

UNIVERSITA' DI PADOVA



FACOLTA' DI INGEGNERIA

INGEGNERIA DELL'AUTOMAZIONE

---

PROGETTAZIONE DI SISTEMI DI CONTROLLO 2009-10

# CAMERA SELECTION

Tommaso Andreass  
Guido Cavarero  
Andrea Vezzaro

DEPARTMENT OF  
INFORMATION  
ENGINEERING

UNIVERSITY OF PADOVA



# OBIETTIVI E APPLICAZIONI

DEPARTMENT OF  
INFORMATION  
ENGINEERING

UNIVERSITY OF PADOVA



## OBIETTIVI

- Creazione di algoritmi di *camera association* dinamica
- Creazione di algoritmi di *camera association* statica
- Test di efficienza degli algoritmi
- Aderenza alla realtà e flessibilità

## FINALITA' E APPLICAZIONI

- Applicazione nel *Motion Capture* in sistemi con un elevato numero di videocamere
- Abbattimento del tempo di elaborazione dei dati per la ricostruzione di punti 3D a partire da immagini

# MAPPA DEL PROGETTO

DEPARTMENT OF  
INFORMATION  
ENGINEERING

UNIVERSITY OF PADOVA



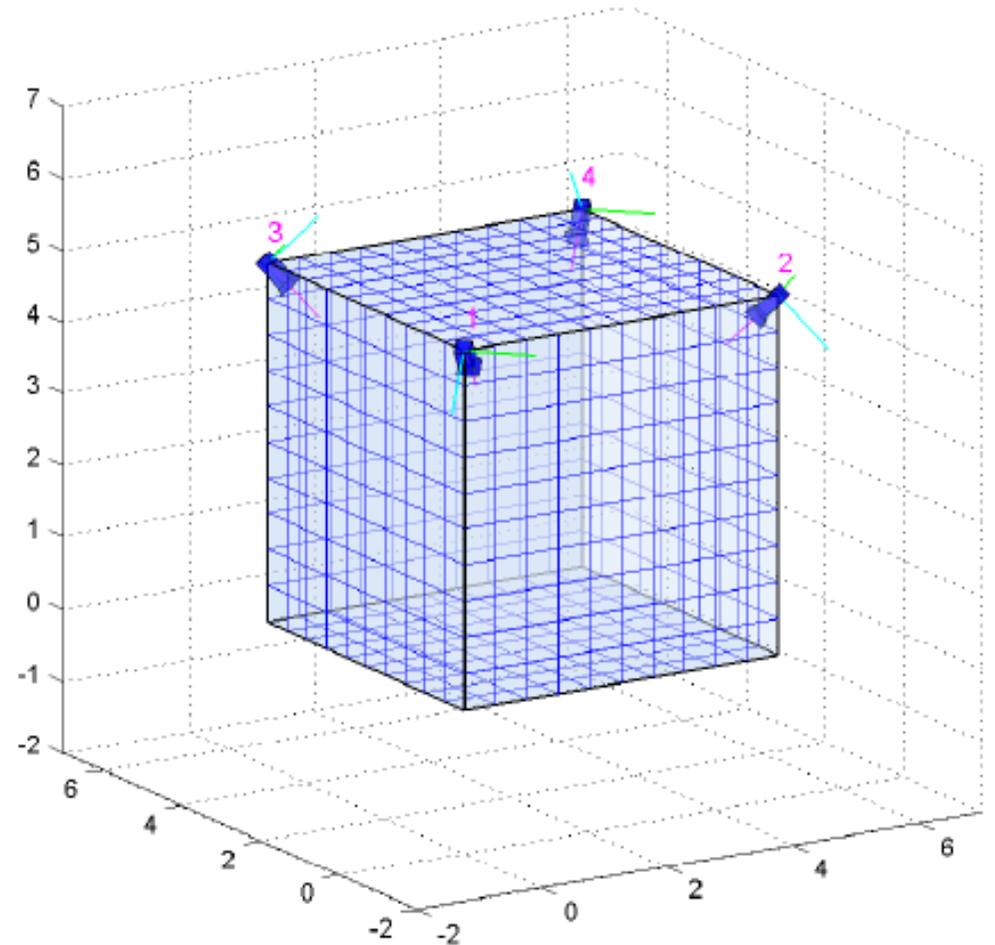
1. Partizione dello Spazio
2. Algoritmi di Associazione Dinamica
  - SOVRAPPOSIZIONE DI IMMAGINI
  - FUNZIONI COSTO
3. Creazione dell'Albero delle Associazioni
  - ASSOCIAZIONE GREEDY
  - ASSOCIAZIONE NON GREEDY
4. Algoritmi di Associazione Statica
5. Simulazioni
6. Commento dei risultati sperimentali e Conclusioni
7. Interfaccia Grafica flessibile per ogni tipo di simulazione

## SUDDIVISIONE DELLA SCENA IN VOXEL

### DIMENSIONE DEI VOXEL:

*Trade-off* fra

- Accuratezza nella approssimazione di volumi, in particolare i coni di visibilità
- Onerosità computazionale degli algoritmi

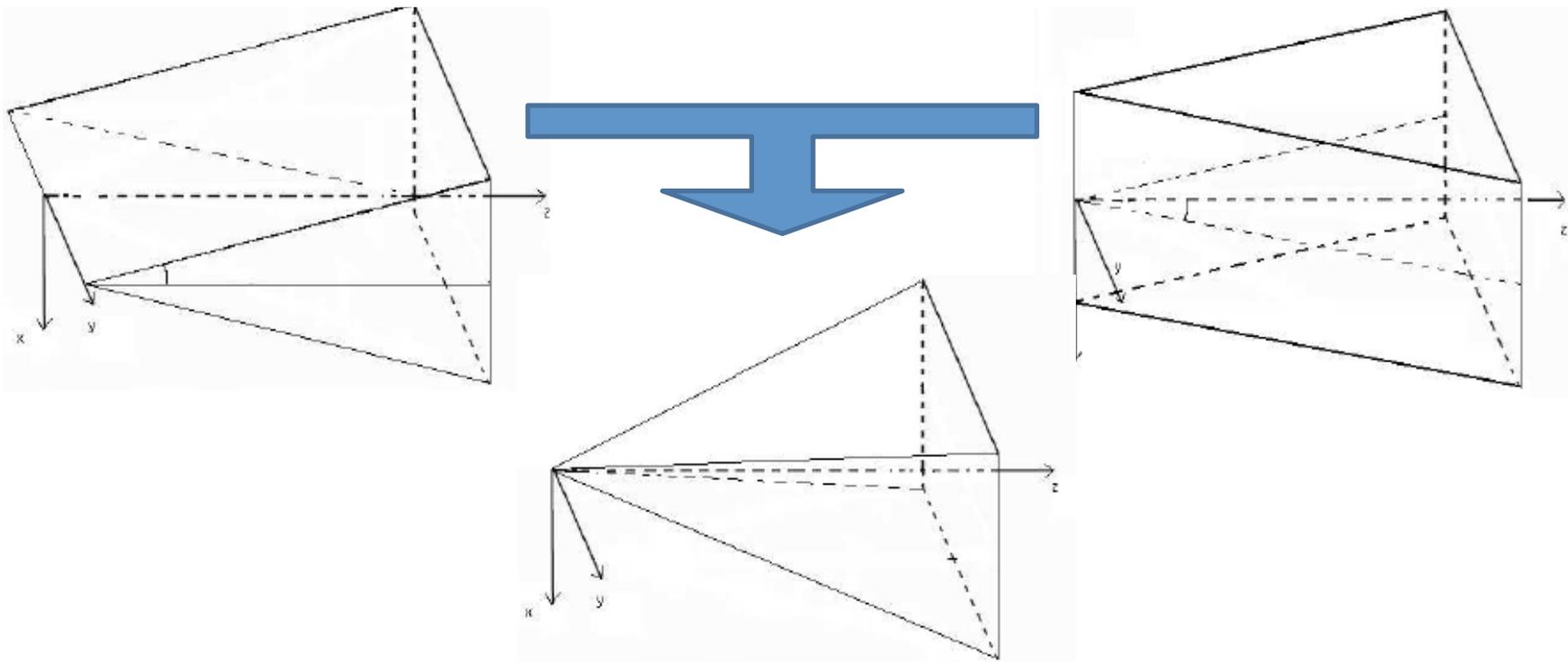


# PARTIZIONE DELLO SPAZIO

Approssimazione del *Field Of View* (FOV) di una telecamera: intersezione dei due insiemi

$$I_1 = \left\{ \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} : [x_c \ z_c] \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = K \cos \theta, \theta < \theta^* \right\}$$

$$I_2 = \left\{ \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} : [y_c \ z_c] \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = K \cos \theta, \theta < \theta^* \right\}$$



# PARTIZIONE DELLO SPAZIO

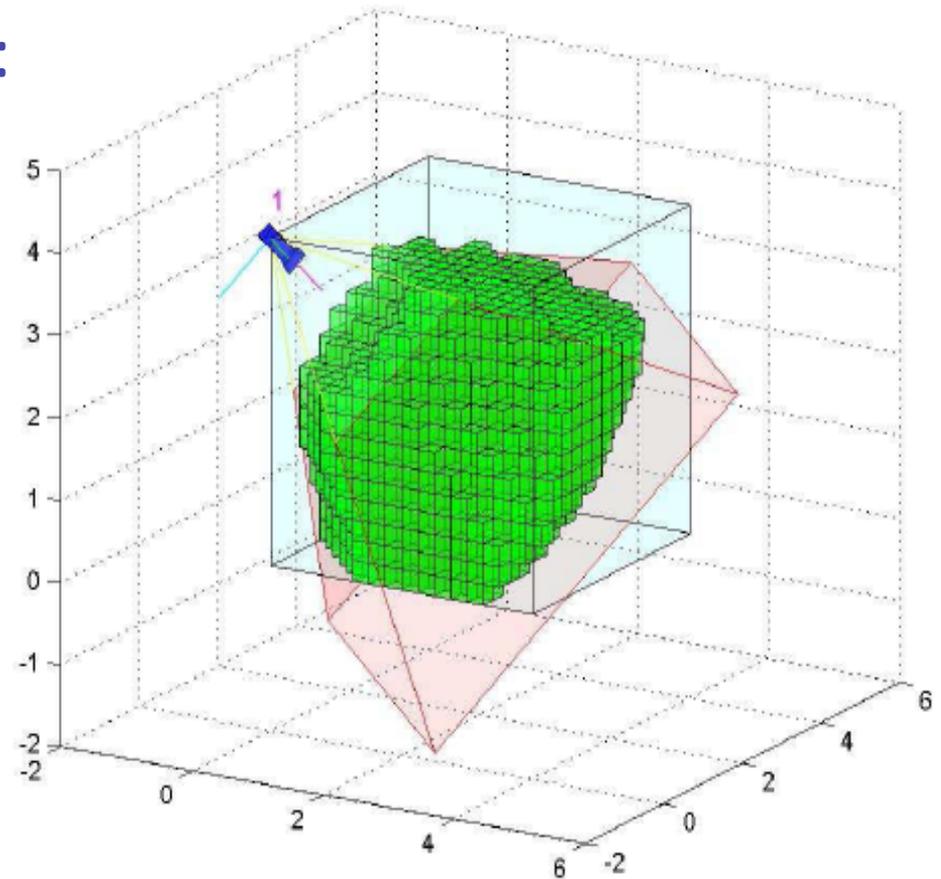
DEPARTMENT OF  
INFORMATION  
ENGINEERING

UNIVERSITY OF PADOVA



Risultato finale della partizione:

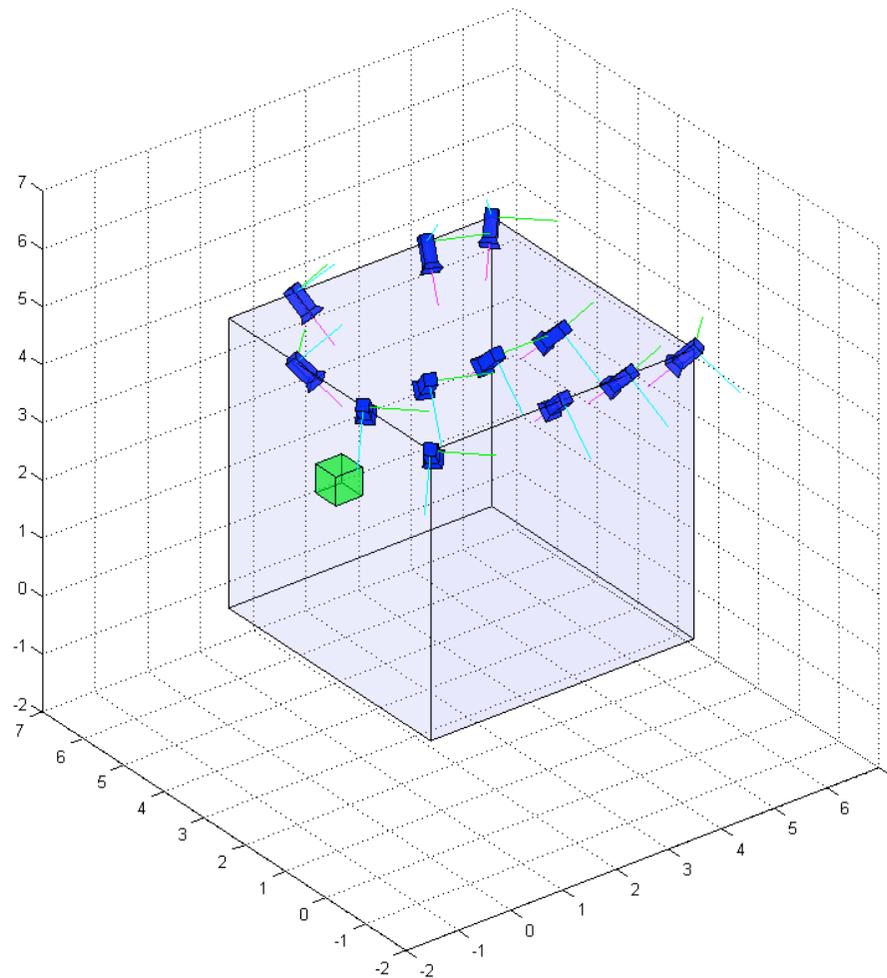
- Ad ogni telecamera è associato un insieme di voxel visti
- Ad ogni voxel è associato un insieme di telecamere che lo vedono



# MARKER2CAMERA

DEPARTMENT OF  
INFORMATION  
ENGINEERING

UNIVERSITY OF PADOVA





Calcola l'albero delle associazioni ex-novo dopo ogni acquisizione

## PERCHE' L'ASSOCIAZIONE DINAMICA?

- Gestisce il problema delle occlusioni
- Ottimizza le associazioni in base all'evoluzione della scena

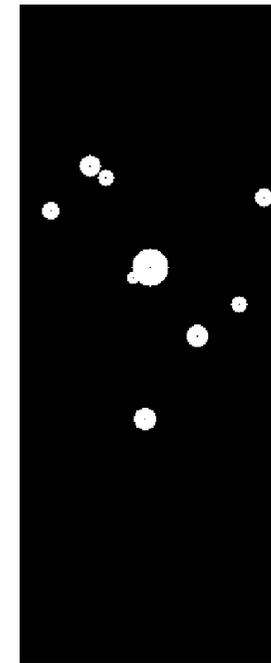
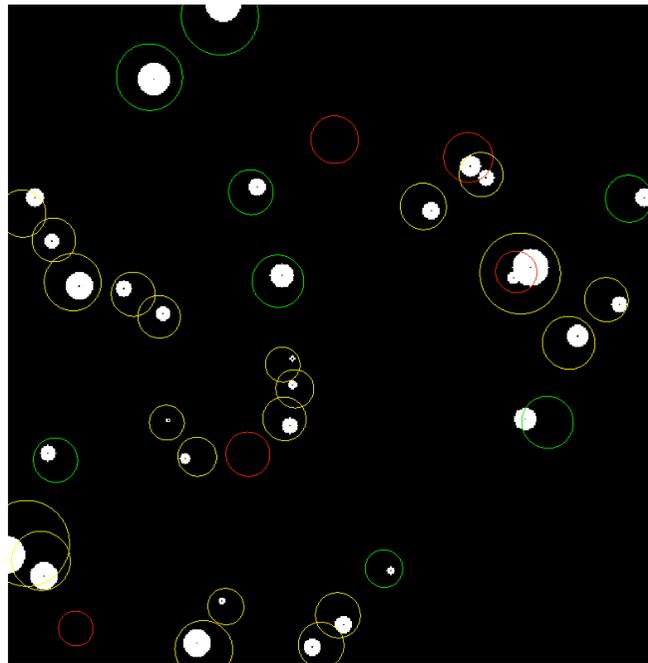
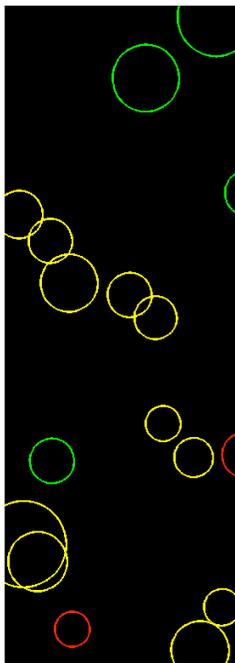


- Confronta la posizione dei blob con le predizioni
- Associa in maniera probabilistica ad ogni blob un marker
- “Sovrapposizione” fra immagine reale e immagine fittizia

## SOVRAPPOSIZIONE D'IMMAGINI

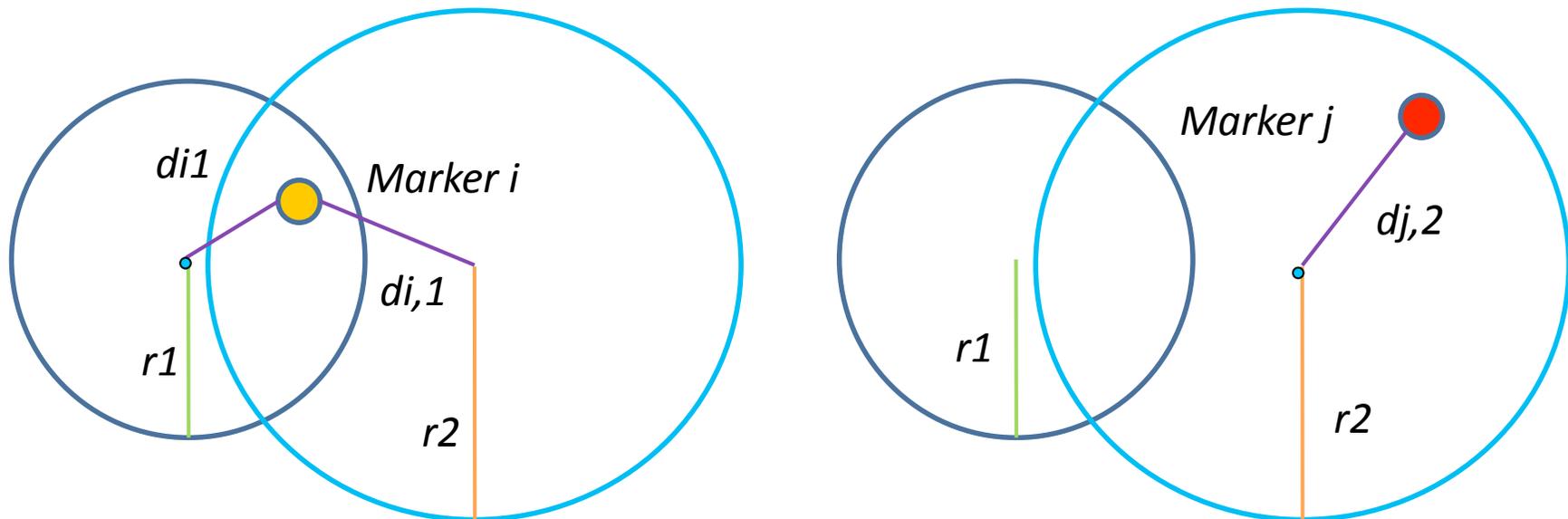
Creazione della “immagine fittizia”  
a partire dalle predizioni

Sovrapposizione con  
l'immagine reale



## SOVRAPPOSIZIONE D'IMMAGINI

Creiamo una tabella  $W$  che associa all' $i$ -esimo blob una stima della probabilità che sia la proiezione del  $j$ -esimo marker:



Dapprima registriamo  $w_{i,j} = \frac{d_{i,j}}{r_j}$  e poi normalizziamo  $w_{i,j} \leftarrow \frac{w_{i,j}}{\sum_j w_{i,j}}$



## SOVRAPPOSIZIONE D'IMMAGINI

Leggiamo la tabella  $W$

	marker1	marker2	marker3	marker4	marker5	marker6	marker7	marker8	marker9	marker10	marker11	marker12
blob1	1	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
blob2	Inf	1	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
blob3	Inf	Inf	1	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
blob4	Inf	Inf	Inf	1	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
blob5	Inf	Inf	Inf	Inf	0.0883	0.9117	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
blob6	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	0.3608	0.1724	0.4669	Inf	Inf	Inf	Inf
blob7	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	0.4873	0.4770	0.0358	Inf	Inf	Inf
blob8	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	1	Inf	Inf
blob9	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	0.5010	0.4990

e creiamo una tabella  $A$  in cui si dice quali sono i marker visti dalla telecamera e con quale probabilità

	marker1	marker2	marker3	marker4	marker5	marker6	marker7	marker8	marker9	marker10	marker11	marker12
visto	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1
probabilità	1	1	1	1	0.9117	0	0.8276	0	0.9642	1	0	0.5010

# ASSOCIAZIONE DINAMICA



- Se nella riga  $i$  esiste un solo valore corrispondente al marker  $j$ , associazione con probabilità 1
- Se nella riga  $i$  esiste vi sono più valori, associazione con probabilità il marker “più vicino”
- Per evitare che uno stesso marker sia associato a più blob. cancelliamo la colonna

	marker1	marker2	marker3	marker4	marker5	marker6	marker7	marker8	marker9	marker10	marker11	marker12
blob1	1	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
blob2	Inf	1	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
blob3	Inf	Inf	1	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
blob4	Inf	Inf	Inf	1	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
blob5	Inf	Inf	Inf	Inf	0.0883	0.9117	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
blob6	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	0.3608	0.1724	0.4669	Inf	Inf	Inf	Inf
blob7	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	0.4873	0.4770	0.0358	Inf	Inf	Inf
blob8	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	1	Inf	Inf
blob9	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	0.5010	0.4990

# FUNZIONE COSTO



Calcola un punteggio relativo tra due telecamere leggendo le tabelle A precedenti basato su:

- Numero di *markers* comuni
- Orientazione reciproca (angolo tra due telecamere)

I punteggi vengono riassunti nella Matrice dei costi di associazione il cui tempo di calcolo richiede  $N(N-1)/2$  operazioni ( $N=n^\circ$  telecamere)

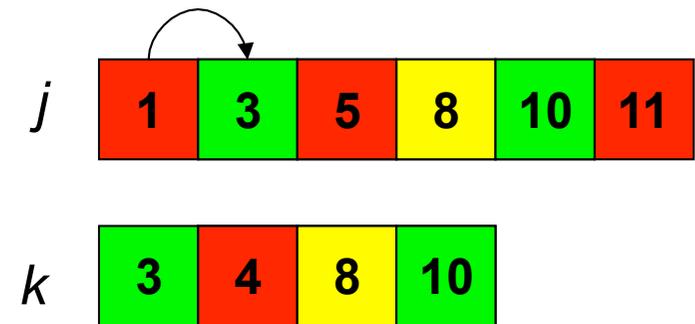
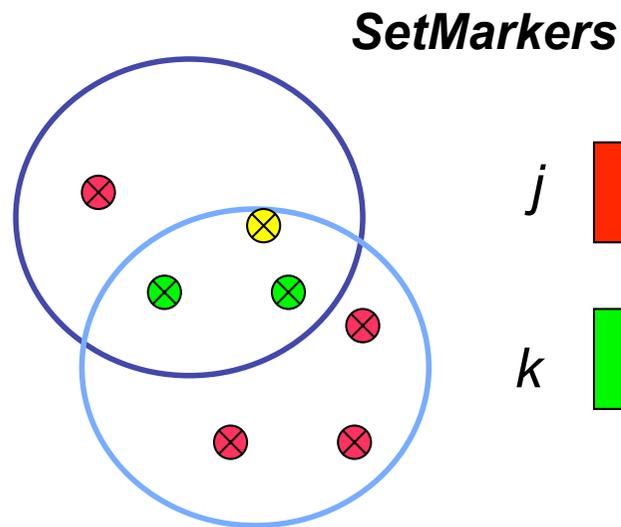
$$c = \begin{pmatrix} 0 & c_{12} & \cdots & c_{1N} \\ c_{12} & 0 & \cdots & c_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{1N} & c_{2N} & \cdots & 0 \end{pmatrix}$$

$c_{ij} \rightarrow$  punteggio associazione tra le videocamere  $i,j$

# FUNZIONE COSTO



	1	2	j	N
1		$C_{1,2}$	$C_{1,j}$	
2	$C_{1,2}$			
j	$C_{1,j}$			
N				



Fissate due telecamere  $j$  e  $k$ , calcoliamo dove

$$p(i, j, k) = p(i, j)p(i, k)$$

$$w(j, k) = \sum_i p(i, j, k)$$

Calcoliamo l'angolo fra le telecamere

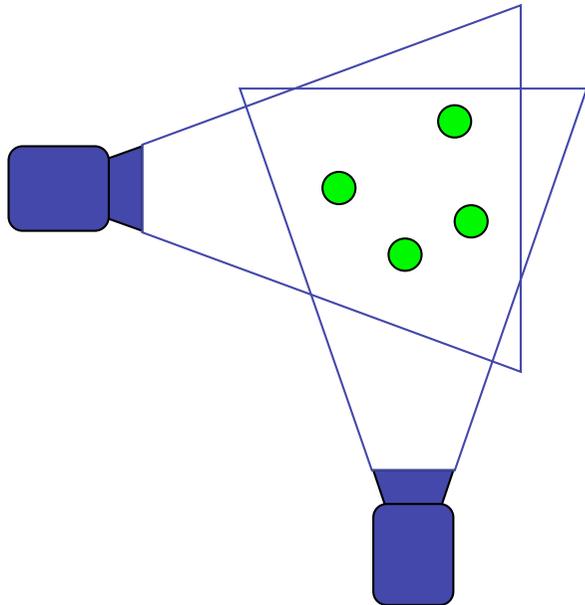
$$\theta_{jk} = \arccos(u_{zj} \cdot u_{zk})$$

# FUNZIONE COSTO



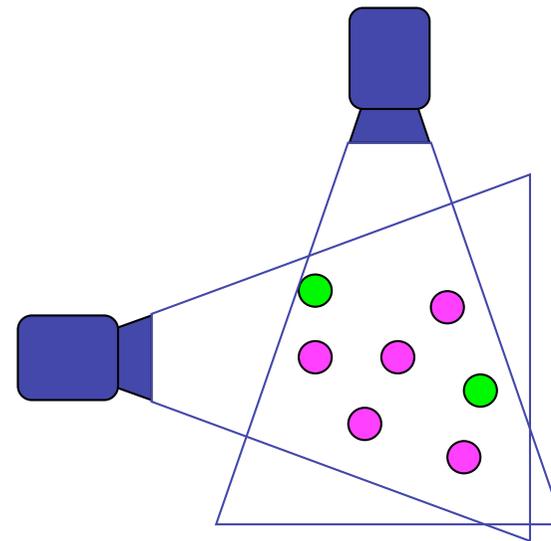
**FUNZIONE COSTO 1:** premia la quantità dei marker in comune

$$c(j, k) = |\sin(\theta_{jk})|w(j, k)$$



**FUNZIONE COSTO 2:** premia la “qualità” dei marker in comune

$$c(j, k) = \frac{|\sin(\theta_{jk})|w(j, k)}{N}$$



# CREAZIONE DELL'ALBERO

DEPARTMENT OF  
INFORMATION  
ENGINEERING

UNIVERSITY OF PADOVA



Avviene sulla base della lettura della matrice dei costi ed è suddivisa in 3 fasi:

- Creazione delle associazioni di primo livello
- Creazione delle associazioni ai livelli successivi
- Utilizzo combinato delle prime due funzioni per la creazione della struttura ad albero finale



## ASSOCIAZIONE DI PRIMO LIVELLO

- Approccio *Greedy*

scegli  $c_{ij} \Leftrightarrow c_{ij} \geq c_{ik} ; \forall k = (i + 1) \dots, N ; i, j \notin I$

- Approccio di massimizzazione del costo

scegli  $a_{ij} \Leftrightarrow a_{ij} \geq a_{hk} ; \forall h, k = 1 \dots, N ; i, j \notin C$

# CREAZIONE DELL'ALBERO

DEPARTMENT OF  
INFORMATION  
ENGINEERING

UNIVERSITY OF PADOVA



## ASSOCIAZIONE AI LIVELLI SUCCESSIVI

Accoppiamenti tra gruppi di telecamere

*levels\_association*: si basa ancora sulla matrice dei costi

Gruppi	1	...	i	...	j	...	n
Labels di videocamere	...	...	k,y,z,..	...	f,g,h,..	...	...

$$c_{kh} > c_{rs} ; \forall r \in i, \forall s \notin i ; j \notin C \Rightarrow \text{associa } i \text{ e } j$$

# CREAZIONE DELL'ALBERO

DEPARTMENT OF  
INFORMATION  
ENGINEERING

UNIVERSITY OF PADOVA



## ASSOCIAZIONE AI LIVELLI SUCCESSIVI (2)

*Proprietà transitiva* della buona associazione

$$c_{ij} \text{ alto} \wedge c_{jk} \text{ alto} \Rightarrow c_{ik} \text{ alto}$$

# CREAZIONE DELL'ALBERO

DEPARTMENT OF  
INFORMATION  
ENGINEERING

UNIVERSITY OF PADOVA



## CREAZIONE DELL'ALBERO FINALE

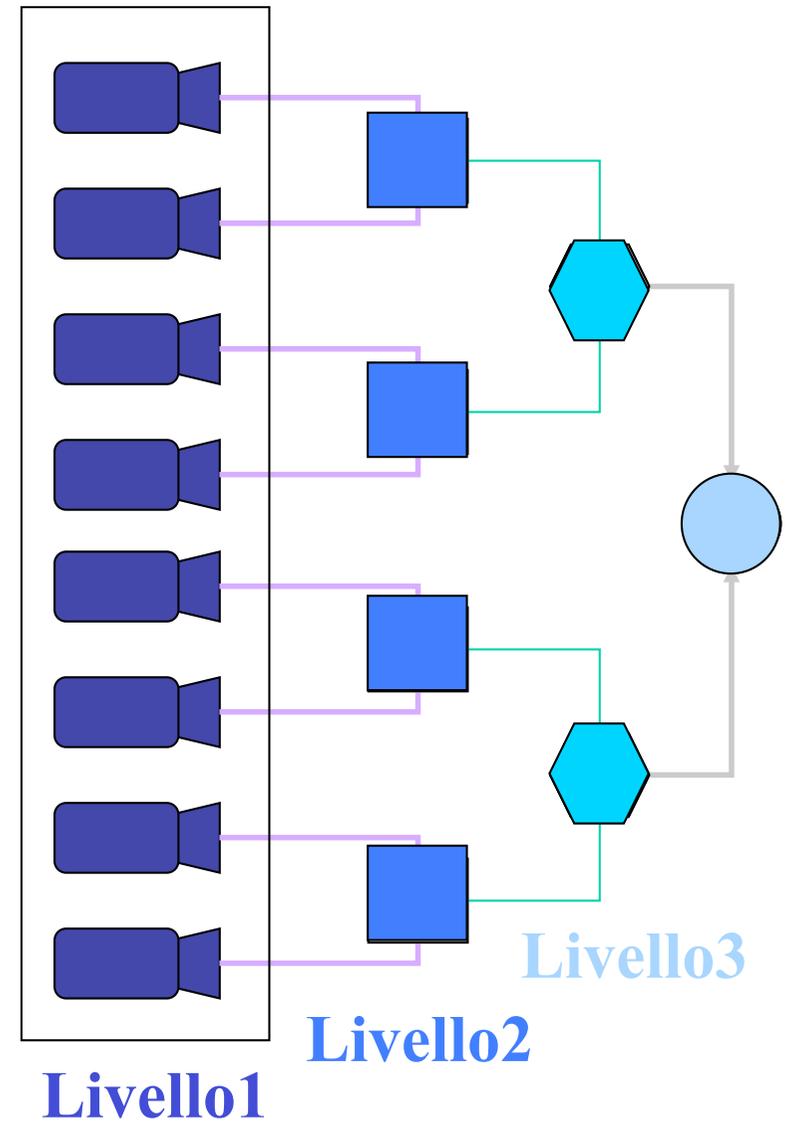
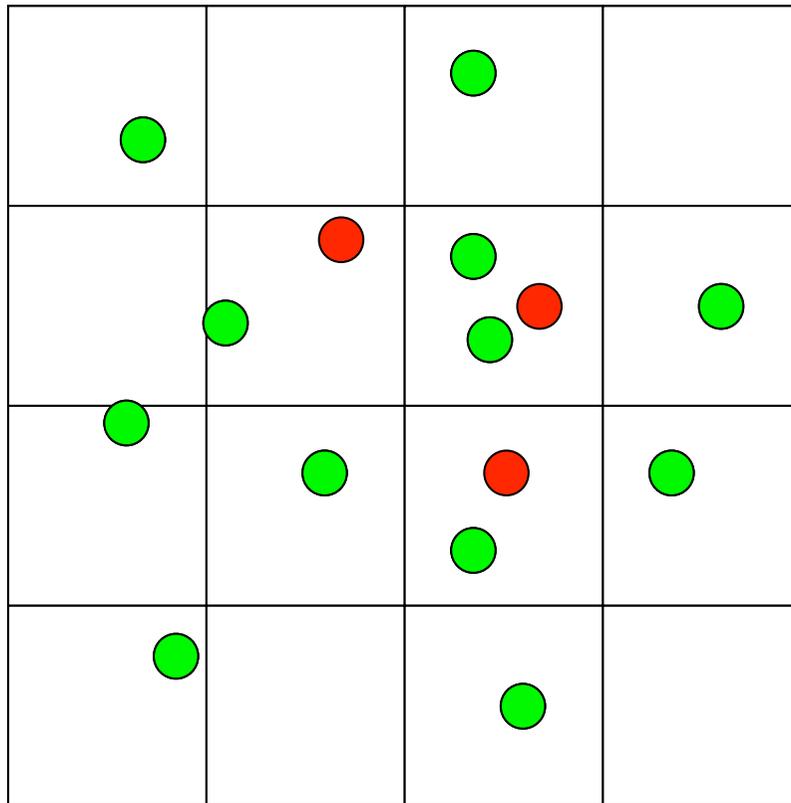
### *Association\_tree*

- Chiama una sola volta *association (association1)*
- Chiama ricorsivamente *levels\_association*
- Crea la struttura finale ad albero

# CREAZIONE DELL'ALBERO

DEPARTMENT OF  
INFORMATION  
ENGINEERING

UNIVERSITY OF PADOVA



# ASSOCIAZIONE STATICA

DEPARTMENT OF  
INFORMATION  
ENGINEERING

UNIVERSITY OF PADOVA



Calcola l'albero delle associazioni una volta per tutte dopo la calibrazione delle telecamere, in base alle proprietà topologiche della scena

## PERCHE' L'ASSOCIAZIONE STATICA?

- Azzera i tempi di calcolo

# ASSOCIAZIONE STATICA

DEPARTMENT OF  
INFORMATION  
ENGINEERING

UNIVERSITY OF PADOVA



## FUNZIONE COSTO

Fissate due telecamere  $j$  e  $k$ , calcoliamo

$$c(j, k) = |\sin(\theta_{jk})|N \quad \text{con} \quad \theta_{jk} = \arccos(u_{zj} \cdot u_{zk})$$

## CREAZIONE DELL'ALBERO

Utilizziamo gli stessi algoritmi usati nell'associazione dinamica

# APPARATO DI SIMULAZIONE

DEPARTMENT OF  
INFORMATION  
ENGINEERING

UNIVERSITY OF PADOVA



Probabilmente, avendo trattato solamente dati sintetici generati da noi, i nostri risultati non sono attendibili

- Generazione delle predizioni delle posizioni dei marker
- Generazione delle posizioni “reali” dei marker e simulazione delle occlusioni
- Simulazione dei piani immagine
- Simulazione della triangolazione
- Posizionamento delle telecamere nella scena
- Interfaccia grafica



## SETTAGGIO DEI PARAMETRI DI SIMULAZIONE

- Numero di telecamere: 20, 50, 100
- Numero di marker: 50, 100, 200, 300, 500
- FOV: 60°
- La scena è un parallelepipedo 5x5x5 m
- Deviazione standard della posizione dei marker: 5 cm

## CRITERIO DI VALUTAZIONE DELL'EFFICIENZA DEGLI ALGORITMI

Rate fra raggi matchati e raggi in ingresso nel livello

# RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

DEPARTMENT OF  
INFORMATION  
ENGINEERING

UNIVERSITY OF PADOVA



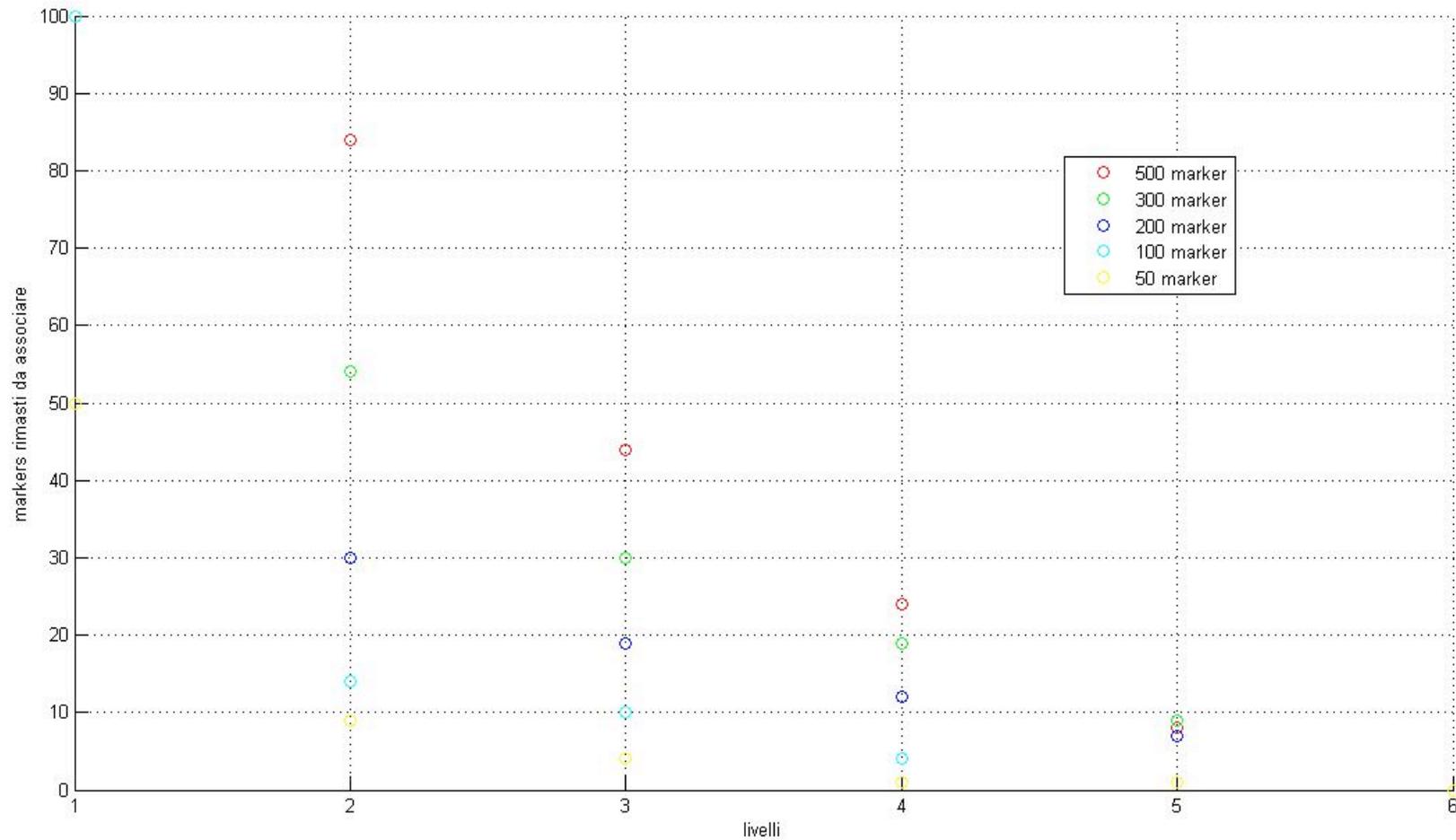
	costo1 e ass. din. greedy	costo2 e ass. din. greedy	ass. stat. greedy	costo1 e ass. din. nn greedy	costo2 e ass. din. nn greedy	ass. stat. nn greedy
1	0	0	0	0	0	0
2	0.7900	0.8900	0.8750	0.8300	0.8900	0.8350
3	0.6190	0.5455	0.4800	0.6471	0.5000	0.6061
4	0.3750	0.6000	0.5385	0.5833	0.7273	0.3846
5	0.6000	0.5000	0.3333	0.6000	0.3333	0.3750
6	0.7500	0.5000	0.7500	1	0.5000	0.6000

Simulazione con 200 marker, 100 telecamere, 3r

	costo1 e ass. din. greedy	costo2 e ass. din. greedy	ass. stat. greedy	costo1 e ass. din. nn greedy	costo2 e ass. din. nn greedy	ass. stat. nn greedy
1	0.8076	0.8763	0.8694	0.8660	0.9038	0.8866
2	0.3393	0.3056	0.2895	0.4615	0.2857	0.3333
3	0.2703	0.4000	0.1481	0.2857	0.4000	0.1818
4	0.5556	0.1333	0.4348	0.1538	0	0.2353
5	0.2500	0.2308	0.5385	0.3636	0.3333	0.1538

Simulazione con 300 marker, 50 telecamere, 2r

# RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

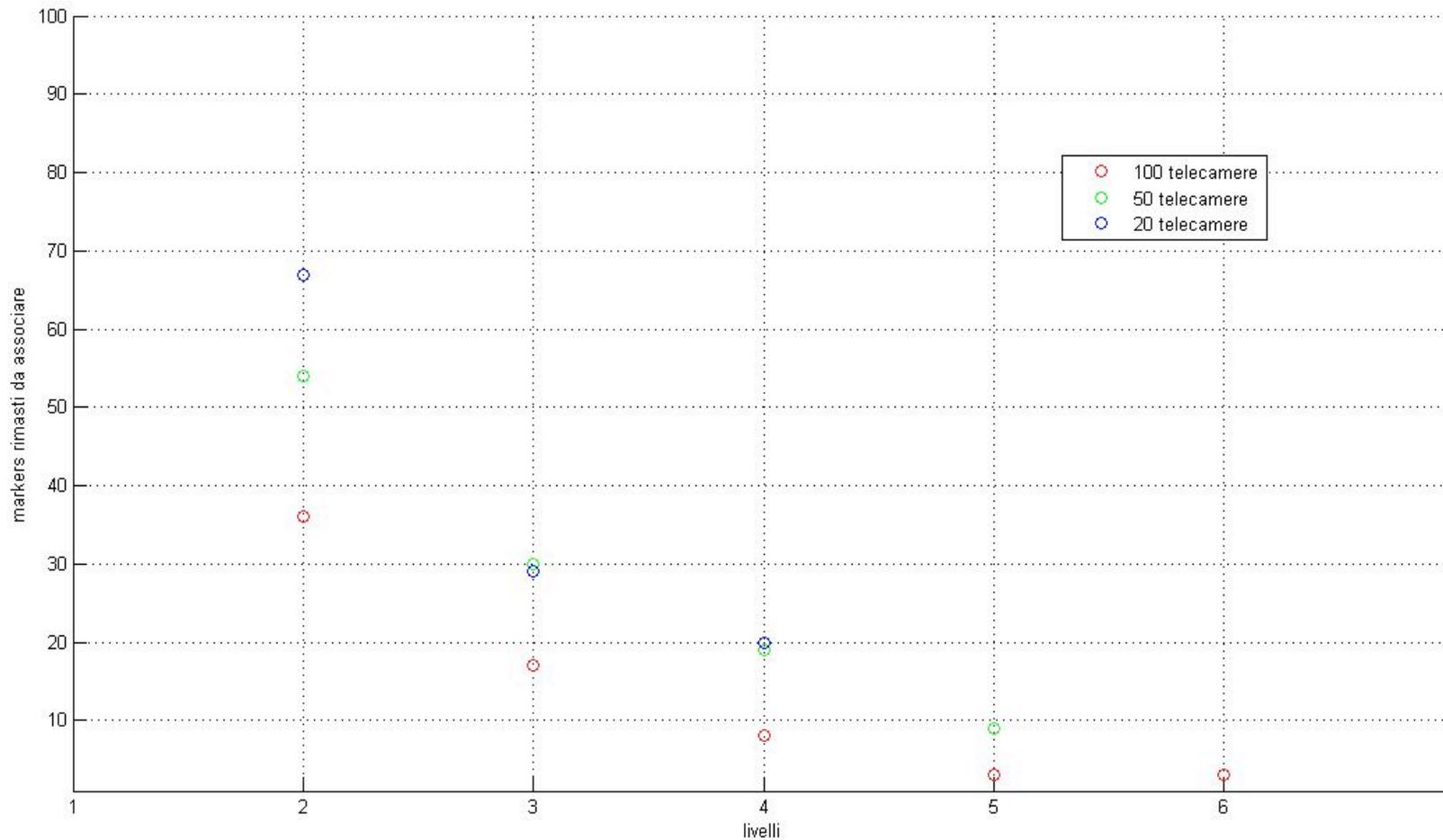


Simulazioni con 50 telecamere

# RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

DEPARTMENT OF  
INFORMATION  
ENGINEERING

UNIVERSITY OF PADOVA



Simulazioni con 300 marker



- Fusione algoritmo statico con quello dinamico
- Studio di ulteriori algoritmi di lettura della matrice dei costi
- Raffinamento nel calcolo della matrice dei costi e delle tecniche di associazione

# CONCLUSIONI

DEPARTMENT OF  
INFORMATION  
ENGINEERING

UNIVERSITY OF PADOVA



- Risultati migliori con Associazione statica
- Affidabilità dei test con dati sintetici?