Organizzazioni indicizzate

- Tutte le organizzazioni di immagine che abbiamo visto fin qui sono del tipo **direct color**: la codifica di un pixel fornisce direttamente il suo colore
- Non sempre questa è la codifica più efficiente:
  - per esempio, un'immagine può usare relativamente pochi colori, ma non distribuiti uniformemente

Organizzazioni indicizzate

- In questi casi, il codice colore di un pixel (a sua volta ottenuto con uno qualunque delle organizzazioni precedenti) **non** fornisce la codifica RGB del pixel, ma un **indice** in un elenco di colori
- L'elenco può essere fisso, a variabile a seconda dell'immagine
  - quest'ultimo è il caso più frequente

Organizzazioni indicizzate

- Per esempio, se la mia immagine usa al più 256 colori distinti, è conveniente indicizzarla
- Ciascun pixel richiederà 8 bit (2^8=256 indici) anziché 24 (3x8=24 bit per colore)
- Ciascuno dei 256 colori indicizzati, richiederà 24 bit

Organizzazioni indicizzate

- Colore diretto:

Immagine

192	38	45	200	50	50
192	38	45	0	0	0
200	50	50	32	64	128

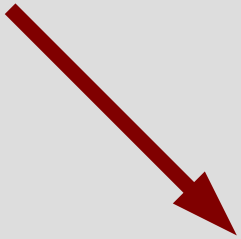
- Colore indicizzato:

Immagine

0	1
0	2
1	3
4	4

Tabella colori

0	192	38	45
1	200	50	50
2	0	0	0
3	32	64	128
4	192	192	192



(192,38,45)	(200,50,50)
(192,38,45)	(0,0,0)
(200,50,50)	(32,64,128)

Organizzazioni indicizzate

- Quando conviene l'una o l'altra?
- Dipende dal numero di colori *distinti* che siamo disposti a perdere
  - i colori persi possono però essere approssimati con altri molto simili
- Dipende anche dalla dimensione dell'immagine
  - Per immagini piccole e con tanti colori, la tabella colori può occupare troppo spazio (in proporzione al resto)

Esempio

- **Colore diretto**
  - 170x170x24
  - = **86.700** byte

16.777.216 colori

- **Colore indicizzato**
  - 170x170x8 + (immagine)
    256x24 (indice colori)
  - = **29.668** byte

256 colori

Altre organizzazioni

- Fra le molte altre organizzazioni possibili, alcune si incontrano con particolare frequenza:
  - bianco e nero
    - ogni pixel è un bit: 1=nero, 0=bianco (o viceversa)
    - usata per gestire testo come immagine (es., fax)
  - scala di grigi
    - ogni pixel è un valore da 0% (nero) a 100% (bianco)
    - tipicamente, si usano 8 bit, quindi 256 grigi
    - usata quando la destinazione finale è una stampa in bianco e nero (es., foto sui giornali)

Trasformazioni fra formati

- Esistono delle trasformazioni standard fra i diversi formati che abbiamo discusso
  - Il formato più “ricco” di informazioni (e più fedele) è il direct color
  - Può essere ridotto a indicizzato scegliendo, per esempio, i 256 colori che appaiono più frequentemente, oppure quelli “medi” fra gli altri simili (che minimizzano gli errori di approssimazione)

Trasformazioni fra formati

- Esistono delle trasformazioni standard fra i diversi formati che abbiamo discusso
  - I formati a colori possono essere ridotti a scala di grigi trasformando ogni colore in un valore di **luminanza**
  - Si moltiplica ogni componente per una costante fissa, che dipende dalla sensibilità (media) dell'occhio umano ai vari colori
  - grigio = 0.299 × rosso +
    0.587 × verde +
    0.114 × blu

Trasformazioni fra formati

- Infine, la scala di grigi può essere ridotta a b/n stabilendo un **valore soglia**
  - tutti i grigi più chiari della soglia diventano bianco
  - tutti i grigi più scuri della soglia diventano nero
- Ovviamente le trasformazioni inverse sono possibili, ma non si recupera l'informazione persa!

Trasformazioni fra formati

- Alcuni esempi di diversi valori soglia:

Originale
(in scala di grigi)

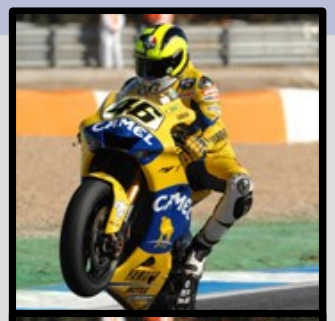
soglia 63 (25%)

soglia 127 (50%)

soglia 163 (64%)

soglia 192 (75%)

Esempi



- Colore diretto, **86.700** byte
  - 170x170, 24 bit colore diretto

- Colore indicizzato, **29.668** byte
  - 170x170, 24 bit colore, 256 colori

- Scala di grigi, **28.900** byte
  - 170x170, 8 bit colore, 256 grigi

- Bianco/nero, **3.613** byte
  - 170x170, 1 bit colore, b/n

Ancora sull'occupazione di memoria

- I calcoli sull'occupazione di memoria che abbiamo fatto riguardano la dimensione delle immagini **in memoria** – per esempio, mentre vengono visualizzate
- Per memorizzare le immagini su disco, o trasmetterle via rete, è conveniente usare **algoritmi di compressione** per ridurne la dimensione

Algoritmi di compressione

- In generale, possiamo dividere gli algoritmi di compressione in due grandi famiglie:
  - algoritmi **senza perdita** (***lossless***): consentono di ricostruire esattamente i dati di partenza
  - algoritmi **con perdita** (***lossy***): si perde una parte dell'informazione; non è più possibile ricostruire esattamente i dati di partenza

Algoritmi lossless

- Gli algoritmi di compressione senza perdita applicati alle immagini sono gli stessi usati nei normali programmi di compressione
  - per esempio, algoritmi di Run Lenght Encoding, Huffman, Lempel-Ziv-Welch, compressione aritmetica
  - usati in PKZip, gzip, compress, lha, RAR, ARJ, ecc.
  - I **formati di file** per le immagini specificano uno o più algoritmi da adottare

Algoritmi lossy

- Gli algoritmi lossy sono invece progettati esplicitamente per le applicazioni alle immagini
- I due principali sono:
  - **JPEG** (Joint Photographic Expert Group), famosissimo algoritmo basato sulla trasformata inversa del coseno e sull'eliminazione delle frequenze “alte” (spaziali e colorimetriche), comunque invisibili all'occhio umano
  - **Wavelet**, algoritmo molto efficiente ma “sperimentale” a causa dell'alto costo computazionale

Algoritmi lossy

- Quando si decide di applicare un algoritmo di compressione lossy a un'immagine, è in genere possibile specificare un **fattore di qualità**
- Ad elevati fattori di compressione (e quindi, forti riduzioni di dimensioni) corrispondono forti perdite di qualità
- In genere, **non si usano algoritmi lossy** se l'immagine deve ancora essere “lavorata”.

Esempio (file JPEG, lossy)

170x170x24
dimensione in
memoria:
86.7 Kb

originale
q=100
24.8 Kb

q=75
8.1 Kb

q=50
5.6 Kb

q=25
3.7 Kb

q=5
1.4 Kb

Esempio (file PNG, lossless)

170x170x24
dimensione in
memoria:
86.7 Kb

originale

c=0
85.1 Kb

c=2
56.9 Kb

c=5
53.9 Kb

c=9
53.3 Kb

Esempio (file PNG, lossless)

- Con gli algoritmi lossless, è a volte possibile specificare un **fattore di compressione**
- Visto che con gli algoritmo lossless non si perde **mai** in qualità, la scelta di una compressione maggiore **non** peggiora l'immagine
  - aumenta solo (in maniera impercettibile) il tempo per caricare e salvare l'immagine
- Conviene quindi usare sempre la compressione maggiore!

Principali formati grafici

- Con compressione lossless:
  - TIFF (Tagged Image File Format)
  - GIF (Graphics Interchange Format)
  - PNG (Portable Network Graphics)
  - BMP (Windows Bitmap)
  - TGA (schede grafiche Targa)
- Con compressione lossy:
  - JPEG (Joint Photographic Expert Group)

Prossimi argomenti

- Cenni sulle tecniche di compressione
  - JPEG
- Informazioni sui formati grafici più comuni
- Cenni sull'elaborazione digitale di immagini
  - Concetti e algoritmi
  - Tool di uso comune: Photoshop, GIMP

Riferimenti

- http://www.diodati.org/scritti/2001/algoritmi/algor_stam.asp contiene un conciso ma leggibile excursus delle principali tecniche di compressione di immagini
- http://www.freeonline.org/art/a-128/ raccoglie un po' delle sigle che abbiamo incontrato, con relative (succinte) spiegazioni
- Un elenco di colori con la relativa codifica RGB è accessibile all'URL http://riemann.unica.it/studenti/guida/colori.html (ma se ne trovano centinaia di altri, più o meno estesi)
  - È possibile selezionare un qualunque colore RGB e vedere il suo codice a http://www.allprofitallfree.com/color-wheel2.html
- www.gimp.org è la home page di GIMP, il programma di grafica bitmap da cui abbiamo tratto le immagini sui selettori colore (e che useremo in laboratorio)

Algoritmi di compressione per le immagini

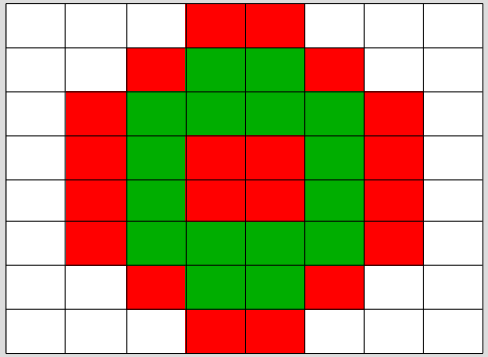
- Abbiamo visto nella lezione precedente che le immagini possono essere **compresse** in vari modi, per ridurne l'occupazione di memoria (su disco o rete)
  - compressione lossless – non si perdono dati
  - compressione lossy – si perdono i dati “meno importanti”

Algoritmo RLE

- L'**RLE** (*run lenght encoding*, codifica della lunghezza delle sequenza) è un algoritmo lossless particolarmente semplice
- Idea di base: quando trovo una serie di pixel dello stesso colore, codifico solo **la lunghezza** della serie e **il colore**
- Per immagini di tipo “fumetto” o geometriche, funziona molto bene!

Algoritmo RLE

- Esempio:



=

B	B	B	R	R	B	B	B		3B	2R	3B					
B	B	R	V	V	R	B	B		2B	1R	2V	1R	2B			
B	R	V	V	V	V	R	B		1B	1R	4V	1R	1B			
B	R	V	R	R	V	R	B		1B	1R	1V	2R	1V	1R	1B	
B	R	V	R	R	V	R	B	RLE	1B	1R	1V	2R	1V	1R	1B	
B	R	V	V	V	V	R	B		1B	1R	4V	1R	1B			
B	B	R	V	V	R	B	B		2B	1R	2V	1R	2B			
B	B	B	R	R	B	B	B		3B	2R	3B					

8x8x24 = 1536 bit

40x(4+24) =1120 bit

- Se l'immagine ha ampie aree di colore uguale, si ottengono grossi risparmi
- Se viceversa ogni punto ha un colore diverso, si può anche peggiorare!

Un teorema importante sulla compressione

- **Teorema**:
  - non esiste un algoritmo di compressione che "funzioni" **sempre** (cioè, che riduca la dimensione dell'input in tutti i casi)
- **Dimostrazione** (per assurdo, approssimata):
  - supponiamo che un tale algoritmo esista (chiamiamolo A), e indichiamo con # la lunghezza di un dato
  - dato un input i, A(i) deve essere più piccolo di i, ovvero #A(i)<#i
  - ma A(i) è a sua volta un dato, quindi #A(A(i)) < #A(i) < #i ...
  - se #i = k, dopo al più k passi sono arrivato a 0: come posso da una dato lungo 0 ricostruire l'input originale i?

Algoritmi Huffmann e LZW

- Si tratta di due algoritmi lossless usati in molte applicazioni
  - **non** sono specializzati per le immagini
  - in entrambi i casi, il grado di compressione non è direttamente legato al contenuto dell'immagine
  - essendo lossless, non c'è mai perdita di qualità: quando il formato li supporta, è sempre* meglio usarli

---

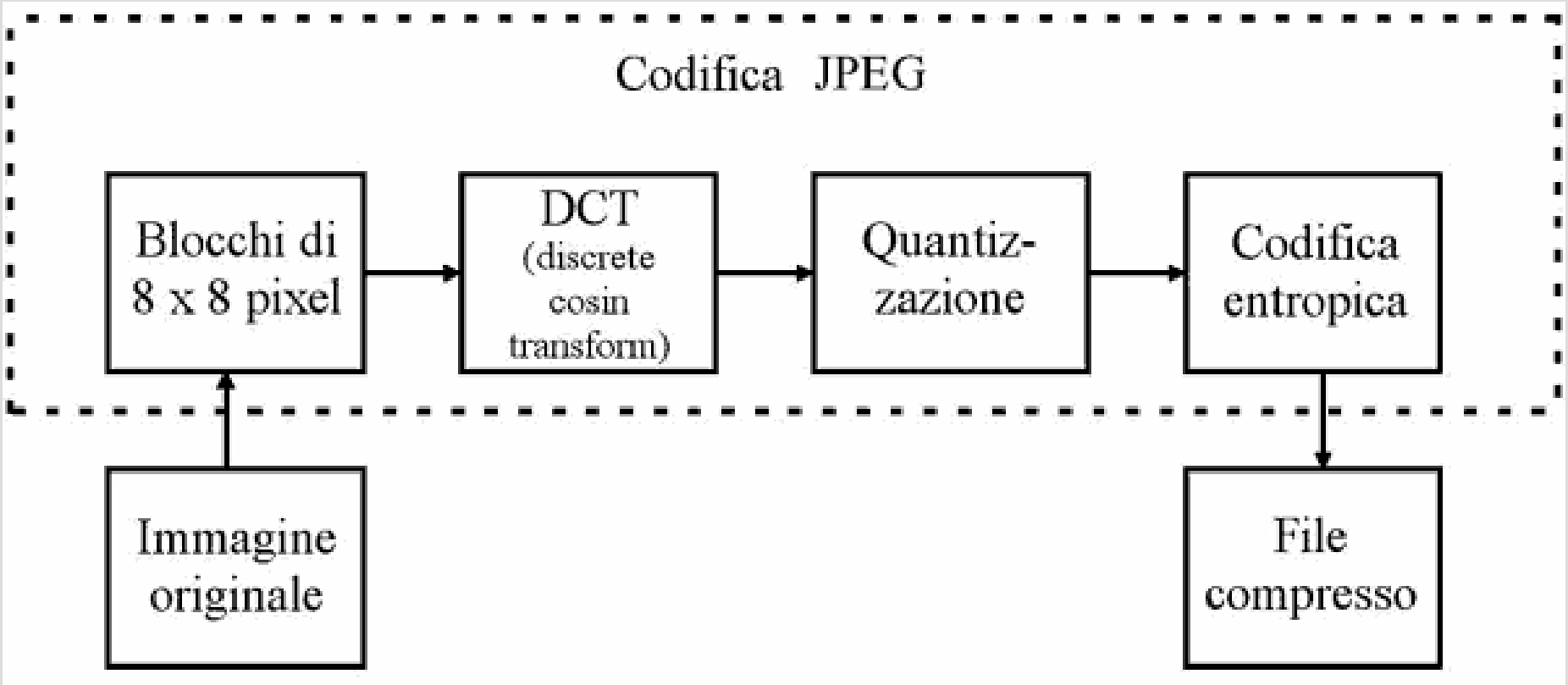
* ma si ricordi il teorema precedente...

Algoritmo JPEG

- JPEG è un algoritmo **lossy** specializzato per le immagini
- Funziona particolarmente su immagini con molti sfumati (fotografie, incarnati, paesaggi)
- Quando l'immagine ha un forte contrasto o passaggi bruschi di colore, si possono notare dei difetti (detti *artefatti*)

Algoritmo JPEG

- Il processo prevede 4 passi
  - lo scopo è togliere informazione che *comunque* l'occhio non noterebbe



Algoritmo JPEG
trasformazione colori

- L'immagine viene dapprima trasportata in un altro *spazio colore*
  - si cambia il modello colore da RGB (o altro) a **YUV**, che codifica **Crominanza** (colore, 2 valori) + **Luminanza** (luminosità, 1 valore)
  - l'occhio umano è infatti più sensibile alla luminosità che al particolare colore, quindi nei passi successivi si può “perdere” in crominanza senza danni, mentre le perdita di luminanza è sensibile

Algoritmo JPEG
trasformazione colori

Immagine originale

Componenti crominanza

Componente luminanza

Algoritmo JPEG
riduzione componenti

- La componente luminanza viene lasciata invariata
- Le componenti di crominanza possono essere “tagliate”, sostituendo blocchi di 2x1 o 2x2 pixel (o più) con un solo valore, dato dalla media dei componenti eliminati
- Questa operazione, da sola, riduce già del 50%-60% la dimensione!
  - Lo specifico taglio è indicato con codici come 4-1-1, 4-2-1, 4-2-2, ecc.

Algoritmo JPEG
separazione in blocchi

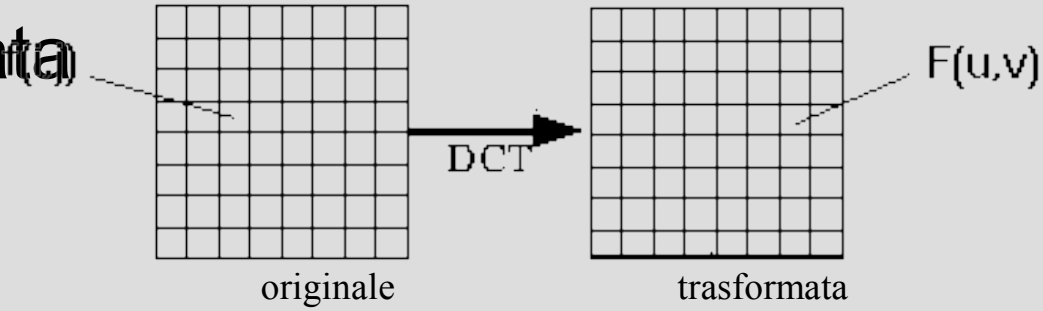
- Il passo successivo consiste nel dividere l'immagine in blocchi di 8x8 pixel
- Un'immagine di tipo televisivo (640x512 pixel) richiede 80x64 blocchi
- A volte la “scalettatura” causata dai blocchi è ben visibile!
  - quasi sempre dovuto ad alti fattori di compressione

Algoritmo JPEG
trasformata DCT

- Ciascun blocco viene **trasformato** usando la **DCT** (trasformata discreta del coseno)
  - è una variante della Trasformata di Fourier
  - trasforma l'immagine dallo spazio delle *ampiezze* a quello delle *frequenze*
  - le **frequenze alte** corrispondono a **dettagli fini**, che l'occhio non riuscirebbe comunque a scorgere – si possono tagliare!

Algoritmo JPEG
trasformata DCT

- Il valore della trasformata DCT di un'immagine di NxM pixel è data dall'equazione:

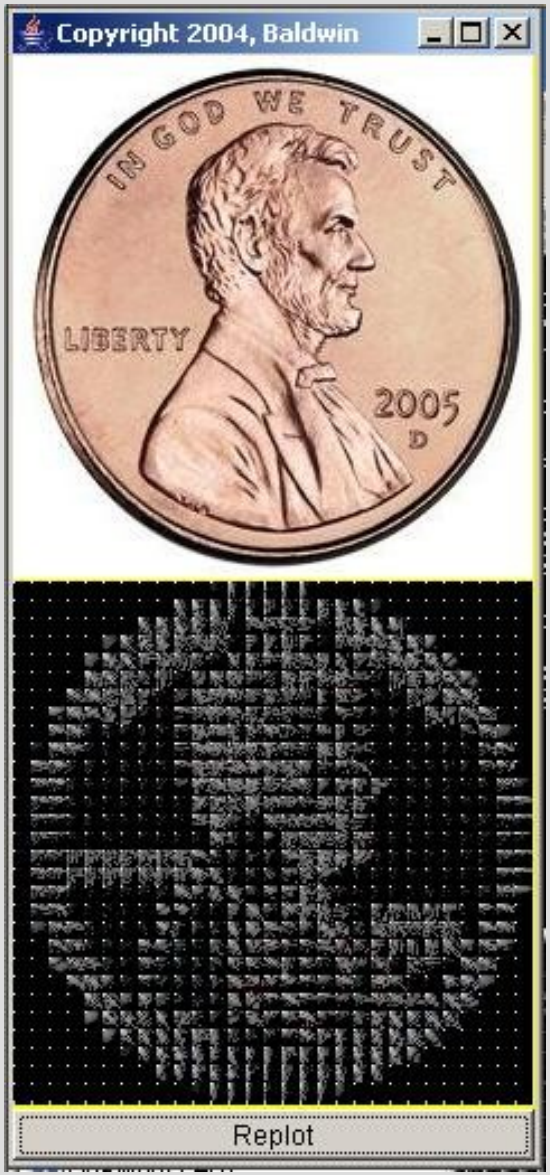


$$F(u,v) = \left(\frac{2}{N}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{2}{M}\right)^{\frac{1}{2}} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} \Lambda(i).\Lambda(j).cos\left[\frac{\pi.u}{2.N}(2i+1)\right] cos\left[\frac{\pi.v}{2.M}(2j+1)\right].f(i,j)$$

$$\text{dove} \quad \Lambda(i) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & \text{for} \xi = 0 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

- La funzione inversa trasforma F(u,v) in f(i,j) e restituisce l'immagine originale

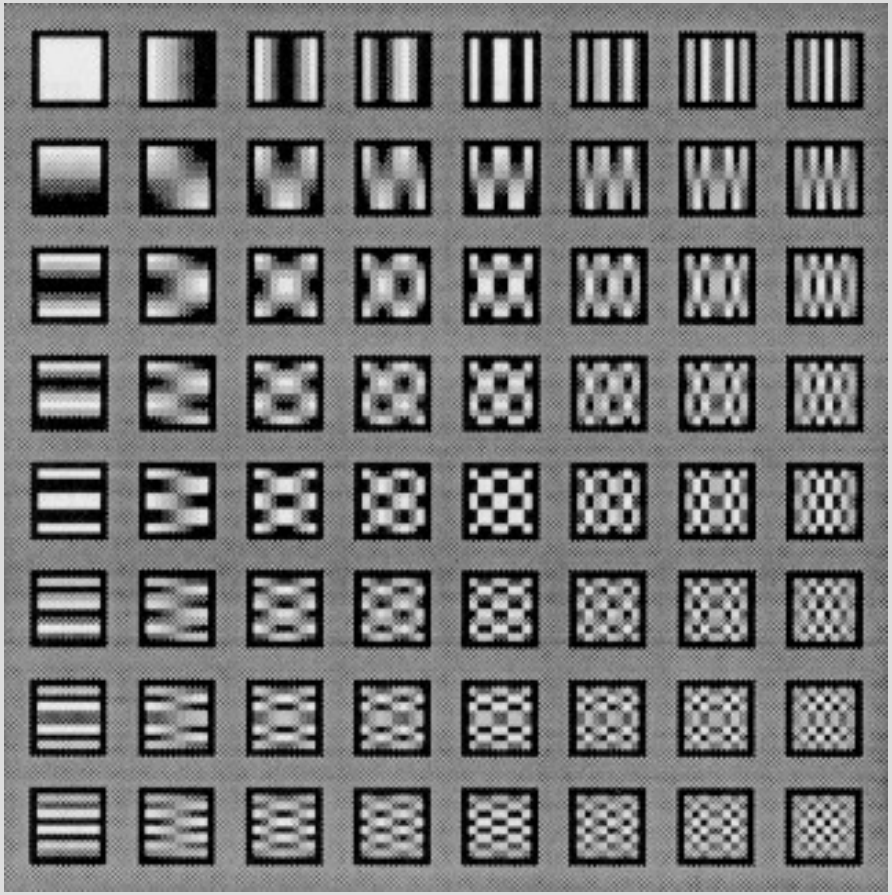
Algoritmo JPEG
trasformata DCT



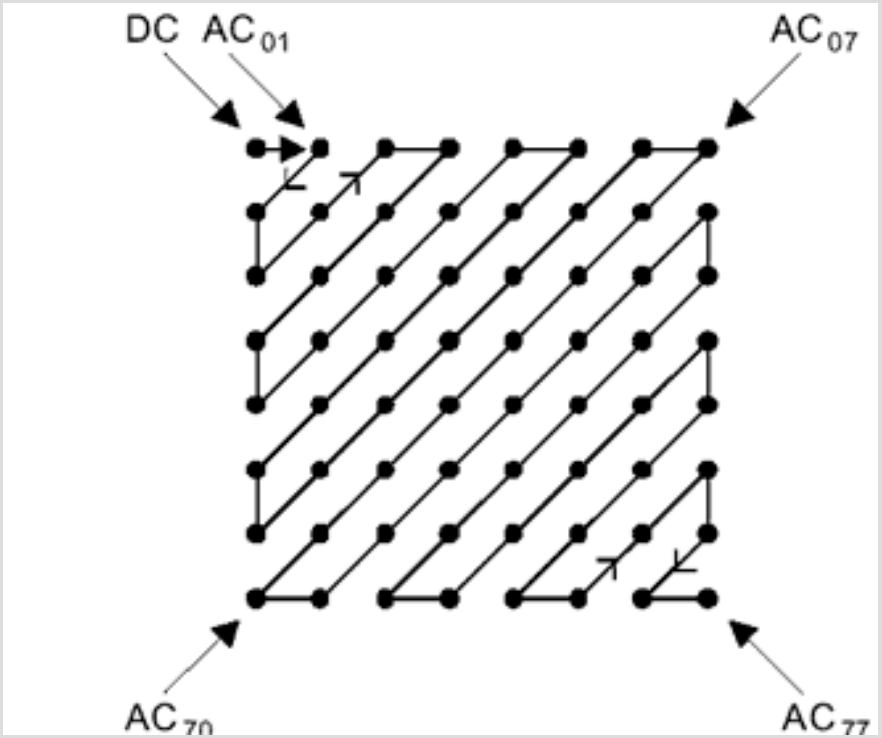
- L'applicazione della DCT ai blocchi 8x8 trasforma l'immagine
- Ogni blocchetto trasformato rappresenta uno *spettro di frequenza*
- L'energia è maggiore (= c'è più bianco) dove più alto è il contrasto

Algoritmo JPEG
trasformata DCT

- I coefficienti che esprimono lo spettro di ciascun blocchetto vengono **approssimati**
- Questo equivale a rappresentare un blocchetto 8x8 come **combinazione** di un piccolo numero di blocchetti predefiniti



Algoritmo JPEG
riordinamento dei punti



- I singoli punti di un blocchetto vengono visitati a zig-zag
- Quando li si mette in sequenza in quest'ordine, è più facile che si trovino punti consecutivi simili
- La compressione funziona meglio!

Algoritmo JPEG
compressione lossless finale

- I passi visti fin qui **scartano** informazione:
  - si riduce la risoluzione della crominanza
  - si approssimano i colori
  - si eliminano i dettagli troppo fini per essere visti dall'occhio
- Sui dati rimanenti, si applica infine una compressione lossless (Huffman)
- Il risultato finale è la codifica JPEG dell'immagine originale
  - fattore di compressione: da 10 a 50 volte!

Algoritmo JPEG
altri usi notevoli

- L'algoritmo JPEG è usato (ovviamente) nei file .jpg o .jpeg – che costituiscono l'80%-90% delle immagini sul Web
- È un formato anche molto usato in ambito medico (raggi X, TAC, ecc.)
- Una variante più sofisticata è usata nei formati per i film (MPEG, AVI, WMV; anche DVD, satellite e digitale terrestre)
- Grande vantaggio: qualità buona, compressione alta

Algoritmo JPEG
JPEG2000 e il futuro

- JPEG2000 è (sarà) la nuova versione dello standard JPEG
- Lavoro iniziato nel 2001, tuttora in corso
- Usa la compressione **wavelet**
  - 20% di compressione in più
  - qualità significativamente più alta
  - la definizione matematica è *molto* complicata
- Pochissimo supporto nelle applicazioni

Algoritmo JPEG
JPEG2000 e il futuro

Originale

JPEG2000
compressione wavelet

JPEG
compressione DCT

- Notate comunque il rapporto **1:150**!