

# Utente:Dan/Elettromagnetismo/ Elettrostatica nei conduttori/Le proprietà dei conduttori

Abbiamo parlato dei dipoli un po' a caso, senza introdurre il vero motivo per cui modellizziamo un multipolo. L'obiettivo è studiare i fenomeni elettrostatici nella materia, in particolare nei **conduttori**; rispetto all'elettrostatica di cariche singole o distribuzione disposte nello spazio, lo studio della materia è molto più complicato, a volte analiticamente irrisolvibile per via matematica, però a livello concettuale si può comprendere alla perfezione ciò che avviene all'interno dei conduttori. Il modello del dipolo non è a caso, perché tutta la materia è *globalmente neutra* e **si comporta come se fosse un dipolo**, in approssimazione: il numero di cariche positive è uguale a quello di cariche negative. Quindi, la prima domanda che ci poniamo è: cosa accade alle cariche di un oggetto quando questo è immerso in un campo elettrico esterno? Ovviamente, sono soggette a una forza elettrica, e queste si muoveranno o, per dirla in parole più specifiche, *il conduttore si polarizzerà*. Se si muovono "poco", diremo che l'oggetto è **isolante**; se invece si spostano "tanto", allora l'oggetto sarà un **conduttore** (abbiamo evidenziato le parole *poco* e *tanto* in quanto non significano nulla se non in relazione tra loro).

## 1 Conduttori in configurazione statica

Nella nostra trattazione avremo a che fare con **conduttori ideali**: la loro peculiarità è che hanno **infinite cariche a disposizione**, ovvero se necessitassimo di un numero spropositato di elettroni potremmo tranquillamente prenderli da uno di questi conduttori ideali; inoltre, sono disposti nel vuoto, senza altri conduttori ad alterare il campo elettrico. In questi oggetti le cariche sono libere di muoversi, non tutte ovviamente, solo una parte: alcuni degli elettroni si muovono nel conduttore come se fossero un gas, spostandosi di nucleo in nucleo e sottoposti alle forze elettriche e all'interazione debole. Questi elettroni percorrono, in approssimazione, dei *random walk*, seguendo il moto browniano quindi, anche se non sono mai fermi, possiamo dire che la loro posizione media è stabile. Gli stessi elettroni sono i **portatori di carica negativa**: se vi è un eccesso di elettroni, il conduttore sarà carico negativamente; se invece vi sono elettroni in difetto, il conduttore è carico positivamente. I conduttori si possono dividere in diverse categorie, tanto per citarne qualcuna:

1. **semiconduttori**, alla base della tecnologia moderna, sono materiali capace di trasportare *sia carica positiva che negativa*;



2. liquidi, o meglio, le soluzioni elettrolitiche (come il sale sciolto in acqua), sono conduttori in cui entrambe le cariche si muovono;
3. i gas sono tutti **ionizzabili**, ovvero è possibile ottenerne delle cariche positive e negative. Ad alte temperature tutti i gas diventano ionizzati e si chiamano **plasma**.

Tratteremo principalmente i conduttori **metallici**, in cui gli elettroni sono liberi di muoversi a mo di nube gassosa attorno al metallo; tuttavia, pur essendo liberi di muoversi, *non sono liberi di andarsene dove vogliono*, ovvero restano ancorati in qualche modo al conduttore. Infatti l'agitazione termica di un metallo a temperatura ambiente è di circa  $\sim \frac{1}{10}$  eV, dove eV indica **elettronvolt** ed è l'unità di misura dell'energia nella fisica nucleare e particellare, definita come **l'energia accumulata da un elettrone accelerato da una differenza di potenziale di 1 V**:

$$e\Delta V = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C } 1 \text{ V} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1 \text{ eV}$$

Da questa agitazione termica media possiamo ricavare la velocità con cui si muovono gli elettroni, che è di ordine di grandezza  $\sim 10^6$  o  $\sim 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Il motivo per cui non scappano via è perché **l'energia che li tiene uniti al metallo è cento volte maggiore**, nell'ordine dei 10 eV. Ovviamente, può capitare che ci siano elettroni più accelerati o che ricevano un'energia tale da essere scalzati via dal metallo: questo è il concetto alla base dell'effetto fotoelettrico.

Cosa accade a un conduttore quando questo viene caricato, per esempio, ponendo delle cariche direttamente sul conduttore stesso? Negli istanti successivi alla carica, le cariche si spostano velocemente, per poi tornare in configurazione stabile. Il tempo impiegato è di circa  $10^{-12}$  o  $10^{-15}$  secondi, ed è chiamato **tempo di rilassamento**. Ma perché si muovono e a che fine? Questo lo possiamo spiegare elencando le proprietà dei conduttori.

## 2 Proprietà dei conduttori

Elenchiamo e discutiamo di seguito le proprietà dei conduttori.



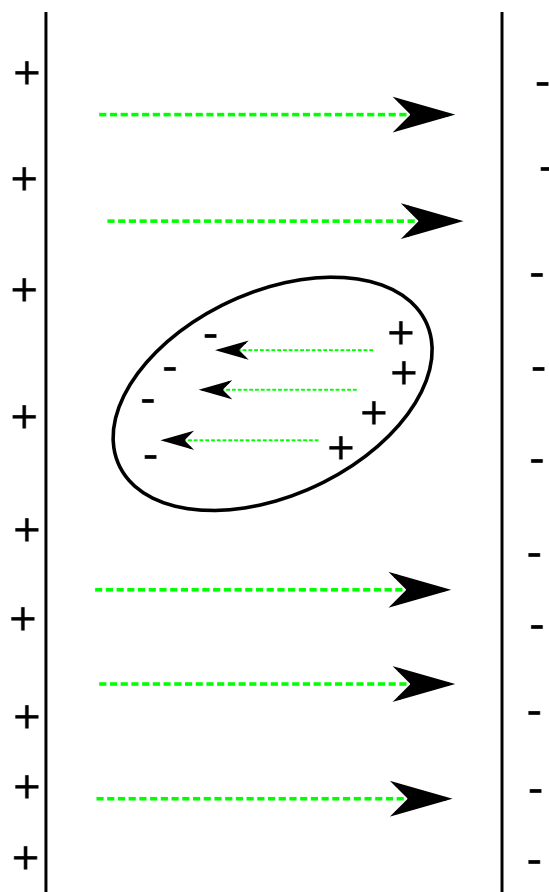


Fig. 3.7: Conduttore inserito in un campo esterno uniforme. Le cariche all'interno si dispongono in modo da rendere nullo il campo elettrico totale all'interno del conduttore.

**1. Il campo elettrico all'interno di qualsiasi conduttore è nullo.** Potremmo giustificare questa affermazione nel seguente modo: se il campo non fosse nullo, le cariche nel conduttore risentirebbero una forza che le spingerebbe a muoversi, ma poiché ci troviamo in configurazione statica *tutte le cariche sono ferme*, quindi il campo interno deve necessariamente essere nullo. Supponiamo di inserire il conduttore in un campo esterno (ad esempio, tra due lastre piane, come in figura 3.7): le cariche interne si sposta seguendo il campo esterno, e formano nel conduttore un campo interno tale che il campo totale all'interno del conduttore sia nullo.

**2. Il volume del conduttore è equipotenziale.** Questo deriva direttamente dalla prima proprietà: se  $\mathbf{E}_{\text{int}} = -\nabla V = 0$ , se concludiamo che  $V_{\text{int}} = \text{cost}$ .

**3. Il campo elettrico immediatamente fuori dalla superficie del conduttore è ortogonale ad essa.** Per giustificare questa affermazione, potremmo dire che, se vi fosse una componente tangente, le cariche sulla superficie subirebbero una forza e si muoverebbero, ma sappiamo essere statiche, quindi non è possibile. La vera spiegazione, però, è che **il campo elettrico è conservativo** e il suo integrale lungo qualsiasi linea chiusa è nulla. Prendiamo allora il circuito in figura 3.8: in questa curva trascuriamo i lati perpendicolari alla superficie, che sono molto più piccoli di  $dl$ ; l'integrale sul cammino deve essere nullo, quindi:

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \mathbf{E}_{\text{ext}} \cdot d\mathbf{l} - \mathbf{E}_{\text{int}} \cdot d\mathbf{l} = 0$$

Ma il prodotto  $\mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$  è proprio la componente tangente alla superficie del campo elettrico, quindi le componenti tangenziali dei campi interno e esterno coincidono. Poiché il campo interno è nullo, la sua componente tangente è nulla, e di conseguenza anche quella esterna. Ne concludiamo che **il campo elettrico nelle immediate vicinanze della superficie ha solo componente ortogonale**.

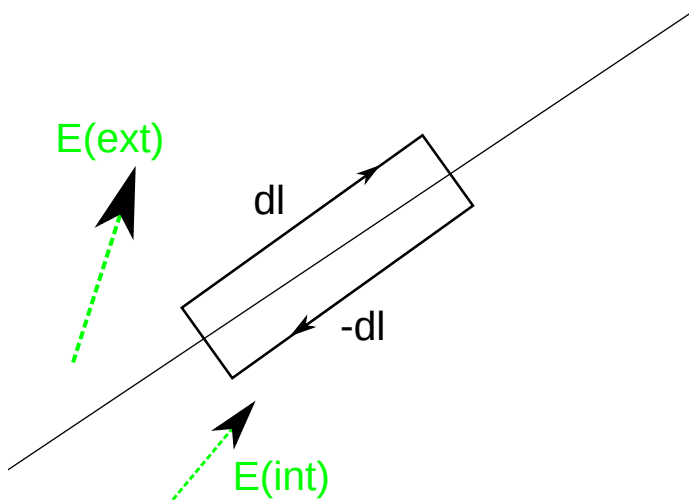


Fig. 3.8: Il percorso chiuso in questione. I tratti in verticale sono molto più piccolo dell'infinitesimo di percorso, per cui ignorati

**4. La carica del conduttore si dispone sulla superficie.** Anche qui, potremmo giustificarla dicendo “Non possono andare altrove”, e la verità è questa, solo che è una conseguenza del teorema di Gauss. All'interno del conduttore, infatti, ogni  $d\tau$  infinitesimo di volume è *neutro*, quindi  $\rho = 0$  all'interno del conduttore. Perché questo? Perché se prendiamo una qualsiasi superficie interna a un conduttore, il flusso del campo elettrico attraverso questa deve essere uguale a  $\frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$ ; ma il campo interno è nullo, quindi anche il flusso lo è, di conseguenza la carica interna alla superficie è nulla. Possiamo allargare la superficie gaussiana fino al limite della superficie del conduttore, e varrà sempre questo principio. Ne concludiamo che **le cariche dei conduttori si dispongono sulla sua superficie**. Per questo motivo i conduttori non vengono identificati dalla densità di carica volumica  $\rho$ , ma da  $\sigma$ , ovvero dalla loro **densità di carica superficiale**. Questa, a parte rari casi di simmetria, non è costante, varia nello spazio a seconda della forma del conduttore e, se sono presenti campi esterni, può variare ulteriormente. La soluzione dei problemi dei conduttori riguarda, spesso, il ricavare proprio la loro  $\sigma$ , che può essere molto molto complicato.

**5. Possiamo ricavare il valore del campo nelle vicinanze della superficie del conduttore.** Abbiamo detto che in prossimità di questa il campo è ortogonale; inoltre, all'interno è nullo. Se applichiamo il teorema di Gauss, prendendo come superficie gaussiana una scatola (figura 3.9), il flusso attraverso questa sarà  $ES$ , che deve essere uguale a  $\frac{Q}{\epsilon_0} = \frac{\sigma S}{\epsilon_0}$ . Ne concludiamo che il campo nelle immediate vicinanze della superficie è:



$$\mathbf{E} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \hat{\mathbf{n}}$$

Questo risultato è anche noto come **teorema di Coulomb**.

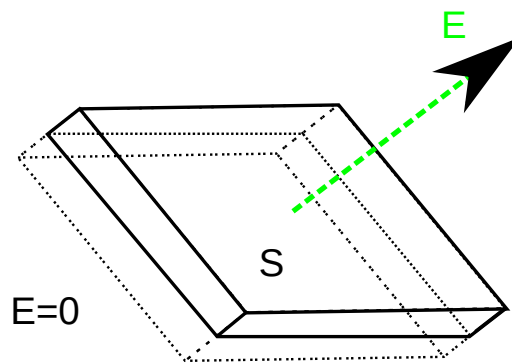


Fig. 3.9

---

## 3 Fonti per testo e immagini; autori; licenze

### 3.1 Testo

- **Utente:Dan/Elettromagnetismo/Elettrostatica nei conduttori/Le proprietà dei conduttori** *Fonte:* [https://it.wikitolearn.org/Utente%3ADan/Elettromagnetismo/Elettrostatica\\_nei\\_conduttori/Le\\_propriet%C3%A0\\_dei\\_conduttori?oldid=46153](https://it.wikitolearn.org/Utente%3ADan/Elettromagnetismo/Elettrostatica_nei_conduttori/Le_propriet%C3%A0_dei_conduttori?oldid=46153) *Contributori:* Dan

### 3.2 Immagini

- **File:Conduttori1.svg** *Fonte:* <http://it.wikitolearn.org/images/it/5/5f/Conduttori1.svg> *Licenza:* ? *Contributori:* ? *Artista originale:* ?
- **File:Conduttori2.svg** *Fonte:* <http://it.wikitolearn.org/images/it/e/ee/Conduttori2.svg> *Licenza:* ? *Contributori:* ? *Artista originale:* ?
- **File:Conduttori3.svg** *Fonte:* <http://it.wikitolearn.org/images/it/2/2c/Conduttori3.svg> *Licenza:* ? *Contributori:* ? *Artista originale:* ?

### 3.3 Licenza dell'opera

- [Project:Copyright Creative Commons Attribution Share Alike 3.0 & GNU FDL]
- [Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0](#)

