

Esperienze di laboratorio sull'elettromagnetismo

- Esperimento di Millikan
- Scarica del condensatore
- Oscilloscopio didattico
- Campo B in un solenoide
- Effetto Doppler

L. Girlanda
A. Ventura

Dipartimento di Matematica e Fisica "E. De Giorgi" - Università del Salento

1. Esperienza di Millikan

Scopo dell'esperienza

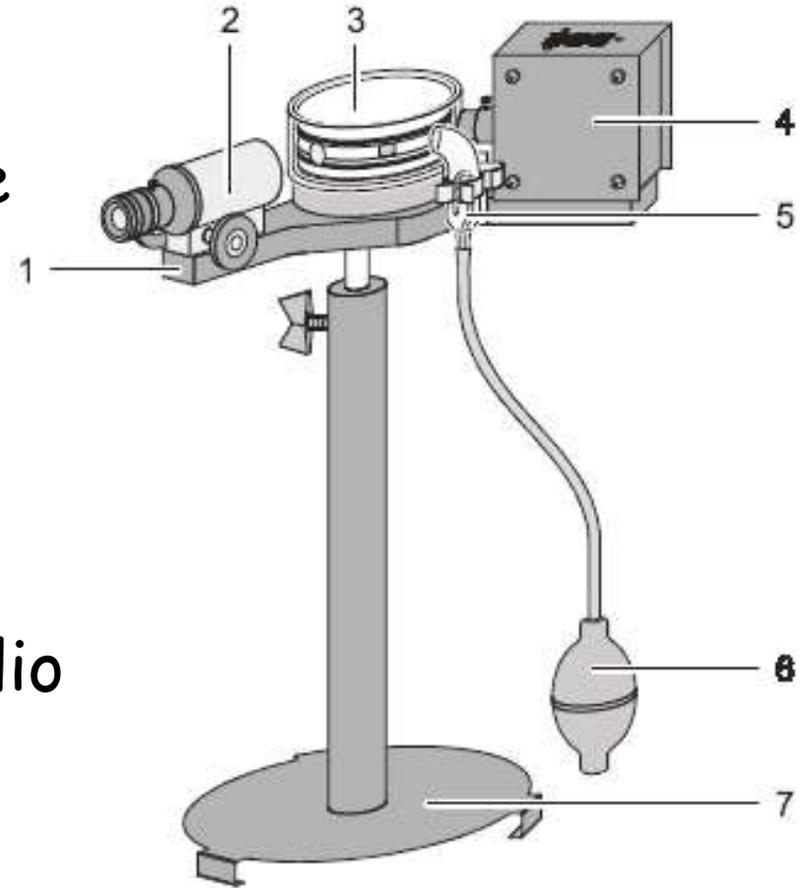
- Misurare la carica elettrica di goccioline d'olio accelerate da un campo elettrico uniforme
- Verificare la granularità della carica elettrica e l'esistenza di una carica fondamentale di cui tutte le cariche sono multiple

Cenni storici

- Nel 1909 Robert Millikan fu il primo a misurare la carica dell'elettrone, attraverso l'esperimento della "goccia d'olio", ottenendo già una precisione dello 0.1%: $Q = (1.592 \pm 0.0017) \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- L'articolo definitivo (1913) gli valse, 10 anni più tardi, il riconoscimento del premio Nobel.
- Il valore attualmente noto della carica dell'elettrone è
 $Q = (1.602\ 176\ 487 \pm 0.000\ 000\ 040) \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Apparato strumentale

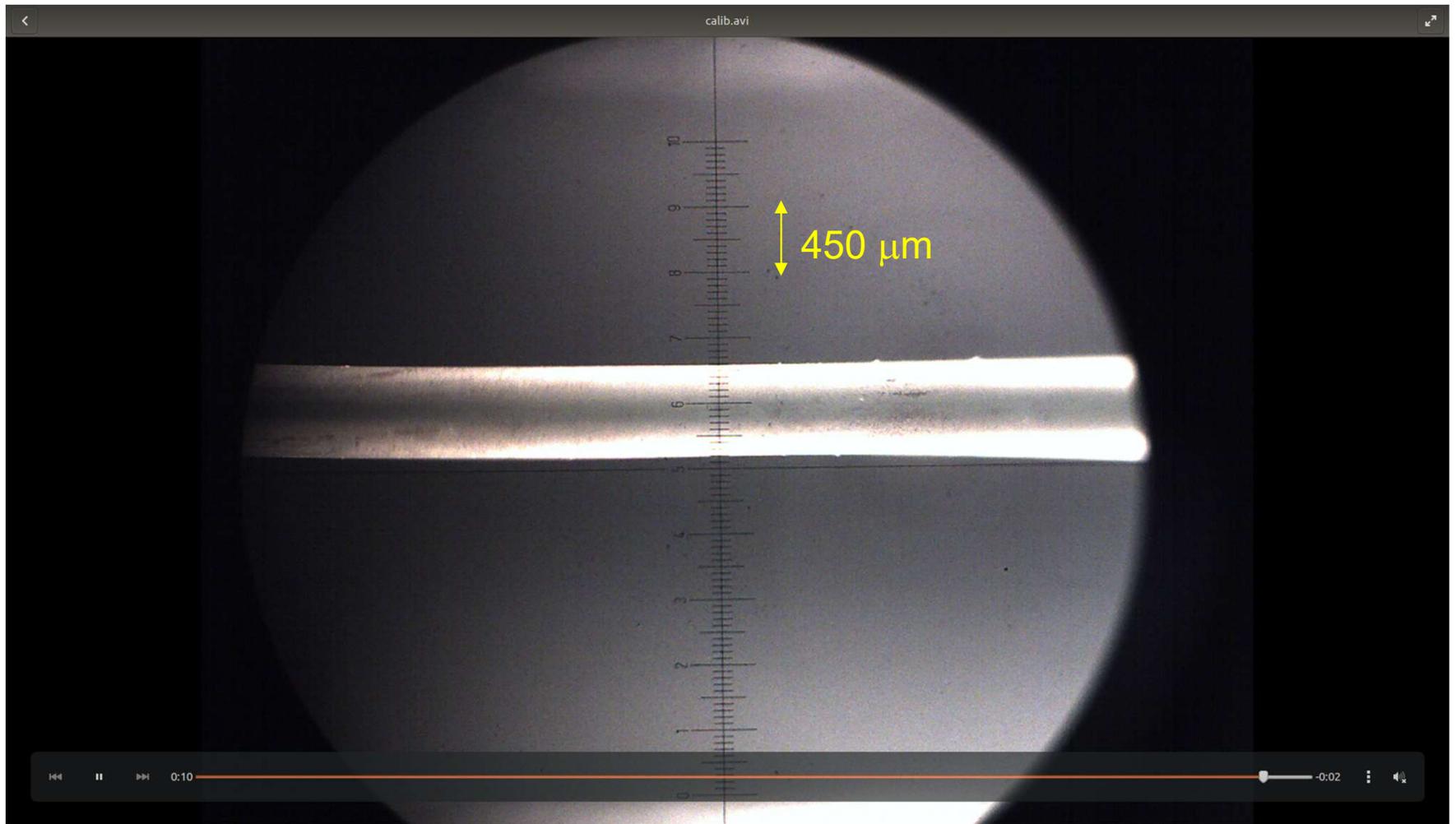
- 1) Piano di base
- 2) Microscopio con oculare e micrometro
- 3) Condensatore piano
- 4) Dispositivo per illuminare
- 5) Nebulizzatore d'olio
- 6) Pompetta di gomma per olio
- 7) Base d'appoggio
- Olio (di densità nota ρ)
- Alimentatore (corrente continua)



Dati tecnici

- Distanza tra le armature del condensatore:
 $s = 6.00 \pm 0.05 \text{ mm}$
- Densità dell'olio impiegato
 - $\rho = 0.877 \text{ g/cm}^3$ (a 15°C)
 - $\rho = 0.871 \text{ g/cm}^3$ (a 25°C)
- Ingrandimento dell'oculare: ~ 10
- Ingrandimento dell'obiettivo: 2
- Scala del micrometro: 10 mm
- Graduazione della scala: 0.1 mm
- Intervallo di tensione dell'alimentatore: 0-600 V

Calibrazione

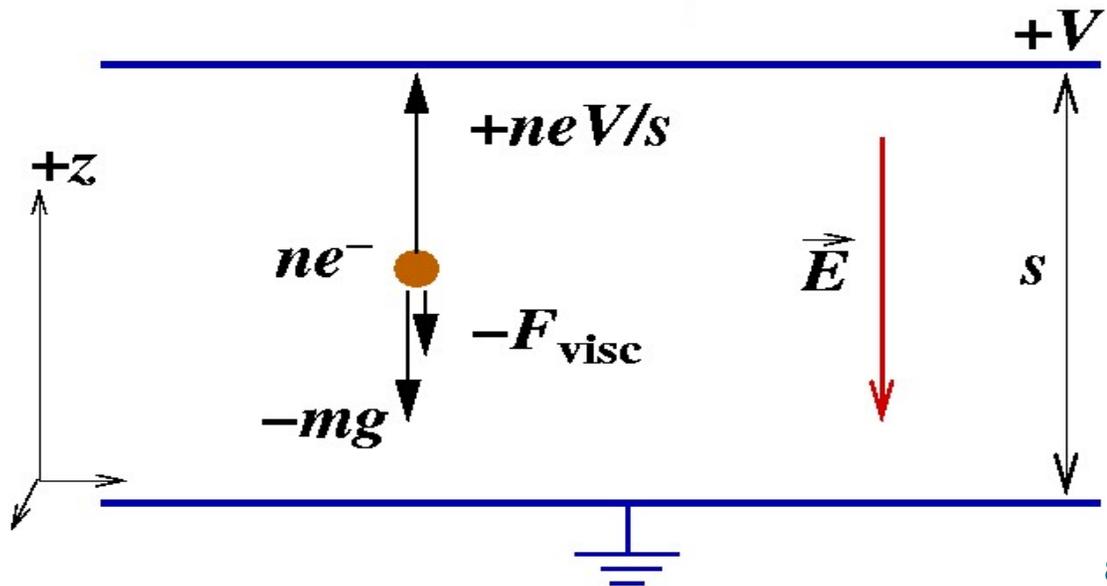


Procedura sperimentale (1/3)

- Agendo sulla pompetta si immettono delle goccioline d'olio nella cameretta delimitata dalle armature del condensatore piano e dal coperchio in plastica, nel quale sono presenti due appositi forellini.
- Alcune goccioline si caricano elettricamente (con carica $-ne$, n intero) per effetto della frizione con l'aria e, tramite il campo elettrico E , possono essere accelerate lungo l'asse verticale (z), lungo il quale agiscono: la forza peso (mg), la spinta di Archimede, la forza viscosa (F_{visc}) e la forza elettrica (neE)

Procedura sperimentale (2/3)

- Il campo elettrico è dato da $|\mathbf{E}| = V/s$
- La spinta di Archimede è essenzialmente trascurabile rispetto alla forza peso
($\rho_{\text{aria}} \approx 10^{-3} \text{ g/cm}^3 \ll \rho_{\text{olio}}$)
- La forza viscosa è $F_{\text{visc}} = 6\pi\eta Rv_d$, viscosità $\eta = 1.82 \cdot 10^{-5} \text{ Pa s}$, raggio della gocciolina R , velocità di deriva v_d



Procedura sperimentale (3/3)

- Si alimenta il condensatore e si individua una gocciolina carica, diretta verso l'alto, se ne misura la velocità avvalendosi di un cronometro.

- Si tratta di un moto uniforme, le forze si equilibrano

$$\frac{4\pi}{3} R^3 \rho g + 6\pi R \eta v_{\uparrow} = q \frac{\Delta V}{d}$$

- Si toglie l'alimentazione al condensatore e si osserva la stessa gocciolina cadere verso il basso, misurandone la velocità

- Anche in questo caso le forze si equilibrano

$$\frac{4\pi}{3} R^3 \rho g = 6\pi R \eta v_{\downarrow}$$

- Risulta infine

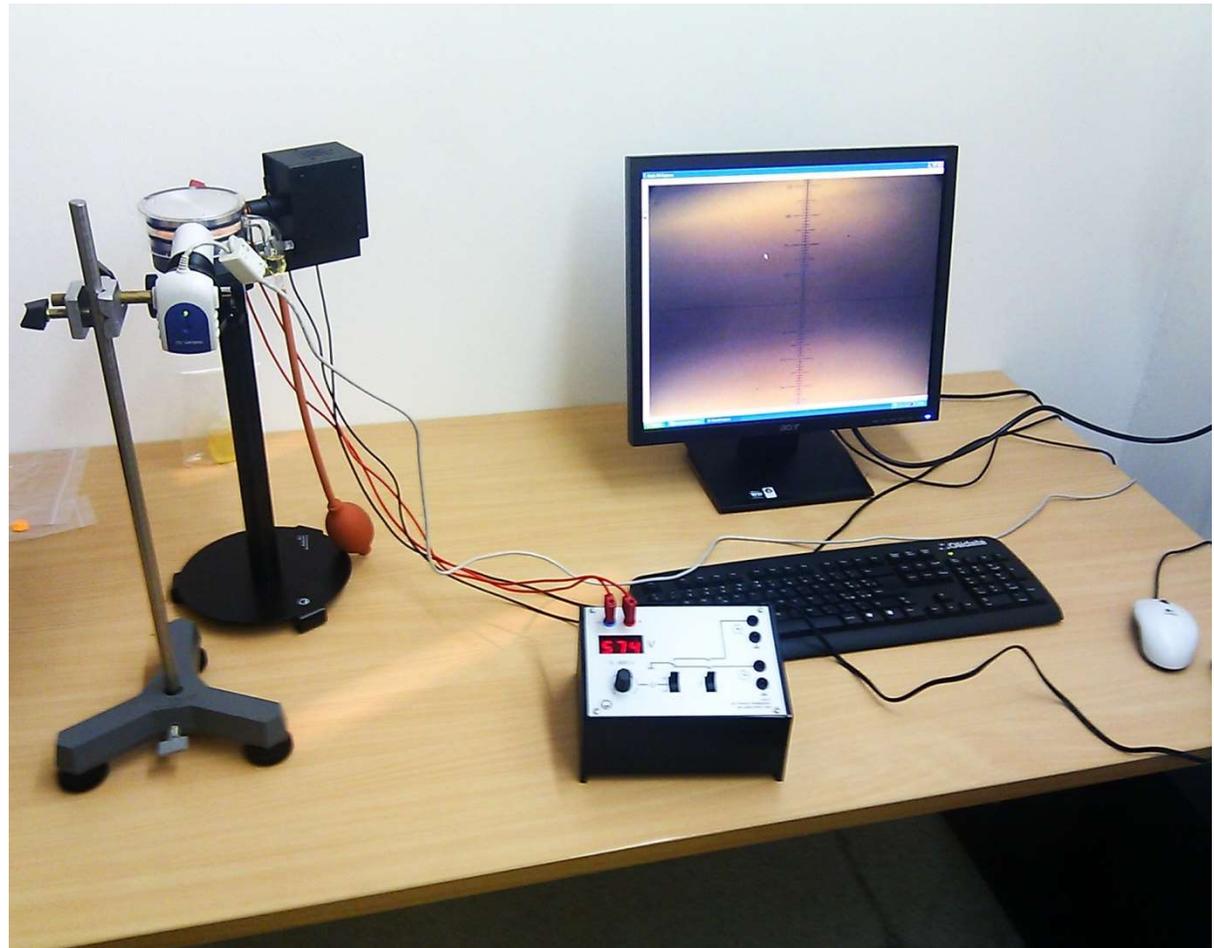
$$q = \frac{d}{\Delta V} 6\pi \eta \sqrt{\frac{9}{2} \frac{\eta}{\rho g}} v_{\downarrow} (v_{\uparrow} + v_{\downarrow})$$

Alcune indicazioni

- L'apparato strumentale è estremamente sensibile a urti e spostamenti: agire con cautela in tutte le fasi dell'esperienza
- Per effetto della diversa temperatura all'interno del condensatore al variare della distanza dalla lampada, le goccioline possono avere una significativa componente orizzontale della velocità: agendo opportunamente sulla pompetta, tale effetto può essere compensato
- Per favorire una migliore osservazione, è disponibile una webcam collegata a un computer, fissata adeguatamente davanti al microscopio

Configurazione con webcam

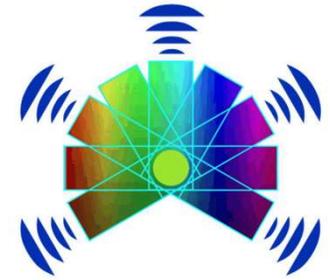
- Montando la webcam al contrario, l'immagine del microscopio appare nuovamente rovesciata sullo schermo del computer



Studio delle incertezze

- Si considerino le fonti di incertezza sulla misura di n (il valore più probabile di n è 1)
 - Misura di V_{eq} quando la gocciolina è realmente ferma
 - Misura della velocità v_d
- Altre fonti di incertezza meno rilevanti riguardano:
 - Dipendenza dei valori di ρ e μ dalla temperatura
 - Correzione per la spinta di Archimede
 - Conoscenza dell'accelerazione di gravità g
 - Conoscenza delle varie grandezze misurate
- Si stimi l'impatto di tali incertezze sulla misura finale

2. Scarica del condensatore

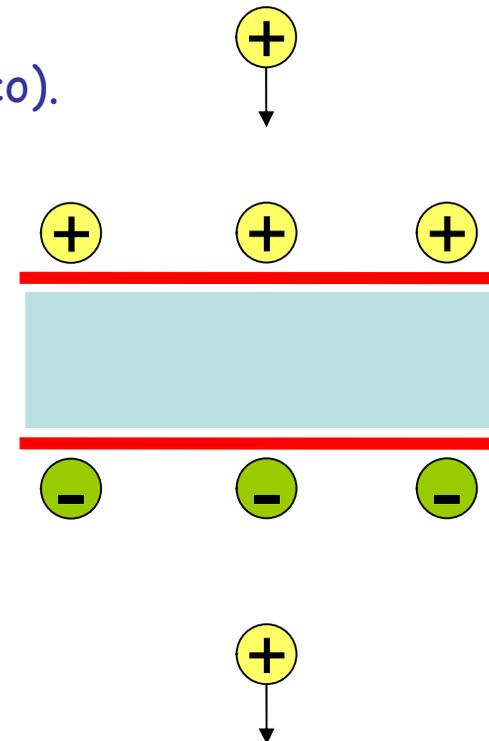


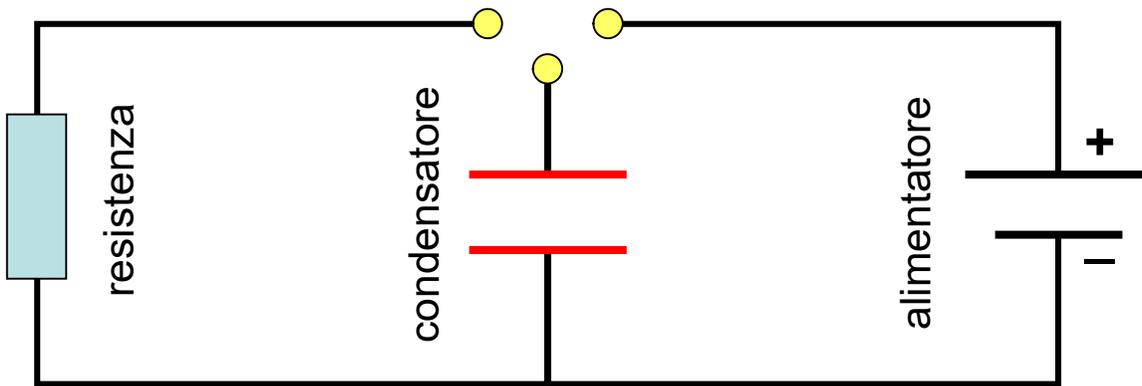
Fenomeni fisici : induzione elettrostatica
conservazione della carica elettrica
immagazzinamento dell'energia elettrostatica
trasformazione dell'energia

Il condensatore è un dispositivo composto da due lastre metalliche separate da un isolante (dielettrico).

L'accumulo di cariche positive su una faccia del condensatore comporta l'allontanamento delle cariche positive dall'altra faccia e quindi l'accumulo delle cariche negative

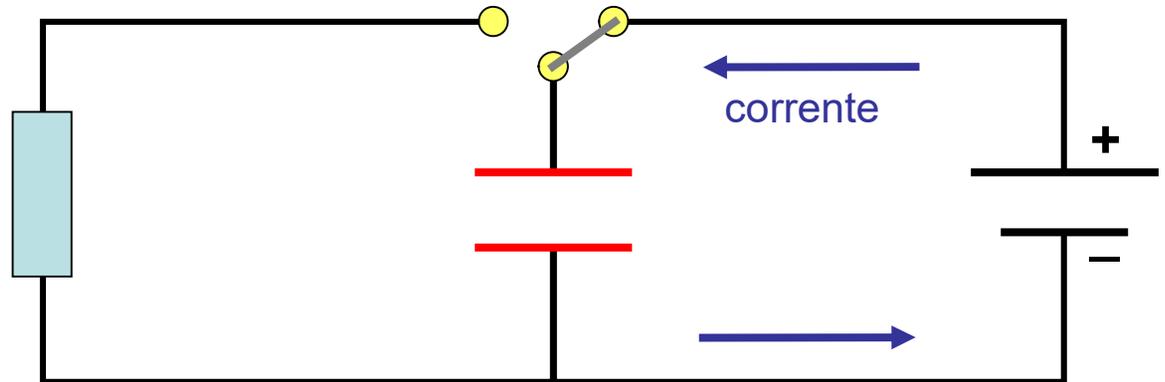
All'accumulo delle cariche di segno diverso sulle due piastre è connessa una differenza di potenziale elettrico





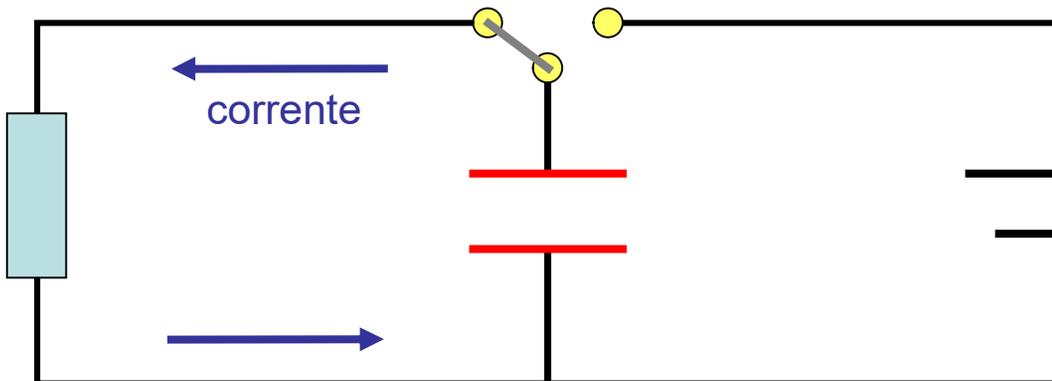
Fase di carica

Le cariche elettriche si accumulano sulle facce del condensatore fino a che la tensione ai capi del condensatore non eguaglia quella dell'alimentatore



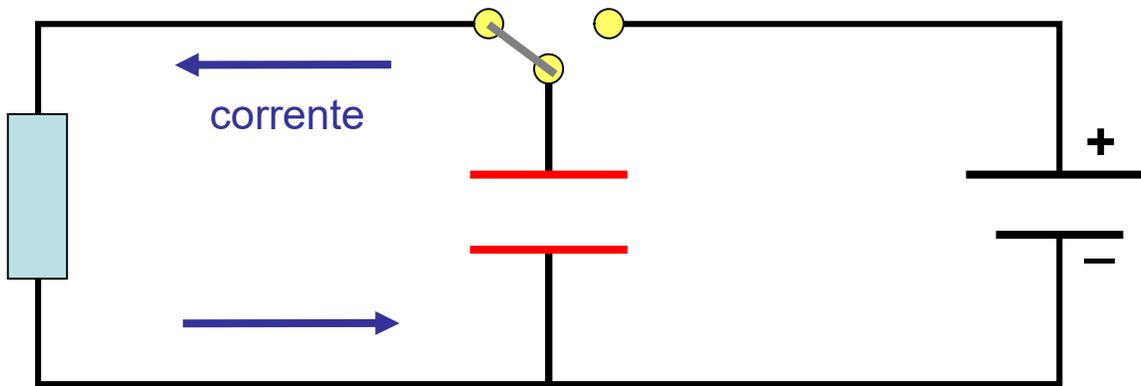
Fase di scarica

L'energia elettrostatica accumulata nel condensatore si trasforma in energia termica (calore sulla resistenza). L'accumulo di cariche sulle facce del condensatore si riduce fino ad annullarsi e con esso la differenza di potenziale.





Scarica



$$Q = C\Delta V, \quad \Delta V = RI$$

$$Q(0) = C\Delta V(0), \quad I(0) = \frac{\Delta V(0)}{R}$$

$$Q(t_1) = Q(t_0) - I(t_0)\delta = Q(t_0) - \frac{\delta}{RC}Q(t_0) = Q(0) \left(1 - \frac{1}{RC}\delta\right)$$

$$Q(t) = Q(0) \left(1 - \frac{1}{RC}\delta\right)^n, \quad Q(0) \left(1 - \frac{1}{RC}\frac{t}{n}\right)^n, \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n = e$$

$$Q(t) = Q(0)e^{-\frac{t}{RC}}$$

Scarica del condensatore



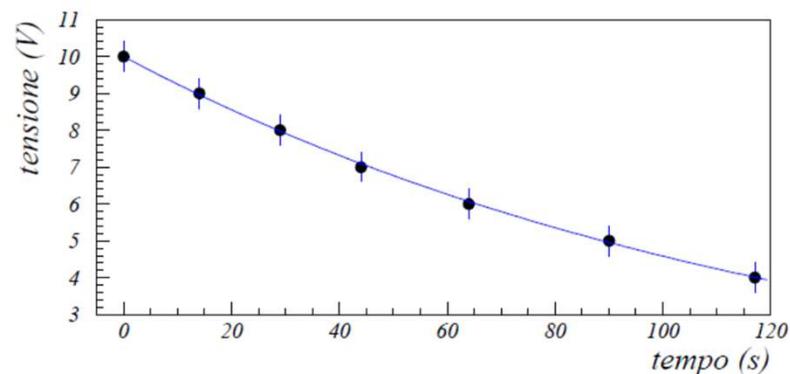
Materiale a disposizione

1. Alimentatore
2. Misuratore di tensione (V)
3. Circuito (condensatore, resistenza, cavi e interruttore)
4. Cronometro

Procedura

1. Si chiuda l'interruttore in modo da caricare il condensatore (il misuratore di tensione raggiunge un valore massimo)
1. Si sposti l'interruttore in modo da far scaricare il condensatore
2. Si misurino i tempi (t) in corrispondenza dei diversi valori di tensione (V)
3. Si proceda all'analisi dei dati (V, t) utilizzando una funzione esponenziale

$$V = V_0 e^{-t/\tau}$$



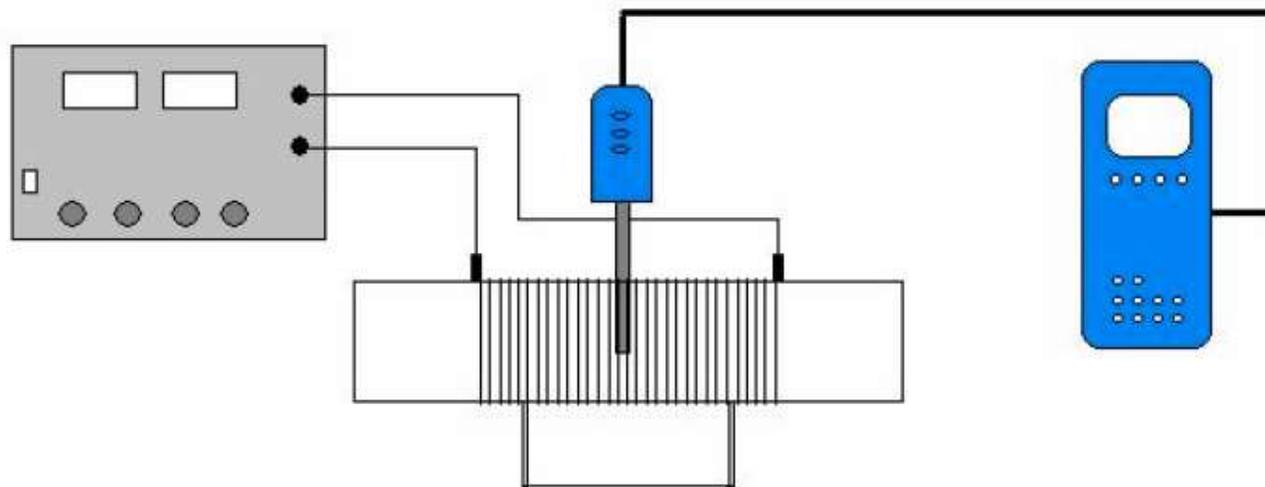
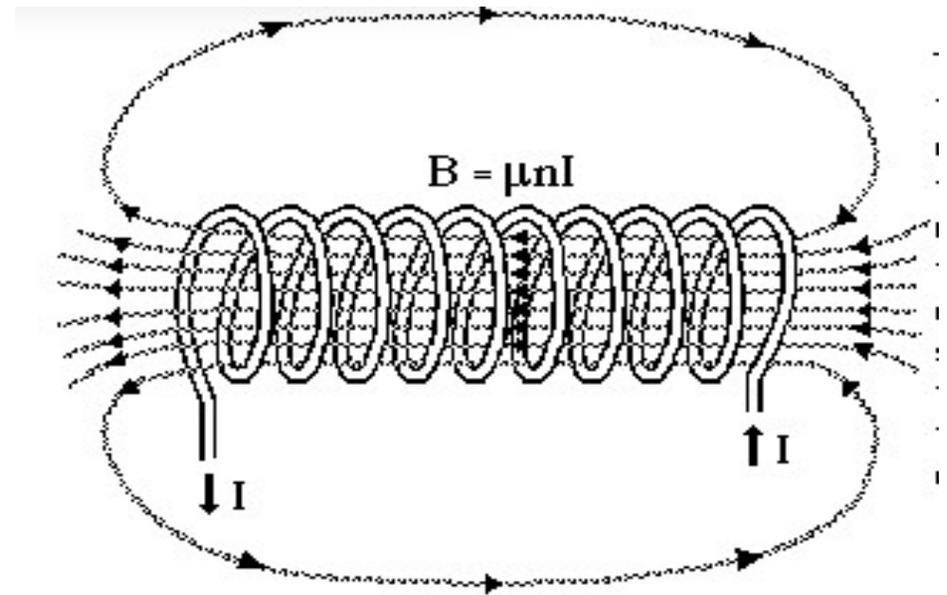
3. Campo magnetico in un solenoide

Fenomeni fisici :

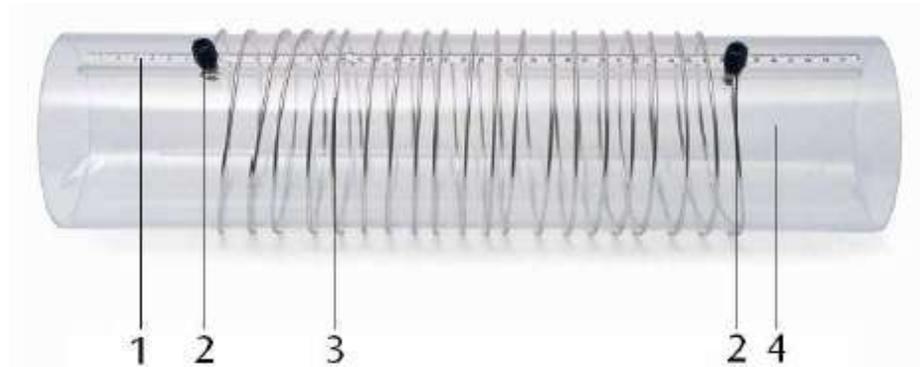
- induzione magnetica
- effetto Hall

Dispositivi a disposizione :

- solenoido estensibile
- alimentatore di corrente continua
- teslametro a sonda Hall



Campo magnetico in un solenoide



- 1 Scala
- 2 Jack di sicurezza da 4 mm
- 3 Filo della bobina
- 4 Corpo della bobina

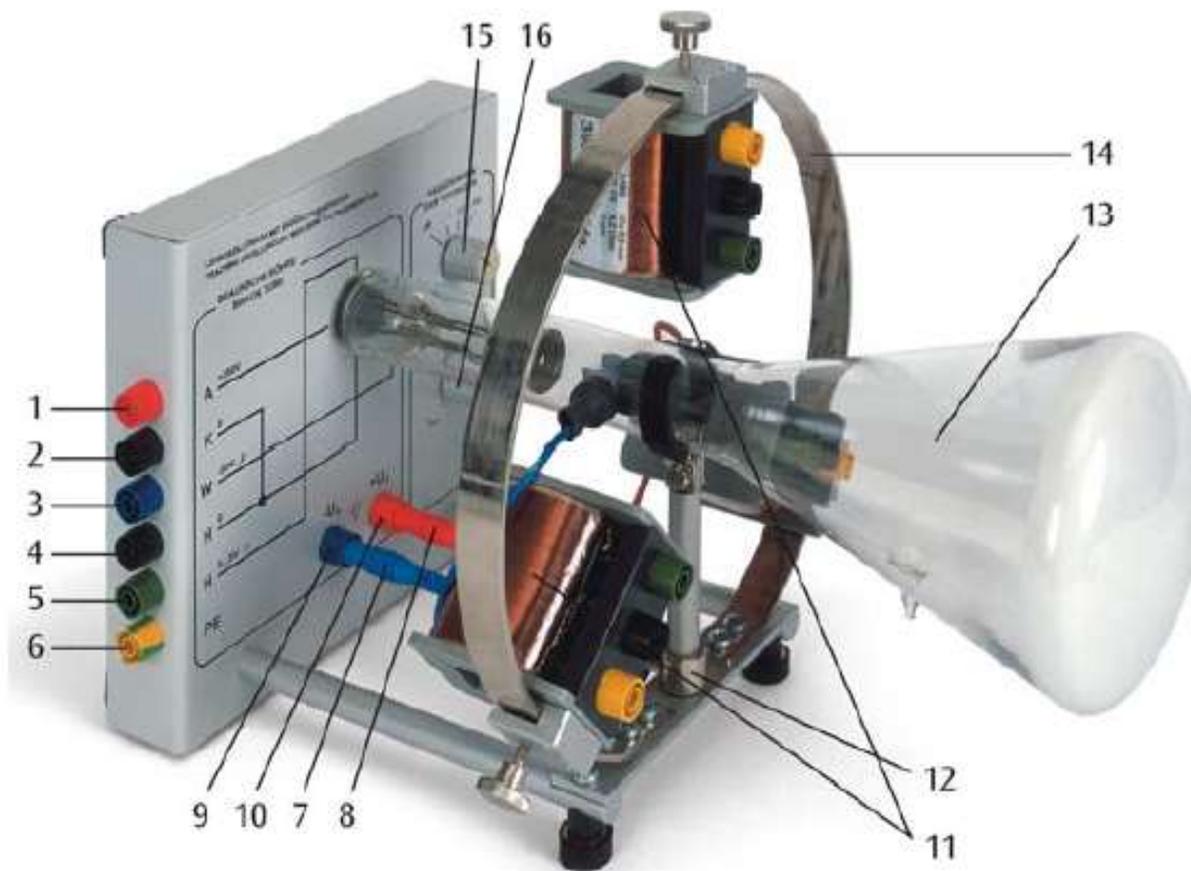
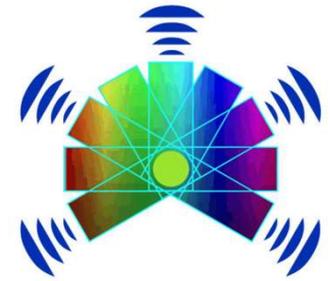


- 1 Teslametro
- 2 Sonda magnetica

Procedura:

- verificare con la sonda Hall assiale e tangenziale la direzione di B
- verificare la linearità del campo B con la corrente I
- misurare l'intensità di B al variare della densità di avvolgimenti ed estrarre da un fit una misura della permeabilità

4. Oscilloscopio didattico



Ingressi:

- 1 Tensione anodica
- 2 Tensione catodica
- 3 Tensione di Wehnelt
- 4 Tensione di riscaldamento (0)
- 5 Tensione di riscaldamento (+)
- 6 Messa a terra di protezione
- 7 Piastra di deflessione sinistra
- 8 Piastra di deflessione destra

Uscite:

- 9 Generatore a dente di sega (-)
- 10 Generatore a dente di sega(+)
- 11 Bobine di deflessione
- 12 Magnete ad anello (coperto da bobina di deflessione)
- 13 Tubo a raggi catodici
- 14 Anello metallico
- 15 Macroregolazione frequenza a dente di sega
- 16 Microregolazione frequenza a dente di sega

Oscilloscopio didattico

Fenomeni fisici :

emissione ed accelerazione di elettroni

deflessione di un fascio di elettroni in campi elettrici e magnetici

Elementi dell'oscilloscopio :

ampolla di vetro sottovuoto (tubo catodico)

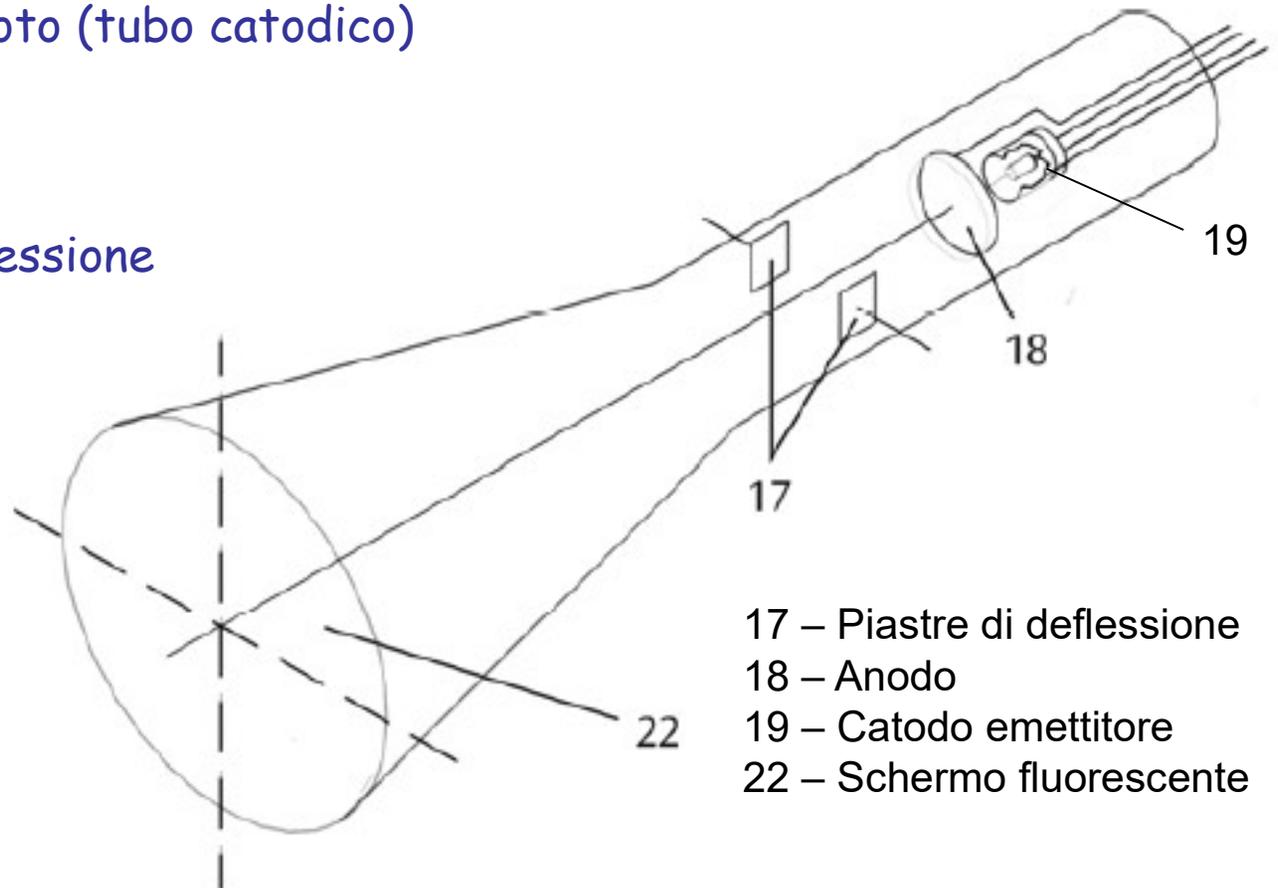
catodo incandescente

anodo (disco forato)

piastre di deflessione

anello con bobine di deflessione

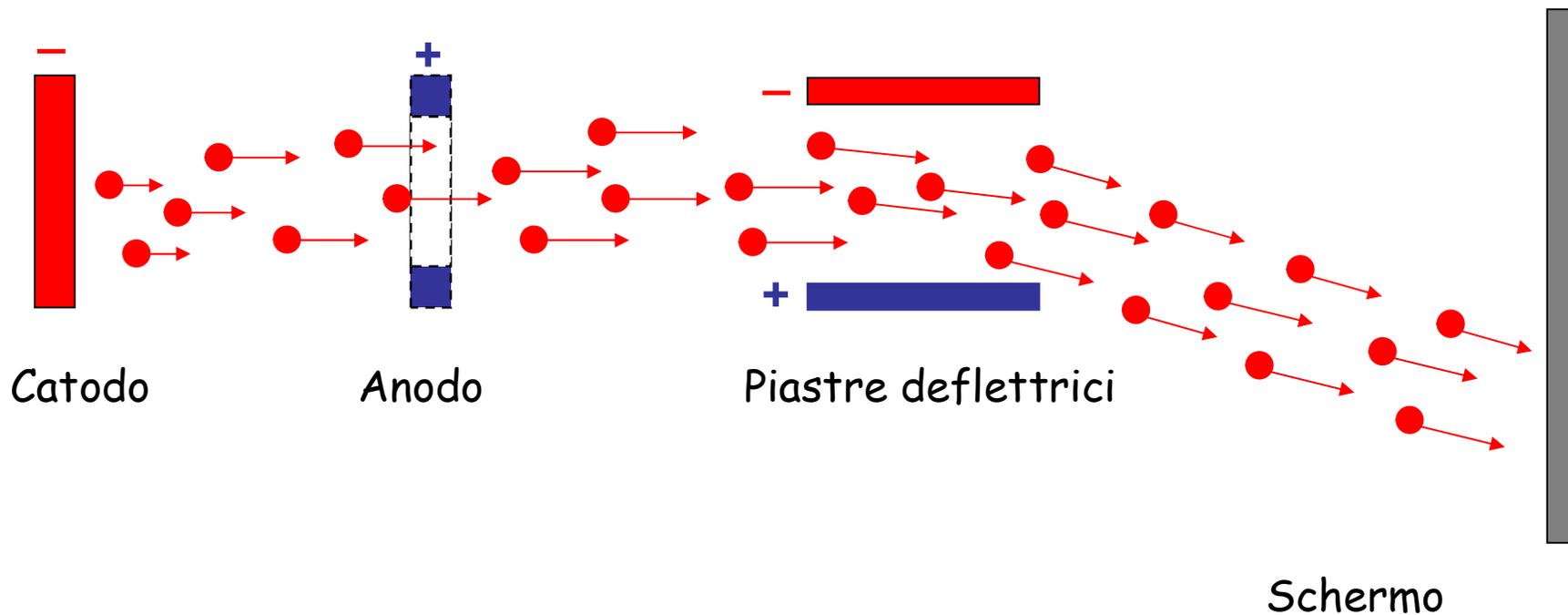
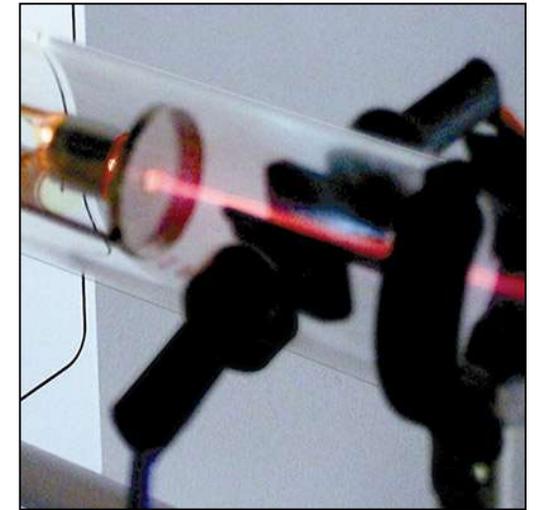
schermo fluorescente



Gli elettroni emessi dal catodo vengono accelerati verso l'anodo dal campo elettrico

Il fascio di elettroni non si arresta sull'anodo perchè questo è forato

Se un campo elettrico viene applicato alle piastre deflettrici, il fascio viene deviato e incide fuori asse sullo schermo fluorescente



Deflessione magnetica

Le bobine fissate all'anello intorno al tubo generano altrettanti campi magnetici.

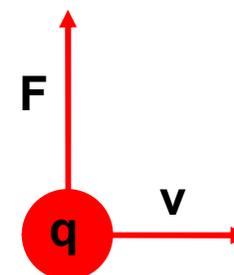
Anche il campo magnetico (B) fa deviare il fascio di elettroni

Forza di Lorentz

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Esempio:

forza F a cui è sottoposto un elettrone di carica q che si muove con velocità v , in presenza di un campo magnetico uscente dal piano del foglio



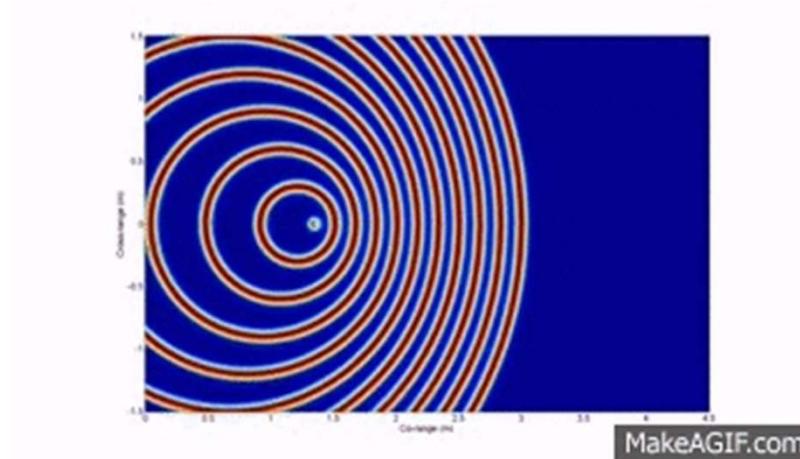
Esperienza in laboratorio

Mettere in funzione l'oscilloscopio e verificarne i principi di funzionamento

Verificare che i campi magnetici generati dalle bobine spostano il fascio coerentemente con quanto previsto dall'espressione della forza di Lorentz

Descrivere in dettaglio l'apparecchiatura nella relazione finale

5. Effetto Doppler



Fenomeni:

- propagazione delle onde
- spostamento in frequenza
- interferenza e battimenti

$$\lambda' = \lambda - v_s T = \lambda \left(1 - \frac{v_s}{v} \right)$$

$$\nu' = \nu \frac{v}{v - v_s}$$

Dispositivi

- diapason
- software audio-editing
- pendolo fisico
- altoparlanti
- generatore di frequenza
- microfono

Procedura

1) Uso del software Audacity

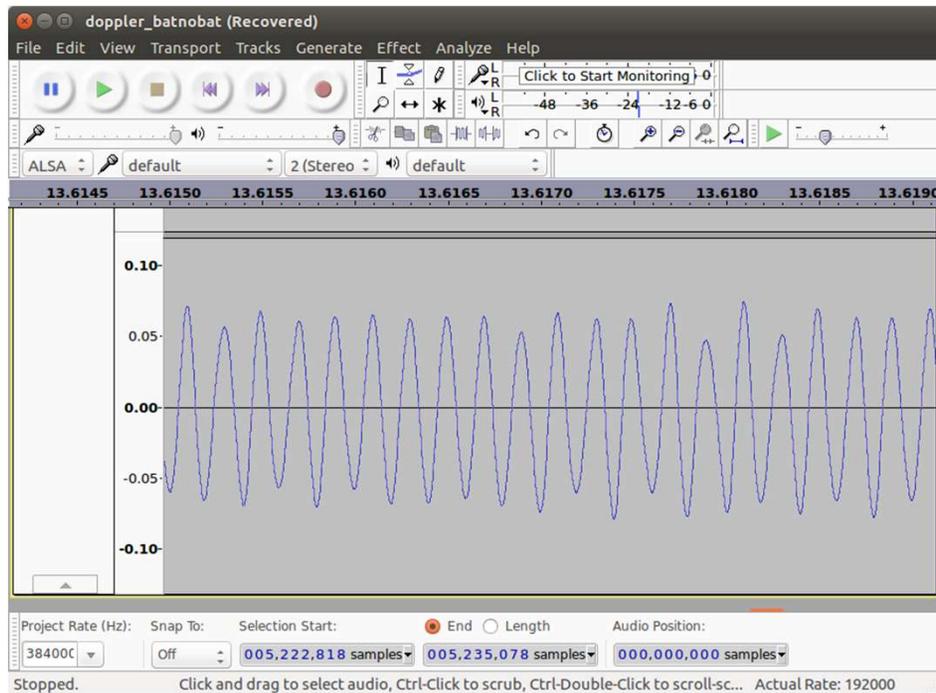
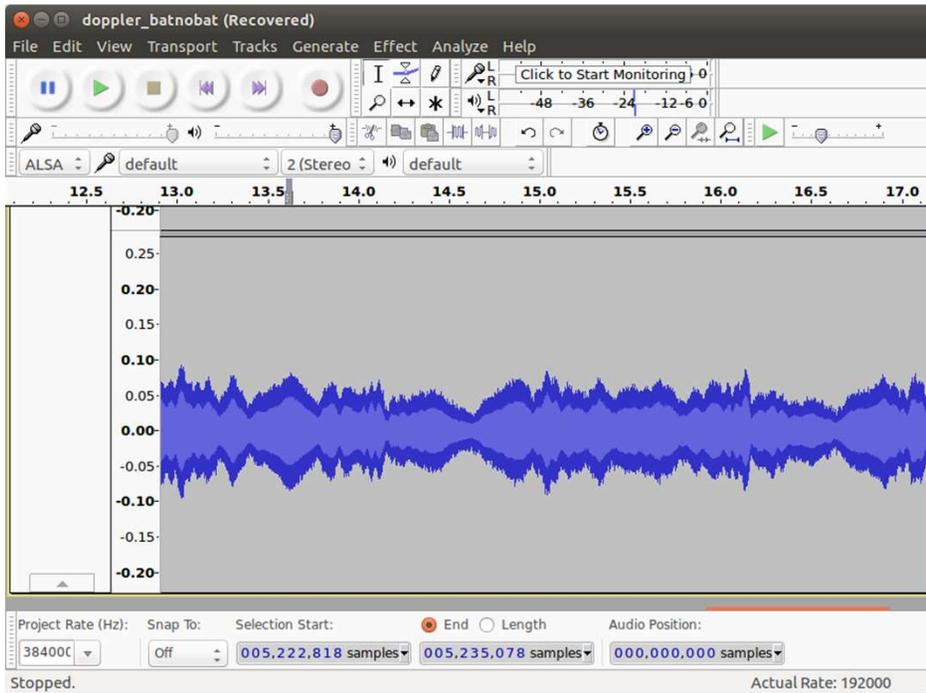
- misurare la frequenza di un diapason
- misurare i battimenti da due diapason

2) Misura dello spostamento Doppler

- misurare la frequenza del suono emesso da un altoparlante posto in oscillazione su un pendolo al variare del tempo
- misurare i battimenti prodotti da due altoparlanti, uno sul pendolo e l'altro in quiete

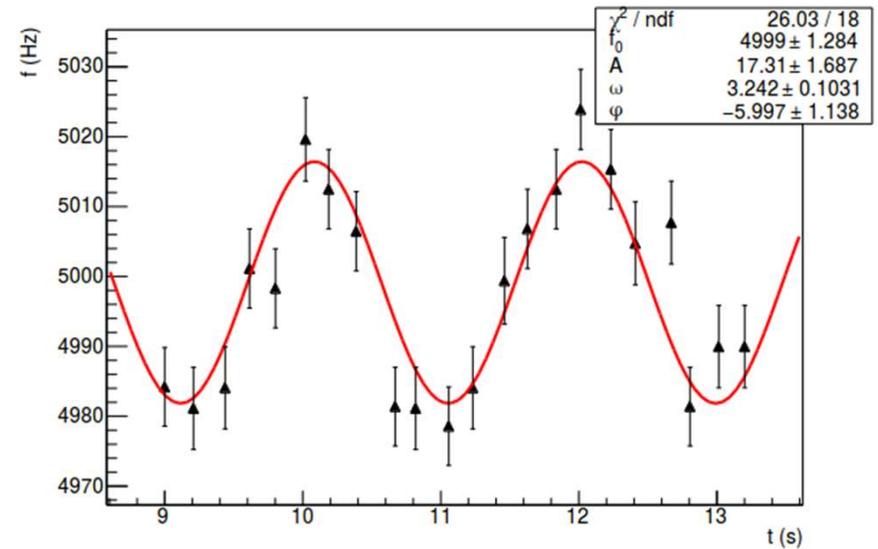
3) Confronto con la previsione teorica misurando la velocità del pendolo



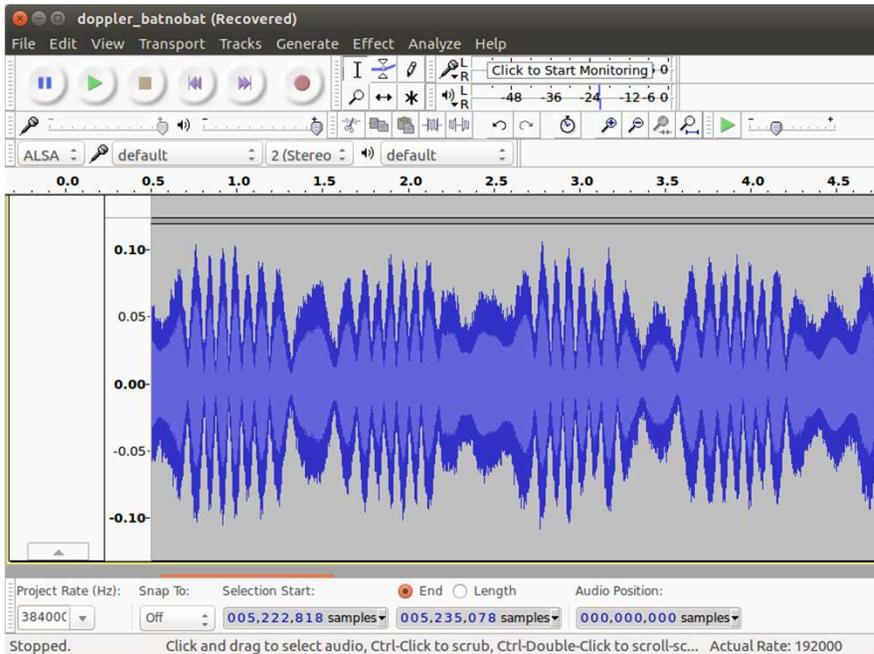


1 altoparlante in moto:

la frequenza cambia come la velocità del pendolo

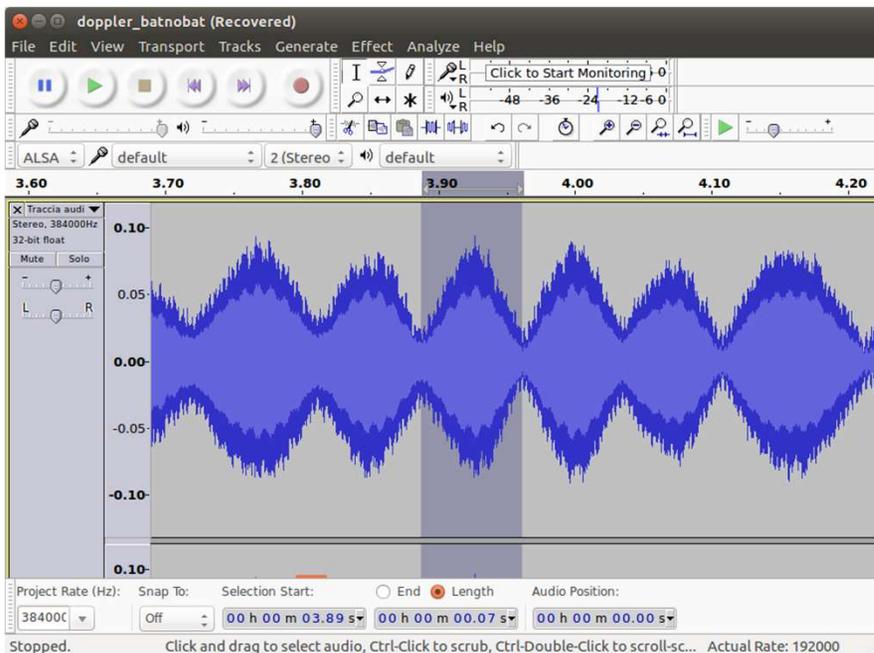


$$f = f_0 + A \sin(\omega t + \phi)$$



2 altoparlanti:

la differenza tra le frequenze genera i battimenti



$$\Delta \nu = \frac{1}{\Delta t}$$