

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

UAV indoor localization techniques based on fiducial markers - testing new ROS2 nodes releases

Relatore: Michieletto Giulia
Corelatore: Bertoni Massimiliano

Dal Ferro Nicola
Meggiorin Leonardo

Obiettivo del progetto

utilizzo di sistemi UAV in ambienti indoor

In ambienti dove non è possibile utilizzare GPS per lo spostamento dei droni, si è optato per un sistema di localizzazione alternativo che permette la navigazione tramite l'identificazione di fiducial markers posti sul pavimento.



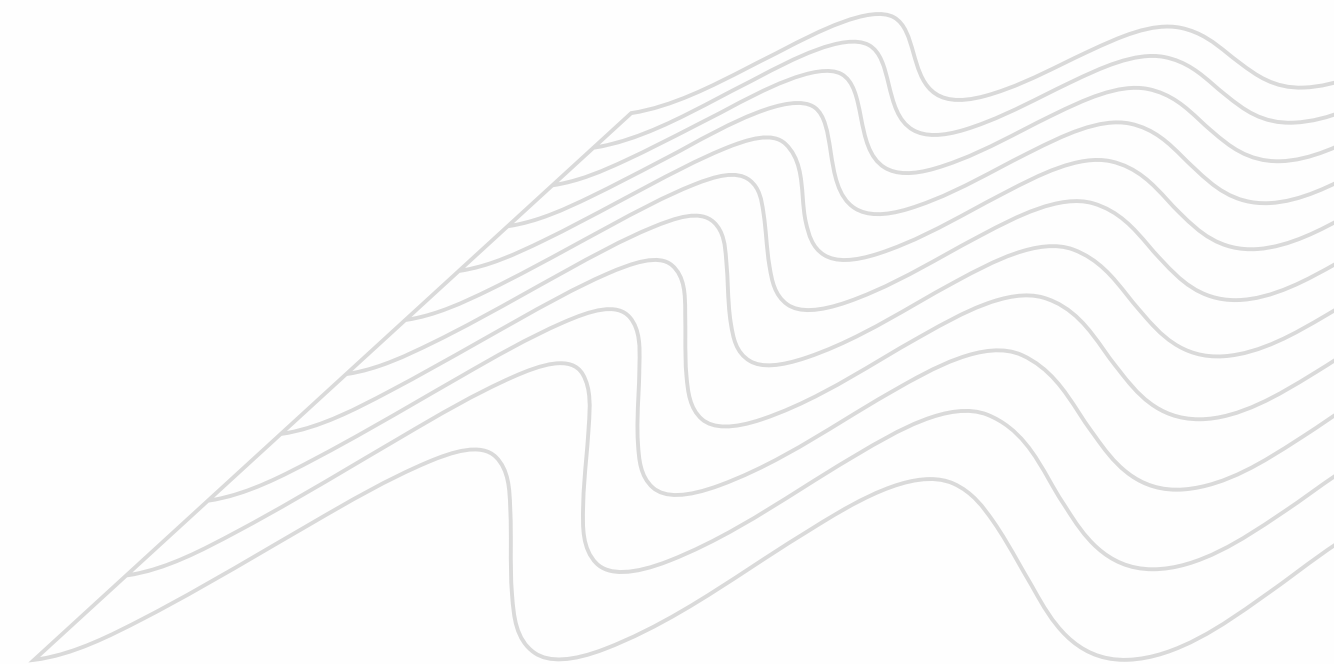
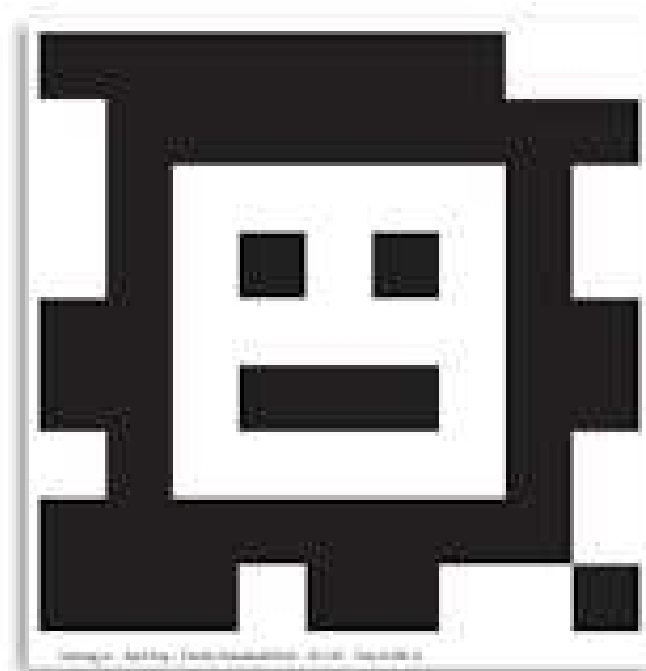
Cosa usiamo

Ros2

ROS (Robot Operating System) è un kit di sviluppo software open source per applicazioni robotiche

Apritag

Gli AprilTags sono un sistema di tag virtuali che presenta un basso sovraccarico, alta accuratezza di localizzazione per varie applicazioni. (Standard41h12)



Dispositivi e applicazioni

Camera

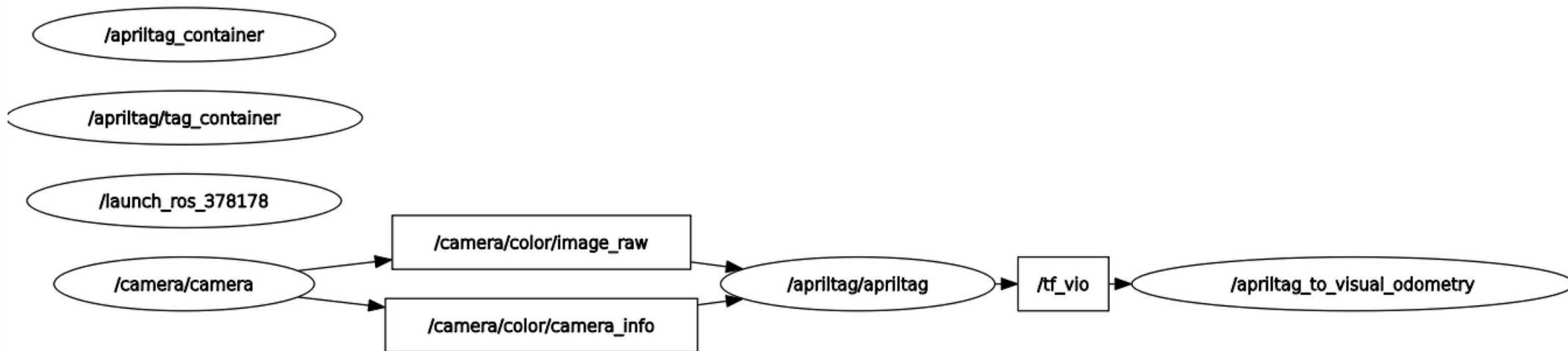
Intel Real Sense Depth Camera D435

Pc e applicazioni

Mac air (M1) con macchina virtuale UTM

Asus (Intel i7 1065G7) con macchina virtuale virtual box

Obiettivi:

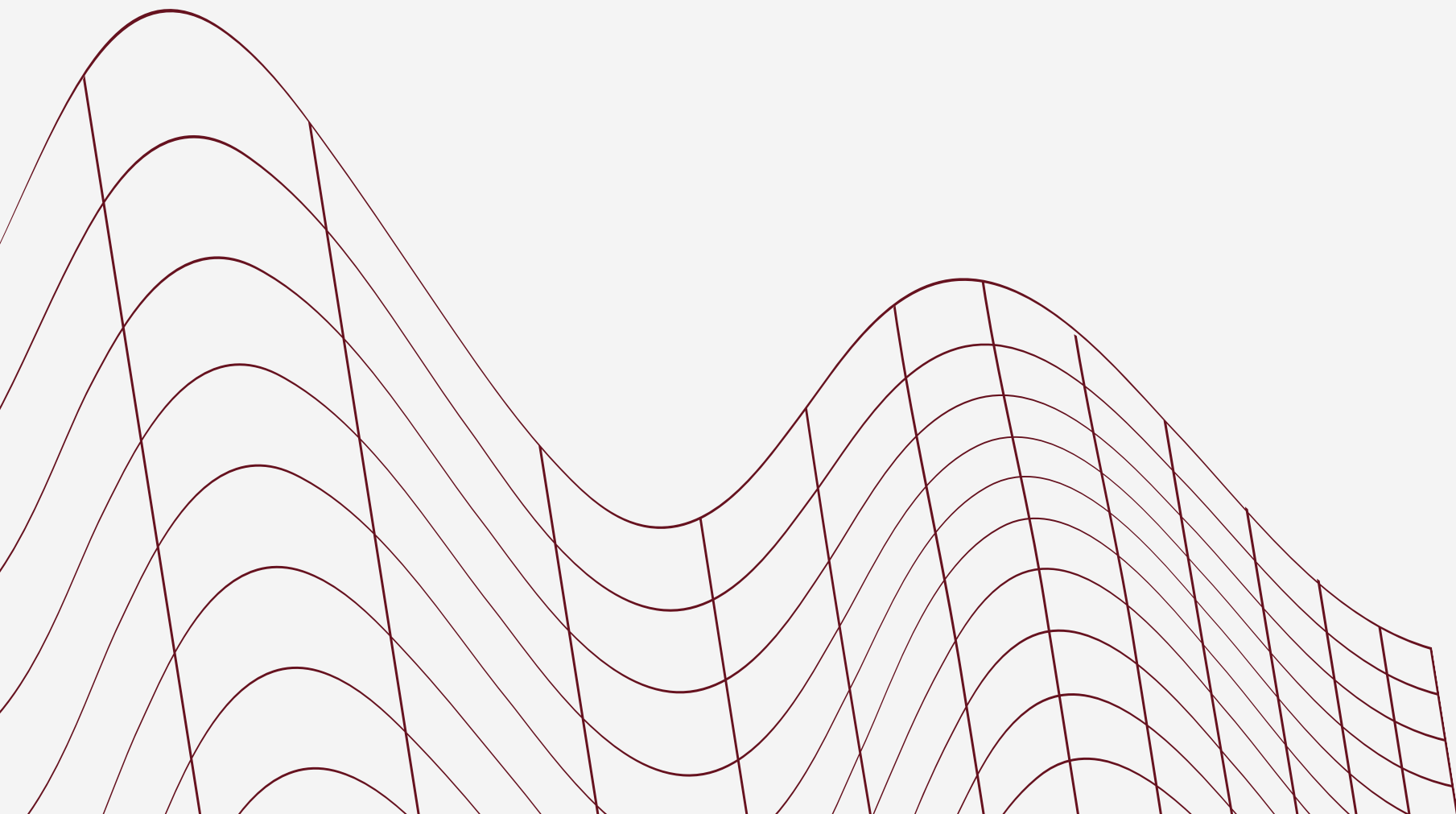


Test comparativi

1) Testare i parametri migliori del nodo apritag_ros e del nodo camera mantenendo fisse le coordinate xyz della camera

2) Valutare il comportamento dei nodi variando la distanza tra telecamera e tag mantenendo i parametri fissi

3) Testare il nuovo nodo apritag_ros eseguendo nuovamente i primi due test

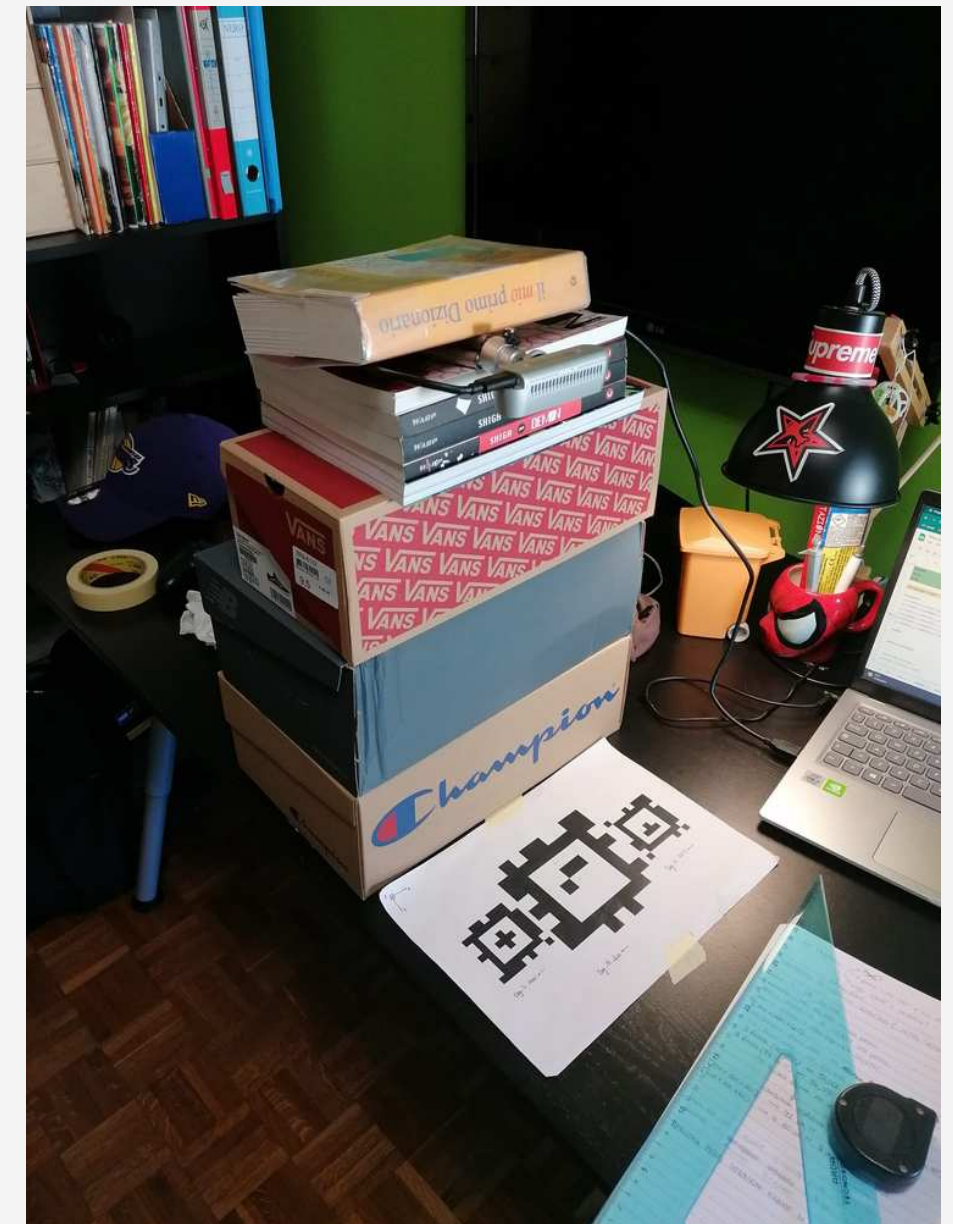


Misurazioni nei test

Per l'esecuzione dei test è stata posizionata la telecamera al di sopra dei tag e si è misurata la posizione reale.

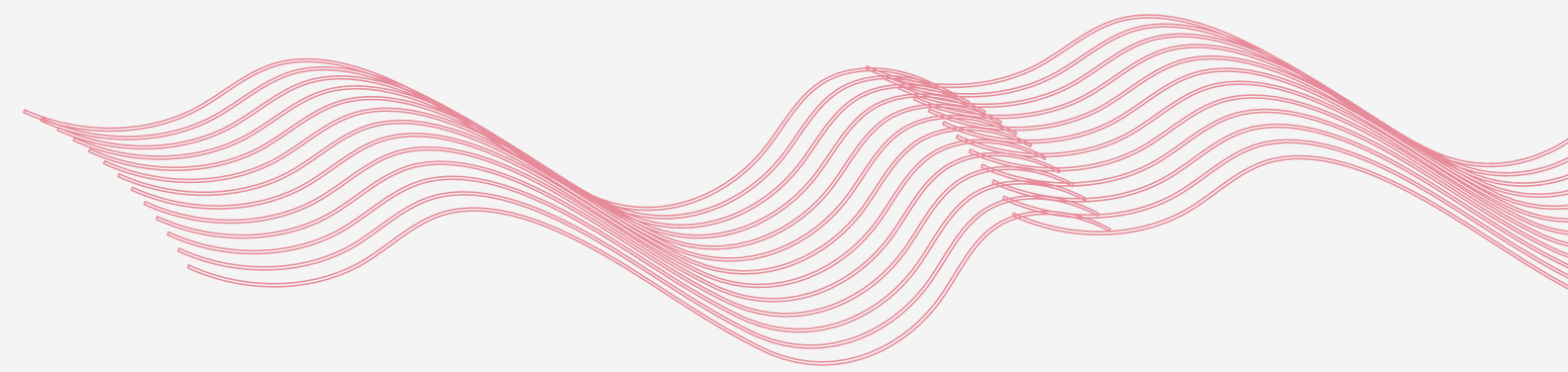
Di seguito, si è tenuto conto delle stime di posizione ottenute tramite il nodo `apriltag_to_visual_odometry`. Dalle ultime 6 stime è stato possibile calcolare la media e la deviazione standard per poter confrontare le stime con la posizione effettiva della telecamera.

Infine è stato utilizzato il comando `ros2 topic echo /tf_vio` per il calcolo della frequenza.



Primo test

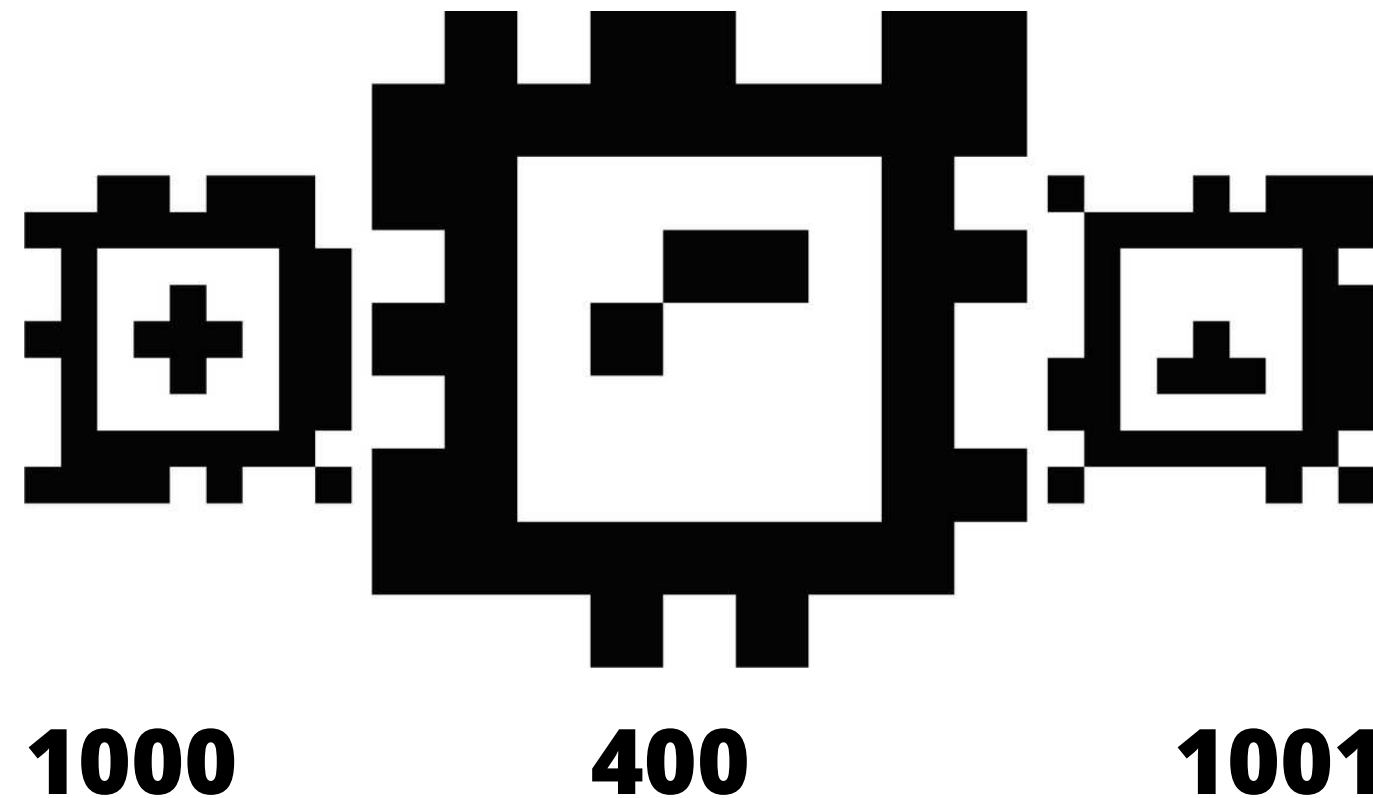
Risoluzione: color 640x480x60



PARAMETRI	"decimate": 0.0 "blur": 0.0 "refine-edges": 0 "threads": 1 "refine-decode": 0	"decimate": 0.0 "blur": 0.0 "refine-edges": 0 "threads": 1 "refine-decode": 0	"decimate": 2.0 "blur": 1.0 "refine-edges": 1 "threads": 1 "refine-decode": 0	"decimate": 2.0 "blur": 1.0 "refine-edges": 1 "threads": 1 "refine-decode": 3	"decimate": 2.0 "blur": 1.0 "refine-edges": 1 "threads": 2 "refine-decode": 0
VALORE REALE[cm]	x: 61,15 y: 5,05 z: -23,0	x: 61,15 y: 5,05 z: -23,0	x: 61,15 y: 5,05 z: -23,0	x: 61,15 y: 5,05 z: -23,0	x: 61,15 y: 5,05 z: -23,0
MEDIA[cm]	x: 60,83 y: 5,16 z: -23,89	x: 60,58 y: 4,42 z: -23,81	x: 61,51 y: 4,69 z: -23,36	x: 61,47 y: 4,99 z: -23,36	x: 61,59 y: 4,72 z: -23,41
DEV. STANDARD[cm]	x: 0,101 y: 0,061 z: 0,031	x: 0,026 y: 0,084 z: 0,025	x: 0,047 y: 0,032 z: 0,041	x: 0,030 y: 0,022 z: 0,016	x: 0,012 y: 0,010 z: 0,013
ERRORE[cm]	x: 0,31 y: -0,11 z: -0,89	x: 0,57 y: 0,62 z: -0,81	x: -0,36 y: 0,35 z: -0,36	x: -0,32 y: 0,056 z: -0,36	x: -0,44 y: 0,32 z: -0,41
AVR. RATE[Hz]	25.515	25.775	26.916	25.096	24.797

Primo test osservazioni

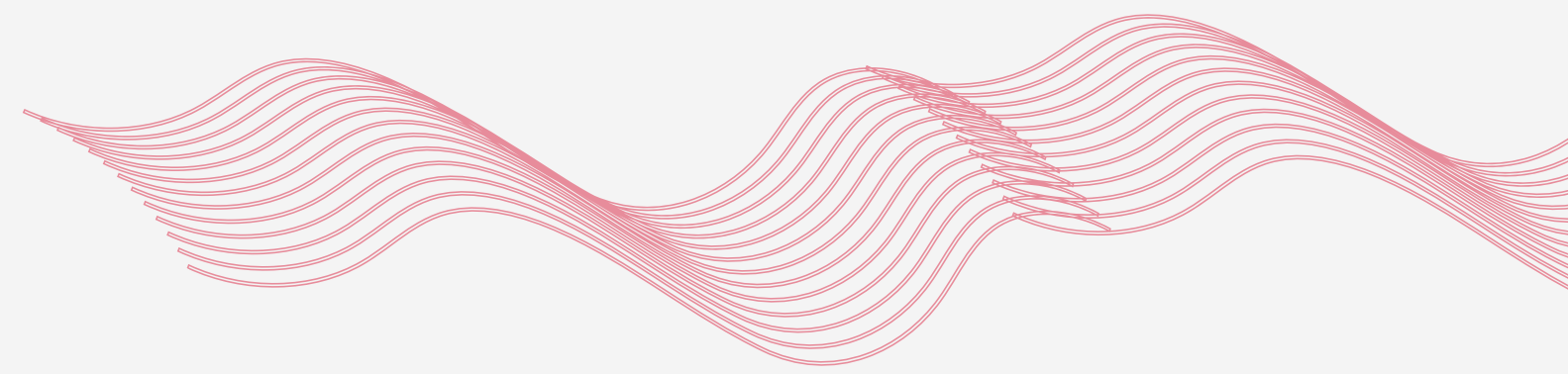
- I parametri del nodo apriltag_ros sono poco incisivi, non producono cambiamenti molto evidenti
- I parametri verificati all'altezza di 85 cm forniscono gli stessi risultati
- “decimate” migliora la velocità e “blur” migliora la posa
- I frame 1000 e 1001 sono elementi di disturbo per la stima di posizione



Secondo test

Altezza: 25cm

Valore reale (misurato) : [x: 61,65 y: 4,85 z: -24] cm

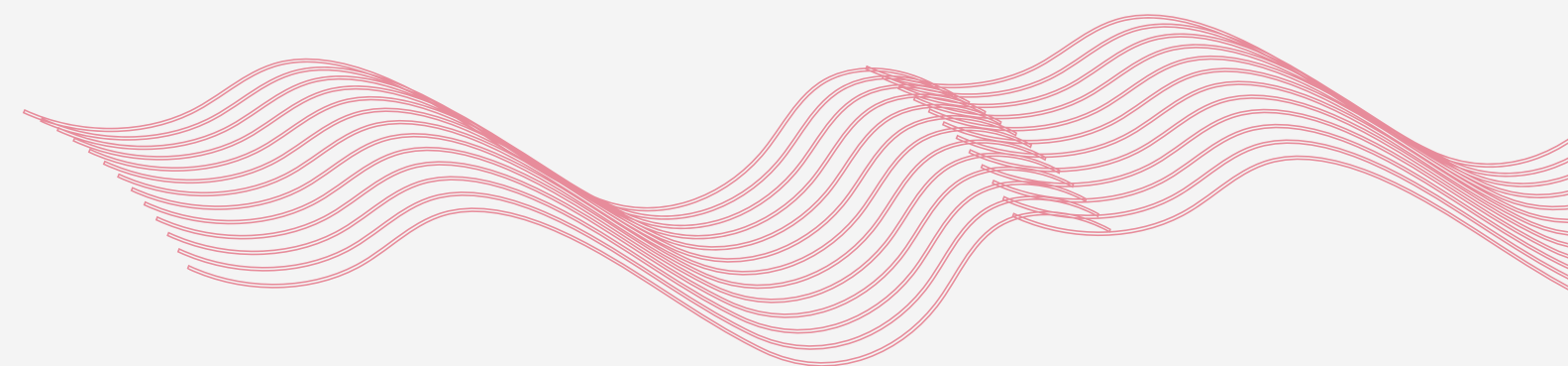


color 640x480 30 fps RGB8	color 640x480 60 fps RGB8	color 320x180 30 fps RGB8	color 320x180 60 fps RGB8	color 424x240 60 fps RGB8	color 848x480 60 fps RGB8
media[cm] x: 61,13 y: 4,52 z: -23,74	media[cm] x: 61,12 y: 4,42 z: -23,80	media[cm] x: 60,99 y: 4,09 z: -23,86	media[cm] x: 61,05 y: 4,41 z: -23,76	media[cm] x: 61,44 y: 43,75 z: -23,54	media[cm] x: 61,29 y: 4,43 z: -23,75
deviazione standard [cm] x: 0,020 y: 0,009 z: 0,014	deviazione standard [cm] x: 0,027 y: 0,020 z: 0,022	deviazione standard [cm] x: 0,058 y: 0,065 z: 0,027	deviazione standard [cm] x: 0,104 y: 0,080 z: 0,038	deviazione standard [cm] x: 0,035 y: 0,014 z: 0,034	deviazione standard [cm] x: 0,022 y: 0,013 z: 0,014
errore[cm] x: 0,51 y: 0,32 z: 0,25	errore[cm] x: 0,53 y: 0,42 z: 0,19	errore[cm] x: 0,65 y: 0,75 z: 0,13	errore[cm] x: 0,59 y: 0,43 z: 0,23	errore[cm] x: 0,20 y: 0,47 z: 0,45	errore[cm] x: 0,35 y: 0,41 z: 0,24
average rate[Hz] 20,81	average rate[Hz] 27,086	average rate[Hz] 29,978	average rate[Hz] 58,234	average rate[Hz] 56,828	average rate[Hz] 22,34

Secondo test

Altezza: 45cm

Valore reale (misurato) : [x: 60,3 y: 5,15 z: -44] cm

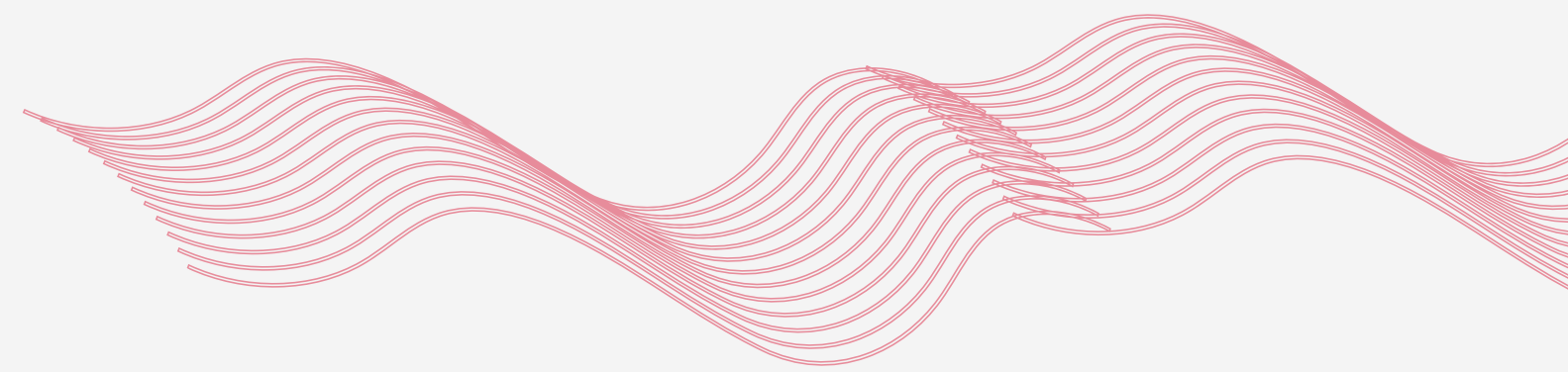


color 640x480 30 fps RGB8	color 640x480 60 fps RGB8	color 320x180 30 fps RGB8	color 320x180 60 fps RGB8	color 424x240 60 fps RGB8	color 848x480 60 fps RGB8
media[cm] x: 63,81 y: 4,80 z: -43,83	media[cm] x: 64,88 y: 5,057 z: -43,62	media[cm] x: 65,15 y: 5,39 z: -42,05	media[cm] x: 62,34 y: 8,18 z: -41,49	media[cm] x: 62,14 y: 6,43 z: -42,90	media[cm] x: 63,37 y: 4,08 z: -43,66
deviazione standard [cm] x: 0,12 y: 16,34 z: 0,033	deviazione standard [cm] x: 0,044 y: 0,195 z: 0,039	deviazione standard [cm] x: 0,52 y: 0,091 z: 0,13	deviazione standard [cm] x: 0,57 y: 0,51 z: 0,41	deviazione standard [cm] x: 0,059 y: 0,285 z: 0,078	deviazione standard [cm] x: 0,153 y: 0,133 z: 0,064
errore[cm] x: -3,51 y: -0,34 z: 0,16	errore[cm] x: -4,58 y: 0,092 z: 0,37	errore[cm] x: -4,85 y: -0,27 z: 1,94	errore[cm] x: -2,04 y: -3,03 z: 2,50	errore[cm] x: -1,84 y: -1,28 z: 1,90	errore[cm] x: -3,07 y: 1,06 z: 3,35
average rate[Hz] 17,950	average rate[Hz] 23,788	average rate[Hz] 29,804	average rate[Hz] 57,690	average rate[Hz] 55,503	average rate[Hz] 19,231

Secondo test

Altezza: 65cm

Valore reale (misurato) : [x: 60,15 y: 6,75 z: -65] cm

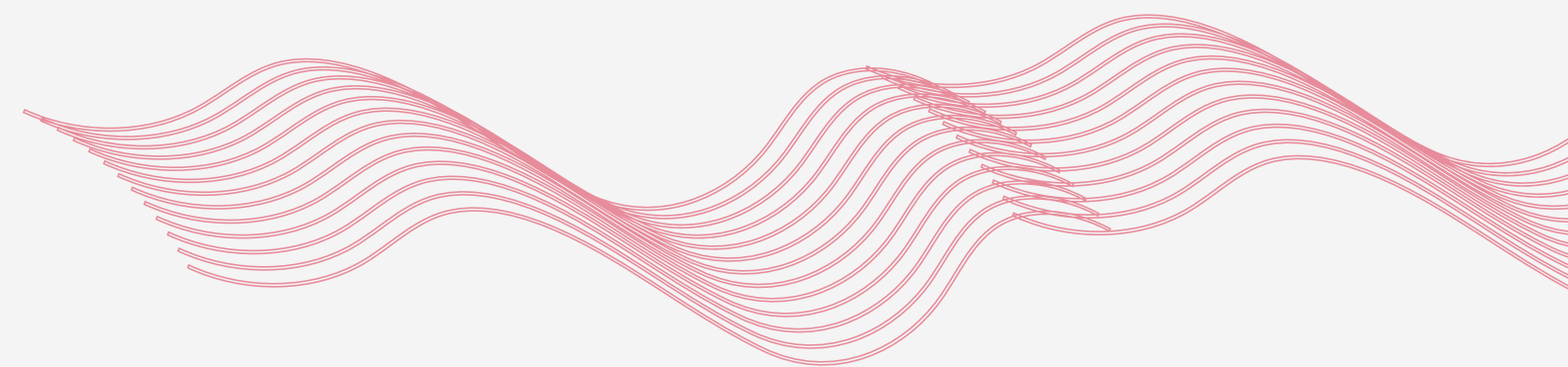


color 640x480 30 fps RGB8	color 640x480 60 fps RGB8	color 320x180 30 fps RGB8 (solo frame 400)	color 320x180 60 fps RGB8 (solo frame 400)	color 424x240 60 fps RGB8 (frame 400 e 1000)	color 848x480 60 fps RGB8
media[cm] x: 62,02 y: 6,80 z: -64,56	media[cm] x: 61,59 y: 4,91 z: -64,28	media[cm] x: 57,68 y: 7,62 z: -65,38	media[cm] x: 62,49 y: -2,46 z: -65,59	media[cm] x: 63,91 y: 0,93 z: -63,54	media[cm] x: 62,96 y: 6,97 z: -64,21
deviazione standard[cm] x: 0,53 y: 0,97 z: 0,30	deviazione standard [cm] x: 0,38 y: 0,58 z: 0,29	deviazione standard [cm] x: 0,61 y: 0,22 z: 0,058	deviazione standard [cm] x: 0,403 y: 0,235 z: 0,060	deviazione standard [cm] x: 0,53 y: 1,00 z: 0,28	deviazione standard [cm] x: 0,648 y: 0,730 z: 0,086
errore[cm] x: -1,87 y: -0,55 z: 0,43	errore[cm] x: -1,44 y: 1,8 z: 0,71	errore[cm] x: 2,46 y: -0,87 z: -0,38	errore[cm] x: -2,34 y: 9,22 z: -0,60	errore[cm] x: -3,76 y: 5,58 z: 1,45	errore[cm] x: -2,81 y: -0,22 z: 0,78
average rate[Hz] 14,481	average rate[Hz] 21,078	average rate[Hz] 29,060	average rate[Hz] 57,134	average rate[Hz] 54,214	average rate[Hz] 18,846

Secondo test

Altezza: 85cm

Valore reale (misurato) : [x: 62,65 y: 10,35 z: -86] cm

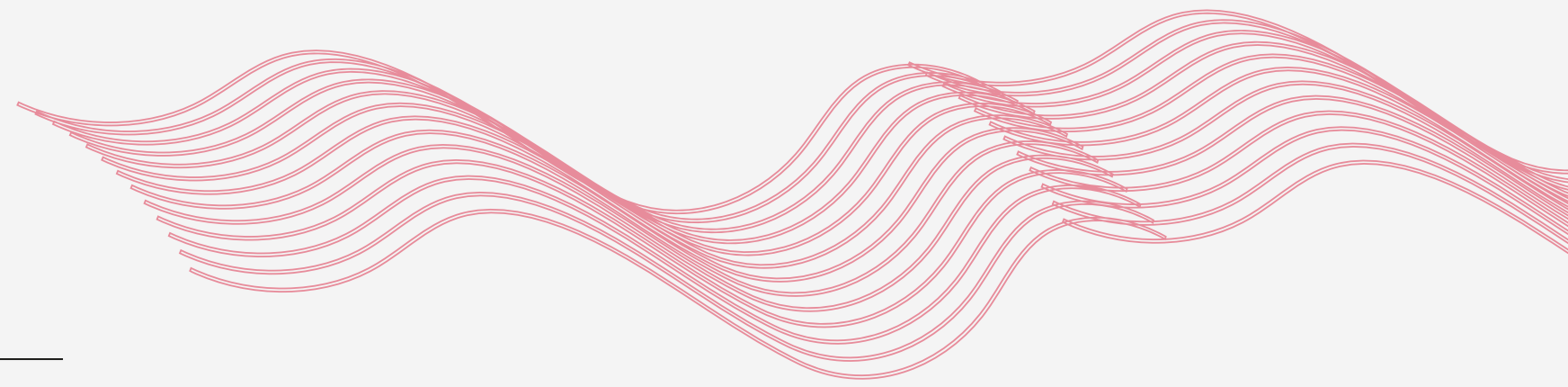


color 640x480 30 fps RGB8	color 640x480 60 fps RGB8	color 320x180 30 fps RGB8 (solo frame 400)	color 320x180 60 fps RGB8 (solo frame 400)	color 424x240 60 fps RGB8 (solo frame 400)	color 848x480 60 fps RGB8
media[cm] x: 59,91 y: 8,70 z: -83,55	media[cm] x: 64,13 y: 2,89 z: -80,71	media[cm] x: 50,05 y: -10,17 z: -83,58	media[cm] x: 49,62 y: 10,11 z: -83,51	media[cm] x: 62,90 y: 4,94 z: -85,51	media[cm] x: 61,69 y: 6,30 z: -82,85
deviazione standard [cm] x: 0,78 y: 0,14 z: 0,45	deviazione standard [cm] x: 0,90 y: 1,14 z: 0,66	deviazione standard [cm] x: 0,13 y: 0,27 z: 0,04	deviazione standard [cm] x: 1,18 y: 0,55 z: 0,43	deviazione standard [cm] x: 0,62 y: 1,37 z: 0,12	deviazione standard [cm] x: 1,30 y: 0,79 z: 0,43
errore[cm] x: 2,73 y: 1,64 z: 2,44	errore[cm] x: -1,48 y: 7,45 z: 5,28	errore[cm] x: 12,59 y: -0,17 z: 2,41	errore[cm] x: 13,02 y: 0,2 z: 2,48	errore[cm] x: -0,25 y: 5,40 z: 0,48	errore[cm] x: 0,95 y: 4,04 z: 3,14
average rate[Hz] 14,045	average rate[Hz] 20,540	average rate[Hz] 29,602	average rate[Hz] 57,025	average rate[Hz] 53,366	average rate[Hz] 17,436

Secondo test osservazioni

- I migliori parametri sono 424x240 a 60 fps
- Migliori risultati ottenuti modificando risoluzione e fps del nodo camera
- Con l'aumentare dell'altezza la velocità diminuisce leggermente e la posa peggiora
- Alle altezze maggiori si perdono i frame più piccoli (1000 e 1001)
- La frequenza migliore è 60 fps perché la posa rimane uguale ma aumenta la velocità

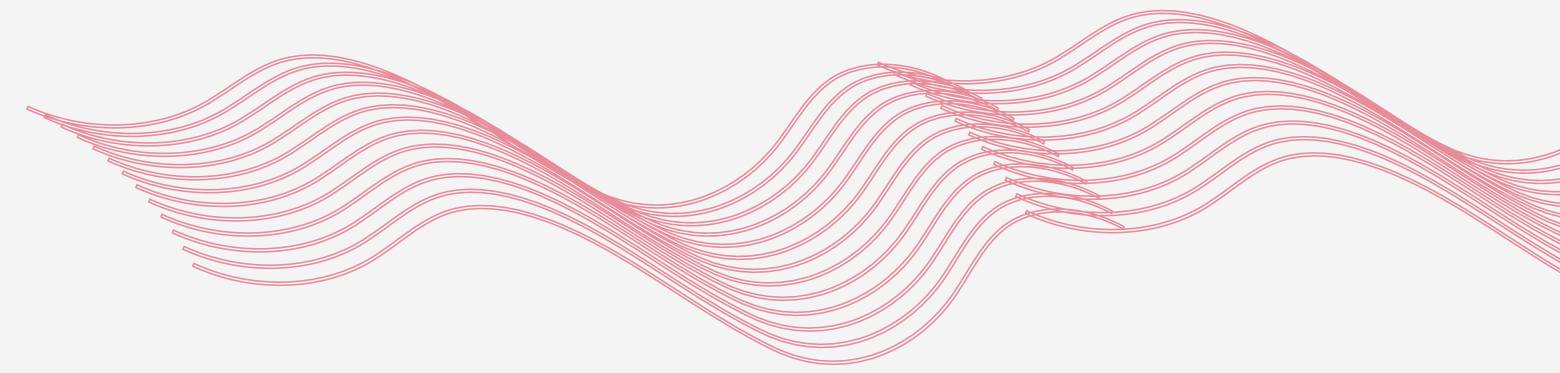
Terzo test



- Sostituito il nodo apriltag_ros con la versione più recente e in seguito aggiornato anche il nodo apriltag perché risultava una versione obsoleta per il nuovo nodo
- Aggiunta parte di codice al nuovo nodo per la comunicazione tramite topic tf vio tra apriltag_ros e apriltag_to_visual_odometry
- Inserito nel nuovo apriltag_ros il launch file utilizzato in precedenza
- Corretto il launch file in modo che i nomi dei parametri corrispondessero con quelli più recenti e modificato il remap dei topic per far comunicare tra loro il nodo camera e il nodo apriltag_ros

Terzo test (1)

Risoluzione: color 640x480x60

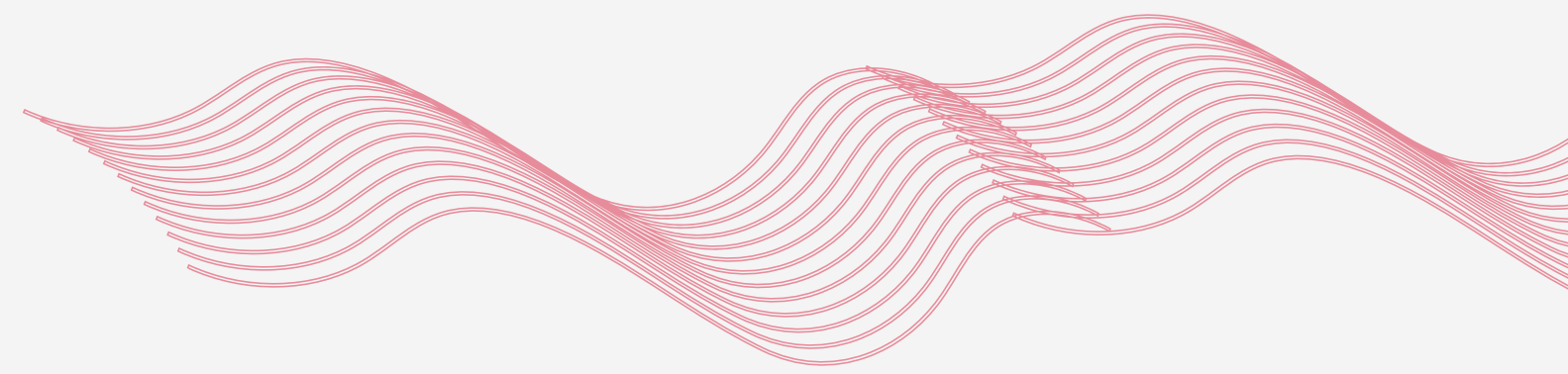


PARAMETRI	"detector.decimate": 0.0 "detector.blur": 1.0 "detector.refine": False "detector.threads": 1 "detector.sharpening": 0.25	"detector.decimate": 2.0 "detector.blur": 1.0 "detector.refine": False "detector.threads": 1 "detector.sharpening": 0.25	"detector.decimate": 2.0 "detector.blur": 1.0 "detector.refine": True "detector.threads": 1 "detector.sharpening": 0.25	"detector.decimate": 2.0 "detector.blur": 1.0 "detector.refine": True "detector.threads": 1 "detector.sharpening": 1.0	"detector.decimate": 2.0 "detector.blur": 1.0 "detector.refine": True "detector.threads": 1 "detector.sharpening": 1.0
VALORE REALE[cm]	x: 61,15 y: 5,05, z: 23	x: 61,15 y: 5,05, z: 23	x: 61,15 y: 5,05, z: 23	x: 61,15 y: 5,05, z: 23	x: 61,15 y: 5,05, z: 23
MEDIA[cm]	x: 62,35 y: 5,54 z: 22,99	x: 62,44 y: 5,03 z: 22,31	x: 61,35 y: 5,14 z: 23,45	x: 61,31 y: 5,11 z: 23,48	x: 61,32 y: 5,08 z: 23,46
DEV. STANDARD[cm]	x: 0,044 y: 0,053 z: 0,053	x: 0,049 y: 0,017 z: 0,055	x: 0,018, y: 0,020, z: 0,011	x: 0,029, y: 0,016, z: 0,018	x: 0,017, y: 0,015, z: 0,012
DIFFERENZA[cm]	x: -1,20 y: -0,49 z:0,001	x: -1,29 y: 0,02 z: 0,68	x: -0,20, y: -0,09 z:-0,45	x: -0,16 y: -0,067 z: -0,48	x: -0,17 y: -0,037 z: -0,46
AVR. RATE[Hz]	26.964	30.103	29.487	27.366	25.616

Terzo test(2)

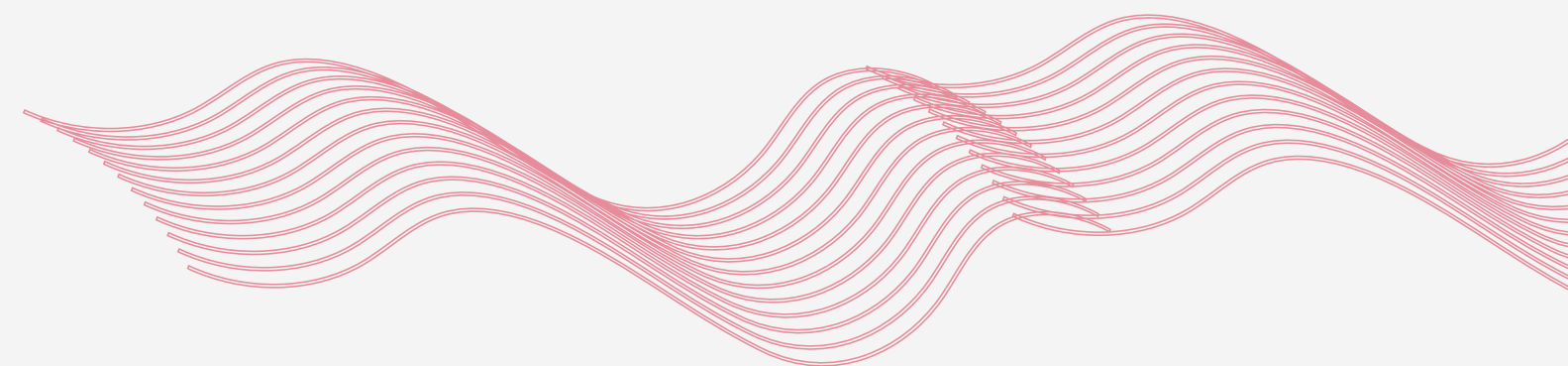
Altezza: 25cm

Valore reale (misurato) : [x: 61,25, y: 7,05, z: 25,0] cm



color 640x480 60 fps RGB8	color 424x240 60 fps RGB8	color 848x480 60 fps RGB8
media[cm] x: 62,02 y: 8,56 z: 25,25	media[cm] x: 62,31 y: 8,89 z: 25,36	media[cm] x: 61,80 y: 8,73 z: 25,08
deviazione standard[cm] x: 0,034 y: 0,044 z: 0,027	deviazione standard[cm] x: 0,046 y: 0,052 z: 0,034	deviazione standard[cm] x: 0,067 y: 0,17 z: 0,043
errore[cm] x: -0,77 y: -1,51 z: -0,25	errore[cm] x: -1,06 y: -1,84 z: -0,36	errore[cm] x: -0,55 y: -1,68 z: -0,089
average rate[Hz] 29.002	average rate[Hz] 59.831	average rate[Hz] 25.481

Terzo test(2)

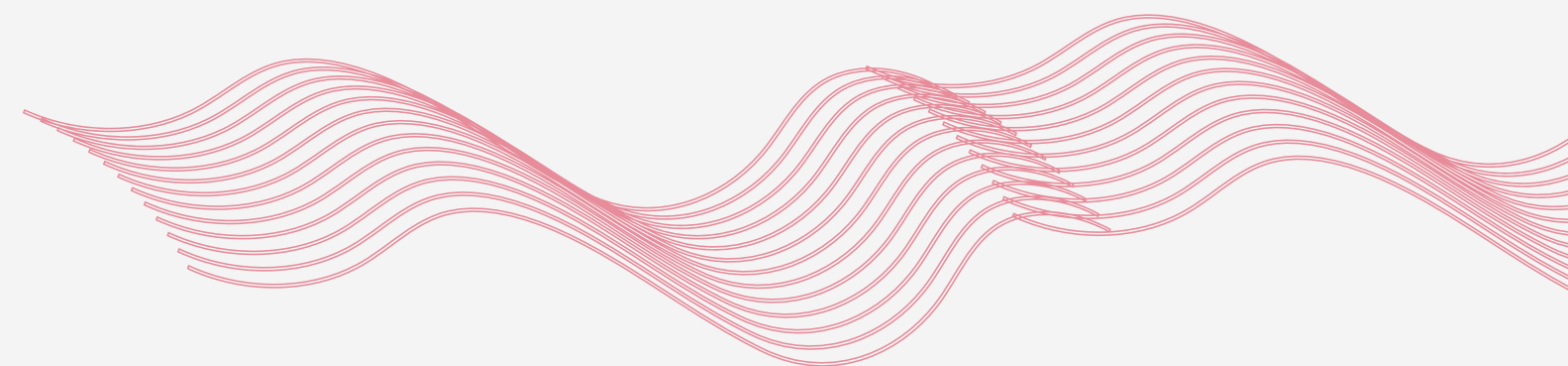


Altezza: 45cm

Valore reale (misurato) : [x: 61,05, y: 6,35, z: 45,0] cm

color 640x480 60 fps RGB8	color 424x240 60 fps RGB8	color 848x480 60 fps RGB8
media[cm] x: 63,3 y: 13,62 z: 44,53	media[cm] x: 61,04 y: 9,10 z: 45,01	media[cm] x: 63,433 y: 13,57 z: 44,33
deviazione standard[cm] x: 0,22 y: 0,19 z: 0,13	deviazione standard[cm] x: 0,31 y: 0,47 z: 0,024	deviazione standard[cm] x: 0,14 y: 13,58 z: 0,10
errore[cm] x: -2,26 y: -7,27 z: 0,46	errore[cm] x: 0,01 y: -2,75 z: 0,012	errore[cm] x: -2,38 y: -7,22 z: 0,66
average rate[Hz] 25.148	average rate[Hz] 59.525	average rate[Hz] 22.789

Terzo test(2)

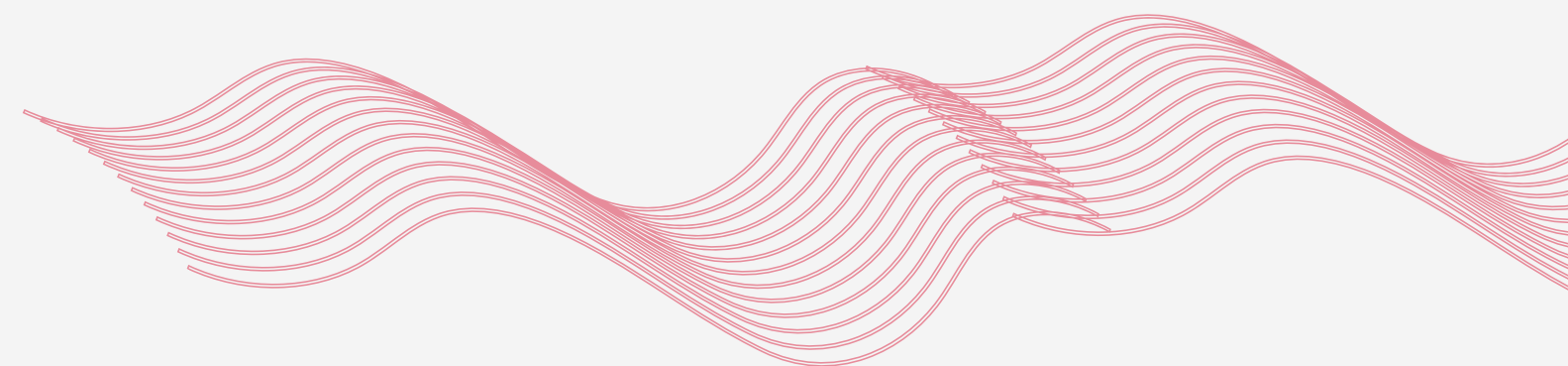


Altezza: 65cm

Valore reale (misurato) : [x: 60,85, y: 6,95, z: 65] cm

color 640x480 60 fps RGB8	color 424x240 60 fps RGB8 (solo frame 400)	color 848x480 60 fps RGB8
media[cm] x: 61,47 y: 6,87 z: 64,07	media[cm] x: 56,06 y: 12,25 z: 63,37	media[cm] x: 61,13 y: 8,33 z: 64,40
deviazione standard[cm] x: 0,92 y: 0,40 z: 0,13	deviazione standard[cm] x: 0,50 y: 1,32 z: 0,28	deviazione standard[cm] x: 0,23 y: 0,17 z: 0,17
errore[cm] x: -0,62 y: 0,079 z: 0,92	errore[cm] x: 4,78 y: -5,30 z: 1,62	errore[cm] x: -0,28 y: -1,38 z: 0,59
average rate[Hz] 22.868	average rate[Hz] 59.064	average rate[Hz] 20.232

Terzo test(2)



Altezza: 85cm

Valore reale (misurato) : [x: 62,05, y: 9,35, z: 84] cm

color 640x480 60 fps RGB8	color 424x240 60 fps RGB8 (solo frame 400)	color 848x480 60 fps RGB8
media[cm] x: 71,77 y: 14,42 z: 78,47	media[cm] x: 68,26 y: 4,75 z: 83,11	media[cm] x: 69,86 y: 12,67 z: 79,56
deviazione standard[cm] x: 0,32 y: 14,42 z: 1,19	deviazione standard[cm] x: 0,64 y: 0,51 z: 0,16	deviazione standard[cm] x: 1,23 y: 12,67 z: 0,64
errore[cm] x: -9,72 y: -5,07 z: 5,52	errore[cm] x: -6,21 y: 5,10 z: 0,88	errore[cm] x: -7,81 y: -3,32 z: 5,43
average rate[Hz] 20.015	average rate[Hz] 58.155	average rate[Hz] 19.660

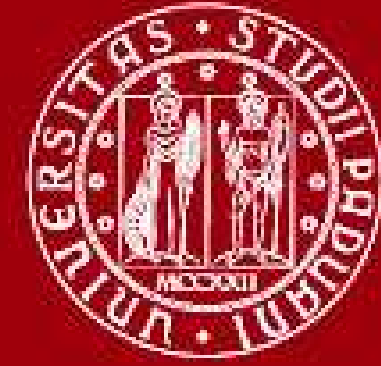
Terzo test osservazioni

- I migliori parametri risultano ancora 424x240 a 60 fps
- Migliori risultati ottenuti modificando risoluzione e fps del nodo camera
- Con l'aumentare dell'altezza la velocità diminuisce leggermente e la posa peggiora
- Alle altezze maggiori si perdono i frame più piccoli (1000 e 1001)

Conclusioni

- I migliori risultati li abbiamo ottenuti modificando la risoluzione del nodo camera
- Il nuovo nodo apriltag_ros è più veloce ma la precisione sulla posa è rimasta molto simile
- Comparazione tra "nuovo" e "vecchio" nodo apriltag_ros:

25 cm		45 cm		65 cm		85 cm	
Nodo vecchio	Nodo nuovo	Nodo vecchio	Nodo nuovo	Nodo vecchio	Nodo nuovo	Nodo vecchio	Nodo nuovo
errore [cm]: x: 0,20 y: 0,47 z: 0,45	errore [cm]: x: -1,06 y: -1,84 z: -0,36	errore [cm]: x: -1,84 y: -1,2 z: 1,91	errore [cm]: x: 0,006 y: -2,75 z: 0,01	errore [cm]: x: -3,76 y: 5,58 z: 1,45	errore [cm]: x: 4,78 y: -5,30 z: 1,62	errore [cm]: x: -0,25 y: 5,40 z: 0,48	errore [cm]: x: -6,21 y: 5,10 z: 0,88
average rate[Hz] 56,828	average rate[Hz] 59.831	average rate[Hz] 55,503	average rate[Hz] 59.525	average rate[Hz] 54,214	average rate[Hz] 59.064	average rate[Hz] 53,366	average rate[Hz] 58.155



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Grazie per l'attenzione