

Camera oscura: perché un piccolo foro forma un'immagine capovolta?

Scheda breve

Materia: Fisica, nel percorso di Scienze della scuola secondaria di primo grado. **Classe proposta:** seconda o terza media; è una scelta didattica, non un programma annuale obbligatorio. **Durata indicativa:** 50-60 minuti, adattabile dal docente.

La domanda: una scatola senza lenti e senza specchi può formare un'immagine? Sì: basta un piccolo foro su una parete e uno schermo sulla parete opposta. La luce proveniente dalla parte alta dell'oggetto raggiunge la parte bassa dello schermo, e viceversa. Non gira nel foro: continua il suo percorso rettilineo.

Prerequisiti: distinguere sorgente e oggetto illuminato; tracciare una retta; leggere centimetri e semplici rapporti. **Obiettivi:** costruire il percorso di due raggi, spiegare il capovolgimento, prevedere come cambia la grandezza dell'immagine e distinguere luminosità da nitidezza.

Parole chiave: camera oscura, foro stenopeico, raggio, schermo, immagine, nitidezza. **Materiali per l'attività:** carta, matita e righello; non è necessario costruire una scatola né usare sorgenti luminose.

Revisione docente e prova in classe: aperte

1. Una scatola che seleziona la luce

Immagina una scatola chiusa, opaca, con un piccolo foro su una faccia e uno schermo chiaro all'interno, di fronte al foro. È una semplice **camera oscura**: il nome indica uno spazio buio. Il foro molto piccolo è detto anche **foro stenopeico**. Questa versione non contiene lenti, specchi, pellicole o sensori. Può formare un'immagine senza registrarla: per conservarla servirebbe un dispositivo ulteriore. [1, «What's Going On?»; 3, primo paragrafo]

Metti davanti al foro una freccia illuminata. Dalla punta della freccia parte luce in molte direzioni: se la freccia non emette luce propria, si tratta della luce che diffonde dopo essere stata illuminata. Quasi tutta incontra la parete opaca e non entra. Solo una piccola parte passa nel foro. Lo stesso accade per ogni altro punto della freccia.

Il foro non raccoglie un'immagine già pronta e non piega i raggi verso lo schermo. **Seleziona le direzioni** che possono entrare. Il buio interno aiuta a distinguere la debole immagine: se la scatola lasciasse passare molta luce dalle pareti o dalle fessure, il contrasto peggiorerebbe.

Qui usiamo un modello geometrico: nell'aria sufficientemente uniforme i percorsi della luce sono rappresentati con rette. Un raggio è una linea del disegno che descrive un percorso, non un filo materiale che esce dall'oggetto.

2. La parte alta finisce in basso

Chiamiamo **A** la punta alta della freccia e **B** il suo estremo basso. Il foro è **O**. Per capire l'orientamento, basta seguire due percorsi:

1. La luce da A raggiunge O lungo una retta inclinata verso il basso. Dopo O continua sulla **stessa retta** e incontra lo schermo in basso, in A'.
2. La luce da B raggiunge O lungo una retta inclinata verso l'alto. Dopo O prosegue e incontra lo schermo in alto, in B'.

Sono due percorsi rappresentativi: da ciascun punto parte luce in molte direzioni, ma qui seguiamo soltanto quella che passa attraverso il foro. Per ricostruire tutta la freccia, lo stesso ragionamento va ripetuto per gli altri suoi punti.

I due percorsi si incrociano nel foro senza rimbalzare e senza scambiarsi. Sullo schermo A' si trova sotto B': la freccia è capovolta. Anche i punti laterali si dispongono sul lato opposto rispetto al centro dell'immagine, se usiamo gli stessi assi di riferimento per oggetto e schermo. Per non confondere questo effetto con il punto da cui si guarda uno schermo traslucido, nell'attività studiamo soltanto l'alto e il basso. [1, «What's Going On?», paragrafi sul percorso dalla cima e dalla base dell'albero]

Non è uno specchio. Uno specchio cambia la direzione dei raggi per riflessione. Qui, invece, i raggi che passano nel foro continuano dritti. **Non è una lente.** Una lente può deviare e far convergere raggi provenienti da uno stesso punto; il foro ne lascia passare un piccolo fascio, senza farli convergere mediante rifrazione. [2, «Teaching Notes», confronto tra foro e lente]

L'immagine si forma sullo schermo, non soltanto nell'occhio di chi guarda. Può essere proiettata su una superficie: in questo senso è un'**immagine reale**.

3. Quanto è grande l'immagine?

Per confrontare le dimensioni, disponiamo oggetto e schermo paralleli tra loro, su lati opposti del foro. La retta perpendicolare che li collega passa per O. Chiamiamo:

- **H** l'altezza dell'oggetto;
- **h** l'altezza dell'immagine, considerata positiva come lunghezza;
- **d** la distanza oggetto-foro;
- **L** la distanza foro-schermo.

Nel modello di foro ideale puntiforme, i triangoli costruiti dai raggi hanno la stessa forma. Vale il rapporto:

$$h / H = L / d, \text{ quindi } h = H \times L / d.$$

Tutte le distanze devono usare la stessa unità. Il rapporto dà la grandezza, non l'orientamento: il capovolgimento si ricava dal disegno dei raggi. [2, «Teaching Notes», punto «How Science Works Extension»]

Esempio costruito. Una freccia è alta 12 cm e dista 60 cm dal foro. Lo schermo è a 15 cm dal foro. Il rapporto L/d è $15/60$, cioè un quarto. L'immagine è alta $12 \times 15/60 = 3 \text{ cm}$, ed è capovolta. Sono dati scelti per spiegare il modello, non misure raccolte in classe.

Se teniamo fissi oggetto e foro e raddoppiamo L , l'immagine raddoppia. Se invece teniamo fissi foro e schermo e raddoppiamo d , l'immagine dimezza. Non basta dire «allontano»: bisogna precisare **che cosa si allontana da che cosa**.

L'immagine non è sempre più piccola dell'oggetto. Nel modello conta il rapporto L/d : se supera 1, l'immagine è più grande, purché lo schermo sia abbastanza esteso da raccoglierla. Questa conclusione geometrica non garantisce che sia facile vederla: la luminosità può essere molto bassa.

4. Foro più largo: più luce, ma non più dettaglio

Un foro reale non è un punto. Da un punto dell'oggetto possono passare percorsi leggermente diversi, che raggiungono una piccola zona dello schermo. Se allarghiamo il foro mantenendo uguali le altre condizioni, passa più luce, ma quella zona si allarga: i dettagli vicini si sovrappongono di più. L'immagine tende a diventare **più luminosa e meno nitida**. Luminosità e nitidezza non sono sinonimi. [1, «What's Going On?», paragrafo «Using a larger pinhole...»; 2, «Teaching Notes», punto «Using one pinhole...»]

Fare il foro sempre più piccolo, però, non è una ricetta senza limiti. Arriva meno luce e, per fori molto piccoli, il solo modello a raggi non basta più: interviene anche il comportamento ondulatorio della luce. Qui non calcoliamo un diametro ottimale. Le conclusioni qualitative valgono nel campo in cui la descrizione geometrica è adeguata.

Con due fori, ciascun foro può formare la propria immagine: le due immagini possono essere separate o sovrapporsi in parte. Non è lo stesso che avere una lente. [2, «Procedure», punti 5-8 e «Teaching Notes» sul gruppo di fori]

5. Attività su carta: segui due punti

Tempo indicativo: 15–20 minuti. **Occorrente:** foglio quadrettato, matita e righello. È una costruzione del modello, non un esperimento con luce reale. Nessun laser, Sole, lampada, oggetto appuntito o scatola da indossare è necessario.

Usa una scala di **1 cm sul foglio = 10 cm nel modello**. Traccia un asse orizzontale e segna il foro O all'origine. Le coordinate seguenti sono già espresse in centimetri sul foglio:

Se non avete ancora lavorato con le coordinate negative, il docente può fornire il foglio già impostato: O al centro, A a 6 cm a sinistra e 1 cm sopra O, B a 6 cm a sinistra e 1 cm sotto O. Lo schermo va a 3 cm a destra di O. Le due indicazioni descrivono lo stesso disegno.

Elemento	Posizione nel disegno
Foro O	(0; 0)
Estremo alto A	(−6; +1)
Estremo basso B	(−6; −1)
Schermo	retta verticale a $x = +3$

1. Unisci A a O e prolunga la stessa retta fino allo schermo. Segna A'.
2. Ripeti da B e segna B'. Aggiungi frecce nei versi $A \rightarrow O \rightarrow A'$ e $B \rightarrow O \rightarrow B'$.
3. Scrivi quale punto dell'immagine è in alto. Misura l'altezza A'B'.
4. Aggiungi un secondo schermo, in un'altra configurazione del modello, a $x = +6$. Prolunga i percorsi e confronta le dimensioni. Non immaginiamo due schermi opachi presenti contemporaneamente: quello vicino intercetterebbe la luce diretta al secondo.
5. Concludi con due frasi: «L'immagine è capovolta perché...» e «Quando aumenta la distanza foro-schermo, a parità del resto...».

Alternativa accessibile: il docente può preparare segmenti in rilievo o descrivere i percorsi: «dal punto alto verso il foro, poi ancora in basso». Si può rispondere oralmente o dettare le etichette. Non occorre distinguere colori.

6. Esercizi

I dati numerici sono costruiti per gli esercizi e non documentano una prova sperimentale. Quando usi il rapporto delle altezze, considera un foro ideale e oggetto e schermo paralleli come nella sezione 3.

1. Il raggio cambia direzione? Luca dice: «Nel foro la luce si piega e per questo la freccia si capovolge». Correggi la frase usando il percorso della luce da A.

2. Una previsione numerica. Un oggetto alto 8 cm dista 40 cm dal foro. Lo schermo è a 10 cm dal foro. Quanto è alta l'immagine? È dritta o capovolta?

3. Cambia una distanza alla volta. Completa la tabella. Indica quale riga confrontare con la prima per isolare l'effetto di L e quale per isolare l'effetto di d.

Caso	H	d	L	h
A	10 cm	50 cm	10 cm	...
B	10 cm	50 cm	20 cm	...
C	10 cm	100 cm	10 cm	...

4. La scelta del foro. Due camere identiche inquadrano lo stesso oggetto nelle stesse condizioni. Quella con il foro più largo produce un'immagine più luminosa ma con contorni meno distinguibili. La descrizione è contraddittoria? Spiega, senza affermare che un foro minuscolo sia sempre migliore.

5. Non sempre rimpicciolita. Un oggetto alto 6 cm è a 20 cm dal foro. Lo schermo, abbastanza ampio, si trova a 30 cm dal foro. Quanto misura l'immagine nel modello? Quale frase devi correggere: «la camera oscura rimpicciolisce sempre» oppure «la camera oscura capovolge l'immagine»?

6. Che cosa possiamo concludere? Un gruppo annota: «Non distinguiamo l'immagine sullo schermo». Un altro scrive: «Allora la luce non viaggia in linea retta». La conclusione è giustificata? Proponi due condizioni da controllare, senza inventare osservazioni già riuscite.

7. Il disegno ingannevole. In un disegno il percorso A-O è rettilineo, ma dopo O viene disegnato orizzontale per raggiungere il centro dello schermo. Qual è l'errore? Servirebbe un elemento ottico ulteriore per cambiare appositamente la direzione?

8. Formare oppure registrare. Una camera oscura con un semplice schermo, senza pellicola o sensore, conserva automaticamente una fotografia quando viene spenta la luce? Motiva la risposta.

7. Soluzioni commentate

Attività. Sul primo schermo A' è a (3; -0,5) e B' a (3; +0,5): B' è in alto, quindi la freccia è capovolta. L'immagine misura 1 cm sul foglio, corrispondente a 10 cm nel modello. L'oggetto misura 2 cm sul foglio, cioè 20 cm nel modello: il rapporto delle altezze è 1/2, come $L/d = 30/60$. Sul secondo schermo i punti sono (6; -1) e (6; +1): l'altezza è 2 cm sul foglio, cioè 20 cm nel modello. Raddoppiare L, tenendo fissi H e d, raddoppia h. I risultati sono deduzioni grafiche, non misure di luce reale.

1. La luce proveniente da A attraversa il foro e continua sulla stessa retta verso la parte bassa dello schermo. Il capovolgimento nasce dalla disposizione geometrica dei percorsi, non da una deviazione nel foro.

2. $h = 8 \times 10/40 = 2 \text{ cm}$. L'immagine è capovolta. Il numero positivo indica una lunghezza: non va usato per dedurre che l'immagine sia diritta.

3. A: $10 \times 10/50 = 2 \text{ cm}$. B: $10 \times 20/50 = 4 \text{ cm}$. C: $10 \times 10/100 = 1 \text{ cm}$. A-B isola il cambiamento di L; A-C quello di d. Confrontare B e C cambia due distanze e non permette di attribuire l'effetto a una sola variabile.

4. Non è una contraddizione. Un foro più largo lascia entrare più luce ma, nel regime geometrico considerato, permette una maggiore sovrapposizione dei contributi provenienti da punti vicini. Si può avere più luce e meno dettaglio. Un foro molto piccolo riduce la luce e richiede anche di considerare i limiti del modello a raggi.

5. $h = 6 \times 30/20 = 9 \text{ cm}$. L'immagine è più grande dell'oggetto ma resta capovolta. È falsa la frase «rimpicciolisce sempre»: il rapporto L/d qui è 1,5.

6. No. Non vedere un'immagine distinguibile non basta a confutare il modello. Si possono controllare, per esempio, le infiltrazioni di luce nella scatola e l'illuminazione dell'oggetto; anche la dimensione del foro e la posizione dello schermo possono contare. Si annotano prima i fatti realmente osservati e poi si cercano spiegazioni: non si riscrive il risultato per farlo coincidere con l'attesa.

7. Il percorso ha una piega introdotta senza motivo nel punto O. Nel modello della camera oscura senza lenti e specchi bisogna prolungare la stessa retta. Uno specchio o una lente potrebbero cambiare il percorso, ma definirebbero un sistema diverso da quello dell'esercizio.

8. No. Lo schermo riceve luce mentre l'oggetto è illuminato; non la memorizza come fotografia. Formare un'immagine e registrarne una sono operazioni diverse. Per la registrazione serve, per esempio, un materiale fotosensibile o un sensore con un sistema di acquisizione.

8. Fonti e punti da consultare

Il testo, i dati, le consegne e le soluzioni sono una rielaborazione didattica originale. Non sono riprodotte fotografie o istruzioni di montaggio delle fonti. L'attività qui proposta è esclusivamente cartacea: non richiede le lampade potenti, gli utensili o le costruzioni descritte in alcune risorse esterne.

[1] Exploratorium, “Personal Pinhole Theater”, Science Snacks. Edizione web senza data editoriale dichiarata; consultata il 21 ottobre 2026. URL: <https://www.exploratorium.edu/snacks/personal-pinhole-theater> . **Localizzatori:** sezione «What's Going On?», primi quattro paragrafi, da «Your Personal Pinhole Theater...» al confronto di grandezza con la distanza; paragrafo «Using a larger pinhole...». Sostiene selezione dei percorsi, inversione, grandezza e compromesso tra luminosità e nitidezza. Non si adotta il montaggio da indossare della fonte.

[2] Institute of Physics, IOPSpark, “Pinhole camera and lens camera”, Practical Physics. Edizione web; la pagina riporta un controllo di sicurezza dell'esperimento a gennaio 2007, che non va confuso con una validazione della presente attività; consultata il 21 ottobre 2026. URL: <https://spark.iop.org/pinhole-camera-and-lens-camera> . **Localizzatori:** «Procedure», punti 3–8; «Teaching Notes», punto che inizia «Using one pinhole...», punti sulla differenza tra foro e lente e punto «How Science Works Extension». Sostiene confronto foro/lente, immagini da più fori e calcolo tramite rapporti. Non si assume l'affermazione idealizzata di profondità di campo infinita come garanzia di nitidezza perfetta in ogni condizione reale.

[3] University of Kentucky, Department of Physics and Astronomy, “Pinhole Cameras”, SciWorks. Edizione web senza data editoriale dichiarata; consultata il 21 ottobre 2026. URL: <https://www.pa.uky.edu/sciworks/pinhole.htm> . **Localizzatore:** primo paragrafo, da «Light travels in straight lines» fino al confronto con la lente. Riscontro ulteriore sulla camera senza lente e sul compromesso tra luce e dettaglio; non usata come fonte per attribuzioni storiche.

Exploratorium, Institute of Physics e University of Kentucky sono enti distinti: tre pagine dello stesso portale non avrebbero costituito tre fonti indipendenti.