

Immagini binarie

Binarizzazione di immagini a
livelli di grigio



Immagini binarie



- In molti casi gli le scene di interesse conducono ad immagini che possono essere considerate *binarie*, cioè contenenti nel caso ideale solo due livelli di grigio (bianco, nero)
- Esempi:
 - testo stampato, manoscritto, grafica
 - parti meccaniche piatte, sagome



Immagini binarie

- In altri casi, le immagini in analisi sono intrinsecamente a più livelli di grigio, ma l'unico contenuto rilevante è dato dalla forma degli oggetti, delle regioni o delle linee.
- Anche in queste circostanze il modello ideale è un'immagine a due livelli.



Il problema della binarizzazione

- Dopo l'acquisizione di una scena da parte di un sensore (telecamera o scanner), l'immagine che si ottiene è comunque formata da numerosi livelli di grigio (tipicamente 256).
- Le ragioni sono riconducibili a:
 - illuminazione non omogenea della scena
 - banda limitata del sistema che limita la ripidezza dei fronti in corrispondenza dei bordi
 - distorsioni impresse dal sistema ottico

Il problema della binarizzazione



- Sono quindi necessari degli algoritmi per la trasformazione di un'immagine a livelli di grigio in immagine binaria (*binarizzazione*), in modo da conservare quanto più possibile il contenuto rilevante.
- In letteratura sono stati proposti numerosi algoritmi di binarizzazione. Ciò è giustificato dall'intrinseca difficoltà del problema e dalla diversità delle caratteristiche delle immagini da trattare

Binarizzazione a soglia fissa



La soluzione più semplice è quella di fare uso di una soglia fissa S per cui la binarizzazione si realizza tramite la trasformazione:

$$y(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x < S \\ 255 & \text{se } x \geq S \end{cases}$$

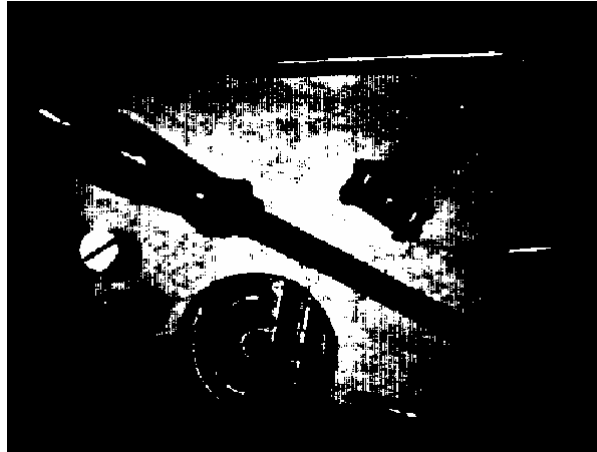
Esempio



Soglia troppo bassa



Soglia troppo alta



Valutazione della soglia



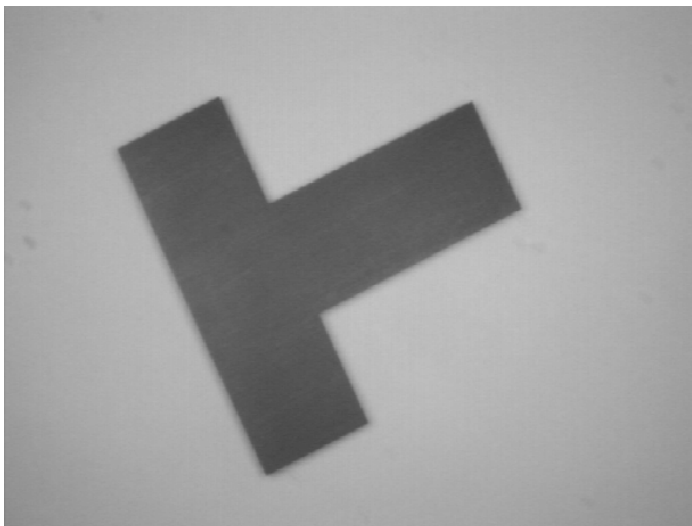
- La difficoltà in questo caso è data dall'individuazione del valore della soglia S che renda efficace l'operazione di binarizzazione.
- Esistono diversi metodi per valutare la soglia automaticamente a partire dall'istogramma dei livelli di grigio dell'immagine originale.

Valutazione della soglia su istogramma bimodale

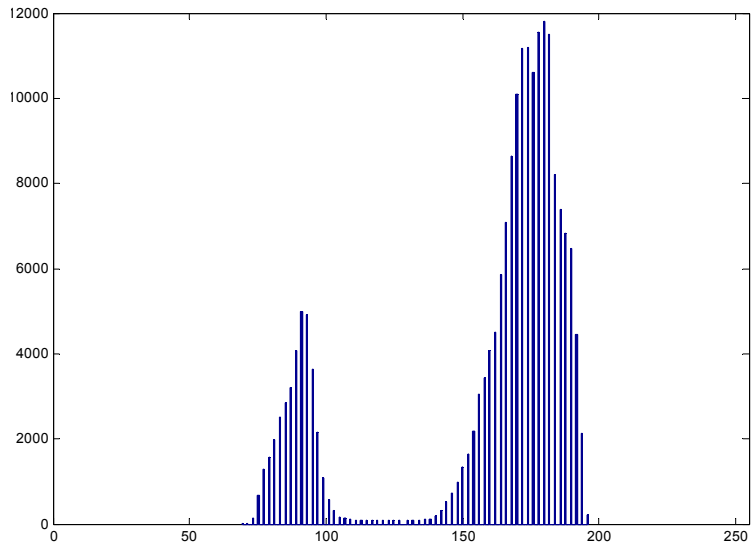


- In alcuni casi favorevoli, l'istogramma dell'immagine da binarizzare presenta un andamento nettamente bimodale
- Sono cioè presenti due picchi (*modes*) che rappresentano distintamente lo sfondo e gli oggetti presenti nella scena
- In questo caso, la soglia viene fissata in corrispondenza del punto di minimo tra i due picchi

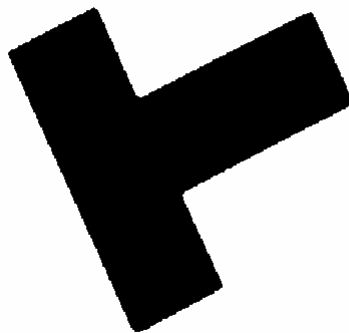
Valutazione della soglia su istogramma bimodale



Valutazione della soglia su istogramma bimodale



Valutazione della soglia su istogramma bimodale



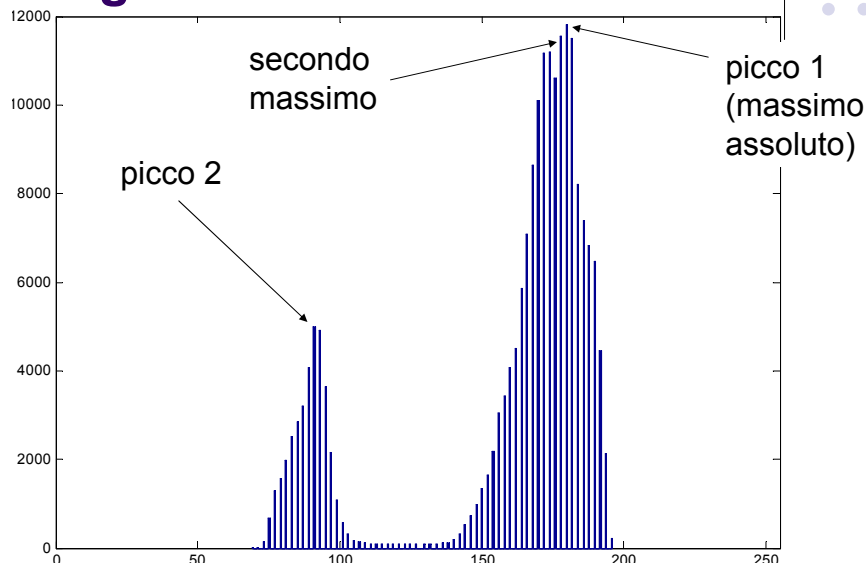
Soglia
 $S=135$

Valutazione della soglia su istogramma bimodale



- La determinazione della soglia richiede quindi la preventiva individuazione dei due picchi nell'istogramma.
- Mentre l'individuazione del primo dei due picchi è semplice (coincide con il livello di grigio a massimo valore nell'istogramma), trovare il secondo picco può essere più difficile, in quanto non è detto che coincida con il secondo valore più grande nell'istogramma.

Valutazione della soglia su istogramma bimodale



Valutazione della soglia su istogramma bimodale



- Un espediente piuttosto efficace è quello di cercare il secondo picco dopo aver moltiplicato i valori dell'istogramma per il quadrato della distanza dal primo picco

$$\max_2 = \max[(k-j)^2 h(k)] \quad 0 \leq k \leq 255$$

- In questo modo, si enfatizzano i picchi che non sono vicini al massimo

Valutazione della soglia su istogramma modificato



- Il caso favorevole visto prima si realizza piuttosto raramente.
- Più spesso l'istogramma è molto più uniforme, anche nel caso di immagini di partenza formate da oggetto e sfondo, che dovrebbero essere bimodali.
- Ciò può essere dovuto alle transizioni sui bordi che generano una gamma di livelli di grigio intermedi tra l'oggetto e lo sfondo e/o da effetti fotometrici che creano delle gradazioni di grigio anche all'interno dell'area dell'oggetto che dovrebbe essere uniforme

Valutazione della soglia su istogramma modificato



- In questi casi, può essere utile distinguere il contributo dell'istogramma che viene dai pixel di bordo da quello che viene dai pixel dell'oggetto e dello sfondo.
- Come già visto, le due classi di pixel si possono individuare in base al valore del gradiente dell'immagine:
 - alto valore del gradiente → pixel di bordo
 - basso valore del gradiente → pixel non di bordo

Valutazione della soglia su istogramma modificato

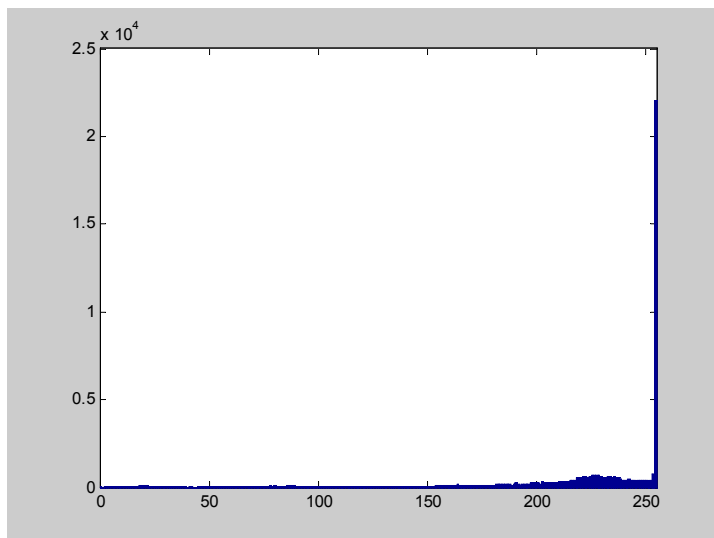


- Si può quindi considerare, in luogo dell'istogramma dell'intera immagine, l'istogramma generato da una delle due classi di pixel e cercare il valore di soglia
- Passi della binarizzazione:
 1. si valuta il gradiente dell'immagine
 2. si calcola l'istogramma considerando solo i pixel ad alto (o basso) gradiente
 3. si determina la soglia

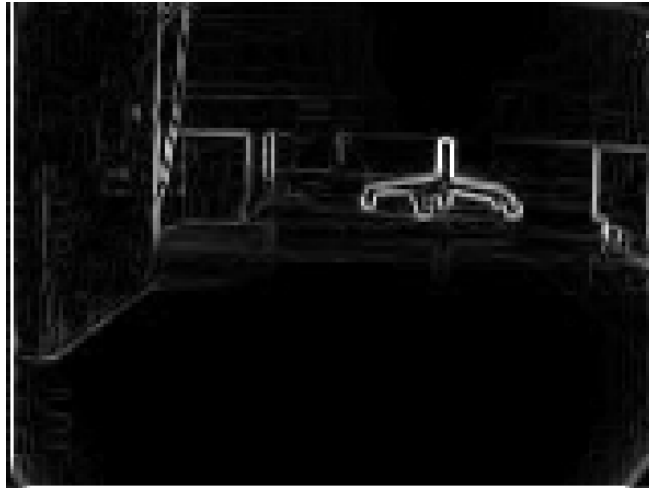
Esempio di uso del gradiente per la binarizzazione



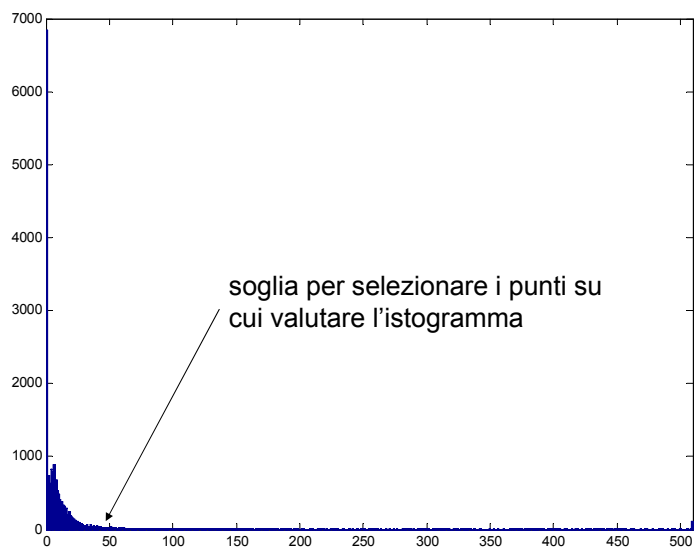
Esempio di uso del gradiente per la binarizzazione



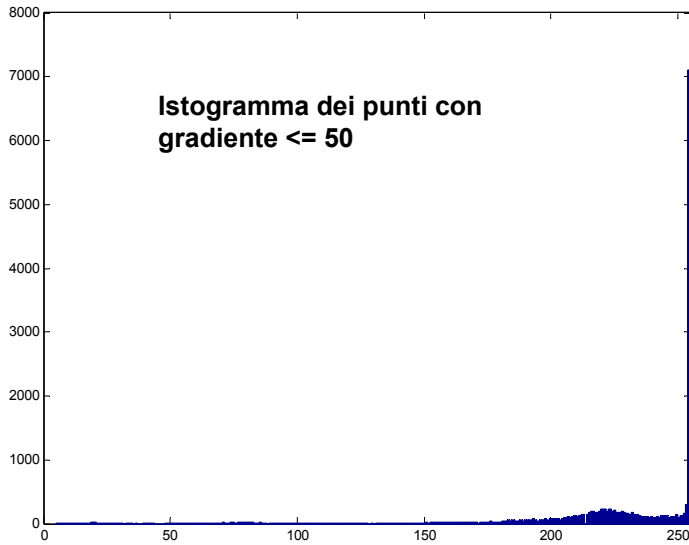
Esempio di uso del gradiente per la binarizzazione



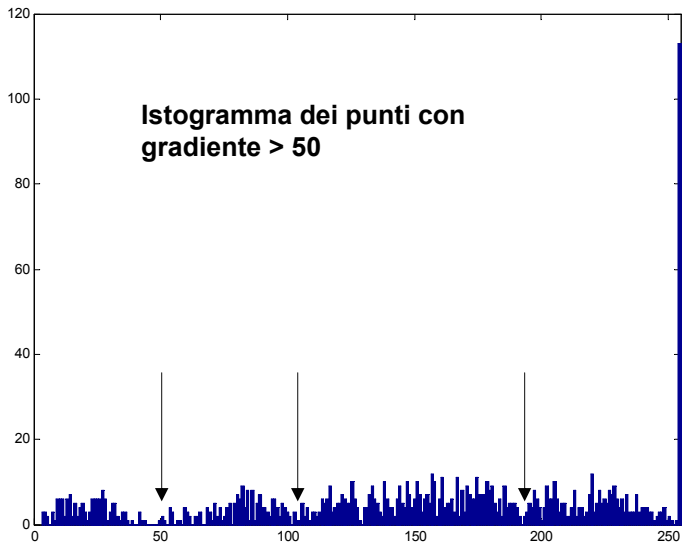
Esempio di uso del gradiente per la binarizzazione



Esempio di uso del gradiente per la binarizzazione



Esempio di uso del gradiente per la binarizzazione



Esempio di uso del gradiente per la binarizzazione



immagine
originale
binarizzata con
soglia = 50
IS(50)

Esempio di uso del gradiente per la binarizzazione

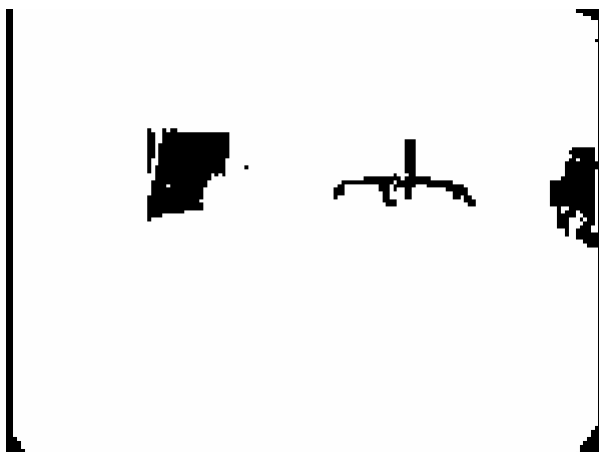


immagine
originale
binarizzata con
soglia = 100
IS(100)

Esempio di uso del gradiente per la binarizzazione



immagine
originale
binarizzata con
soglia = 200

IS(200)

Esempio di uso del gradiente per la binarizzazione



regioni
dell'immagine
originale con
valori >100
e < 200

IS(200)<>IS(100)

Thresholding tramite l'individuazione di bordi



- Il metodo visto precedentemente si può raffinare ulteriormente, considerando anche il laplaciano dell'immagine.
- In questo modo, si riesce a stimare quale sia la direzione del bordo localmente e quindi a delimitare le zone interne degli oggetti presenti sullo sfondo.

Thresholding tramite l'individuazione di bordi



- Per un'immagine f , si valuti il gradiente ∇f ed il laplaciano $\nabla^2 f$.
- Si definisca un'immagine a tre livelli s ottenuta come:

$$s(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{if } \nabla f < T \\ + & \text{if } \nabla f \geq T \text{ e } \nabla^2 f \geq 0 \\ - & \text{if } \nabla f \geq T \text{ e } \nabla^2 f < 0 \end{cases}$$

Thresholding tramite l'individuazione di bordi



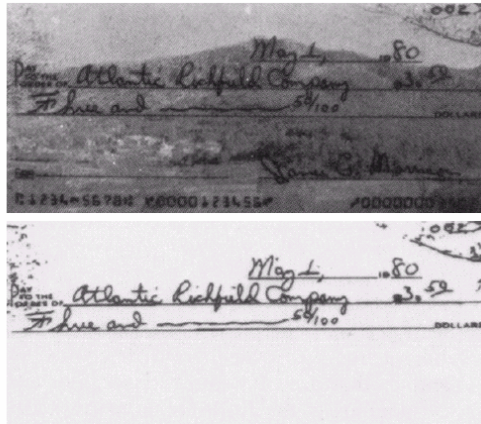
- In un'immagine in cui siano presenti oggetti più scuri su uno sfondo chiaro, i tre livelli corrispondono a:
 - 0: pixel che non sono su un bordo
 - +: pixel sul lato del bordo interno all'oggetto
 - -: pixel sul lato del bordo esterno all'oggetto
- Di conseguenza, una linea orizzontale intersecante un oggetto avrà una sequenza:
-+000...000+-

Thresholding tramite l'individuazione di bordi



- Il thresholding si può quindi realizzare etichettando come appartenenti all'oggetto i pixel presenti nelle sequenze di 0 interne.

Thresholding tramite l'individuazione di bordi



Valutazione della soglia basata sulla separabilità delle classi



- Questo algoritmo (dovuto ad Otsu) valuta la soglia S analizzando la qualità della distribuzione dei livelli di grigio tra la due classi (oggetto e sfondo) che la scelta della soglia induce.
- Si consideri l'istogramma normalizzato dell'immagine:

$$p(k) = \frac{h(k)}{\sum_{k=0}^{255} h(k)}$$

dove $p(k)$ stima la probabilità di comparsa del livello di grigio k .

Valutazione della soglia basata sulla separabilità delle classi



- Per un fissato valore della soglia S , si determina una ripartizione dei livelli di grigio in due classi K_0 e K_1 .
- Le probabilità che un pixel appartenga ad una delle due classi sono:

$$P_0 = \sum_{k=0}^S p(k) \quad P_1 = \sum_{k=S+1}^{255} p(k) = 1 - P_0$$

Valutazione della soglia basata sulla separabilità delle classi



- I livelli di grigio medi nelle due classi sono:

$$m_0 = \sum_{k=0}^S k \cdot p(k) \quad m_1 = \sum_{k=S+1}^{255} k \cdot p(k)$$

per cui il livello di grigio medio nell'intera immagine è $m = P_0 m_0 + P_1 m_1$.

- Si calcolano poi le varianze nelle due classi:

$$\sigma_0^2 = \sum_{k=0}^S (k - m_0)^2 \cdot p(k) \quad \sigma_1^2 = \sum_{k=S+1}^{255} (k - m_1)^2 \cdot p(k)$$

Valutazione della soglia basata sulla separabilità delle classi



- A questo punto è possibile valutare la varianza tra le classi σ_B^2 e la varianza interna alle classi σ_W^2 :

$$\sigma_B^2 = P_0(m_0 - m)^2 + P_1(m_1 - m)^2$$

$$\sigma_W^2 = P_0 \cdot \sigma_0^2 + P_1 \cdot \sigma_1^2$$

- Mentre la prima misura la separazione tra le due classi di livelli di grigio, la seconda ne misura la compattezza.

Valutazione della soglia basata sulla separabilità delle classi



- L'obiettivo del metodo è quello di individuare il valore della soglia S per cui si massimizza la separazione tra le classi e la compattezza di ciascuna.
- Ciò equivale a massimizzare il rapporto

$$\eta(S) = \frac{\sigma_B^2(S)}{\sigma_W^2(S)}$$

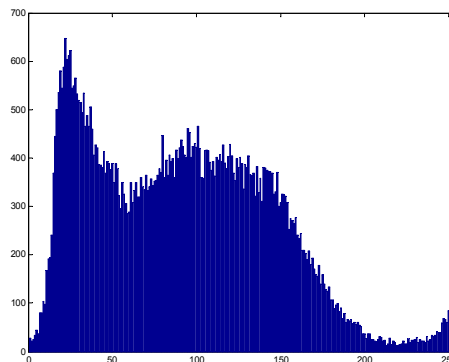
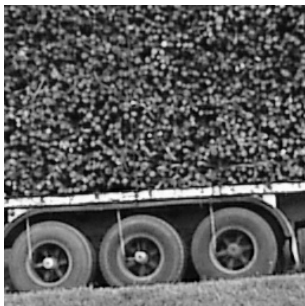
Valutazione della soglia basata sulla separabilità delle classi



Algoritmo:

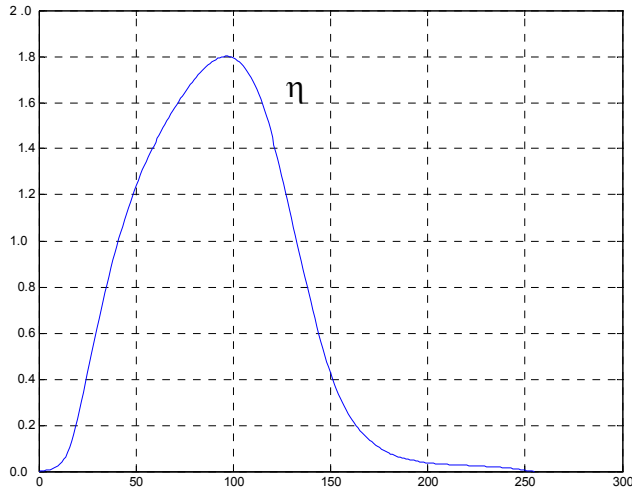
```
calcola  $\eta(0)$ ; max= $\eta(0)$ ; S=0;  
for k=1 to 255  
  calcola  $\eta(k)$ ;  
  if ( $\eta(k) > \text{max}$ )  
    max= $\eta(k)$ ; S=k  
  end if  
end for
```

Algoritmo di Otsu Esempio



Algoritmo di Otsu

Esempio

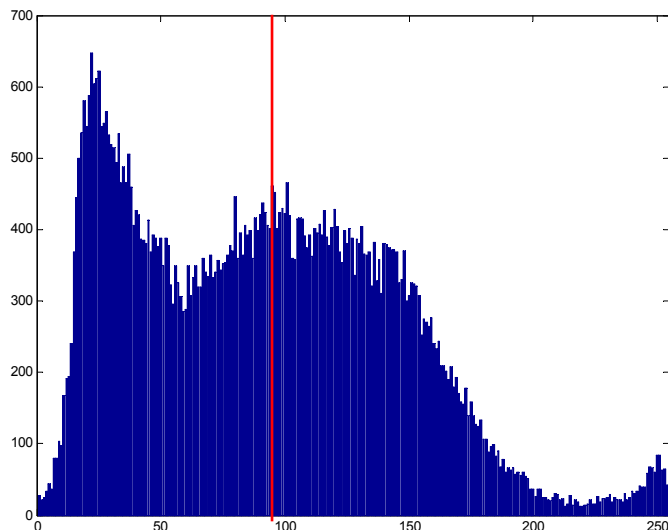


$t = 96$

$\eta_{\max} = 1.7995$

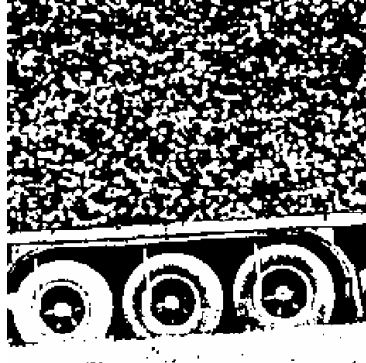
Algoritmo di Otsu

Esempio



Algoritmo di Otsu

Esempio



Compensazione dello sfondo



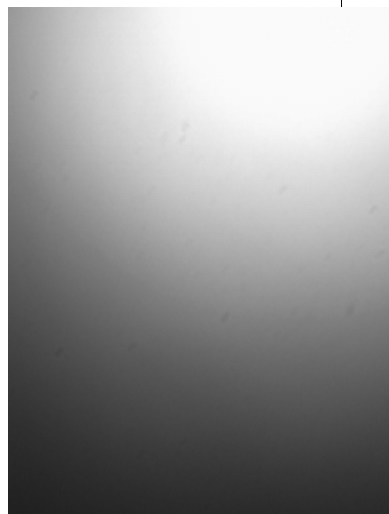
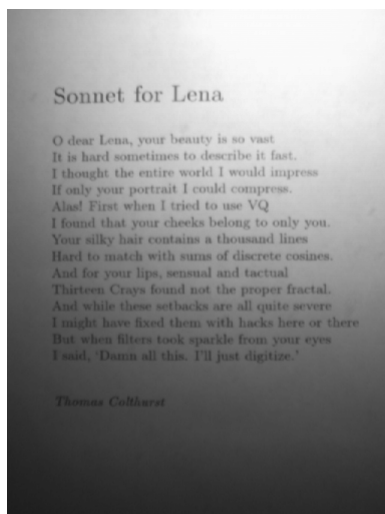
- Al segnale d'immagine può spesso sovrapporsi un segnale spurio di fondo che si produce nel corso dell'acquisizione dell'immagine e dovuto all'illuminazione della scena o alla disomogeneità del fondo.
- E' opportuno rimuovere tale segnale spurio (*compensazione dello sfondo*) prima della binarizzazione in quanto potrebbe causare degli artefatti nell'immagine binarizzata.

Compensazione dello sfondo



- La compensazione dello sfondo può essere semplicemente realizzata sottraendo dall'immagine da trattare l'immagine dello sfondo ripreso in assenza di oggetti e mantenendo le stesse condizioni di illuminazione e di configurazione del sensore.
- Se l'immagine dello sfondo "vuoto" non è disponibile, si può utilizzare in sua vece il risultato di un filtraggio dell'immagine ottenuto con un filtro di media molto ampio.

Esempio



Compensazione



Sonnet for Lena

O dear Lena, your beauty is so vast
It is hard sometimes to describe it fast,
I thought the entire world I would impress
If only your portrait I could compress.
Alas! First when I tried to see VQ
I found that your cheeks belong to only you.
Your silky hair contains a thousand lines
Hard to match with sums of discrete cosines.
And for your lips, sensual and tactual
Thirteen C-rays found not the proper fractal.
And while those setbacks are all quite severe
I might have fixed them, with locks here or there
But when filters took sparkle from your eyes
I said, 'Damn all this. I'll just digitize.'

Thomas Colthurst

Sonnet for Lena

O dear Lena, your beauty is so vast
It is hard sometimes to describe it fast,
I thought the entire world I would impress
If only your portrait I could compress.
Alas! First when I tried to see VQ
I found that your cheeks belong to only you.
Your silky hair contains a thousand lines
Hard to match with sums of discrete cosines.
And for your lips, sensual and tactual
Thirteen C-rays found not the proper fractal.
And while those setbacks are all quite severe
I might have fixed them, with locks here or there
But when filters took sparkle from your eyes
I said, 'Damn all this. I'll just digitize.'

Thomas Colthurst