

## LETTERATURA

### Il miraggio

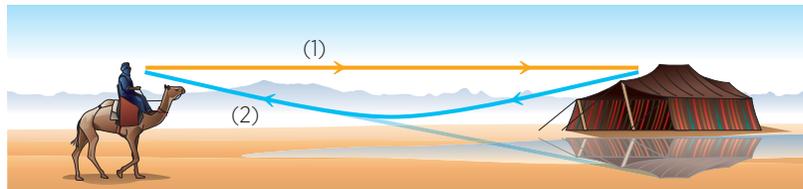
*Il miraggio. [...] Da laggiù, laggiù, allora, dalla scalea di strati di compatta luce contagiati sul suolo percorso da solleone martoriato di rabbia, mentre la sua luce rarefatta rimbalzava attraversata da strati più densi: nel cuore di quegli abbagli sovrapposti brusca eleggeva luce sospesa capovolta una sembianza di dimore felici, attorniate da giardini, specchi antesi in un lago con zampilli impazienti [...] Fata Morgana l'hanno chiamata a Messina, quella che si addestra in tali stregonerie. Nacque a quel modo il gusto e la passione di slanciarmi, di tuffarmi, di imbozzolarmi in miraggi.*

(Giuseppe Ungaretti, *L'allegria*, 1931)

La Fata Morgana, descritta da Ungaretti, è un'illusione ottica naturale che rientra nella categoria dei miraggi; questo fenomeno si verifica in particolari condizioni atmosferiche e dà origine a immagini virtuali, che possono essere sdoppiate, capovolte, deformate o spostate rispetto agli oggetti che le producono. Ciò avviene perché l'indice di rifrazione dell'aria non è costante ma è maggiore quando la densità dell'aria è maggiore; quando un raggio di luce passa da uno strato di aria più denso a uno meno denso subisce una deflessione.

### Il miraggio inferiore

Il miraggio inferiore è il risultato della successiva deflessione dei raggi provenienti da un oggetto lontano in condizioni di elevata temperatura del terreno, in modo tale che la sua immagine virtuale ci appare provenire da una posizione sottostante l'oggetto stesso, come se fosse riflessa dall'acqua. L'elevata temperatura del terreno scalda gli strati d'aria inferiori, li rende meno densi e quindi meno rifrangenti: quando un raggio di luce attraversa un mezzo con indice di rifrazione via via più piccolo viene successivamente deviato e compie un percorso incurvato.



La progressiva diminuzione dell'indice di rifrazione verso il basso produce la traiettoria incurvata del raggio di luce che genera il miraggio inferiore.

Se osserviamo un oggetto da grande distanza ne riceviamo due immagini: la prima, reale, dipende dai raggi che da essa raggiungono i nostri occhi in linea retta (1); la seconda, virtuale, si forma dal prolungamento dei raggi che raggiungono i nostri occhi dopo essere stati deflessi dagli strati d'aria inferiori (2).

### Il miraggio superiore

Il miraggio superiore è opposto a quello inferiore e si verifica quando gli strati d'aria più bassi sono molto più densi di quelli superiori: in questo caso i raggi sono incurvati verso il basso e, di conseguenza, un osservatore posto a grande distanza da un oggetto osservato in tali condizioni riesce a percepirne un'immagine anche se esso si trova al di sotto della linea dell'orizzonte.

### La Fata Morgana

Quando la densità degli strati di aria non è semplicemente crescente o decrescente con la quota ma presenta un andamento misto l'immagine può apparire deformata e tale deformazione può cambiare nel tempo, dando l'illusione di trovarsi in presenza di una «stregoneria».



Il miraggio superiore ci consente di vedere l'immagine del Sole anche quando è dietro il nostro orizzonte.

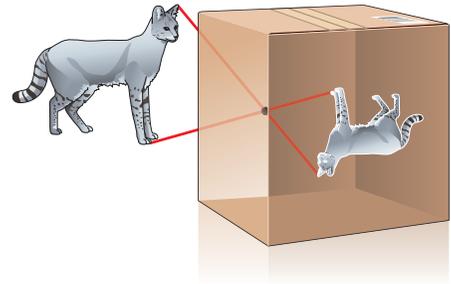
**DOMANDA** In estate capita di vedere il cielo riflesso sull'asfalto, come se vi fosse una pozzanghera d'acqua. Di quale miraggio si tratta? Spiega il fenomeno in 10 righe.

## TECNOLOGIA

### Il foro stenopeico

Il più semplice dispositivo ottico è un piccolo foro praticato in una scatola opaca annerita all'interno, detto anche foro stenopeico dal greco  $\sigma\tau\epsilon\nu\acute{o}\varsigma$  (*stenos*, «stretto») e  $\acute{o}\pi\eta$  (*ope*, «foro»). La camera oscura così ottenuta è in grado di produrre immagini reali e capovolte di oggetti posti al suo esterno grazie ai raggi rettilinei che attraversano il foro e vengono proiettati sul fondo.

Le immagini formate con una camera oscura sono tanto più nitide quanto più piccolo e regolare è il foro; tuttavia restringere il foro significa ridurre la quantità di luce in entrata e quindi l'immagine diventa meno luminosa. Inoltre, fori troppo piccoli possono far insorgere deformazioni dovute al fenomeno della diffrazione.

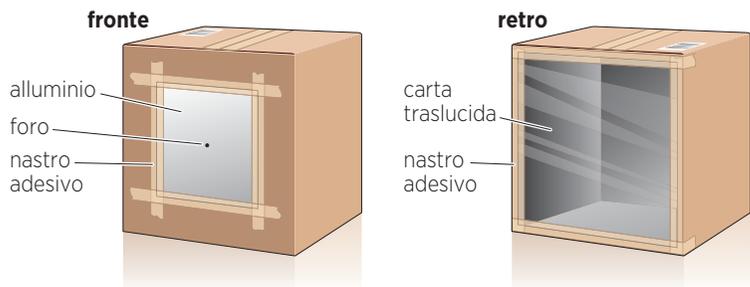


Una camera oscura è una scatola annerita all'interno, dotata di un piccolo foro.

### Costruire una camera oscura

Costruire una camera oscura è semplicissimo ed economico: è sufficiente una scatola di cartone annerita all'interno, con una faccia sostituita da uno schermo di carta traslucida. Sul lato opposto dello schermo deve trovarsi il foro. Questo deve essere regolare e il suo supporto molto sottile, per cui è preferibile praticarlo su una lamina di alluminio, ricavabile ritagliando e appiattendendo le pareti di una lattina da bibita.

La lamina può essere forata con un ago da 0,3-0,5 mm di diametro e applicata con nastro adesivo in un'apposita sede ritagliata nel cartone della scatola. Dirigendo il foro verso un oggetto luminoso o fortemente illuminato possiamo scorgerne l'immagine capovolta proiettata sullo schermo traslucido.

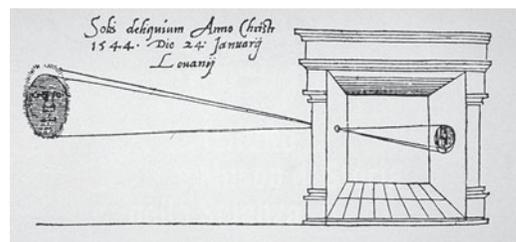


Per costruire una camera oscura occorrono: una scatola di cartone annerita all'interno, nastro adesivo, carta traslucida, una lastra di alluminio, un ago.

### Usi della camera oscura

La camera oscura è un'invenzione antica; studiata per la prima volta nell'XI secolo dallo scienziato arabo Alhazen, è stata successivamente utilizzata in astronomia per osservare il Sole.

Più tardi gli artisti del Rinascimento se ne servirono per studiare la prospettiva, proiettando la realtà tridimensionale su uno schermo piatto e quindi ricalcandone i contorni su fogli. Dal XIX secolo lo sviluppo di materiali fotosensibili ne ha reso possibile l'uso come macchina fotografica: la luce che incide su una pellicola collocata sul fondo della camera, al posto dello schermo, imprime su di essa l'immagine inquadrata. Per avere immagini nitide il foro deve essere molto piccolo e quindi sono necessari tempi di esposizione molto lunghi, per cui questo tipo di utilizzo è stato presto abbandonato. Oggi è tornato in uso per la ricerca di effetti particolari e per la sua caratteristica di avere una profondità di campo praticamente illimitata. Infatti fornisce immagini in cui tutti gli oggetti inquadrati sono *a fuoco*, diversamente da quanto accade con i diaframmi di aperture maggiori che si usano unitamente ad altri dispositivi ottici, con i quali risultano *sfuocati* gli oggetti posti al di fuori di un certo intervallo di distanze.



Camera oscura per l'osservazione delle eclissi di Sole in un disegno della fine del XVI secolo.

Biblioteca nazionale di Firenze

**DOMANDA** Costruisci una camera oscura. Quali difficoltà hai incontrato?

## CON GLI OCCHI DI UN FISICO

### L'arcobaleno

#### Miti e leggende

L'arcobaleno è un arco luminoso e colorato, che si forma nell'atmosfera in particolari condizioni di illuminazione e umidità, che ha da sempre affascinato e stimolato la fantasia umana. I greci ne avevano fatto una creatura mitologica, Iris, figlia della divinità marina Taumante e dell'oceanina Elettra, antica divinità della luce. Faceva da ancella a Zeus e ad Era e aveva il compito principale di portare i loro messaggi alle altre divinità dell'Olimpo e agli uomini. Si muoveva veloce come il vento da un punto all'altro della Terra, volando con le sue grandi ali e seguendo l'arco colorato che ne segnava il percorso. Aveva una veste brillante ed era circondata da luce.

Secondo antiche leggende celtiche gli arcobaleni portavano tesori. In una leggenda irlandese il folletto *leprechaun*, un ciabattino dispettoso, aveva nascosto una pignatta piena di monete d'oro proprio nel punto in cui terminava l'arcobaleno. Nella mitologia dei popoli scandinavi, invece, l'arcobaleno era un ponte che metteva in collegamento il mondo degli uomini con quello degli dei. Gli aborigeni australiani consideravano il serpente arcobaleno una divinità femminile creatrice e distruttrice, capace di plasmare il paesaggio, di generare la vita ma anche di provocare la morte con tremende inondazioni. Secondo diversi miti, dopo aver creato valli e rocce si rifugiò in acque profonde per nascondersi alla vista degli uomini, ai quali tuttavia si mostrava di tanto in tanto levando in cielo la sua coda colorata, l'arcobaleno.



Pittura rupestre aborigena, che raffigura il serpente arcobaleno. Si trova nel sito di Ubirr, nel parco nazionale di Kakadu in Australia, dichiarato Patrimonio dell'Umanità dall'Unesco nel 1981.

**PAROLA CHIAVE** Immagine

**DOMANDA** È corretto affermare che l'arcobaleno è l'immagine del Sole? Motiva la risposta in 5 righe.

#### Arcobaleno e diluvio

Nell'America precolombiana il popolo dei Chibcha, che abitava l'attuale Colombia centrale, venerava Bochica, un divino eroe che secondo il mito avrebbe posto le basi della loro cultura e li avrebbe protetti dalle calamità naturali. Tuttavia i Chibcha abbandonarono i suoi insegnamenti e si lasciarono andare a una vita di eccessi e dissoluzione, per cui furono puniti con un terribile diluvio. Disperati rivolsero accorate preghiere a Bochica, il quale tornò su un arcobaleno e con un colpo di bastone sulle rocce incanalò l'inondazione formando le attuali cascate Tequendama. Per la civiltà dei Chibcha l'arcobaleno rappresentò dunque la salvezza dal diluvio che li aveva travolti.

Il diluvio divino che punisce gli uomini mettendone a repentaglio la sopravvivenza è un tema ricorrente in moltissime civiltà, in ogni angolo del mondo. Per noi il più famoso è quello, raccontato nella Bibbia, che travolse la Terra e uccise i suoi abitanti, allontanatisi dalla condotta dettata da Dio. Nel *Libro della Genesi* leggiamo che la punizione divina colpì gli uomini, ma risparmiò il genere umano e ogni specie animale consentendo a Noè di trarre in salvo i suoi familiari e pochi esemplari degli altri esseri viventi a bordo di una grande arca. Dopo 150 giorni di pioggia incessante l'ira divina si placò e un arcobaleno segnò la fine del diluvio universale, suggellando una nuova alleanza tra Dio e gli uomini: nessun'altra inondazione travolgerà la Terra e un arco colorato tra le nubi ricorderà per sempre questa promessa di pace.

Mosaico del XII secolo nel duomo di Monreale (Palermo), raffigurante il versetto della *Genesi* 9:13: «Il mio arco pongo sulle nubi ed esso sarà il segno dell'alleanza tra me e la terra» (Bibbia CEI 2008).



**PAROLA CHIAVE** Riflessione

**DOMANDA** Perché si formi un arcobaleno il raggio di luce deve subire una riflessione totale all'interno della goccia sulla superficie di separazione acqua-aria. Quale condizione deve essere soddisfatta?

## I colori dell'arcobaleno

*Rilevavo, infatti, che il perfezionamento dei telescopi era stato fin qui limitato non tanto dalla mancanza di lenti correttamente formate (la qual cosa tutti hanno fin qui supposto) secondo le prescrizioni degli autori di ottica, quanto dal fatto che la luce stessa è una mescolanza eterogenea di raggi diversamente rifrangibili. Sicché, anche se una lente fosse così esattamente formata da raccogliere qualsiasi genere di raggi in un solo punto, essa non potrebbe raccogliere nel medesimo punto anche quelli che cadendo con la medesima incidenza sul medesimo mezzo sono atti a subire una differente rifrazione.* (Isaac Newton, *Nuova teoria sulla luce e sui colori*, 1672).

Con queste parole Newton comunicava al segretario della Royal Society di Londra un'importante scoperta: le aberrazioni cromatiche, cioè le anomalie colorate che appaiono intorno alle immagini e che limitavano il perfezionamento dei telescopi, non erano dovute a difetti delle lenti ma alla natura stessa della luce. Facendo passare un raggio di Sole attraverso un prisma di vetro egli aveva riprodotto la dispersione cromatica che si osserva anche in un arcobaleno. Aveva cioè scoperto che la luce bianca è in realtà formata dalla sovrapposizione di raggi di vari colori, ciascuno dei quali subisce una rifrazione differente all'interno del vetro, emergendo dal prisma con un proprio angolo.

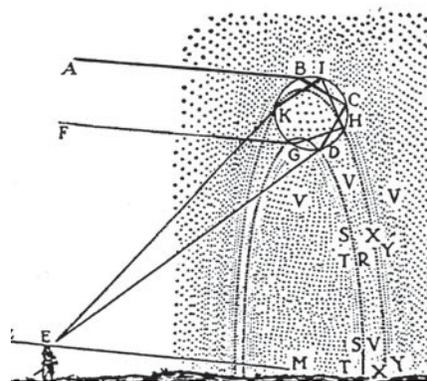


La dispersione cromatica in un arcobaleno dipende dal fatto che l'indice di rifrazione cambia a seconda del colore della luce.

## Teoria dell'arcobaleno

Già nel 1637 René Descartes (noto anche con il nome latinizzato di Cartesio) aveva proposto una spiegazione dell'arcobaleno in termini di successive rifrazioni e riflessioni della luce. Tuttavia non risolveva la questione dei colori, che venivano spiegati come una poco chiara modificazione della luce bianca.

Il fenomeno della rifrazione era noto da molto tempo, ma i primi studi quantitativi risalgono al XVII secolo. Willebrod Snell, contemporaneo di Descartes, scoprì la regolarità matematica della rifrazione nel 1621, ma fu Descartes a darne la formulazione esatta che oggi conosciamo. Con essa si riuscì a spiegare il fenomeno dell'arcobaleno ricostruendo il cammino ottico di un raggio di luce che entra in una goccia di acqua sferica e ne esce dopo essere stato rifratto all'interno della goccia, riflesso sul fondo della superficie sferica stessa e nuovamente rifratto nel passaggio dall'acqua all'aria. Di fatto, la luce incidente sulle goccioline d'acqua in sospensione, proveniente dalle spalle dell'osservatore, raggiunge quest'ultimo dopo aver subito una rifrazione, una riflessione e di nuovo una rifrazione. La successiva scoperta di Newton sulla dispersione dei colori dello spettro visibile permise infine la comprensione completa del fenomeno, che comunque richiede passaggi complicati per poter spiegare la particolare forma ad arco e la formazione del cosiddetto arcobaleno secondario, cioè l'arco con colori invertiti e meno brillanti che a volte si scorge superiormente al primo.



Noi vediamo l'arcobaleno quando i raggi di luce incidenti sulle goccioline sferiche d'acqua in sospensione, dopo aver subito due rifrazioni e una riflessione, escono dalla goccia e convergono verso i nostri occhi.

**PAROLA CHIAVE** Rifrazione

**DOMANDA** Se l'indice di rifrazione fosse lo stesso per tutte le lunghezze d'onda della luce, cioè per tutti i colori, si vedrebbe ancora l'arcobaleno? Motiva la risposta in 5 righe.