalare tra il vettore **v** e il vettore superficie **S**:

$$\Phi_S(\mathbf{v}) = \mathbf{v} \cdot \mathbf{S} = v \cdot S \cdot \cos\theta = v_n \cdot S$$

dove θ è l'angolo tra il vettore **v** e la normale alla superficie, v_n è la componente del vettore **v** lungo la normale ed **S** è il vettore superficie (con intensità pari all'area della superficie, direzione perpendicolare alla superficie e orientato verso l'esterno se la superficie è chiusa).

Il segno del flusso di un vettore è positivo quando il vettore "esce" dalla superficie, negativo se il vettore "entra". Nel caso del campo elettrico, il vettore **v** è rappresentato proprio dal campo elettrico **E** e l'unità di misura del flusso è volt · m.

PARTE QUARTA

Teorema di Gauss. Il flusso del campo elettrico attraverso una superficie chiusa S contenente n cariche $Q_1, Q_2, ..., Q_n$ è dato (nel vuoto) da:

$$\Phi_S(\mathbf{E}) = \frac{\sum Q_i}{\varepsilon_0} = \frac{Q_1 + Q_2 + \ldots + Q_n}{\varepsilon_0}$$

Dal teorema di Gauss si ricavano alcune importanti conseguenze:

- la carica elettrica nei conduttori si distribuisce sulla loro superficie.
- in condizioni elettrostatiche (ossia quando le cariche non sono in movimento), tutti i punti di un conduttore hanno lo stesso potenziale che prende il nome di potenziale del conduttore.
- il campo elettrico all'interno di un conduttore carico è nullo.
- sulla superficie del conduttore la densità di carica è maggiore dove la curvatura è maggiore, cioè dove il raggio di curvatura è minore: la carica elettrica si concentra quindi sulle punte dei conduttori carichi (*potere delle punte*).

9.5 | Capacità di un conduttore

Dato un conduttore isolato con carica positiva Q, esso possiede un potenziale V direttamente proporzionale alla sua carica Q (si veda il § 9.3.1).

Quindi il rapporto tra la carica del conduttore e il suo potenziale è una costante che prende il nome di **capacità elettrostatica del conduttore**:

$$\text{Capacità} = C = \frac{\text{Carica}}{\text{Potenziale}} = \frac{Q}{V} = \text{costante}$$

La capacità di un conduttore è un indice della possibilità di accumulare carica su di esso; la quantità di carica che si accumula sul conduttore dipende cioè dalla sua capacità: a parità di potenziale, un conduttore con alta capacità accumula più cariche di uno con bassa capacità.

L'unità di misura della capacità prende il nome di **farad** $= \dfrac{\text{coulomb}}{\text{volt}}$; (simbolo F).

Un conduttore ha la capacità di 1 F quando la carica di 1 C gli conferisce il potenziale di 1 V.
Si usano spesso i sottomultipli del farad:

1 microfarad = 10^{-6} F 1 nanofarad = 10^{-9} F 1 picofarad = 10^{-12} F

La capacità di un conduttore dipende dalla sua superficie: **maggiore è la superficie del conduttore, maggiore è la sua capacità.**
A parità di superficie, la capacità di un conduttore dipende dalla sua forma.

9.5.1 | Condensatore

Se a un conduttore carico si avvicina un conduttore scarico, la sua capacità aumenta. I **condensatori** sono dispositivi ad alta capacità costituiti da due conduttori (*armature*) affacciati.
Per i condensatori vale la relazione:

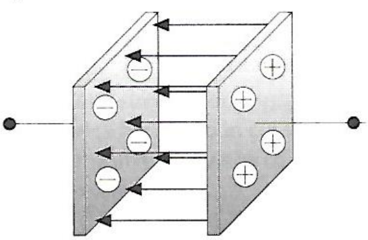
$$C = \frac{Q}{V_2 - V_1} = \frac{Q}{\Delta V}$$

dove Q è la carica accumulata sulle armature e ΔV è la differenza di potenziale tra di esse.

Tramite il teorema di Gauss si dimostra che la capacità di un condensatore piano è:

$$C = \varepsilon \frac{S}{d}$$

dove S è la superficie delle armature, d è la loro distanza ed ε è la costante dielettrica del mezzo che le separa: tale risultato è valido anche per i condensatori sferici nei quali le armature sono superfici sferiche concentriche.



Nella parte centrale di un condensatore piano le linee di forza del campo elettrico sono segmenti paralleli: tra le armature di un condensatore piano il campo elettrico è *uniforme* e vale:

$$E = \frac{\Delta V}{d} = \frac{Q}{C \cdot d}$$

Qual è l'unità di misura della costante dielettrica nel SI?
Data la relazione appena vista è possibile affermare che, per un condensatore piano:

$$\varepsilon = \frac{d}{S}C \Rightarrow [\varepsilon] = \frac{[d]}{[S]}[C] = [L]^{-1} \cdot [C]$$

Poiché nel SI l'unità di misura della capacità è il farad, si può concludere che l'unità di misura di ε è farad/metro.

Si hanno due conduttori tenuti alla differenza di potenziale (costante) di 160 volt. È possibile ottenere, fra i due conduttori, un campo elettrico di 10.000 volt/metro?
Il campo elettrico generato all'interno di un condensatore è direttamente proporzionale alla differenza di potenziale tra le armature del condensatore e inversamente proporzionale alla loro distanza. Se il dielettrico che separa le due armature è un buon isolante (cattivo conduttore) le armature si possono avvicinare fino a ottenere al loro interno un campo elettrico grande a piacere.

9.5.2 | Lavoro di carica di un condensatore ed elettronvolt

Per caricare un condensatore inizialmente scarico (armature neutre) con una carica Q si devono trasferire cariche da un'armatura all'altra, compiendo un lavoro L dato da:

$$L = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2}C \cdot \Delta V^2$$

dove ΔV è la *differenza di potenziale* (d.d.p.) fra le armature. Per portare una carica q da un'armatura all'altra di un condensatore si deve compiere un lavoro dato da $L = q \cdot \Delta V$.

L'elettronvolt (eV) è un'unità di misura dell'energia utilizzata soprattutto in fisica delle particelle. Si chiama **elettronvolt** l'energia che acquista un elettrone nel passare da un'armatura all'altra di un condensatore in cui vi è una d.d.p. di 1 V.

Un elettronvolt = 1 eV = 1 V $\cdot$ 1,6 $\cdot$ 10^{-19} C = 1,6 $\cdot$ 10^{-19} J = 1,6 $\cdot$ 10^{-12} erg

9.5.3 | Quantizzazione della carica elettrica

In natura non è possibile disporre di una quantità di carica piccola a piacere. Esiste un valore minimo al di sotto del quale non è possibile andare. Ogni altra carica è un multiplo intero di questo valore minimo che prende il nome di *carica elementare* o *quanto di carica*.
La carica elementare coincide con la carica dell'elettrone o del protone: il suo valore è 1,6 $\cdot$ 10^{-19} C.

La carica dell'elettrone viene indicata con la lettera *e*. Si ha:

e = carica dell'elettrone = – 1,6 $\cdot$ 10^{-19} coulomb