

# Fotografia DIGITALE la matematica ha sostituito la camera oscura

Primo Brandi – Anna Salvadori



Fotografia tradizionale



Fotografia digitale

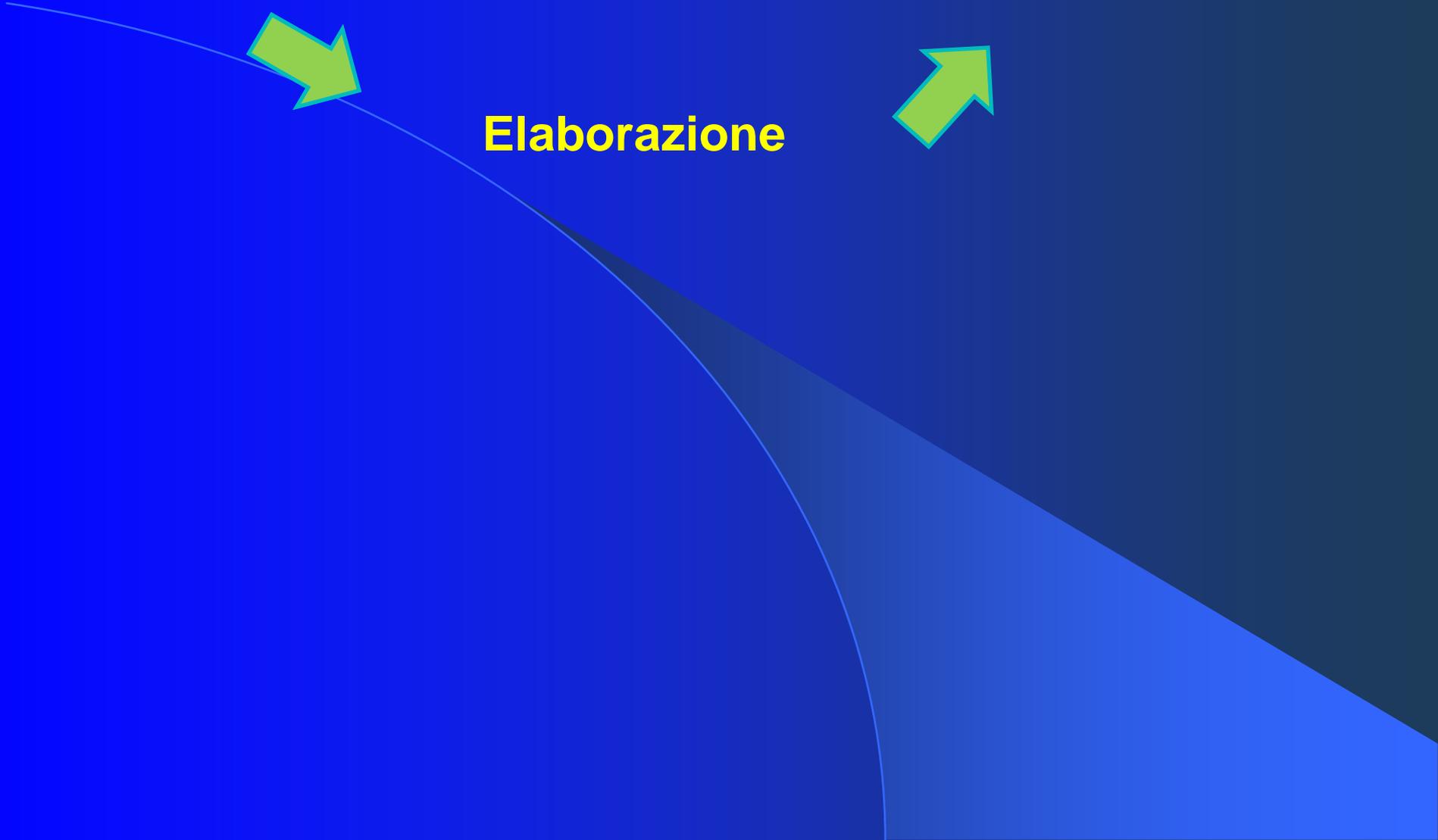


# Fotografia – 4 fasi

**Acquisizione**

**Visualizzazione**

**Elaborazione**



# Fotografia – 4 fasi

Acquisizione

Visualizzazione



Elaborazione



Pellicola fotografica



File – matrice di numeri

# Fotografia – 4 fasi

Acquisizione

Visualizzazione



Elaborazione



Sviluppo della  
pellicola fotografica  
in camera oscura

File manipolato con  
la matematica

# Fotografia – 4 fasi

**Acquisizione**



**Elaborazione**

**Visualizzazione**



**Solo stampa**

**Stampa  
Video  
Condivisione ...**

# Immagine digitale

## Processo di discretizzazione

dall'immagine reale e quella digitale

## Codifica

traduzione dall'immagine digitale in linguaggio  
informatico

## Visualizzazione - stampa

b/n

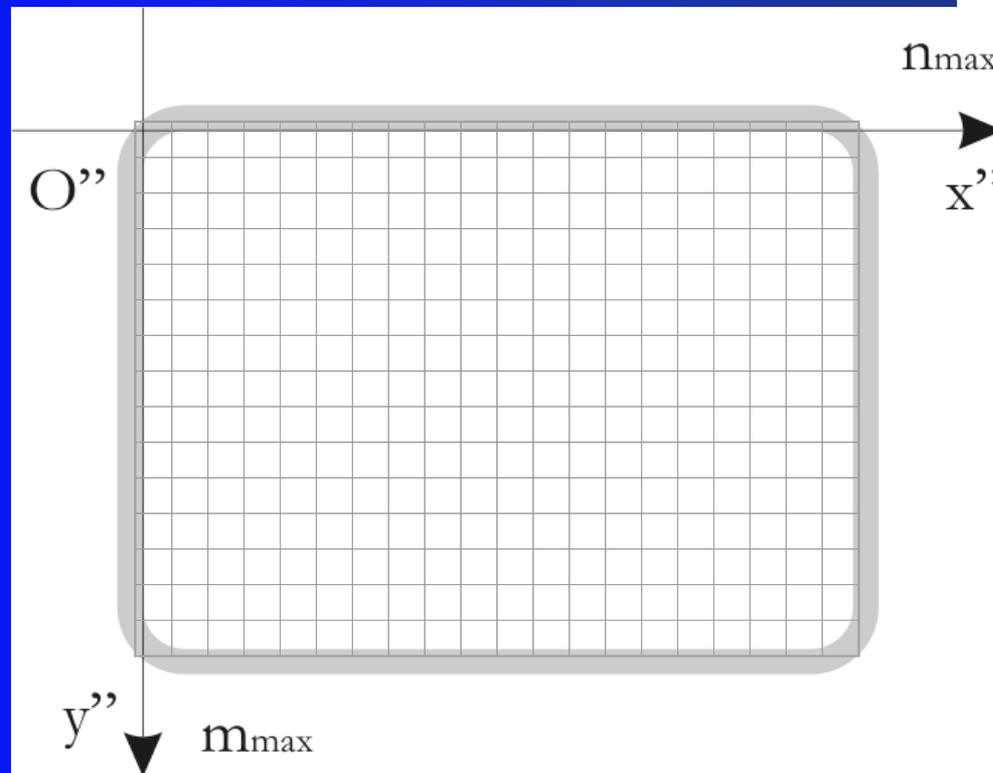
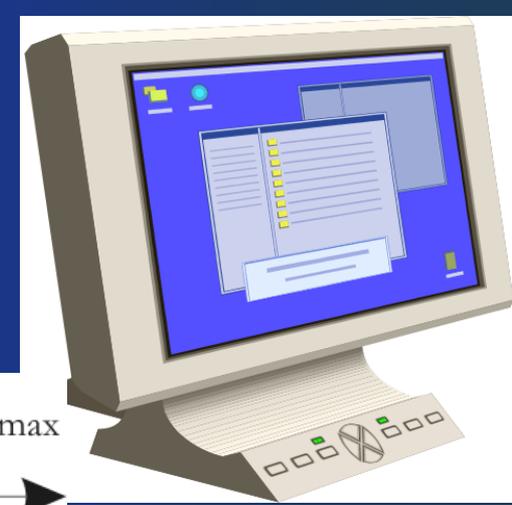
scala dei grigi

a c lori

compressione / effetti speciali

# **Acquisizione di una immagine digitale**

# Struttura per la codifica



La superficie attiva dello schermo è suddivisa in una griglia di pixel

# Risoluzione di vari dispositivi

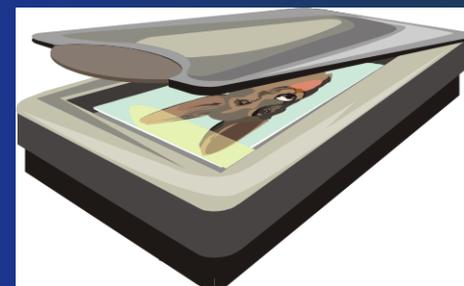
Per alcuni dispositivi è dichiarata dal costruttore



300-600-1200 dpi



150-200 dpi



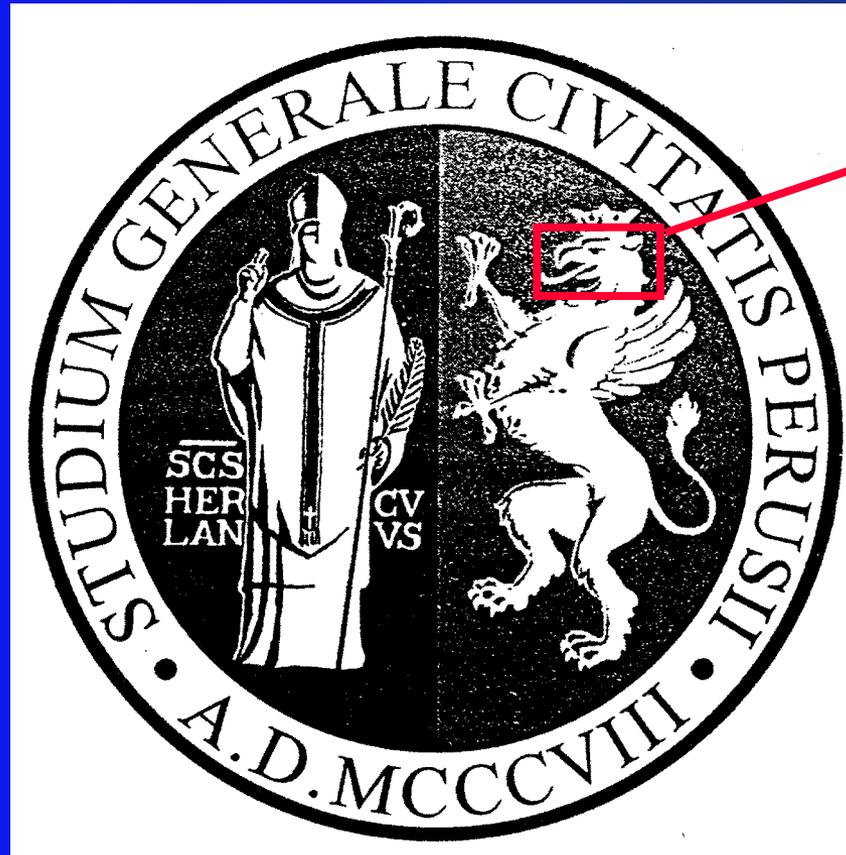
600-1200-4800 dpi

Per altri deve essere calcolata ... dall'utente

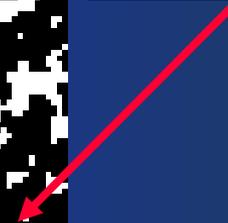


# **Processo di discretizzazione di una immagine digitale**

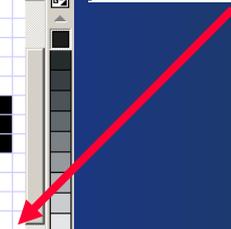
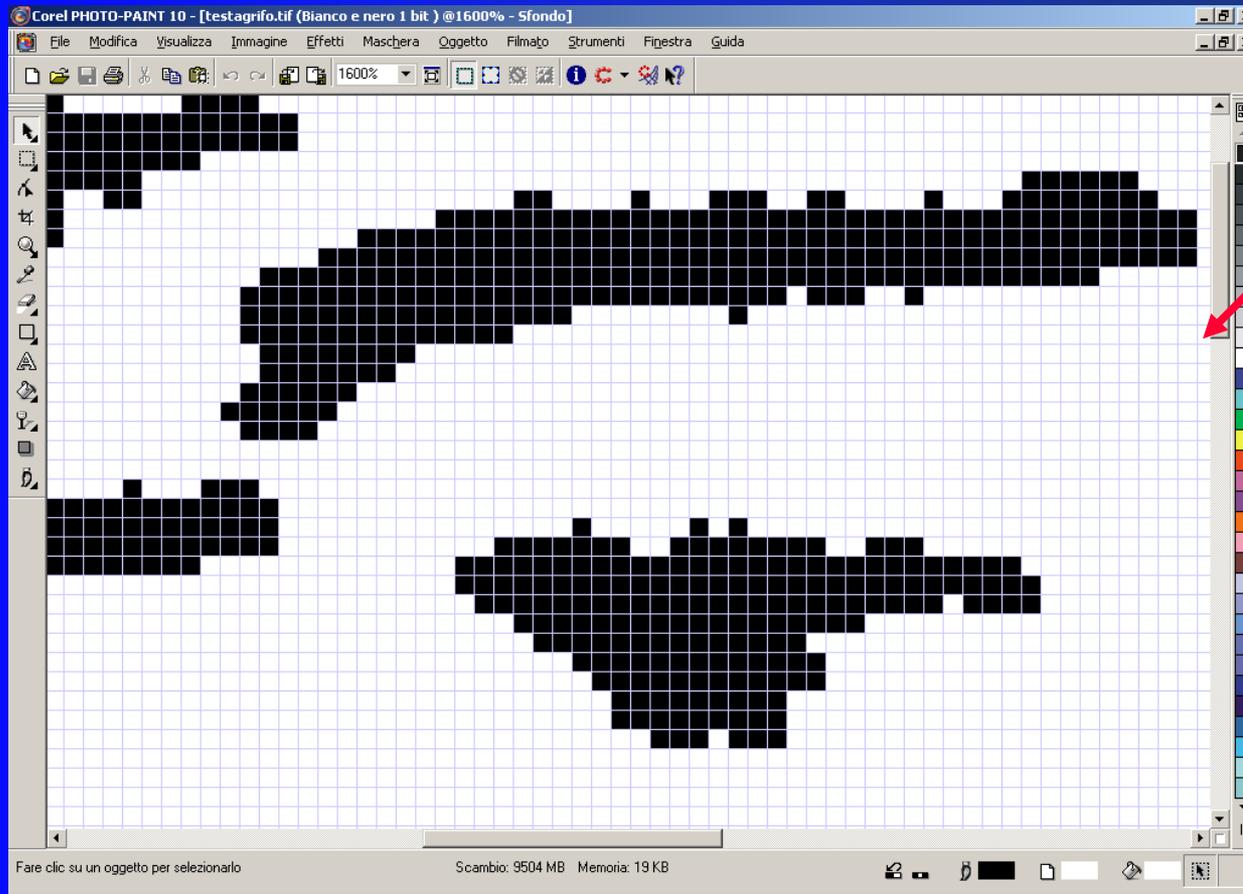
Una immagine digitale si identifica con una matrice di pixel mediante un processo di discretizzazione



# Processo di discretizzazione di una immagine



# Processo di discretizzazione di una immagine



# Codifica di una immagine digitale

Una immagine digitale si identifica con una matrice di pixel  
Il *colore* di un pixel è identificato con un **codice numerico**



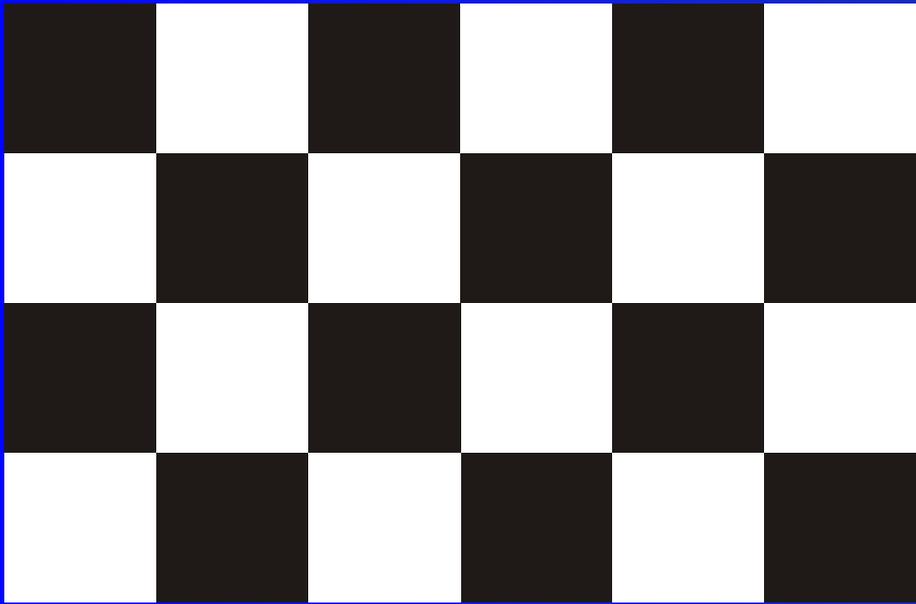


**Rappresentazione  
di immagini**

**in bianco/nero**



# Rappresentazione di immagini in bianco e nero

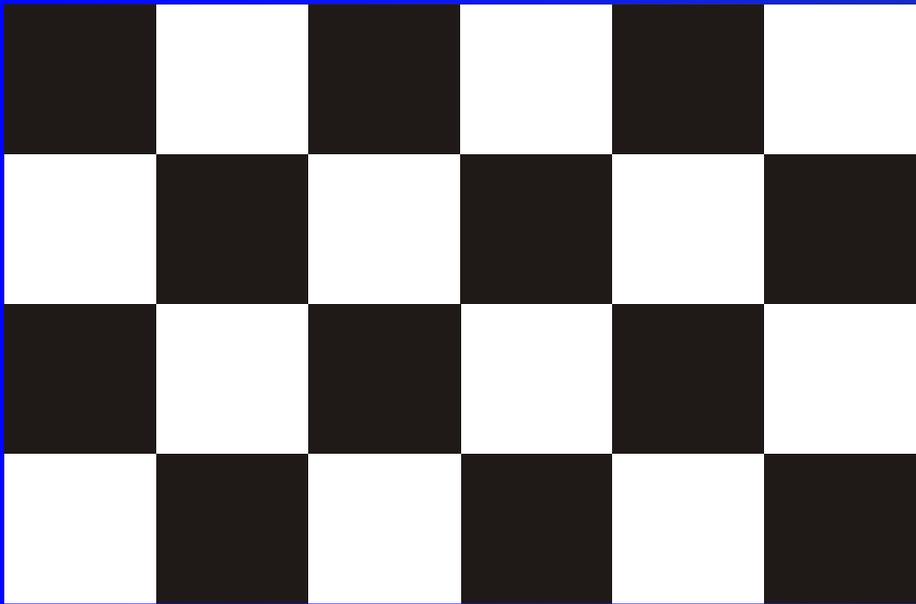


# Rappresentazione di immagini in bianco e nero

1	0	1	0	1	0
0	1	0	1	0	1
1	0	1	0	1	0
0	1	0	1	0	1

# Rappresentazione di immagini in bianco e nero

Una immagine digitale in bianco e nero si traduce  
in una matrice di 0 e 1

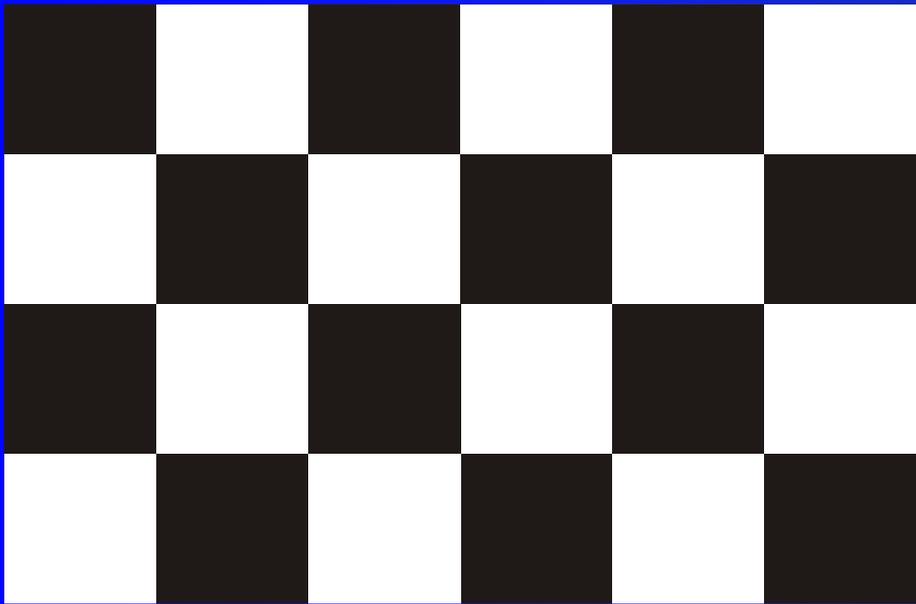


1	0	1	0	1	0
0	1	0	1	0	1
1	0	1	0	1	0
0	1	0	1	0	1

Codifica **in chiaro** di immagini in bianco e nero

## File **Portable bitmap (\*.pbm)**

```
P1 6 4 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1
```

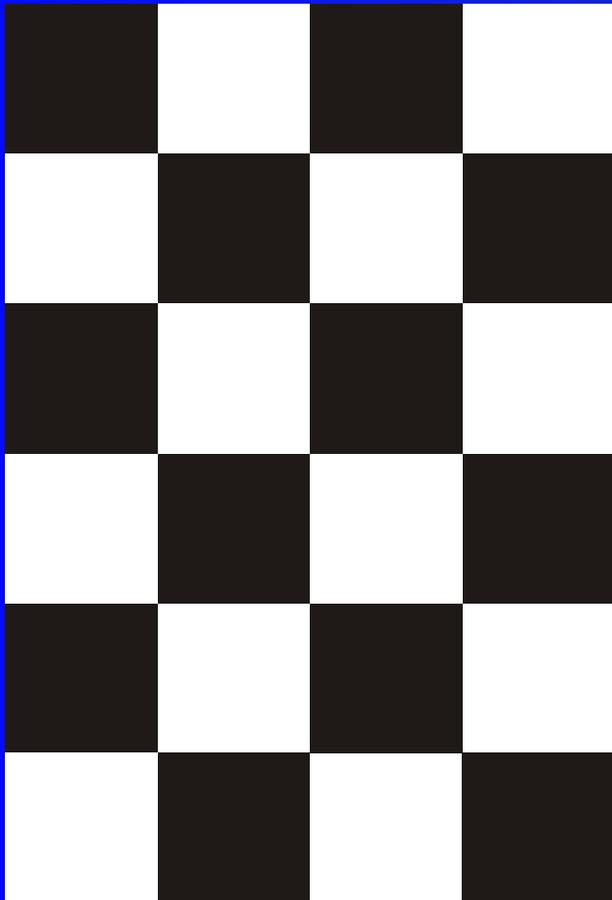


```
1 0 1 0 1 0  
0 1 0 1 0 1  
1 0 1 0 1 0  
0 1 0 1 0 1
```

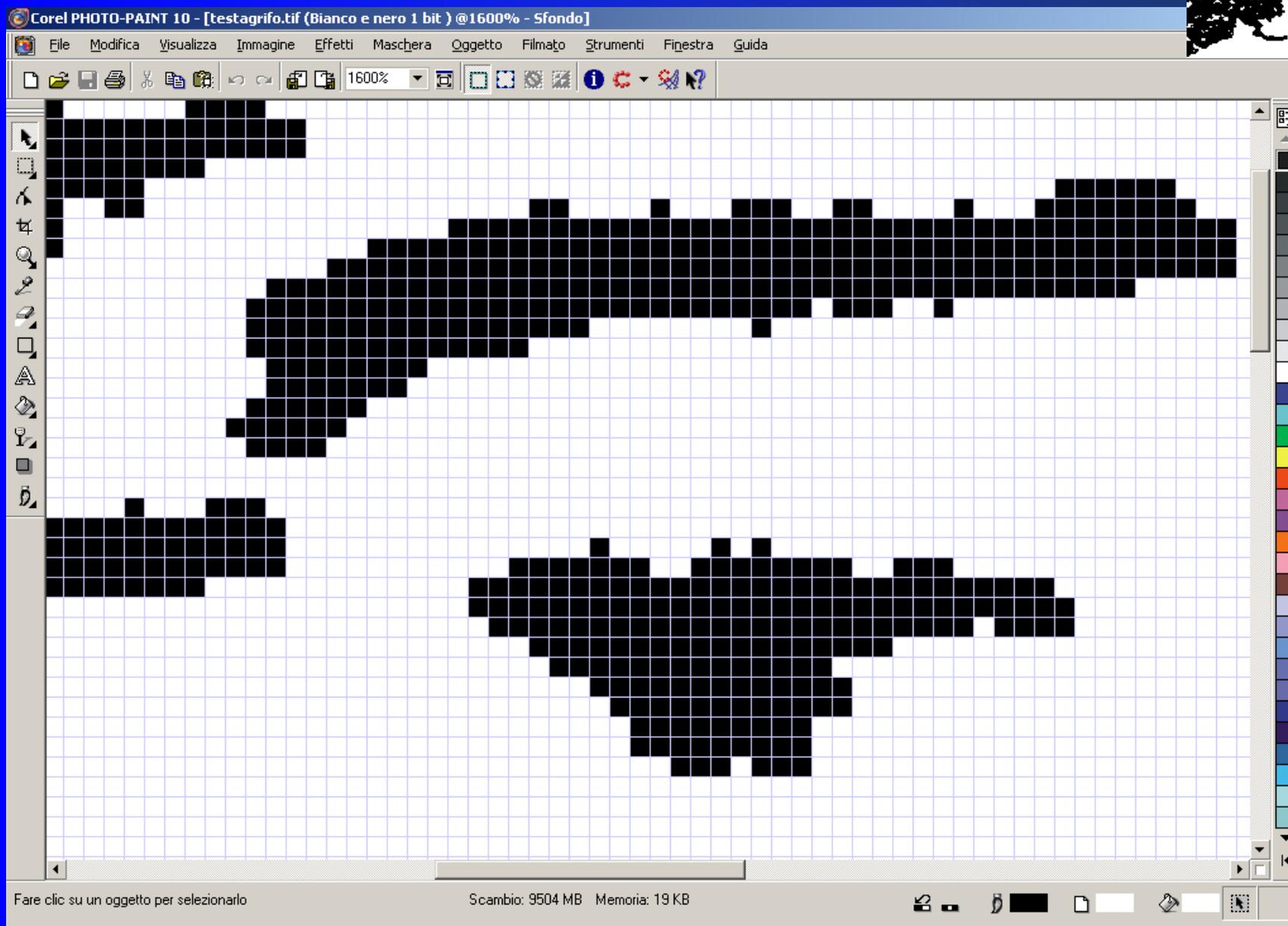
Codifica **in chiaro** di immagini in bianco e nero

File **Portable bitmap (\*.pbm)**

P1 **4 6** 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1



# Particolare del logo unipg: testa del grifo



# Particolare del logo unipg: testa del grifo



P1

# Created by Paint Shop Pro 7

51 40

```
00000000000001100000100001110011000001000
1111111110000000000000000000001111111111111111
111111111111111111111111111111110000000000111
1111111111111111111111111111111111111111111111
111100000011111111111111111111111111111111111
1111111111111111111111110000001111111111111111
1111111111111111111111111111111111111110000000
0001111111111111111111111111111111101110010
00000000000000000000000000001111111111111110000
000010000000000000000000000000000000000000000111
```



**Rappresentazione  
di immagini**

**nella scala dei grigi**

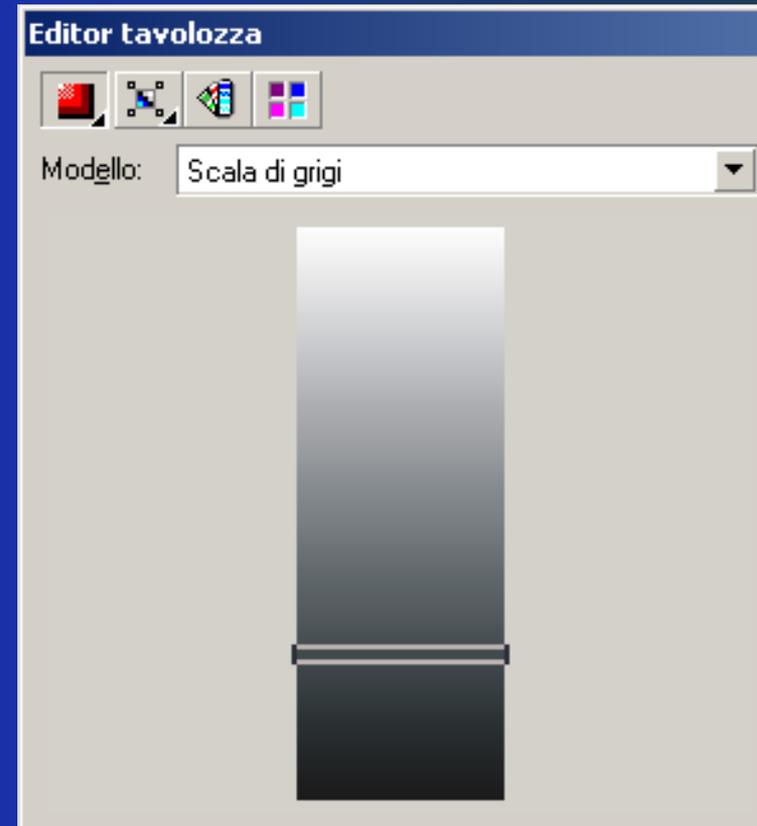


# Rappresentazione di immagini nella scala dei grigi

Ad ogni pixel è associato un numero binario a 8 bit che rappresenta il colore del pixel nella scala dei grigi

0	1	0	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

scala dei grigi a 8 bit



I numeri binari sono ordinati secondo grandezza e sono posti in corrispondenza biunivoca con altrettanti toni di grigio della scala

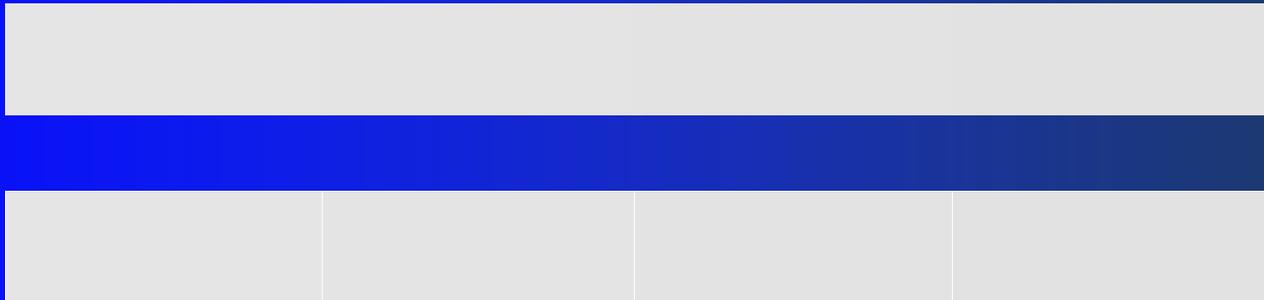
# Rappresentazione di immagini nella scala dei grigi



Scala dei grigi a 8 bit



$$2^8 = 256 \quad \text{tonalità di grigio}$$



Numero binario								Valore decimale	colore
<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>black</b>
.	.	.	.	.	.	.	.		
<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>64</b>	<b>grigio 75%</b>
.	.	.	.	.	.	.	.		
<b>1</b>	<b>0</b>	<b>128</b>	<b>grigio 50%</b>						
.	.	.	.	.	.	.	.		
<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>192</b>	<b>grigio 25%</b>
.	.	.	.	.	.	.	.		
<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>255</b>	<b>white</b>

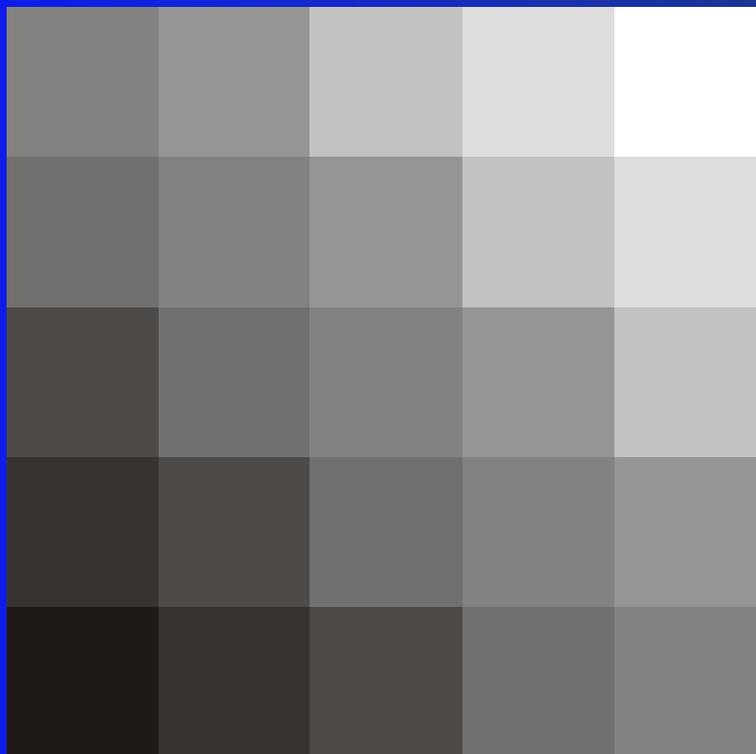


**0**

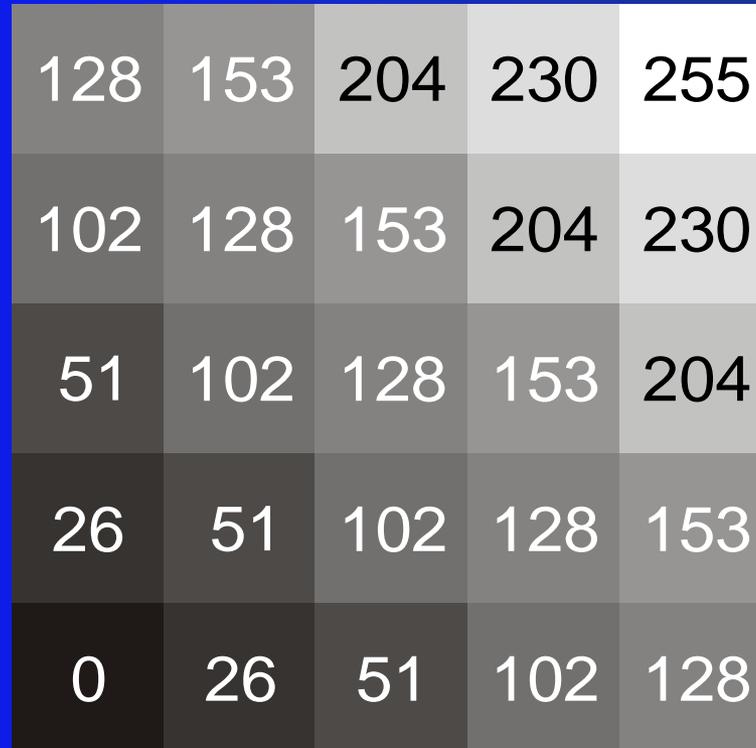
**128**

**255**

# Rappresentazione di immagini nella scala dei grigi



# Rappresentazione di immagini nella scala dei grigi



128	153	204	230	255
102	128	153	204	230
51	102	128	153	204
26	51	102	128	153
0	26	51	102	128

# Rappresentazione di immagini nella scala dei grigi

128 153 204 230 255

102 128 153 204 230

51 102 128 153 204

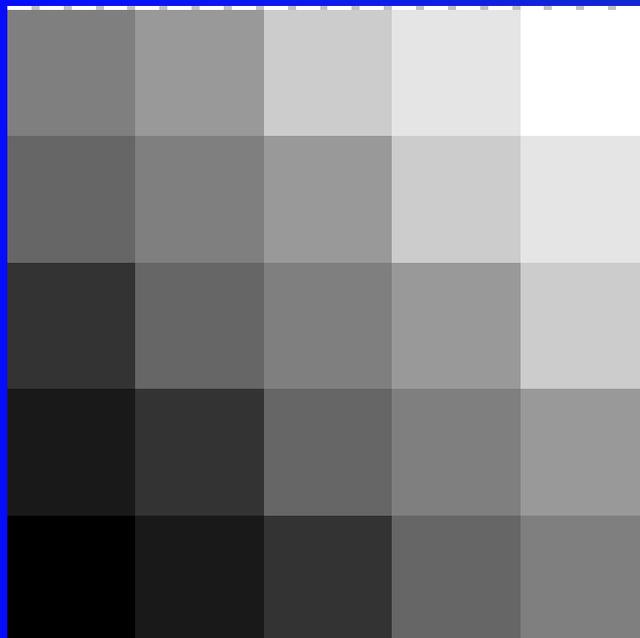
26 51 102 128 153

0 26 51 102 128

# Codifica **in chiaro** di immagini nella scala dei grigi file **Portable greymap (\*.pgm)**

**P2 5 5 255**

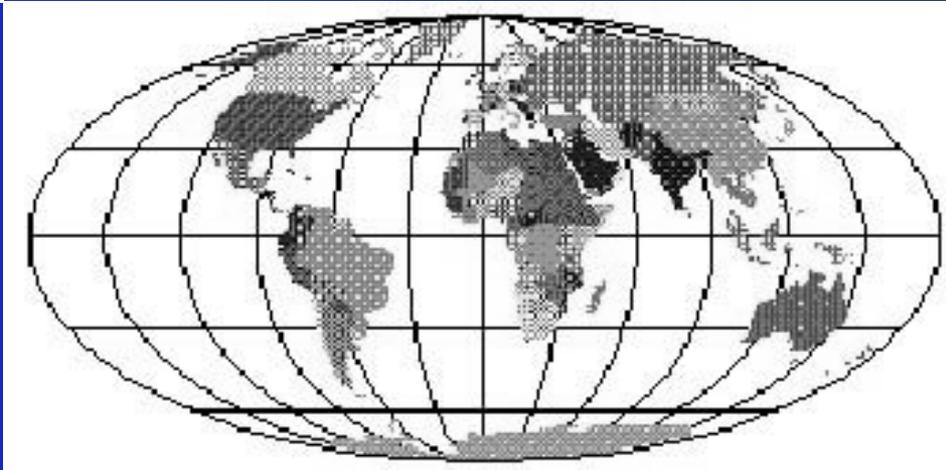
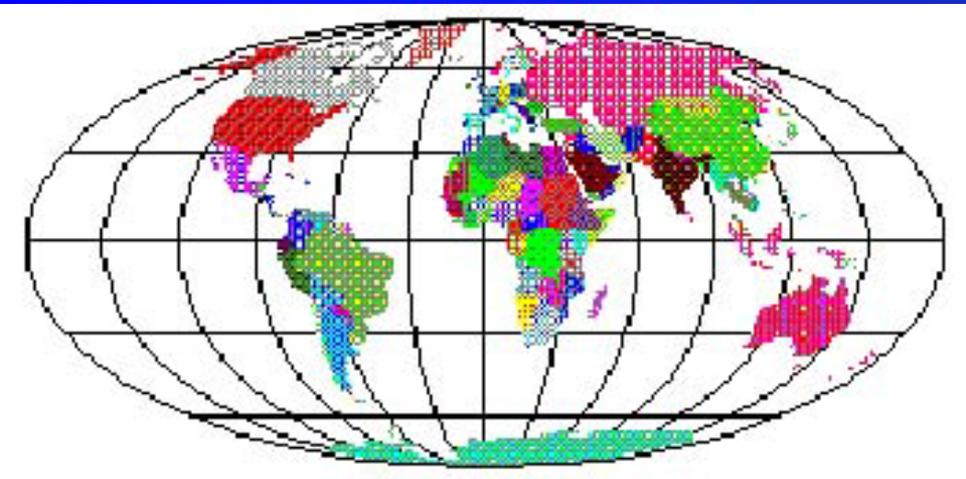
**128 102 51 26 0 153 128 102 51 26 204 153 128 102 51 230  
204 153 128 102 255 230 204 153 128**



128	153	204	230	255
102	128	153	204	230
51	102	128	153	204
26	51	102	128	153
0	26	51	102	128

Codifica **in chiaro** di immagini nella scala dei grigi

logo Innovamatica



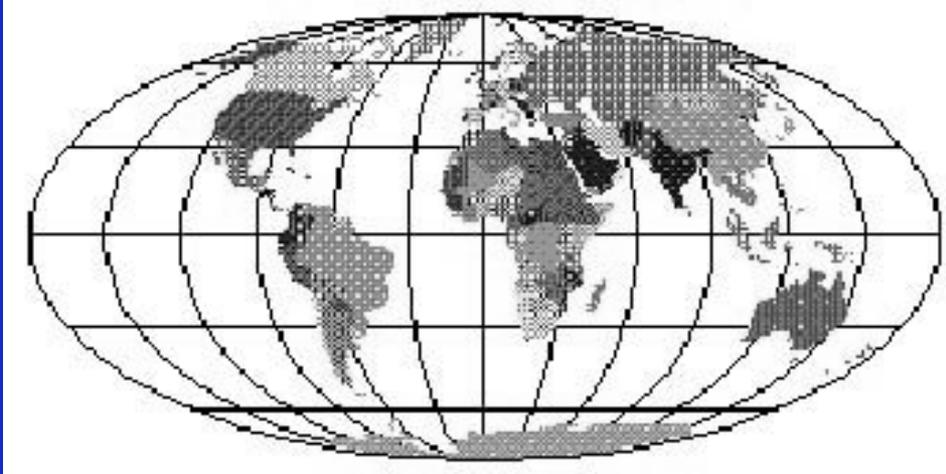
# logo Innovamatica

P2

# Created by Paint Shop Pro 7

350 175

255



255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255  
255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255  
255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255  
255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255  
255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255  
255 255 255 255 255 254 253 253 254 254 254 254 254 254 254 254 255 254  
254 254 253 253 254 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255  
255 255 254 254 254 254 254 254 254 254 255 253 252 255 248 254 255 254  
254 253 252 252 254 254 254 252 251 252 254 252 252 252 253 244 254 243  
248 253 253 249 253 252 252 246 253 253 246 253 248 249 253 253 250 253  
252 253 254 253 253 253 252 249 248 254 250 253 252 252 254 254 254 255  
247 252 254 254 253 253 253 252 254 253 250 252 253 246 252 253 248 251

.....

# **Rappresentazione di immagini a colori**

# Rappresentazione di immagini a colori

Nell' occhio umano le cellule sensibili alla luce (fotorecettori) sono di due tipi:

- bastoncelli utilizzati per la visione in bianco e nero in condizioni di bassa luminosità

- coni entrano in azione solo ad una certa luminosità e sono responsabili della visione a colori

I coni sono distinti in tre famiglie (disposte in altrettante zone della retina) in base alla sensibilità al colore:

luce **rossa**, **verde** o **blu**

**Quindi tre sono i colori fondamentali che costituiscono la “base” della visione a colori**

**Sistema additivo RGB**

# Rappresentazione di immagini a colori

Gli schermi TV e i vari tipi di monitors a colori utilizzano sistemi di visualizzazione basati sulla sintesi additiva RGB

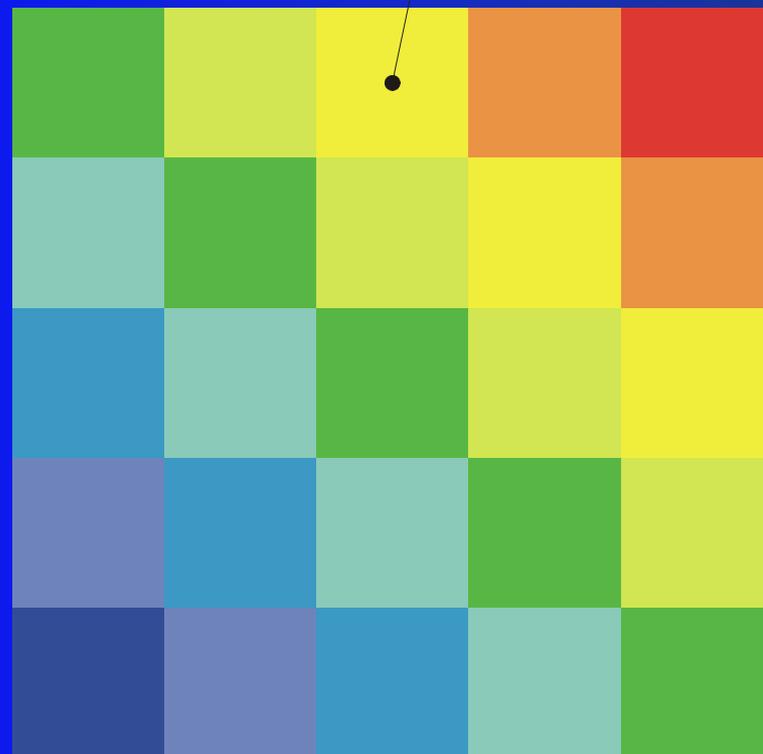
**Al processo RGB può essere associato un sistema di riferimento 3D a coordinate intere**

**Ogni colore** – ottenuto miscelando i tre colori primari - è **rappresentato da una terna**

**$(r,g,b)$**

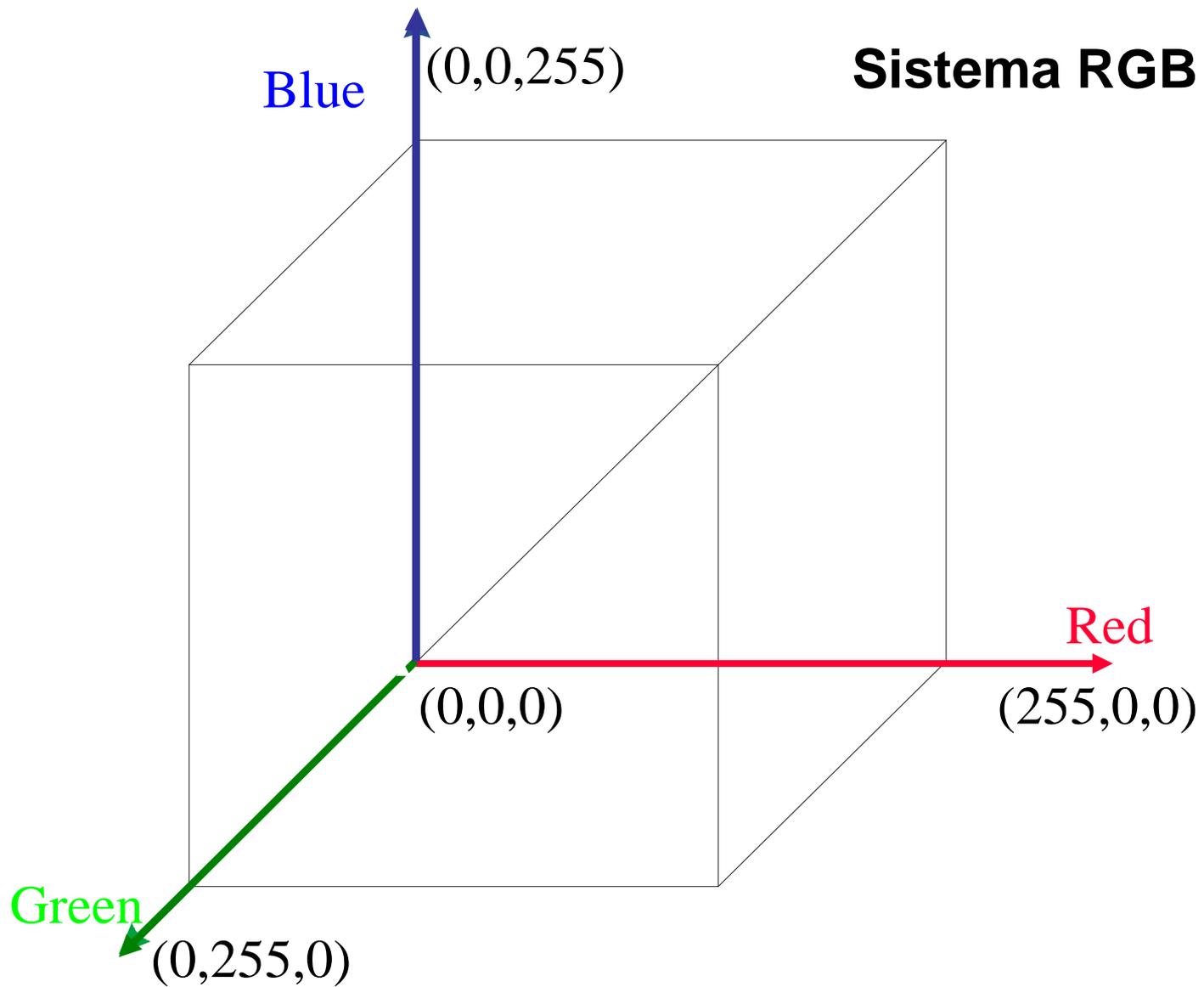
ove ciascun elemento è un numero intero fra 0 e 255

## Sistema RGB

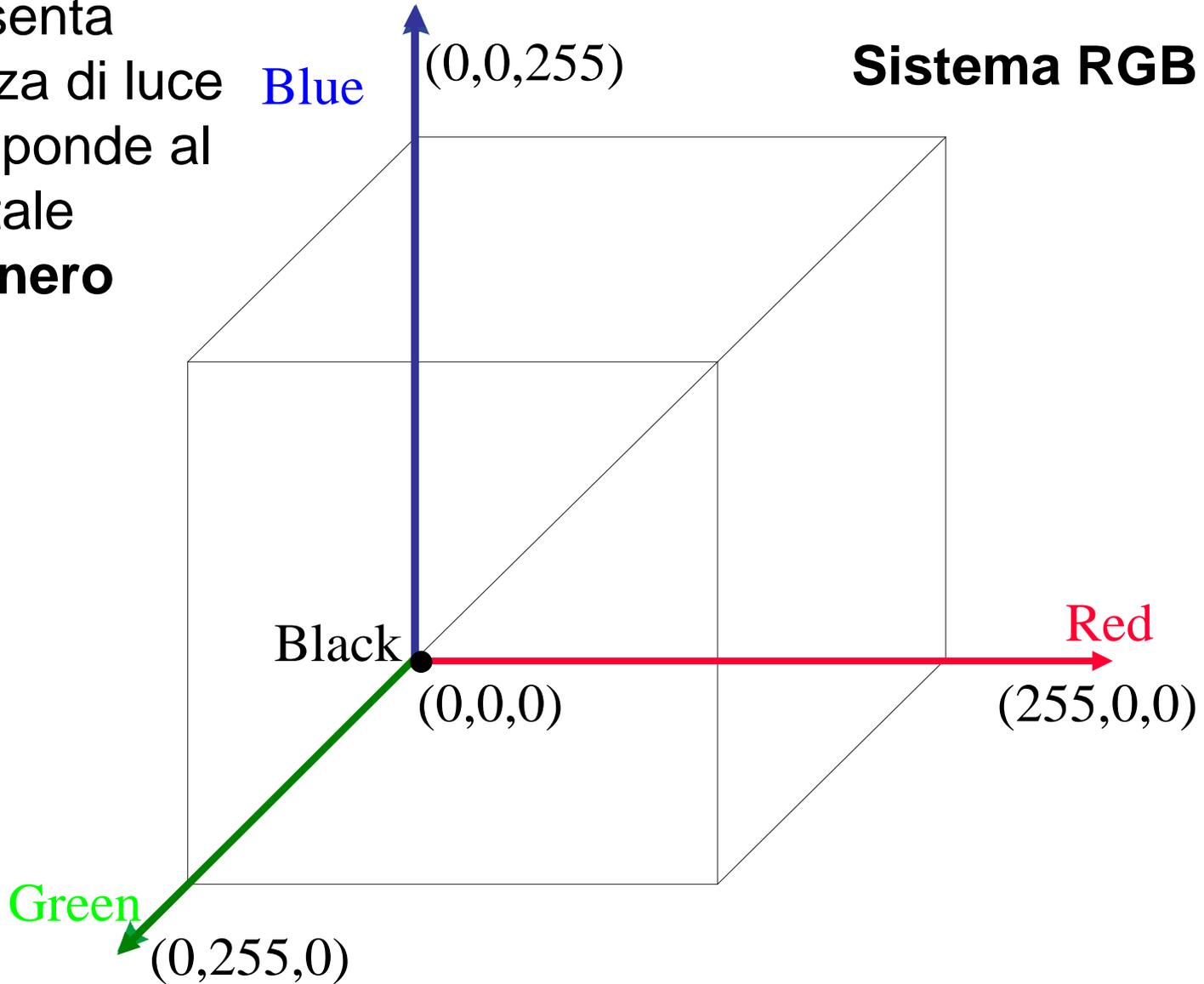


(255, 255, 0)

ogni terna  $(r,g,b)$  è rappresentata da  
tre stringhe binarie ciascuna di 8 caratteri  
ovvero da una stringa binaria di 24 bit (cioè 3 byte)

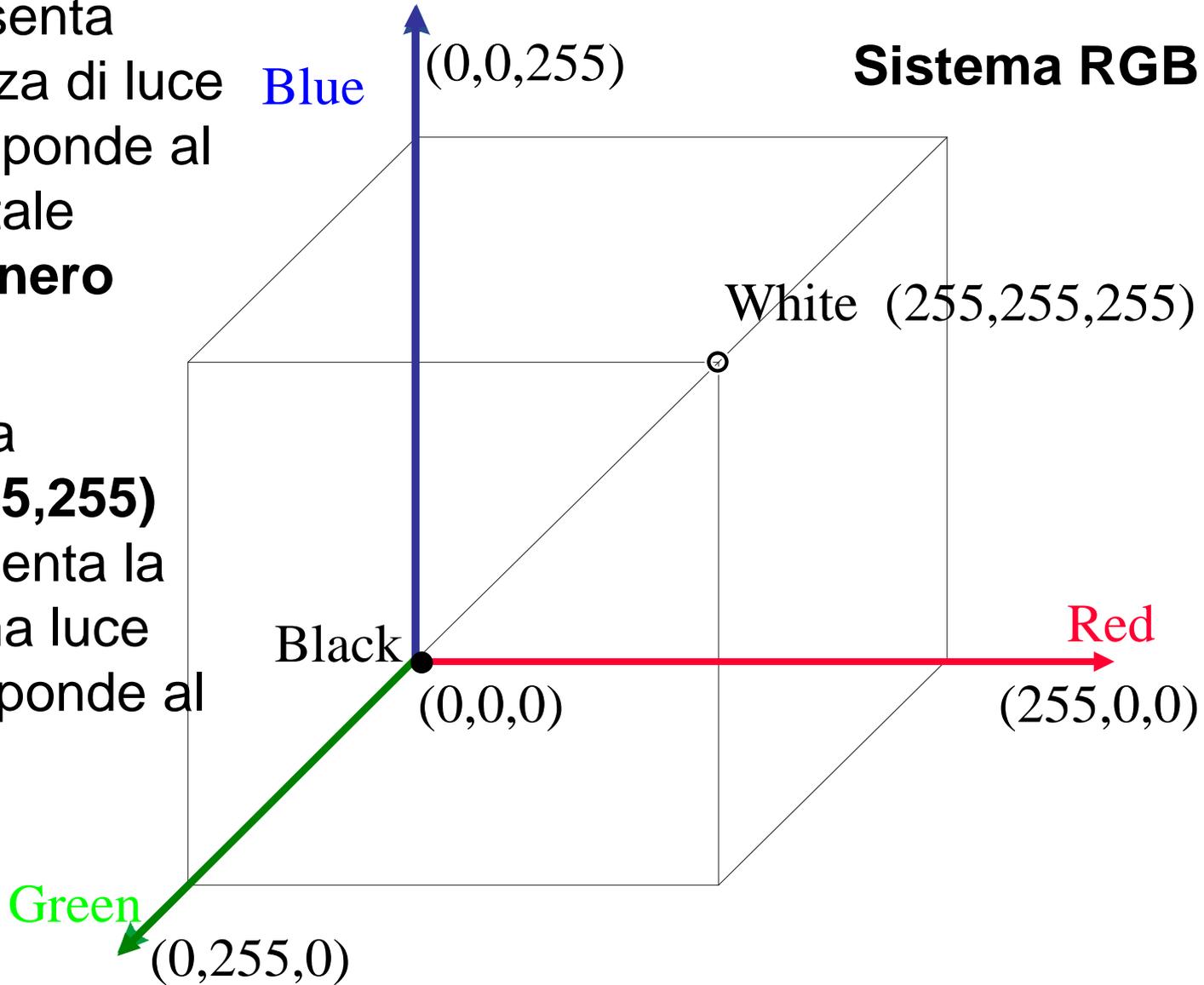


La terna **(0,0,0)**  
rappresenta  
l'assenza di luce  
e corrisponde al  
buio totale  
cioè al **nero**

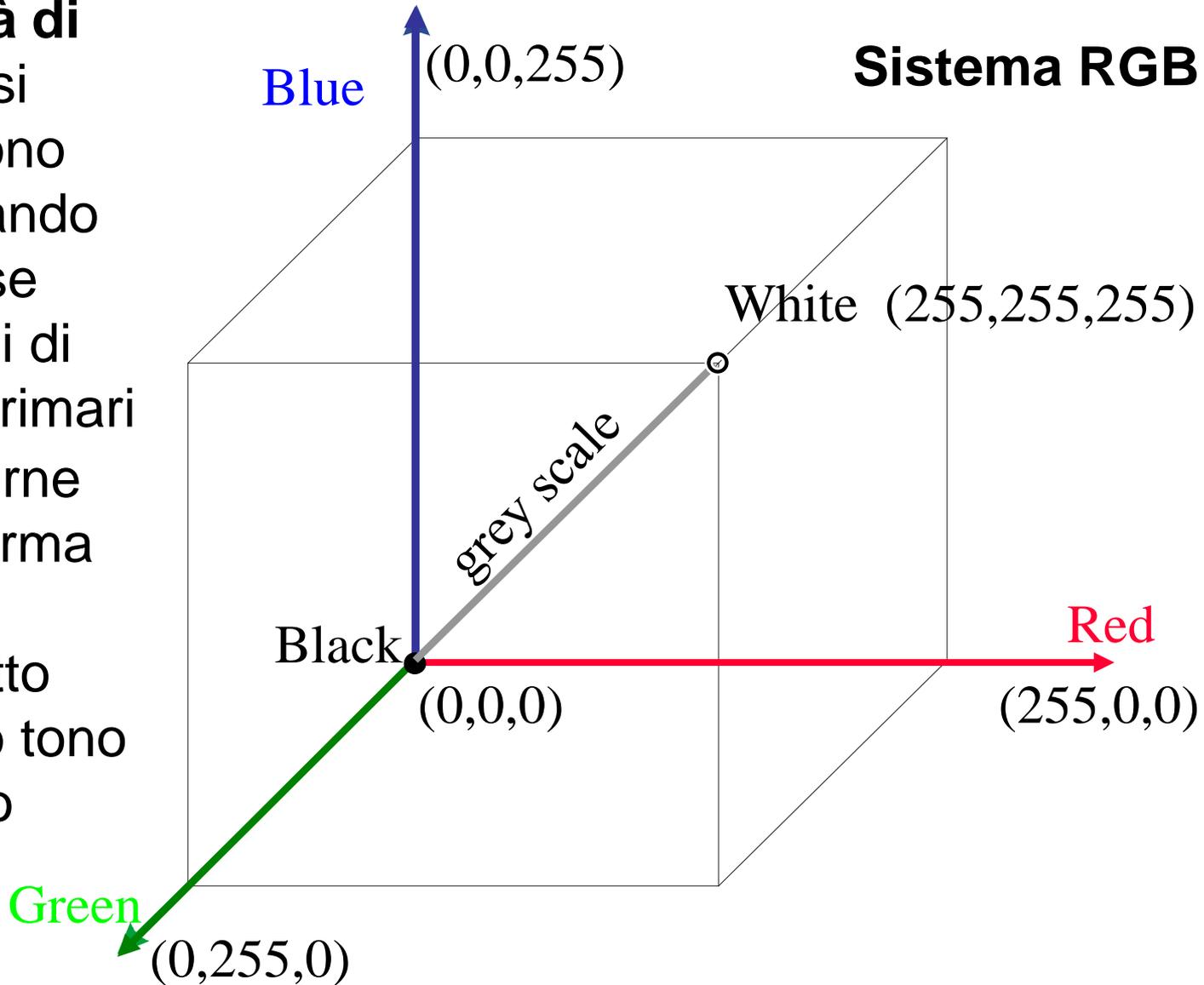


La terna **(0,0,0)**  
rappresenta  
l'assenza di luce  
e corrisponde al  
buio totale  
cioè al **nero**

La terna  
**(255,255,255)**  
rappresenta la  
massima luce  
e corrisponde al  
**bianco**

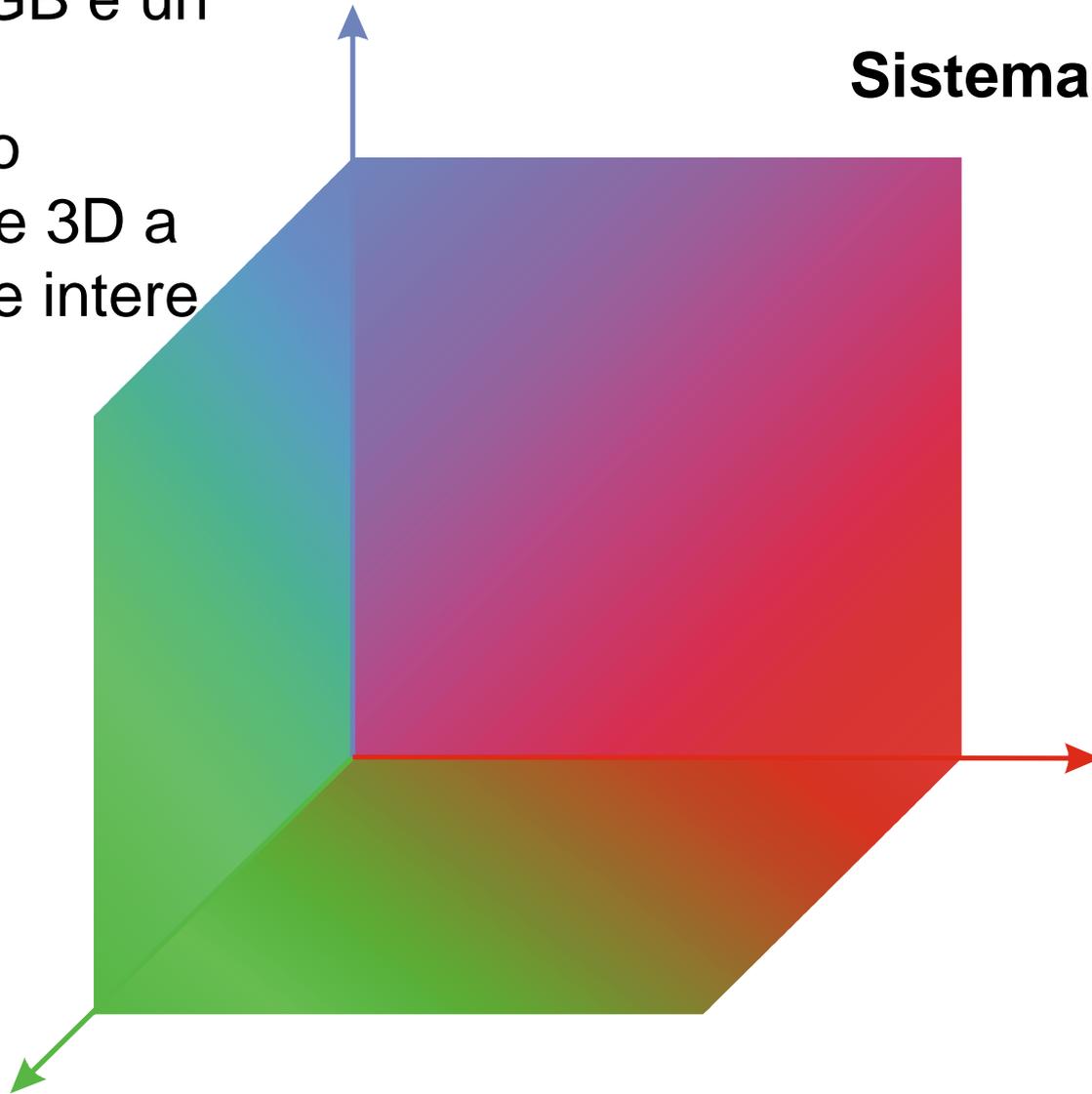


Le diverse tonalità di grigio si ottengono miscelando le stesse porzioni di colori primari sono terne della forma  $(h,h,h)$   $h$  è detto livello o tono di grigio



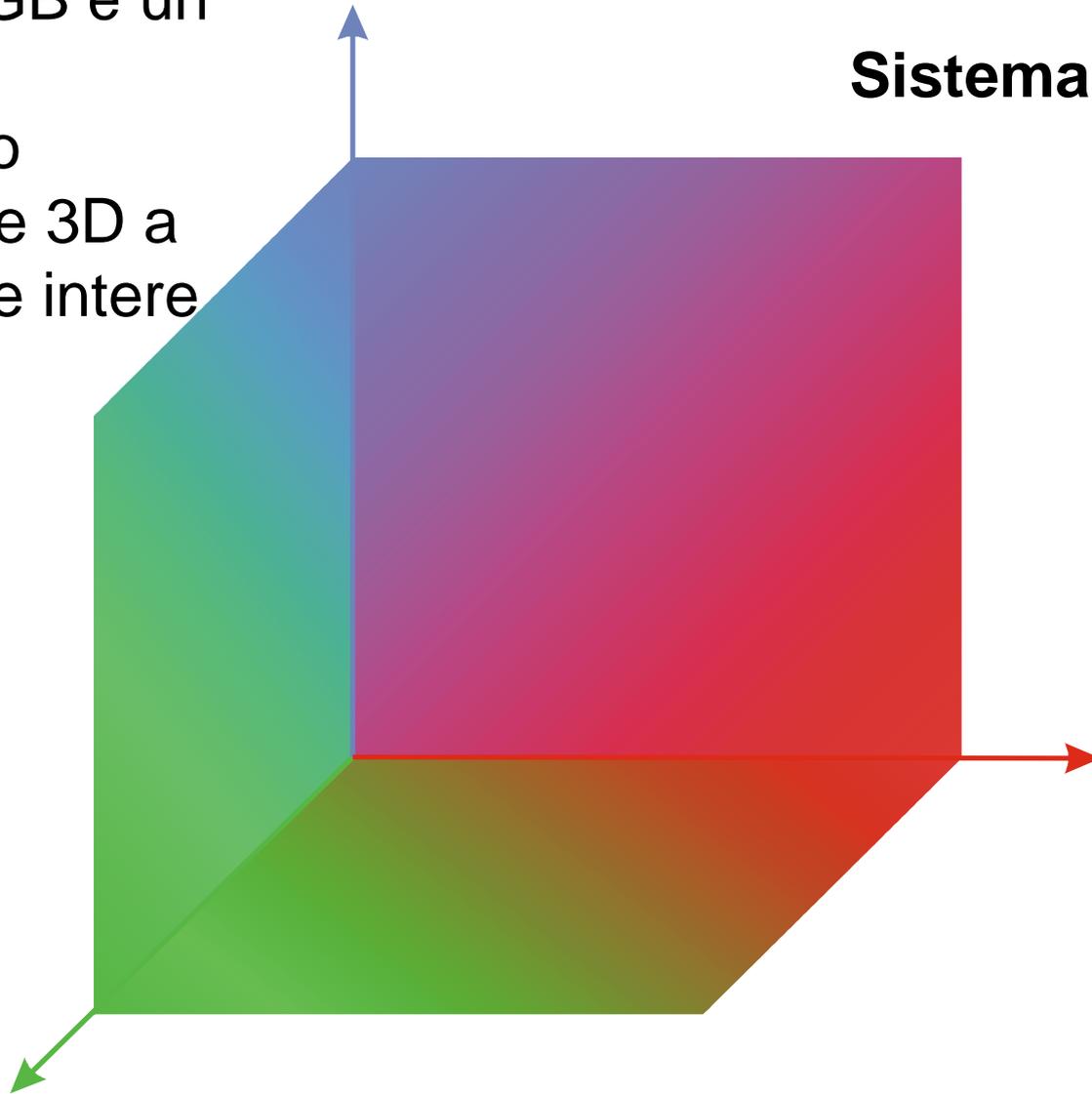
Il cubo RGB è un sistema cartesiano ortogonale 3D a coordinate intere

**Sistema RGB**



Il cubo RGB è un sistema cartesiano ortogonale 3D a coordinate intere

**Sistema RGB**



**Scala RGB a 24 bit**

**$256^3 \approx 16$  milioni di colori**

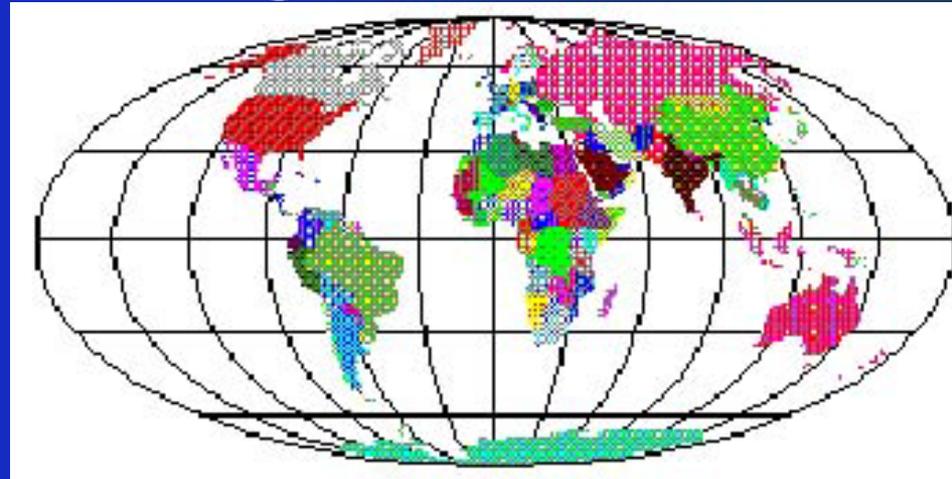
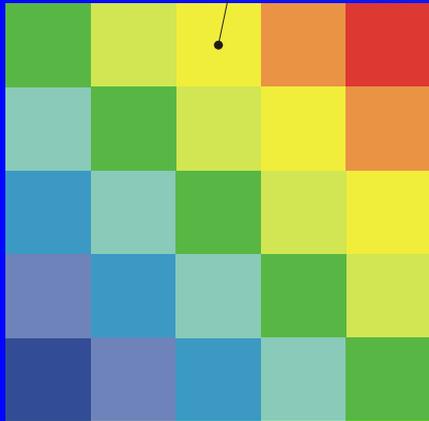
Nei programmi per la creazione e il ritocco di immagini è disponibile una “tavolozza” di sfumature cromatiche.

Cliccando su uno dei colori, appare a video la corrispondente terna RGB,

Viceversa digitando una terna di numeri compresi tra 0 e 255, una paletta assume il colore corrispondente.

# Codifica in chiaro di immagini a colori

(255, 255, 0)



file Portable pixmap (\*.ppm)

P3

# Created by Paint Shop Pro 7

350 175

255

255 254 253 248 247 243 254 255 255 241 249 251 244 255 255 244 255 255  
235 240 236 255 255 251 238 234 231 42 43 35 0 5 0 0 6 0 15 18 0 7 1 0  
16 4 0 8 0 0 2 3 0 0 2 0 0 1 0 0 1 0 3 0 0 27 26 22 0 3 0 0 3 0 9 9 7 1 0 0  
19 17 18 7 7 7 3 3 3 3 3 6 8 7 0 1 0 9 11 10 0 1 0 2 6 5 0 2 0 14 20 18

.....

**Codifica *criptata* di un'immagine**

# Codifica *criptata* di un'immagine

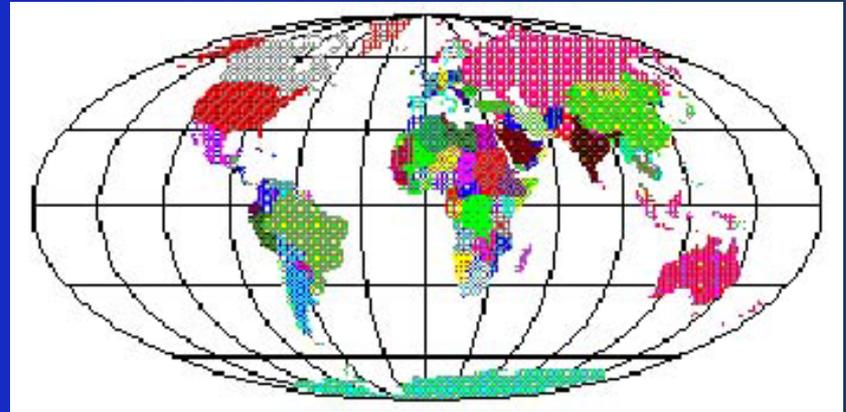
Allo scopo di ridurre lo spazio necessario alla memorizzazione di un'immagine sono stati introdotti numerosi algoritmi di codifica non in chiaro che riescono a raggiungere notevoli rapporti di compressione con perdite accettabili dell'informazione

**Formati più diffusi:** \*.jpg    \*.tif    \*.gif    \*.wmf  
                          \*.bmp    \*.img    \*.eps .....

**Dimensione di un'immagine digitale**

# Image size

Immagine logo  
*Innovamatica*

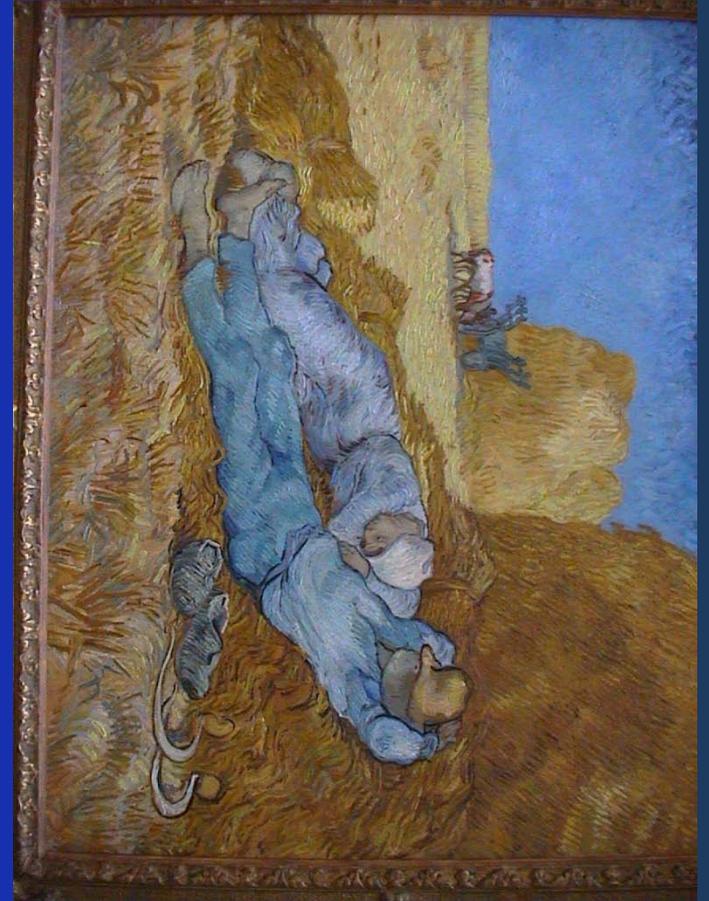


Rappresentazione digitale	formato	size kbyte
Bianco-nero	pbm	122
Scala dei grigi	pgm	233
16 MI di colori	ppm	693
Compressa	jpg	25
Non compressa	tif	180

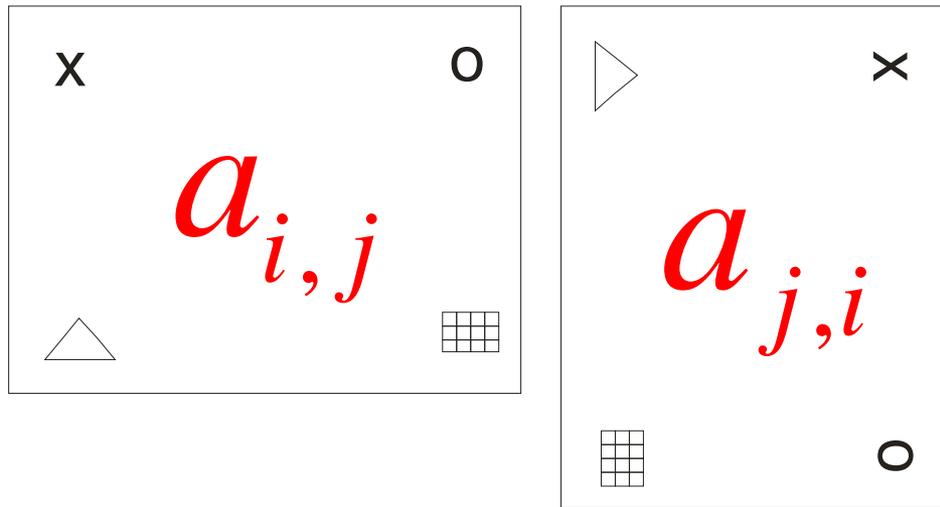
**Manipolazione di immagini digitali**

**Effetti grafici e artistici**

# Rotazioni



# Rotazione di 90°



Matrice trasposta

Rotazione di un angolo  $\alpha$

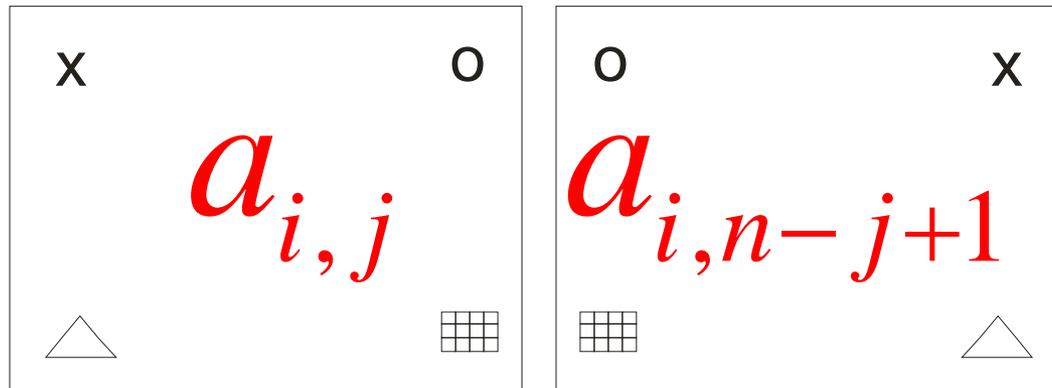


Rotazione del sistema di riferimento

# Mirror



# Mirror y

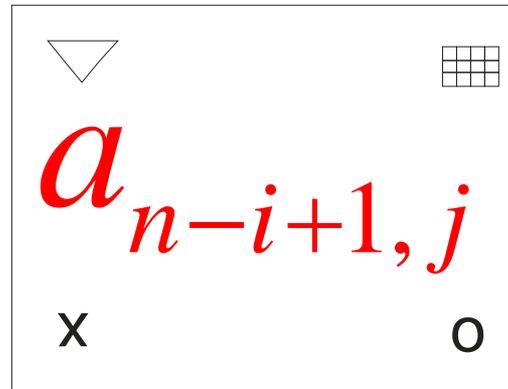
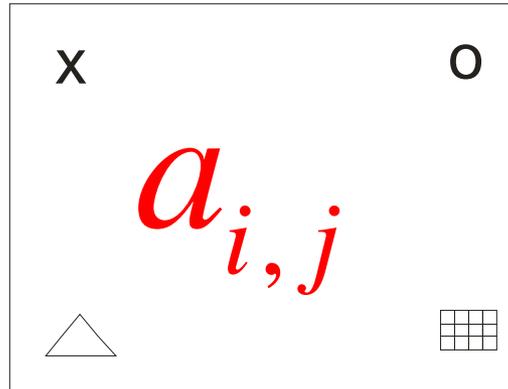


permutazione colonne

# Mirror



# Mirror $x$



permutazione righe

Zoom-out

Algoritmi di interpolazione



Zoom-in

Algoritmi di selezione



# Collage

## Algoritmi di media pesata



# Stampa di immagini digitali

# Stampa di una immagine

Supponiamo di voler stampare un'immagine a colori visualizzata sul monitor di un PC



**Stampa a colori**



**Stampa non a colori**

# Stampa di una immagine

Supponiamo di voler stampare un'immagine a colori visualizzata sul monitor di un PC



**Stampa a colori**



**Stampa non a colori**

**scala dei grigi**

**b/n**

**Stampa a colori**

# Stampa a colori

Il **colore di un oggetto** è sostanzialmente il colore di quella **parte della luce** che non viene assorbita dai pigmenti dell'oggetto, ma è **riflessa verso l'osservatore**.

Il sistema è chiaramente **sottrattivo** perché la formazione delle tinte è basata sull'assorbimento (sottrazione) di determinati colori da parte dei pigmenti.

# Stampa a colori

Dai vertici del cubo RGB si deduce

- un pigmento che assorbe il **rosso** riflette sia il verde che il blu, quindi appare di colore **ciano** (combinazione di verde e blu)
- un pigmento che assorbe il **verde** riflette sia il rosso che il blu, quindi appare di colore **magenta** (combinazione di rosso e blu)
- un pigmento che assorbe il **blu** riflette sia il verde che il rosso, quindi appare **giallo** (combinazione di verde e rosso)

immagine → stampa



RGB



CMY



# Sistema CMY

I tre pigmenti fondamentali ciano, magenta e giallo costituiscono il **sistema sottrattivo dei pigmenti** denotato CMY da

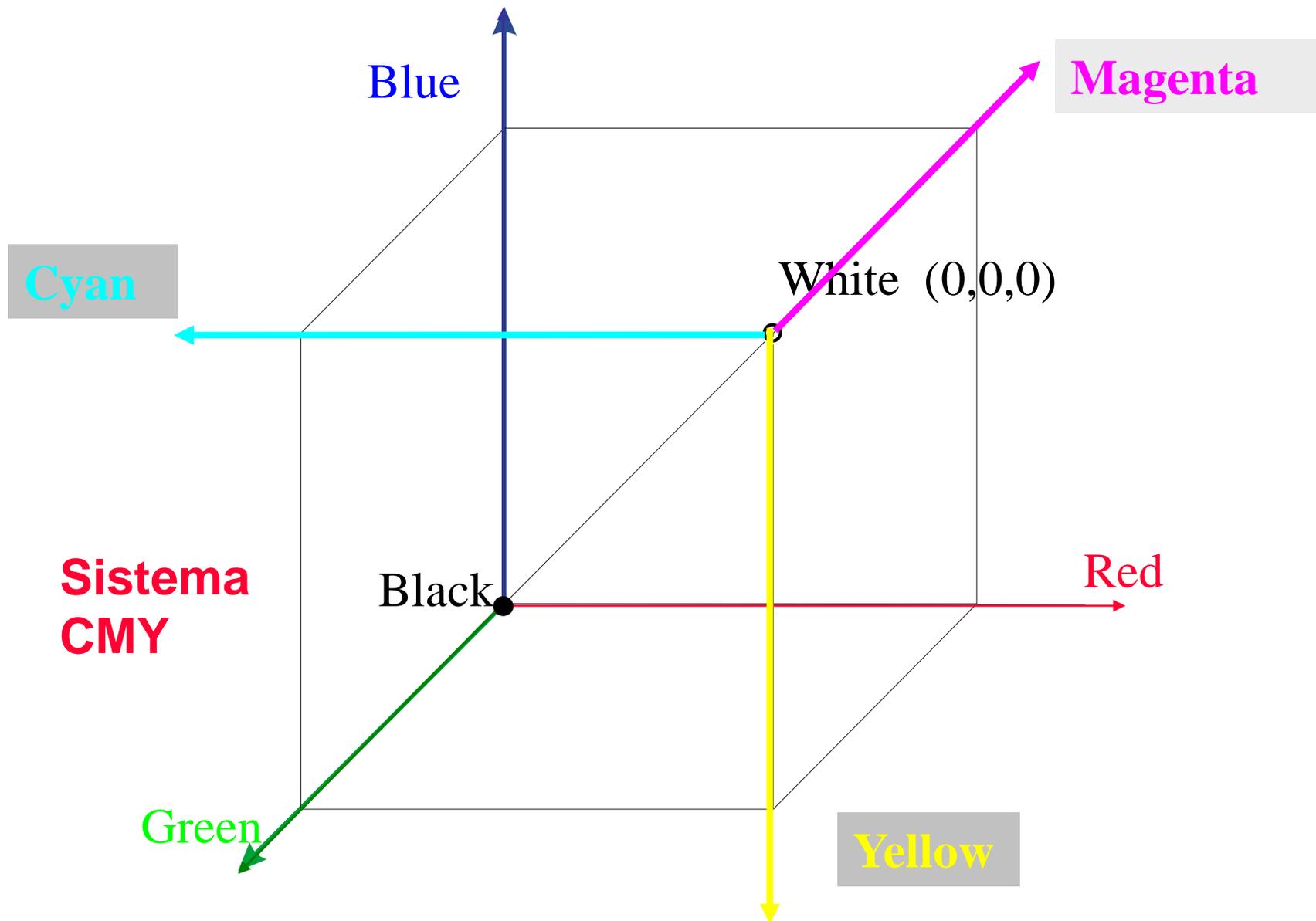
**cyan = ciano**      **magenta**      **yellow = giallo**

Il **sistema CMY** è quello su cui si basa la stampa, infatti le cartucce delle stampanti a colori sono dotate dei tre pigmenti: ciano, magenta e giallo.

A volte si hanno cartucce separate per ciascun colore

Il colore magenta deve il nome alla tinta dei pantaloni degli zuavi che, nelle file dell'esercito francese, contribuirono alla vittoria franco-piemontese sugli austriaci nella battaglia di Magenta (1859) della seconda guerra di indipendenza.

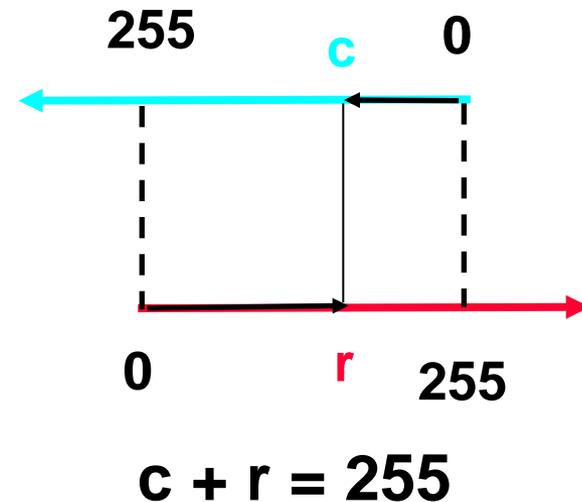
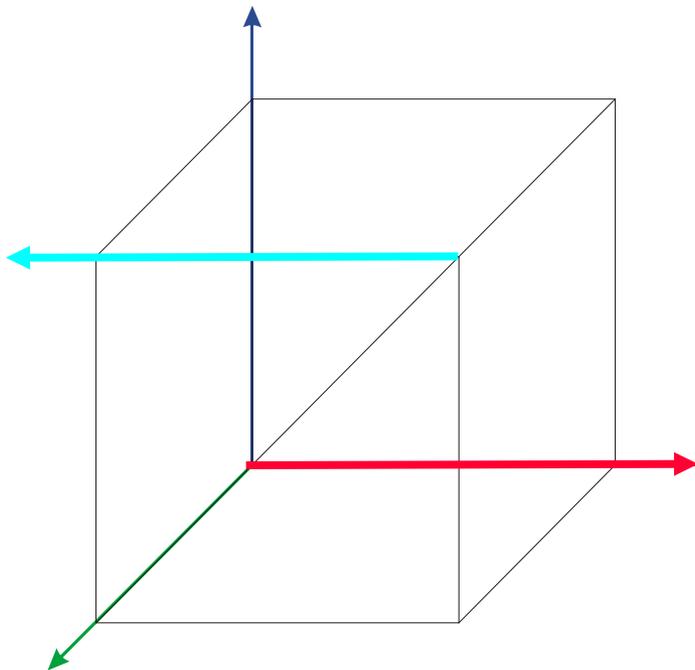
# Rappresentazione in 3D del sistema CMY



# Trasformazione da RGB a CMY

Poiché il **monitor** utilizza il sistema additivo **RGB**, mentre il **dispositivo di stampa** utilizza il sistema sottrattivo **CMY**, è necessario un **commutatore di indirizzo** cioè una trasformazione di coordinate

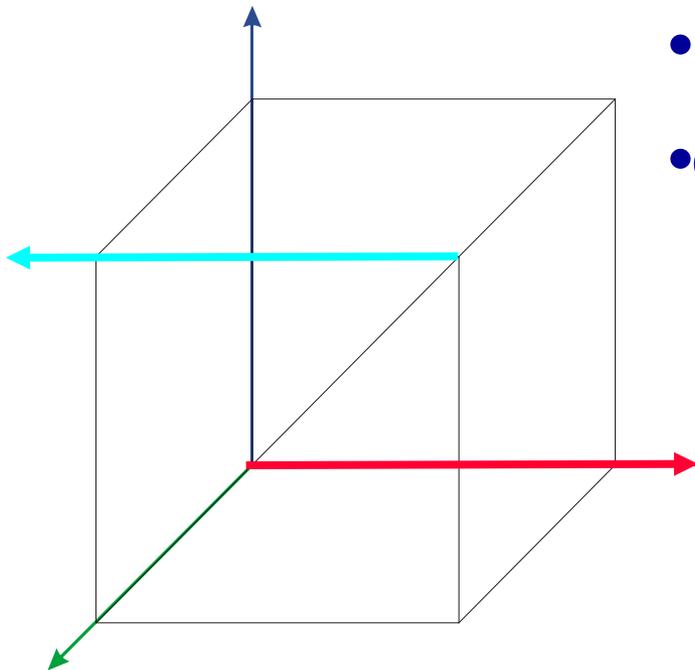
$(r,g,b)$    $(c,m,y)$



# Trasformazione da RGB a CMY

Poiché il **monitor** utilizza il sistema additivo **RGB**, mentre il **dispositivo di stampa** utilizza il sistema sottrattivo **CMY**, è necessario un **commutatore di indirizzo** cioè una trasformazione di coordinate

$(r,g,b)$    $(c,m,y)$



• *traslazione*

• **commutazione orientamento assi**

$$\begin{cases} c = -r + 255 \\ m = -g + 255 \\ y = -b + 255 \end{cases}$$

# Stampa con il sistema CMYK

In realtà il sistema CMY è sostituito dal modello

## CMYK

con l'aggiunta del colore nero (K=black)

L'aggiunta del quarto inchiostro è dovuta a ragioni

- tecnologiche: attualmente non è possibile ottenere pigmenti dei tre colori primari così puri da fornire un nero deciso quando mescolati in parti uguali
- economiche: l'inchiostro nero è meno costoso degli altri tre e quindi il sistema CMYK è più economico del sistema CMY

## Stampa in esacromia

Alcune case costruttrici di stampanti, per migliorare la qualità di stampa, hanno aumentato il numero degli inchiostri, passando dalla quadricromia CMYK alla

**esacromia**

con l'aggiunta di

**ciano chiaro**

e

**magenta chiaro**

# Ingrandimento di immagini

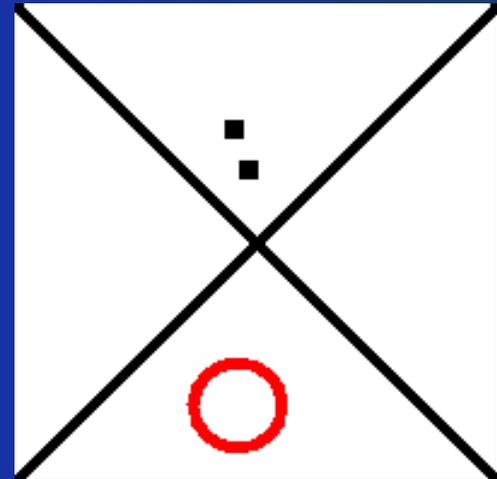
(algoritmi di interpolazione)

- Supponiamo di volere ingrandire di

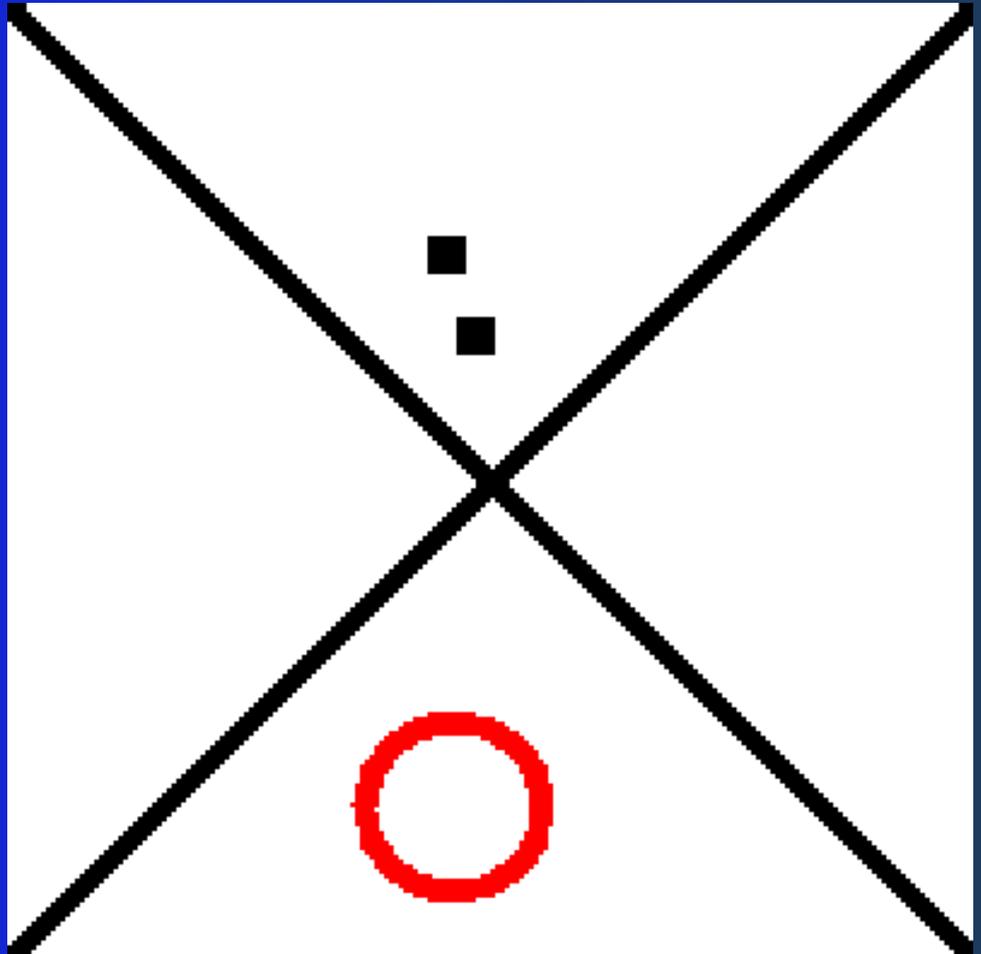
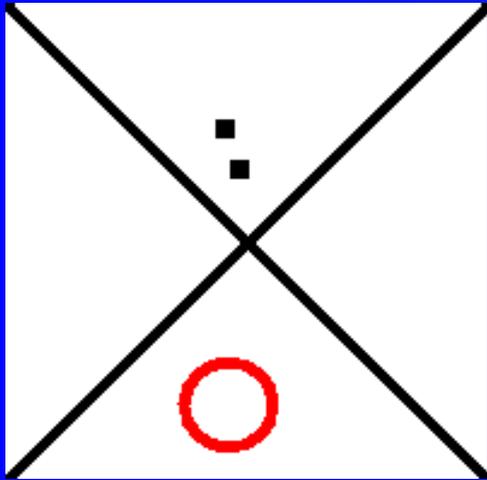
2 volte

l'immagine accanto.

Si tratta di un'immagine quadrata in formato bmp di 200 pixel di lato.

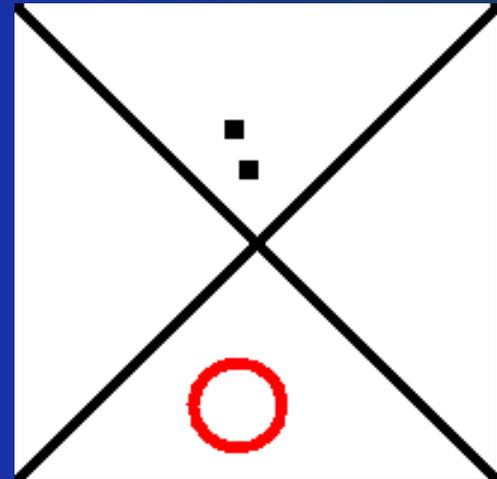


# Ingrandimento di immagini



# Ingrandimento di immagini

- Per ingrandire un'immagine si può far ricorso a diversi programmi: da Paint a Photoshop
- Qual è la differenza?
- Che tipi di **algoritmi** usano?

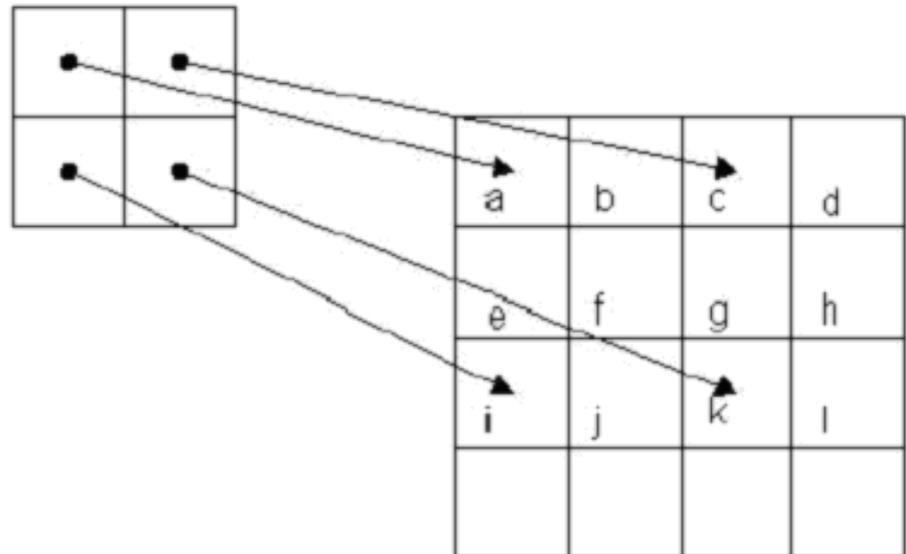


# Ingrandire un'immagine

- Supponiamo di dover raddoppiare la dimensione di una immagine.

E' necessario assegnare un colore ai pixel intermedi.

- Per tale assegnazione vengono usate tecniche di **interpolazione**.

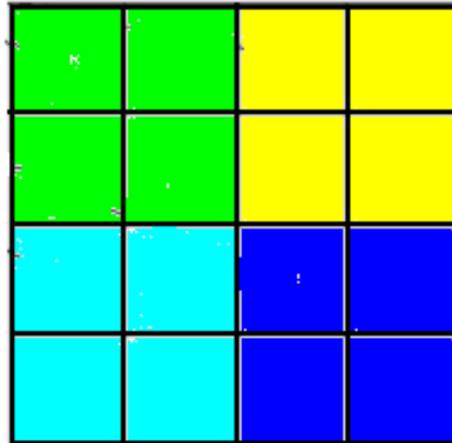
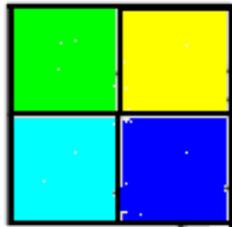


# Gli algoritmi usati

- **duplicazione dei pixel**
- **Interpolazione bilineare composita**
- **Spline (quadratiche o cubiche)**

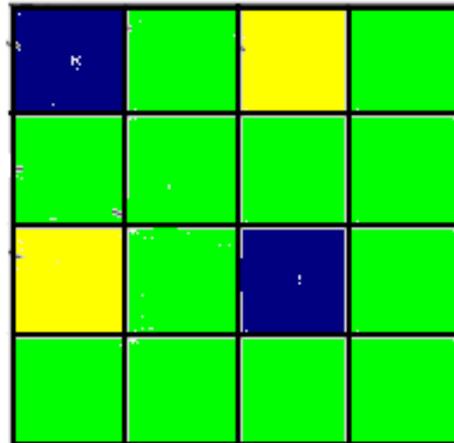
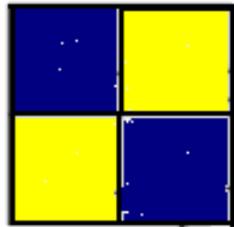
# Duplicazione dei pixel

- L'algoritmo si basa sulla duplicazione dei pixel.



# Interpolazione bilineare

- Il colore dei pixel mancanti è ottenuto facendo una media del colore dei pixel “adiacenti”



# Interpolazione mediante funzioni spline.

- Piuttosto che interpolare *con un polinomio (di grado elevato)* numerosi nodi del reticolo, si rivela più efficiente interpolare coppie di punti adiacenti mediante curve di ordine due (spline quadratiche) oppure di ordine tre (spline cubiche), *raccordando “opportunamente” tali curve fra loro*

# Gli algoritmi attualmente in uso

- Paint usa la duplicazione dei pixel
- Paint shop pro e Photoshop usano
  - la duplicazione
  - l'interpolazione lineare
  - le spline cubiche.