

# Laboratory of image processing for computer vision

Nicola Ferru

9 luglio 2024

# Indice

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introduzione</b>   | <b>2</b>  |
| 1.1      | Argomenti . . . . .   | 2         |
| 1.2      | Cosa bisogna sapere sulla rappresentazione raster delle immagini . . . . .            | 2         |
| 1.2.1    | I pixel . . . . .   | 3         |
| 1.2.2    | La scalabilità di una immagine . . . . .  | 3         |
| 1.3      | Pareidolia e illusioni visive . . . . .   | 4         |
| 1.4      | Ambiti in cui può essere utilizzata l'elaborazione digitale delle immagini? . . . . . | 4         |
| <b>2</b> | <b>Proprietà delle immagini digitali</b>  | <b>5</b>  |
| 2.1      | Neighborhood . . . . .  | 6         |
| 2.1.1    | Adjacency (Adiacenza) . . . . .   | 7         |
| 2.1.2    | Path between pixels . . . . .   | 7         |
| 2.1.3    | Connectivity . . . . .  | 8         |
| 2.1.4    | Region . . . . .  | 8         |
| 2.1.5    | Edge . . . . .  | 8         |
| 2.1.6    | Convex hull . . . . .   | 9         |
| 2.1.7    | Area, perimetro . . . . .   | 9         |
| 2.1.8    | Tipologia di operazioni . . . . .   | 10        |
| 2.2      | Creazione di una immagine digitale . . . . .  | 10        |
| 2.2.1    | Tipo di immagine . . . . .  | 11        |
| 2.2.2    | Rappresentazione di immagine . . . . .  | 11        |
| 2.3      | Strutture dati . . . . .  | 11        |
| 2.3.1    | Matrice . . . . .   | 11        |
| 2.3.2    | Vettore . . . . .   | 12        |
| 2.3.3    | Topologie . . . . .   | 12        |
| 2.3.4    | Gerarchico . . . . .  | 12        |
| 2.3.5    | Piramidale (pyramids) . . . . .   | 13        |
| 2.3.6    | Histogram (Istogramma) . . . . .  | 15        |
| 2.3.7    | Contrasto . . . . .   | 16        |
| 2.3.8    | Contrast Stretching . . . . .   | 17        |
| 2.3.9    | Contrast expansion . . . . .  | 17        |
| 2.3.10   | Equazione istogramma . . . . .  | 19        |
| <b>3</b> | <b>Filtri nel dominio spaziale e della frequenza</b>                                  | <b>20</b> |
| 3.1      | Qualità dell'immagine . . . . .   | 20        |
| 3.2      | Nitidezza . . . . .   | 20        |
| 3.2.1    | Contrasto . . . . .   | 20        |
| 3.2.2    | Noise (rumore) . . . . .  | 20        |

# Capitolo 1

## Introduzione

### 1.1 Argomenti

Prendendo un'immagine come una funzione  $f(x, y)$ , quindi sul fronte di sviluppo sarà possibile costruire funzioni e soluzioni per poter lavorare sulle stesse.

### 1.2 Cosa bisogna sapere sulla rappresentazione raster delle immagini

Le immagini raster o a rappresentazioni di pixel, sono la tipologia di immagine più utilizzate per la rappresentazione e l'elaborazione grafica, visto che comunque nel contesto comune si rappresentano delle situazioni più o meno complesse tipicamente di applicazione reale. Per rendere efficiente la matrice si usano due sistemi:

- **RGB:** Red, Green, Blue (*Rosso*, *Verde* e *blue*), con questo sistema è possibile costruire qualunque gradiente colore in modo estremamente preciso (valori compreso tra 0 e 255 per tre valori<sup>1</sup>);
- **Graylevel:** a Gradienti di grigio (valore compreso tra 0 a 255 da nero a bianco).

#### Colori RGB

| Colore | R   | G   | B   |
|--------|-----|-----|-----|
| Nero   | 0   | 0   | 0   |
| Bianco | 255 | 255 | 255 |
| Rosso  | 255 | 0   | 0   |
| Giallo | 255 | 255 | 0   |
| Grigio | 127 | 127 | 127 |

Tabella 1.1: Colori RGB

E visto che si tratta di un sistema di rappresentazione a 8 bit per 3 colonne, quindi:

$$2^{3 \cdot 8} = 2^{24} = 16.777.216 \text{ colori}$$

Una gamma cromatica abbastanza sostanziosa da poter rappresentare in modo sufficientemente fedele qualunque oggetto reale.

---

<sup>1</sup>Un sistema di rappresentazione dei colori ad 8bit

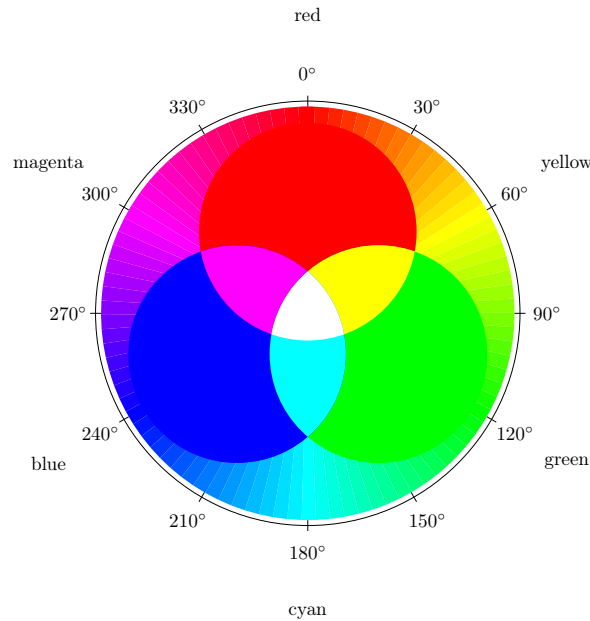


Figura 1.1: Scala di colori RGB

### Altri per rappresentare il colore

Oltre al sistema di rappresentazione del colore RGB esistono altri sistemi di codifica, tra i quali:

- **HSL**: Hue, Saturazione, Luce;
- **HSV**: Hue, Saturazione, Valore;
- **CMYK**: Ciano, Magenta, Giallo, Nero (*Sistema di stampa*).

**Nota 1.2.1** Nel caso del sistema CMYK quando tutti i colori vengono sommati si ottiene il nero, questo fu fatto per un'ottica produttiva delle stampanti, la scelta di colori ciano, magenta e giallo insieme fanno il nero, motivo per la quale molti fotocopiatori riescono a lavorare anche con il toner nero quasi esaurito.

#### 1.2.1 I pixel

I *pixel* sono il sistema di rappresentazione dell'immagine, rappresentano l'informazione unitaria, infatti, all'interno del singolo pixel può esser contenuto solo un valore (**un colore**), essendo quadrati per poter rappresentare un'immagine che presenta delle forme stondate con una buona qualità sarà necessaria una matrice di una dimensione abbondante.

#### 1.2.2 La scalabilità di una immagine

Uno dei punti che bisogna sempre considerare è proprio la scala e la scalabilità di una immagine, infatti, non esiste una dimensione<sup>2</sup> corretta per ogni situazione, infatti, dipende tutto dal caso di utilizzo, non a caso è necessaria fare una valutazione e considerare diversi fattori:

- **Dimensione**: il numero di pixel necessari a comporre l'immagine, ad esempio un'icona  $64 \times 64 \text{px}$  oppure  $128 \times 128 \text{px}$  è perfetta per l'utilizzo desktop, ma magari non è idonea per una esposizione fotografica o per un'analisi biometrica<sup>3</sup>.
- **Peso**: Il peso dell'immagine è significativa pensando all'ambito, il fatto stesso che l'immagine abbia un canale alpha o meno cambia il peso nella codifica, assieme al numero di livelli che la compongono.

<sup>2</sup>Dimensione della matrice di pixel

<sup>3</sup>un lettore di impronte digitali sta sul  $500 \times 250 \text{px}$ , ovviamente dipende dalla tipologia di sensore

- **Gamma cromatica:** La gamma cromatica è la fedeltà nella trasposizione dei colori che un formato riesce ad avere rispetto al caso reale e dipende anche dalla paletta cromatica che la codifica di suddetto formato possiede. Questo parametro è utile soprattutto nel settore fotografico e anche per tutti quei casi in cui è necessario un alto livello di dettaglio.

**Nota 1.2.2** *La questione della gamma cromatica dipende tanto dal formato, infatti, a lato informatico esistono diversi formati per la rappresentazione delle immagini, non compressi (**raw**) a quelli compressi (**quelli Lossy e quelli Lossless**).*

**Lossy** *Il contesto di utilizzo in cui la fedeltà e qualità della rappresentazione non è il punto saliente. Tipicamente cerca di rimuovere con criterio alcune sfumature cromatiche che l'occhio umano in primo acchito non nota. (Utile per la condivisione online)*

**Lossless** *Anche se compresso cerca di mantenere il più possibile la qualità e fedeltà all'immagine non compressa. (Utile anche in contesti di editing fotografico)*

*Sapendo questo sarà già possibile muoversi al meglio in questo mondo.*

## 1.3 Pareidolia e illusioni visive

Per pareidolia o illusione subconscia, intendiamo il modo in cui il nostro cervello identifichi all'interno di un oggetto, un'immagine o altro, un volto o una forma familiare, questo perché il cervello umano è pensato per identificare quello che è familiare per una questione pratica ed evolutiva.

## 1.4 Ambiti in cui può essere utilizzata l'elaborazione digitale delle immagini?

Quello dell'elaborazione digitale delle immagini può essere utilizzato in tantissimi settori diversi, da quello biomedico a quello aeronautico e aerospaziale, all'automotive, etc. Per questi motivi è sempre più centrale nel mondo ingegneristico e militare l'adozione di tali sistemi. Ma facendo un esempio concreto, un sensore di frenata che riconosca il pedone e consenta una frenata più efficace, in anticipo rispetto ai comuni riflessi umani.

## Capitolo 2

# Proprietà delle immagini digitali

L'immagine digitale è un metodo per rappresentare di un qualcosa di reale, e va a rappresentarlo con una matrice di pixel.

Le relazioni tra pixel (su intensità o livelli di grigio/coordinate spaziali)

- misura della distanza (*somiglianza*) tra i pixel;
- vicini di un pixel;
- relazione di adiacenza;
- rapporto di connettività;

La distanza tra i punti con coordinate  $(i, j)$  e  $(k, l)$

- La distanza euclidea è definita da

$$D_E = [(i, j), (k, l)] = \sqrt{(i - k)^2 + (j - l)^2} \quad (2.1)$$

e la matrice risulta composta in questo modo con un  $r = 1$ :

---

|   |            |            |   |            |            |   |
|---|------------|------------|---|------------|------------|---|
|   |            |            | 3 |            |            |   |
|   | $\sqrt{8}$ | $\sqrt{5}$ | 2 | $\sqrt{5}$ | $\sqrt{8}$ |   |
|   | $\sqrt{5}$ | $\sqrt{2}$ | 1 | $\sqrt{5}$ | $\sqrt{2}$ |   |
| 3 | 2          | 1          | 0 | 1          | 2          | 3 |
|   | $\sqrt{5}$ | $\sqrt{2}$ | 1 | $\sqrt{5}$ | $\sqrt{2}$ |   |
|   | $\sqrt{8}$ | $\sqrt{5}$ | 2 | $\sqrt{5}$ | $\sqrt{8}$ |   |
|   |            |            | 3 |            |            |   |

---

- City Block (o Manhattan)

$$D_4[(i, j), (k, l)] = |i - k| + |j - l| \quad (2.2)$$

e la trasposizione in matrice è la seguente con un  $r = 1$ :

---

|   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|
|   |   |   | 3 |   |   |   |
|   |   | 3 | 2 | 3 |   |   |
|   | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 |   |
| 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 |
|   | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 |   |
|   |   | 3 | 2 | 3 |   |   |
|   |   |   | 3 |   |   |   |

---

- $$D_8 = [(i, j), (k, l)] = \max(|i - k| + |j - l|) \quad (2.3)$$

|   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 |
| 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |

- Cerchio di raggio  $r$ , tutti i pixel che si trovano a una *distanza*  $\leq r$
- Se  $r = 2$

[illegible]

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

## 2.1 Neighborhood

**Definizione 2.1.1** *Il Neighborhood (l'intorno) sono quelle tecniche di elaborazione delle immagini in cui il valore risultante per un pixel alle coordinate  $(x_1, y_1)$  – è una funzione del valore del pixel originale in quel punto così come del valore del pixel originale di alcuni dei suoi vicinato. Il modo in cui i valori l'intorno e il valore del pixel di riferimento vengono combinati per produrre il risultato può variare in modo significativo tra i diversi algoritmi.*

- Proprietà locali per ogni due pixel
  - 4-neighbors (4 pixel vicini);
    - \*  $D_4 = 1$  (Distanza d'intorno);
    - \*  $(i+1, j), (i-1, j), (i, j+1), (i, j-1)$
  - Pixel adiacenti a  $(i, j)$ :

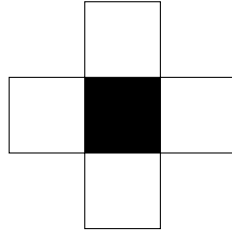


Figura 2.1: Intorno 4-neighbors

- 8-neighbors (8 pixel vicini);
  - \*  $D_8 = 1$  (Distanza d'intorno);
  - \*  $(i+1, j), (i-1, j), (i, j+1), (i, j-1), (i+1, j+1), (i+1, j-1), (i-1, j+1), (i-1, j-1)$
- Pixel adiacenti a  $(i, j)$ :

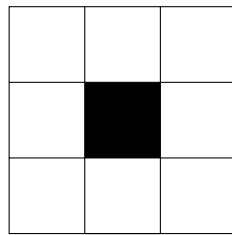


Figura 2.2: Intorno 8-neighbors

### 2.1.1 Adjacency (Adiacenza)

Strettamente legato al concetto di vicinato: due pixel si dicono adiacenti se esistono vicini (*o meglio vicini*) tali che i loro valori di intensità soddisfano alcuni specifici criteri di similarità.

- Adiacenza tra i pixel:
  - Un insieme di pixel è connesso se sono adiacenti
  - Sono adiacenti se la loro distanza è uguale a 1
    - \* 4-adiacenza quando  $D_4 = 1$
    - \* 8-adiacenza quando  $D_8 = 1$

### 2.1.2 Path between pixels

Prendendo 2 pixel (A,B) è possibile stimare una distanza, quella è la path:

- La sequenza di pixel distinti  $S_i$  con  $i = 1, \dots, n$
- Dove:
  - $S_1 = A$  e  $S_n = B$
  - $S_i$  e  $S_{i-1}$  sono adiacenti per  $1 \leq i \leq n$



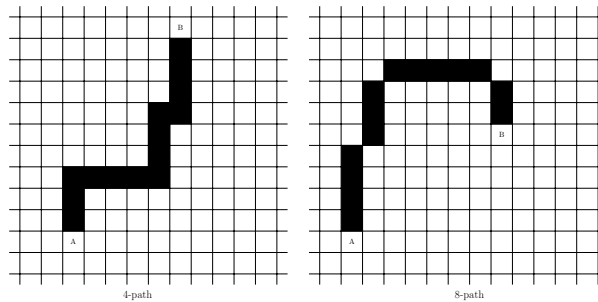


Figura 2.3: Patch between pixels

- Percorso chiuso
  - Se il primo e l'ultimo pixel sono vicini
- Ambiguità nelle curve chiuse
  - Nel piano reale una curva divide l'interno e l'esterno
  - Nel piano digitale esiste tale separazione!?

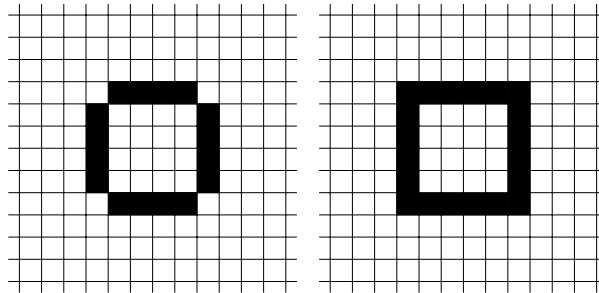


Figura 2.4: Patch between pixels curva chiusa

### 2.1.3 Connectivity

- Due pixel  $A$  e  $B$  sono collegati se c'è un percorso tra di loro.
- Dati i pixel  $A$ ,  $B$  e  $C$ 
  - **Riflessività:**  $A$  è collegato ad  $A$
  - **Commutatività:** se  $A$  è connesso a  $B$  allora  $B$  è connesso ad  $A$
  - **Transitivity:** if  $A$  is connected to  $B$  and  $B$  is connected to  $C$  then  $A$  is connected to  $C$

### 2.1.4 Region

**Definizione 2.1.2** La regione dell'immagine è un metodo in cui un'immagine digitale viene suddivisa in vari sottogruppi chiamati segmenti di immagine, che aiutano a ridurre la complessità dell'immagine per semplificarne l'elaborazione o l'analisi. In altre parole, la segmentazione implica l'assegnazione di etichette ai pixel. A tutti gli elementi dell'immagine o ai pixel appartenenti alla stessa categoria è assegnata un'etichetta comune.

### 2.1.5 Edge

Edge è una proprietà locale di un pixel e delle sue immediate vicinanze; mentre il confine è un concetto globale associato ad una regione e forma un percorso chiuso, il bordo esprime le proprietà locali di una funzione immagine:

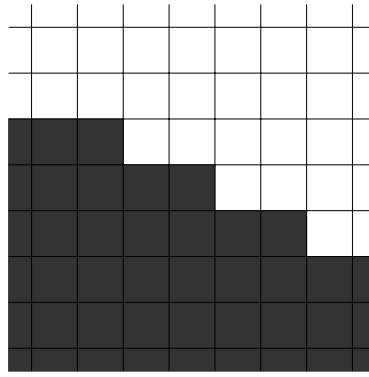


Figura 2.5: Edge

- Tutti i pixel del bordo sono anche bordi

I bordi sono importanti per il sistema visivo umano, poiché costituiscono informazioni di base per il riconoscimento

- Punti di cambiamento improvviso dei livelli di grigio, discontinuità di intensità

### 2.1.6 Convex hull

Il convex hull è la regione più piccola che contiene l'oggetto, in modo tale che due punti qualsiasi della regione possono essere collegati da una linea retta, tutti i punti della quale appartengono alla regione.

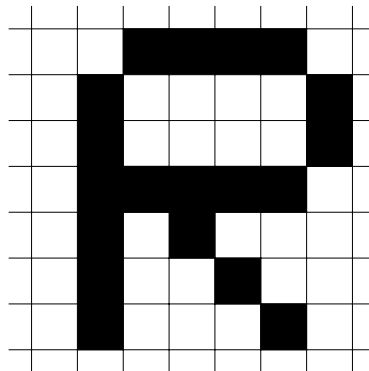


Figura 2.6: Convex hull

### 2.1.7 Area, perimetro

- L'**Area** è la somma dei pixel dell'oggetto.
- Il **Perimetro** è la somma dei pixel appartenenti al confine

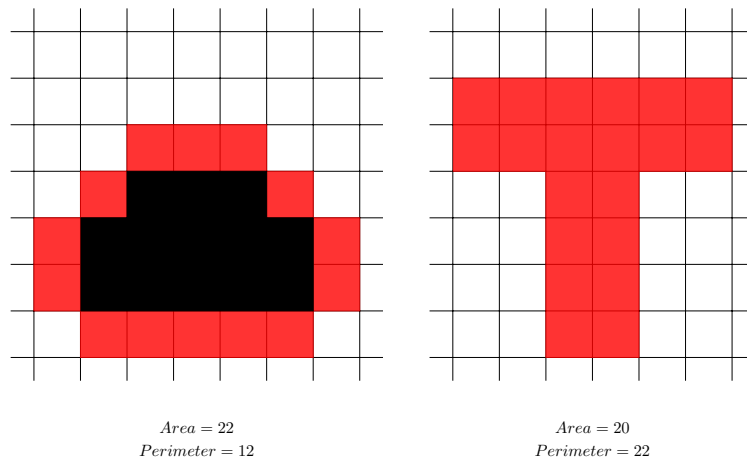


Figura 2.7: Area e perimetro

### 2.1.8 Tipologia di operazioni

There is a variety of ways to classify and characterize image operations

- In base alla relazione input/output
- In base al risultato atteso di questa operazione
- In base al tipo di operazione
- In base al costo di tale operazione
- In base al dominio di applicazione

Generalmente le operazioni sono classificate come **puntuali**, **locali** o **globali**. Il valore di uscita ad una coordinata specifica dipende:

- **Punto:** solo sul valore di input alla stessa coordinata.
- **Locale:** sui valori di input nell'intorno di quella stessa coordinata.
- **Globale:** su tutti i valori nell'immagine di input.

#### Operazioni a punto

Il valore di output su una coordinata specifica dipende solo dal valore di input su quella stessa coordinata

- tipicamente si tratta di operazioni elementari su ciascun pixel
- pertanto possono includere solo trasformazioni di intensità

Un esempio di questo tipo di operazioni è proprio il negativo di immagine.

## 2.2 Creazione di una immagine digitale

**Sampling** il processo che consiste nella downscaling dell'immagine o nella rimozione di pixel (*pratica che fa perdere delle info*);

- *Lineare:* va a scalare tutta l'area dell'immagine in modo lineare e uniforme.
- *Adattivo:* va a fare uno sampling in base all'importanza delle aree.

**Quantizzazione** il processo che va a modificare la profondità del colore

- Viene utilizzato per l'analisi dell'immagine e anche per le immagini personali.
- Problemi da risolvere: Memorizzazione e trasferimento.

E su questi principi sono la base dell'elaborazione dell'immagine digitale e del campionamento.

### 2.2.1 Tipo di immagine

- Numero di livello di intensità;
- Numero di piani dell'immagine:
  - Immagine binaria: è un immagine composta unicamente da bianco e nero;
  - A livelli di grigio: è un'immagine che funziona a sfumature di grigio;
  - A colori: sono composte da sfumature RGB che vanno da 0 a 255 per creare una paletta cromatica accettabile (1.2).

Per generare le tipologie di immagini si utilizzano dei canali:

| Tipologie                    | Numero di canali | Dimensione |
|------------------------------|------------------|------------|
| bianco e nero                | 1                | (1bit)     |
| Immagini a livelli di grigio | 1                | (8bit)     |
| Immagini a colori            | 3                | (8bit)     |

Tabella 2.1: Numero di canali per le tipologie di immagine

### 2.2.2 Rappresentazione di immagine

- **Iconic Images:** Immagini che contengono i dati originali con l'intensità dei singoli pixel;
- **Segmented images:** Immagini in cui i pixel sono divisi in gruppi in base all'appartenenza o meno agli oggetti;
- **Geometric representations:** conoscenza attuale delle forme;
- **Relational models:** presentare la conoscenza sugli oggetti e sulle relazioni con altri oggetti nell'immagine.

## 2.3 Strutture dati

Le strutture dati, sono le entità matematiche che consentono di raggruppare più di un valore all'interno dello stesso insieme, per poter più facilmente gestire, ordinare, ed elaborare il contenuto. Cosa non possibile con variabili primitive<sup>1</sup>.

### 2.3.1 Matrice

- La struttura dati più comune per rappresentare le immagini;
- Gli elementi dell'array sono numeri interi;
- Le caratteristiche spaziali sono implicitamente disponibili.

<sup>1</sup>È una variabile che può contenere solo una tipologia singolarmente, da esse si possono creare le così dette struct e anche delle strutture dati.

|   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| 4 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 | 1 |
| 5 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 4 |
| 6 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 7 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

(2.4)

### 2.3.2 Vettore

- Molto comune per estrarre e archiviare informazioni dall'immagine;
- Gli esempi di array sono in genere numeri interi;
- Anche in questo caso il suo contenuto è accessibile attraverso informazioni implicite;
- Gli array non sono altro che array bidimensionali.

| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 2 | 1 | 1 | 4 |

(2.5)

**Nota 2.3.1** *A lato logico all'interno di quasi tutti i linguaggi di programmazione, sia i vettori che le matrici fanno parte dello stesso tipo di struttura dati, i così detti Array, che possono avere  $N$  dimensioni. Tipicamente per scorrere suddette strutture si utilizzano delle variabili definite "contatori", indicate con le lettere:  $i, j, k, h$  assegnate per comodità visto che stanno in un area della tastiera vicina al posizionamento delle mani.*

### 2.3.3 Topologie

Sono una categoria di strutture dati che possono servire ad indicare logicamente le relazioni. Esse vengono utilizzate anche nel ambito del processing delle immagini per distrivere le singole relazioni, ne esistono di diversa tipologie:

- Grafo: tipologia ad albero utilizzato in tutto quello che prevede stati o connessioni;
- Insiemi: permettono di stabilire appartenenze a ordini gerarchici.

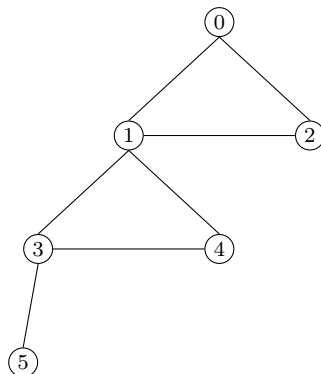


Figura 2.8: Grafo

Mentre, nel caso dell'insieme la situazione è la seguente:

**Nota 2.3.2** *In entrambi i casi, la situazione è molto leggibile e si capisce anche la relazione in base al livello oppure al sotto insieme a cui il valore appartiene.*

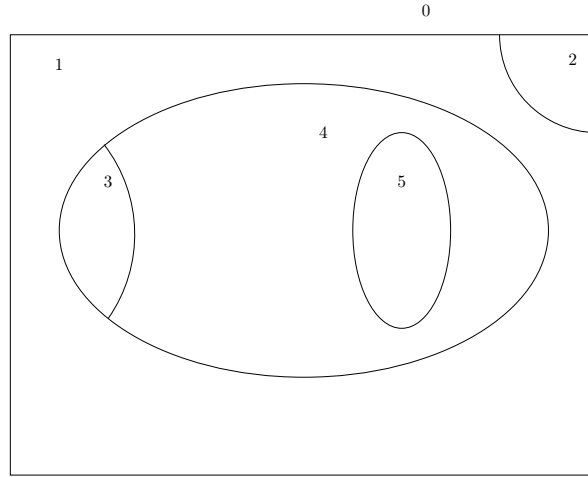


Figura 2.9: Insieme

### 2.3.4 Gerarchico

- Sono nati per alleggerire il calcolo di operazioni molto complesse, ad esempio suddividendo i calcoli tra più computer;
- Dividendo l'immagine in blocchi
- Spesso non è così semplice dividere i compiti tra più computer
- Le informazioni presenti in un blocco possono essere utili per elaborare quello adiacente
- Non tutti i blocchi immagine devono essere elaborati allo stesso modo

### 2.3.5 Piramidale (pyramids)

#### M-pyramids

- Sono una sequenza di immagini con risoluzioni diverse;
- Utilizzato quando è necessario lavorare con risoluzioni diverse contemporaneamente
- Ovviamente un array di grado inferiore contiene 4 volte meno dati e può essere elaborato circa 4 volte più velocemente

Ed esempio, è possibile vedere come nella matrice  $I_3$  sia una matrice 8x8, mentre, la matrice  $I_2$  è una matrice 4x4, nella matrice  $I_1$  è un 2x2 e  $I_0$  è una cella singola.

$$I_3 = \begin{pmatrix} 2 & 4 & 8 & 0 & 0 & 2 & 6 & 3 \\ 3 & 0 & 0 & 1 & 1 & 3 & 6 & 4 \\ 2 & 2 & 0 & 1 & 1 & 4 & 6 & 3 \\ 3 & 2 & 1 & 1 & 1 & 2 & 6 & 3 \\ 4 & 3 & 1 & 1 & 2 & 3 & 6 & 3 \\ 4 & 4 & 2 & 1 & 2 & 4 & 7 & 5 \\ 5 & 4 & 2 & 1 & 1 & 4 & 7 & 5 \\ 5 & 5 & 1 & 0 & 0 & 2 & 7 & 5 \end{pmatrix} \quad I_2 = \begin{pmatrix} 2 & 2 & 2 & 5 \\ 2 & 1 & 2 & 5 \\ 4 & 1 & 3 & 5 \\ 5 & 1 & 2 & 6 \end{pmatrix} \quad I_1 = \begin{pmatrix} 2 & 4 \\ 3 & 4 \end{pmatrix} \quad I_0 = (3) \quad (2.6)$$

**Nota 2.3.3** Il rapporto tra un immagine e l'altra è un rapporto ad esponenziale di con base 2, infatti  $I_3$  è un  $2^3$ , mentre,  $I_0$  è un  $2^0$ .

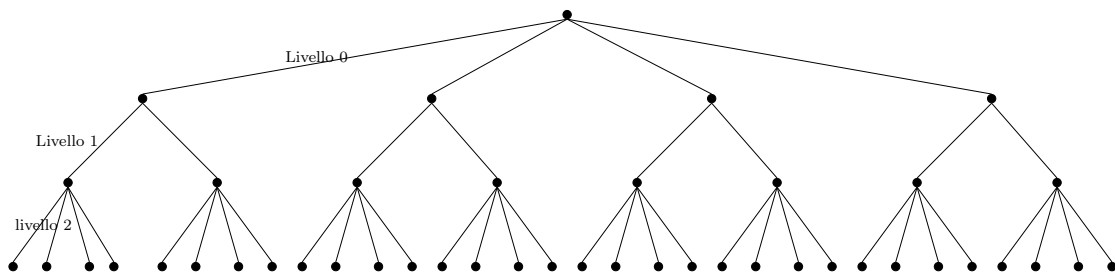


Figura 2.10: Esempio di albero piramidale

## T-Pyramid

Da questo grafico è possibile dedurre che:

- Viene utilizzato per dividere gerarchicamente l'immagine in regioni adiacenti;
- Queste regioni possono essere rappresentate da un albero;
- Ogni nodo di questo albero ha 4 figli.

## Quad-tree

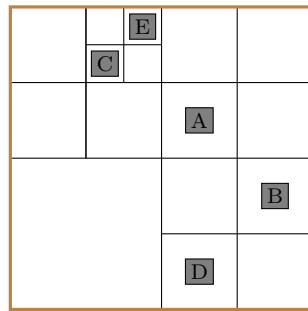


Figura 2.11: Quad-tree

In questo modello partiamo da una rappresentazione inscritta in un quadrato, che contiene al suo interno determinati valori, più il valore è contenuto all'interno di un sotto quadrato più sarà in un livello superiore<sup>2</sup>.

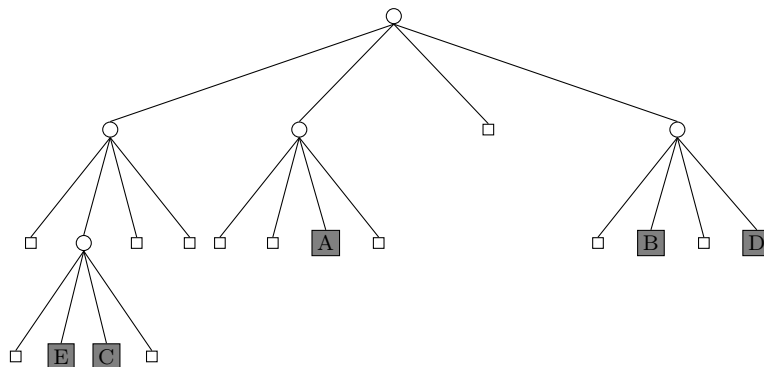


Figura 2.12: Quad-tree

- Deriva da una modifica della T-pyramid
- Non crea figli per ogni nodo ma solo quando i figli sono diversi

<sup>2</sup>Gli alberi si leggono dall'alto verso il basso, quindi il livello sarà più alto più sarà in basso.

### 2.3.6 Histogram (Istogramma)

L'istogramma nel processo di elaborazione dell'immagine, viene utilizzato per verificare la presenza delle corrispondenti tonalità di colore e anche la sua frequenza o di scale di grigio in base alla situazione. Un altro caso di utilizzo è la verifica del contrasto<sup>3</sup> di una immagine. Ad esempio, prendendo la foto di un gatto:



Figura 2.13: Gatto

Il suo istogramma sarà composto, nel seguente modo, ricordando che la gamma dei colori va da 0 a 255 come espresso in (1.2), la scala del grafico sarà proprio quella.

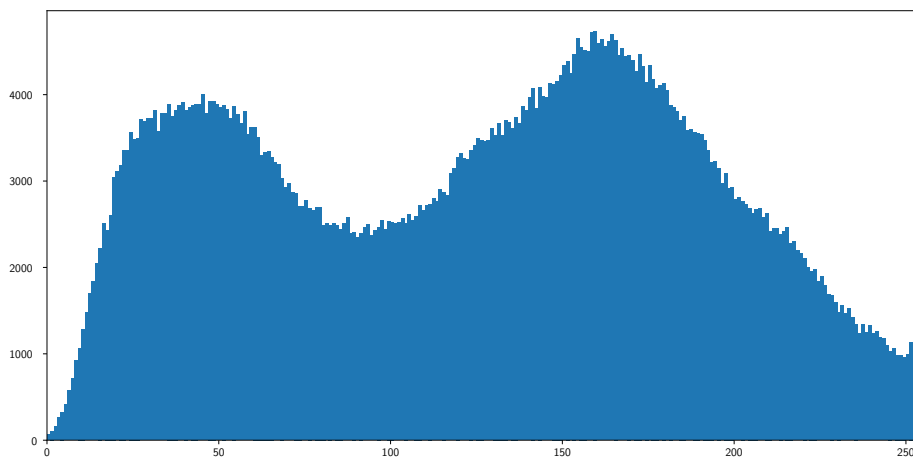


Figura 2.14: Istogramma dell'immagine Gatto

In questo caso il massimo picco viene raggiunto tra i 150 e i 200, per comprendere di che colori si tratta basta guardare la figura 1.1, in cui si vede chiaramente che in questa immagine sono presenti molto verde e blu.

#### Calcolare un Istogramma

L'algoritmo con cui si genera l'istogramma è il seguente:

- Data l'immagine  $I$  con  $N$  righe e  $M$  colonne, e  $L$  livelli di grigio crea un vettore  $H$  di dimensione  $L$
- Assegnare tutti i valori di  $H$  al valore 0
- Per ogni riga  $n$  di  $I$  che va da 1 a  $N$ 
  - Per ogni colonna  $m$  di  $I$  che va da 1 a  $M$ 
    - \* prendi il valore  $I(m, n)$ ,

<sup>3</sup>Il contrasto è la differenza tra una porzione d'immagine e il suo sfondo, più esso è alto maggiore la parte in questione sarà risaltata



\* incrementare  $H(I(m,n))$  di 1

In poche parole, il vettore verrà utilizzato per contare quante volte un valore è frequente all'interno dell'immagine.

**Esempio 2.3.1** Un immagine con una gamma di Grigi  $L = 5$  con una dimensione di  $7 \times 7$ , darà questo risultato:

$$I = \begin{array}{c|cccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 3 & 2 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 2 & 1 & 3 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 1 & 1 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ 3 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 4 \\ 4 & 1 & 2 & 2 & 2 & 1 & 3 & 1 \\ 4 & 1 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 & 4 \\ 4 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 3 & 1 & 4 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{array} \quad H = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 31 & 15 & 7 & 8 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Da questo si deduce che:

- Il valore 0 è presente 1 volta;
- Il valore 1 è presente 31 volte;
- Il valore 2 è presente 15 volte;
- Il valore 3 è presente 7 volte;
- Il valore 4 è presente 8 volte.

Con questo è possibile generare l'istogramma:

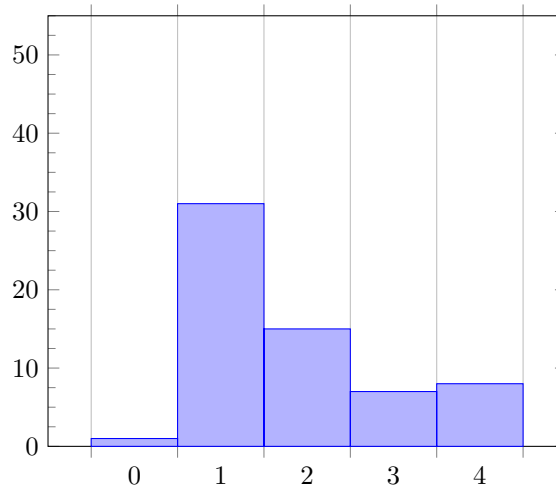


Figura 2.15: Istogramma risultante

### 2.3.7 Contrasto

È uno dei parametri fondamentali per valutare la qualità di un'immagine. Il contrasto elevato consente di osservare anche i più piccoli dettagli, rendendoli distinguibili dallo sfondo, come accennato al inizio del paragrafo.

## Operazioni sull'istogramma

- Operare sull'istogramma significa generare un nuovo istogramma partendo da quello originale;
- The consequences fall back into the original image;
  - sostituire i pixel  $f[i, j]$  con i nuovi pixel  $h(f[i, j])$

### 2.3.8 Contrast Stretching

Il Contrast Stretching è un'operazione “Normalizzazione”, è una semplice tecnica di miglioramento dell'immagine che tenta di migliorare il contrasto in un'immagine “allungando” l'intervallo di valori di intensità in essa contenuti per coprire un intervallo di valori desiderato, ad esempio l'intervallo completo di valori di pixel consentito dal tipo di immagine in questione. Si differenzia dall'equalizzazione dell'istogramma più sofisticata in quanto può applicare solo una funzione di ridimensionamento lineare ai valori dei pixel dell'immagine. Di conseguenza il “miglioramento” è meno drastico. (La maggior parte delle implementazioni accetta un'immagine a livello di grigio come input e produce un'altra immagine a livello di grigio come output.)

- Necessario quando l'istogramma è contratto
- L'istogramma è semplicemente “tirato” in questo modo
  - Il minimo dell'istogramma originale coincide con il valore 0
  - Il massimo dell'istogramma originale coincide con il valore 255
- Il risultato influisce anche sull'immagine in cui si può osservare un aumento significativo del contrasto.

### 2.3.9 Contrast expansion

**Definizione 2.3.1** *Il contrast expansion (L'aumento del contrasto) è una trasformazione di una rappresentazione sensoriale che si traduce in una rappresentazione di output in cui le regioni di transizione (ad esempio i “bordi”) vengono enfatizzate selettivamente. I meccanismi che mediano l'aumento del contrasto nei diversi sistemi sono diversi e dipendono in modo critico dall'ampiezza della funzione di aumento del contrasto e dalla modalità della rappresentazione.*

$$P_{out} = (P_{in} - G_{in}) \cdot \left( \frac{255}{G_{max} - G_{in}} \right) \quad (2.8)$$

Prima di applicare questo operatore è necessario calcolare il valore di intensità minimo ( $G_{min}$ ) e massimo ( $G_{max}$ ) presente nell'immagine in input.

**Esempio 2.3.2** *Una immagine con una scala di grigi  $L = 10$ , andando a fare l'aumento o espansione del contrasto la situazione è la seguente:*

$$P_{in} = \begin{bmatrix} 3 & 4 & 5 \\ 5 & 4 & 3 \\ 3 & 4 & 4 \\ 4 & 4 & 4 \end{bmatrix}, \quad H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 3 & 7 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

*Rappresentato in grafico l'istogramma è: Partendo da questa situazione bisognerà applicare le seguenti operazioni:*

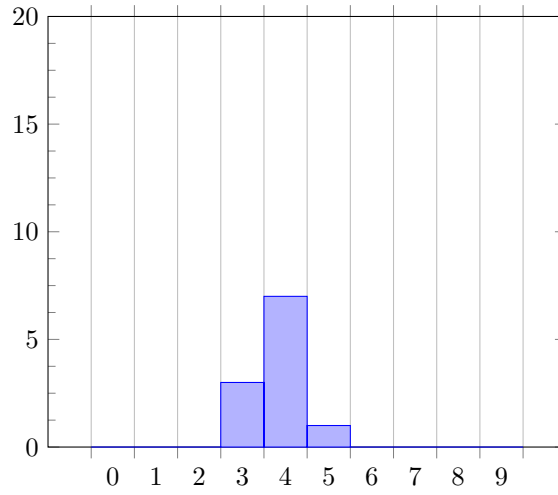


Figura 2.16: Istogramma risultante

```

min ← 3;
max ← 5;
dif ← max − min;
L ← 10;
pout ← (x − min) · ((L − 1)/(dif));
pout ← (x − 3) · (9/2);

```

**Algorithm 1:** Contrast expansion

*E dopo aver svolto queste operazioni la matrice pout sarà:*

$$pout = \begin{bmatrix} 0 & 4 & 8 \\ 8 & 4 & 0 \\ 0 & 4 & 4 \\ 4 & 4 & 4 \end{bmatrix}, \quad H = \begin{bmatrix} 3 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

*Il nuovo grafico quindi è abbastanza diverso:*

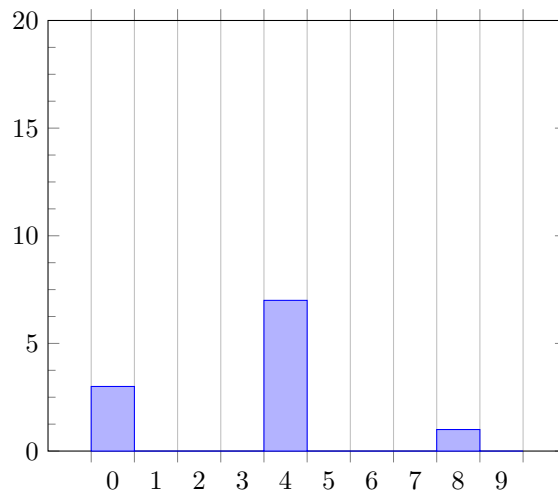


Figura 2.17: Istogramma risultante

*Fatto questo il contrasto è aumentato parecchio perché la differenza tra i valori presenti è maggiore.*

### 2.3.10 Equazione istogramma

L'equalizzazione dell'istogramma tenta di distribuire equamente i livelli di grigio:

- Allo stesso modo, l'istogramma viene allungato, cercando però di mantenere una proporzione tra i livelli di intensità

$$P_{out} = \frac{255}{M \cdot N} = \sum_{k=0}^{P_{in}} H(k) \quad (2.11)$$

dove  $M, N$  sono rispettivamente il numero di righe e il numero di colonne dell'immagine in input.

## Capitolo 3

# Filtri nel dominio spaziale e della frequenza

### 3.1 Qualità dell'immagine

La qualità dell'immagine dipende da diversi fattori, dimensione, gamma cromatica, contrasto, rumore presente, anche messa a fuoco, artefatti, esposizione, etc.

Ovviamente esistono anche fattori soggettivi che sono legati al caso di utilizzo.

**Nota 3.1.1** *La qualità dell'immagine va definita anche in base al dispositivo in cui deve essere riprodotto, infatti, nel caso in cui l'immagine venga riprodotta su uno schermo con una risoluzione di 1280x720px LCD TN, non ha senso l'immagine abbia una risoluzione in Full HD 1080p, quanto meno in 4K.*

#### Qualità dello strumento di acquisizione

Uno dei punti da sottolineare è che la qualità dello strumento di acquisizione è importante, a lato commerciale una prassi solita da parte dei produttori è il soffermarsi sulla risoluzione della fotocamera, cosa che va contestualizzato, infatti, un altro fattore che va considerato è la qualità dei fotodiodi, motivi per cui macchine professionali hanno magari un 24.1 megapixel contro i 200 megapixel o più dichiarati da uno smartphone, questo perché la dimensione del pannello è diversa e quindi anche il rumore e la resa cromatica sarà sicuramente migliore.

### 3.2 Nitidezza

- Capacità di un sistema di presentare i dettagli più fini di un'immagine.
- Valutato dalla risoluzione spaziale dell'immagine.

#### 3.2.1 Contrasto

Possibilità di distinguere dettagli dell'immagine con bassa differenza di luminosità rispetto allo sfondo (fondo). Capacità di un sistema di imaging di essere sensibile a piccole variazioni dell'intensità della radiazione incidente sugli elementi del sensore e di visualizzare tali variazioni.

#### 3.2.2 Noise (rumore)

L'immagine può degradarsi:

- Nelle varie fasi di acquisizione;

- Durante la lavorazione;
- Durante la trasmissione.

Tale degrado è solitamente chiamato rumore.

- È possibile stimare il livello di degrado
- I metodi quantitativi misurano la qualità di un'immagine confrontandola con un'immagine di riferimento (*immagine modello*).
- Di solito, come immagini modello vengono scelte immagini ben calibrate, in cui sia le condizioni radiometriche che quelle geometriche sono ben note.
- In alternativa, in alcune applicazioni, possono essere utilizzate solo immagini di modelli sintetici.

### **Rumore additivo**

Esempio di immagini con diversa distribuzione del rumore. Entrambe le immagini in figura hanno un valore medio di 128 e una deviazione standard di 32 (25%).

- Rumore gaussiano (noto anche come rumore normale);
  - Replica la forma della curva gaussiana.
  - It is a good approximation of the noise in CCD acquisition sensors.
- Il rumore influisce su ogni livello di grigio.
  - Ha un picco al valore di 128.
  - La differenza media da 128 è 25 (std).