

# **POLARIMETRO effetto Faraday**

**Esperienza effettuata il giorno 23 gennaio 1997 da  
Maurizio Antonelli  
Rosa De Matteis  
Myra Cardellina**



Some rights reserved: <http://www.maury.it#licenza>

### Scopo dell'esperienza:

Determinazione della costante di Verdet di un cilindro di vetro.

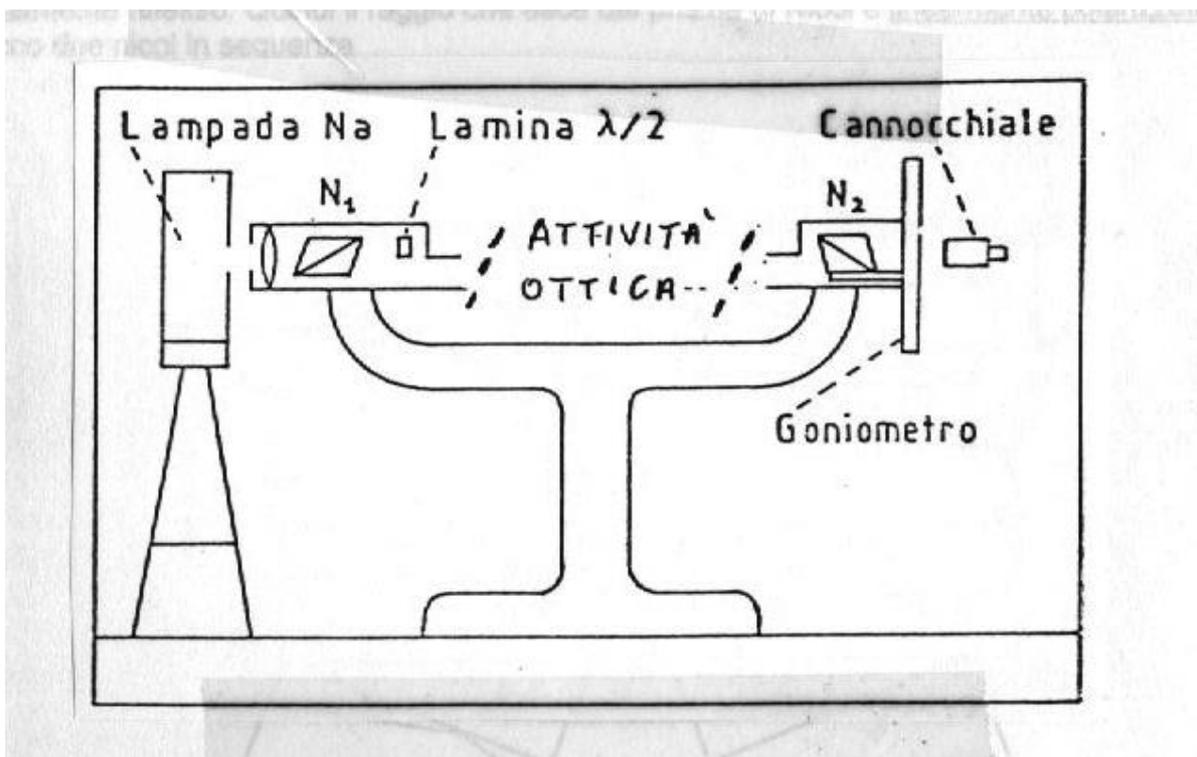
### Strumenti a disposizione:

- 1) Polarimetro a penombra di Laurent
- 2) Lampada al sodio
- 3) Cilindro di vetro
- 4) Solenoide
- 5) Alimentatore
- 6) Amperometro

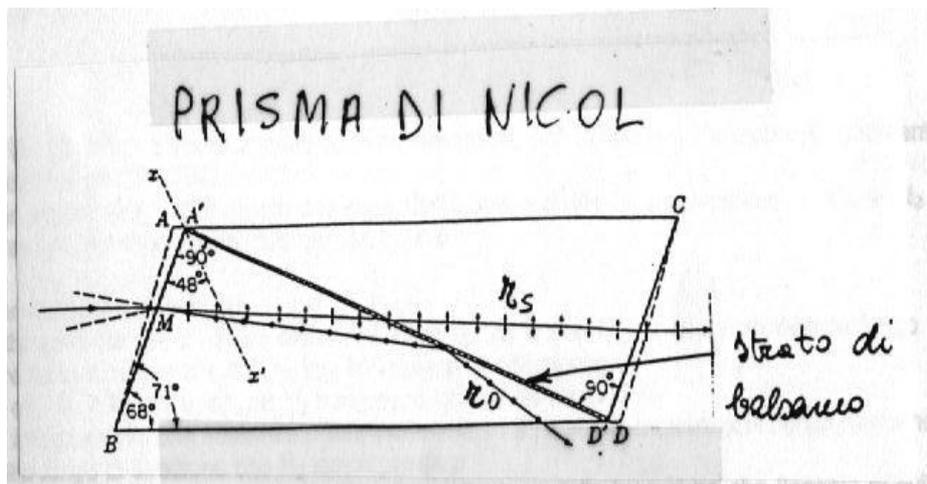
### Descrizione degli strumenti:

Il **polarimetro di Laurent** è uno strumento con cui è possibile misurare l'angolo di rotazione del piano di polarizzazione di luce linearmente polarizzata.

Ecco un disegno schematizzato di un polarimetro simile a quello usato per effettuare l'esperienza.



N1 nicol polarizzatore; N2 nicol analizzatore.  
Il goniometro misura la posizione angolare di N2.

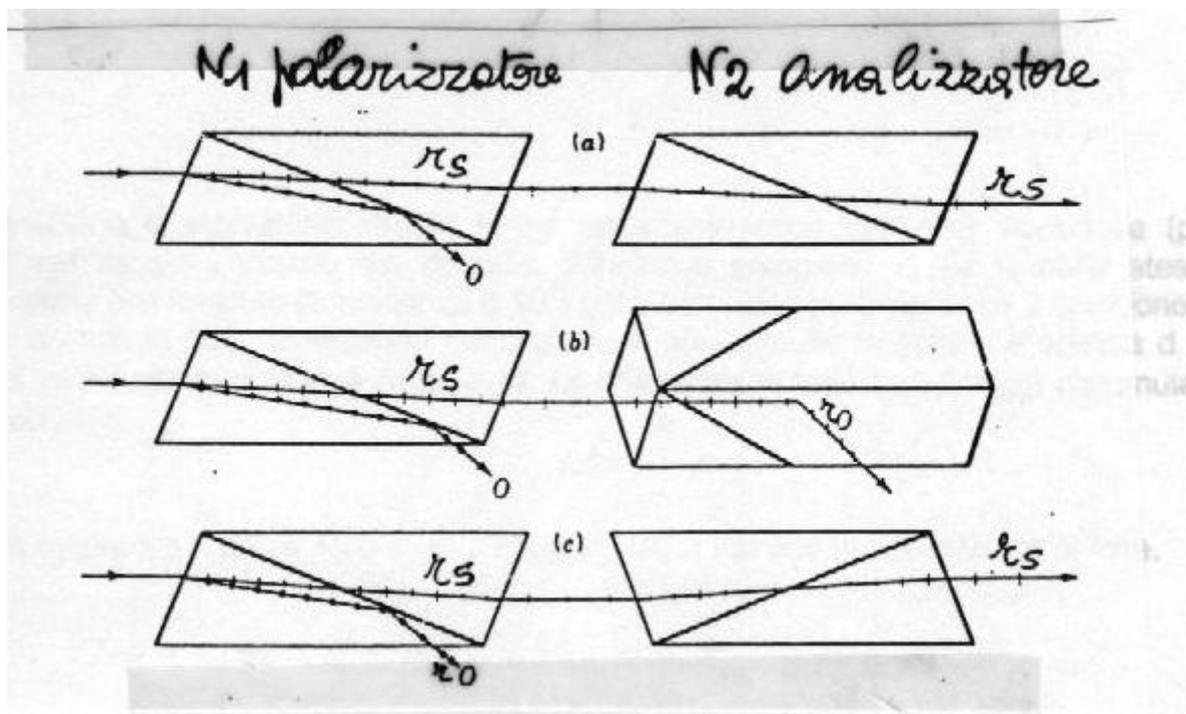


Questo in figura è un **PRISMA DI NICOL**. E' formato con un cristallo di calcite opportunamente tagliato. Il cristallo viene diviso in 2 parti e incollato con balsamo del Canada.

Per la luce del sodio (5893 Å), che noi abbiamo usato, gli indici di rifrazione sono:  
 nella calcite  $N_o = 1.66$  ed  $N_s = 1.49$  ;                      nel balsamo  $N_g = 1.55$

Il raggio incidente si divide, entrando nel cristallo, in  $r_o$  ed  $r_s$  che si propagano in 2 direzioni diverse e sono polarizzati in piani ortogonali. Alla superficie di separazione cristallo-balsamo  $r_s$  passa da un mezzo meno rifrangente ad uno più rifrangente, viene quindi rifratto nel balsamo, poi rifratto nella seconda metà del cristallo, poi esce;  $r_o$ , invece, incontra un mezzo più rifrangente ed incide con un angolo maggiore dell'angolo limite e quindi viene totalmente riflesso. Quindi il raggio che esce dal prisma di Nicol è linearmente polarizzato.

Ecco due nicol in sequenza



In (a) e (c) i 2 nicol sono paralleli; il raggio che esce da  $N_1$  forma già  $r_s$  per  $N_2$ , segue che passa totalmente.

In (b) i 2 nicol sono incrociati;  $r_s$  di  $N_1$  diventa  $r_o$  per  $N_2$  e quindi il raggio è totalmente riflesso e c'è l'ESTINZIONE.

Per angoli intermedi il raggio che esce da  $N_1$  viene diviso in 2 componenti  $r_o$  e  $r_s$  in  $N_2$  e passerà un'intensità che dipende dall'angolo.

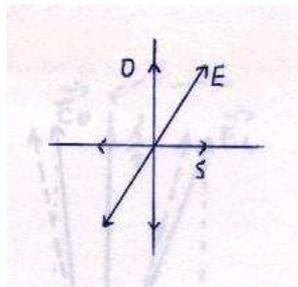
Torniamo al polarimetro.

Indicando con  $E_1$  il vettore ottico che esce da  $N_1$  e con  $N_{12}$  la sua componente lungo la direzione di vibrazione che  $N_2$  lascia passare, si otterrà che:

- 1) con  $N_1$  e  $N_2$  incrociati, da  $N_2$  non passa luce (si ha estinzione)
- 2) introducendo una sostanza otticamente attiva fra  $N_1$  ed  $N_2$  esisterà una componente non nulla lungo la direzione che  $N_2$  lascia passare
- 3) ruotando  $N_2$  fino ad ottenere di nuovo estinzione della luce si ha che l'angolo di cui è ruotato  $N_2$  è uguale all'angolo di cui è ruotato il piano di polarizzazione.

La determinazione della posizione angolare di  $N_2$  per cui si ha estinzione è poco precisa da effettuarsi ad occhio nudo. Si aumenta così la sensibilità con una lamina a mezz'onda.

Una **lamina a mezz'onda** è una lastrina di cristallo birfrangente tagliata con le facce parallele all'asse ottico. Quando un raggio linearmente polarizzato incide ortogonalmente su una faccia della lamina,

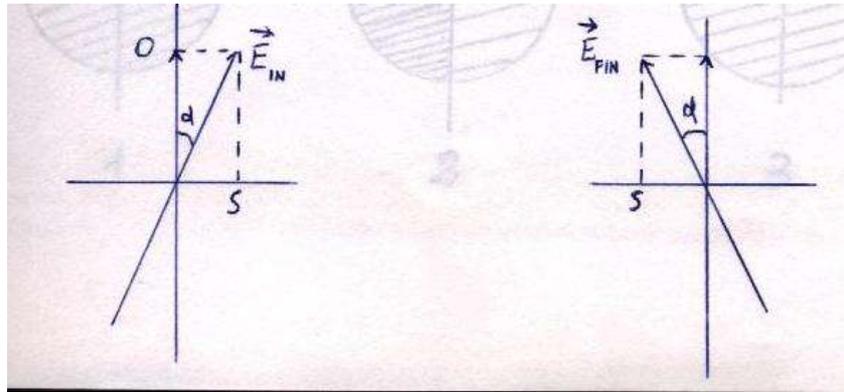


se  $n_o < n_s$   
 si ha  $v_o > v_s$

la sua direzione di vibrazione iniziale forma un angolo  $\alpha$  con quella di vibrazione (per esempio) del raggio ordinario del cristallo. All'interno viaggiano  $r_o$  ed  $r_s$  nella stessa direzione (dato che l'angolo di incidenza è  $90^\circ$ ) però con velocità diverse. Le 2 componenti che sono entrate in fase, avanzando nel cristallo si sfasano. Se la lamina è spessa  $d$ , la differenza fra i 2 cammini ottici è  $\Delta = (n_o - n_s)d$ . La differenza di fase fra i 2 raggi accumulata nello spessore è:

$$\Delta\Phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta$$

Se questa differenza è pari a  $+\pi$  o a  $-\pi$  i 2 raggi in uscita vibrano in opposizione di fase.



Ricomponendosi in uscita danno un vettore ruotato; segue che dalla seconda faccia della lamina esce un raggio linearmente polarizzato con piano di vibrazione ruotato di  $2\alpha$  rispetto a quello entrante. Perché questo accada lo spessore della lamina deve essere tale per cui

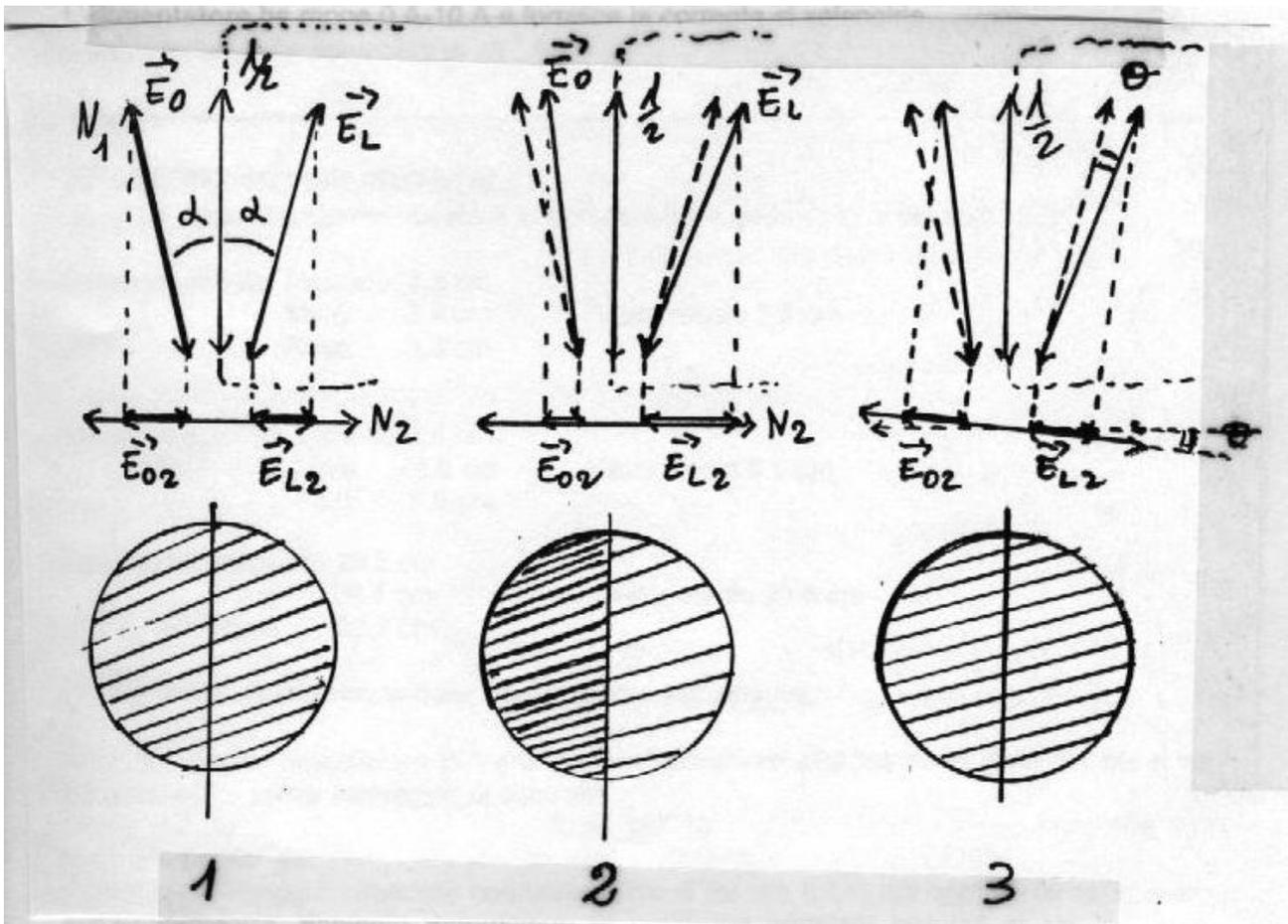
$$\frac{2\pi}{\lambda} (n_o - n_s) d = \pi + 2k\pi$$

da cui segue che

$$d = \frac{1}{n_o - n_s} * \frac{\lambda}{2} + k\lambda \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

quindi una data lamina può essere a  $\frac{\lambda}{2}$  solo per una data  $\lambda$ .

La lamina a mezz'onda nel polarimetro usato copre solo una parte del fascio di luce ed il suo asse forma con la direzione di vibrazione che lascia passare  $N_1$  un angolo  $\alpha$  molto piccolo cosicché la luce che ha attraversato la lamina ha un vettore ottico che forma un angolo  $2\alpha$  con quello della luce che non l'ha attraversata.



$E_0$  è il vettore ottico della luce che esce da  $N_1$ ;  $E_L$  è il vettore ottico della luce che ha attraversato anche  $N_2$ .

1) Si sceglie come posizione di riferimento quella per cui la zona non coperta dalla lamina e quella coperta vengono viste con la stessa debole intensità luminosa, EQUIPENOMBRA,  $N_2$  deve essere ortogonale alla bisettrice dell'angolo fra  $E_0$  ed  $E_L$ .

2) Inserendo la sostanza otticamente attiva fra  $\lambda/2$  ed  $N_2$ , il piano di polarizzazione del vettore ottico che non è passato dalla lamina e quello del vettore che è passato ruotano dello stesso angolo ( $E_0$  ed  $E_L$  ruotano mantenendo fra loro un angolo  $2\alpha$ ) e le due zone vengono viste con intensità luminose diverse.

3) Si ruota  $N_2$  fino ad avere di nuovo equipenombra; l'angolo di cui è ruotato  $N_2$  è lo stesso di cui è ruotato il piano di polarizzazione.

La posizione angolare di riferimento (equipenombra) si trova con più precisione della posizione di estinzione: è una posizione di "equilibrio instabile": ruotando di poco  $N_2$  una delle 2 zone diventa più o meno luminosa dell'altra.

La **lampada al sodio** manda la luce ad una lunghezza d'onda  $\lambda = 5893 \text{ \AA}$ .

Il **cilindro di vetro** è lungo 16 cm ed è montato all'interno del solenoide. E' la sostanza otticamente attiva.

Il **solenioide** è formato da 90 strati di 12 spire ognuno. Genera il campo magnetico che attiva il vetro del cilindro.

L'alimentatore ha range 0 A-10 A e fornisce la corrente al solenoide.

L'amperometro ha sensibilità di  $10^{-2}$  A.

## PROCEDIMENTO SPERIMENTALE

La prima fase consiste nel misurare le caratteristiche geometriche del solenoide.

Diametro interno: Maurizio 3.5 cm  
Myra 3.4 cm                      Valor medio 3.5 cm  
Rosa 3.5 cm

Diametro esterno: Maurizio 8.8 cm  
Myra 8.9 cm                      Valor medio 8.9 cm  
Rosa 8.9 cm

Lunghezza: Maurizio 20.5 cm  
Myra 20.7 cm                      Valor medio 20.6 cm  
Rosa 20.7 cm

In tutte le misure incertezza nulla all'ultima cifra significativa.

Abbiamo rilevato la posizione di "zero"  $\beta_0$ , corrispondente alla posizione di  $N_2$  per cui si ha equipenombra senza passaggio di corrente.

Maury  $167^{\circ}20'$

Rosa  $167^{\circ}10'$

Myra  $168^{\circ}40'$

Valor medio  $167^{\circ}43'$

Quindi alimentando il solenoide con varie correnti (passo 0.5A), per ogni corrente, rilevata sull'amperometro, abbiamo determinato la posizione angolare per cui si ha di nuovo equipenombra  $\beta_i$  (media di 3 determinazioni) e quindi l'angolo di rotazione  $\beta = \beta_i - \beta_0$ .

Il computer ha calcolato H in Oersted usando l'approssimazione di solenoide infinito a spessore nullo:

$$H(\text{Oersted}) = 4\pi \cdot 10^{-3} \frac{NI}{L}$$

N numero di spire

I corrente in A

L lunghezza solenoide in m

Intensità	Maury	Rosa	Myra	$\beta_0$	H	$\beta$
0	167,33	167,17	168,67	167,72	0	0,00
0,5	167,67	167,67	169,00	168,11	32,89	0,39
1	168,67	168,33	168,50	168,50	65,79	0,78
1,5	168,67	168,33	169,00	168,67	98,68	0,95
2	168,83	168,75	169,17	168,92	131,57	1,20
2,5	168,33	168,58	169,50	168,81	164,47	1,09
3	168,83	168,83	169,17	168,94	197,36	1,23
3,5	168,67	169,00	169,83	169,17	230,25	1,45
4	169,17	169,00	169,00	169,06	263,14	1,34
4,5	169,67	170,08	169,50	169,75	296,04	2,03
5	168,83	170,00	169,33	169,39	328,93	1,67
5,5	169,25	169,17	169,83	169,42	361,82	1,70

Come si vede dal grafico 1 l'andamento non risulta affatto lineare.

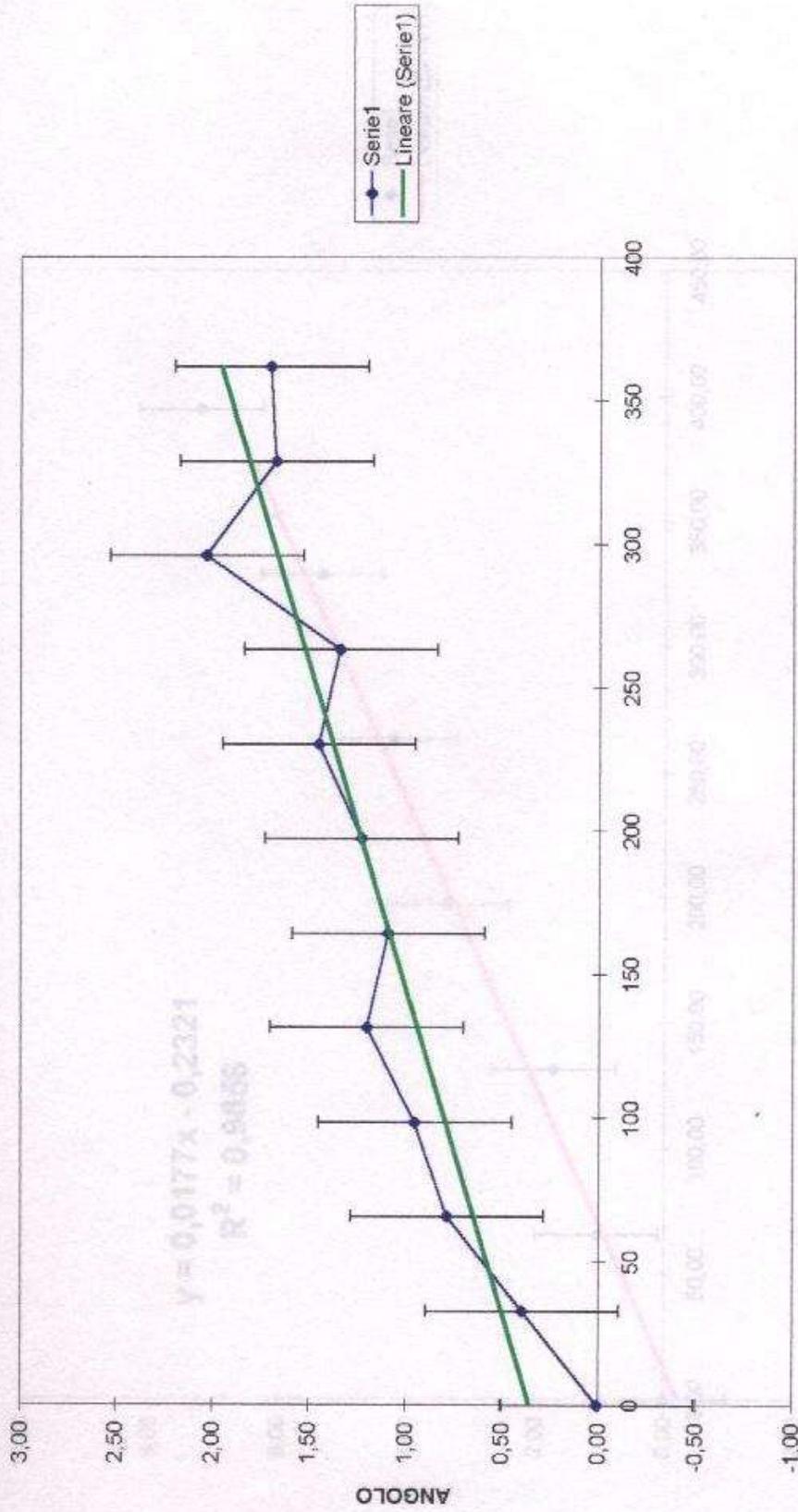
La causa di queste misure così poco precise è stata il fatto che prima di iniziare l'esperimento non abbiamo regolato la messa a fuoco dell'oculare del polarimetro.

Abbiamo quindi preso nuovamente le misure con i seguenti risultati:

Intensità	Maury	Rosa	Myra	angolo	campo	$\Delta$ angolo
0	178,55			178,55	0,00	0,00
1	177,50			177,50	65,79	1,05
2	176,83	176,83	176,83	176,83	131,57	1,72
3	175,42	175,17	175,00	175,19	197,36	3,36
4	174,37	174,40	174,33	174,37	263,14	4,18
5	173,52	173,20	173,00	173,24	328,93	5,31
6	171,35			171,35	394,72	7,20

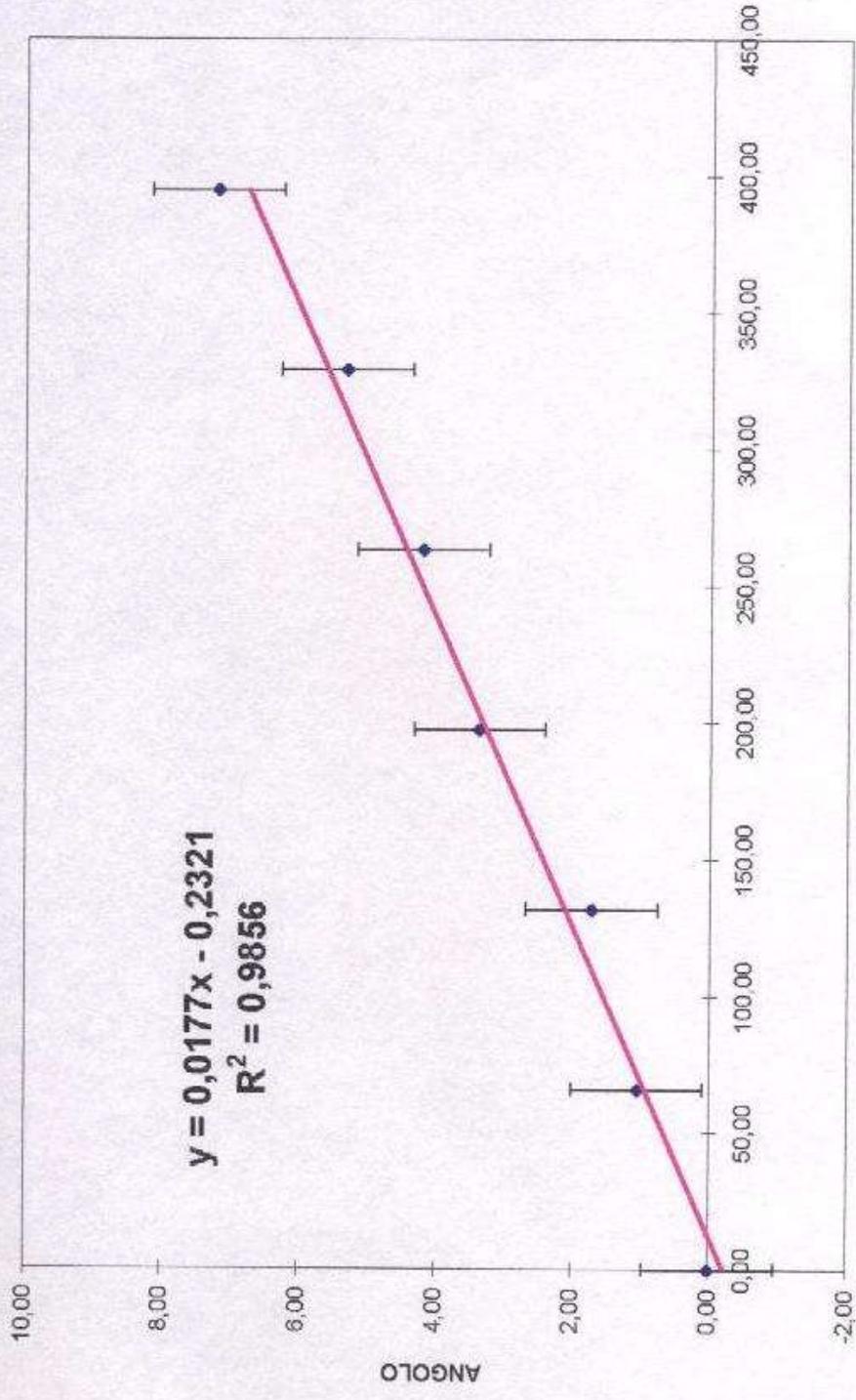
Come si vede dal secondo grafico, ora le misure sono state più lineari.  
 La deviazione standard di  $k\lambda$  è  $3 \cdot 10^{-6}$ .

### COSTANTE DI VERDET (misure errate)



CAMPO

### COSTANTE DI VERDET



CAMPO