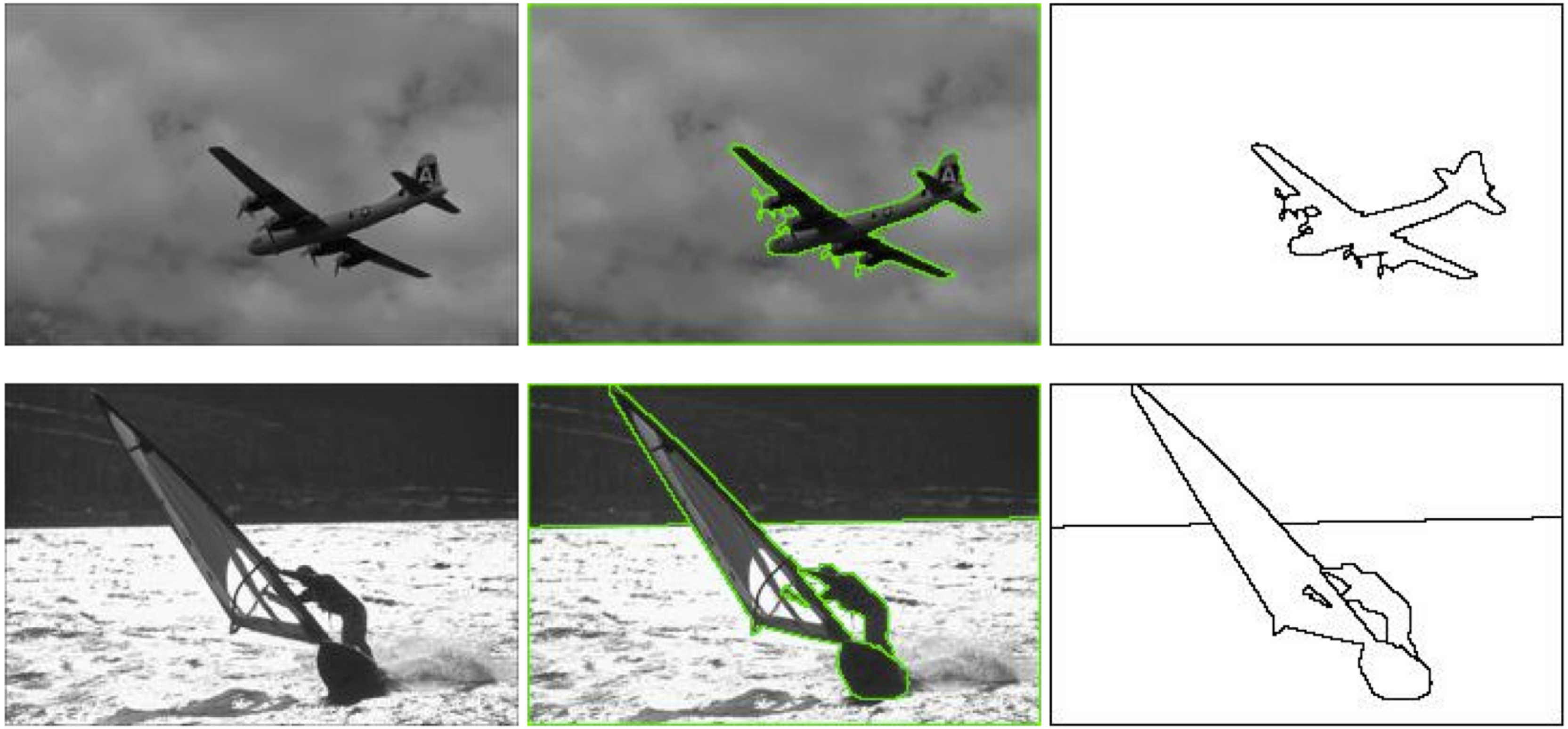
ELABORAZIONE DELLE IMMAGINI

SEGMENTAZIONE DELLE IMMAGINI

SEGMENTAZIONE

- **Obiettivo** della **segmentazione** è **suddividere** un'**immagine** nelle **regioni** o negli **oggetti** che la compongono
- Rappresenta uno degli **obiettivi** più **importanti** ed allo stesso tempo più **difficili** da raggiungere
- La **qualità** della **segmentazione** può determinare l'esito delle elaborazioni successive
- La maggior parte degli **algoritmi** si basa su una delle **due proprietà** dei base dei **valori di intensità**
  - **Discontinuità**
  - **Similarità**

SEGMENTAZIONE



- https://www2.eecs.berkeley.edu/Research/Projects/CS/vision/bsds/

SEGMENTAZIONE

- Se si sfruttano le **discontinuità**, la segmentazione sarà guidata da bruschi **cambiamenti** di intesnità, es.: **edge**
  - Canny
  - Harris
  - Hough
- Se si sfruttano le **similarità**, si **raggruppano pixel simili** in base a dei criteri di similarità
  - Sogliatura
  - Region growing
  - Split and merge
  - Clustering

FONDAMENTI

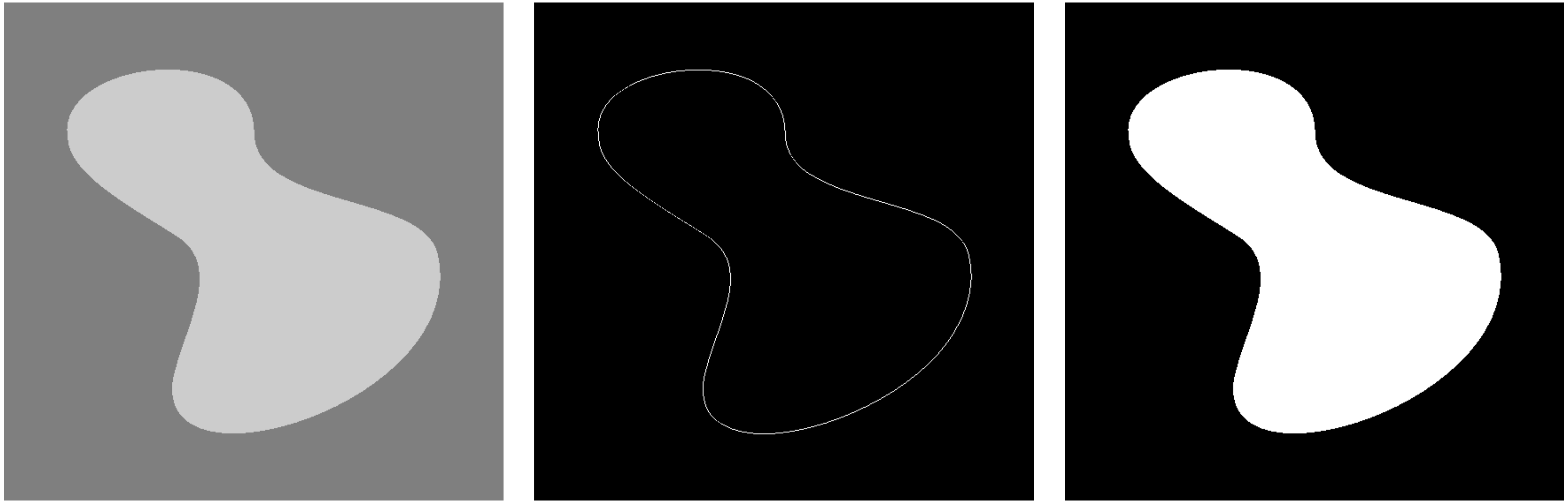
- Denotiamo con ***R*** la regione occupata dall'**immagine**
- La **segmentazione** dell'immagine consiste nel **partizionare** *R* in *n* **sottoregioni** $R_1, R_2, \dots, R_n$ tali che
  - $\bigcup_{i=1}^{n} R_i = R$ (segmentazione completa)
  - R_i è un insieme connesso $i = 1, 2, \dots, n$ (pixel 4/8 connessi)
  - $R_i \cap R_j = \emptyset$ (regioni disgiunte)
  - $Q(R_i)$ = Vero per $i = 1, 2, \dots, n$ (tutti i pixel in R_i rispettano la proprietà in Q)
  - $Q(R_i \cup \mathrm{R_j})$ = Falso $\forall\, R_i\ e\ R_j$ adiacenti (pixel in regioni adiacenti devono avere proprietà diverse)
- Q è un predicanto logico definito sui punti di una regione R_i

ADIACENZA, CONNETTIVITÀ E REGIONI

- **Adiacenza** rispetto ai **valori** in un **insieme V**
  - **4-adiacenza**: due pixel *p* e *q* con valori in V $q \in N_4(p)$
  - **8-adiacenza**: due pixel *p* e *q* con valori in V $q \in N_8(p)$
  - **m-adiacenza**: due pixel *p* e *q* con valori in V
    - $q \in N_4(p)$
    - $q \in N_D(p)$ e $N_4(p) \cap N_4(q)$ non contiene pixel in V
- Un **path** da *p* a *q* è una **sequenza di pixel adiacenti** dal pixel *p* al pixel *q*
  - *p* e *q* si dicono **connessi**
- I **pixel connessi** di una regione S formano una **componente connessa**
- **Se in S** esiste **una** sola **componente connessa** S è una **regione**

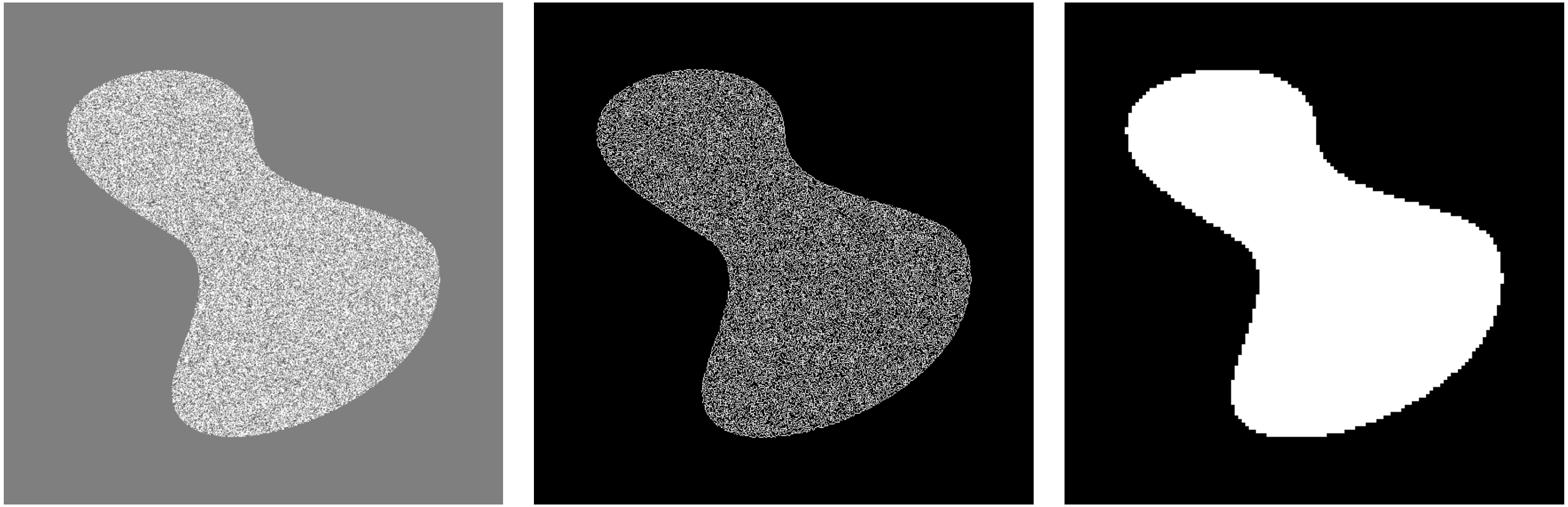
SEGMENTAZIONE EDGE BASED

- Se si sfruttano le **discontinuità**, si assume che i **bordi** siano sufficientemente **diversi tra le regioni** e dallo **sfondo** in modo da poter sfruttare le intensità locali



SEGMENTAZIONE REGION BASED

- Se si sfruttano le **similarità**, si **partiziona** l'immagine in **regioni simili** in base ad un **criterio si similarità**



SEGMENTAZIONE EDGE BASED

EDGE, LINEE E PUNTI

- Siamo interessati a **tre caratteristiche** di un'immagine
  - **Edge**: insiemi di pixel di edge, ovvero pixel in cui si presenta una repentina variazione di intensità
  - **Linee**: segmenti di edge in cui l'intensità ai lati della linea è minore o maggiore dell'intensità dei pixel della linea
  - **Punti**: linee di lunghezza e larghezza pari a 1 pixel
- Per **individuare** le **variazioni** di intensità a cui siamo interessati, utilizziamo le **approssimazioni** delle **derivate prime e seconde** definite in termini di differenze

DERIVATA PRIMA DI UN'IMMAGINE

- Poiché l'immagine è una funzione discreta, la definizione classica di derivata non può essere applicata
- È necessario definire un operatore che soddisfi le principali **proprietà della derivata prima**:
  1. Uguale a zero dove l'intensità è costante
  2. Diversa da zero per una transizione di intensità
  3. Costante sulle rampe in cui la transizione di intensità è costante
- L'operatore di derivazione naturale è la differenza tra l'intensità dei pixel vicini (**differenziazione spaziale**)

$$\frac{\partial f}{\partial x} = f(x+1) - f(x)$$

UNIVERSITÀ PARTHENOPE DiST Dipartimento di Scienze e Tecnologie

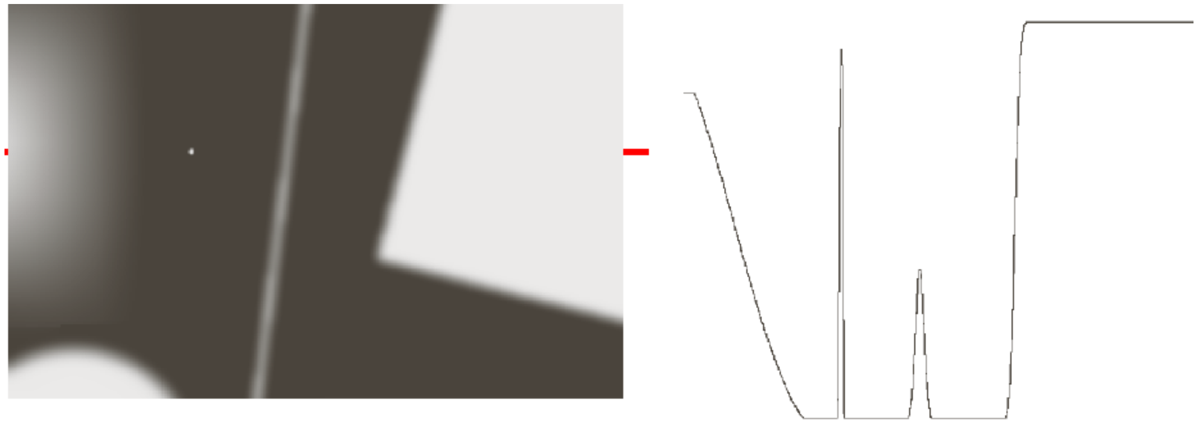
DERIVATA SECONDA DI UN'IMMAGINE

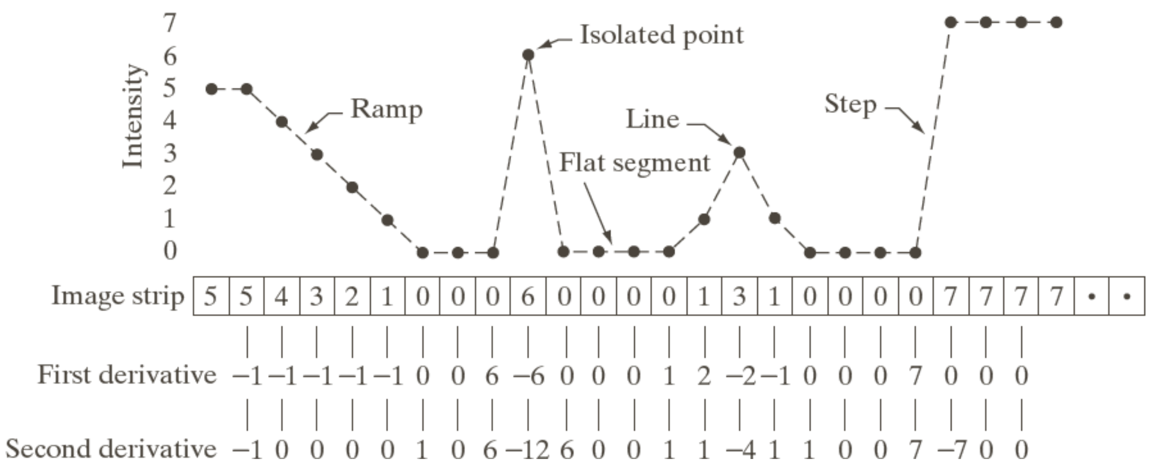
- Analogamente, l'operatore di **derivata seconda** può essere definito come:

$$\begin{aligned}\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} &= f(x+1) - f(x) - (f(x) - f(x-1)) \\ &= f(x+1) - 2f(x) + f(x-1)\end{aligned}$$

- Soddisfa le seguenti **proprietà**:
  1. È uguale a zero dove l'intensità è costante
  2. È diverso da zero all'inizio di un passo (o rampa) di intensità
  3. È uguale a zero sulle pendenze costanti delle rampe
- $\frac{\partial^2 f}{\partial^2 x}$ è definita usando i pixel precedente e successivo

CARATTERISTICHE DELLE DISCONITNUITÀ





PROPRIETÀ DELLE DERIVATE

- **Proprietà** delle derivate prima e seconda
  - In presenza di **edge a rampa**, la **derivata prima** produce **edge spessi** mentre la **derivata seconda** produce **edge sottili**
  - La **risposta** della **derivata seconda** in presenza di punti isolati è **più forte** rispetto a quella della derivata prima
  - Sia sugli **edge a rampa** che su quelli **a gradino**, la **derivata seconda** ha **segni opposti**
  - Il **segno** della **derivata seconda** può essere utilizzato per **determinare** se un **edge** è una transizione **chiaro/scuro** (derivata seconda negativa) o **viceversa** (derivata seconda positiva)

PUNTI ISOLATI

- In un'immagine digitale, le **derivate seconde** rispetto a x e y sono calcolate come:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x+1, y) - 2f(x, y) + f(x-1, y)$$
$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = f(x, y+1) - 2f(x, y) + f(x, y-1)$$

- Quindi, il **Laplaciano** risulta:

$$\begin{aligned}\nabla^2 f(x, y) &= f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) \\ &\quad + f(x, y-1) - 4f(x, y)\end{aligned}$$

- Può essere considerata anche la derivata lungo le diagonali:

$$\begin{aligned}\nabla^2 f(x, y) &+ f(x-1, y-1) + f(x+1, y+1) \\ &+ f(x-1, y+1) + f(x+1, y-1) - 4f(x, y)\end{aligned}$$

FILTRO LAPLACIANO

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

$$\begin{aligned}\nabla^2 f(x, y) &= f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) \\ &\quad + f(x, y-1) - 4f(x, y)\end{aligned}$$

Filtro Laplaciano invariante alle rotazioni di 90°

1	1	1
1	-8	1
1	1	1

$$\begin{aligned}\nabla^2 f(x, y) &+ f(x-1, y-1) + f(x+1, y+1) \\ &+ f(x-1, y+1) + f(x+1, y-1) - 4f(x, y)\end{aligned}$$

Filtro Laplaciano invariante alle rotazioni di 45°

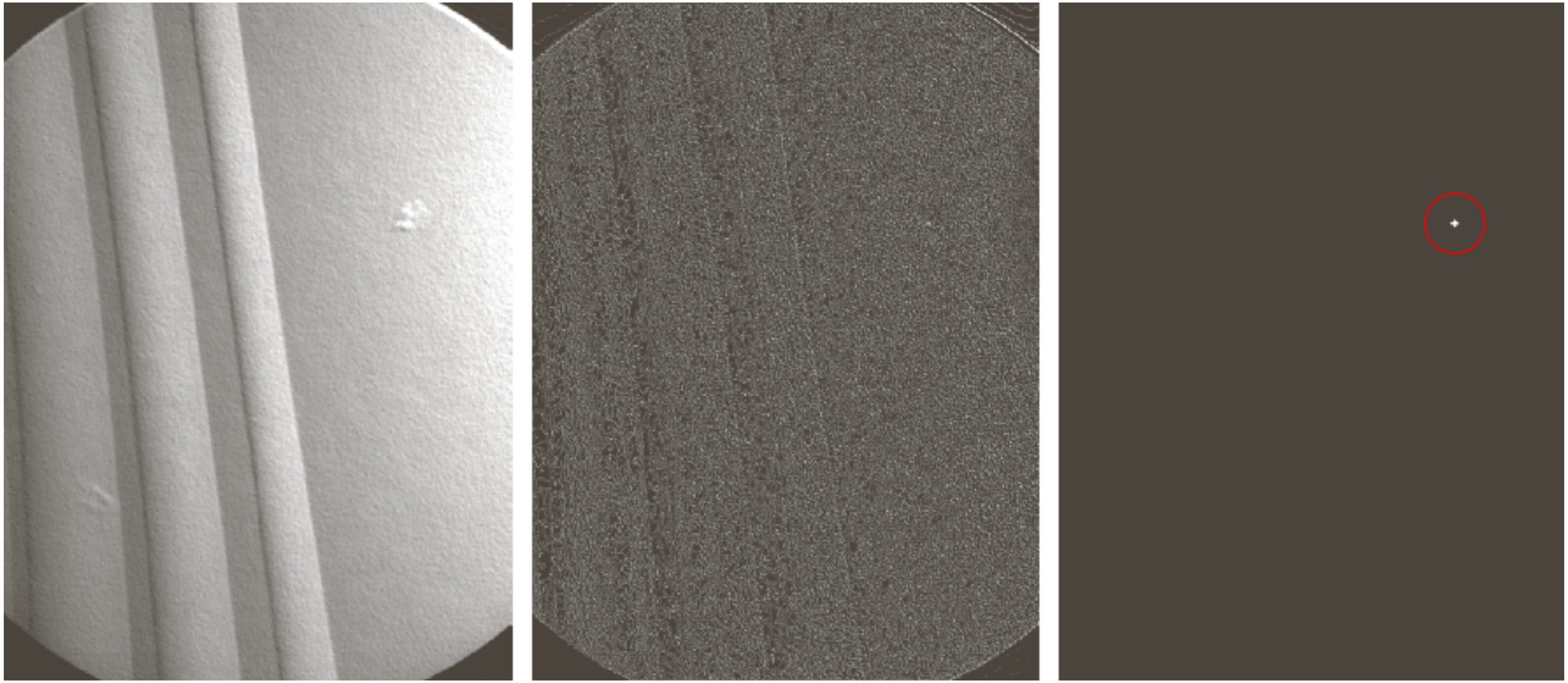
PUNTI ISOLATI

- Dopo aver applicato il **filtro Laplaciano**, si utilizza una **soglia** sulla risposta del filtro per determinare i punti di discontinuità

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & se\ |R(x, y)| \geq T \\ 0 & altrimenti \end{cases}$$

- dove *g* è l'immagine di output, *T* è una soglia non negativa ed *R* è la risposta del filtro
- L'**intensità** di un **punto isolato** sarà abbastanza **diversa** dalle intensità dei suoi **8 vicini**
- La differenza di intesità tra i punti vicini viene controllata dal **parametro *T***

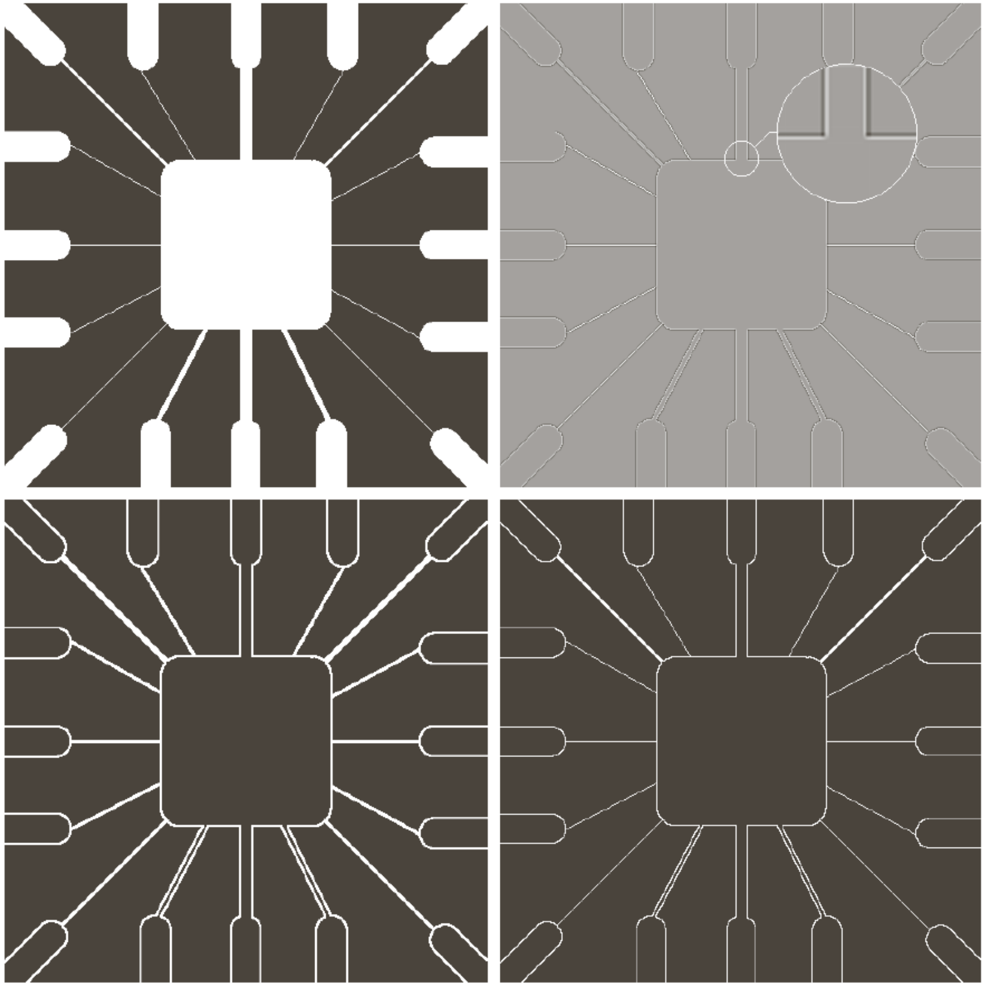
PUNTI ISOLATI



LINEE

- Anche in questo caso si può utilizzare il **Laplaciano**, ma bisogna **gestire** la **doppia risposta** della derivata seconda
- A tal fine è possibile utilizzare
  1. il **valore assoluto** della risposta
  2. solo i **valori positivi** (eventualmente sogliati per attenuare l'effetto del rumore)
- Nel secondo caso si ottengono **linee più sottili**
- Se le **linee** sono **più ampie** rispetto alla **dimensione del filtro**, si otterrà l'**effetto** di una "**valle**" di valori nulli che separa le due linee

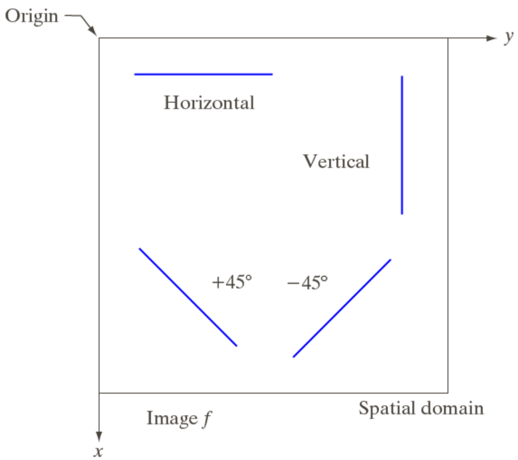
LINEE



UNIVERSITÀ PARTHENOPE
DiST
Dipartimento di Scienze e Tecnologie

LINEE DIREZIONI SPECIFICHE

- Il filtro **Laplaciano** è **isotropico**, ovvero la **risposta** è **indipendente** dalla **direzione** (rispetto alle direzioni orizzontale, verticale e diagonali)
- Per individuare rette con **direzioni specifiche** è possibile utilizzare **filtri specifici**
- Per "trovare" la direzione dominante, selezionare la risposta più forte



−1	−1	−1
2	2	2
−1	−1	−1

Horizontal

2	−1	−1
−1	2	−1
−1	−1	2

+45°

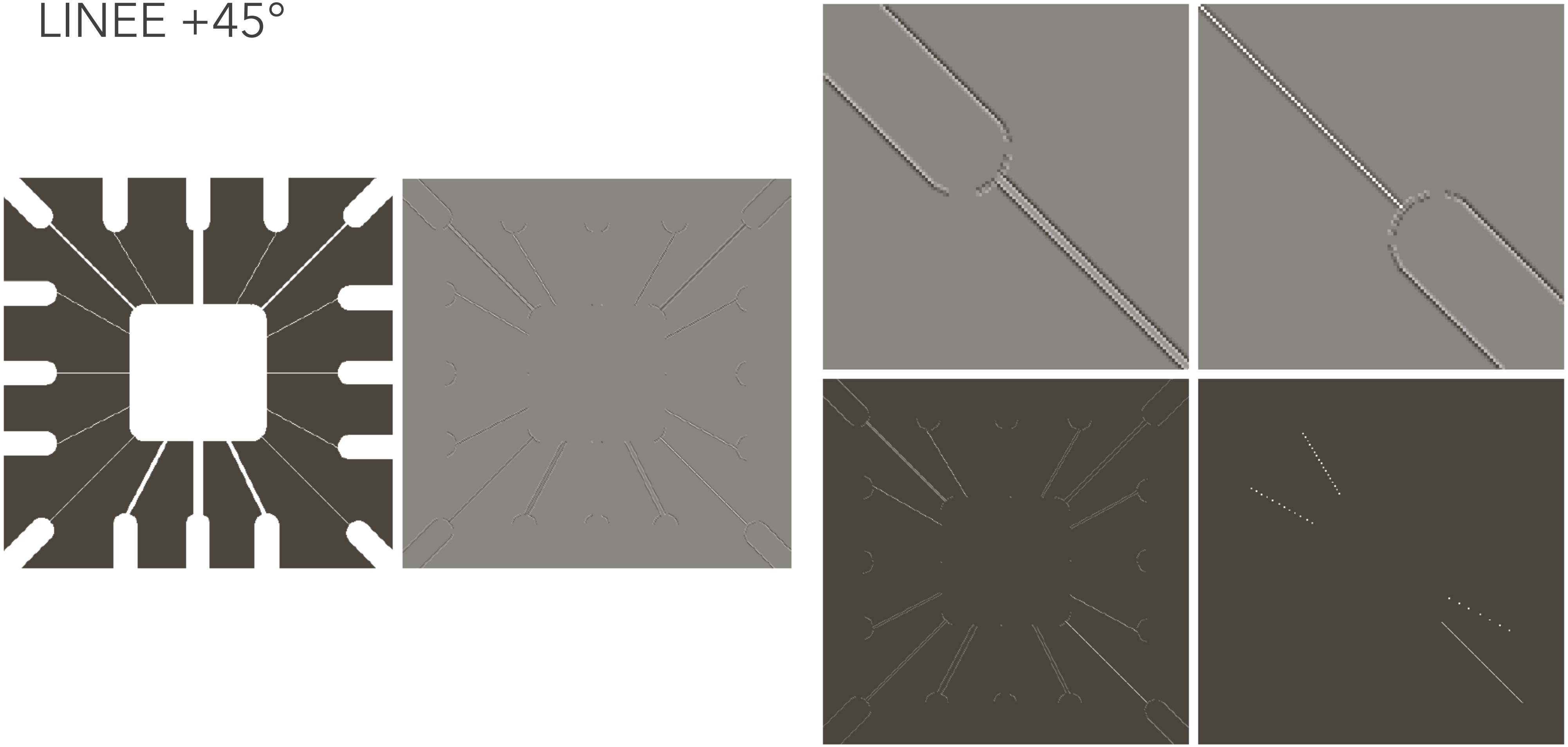
−1	2	−1
−1	2	−1
−1	2	−1

Vertical

−1	−1	2
−1	2	−1
2	−1	−1

−45°

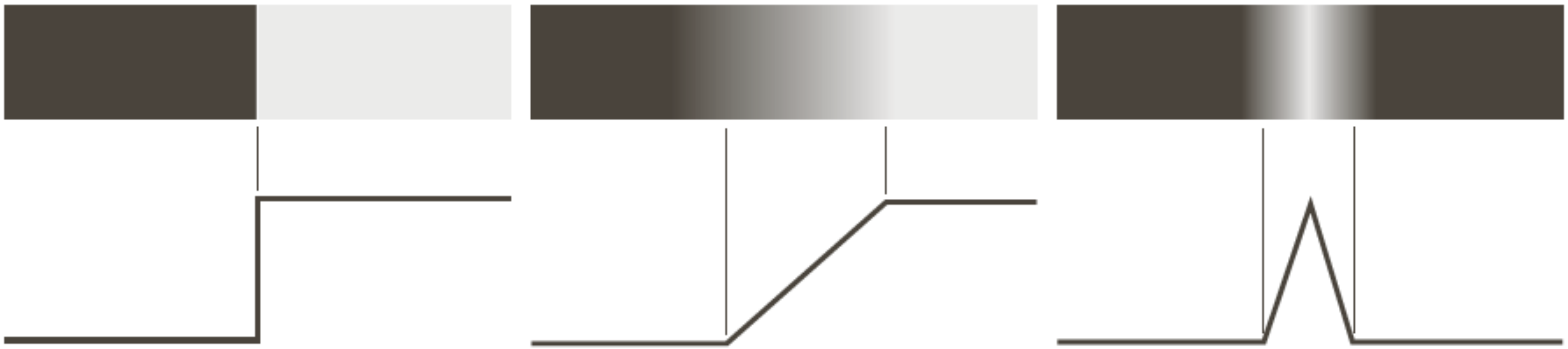
LINEE +45°



MODELLI DI EDGE

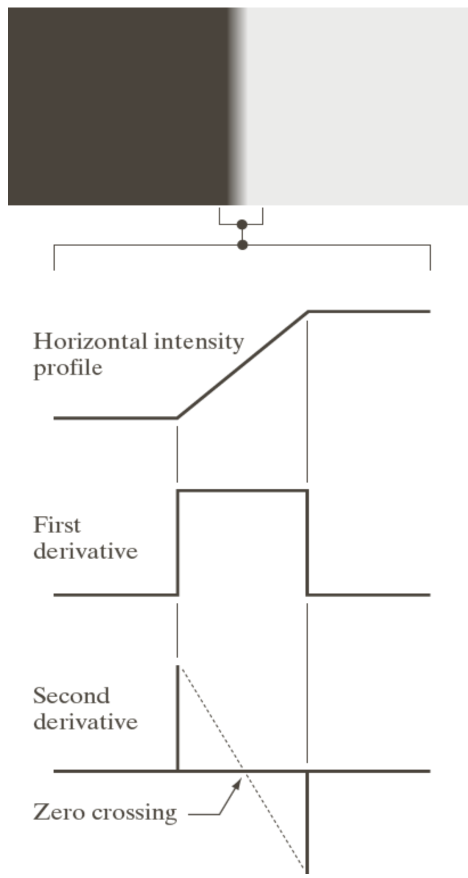
- I **modelli di edge** sono **classificati** in base ai **profili di intensità**
- ***Edge a gradino***: transizione tra due livelli di intensità ad una distanza ideale di 1 pixel
- ***Edge a rampa***: edge sfocati e rumorosi appaiono come una **transizione graduale** e non netta come nel caso precedente. Difficilmente si tratta di linee sottili
- ***Roof edge***: associato al bordo di una regione ha una base determinata dallo spessore e dalla sfocatura della linea
- Spesso nelle immagini si trovano più tipi di edge con profili diversi da quelli ideali

MODELLI DI EDGE



EDGE A RAMPA

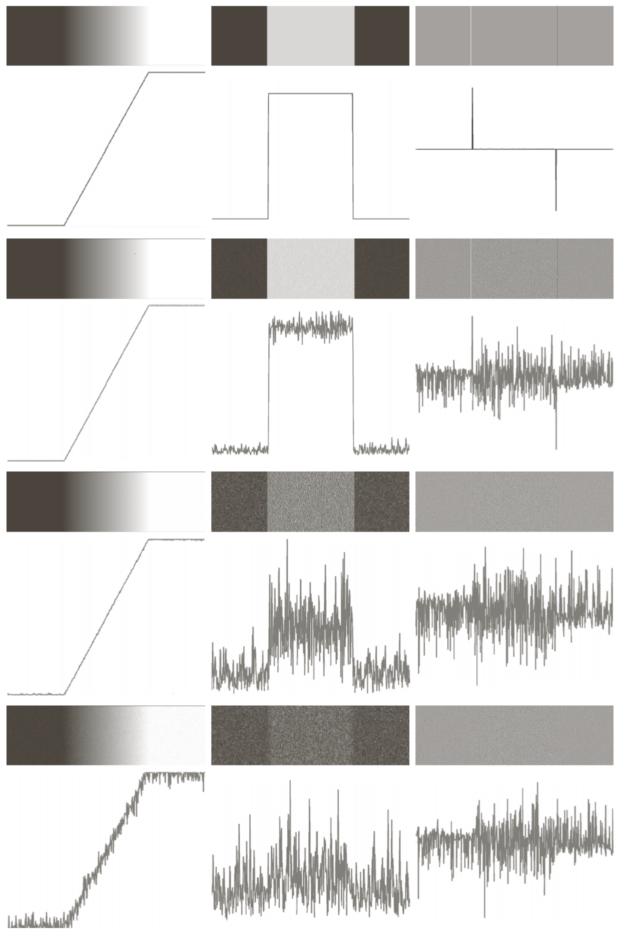
- La **derivata prima** può essere utilizzata per individuare un edge a rampa
- Il **segno della derivata seconda** può essere utilizzato per determinare se un **pixel** si trova sul **lato scuro** o **chiaro** di un edge
- La **derivata seconda** produce **due valori** per ogni edge
- Lo **zero-crossing** (attraversamento dello zero) può essere utilizzato per **trovare** il **centro di un edge**



EDGE A RAMPA CON RUMORE

- **Rumore gaussiano** con media nulla e deviazione standard 0.1, 1.0 e 10.0 (poco visibile nelle immagini)
- Passaggi fondamentali per l'individuazione di edge

1. Applicare lo **smoothing** per ridurre il rumore
2. Individuare i **punti di edge**
3. **Selezionare** solo i **punti di edge** che fanno parte di un edge



UNIVERSITÀ PARTHENOPE DiST Dipartimento di Scienze e Tecnologie

INDIVDUAZIONE BASATA SU GRADIENTE

- Il gradiente è un **vettore** formato dalle **derivate parziali**

$$\nabla f \equiv \mathrm{grad}(f) \equiv \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial f}{\partial x} \\ \dfrac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix}$$

- Il vettore **gradiente punta** nella **direzione** di **massima variazione**
- La **magnitudo del gradiente**, M(x, y) è un'immagine delle stesse dimensioni di f()

$$M(x, y) = \mathrm{mag}(\nabla f) = \sqrt{g_x^2 + g_y^2}$$

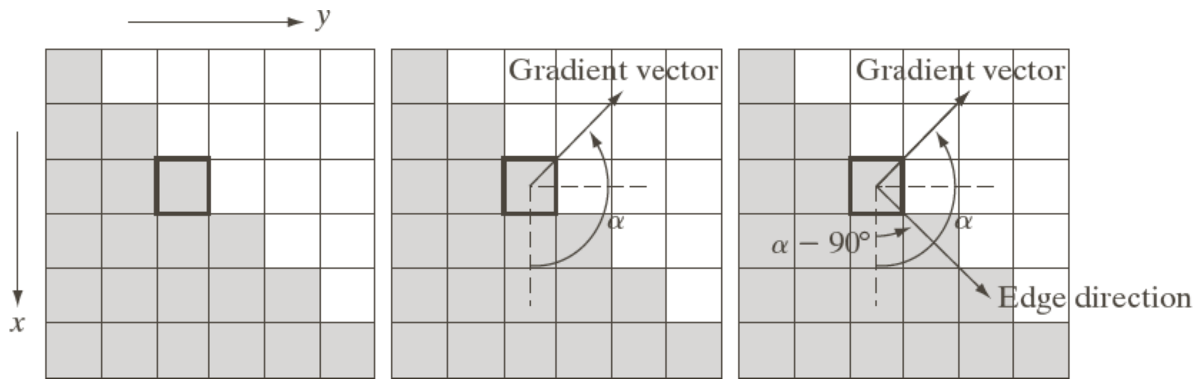
$$M(x, y) \approx |g_x| + |g_y|$$

INDIVDUAZIONE BASATA SU GRADIENTE

- La **direzione** del vettore **gradiente** è data dall'angolo rispetto all'asse x

$$\alpha(x,\, y) = \tan^{-1}\left[\frac{g_y}{g_x}\right]$$

- Un'**immagine delle direzioni** si può ottenere dividendo g_y e g_x
- Poichè il **gradiente punta** nella **direzione di massima variazione**, la direzione del vettore **gradiente** è **ortogonale** alla direzione dell'**edge**



OPERATORI DI GRADIENTE

- Definizioni base:

$$g_x(x, y) = f(x+1, y) - f(x, y)$$

$$g_y(x, y) = f(x, y+1) - f(x, y)$$

g_x:

-1	1

g_y:

-1
1

- Operatori di Roberts:

$$g_x(x, y) = f(x+1, y+1) - f(x, y)$$

$$g_y(x, y) = f(x, y+1) - f(x-1, y)$$

g_x:

-1	0
0	1

g_y:

0	-1
1	0

OPERATORI DI GRADIENTE

−1	−1	−1	−1	0	1		0	1	1	−1	−1	0
0	0	0	−1	0	1		−1	0	1	−1	0	1
1	1	1	−1	0	1		−1	−1	0	0	1	1

Prewitt — Prewitt

−1	−2	−1	−1	0	1		0	1	2	−2	−1	0
0	0	0	−2	0	2		−1	0	1	−1	0	1
1	2	1	−1	0	1		−2	−1	0	0	1	2

Sobel — Sobel

OPERATORI DI GRADIENTE

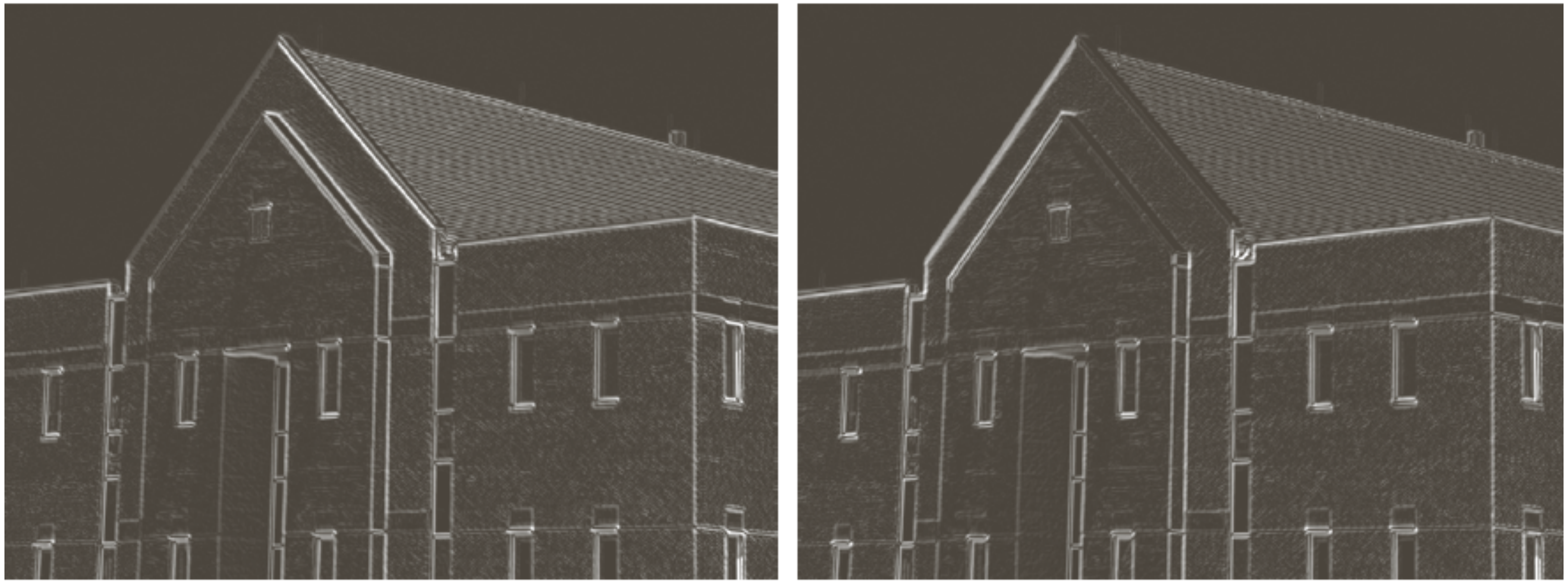
OPERATORI DI GRADIENTE

INDIVDUAZIONE BASATA SU GRADIENTE

- La risoluzione dell'immagine può determinare l'esito dell'operazione di estrazione degli edge
- I **dettagli fini** sono assimilati al **rumore**, producendo molti **punti edge**
- Prima di applicare un estrattore di edge è buona norma effettuare uno **smoothing** dell'immagine

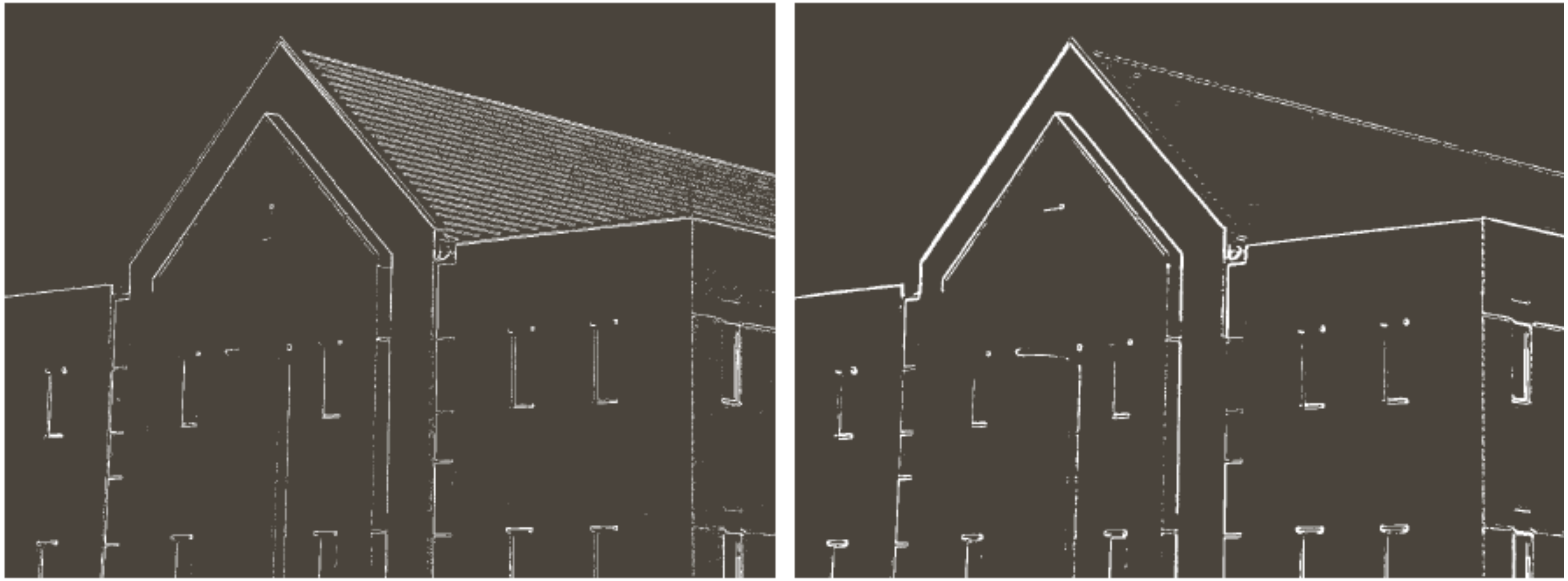
INDIVDUAZIONE BASATA SU GRADIENTE

- Per enfatizzare gli **edge diagonali**, è necessario utilizzare le maschere specifiche



GRADIENTE E THRESHOLDING

- Per ottenere **immagini gradiente** più "**pulite**", è possibile utilizzare anche la tecnica del **thresholding**, ovvero utilizzare solo i pixel la cui risposta supera una determinata soglia



MARR-HILDRETH

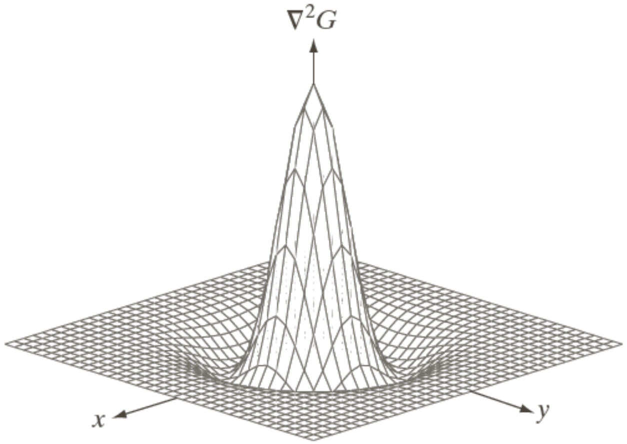
- È possibile utilizzare dei **filtri** più **avanzati** che sfruttano le proprietà delle derivate prima e seconda
- Marr e Hildreth proposero il filtro $\boldsymbol{\nabla^2 G}$ o **LoG** (**Laplacian of Gaussian**)

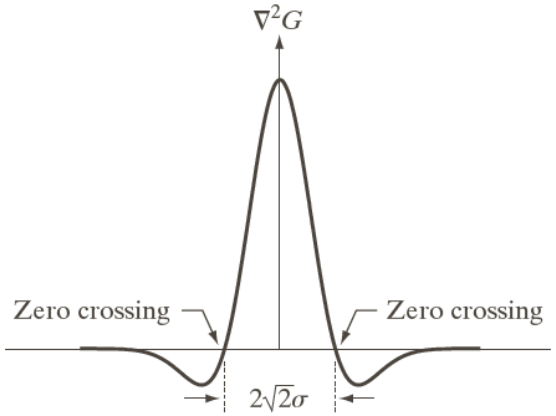
$$\nabla^2 G(x,y) = \frac{\partial^2 G(x,y)}{\partial^2 x^2} + \frac{\partial^2 G(x,y)}{\partial^2 y^2}$$

$$\nabla^2 G(x,y) = \left[\frac{x^2 + y^2 + 2\sigma^2}{\sigma^4}\right] e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

- Anche detto **operatore a sombrero**
- È possibile modificare l'**ampiezza** modificando il valore $\boldsymbol{\sigma}$

LOG





0	0	−1	0	0
0	−1	−2	−1	0
−1	−2	16	−2	−1
0	−1	−2	−1	0
0	0	−1	0	0

FILTRO GAUSSIANO

- La dimensione del filtro **n** deve essere scelta pari al più piccolo intero dispari maggiore o uguale $\boldsymbol{6\sigma}$
- Es.: $\boldsymbol{\sigma = 4\ n = 25}$
- In OpenCV è possibile utilizzare la seguente funzione

```
cv::Mat cv::getGaussianKernel(
  int          ksize,             // Kernel size
  double       sigma,             // Gaussian half-width
  int          ktype = CV_32F     // Type for filter coefficients
);
```

```
filter2D(src,dst,CV_32F,getGaussianKernel(n,σ));
```

PROPRIETÀ DEL LOG

- La funzione Gaussiana ha l'effetto di **sfocare l'immagine**
- Il **Laplaciano** è un operatore **isotropico**
- L'algoritmo di Marr-Hildreth consiste nella convoluzione del filtro LoG con l'immagine di input

$$g(x, y) = [\nabla^2 G(x, y)] \star f(x, y)$$

- equivale a

$$g(x, y) = \nabla^2 [G(x, y) \star f(x, y)]$$

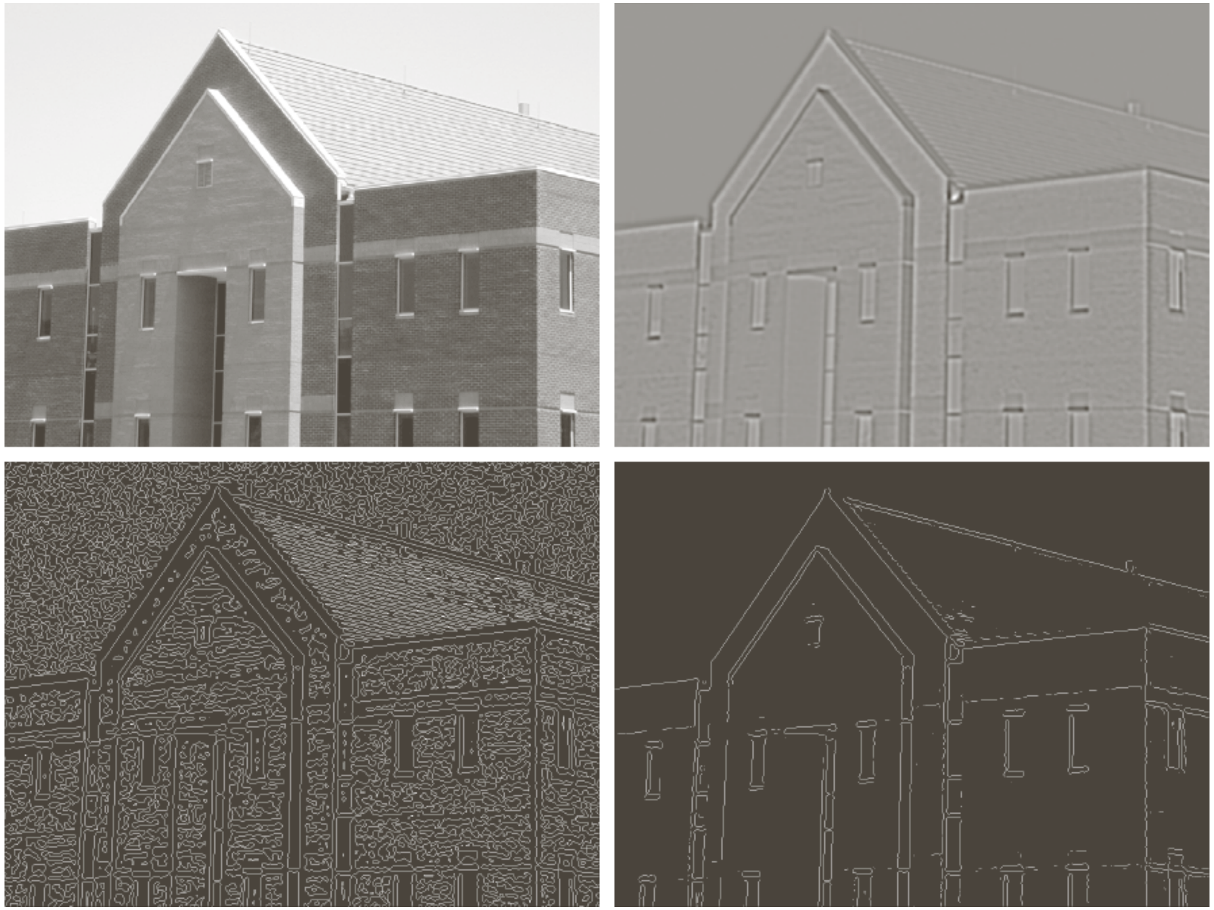
- Ovvero filtrare l'immagine con un **filtro Gaussiano** di dimensione nxn e poi applicare il **filtro Laplaciano**
- Infine bisogna **individuare** gli **zero-crossing**

ZERO-CROSSING

- A causa del **rumore** o delle **approssimazioni computazionali**, la ricerca di g(x,y)=0 potrebbe non dare il risultato atteso (individuazione degli edge)
- Si considera un **intorno 3x3** centrato in un **pixel p** dell'immagine filtrata
- Uno **zero-crossing** in p implica che i **segni** di almeno **due pixel vicini** opposti **siano diversi**
  - Sopra-sotto, destra-sinistra e le due diagonali
- Inoltre il **valore assoluto** della **loro differenza** deve superare una **soglia**

- **LoG** può essere approssimato con **DoG** (**Difference of Gaussians**)

LOG



ESERCIZI

- Utilizzando le funzioni di OpenCV implementare il LoG
- Implementare una funzione che trovi i punti di zero-crossing

```
th= max(in)*.4
for i=1:in.rows
    for j=1:in.cols
        N = intorno 3x3
        m = min(N)
        M = max(N)
        if(in(i,j)>0)
            flag=m<0?true:false
        else
            flag=M>0?true:false
        if(max-min>th && flag=true)
            out=1
```