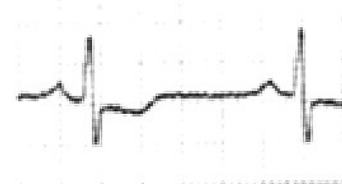


Analogico vs digitale

- Il computer può lavorare soltanto con grandezze di tipo digitale e finite.
- Non tutte le grandezze che vorremmo rappresentare sono digitali (es: il colore, il suono, le forme).
- È pertanto necessario trasformare le informazioni da analogico a digitale, e codificarle (in particolare in modo binario, cioè come sequenze di bit) prima di poterle trasmettere al computer.

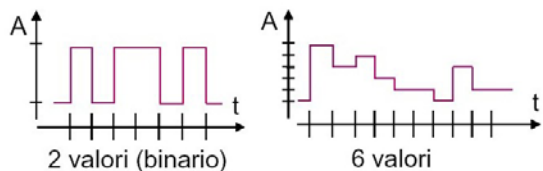
Segnale analogico

- Può assumere qualunque valore (event. in un intervallo).
- È continuo in ampiezza.
- È continuo nello spazio e/o nel tempo.



Segnale digitale

- Può assumere un insieme finito di valori
 - è discreto in ampiezza
- È una sequenza di numeri.
 - è discreto nel tempo (e/o nello spazio)



Trasformazione da analogico a digitale

- Per digitalizzare (discretizzare) grandezze fisiche analogiche occorre effettuare un'operazione di **quantizzazione**.
- Se la grandezza fisica varia in modo continuo nel tempo e/o nello spazio, occorre effettuare anche un'operazione di **campionamento**.

Trasformazione da analogico a digitale

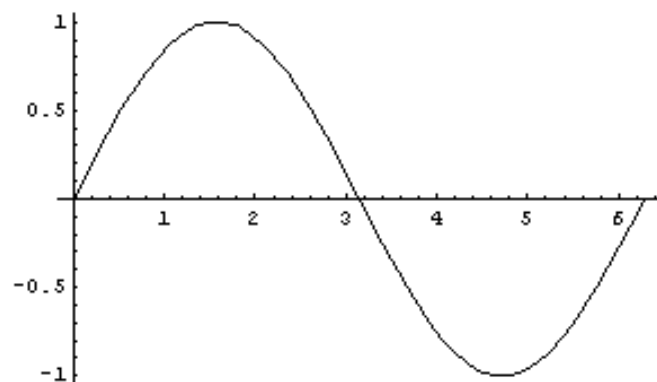
La trasformazione di un segnale da analogico a digitale consiste di due passi:

- **Campionamento:** il segnale viene misurato a intervalli discreti
 - la *frequenza di campionamento* è il numero di campioni rilevati in un intervallo (di spazio o di tempo)
 - se la frequenza di campionamento è troppo bassa si perde una parte del segnale

Trasformazione da analogico a digitale

- **Quantizzazione:** i valori possibili che ciascun elemento del campione può assumere sono fissati
 - i *livelli di quantizzazione* sono generalmente fissati a intervalli regolari.
 - Se il livelli di quantizzazione sono troppo pochi non riescono a rappresentare passaggi di valore graduali.

Un segnale analogico

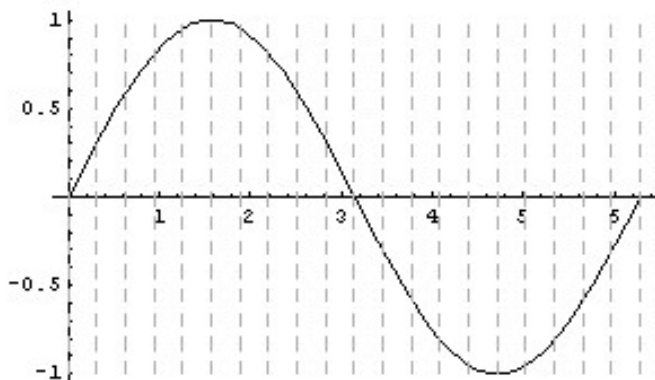


$$y = \sin x, x \in [0, 2\pi]$$

Campionamento

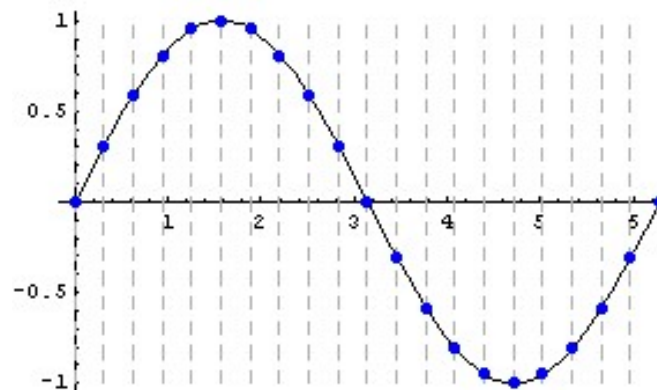
- Il segnale viene misurato a intervalli discreti, ottenendo un **campione**
- La **frequenza di campionamento** è il numero di campioni rilevati in un intervallo (di spazio o di tempo)

Campionamento (2)

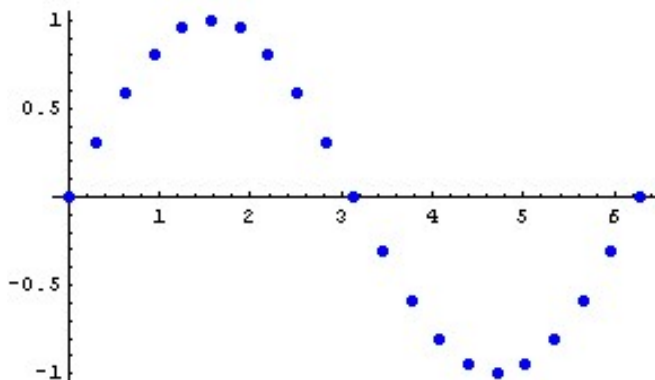


21 campioni su $[0, 2\pi]$: frequenza di campionamento ≈ 3.34

Campionamento (3)



Campionamento (4)



Campionamento (5)

Valori campionati:

$$0, \frac{1}{4}(-1 + \sqrt{5}), \frac{1}{2}\sqrt{\frac{1}{2}(5 - \sqrt{5})}, \frac{1}{4}(1 + \sqrt{5}),$$

$$\frac{1}{2}\sqrt{\frac{1}{2}(5 + \sqrt{5})}, 1, \frac{1}{2}\sqrt{\frac{1}{2}(5 + \sqrt{5})},$$

$$\frac{1}{4}(1 + \sqrt{5}), \frac{1}{2}\sqrt{\frac{1}{2}(5 - \sqrt{5})}, \frac{1}{4}(-1 + \sqrt{5}), 0,$$

$$\frac{1}{4}(1 - \sqrt{5}), -\frac{1}{2}\sqrt{\frac{1}{2}(5 - \sqrt{5})}, \frac{1}{4}(-1 - \sqrt{5}),$$

$$-\frac{1}{2}\sqrt{\frac{1}{2}(5 + \sqrt{5})}, -1, -\frac{1}{2}\sqrt{\frac{1}{2}(5 + \sqrt{5})},$$

$$\frac{1}{4}(-1 - \sqrt{5}), -\frac{1}{2}\sqrt{\frac{1}{2}(5 - \sqrt{5})}, \frac{1}{4}(1 - \sqrt{5}), 0$$

È possibile trattarli con il calcolatore?

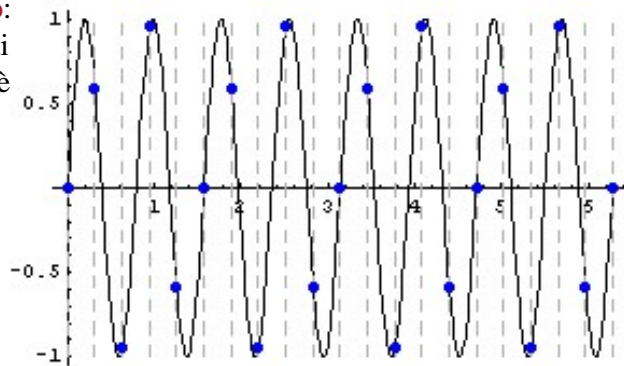
No, perché $\sqrt{5}$ non ha una rappresentazione finita.

Campionamento (6)

Errato

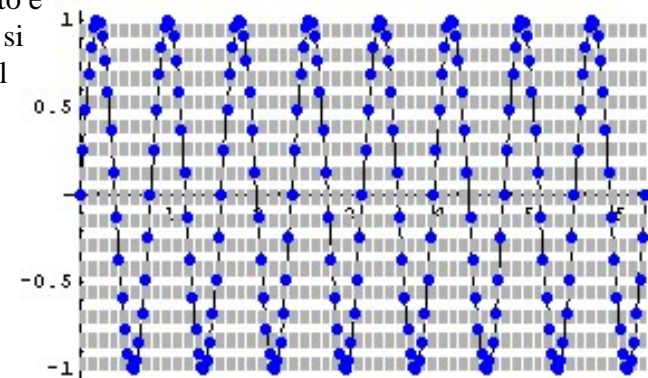
campionamento:

se la frequenza di campionamento è troppo bassa si perde una parte del segnale.



Campionamento (7)

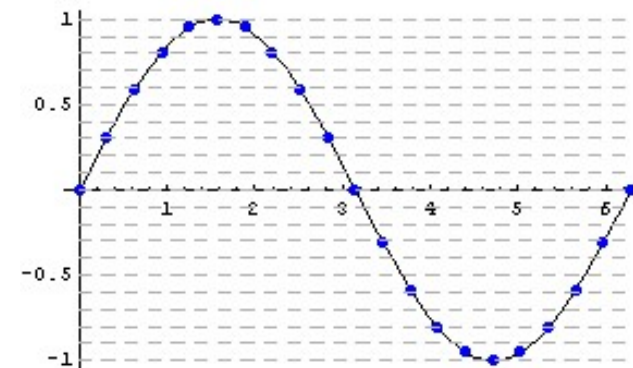
Se la frequenza di campionamento è adeguata, non si perde parte del segnale.



Quantizzazione

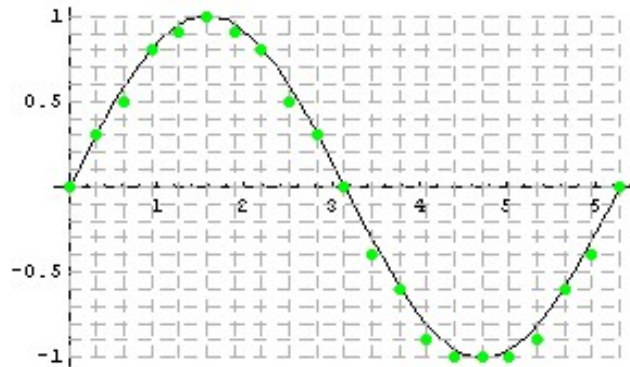
- Perché una grandezza sia codificabile con un *numero finito di bit*, è necessario far sì che essa possa assumere solo un *numero finito di valori discreti*. Ciò avviene tramite la **quantizzazione**.
- Occorre fissare un insieme di possibili valori, detti **livelli di quantizzazione**.
- Il valore di ogni elemento del campione verrà ricondotto al livello di quantizzazione più prossimo.

Quantizzazione (2)

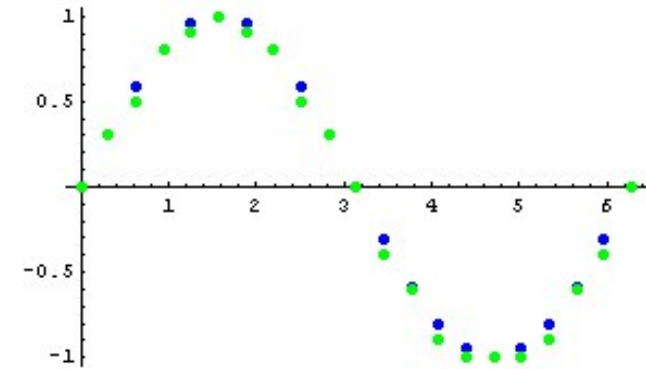


Quantizzazione di [-1, 1] in 20 livelli

Quantizzazione (3)



Quantizzazione (4)



• Punti campionati ◦ Punti quantizzati

Quantizzazione (5)

Valori campionati quantizzati:

0., 0.3, 0.5, 0.8, 0.9, 1., 0.9, 0.8,
0.5, 0.3, 0., -0.4, -0.6, -0.9, -1., -1.,
-1., -0.9, -0.6, -0.4, 0.

Quantizzazione (6)

- Operativamente, i valori possibili della grandezza in questione vengono innanzitutto limitati a un intervallo definito, vengono cioè fissati un massimo e un minimo.
- Si suddivide poi tale intervallo in sottointervalli e in ciascuno di questi ultimi si fissa un valore, ottenendo i **livelli di quantizzazione**.

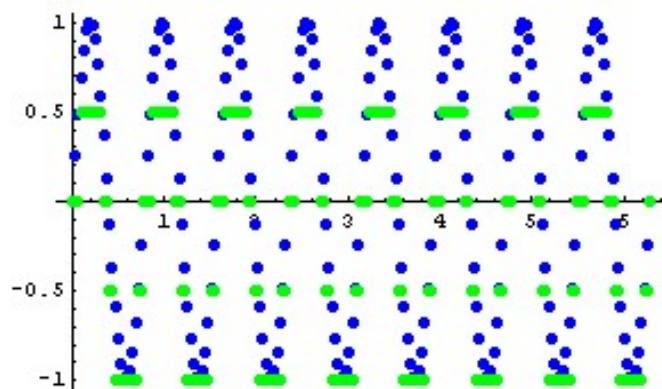
Quantizzazione (7)

- Se si vogliono m livelli, occorreranno $\lceil \log_2 m \rceil$ bit per rappresentare ogni campione.
- Viceversa, se si dispone di n bit per ogni campione, si possono avere $m=2^n$ livelli
- Ad esempio con 8 bit, si possono avere 256 livelli di grigio per i pixel di un'immagine.

Quantizzazione (8)

- Nella *quantizzazione uniforme* i livelli di quantizzazione sono fissati a intervalli regolari
- Fissati un massimo e un minimo, si divide l'intervallo definito in 2^n sottointervalli; i livelli di quantizzazione sono i punti medi degli intervalli ottenuti.
- Se i livelli di quantizzazione sono troppo pochi non si riescono a rappresentare passaggi di valore gradualmente

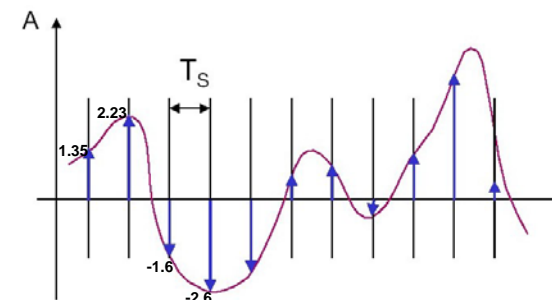
Quantizzazione (9)



Esempio di errata quantizzazione (in verde)

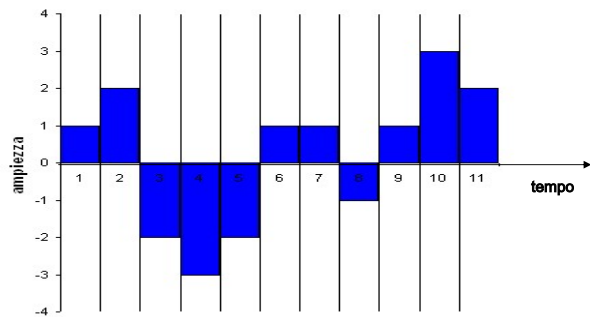
Trasformazione da analogico a digitale

- Esempio di segnale campionato



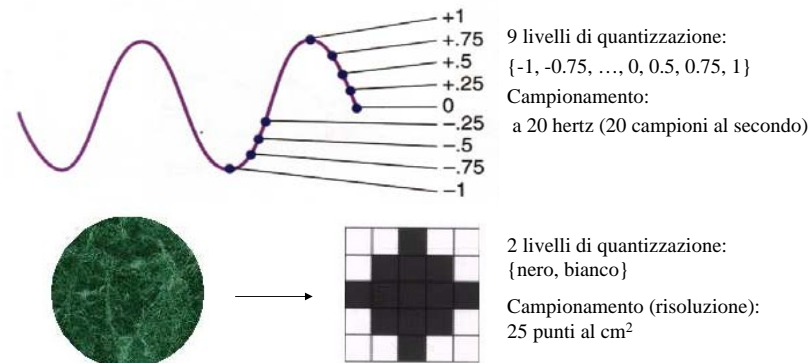
Trasformazione da analogico a digitale

- Esempio di segnale campionato e quantizzato



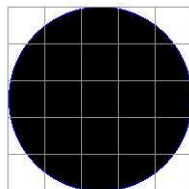
Trasformazione da analogico a digitale

Esempi di campionamento e quantizzazione:



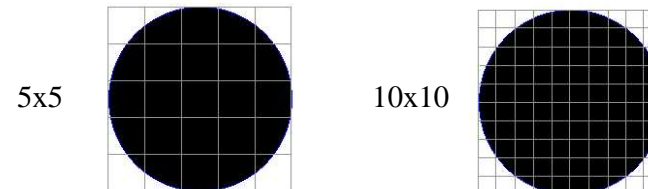
Rappresentazione delle forme

- Le forme sono elementi di tipo analogico, perché costituite da un tratto continuo.
- Per rappresentare in modo digitale una forma la si iscrive in una griglia.



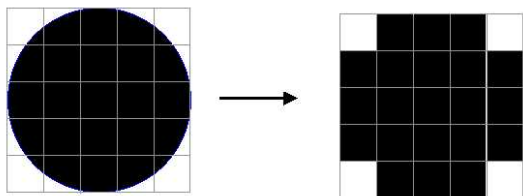
Rappresentazione delle forme

- La densità di celle nella griglia è detta **risoluzione**.
- Più fitta è la griglia, più la digitalizzazione sarà fedele all'originale.



Rappresentazione delle forme

- Ogni elemento della griglia può essere pieno, vuoto, o occupato parzialmente.
- Se è parzialmente pieno, lo si approssimerà alla situazione più vicina (pieno o vuoto)
- Il contenuto delle celle della griglia è l'immagine digitalizzata



Rappresentazione delle forme

- L'immagine consisterà quindi in un reticolo di punti, detti *pixel* (picture element).
- Se si dedicano n pixel alla rappresentazione di una immagine (in bianco e nero), sono necessari n bit.
- Una qualità di rappresentazione maggiore (griglia più fitta) richiede una occupazione di memoria maggiore.

Rappresentazione dei colori









- Se si vuole aggiungere informazione riguardo ai colori, si dovranno dedicare più bit ad ogni pixel.
- Se dedichiamo m bit per i colori, occorreranno in totale $n \cdot m$ bit per rappresentare una immagine su una griglia di n elementi.
- Se la griglia contiene n elementi e si possono utilizzare m colori, la codifica dell'immagine richiederà circa $n \cdot \log_2 m$ bit.

Rappresentazione dei colori

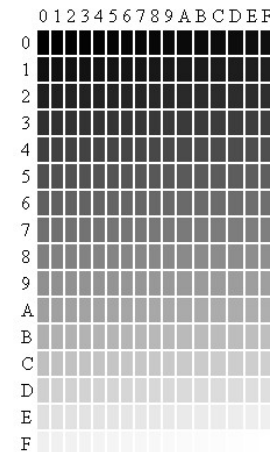
Per rappresentare immagini in bianco e nero:

- si fissa un insieme di **toni di grigio** e ad ogni elemento della griglia viene associata la codifica binaria del grigio che meglio l'approssima;
- se si usano 8 bit per pixel si possono rappresentare immagini con 256 livelli di grigio.

8 toni di grigio - 3 bit

	000
	001
	010
	011
	100
	101
	110
	111

256 toni di grigio - 1 byte
















Rappresentazione dei colori

Per rappresentare immagini a colori:

- Metodo con tavolozza (*palette*)
- Metodo RGB

Rappresentazione dei colori

- **Metodo con tavolozza (o palette):** si codifica un numero finito di colori da cui scegliere per colorare i pixel.
- Se la tavolozza contiene 2^m colori, sono necessari m bit.
- Questa quantizzazione spesso non è sufficiente per mantenere le sfumature presenti in immagini complesse.

Indice	Colore	RGB
0		#000000
1		#800000
2		#008000
3		#808000
4		#000080
5		#800080
6		#008080
7		#C0C0C0
8		#808080
9		#FF0000
10		#00FF00
11		#FFFF00
12		#0000FF
13		#FF00FF
14		#00FFFF
15		#FFFFFF

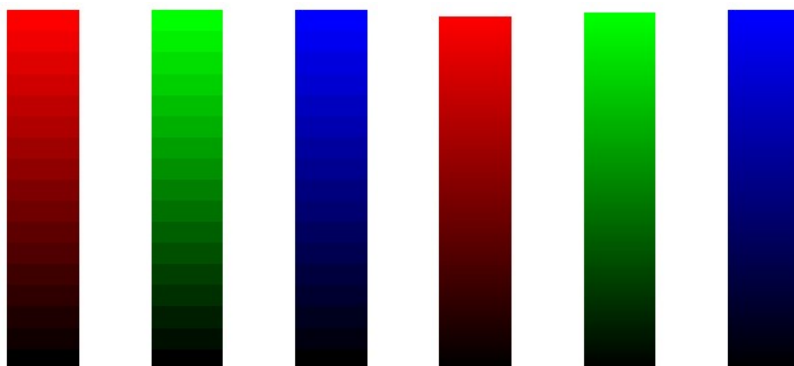
Rappresentazione dei colori

- È possibile utilizzare un altro approccio e ricostruire un colore sommando le lunghezze d'onda di tre colori primari.
- Nei monitor le sorgenti luminose sono fosfori colorati: rosso, verde, blu.
- Si chiama **RGB** (Red, Green, Blue) il metodo che sfrutta questo approccio.

Rappresentazione dei colori

- Il **metodo RGB** prevede di associare 3 byte ad ogni pixel, un byte per il rosso, uno per il verde e uno per il blu.
- In totale sono rappresentabili: $2^8 = 256$ sfumature per ciascun colore primario.
- Ad ogni pixel sono quindi associati $3 \cdot 8 = 24$ bit, e si possono rappresentare $2^{24} =$ circa 16,8 milioni di colori diversi.
- Il numero di bit per pixel è detto *profondità del colore*.

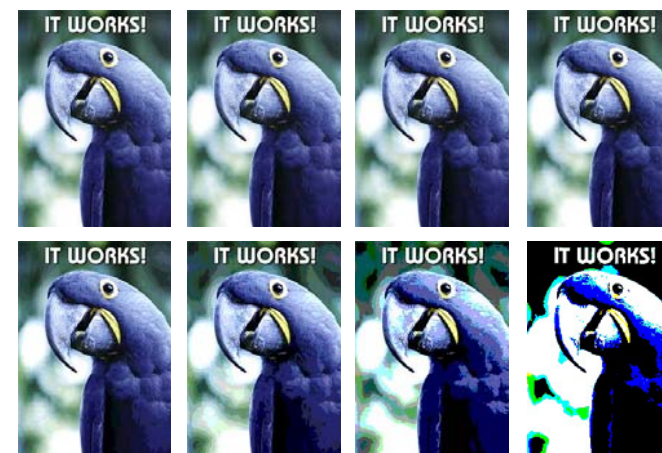
Colori primari



4 bit per componente

8 bit per componente

Da 8 a 1 bit per colore



Gestione della risoluzione

- Per visualizzare uno schermo alla risoluzione di 1024x768 pixel sono necessari 18.874.368 bit, ovvero 2.35 MB
- Le schede video tipicamente in commercio sono capaci di risoluzioni superiori e gestione di colori a 32 bit.

Rappresentazione delle immagini - formati

BITMAP:

- Memorizza per ogni pixel della griglia le informazioni relative al colore
- Riproduce le immagini con buona fedeltà a patto di usare un'opportuna risoluzione
- I corrispondenti file tendono ad assumere grandi dimensioni
- I file di tipo bitmap hanno estensione .bmp

Rappresentazione delle immagini - formati

- Per evitare una eccessiva occupazione di memoria si sono introdotti metodi per la codifica che prevedono anche una *compressione* delle immagini.
- Tali sistemi sono basati su vari criteri orientati alla eliminazione delle parti superflue nella rappresentazione (per esempio una sequenza di celle dello stesso colore).

Rappresentazione delle immagini - formati

- Per evitare una eccessiva occupazione di memoria alcuni metodi **comprimono** le immagini che codificano
- Tali sistemi sono basati su criteri orientati a:
 - sostituire parti ridondanti nella rappresentazione (come una sequenza di celle dello stesso colore) con una codifica più compatta (codifiche **lossless**)
 - eliminare parti poco rilevanti nella percezione visiva dell'immagine (codifiche **lossy**)

Rappresentazione delle immagini - formati

I sistemi di codifica con compressione più diffusi sono:

GIF (Graphic Interchange Format):

- 8 bit per pixel
- Adatto alla rappresentazione di immagini semplici
- Possibilità di gestire animazioni
- Usa compressione lossless
- I file che contengono immagini codificate secondo questo sistema hanno estensione .gif

Rappresentazione delle immagini - formati

JPEG (Joint Photographic Experts Group):

- Compressione molto efficiente solitamente lossy, ma anche lossless
- 24 bit per pixel
- Adatto a rappresentare immagini ricche di sfumature di colore
- I file che contengono immagini codificate secondo questo sistema hanno estensione .jpg

Rappresentazione delle immagini - formati

TIFF (Tagged Image File Format):

- Diversi formati di compressione
- 24 bit per il colore
- Tende a generare file di grosse dimensioni
- I file che contengono immagini codificate secondo questo sistema hanno estensione .tif

Rappresentazione delle immagini - formati

PNG (Portable Network Graphics):

- Compressione lossless migliore rispetto a GIF
- 24 bit per il colore
- Possibilità di gestire animazioni (formato MNG)
- I file che contengono immagini codificate secondo questo sistema hanno estensione .png