



Low Level Vision: Trasformata di Hough

Prof. Sebastiano Battiato

Computer Vision A.A. 2008/2009 – Prof. Sebastiano Battiato



- Le linee sono *feature* importanti perché permettono di definire analiticamente o approssimare molte forme (in particolare di oggetti costruiti dall'uomo).
- Le linee possono essere rilevate in (almeno) due modi diversi:
 - Tramite *template matching*, utilizzando un insieme di maschere che modellino l'andamento locale di una retta
 - Tramite *trasformata di Hough*, ossia tramite un sistema di *voting* che segue una fase di edge detection

Computer Vision A.A. 2008/2009 – Prof. Sebastiano Battiato



Template matching

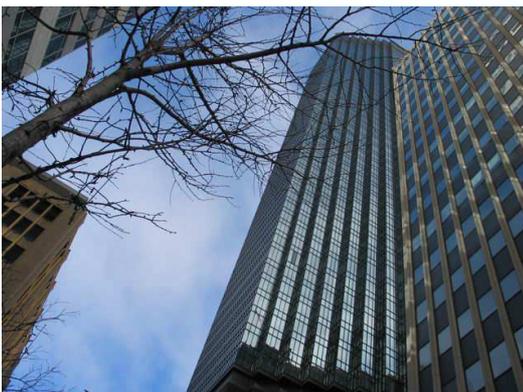
- **IDEA:** cercare i picchi nella convoluzione tra l'immagine e un insieme di maschere che modellano la struttura locale di rette.
- Se una maschera M in un punto p ritorna una risposta superiore ad una soglia, diciamo che in quel punto passa un segmento di retta la cui orientazione e spessore è modellato da M

-1	-1	-1
2	2	2
-1	-1	-1

Esempio di maschera che definisce un segmento di retta con orientazione 0

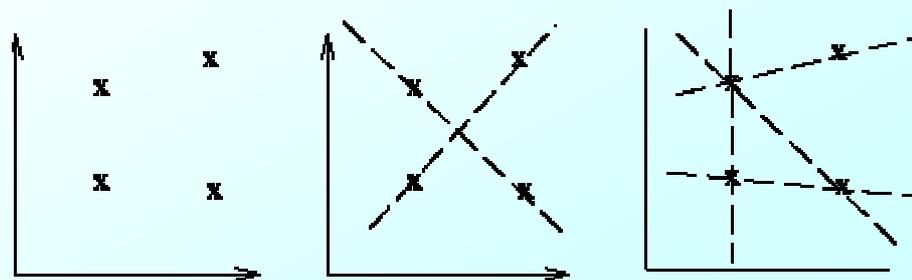


Esempio



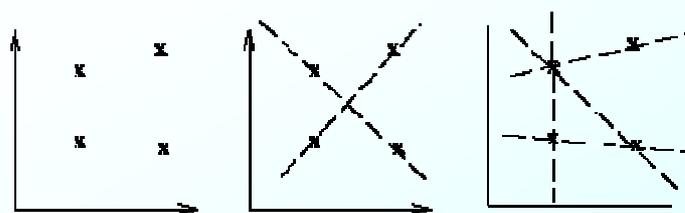
Approcci alternativi (globali)

Si considerano in questo caso relazioni globali tra punti di edge, in modo da determinare l'appartenenza dei punti stessi a linee di forma specificata, per esempio rette. In generale, dati n punti in un piano, stabilire quali di questi punti sono collineari è un problema computazionalmente oneroso.



Computer Vision A.A. 2008/2009 – Prof. Sebastiano Battiato

Approcci alternativi (globali)



Infatti si tratta di individuare tutte le rette determinate dai punti, presi a due a due, e quindi di trovare tutti i sotto-insiemi di punti che possono essere ritenuti prossimi a ciascuna delle linee. Poiché le linee formate da n punti sono $n(n-1)/2 \approx n^2$, si tratta di effettuare per ciascun punto altrettanti confronti di distanza, quindi complessivamente $(n)(n(n-1)/2) \approx n^3$ confronti.

Un approccio alternativo è stato proposto da Hough, dando luogo all'algoritmo noto come **trasformata di Hough**.

Computer Vision A.A. 2008/2009 – Prof. Sebastiano Battiato



Trasformata di Hough (HT)

IDEA CHIAVE

Mappare un problema difficile di riconoscimento di forme nel seguente problema (più facile):

Rilevare i picchi nello spazio dei parametri della curva cercata (rette nel nostro caso)



HT per il rilevamento di rette

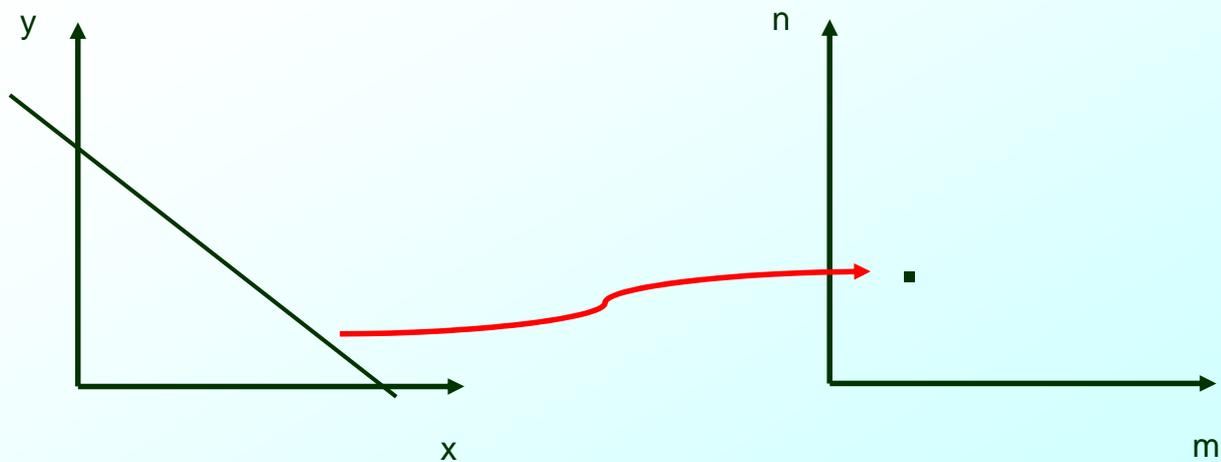
- Una retta

$$y=mx+n$$

è identificata dalla coppia di parametri (m,n)

- Nel caso delle rette lo spazio dei parametri è un piano (ho 2 soli parametri: m e n).
- Nello spazio dei parametri la retta è rappresentata da un **punto**.

HT per il rilevamento di rette



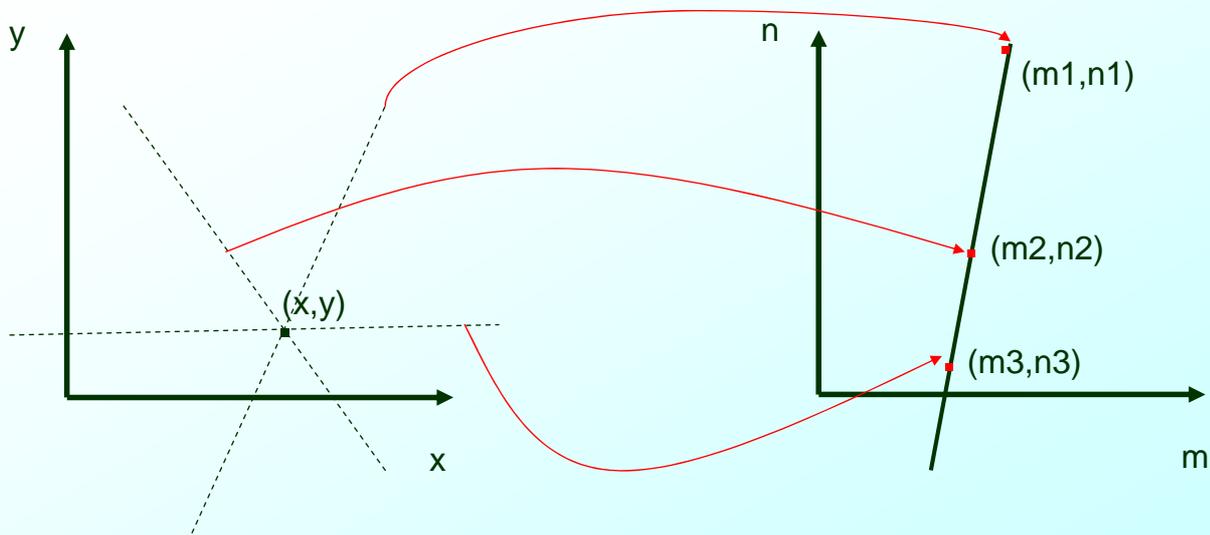
Computer Vision A.A. 2008/2009 – Prof. Sebastiano Battiato

HT per il rilevamento di rette

- Al contrario, un punto nello spazio di partenza (x,y) rappresenta una **linea/retta** $n=x(-m)+y$ nello spazio dei parametri.
- Ogni punto di questa linea corrisponde ad una linea nello spazio di partenza che passa per il punto (x,y) .

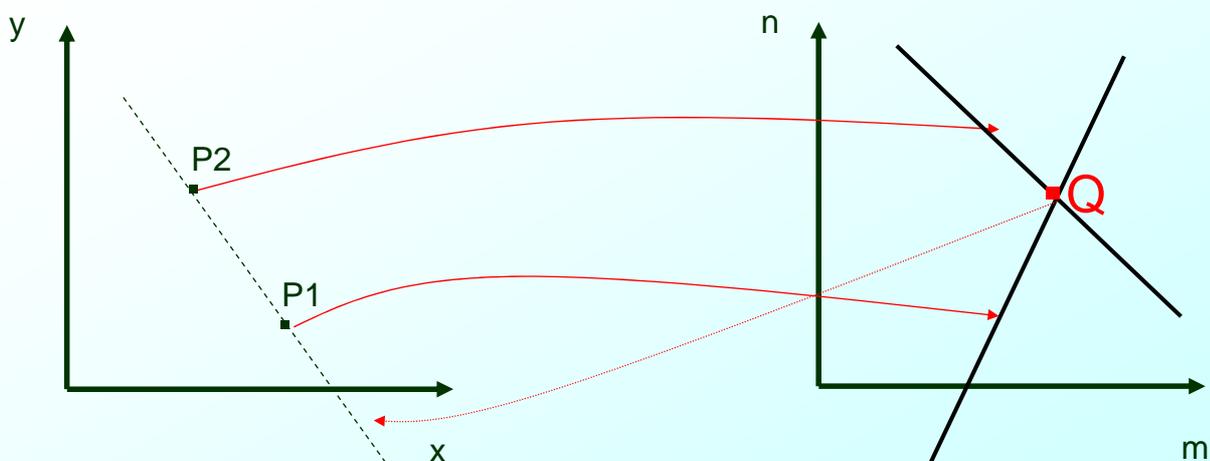
Computer Vision A.A. 2008/2009 – Prof. Sebastiano Battiato

HT per il rilevamento di rette



Computer Vision A.A. 2008/2009 – Prof. Sebastiano Battiato

HT per il rilevamento di rette

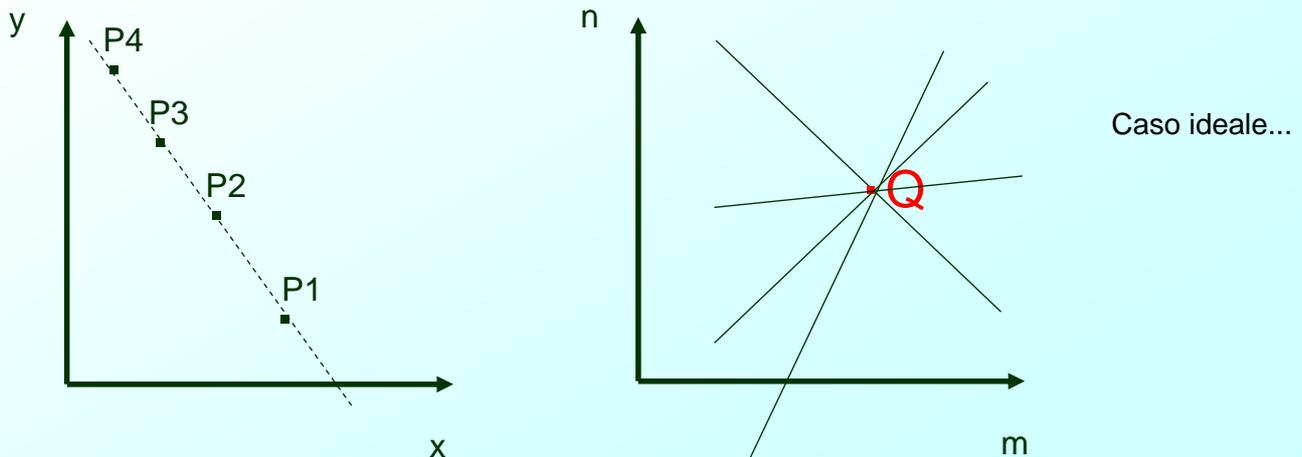


Due punti appartenenti alla stessa retta r , corrispondono nello spazio dei parametri a due rette, la cui intersezione ci fornisce i parametri (m,n) della retta r

Computer Vision A.A. 2008/2009 – Prof. Sebastiano Battiato

HT per il rilevamento di rette

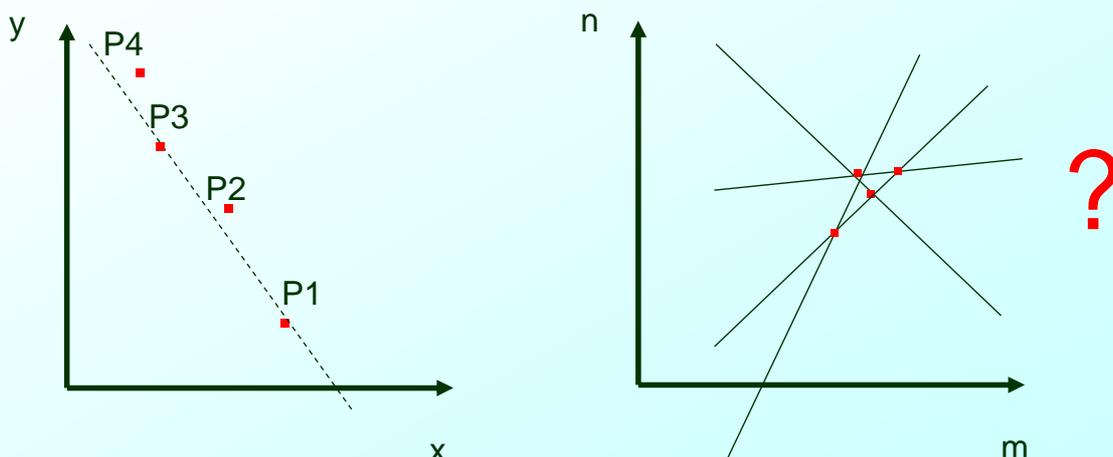
- Quindi una retta nello spazio di partenza definita da N punti P_1, \dots, P_N viene identificata come intersezione nello spazio dei parametri di N rette, ognuna corrispondente ad un P_i



Computer Vision A.A. 2008/2009 – Prof. Sebastiano Battiato

HT per il rilevamento di rette

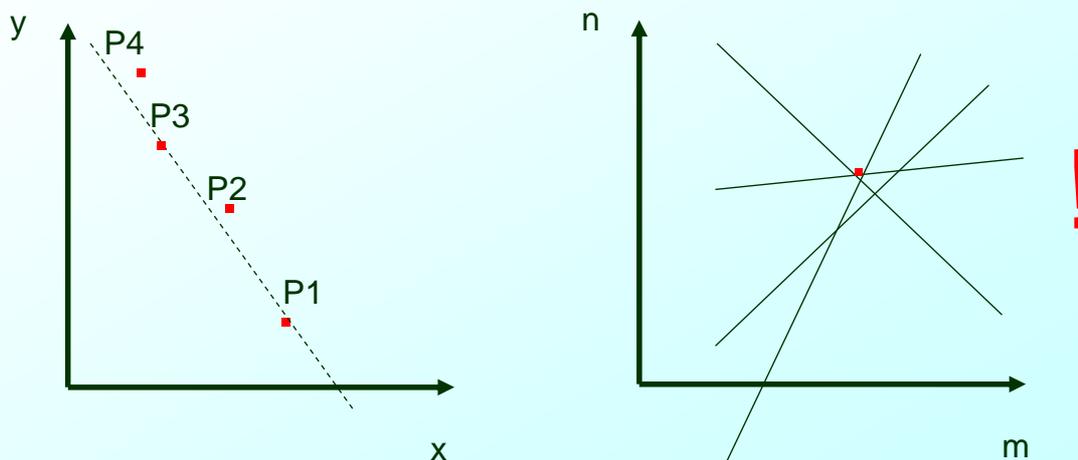
- In presenza di rumore non è detto che i P_i siano esattamente collineari. Quindi l'intersezione può non essere unica



Computer Vision A.A. 2008/2009 – Prof. Sebastiano Battiato

HT per il rilevamento di rette

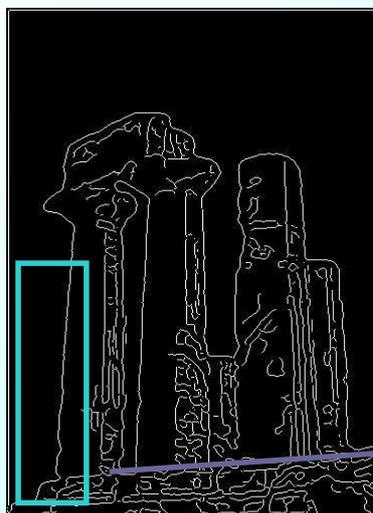
- Se si hanno abbastanza punti nello spazio di partenza, il problema può essere tradotto in un problema di *detection* di picchi nello spazio dei parametri



Computer Vision A.A. 2008/2009 – Prof. Sebastiano Battiato

Nel caso di immagini...

- I punti dello spazio di partenza possono essere punti di edge



Computer Vision A.A. 2008/2009 – Prof. Sebastiano Battiato

Un algoritmo semplice

Assumiamo che un'immagine contenga solo 1 retta, di parametri (m',n') costituita dai punti di edge P_1, \dots, P_N

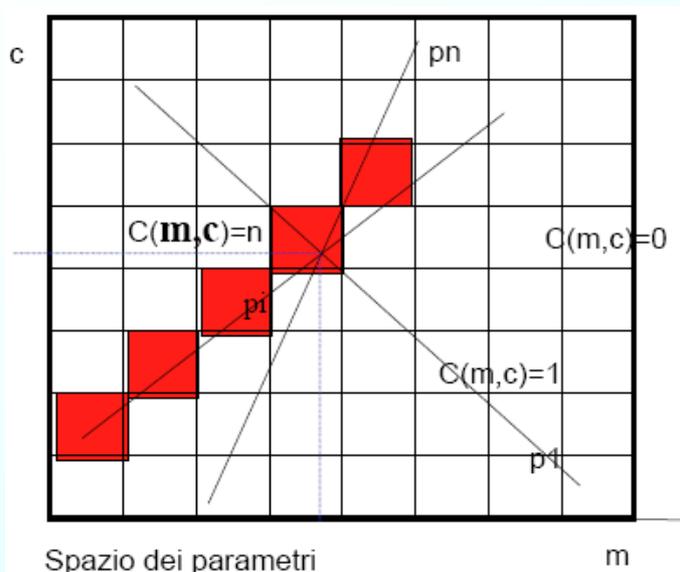
Dividiamo lo spazio dei parametri (m,n) in una griglia finita di celle e associamo ad ognuna di esse un contatore $C(m,n)$. Per ogni punto $P_i=(x_i,y_i)$

- calcoliamo la retta s_i nello spazio dei parametri che abbia (x_i,y_i) come coefficienti
- Incrementiamo tutti i contatori relativi alla retta s_i nello spazio dei parametri

In assenza di rumore tutte le s_i passano per la cella (m',n') quindi $C(m',n')=N$ e tutte le altre celle hanno valori più piccoli (quali?)

La retta viene identificata trovando questo picco (Meccanismo di Voting)

Accumulatore su griglia 2D





Considerazioni

- In caso di rumore non è detto che tutte le rette si incontrino nella stessa cella
- Che cosa succede se ci sono più rette nell'immagine?
- Spesso si individuano i massimi locali nello spazio dei parametri (fissando una soglia...)



Una piccola modifica

- Lo spazio dei parametri è infinito. Nell'implementare l'algoritmo occorre fissare un valore minimo e massimo per n ed m :

Come?

- Una semplificazione si può ottenere scegliendo una rappresentazione alternativa delle rette:

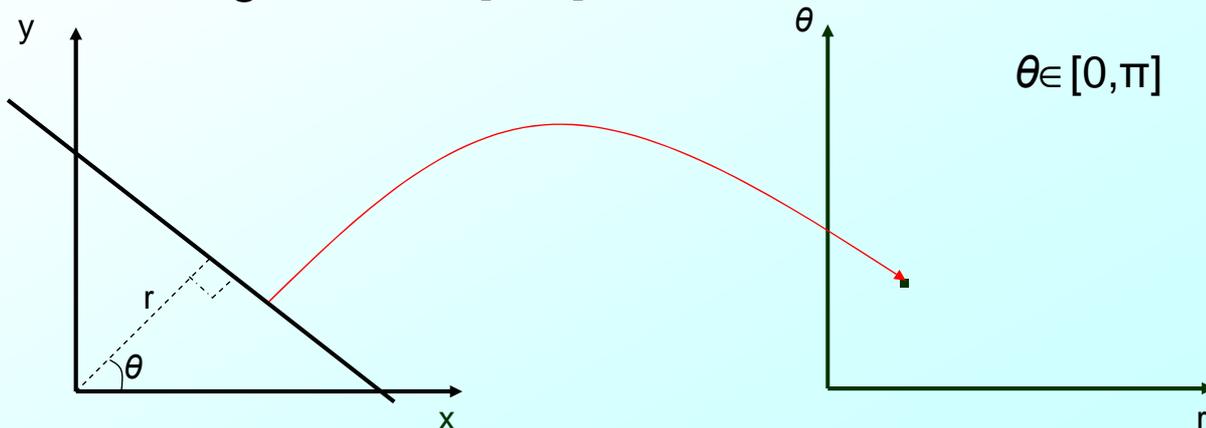
$$x \cos\theta + y \sin\theta = r$$

Una piccola modifica

- Una semplificazione si può ottenere scegliendo una rappresentazione alternativa delle rette:

$$x \cos\theta + y \sin\theta = r$$

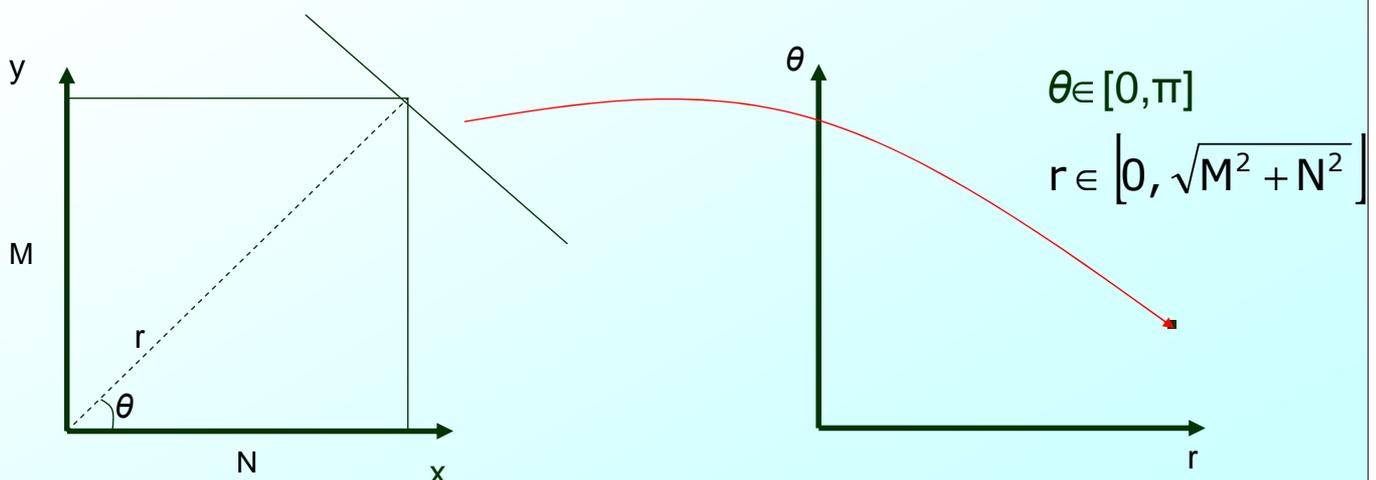
dove r rappresenta la distanza della retta dall'origine e $\theta \in [0, \pi]$ il suo orientamento.



Computer Vision A.A. 2008/2009 – Prof. Sebastiano Battiato

Una piccola modifica

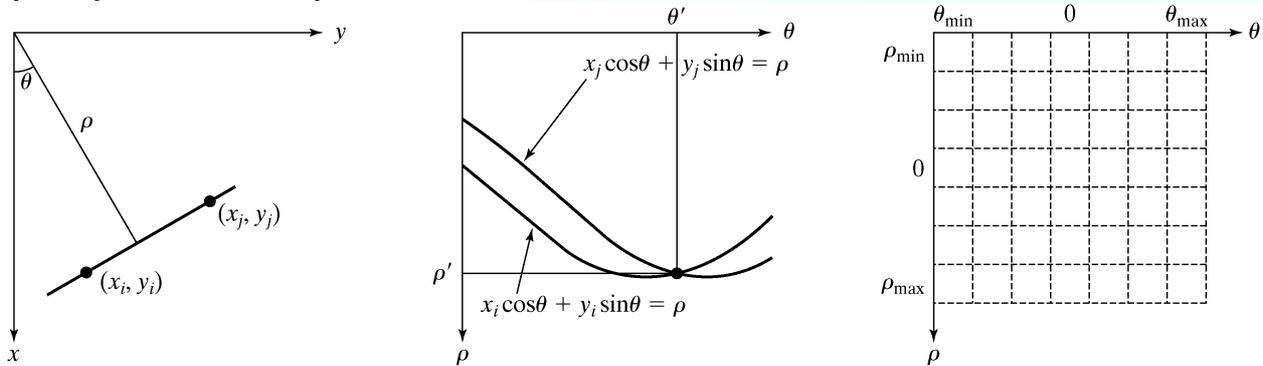
- Considerando anche il fatto che i punti nello spazio di partenza appartengono ad un'immagine anche r appartiene ad un intervallo finito



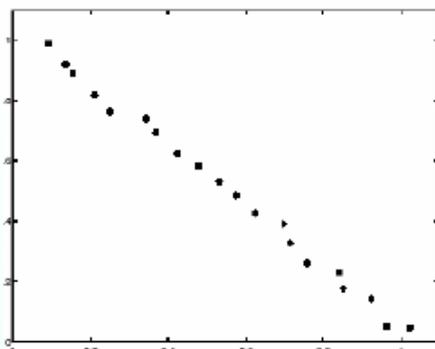
Computer Vision A.A. 2008/2009 – Prof. Sebastiano Battiato

Lo spazio dei parametri

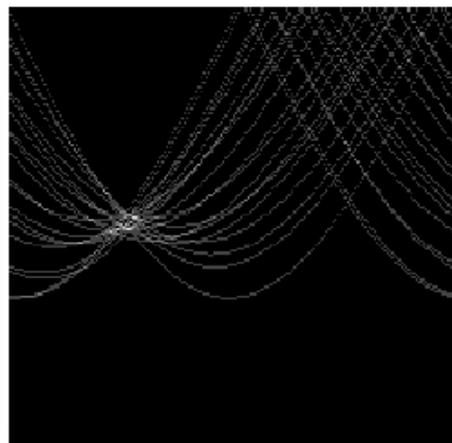
- Ad ogni punto P_i di coordinate (x_i, y_i) corrisponde una nello spazio dei parametri alla famiglia di linee che passa attraverso quel particolare punto



Lo spazio dei parametri



linea



voti



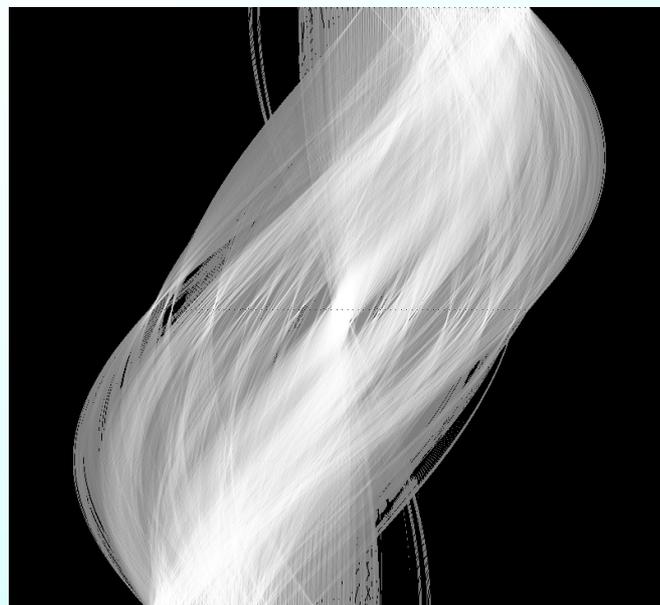
Step 1 – Edge Detection



Computer Vision A.A. 2008/2009 – Prof. Sebastiano Battiato



Step 2. Lo spazio dei parametri

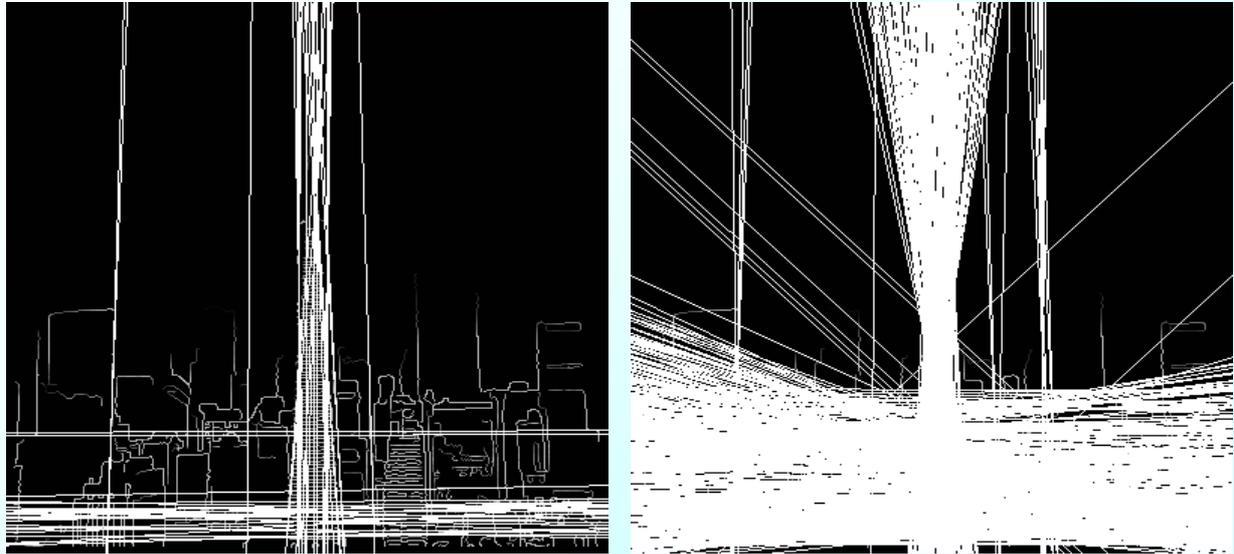


Computer Vision A.A. 2008/2009 – Prof. Sebastiano Battiato



Esempio 3

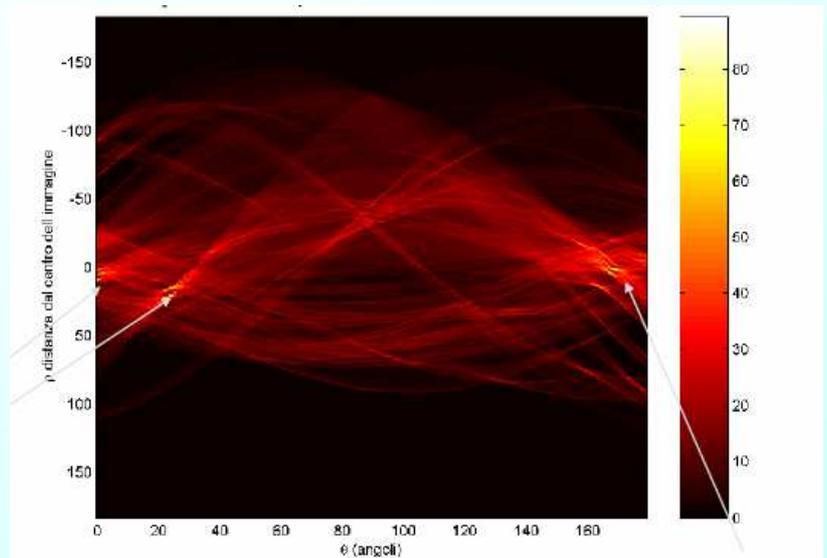
Step 3. Stima dei picchi e riproiezione sullo spazio di partenza



Al variare della sogliatura.....



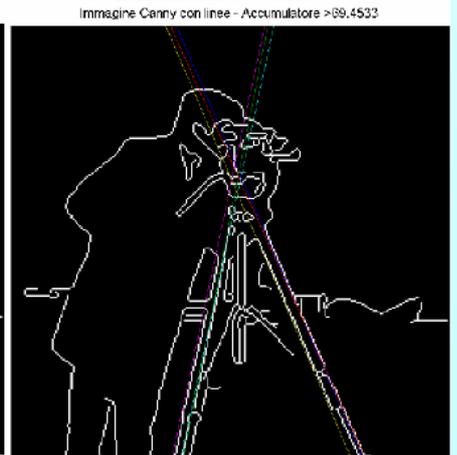
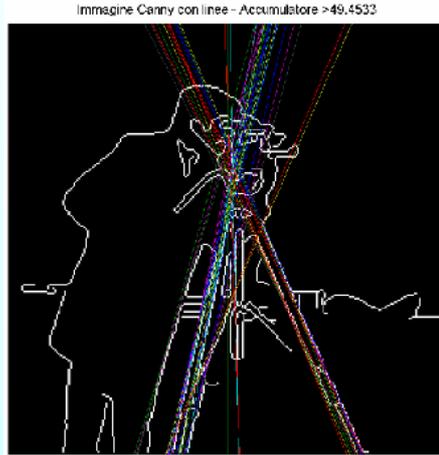
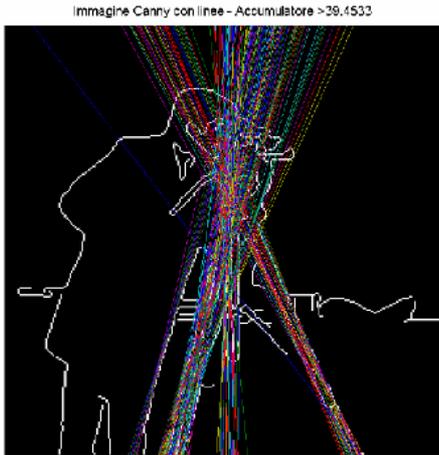
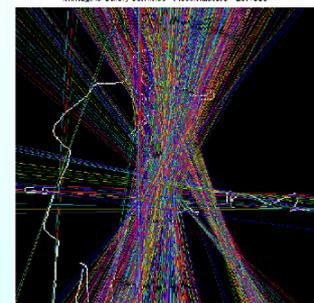
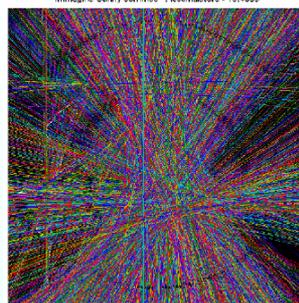
Esempio 2





Esempio 2

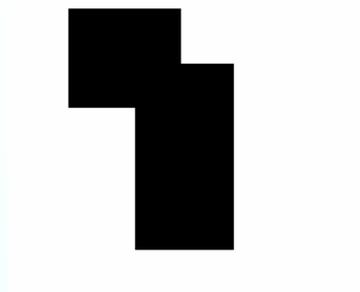
Al variare della soglia:



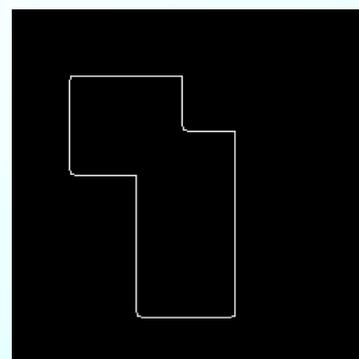
Computer Vision A.A. 2008/2009 – Prof. Sebastiano Battiato



Esempio 3



Input



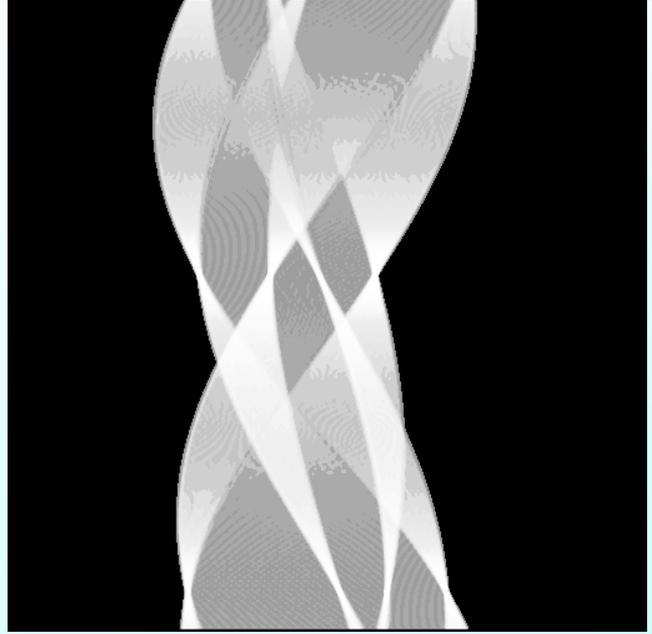
Canny Edge

La mappa degli edge non è in grado di fornire informazioni strutturali sul tipo e sulla quantità di feature in questione (in questo caso linee). Si può usare la trasformata di Hough (linee) per individuare gli otto segmenti e quindi caratterizzare la struttura geometrica dell'immagine stessa.

Computer Vision A.A. 2008/2009 – Prof. Sebastiano Battiato



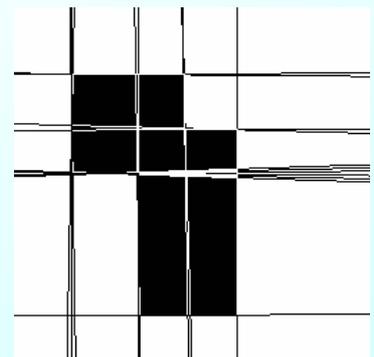
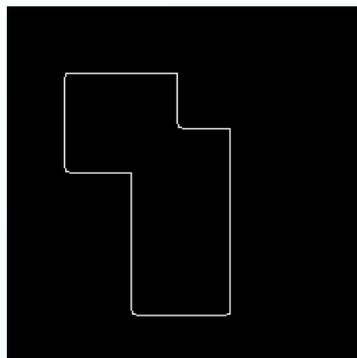
Esempio 3



Spazio dei parametri. L'immagine di destra è ottenuta applicando una semplice equalizzazione.

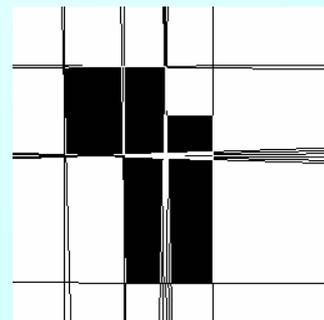
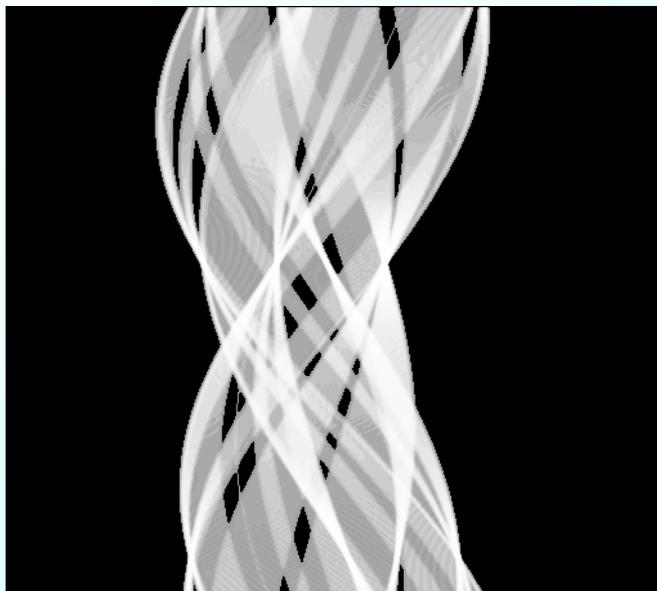
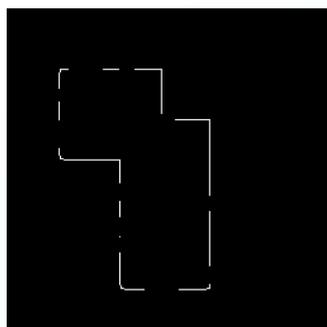
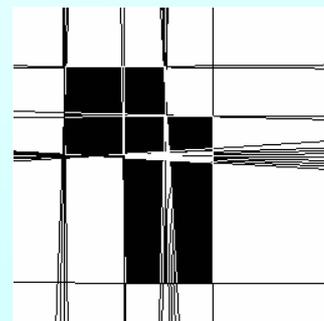
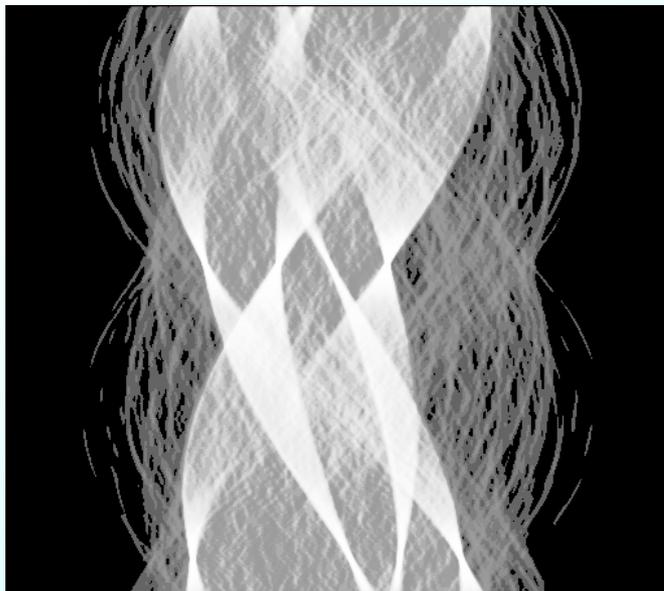
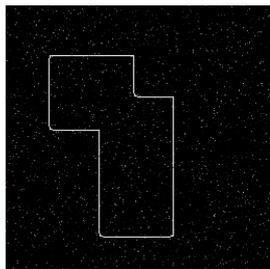


Esempio 3



Perché le otto linee non sono state individuate correttamente?

Si noti inoltre che Hough individua delle rette che come tali sono infinite in lunghezza.





Generalizzazioni..

- Possiamo utilizzare la stessa procedura per rilevare altre forme. Ad esempio nel caso delle circonferenze

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2$$

- In questo caso lo spazio dei parametri è 3D (a,b,r)
- Per curve più complesse, all'aumentare del numero dei parametri questo approccio diventa via sempre meno pratico



Conclusioni

- Il metodo basato sulla trasformata di Hough si presta bene alla individuazione di linee anche in presenza di occlusioni.
- Demo