

Sistemi Multimediali Le immagini

Ombretta Gaggi
Università di Padova

Immagini: fondamenti

Un'immagine è un'area con una determinata distribuzione di colori

Un'immagine **digitale** è una matrice bidimensionale in cui ad ogni punto è associata un'informazione cromatica

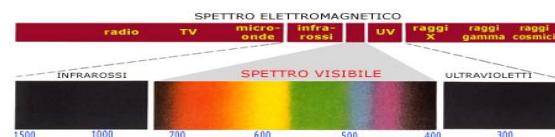
Il processo di digitalizzazione di un'immagine avviene quindi in due passi:

- *campionamento spaziale*
- *quantizzazione cromatica*

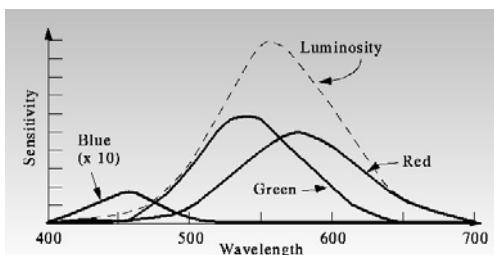


La sensibilità dell'occhio umano

La luce visibile è un'onda elettromagnetica la cui lunghezza varia tra 400 nm e 700 nm



La retina dell'occhio umano è composta di bastoncelli e coni

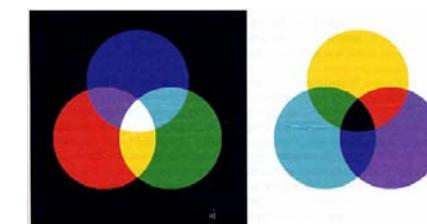


- i bastoncelli sono sensibili al livello di luminosità
- i coni sono di tre tipi, sensibili rispettivamente ai colori rosso, verde e blu

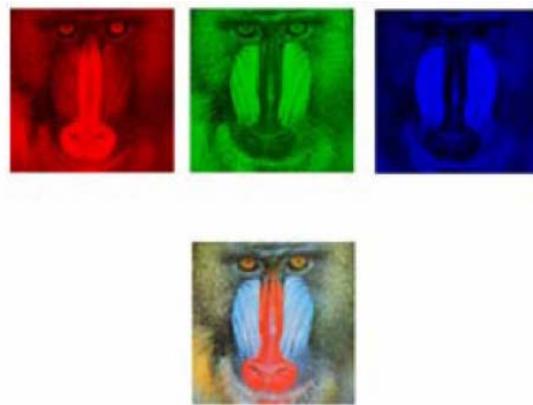
Rappresentazione del colore (1)

Esistono due modi di rappresentare il colore, come mescolanza di colori primari:

- Sintesi additiva: **RGB**
 - ✓ Monitor, luce trasmessa
- Sintesi sottrattiva: **CYMK**
 - ✓ Stampanti ed altri device per la stampa



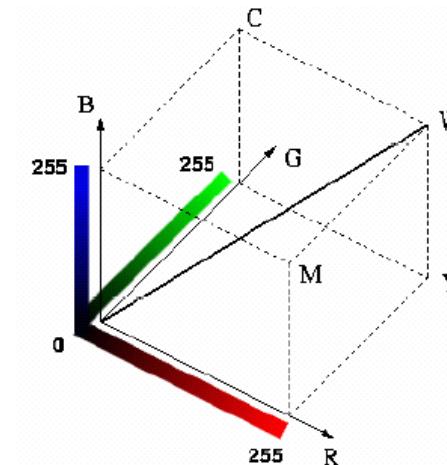
Esempio RGB



Sistemi Ipermediati - 5



RGB e CMYK



R = rosso
G = verde
B = blu

C = ciano
M = magenta
Y = giallo
K = nero

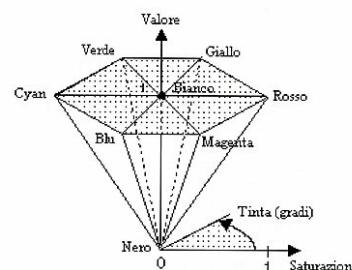


Sistemi Ipermediati - 6

Rappresentazione del colore (2)

Attraverso uno spazio di colori che tenga conto delle caratteristiche psicofisiche

- HSV: tinta (hue), saturazione e intensità (value) (anche detta luminosità)
- YUV, YIQ, YCbCr, separano le informazioni relative all'intensità luminosa (luminanza) da quelle relative al colore (crominanza)
- ✓TV - PAL, NTSC, TV digitale



Sistemi Ipermediati - 7



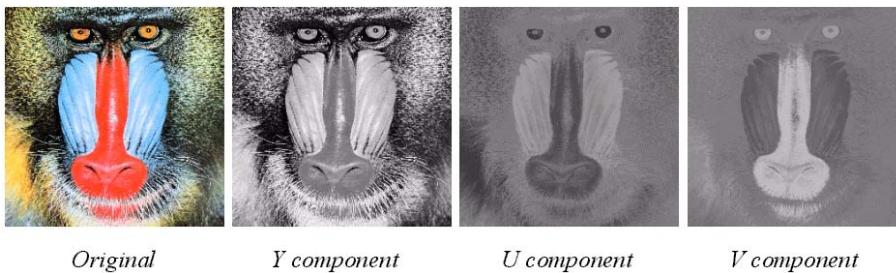
Scomposizione dei canali



Sistemi Ipermediati - 8



Esempio YUV



Sistemi Ipermediati - 9

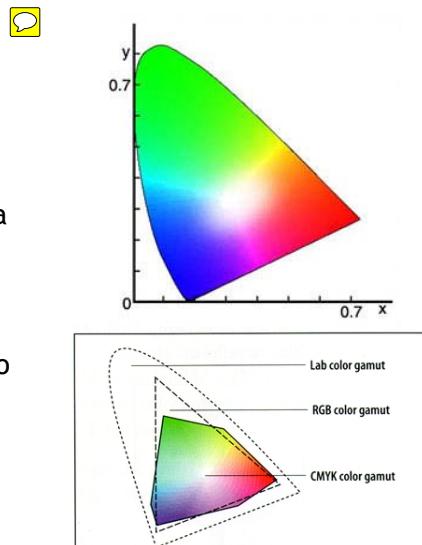


Il modello CIE - 1

La curva a ferro di cavallo rappresenta i colori puri.

La linea che unisce gli estremi della curva è detta *linea porpora* e rappresenta i colori a cui non corrisponde una lunghezza d'onda.

Al centro del diagramma ci sono alcuni colori di riferimento (illuminanti, E, A, B, C, D)



Sistemi Ipermediati - 11



Il modello CIE - 1

Gli spazi di colore finora descritti dipendono dal *device* utilizzato per la visualizzazione.

CIE XYZ: sistema di rappresentazione *tristimolo*, i cui valori sono legati alle proprietà spettrali dei coni. Permette di rappresentare tutti i colori percepibili dall'uomo.

In simboli:

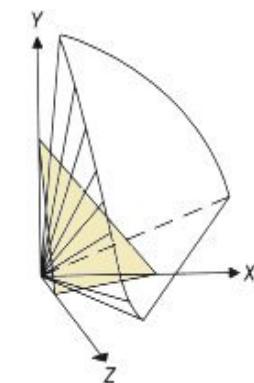
$$x = X/(X+Y+Z);$$

$$y = Y/(X+Y+Z);$$

$$z = Z/(X+Y+Z); \text{ quindi}$$

$$x + y + z = 1$$

Sistemi Ipermediati - 10



Immagini: proprietà

Profondità di colore

- immagini monocromatiche e a scala di grigi (1 bit, 8 bit)
- colori indicizzati: normalmente 8 bit/256 colori scelti tra ??? (tavolozza o CLUT, *Color Look-Up Table*)
- colori veri: 24 bit/16.7M colori, 48 bit (alta definizione), 24 + 8 bit (*alpha channel*)

Risoluzione

- limitata alle dimensioni più comuni dello schermo per le applicazioni Web
- le immagini possono essere codificate con risoluzioni multiple
- miniatura per un preview veloce

Sistemi Ipermediati - 12



BitMap - BMP

E' il formato nativo per le immagini di MS Windows

Permette di rappresentare immagini

- con tavolozza di colori (**colormap**) a 1, 4 o 8 bit per pixel
- a colori reali rappresentati con 24 bit per pixel
- non compresse
- compresse con il metodo RLE

E' particolarmente indicato per immagini artificiali o con numerose sequenze di pixel identici

Non è indicato per immagini fotografiche



Confronto tra palette



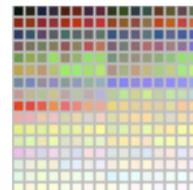
Immagine originale a 24 bit



Immagine a 8 bit con palette standard



Immagine a 8 bit con palette ottimizzata



Immagini: occupazione di memoria

L'occupazione di memoria varia in funzione della profondità di colore e della dimensione dell'immagine

- scala di grigi $160 \times 120 = 18.75$ Kbyte
- 256 colori indicizzati $640 \times 480 = 300$ Kbyte
- *true color* $1024 \times 768 = 2.25$ Mbyte
(valori riferiti a immagini non compresse)

La compressione riduce sensibilmente la dimensione

- 1024×768 JPEG $\cong 300$ Kbyte



Immagini: tempo di trasferimento

Il tempo di trasferimento su rete per le immagini non compresse non è accettabile nemmeno se si hanno a disposizione connessioni veloci

- 2,25 Mbyte su ADSL 640 Kbit \cong 29 sec.

L'immagine compressa JPEG richiede un tempo molto minore

- 300 Kbyte su ADSL 640Kbit \cong 4 sec.
- il tempo di decompressione non è significativo su workstation standard di mercato

I tempi sono ancora migliori se l'immagine serve solo per la visualizzazione sullo schermo

- i requisiti di qualità sono inferiori rispetto alla stampa



GIF, Graphics Interchange Format

E' il primo standard codificato per la trasmissione di immagini su reti

Sviluppato da Unisys e Compuserve

256 colori indicizzati

Algoritmo di compressione LZW (brevetto Unisys)

Altre proprietà: interallacciamento, trasparenza, animazione



Formati di immagine standard

Indipendenti dalla piattaforma e dal produttore

Generalmente non richiedono licenze (tranne GIF...)

- **GIF**: 8 bit, animazione, trasparenza
- **JPEG**: *true color*, qualità, compressione con perdita
- **PNG**: compressione senza perdita, *alpha channel*, estensibilità



GIF: perché e quando

Immagini semplici con pochi colori distinti (immagini artificiali)

Compressione senza perdita, decodifica veloce

Le immagini animate catturano l'attenzione e rendono più visibili i messaggi (pubblicità)

La trasparenza consente una migliore integrazione con lo sfondo (es. formule)



$$E = mc^2$$

$$E = mc^2$$



PNG, Portable Network Graphics

E' un formato estendibile, compresso senza perdita, portabile, per immagini pittoriche

Non è soggetto a brevetti e licenze (può sostituire GIF)

La profondità di colore è variabile da 1 a 16 bit

Supporta colori indicizzati, a scala di grigi e immagini *true color*

Consente effetti di trasparenza controllabili attraverso un *alpha channel* opzionale

Implementa un metodo di interlacciamento molto efficace per le immagini trasmesse via rete

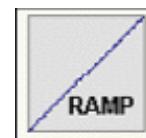
E' una raccomandazione W3C

1	6	4	6	2	6	4	6
7	7	7	7	7	7	7	7
5	6	5	6	5	6	5	6
7	7	7	7	7	7	7	7
3	6	4	6	3	6	4	6
7	7	7	7	7	7	7	7
5	6	5	6	5	6	5	6
7	7	7	7	7	7	7	7

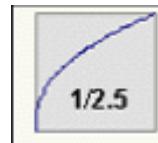


Sistemi Ipermediati - 21

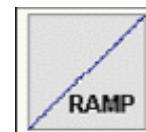
La correzione gamma - 2



Input



Gamma
Correction

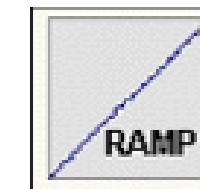
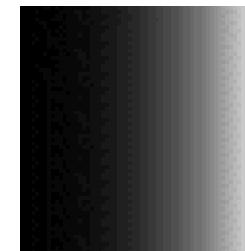


Output
(monitor
tipico)

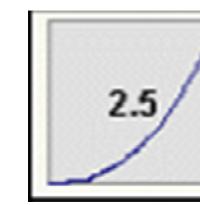


Sistemi Ipermediati - 23

La correzione gamma - 1



Input



Output
(monitor
tipico)



Sistemi Ipermediati - 22

Esempi



PNG: perché e quando

Ha gli stessi usi del formato GIF senza richiedere licenza

Ha una qualità uguale o migliore del formato JPEG, ma una compressione minore

Permette un maggior controllo degli effetti sull'immagine attraverso l'*alpha channel*

E' estendibile per inserire nel file informazioni addizionali e proprietarie in modo standard

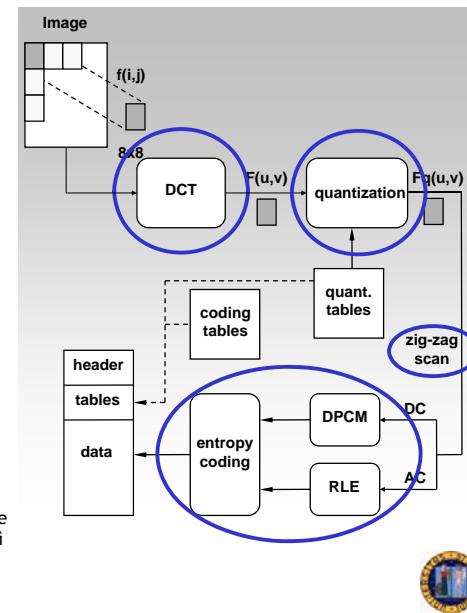
E' promosso da W3C



JPEG: algoritmo di compressione

La codifica avviene in 6 passi:

1. preparazione dell'immagine
2. ad ogni blocco 8x8 si applica la **DCT** (trasformata coseno discreta) generando una matrice 8x8 in cui l'elemento (0,0) è la media dei valori originari, mentre gli altri elementi tendono rapidamente a 0
3. **quantizzazione**: si dividono i coefficienti per un peso contenuto in una tabella di quantizzazione
4. si sostituisce il valore (0,0) con la differenza con lo stesso valore nella matrice adiacente. L'obiettivo è ottenere valori molto piccoli
5. **linearizzazione** della matrice: si percorre la matrice in diagonale piuttosto che per righe o colonne in modo che tutti gli zeri risultino adiacenti
6. **compressione**: si applicano le codifiche RLE e Huffman alla lista di numeri così ottenute



JPEG, Joint Photographic Experts Group

Standard per la compressione di immagini fotografiche (1992)

Supera le limitazioni della compressione entropica sfruttando la ridondanza nella percezione visiva

- i dettagli più piccoli di un'immagine possono essere soppressi senza perdita di informazione utile



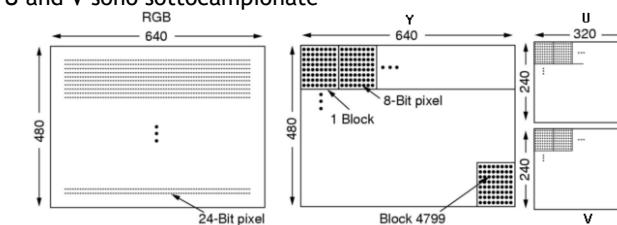
JPEG: rappresentazione dei colori

La percezione umana del livello di luminosità è più accurata della percezione del colore

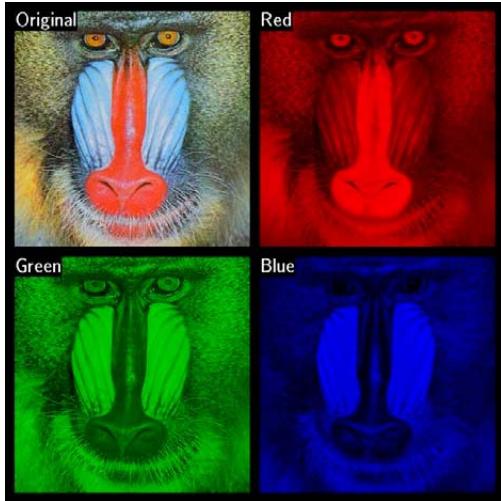
- l'informazione di luminanza deve essere rappresentata con maggior precisione rispetto all'informazione di crominanza
- sono utilizzate risoluzioni diverse per le due componenti

Codifica di colore YUV

- Y (luminanza) è una combinazione delle componenti di colore RGB
- U e V (crominanza) sono codificate come differenze rispetto a colori di riferimento: $U = B - Y$, $V = R - Y$
- U and V sono sottocampionate



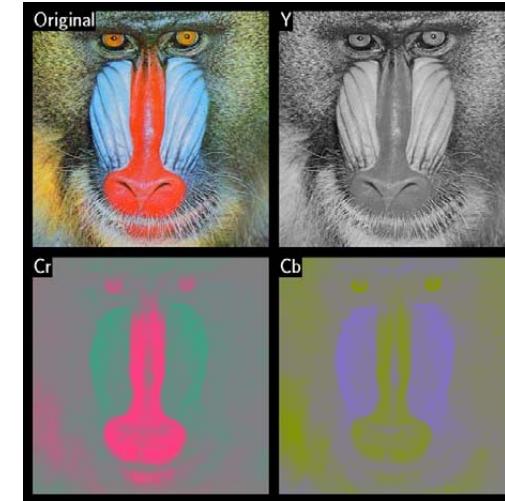
Trasformazione dello spazio di colori: RGB



Sistemi Ipermediati - 29



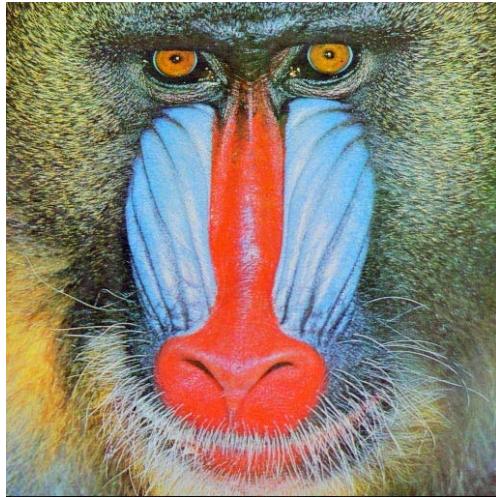
Trasformazione dello spazio di colori: YCbCr



Sistemi Ipermediati - 30



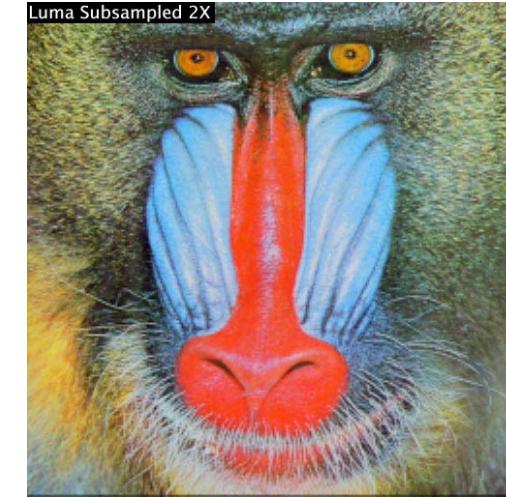
Sottocampionamento: originale



Sistemi Ipermediati - 31



Sottocampionamento: luminanza 2x



Sistemi Ipermediati - 32



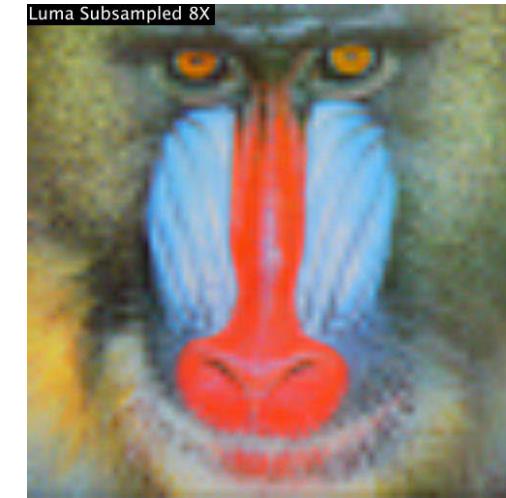
Sottocampionamento: luminanza 4x



Sistemi Ipermediati - 33



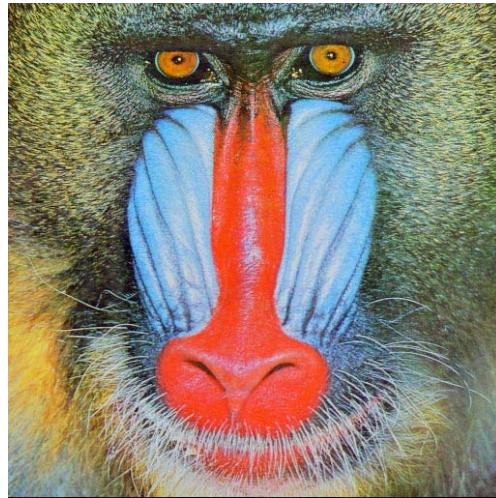
Sottocampionamento: luminanza 8x



Sistemi Ipermediati - 34



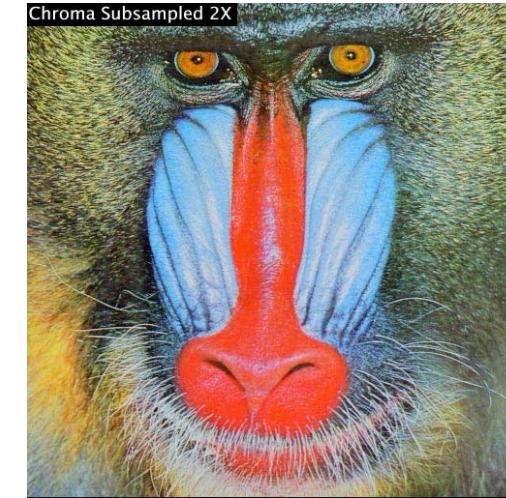
Sottocampionamento: originale



Sistemi Ipermediati - 35



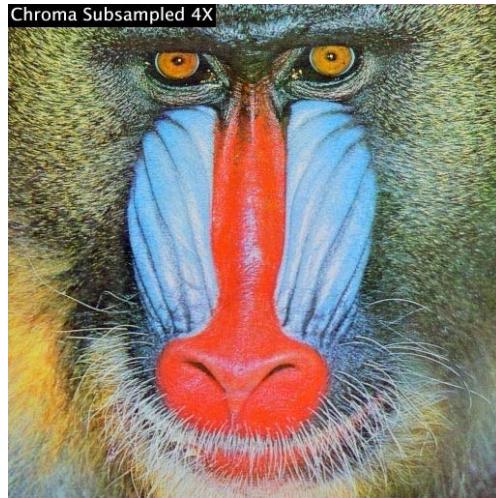
Sottocampionamento: crominanza 2x



Sistemi Ipermediati - 36



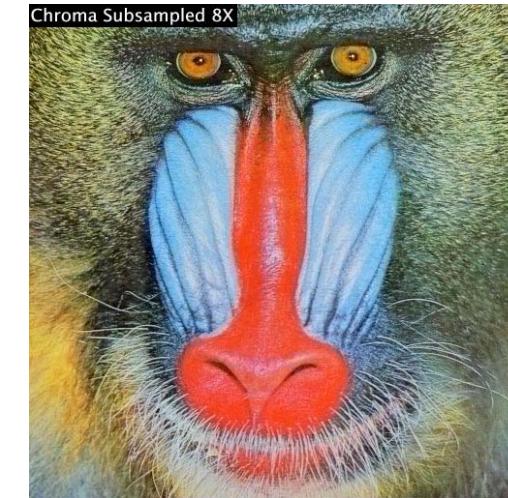
Sottocampionamento: crominanza 4x



Sistemi Ipermediati - 37



Sottocampionamento: crominanza 8x



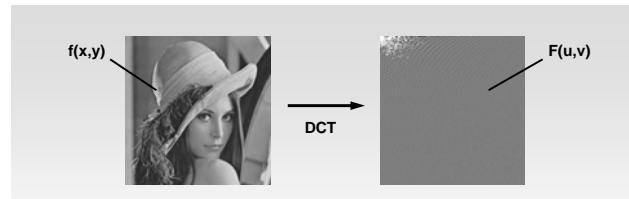
Sistemi Ipermediati - 38



Discrete Cosine Transform (1)

Ad ogni blocco 8x8 viene applicata la [trasformata coseno discreta \(DCT\)](#) che scomponete il segnale in entrata in tutte le sue componenti.

Ogni coefficiente della trasformata DCT esprime il peso della relativa frequenza nell'immagine.



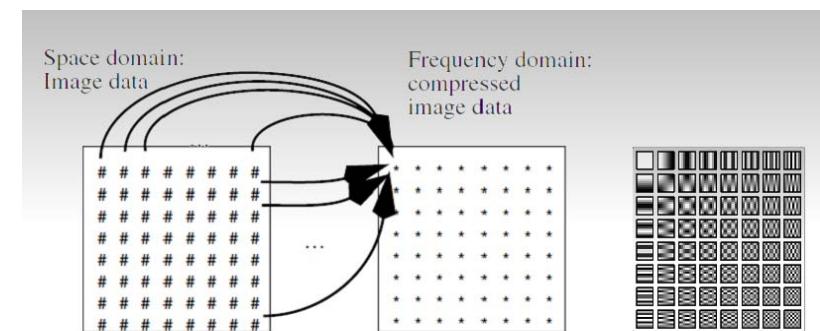
$$F(u, v) = \alpha(u)\alpha(v) \sum_{x=0}^N \sum_{y=0}^N f(x, y) \cos\left[\frac{\pi(2x+1)u}{2N}\right] \cos\left[\frac{\pi(2y+1)v}{2N}\right]$$

Sistemi Ipermediati - 39



Discrete Cosine Transform (2)

L'elemento (0,0) contiene il colore predominante.



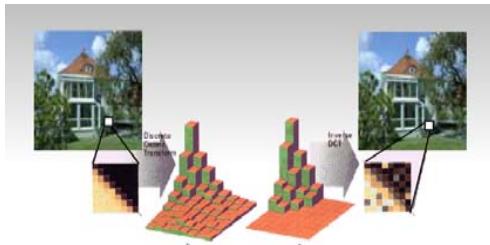
Sistemi Ipermediati - 40



Quantizzazione (1)

La trasformata coseno è invertibile, quindi l'immagine originale può essere ricostruita

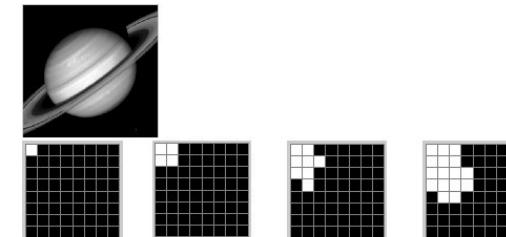
- la quantizzazione dei coefficienti DCT causa il degrado dell'immagine ricostruita



DCT Coefficients	Quantized coefficients	Quantization table
150 80 40 14 4 2 1 0	150 80 20 4 1 0 0 0	1 1 2 4 8 16 32 64
92 75 36 10 6 1 0 0	92 75 18 3 1 0 0 0	1 1 2 4 8 16 32 64
52 38 26 8 7 4 0 0	26 19 13 2 1 0 0 0	2 2 2 4 8 16 32 64
12 8 6 4 2 1 0 0	3 2 2 1 0 0 0 0	4 4 4 4 8 16 32 64
4 3 2 0 0 0 0 0	1 0 0 0 0 0 0 0	8 8 8 8 8 16 32 64
2 2 1 1 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	16 16 16 16 16 16 32 64
1 1 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	32 32 32 32 32 32 32 64
0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	64 64 64 64 64 64 64 64



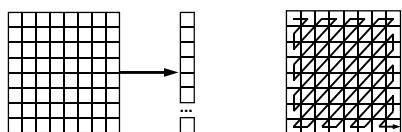
Quantizzazione (2)



Linearizzazione e codifica dei coefficienti DCT

Le frequenze più alte rappresentano dettagli dell'immagine che possono essere soppressi senza perdita apprezzabile di informazioni

- la matrice 8x8 dei coefficienti DCT viene linearizzata con una scansione a zig-zag
- i coefficienti delle frequenze più alte sono trascurabili o nulli
- si possono adottare tecniche di compressione RLE



Modalità di compressione JPEG

La compressione JPEG prevede quattro modalità di codifica

- codifica *sequenziale*: ogni immagine è codificata in una sola scansione dall'alto in basso e da sinistra a destra
- codifica *lossless*: non utilizza DCT ma tecniche predittive. Ogni punto è rappresentato come differenza rispetto ad un valore atteso come funzione dei punti adiacenti



Modalità di compressione JPEG

La compressione JPEG prevede quattro modalità di codifica

- codifica *sequenziale*: ogni immagine è codificata in una sola scansione dall'alto in basso e da sinistra a destra
- codifica *lossless*: non utilizza DCT ma tecniche predittive. Ogni punto è rappresentato come differenza rispetto ad un valore atteso come funzione dei punti adiacenti
- codifica *progressiva*: permette di visualizzare l'immagine con bassa qualità all'inizio e con qualità crescente durante il procedere della visualizzazione



JPEG Progressive

Possono essere realizzate secondo uno dei due algoritmi che seguono:

Selezione spettrale:

- Scan 1: codifica gli elementi DC + pochi AC (esempio: AC1, AC2)
- Scan 2: codifica alcuni degli AC rimanenti (esempio: AC3, AC4, AC5)
- ...
- Scan k: codifica gli ultimi AC rimanenti (Esempio: AC61, AC62, AC63)

Approssimazioni successive:

- Scan 1: codifica pochi bit più significativi (MSB), per esempio bit 7, 6, 5, e 4
- Scan 2: codifica alcuni dei bit rimanente, per esempio il bit 3
- ...
- Scan k: codifica il bit meno significativo, cioè il bit 0



Modalità di compressione JPEG

La compressione JPEG prevede quattro modalità di codifica

- codifica *sequenziale*: ogni immagine è codificata in una sola scansione dall'alto in basso e da sinistra a destra
- codifica *lossless*: non utilizza DCT ma tecniche predittive. Ogni punto è rappresentato come differenza rispetto ad un valore atteso come funzione dei punti adiacenti
- codifica *progressiva*: permette di visualizzare l'immagine con bassa qualità all'inizio e con qualità crescente durante il procedere della visualizzazione
- codifica *gerarchica*: l'immagine è sottocampionata e codificata JPEG, in seguito vengono codificate le differenze tra l'immagine ricostruita e l'immagine originale



Algoritmo per JPEG Gerarchiche

- Riduzione della risoluzione dell'immagine di un fattore 2 (f_2) per due volte (f_4)
- Compressione di f_4 secondo uno degli altri metodi JPEG
- Compressione delle differenze tra la codifica f_4 di e f_2 secondo uno degli altri metodi JPEG
- Compressione delle differenze tra la codifica f_2 e l'immagine originale secondo uno degli altri metodi JPEG



JPEG: perché e quando

Immagini fotografiche ricche di colori diversi e sfumature
La precisione nella riproduzione dei dettagli più minuti non è essenziale
Il caricamento e la visualizzazione possono essere progressivi
E' possibile regolare la qualità sia per la visualizzazione sia per la stampa
E' lo standard compresso più utilizzato



Caratteristiche principali - 1

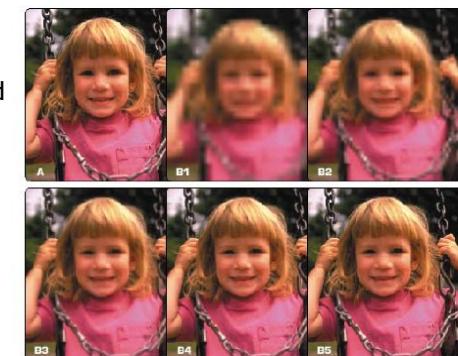
Utilizza la trasformata Discrete Wavelet Transform (DWT) che permette una codifica che supporti la multirisoluzione senza rindondanza di dati e si presta sia a codifiche *lossy* che *lossless*
Supporta bit rate più bassi dello standard JPEG
Supporta differenti modalità di compressione e spazi di colore
Permette fino a 256 canali di informazioni (immagini satellitari)
Supporta la codifica ROI (Region of Interest)
Supporto per trasmissione di dati in ambienti disturbati



JPEG 2000

Rappresenta il nuovo standard di compressione destinato alla distribuzioni di immagini su Web, PDA e cellulari
Non vuole sostituire JPEG ma dare inizio ad una graduale transizione (per ora richiede un plug-in specifico)

Particolarmente orientato alla trasmissione:
un'immagine di 34,6 KB ad una velocità di trasmissione di 19,2 Kbps richiede 14,4 s per il download.
JPEG 2000 rende l'immagine visibile dopo soli 1,2 s



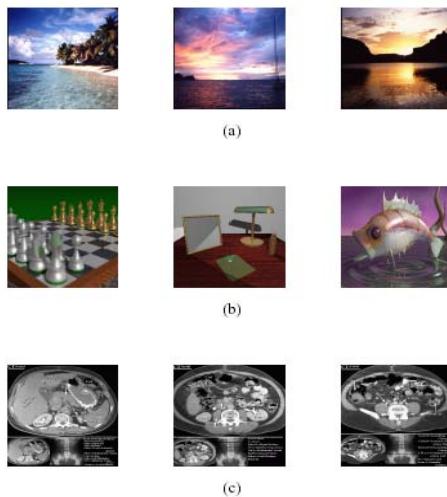
Caratteristiche principali - 2

È uno standard aperto a successive implementazioni che permette l'introduzione di metadati nello spazio di intestazione del file
Supporto per immagini più grandi di 64kx64k pixel (> 4GB)
Lavora bene sia con immagini naturali che artificiali
Supporto per Watermarking (diritti d'autore)
Permette due modalità di compressione:

- DCT: solo per permettere la compatibilità con lo standard JPEG
- Wavelet: permette le nuove funzionalità



Esempi



Test images used for JPEG/JPEG2000 performance evaluation (a): Natural images. (b): Computer generated images. (c): Medical images.

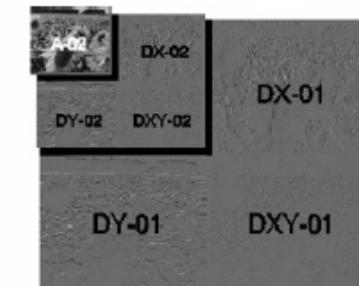
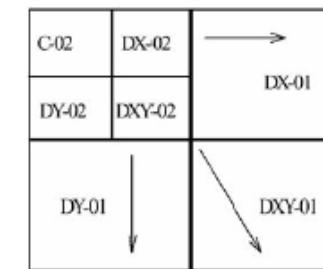
Sistemi Ipermediati - 53



Discrete Wavelet Transform

Ogni componente colore dell'immagine viene elaborata separatamente, producendo 4 regioni (*tile*), in modo che ogni tile sia alta e larga metà dell'immagine. Lo stesso procedimento viene ripetuto più volte.

Sul primo quadrante sono memorizzate le basse frequenze, sugli altri le alte



Sistemi Ipermediati - 54

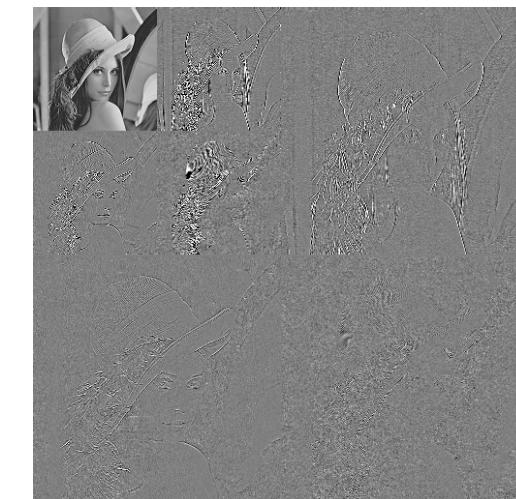
Decomposizione wavelet



Sistemi Ipermediati - 55



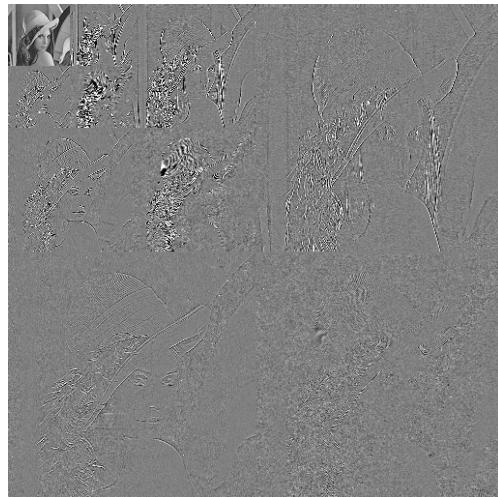
Decomposizione wavelet



Sistemi Ipermediati - 56



Decomposizione wavelet

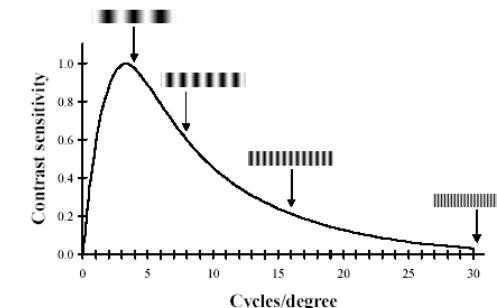


Sistemi Ipermediati - 57



Quantizzazione JPEG2000

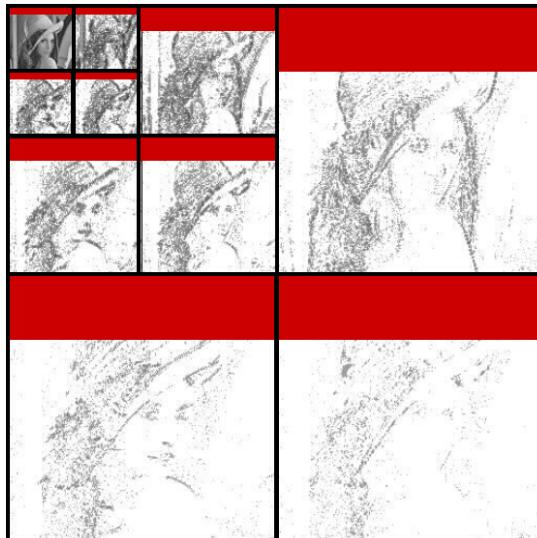
È possibile tracciare un grafico della sensibilità dell'occhio umano alla variazione di contrasto. I coefficienti di quantizzazione vengono definiti in base alla sensibilità verso la sottobanda a cui si applicano.



Sistemi Ipermediati - 58



Decodifica e accesso casuale



Sistemi Ipermediati - 59



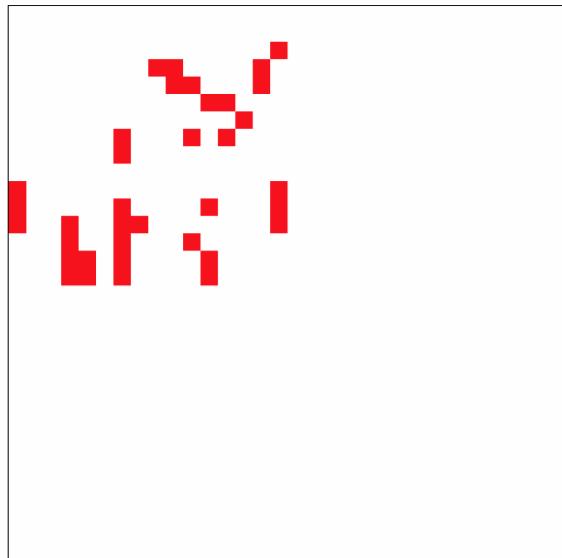
Decodifica



Sistemi Ipermediati - 60



Decodifica



Sistemi Ipermediari - 61



Decodifica



Sistemi Ipermediari - 62



Decodifica



Sistemi Ipermediari - 63



Decodifica



Sistemi Ipermediari - 64



Decodifica



Sistemi Ipermediari - 65



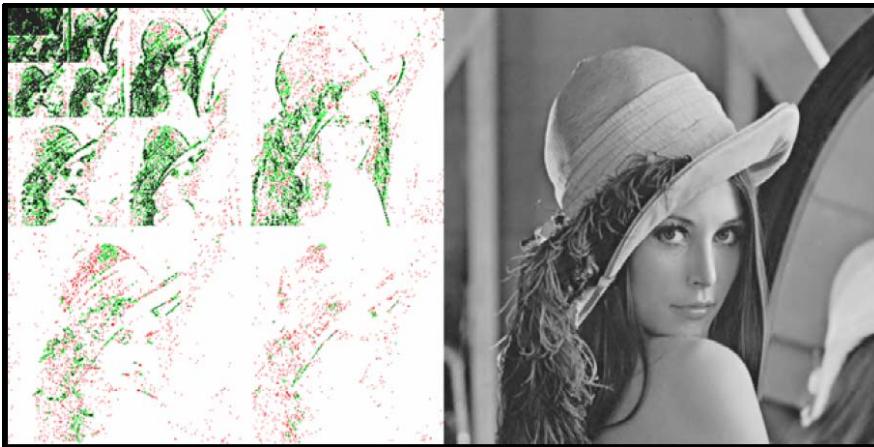
Decodifica



Sistemi Ipermediari - 66



Decodifica



Sistemi Ipermediari - 67



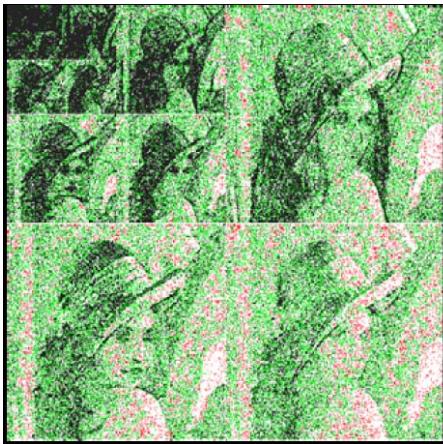
Decodifica



Sistemi Ipermediari - 68



Decodifica



Sistemi Ipermediati - 69



ROI: Region of Interest

È una tecnica particolare che permette di isolare una regione di interesse da codificare con maggiore qualità rispetto al resto che di solito si identifica con il background

Il metodo si chiama MAXSHIFT e consiste nello scalare i coefficienti relativi alla ROI in modo che si trovino su bitplanes più alti

Sistemi Ipermediati - 71

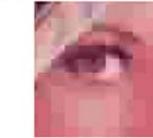
JPEG vs JPEG2000



Interest



International Standard ISO/IEC 15444-1



International Standard ISO/IEC 15444-1



International Standard ISO/IEC 15444-1



Sistemi Ipermediati - 70



ROI: esempio



International Standard ISO/IEC 15444-1



International Standard ISO/IEC 15444-1



Sistemi Ipermediati - 72

Tolleranza agli errori (1)

Bit error rate = 10^{-5}



JPEG 16:1 CR



JPEG 2000 16:1 CR

Tolleranza agli errori (2)

Bit error rate = 10^{-4}



JPEG 16:1 CR



JPEG 2000 16:1 CR

Sistemi Ipermediati - 73



Sistemi Ipermediati - 74

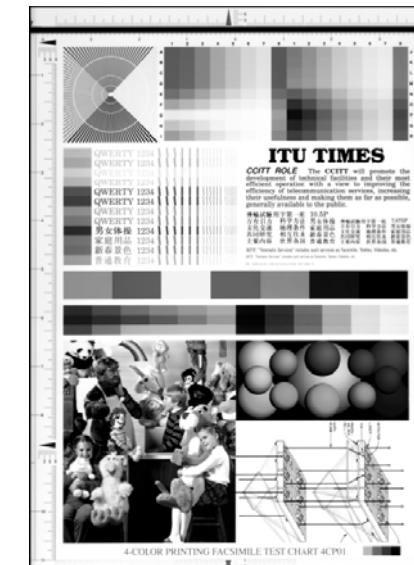


JPEG2000: immagini di test (1)



Sistemi Ipermediati - 75

JPEG2000: immagini di test (2)



Sistemi Ipermediati - 76

Dear Pam,

I was delighted to hear from you last week. Patti and I had a wonderful time during our week-long summer vacation. The weather was excellent, and the food was absolutely exquisite. I hope that we can repeat this next year and that you will join us too.

We came back with a lot of fantastic memories, which we would like to share with you through some snapshots that we took.

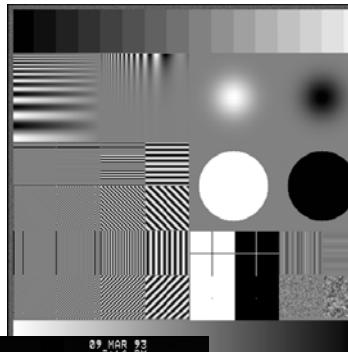
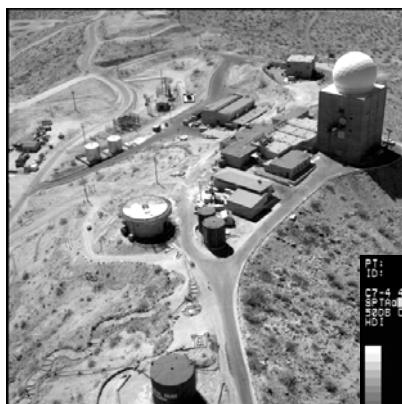
Summer of 1994.



Our favorite is this picture of us aboard the "Top Hat", which I have pasted into this letter using some really neat advanced digital imaging technology on my home computer. We will ship the rest to you or a CD-ROM soon. Wishing you the best.

Love,
Susan

JPEG2000: immagini di test (3)



Sistemi Ipermediati - 77

Materiale didattico Jpeg2000

Sito ufficiale:

- <http://www.jpeg.org/>

Articoli su:

- www.lithium.it

Altro

- <http://www.di.uniba.it/~laura/JPEG2000/JPEG2000.htm>
- <http://www.dmi.unisa.it/people/nappi/www/ip/lezione10.pdf>

Le immagini vettoriali

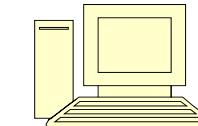
Le immagini pittoriche sono rappresentate come matrici di punti (*pixel*); ad ogni pixel è associato un colore

Le immagini vettoriali sono descritte mediante *formule geometriche* (linee, curve, poligoni...) che definiscono le *forme*, i *riempimenti di colore* e il *posizionamento* da un punto di vista prettamente matematico

Le immagini pittoriche devono essere acquisite, le immagini artificiali sono il risultato di elaborazioni dell'elaboratore

Sistemi Ipermediati - 79

Esempi



Sistemi Ipermediati - 80



Caratteristiche delle immagini vettoriali

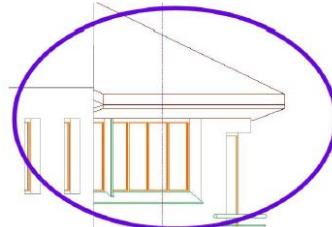
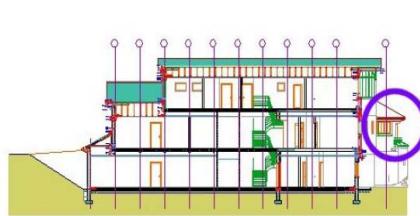
Alta precisione per i disegni dettagliati

La qualità non dipende dalla dimensione dei pixel

Dimensione compatta

Ingrandimento di dettagli senza perdita di qualità (*scalabilità*)

Possono essere facilmente manipolate



Immagini vettoriali: perché e quando

Nella grafica e nella stampa pubblicitaria perché facilmente manipolabile e scalabile

Nella progettazione edile e urbanistica, nonché nella progettazione industriale (grafica 3D)

Nella tipografia (descrizione dei caratteri)

Nell'animazione (videogiochi)



[<http://www.redstudio.it/>]

