

SPONSOR



**ISTITUTO GALILEO**  
scuola di ottica  
•PISA•

*“La realtà è una semplice illusione,  
sebbene molto persistente”  
Albert Einstein*

Mostra realizzata dagli studenti del Liceo Scientifico “U. Dini” di Pisa, del Liceo Scientifico “A. Pesenti” di Cascina, del Liceo Classico “G. Galilei” di Pisa e del Liceo Classico “XXV Aprile” di Pontedera, in un progetto di Alternanza Scuola-Lavoro con l'Istituto Nazionale di Ottica del Cnr, sede di Pisa in collaborazione con l'Istituto di Informatica e Telematica del Cnr di Pisa, la Ludoteca Scientifica e il Dipartimento di Fisica dell'Università di Pisa.



LICEO SCIENTIFICO  
Ulisse Dini - Pisa



Liceo Classico Scientifico  
XXV Aprile

# Vedere l'invisibile

VIAGGIO METAVISIVO

ALLA SCOPERTA DEI SEGRETI DELLA LUCE



Mostra di ottica su varie esperienze  
riguardanti la luce e la percezione

**27, 28 e 29 Giugno 2018**  
dalle 10.00 alle 17.00

INGRESSO LIBERO

Aula 29, ingresso 1  
Area della Ricerca CNR - Via G. Moruzzi, 1 - Pisa



**CNR-INO**  
ISTITUTO NAZIONALE DI OTTICA  
CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

# L'apparenza inganna

a cura di Costanza Baldelli, Ginan Qaisi, Gloria Bani e Vladimir Iacono

A partire dalla definizione della percezione come elaborazione cognitiva dell'informazione sensoriale, con il presente lavoro si è voluto analizzare quali operazioni avvengono nella nostra mente nel momento in cui percepiamo un oggetto.

Ciò che noi percepiamo è in realtà il risultato di complessi e articolati processi di elaborazione all'interno dei quali avviene un'integrazione tra l'informazione sensoriale e le conoscenze possedute dal soggetto.

Noi non percepiamo passivamente le cose come in uno specchio, ma direttamente la luce che gli oggetti riflettono tramite radiazioni

elettromagnetiche (fotoni) emesse dagli stessi o da sorgenti luminose.

L'illusione ottica è una diversa interpretazione delle sensazioni visive che intervengono nel determinare la forma delle immagini.

Ci sono diverse tipologie di illusioni: figure ambigue, qualora il sistema percettivo non riesca a percepire contemporaneamente due figure in una stessa immagine; aberranti, rappresentazioni di immagini che non potrebbero esistere nella realtà; di colore e contrasto, dove a seconda delle tonalità circostanti, un certo oggetto viene percepito di colore diverso; le classiche illusioni geometriche, etc.

Gli specchi piani riflettono le immagini invertendone la direzione trasversale e quindi capovolgendole, ad esempio, accostando allo specchio delle scritte, possiamo notare che alcune parole sono leggibili anche riflesse, altre no.

Analogamente giocando con un'immagine particolare possiamo individuare due figure diverse tra quella reale e quella riflessa.



Figura di Boring, 1930

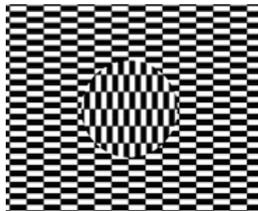
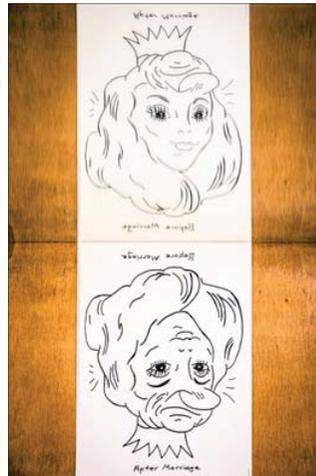
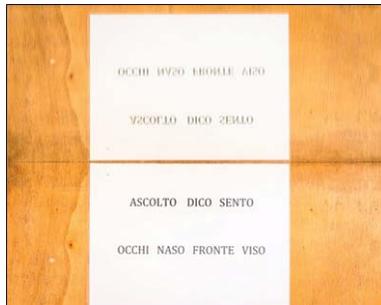


Figura di Ouchi, 1977

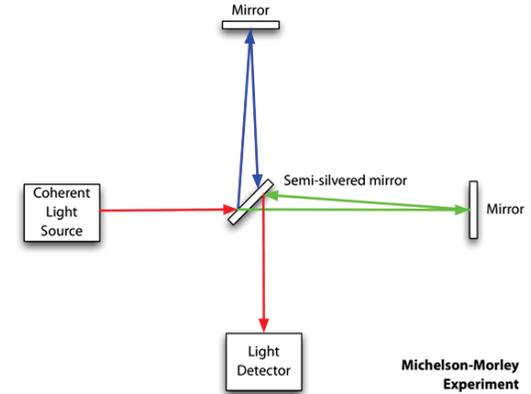


# Interferometro di Michelson

a cura di Alessandra Dani, Tommaso Morelli, Sara El Wifak e Lorenzo Chesi

L'interferometro di Michelson è la tipologia di interferometro più comune: uno strumento nel quale due onde, originate dalla stessa sorgente luminosa, vengono sovrapposte, creando frange di interferenza.

La luce, generata da un laser, il cui diametro è ampliato per mezzo di un Beam Expander, viene suddivisa in due fasci coerenti da uno specchio semiriflettente inclinato a 45 gradi. I due fasci dopo esser stati retroriflessi da due specchi, si sovrappongono su un'unica superficie, sulla quale è possibile osservare il fenomeno dell'interferenza, cioè una serie concentrica di massimi e minimi di intensità. Al variare della lunghezza di un braccio rispetto all'altro, l'interferenza nella frangia centrale passa alternativamente da costruttiva a distruttiva.



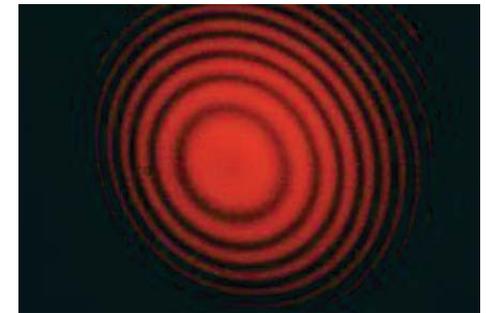
In figura lo schema dell'interferometro di Michelson  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Michelson-morley.png>

L'interferometro di Michelson è stato utilizzato storicamente per:

- (1887) l'esperimento di Michelson-Morley sul vento d'etere;
- (1891) il primo studio sistematico della struttura fine delle righe spettrali e della loro forma;
- (1895) il primo confronto diretto tra la lunghezza d'onda delle righe spettrali e la lunghezza del metro campione.

L'interferometro di Michelson può essere utilizzato per le seguenti applicazioni:

- Misura della lunghezza d'onda di un laser
- Misura della separazione del doppietto del sodio
- Analisi di elementi ottici
- Misura di indice di rifrazione
- Spettroscopia e trasformata di Fourier



## Vedere l'invisibile

VIAGGIO METAVISIVO ALLA SCOPERTA DEI SEGRETI DELLA LUCE



## Vedere l'invisibile

VIAGGIO METAVISIVO ALLA SCOPERTA DEI SEGRETI DELLA LUCE

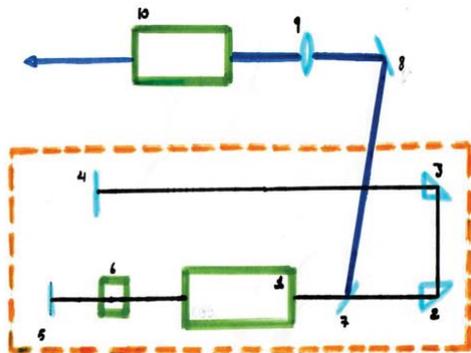


# Laser Impulsato

a cura di Miriam Gizzi, Alessio Giordano, Gloria Porquier e Michael Orsitto

L'impianto è costituito da una base su cui sono posizionate le componenti che danno vita all'intero processo:

- Lampo di luce emesso dalla lampada all'interno e passa attraverso la barra in cui si crea il raggio laser (1) che esce nelle due direzioni
- Verso destra, rimbalza nel primo prisma (2), nel secondo prisma (3) e rimbalza nello specchio all'estrema sx (4).
- Fa il percorso inverso per poi tornare al cristallo.
- Da lì il laser viene amplificato, continua e trova un altro specchio (5), ritorna indietro nel cristallo, viene amplificato e riesegue il percorso di prima.
- Quando il laser raggiunge la massima potenza dobbiamo aprire la porta che permette all'impulso di uscire, che è costituita dalla cella di Pockels (6) e da un polarizzatore (7).
- Il polarizzatore, se viene colpito da un lampo la cui polarizzazione è orizzontale, si comporta come un mezzo trasparente. Se invece il lampo che lo colpisce ha polarizzazione verticale, esso agirà da specchio.
- La cella di pockels, al momento opportuno effettua una rotazione di 90° della polarizzazione, che da verticale diventa orizzontale.
- L'impulso deviato rimbalza su un ulteriore specchio (8) e viene leggermente concentrato da 2 lenti convergenti (9) su un secondo cristallo che lo amplifica ulteriormente (10).



- |     |                       |
|-----|-----------------------|
| 1.  | Oscillatore           |
| 2.  | Prisma A              |
| 3.  | Prisma B              |
| 4.  | Specchio A            |
| 5.  | Specchio B            |
| 6.  | Cella di Pockels      |
| 7.  | Polarizzatore sottile |
| 8.  | Specchio C            |
| 9.  | Lenti convergenti     |
| 10. | Amplificatore         |

# POLARIZZATORI E SCOTCH TRASPARENTE

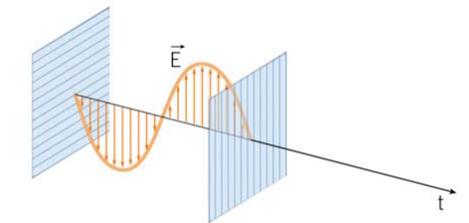
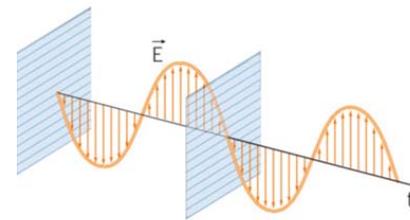
a cura di Alessandra Dani, Tommaso Morelli, Sara El Wifak e Lorenzo Chesi

La luce naturale è formata da onde luminose sovrapposte, emesse da tante sorgenti indipendenti,, senza una particolare direzione del piano di oscillazione (polarizzazione).

Il polarizzatore agisce sulla luce naturale da filtro in modo tale che, dopo di esso, la luce oscilli su un unico piano, che può essere orizzontale (onda polarizzata orizzontalmente) o verticale (onda polarizzata verticalmente).

L'esperimento consiste nell'inserire in un supporto meccanico due polarizzatori, che possono avere gli assi di propagazione paralleli o perpendicolari fra loro

Credit: Copyright © 2012 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [5913der]



Nel caso in cui gli assi di propagazione siano paralleli fra loro, la luce, dopo essere stata polarizzata dal primo polarizzatore, è trasmessa inalterata da un secondo, detto analizzatore.

Ruotando l'analizzatore di 90° gli assi di polarizzazione diventano perpendicolari fra loro; la luce polarizzata verticalmente dal primo polaroid, viene in seguito bloccata dal secondo

Inserendo un pannello ricoperto da strisce di scotch fra i due polarizzatori, le onde luminose, subiscono una variazione di polarizzazione dovuta allo scotch. Tale variazione dipende da:

1. Spessore dello scotch
2. Direzione della striscia di scotch
3. Lunghezza d'onda della luce

il secondo polarizzatore, quindi, selezionando una particolare polarizzazione, permette il passaggio prioritariamente della sola componente luminosa polarizzata secondo il suo asse. Si notano, quindi, zone di colore diverso, dovute e alle differenti direzioni di inclinazione delle strisce e spessore dello scotch

Applicazioni

- Negli schermi a cristallo liquido due polarizzatori, variando il loro asse di polarizzazione, riescono a creare colori chiari o scuri sullo schermo dei nostri televisori;
- Interponendo un pannello fra i due polarizzatori, è possibile misurare il grado di stress del materiale sul pannello secondo il colore che si osserva oltre il secondo polarizzatore



## Vedere l'invisibile

VIAGGIO METAVISIVO ALLA SCOPERTA DEI SEGRETI DELLA LUCE



## Vedere l'invisibile

VIAGGIO METAVISIVO ALLA SCOPERTA DEI SEGRETI DELLA LUCE

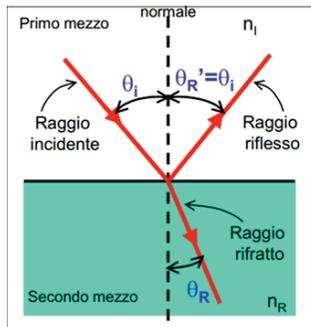
# Rifrazione

a cura di Susan Mao, Viola di Quinzio, Filippo Lattanzi e Leonardo Ceccarelli

La rifrazione è un fenomeno fisico che si verifica quando un'onda (la luce infatti ha una natura ondulatoria) attraversa un mezzo trasparente: essa non procede sul suo cammino in linea retta ma viene deviata di un angolo che dipende dalla sua inclinazione iniziale rispetto alla superficie e dalle proprietà dei mezzi in questione (tra cui l'indice di rifrazione). Il fenomeno, che riguarda qualunque tipo di onda, è particolarmente studiato per le onde luminose, nell'ambito dell'ottica geometrica.

## CANNUCCIA:

Perché una cannuccia immersa in un bicchiere d'acqua appare spezzata? Il motivo è che la luce si propaga con velocità diverse nell'aria e nell'acqua, e nel passaggio da un mezzo all'altro i raggi luminosi vengono deviati. Oggi questo principio viene usato per produrre materiali "intelligenti" che risultano invisibili (per esempio le leghe).



## RIFRAZIONE LASER:

Quando un fascio di luce passa da un mezzo con indice di rifrazione minore a uno con indice di rifrazione maggiore, in questo caso dall'aria al plexiglass, il raggio rifratto tende ad avvicinarsi alla normale (linea tratteggiata in figura).

Se l'angolo di incidenza è inferiore all'angolo critico (uguale al rapporto tra l'indice di rifrazione dei due materiali) allora si osserverà l'usuale fenomeno della rifrazione, anche se vi sarà una parte della luce che sarà riflessa. Quando invece gli angoli coincidono si ha la riflessione totale, non si ha quindi la rifrazione.



## PRISMA:

Se si illumina il prisma con un forte fascio di luce lo spettro viene scomposto nelle sue varie componenti monocromatiche, le quali essendo deviate possiamo vedere su una superficie. L'esempio più comune di questo fenomeno è l'arcobaleno, lo spettro del sole infatti viene deviato dalle goccioline d'acqua nell'atmosfera.



# Rifrazione 2

a cura di Susan Mao, Viola di Quinzio, Filippo Lattanzi e Leonardo Ceccarelli

La rifrazione è un fenomeno fisico che si verifica quando un'onda (la luce infatti ha una natura ondulatoria) attraversa un mezzo trasparente: essa non procede sul suo cammino in linea retta ma viene deviata di un angolo che dipende dalla sua inclinazione iniziale rispetto alla superficie e dalle proprietà dei mezzi in questione (tra cui l'indice di rifrazione). Il fenomeno, che riguarda qualunque tipo di onda, è particolarmente studiato per le onde luminose, nell'ambito dell'ottica geometrica.

## DISCO DI NEWTON

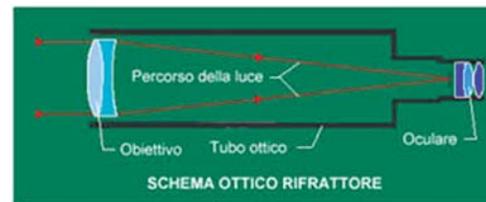
È un disco composto da sette settori colorati secondo i colori dell'arcobaleno. Prende il nome dal suo inventore: Isaac Newton. Facendolo ruotare, il disco mescola la luce riflessa dai colori diversi, riflettendo una luce biancastra. Si ottiene dunque l'illusione che i colori tendano ad uniformarsi e a diventare bianchi. Questo è uno degli esperimenti tramite i quali Newton riuscì a spiegare come la luce sia bianca in quanto combinazione dei sette colori dell'arcobaleno.



Newton's Color Disc

## TELESCOPIO

Un telescopio è uno strumento ottico che permette di avvicinare gli oggetti distanti. Inquadra una piccola area visiva, un campo, e quindi la ingrandisce in modo tale che gli oggetti distanti sembrino più grandi. I raggi luminosi paralleli che entrano in un telescopio vengono messi a fuoco in un singolo punto, chiamato fuoco o punto focale. Questi raggi focalizzati vengono



quindi ingranditi per mezzo di una lente molto potente, o più comunemente da un gruppo di lenti, chiamata oculare, per fornire immagini ingrandite degli oggetti distanti. L'oculare agisce in un modo opposto rispetto all'obiettivo del telescopio, prendendo i raggi luminosi focalizzati ed inviandoli all'occhio.

Il doppietto o "doppietto acromatico" sono lenti multipli di materiali con diversa dispersione, che riducono il problema dell'aberrazione cromatica (In pratica succede che le componenti dello spettro con lunghezza d'onda più corta vengono rifratte maggiormente rispetto a quelle con lunghezza d'onda più lunga, causando una dispersione dell'immagine sul piano focale.)

L'obiettivo è un doppietto di due lenti, una divergente (più sottile al centro) e una convergente (più spessa al centro). L'oculare può essere una lente convergente o un doppietto con le lenti convergenti faccia a faccia e quelle divergenti opposte.



## Vedere l'invisibile

VIAGGIO METAVISIVO ALLA SCOPERTA DEI SEGRETI DELLA LUCE



## Vedere l'invisibile

VIAGGIO METAVISIVO ALLA SCOPERTA DEI SEGRETI DELLA LUCE



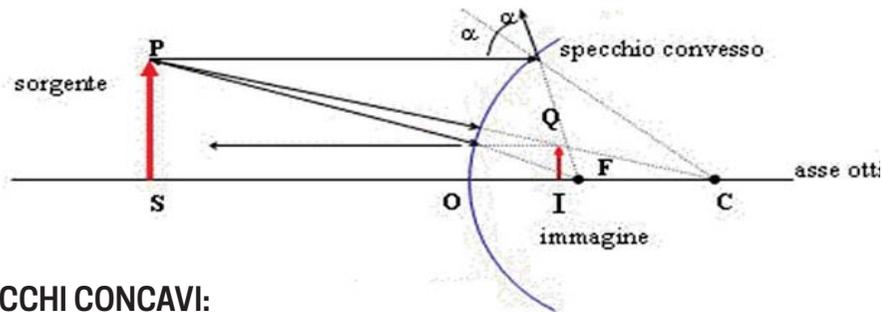
# Specchi

a cura di Sylvie Morel, Paolo D'Angelo e Federico Spinelli

## SPECCHI CONVESSI:

Uno specchio convesso è capace di aumentare l'angolo di vista, di conseguenza l'immagine di un oggetto riflesso su uno specchio convesso risulta più piccola, dritta e virtuale.

Un'immagine si dice virtuale quando i raggi si incontrano nei loro prolungamenti.

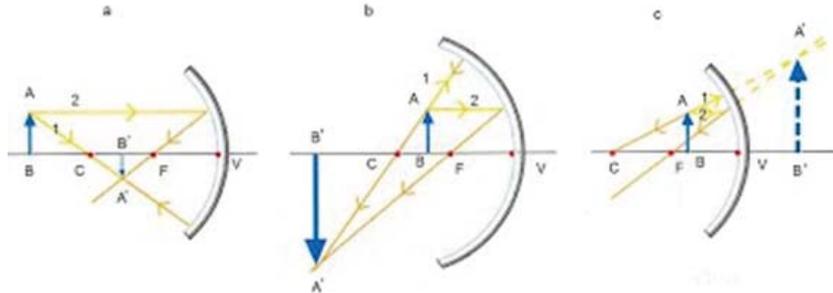


## SPECCHI CONCAVI:

Uno specchio concavo ha la caratteristica di poter riflettere un oggetto in due modi differenti a seconda della sua posizione rispetto al fuoco: se questo si trova prima del fuoco, quindi tra la lente e quest'ultimo, l'immagine dell'oggetto risulta più grande, dritta e virtuale.

Se invece si trova oltre al fuoco, l'immagine è ribaltata e reale.

Un'immagine è detta reale quando i raggi che la formano si incontrano realmente.

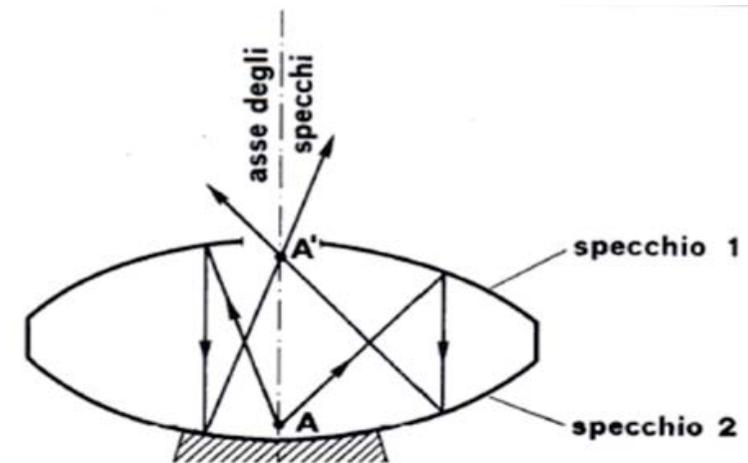


- A. Oggetto oltre il fuoco, immagine reale, invertita e più piccola
- B. Oggetto oltre il fuoco, immagine reale, invertita e più grande
- C. Oggetto prima del fuoco, immagine virtuale, dritta e più grande

# Specchio doppio concavo

a cura di Sylvie Morel, Paolo D'Angelo e Federico Spinelli

Un oggetto posto tra due specchi concavi viene riflesso in modo da ottenere un miraggio, che è un'immagine reale. Ciò avviene perché la luce che entra attraverso la fessura viene riflessa una prima volta sullo specchio superiore e a sua volta su quello inferiore: i raggi convergono nello stesso punto dando forma al miraggio.



## Vedere l'invisibile

VIAGGIO METAVISIVO ALLA SCOPERTA DEI SEGRETI DELLA LUCE



## Vedere l'invisibile

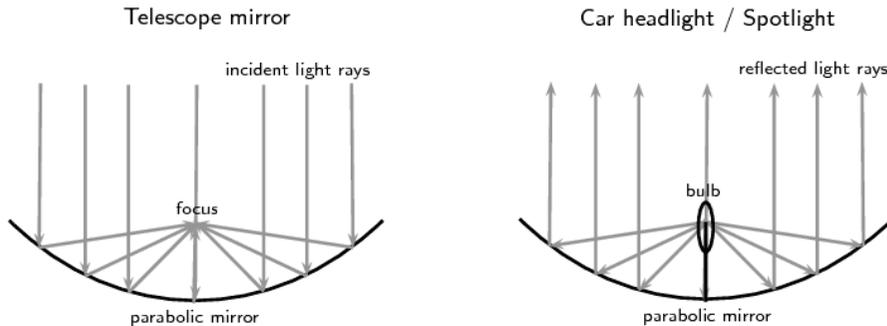
VIAGGIO METAVISIVO ALLA SCOPERTA DEI SEGRETI DELLA LUCE

# Specchi parabolici

a cura di Sylvie Morel, Paolo D'Angelo e Federico Spinelli

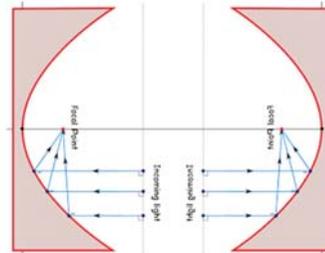
## SPECCHI PARABOLICI CONCAVI

Lo specchio parabolico è un particolare specchio concavo nel quale ogni riflessione di un raggio parallelo all'asse ottico passa dal fuoco della parabola e viceversa.



## PONTE PARABOLICO

Se poniamo due specchi parabolici uno di fronte all'altro e mettiamo in uno dei due fuochi una fonte luminosa possiamo notare che i raggi riflessi, dallo specchio, sono paralleli all'asse ottico. Se i due specchi sono allineati, i raggi ulteriormente riflessi dal secondo specchio convergono nel suo fuoco.

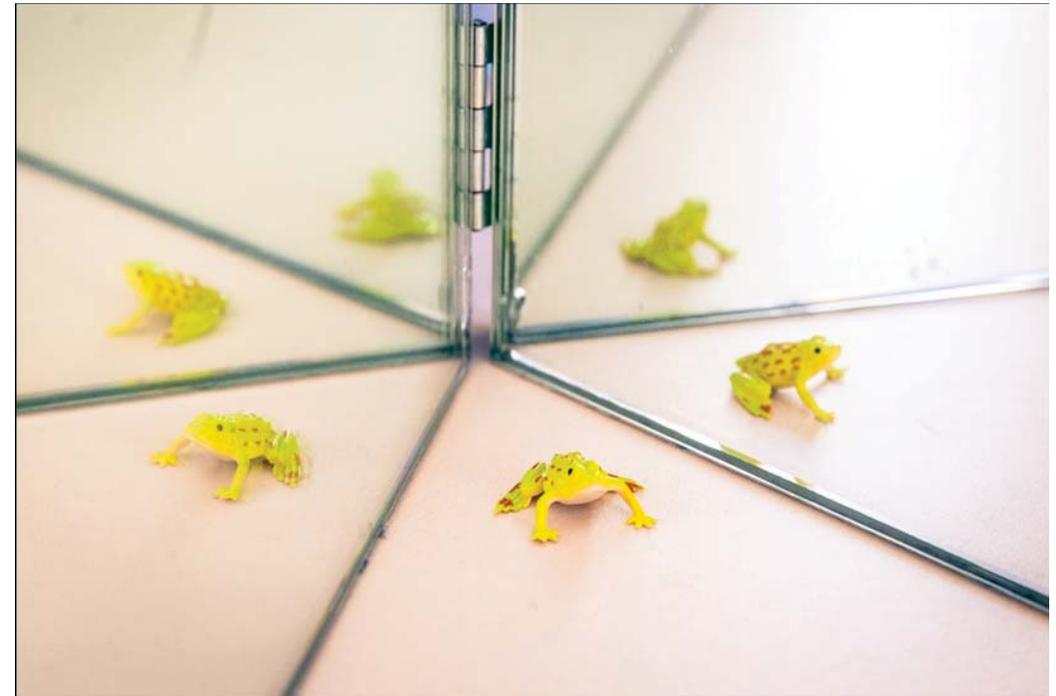


# Specchi piani

a cura di Costanza Baldelli, Ginan Qaisi, Gloria Bani e Vladimir Iacono

Ponendo due specchi piani a formare angoli di ampiezza diversa e un oggetto lungo la bisettrice, il numero di immagini riflesse segue la legge  $N = 360^\circ / \alpha$ , dove N corrisponde al numero di immagini+1 (contando anche l'oggetto materiale) e  $\alpha$  all'ampiezza dell'angolo considerato.

Tra due specchi paralleli (angolo tra gli specchi uguale a zero) si sviluppa una successione di immagini tendente a infinito.



## Vedere l'invisibile

VIAGGIO METAVISIVO ALLA SCOPERTA DEI SEGRETI DELLA LUCE



## Vedere l'invisibile

VIAGGIO METAVISIVO ALLA SCOPERTA DEI SEGRETI DELLA LUCE



# Spettrometro

a cura di Miriam Gizzi, Alessio Giordano, Gloria Porquier e Michael Orsitto

- Lo spettrometro è uno strumento che ci permette di misurare lo spettro di una radiazione luminosa in funzione della lunghezza d'onda.
- Con il principio di interferenza la radiazione luminosa viene decomposta nelle sue varie lunghezze d'onda e ne viene misurata l'intensità con una CCD.
- L'apparecchio è composto da una fibra ottica che serve a selezionare la fonte di luce desiderata e trasportarla ad un reticolo di diffrazione il quale, tramite il principio di interferenza, la scompone e riflette alla CCD, che infine ne registra lo spettro.
- Lo strumento è connesso al computer, che tramite il programma Avantes, sviluppa l'immagine dello spettro.
- Nel grafico i picchi corrispondono alle componenti che formano la radiazione luminosa.
- Noi osserveremo le differenze tra le varie sorgenti luminose (come LED, solare, neon, lampadine ad incandescenza) e i rispettivi spettri.

COLORE	FREQUENZA	LUNGHEZZA D'ONDA
Violetto	668-789 THz	380-450 nm
Blu	631-668 THz	450-475 nm
Ciano	606-631 THz	476-495 nm
Verde	526-606 THz	495-570 nm
Giallo	508-526 THz	570-590 nm
Arancione	484-508 THz	590-620 nm
Rosso	400-484 THz	620-750 nm

- Noi osserveremo le differenze tra le varie sorgenti luminose (come LED, solare, neon, lampadine ad incandescenza) e i rispettivi spettri.

# Tassellazioni e origami

a cura di Antonio Mangani, Francesca Aricò e Sara

## Tassellazione

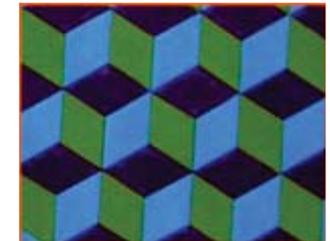
Modi di ricoprire il piano con più figure geometriche, ripetute all'infinito in modo da creare un'immagine o un effetto tridimensionale. Le tassellazioni possono essere regolari, semi-regolari e non regolari. Il grafico e incisore olandese M. C. Escher utilizzò il metodo della tassellazione in alcune delle sue opere.



Escher "Circle Limit III", 1959

## Origami

Dal giapponese Ori piegare e kami carta, l'arte del piegare la carta e l'oggetto che ne deriva costituito da semplici piegature in forme geometriche.



## Vedere l'invisibile

VIAGGIO METAVISIVO ALLA SCOPERTA DEI SEGRETI DELLA LUCE



## Vedere l'invisibile

VIAGGIO METAVISIVO ALLA SCOPERTA DEI SEGRETI DELLA LUCE



# RINGRAZIAMENTI

## Si ringraziano:

Area della Ricerca del CNR di Pisa  
Ludoteca scientifica  
Dipartimento di Fisica dell'Università di Pisa  
Liceo Scientifico U. Dini di Pisa

Rosellina Bausani  
Francesco Forti  
Isabella Giannettoni  
Sergio Giudici  
Annamaria Mele  
Noemi Milanese  
Ornella Sebellin  
Fabrizio Tellini

**E tutti i colleghi dell'INO coinvolti in questa follia.  
In particolare:**

Alessandro Barbini  
Stefania Grassini  
Nadia Ioli  
Iginio Longo  
Andrea Macchi  
Oliver Morsch  
Mauro Tagliaferri

LASCIA  
UN  
COMMENTO

# CREDITS

**NOME MOSTRA:**

TUTTI

**ORGANIZZAZIONE LOGISTICA:**

Sylvie Morel, Gloria Bani, Paolo D'Angelo, Vladimir Iacono, Filippo Lattanzi

**GRAFICA:**

Tommaso Morelli, Antonio Mangani, Michael Orsitto, Gloria Porquier, Sara Volpi, Miriam Gizzi, Alessio Giordano, Sara El Wifak, Francesca Aricò, Alessandra Dani, Lorenzo Chesi

**WEB & SOCIAL:**

Federico Spinelli, Costanza Baldelli, Ginan Qaisi, Viola Di Quinzio, Susan Mao, Leonardo Ceccarelli

**CONSULENZA SCIENTIFICA:**

Andrea Fioretti, Elisabetta Tognoni, Paolo Tomassini, Clara Lanza

**CONSULENZA COMUNICAZIONE:**

Patrizia Andronico