

L'immagine

Meccanismi della visione umana
Come si genera un'immagine
Caratteristiche dell'acquisizione
L'immagine digitale

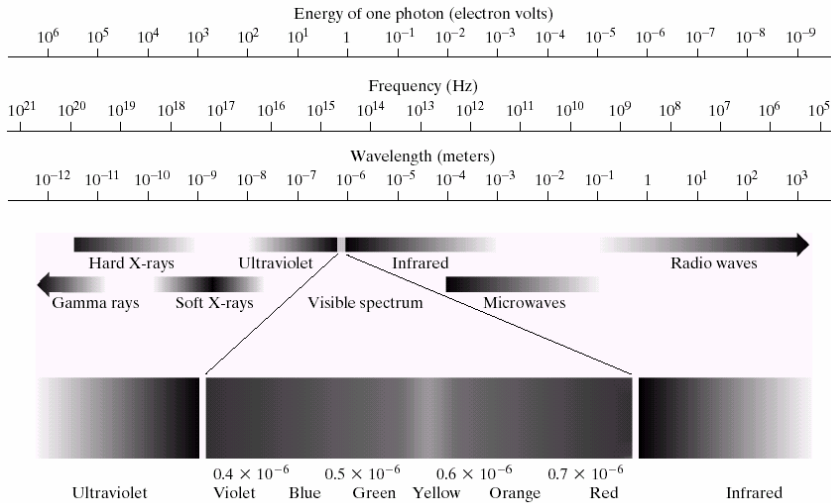


Da dove vengono le immagini ?



- Il principale (e più familiare, in quanto legato alla visione dell'uomo) fenomeno generativo delle immagini è la radiazione elettromagnetica.
- Altri importanti fenomeni generativi sono di tipo
 - acustico
 - ultrasonico
 - elettronico

Lo spettro elettromagnetico

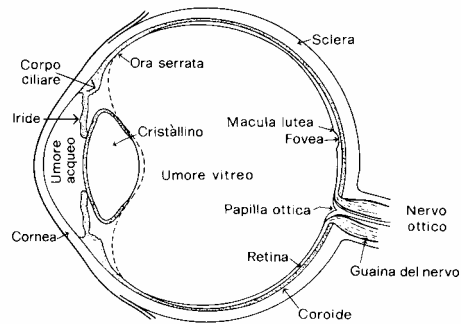
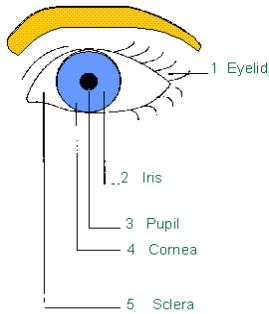


La visione nell'uomo

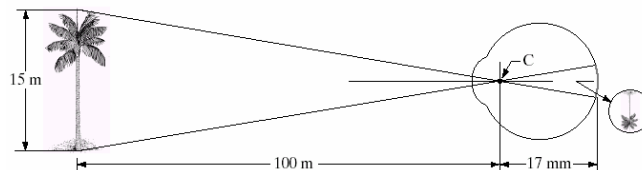


- La visione nell'uomo è un processo con cui uno stimolo esterno viene
 - portato all'interno del sistema nervoso
 - campionato
 - filtrato
 - elaborato
- Il risultato di questo processo è la percezione visiva
- La visione non è un processo passivo di riproduzione dell'immagine, ma un processo attivo che, a seconda delle richieste, privilegia alcuni tipi di informazione e ne mette altri in secondo piano.

Struttura dell'occhio

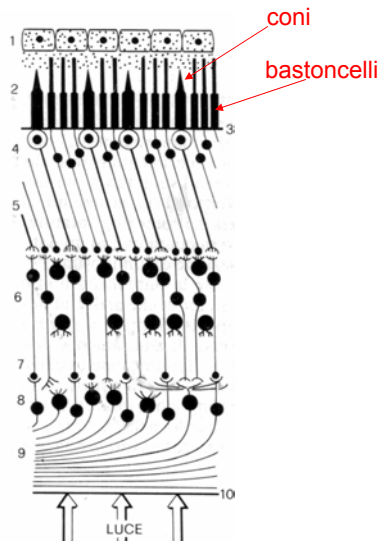


Formazione dell'immagine nell'occhio



- Il sistema ottico dell'occhio mette a fuoco la scena esterna sulla retina
- La rappresentazione iniziale con cui lavora il sistema visivo è formata dalla distribuzione di luce sui fotorecettori presenti sulla retina

Struttura della retina



1. Epitelio dei pigmenti
2. Estremità fotosensibile dei fotorecettori: **coni** e **bastoncelli**
3. Membrana esterna
4. Nuclei esterni delle cellule visive bipolari
5. Strato esterno di fibre nervose
6. Nuclei interni delle cellule visive bipolari
7. Strato interno di fibre nervose
8. Cellule gangliari
9. Strato di fibre del nervo ottico
10. Membrana interna

- **La luce raggiunge lo strato dei fotorecettori dopo aver attraversato gli strati antistanti costituiti dalle cellule retiniche**

I Coni

- Sono tra 6 e 7 milioni, concentrati nella parte centrale della retina (**fovea**)
- Sensibili al colore
- Alta soglia di attivazione (110 fotoni), per cui hanno bassa sensibilità
- Alta velocità di risposta, per cui permettono di vedere oggetti in rapido movimento e di percepire rapidi cambi di intensità
- Attivi per alti livelli di luminanza (**visione fotopica**)
- Consentono di risolvere dettagli fini in quanto generalmente ogni cono è collegato ad una sola terminazione nervosa.

I Bastoncelli



- Sono tra 75 e 150 milioni, distribuiti sulla superficie retinica.
- Non sono sensibili al colore
- Bassa soglia di attivazione (1 fotone), per cui hanno un'elevata sensibilità
- Bassa velocità di risposta, per cui non percepiscono correttamente rapide modifiche della scena
- Attivi per bassi livelli di luminanza (**visione scotopica**).
- Non garantiscono una buona risoluzione in quanto più bastoncelli sono collegati ad una stessa terminazione nervosa.

Visione fotopica



Botticelli

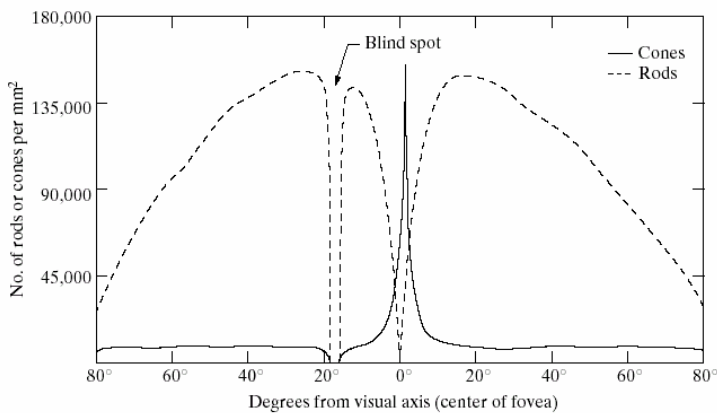
Adorazione dei
Magi

Visione scotopica

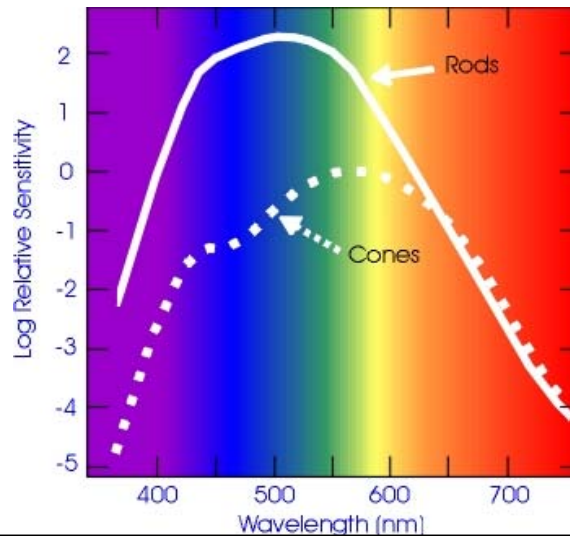


Mantegna
Cristo morto

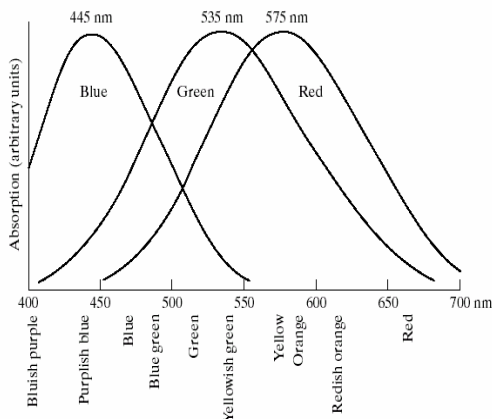
Distribuzione dei fotorecettori sulla retina



Spettro di assorbimento dei fotorecettori

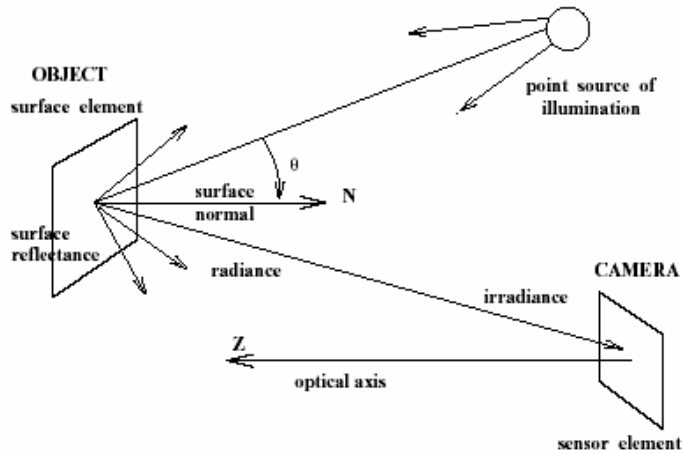


Spettro di assorbimento dei coni



La visione dei colori nell'uomo dipende dalla presenza di tre tipi di coni ("rossi", "verdi", "blu") che si attivano in maniera differente a seconda della lunghezza d'onda della radiazione incidente

Come si genera un'immagine



Come si genera un'immagine



Tre fattori in gioco:

- la sorgente di illuminazione
 - produce variazioni di luminosità a bassa frequenza spaziale
- l'oggetto riflettente
 - produce variazioni di luminosità ad alta frequenza spaziale
- il sensore
 - naturale (occhio) o artificiale (pellicola, telecamera)



Come si genera un'immagine

Definiamo $C(x,y,t,\lambda)$ la funzione che definisce la distribuzione spaziale dell'energia radiante.

In tutti i casi di interesse pratico sono valide le seguenti proprietà:

- $0 < C(x,y,t,\lambda) \leq A$
- $x_{\min} \leq x \leq x_{\max} \quad y_{\min} \leq y \leq y_{\max}$
- $t_{\min} \leq t \leq t_{\max}$



La risposta del sensore

- La risposta all'uscita del sensore è funzione della *risposta spettrale* del sensore:

$$Y(x,y,t) = \int_0^{\infty} C(x,y,t,\lambda)V(\lambda)d\lambda$$

- In questo caso, viene misurata la *luminanza istantanea*.

Sensibilità del sensore

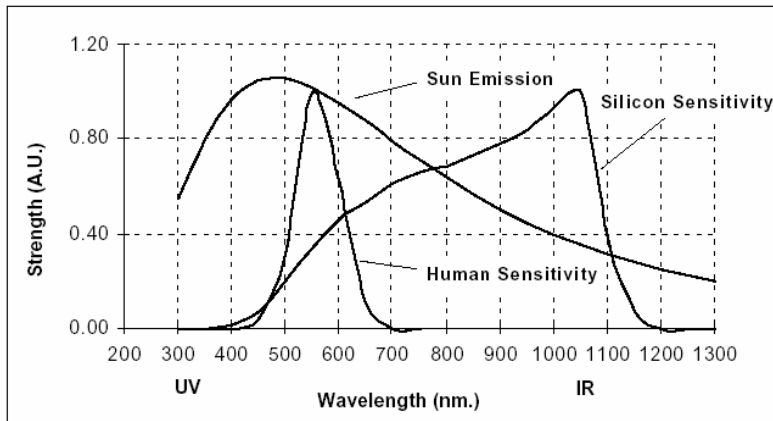


Immagine monocromatica

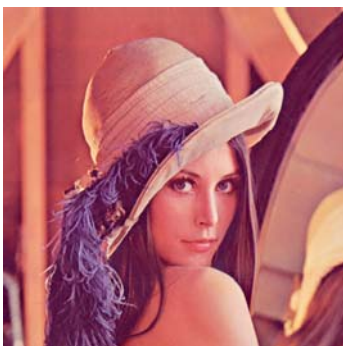


immagine reale



immagine acquisita



Immagine policroma

- Nel caso di risposta cromatica, questa è valutata tramite tre valori (tristimuli):

$$R(x, y, t) = \int_0^{\infty} C(x, y, z, t, \lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$G(x, y, t) = \int_0^{\infty} C(x, y, z, t, \lambda) G(\lambda) d\lambda$$

$$B(x, y, t) = \int_0^{\infty} C(x, y, z, t, \lambda) B(\lambda) d\lambda$$

Sensibilità cromatica

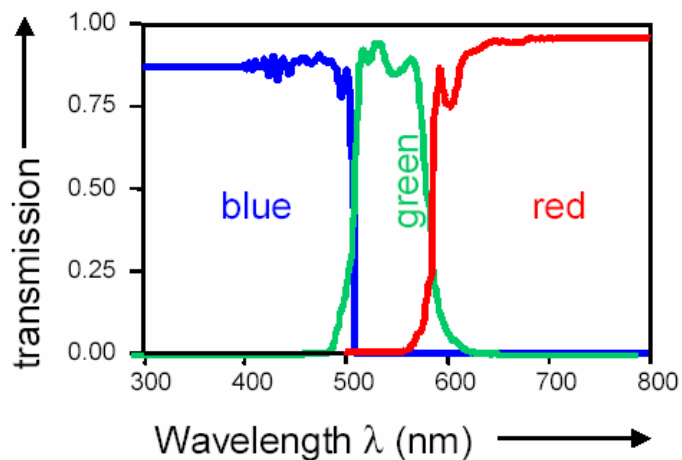


Immagine policroma



immagine reale

immagini acquisite



Red

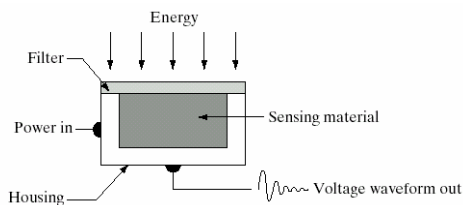


Green



Blue

Struttura di un sensore



L'energia irradiata sul sensore è trasformata in una tensione grazie all'azione combinata della potenza elettrica di alimentazione e del materiale del sensore che è sensibile al particolare tipo di energia da percepire.

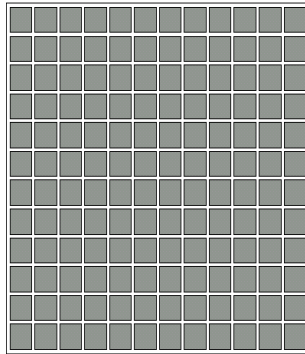
La risposta del sensore è un segnale di tensione che può essere digitalizzato.

Nel caso delle immagini, il sensore è tipicamente un fotodiodo in cui la tensione di uscita è proporzionale alla luce incidente (CCD).

Organizzazione dei sensori

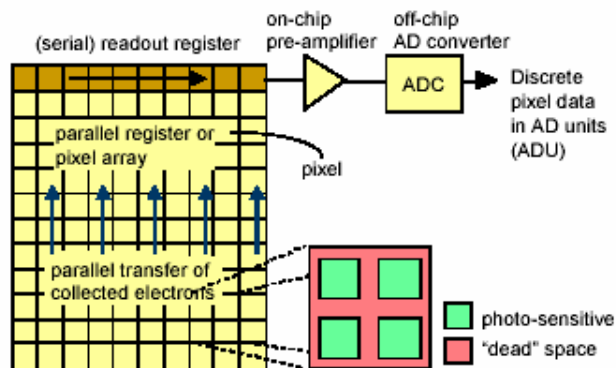


A linea

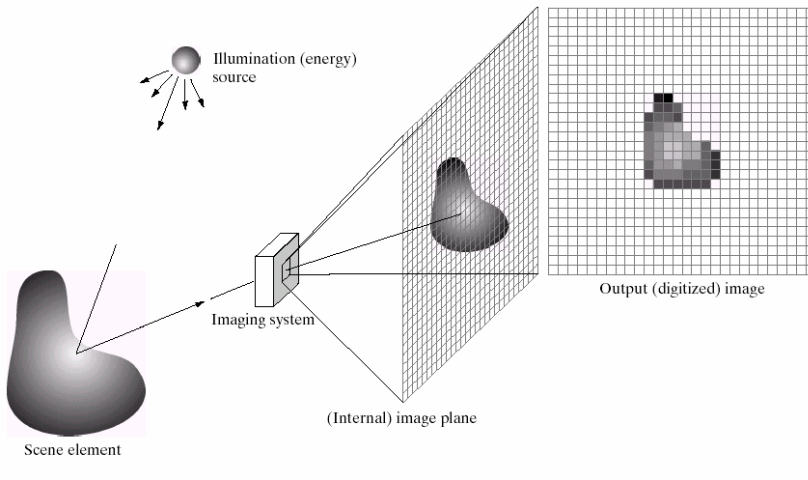


A matrice

Schema di un sensore CCD



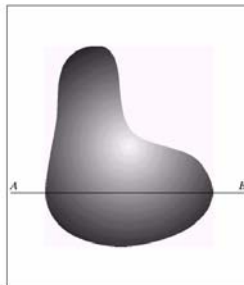
Acquisizione dell'immagine



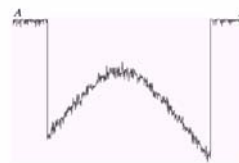
Acquisizione dell'immagine



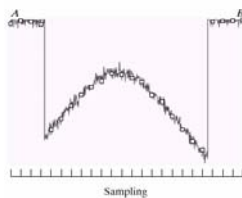
Immagine di partenza



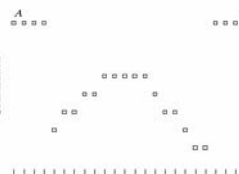
Tensione



campionamento spaziale



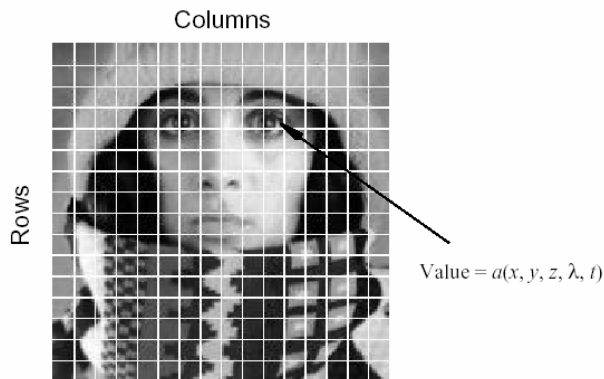
quantizzazione



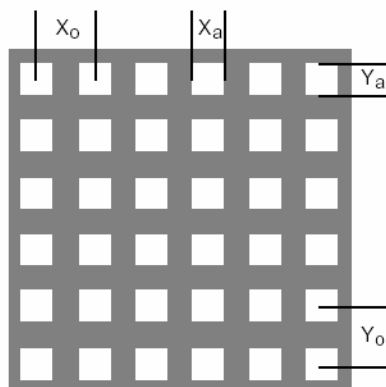
Acquisizione dell'immagine: campionamento spaziale



Il sensore CCD realizza un campionamento spaziale dell'immagine acquisita



Geometria del sensore




- = photosensitive region
- = nonsensitive region

$$\text{fill factor} = \frac{X_a Y_a}{X_0 Y_0} \cdot 100$$

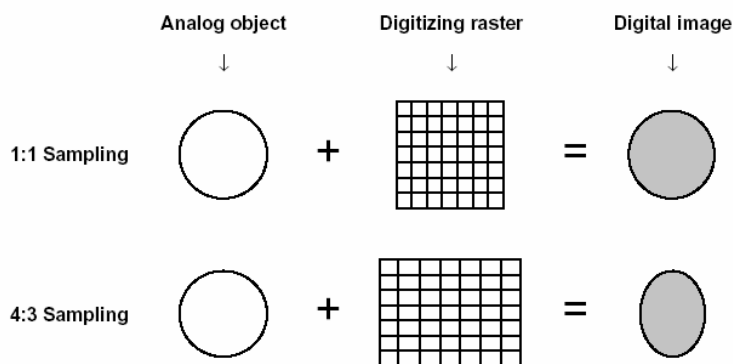
Acquisizione dell'immagine: campionamento spaziale



- L'uscita di un sensore CCD è una matrice $Y_d(i,j)$ che viene da una media spaziale della luminanza istantanea:

$$Y_d(i,j,t) = \int_{\frac{X_0}{2} + i \cdot \frac{X_a}{2}}^{\frac{X_0}{2} + (i+1) \cdot \frac{X_a}{2}} \int_{\frac{Y_0}{2} + j \cdot \frac{Y_a}{2}}^{\frac{Y_0}{2} + (j+1) \cdot \frac{Y_a}{2}} Y(x,y,t) \varphi(x,y) dx dy$$


Geometria del sensore



Acquisizione dell'immagine: quantizzazione della luminanza



- Oltre ad una discretizzazione spaziale, si effettua una quantizzazione della luminanza

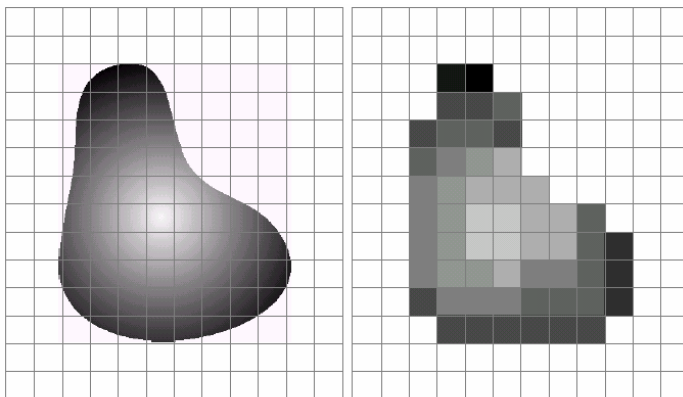
$$Y_d(i,j,t) \in [0, 1, \dots, 2^b - 1]$$

dove b è il numero di bit usato per codificare i valori di $Y(\cdot)$

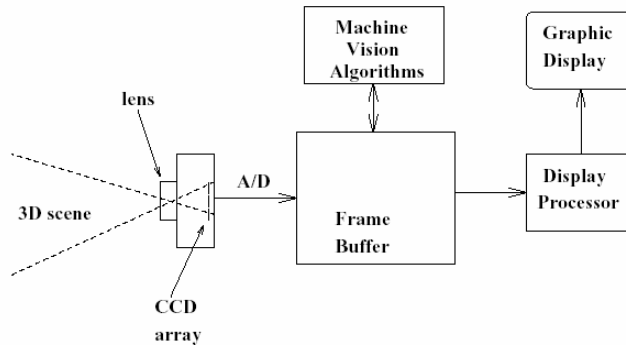
- I valori $[0, 1, \dots, 2^b - 1]$ si definiscono *livelli di grigio*. Tipicamente:

$0 \leftrightarrow$ nero $2^b - 1 \leftrightarrow$ bianco

Immagine acquisita dopo campionamento e quantizzazione



Sistema per l'acquisizione e l'elaborazione di immagini



Valori tipici dei parametri



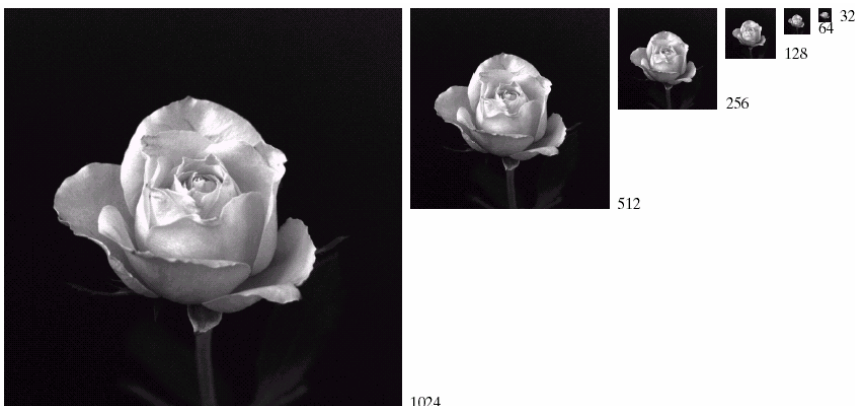
Righe	256, 512, 1024,...
Colonne	256, 512, 1024,...
Livelli di grigio	2, 64, 256, 1024

L'immagine digitale

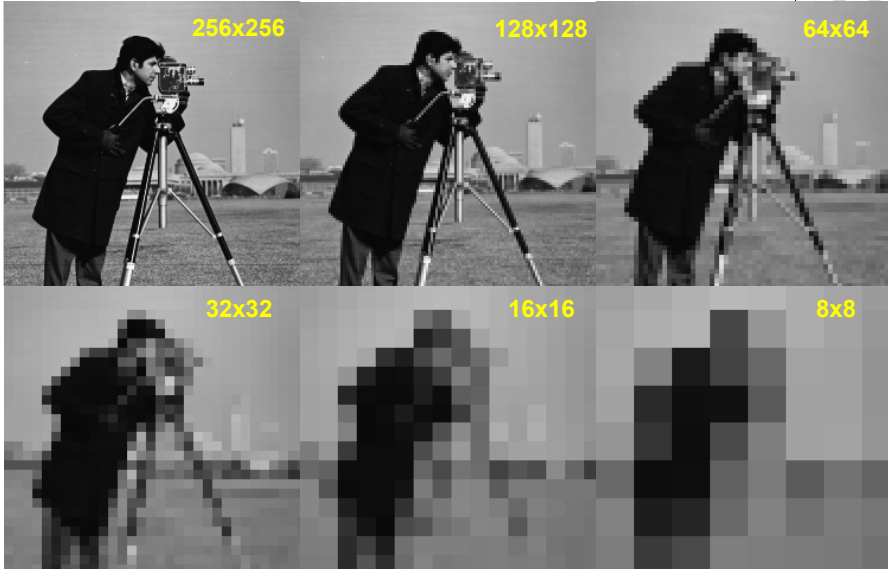


- Un'immagine digitale monocromatica è una matrice $Y(i,j)$ di valori discreti di intensità luminosa (livelli di grigio).
- E' costituita da $M*N$ pixel (*picture elements*), ciascuno dei quali ha un valore appartenente all'intervallo $[0, 2^b-1]$.
- Per esempio, con 8 bit si ha la possibilità di rappresentare un numero di livelli (256) tale da consentire una discriminazione dei grigi accettabile nella maggior parte delle applicazioni, in quanto abbastanza prossima a quella dell'occhio umano.
- Una immagine monocromatica di dimensioni tipiche ($512 * 512 * 8$) occupa pertanto 256 Kbyte di memoria

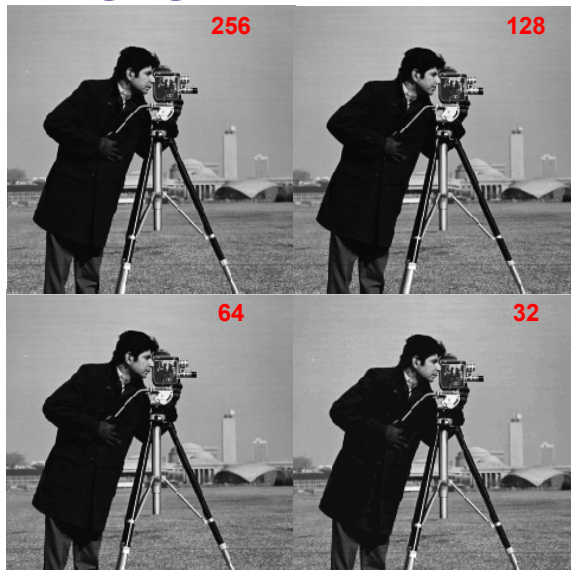
Effetti della variazione della risoluzione spaziale



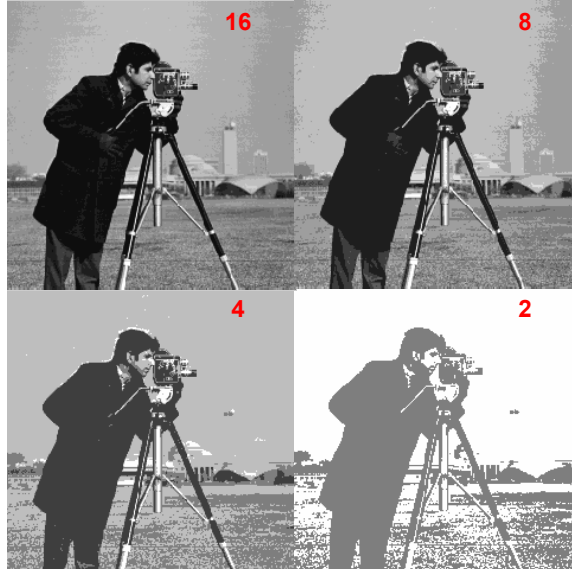
Effetti della variazione della risoluzione spaziale



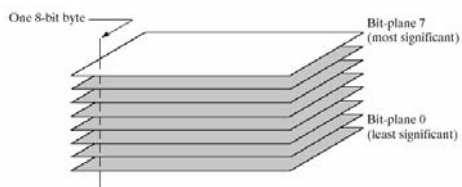
Effetti della variazione dei livelli di grigio



Effetti della variazione dei livelli di grigio



Bit plane slicing



- Un'immagine con pixel da 8 bit può essere interpretata come la sovrapposizione di 8 piani immagine da 1 bit
- I bit di ordine più elevato contengono la maggior parte dei dati visuali più significativi
- Gli altri piani contribuiscono a definire i dettagli più fini dell'immagine originale

Bit plane slicing

