

# Filtri e convoluzioni

- La terza e ultima famiglia di operazioni per l'elaborazione delle immagini è quella dei **filtri** e delle **convoluzioni**
- Le elaborazioni di questa famiglia modificano il valore (colore, trasparenza, ecc.) di un pixel in base a un calcolo sui valori dei pixel vicini
- Diversi tipi di calcolo producono effetti di tipo diverso

# Convoluzioni

- In generale, la **convoluzione** è un'operazione matematica (simbolo: \*) che, date due funzioni, ne produce una terza che è calcolata come segue:

$$(f * g)(t) = \int f(\tau)g(t - \tau) d\tau$$

- Nelle applicazioni grafiche, si usano convoluzioni su funzioni bidimensionali
  - ogni funzione corrisponde a un canale
  - $f$  e  $g$  possono anche essere lo stesso canale!

# Convoluzioni

- Nel caso della grafica,  $f$  e  $g$  saranno due (canali di) immagini, e quindi rappresentabili con funzioni a valori discreti (per esempio, 0-255) su domini limitati (pari alla risoluzione delle immagini)
- L'equazione precedente (su immagini di  $M \times N$  pixel) diventa quindi:

$$(f * g)(x, y) = \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N f(x, y) g(x-i, y-j)$$

# Convoluzioni

- L'applicazione delle convoluzioni in grafica può essere più facilmente spiegata graficamente come segue:
  - consideriamo una matrice  $n \times n$  (di solito  $n$  è dispari), il cui punto centrale viene fatto coincidere con un pixel dell'immagine
  - moltiplichiamo i valori nella matrice con i valori dei pixel corrispondenti, e sommiamo tutti i risultati
  - Il valore ottenuto è il valore del pixel centrale nel risultato
  - l'operazione viene ripetuta (spostando la matrice) per tutti i pixel dell'immagine

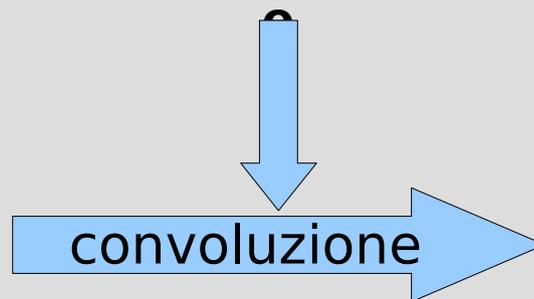
# Convoluzioni

- Esempio:

0	$\frac{1}{4}$	0
$\frac{1}{4}$	0	$\frac{1}{4}$
0	$\frac{1}{4}$	0

**matrice di  
convoluzione**

100	100	200	200
120	120	220	100
140	140	220	80
160	200	252	40



100	100	200	200
120	145	160	100
140	170	173	80
160	200	252	40

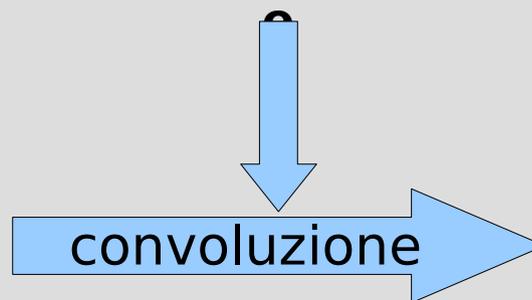
# Convoluzioni

- Esempio:

0	$\frac{1}{4}$	0
$\frac{1}{4}$	0	$\frac{1}{4}$
0	$\frac{1}{4}$	0

matrice di  
convoluzione

100	100	200	200
120	120	220	100
140	140	220	80
160	200	252	40



100	100	200	200
120	145	160	100
140	170	173	80
160	200	252	40

$$\begin{aligned} &100 \times 0 + 100 \times \frac{1}{4} + 200 \times 0 + \\ &120 \times \frac{1}{4} + 120 \times 0 + 220 \times \frac{1}{4} + \\ &140 \times 0 + 140 \times \frac{1}{4} + 220 \times 0 \end{aligned} = 145$$

# Convoluzioni

- La matrice che si usa per contenere i coefficienti della convoluzione è detta ***kernel*** (*nucleo*) della convoluzione
- Perché i valori numerici rimangano nel range dei valori ammissibili (per esempio, 0-255), occorre che la somma di tutti i coefficienti sia 1
  - altrimenti, l'immagine viene scurita o schiarita ad ogni passaggio – può anche essere desiderabile...

# Convoluzioni

- Kernel diversi producono effetti grafici diversi

0	$\frac{1}{4}$	0
$\frac{1}{4}$	0	$\frac{1}{4}$
0	$\frac{1}{4}$	0

- Esempio:
  - sostituisce ogni punto (il punto centrale del kernel) con la media dei quattro punti posti sopra, sotto, e ai lati
  - il valore del punto centrale stesso viene ignorato...
  - in pratica, l'immagine viene un po' "sfumata" o "sfocata"...

# Convoluzioni

0	$\frac{1}{4}$	0
$\frac{1}{4}$	0	$\frac{1}{4}$
0	$\frac{1}{4}$	0

**matrice di  
convoluzion**



**convoluzione** →



# Convoluzioni

- Kernel diversi producono effetti grafici diversi

0	-1	0
-1	5	-1
0	-1	0

- Esempio:
  - esalta il valore originale del punto, aumentandolo tanto più quanto più i punti vicini sono diversi
  - in pratica, si aumenta il contrasto *puntuale* dell'immagine
  - si interviene infatti sui punti, non sui colori!
  - si aumenta il contrasto solo dove ci sono bordi

# Convoluzioni

0	-1	0
-1	5	-1
0	-1	0

**matrice di  
convoluzione**



**convoluzione**



# Convoluzioni

- Kernel diversi producono effetti grafici diversi

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

- Esempio:
  - la somma dei coefficienti è 0: l'immagine finale sarà più scura dell'originale...
  - nelle zone di colore uniforme, i 4 coefficienti 1 e il -4 si annullano a vicenda: verrà nero
  - nelle zone di colore non uniforme, avremo invece un valore diverso da 0
  - risultato: si evidenziano i bordi!

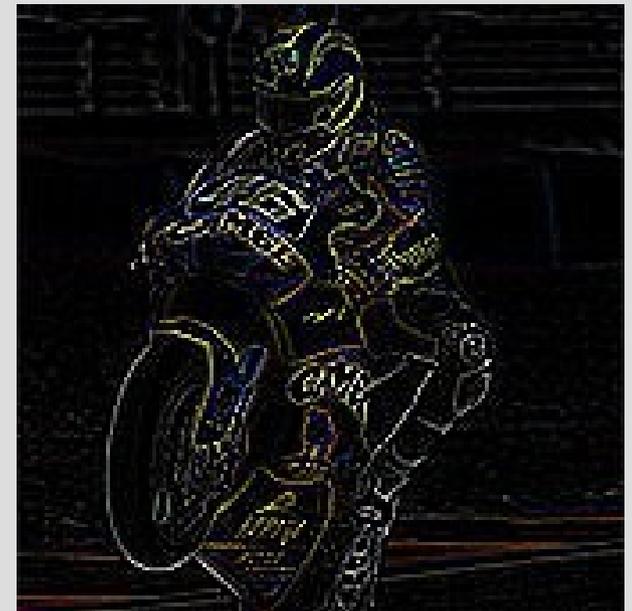
# Convoluzioni

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

**matrice di  
convoluzione**



**convoluzione**



# Convoluzioni

- Kernel diversi producono effetti grafici diversi

0	0	0
-1	1	0
0	0	0

- Esempio:
  - la somma dei coefficienti è 0: l'immagine finale sarà più scura dell'originale...
  - non è detto che la matrice debba essere simmetrica: qui, per esempio, conta solo la differenza fra un pixel e il successivo
  - se ho due pixel consecutivi dello stesso colore, il risultato è 0
  - evidenziamo i soli bordi verticali!

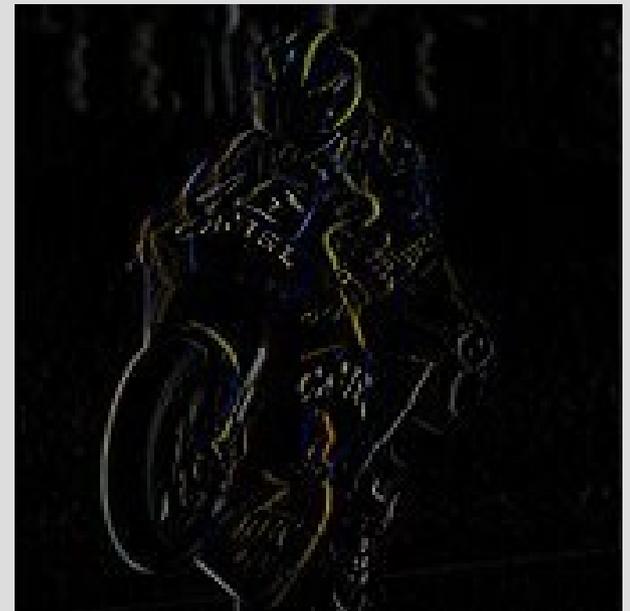
# Convoluzioni

0	0	0
1	-1	0
0	0	0

**matrice di  
convoluzione**



**convoluzione**



# Convoluzioni

- Kernel diversi producono effetti grafici diversi

2	1	0
1	1	-1
0	-1	-2

- Esempio:
  - la somma dei coefficienti è 1: l'immagine finale sarà luminosa come l'originale...
  - anche questa matrice non ha simmetria centrale: c'è però una simmetria diagonale
  - **sfida**: chi riesce a immaginare l'effetto?

# Convoluzioni

2	1	0
1	1	-1
0	-1	-2

**matrice di  
convoluzione**



**convoluzione**



l'immagine appare  
come se fosse in  
rilievo!

# Convoluzioni

-2	-1	0
-1	1	1
0	1	2

**matrice di  
convoluzion**



**convoluzione**



cambiando i segni,  
l'immagine appare  
come se fosse in  
bassorilievo

# Convoluzioni

- Esistono moltissime matrici di convoluzione “classiche”, che hanno nomi che richiamano l'effetto grafico prodotto
- Spesso i programmi di grafica le mettono a disposizione come operazioni “base”, con un nome evocativo
  - ma sotto sotto, sono sempre convoluzioni!
- I programmi migliori consentono di definire le proprie matrici
  - È possibile ottenere così degli “effetti speciali”

# Altri filtri

- Esistono poi altri filtri, che applicano tecniche analoghe alla convoluzione
  - per esempio: massimo e minimo dei pixel vicini anziché somma pesata dei valori
- I programmi di grafica offrono filtri per gli usi più comuni
- A volte è possibile definirne di propri, ma solo *scrivendoli* in un qualche linguaggio di programmazione

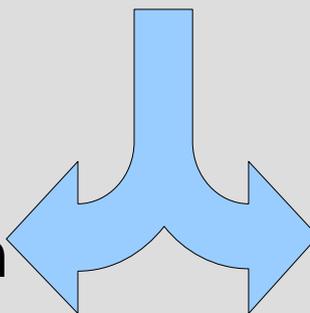
# Altri filtri

- Per esempio: i filtri **dilata** ed **erodi** allargano, rispettivamente, le parti chiare e quelle scure dell'immagine
  - ottenuti con calcoli di massimo e minimo fra i vicini
  - utili per effetti da “macchiaioli”!
- Naturalmente, come per la maggior parte dei filtri, si perderà un po' di definizione dell'immagine...

# Altri filtri



Dilata



Erodi



# Altri filtri

- Altri filtri ancora consentono di eliminare i pixel isolati
  - per esempio, un singolo pixel scuro su uno sfondo tutto chiaro, o viceversa
- Possono essere usati per “ripulire” un'immagine, eliminando il **disturbo** o **rumore** sull'immagine
  - il disturbo può essere stato introdotto, per esempio, da polvere sull'obiettivo di una macchina fotografica digitale

# Altri filtri

- Ci sono poi filtri che **aggiungono** rumore, o comunque manipolano l'immagine aggiungendo degli elementi casuali



# Altri filtri

- Infine, esistono filtri di tipo **programmativo**: la loro azione è descritta da un programma in un qualche linguaggio di programmazione
- Si trovano spesso sul web raccolte di filtri di questo tipo per gli effetti più disparati
- Spesso simulano fenomeni fisici (lenti, fuoco, colori che colano) o tecniche artistiche (mosaico, vetrata, pastello, olio)

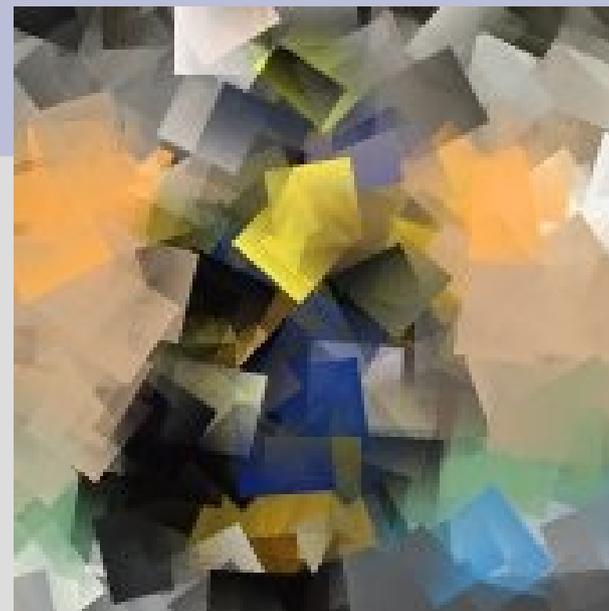
# Esempi: filtri artistici



originale



su tela



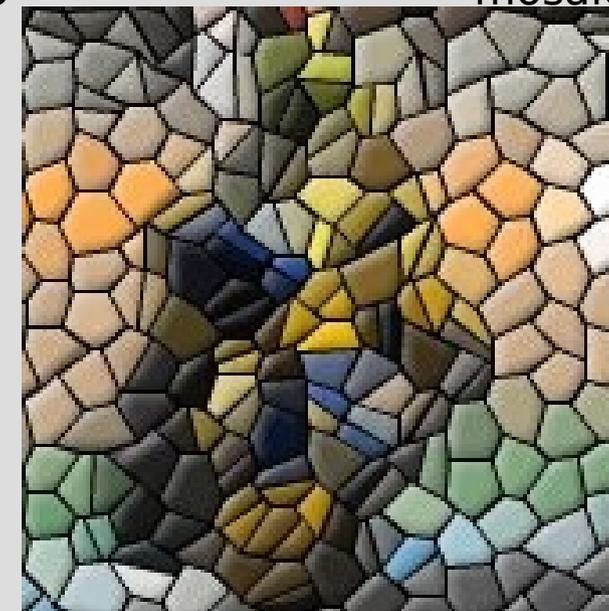
cubista



pennarello



ad olio



mosaico

# Esempi: filtri fisici



originale



lente



bagliori



supernova



stampa



sfogliato

# Altri strumenti per il ritocco di immagini

- I programmi di editing di immagini mettono spesso a disposizione altri strumenti
- **Pennello, stampino, testo, riempimenti, sfumature, gomma, mascherature...**
- Vedremo il loro uso a laboratorio!



# Riferimenti

- Il manuale di GIMP, il programma di editing digitale di immagini che usiamo, è (in Italiano) alla URL <http://docs.gimp.org/it/index.html>
- La home page di GIMP è <http://www.gimp.org>, mentre quella di Photoshop è <http://www.adobe.com/products/photoshop/>
  - da entrambe si accede a numerosi link di approfondimenti
- Approfondimenti (di tipo soprattutto matematico) sulle principali trasformazioni sono reperibili (in Inglese) all'URL <http://www.ph.tn.tudelft.nl/Courses/FIP/frames/fip.html>, nella sezione “Algorithms”
- Un'applet interattiva consente di giocare con le convoluzioni: <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/convolutiondemo.htm>
- Un testo classico di riferimento è *Digital Image Processing*, di Rafael C. Gonzalez e Richard E. Woods, Prentice Hall, 2002