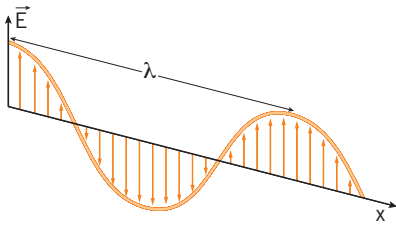


## LA POLARIZZAZIONE DELLA LUCE

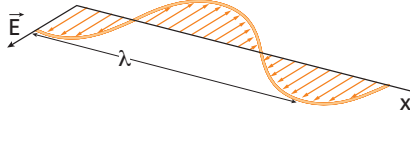
In un'onda elettromagnetica, il campo elettrico può oscillare (sempre perpendicolarmente alla direzione del moto dell'onda) in modi molto diversi:

► se  $\vec{E}$  oscilla sempre in un piano verticale, l'onda è *polarizzata verticalmente*.



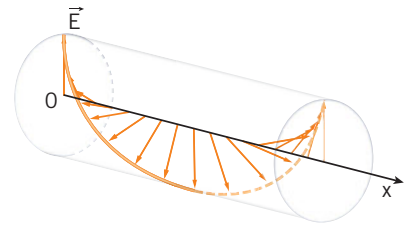
A

► Se  $\vec{E}$  oscilla sempre in un piano orizzontale, l'onda è *polarizzata orizzontalmente*.



B

► Se  $\vec{E}$  ruota attorno alla direzione di propagazione, l'onda è *polarizzata circolarmente*.



C

Un'onda si dice **polarizzata** quando l'oscillazione dei vettori  $\vec{E}$  e  $\vec{B}$  ha caratteristiche ben definite.

Nella luce naturale, che è la sovrapposizione di onde luminose emesse in modo casuale da un grande numero di atomi, le direzioni di  $\vec{E}$  e  $\vec{B}$ , pur sempre perpendicolari alla direzione di propagazione, si distribuiscono in modo qualunque; quindi si tratta di *luce non polarizzata*.

Nei primi due esempi l'onda elettromagnetica si dice *polarizzata linearmente*. Visto che ogni vettore  $\vec{E}$  che giace nel piano perpendicolare alla direzione di propagazione dell'onda può essere scomposto in due componenti orizzontale e verticale, è sufficiente studiare questi due casi, perché qualunque altra onda polarizzata può essere ottenuta come opportuna sovrapposizione di un'onda polarizzata orizzontalmente e di un'onda polarizzata verticalmente.

### Il polarizzatore

Esistono particolari filtri, detti **polarizzatori**, che permettono il passaggio soltanto di un determinato tipo di luce polarizzata.

Se si fa incidere sul polarizzatore della luce naturale di irradiazione  $\mathcal{E}_e^{(0)}$ , la luce uscente da esso ha un irradiazione

$$\mathcal{E}_e = \frac{1}{2} \mathcal{E}_e^{(0)},$$

perché, in media, metà delle onde con polarizzazione casuale che incidono sul polarizzatore sono eliminate.

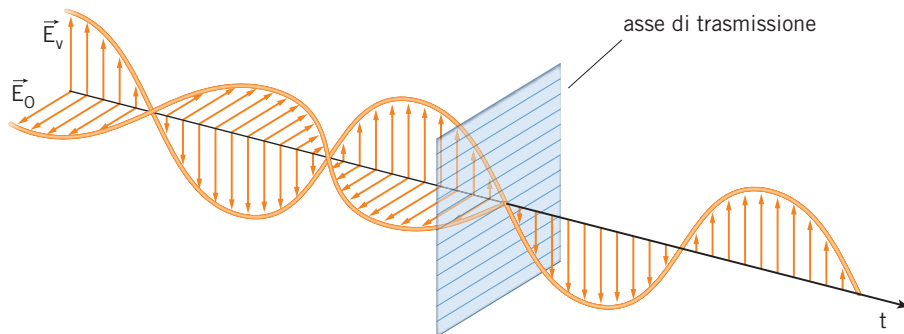
Un **polarizzatore lineare** può essere attraversato soltanto da luce polarizzata linearmente nella direzione dell'*asse di trasmissione* del polarizzatore.

Esso contiene al suo interno delle fibre conduttrici allineate tra loro.

### Il campo magnetico dell'onda

Visto che il campo magnetico è sempre perpendicolare al campo elettrico e proporzionale a esso, conoscendo  $\vec{E}$  si conosce anche  $\vec{B}$ . Perciò, in questa trattazione è sufficiente parlare del comportamento di  $\vec{E}$ .

Quando la luce incide sul filtro, il componente del campo elettrico parallelo alle fibre viene assorbito, perché è in grado di muovere i portatori di carica presenti nelle fibre e compie lavoro su di essi (figura 1).

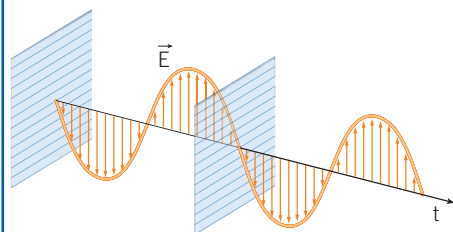


**Figura 1** Un filtro polarizzatore assorbe la parte di onda elettromagnetica che ha il vettore campo elettrico parallelo alle fibre conduttrici contenute nel filtro stesso.

Quindi

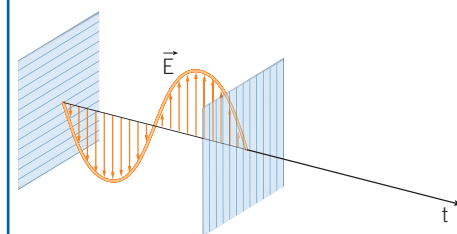
passa soltanto la parte di radiazione il cui campo elettrico oscilla in direzione perpendicolare alle fibre e, così, la luce risulta polarizzata.

► Questa luce polarizzata è trasmessa inalterata da un secondo polarizzatore con asse di trasmissione parallelo a quello del primo.



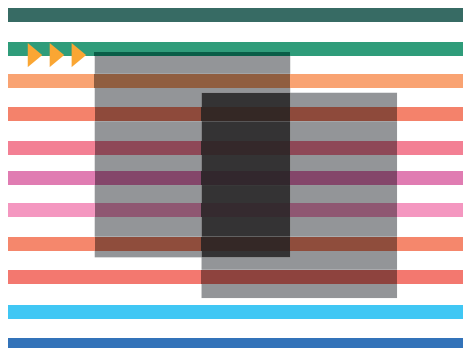
A

► Lo stesso polarizzatore, ruotato di 90°, farebbe passare soltanto luce polarizzata orizzontalmente e, quindi, blocca quella che proviene dal filtro verticale.



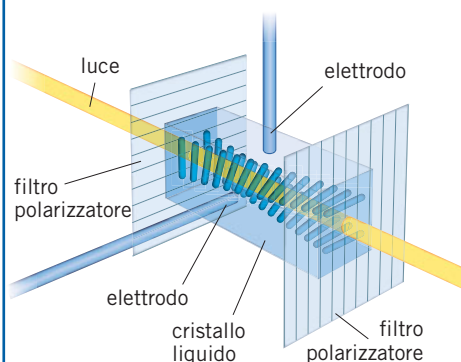
B

La foto mostra **due filtri polarizzatori lineari** con gli assi di trasmissione perpendicolari: si vede che ciascuno di essi è trasparente alla luce di frequenza, e quindi di colori, diversi, ma la zona in cui essi sono sovrapposti è scura.



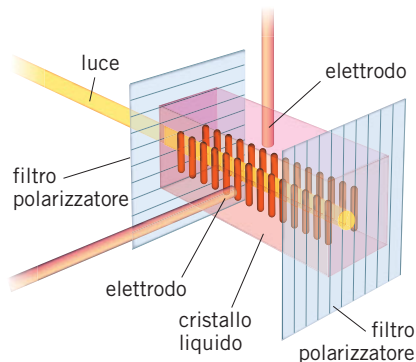
Questo fenomeno è sfruttato negli schermi a cristalli liquidi. In essi sono utilizzati due filtri polarizzatori perpendicolari tra loro; i cristalli liquidi presenti tra i due filtri hanno la capacità di ruotare progressivamente il piano di polarizzazione della luce che li attraversa.

► Così la luce polarizzata verticalmente dal primo filtro giunge al secondo polarizzata orizzontalmente e passa attraverso di esso. Il punto sullo schermo è chiaro.



A

► Un campo elettrico cambia la forma dei cristalli liquidi; così la luce dal primo filtro non viene modificata e non attraversa il secondo. Il punto sullo schermo è scuro.



B

La luce riflessa da superfici isolanti e quella diffusa dall'atmosfera terrestre risultano parzialmente polarizzate. È per questo che certi occhiali da sole hanno lenti che, oltre a essere oscurate, sono provviste di un filtro polarizzatore: esso consente di ridurre in modo efficace, per esempio, un fascio di luce che è riflesso, e quindi polarizzato, da una vetrina posta a fianco della strada e che potrebbe «accecare» un autista che lo riceve direttamente.

## La legge di Malus

Se un fascio di luce polarizzato linearmente incide, con un irradiazione  $\mathcal{E}_e^{(0)}$ , su un filtro polarizzatore che ha l'asse di trasmissione inclinato di un angolo  $\alpha$  rispetto al piano di polarizzazione della luce, l'irradiazione della luce uscente dal filtro è

$$\mathcal{E}_e = \mathcal{E}_e^{(0)} \cos^2 \alpha \quad (1)$$

Questa formula è detta **legge di Malus**, dal nome del fisico francese Étienne-Louis Malus (1775-1812).

### ESEMPIO

La luce che esce da un filtro polarizzatore ha irradiazione  $\mathcal{E}_e^{(0)} = 0,68 \text{ W/m}^2$ . Un secondo polarizzatore ha l'asse di trasmissione ruotato di  $\alpha = 45^\circ$  rispetto a quello del primo.

► Calcola l'irradiazione  $\mathcal{E}_e$  della luce trasmessa dal secondo polarizzatore.

Il problema si risolve con la legge di Malus (1):

$$\mathcal{E}_e = \mathcal{E}_e^{(0)} \cos^2 \alpha = \left(0,68 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right) \times [\cos(45^\circ)]^2 = \left(0,68 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right) \times \left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2 = 0,34 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}.$$

# ESERCIZI

## PROBLEMI

**1** ★★★ Alice si trova in barca in un giorno di sole. La luce solare riflessa dall'acqua è polarizzata in direzione parallela alla superficie dell'acqua. Alice porta occhiali da sole con lenti Polaroid con asse di polarizzazione verticale e ha la testa inclinata in avanti di  $60^\circ$  rispetto alla verticale.

► Quanto vale il rapporto fra l'irradiazione della luce trasmessa dagli occhiali di Alice e quello della luce incidente? [0,75]

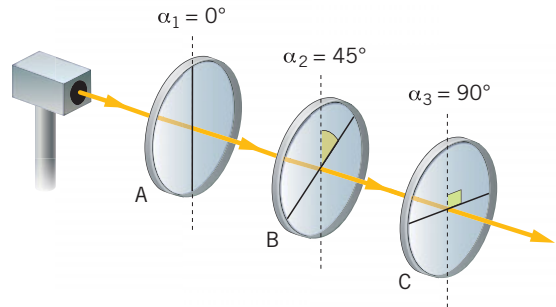
**2** ★★★ Un fascio di luce non polarizzata attraversa due polarizzatori lineari. L'irradiazione della luce uscente dal secondo polarizzatore è il 10% di quello della radiazione incidente sul primo polarizzatore.

► Determina l'angolo compreso tra gli assi dei due polarizzatori. [ $63^\circ$ ]

**3** ★★★ L'asse di trasmissione di un filtro è ruotato di  $30^\circ$  rispetto al piano in cui oscilla il campo elettrico di un fascio di luce polarizzata linearmente.

► Quanto vale il rapporto tra l'irradiazione della luce uscente dal filtro e quello della luce assorbita da esso? [ $1/\text{tg}^2\alpha$ ]

**4** ★★★ Un laser produce un raggio di luce non polarizzata che incide su tre filtri polarizzatori lineari, come mostra la figura. L'irradiazione del raggio incidente sul primo polarizzatore vale  $500 \text{ W/m}^2$ .



► Determina il valore dell'irradiazione del raggio laser nei punti A, B, C.

[ $250 \text{ W/m}^2$ ;  $125 \text{ W/m}^2$ ;  $62,5 \text{ W/m}^2$ ]

**5** ★★★ Un fascio di luce polarizzato linearmente è diretto verso tre filtri polarizzatori disposti in successione. L'angolo fra l'asse di trasmissione di un filtro e il piano di polarizzazione della luce che vi incide è di  $30^\circ$  e l'irradiazione della radiazione iniziale incidente è di  $450 \text{ W/m}^2$ .

Determina l'irradiazione della radiazione elettromagnetica:

► in uscita dal primo filtro e prima di attraversare il secondo.

► in uscita dal secondo filtro e prima di attraversare il terzo.

► in uscita dal terzo e ultimo filtro.

[ $338 \text{ W/m}^2$ ;  $253 \text{ W/m}^2$ ;  $190 \text{ W/m}^2$ ]