

FISICA PER I BENI CULTURALI

I - ONDE E RADIAZIONE

P. Sapia

Università della Calabria

a.a. 2009/10



CONTENUTI DEL CORSO

- a) Cenni sulla natura e proprietà delle **onde elettromagnetiche**
- b) Elementi di **struttura atomica** e cenni sull'interazione radiazione-materia
- c) Tecniche per la **datazione** (^{14}C , termoluminescenza, ...)
- d) Tecniche di **imaging** diagnostico (es. riflettografia IR)
- e) Tecniche per l'analisi di composizione **non invasive** (es. fluorescenza X, UV)

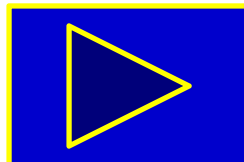
MODALITA' ESAME

- Prova struttura sull'intero programma.
- Eventuale prova orale



Facciamoci un'idea delle DIMENSIONI

- 10^3 m – montagne
- 1 m – il nostro mondo quotidiano
- 10^{-3} m – millimetri, la vista
- 10^{-6} m – micron, la luce
- 10^{-9} m – nanometri, gruppi di atomi, molecole, nanotecnologie
- 10^{-10} m – Ångstrom, l'atomo



Onde

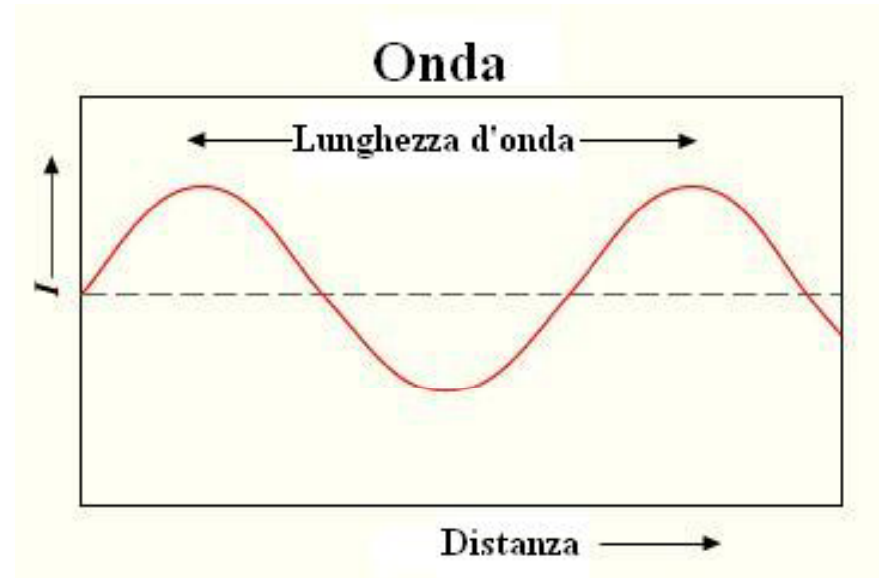
- In fisica l'onda è una *perturbazione* periodica o impulsiva che si propaga in un mezzo (non necessariamente materiale) con una velocità ben definita.
- L'onda elettromagnetica è costituita dalla propagazione di un campo elettromagnetico, nel vuoto o in un mezzo.
- La luce è l'insieme delle onde elettromagnetiche visibili all'occhio umano



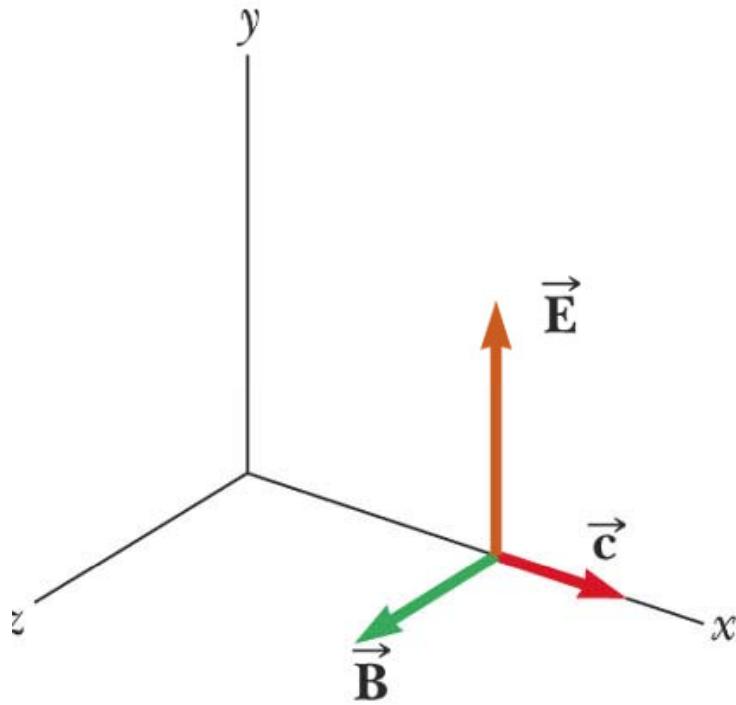
Onde

- Duplice **periodicità**:
 - **SPAZIALE** (caratterizzata dalla **lunghezza d'onda λ**).
 - **TEMPORALE** (caratterizzata dal **periodo T**).
- Parametri caratteristici:
 - FREQUENZA ν $\nu = \frac{1}{T}$
 - VELOCITA' (indicata con c nel caso delle onde e.m.) $\nu = \frac{c}{\lambda}$

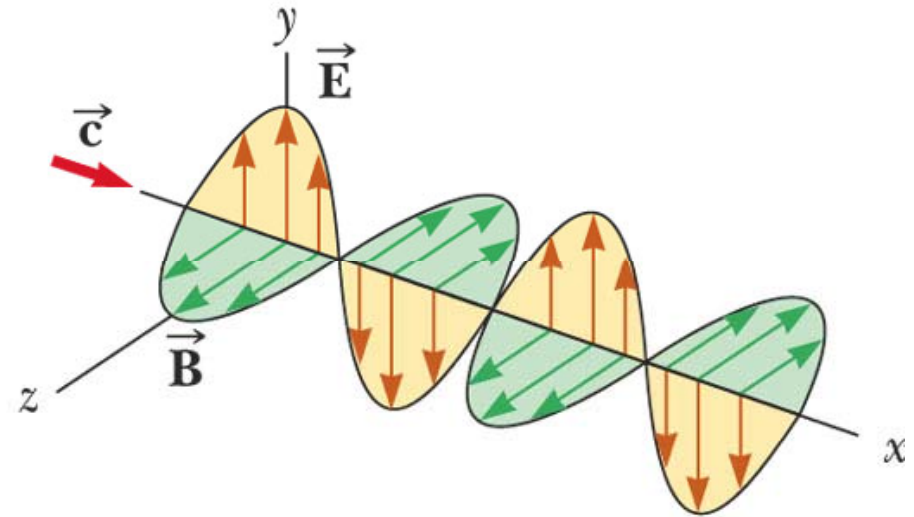
In un'onda sinusoidale, la lunghezza d'onda è la distanza tra i picchi:



Onde e.m.



(a)



(b)

Le onde e.m. sono soluzioni delle equazioni di Maxwell in assenza di cariche e correnti. Si propagano nel vuoto con **velocità $c=3.0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$** indipendente dalla frequenza e uguale alla velocità della luce. Sono onde trasversali.



Onde e.m.

L' **ENERGIA** trasportata da un'onda e.m. è

- Direttamente proporzionale alla frequenza ν
- Inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda λ

GRANDE lunghezza d'onda



PICCOLA energia

PICCOLA lunghezza d'onda



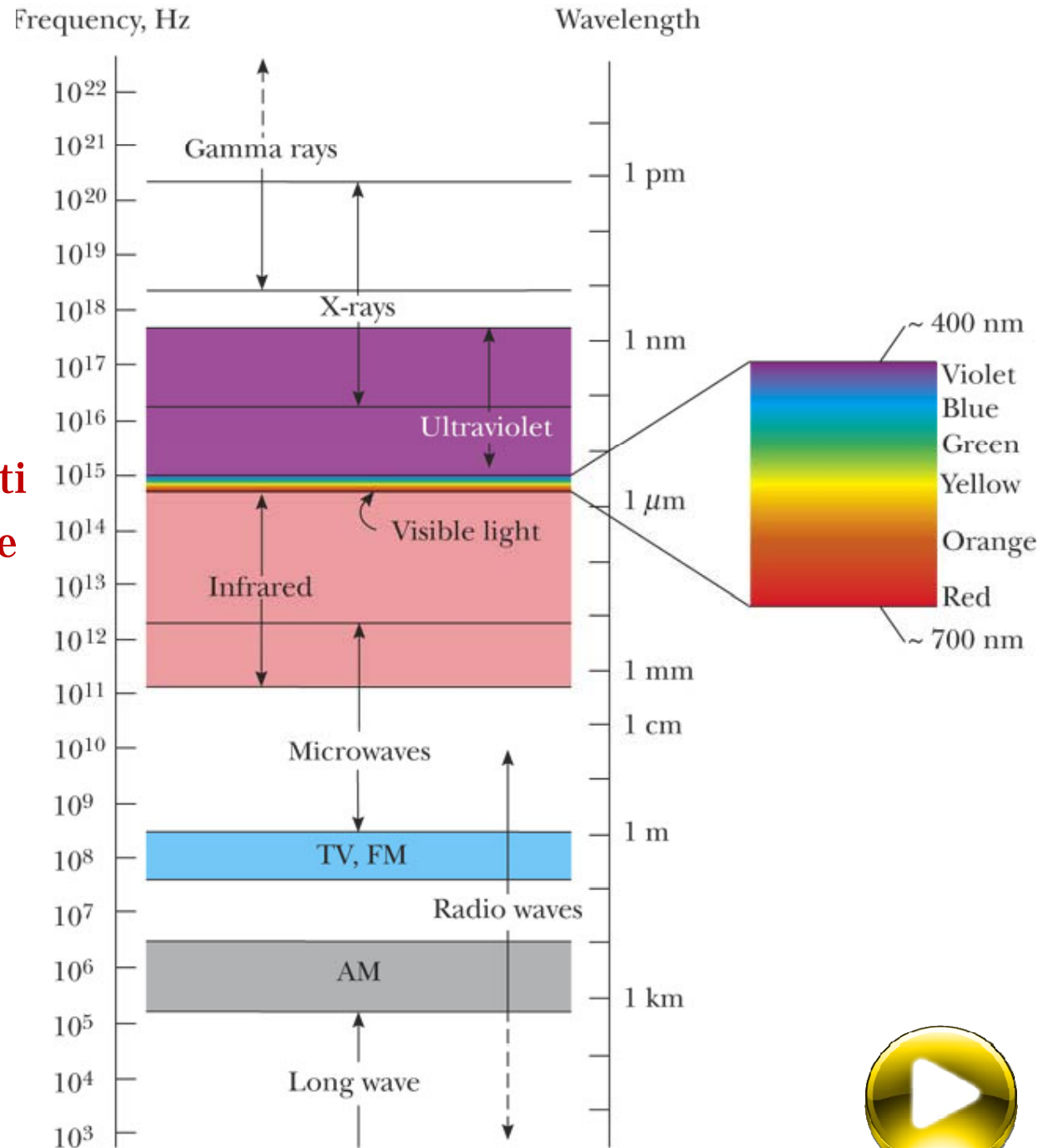
GRANDE energia



SPETTRO delle Onde e.m.

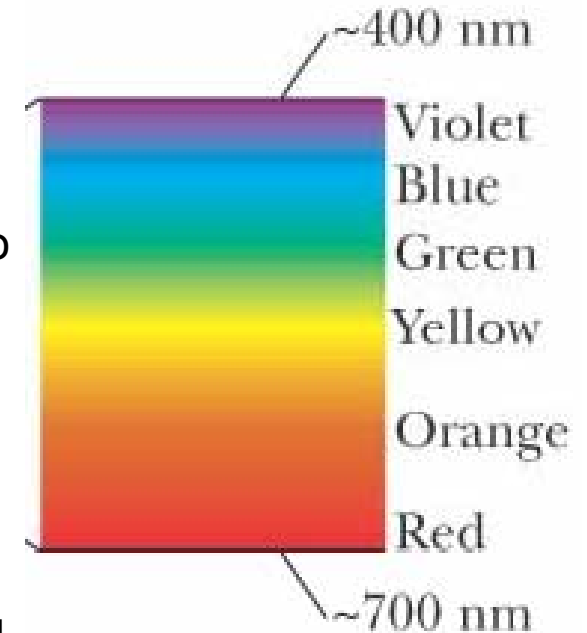
Onde EM di frequenza (e lunghezza d'onda) differenti interagiscono diversamente con materiali e sostanze: uso e origine diversissimi

Solo una frazione minima consiste di onde visibili all'occhio umano

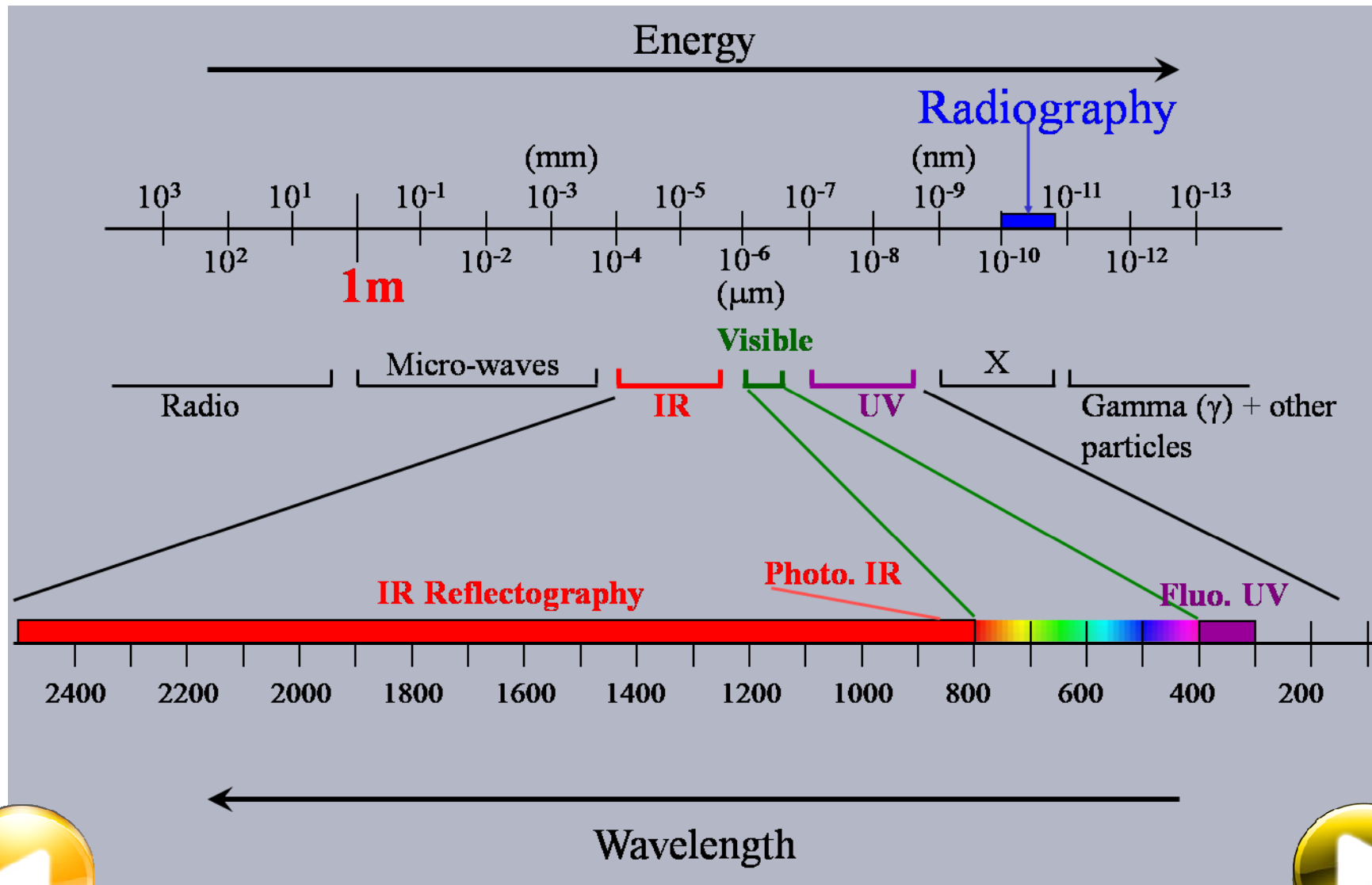


SPETTRO delle onde e.m.

- **Onde Radio:** $0.1\text{m} < \lambda < 104\text{m}$ usate in comunicazioni radio e tv, prodotte da antenne
- **Microonde:** $10^{-4}\text{m} < \lambda < 0.3\text{m}$ adatte a radar, forni microonde
- **Infrarossi:** $7 \times 10^{-7} \text{ m} < \lambda < 1\text{mm}$, prodotte da corpi caldi sono facilmente assorbite dalla maggior parte dei materiali. Usate in telecomandi ecc.
- **Luce visibile:** $4 \times 10^{-7} \text{ m} < \lambda < 7 \times 10^{-7} \text{ m}$, parte dello spettro cui l'occhio umano è sensibile, corrisponde al minimo assorbimento da parte dell'acqua (ragione evuzionistica: veniamo dall'acqua). Prodotta da oggetti incandescenti ma anche da transizioni atomiche (LED).
- **Luce Ultravioletta:** $6 \times 10^{-10} \text{ m} < \lambda < 4 \times 10^{-7} \text{ m}$, prodotta abbondantemente dal sole, assorbita dall'ozono nella stratosfera
- **Raggi X:** $10^{-12} \text{ m} < \lambda < 10^{-8} \text{ m}$, prodotti da elettroni decelerati su bersaglio metallico, hanno lunghezza d'onda dell'ordine delle distanze interatomiche nei cristalli.
- **Raggi Gamma:** $10^{-14} \text{ m} < \lambda < 10^{-10} \text{ m}$, emessi da nuclei radioattivi, alto potere penetrante, molto pericolosi



SPETTRO e.m. e tipologie di indagine



Onde: la luce

Con il termine *luce* si indica la porzione dello spettro elettromagnetico cui è sensibile l'occhio umano, ed è approssimativamente compresa tra 400 e 700 nanometri (*nm*) di lunghezza d'onda, ovvero tra 750 e 428 THz di frequenza.

Questo intervallo coincide con la regione di massima emissione da parte del sole. I limiti dello spettro visibile all'occhio umano non sono uguali per tutte le persone, ma variano soggettivamente e possono raggiungere i 380 nanometri, avvicinandosi agli ultravioletti, e i 730 nanometri avvicinandosi agli infrarossi.



Nota : $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$

$1 \text{ THz} = 10^{12} \text{ Hz}$

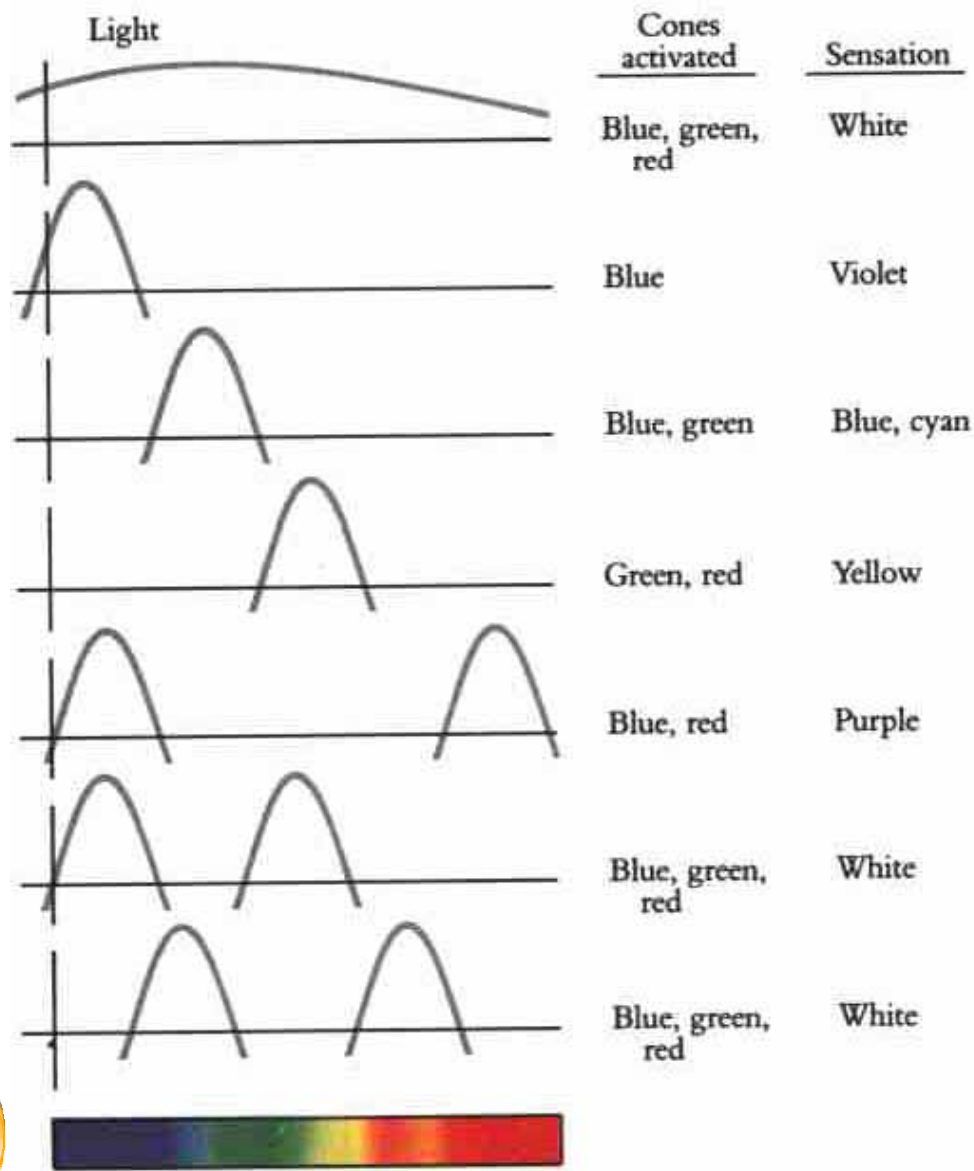


La luce: colori

- Le differenti lunghezze d'onda vengono interpretate dal cervello come colori, che vanno dal rosso delle lunghezze d'onda più ampie (minore frequenza), al violetto delle lunghezze d'onda più brevi (maggiore frequenza).
- Non a tutti i colori possiamo associare una lunghezza d'onda. Ad ogni lunghezza d'onda è associabile un colore, ma non è vero il contrario. Ciò dipende dal funzionamento della nostra vista che può “sommare” i colori fondamentali.



La luce: colori



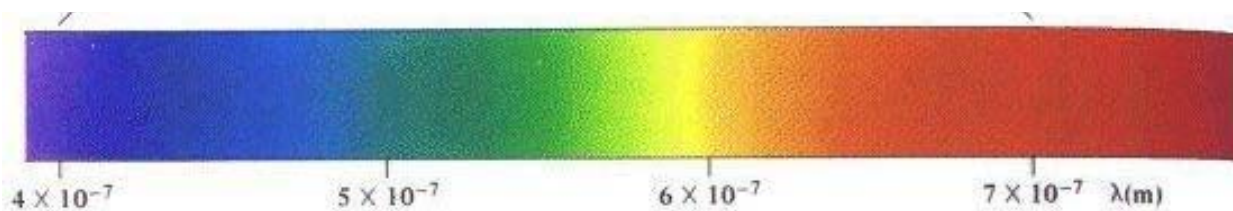
Il colore è la percezione che deriva dalla composizione spettrale della luce (visibile) che colpisce la retina.



La luce: colori

Assorbimento della radiazione visibile e percezione del colore

λ of Max. Absorption	Color Absorbed	Color Observed
380-420	violet	green-yellow
420-440	violet-blue	yellow
440-470	blue	orange
470-500	blue-green	red
500-520	green	purple
520-550	yellow-green	violet
550-580	yellow	violet-blue
580-620	orange	blue
620-680	red	blue-green
680-780	purple	green



Ultravioletto e infrarosso

- Le frequenze immediatamente al di fuori dello spettro percettibile dall'occhio umano vengono chiamate ultravioletto (UV), per le alte frequenze, e infrarosso (IR) per le basse.
- Anche se gli esseri umani non possono vedere l'infrarosso, esso viene percepito dai recettori della pelle come calore.
- Alcuni animali, come le api, riescono a vedere gli ultravioletti; altri invece riescono a vedere gli infrarossi.



Sorgenti di luce

- Lampada ad incandescenza
- Lampada alogena
- Lampada fluorescente
- Lampada a scarica
- LED
- Laser
- ...



Lampada ad incandescenza

- È la classica “lampadina”
- è una sorgente luminosa in cui la luce viene prodotta dal riscaldamento (fino a circa 2700 K) di un filamento di tungsteno attraverso cui passa la corrente elettrica.
- genera al 90% calore e luce per il 10



Lampada alogena

- La lampadina alogena è una particolare lampada ad incandescenza, ma ci sono alcune fondamentali caratteristiche che differenziano i due prodotti.
- Al gas contenuto nel bulbo viene aggiunto **iodio**, **kripton**, e, a volte, **xeno** per permettere il riscaldamento del filamento fino a oltre 3000 K, in modo da aumentare l'efficienza luminosa e spostare verso l'alto la temperatura di colore, cioè la luce è più bianca.
- “Temperatura di Colore” è un termine usato in illuminotecnica per quantificare la tonalità della luce.



Lampada a scarica

- La lampada a scarica è un tipo di lampadina basata sull'emissione di radiazione elettromagnetica da parte di un plasma di gas ionizzato. La ionizzazione del gas è ottenuta per mezzo di una scarica elettrica (da cui il nome) attraverso il gas stesso.
- È costituita da una ampolla o un tubo di vetro o quarzo contenente il gas e almeno due elettrodi tra cui avviene la scarica.
- Il gas può anche essere il vapore di un elemento solido o liquido, per esempio mercurio o sodio.



Lampada fluorescente

La lampada fluorescente è un particolare tipo di lampada a scarica in cui l'emissione luminosa visibile è indiretta, ovvero non è emessa direttamente dal gas ionizzato, ma da un materiale fluorescente (da cui il nome).

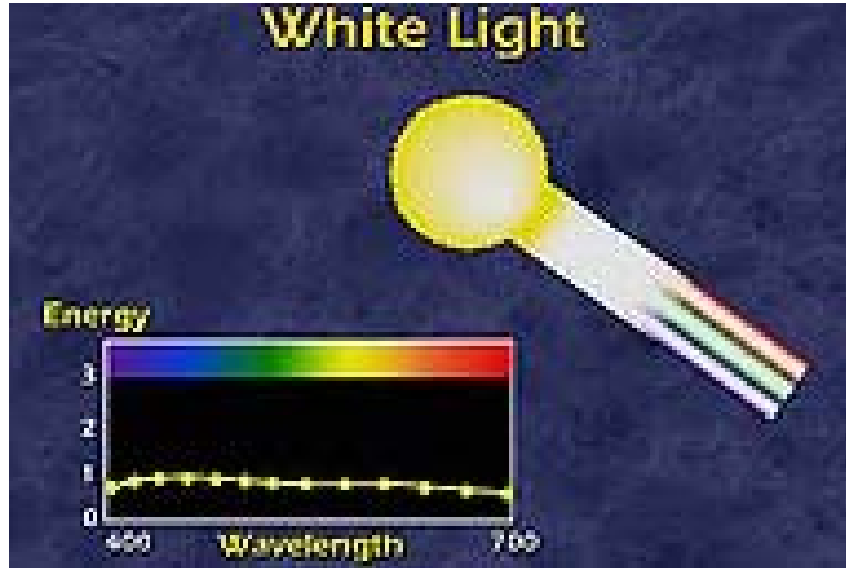
Questo tipo di lampade sono erroneamente chiamate lampade al neon o tubi al neon, ma in realtà il funzionamento è dovuto alla presenza di vapori di mercurio e non al neon.



Spettri di emissione

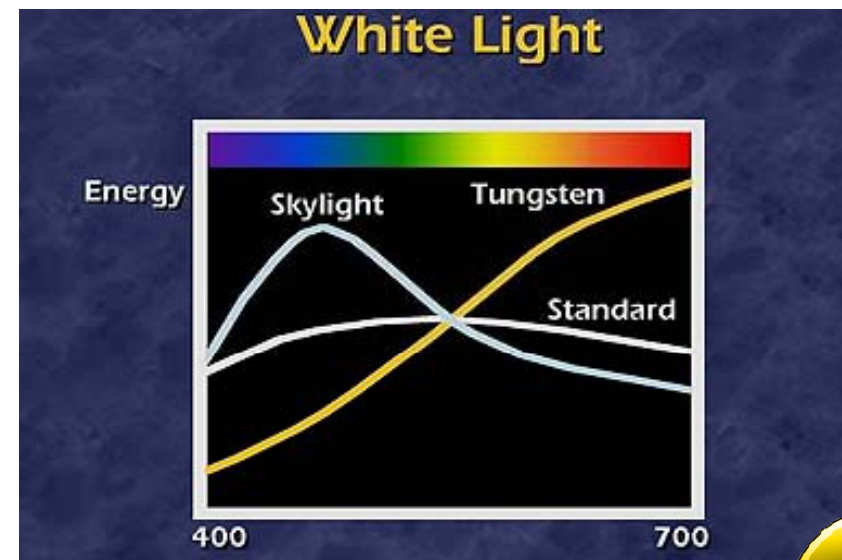
- Sono l'insieme delle radiazioni elettromagnetiche emesse da una sorgente luminosa
- Gli **spettri continui** presentano tutti i colori dal rosso al violetto sfumati l'uno nell'altro. Sono emessi dalle lampade ad incandescenza e da quelle alogene.
- Gli **spettri a righe** presentano righe colorate su sfondo nero; sono emessi da sostanze gassose o rese gassose a bassa pressione, come nelle lampade a scarica. Ogni spettro è caratteristico di ogni sostanza.





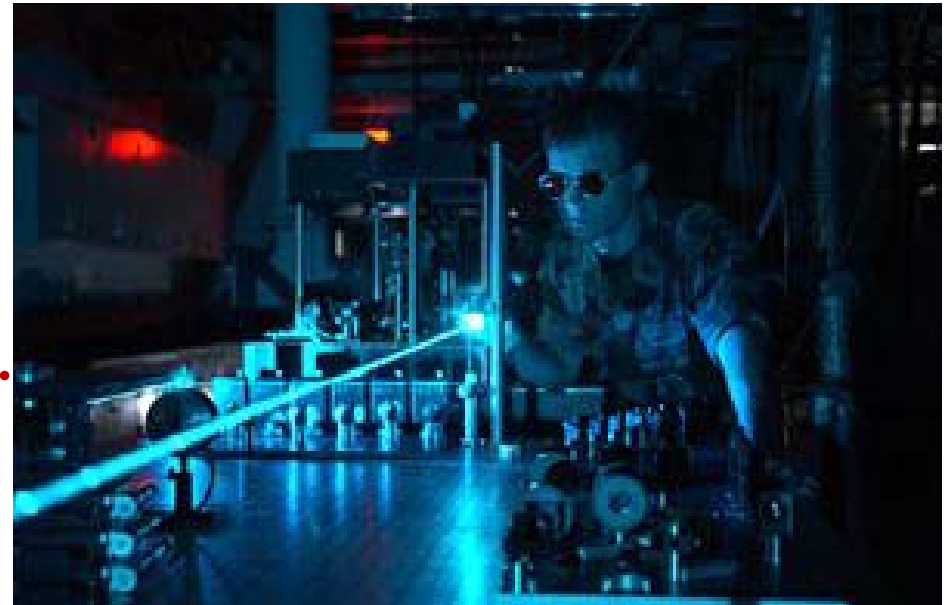
L'insieme delle radiazioni comprese nel campo di lunghezze d'onda del visibile cumulativamente viene percepito come luce bianca.

Ogni sorgente primaria ha un proprio caratteristico spettro di emissione

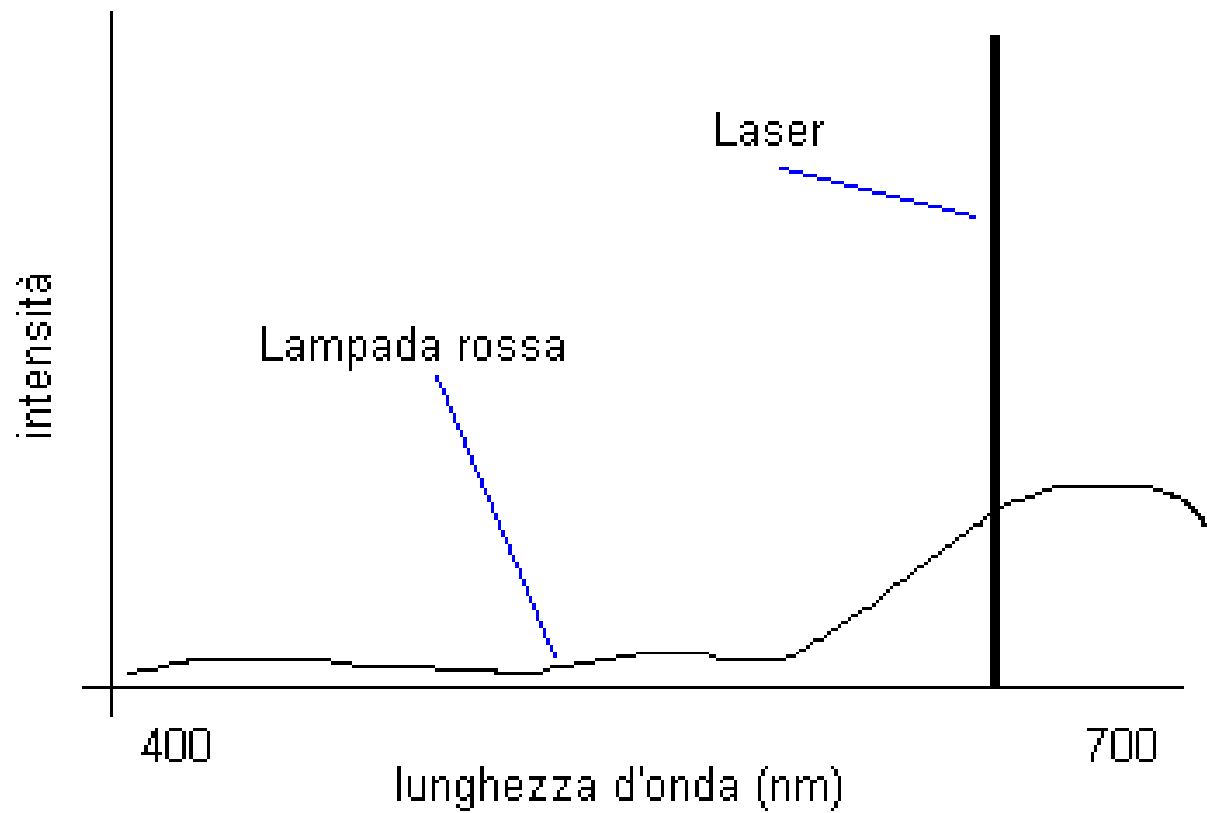


Laser

- Laser è l'acronimo inglese di **L**ight **A**mplification by the **S**timulated **E**mission of **R**adiation, ovvero Amplificazione di Luce tramite Emissione Stimolata di Radiazione.
- Questa sigla indica un dispositivo in grado di emettere un fascio di luce coerente e, generalmente, monocromatica, e concentrata in un raggio rettilineo estremamente collimato.



Spettro di un Laser



Luce e materia

La luce, come tutte le onde elettromagnetiche, interagisce con la materia.

I fenomeni più comuni osservabili sono:

- l'assorbimento
- la trasmissione
- la riflessione
- la rifrazione

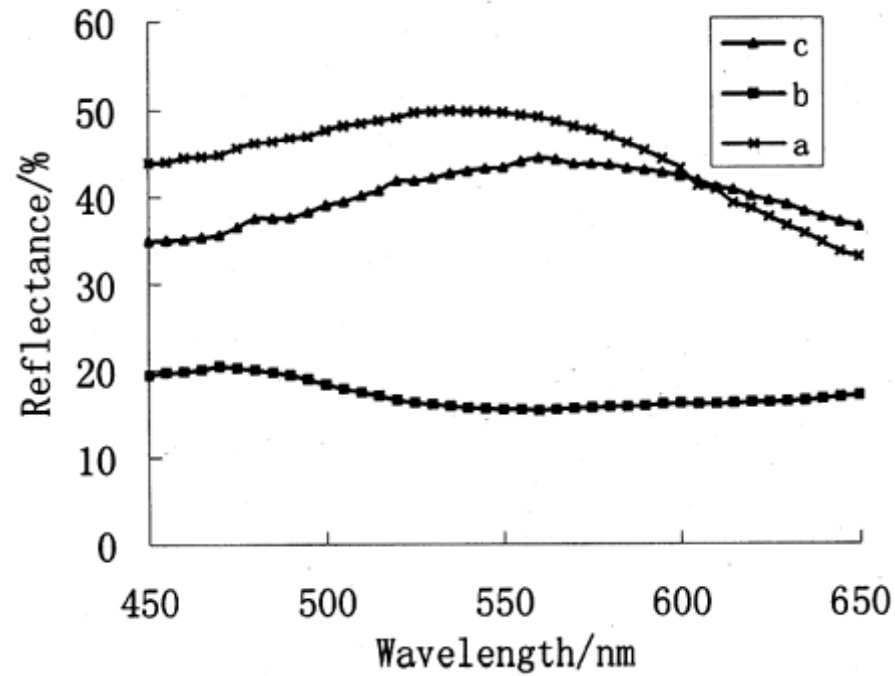


Luce e materia

- Quando la luce interagisce con la materia scambia energia sotto forma di pacchetti discreti detti **fotoni**.
- L'energia di un fotone vale $E = h\nu$, dove h è la costante di Planck e ν è la frequenza della radiazione
- L'energia scambiata aumenta con la frequenza
- $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$



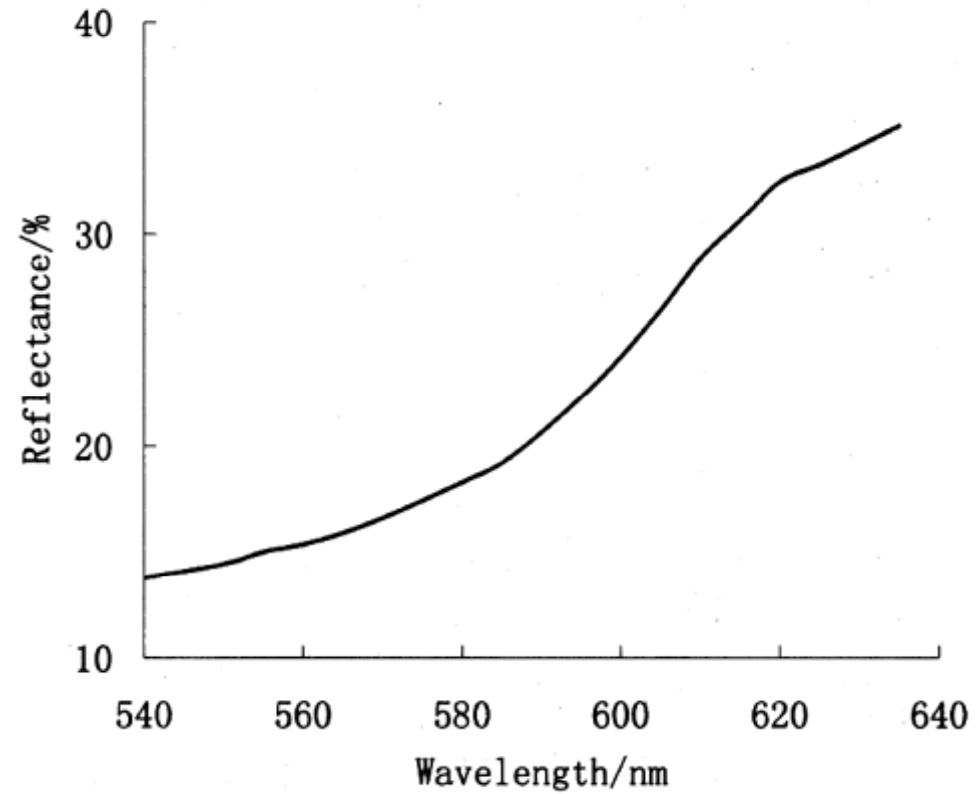
Spettri di pigmenti verdi e blu



a) malachite; b) blu oltremare; c) atacamite



Pigmento rosso



cinabro + ematite



Ultravioletti - UV

- La radiazione ultravioletta (UV o raggi ultravioletti) è una radiazione elettromagnetica con una lunghezza d'onda inferiore alla luce visibile, ma maggiore dei raggi X. Il nome significa "oltre il violetto" (dal latino ultra, "oltre"), perché il violetto è il colore visibile con la lunghezza d'onda più corta.
- L'UV può essere suddiviso in UV vicino (380-200 nm) e UV estremo (200-10 nm).
- Il Sole emette anche luce UV.
- Gli UV possono essere emessi da lampade a scarica a vapori di mercurio



Fluorescenza

- Capacità di alcuni materiali di emettere luce quando vengono colpiti da raggi ultravioletti o da altri tipi di radiazioni (anche luce visibile, in tal caso emettono luce di colore diverso)
- Il nome deriva dalla fluorite, minerale di calcio e fluoro, alcuni campioni del quale sono, appunto, fluorescenti, ed è stato proprio nella fluorite che il fenomeno è stato scoperto.
- Si distingue dalla fosforescenza, in quanto i materiali fluorescenti cessano di essere luminosi al cessare dello stimolo che ne determina la luminosità, invece nei materiali fosforescenti la luce continua ad essere emessa per un certo periodo dopo la fine dello stimolo.



Fluorescenza

- La fluorescenza è quindi la proprietà di alcune sostanze di riemettere a frequenza più bassa le radiazioni ricevute, in particolare di

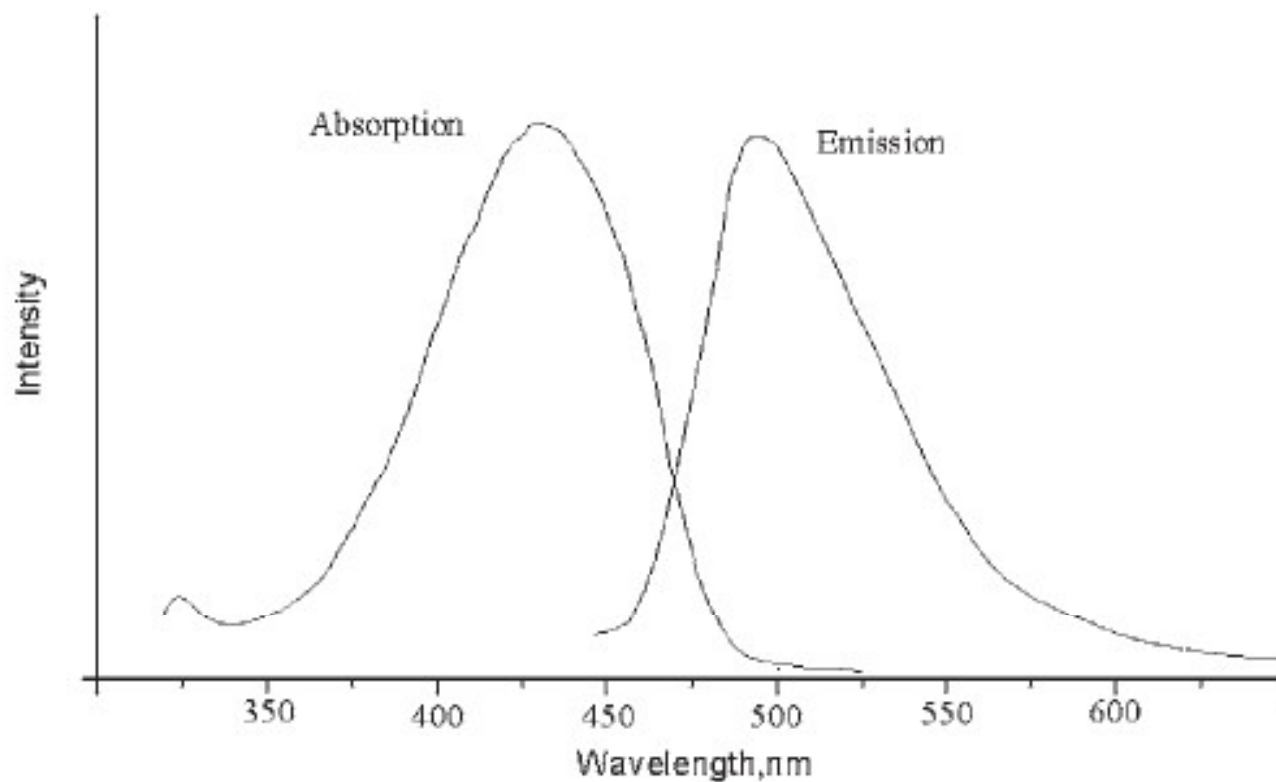
assorbire luce ultravioletta ed emetterla visibile,

come accade per esempio negli evidenziatori.

- Semplificando: gli ultravioletti eccitano gli atomi della sostanza fluorescente, facendo saltare gli elettroni in un'orbita più esterna. Subito dopo gli elettroni tornano al livello precedente emettendo luce visibile.



Spettro di fluorescenza

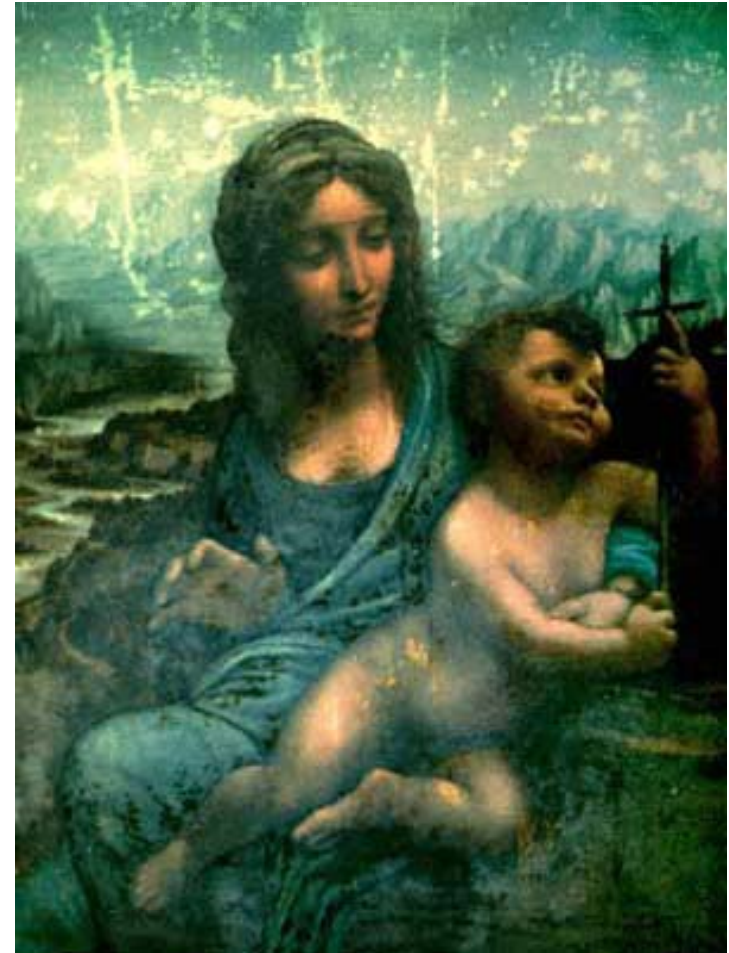


Spettro di assorbimento (a sinistra) e spettro di emissione (a destra) di una molecola fluorescente

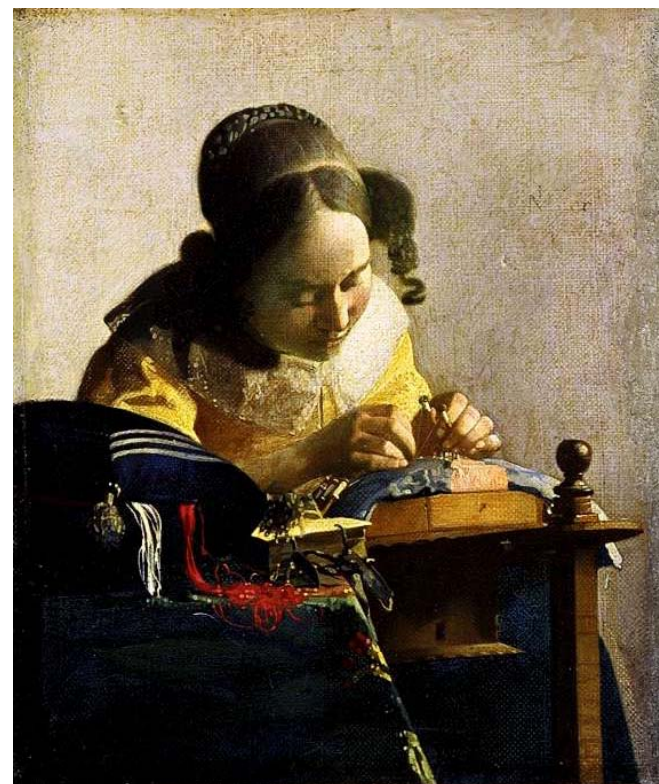
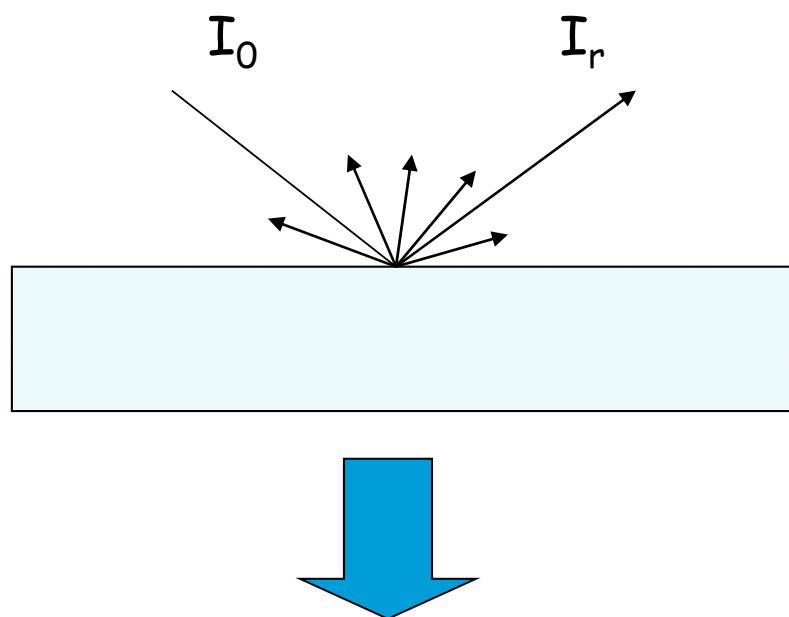


Fluorescenza UV

La fluorescenza UV permette di valutare lo stato di conservazione e discriminare le vernici ed i pigmenti utilizzati in un dipinto, originali o provenienti da passati interventi di restauro, anche quando essi appaiono indistinguibili ad occhio nudo.



Escludendo un limitato numero di eccezioni, gli oggetti di indagine nel campo beni culturali sono opachi



Spettroscopia di riflettanza

Registra lo spettro della radiazione diffusa dalla superficie del campione, inclusa o esclusa la componente riflessa

