

L'intelligenza visiva - la visione computazionale

Alberto Borghese

Università degli Studi di Milano

Laboratorio di Motion Analysis and Virtual Reality (MAVR)

Dipartimento di Scienze dell'Informazione

borgnese@dsi.unimi.it



1/71

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



Parleremo di visione artificiale



- **Introduzione & Applicazioni**
- **Dal 2D al 3D e viceversa (calibrazione e triangolazione).**
- Determinazione del campo di moto dal flusso ottico.
- Structure from Motion da sequenze monoculari (elaborazione flusso ottico).
- Structure from Motion da immagini (elaborazione di feature).
- Elementi di visione basata su geometria proiettiva.



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.
- *High level vision:* riconoscimento, associazione di un significato semantico all'atto del vedere.



Processing visivo.



- “*Low-level vision (early vision)*” – *Pre-elaborazione delle immagini (estrazione di feature).*
- **Calcolo del Flusso ottico.**
- Calcolo delle sorgenti di illuminazione e stima dell'albedo e del colore.
- Riconoscimento di tessiture.
- Contorni (edge)

- “*Low-level vision (intermediate representations)*”.
- Forme dai contorni.
- 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 (la visione artificiale deriva storicamente dall'Intelligenza Artificiale).



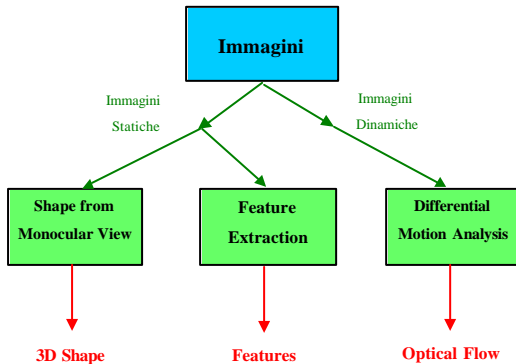
Visione 3D, Elaborazione di immagini e grafica



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

• **Grafica 3D:** Modello 3D della scena, statico o dinamico => 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.



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.



Applicazioni: Video-sorveglianza

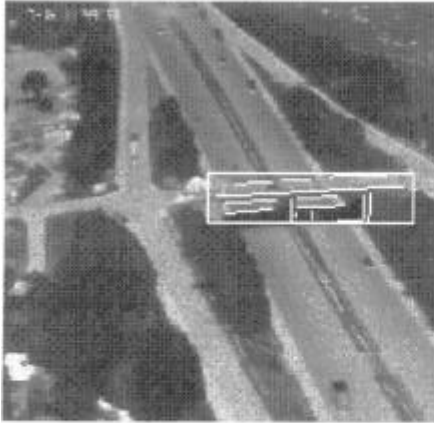


Figure 1.2 Left: automatic recognition of road bridges in aerial infrared images (courtesy of Majid Mirmehdi, University of Surrey; Crown copyright reproduced with the permission of the Controller of Her Majesty's Stationery Office). Right: an example of automatic face detection, particularly important 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).



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





Applicazioni: Telepresenza

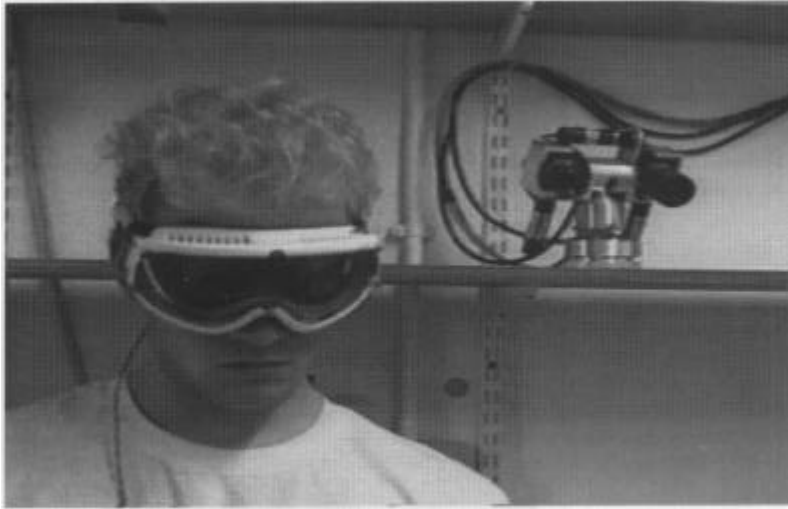


Figure 1.5 Computer vision and virtual telepresence: the movements of the operator's head are tracked by a vision system (not shown) and copied in real time by the head-eye platform (or stereo head) on the right (courtesy of David W. Murray, University of Oxford).



Applicazioni: Esplorazione autonoma

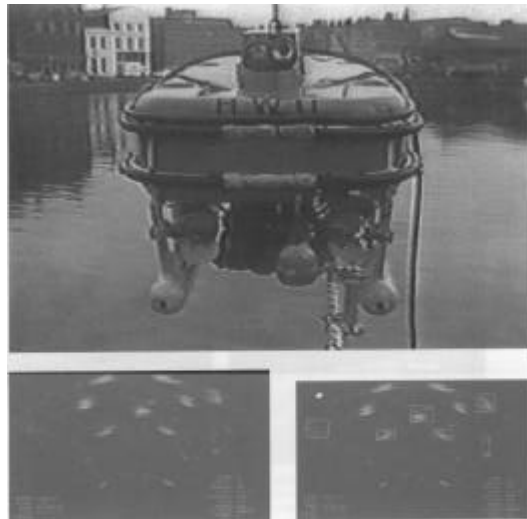


Figure 3A. Computer vision is becoming increasingly important for remotely operated and autonomous subsea vehicles (ROV/AUVs), like the one shown above, ANGUS, built by the Ocean Systems Laboratory of Heriot-Watt University. As with many ROV/AUVs, ANGUS carries video and sonar sensors (see Chapter 2). 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).



Applicazioni: Navigazione autonoma

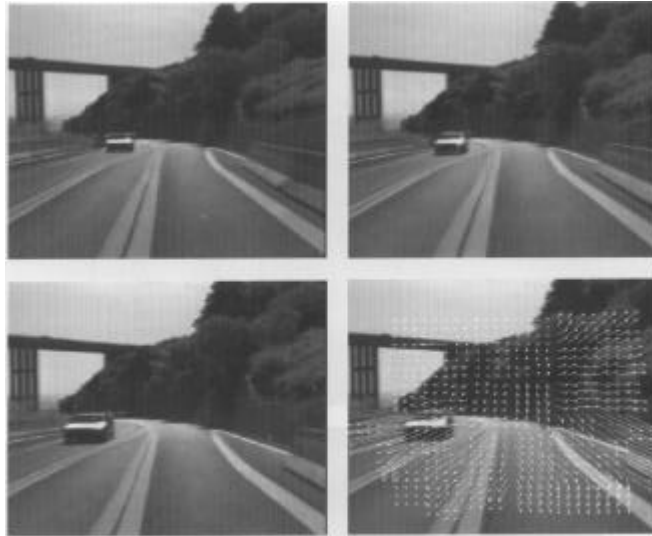
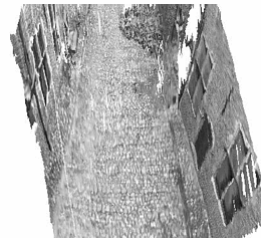
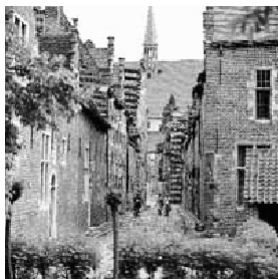


Figure 1.3 Computer vision and autonomous road navigation: some images from a sequence acquired from a moving car, and the estimated motion field (optical flow, discussed in Chapter 8) computed by a motion analysis program, indicating the relative motion of world and camera.



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



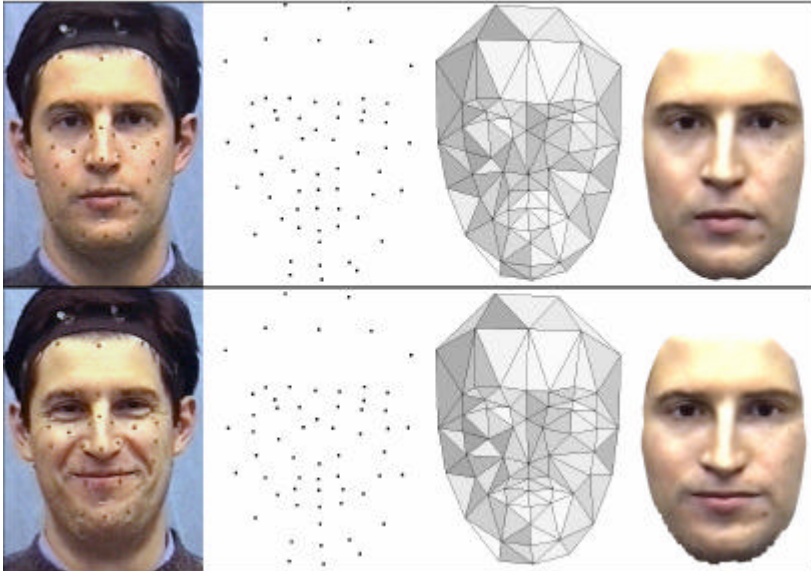
Multiview reconstruction



Analisi della comunicazione facciale



Riconoscimento di marker



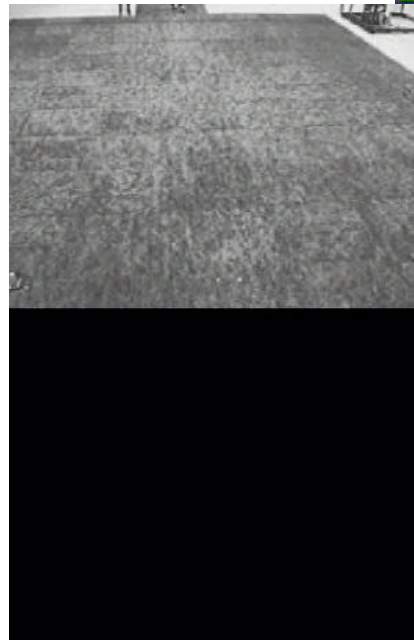
A.A. 2003-2004

13/71

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



Analisi del movimento con marker



A.A. 2003-2004

14/71

hese



Gli stadi di un processo di visione



- “*Low-level vision (early vision)*” – *Pre-elaborazione delle immagini (estrazione di feature)*.
- “*Low-level vision (intermediate representations)*”.
- “*High-level vision (rappresentazione semantica della scena)*”.



Cosa sono le features?



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



Riconoscimento dei bordi (edge)



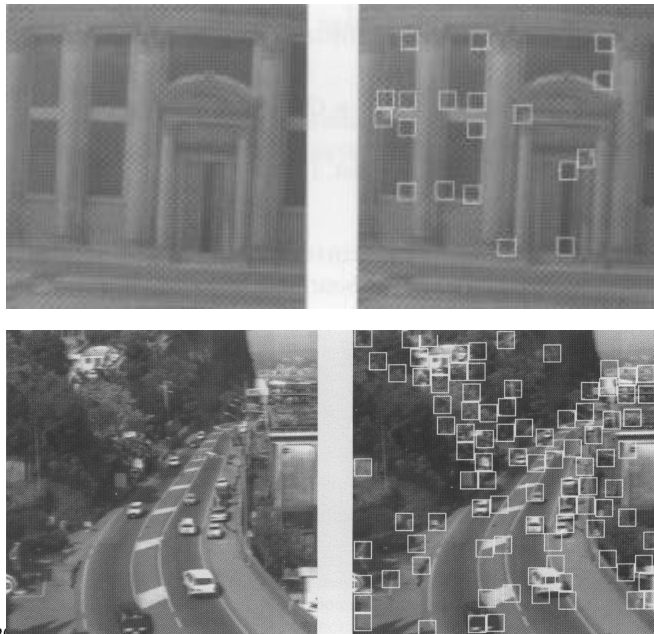
A.A. 2003-2004

17/1

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



Riconoscimento di spigoli



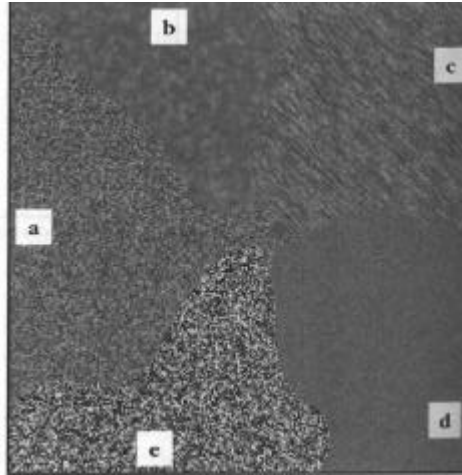
A.A. 2003-2004

18/1

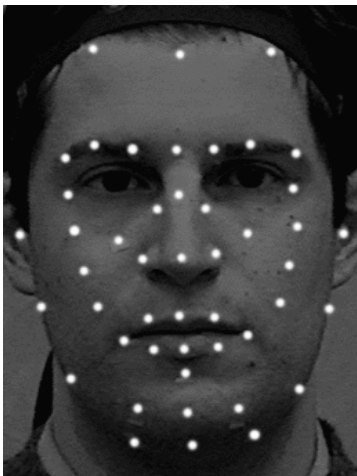
<http://homes.dsi.unimi.it/~borgese>



Estrazione di regioni



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)



Il flusso ottico

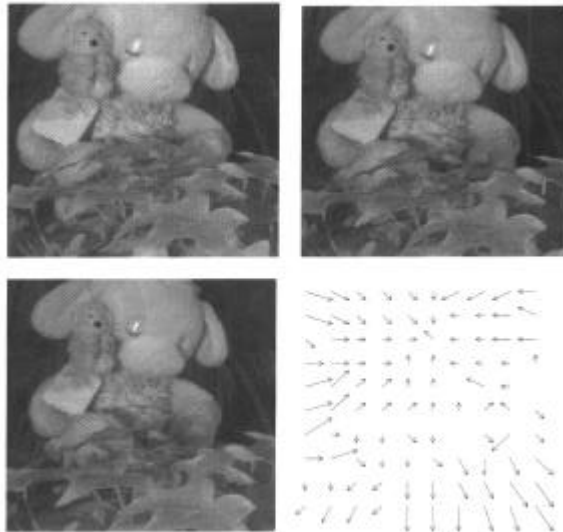


Figure 8.3 Three frames from a long image sequence (left to right and top to bottom) and the optical flow computed from the sequence, showing that the plant in the foreground is moving towards the camera, and the soft toys away from it.



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

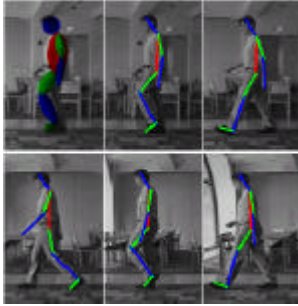
Difficoltà ad interpretare le primitive visive



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/>

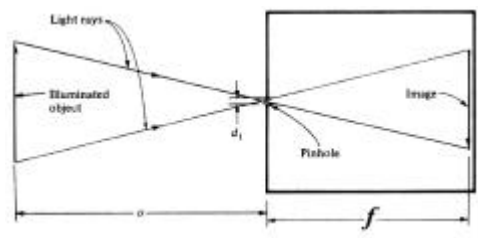
A.A. 2003-2004

23/71

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



Dal 3D al 2D



A.A. 2003-2004

24/71

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



Ricostruzione 3D



E' il problema fondamentale della Visione e della Grafica 3D

Argomenti:

- *Processo di formazione di un' immagine su fotocamera/videocamera.*
- *Descrizione del processo mediante trasformazione prospettica.*
- *Ricostruzione della posizione di 3D di punti della scena a partire dalla loro immagine su fotocalamere/videocalamere.*
- Calibrazione delle camere.
- Errori sistematici introdotti dall'ottica (distorsioni).
- Correzione delle distorsioni (linearizzazione delle camere).



Dal 3D al 2D al 3D



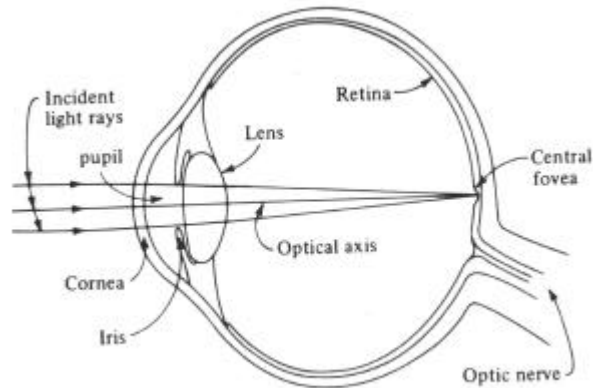
Come si forma un'immagine?

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

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



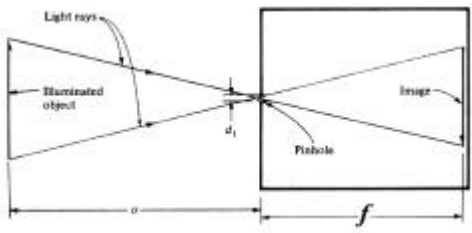
L'occhio umano



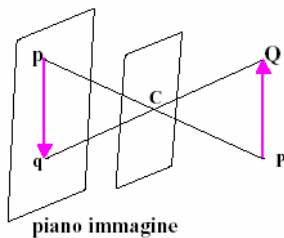
Its behavior is very similar to that of a camera



La pin-hole camera



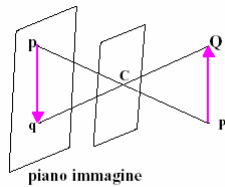
Proiezione prospettica: tutti i raggi di proiezione passano per un unico punto, detto **centro di proiezione**.



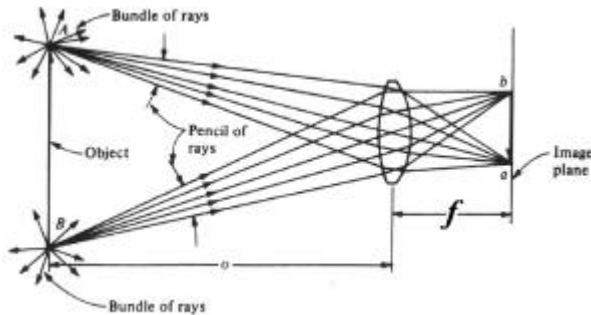
Pinhole camera



La lente



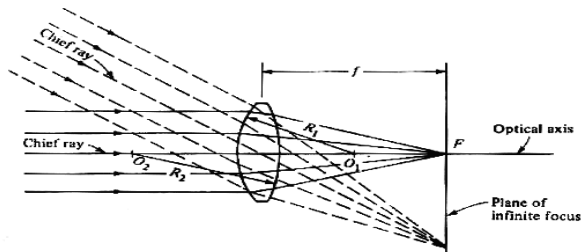
Pinhole camera



Lente convergente



Geometria dell'ottica



Oggetti all'infinito

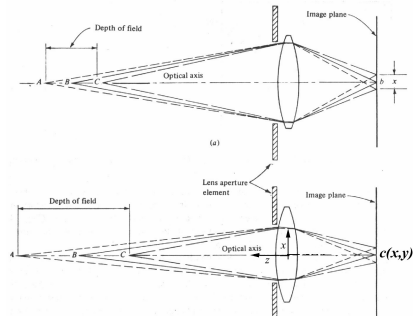
- **Distanza focale:** distanza del piano immagine quando un oggetto si trova all'infinito.
- **Asse ottico:** raggio che non viene deviato dalla lente.
- Intersezione dell'asse ottico con il piano immagine dà il **punto principale (F)**.



Messa a fuoco



Problema della messa a fuoco

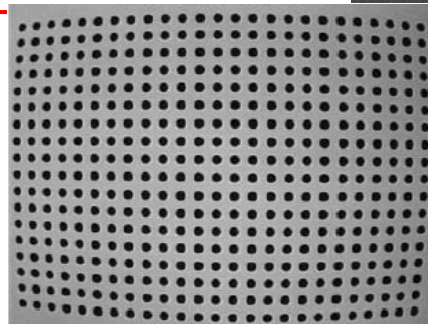


Parametri di camera (o intrinseci):

- 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).



Esempi di Distorsioni



Ottime per effetti speciali, un po' meno per delle misure.....

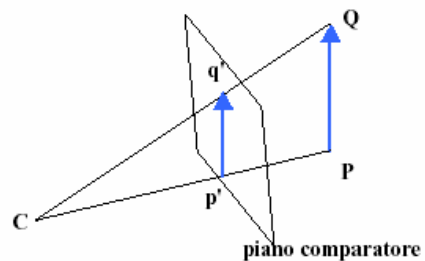
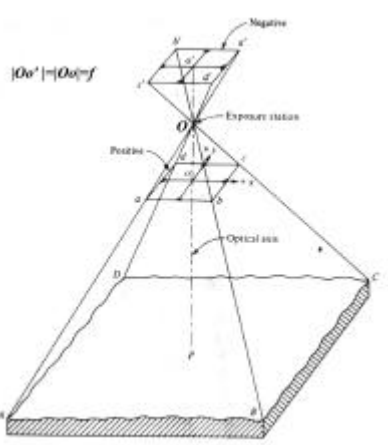
Le camere non sono metriche.



Descrizione analitica di uno strumento di ripresa



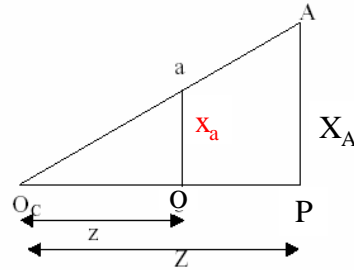
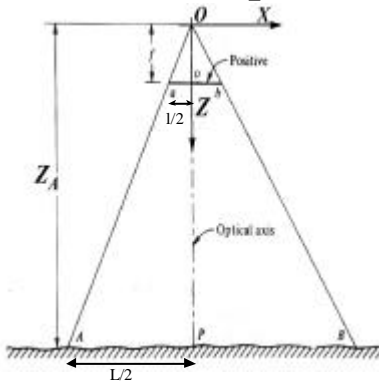
Raddrizzamento dell'immagine



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



Raddrizzamento dell'immagine e proiezione semplice



Per similitudine fra i triangoli aOb e AOB : $f : Z_A = x_a : X_A$

da cui:

$$x_a = X_A f / Z_A$$

$$a(x_a; y_a; z_a) \rightarrow y_a = Y_A f / Z_A$$

e analogamente:

$$z_a = f$$

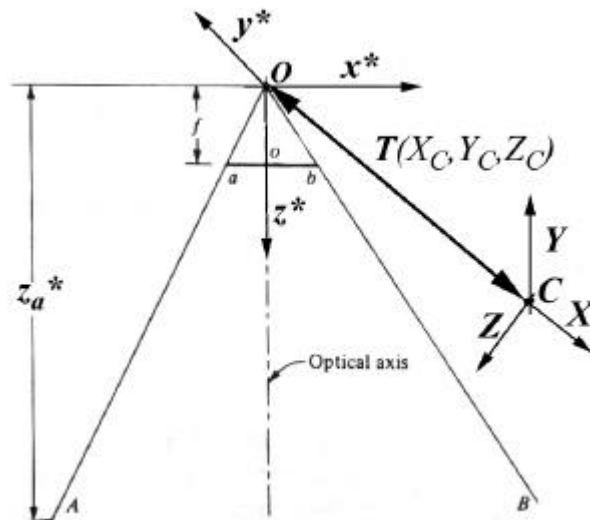


I parametri esterni



• **Traslazione:**
3 componenti:
 $T(X_C, Y_C, Z_C)$

• **Rotazione**
 $R_{3 \times 3}(w, f, k)$



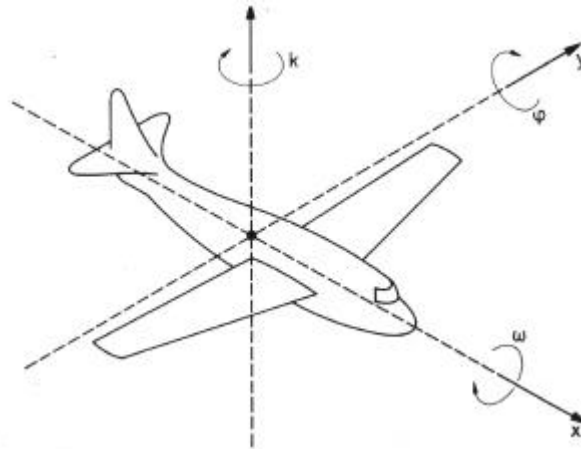


Angoli di orientamento nello spazio 3D

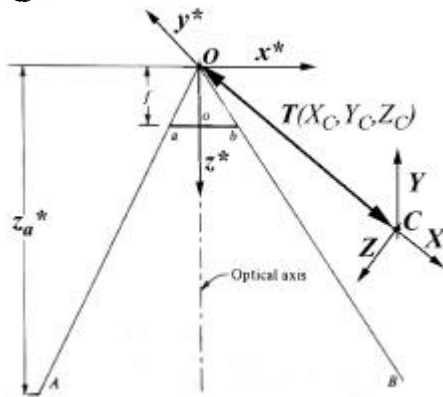


Modo generale: roll, pitch, e yaw.
(ω, ϕ, k): rollio, beccheggio e deriva.

Sono 3 rotazioni sequenziali,
non commutative.



Dal 3D al 2D



$$\begin{aligned} x_a &= x_A^* f / z_A^* \\ a(x_a; y_a; z_a) &\rightarrow y_a = y_A^* f / z_A^* \\ z_a &= f \end{aligned}$$

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

$$A(X_A, Y_A, Z_A) \Rightarrow A(x_a^*, y_a^*, z_a^*) \Rightarrow a(x_a, y_a, f).$$

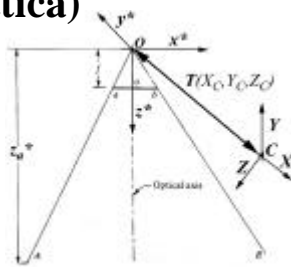


Equazioni di collinearità (rappresentazione prospettica)

$$x^*_A = r_{11}(X_A - X_O) + r_{12}(Y_A - Y_O) + r_{13}(Z_A - Z_O)$$

$$y^*_A = r_{21}(X_A - X_O) + r_{22}(Y_A - Y_O) + r_{23}(Z_A - Z_O)$$

$$z^*_A = r_{31}(X_A - X_O) + r_{32}(Y_A - Y_O) + r_{33}(Z_A - Z_O)$$



$$x_a - x_o = x^*_A f / z^*_A = f \frac{r_{11}(X_A - X_O) + r_{12}(Y_A - Y_O) + r_{13}(Z_A - Z_O)}{r_{31}(X_A - X_O) + r_{32}(Y_A - Y_O) + r_{33}(Z_A - Z_O)}$$

$$y_a - y_o = y^*_A f / z^*_A = f \frac{r_{21}(X_A - X_O) + r_{22}(Y_A - Y_O) + r_{23}(Z_A - Z_O)}{r_{31}(X_A - X_O) + r_{32}(Y_A - Y_O) + r_{33}(Z_A - Z_O)}$$

Complessivamente 9 parametri. Equazioni non-lineari.



Distorsioni

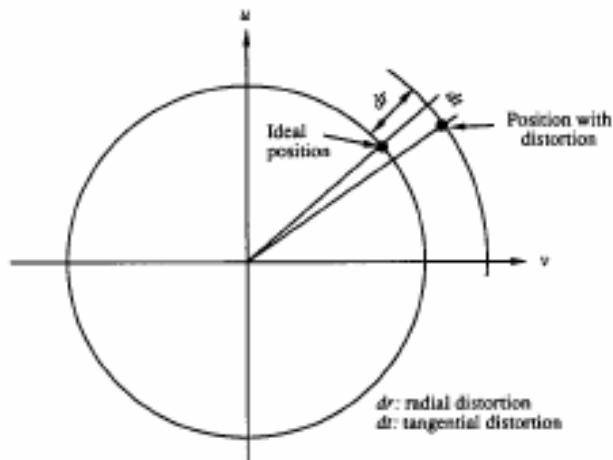
Distorsioni radiali.

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

Distorsioni tangenziali.

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

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





Distorsioni radiali

A cuscinetto

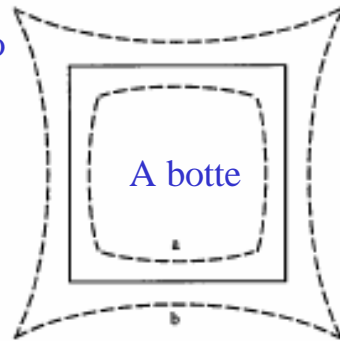
$$dr(p) = k_0 r + k_1 r^3 + k_2 r^5 + \dots$$

$$r = |p - p_0|$$

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.



Decentramento

Componente tangenziale e radiale con andamento sinusoidale.

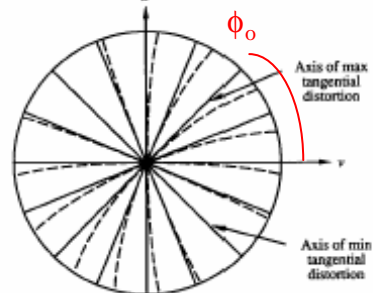
$$dr(p) = 3(j_1 r^2 + j_2 r^4 + \dots) \sin(\phi - \phi_0)$$

$$dt(p) = (j_1 r^2 + j_2 r^4 + \dots) \cos(\phi - \phi_0)$$

$$\begin{bmatrix} dx(p) \\ dy(p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\mathbf{f}) & -\sin(\mathbf{f}) \\ \sin(\mathbf{f}) & \cos(\mathbf{f}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dr(p) \\ dt(p) \end{bmatrix}$$

$$p_1 = -j_1 \sin(\phi_0)$$

$$p_2 = j_1 \cos(\phi_0)$$



$$dx(p) = p_1(3x^2 + y^2) + 2p_2xy + O[(x,y)^4]$$

$$dy(p) = 2p_1xy + p_2(x^2 + 3y^2) + O[(x,y)^4]$$



Thin Prism Distortion

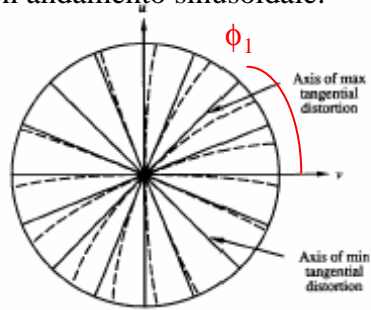


Componente tangenziale e radiale con andamento sinusoidale.

$$dr(p) = i_1 r^2 + i_2 r^4 + \dots \sin(\phi - \phi_1)$$

$$dt(p) = i_1 r^2 + i_2 r^4 + \dots \cos(\phi - \phi_1)$$

$$\begin{bmatrix} dx(p) \\ dy(p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(f) & -\sin(f) \\ \sin(f) & \cos(f) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dr(p) \\ dt(p) \end{bmatrix}$$



$$s_1 = -i_1 \sin(\phi_1) \quad s_2 = i_1 \cos(\phi_1)$$

$$dx(p) = s_1(x^2 + y^2) + O[(x,y)^4]$$

$$dy(p) = s_2(x^2 + y^2) + O[(x,y)^4]$$

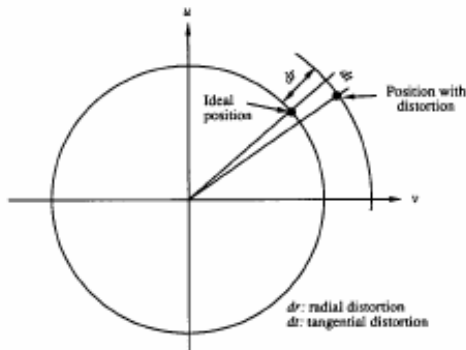


Modelli di distorsione



$$dx(p) = s_1(x^2 + y^2) + 3p_1x^2 + p_1y^2 + 2p_2xy + k_1x(x^2 + y^2) + \lambda x$$

$$dy(p) = s_2(x^2 + y^2) + 3p_2y^2 + p_2x^2 + 2p_1xy + k_1y(x^2 + y^2)$$



$$g_1 = s_1 + p_1$$

$$g_2 = s_2 + p_2$$

$$g_3 = 2p_1$$

$$g_4 = 2p_2$$

$$dx(p) = (g_1 + g_3)x^2 + g_1y^2 + g_4xy + k_1x(x^2 + y^2) + \lambda x$$

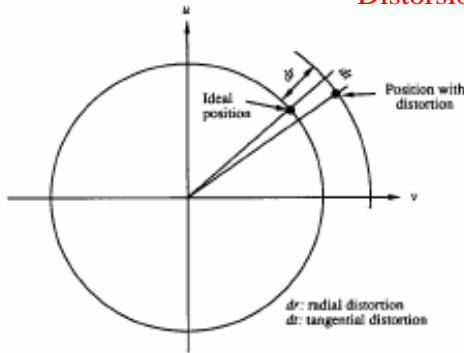
$$dy(p) = (g_2 + g_4)y^2 + g_2x^2 + g_3xy + k_1y(x^2 + y^2)$$



Modello generale delle distorsioni



$$\text{Distorsione} = \Delta r + \Delta t = (\Delta r' + \Delta r'') + \Delta t$$



Radial

Decentering +
Thin prism

trascuro infinitesimi di ordine $O(p^4)$ sulle distorsioni.

$$x_m(p) = x(p) + dx(p) = (g_1 + g_3)x^2 + g_1y^2 + g_4xy + k_1x(x^2 + y^2) + \lambda x$$

$$y_m(p) = y(p) + dy(p) = (g_2 + g_4)y^2 + g_2x^2 + g_3xy + k_1y(x^2 + y^2)$$



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)

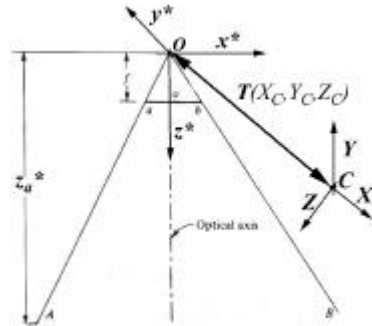
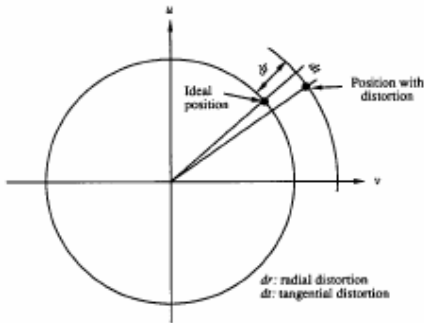


Modello reale della ripresa fotografica



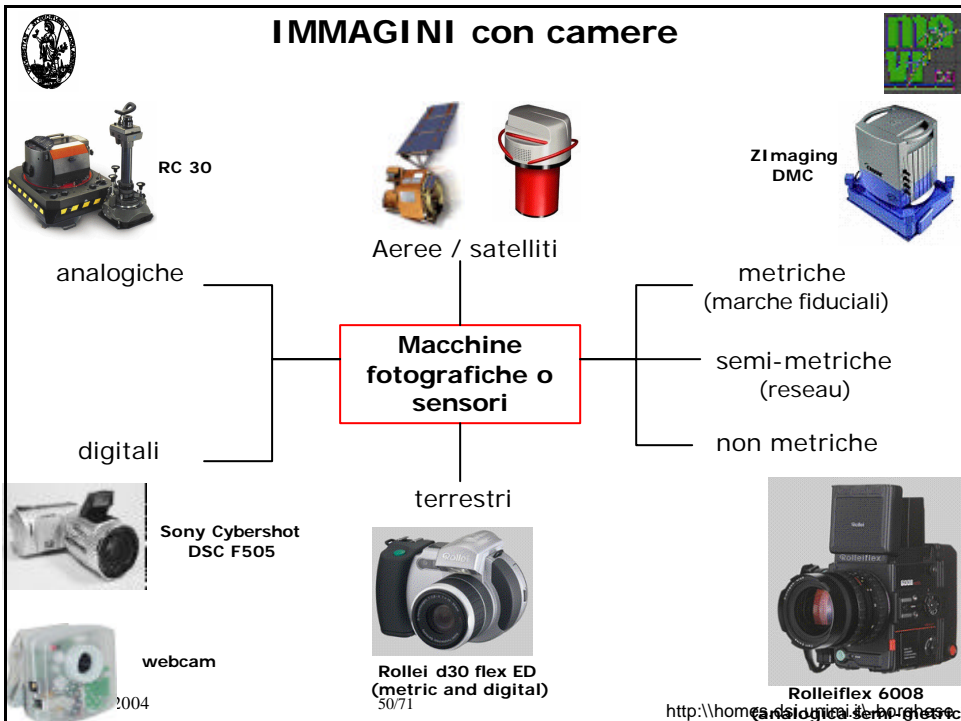
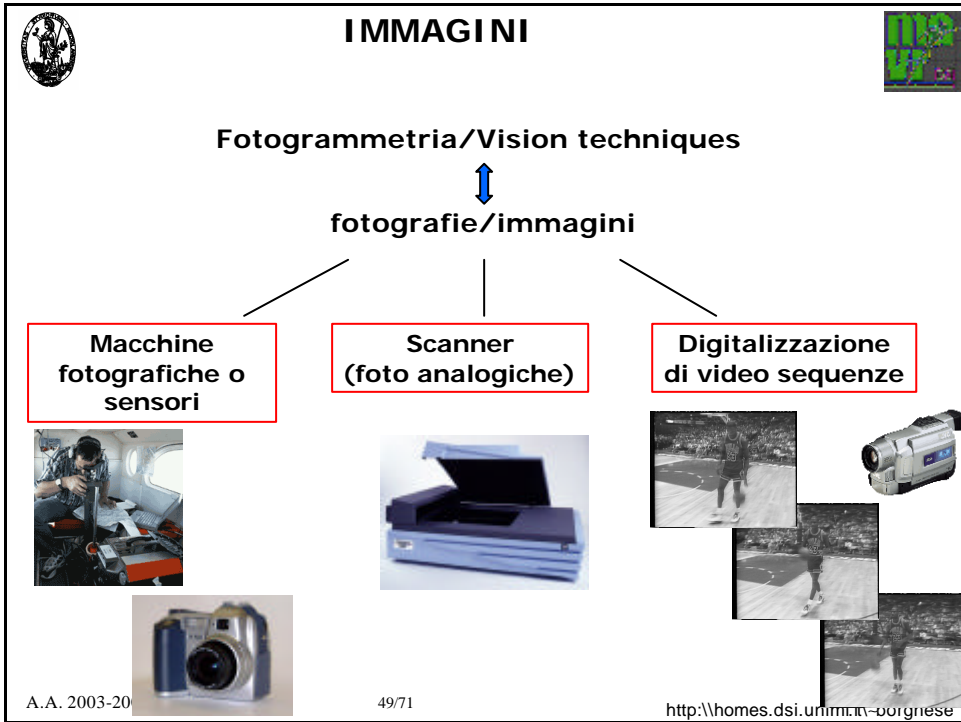
$$x - x_o + f(x, y, x_o, y_o) = -f \frac{m_{11}(X - X_o) + m_{12}(Y - Y_o) + m_{13}(Z - Z_o)}{m_{31}(X - X_o) + m_{32}(Y - Y_o) + m_{33}(Z - Z_o)}$$

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



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)



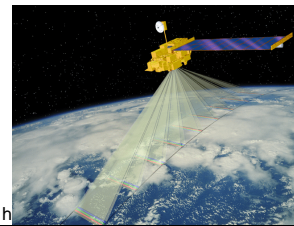
SENSORE: dispositivo che raccoglie info trasportate dall'energia elettromagnetica e le rende accessibile all'utente



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

Lineari / **matrice**

51/71



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



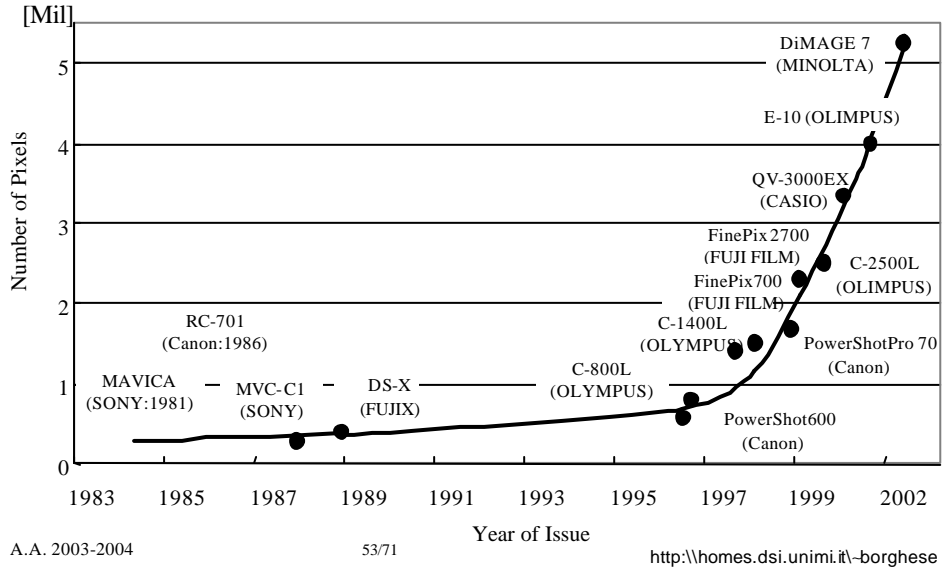
Ziimaging
DMC

- 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





CAMERE DIGITALI non metriche (commerciali) - evoluzione



CAMERE DIGITALI commerciali - esempi



(a) IXY DIGITAL
(Canon)



(b) CP-900Z
(EPSON)



(c) FinePix 700
(FUJI FILM)



(d) FinePix 4700Z
(FUJI FILM)



(e) Q-M100V
(Konica)



(f) C-2000ZOOM
(OLYMPUS)



(g) C-3030ZOOM
(OLYMPUS)



(h) DC-3
(RICOH)



(i) RDC-7
(RICOH)



(j) GC-X1
(Victor)



(k) FinePix S1 Pro
(FUJI FILM)



(l) DCS560
(Kodak)



CAMERE DIGITALI commerciali - card size cameras



EX-Z3(CASIO) 3.2 Mega

OptioS(PENTAX) 3.2 Mega

DSC-F77(SONY) 4.0 Mega

A.A. 2003-2004

55/71

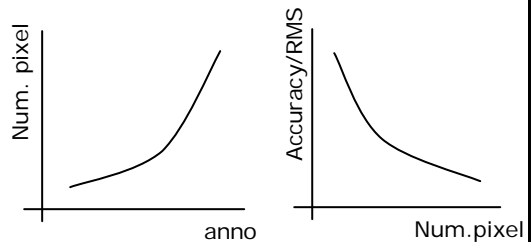
<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



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



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. 2003-2004

56/71

<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 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

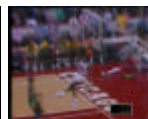
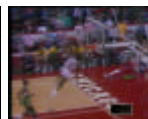
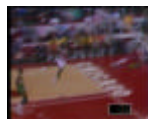
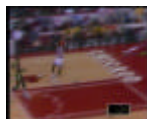
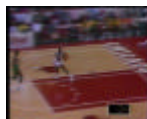
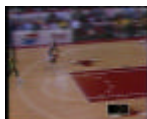


IMMAGINI da video



Digitalizzazione di video

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



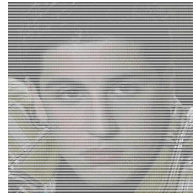
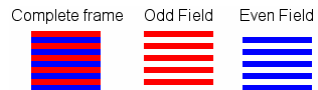


IMMAGINI da video

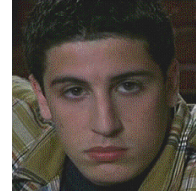


Digitalizzazione di video

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



1 field



2 fields

- Nuove videocamere: 'Progressive scan'

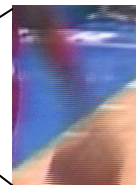
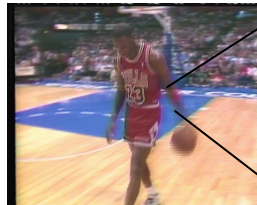


IMMAGINI da video



Digitalizzazione di video

Esempi di **interlace effect**



METODI x eliminare interlace effect (de-interlace):

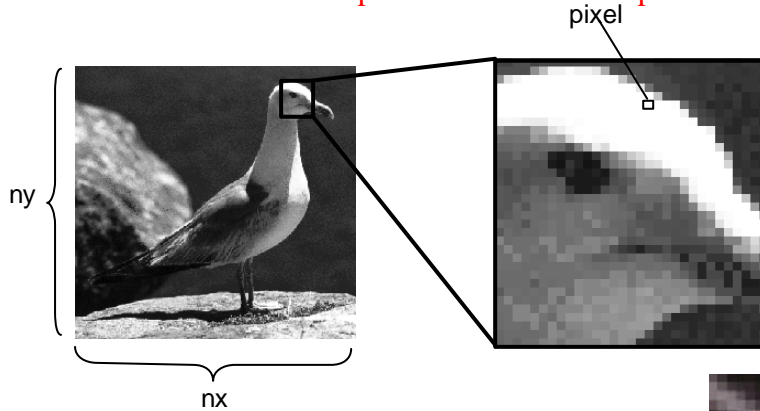
- rimuovere righe pari (o dispari) -> img finale ha meta' risoluzione
- duplicare righe pari (o dispari) -> img finale ha stessa risoluzione
- ridurre la risoluzione dell'img
- adaptive de-interlace -> rimuovo artifatti solo dove sono presenti



IMMAGINI DIGITALI



Una matematica del pixel non è ancora disponibile.



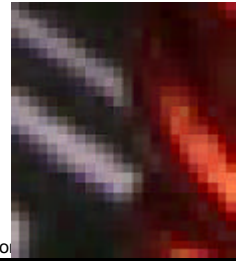
IMG = Matrice nx,ny =
$$\begin{pmatrix} 142 & 174 & 164 & 144 & \dots & \dots \\ 107 & \dots & & & & \\ \dots & & & & & \\ \dots & & & & & \end{pmatrix} \quad \text{ny}$$

A.A. 2003-2004

61/71

nx

<http://hoi>

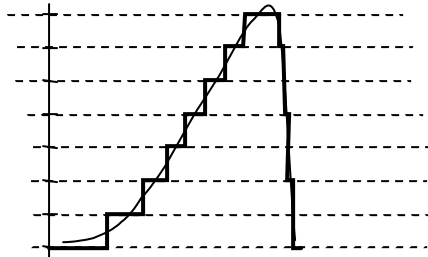


IMMAGINI DIGITALI

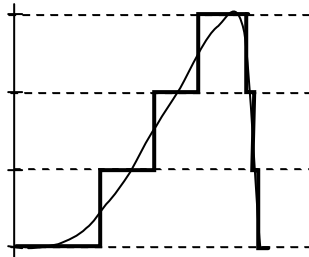


Quantizzazione:

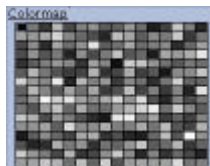
n bit $\Rightarrow 2^n$ colori



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

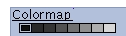
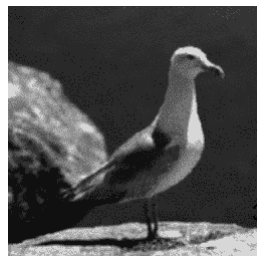


2 bit $\Rightarrow 2^2 = 4$ 'gradini'



8 bit $\Rightarrow 256$ colori

62/71



3 bit $\Rightarrow 8$ colori

unimi.it/~borgnese

A.A.



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)

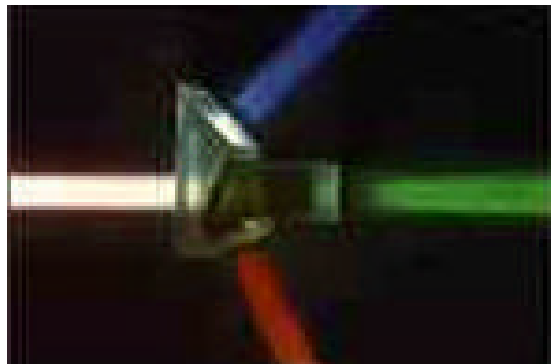
A.A. 2003-2004



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. 2003-2004

66/71

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

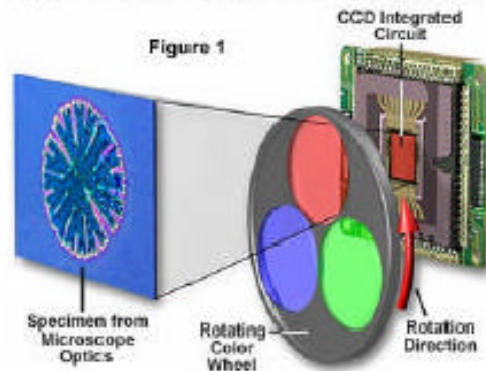


Color Wheel



- 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. 2003-2004

67/71

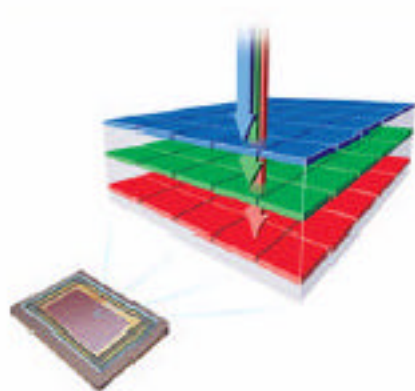
<http://homes.dsi.unimi.it/~borgese>



Foveon Technology



3 layers capture RGB at the same location.



A.A. 2003-2004



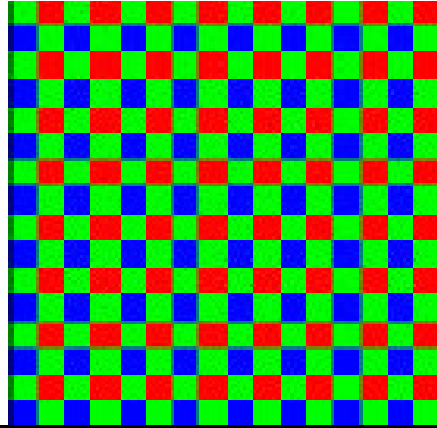
Bayer Pattern



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**).

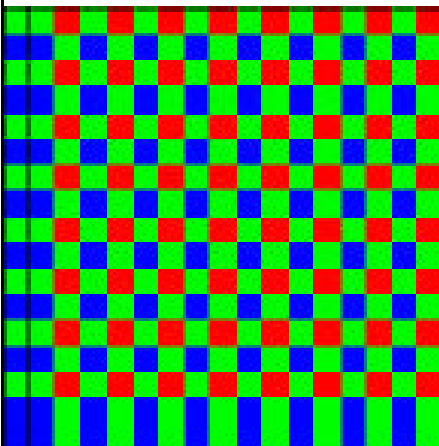
(l'occhio umano ha una maggiore sensibilità alla luminanza che alla crominanza) .



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)



Sommario



Visione è basata su acquisizione ed elaborazione di immagini o sequenze di immagini.

Il modello di base è il modello prospettivo + distorsioni.

I nuovi sistemi di visione e fotogrammetrici stanno sempre di più orientandosi all'elaborazione automatica e real-time, accettando alcuni compromessi (e.g. Trasformata di Bayer).