

Lezione 32: La luce è fatta di onde

32.1. La luce: modello corpuscolare contro modello ondulatorio

La natura della luce è sempre stata oggetto di riflessione, almeno per gli uomini che riflettono. Che cos'è la luce? Manifestazione suprema della potenza divina (sia fatta la luce ... e la luce fu), immagine stessa dell'intelligenza e del pensiero (il secolo dei lumi), simbolo della vittoria del bene sul male (la luce sconfigge le tenebre).

In questa e nella prossima lezione ci concentriamo sui due modelli che si sono contesi il primato nell'interpretazione scientifica dei fenomeni luminosi. Il primo è il modello corpuscolare, che considera la luce come composta da microscopiche particelle che viaggiano in linea retta attraverso lo spazio. Il secondo è il modello ondulatorio, che interpreta il comportamento della luce sulla base di quanto conosciamo a proposito delle onde.

Huygens, il cui trattato sulla luce apparve nel 1690, ragionava sulla base del modello ondulatorio. Newton, che nel 1704 pubblicò il suo libro dedicato all'ottica, propendeva per il modello corpuscolare. L'indiscussa autorità di Newton fece sì che per quasi 100 anni il suo punto di vista fosse accettato dalla maggior parte degli scienziati.

Poi, nel 1803, Young dimostrò in modo inequivocabile che la luce è un'onda: nel prossimo paragrafo descriveremo il suo famoso esperimento. Young, a quell'epoca, non aveva alcuna idea di quale fosse il meccanismo di disturbo la cui propagazione nello spazio dava origine all'onda che chiamiamo luce. Circa sessant'anni più tardi, Maxwell capì che tale meccanismo poteva consistere nell'oscillazione di una carica elettrica, esattamente come un suono può essere prodotto dall'oscillazione dell'aria in una canna d'organo.

Più tardi, nel 1905, Einstein dimostrò, senza ombra di dubbio, che la luce è fatta di corpuscoli, come sosteneva Newton. Era una situazione imbarazzante: da che parte stava la ragione? La risposta, davvero sorprendente, emerse circa una ventina d'anni dopo: la luce è entrambe le cose! Ci sono esperimenti che ne mettono in evidenza gli aspetti ondulatori, altri che ne svelano gli aspetti corpuscolari.

Poiché la situazione sembra davvero paradossale, proviamo a descriverla ricorrendo ad una semplice analogia. Immaginiamo un oggetto cilindrico illuminato in modo che la sua ombra cada sopra a un piano (► fig.32.1). Qual è la natura bidimensionale del cilindro: circolare o rettangolare?

La domanda è priva di senso, naturalmente. Il cilindro è un oggetto tridimensionale. L'aspetto della sua proiezione sopra una superficie piana dipende dal modo in cui la proiezione viene fatta.

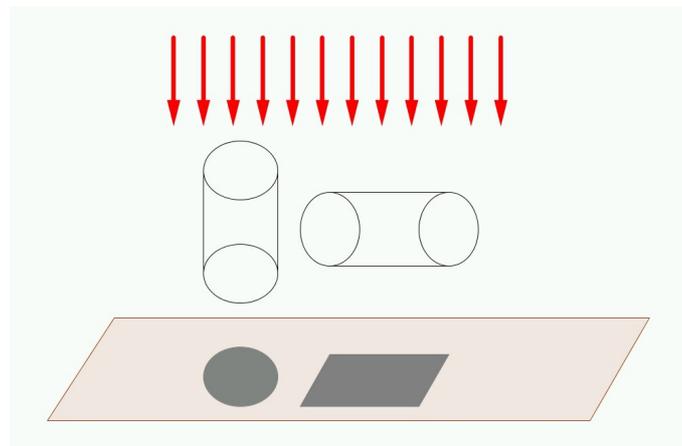


Fig.32.1 Diverse proiezioni rivelano diverse "nature bidimensionali" del cilindro

Nel resto di questa lezione mostreremo alcuni degli esperimenti che rivelano la "natura ondulatoria" della luce. Nella prossima lezione mostreremo invece alcuni degli esperimenti che ne rivelano la "natura corpuscolare".

32.2. L'interferenza della luce

Abbiamo detto, nella lezione 29, che le onde interferiscono. Se due onde si incontrano in uno stesso punto, il loro effetto complessivo si ottiene sommando gli effetti che ciascuna delle due produrrebbe se l'altra non ci fosse. Se le due onde hanno la stessa frequenza e la stessa ampiezza, là dove arrivano in opposizione di fase l'interferenza è distruttiva: in quel punto non si registra alcun effetto. Se le onde sono partite in fase dalle rispettive sorgenti, arrivano in opposizione di fase se i due cammini differiscono di mezza lunghezza d'onda, o di tre mezze lunghezze d'onda, o di 5, o di 7, ... Insomma: un numero dispari di mezze lunghezze d'onda.

L'esperimento che Young fece nel 1803 è descritto nella prossima figura (► fig.32.2)

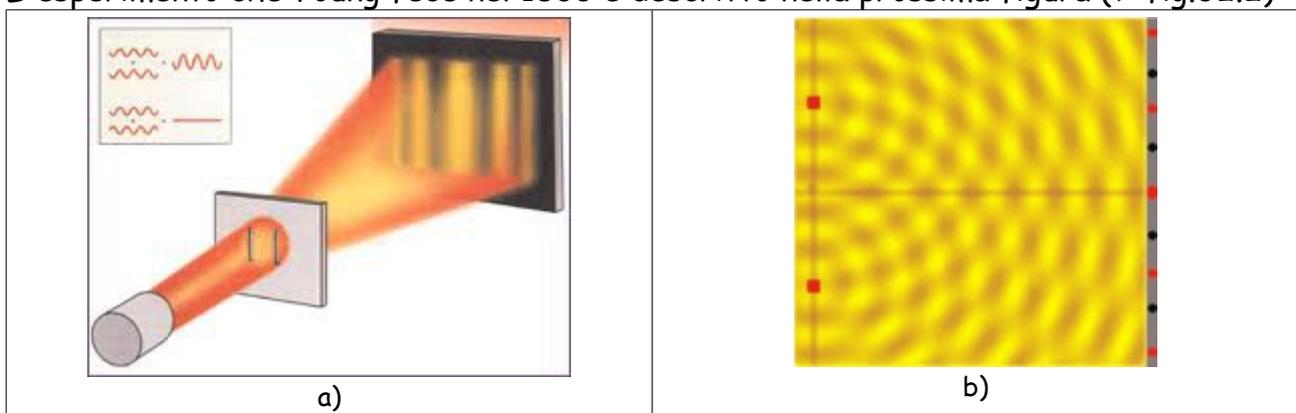


Fig.32.2 L'esperimento di Young ([CLICCA](#))

Nella parte a) della figura si vede l'apparato sperimentale. Le due sorgenti sono ottenute in un modo molto astuto: si tratta di due fenditure praticate in uno schermo opaco: la luce, in origine, proviene da un'unica sorgente! Al di là del primo schermo,

invece, viaggia la luce prodotta da due distinte sorgenti. La luce viene raccolta sopra un secondo schermo (in alto a destra nella parte a) della figura), sul quale appare la caratteristica figura di interferenza: bande luminose, separate da bande oscure. La parte b) mostra il perché di quanto si vede sullo schermo. I punti rossi corrispondono a bande luminose: le due onde vi arrivano in fase, perché i cammini che hanno percorso differiscono di un numero intero di lunghezze d'onda. I punti neri corrispondono alle bande oscure: le due onde vi arrivano in opposizione di fase, perché i cammini che hanno percorso differiscono di un numero dispari di mezze lunghezze d'onda.

32.3. La misura della lunghezza d'onda

Non solo la luce è un'onda, ma l'esperimento di Young ci consente di misurarne la lunghezza d'onda λ . I conti li abbiamo già visti nella lezione 30, qui ci limitiamo a ricordare il risultato:

$$\lambda = yd/D$$

dove y è la distanza tra due punti rossi successivi, d è la distanza tra le sorgenti, D è la distanza dello schermo.

Oggi possiamo rifare l'esperimento di Young usando una sorgente molto particolare: un laser. Per ora non ci interessa conoscere il meccanismo che consente al laser di emettere luce, ci basta sapere che la luce emessa è di un unico colore. Il laser che abbiamo usato nel nostro esperimento emette luce di colore rosso, come quello che vediamo in figura (► fig.32.3). Ecco i risultati che abbiamo ottenuto:

- | | |
|---|------------------------------------|
| - distanza tra le due fenditure: | $d = 1.25 \cdot 10^{-5} \text{ m}$ |
| - distanza tra due successivi punti luminosi: | $y = 0.16 \text{ m}$ |
| - distanza tra le fenditure e lo schermo: | $D = 3.00 \text{ m}$ |



fig.32.3 Un esperimento di interferenza fatto con un laser a luce rossa

La figura mostra un esperimento simile a quello che vi stiamo descrivendo: la distanza dello schermo, come vedete, è più piccola. Invece di una coppia di fenditure abbiamo usato, come in figura, un reticolo di fenditure: la diapositiva che si vede è in realtà uno schermo opaco, nel quale sono praticate migliaia e migliaia di fenditure a distanza piccolissima l'una dall'altra. L'effetto è quello che potete osservare: invece di bande

luminose osserviamo singoli punti. Il reticolo che abbiamo usato nell'esperimento aveva 2000 fenditure per pollice di lunghezza. Se fate i conti (fateli!) vedrete che la distanza tra le fenditure è proprio quella che abbiamo detto. Abbiamo perciò tutte le informazioni necessarie per calcolare la lunghezza d'onda della luce rossa del laser:

$$\lambda = yd/D = 0.16 \cdot 1.25 \cdot 10^{-5} / 3.00 = 6.7 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 670 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 670 \text{ nm}$$

Notate un fatto interessante: la lunghezza d'onda della luce rossa è incredibilmente piccola: 670 miliardesimi di metro! Ciò spiega perché sia stato così difficile, almeno fino al 1803, convincersi che la luce sia fatta davvero di onde. La tabella che segue (► tab.32.1) riporta i valori di lunghezza d'onda per la luce dei diversi colori. Ad ogni colore corrisponde un intervallo di lunghezze d'onda, intervallo i cui estremi sono piuttosto convenzionali: è difficile dire, ad esempio, dove finisce l'arancione e dove comincia il rosso. Quel che è certo è che una lunghezza d'onda di 670 nm corrisponde senza dubbio alcuno a luce rossa!

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

Tab.32.1 Lo spettro della luce visibile

Se avessimo usato un laser a luce blu, usando lo stesso reticolo e la stessa distanza dallo schermo, avremmo certamente ottenuto punti luminosi più vicini.

Abbiamo visto che ad ogni colore della luce corrisponde un intervallo di lunghezze d'onda più o meno ben definito. Quale sarà il colore che corrisponde alla luce bianca, che stranamente non compare in tabella? Il fatto è che la luce bianca è semplicemente una mescolanza di luce di tutte le lunghezze d'onda, come per primo dimostrò Newton con un esperimento diventato celeberrimo (► fig.32.4)

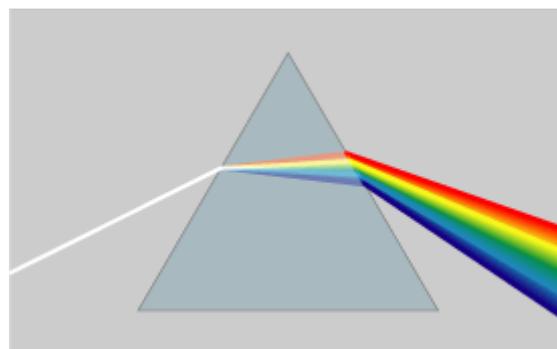


fig.32.4 Il prisma di Newton

Un raggio di luce bianca viene fatto incidere su un prisma. L'effetto del prisma è quello di separare la luce bianca nelle sue diverse componenti spettrali: in uscita dal prisma vediamo i diversi colori separarsi e viaggiare nello spazio ad angoli differenti. Le ragioni per cui ciò accade saranno discusse nella prossima lezione

32.4. La polarizzazione della luce

Abbiamo visto nella lezione 30 che le onde possono presentare una polarizzazione. Poi, nella lezione 31, abbiamo detto che le onde sonore non possono essere polarizzate, perché sono onde longitudinali. Ora ci chiediamo: le onde luminose possono presentare fenomeni di polarizzazione? La risposta è sì, e dipende naturalmente dal fatto che le onde luminose sono trasversali.

Nella lezione 30 abbiamo visto un modello di filtro meccanico, in grado di polarizzare un'onda che si propaga lungo una fune. Esistono, analogamente, filtri che polarizzano la luce: i più diffusi sono le lenti Polaroid. Sono fatte da lunghe catene di molecole allineate in una stessa direzione, un po' come le staccionate della lezione 30: l'unica differenza è che una lente Polaroid blocca un'onda polarizzata nella stessa direzione delle catene, e ne lascia passare una polarizzata perpendicolarmente ad esse. La ragione di tale apparente stranezza la capiremo studiando i fenomeni elettrici: non dimentichiamoci che la luce è un'onda di tipo elettrico!

La luce del sole, come quella di una lampadina, non è polarizzata. La luce emessa da un monitor o da un televisore a cristalli liquidi, invece, è polarizzata. La prossima figura (► fig.32.5) mostra quello che succede mettendo un polarizzatore davanti a uno schermo LCD.

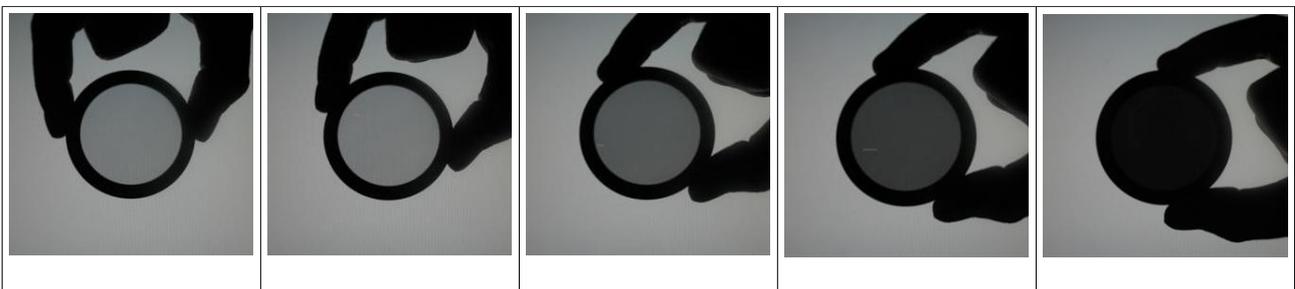


Fig.32.5 Effetto di un polarizzatore che viene ruotato davanti a uno schermo LCD

Quando il polarizzatore è orientato perpendicolarmente alla luce polarizzata che proviene dallo schermo, esso blocca tutta la luce in arrivo: lo schermo appare nero. La luce riflessa da superfici metalliche, o da superfici ricoperte d'acqua, è polarizzata. Sappiamo tutti che la luce riflessa può essere molto fastidiosa: gli occhiali polaroid sono fatti con polarizzatori orientati in modo da bloccarla.