

*Robotica – Robot Industriali e di Servizio*

*Lezione 14:  
La visione robotica*

L'acquisizione dell'immagine

•26 marzo 2014

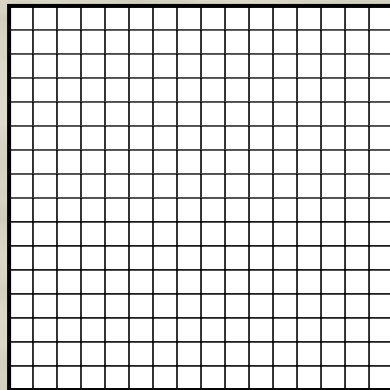
*L'acquisizione dell'immagine*

- ⇒ 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 14 La visione robotica

•26 marzo 2014 •2

## 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 14 La visione robotica

•26 marzo 2014 •3

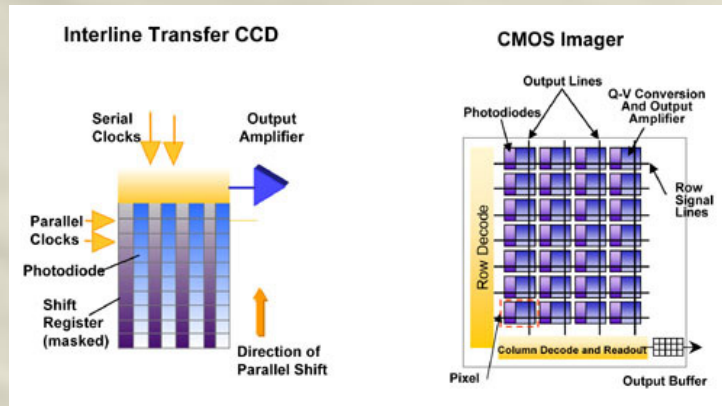
## In altre parole:

- ⇒ 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 14 La visione robotica

•26 marzo 2014 •4

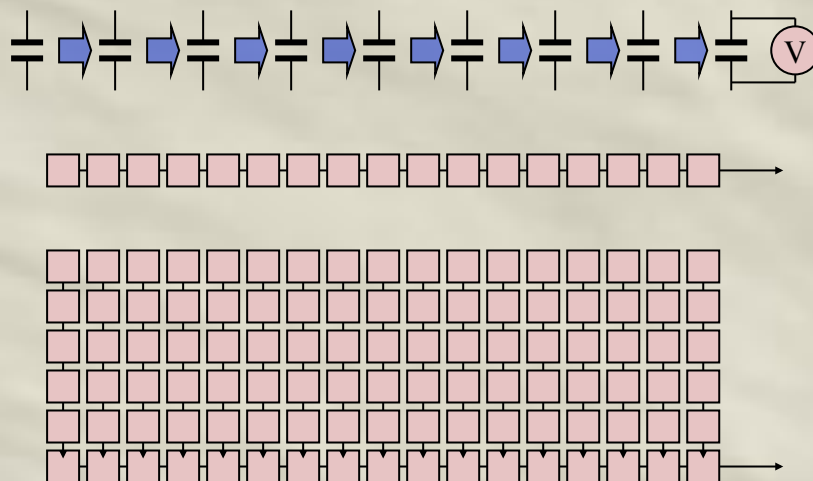
## CCD vs. CMOS



\*Lezione 14 La visione robotica

\*26 marzo 2014 \*5

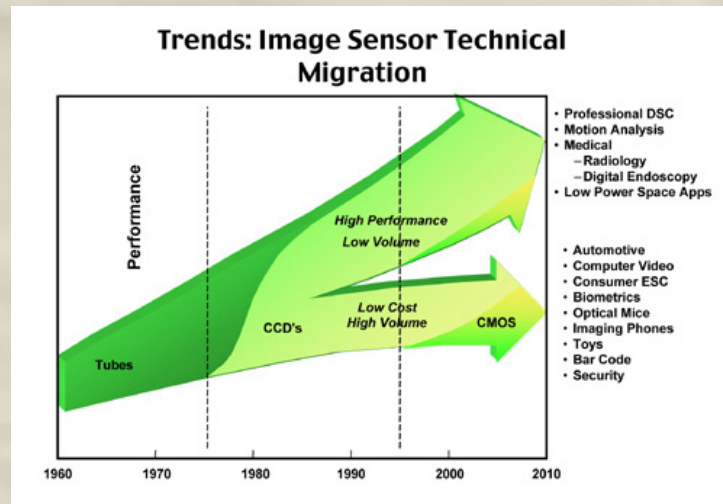
## Come funzionano i Charge Coupled Devices (approssimativamente)



\*Lezione 14 La visione robotica

\*26 marzo 2014 \*6

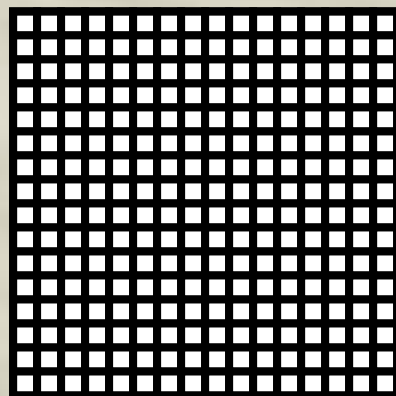
## CCD vs. CMOS



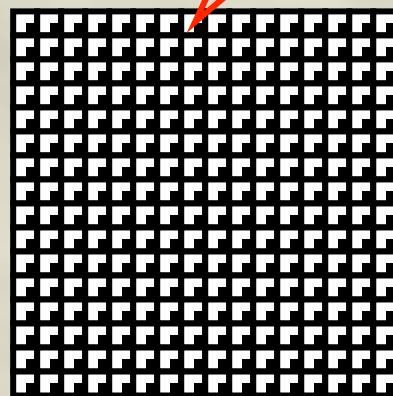
•Lezione 14 La visione robotica

•26 marzo 2014 •7

## In pratica:



Sensore CCD



Sensore CMOS

•Lezione 14 La visione robotica

•26 marzo 2014 •8

## *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 14 La visione robotica

•26 marzo 2014 •9

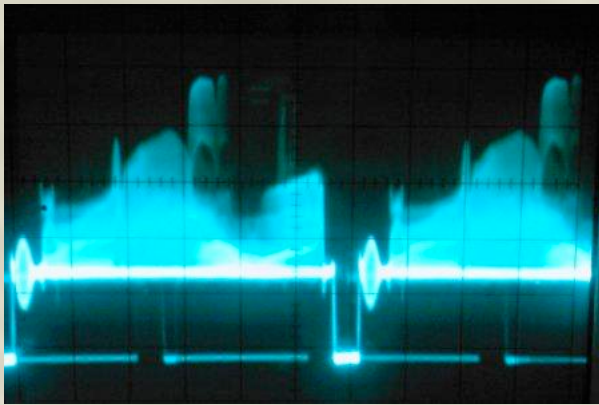
## *Caratteristiche dei CMOS*

- ⇒ 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 14 La visione robotica

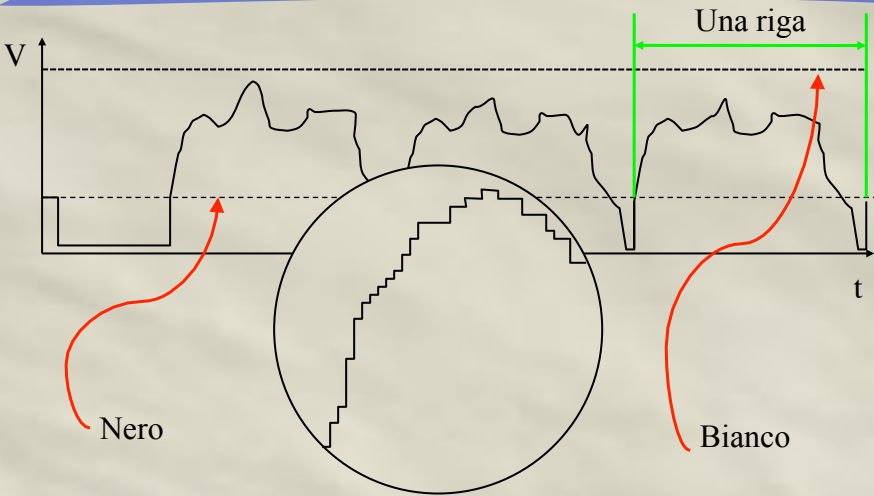
•26 marzo 2014 •10

### *Il segnale video*



\*Lezione 14 La visione robotica \*26 marzo 2014 \*11

### *Più in dettaglio:*



**V**

**t**

Una riga

Nero

Bianco

\*Lezione 14 La visione robotica \*26 marzo 2014 \*12

### Dopo la digitalizzazione:

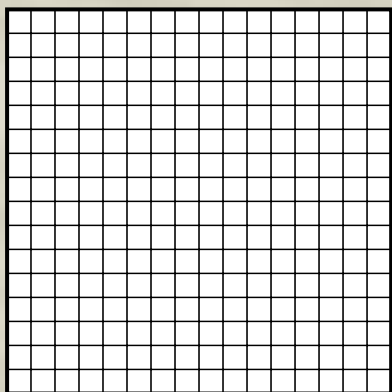
- ⇒ Una matrice di N righe per M colonne di numeri interi
- ⇒ Ogni numero occupa 8, 12, (16 o più) bit
- ⇒ Ogni numero rappresenta il livello di luminosità di quel particolare pixel.

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 14 La visione robotica

•26 marzo 2014 •13

### 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 14 La visione robotica

•26 marzo 2014 •14

### *Il potere risolvente*

⇒ Capacità di distinguere due oggetti vicini

\*Lezione 14 La visione robotica \*26 marzo 2014 \*15

### *Così evidentemente non funziona!*

⇒ Questo dà luogo al fenomeno dell'aliasing

\*Lezione 14 La visione robotica \*26 marzo 2014 \*16



### Il potere risolvete

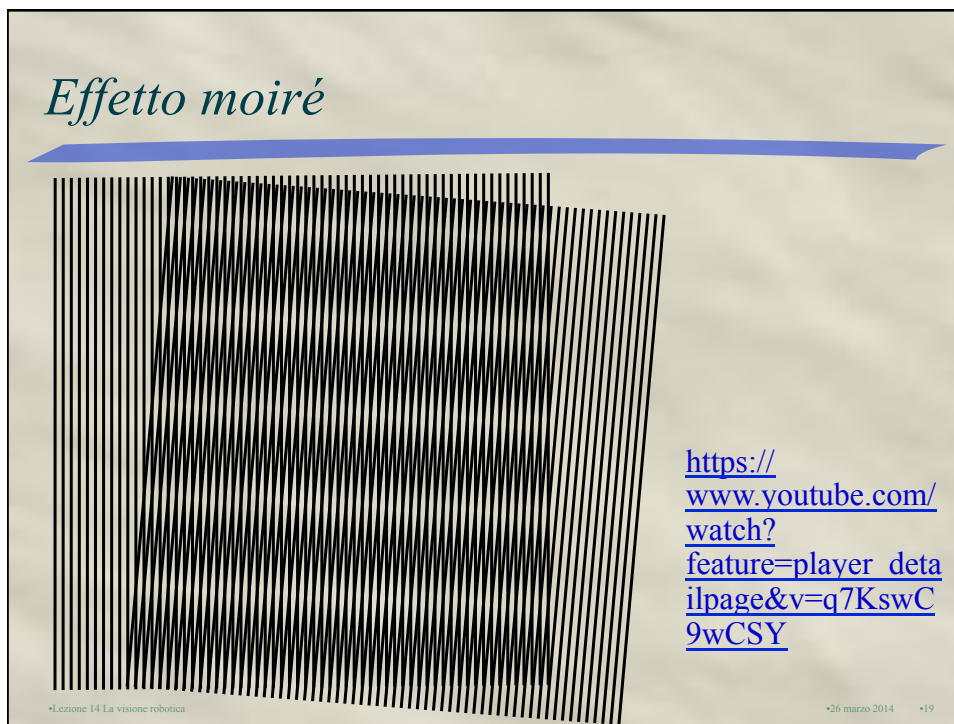
⇒ Shannon aveva ragione!

Lezione 14 La visione robotica \*26 marzo 2014 \*17

### Il potere risolvete

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

Lezione 14 La visione robotica \*26 marzo 2014 \*18



### Quindi il potere risolvete 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 14 La visione robotica \*26 marzo 2014 \*20

## *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 14 La visione robotica

•26 marzo 2014 •21

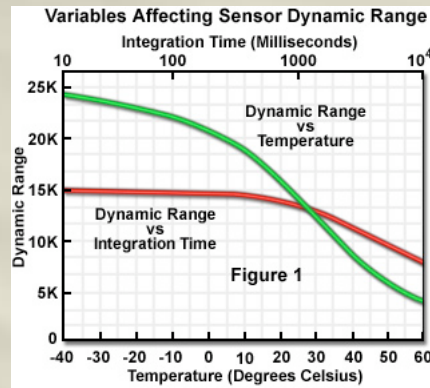
## *La gamma dinamica:*



•Lezione 14 La visione robotica

•26 marzo 2014 •22

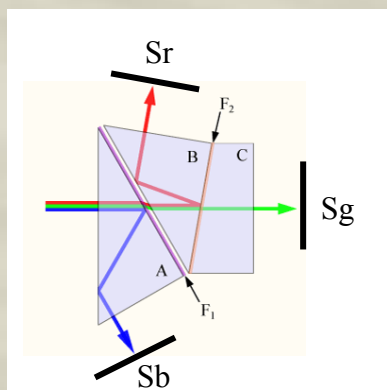
*La dinamica:*



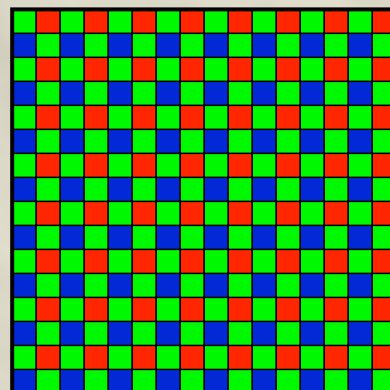
•Lezione 14 La visione robotica

•26 marzo 2014 •23

*Acquisizione a colori:*



Filtro tricolorico e sensore triplo



Filtro Bayer

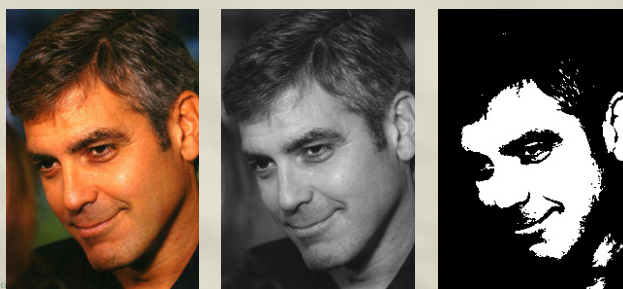
•Lezione 14 La visione robotica

•26 marzo 2014 •24

## *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 14 La visione robotica

•26 marzo 2014 •25