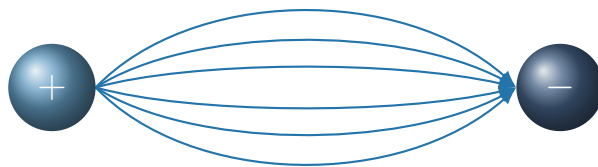


TELECOMUNICAZIONI

Carica elettrica, forza e campo

Lezione 1 – Classe 3TELB

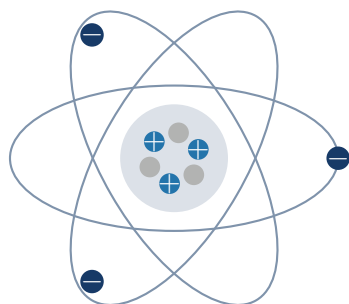
Prof. Claudio Gratton



1 La carica elettrica

La **carica elettrica** è una proprietà della materia. Non si osserva direttamente: se ne osservano gli effetti, come attrazione, repulsione, scintille e correnti elettriche. Nel Sistema Internazionale si misura in **coulomb** (C).

1.1 Le particelle dell'atomo



Protone: $+e$

Neutrone: 0

Elettrone: $-e$

La carica elettrica è **quantizzata**: è una grandezza discreta, quindi non può assumere un valore qualsiasi. La quantità e è il valore positivo della **carica elementare**, cioè il più piccolo “passo” di carica considerato in questi fenomeni.

Formula fondamentale

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$Q = ne, \quad n \in \mathbb{Z}$$

$$Q_{\text{protone}} = +e \quad Q_{\text{elettrone}} = -e = -1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Qui e non è una carica diversa da Q : è il valore elementare con cui si costruiscono tutti i valori possibili di Q . La carica totale di un corpo può quindi essere soltanto

$$\dots, -3e, -2e, -e, 0, +e, +2e, +3e, \dots$$

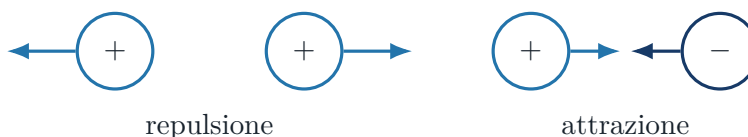
Il numero intero n descrive lo squilibrio di elettroni: n negativo indica un eccesso, mentre n positivo indica una mancanza. Per esempio, $Q = -3e = -4,806 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ significa che il corpo possiede tre elettroni in più rispetto alla condizione neutra. Un valore come $Q = 1,5e$ non è ammesso.

Un corpo è neutro se contiene lo stesso numero di protoni ed elettroni. Un eccesso di elettroni produce carica negativa; una mancanza di elettroni produce carica positiva. Nelle formule successive Q indicherà la carica totale o la carica sorgente, mentre q indicherà una carica generica: se la particella considerata è un elettrone, allora $q = q_e = -e$.

Nei fenomeni ordinari sono gli **elettroni** a trasferirsi da un corpo all'altro: i protoni restano legati nel nucleo. La carica non viene creata o distrutta, ma trasferita; in un sistema isolato la somma algebrica delle cariche rimane costante.

Concetto chiave

Cariche dello stesso segno si **respingono**; cariche di segno opposto si **attraggono**.



2 La forza di Coulomb

Due cariche puntiformi Q_1 e Q_2 , poste a distanza r , esercitano l'una sull'altra una forza diretta lungo la retta che le congiunge.

Formula fondamentale

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \quad k_0 = 8,99 \cdot 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2 \quad (\text{nel vuoto})$$



esempio: cariche concordi, forza repulsiva

Come si legge la formula

- F è direttamente proporzionale al prodotto $Q_1 Q_2$;
- F diminuisce con il **quadrato** della distanza: se r raddoppia, F diventa $F/4$;
- il segno del prodotto $Q_1 Q_2$ distingue i due casi: positivo per cariche concordi (forza repulsiva), negativo per cariche discordi (forza attrattiva);
- le due forze hanno stesso modulo e verso opposto: $F_{12} = -F_{21}$.

La costante k dipende dal mezzo attraverso la permittività relativa ϵ_r . A parità di cariche e distanza, in un materiale con $\epsilon_r > 1$ la forza è minore che nel vuoto. La legge vale per cariche puntiformi; per corpi sferici uniformemente carichi vale all'esterno come se la carica fosse concentrata nel centro.

Esempio

Due cariche $Q_1 = 2 \mu\text{C}$ e $Q_2 = -3 \mu\text{C}$ distano $r = 0,10 \text{ m}$ nel vuoto.

$$F = 8,99 \cdot 10^9 \frac{(2 \cdot 10^{-6})(-3 \cdot 10^{-6})}{(0,10)^2} = -5,39 \text{ N}.$$

Il segno negativo indica che la forza è **attrattiva**: le cariche hanno segno opposto.

3 Il campo elettrico

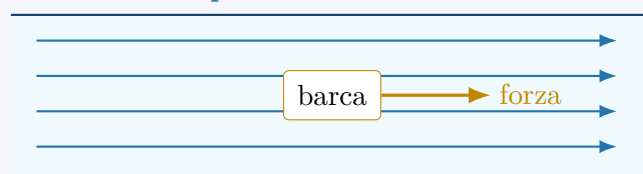
Una o più cariche, dette **cariche sorgenti**, modificano lo spazio circostante. A ogni punto dello spazio associano una grandezza vettoriale chiamata **campo elettrico**.

Analogia: la corrente di un fiume

La corrente dell'acqua esiste anche quando nel fiume non c'è alcuna barca: descrive, punto per punto, in quale direzione e con quale intensità l'acqua tende a trascinare un oggetto. Essa è analoga al **campo elettrico**.

Quando si mette una barca nel fiume, la corrente esercita una spinta sulla barca. La barca è analoga a una **carica immersa nel campo**; la spinta che compare sulla barca è analoga alla **forza elettrica**. Senza barca la corrente esiste comunque, ma non c'è alcuna forza sulla barca; allo stesso modo il campo elettrico può esistere anche se nel punto non è presente alcuna carica.

corrente $\longleftrightarrow$ campo



Per verificare che il campo esiste in un punto P si immagina di collocarvi una **carica di prova** q_0 . Per convenzione q_0 è positiva e deve essere molto piccola, così la sua presenza non sposta in modo apprezzabile le cariche sorgenti e non modifica il campo che vogliamo misurare.

La carica di prova subisce una forza elettrica F_0 . Il campo nel punto P è definito come la forza esercitata su ogni coulomb di carica di prova:

Definizione di campo elettrico – vale sempre

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}_0}{q_0}$$

$$\mathbf{F}_0 = q_0 \mathbf{E}$$

$$[E] = \text{N/C} = \text{V/m}$$

Concetto chiave

Il campo $\mathbf{E}$ dipende dalle cariche che lo generano e dal punto dello spazio; non dipende dalla carica di prova. Se q_0 raddoppia, raddoppia anche $\mathbf{F}_0$, ma il rapporto $\mathbf{F}_0/q_0$ resta uguale. La carica q_0 serve soltanto come “sonda” del campo.

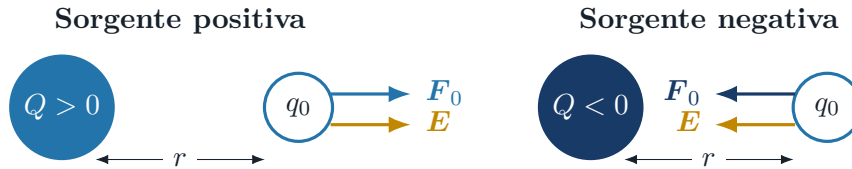
Chi è chi

- Q : **carica sorgente**; genera il campo elettrico nello spazio circostante;
- q_0 : **carica di prova**, scelta positiva e molto piccola; serve a definire $\mathbf{E}$;
- q : una qualunque carica successivamente immersa nel campo;
- $\mathbf{E}$: campo presente nel punto, anche se in quel punto non si trova alcuna carica;
- $\mathbf{F}_0$: forza di Coulomb che agisce sulla carica di prova;
- $\mathbf{F} = q\mathbf{E}$: forza che compare su una generica carica q immersa nel campo;
- r : distanza tra la carica sorgente Q e il punto P considerato.

Poiché q_0 è scelta positiva, il verso di $\mathbf{E}$ coincide per definizione con il verso della forza che agirebbe su una carica positiva. Su una carica negativa la forza ha invece verso opposto al campo.

3.1 Campo generato da una carica puntiforme

Consideriamo una carica sorgente **puntiforme** Q (come nella legge di Coulomb: le sue dimensioni sono trascurabili rispetto alla distanza r) e una carica di prova positiva q_0 posta nel punto P , a distanza r . La forza $\mathbf{F}_0$ che compare nella definizione $\mathbf{E} = \mathbf{F}_0/q_0$ è la **stessa forza di Coulomb** esercitata da Q su q_0 .



Per ricavare il campo scriviamo la **stessa forza** F_0 in due modi e confrontiamo le due espressioni:

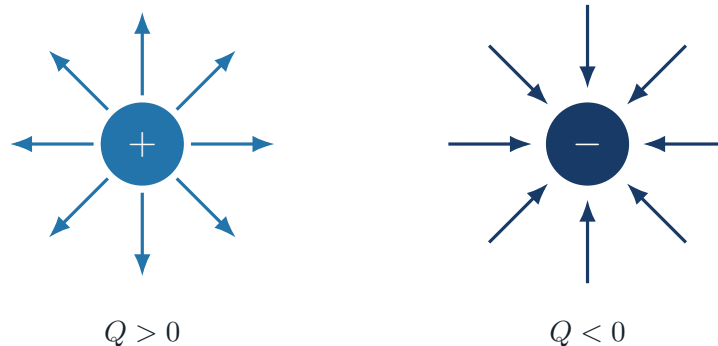
1. dalla **definizione** di campo, che vale sempre: $F_0 = q_0 E$;
2. dalla **legge di Coulomb**, che vale per cariche puntiformi: $F_0 = k \frac{Q q_0}{r^2}$;
3. uguagliamo: $q_0 E = k \frac{Q q_0}{r^2}$ e dividiamo entrambi i membri per q_0 .

Campo di una carica puntiforme – vale solo per una sorgente puntiforme

$$E = k \frac{Q}{r^2}.$$

La carica di prova q_0 si semplifica: il campo dipende da Q e da r , non dalla sonda usata per misurarlo. Poiché $q_0 > 0$, $\mathbf{F}_0$ e $\mathbf{E}$ hanno sempre la stessa direzione e lo stesso verso.

Il segno di Q stabilisce il verso radiale del campo: il campo **esce** da una carica positiva ed **entra** in una carica negativa. Come per la forza di Coulomb, il segno del risultato indica il verso ($E > 0$ uscente, $E < 0$ entrante), mentre l'intensità del campo è $k|Q|/r^2$.



3.2 Principio di sovrapposizione

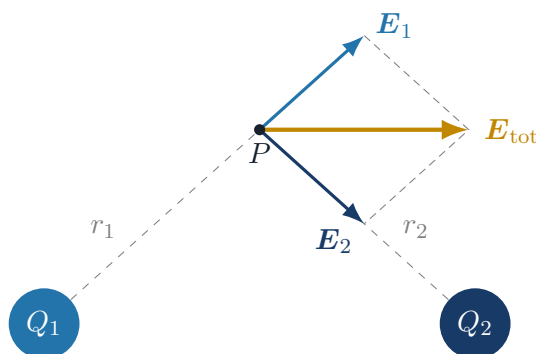
Se sono presenti più cariche sorgenti $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$, ciascuna genera nel punto P il proprio campo E_i . Il campo totale in P si ottiene sommando **vettorialmente** questi contributi:

Formula fondamentale

$$\mathbf{E}_{\text{tot}} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \dots + \mathbf{E}_n$$

ovvero

$$\mathbf{E}_{\text{tot}} = \sum_{i=1}^n \mathbf{E}_i$$



Per ogni sorgente si calcola separatamente $E_i = kQ_i/r_i^2$, assegnando direzione e verso (uscente da Q_i se positiva, entrante se negativa, come in figura); solo dopo si esegue la somma vettoriale. La carica di prova non compare nel risultato finale.

Le **linee di campo** sono orientate e tangenti a $\mathbf{E}$. Non si intersecano; la loro densità rappresenta qualitativamente l'intensità del campo.

Quale formula uso?

Formula	A cosa serve	Quando vale
$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$	forza tra due cariche	due cariche puntiformi
$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}_0}{q_0}$	definisce il campo in un punto	sempre, qualunque sia la sorgente
$\mathbf{F} = q\mathbf{E}$	forza su una carica q immersa in un campo noto	sempre
$E = k \frac{Q}{r^2}$	campo generato da una carica	una sola sorgente puntiforme
$\mathbf{E}_{\text{tot}} = \sum \mathbf{E}_i$	campo di più sorgenti	sempre: somma vettoriale dei singoli campi