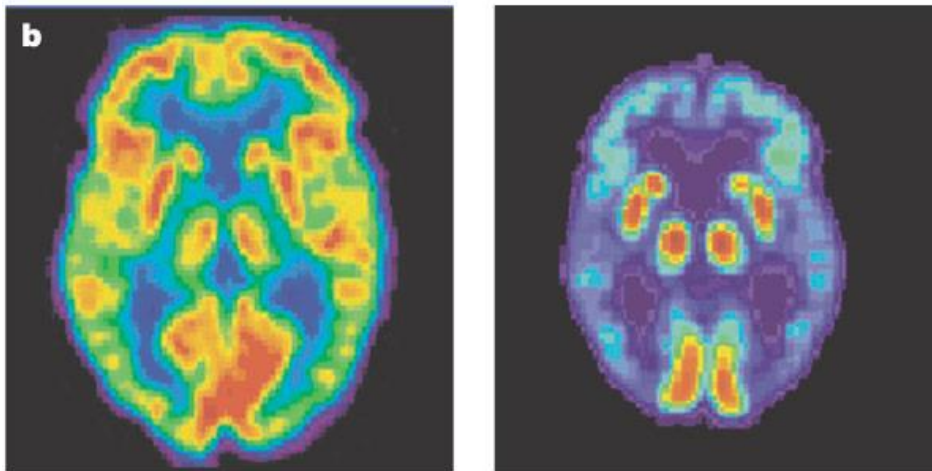
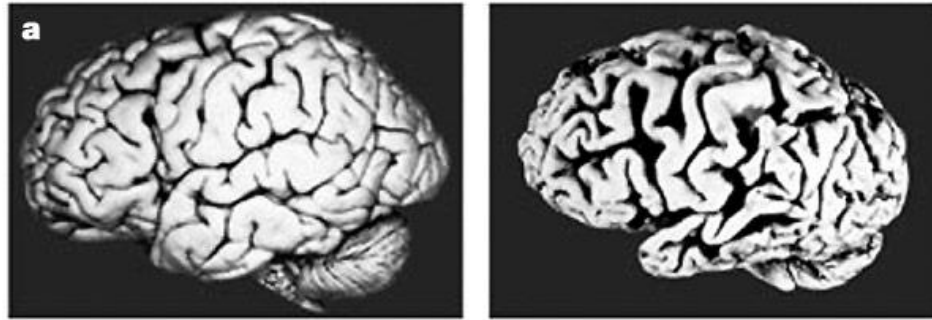


A.A. 2020 - 2021

## Elaborazione dell'Immagine

*Alberto Alzati, Giovanni Naldi*  
Dipartimento di Matematica  
“F. Enriques”

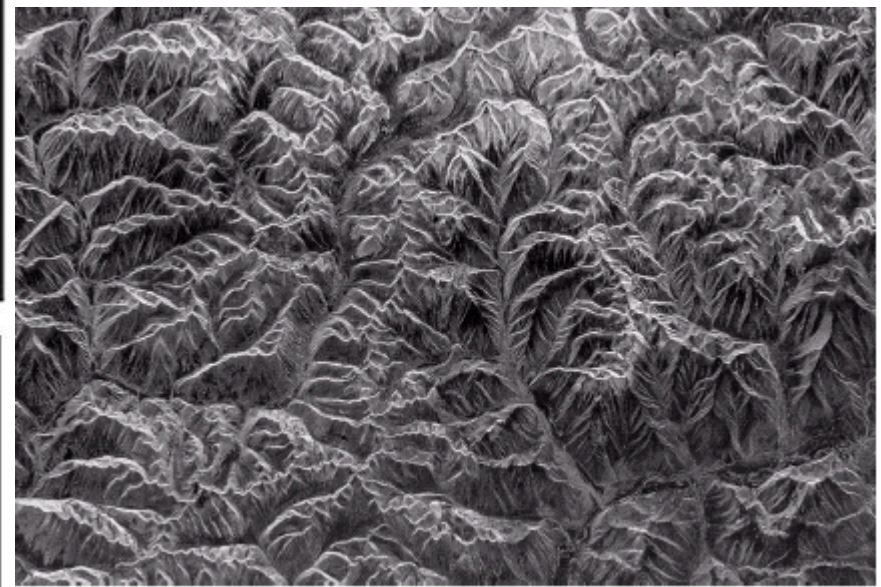
Il parte - Lezione 1



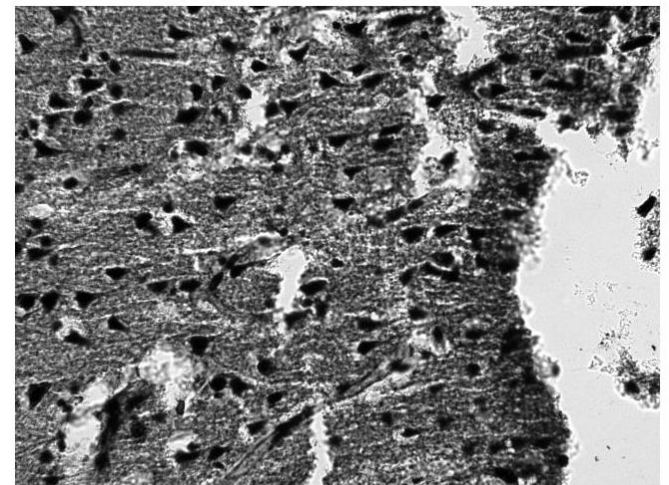
Normal brain

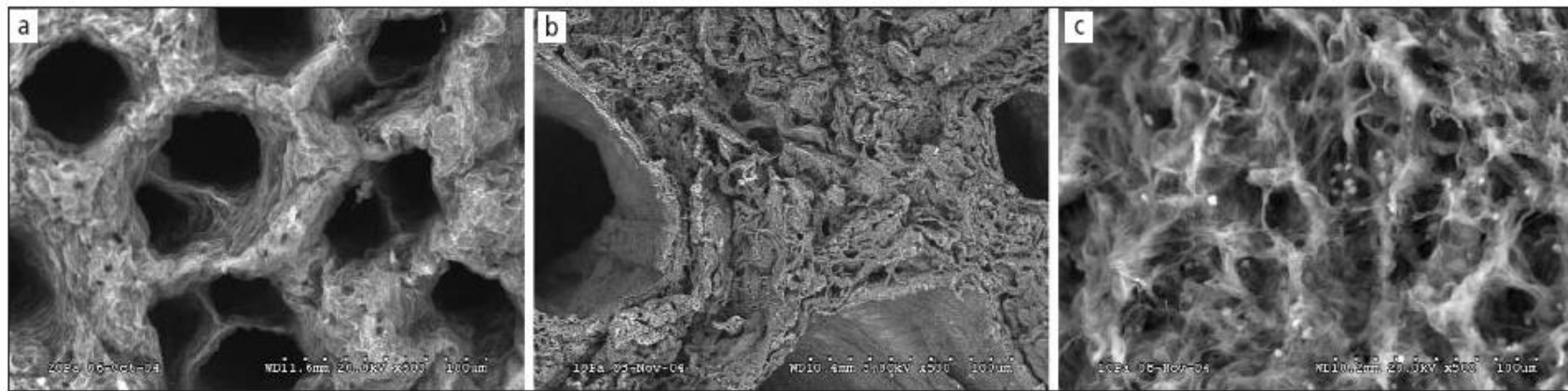
Alzheimer's brain

Pet scans (glucose utilization)



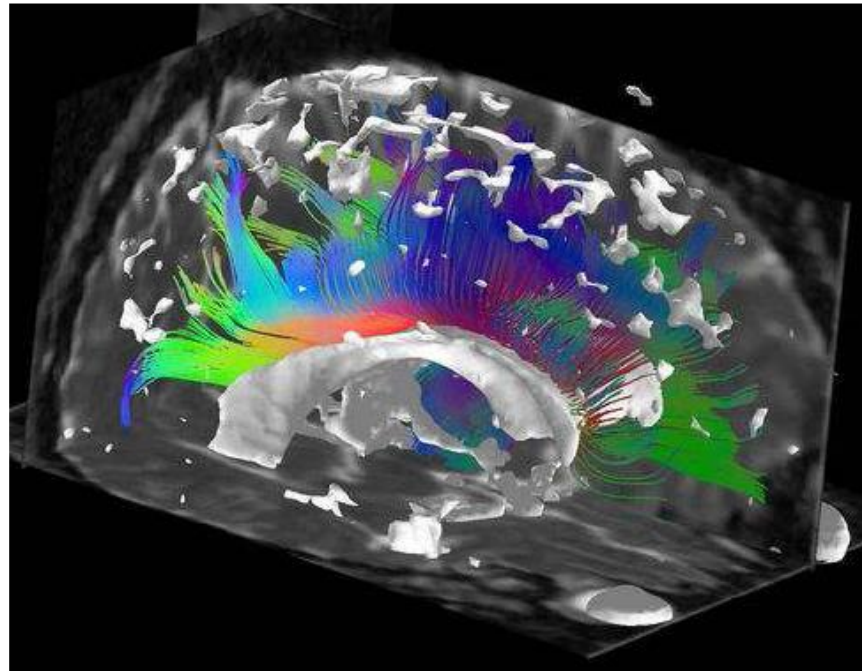
**FIGURE 1.16**  
Spaceborne radar  
image of  
mountains in  
southeast Tibet.  
(Courtesy of  
NASA.)



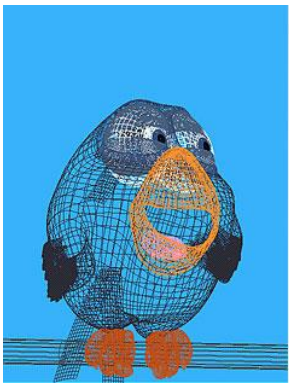


**Figure 3:**

Scanning electron micrographs of the extracellular matrix underlying normal colonic epithelia (a), well differentiated (b), and poorly differentiated colon cancer cells (c). Tumors processed as described in Materials and Methods, fixed in Trump's fixative, air dried using HMDS, and imaged using a Hitachi S-3000N VP-SEM. Note that the microtopography in (a) is trough-like whereas that in (c) is peak-like. Scale bars = 100  $\mu$ m.







Out of focus blurred



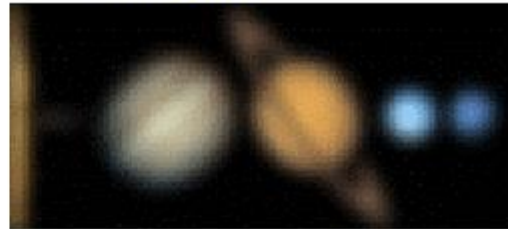
blind



non-blind



Gaussian blurred

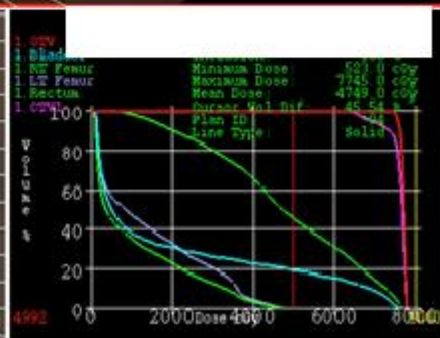
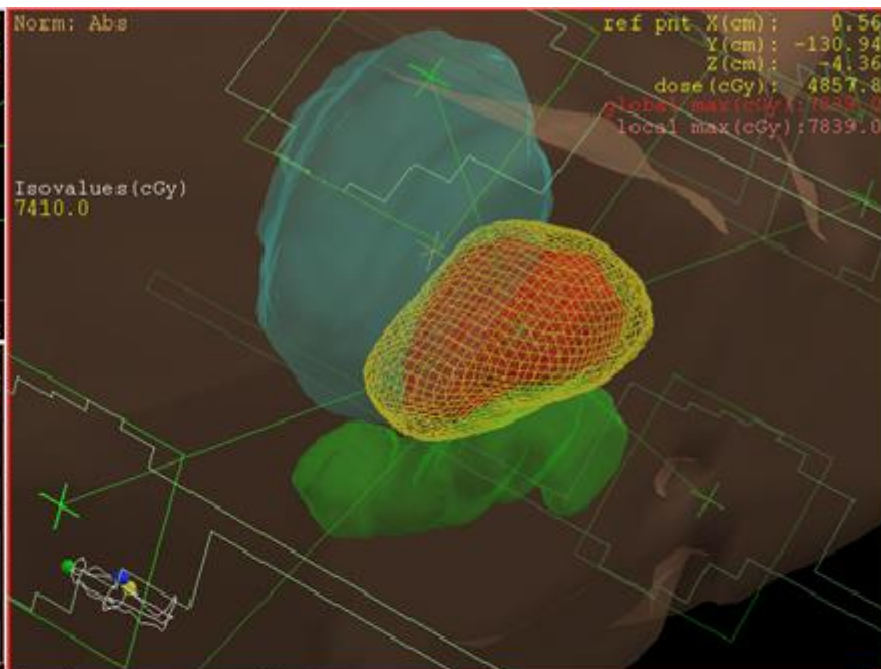
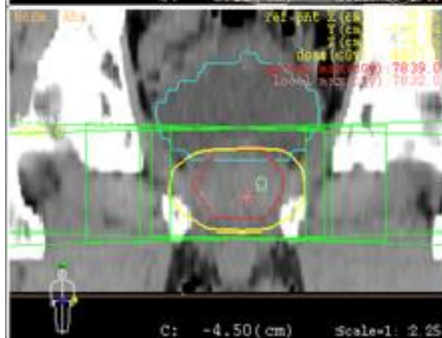
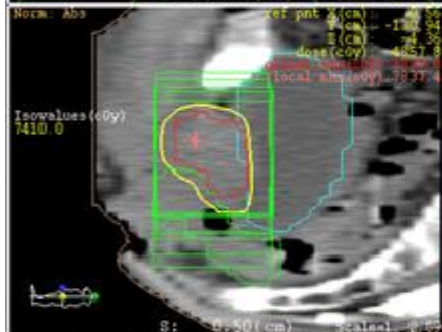
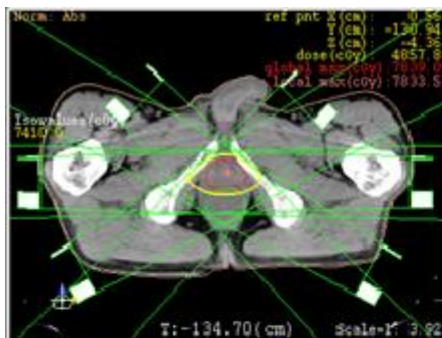


blind



non-blind



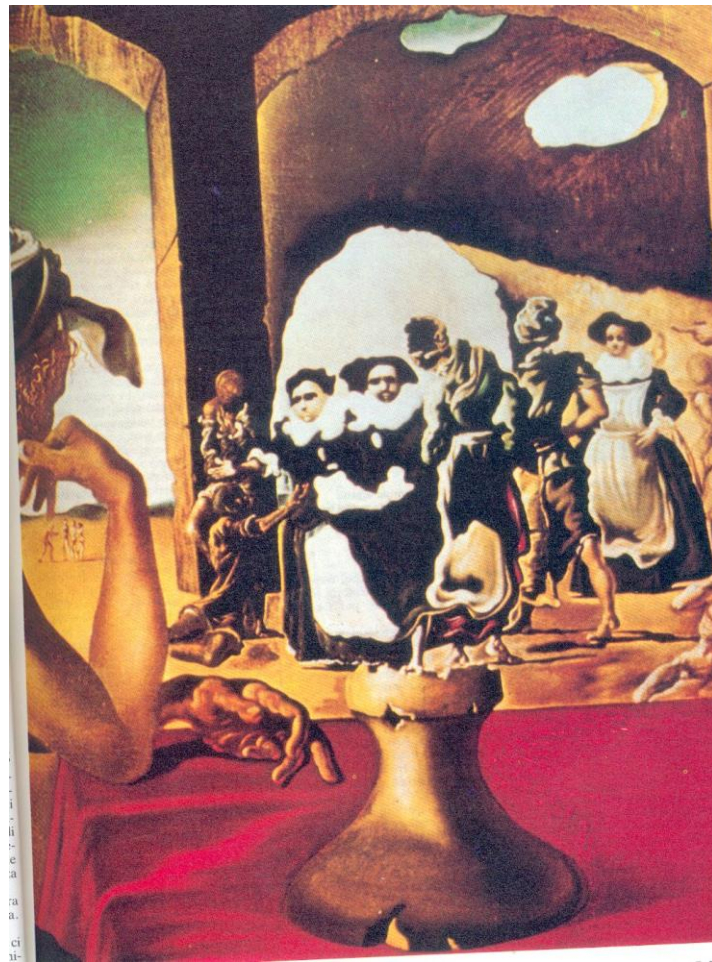


La Visione (artificiale): difficile da definire, cosa vuol dire **vedere**? Questione da filosofi oltre che da psicologi, neurofisiologi, ...

Esempio (in ambito differente ma significativo),  
*Ricerche Filosofiche* di L. Wittgenstein  
riguardante l'atto della lettura.

Non c'è solo la percezione, pura e semplice, che prescinda dalla identificazione di funzioni all'interno del contesto.





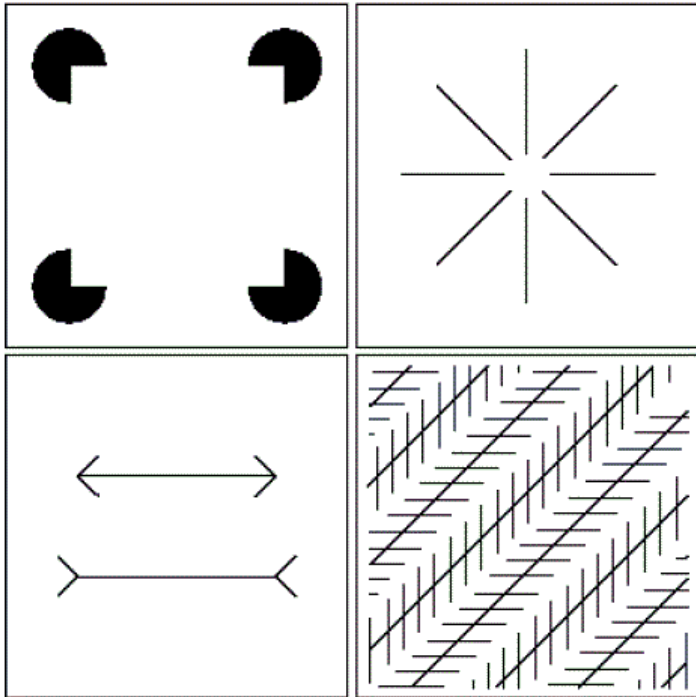
Computer Vision: prendere decisioni utili circa gli oggetti presenti in una scena basandosi su un'immagine (di solito digitale)

Elaborazione di Immagini: manipolazione di immagini con un computer

# OSSERVAZIONE

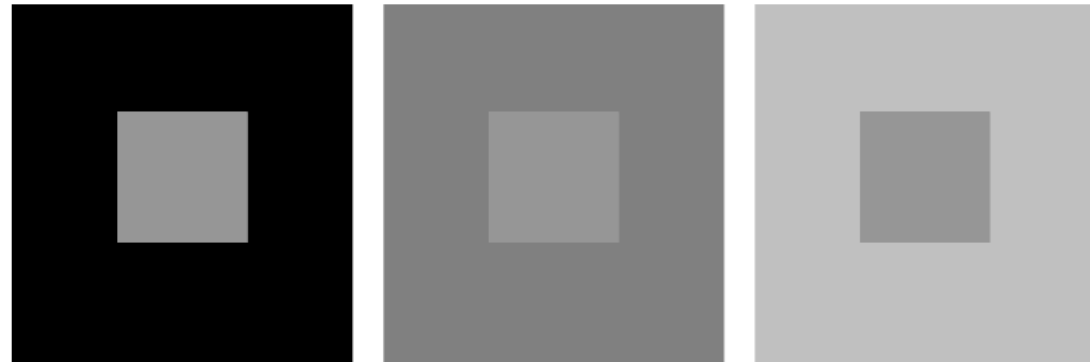
Ancora di più.... «*Ci son più cose in cielo e in terra, Orazio, che non sogni la tua filosofia*» (W. Shakespeare, Amleto: atto I, scena V)

## Effetti ottici



## Fenomeno del contrasto simultaneo

La luminosità percepita non dipende solo dall'intensità luminosa emessa







**ANDE - Durante la stagione delle piogge, la superficie del Salar de Uyuni, il più grande deserto di sale del mondo, si copre di un sottilissimo velo d'acqua che rispecchia l'immagine del cielo**  
Salar de Uyuni, Bolivia 2011

Kazuyoshi Nomachi



Steve McCurry

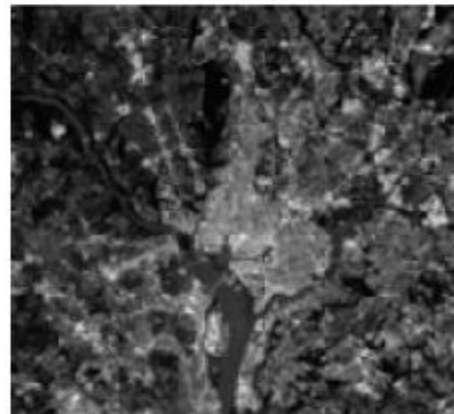
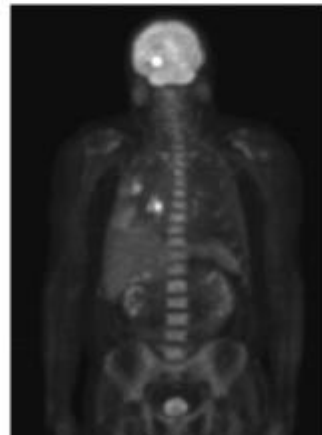
## Cenni storici

**1920:** primo sistema di codifica immagini a 5 livelli di grigio per trasmissioni transatlantiche (Bartlane)

**1960:** primo computer sufficientemente potente per fare image processing

**1964:** elaborazione immagini lunari (JPL, Pasadena, USA)

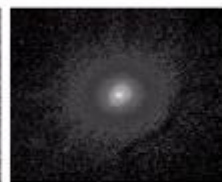
**Anni '70:** diffusione visione in ambito medico e astronomico (SAR)



Differenti tipi di segnale:



Gamma



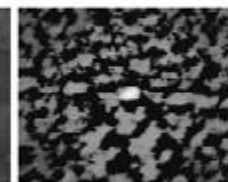
X-ray



Optical



Infrared



Radio

Images of the Crab Pulsar (in the center of images) covering the electromagnetic spectrum.  
(Courtesy of NASA.)

I **segnali** sono grandezze dipendenti da una o più variabili temporali o spaziali e contengono informazione riguardo lo stato di qualche fenomeno.

Un segnale è costituito da una entità contenente qualche tipo di informazione che può essere estratta, trasmessa o elaborata.

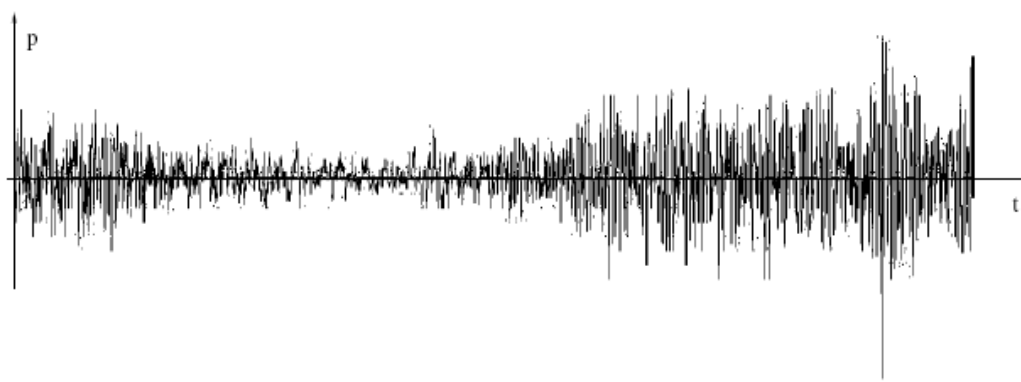
Esempi (di segnali):

- la pressione prodotta da un suono
- il campo elettromagnetico irradiato da un'antenna
- la tensione in uscita da un microfono
- l'intensità luminosa di una scena televisiva
- la temperatura in un processo chimico
- la velocità angolare di un albero motore
- parlato;
- suoni e musica, riproducibili ad esempio da un lettore di CD
- segnali biomedici, come elettrocardiogrammi e radiografie.

Un segnale è rappresentato, in generale, da una funzione  **$g = f(x)$** , dove:

- **$g$**  denota una variabile (dipendente) sui valori di una grandezza fisica o chimica (corrente, tensione, pressione, concentrazione di molecole e così via).
- **$x$**  denota una o più variabili indipendenti generalmente coordinate spaziali o temporali.
- **$f$**  denota la relazione funzionale che associa ad ogni valore di  $x$  il corrispondente valore della grandezza fisica  $g$ .





Segnale acustico,  $P(t)$ ,  $P$  pressione acustica,  $t$  tempo



Immagine monocromatica identificata dalla funzione  $L(x,y)$ , che fornisce la luminosità in funzione delle due coordinate spaziali  $(x,y)$ .

## IMMAGINI 2D

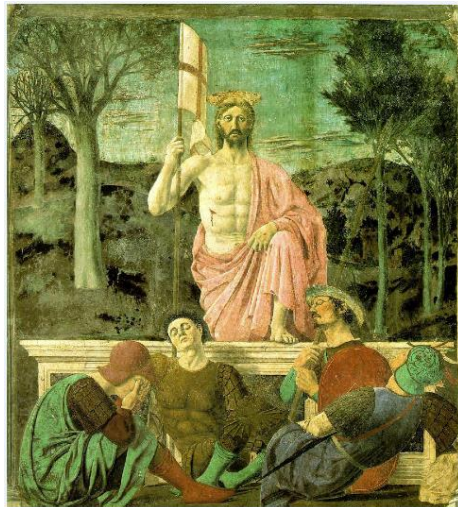
Per immagini a due dimensioni (2D) intendiamo una rappresentazione di una scena su un piano, per esempio una fotografia.

Le immagini 2D possono rappresentare oggetti creati al computer, misure fisiche ecc... oppure possono essere prodotte da un programma di grafica, da una macchina fotografica digitale, da un telescopio, da un microscopio, da un satellite, da un tomografo ecc..

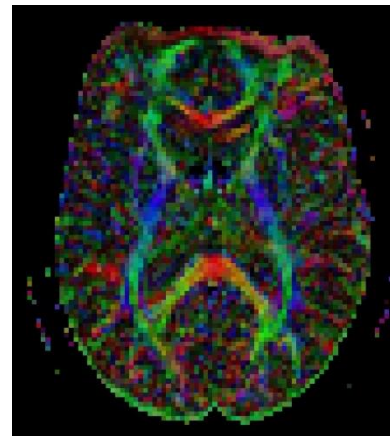
Una immagine monocromatica può essere identificata come una funzione  $I(x,y)$  in due variabili, dove  $x$  ed  $y$  rappresentano le coordinate (spaziali) mentre il valore  $I$  nel punto  $(x,y)$  è chiamata intensità o livello di grigio dell'immagine nel punto. Quando i valori  $x,y$  e l'ampiezza  $I$  sono quantità discrete, finite si parla di **immagine digitale**.



Immagini a toni di grigio



Immagini a colori



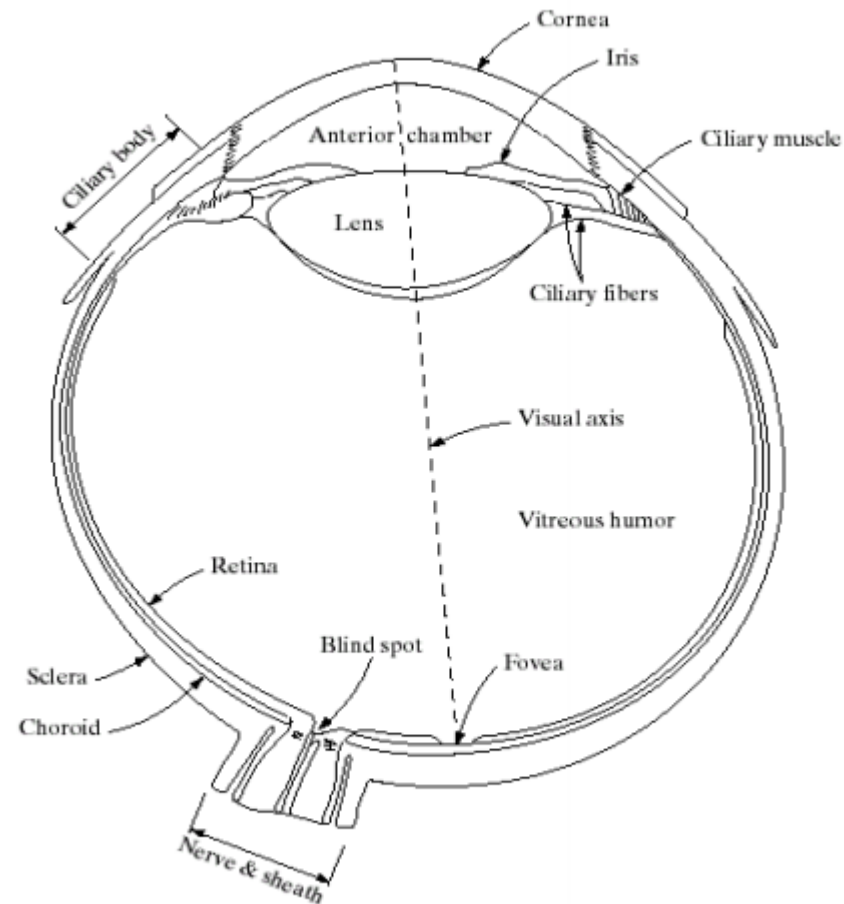
Falsi colori



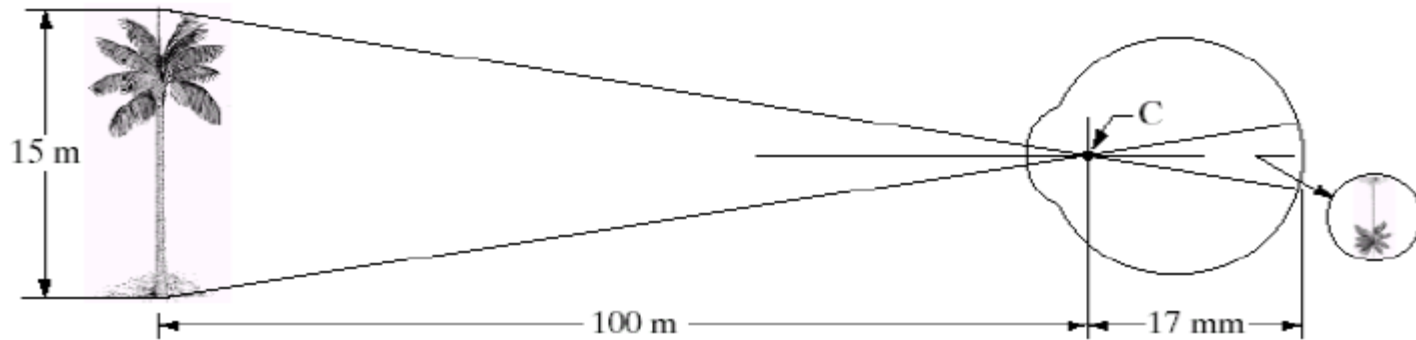
Immagini binarie

# Struttura dell'occhio umano

- Il cristallino concentra la luce dagli oggetti sulla retina
- La retina è coperta da recettori della luce chiamati coni (6-7 milioni) e bastoncelli (75-150 milioni)
- Coni sono concentrati intorno alla fovea e sono molto sensibili ai colori
- Bastoncelli sono più distribuiti e sono sensibili ai bassi livelli di illuminazione



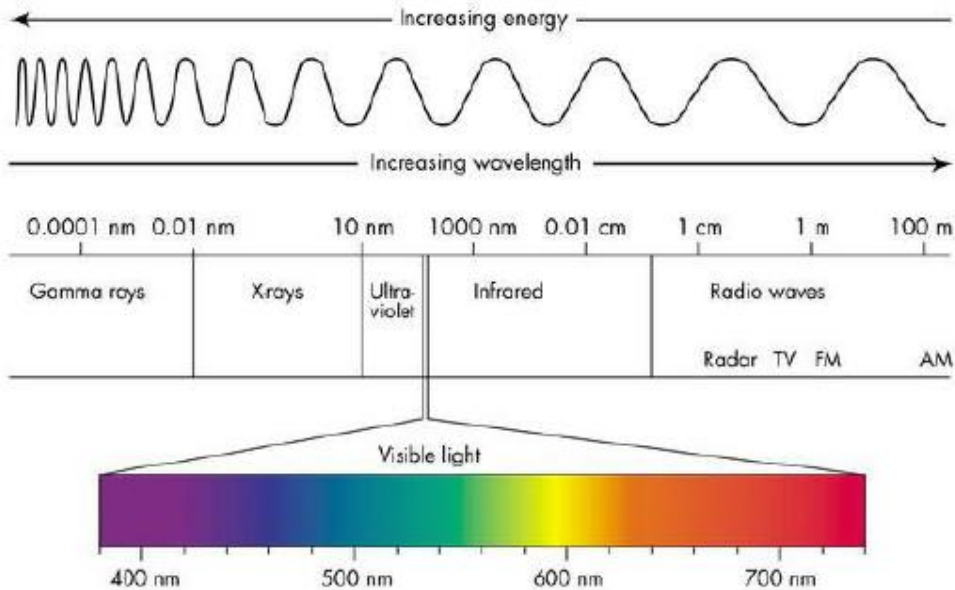




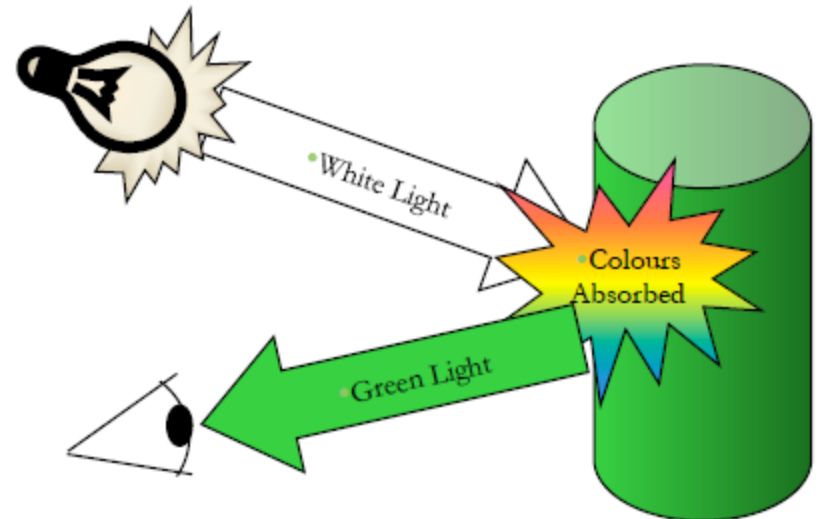
## Formazione dell'immagine nell'occhio

- Muscoli dell'occhio possono essere usati per cambiare la forma del cristallino permettendoci di mettere a fuoco oggetti vicini o lontani
- Una immagine è messa a fuoco sulla retina: coni e bastoncelli sono eccitati dalla luce
- L'immagine acquisita viene poi trasferita al cervello

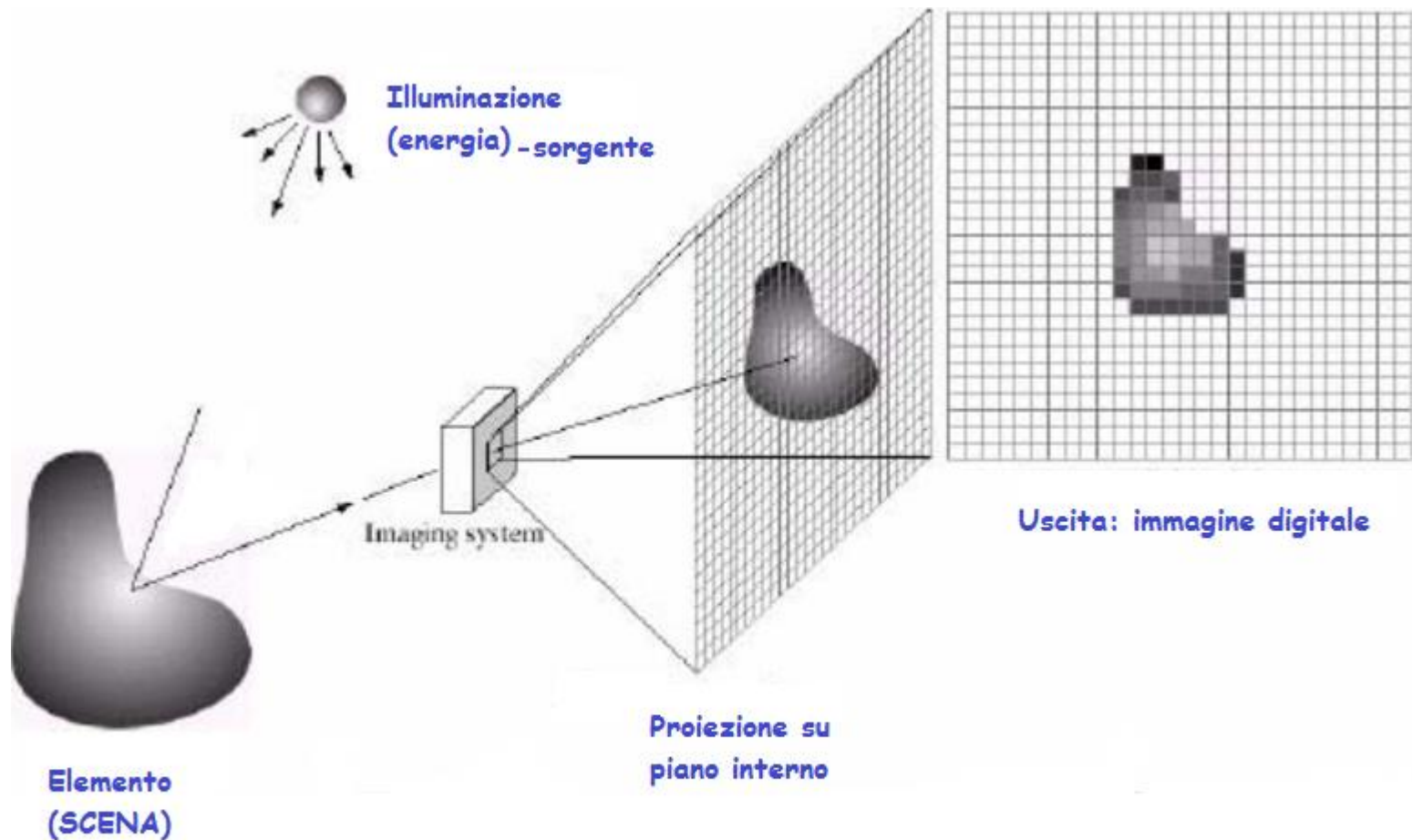
l'occhio percepisce solo alcune lunghezze d'onda relative allo spettro elettromagnetico



I colori che percepiamo sono determinati dalla natura della luce riflessa/assorbita dall'oggetto che osserviamo



Per ora scegliamo le immagini ottiche come prototipo (non sono le uniche)



**Schematizzazione acquisizione immagine ottica**



# Cosa è una immagine digitale?

Immagine come una superficie: immagini a livelli di grigio come superfici in  $(x,y, I)$ , e immagini a colori come superfici in  $(x,y,R,G,B)$ .

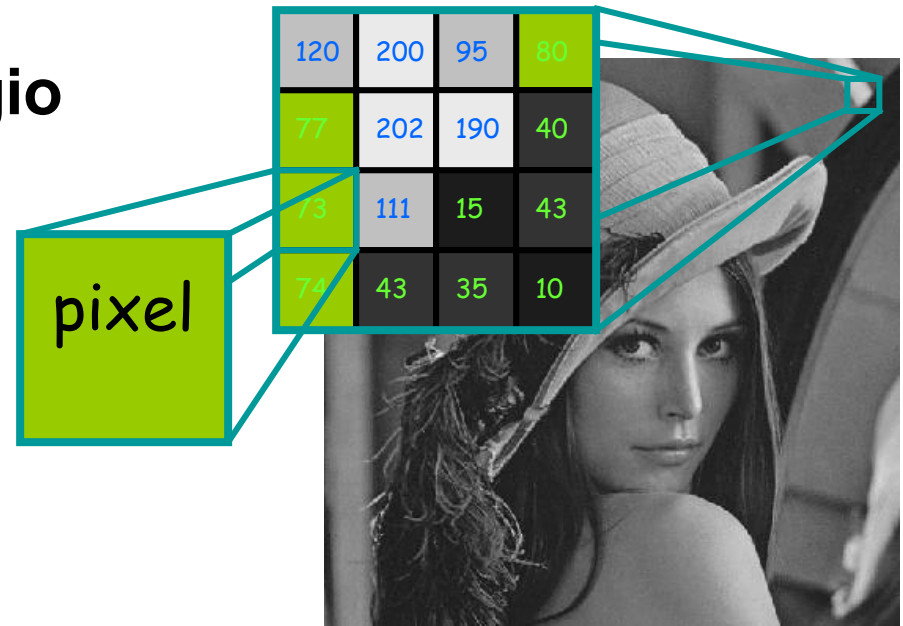
- Immagine a livelli di grigio come una matrice

- Pixel:=Picture element

- 8 bits-Quantization

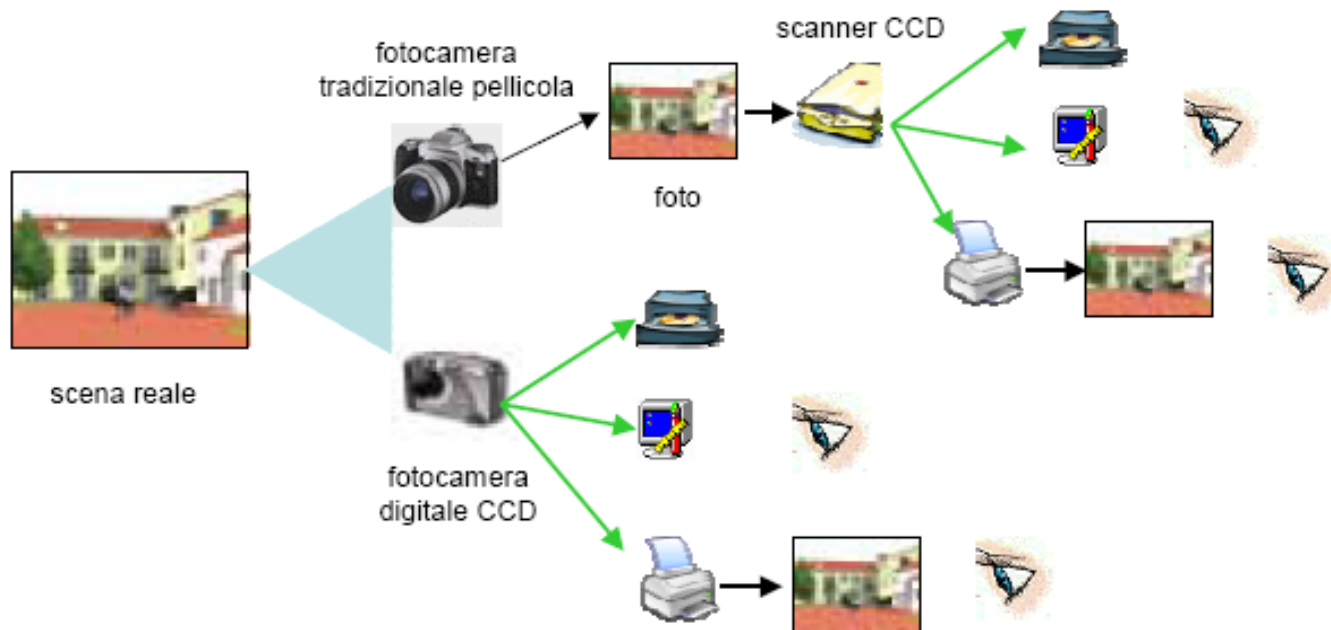
- Sintesi di immagini a colori

- Risoluzione: dimensioni matrice immagine, numero di livelli di quantizzazione, frame rate.



## Esempio 2D.

Un processo analogo avviene per le immagini bidimensionali, il trasduttore che converte l'intensità luminosa è in genere un CCD, mentre la conversione opposta (cioè da digitale ad analogica) è realizzata dallo schermo o dalla stampante.

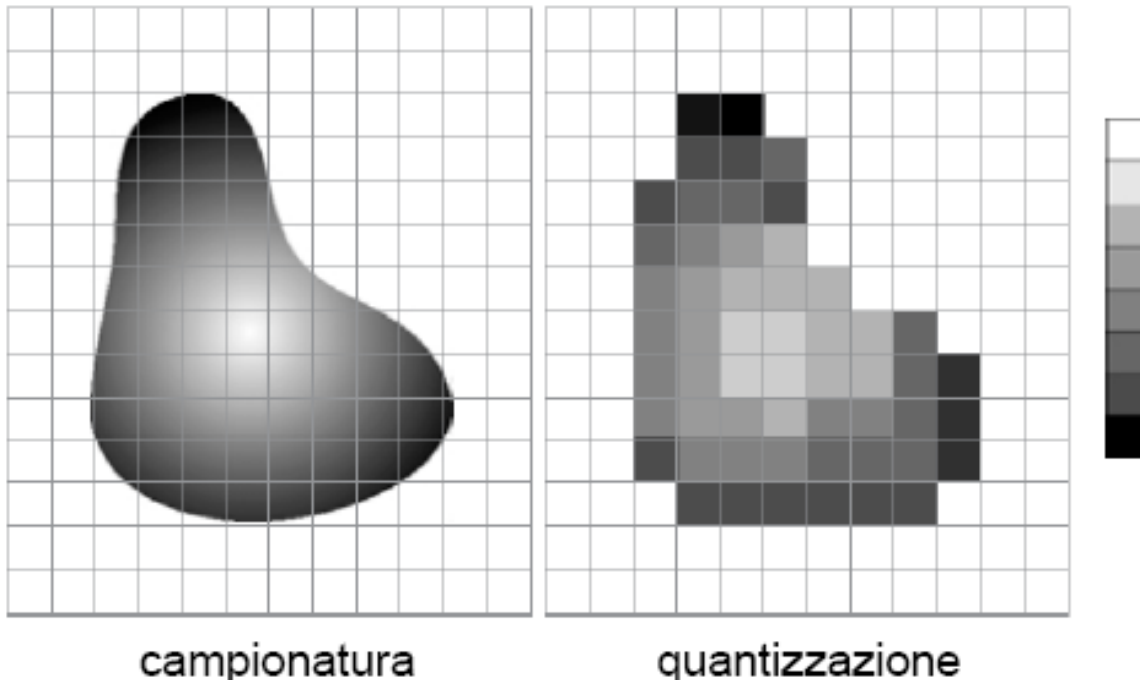


## Campionatura e quantizzazione (monocromatica)

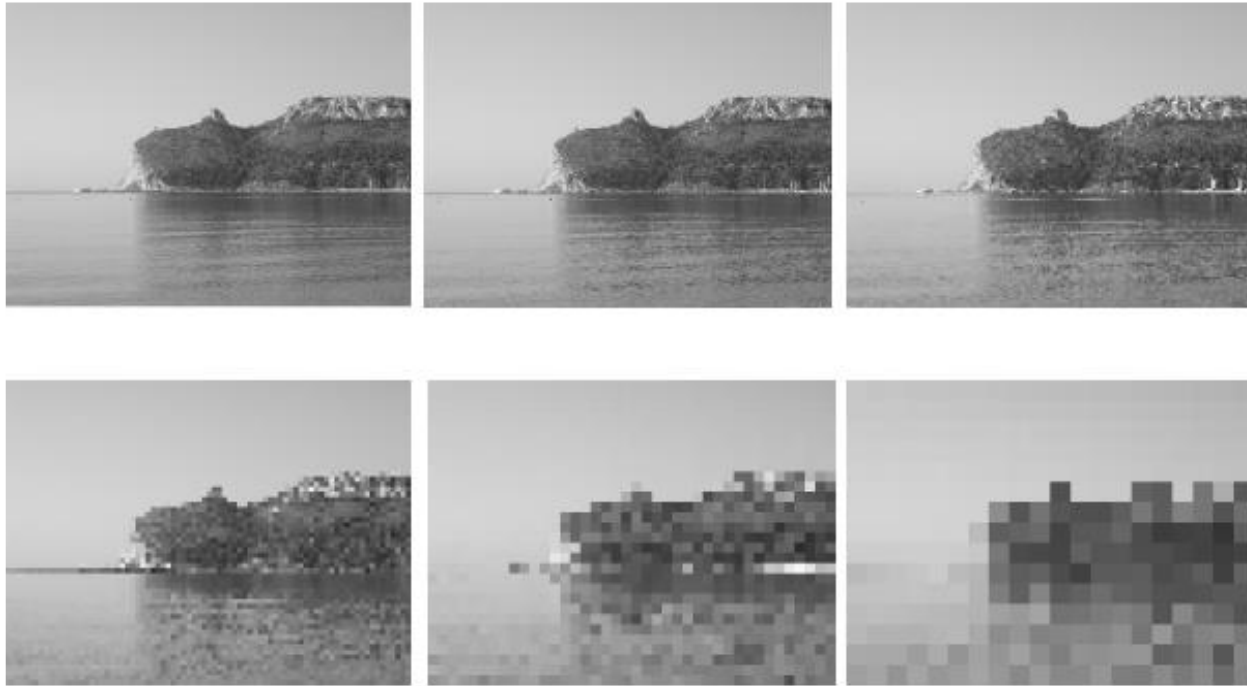
Qualunque sia il sensore, il suo output è un segnale continuo.

Per creare un'immagine digitale, il segnale deve essere campionato sia in senso spaziale che come valore. Sono quindi necessari due processi:

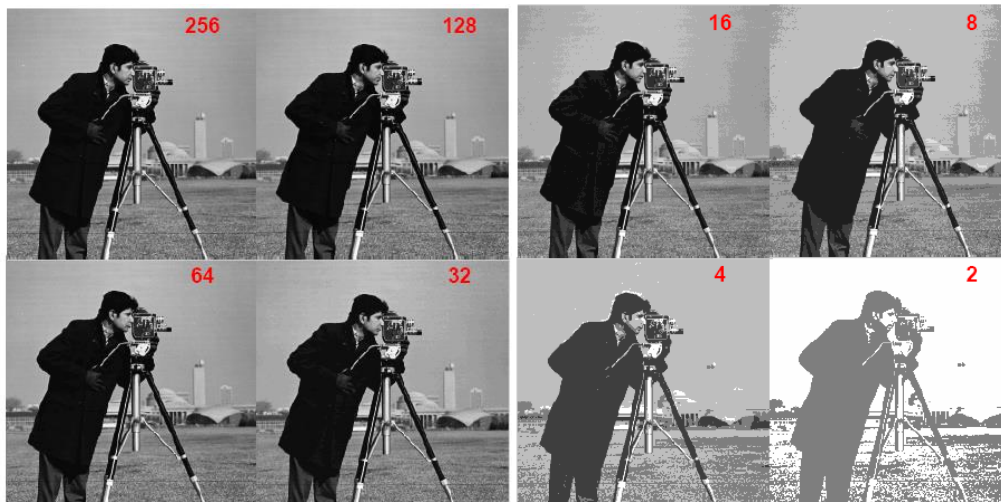
- *campionatura*: discretizza lo spazio
- *quantizzazione*: discretizza il valore in un certo numero di livelli di grigio



## Effetto Risoluzione spaziale



## Effetto quantizzazione

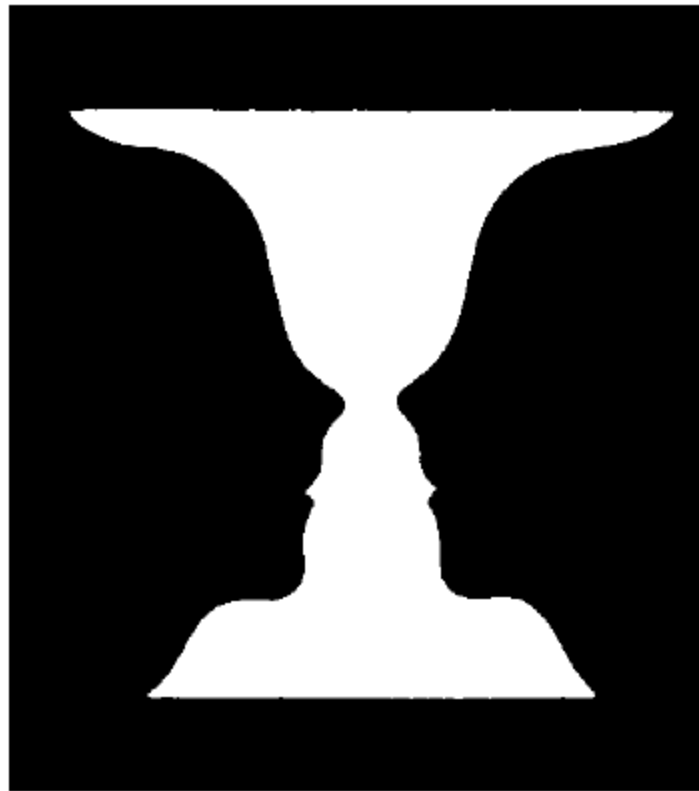




## Visione umana: percezione

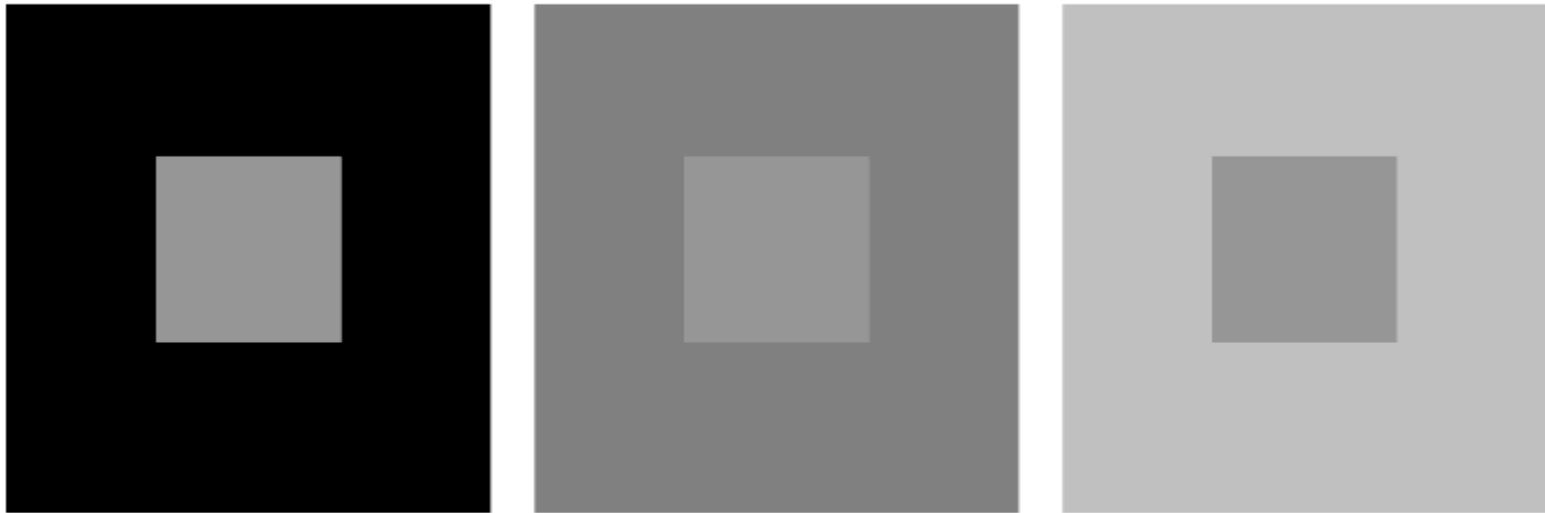
La percezione avviene quando i ricettori vengono eccitati e trasformano l'energia radiante in impulsi elettrici decodificati dal cervello.

Il processo completo è per gran parte ancora incompreso.

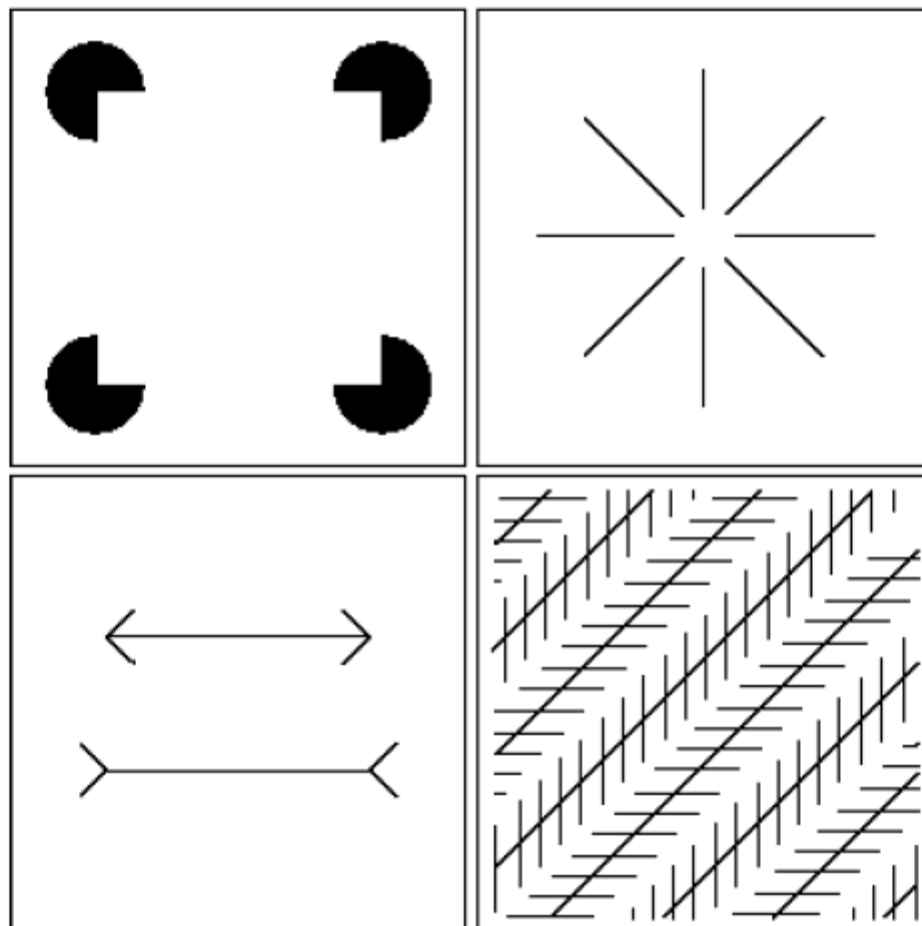


## Fenomeno del contrasto simultaneo

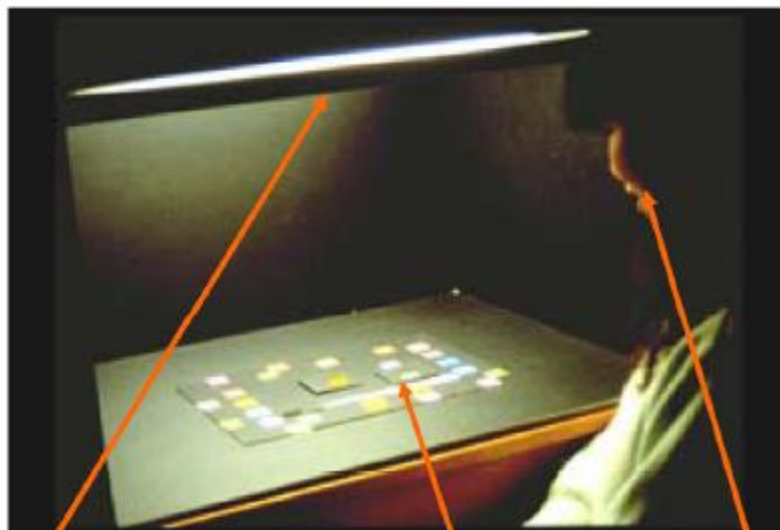
La luminosità percepita non dipende solo dall'intensità luminosa emessa



## Effetti ottici



## Entità coinvolte nel processo di formazione dell'immagine



**Illuminante**

**Oggetto**

**Osservatore**



illuminante a  
2900 K (bulbo)



illuminante a  
6500 K (sole)





## Formazione dell'immagine

“Un'immagine generata da un processo fisico ha valori proporzionali all'energia irradiata dalla sorgente fisica di illuminazione”

La funzione  $f(x,y)$  è costituita da due componenti:

- la luminosità  $i(x,y)$ : quantità della sorgente luminosa incidente la scena
- la reflettanza  $r(x,y)$ : quantità della sorgente luminosa riflessa dagli oggetti

$$f(x,y) = i(x,y) r(x,y)$$

La luminosità dipende dalla sorgente luminosa stessa, mentre la reflettanza dagli oggetti presenti nella scena.

Tipici valori:

- luminosità: 90000 lumen/m<sup>2</sup> (sole), 10000 lm/m<sup>2</sup> (nuvoloso), 0.1 lm/m<sup>2</sup> (luna piena a notte senza nubi), 1000 lm/m<sup>2</sup> (ufficio)
- reflettanza: 0.01 (velluto nero), 0.9 (metallo argentato), 0.93 (neve)

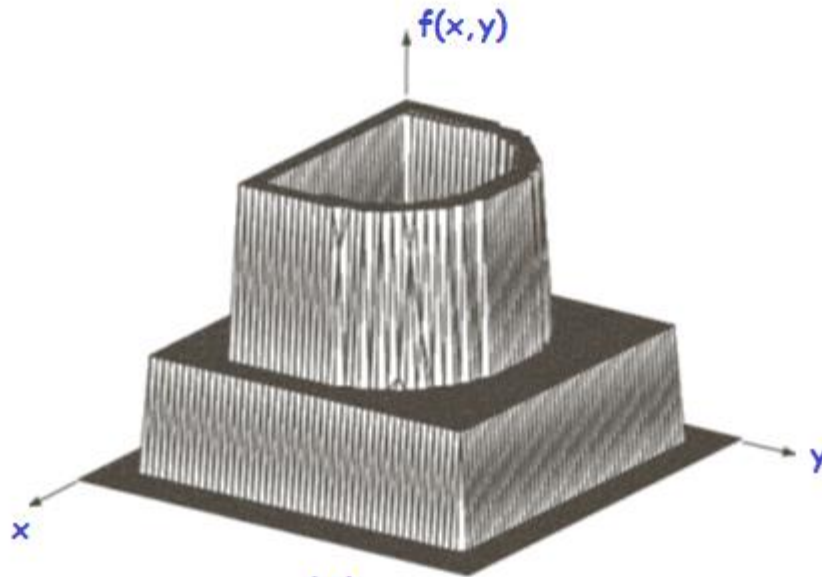
# Scopo elaborazione immagini

- Image (signal) processing (elaborazione di immagini (segnali)): immagine in ingresso immagine in uscita  
*Esempi: Miglioramento delle immagini (image enhacement), estrazione dei contorni, riduzione del rumore, etc..*
- Image Analysis (analisi delle immagini): immagine in ingresso dati (misure) in uscita  
*Esempi: Individuazione dei punti angolosi, misura del gradiente, fotometria etc..*
- Image Understanding (comprensione delle immagini): immagine in ingresso descrizione ad alto livello  
*Esempi: Riconoscimento di oggetti specifici all'interno dell'immagine (volti), segmentazione etc.*

$$Q_0 \longrightarrow \boxed{\text{Image Processor } \mathcal{T}} \longrightarrow Q$$

$\mathcal{T}$	$Q_0$	$Q$
denoising+ deblurring	$u_0 = Ku + n$	clean & sharp $u$
inpainting	$u_0 _{\Omega \setminus D}$	entire image $u _{\Omega}$
segmentation	$u_0$	"objects" $[u_k, \Omega_k], k = 1, 2, \dots$
scale-space	$u_0$	multiscale images $(u_{\lambda_1}, u_{\lambda_2}, \dots)$
motion estimation	$(u_0^{(1)}, u_0^{(2)}, \dots)$	optical flows $(\vec{v}^{(1)}, \vec{v}^{(2)}, \dots)$

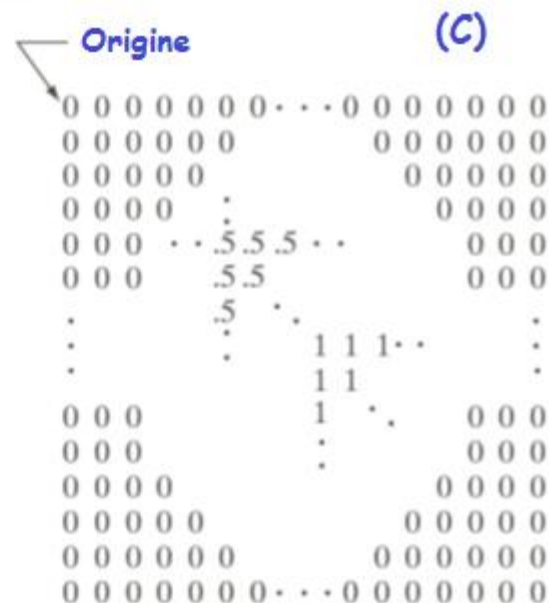
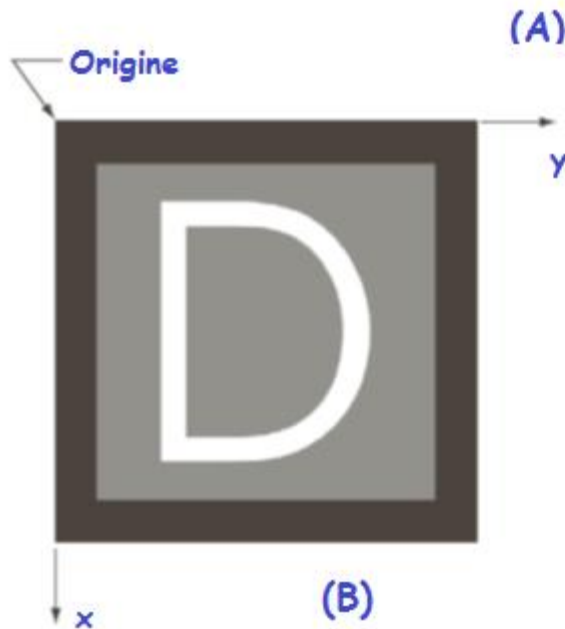
Prima di procedere: occorre un **modello** ovvero una «buona» **rappresentazione** di una immagine digitale.

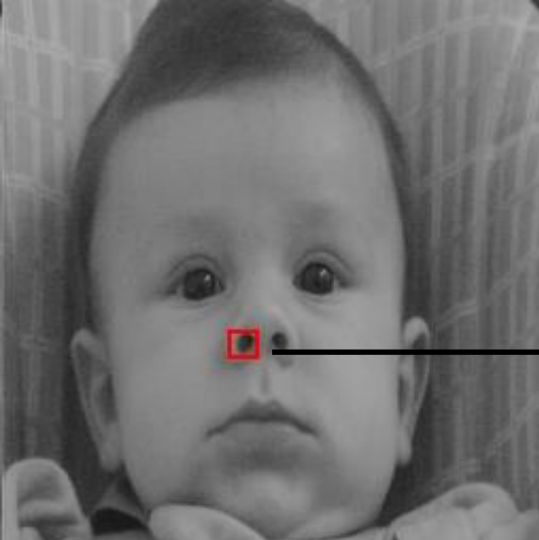


(A) Grafico di una funzione  $f(x,y)$

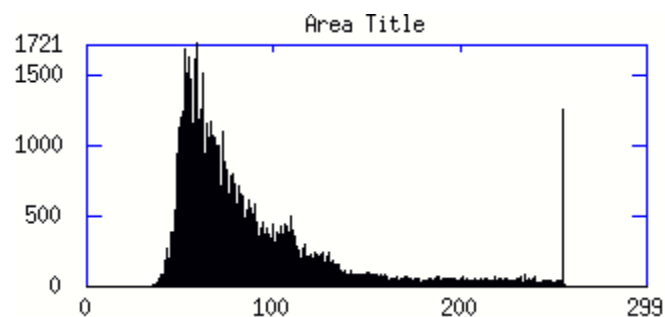
(B) Matrice intensità

(C) insiemi di livello





99	71	61	51	49	40	35	53	86	99
93	74	53	56	48	46	48	72	85	102
101	69	57	53	54	52	64	82	88	101
107	82	64	63	59	60	81	90	93	100
114	93	76	69	72	85	94	99	95	99
117	108	94	92	97	101	100	108	105	99
116	114	109	106	105	108	108	102	107	110
115	113	109	114	111	111	113	108	111	115
110	113	111	109	106	108	110	115	120	122
103	107	106	108	109	114	120	124	124	132



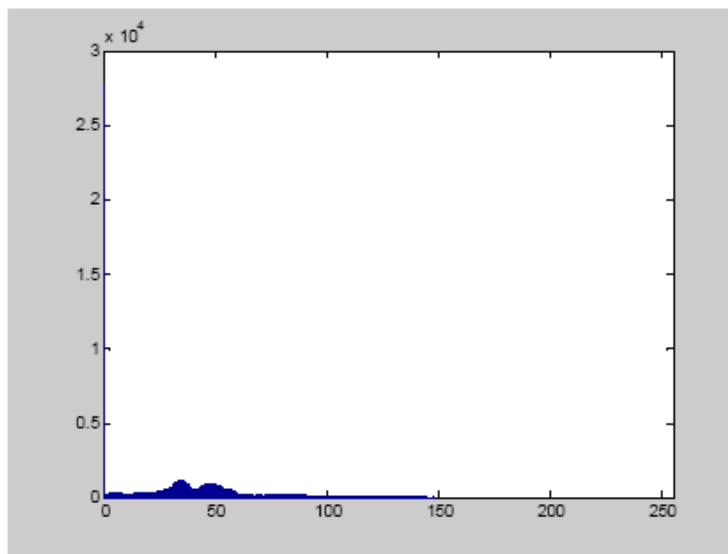
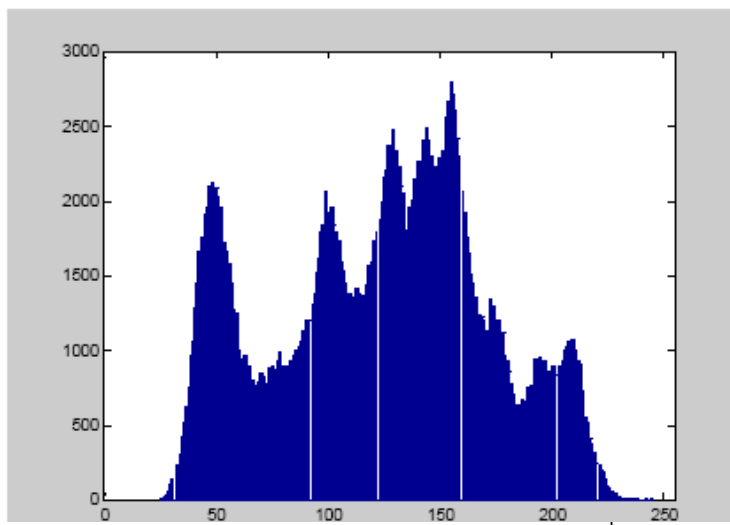
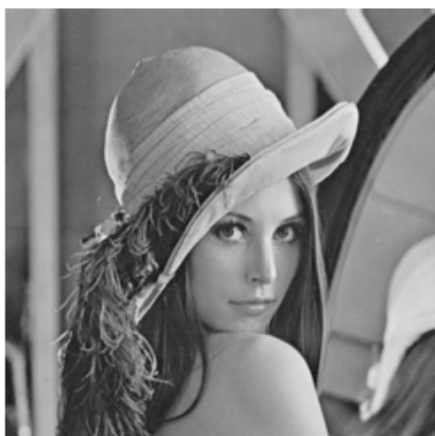
**istogramma**

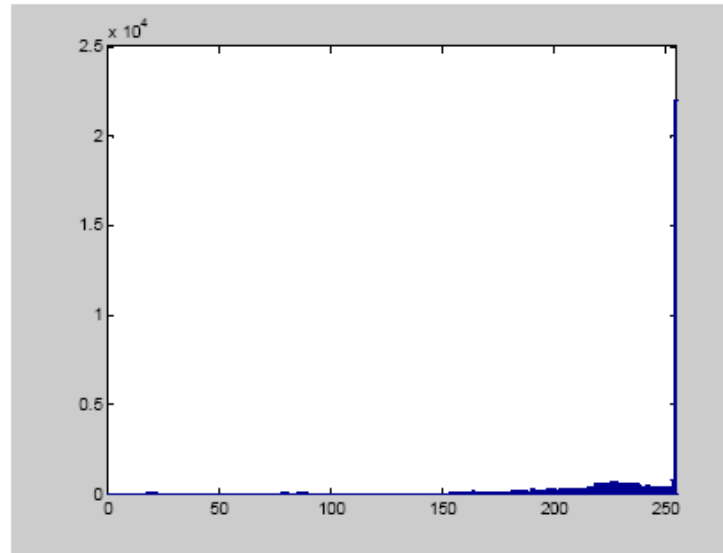


**Immagine riordinata**

**Immagine originale**







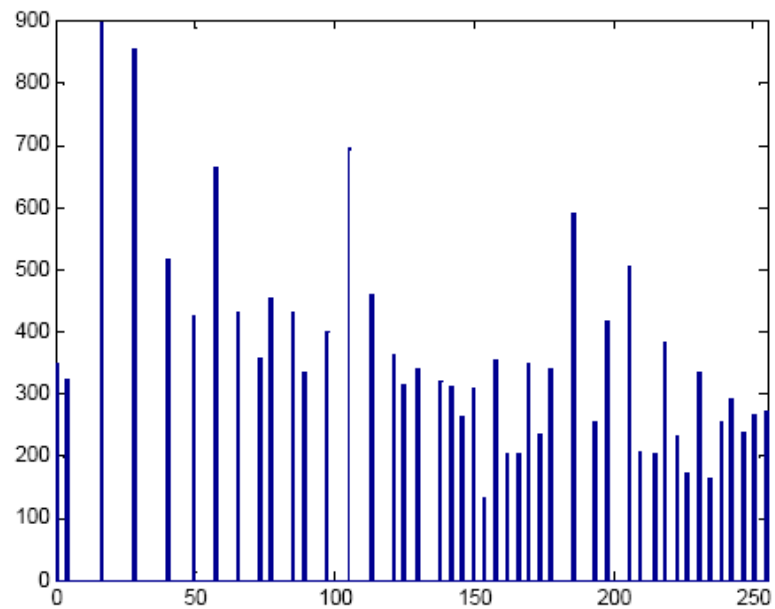
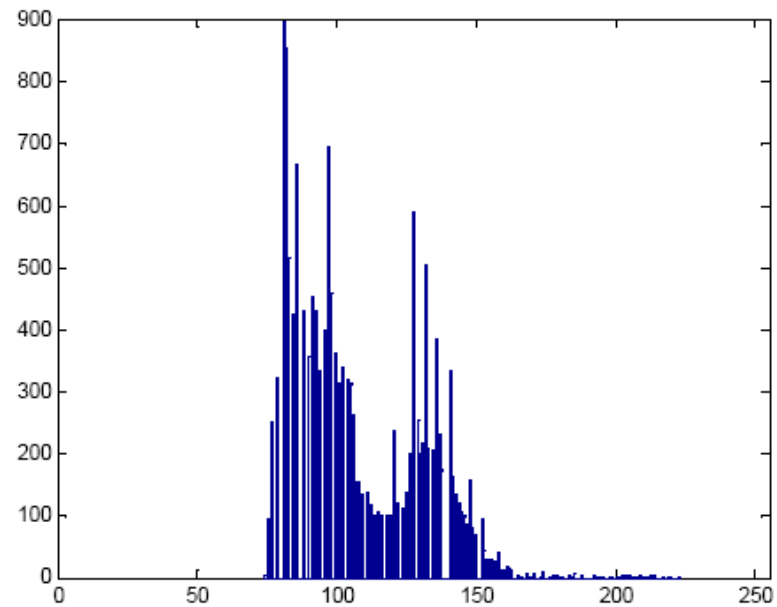
Trovare operatori puntuali per modificare l'istogramma,

A immagine pixel  $A(i,j)$

B immagine pixel  $B(i,j)$

$T: A \rightarrow B$  operatore puntuale se  $B(i,j) = T(A(i,j))$ , il valore del pixel  $B(i,j)$  dipende solo dal valore del pixel  $A(i,j)$  nella medesima posizione.

# Equalizzazione dell'istogramma

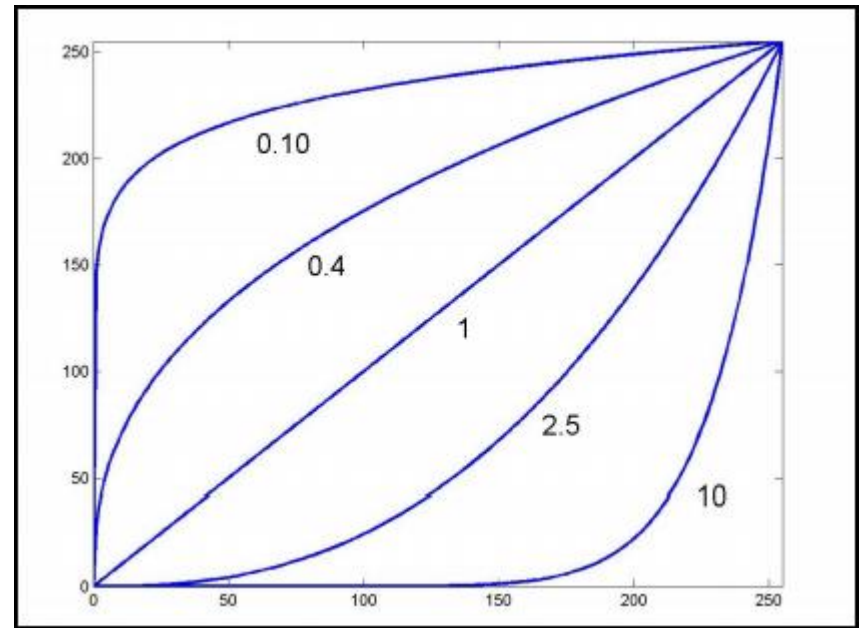


### Esempio 3 (correzione gamma):

Indico con  $r$  il valore del pixel di Partenza e con  $s$  il valore del pixel di arrivo:

$$s = cr^\gamma$$

Dove  $c$  è una costante tale che  $s \in [0, 255]$  (nel caso di immagine Monocromatica con 256 valori di grigio)



Per esempio, l'immagine di sinistra, non corretta, produrrebbe su un monitor CRT (con  $\gamma = 2.5$ ) l'immagine di destra, più scura:



La correzione gamma può essere applicata semplicemente pre-elaborando l'immagine di sinistra mediante la trasformazione *inversa* rispetto a quella provocata dal monitor, quindi

$$s = r^{1/2.5} = r^{0.40}$$

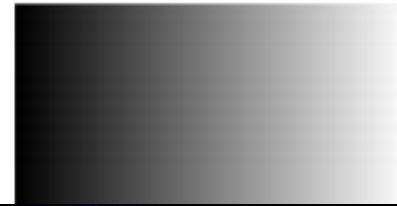
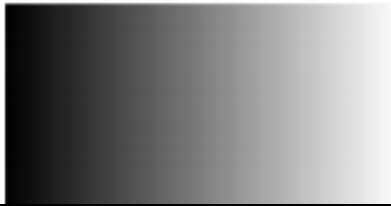
Schermi CRT possono  
Produrre “distorsioni” tipo  
Funzione gamma.

(grazie a E. Ardizzone, Università di Palermo)



### Esempio 3 (correzione gamma):

✓ Si ottiene quindi:



Esempio  
applicazione  
correzione gamma

$\gamma = 1$



$\gamma = 3$



$\gamma = 4$



$\gamma = 5$



(grazie a E. Ardizzone, Università di Palermo)

## Esempi di immagini

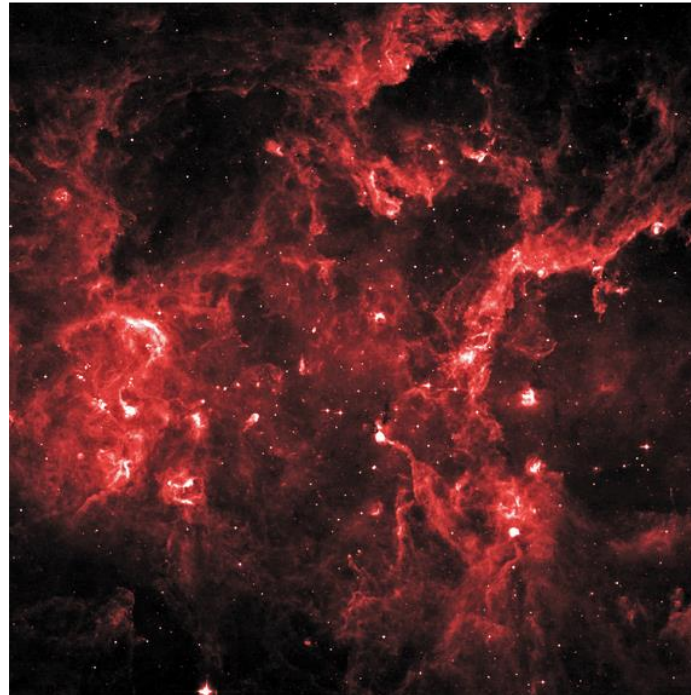
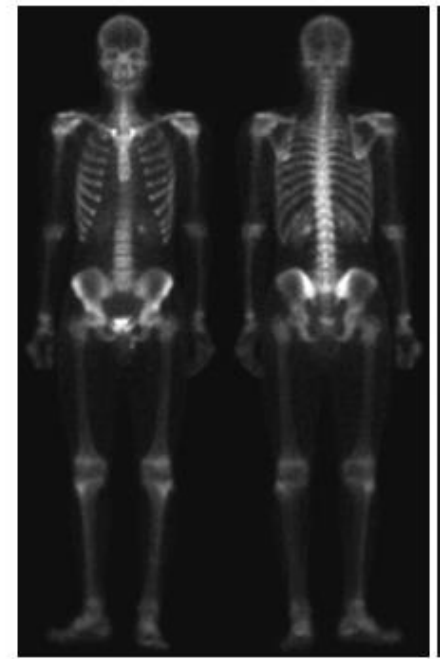
### Immagini Raggi Gamma

Queste immagini sono prodotte dalle emissioni acquisite da rilevatori di raggi gamma

Usi principali:

- medicina nucleare
- osservazioni astronomiche

(In medicina nucleare, un isotopo radioattivo viene iniettato al paziente. Questo isotopo emette raggi gamma mentre decade)

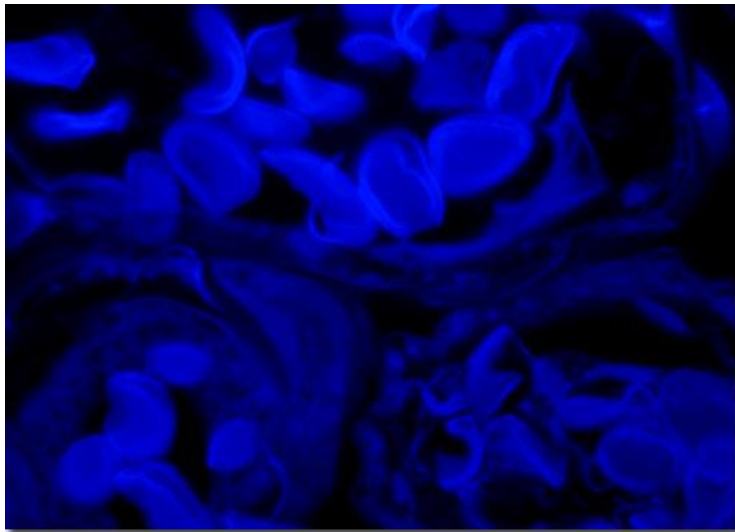


Una stella nella costellazione del Cigno è esplosa circa 15.000 anni fa generando una nuvola di gas ad alte temperature

## Esempi di immagini

### Immagini nell'ultra-violetto

Le immagini basate su raggi ultravioletti sono utilizzate nella litografia, nell'ispezione industriale, nei microscopi, nelle osservazioni astronomiche, nelle immagini biologiche...



emissione di autofluorescenza da  
una sottile sezione di felce



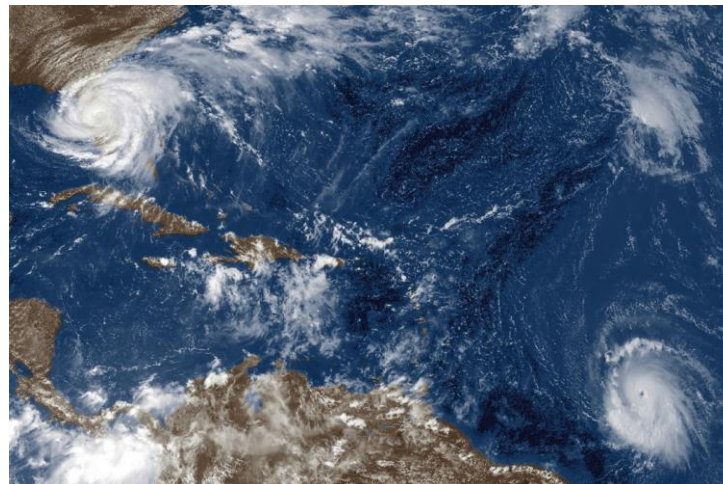
Polvere e gas generati dal  
ghiaccio vaporizzato di una  
cometa in transito vicino alla terra

Esempi di immagini

**Immagini ultrasuoni**



**Immagini radar**



**Immagini infrarosso**