

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.

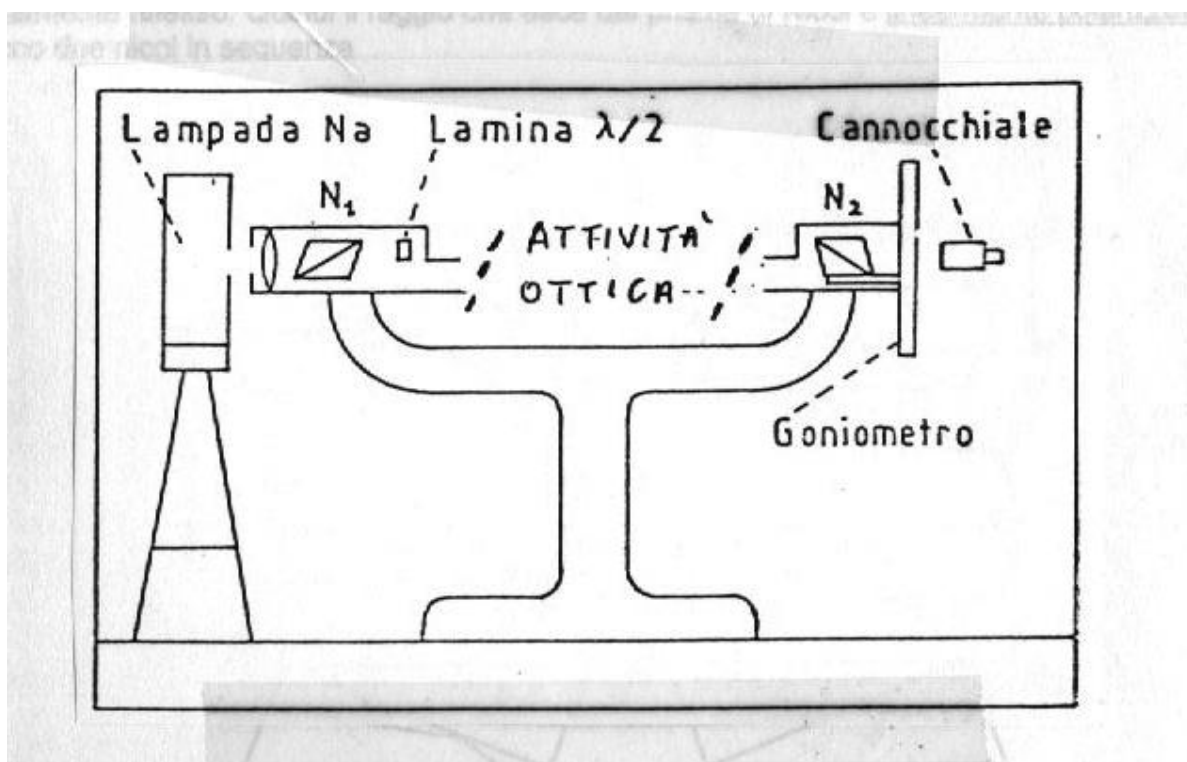
Strumenti a disposizione:

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

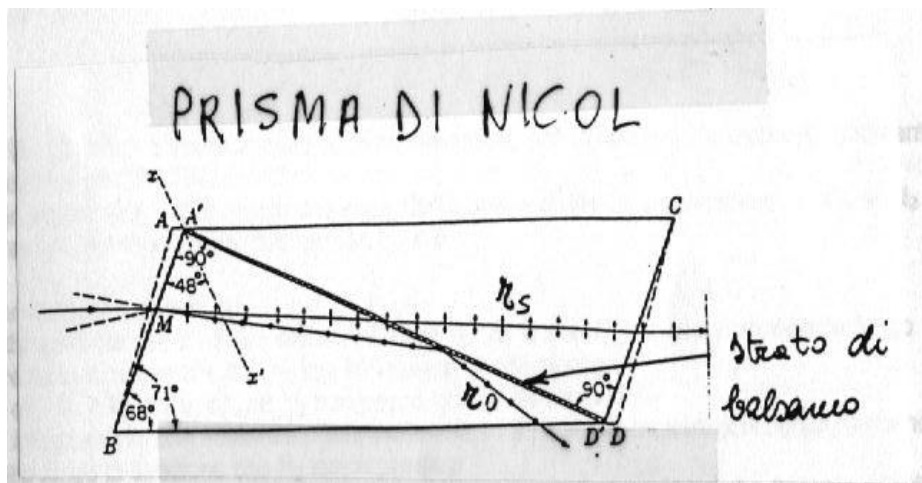
Descrizione degli strumenti:

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.

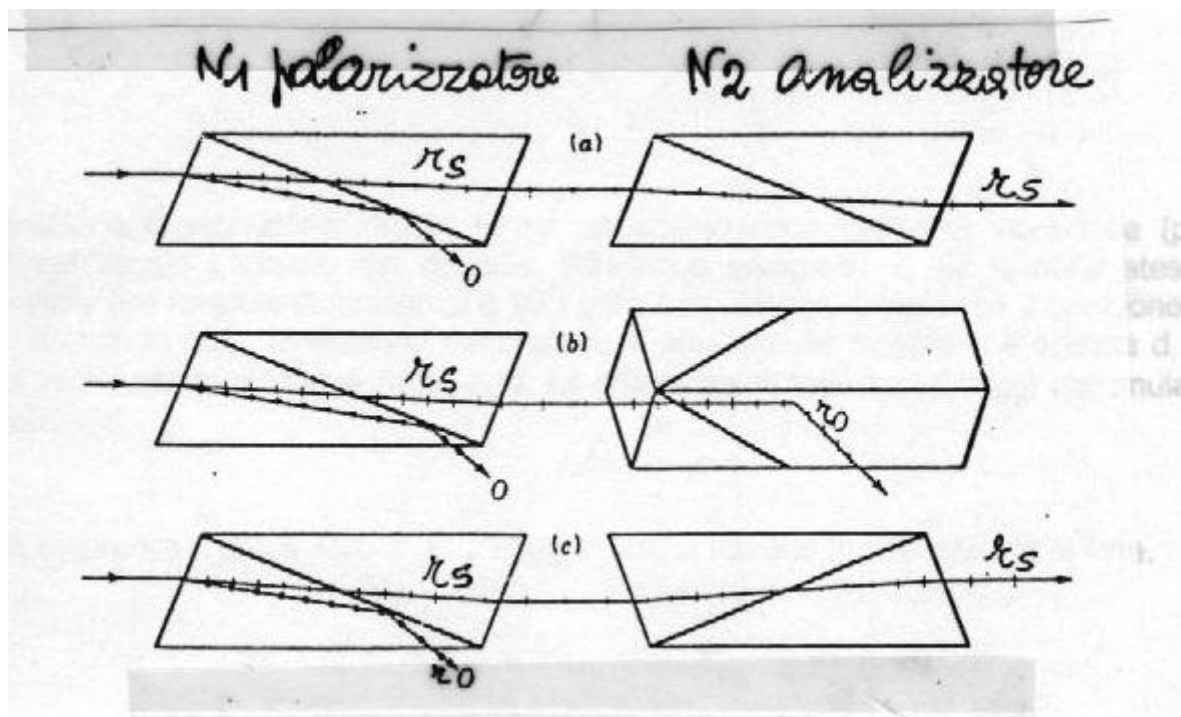


Questo in figura è un **PRISMA DI NICOL**. E' formato con un cristallo di calcite opportunamente tagliato. Il cristallo viene diviso in 2 parti e incollato con balsamo del Canada.

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.

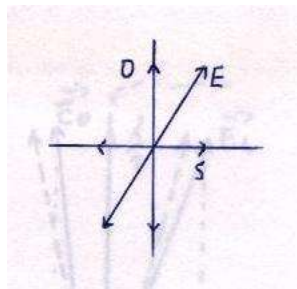
Torniamo al polarimetro.

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 birifrangente tagliata con le facce parallele all'asse ottico. Quando un raggio linearmente polarizzato incide ortogonalmente su una faccia della lamina,

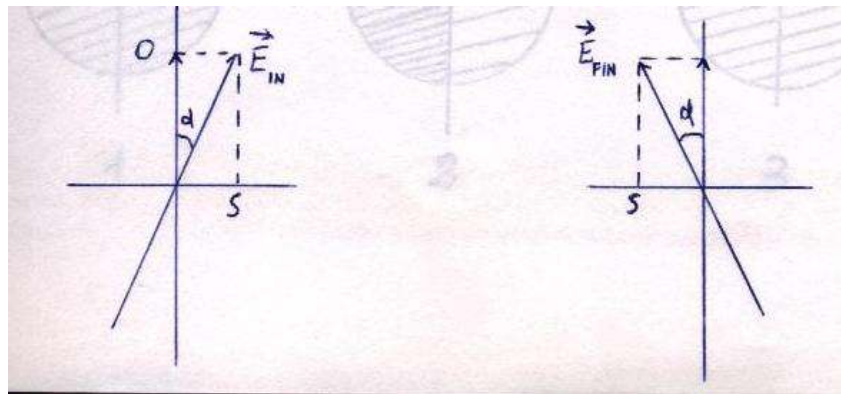


se $n_o < n_s$
si ha $v_o > v_s$

la sua direzione di vibrazione iniziale forma un angolo α 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°) 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 2α rispetto a quello entrante. Perché questo accada lo spessore della lamina deve essere tale per cui

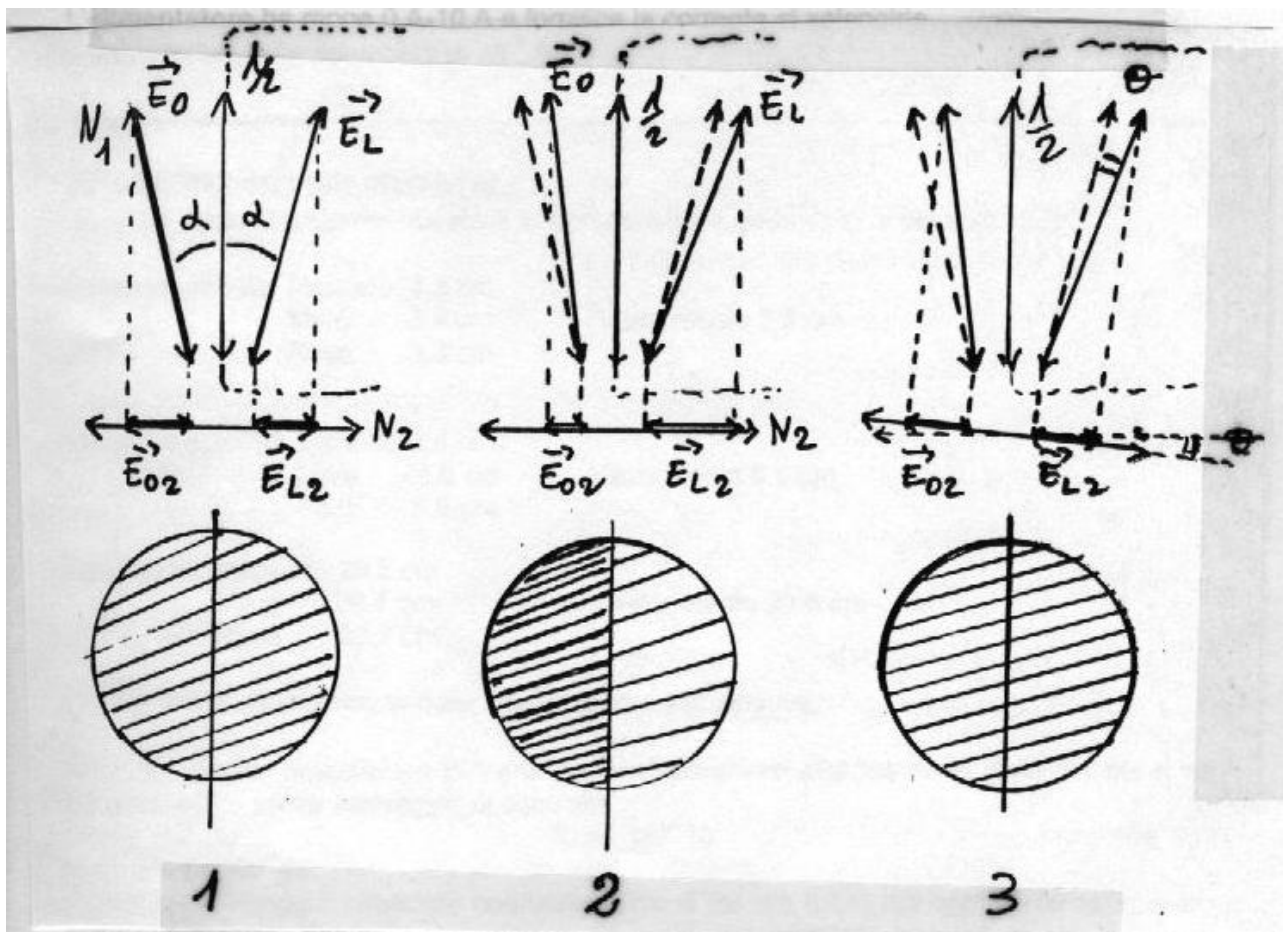
$$\frac{2\pi}{\lambda} (n_o - n_s) d = \pi + 2k\pi$$

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 λ .

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 α molto piccolo cosicché la luce che ha attraversato la lamina ha un vettore ottico che forma un angolo 2α 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 2α) 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 **solenoid** 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" β_0 , corrispondente alla posizione di N_2 per cui si ha equipenombra senza passaggio di corrente.

Maury 167°20'

Rosa 167°10'

Myra 168°40'

Valor medio 167°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 β_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	β_0	H	β
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.

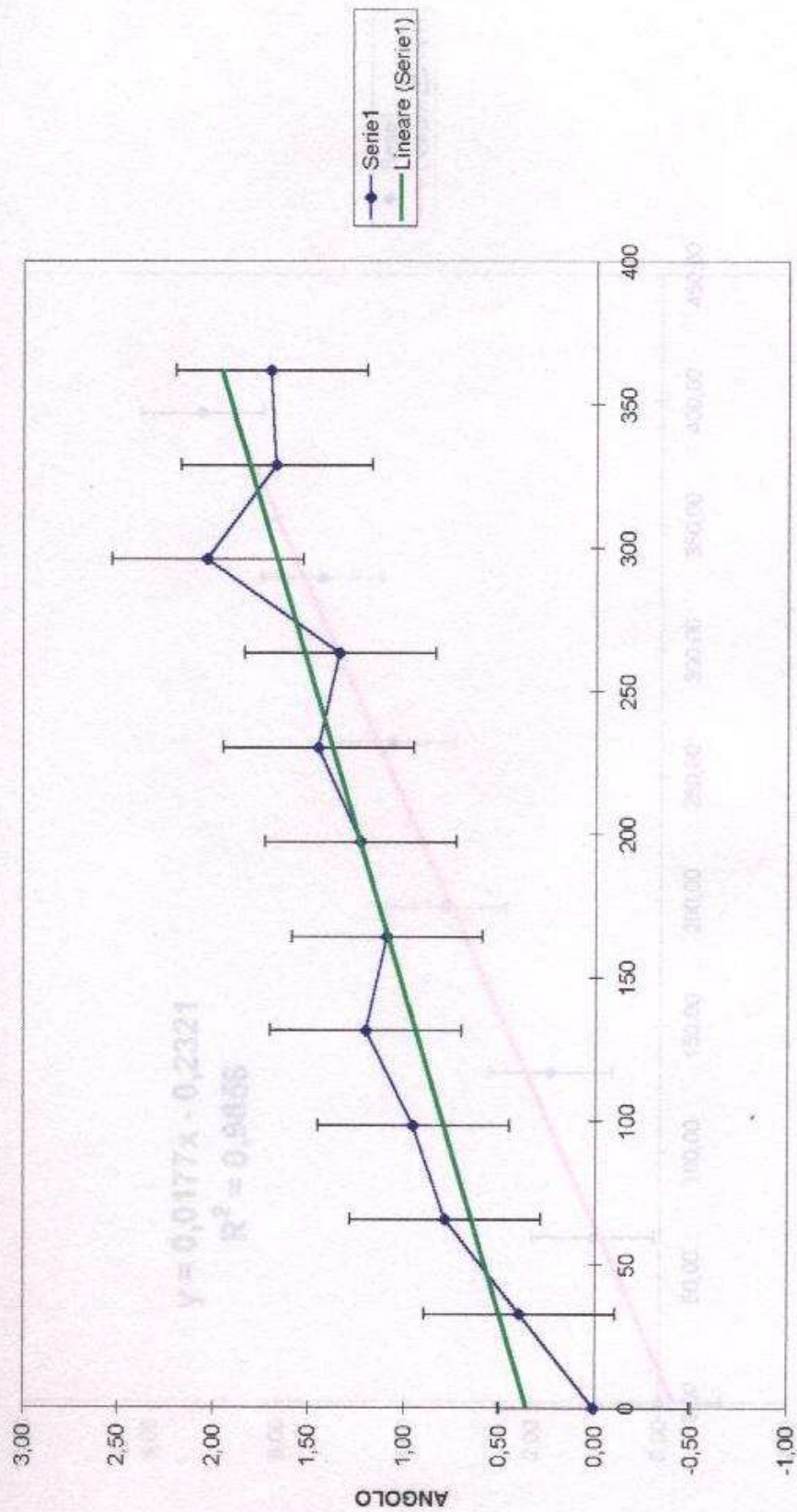
La causa di queste misure così poco precise è stata il fatto che prima di iniziare l'esperimento non abbiamo regolato la messa a fuoco dell'oculare del polarimetro.

Abbiamo quindi preso nuovamente le misure con i seguenti risultati:

Intensità	Maury	Rosa	Myra	angolo	campo	Δ 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

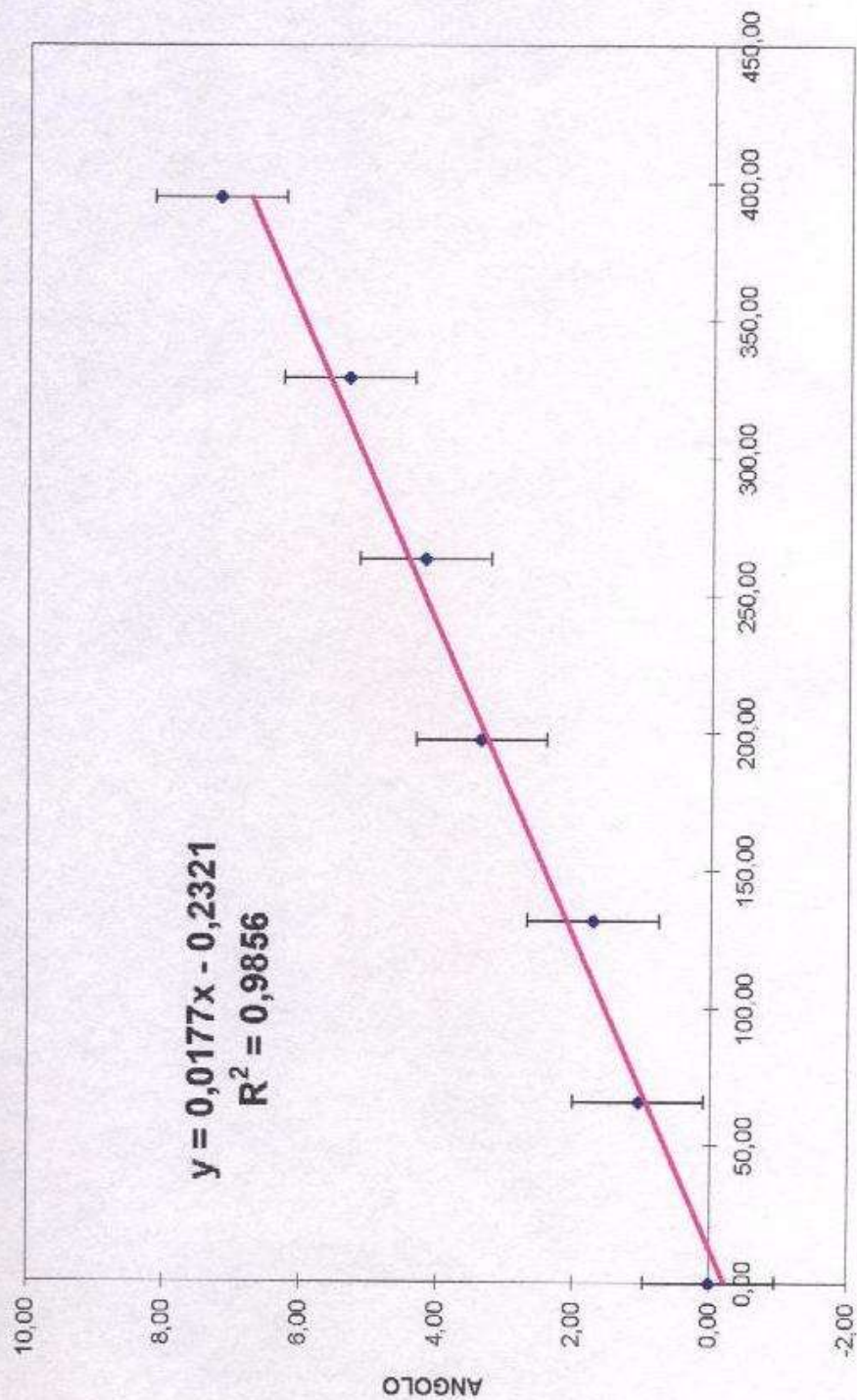
Come si vede dal secondo grafico, ora le misure sono state più lineari.
La deviazione standard di $k\lambda$ è $3 \cdot 10^{-6}$.

COSTANTE DI VERDET (misure errate)



CAMPO

COSTANTE DI VERDET



CAMPO