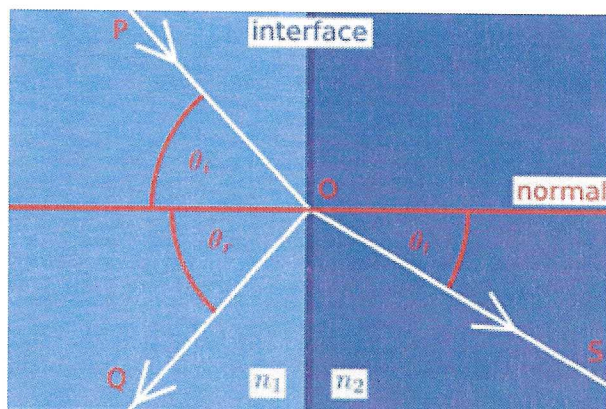


1000

Corso di aggiornamento AIF a.s. 2007/8

DISPOSITIVO PER LA VERIFICA SPERIMENTALE DELLE FORMULE DI FRESNEL

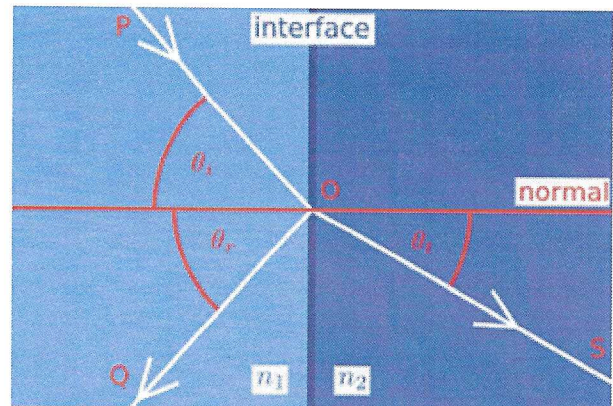
*Claudio Marciano
Alberto Panzarasa*



Introduzione: intensità delle onde elettromagnetiche riflesse e rifratte

Quando la luce si sposta da un materiale trasparente ad un altro indice, possono verificarsi sia la riflessione che la rifrazione dell'onda luminosa stessa.

Nella figura a destra, un raggio di luce incidente **PO** colpisce al punto **O** l'interfaccia tra due mezzi con indici di rifrazione. Parte del raggio viene riflessa come raggio **OQ** e parte viene rifratta seguendo la traiettoria **OS**. Gli angoli che l'onda incidente, riflessa e rifratta formano con la normale all'interfaccia sono θ_i , θ_r e θ_t , rispettivamente. Le relazioni tra questi angoli sono date con la legge della riflessione e dalla legge di Snell.



Lo scopo dell'esperienza è la verifica sperimentale della formula di Fresnel che forniscono il rapporto tra l'intensità della luce incidente e quella della luce riflessa da una superficie piana di materiale dielettrico. Le relazioni tra le ampiezze si ricavano dalle equazioni di Maxwell, dalle condizioni di continuità dei campi. Dati due dielettrici, infatti, è possibile ricavare alla superficie di separazione tra i due mezzi delle relazioni tra i campi **E** e **B**. Individuando col simbolo **p** la componente parallela e con **s** quella perpendicolare al piano di incidenza:

$$\begin{aligned} \mathbf{E}_{1s} &= \mathbf{E}_{2s} & \epsilon_1 \mathbf{E}_{1p} &= \epsilon_2 \mathbf{E}_{2p} \\ \frac{\mathbf{B}_{1s}}{\mu_1} &= \frac{\mathbf{B}_{2s}}{\mu_2} & \mathbf{B}_{1p} &= \mathbf{B}_{2p} \end{aligned}$$

dove gli indici 1 e 2 si riferiscono ai valori complessivi dei campi nel primo e nel secondo mezzo.

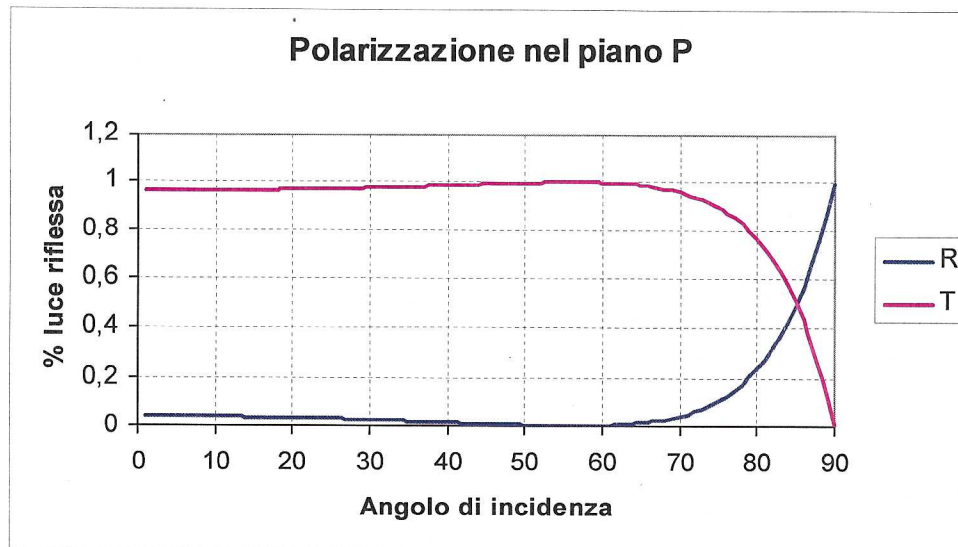
Pertanto sono continue le componenti parallele di **E** e **B** e discontinue le altre. Le suddette relazioni valgono sia nei casi statici sia in quelli dinamici.

Intensità riflessa e rifratta per onde polarizzate nel piano di incidenza (piano p)

Si possono definire un coefficiente di riflessione e uno di trasmissione che valgono:

$$\begin{aligned} R_p &= \left(\frac{\mathbf{E}_{Rp}}{\mathbf{E}_{Op}} \right)^2 = \frac{\text{tg}^2(\theta_i - \theta_t)}{\text{tg}^2(\theta_i + \theta_t)} \\ T_p &= \frac{\text{sen}(2\theta_i)\text{sen}(2\theta_t)}{\text{sen}^2(\theta_i + \theta_t)\text{cos}^2(\theta_i - \theta_t)} \end{aligned}$$

Dove θ_i è l'angolo di incidenza e θ_t quello di trasmissione. Si può facilmente verificare che $R_p + T_p = 1$ in accordo con il principio di conservazione dell'energia. Nel grafico viene mostrato l'andamento per la coppia di materiali aria-vetro, la maggior parte della luce viene trasmessa salvo che per angoli di incidenza vicini a 90° . Si nota che per un particolare angolo non c'è luce riflessa.



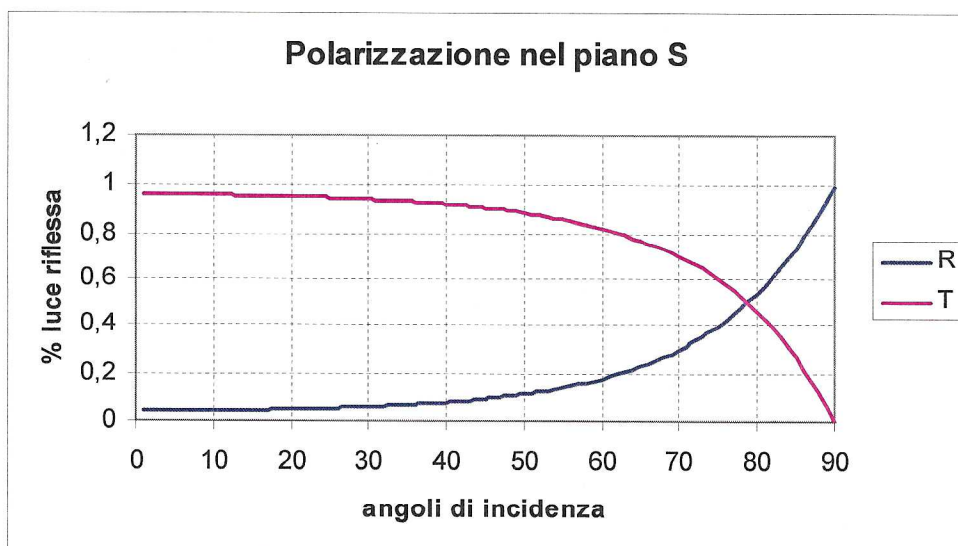
Intensità riflessa e rifratta per onde polarizzate nel piano perpendicolare al piano di incidenza (piano s)

Si possono definire un coefficiente di riflessione e uno di trasmissione che valgono:

$$R_s = \frac{\text{sen}^2(\theta_i - \theta_t)}{\text{sen}^2(\theta_i + \theta_t)}$$

$$T_s = \frac{\text{sen}(2\theta_i)\text{sen}(2\theta_t)}{\text{sen}^2(\theta_i + \theta_t)}$$

Il coefficiente di riflessione R_s è maggiore di R_p , come si vede confrontando le figure, ma anche in questo caso la trasmissione è predominante. Inoltre i coefficienti sono R_s e T_s sono sempre diversi da zero.



Incidenza normale alla superficie di separazione

Quando l'angolo di incidenza è nullo la direzione di incidenza coincide con la normale alla superficie di separazione tra i mezzi e la nozione di piano di incidenza perde di significato.

$$R = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2$$

$$T = \left(\frac{2}{n+1} \right)^2$$

Per la coppia di materiali aria-vetro si ha che $n=1,5$ da cui $R=0,04$ e $T=0,96$. Solo una piccola percentuale di energia viene riflessa e la maggior parte viene trasmessa.

Onda incidente polarizzata rettilineamente

Supponiamo che il campo elettrico incidente formi l'angolo β con il piano di incidenza p ; nel piano p abbiamo un'intensità $I \cdot \cos^2 \beta$ e nel piano s l'intensità $I \cdot \sin^2 \beta$. Si ottiene facilmente che

$$R = R_p \cos^2 \beta + R_s \sin^2 \beta$$

Onda incidente non polarizzata

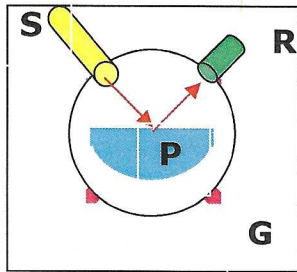
L'onda incidente è descritta in termini di due onde incoerenti che viaggiano in p e in s e trasportano ciascuna la metà dell'intensità dell'onda. Per cui si ottiene che:

$$R = \frac{1}{2} (R_p + R_s)$$

Dispositivo sperimentale

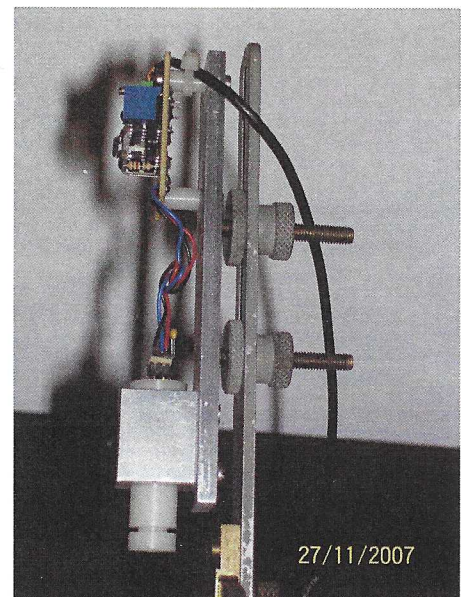
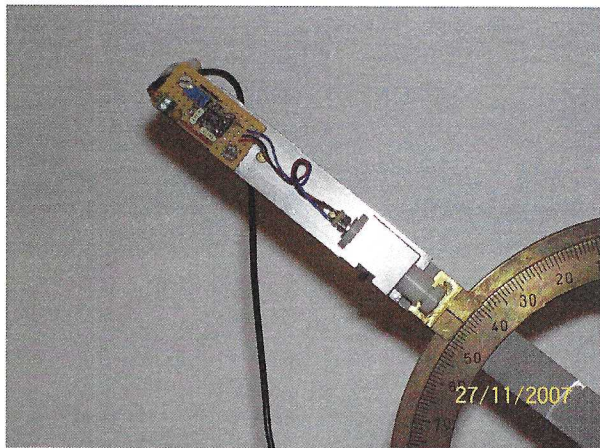
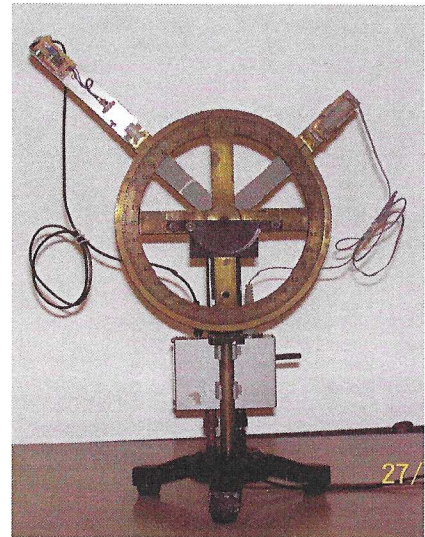
Il dispositivo sperimentale usato per la verifica sperimentale delle formule di Fresnel è mostrato nella figura a lato.

Esso, come mostrato nella schematizzazione qui sotto è costituito essenzialmente da un goniometro G sul quale possono ruotare concentricamente una sorgente S e un rivelatore R. Al centro del goniometro è posizionata una superficie riflettente semicilindrica P di materiale dielettrico (vetro).

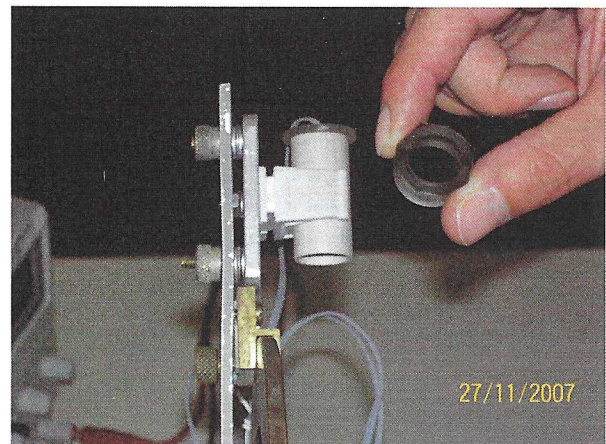


La sorgente S è costituita da un diodo laser, essa è mostrata in modo dettagliato nella figura alla pagina seguente. Come si può vedere la sorgente è dotata di un

regolatore di intensità, il fascio generatore risulta sufficientemente collimato, tuttavia si è pensato di dotare il laser di una vite che agisce sul sistema di convergenza del fascio laser in modo da mettere a fuoco il fascio alla distanza opportuna. Sono inoltre presente due viti che consentono di allineare il fascio prodotto al goniometro.



Nella fotografia qui a destra abbiamo il rivelatore di luce R: un fotodiodo polarizzato inversamente con una tensione di 5V. Quest'ultimo è collegato a un circuito che traduce in modo lineare la quantità di luce che lo colpisce in tensione letta su un voltmetro ai capi di una resistenza. La quantità di luce che colpisce il fotodiodo è pertanto direttamente proporzionale alla tensione letta. Abbiamo poi un "tappo" con applicato un filtro polarizzatore sul quale è indicata la direzione di polarizzazione.



Scopo dell'esperimento

Misurare separatamente le componenti R_s e R_p .

Esecuzione dell'esperimento

Operazioni per l'allineamento:

Allineamento laser – centro della struttura del goniometro - fotodiode

Per effettuare queste operazioni preliminari alla misura occorre togliere il semicilindro e disporre lungo un diametro la sorgente e il rivelatore di luce. Posizionare la sorgente S ad un determinato angolo (per esempio 45°) e in posizione opposta il fotodiode. Verificare innanzitutto che il fascio sia parallelo alla struttura del goniometro ed eventualmente utilizzare le viti di aggiustamento poste su S fino ad avere un fascio parallelo alla struttura del goniometro (per verificare l'allineamento si può utilizzare un calibro ed effettuare misure in prossimità della sorgente, al centro e all'estremità opposta).

Infine, utilizzare le viti di aggiustamento per fare in modo che il fascio colpisca il centro del fotodiode.

Misura della componente R_p (parallela al piano di incidenza)

- 1) Per prima cosa occorre inserire il "tappo" su cui è applicato il polarizzatore e posizionare il filtro in modo da selezionare la componente parallela al piano di incidenza, successivamente ruotare il potenziometro posizionato sull'alimentatore fino ad ottenere un valore di potenziale massimo di circa 4-5 V. Il valore coincide esattamente con V_{0p} .
- 2) Posizionamento del semicilindro centrale e suo allineamento rispetto al goniometro. Disporre la sorgente a circa 70° di angolo di incidenza e il fotodiode a 70° di angolo di riflessione. Disporre il semicilindro ed effettuare piccoli aggiustamenti in modo da il raggio riflesso colpisca esattamente il centro del fotodiode.
- 3) Misurazione del fondo. Ai valori letti sul voltmetro occorre sottrarre il segnale che si ottiene spegnendo la sorgente e dovuto all'illuminazione diffusa presente nell'ambiente in cui si opera, occorre pertanto misurare la tensione oscurando la sorgente laser (V_0) e annotare il valore misurato.
- 4) Misura indice di rifrazione. Disporre la sorgente in una posizione arbitraria (per esempio 40°) e determinare l'angolo di rifrazione posizionando il rivelatore R al di sotto del semicilindro nella posizione che rende massima la tensione letta dal voltmetro. Annotare sia il valore dell'angolo di incidenza sia quello di rifrazione e calcolare l'indice di rifrazione:

$$n = \frac{\sin i}{\sin r}$$

- 5) Verifica legge di Fresnel
Misurare l'intensità della luce riflessa per diversi angoli di incidenza (V_r): posizionare la sorgente ad un angolo di incidenza e cercare con il fotodiode la posizione in cui è massimo il voltaggio letto. Eseguire misure regolari con passi di 10° , a partire da 20° fino a 80° , eseguire un'ultima misura a 85° .
Per punti è possibile tracciare la curva che descrive l'andamento del coefficiente di riflessione in funzione dell'angolo di incidenza.

Misura della componente R_s (perpendicolare al piano di incidenza)

- 1) Per prima cosa occorre inserire il "tappo" su cui è applicato il polarizzatore e posizionare il filtro in modo da selezionare la componente parallela al piano di

incidenza, successivamente ruotare il potenziometro posizionato sull'alimentatore fino ad ottenere un valore di potenziale massimo di circa 4-5 V. Il valore coincide esattamente con V_{0s} .

- 2) Ripetere il punto 2) esattamente come in precedenza
- 3) Misurazione del fondo: ripetere esattamente come in precedenza
- 4) Misura dell'indice di rifrazione: utilizzare il risultato precedente
- 5) Verifica legge di Fresnel: eseguire la misura come in precedenza