

Progettazione di sistemi di controllo

Docente: Prof. Luca Schenato

Studenti: Bristot Francesca
Pattarello Marco
Schmiedhofer Klaus



Titolo:

DEPARTMENT OF
INFORMATION
ENGINEERING
UNIVERSITY OF PADOVA



Autocalibrazione distribuita di videocamere fisse con vincoli di comunicazione dove una frazione di telecamere e calibrata

Introduzione

SCOPO:

Trovare la posizione delle N videocamere di una rete di sorveglianza sapendo che solo $n \ll N$ sono calibrate.

DATI:

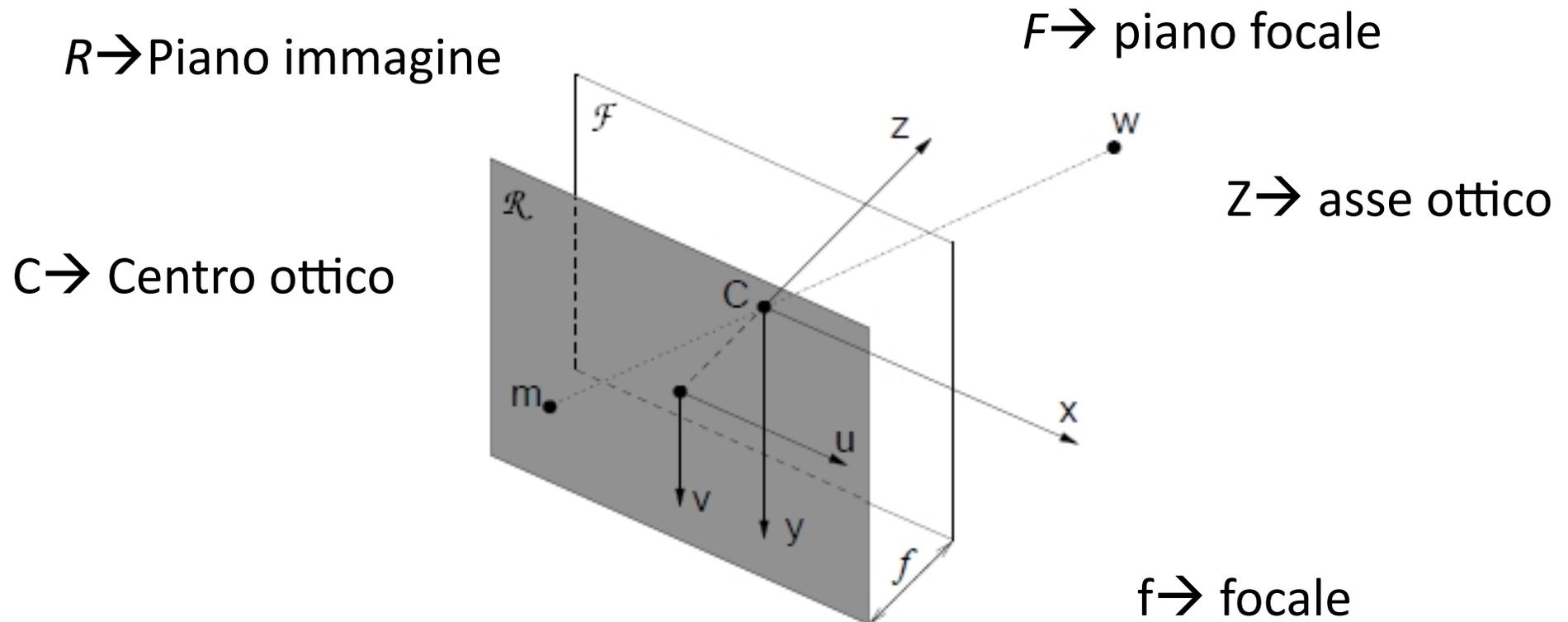
Parametri interni delle videocamere.

PERCHE':

La calibrazione “manuale” richiede troppo tempo e risorse.

Teoria base

Modello Pin-hole



Matrice di proiezione

m= punto piano immagine \longrightarrow m=PM
M= punto 'mondo'

Matrice di proiezione:

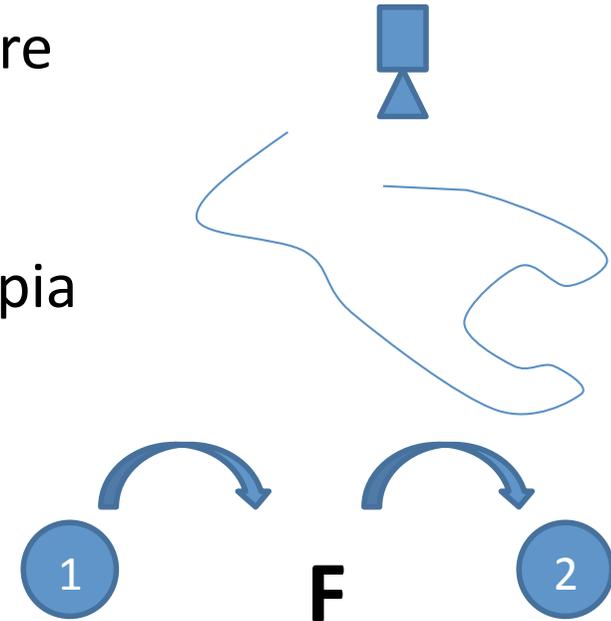
$$P=K[I \ 0]G$$

$$G = \begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{t} \\ \mathbf{0} & 1 \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} -fk_u & 0 & u_0 \\ 0 & -fk_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Metodo

- 1) Traiettoria casuale davanti alle videocamere
RACCOLTA FRAME DALLA RETE
- 2) Calcolo matrici fondamentali per ogni coppia
CALCOLO BASELINE E DISTANZE
- 3) Trovo il cammino minimo
GRAFO PESATO, CAMMINO MINIMO
- 4) Ricalibro la rete
DIMINUZIONE DELL'ERRORE



Matrice F

DATE min 8
corrispondenze
 $m_1 \rightarrow m_2$

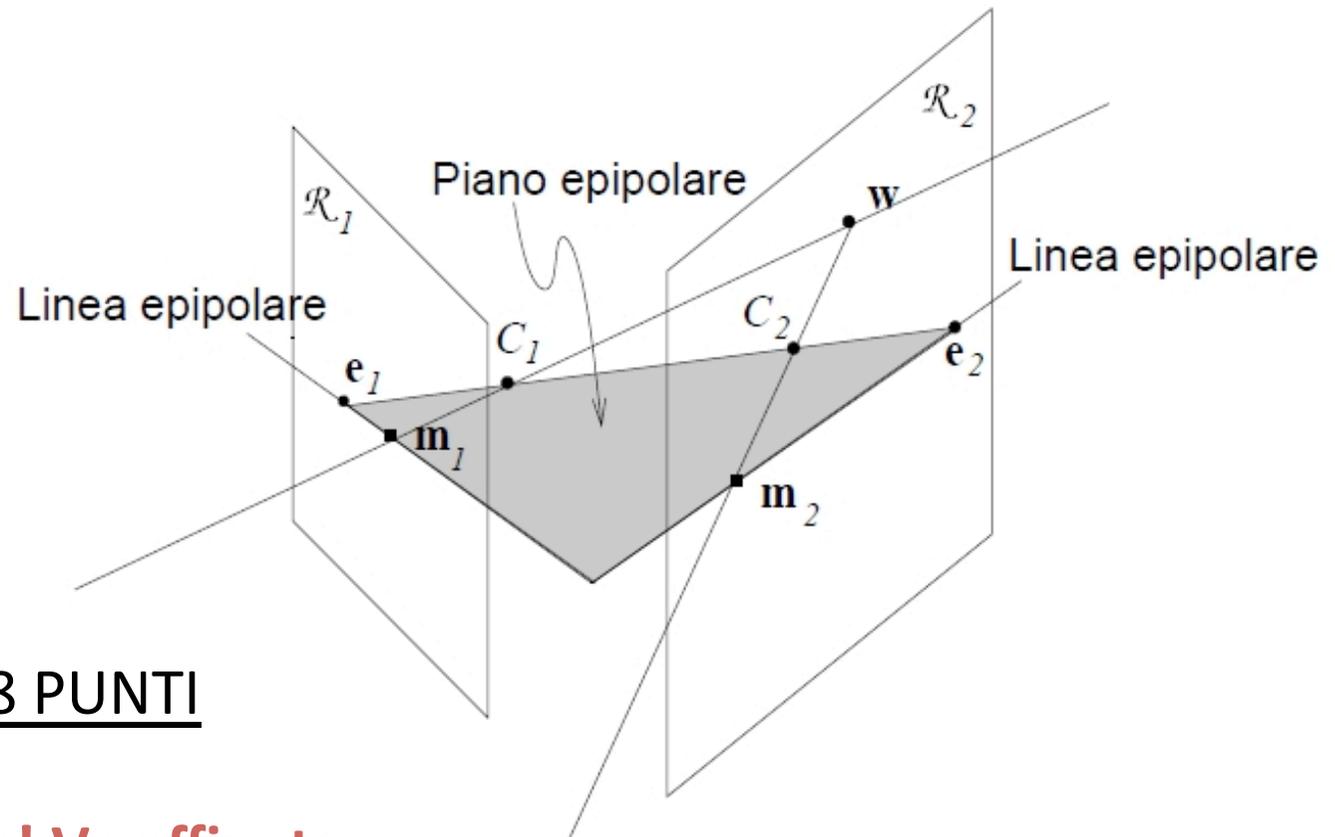
TROVO F tale
che:

$$\tilde{m}_2^T F \tilde{m}_1 = 0$$



ALGORITMO DEGLI 8 PUNTI

N.B. F non precisa! Va affinata.



Funzione di costo

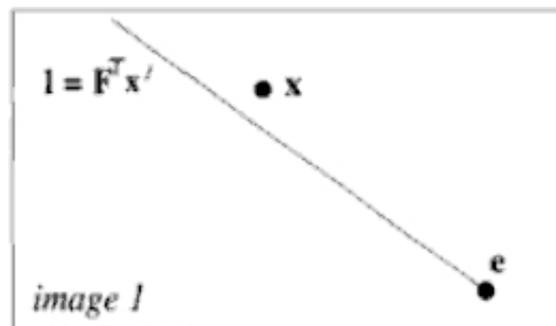
$$\mathcal{C}(\mathbf{x}, \mathbf{x}') = d(\mathbf{x}_i, \hat{\mathbf{x}}_i)^2 + d(\mathbf{x}'_i, \hat{\mathbf{x}}'_i)^2 \rightarrow \hat{\mathbf{x}}'^T \mathbf{F} \hat{\mathbf{x}} = 0$$

STIMA DI MASSIMA VEROSIMIGLIANZA DI F

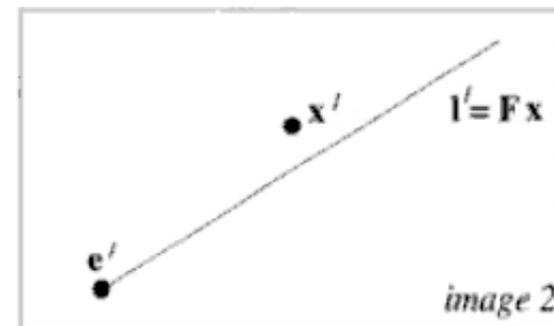


Si usa il metodo Gold Standard

Si minimizza una distanza geometrica, l'errore di riproiezione



b



Matrice essenziale

$$E = K_2^T F K_1$$

Fattorizzazione SVD

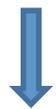


$E=SR$

$$S = \det(UV^T) U S' U^T$$

$$R = \det(UV^T) U R' V^T$$

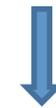
$$S = [t]_{\times}$$



Traslazione

A meno di un
fattore di scala

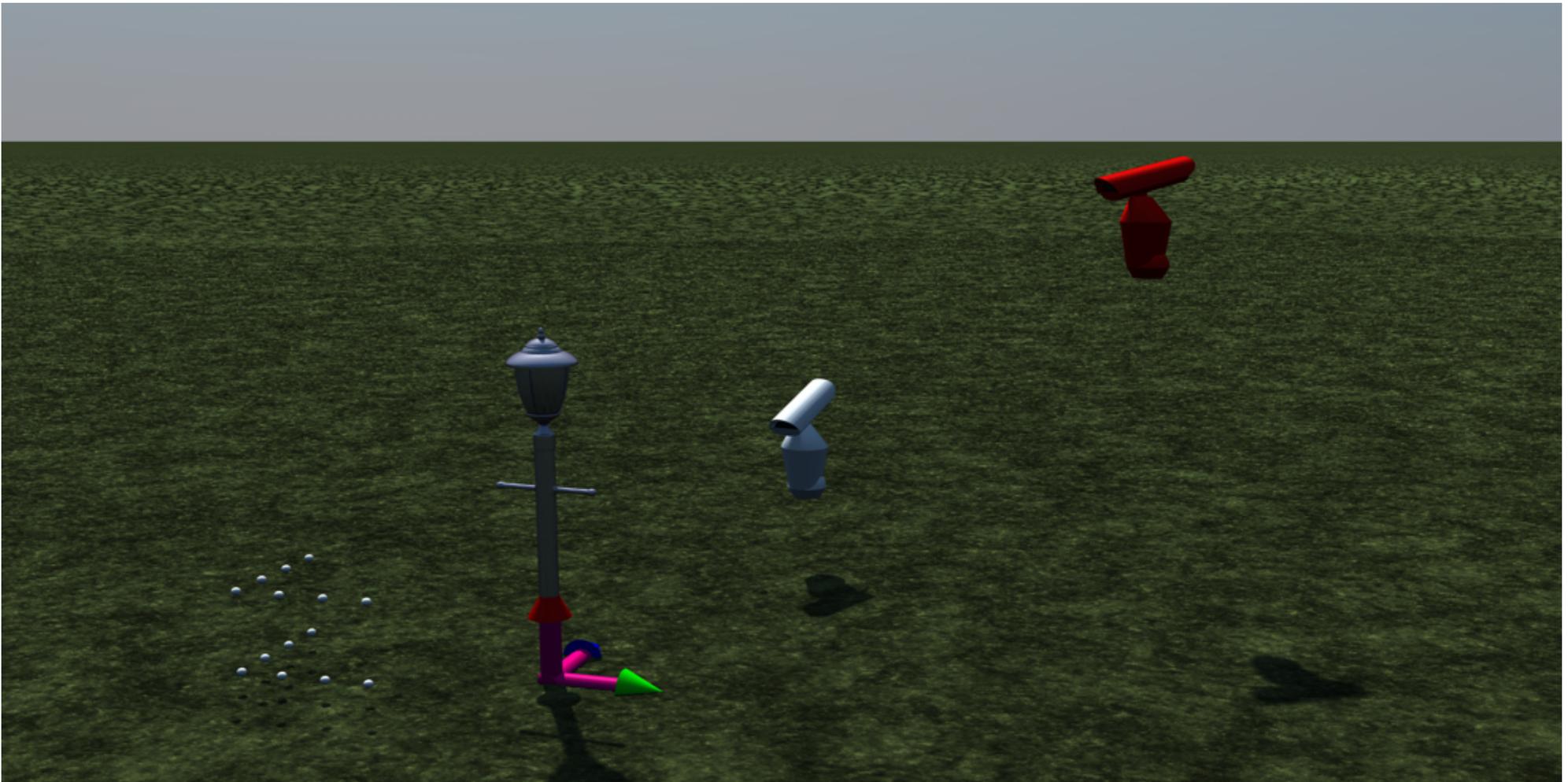
R



Rotazione

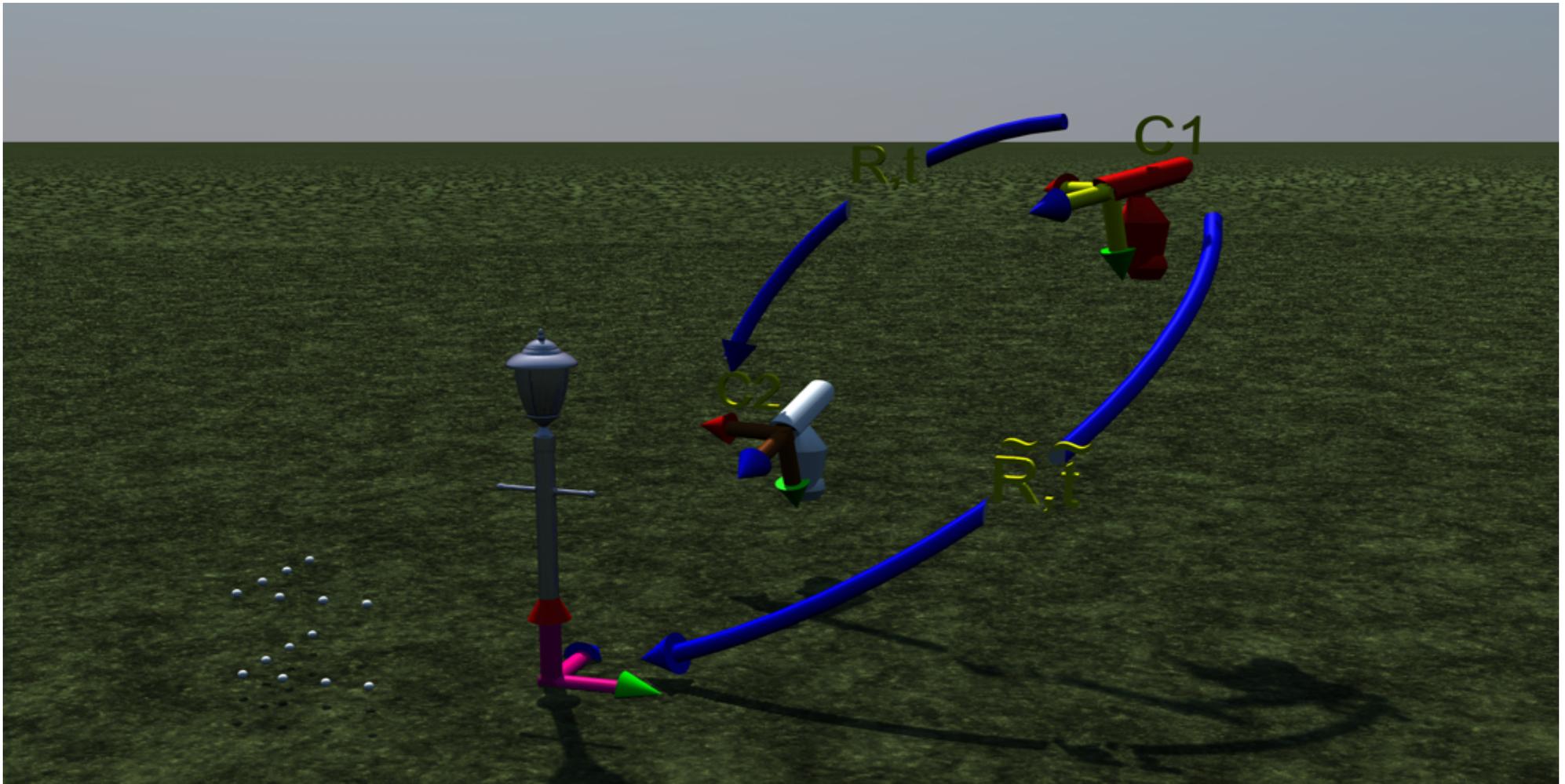
Problema di base:

Quanto distanti sono le telecamere tra di loro?



Problema di base:

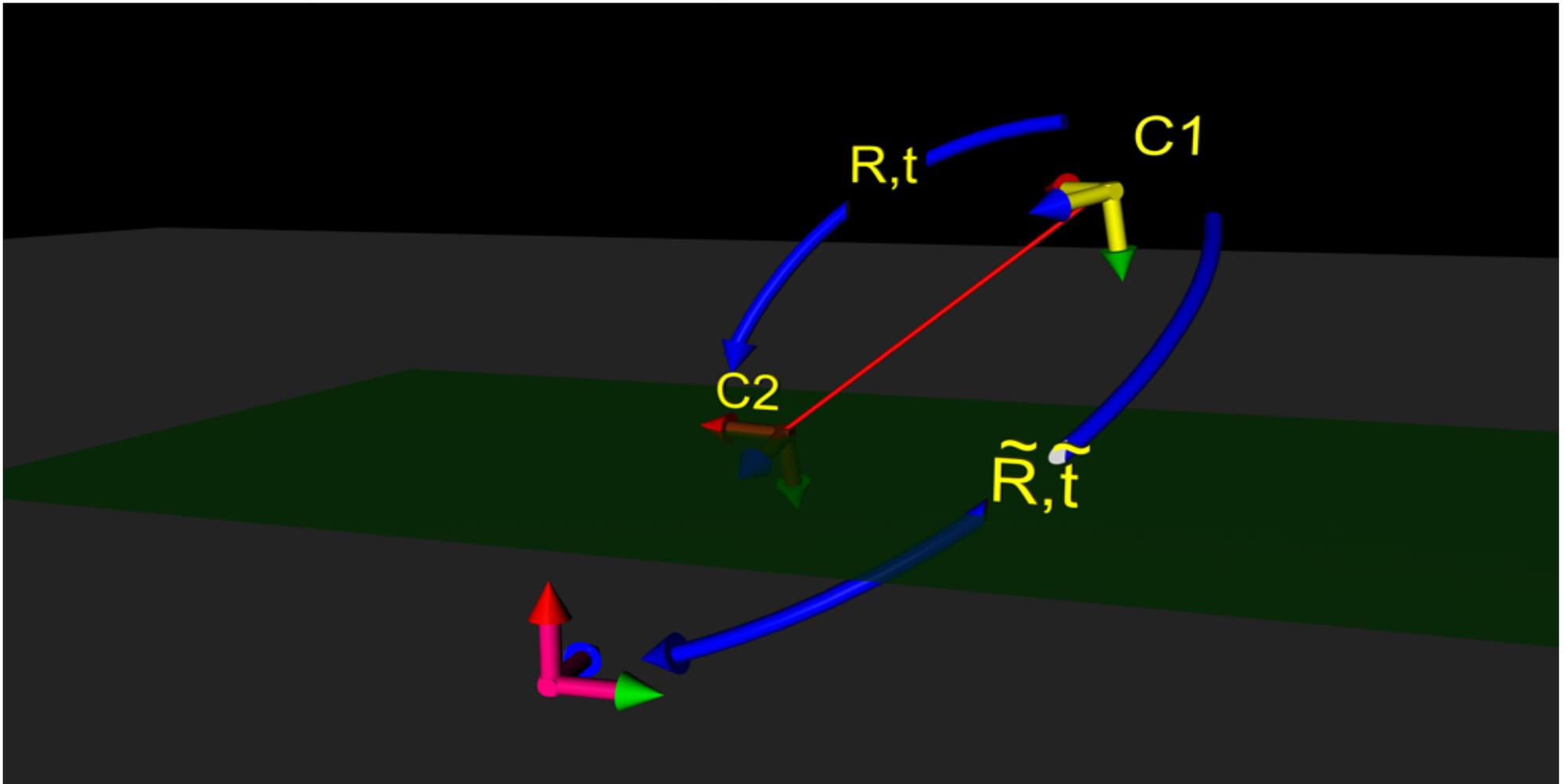
L'algoritmo DLT e quello degli 8 punti porta a conoscere le seguenti matrici



Semplifichiamo ulteriormente il problema....

Calcolo baseline:

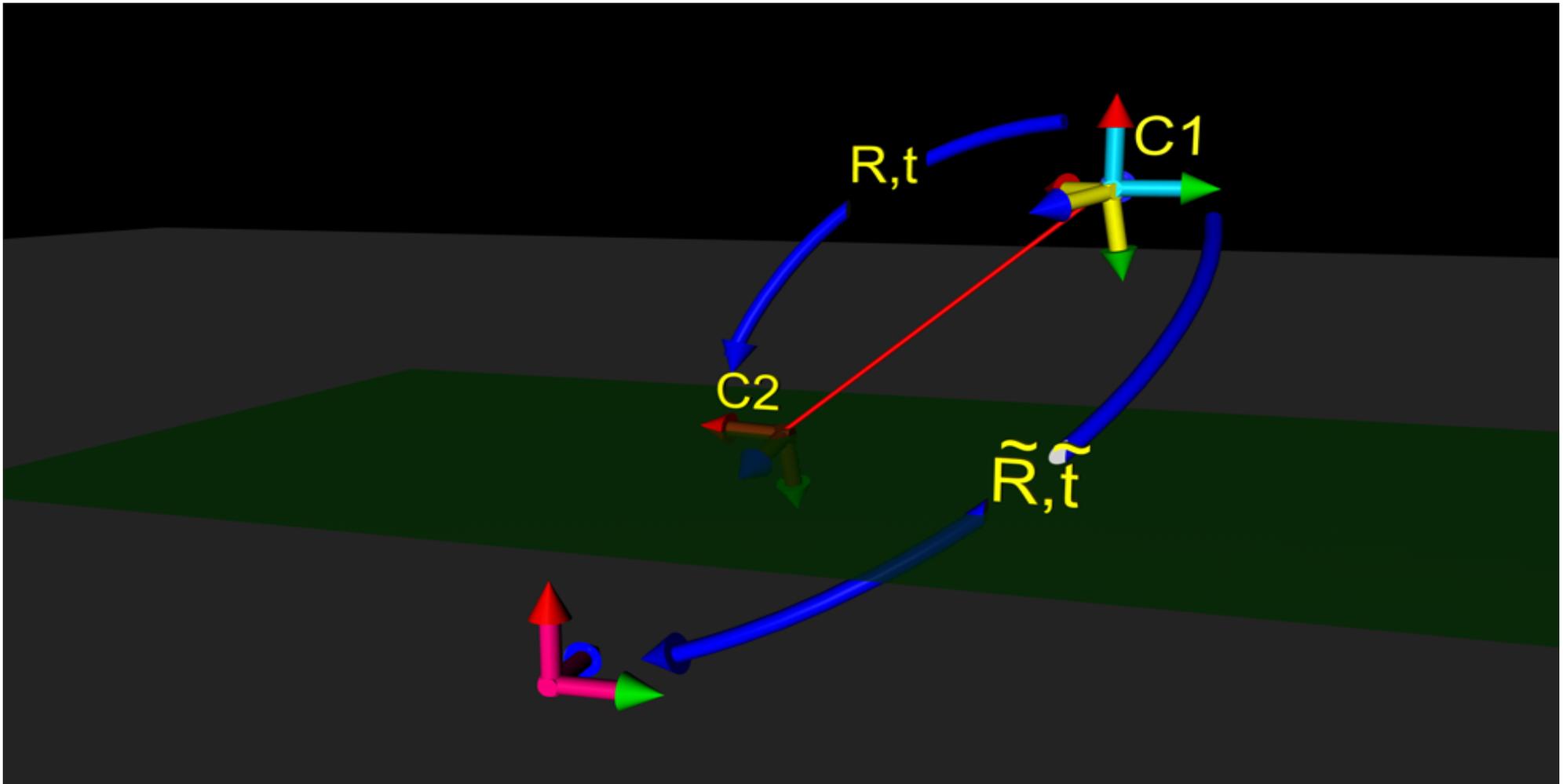
Si tratta dunque di trovare la lunghezza della retta rossa, detta baseline.



Troviamo un riferimento intelligente....

Calcolo baseline:

Il sistema di riferimento utilizzato è evidenziato in azzurro



Equazioni retta e piano:

Rispetto al nuovo riferimento l'equazione del piano diventa:

X = -differenza tra altezze delle telecamere = -diff

Per l'equazione della retta si ha invece bisogno di conoscere:

- Il punto in cui passa è $C_1 = [0, 0, 0]^T$
- il vettore direzionale della retta rappresentato nel sistema di riferimento azzurro è dato da:

$$V = \tilde{R} \begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{t} \\ \mathbf{0} & 1 \end{bmatrix}^{-1} C_2 = \tilde{R} \begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{t} \\ \mathbf{0} & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Dove C_2 è rappresentato rispetto al sistema di riferimento solidale alla seconda telecamera ed è noto a meno di un fattore di scala

Sistema:

Mettendo a sistema si ottiene il punto $C2=[X,Y,Z]^T$ rispetto al **nuovo sistema di riferimento**

$$\begin{cases} X = -diff & \text{piano} \\ -v_y v_x^{-1} X + Y = 0 & \text{baseline} \\ -v_z v_x^{-1} X + Z = 0 \end{cases}$$

Pertanto il fattore di scala si calcola come

$$\text{Fattore di scala} := \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$$

Altezze:

Le altezze nelle telecamere sono ricavate dalla seguente formula:

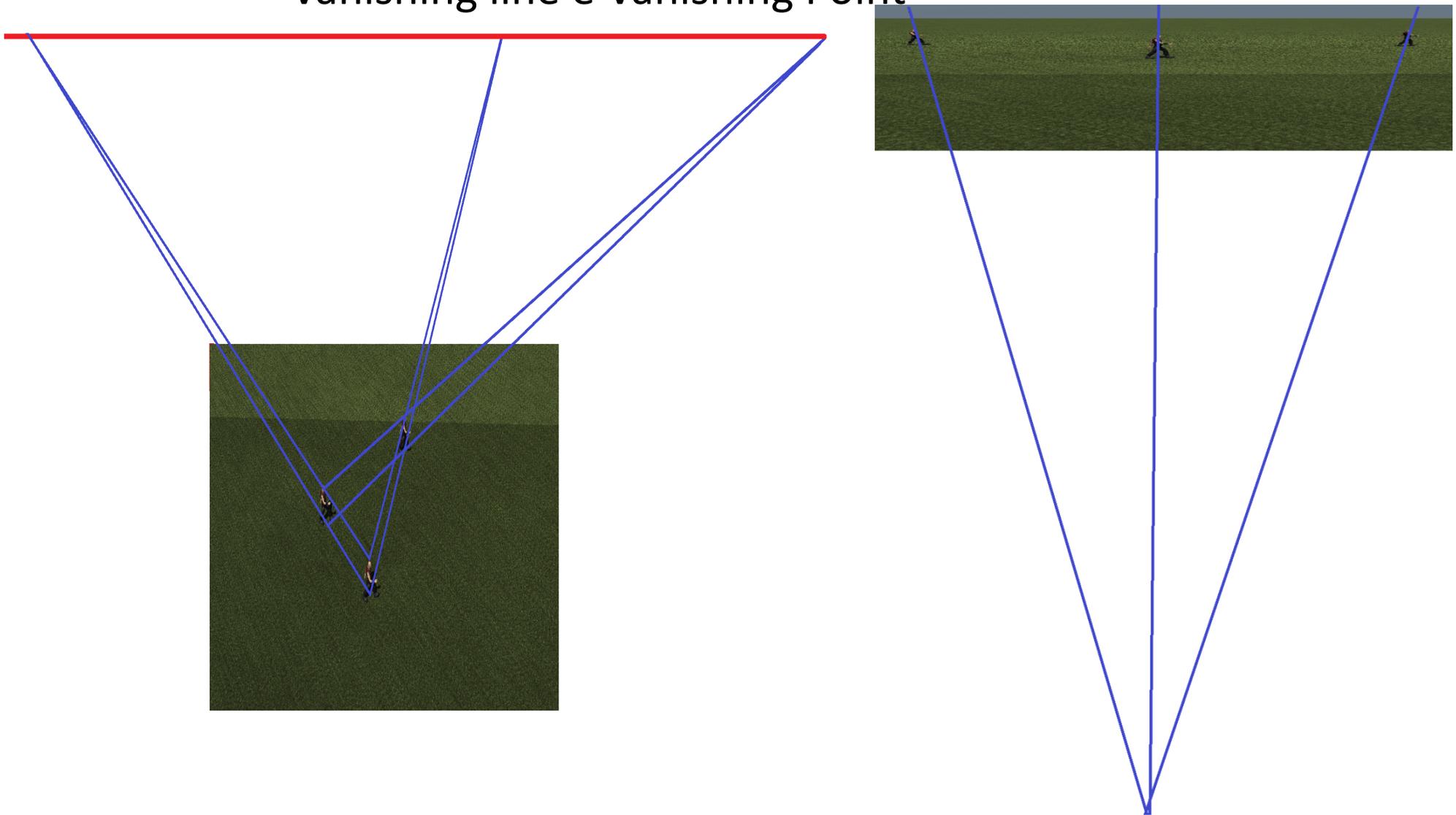
$$\mathbf{H} = \mathbf{I} - \frac{h \mathbf{v}^\infty (\mathbf{l}^\infty)^T}{z (\mathbf{v}^\infty)^T \mathbf{l}^\infty}$$

Dove:

- \mathbf{H} omologia tra il piano testa e il piano dei piedi
- \mathbf{l}^∞ è la vanishing line
- \mathbf{v}^∞ è il vanishing point
- h altezza operatore
- z altezza telecamera

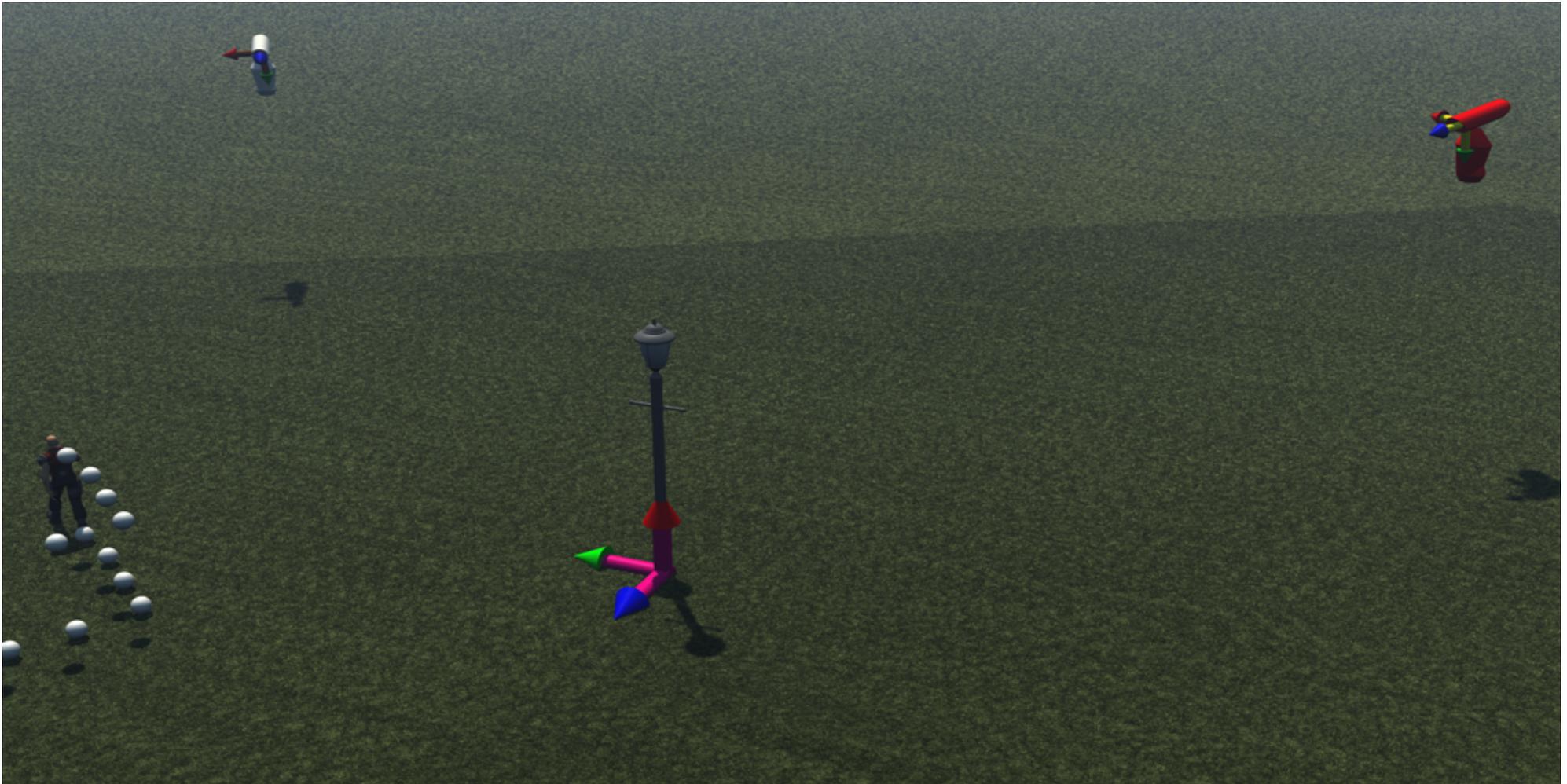
Calcolo altezze:

Vanishing line e Vanishing Point



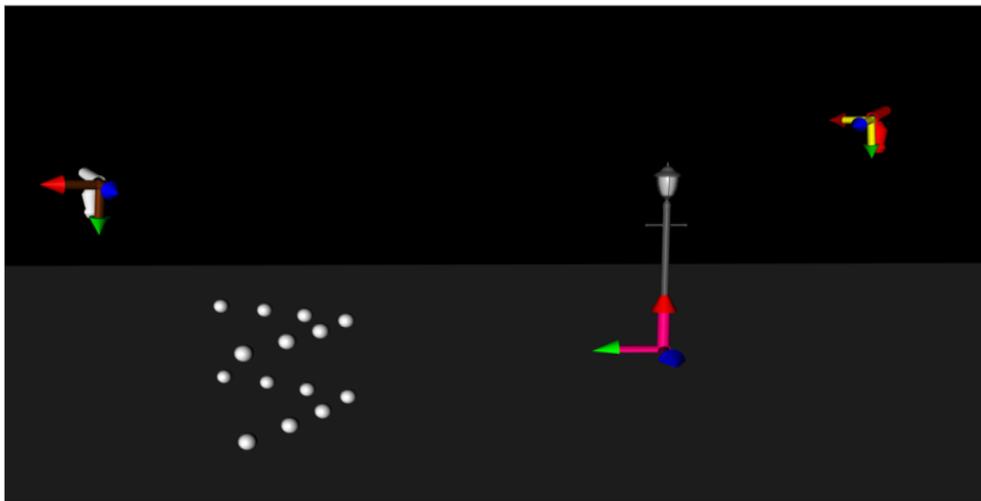
Prima calibrazione:

DEPARTMENT OF
INFORMATION
ENGINEERING
UNIVERSITY OF PADOVA



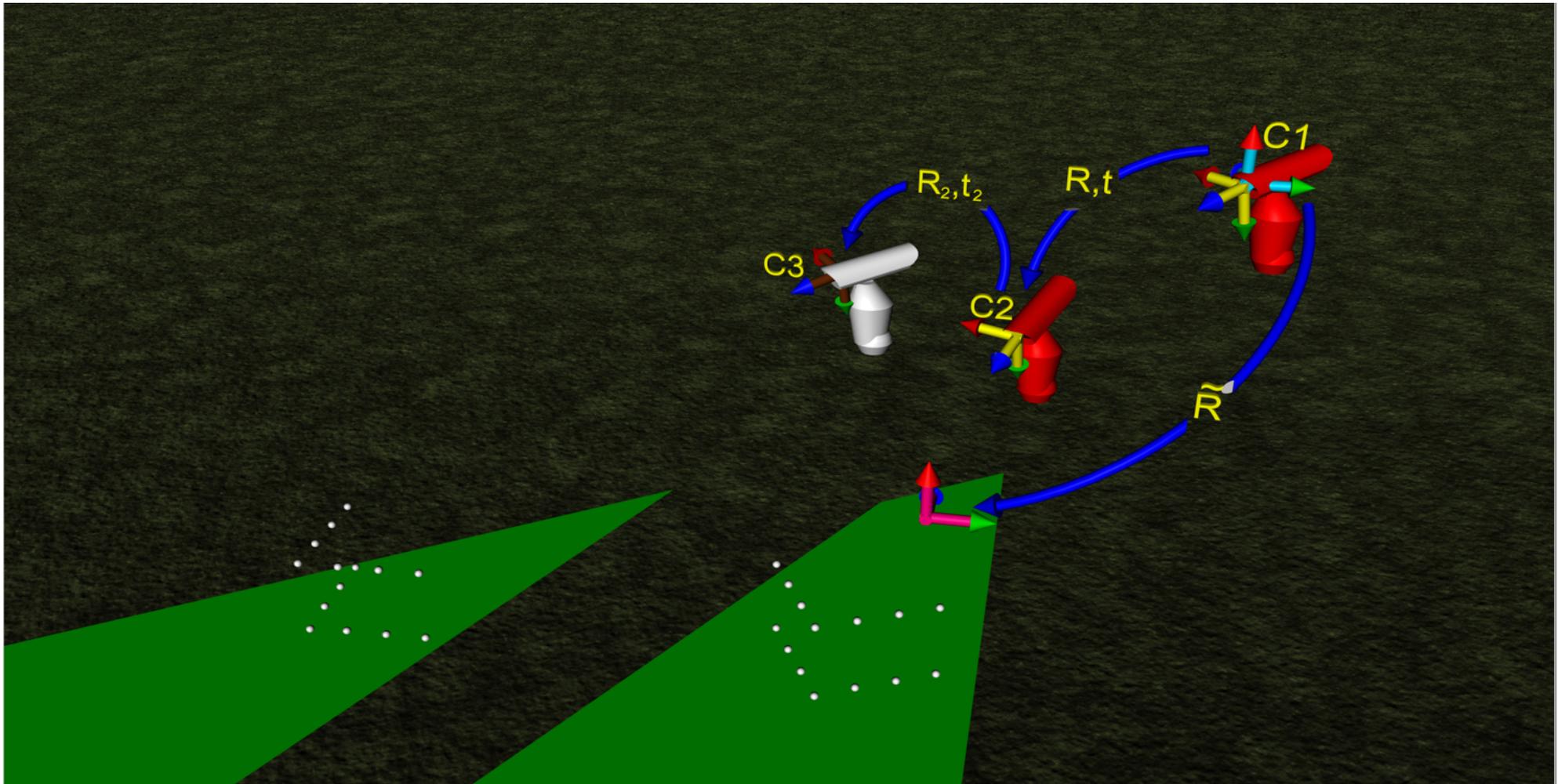
Calibrazione Stereo:

Trasformata di Hough



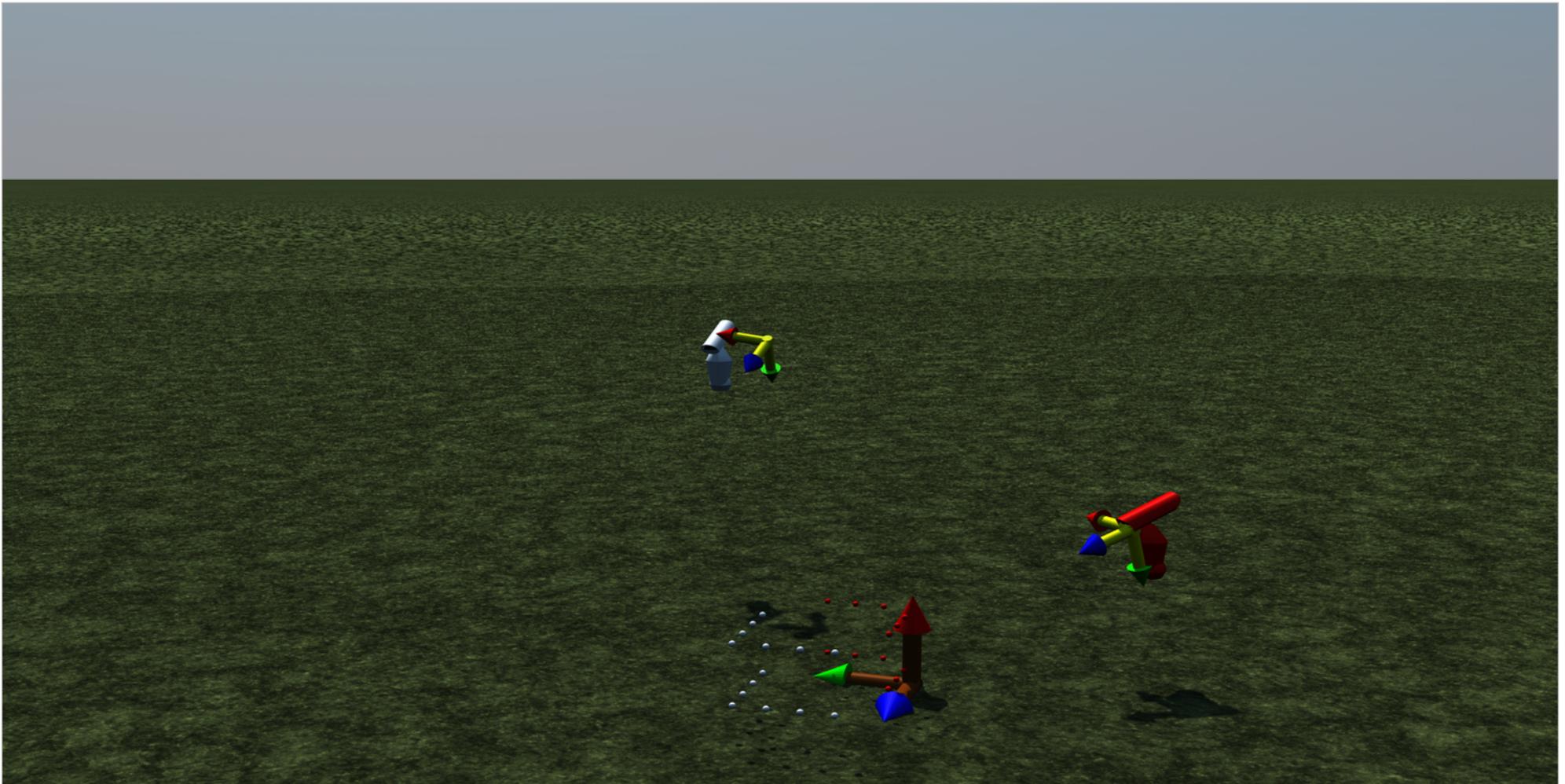
Calibrazione della rete:

La calibrazione viene eseguita in maniera incrementale



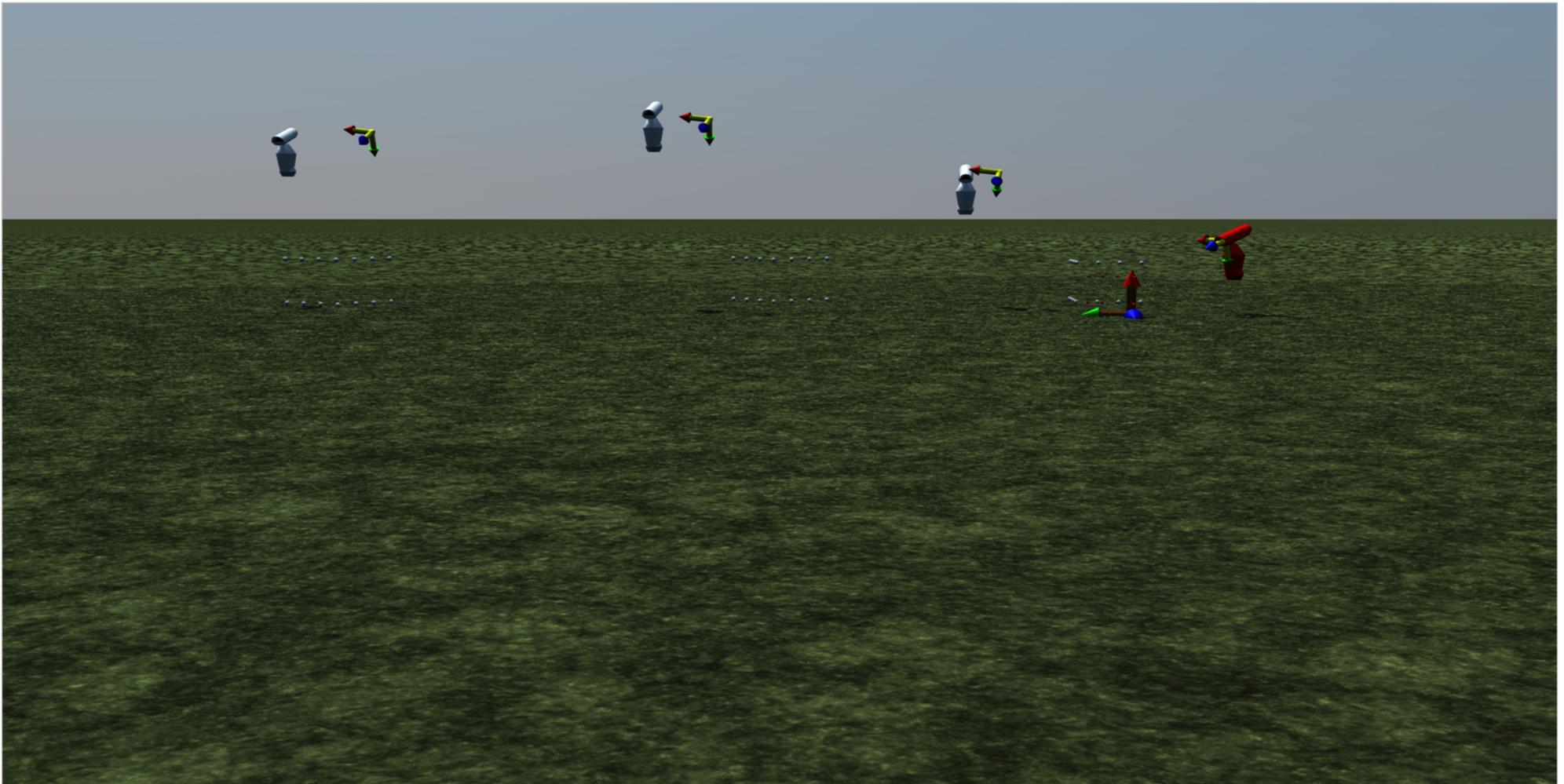
Simulazioni Stereo:

➤ Software utilizzato per le simulazioni: CINEMA 4D



Simulazioni rete:

Con piu' telecamere l'errore peggiora?



Ma a cosa è dovuto questo peggioramento?....

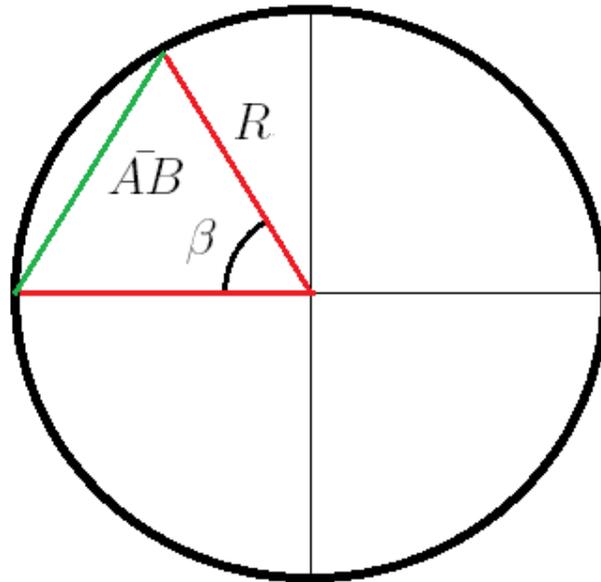
Errori:

- Pixellizzazione
- Cliccare sui punti coniugati
- Algoritmo 8 punti, errori dovuti a:
 - linearizzazione
 - cattivo condizionamento

Tutto questo si riflette sulle matrici R e t sbagliando quindi il versore direzionale della baseline al più di un grado

Teorema della corda:

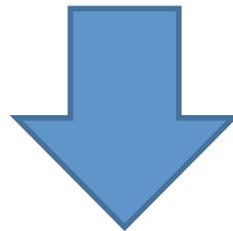
$$\bar{AB} = 2R \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) = 2 * 30 \sin\left(\frac{1^\circ}{2}\right) = 0.52m$$



Per diminuire tale errore l'unico modo è raffinare la matrice F con un algoritmo di costo non lineare come già evidenziato oppure Ricalibrare il sistema.

Ricalibrazione:

- Calcolo della distanza tra ogni coppia di telecamere
- Costruzione di un grafo pesato (distanze)
- Ricerca del cammino minimo da ogni telecamera incognita verso una nota
- Eliminazione degli cammini ridondanti



Nuova sequenza di calibrazione

Concetti utilizzati:

- Grafo pesato
- Matrice di adiacenza
- Lista calibrata
- Algoritmo di Dijkstra

Grafo pesato:

Definizione:

$$v_i \in V, e_i \in E \Rightarrow G = (V, E)$$

v_i Vertice = telecamere

e_i Arco = distanza tra telecamere

Nota: La distanza si trova ovviamente solo se il campo visivo delle due telecamere i ed j si intersecca.

Matrice di adiacenza:

Definizione:

Un grafo di N vertici puo` essere rappresentato da una matrice A di dimensione NxN. Nel nostro caso gli elementi sono definiti:

$$a_{ij} = \begin{cases} d_{ij} & , \text{ se le telecamere } i\text{-esima e } j\text{-esima sono adiacenti} \\ 0 & , \text{ se le telecamere } i\text{-esima e } j\text{-esima non sono adiacenti} \end{cases}$$

Lista calibrata:

Definizione:

Array L di lunghezza N (numero di telecamere)

- $L(i) = 0$, telecamera incognita
- $L(i) = 1$, telecamera nota

1	0	0	0	0	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

Algoritmo di Dijkstra:

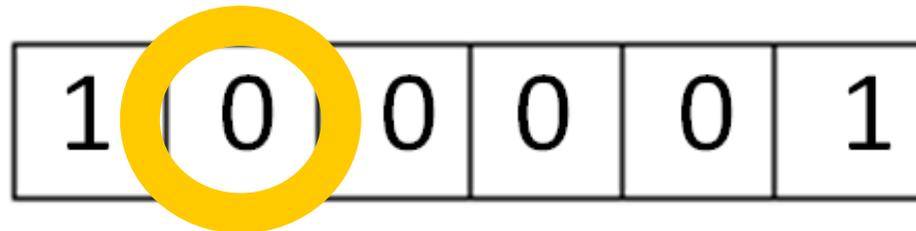
Definizione:

Trova i cammini minimi in un grafo con pesi non negativi.
In particolare il cammino minimo che unisce due
nodi precisi del grafo.

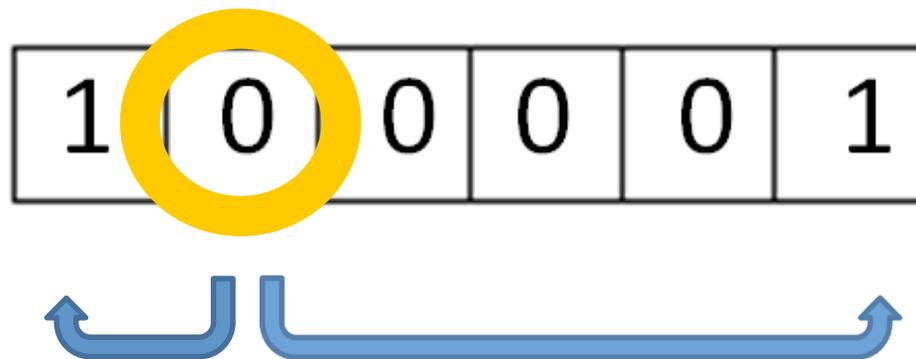
Valori in ingresso: Nodo di partenza  agente incognito
 Nodo di arrivo  agente noto
 Matrice di adiacenza (Grafo)

Modo di operare:

- 1) Cerchiamo la prima telecamera incognita nella lista calibrata marcata con uno zero

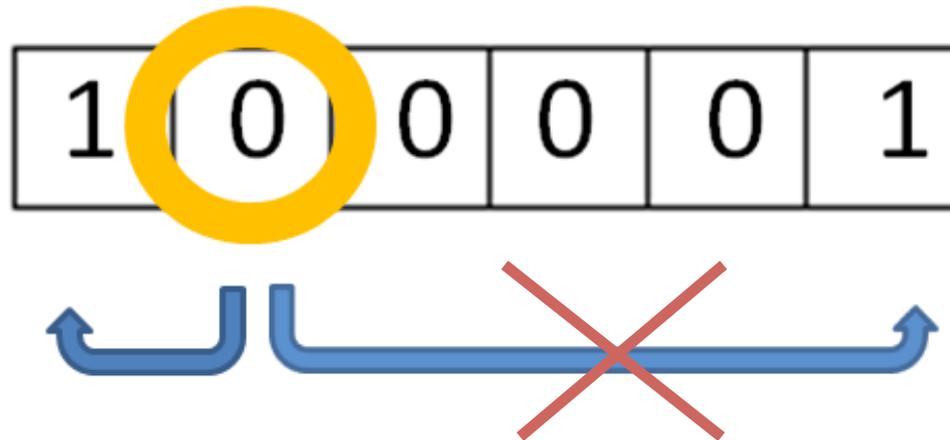


- 2) Calcoliamo tutti cammini di questa verso le calibrate:

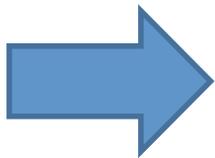


Modo di operare [2]:

3) Dijkstra trova il cammino minimo



4) Ripetiamo il procedimento (N-n)-volte, per ogni agente incognito



(N-n) cammini minimi:

Puo' essere che i cammini siano **ridondanti**

Modo di operare [3]:

5) Ordiniamo in maniera decrescente

6) Calibriamo gli agenti contenuti nella prima sequenza

7) Scelgo la successiva:

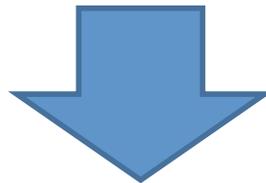
E' inclusa nella precedente?

Si:

Elimino

No:

Calibro agenti della
sequenza



Trovo rete ricalibrata

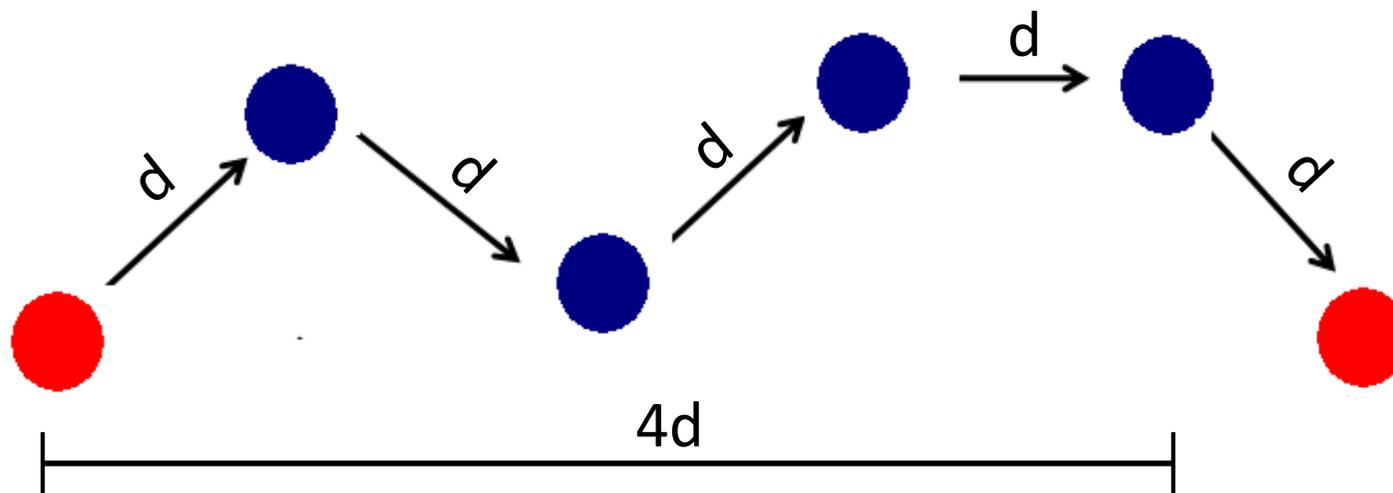
Commenti:

Diminuzione dell'errore:

Agente noto

Agente incognito

1. Calibrazione:

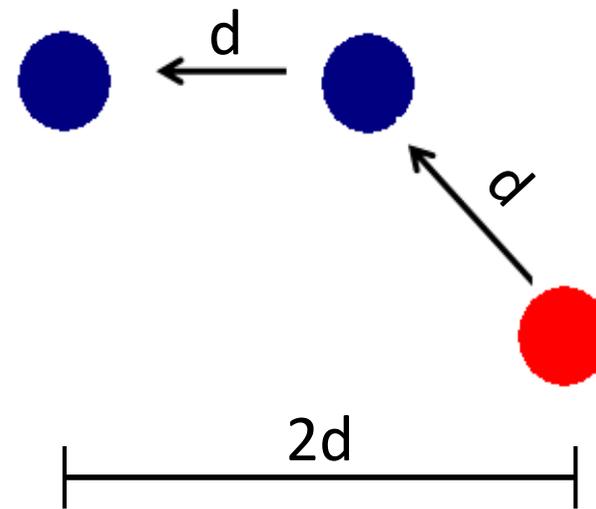
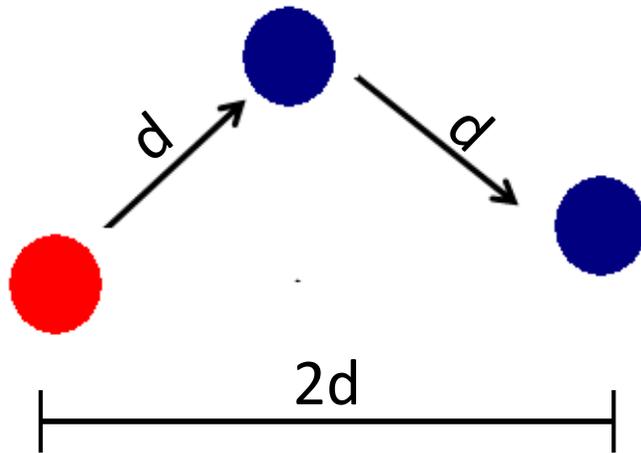


Commenti [2]:

2. Ricalibrazione:

Agente noto

Agente incognito

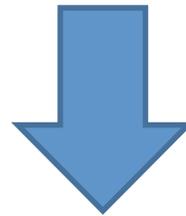


Commenti [3]:

L'errore e' è proporzionale alla distanza:

Calibrazione: $d_{\max} = 4d$

Ricalibrazione: $d_{\max} = 2d$



La ricalibrazione **diminuisce** l'errore sulla posizione di ogni agente

Estensione PTZ:

Obiettivo:

- Trovare la rotazione di ogni PTZ rispetto al riferimento mondo
- Modellizzare una telecamera PTZ
- Espressione della Rotazione totale con Pan e Tilt

Dati iniziali:

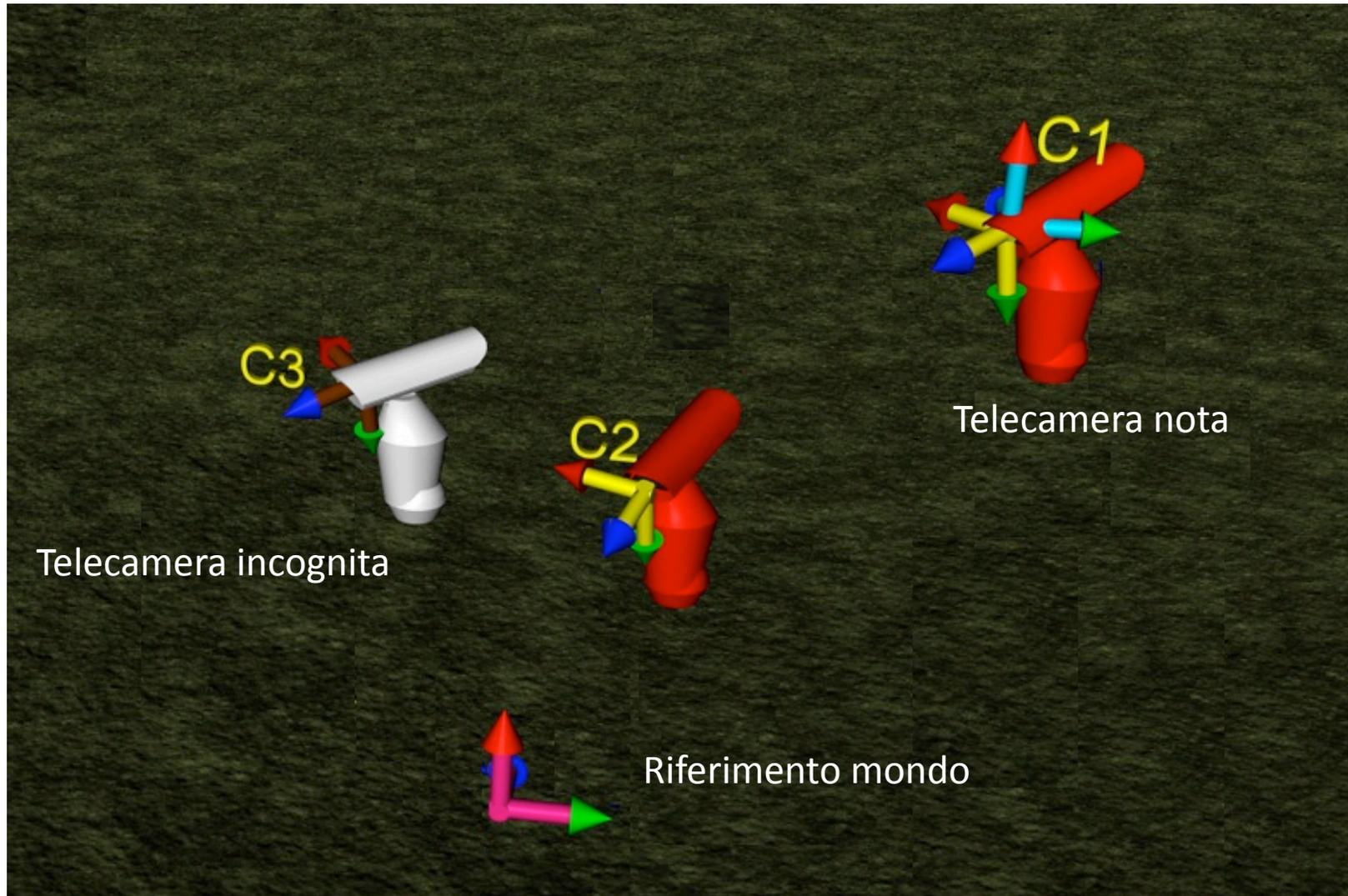
- Rete di telecamere calibrata
 - Rotazione tra ogni coppia di telecamere
 - Rotazione delle telecamere note rispetto il riferimento mondo
 - Tutti i cammini minimi

- Inizialmente Modello pinhole con la PTZ a riposo:

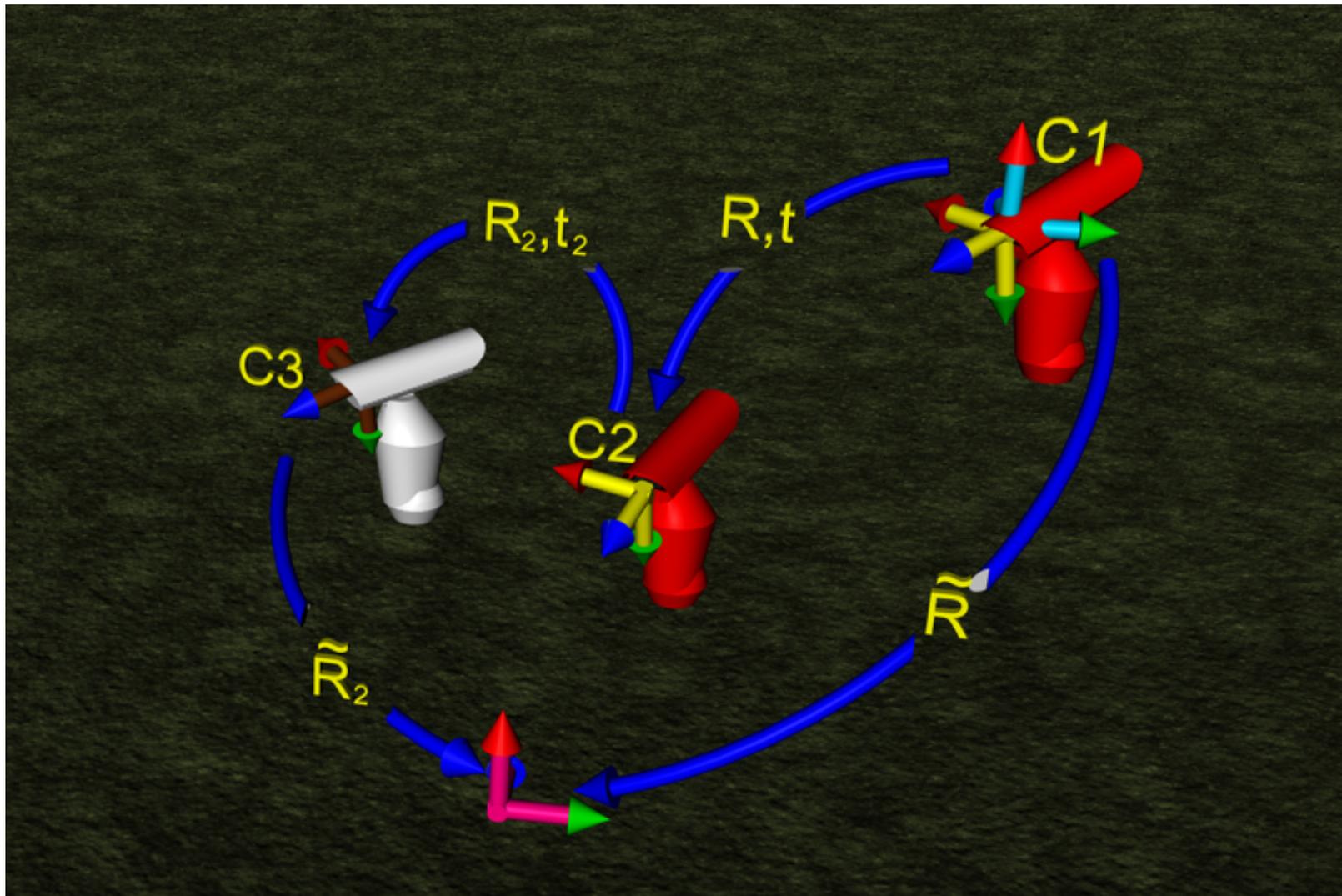
$$\mathbf{R}_{\text{PAN}} = \mathbf{0} \quad \text{e} \quad \mathbf{R}_{\text{TILT}} = \mathbf{0}$$

- Centro ottico coincide con l'asse di rotazione della PTZ

Rotazione della PTZ:

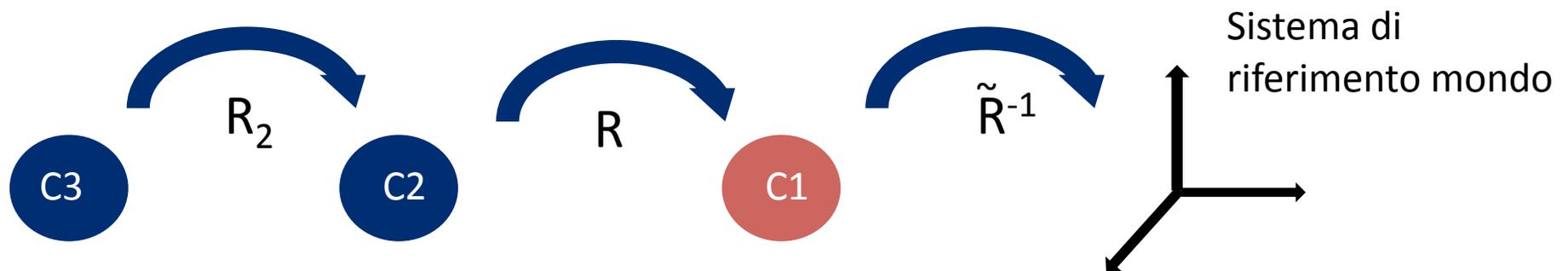


Rotazioni:



Rotazioni di una PTZ:

- Scelgo una telecamera con rotazione incognita (C3)
- Seguo il cammino minimo verso la telecamera nota (C1)



- Ogni telecamera che passo, multiplico per la matrice di rotazione:

$${}^{\text{mondo}}R_3 = R_2 R \tilde{R}^{-1}$$

Pan e Tilt:

➤ Se le PTZ si spostano dalla posizione di riposo, le telecamere risultano di nuovo **scalibrate**

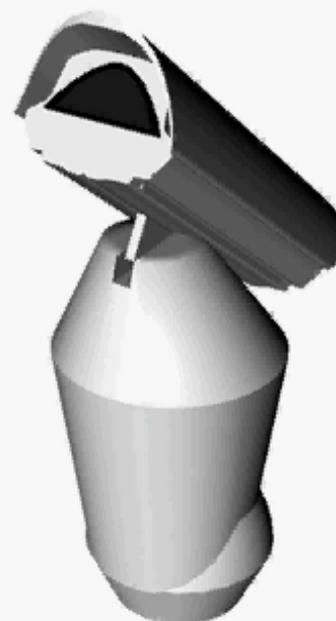
➤ Modifichiamo il modello delle PTZ

➤ Inseriamo le rotazioni:

▪ Pan	→	R_{PAN} (rotazione orizzontale)
▪ Tilt	→	R_{TILT} (rotazione verticale)

Video rotazione Pan e Tilt

DEPARTMENT OF
INFORMATION
ENGINEERING
UNIVERSITY OF PADOVA



Matrici rotazione Pan e Tilt

$$R_{\text{pan}} = \begin{bmatrix} \cos(-57.134) & 0 & \sin(-57.134) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(-57.134) & 0 & \cos(-57.134) \end{bmatrix}$$

-57.134



$$R_{\text{tilt}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(24.33) & -\sin(24.33) \\ 0 & \sin(24.33) & \cos(24.33) \end{bmatrix}$$



24.33

Rotazione di una PTZ:

- Quindi la rotazione totale della telecamera rispetto al riferimento mondo e':

$${}^{\text{mondo}}R_{3,\text{PTZ}} = R_{\text{PAN}} R_{\text{TILT}} {}^{\text{mondo}}R_3$$

Vantaggio:

Avendo **svincolato** i riferimenti tra le singole telecamere, la rete resta calibrata anche in seguito alla rottura di una o pi`u telecamere.

Conclusioni:

Risultati:

- Calibrazione dell'intera rete di videocamere con metodi per migliorare la stima della posizione.
- Algoritmo per il calcolo del fattore di scala → Calcolo baseline

L'algoritmo non porta a risultati perfetti, infatti errori minimi sulla stima della rototraslazione (anche un solo grado) “crescono” con la distanza.



Teorema della corda

Sviluppi futuri:

- Perfezionamento della stima



Eliminazione dell'errore

- Estensione al caso di videocamere Pan-Tilt-Zoom
- Estensione al caso distribuito