



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI TRIESTE



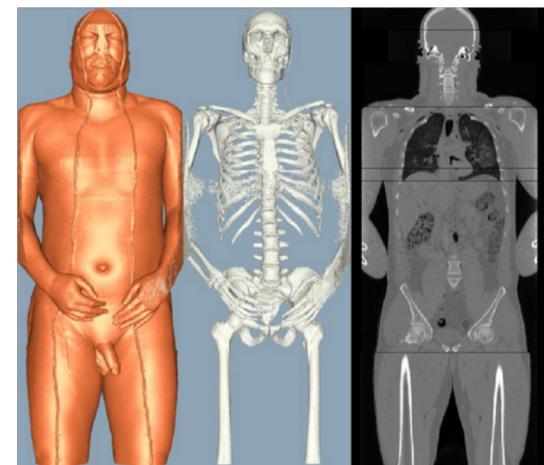
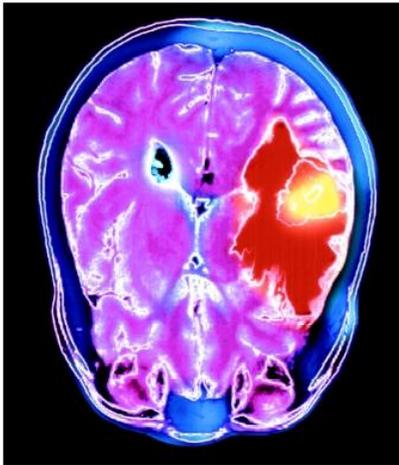
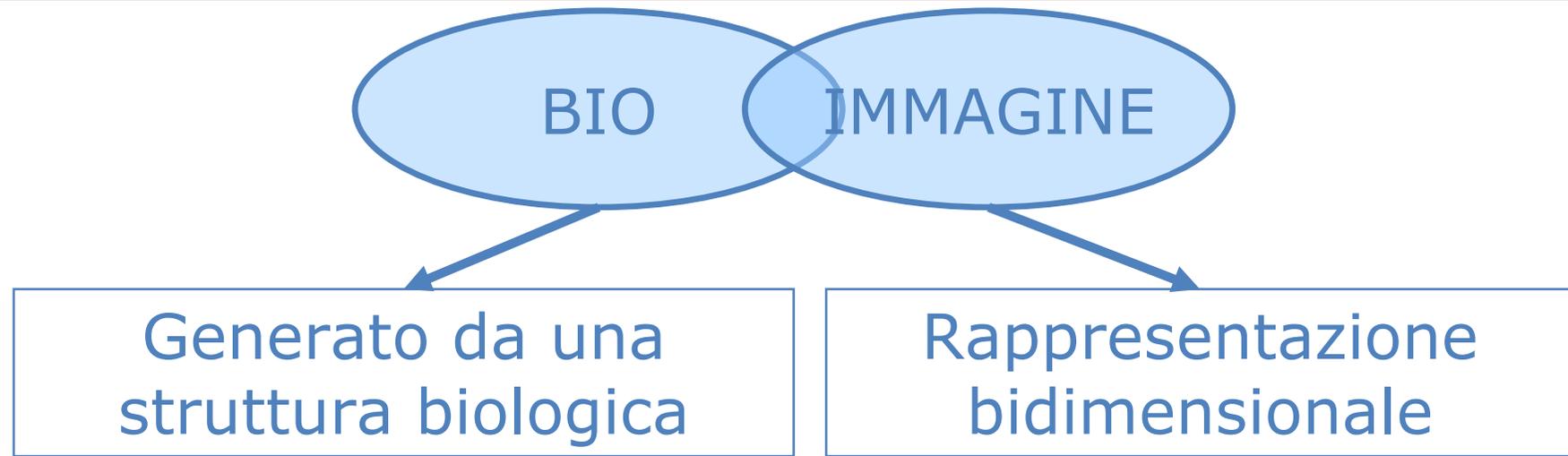
**Corso di Laurea in Tecniche di Radiologia Medica per immagini e Radioterapia
Sistemi Elettronici e informatici in ambito di Imaging I**

1CFU – 10 ore

IMMAGINI E BIOIMMAGINI

Prof. Sara Renata Francesca Marceglio

Le bioimmagini



Il concetto di digitalizzazione

In generale le immagini sono un 'continuo' di informazioni

Il calcolatore non può direttamente rappresentare in memoria informazione continua

Le immagini devono prima essere 'discretizzate' in modo da poter essere codificate separatamente sotto forma di numeri

Azioni da fare come per l'audio:

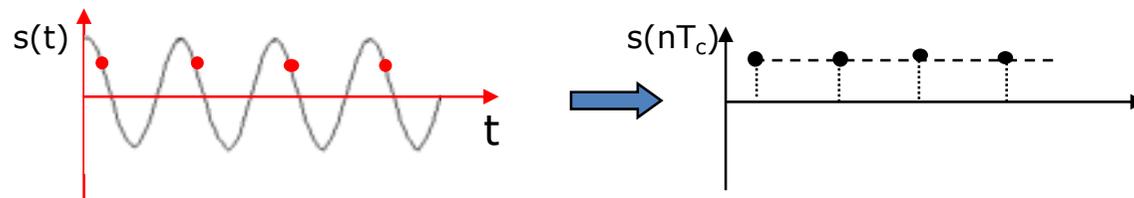
Discretizzazione (Campionamento): scomposizione dell'immagine in un reticolo di punti (pixel, picture element)

Quantizzazione: codifica di ogni pixel con un valore numerico all'interno di un ben preciso intervallo

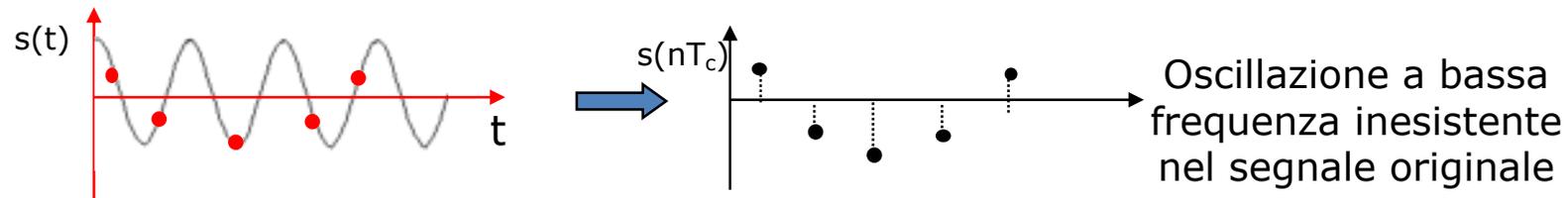
Digitalizzazione di segnali: campionamento

$$f_C = f \quad (T_C = T)$$

Un solo campione per periodo

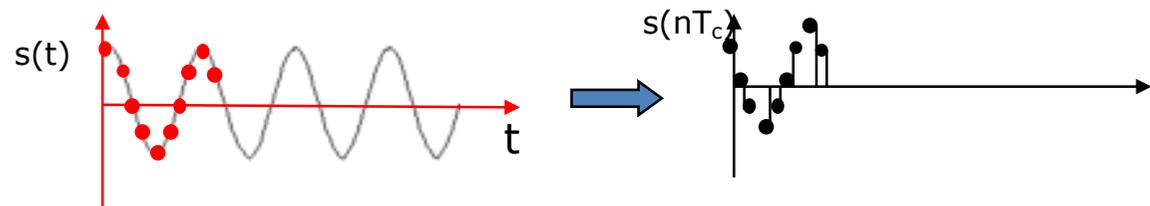


$$f < f_C < 2f \quad (1/2T < T_C < T) \text{ Meno di due campioni per periodo}$$



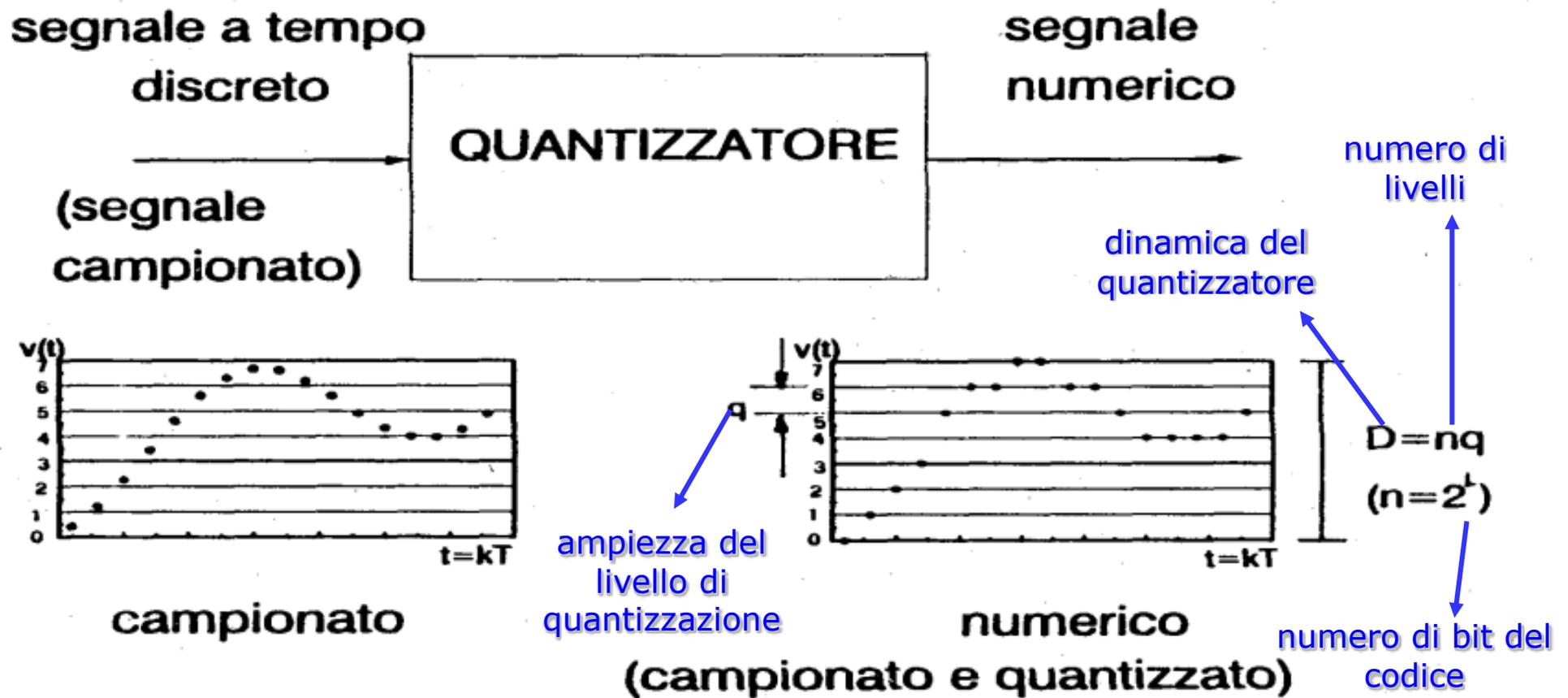
$$f_C > 2f \quad (T_C < 1/2T)$$

Almeno due campioni per periodo



Osserviamo che occorrono almeno 2 campioni per ogni periodo (per non perdere informazione) → **TEOREMA DI SHANNON**

Digitalizzazione di segnali: quantizzazione



Digitalizzazione di segnali: quantizzazione

$$L = 12 \text{ bit}$$

$$D = 10 \text{ V (da -5 a +5)}$$

$$n = 2^{12} = 4096 \text{ numero di livelli}$$

$$q = 10(\text{V})/4096(\text{livelli}) = 2.441 \text{ mV/livello}$$

$$\text{errore} < = q/2 = 1.2 \text{ mV/livello}$$

Digitalizzazione di immagini

Discretizzazione (Campionamento):

- scomposizione dell'immagine in un reticolo di punti (pixel, picture element)

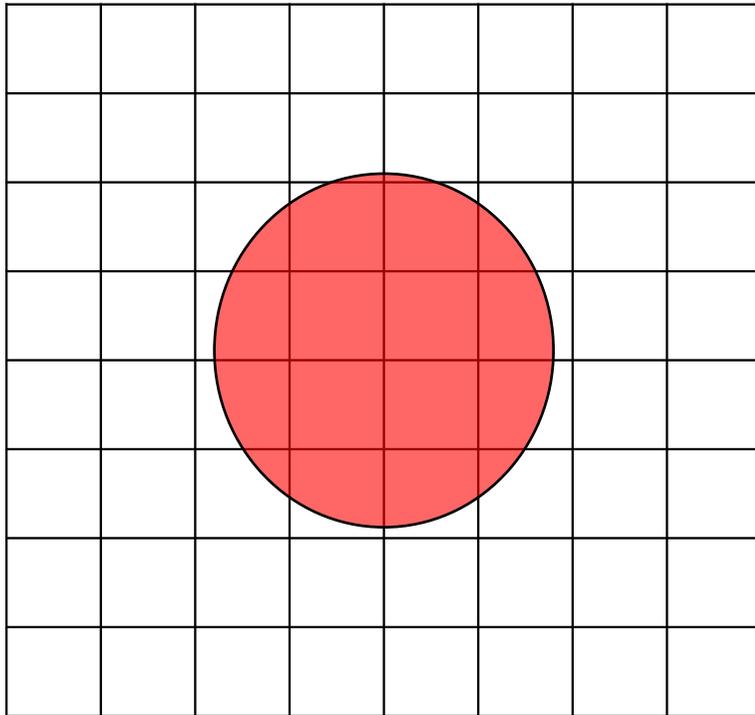
Quantizzazione:

- codifica di ogni pixel con un valore numerico all'interno di un ben preciso intervallo

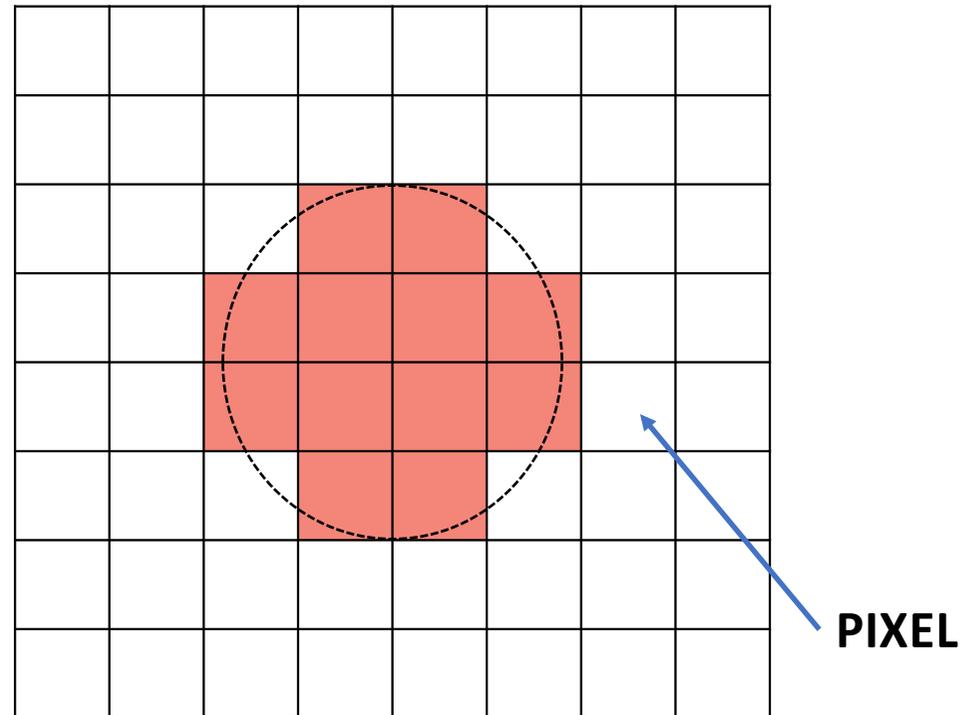
Campionamento

Problema: Rappresentare il disco arancione

Si sovrappone al disco una griglia

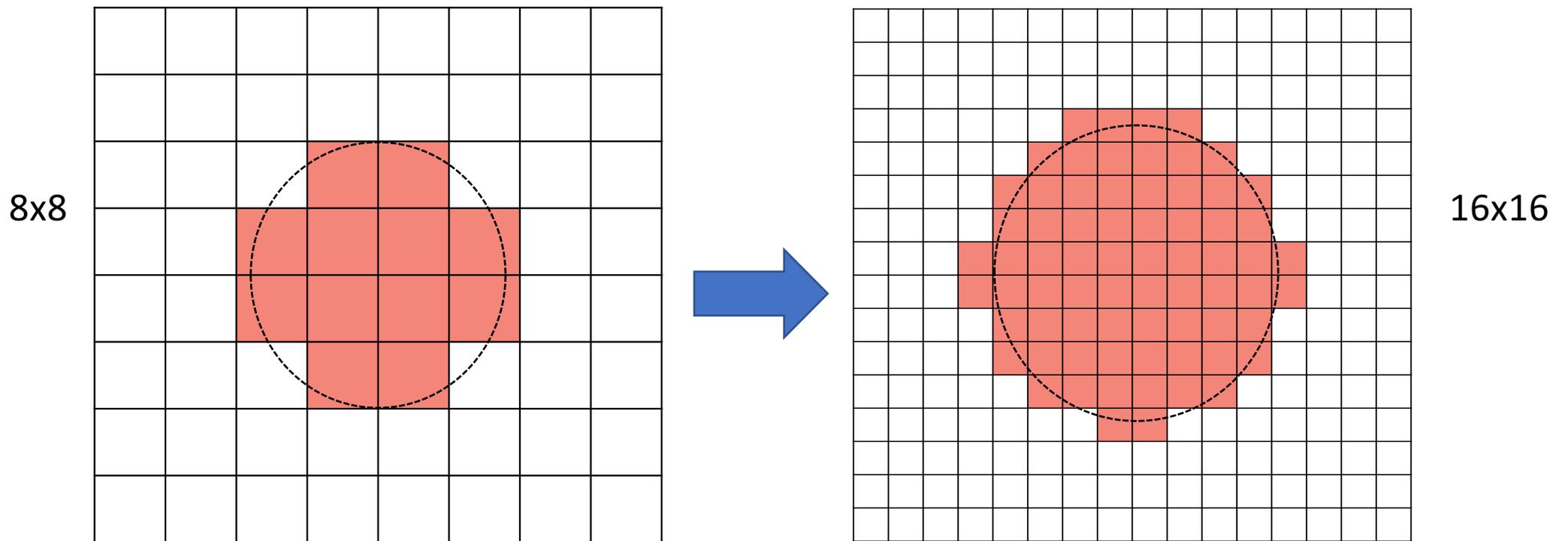


Si identificano i "quadratin" che "discretizzano" il disco



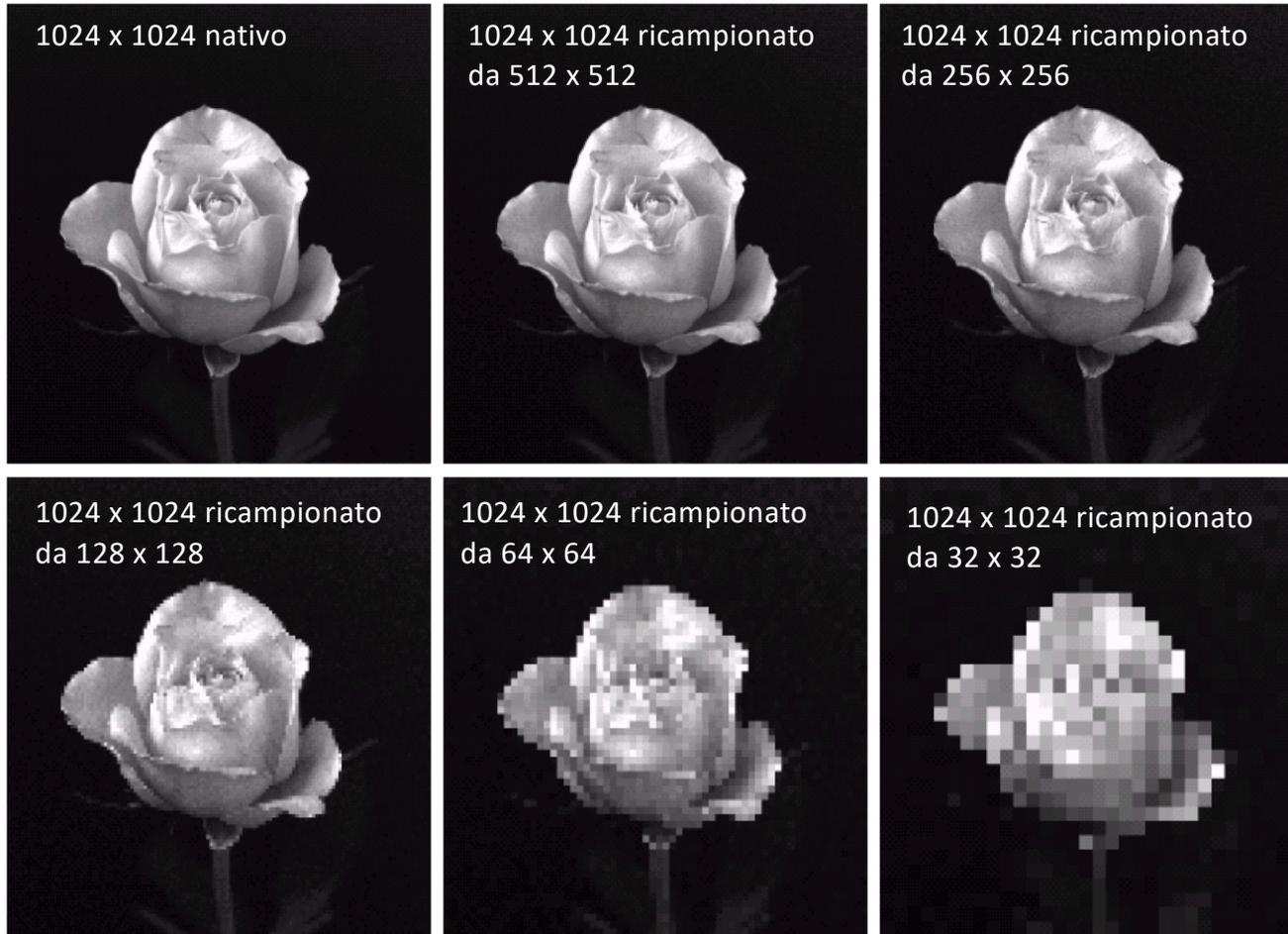
Risoluzione

RISOLUZIONE = DIMENSIONE DELLA GRIGLIA (base x altezza)



Aumentando la risoluzione (ovvero il numero dei pixel) e quindi diminuendo la dimensione del singolo pixel, la rappresentazione approssima meglio l'immagine originaria

Effetto della variazione di risoluzione

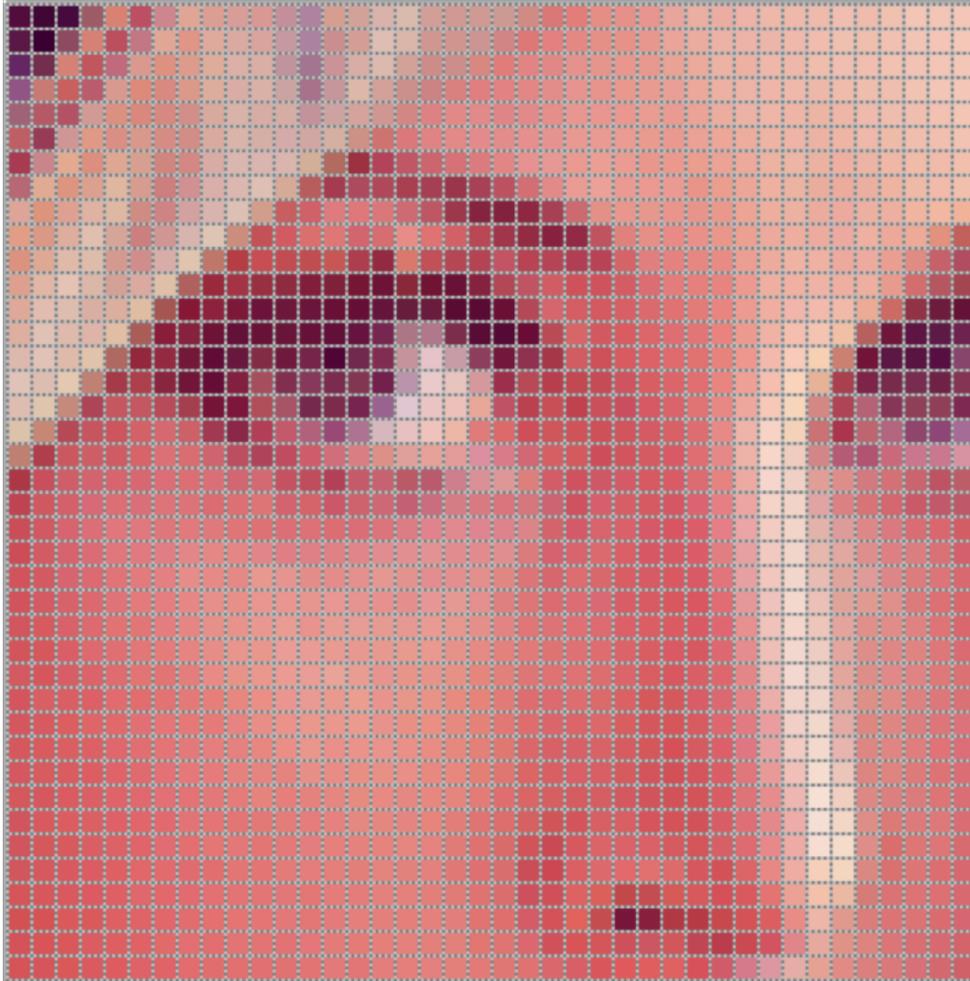


La risoluzione nativa è quella che determina la qualità dell'immagine

Teorema di Shannon per le immagini

Frequenza di campionamento spaziale almeno doppia della massima frequenza spaziale presente nelle due direzioni dell'immagine

Quantizzazione

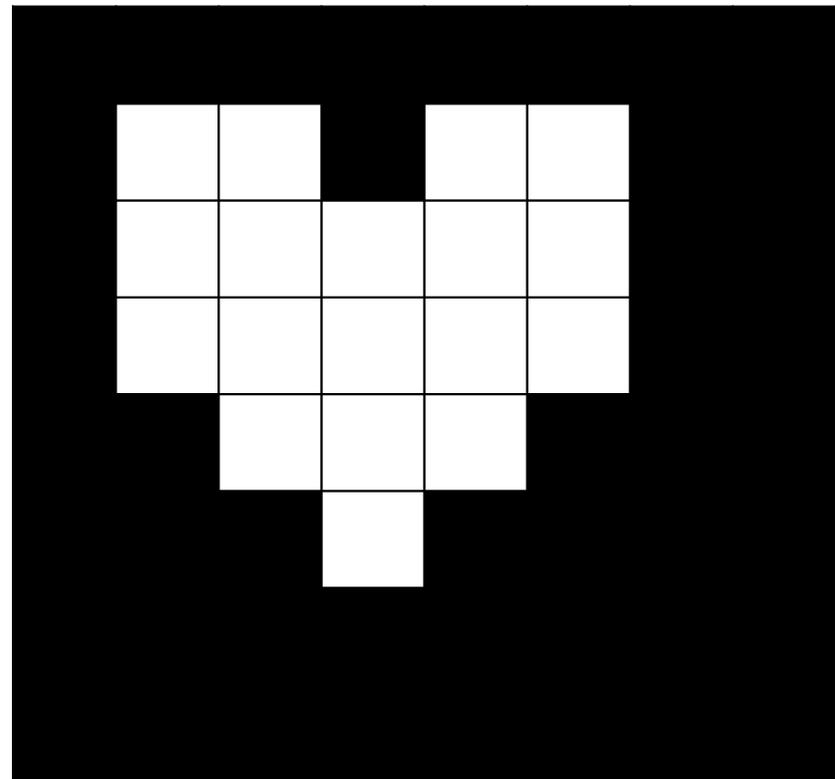


- **Campionamento:** l'immagine è suddivisa in pixel
- **Quantizzazione:** ad ogni pixel deve essere associato un numero che rappresenta il colore di quel pixel
- **Immagine discretizzata:** ogni pixel rappresenta un elemento di una matrice in cui è contenuto il colore (o livello di grigio) corrispondente

Quantizzazione: immagine in bianco e nero

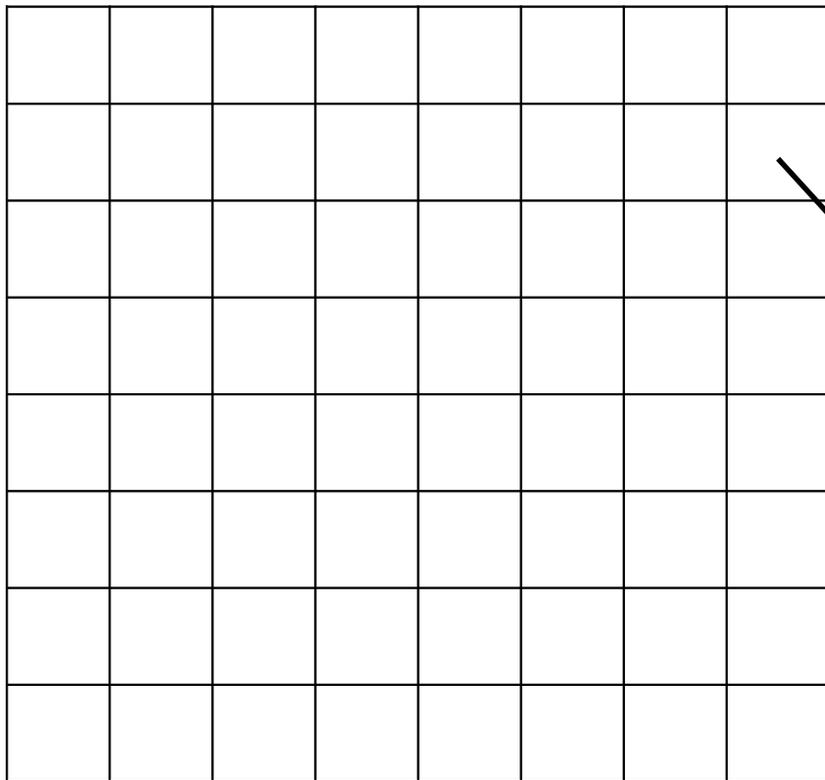
Ogni pixel contiene 0 o 1 che corrispondono a nero e bianco → codifica a 1 bit

0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	1	1	0	0
0	1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0



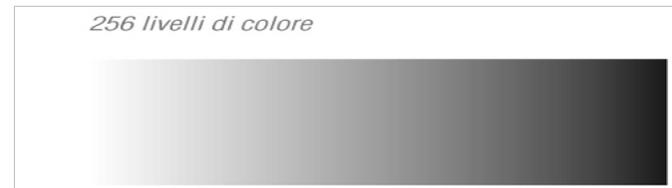
Quantizzazione: immagine in scala di grigi

Immagine a livelli di grigio →
nel pixel è contenuto il numero corrispondente al
valore di grigio su una scala la cui profondità
dipende dal numero di bit che ho a disposizione



0 1 7

3 bit



0 ... 255

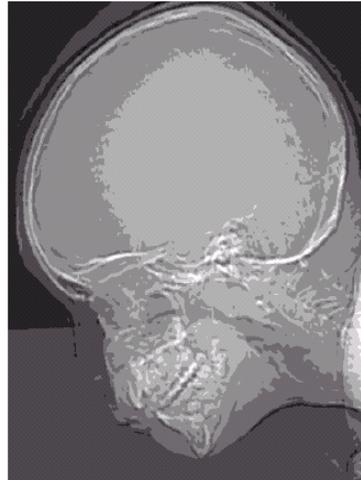
**8 bit = 1
byte**

Effetto della risoluzione di colore

4 bit per pixel



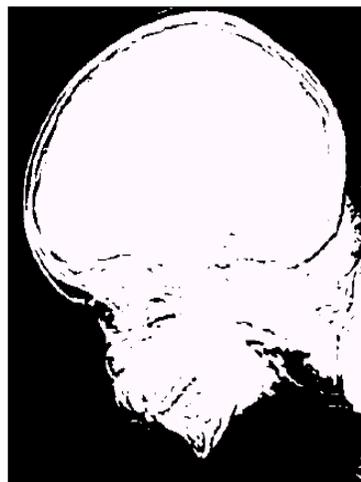
3 bit per pixel



2 bit per pixel



1 bit per pixel



Quantizzazione: Immagini a colori

Pixel = {
Valore rosso;
Valore verde;
Valore blu;

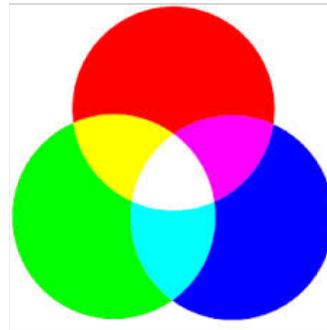


Immagine a colori →
tripletta di numeri (r,g,b) ciascuno
corrispondente al livello di colore primario per
formare il colore desiderato



Ciascun colore è codificato
in base al numero di bit a
disposizione
(es. 8 bit per colore)

Occupazione di memoria

Dimensione dipende da

- risoluzione (numero di pixel)
- profondità cromatica (numero di bit per pixel)

Esempio:

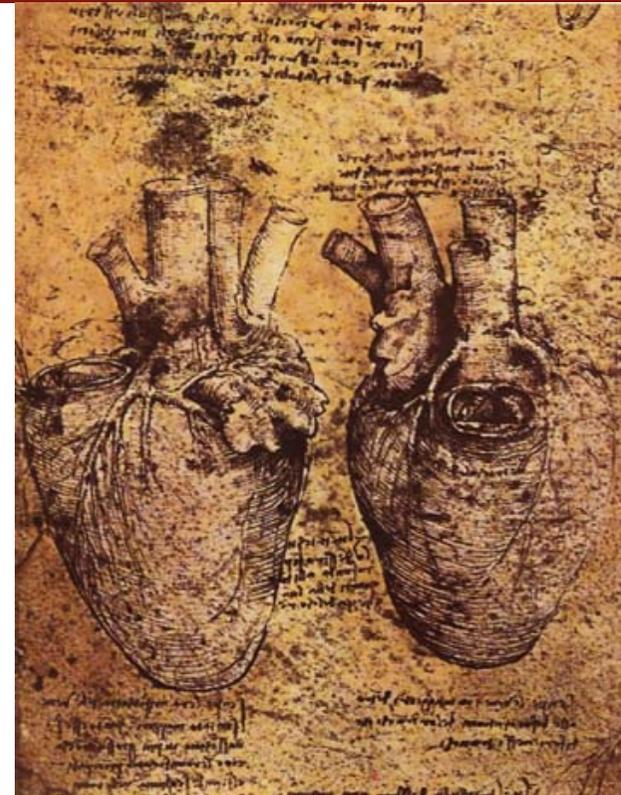
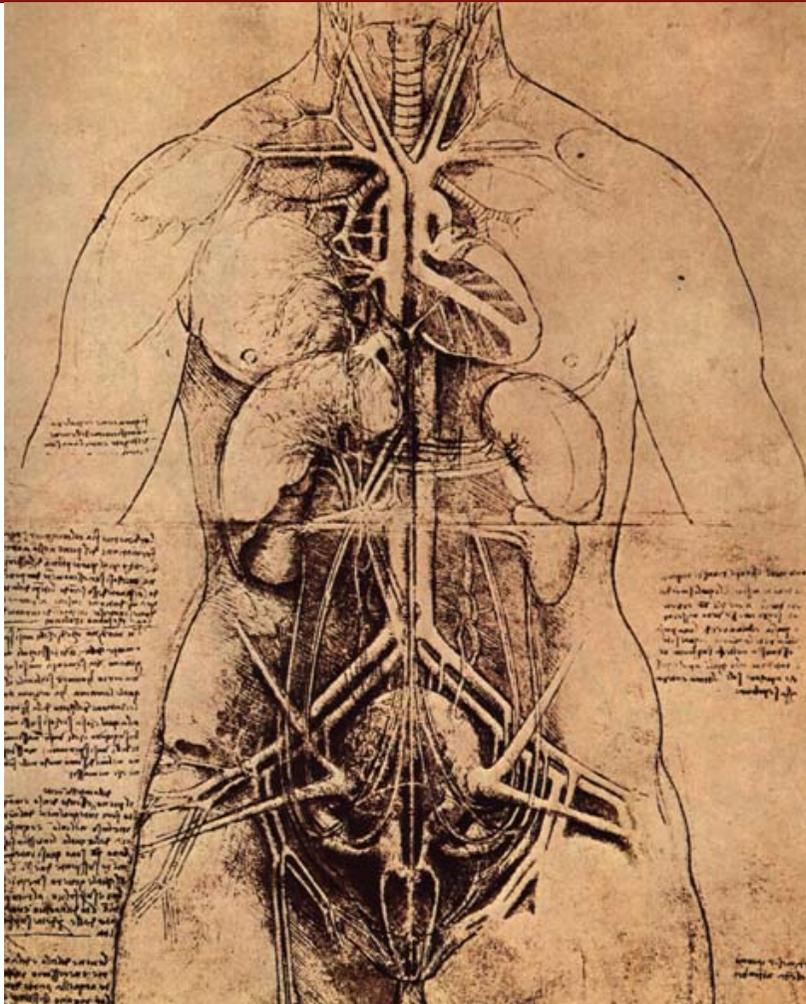
immagine in toni di grigio 1024x768 pixel con 256 toni di grigio per pixel =
 $1024 \times 768 \text{ pixel} \times 8 \text{ bit per pixel} = 768 \text{ Kbyte}$

immagine a colori 1024x768 pixel con 256 toni per componente =
 $1024 \times 768 \text{ pixel} \times 3 \text{ componenti per pixel} \times 8 \text{ bit per pixel} = 2304 \text{ Kbyte}$

In fase di codifica esiste la necessità di adottare tecniche di compressione per ottimizzare:

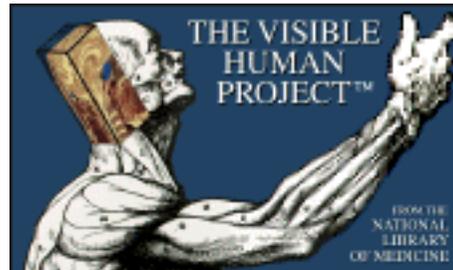
**Occupazione di spazio di memoria
Velocità di trasmissione attraverso la rete**

Immagini biomediche

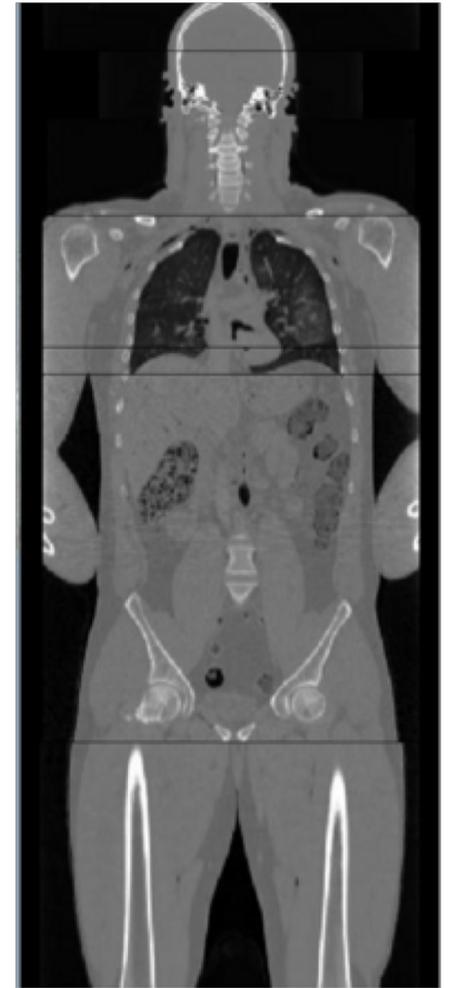
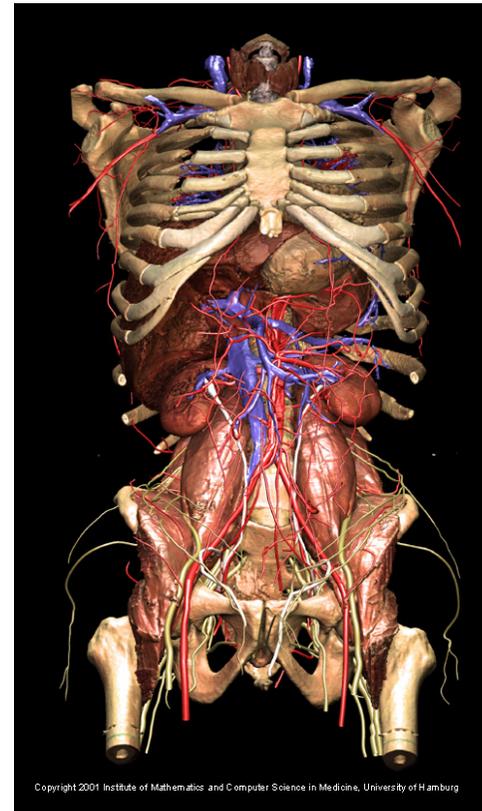


Leonardo: Anatomia dell'addome e del cuore

Immagini Biomediche



Rappresentazioni 3D
ottenute dal Visible
Human Dataset

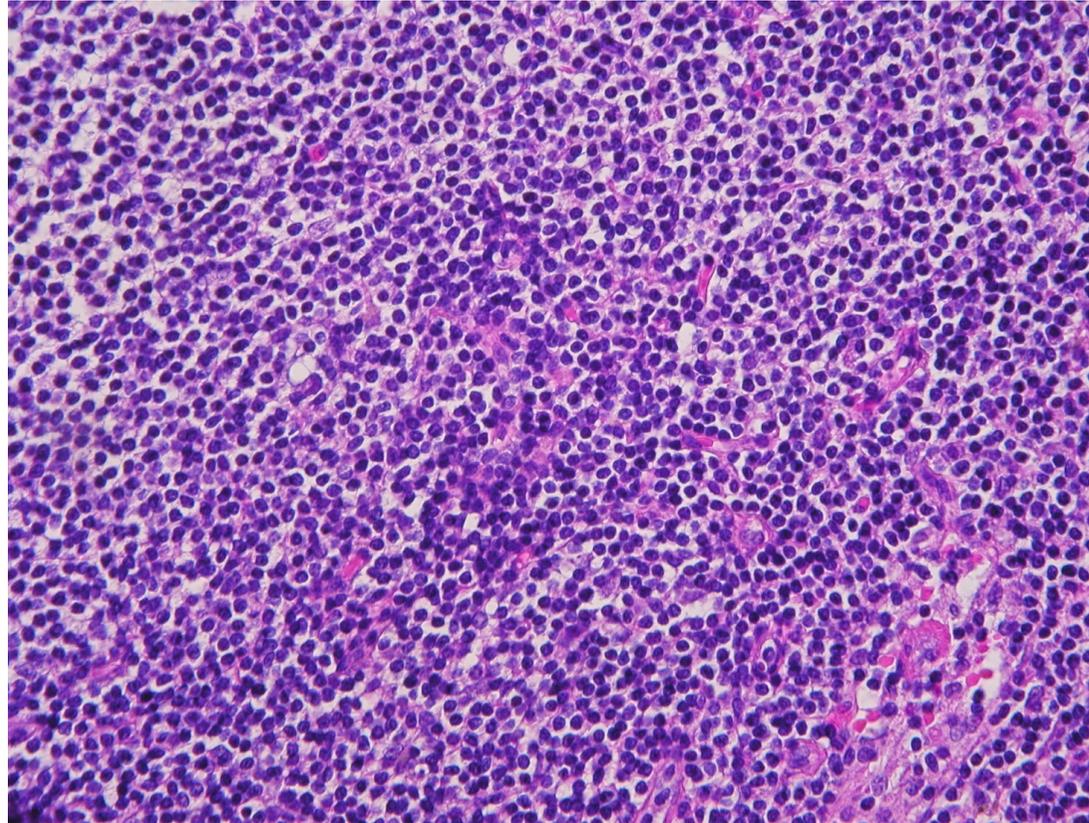


Immagini biomediche

Linfonodi

**Microscopia
ottica**

(per 'trasmissione')



Immagini biomediche

radiografia della mano
di Berta Roentgen
(1895) e una moderna
RX della mano



immagini della
mammella ottenute
con tecnica
radiografica, di
risonanza magnetica,
ecografica e
scintigrafica

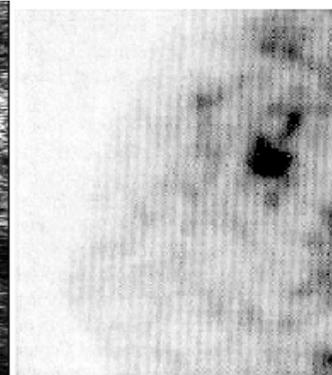
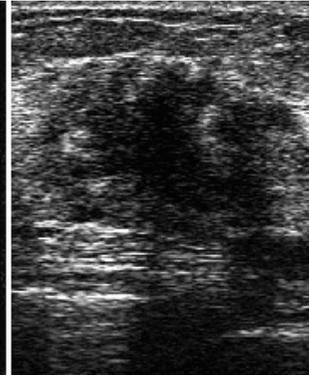
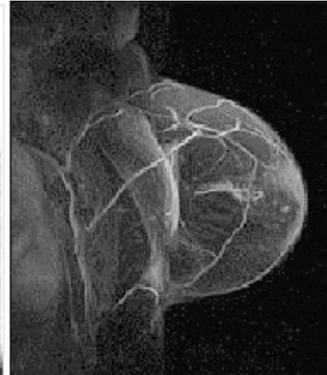
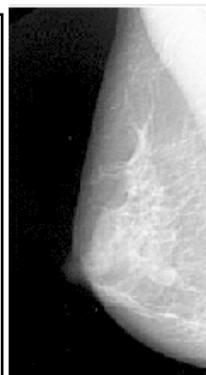
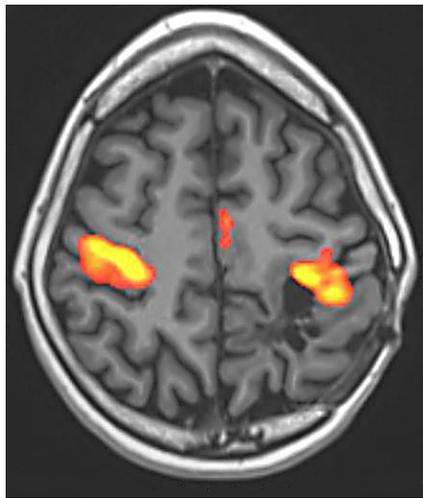


Image Processing



- Studio morfologico →
- Studio funzionale ←
- Misura aree/perimetri →
- Segmentazione
- Ricostruzione 3D ↓

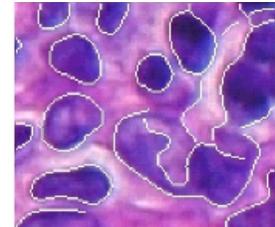
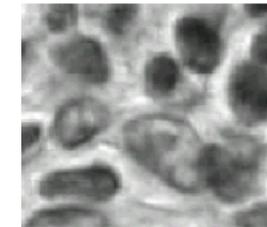
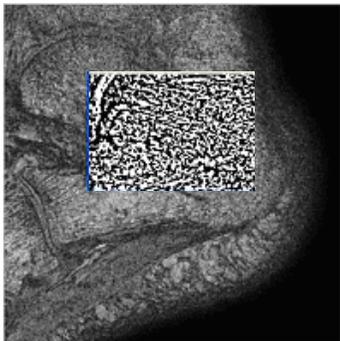


Image processing

Low level:

- miglioramento qualità immagine (contrasto, luminosità, S/N)
- entrano immagini => escono immagini

Mid level:

- segmentazione, identificazione oggetti/aree di interesse
- entrano immagini => escono attributi (bordi, contorni,..)

High level:

- estrazione parametri (lunghezze, aree, volumi, ...)
- si passa all'Analisi delle immagini

Tutte le elaborazioni possono essere fatte su una singola immagine, su due o più

Caratterizzazione dell'immagine

Grandezze legate alla natura digitale dell'immagine

- dimensioni della matrice
- dimensioni del pixel
- profondità dell'immagine

Grandezze legate alla qualità dell'immagine

- luminosità
- contrasto
- rapporto segnale rumore

Miglioramento della qualità dell'immagine

- Scopo: ottenere immagine in uscita più 'idonea' alla specifica applicazione
- Il risultato dell'applicazione di un metodo dipende dal tipo di immagine e dalle sue caratteristiche di partenza
- Esempi: modifica della luminosità, esaltazione del contrasto, incremento rapporto S/N

OPERAZIONI PUNTUALI

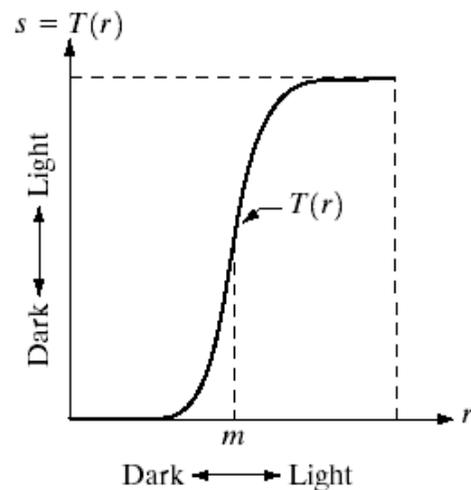
trasformano l'immagine di partenza $a[m,n]$ in un'immagine $b[m,n]$ formata da **elementi i cui valori sono funzione solo degli elementi corrispondenti dell'immagine originale**

OPERAZIONI LOCALI

trasformano l'immagine di partenza $a[m,n]$ in un'immagine $b[m,n]$ formata da **elementi i cui valori sono funzione di un determinato gruppo di elementi della matrice di partenza** (Maschera= area centrata sul pixel, tipicamente 3x3, 5x5,...)

Operazioni puntuali

- Operazioni di rimappaggio dei livelli di grigio (es. Modifica del contrasto, modifica della luminosità)
- Basate su una trasformazione T dei livelli dell'immagine di ingresso " r " per ottenere i nuovi livelli dell'immagine in uscita " s "



r: livelli immagine ingresso

s: livelli immagine uscita

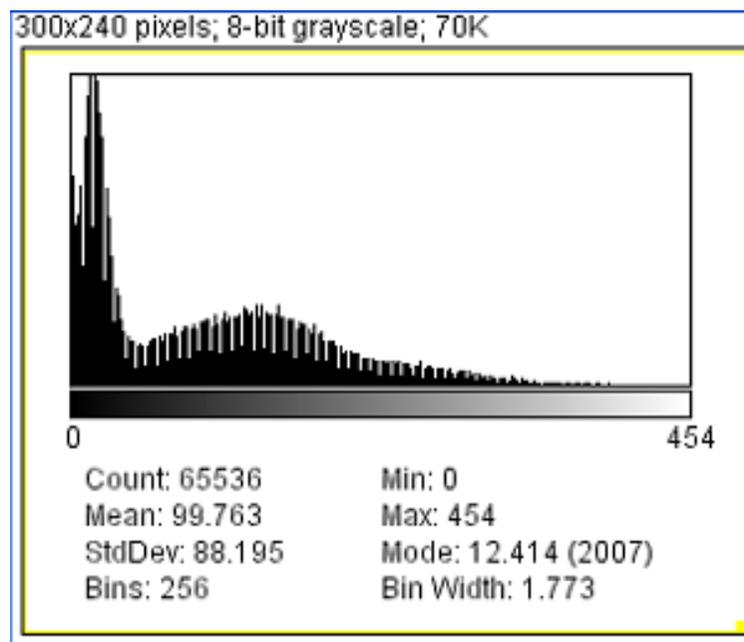
$$\mathbf{s = T(r)}$$

con T lineare o meno,
generalmente monotona

Istogramma dell'immagine

Riporta la distribuzione del numero dei pixel in funzione del loro valore.

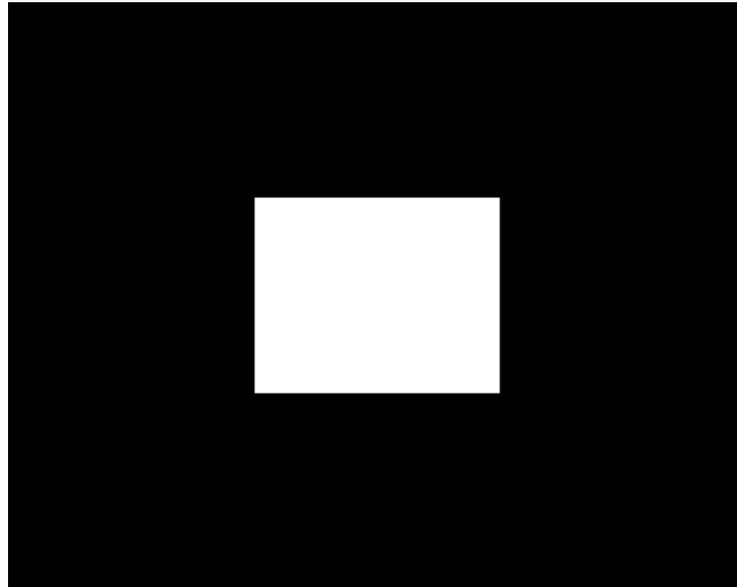
E' utilizzato come base matematica di partenza per tutte le operazioni di modifica del contrasto, della luminosità e per molte operazioni di correzione ottica dei colori.



Luminosità

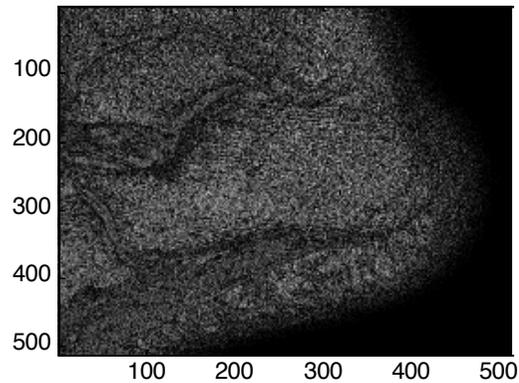
La luminosità dell'immagine è data dal valore numerico corrispondente ai pixel.

Per esempio, in una immagine monocromatica codificata su 8 bit, il valore 0 corrisponde al nero ed il valore 255 corrisponde al bianco.

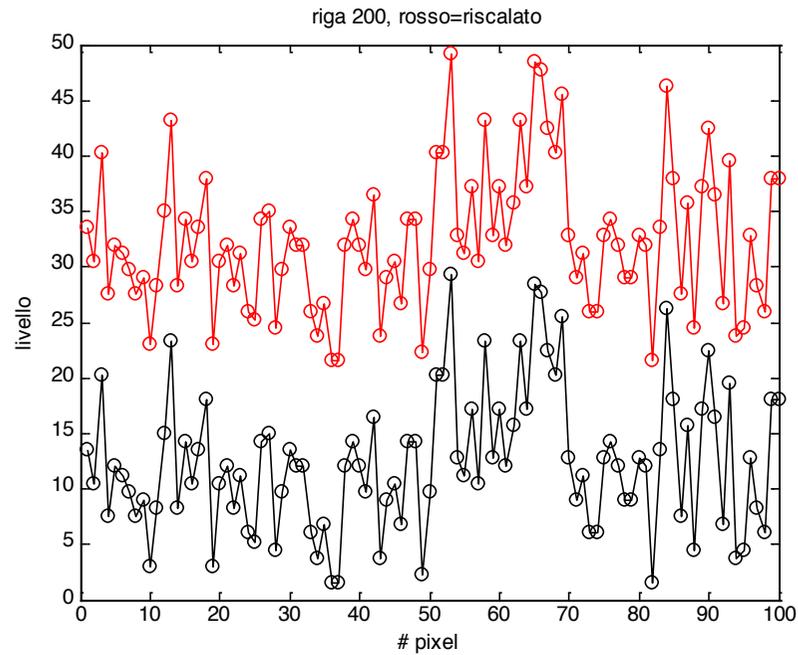
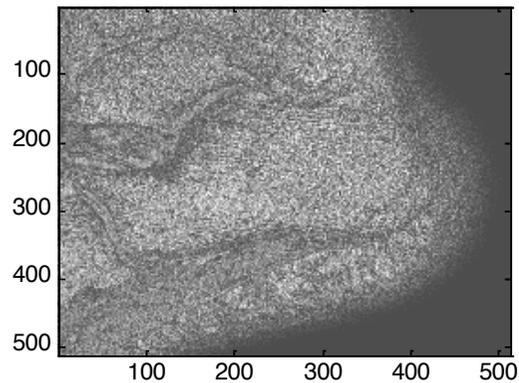


Modifica della luminosità

Originale



Riscalato

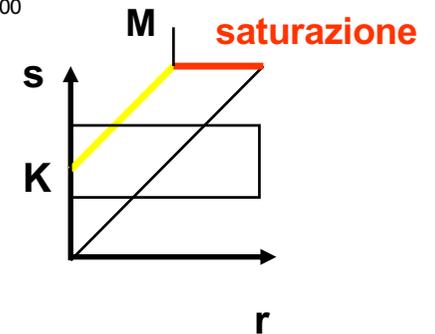


Aumento il valore di grigio in ogni punto di una costante K

$$g(x,y) = f(x,y) + K$$

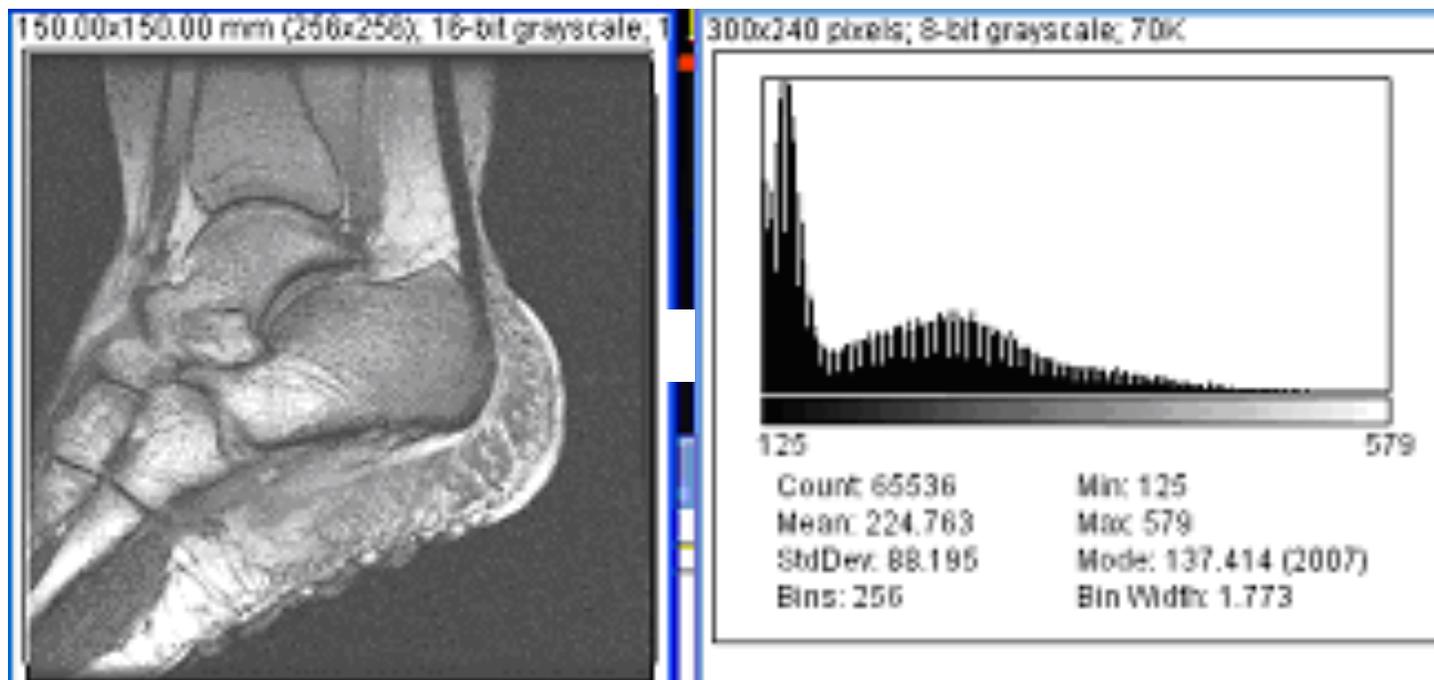
$$s = r + K,$$

se $s < 0$ o > 255 saturo

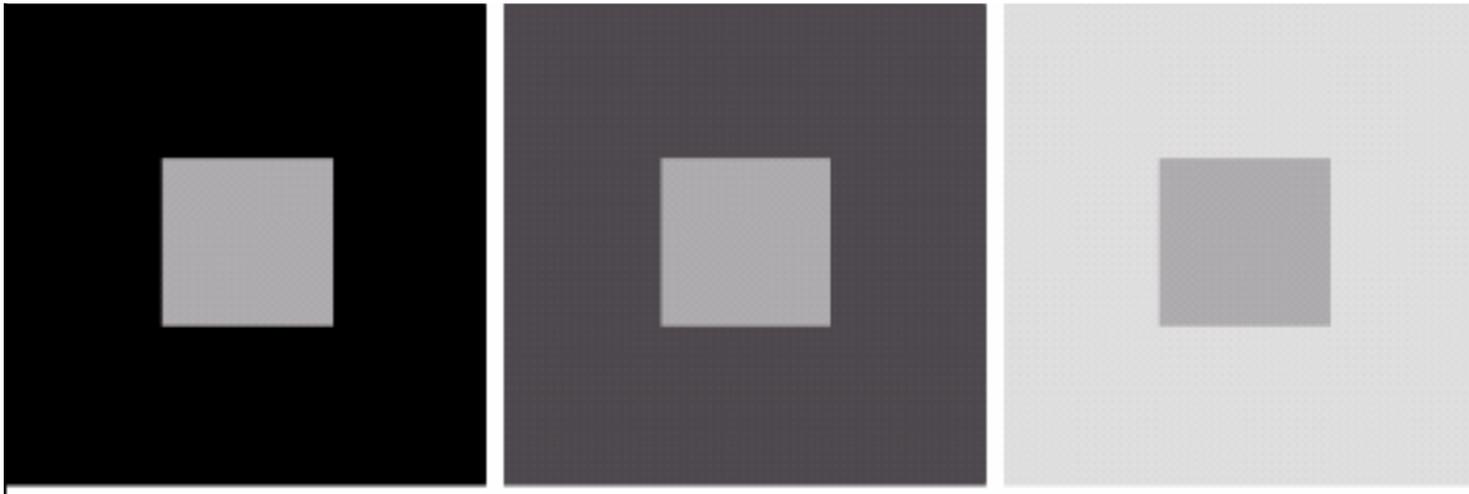


Modifica della luminosità

Una modifica della luminosità dell'immagine agisce come una traslazione sull'istogramma, verso i bianchi se la luminosità aumenta, verso il nero se la luminosità diminuisce



Contrasto



Il quadratino nel centro è sempre dello stesso colore, ma appare più scuro sul fondo più chiaro

Images © 2002 Gonzales & Woods

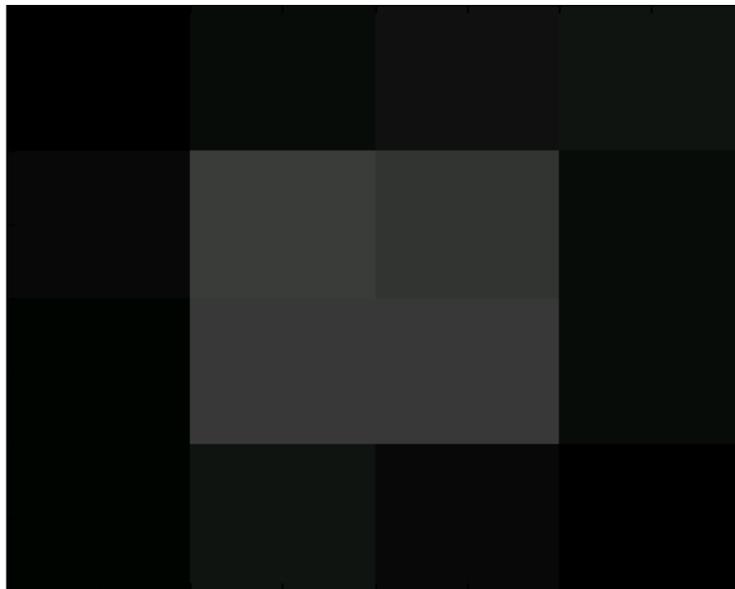
CONTRASTO

Per un'immagine monocromatica può essere definito come la variazione relativa del valore assunto dai pixel appartenenti ad una zona **A** dell'immagine rispetto allo sfondo **S**.

$$c = \frac{\Delta i}{i} = \frac{i_a - i_s}{i_s}$$

- i_a valor medio intensità dell'immagine valutato sull'area **A**
- i_s valor medio intensità dell'immagine valutato sullo sfondo **S**

Esempio: calcolo del contrasto



$$i_a = 15$$

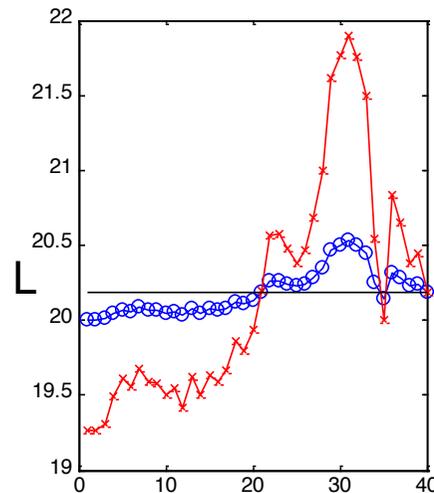
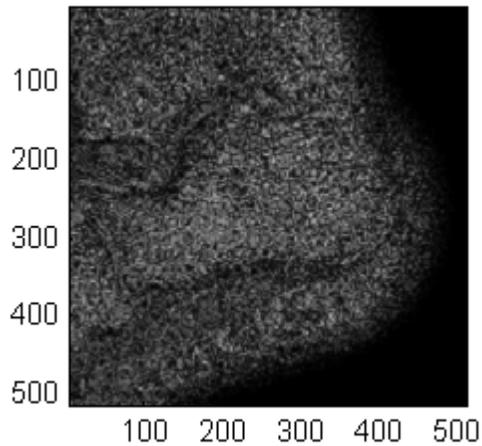
$$i_s = 3,333$$



$$C = 3,5$$

Incremento del contrasto

Luminanza = L = media dei valori dei pixel dell'immagine

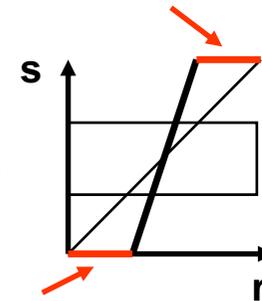


Calcolo della deviazione di ogni pixel (o) dalla luminanza L e moltiplico per un valore >1 (p.es. $\times 5$)

L'immagine così ottenuta ha contrasto maggiore

Più aumento il valore per cui moltiplico, più aumento il contrasto \rightarrow potrei uscire fuori range \rightarrow saturazione

Rischio saturazione!



Incremento del contraste

```
Command Window
>> B = A - mean(mean(A))

B =

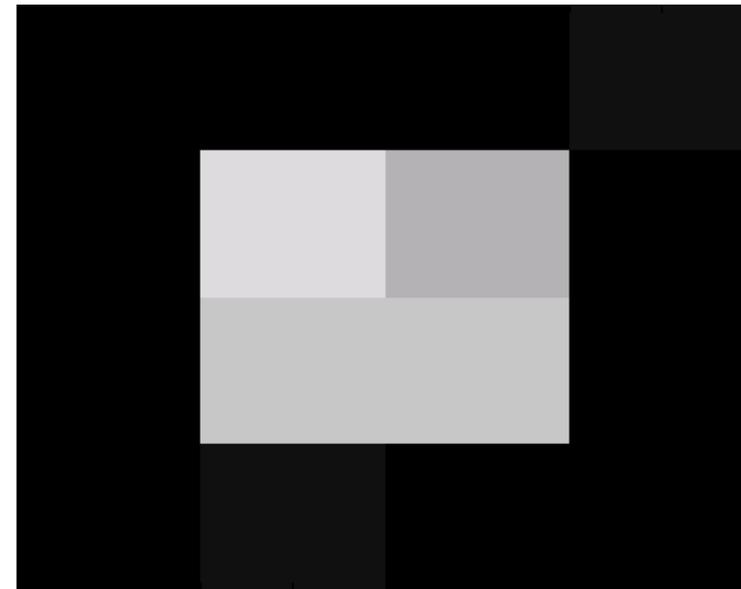
   -6.2500   -2.2500   -1.2500   -0.2500
   -3.2500    9.7500    7.7500   -2.2500
   -4.2500    8.7500    8.7500   -2.2500
   -4.2500   -0.2500   -3.2500   -5.2500

>> C = A + 4 * B

C =

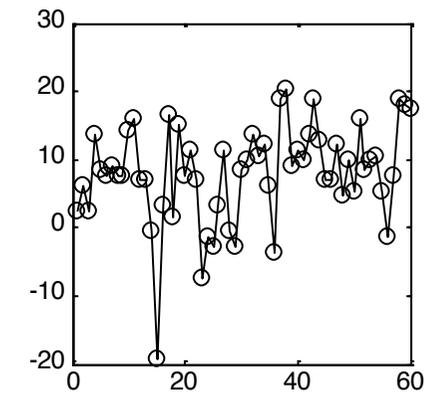
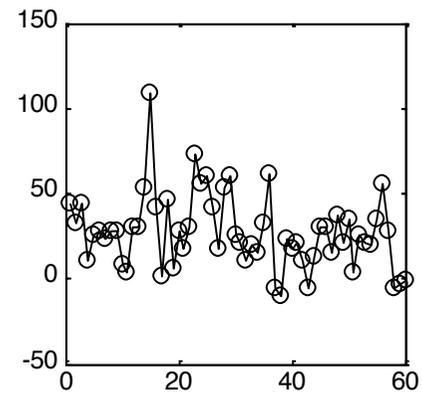
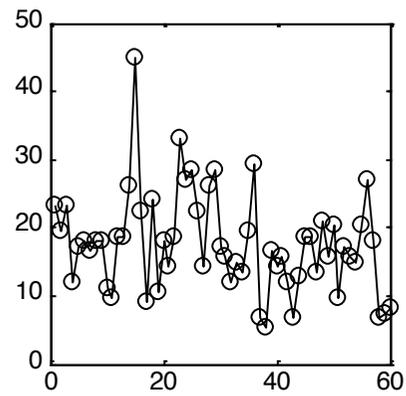
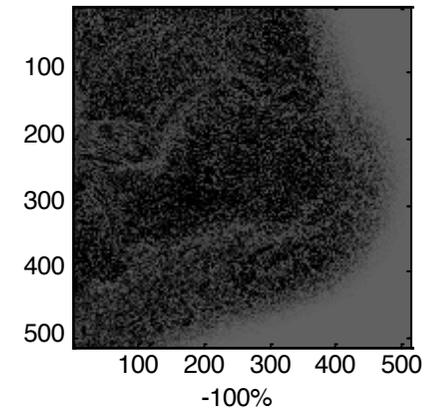
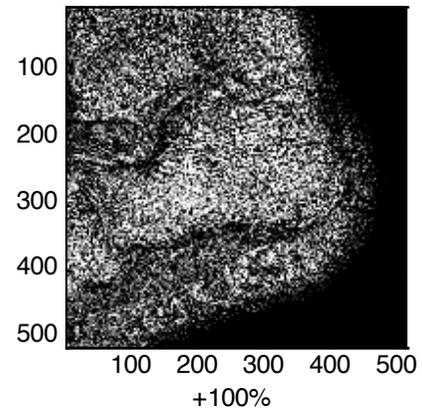
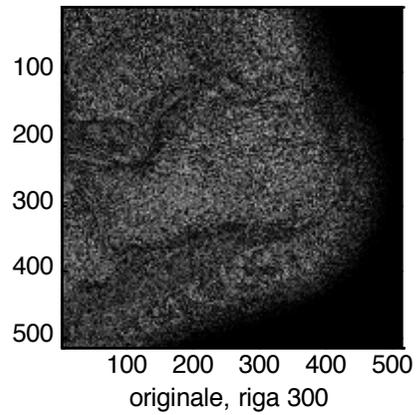
   -25    -5     0     5
   -10    55    45    -5
   -15    50    50    -5
   -15     5   -10   -20

>> image(C), colormap('gray')
>>
```



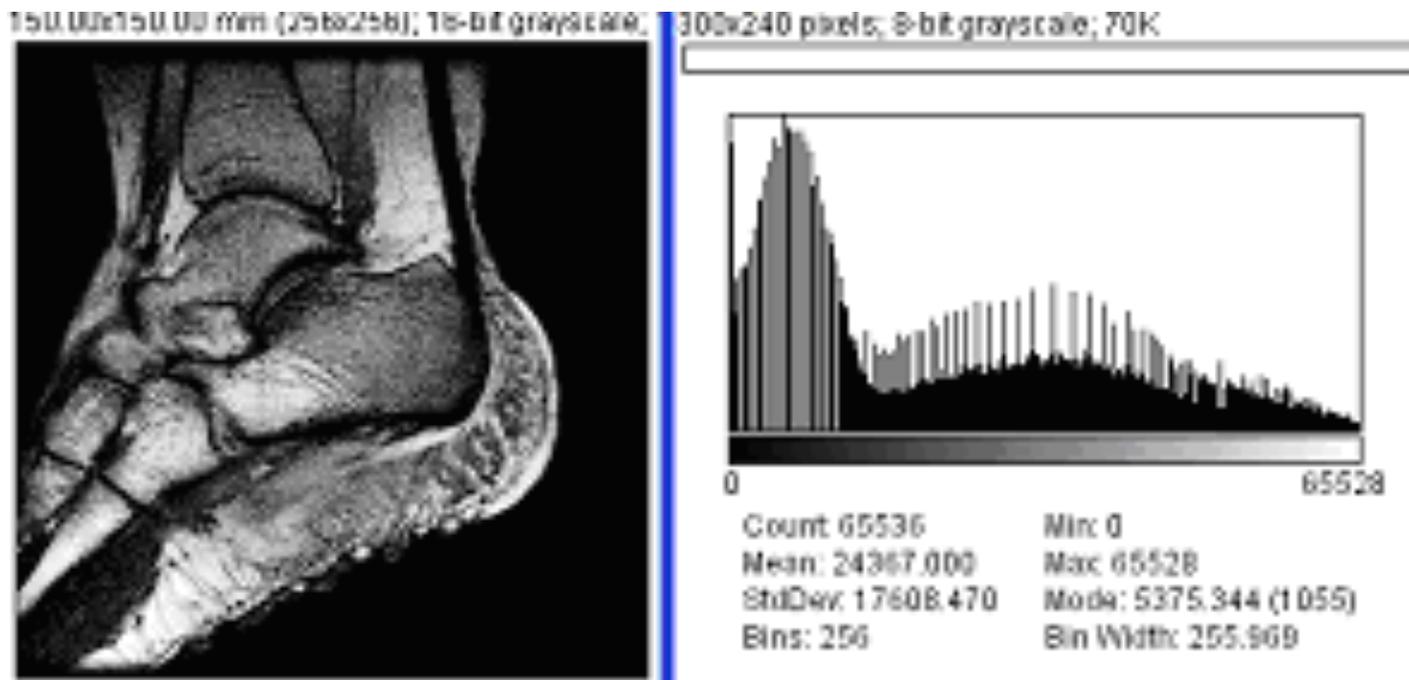
C = 5,167

Incremento del contrasto



Modifica del contrasto

Una modifica del contrasto dell'immagine agisce come una rarefazione o compressione dei punti sull'istogramma



Rapporto segnale-rumore



Il rumore sovrapposto all'immagine fa sì che il valore di grigio in punti limitrofi non sia costante ma aumentato/diminuito casualmente

In pratica il rumore sovrapposto, diminuendo il contrasto e depositandosi come disturbo localizzato o globale sull'immagine, ne diminuisce la valenza diagnostica

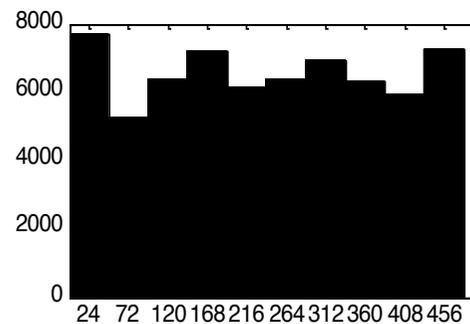
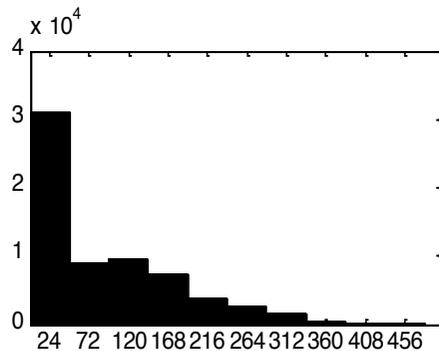
$$SNR = \frac{i_{avg}}{\sigma}$$

Media intensità dei pixel

Varianza del rumore

Equalizzazione dell'istogramma

E' una trasformazione matematica che consente di ottenere un'immagine con un istogramma di distribuzione dei grigi pressoché uniforme.



Molto utile se devo
comparare immagini
catturate in condizioni di
illuminazione diverse
(molto alta, molto bassa)

Operazioni locali

Basate sulla definizione di “maschere”, cioè insiemi di pixel sui quali viene fatta l’operazione che poi determina la variazione del valore del pixel di riferimento

Esempi:

- Filtraggio spaziale

Maschera applicata al pixel in centro

120	190	140	150	200
17	21	30	8	27
89	123	150	73	56
10	178	140	150	18
190	14	76	69	87

Maschera

1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9

x

=

Nuovo valore del pixel in centro

	98			

Filtro passa-basso

```
>> fspecial('average',4)
ans =
    0.0625    0.0625    0.0625    0.0625
    0.0625    0.0625    0.0625    0.0625
    0.0625    0.0625    0.0625    0.0625
    0.0625    0.0625    0.0625    0.0625

>> fspecial('average',3)
ans =
    0.1111    0.1111    0.1111
    0.1111    0.1111    0.1111
    0.1111    0.1111    0.1111

>> fspecial('average',2)
ans =
    0.2500    0.2500
    0.2500    0.2500

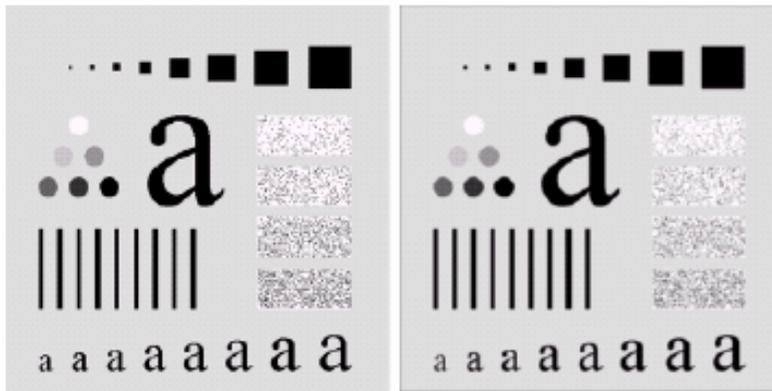
>>
```

Il filtro passabasso corrisponde ad un'operazione di media (operatore locale), in 2 dimensioni

La media, o integrazione, viene ottenuta pesando (p.es. allo stesso modo) pixel adiacenti

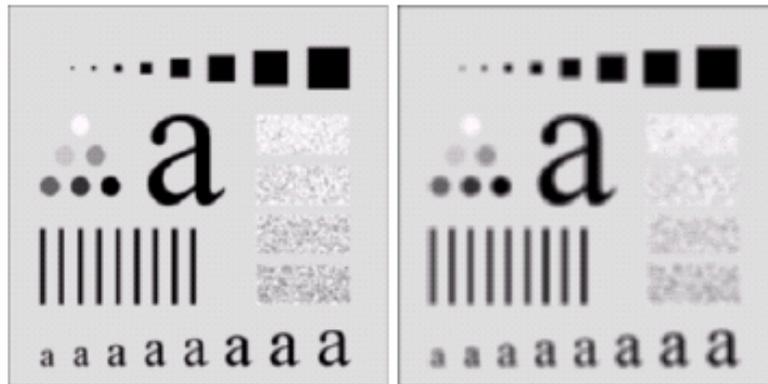
Esempi di maschere 4x4, 3x3, 2x2

Esempio



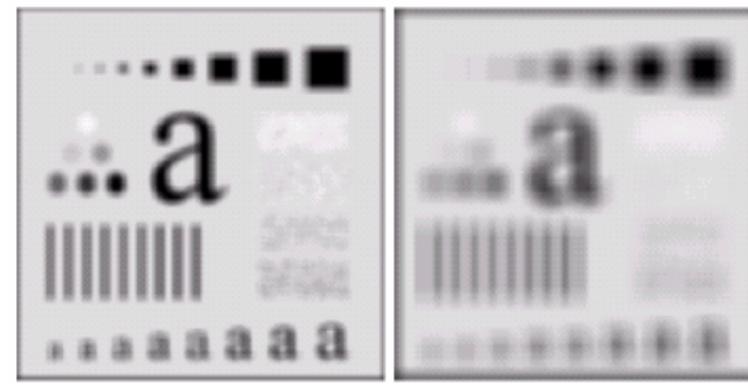
Original

3x3



5x5

9x9



15x15

35x35

512x512

Images © 2002 Gonzales & Woods

**EFFETTI FILTRAGGIO PASSA
BASSO CON MASCHERE DI
DIMENSIONE CRESCENTE**

Esempio

Originale



Averaging di dimensione 3x3



Filtro passa alto

Analogamente al filtraggio passa-basso, è possibile un filtraggio passa-alto dell'immagine in grado di mantenere le alte frequenze.

Derivatore base

Il vettore (maschera) che approssima la derivata in **una** direzione è

$$h^T = [-1 \ 1]$$

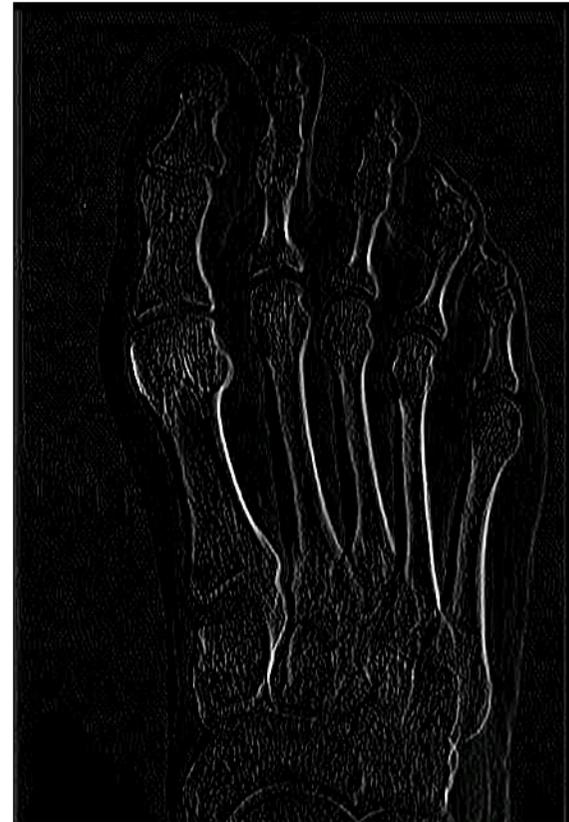
$$h^T = [-1 \ 0 \ 1]$$

Esempio

originale



derivazione verticale



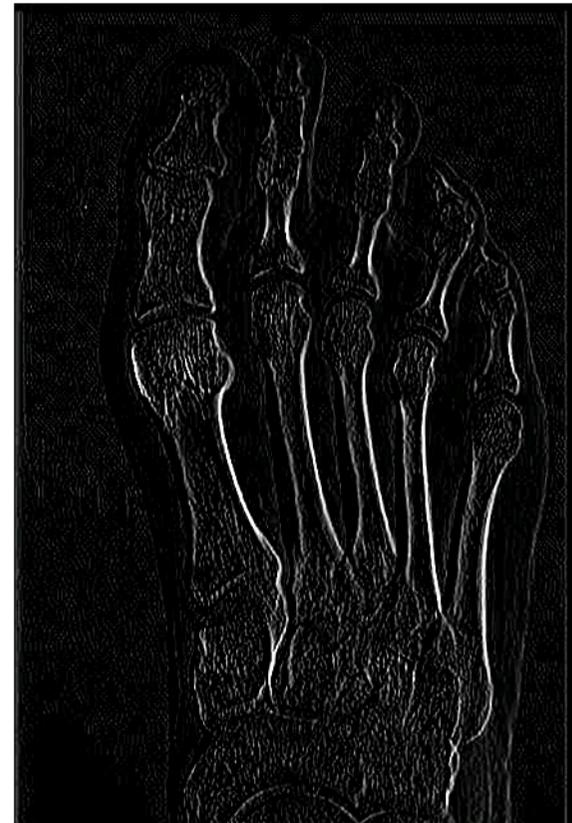
Gradiente di Prewitt

Esempio

originale

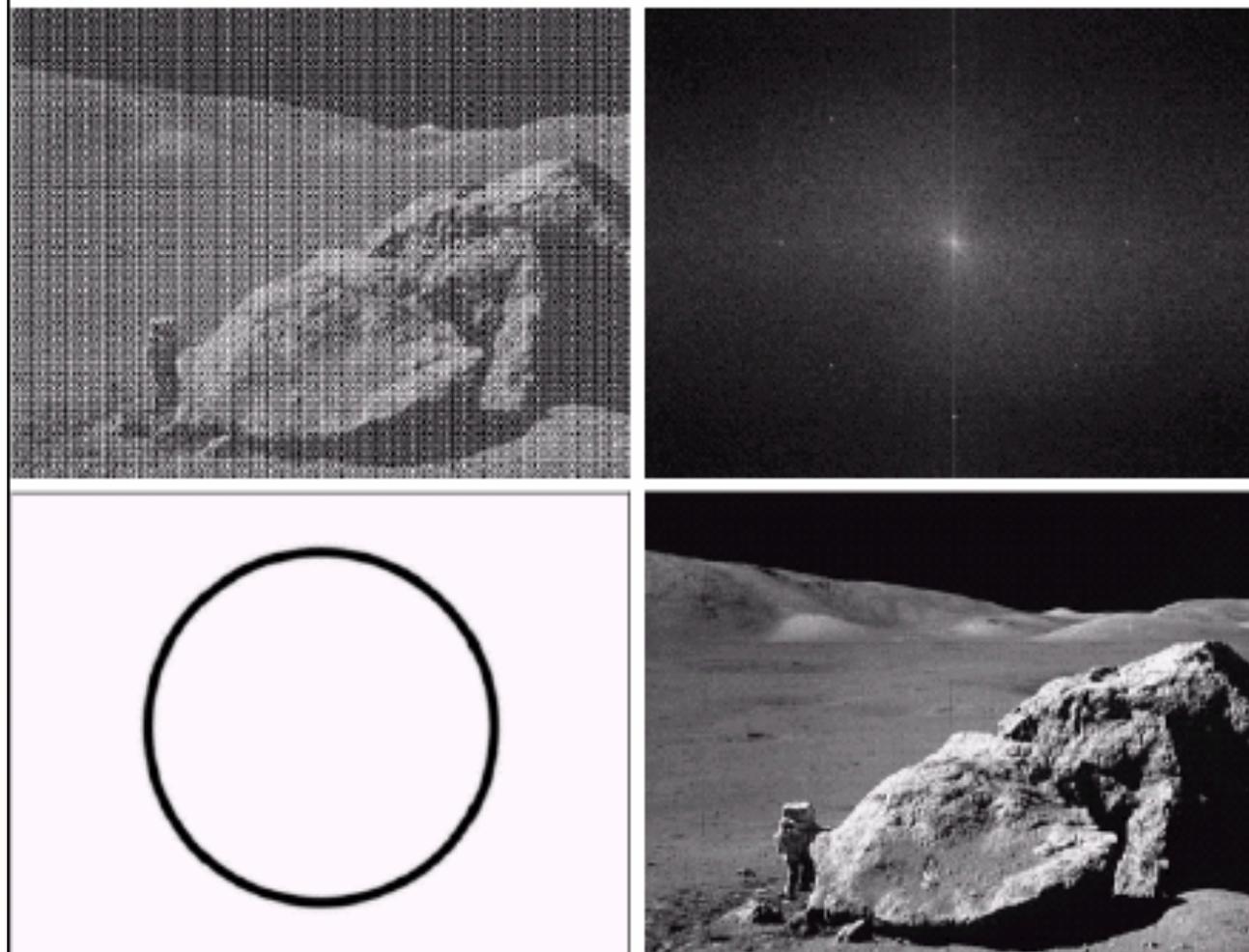


derivazione verticale



Gradiente di Sobel

Filtro passa banda



a b
c d

FIGURE 5.16
(a) Image corrupted by sinusoidal noise.
(b) Spectrum of (a).
(c) Butterworth bandreject filter (white represents 1).
(d) Result of filtering. (Original image courtesy of NASA.)