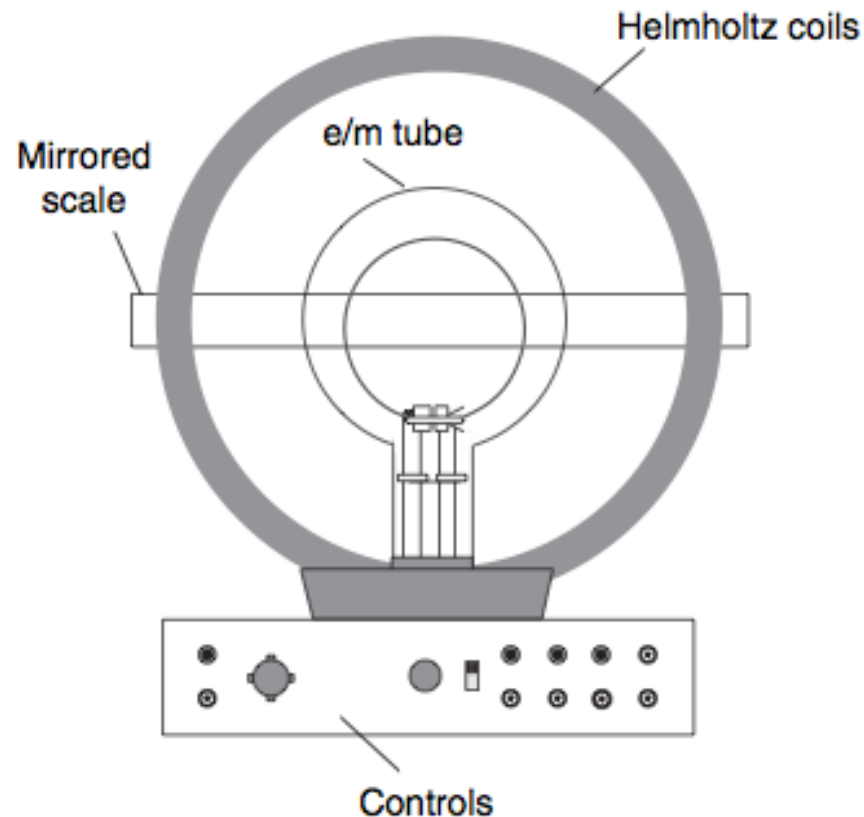


# Esperienza: misura del rapporto $e/m$



Laboratorio 3 - a.a. 2021/2022

# L'esperienza

- Scopo: misura del rapporto tra il valore assoluto della carica  $-e$  e la massa  $m$  dell'elettrone.
- Metodo:
  - Si accelerano elettroni mediante una d.d.p.  $V_{acc}$ :

$$\frac{1}{2}mv_e^2 = eV_{acc}$$

- Due bobine di Helmholtz creano un campo  $\vec{B}$  uniforme; sugli elettroni agisce  $\vec{F}_L = -e \vec{v}_e \times \vec{B}$
- $F_{c.peta} = F_L \Rightarrow \frac{mv_e^2}{r} = ev_e B$
- Si misura il raggio  $r$  della traiettoria circolare:

$$e/m = v_e/(Br) \quad \Rightarrow \quad e/m = 2V_{acc}/(Br)^2$$

# Strumentazione

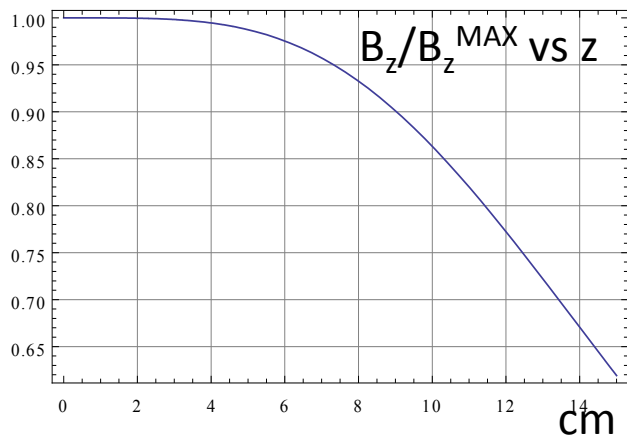
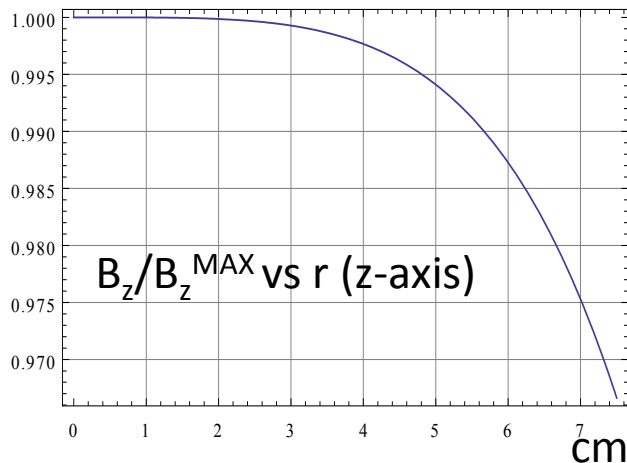
- Sonda ad effetto Hall con circuito di ampl.
- Multimetro digitale
- Bussola
- Righello
- Bobine di Helmholtz
- Tubo catodico
- Alimentatori
- Macchina fotografica digitale con cavalletto

# Le bobine di Helmholtz

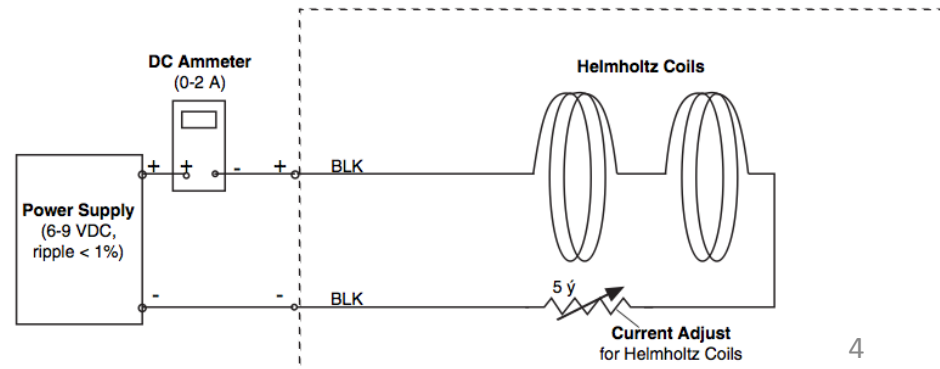
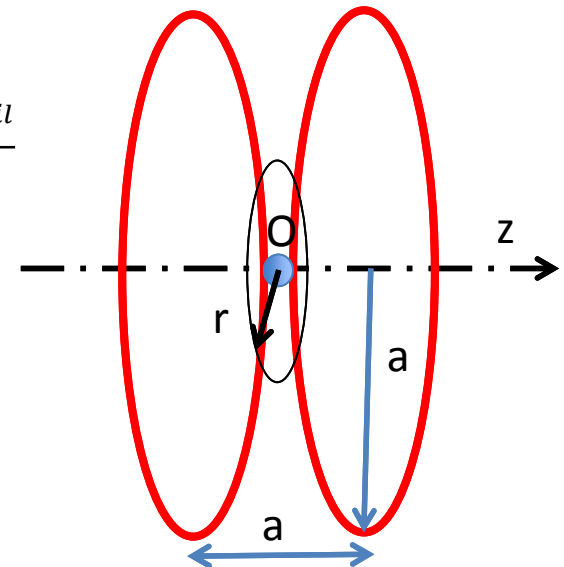
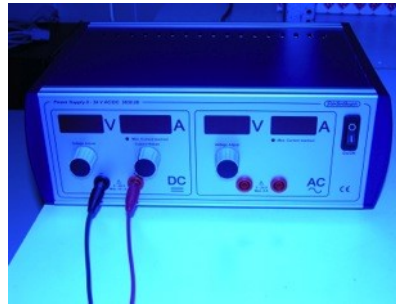
E' noto (Fisica II ) che mettendo 2 spire di raggio  $a$  poste a distanza  $a$  si ottiene un campo "uniforme"

Per le nostre bobine (130 spire,  $a=15.8$  cm)  
 $B_z^{\text{MAX}}(\text{T}) = 7.40 \cdot 10^{-4} I_{\text{coil}}(\text{A})$

Andamento Teorico:

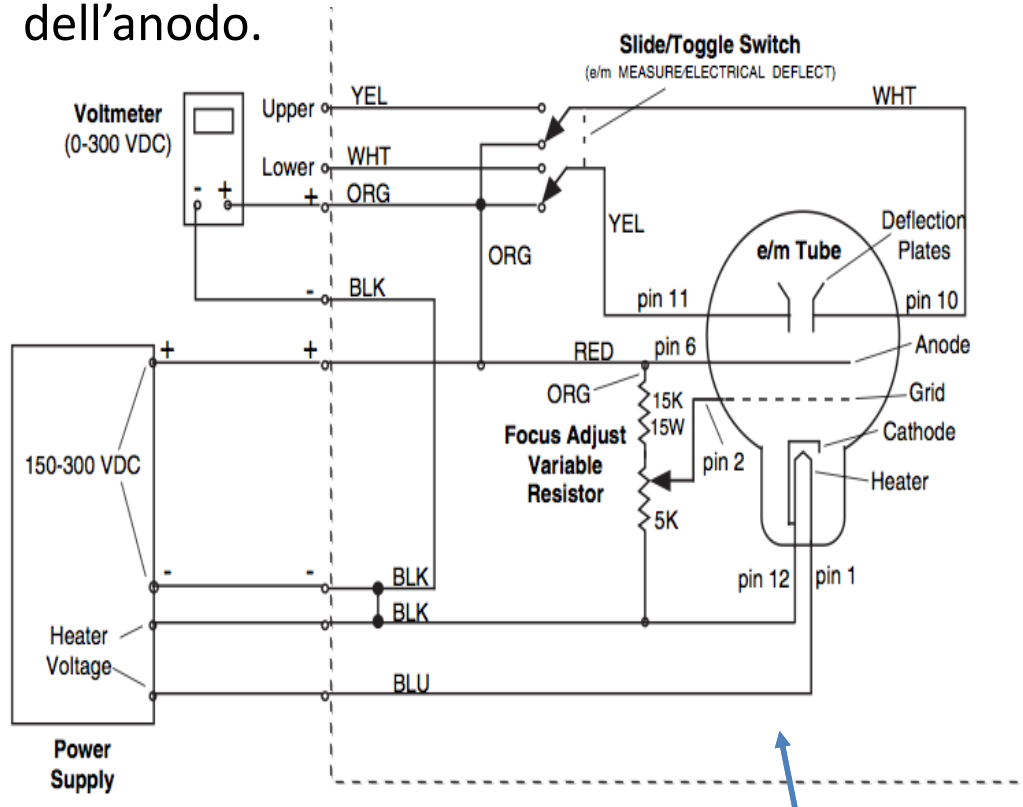


$$B = \frac{\left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \mu_0 N I_{\text{coil}}}{a}$$

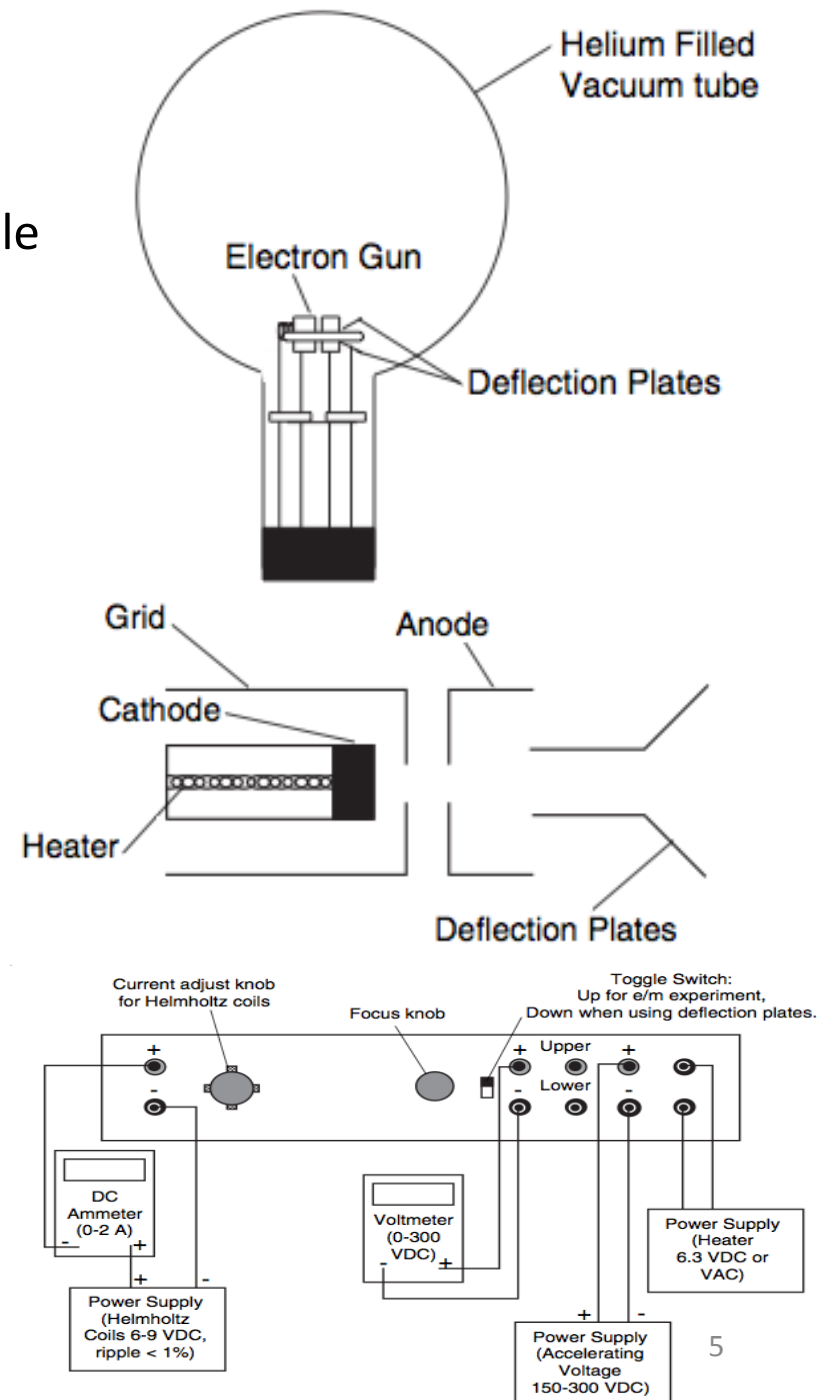


# Il tubo catodico

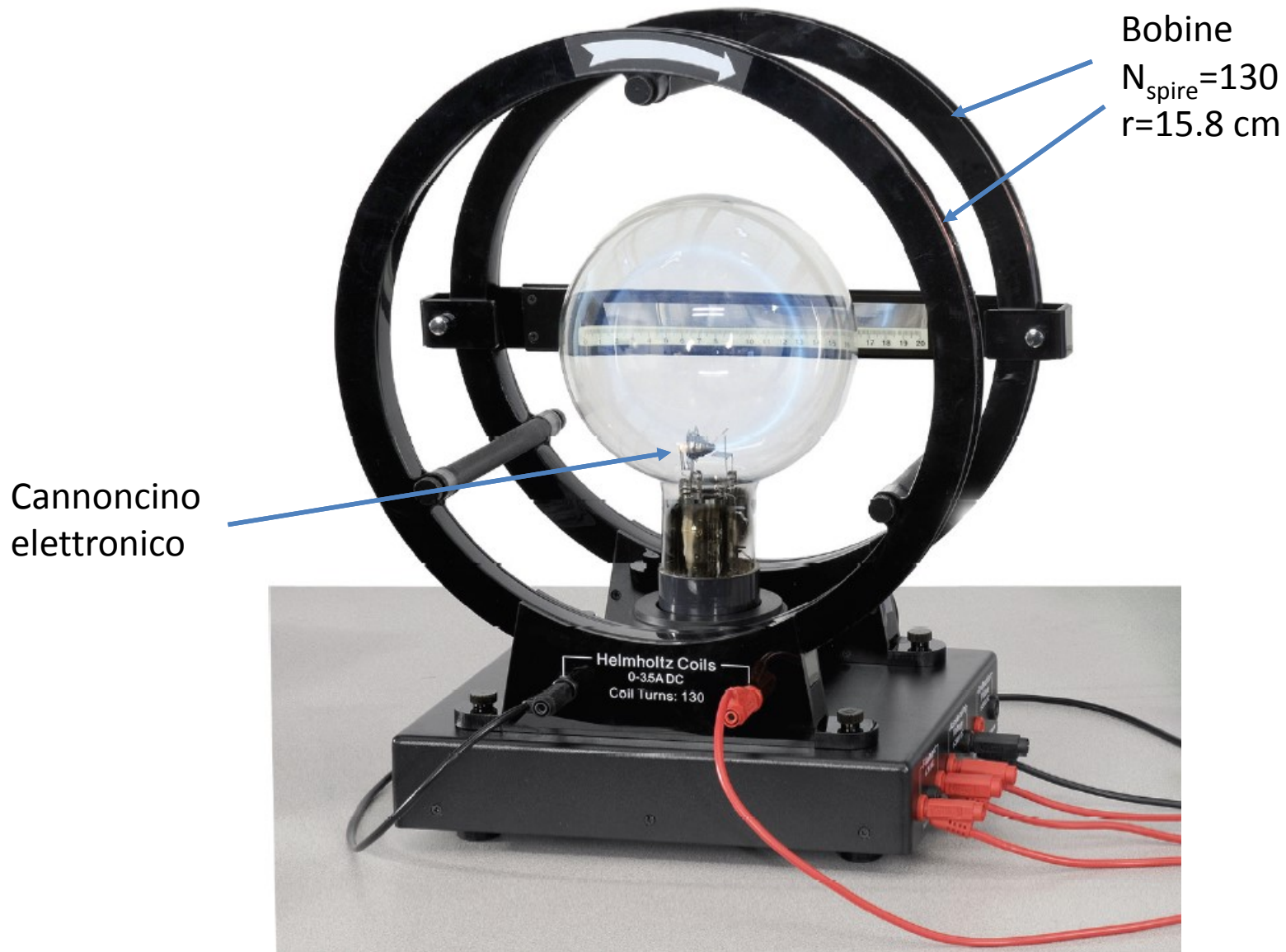
Posizionare lo switch su e/m: le placche di deflessione vengono messe allo stesso potenziale dell'anodo.



NB: il tubo che userete non ha il focus



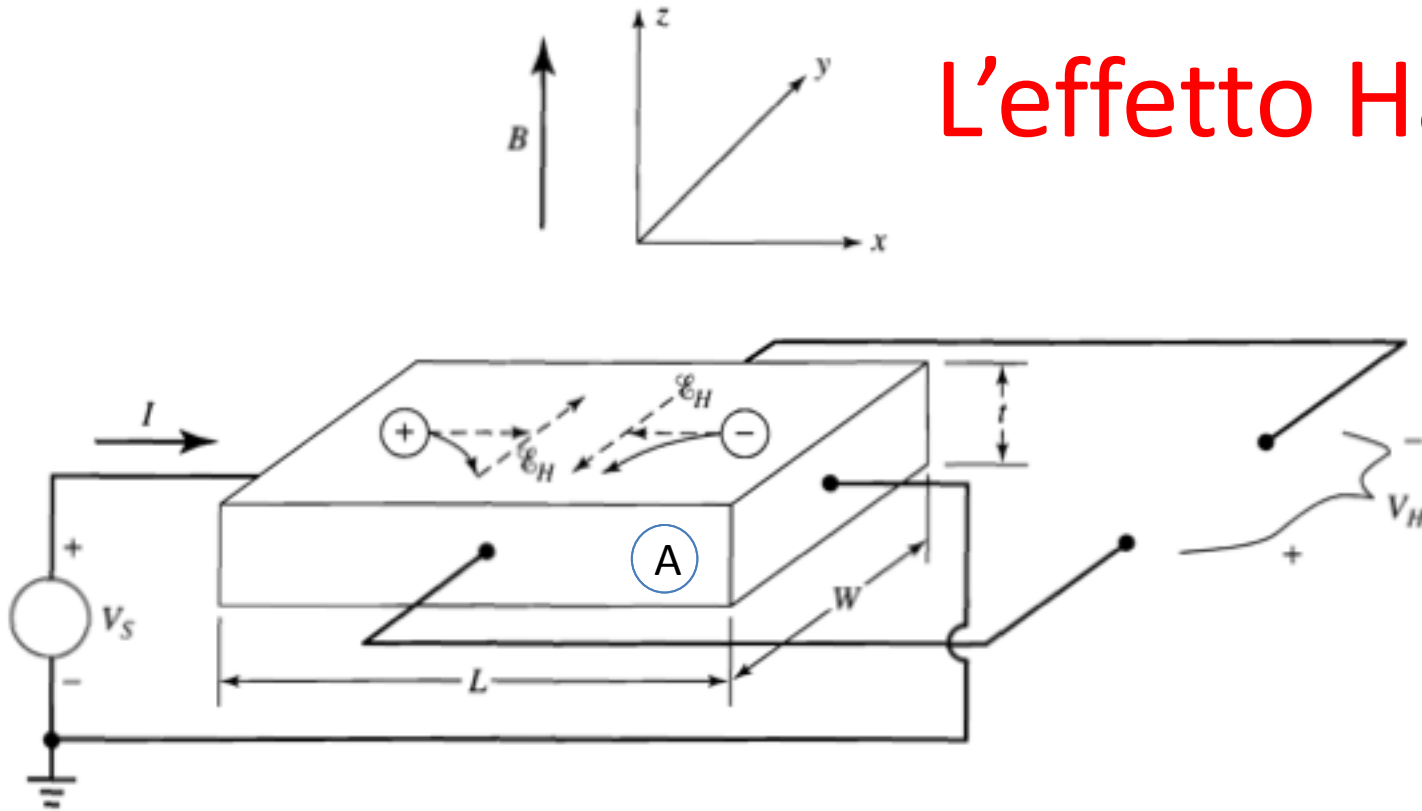
# Bobine di Helmholtz con il bulbo



# Fasi dell'esperienza

1. Orientazione delle bobine rispetto al campo mag. terrestre (l'apparecchiatura è appoggiata su una base rotante)
2. Mappatura del campo magnetico  $B_z$  generato dalle bobine mediante sonda ad effetto Hall
3. Posizionamento della macchina fotografica
4. Acquisizione della foto della traiettoria degli  $e^-$  al variare di  $V_{acc}$  ( $150 \rightarrow 300$  V) e  $I_{coil}$
5. Misura del raggio della traiettoria (fit cerchio o intercetta normali a 2 corde) dalla digitizzazione delle immagini
6. Correzione per effetto di geom. proiettiva
7. Analisi dati: ricavare  $\langle e/m \rangle$  con l'errore stat.
8. Valutazione effetti sistematici

# L'effetto Hall



Supponiamo di avere un semiconduttore leggermente drogato  $n$ . I portatori (maggioritari) vengono deflessi dalla forza di Lorentz  $\mathbf{F}_L = q \mathbf{v} \times \mathbf{B}$  in dir  $-y$ .

Nello stato stazionario si stabilisce un campo elettrico  $\parallel y$ ,  $E_H = V_H/W$  che annulla la forza magnetica, in modo da avere  $v_{el} \parallel x$ :

$$-e V_H/W = -e v_{el} B_z$$

$$J = n (-e) v_{el} = I/(Wt)$$

$$V_H = -I B_z / (e n t) < 0$$

N.B.: drogaggio tipico  $\sim 10^{15} \text{ cm}^{-3}$

Nel caso di drogaggio  $p$ :

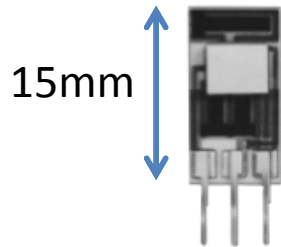
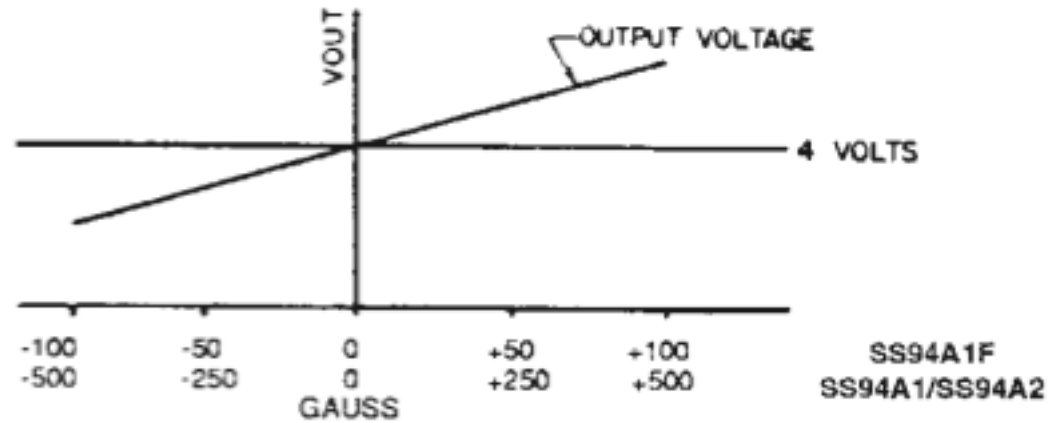
$$e V_H/W = e v_h B_z$$

$$J = p e v_h = I/(Wt)$$

$$V_H = I B_z / (e p t) > 0$$



# Il sensore a effetto Hall



Sensibile alla componente di **B** ortogonale al piano del sensore.

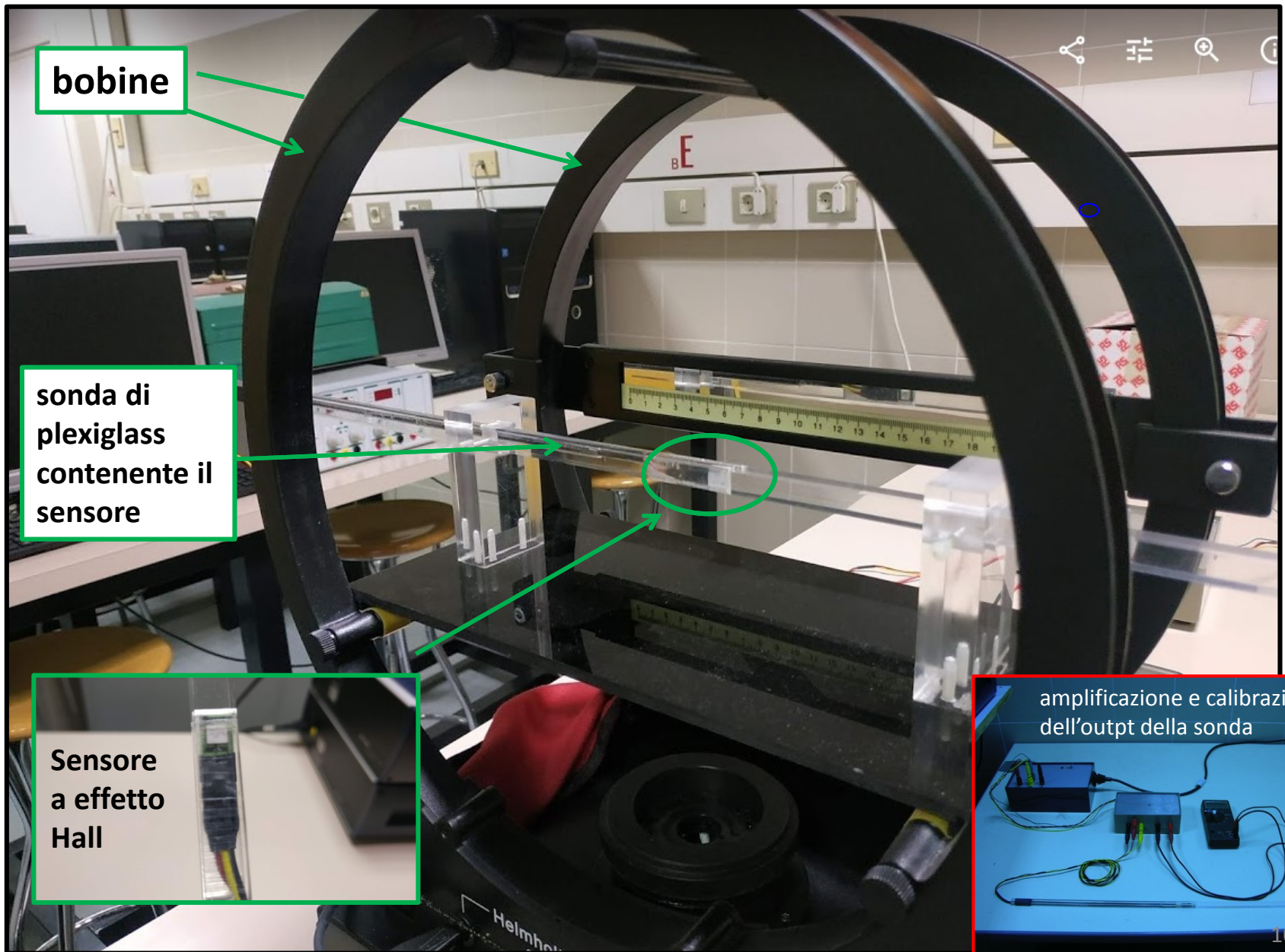
## FEATURES

- Single current sinking or current sourcing linear output
- Improved temperature stability
- Three pin in-line printed circuit board terminals
- Standard .100" mounting centers
- Laser trimmed thin film and thick film resistors minimize sensitivity variations and compensate for temperature variations
- Flux range of  $\pm 100$  to  $\pm 2500$  gauss

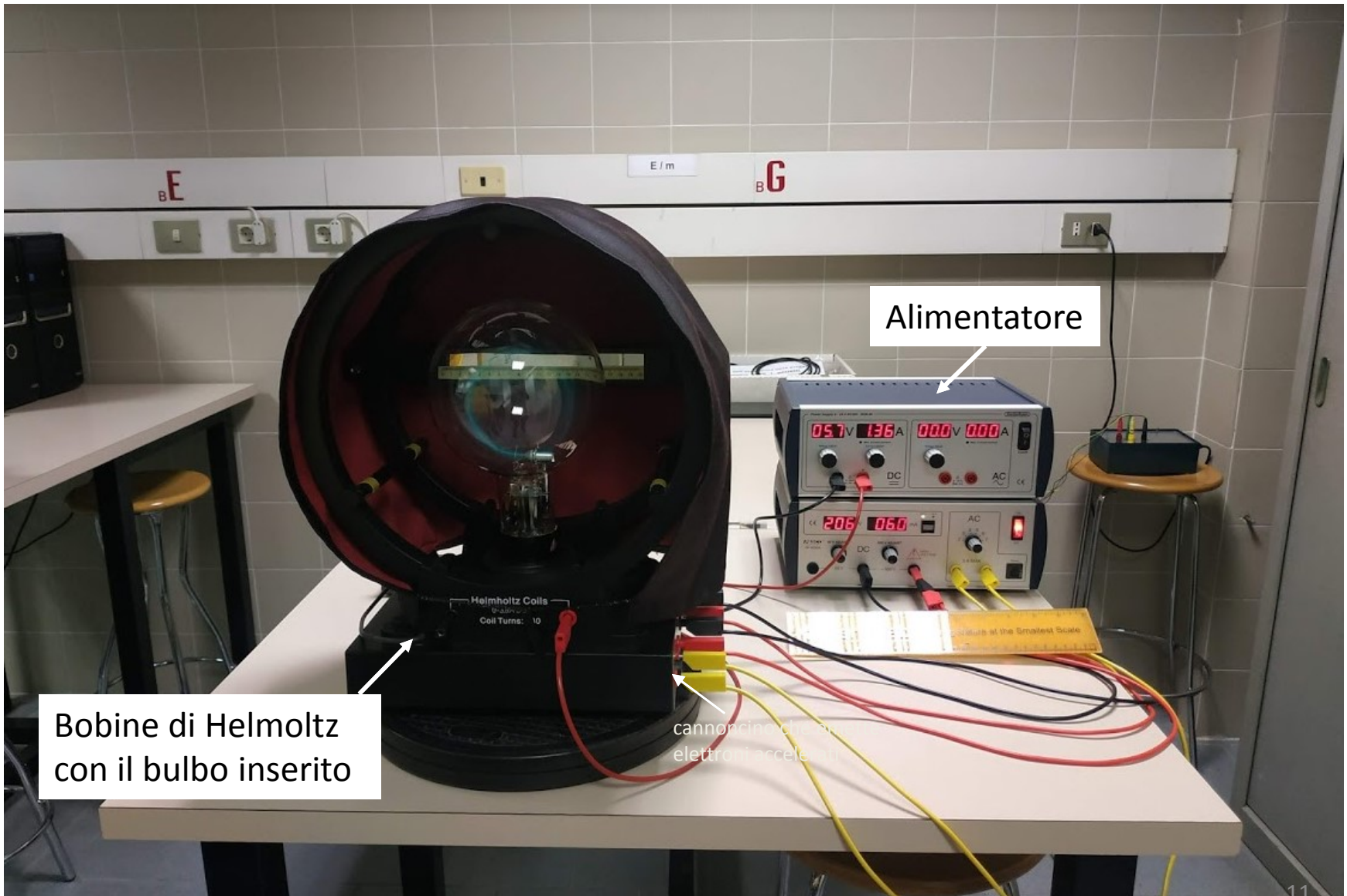
L'uscita della sonda è amplificata con guadagno  $G = 11.1 \pm 0.1$  e letta da un voltmetro

Catalog Listing	SS94A1
Main Feature	Gen. purpose
Supply Voltage (VDC)*	6.6 to 12.6
Supply Current (mA)**	13 typ. 30 max.
Output Current (mA) Sinking or Sourcing	1 max.
Response Time ( $\mu$ sec.)	3 typ.
Magnetic Characteristics*** Span*	.625 $V_s$
Range (gauss)*	-500 to +500
Sensitivity (mV/gauss @ 25°C)	5.0 $\pm$ .1
Linearity† (% span)	-0.8 typ. -1.5 max.
Vout (0 gauss @ 25°C)***	4.00 $\pm$ .04V
Temperature Error (all %s reference 25°C value)*	
Null (%/°C)	$\pm$ .02
Gain (%/°C)	$\pm$ .02

# La sonda



# Apparato





# Alimentatore

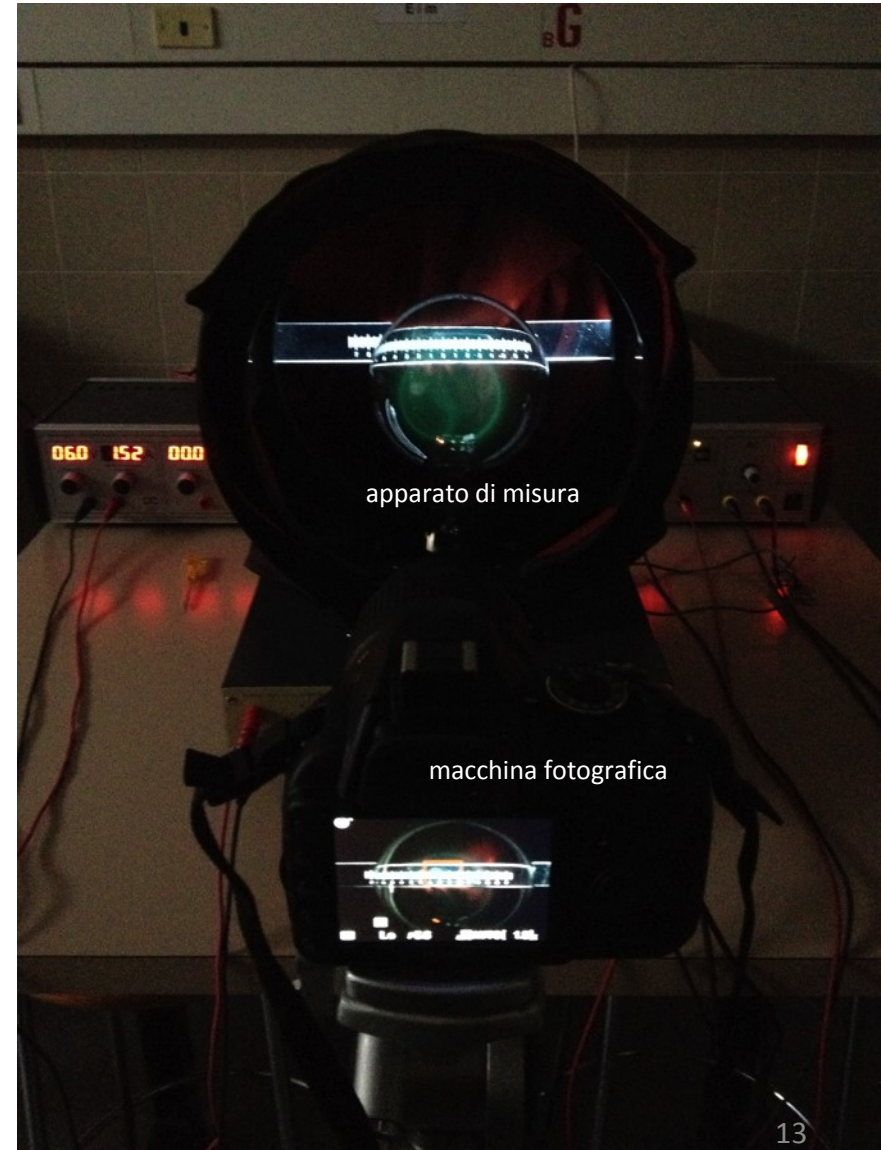
Corrente che  
attraversa le spire  
delle bobine



Tensione che  
accelera gli  
elettroni

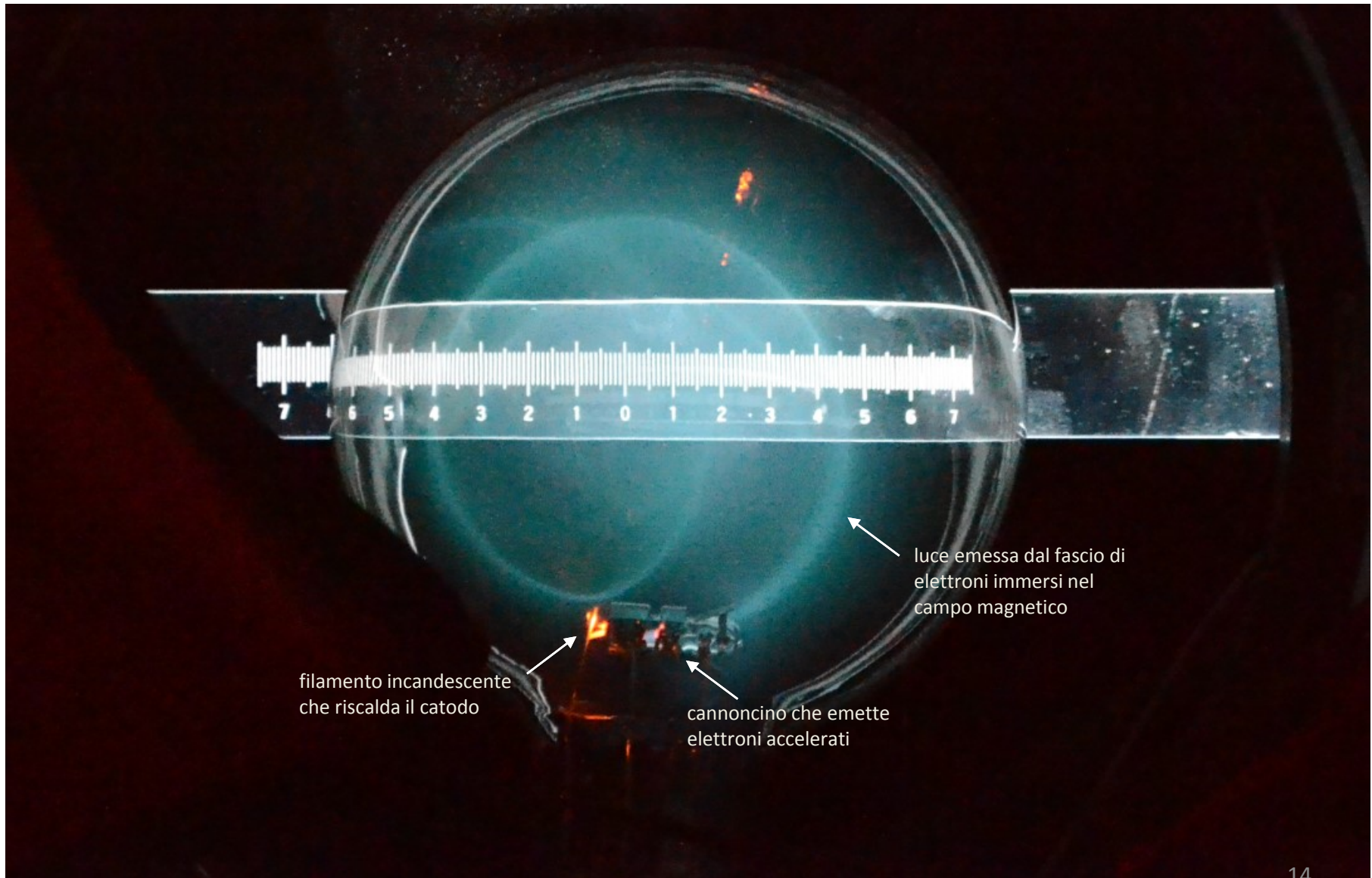
Tensione alternata che  
riscalda il filamento a  
contatto con il catodo

# Macchina Fotografica



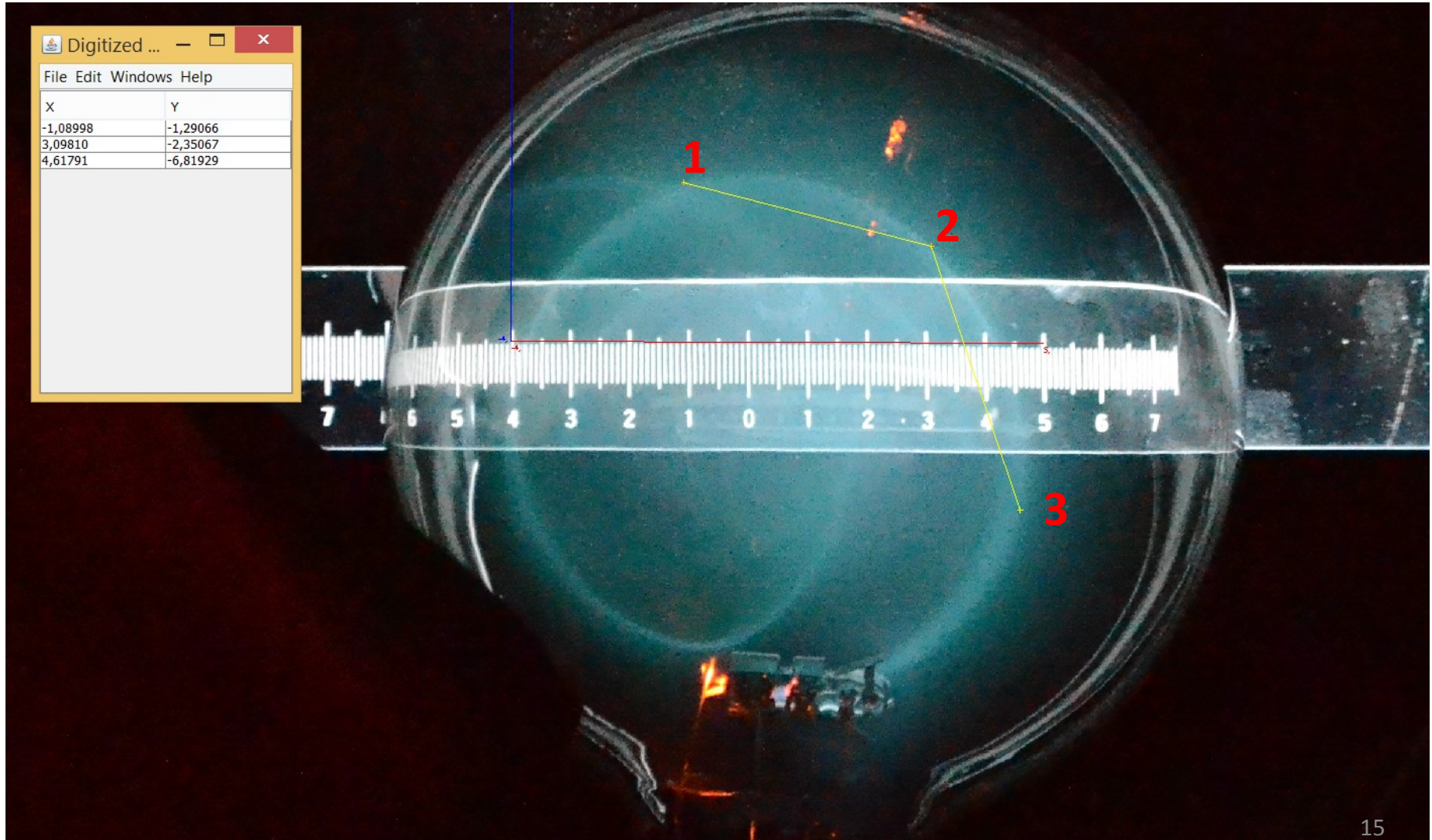


# Acquisizione tipica

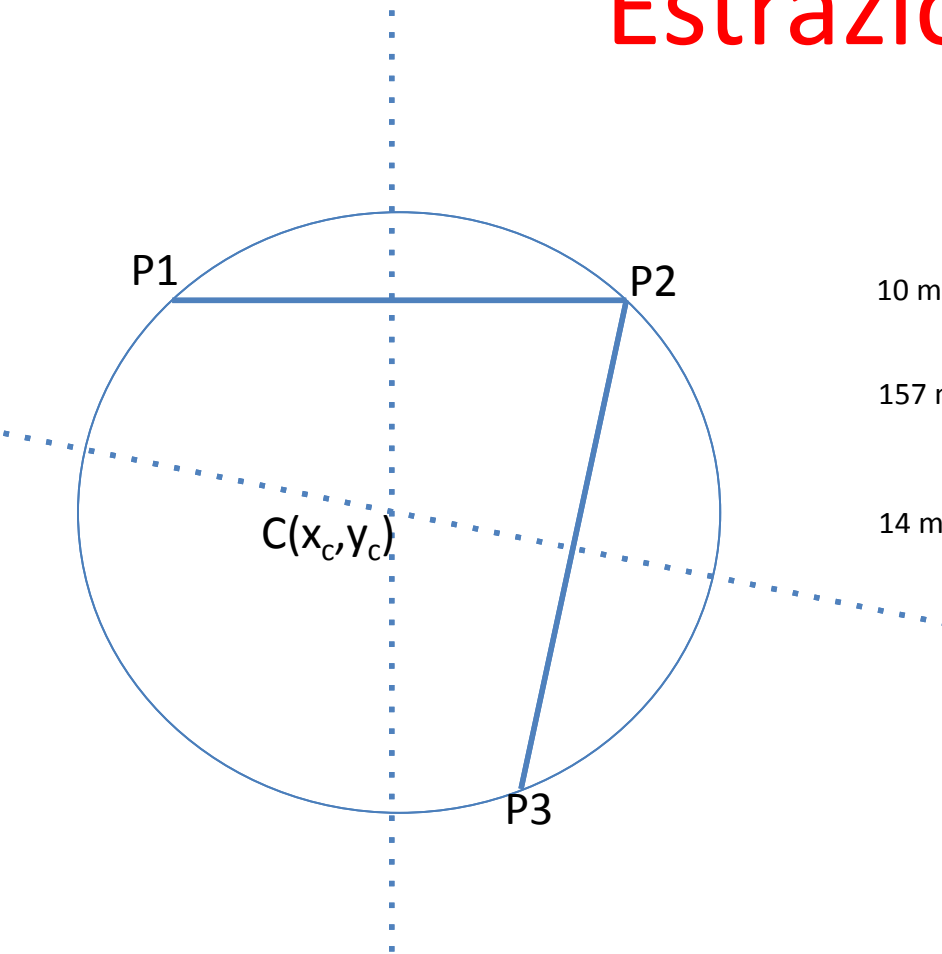


# Digitizzazione delle immagini

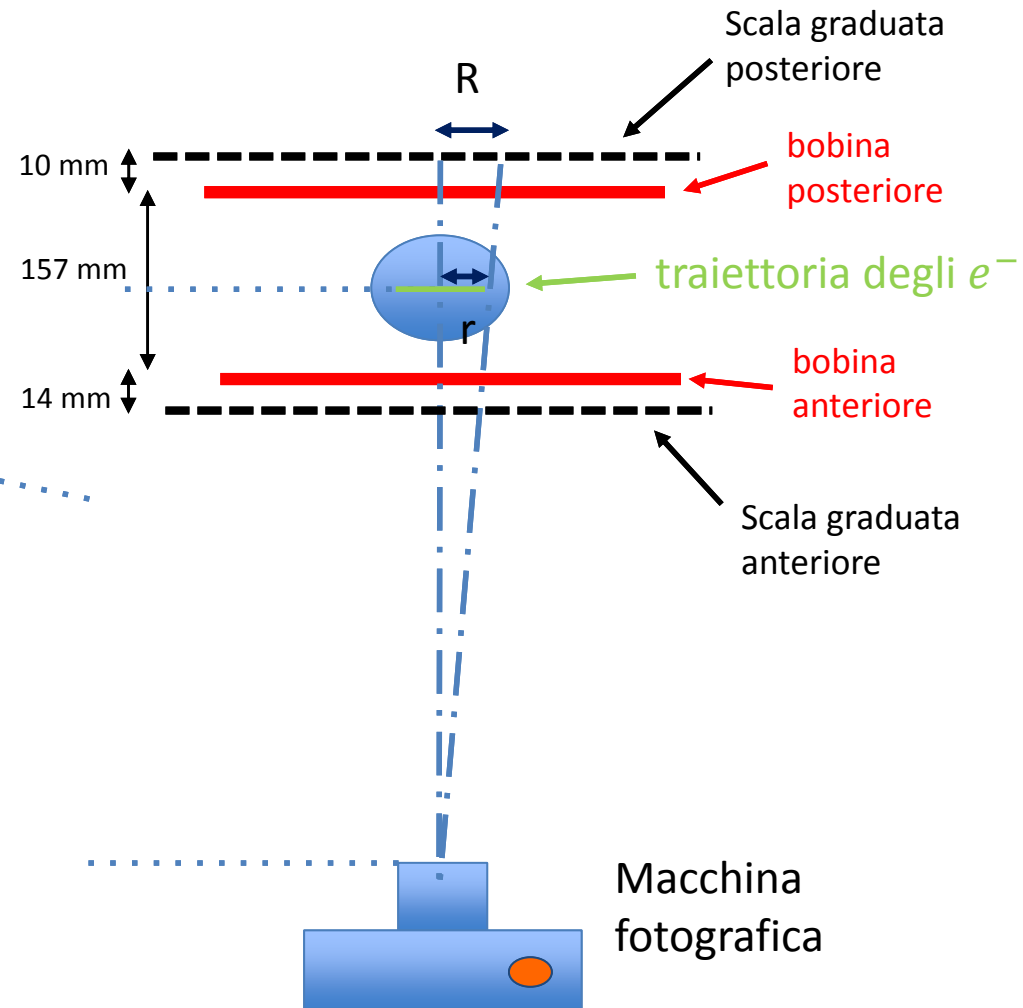
esempio con plotdigitizer



# Estrazione di r

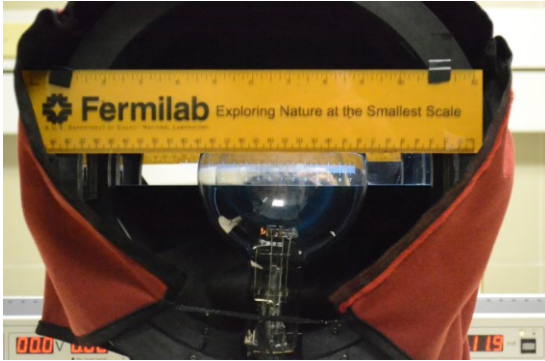


Metodo delle 2 corde:  
trovato il centro C come intersezione  
delle rette normali,  
$$R^2 = 1/3 * \sum_{i=1,2,3} [(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2]$$





# Correzioni e effetti sistematici



L'effetto discusso nella pagina precedente si può quantificare confrontando le scale graduate poste davanti e dietro il bulbo.

## Alcuni effetti sistematici da valutare

- Larghezza della traiettoria degli elettroni
- Incertezza sulla misura di  $V_{acc}$  e  $I_{coil}$  ( $V_{acc}$ : 1V;  $I_{coil}$ : 1% + 2 digits)
- Effetto distorcente del vetro del bulbo
- Effetto del campo magnetico terrestre
- Non uniformità del campo generato dalle bobine di Helmholtz (pag. 4)
- Eventuali altri effetti che ritenete possano essere rilevanti

Alcuni contributi risulteranno importanti, altri trascurabili

Vi verrà data una scheda dell'esperienza con le informazioni utili a svolgere l'analisi dei dati acquisiti e a impostare la relazione