

L'intelligenza visiva - la visione nelle macchine (computer vision)

Alberto Borghese
Università degli Studi di Milano
Laboratory of Applied Intelligent Systems (AIS-Lab)
Dipartimento di Scienze dell'Informazione
borgnese@dsi.unimi.it



1/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Sommario



- **Introduzione**
- Problemi legati alla visione
- La camera come strumento di ripresa
- Il modello geometrico di una camera
- Caratteristiche delle fotocamere

A.A. 2004-2005

2/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Le funzioni della visione



A.A. 2004-2005

3/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Applicazioni della visione



- Sicurezza. Sorveglianza. Biometria: Iride, Impronte digitale, Riconoscimento di volti.
- Giocattoli e robot: riconoscimento di gente, di ambienti, di oggetti, di robot simili .
- Navigazione autonoma.
- Applicazioni industriali: controllo di qualità, controllo della catena di montaggio, riconoscimento di parti difettate.
- Applicazioni militari: dispositivi di puntamento, navigazione...
- Web, consumer: indicizzazione di database di immagini

A.A. 2004-2005

4/79

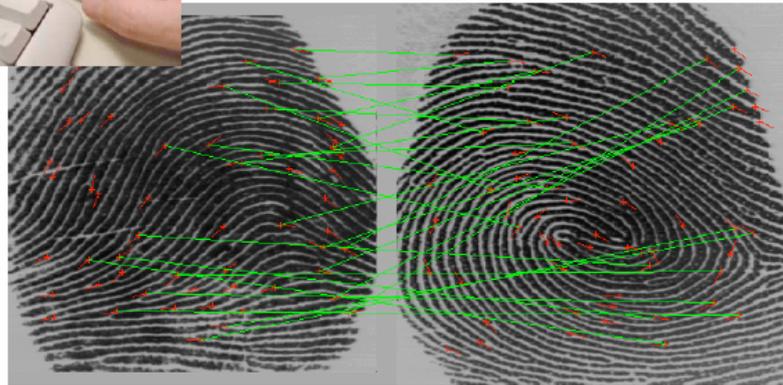
<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Biometria



Fingerprints



<http://www.digitalpersona.com/>

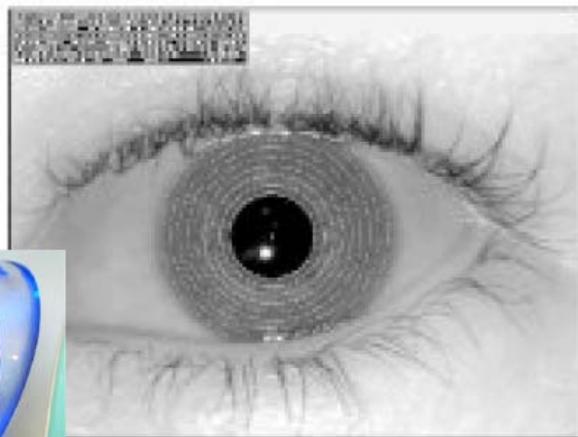
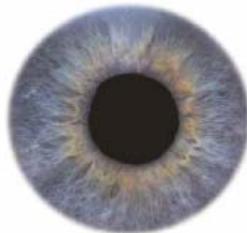
A.A. 2004-2005

5/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Biometria



A.A. 2004-2005

6/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Riconoscimento di volti



A.A. 2004-2005

<http://www.us.cs.cmu.edu/TUS/ustp0/har/FaceDemo/gallery-inline.html>



Robotica ricreativa



A.A. 2004-2005

8/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



Applicazioni: Esplorazione autonoma

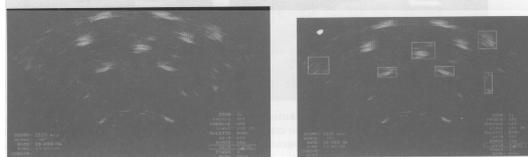
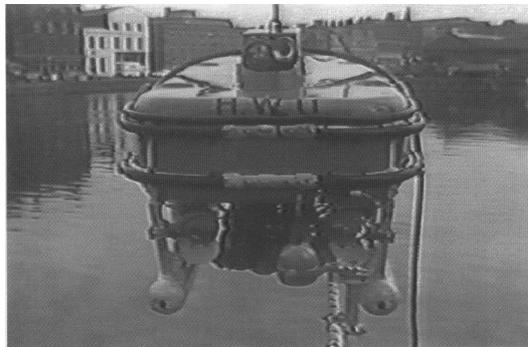


Figure 1.4 Computer vision is becoming increasingly important for remotely operated and autonomous subsea vehicles (ROV/AUVs), like the one shown above, ANGUS, built by the Ocean Systems Laboratory of Heriot-Watt University. As with many ROV/AUVs, ANGUS carries video and sonar sensors (see Chapter 2). Bottom left: an example of underwater sonar image. The white areas are the returns from a diver and the poles of a pier, imaged from above. Bottom right: the result of automatic search for objects of interest (courtesy of Dave Lane, Heriot-Watt University).

A.A. 2004-2005

9/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgese>



Darpa Grand Challenge



SandStorm – Carnegie Mellon University (3 Milioni di dollari)

<http://www.darpa.mil/grandchallenge/>

A.A. 2004-2005

10/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgese>



Darpa Grand Challenge



Team CyberRider is comprised entirely of volunteers. Based in Orange County, the team is a non-profit organization

<http://www.darpa.mil/grandchallenge/>

A.A. 2004-2005

11/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Darpa Grand Challenge



Terra max. Loop avanti e indietro. Sponsor: "Osh-kosh"

<http://www.darpa.mil/grandchallenge/>

A.A. 2004-2005

12/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Il risultato



I robot dovevano percorrere 250 miglia nel deserto di Mojave, in meno di 10 ore.

Hanno percorso:

2 robot hanno percorso < 12 km.

8 robot hanno percorso < 1,500 mt

Altri si sono guastati subito.

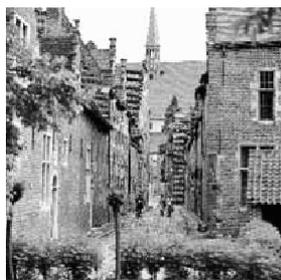
A.A. 2004-2005

13/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Ricostruzione di modelli digitali della scena (Pollefeys and Van Gool)



Multiview reconstruction
→

A.A. 2004-2005

14/73

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Applicazioni: Navigazione autonoma

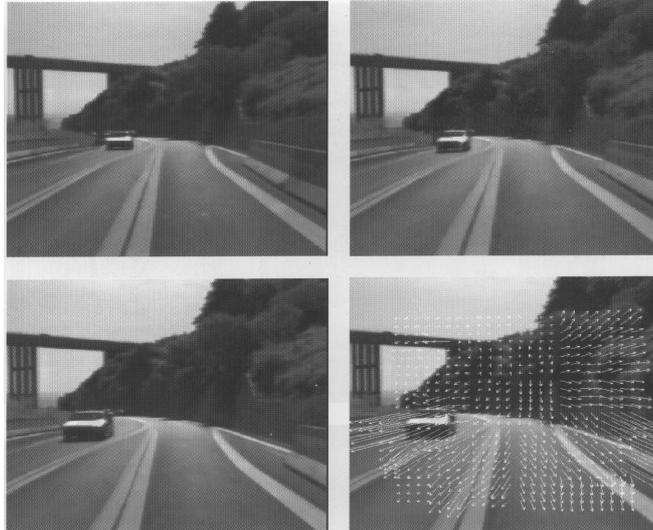


Figure 1.3 Computer vision and autonomous road navigation: some images from a sequence acquired from a moving car, and the estimated motion field (optical flow, discussed in Chapter 8 computed by a motion analysis program, indicating the relative motion of world and camera.

A.A. 2004-2005

15/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgese>



Applicazioni: Controllo industriale



Figure 1.1 A prototype of 3-D inspection cell. The cell includes two types of depth sensors, a laser scanner, and a Moiré fringe system (see Chapter 2), which locate the object in space and perform measurements. Notice the turntable for optimal, automatic object positioning.

A.A. 2004-2005

16/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgese>



Applicazioni: Video-sorveglianza

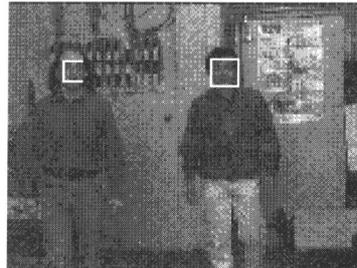
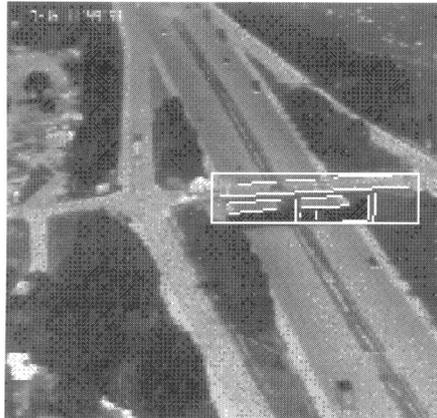


Figure 1.2 Left: automatic recognition of road bridges in aerial infrared images (courtesy of Majid Mirmehdi, University of Surrey; Crown copyright reproduced with the permission of the Controller of Her Majesty's Stationery Office). Right: an example of automatic face detection, particularly important for surveillance and security systems. The face regions selected can be subsequently compared with a database of faces for identification (courtesy of Stephen McKenna, Queen Mary and Westfield College, London).

A.A. 2004-2005

17/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Applicazioni: Posizionamento in ambito medico (radioterapia, radiologia...)



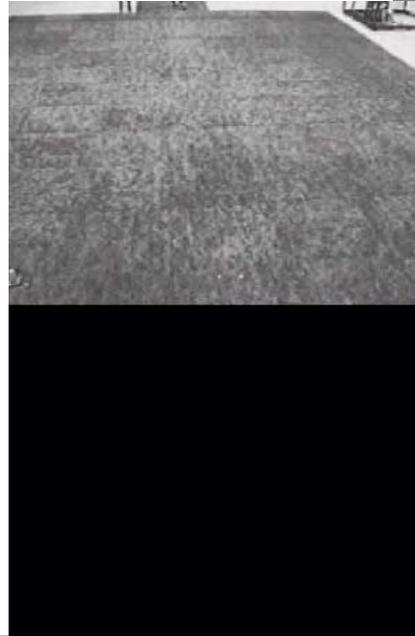
A.A. 2004-2005

18/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Analisi del movimento con marker



A.A. 2004-2005

19/79

these



Estrazione di immagini da film e WEB



Example : Groundhog Day



retrieved shots



From "groundhog day"

A.A. 2004-2005

20/79



Sommario



- Introduzione
- **Problemi legati alla visione**
- La camera come strumento di ripresa
- Il modello geometrico di una camera
- Caratteristiche delle fotocamere



Computer Vision



Obiettivo: determinazione delle proprietà **geometriche, fisiche e dinamiche** del mondo che ci circonda mediante elaborazione di immagini o sequenze di immagini.

- *Low level vision (o early vision):* estrazione dalle immagini o sequenze di immagini delle informazioni necessarie al livello superiore (features = caratteristiche locali).
- *High level vision:* riconoscimento, associazione di un significato semantico all'atto del vedere, ricostruzione del movimento degli oggetti.



Processing visivo.



- “Low-level vision (early vision)” – Pre-elaborazione delle immagini (estrazione di feature).
- Calcolo del Movimento degli oggetti sull’immagine (optical flow).
- Estrazione del colore.
- Estrazione della profondità’.
- Riconoscimento di tessiture.
- Contorni (edge)
- “Low-level vision (intermediate representations)”.
- Calcolo delle sorgenti di illuminazione e stima dell’albedo e del colore.
- Forme dai contorni (shape from edges).
- Forme da tessitura (shape from texture).
- Forme da ombreggiatura (shape from shading).
- Stereo-matching.
- Determinazione della struttura 3D e del movimento 3D di oggetti da sequenze di immagini monoculari e da sistemi di specchi (Structure from Motion).
- Ricostruzione 3D da stereo di oggetti della scena.
- Ricostruzione di superfici.
- Parametri geometrici del sistema di visione (calibrazione).
- “High-level vision”.
- Interpretazione e movimento (la visione artificiale deriva storicamente dall’Intelligenza Artificiale).

A.A. 2004-2005

23/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



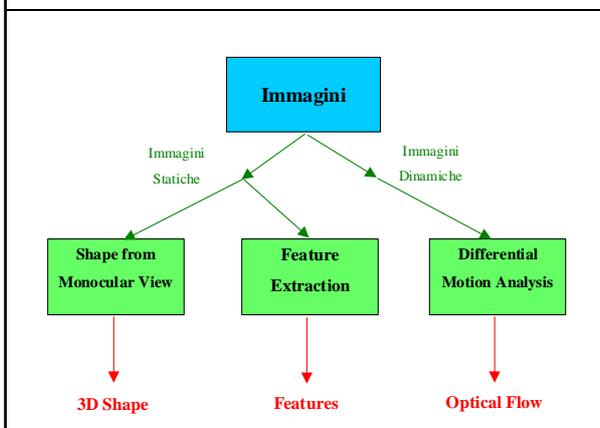
Visione 3D, Elaborazione di immagini e grafica



Visione 3D: Immagine/i \Rightarrow Ricostruzione 3D della scena statica o dinamica ed interpretazione.

- **Grafica 3D:** Modello 3D della scena, statico o dinamico \Rightarrow Visualizzazione.

Si incontrano sul terreno della visualizzazione 3D.



L’elaborazione delle immagini costituisce il primo livello di un sistema di visione. Fornisce le features di base.

A.A. 2004-2005

24/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



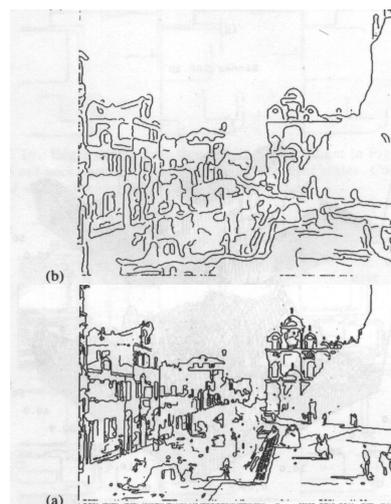
Cosa sono le features?



- 1) *Località.*
- 2) *Significatività.*
- 3) *Riconoscibilità.*

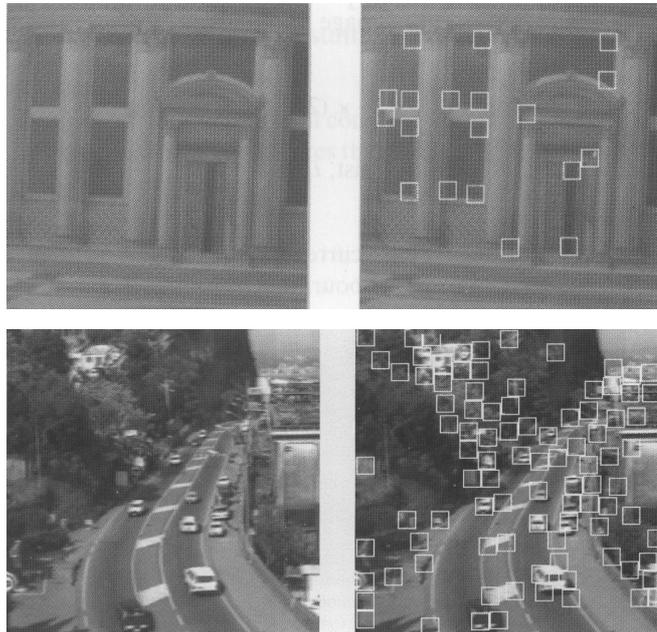


Riconoscimento dei bordi (edge)





Riconoscimento di spigoli



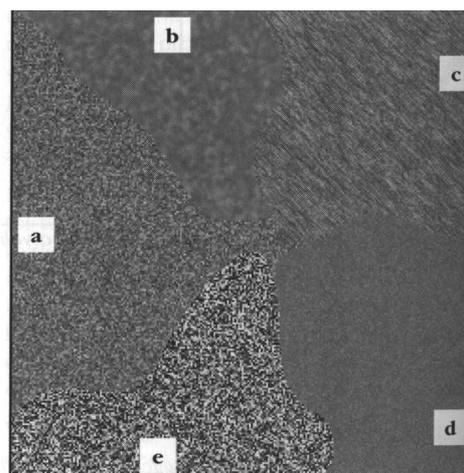
A.A. 2004-2005

27/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



Estrazione di regioni



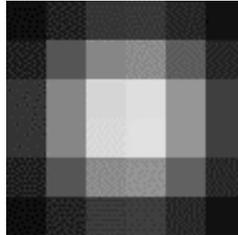
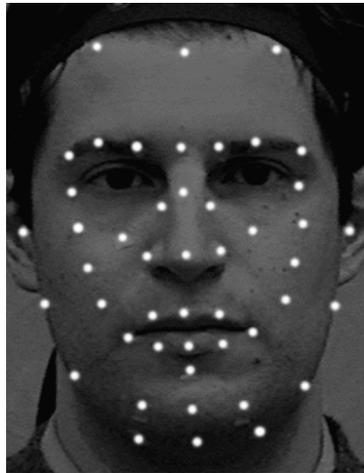
A.A. 2004-2005

28/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



Marker detection



-8	-8	-8	-8	-8	-8
-8	0	1	1	0	-8
-8	1	7	7	1	-8
-8	1	7	7	1	-8
-8	0	1	1	0	-8
-8	-8	-8	-8	-8	-8

Cross-correlazione (template matching)

A.A. 2004-2005

29/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Il flusso ottico

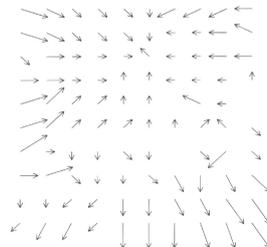


Figure 8.3 Three frames from a long image sequence (left to right and top to bottom) and the optical flow computed from the sequence, showing that the plant in the foreground is moving towards the camera, and the soft toys away from it.

A.A. 2004-2005

30/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



I problemi di visione sono mal posti



- Perché non è facile costruire un sistema di visione?

Difficoltà ad identificare esattamente le feature

- Risoluzione spaziale limitata.
- Gli oggetti reali non sono mai uniformemente illuminati.
- I contorni non sono netti.
- Le superfici non hanno albedo costante.
- L'illuminazione genera campi di irradianza "difficili".

Difficoltà ad assemblare le feature

Difficoltà ad interpretare le primitive visive

A.A. 2004-2005

31/79

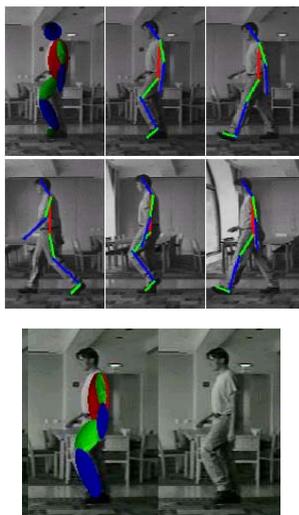
<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Analisi del movimento marker-less



Silhouette (-> Skeleton)



Set of difficult problems:

2D Image processing (silhouette identification, optical flow detectors...)

Multi-view invariants.

Smooth motion -> temporal filtering.

Skeleton fitting (different rigid motion for different segments).

Pre-prototype research.

<http://movement.stanford.edu/>

A.A. 2004-2005

32/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Problemi della high level vision



- Individual objects
- Object categories
- Scenes: specific and category
- Discrimination vs. detection vs. recognition
- How many objects and categories?
- Taxonomical organization.

Challenges in recognition

- Variation in size, position, rotation, lighting, color
- Occlusion / presence-absence of features
- Deformations
- Clutter
- Brand-new objects



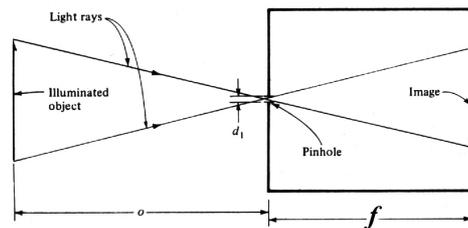
Sommario



- Introduzione
- Problemi legati alla visione
- **La camera come strumento di ripresa**
- Il modello geometrico di una camera
- Caratteristiche delle fotocamere



La camera come strumento di ripresa



A.A. 2004-2005

35/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Dal 3D al 2D al 3D



Come si forma un'immagine?

- Scena con oggetti riflettenti.
- Sorgente di illuminazione
- Piano di rilevazione della luce riflessa.

Il motore di questa trasformazione è la **proiezione prospettica**.

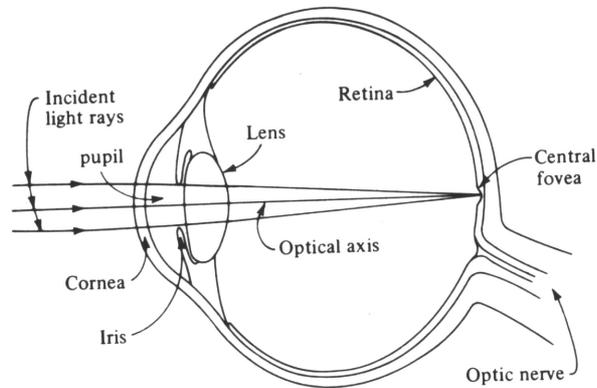
A.A. 2004-2005

36/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



L'occhio umano



Its behavior is very similar to that of a camera

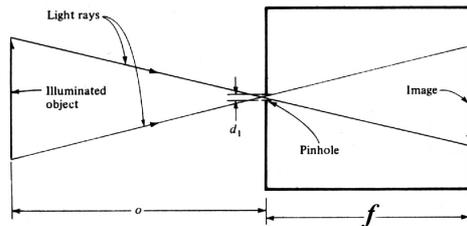
A.A. 2004-2005

37/79

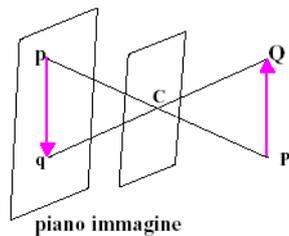
<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



La pin-hole camera



Proiezione prospettica:
tutti i raggi di proiezione
passano per un unico punto,
detto **centro di proiezione**.



Pinhole camera

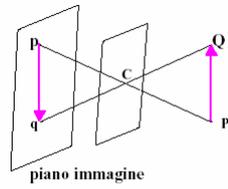
A.A. 2004-2005

38/79

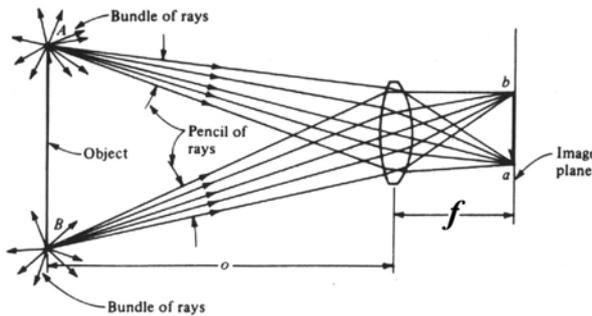
<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



La lente



Pinhole camera



Lente convergente

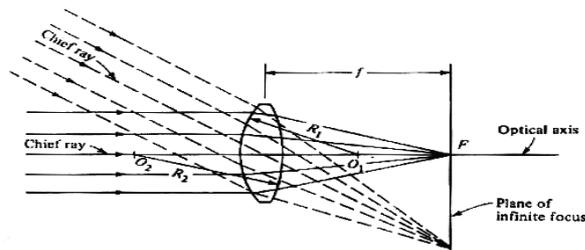
A.A. 2004-2005

39/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Geometria dell'ottica



Oggetti all'infinito

- **Distanza focale:** distanza del piano immagine quando un oggetto si trova all'infinito.
- **Asse ottico:** raggio che non viene deviato dalla lente.
- **Intersezione dell'asse ottico con il piano immagine dà il punto principale (F).**

A.A. 2004-2005

40/79

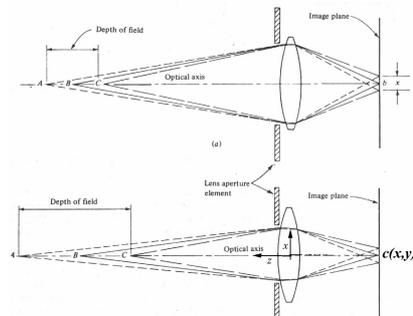
<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Messa a fuoco



Problema della messa a fuoco



Parametri di camera (o intrinseci):

- Punto principale $c(x,y)$ + lunghezza focale, f (3 parametri).
- Occorre conoscere anche il fattore di forma dei pixel nel caso di immagini digitali (è una costante, non un parametro).
- (Distorsioni).

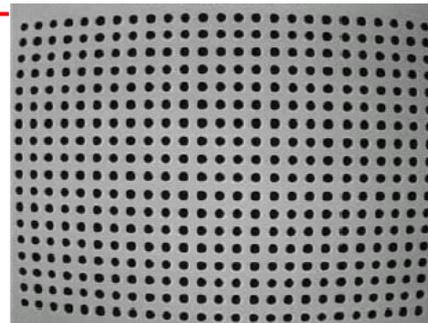
A.A. 2004-2005

41/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Esempi di Distorsioni



Ottime per effetti speciali, un po' meno per delle misure.....
Le camere non sono metriche.

A.A. 2004-2005

42/79



Sommario



- Introduzione
- Problemi legati alla low-level vision
- La camera come strumento di ripresa
- **Il modello geometrico di una camera**
- Caratteristiche delle fotocamere

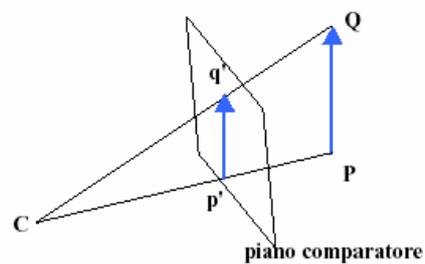
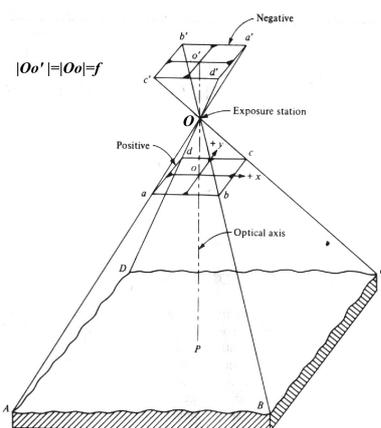
A.A. 2004-2005

43/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Raddrizzamento dell'immagine



Si considera un piano posto davanti al centro di proiezione (si ottiene scendendo l'immagine dall'angolo dx in basso).

A.A. 2004-2005

44/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>

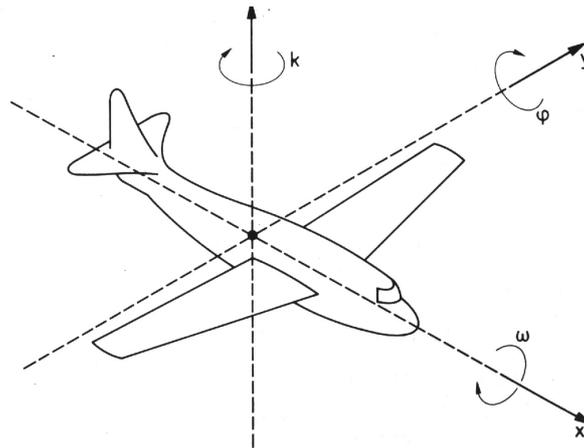


Angoli di orientamento nello spazio 3D



Modo generale: roll, pitch, e yaw.
(ω , ϕ , k): rollio, beccheggio e deriva.

Sono 3 rotazioni sequenziali,
non commutative.



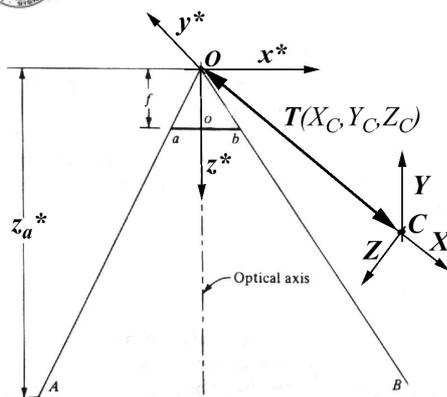
A.A. 2004-2005

47/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Dal 3D al 2D



$$a(x_a; y_a) \begin{cases} x_a = X_A^* f / Z_A^* \\ y_a = Y_A^* f / Z_A^* \end{cases}$$

$$P_A^* = R(P_A - T)$$

$$P(X_A, Y_A, Z_A) \Rightarrow P_A^*(X_A^*, Y_A^*, Z_A^*) \Rightarrow a(x_a, y_a).$$

A.A. 2004-2005

48/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



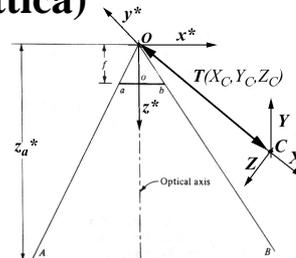
Equazioni di collinearità (rappresentazione prospettica)



$$x_A^* = r_{11}(X_A - X_C) + r_{12}(Y_A - Y_C) + r_{13}(Z_A - Z_C)$$

$$y_A^* = r_{21}(X_A - X_C) + r_{22}(Y_A - Y_C) + r_{23}(Z_A - Z_C)$$

$$z_A^* = r_{31}(X_A - X_C) + r_{32}(Y_A - Y_C) + r_{33}(Z_A - Z_C)$$



$$x_a - x_o = x_A^* f / z_A^* = f \frac{r_{11}(X_A - X_C) + r_{12}(Y_A - Y_C) + r_{13}(Z_A - Z_C)}{r_{31}(X_A - X_C) + r_{32}(Y_A - Y_C) + r_{33}(Z_A - Z_C)}$$

$$y_a - y_o = y_A^* f / z_A^* = f \frac{r_{21}(X_A - X_C) + r_{22}(Y_A - Y_C) + r_{23}(Z_A - Z_C)}{r_{31}(X_A - X_C) + r_{32}(Y_A - Y_C) + r_{33}(Z_A - Z_C)}$$

Complessivamente 9 parametri. Equazioni non-lineari.

A.A. 2004-2005

49/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Trasformazione proiettiva in forma matriciale



$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} f & 0 & x_o \\ 0 & f & y_o \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{T} \\ \mathbf{0} & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{p} = \mathbf{KMA P}$$

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

A.A. 2004-2005

50/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Distorsioni



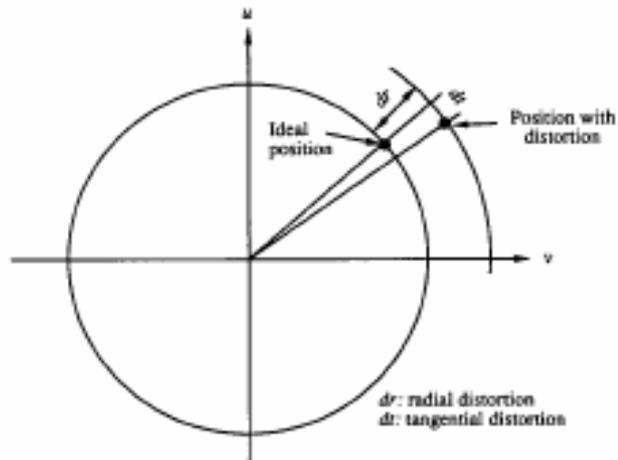
Distorsioni radiali.

$$x_m = x + f(x,y)$$

Distorsioni tangenziali.

$$y_m = y + g(x,y)$$

Shrinkage ($x' = \lambda x, y' = y$).



A.A. 2004-2005



Distorsioni radiali



A cuscinetto

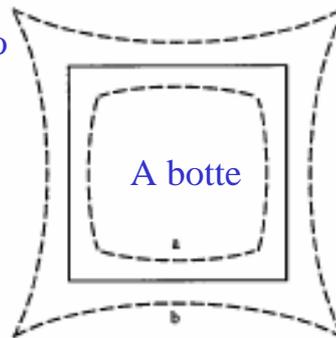
$$dr(p) = k_0 r + k_1 r^3 + k_2 r^5 + \dots$$

$$r = |p - p_0|$$

Rappresentazione polare:

$$x = r \cos \phi$$

$$y = r \sin \phi$$



$$dx(p) = k_0 x + k_1 x(x^2 + y^2) + O[(x,y)^5]$$

$$dy(p) = k_0 y + k_1 y(x^2 + y^2) + O[(x,y)^5]$$

Il parametro k_0 non si considera perchè corrisponde ad una variazione di scala.

A.A. 2004-2005

52/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgese>



I modelli di distorsioni



Semplificazioni possibili delle equazioni che modellano i parametri di distorsione

1	Radial Polynomial 3rd Degree	$\Delta x = k_1 r^2 x$ $\Delta y = k_1 r^2 y$	(1)
2	Radial Polynomial 5th Degree	$\Delta x = k_1 r^2 x + k_2 r^4 x$ $\Delta y = k_1 r^2 y + k_2 r^4 y$	(2)
3	Radial and Tangential	$\Delta x = k_1 r^2 x + k_2 (r^2 + 2x^2) + k_3 2xy$ $\Delta y = k_1 r^2 y + k_3 (r^2 + 2y^2) + k_2 2xy$	(3)

In alternativa: modelli semi-parametrici che fittano il campo di distorsione a partire da misure prese sul campo.

Occorre scegliere il modello più adeguato, non il modello più generale!

A.A. 2004-2005

53/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>

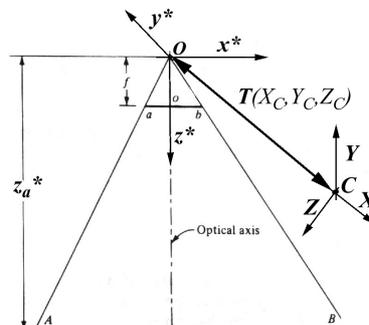
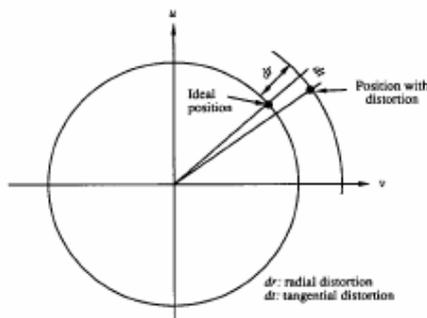


Modello reale della ripresa fotografica



$$x - x_o + f(x, y, x_o, y_o) = -f \frac{m_{11}(X - X_o) + m_{12}(Y - Y_o) + m_{13}(Z - Z_o)}{m_{31}(X - X_o) + m_{32}(Y - Y_o) + m_{33}(Z - Z_o)}$$

$$y - y_o + g(x, y, x_o, y_o) = -f \frac{m_{21}(X - X_o) + m_{22}(Y - Y_o) + m_{23}(Z - Z_o)}{m_{31}(X - X_o) + m_{32}(Y - Y_o) + m_{33}(Z - Z_o)}$$





Sommario

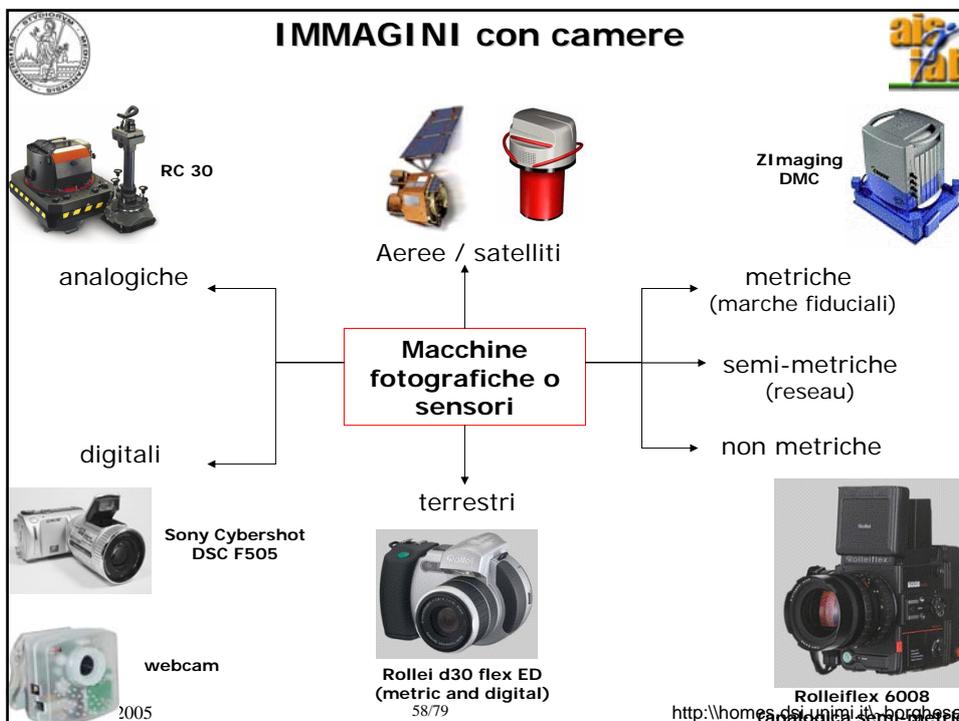
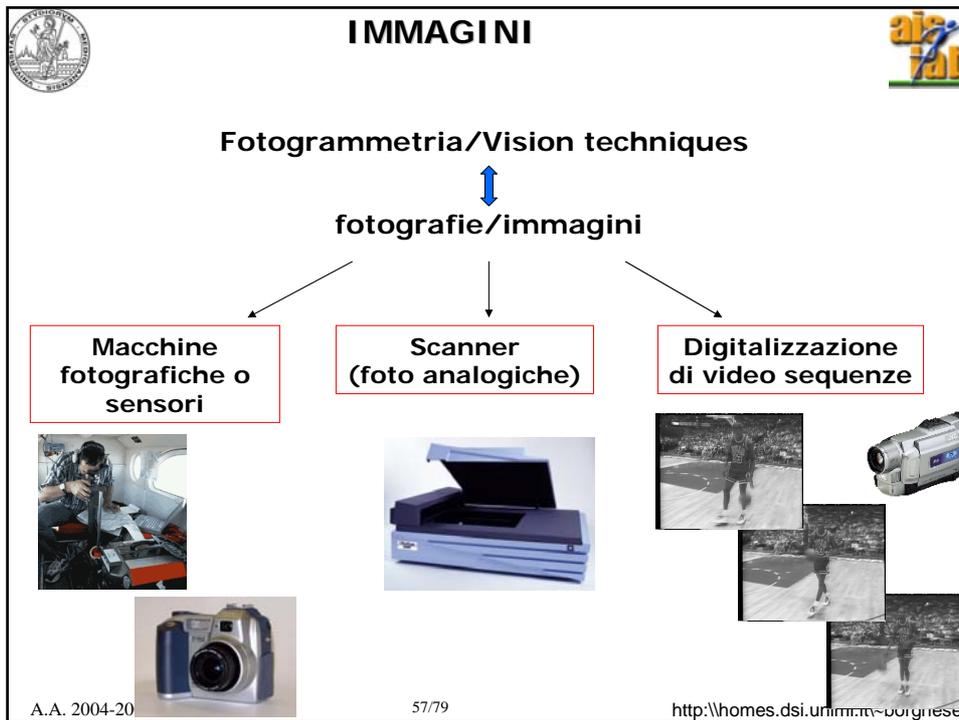


- Introduzione
- Problemi legati alla visione
- La camera come strumento di ripresa
- Il modello geometrico di una camera
- **Caratteristiche delle fotocamere**



Immagini e camere digitali







CAMERE E IMMAGINI - digitale



~~Pellicola~~ -> gruppo di sensori allo stato solido (CCD)
con numero di elementi/dimensioni variabile



CCD (charge coupled device):

matrice di elementi fotosensibili in cui vengono accumulate le cariche (prodotte dalla radiazione incidente)

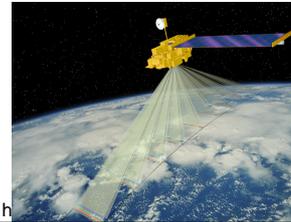


SENSORE: dispositivo che raccoglie info trasportate dall'energia elettromagnetica e le rende accessibile all'utente



- Sensori satellitari
- Sensori aerei
- Still-video camera
- Video-camera

Lineari / **matrice**



59/79



CAMERE E IMMAGINI - digitale/CCD a matrice



- Sensori per satelliti (Meteosat) e aerei
- Sensori su macchine digitali commerciali
- Risoluzioni da 300x300 a 4000x4000



Epson CP 900



Sony Cybershot
DSC F505



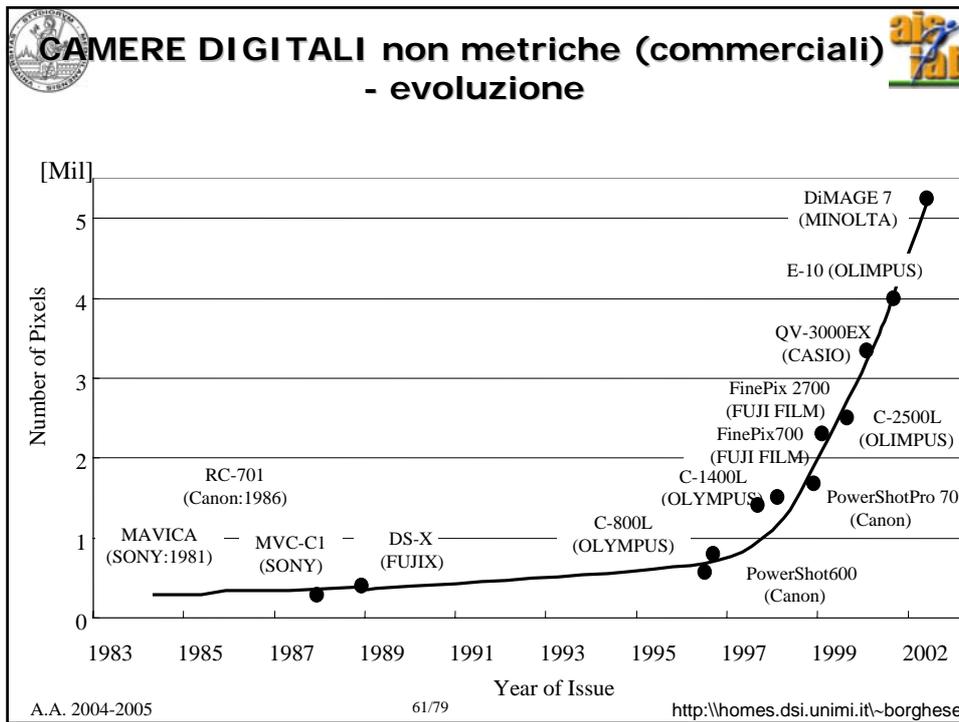
Ziimaging
DMC

- Immagine digitale acquisita "in un click"
- Matrice bidimensionale di pixel
- Pixel con dimensioni fino a 4 micron
- Camere non metriche
- Immagine spesso presenta forte distorsioni



A.A. 2004-2005

60/79



CAMERE DIGITALI commerciali - card size cameras

EX-Z3(CASIO) 3.2 Mega OptioS(PENTAX) 3.2 Mega

SONY Cyber-shot 4.0 MEGA PIXELS

A.A. 2004-2005 **OS-C-F77(SONY) 4.0 Mega** 63/79 <http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>

CAMERE DIGITALI commerciali

- Nel 2002: **25 Mil.camere digitali** vendute (media 285 \$)
- Nel 2002: **2.23 Mil. camere analogiche** (film-based)
- ca 100 tipi di camere digitali:
 - 37 tipi con 3 Mil.pixel
 - 20 tipi con 4 Mil.pixel
 - 12 tipi con 5 Mil.pixel

Num. pixel vs anno Accuracy/RMS vs Num. pixel

Continuera' ad aumentare il numero di pixel?

Molto probabilmente **NO** perche':

- problemi read in/out
- problemi di costruzione
- problemi nella memorizzazione delle immagini
- 5 Mil.pixel gia' troppe info ...

2003. Prima fotocamera in tricromia.

A.A. 2004-2005 64/79 <http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



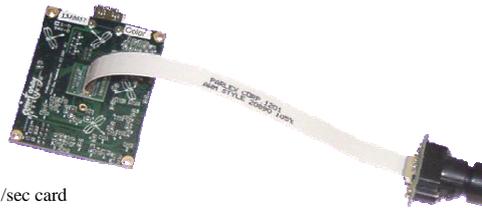
Video-camere



Features

- 6 Pin IEEE-1394 interface
- Automatic camera to camera synchronization.
- Asynchronous trigger.
- Multiple frame rates
- 640x480 or 1024x768 24bit true color or 8 bit gray scale images
- Plug and Play
- Computer controlled camera parameters
- Image acquisition software

Compliant with new interfaces: USB II and IEEE 1394 (firewire).



Development Kit Includes

- Dragonfly IEEE-1394 board level camera
- 4.5 meter, 6-6 pin, IEEE-1394 cable
- IEEE-1394 OHCI PCI Host Adapter 3 port-400 MB/sec card
- 3 micro lenses with 4,6, and 8mm focal lengths
- CS Mount Lens Holder (please note this part is not included with the extended version)
- Tripod mounting bracket
- Dragonfly camera driver
- C/C++ Image acquisition library
- Example source code for quick start within the programming environment

<http://www.ptgrey.com/products/dragonfly/index.html> mes.dsi.unimi.it/~borgnese

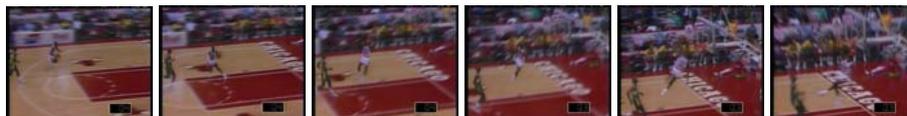
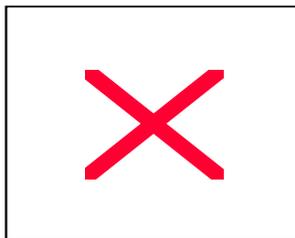


IMMAGINI da video



Digitalizzazione di video

- acquisizione in formato video (VHS, DV) e digitalizzazione dei singoli frame
- software



A.A. 2004-2005

66/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



IMMAGINI da video



Digitalizzazione di video

- Formazione del video in vecchie videocamere:
combinazione continua di 2 fields (*interlace*)



1 field



2 fields

- Nuove videocamere: 'Progressive scan'

A.A. 2004-2005

67/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



IMMAGINI da video



Digitalizzazione di video

Esempi di **interlace effect**



METODI x eliminare interlace effect (de-interlace):

- rimuovere righe pari (o dispari) -> img finale ha meta' risoluzione
- duplicare righe pari (o dispari) -> img finale ha stessa risoluzione
- ridurre la risoluzione dell'img
- adaptive de-interlace -> rimuovo artifatti solo dove sono presenti

A.A. 2004-2005

68/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>

IMMAGINI DIGITALI

Una matematica del pixel non è ancora disponibile.

IMG = Matrice $n_x, n_y = \begin{pmatrix} 142 & 174 & 164 & 144 & \dots & \dots \\ 107 & \dots & & & & \\ \dots & & & & & \\ \dots & & & & & \end{pmatrix} n_y$

A.A. 2004-2005 69/79 http://hoi

IMMAGINI DIGITALI

Quantizzazione: $n \text{ bit} \Rightarrow 2^n \text{ colori}$

ES.: 3 bit $\Rightarrow 2^3 = 8$ 'gradini'

2 bit $\Rightarrow 2^2 = 4$ 'gradini'

8 bit $\Rightarrow 256$ colori
70/79

3 bit $\Rightarrow 8$ colori
unimi.it/~borghese



Immagini a colori



- 3-Chip CCD
- Color Wheel
- Foveon Technology
- Bayer Pattern + Demosaicing
- Bayer Pattern + Multishot



Colore



Colour is the colour which is perceived, seen, that is the colour which is reflected by the objects surface.

Colour images: are obtained as additive mixture of Red Green Blue (additive mix).

Another important coding is in terms of:

Hue. Describes the colour (red, green...)

Saturation. Quantity of the colour. It differentiates red from rose. It can be viewed as the difference from the colour and a grey with the same brightness.

Lightness. Intensità del colore, it depends on the hue and saturation. It can be viewed as the colour of the image in B/W. It is due to the illumination intensity.



Colors (examples)

	White	(R=255, G=255, B=255)
	Grey	(R=200, G=200, B=200)
	Dark grey	(R=200, G=200, B=200)
	Black	(R=0, G=0, B=0)
	Red	(R=255, G=0, B=0)
	Yellow	(R=255, G=255, B=0)
	Pale blue	(R=0, G=255, B=255)
	Green	(R=0, G=200, B=0)

A.A. 2004-2005



Le immagini a colori mediante beam splitter



A prism splits up the incoming image into R, G, B components (channels).



- each color channel is captured by a different sensor
- registration during production.
- problems with polarized light.

A.A. 2004-2005

74/79

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>

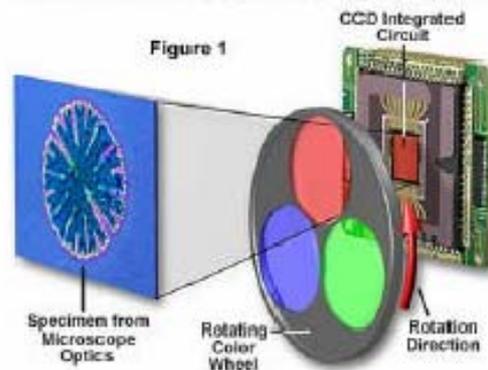


Color Wheel



- one color channel is captured at one shot
- 3 times the acquisition time
- static images only

Sequential Color Three-Pass CCD Imaging System



A.A. 2004-2005

75/79

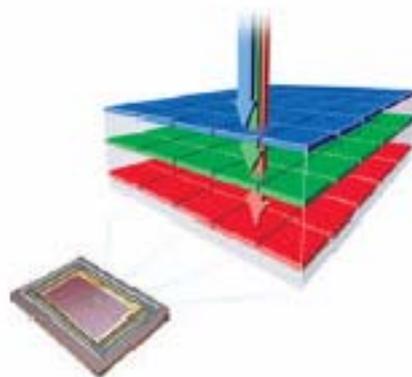
<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Foveon Technology



3 layers capture RGB at the same location.



A.A. 2004-2005



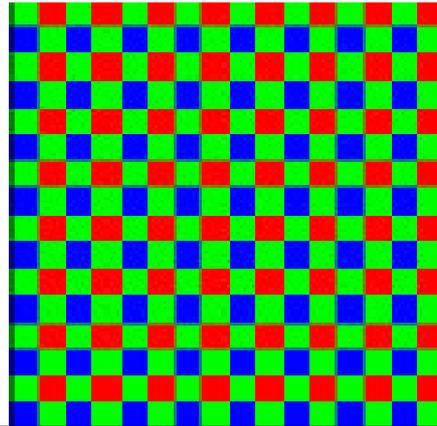
Bayer Pattern



La maggior parte delle camere registra un unico colore per ogni pixel mediante filtro. **Gli altri due colori devono essere ricostruiti (interpolati).**

Non tutti i colori vengono acquisiti con la stessa frequenza spaziale: il canale verde è campionato a frequenza superiore (**pattern di Bayer**).

(l'occhio umano ha una maggiore sensibilità alla luminanza che alla crominanza) .



A.A. 2004-2005

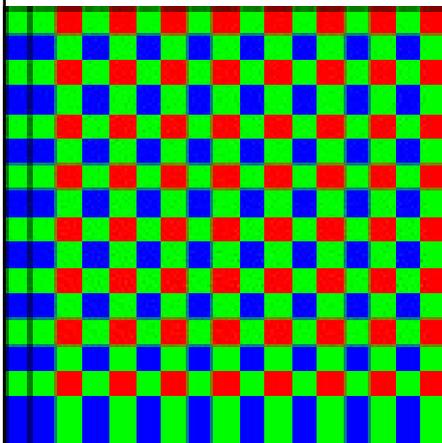
77/79



Colore tramite Multi-shot



- take four images, moving the sensor by one pixel
- (use fourth image for noise reduction)



can be used for
supersampling
(move by $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ pixel)

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



Sommario



- Introduzione
- Problemi legati alla visione
- La camera come strumento di ripresa
- Il modello geometrico di una camera
- Caratteristiche delle fotocamere