

*Robotica – Robot Industriali e di Servizio*

*Lezione 24:  
La visione robotica*

Il senso principale dell'uomo,  
applicato alle macchine  
(Complementi alle lezioni dell'Ing.  
Tampalini)

•22 maggio 2013

*La visione robotica*

- ⇒ Capire dove sono gli oggetti (localizzazione)
- ⇒ Capire quali oggetti sono (riconoscimento)
- ⇒ Controllare ciò che si sta facendo (controllo di qualità)

⇒ Utilissimo (anzi, indispensabile) riferimento  
bibliografico:

- [http://visilab.unime.it/~ianni/slides\\_CV/](http://visilab.unime.it/~ianni/slides_CV/)

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •2

*Il nostro occhio è eccezionale...*

---

# Buon giorno

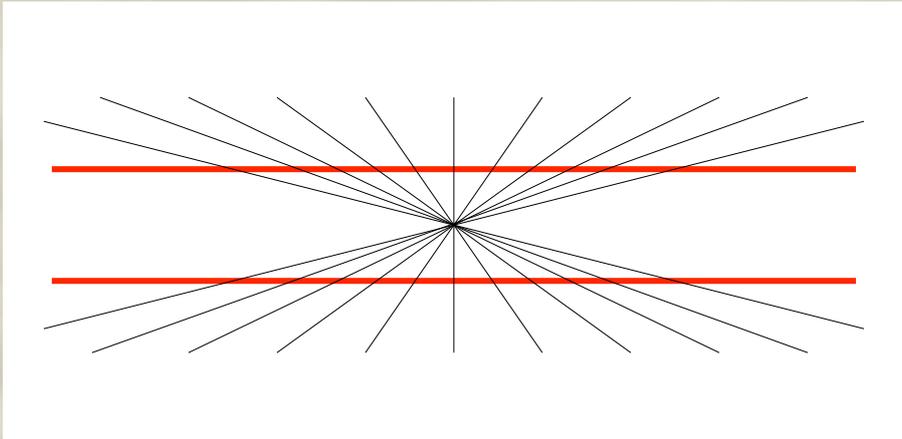


\*Lezione 24 La visione robotica \*22 maggio 2013 \*3

*Anche se si fa ingannare*

---

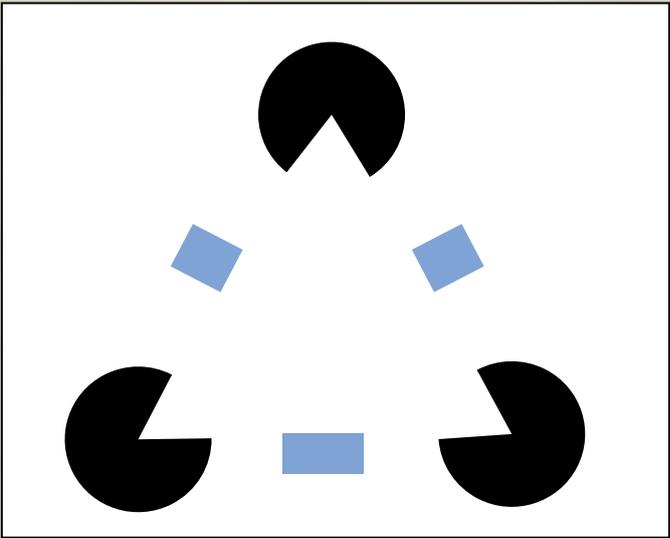
⇒ Dalla geometria



\*Lezione 24 La visione robotica \*22 maggio 2013 \*4

*Anche se si fa ingannare*

⇒ Dagli oggetti

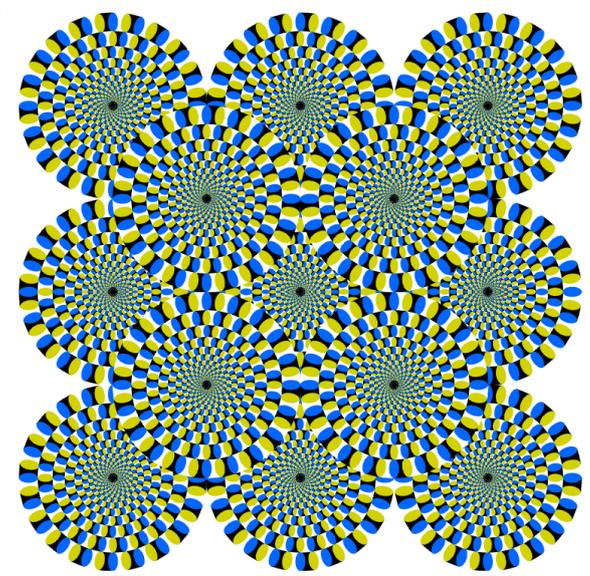


The diagram shows a white triangle on a black background. The triangle is composed of three black circular sectors, each with a 90-degree angle, positioned at the vertices. The gaps between these sectors are filled by three blue squares, one on each side, creating the illusion of a solid white triangle.

\*Lezione 24 La visione robotica 22 maggio 2013

*Anche se si fa ingannare*

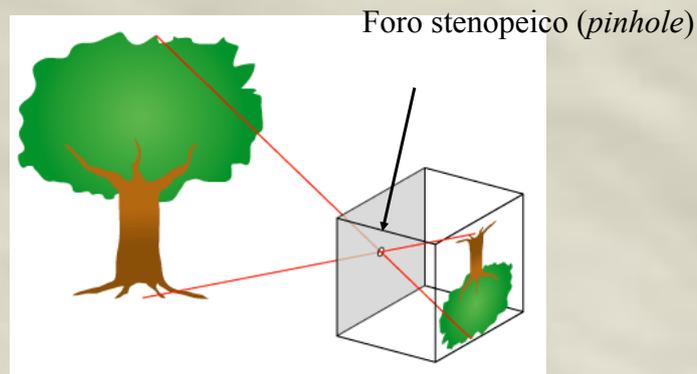
⇒ Perfino dal movimento!



The image displays a complex pattern of concentric circles. Each circle is composed of alternating blue and yellow segments. The segments are arranged in a way that creates a strong illusion of motion or vibration when the viewer's perspective changes or they move, a phenomenon known as the 'vibrating circles' illusion.

\*Lezione 24 La visione robotica

## *Il principio della camera oscura:*



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •7

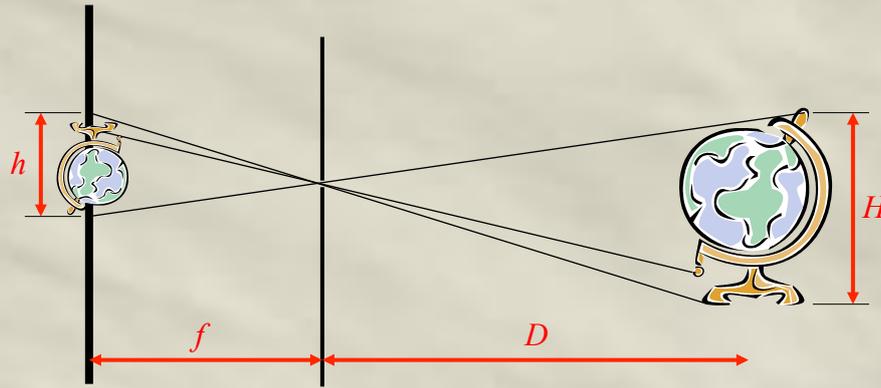
## *Nota importante:*

- ⇒ In tutto questo discorso, noi ci occuperemo solo di visione bidimensionale
- ⇒ Proiettiamo la realtà (quadridimensionale) su un piano, eliminando la profondità e il tempo
- ⇒ La visione tridimensionale e la cinevisione esistono, ma hanno applicazioni soprattutto in robotica avanzata
- ⇒ Esistono altri sistemi per recuperare la terza dimensione (luce strutturata)

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •8

*Più precisamente:*

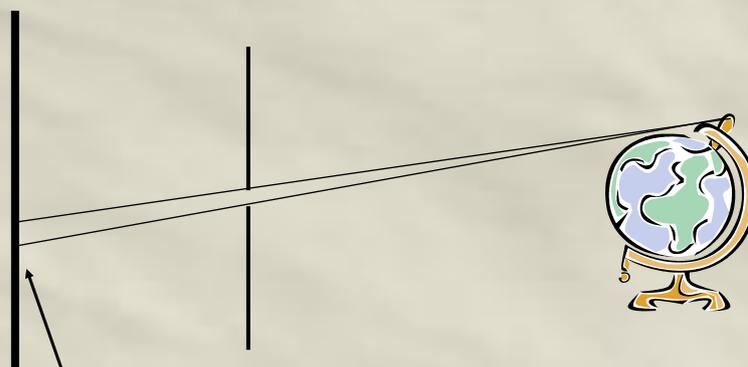


Formula fondamentale:  $\frac{h}{H} = \frac{f}{D}$

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •9

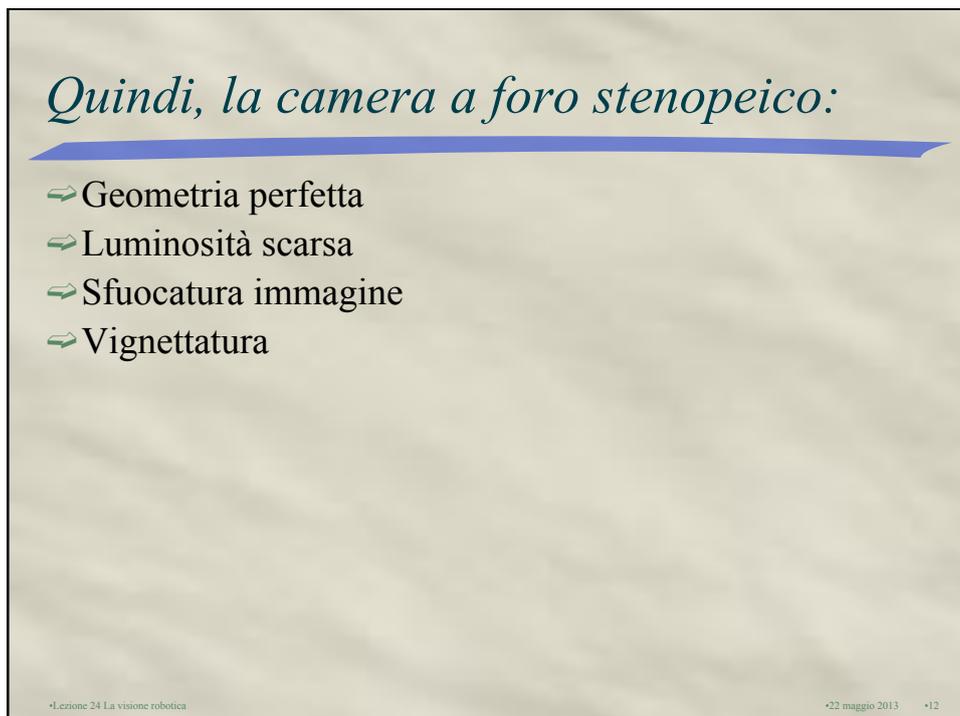
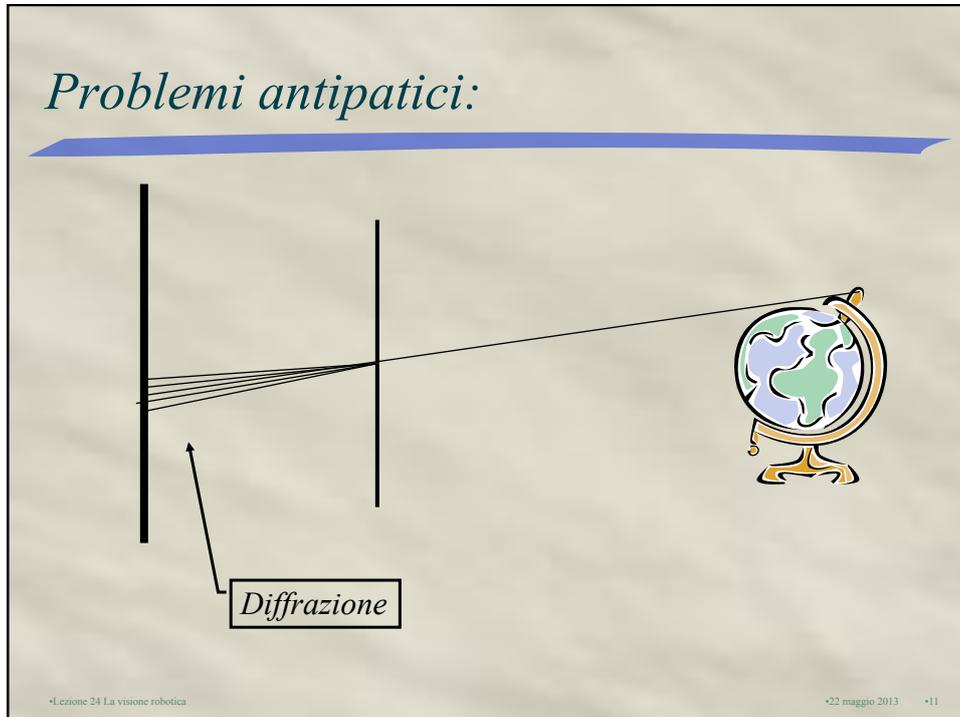
*Problemi antipatici:*



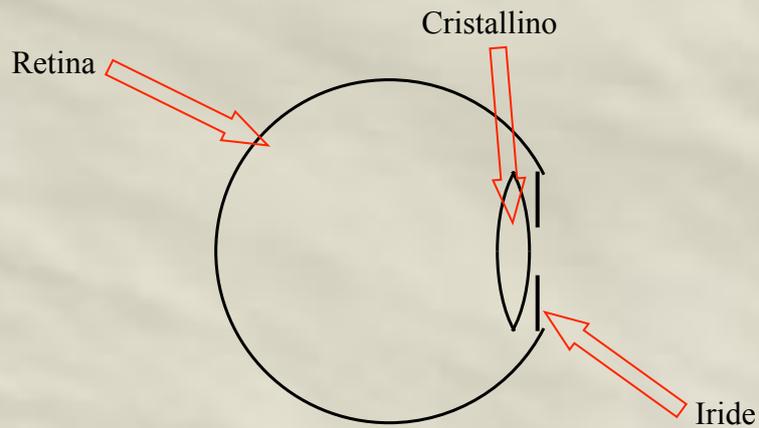
*Circolo di confusione*

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •10



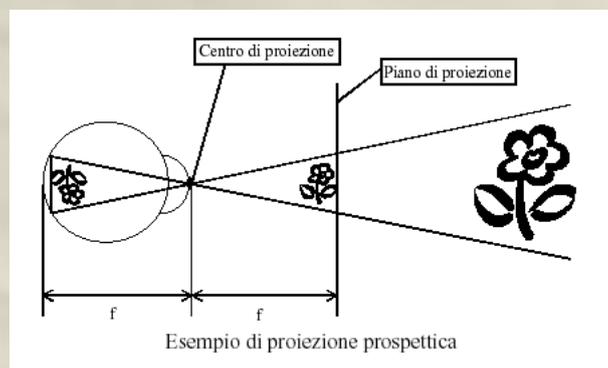
*Allora, ad imitazione dell'occhio:*



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •13

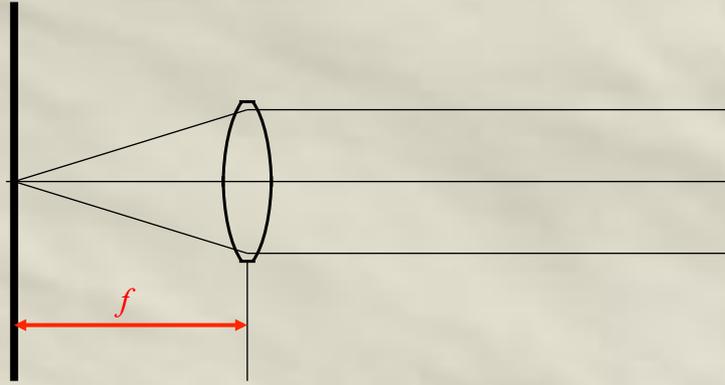
*Elementi base dell'occhio:*



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •14

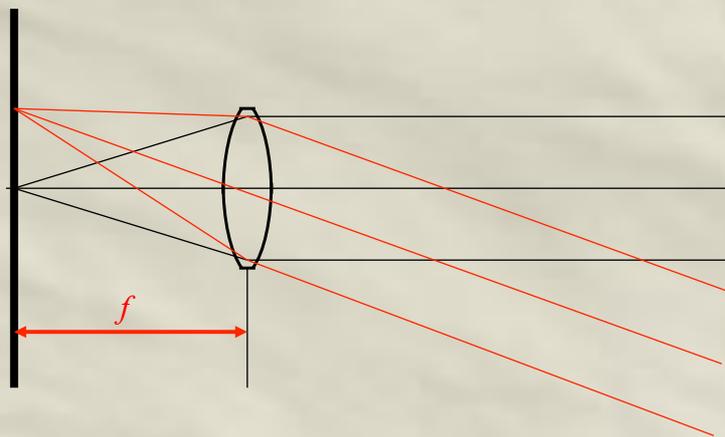
### *Dobbiamo usare una lente (convergente)*



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •15

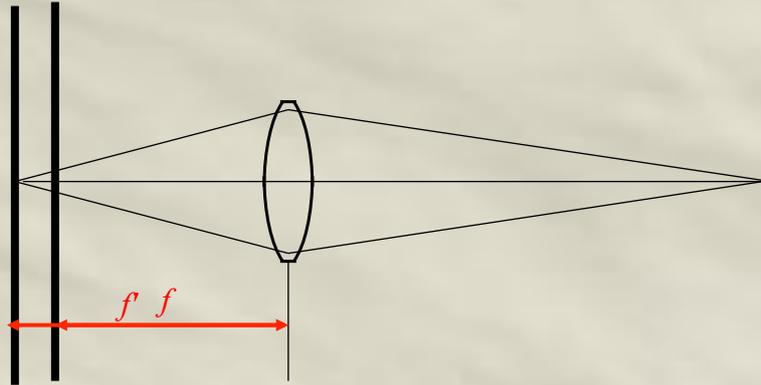
### *Comportamento della lente*



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •16

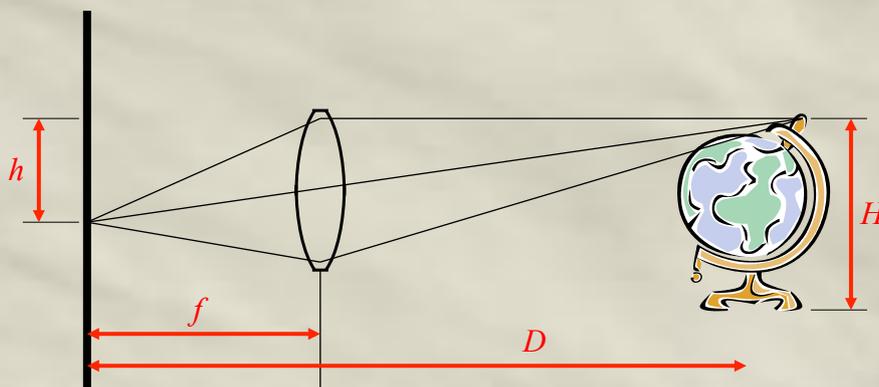
*Se l'oggetto non è all'infinito*



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •17

*Vale sempre la formula di prima:*



Formula fondamentale: 
$$\frac{h}{H} = \frac{f}{D - f}$$

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •18

## *La lente:*

- ⇒ Elimina alcuni problemi:
  - Scarsa luminosità
  - Vignettatura
- ⇒ Ma ne introduce altri:
  - Aberrazioni geometriche
  - Aberrazioni cromatiche
  - Profondità di campo (nitido)

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •19

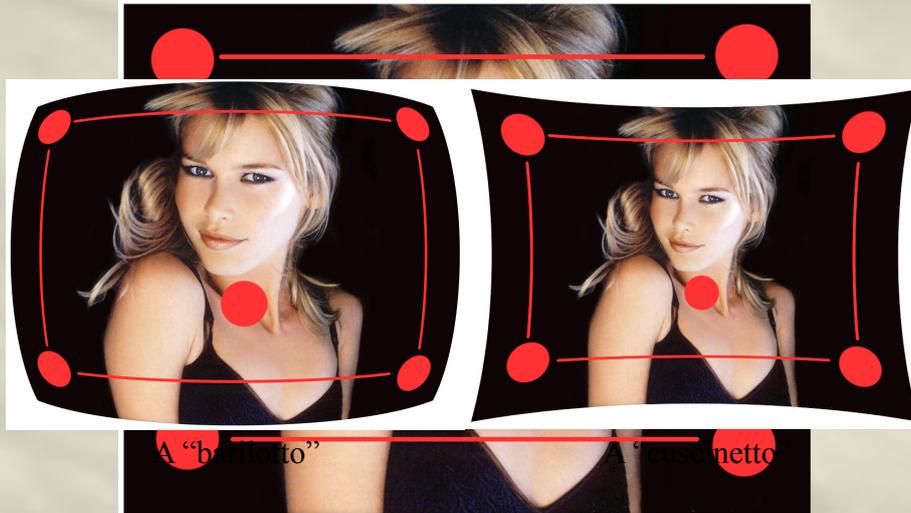
## *Aberrazioni geometriche*

- ⇒ La proiezione sul piano immagine non è geometricamente perfetta
  - La forma e le dimensioni degli oggetti proiettati dipendono dalla loro posizione nell'immagine

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •20

## *Le aberrazioni geometriche*



\*Lezione 24 La visione robotica

\*22 maggio 2013 \*21

## *Se pensate che abbia esagerato...*



\*Lezione 24 La visione robotica

\*22 maggio 2013 \*22

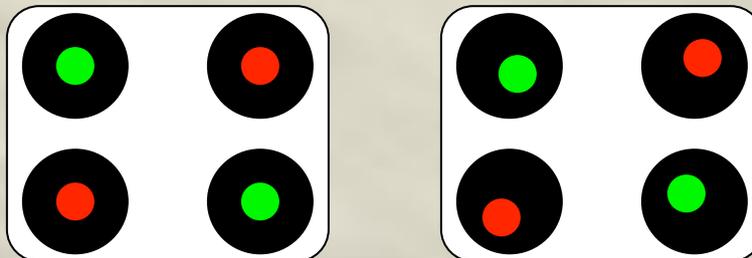
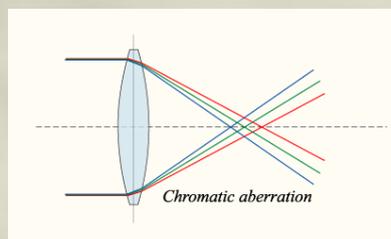
## Aberrazioni cromatiche

⇒ L'angolo con cui la luce si rifrange dipende dalla sua lunghezza d'onda, → dal suo colore

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •23

## Le aberrazioni cromatiche



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •24

## Le aberrazioni cromatiche

\*Lezione 24 La visione robotica \*22 maggio 2013 \*25

## Profondità di campo (depth of field)

⇒ Quando l'obiettivo è a fuoco per una certa distanza, mostra a fuoco anche gli oggetti che si trovano un po' più vicini o un po' più lontani

⇒ <http://www.dofmaster.com/dofjs.html>

\*Lezione 24 La visione robotica

### *Cura delle aberrazioni:*

- ⇒ Usare obiettivi di buona qualità
- ⇒ Usare solo la parte centrale dell'immagine
- ⇒ Usare luce monocromatica
- ⇒ Aberrazioni geometriche: correzione algoritmica
  
- ⇒ Per la profondità di campo
  - Aumentare l'illuminazione
  - Aumentare la sensibilità del sensore (ne riparleremo)
  - Chiudere il diaframma

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •27

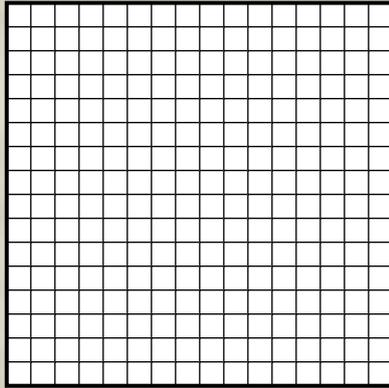
### *L'acquisizione dell'immagine*

- ⇒ Sensori a tubo elettronico (Image-Orthicon, Plumbicon, Vidicon, ecc.)
- ⇒ Sensori a stato solido (CCD e CMOS)
- ⇒ In bianco-nero o a colori
- ⇒ Matriciali o lineari

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •28

## Telecamere a stato solido: sensori discreti



Sensore B/N

- ⇒ Ogni pixel contiene un condensatore inizialmente carico che si scarica se il pixel è illuminato
- ⇒ Ogni pixel fornisce una tensione il cui valore è (inversamente) proporzionale alla luce che è caduta su tutta la sua superficie durante il tempo di esposizione
- ⇒ Il problema è portare questa tensione fuori dal chip

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •29

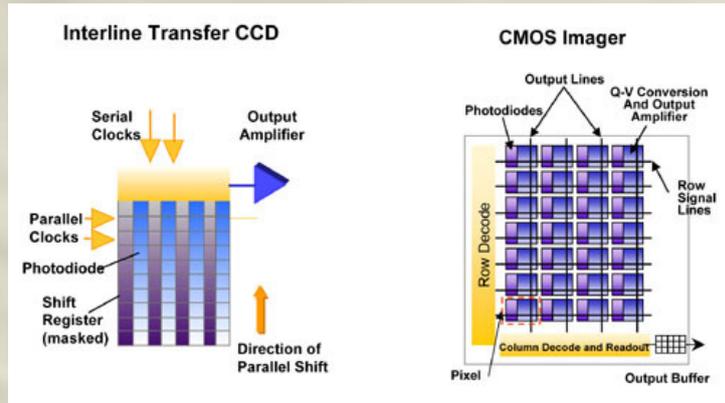
## In altre parole:

- ⇒ Tutti i condensatori vengono caricati in ugual misura
- ⇒ Tutti i condensatori vengono esposti alla luce per un certo tempo (tempo di integrazione), e ognuno si scarica in proporzione alla luce che lo ha colpito
- ⇒ Al termine dell'esposizione, ogni condensatore ha una tensione residua inversamente proporzionale alla quantità di luce che lo ha colpito
- ⇒ Aumentare il tempo di integrazione = aumentare la sensibilità del dispositivo, ma
  - Diminuisce la velocità di funzionamento
  - Oggetti in movimento risultano "mossi"

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •30

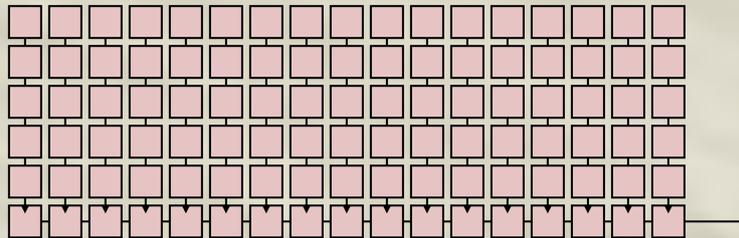
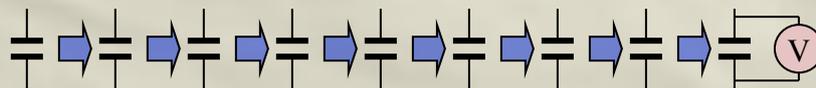
## CCD vs. CMOS



\*Lezione 24 La visione robotica

\*22 maggio 2013 \*31

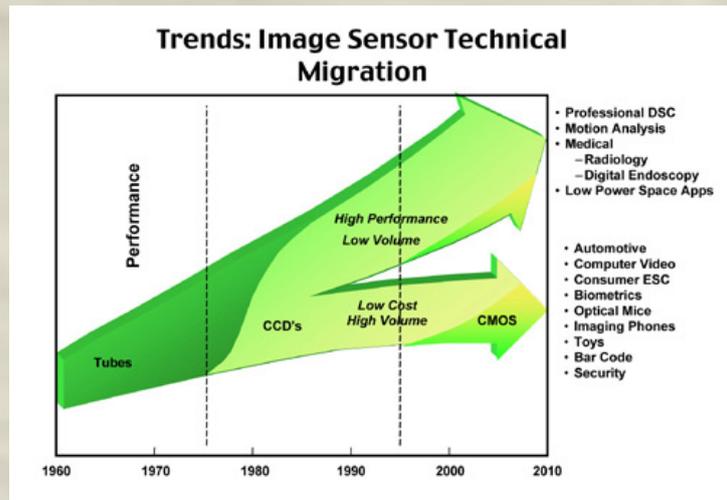
## Come funzionano i Charge Coupled Devices (approssimativamente)



\*Lezione 24 La visione robotica

\*22 maggio 2013 \*32

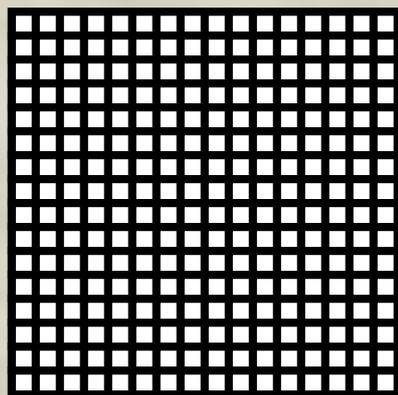
## CCD vs. CMOS



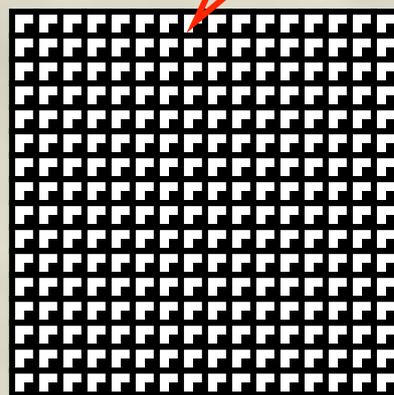
\*Lezione 24 La visione robotica

\*22 maggio 2013 \*33

## In pratica:



Sensore CCD



Sensore CMOS

\*Lezione 24 La visione robotica

\*22 maggio 2013 \*34

## *Differenze fra CMOS e CCD*

- ⇒ CCD sensors create high-quality, low-noise images. CMOS sensors, traditionally, are more susceptible to noise
- ⇒ Because each pixel on a CMOS sensor has several transistors located next to it, the light sensitivity of a CMOS chip tends to be lower. Many of the photons hitting the chip hit the transistors instead of the photodiode.
- ⇒ CMOS traditionally consumes little power.
- ⇒ CMOS chips can be fabricated on just about any standard silicon production line, so they tend to be extremely inexpensive compared to CCD sensors.
- ⇒ CCD sensors have been mass produced for a longer period of time, so they are more mature. They tend to have higher quality and more pixels.

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •35

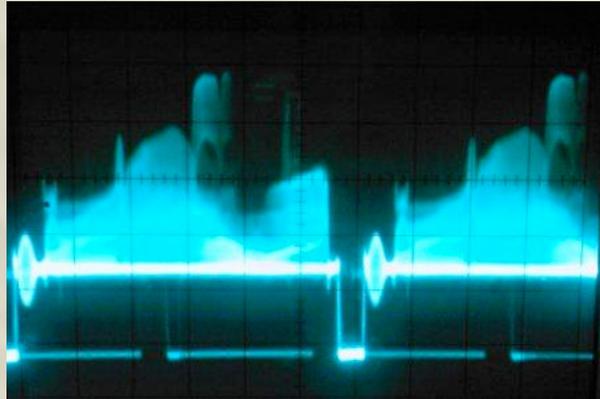
## *Caratteristiche dei CMOS*

- ⇒ Tecnologia uguale a quella delle memorie
- ⇒ Molte funzioni implementate direttamente sul chip: conversione analogico/digitale, controllo dell'immagine, otturatore elettronico (shuttering), sincronizzazione, taratura del bianco e prime fasi di elaborazione dell'immagine.
- ⇒ I CMOS sono in continua, rapidissima evoluzione (Foveon X3, sensori IVP MAPP, ecc.)

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •36

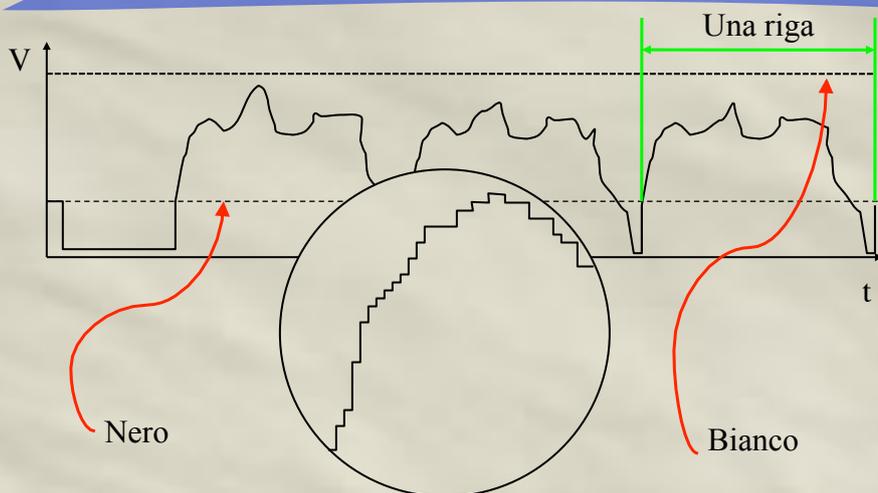
## *Il segnale video*



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •37

## *Più in dettaglio:*



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •38

### Dopo la digitalizzazione:

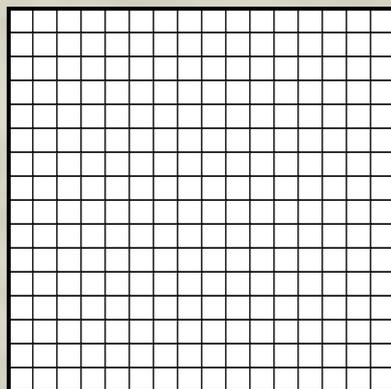
- ⇒ Una matrice di N righe per M colonne di numeri interi
- ⇒ Ogni numero occupa 8, 12, (16 o più) bit
- ⇒ Ogni numero rappresenta il livello di luminosità di quel particolare pixel.

35	36	40	45	45	47	47	47	45	47	50	56	...
33	33	37	40	45	46	47	48	46	46	51	54	...
40	45	44	47	49	53	53	54	60	65	65	60	...
42	46	46	45	54	60	65	65	70	75	75	78	...
48	48	50	54	58	61	67	68	69	74	77	80	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •39

### Torniamo al nostro sensore ideale:



Sensore B/N

- ⇒ Quanti pixel ci occorrono?
- ⇒ Il teorema del campionamento dice:  
*Dato un segnale, con larghezza di banda finita e nota, la frequenza minima di campionamento di tale segnale deve essere almeno il doppio della sua massima frequenza.*

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •40

### *Il potere risolvente*

⇒ Capacità di distinguere due oggetti vicini

\*Lezione 24 La visione robotica \*22 maggio 2013 \*41

### *Così evidentemente non funziona!*

⇒ Questo dà luogo al fenomeno dell'aliasing

\*Lezione 24 La visione robotica \*22 maggio 2013 \*42

### Il potere risolvente

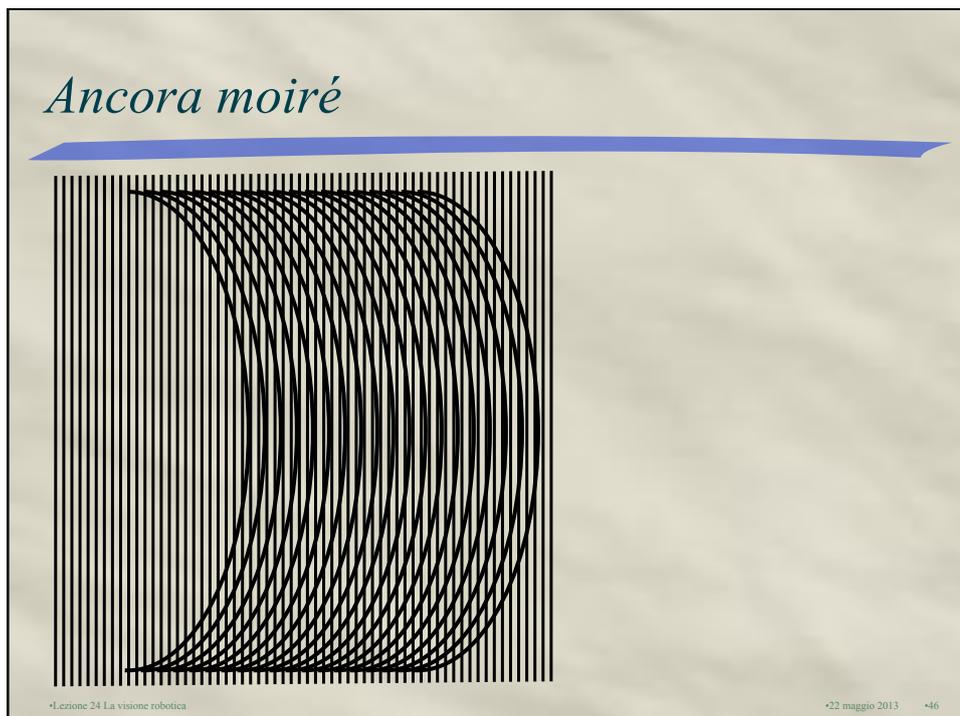
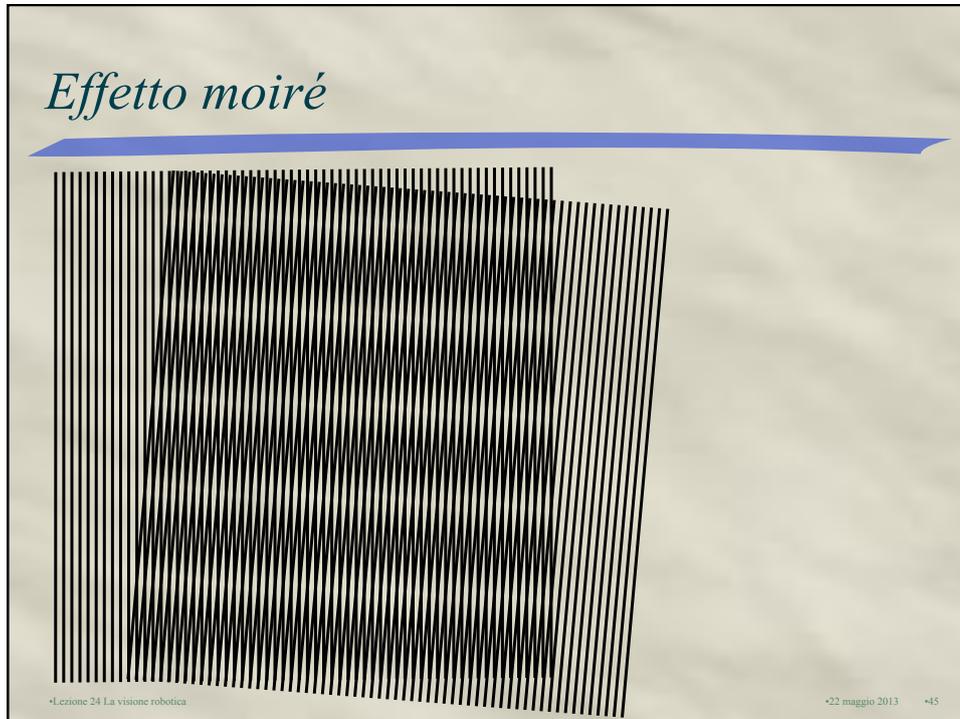
⇒ Shannon aveva ragione!

Lezione 24 La visione robotica 22 maggio 2013 43

### Il potere risolvente

⇒ La max. frequenza spaziale deve essere la metà della frequenza dei pixel (più o meno)

Lezione 24 La visione robotica 22 maggio 2013 44



*Quindi il potere risolvante teorico è*

$$R = \frac{\text{pixel} / \text{mm}}{4} = \frac{1}{4 \cdot \text{passopixel}} [\text{coppie} / \text{mm}]$$

- ⇒ Ma attenzione! Dipende da molti altri fattori
- ⇒ Esistono tecniche algoritmiche per migliorare la risoluzione

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •47

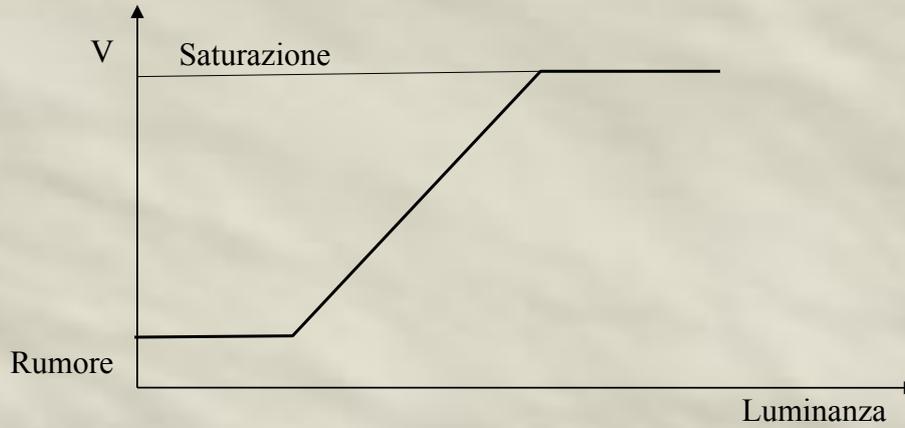
*La dinamica*

- ⇒ The human vision system exhibits an enormous optical dynamic range (DR) of about 200dB, as it can adapt to an extremely high brightness range. Digital imagers compare poorly with the human eye: conventional CCD imagers typically exhibit a DR of about 50-70 dB.

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •48

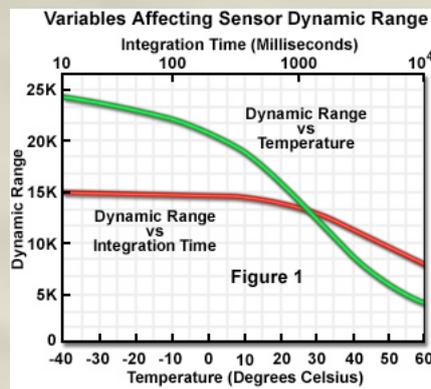
### La gamma dinamica:



\*Lezione 24 La visione robotica

\*22 maggio 2013 \*49

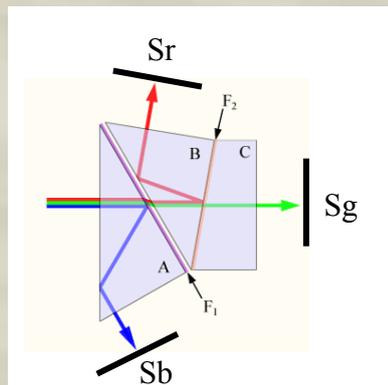
### La dinamica:



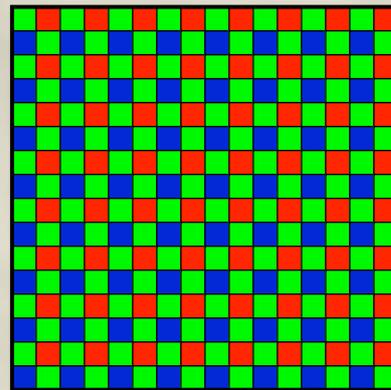
\*Lezione 24 La visione robotica

\*22 maggio 2013 \*50

## Acquisizione a colori:



Filtro tricroico e sensore triplo



Filtro Bayer

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •51

## La rappresentazione dell'immagine

⇒ All'interno del calcolatore l'immagine è rappresentata da una matrice di  $n \times m$  elementi, ognuno dei quali è un vettore che contiene

- Tre valori di 8 bit (immagini a "milioni di colori")
- Otto bit (immagini a livelli di grigio)
- Un bit (immagini binarizzate)



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •52

## Camere digitali lineari

- ⇒ Talvolta l'oggetto da esaminare si muove...
- ⇒ O si deve effettuare una misura lungo una linea...
- ⇒ Usiamo un sensore lineare CCD
- ⇒ Compromesso tra risoluzione e velocità di ripresa

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •53

## Per la scelta di una camera digitale:

- ⇒ Il sensore:
  - Colore o grayscale
  - Risoluzione spaziale
  - Sensibilità
  - Dinamica
  - Velocità di cattura delle immagini
  - Rapporto segnale-rumore
  - Risposta spettrale
  - Altre caratteristiche (linearità, costanza temporale, comportamento alla saturazione, ecc.)
- ⇒ L'obiettivo:
  - Lunghezza focale
  - Luminosità
  - Aberrazioni geometriche
  - Aberrazioni cromatiche
  - Profondità di campo
- ⇒ Esistono [manuali](#) che ci aiutano

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •54

## *Un parametro importante: la velocità*

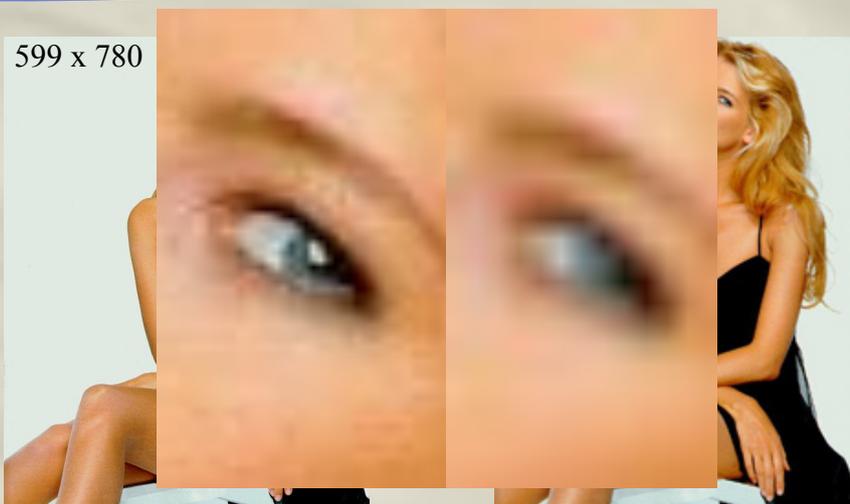
- ⇒ Per l'uso "umano", una velocità di 25 quadri al secondo è sufficiente per ogni esigenza
- ⇒ Per osservare oggetti in movimento veloce possono essere necessarie velocità molto più elevate, fino a migliaia di immagini al secondo
- ⇒ Per fortuna, ciò che in genere ci interessa è una fotografia, non un video
- ⇒ Ma per fare pose brevi occorre comunque una luce molto forte

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •55

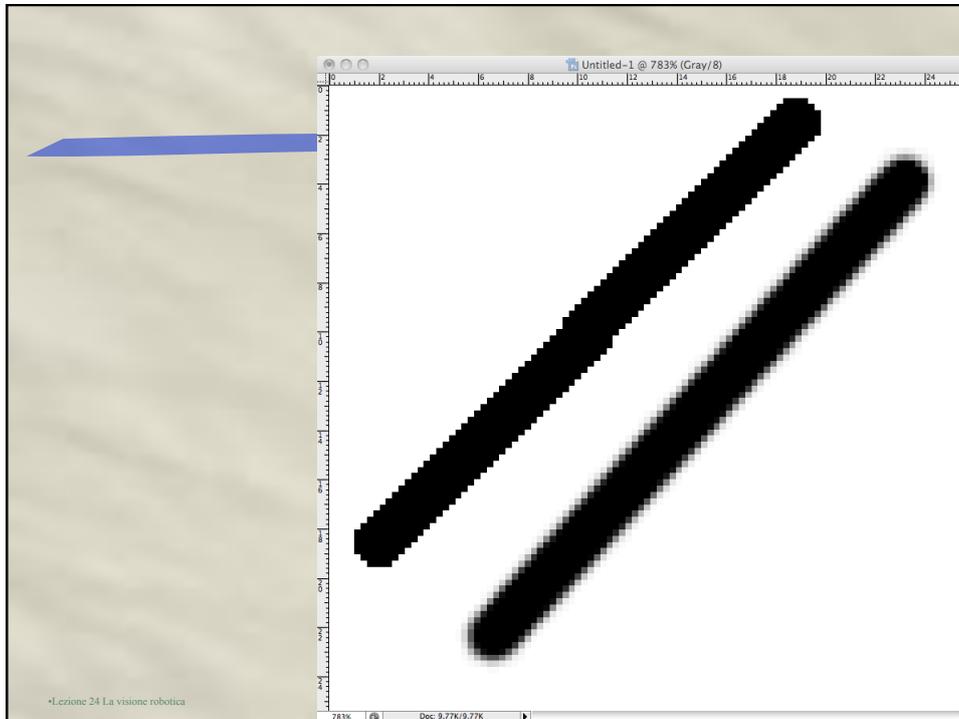
## *Il nostro occhio è un filtro passa-basso!*

599 x 780



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •56

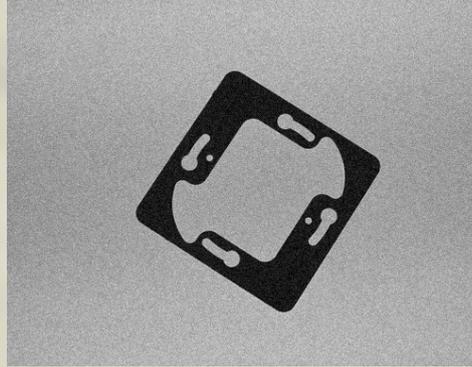


## *Come utilizzare le immagini?*

- ⇒ Confrontare direttamente due immagini (pattern matching) non ha senso
- ⇒ Per riconoscere un oggetto, occorre estrarne alcune caratteristiche e confrontarle con le omologhe caratteristiche dell'oggetto campione
- ⇒ Occorrono diversi passaggi:
  - Acquisizione
  - Filtraggio
  - (Binarizzazione)
  - Segmentazione
  - Estrazione dei contorni
  - Estrazione delle caratteristiche
  - Confronto

## *Le fasi classiche dell'elaborazione*

⇒ Acquisizione



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •59

## *Le fasi classiche dell'elaborazione*

⇒ Acquisizione

⇒ Filtraggio

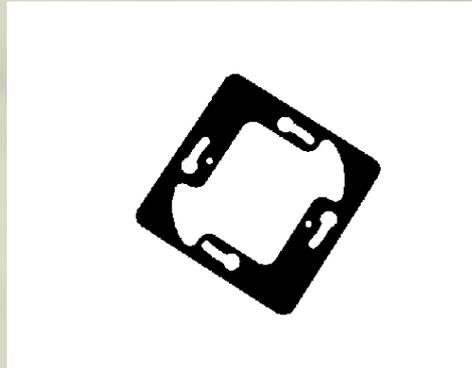


•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •60

## *Le fasi classiche dell'elaborazione*

- ⇒ Acquisizione
- ⇒ Filtraggio
- ⇒ Binarizzazione



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •61

## *Le fasi classiche dell'elaborazione*

- ⇒ Acquisizione
- ⇒ Filtraggio
- ⇒ Binarizzazione
- ⇒ Segmentazione

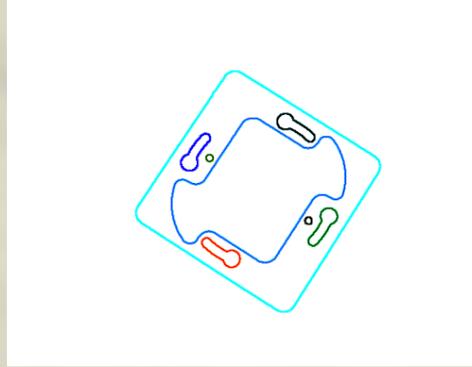


•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •62

## *Le fasi classiche dell'elaborazione*

- ⇒ Acquisizione
- ⇒ Filtraggio
- ⇒ Binarizzazione
- ⇒ Segmentazione
- ⇒ Estrazione contorni

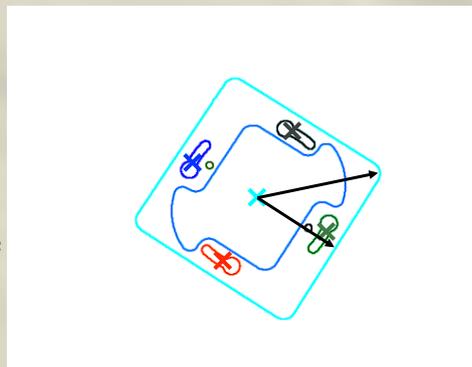


•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •63

## *Le fasi classiche dell'elaborazione*

- ⇒ Acquisizione
- ⇒ Filtraggio
- ⇒ Binarizzazione
- ⇒ Segmentazione
- ⇒ Estrazione contorni
- ⇒ Estrazione caratteristiche
  - N. oggetti: 1
  - N. fori: 7
  - Area: ...



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •64

## Le fasi classiche dell'elaborazione

- ⇒ Acquisizione
- ⇒ Filtraggio
- ⇒ Binarizzazione
- ⇒ Segmentazione
- ⇒ Estrazione contorni
- ⇒ Estrazione caratteristiche
  - N. oggetti: 1
  - N. fori: 7
  - Area: ...
- ⇒ Riconoscimento

Caratt.	Ogg.	A	B	C
Area	3450	2500	3450	3500
Perim.	8521	8500	8510	10540
N. Fori	3	1	3	3
Area fori	1820	1800	1825	1830
...	...	...	...	...

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •65

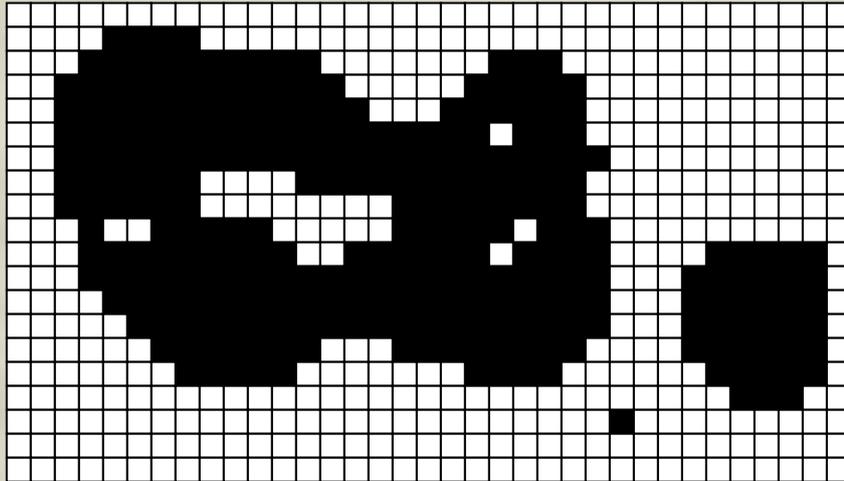
## La luminosità, l'istogramma e altre cose



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •66

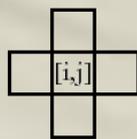
## Un'immagine binaria



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •67

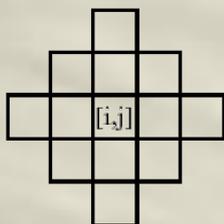
## Alcune definizioni: i vicinati



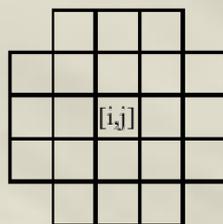
Vicinato di tipo N4



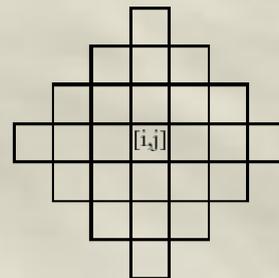
Vicinato di tipo N8



Vicinato di tipo N12



Vicinato di tipo N20



Vicinato di tipo N24

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •68

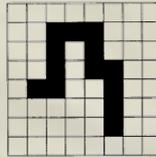
## Concetto di path

### ⇒ Connessione o connettività :

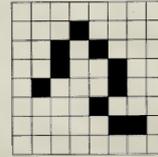
- Un pixel  $p \in S$  si dice connesso a  $q \in S$  se vi è un path da  $p$  a  $q$  costituito tutto da pixel  $\in S$ .

### ⇒ Path:

- Un path da un pixel  $[i_0, j_0]$  ad un pixel  $[i_n, j_n]$  è una sequenza di pixel  $[i_0, j_0], [i_1, j_1], \dots, [i_n, j_n]$  tale che un pixel in  $[i_k, j_k]$  risulta essere un “vicino” del pixel  $[i_{k+1}, j_{k+1}]$  per ogni  $k$  compreso tra zero e  $n-1$ . Se il vicinato considerato è un  $N_4$  si ha un 4-path, per un  $N_8$  si ha un 8-path e così via.



(a) 4-path



(b) 8-path

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •69

## Altre definizioni

### ⇒ Foreground:

- In un immagine in bianco e nero il “primo piano” è l’insieme  $S$  dei pixel a cui è stato attribuito il valore 1, cioè quelli neri.

### ⇒ Background:

- È l’insieme  $S^*$  complementare di  $S$ , cioè l’insieme dei pixel a cui è stato attribuito il valore 0.

### ⇒ Bordo:

- Il bordo  $S'$  di  $S$  è l’insieme di pixel appartenenti a  $S$  e che hanno almeno un pixel del vicinato  $N_4$  che appartengono a  $S^*$ .

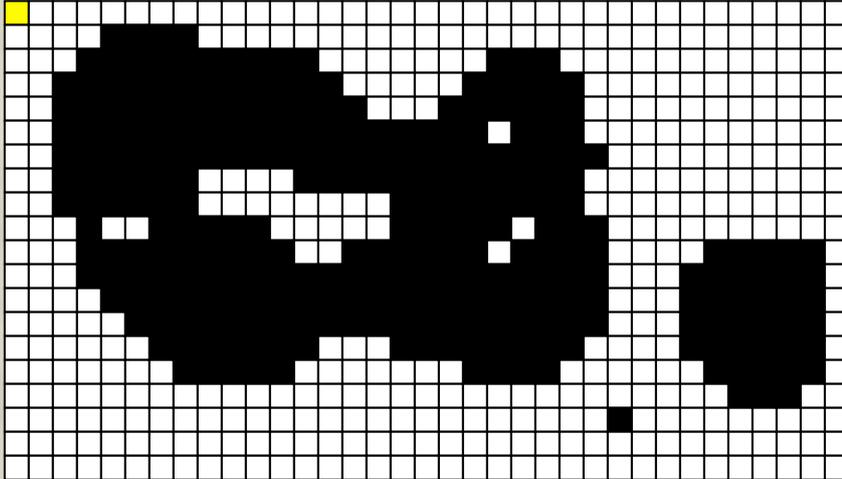
### ⇒ Interno:

- È l’insieme di pixel  $\in S$  ma non a  $S'$ .

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •70

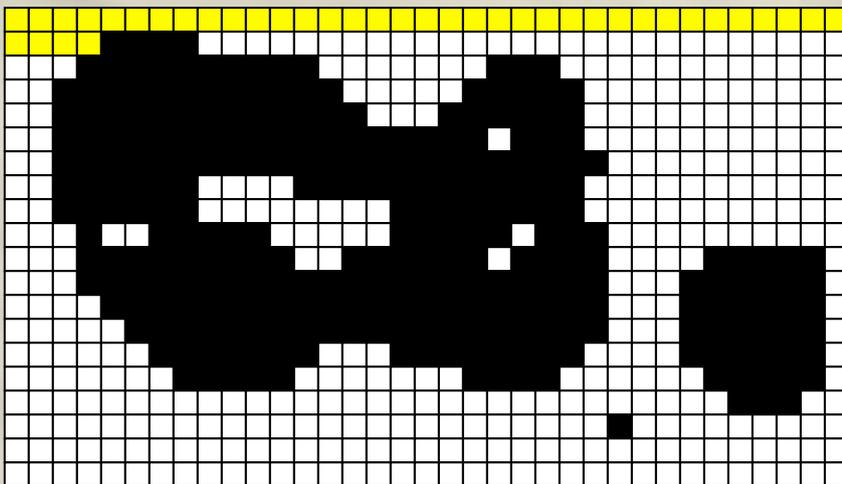
### *Iniziamo l'analisi di connettività*



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •71

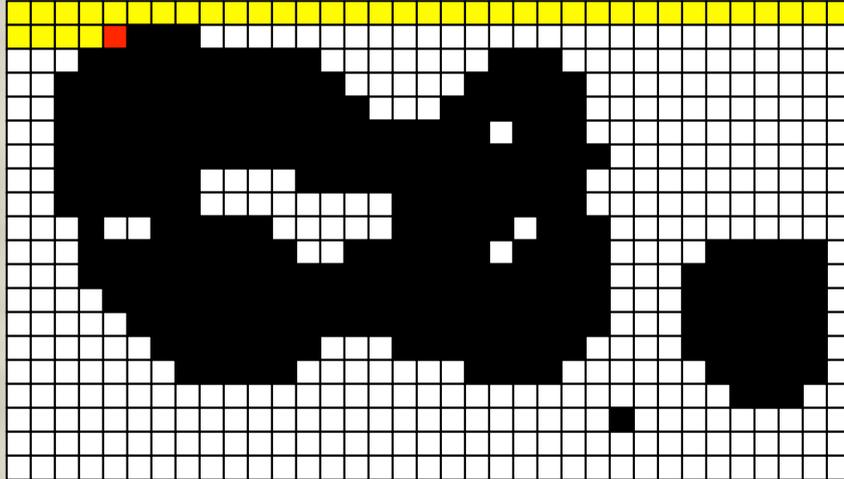
### *Iniziamo l'analisi di connettività 2*



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •72

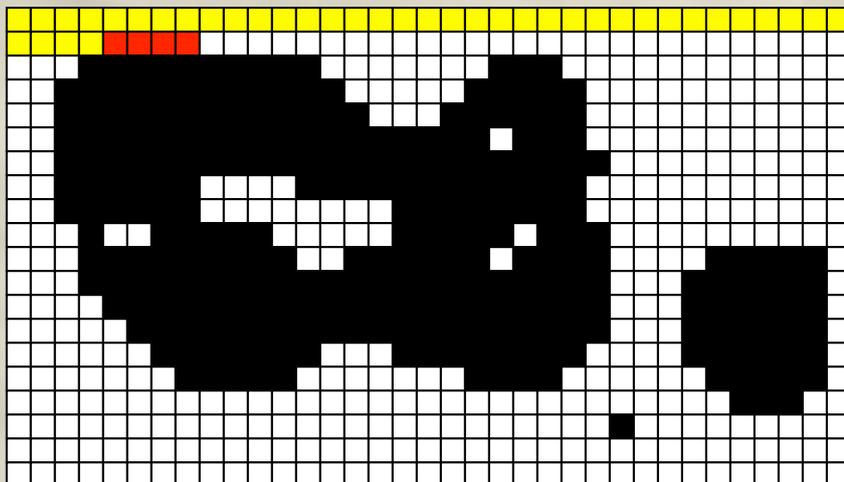
### *Iniziamo l'analisi di connettività 3*



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •73

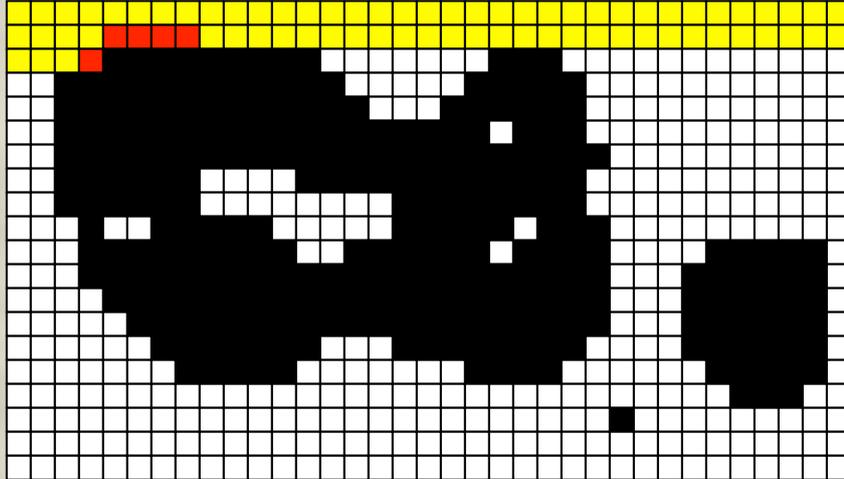
### *Iniziamo l'analisi di connettività 4*



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •74

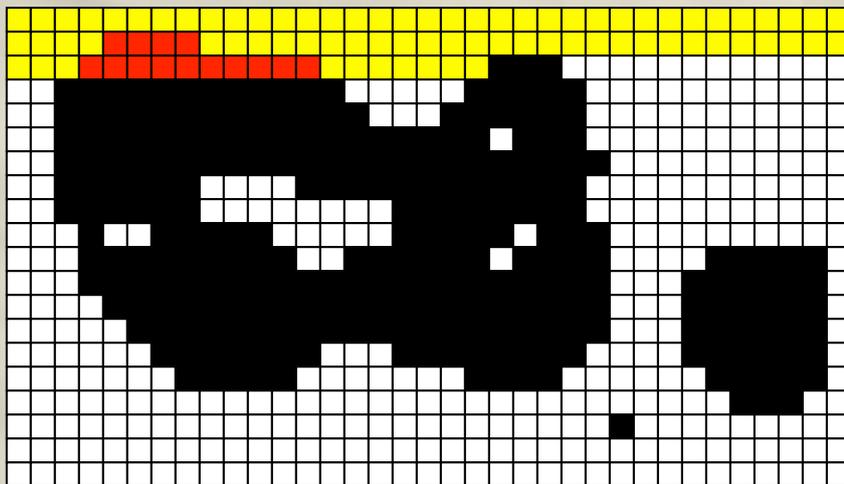
### *Iniziamo l'analisi di connettività 5*



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •75

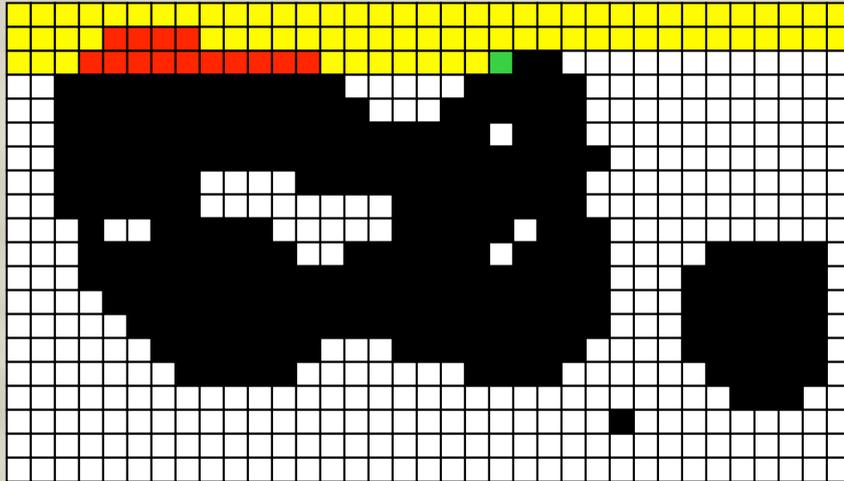
### *Iniziamo l'analisi di connettività 6*



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •76

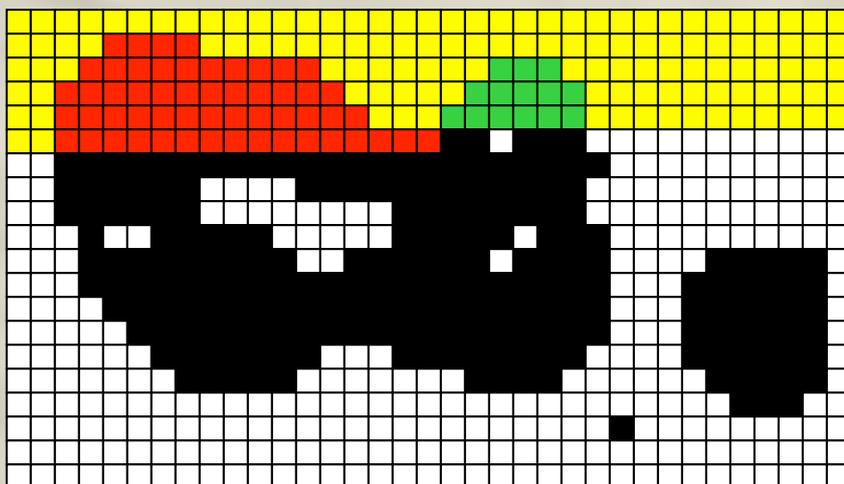
*Iniziamo l'analisi di connettività 7*



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •77

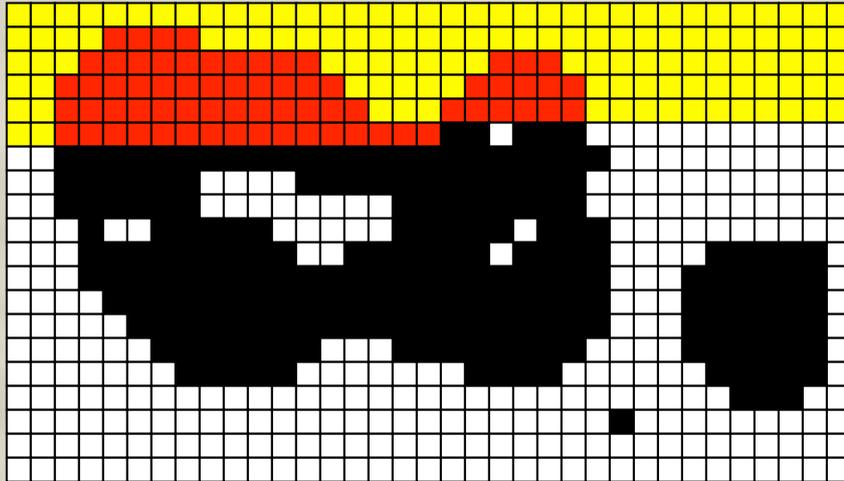
*Iniziamo l'analisi di connettività 8*



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •78

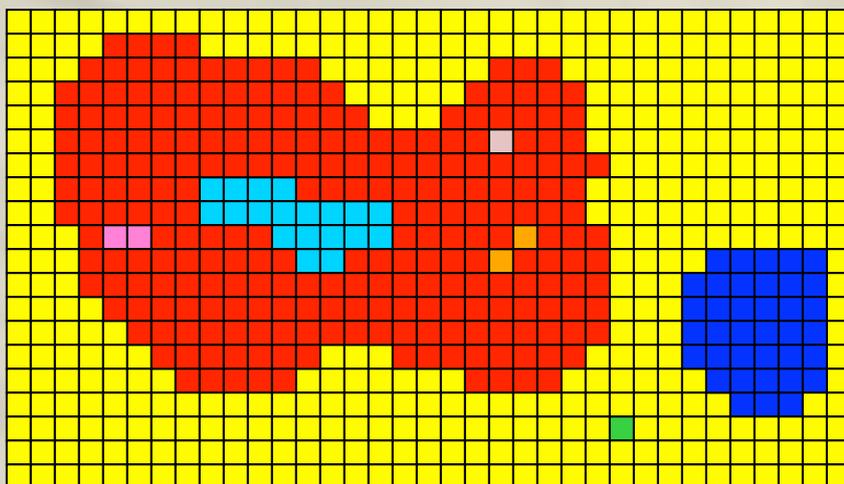
### *Iniziamo l'analisi di connettività 9*



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •79

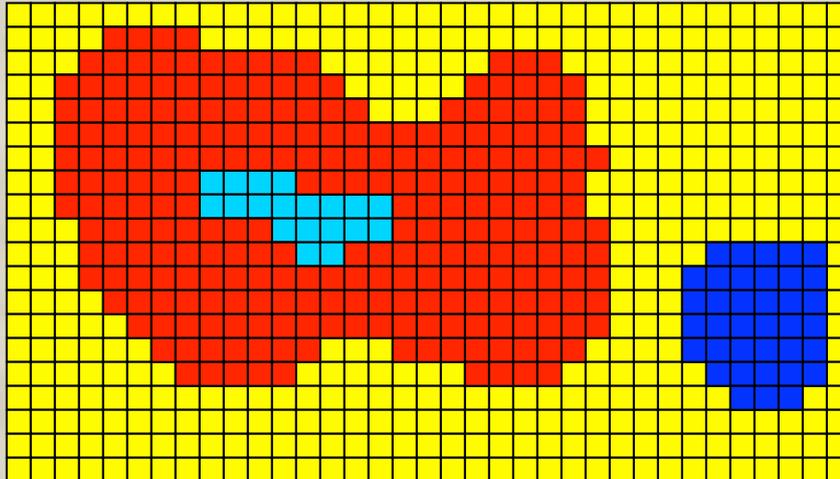
### *Iniziamo l'analisi di connettività 10*



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •80

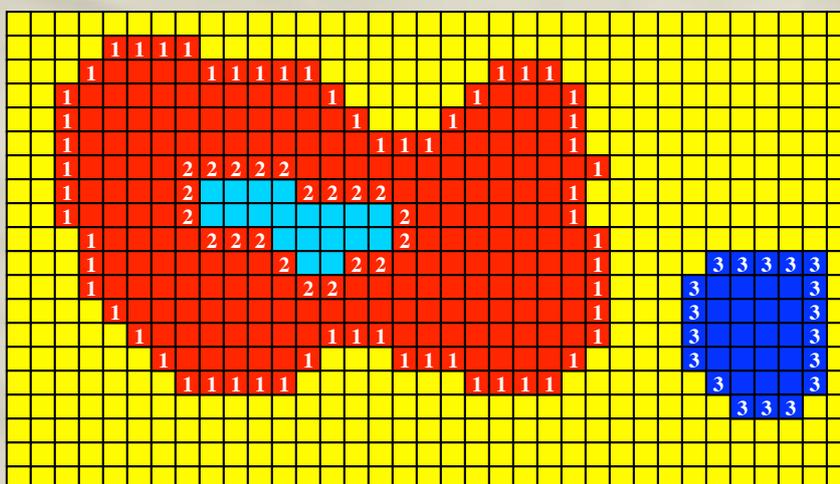
### Filtriamo i blob troppo piccoli



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •81

### Estraiamo i contorni



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •82

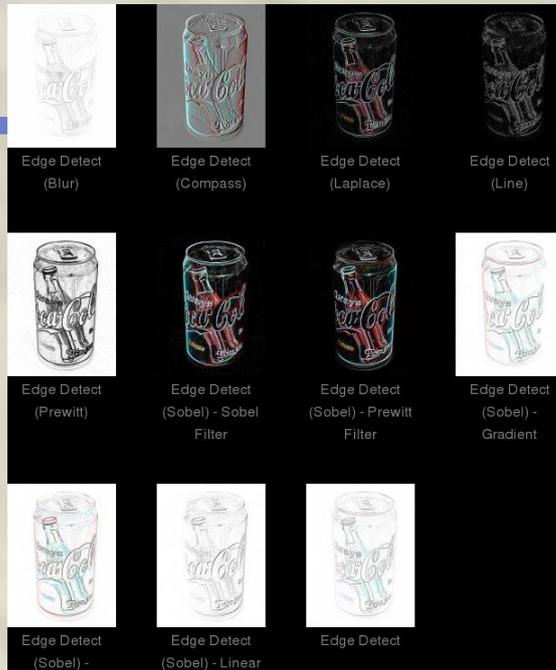
## Quando le tecniche semplici non bastano

- ⇒ Applicare algoritmi tipo “region growing”
- ⇒ Occorre filtrare le immagini
- ⇒ E applicare operatori opportuni
- ⇒ Oppure algoritmi opportuni (es. sistemi di riscrittura)

•Lezione 24 La visione robotica

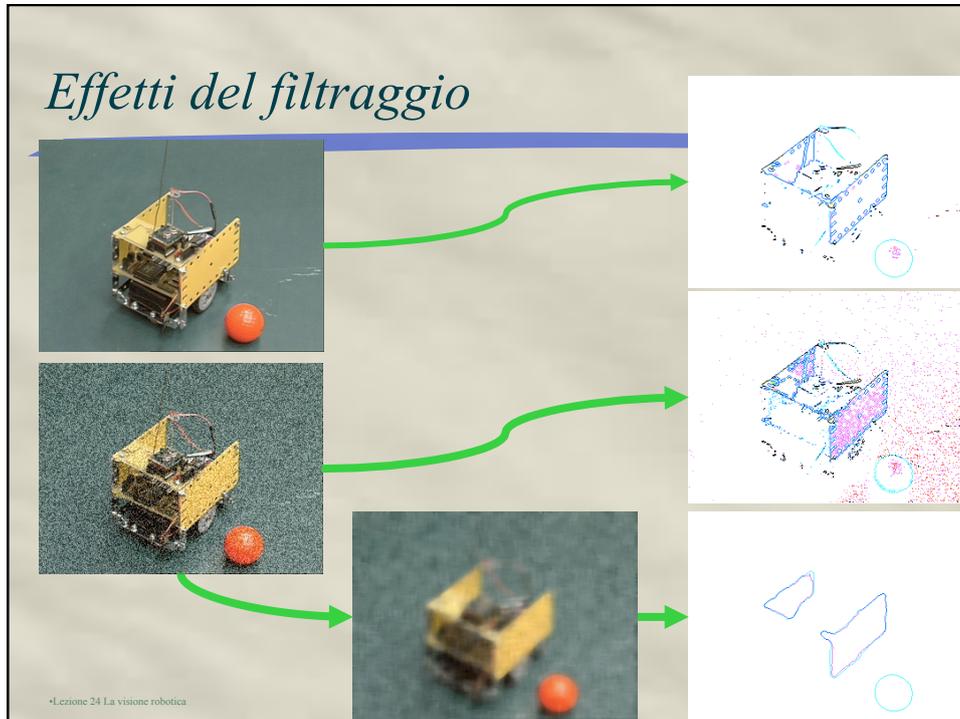
•22 maggio 2013 •83

## Alcuni esempi



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •84



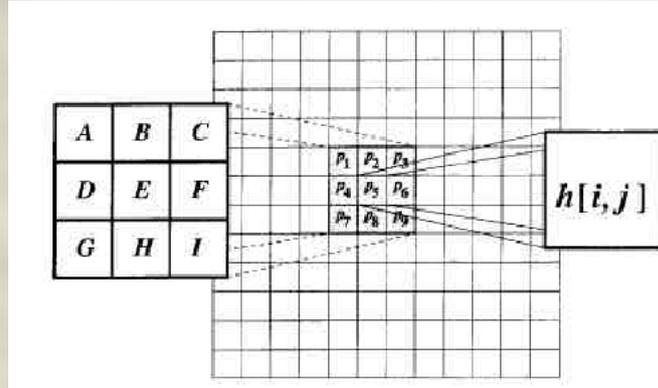
### Filtri per le immagini:

- ⇒ Lineari
- ⇒ Tempo invarianti
- ⇒ Spazio invarianti
- ⇒ A spazi discreti

$$h[i, j] = \frac{A \cdot p_1 + B \cdot p_2 + C \cdot p_3 + D \cdot p_4 + E \cdot p_5 + F \cdot p_6 + G \cdot p_7 + H \cdot p_8 + I \cdot p_9}{M} + N$$

Questo equivale ad applicare una “matrice di convoluzione”

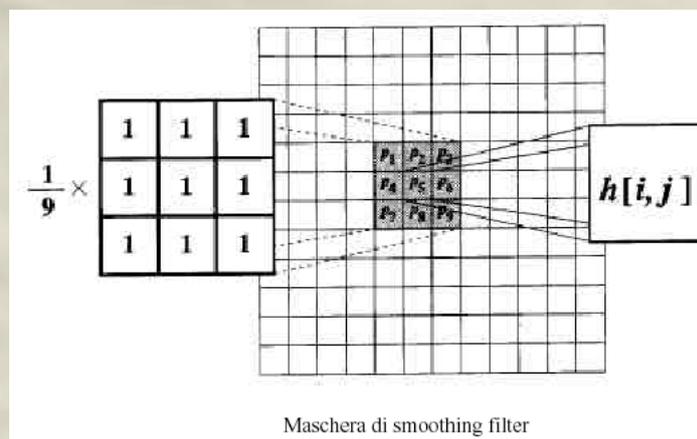
## Applicazione della maschera di convoluzione



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •87

## Smoothing



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •88

## Operatori per i contorni:

⇒ Laplaciano

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

1	4	1
4	-20	4
1	4	1

⇒ Gaussiano

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

•Lezione 24 La visione robotica

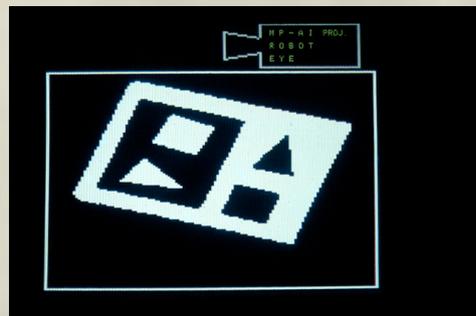
•22 maggio 2013 •89

## Ricominciamo, con un esempio reale



Istogramma

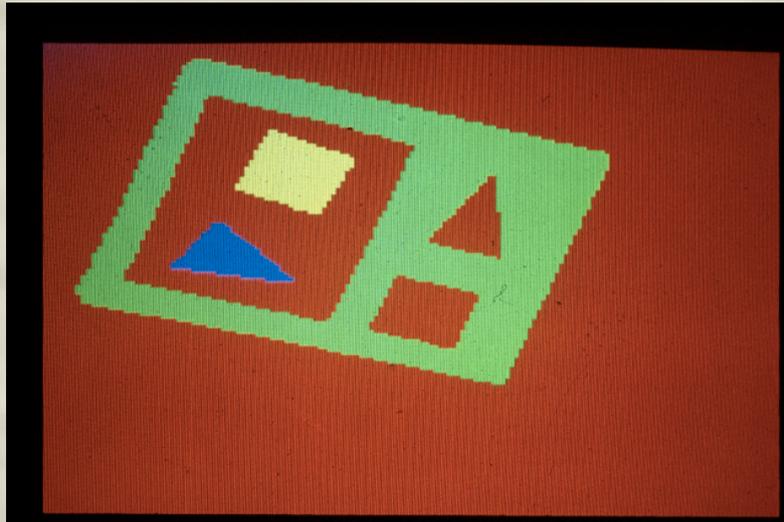
Immagine  
binarizzata



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •90

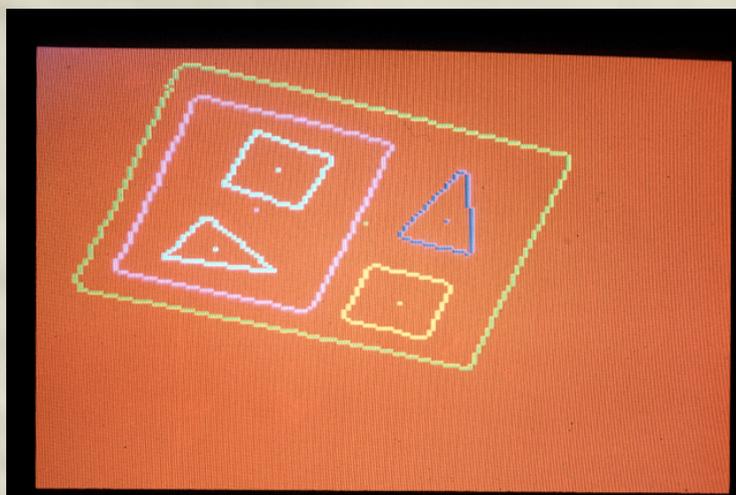
### *Analisi di connettività*



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •91

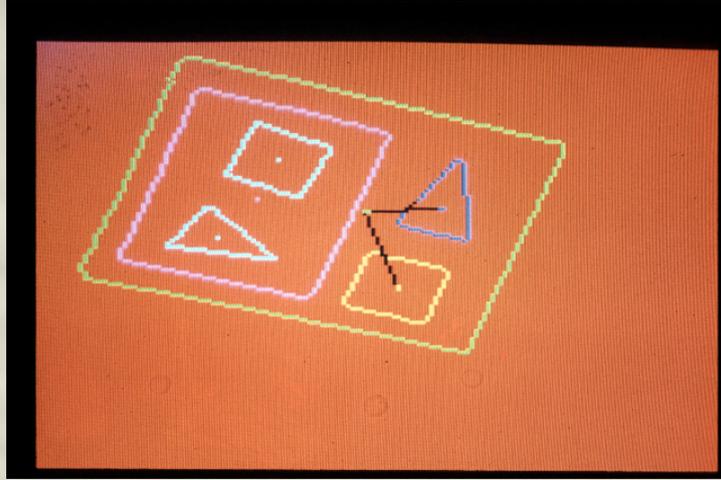
### *Estrazione dei contorni*



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •92

## Calcolo delle caratteristiche



\*Lezione 24 La visione robotica

\*22 maggio 2013 \*93

## Un algoritmo pratico...

```

/*
 performs connectivity analysis in a recursive way.
*/
void vlFindBlob (vlImage* pic, int n, int i, int j, blob *blobs)
{
 int index;
 index=i*pic->width+j;
 if (index <0) return;
 if (index >=pic->width*pic->height) return;
 if (pic->pixel[index]!=255) return;

 pic->pixel[index]=n;
 blobs[n].area+=1;
 vlFindBlob(pic,n,i-1,j-1,blobs);
 vlFindBlob(pic,n,i-1,j,blobs);
 vlFindBlob(pic,n,i-1,j+1,blobs);
 vlFindBlob(pic,n,i,j-1,blobs);
 vlFindBlob(pic,n,i,j+1,blobs);
 vlFindBlob(pic,n,i+1,j-1,blobs);
 vlFindBlob(pic,n,i+1,j,blobs);
 vlFindBlob(pic,n,i+1,j+1,blobs);
}
    
```

\*Lezione 24 La visione robotica

\*22 maggio 2013 \*94

## *Come chiamarlo:*

```
blobnumber=0;

for (i=1;i<binPic->width*binPic->height;i++)
  if (binPic->pixel[i]==255)
  {
    blobs[blobnumber].topleft=i;
    vlFindBlob (binPic, blobnumber, i/WIDTH, i%WIDTH,blobs);
    blobnumber+=1;
  }
```

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •95

## *Uso delle informazioni visive*

⇒ Caratteristiche globali  
(feature)

- Area
- Perimetro
- Numero di fori

⇒ Caratteristiche locali  
(microfeature)

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •96

## *Elenco delle caratteristiche*

- ⇒ Area
  - ⇒ Perimetro
  - ⇒ Numero di fori
  - ⇒ Momenti di inerzia
  - ⇒ Rapporto area/perimetro
  - ⇒ Caratteristiche dei fori
    - Area
    - Perimetro
  - ⇒ ...
- ⇒ Alcune caratteristiche sono invarianti
    - Numero di fori
  - ⇒ Alcune sono invarianti rispetto alla scala
    - Momenti di inerzia
  - ⇒ Alcune sono invarianti rispetto alla posizione
    - Area

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •97

## *Occorre costruire una tabella...*

- ⇒ Contenente le caratteristiche degli oggetti campione
- ⇒ Mediate su molte letture fatte con gli oggetti in posizioni diverse

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •98

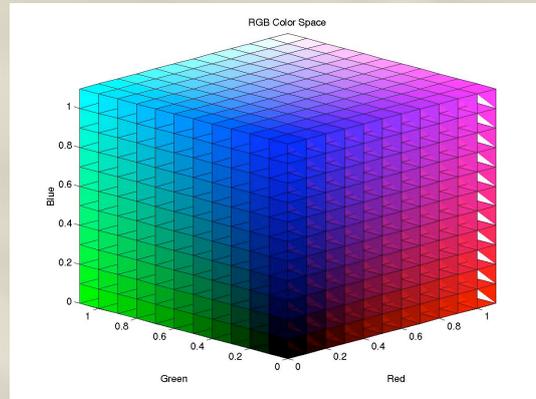
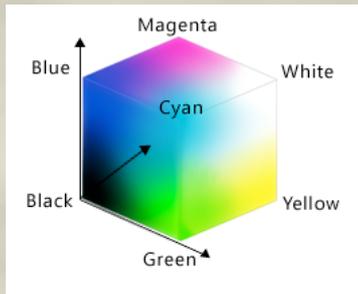
## *Durante il lavoro del sistema*

- ⇒ Si estraggono le caratteristiche invarianti dell'oggetto che si sta osservando
- ⇒ Si confrontano con quelle della tabella finché si raggiunge un sufficiente grado di certezza
- ⇒ Si usano le caratteristiche varianti per stabilire la posizione

## *La scelta del sistema di rappresentazione dei colori*

- ⇒ Ogni pixel di un'immagine a colori è rappresentato da tre quantità scalari
- ⇒ Esistono diverse rappresentazioni possibili
  - RGB
  - HSL
- ⇒ La scelta di un opportuno spazio-colore è fondamentale per poter definire una regione di "accettabilità" di un colore che soddisfi il problema da risolvere
- ⇒ Un tutorial: [http://cmm.enscm.fr/~demarty/CTI/segmentation\\_couleur\\_ang.html](http://cmm.enscm.fr/~demarty/CTI/segmentation_couleur_ang.html)

## Lo spazio RGB



•Lezione 24 La visione robotica

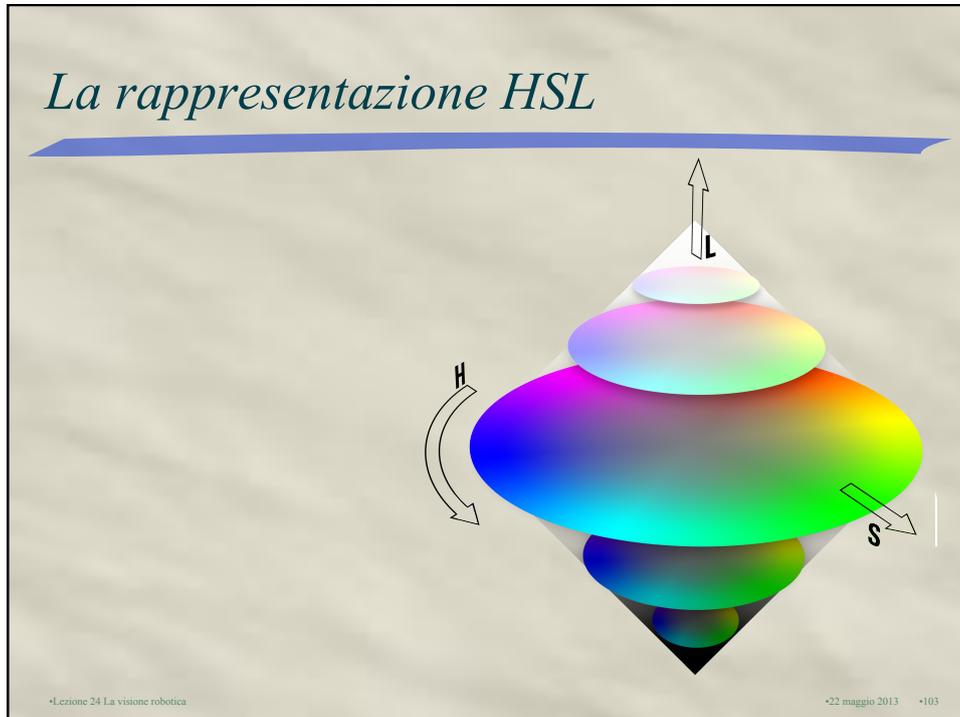
•22 maggio 2013 •101

## Segmentare nello spazio-colore...

- ⇒ Definire una regione di accettabilità del colore
  - Parallelepipedo
  - Sfera
  - Altro
- ⇒ Risultati non sempre soddisfacenti



•Lezione 24 La visione robotica



### Con una sola telecamera...

- ⇒ In generale, non si possono misurare le distanze.
- ⇒ Non tutti gli oggetti possono essere assimilati ad oggetti piani...

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •104

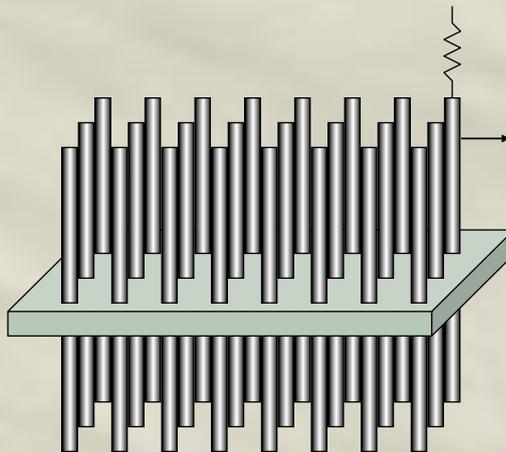
## *Non solo misura delle distanze...*

- ⇒ Misurare la distanza del punto più vicino in una determinata direzione è una misura (ovvio!), ma...
- ⇒ Misurare in tante direzioni prossime l'una all'altra permette di costruire un modello (parziale) degli oggetti.

•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •105

## *Background culturale:*



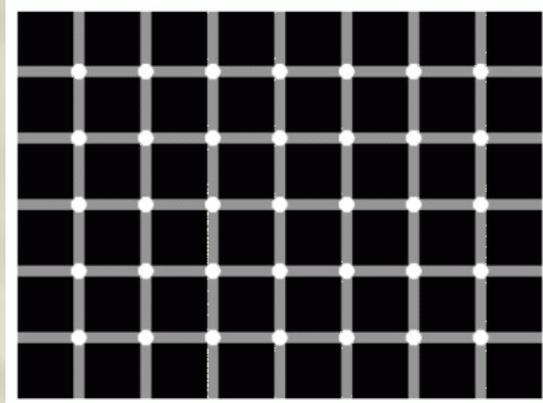
•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •106

## *La visione stereoscopica risolve il problema...*

- ⇒ Ma è una questione complicata
- ⇒ Che richiede molti calcoli
- ⇒ Con errori

- Condizionare la luce
- Per ridurre i conti
- Ed essere meno ingannati



•Lezione 24 La visione robotica

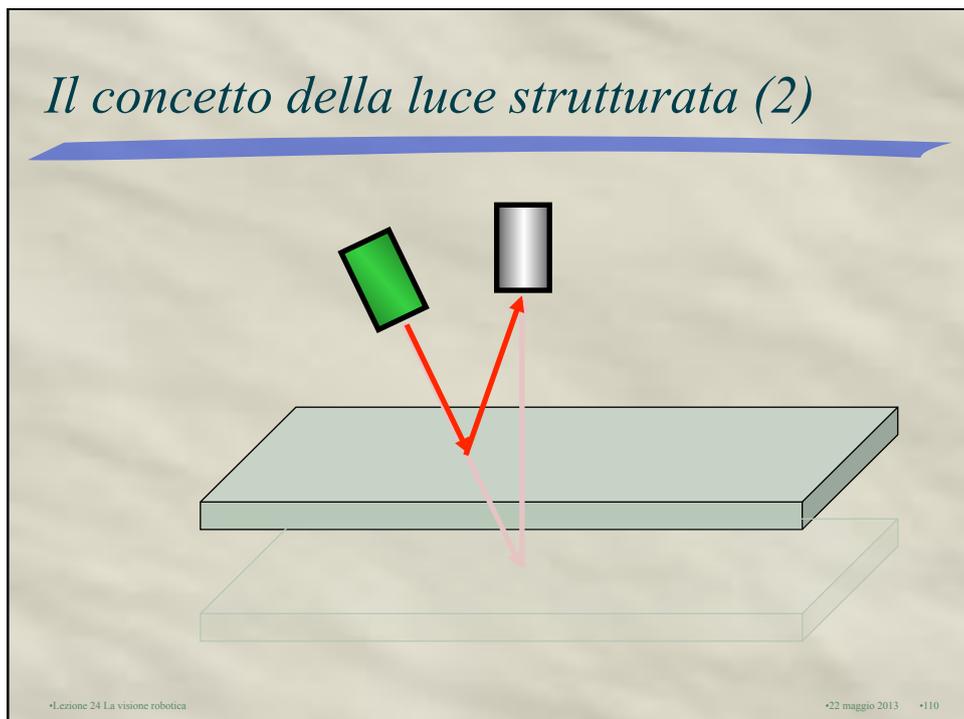
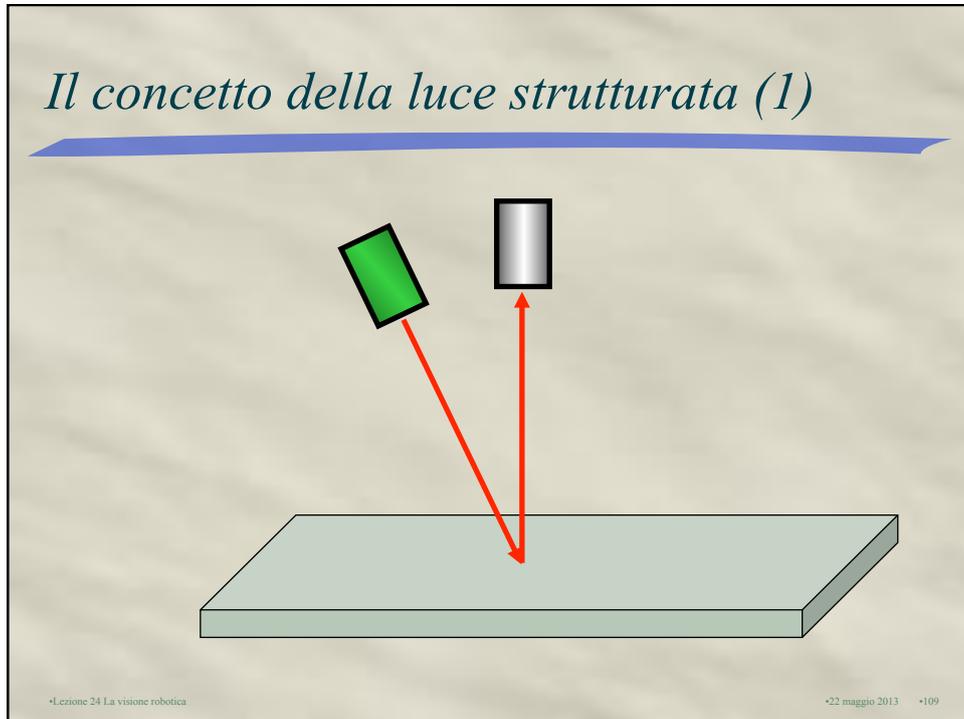
•22 maggio 2013 •107

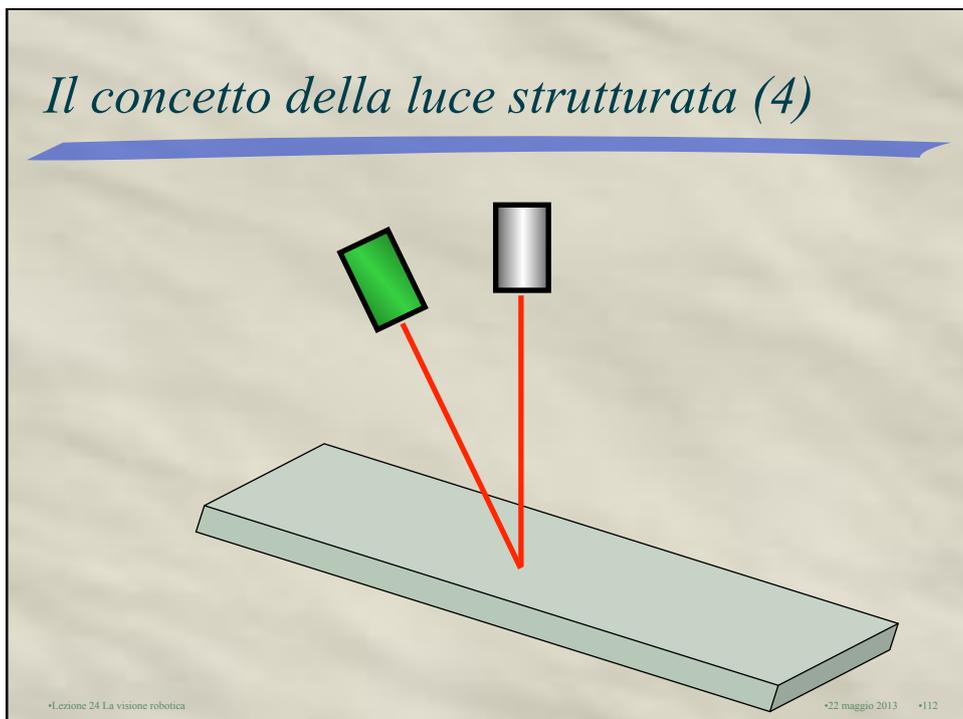
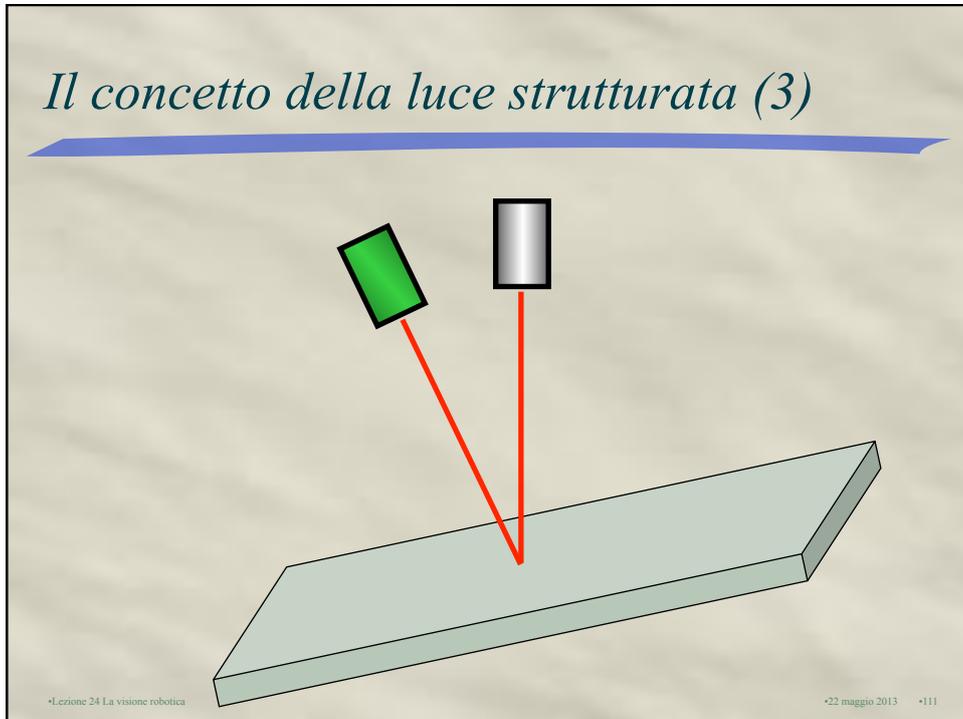
## *I sensori a luce strutturata*

- ⇒ Obiettivo primario:
  - Misura di distanze, di forma di superfici, ecc.
- ⇒ Obiettivi secondari:
  - Rilevazione di presenza
  - Riconoscimento di forma
  - Riconoscimento di posizione
  
  - Misura senza contatto
  - Rapidità
  - Precisione

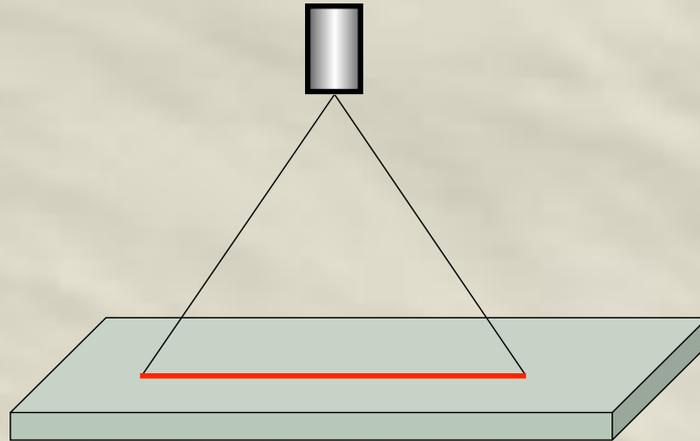
•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •108





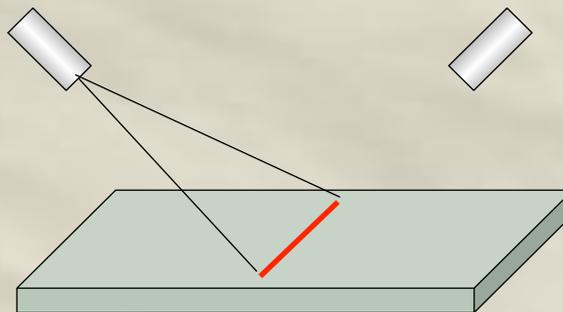
*Evoluzione storica:*



•Lezione 24 La visione robotica

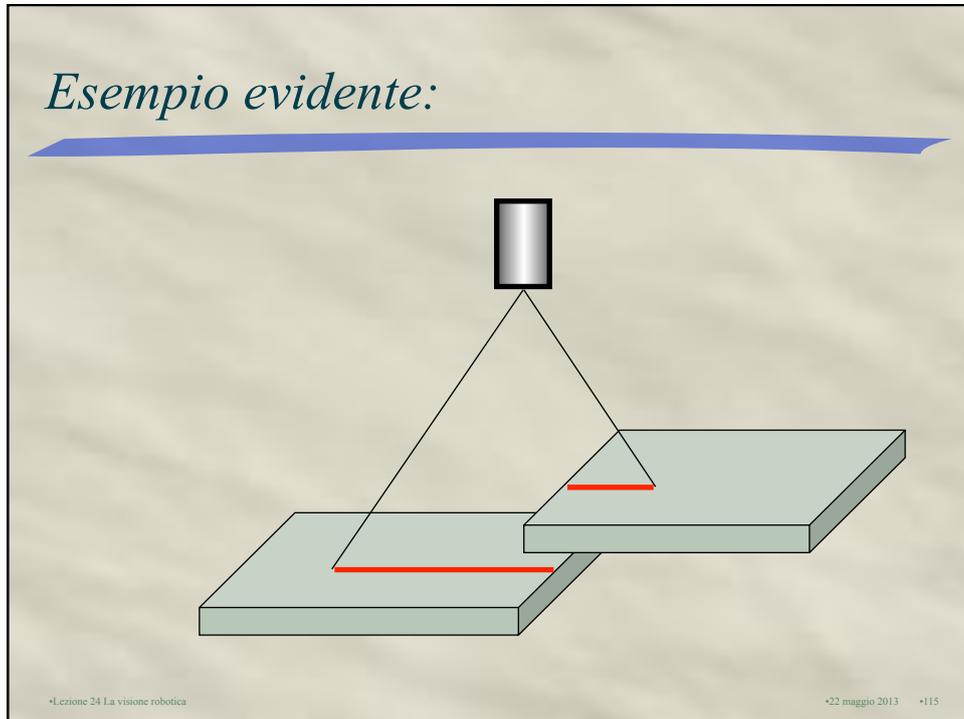
•22 maggio 2013 •113

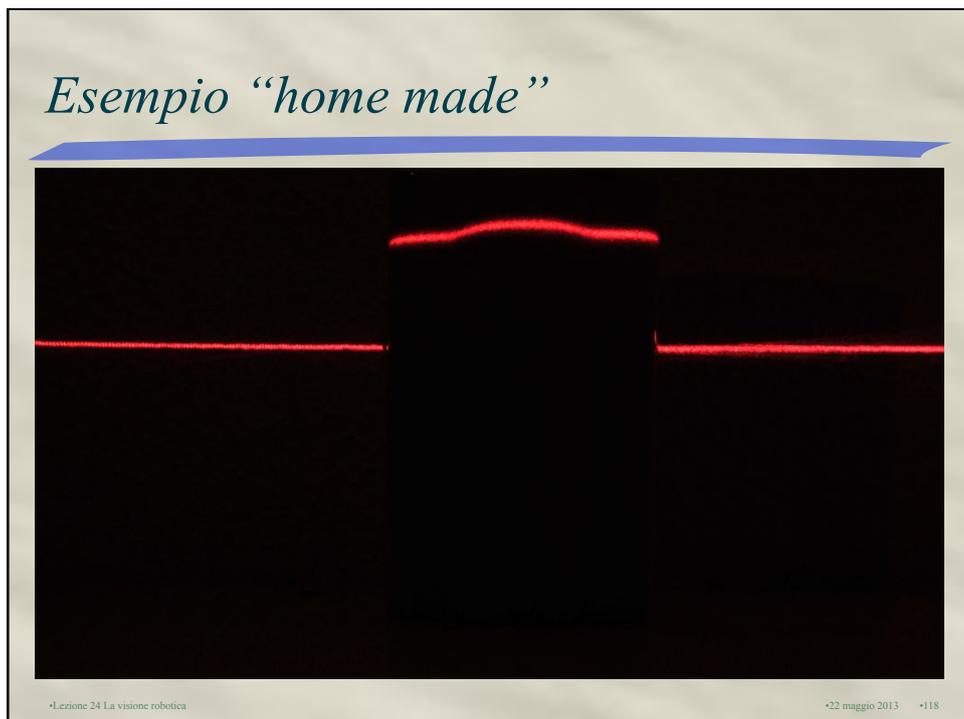
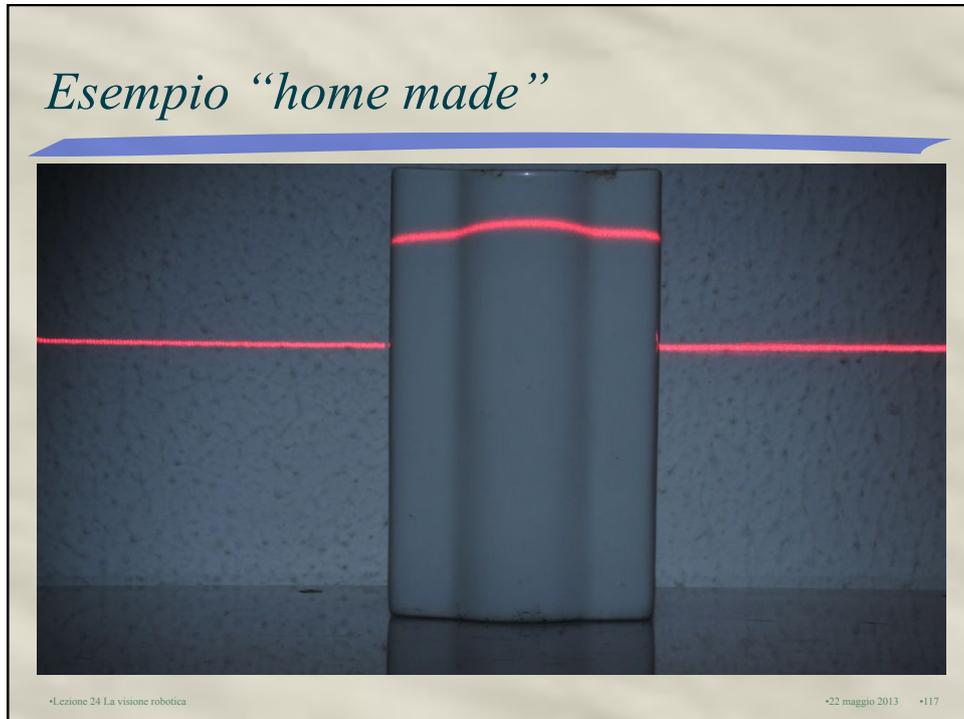
*Disposizione dei componenti*



•Lezione 24 La visione robotica

•22 maggio 2013 •114





*Altri esempi*

The diagram illustrates various structured light patterns. The top row shows five circles containing horizontal red lines of different positions and lengths. The bottom row shows three circles containing curved red lines and one containing a V-shaped red line. To the right is a photograph of a classical sculpture's head with a horizontal red line of light projected across its face.

\*Lezione 24 La visione robotica \*22 maggio 2013 \*119

*Vari tipi di luce strutturata:*

- ⇒ Una lama di luce (lente cilindrica)
- ⇒ Due lame convergenti (lenti cilindriche)
- ⇒ Cono di luce (emettitori multipli o “elicottero”)
- ⇒ Punto luminoso mobile (specchi o prismi mobili)

\*Lezione 24 La visione robotica \*22 maggio 2013 \*120

## *Vantaggi e svantaggi del laser*

- ⇒ Facile collimazione: fascio sempre a fuoco
- ⇒ Punto luminoso molto intenso
- ⇒ Monocromatico: possibilità di filtraggio
  
- ⇒ Energie troppo alte vietate per motivi di sicurezza

## *Il laser range scanner*

- ⇒ Il termine è molto generico, e indica una varietà di dispositivi
- ⇒ Caratteristica comune: poter effettuare molte misure “a matrice”
- ⇒ Scanner lineari e scanner a matrice

