

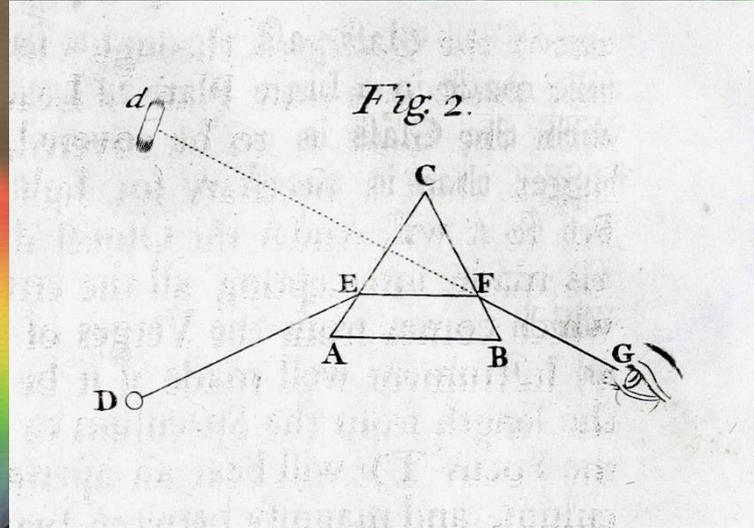
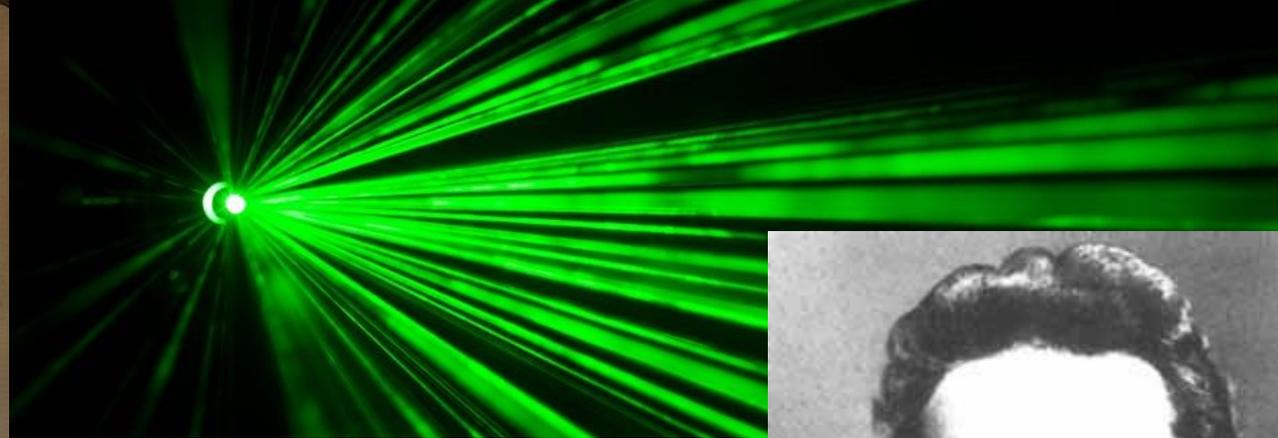
OPTICKS:
OR, A
TREATISE
OF THE
*Reflections, Refractions,
Inflections and Colours*
OF
LIGHT.

The FOURTH EDITION, corrected.

By Sir ISAAC NEWTON, Knt.

LONDON:

Printed for WILLIAM INNYS at the West-
End of St. Paul's. MDCCLXXX.



LA NATURA DELLA LUCE DA NEWTON A EINSTEIN

Marco Clementi
16 Febbraio 2018

UNITRE Tirano

PARTE I

QUAL È LA NATURA
DELLA LUCE?

UNA PROSPETTIVA STORICA

FILOSOFIA ARISTOTELICA



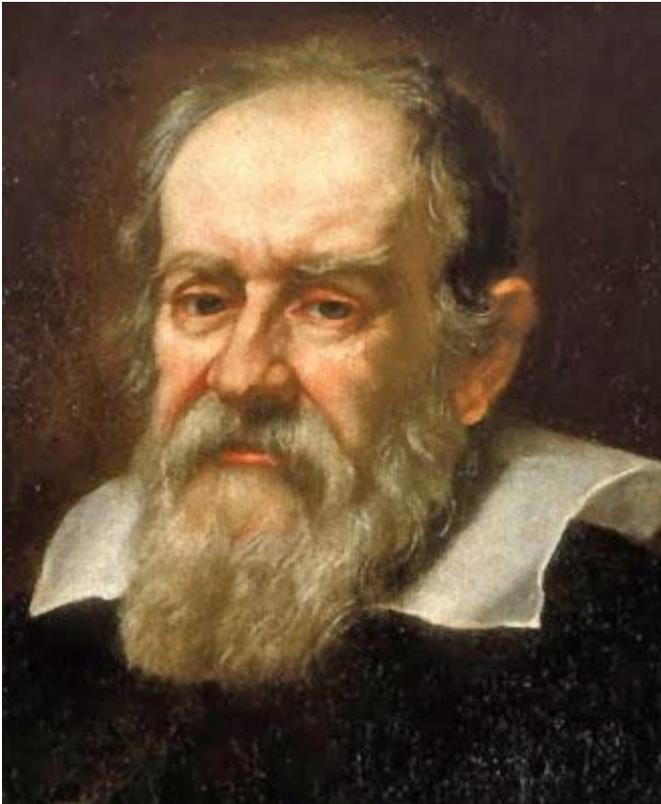
Aristotele (IV sec. a.C.),
identifica la luce con l'**etere**, il
quinto elemento, incorporeo.

La luce conferisce **corporeità**
agli altri elementi e si trova alla
base dell'essere fisico animato
e inanimato.

La concezione aristotelica è
rielaborata dai pensatori
successivi e sopravvive per
circa **due millenni**.

GALILEO (1564-1642)

IL METODO SCIENTIFICO



La concezione aristotelica rimane sostanzialmente indiscussa fino ai tempi di Galileo Galilei.

Il **metodo scientifico** da egli proposto non investiga la realtà a partire da principi metafisici, ma attraverso l'**osservazione sistematica** del mondo fisico e dalla sperimentazione.

GALILEO (1564-1642) IL METODO SCIENTIFICO



«La filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi [...]. **Egli è scritto in lingua matematica**, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche [...].»

Galileo Galilei, *Il Saggiatore*

GALILEO E LA VELOCITÀ DELLA LUCE

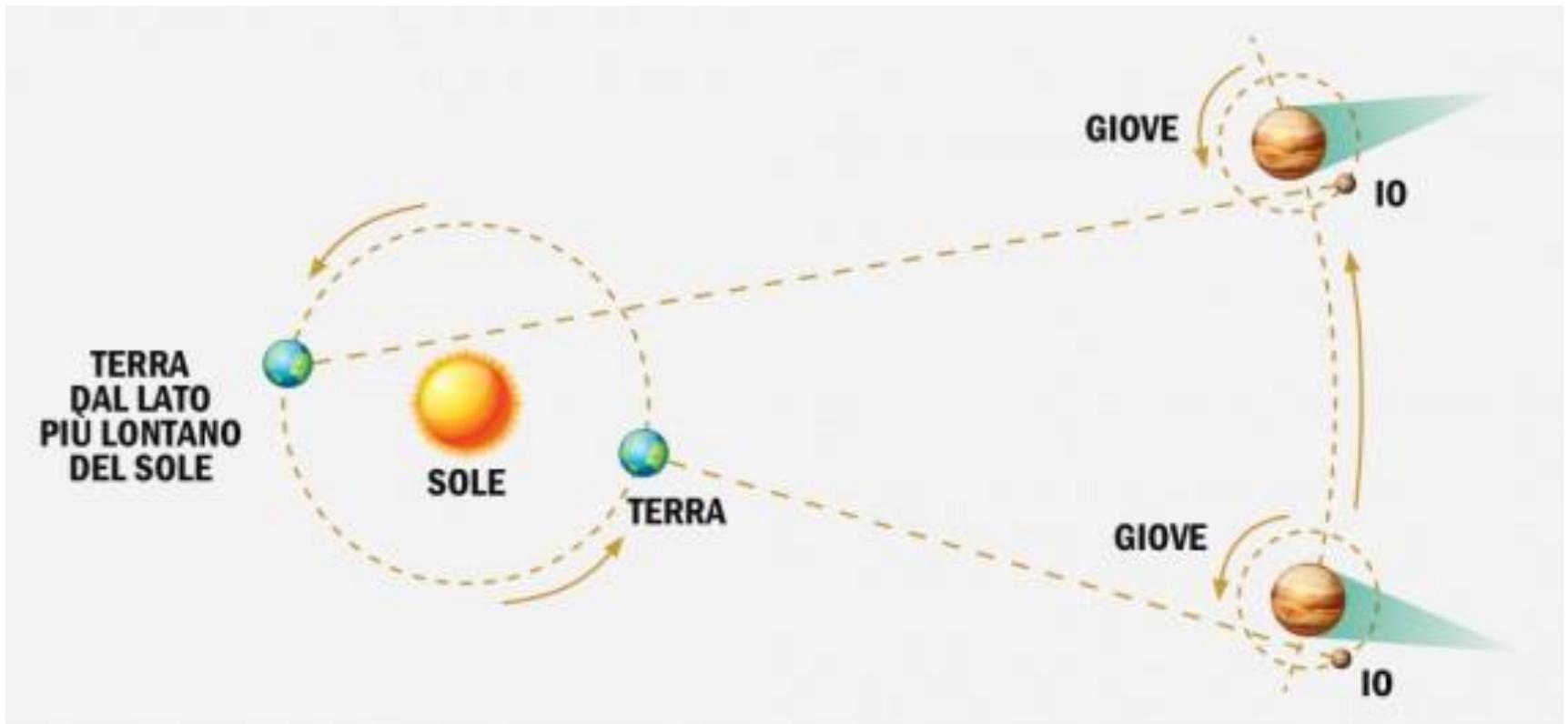
Nel 1638 Galileo tenta una rudimentale **misura della velocità della luce**.

Utilizzando due lanterne, con l'aiuto di un assistente tenta di misurare il tempo necessario perché il segnale luminoso raggiunga una collina distante circa un miglio.

Il risultato ovviamente è infruttuoso e Galileo conclude che la propagazione della luce è **«se non istantanea, velocissima»**.



VELOCITÀ DELLA LUCE: LA MISURA DI RØMER (1676)



velocità della luce $\approx 300\,000$ km/s

NEWTON (1642-1727)

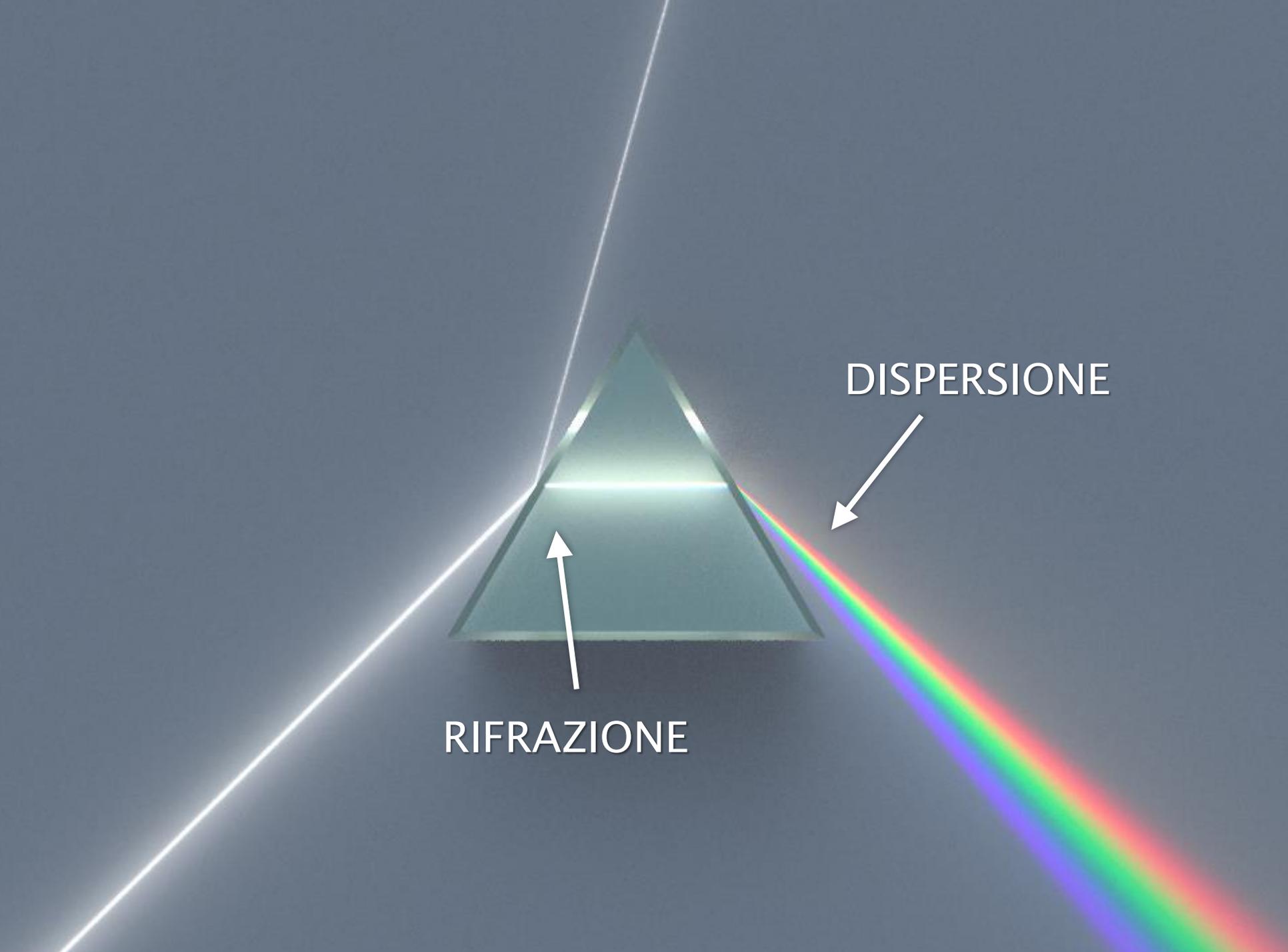
OTTICA COME SCIENZA



Isaac Newton, geniale scienziato inglese, mette la luce al centro della sua indagine scientifica.

Egli effettua numerosi esperimenti di **ottica**, utilizzando prismi, lenti e specchi.

Egli **formula teorie** sui sistemi ottici, sul colore e sulla natura della luce.



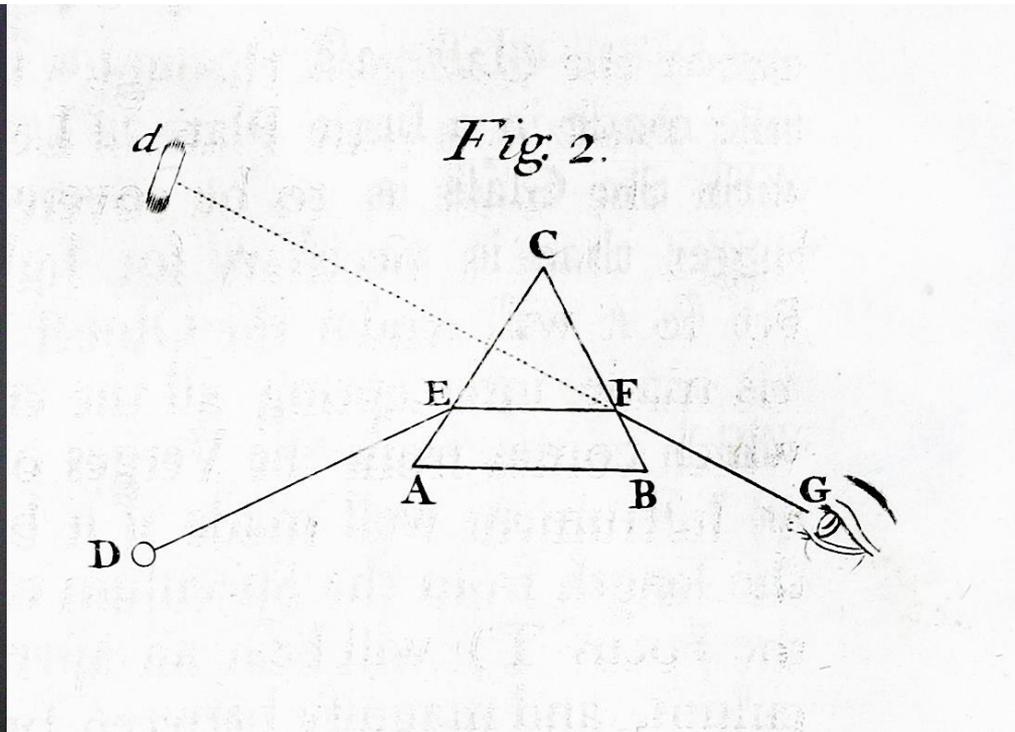
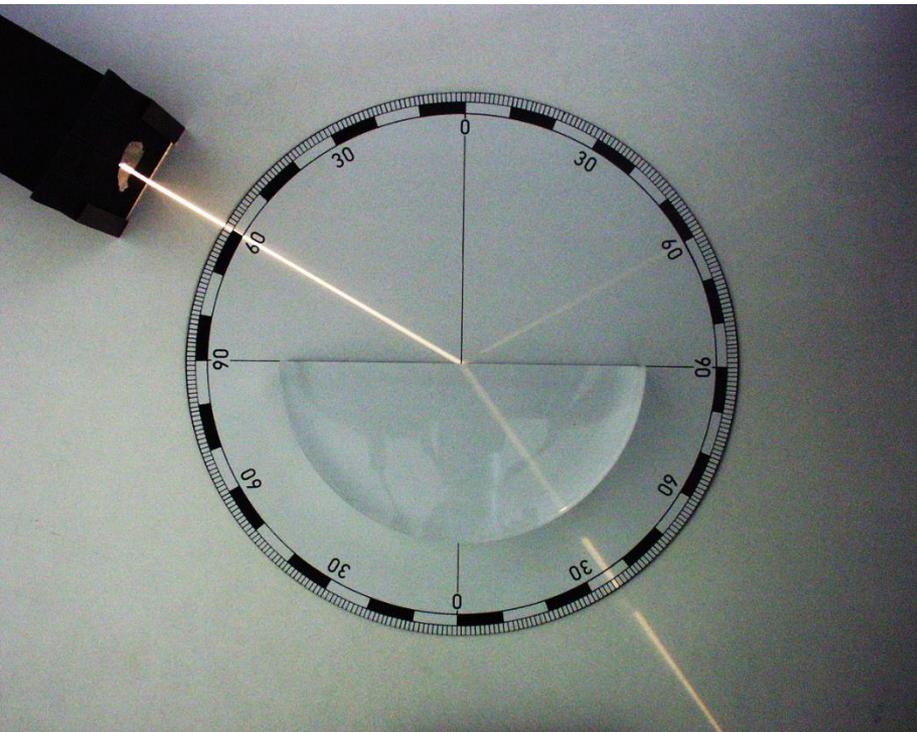
A diagram illustrating the optical properties of a triangular prism. A white light ray enters the left face of the prism, bends towards the normal (refraction), and then exits the right face, splitting into a spectrum of colors (dispersion). The labels 'RIFRAZIONE' and 'DISPERSIONE' are placed near the entry and exit points respectively, with arrows pointing to the corresponding phenomena.

RIFRAZIONE

DISPERSIONE

FISICA DELLA LUCE RIFRAZIONE

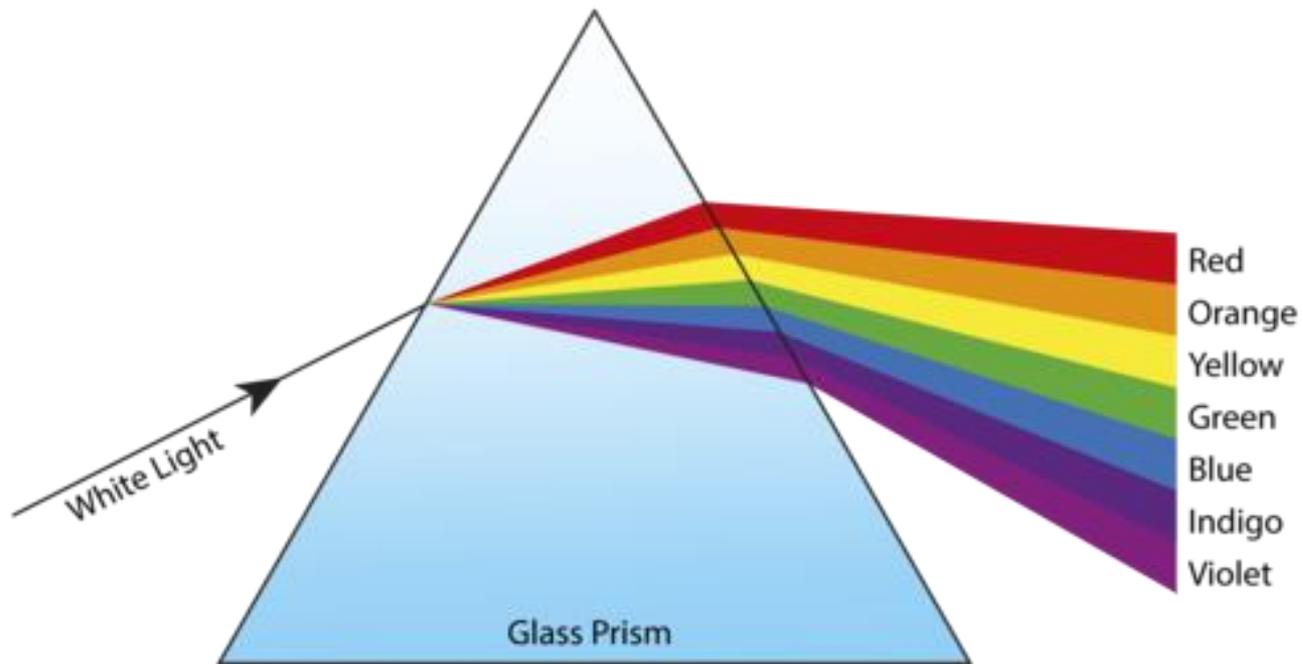
La traiettoria della luce incidente su un mezzo è **deviata** all'interfaccia con esso.



FISICA DELLA LUCE

DISPERSIONE CROMATICA

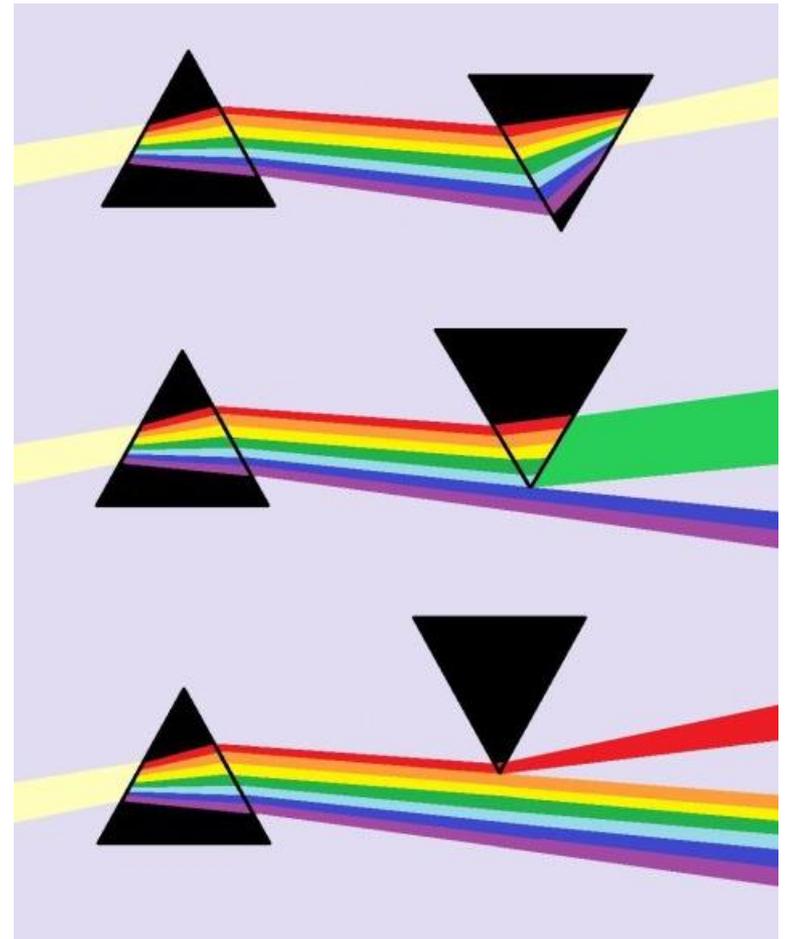
L'angolo di deviazione (più precisamente, l'indice di rifrazione) dipende dal **colore** della luce che attraversa il mezzo.



NEWTON IL COLORE

Dalle sue osservazioni, Newton conclude che:

1. La luce bianca è composta da una sovrapposizione di colori dello **spettro visibile**.
2. Essa può essere scomposta utilizzando un prisma, e anche ricomposta (**addizione cromatica**) a partire dalle sue componenti.
3. Il colore è una proprietà **intrinseca della luce** e non degli oggetti.



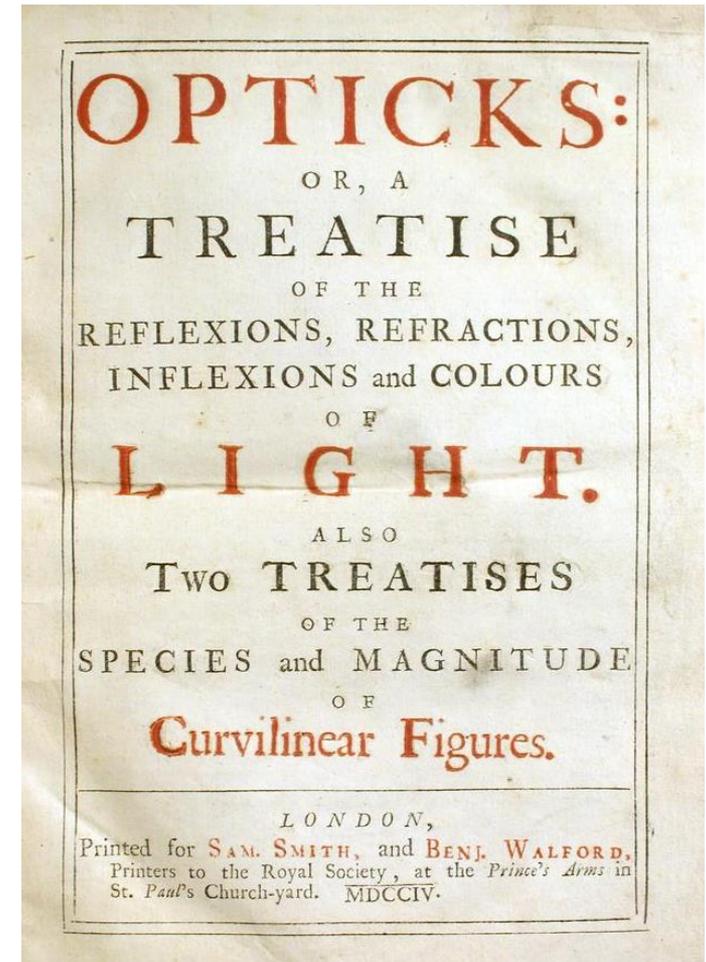
NEWTON

LA TEORIA CORPUSCOLARE

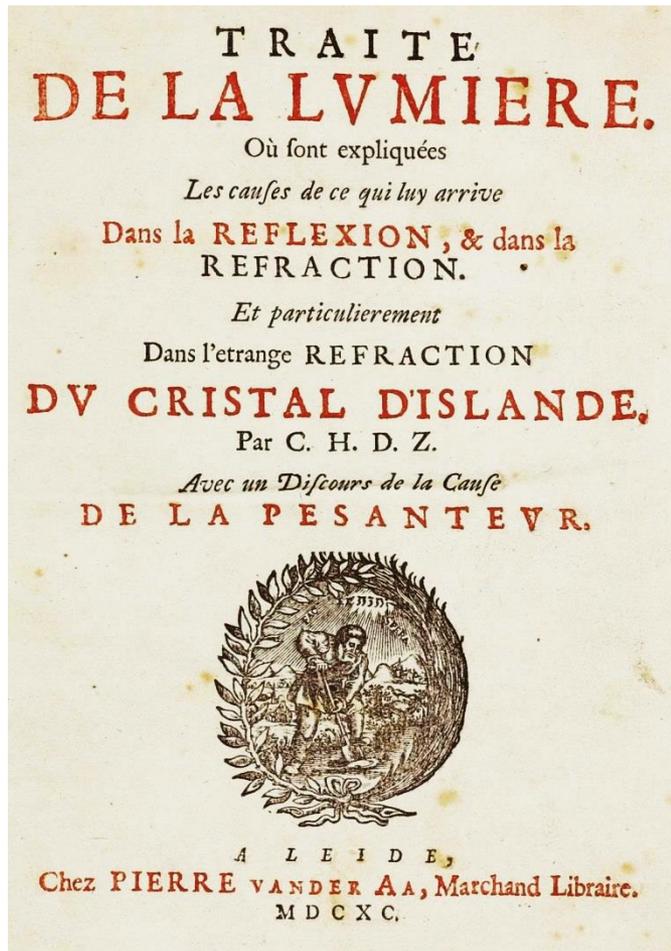
Nel 1704 Newton avanza l'ipotesi che **la luce sia composta da particelle** molto leggere.

In analogia con la meccanica, spiega la **propagazione rettilinea** dei raggi luminosi e il fenomeno della **riflessione** (analogo a un urto meccanico).

Newton associa inoltre alla **dimensione dei corpuscoli** luminosi il loro **colore**, tentando di spiegare i fenomeni di rifrazione e dispersione.



HUYGENS (1629-1695) LA TEORIA ONDULATORIA

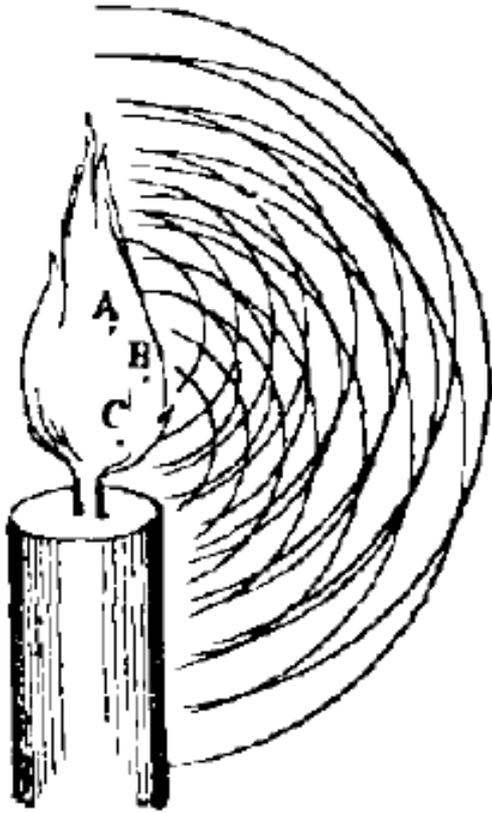


La teoria corpuscolare è osteggiata da alcuni tra i contemporanei di Newton.

Tra questi c'è l'olandese **Christian Huygens**.

In analogia con il suono, Huygens avanza l'ipotesi (1690) che la natura della luce sia quella di un' **onda**: un'oscillazione dell'etere che si propaga nello spazio.

ONDA O PARTICELLA?



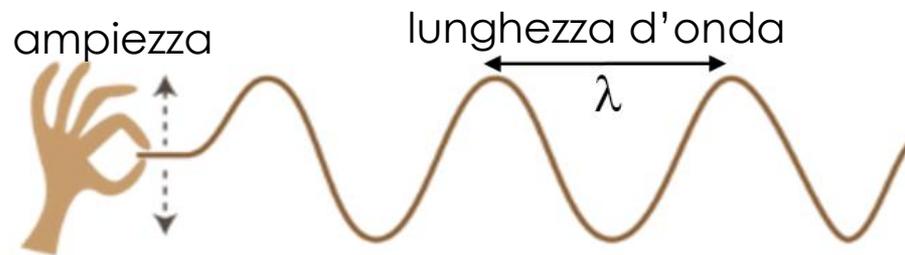
Il dibattito sulla natura della luce dura quasi un secolo.

La **teoria corpuscolare** è semplice ed efficace. Il comportamento delle «particelle» di luce è inoltre in accordo con le leggi della meccanica newtoniana.

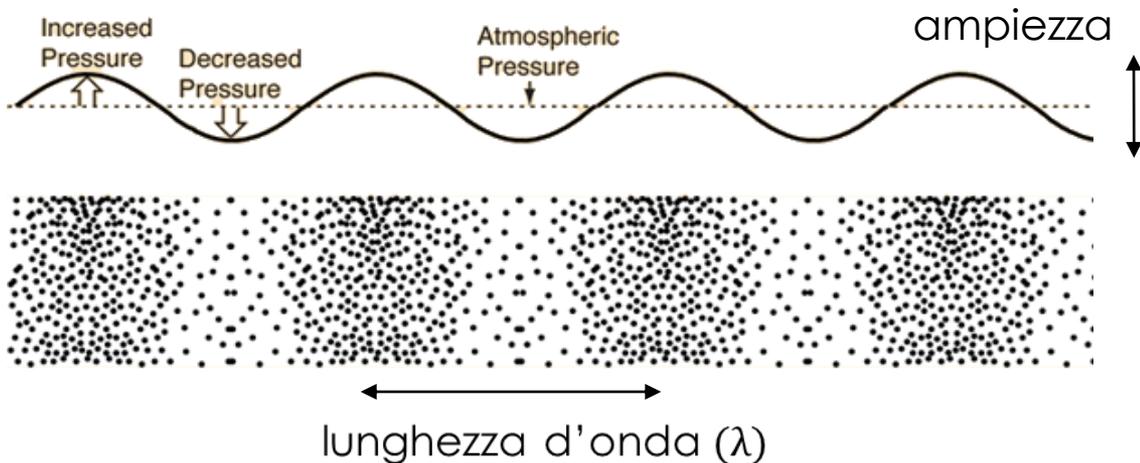
La **teoria ondulatoria** è invece più complessa, controintuitiva, e richiede una descrizione matematica più articolata.

EXCURSUS COS'È UN'ONDA?

Un'onda è l'**oscillazione di una grandezza fisica**, ad esempio:

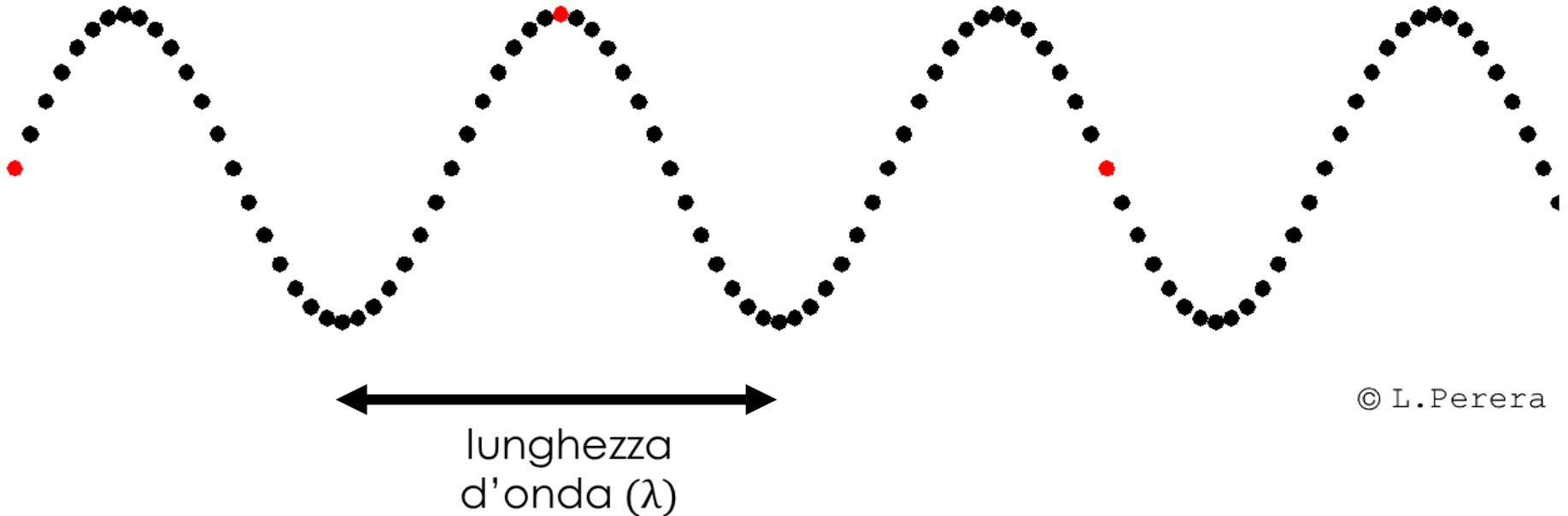


La posizione di un punto su una corda (onda **meccanica**)



La pressione dell'aria (onda **sonora**)

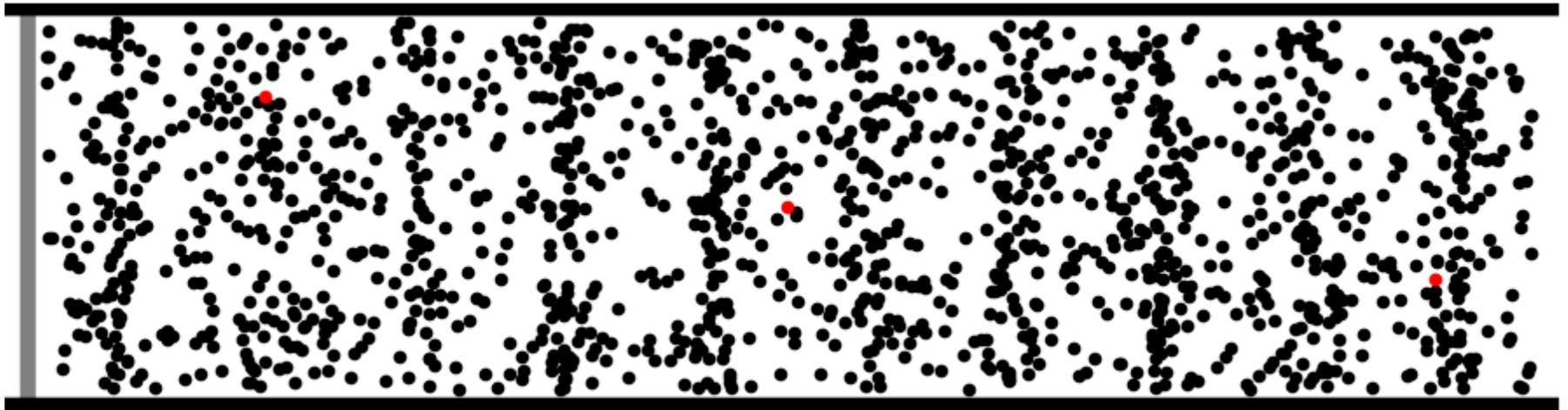
Onda meccanica



© L.Perera

Frequenza (ν): numero di oscillazioni al secondo

Onda **sonora** (onda di pressione)

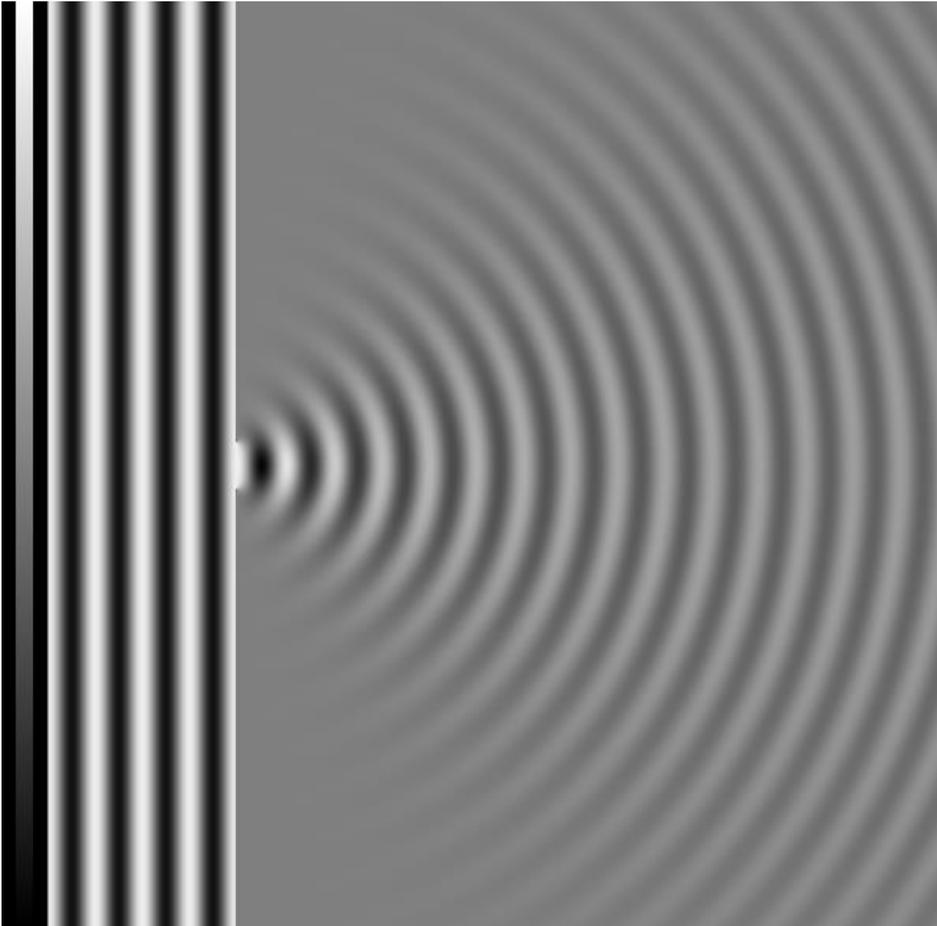


©2011. Dan Russell



lunghezza
d'onda (λ)

FISICA DELLE ONDE: DIFFRAZIONE

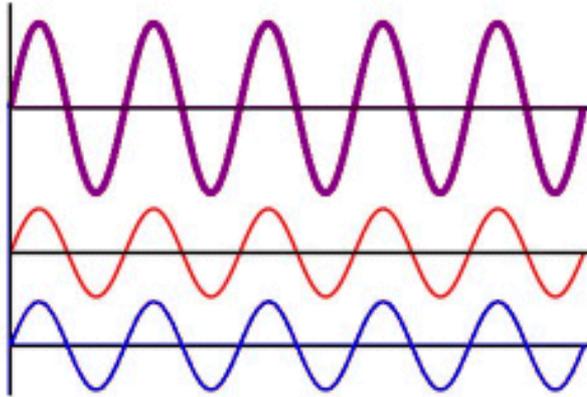


Passando attraverso un'apertura stretta, un'onda tende a **espandersi** nello spazio circostante.

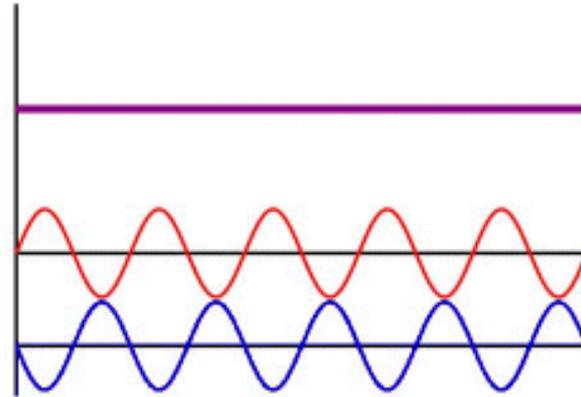
A differenza di una particella, un'onda può **aggirare** gli ostacoli

FISICA DELLE ONDE: INTERFERENZA

Due onde si possono sovrapporre **in fase**, dando luogo a interferenza **costruttiva**, oppure **in controfase** dando luogo a interferenza **distruttiva**.



interferenza costruttiva



interferenza distruttiva

FISICA DELLE ONDE: INTERFERENZA

minimo: niente onde



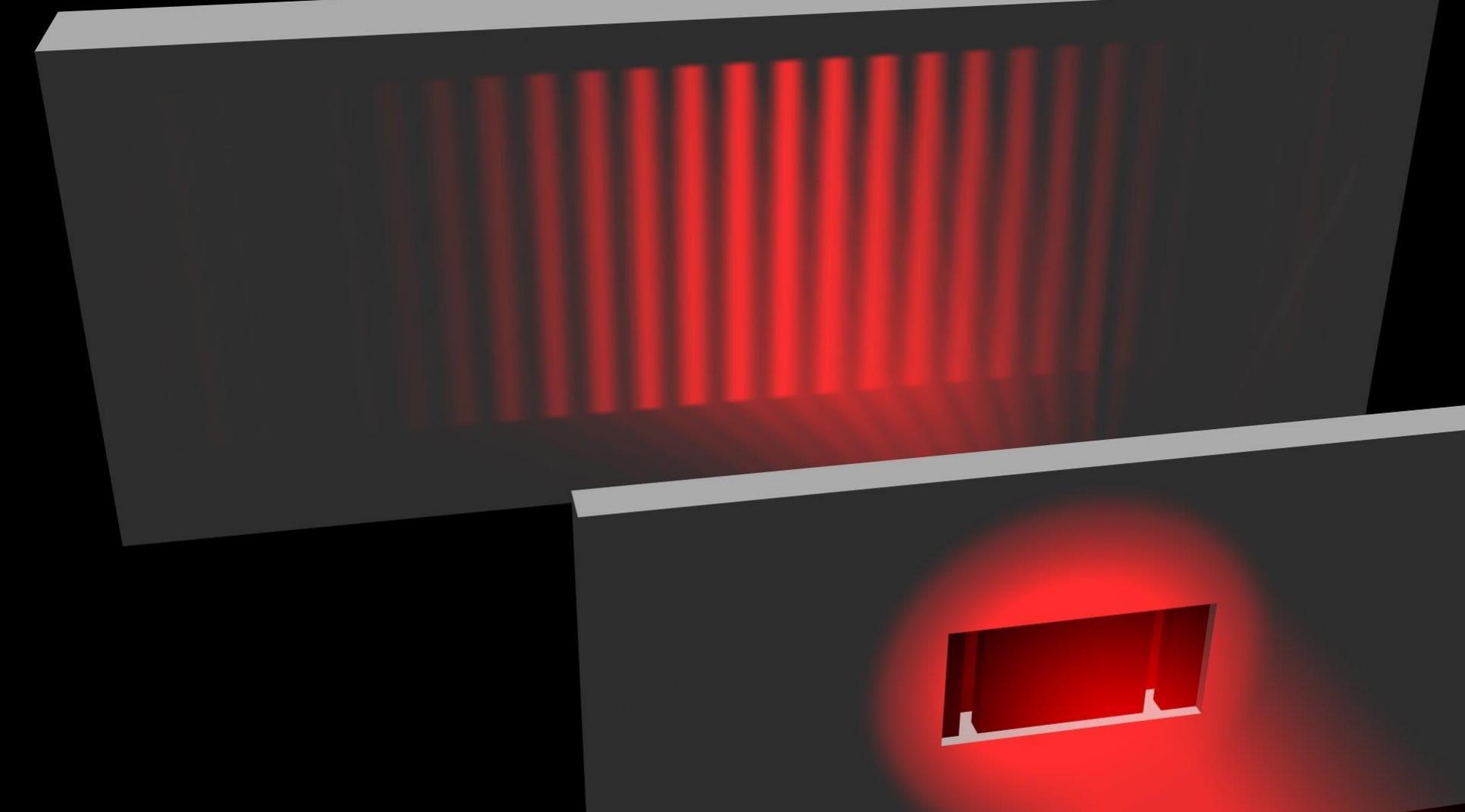
massimo: onde alte



LA TEORIA ONDULATORIA



Facendo passare della luce attraverso **due fenditure molto ravvicinate**, Thomas Young mostra che è possibile osservare delle **frange di interferenza** (1801).



The diagram illustrates the experimental setup for Young's double-slit experiment. A light source (represented by a red rectangle) is positioned behind a barrier with two slits. The light passing through the slits creates an interference pattern, shown as a series of vertical red lines of varying intensity, representing the resulting wave pattern.

L'ESPERIMENTO DI YOUNG (1801)

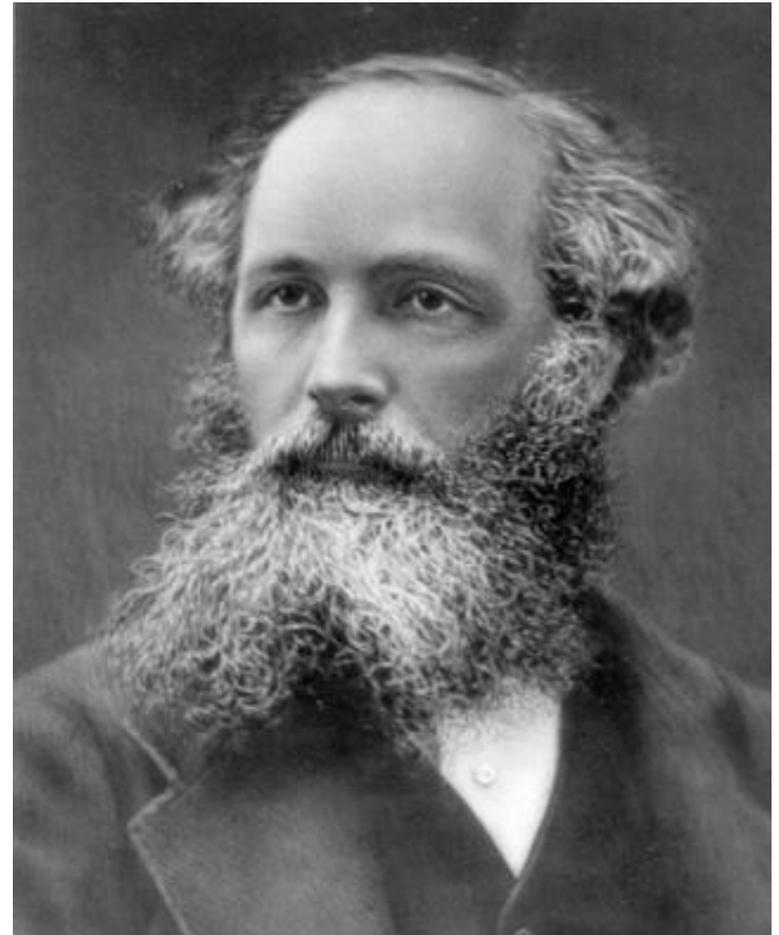
MAXWELL (1831-1879)

LA TEORIA ELETTROMAGNETICA

Nel 1800, la comunità scientifica si concentra sullo studio di **elettricità** e **magnetismo**.

Nel 1865, dopo anni di esperimenti, il fisico teorico scozzese **James Clerk Maxwell** raccoglie le leggi che governano i questi fenomeni.

Attraverso quattro celebri equazioni, Maxwell **unifica** sotto il nome di **elettromagnetismo** i fenomeni elettrici e magnetici.



MAXWELL (1831-1879)

LA TEORIA ELETTROMAGNETICA

Le equazioni di Maxwell prevedono la possibilità che l'energia elettrica e magnetica possa propagarsi sotto forma di **onde elettromagnetiche**.

Un esempio sono le **onde radio**, sperimentalmente scoperte da Hertz, e utilizzate poi da Marconi per effettuare trasmissioni senza fili.



MAXWELL (1831-1879)

LA TEORIA ELETTROMAGNETICA

Le equazioni di Maxwell prevedono che qualsiasi onda elettromagnetica si propaghi nel vuoto con velocità:

$$c \approx 299\,792 \text{ km/s}$$

Dalla somiglianza di questo valore con la velocità della luce misurata, Maxwell comprende che anche **la luce è un'onda elettromagnetica!**

Maxwell's equations

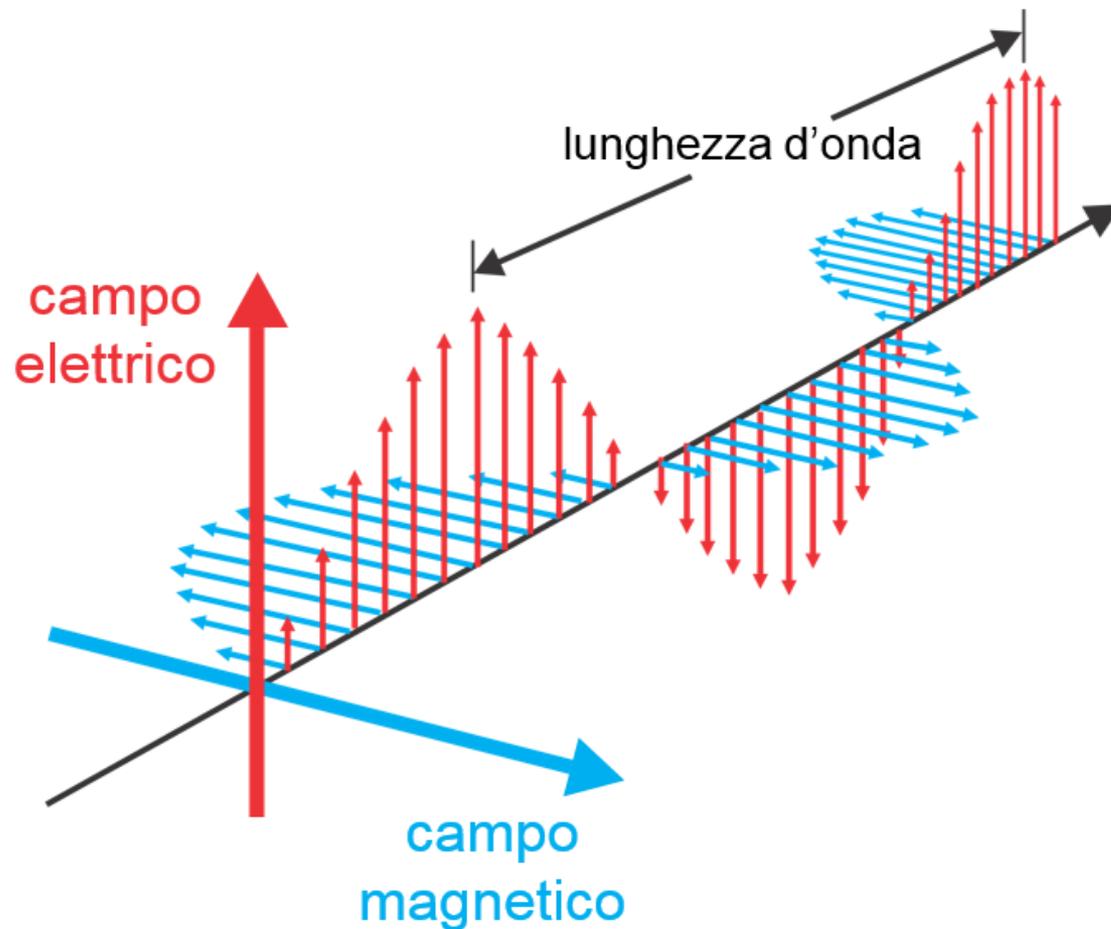
$$\text{I. } \nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\text{II. } \nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

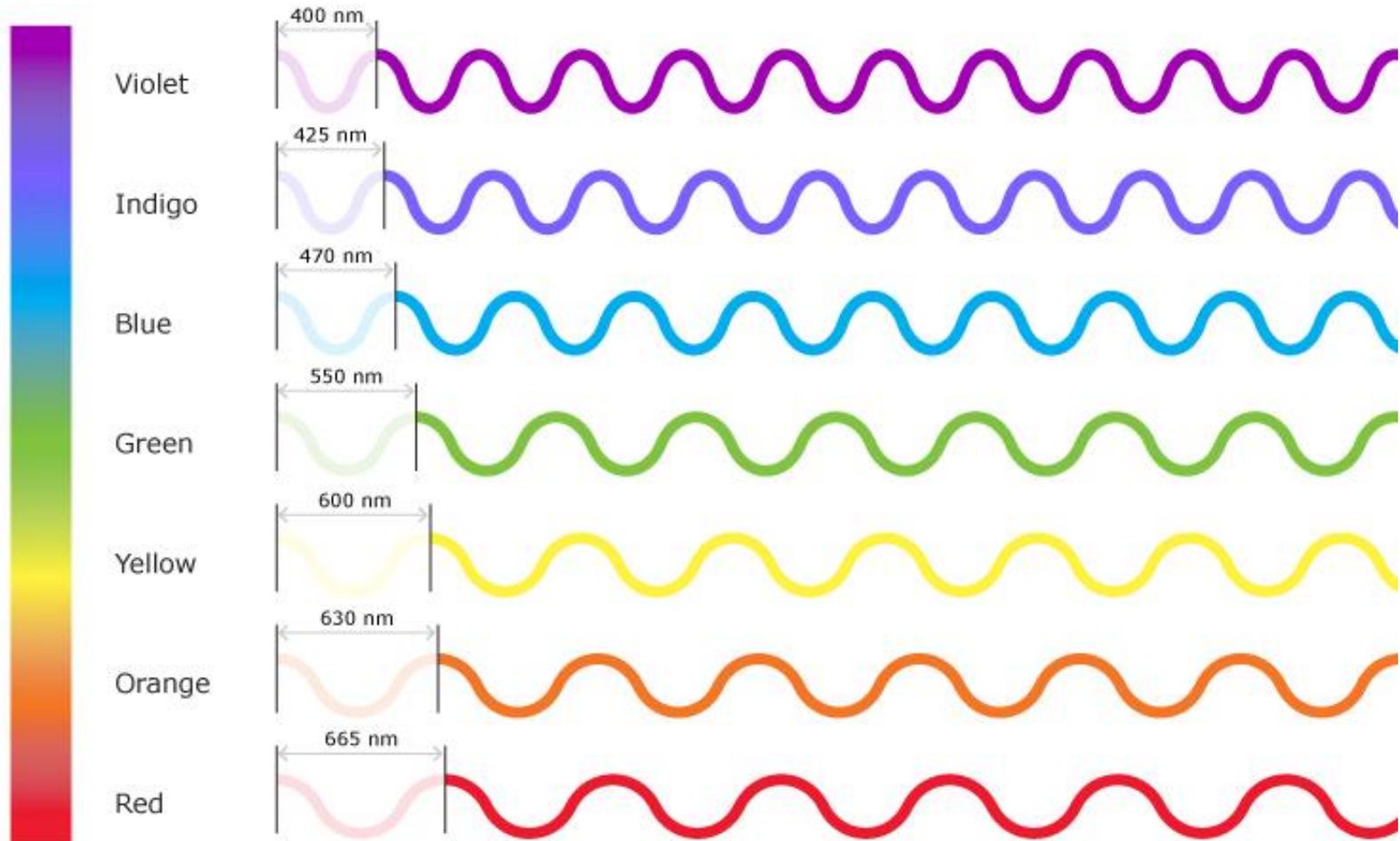
$$\text{III. } \nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\text{IV. } c^2 \nabla \times \mathbf{B} = \frac{\mathbf{j}}{\epsilon_0} + \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$

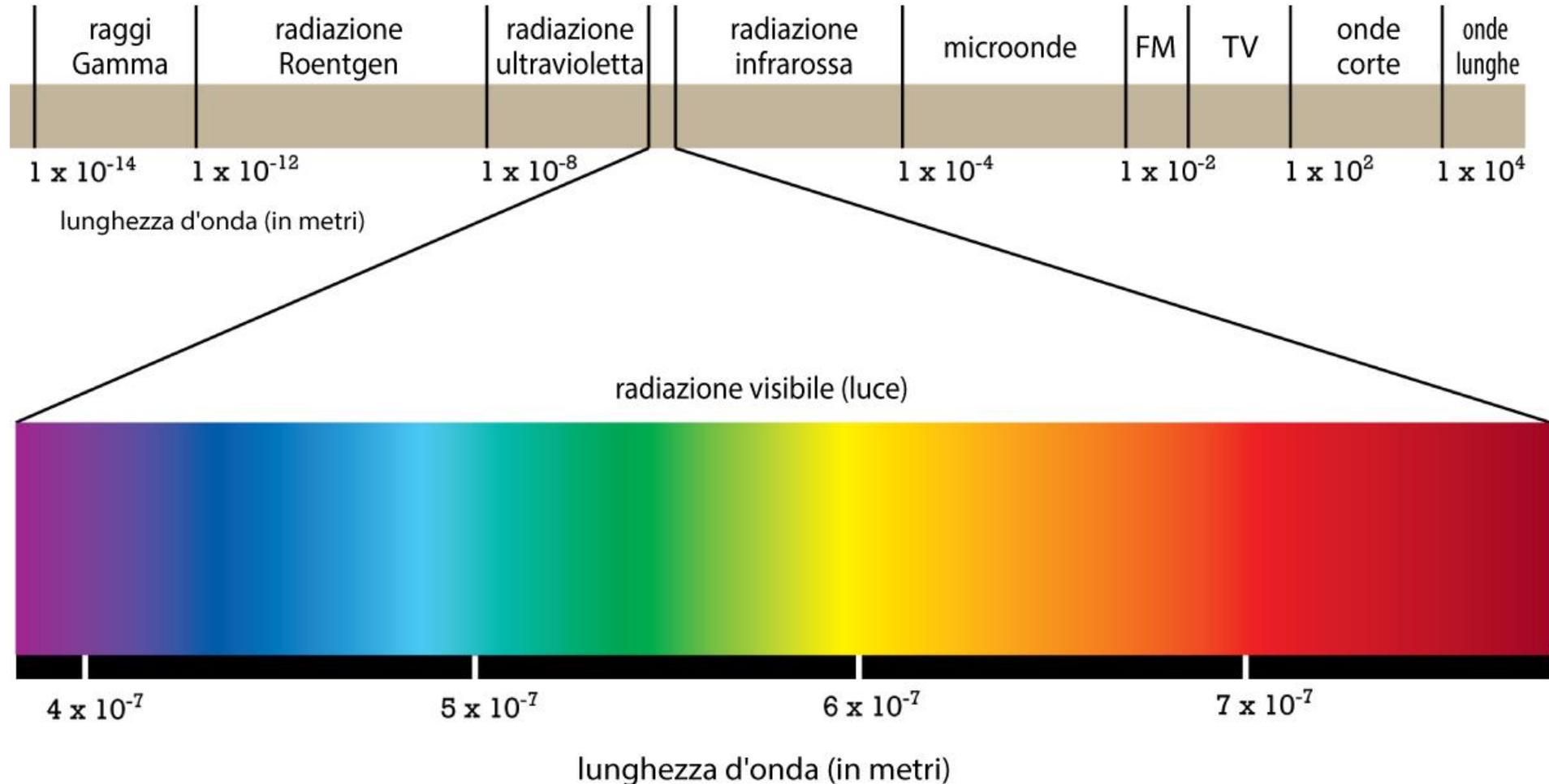
ONDE ELETTROMAGNETICHE



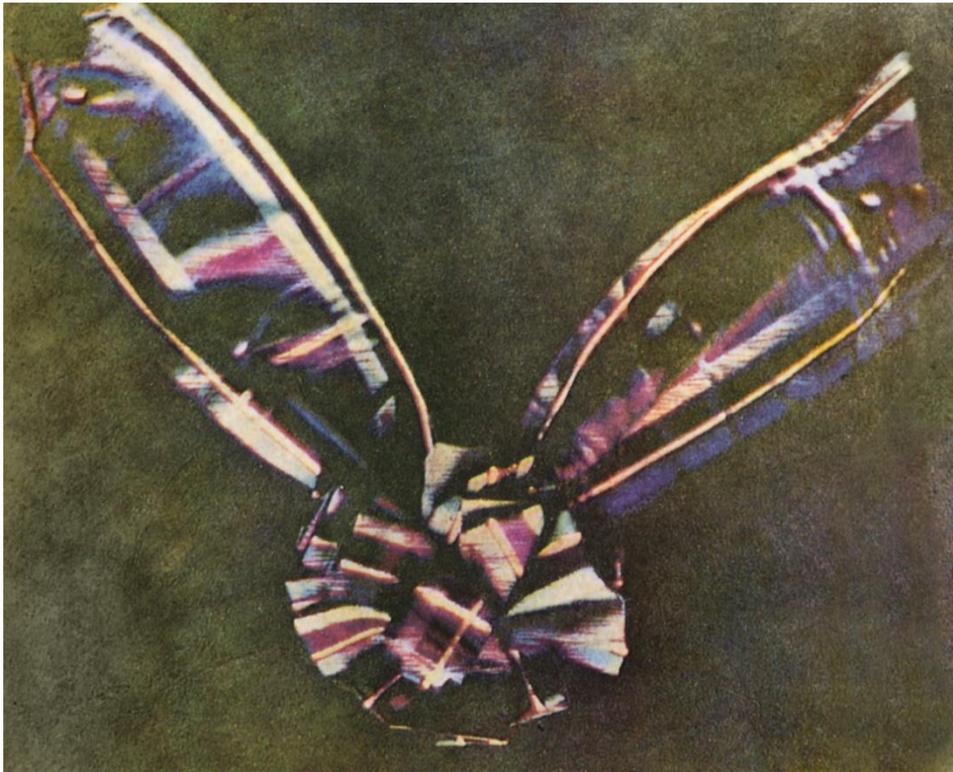
ONDE E COLORE



LO SPETTRO ELETTROMAGNETICO



LA PRIMA FOTOGRAFIA A COLORI (1855)



Red



Green



Blue



UNA TEORIA QUASI PERFETTA

All'inizio del '900, la diffusione dell'**illuminazione elettrica** spinge gli scienziati a mettere in discussione nuovamente la natura della luce.

Essi si scontrano presto con il problema teorico del **corpo nero**: non è possibile calcolare, utilizzando la fisica nota fino ad allora, le caratteristiche della luce emessa da una banale lampadina a incandescenza!



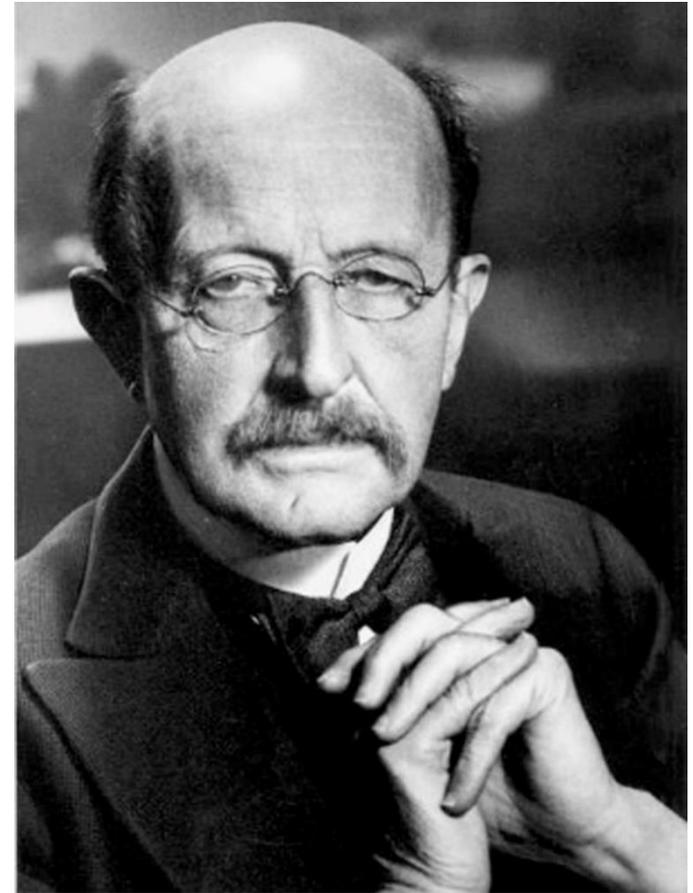
QUANTI DI LUCE

Nel 1900 **Max Planck**, fisico tedesco, avanza un'ipotesi risolutiva.

L'energia della radiazione luminosa non può essere trasferita se non in pacchetti discreti di energia, o **quanti di energia**, il cui valore è dato dalla celebre formula:

$$E = h\nu$$

Secondo Planck, l'energia elettromagnetica deve essere **granulare, discreta**.

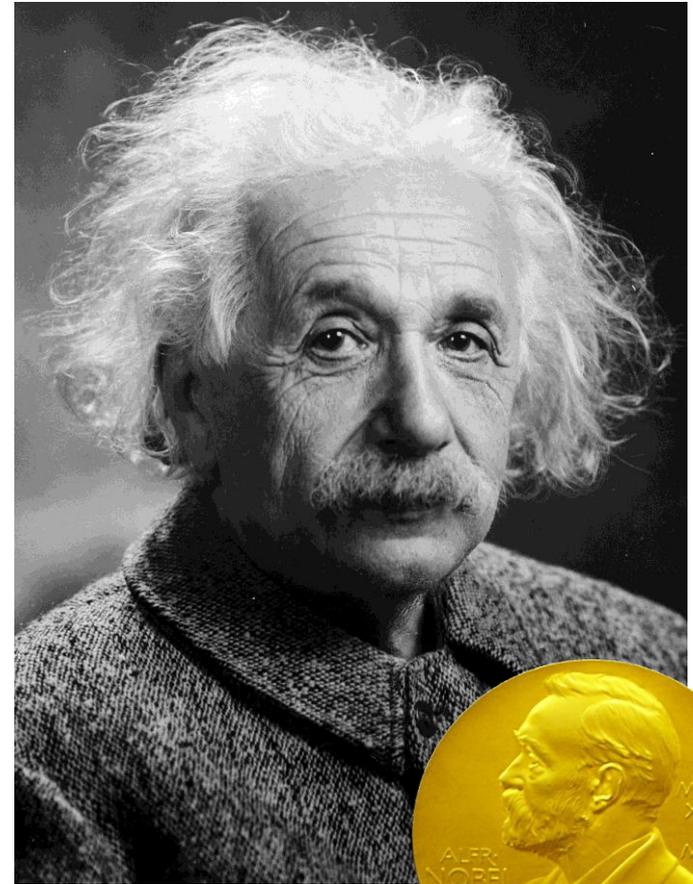
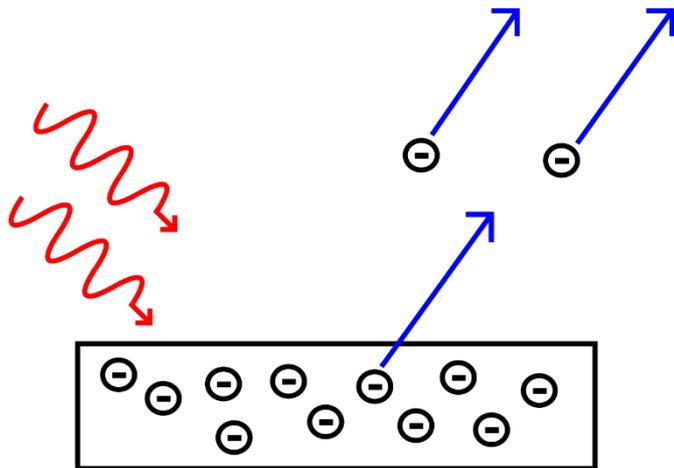


ν = frequenza h = costante di Planck

QUANTI DI LUCE

È Albert Einstein a spiegare, nel 1905, la natura fisica dei quanti di luce, chiamati **fotoni**.

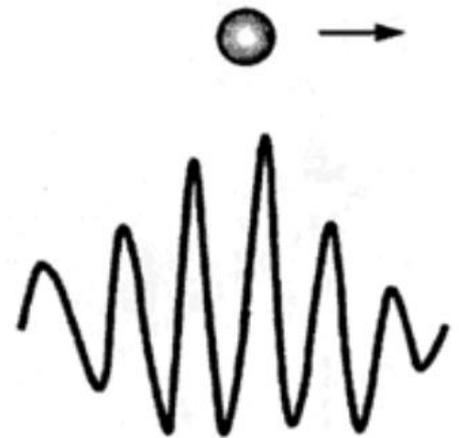
Egli utilizza l'ipotesi di Planck per spiegare l'**effetto fotoelettrico**, osservato pochi anni prima.



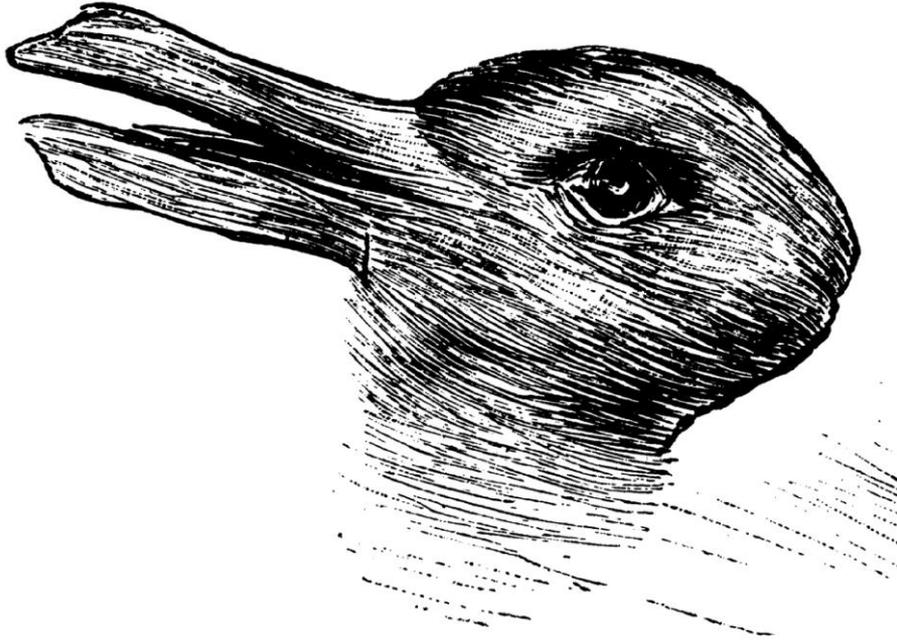
ONDA E PARTICELLA

Il concetto di fotone dà il via a una rivoluzione nel campo della fisica, che porta alla nascita della **meccanica quantistica**.

Questa nuova teoria spiega come qualsiasi fenomeno fisico - non solo la luce - abbia una duplice natura, sia ondulatoria che corpuscolare (**dualismo onda-particella**).



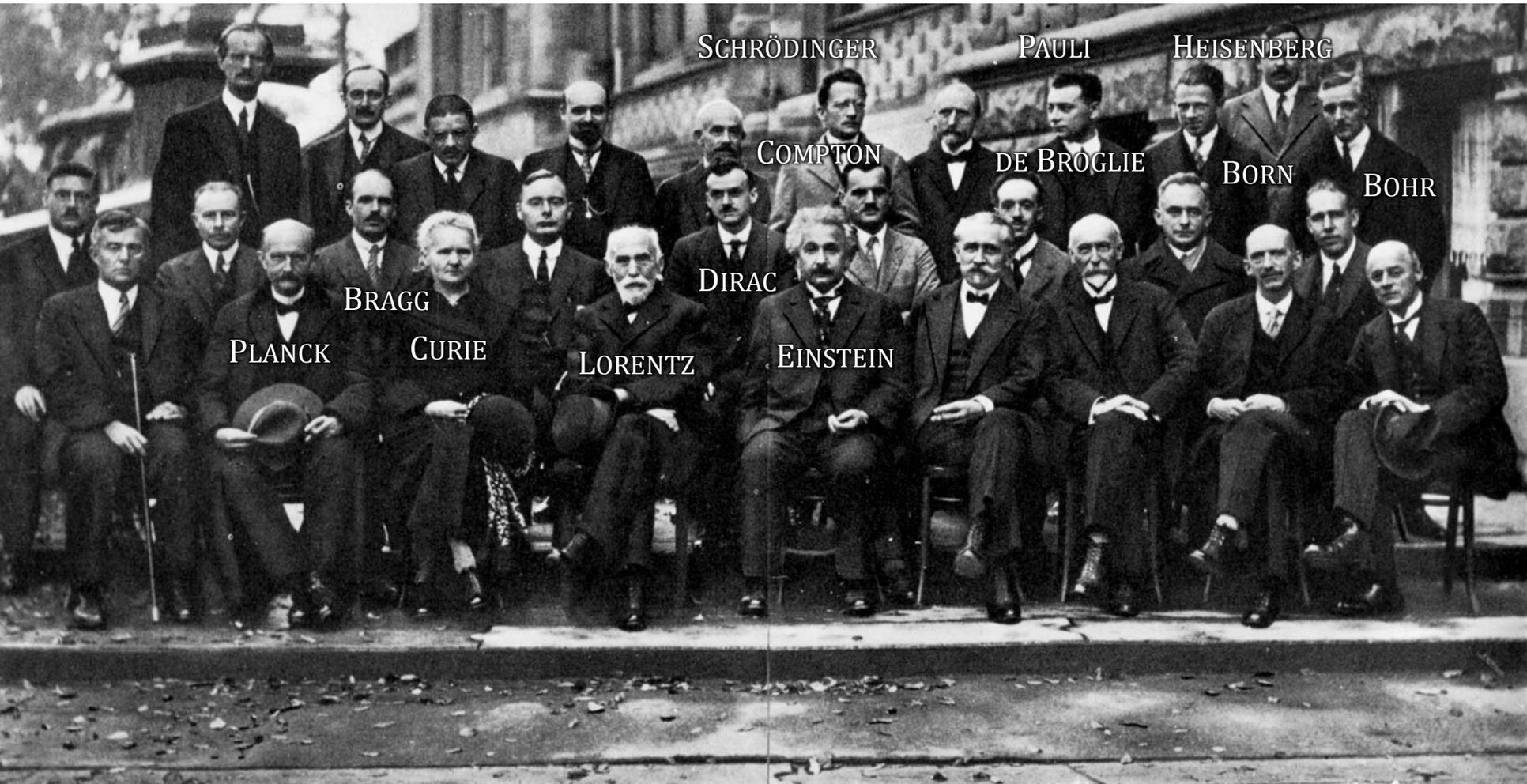
ONDA E PARTICELLA



Lo sviluppo della meccanica quantistica richiede oltre un quarto di secolo e il lavoro di numerosi scienziati.

Essa porta con sé conseguenze **controintuitive**, ma ci fornisce la descrizione della natura più dettagliata a nostra disposizione ed è **alla base della fisica moderna**.

I «padri» della fisica moderna (Conferenza Solvay - 1927)



PARTE II

FOTONICA

LA TECNOLOGIA DELLA LUCE

LUCE E TECNOLOGIA

Fotonica: è la branca della scienza moderna che studia e impiega tecnologie basate sulla luce.

Ha origine nel 1960 con l'invenzione del **LASER** ad opera di **Theodore Maiman**.

L.A.S.E.R.

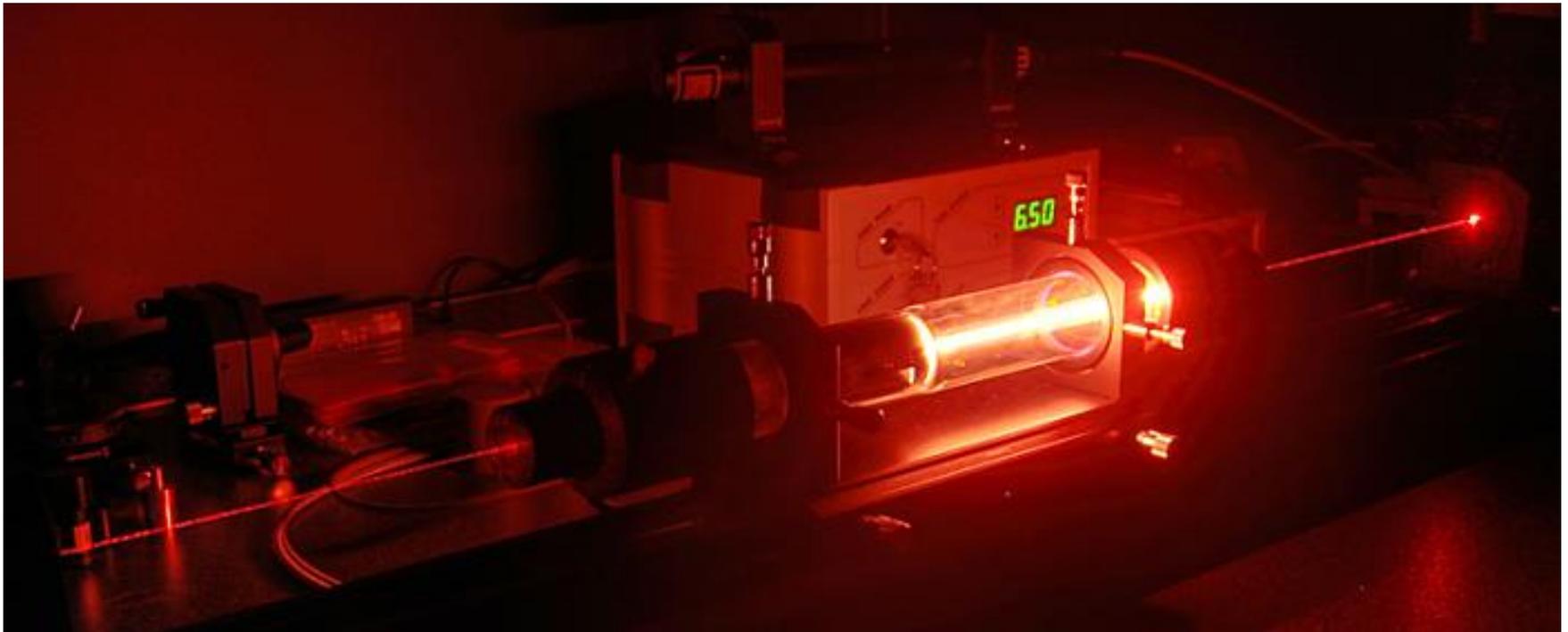
Light **A**mplification by **S**timulated **E**mission
of **R**adiation



LASER

Il laser è alla base delle tecnologie ottiche moderne.

Esso sfrutta il fenomeno dell'**emissione stimolata** per produrre radiazione luminosa.



LA LUCE LASER È:

Monocromatica



Ossia ha un solo e ben preciso colore. In altri termini, la lunghezza d'onda è ben definita.

Direzionale



Ossia ha una direzione di emissione privilegiata (es. puntatore laser).

Coerente

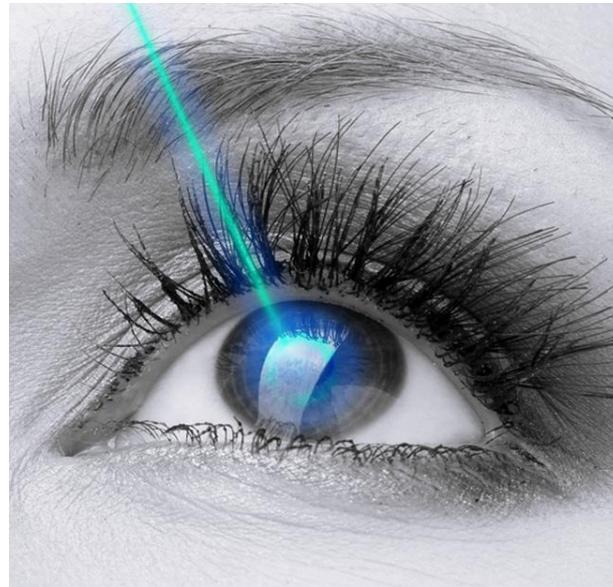


Ossia viaggia con la stessa relazione di fase.

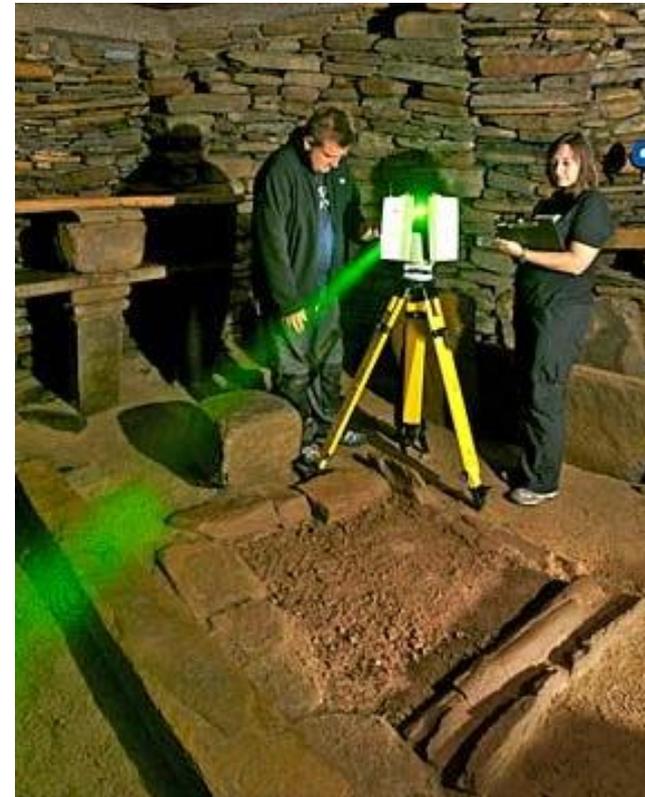
LASER - APPLICAZIONI



Lavorazione industriale



Medicina



Misure

PRECISIONE

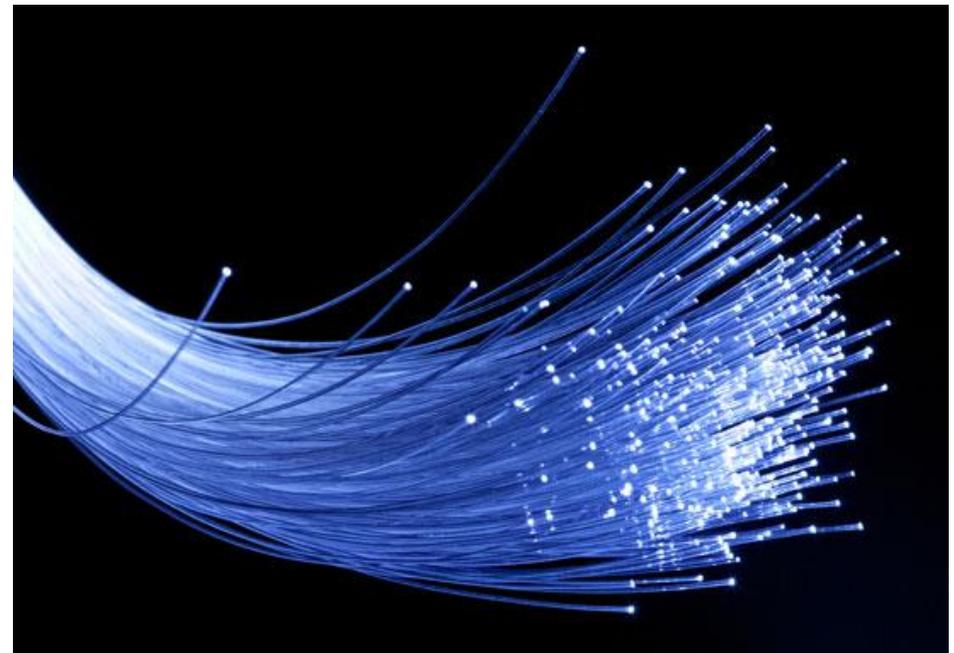
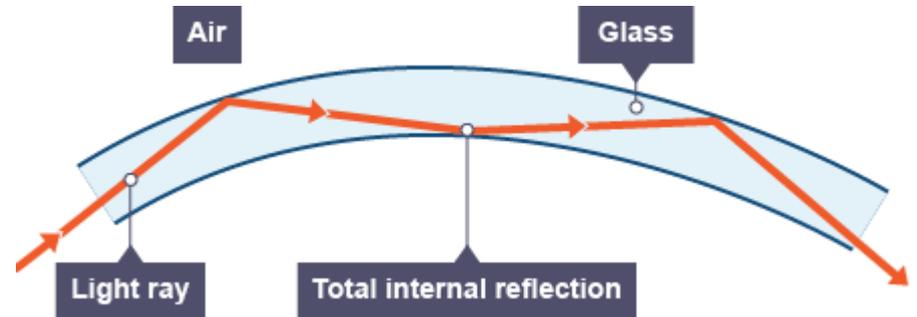
FIBRE OTTICHE

Sono alla base dei moderni sistemi di telecomunicazione.

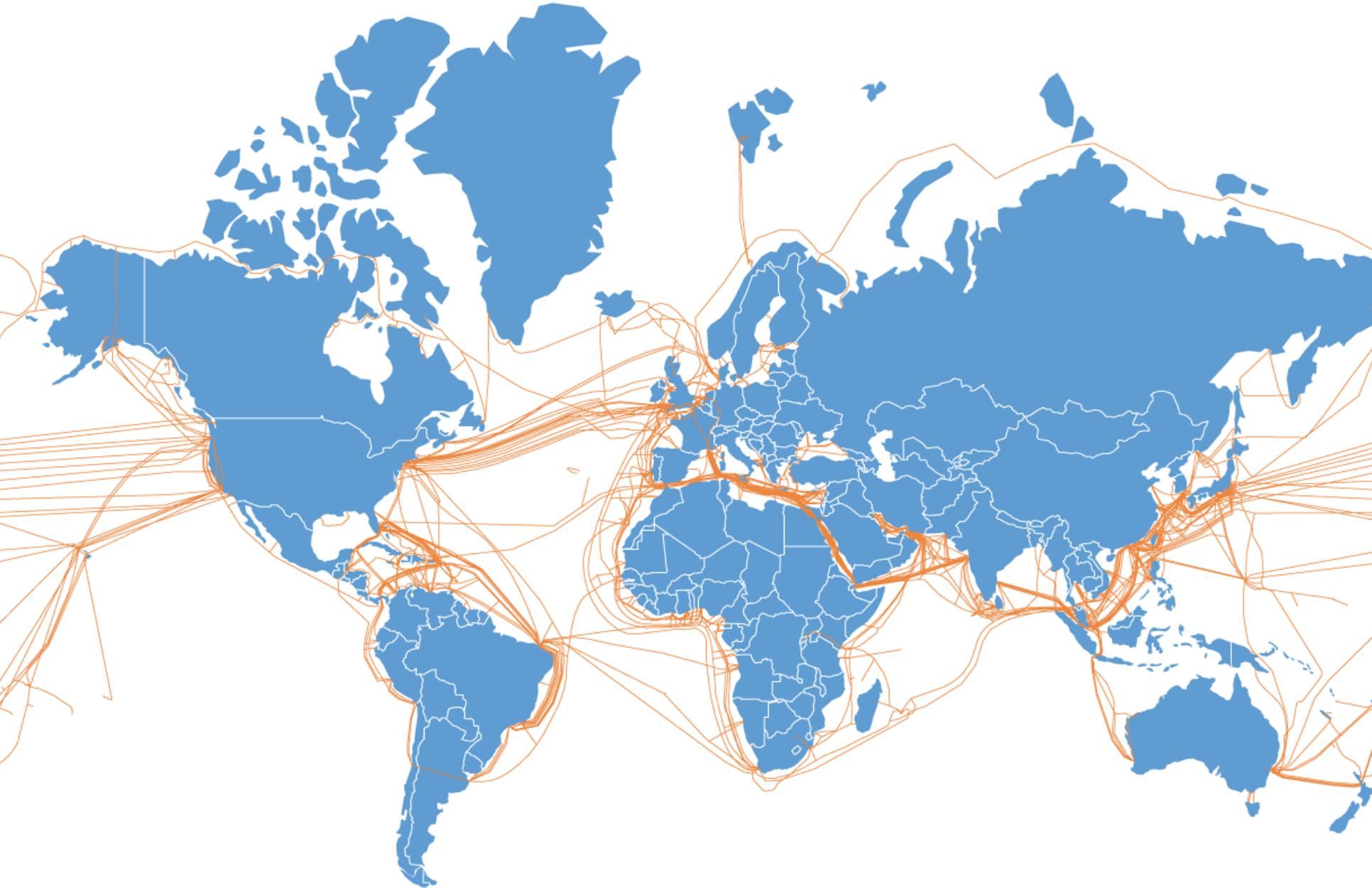
Funzionano grazie al principio della **riflessione totale**.

La luce (laser) modulata diventa il mezzo per trasmettere dati.

velocità trasmissione
 $\approx 400 \text{ Gbit/s}$



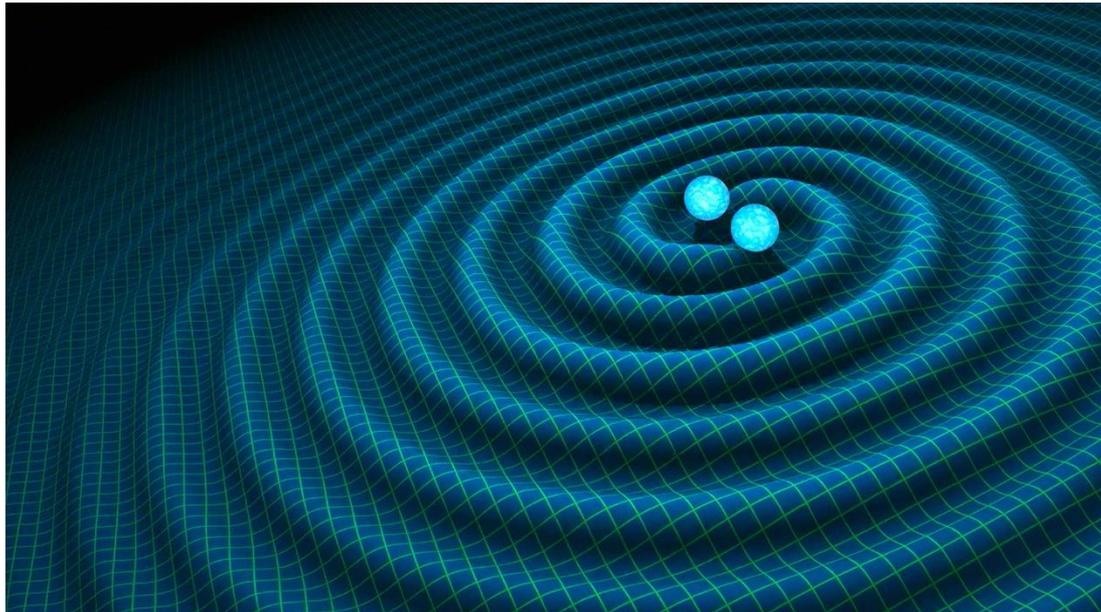
CAVI SOTTOMARINI IN FIBRA OTTICA



LA SCOPERTA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI (2015)

Nel 2015, l'impiego di tecnologie ottiche consente la scoperta delle **onde gravitazionali**.

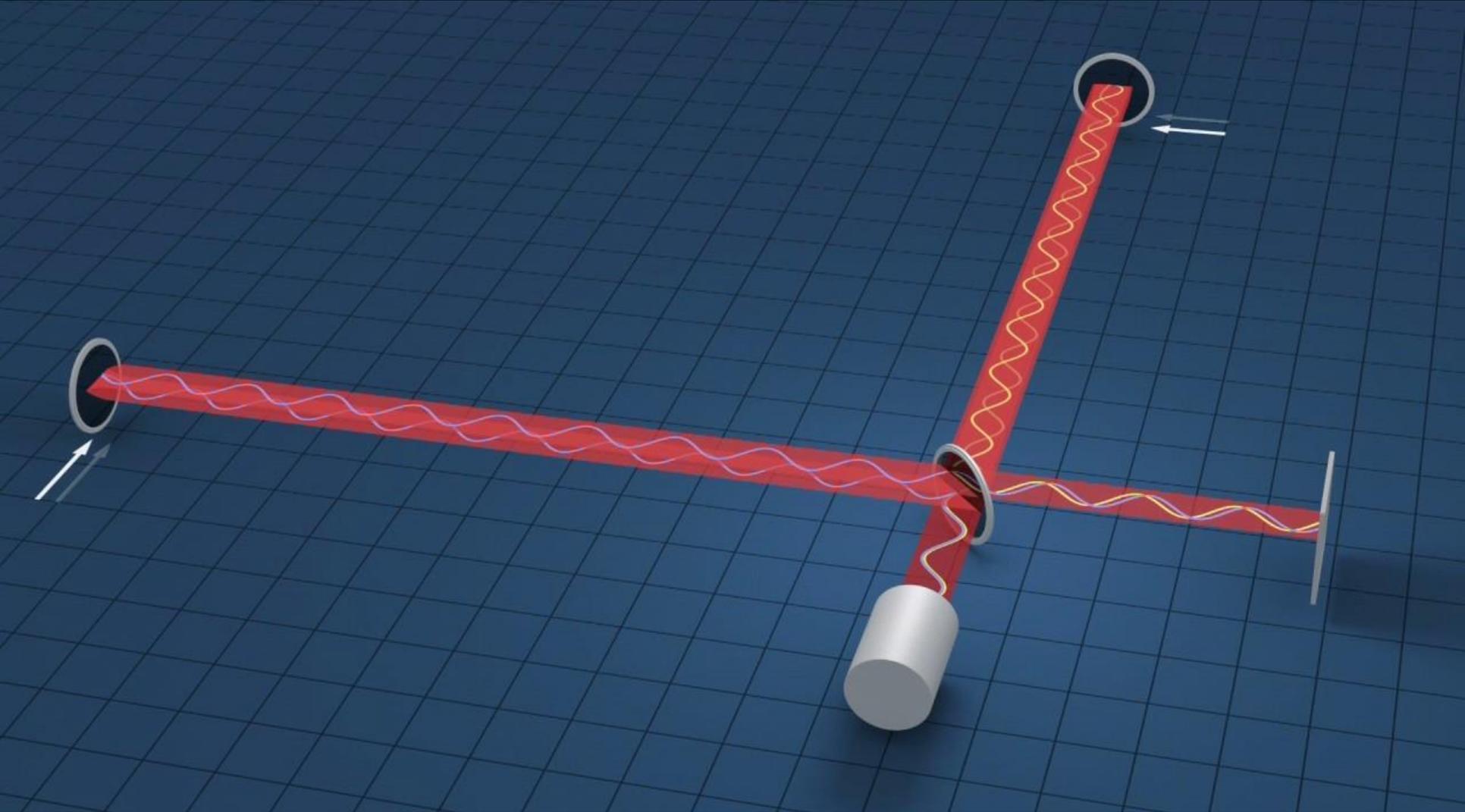
Si tratta di un fenomeno cosmico ipotizzato negli anni '20, ma estremamente difficile da osservare.

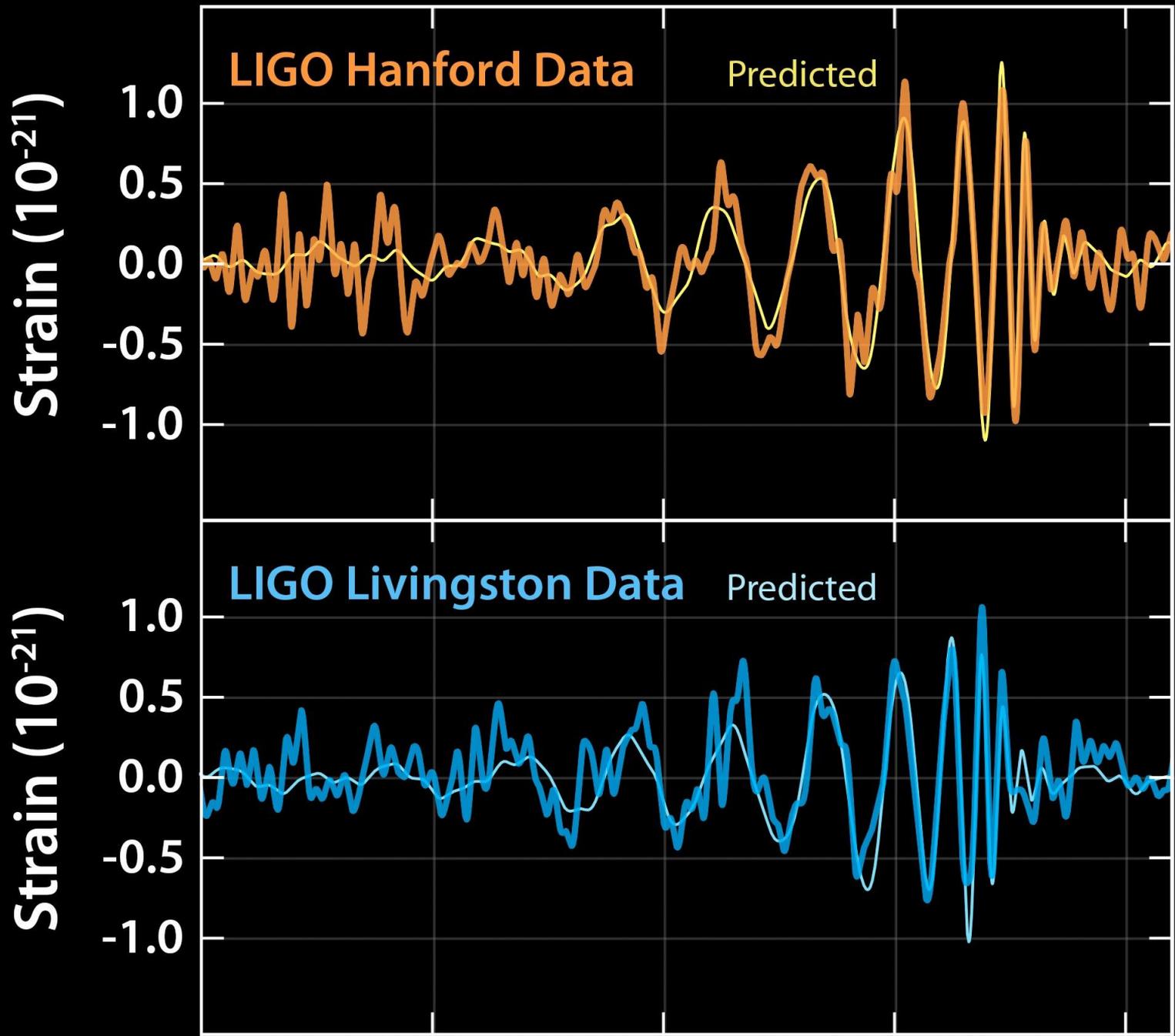


INTERFEROMETRO GRAVITAZIONALE V.I.R.G.O.



Cascina (PI)





CONCLUSIONI

La luce ha una natura **sia ondulatoria che particellare**, che ha richiesto secoli per essere compresa appieno.

La luce è importantissima nella nostra vita quotidiana, ma anche nella **tecnologia** e nella **ricerca**.

Essa ci consente ancora oggi di farci strada tra i misteri che l'universo può svelare.

