

Conduzione nei conduttori metallici

Conduttori: atomi disposti in struttura cristallina
 con alcuni elettroni liberi, non capaci di legare inferiori
 all'energia di agitazione termica a temp. ambiente

✓ Un modello classico della conduzione elettrica nei metalli fu proposto nel 1900 da Drude e successivamente sviluppato da Lorentz nel 1906.

✓ Struttura reticolare tridimensionale di atomi fissi con un gran numero di elettroni liberi di muoversi all'interno del conduttore e, salvo alcuni casi particolari, impossibilitati ad uscire dal conduttore stesso.

Struttura con elettroni liberi, ioni positivi fissi e anionici
 per una mole elettronica

✓ Gli elettroni liberi sono quelli per cui l'energia di legame di questi elettroni è abbastanza piccola da essere inferiore all'energia di agitazione termica già a temperature ambiente.

Moto disordinato degli elettroni

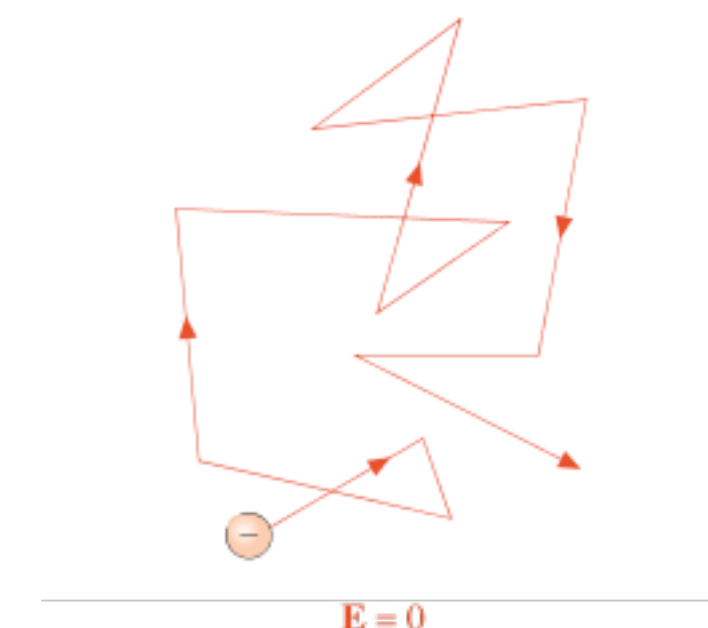
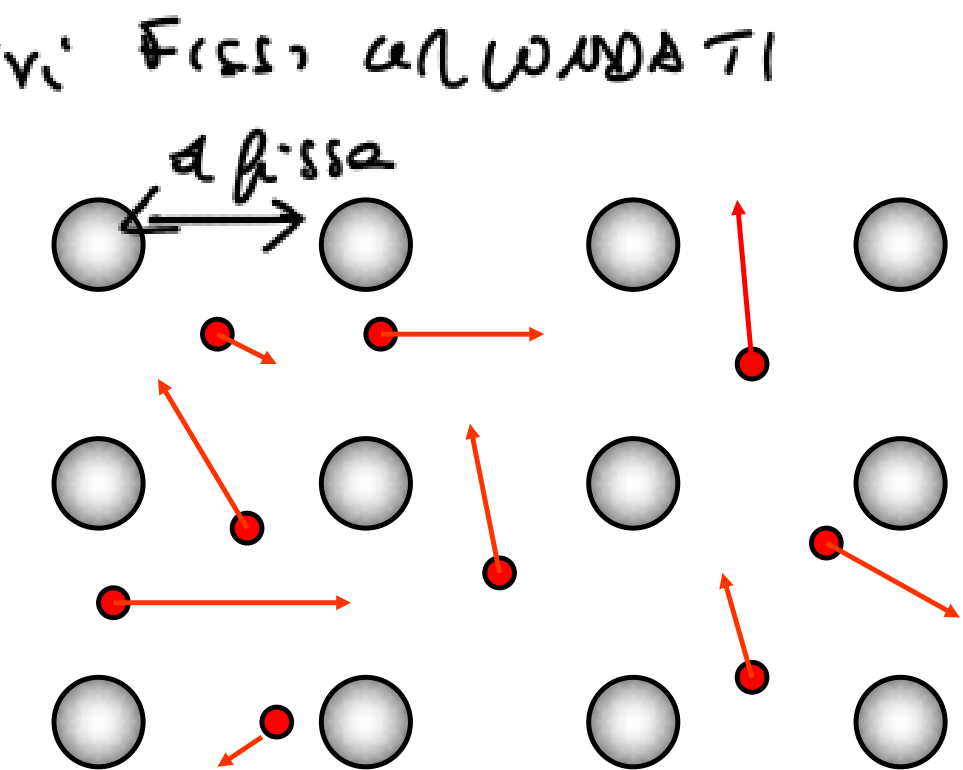
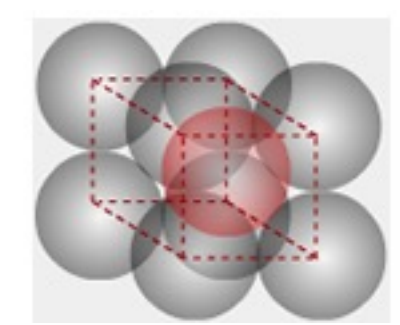
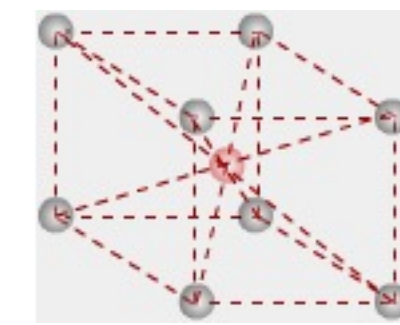
✓ Nell'ipotesi di un elettrone libero per atomo, nel rame si calcolano circa $n \cong 8 \cdot 10^{22}$ elettroni liberi per cm^3 .

se applico un campo elettrico, l'elettrone accelera

✓ Il metallo può essere pensato come costituito da ioni positivi circondati e legati da un "gas di elettroni" che occupa gli spazi del reticolo atomico e che si trova in equilibrio termico con gli ioni del metallo. Gli elettroni si chiamano elettroni di conduzione.

✓ Gli ioni oscillano intorno alla loro posizione di equilibrio con ampiezza tanto maggiore quanto più alta è la temperatura

✓ Gli elettroni, in assenza di forze esterne, sono dotati di un moto disordinato, cioè di un moto senza alcuna direzione privilegiata.

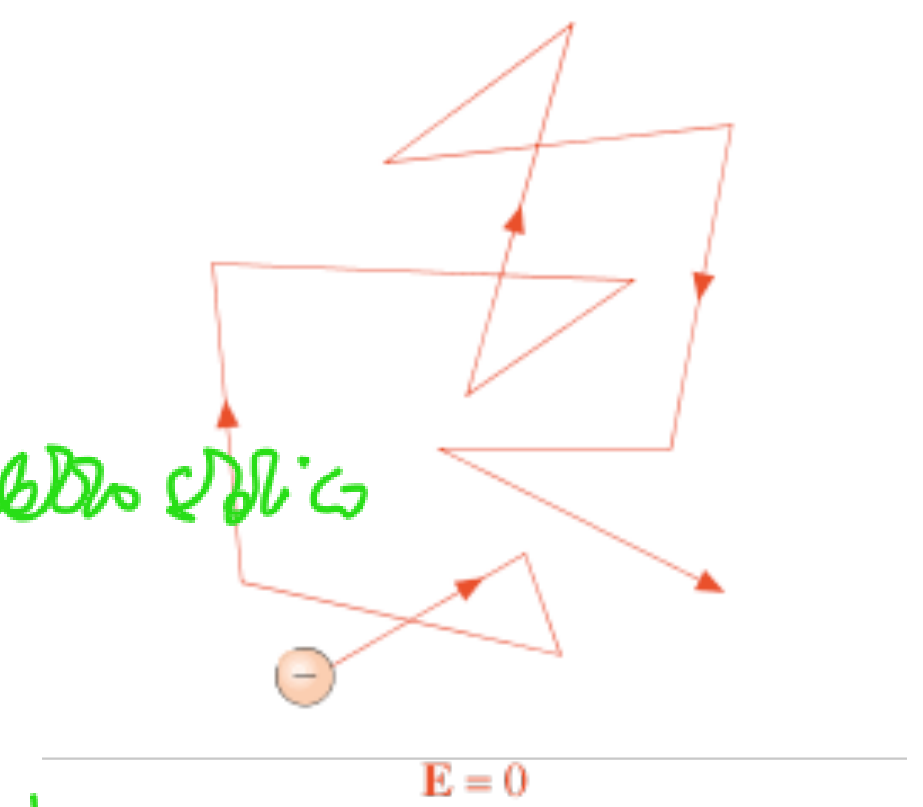


senza campo, gas di elettroni diffuso uniformemente, se ci fossero disomogeneità ci sarebbe un campo elettrico e ci sarebbe

Conduzione nei conduttori metallici

all'interno il corpo
è neutro

un movimento $\rightarrow$ 

- ✓ Gli elettroni durante il moto disordinato «urtano» contro gli ioni del reticolo.
- ✓ Tra un urto e il successivo il moto è libero e la traiettoria rettilinea.
- ✓ La traiettoria di ciascun elettrone è costituita da una successione di segmenti rettilinei, con direzione e lunghezza variabili.
el. si muove fino al recupero nuova condiz. di eq. elettr. statica
- ✓ L'insieme delle traiettorie è completamente casuale e non si ha un flusso netto di carica attraverso nessuna sezione del conduttore
el. moto disordinato, si unisce un moto ordinato dovuto alle forze del campo el.

- ✓ La velocità media v_T^m che gli elettroni posseggono è detta **velocità termica** ed è proporzionale alla radice quadrata della temperatura assoluta. (Es: $v_T^m \cong \sqrt{3kT/m_e}$ per $T = 300^\circ K$ si ha $v_T^m \cong 120 \text{ km/sec}$)
- ✓ Se indichiamo con τ il **tempo medio** tra un urto e il successivo, e con l il **libero cammino medio** tra due urti successivi si ha $\tau = l/v_T^m$.
- ✓ Indichiamo con $\underline{v}_i$ la velocità di un elettrone *subito dopo un urto*. Dopo ogni urto **la distribuzione di velocità è casuale** per cui effettuando la media su un gran numero N di elettroni

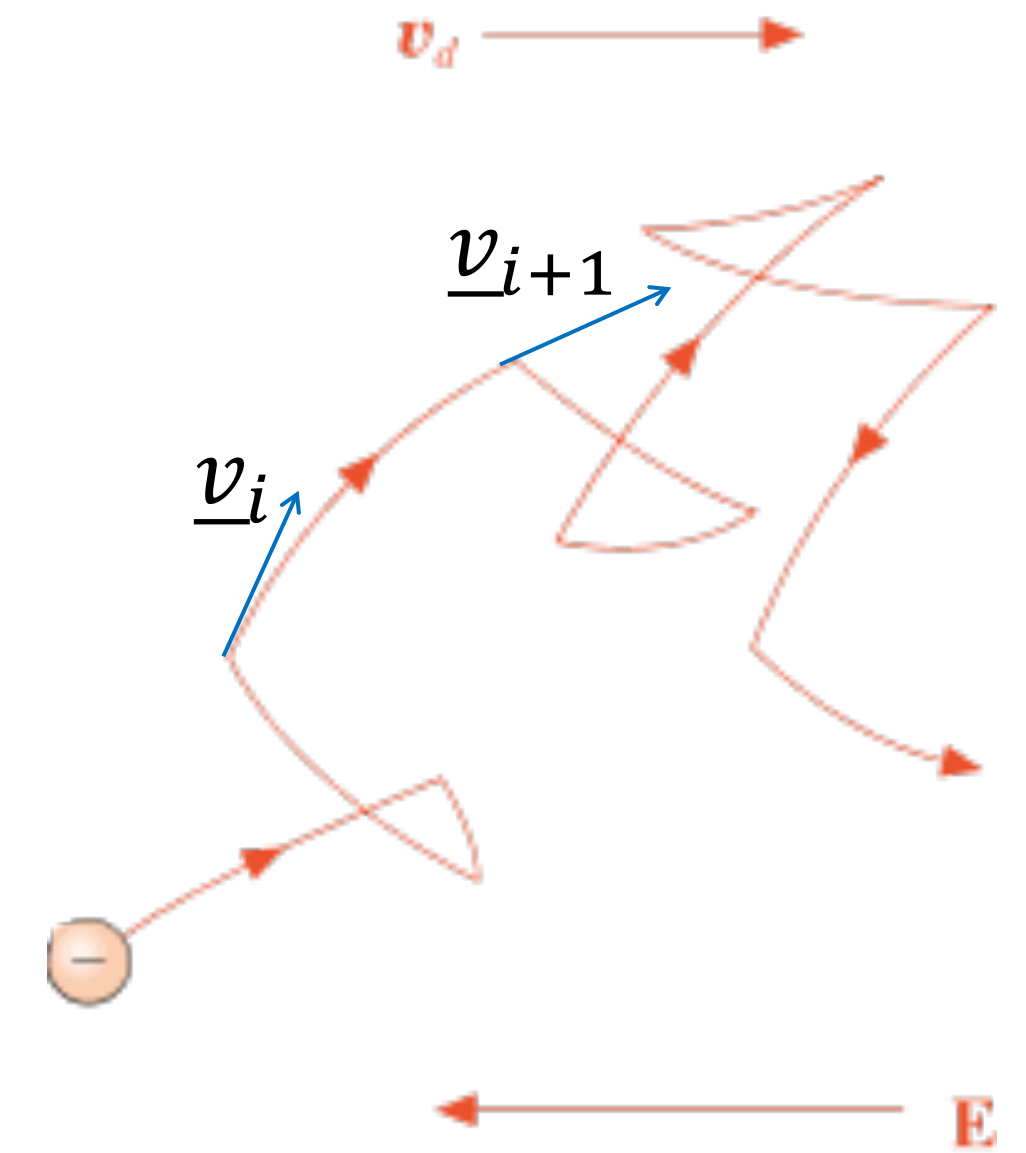
$$\frac{1}{N} \sum_i \underline{v}_i = 0$$

Conduzione nei conduttori metallici

- ✓ Se si applica al conduttore un campo elettrico statico esterno, ciascun elettrone, tra un urto e il successivo, acquista un'accelerazione $\underline{a} = -\frac{e\underline{E}}{m_e}$ opposta al campo elettrico, e i tratti rettilinei tra due urti diventano archi di parabola.
- ✓ Indichiamo con $\underline{v}_{i+1}$ la velocità di un elettrone prima del successivo urto.

$$\underline{v}_{i+1} = \underline{v}_i - \frac{e\underline{E}}{m_e} \tau$$

- ✓ Gli elettroni di conduzione acquistano un moto di *trascinamento o di deriva* (drift) che è un moto ordinato e che si sovrappone al moto disordinato dovuto all'agitazione termica.
- ✓ Il moto di deriva di ogni singolo elettrone sarebbe accelerato ma solo tra un urto e il successivo.
- ✓ E' stato provato che questa velocità di deriva è piccola rispetto a quella propria degli elettroni, per cui tempo medio tra due urti consecutivi non cambia.



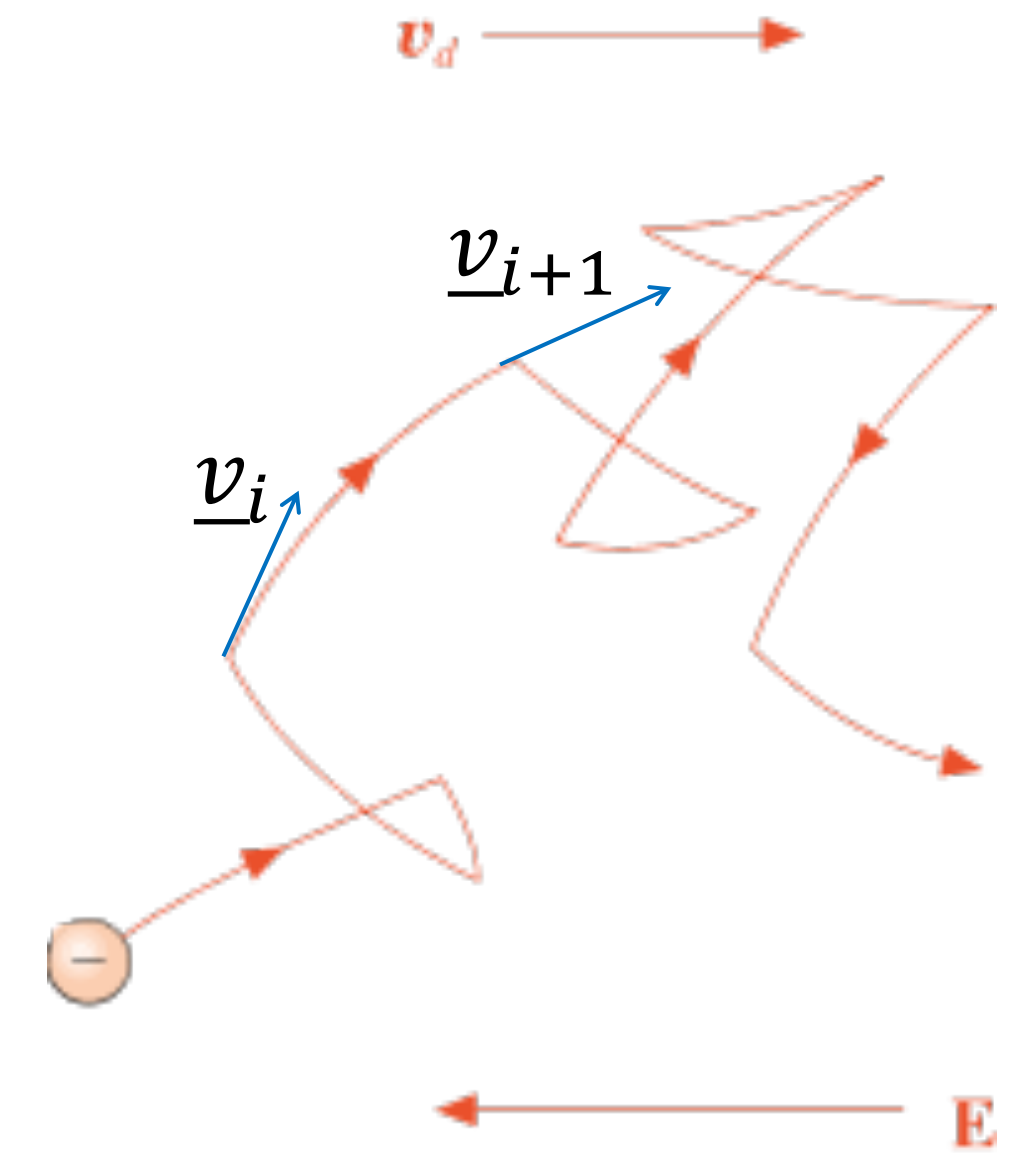
Conduzione nei conduttori metallici

- ✓ Effettuando la media su un gran numero N di elettroni

$$\frac{1}{N} \sum_i \underline{v}_{i+1} = \frac{1}{N} \sum_i \underline{v}_i - \frac{1}{N} N \frac{e\mathbf{E}}{m_e} \tau = - \frac{e\mathbf{E}}{m_e} \tau$$

- ✓ Una volta mediato sugli urti il moto ordinato assume un *carattere di moto uniforme* con una velocità media di *deriva* $\bar{v}_d$, *proporzionale* al campo elettrico statico.

$$\underline{v}_d = - \frac{e\mathbf{E}}{m_e} \tau$$



- ✓ Si ammette che l'urto cancella la direzione preferenziale di moto dovuta al campo elettrico ma che questa venga ristabilita nel tempo τ
- ✓ A differenza del moto di agitazione termica il moto di trascinamento o di deriva da luogo ad un flusso netto di **cariche** attraverso una sezione del conduttore.
- ✓ La velocità termica è molto superiore alla velocità di deriva ma al contrario di questa *non da luogo* ad un flusso ordinato di cariche

Conduzione nei conduttori

TABELLA 6.1 Resistività e coefficienti termici della resistività a 20°C

Materiale	Resistività ($\Omega \cdot m$)	Coefficiente termico ($^{\circ}C^{-1}$)
argento	$1.59 \cdot 10^{-8}$	$4.1 \cdot 10^{-3}$
rame	$1.67 \cdot 10^{-8}$	$6.8 \cdot 10^{-3}$
oro	$2.35 \cdot 10^{-8}$	$4.0 \cdot 10^{-3}$
alluminio	$2.65 \cdot 10^{-8}$	$4.3 \cdot 10^{-3}$
tungsteno	$5.65 \cdot 10^{-8}$	$4.5 \cdot 10^{-3}$
zinco	$5.92 \cdot 10^{-8}$	$4.2 \cdot 10^{-3}$
nichel	$6.84 \cdot 10^{-8}$	$6.9 \cdot 10^{-3}$
ferro	$9.71 \cdot 10^{-8}$	$6.5 \cdot 10^{-3}$
platino	$10.6 \cdot 10^{-8}$	$3.9 \cdot 10^{-3}$
stagno	$11.0 \cdot 10^{-8}$	$4.7 \cdot 10^{-3}$
niobio	$12.5 \cdot 10^{-8}$	
piombo	$20.7 \cdot 10^{-8}$	$3.4 \cdot 10^{-3}$
mercurio	$98.4 \cdot 10^{-8}$	
carbonio (grafite)	$1.38 \cdot 10^{-5}$	$-0.5 \cdot 10^{-3}$
germanio	0.46	$-48 \cdot 10^{-3}$
silicio	$2.30 \cdot 10^3$	$-75 \cdot 10^{-3}$
acqua	$2 \cdot 10^5$	
vetro	$10^{10} \div 10^{14}$	
zolfo	$2 \cdot 10^{15}$	
quarzo fuso	$10^{16} \div 10^{17}$	