

SUPSI

Immagine digitale

Fondamenti di Multimedia Processing

Tiziano Leidi

26.10.2018

Immagine digitale

Un'immagine digitale è una rappresentazione numerica (binaria) di un'immagine bidimensionale. Ne esistono di due tipi: vettoriale o raster (dette anche bitmap).

Solitamente il termine immagine digitale si riferisce alle immagini raster.

Immagine vettoriale

La grafica vettoriale è fondata sull'utilizzo di vettori per la visualizzazione. Vengono quindi usati dei poligoni per rappresentare le immagini.

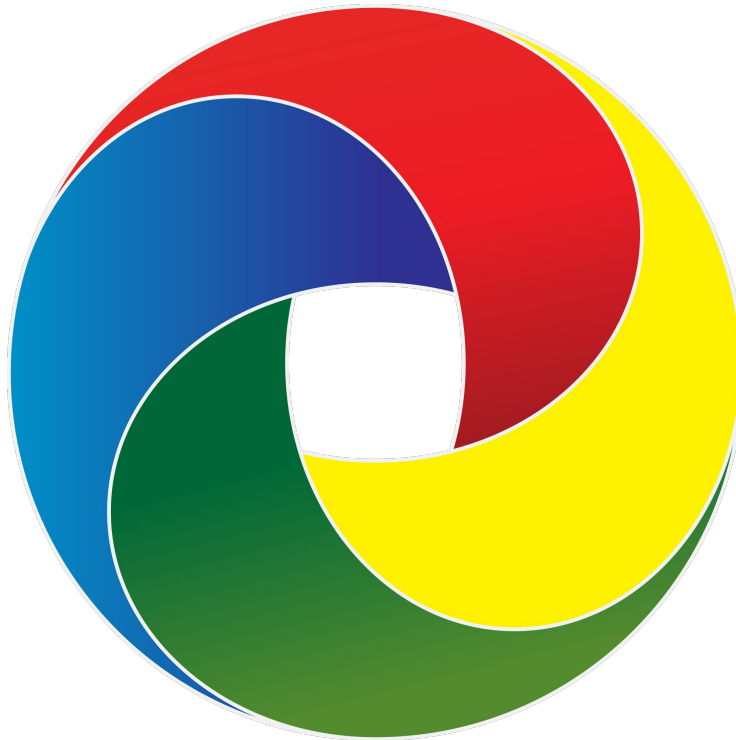
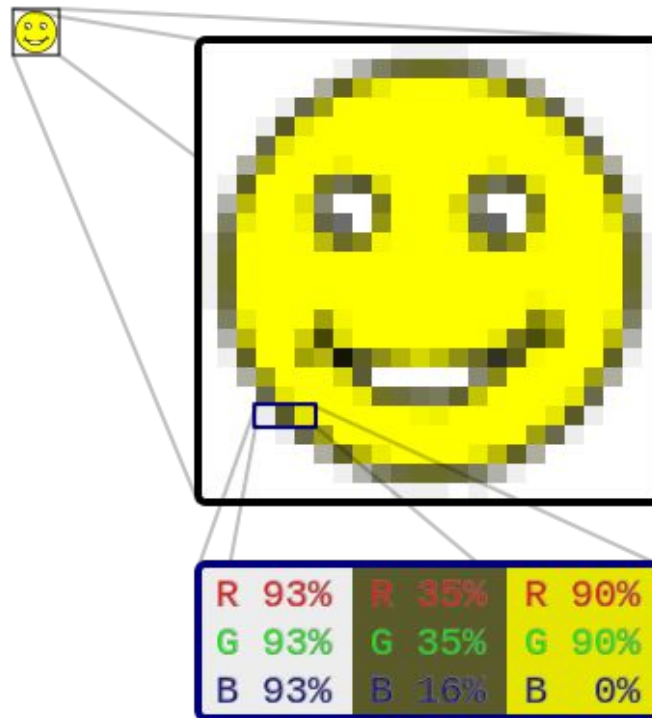


Immagine raster

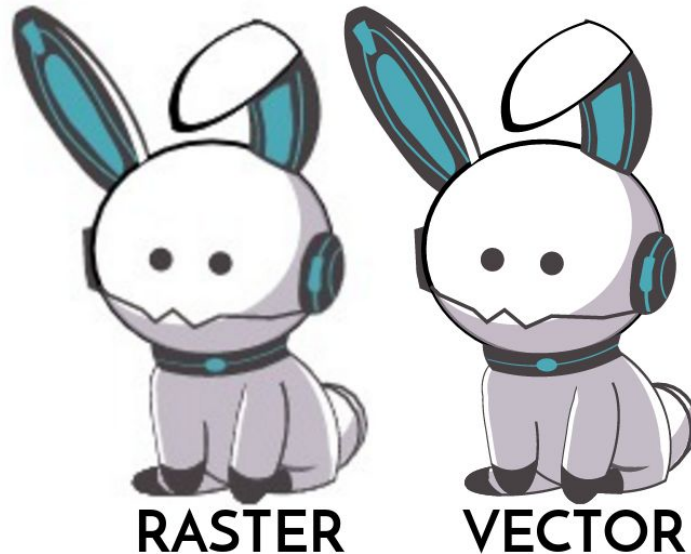
Nella grafica raster l'immagine viene vista come una scacchiera e ad ogni elemento della scacchiera, chiamato pixel, viene associato uno specifico colore.



Vettoriale vs. raster

Il vantaggio delle immagini vettoriali è che sono indipendenti dalla risoluzione. Invece, le immagini raster non possono essere adattate alle risoluzioni senza perdita di qualità.

Le immagini vettoriali hanno però l'inconveniente di essere più laboriose da produrre.



Camera digitale

Le camere digitali (foto o video) permettono l'acquisizione di immagini raster.

Il principio di funzionamento è simile a quello delle fotocamere per film fotografico: un sistema ottico, di norma una lente con diaframma variabile, permette la messa a fuoco della luce, che viene catturata da un sensore di luce elettronico.

All'interno del sensore, una carica elettrica viene prodotta per ogni pixel, successivamente processato elettronicamente ed immagazzinato (ad esempio su file).

Sensori CCD o CMOS

Oggi vengono impiegate 2 tipologie di sensori per le immagini: i semiconductor charge-coupled devices (CCD) e i complementary metal–oxide–semiconductor (CMOS).

Un sensore CCD ha un unico amplificatore per tutti i pixels, mentre in un CMOS è disponibile un amplificatore per ogni pixel.

La maggior parte delle camere digitali ha sensori CMOS perché offrono migliori prestazioni, sono più veloci e consumano meno.

Invece, sensori CCD vengono ancora utilizzati per le camere digitali a basso costo.

Sensori CCD o CMOS

<https://www.youtube.com/watch?v=MubI-KUOAPU>

Campionatura e quantizzazione

Se si vuole convertire un'immagine analogica in digitale è necessario discretizzare l'immagine. Strumenti come i frame grabber permettono di eseguire queste operazioni.

L'immagine deve essere discretizzata sia spazialmente (sampling), sia in termini di intensità di luce (quantization).

Sono quindi 2 i fattori che influenzano la digitalizzazione:

- Il sampling-rate: determina la risoluzione spaziale,
- Il livello di quantizzazione: determina il numero di tonalità di grigio o livelli di colore che vengono acquisiti.

Campionatura e quantizzazione

Un'immagine è una funzionale dello spazio:

$$f : \mathbb{R}^m \longrightarrow \mathbb{R}, m = 2, 3$$

che associa ad ogni posizione spaziale un valore d'intensità di grigio, ...

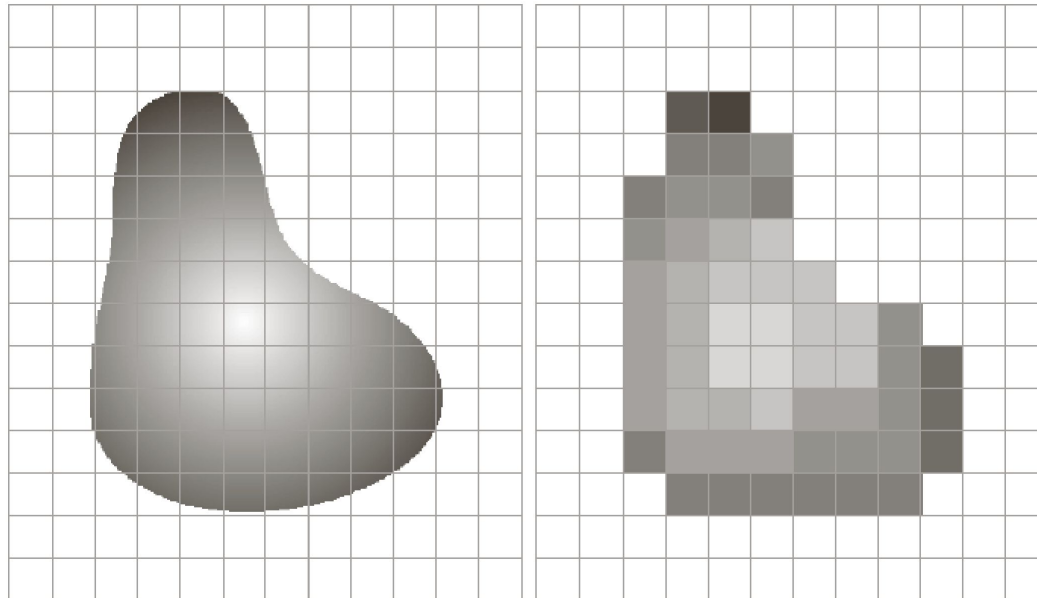
$$f : \mathbb{R}^m \longrightarrow \mathbb{R}^3, m = 2, 3$$

oppure i valori di un colore per un determinato modello dei colori.

Campionatura

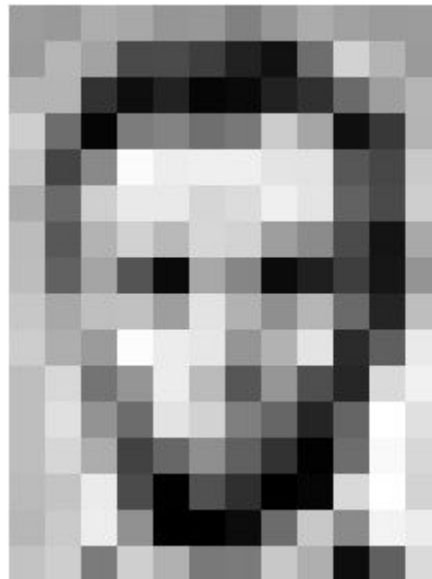
Un'immagine fa parte del mondo reale, quindi è analogica e la sua funzione è continua.

Il processo di campionatura la discretizza nello spazio, trasformandola in una matrice di pixel (voxel nel caso 3D).



Quantizzazione

Il processo di quantizzazione si occupa invece della discretizzazione dell'intensità luminosa, restituendo un valore nel caso delle tonalità di grigio, rispettivamente tre o più valori nel caso di un modello dei colori.



157	153	174	168	150	152	129	151	172	161	155	166
155	182	163	74	75	62	33	17	110	210	180	154
180	180	50	14	34	6	10	33	48	105	159	181
206	109	5	124	131	111	120	204	166	15	55	180
194	68	137	251	237	239	239	228	227	87	71	201
172	105	207	233	233	214	220	239	228	98	74	206
188	88	179	209	185	215	211	158	139	75	25	169
189	97	165	84	10	168	134	11	31	62	22	148
199	168	191	193	158	227	178	143	182	105	36	190
205	174	155	252	236	231	149	178	228	43	95	234
190	216	116	149	236	187	85	150	79	38	218	241
190	224	147	108	227	210	127	102	35	101	255	224
190	214	173	66	103	143	95	50	2	109	249	215
187	196	235	75	1	81	47	0	6	217	255	211
183	202	237	145	0	0	12	108	200	138	243	236
195	206	123	207	177	121	123	200	175	13	96	218

Risoluzione spaziale

La risoluzione spaziale è una misura del più piccolo dettaglio discernibile in un'immagine digitale. Per misurarla vengono utilizzate unità di misura come il dots per inch (DPI).

Affermare che un'immagine ha una risoluzione ad esempio di 1024x1024 pixels non ha un effettivo significato, se la risoluzione non è messa in relazione ad un'unità di misura spaziale.

Risoluzione di intensità

La risoluzione d'intensità si riferisce al più piccolo dettaglio discernibile nel livello di intensità di grigio o colore. Per le immagini grayscale vengono d'abitudine utilizzati 8 bits (256 valori), mentre per le immagini a colori si usano 16 bits. L'utilizzo di 32 bits è raro.

Colori nelle schede video

Le schede video dei primi PC supportavano solo 16 colori fissi. Successivamente sono state introdotte schede capaci di mostrare 256 colori simultaneamente, ognuno dei quali poteva essere scelto da un pool di 16 milioni di colori.

Le attuali schede video dedicano 24 bits ad ogni pixel e sono quindi capaci di mostrare 16 milioni di colori senza restrizioni.

24 bit (16 million colors) è chiamato True Color.

Aliasing

Come per l'audio, anche nella campionatura di immagini ci si può confrontare con il problema dell'aliasing: l'introduzione di distorsione o artefatti durante la ricostruzione di un segnale che, prima di venir campionato, conteneva oggetti più piccoli della metà del sampling-rate (Nyquist).

Nelle immagini, la frequenza è in relazione alla dimensione strutturale. Parti piccole hanno frequenza alta.



Aliasing

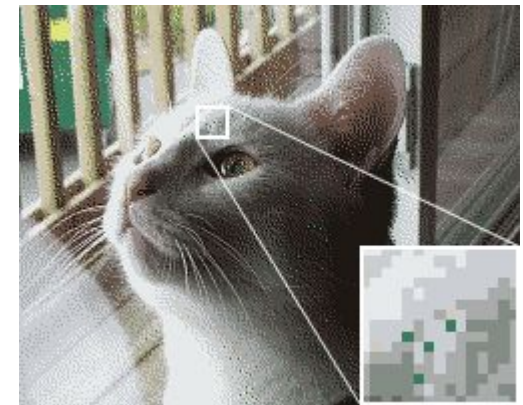
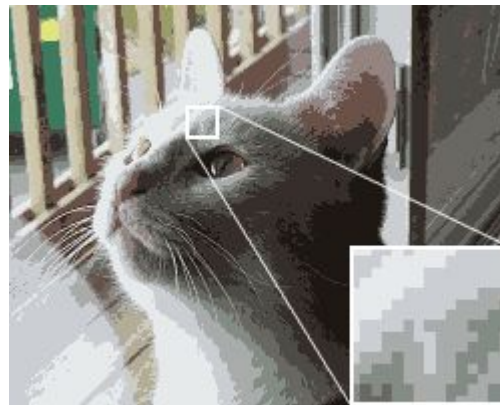
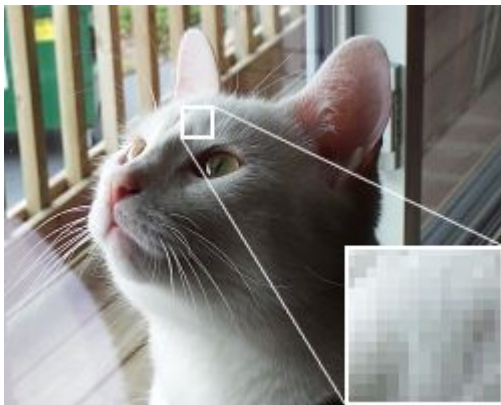
Nel caso delle immagini si tratta di aliasing spaziale (a differenza di quello temporale che si può presentare per i segnali audio e video). Per evitarlo vanno applicati filtri di anti-aliasing.



Errori di quantizzazione e dither

Anche il processo di quantizzazione introduce errori, in forma di rumore, che può presentarsi come patterns a larga scala (ad esempio bande di colore).

Il dither è una forma di rumore introdotta intenzionalmente per rendere casuale l'errore di quantizzazione.



Interpolazione

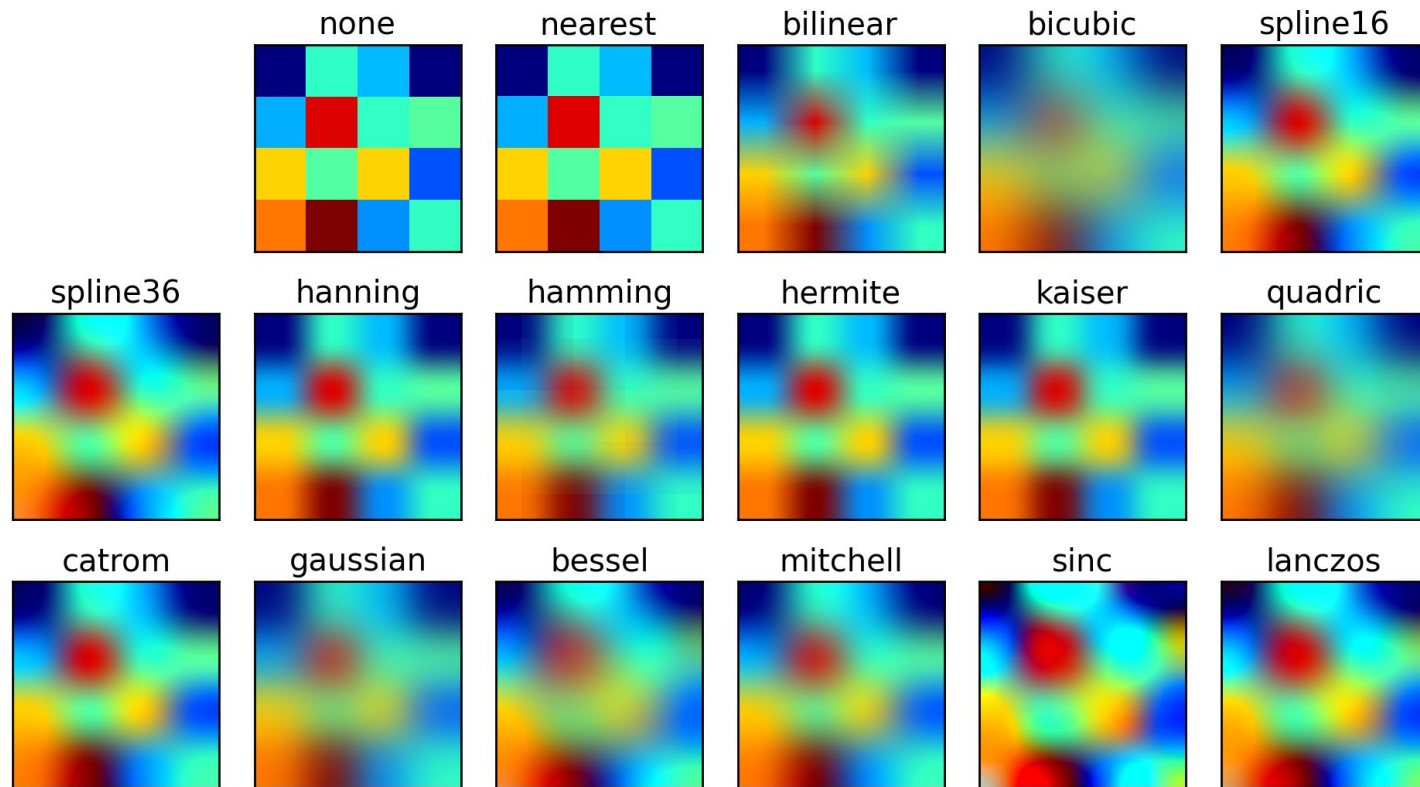
L'interpolazione è un'operazione spesso utilizzata per le immagini per eseguire zoom, rotazioni, e altre correzioni geometriche.

L'interpolazione viene eseguita utilizzando informazione conosciuta in determinate posizioni per stimare i valori di posizioni sconosciute.

Esistono vari metodi di interpolazione, dalla nearest neighbour interpolation a forme più complesse, che sfruttano ad esempio le splines.

<http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/image-interpolation.htm>

Interpolazione



Relazioni fra pixels

Esistono alcune relazioni fra pixel che sono state definite, come ad esempio:

- Vicinanza (neighborhood): ogni pixel ha 2 vicini verticali, 2 vicini orizzontali e 4 vicini diagonali
- Adiacenza (adjacency): due pixels sono adiacenti se sono vicini e se rispettano determinati vincoli di prossimità di grigio o colore

Esistono anche altre proprietà che possono essere presenti fra pixels come la connectivity, le paths, le regions e i boudaries.

Distanza e operazioni fra pixels

Inoltre, esistono misure di distanza tra pixel come l'euclidean distance, la city-block distance e la chess-board distance.

Infine, sono state definite operazioni fra pixel come somma, sottrazione, moltiplicazione, divisione, AND, OR e complemento.

Formati file per immagini digitali

I principali formati file per le immagini raster sono .gif, .jpg, .tiff, .png e .bmp.

I files per le immagini digitali possono essere di dimensioni molto grandi, quindi, come per l'audio, vengono applicate tecniche di compressione per ridurre la taglia. La compressione può essere di tipo lossless o lossy.

Riduzioni di taglia dei files sono possibili anche sulla base del numero di colori contenuti nelle immagini. Nei vari tipi di formati vengono usati differenti tipi di approcci per la codifica dei colori.

Header e container

Come nel caso dei formati file audio, anche nel caso delle immagini i file sono composti da una prima parte di meta informazione, contenente le caratteristiche dell'informazione salvata, seguita dagli effettivi dati dell'immagine.

Anche nel caso delle immagini si possono usare dei formati container flessibili e generici. Il formato TIFF è in verità un formato container specifico per le immagini.

GIF

Il formato .gif crea una tabella fino a 256 colori da un pool di 16 milioni. Se l'immagine ha meno di 256 colori, l'algoritmo è capace di riprodurre l'immagine in maniera esatta. Per i casi in cui l'immagine contiene più di 256 colori, alcuni algoritmi usano il colore più vicino, mentre altri sfruttano tecniche di come l'"error diffusion" per minimizzare l'errore.

Inoltre, GIF sostituisce eventuali patterns (ampie zone di colore uniforme) con delle abbreviazioni (come bianco x 20).

Di conseguenza, GIF è lossless solo per immagini con 256 colori o meno. Per immagini True Color può perdere il 99.998% dei colori.

JPG

JPG è un formato ottimizzato per la fotografia e per immagini contenenti molti colori simili in zone contigue. Può raggiungere livelli di compressione molto alti pur mantenendo qualità d'immagine molto elevate.

JPG lavora scartando informazione che l'occhio umano non dovrebbe notare. Salva l'informazione come colore a 24 bit. Il tipo di compressione è lossy, il livello di compressione è adattabile.

TIFF, PGN e BMP

TIFF è un formato flessibile che può essere sia lossless che lossy, ma viene principalmente utilizzato senza nessun tipo di compressione. Eventuali dettagli dell'algoritmo utilizzato vengono salvati con il file.

PNG è un formato lossless. Riduce la taglia del file cercando dei patterns che può sfruttare per semplificare il salvataggio dell'informazione. La compressione è di conseguenza perfettamente reversibile.

BMP è un formato proprietario non compresso inventato da Microsoft.

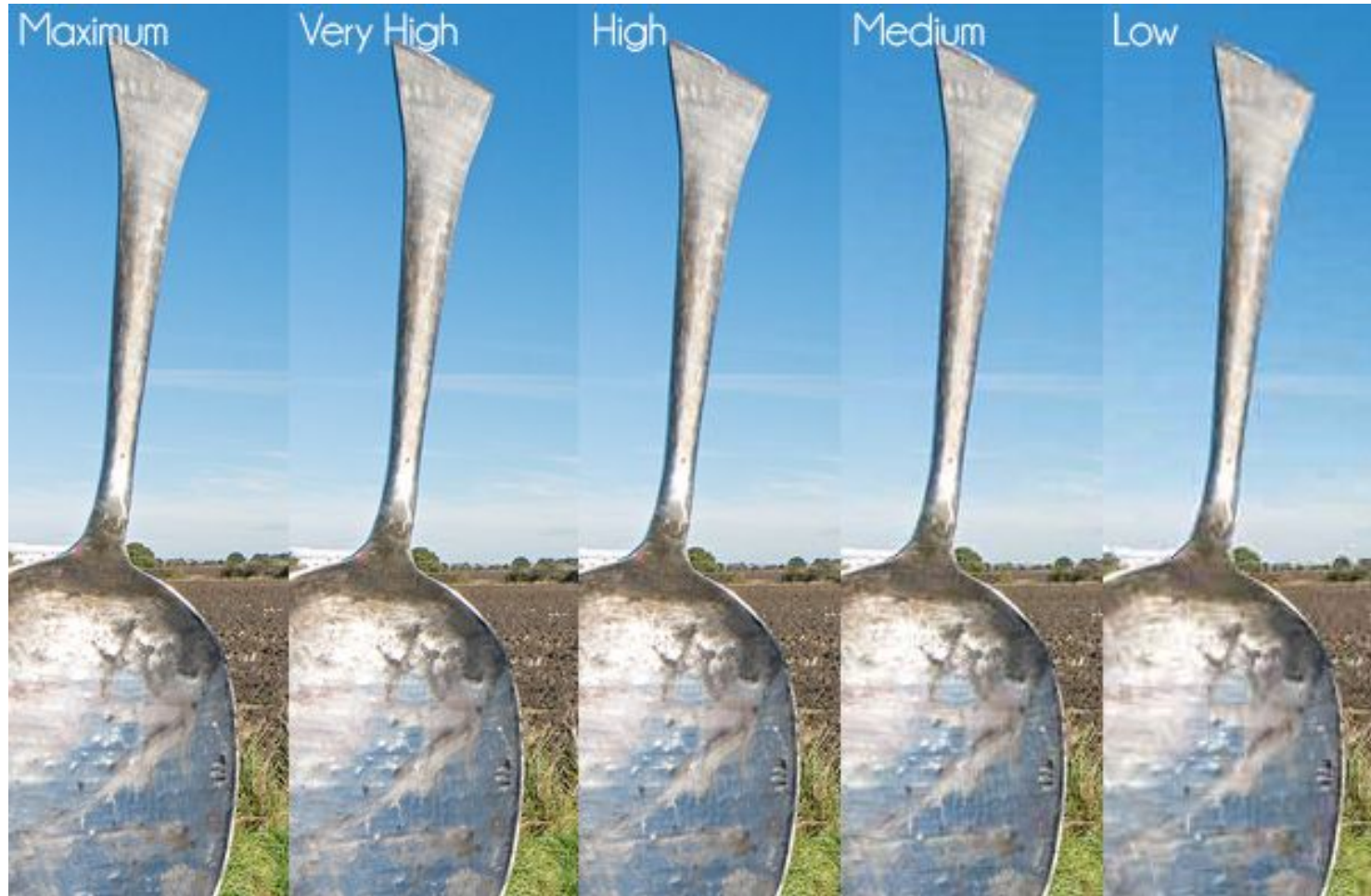
Confronto di dimensione file

File type	Size
Tiff, uncompressed	901K
Tiff, LZW lossless compression (yes, its actually bigger)	928K
JPG, High quality	319K
JPG, medium quality	188K
JPG, my usual web quality	105K
JPG, low quality / high compression	50K
JPG, absurdly high compression	18K
PNG, lossless compression	741K
GIF, lossless compression, but only 256 colors	286K

GIF vs. JPEG



Qualità di compressione JPEG



Strumenti matematici per l'image processing

Per eseguire operazioni di digital image processing vengono sfruttati alcuni strumenti matematici di base, come:

- Array e matrici
- Operazioni lineari vs. nonlineari
- Operazioni aritmetiche
- Operazioni su set e operazioni logiche
- Operazioni spaziali
- Operazioni vettoriali e matriciali
- Trasformazioni
- Metodi probabilistici

Operazioni di tipo array vs. matriciali

Le immagini digitali raster possono essere viste come matrici. Quindi su di esse è possibile eseguire sia operazioni di tipo array, sia matriciali.

Ad esempio, il prodotto di due matrici può essere inteso come il prodotto array (ogni elemento delle due matrici viene moltiplicato), oppure come l'effettivo prodotto matriciale.

Di norma, nel digital signal processing si intendono le operazioni come operazioni di tipo array.

Operazioni lineari vs. nonlineari

Anche nel caso dell'immagine processing si fa distinzione fra operazioni lineari e nonlineari.

Si consideri due immagini A e B. Per un filtro lineare, come la media sia ha che:

$$F_m(A + \lambda B) = F_m(A) + \lambda F_m(B)$$

Questa proprietà non viene invece soddisfatta dai filtri non lineari, come ad esempio per la mediana.

Linear image processing

Le operazioni di linear image processing sono basate, come per il signal processing convenzionale, su due operazioni principali: la convoluzione e la trasformata di Fourier.

Nell'image processing la convoluzione è l'operazione più importante perchè le immagini hanno l'informazione codificata nel dominio spaziale invece che in quello delle frequenze.

Filtri lineari possono ad esempio venir utilizzati per: accentuare gli spigoli degli oggetti, ridurre il rumore di fondo, correggere l'illuminazione, ecc.

Queste operazioni vengono eseguite per convoluzione tra l'immagine originale e un kernel di filtro, producendo l'immagine filtrata.

Analisi di Fourier

L'analisi di Fourier è meno utile per le immagini. Mentre per un segnale audio la trasformata di Fourier trasforma la dubbia rappresentazione nel dominio del tempo in uno spettro delle frequenze facile da capire, la trasformata di Fourier di un'immagine converte l'informazione chiara del dominio spaziale in una forma poco intellegibile nel dominio delle frequenze.