

## TECNOLOGIA

### Gli ologrammi

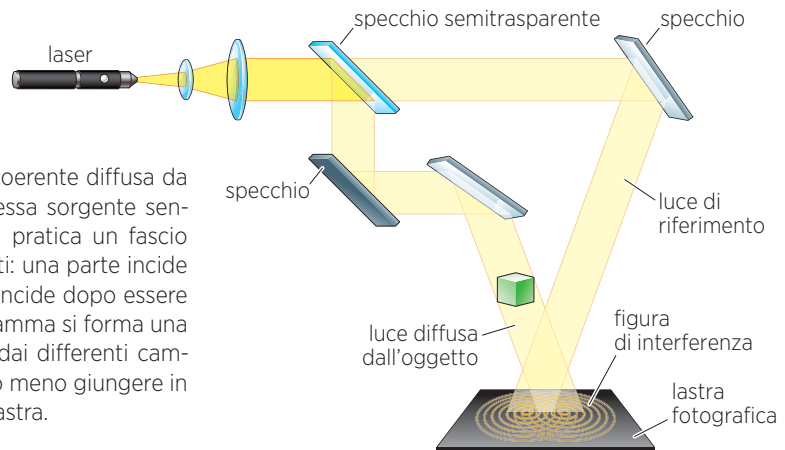
Un ologramma è la registrazione su una lastra di un'immagine tridimensionale, ottenuta per mezzo di una tecnica chiamata appunto olografia. Quando un fascio di luce laser incide su un ologramma proietta nello spazio un'immagine tridimensionale dell'oggetto registrato sulla lastra.



Eroposa Propp

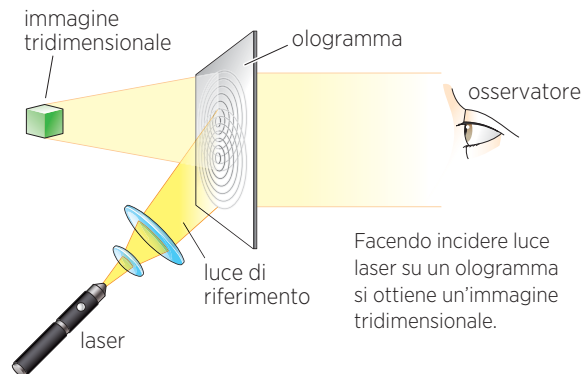
#### Produrre un ologramma

Gli ologrammi sono una delle più spettacolari applicazioni dell'interferenza della luce. Si ottengono facendo interferire su un'apposita lastra fotografica luce coerente diffusa da un oggetto e luce emessa dalla stessa sorgente senza alcuna riflessione intermedia. In pratica un fascio di luce laser viene diviso in due parti: una parte incide direttamente sulla lastra e l'altra vi incide dopo essere stata diffusa dall'oggetto. Sull'ologramma si forma una figura di interferenza che dipende dai differenti cammini ottici delle onde, che le fanno o meno giungere in fase in un determinato punto della lastra.



#### Vedere un ologramma

Per vedere un ologramma in tre dimensioni è necessario illuminare la lastra con la luce di un laser identica a quella usata per generarlo, perché la luce del Sole o delle comuni lampade artificiali non è coerente, per cui non produce interferenza apprezzabile. Tuttavia, se il supporto della lastra è sufficientemente spesso e formato da strati con proprietà ottiche diverse, è possibile produrre ologrammi visibili anche con la luce bianca sotto forma di immagini a volte iridescenti.



Facendo incidere luce laser su un ologramma si ottiene un'immagine tridimensionale.

#### Ologrammi e informazione

Una fotografia è un'immagine bidimensionale della realtà, ottenuta trasferendo su un supporto piano informazioni sull'intensità della luce proveniente dall'oggetto fotografato. A grandi linee, le zone raggiunte da poca luce appaiono più scure, quelle raggiunte da intensità luminosa elevata sono più chiare.

Gli ologrammi, oltre a essere determinati dall'intensità della luce, contengono informazioni sulla fase delle relative onde elettromagnetiche. L'interferenza, infatti, dipende proprio dalle differenze di fase tra onde che incidono in uno stesso punto dello spazio: le zone chiare e scure sono determinate da interferenza costruttiva o distruttiva che, a sua volta, dipende dal fatto che le onde arrivino o meno in fase nel punto considerato dopo essere state riflesse dall'oggetto tridimensionale.

Gli ologrammi contengono pertanto una grande quantità di informazioni, e anche per questo non è facile duplicarli e sono usati come sistema di sicurezza, per esempio su banconote o su documenti.



Heike Löchel

Gli ologrammi sono difficili da contraffare, per cui vengono spesso usati come sistemi di sicurezza.

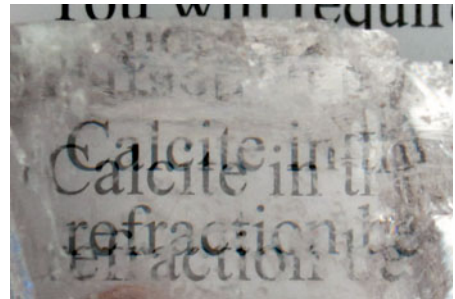
**DOMANDA** Esistono diversi tipi di ologramma, ottenuti con tecniche diverse, visibili in modi diversi, e quindi adatti agli usi più disparati. Fai una ricerca in rete a tale proposito e trova almeno tre applicazioni dell'olografia.

## STORIA DELLA FISICA

### La natura ondulatoria della luce

La propagazione rettilinea dei raggi luminosi, studiata a lungo da Isaac Newton, aveva indotto lo scienziato inglese a formulare un'ipotesi corpuscolare sulla natura della luce. I risultati presentati nella sua *Ottica* erano basati sull'assunto che la luce fosse composta da piccoli granelli che, così come palline materiali, seguivano traiettorie rettilinee finché non urtavano contro qualcosa, rimbalzando e producendo il noto fenomeno della riflessione. Questa concezione fu dominante nella comunità scientifica per circa un secolo, nonostante importanti e fondate opposizioni.

Diversi scienziati erano convinti che la luce avesse una natura ondulatoria, cioè che si dovesse rappresentare come un'onda che si propaga piuttosto che come una particella che si sposta. C'erano infatti fenomeni che la teoria corpuscolare non riusciva a spiegare, come la doppia rifrazione (o birifrangenza).

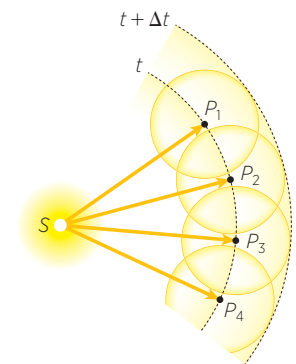


Doppia rifrazione in un cristallo di calcite: nell'attraversare il cristallo il raggio di luce si sdoppia in due raggi rifratti dando luogo a una doppia immagine.

#### L'ipotesi ondulatoria

Lo scienziato olandese Hans Christiaan Huygens, contemporaneo di Newton, era fra quelli che sostenevano la natura ondulatoria della luce. Elaborò una teoria che spiegava le leggi della riflessione e della rifrazione basandosi su un assunto oggi noto come *principio di Huygens*. Tale principio spiegava tutti i fenomeni ottici noti al tempo, compresa la doppia rifrazione e anche la propagazione rettilinea secondo raggi, che sembrava essere il punto di forza della teoria corpuscolare.

L'idea principale di Huygens era che ciascun punto della superficie di un fronte d'onda sferico, generato da una sorgente primaria  $S$ , può essere considerato il centro di una nuova onda sferica secondaria  $P_i$ , in modo tale che istante per istante il fronte d'onda risultante è tangente a ciascuna  $P_i$ .



Per il principio di Huygens ciascun punto di un fronte d'onda sferico è sorgente di onde sferiche.

#### La teoria ondulatoria

La questione restava comunque aperta e la comunità scientifica propendeva ancora per l'ipotesi corpuscolare. In effetti, in quanto onda, la luce avrebbe dovuto mostrare interferenza, ma nessuno era mai riuscito a produrre un fenomeno interpretabile in tal modo. Solo nel 1801 ciò avvenne a opera di Thomas Young, che produsse figure di interferenza a partire da luce proveniente da due piccoli forellini praticati a distanza ravvicinata su una lastra opaca. L'esperimento di Young fu dunque decisivo per l'affermazione di una teoria ondulatoria della luce, la quale guidò con successo l'indagine scientifica per tutto il XIX secolo.

#### Onde o particelle?

La natura della luce tornò di nuovo alla ribalta circa un secolo dopo, quando Einstein, nel 1905, pubblicò un importante lavoro con il quale mostrava che, per spiegare alcuni fenomeni allora incomprensibili, era necessario abbandonare la teoria ondulatoria e utilizzare un modello corpuscolare. Così come la doppia rifrazione creava problemi alla teoria di Newton, l'effetto fotoelettrico metteva in crisi quella ondulatoria. Il fenomeno consiste nell'estrazione di elettroni da un metallo a opera di un fascio di luce incidente avente una particolare lunghezza d'onda. Einstein propose una spiegazione in termini di corpuscoli di luce, detti oggi *fotoni*, che urtano contro gli elettroni del metallo trasferendo loro energia e quantità di moto, così come avviene negli urti a livello macroscopico.

Oggi le due interpretazioni, ondulatoria e corpuscolare, coesistono: non si considera l'una errata rispetto all'altra, ma a ciascuna è assegnato il proprio ambito di validità. Per esempio, per spiegare l'effetto fotoelettrico si utilizza il modello corpuscolare, mentre per spiegare una figura di interferenza si ricorre al modello ondulatorio.

**DOMANDA** L'esperimento di Young è una pietra miliare della fisica. Perché l'interferenza della luce non viene osservata comunemente? Rispondi in 10 righe.

## CON GLI OCCHI DI UN FISICO

### Scrivere con la luce

#### Sostanze fotosensibili

Alcune sostanze in presenza della luce subiscono alterazioni. Un esempio è quello della fotosintesi clorofilliana che, utilizzando l'energia della luce, trasforma l'anidride carbonica e l'acqua in zuccheri. Inoltre alcuni pigmenti modificano il loro colore se esposti a lungo alla luce e la frutta matura al Sole mutando colore. La luce, pur non essendo una sostanza materiale, è dunque in grado di interagire con la materia.

Nel 1727 il chimico tedesco Johan Heinrich Schultze aveva scoperto che un composto di argento, gesso e acido nitrico esposto alla luce del Sole diventava scuro, mentre restava chiaro se esposto alla luce di una fiamma. Comprese pertanto che il cambiamento non era stato provocato dal calore ma doveva dipendere in qualche modo dalla luce bianca del Sole, e per questo motivo chiamò il suo preparato *scotophorus*, cioè portatore di tenebre. Utilizzando maschere sagomate riuscì a evidenziare sul fondo chiaro intere parole e frasi.

Sulla strada intrapresa da Schultze, il ceramista inglese Thomas Wedgwood cospargesse con nitrato d'argento alcuni recipienti di ceramica, che successivamente espose alla luce dopo avervi appoggiato sopra delle sagome o degli oggetti. I suoi esperimenti ebbero successo, anche se le immagini ottenute non erano molto brillanti e i risultati non erano duraturi perché, nel tempo, il nitrato d'argento continua a reagire con la luce annerendo tutta la superficie trattata.



Per dipingere il giallo dei suoi girasoli Van Gogh usò un preparato a base di cromato di piombo, che nel tempo sta mostrando un progressivo imbrunimento, dovuto a una pericolosa sensibilità alla luce. Diversi pigmenti usati nel XIX secolo hanno questo problema e i ricercatori stanno studiando soluzioni al deterioramento delle opere artistiche a rischio.

**PAROLA CHIAVE** Spettro luminoso

**DOMANDA** Nel dipinto *I girasoli* di Van Gogh c'è una predominanza di giallo. Perché se il quadro si trovasse in una stanza buia e fosse illuminato con una lampada monocromatica che emette luce blu le stesse pennellate ci apparirebbero nere? Motiva la risposta in 5 righe.

#### L'eliografia

Il bitume di Giudea è un asfalto scuro usato come pigmento per la verniciatura del legno. Joseph Nicéphore Niépce, nella prima metà del XIX secolo, scoprì la sua caratteristica di indurire e schiarire quando esposto alla luce e la utilizzò per produrre quella che è considerata la prima fotografia della storia. Per gli esperimenti iniziali preparò delle lastre di peltro cospargendole con il bitume e vi poggiò sopra dei disegni traslucidi, attraverso i quali cioè poteva passare luce più o meno intensa a seconda dell'immagine. Esponendo le lastre così coperte alla luce del Sole, il bitume induriva sotto le zone chiare mentre restava liquido nelle zone coperte dai tratti del disegno e poteva essere lavato via. Con questo sistema, detto *eliografia*, l'immagine ottenuta era permanente e non era necessario chiuderla in un luogo buio per conservarla. Inoltre era possibile usarla per ottenere stampe su carta, sfruttando le differenti profondità.

Il passo successivo avvicinò ancora di più Niépce alla moderna fotografia: utilizzando una *camera oscura*, cioè una scatola con un piccolo foro dal quale entra luce, capace di formare sul fondo l'immagine degli oggetti posti all'esterno, egli riuscì a trasferire su un piatto di peltro la veduta dalla finestra della sua casa, inquadrata per circa 8 ore. Dopo il lavaggio con il solvente il fondo scuro del peltro rimaneva scoperto, fornendo pertanto un'immagine positiva delle zone in ombra, mentre le zone più luminose provocavano un indurimento del bitume e quindi risultavano più chiare.

La prima fotografia della storia è quindi una veduta da una finestra di Saint-Loup-de-Vareannes del 1826.



La Veduta dalla finestra a Le Gras di Niépce è la più antica fotografia conosciuta, risalente al 1826.

**PAROLA CHIAVE** Interferenza

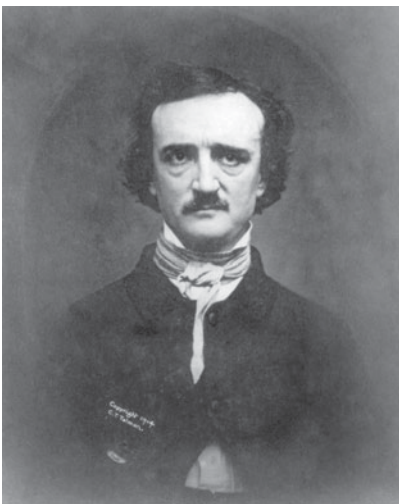
**DOMANDA** Ripetendo l'esperimento di Young, la figura di interferenza viene raccolta su una lastra fotografica di vetro che dopo lo sviluppo mostra righe chiare alternate a righe scure. A quale delle due tipologie appartiene la riga centrale? Motiva la risposta in 5 righe.

## Il dagherrotipo

Louis Daguerre aveva una passione per il teatro e si dedicò intensamente alla scenografia per l'Opéra di Parigi, sviluppando spettacolari diorami ricchi di giochi di luce. Curioso e intraprendente, fu senz'altro stimolato dai lavori di Niépce, con il quale iniziò un'utile collaborazione.

I due lavorarono insieme mettendo a punto un metodo per impressionare lastre di rame coperte di ioduro d'argento, che però aveva due inconvenienti: il primo era il tempo di esposizione di diverse ore necessario per ottenere sulla lastra un'immagine visibile; il secondo era la solita mancanza di *fissaggio*, a causa della quale le lastre continuavano a reagire alla luce perdendo via via definizione. Quando Niépce morì, Daguerre continuò da solo gli esperimenti, creando il procedimento fotografico noto come *dagherrotipia*.

La leggenda narra che Daguerre ripose alcune lastre, in precedenza esposte alla luce per un tempo non sufficiente alla formazione di un'immagine visibile, in un armadio nel quale vi era un termometro a mercurio rotto. In seguito riprese le lastre e scoprì che l'immagine era diventata ben visibile nonostante il buio dell'armadio: capì presto che i vapori di mercurio avevano amplificato gli effetti dell'insufficiente esposizione, avevano cioè «sviluppatto» il dagherrotipo. In seguito scoprì che un lavaggio con cloruro di sodio era in grado di rendere l'immagine permanente. I dagherrotipi divennero di moda. Erano tuttavia oggetti preziosi, pezzi unici delicatissimi che andavano protetti con un vetro ed estremamente costosi, per cui rimasero un privilegio della classe più agiata.



Dagherrotipo dello scrittore Edgar Allan Poe del 1848.

## La fotografia

Pochi anni dopo l'inglese William Henry Fox Talbot trovò un sistema molto più economico per produrre immagini permanenti della realtà, che potevano inoltre essere facilmente duplicate in copie identiche all'originale. L'idea fu quella di utilizzare lastre di vetro invece che materiali opachi come supporto per la sostanza fotosensibile. Le zone non investite dalla luce rimangono chiare, e si ottiene così un *negativo* dell'immagine reale. Sovrapponendo la lastra impressionata a un foglio di carta sensibilizzato, il negativo si inverte: le zone scure impediscono alla luce di impressionare a sua volta la carta, tornando ad essere chiare nella fotografia finale. La matrice di vetro può essere usata più volte per produrre copie su carta in modo semplice ed economico, e così la fotografia fu accessibile a un pubblico molto più vasto rispetto ai costosissimi dagherrotipi d'argento. Talbot pubblicò nel 1844 *La matita della natura*, il primo libro con illustrazioni fotografiche a dispense in cui mostrava attraverso esempi l'estrema versatilità del suo procedimento e descriveva le tecniche utilizzate.

Le lastre fotografiche non furono soltanto nuovi strumenti artistici e di documentazione, ma anche validi strumenti per l'indagine scientifica. Ottimi rivelatori di luce, furono usati inizialmente nell'astrologia e nell'ottica, ma poi anche in moltissimi altri campi, dalla medicina alla fisica delle particelle.



Le lastre fotografiche di vetro forniscono un'immagine negativa (a sinistra) in cui le zone chiare e le zone scure hanno ruoli scambiati. Usando la lastra come maschera su un foglio di carta sensibile alla luce, i ruoli si scambiano nuovamente e si ottiene un'immagine positiva (a destra).

PAROLA CHIAVE

**Diffrazione**

**DOMANDA** Perché la diffrazione della luce può limitare la nitidezza di una fotografia ottenuta attraverso una camera oscura? Rispondi in 5 righe.