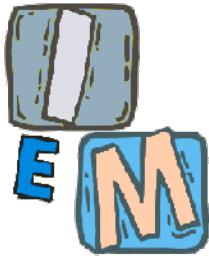


# Elaborazione delle Immagini

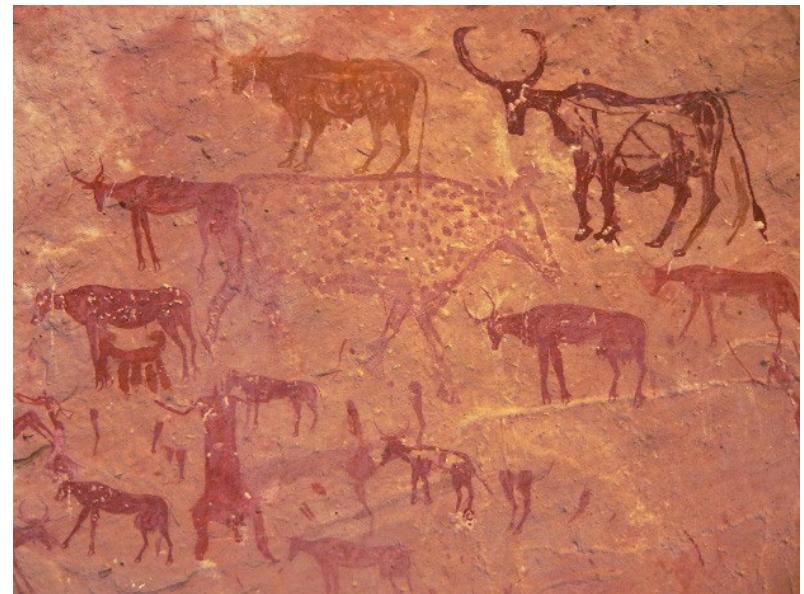


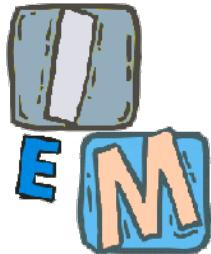
# Ruolo culturale delle immagini

“Una immagine vale mille parole...”



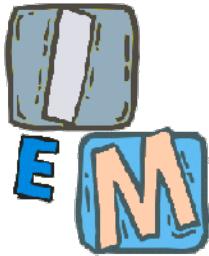
“Il linguaggio delle immagini è stato dell'uomo sin dalle sue origini, il linguaggio scritto lo è solo da pochi millenni”





# La comunicazione visuale è la forma più immediata ed efficace di comunicazione

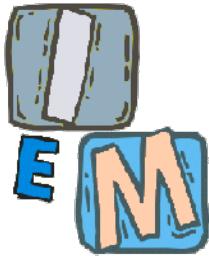




# Ruolo culturale delle immagini

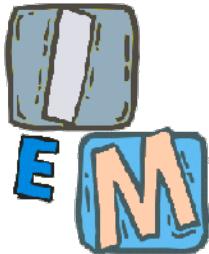
“Una immagine vale mille parole...”

«... Solo che occupa più spazio!»



# Le immagini

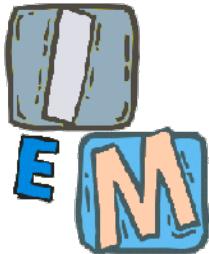
- Siamo circondati da immagini
- L'occhio interpreta l'immagine facendo sì che il colore, il movimento e la profondità diventino delle vere e proprie dimensioni aggiuntive rispetto all'informazione iniziale.
- Le immagini digitali sono campionate per essere rappresentate da un numero finito di campioni... (i dettagli nelle prossime lezioni)



# Prima fotografia non digitale

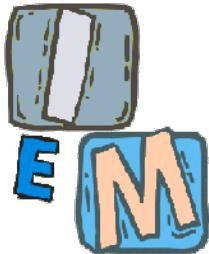
- Ecco il primo documento fotografico della storia (1827).
- Il soggetto è occasionale: un tetto visibile dalla finestra dell'autore, Joseph Nicéphore Niépce (1765-1833). Si intitolava «Punto di vista da una finestra del Gras a Saint-Loup-de-Varenne» (o più brevemente «Vista dalla finestra a Le Gras»).
- La lastra eliografica da lui preparata fu "esposta" per 8 ore.





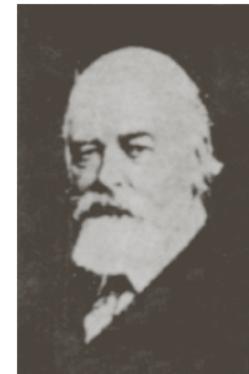
# Un po' di storia delle immagini digitali

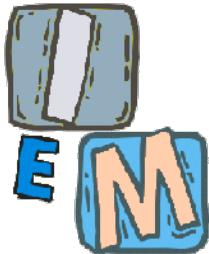
- La prima applicazione di immagine digitale si ha nelle stampe dei quotidiani.
- Nel 1920 una immagine viene trasmessa via cavo tra New York e Londra al fine di comparire su un quotidiano.
- Il protocollo di trasmissione è specifico per l'immagine e il risultato è stampato in halftoning da apposite stampanti.



# Un po' di storia delle immagini digitali

- La stampa in halftoning è utilizzata per molti anni.
- Nel 1922 cambia il tipo distampa e si possono ottenere fino a 5 livelli di grigio.
- Nel 1929 i livelli di grigio diventano 15

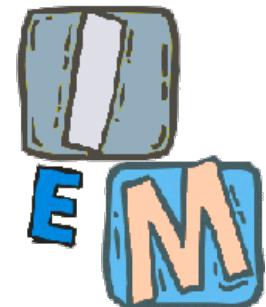




## La prima elaborazione di una immagine digitale

- La prima volta che una immagine viene elaborata al computer è nel 1964, quando un computer della NASA riceve ed elabora un'immagine della luna e ne corregge alcune distorsioni ottiche.

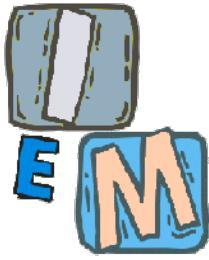




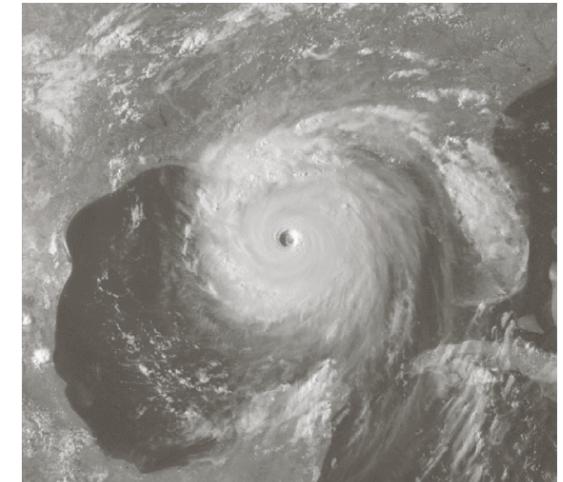
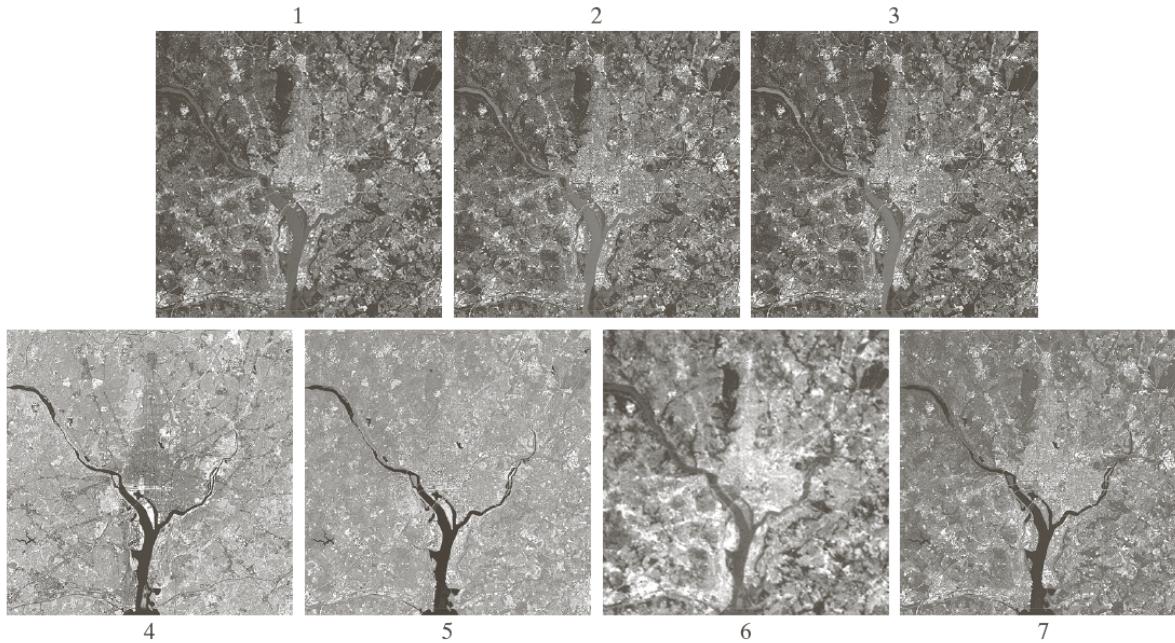
# A cosa serve elaborare una immagine digitale?

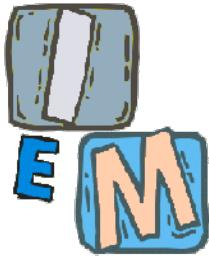
---

Vediamo alcune applicazioni pratiche

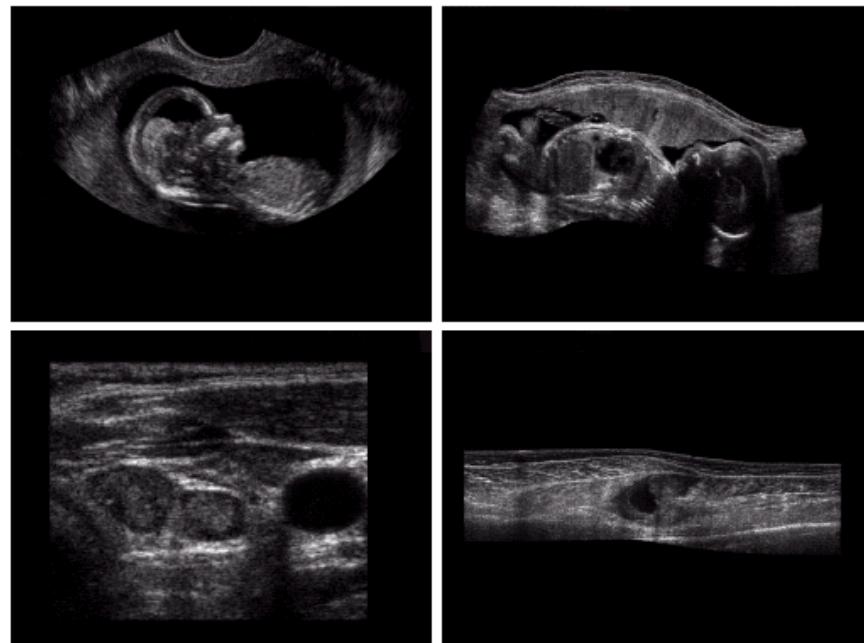
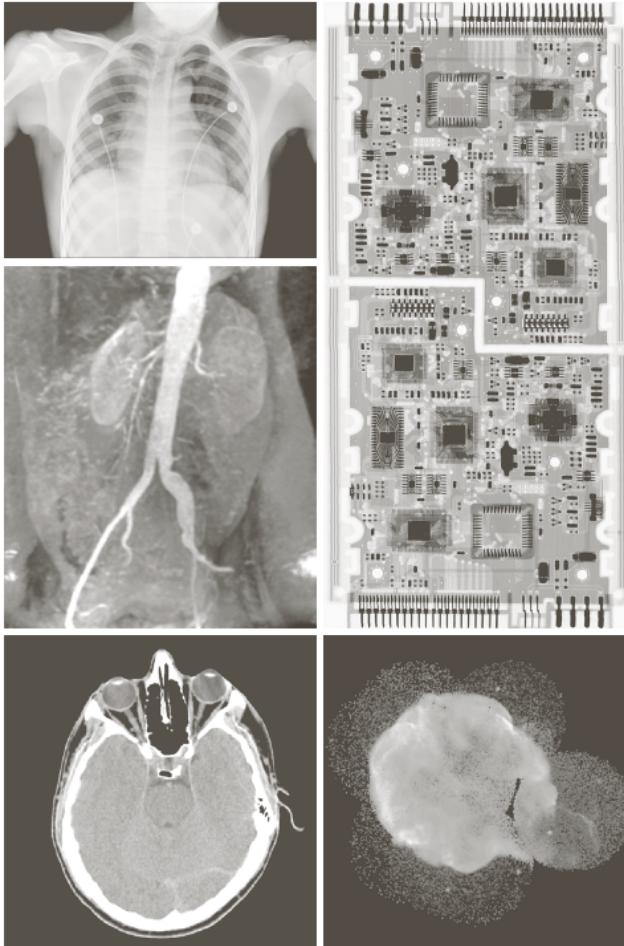


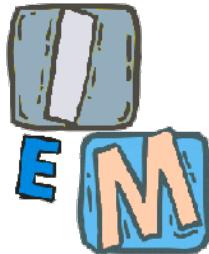
# Dal satellite





# In medicina





# Per le forze dell'ordine



5. Loop.



6. Central pocket loop.

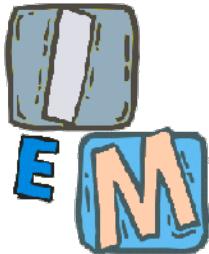


7. Plain whorl.

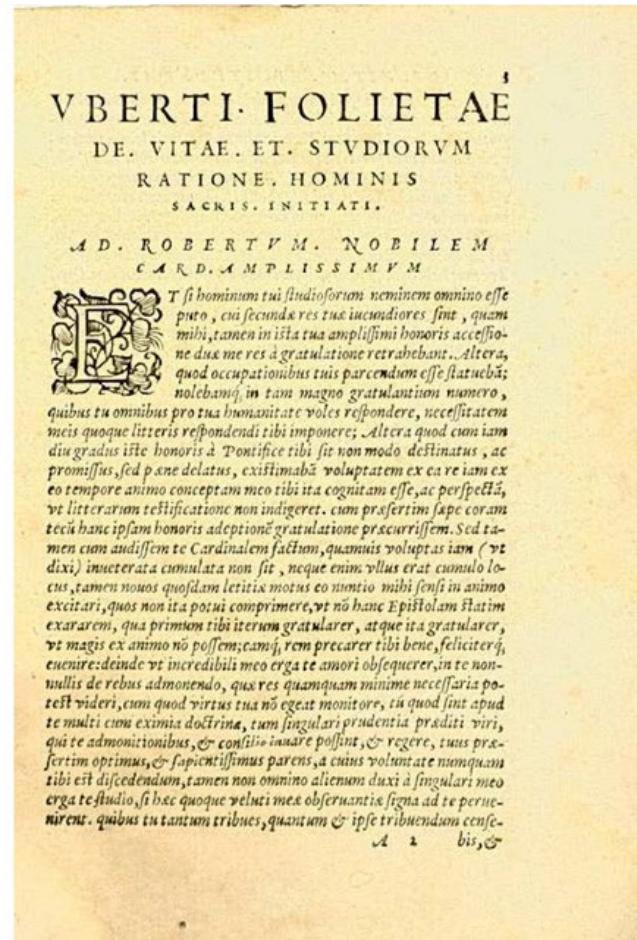
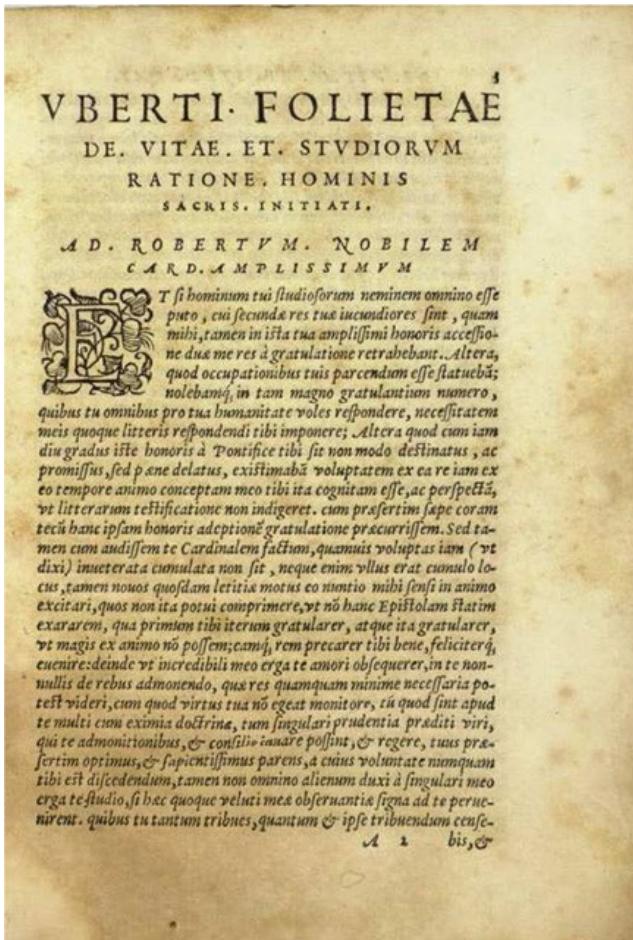


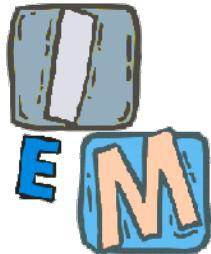
8. Double loop.



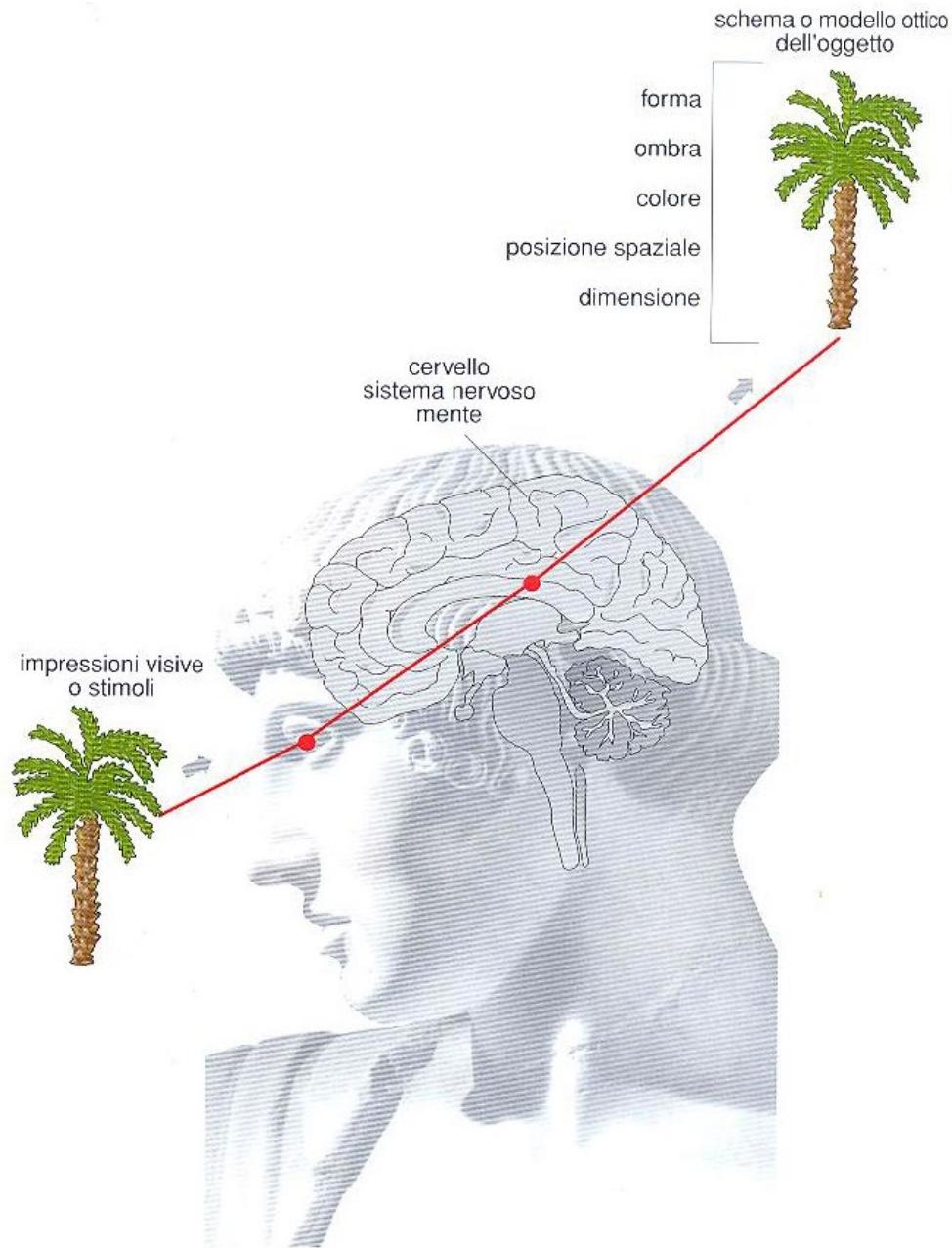


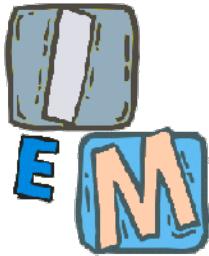
# Per i beni culturali





L'occhio «vede» ma è il cervello che elabora le immagini.

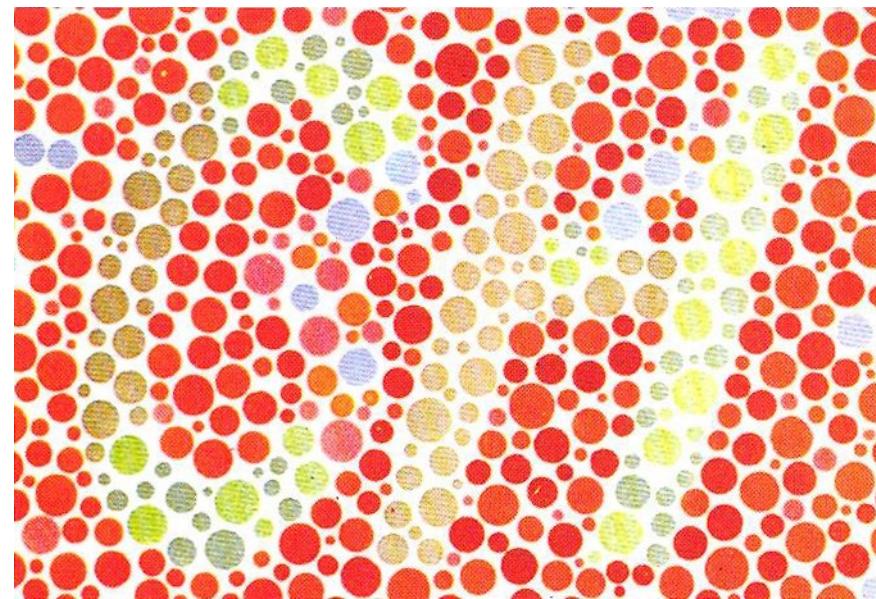




# Le leggi della percezione visiva

Il nostro modo di reagire agli stimoli visivi e formare immagini è soggettivo. Per esempio, non tutti gli individui hanno la stessa sensibilità alle differenze cromatiche.

Ad esempio i daltonici non riescono a distinguere le lettere CH nell'immagine qui sotto.

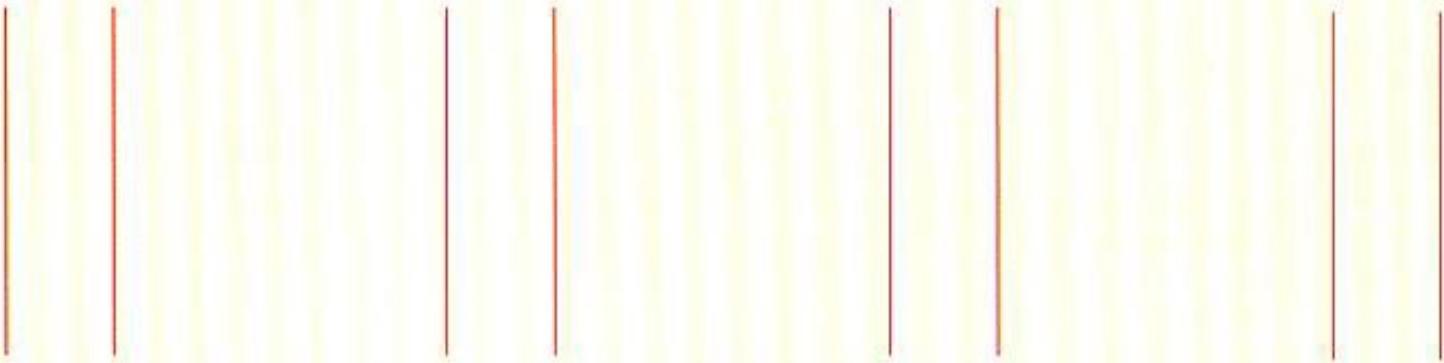




# Le leggi della percezione visiva

## 1. LEGGE DELLA VICINANZA

Le parti più vicine di un insieme entrato nel nostro campo visivo tendono a essere percepite come raggruppate in unità. Nell'esempio in figura i segmenti verticali non sono percepiti uno a uno ma accoppiati, due a due.

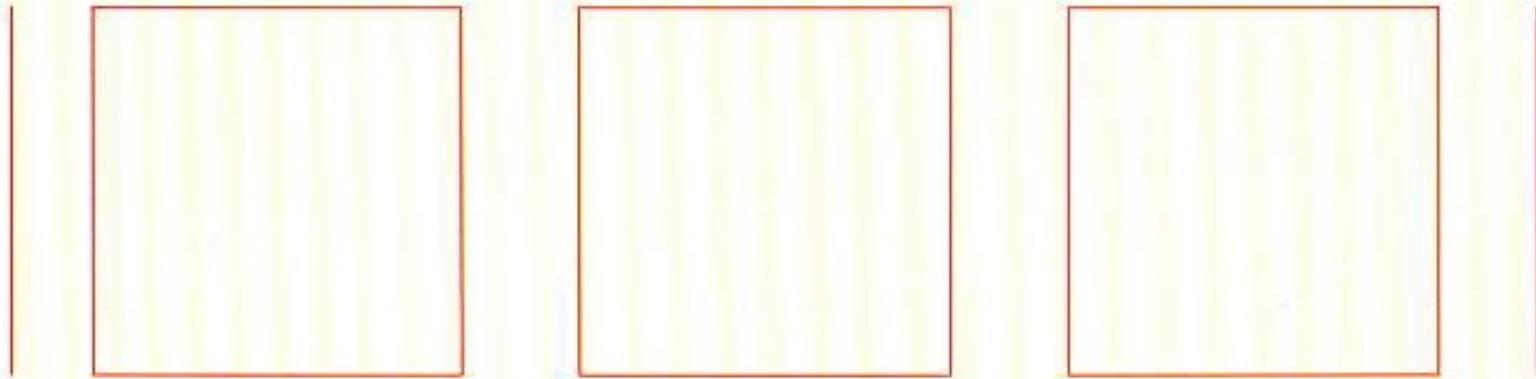




# Le leggi della percezione visiva

## 2. LEGGE DELLA CHIUSURA

Le figure chiuse si vedono più facilmente di quelle aperte e tendono a prevalere su di esse. Nell'esempio in figura i segmenti sono stati uniti orizzontalmente e li percepiamo come quadrati. Triangoli, quadrati, cerchi, sono forme chiuse semplici e unitarie che si impongono facilmente alla nostra visione.



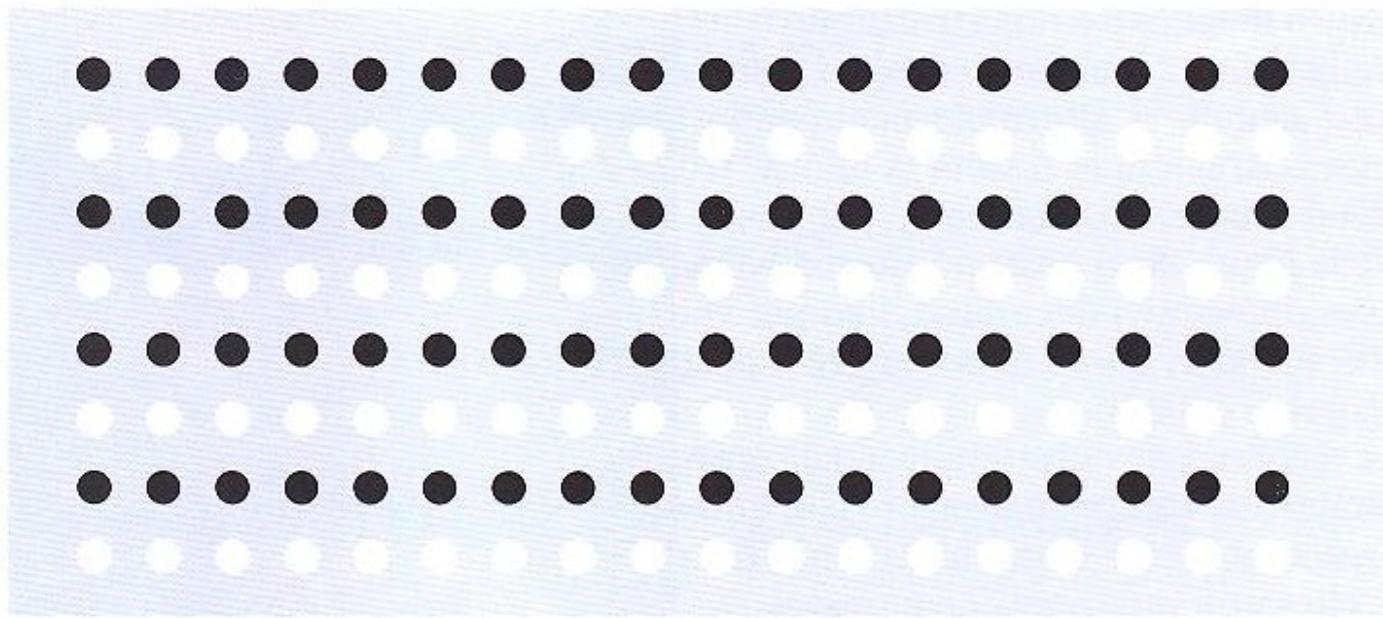


# Le leggi della percezione visiva

## 3. LEGGE DELL'UGUAGLIANZA (O DELLA SOMIGLIANZA)

Elementi uguali, o che si assomigliano, vengono percepiti insieme.

I punti neri e i punti bianchi della figura a fianco si uniscono in strutture e tendiamo a vederli come linee orizzontali di punti neri e di punti bianchi.





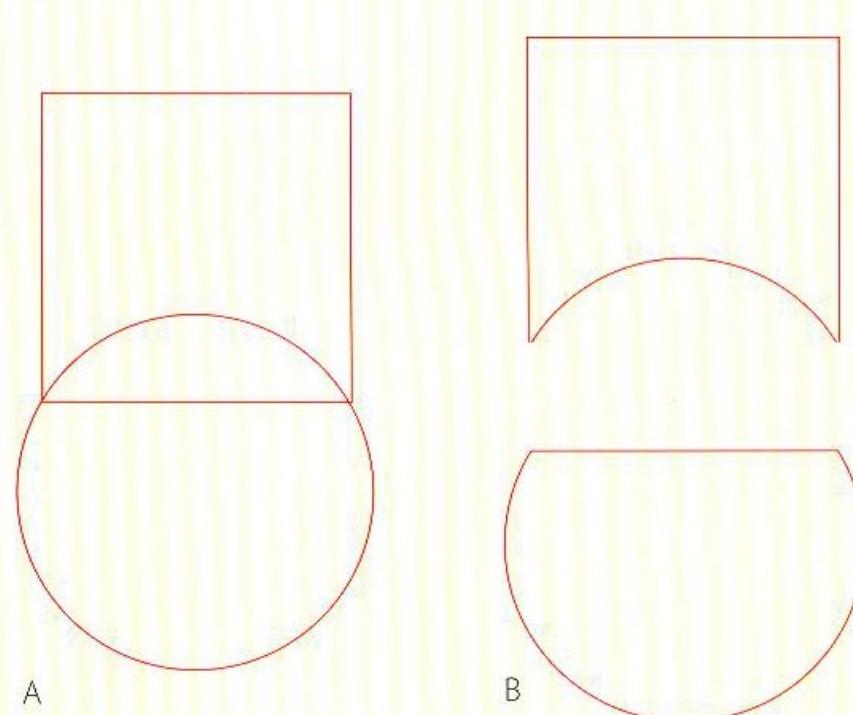
# Le leggi della percezione visiva

## 4. LEGGE DELLA CONTINUITÀ

Un insieme di punti posti uno di seguito all'altro in una determinata direzione vengono percepiti come una struttura unitaria.

Per lo stesso motivo, quando si uniscono o sovrappongono forme diverse continuiamo a vederle distinte.

Nella figura il cerchio e il quadrato vengono percepiti come figure complete e non come mancanti di qualche parte.

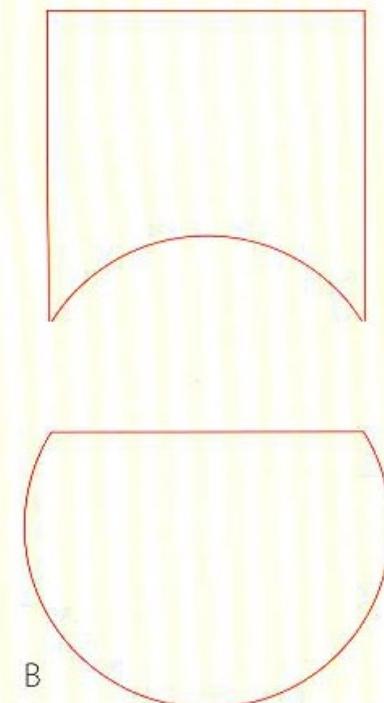
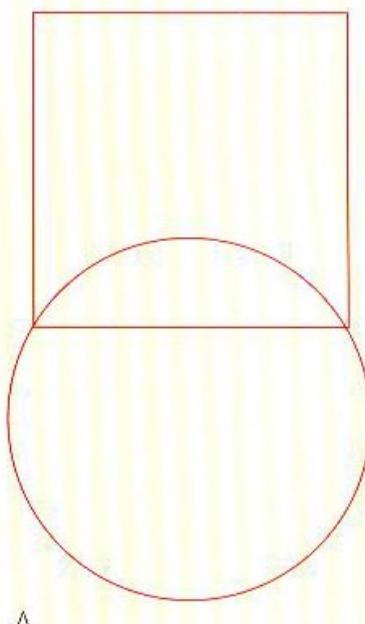


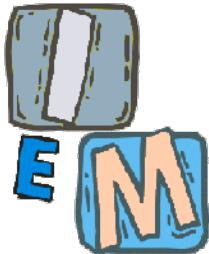


# Le leggi della percezione visiva

## 5. LEGGE DELLA BUONA FORMA

Figure diverse, quando si uniscono, finiscono per avere ciascuna la propria forma, anche se in realtà questa non compare. Quando le figure di B vengono unite come in A, vengono percepite come un cerchio e un quadrato sovrapposti.

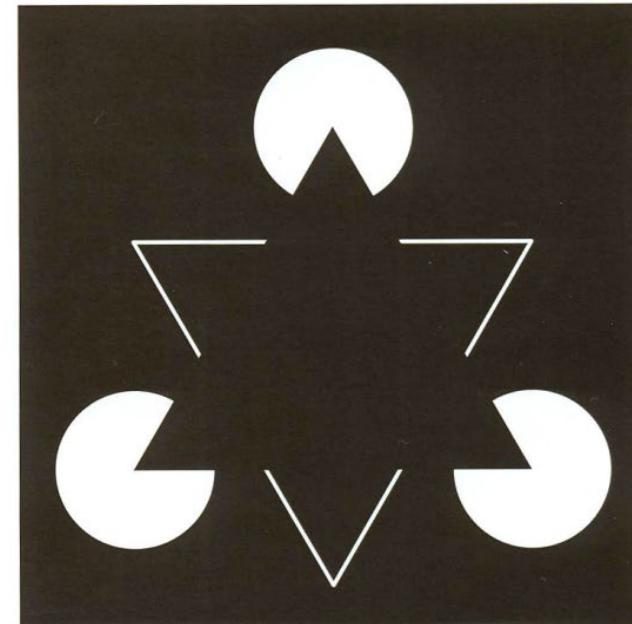
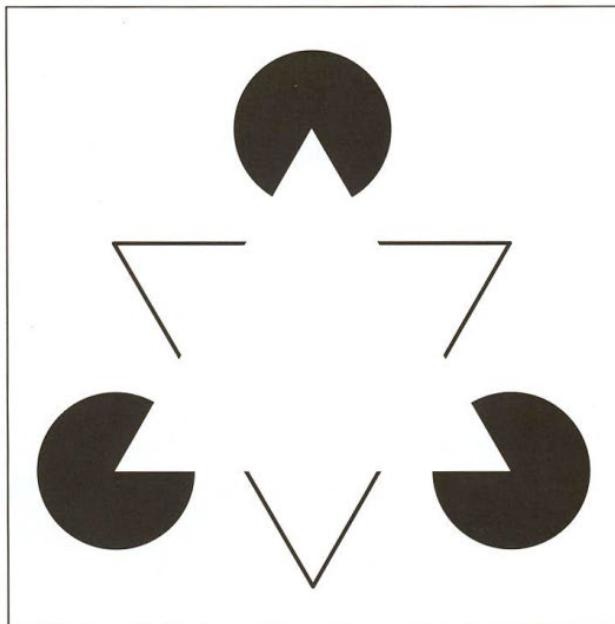




# Le leggi della percezione visiva

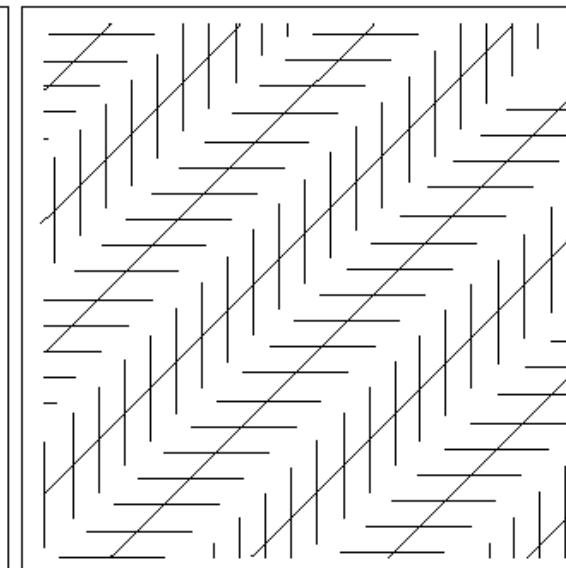
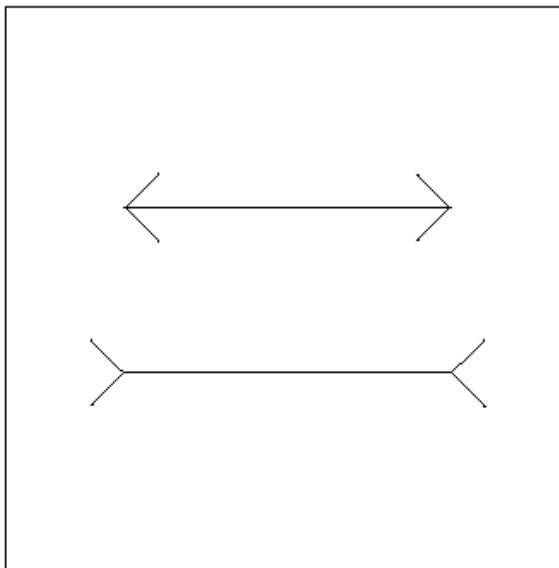
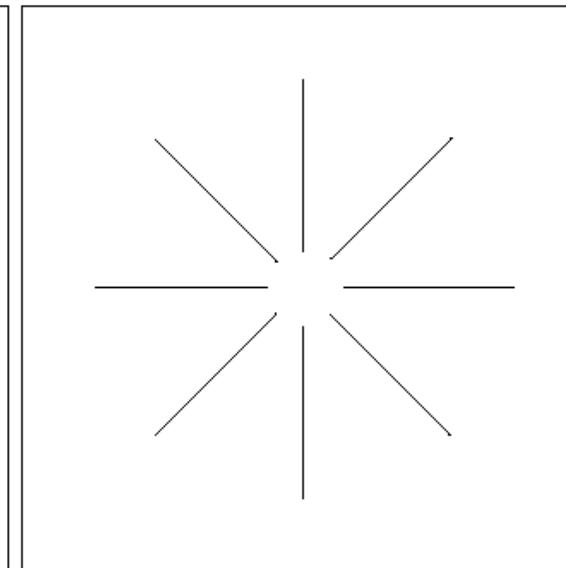
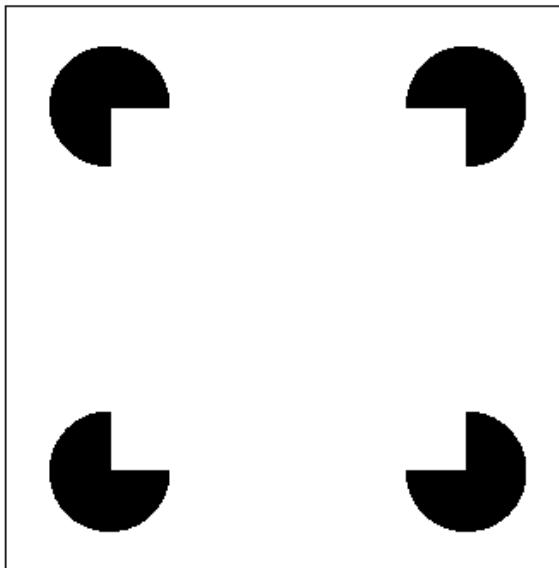
**7.** La mente tende naturalmente a vedere figure chiuse, a completare i contorni interrotti, a percepire spontaneamente forme semplici, regolari, strutture unitarie e compatte.

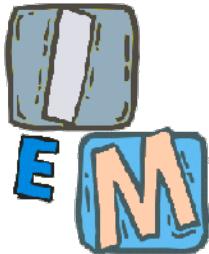
Nelle due figure in basso il triangolo che si forma, in bianco o in nero, è una figura nascosta, un fantasma, cioè un'immagine non reale materialmente, ma illusoria.





# Altre illusioni ottiche



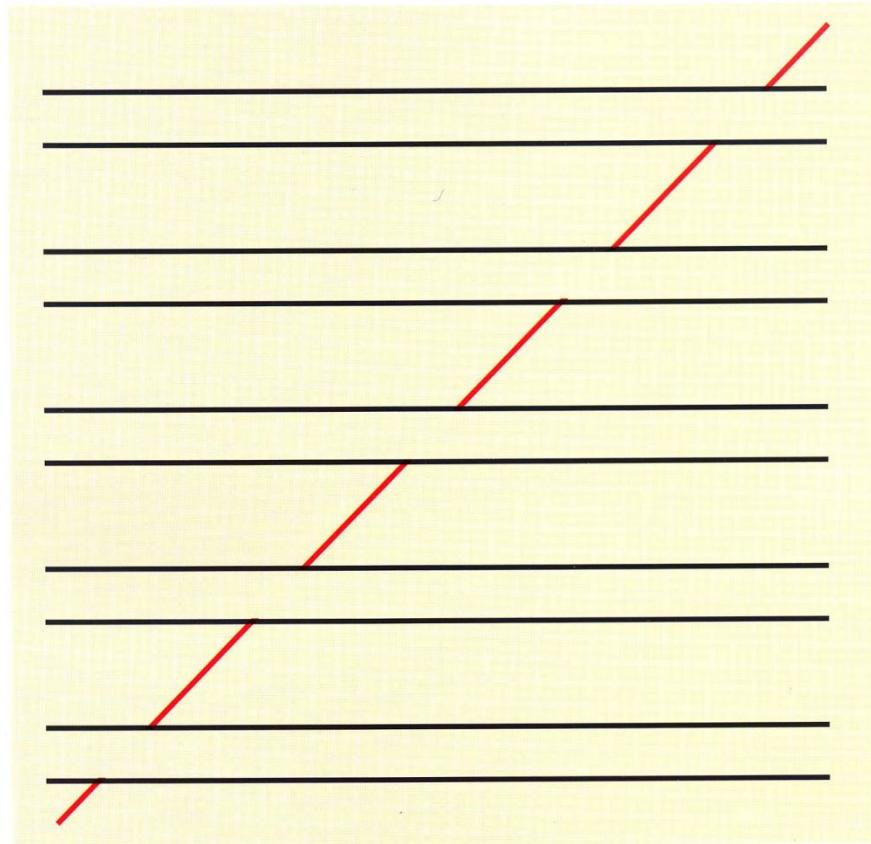


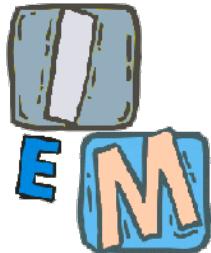
# Le leggi della percezione visiva

Quando disegniamo trasformiamo la percezione dei contorni in linee. Facciamo in modo che nel nostro disegno si riconoscano oggetti reali o immagini coerenti.

Cerchiamo istintivamente di realizzare la buona forma, di dare una direzione e una continuità logiche alle linee che tracciamo, in modo che abbiano un senso per l'osservatore.

Ogni linea è una forma visiva o unità ottica e tende a prolungarsi nella stessa direzione.

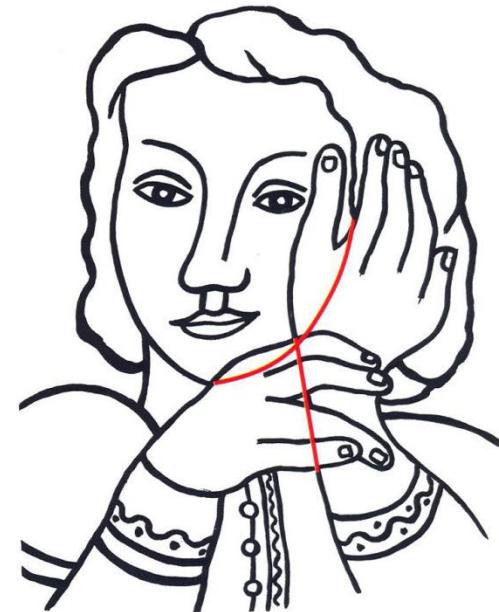


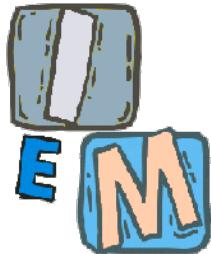


# Le leggi della percezione visiva

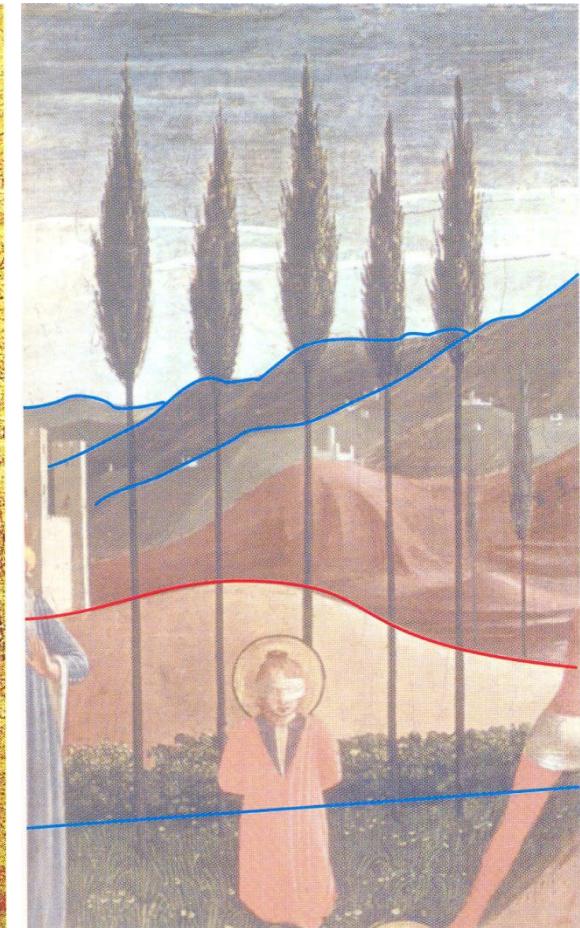


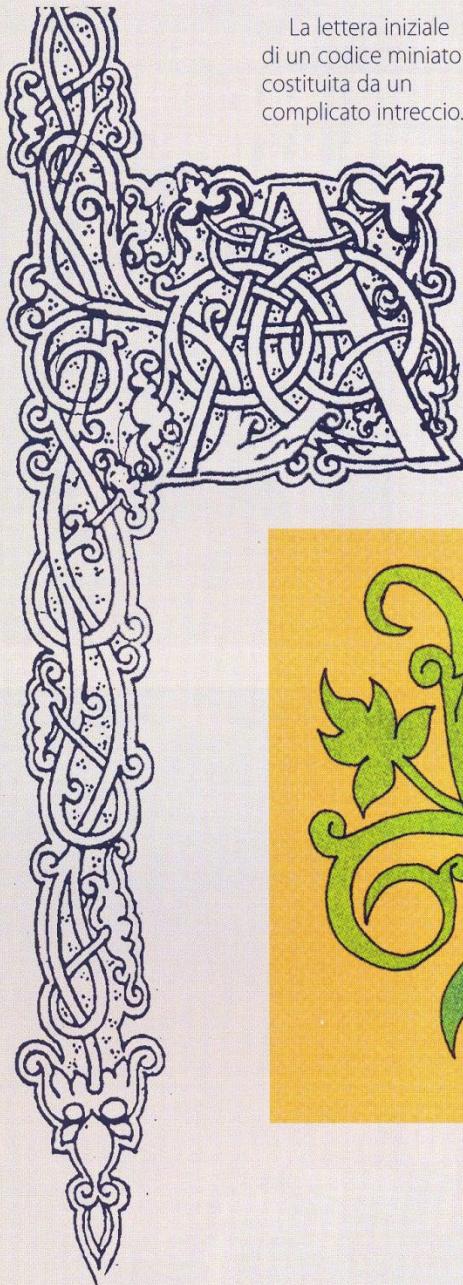
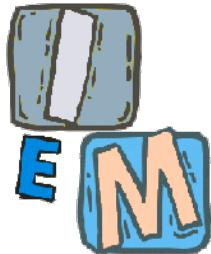
I tratti rossi evidenziano le linee nascoste che percepiamo pur senza vederle.



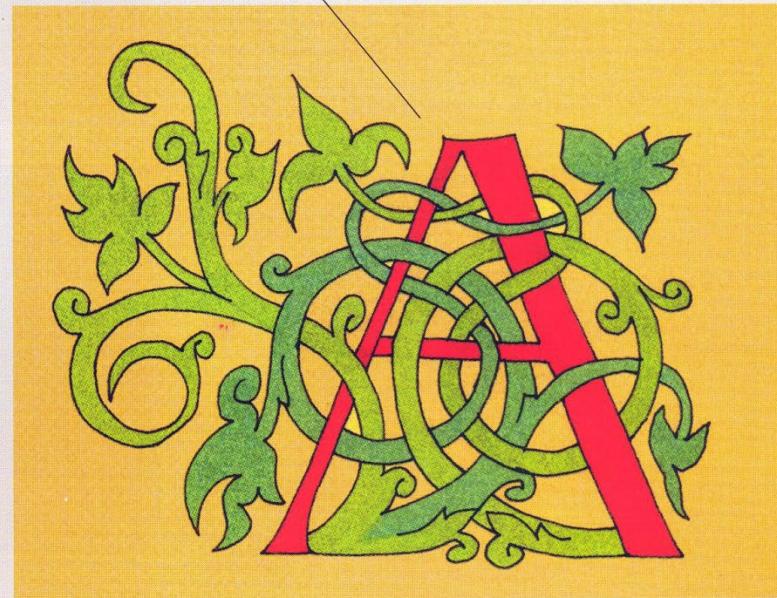


# Pala di San Marco, Beato Angelico

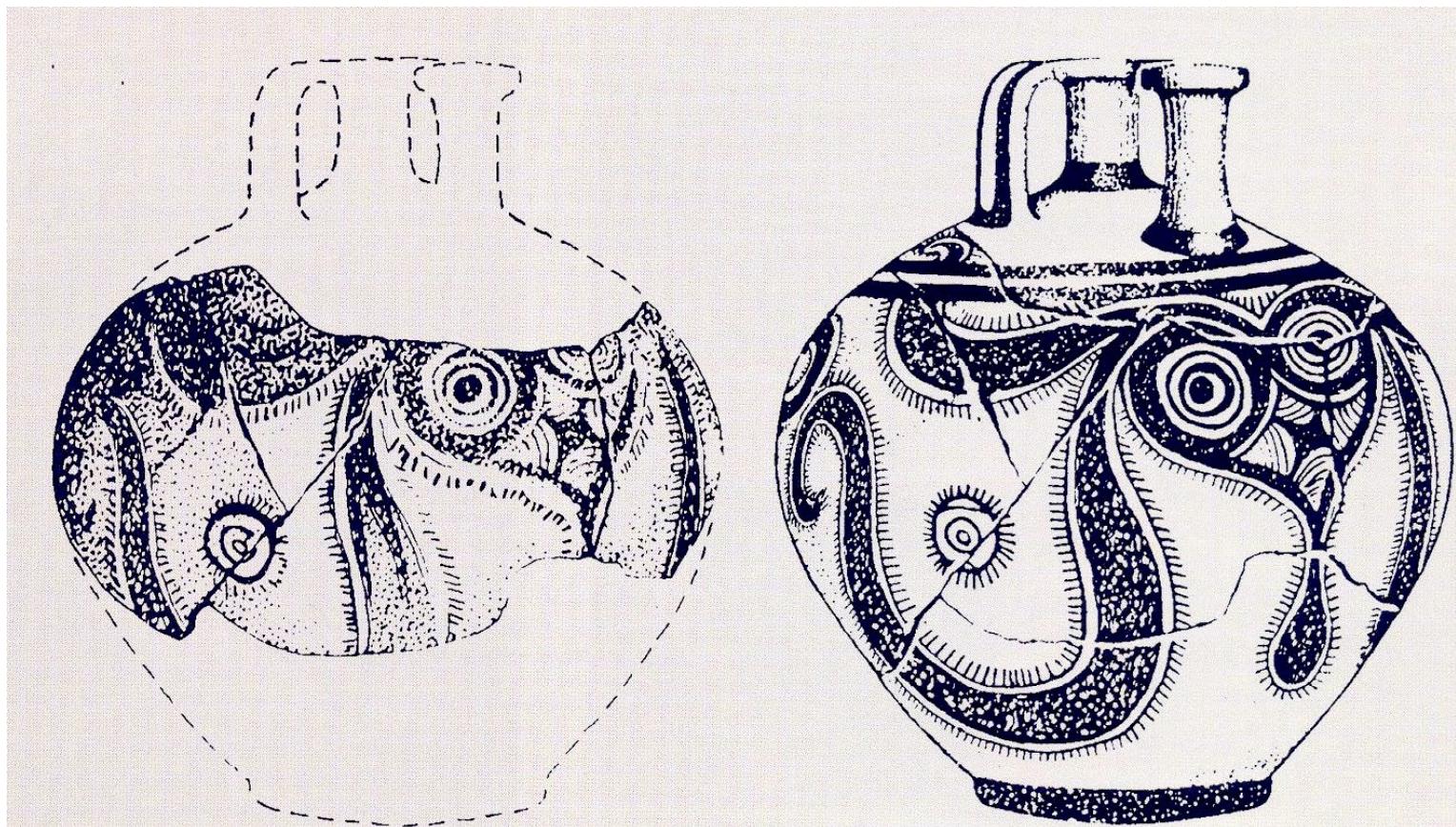




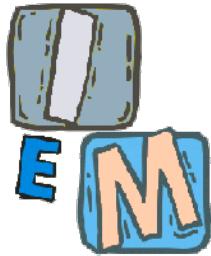
La lettera iniziale  
di un codice miniato è  
costituita da un  
complicato intreccio.



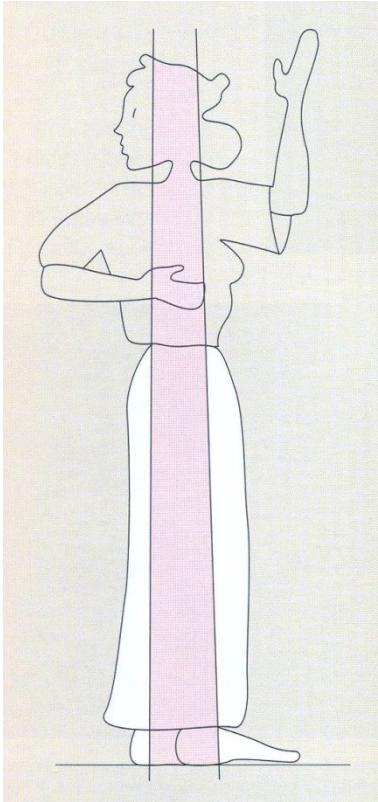
La lettera "A" nello stile  
gotico fiorito dei  
manoscritti miniati.

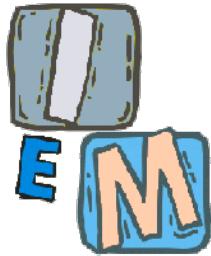


Per la ricostruzione dei vasi antichi i restauratori si basano sulla coerenza delle linee.

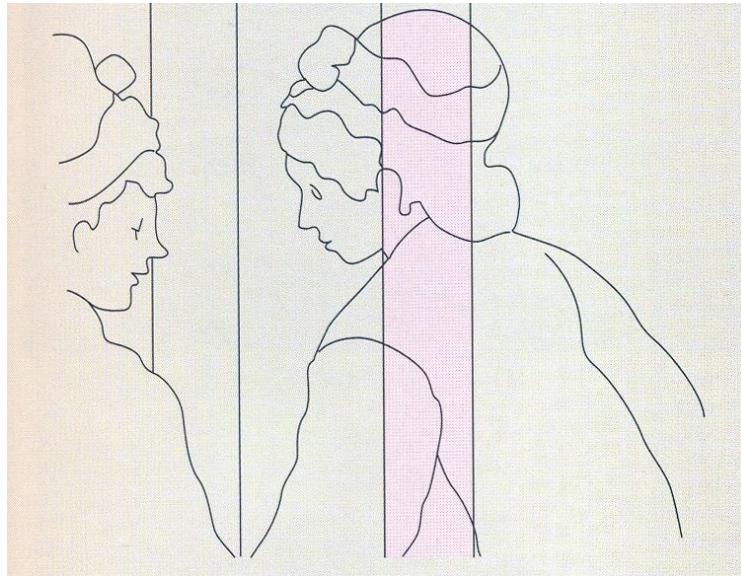


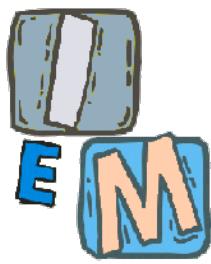
# Dietro o davanti?



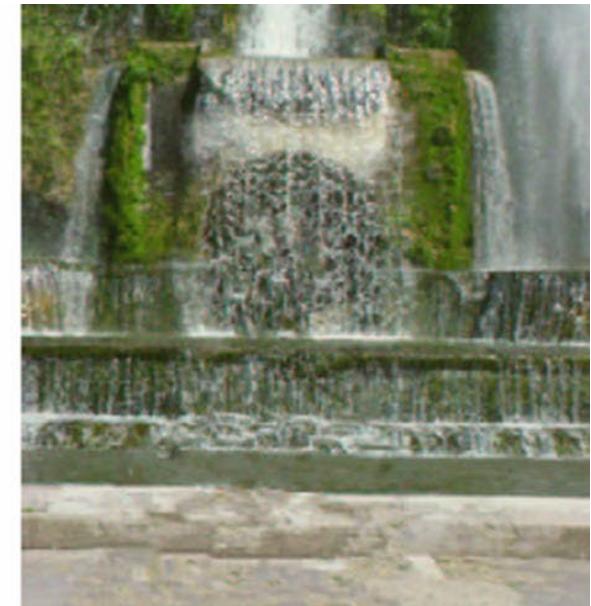
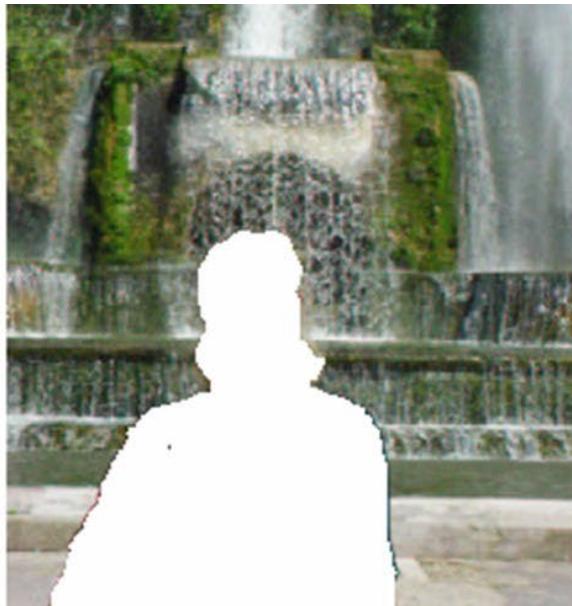


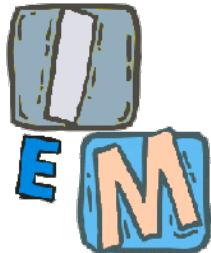
# Dietro e davanti?



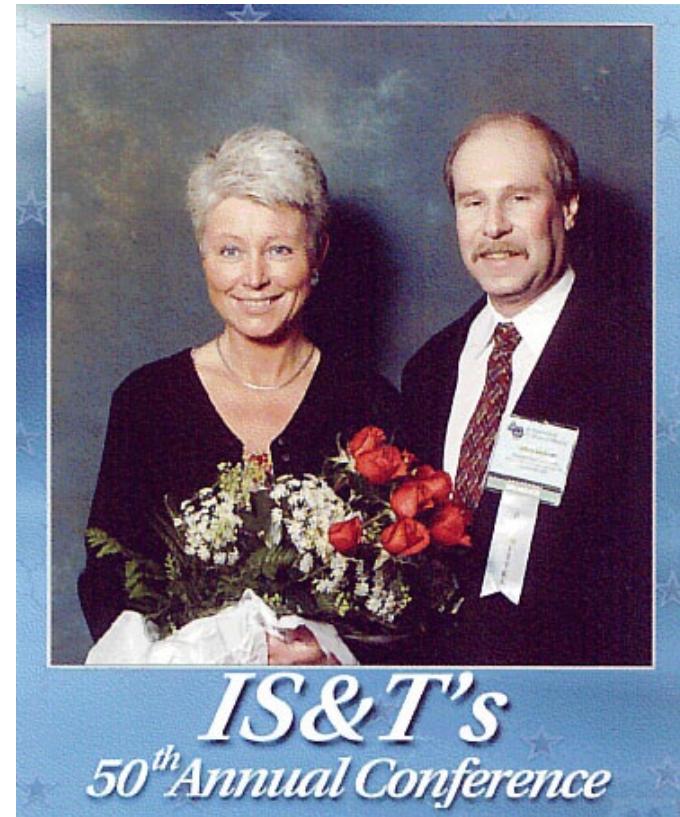


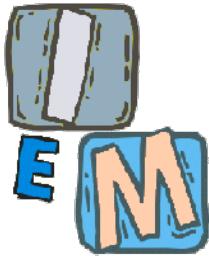
# Inpainting





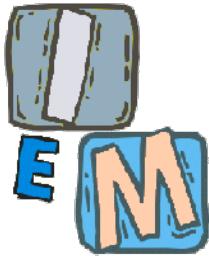
# Prima di andare avanti: Lena o Lenna ([www.lenna.org](http://www.lenna.org))





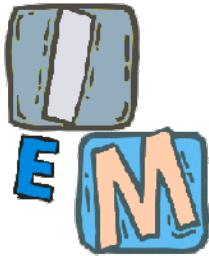
# Intensità percepita

- Poiché le immagini digitali sono rappresentate da un numero finito di intensità, è importante conoscere come l'occhio umano riesca a discriminare tra i diversi livelli di intensità.
- Si è sperimentalmente dimostrato che l'intensità percepita è funzione logaritmica dell'intensità incidente nell'occhio.



# Range dinamico

- Il sistema visivo umano non opera contemporaneamente su tutto il range delle intensità percepite, ma solo su una porzione di esso.
- Inoltre riesce a distinguere in maniera differente se si trova in una zona chiara o in una zona scura.



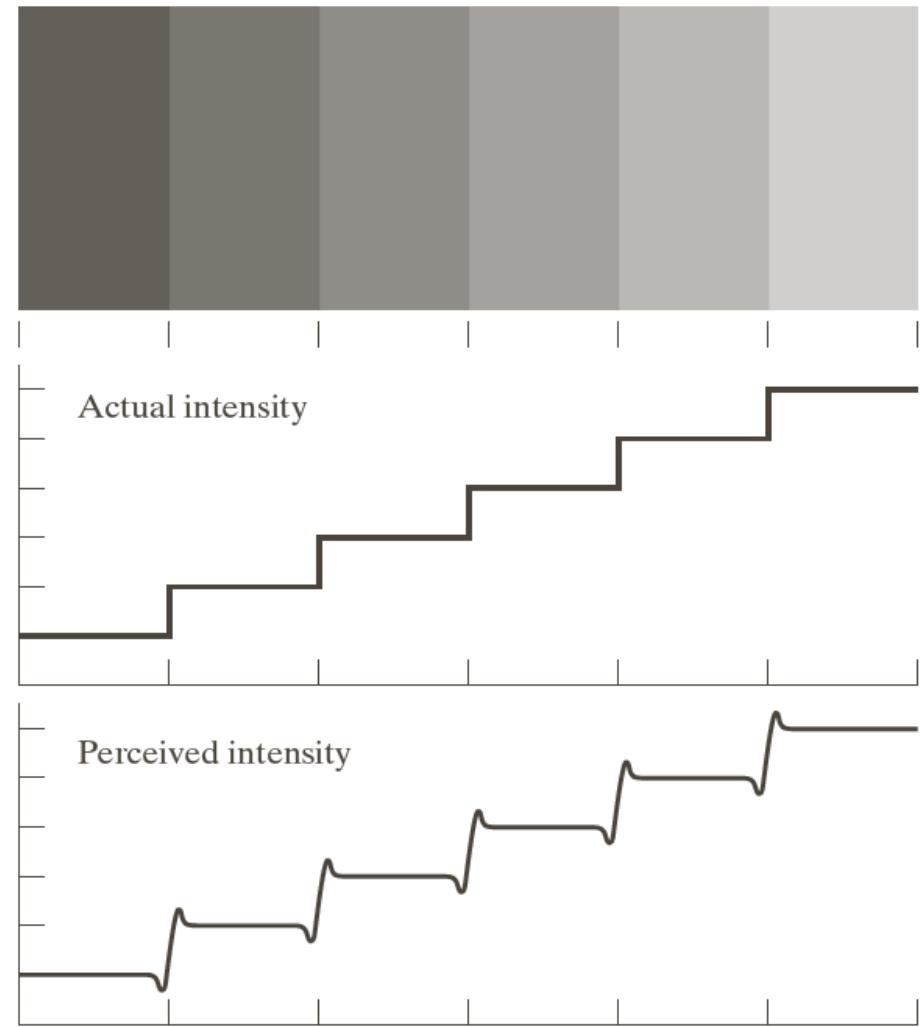
# Illusioni ottiche

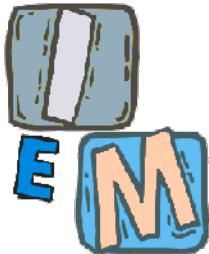
- Esistono dei fenomeni di illusioni ottiche che sono tipiche del nostro sistema visivo umano e che non sono ancora state spiegate.
- Ciò sta ad indicare che luminosità percepita non è semplicemente in funzione dell'intensità emessa.



# Bande di Mach (Ernst Mach, 1865)

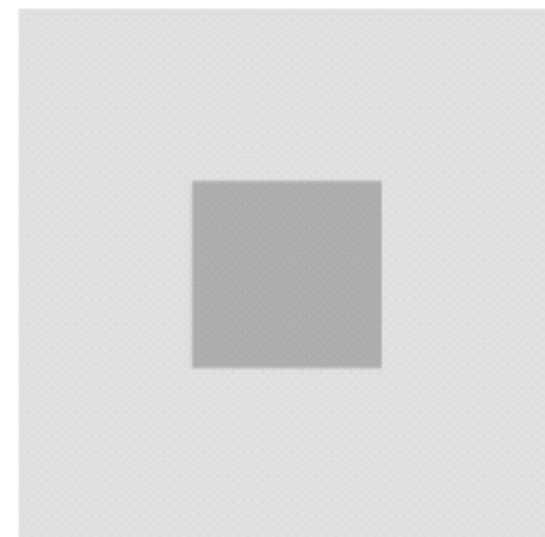
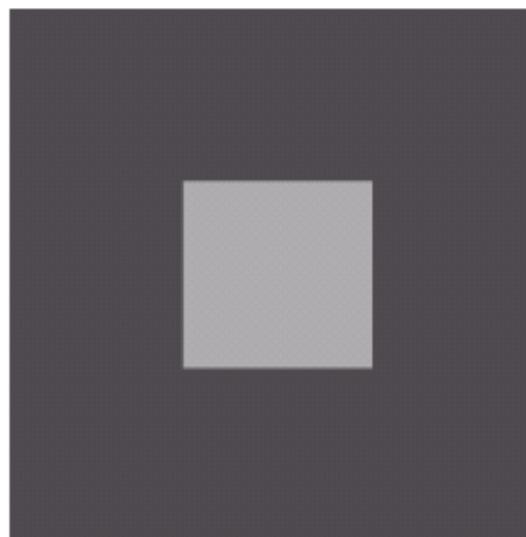
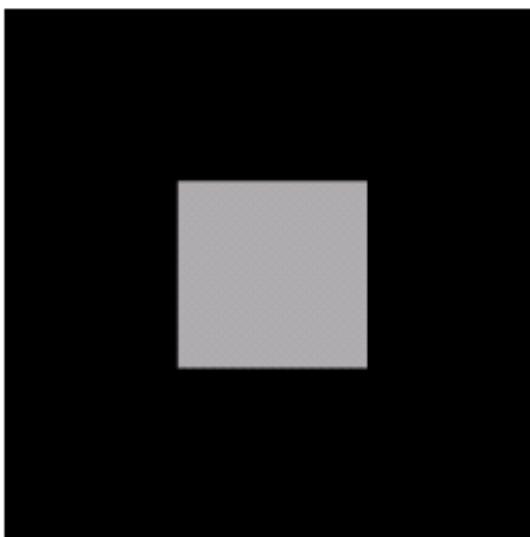
- Anche se le bande hanno una intensità costante, esse vengono percepite in maniera non uniforme all'aprossimarsi dei bordi.

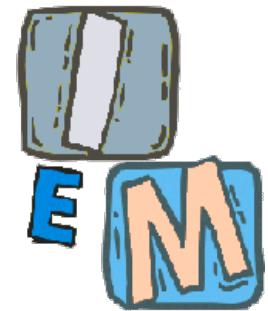




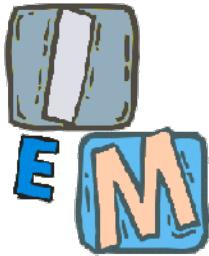
# Contrasto simultaneo

- Anche se le intensità nei quadratini centrali sono uguali, esse vengono percepite in maniera differente in base allo sfondo: se lo sfondo è scuro, il centro appare più chiaro e viceversa.





# Rappresentazione di una immagine



- Un immagine è rappresentata da una funzione bidimensionale  $f(x,y)$
- $x$  e  $y$  sono le coordinate spaziali, ed  $f(x,y)$  è proporzionale alla luce incidente nell'oggetto e anche a quella riflessa.
- Quindi  $f(x,y) = i(x,y) r(x,y)$
- Dove  $i$  è la luce incidente ed  $r$  quella riflessa.



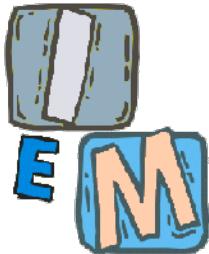
$$f(x, y) = i(x, y) r(x, y) \quad (2.3-2)$$

$$0 < i(x, y) < \infty \quad (2.3-3)$$

$$0 < r(x, y) < 1 \quad (2.3-4)$$

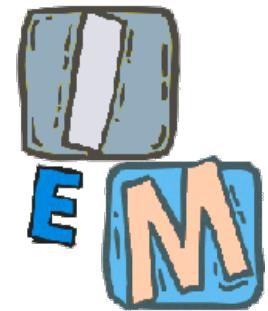
### Alcuni valori tipici di illuminazione e riflettanza

I valori dati nelle Equazioni (2.3-3) e (2.3-4) sono limiti teorici. I seguenti valori *medi* illustrano il range tipico di  $i(x, y)$  per la luce visibile. Alla luce del giorno, il Sole può produrre più di  $90000 \text{ lm/m}^2$  di illuminazione sulla superficie terrestre. Questa cifra diminuisce fino a  $10000 \text{ lm/m}^2$  in un giorno nuvoloso. La sera, la Luna piena raggiunge circa  $0.1 \text{ lm/m}^2$  di illuminazione. Il tipico livello di illuminazione di un ufficio commerciale è di circa  $1000 \text{ lm/m}^2$ . Similmente, i valori tipici di  $r(x, y)$  sono: 0.01 per il velluto nero, 0.65 per l'acciaio inossidabile, 0.80 per un muro verniciato di bianco, 0.90 per l'argento e 0.93 per la neve.

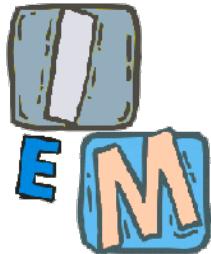


# Discretizziamo

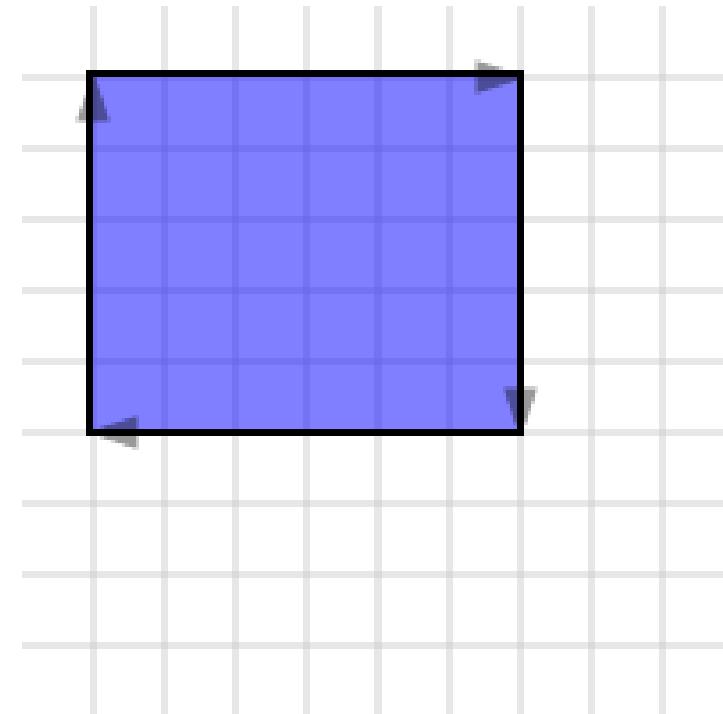
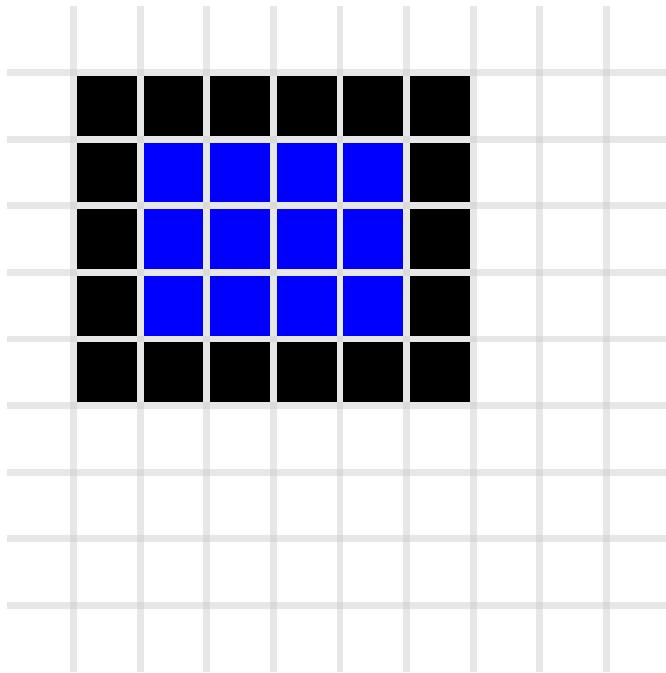
- In teoria il valore di  $f(x,y)$  è un numero reale, ma per produrre una immagine digitale abbiamo bisogno di valori discreti.
- Questo passaggio dal continuo al discreto è fatto mediante le operazioni di campionamento e di quantizzazione.
- Il piano XY in cui stanno le coordinate dell'immagine è detto DOMINIO SPAZIALE e le variabili x,y sono dette *variabili spaziali* o *coordinate spaziali*.

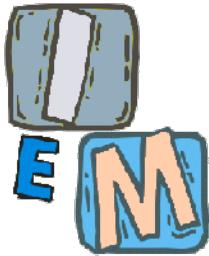


# Immagini Vettoriali e Raster



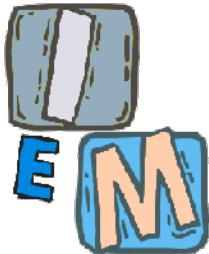
# Formati Vettoriali





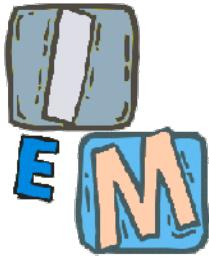
# Grafica Vettoriale

- Nella grafica vettoriale un'immagine è descritta come una serie di forme geometriche.
- Piuttosto che una serie “finita” di pixel, un visualizzatore di immagini vettoriali riceve informazioni su come disegnare l'immagine sul DISPLAY DEVICE in uno specifico sistema di riferimento.
- Le immagini vettoriali possono essere stampate con strumenti appositi (plotter)



# Differenze

Raster	Vector
Quali puntini devo colorare ?	Quale linee devo tracciare ?
Disegno a mano libera	Disegno tecnico



# Confronto

## Raster

### *Pro*

- Fotorealismo
- Standard su Web

### *Contro:*

- Nessuna descrizione semantica.
- Grandi dimensioni

## Vector

### *Pro*

- Le trasformazioni sul piano sono semplici (Zooming, Scaling, Rotating)

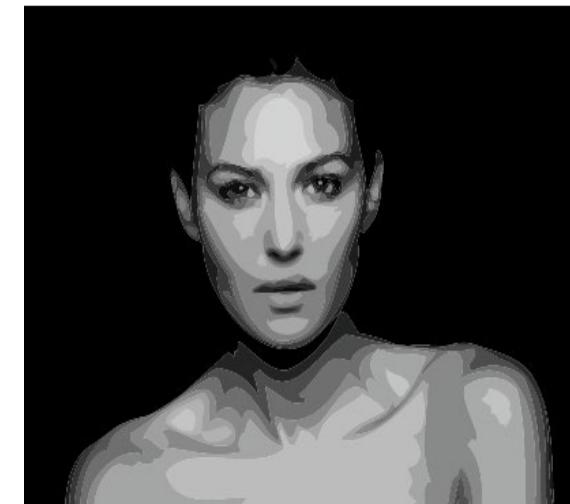
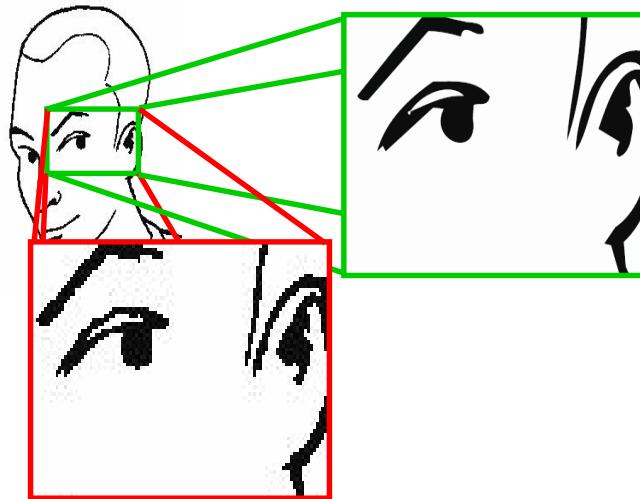
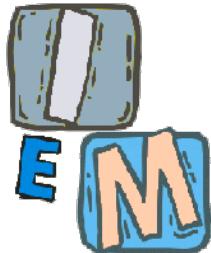
### *Contro:*

- Non fotorealistico
- Formati vettoriali proprietari



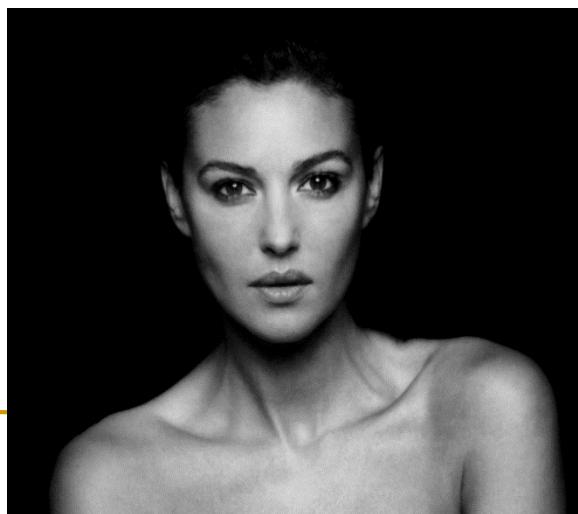
# Cui prodest vector ?

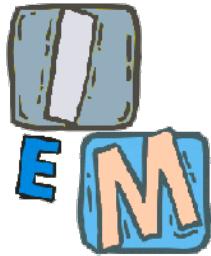
- **CAD** (Computer Assisted Drawing) usa grafica vettoriale per misure precise, capacità di zoomare dentro i particolari dei progetti, ecc. (AutoCad,...)
- **Desktop Publishing & Design** (Adobe Illustrator, Macromedia Freehand, Publisher)
- Linguaggio di stampa **Postscript**
- **Animazioni** su web (Macromedia Flash)
- **GIS** (Geographical Information Systems): Arcview, Envi,...



Vettoriale

Raster





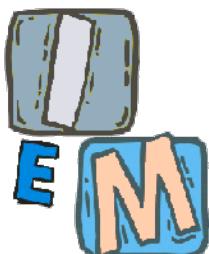
# Un esempio concreto di scalabilità



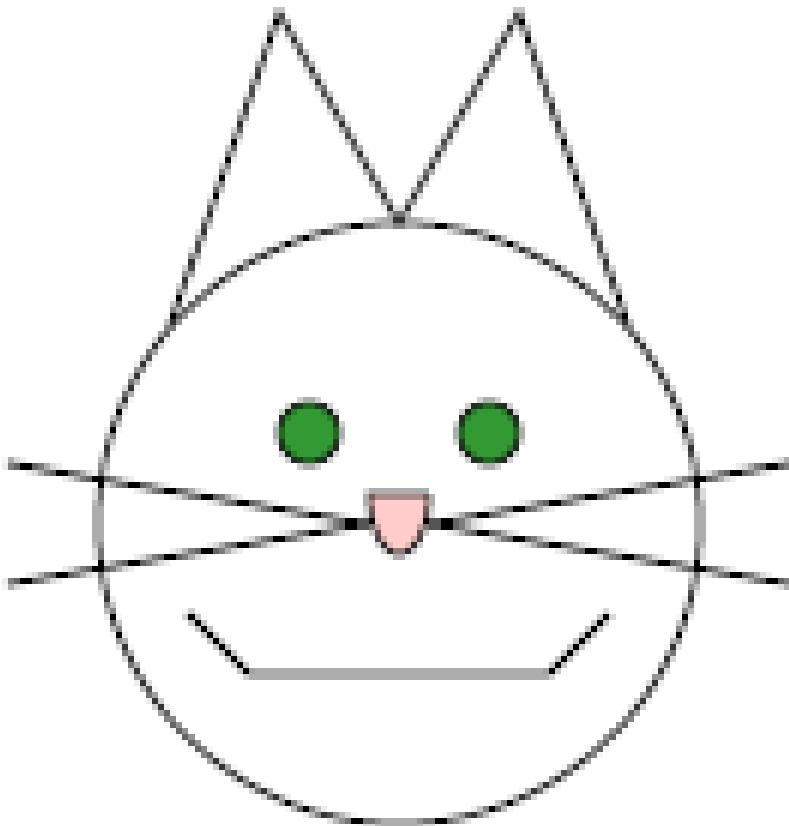
Raster  
(140x170)



Vector  
(140x170)

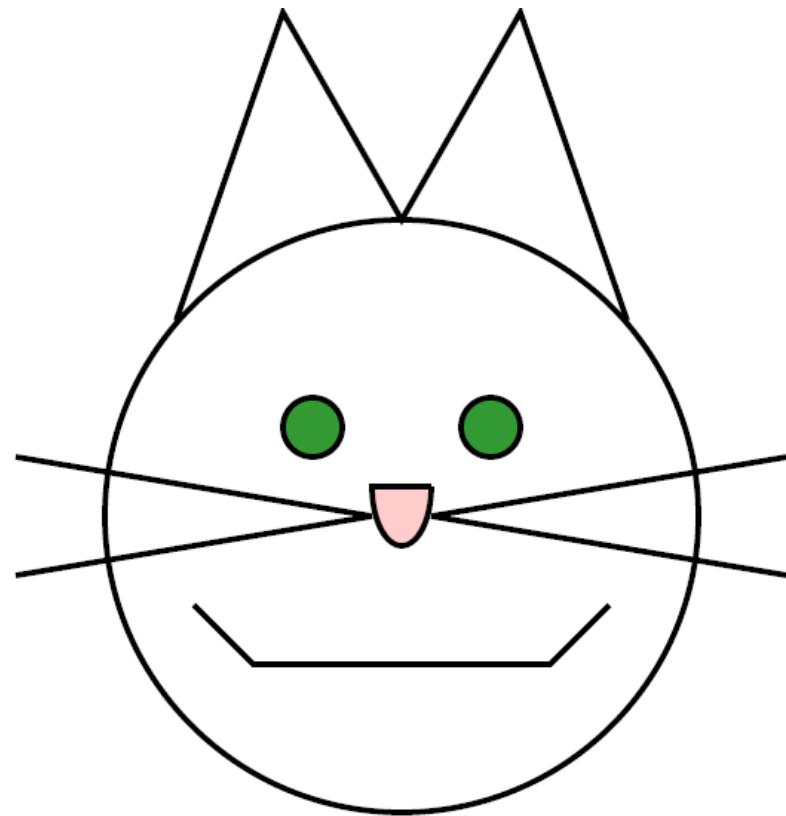


Raster 2x

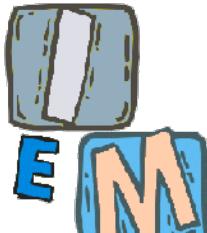


Cat

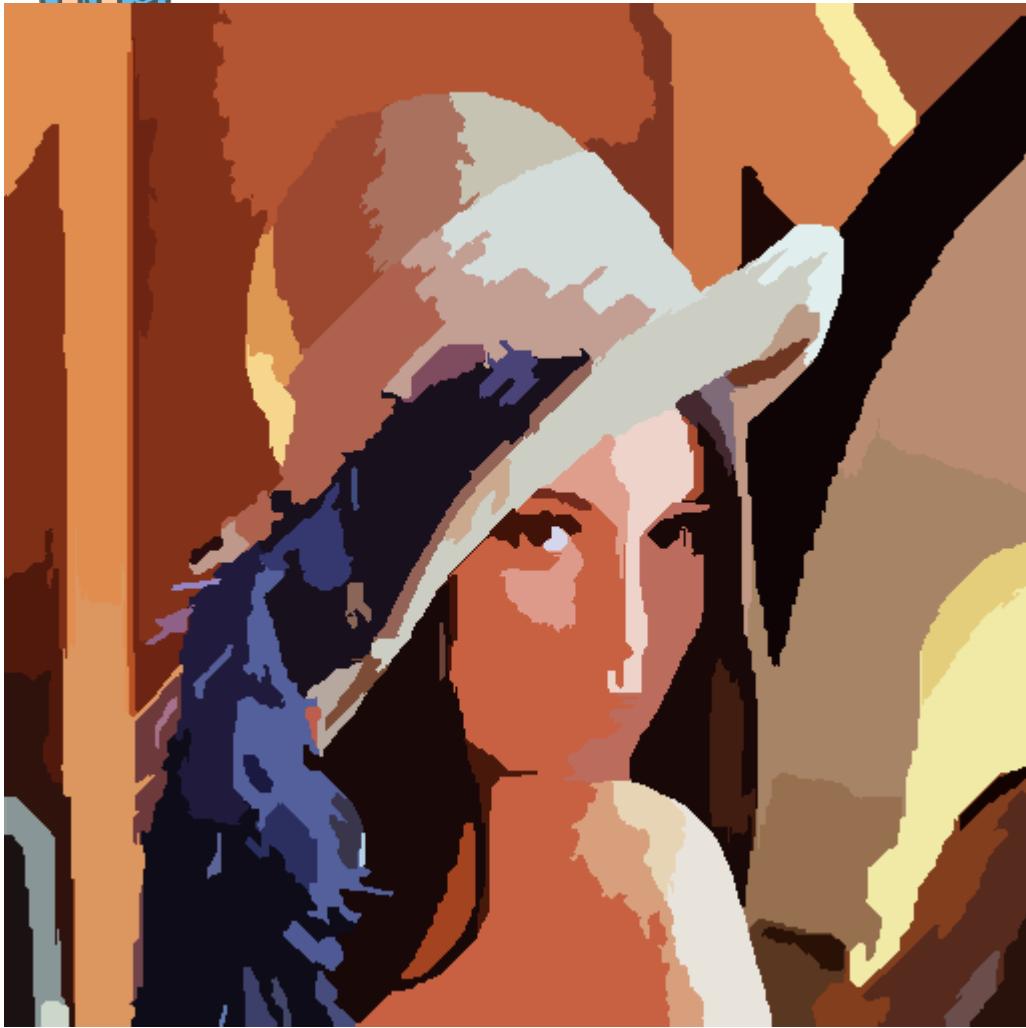
Vector 2x



Cat



# Vectorialisation



Q=1	19,330	0,976
Q=2	20,178	1,343
Q=4	21,016	1,753
Q=8	21,975	2,251
Q=16	22,670	3,097
Q=32	23,461	4,064
Q=64	24,326	5,693
Q=128	25,180	7,660
Q=256	26,058	10,430
Q=512	26,852	14,169
Q=1024	27,596	19,281
Q=2048	28,174	26,703
Q=4096	28,768	37,641
Q=8192	29,320	53,429

The visual perceived accuracy increases as the Q parameter increase.

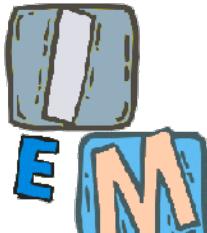


# Vectorialisation



Q=1	19,330	0,976
Q=2	20,178	1,343
Q=4	21,016	1,753
Q=8	21,975	2,251
Q=16	22,670	3,097
Q=32	23,461	4,064
Q=64	24,326	5,693
Q=128	25,180	7,660
Q=256	26,058	10,430
Q=512	26,852	14,169
Q=1024	27,596	19,281
Q=2048	28,174	26,703
Q=4096	28,768	37,641
Q=8192	29,320	53,429

The visual perceived accuracy increases as the Q parameter increase.

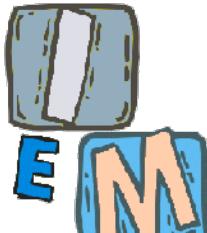


# Vectorialisation



Q=1	19,330	0,976
Q=2	20,178	1,343
Q=4	21,016	1,753
Q=8	21,975	2,251
Q=16	22,670	3,097
Q=32	23,461	4,064
Q=64	24,326	5,693
Q=128	25,180	7,660
Q=256	26,058	10,430
Q=512	26,852	14,169
Q=1024	27,596	19,281
Q=2048	28,174	26,703
Q=4096	28,768	37,641
Q=8192	29,320	53,429

The visual perceived accuracy increases as the Q parameter increase.



# Vectorialisation



Q=1	19,330	0,976
Q=2	20,178	1,343
Q=4	21,016	1,753
Q=8	21,975	2,251
Q=16	22,670	3,097
Q=32	23,461	4,064
Q=64	24,326	5,693
Q=128	25,180	7,660
Q=256	26,058	10,430
Q=512	26,852	14,169
Q=1024	27,596	19,281
Q=2048	28,174	26,703
Q=4096	28,768	37,641
Q=8192	29,320	53,429

The visual perceived accuracy increases as the Q parameter increase.



# Vectorialisation



Q=1	19,330	0,976
Q=2	20,178	1,343
Q=4	21,016	1,753
Q=8	21,975	2,251
Q=16	22,670	3,097
Q=32	23,461	4,064
Q=64	24,326	5,693
Q=128	25,180	7,660
Q=256	26,058	10,430
Q=512	26,852	14,169
Q=1024	27,596	19,281
Q=2048	28,174	26,703
Q=4096	28,768	37,641
Q=8192	29,320	53,429

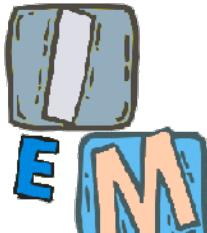


# Vectorialisation



Q=1	19,330	0,976
Q=2	20,178	1,343
Q=4	21,016	1,753
Q=8	21,975	2,251
Q=16	22,670	3,097
Q=32	23,461	4,064
Q=64	24,326	5,693
Q=128	25,180	7,660
Q=256	26,058	10,430
Q=512	26,852	14,169
Q=1024	27,596	19,281
Q=2048	28,174	26,703
Q=4096	28,768	37,641
Q=8192	29,320	53,429

The visual perceived accuracy increases as the Q parameter increase.



# Vectorialisation



Q=1	19,330	0,976
Q=2	20,178	1,343
Q=4	21,016	1,753
Q=8	21,975	2,251
Q=16	22,670	3,097
Q=32	23,461	4,064
Q=64	24,326	5,693
Q=128	25,180	7,660
Q=256	26,058	10,430
Q=512	26,852	14,169
Q=1024	27,596	19,281
Q=2048	28,174	26,703
Q=4096	28,768	37,641
Q=8192	29,320	53,429

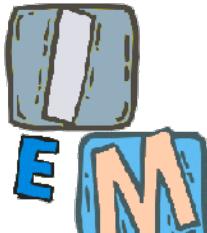


# Vectorialisation



Q=1	19,330	0,976
Q=2	20,178	1,343
Q=4	21,016	1,753
Q=8	21,975	2,251
Q=16	22,670	3,097
Q=32	23,461	4,064
Q=64	24,326	5,693
Q=128	25,180	7,660
Q=256	26,058	10,430
Q=512	26,852	14,169
Q=1024	27,596	19,281
Q=2048	28,174	26,703
Q=4096	28,768	37,641
Q=8192	29,320	53,429

The visual perceived accuracy increases as the Q parameter increase.



# Vectorialisation



Q=1	19,330	0,976
Q=2	20,178	1,343
Q=4	21,016	1,753
Q=8	21,975	2,251
Q=16	22,670	3,097
Q=32	23,461	4,064
Q=64	24,326	5,693
Q=128	25,180	7,660
Q=256	26,058	10,430
Q=512	26,852	14,169
Q=1024	27,596	19,281
Q=2048	28,174	26,703
Q=4096	28,768	37,641
Q=8192	29,320	53,429



# Vectorialisation



Q=1	19,330	0,976
Q=2	20,178	1,343
Q=4	21,016	1,753
Q=8	21,975	2,251
Q=16	22,670	3,097
Q=32	23,461	4,064
Q=64	24,326	5,693
Q=128	25,180	7,660
Q=256	26,058	10,430
Q=512	26,852	14,169
Q=1024	27,596	19,281
Q=2048	28,174	26,703
Q=4096	28,768	37,641
Q=8192	29,320	53,429

The visual perceived accuracy increases as the Q parameter increase.



# Vectorialisation



Q=1	19,330	0,976
Q=2	20,178	1,343
Q=4	21,016	1,753
Q=8	21,975	2,251
Q=16	22,670	3,097
Q=32	23,461	4,064
Q=64	24,326	5,693
Q=128	25,180	7,660
Q=256	26,058	10,430
Q=512	26,852	14,169
Q=1024	27,596	19,281
Q=2048	28,174	26,703
Q=4096	28,768	37,641
Q=8192	29,320	53,429

The visual perceived accuracy increases as the Q parameter increase.



# Vectorialisation



Q=1	19,330	0,976
Q=2	20,178	1,343
Q=4	21,016	1,753
Q=8	21,975	2,251
Q=16	22,670	3,097
Q=32	23,461	4,064
Q=64	24,326	5,693
Q=128	25,180	7,660
Q=256	26,058	10,430
Q=512	26,852	14,169
Q=1024	27,596	19,281
Q=2048	28,174	26,703
Q=4096	28,768	37,641
Q=8192	29,320	53,429

Interazione & Multimedia

The visual perceived accuracy increases as the Q parameter increase.

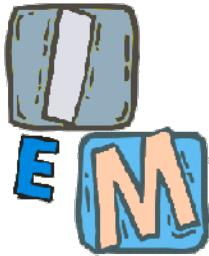


# Vectorialisation



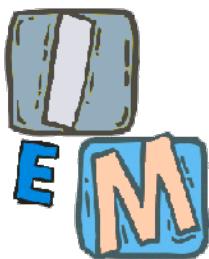
	PSNR	bpp
Q=1	19,330	0,976
Q=2	20,178	1,343
Q=4	21,016	1,753
Q=8	21,975	2,251
Q=16	22,670	3,097
Q=32	23,461	4,064
Q=64	24,326	5,693
Q=128	25,180	7,660
Q=256	26,058	10,430
Q=512	26,852	14,169
Q=1024	27,596	19,281
Q=2048	28,174	26,703
Q=4096	28,768	37,641
Q=8192	29,320	53,429

The visual perceived accuracy increases as the Q parameter increase.



# Formati grafici vettoriali (lista parziale)

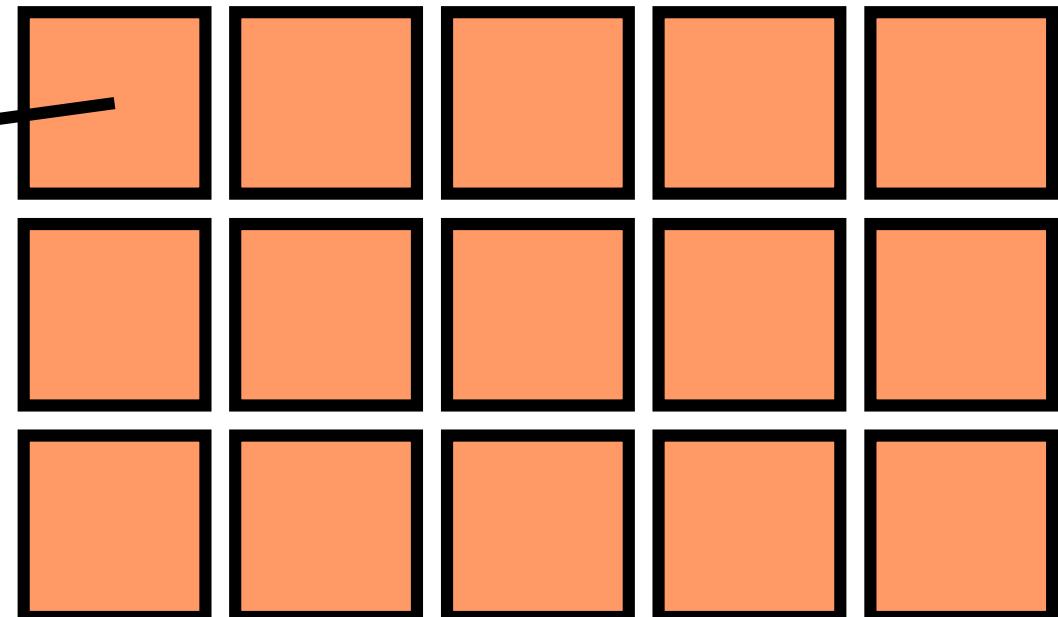
- **PS** (Postscript): Formato sviluppato da AdobeSystems originariamente per la stampa di documenti su stampanti laser, è utilizzato anche per la memorizzazione di immagini vettoriali.
- **EPS** (Encapsulated Postscript): Estensione del formato PostScript che consente di incapsulare immagini bitmap (raster).
- **DCS** (Desktop Color Separation): Un caso speciale di EPS sviluppato originariamente da Quark per tenere separati i dati al alta risoluzione dall'anteprima a bassa risoluzione.
- **PDF** (Portable Data Format): Sviluppato da Adobe, è il formato più diffuso per condividere, indipendentemente dalla piattaforma, documenti di testi e immagini.
- **PICT**: Formato grafico sviluppato da Apple Computer per la piattaforma Macintosh in grado di memorizzare sia immagini vettoriali che raster.

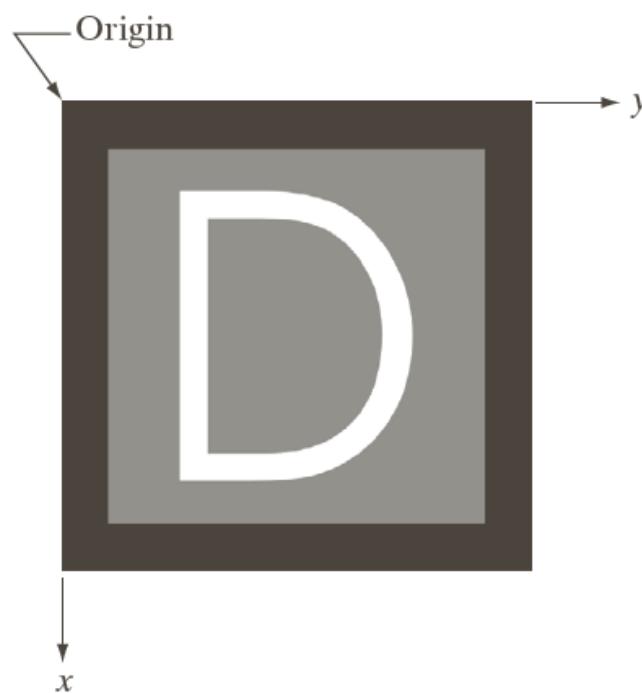
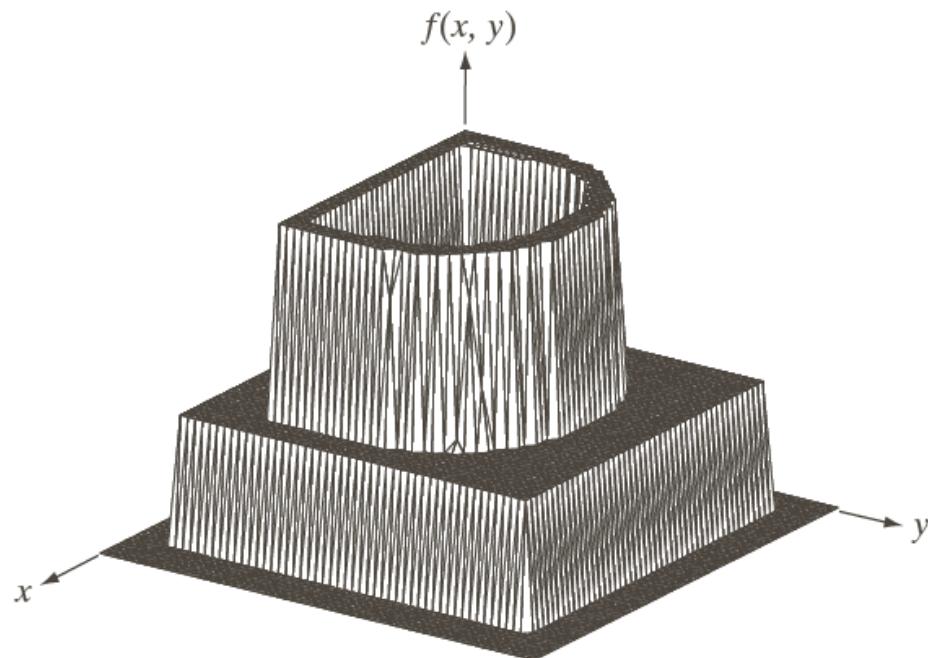
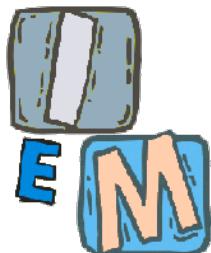


# PIXEL

Il valore quantizzato  
misurato da ciascun  
sensore diventa un

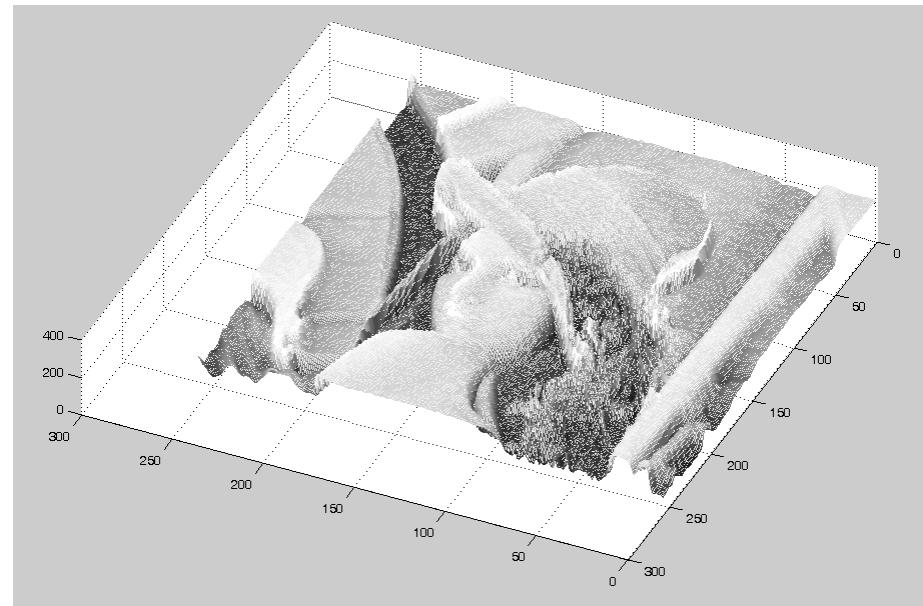
**PICTURE ELEMENT =  
PIXEL dell'immagine**





Origin

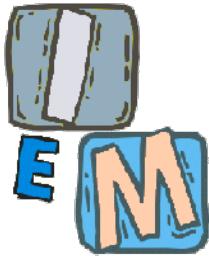
0 0 0 0 0 0 0 · · 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 · · 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 · · 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 · · 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 · · 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 · · 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 · · · 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 · · · 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 · · · 5 .5 .5 · · 0 0 0	0 0 0 · · · 5 .5 .5 · · 0 0 0
0 0 0 · · · 5 .5 · · 0 0 0	0 0 0 · · · 5 .5 · · 0 0 0
· · · 5 · · · · · · · · · · · · · ·	· · · 5 · · · · · · · · · · · · · ·
· · · · · · · 1 1 1 · · · · · · ·	· · · · · · · 1 1 1 · · · · · · ·
· · · · · · · 1 1 · · · · · · · ·	· · · · · · · 1 1 · · · · · · · ·
0 0 0 · · · 1 · · · · · · · · · ·	0 0 0 · · · 1 · · · · · · · · · ·
0 0 0 · · · · · · · · · · · · · ·	0 0 0 · · · · · · · · · · · · · ·
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0



Command Window						
File	Edit	Debug	Desktop	Window	Help	
103	94	70	121	207	198	
67	77	117	186	195	191	
117	135	171	193	188	190	
129	142	155	154	170	163	
91	106	120	115	120	117	
82	94	111	106	95	99	
109	113	121	117	121	127	
117	123	126	125	133	140	
138	141	140	141	146	149	
146	147	145	151	146	145	
143	144	142	143	139	142	
144	145	143	144	143	145	
147	148	146	145	146	147	
149	149	145	144	148	147	
148	147	142	141	145	143	
149	148	143	141	142	140	
148	147	140	138	138	136	
145	145	139	137	138	136	
140	138	137	137	135	132	
137	137	137	138	134	132	

Multimed

fx

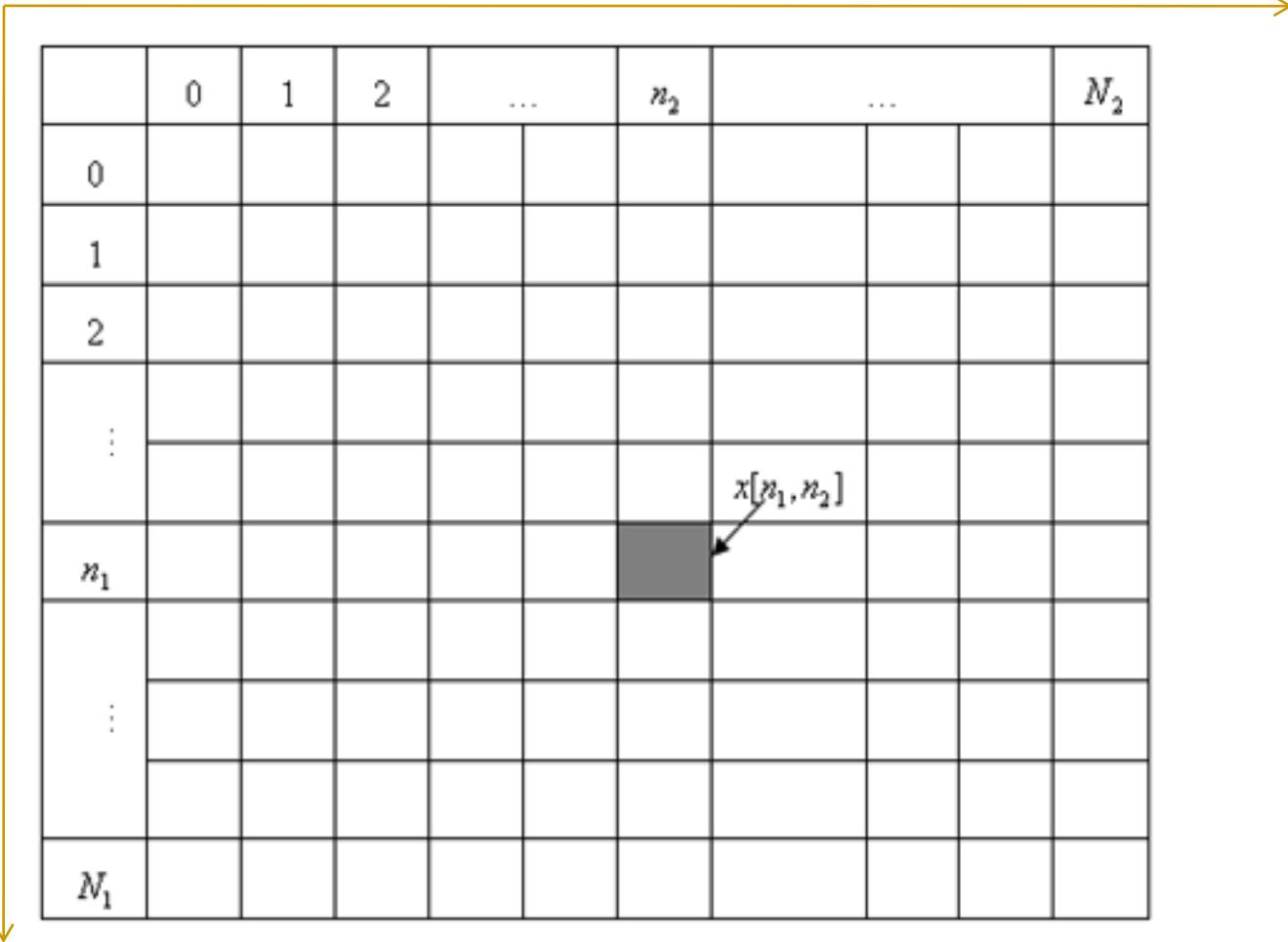


# Convenzioni

- È importante ricordare che convenzionalmente il primo elemento della matrice è sempre l'elemento in alto a sinistra.
- L'asse a destra è orientato dall'alto verso il basso; l'asse in alto è orientato da sinistra verso destra.
- Questo è il quarto quadrante del piano cartesiano, ma le coordinate sono tutte positive.



# Rappresentazione delle immagini

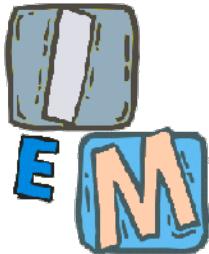




# Tipologie di immagini

- Bianco/nero
- 1 bit per pixel
- Nella posizione  $(i,j)$  ci sarà o il valore 0 o il valore 1





# Tipologie di immagini

- Scala di grigio
- 8 bit per pixel
- Nella posizione  $(i,j)$  ci sarà un valore compreso tra  $[0, 255]$





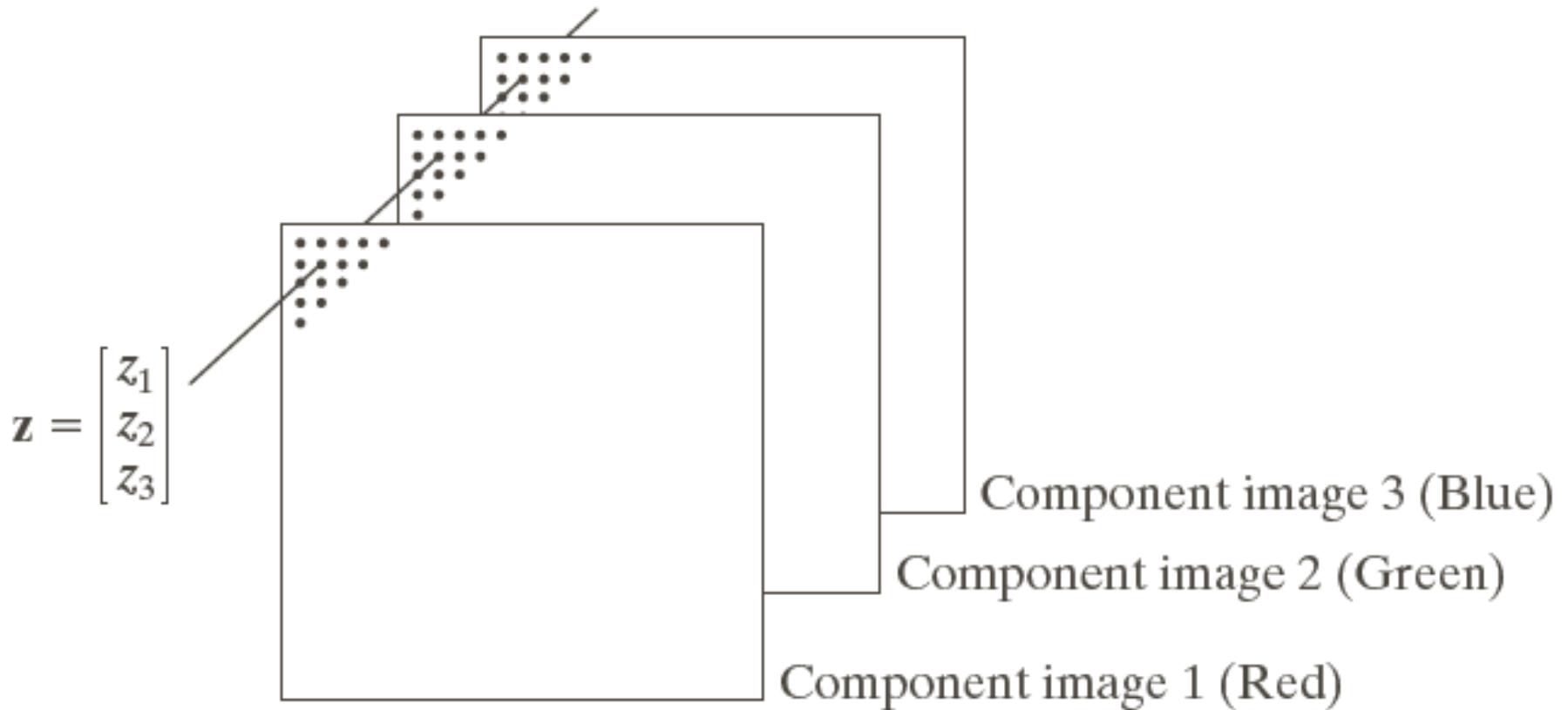
# Tipologie di immagini

- A colori
- 8 bit per canale.  
Poiché i canali sono 3  
avrò 24 bit.
- Nella posizione  $(i,j)$   
ci sarà una terna del  
tipo  $(x, y, z)$  con  $x,y,z$   
che assumono valori  
compresi tra  $[0, 255]$



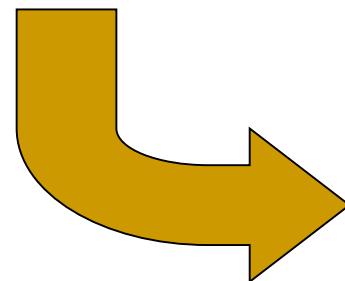


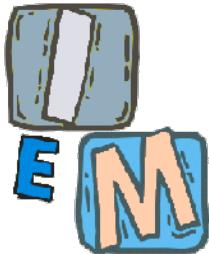
# Immagini RGB



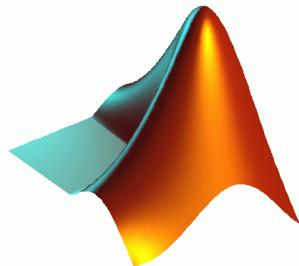
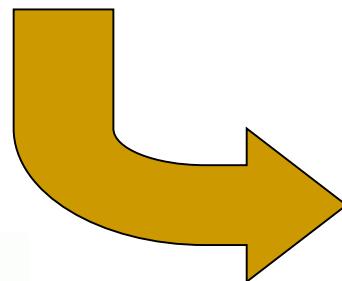
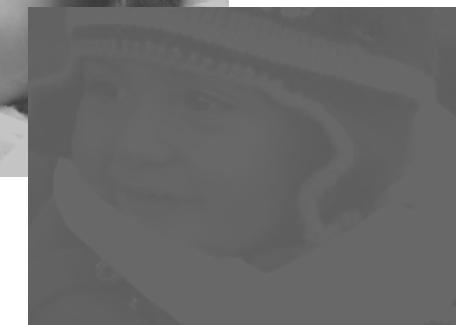
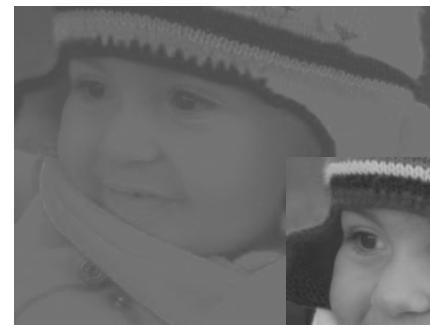


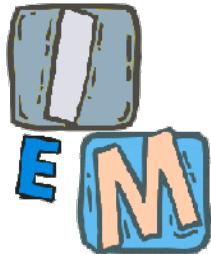
# Immagini RGB



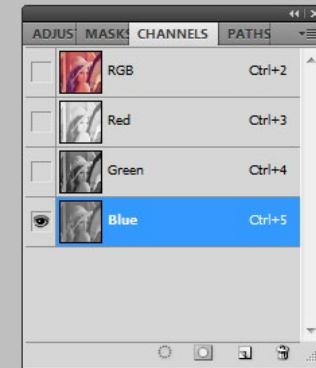
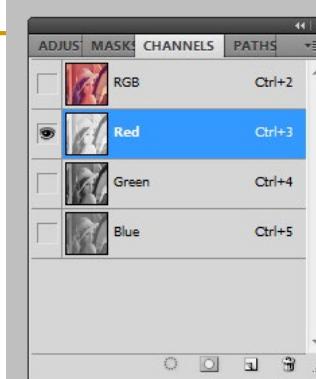
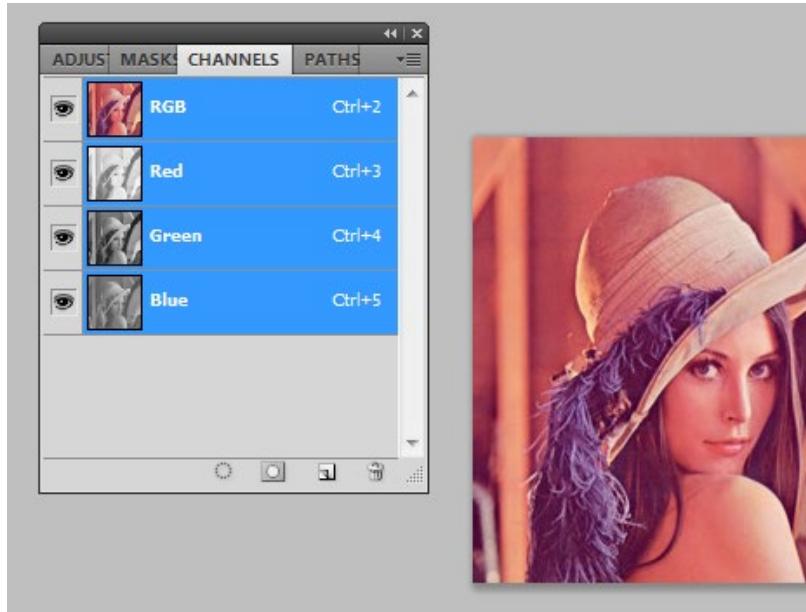


# Immagini RGB: in realtà...





# Lena



Interazione & M