

CORRENTE ELETTRICA

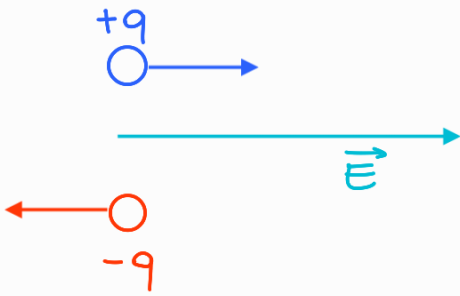
Siamo in presenza di corrente elettrica quando attraverso una sezione si verifica un flusso netto di carica elettrica.

Siamo in presenza di un campo elettrico e le cariche sono libere di muoversi. Quindi faremo riferimento a dei corpi conduttori.

Per descrivere l'intensità di carica elettrica si utilizza l'intensità di corrente i

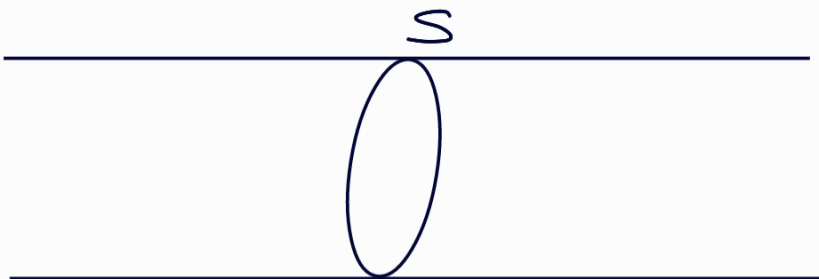
$$i = \frac{dq}{dt}$$

L'unità di misura è l'*ampere* $1 \text{ A} = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ s}}$



Convenzionalmente si attribuisce all'intensità di corrente il segno positivo se i portatori di carica sono diretti lungo la direzione del campo elettrico.

Consideriamo un corpo conduttore (cilindro) e consideriamo una sezione S



Possiamo immaginare che i portatori di carica non siano immobili, si stanno muovendo.

- Se abbiamo un corpo conduttore (avente tante cariche positive quante cariche negative) e lo spostiamo, attraverso la sezione spostiamo tante cariche positive quante cariche negative, quindi non c'è un flusso netto di carica elettrica.

MECCANISMI DI CONDUZIONE

- Gas

All'interno di un gas sappiamo che le molecole (neutre) sono libere di muoversi. Per avere carica elettrica al suo interno abbiamo bisogno di qualcosa che separi le cariche positive da quelle negative, ovvero che *ionizzi* il gas.

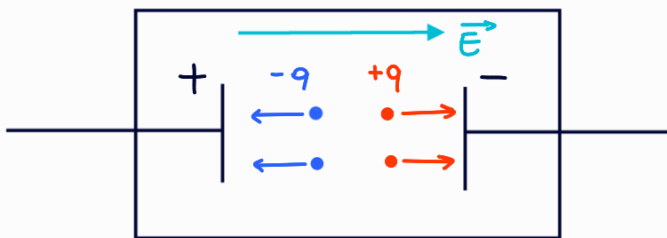
Tipicamente questo avviene o scaldandolo o esponendolo ad una radiazione.

- Liquidi

Vale la stessa cosa: ci sono molecole neutre, quindi affinché ci sia conduzione di corrente elettrica abbiamo bisogno che ci sia qualcosa che produca dei conduttori.

In questo caso il processo avviene sciogliendo nel liquido dei sali o degli acidi. Quindi affinché ci sia una conduzione di corrente elettrica abbiamo bisogno di non avere un liquido puro ma una *soluzione*.

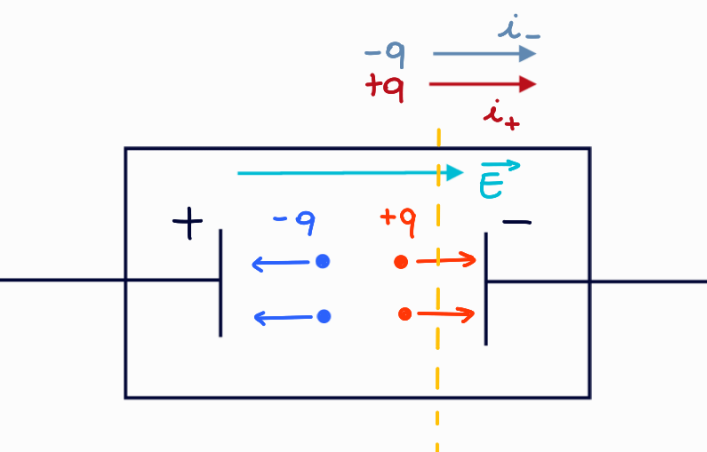
In entrambi i casi la conduzione di corrente avviene tramite qualcosa che produca una differenza di potenziale: c'è bisogno di, ad esempio, due elettrodi



Gli ioni positivi si muovono verso l'elettrodo a potenziale più basso e gli ioni negativi si muovono verso l'elettrodo a potenziale maggiore.

Il campo elettrico che si genera sarà diretto dall'elettrodo positivo a quello negativo.

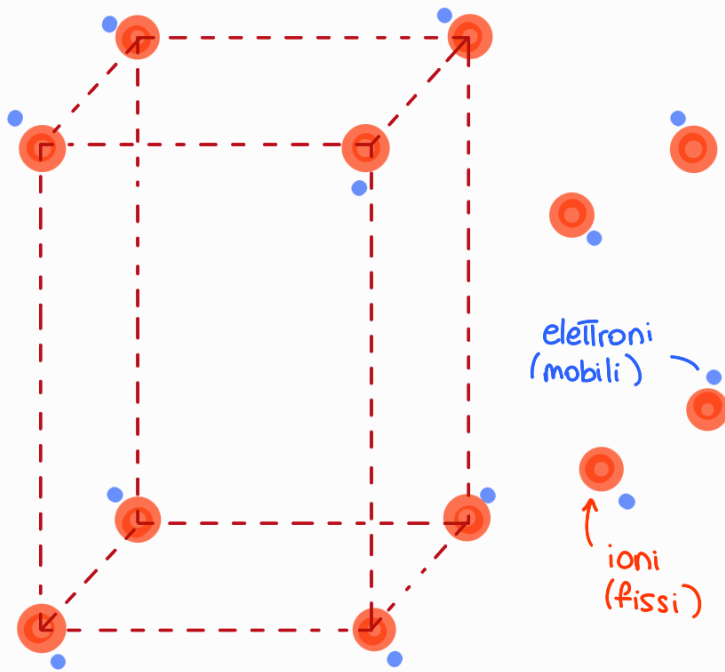
L'intensità di carica di per sé non è un vettore ma possiamo attribuire un segno in base ai portatori di carica: carica dovuta ai portatori positivi ha lo stesso segno del moto dei portatori di carica, carica dovuta ai portatori negativi ha segno opposto al moto dei portatori.



Nel caso del disegno visto sopra abbiamo che, se prendiamo una sezione (giallo) del contenitore: abbiamo un flusso di carica elettrica netta attraverso la sezione che è formata da due componenti.

$$i = i_+ + i_-$$

- **Solidi**



Dal punto di vista microscopico, un solido conduttore è sostanzialmente un reticolo tridimensionale nei cui vertici ci sono degli ioni positivi **fissi**. Il solido dal punto di vista elettrico è neutro, questo vuol dire che a questi ioni positivi fissi è stato tolto uno o più elettroni che sono liberi di muoversi, sotto l'azione del campo elettrico, all'interno del solido.

Il meccanismo di conduzione della corrente elettrica in un solido conduttore è legato al moto della nuvola di elettroni che, sotto l'azione del campo elettrico, è libera di muoversi.

N.B.

Il numero degli elettroni liberi di muoversi per unità di volume, ovvero la densità di questi elettroni, è un numero enorme.

Ad esempio nel rame è nell'ordine di 10^{29} elettroni per m^3 .

Quindi all'interno di un volume microscopico, i portatori di carica elettrica sono in numero talmente elevato che piccole variazioni di questo numero possono essere considerate approssimando il moto dei portatori di carica come qualcosa che varia in modo contiguo.

La carica elettrica è **quantizzata**.

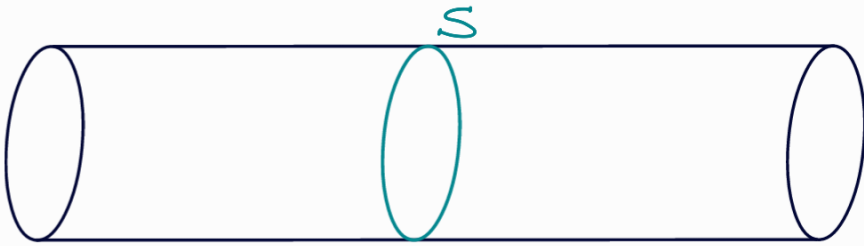
Proviamo adesso a mettere in relazione l'intensità di corrente ai parametri microscopici che ci descrivono il trasporto di carica elettrica all'interno del corpo conduttore solido.

I nostri parametri sono:

- La **densità di elettroni di conduzione** n
- La **carica di un singolo portatore di carica** q

Prendiamo in considerazione un filo di materiale conduttore con una certa sezione S .

Vogliamo descrivere l'intensità di corrente in funzione di variabili che caratterizzano dal punto di vista microscopico quello che accade all'interno del materiale.



$$i = \frac{dQ}{dt}$$

Se c'è un flusso di carica elettrica netta vuol dire che portatori di carica hanno un moto ordinato attraverso la sezione (per via del campo elettrico).

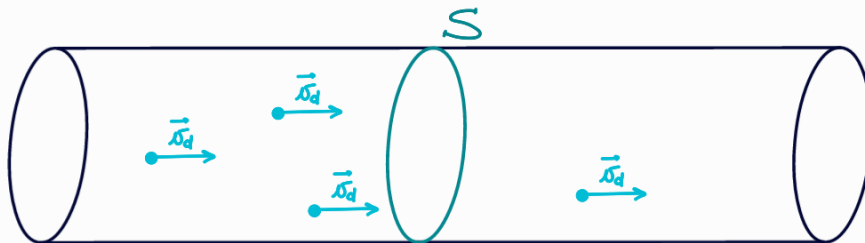
Introduciamo una quantità che descrive il moto dei portatori di carica sotto l'azione del campo elettrico, ovvero la velocità lungo la direzione del campo elettrico:

$$\vec{v}_d \quad \text{velocità di deriva}$$

Supponiamo che l'intensità di corrente i sia una quantità stazionaria (che non cambia nel tempo).

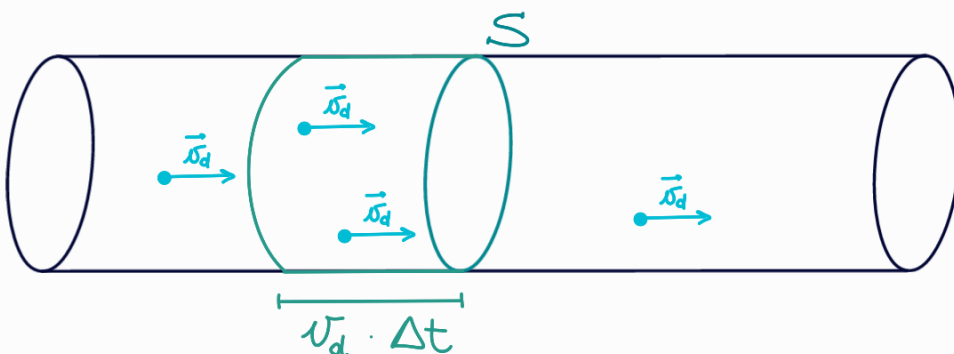
Qual è la carica elettrica che attraversa S in un certo intervallo di tempo?

Posso prendere un intervallo di tempo finito Δt



I portatori che ci interessano sono quelli abbastanza vicini alla sezione da attraversarla nell'intervallo di tempo.

Prendiamo quindi il volumetto di base la sezione e che si estende di un tratto $\vec{v}_d \cdot \Delta t$



Nel tempo Δt il numero di portatori di carica che attraversano S è dato da

$$n \cdot (S \bar{v}_d \Delta t)$$

$$\Rightarrow \Delta Q = n \cdot (S \bar{v}_d \Delta t) \cdot q$$

$$\Rightarrow i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{n S \bar{v}_d \cancel{\Delta t} q}{\cancel{\Delta t}} = n q \bar{v}_d S$$

$$i = n q \bar{v}_d S$$

espressione dell'intensità di corrente in funzione delle quantità microscopiche

Due osservazioni

I

L'intensità di corrente non è un vettore ma uno scalare.

Nel caso analizzato (filo dritto) tutti i portatori di carica all'interno del filo vanno lungo la stessa direzione, quindi l'intensità di corrente fluisce lungo il filo o in direzione opposta.

In altre situazioni però la direzione della velocità dei portatori di carica può variare da punto a punto.

Introduciamo una quantità vettoriale che tenga conto di questa variazione:

densità di corrente

\vec{j}

• direzione della velocità di deriva

• modulo $j = \frac{i}{S}$

$$\vec{j} = n q \vec{v}_d$$

II

Nel modello descritto abbiamo dei portatori di carica che, sotto l'azione del campo elettrico, si muovono.

Se abbiamo un oggetto carico, sotto l'azione del campo elettrico, possiamo descrivere il moto dell'oggetto con un'unica velocità?

Esempio

Prendiamo un tratto di filo di rame di sezione 1 mm^2 percorso da una corrente di 5 A . Quanto vale la velocità di deriva?

$$j = \frac{i}{S} = nq v_d \quad \Rightarrow \quad v_d = \frac{i/S}{nq} = \frac{5\text{ A} / 10^{-6}\text{ m}^2}{10^{29} \frac{1}{\text{m}^3} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}\text{ C}} \\ \approx 3 \cdot \frac{1}{10^{29} \cdot 10^{-25}} \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 3 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Gli elettroni all'interno del filo di rame si stanno muovendo nella direzione del campo elettrico con una velocità pari a $3 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Quando apro e chiudo un interruttore, creo una differenza di potenziale nel mio conduttore ed ho un campo elettrico che nel conduttore si propaga alla velocità della luce e, quando in un certo punto del conduttore si viene a formare un campo elettrico, immediatamente gli elettroni in quel punto iniziano a muoversi.

In realtà i singoli portatori di carica, anche in assenza di un campo elettrico, all'interno di un conduttore si muovono di continuo.

Il moto di questi portatori (moto di agitazione termica) è caratterizzato da una velocità che è tipicamente molto più grande della velocità di deriva.

$$v_d \approx 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_{\text{Th}} \approx 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

CONDUTTORI OHMICI

Sono conduttori per cui vale la legge di Ohm

$$\vec{j} = nq\vec{v}_a$$

$$\vec{v}_a \parallel \vec{E} \Rightarrow \boxed{\vec{j} \parallel \vec{E}}$$



$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E}$$

CONDUTTIVITA'

La **conduttività** non è una costante. Al contrario, può essere che essa dipenda dal campo elettrico.

Se σ non dipende dal campo elettrico:

$$\boxed{\vec{E} = \frac{1}{\sigma} \vec{j}}$$

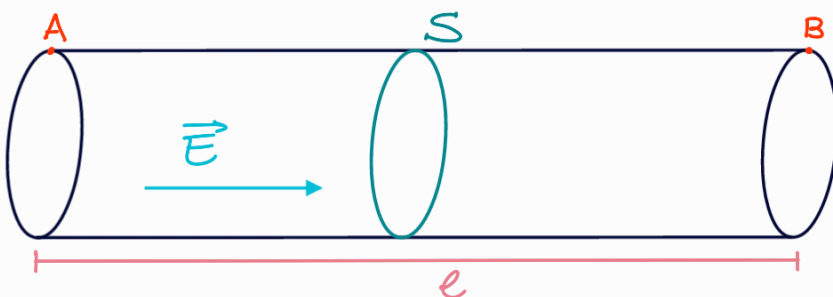
Legge di Ohm microscopica

Un conduttore per cui vale questa legge prende il nome di *conduttore ohmico*.

$$\frac{1}{\sigma} = \rho \quad \text{resistività}$$

Prendiamo di nuovo un pezzettino di cavo con sezione S .

Che implicazioni ha questa legge su come è fatta la corrente che percorre questo conduttore ohmico in presenza di un campo elettrico?



$$i = \frac{dQ}{dt}$$

$$i = \vec{j} \cdot \vec{S} = \frac{1}{\rho} \cdot S \cdot E$$
$$j = \sigma \cdot E = \frac{1}{\rho} \cdot E$$

$$\Rightarrow i = \frac{1}{\rho} \cdot S \cdot \frac{V_A - V_B}{l}$$
$$= \frac{V_A - V_B}{\rho \cdot \frac{1}{S} \cdot l} = R$$

Se c'è un campo elettrico vuol dire che man mano che mi sposto lungo il conduttore il potenziale cambia.

$$dV = -\vec{E} \cdot d\vec{s}$$

$$V_A - V_B = E \cdot l$$

$$\boxed{E = \frac{V_A - V_B}{l}}$$

$$R = \rho \cdot \frac{\ell}{S} \quad \text{resistenza} \rightarrow \text{si misura in ohm} \quad \Omega = \frac{V}{A}$$

$$i = \frac{V_A - V_B}{R} \quad \text{Legge di Ohm macroscopica}$$

Un elemento di un circuito che ha una certa resistenza si chiama resistore

Interpretazione microscopica



In assenza di campo elettrico (Fig 1) abbiamo visto che gli elettroni si muovono nel reticolo tornando sempre nella stessa posizione.

In presenza di un campo elettrico, quest'ultimo influenza il moto degli elettroni (con velocità di deriva) che andranno comunque a sbattere contro gli ioni del reticolo ma non torneranno mai esattamente nella posizione iniziale.

$$a = \frac{qE}{m}$$

τ : tempo tra due collisioni successive

$$v_d = \frac{q \cdot E}{m} \cdot \tau$$

$$j = n \cdot q \cdot v_d = nq \frac{qE}{m} \tau = \frac{nq^2 \tau}{m} E$$

$$j = \sigma \cdot E \quad \text{con } \sigma \text{ che non dipende da } E$$

Quindi un conduttore ohmico dal punto di vista microscopico è caratterizzato dal fatto che gli elettroni tra un urto e l'altro impiegano un tempo che non dipende dal fatto se c'è o no un campo elettrico.