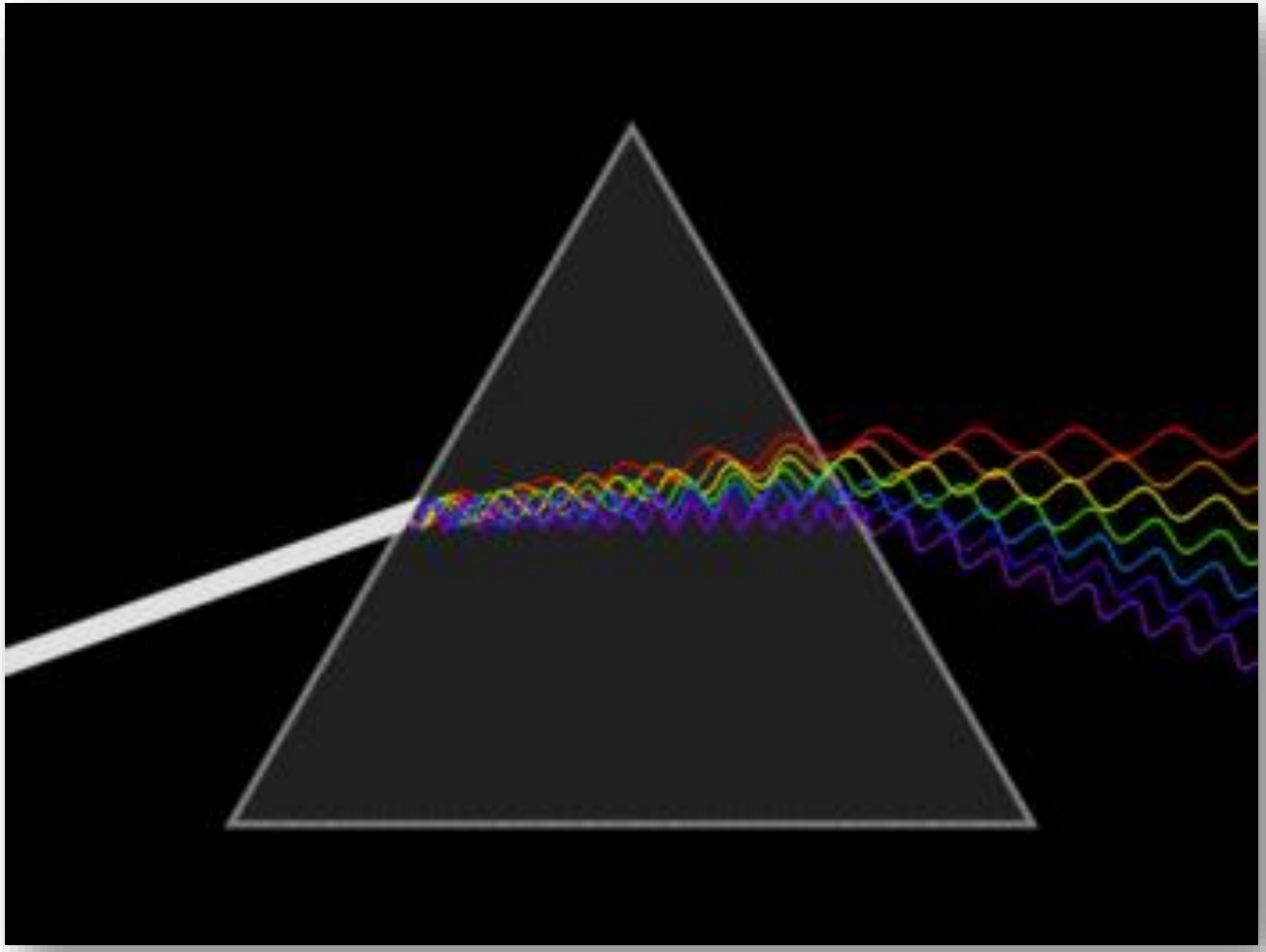
Immagini digitali

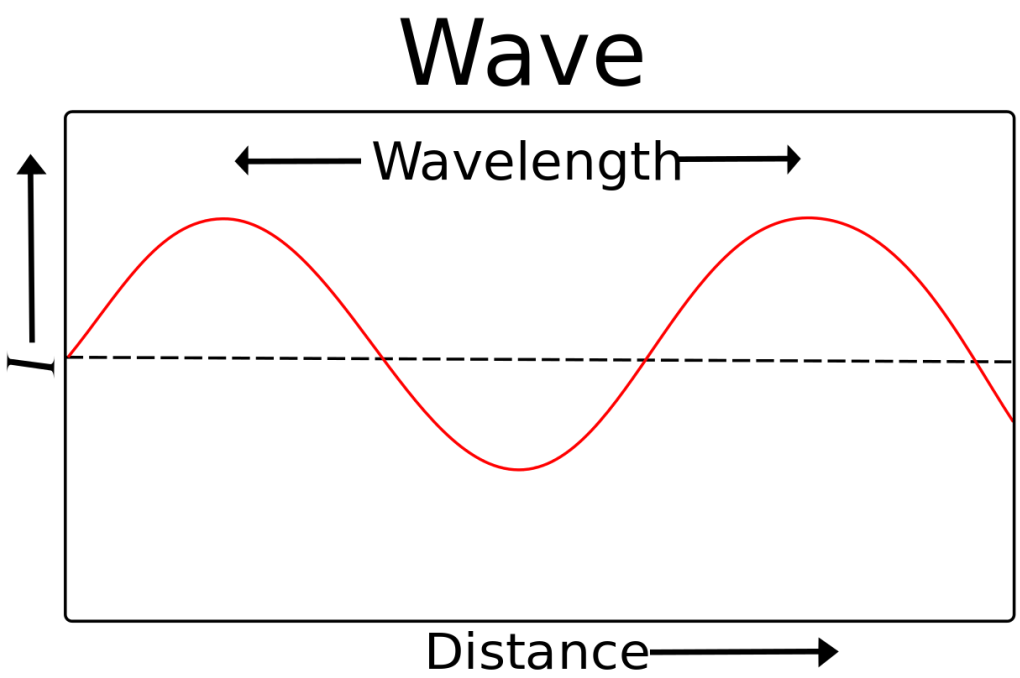
La luce visibile

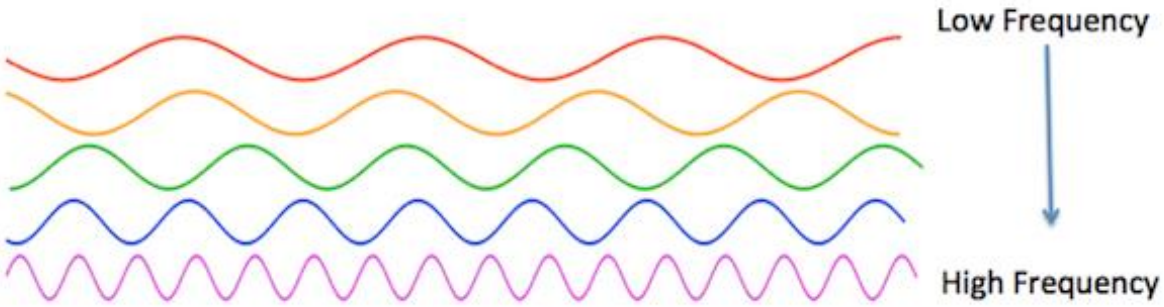
- È la porzione di spettro elettromagnetico percepibile dall'occhio umano
- La maggior parte della radiazione emessa dal sole che riesce a passare l'atmosfera rientra in questo intervallo
- Varie teorie nel corso dei secoli:
  - Teoria corpuscolare (Newton, XVII secolo)
  - Teoria ondulatoria (Huygens, 1678-90)
  - Teoria elettromagnetica (Maxwell, fine XIX secolo)
  - Teoria quantistica (Plank-Einstein-Lewis, inizi XX secolo)

Lunghezza d’onda e frequenza

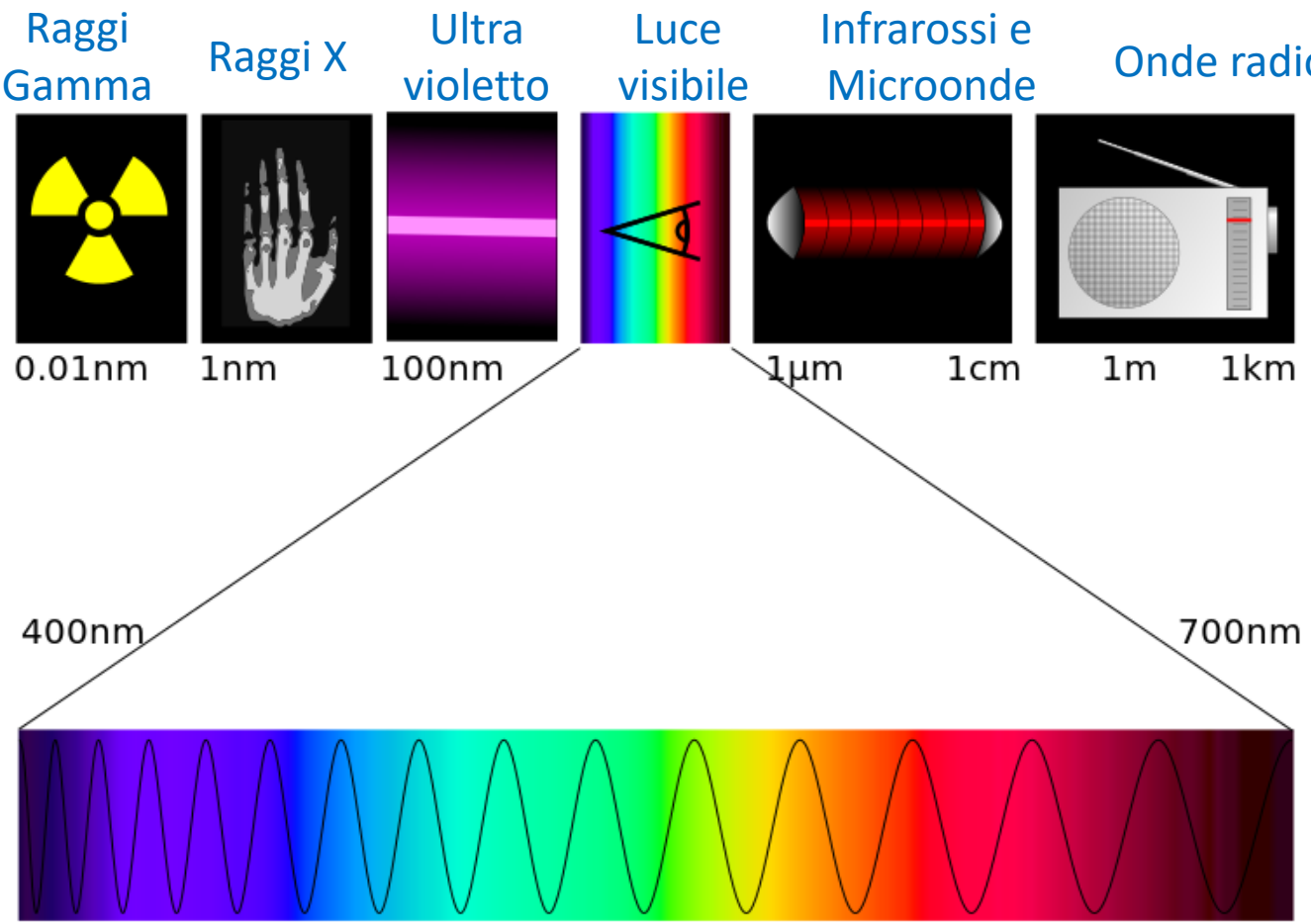


Lunghezza d’onda e frequenza

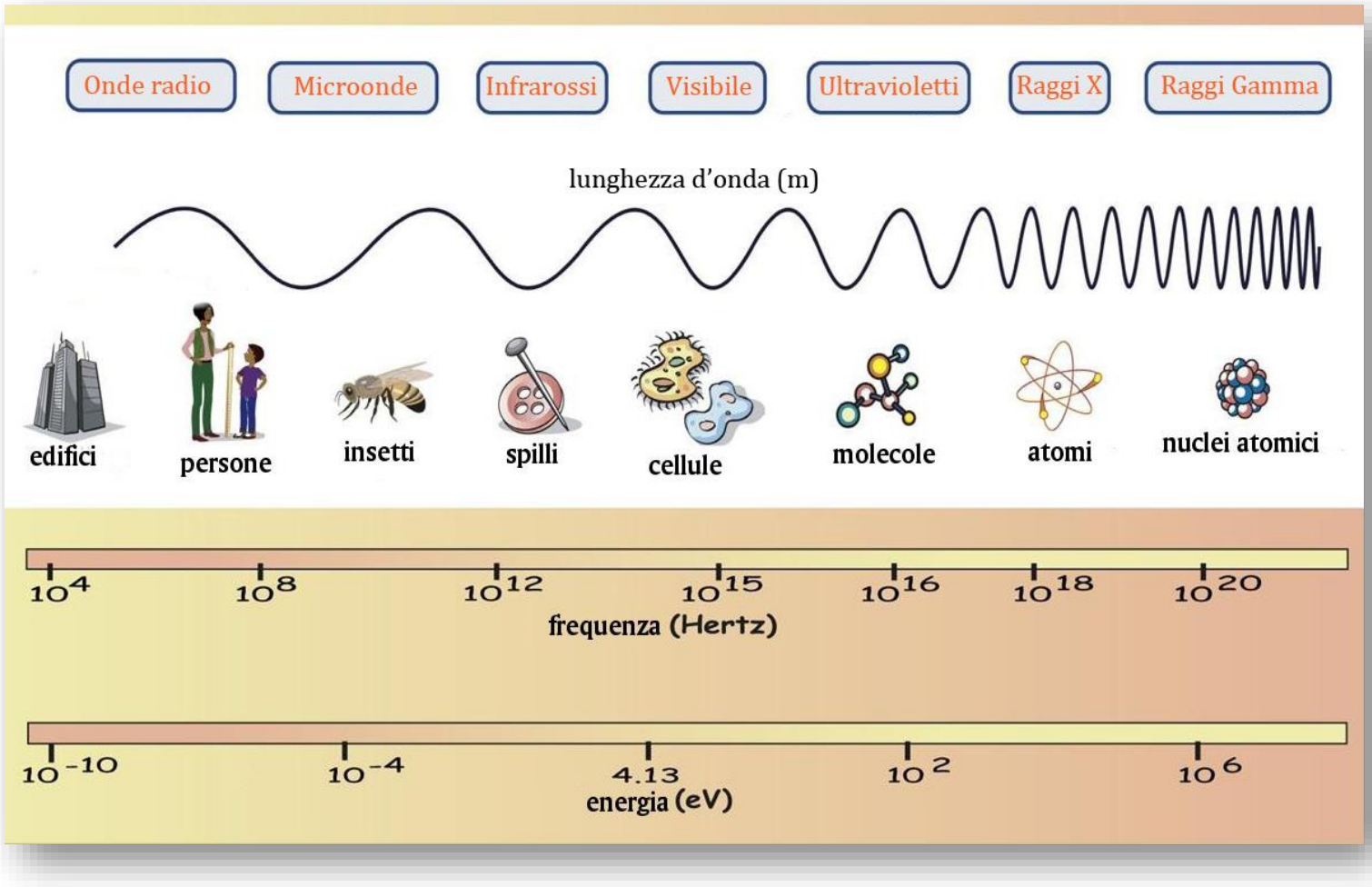




Spettro elettromagnetico



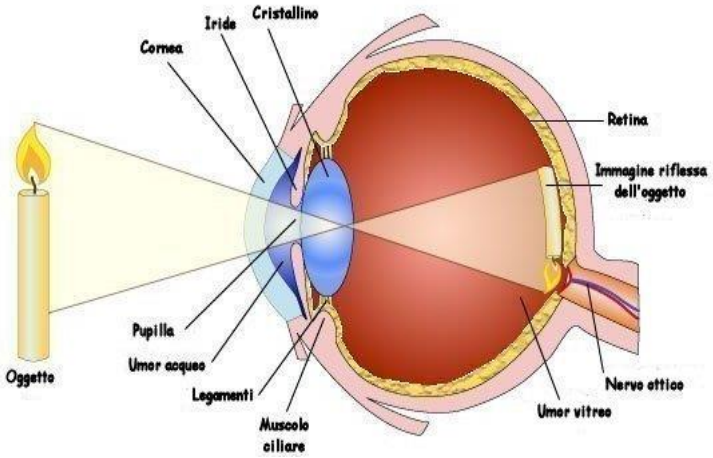
Spettro elettromagnetico



http://www.iasf-milano.inaf.it

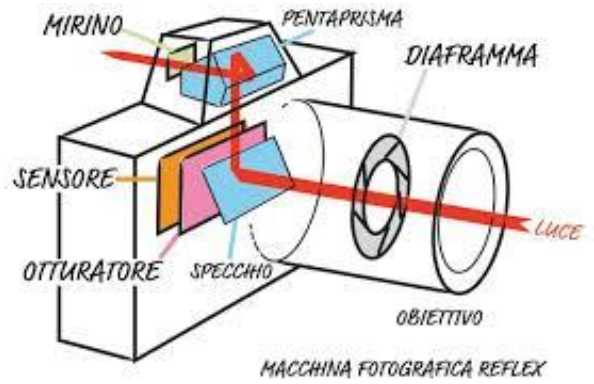
Occhio umano

- L'occhio umano è paragonabile ad una macchina fotografica in cui:
  - La cornea e il cristallino costituiscono l'obiettivo
  - L'iride e la pupilla corrispondono al diaframma
  - La retina è l'elemento sensibile



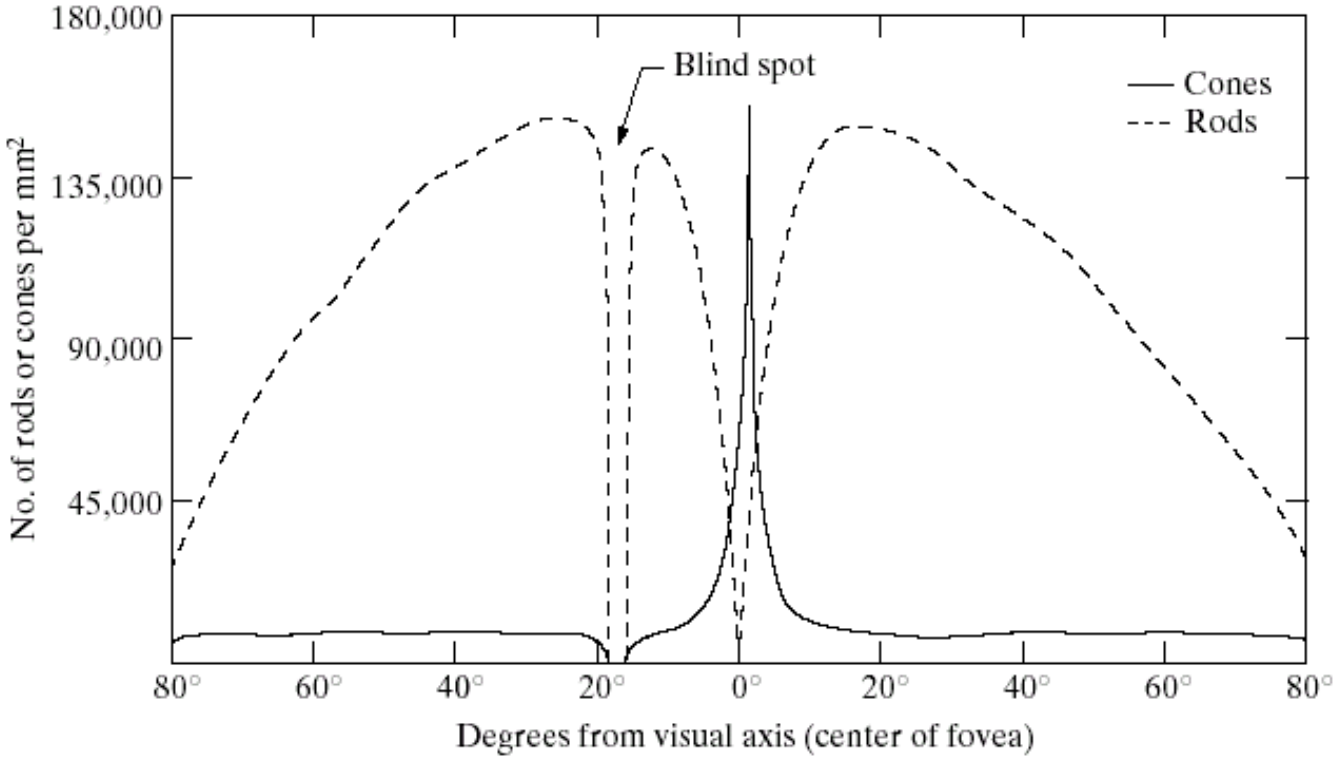
- Sulla retina si forma l'immagine degli oggetti osservati

- Questa immagine è inviata al cervello tramite il nervo ottico sotto forma di impulsi elettrici



Occhio umano

- Esistono due tipi di recettori sulla retina:
  - Coni
  - Bastoncelli



Occhio umano

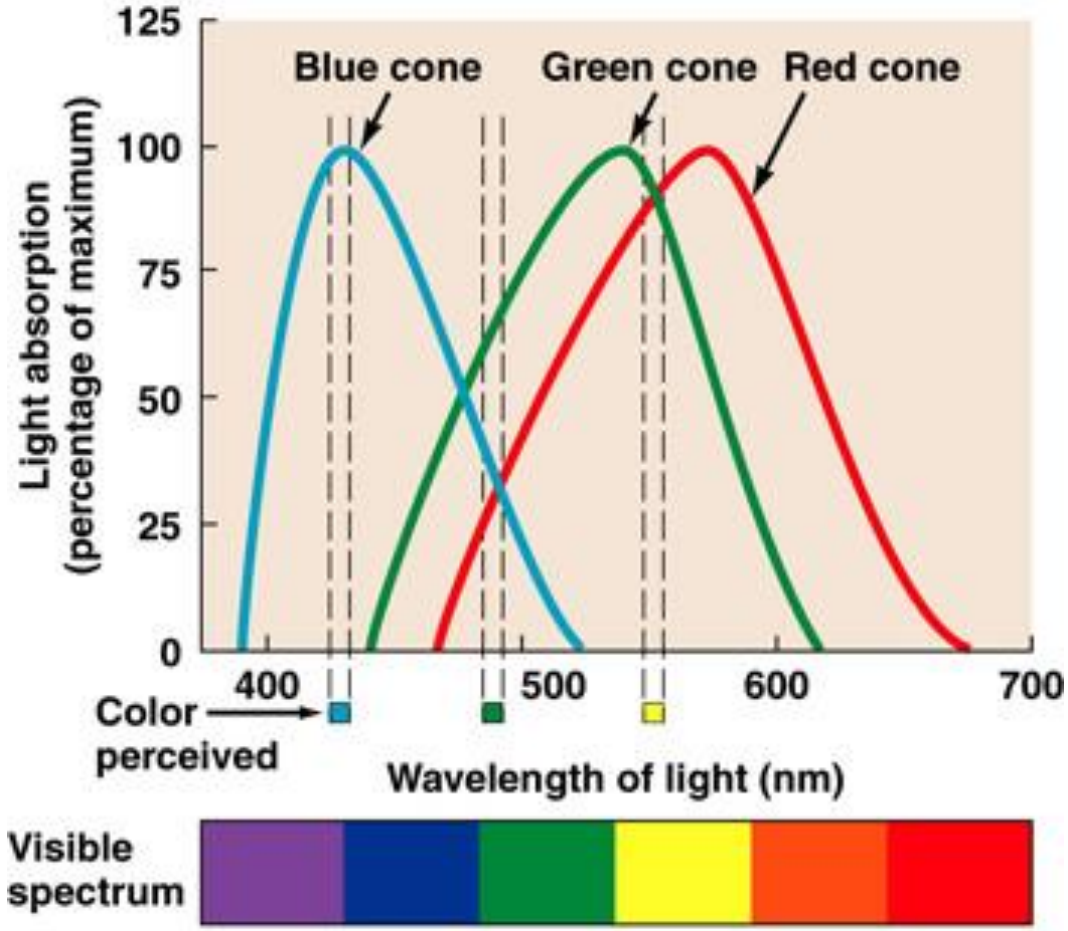
CONI

- Circa 6 o 7 milioni per occhio
- Siti nella parte centrale della retina, detta fovea
- Altamente sensibili al colore e ad alti livelli di illuminazione
- Forniscono anche piccoli dettagli
- Responsabili della visione diurna
- Connessione 1 a 1 con le terminazioni nervose

BASTONCELLI

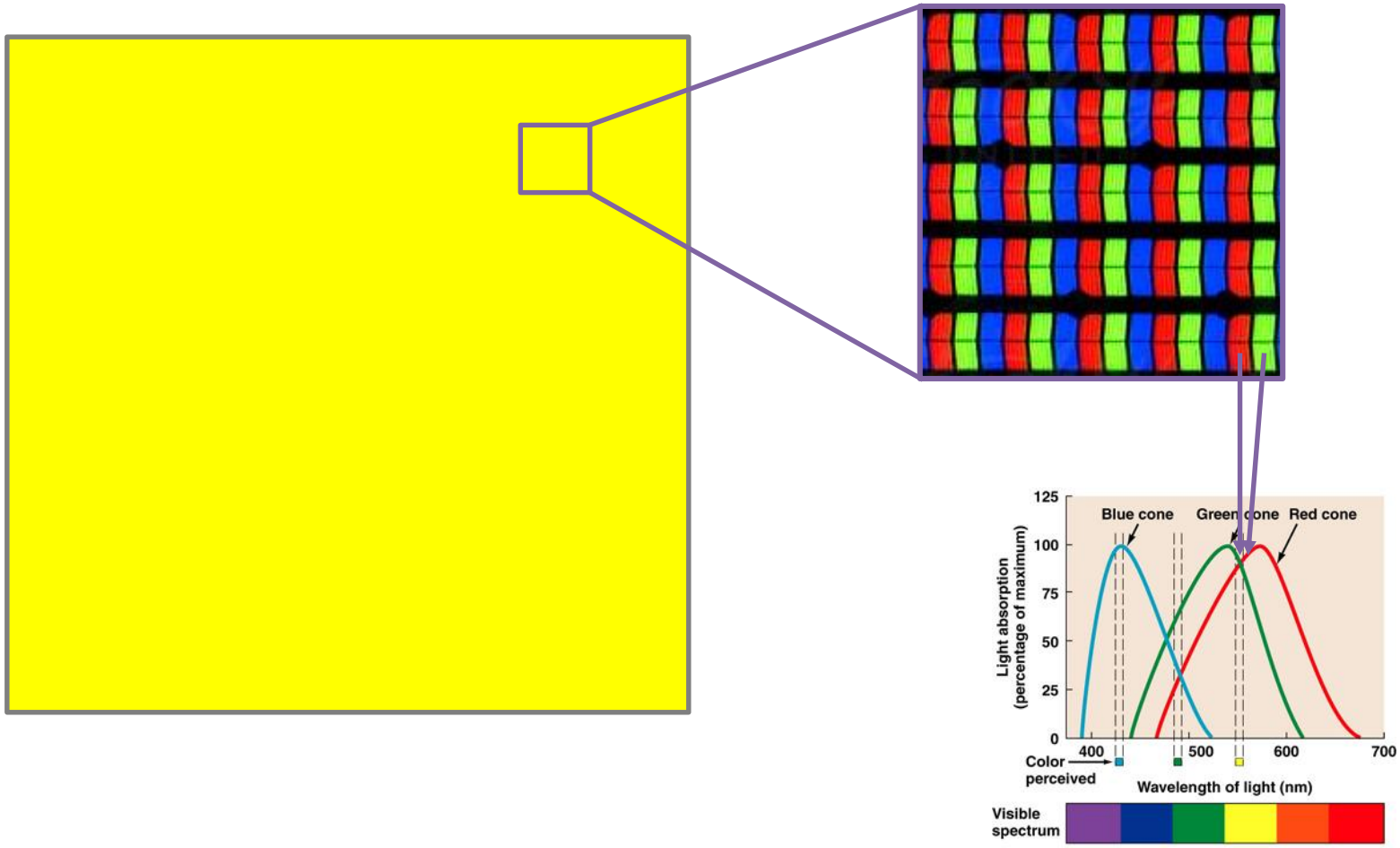
- Circa 100 milioni per occhio
- Consentono una visione globale della scena
- Distribuiti in modo più uniforme sull'intera superficie della retina
- Praticamente insensibili al colore
- Sensibili a bassi livelli di illuminazione
- Responsabili della visione notturna
- Connessione n a 1 con le terminazioni nervose

Occhio umano



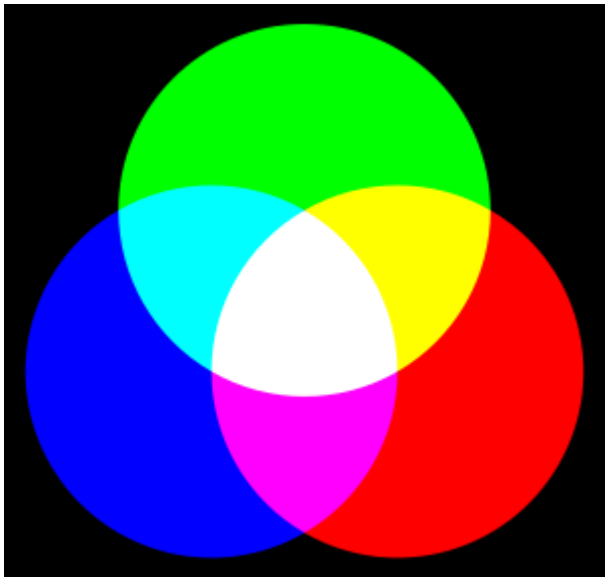
Questo non è giallo!

- Ogni pixel dello schermo è composto da 3 “punti” (rosso, verde e blu)

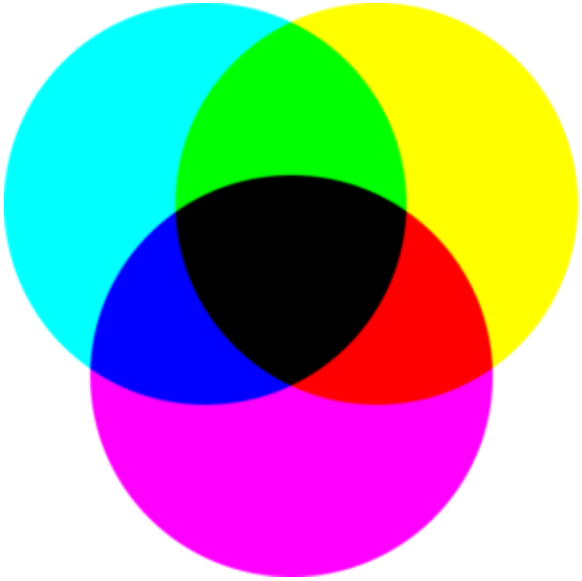


Modello di colore

- Un modello di colore è un modello matematico astratto che permette di rappresentare i colori in forma numerica



Sintesi additiva



Sintesi sottrattiva

RGB

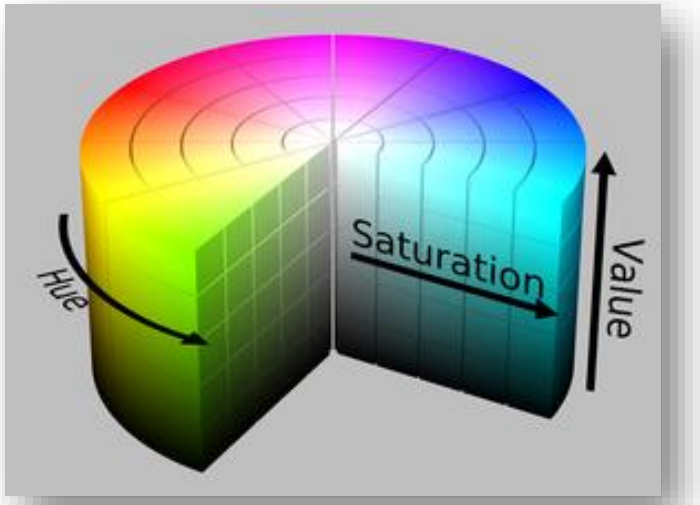
- Modello di sintesi additiva che utilizza 3 colori primari:
  - Rosso
  - Verde
  - Blu
- Utilizzato nei monitor
- Unendo i tre colori con la loro intensità massima si ottiene il bianco

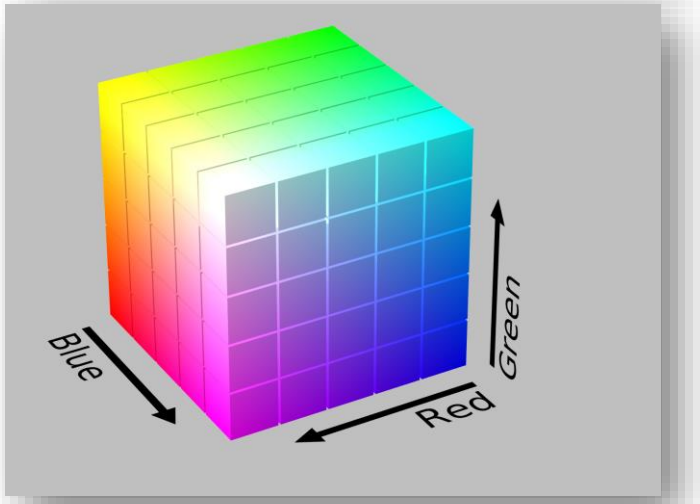
CMYK

- Modello di sintesi sottrattiva che utilizza 4 colori primari:
  - Ciano
  - Magenta
  - Giallo
  - Nero
- Utilizzato dalle stampanti
- CMY mischiati in diverse quantità permettono di rappresentare ogni colore ma non il nero puro che quindi viene aggiunto

HSL o HSV

- Modello di colore orientato alla prospettiva umana
- Il sistema di coordinate è definito da
  - H (tonalità)
  - S (saturazione)
  - L (luminosità) o V (valore)
- H – angolo in gradi (rosso 0°, verde 120° e blu 240°)
- S – distanza in percentuale dal centro (0%) all'estremità del cilindro (100%)
- L – altezza in percentuale dal fondo (0%) alla cima del cilindro (100%)





Parametri fisici delle immagini

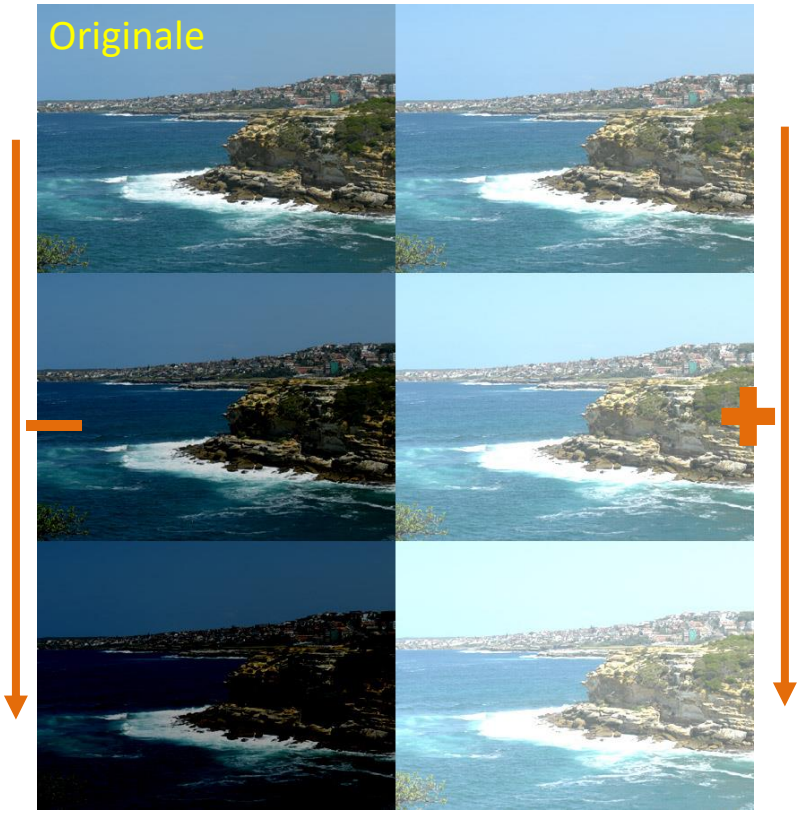
- In teoria dei colori, una tonalità o tinta è un colore "*puro*", ovvero caratterizzato da una singola lunghezza d'onda all'interno dello spettro visibile (o spettro ottico) della luce
- In pittura esiste un concetto corrispondente di colore "*puro*", ovvero senza aggiunta di pigmenti bianchi o neri

Parametri fisici delle immagini

- La saturazione o purezza è l'intensità di una specifica tonalità
- Una tinta molto satura ha un colore vivido e squillante; al diminuire della saturazione, il colore diventa più debole e tende al grigio
- La desaturazione di una fotografia digitalizzata è una delle tecniche con cui si può trasformare un'immagine a colori in una in bianco e nero

Alcuni parametri fisici delle immagini

- La luminosità è un termine ambiguo che può riferirsi a varie proprietà
- Nel nostro caso è sinonimo di brillanza (inglese brightness) cioè la quantità totale di luce che una sorgente luminosa appare emettere o che una superficie appare riflettere
- È collegato ma distinto dalla chiarezza (lightness), la luminosità percepita di un colore per l'uomo

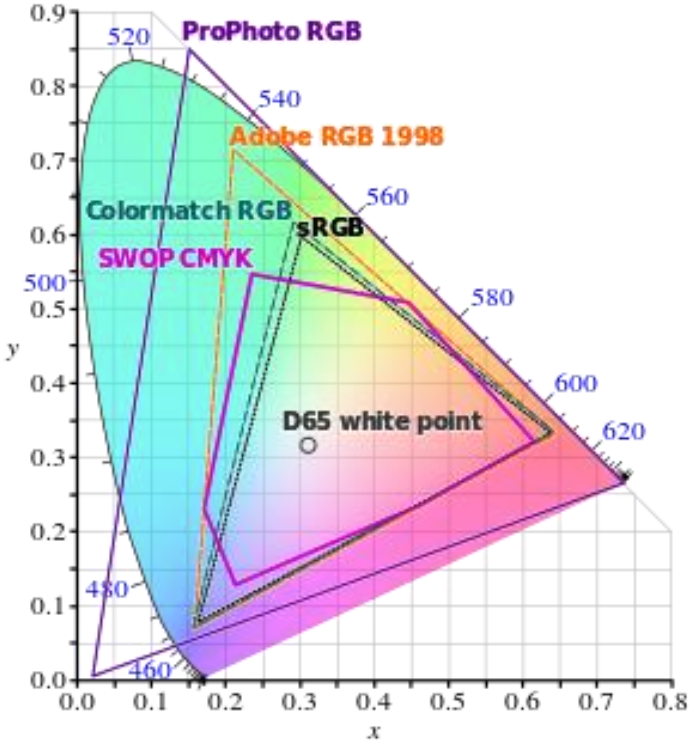


Parametri fisici delle immagini

- Il contrasto in un'immagine è il rapporto o differenza tra il valore più alto (*punto più chiaro*) e il valore più basso (*punto più scuro*) della luminosità nell'immagine
- Se si aumenta tale differenza i valori più luminosi tendono al valore massimo, i valori più scuri tendono al valore minimo

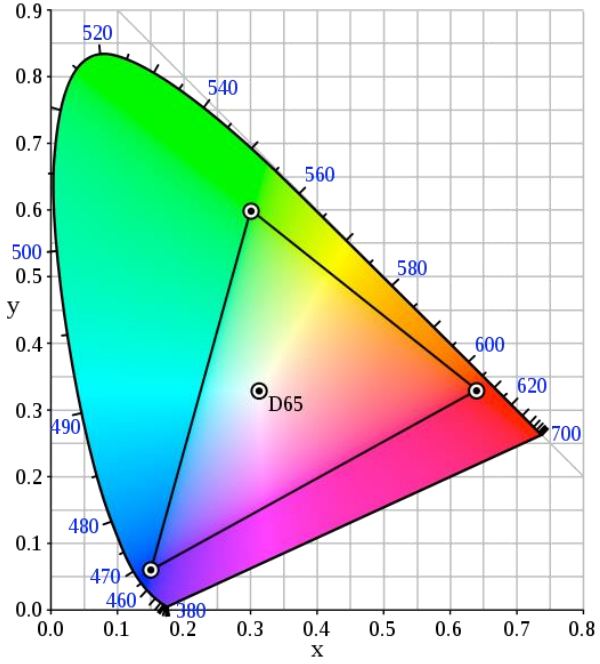
Spazio colore

- La combinazione di un modello di colore e di una appropriata funzione di mappatura
- Spazi colore assoluti:
  - sRGB
  - AdobeRGB
- Spesso confuso con modello di colore:
  - Ad es. ci possono essere diversi spazi colore basati sul modello RGB ma non esiste uno spazio colore RGB unico



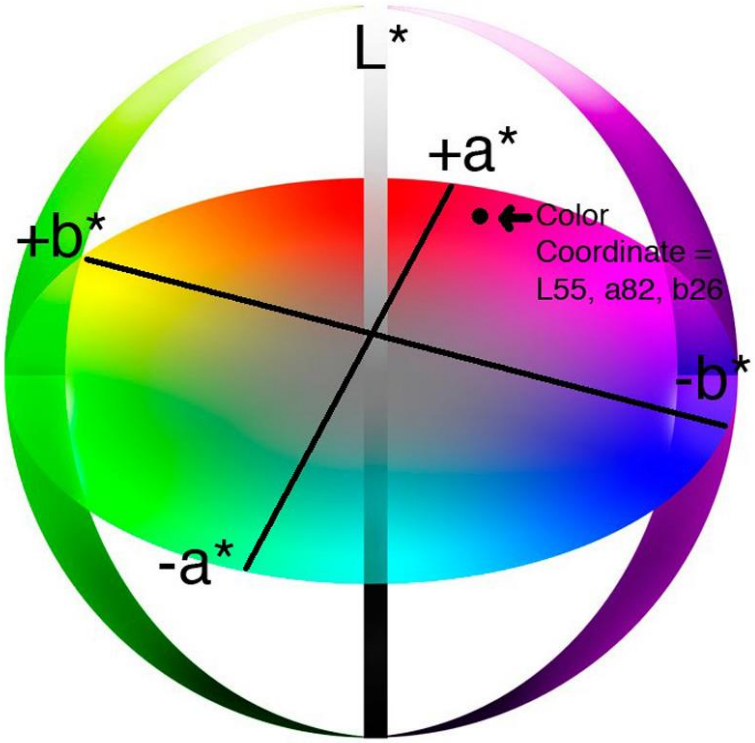
GAMUT

- Il gamut di un dispositivo è l'insieme dei colori che il dispositivo è in grado di produrre, riprodurre o catturare
- Il gamut di un modello di colore è l'insieme di tutti i colori descrivibili da quel particolare modello di colore
- Quando un colore non può essere descritto da un certo modello di colore, si dice che, rispetto a quel modello di colore, è fuori gamma (o fuori gamut)

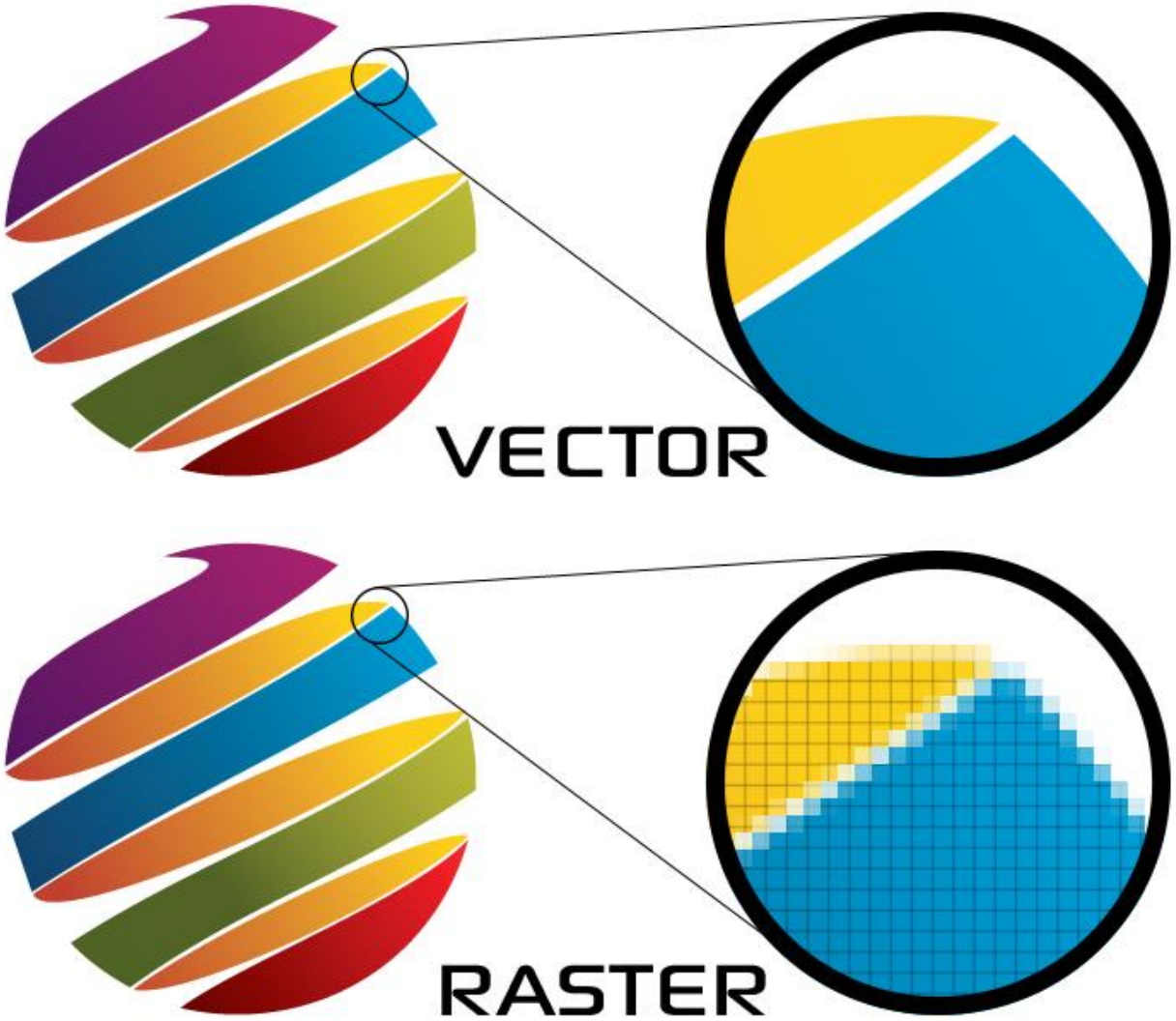


CIE L*a*b*

- Spazio colore ideato nel 1976 dal CIE (Interantional Commision on Illumination) per essere percettivamente uniforme rispetto alla visione umana
- Il colore L*a*b* è composto da:
  - L* – luminosità o componente della luce
  - a* – componente cromatica che varia da verde a rosso
  - b* – componente cromatica che varia da blu a giallo
- Include tutti i colori percepibili
- È indipendente dal dispositivo che li rappresenta



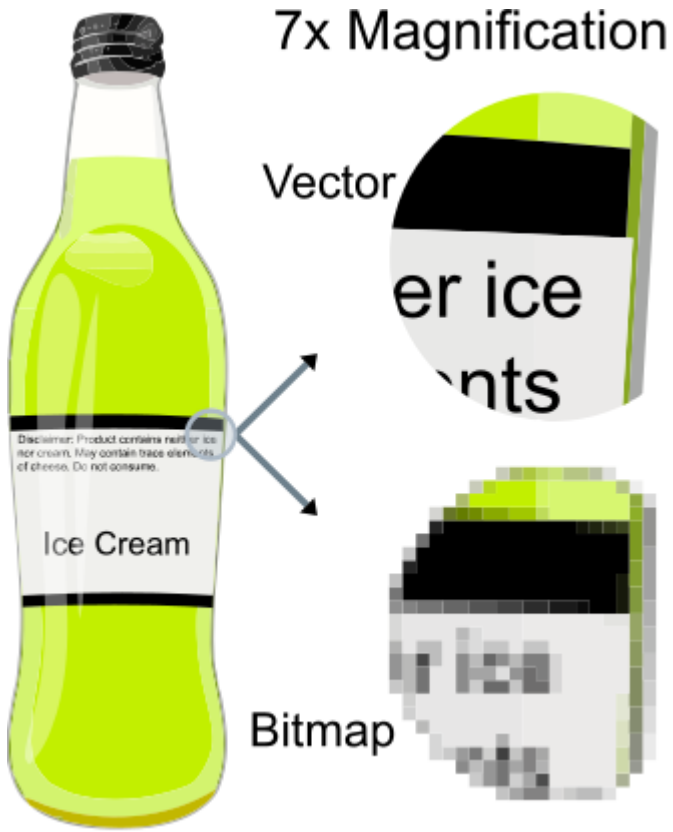
Grafica digitale



https://www.printcnx.com/resources-and-support/addiational-resources/raster-images-vs-vector-graphics/

Grafica vettoriale

- Tecnica di rappresentazione di un immagine (ma anche di caratteri tipografici, ad es. i font) in cui gli elementi grafici sono primitive geometriche (punti, segmenti di retta, curve di Bézier, ecc.)
- Gli elementi vengono ubicati nel disegno con l'indicazione delle coordinate dei punti
- Ad ogni elemento possono essere attribuiti colori e sfumature
- Le immagini “geometriche” sono di solito salvate in grafica vettoriale



Grafica vettoriale

File vettoriale .svg:

```
<svg xmlns="http://www.w3.org/2000/svg" width="100" height="100">
  <circle fill="yellow" stroke="green" stroke-width="4" cx="50" cy="50" r="40" />
</svg>
```

File raster .ppm

```
P3
100 100
255
192 192 192 192 192 192 192 192 192 192 192 192 192 192 192
192 192 192 192 192 192 192 192 192 192 192 192 192 192 192
192 192 192 192 192 192 192 192 192 192 192 192 192 192 192
192 192 192 192 192 192 192 192 192 192 192 192 192 192 192
… circa 30000 parole
```

Grafica raster

- Un'immagine digitale composta da un insieme di "puntini" (pixel) disposti in modo regolare su una griglia
- Pixel = Picture Elements
- Sono chiamate immagini raster (griglia) o bitmap
- La loro struttura regolare a griglia è facilmente visibile ingrandendo l'immagine
- Le immagini "pittoriche" sono di solito in grafica raster

Lena 1973

Scala dei toni

- Nel caso di immagini in "*bianco e nero*" la scala dei toni è costituita dai livelli di grigio che la compongono
- Nelle immagini a colori la scala dei toni è data dalle varie sfumature di colore
- A seconda della complessità della scala di toni scelta, le informazioni relative a ogni singolo pixel potranno occupare:
  - 1 bit
  - parte di un byte (es. 4 bit)
  - un byte (8 bit)
  - più byte (es. 3 byte = 24 bit)

Profondità di colore

- È il numero di bit riservati ad ogni pixel
- È una misura della capacità di rappresentare o distinguere varie sfumature di colore
- Ad esempio un'immagine in scala di grigi con una profondità di colore di 4 bit distingue 16 livelli di grigi, mentre con 8 bit arriva a 256 e aumenta il livello di dettaglio cromatico

4 bit

8 bit

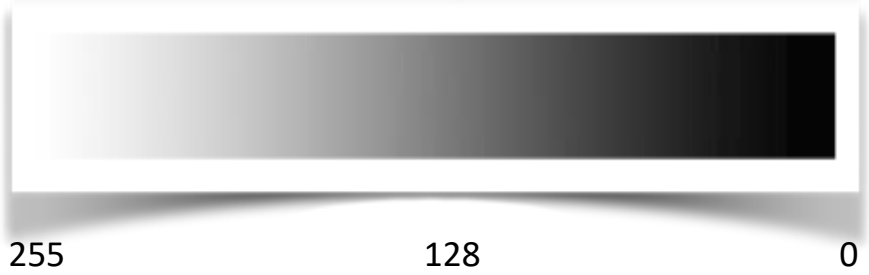
Immagini in bianco e nero

- Su un'immagine è in bianco/nero senza sfumature (es. nel formato fax) per ogni pixel basta 1 solo bit
- Infatti un bit può rappresentare $2^1=2$ condizioni: nero (0) oppure bianco (1) (o viceversa)

1 0

Immagini a livelli di grigio

- Nel caso di immagini a livelli di grigio, normalmente si riserva un byte ad ogni pixel:
  - Possiamo rappresentare fino a 2^8=256 livelli di grigio con la convenzione che 0 rappresenta il nero e 255 il bianco



Immagini a Colori

- Le rappresentazioni delle immagini a colori variano a seconda del modello di colore che si usa
- Solitamente ogni campo di colore relativo ad un pixel viene rappresentato da un byte
- Un'immagine RGB utilizza 3 byte per ogni pixel:
  - Un byte per la componente rossa (R)
  - Un byte per la componente verde (G)
  - Un byte per la componente blu (B)

Immagini a Colori

24 bit - 16.777.216 colori

8 bit - 256 colori

4 bit - 16 colori

Dimensione e risoluzione

- I pixel che compongono un'immagine misurano la dimensione dell'immagine stessa (es. 1024 x 768 pixel)
- Un'immagine digitale di una determinata dimensione può essere visualizzata su un supporto (carta, monitor, ...) a diverse grandezze
- Al variare delle dimensioni di visualizzazione cambia la risoluzione dell'immagine
- La risoluzione è legata alla densità di punti visualizzati e si misura in punti per pollice (dpi)

Dimensione e risoluzione

Lena: 512x512 pixel @ 72dpi

Lena: 512x512 pixel @ 144dpi

Lena: 512x512 pixel @ 288dpi

Lena: 256x256 pixel @ 72dpi

Lena: 128x128 pixel @ 72dpi

Compressione

- Le immagini raster possono essere memorizzati in molteplici formati di file che sfruttano algoritmi di compressione diversi, gravando in modo differente sul supporto di memorizzazione
- Tre diverse categorie di compressione:
  - Non compressi (es. .bmp)
  - Compressione lossless (senza perdita)
  - Compressione lossy (con perdita)
- NOTA: I file RAW contengono invece dati "*grezzi*" provenienti dal sensore (macchine fotografiche, videocamere, scanner)
  - .nef, .dng, .crw, …

Compressione lossless

- Le immagini salvate con un algoritmo lossless sono compresse in modo da occupare meno spazio nei dispositivi di memoria mantenendo però inalterata tutta l'informazione originale
- Formati più usati:
  - .tiff (permette diversi tipi di compressione)
  - .gif (per immagini fino a 256 colori)
  - .png
- File .gif, .png e .ico (per le icone) permettono di gestire anche una eventuale trasparenza dei pixel

Compressione lossy

- Le immagini memorizzate con un algoritmo di compressione lossy subiscono una perdita di informazione (le meno "importanti" per l'occhio umano)
- Indicate per la trasmissione di immagini, per il web o per ridurre le dimensioni di file da distribuire
- Non adatte per l'elaborazione o il fotoritocco -> artefatti da compressione
- Formati più usati
  - .jpeg
  - .gif (se l'immagine di partenza ha più di 256 colori)

Compressione Jpeg

JPEG qualità 10% - 3,2 KB

JPEG qualità 50% - 6,7 KB

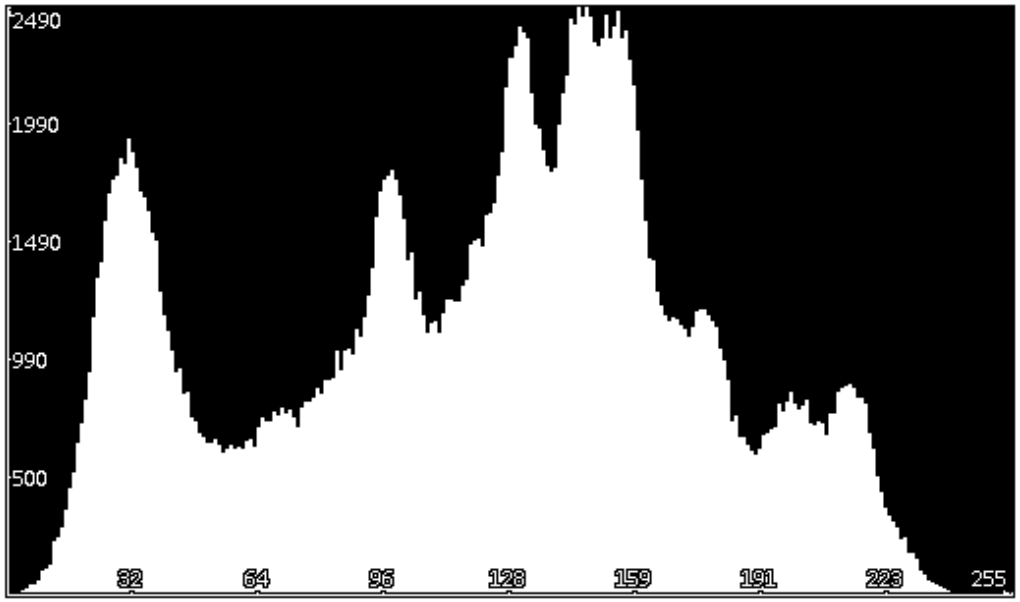
JPEG qualità 90% - 30,2 KB

JPEG qualità 100% - 87,7 KB

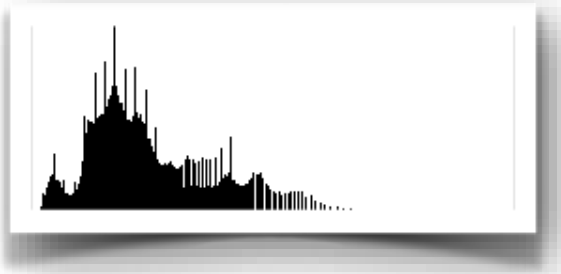
OPERAZIONI DI BASE

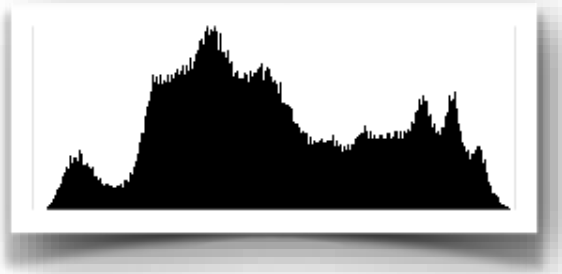
Istogramma

- L'istogramma di un'immagine è una rappresentazione della sua distribuzione di valori
- L'asse orizzontale del grafico rappresenta i valori
- L'asse verticale rappresenta il numero di pixel di quel particolare valore



Istogramma





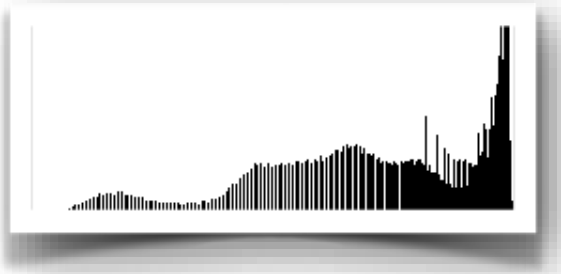
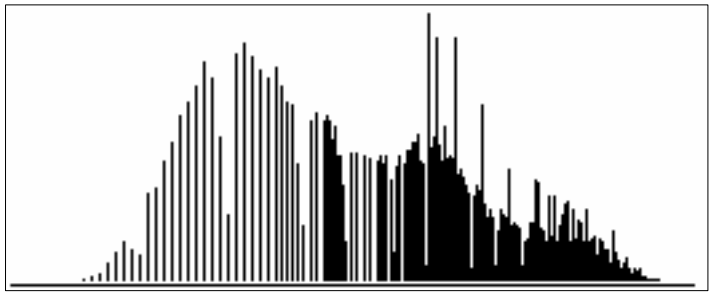


Immagine originale



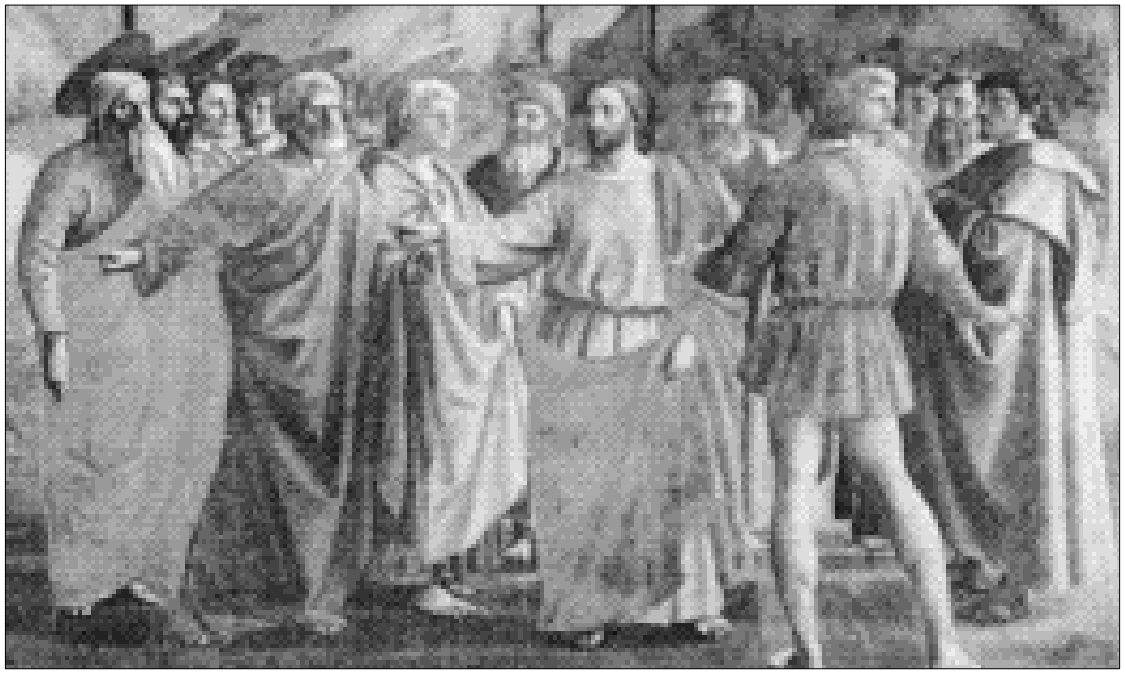
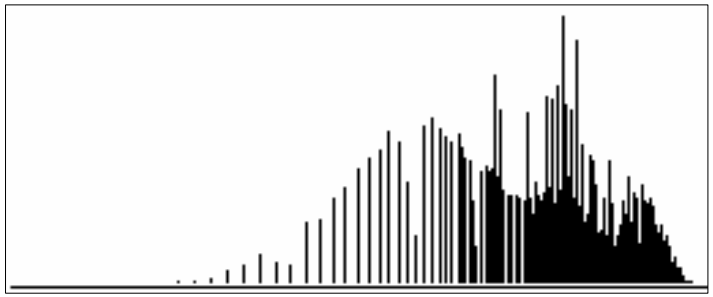
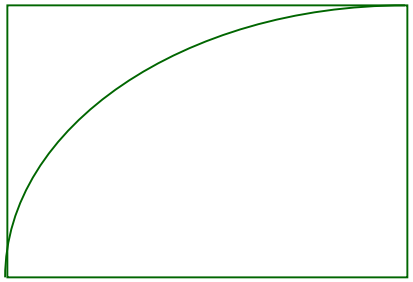


Immagine intensificata



$$LUT(n) = \sqrt{255 \times n}$$

L'istogramma risulta traslato verso i valori alti (immagine più chiara)



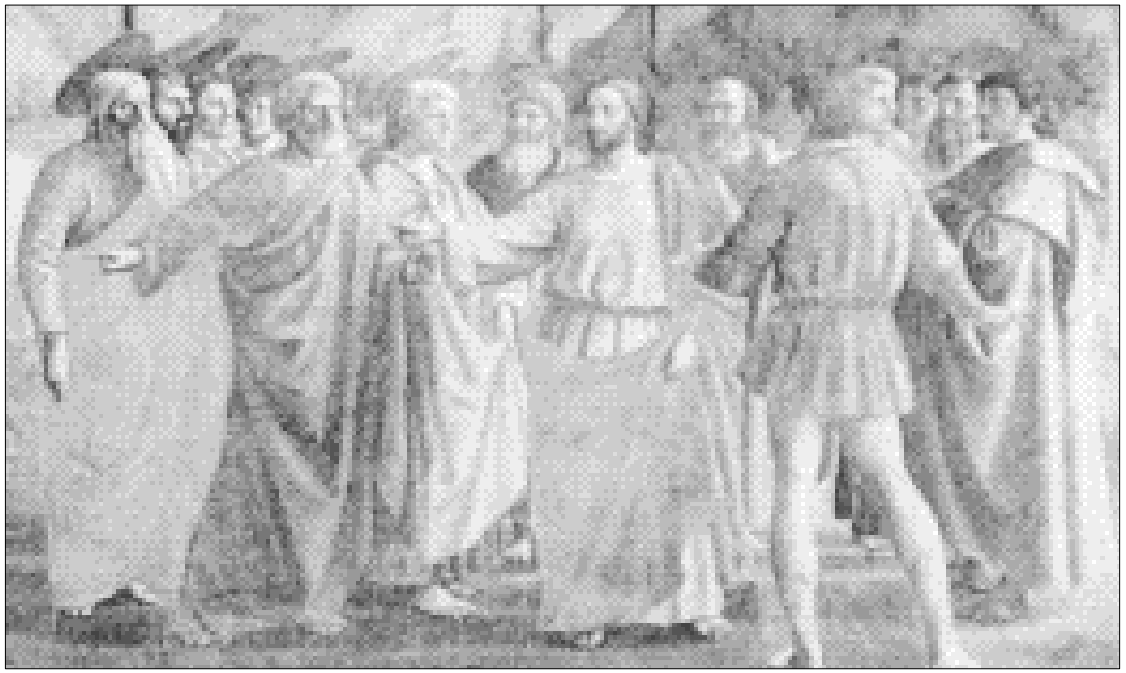
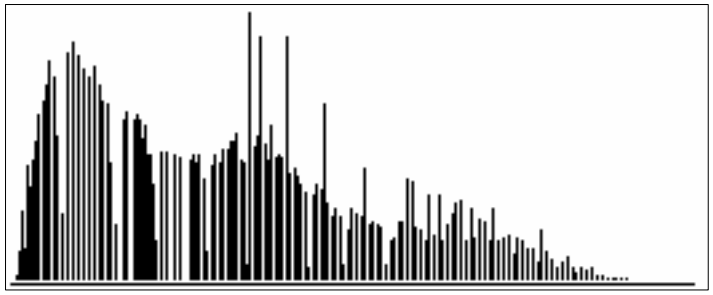
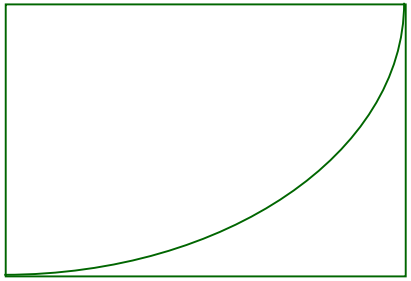


Immagine oscurata



$$LUT(n) = \frac{n^2}{255}$$

L'istogramma risulta traslato verso i valori bassi (immagine più scura)



Correzione gamma

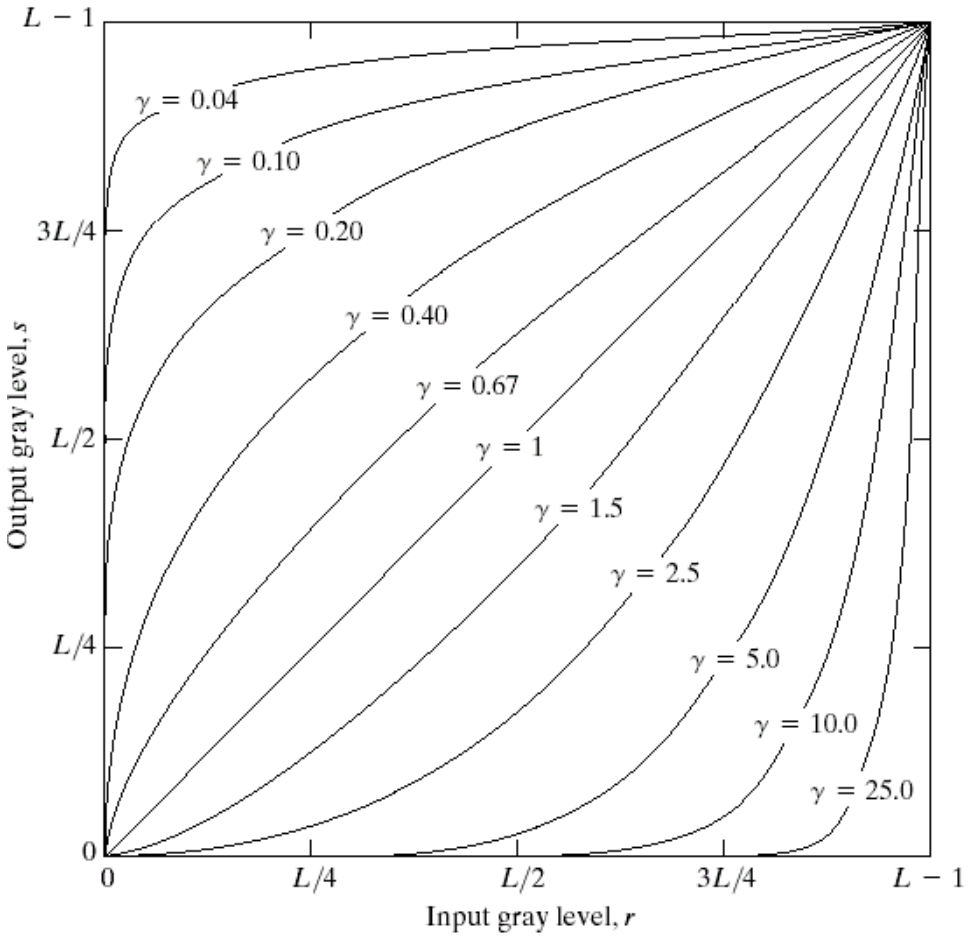
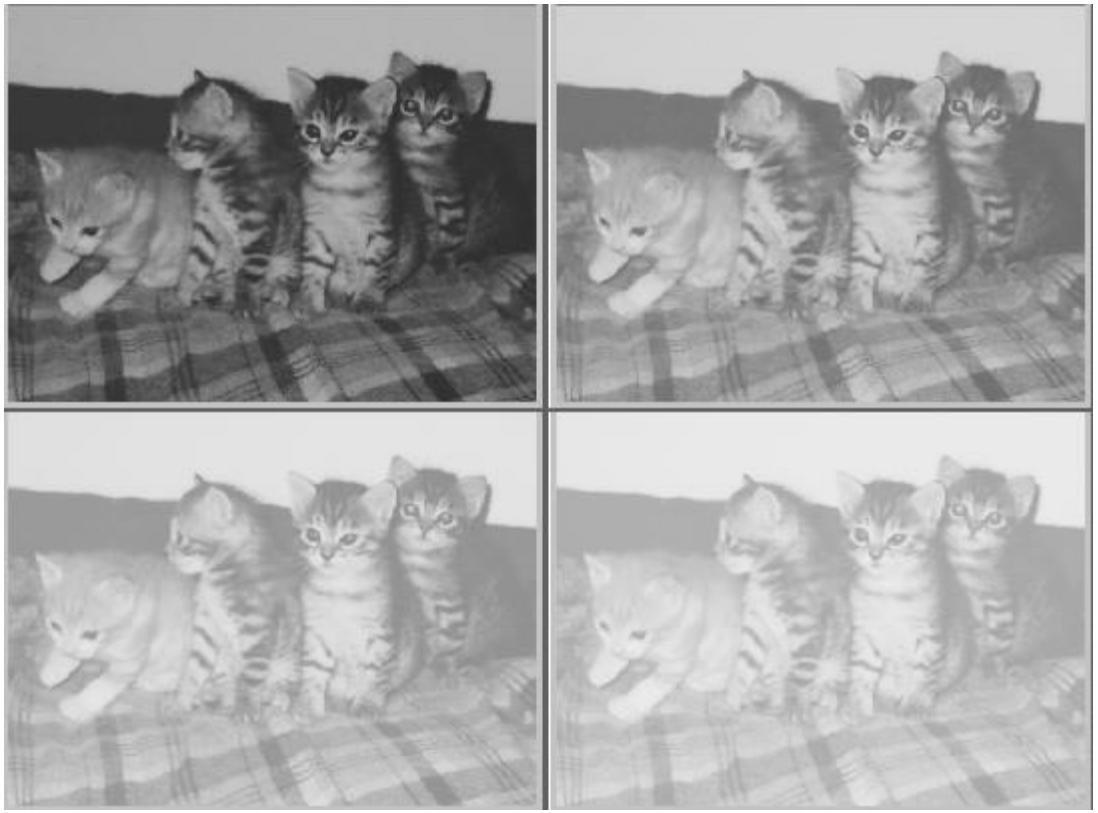


FIGURE 3.6 Plots of the equation $s = cr^{\gamma}$ for various values of γ ($c = 1$ in all cases).

$$LUT(n) = 255\left(\frac{n}{255}\right)^{\gamma}$$

Correzione gamma

Originale (γ=1)

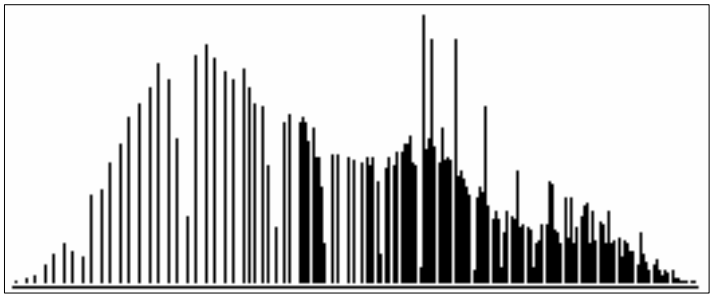


γ=1/2

γ=1/3

γ=1/4

Immagine normalizzata



$$LUT(n) = 255 \times \frac{n - \min}{\max - \min}$$

Riscala i valori dell'istogramma in modo da coprire tutto intervallo di valori disponibili

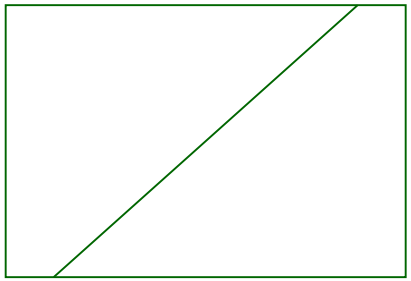
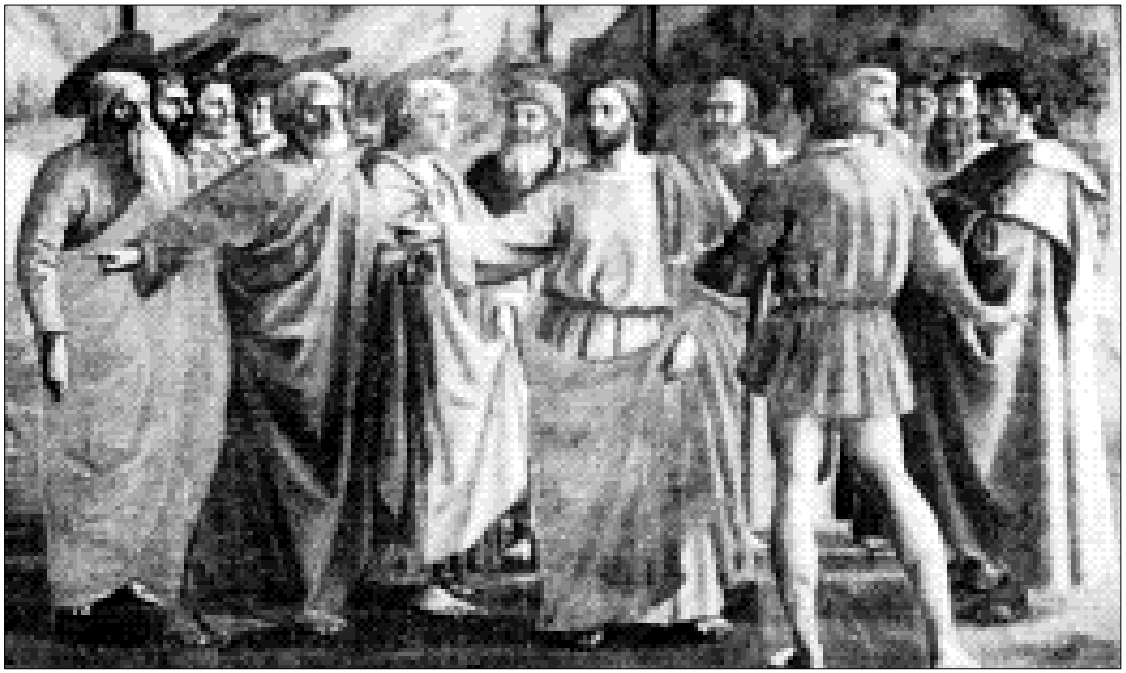


Immagine equalizzata

$$LUT(n) = 255 \times \frac{\sum_{i=0}^{n} hist(i)}{\sum_{i=0}^{255} hist(i)}$$

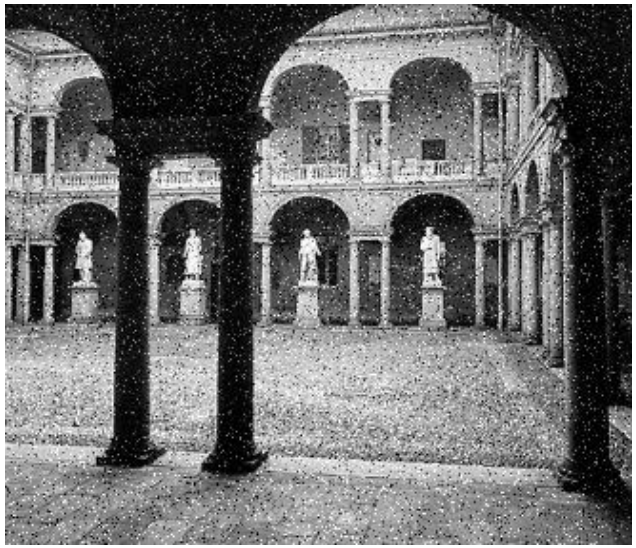
Si cerca di ottenere un'immagine in cui ogni tonalità è presente con la stessa frequenza



Filtro di Smooting

$$\frac{1}{9}\begin{bmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & 1 & 1\\ 1 & 1 & 1\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}1/16 & 1/8 & 1/16\\ 1/8 & 1/4 & 1/8\\ 1/16 & 1/8 & 1/16\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}1/4 & 1/2 & 1/4\end{bmatrix} \times \begin{bmatrix}1/4\\ 1/2\\ 1/4\end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix}1/2 & 1/2\end{bmatrix} \times \begin{bmatrix}1/2 & 1/2\end{bmatrix} \times \begin{bmatrix}1/2\\ 1/2\end{bmatrix} \times \begin{bmatrix}1/2\\ 1/2\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}1 & 1\end{bmatrix} \times \begin{bmatrix}1 & 1\end{bmatrix} \times \begin{bmatrix}1\\ 1\end{bmatrix} \times \begin{bmatrix}1\\ 1\end{bmatrix} \times 1/16$$

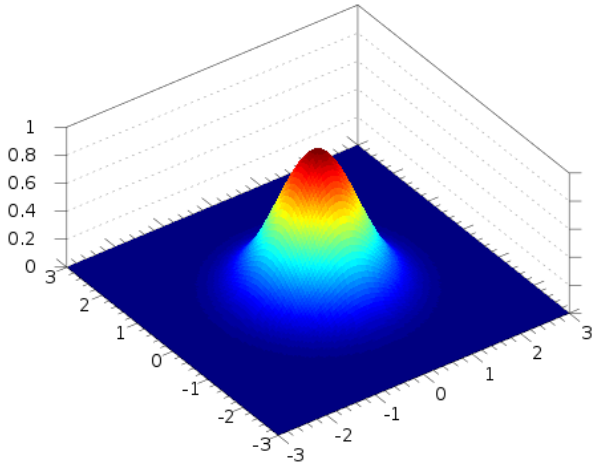


⇒

Sfocatura gaussiana

- È il risultato che si ottiene sfuocando un'immagine usando una funzione gaussiana

$$G(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$



σ = StDev

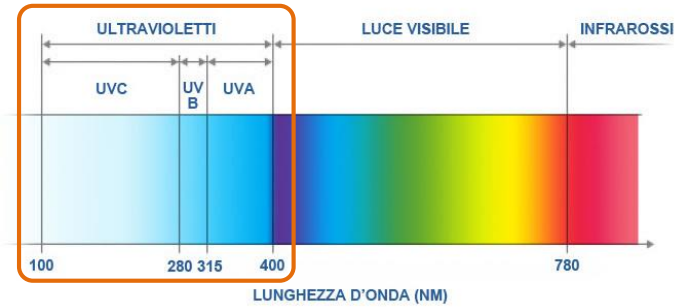
- Riduce il rumore delle immagini a scapito dei dettagli

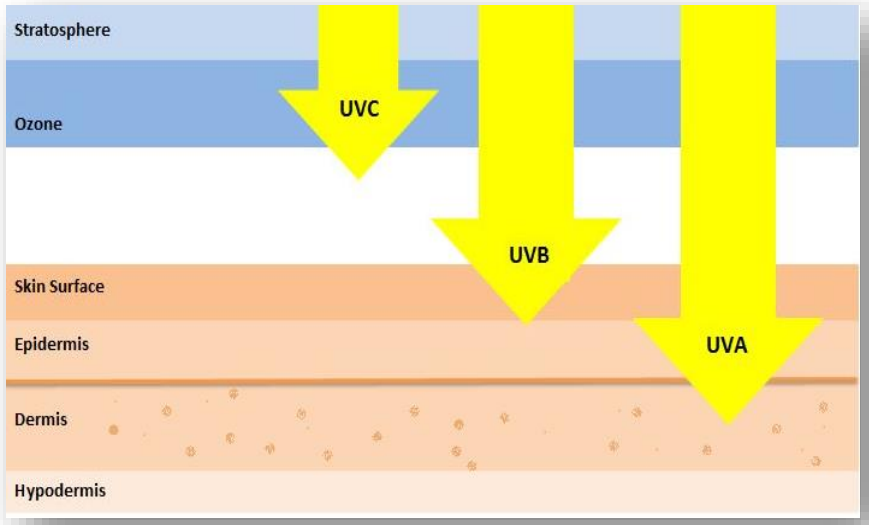
- Si comporta come un filtro passa basso (elimina le alte frequenze)

FLUORESCENZA UV

Ultravioletti (UV)

- Radiazione elettromagnetica con lunghezza d'onda immediatamente inferiore alla luce visibile ("oltre il violetto")
- Poco penetranti (si fermano sempre agli strati più esterni di una superficie)
- Possono essere dannosi per pelle e occhi

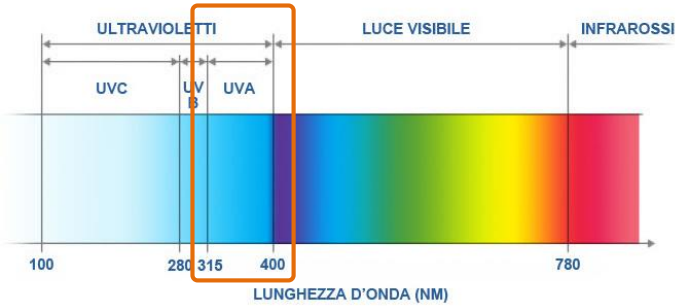




- Una delle possibili suddivisioni:
  - UV-C (100- 280 nm) – molto dannosi, i meno penetranti
  - UV-B (315-280 nm) – dannosi, poco penetranti
  - UV-A (400-315 nm) – "luce nera", poco dannosi, i più penetranti

UVA – Lampada di Wood

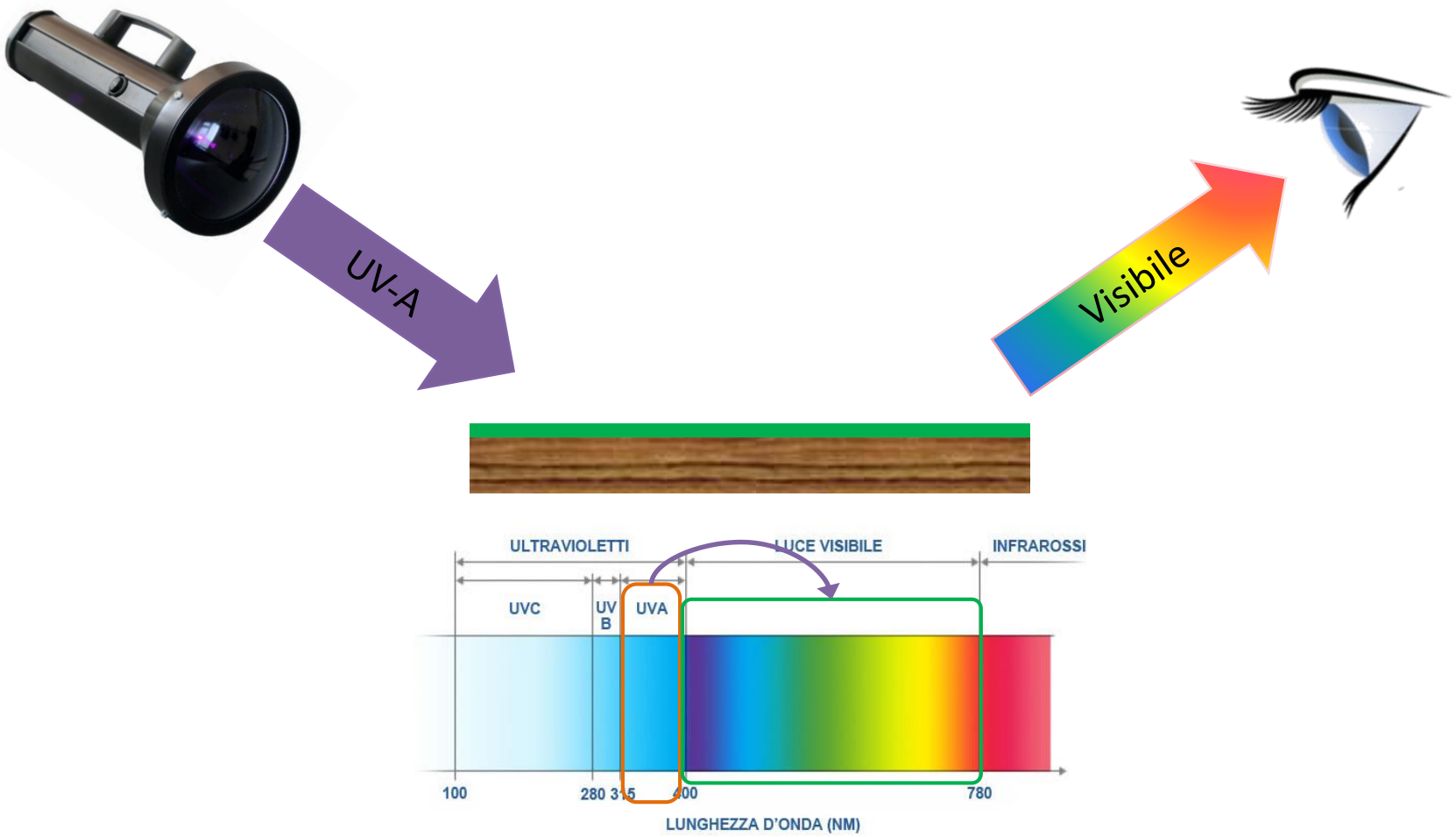
- Lampada (neon) dotata di un particolare vetro colorato (vetro di Wood) che blocca le radiazioni UV diverse da UV-A
- Picco di emissione ~365 nm
- Può avere una leggera emissione nel visibile



- Usata in vari campi:
  - Indagini forensi
  - Medicina
  - Microbiologia
  - Paleografia
  - Individuazione banconote false
  - Beni culturali

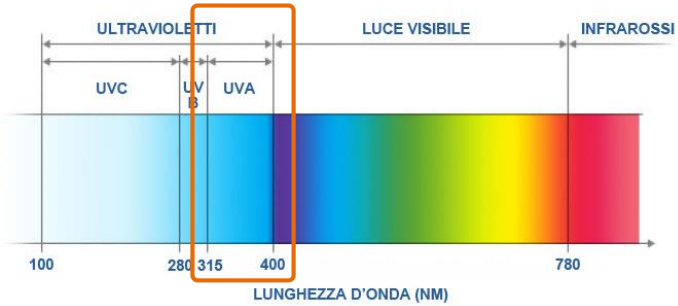
Fluorescenza UV (UVF)

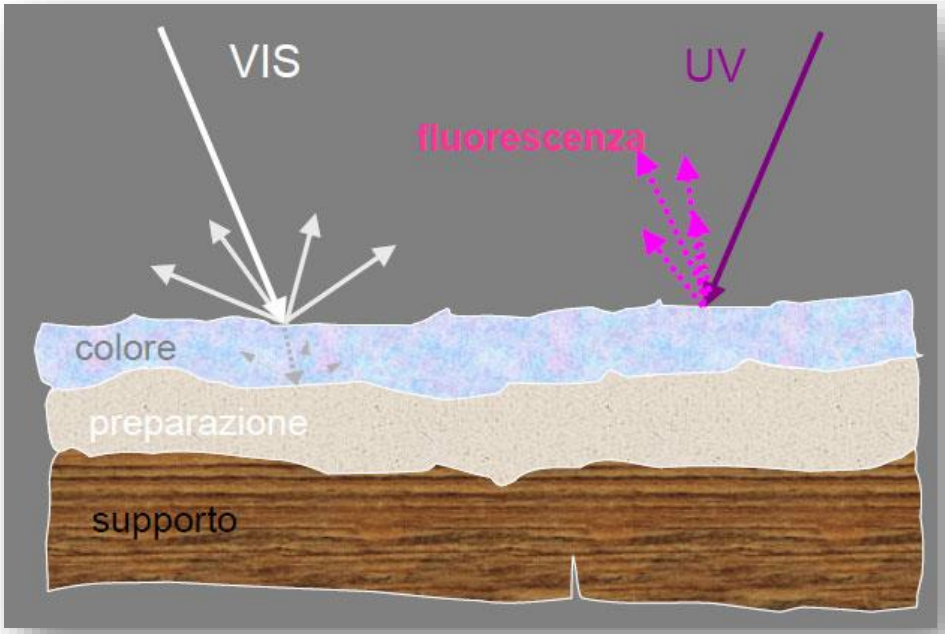
La fluorescenza è la proprietà di alcune sostanze di riemettere a lunghezza d'onda maggiore (= energia minore) le radiazioni elettromagnetiche ricevute



Fluorescenza UV (UVF)

- Tecnica fotografica che permette di osservare particolari di un manufatto non visibili con un'illuminazione standard





Matteini, Moles – La chimica del restauro, 2007

- Sostanze diverse ⇔ colori di fluorescenza diversi:
  - GIALLO = oli
  - VERDE = proteine (es. caseina)
  - ARANCIONE = resine (es. gommalacca)
  - …

Fluorescenza UV (UVF)

La corrispondenza MATERIALE – COLORE non è sempre univoca!

- I reperti antichi hanno subito alterazioni:
  - Invecchiamento
  - Restauri
  - Cattive condizioni di conservazione
  - Usura
- Strati sovrapposti di vernici possono produrre colori di fluorescenza difficili da interpretare

Lo stesso colore su oggetti diversi non indica sempre la stessa sostanza

Fluorescenza UV (UVF)

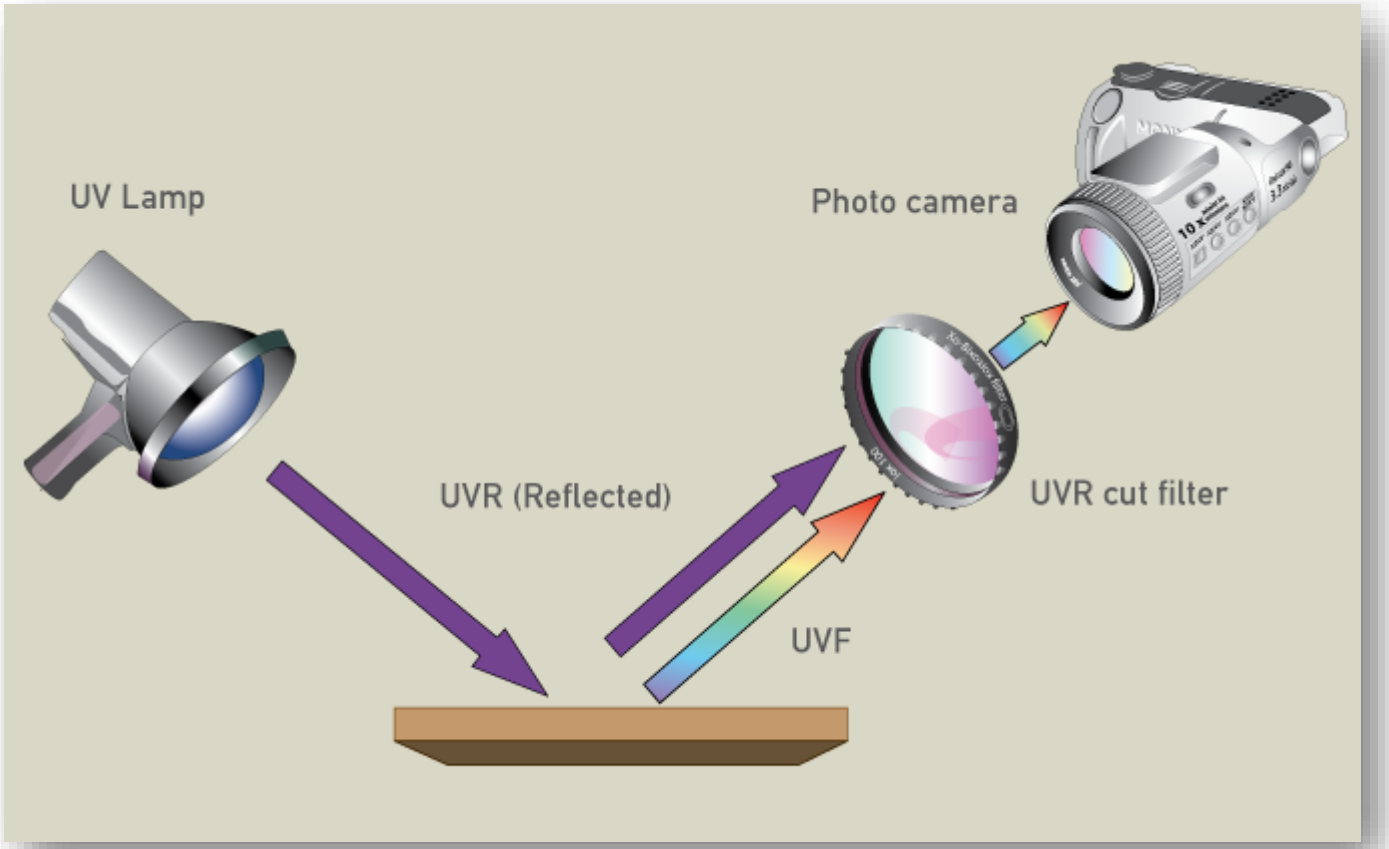
Principali vantaggi:

- È una tecnica di analisi preliminare rapida e non invasiva
- Mette in evidenza:
  - Restauri e ritocchi
  - Aree usurate
  - Vernici differenti
  - Dettagli scoloriti
- È utile per pianificare successive analisi spettroscopiche (es. FTIR, XRF)

Come si acquisiscono le immagini?

Fluorescenza UV (UVF) – Acquisizione

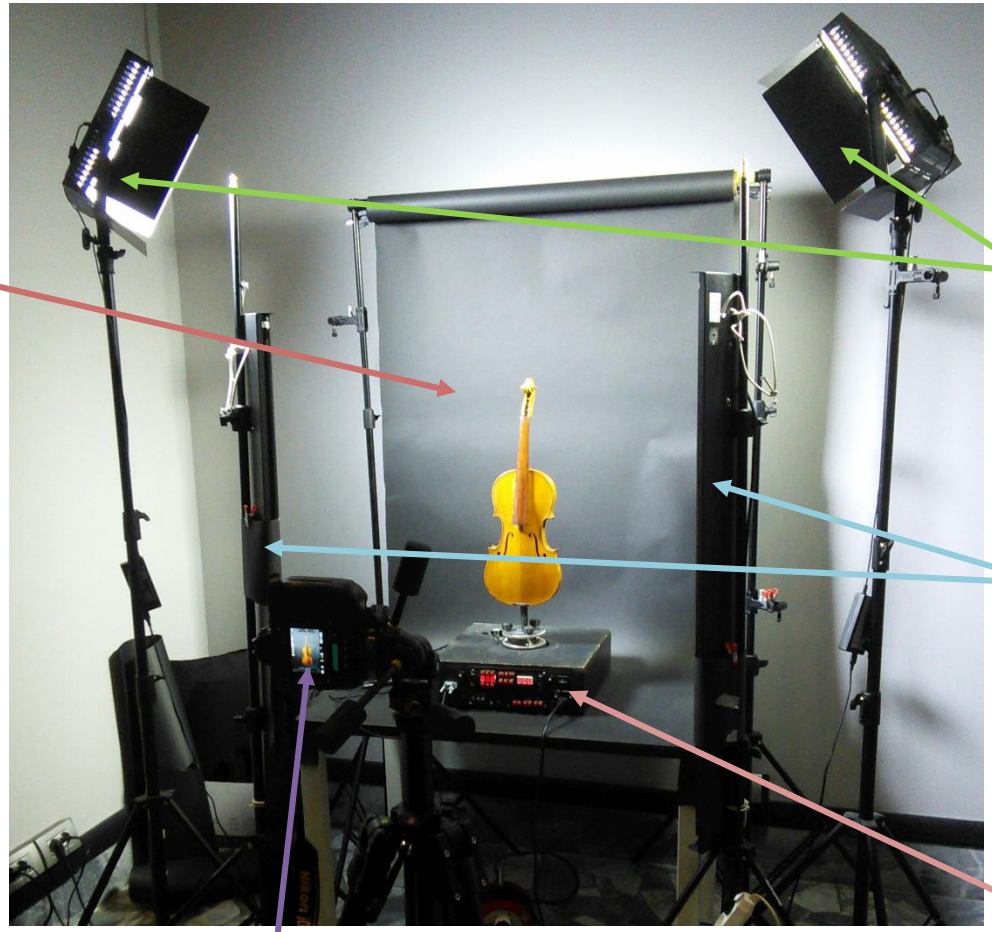
Set fotografico UVF



Douma Michael, Pigments through the Ages, 2008
http://www.webexhibits.org/pigments/intro/uv.html

Fluorescenza UV (UVF) – Acquisizione

Set fotografico UVF



Fondale uniforme, migliora la qualità delle foto UV

Softbox LED (T=5400K), fonte di illuminazione luce visibile

Lampade di Wood Osram L36W/73 , fonte di illuminazione UV (λ ~ 365nm)

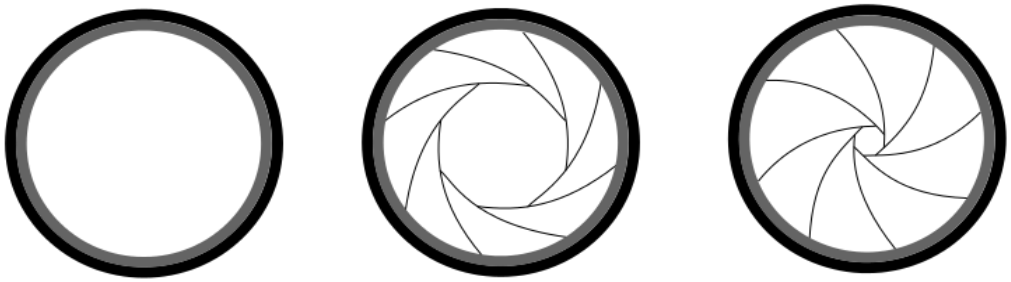
Piano rotante controllabile da computer (foto ripetibili ad angoli fissi)

Fotocamera Nikon D4, full-frame, obiettivo 50mm (o altri per foto macro) filtro cut-off a 420nm (per foto UV)

Fluorescenza UV (UVF) – Acquisizione

Parametri fotografici fondamentali:

- ISO: sensibilità del sensore alla luce
  - Basso -> meno sensibile, meno rumore
  - Alto -> più sensibile, più rumore
- Apertura (f/stop): quanto è aperto il diaframma dell'obbiettivo

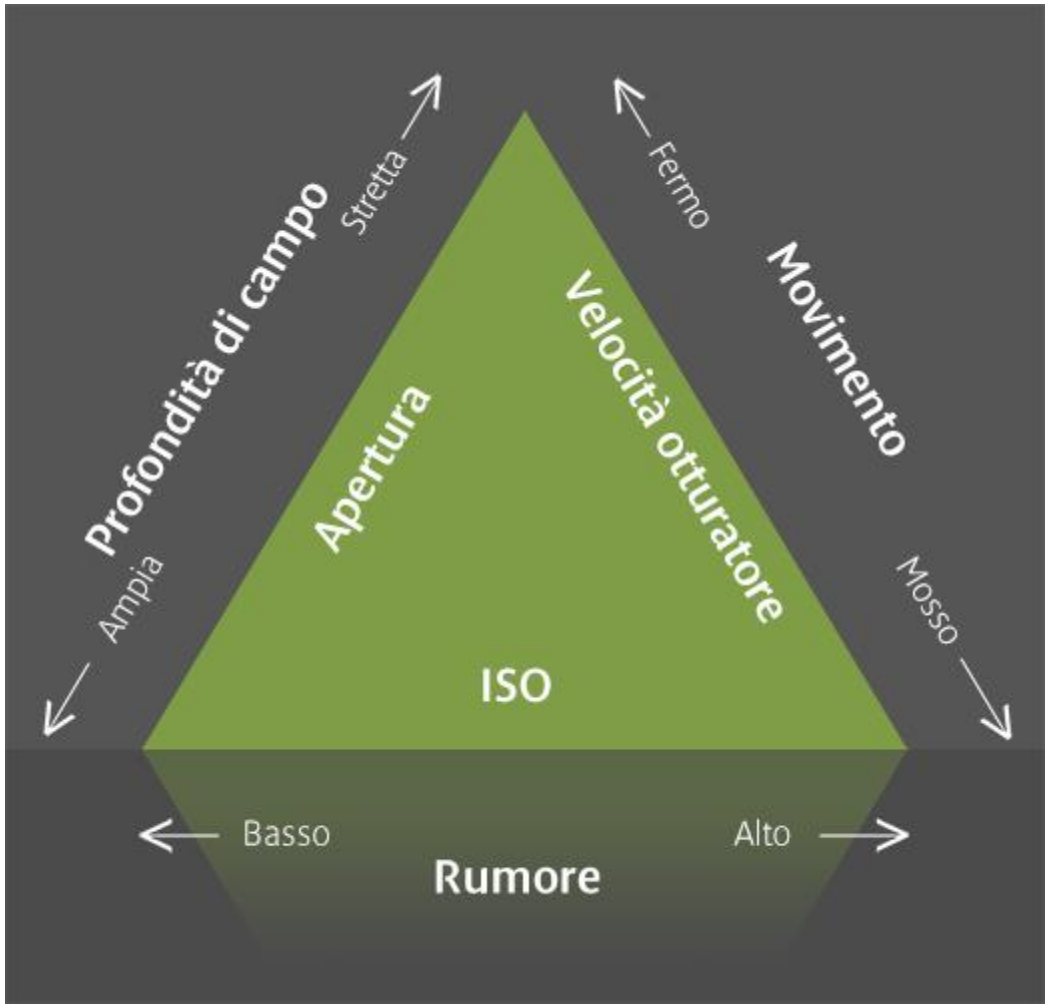


f/1 f/8 f/22

- Tempo di esposizione: tempo in cui il diaframma rimane aperto (frazioni di secondo)

Fluorescenza UV (UVF) – Acquisizione

Triangolo esposizione



http://www.canon.it/

Fluorescenza UV (UVF) – Acquisizione

Visibile

- ISO 100
- Apertura f/8
- Tempo esposizione basso: ~1/10 sec

UVF

- ISO 400
- Apertura f/8
- Tempo esposizione alto: 30 sec
- Filtro cut-off 420nm

- Macchina fotografica a circa 1.5 m dal violino
- Illuminazione laterale (riduce i riflessi)
- Attenzione al corretto allineamento del violino!
- I due tipi di immagine devono essere perfettamente sovrapponibili

Fluorescenza UV (UVF) – Esempi

Fluorescenza UV (UVF) – Esempi

UNIVERSITÀ
DI PAVIA

Laboratorio
Arvedi di
Diagnostica
non Invasiva

Q&A