

Alcune considerazioni sulla prima esperienza pratica

Ogni dispositivo *reale* ha caratteristiche che deviano dalla idealità

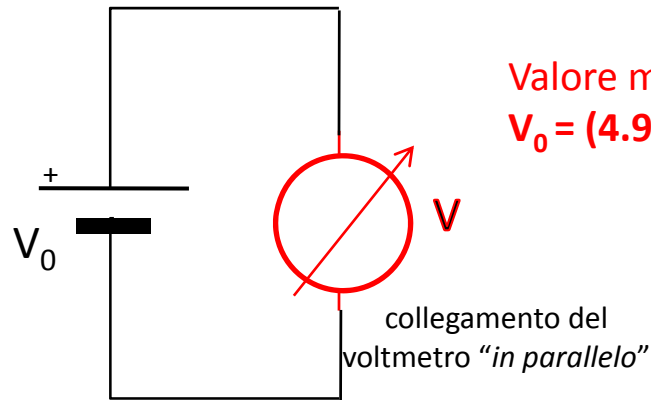
Spesso, tale deviazione può essere *modellata* assumendo la presenza di opportune resistenze interne da immaginare in serie al dispositivo

In ogni misura elettrica, anche banale come tensione e corrente continue per la verifica della legge di Ohm, occorre chiedersi se le resistenze interne influenzano il risultato o se esse possono essere considerate trascurabili

- Resistenza interna del generatore di d.d.p. (reale)
- Resistenza dei fili e dei contatti (*con divagazioni*)
- Resistenza interna dello strumento di misura (voltmetro e amperometro)
- *Divagazione* sulla misura di resistenza

Resistenza interna del generatore di d.d.p.

Nell'esercitazione pratica come primo passo si misura la d.d.p. erogata dal generatore a circuito aperto (senza nessun "carico" collegato)

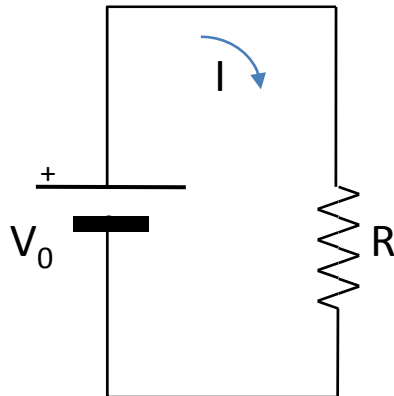


Valore misurato a circuito aperto:
 $V_0 = (4.96 \pm 0.02) \text{ V}$

Il circuito che si realizza collegando una resistenza R (una delle resistenze R_j disponibili sul banco) richiede (ovvero consuma, ovvero "dissipa") energia

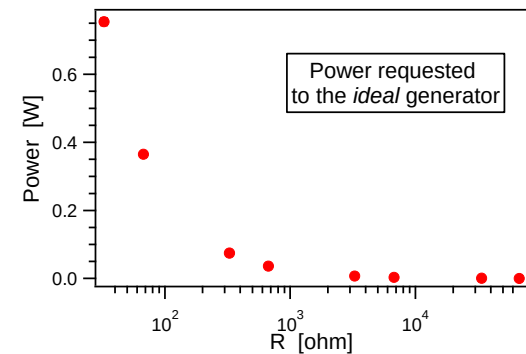
A livello microscopico, questa energia serve per "vincere" l'effetto dell'attrito viscoso che si oppone al moto dei portatori di carica nel resistore (ricordate il modello di Drude)

A livello macroscopico, questa energia viene "dissipata" in calore per effetto Joule



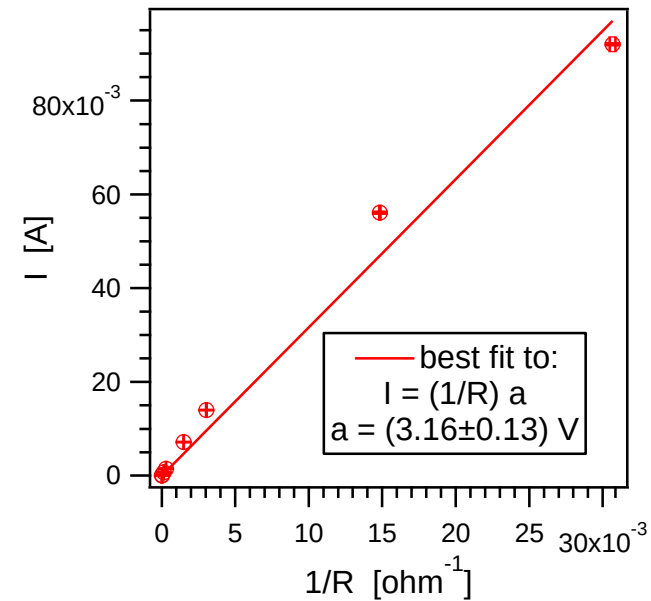
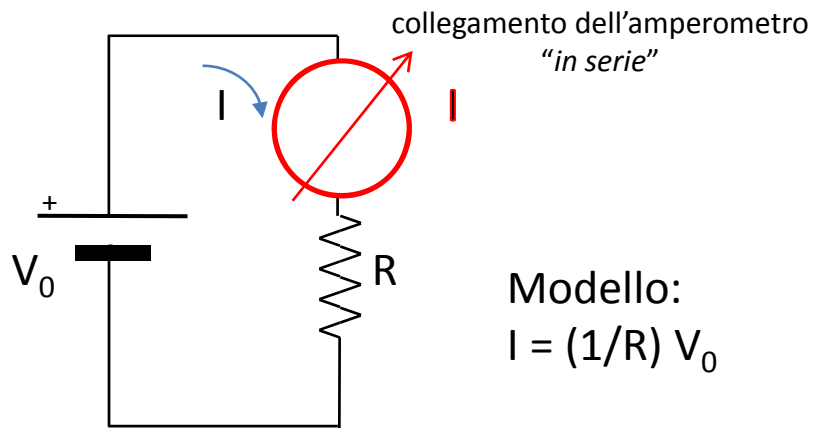
La potenza coinvolta dall'effetto Joule
è $P = V_0 I = V_0^2 / R$

Il generatore reale può fornire una potenza limitata!

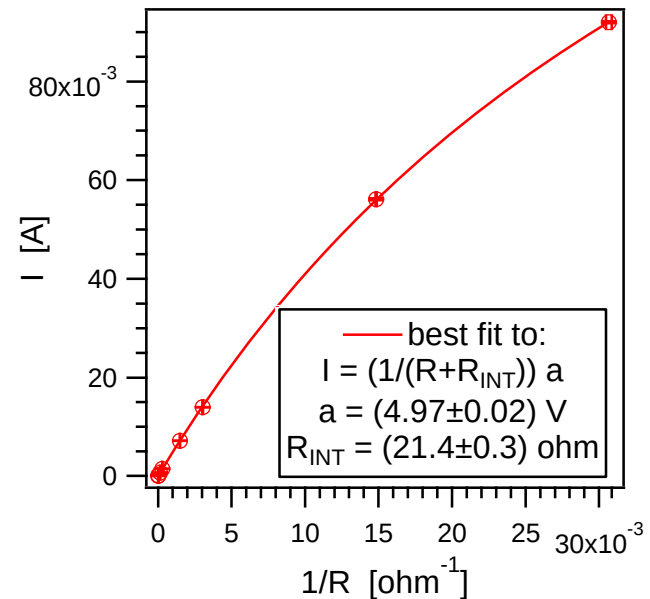
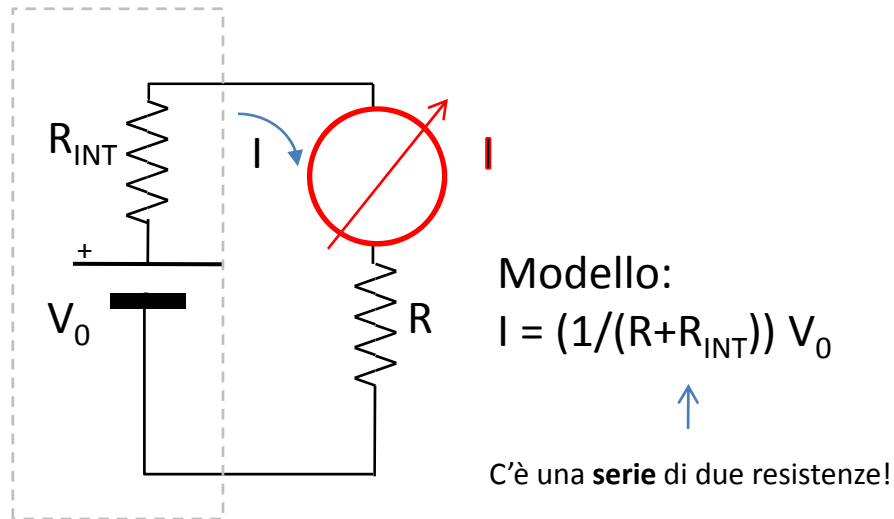


Resistenza interna del generatore di d.d.p.

Supponendo generatore *ideale*



Supponendo generatore *reale*
(con una resistenza **interna** R_{INT})



Resistenza dei fili

Negli schemi elettrici, le interconnessioni sono supposte di materiale perfettamente conduttore (all'equilibrio è equipotenziale, cioè non c'è differenza di potenziale tra due punti qualsiasi dell'interconnessione)

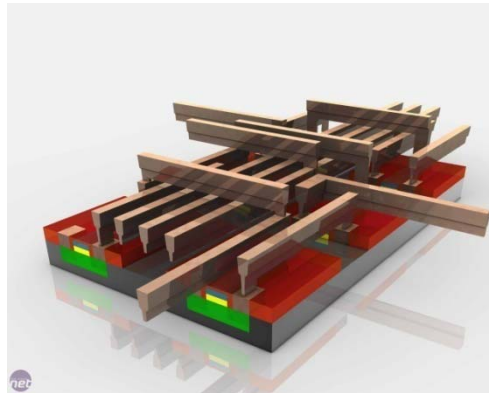
Nella realtà le interconnessioni sono realizzate da fili elettrici (generalmente di rame)

In un filo (campo elettrico **omogeneo**) si ha $R = \rho_C L/S$

Supponendo $\rho_C \sim 10^{-8} \text{ ohm m}$ (filo di rame), $L \sim 1 \text{ m}$, $S \sim 1 \text{ mm}^2 \rightarrow R \sim 10^{-2} \text{ ohm}$ (**trascurabile**)

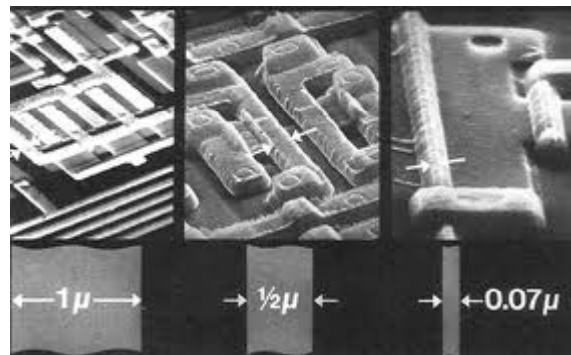
*Occhio: la resistenza dei **contatti** potrebbe non essere sempre trascurabile!
(dipende da pressione di contatto meccanico e presenza di ossidi superficiali)*

Divagazione 1:



All'interno di un "chip" microelettronico (es., una CPU), le interconnessioni hanno sezioni molto, molto piccole

Supponendo $\rho_C \sim 3 \times 10^{-8} \text{ ohm m}$ (alluminio), $L \sim 1 \mu\text{m}$, $S \sim 2000 \text{ nm}^2 \rightarrow R \sim 10 \text{ ohm}$ (**non trascurabile**, è fattore che limita le performance delle attuali CPU)



Domanda:

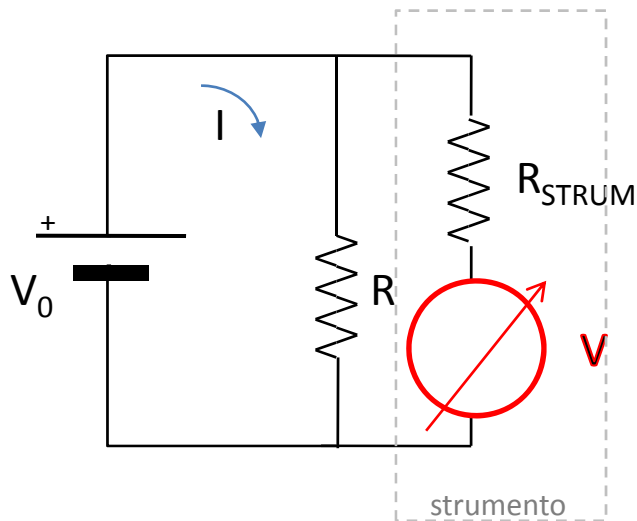
ma il modello di Drude funziona anche per conduttori estremamente sottili (spessori nanometrici)?

Resistenza dello strumento di misura

Ogni strumento di misura deve *perturbare in maniera trascurabile* l'oggetto della misura

Gli strumenti **reali** possono essere modellati come uno strumento ideale in serie a una **resistenza interna** R_{STRUM} (detta anche “impedenza di ingresso”)

Misura di tensione (voltmetro)



- Supponiamo di voler leggere la d.d.p. ai capi della resistenza R
- Mi aspetto di leggere $V_{attesa} = R I_{attesa} = R V_0 / R = V_0$
- Però la corrente che circola realmente nel circuito è $I = V_0 / R_{EQ,PAR}$ con $1/R_{EQ,PAR} = 1/R + 1/R_{STRUM}$
→ La lettura è $V = R I = R V_0 (1/R + 1/R_{STRUM})$
 $= V_{attesa}$ solo se $1/R \gg 1/R_{STRUM}$, cioè $R_{STRUM} \gg R$

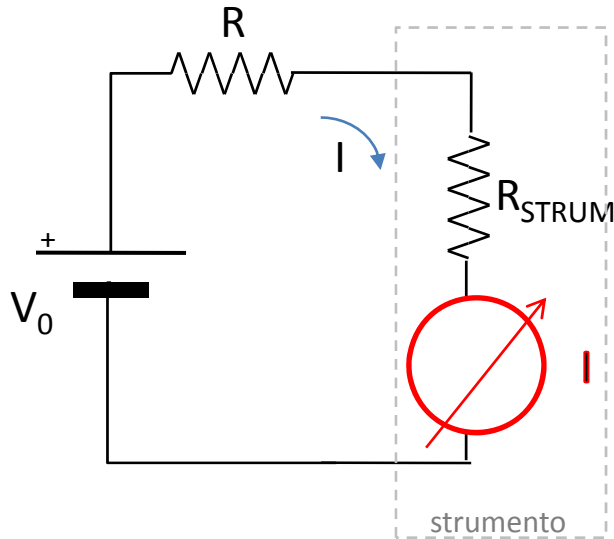
Idealmente, un voltmetro (misura in parallelo) deve avere “impedenza infinita”

La condizione di alta resistenza interna dello strumento (“impedenza di ingresso”) è ben realizzata nei voltmetri “elettronici”, es. tester digitali che hanno impedenze tipiche $> 1 \text{ Mohm}$

La condizione **non** è (sempre) ben realizzata nei tester analogici (a galvanometro), che hanno impedenze di ingresso tipiche di qualche kohm/V

Resistenza dello strumento di misura

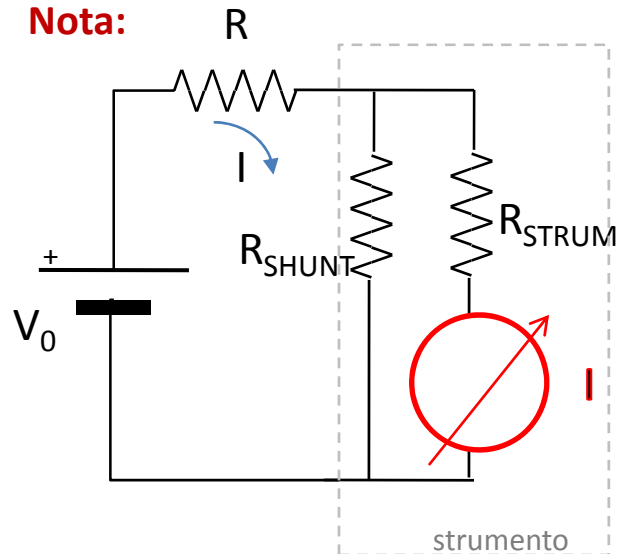
Misura di corrente (amperometro)



- Supponiamo di voler leggere la corrente che circola nella resistenza R
- Mi aspetto di leggere $I_{attesa} = V_0/R$
- Però la corrente che circola realmente nel circuito è $I = V_0/R_{EQ,SERIE}$ con $R_{EQ,SERIE} = R + R_{STRUM}$
→ La lettura è $I = V_0/R_{EQ,SERIE} = V_0/(R + R_{STRUM})$
 $= I_{attesa}$ solo se $R \gg R_{STRUM}$, cioè $R_{STRUM} \ll R$

Idealmente, un amperometro (misura *in serie*) deve avere “impedenza trascurabile”

Nota:

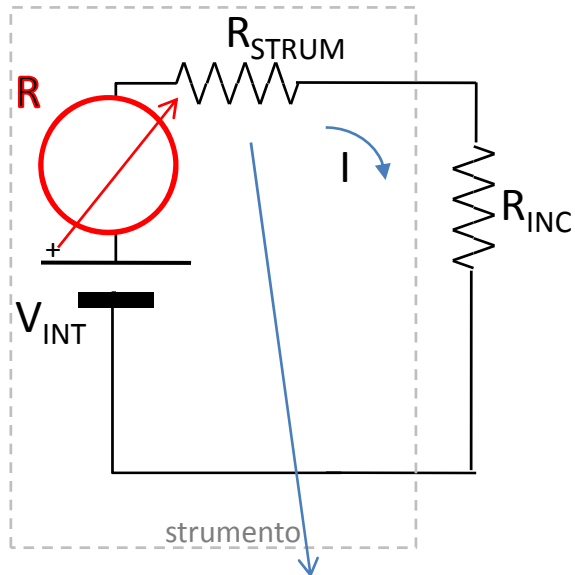


Normalmente, specie per misurare correnti abbastanza intense, una resistenza nota, detta “di shunt”, è collegata in parallelo allo strumento
Così facendo, la corrente viene partita e la misura può essere eseguita

Per non perturbare il circuito occorre che anche $R_{SHUNT} \ll R$

Resistenza dello strumento di misura

Misura di resistenza (ohmetro)



Nota: generalmente R_{STRUM} può essere variata per “azzerare” lo strumento (la resistenza indicata deve fare zero in caso di cortocircuito a prescindere dal valore attuale di V_{INT})

Nota: la resistenza è inversamente proporzionale rispetto alla corrente, dunque la scala è non lineare e “al contrario” (lo zero corrisponde alla massima corrente, quella che si ha in cortocircuito)

- La misura di resistenza è “indiretta”: nella resistenza incognita R_{INC} viene fatta passare una corrente prodotta da un generatore di d.d.p. V_{INT} *interno* allo strumento
- Lo strumento legge una **corrente** $I = V_{INT} / (R_{INC} + R_{STRUM})$
- La resistenza incognita è determinata *indirettamente dalla lettura di I e dalla conoscenza di V_{INT}* : $R_{INC} = V_{INT} / I - R_{STRUM}$
→ La lettura è $R_{INC} = V_{INT} / I$ solo se $R \gg R_{STRUM}$, cioè $R_{STRUM} \ll R$

Idealmente, un ohmetro (misura *in serie*) deve avere “impedenza trascurabile” come un amperometro

Note:

- La lettura della resistenza risulta dal rapporto tra V_{INT} (nota) e $I \rightarrow$ lettura “inversamente proporzionale” (cfr. la scala dell’ohmetro analogico!)
- Resta una forte sensibilità dalla presenza di resistenze di contatto (che risultano in serie alla resistenza incognita)
- Il principale problema della misura di resistenza così realizzata è la conoscenza di V_{INT}



Divagazione 2: misura di resistenza “a quattro punte”

- Nell'ohmetro a quattro punte (ovvero quattro fili ovvero quattro contatti) lo strumento è corredato al suo interno di un *generatore di corrente* I_{INT} invece di un generatore di d.d.p.
- Due “punte” servono per iniettare la corrente (nota) nella resistenza
- Due “punte” servono per leggere la tensione V ai capi della stessa resistenza
→ La lettura è $R_{INC} = V/I_{INT}$
- Se il voltmetro ha impedenza di ingresso “infinita” ($R_{STRUM} \gg R_{INC}$) la resistenza di contatto è trascurabile
→ possono essere lette con grande sensibilità anche resistenze molto basse
→ potendo selezionare la corrente iniettata, ogni eventuale problema legato all'effetto Joule può essere limitato e controllato

