



Realtà Virtuale From 3D to 2D


Prof. Alberto Borghese
Dipartimento di Informatica
alberto.borghese@unimi.it

Università degli Studi di Milano




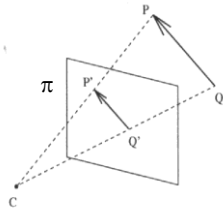
Sommario

- La trasformazione proiettiva
- Calibrazione

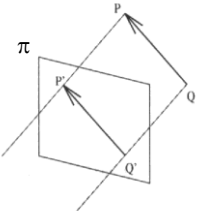


Proiezione centrale e proiezione ortogonale (3D -> 2D)





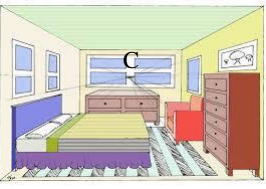
1)




2)

$P(X,Y,Z)$ viene proiettato su un piano (piano immagine) nel punto $P'(X',Y')$. Z è la distanza dal piano immagine.

1) X' dipende da X e Z .
 2) X' non dipende da Z , ma solo da X .




Proiezione centrale: centro di proiezione al finito - C.




Proiezione ortogonale: centro di proiezione all'infinito.

A.A. 2022-2023 3/48



Dal 3D al 2D




Come si forma un'immagine?


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

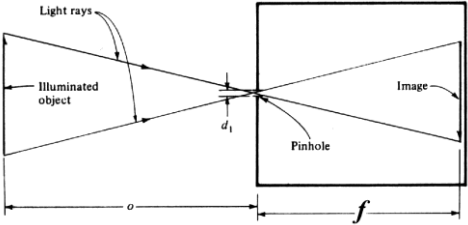
Il motore di questa trasformazione è la **proiezione prospettica**.

A.A. 2022-2023 4/48

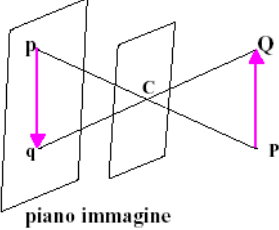


La pin-hole camera





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




piano immagine

Pinhole camera


Perchè non funziona in pratica?

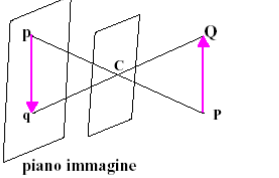
A.A. 2022-2023

5/48



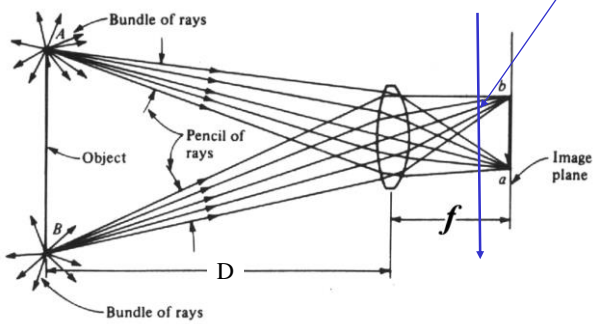
La lente





piano immagine

Pinhole camera



Lente convergente

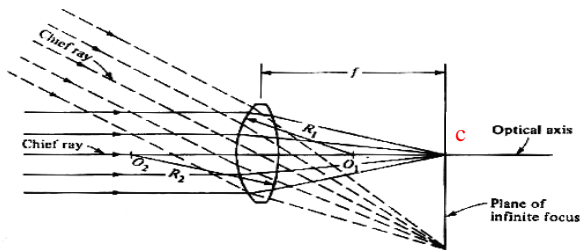
I raggi provenienti da un punto 3D vengono fatti convergere nello stesso punto del piano immagine

A.A. 2022-2023

Data la forma della lente f e D sono fissati



Geometria dell'ottica



Oggetti all'infinito

• **Lunghezza focale**: distanza del piano immagine quando un oggetto si trova all'infinito e dà un'immagine nitida sul piano immagine.

• **Asse ottico**: raggio che non viene deviato dalla lente.

• Intersezione dell'asse ottico con il piano immagine dà il **punto principale (c)**.

A.A. 2022-2023

7/48

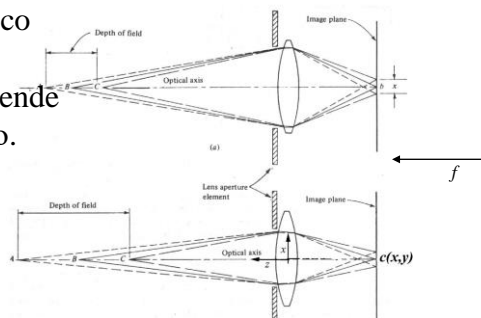


Messa a fuoco



Problema della messa a fuoco

La profondità di campo dipende dall'apertura dell'obiettivo.



Parametri di camera (o intrinseci – 3 parametri):

- Punto principale $c(x,y)$
- distanza focale (piano messa a fuoco), f

Occorre conoscere anche il fattore di forma dei pixel nel caso di immagini digitali (è una costante, non un parametro).

Distorsioni.

A.A. 2022-2023

8/48



Distorsioni



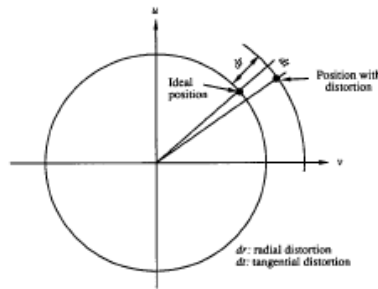
Distorsioni radiali.

Distorsioni tangenziali.

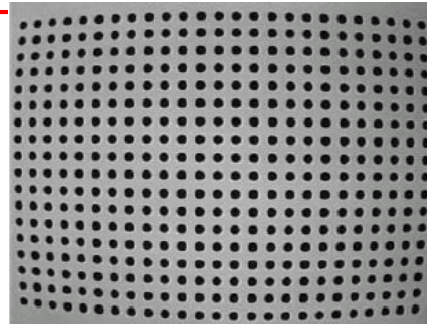
Shrinkage ($x' = \lambda x, y' = y$).

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

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




Esempi di Distorsioni




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

Le camere non sono metriche.



Distorsioni radiali

A cuscinetto



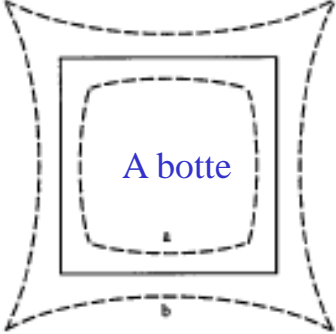
$dr(p) = k_0 r + k_1 r^3 + k_2 r^5 + \dots$

$r = |p - p_0|$

Rappresentazione polare (ρ, ϕ) :

$x = \rho \cos\phi$

$y = \rho \sin\phi$




$$dx(p) = k_0 x + k_1 x(x^2 + y^2) + O[(x,y)^4]$$


$$dy(p) = k_0 y + k_1 y(x^2 + y^2) + O[(x,y)^4]$$

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

A.A. 2022-2023
11/48



I modelli di distorsioni




Modelli parametrici


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)

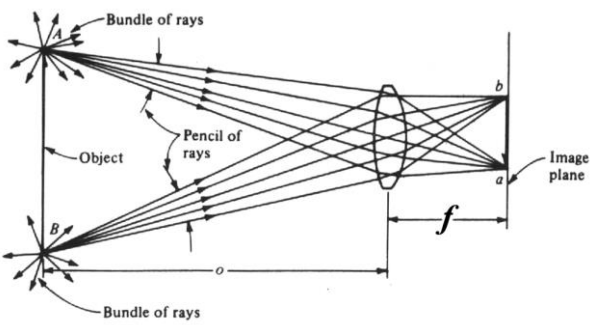
In alternativa: modelli **semi-parametrici** che fittano il campo di distorsione a partire da misure prese sul campo.

A.A. 2022-2023
12/48



Le distorsioni






$$dr(p) = k_0r + k_1r^3 + k_2r^5 + \dots \quad p_{\text{misurato}} = p + dr$$


Il punto a per effetto delle distorsioni viene misurato in una posizione $p_a + dr(p_a)$

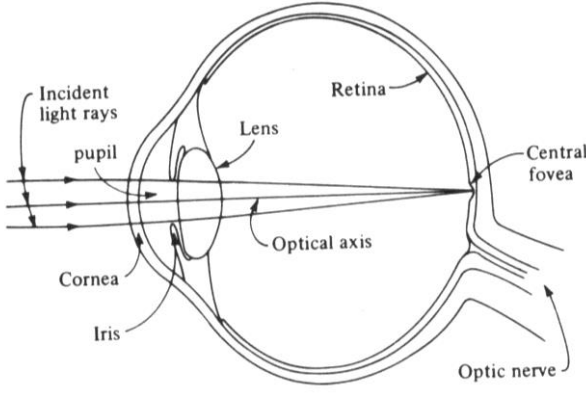
A.A. 2022-2023

13/48



L'occhio umano







Its behavior is very similar to that of a camera

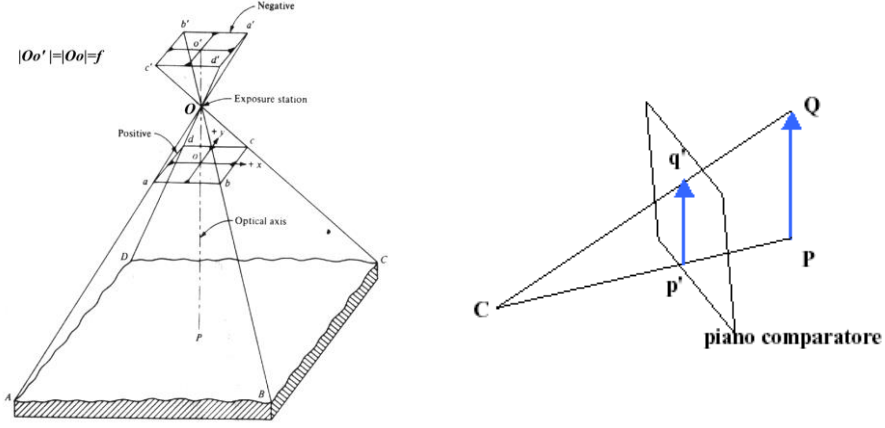
A.A. 2022-2023

14/48



Raddrizzamento dell'immagine







Si considera un piano posto davanti al centro di proiezione (si ottiene scendendo l'immagine dall'angolo a dx in basso). In digitale si ottiene iniziando a «contare» i pixel dal punto in alto a dx invece che in basso a sx.

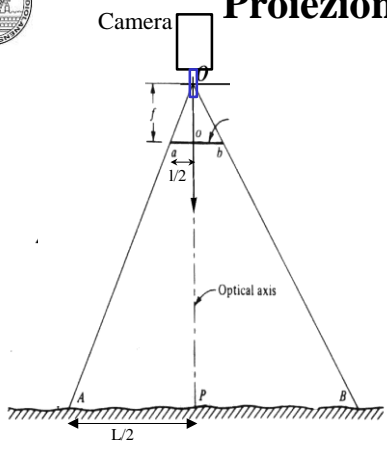
A.A. 2022-2023

15/48



Proiezione semplice






Per similitudine fra i triangoli aOo e AOP:

$Oo : OP = ao : AP$


E' una relazione tra enti geometrici, come facciamo a passare a una relazione algebrica?

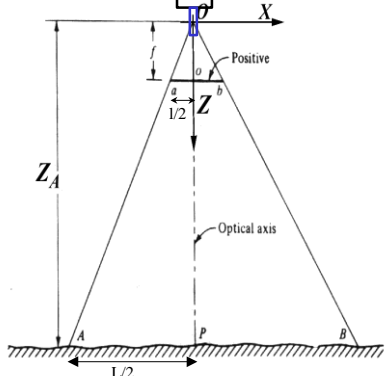
A.A. 2022-2023

16/48



Proiezione semplice

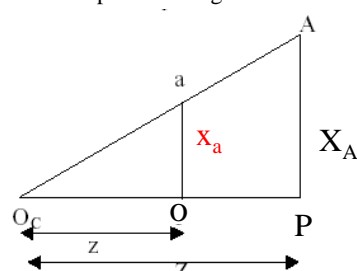




$P_A(X_A, Y_A, Z_A)$

co un sistema di riferimento Cartesiano.

coordinate misurate rispetto a un centro comune.
sono orientate come il piano immagine




Per similitudine fra i triangoli aOo e AOP:

Oo : OP = ao : AP
 $f : Z_A = x_a : X_A \rightarrow x_a = f X_A / Z_A$


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

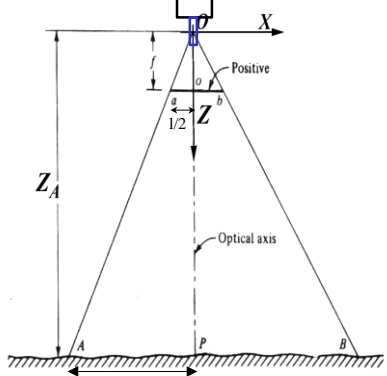
A.A. 2022-2023

17/48



Offset sull'immagine





Dimensione immagine

Dimensione pixel: 900 KB

Larghezza: 640 pixel

Altezza: 480 pixel

Dimensioni documento:

Larghezza: 5,42 cm

Altezza: 4,06 cm

Risoluzione: 300 pixel/pollice

Mantieni proporzioni

Ricampiona immagine: Bicubica

OK
Annulla
Auto...


Il punto principale non avrà coordinate $c(x_0, y_0)$

Dipende da 3 parametri: f, x_0, y_0 - **parametri interni**


$$a(x_a; y_a) \begin{cases} x_a - x_0 = f X_A / Z_A \\ y_a - y_0 = f Y_A / Z_A \end{cases}$$

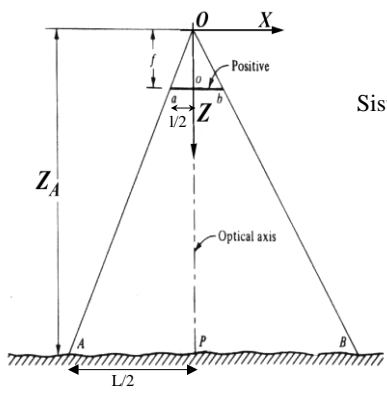
A.A. 2022-2023

18/48



Sistemi di riferimento






Sistema di riferimento opportuno per la camera


Gli oggetti virtuali possono essere definiti in un sistema di riferimento diverso, assoluto (e.g. sistema di riferimento del SW di modellazione)

A.A. 2022-2023

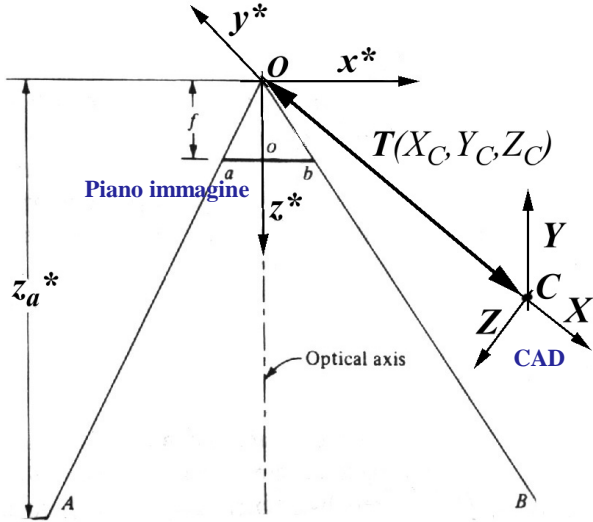
19/48



I parametri esterni



- **Traslazione:**
3 componenti:
 $T(X_C, Y_C, Z_C)$
- **Rotazione**
 $R_{3 \times 3}(\omega, \phi, k)$



A.A. 2022-2023

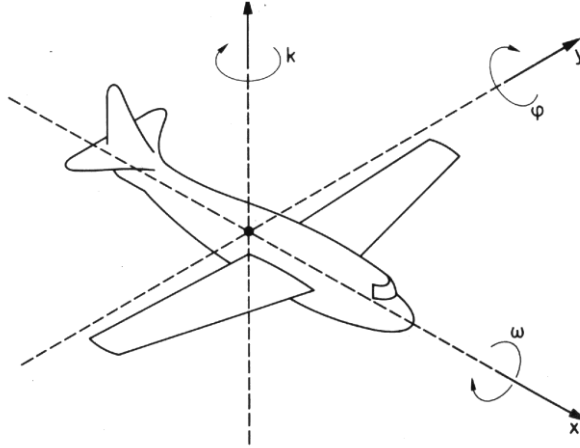
20/48



Angoli di orientamento nello spazio 3D



Modo generale: roll, pitch, e yaw. Sono 3 rotazioni sequenziali,
 (ω, ϕ, κ) : rollio, beccheggio e deriva. non commutative.



A.A. 2022-2023

21/48



Rototraslazione



$$\mathbf{P}^* = \mathbf{R} (\mathbf{P} - \mathbf{T})$$

$$X^* = r_{11}(X - X_C) + r_{12}(Y - Y_C) + r_{13}(Z - Z_C)$$

$$Y^* = r_{21}(X - X_C) + r_{22}(Y - Y_C) + r_{23}(Z - Z_C)$$


$$Z^* = r_{31}(X - X_C) + r_{32}(Y - Y_C) + r_{33}(Z - Z_C)$$

$$\begin{bmatrix} X^* \\ Y^* \\ Z^* \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & -(r_{11}T_x + r_{12}T_y + r_{13}T_z) \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & -(r_{21}T_x + r_{22}T_y + r_{23}T_z) \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & -(r_{31}T_x + r_{32}T_y + r_{33}T_z) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$


A.A. 2022-2023

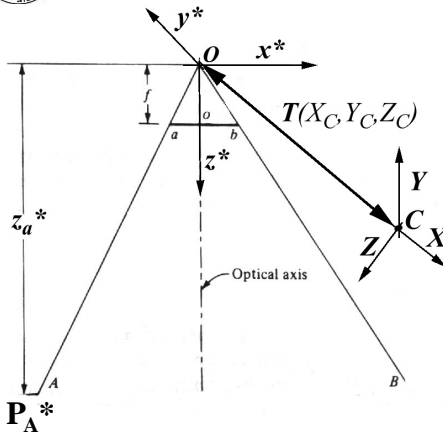
22/48

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



Dal 3D al 2D






1) Mi riconduco alla proiezione semplice


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

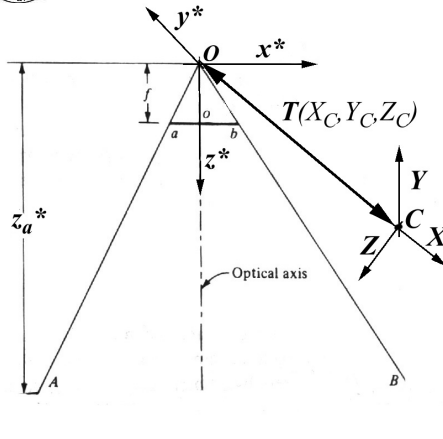
$$P(X_A, Y_A, Z_A) \Rightarrow P_A^*(X_A^*, Y_A^*, Z_A^*)$$

A.A. 2022-2023
23/48



Dal 3D al 2D






2) Implemento la proiezione semplice

$$a(x_a; y_a) \begin{cases} x_a - x_0 = f X_A^* / Z_A^* \\ y_a - y_0 = f Y_A^* / Z_A^* \end{cases}$$


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

La terza coordinata sul piano immagine, $z_a = f = \overline{oO}$

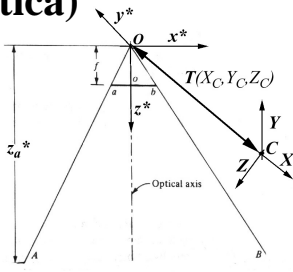
A.A. 2022-2023
24/48



Equazioni di collinearità (rappresentazione prospettica)



$$\begin{aligned} X^*_A &= r_{11}(X_A - X_C) + r_{12}(Y_A - Y_C) + r_{13}(Z_A - Z_C) \\ Y^*_A &= r_{21}(X_A - X_C) + r_{22}(Y_A - Y_C) + r_{23}(Z_A - Z_C) \\ Z^*_A &= r_{31}(X_A - X_C) + r_{32}(Y_A - Y_C) + r_{33}(Z_A - Z_C) \end{aligned}$$




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


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

Complessivamente 9 parametri. Equazioni non-lineari.

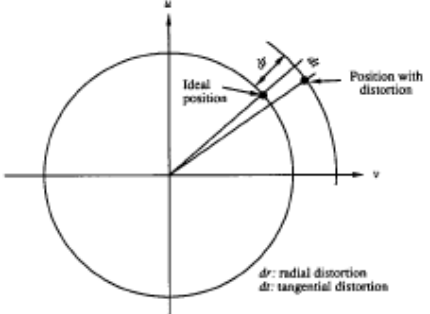
A.A. 2022-2023
25/48

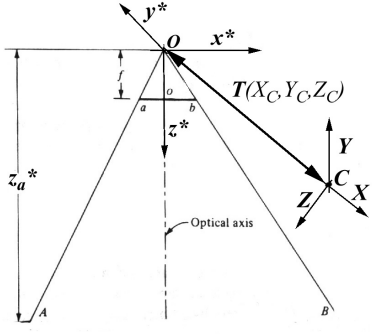



Modello reale della ripresa fotografica




$$\begin{aligned} x - x_o + f(x, y, x_o, y_o) &= f \frac{m_{11}(X - X_o) + m_{12}(Y - Y_o) + m_{13}(Z - Z_o)}{m_{31}(X - X_o) + m_{32}(Y - Y_o) + m_{33}(Z - Z_o)} \\ y - y_o + g(x, y, x_o, y_o) &= f \frac{m_{21}(X - X_o) + m_{22}(Y - Y_o) + m_{23}(Z - Z_o)}{m_{31}(X - X_o) + m_{32}(Y - Y_o) + m_{33}(Z - Z_o)} \end{aligned}$$







Tassonomia dei parametri



$P^3 \rightarrow P^2$ Interior parameters

$P^3 \rightarrow P^3$ Exterior parameters

$P^2 \rightarrow P^2_m$ Distortion parameters: $g_1, g_2, g_3, g_4, k_1, \dots$
 $(f(x,y,x_0,y_0); g(x,y,x_0,y_0))$

Focal length, f

Principal point (x_0, y_0)


Orientation (ω, ϕ, κ)

Position (X_0, Y_0, Z_0)


$$x - x_0 + f(x, y, x_0, y_0) = f \cdot \frac{m_{11}(X - X_0) + m_{21}(Y - Y_0) + m_{31}(Z - Z_0)}{m_{13}(X - X_0) + m_{23}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)}$$

$$y - y_0 + g(x, y, x_0, y_0) = f \cdot \frac{m_{12}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) + m_{32}(Z - Z_0)}{m_{13}(X - X_0) + m_{23}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)}$$

A.A. 2022-2023
27/48



Notazione matriciale



$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} f & 0 & x_0 \\ 0 & f & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ Trasformazione
mediante scala (f) e
traslazione (x_0, y_0)

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

Roto-traslazione

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

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

Che forma ha H?

Che dimensioni?

A.A. 2022-2023
28/48



Notazione matriciale



$$\mathbf{p} = (\mathbf{KMA}) \mathbf{P} = \mathbf{H} \mathbf{P}$$

$$\mathbf{MA} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{R} & -\mathbf{RT} \\ \mathbf{0} & 1 \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & -m_{11}T_x - m_{12}T_y - m_{13}T_z \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & -m_{21}T_x - m_{22}T_y - m_{23}T_z \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & -m_{31}T_x - m_{32}T_y - m_{33}T_z \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{KMA} = \begin{bmatrix} f & 0 & x_0 \\ 0 & f & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & -m_{11}T_x - m_{12}T_y - m_{13}T_z \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & -m_{21}T_x - m_{22}T_y - m_{23}T_z \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & -m_{31}T_x - m_{32}T_y - m_{33}T_z \end{bmatrix} =$$

A.A. 2022-2023

29/48



Proiezione in coordinate omogenee



$$\mathbf{P}^* = \mathbf{MA} \mathbf{P} = \begin{cases} m_{11}(X - X_0) + m_{12}(Y - Y_0) + m_{13}(Z - Z_0) \\ m_{21}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) + m_{23}(Z - Z_0) \\ m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0) \end{cases} \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{R} & -\mathbf{RT} \\ \mathbf{0} & 1 \end{bmatrix}$$


$$\begin{bmatrix} x_{omogene} \\ y_{omogene} \\ w_{omogene} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & x_0 \\ 0 & f & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \mathbf{P} = \begin{bmatrix} fX^* + x_0Z^* \\ fY^* + y_0Z^* \\ Z^* \end{bmatrix}$$

Dividendo per la terza coordianata, $w_{omogenee}$.


$$\begin{bmatrix} x_{cartesiana} \\ y_{cartesiana} \\ w = 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} fX^*/Z^* + x_0 \\ fY^*/Z^* + y_0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

A.A. 2022-2023

30/48




Sommarrio




- La trasformazione proiettiva
- **Calibrazione**

A.A. 2022-2023

31/48



Calibrazione, Proiezione e Ricostruzione



$$x - x_0 + f(x, y, x_0, y_0) = -f \cdot \frac{m_{11}(X - X_0) + m_{21}(Y - Y_0) + m_{31}(Z - Z_0)}{m_{13}(X - X_0) + m_{23}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)}$$

$$y - y_0 + g(x, y, x_0, y_0) = -f \cdot \frac{m_{12}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) + m_{32}(Z - Z_0)}{m_{13}(X - X_0) + m_{23}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)}$$

3 attori:

A) I punti nello spazio 3D: $\{\mathbf{P}(X, Y, Z)\}$

B) I punti misurati sul piano immagine $\{\mathbf{p}(x, y, f)\}$

C) I parametri $\{X_C, Y_C, Z_C, m_{ij}(\omega, \phi, k), f, x_0, y_0, \{ap_x\}, \{ap_y\}\}$

3 problemi:

A) + B) \rightarrow C) Determinazione dei parametri del modello proiettivo (calibrazione).

B) + C) \rightarrow A) Ricostruzione (ray intersection, VR).

A) + C) \rightarrow B) Proiezione (augmented reality).

A.A. 2022-2023

32/48




Augmented reality at work (proiezione)





A.A. 2022-2023

33/48



Le operazioni richieste



- Posiziono l'oggetto virtuale nella scena reale manualmente
 - Definisco la sua posizione e orientamento
 - Definisco la sua grandezza (proiezione)

- Applico all'oggetto virtuale la stessa rototraslazione della camera
 - Calcolo la rototraslazione della camera a ogni frame (dallo spostamento di un insieme di punti identificati nella scena attraverso marker virtuali o reali)
 - Applico la stessa rototraslazione all'oggetto virtuale (aggiorno la roto-traslazione della camera rispetto all'oggetto virtuale)

A.A. 2022-2023

34/48

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



Il problema della calibrazione



We do not constraint cameras position.

Cameras have to be positioned to get the best volume coverage (every feature should be surveyed by at least two cameras) and to **view the volume of interest!**

Set-up requires:

- Cameras position and orientation (exterior parameters)
- Focusing (and possibly choice of a proper lens, interior parameters)
- Lens opening

Not all the cameras should view the same volume region.

**Optimal set-up may require some time
and/or
Multiple cameras are used.**



In che cosa consiste la calibrazione



Determinazione dei parametri o di un loro sottoinsieme.

Determinazione dei parametri della trasformazione prospettica:

- **Parametri esterni:** $X_C, Y_C, Z_C, m_{ij}(\omega, \phi, k)$.
- Parametri interni: x_o, y_o, f .
- Parametri di distorsione (o parametri aggiuntivi): $g_1, g_2, g_3, g_4, k_1,$
.....

Calibrazione dei parametri esterni può essere fatta separatamente dai parametri interni e/o di distorsione.



Perchè calibrare?



- Per ottenere misure e ricostruzione **precise** degli oggetti.
- Per ricavare i parametri corretti della camera (focale, punto principale).
- Per rimuovere gli effetti della **distorsione** delle lenti (errori sistematici).
- Molto praticata in fotogrammetria / ridotta al minimo in computer vision.
- Per proiettare oggetti virtuali su camere.



Calibrations



2D calibration (camera calibration, estimate of interior parameters).

3D calibration (estimate of the exterior parameters).

Metodi:

- Scacchiere (Zhang et al., Software in Matlab e OpenCV)
- Barra rigida con 2 marker (Borghese e Cerveri, 2000; utilizzata nei sistemi di Mocap; e.g. nello SMART-3D).
- Griglie 3D (non più utilizzato, Borghese et al., 1990)

Metodi ibridi:

- **Structure from Motion (SfM)**, **SLAM** (Simultaneous Localization and Mapping), vengono ricostruite le coordinate 3D dei punti, stimati i parametri interni e determinato il movimento. Molto utilizzata in robotica.

Algoritmi:

- DLT (Direct Linear Transform -> da 9 parametri, si passa a 12 in un sistema lineare).
- Bundle adjustment. Stima iterativa dei parametri.



2D Camera Calibration (determinazione dei parametri interni)



On the bench – surveying a regular grid of fiducial points (→ camere metriche – mappatura tra incroci di una griglia regolare e la loro misura sul piano immagine)

Off the bench (on the field) – distortion parameters are estimated with the geometrical parameters of the set-up (external + other internal parameters).



A.A. 2022-2023

39/48



Calibrazione 3D con punti in posizione nota



- Pattern (3D) di punti in posizione nota (test field).
- Misurazione dei punti.
- Determinazione dei parametri.

Per ciascun punto ho 2 equazioni di collinearità.

Ho 9 + D parametri aggiuntivi.


Ho bisogno di $(9 + D) / 2$ punti di controllo (ogni punto di controllo -> 2 equazioni).

$$x - x_0 + f(x, y, x_0, y_0) = f \cdot \frac{m_{11}(X - X_0) + m_{21}(Y - Y_0) + m_{31}(Z - Z_0)}{m_{13}(X - X_0) + m_{23}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)}$$

$$y - y_0 + g(x, y, x_0, y_0) = f \cdot \frac{m_{12}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) + m_{32}(Z - Z_0)}{m_{13}(X - X_0) + m_{23}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)}$$

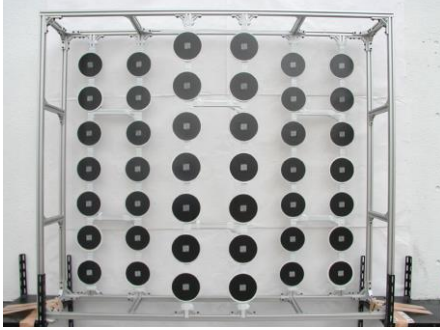
A.A. 2022-2023


40/48

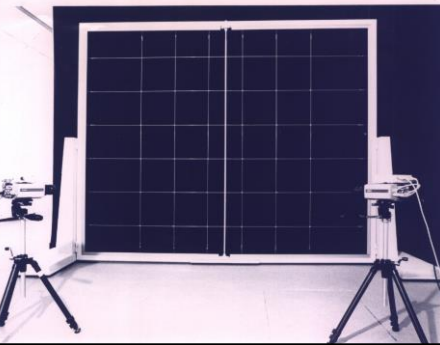



Test field (Known control points)

3D structures, which carry the control points are required. They should cover the working volume.











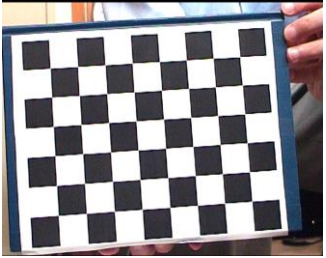
41/48

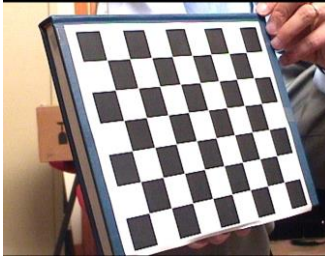
A.A

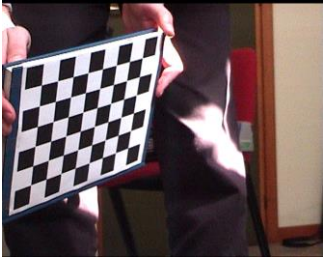


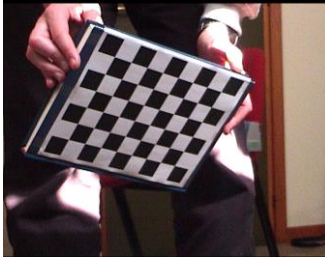
Calibration through a chessboard











Estimated Parameters.


Distortions
Internal
External

<http://www.intel.com/research/mrl/research/opencv/>


Also suite in Matlab

A.A. 2022-2023

42/48


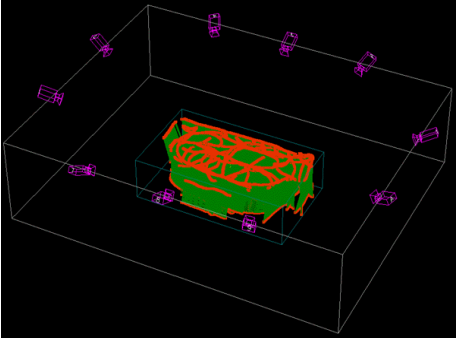


Wand Calibration



2 steps:


- Establish external reference system (and initialize estimate)
- “Refinement”: estimate of the parameters.


Wand itself can give a preferential reference system (and it can be used to recover the scale factor, video).

A.A. 2022-2023

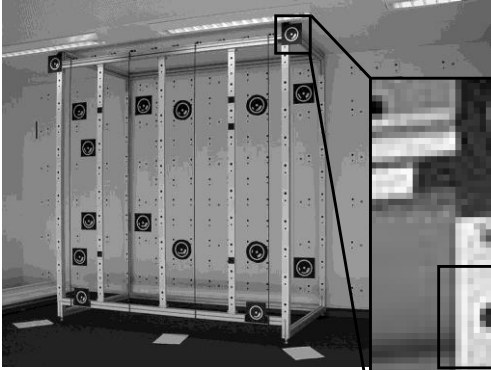

43/48

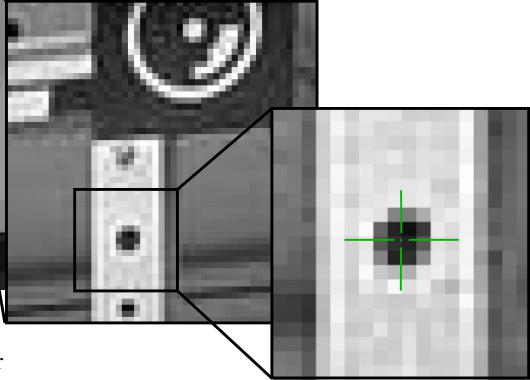


Misurazione manuale dei punti di controllo



Coded target







Misure con mouse/cursore sul monitor
 Precisione: 1/4 - 1/8 Pixel

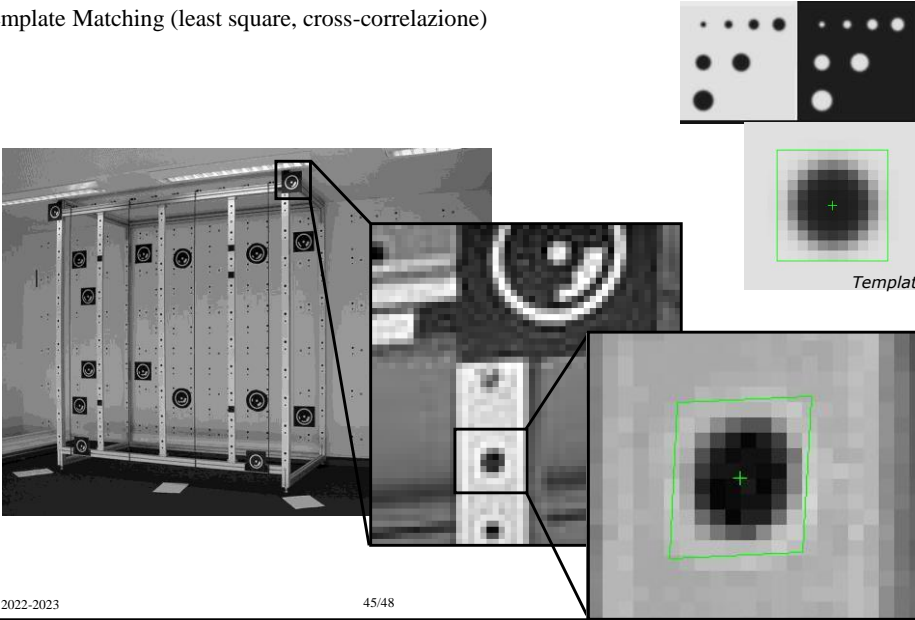
A.A. 2022-2023

44/48




Misurazione automatica dei control points

Template Matching (least square, cross-correlazione)



A.A. 2022-2023 45/48



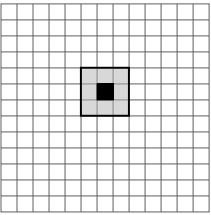
Cross-correlazione

Calcolo il coefficiente di correlazione piu' alto all'interno di una finestra di ricerca

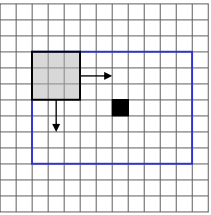
$$\gamma(x, y) = \frac{\sigma_{LR}}{\sigma_L \sigma_R}$$


$$\sigma_L = \sqrt{\frac{\sum_i \sum_j (g_L(x_i, y_j) - \bar{g}_L)^2}{mn-1}} \quad \sigma_R = \sqrt{\frac{\sum_i \sum_j (g_R(x_i, y_j) - \bar{g}_R)^2}{mn-1}} \quad \sigma_{LR} = \frac{\sum_i \sum_j ((g_L(x_i, y_j) - \bar{g}_L)(g_R(x_i, y_j) - \bar{g}_R))}{nm-1}$$


finestra di correlazione




finestra di ricerca




 Conjugate pixels

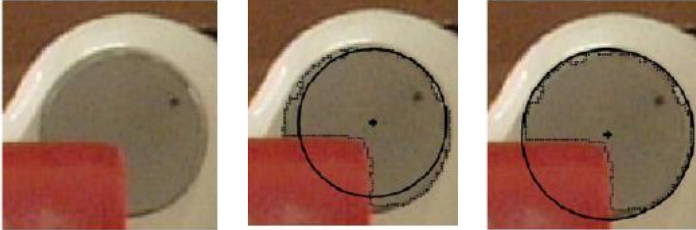
 Search window

A.A. 2022-2023 46/48



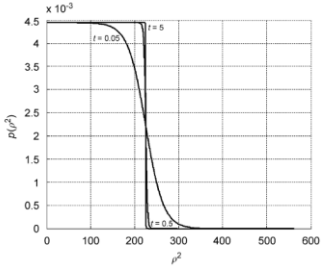
Approccio statistico al circle fitting






Frosio, Borghese – Pattern Recognition - 2008


$$L(\mathbf{p}_C, R_C) = \prod_{i=1}^N p(\rho_i^2, R_C).$$



A.A. 2022-2023
47/48



Sommarrio



- La trasformazione proiettiva
- Calibrazione

A.A. 2022-2023
48/48