

Università degli Studi di Salerno  
Dipartimento di Fisica «E. Caianiello»

Liceo Scientifico «De Caprariis»  
Atripalda (AV)

# Seminari di Fisica Moderna

La natura della luce



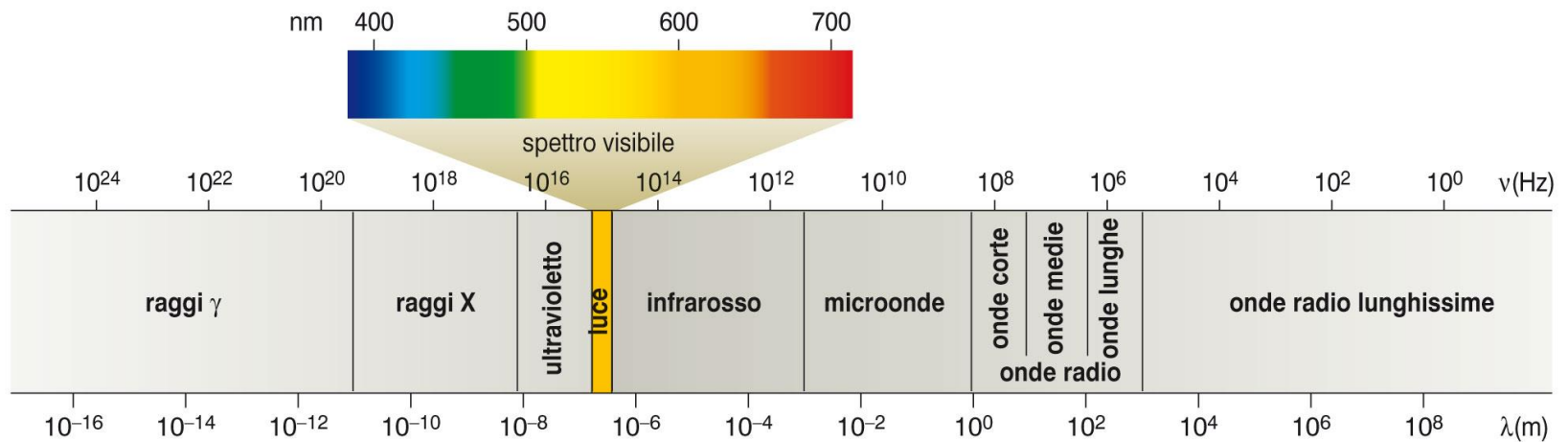
Piano Lauree Scientifiche

# La natura della luce

**James C. Maxwell** (1831-79) dimostrò che tutte le proprietà note della luce erano spiegabili attraverso un insieme di equazioni basate sull'ipotesi che la luce fosse un'**onda elettromagnetica**

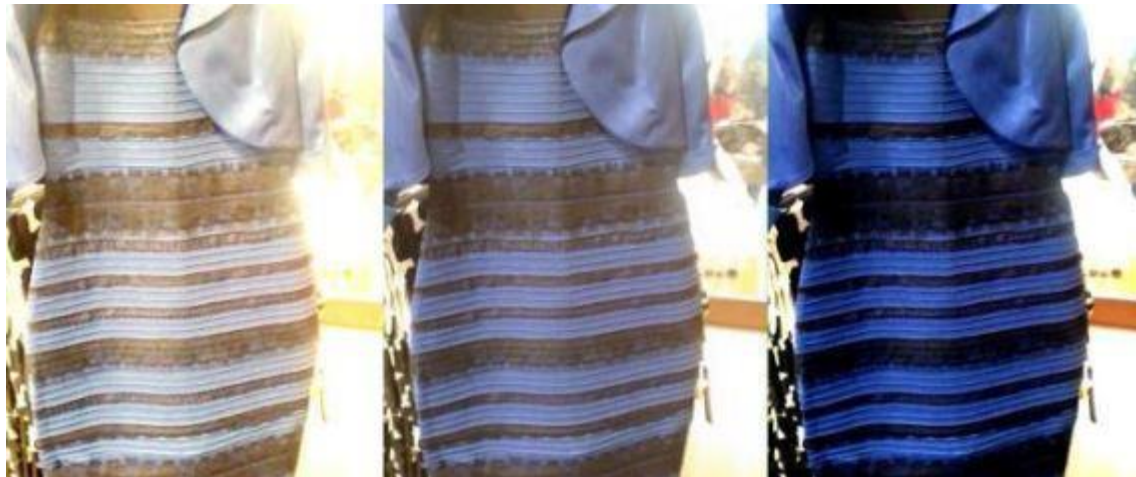
La luce è un particolare tipo di onda elettromagnetica (un **campo elettrico** e un **campo magnetico** che oscillano in direzioni perpendicolari) che si crea per rapidissima oscillazione di cariche elettriche.

L'insieme delle onde elettromagnetiche costituisce lo spettro elettromagnetico.



# La natura della luce

Il colore offre la possibilità di ritrovare lo spirito che rese grande il Rinascimento, e anche a estenderlo a discipline scientifiche correntemente viste in modo non collegato. Attraverso un viaggio nel mondo subatomico è come se facessimo un “viaggio nei colori”. Possiamo “toccare con mano” che il concetto di colore presenta realtà molto più complesse e interessanti di quanto si possa immaginare senza l’ausilio della Scienza



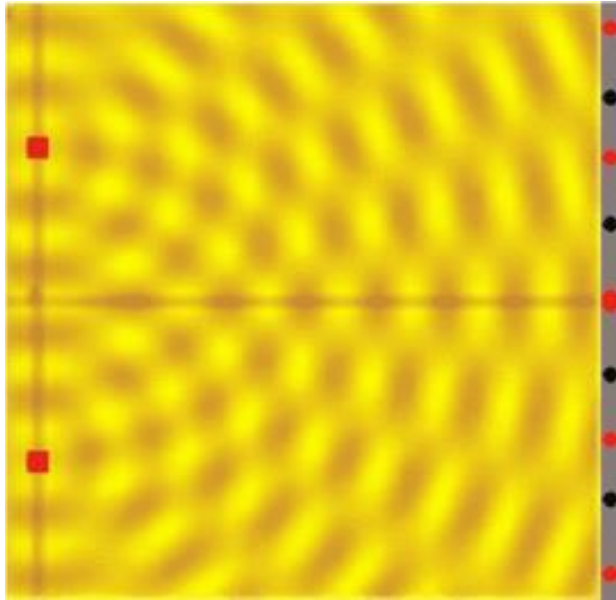
# La natura della luce



L'osservazione attenta dei fenomeni naturali apre la strada a comprenderli con la Scienza. Nel 1704 Isaac Newton (1649-1727) raccolse le sue osservazioni sulla luce nella fondamentale opera *Opticks: or a treatise of the reflexions, refractions, inflexions and colours of light*. In particolare, nel 1672 egli riprodusse i colori dell'arcobaleno in laboratorio, osservando la dispersione cromatica prodotta dalla "rifrazione" in un prisma ottico. Egli così evidenziò che la luce solare contiene in realtà un bellissimo insieme di colori, invisibili nel loro miscuglio comunemente osservato.

# La natura della luce

Nel 1801 il fondamentale esperimento di Young osservò effetti di “interferenza” tra la luce fatta passare attraverso due fenditure contigue e così evidenziò la sua natura ondulatoria. L’esperimento di Young fu il punto di partenza per la comprensione della dispersione cromatica osservata da Newton.



Due onde cilindriche partono dai quadrati rossi: a causa dell'interferenza, i punti neri sullo schermo non ricevono mai luce, mentre quelli rossi avranno intensità massima

Si basa su una singola sorgente che illumina due fenditure parallele in uno schermo opaco, di larghezza sufficientemente piccola in confronto alla lunghezza d'onda della luce incidente. In tal modo le fenditure diventano due sorgenti lineari di luce coerente che generano, su uno schermo a distanza, una figura di interferenza formata da bande alternativamente scure e luminose. A grandissima distanza dalle fenditure, le rette che congiungono le fenditure con un certo punto  $P$  sullo schermo, sono all'incirca parallele, formanti un angolo  $\vartheta$  con la congiungente le fenditure stesse, e la differenza di cammino è con buona approssimazione  $d * \sin \vartheta$ , dove  $d$  è la distanza tra le fenditure.

# La natura della luce: la diffrazione

In esperimenti iniziati nel 1814 Joseph von Fraunhofer (1787-1826) scoprì che lo spettro (ossia la distribuzione in frequenza) della luce solare contiene numerose linee scure. Le regolarità di queste “righe di Fraunhofer” furono oggetto di numerosi studi. In particolare, sorprese la semplice regolarità evidenziata nel 1885 da Balmer (1825-1898) per l’Idrogeno, nella quale apparvero numeri destinati a diventare “quantici”. Ora sappiamo che le righe di Fraunhofer sono dovute a un assorbimento in transizioni quantistiche tra livelli energetici elettronici in atomi lungo il percorso della luce. Fraunhofer iniziò così ad aprire uno spiraglio nel portone della Fisica Quantistica, che fu spalancato un secolo più tardi.

# La natura della luce: la diffrazione

La **diffrazione** è un fenomeno associato alla deviazione della traiettoria di propagazione delle onde (come anche la riflessione, la rifrazione, la diffusione o l'interferenza) quando queste incontrano un ostacolo sul loro cammino. È tipica di ogni genere di onda, come il suono, le onde sulla superficie dell'acqua o le onde elettromagnetiche come la luce o le onde radio; la diffrazione si verifica anche nelle particolari situazioni in cui la materia mostra proprietà ondulatorie, in accordo con la dualità onda-particella.

Gli effetti di diffrazione sono rilevanti quando la lunghezza d'onda è comparabile con la dimensione dell'ostacolo. In particolare per la luce visibile (lunghezza d'onda attorno a  $0,5 \mu\text{m}$ ) si hanno fenomeni di diffrazione quando essa interagisce con oggetti di dimensione sub-millimetrica.

# La natura della luce: la diffrazione

Fenomeni di diffrazione possono essere osservati quotidianamente, in particolare quelli che interessano la luce: per esempio, le tracce incise sulla superficie di un CD o di un DVD agiscono come un reticolo di diffrazione, creando il familiare effetto arcobaleno; anche i piccoli ologrammi, ad esempio delle carte di credito, si basano sulla diffrazione. In natura, si possono osservare colori cangianti dovuti a diffrazioni interferenziali, come quelli delle piume del pavone, o della corazza di alcuni coleotteri, o delle ali di molte farfalle (figura a sinistra), che sono colorate grazie all'interferenza delle onde diffratte da parte di microscopiche scaglie disposte regolarmente.



# La natura della luce

In Fisica il concetto di colore ha un contenuto “oggettivo”, strettamente collegato alla lunghezza d’onda (o alla frequenza corrispondente) della radiazione luminosa. Il colore è un “*continuum*” e la lunghezza d’onda offre una “misura” del colore. Da questo proviene la denominazione di “spettro” (in lunghezza d’onda o frequenza) della luce solare. Le righe di assorbimento atomico offrono riferimenti per una calibrazione assoluta della misura del colore, con estrema precisione.

Nell’arcobaleno il ruolo rifrangente del prisma è assunto dalle goccioline d’acqua nell’atmosfera ancora umida dopo la pioggia: quando il sole è dietro le nostre spalle, la sua luce entra nelle gocce davanti a noi e si divide in tanti colori che vengono riflessi all’indietro fino ai nostri occhi. La figura 2 mostra la distribuzione spettrale di un “arcobaleno pre-quantistico”: lo spettro della luce solare in un francobollo commemorativo nel bicentenario della nascita di Joseph von Fraunhofer.

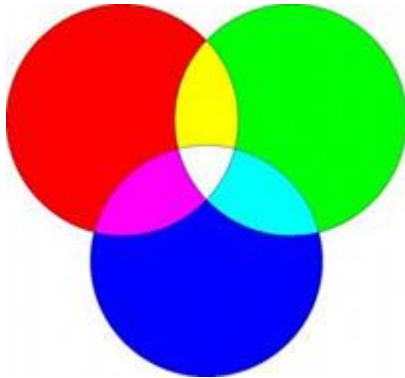
# La natura della luce

La visione è un fenomeno complesso e le conoscenze necessarie per capirlo vanno dalla Fisica, alla Fisiologia, al funzionamento del cervello. Il “colore percepito” ha come passo finale un processo di “sintesi” operato dal cervello e quindi soggettivo. Lo dimostrano le illusioni ottiche e il fatto che la percezione del colore è diversa in persone affette da daltonismo. Il colore percepito è quindi “soggettivo” e confonderlo con il “colore oggettivo” della Fisica classica significa non considerare tutto quello che accade dall’occhio al cervello.

Nel 1807 Thomas Young propose una teoria della visione secondo la quale il nostro occhio ha tre differenti tipi di recettori del colore. Ora sappiamo che nella struttura della retina vi sono tre tipi di “coni recettori” con picchi di sensibilità in corrispondenza di rosso, verde e blu. La stimolazione di questi tre recettori è raccolta e sintetizzata dal cervello, che associa la percezione al nome di uno dei campioni contenuti in una tavolozza. L’eclettismo di Young fu davvero stupefacente: suo è il già citato esperimento di Young (1803) che evidenziò la natura ondulatoria della luce; sua è l’intuizione che portò a decifrare la stele di Rosetta e a comprendere la scrittura geroglifica dell’antico Egitto.

# La natura della luce

La varietà dei colori che vediamo e classifichiamo con nomi specifici può essere ottenuta mediante una “sintesi additiva” mescolando dei “colori base” in opportune proporzioni. Il “*continuum*” dei colori in funzione della lunghezza d’onda viene associato a quello nelle proporzioni del miscuglio. I colori base classicamente utilizzati sono rosso, verde e blu. La sintesi additiva di rosso, verde e blu in uguali proporzioni dà il colore “neutro” chiamato bianco,



Claude Monet, *Regata ad Argenteuil* (1872)

# La natura della luce

Il colore delle cose viste risulta dalla convoluzione di tre distribuzioni spettrali:

- della luce che le colpisce,
- della sua diffusione da parte di esse
- della nostra capacità di percepire i diversi colori.



Georges Seurat, *La Senna alla Grande Jatte - Primavera* (1888)



# La natura della luce

Una lampada rossa fa apparire tutto rosso. I subacquei che s'immergono in profondità nel mare vedono colori bluastri perché la radiazione blu resiste maggiormente all'assorbimento da parte dell'acqua marina. In un lago l'assorbimento è maggiore a causa della presenza di torbidità (in particolare microorganismi nella stagione calda): a profondità dell'ordine dei 40-50 metri la luce è spesso totalmente assorbita e bisogna ricorrere a una navigazione subacquea interamente strumentale, basata su bussola e profundimetro. Le righe di Fraunhofer sono dovute a un assorbimento.

Un corpo "nero" assorbe tutto e non restituisce nulla per diffusione. Uno specchio restituisce tutto e non altera i colori.

Le molecole gassose nell'atmosfera hanno dimensioni dell'ordine dell'ångström ( $0,1 \text{ nm} = 0,1$  miliardesimi di metro), molto più piccole della lunghezza d'onda della luce visibile (380-750 nm). In queste condizioni, la diffusione aumenta fortemente con il diminuire della lunghezza d'onda e quindi privilegia il violetto nel colore oggettivo del cielo diurno. Lo spostamento verso l'azzurro proviene dalla maggiore sensibilità dei fotorecettori dell'occhio umano a lunghezze d'onda più grandi.

# La natura della luce

Il fenomeno fisico della scomposizione del colore nel prisma e nell'arcobaleno, assieme alla conoscenza della sintesi cromatica, ha influenzato il mondo dell'Arte oltre un secolo fa con l'*Impressionismo*. Gli Impressionisti hanno scomposto i colori visibili come fanno i prismi in un laboratorio di ottica o le goccioline d'acqua nel cielo umido di pioggia, affiancandoli e lasciando al nostro cervello il compito di ricombinarli o no nella "impressione" elaborata tramite una sintesi dei segnali provenienti dagli occhi.

La figura mostra la "*Regata ad Argenteuil*" di Claude Monet (1840-1926). Con la scomposizione in "tocchi-colore", l'Impressionismo tese a risolvere scientificamente un problema prima affidato alla sola magica esperienza dell'artista: il dare un effetto di luminosità.



# La natura della luce

Il successo dell'Impressionismo portò a un seguito nel "*Puntinismo*", nel quale la connessione con la Fisica traspare con un esplicito manierismo basato sull'uso di "punti-colore". La figura ne è testimone con un dipinto di Georges Seurat (1859-91). Anch'esso ha per tema la Senna, il suo ambiente e le increspature cromatiche dell'acqua, care alla pittura "*de plein air*" degli Impressionisti.

