

Rappresentazione di immagini

Stefano Ferrari

Università degli Studi di Milano
stefano.ferrari@unimi.it

Tecniche di calcolo e sistemi operativi e informatica

anno accademico 2017–2018

Cosa è un'immagine?

Qualche definizione:

- ▶ figura esteriore percepita mediante la vista [Garzanti];
- ▶ metodica di rappresentazione secondo coordinate spaziali indipendenti di un oggetto o di una scena [Wikipedia, old];
- ▶ rappresentazione visiva, non solida, della realtà; rappresentazione (più o meno realistica) della realtà fisica o di una realtà fittizia o astratta [Wikipedia, new].

Generalmente si intende una rappresentazione di oggetti o scene su un supporto bidimensionale:

- ▶ quadro,
- ▶ fotografia,
- ▶ grafico.

Il concetto si può estendere ad una rappresentazione volumetrica (e.g., statua).

Definizione di immagine digitale

- ▶ Matematicamente, un'immagine viene definita come una funzione, $f : \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}^n$.
- ▶ Tipicamente, $m = 2$ e, nel caso più semplice, $n = 1$.
- ▶ Quando le coordinate spaziali e il valore della funzione sono finiti e discretizzati, l'immagine viene detta *digitale*.

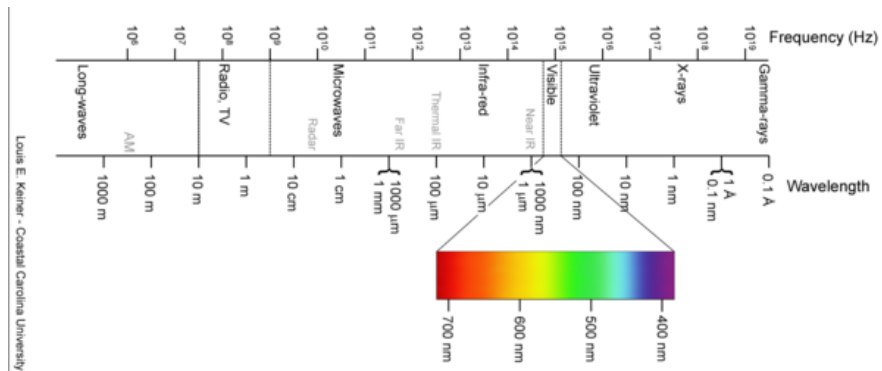
$$f : \mathbb{Z}^m \rightarrow \mathbb{Z}^n$$

- ▶ Gli elementi che costituiscono un'immagine digitale sono detti "pixel" (contrazione di *picture element*) o "pels" (o anche "image elements").

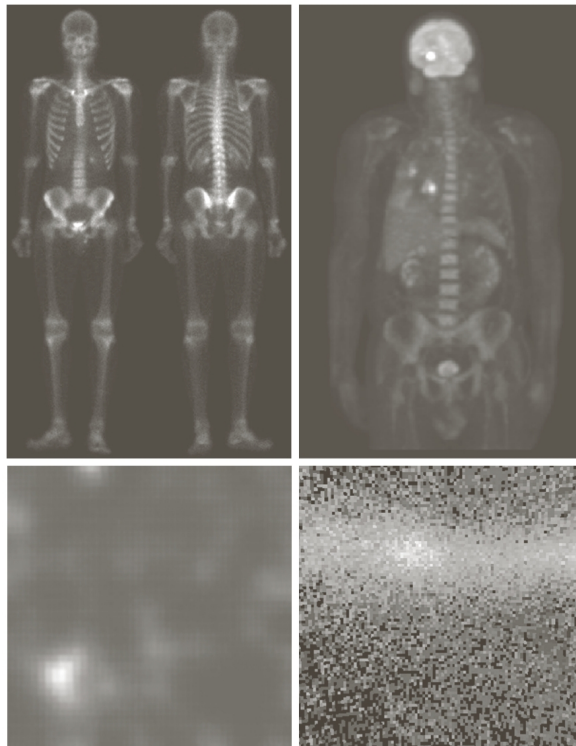
Quali immagini?

- ▶ Una possibile classificazione si basa sulla sorgente irradiante:
 - ▶ onde elettromagnetiche;
 - ▶ onde acustiche;
 - ▶ ultrasuoni;
 - ▶ fascio di elettroni.

Spettro elettromagnetico



Immagini da raggi gamma

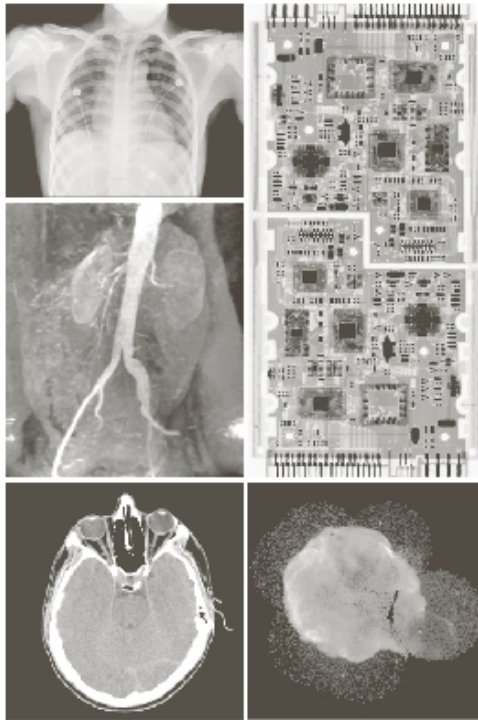


| | |
|---|---|
| a | b |
| c | d |

(a) gamma-ray imaging per iniezione di isotopo radioattivo; (b) positron emission tomography (PET); (c) Cygnus Loop; (d) radiazione gamma di una valvola di un reattore nucleare.

NB: (c) e (d) catturano la naturale radiazione dell'oggetto osservato.

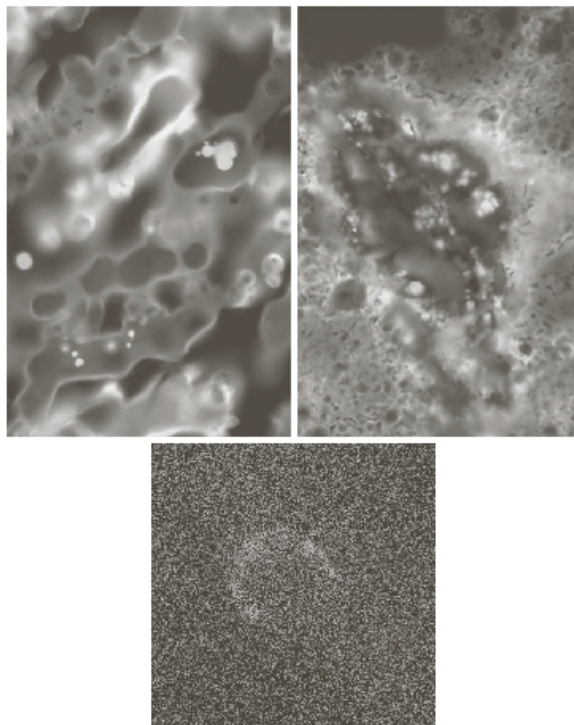
Immagini da raggi X



| | |
|---|---|
| a | d |
| b | |
| c | e |

(a) radiografia; (b) angiografia; (c) computerized axial tomography (CAT); (d) immagine ai raggi X di scheda elettronica per ispezione durante la produzione; (e) Cygnus Loop.

Immagini da ultravioletti

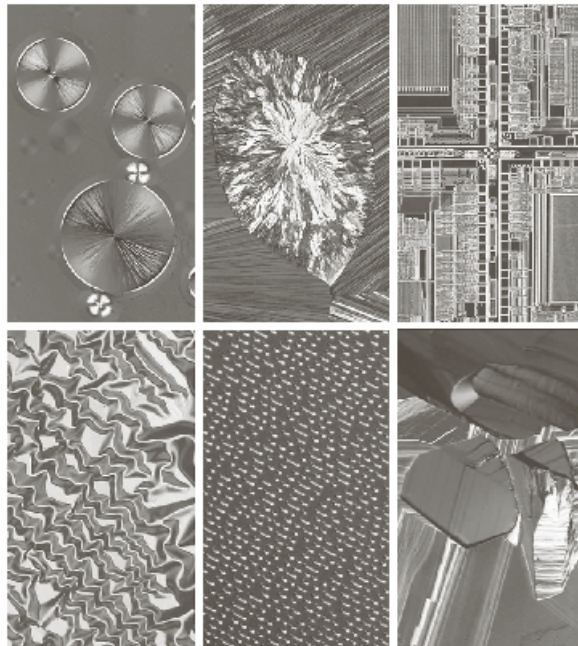


| | |
|---|---|
| a | b |
| c | |

(a) grano sano; (b) grano malato; (c) Cygnus Loop.

Le immagini UV sfruttano spesso il fenomeno della fluorescenza, naturale o indotta.

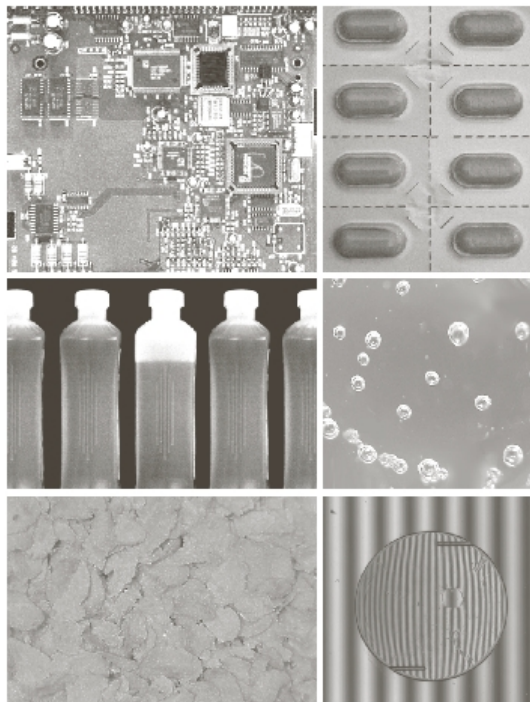
Immagini da visibile



| | | |
|---|---|---|
| a | b | c |
| d | e | f |

(a) Taxol (agente anti-cancro; (b) colesterolo; (c) microprocessore; (d) film di ossido di nichel; (e) superficie di un cd audio; (f) superconduttore organico.

Immagini da visibile (2)



| | |
|---|---|
| a | b |
| c | d |
| e | f |

Esempi di controllo industriale:

(a) componenti mancanti; (b) pillole mancanti; (c) quantità accettabili; (d) difetti di produzione (troppe bolle); (e) difetti di produzione (qualche fiocco bruciato?); (f) difetti di produzione (impianto ottico con distorsioni).

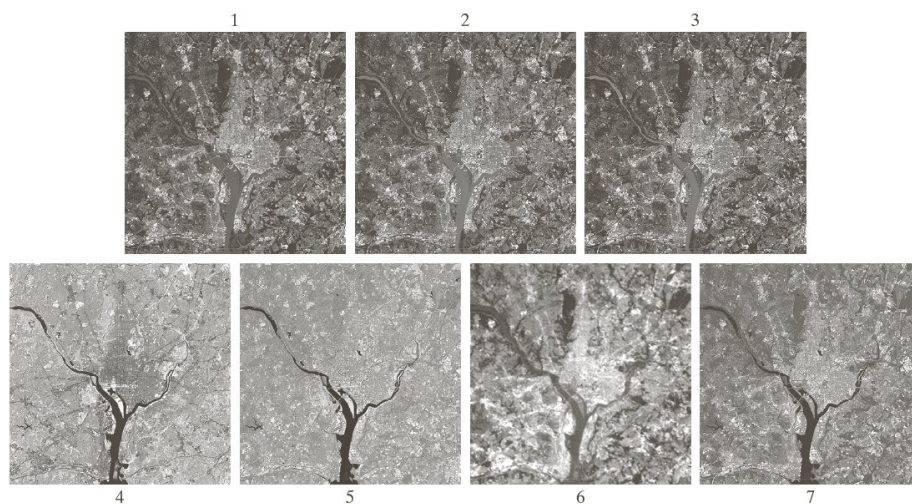
Immagini da visibile (3)



| | |
|---|---|
| a | b |
| c | |
| d | |

Esempi di applicazioni di sicurezza e tracciamento: (a) impronte digitali; (b) conteggio banconote e tracciamento del numero di serie; (c) lettura automatica della targa; (d) lettura automatica della targa (con correzione prospettica).

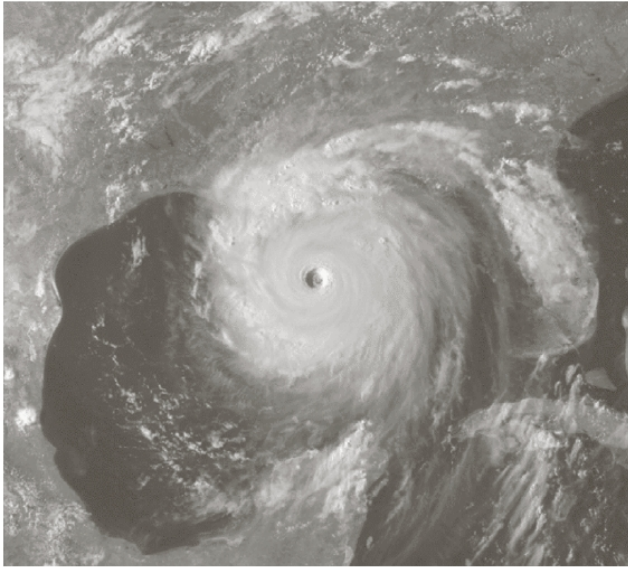
Immagini da visibile ed infrarosso



| | | |
|---|---|---|
| a | b | c |
| d | e | f |
| | | g |

(a) blu; (b) verde; (c) rosso; (d) infrarosso vicino; (e) infrarosso ad onda corta; (f) infrarosso termico; (g) infrarosso medio.

Immagini da visibile e infrarosso (2)



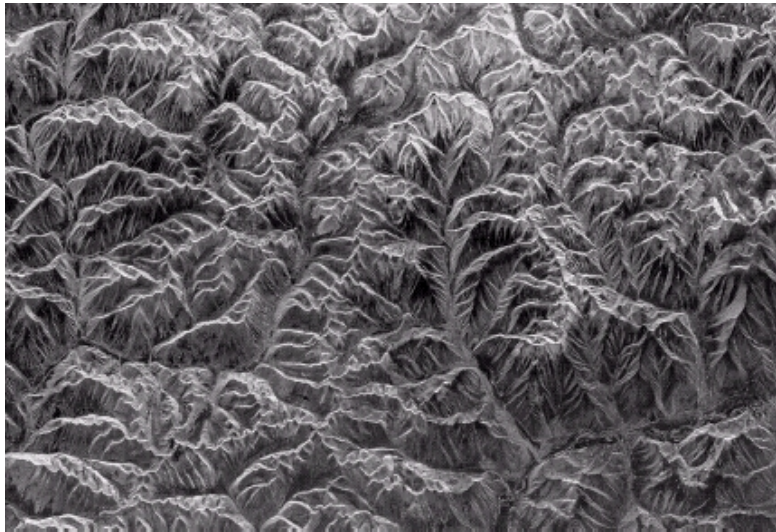
Le immagini da satellite per uso meteorologico fanno uso di bande multiple. L'immagine è dell'uragano Katrina (2005) nella banda del visibile e infrarosso.

Immagini da infrarosso satellitare



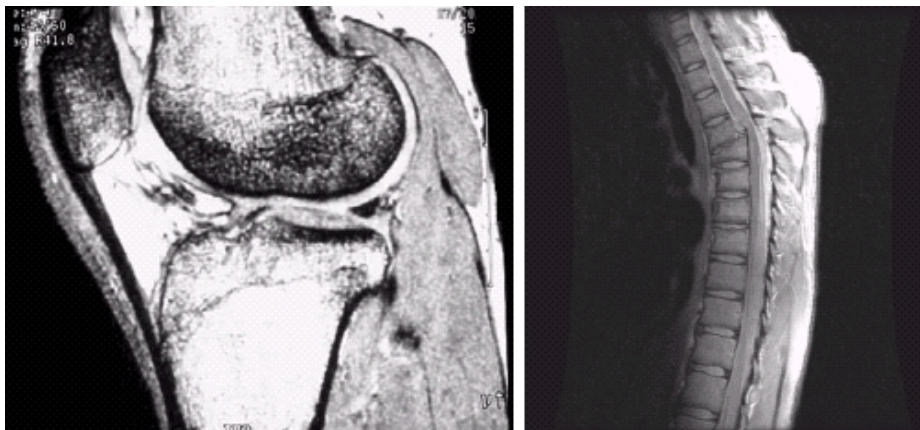
Le emissioni nella banda infrarossa forniscono chiari indizi di attività umana.

Immagini da radar satellitare



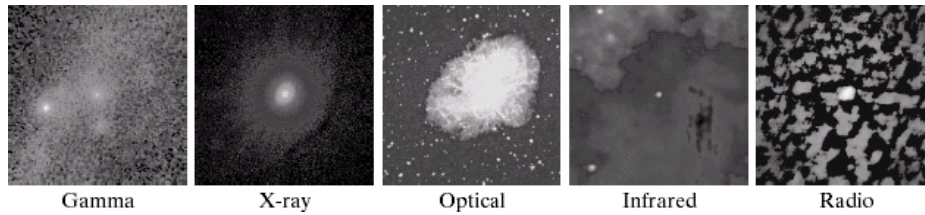
Le microonde possono attraversare le nuvole e anche alcuni strati di vegetazione, ghiaccio e sabbia. Un radar satellitare emette un impulso e, tramite un'antenna, rileva le onde riflesse.

Immagini da onde radio



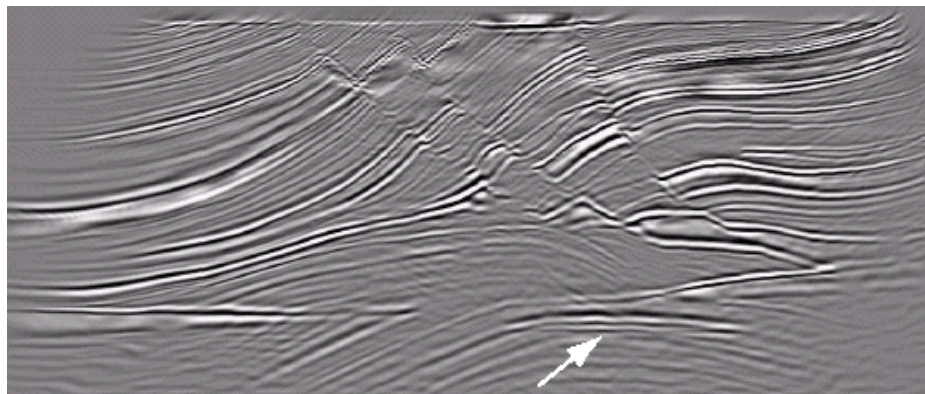
Le onde radio vengono usate in medicina, per esempio, per la risonanza magnetica (*magnetic resonance imaging*, MRI).

Immagini multispettrali



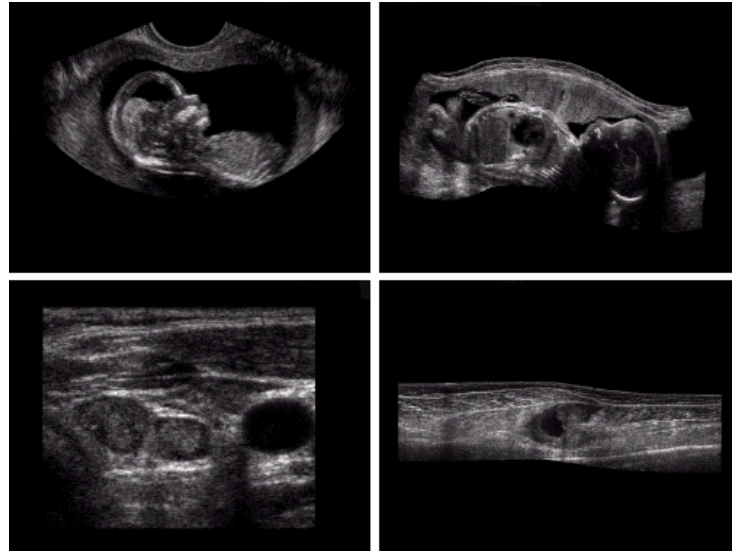
La pulsar del Granchio ripresa in diverse sottobande dello spettro elettromagnetico. Lo stesso oggetto può apparire molto diverso, in quanto la sua radiazione elettromagnetica emessa non è uniforme nello spettro.

Immagini da onde sonore



Rilevando l'eco di onde acustiche opportunamente emesse, si può tracciare un profilo delle proprietà di riflessione del suolo (o del fondale marino) e individuare così i materiali stratificati nel sottosuolo.

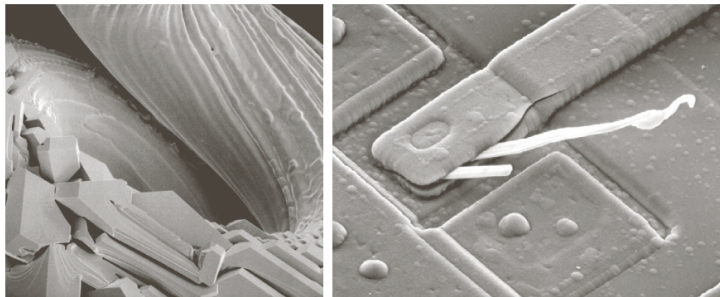
Immagini da ultrasuoni



| | |
|---|---|
| a | b |
| c | d |

Le onde ultrasonore vengono impiegate in medicina per l'ecografia.
(a) e (b) feti; (c) tiroide; (d) muscolo lesionato.

Immagini da fasci elettronici



a | b

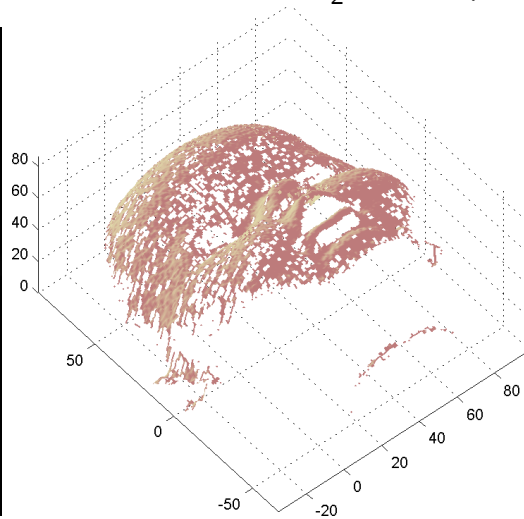
I fasci di elettroni vengono usati in due tecniche microscopiche:

- ▶ *transmission electron microscopy* (TEM), dove la frazione del fascio che riesce ad attraversare l'oggetto viene acquisita;
- ▶ *scanning electron microscope* (SEM), dove viene rilevata l'interazione dell'oggetto con il fascio elettronico.

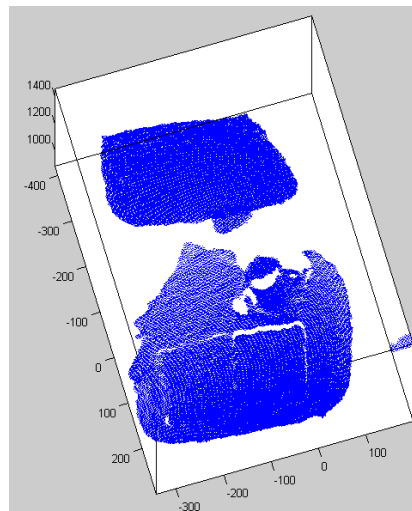
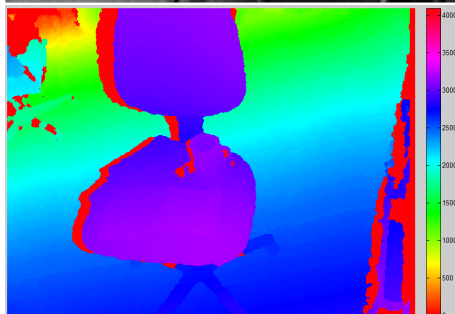
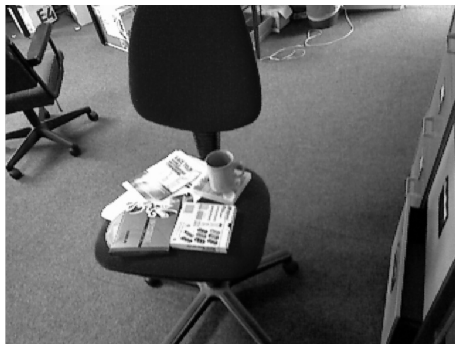
(a) filamento di tungsteno bruciato; (b) circuito elettronico danneggiato dal calore (il filamento bianco è prodotto dall'ossidazione).

Altri tipi di immagine

Tramite tecniche di elaborazione delle immagine si possono produrre anche immagini di altro tipo. Un esempio sono le immagini di profondità (*depth image*, *range image*, $2\frac{1}{2}D$ image).

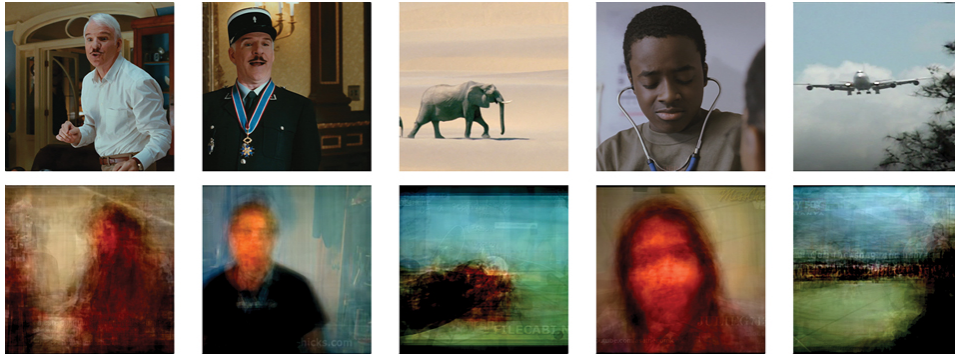


Esempio: Kinect™



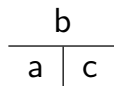
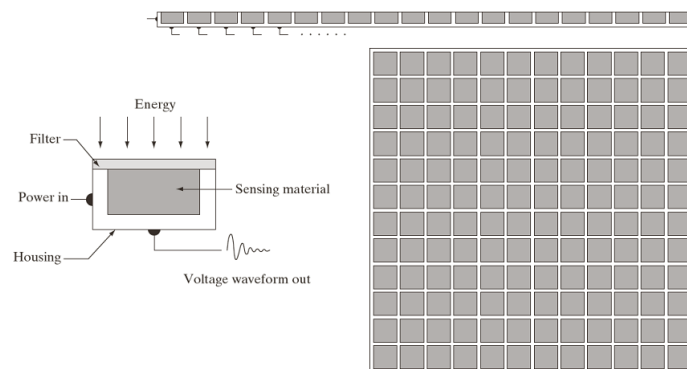
In futuro (?)

Letture del pensiero? Elaborando immagini fMRI.



- ▶ registrazione di fMRI di soggetti che guardano clip
- ▶ costruzione del modello dell'attività cerebrale
- ▶ output del modello per alcune immagini di input
- ▶ <http://dx.doi.org/10.1109/MSPEC.2012.6189569>

Sensore

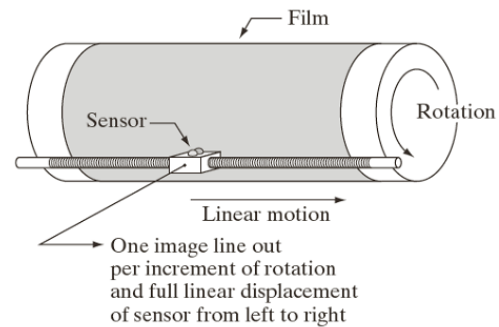


- ▶ Il sensore trasduce l'energia radiante in energia elettrica, (a).
- ▶ I sensori possono essere organizzati in linea o in matrice, (b) e (c).

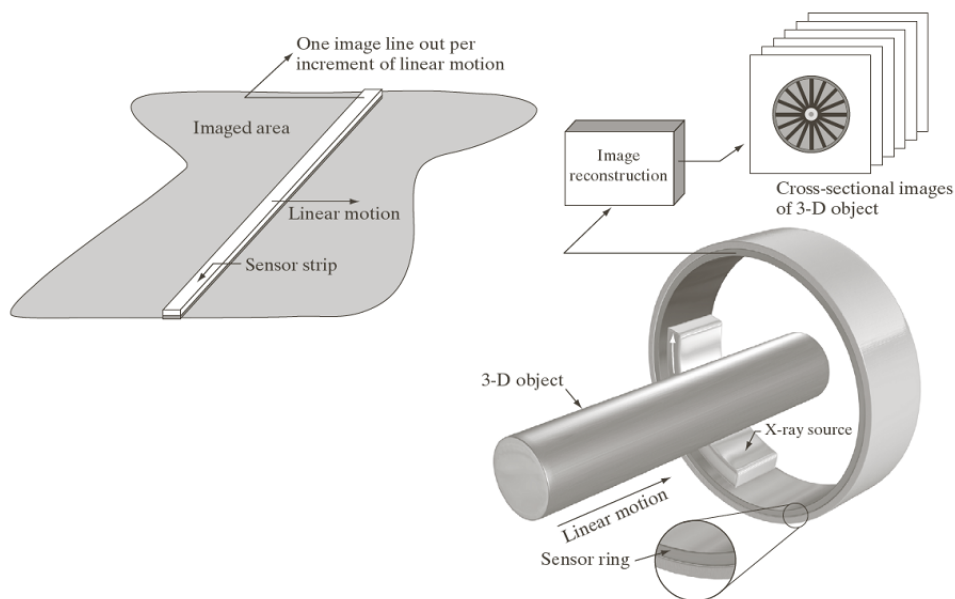
Dispositivi di acquisizione

I sensori possono essere utilizzati in modo differente in dispositivi che scandiscono l'intera scena:

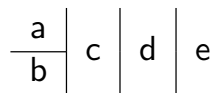
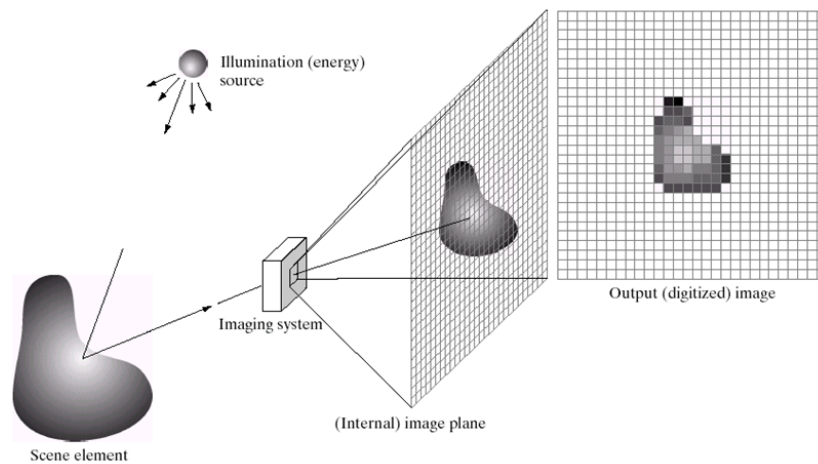
- ▶ i dispositivi a singolo sensore usano dispositivi meccanici per spostare il sensore rispetto alla scena;
- ▶ i sensori in linea possono trovare impiego sugli scanner da tavolo o su aeromobili;
- ▶ le matrici di sensori sono utilizzate nelle fotocamere o anche in apparecchiature per tomografia;
 - ▶ in quest'ultimo caso, il dato acquisito dal sensore deve essere rielaborato per fornire la sezione dell'oggetto in esame.



Dispositivi di acquisizione (2)



Dalla scena all'immagine



La radiazione (a) illumina l'oggetto (b). Parte della radiazione riflessa viene catturata dal sistema d'acquisizione (c). La scena viene proiettata sul piano immagine costituito dai sensori (d) e viene digitalizzata (e).

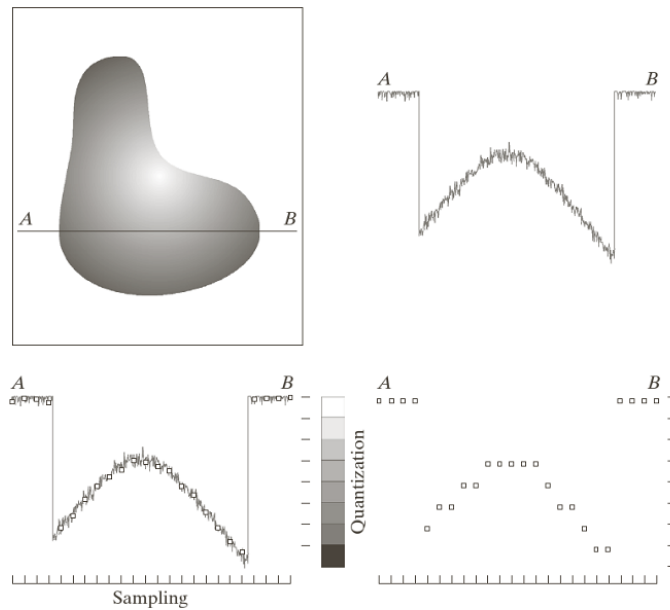
Modello di formazione dell'immagine

- ▶ immagine: $f(x, y)$, $0 < f(x, y) < \infty$
- ▶ illuminazione: $i(x, y)$, $0 < i(x, y) < \infty$
- ▶ riflettanza: $r(x, y)$, $0 < r(x, y) < 1$
 - ▶ riflettanza + assorbanza + trasmittanza = 1
- ▶ $f(x, y) = i(x, y) r(x, y)$

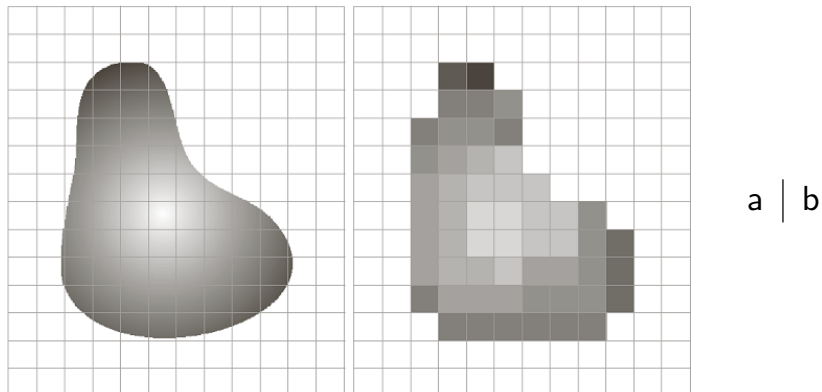
In pratica:

- ▶ $L_{\min} < f(x, y) < L_{\max}$
 - ▶ dove: $L_{\min} = i_{\min} r_{\min}$ e $L_{\max} = i_{\max} r_{\max}$
- ▶ $[L_{\min}, L_{\max}]$ è detto *scala di grigio* dell'immagine.
- ▶ Per convenzione, $[L_{\min}, L_{\max}]$ viene scalato in $[0, L - 1]$ ([nero, bianco]).
 - ▶ talvolta, nei calcoli, si preferisce $[0, 1]$

Quantizzazione



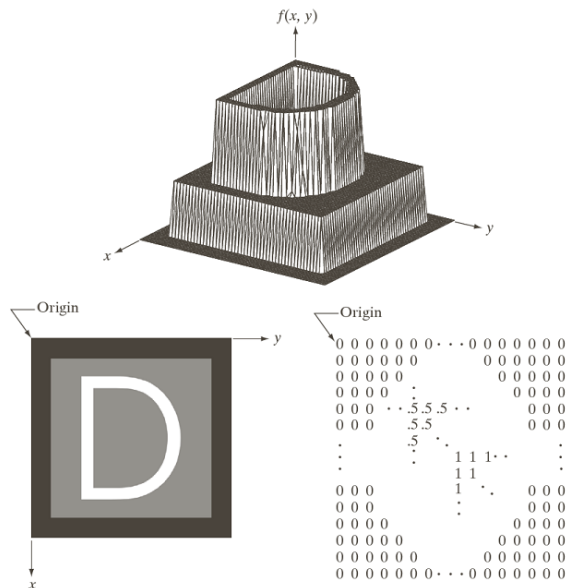
Campionamento



L'immagine osservata dal dispositivo di acquisizione viene proiettata sulla matrice di sensori (a) per essere campionata e quantizzata (b).

Il colore di ciascun pixel dell'immagine (b) è dato dal colore medio della corrispondente regione in (a) (campionamento), approssimato al livello di grigio più vicino tra quelli disponibili (quantizzazione).

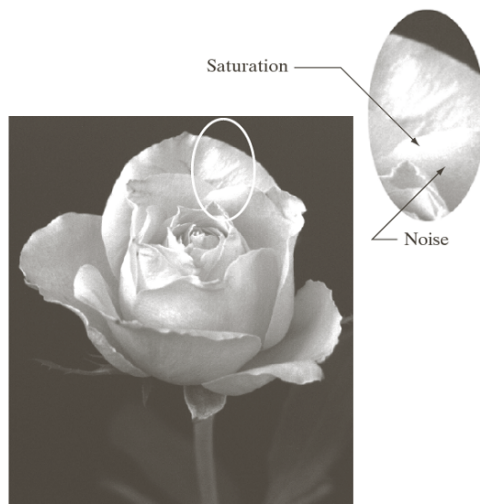
Rappresentazione di immagini



- ▶ L'immagine $f(x, y)$ viene rappresentata come una matrice $M \times N$ a L valori discreti.
- ▶ x viene convenzionalmente associato alle coordinate discrete $\{0, \dots, M-1\}$, y a $\{0, \dots, N-1\}$ e $f(x, y)$ a $\{0, \dots, L-1\}$.

- ▶ Per ragioni pratiche, L è generalmente una potenza di 2:
 $L = 2^k$.
- ▶ In tal modo, ogni pixel viene rappresentato usando k bit.

Limiti del campionamento



- ▶ Il sensore effettua una misura dell'intensità luminosa.
- ▶ Come tutti gli strumenti di misura è soggetto a errore.
- ▶ La *saturazione* è il fenomeno per il quale tutte le intensità superiori ad una certa soglia vengono rappresentate come bianco (fondo scala).

- ▶ Il *rumore* è l'errore di misura del sensore. È misurabile specialmente nelle regioni in ombra, dove anziché essere nero, qualche pixel assume un valore di grigio scuro.
- ▶ L' *intervallo dinamico* dell'immagine è il rapporto tra il valore di intensità più alto e quello più basso rappresentato.

Numero di bit

| N/k | 1 ($L = 2$) | 2 ($L = 4$) | 3 ($L = 8$) | 4 ($L = 16$) | 5 ($L = 32$) | 6 ($L = 64$) | 7 ($L = 128$) | 8 ($L = 256$) |
|-------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 32 | 1,024 | 2,048 | 3,072 | 4,096 | 5,120 | 6,144 | 7,168 | 8,192 |
| 64 | 4,096 | 8,192 | 12,288 | 16,384 | 20,480 | 24,576 | 28,672 | 32,768 |
| 128 | 16,384 | 32,768 | 49,152 | 65,536 | 81,920 | 98,304 | 114,688 | 131,072 |
| 256 | 65,536 | 131,072 | 196,608 | 262,144 | 327,680 | 393,216 | 458,752 | 524,288 |
| 512 | 262,144 | 524,288 | 786,432 | 1,048,576 | 1,310,720 | 1,572,864 | 1,835,008 | 2,097,152 |
| 1024 | 1,048,576 | 2,097,152 | 3,145,728 | 4,194,304 | 5,242,880 | 6,291,456 | 7,340,032 | 8,388,608 |
| 2048 | 4,194,304 | 8,388,608 | 12,582,912 | 16,777,216 | 20,971,520 | 25,165,824 | 29,369,128 | 33,554,432 |
| 4096 | 16,777,216 | 33,554,432 | 50,331,648 | 67,108,864 | 83,886,080 | 100,663,296 | 117,440,512 | 134,217,728 |
| 8192 | 67,108,864 | 134,217,728 | 201,326,592 | 268,435,456 | 335,544,320 | 402,653,184 | 469,762,048 | 536,870,912 |

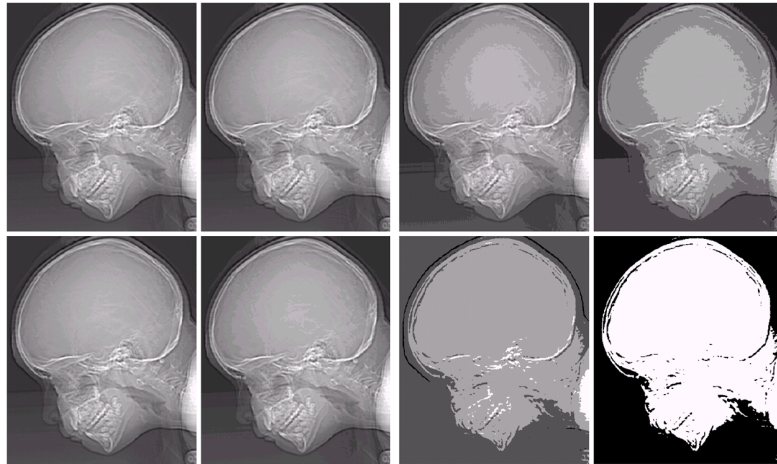
- ▶ Il numero di bit, b , necessario per rappresentare una immagine $M \times N$ a L livelli di grigio è: $b = MN \log_2 L$.
- ▶ Se $L = 2^k$, $b = MNk$.

Risoluzione



- ▶ La risoluzione spaziale di una immagine è la dimensione del più piccolo dettaglio che si può riconoscere nell'immagine stessa.
- ▶ Molto utilizzata è la misura della risoluzione in *dpi* (*dots per inch*, punti per pollice).

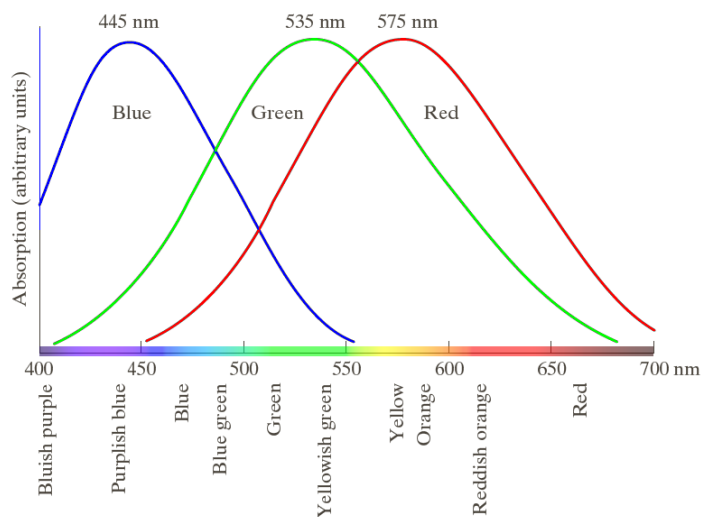
Numero di colori



- ▶ Il numero di livelli di grigio determina la risoluzione in intensità.
- ▶ Un basso numero di livelli di grigio in una regione quasi uniforme causa l'effetto detto dei *falsi contorni*.

Percezione del colore

- ▶ Visione fottica, data dai con (1965):



- ▶ ogni colore percepito risulta da diverse combinazioni delle attivazioni dei con dei diversi gruppi.

Spazi colore

- ▶ Caratteristiche della luce:

- ▶ luminosità



- ▶ generalizzazione dell'intensità

- ▶ tonalità



- ▶ colore dominante

- ▶ saturazione



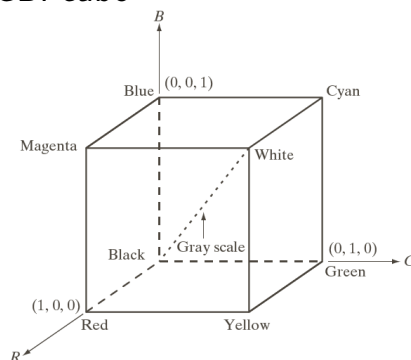
- ▶ rispetto al bianco (il rosa è un rosso poco saturo)

tonalità+saturazione = cromaticità

- ▶ Uno spazio colore fornisce un sistema di riferimento per misurare un colore.

Modello colore RGB

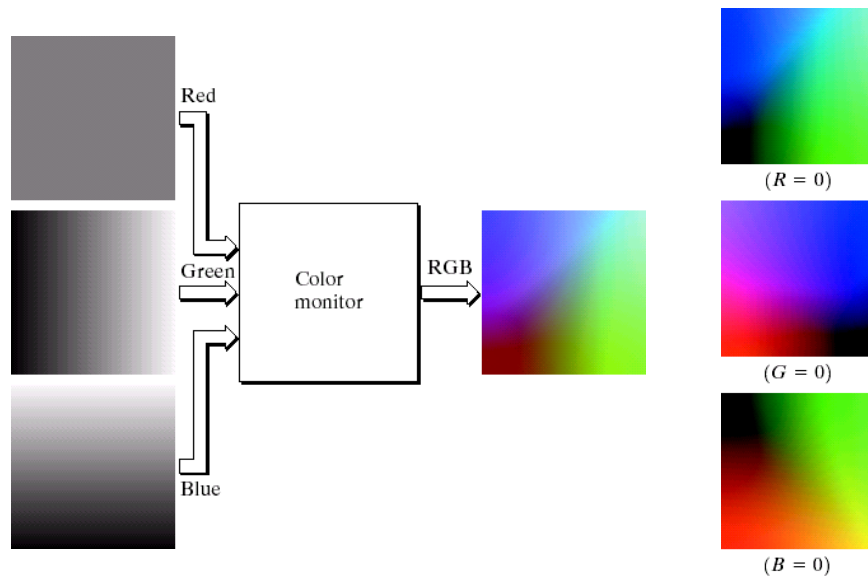
- ▶ RGB: cubo



- ▶ ogni pixel di un'immagine RGB contiene un vettore tridimensionale

Modello colore RGB (2)

- ▶ Formazione del colore in dispositivi RGB
 - ▶ un'immagine RGB è composta da tre matrici



Altri modelli colore

- ▶ CMY (CMYK)

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

- ▶ CIE L*a*b*

$$L^* = 116 h \left(\frac{Y}{Y_W} \right) - 16$$

$$a^* = 500 \left[h \left(\frac{X}{X_W} \right) - h \left(\frac{Y}{Y_W} \right) \right]$$

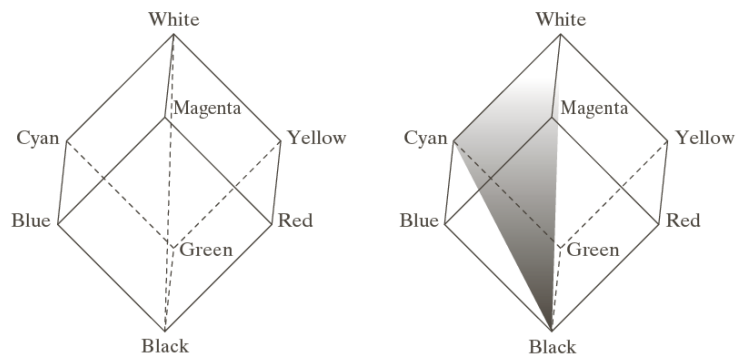
$$b^* = 200 \left[h \left(\frac{Y}{Y_W} \right) - h \left(\frac{Z}{Z_W} \right) \right]$$

where

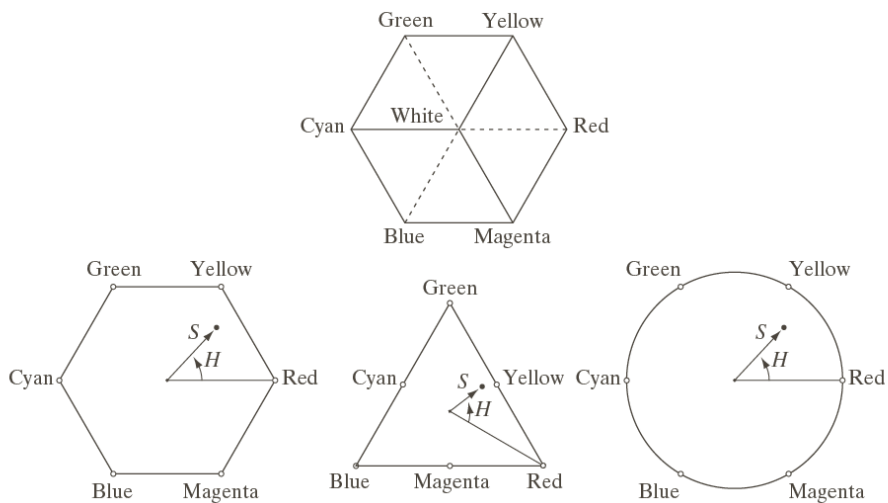
$$h(q) = \begin{cases} \sqrt[3]{q} & q > 0.008856 \\ 7.787 q & q \leq 0.008856 \end{cases}$$

Modello colore HSI

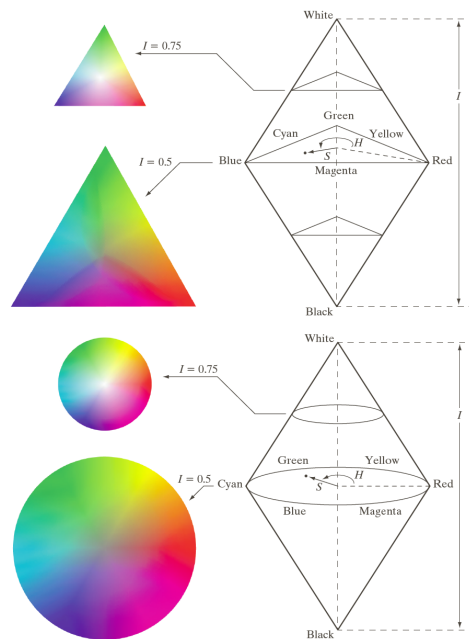
- ▶ RGB va bene per rappresentare i colori, ma non per descriverli.
- ▶ HSI: (Hue, Saturation, Intensity)
 - ▶ HSV: (Hue, Saturation, Value)
- ▶ Hue: colore dominante
- ▶ Saturation: distanza dal bianco
- ▶ Intensity: distanza dal nero
- ▶ HSI si accorda meglio alla percezione umana del colore.



HSI color model (2)

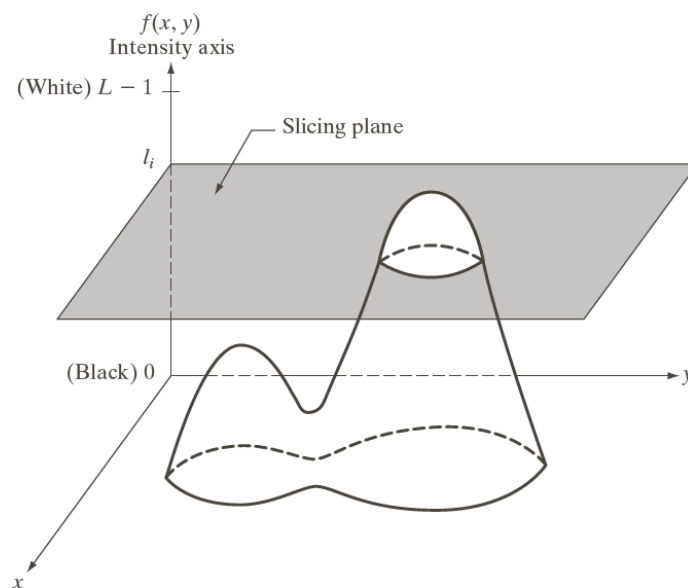


HSI color model (3)

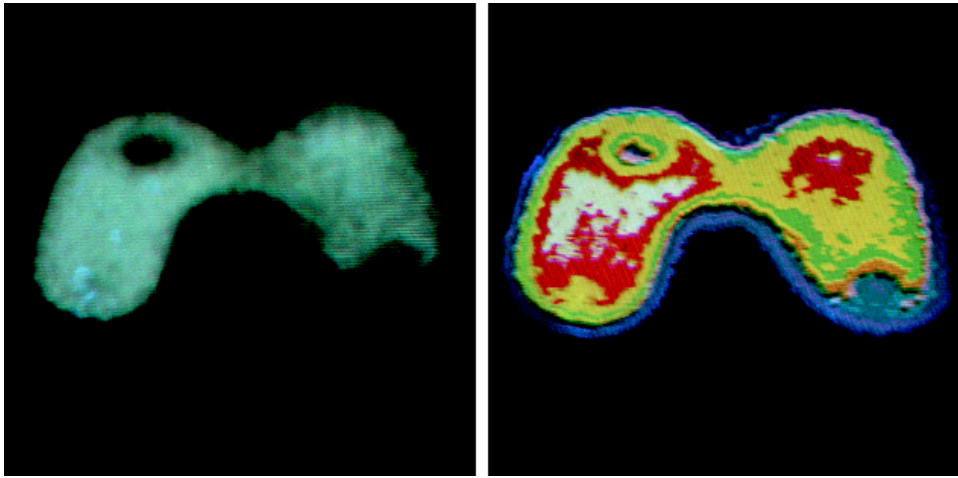


Intensity slicing

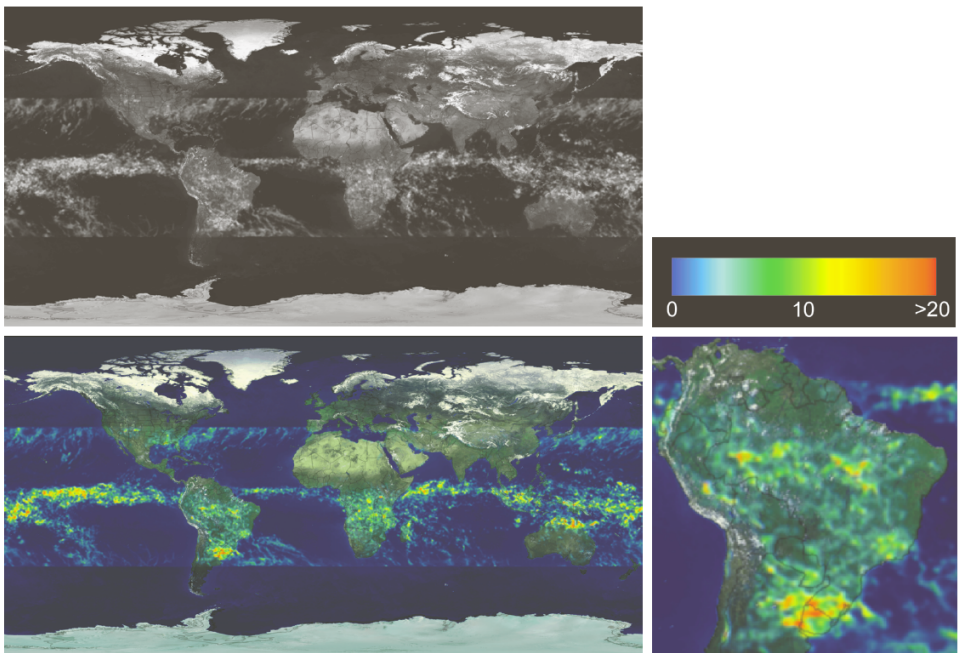
- ▶ Le immagini a pseudocolori si ottengono assegnando differenti colori a differenti intervalli di intensità.



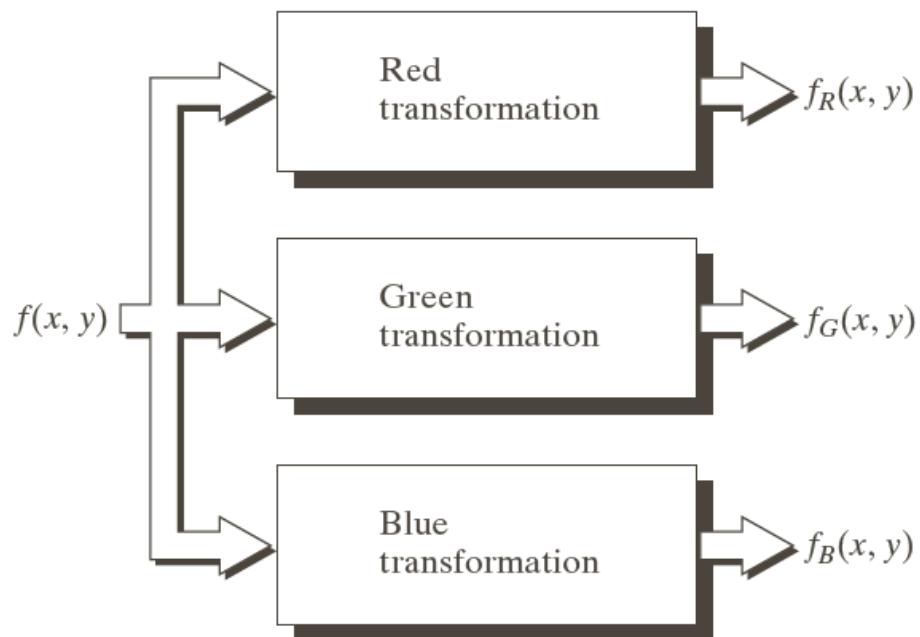
Intensity slicing (2)



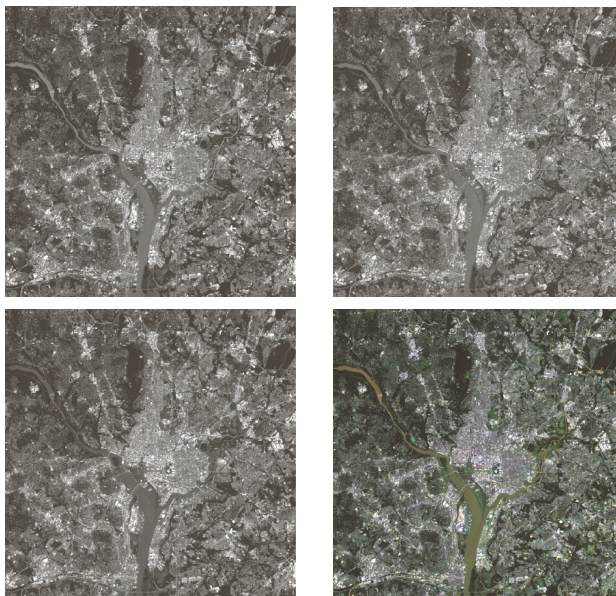
Intensity slicing (3)



Trasformazioni intensità-colore



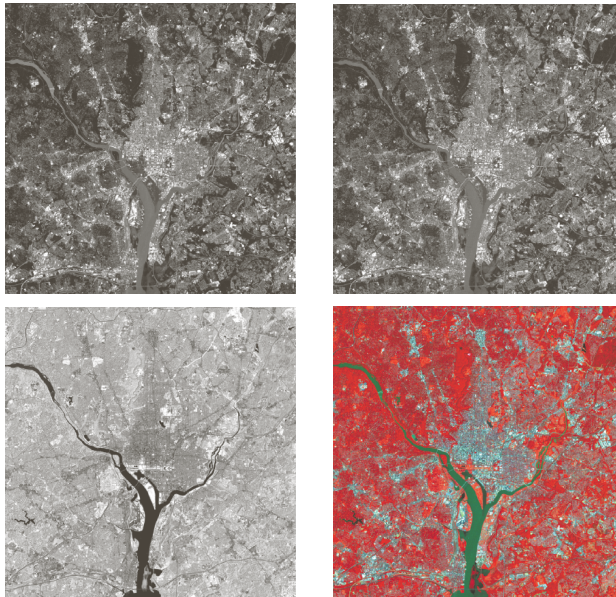
Trasformazioni intensità-colore (2)



| | |
|---|---|
| a | b |
| c | d |

- (a) blu visibile;
- (b) verde visibile;
- (c) rosso visibile;
- (d) composto di (a)-(c) come RGB.

Trasformazioni intensità-colore (3)



| | |
|---|---|
| a | b |
| c | d |

- (a) blu visibile;
- (b) verde visibile;
- (c) infrarosso vicino;
- (d) composito di (a)-(c) come RGB.

Tavolozza

- ▶ Tavolozza (o Look-up table, LUT)
 - ▶ utile sia per dare una rappresentazione compatta, sia per assegnare pseudo-colori
 - ▶ l'immagine viene descritta in due parti:
 - ▶ una lista di colori
 - ▶ una matrice di indici
 - ▶ il colore del pixel è descritto nella entry della lista dei colori