

La luce



aggiornamenti
laboratorio di didattica della scienza

Stefano Marcellini, INFN Sezione di Bologna



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

La luce

Come si comportano i raggi luminosi:

- Nel vuoto
- Quando sono riflessi da una superficie (specchio)
- Quando attraversano mezzi diversi (lenti, acqua, atmosfera)
- Da cosa hanno origine i colori?
- Come possiamo capire che la luce è un'onda?
- Altri tipi di luce invisibili ai nostri occhi, ma che sono sempre attorno a noi

La propagazione della luce

- Punta un puntatore laser su uno spillo.
- Non vedi il raggio luminoso.
- Adesso infila altri spilli davanti ad esso, in modo che siano illuminati dal laser.
- Solleva lo sguardo. Che percorso tracciano gli spilli?

La luce nel vuoto o in un mezzo omogeneo (con le stesse proprietà ovunque) **si propaga in linea retta**, ovvero **lungo il cammino più veloce**.

La propagazione della luce



Akhenaton offre ad Aton

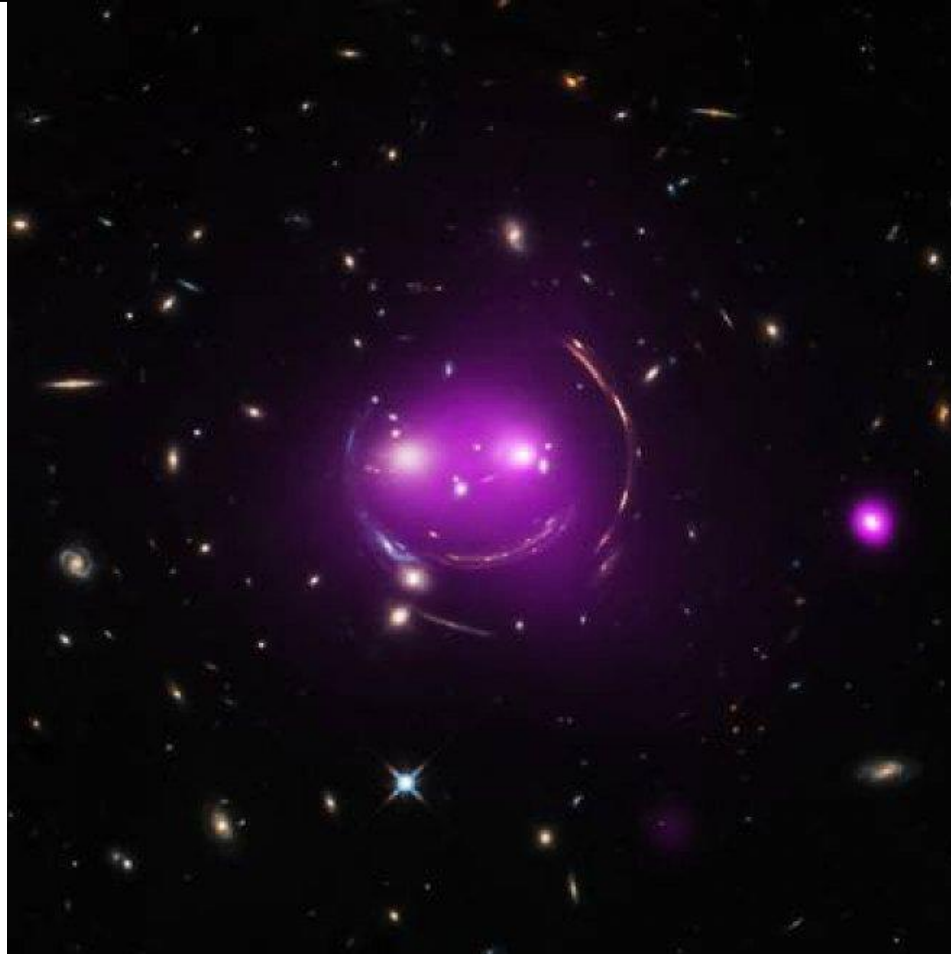
La propagazione della luce

Quanto appena osservato
potrebbe sembrare una
banalità, ma non lo è affatto.

Per vari motivi.

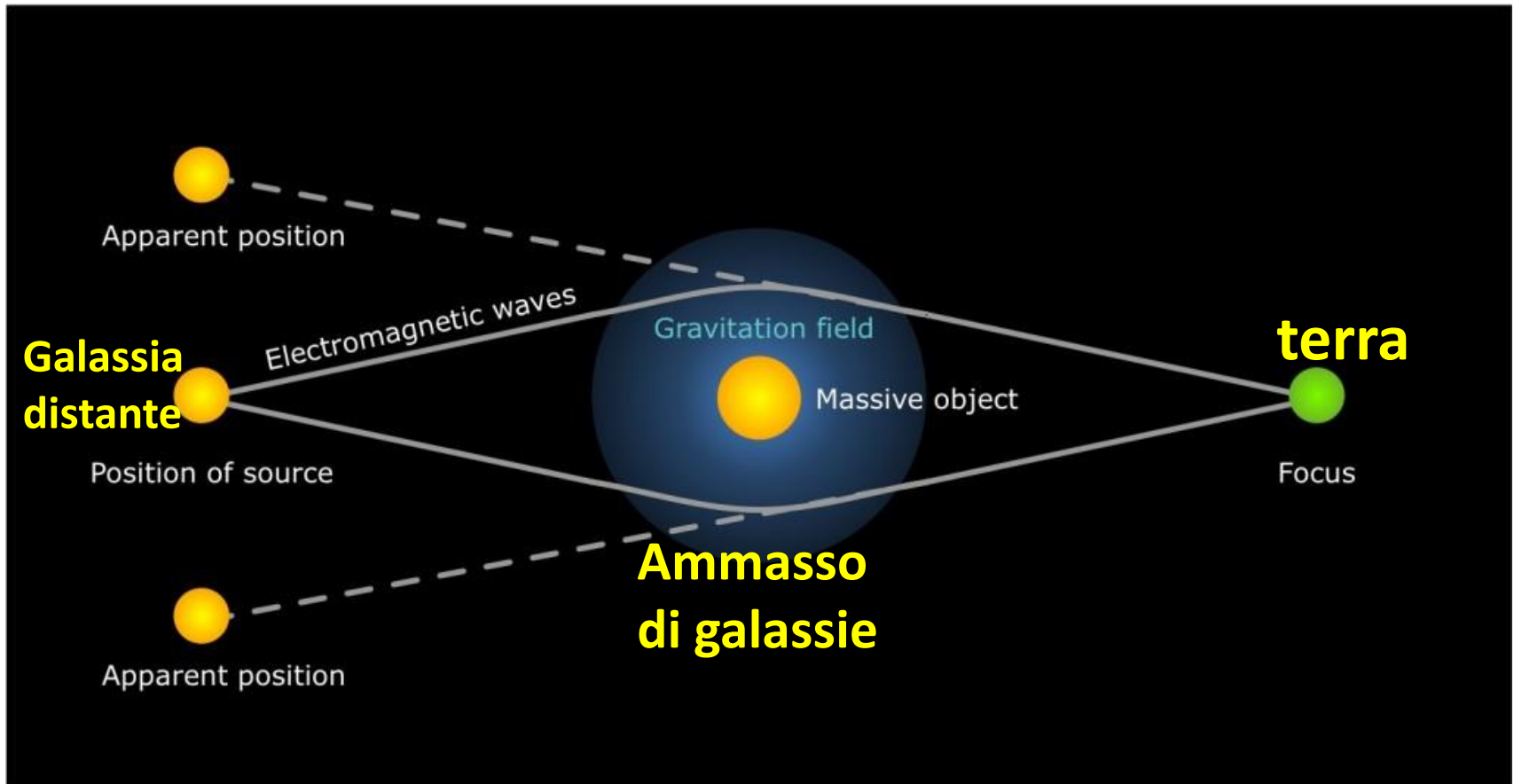
Il primo...

Propagazione della luce in un campo gravitazionale: Stregatti Cosmici

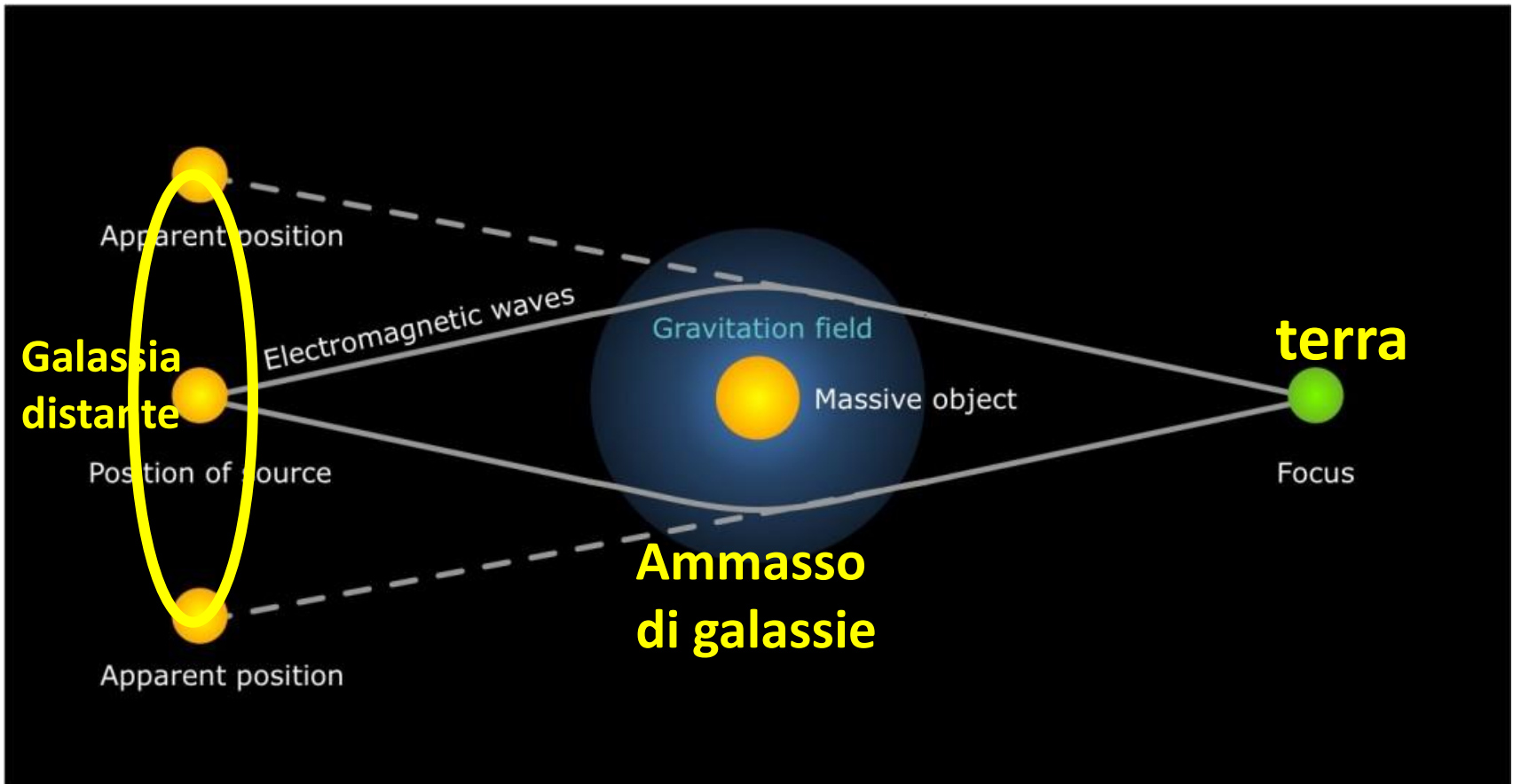


[SDSS J103842.59+484917.7](#) 4.7 miliardi di anni luce dalla terra.
Gli archi sono l'immagine distorta di galassie molto più distanti, poste «dietro»

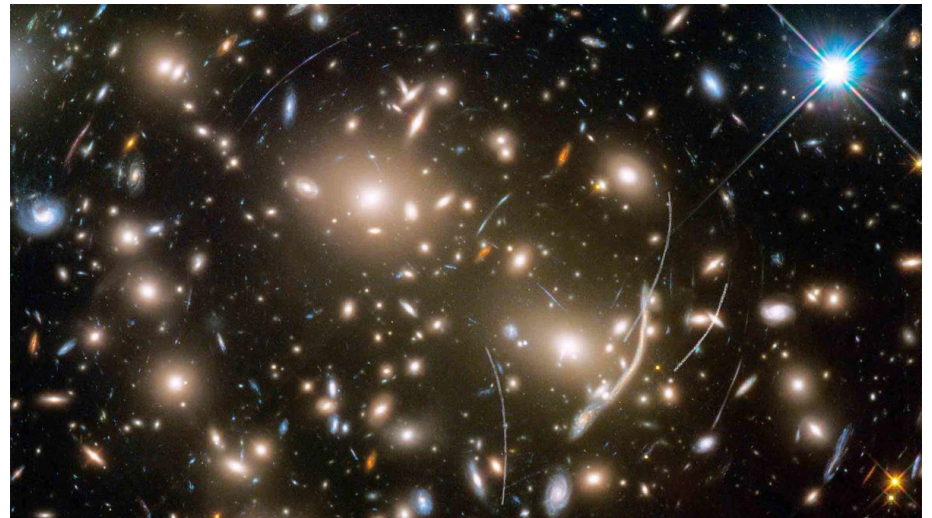
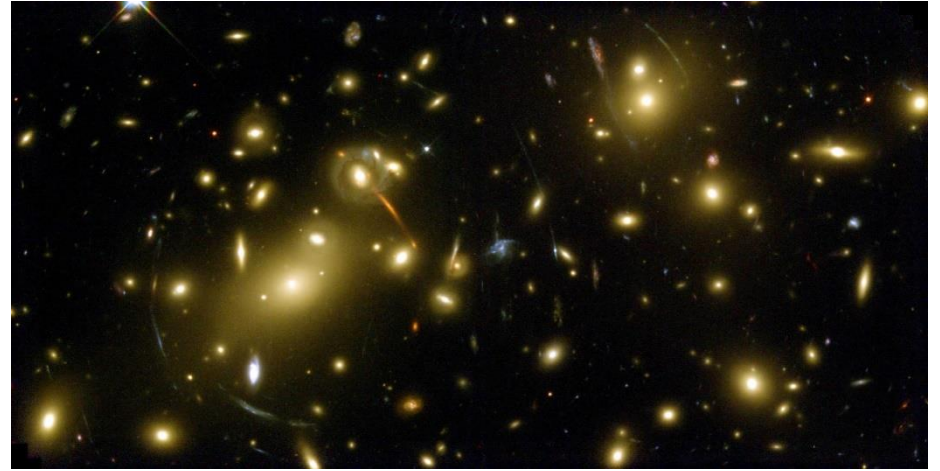
Propagazione della luce in un campo gravitazionale: Stregatti Cosmici



Propagazione della luce in un campo gravitazionale: Stregatti Cosmici



Propagazione della luce in un campo gravitazionale: Stregatti Cosmici: ne esistono molti esempi

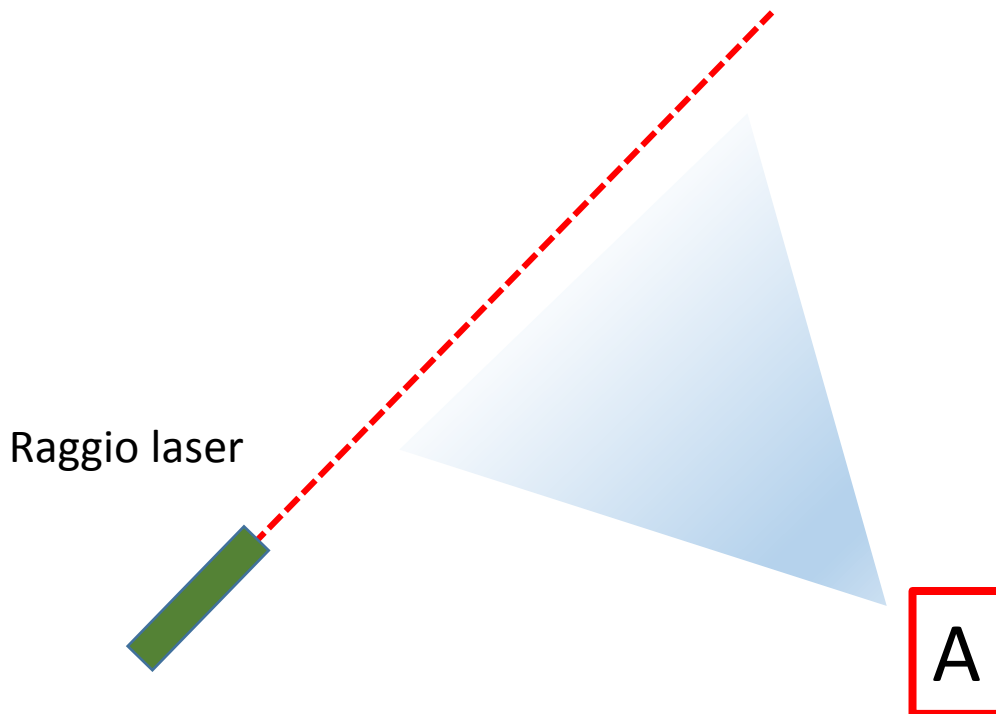


Idee sbagliate sulla propagazione della luce

E' possibile vedere un raggio di luce «di lato»?

Molti studenti (secondo una statistica) **pensano di sì.**

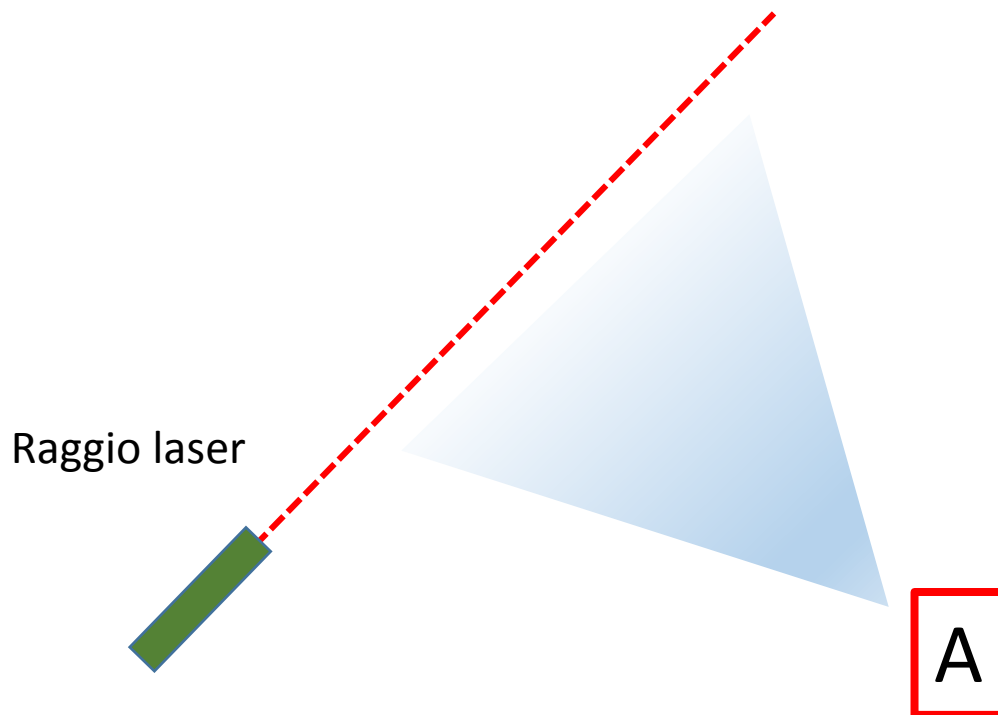
Facciamo un test: accendo un raggio laser



Dalla posizione A
è visibile il raggio?
Risposta: NO!

Idee sbagliate sulla propagazione della luce

E' possibile vedere un raggio di luce «di lato»?



Il raggio diventa visibile **se c'è polvere nell'aria**, perché in quel caso i granelli di polvere lo diffondono. **Spruzziamo qualcosa nell'aria: il raggio diventa visibile**

Idee sbagliate sulla propagazione della luce

E' possibile vedere un raggio di luce «di lato»?



La riflessione della luce



- Infila un chiodo in un cartoncino e osserva la sua immagine riflessa allo specchio
- Infila altri chiodi fra l'immagine riflessa e il tuo occhio, in modo che quello più vicino nasconda gli altri.
- Fai la stessa cosa dall'altro lato
- Alza lo sguardo e unisci i percorsi dei chiodi.
- Misura gli angoli di incidenza e riflessione, e verifica che sono uguali. **Verifica che il percorso della luce sia il più breve possibile**

La rifrazione della luce: matite spezzate



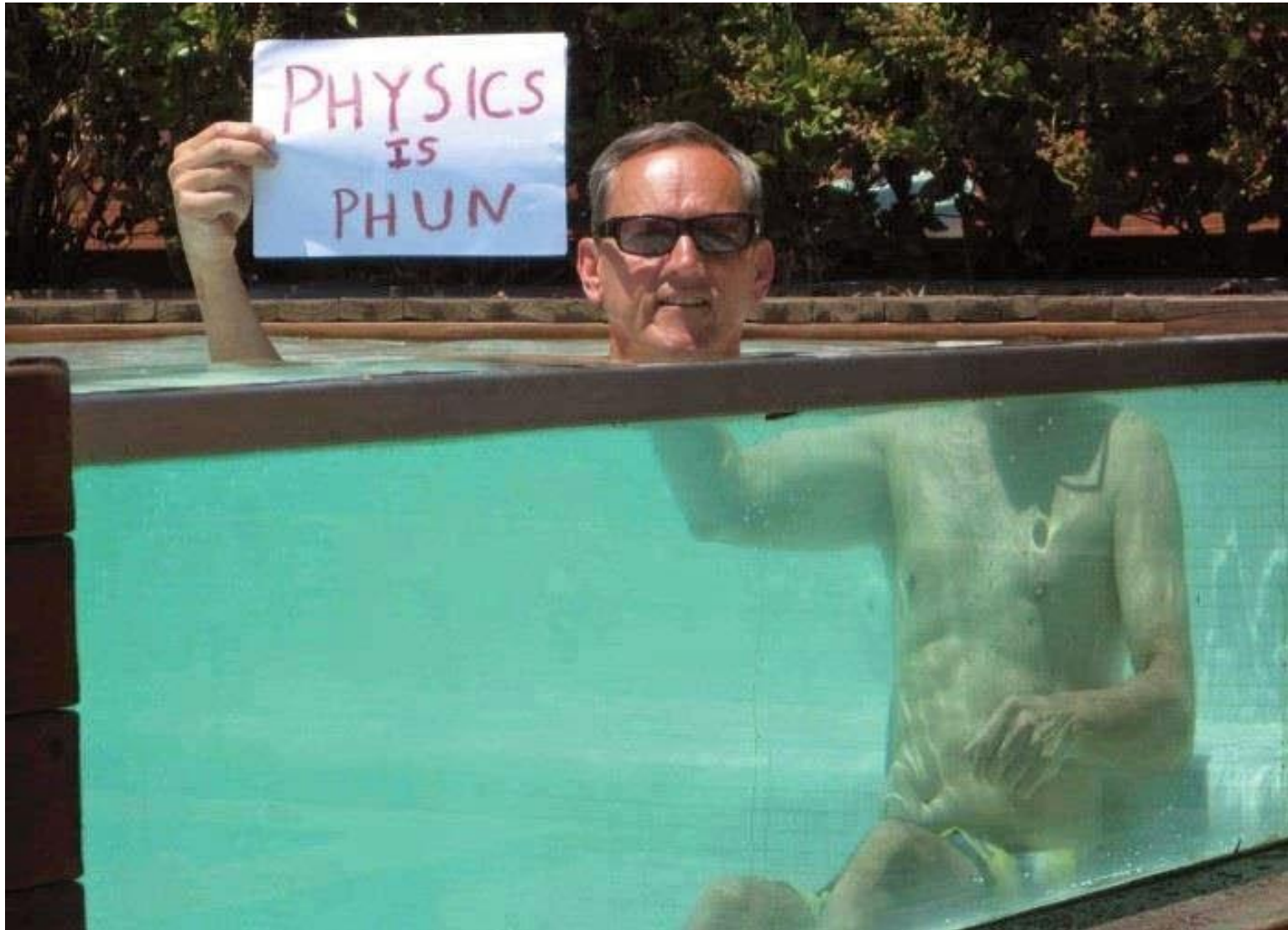
- Riempi d'acqua un recipiente e immergici una matita inclinata
- La matita sembra spezzata

La rifrazione della luce: monete che appaiono



- Metti una moneta sul fondo di un contenitore e posizionala in modo che sia appena nascosta dal bordo della scatola
- Riempilila d'acqua: a un certo punto la moneta apparirà.
- **In che modo l'acqua rende visibile la moneta?**
- **Che traiettoria compiono i raggi luminosi, dalla moneta all'occhio?**

La rifrazione della luce



La rifrazione della luce: un po' di teoria

- Il fenomeno della rifrazione è legato al fatto che la luce viaggia con velocità diverse a seconda del mezzo che attraversa.
- La velocità della luce nel vuoto, diviso la velocità della luce nel mezzo, si chiama **indice di rifrazione** di quel mezzo.

Mezzo o sostanza	Indice di rifrazione	Velocità di propagazione
vuoto	1	$3 \cdot 10^8$ m/s
aria	1,00029	$2,999 \cdot 10^8$ m/s
acqua	1,33	$2,26 \cdot 10^8$ m/s
ghiaccio	1,31	$2,29 \cdot 10^8$ m/s
sale	1,54	$1,95 \cdot 10^8$ m/s
alcool	1,36	$2,2 \cdot 10^8$ m/s
vetro (Crown)	1,5	$2 \cdot 10^8$ m/s
vetro (Flint)	1,65	$1,82 \cdot 10^8$ m/s
solfo di carbonio	1,63	$1,84 \cdot 10^8$ m/s
sodio liquido	4,22	$0,7 \cdot 10^8$ m/s
arseniuro di gallio	3,6	$0,83 \cdot 10^8$ m/s
silicio	3,4	$0,88 \cdot 10^8$ m/s
diamante	2,417	$1,24 \cdot 10^8$ m/s
quarzo	1,51	$1,98 \cdot 10^8$ m/s

La rifrazione della luce: un po' di teoria


- **Mezzi diversi dal vuoto «rallentano» la luce**, a seconda delle loro proprietà **fisica**. I fotoni della luce per propagarsi devono continuamente essere emessi e riassorbiti dalle molecole che costituiscono il mezzo. Questo rallenta la luce
- Il **diamante** è un ottimo «rallentatore» della luce (non è il solo!)

Mezzo o sostanza	Indice di rifrazione	Velocità di propagazione
vuoto	1	$3 \cdot 10^8$ m/s
aria	1,00029	$2,999 \cdot 10^8$ m/s
acqua	1,33	$2,26 \cdot 10^8$ m/s
ghiaccio	1,31	$2,29 \cdot 10^8$ m/s
sale	1,54	$1,95 \cdot 10^8$ m/s
alcool	1,36	$2,2 \cdot 10^8$ m/s
vetro (Crown)	1,5	$2 \cdot 10^8$ m/s
vetro (Flint)	1,65	$1,82 \cdot 10^8$ m/s
solfo di carbonio	1,63	$1,84 \cdot 10^8$ m/s
sodio liquido	4,22	$0,7 \cdot 10^8$ m/s
arseniuro di gallio	3,6	$0,83 \cdot 10^8$ m/s
silicio	3,4	$0,88 \cdot 10^8$ m/s
diamante	2,417	$1,24 \cdot 10^8$ m/s
quarzo	1,51	$1,98 \cdot 10^8$ m/s



La rifrazione della luce: perché la luce nel passare da un mezzo a un altro, cambia direzione? spiegazione facile





Ricordiamo che abbiamo visto che la luce impiega sempre **il tempo più breve per andare da un punto A a un punto B**

La rifrazione della luce: spiegazione facile

Bagnino



**Il bagnino vede un bagnante
che sta annegando**

Bagnante



La rifrazione della luce: spiegazione facile

Bagnino



**Sulla sabbia il bagnino va
più veloce che nell'acqua**

Bagnante



La rifrazione della luce: spiegazione facile

Bagnino



**Per arrivare nel tempo
minore possibile, al bagnino
conviene fare più strada sulla
sabbia che in mare**

Bagnante



La rifrazione della luce: spiegazione facile

Bagnino

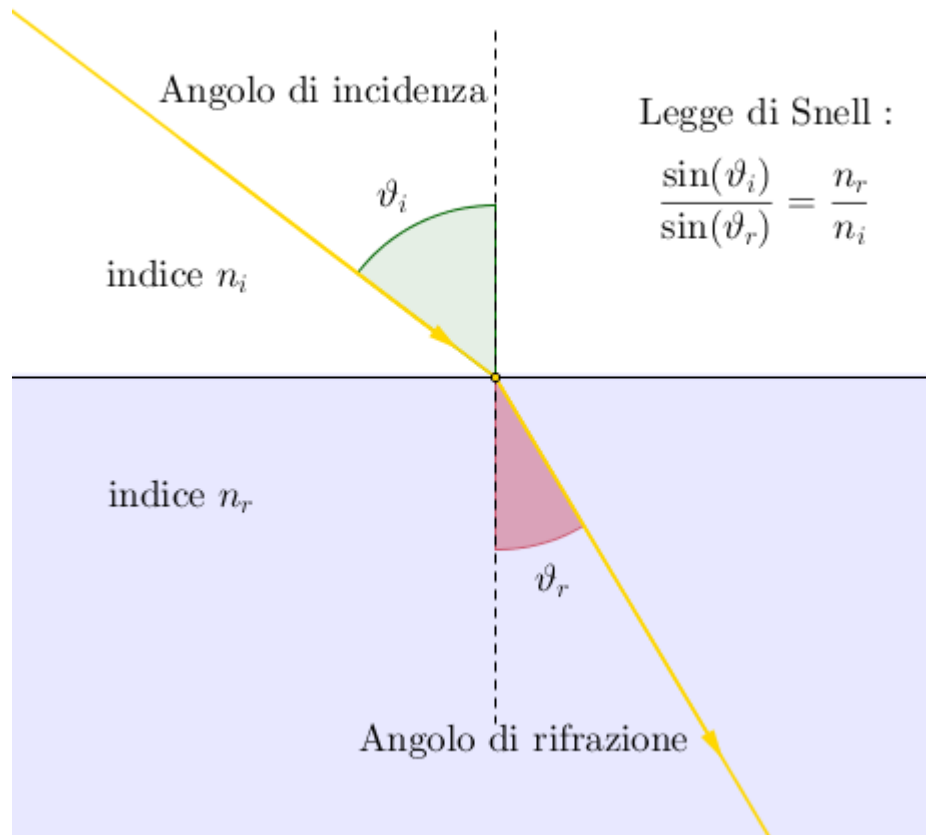


Per arrivare nel tempo
minore possibile, il percorso
migliore non è quello
rettilineo!

Bagnante

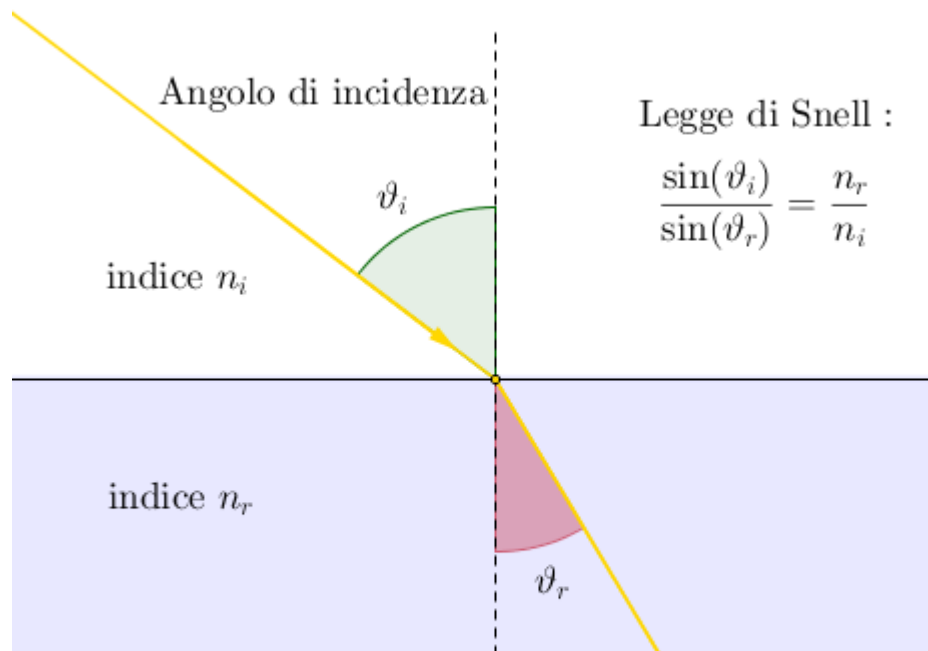


La luce fa la stessa cosa



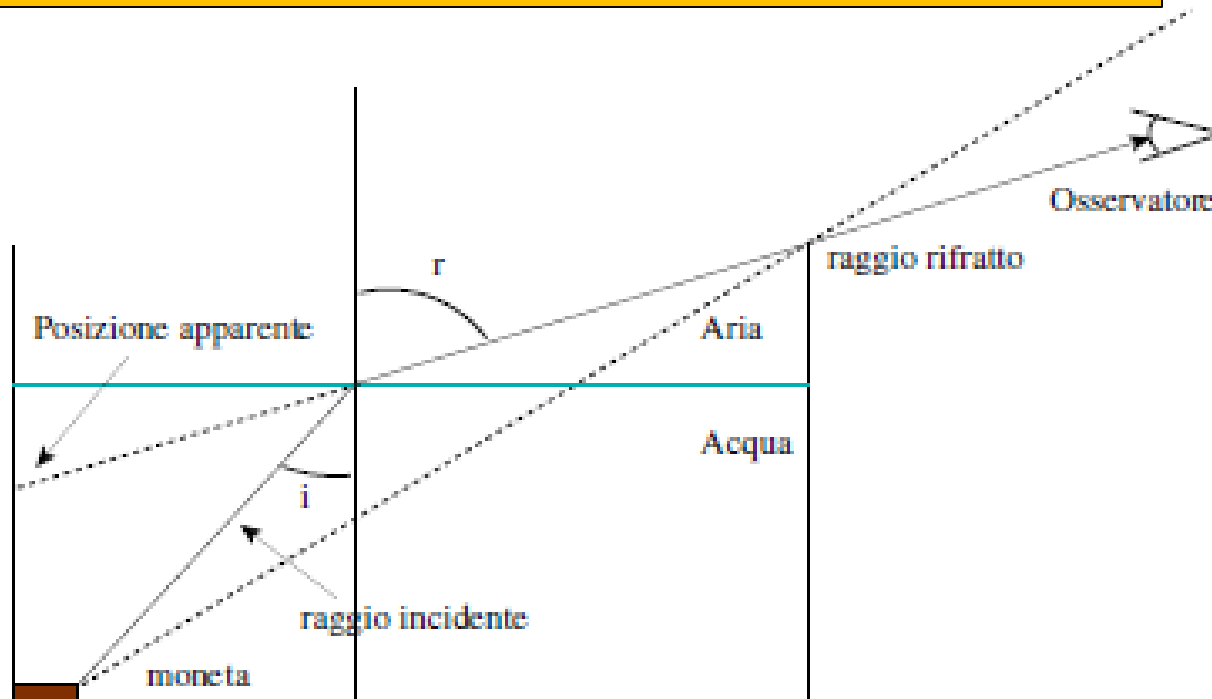
Tanto maggiore è l'indice di rifrazione del mezzo rispetto a quello iniziale, tanto maggiore sarà il «cambiamento di direzione della luce passando da un mezzo all'altro.

La luce fa la stessa cosa



La luce non pensa come il bagnino. Non fa calcoli. Il motivo per cui il percorso risulta essere quello, è molto complesso, e spiegabile sono nell'ambito della **fisica quantistica**. In realtà la luce percorre tutti i percorsi possibili, ma quelli «sbagliati» si cancellano a vicenda (descritto nel libro di Richard Feynman: QED)

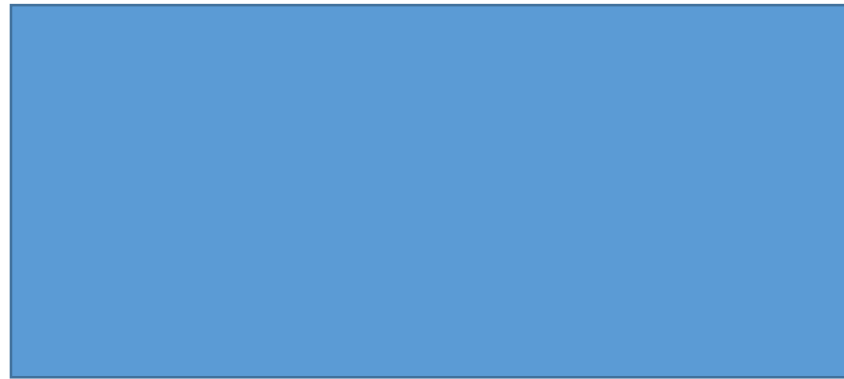
Esperimento della moneta: spiegazione



- Senza acqua, la moneta è invisibile a causa del bordo del recipiente
- Con l'acqua, la rifrazione dei raggi luminosi la rende visibile nella «posizione apparente»
- Il nostro cervello fa il resto, collocando la moneta in base alla direzione dei raggi luminosi che provengono da essa

Rifrazione della luce

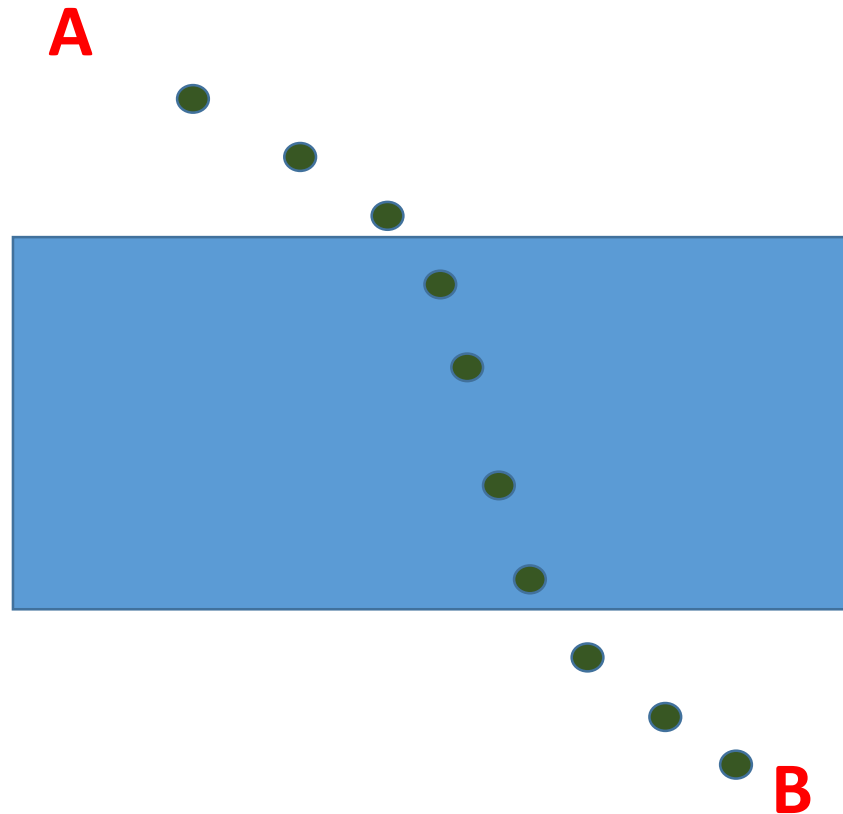
A



B

Prendiamo una bacinella con dell'acqua (o un blocco di vetro).
Mettiamo uno spillo in A e, **guardando da un punto scelto a caso (B)**,
individuiamo il percorso della luce mettendo spilli in modo che stiano
tutti allineati tra A e il nostro occhio.

Rifrazione della luce



Guardiamo adesso il percorso indicato dagli spilli dall'alto. **Non è rettilineo, anche se vedevamo gli spilli tutti allineati!**

La riflessione totale

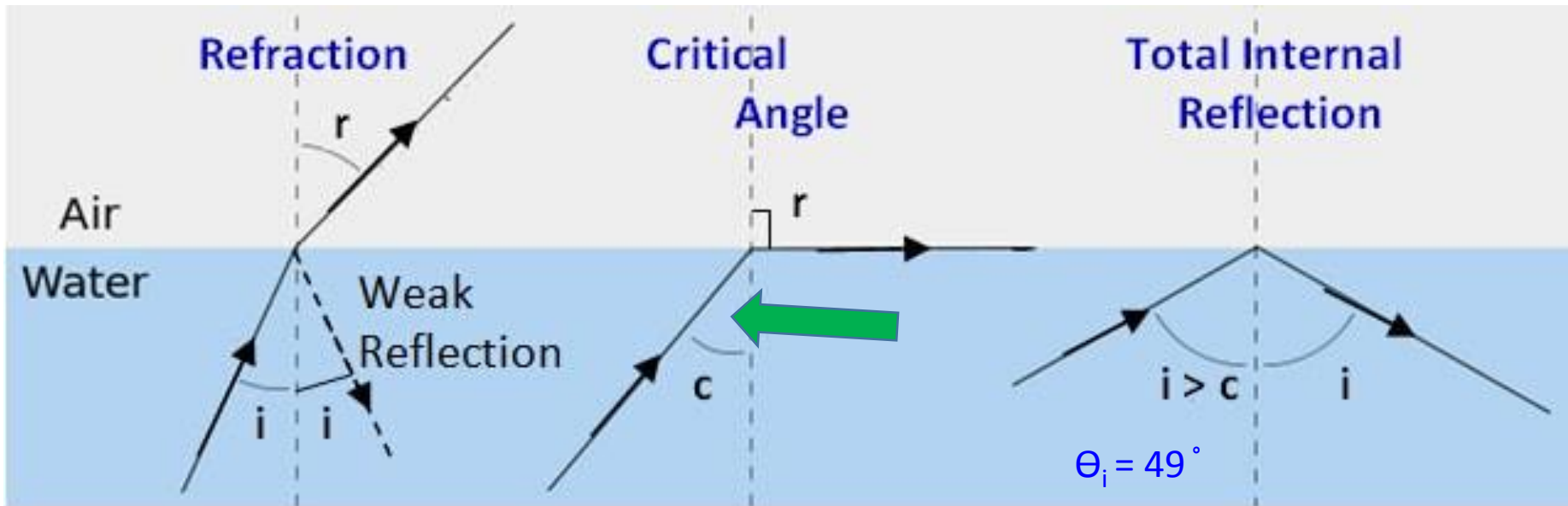


- Mescoliamo qualche goccia di latte nell'acqua, per vedere meglio il percorso dei raggi di luce
- Variamo l'angolo di incidenza nel laser.
- Ad un certo punto, quando la luce incide con un angolo superiore a un angolo critico, viene completamente riflessa.

$n_i \sin \theta_i = n_r \sin \theta_r$ **Legge generale della rifrazione (Legge di Snell)**

Nel caso della **riflessione totale**, $\theta_r = 90^\circ$ (angolo limite), quindi **$\sin \theta_r = \sin 90 = 1$**

Quindi $\sin \theta_i = n_r / n_i$. **Nel caso di acqua e aria**, $\sin \theta_i = 1/1.33 \rightarrow$
 $\theta_i = 49^\circ$

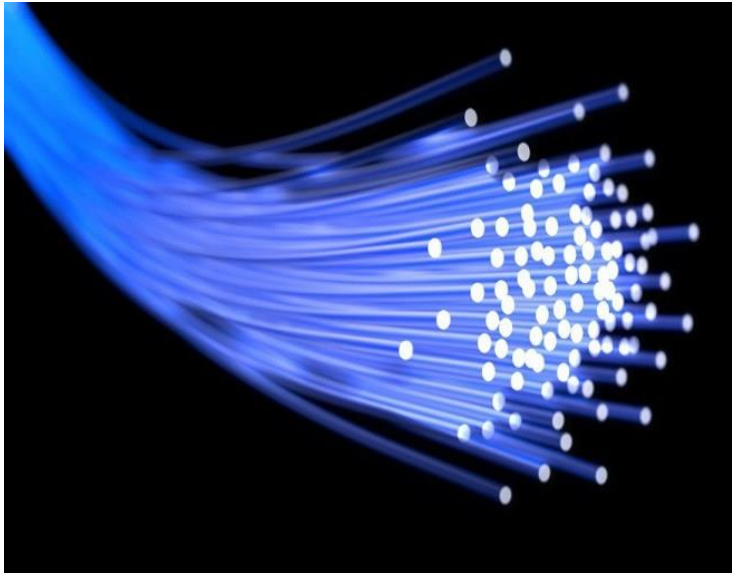


La riflessione totale

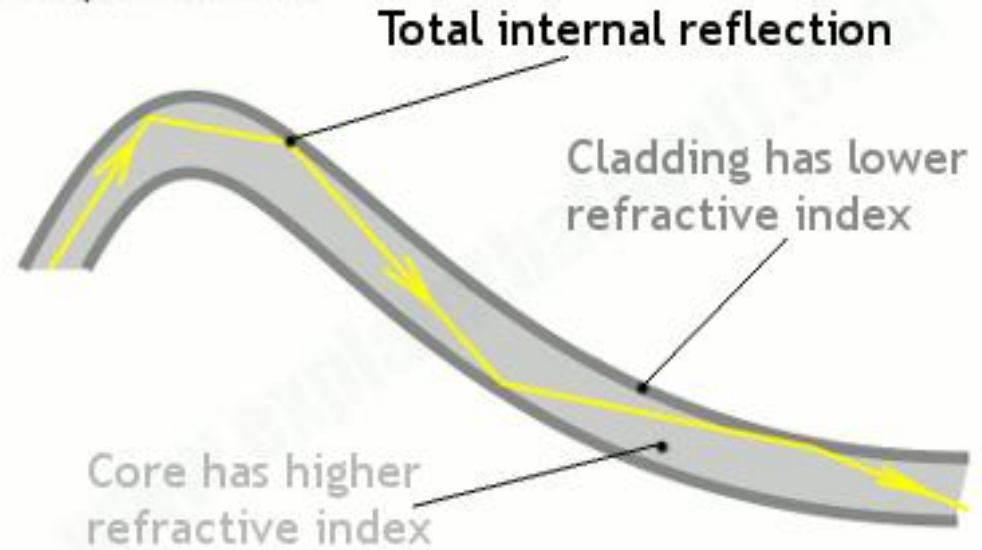
- Metti un oggetto sul fondo di una bacinella trasparente, e guarda come si riflette sulla superficie, se visto dal basso.
- Metti la mano sopra la superficie, e guardala dal basso: riesci a vederla?



La riflessione totale

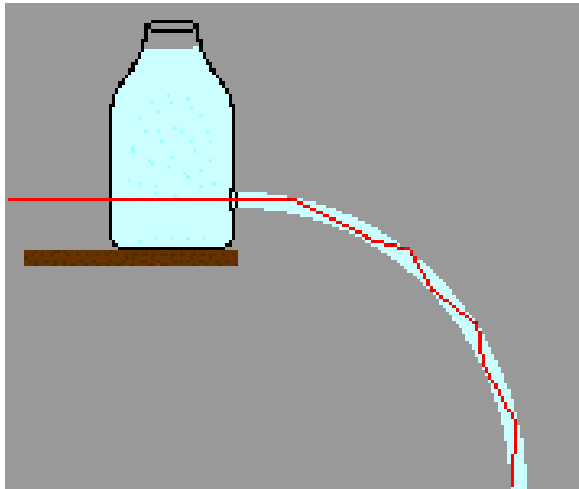


www.explainthatstuff.com



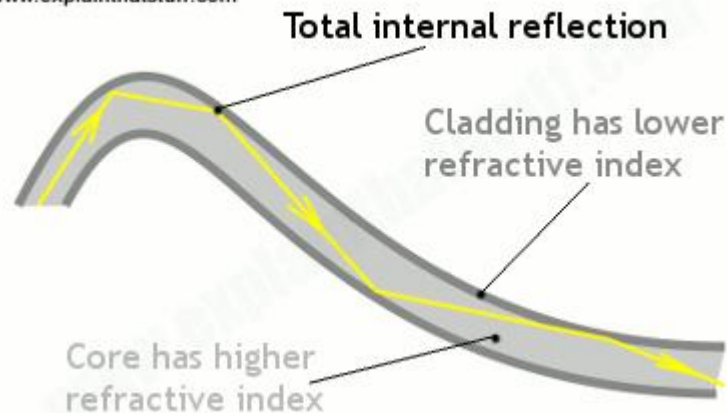
- Questo fenomeno si chiama **riflessione totale**, e viene sfruttato per guidare la luce nelle **fibre ottiche**

La riflessione totale: **fibra ottica «fatta in casa»**



The laser beam stays internal to the water, continuously reflecting at each boundary.

www.explainthatstuff.com



28/10/2019

- Facciamo un piccolo foro in una bottiglia piena d'acqua.
- Illuminiamo il getto d'acqua con un laser (al buio) con l'angolo «giusto»
- Noteremo che la luce segue il getto
- La luce rimbalza dentro la superficie acqua/aria restando intrappolata al suo interno

Diamante: indice di rifrazione 2.4. Vetro o quarzo, circa 1.5

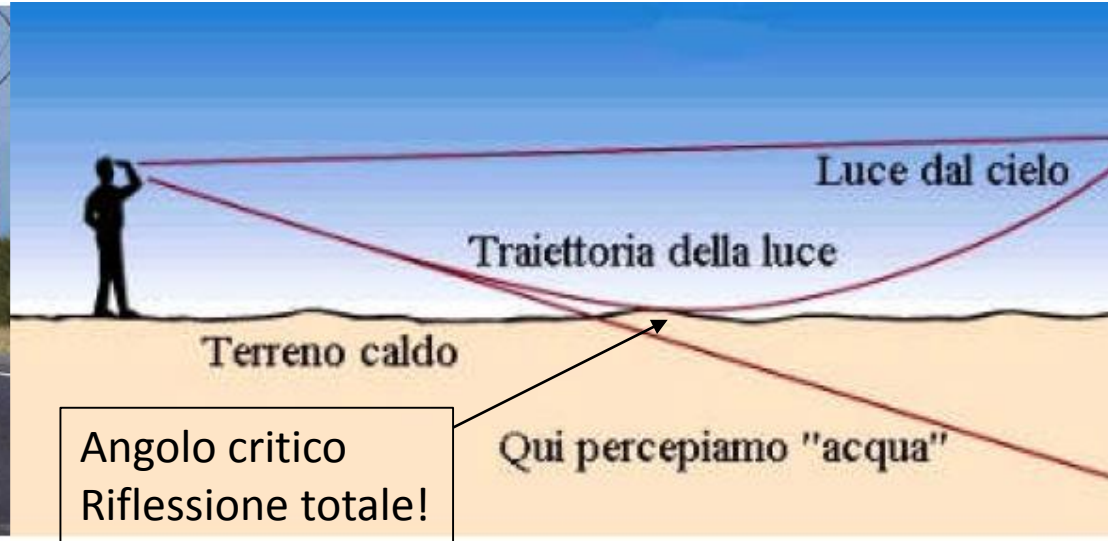
Questo, oltre alla sua trasparenza, rende possibile modificare «molto» il percorso della luce, producendo riflessioni interne, e giochi di luce anche in diamanti piccoli.



La riflessione totale: la strada bagnata e i miraggi



La riflessione totale: la strada bagnata e i miraggi



Si tratta di **un miraggio**. La luce **del cielo** viene rifratta a causa della temperatura dell'aria vicino all'asfalto, che è molto alta. Questo fa **variare l'indice di rifrazione dell'aria**, che **riflette totalmente** la luce proveniente dal **cielo**. Esattamente come nelle guide di luce.

La rifrazione e le lenti



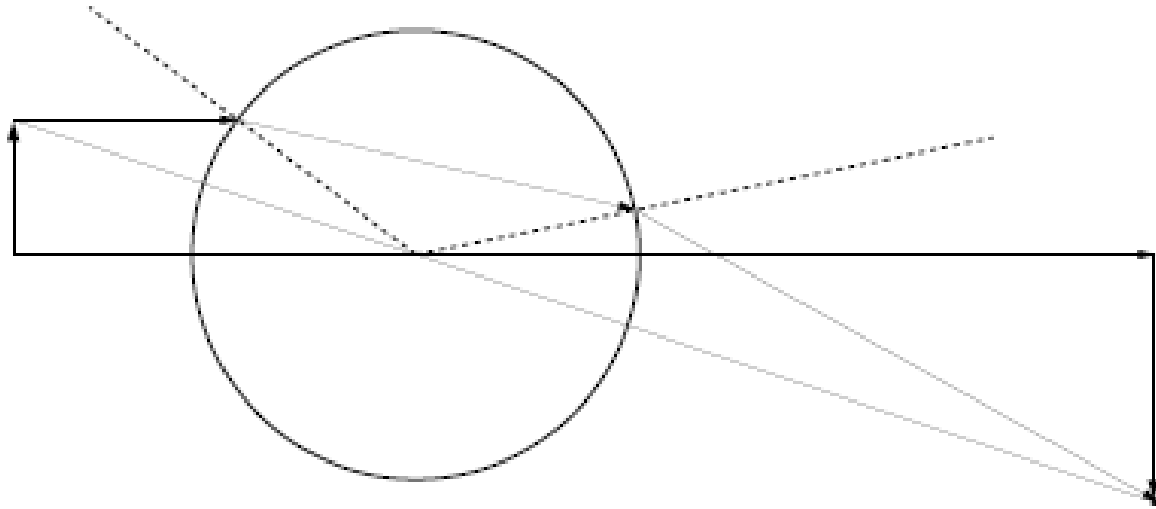
- Riempi d'acqua un contenitore cilindrico
- Osserva cosa succede al foglio: la freccia appare ribaltata e ingrandita

La rifrazione e le lenti



- Riempi d'acqua un contenitore cilindrico
- Osserva cosa succede al foglio: la freccia appare ribaltata e ingrandita
- Avvicina lentamente la freccia fin a farla toccare il bicchiere: cosa succede? La freccia si gira dalla parte giusta

La rifrazione e le lenti



- Hai costruito una lente, che grazie alla rifrazione ribalta e ingrandisce un'immagine

Leonardo da Vinci e la rifrazione



28/10/2019

Leonardo da Vinci e la rifrazione



← Maestro, ma cosa mi combina!

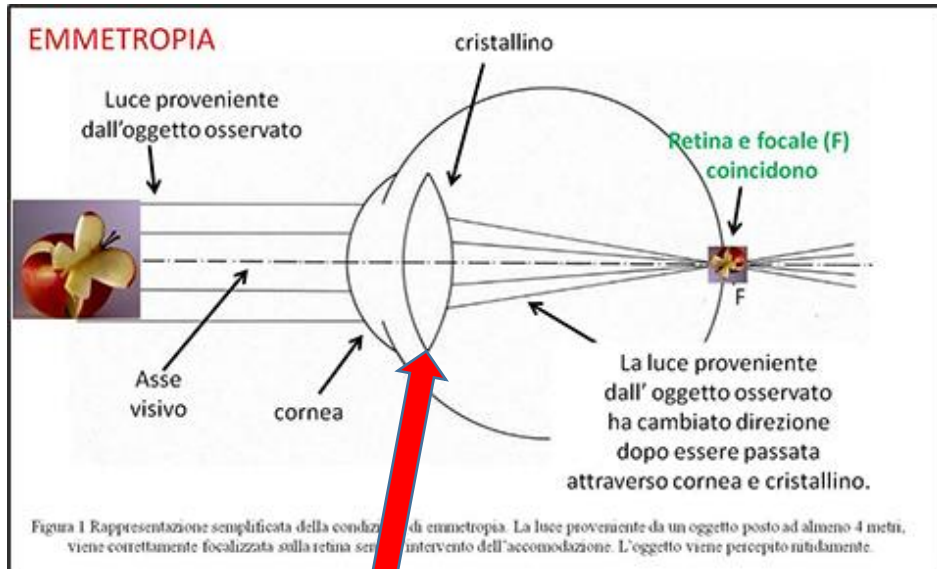
Leonardo da Vinci e la rifrazione



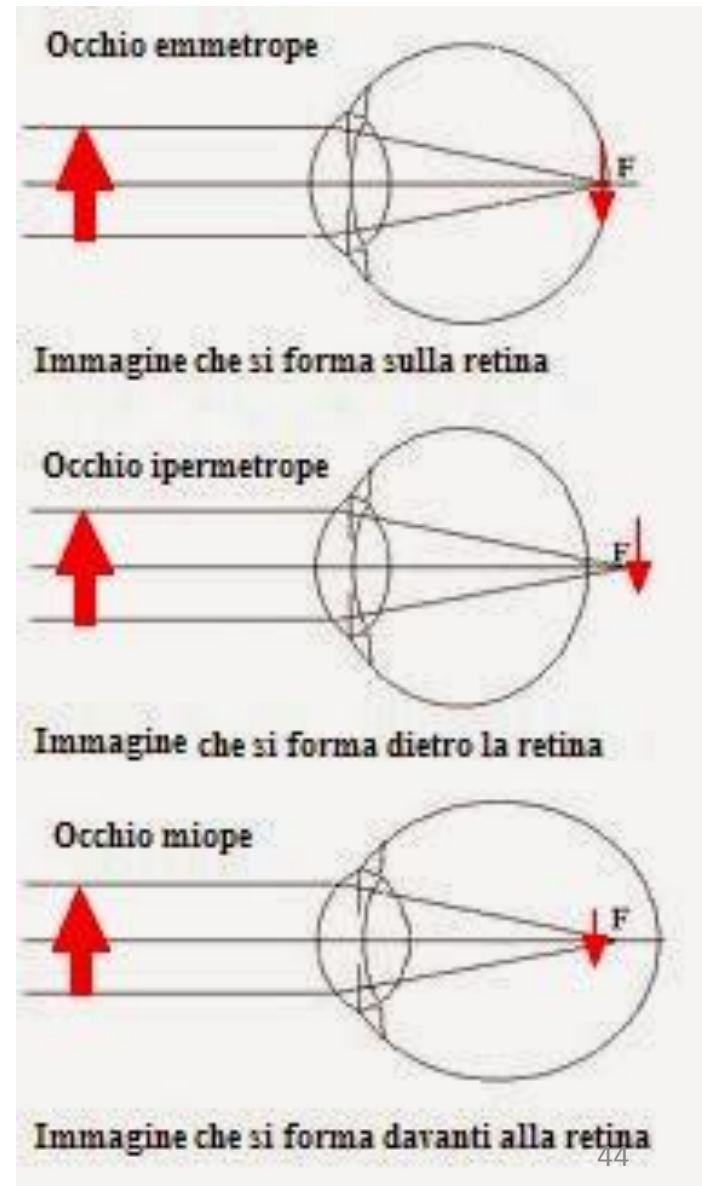
Per questo motivo alcuni hanno dubbi sulla autenticità del quadro

Venduto all'asta da Christie's nel novembre del 2017 per 450,3 milioni di dollari: L'opera d'arte più costosa della storia acquistata da un privato.

La rifrazione della luce: come funziona l'occhio?



Rifrazione: la luce passa dall'aria a un liquido, gli indici di rifrazione dei due mezzi sono diversi



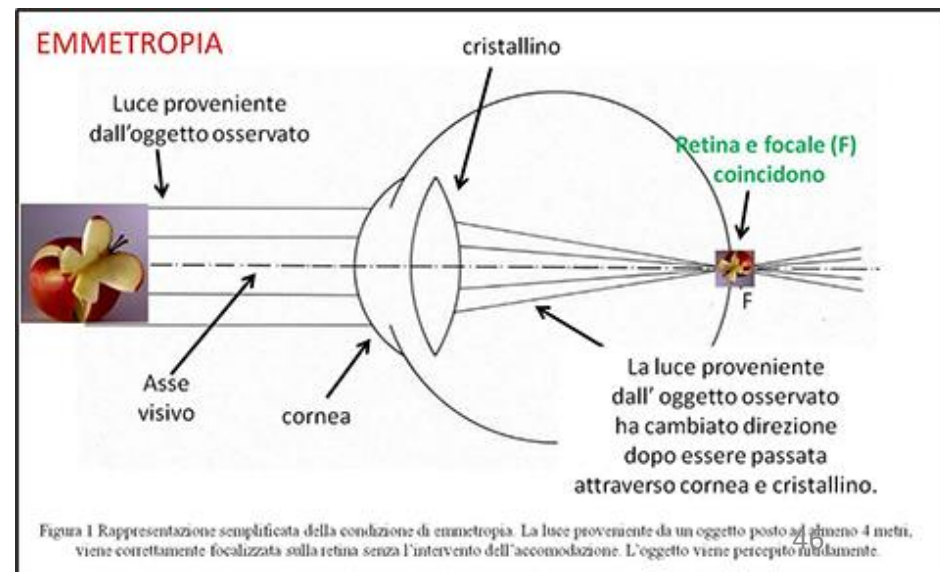
La rifrazione della luce:
perché sott'acqua senza maschera si vede sfuocato?



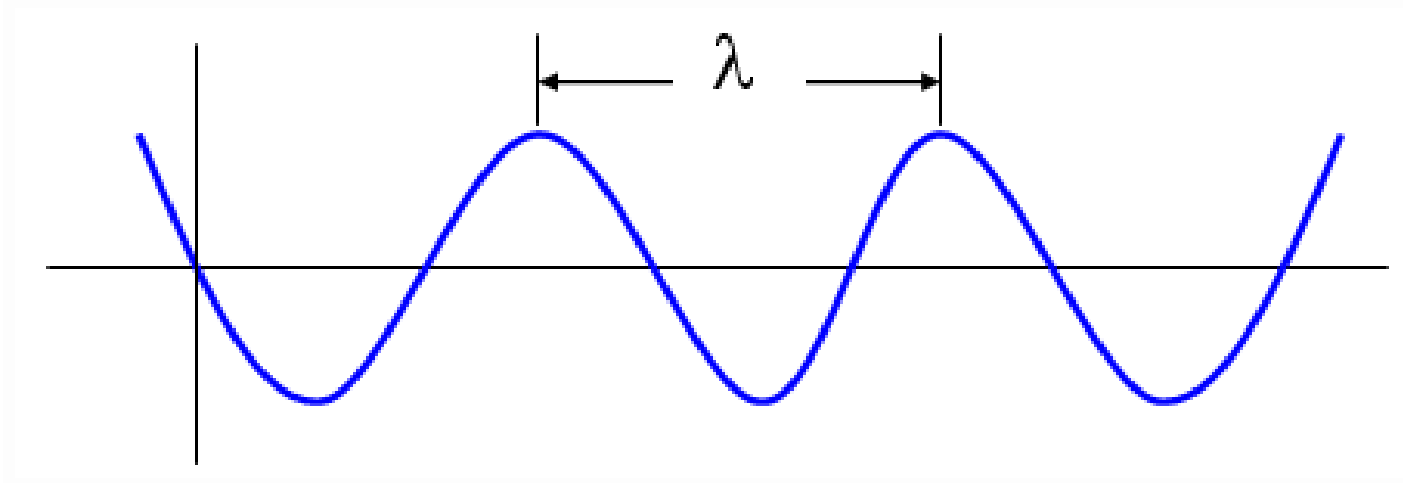
La rifrazione della luce: perché sott'acqua senza maschera si vede sfuocato?



- Perché il nostro occhio focheggia correttamente le immagini se la luce proviene dall'aria. **Il suo indice di rifrazione è stato tarato dall'evoluzione in questo modo.**
- Se invece la luce proviene dall'acqua, **la focheggiatura giusta non avviene.**
- **Mettendoci la maschera davanti, si ritorna nella situazione «corretta».**



La luce è anche un'onda



λ = lunghezza d'onda

f = frequenza

c = velocità della luce (nel vuoto)

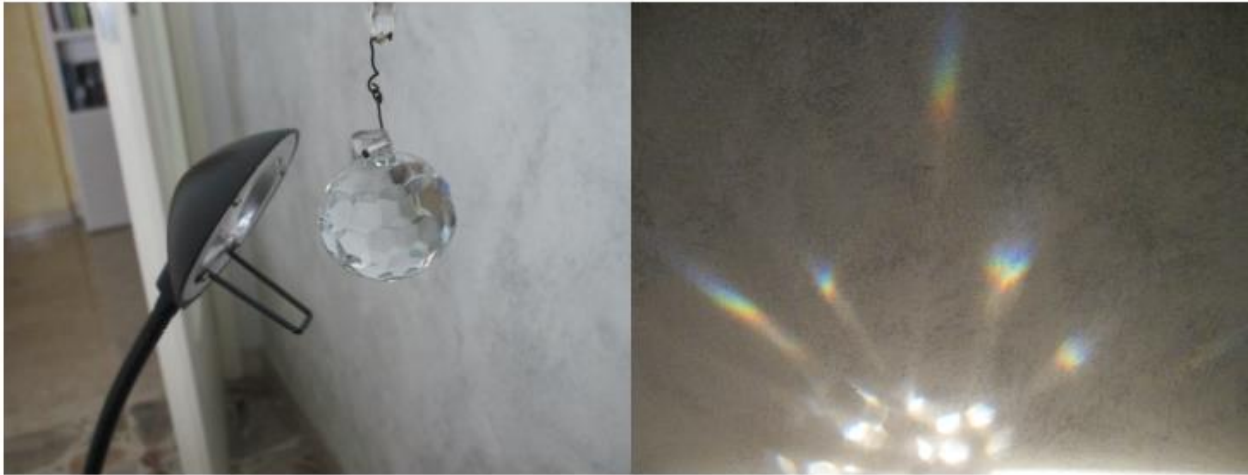
$f = c / \lambda$

$\lambda = c / f$

$\lambda \cdot f = c$

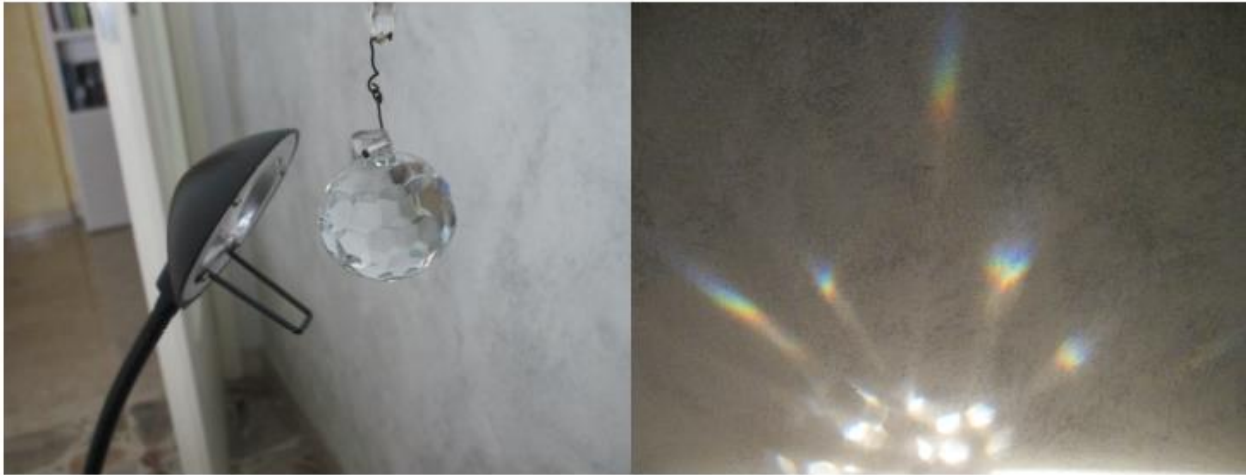
**Per la luce visibile
all'occhio umano, λ
varia fra 400 e 700
miliardesimi di metro
(nanometri)**

La dispersione della luce e l'arcobaleno



Prendi una lampada e un pezzo di vetro o di cristallo. Illumina il vetro: vedrai formarsi i colori dell'arcobaleno sulla parete. Perché?

La dispersione della luce e l'arcobaleno



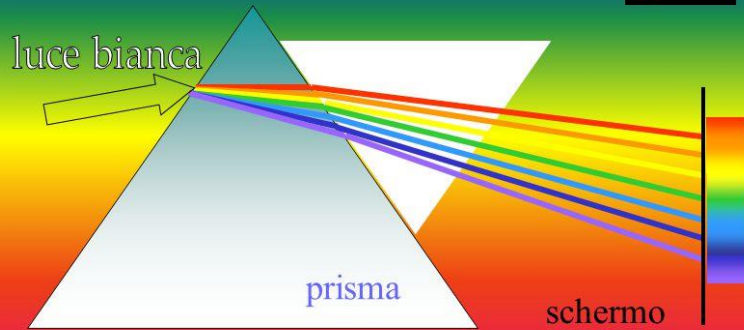
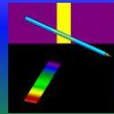
Prendi una lampada e un pezzo di vetro o di cristallo. Illumina il vetro: vedrai formarsi i colori dell'arcobaleno sulla parete. Perché?

- Si chiama **dispersione della luce**. E' dovuto al fatto che **l'indice di rifrazione in un mezzo** (il vetro in questo caso) **dipende dalla lunghezza d'onda**.
- **Lunghezze d'onda diverse** (e quindi colori diversi) **vengono deviate in modo diverso**. I raggi rossi sono meno deviati dei raggi blu

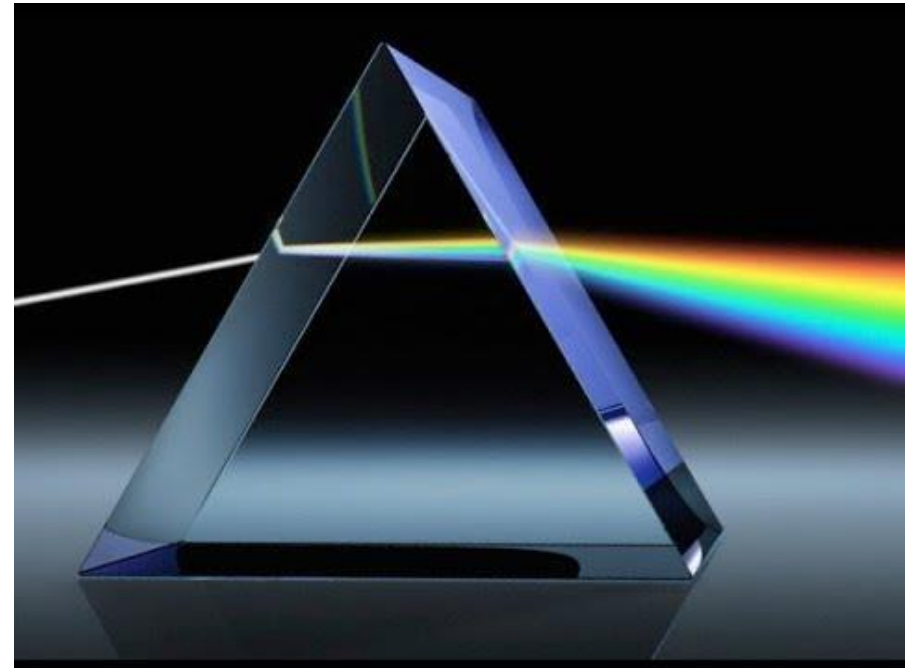
La dispersione della luce e l'arcobaleno

Dispersione della luce

Un prisma disperde la luce bianca nelle sue componenti colorate

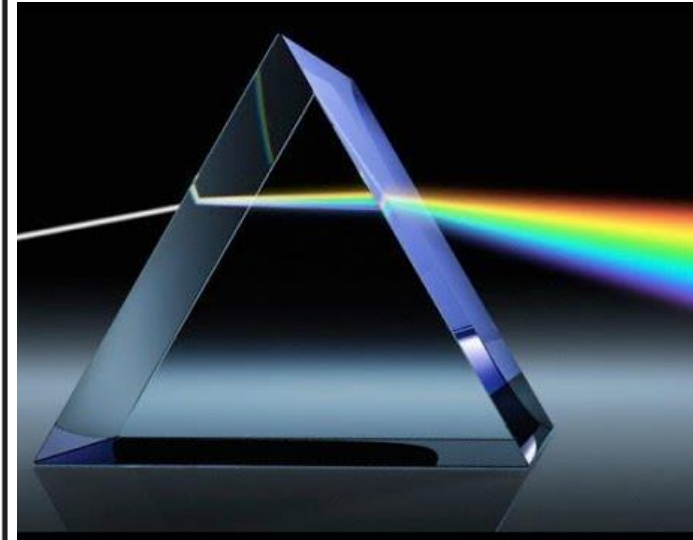
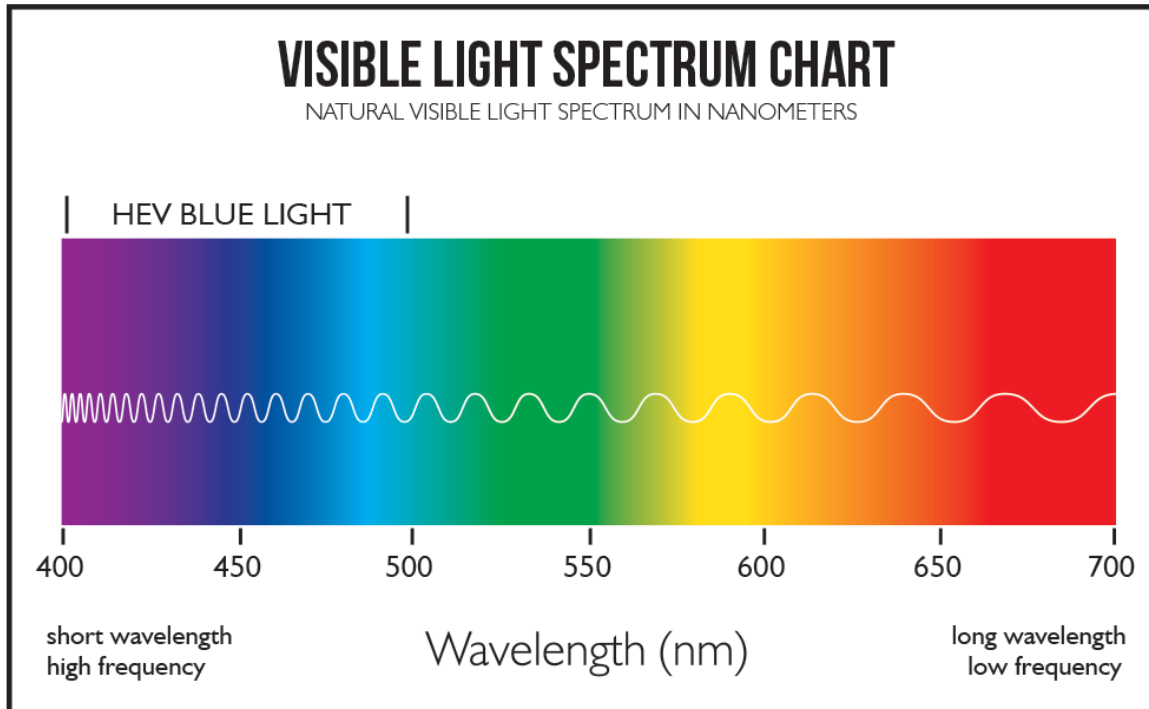


La luce bianca non è altro che una miscelanza di tutti i colori



Si chiama **dispersione della luce**. E' dovuto al fatto che l'indice di rifrazione in un mezzo (il vetro in questo caso) dipende dalla lunghezza d'onda. Lunghezze d'onda diverse (e quindi colori diversi) vengono deviate in modo diverso. I raggi rossi sono meno deviati dei raggi blu

La dispersione della luce e l'arcobaleno

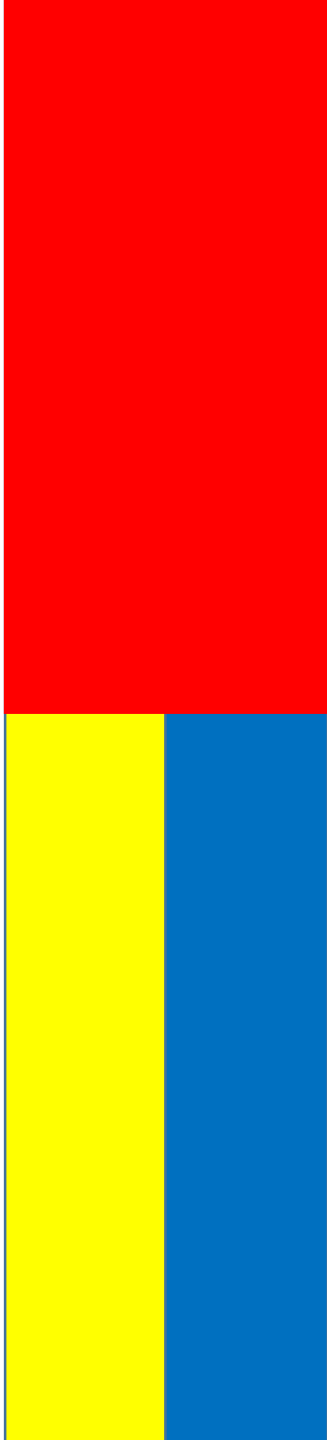


Si chiama **dispersione della luce**. E' dovuto al fatto che l'indice di rifrazione in un mezzo (il vetro in questo caso) **dipende dalla lunghezza d'onda**. Lunghezze d'onda diverse (e quindi colori diversi) vengono deviate in modo diverso. I raggi rossi sono meno deviati dei raggi blu

La luce che chiamiamo «bianca» (ad esempio quella del sole) è in realtà la sovrapposizione di «luci» di colori diversi.

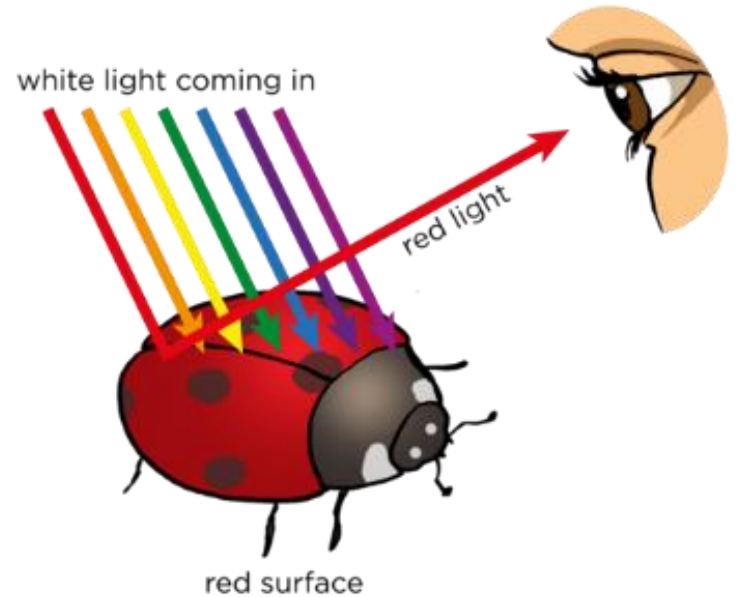
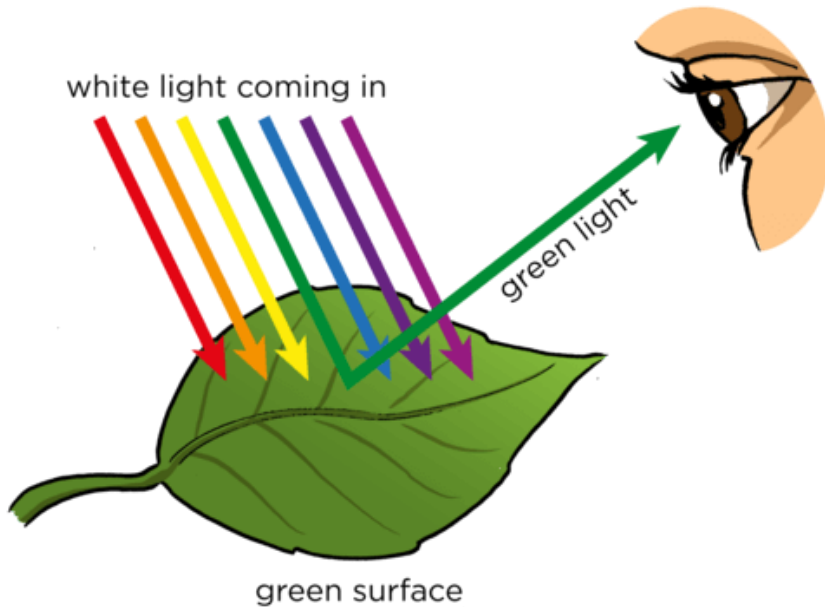
Da cosa dipende il colore degli oggetti?

- Facciamo una prova: **prendiamo dei cartoncini di colori diversi**. Se illuminati da una luce «bianca», distinguiamo i loro colori.
- Adesso **illuminiamoli con luci di colori diversi**: gialla, rossa, verde, blu, etc.
- Per farlo basta prendere un proiettore per presentazioni, e proiettare una slide verde, rossa, etc.
- Come appaiono adesso i colori dei singoli cartoncini?



- **Il colore non è una proprietà intrinseca degli oggetti**, ma è il risultato della composizione chimica/atomica dell'oggetto, della luce che usiamo per illuminarlo, e del ricevitore (occhio, macchina fotografica, sensore...)
- **Il colore del cartoncino** dipende dalla luce che lo illumina, e dalla sua capacità di assorbire e riflettere la luce che incide contro di esso

Da cosa dipende il colore degli oggetti?



E un oggetto nero?

Il nero assorbe tutti i colori!

Ecco perché una panchina nera sotto il sole è molto più calda di una bianca! Perché assorbe tutta la luce, e si riscalda (emettendo infrarossi)

Da cosa dipende il colore degli oggetti?

- **Prendiamo due oggetti dello stesso materiale** (due pezzi di polistirolo, che conducono poco il calore, sono l'ideale), **uno bianco e uno scuro**
- Mettiamoli sotto una sorgente di luce, una lampadina da tavolo, ad esempio)
- Dopo un po' guardiamoli con **la macchina termografica**
- **L'oggetto scuro appare più caldo: assorbe la luce senza riemetterla, e quindi trasforma l'energia della luce in calore!**

La dispersione della luce e l'arcobaleno



Aggiungi qualche goccia di latte in un bicchiere d'acqua, e illuminala con una torcia (luce bianca).

- La **luce diffusa** appare **azzurra**
- La luce che viene **direttamente dalla torcia** appare **giallo-rosa**
- Il latte contiene microscopici globuli di grasso che **diffondono** la luce con intensità proporzionale a $1/\lambda^4$
- **Luce rossa: 700 nm. Luce blu: 400 nm. La luce blu è diffusa molto di più della luce rossa**

La dispersione della luce.



Ecco perché il cielo è blu: perché il **blu viene diffuso dall'atmosfera molto più che il **rosso****

La dispersione della luce.



Per lo stesso motivo al tramonto il sole è rosso: attraversando molta più atmosfera che di giorno, guardando il sole, vediamo la sua luce **privata delle frequenze del blu** (e quindi **rosso**)

La dispersione della luce



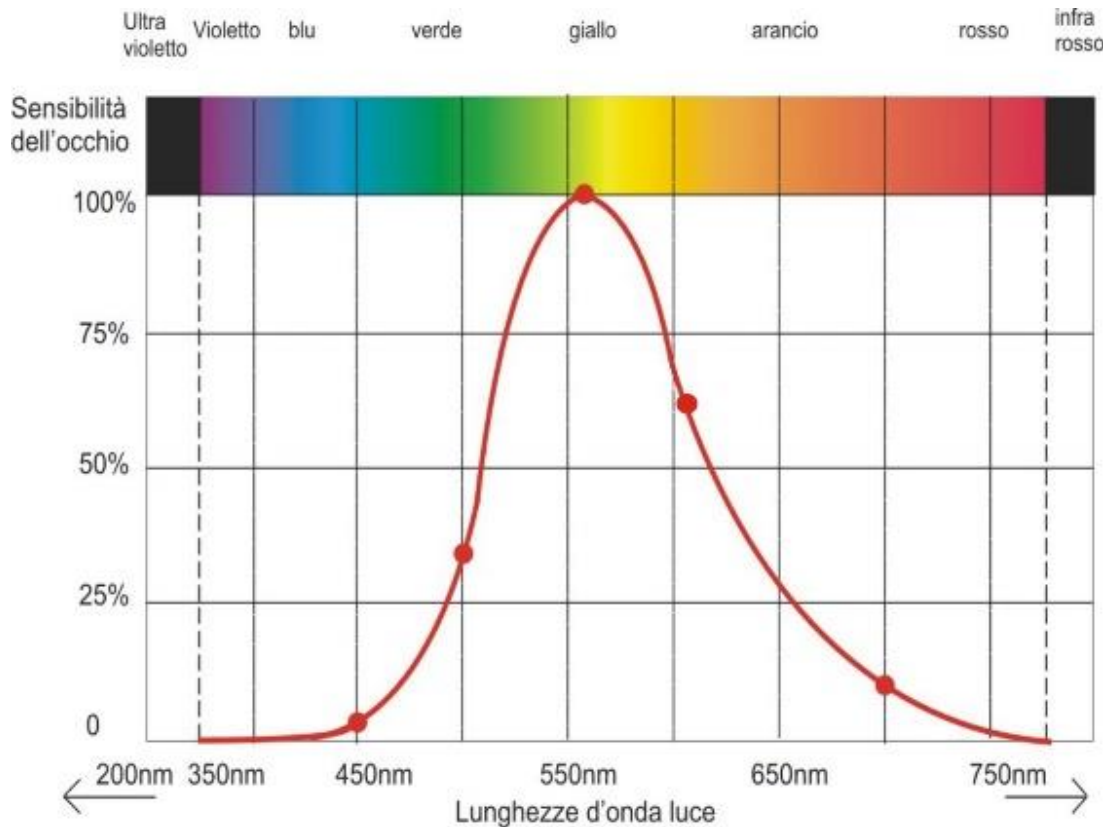
La luce che passa attraverso l'atmosfera lascia passare le frequenze rosse e diffonde altrove le frequenze del blu. Il rosso quindi illumina la luna

E perché durante l'eclissi di luna, la luna è rossa e non scura? Per lo stesso motivo. **Tutti i tramonti e le albe della terra in quel momento stanno illuminando la luna.** Bello vero?



E perché il cielo è blu e non violetto?

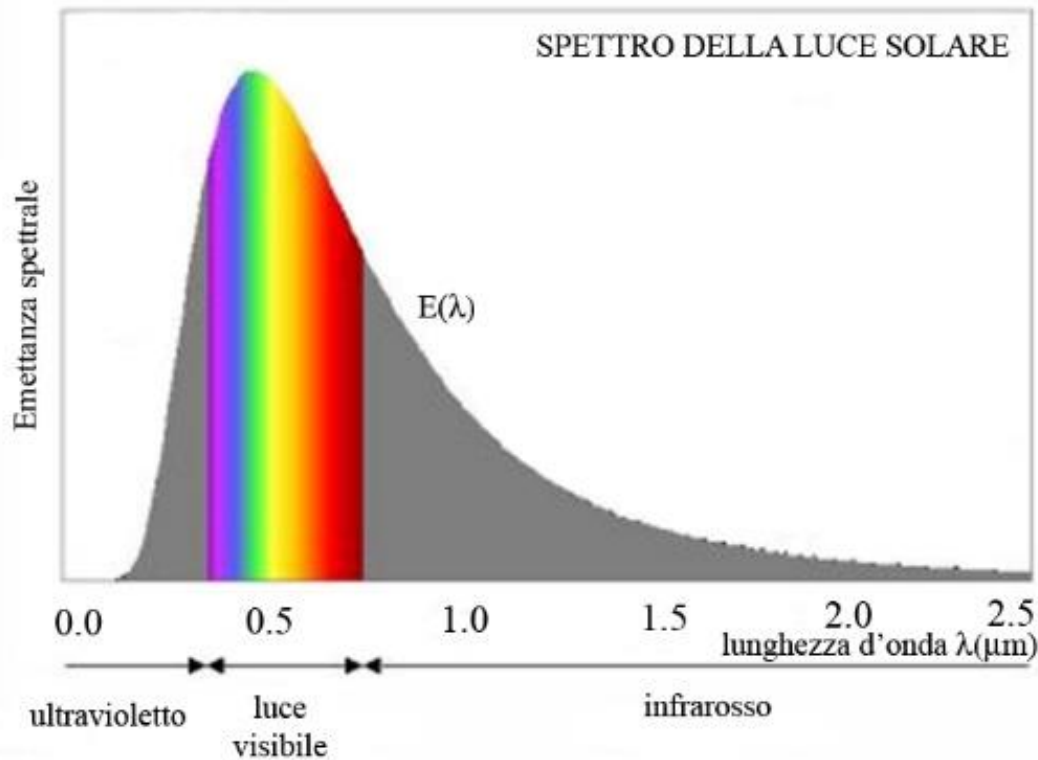
Se la luce viene diffusa proporzionalmente a $1/\lambda^4$, perché il cielo è blu e non è viola?



L'occhio umano è più sensibile al blu che al viola

E perché il cielo è blu e non violetto?

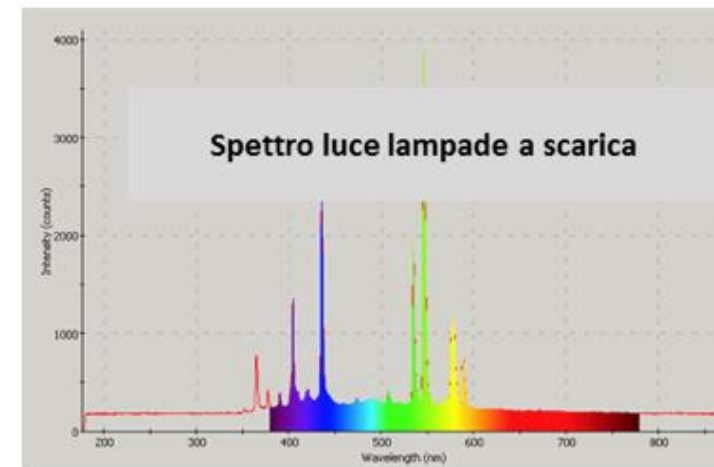
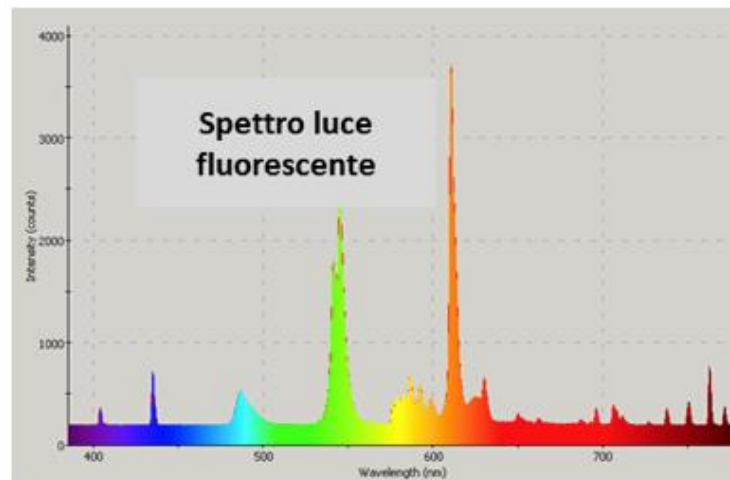
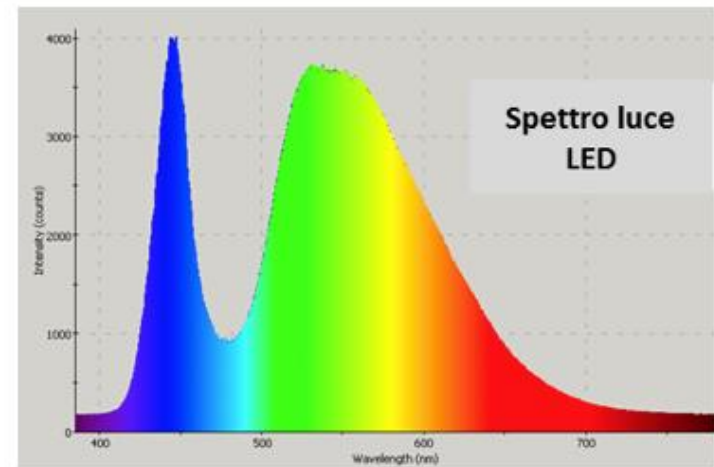
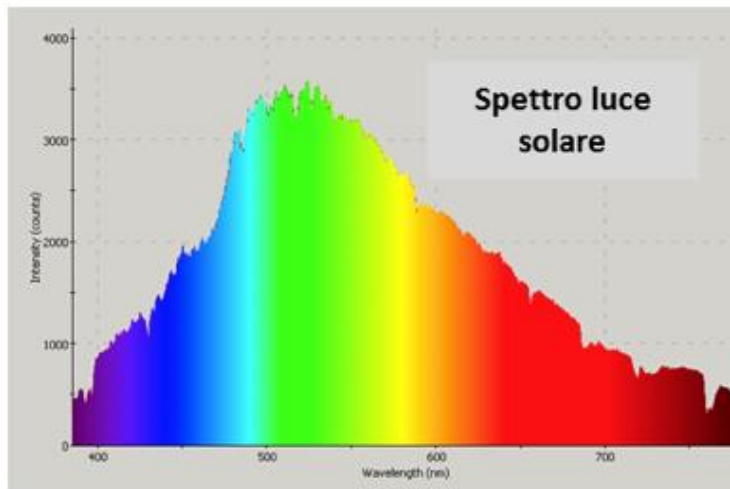
Se la luce viene diffusa proporzionalmente a $1/\lambda^4$, perché il cielo non è viola?



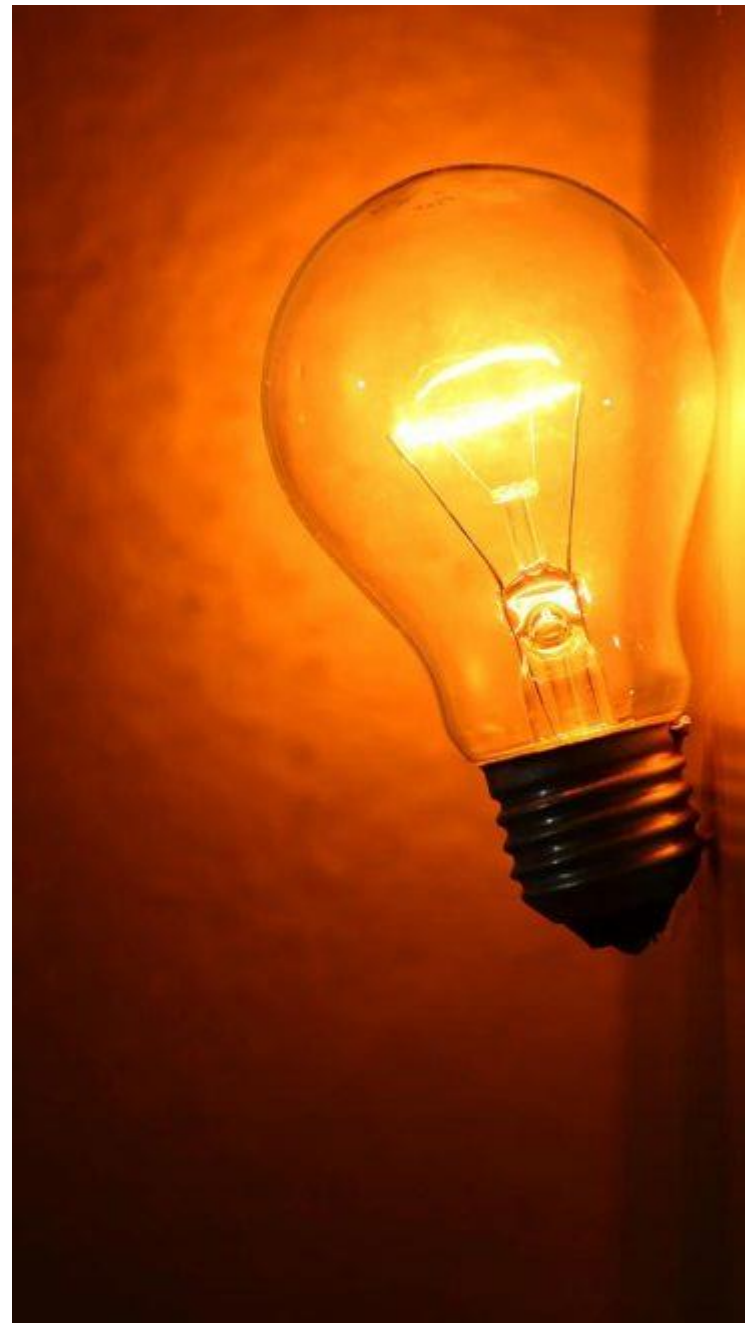
Inoltre il sole emette una maggiore intensità nel blu che nel violetto

Cosa succede se invece di una luce di una normale lampadina per illuminare il vetro, usiamo una luce da una lampadina a basso consumo, o una luce a led?

Non vedremmo tutti i colori allo stesso modo!



Il motivo è che una lampadina a incandescenza emette luce «bianca» **perché si scalda** (raggiunge i 2000 gradi). Emette nel visibile e nell'infrarosso, ma solo il 5-10% dell'energia spesa è emesso in luce visibile. **Il resto dell'energia è speso per scaldarla**, e è emesso in raggi infrarossi. **Per questo consuma molto!**



Le lampade a **basso consumo**, ad esempio a **fluorescenza**, oppure a **LED**, invece, emettono luce attraverso **altri meccanismi che non implicano il riscaldamento.**



I raggi UV e la fluorescenza



Prendi dell'acqua e dell'acqua tonica, e illuminale con una lampada UV

L'acqua tonica riemette luce di **fluorescenza** (assorbe parte dell'ultravioletto e riemette nel visibile) a causa del **chinino** contenuto al suo interno.

Gli **evidenziatori** funzionano allo stesso modo: contengono sostanze che assorbono la luce UV e riemettoni in luce visibile, facendoli apparire brillanti. La **fosforescenza** invece dura nel tempo anche quando si è spenta la luce (le tacche degli orologi).

I raggi UV e la fluorescenza



- Ora spalma un po' di crema solare sul bicchiere: una parte dei raggi UV sono schermati
- E se ci metto una crema senza filtro solare? (non scaduta!)

I raggi UV e la fluorescenza

Gli evidenziatori funzionano in questo modo!
Contengono sostanze fluorescenti, che assorbono le frequenze ultraviolette e le riemettono nell'luce visibile



I raggi UV e la fluorescenza



Denti: dentifrici al fluoro (fluorescenza...fluoro!) e sbiancanti
Camicia: sostanze sbiancanti contenute nei detersivi. Uno sbiancante funziona in questo modo: assorbe UV e emette nel visibile, facendo apparire il bianco più brillante

Anche gli scorpioni sono fluorescenti. Il motivo è sconosciuto

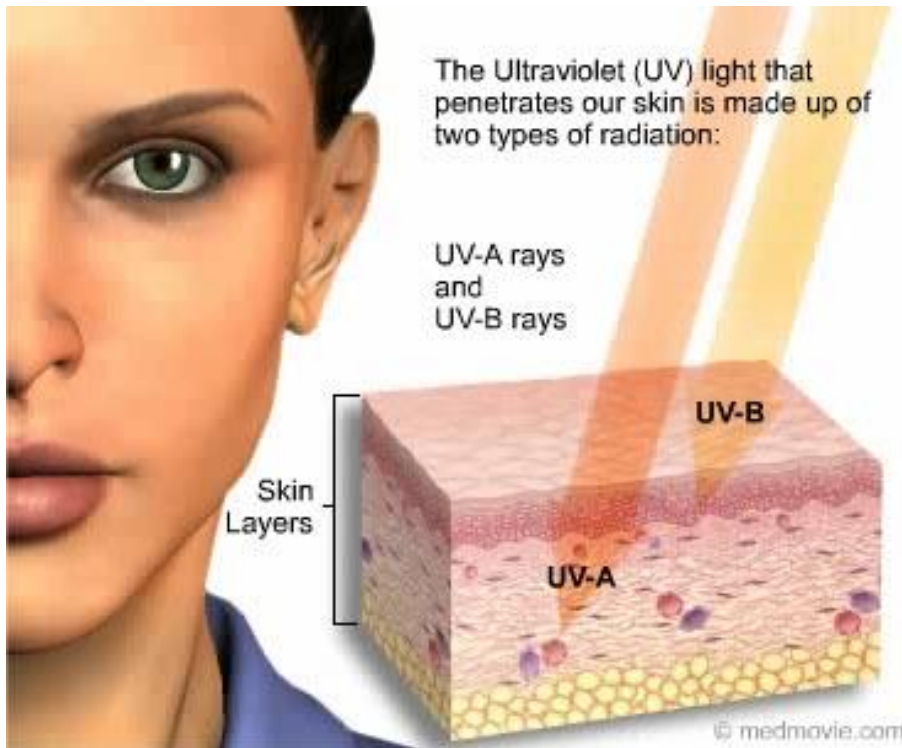


Anche gli scorpioni sono fluorescenti. Il motivo è sconosciuto

- **Sembra che molti animali riescano a vedere anche nell'ultravioletto.** Cani, gatti, donnole, roditori, renne e certi insetti.
- Alcune piante e licheni sono fluorescenti
- Certi fiori sono visibili nell'ultravioletto (insetti!)
- L'urina è visibile nell'ultravioletto (individua prede o predatori)
- Il mantello bianco degli orsi polari NON riflette l'ultravioletto, mentre la neve SI'

Tre tipi di raggi ultravioletti

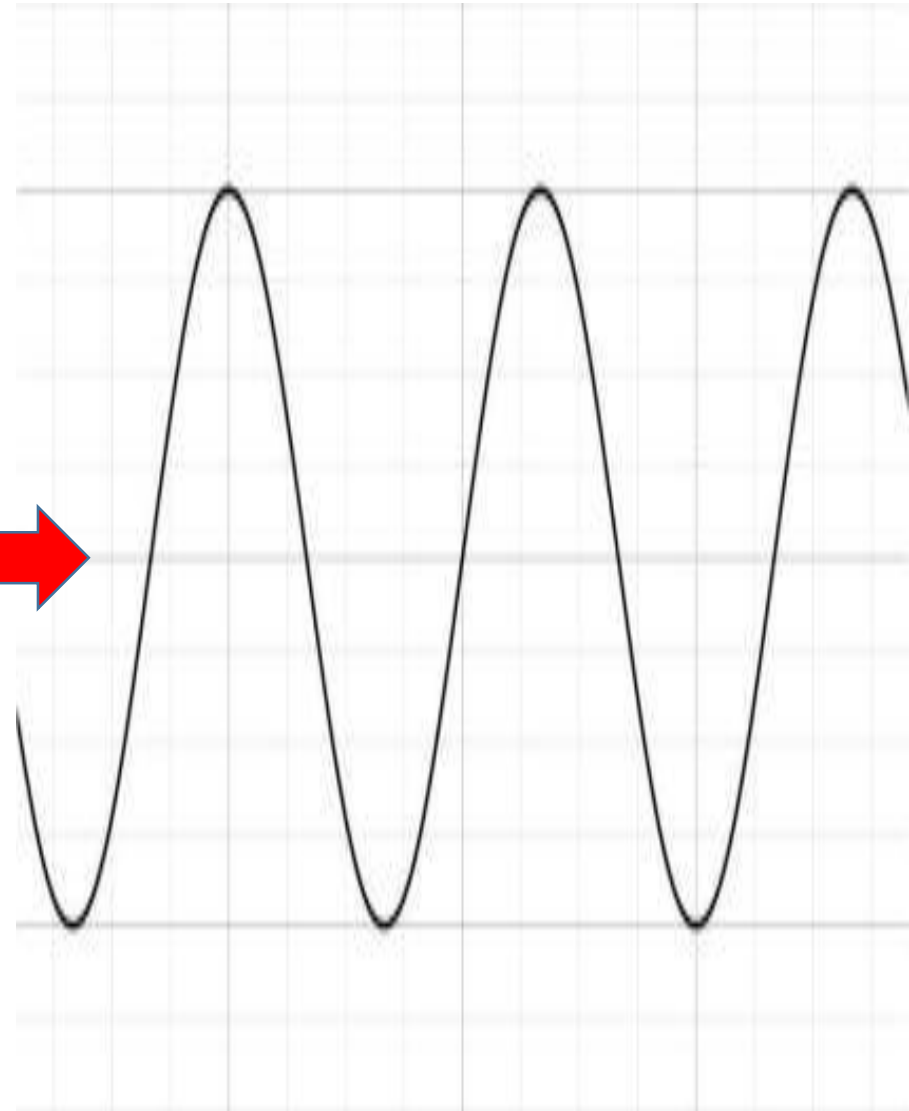
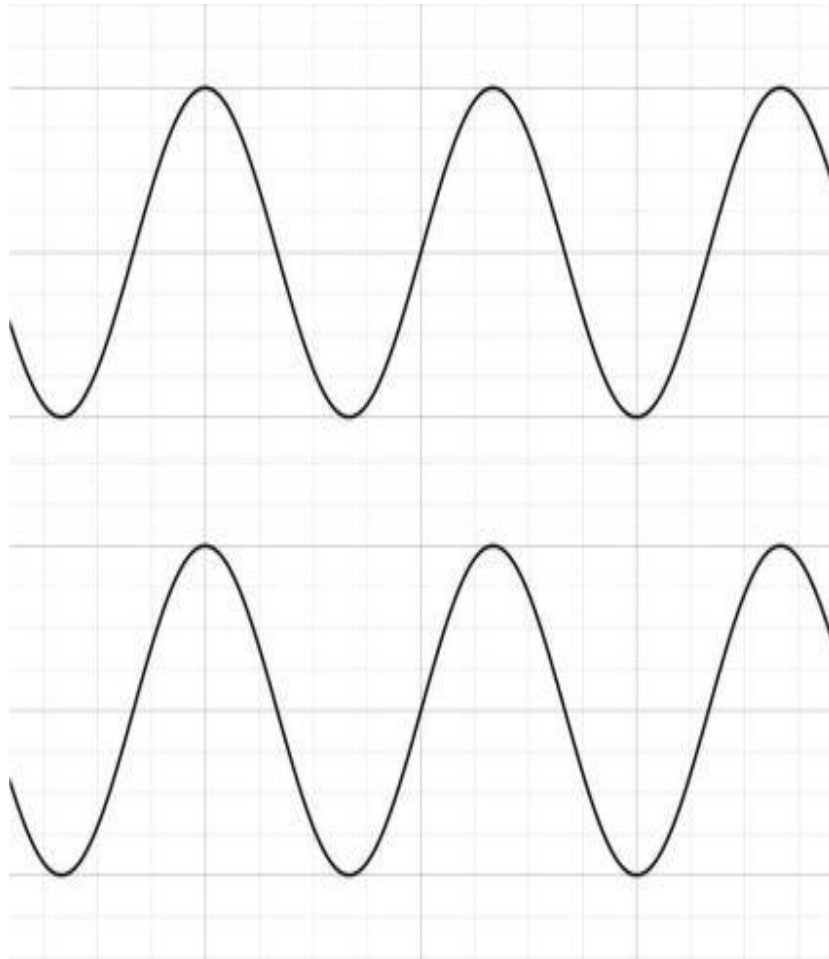
- Il sole emette tre tipologie di raggi UV: UVA, UVB, e UVC
- **UVA**: lunghezza d'onda maggiore (tra 320 e 400 nanometri) La nostra lampada è 395 nm, quindi al limite del visibile. Sono penetranti, ma sono i meno dannosi. Causano abbronzatura e rappresentano il 95% dei raggi UV che raggiungono la superficie terrestre. Passano attraverso le nuvole e gli occhiali da sole



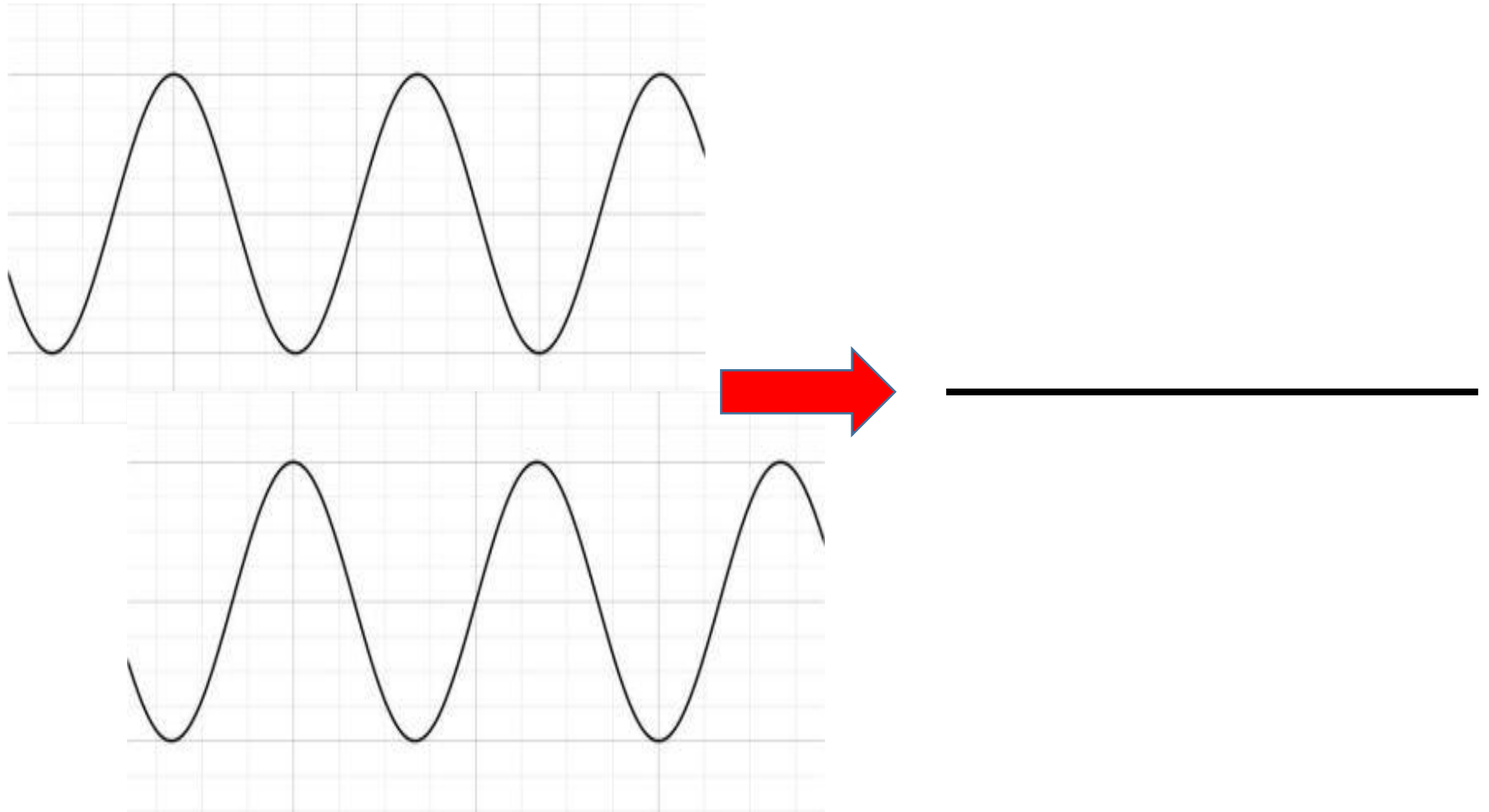
- **UVB**: non penetrano in profondità nella pelle, hanno energia maggiore, e lunghezza d'onda minore. Sono le cause della scottature al sole. Sono causa di cancro alla pelle. Sono parzialmente schermati dall'atmosfera (Ozono)
- **UVC**: Hanno energie elevate, e lunghezza d'onda ancora minore. Sono completamente schermati dall'atmosfera (Ozono). Altrimenti sarebbero estremamente nocivi per la salute. Vengono usati per sterilizzare il materiale medico in laboratorio.

Effetti del comportamento ondulatorio della luce

Comportamenti delle onde: due onde «in fase» si sommano

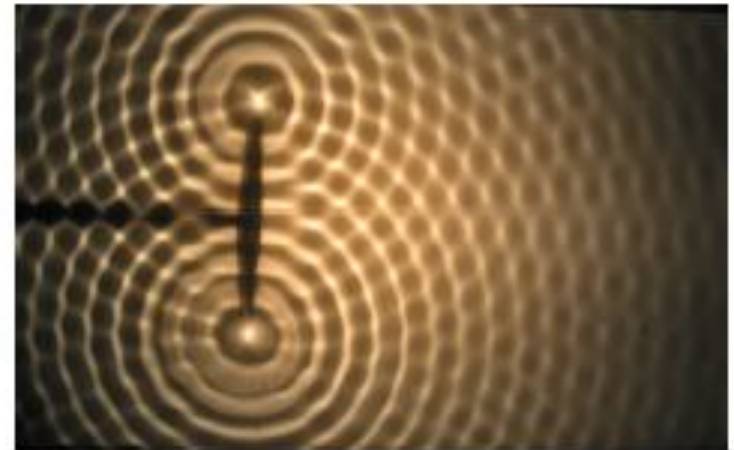
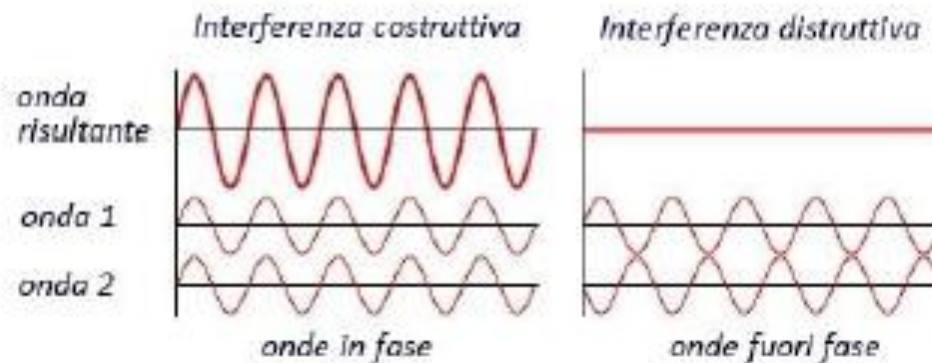


Comportamenti delle onde: due onde «sfasate» si sottraggono



Il comportamento ondulatorio della luce

Finora abbiamo parlato dei raggi di luce che si propagano in linea retta. Esistono però fenomeni che coinvolgono la luce, spiegabili solo supponendo che la luce si propaghi come un'onda



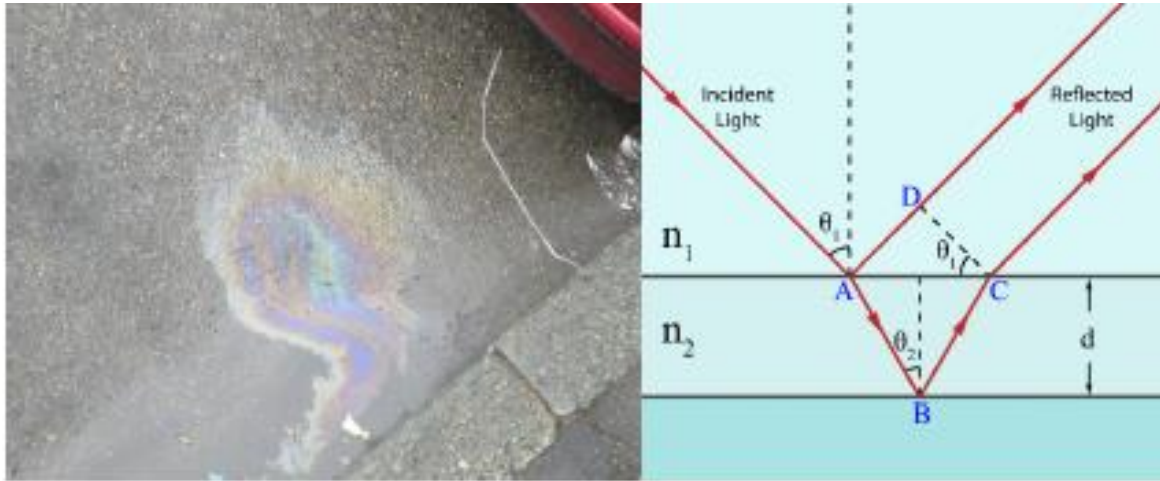
Una caratteristica importante delle onde è quella di poter **interferire**, dando luogo a strutture con **massimi e minimi di intensità**

Il comportamento ondulatorio della luce



Una caratteristica importante delle onde è quella di poter **interferire**, dando luogo a strutture con **massimi e minimi di intensità**

Interferenza. Le pozzanghere



La luce del sole (che contiene tutte le lunghezze d'onda, dal rosso al violetto) viene riflessa dallo strato di olio, in parte dalla superficie superiore, in parte dalla superficie inferiore.

Quando questo avviene i due raggi sono sfasati, e danno origine a interferenza costruttiva o distruttiva a seconda dell'angolo da cui guardiamo la pozzanghera. Il risultato sono zone luminose e zone scure, di diverso colore. E' un effetto della natura ondulatoria della luce

Interferenza. I Compact Disk



Qualcosa di simile accade anche sulla superficie di un compact disk. Anche in questo caso i colori che si formano ci mostrano che la luce è la sovrapposizione di onde di lunghezze d'onda diverse.

Interferenza. Le bolle di sapone

Immergiamo il cerchietto nel **sapone per le bolle**

Estraiamolo e illuminiamolo con una torcia

Si formano i **colori dell'arcobaleno**, che però cambiano nel **tempo: perché?**



Interferenza. Le bolle di sapone

Immergiamo il cerchietto nel **sapone per le bolle**

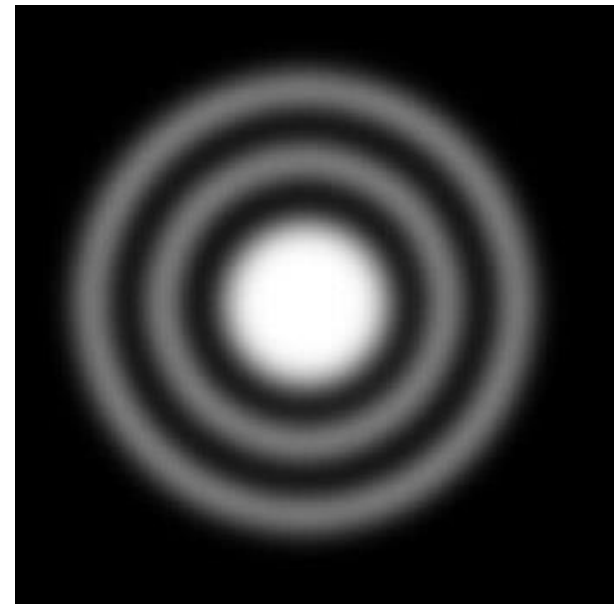
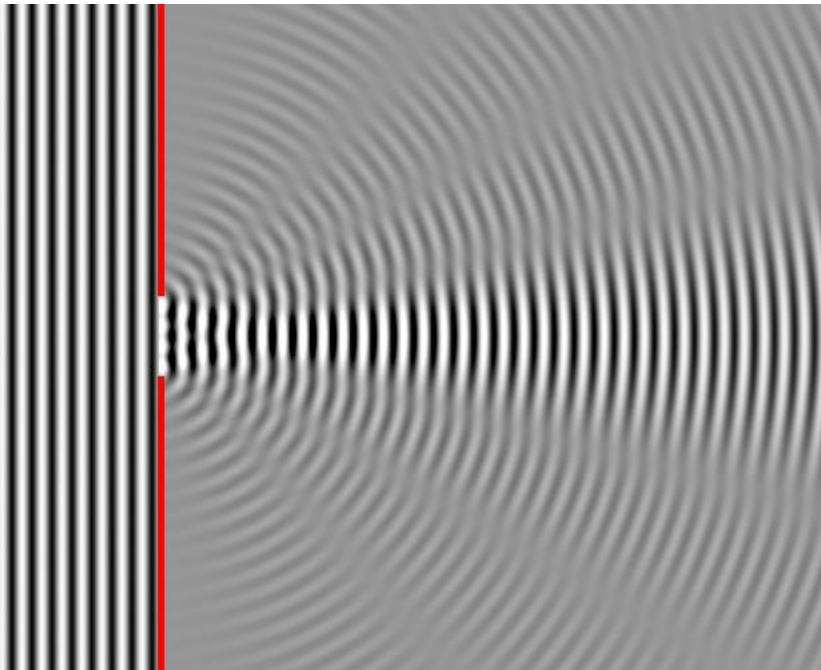
Estraiamolo e illuminiamolo con una torcia

Dopo un po' si formano i **colori dell'arcobaleno: perché?**

- A causa della forza di gravità, la pellicola di acqua saponata sarà più spessa in basso e più sottile in alto. Inoltre lo spessore cambia nel tempo, sempre a causa della forza di gravità.
- La luce incidente contiene tutte le lunghezze d'onda dal rosso al violetto. Parte di essa viene riflessa dalla prima superficie, parte dalla seconda.
- Quindi il secondo raggio riflesso avrà percorso un tratto più lungo del primo. Come nelle pozzanghere, i due raggi tornano indietro sfasati, e provocano interferenza costruttiva per alcune lunghezze d'onda, e distruttiva per altre. Questo determina i vari colori.

Diffrazione

La **diffrazione** è un fenomeno associato alla deviazione della traiettoria di propagazione delle onde, quando queste incontrano un **ostacolo** sul loro cammino **di dimensioni dell'ordine della lunghezza d'onda** . In queste condizioni lunghezze di cammino diverse corrispondono a onde in fase oppure sfasate. È tipica di ogni genere di onda (suono, le onde sulla superficie dell'acqua, onde radio etc.)



Diffrazione



- Prendiamo un capello e un puntatore laser
- Spegnendo la luce e ponendo il capello davanti al raggio laser, osserviamo sulla parete un sistema di frange chiare e scure. **In particolare nel mezzo (dove c'è il capello) c'è il massimo di intensità, invece che il buio.**
- Questo fenomeno avviene quando la luce incontra ostacoli o attraversa fenditure di dimensioni confrontabili con la sua lunghezza d'onda (tra 400 e 700 nm = $4-7 \times 10^{-4}$ mm)

Possiamo misurare le dimensioni di un capello in base alla distanza fra gli spazi illuminati e quelli scuri

https://www.fisica.unina.it/documents/12375590/13323310/Scheda_Luce.pdf/482fea44-17de-4ffd-8d08-78fd8ee9d0e1

Diffrazione:
possiamo vedere gli atomi con un microscopio ottico?



Diffrazione:
possiamo vedere gli atomi con un microscopio ottico?



NO! Non importa quanto buone sono le lenti, e quanto sia l'ingrandimento. Il motivo è che un atomo è circa mille volte più piccolo delle dimensioni della lunghezza d'onda della luce visibile. Ci vorrebbe una «luce» con una lunghezza d'onda più piccola delle dimensioni dell'atomo

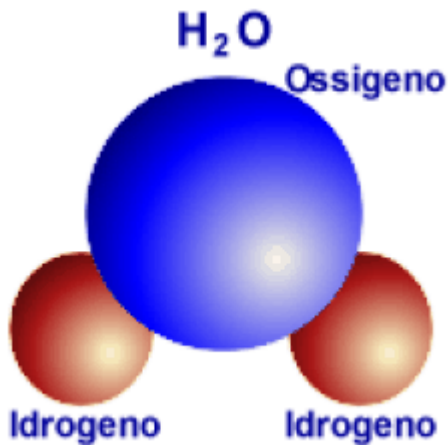
Il forno a microonde: come funziona?



Il forno a microonde: come funziona?

Il forno a microonde emette onde elettromagnetiche con una frequenza di 2.45 GHz, pari a una lunghezza d'onda di circa 12 cm

Onde em di questa frequenza sono in grado di far oscillare i dipoli elettrici costituiti dalle molecole d'acqua contenuta nei cibi



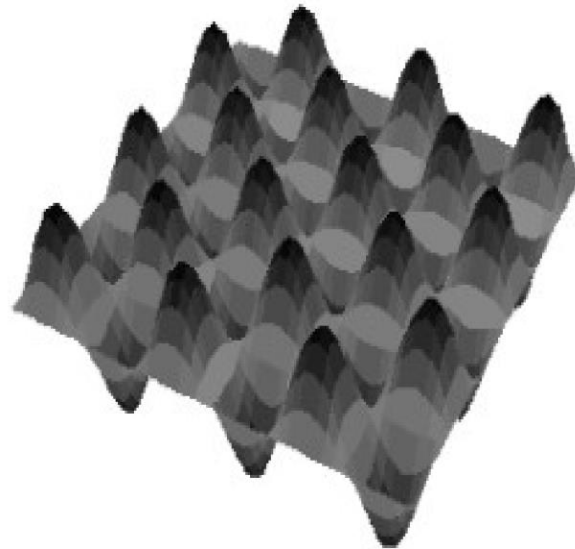
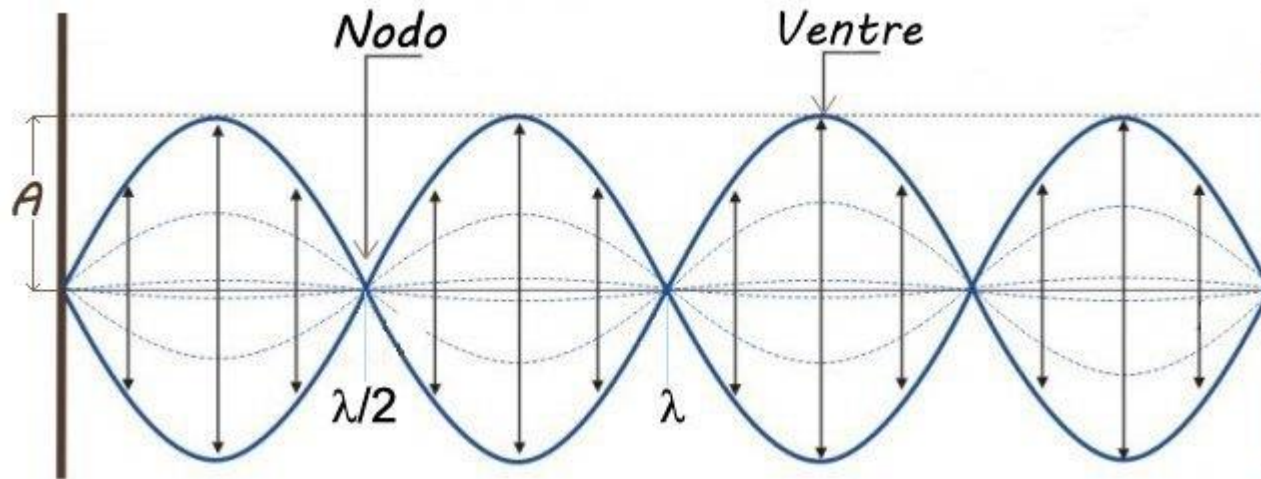
L'oscillazione delle molecole di acqua comunica calore al cibo, cuocendolo.

La camera di cottura è sostanzialmente una [gabbia di Faraday](#) che impedisce la fuoriuscita di microonde. Il portello del forno è di vetro per permettere la visione della pietanza all'interno, ma è provvisto di uno strato di rete metallica fine come schermo elettromagnetico.

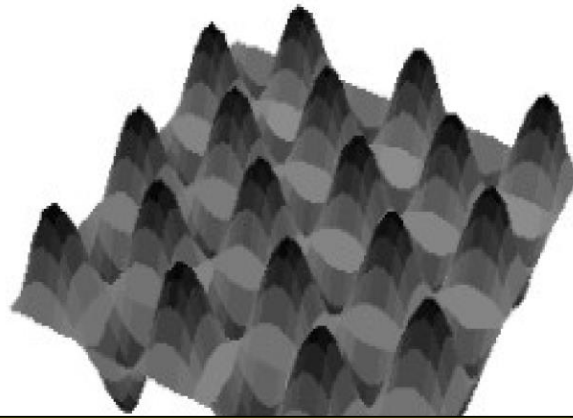
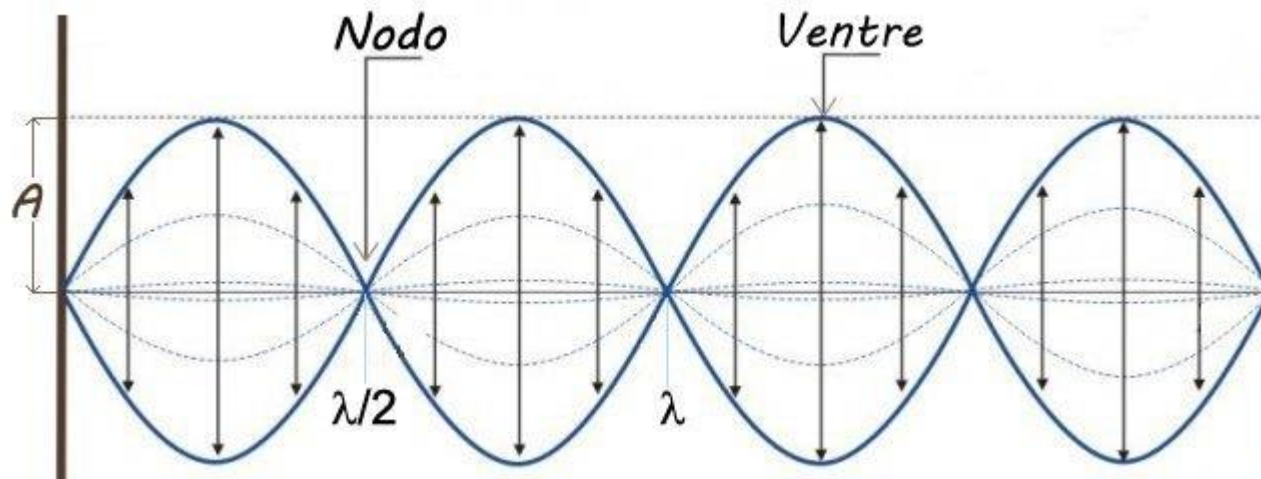
Poiché la larghezza delle maglie, dell'ordine dei millimetri, è di molto inferiore alla lunghezza d'onda delle microonde, le microonde non possono attraversare la rete



Le dimensioni della camera di cottura sono un multiplo della lunghezza d'onda. Questo crea zone di massimi e minimi di intensità.



Le dimensioni della camera di cottura sono un multiplo della lunghezza d'onda. Questo crea zone di massimi e minimi di intensità.



Per questo il piatto di cottura viene fatto ruotare

- **Volete vederlo realmente?** Mettete della cioccolata nel microonde, bloccando il piano di cottura in modo che non ruoti.
- **Tenete il forno a bassa potenza** per poco tempo, in modo che non sciolga tutta la cioccolata.
- Vedrete che **la cioccolata si scioglierà di più in alcuni punti e di meno in altri.**
- Per inciso questo è un modo per misurare la **velocità della luce** (la frequenza del fondo a microonde è fissata a 2.45 GHz).
- Velocità della luce = lunghezza d'onda x frequenza



Se si mettono **metalli nel forno a microonde**, le microonde all'interno rappresentano un **campo elettrico oscillante**, che fa muovere gli elettroni del metallo (nei metalli gli elettroni sono liberi di muoversi!). Spostandosi avanti e indietro, gli elettroni creano quindi locali differenze di potenziale anche molto alte, che si manifestano come **scintille**.

