

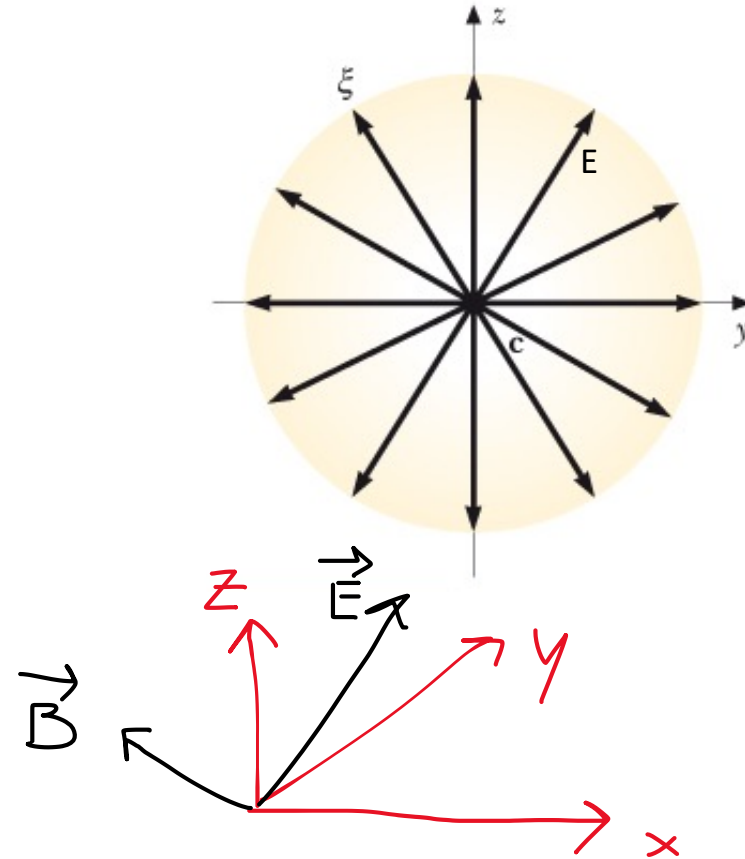
# Esperimentazioni 2

*(Verifica della legge di Malus)*

Modulo di Ottica e Fisica Moderna

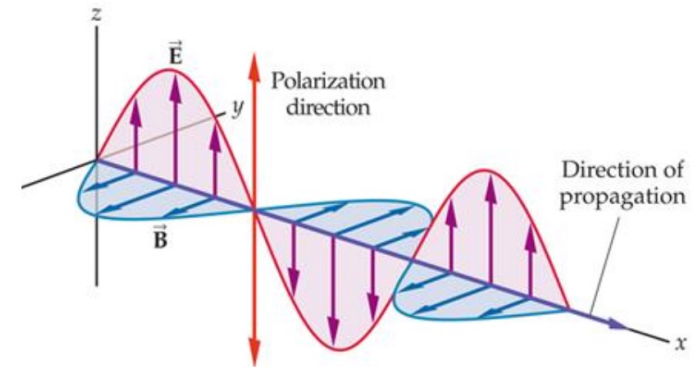
# Polarizzazione della luce

- Campo **E** e **B** sono perpendicolari tra di loro, giacciono nel piano perpendicolare alla direzione di propagazione
- per luce emessa da sorgenti generiche l'orientamento spaziale del vettore **E**(**B**) in questo piano è casuale, nello spazio e nel tempo.

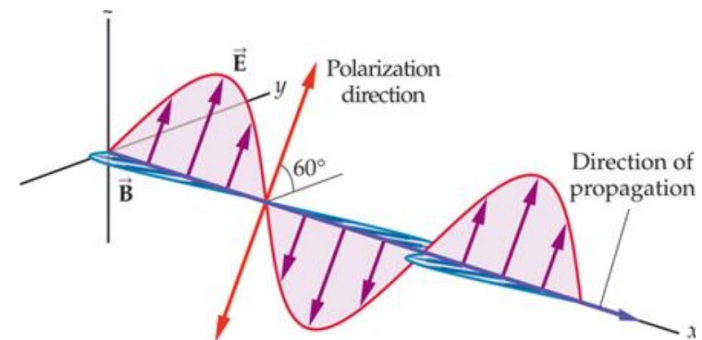


# Polarizzazione della luce

- esistono materiali che possono selezionare una particolare direzione di oscillazione vibrazione del campo  $E$ , in modo da poter definire un piano, detto **piano di polarizzazione**, definito dalla **direzione lungo cui oscilla  $E$**  e dalla **direzione di propagazione**



This wave **is polarized** in z -direction

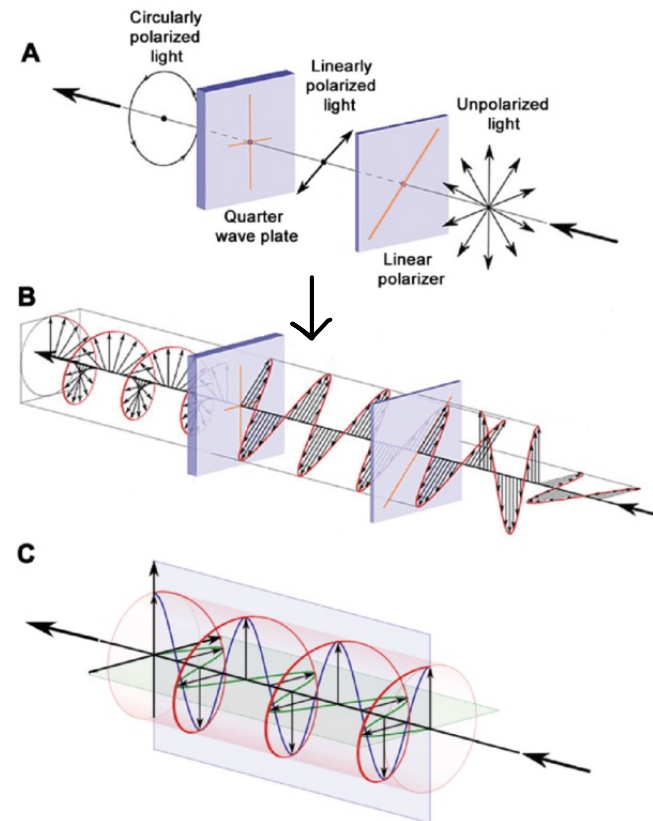


This wave **is polarized** in a direction at an angle of  $60^\circ$  with y-axis

<https://www.youtube.com/watch?v=8YkfEft4p-w&vl=en>

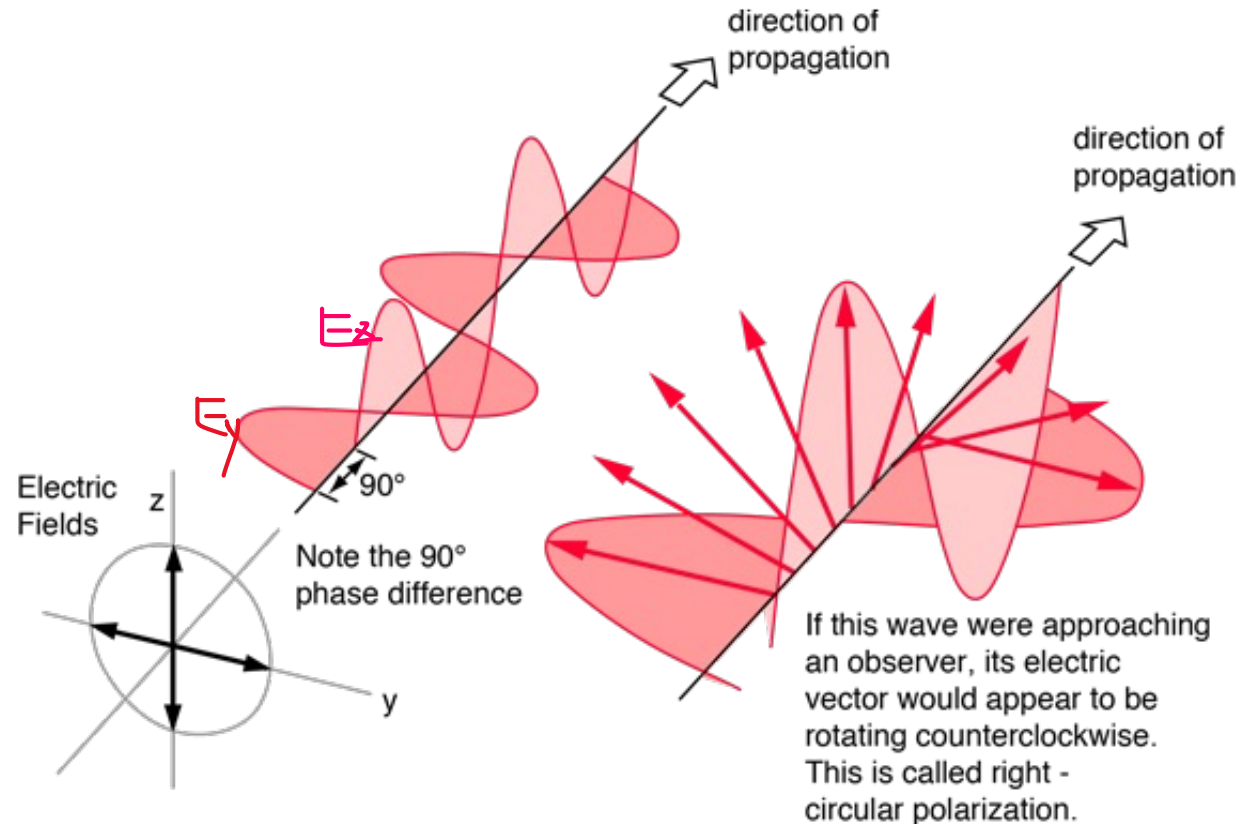
# Polarizzazione della luce

- Per ottenere luce polarizzata da una sorgente che emette luce non polarizzata possiamo usare strumenti in grado di cambiare lo stato di polarizzazione della luce: filtri polarizzanti



# Polarizzazione della luce

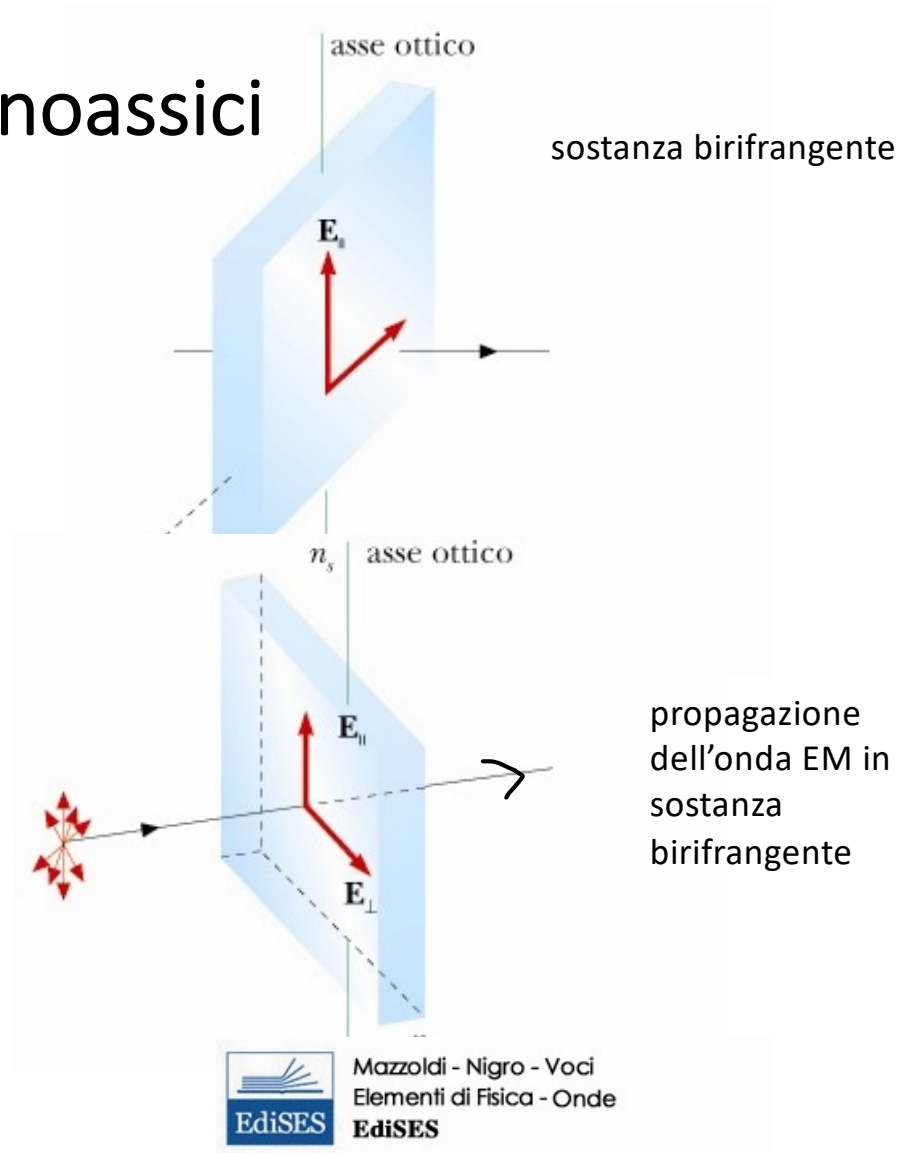
- Polarizzazione circolare:
- sovrapposizione di 2 onde polarizzate linearmente, sfasate tra di loro di un quarto di lunghezza d'onda
- il campo elettrico risultante, somma vettoriale dei campi elettrici sfasati, risulta ruotare attorno alla direzione di propagazione



<https://www.youtube.com/watch?v=Fu-aYnRkUgg>

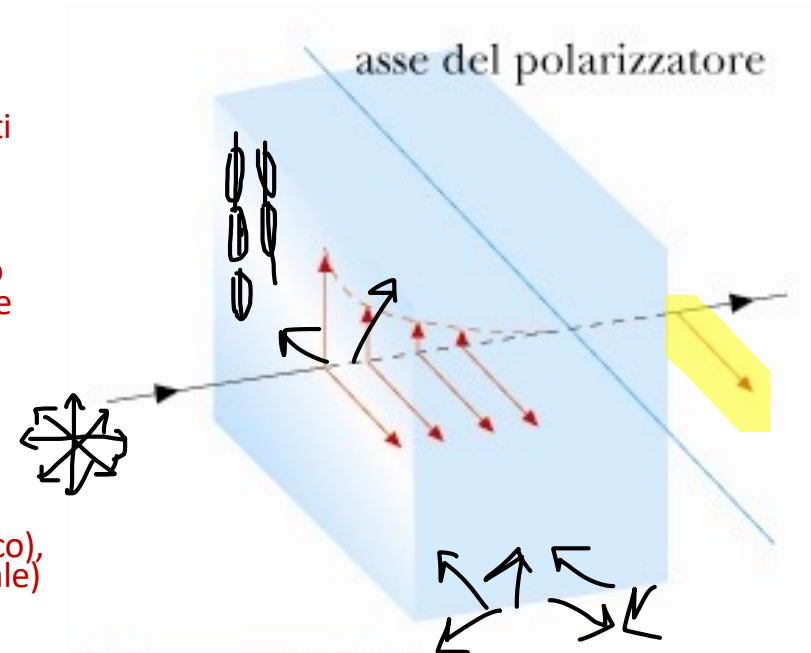
# Lamine polarizzanti: cristalli monoassici

- Consideriamo una lamina di sostanza monoassica tagliata parallelamente al suo asse ottico, su cui incide normalmente luce non polarizzata. In essa il fascio verrà scomposto in 2 componenti,
  - quella ordinaria, polarizzata ortogonalmente all'asse ottico,
  - quella straordinaria, polarizzata parallelamente all'asse.
  - l'intensità sarà suddivisa al 50% tra le 2 componenti
  - l'assorbimento dovuto alla lamina è praticamente nullo, l'intensità del fascio in uscita è praticamente uguale a quello in ingresso
  - con queste sostanze si possono costruire strumenti polarizzanti (es. Prisma di Nicol)



# Lamine polarizzanti: sostanze dicroiche

- Sostanze DICROICHE
  - l'assorbimento della luce che attraversa una lamina costituita da questi materiali non è nullo.
  - le molecole della sostanza che costituisce la lamina possono essere allungate lungo un asse.
  - si avrà un grande assorbimento della luce quando il campo  $E$  associato all'onda è parallelo all'asse della molecola, assorbimento molto minore quando  $E$  è perpendicolare all'asse della molecola
  - di conseguenza una delle 2 componenti verrà progressivamente assorbita e diffusa, mentre l'altra verrà trasmessa oltre la lamina
  - Il fenomeno suddetto viene definito dicroismo
- Esempi di sostanze dicroiche:
  - formalina (borosilicato di alluminio, cristallizza nel sistema romboedrico), eparite (cristalli di iodosolfato di chinino, materiale organico artificiale)
  - molecole molto lunghe di alcol polivinilico inserite tra pellicole successivamente sottoposte a stress meccanico per ottenere l'allungamento -> film POLAROID®
- La direzione di allungamento delle molecole è detta ASSE OTTICO
- La direzione perpendicolare è detta ASSE DI POLARIZZAZIONE
- In uscita dalla lamina (detta lamina POLAROID®) si avrà un fascio di luce polarizzato linearmente lungo l'asse di polarizzazione



# Verifica sperimentale della Legge di Malus

- Scopo della misura è verificare la legge di Malus, utilizzando
  - un fascio di luce polarizzata linearmente,
  - una lamina polarizzante usata come analizzatore
  - un sistema per la misura dell'intensità luminosa costituito da una cella fotoelettrica e un microamperometro.

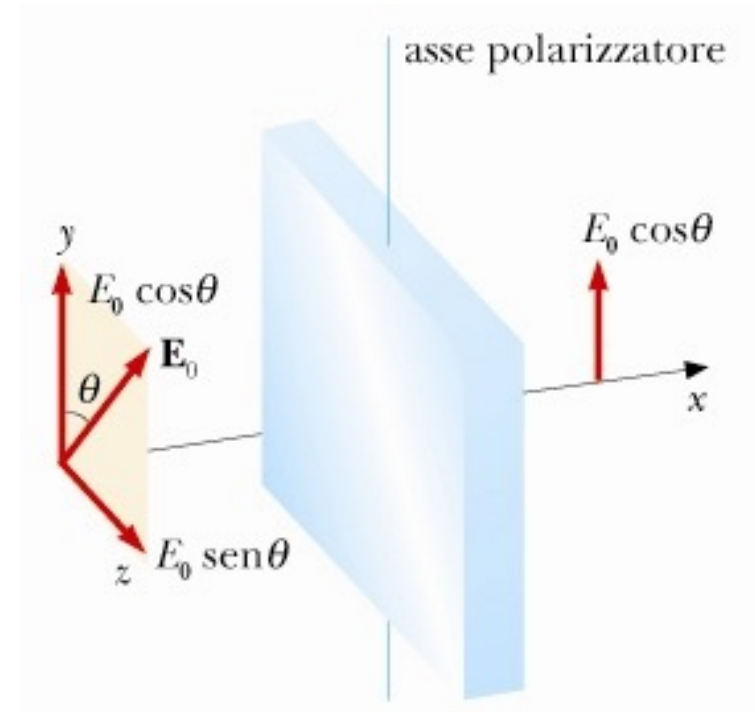


# Legge di Malus

- Onda incidente è polarizzata linearmente
- Campo elettrico associato  $\mathbf{E}_0$  forma un angolo  $\theta$  con l'asse del polarizzatore
- Scompongo l'onda incidente, che si propaga lungo l'asse x, nelle componenti y e z
  - $E_{0y} = E_0 \cos\theta$
  - $E_{0z} = E_0 \sin\theta$
- Se l'asse del polarizzatore è diretto lungo Y la componente  $E_{0z}$  verrà assorbita mentre la componente  $E_{0y} = E_0 \cos\theta$  verrà trasmessa
- Detta  $I_0$  l'intensità dell'onda polarizzata incidente, proporzionale a  $E_0^2$ , l'intensità  $I_1$  dell'onda uscente sarà proporzionale a  $E_0^2 \cos^2\theta$  e possiamo scrivere la relazione

$$I_1 = I_0 \cos^2\theta$$

nota come **legge di Malus**



# Lamine Polaroid: polarizzatori e analizzatori

- possiamo usare lamine polaroid (filtri polarizzanti) per

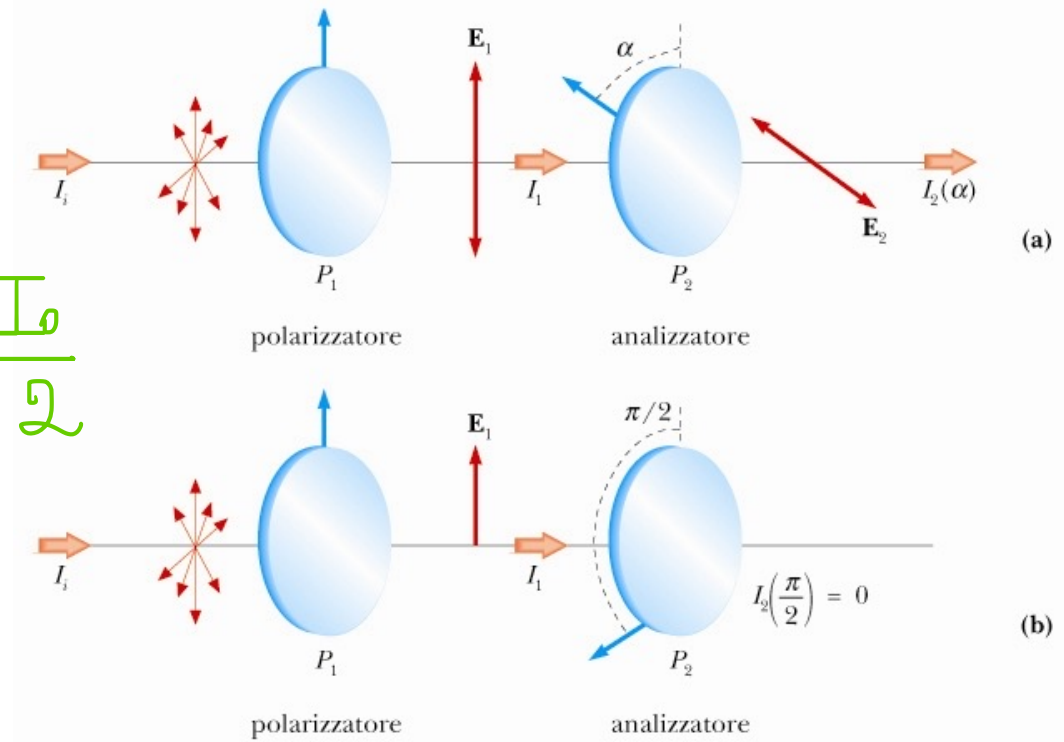
- polarizzare linearmente un'onda non polarizzata
- analizzare lo stato di polarizzazione

- il primo filtro polarizza linearmente ( $I_1 = 1/2 I_0$ ): **polarizzatore**

$$I_1 = \frac{I_0}{2}$$

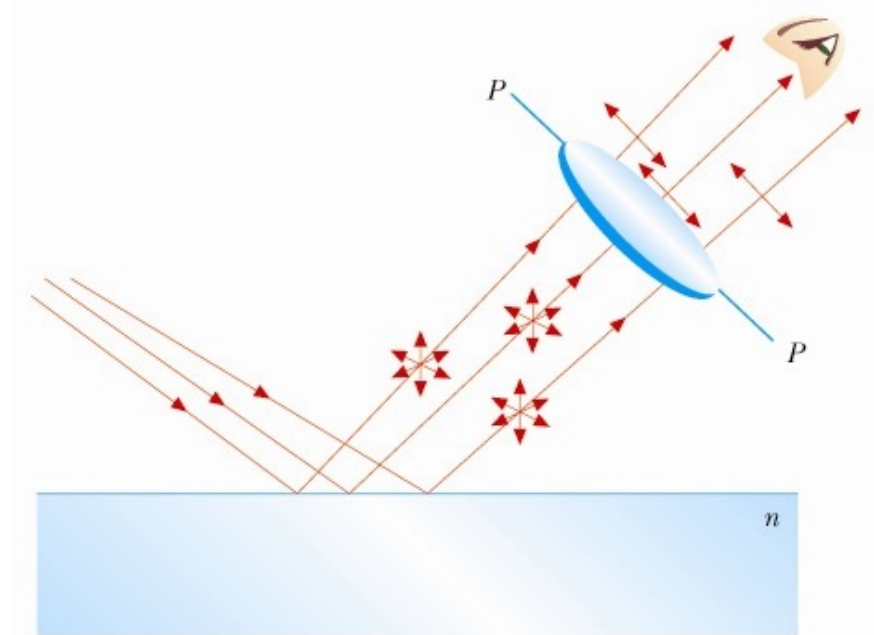
- il secondo permette di verificare lo stato di polarizzazione.: **analizzatore**

- quando  $I_2 = 0$  l'asse del filtro analizzatore è perpendicolare all'asse del filtro polarizzatore
- quando  $I_2 = \max$  l'asse del filtro analizzatore è parallelo all'asse del filtro polarizzatore



# Applicazioni: occhiali con filtri polarizzanti

- Occhiali le cui lenti sono ricoperte con sottili lamine polarizzanti servono a diminuire la quantità di luce che arriva agli occhi. In particolare gli occhiali Polaroid furono inventati per aiutare i piloti dell'aeronautica militare USA durante la seconda guerra mondiale.
  - La luce riflessa da una superficie piana è parzialmente polarizzata.
  - La lamina viene montata con l'asse verticale, così non viene trasmessa la componente ortogonale, che è di solito quella con intensità maggiore nel caso citato
- NOTA: l'occhio non è sensibile allo stato di polarizzazione, beneficia esclusivamente del taglio di intensità...



# Misura in laboratorio

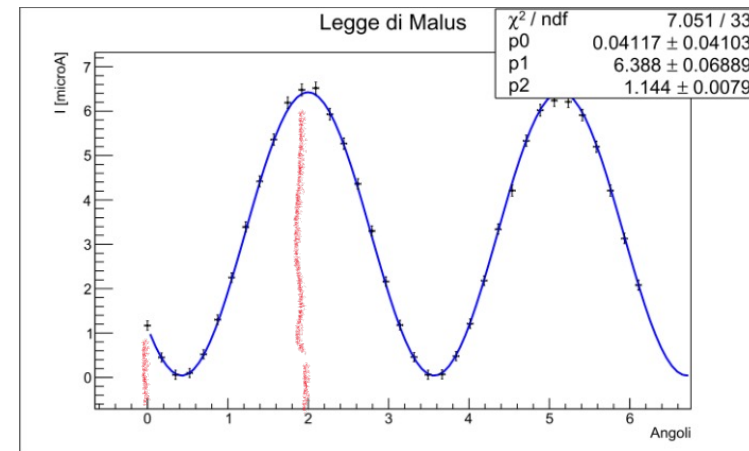
- Verificare sperimentalmente la legge  $I_1 = I_0 \cos^2 \theta$
- Set up sperimentale:
  - banco ottico
  - sorgente: laser polarizzato
  - filtro analizzatore
  - fotocellula + microamperometro
- Procedura:
  - verificare che il fascio emesso dal laser sia polarizzato linearmente: ruotando il filtro analizzatore di  $360^\circ$  sono visibili zeri di luce
  - se non lo è inserire un filtro polarizzante tra sorgente e analizzatore
  - acquisire l'intensità luminosa registrata dalla fotocellula ruotando il filtro analizzatore a passi di  $10^\circ$



angolo (°)	Intensità (microA)	Err( $\theta$ )	Err(I)
0			
10			
20			
30			
....			
360			

# Analisi dati

- Graficare i dati ottenuti
- Assumendo esista una linearità diretta tra intensità di corrente elettrica misurata e intensità luminosa del fascio incidente sulla fotocellula ci aspettiamo di ottenere un grafico tipo quello in figura (1)
  - si osserva che l'andamento è simile alla funzione  $\cos^2\theta$ , ma è presente uno sfasamento
  - La funzione più adatta a interpolare i dati è quindi  $I(\theta)=a\cos^2(\theta+b)$
  - nel caso in cui i dati mostrassero un offset dovuto a una luminosità costante di fondo, sarebbe opportuno aggiungere un terzo parametro alla funzione:  
 $I(\theta)=a\cos^2(\theta+b)+c$



Parametri usati nel grafico:

- $a=p1$ :  $I_0$  intensità massima
- $b=p2$ : fase
- $c=p0$ : luminosità di fondo