

FORZE ELETTRICHE E CAMPI ELETTRICI

(con fonti aggiuntive)

*(Capitolo 11, La fisica di Cutnell e Johnson 2,
seconda edizione, John D. Cutnell, Kenneth W.
Johnson, David Young, Shane Stadler)*

L'ORIGINE DELL'ELETTRICITÀ

I primi studi sui fenomeni elettrici risalgono probabilmente al filosofo greco Talete, intorno al 600 a.C.. Egli studiò le proprietà dell'ambra, una resina fossile, notando che se strofinata era capace di attrarre altri pezzetti di materia. Il nome greco dell'ambra era elektron (ἤλεκτρον), da cui deriva il termine «elettricità». I greci antichi osservarono che l'ambra strofinata poteva attrarre oggetti leggeri, come i capelli, e che uno strofinio ripetuto poteva persino generare scintille. Altri studiosi antichi come Platone, Lucrezio e Plutarco tentarono di spiegare questi effetti, con Plutarco che notò differenze rispetto ai fenomeni magnetici.

Lo studio scientifico dell'elettricità ebbe inizio con il fisico inglese William Gilbert (1544-1603). Gilbert affermò che la forza di attrazione dell'ambra era dovuta a un fenomeno diverso dal magnetismo, da lui chiamato elettricità. Osservò che anche altri materiali possedevano questa proprietà attrattiva e ipotizzò che fosse causata da un fluido emanato dai corpi elettrizzati. Nel XVI secolo, Gilbert condusse uno studio sistematico sulle "proprietà elettriche" dei materiali, osservando che alcuni materiali, se strofinati, acquisivano la capacità di attrarre corpuscoli leggeri, mentre altri no. Questa osservazione portò all'introduzione del concetto di carica elettrica come grandezza fisica per misurare lo stato di elettrizzazione dei corpi.

A partire dal XVIII secolo, con gli studi di Benjamin Franklin, lo studio dell'elettricità si sviluppò verso applicazioni pratiche. Franklin spiegò il fenomeno delle bottiglie di Leida ed elaborò nel 1754 la teoria dell'«unicità del fluido elettrico», secondo la quale l'elettricità era un singolo fluido con particelle che si respingevano tra loro ma erano attratte dalla materia; un eccesso di fluido corrispondeva a un'energia di tipo vetroso (positiva), un difetto a un'energia di tipo resinoso (negativa). Le osservazioni di Franklin posero le basi per le teorizzazioni di scienziati successivi come Michael Faraday, Luigi Galvani, Alessandro Volta, André-Marie Ampère e Georg Simon Ohm.

Nei primi dell'Ottocento, Hans Christian Ørsted osservò la relazione tra corrente elettrica e fenomeni magnetici, contribuendo alla teoria elettromagnetica. I suoi studi furono proseguiti da André-Marie Ampère e Michael Faraday. Faraday scoprì l'induzione elettromagnetica, principio fondamentale dei motori elettrici. Formulò anche leggi sull'elettrolisi e sviluppò una teoria secondo cui l'elettricità non era un fluido, ma una forza trasmessa tra particelle di materia. Grazie alle intuizioni di Maxwell si giunse alla formulazione di quattro leggi, note come leggi di Maxwell,

che rappresentano le equazioni generali dell'elettromagnetismo, unificando fenomeni elettrici e magnetici.

Alessandro Volta, intorno al 1800, costruì una rudimentale ma efficace pila elettrica. Studiando i fenomeni di elettro-conduzione animale, intuì l'esistenza di un rapporto tra la velocità degli elettroni e il potenziale dei capi conduttori, definendo questo valore come «tensione elettrica».

L'elettricità è una proprietà fondamentale della materia, molto diffusa in natura, dove si manifesta in modo evidente, come nei fulmini. L'uomo ha esplorato e sfruttato questa forma di energia attraverso varie tappe, rendendola un mezzo essenziale per il trasporto di energia (reti elettriche) e informazione (telecomunicazioni), diventando un simbolo del mondo moderno.

Va notato che la parola "Elettricità" ha diversi significati comuni, talvolta contraddittori, potendo riferirsi a cariche elettriche, energia elettromagnetica, flusso di cariche, sbilanciamento di carica (elettricità statica), classi di fenomeni, o persino campi della scienza.

OGGETTI CARICHI E FORZA ELETTRICA

L'elettricità è l'insieme dei fenomeni fisici associati alla presenza e al moto della materia che possiede la proprietà di carica elettrica. La carica elettrica è una proprietà fondamentale di alcune particelle subatomiche. È una proprietà intrinseca della materia e può avere segno positivo o negativo. La carica elettrica è una grandezza scalare che caratterizza lo stato di elettrizzazione di un corpo.

È importante capire che la carica non è una sostanza, ma una proprietà posseduta dalle particelle, come la massa. Le particelle sono sostanza, mentre la carica è una loro proprietà. Elettroni e protoni sono due tipi di particelle con massa differente ma con la stessa quantità di carica elettrica. In generale, gli elettroni possono essere rimossi più facilmente dall'atomo rispetto ai protoni. L'apparizione di una carica in eccesso (positiva o negativa) è sempre dovuta al trasferimento o alla ridistribuzione di cariche preesistenti.

Cariche di segno uguale si respingono, mentre cariche di segno opposto si attraggono. Questa interazione è chiamata forza elettrica. La forza elettrica è la forza che si instaura tra cariche elettriche poste ad una certa distanza. Tutte le interazioni elettriche tra corpi sono riconducibili alla forza di Coulomb.

La presenza di una carica elettrica produce un campo elettrico. Il movimento delle cariche elettriche è una corrente elettrica e produce un campo magnetico. La corrente elettrica viene spesso descritta come un flusso o spostamento di elettroni. Un flusso di elettroni (o protoni) non è un "flusso di energia". L'energia si

muove velocemente dalla sorgente al carico, mentre la carica in un circuito fluisce più lentamente in circolo.

La **conservazione della carica elettrica** è un principio fondamentale che afferma che la somma algebrica delle cariche elettriche in un sistema isolato si mantiene sempre costante nel tempo. Non c'è "creazione" di cariche elettriche nei fenomeni di elettrizzazione, ma solo trasferimento o ridistribuzione.

Fenomeni naturali legati all'elettricità includono i fulmini, che sono scariche elettriche nell'atmosfera. L'elettricità statica è un altro fenomeno comune, che si verifica quando la quantità di cariche positive e negative all'interno di un materiale non è perfettamente uguale, risultando in uno sbilanciamento di carica. L'elettroscopio a foglie è uno strumento basato sulla repulsione tra oggetti carichi dello stesso segno e permette di verificare e riconoscere lo stato di carica di un corpo.

Alcuni fraintendimenti comuni includono l'idea che tutte le cariche elettriche siano flussi di elettroni, che l'elettricità sia fatta solo di elettroni, o che le cariche positive non possano fluire. Altri fraintendimenti sono che l'elettricità abbia massa nulla o che le cariche positive siano una perdita di elettroni.

CONDUTTORI E ISOLANTI

I materiali si distinguono in base alla loro capacità di lasciar passare o trattenere la carica elettrica. Un **conduttore elettrico** è un materiale che ha la proprietà di lasciar propagare la carica elettrica sulla sua superficie e consente il libero passaggio di carica elettrica attraverso di esso. Nei conduttori, la carica elettrica può circolare liberamente attraverso tutto il volume, non rimanendo confinata superficialmente. Esempi di buoni conduttori includono metalli come rame e argento, che sono conduttori migliori del ferro. Anche il corpo umano è un conduttore. Un **isolante elettrico**, al contrario, è un materiale che trattiene la carica elettrica e non permette il libero passaggio di carica.

La distinzione tra isolanti e conduttori non è sempre netta, e i materiali possono essere ordinati in base alla loro capacità di trattenere o lasciar fluire la carica elettrica.

A livello microscopico, la differenza tra conduttori e isolanti risiede nella libertà di movimento degli elettroni. Nei metalli conduttori, ci sono elettroni liberi (elettroni di conduzione) che si muovono in un reticolo di ioni positivi. Il processo di conduzione elettrica in un metallo avviene quando un campo elettrico, generato ad esempio da una batteria, si propaga nel filo conduttore. Gli elettroni di conduzione rispondono a questo campo, subendo interazioni con il reticolo ionico, e acquisiscono una velocità di deriva ordinata. Questo moto ordinato degli

elettroni si manifesta a livello macroscopico come corrente elettrica. Le differenze tra conduttori, semiconduttori e isolanti possono essere ricondotte alla diversa libertà o mobilità degli elettroni.

La Terra stessa può essere vista come una grande sfera conduttrice capace di attrarre e accumulare una grande quantità di carica elettrica negativa.

ELETTRIZZAZIONE PER CONTATTO O PER INDUZIONE. POLARIZZAZIONE

I metodi per elettrizzare un corpo sono principalmente tre: per strofinio, per contatto e per induzione. Ogni metodo coinvolge differenti interazioni tra corpi conduttori e isolanti, influenzando il trasferimento delle cariche. In nessuno di questi processi avviene la "creazione" di cariche elettriche; si verifica invece un trasferimento da un corpo all'altro o una ridistribuzione delle cariche esistenti entro il corpo.

- **Elettrizzazione per Strofinio:** Si ottiene strofinando tra loro due corpi. Gli elettroni passano da un oggetto (che si carica positivamente per perdita di elettroni) a un altro (che si carica negativamente per acquisizione di elettroni). Questo metodo è efficace tra corpi isolanti o tra conduttori purché impugnati con un manico isolante.
- **Elettrizzazione per Contatto:** Consiste nel mettere a contatto un corpo elettricamente neutro con uno carico. Poiché nei conduttori la carica elettrica può circolare liberamente, una parte della carica presente sul corpo carico si trasferisce su quello neutro. La carica si distribuisce in modo uniforme, e il corpo inizialmente neutro si elettrizza con carica dello stesso segno del corpo carico. Se un corpo carico negativamente tocca un corpo neutro, cede elettroni a quest'ultimo. Se un corpo carico positivamente tocca un corpo neutro, sottrae elettroni a quest'ultimo, che diventa carico positivamente. L'elettrizzazione per conduzione (o contatto) può avvenire solo tra corpi conduttori.
- **Elettrizzazione per Induzione:** Avviene avvicinando un corpo carico a un conduttore scarico, senza contatto fisico. La vicinanza del corpo carico provoca una separazione delle cariche all'interno del conduttore neutro (cariche di segno opposto a quelle del corpo carico si accumulano sulla superficie più vicina, cariche dello stesso segno su quella più lontana). Questo fenomeno è noto come induzione elettrostatica. Il metodo per induzione è sfruttato nell'elettroforo di Volta.

Il termine "elettricità da attrito" è considerato ambiguo, poiché l'elettrizzazione può avvenire anche per puro contatto. È preferibile usare termini come "elettricità

da contatto", "elettrizzazione da contatto", "separazione di cariche" o "creazione di sbilanciamento di carica".

La **polarizzazione** degli isolanti è menzionata come un concetto correlato all'elettrizzazione. Sebbene non descritta in dettaglio nelle fonti fornite, è un fenomeno che si verifica negli isolanti in presenza di un campo elettrico esterno.

FORZA ELETTRICA E FORZA DI GRAVITÀ

L'elettricità è uno dei fenomeni fisici associati alla presenza e al moto della materia che ha una proprietà di carica elettrica. A livello macroscopico, questi fenomeni coinvolgono l'interazione elettromagnetica, con particolare riferimento all'elettrostatica. L'interazione elettromagnetica è una delle quattro interazioni fondamentali, insieme a quella gravitazionale, nucleare debole e forte. Fin dai primi studi sull'elettricità, gli scienziati hanno notato somiglianze tra la forza elettrica e la forza di gravità.

Analogia tra Forza Elettrica e Forza Gravitazionale:

- Entrambe le forze agiscono a distanza lungo la congiungente dei due corpi. Non richiedono contatto tra i corpi.
- L'intensità di entrambe le forze è **inversamente proporzionale al quadrato della distanza** tra i due corpi. Questa è una caratteristica fondamentale sia della Legge di Coulomb per la forza elettrica sia della legge di gravitazione universale di Newton.
- L'intensità della forza elettrica è direttamente proporzionale al prodotto delle due cariche che interagiscono. In modo analogo, l'intensità della forza gravitazionale è direttamente proporzionale al prodotto delle due masse che interagiscono.
- Il concetto di campo (campo elettrico e campo gravitazionale) viene utilizzato per descrivere le interazioni a distanza in entrambi i casi. Il campo elettrico è definito come l'effetto prodotto da una carica elettrica che esercita una forza su un oggetto elettrizzato nelle vicinanze, ed è analogo al campo gravitazionale.

Differenze tra Forza Elettrica e Forza Gravitazionale:

- La differenza più significativa è il **verso della forza**: la forza elettrica è **sia attrattiva che repulsiva**, mentre la forza gravitazionale è **solo attrattiva**. Cariche dello stesso segno si respingono, mentre cariche di segno opposto si attraggono. La gravità fa sì che un oggetto ne attragga un altro.
- La forza elettrica si manifesta tra corpi carichi, mentre la forza gravitazionale agisce su tutti i corpi che possiedono massa. Tra corpi neutri, la forza elettrica è nulla.

- La forza elettrica è **molto più intensa** della forza gravitazionale. Le fonti evidenziano che a livello microscopico, la forza elettrica è enormemente più intensa di quella gravitazionale. Ad esempio, tra un protone e un elettrone, la forza elettrica supera quella gravitazionale di circa 39 ordini di grandezza, rendendo quest'ultima del tutto trascurabile in tale contesto. Anche in esperimenti semplici, l'interazione elettrica può produrre accelerazioni notevoli, superando l'attrazione gravitazionale dell'intera Terra.
- L'intensità della forza elettrica dipende anche dal mezzo in cui sono immerse le cariche. È massima nel vuoto e risulta scalata di un fattore pari alla costante dielettrica relativa del mezzo in cui si trovano. La forza gravitazionale non presenta questa dipendenza significativa dal mezzo (sebbene le fonti fornite non lo menzionino esplicitamente in confronto).

In sintesi, pur presentando un'importante analogia nella dipendenza dall'inverso del quadrato della distanza e nell'essere interazioni a distanza descrivibili tramite campi, la forza elettrica e la forza gravitazionale differiscono profondamente nella loro natura (attrattiva/repulsiva vs solo attrattiva), nei corpi su cui agiscono (carichi vs dotati di massa) e nella loro intensità relativa (elettrica molto più forte).

LEGGE DI COULOMB

La **legge di Coulomb** descrive la forza di natura elettrica che si instaura tra due cariche poste a una certa distanza. Fu formulata come legge sperimentale dal fisico e ingegnere francese Charles Augustin de Coulomb intorno al 1785. È considerata una delle quattro forze fondamentali che si possono trovare in natura.

Questa legge serve per studiare l'interazione tra due cariche e comprendere la forza che esse esercitano l'una sull'altra, sia quando si attraggono che quando si respingono. La forza di Coulomb è la forza che agisce tra oggetti elettricamente carichi ed è definita operativamente dal valore dell'interazione tra due cariche elettriche puntiformi e ferme nel vuoto.

La forza di Coulomb è **repulsiva** nel caso in cui le cariche abbiano segno uguale e **attrattiva** altrimenti.

Coulomb pervenne alla sua legge attraverso esperimenti, in particolare utilizzando una bilancia a torsione. In tale esperimento, due sfere cariche, A e B, si respingevano o attraevano con una forza. La bilancia a torsione permetteva di misurare questa forza attraverso la deviazione di una barretta. Variando la quantità di carica e la distanza tra le sfere, Coulomb verificò la relazione che prese il suo nome.

La **forza elettrica (F)** tra due cariche puntiformi q_1 e q_2 poste a una distanza d ha un modulo dato dalla seguente formula:

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{d^2}$$

dove k è la costante di Coulomb.

Il valore della costante k dipende dal mezzo in cui si trovano le cariche.

Nel **vuoto**, la costante di Coulomb è indicata come k e vale:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

dove ϵ_0 è la costante dielettrica del vuoto, il cui valore è circa

$$(8,854 \times 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{N} \cdot \text{m}^2)).$$

Il valore di k_0 è circa:

$$(8,988 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2).$$

In un **mezzo isolante**, la forza elettrica tra le cariche è inferiore rispetto al vuoto. La costante nel mezzo è data da

$$(k = \frac{k_0}{\epsilon_r}),$$

dove ϵ_r è la costante dielettrica relativa del mezzo. La forza nel mezzo (F_m) è correlata alla forza nel vuoto (F_0) dalla relazione

$$(F_m = \frac{F_0}{\epsilon_r}).$$

La forza elettrica non è una costante; quando le cariche si attraggono o respingono, la distanza tra esse cambia, e di conseguenza l'entità della forza elettrica tra loro si modifica.

Le osservazioni sulle interazioni tra cariche hanno portato all'introduzione del concetto di **Campo Elettrostatico**. Il campo elettrico è l'effetto prodotto da una carica elettrica che esercita una forza su un oggetto elettrizzato nelle vicinanze. Il vettore intensità di campo elettrico (E) in un punto ha il significato fisico di "forza che agisce sulla carica positiva unitaria posta in quel punto". Per una singola

carica puntiforme q nel vuoto, il modulo del campo elettrico a una distanza d è dato da:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q|}{d^2}.$$

Il campo elettrico esiste indipendentemente dalla presenza di una carica di prova. Il concetto di campo traduce l'idea che le interazioni si realizzino mediante un intermediario fisico misurabile. Il campo elettrico può essere rappresentato tramite linee di forza, che sono tangenti al campo in ogni punto, si addensano dove l'intensità del campo è maggiore, non si incrociano mai, hanno origine dalle cariche positive e terminano sulle cariche negative. Il concetto di campo elettrico può essere generalizzato per insiemi discreti o distribuzioni continue di cariche. Le unità di misura del campo elettrico sono N/C o V/m. Esiste un'analogia tra il campo elettrico e il campo gravitazionale.

La forza con cui interagiscono due cariche non viene alterata dalla presenza di altre cariche, un principio legato alla sovrapposizione dei campi elettrici.

Fonti:

Sitografia:

<https://it.wikipedia.org/wiki/Elettricit%C3%A0>
<https://www.agnenergia.com/it/approfondimenti/storia-della-distribuzione-della-corrente-elettrica>
https://it.wikipedia.org/wiki/Storia_dell'elettricit%C3%A0
<https://www.chimica-online.it/fisica/legge-di-coulomb.htm>
<https://www.edatlas.it/it/contenuti-digitali/documenti/0e15a769-4055-454f-895a-c8a947d1b97b>
<https://www.unidformazione.com/legge-di-coulomb-e-forza-guida-completa-spiegata-in-modo-semplificato/>
https://it.wikipedia.org/wiki/Forza_di_Coulomb
<https://www.chimica-online.it/fisica/forza-elettrica.htm>
<https://www.chimica-online.it/fisica/conduttori-e-isolanti.htm>
https://www.giuseppesottile.it/modules/res/conduttori_isolanti.pdf
<https://service.unibas.it/utenti/cavallo/Architettura/TFA07.pdf>
<https://www.chimica-online.it/fisica/eletttrizzazione-per-conduzione.htm>
<https://www.skuela.net/fisica/elettricit%C3%A0-magnetismo/metodi-eletttrizzazione-corpo.html>
https://lab2go.roma1.infn.it/doku.php?id=fisica%3Astrumenti%3Aabacchetta_di_vetro
http://polysense.poliba.it/wp-content/uploads/2021/06/1_Elettrostatica_TEAMS.pdf
https://staticmy.zanichelli.it/catalogo/assets/9788808629968_04_CAP.pdf
https://www.dmf.unisalento.it/~panareo/Dispense_di_Fisica/Elettrostatica.pdf
<https://www.fisica.uniud.it/urdf/laurea/DocuSefmi2014/Materiale%20Utilizzato/Conduzione%20elettrica%20nei%20solidi/Articolo/G.%20Fera,%20M.%20Michellini,%20Sperimentazione%20di%20ricerca%20sulla%20conduzione%20elettrica%20nei%20solidi.pdf>
<https://wauniversity.it/forza-di-coulomb/>
<https://www.sbai.uniroma1.it/sites/default/files/II%20Lezione%20-%208%20marzo%202024.pdf>
<https://web.unica.it/static/resources/cms/documents/capitolo1.pdf>
https://www.youtube.com/watch?v=wG6Z_dXsAv4
<https://www.studysmarter.it/spiegazioni/fisica/elettromagnetismo/legge-di-coulomb/>
<https://www.liceopascolibz.it/portalescuola/docenti/alessiofilippi/wp-content/uploads/2007/01/legge-di-coulomb-filmato-pssc.pdf>
<https://notebookitalia.altervista.org/alterpages/files/Polarizzazioneelettrica.pdf>
<http://www.elettrotecnica.unina.it/files/petrarca/upload/AA%202013-2014%20-%20Lez05%20-%20Meccanismi%20di%20polarizzazione.pdf>
https://it.wikipedia.org/wiki/Polarizzazione_elettrica
<https://www.youmath.it/lezioni/fisica/elettricit%C3%A0/4598-eletttrizzazione-per-polarizzazione.html>