



DII – Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

Elaborazione di segnali generati dal sensore Kinect

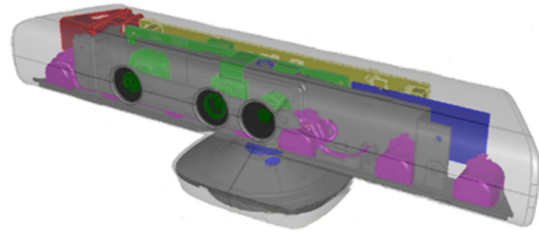
Enea Cippitelli – e.cippitelli@univpm.it

Overview



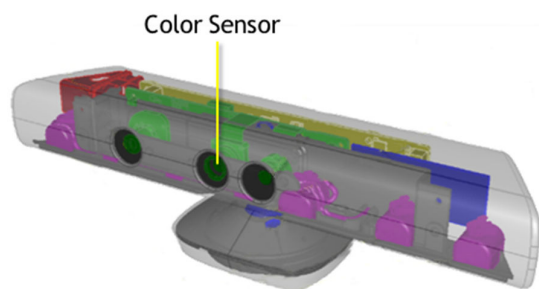
1. Il sensore Kinect
2. Software
3. Test della sedia
4. Fall detection
5. Altre attività

1. Il sensore Kinect Caratteristiche



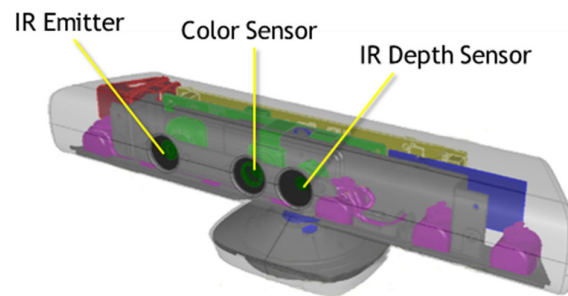
1. Il sensore Kinect Caratteristiche

- Camera RGB



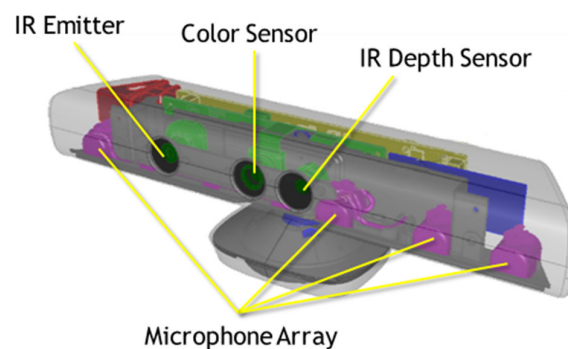
1. Il sensore Kinect Caratteristiche

- Camera RGB
- Sensore di profondità



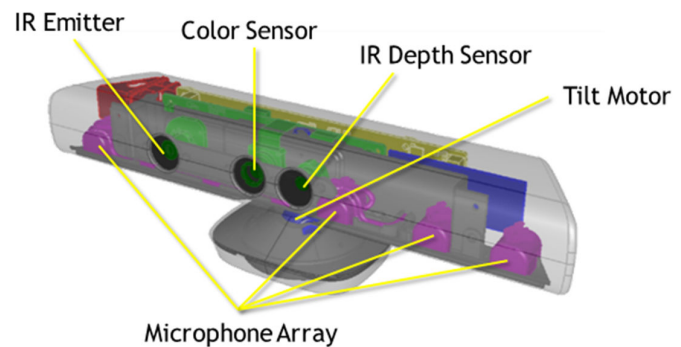
1. Il sensore Kinect Caratteristiche

- Camera RGB
- Sensore di profondità
- Acquisizione audio
 - 4 microfoni
 - 24 bit 16kHz ADC



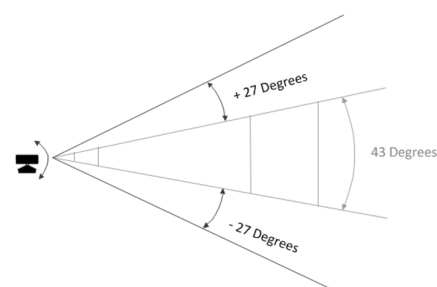
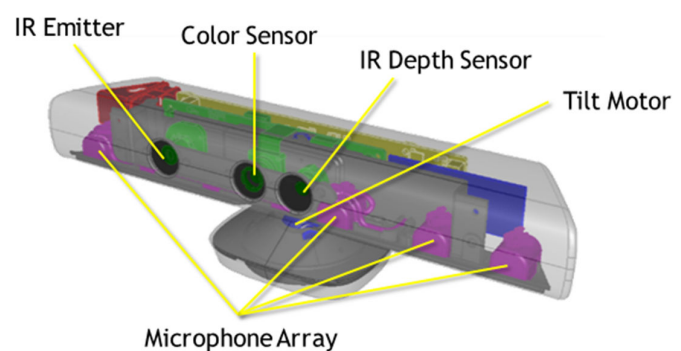
1. Il sensore Kinect Caratteristiche

- Camera RGB
- Sensore di profondità
- Acquisizione audio
 - 4 microfoni
 - 24 bit 16kHz ADC
- Tilt motor



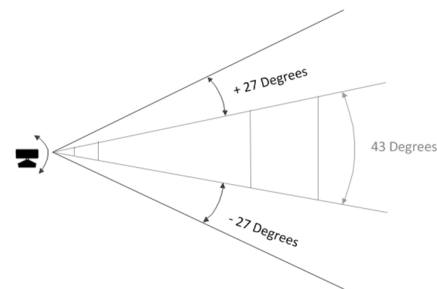
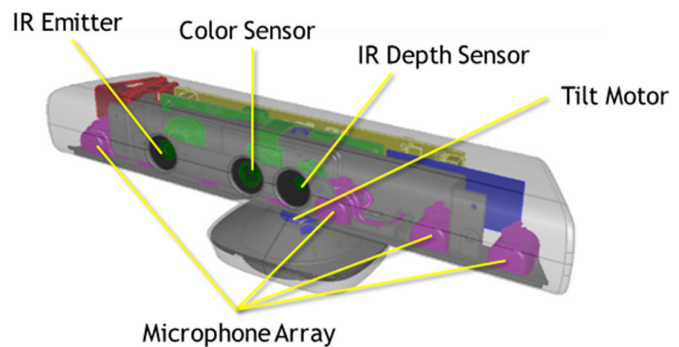
1. Il sensore Kinect Caratteristiche

- Camera RGB
- Sensore di profondità
- Acquisizione audio
 - 4 microfoni
 - 24 bit 16kHz ADC
- Tilt motor
 - $\pm 27^\circ$ sul piano verticale



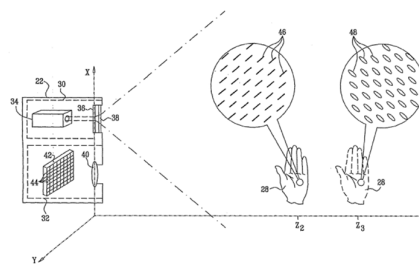
1. Il sensore Kinect Caratteristiche

- Camera RGB
- Sensore di profondità
- Acquisizione audio
 - 4 microfoni
 - 24 bit 16kHz ADC
- Tilt motor
 - $\pm 27^\circ$ sul piano verticale
- Output
 - Matrice dei dati di profondità
 - Frame RGB

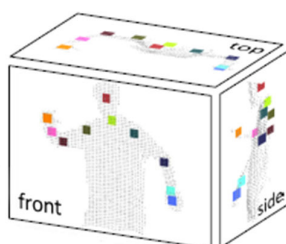


1. Il sensore Kinect Depth data & Joints estimation

- Profondità



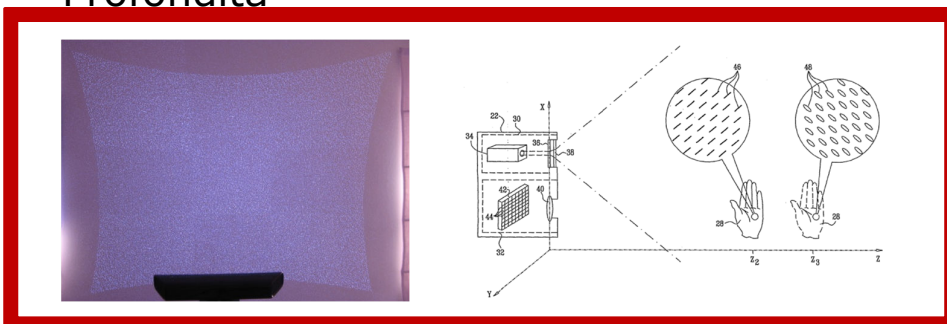
- Joints



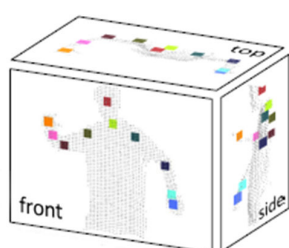
1. Il sensore Kinect

Depth data & Joints estimation

- Profondità



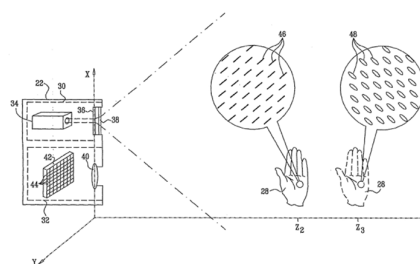
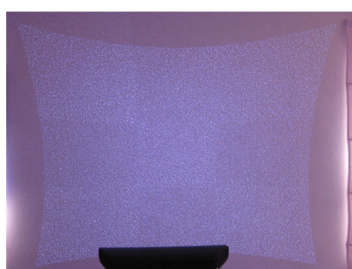
- Joints



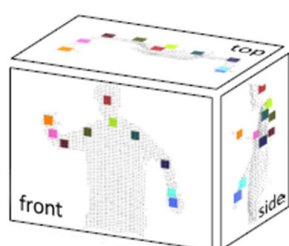
1. Il sensore Kinect

Depth data & Joints estimation

- Profondità



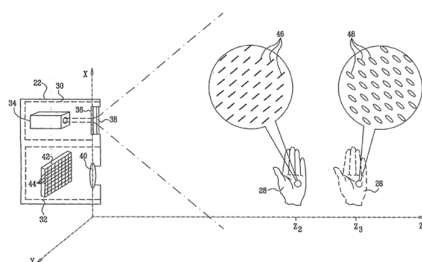
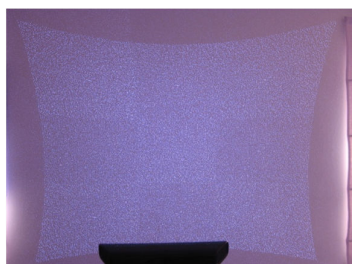
- Joints



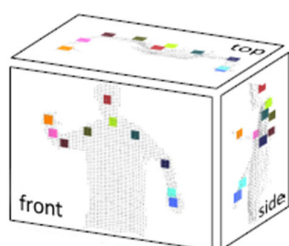
1. Il sensore Kinect

Depth data & Joints estimation

- Profondità



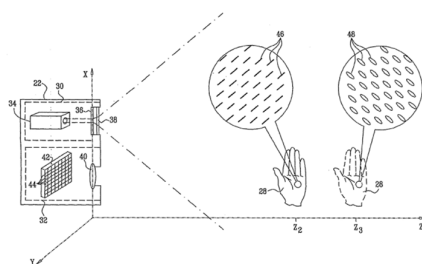
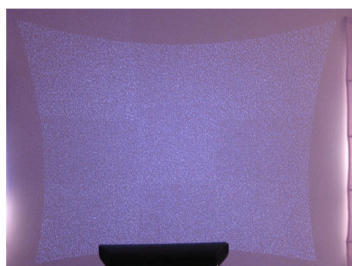
- Joints



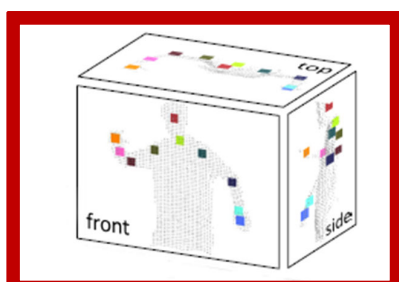
1. Il sensore Kinect

Depth data & Joints estimation

- Profondità

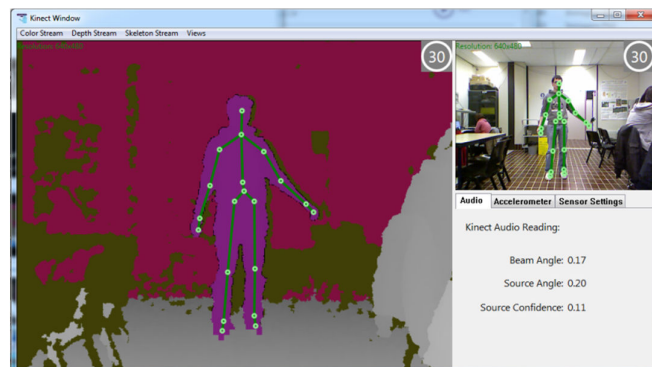
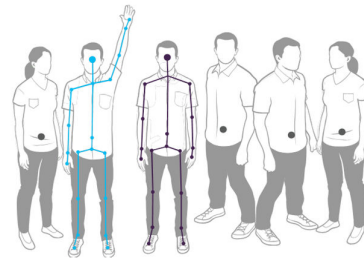
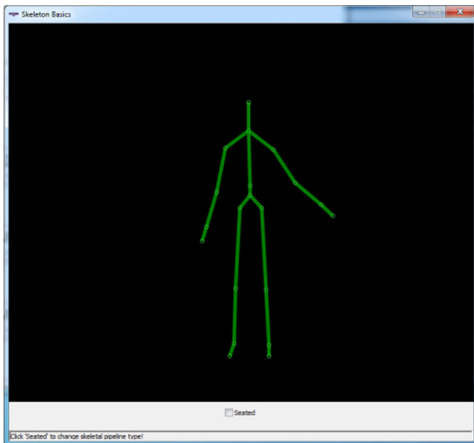


- Joints



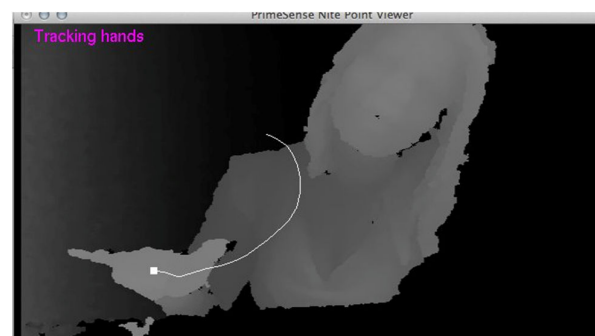
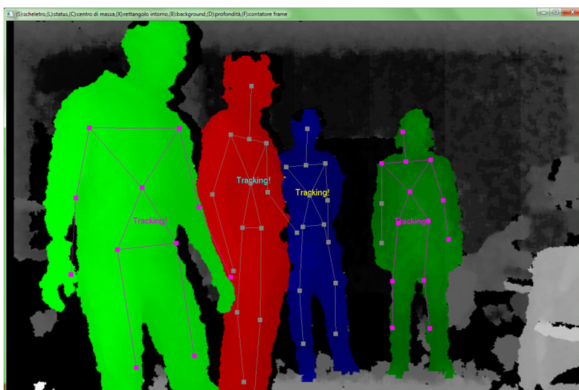
2. Software

- Kinect for Windows SDK (Windows 7 – Windows 8)



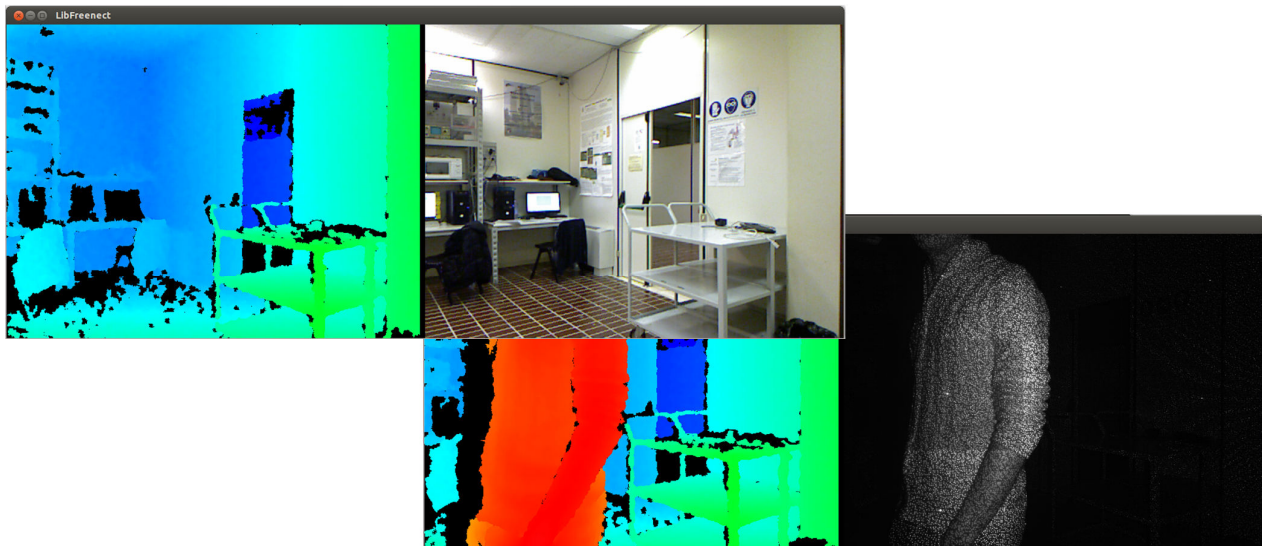
2. Software

- OpenNI SDK + NITE (Windows – Linux – OS X)



2. Software

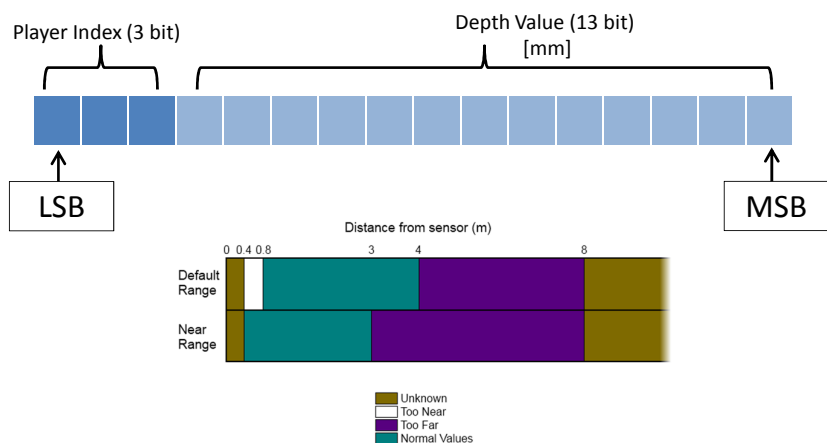
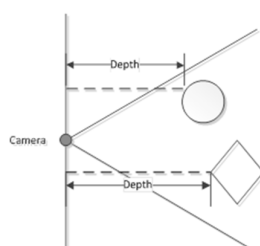
- Libfreenect (Windows – Linux – OS X)



2. Software Microsoft SDK

- **Color Stream**
 - **RGB - 640x480 @ 30fps** - 1280x960 @ 12fps (32 bit/pixel)
 - YUV - 640x480 @ 15fps
 - Bayer - 640x480 @ 30fps - 1280x960 @ 12fps
 - **Infrared - 640x480 @ 30fps** (16 bit/pixel – 10 utili)

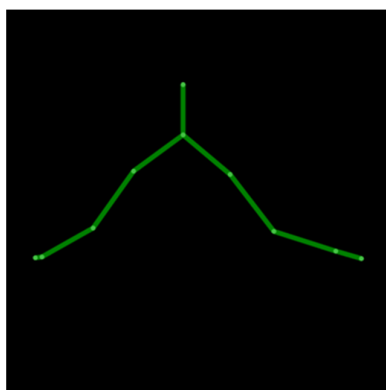
- **Depth Stream**
 - 80x60 @ 30fps
 - **320x240 @ 30fps**
 - 640x480 @ 30fps



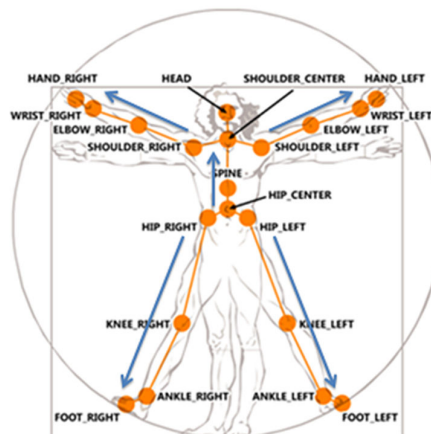
2. Software Microsoft SDK

- **Skeleton Stream**

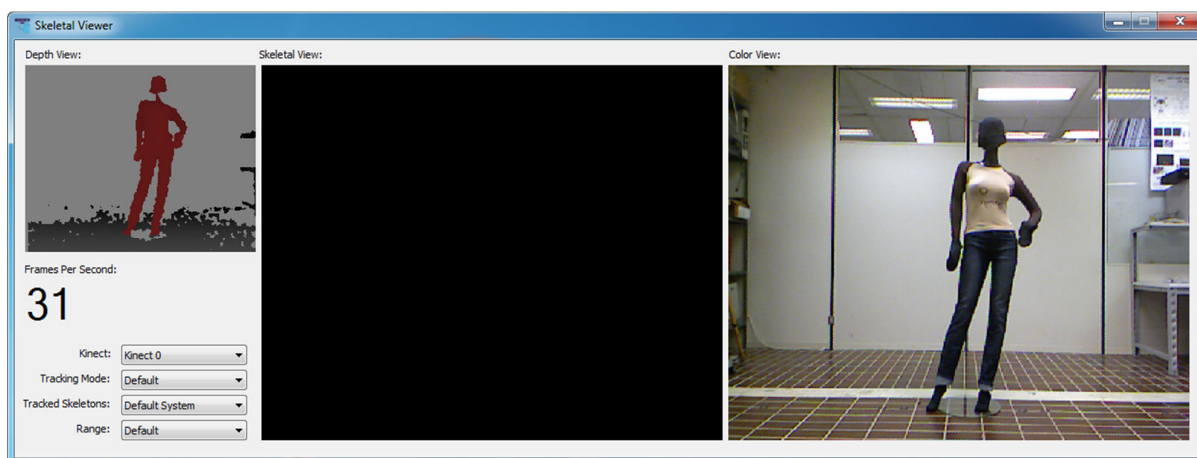
- Seated Mode
 - 10 joints



- Default Mode
 - 20 joints



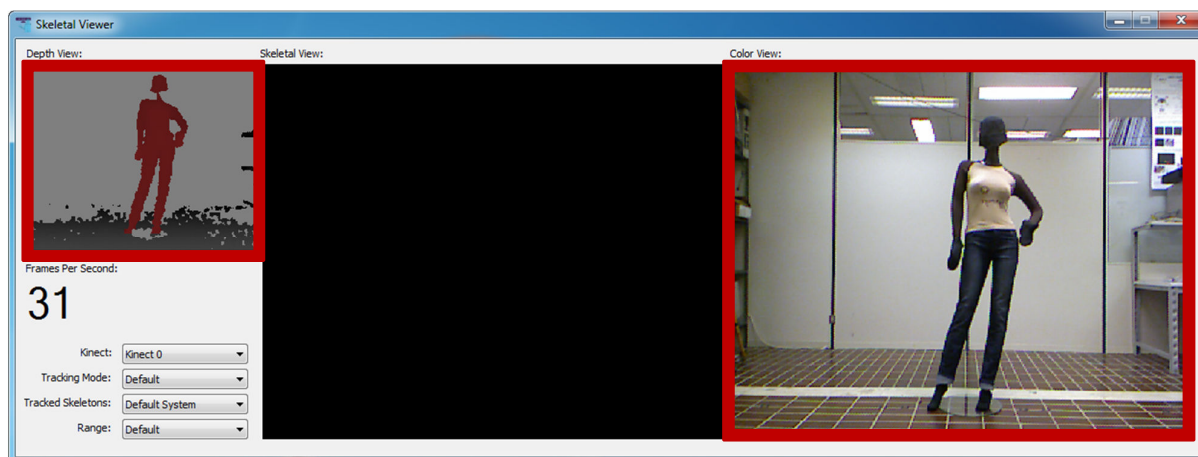
2. Software Skeletal Viewer



2. Software Skeletal Viewer

Depth View
320x240 @ 30 fps

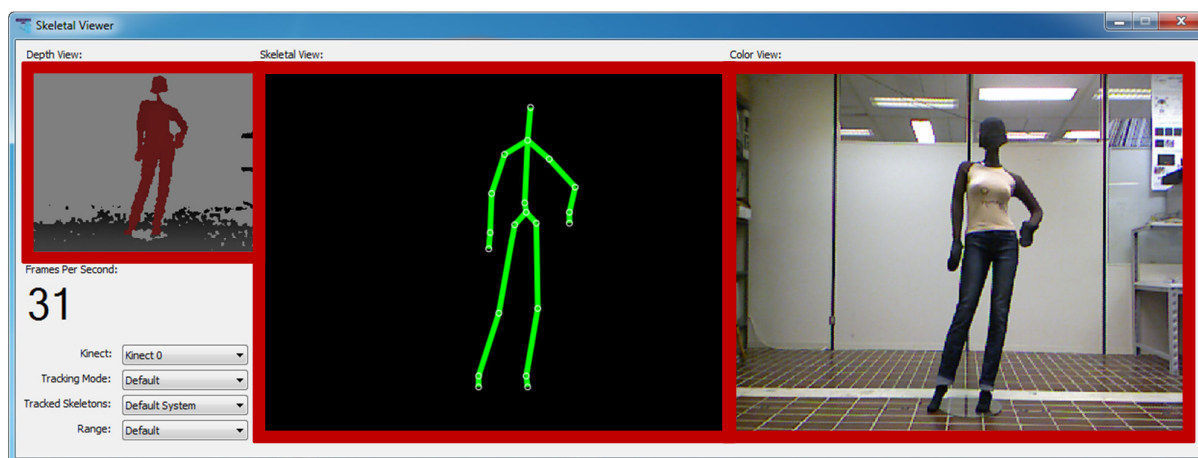
Color View
640x480 @ 30 fps



2. Software Skeletal Viewer

Depth View
320x240 @ 30 fps

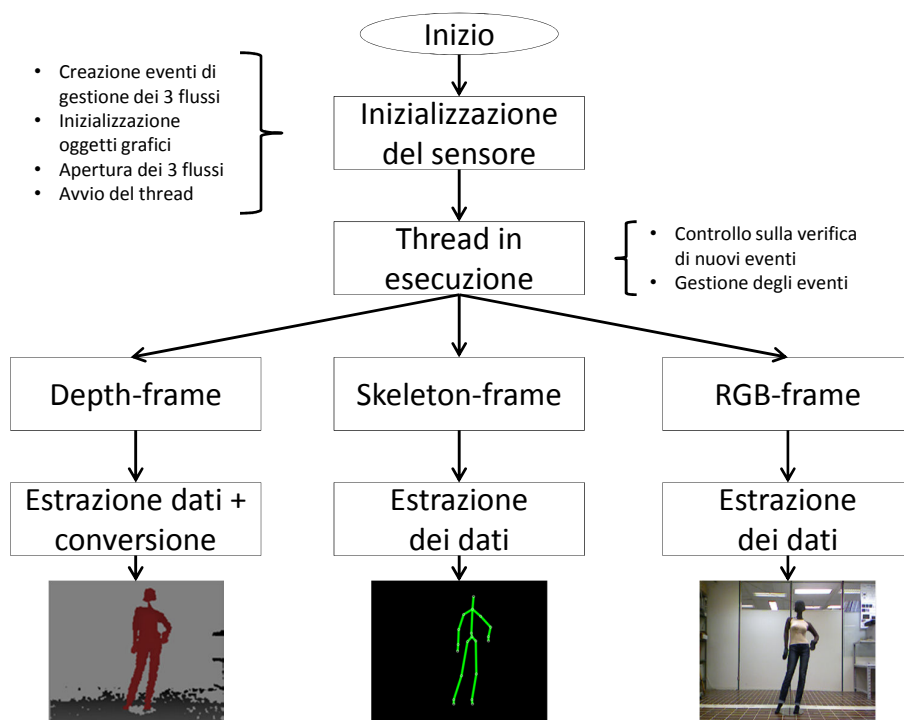
Color View
640x480 @ 30 fps



Skeletal View

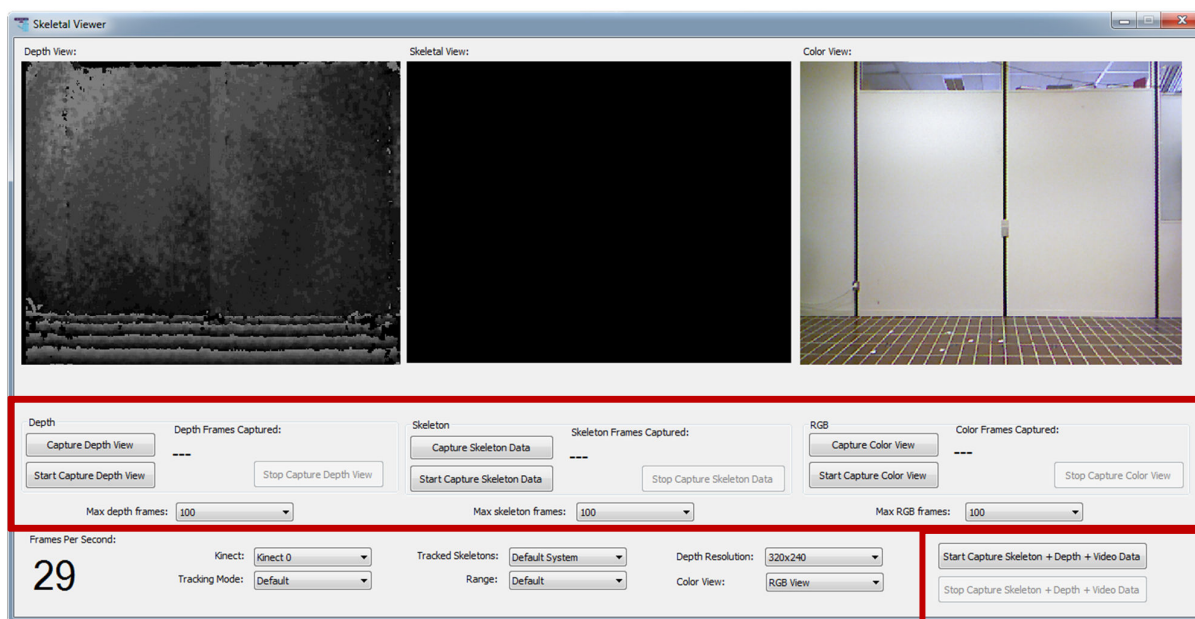
2. Software

Skeletal Viewer – schema a blocchi



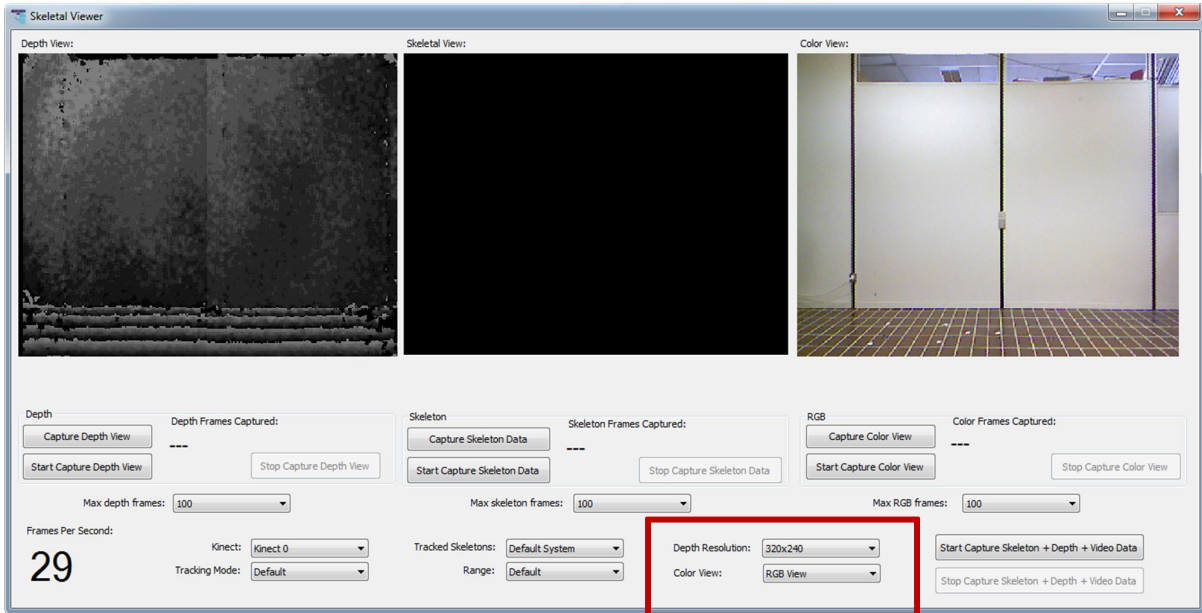
2. Software

Skeletal Viewer modificato



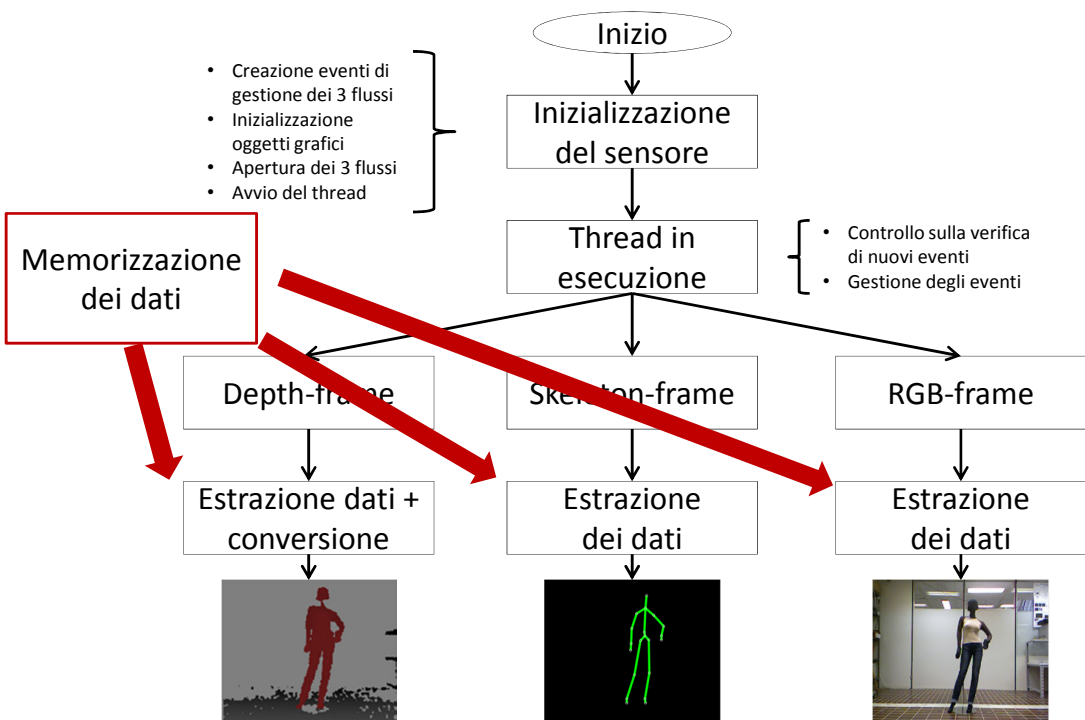
2. Software

Skeletal Viewer modificato



2. Software

Skeletal Viewer modificato – schema a blocchi

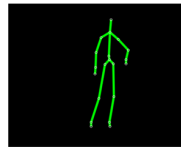


2. Software

Gestione dei dati



- Salvataggio su file binari
- I valori del singolo pixel sono organizzati in un array ad una dimensione
- Frame successivi identificati da numeri progressivi:
Filedepth_0.bin
Filedepth_1.bin



- Salvataggio su file .csv
- Tutti i frame salvati all'interno di un unico file:
Fileskeleton_1.csv

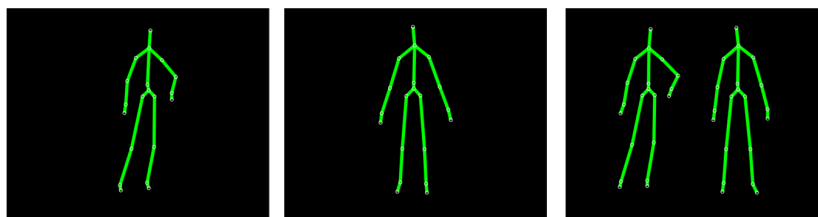


- Salvataggio su file bitmap
- Frame successivi identificati da numeri progressivi:
FrameRGB_0.bmp
FrameRGB_1.bmp

2. Software

Test sui joints dello scheletro

- **Soggetti:** manichino, soggetto umano

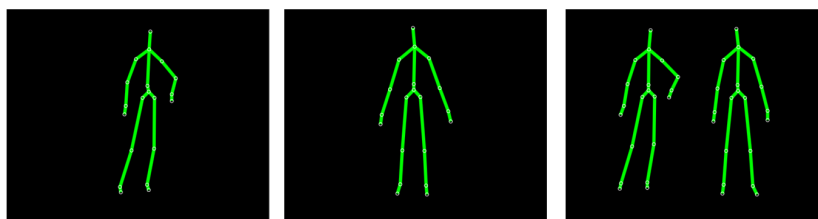


- **Distanza:** 2500 mm
- **Condizioni ambientali:** luminosità elevata o scarsa
- **Numero ripetizioni:** 5

2. Software

Test sui joints dello scheletro

- **Soggetti:** manichino, soggetto umano



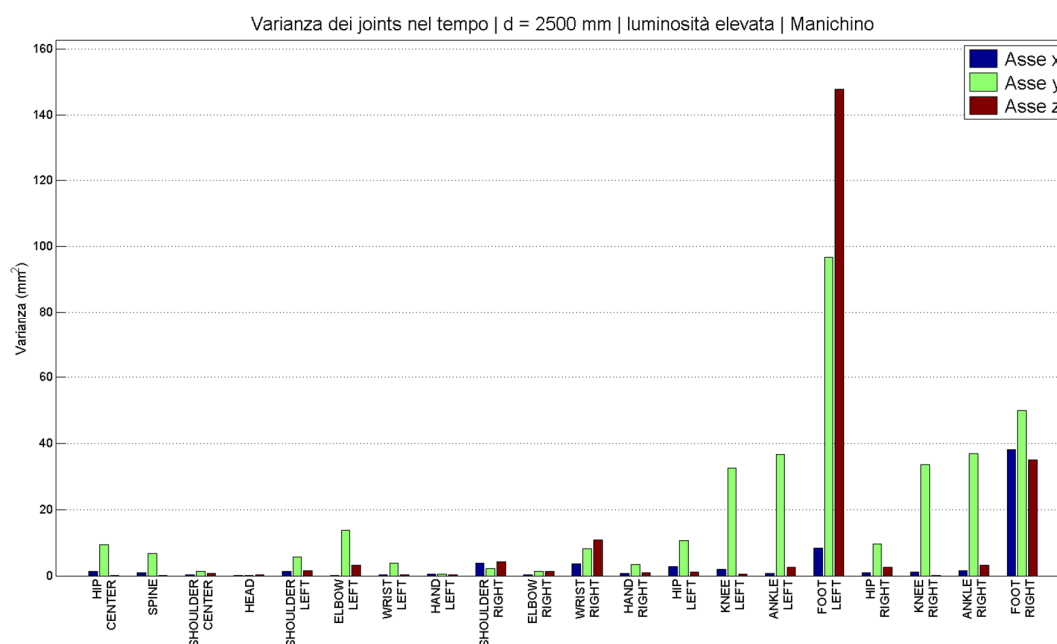
- **Distanza:** 2500 mm
- **Condizioni ambientali:** luminosità elevata o scarsa
- **Numero ripetizioni:** 5



- **Acquisizione di 1000 frame dello scheletro**
- **Calcolo della varianza di ogni joint nelle 3 direzioni**
- **Il risultato è la media delle varianze nelle 5 ripetizioni**

2. Software

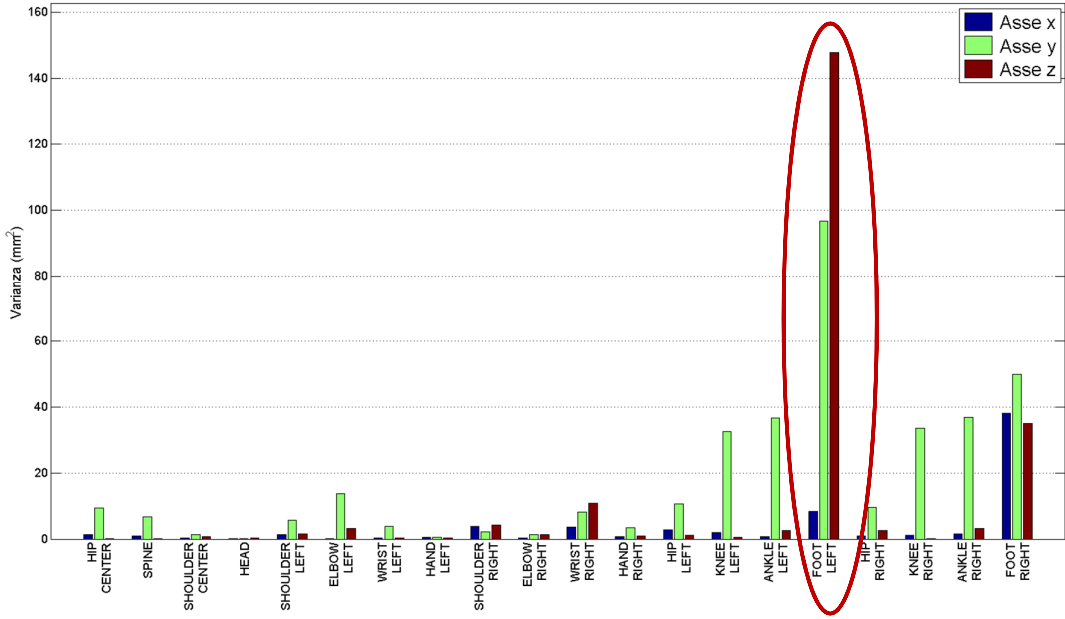
Test sui joints dello scheletro



2. Software

Test sui joints dello scheletro

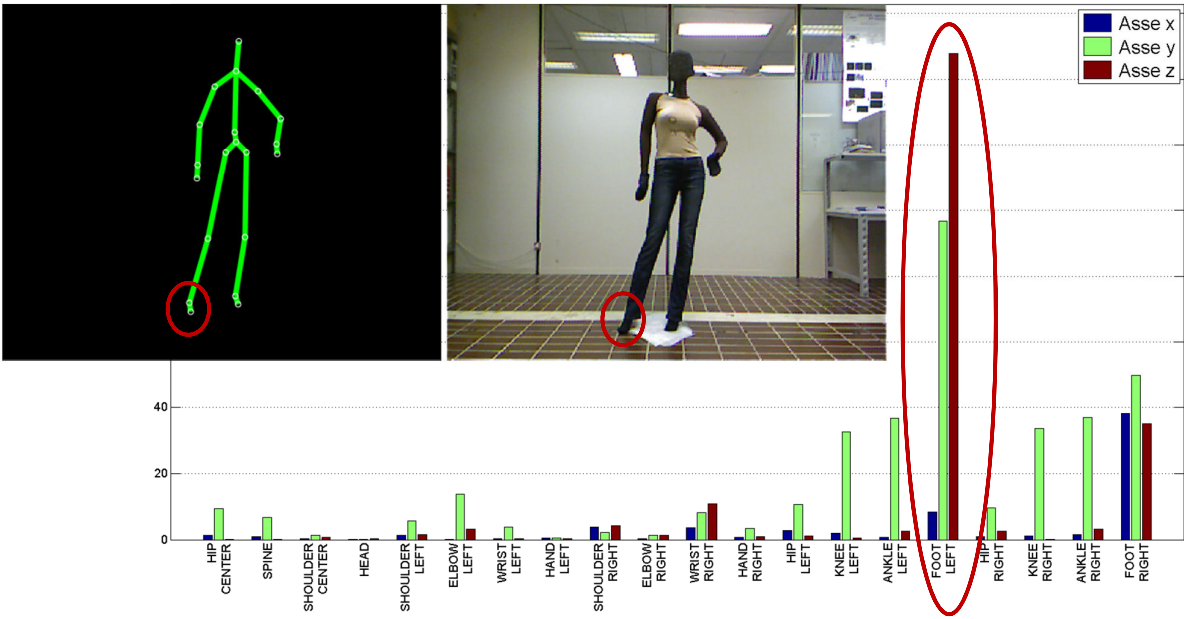
Varianza dei joints nel tempo | d = 2500 mm | luminosità elevata | Manichino



2. Software

Test sui joints dello scheletro

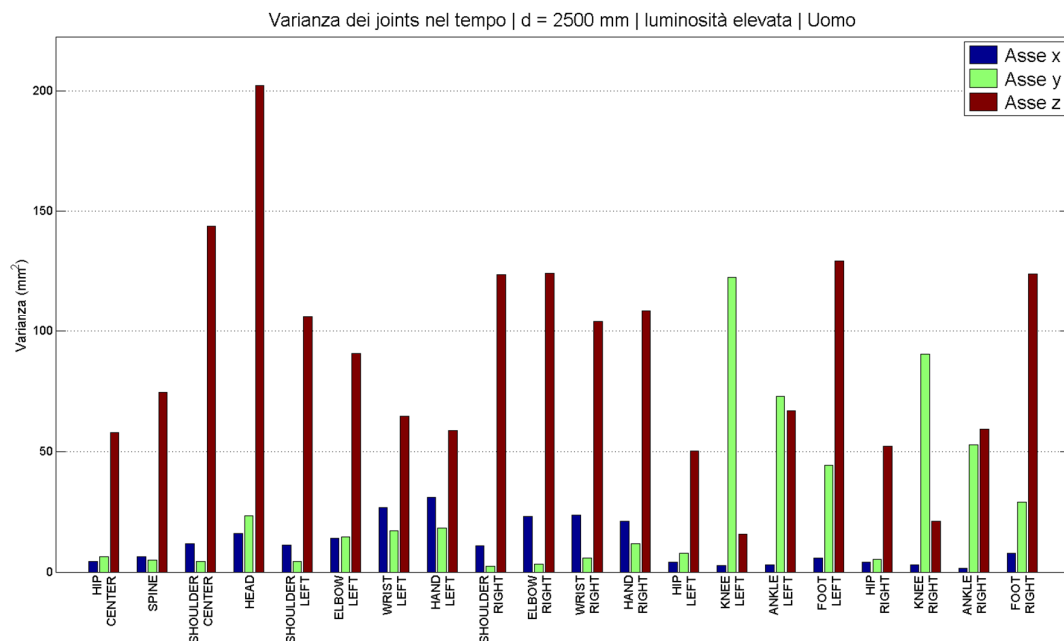
Varianza dei joints nel tempo | d = 2500 mm | luminosità elevata | Manichino





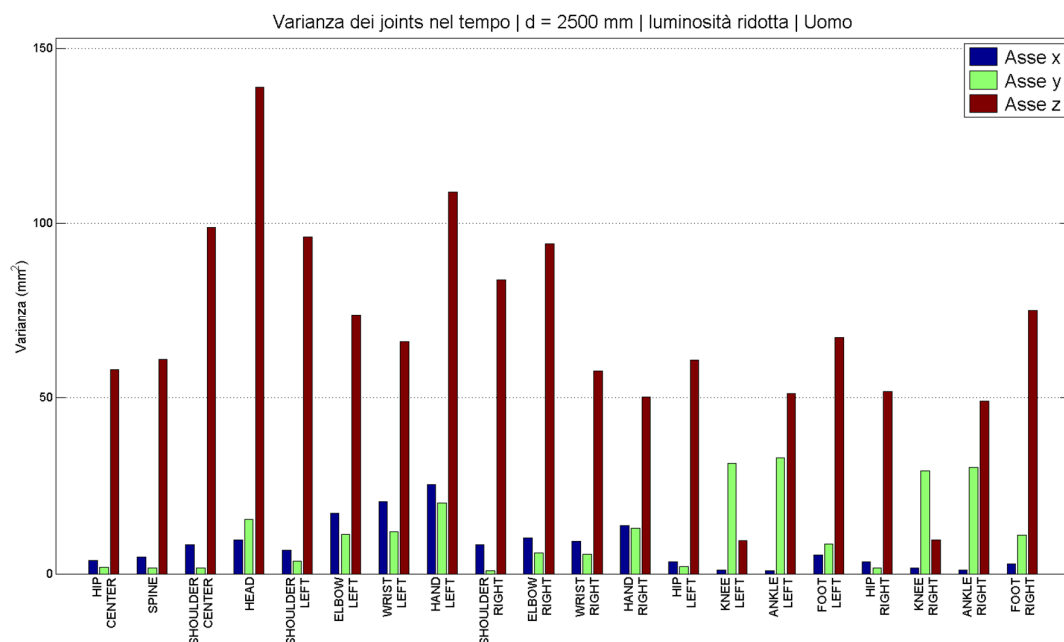
2. Software

Test sui joints dello scheletro



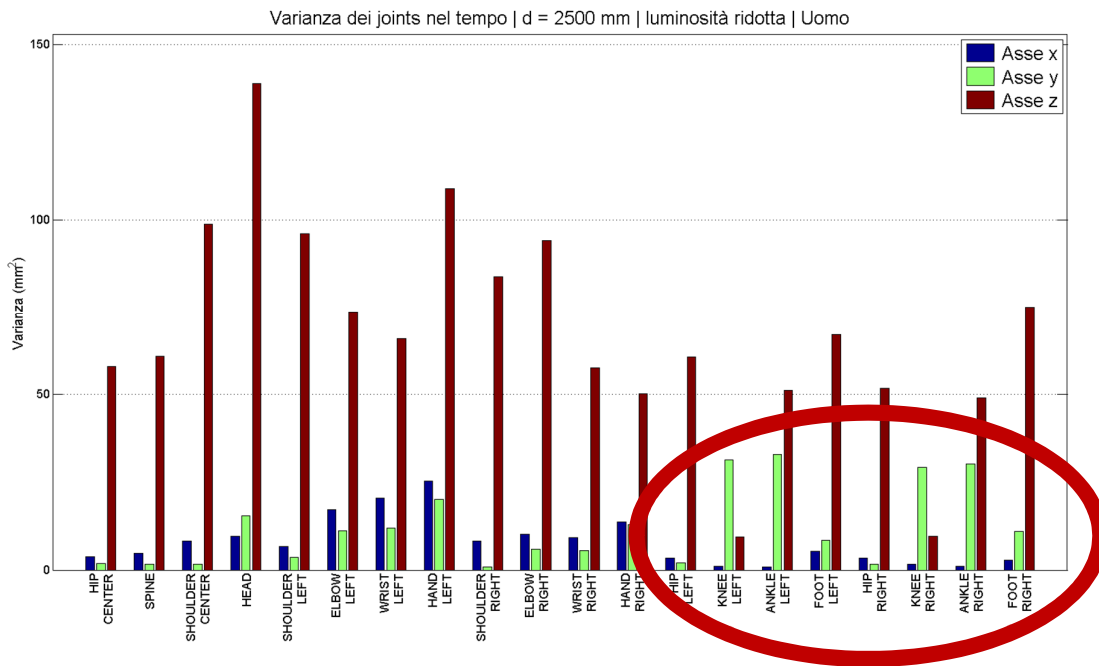
2. Software

Test sui joints dello scheletro



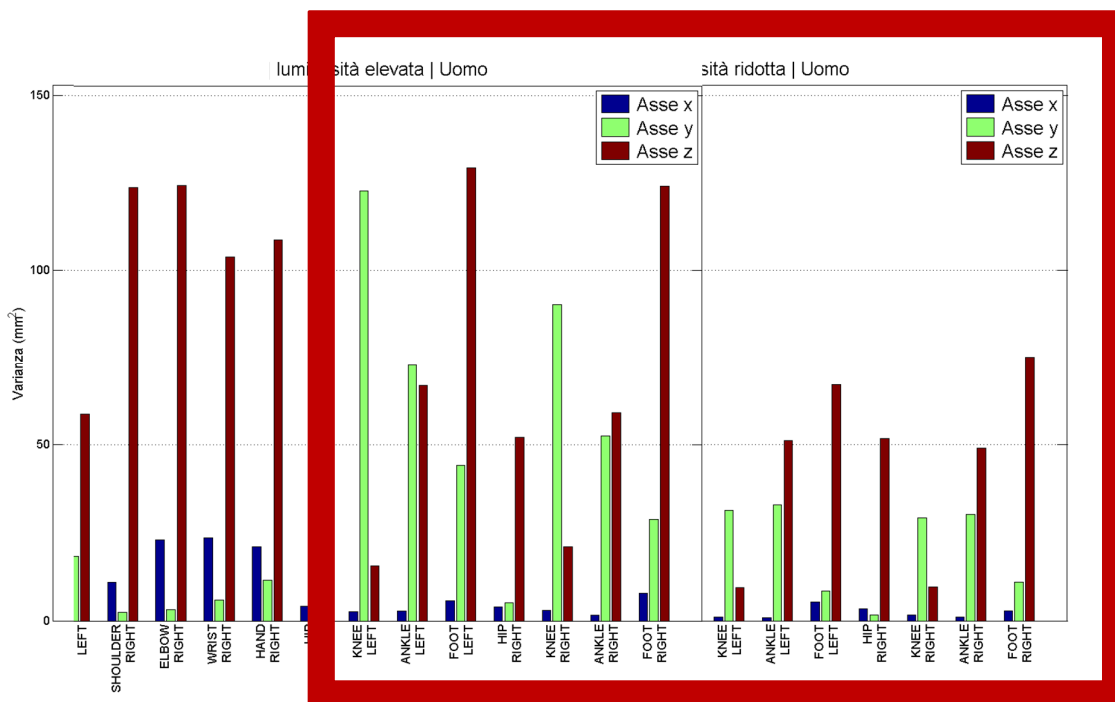
2. Software

Test sui joints dello scheletro



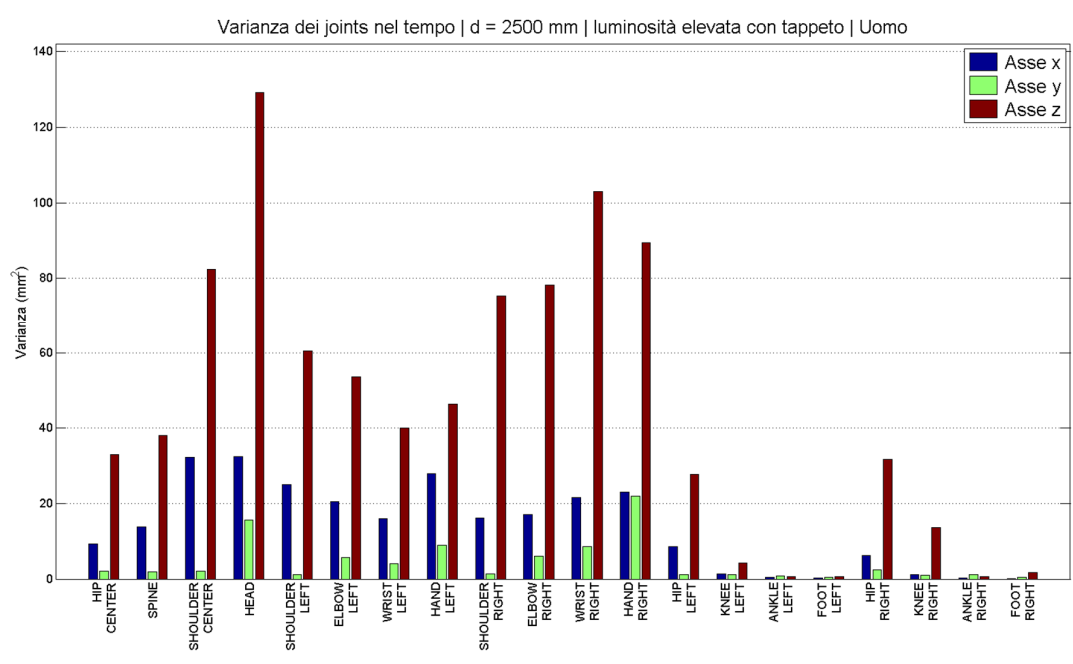
2. Software

Test sui joints dello scheletro



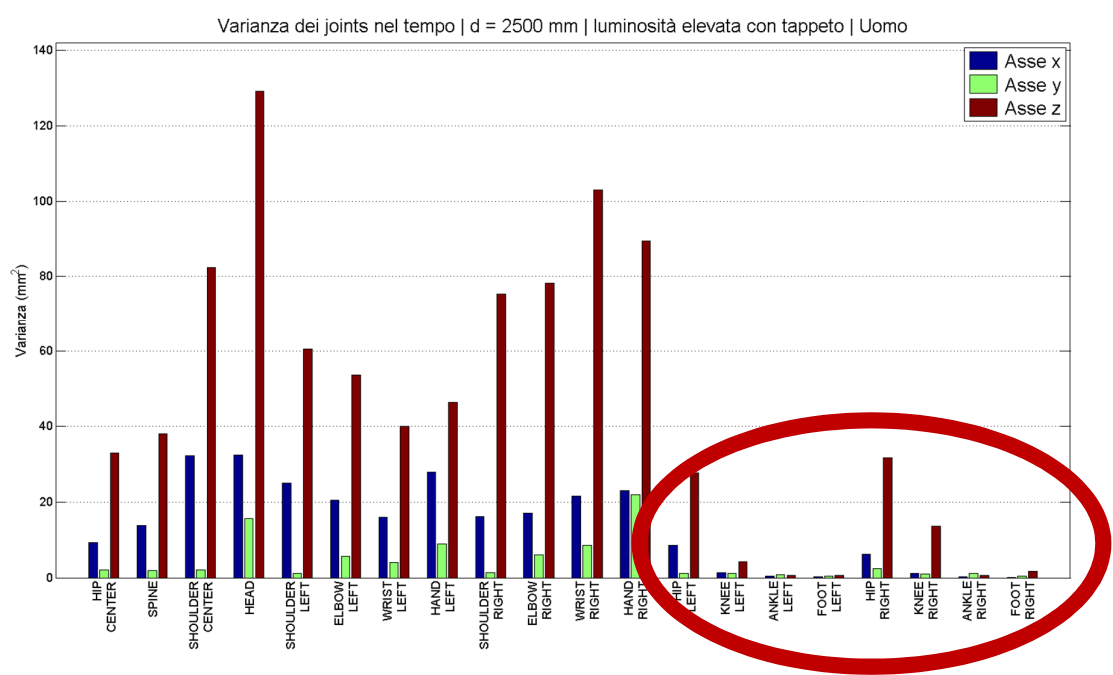
2. Software

Test sui joints dello scheletro



2. Software

Test sui joints dello scheletro



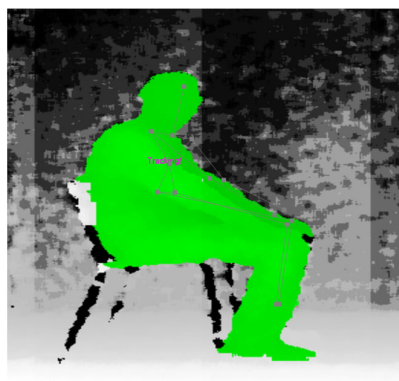
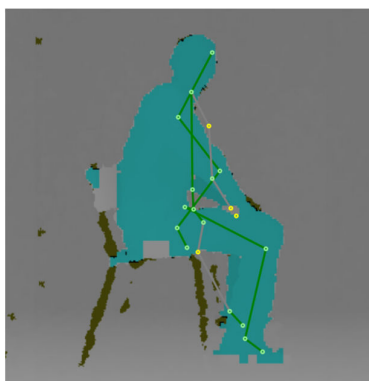
2. Software

Test sui joints dello scheletro

In definitiva:

- **Criticità nel tracking dello scheletro:**

- Funzione dalla luminosità ambientale
- Dipendenza dalla superficie del pavimento
- Dipendenza dalla postura:



3. Test della sedia Panoramica

- Il **test della sedia** è una tecnica utilizzata in ambito ospedaliero e consente di valutare l'**equilibrio** di persone anziane o affette da traumi.
- Il test consiste nell'esercitare il movimento di alzarsi da una sedia e compiere qualche passo.



3. Test della sedia Panoramica

- Problema
 - Il test della sedia può essere valutato in maniera **sogettiva**, possono sorgere variabilità di giudizio a seconda della persona che valuta il test.

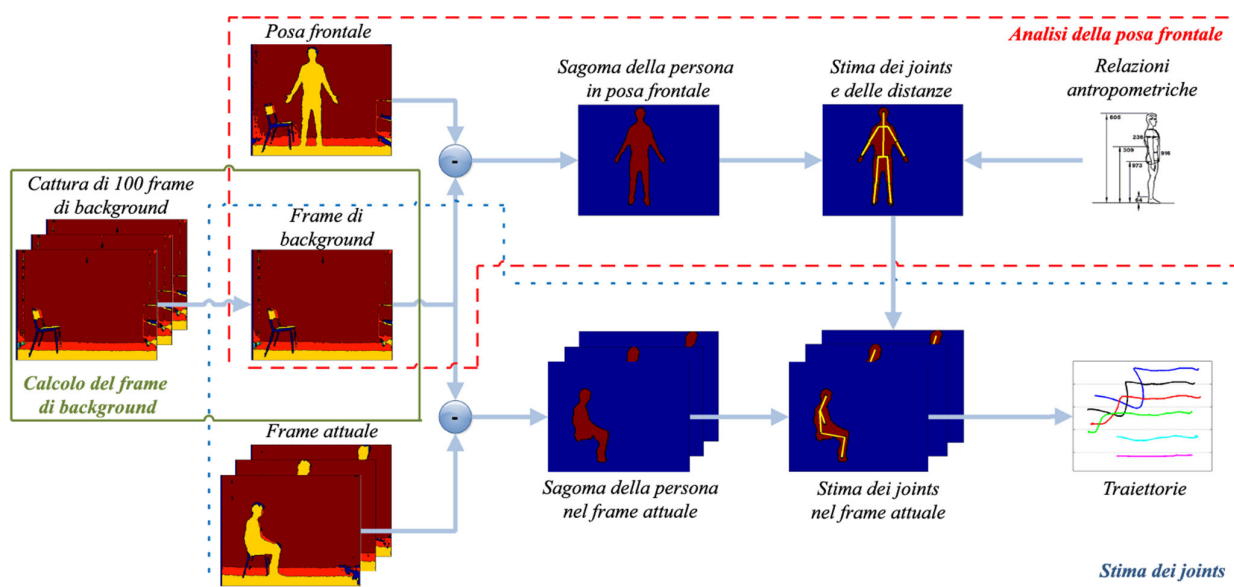
Follow-Up Assessment Observations

- Is the person steady and balanced when sitting upright? Yes No
- Is the person able to stand with the arms folded? Yes No
- When standing, is the person steady in narrow stance? Yes No
- With eyes closed, does the person remain steady? Yes No
- When nudged, does the person recover without difficulty? Yes No
- Does with person start walking without hesitancy? Yes No
- When walking, does each foot clear the floor well? Yes No
- Is there step symmetry, with the steps equal length and regular? Yes No
- Does the person take continuous, regular steps? Yes No
- Does the person walk straight without a walking aid? Yes No
- Does the person stand with heels close together? Yes No
- Is the person able to sit safely and judge distance correctly? Yes No

- Obiettivo
 - Progettazione di un sistema automatico non invasivo per lo svolgimento e l'analisi del Test della Sedia utilizzando Kinect.

Necessario stimare i joints dello scheletro.

3. Test della sedia Schema generale dell'algoritmo



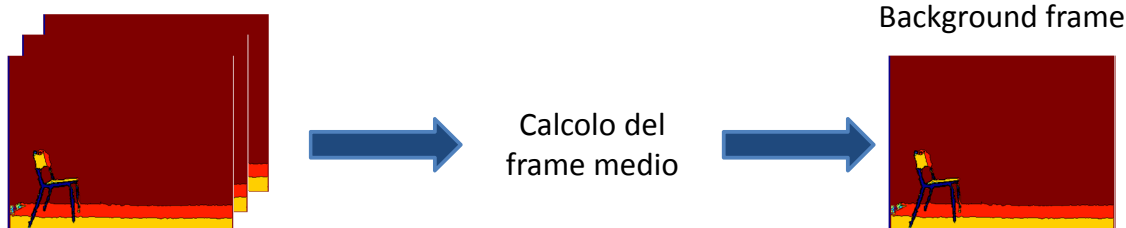
3. Test della sedia

Calcolo del frame di background

- Frame di background necessario per applicare la tecnica di background subtraction
- Calcolo del frame BF basato sulla cattura e processing di più frame consecutivi F_k :

$$BF(x, y) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=1}^N F_k(x, y)$$

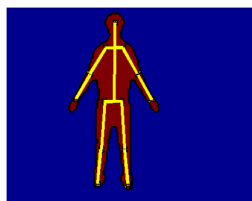
N Background frames



3. Test della sedia

Analisi della posa frontale

- Lo scopo di questa fase è quello di stimare le lunghezze dei segmenti che uniscono i joints adiacenti, separati da bones.



- Sono necessari 3 step:
 1. Sottrazione del background e segmentazione
 2. Distinzione degli oggetti
 3. Calcolo delle posizioni e delle distanze tra i joints

3. Test della sedia

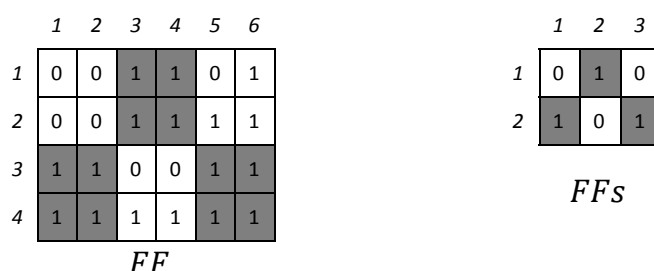
Analisi della posa frontale

1. Sottrazione del background e segmentazione

- Creazione del frame di foreground FF attraverso la:

$$FF(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{if } |DF(x, y) - BF(x, y)| < Th \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

- Creazione del frame FFs (160x120) a partire dal frame FF (320x240). Es. 6x4 FF -> 3x2 FFs

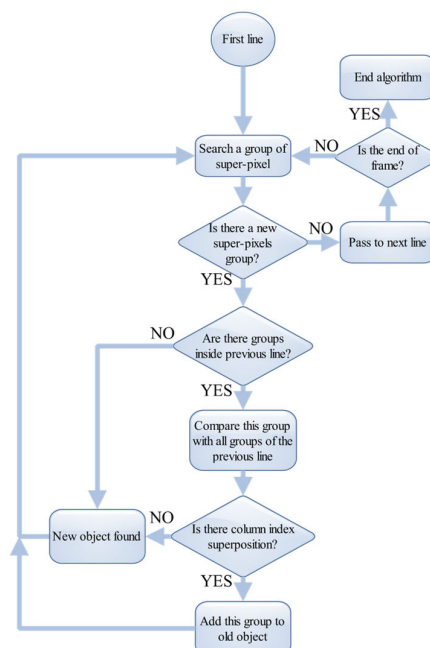


3. Test della sedia

Analisi della posa frontale

2. Distinzione degli oggetti

- Viene utilizzato un algoritmo ad-hoc di separazione degli oggetti
- I pixel contenuti all'interno del medesimo contorno vengono attribuiti allo stesso oggetto
- L'oggetto di area maggiore all'interno del frame è la persona

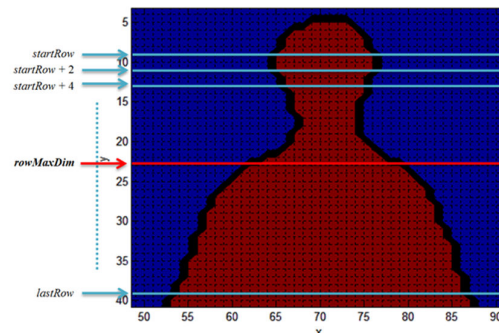


3. Test della sedia

Analisi della posa frontale

3. Calcolo delle posizioni e delle distanze tra i joints

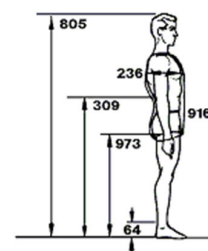
- Stima del joint della testa e dell'altezza della testa
- Calcolo della statura
- Uso dei rapporti antropometrici



Data	Stature (S) [cm]	Head height [cm]	R	Buttock height (BH) [cm]	S - BH [cm]	c
10	161.3	22.56	7.15	84.14	77.16	3.42
8	162.77	22.08	7.37	82.08	80.61	3.65
7	162.1	21.91	7.4	82.21	79.89	3.65
9	161.92	21.76	7.44	82.09	79.83	3.67
51	170.62	22.31	7.64	86.56	84.06	3.77
21	174.72	22.45	7.78	89.95	84.77	3.78
20	177.1	22.4	7.9	91.16	85.94	3.84

$$R = \frac{\text{Stature}}{\text{Head height}}$$

$$c = \frac{S - BH}{\text{Head height}}$$



3. Test della sedia

Analisi della posa frontale

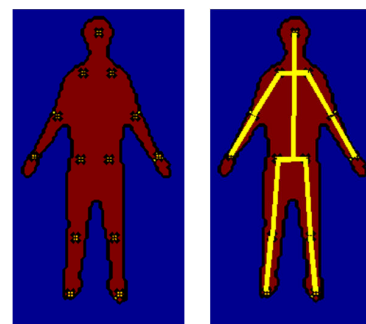
- Calcolo dello shift $S - BH$ (quindi *hipRow*) valutando i coefficienti R e c :

$$c = \begin{cases} 3.2 & R < 6.4 \\ 3.4 & 6.4 \leq R < 7.2 \\ 3.6 & 7.2 \leq R < 7.5 \\ 3.8 & 7.5 \leq R < 7.8 \\ 4 & 7.8 \leq R < 8.8 \\ 4.2 & R \geq 8.8 \end{cases}$$

$$R = \frac{\text{Stature}}{\text{Head height}}$$

$$S - BH = \text{Head height} \cdot c$$

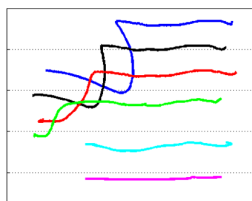
- Stima delle posizioni degli altri joints
- Calcolo delle distanze:
 - *shift_head*
 - *head-shoulder*
 - *shoulder-elbow*
 - *ankle-knee*
 - *knee-hip*



3. Test della sedia

Stima dei joints

- La fase di **stima dei joints** permette il posizionamento dei joints dello scheletro durante l'esecuzione del test della sedia.

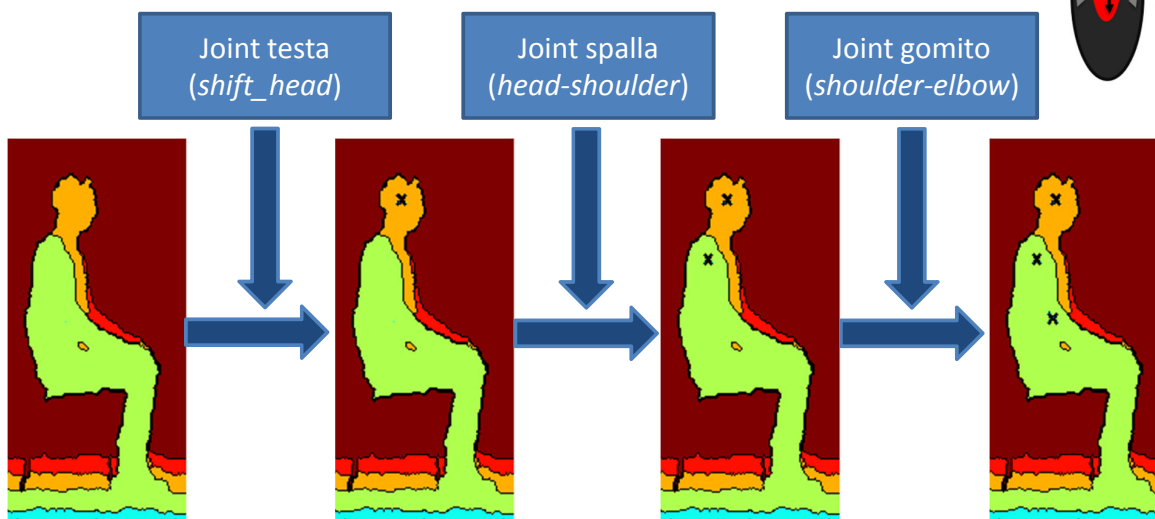
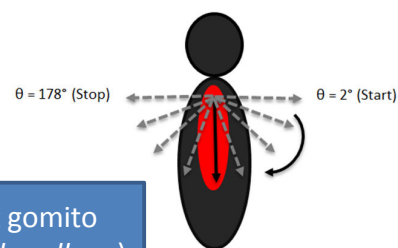


- Sono necessari 3 step:
 1. Sottrazione del background e segmentazione
 2. Distinzione degli oggetti
 3. Posizionamento dei joints
- } Stesso processing visto nella posa frontale

3. Test della sedia

Stima dei joints

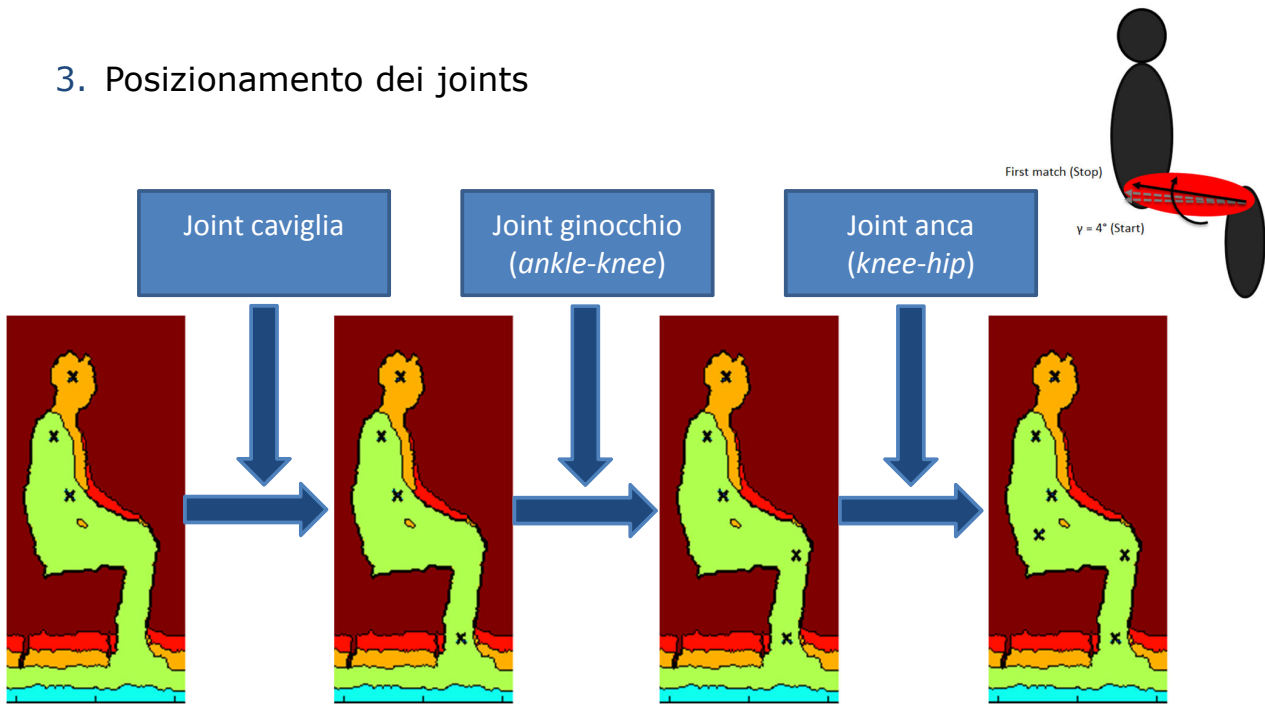
3. Posizionamento dei joints



3. Test della sedia

Stima dei joints

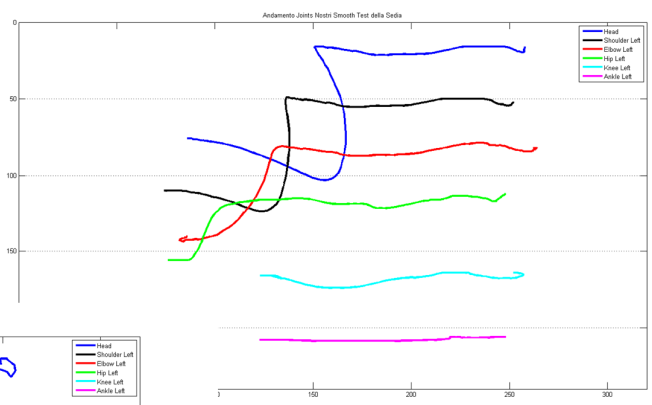
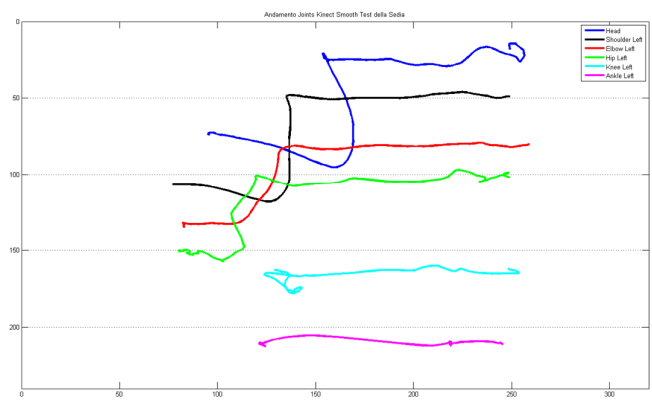
3. Posizionamento dei joints



3. Test della sedia

Risultati

Traiettorie dei joints stimati con algoritmo ad-hoc

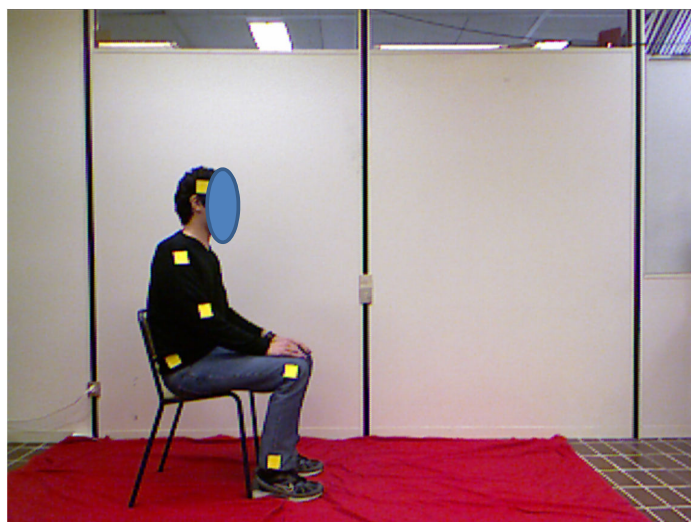


Traiettorie dei joints stimati da SDK Microsoft

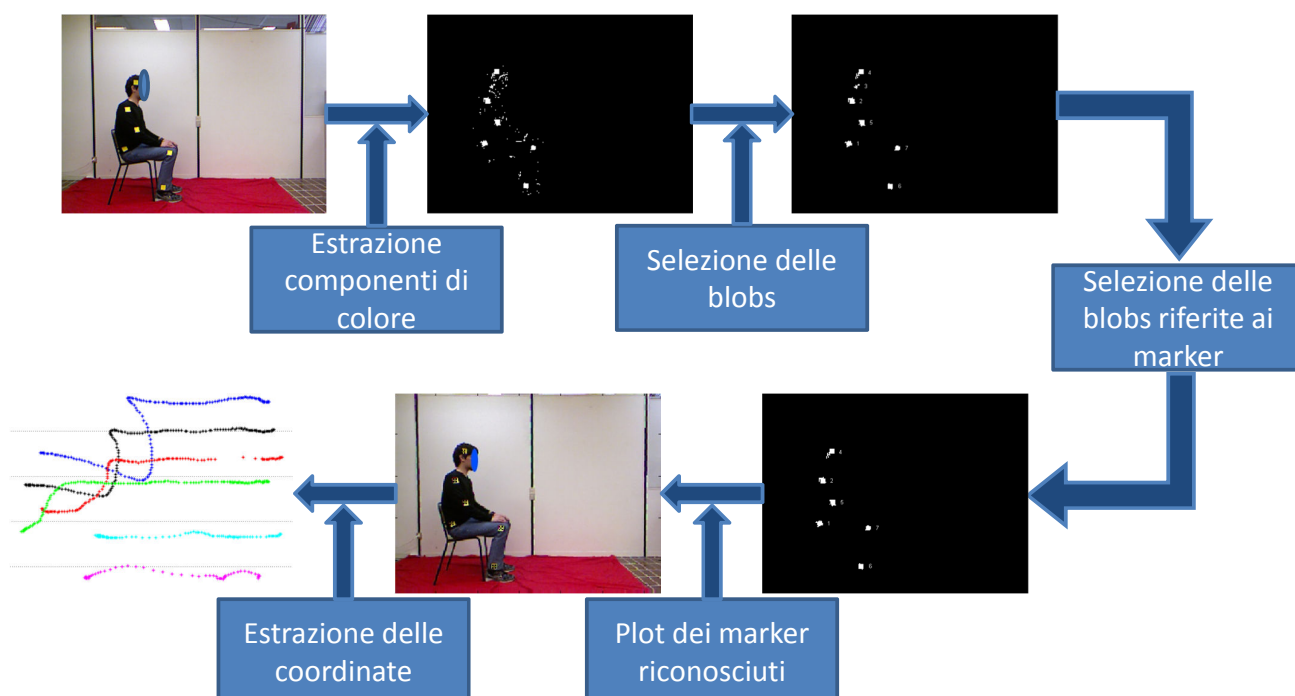


3. Test della sedia Tracking dei marker

- Per **validare l'algoritmo di stima dei joints** a partire da frame di profondità è necessario costruire un sistema affidabile di tracking da utilizzare per confronto.
- Possono essere utilizzati dei **marker** e si sfruttano i frame RGB.

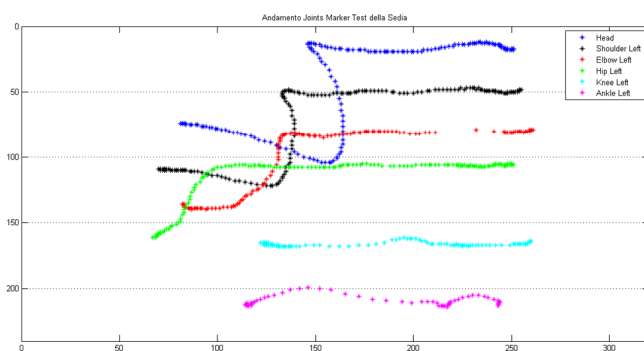
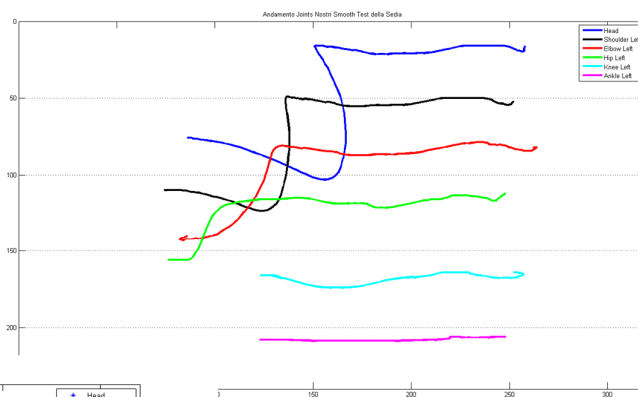


3. Test della sedia Tracking dei marker



3. Test della sedia Risultati

Traiettorie dei joints stimati con algoritmo ad-hoc

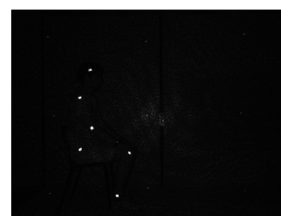


Traiettorie dei joints ottenute con i marker (rif)



3. Test della sedia Tracking dei marker

- Scelta migliore utilizzare **marker IR** e sfruttando lo stream infrared, 3 vantaggi:
 - Marker più piccoli
 - Processing più semplice
 - Mapping non necessario



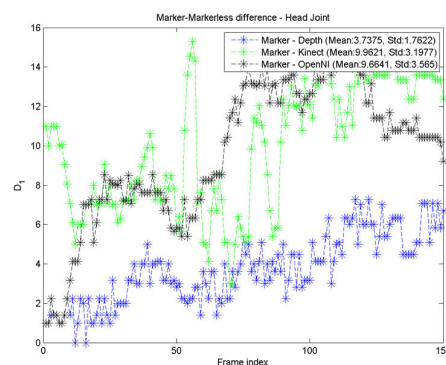
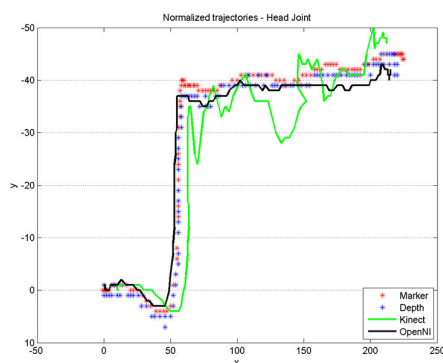
3. Test della sedia Risultati

- Confronto delle prestazioni degli algoritmi markerless rispetto a quello marker-based
- Si considerano 3 algoritmi markerless di stima dei joints: *Depth* (nostro), *Kinect* (SDK Microsoft), *OpenNI* (OpenNI+NITE)
- Coordinate del joint identificato dal sistema *marker-based* (m) al frame k :
 $(x_{i,k,m}, y_{i,k,m})$
- Coordinate del joint identificato dal sistema *Depth* (d) al frame k :
 $(x_{i,k,d}, y_{i,k,d})$
- Vettore differenza $D_{i,k,d}$ definito da:

$$D_{i,k,d} = \sqrt{(x_{i,k,m} - x_{i,k,d})^2 + (y_{i,k,m} - y_{i,k,d})^2}$$

3. Test della sedia Risultati

- Considerando l' i -esimo joint è possibile definire un vettore $\mathbf{D}_{i,d}$, che comprende tutti i K frame del test:
$$\mathbf{D}_{i,d} = [D_{i,1,d}, D_{i,2,d}, \dots, D_{i,K,d}]$$
- Analogamente, per gli altri due sistemi markerless, si avranno i vettori $\mathbf{D}_{i,s}$ per il SDK Microsoft e $\mathbf{D}_{i,o}$ per l'algoritmo che sfrutta le OpenNI.



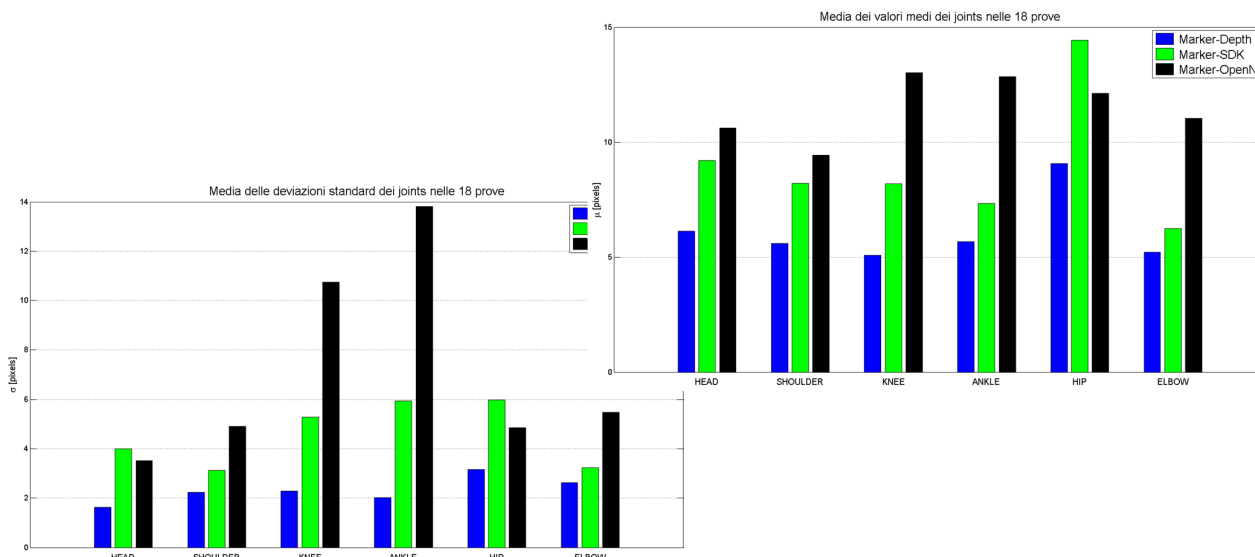
3. Test della sedia Risultati

- Per avere un indicatore globale sull'intero set di frame, si può andare a definirne il valore medio e la deviazione standard.

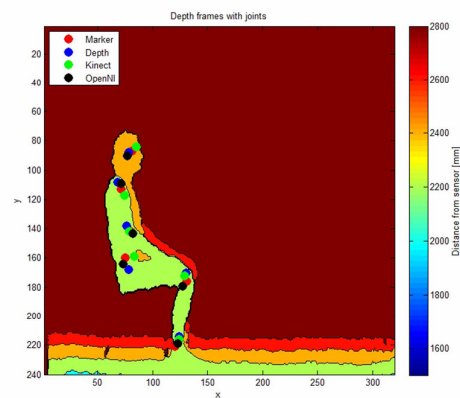
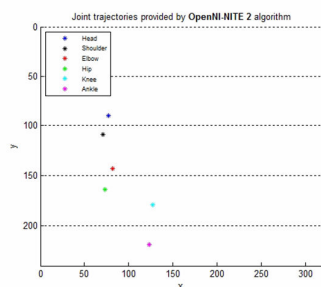
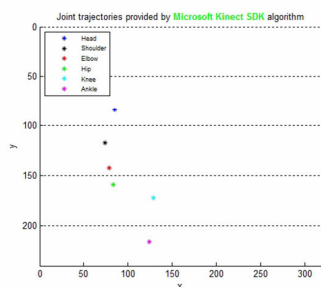
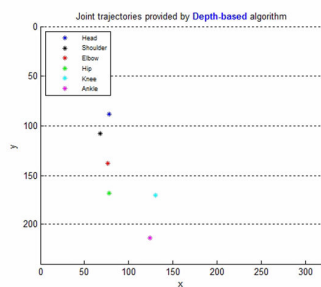
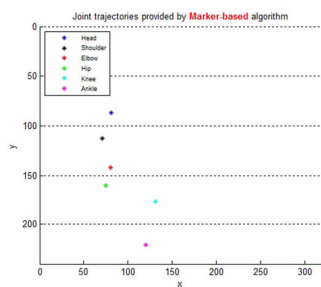
Joints	Depth-based vs ground-truth		Microsoft SDK Skeleton vs ground-truth		OpenNI vs ground-truth	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ
head	4.9266	1.2173	5.1674	3.0578	9.1159	4.6536
shoulder	4.4574	2.0676	6.6048	2.4566	5.9173	4.3398
elbow	4.6549	1.7874	3.6533	2.0265	6.6504	3.0348
ankle	7.0617	1.6486	5.8024	3.295	5.9866	7.9847
knee	4.7654	1.854	4.956	3.4769	11.6349	7.0864
hip	11.2051	4.5665	11.3105	6.6021	9.2339	5.1678

3. Test della sedia Risultati

- Risultati su 18 realizzazioni del test della sedia
- Persone con altezze e corporature differenti (1.6 – 1.8 m)

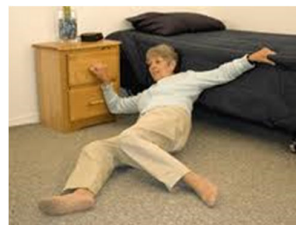


3. Test della sedia Risultati



4. Fall detection Panoramica

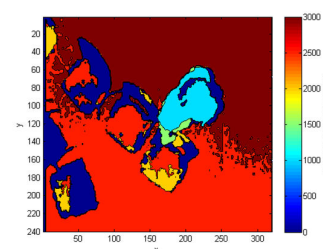
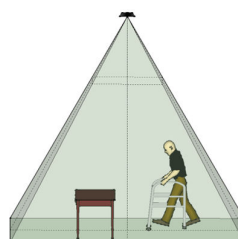
- In **ambienti di vita assistiti** è importante monitorare l'attività quotidiana delle persone anziane.
- È necessario elaborare un algoritmo che riesca a rilevare la persona e stabilire se è stata vittima di una **caduta**.



- Viene utilizzato sempre il sensore Kinect, montato sul **soffitto** e vengono sfruttati i dati di profondità.

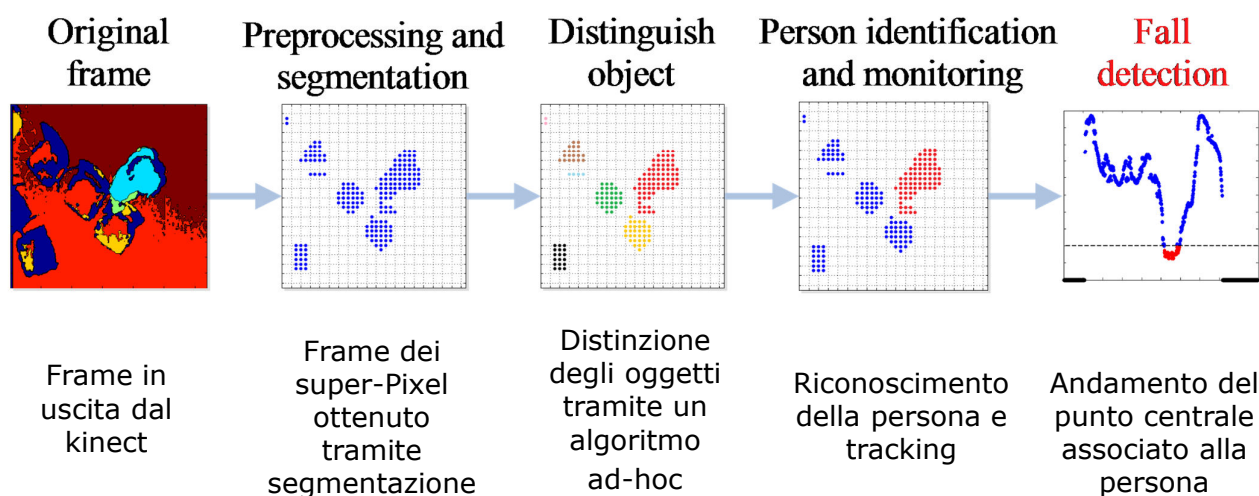
Set-up:

- Kinect a 3 metri di altezza in configurazione top-view.
- Area di copertura pari a 8.25 m².



4. Fall detection

Schema generale dell'algoritmo



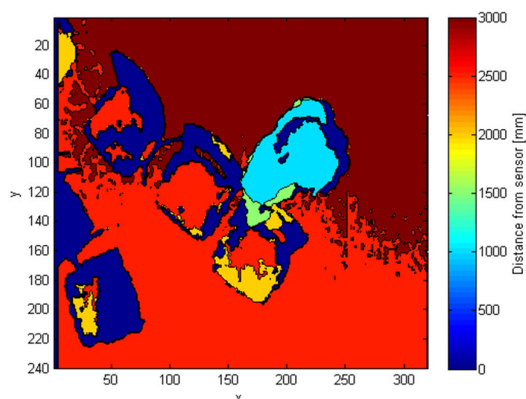
4. Fall detection

Processing

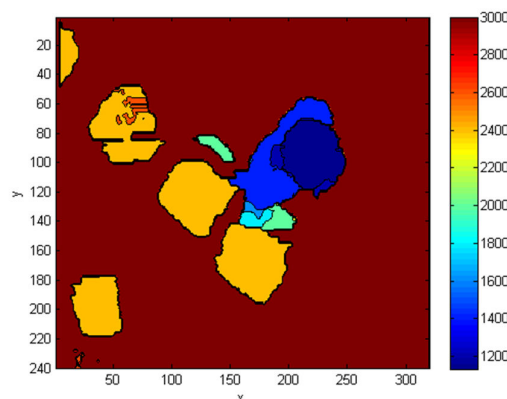
1. Acquisizione ed elaborazione del frame di profondità

- Creazione di un livello di pavimento uniforme
- Sostituzione di pixel nulli

Frame di profondità restituito dal sensore



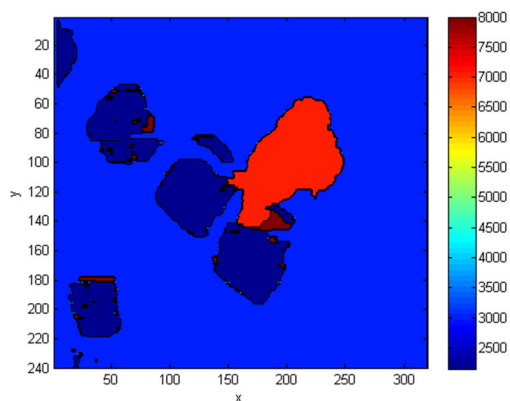
Frame di profondità elaborato



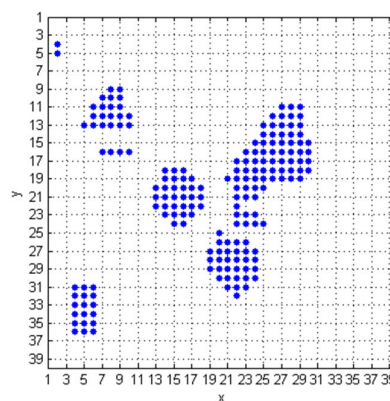
4. Fall detection Segmentazione

2. Segmentazione e costruzione del frame dei super pixel (40x40)

Individuazione degli elementi in foreground

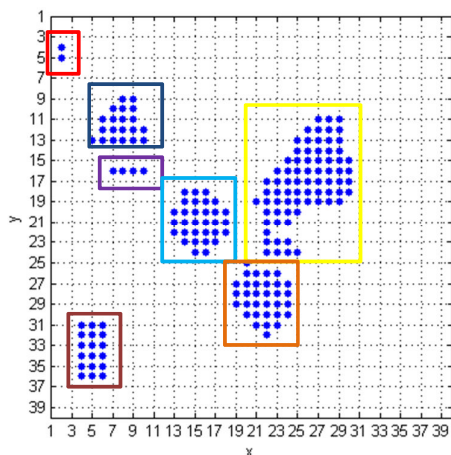


Creazione di un frame di super Pixel



4. Fall detection Distinzione degli oggetti

3. Riconoscimento degli oggetti presenti nella scena



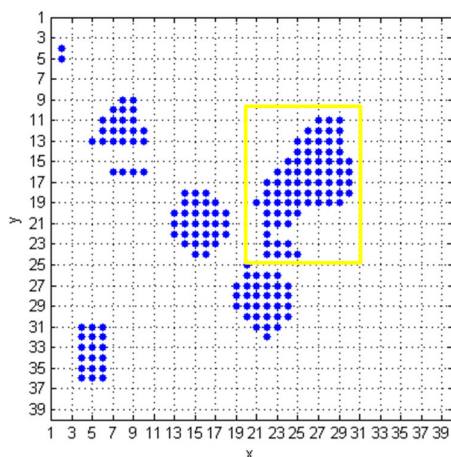
Mat Obj

	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
1	2	4	2	5	0	0	0	0	0	0
2	8	9	9	9	7	10	8	10	9	10
3	27	11	28	11	29	11	26	12	27	12
4	7	16	8	16	9	16	10	16	0	0
5	14	18	15	18	16	18	14	19	15	19
6	20	25	20	26	21	26	22	26	23	26
7	4	31	5	31	6	31	4	32	5	32

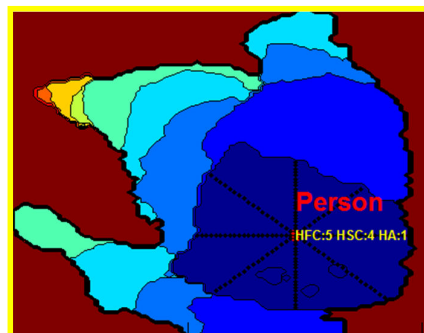
4. Fall detection

Riconoscimento della persona

3. Discriminazione della persona dal set di oggetti riconosciuti



Valutazione delle caratteristiche antropometriche della persona



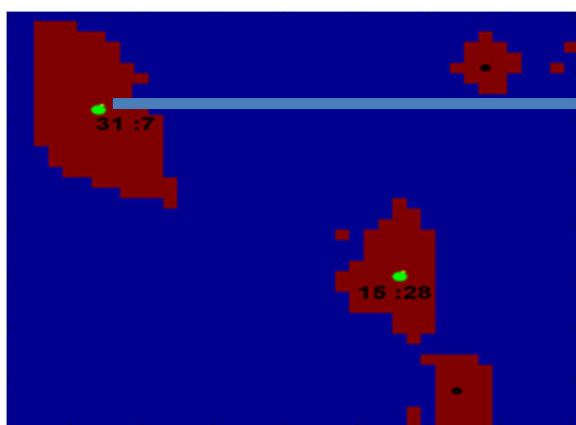
Vengono cercate le seguenti features nell'intorno del punto di massimo di ogni oggetto:

- Ricerca salto testa-pavimento
- Ricerca del salto testa-spalla
- Calcolo della dimensione della testa

4. Fall detection

Tracking

4. Tracking della persona



$t = t_0$



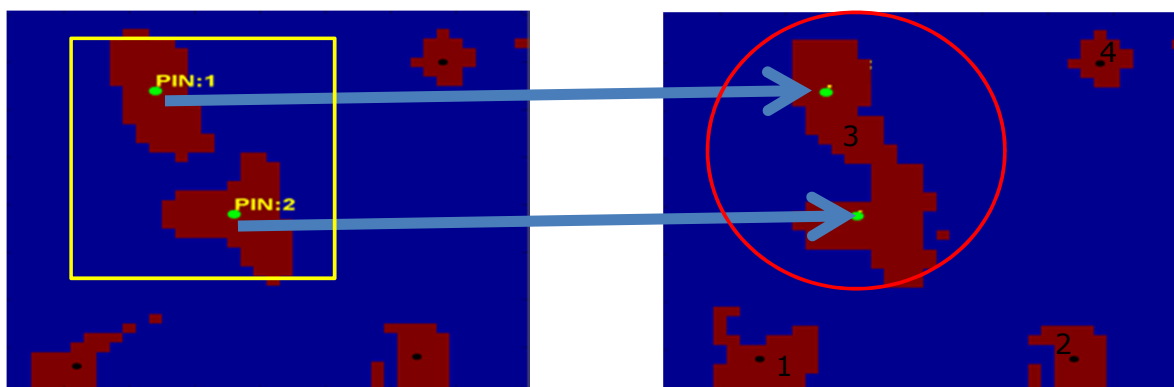
$t = t_1$

Si sovrappone il punto centrale associato ad ogni oggetto del frame t_0 , con le corrispondenti coordinate al frame t_1 .

4. Fall detection

Gestione delle fusioni

4. Gestione delle fusioni



$t = t_6$

$t = t_7$

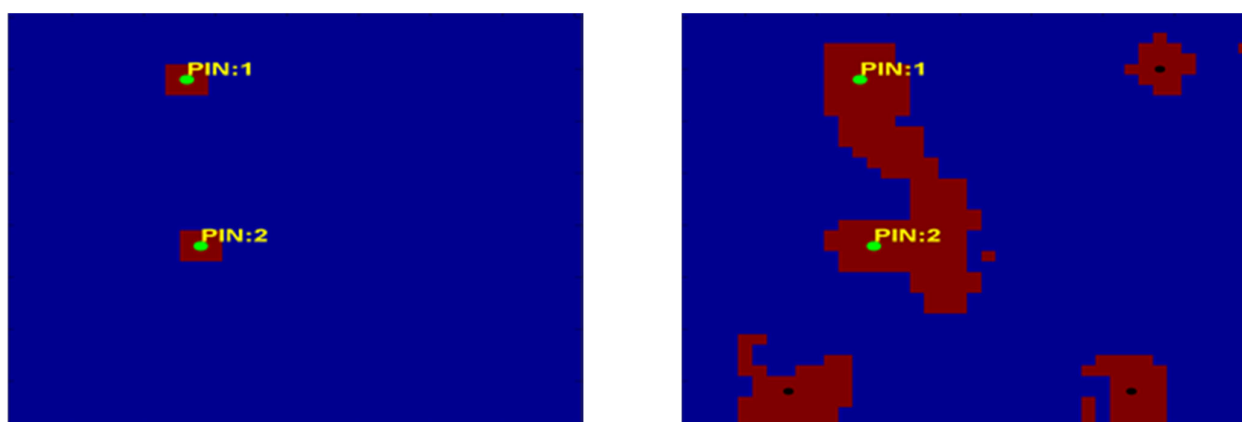
- Al tempo t_7 i due punti centrali associati a due persone differenti sono all'interno dello stesso blob
- È necessario quindi prevedere questa situazione

Indice oggetto	Pers	Obj	N_pers	N_obj
1		1		1
2		2		1
3	1-2		2	
4		3		1

4. Fall detection

Gestione delle fusioni

4. Tracking della persona e gestione delle fusioni



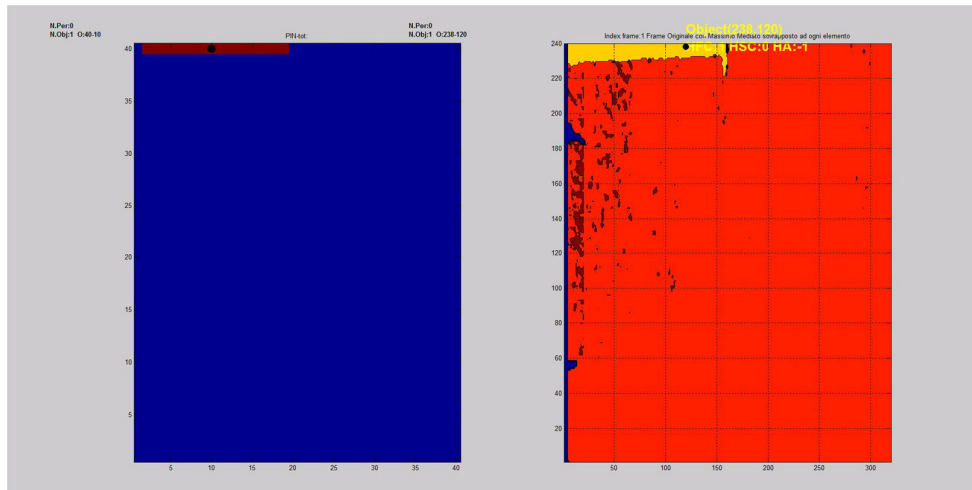
$t = t_7$

$t = t_7$

- Per separare le persone all'interno del blob al tempo t_7 , si trattengono i valori di profondità nell'interno del punto di massimo mediato al tempo t_6
- I punti centrali individuati nella figura a sinistra vengono inseriti all'interno della figura a destra

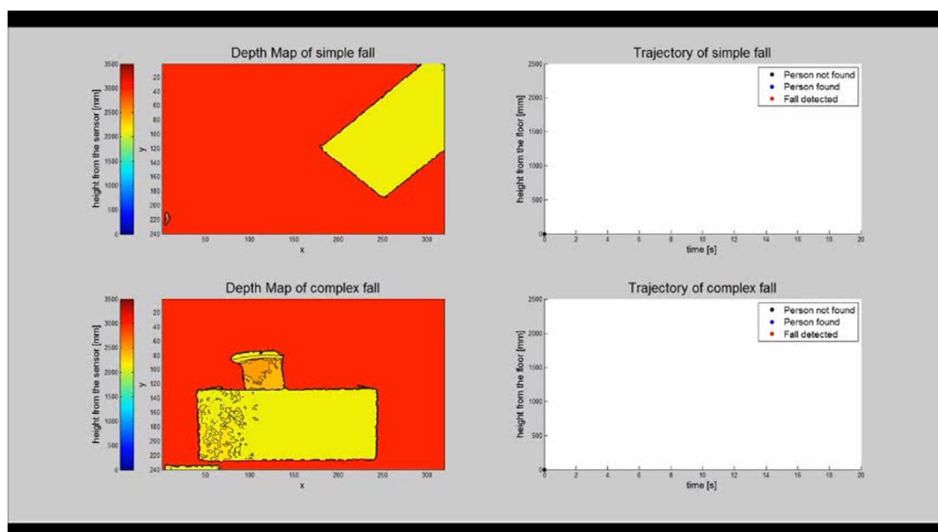
4. Fall detection Video

4. Tracking della persona e gestione delle fusioni



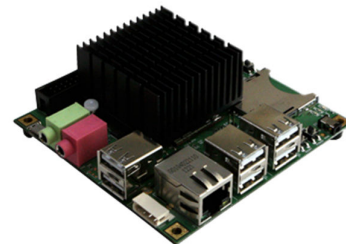
4. Fall detection Video

5. Rilevamento delle cadute



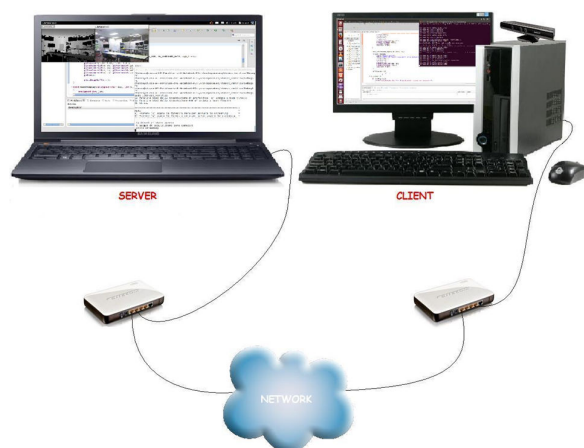
5. Altre attività Embedded Kinect

- Scheda Odroid-X2
 - Exynos4412 Prime 1.7GHz Quad core ARM Cortex-A9 MPCore
 - 2GB Memory
 - GPU Mali-400 Quad Core 440MHz
 - 6 x High speed USB2.0 Host port
 - 10/100Mbps Ethernet with RJ-45 LAN Jack
 - micro HDMI connector
- Ubuntu Linaro 12.11
- Libfreenect



5. Altre attività Streaming – Controllo remoto

- Il sistema permette di acquisire frame RGB e di PROFONDITA' da un dispositivo Kinect connesso ad un pc e di trasmetterli ad un dispositivo remoto in grado di compiere la visualizzazione streaming
- Realizzazione di una architettura client-server
- Possibile il controllo remoto della macchina su cui è collegato Kinect
- Uso di librerie libfreenect in ambiente Linux
- Problematiche: elevata richiesta di banda -> compressione



- **Kinect a muro**

- **TOF**

- **OpenCV + Kinect**

- **Kinect 2.0**

- Camera RGB: **1920x1080 (Full HD)**
- Sensore di profondità: **512x424**
- Acquisizione audio
 - 4 microfoni
 - 24 bit **48kHz** ADC

