

IDEE PER UNA LEZIONE DIGITALE

| PARAGRAFO | CONTENUTO | DURATA (MINUTI) |
|-----------------------|---|-----------------|
| Apertura capitolo | <p> ESPERIMENTI A CASA</p> <p>Un cucchiaino come specchio Specchi concavi e convessi in casa e in strada.</p> | 2 |
| I concetti e le leggi | <p> IN 3 MINUTI</p> <ul style="list-style-type: none"> • La legge di Snell per la rifrazione <p> MAPPA INTERATTIVA</p> | |
| Esercizi | <p>20 TEST INTERATTIVI SU  CON FEEDBACK «Hai sbagliato, perché...»</p> | |

VERSO IL CLIL

FORMULAE IN ENGLISH

AUDIO

| | | |
|---|---|---|
| Focal length in a curved mirror | $f = \frac{r}{2}$ | The focal length of a concave mirror equals the radius of the mirror divided by two. |
| Mirror equation | $\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f}$ | The sum of the reciprocals of the object distance d_o and the image distance d_i equals the reciprocal of the focal length of the mirror f . |
| Magnification | $m = -\frac{d_i}{d_o} = -\frac{h_i}{h_o}$ | Magnification m equals minus the ratio of the image distance to the object distance, which in turns equals the ratio of the image height to the object height. |
| Snell's law of refraction | $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ | For light or other waves passing through a boundary between two different isotropic media, the product of the refractive index of the first medium n_1 and the sine of the angle of incidence θ_1 at the boundary equals the product of the refractive index of the second medium n_2 and the sine of the angle of refraction θ_2 . |
| Critical angle for total internal reflection | $\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (n_1 > n_2)$ | The sine of the critical angle θ_c , the largest possible angle of incidence that still results in a refracted ray, equals the ratio of the refractive index of the less refractive medium n_2 to the refractive index of the more refractive medium n_1 . |
| Lens equation | $\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f}$ | Formula for thin lenses: the sum of the reciprocals of the object and image distances equals the reciprocal of the focal length. |

 QUESTIONS AND ANSWERS AUDIO

► What are the sign conventions for the mirror equation?

As the mirror equation is used for concave and convex mirrors, it is necessary to establish a sign convention to avoid confusion between real and virtual. The object distance, image distance, and focal length appearing in the mirror equation are measured with respect to the “zero point” of the lens: the point on the principal axis of the mirror touching the centre of the curved side of the mirror. The area before the mirror is positive, the area behind the mirror is negative. The sign conventions are: *focal length* is positive for converging and negative for diverging mirrors; *object distance* is positive; *image distance* is positive for real images and negative for virtual images; and all heights are measured with respect to the principal axis and are positive when erect and negative when inverted. In addition, *magnification* is positive when the image is erect and negative when inverted.

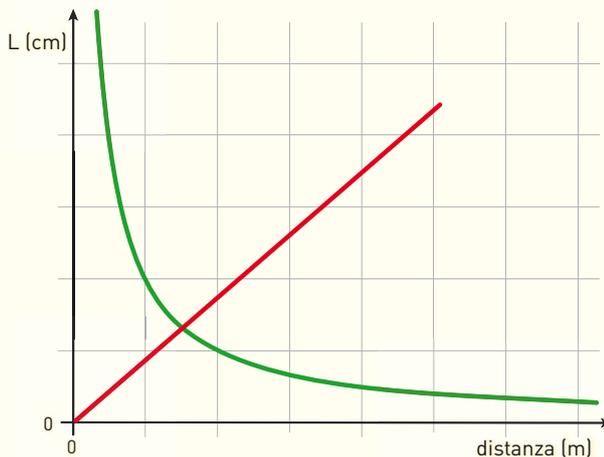
► State the image formation rules for thin lenses.

The image formed by a converging lens can be found using three simple rules: a) incident rays parallel to the axis of the lens are refracted through the image focus of the lens; b) incident rays passing through the object focus of the lens are refracted parallel to the axis of the lens; and c) incident rays passing through the centre of the lens pass directly through without any change in direction. This final rule is only an approximation, as the rays are displaced slightly, but negligibly so for thin lenses. For diverging lenses the rules are: a) incident rays parallel to the axis are refracted as if they came from the image focus of the lens; b) incident rays directed towards the object focus of the lens are refracted parallel to the axis; and c) incident rays passing through the centre of the lens pass directly through without any change in direction.

PROBLEMI MODELLO, DOMANDE E PROBLEMI IN PIÙ

1 I RAGGI DI LUCE

3 IN FORMA DI GRAFICO Un bambino mette la sua mano davanti a un proiettore con il palmo parallelo e vicino allo schermo, che si trova alla distanza di 4,0 m dal proiettore stesso, e la avvicina sempre di più alla sorgente di luce del proiettore.

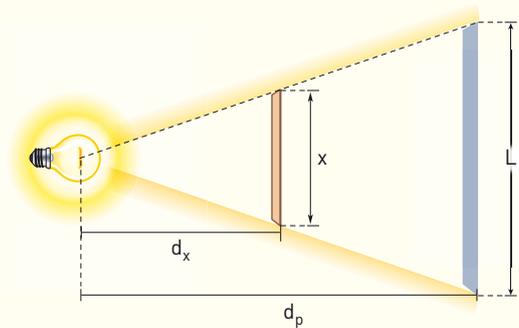


► Quale curva nel grafico rappresenta l'andamento della lunghezza L dell'ombra della sua mano sullo schermo in funzione della distanza tra la mano e il proiettore?

PROBLEMA MODELLO 1 IL LATO DEL CARTONCINO

La superficie quadrata di un cartoncino è parallela a una parete e ostacola il passaggio delle luce proveniente da una lampada che si trova a 15 cm di distanza. L'ombra disegnata dal cartoncino è un quadrato di lato 12 cm e si staglia sulla parete a 30 cm dalla lampada.

- Quanto è lungo il lato del cartoncino?
- A quale distanza dalla lampada va posizionato il cartoncino in modo che il lato dell'ombra (L') sia il triplo di quello del cartoncino (x')?



■ DATI

Distanza lampada-cartoncino: $d_x = 15$ cm
 Lato dell'ombra del cartoncino: $L = 12$ cm
 Distanza lampada-parete: $d_p = 30$ cm

■ INCOGNITE

Lato del cartoncino: $x = ?$
 Distanza dalla lampada a cui $L' = 3x'$: $d'_x = ?$

L'IDEA

- Il cartoncino ostacola la luce diretta dalla lampada alla parete: quindi si forma un cono d'ombra e il cartoncino proietta sulla parete la sua forma ingrandita.
- I raggi provenienti dalla lampada, che individuano il cono d'ombra, formano due triangoli simili:

$$\frac{x}{d_x} = \frac{L}{d_p}$$

LA SOLUZIONE

Calcolo la lunghezza del lato del cartoncino.

$$x = \frac{d_x L}{d_p} = \frac{15 \text{ cm} \times 12 \text{ cm}}{30 \text{ cm}} = 6,0 \text{ cm}.$$

Il cartoncino si trova a metà strada tra la sorgente e la parete, perciò la sua ombra ha dimensioni doppie.

Determino per quale distanza dalla lampada vale $L' = 3x'$.

In questo caso, dalla proporzione ottengo che la distanza tra la lampada e il cartoncino è pari a un terzo della distanza tra la lampada e la parete:

$$d'_x = \frac{1}{3} d_p = 10 \text{ cm}.$$

7 ******* Per una installazione artistica un vecchio disco in vinile viene appeso a una fune a 2,6 m di distanza dalla parete della sala, in modo da stare parallelo ad essa. Quando il disco viene illuminato da un faro luminoso posto sul suo asse a 1,0 m da esso, l'ombra proiettata sulla parete della sala ha diametro 1,1 m.

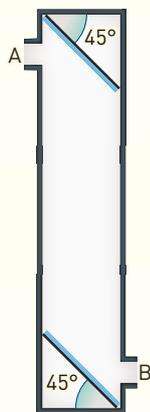
► Calcola il diametro del disco.

- Successivamente la sorgente luminosa viene fatta oscillare avanti e indietro. Quando il faro si avvicina al disco, il raggio dell'ombra aumenta o diminuisce?
- Calcola a quale distanza dal disco si trova la sorgente luminosa quando l'area dell'ombra risulta il triplo della superficie del disco.

[0,31 m; 3,6 m]

2 LE LEGGI DELLA RIFLESSIONE E GLI SPECCHI PIANI

10 **APPLICA I CONCETTI** Su un vecchio sottomarino, per vedere al di sopra della superficie dell'acqua, i tecnici hanno installato un semplice periscopio. Lo strumento è costituito da un lungo tubo alle cui estremità si trovano due specchi piani paralleli tra loro e che formano un angolo di 45° con le basi del tubo.



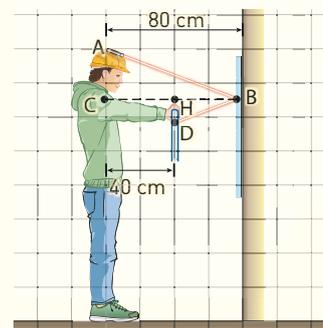
11 **PENSACI BENE** In ambienti di piccole dimensioni, per dare l'impressione di spazi più ampi, si possono posizionare degli specchi. Perché?

► Sai spiegare come funziona lo strumento? Supponi che i raggi di luce che entrano dall'apertura A siano orizzontali.

PROBLEMA MODELLO 2 GIOCHI ALLO SPECCHIO

Marco si trova in piedi a 80 cm di distanza da uno specchio. Sta indossando un cappello da minatore in cui ha sostituito la torcia con un puntatore laser giocattolo. La luce incide sullo specchio in un punto B all'altezza di 1,31 m dal pavimento. Tenendo le braccia tese davanti a sé Marco sostiene un libro con la copertina parallela allo specchio. Le sue braccia sono lunghe 40 cm e Marco è alto 1,60 m.

- ▶ A quale distanza da sé Marco vede l'immagine della copertina del libro?
- ▶ A quale altezza rispetto al suolo Marco vede la luce del laser sull'immagine del libro?



■ DATI

Distanza di Marco dallo specchio:

$$d = \overline{CB} = 80 \text{ cm}$$

Lunghezza dalle braccia di Marco: $\overline{CH} = 40 \text{ cm}$

Altezza di Marco: $h = 1,60 \text{ m}$

Altezza del punto di impatto del laser: $h_L = 1,31 \text{ m}$

■ INCOGNITE

Distanza dell'immagine del libro da Marco:

$$d' = ?$$

Altezza dal suolo del punto illuminato sul libro:

$$h' = ?$$

L'IDEA

- L'immagine si forma in posizione simmetrica al libro rispetto allo specchio.
- Il raggio laser viene riflesso in modo che l'angolo di incidenza sia uguale a quello di riflessione per la seconda legge della riflessione.
- Considero il triangolo rettangolo ABC formato dal raggio di luce con la perpendicolare allo specchio e la verticale distante 80 cm dallo specchio. Il triangolo è simile al triangolo BHD .
- Ricavo la lunghezza del segmento \overline{HD} dalla proporzione $\overline{AC} : \overline{CB} = \overline{HD} : \overline{HB}$.
- Ottengo l'altezza dal suolo del punto illuminato come: $h' = h - \overline{AC} - \overline{HD}$.

LA SOLUZIONE

Calcolo la distanza tra Marco e l'immagine del libro.

L'immagine del libro si forma a una distanza di 40 cm dalla parte opposta dello specchio. Quindi, rispetto a Marco, si forma alla distanza:

$$d' = d + 40 \text{ cm} = 0,80 \text{ m} + 0,40 \text{ m} = 1,20 \text{ m}.$$

Ricavo l'altezza dal suolo del punto illuminato sul libro.

Calcolo la lunghezza del segmento \overline{AC} :

$$\overline{AC} = h - h_L = (1,60 - 1,31) \text{ m} = 0,29 \text{ m}.$$

Dalla proporzione $\overline{AC} : \overline{CB} = \overline{HD} : \overline{HB}$ ottengo:

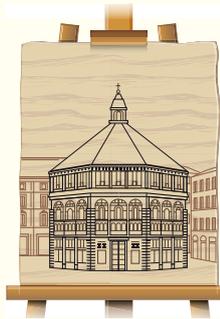
$$\overline{HD} = \frac{\overline{AC} \times \overline{HB}}{\overline{CB}} = \frac{(29 \text{ cm}) \times (40 \text{ cm})}{80 \text{ cm}} = 15 \text{ cm}.$$

L'altezza del punto illuminato dal suolo è dunque:

$$h' = h - \overline{AC} - \overline{HD} = 1,60 \text{ m} - 0,29 \text{ m} - 0,15 \text{ m} = 1,16 \text{ m}.$$

17 ★★★ Brunelleschi è riconosciuto come l'inventore della prospettiva. Tra i vari esperimenti che fece, rappresentò su una tavoletta di legno il Battistero di San Giovanni a Firenze con gli edifici circostanti visti dall'interno della porta centrale del Duomo di Santa Maria del Fiore.

Nella tavoletta era stato praticato un foro in modo che un osservatore, posizionato in un punto preciso all'interno della porta principale del Duomo, potesse guardare l'immagine del dipinto riflessa su uno specchio piano tenuto frontale e parallelo alla tavoletta stessa. La distanza tra lo specchio e la tavoletta era tale da contenere l'intero dipinto. Si poteva in questo modo osservare la perfetta coincidenza tra l'immagine dipinta e quella reale.



- ▶ Rappresenta graficamente la formazione dell'immagine del Battistero formata dallo specchio.
- ▶ In che modo Brunelleschi aveva dovuto dipingere gli edifici circostanti il Battistero? Per quale motivo?
- ▶ Nella parte superiore e intorno alla rappresentazione pittorica del Battistero era stata attaccata una lamina argentata che risultava a contatto diretto con la luce. Perché secondo te?

4 COSTRUZIONE DELL'IMMAGINE PER GLI SPECCHI SFERICI

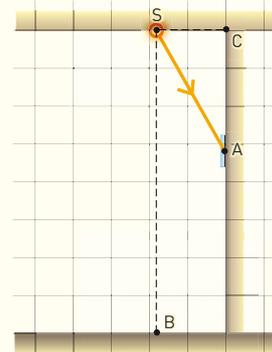
29 **APPLICA I CONCETTI** Un'asticella si riflette in uno specchio sferico concavo di raggio 80 cm posto a 30 cm di distanza.

- ▶ Costruisci graficamente l'immagine dell'asticella.
- ▶ L'asticella viene ora allontanata dallo specchio di altri 60 cm. Costruisci graficamente l'immagine nella nuova posizione.

30 **APPLICA I CONCETTI** Carla vuole individuare sperimentalmente la posizione del centro e del fuoco di uno specchio concavo. Per farlo, fa scorrere una penna sull'asse ottico dello specchio e ne osserva le immagini catturate su uno schermo.

- ▶ Da cosa può dedurre la posizione indicativa del centro?
- ▶ Carla non conosce la relazione tra raggio e fuoco. Come può individuare la posizione del fuoco dello specchio a partire dalle immagini della penna?

18 ★★★ Un raggio di luce è emesso da una lampada posizionata nel punto S sul soffitto a un'altezza di 4,0 m dal pavimento. Il raggio incide su un piccolo specchio che si trova appeso nel punto A a un'altezza di 2,4 m dal pavimento su una parete situata 90 cm a destra dalla lampada.



- ▶ A quale altezza dal pavimento lungo la verticale per il punto S passa il raggio riflesso?

[0,8 m]

31 **APPLICA I CONCETTI** Marco si trova in un grande supermercato dove è collocato uno specchio convesso per la vigilanza. Non riuscendo a leggere l'etichetta di un prodotto, lo avvicina allo specchio per vederne l'immagine ingrandita.

- ▶ Marco riesce a vedere l'immagine ingrandita dell'etichetta? Motiva la risposta.
- ▶ Il suo amico Stefano si trova a qualche corsia di distanza dietro a Marco. È possibile che Marco veda nello specchio l'immagine di Stefano? Motiva la risposta.

32 **PENSACI BENE** Filippo e Lucia posizionano due scatole uguali sull'asse ottico di due specchi identici. Le due scatole sono posizionate a distanze diverse dai rispettivi specchi. L'immagine ottenuta da Filippo ha le stesse dimensioni di quella ottenuta da Lucia.

- ▶ Le due immagini sono reali o virtuali? Ingrandite o rimpicciolite? Motiva la risposta.
- ▶ Gli specchi sono concavi o convessi?
- ▶ Costruisci graficamente la formazione delle due immagini.

33 COSA SUCCEDA SE Paola vuole posizionare in salotto uno specchio che rifletta l'immagine rimpicciolita di un vaso di fiori.

- ▶ Paola può usare sia uno specchio concavo che uno convesso?
- ▶ A quale distanza dallo specchio deve posizionare il vaso nel caso in cui utilizzi lo specchio concavo? Dove si forma l'immagine del vaso rispetto all'oggetto? A quale distanza dallo specchio? Guardando lo specchio si vede l'immagine del vaso?
- ▶ Se Paola utilizza uno specchio convesso, quali sono le caratteristiche dell'immagine?

34 Completa la tabella.

| TIPO DI SPECCHIO | OGGETTO | IMMAGINE | INGRANDIMENTO |
|------------------|----------------------------|------------------|---------------|
| sferico concavo | nel centro | | |
| sferico convesso | davanti allo specchio | | |
| sferico concavo | oltre il centro | | |
| sferico concavo | | reale, capovolta | ingrandita |
| sferico concavo | tra il fuoco e lo specchio | | |

35 COSA SUCCEDA SE Un barattolo si trova sull'asse ottico di uno specchio concavo e viene lentamente allontanato da esso.

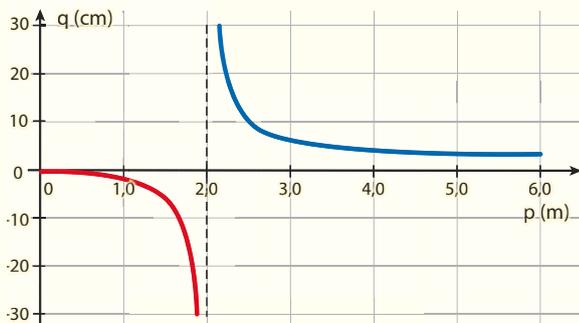
- ▶ In quale punto tende a formarsi l'immagine?
- ▶ Avvicinando il barattolo al fuoco dello specchio, a quale distanza tende a formarsi l'immagine?
- ▶ Vale sia se il barattolo si avvicina a sinistra che a destra del fuoco?

5 LA LEGGE DEI PUNTI CONIUGATI E L'INGRANDIMENTO

38 PENSACI BENE Puoi considerare uno specchio piano come uno specchio sferico con un raggio che tende all'infinito.

- ▶ È possibile applicare la legge dei punti coniugati a uno specchio piano? Illustra perché.

39 IN FORMA DI GRAFICO Il grafico nella figura mostra l'andamento della distanza q dell'immagine generata da uno specchio concavo in funzione della distanza p dell'oggetto dallo specchio stesso.



- ▶ Qual è la distanza focale di questo specchio?
- ▶ In quale punto l'ingrandimento lineare vale 1?
- ▶ Per quali valori di p l'immagine è virtuale?

46 Per truccarsi gli occhi, Martina utilizza uno specchio da estetista di raggio di curvatura 48 cm e si posiziona a una distanza doppia della distanza focale.

- ▶ Di quanto risulta ingrandito il suo occhio?
- ▶ Per vedere attraverso lo specchio il suo occhio di dimensioni doppie, deve avvicinarsi o allontanarsi dallo specchio? Di quanti centimetri?

[Avvicinarsi di 36 cm]

47 Luca posiziona una bottiglia di fronte ad uno specchio sferico di distanza focale 15 cm in modo da proiettarne l'immagine tre volte più grande su uno schermo.

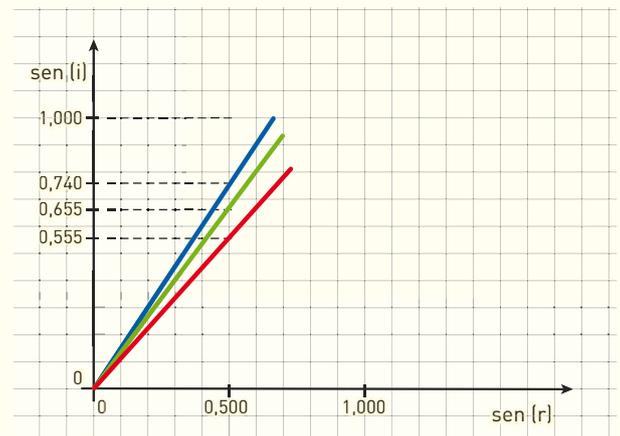
- ▶ A quale distanza dallo specchio deve posizionare lo schermo?
- ▶ Matteo prende la bottiglia per bere e quando la risistema l'immagine che si forma nello specchio è ancora ingrandita di tre volte. Matteo osserva lo schermo sul quale però non si forma alcuna immagine. Di quanti centimetri ha spostato la bottiglia rispetto allo specchio?
- ▶ Guardando attraverso lo specchio, l'immagine di Matteo differisce da quella di Luca? In cosa? Rappresenta graficamente le due situazioni.

7 LE LEGGI DELLA RIFRAZIONE

51 APPLICA I CONCETTI Due raggi luminosi si propagano in aria. A un certo punto incontrano due bicchieri di uguali dimensioni riempiti completamente con due mezzi di indice di rifrazione rispettivamente 1,4 e 1,5. I raggi incidono con lo stesso angolo di incidenza e nello stesso punto della superficie.

- ▶ Quale raggio viene maggiormente rifratto?
- ▶ Quale raggio percorre nel mezzo un cammino più lungo?

52 IN FORMA DI GRAFICO Nella figura sono riportati i grafici che si ottengono applicando la legge di Snell quando un raggio di luce subisce rifrazione passando da aria ad acqua, da acqua a olio e da aria a olio. Sappiamo che $n_{\text{olio}} = 1,48$, $n_{\text{acqua}} = 1,33$.

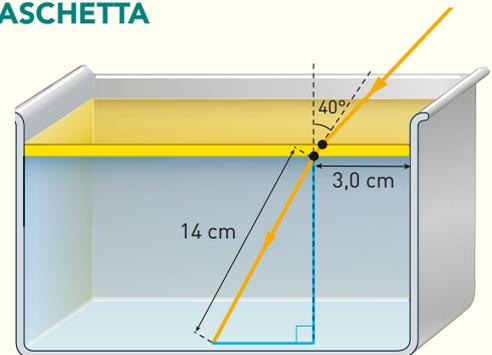


- ▶ Associa a ogni grafico la rispettiva coppia di materiali trasparenti coinvolti nella rifrazione.

PROBLEMA MODELLO 4 IL LIVELLO DI ACQUA NELLA VASCHETTA

Una vaschetta contiene acqua e olio ($n_{\text{olio}} = 1,48$). Un raggio incide sulla superficie di separazione olio-acqua con un angolo di incidenza di 40° e a una distanza di 3,0 cm dalla parete destra. Il cammino del raggio di luce nell'acqua è lungo 14 cm.

- ▶ Calcola il livello di acqua nella vaschetta.
- ▶ Calcola a quale distanza dalla parete destra il raggio colpisce il fondo della vaschetta.



■ DATI

Indice di rifrazione dell'olio: $n_{\text{olio}} = 1,48$
 Angolo di incidenza olio-acqua: $\hat{i} = 40^\circ$
 Distanza dal bordo della vaschetta: $x_0 = 3,0$ cm
 Lunghezza del cammino del raggio di luce nell'acqua: $l = 14$ cm

■ INCOGNITE

Livello dell'acqua: $h = ?$
 Distanza dal bordo destro a cui il raggio colpisce il fondo: $d = ?$

L'IDEA

- Applico la legge di Snell per determinare a quale angolo viene rifratto il raggio di luce.
- L'altezza dell'acqua nella vaschetta costituisce il cateto maggiore di un triangolo rettangolo la cui ipotenusa è il cammino del raggio di luce nell'acqua.
- La distanza tra la perpendicolare alla superficie nel punto di incidenza e il punto di incidenza del raggio sul fondo della vaschetta costituisce il cateto minore del triangolo rettangolo.
- C'è un dato implicito, che è l'indice di rifrazione dell'acqua: $n_{\text{acqua}} = 1,33$.

LA SOLUZIONE

Ricavo l'angolo di rifrazione del raggio di luce nel passaggio da olio ad acqua usando la legge di Snell.

$$n_{\text{olio}} \sin \hat{i} = n_{\text{acqua}} \sin \hat{r}$$

da cui

$$\hat{r} = \arcsen \left[\frac{n_{\text{olio}}}{n_{\text{acqua}}} \sin \hat{i} \right] = \arcsen \left[\frac{1,48}{1,33} \times \sin 40^\circ \right] = 46^\circ.$$

Calcolo il livello dell'acqua nella vaschetta.

$$h = l \cos \hat{r} = 14 \text{ cm} \times \cos 46^\circ = 9,7 \text{ cm}.$$

Calcolo la distanza dalla parete.

$$d = x_0 + x$$

Il cateto minore del triangolo che ho considerato è:

$$x = l \sin \hat{r} = 14 \text{ cm} \times \sin 46^\circ = 10 \text{ cm}.$$

La distanza cercata è quindi:

$$d = x_0 + x = 3 \text{ cm} + 10 \text{ cm} = 13 \text{ cm}.$$

PER NON SBAGLIARE

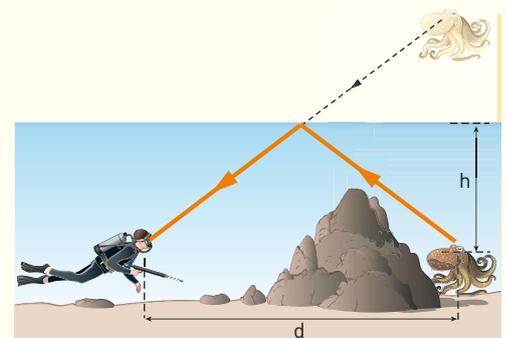
Con la calcolatrice scientifica puoi trovare l'angolo al quale corrisponde un dato valore del seno usando il tasto indicato con sen^{-1} , che in italiano si chiama «arccoseno».

8 LA RIFLESSIONE TOTALE

PROBLEMA MODELLO 5 PESCA SUBACQUEA

Un ragazzo si sta dedicando alla pesca subacquea. Mentre sta nuotando, sul fondale vede un grosso polpo che scappa a nascondersi dietro uno scoglio. Guardando verso la superficie dell'acqua, si accorge che riesce a vedere l'immagine del polpo dietro allo scoglio. Così si avvicina per cercare di catturarlo, ma quando giunge alla distanza di 5,7 m dal polpo d'un tratto non lo vede più e si arrende pensando che sia scappato.

- ▶ Perché riusciva a vedere il polpo dietro allo scoglio all'inizio?
- ▶ Quanto è profonda l'acqua?



■ DATI

Distanza dal polpo: $d = 5,7 \text{ m}$

■ INCOGNITE

Perché inizialmente riesce a vedere il polpo?
 Profondità dell'acqua: $h = ?$

L'IDEA

- Se i raggi di luce provenienti dal polpo incidono sulla superficie di separazione acqua-aria con un angolo maggiore dell'angolo limite, non vengono rifratti.
- Il ragazzo vede l'immagine formata dai raggi riflessi se non è troppo vicino allo scoglio, cioè se l'angolo di osservazione è maggiore dell'angolo limite.
- Nell'istante in cui non vede più il polpo l'angolo è uguale all'angolo limite. Ricavo l'altezza dell'acqua applicando le formule goniometriche.

LA SOLUZIONE

Calcolo l'angolo limite per l'acqua.

$$\hat{i}_L = \arcsen\left(\frac{1}{n_{\text{acqua}}}\right) = \arcsen\left(\frac{1}{1,33}\right) = 48,8^\circ.$$

Ricavo la profondità dell'acqua.

Dalle relazioni goniometriche, e applicando il teorema di Pitagora, posso dire che:

$$\text{sen } \hat{i}_L = \frac{d}{\sqrt{h^2 + d^2}}.$$

da cui si ottiene:

$$h = d \sqrt{\frac{1}{\text{sen}^2 \hat{i}_L} - 1} = (5,7 \text{ m}) \times \sqrt{\frac{1}{\text{sen}^2 48,8^\circ} - 1} = 5,0 \text{ m}.$$

- 69** ★★★ Il grafico nella figura mostra l'andamento dell'angolo limite per un raggio di luce che incide sulla superficie di separazione tra un materiale di indice di rifrazione n e l'aria, in funzione dell'indice n stesso.



- ▶ L'andamento generale dell'angolo limite è in accordo con la legge di Snell? Motiva la tua risposta.
- ▶ Calcola quali valori assume l'angolo limite se il raggio di luce passa da materiali con indice di rifrazione $n = 1,4$ e $n = 2,4$ all'acqua ($n_{\text{acqua}} = 1,33$).

[72°, 34°]

- 70** ★★★ L'indice di rifrazione della luce in aria non è costante ma è inversamente proporzionale alla temperatura, e quindi dipende dalla densità dell'aria che attraversa. Esso risulta quindi minore negli strati d'aria più caldi e maggiore nelle strati d'aria più freddi. Una conseguenza di ciò sono i fenomeni ottici del Miraggio (o miraggio inferiore) e della Fata Morgana (o miraggio superiore).

Miraggio

Durante delle giornate particolarmente afose, in zone molto calde, può capitare che la superficie terrestre si surriscaldi; gli strati d'aria a contatto con essa, di conseguenza, diventano più caldi e meno densi degli strati superiori. Quando gli strati d'aria più bassi sono più caldi, e quindi meno rifrangenti, un raggio luminoso che si propaga attraverso essi viene progressivamente deviato dalla perpendicolare fino a quando, raggiunto l'angolo limite, si riflette totalmente. A un osservatore che guarda un oggetto in lontananza arrivano di conseguenza due raggi: uno diretto, che attraversa uno strato a temperatura costante e uno rifratto, che attraversa strati man mano più caldi. L'effetto è quello di uno specchio: l'osservatore ha l'impressione che l'oggetto si specchi in una pozza d'acqua (immagine del cielo) e ne vede in essa l'immagine capovolta. Esempi di miraggi inferiori sono le oasi nei deserti e l'immagine schiacciata del Sole durante il tramonto sul mare.

Fata Morgana

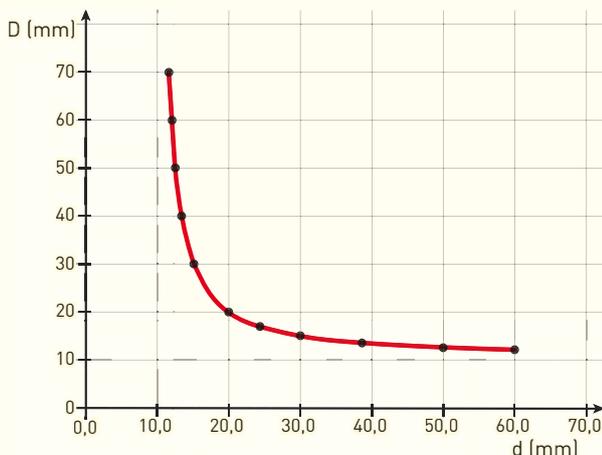
Viceversa, in zone superficiali fredde come grandi distese di acqua fredda o ghiacciata, gli strati atmosferici più bassi possono subire bruschi raffreddamenti. In questo caso, più si sale più la temperatura aumenta e l'indice di rifrazione diminuisce. All'osservatore che guarda un oggetto in lontananza arrivano ancora due raggi, uno diretto e uno riflesso: l'immagine viene vista fluttuare in cielo. Esempi di miraggi superiori sono le immagini di città fluttuanti in aria (fenomeno tipico nello stretto di Messina) e l'avvistamento di navi e isole in mare prima ancora che esse siano all'orizzonte.

Durante una giornata molto afosa, Jacopo è in autostrada e vede in lontananza un'auto muoversi e specchiarsi su una strada bagnata.

- ▶ Si verifica un miraggio inferiore o superiore?
- ▶ Come cambia l'immagine dell'automobile man mano che Jacopo si avvicina ad essa? Motiva la risposta rappresentando graficamente la formazione dell'immagine rispetto ad almeno due di stanze diverse dall'oggetto.

9 LENTI SFERICHE

77 IN FORMA DI GRAFICO Uno studente ha effettuato un test per studiare le proprietà di una lente sottile. Ha posizionato un dado a diverse distanze dalla lente e ne ha osservato ogni volta l'immagine su uno schermo. Ha riportato sul grafico nella figura la distanza D a cui ha visto l'immagine a fuoco in funzione della distanza d del dado dalla lente.



- ▶ Di che tipo di lente si tratta?
- ▶ Sai determinare la distanza focale di questa lente?
- ▶ In quali casi avrà visto un'immagine rimpicciolita del dado? Indicali sul grafico.

78 APPLICA I CONCETTI Quando si osserva un foglio di giornale con una lente d'ingrandimento si vede l'immagine diritta e ingrandita delle lettere.

71 Secondo una saga nordica, il norvegese Eric il Rosso navigò dall'Islanda e scoprì la Groenlandia dopo aver visto l'isola in un miraggio.

- ▶ Di che tipo di miraggio si sarebbe trattato?
- ▶ Nella figura, disegna il cammino dei raggi luminosi per spiegare il miraggio.



- ▶ Che tipo di lente produce questo effetto?
- ▶ Se la lente ha una distanza focale di 8 cm, a quale distanza da essa bisogna posizionare il foglio?
- ▶ L'immagine che si vede delle lettere è virtuale o reale? Rispetto all'oggetto, l'immagine da che parte della lente si forma? Rappresenta graficamente la formazione dell'immagine.

79 APPLICA I CONCETTI Franco è in casa quando suona al campanello. Guardando attraverso la lente dello spioncino della porta di ingresso, Franco vede l'immagine dell'ospite rimpicciolita.

- ▶ La lente dello spioncino è convergente o divergente?
- ▶ L'immagine che Franco vede è reale o virtuale? Rispetto all'ospite, da che parte della lente si forma? Rappresentane graficamente la formazione.
- ▶ L'immagine dell'ospite può essere impressa su uno schermo?

80 APPLICA I CONCETTI Su un banco ottico da laboratorio, un cubo è fissato a 10 m dal supporto di una lente sferica. Enrico ha a disposizione tre lenti di distanze focali di -8 m, 15 m e 7 m e vuole imprimere l'immagine del cubo a fuoco su uno schermo posto dalla parte opposta della lente.

- ▶ Le tre lenti sono convergenti o divergenti?
- ▶ Quali lenti può utilizzare per vedere l'immagine del cubo sullo schermo?

- 81 COSA SUCCEDDE SE** Roberto posiziona un bottone davanti ad una lente convergente per studiarne l'immagine su uno schermo.
- ▶ Osservando lo schermo, Roberto non vede alcuna immagine. Quali sono i due motivi che possono portare all'assenza dell'immagine sullo schermo?

- ▶ Come può verificare in quale delle due situazioni si trova?
- ▶ Come può determinare il fuoco della lente?
- ▶ Roberto decide poi di produrre l'immagine ingrandita del bottone. Deve allontanare o avvicinare il bottone alla lente? Qual è l'intervallo di distanze possibili per vedere l'immagine ingrandita?

10 LA FORMULA PER LE LENTI SOTTILI E L'INGRANDIMENTO

PROBLEMA MODELLO 7 L'INGRANDIMENTO DELL'INCISIONE

Un gioielliere osserva l'immagine ingrandita di un'incisione attraverso una lente di distanza focale 12 cm. L'immagine si forma dalla stessa parte dell'oggetto rispetto alla lente e a una distanza di 25 cm da essa.

- ▶ Calcola la posizione dell'oggetto e di quanto risulta ingrandita l'incisione.
- ▶ Il gioielliere vuole osservare l'incisione ingrandita del quadruplo. Deve avvicinare o allontanare la lente dall'incisione?

■ DATI

Distanza focale: $f = 12$ cm
 Posizione dell'immagine: $q = -25$ cm
 Ingrandimento finale: $G_f = 4$

■ INCOGNITE

Posizione dell'oggetto: $p = ?$
 Ingrandimento: $G = ?$

L'IDEA

- Il gioielliere osserva un'immagine ingrandita dell'incisione, quindi la lente che sta utilizzando è di tipo convergente (le lenti divergenti formano esclusivamente immagini rimpicciolite).
- Inoltre, poiché l'immagine si forma dalla stessa parte dell'oggetto rispetto alla lente, essa è virtuale.
- Conoscendo il fuoco e la posizione dell'immagine è possibile determinare la posizione dell'oggetto attraverso la legge dei punti coniugati.
- Il rapporto tra la posizione dell'immagine e quella dell'oggetto restituisce l'ingrandimento dell'incisione, $G = -q/p$.
- Poiché l'ingrandimento aumenta man mano che l'oggetto si avvicina al fuoco della lente, il gioielliere, per vedere l'incisione quattro volte più grande, deve allontanare la lente dall'incisione. Più vicino al fuoco della lente viene posizionato un oggetto, più le dimensioni dell'immagine risultano ingrandite.

LA SOLUZIONE

Determino la posizione dell'oggetto.

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \Rightarrow p = \frac{-qf}{f - q} = \frac{-(-25 \text{ cm}) \times (12 \text{ cm})}{12 \text{ cm} - (-25 \text{ cm})} = 8,1 \text{ cm}.$$

Determino l'ingrandimento lineare.

$$G = -\frac{q}{p} = -\frac{-25 \text{ cm}}{8,1 \text{ cm}} = +3,1.$$

L'ingrandimento ha segno positivo, come ci aspettiamo con immagini diritte.

89 ★★★ Durante un lavoro, a un falegname entra una scheggia di legno nel dito. Un suo collaboratore, per estrargliela, si aiuta con una lente che forma un'immagine a una distanza dalla lente di 18 cm e ingrandita del doppio.

- ▶ Calcola la posizione della lente e rappresenta graficamente la formazione dell'immagine.
- ▶ Calcola la distanza focale della lente.

[9,0 cm; 18 cm]

90 ★★★ Per proiettare su un muro l'immagine ingrandita di un drago alto 22 cm, un illusionista interpone tra il muro e il drago una lente convergente. Quando la distanza tra la lente e il drago è di 23 cm, il drago sul muro è alto 2,0 m.

- ▶ Determina la posizione dell'immagine e rappresenta graficamente la formazione dell'immagine.

- ▶ Calcola la distanza focale della lente.
- ▶ L'illusionista riesce nel suo intento o c'è qualcosa di non corretto nell'immagine che produce? Come deve posizionare il drago?

[2,1 m; 21 cm]

91 ★★★ Sara osserva una pietra con una lente convergente di distanza focale 12 cm. L'immagine della pietra si forma dalla parte opposta dell'oggetto rispetto alla lente, ad una distanza di 23 cm.

- ▶ Guardando la pietra attraverso la lente, riesce Sara a vedere l'immagine? Rappresenta graficamente la formazione dell'immagine.
- ▶ Calcola la posizione della pietra.

11 FOTOCAMERA E CINEMA

94 **APPLICA I CONCETTI** Un proiettore di diapositive è costituito da una lente convergente posta di fronte ad uno schermo che cattura l'immagine prodotta. Per vedere l'immagine a fuoco sullo schermo, la diapositiva viene posta ad una distanza dalla lente compresa tra f e $2f$.

- ▶ Come deve essere inserita la diapositiva? Motiva la risposta e rappresenta graficamente la formazione dell'immagine.

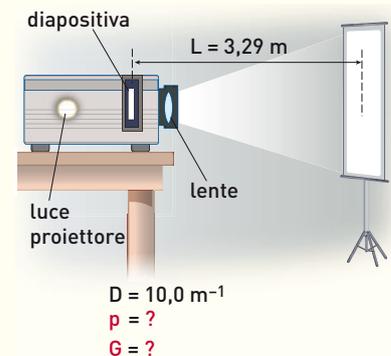
95 **APPLICA I CONCETTI** Sul corpo macchina di una fotocamera non automatica si possono selezionare diversi valori della velocità dell'otturatore, che controlla la quantità di luce che arriva sulla pellicola: 1000, 500, 250, 125, 60, 30, 15, 8, 4, 2, 1. Un fotografo ha scelto di utilizzare una velocità di $1/125$: ciò indica che ad ogni scatto l'otturatore rimane aperto per $1/125$ di secondo.

- ▶ Se si vuole aumentare la quantità di luce che entra nella fotocamera, quali valori di velocità occorre scegliere?

PROBLEMA MODELLO 8 IL FUNZIONAMENTO DEL PROIETTORE

Un proiettore di diapositive funziona grazie a una lente convergente che ha un potere diottrico di 10,0 diottrie. La distanza tra la diapositiva e lo schermo è di 3,29 m.

- ▶ Quale deve essere la distanza tra lente e diapositiva perché la sua immagine sia a fuoco sullo schermo?
- ▶ Quanto vale l'ingrandimento della diapositiva quando la sua immagine è a fuoco?



■ DATI

Potere diottrico della lente:
 $D = 10,0$ diottrie
 Distanza diapositiva-schermo: $L = 3,29$ m

■ INCOGNITE

Distanza lente-diapositiva: $q = ?$
 Ingrandimento: $G = ?$

L'IDEA

- La distanza L è uguale alla somma di p e q : $L = p + q$.
- Scrivo l'equazione delle lenti sottili come: $\frac{1}{p} + \frac{1}{L-p} = D$. Infatti vale $D = \frac{1}{f}$.
- Ricavo p da questa equazione e in seguito, dalla prima relazione, calcolo $q = L - p$.
- Ottengo infine l'ingrandimento come: $G = -\frac{q}{p}$.

LA SOLUZIONE**Calcolo la distanza tra la lente e la diapositiva.**

Dall'equazione $\frac{1}{p} + \frac{1}{L-p} = D$, dopo alcuni passaggi algebrici, ottengo: $Dp^2 - DLp + L = 0$ le cui soluzioni sono:

$$p_{1,2} = \frac{DL \pm \sqrt{DL^2 - 4DL}}{2D} = \frac{32,9 \pm \sqrt{32,9^2 - 4 \times 32,9}}{2 \times (10,0 \text{ m}^{-1})} = \frac{32,9 \pm 30,8}{20,0} \text{ m}$$

$$\begin{cases} p_1 = 0,105 \text{ m} \\ p_2 = 3,19 \text{ m} \end{cases}$$

La soluzione fisicamente accettabile è p_1 : in un proiettore la diapositiva e la lente distano pochi centimetri. Quindi la soluzione del problema è data da:

$$\begin{cases} p_1 = 0,105 \text{ m} = 10,5 \text{ cm} \\ q = L - p = (3,29 - 0,105) \text{ m} = 3,19 \text{ m} \end{cases}$$

Determino l'ingrandimento.

$$G = -\frac{q}{p} = -\frac{3,19 \text{ m}}{0,105 \text{ m}} = -30,4.$$

L'ingrandimento ha segno negativo, come ci aspettiamo con immagini capovolte.

99 **★★★** Arianna scatta una foto della sorella Lucia con la sua macchina fotografica digitale. L'obiettivo della macchina ha un potere diottrico di 200 diottrie e il sensore CCD ha dimensioni di $6,4 \text{ mm} \times 4,8 \text{ mm}$. L'immagine realizzata dal sensore è formata da 640×480 pixel. Lucia è alta $1,65 \text{ m}$ e si posiziona alla distanza di $5,0 \text{ m}$ dalla macchina fotografica.

- ▶ A quale distanza dalla lente si forma l'immagine di Lucia?
- ▶ Quanti pixel è alta l'immagine di Lucia sul sensore CCD?

[$5,0 \text{ mm}$; $1,7 \times 10^2 \text{ px}$]

100 **★★★** Alessandro vuole proiettare una diapositiva da $40,0 \text{ mm}$ che lo ritrae in piedi su uno sgabello. Per farlo, sistema un proiettore costituito da una lente di focale $28,0 \text{ cm}$ di fronte ad uno schermo quadrato di lato $2,50 \text{ m}$.

- ▶ A quale distanza dallo schermo Alessandro deve posizionare il proiettore affinché l'immagine copra tutto lo schermo?

[$18,1 \text{ m}$]

101 **★★★** Un fotografo utilizza una fotocamera dotata di una lente di potere diottrico $8,3$ diottrie e di una pellicola di dimensione 42 mm .

- ▶ A quale distanza da un edificio alto $8,0 \text{ m}$ si deve posizionare il fotografo perché sulla pellicola si formi l'immagine intera dell'edificio?

[23 m]

12 L'OCCHIO

103 APPLICA I CONCETTI Un ottico prescrive a un paziente miope la sua correzione per il suo difetto in termini di distanze focali delle lenti.

- ▶ La correzione è la stessa sia che il paziente indossi occhiali o lenti a contatto? Motiva la risposta.
- ▶ L'immagine formata dalle due diverse lenti si forma alla stessa distanza dal cristallino? Motiva la risposta.

104 APPLICA I CONCETTI Completa la tabella. Per ciascun difetto della vista, indica la sua origine scegliendo la frase opportuna dall'elenco, e il tipo di lente per la correzione del difetto.

| | ORIGINE DEL DIFETTO | CORREZIONE DEL DIFETTO |
|----|---------------------|------------------------|
| 1. | miopia | |
| 2. | ipermetropia | |
| 3. | presbiopia | |

- a. l'immagine si forma dietro la retina
- b. il punto prossimo si allontana
- c. l'immagine si forma davanti alla retina

105 APPLICA I CONCETTI Nella prescrizione per costruire occhiali è scritto $f = +60$ cm.

- ▶ Che tipo di difetto di vista ha la persona?

13 MICROSCOPIO E CANNOCCHIALE

114 ******* Un microscopio è composto da due lenti convergenti. L'obiettivo ha una distanza focale di 12 mm; l'oculare ha una distanza focale di 32 mm. La distanza fra le lenti è di 72 mm. La cellula embrionale di un pesce da osservare è posta su un vetrino a una distanza di 16 mm dall'obiettivo.

- ▶ Costruisci graficamente l'immagine finale della cellula.
- ▶ Quanto dista l'immagine virtuale risultante dall'oculare?

[96 mm]

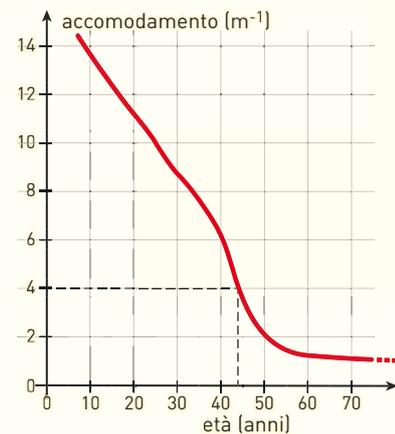
115 ******* L'oculare del telescopio acromatico di Ramsed è costituito da due lenti piano-convesse di uguale distanza focale, disposte con le parti convesse l'una di fronte all'altra. Quando l'immagine dell'obiettivo del telescopio si forma ad una distanza pari a $f/4$ dalla prima lente del sistema oculare, l'immagine finale si forma all'infinito.

- ▶ Calcola, in funzione del fuoco, la distanza tra le due lenti formanti l'oculare.

Suggerimento: le lenti sono entrambe convergenti.

[$2/3 f$]

106 IN FORMA DI GRAFICO Su una rivista di medicina, il grafico serve a illustrare che con l'avanzare dell'età diventa più difficile mettere a fuoco oggetti vicini a causa della diminuzione di elasticità del cristallino. L'effetto diventa manifesto a partire dall'età di 40 anni, quando il punto prossimo (determinato come inverso dell'accomodamento) supera i 25-30 cm.



- ▶ Come si chiama questo effetto che si manifesta con l'avanzare dell'età?
- ▶ Quanto vale il punto prossimo di messa a fuoco intorno ai 50 anni?

116 ******* Linda osserva la Luna con un cannocchiale il cui oculare ha distanza focale di 8,5 cm e distante 30,0 cm dall'obiettivo. L'immagine reale si forma a 5,6 cm dall'oculare.

- ▶ Calcola il fuoco della lente obiettivo.
- ▶ Per osservare l'immagine prodotta dal cannocchiale l'occhio di Linda si deve sforzare?

[24,4 cm]

PROBLEMI GENERALI

- 8** ★★★ Il protagonista di un videogioco, posto sul fuoco di un grande specchio concavo di raggio 4,20 m, corre lungo l'asse ottico e all'improvviso si arresta. Quando è fermo, la sua immagine si forma a una distanza di 2,5 m dallo specchio.
- ▶ Quanto vale la distanza focale dello specchio?
 - ▶ A quale distanza dallo specchio si è fermato il protagonista?

[2,10 m; 13 m]

- 9** ★★★ Una macchina fotografica è equipaggiata con un obiettivo di focale 50 mm. Luca scatta una foto a una nave che si vede lontanissima all'orizzonte, poi a suo figlio che sta giocando a 2,25 m da lui. Entrambe le foto sono nitide e con la giusta messa a fuoco.
- ▶ Di quanto si è spostato l'obiettivo da uno scatto all'altro?
 - ▶ Si è avvicinato o allontanato dalla pellicola?

[allontanato di 1 mm]

- 10** ★★★ Francesca trova in classe un paio di occhiali e osserva che tenendoli sotto la luce solare diretta, ogni lente produce sul banco l'immagine del Sole a circa 40 cm dalle lenti. Quando Francesca indossa gli occhiali, la loro distanza dagli occhi è di 1,5 cm.
- ▶ Quale difetto di vista correggono gli occhiali? Motiva la risposta.
 - ▶ Quanto vale la distanza focale delle lenti?

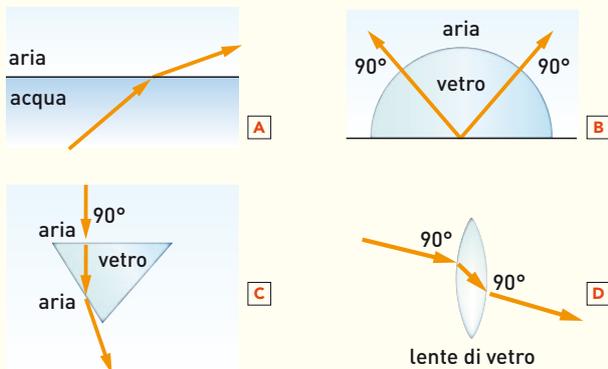
[40 cm]

- 13** ★★★ Due matite distanti tra loro 8,70 cm sono poste lungo l'asse ottico di una lente con distanza focale 140 mm. Le immagini delle due matite prodotte dalla lente hanno la stessa dimensione.
- ▶ La lente è convergente o divergente? Motiva la risposta.
 - ▶ Come sono disposte le due matite rispetto alla lente? Motiva la risposta.
 - ▶ Le immagini sono reali o virtuali? Motiva la risposta.

TEST

- 5** Sul quadrante dell'orologio di un campanile non sono riportati i numeri, ma solo le tacche corrispondenti alle ore. Mario guarda l'immagine dell'orologio nello specchio di una vetrina e vede che segna le 6:20.
- ▶ Che ore sono in realtà?
- A** 12:20
B 5:40
C 12:40
D 6:20

- 6** In quale delle seguenti figure il disegno che mostra il cammino del raggio luminoso NON è corretto?



(Tratto dai *Giocchi di Anacleto*, 2009)

- 7** Un pesce si trova ad una certa profondità. Una persona lo osserva dal punto O' proprio sulla sua verticale. La persona stima che il pesce sia
- A** a una profondità maggiore di quella a cui è realmente.
B alla stessa profondità di quella reale.
C a una profondità minore di quella a cui è realmente.
D a una profondità che appare maggiore, uguale o minore di quella reale a seconda della profondità a cui sta il pesce.

(Tratto dai *Giocchi di Anacleto*, 2009)

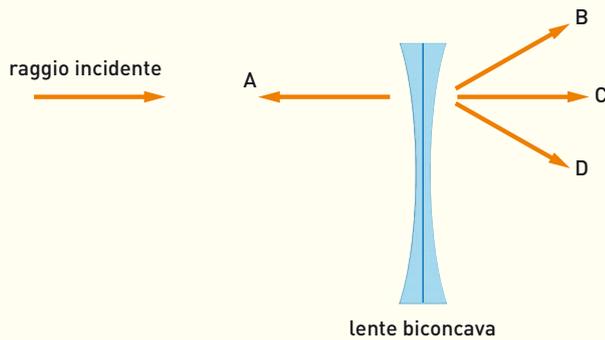
- 8** Un fascio di raggi di luce incide sulla superficie di separazione tra diamante ($n_1 = 2,4$) e acqua ($n_2 = 1,33$).
- ▶ Per quali dei seguenti angoli di incidenza avviene una riflessione totale nel diamante?
- A** 34°
B 20°
C 32°
D Nessuno dei precedenti

9 L'immagine di un oggetto posto a 20,0 cm davanti ad uno specchio sferico convesso si forma a una distanza di 13,4 cm dallo specchio. La distanza focale dello specchio vale:

- A -40,6 cm
- B 8,0 cm
- C 40,6 cm
- D -8,0 cm

10 Delle quattro frecce contrassegnate nella figura con A, B, C e D, quale rappresenta meglio il cammino che il raggio luminoso seguirà dopo aver colpito la lente?

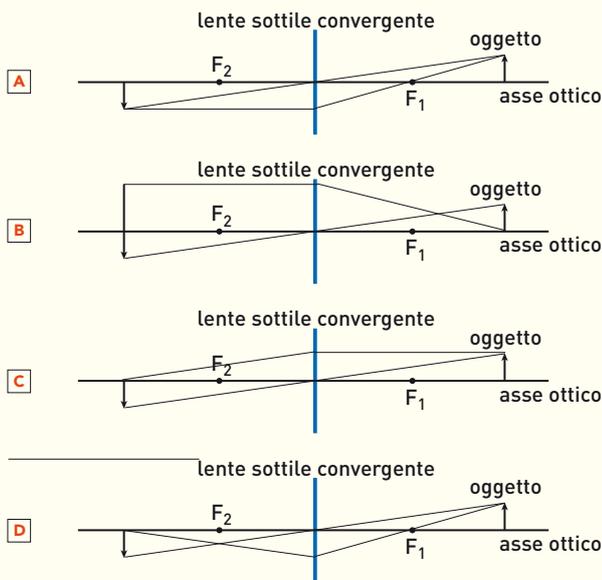
- A
- B
- C
- D



lente biconcava

(Tratto dai *Giochi di Anacleto*, 2013)

11 Quale, tra i diagrammi proposti, rappresenta la traiettoria corretta tenuta da raggi di luce che provengono da un oggetto luminoso e attraversano una lente sottile convergente?



(Tratto dai *Giochi di Anacleto*, 2011)

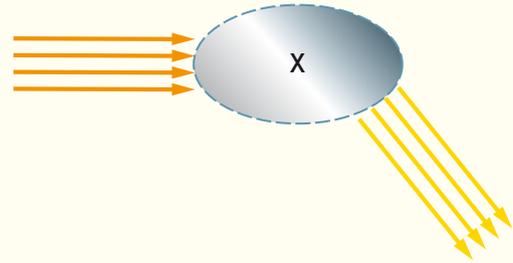
12 Una lente è usata per focalizzare l'immagine di un oggetto su uno schermo. Si copre la metà destra della lente (e solo quella) con una pellicola nera opaca in modo che la luce non vi passi attraverso.

► Cosa si osserva?

- A Scompare la parte destra dell'immagine.
- B Scompare la parte sinistra dell'immagine.
- C L'immagine scompare completamente.
- D L'immagine rimane sullo schermo ma è meno luminosa.

(Tratto dai *Giochi di Anacleto*, 2010)

13 In figura sono schematizzati due fasci di raggi luminosi: uno incide su un dispositivo ottico e l'altro emerge da esso. L'immagine del dispositivo però è stata coperta.



► Quale dei seguenti dispositivi potrebbe essere quello criptato?

- A Una lente convergente.
- B Una lastra di vetro molto spessa.
- C Uno specchio piano.
- D Una lente divergente.

(Tratto dai *Giochi di Anacleto*, 2005)

14 Se metti a confronto l'occhio con la macchina fotografica trovi che alcune parti svolgono la stessa funzione. Per esempio, la retina svolge la stessa funzione

- A del diaframma.
- B dell'obiettivo.
- C dell'oculare.
- D della pellicola.

