

# Appunti di lab II

Tommaso Miliani

23-02-26

## 1 Introduzione

Informazioni generali:

- Prof: Piergiulio Lenzi e Nicola Poli
- Libri: "Esperimenti di elettricità e magnetismo", di Poggi; Carlà "Appunti di elettronica per fisici".
- Esame: 4 esperienze in laboratorio:
  - Metodo potenziometrico e fem;
  - Amplificatore operazionale in continua
  - Caratterizzazione in frequenza di un filtro attivo
  - Caratterizzazione di linee di trasmissione.

Inoltre, la prova finale è un orale che consiste in esercizio su corrente continua o alternata e un colloquio su argomenti teorici e sperimentalisti affrontati nel corso.

Le esperienze sono organizzate così

- Consegnna iniziale dell'elaborato entro una settimana dallo svolgimento;
  - Consegnna ai docenti dell'elaborato
  - Peer-review con un altro gruppo
  - Comunicazione e commenti dell'elaborato di un altro gruppo
- Consegnna entro due settimane di una seconda versione rivista e corretta, la quale sarà oggetto della revisione e valutazione da parte dei docenti.

## 2 Definizioni di unità di misura

Legge di Ohm

$$V = IR$$

i portatori di carica sono gli elettroni, la cui carica è minuscola. Dal 2019 la carica dell'elettrone è stata definita come  $e = 1.602176634 \cdot 10^{-19} C$ , fissata come costante nel sistema internazionale. A partire da questa si definisce l'ampere, ossia la corrente:

$$1 C = 1 A \cdot 1 s \implies 1A = \frac{1 C}{1 s} \quad I = \frac{dq}{dt}$$

In laboratorio non si misurano quantità microscopiche (non si contano i singoli elettroni) anche se in alcuni esperimenti esiste una sorta di granularità: il fatto che la corrente è data da piccoli oggetti porta ad un rumore di fondo chiamato **Shock noise**, che è misurabile. L'aspetto microscopico è molto importante anche se nel corso di Lab II non viene misurato. Tutte le tecniche moderne per misurare la corrente sotto lo shock noise sono delle tecniche che permettono di andare oltre le tecniche di statistica classica per contare gli elettroni ed i fotoni.

Supponendo di avere a che fare con un conduttore e di avere degli elettroni di conduzione che sono liberi di

spostarsi (in genere sono un paio per atomo). La densità del rame è di 9 g per cm<sup>3</sup>, mentre il peso molare è 63.5 g per mole. Il numero di elettroni per centimetro cubo per il rame è

$$n = \frac{6 \cdot 10^{23} \frac{\text{el}}{\text{mol}}}{63.5 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \cdot 9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \approx 9 \cdot 10^{22} \frac{\text{el}}{\text{cm}^3}$$

Il passaggio che si esegue da discreto a continuo in fisica II è utilizzando una funzione di densità continua e ben definita in modo tale che contenga un numero sufficientemente grande di elettroni tale per cui sia una funzione costante. La funzione definita in fisica II di densità  $\rho(x, y, z)$  descrive la densità di carica  $\rho = n \cdot l$ , dove  $l$  è il lato considerato dell'ordine del nanometro.

L'effetto di una forza su di una carica è data dal campo elettrico che risente questa carica dal campo elettrico:

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

Dunque, producendo un accelerazione sulla particella, si potrebbe affermare ch la velocità del flusso possa variare nel tempo. In realtà, il fatto che gli elettroni non sono propriamente liberi di muoversi, fa sì che gli elettroni sbattano tra loro e dunque esista una sorta di frizione o **resistenza** che impedisce agli elettroni di andare più veloci, facendo sì che si instauri una velocità costante e non una accelerazione costante. Ci si può anche chiedere come si confronta la velocità rispetto alla velocità che deriva dall'agitazione termica del conduttore. Se si considera la nube elettronica come se fosse una nube di gas costituita da elettroni, la velocità ad una data temperatura si ricava mediante la seguente

$$\frac{1}{2}mv_T^2 = \frac{3}{2}k_B T$$

La velocità termica in un qualsiasi metallo è pari a

$$v_T = \sqrt{\frac{3k_B T}{m_e}} \approx 1.2 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

All'equilibrio termodinamico gli elettroni sono effettivamente fermi poiché tutti gli elettroni si muovono in tutte le direzioni e dunque il loro moto medio è nullo. Si vuole arrivare ad una relazione tra il campo elettrico esterno alla velocità di deriva alla quale si spostano gli elettroni che danno origine alla corrente descritta dalla legge di Ohm. Se si ponesse un campo elettrico al metallo, un qualche elettrone (che si ipotizza parta da fermo) arriverà ad una certa velocità  $\Delta v$  entro un tempo  $\Delta t$  fino a che non sbatte contro un'altra particella tornando a velocità nulla. In questo lasso di tempo il moto risulta accelerato e dunque il suo delta velocità

$$\Delta \vec{v} = \vec{a} \Delta t = \frac{\vec{F}}{m} \Delta t = -\frac{e\vec{E}}{m} \Delta t$$

Se l'urto è elastico, in media, la velocità di deriva degli elettroni sarà uguale a

$$\langle \vec{v}_d \rangle = -\frac{e\vec{E}}{2m} \Delta T$$

Si osserva che essa è proporzionale al campo. Il  $\Delta T$  è il tempo che intercorre da una posizione all'altra e si può indicare come

$$\Delta t = \frac{\Delta l}{v_T}$$

Dove  $\Delta l$  è il cammino libero medio delle particelle e dunque la velocità di deriva sarà

$$\vec{v}_d = -\frac{e\vec{E}}{2m} \frac{\Delta l}{v_T} \quad (1)$$

Ipotizzando che il cammino libero medio dipenda solamente dalla velocità termica, allora tutte le quantità sono costanti (che dipendono dalla temperatura) indipendenti dal campo elettrico, ottenendo la proporzionalità della velocità di deriva dal campo elettrico. Esiste dunque una dipendenza dalla resistenza alla temperatura: maggiore è la temperatura e maggiore sarà la resistenza poiché minore è la velocità di deriva degli elettroni.

## 2.1 Vettore densità di corrente

Si definisce ora il **densità di corrente**: si determina l'equazione di continuità, la quale deriva dal principio di conservazione della carica e che, in gergo, dà luogo alla prima legge di Kirchhoff e vale in **condizioni stazionarie**, le quali non sono le stesse di fisica II. Per fisica II niente si muove in un conduttore, mentre per questo corso si intende condizioni di corrente stazionaria. Se in un conduttore il campo è costante, allora anche la corrente è costante (solo per una parte del corso). La densità di corrente è dunque definita come il flusso di un vettore attraverso una superficie S:

$$I = \int_S \vec{J} \cdot \hat{n} dS = \int_S \vec{J} \cdot \vec{dS} \quad (2)$$

Dove  $\vec{J} = nq \cdot \vec{v}_d$ , che è dunque proporzionale al campo elettrico e, inoltre, è parallelo anche a  $\vec{E}$ . Per convenzione si dice che la corrente va da + a meno anche se, a muoversi, sono gli elettroni. Le unità di misura di  $\vec{J}$  sono

$$[J] = \frac{1}{m^3} \cdot C \cdot \frac{m}{s} = \frac{A}{m^2}$$

Ossia densità di corrente di superficie.