

Leggi di Snell

Gruppo 2 – Cataldi Martina, Marieni Elisa Iris, Miraglia Martina

Scopo dell'esperimento è la visualizzazione dei fenomeni di riflessione, rifrazione e riflessione totale, verificando la validità delle leggi di Snell e calcolando gli indici di rifrazione di alcune sostanze.

1- Introduzione

La prima Legge di Snell, o Legge della Riflessione, afferma che facendo incidere una radiazione su una superficie riflettente, l'angolo di riflessione è uguale all'angolo di incidenza: la riflessione è speculare.

La seconda Legge di Snell, o Legge della Rifrazione, lega invece l'angolo di incidenza ϑ_1 a quello di rifrazione ϑ_2 secondo la relazione:

$$n_1 \sin \vartheta_1 = n_2 \sin \vartheta_2$$

dove n_1 e n_2 sono gli indici di rifrazione rispettivamente del primo e del secondo mezzo.

Se la radiazione luminosa viaggia da un mezzo più rifrangente verso un mezzo meno rifrangente, la direzione dell'onda rifratta si allontana dalla normale all'interfaccia tra i due mezzi, e per valori di angoli di incidenza maggiori dell'angolo limite

$$\sin \vartheta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

si verifica il fenomeno della riflessione totale, in quanto la legge di Snell fornisce valori non ammissibili di $\sin \vartheta_2$.

2- Strumentazione

- Goniometro e righello
- Carta millimetrata
- Contenitori rettangolari di plastica trasparenti (7,5x14,2x5,3 cm e 8x10x5 cm)
- Puntatore laser
- Acqua, Olio, Alcool denaturato
- Blocchetto rettangolare in plexiglass: dimensioni 9cm x 8cm x 1,5 cm
- Foglio bianco da utilizzare come schermo
- Specchietto

3- Descrizione esperimento

Durante la prima fase dell'esperimento sono stati determinati gli indici di rifrazione di acqua, alcool denaturato e plexiglass.

Il contenitore riempito con acqua o con alcool e il blocchetto in plexiglass sono stati posizionati su un foglio di carta millimetrata sul quale sono segnati i due assi principali ortogonali (asse parallelo e asse normale alla superficie di separazione tra aria/liquido e aria/plexiglass) e la scala di angoli rispetto alla normale del raggio incidente, riflesso e rifratto (Figura 1).

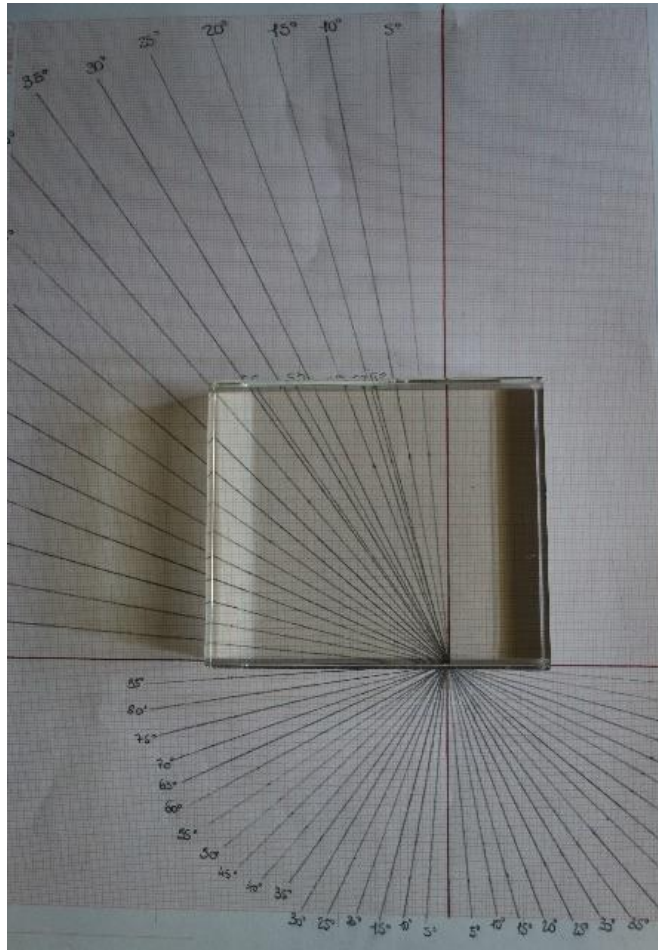


Figura 1 - Set up

Puntando la radiazione laser con un angolo di incidenza noto, sono stati misurati l'angolo del raggio riflesso e del raggio rifratto. Ripetendo la procedura al variare dell'angolo di incidenza è stato determinato l'indice di rifrazione del mezzo mediante regressione lineare (Figura 2 e Figura 3).

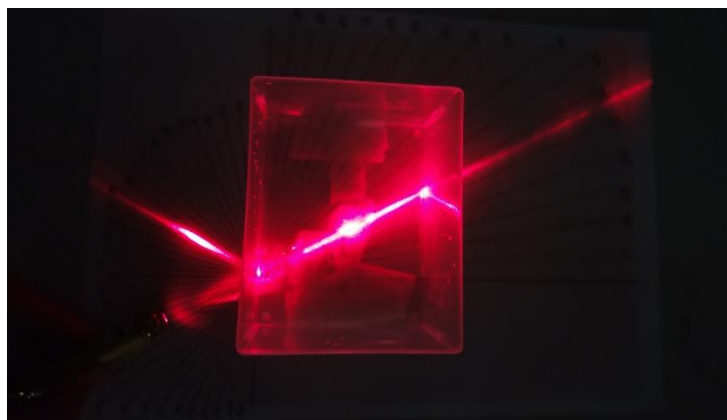


Figura 2 - Raggio incidente, riflesso e rifratto

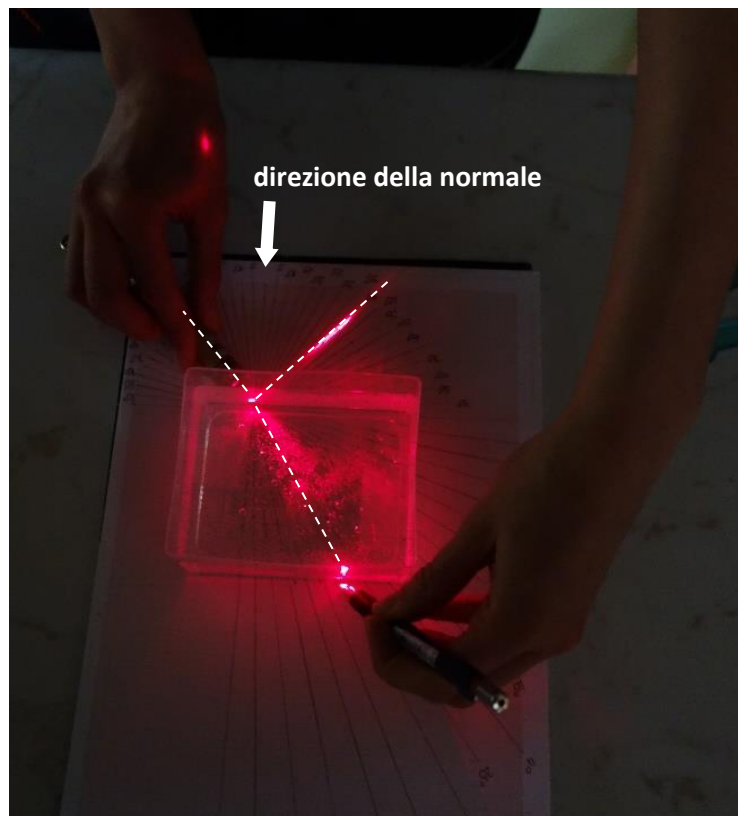
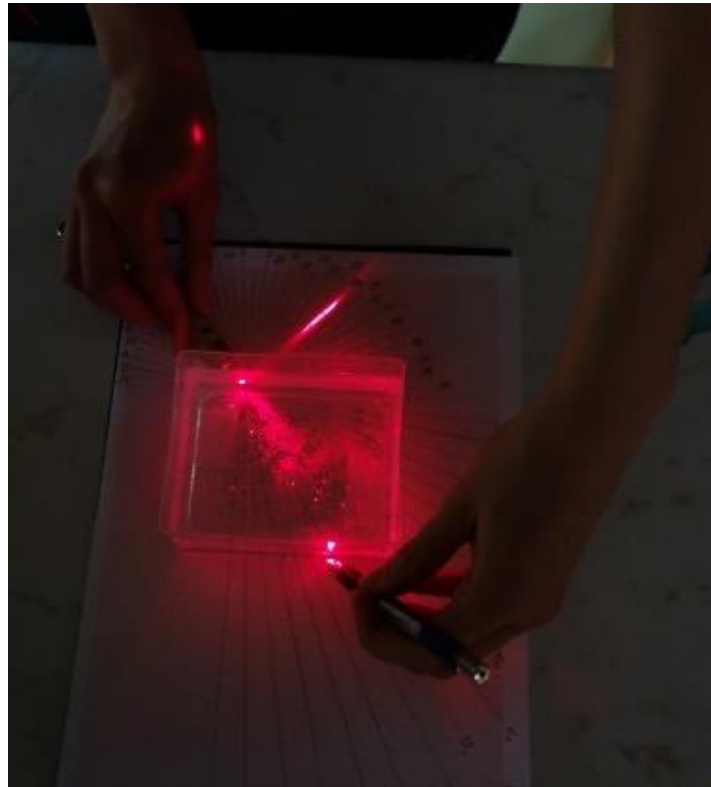


Figura 3 - Misure

Per stimare l'errore dovuto alla presenza di un'interfaccia in plastica tra il liquido e l'aria, sono state effettuate le medesime misure in assenza di liquido all'interno della vaschetta (Figura 4).

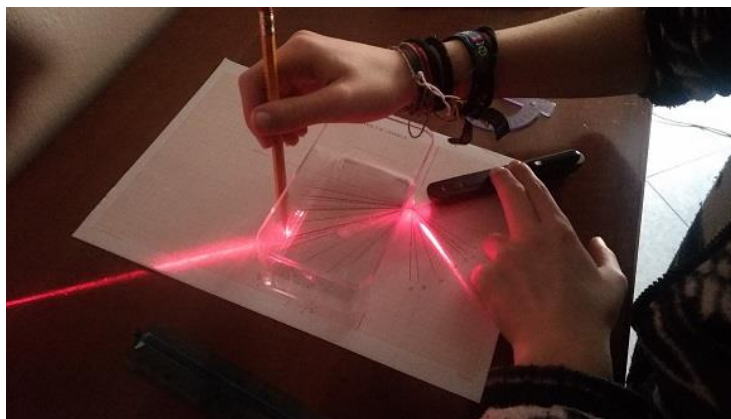


Figura 4 - Misure per stimare l'errore sistematico causato dalle pareti del contenitore

Per meglio visualizzare il fenomeno della riflessione, ed effettuare così una verifica della prima legge di Snell, si posiziona il foglio di carta millimetrata in orizzontale su una superficie piana tenendo lo specchio in posizione verticale lungo uno dei lati del foglio. Facendo incidere il raggio laser sullo specchio e raccogliendo il raggio riflesso sullo schermo, come mostrato in Figura 5, con una matita si segna la posizione del puntatore sul foglio e quella del puntino luminoso sullo schermo, verificando così che l'angolo di riflessione (ϑ) sia uguale a quello di incidenza (ϑ_i).

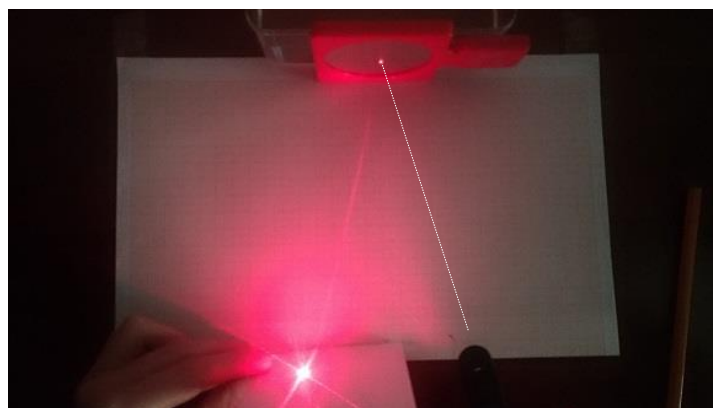


Figura 5 - Verifica della I legge di Snell

Inoltre, dopo aver fatto una previsione teorica dell'angolo di riflessione totale dell'acqua, utilizzando l'indice di rifrazione ricavato nella prima parte dell'esperienza, è possibile verificarlo sperimentalmente.

Per meglio visualizzare il raggio si introduce nell'acqua un po' di farina. Si segna la normale con un pezzo di spago e muovendo il puntatore lungo i lati della vaschetta si aumenta l'angolo di incidenza fino al raggiungimento dell'angolo critico.

Infine è stato osservato il fenomeno della riflessione totale utilizzando una guida di luce costituita da uno strato centrale di olio compreso tra due strati di acqua. Aumentando progressivamente l'angolo di incidenza della radiazione laser all'interno dello strato di olio, è possibile osservare riflessioni multiple quando l'angolo di incidenza è maggiore dell'angolo limite.

(vedi video allegati)

4- Elaborazione dati

4.1 Riflessione

L'osservazione del fenomeno della riflessione mediante l'utilizzo dello specchietto e dello schermo ha consentito di verificare la validità della prima legge di Snell. Risulta infatti:

$$\vartheta_i = (15^\circ \pm 1^\circ)$$

$$\vartheta = (14^\circ \pm 1^\circ)$$

dove ϑ è l'angolo di riflessione e ϑ_i l'angolo di incidenza.

4.2 Rifrazione

Per ciascun materiale analizzato, sono riportati gli angoli di rifrazione ϑ_2 misurati in corrispondenza dei diversi angoli di incidenza ϑ_1 della radiazione e l'indice di rifrazione del mezzo risultante dalla regressione lineare.

L'errore considerato per ciascuna misura è pari a 1° . L'influenza dell'interfaccia in plastica che separa liquido e aria non è sufficientemente apprezzabile con la strumentazione utilizzata (i.e. goniometro), causando infatti delle lievissime deviazioni dalla normale del raggio rifratto. L'errore sistematico dovuto allo spessore in plastica è quindi minore della sensibilità dello strumento.

Infatti, considerando che lo spessore della plastica è circa 1 mm e utilizzando il valore di indice di rifrazione pari a 1,46 per la plastica, si ricavano le traslazioni di seguito riportate del raggio rifratto rispetto alla normale, che sono confrontabili con la sensibilità degli strumenti, anche per valori di angolo di incidenza elevati.

$$\sin\vartheta_1 = n_p \sin\vartheta_2$$

$$d = t \cdot \operatorname{tg}\vartheta_2$$

dove d è lo spostamento ortogonalmente alla normale del raggio in uscita dallo spessore di plastica t . Risulta:

ϑ_1	ϑ_2	d [mm]
10°	6,8°	0,12
30°	20°	0,36
60°	36,4°	0,74

Tabella 1 – Traslazione rispetto alla normale del raggio

ACQUA

ϑ_1	ϑ_2	Errore assoluto
0°	0°	$\pm 1^\circ$
10°	8°	$\pm 1^\circ$
15°	13°	$\pm 1^\circ$
20°	15°	$\pm 1^\circ$
25°	19°	$\pm 1^\circ$
30°	24°	$\pm 1^\circ$
35°	26°	$\pm 1^\circ$
40°	28°	$\pm 1^\circ$
45°	32°	$\pm 1^\circ$
50°	37°	$\pm 1^\circ$
60°	41°	$\pm 1^\circ$

Tabella 2 - Acqua

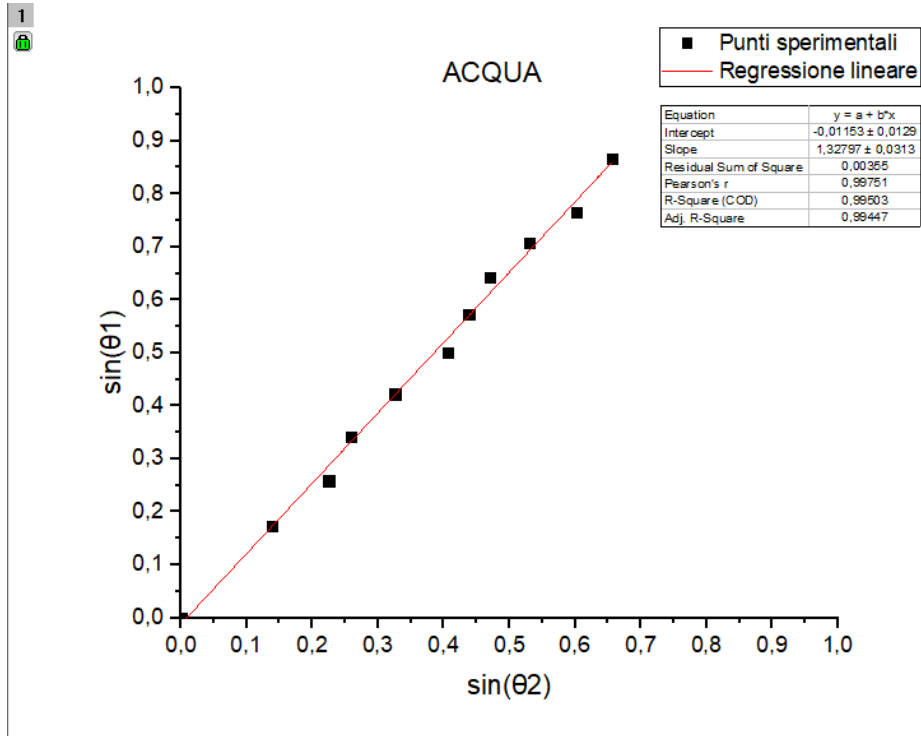


Figura 6 – Regressione lineare acqua

Con un fitting lineare si determina l'indice di rifrazione dell'acqua che risulta essere: $n_{ac} = (1,33 \pm 0,03)$.

PLEXIGLASS

ϑ_1	ϑ_2	Errore assoluto
0°	0°	$\pm 1^\circ$
10°	7°	$\pm 1^\circ$
20°	14°	$\pm 1^\circ$
25°	17°	$\pm 1^\circ$
30°	20°	$\pm 1^\circ$
40°	27°	$\pm 1^\circ$
45°	28°	$\pm 1^\circ$
50°	32°	$\pm 1^\circ$
55°	34°	$\pm 1^\circ$

Tabella 3 – Plexiglass

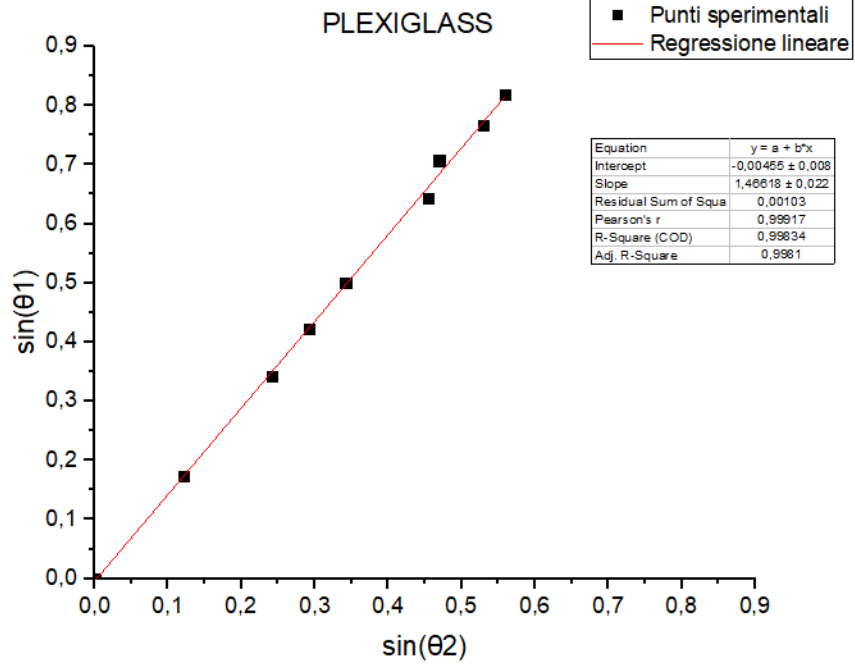


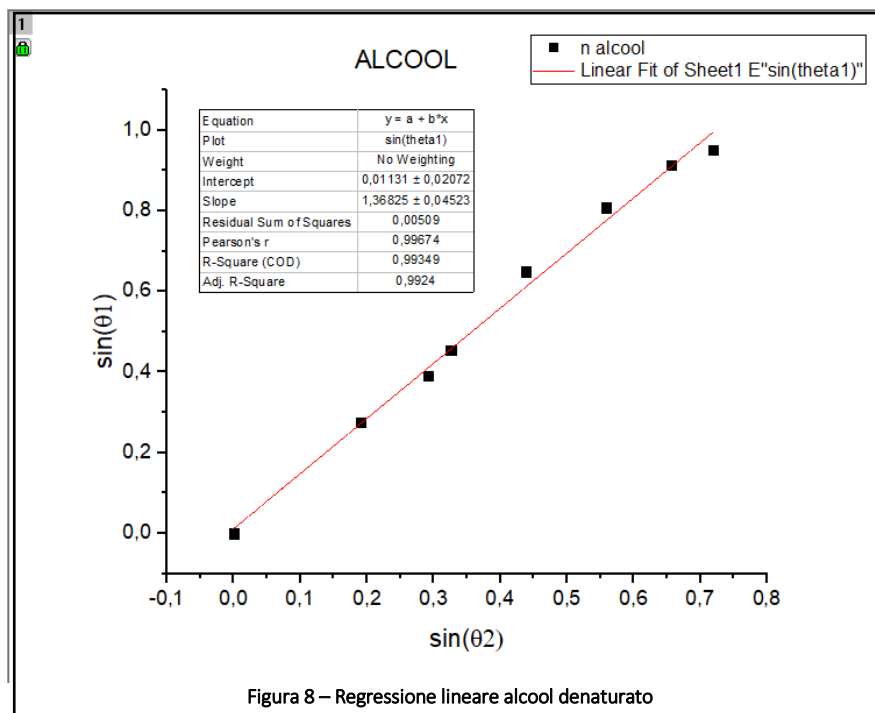
Figura 7 – Regressione lineare plexiglass

Con un fitting lineare si determina l'indice di rifrazione del plexiglass che risulta essere: $n_{pl} = (1,47 \pm 0,02)$.

ALCOOL DENATURATO

ϑ_1	ϑ_2	Errore assoluto
0°	0°	$\pm 1^\circ$
16°	11°	$\pm 1^\circ$
23°	17°	$\pm 1^\circ$
27°	19°	$\pm 1^\circ$
40°	26°	$\pm 1^\circ$
54°	34°	$\pm 1^\circ$
66°	41°	$\pm 1^\circ$
72°	46°	$\pm 1^\circ$

Tabella 4 – Acool denaturato



Con un fitting lineare si determina l'indice di rifrazione dell'alcool che risulta essere: $n_{al} = (1,37 \pm 0,04)$.

4.3 Riflessione totale

Previsione teorica dell'angolo di riflessione totale dell'acqua utilizzando l'indice di rifrazione ricavato nella prima parte dell'esperienza:

$$\vartheta_t = \arcsin\left(\frac{1}{n}\right) = 48,75^\circ$$

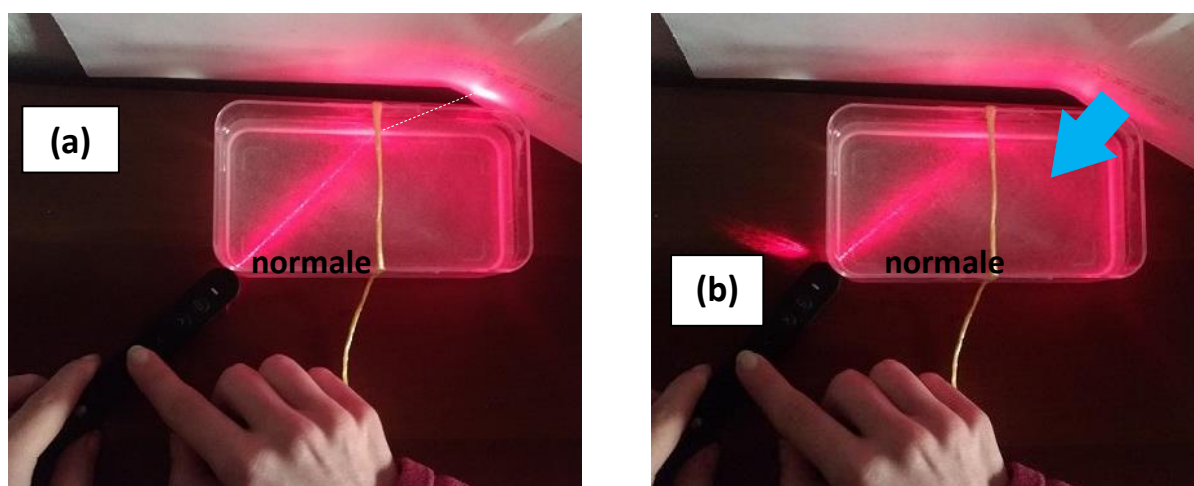


Figura 9 – Riflessione totale

Sperimentalmente, nota la geometria della vaschetta si ricava pertanto l'angolo critico ϑ_c :

$$\vartheta_c = \arctg\left(\frac{0,075 \text{ m}}{0,07 \text{ m}}\right) = (46,97^\circ \pm 0,01^\circ)$$

Successivamente è stato analizzato il fenomeno della riflessione totale realizzando una guida di luce costituita da uno strato di olio tra due strati di acqua. Poiché l'indice di rifrazione dell'olio è maggiore rispetto a quello dell'acqua, è possibile variare l'angolo di incidenza della radiazione laser all'interfaccia olio-acqua fino al verificarsi

della condizione limite di riflessione totale e osservare così riflessioni multiple all'interno dello strato di olio (Figura 10).

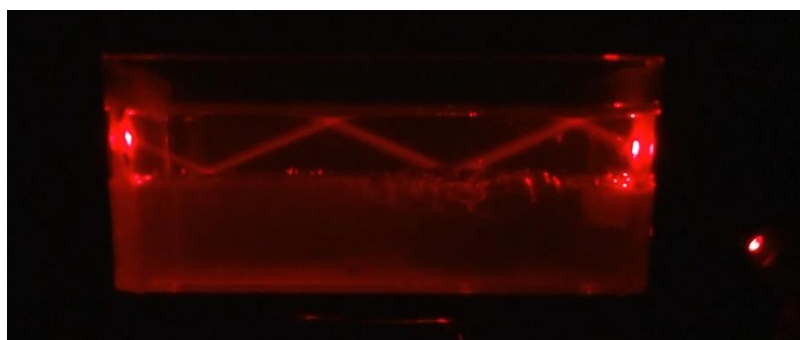


Figura 10 – Guida di luce

5- Conclusioni

La procedura sperimentale eseguita ha consentito di verificare la validità delle leggi di Snell e di calcolare gli indici di rifrazione di acqua, alcool e plexiglass, che risultano essere:

<i>Mezzo</i>	<i>Indice di rifrazione n</i>
acqua	1,33±0,03
plexiglass	1,47 ±0,02
alcool	1,37 ±0,04

Tabella 5 – Dati sperimentali

I valori teorici attesi per tali materiali sono:

<i>Mezzo</i>	<i>Indice di rifrazione n</i>
acqua	1,33
plexiglass	1,48
alcool	1,36

Tabella 6 – Dati teorici

I valori ottenuti risultano pertanto consistenti con i valori attesi.

L'influenza sulle misure delle pareti in plastica che dividono il liquido in esame e l'aria è stata valutata numericamente e sperimentalmente.

Numericamente, considerando uno spessore di plastica pari a 1 mm e utilizzando il valore di indice di rifrazione pari a 1,46, si ricavano delle lievi traslazioni del raggio rifratto rispetto alla normale, confrontabili con la sensibilità degli strumenti utilizzati anche per valori di angolo di incidenza elevati.

Sperimentalmente, è stata effettuata la misura dell'angolo di rifrazione della radiazione in uscita dalla vaschetta in assenza di liquido all'interno. Lo spostamento del raggio in uscita dal contenitore non è sufficientemente apprezzabile con la strumentazione utilizzata (i.e. goniometro).

Si può concludere quindi che l'errore sistematico introdotto dalla procedura svolta è trascurabile rispetto alla sensibilità della strumentazione utilizzata.