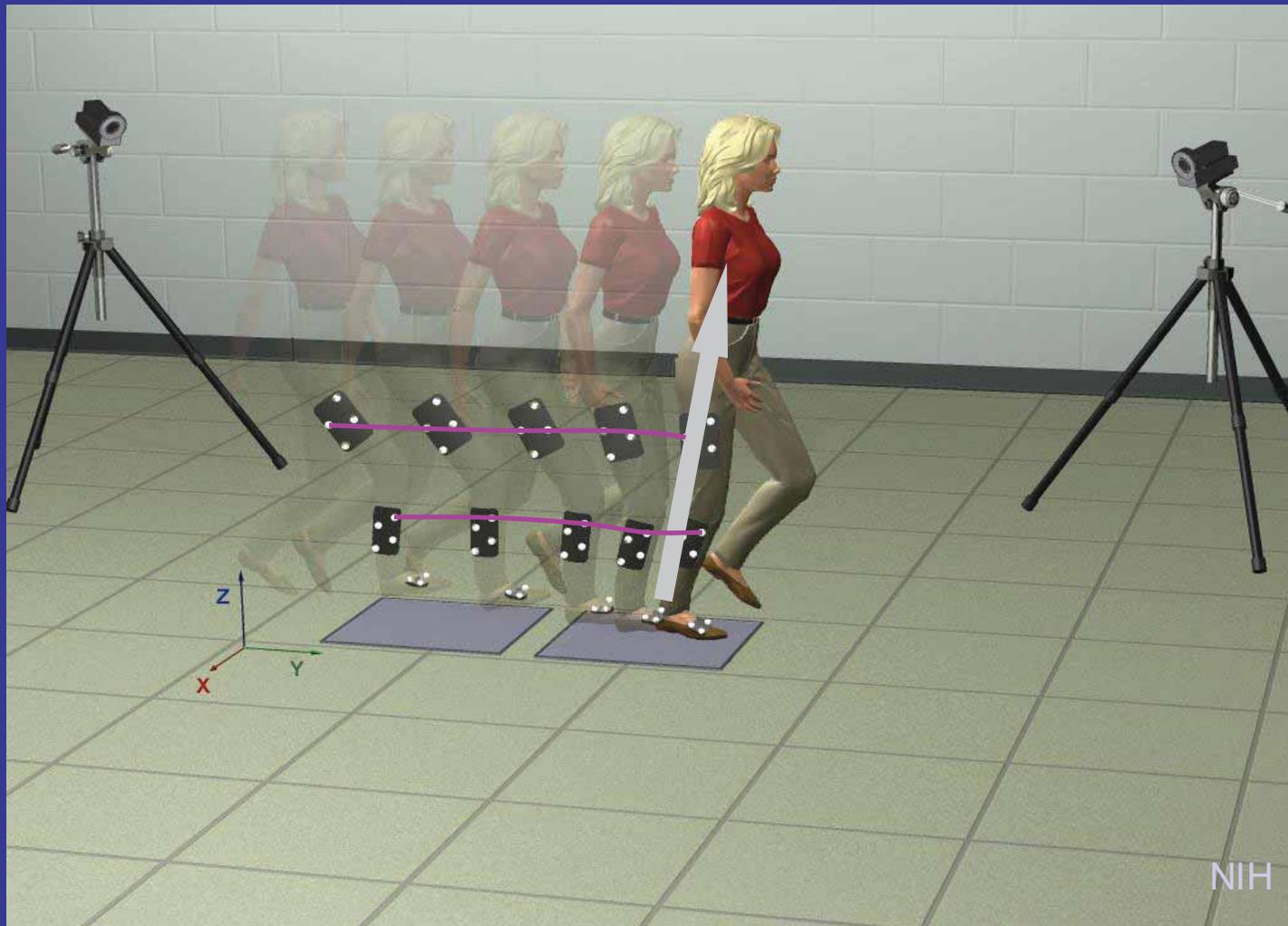


strumentazione per l'analisi del movimento

Ugo Della Croce

Dipartimento di Scienze Biomediche
Università degli Studi di Sassari

le quantità osservabili

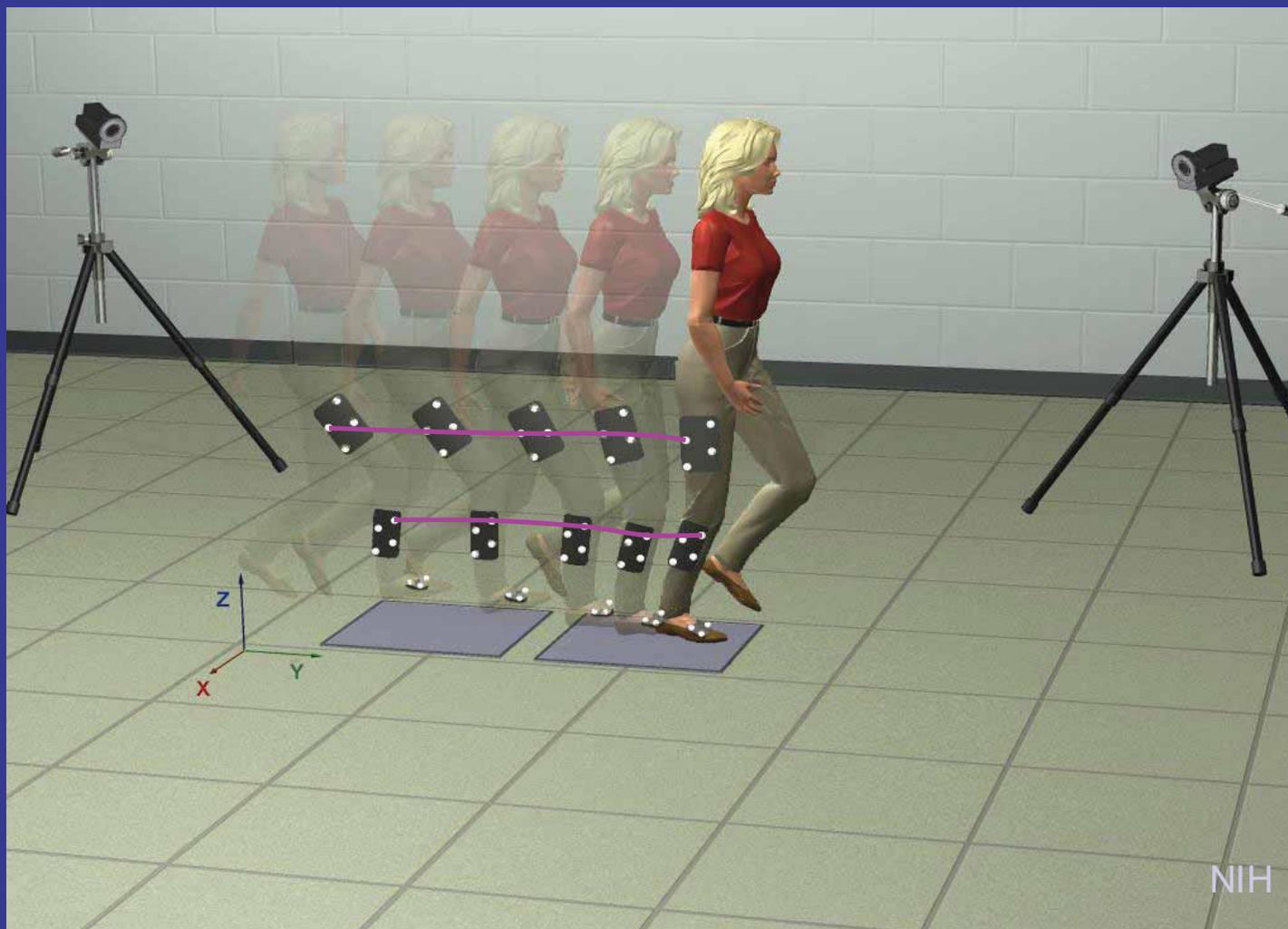


cinematica di punti cutanei
forze esterne
attività elettrica muscolare



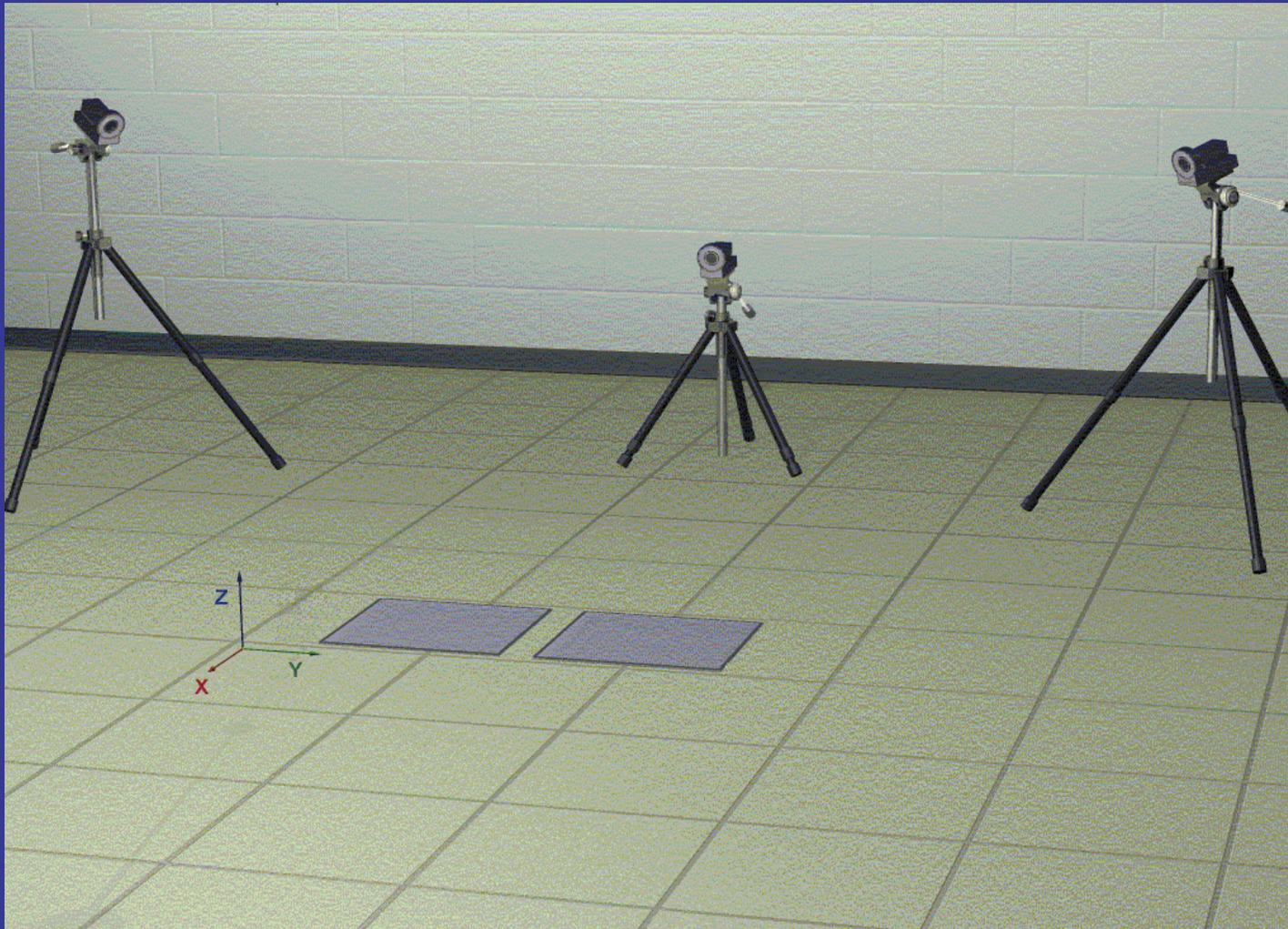
stereofotogrammetria
dinamometria
EMG

le quantità osservabili



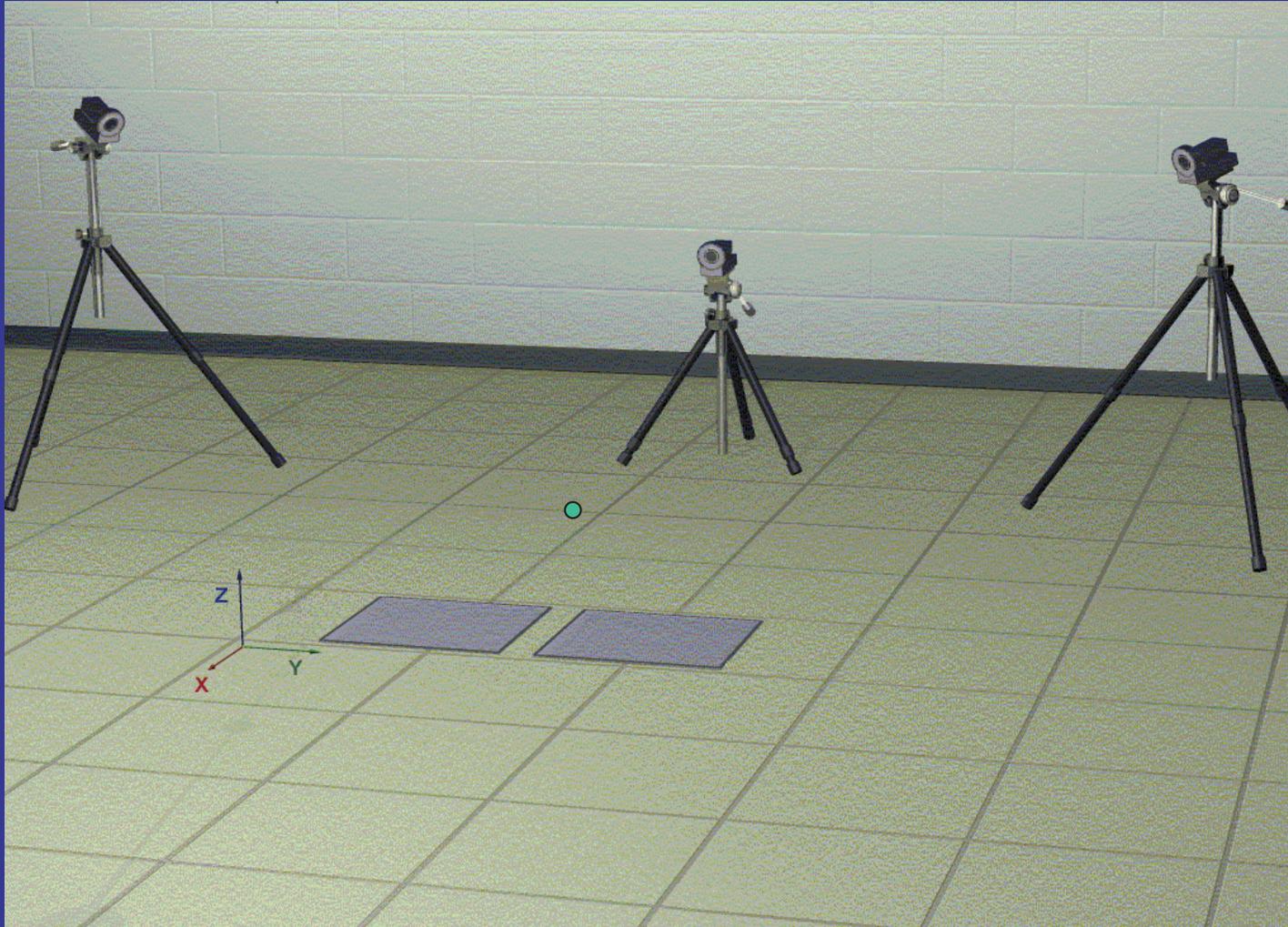
cinematica di punti cutanei ← stereofotogrammetria

le quantità osservabili



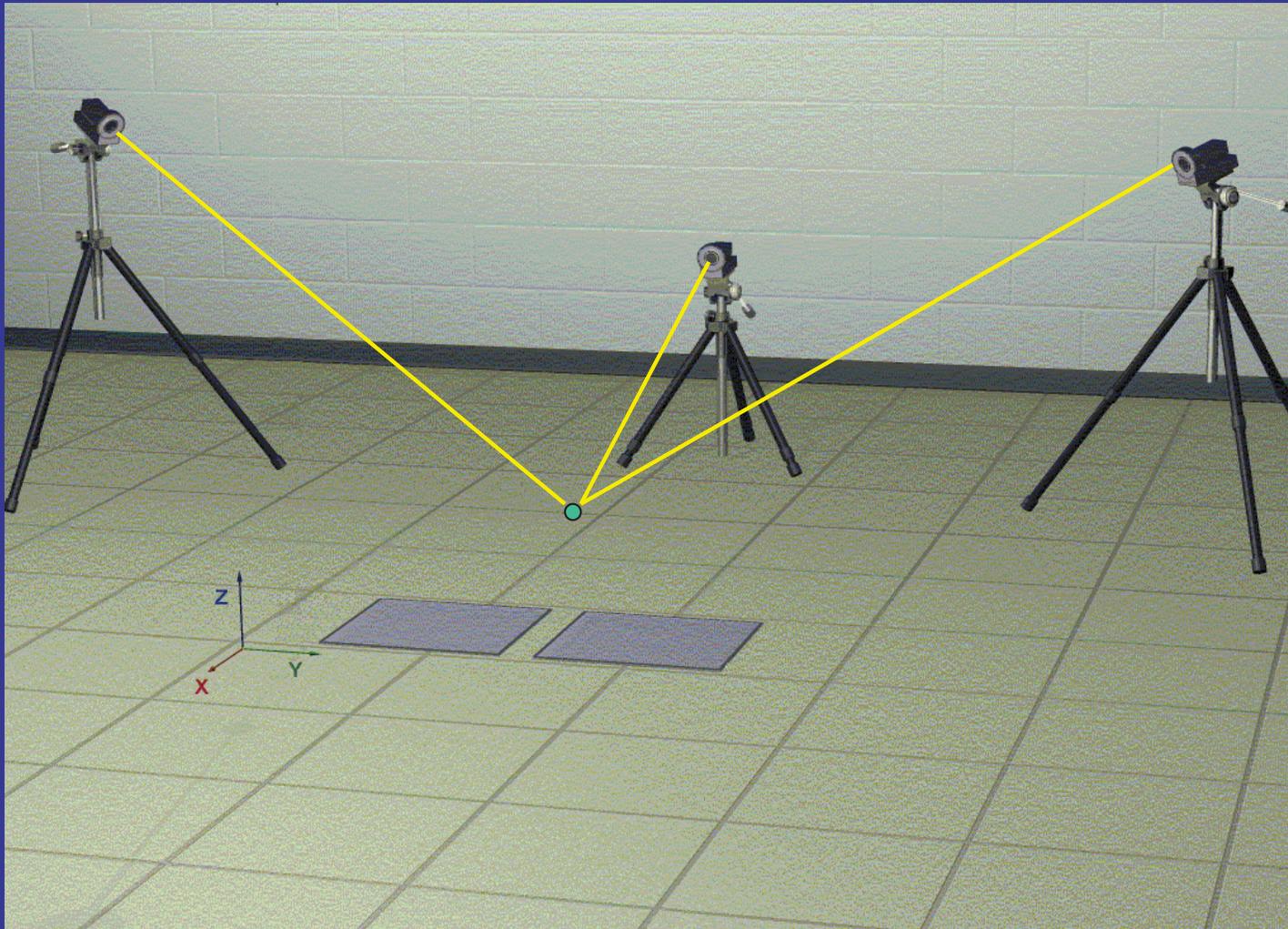
cinematica di punti cutanei ← stereofotogrammetria

le quantità osservabili



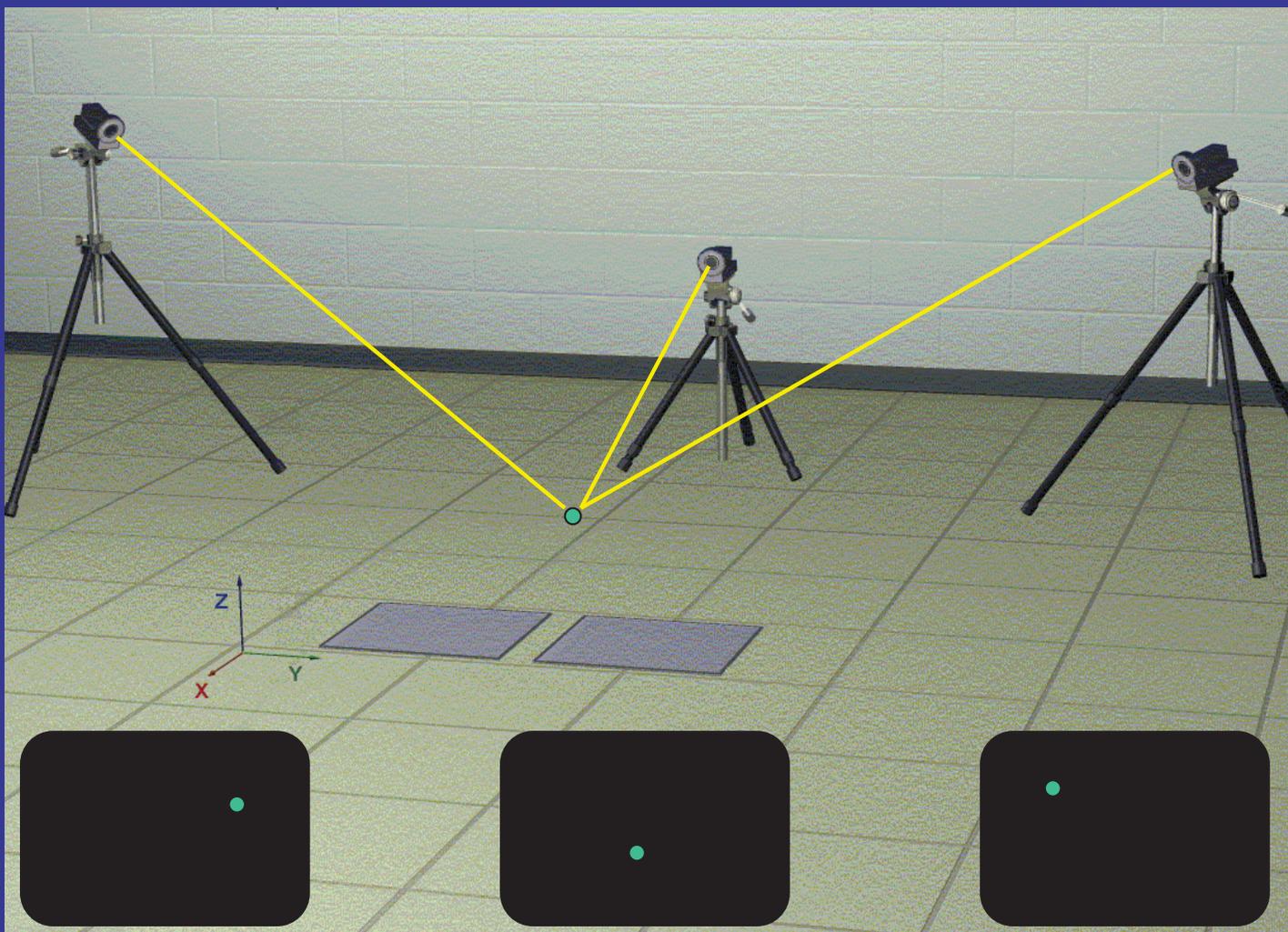
cinematica di punti cutanei ← stereofotogrammetria

le quantità osservabili



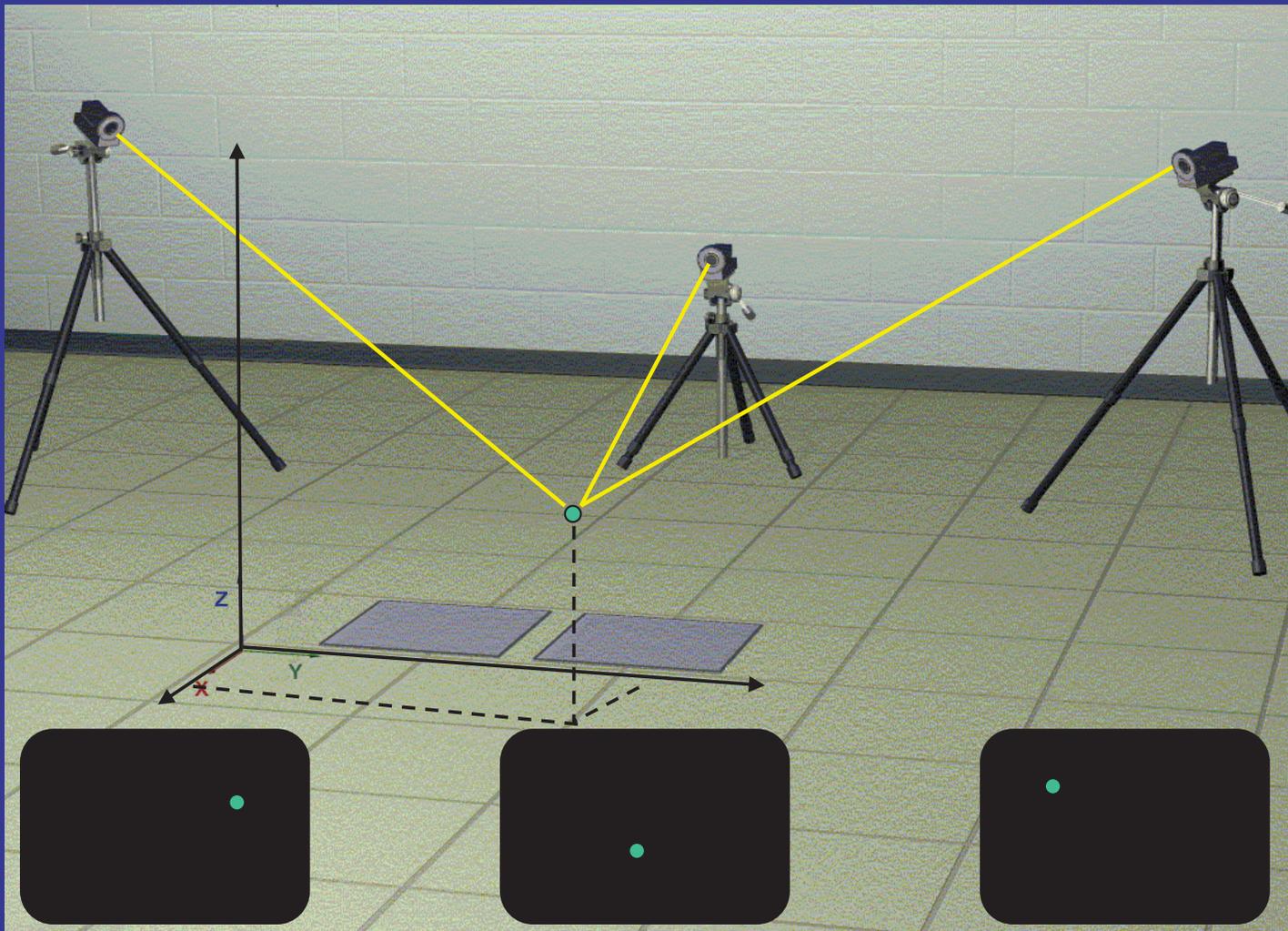
cinematica di punti cutanei ← stereofotogrammetria

le quantità osservabili



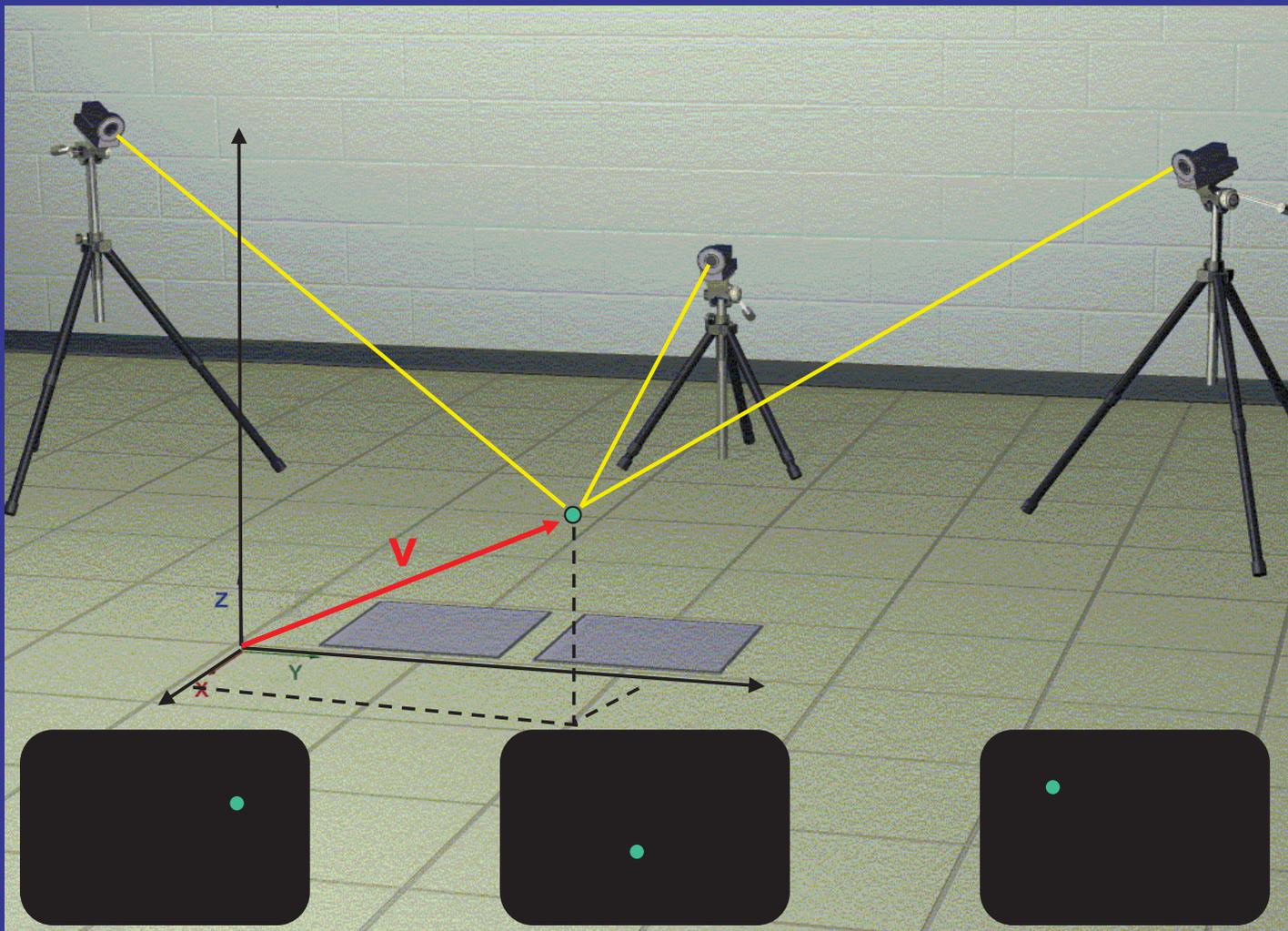
cinematica di punti cutanei ← stereofotogrammetria

le quantità osservabili



cinematica di punti cutanei ← stereofotogrammetria

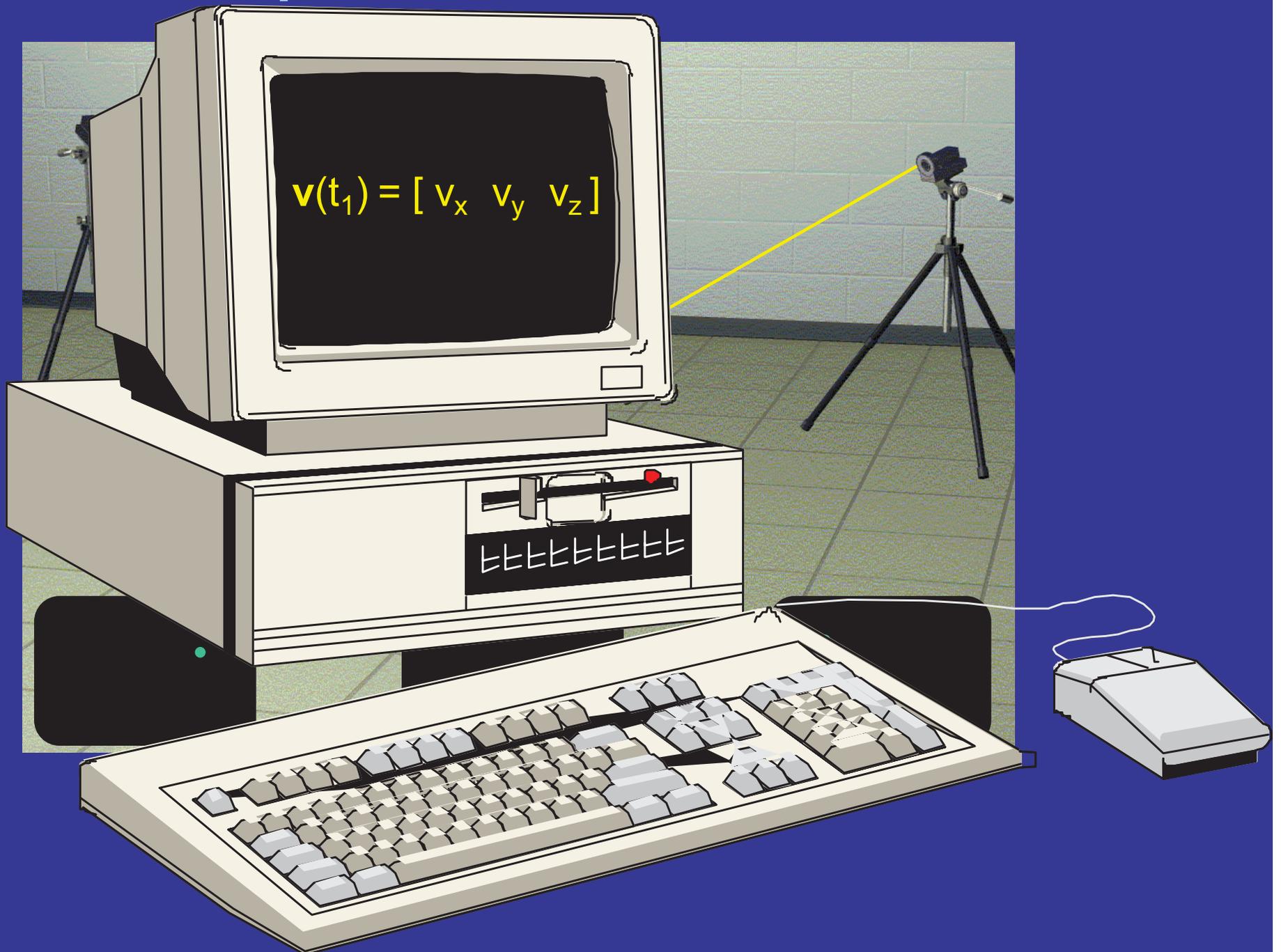
le quantità osservabili



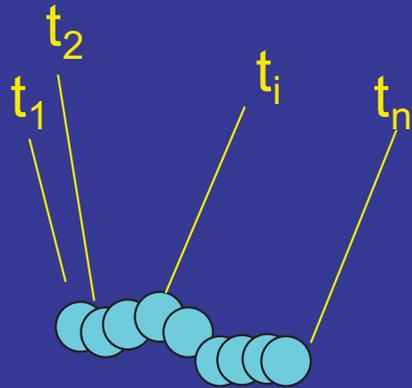
cinematica di punti cutanei ← stereofotogrammetria

all'istante t_1 $\mathbf{v}(t_1) = [v_x \ v_y \ v_z]$

le quantità osservabili

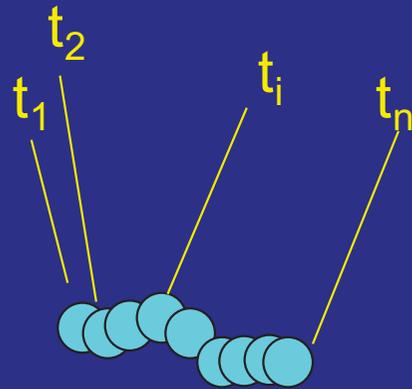


Traiettorie

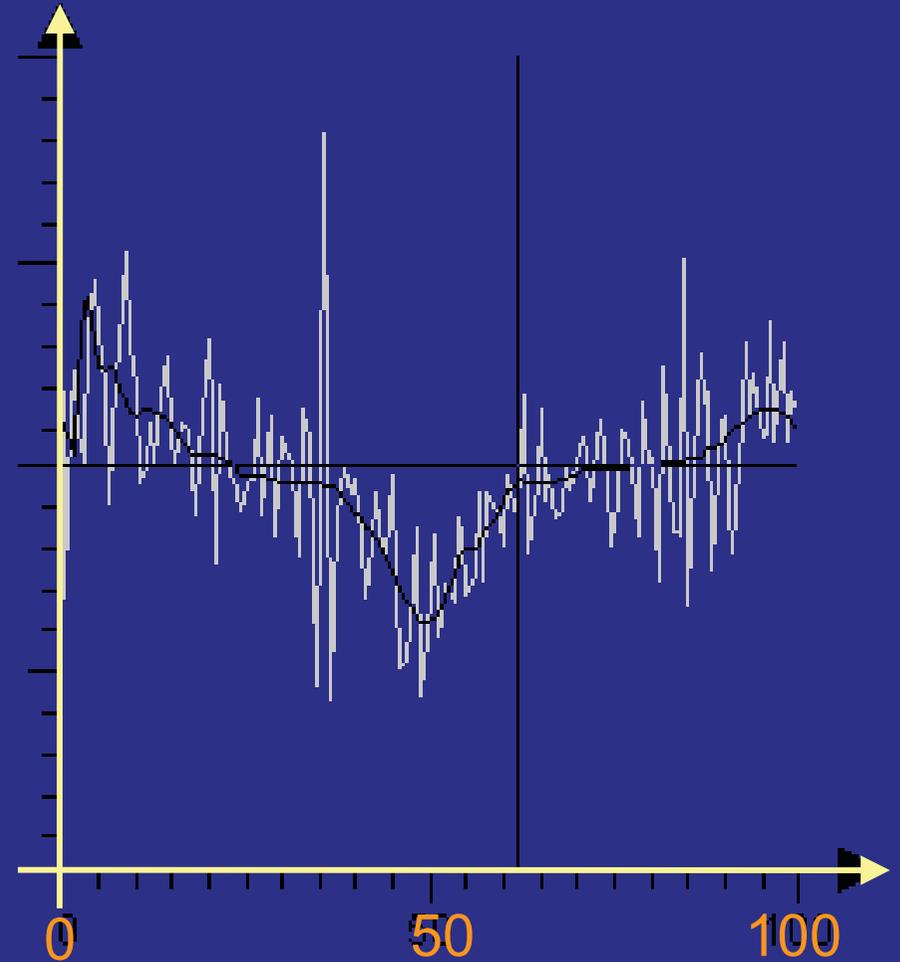


Traiettorie

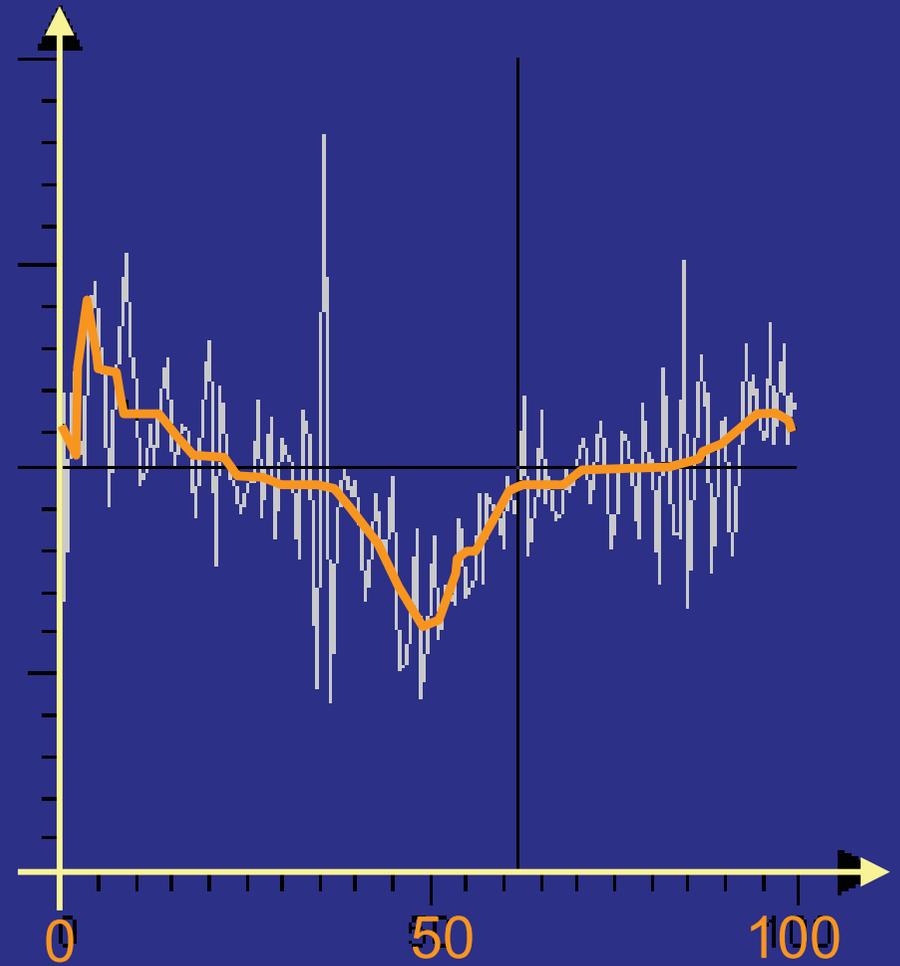
Coordinata della traiettoria di un punto



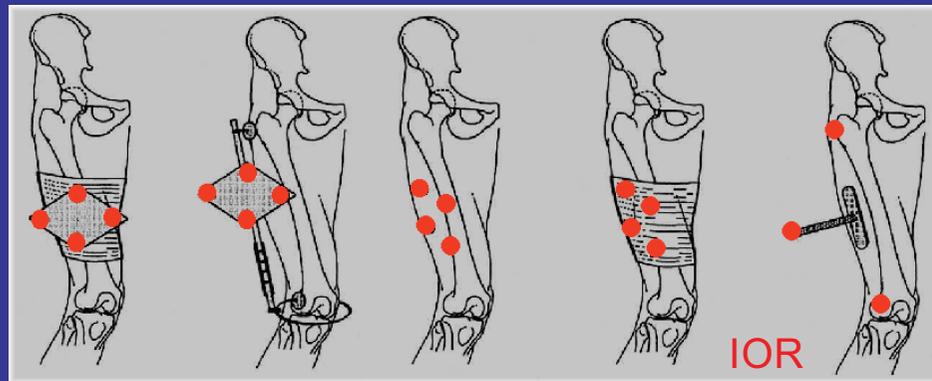
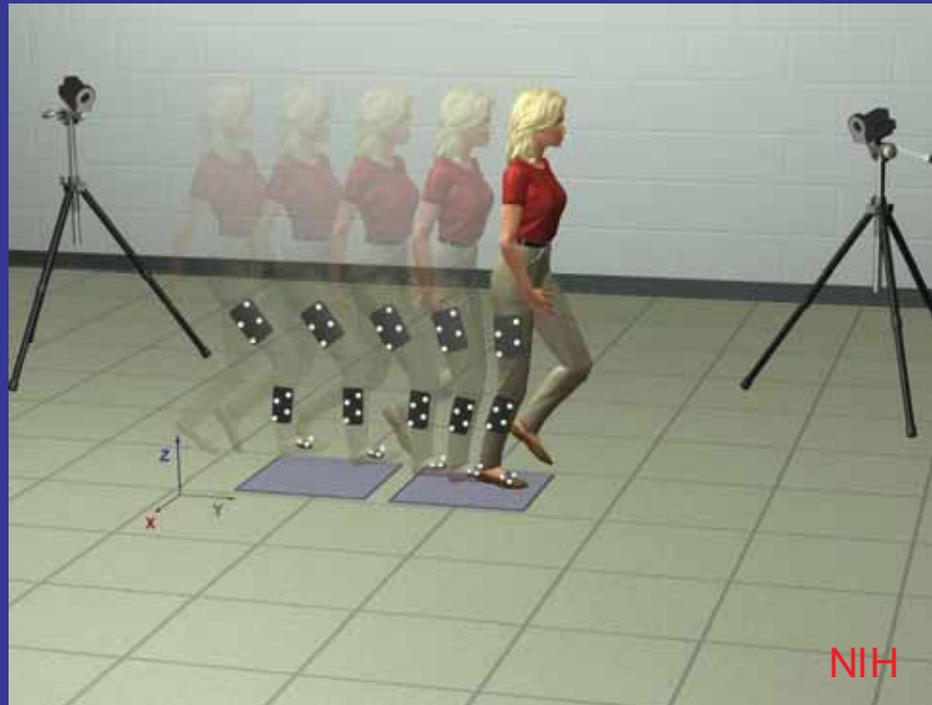
$V_x(t_i)$



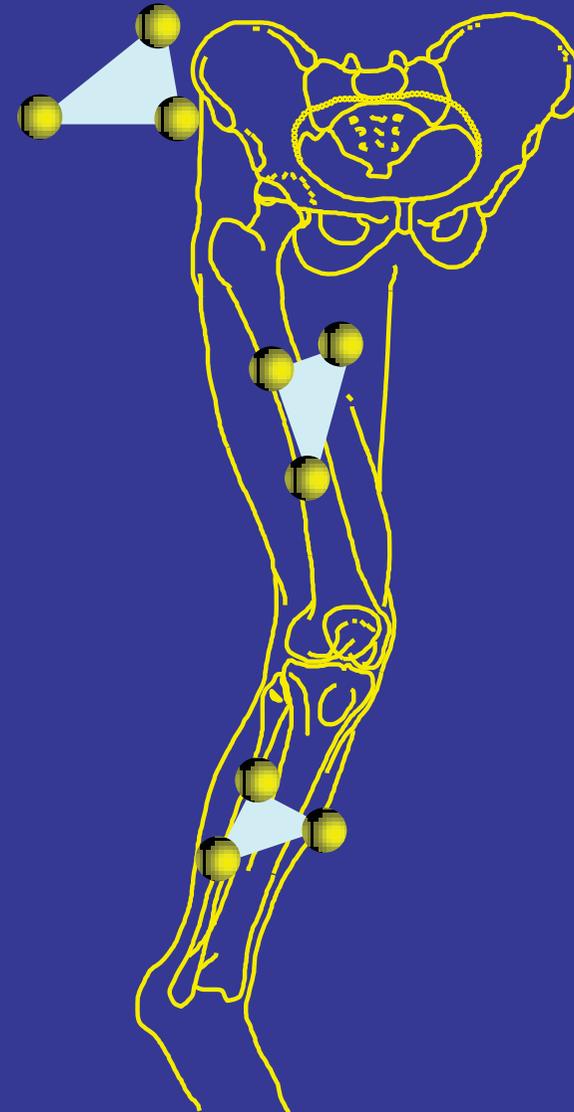
Filtraggio delle traiettorie



Il protocollo sperimentale

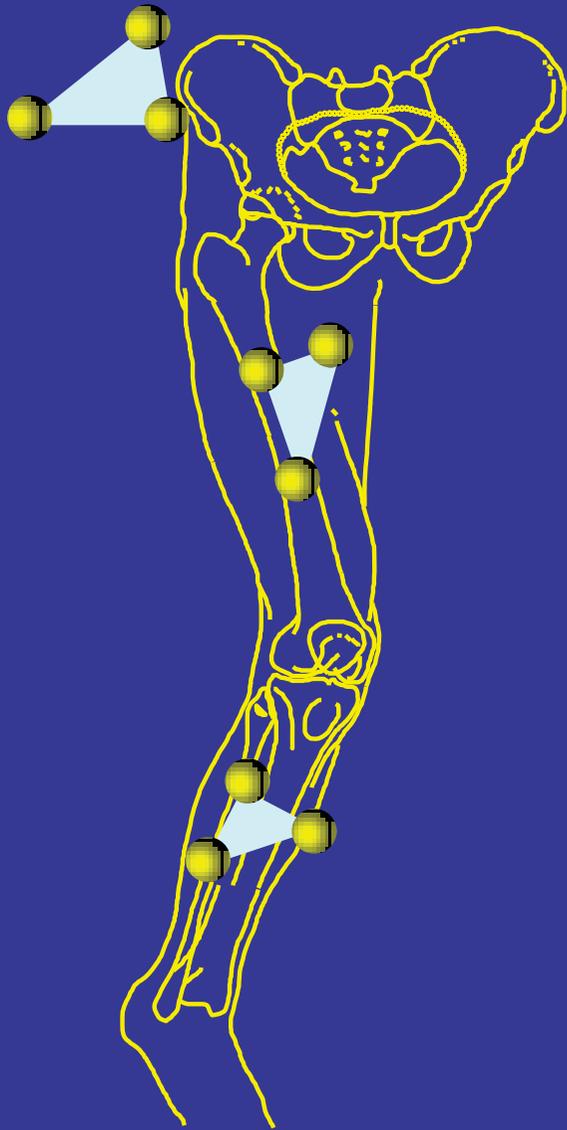


● Marker cutanei

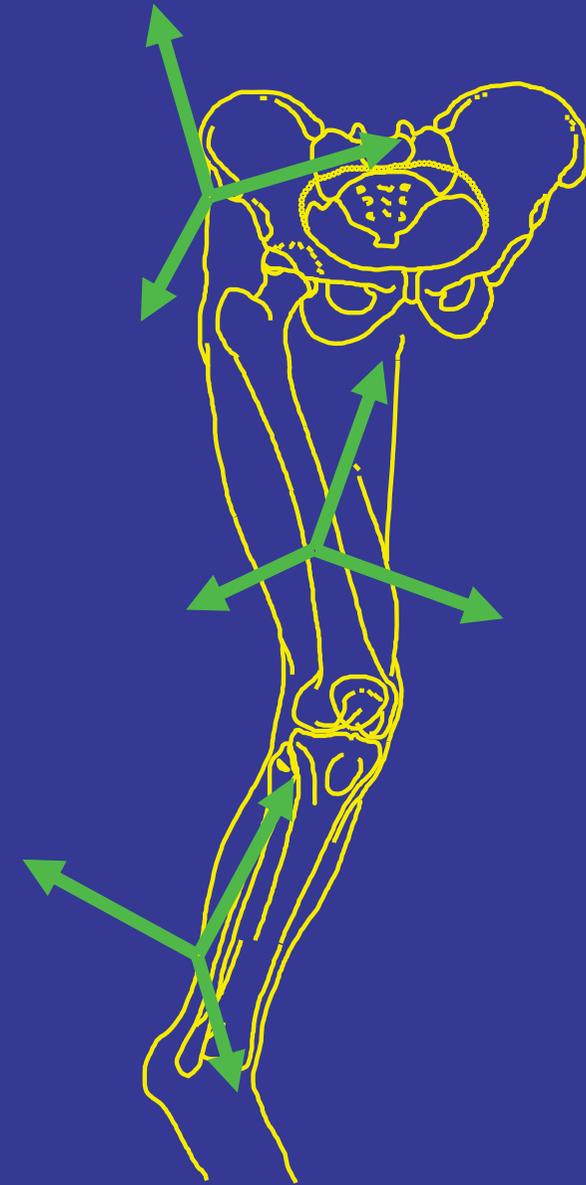


I sistemi di riferimento tecnici

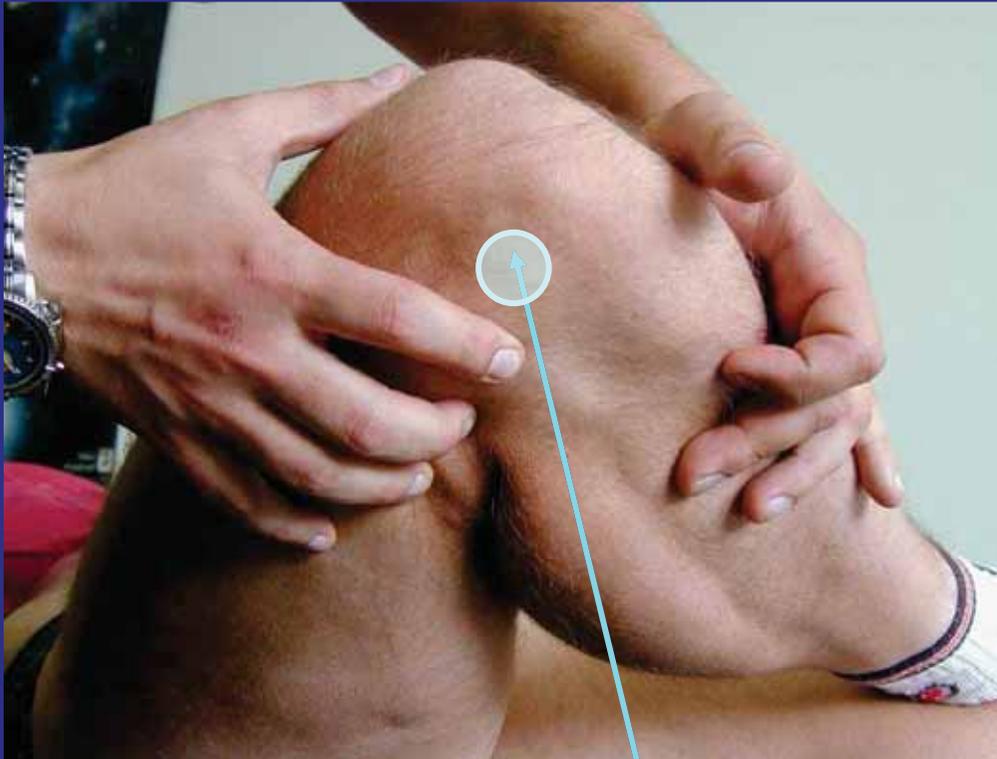
● cluster di marker cutanei



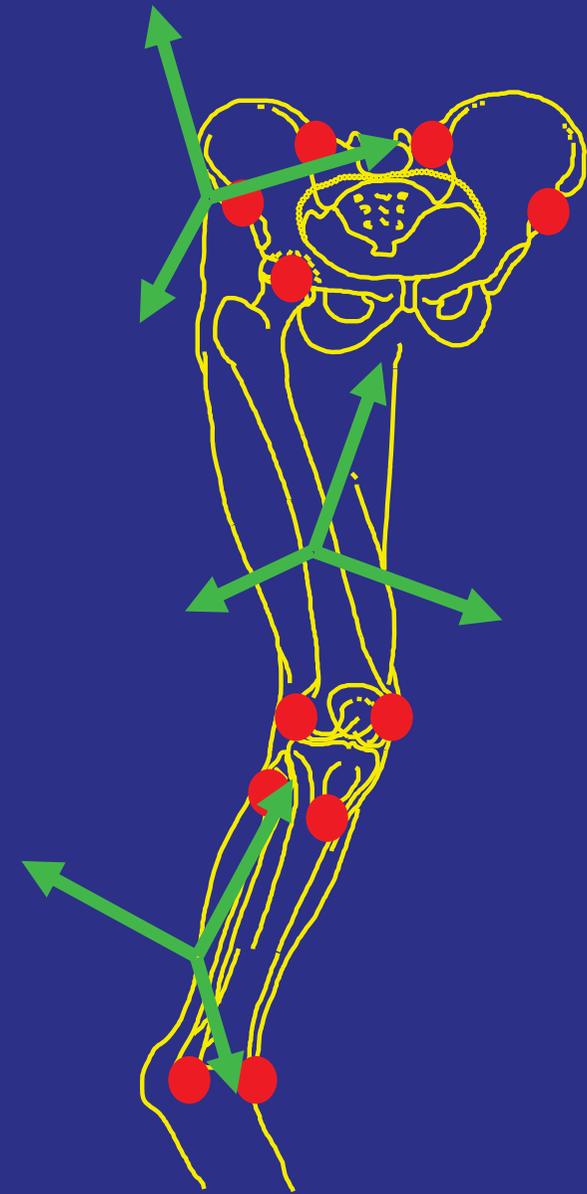
Assi dei riferiemnti tecnici



Identificazione e calibrazione dei reperi anatomici



Epicondilo laterale



Repere anatomici interni

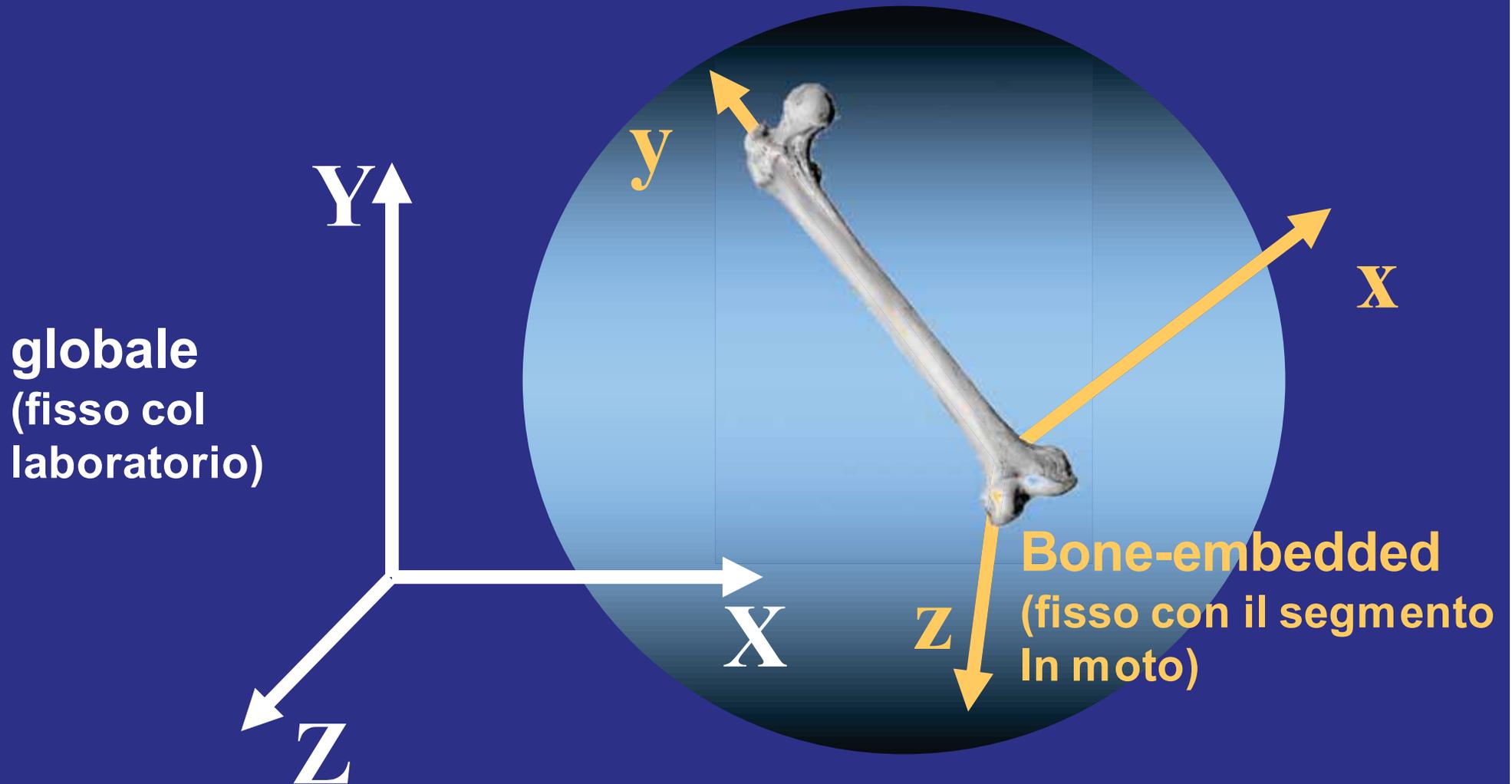
Approccio funzionale



Il centro della testa del femore coincide con il centro di rotazione dell'arto inferiore durante un movimento di pendolazione

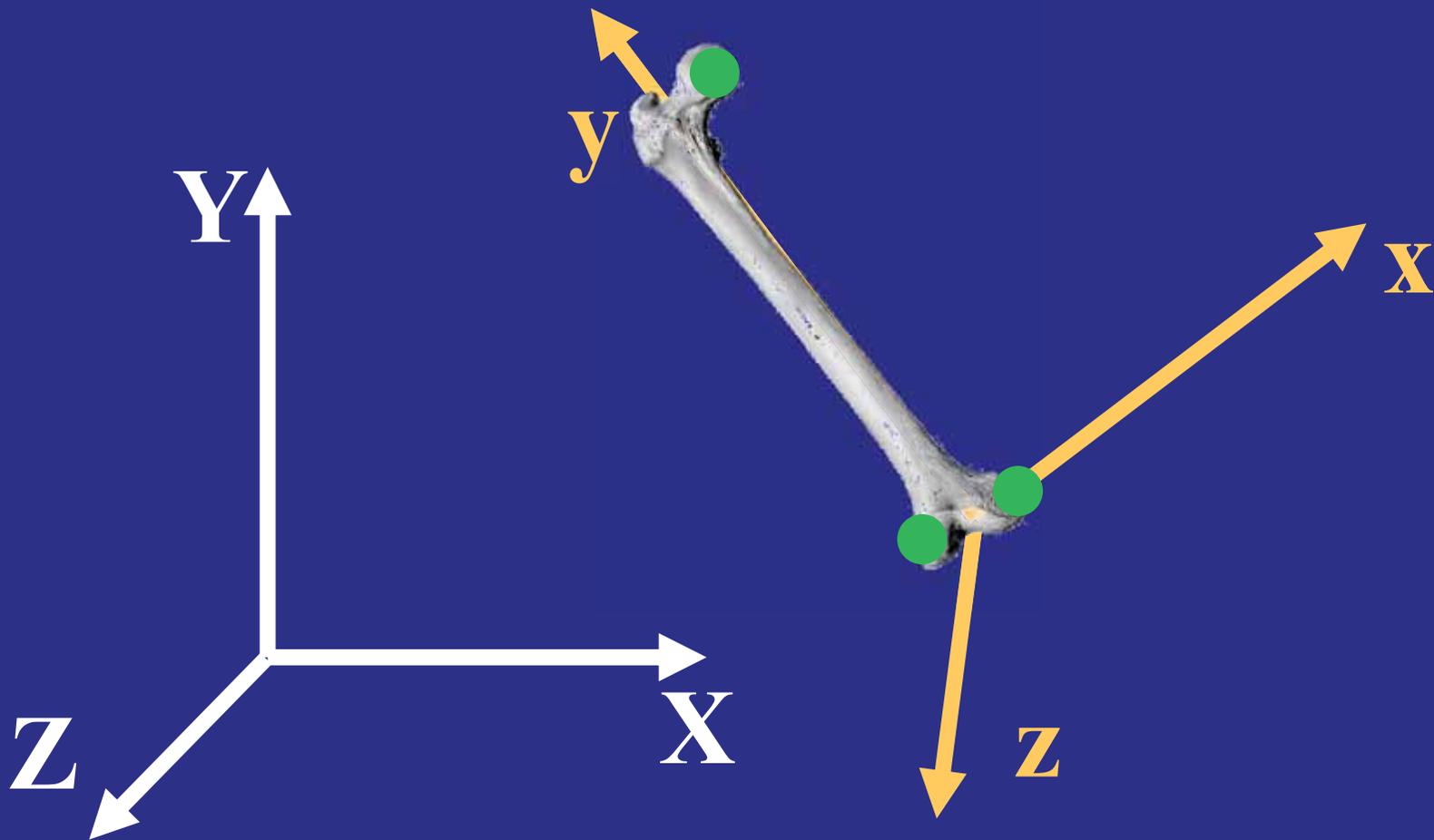
In ogni istante di tempo

Usiamo due sistemi di riferimento

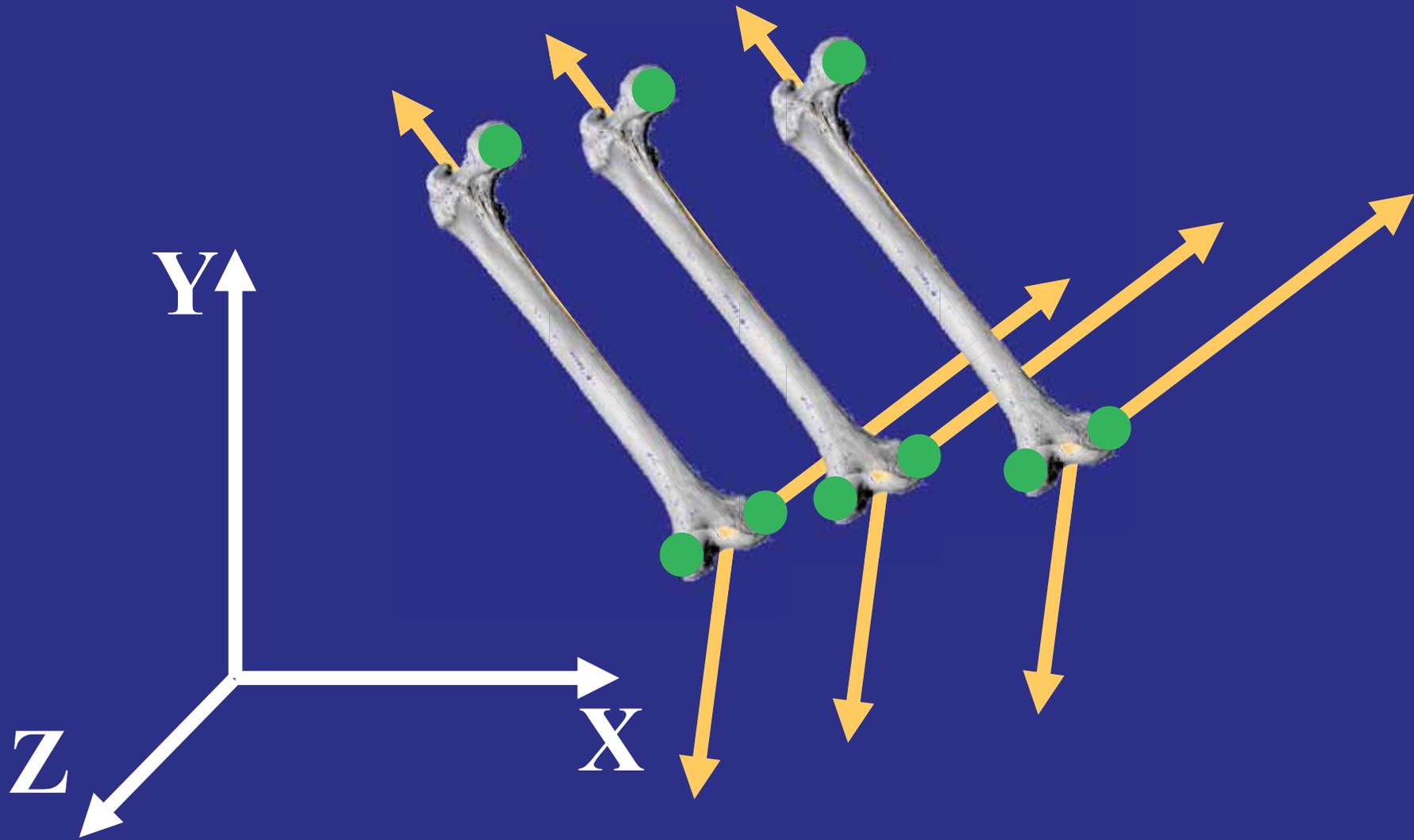


Ricostruzione del movimento in ogni istante di tempo:

1. determinare il BF rispetto al sistema di riferimento globale
2. determinare le posizioni dei repere nel riferimento globale

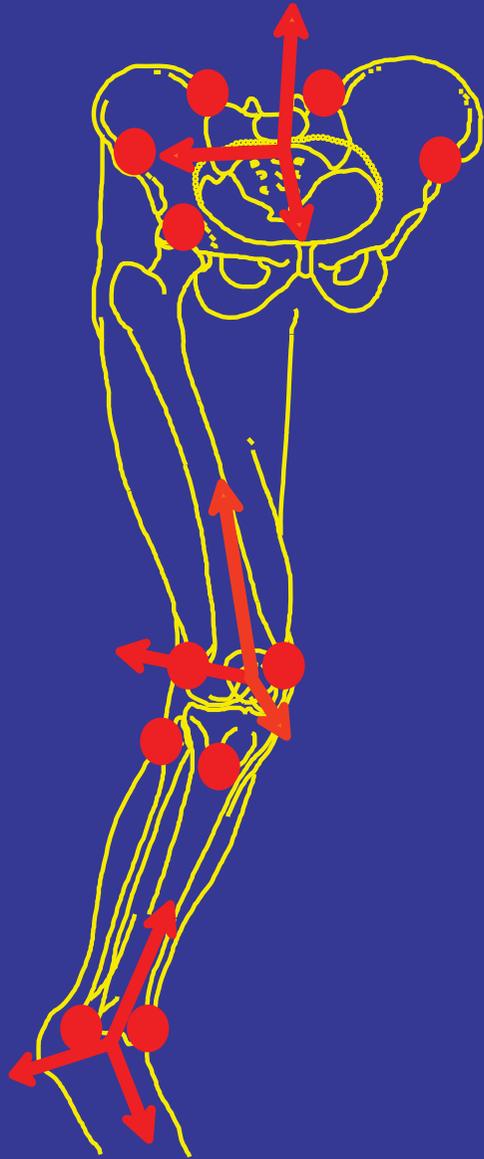


Ricostruzione del movimento

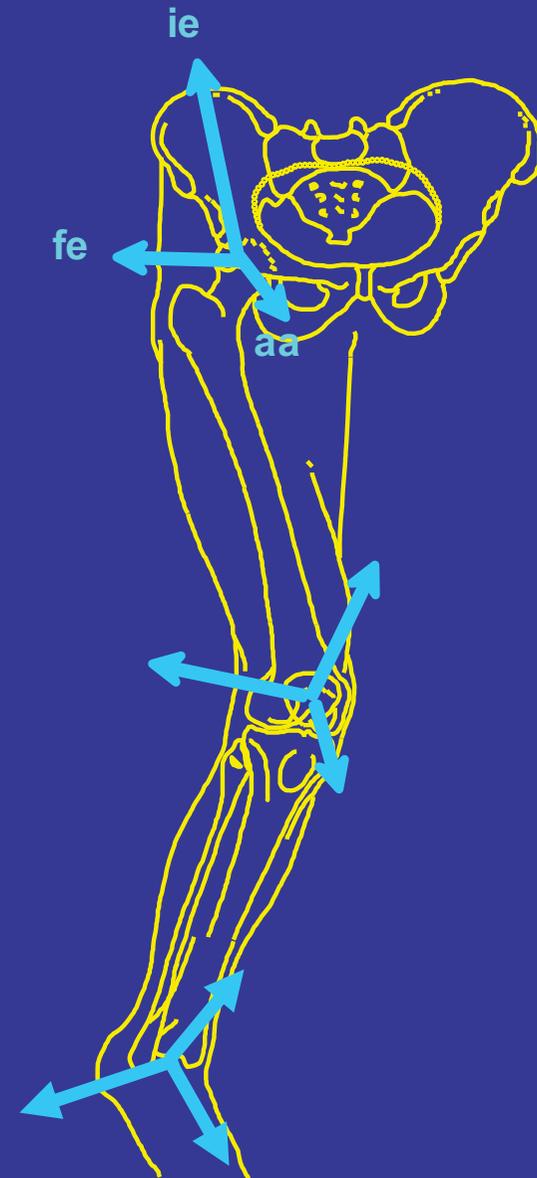


Assi articolari

Sistemi di riferimento anatomici

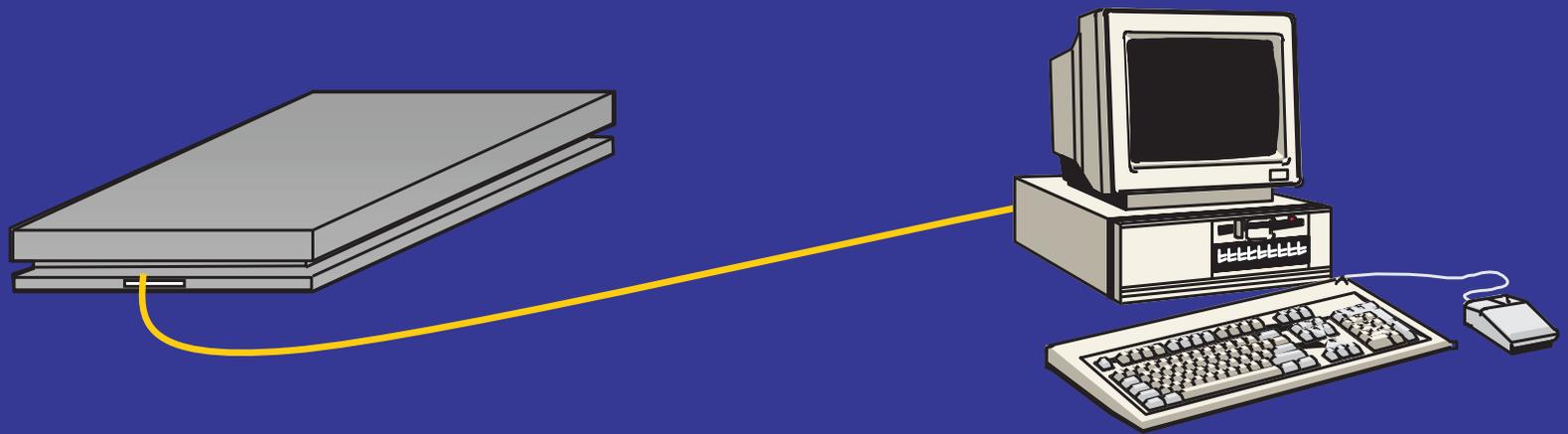


Assi di riferimento articolari

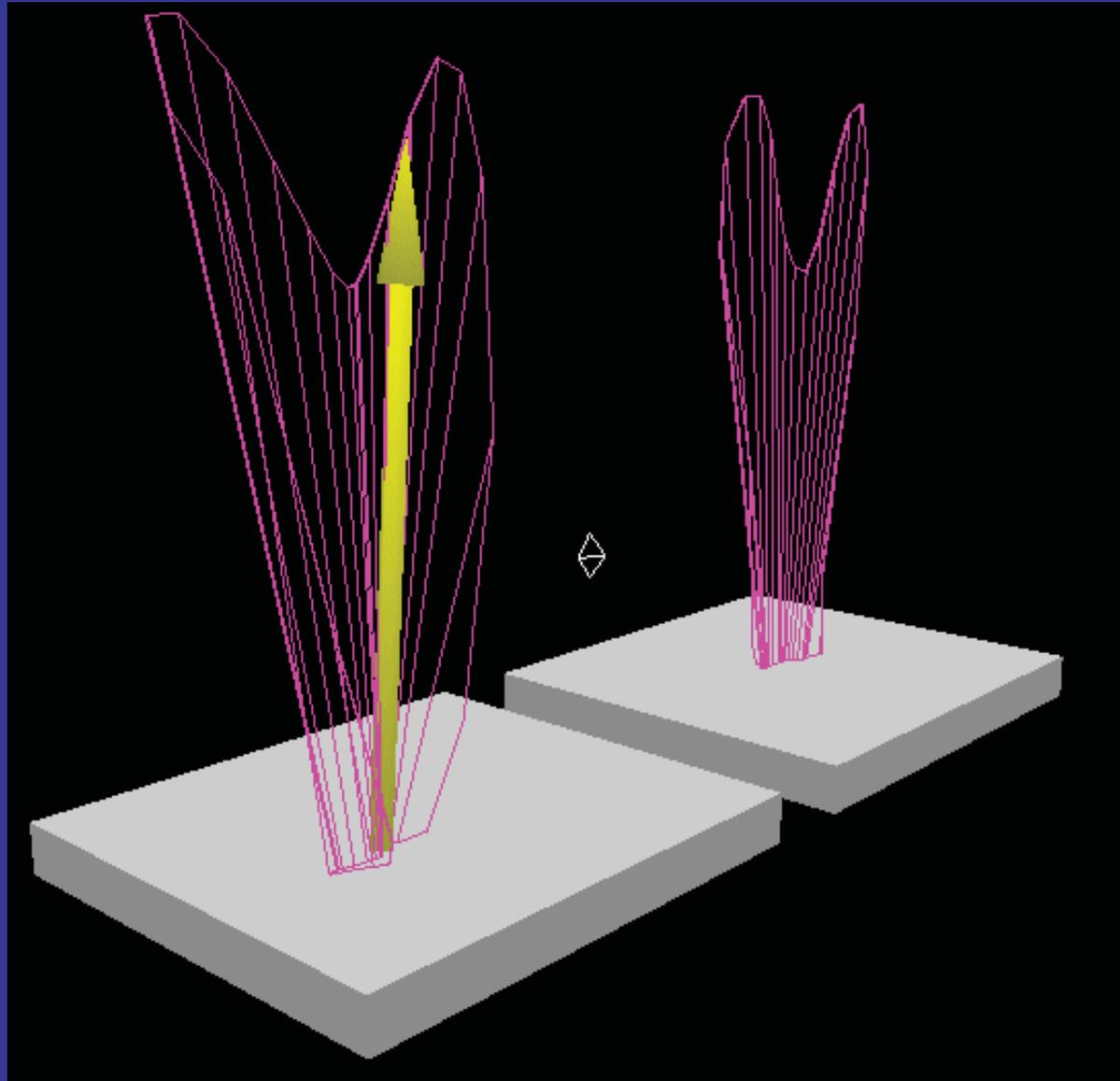


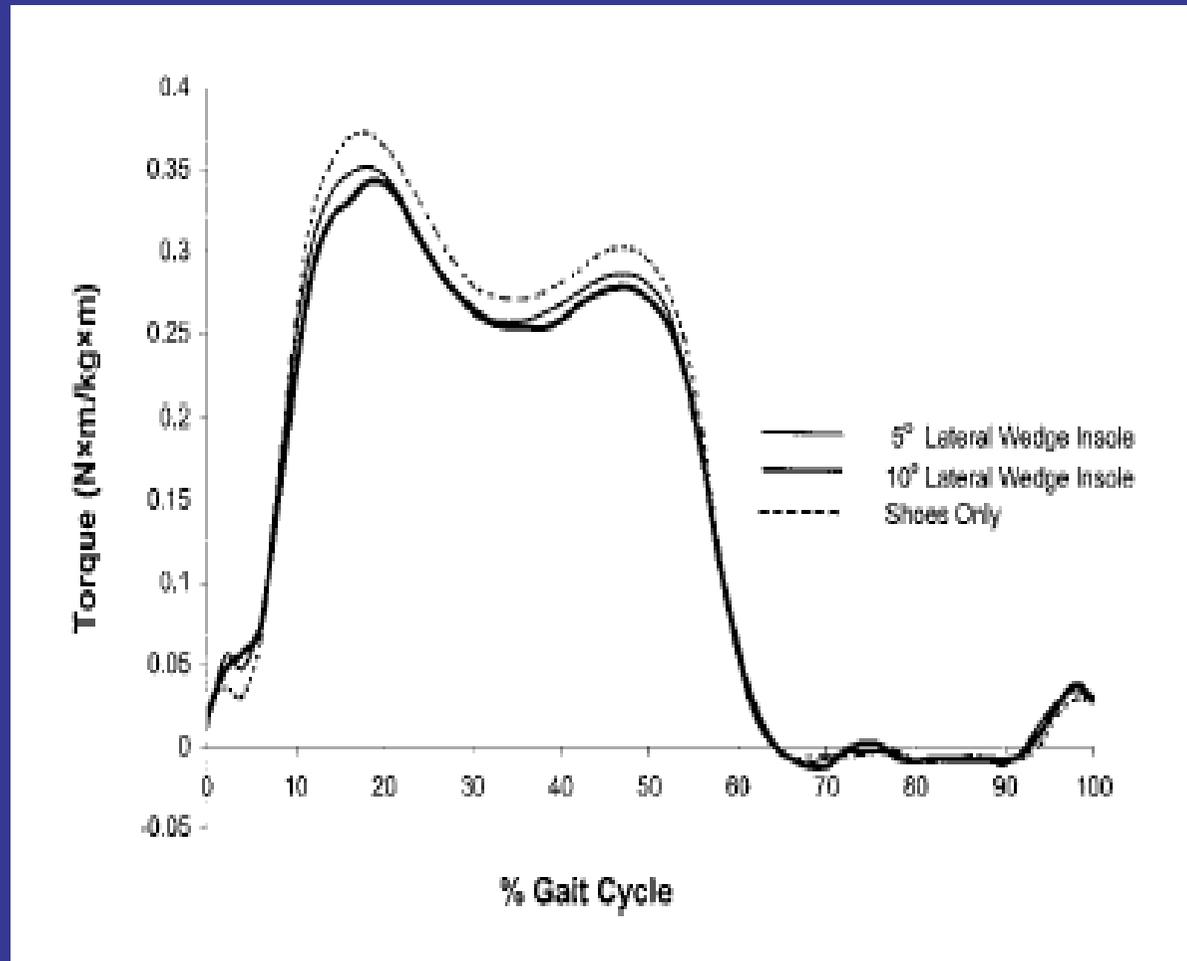
dinamometria

Piattaforma di forza a sei componenti



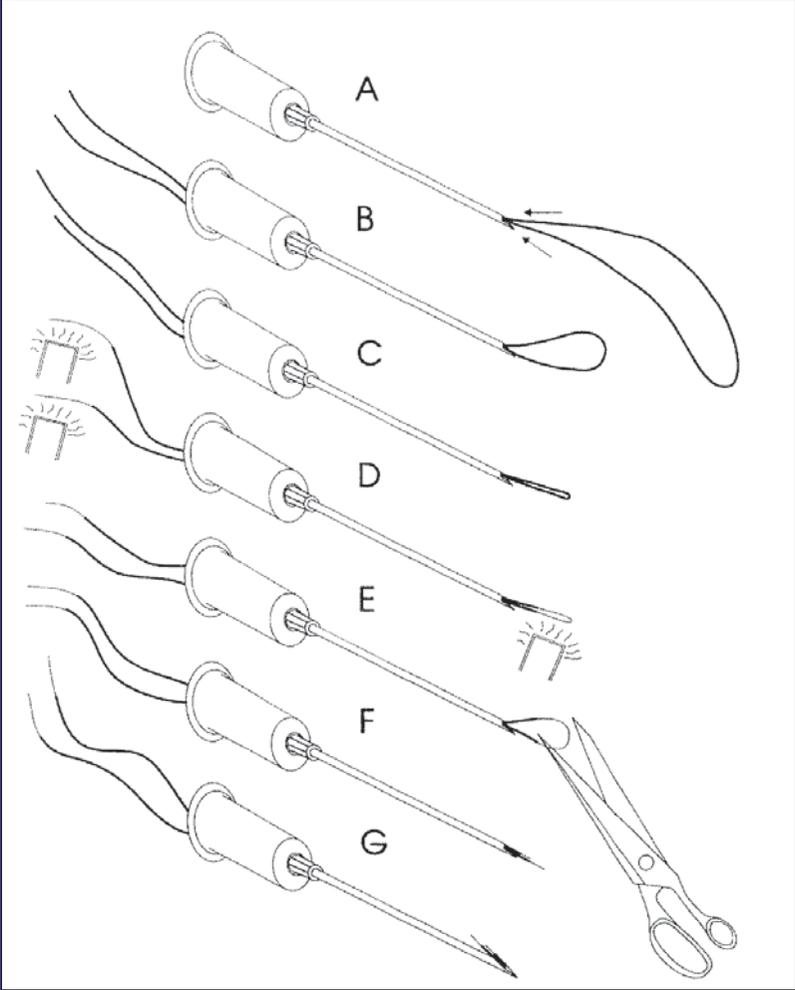
dinamometria



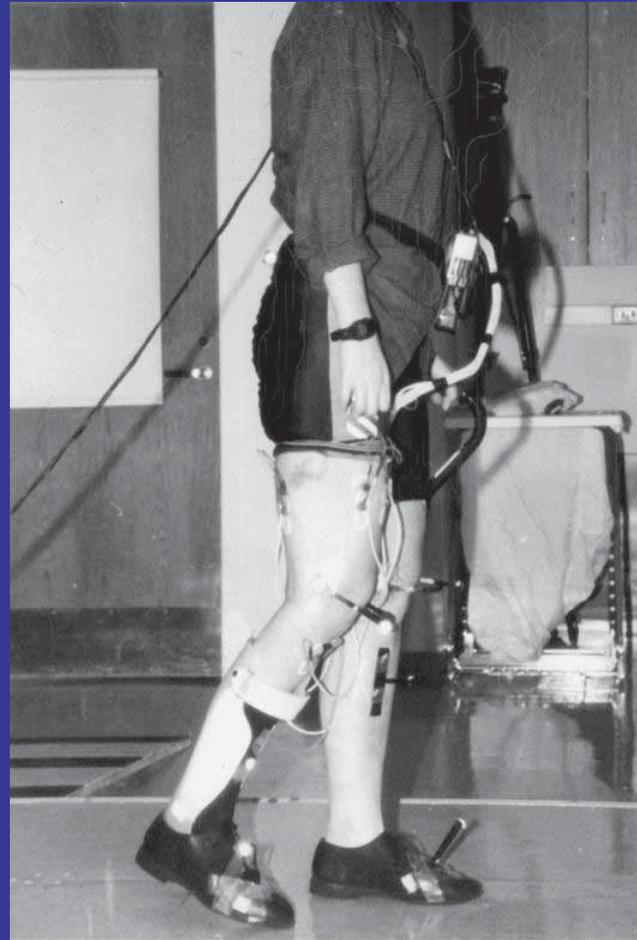


Effectiveness of a lateral-wedge insole on knee varus torque in patients with knee osteoarthritis.
Kerrigan DC, Lelas JL, Goggins J, Merriman GJ, Kaplan RJ, Felson DT.
Arch Phys Med Rehabil 2002 Jul;83(7):889-93









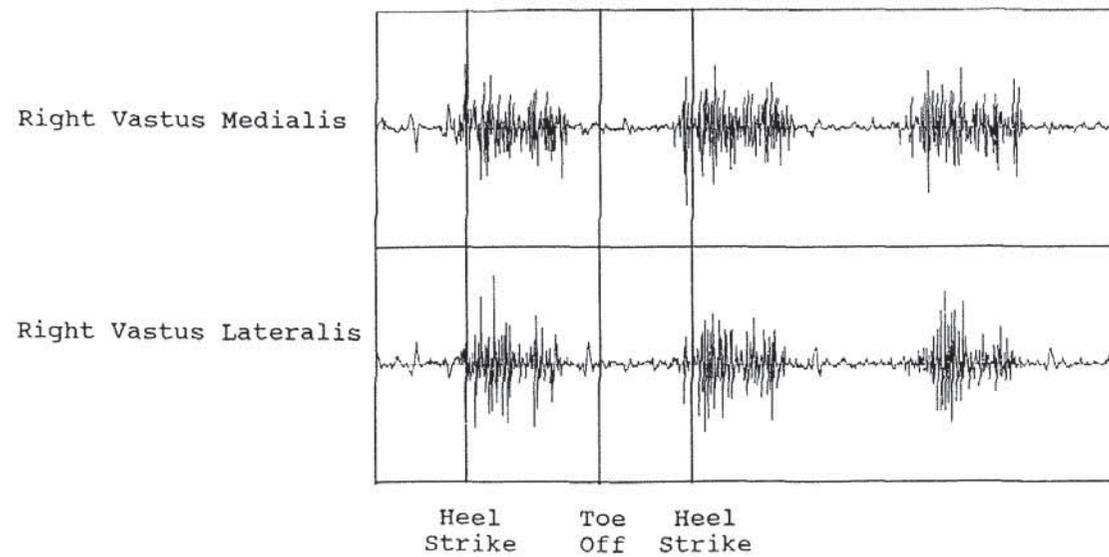
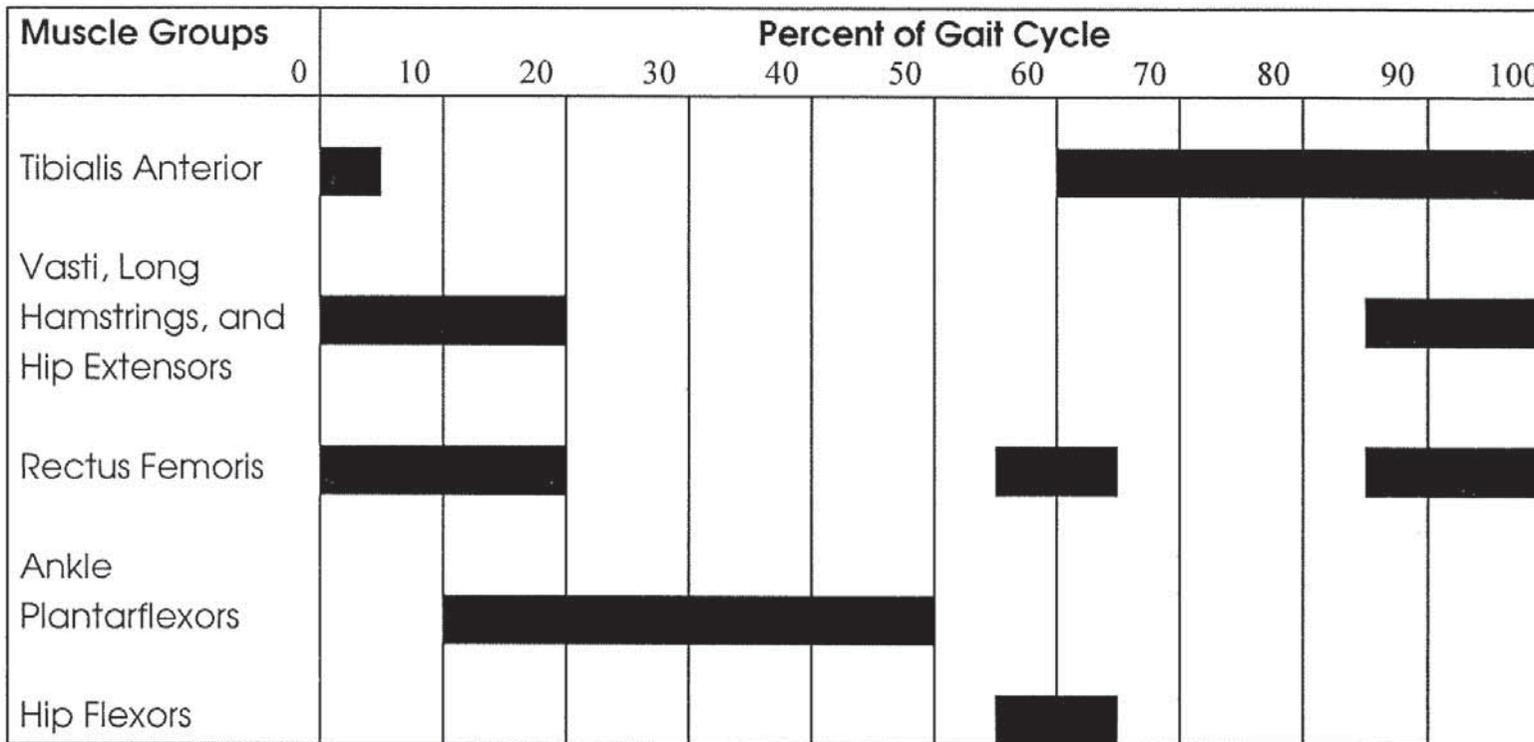


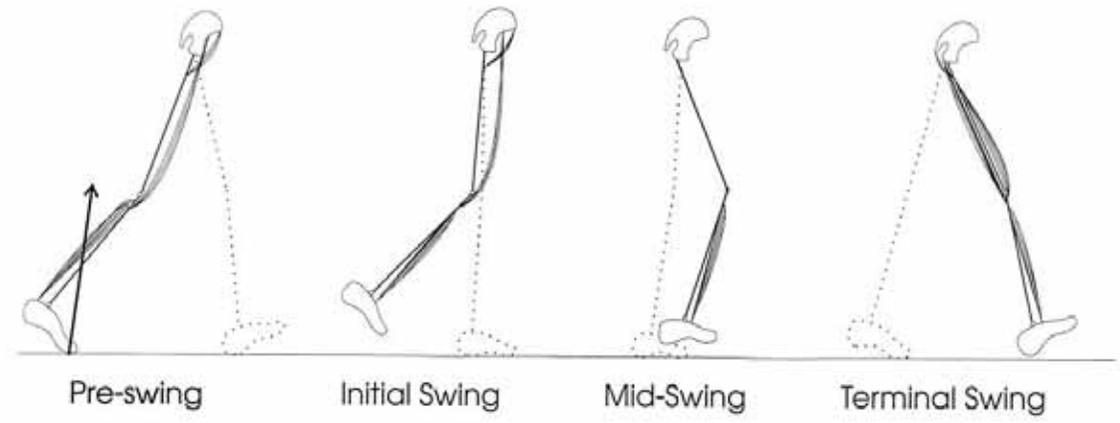
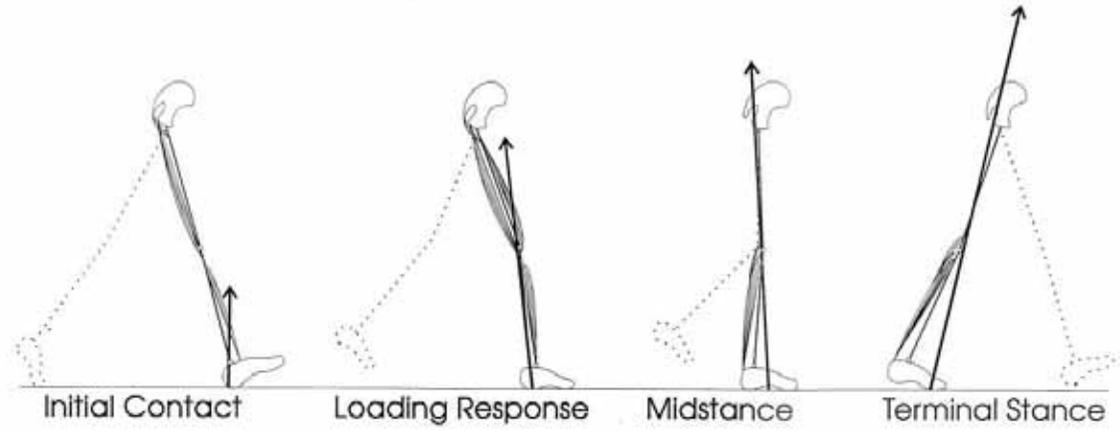
Figure 3. Raw dynamic electromyography of the right vastus medialis and lateralis.



■ Indicates that a muscle or muscle groups are active

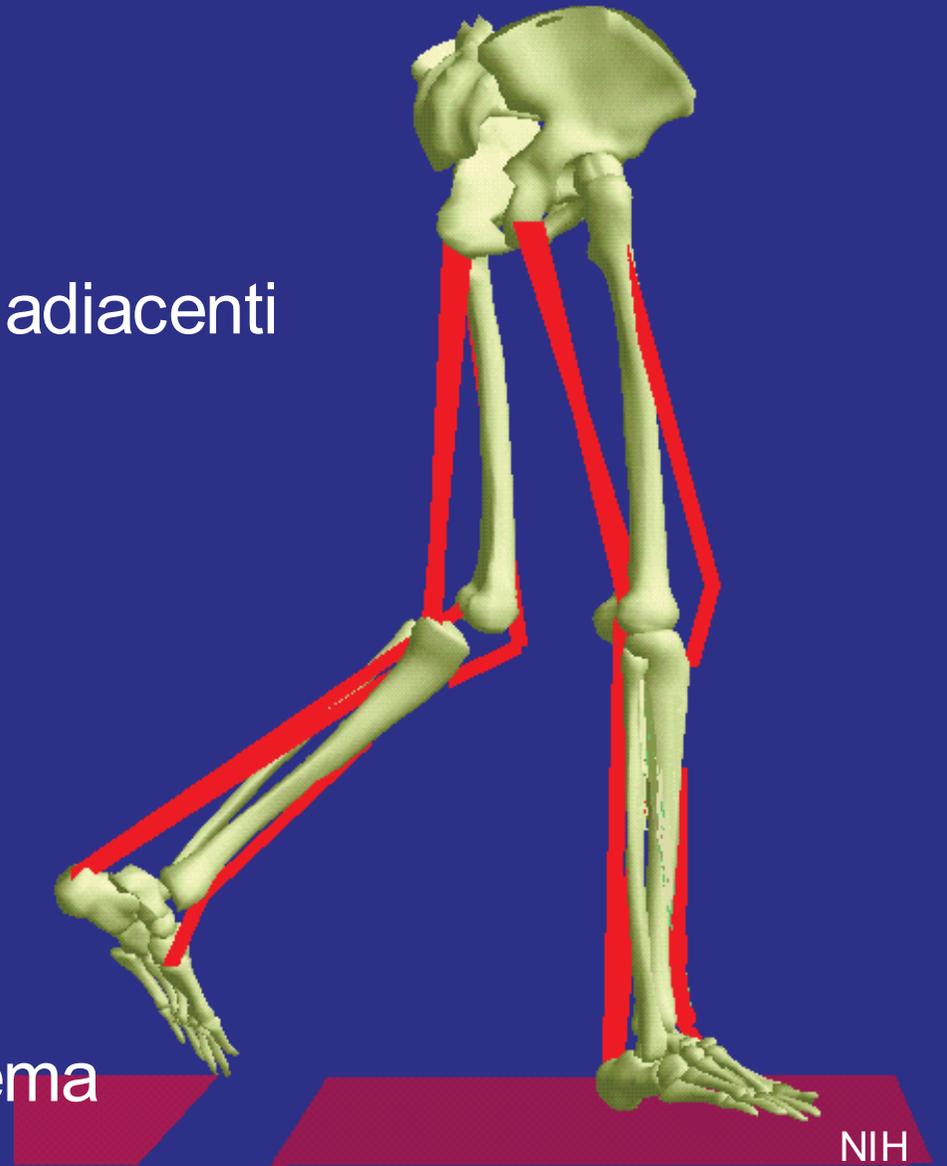


Quiet Standing



Le grandezze stimabili

- ➔ Movimenti relativi tra segmenti adiacenti (cinematica articolare)
- ➔ Forze trasmesse da
 - muscoli e tendini
 - legamenti
 - ossa
- ➔ Lavoro potenza muscolare
- ➔ Variazioni energetiche del sistema



L'esame della cinematica del passo

Ugo Della Croce

Dipartimento di Scienze Biomediche Università
degli Studi di Sassari

in collaborazione con il gruppo di bioingegneria dello IUSM di Roma

Obiettivo dell'analisi del movimento

Vogliamo informazione su

- Movimento articolare
- Funzione muscolare
- Carichi dei tessuti
- Strategia motoria

Durante un determinato atto motorio

Tipologie di movimento

Rotazione articolare

- Moto rotatorio di un segmento corporeo rispetto ad un altro segmento corporeo ad esso adiacente.

Esempi

- Flessione/Estensione
- Ab/Adduzione
- Rotazione interna/esterna

Tipologie di movimento

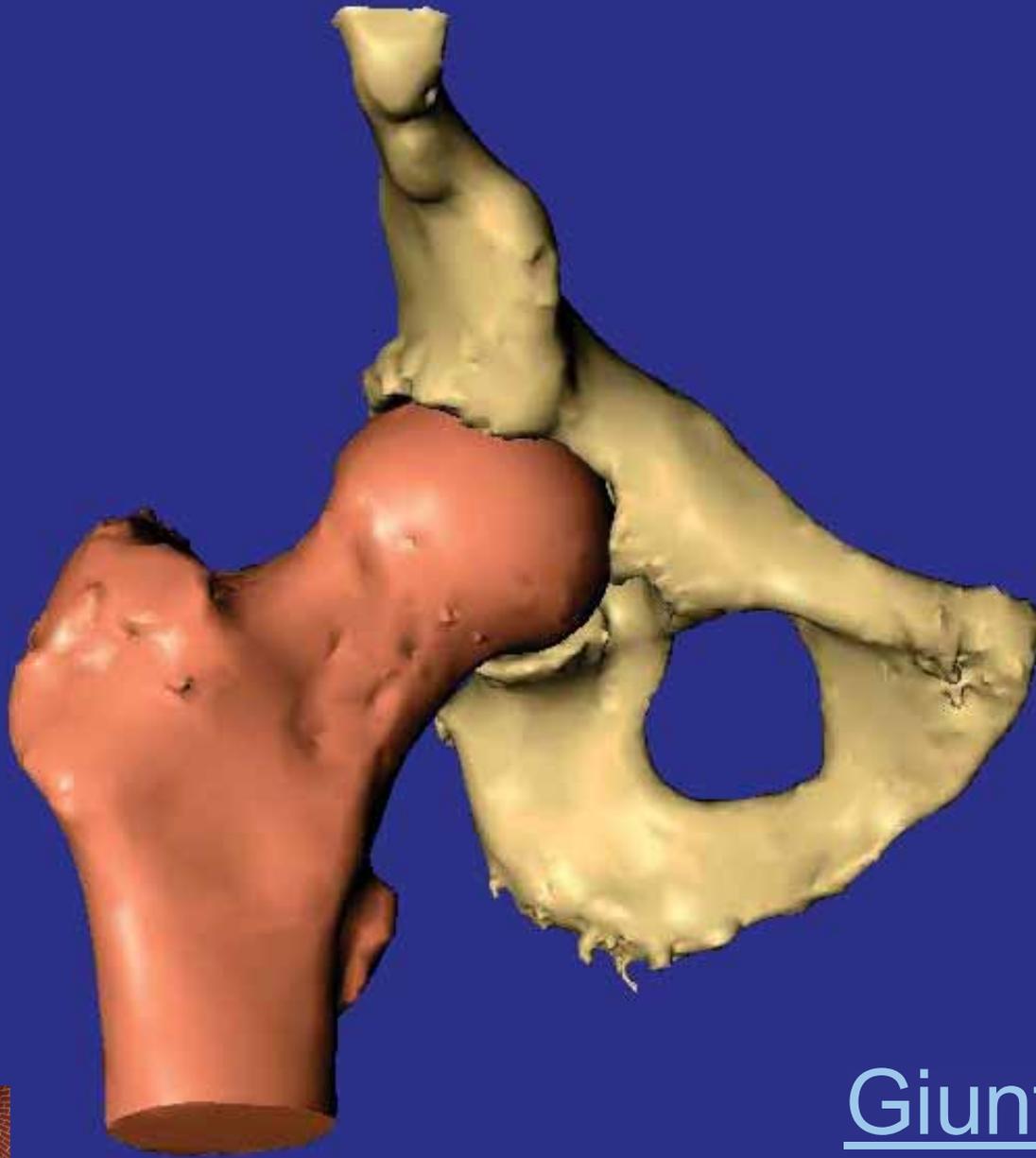
Traslazione Articolare

- Moto lineare di un segmento corporeo rispetto ad un a altro segmento corporeo ad esso adiacente

Esempi

- Spostamento medio/laterale
- Spostamento antero/posteriore
- Compressione/Distrazione

L'anca



Giunto sferico



Nell'anca

Rotazione articolare

Traslazione Articolare

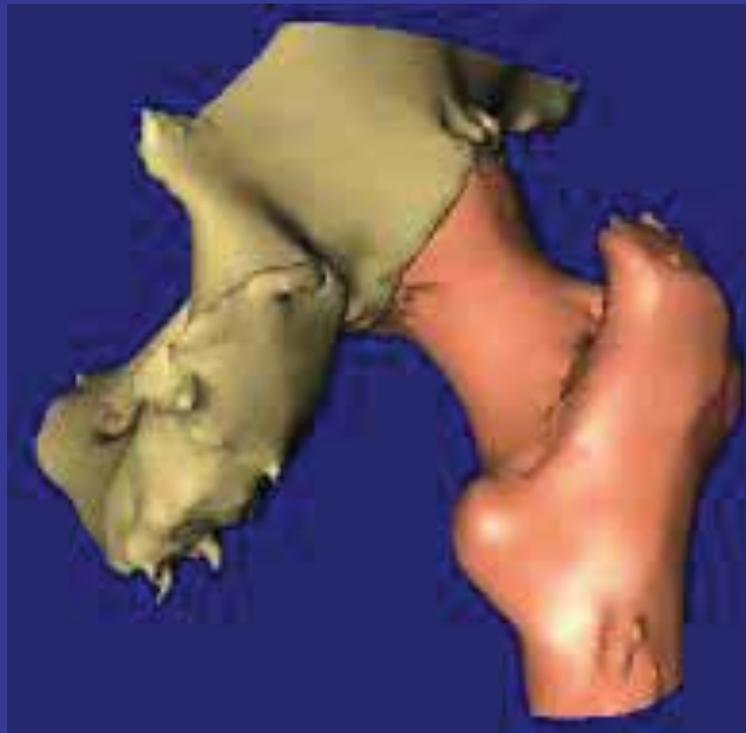
Nell'anca

Rotazione articolare

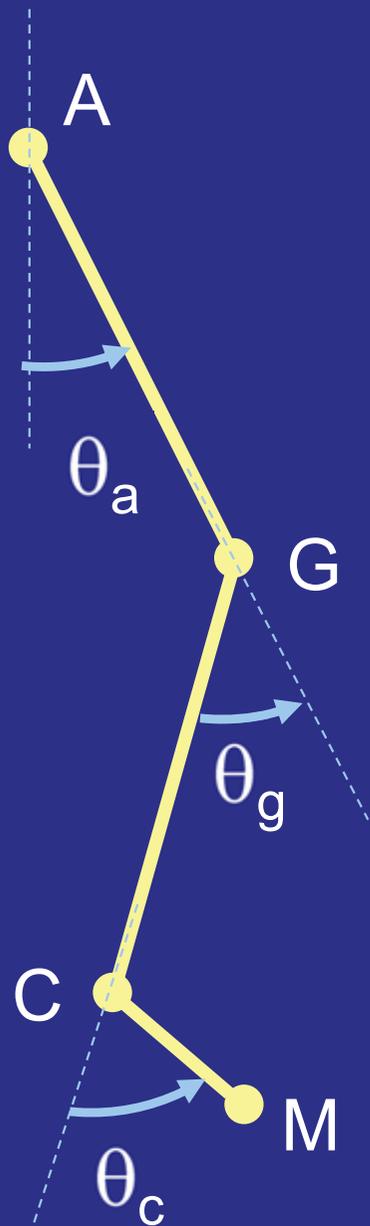
~~Traslazione Articolare~~

Nell'anca

Rotazione articolare



Modello semplice dell'arto inferiore



Ipotesi:

- Moto planare (piano sagittale)
- Le articolazioni sono modellate usando cerniere cilindriche (un grado di libertà)

Centri articolari:

A anca

G ginocchio

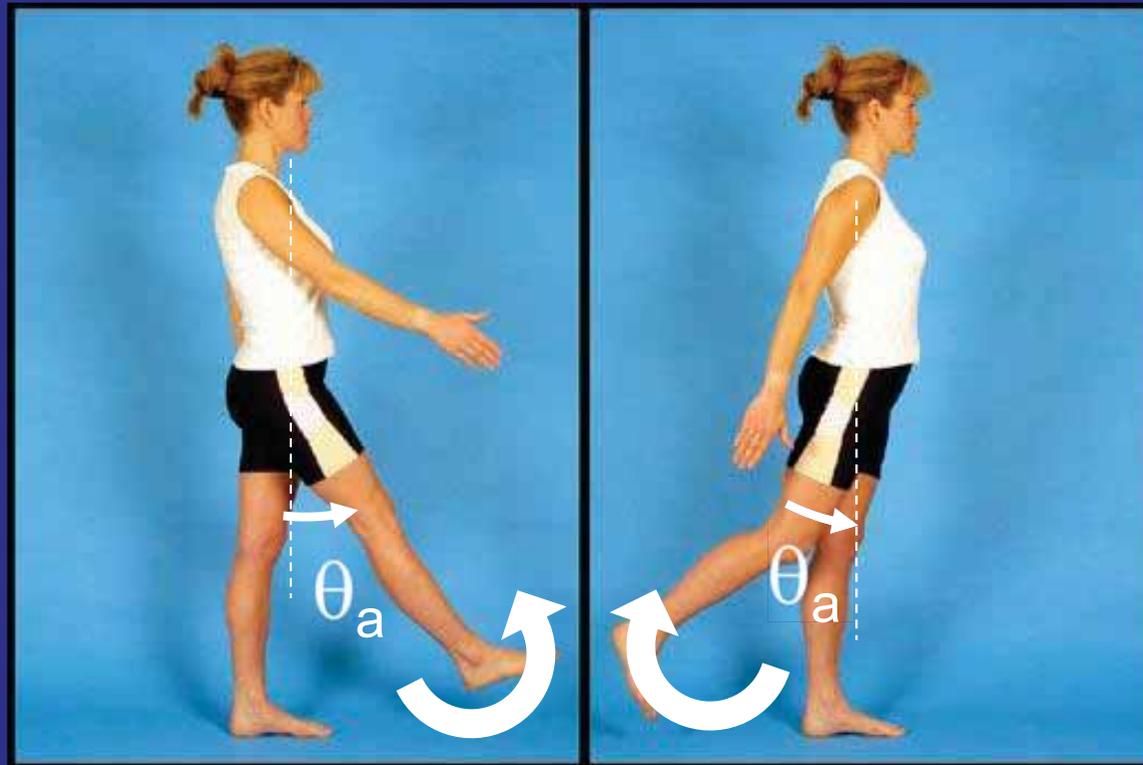
C caviglia

M metatarso-falangi

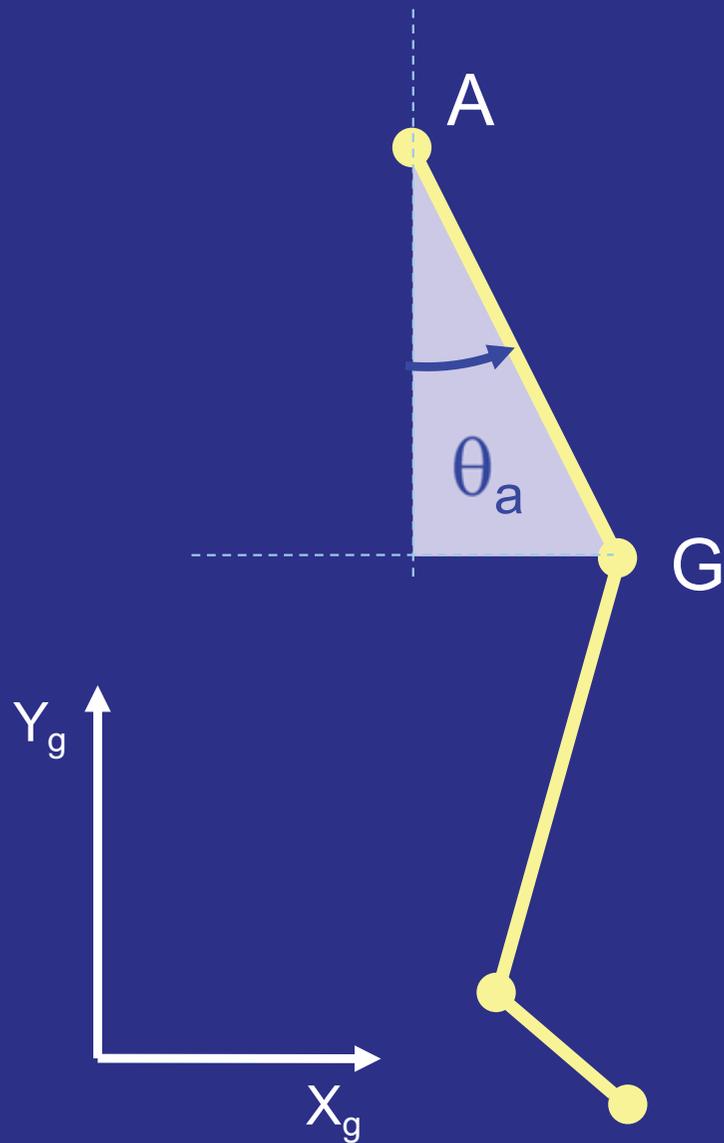
Flesso-estensione dell'anca

Flessione (+)

Estensione (-)



Stima dell'angolo di flessione-estensione dell'anca



Dati:

$$\mathbf{p}_A = [x_A \ y_A]$$

$$\mathbf{p}_G = [x_G \ y_G]$$



$$\text{tg } \theta_a = - (x_A - x_G) / (y_A - y_G)$$

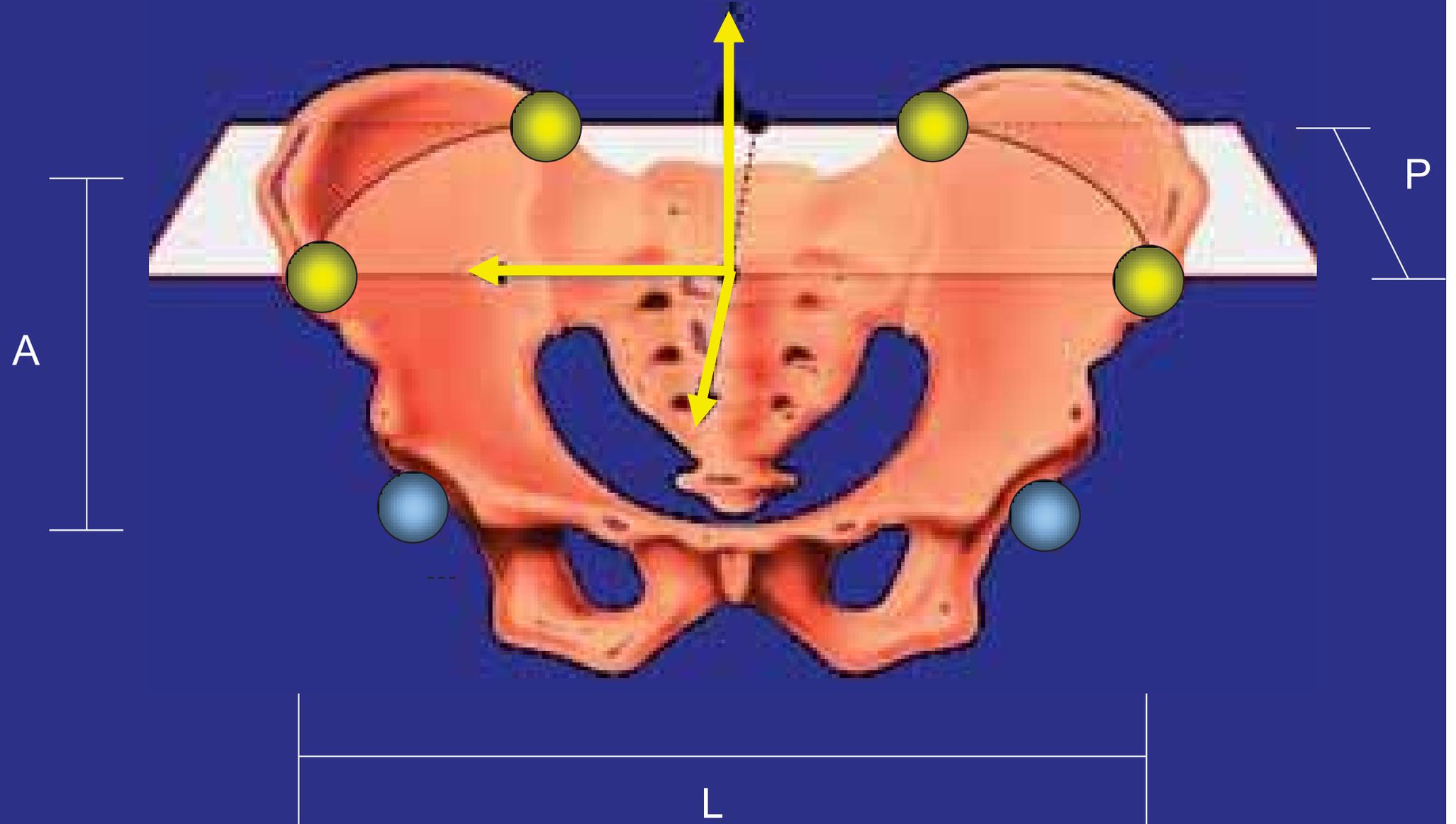
Modello 3-D dell'arto inferiore

La cinematica angolare di un'articolazione può essere vista come una sequenza di rotazioni semplici dell'osso distale dell'articolazione rispetto a quello prossimale.

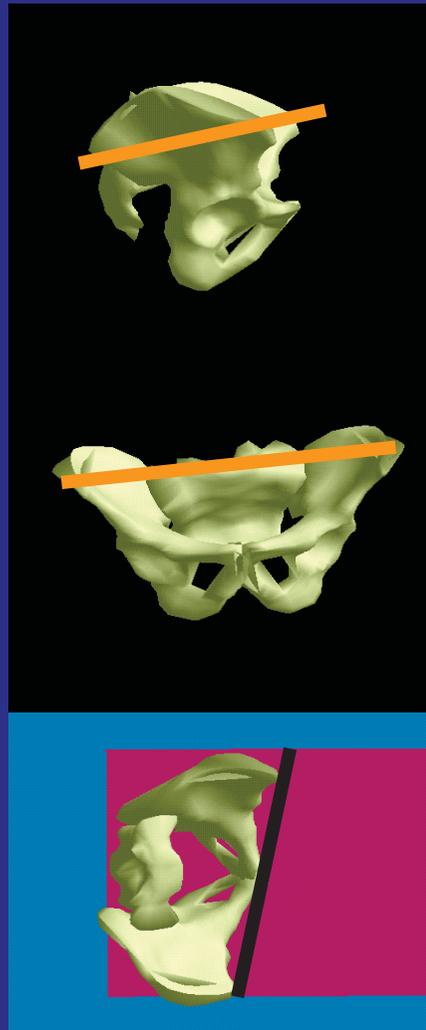
α, β, γ

Tre angoli, rappresentanti ognuna delle rotazioni, possono descrivere tale cinematica.

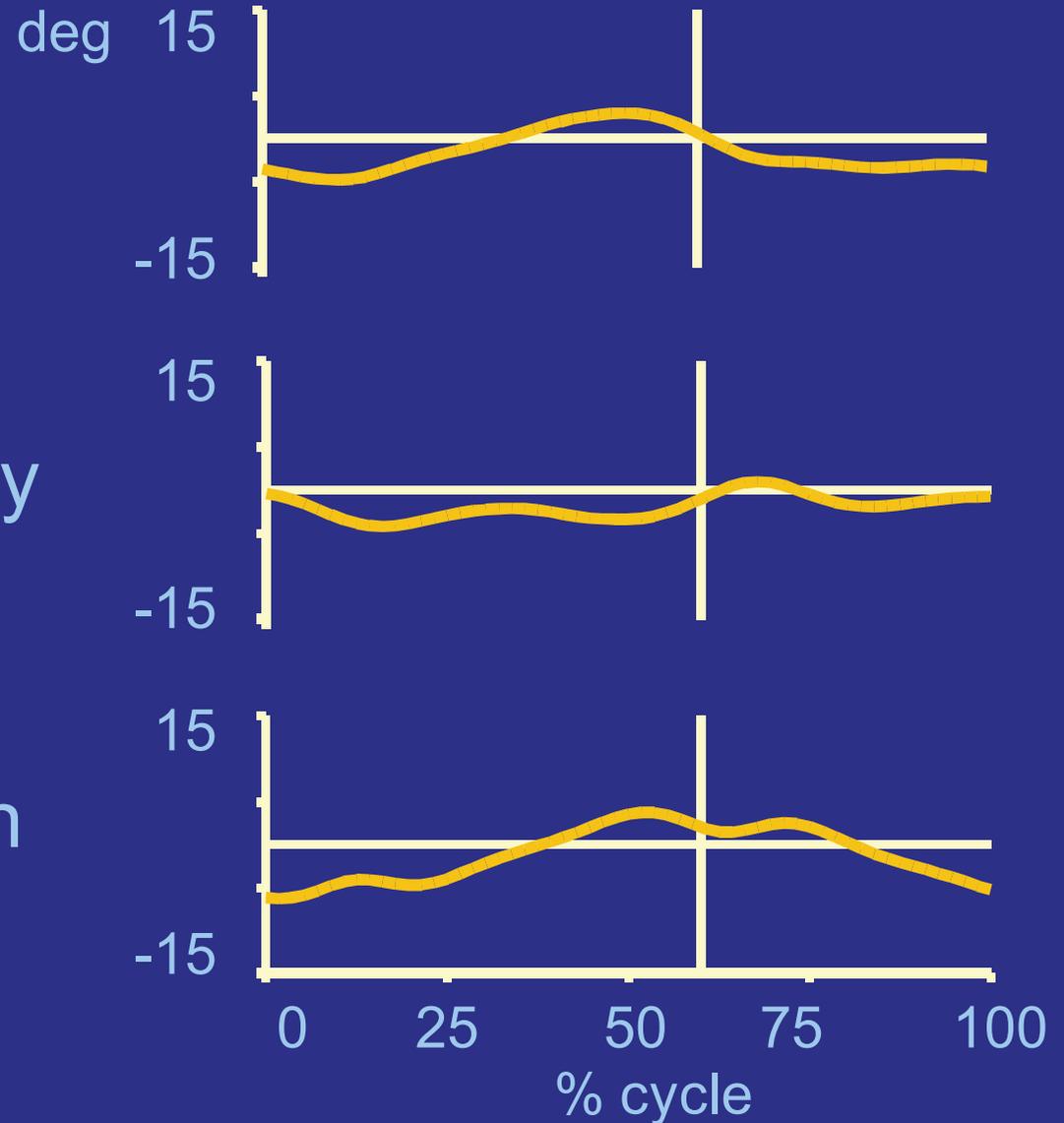
La Pelvi



Rotazioni della pelvi durante il cammino



Tilt



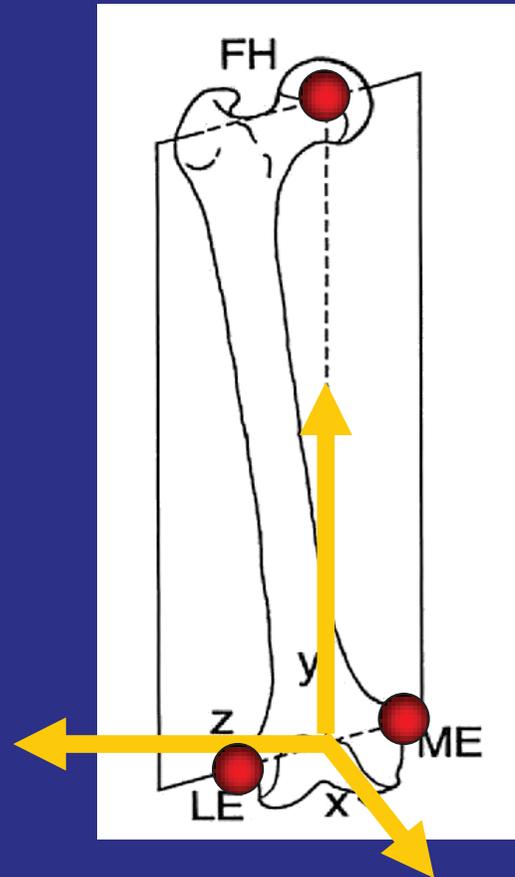
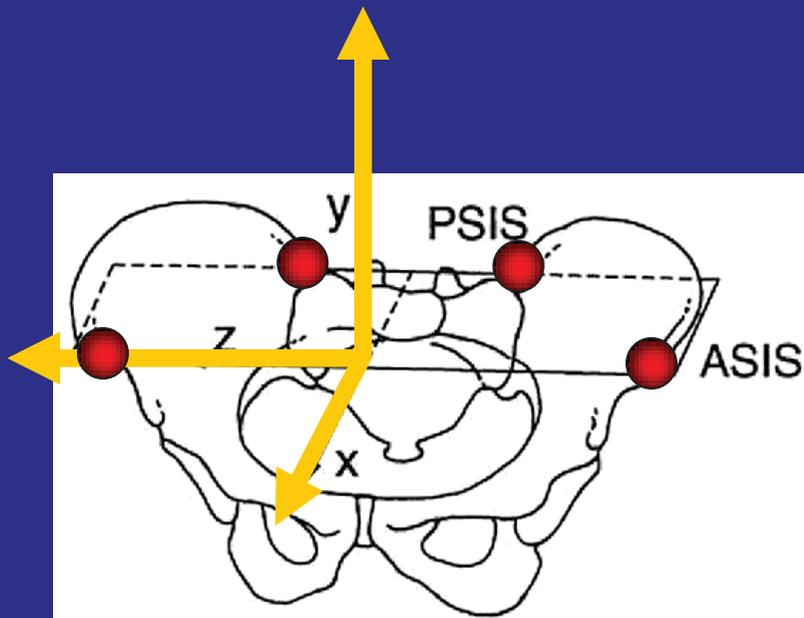
Il Femore



Assi anatomici

I numeri che definiscono l'orientamento del corpo nello spazio 3-D, rispetto al suo orientamento di riferimento, dipendono da entrambi i sistemi di riferimento coinvolti (distale e prossimale), dunque:

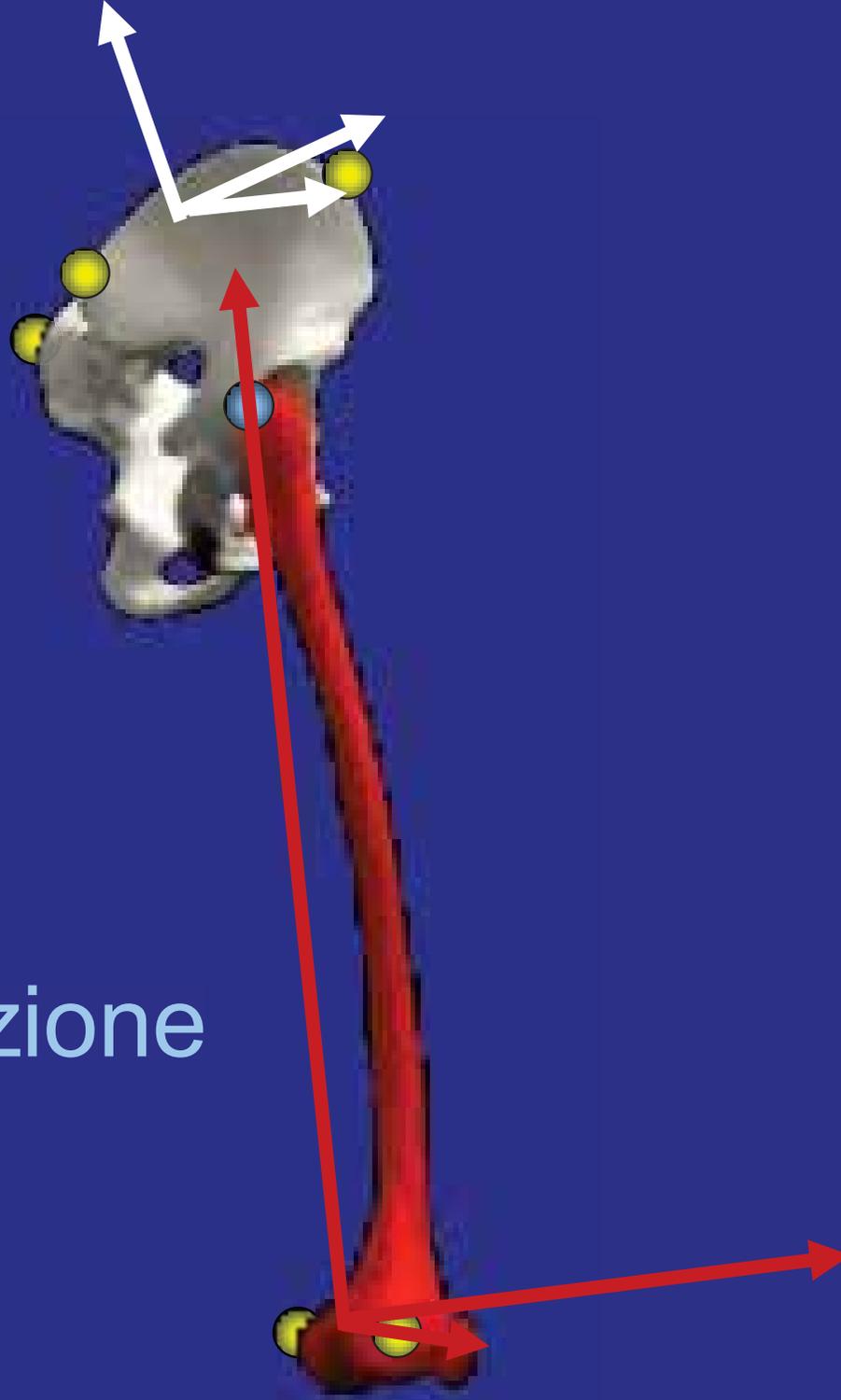
per garantire la ripetibilità, i sistemi di riferimento prossimale e distale devono essere definiti utilizzando repere anatomici



Il moto dell'articolazione

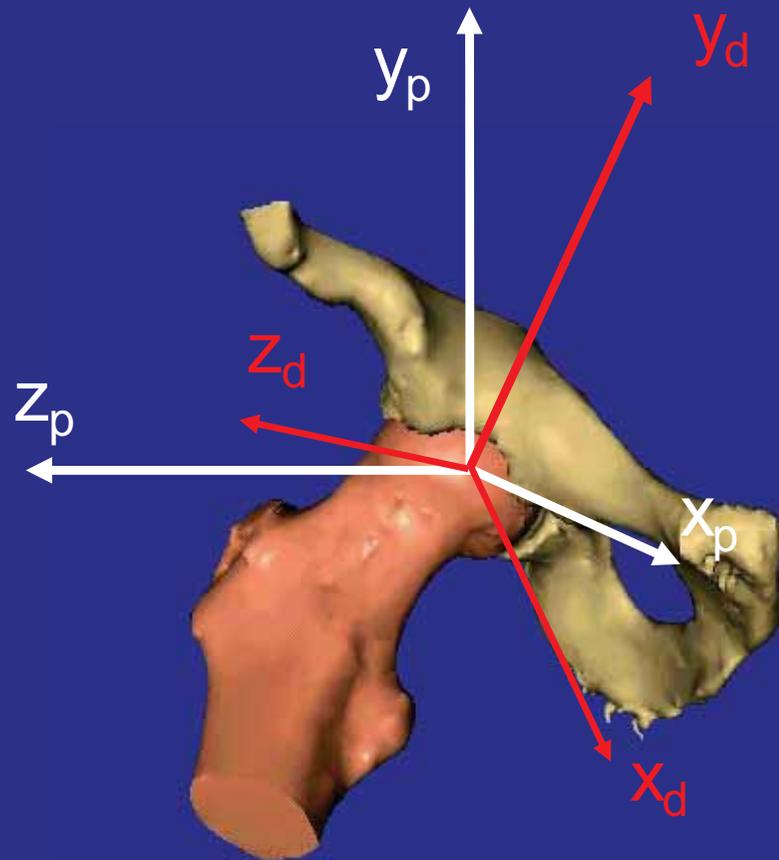


Il moto
dell'articolazione



Rotazioni successive

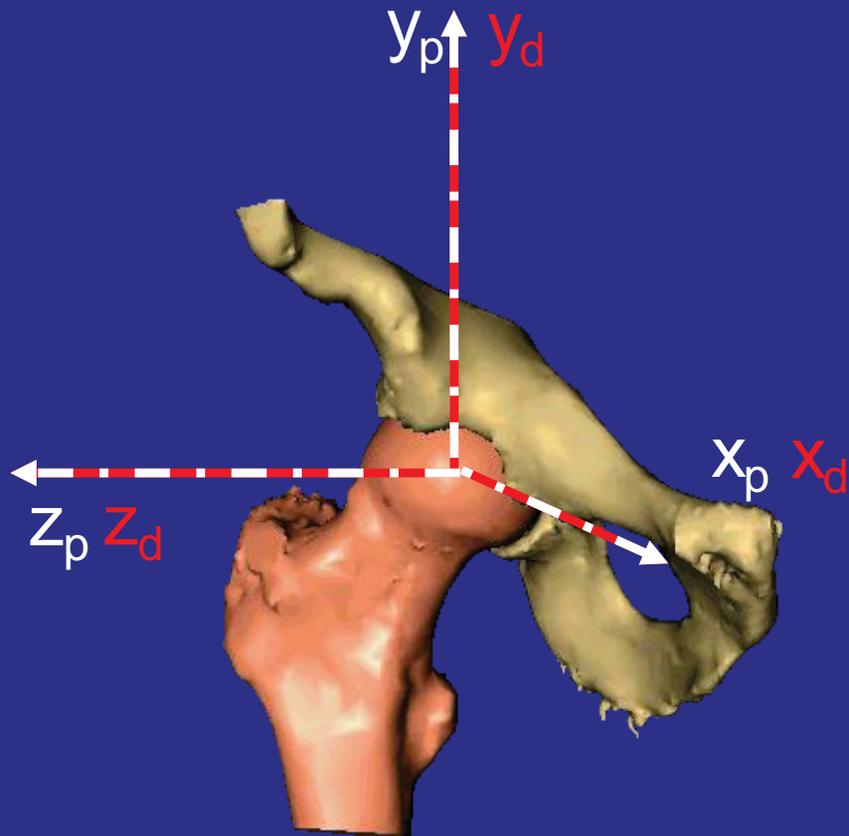
Si desidera descrivere questo orientamento istantaneo del femore rispetto alla pelvi



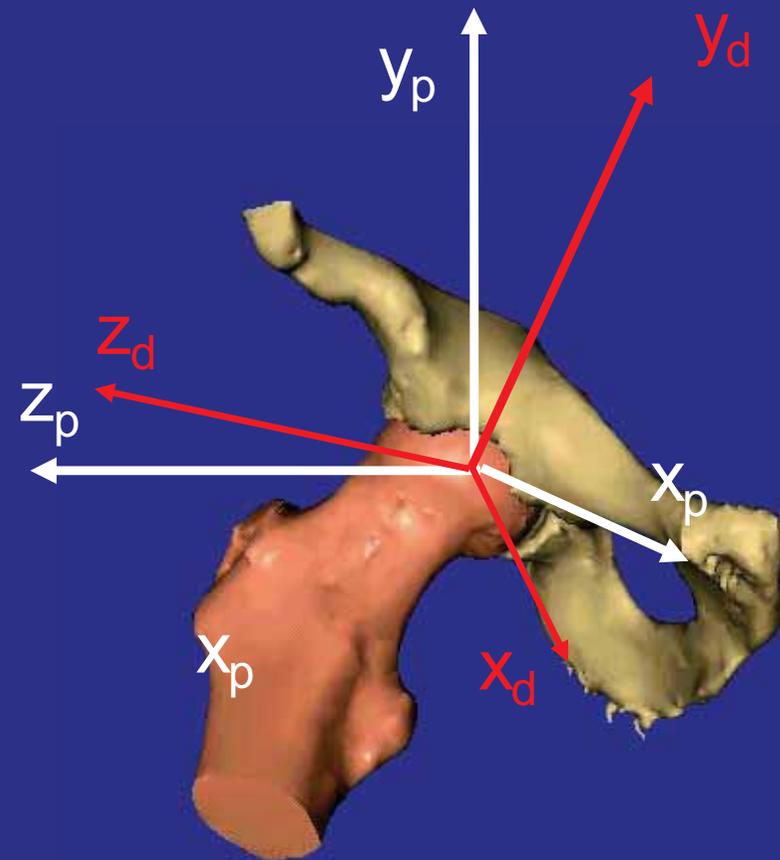
Rotazioni successive

Il riferimento è la situazione di allineamento

partenza

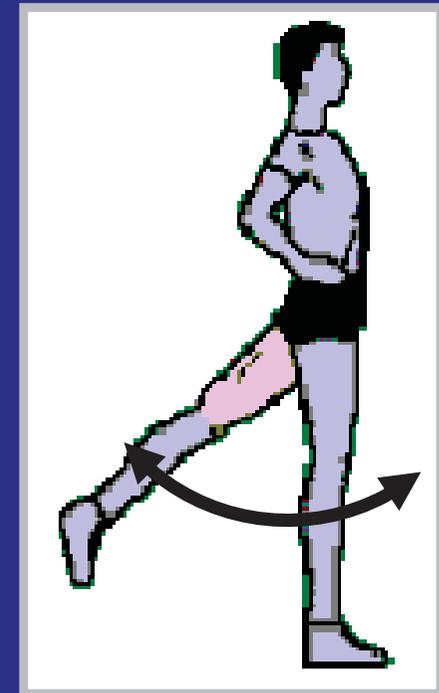
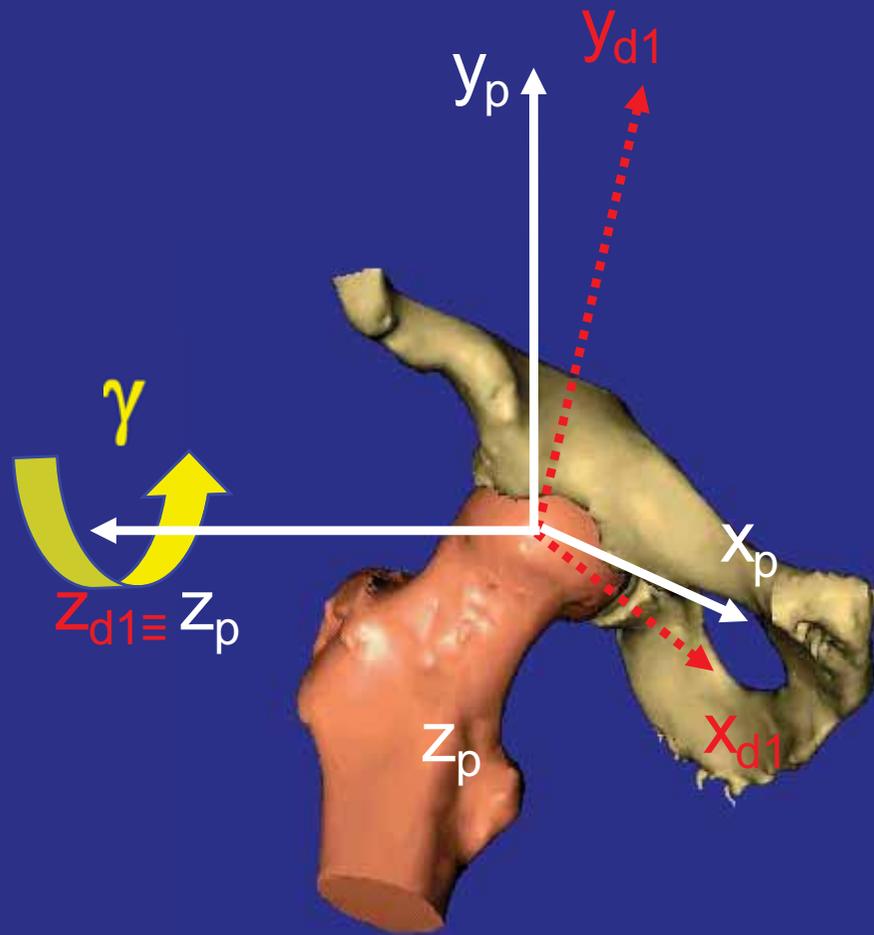


arrivo



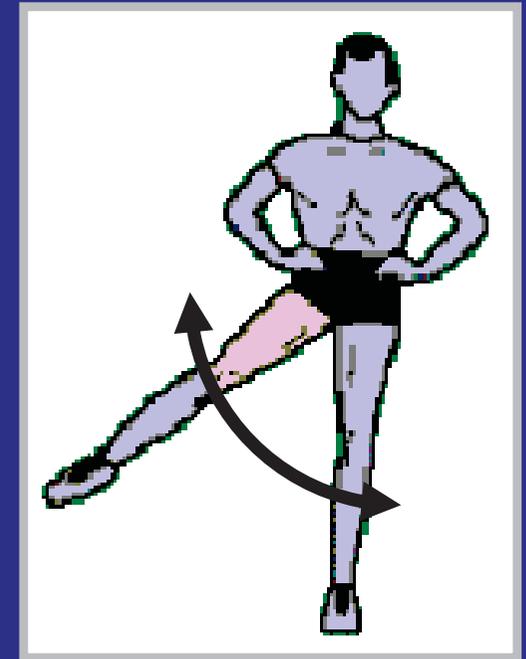
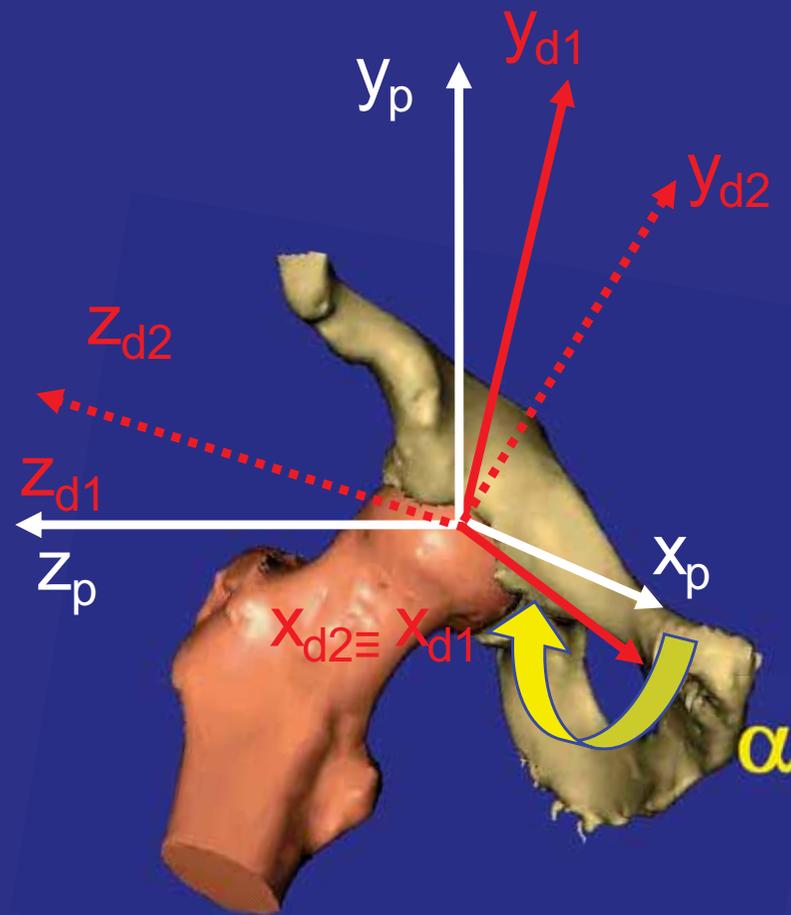
Prima rotazione: flessione-estensione

Intorno all'asse medio-laterale della pelvi



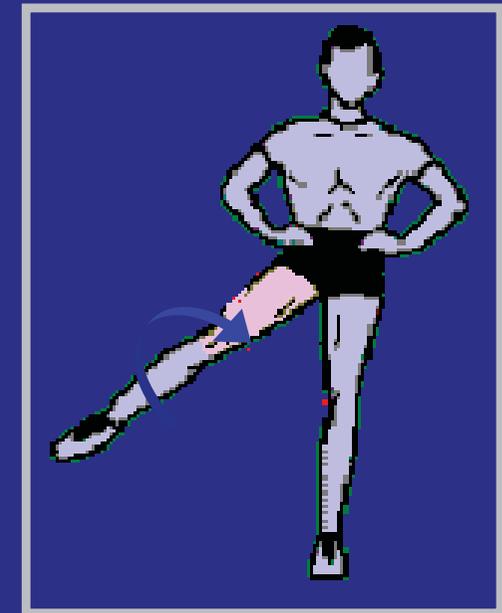
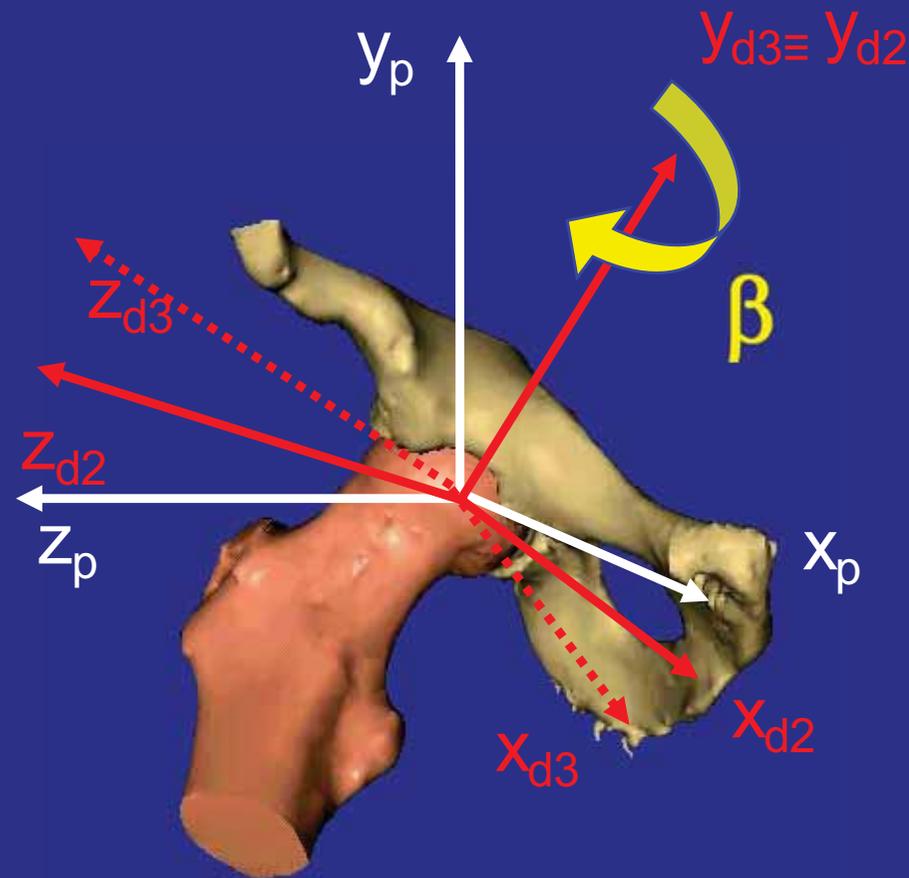
Seconda rotazione: adduzione-abduzione

Intorno all'asse antero-posteriore del femore (orientamento attuale)



Terza rotazione: rotazione interna-esterna

Intorno all'asse longitudinale del femore (orientamento attuale)



Nota

la sequenza dei tre angoli di rotazione

$$\alpha, \beta, \gamma$$

dipende contemporaneamente da:

- gli assi attorno a cui devono avvenire le rotazioni
- la relativa sequenza

Convenzioni angolari

convenzione di Eulero

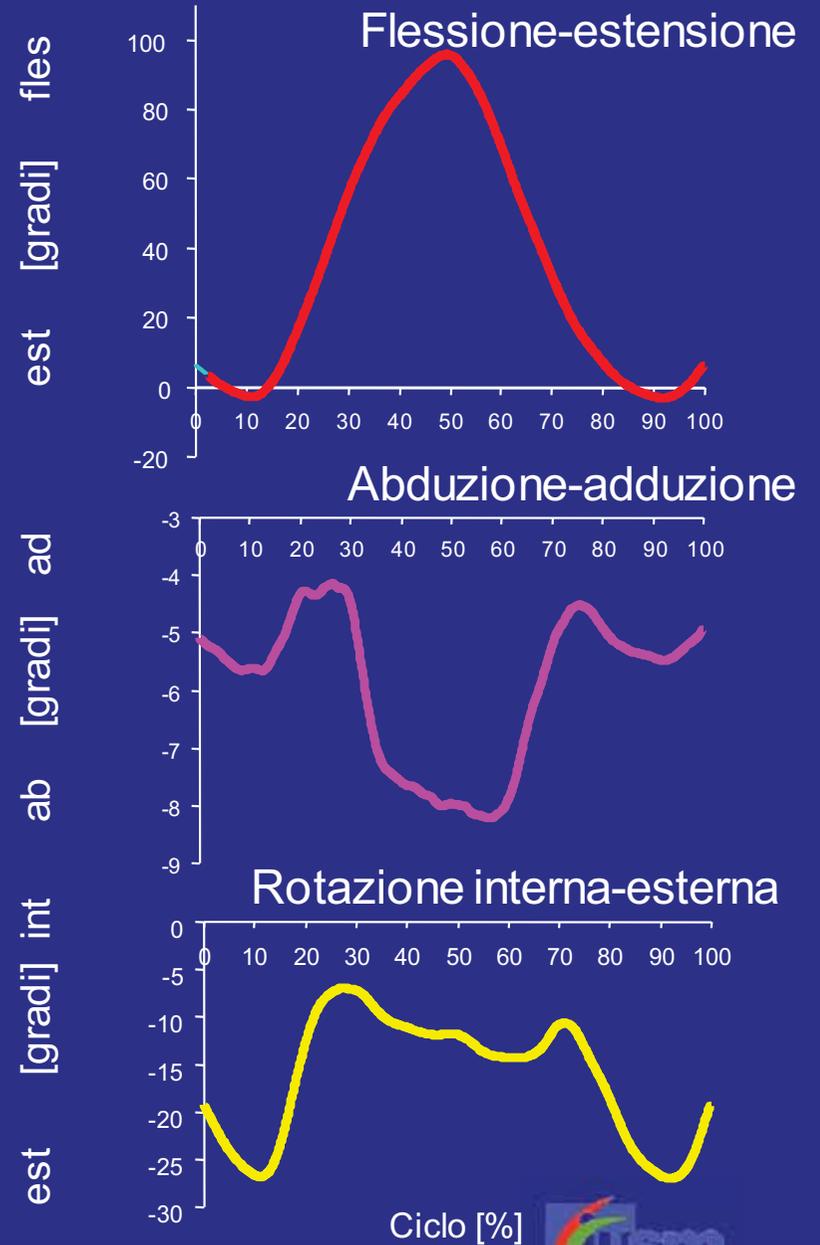
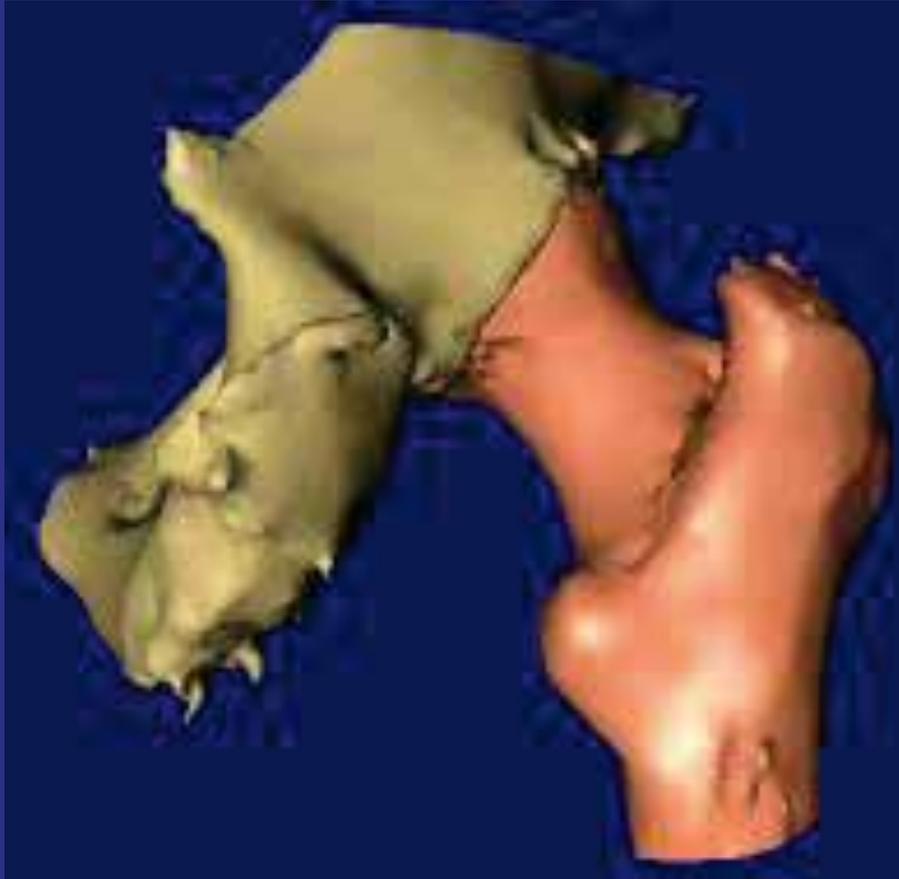
es: xyx

convenzione cardanica

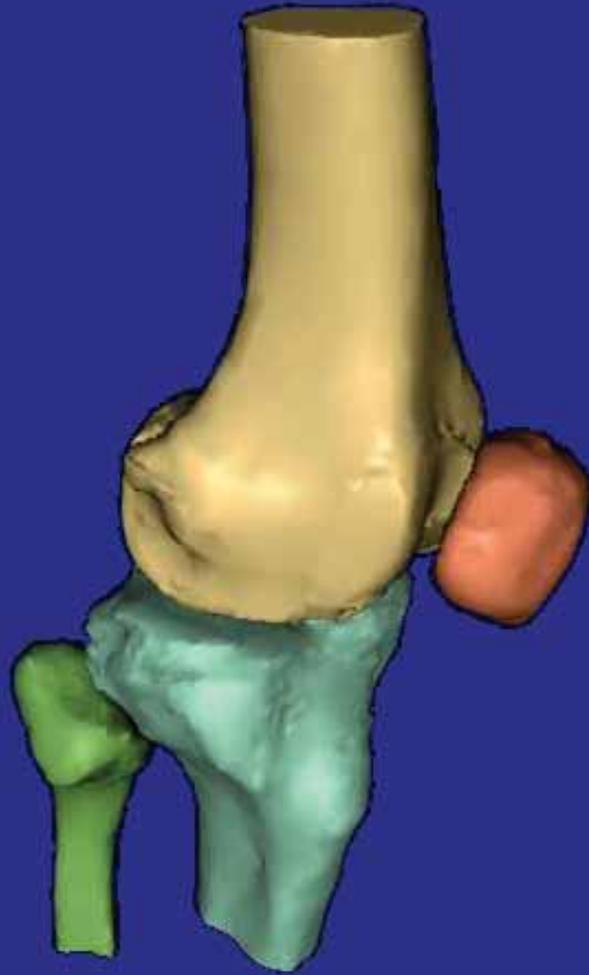
es: xyz

L'obiettivo raggiunto

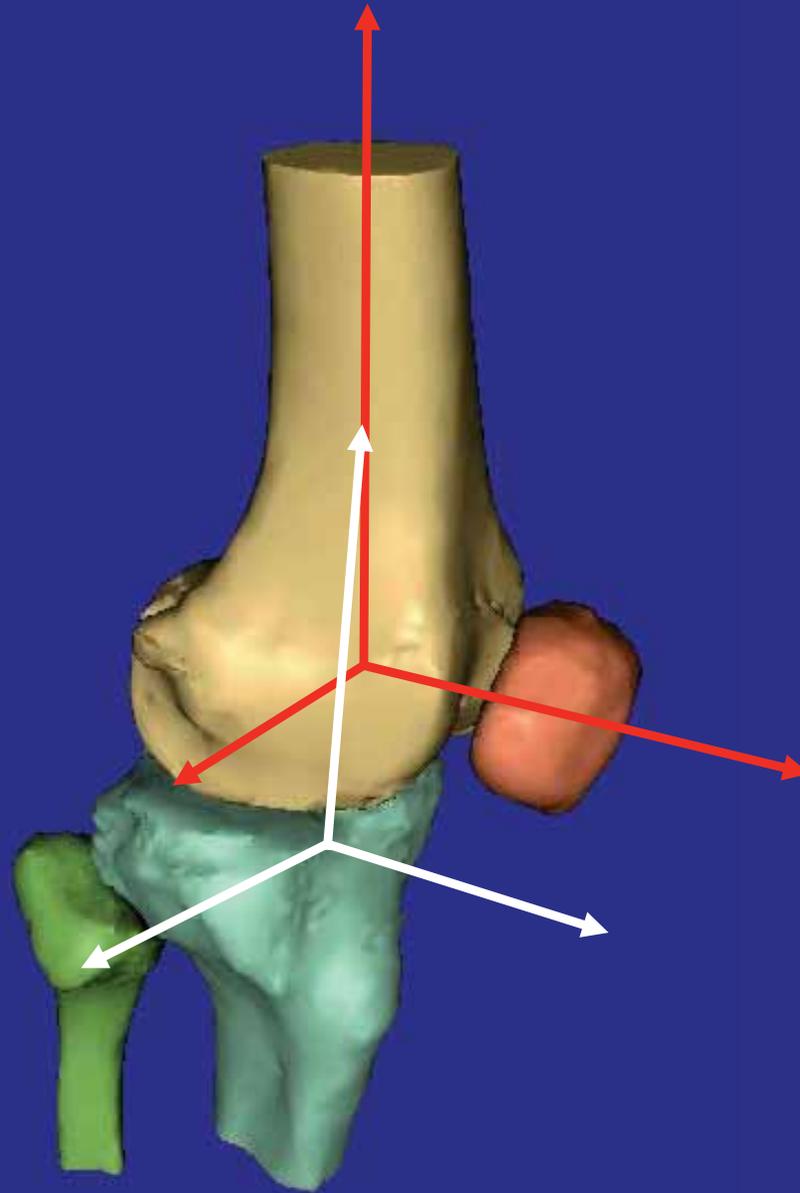
Cinematica articolare



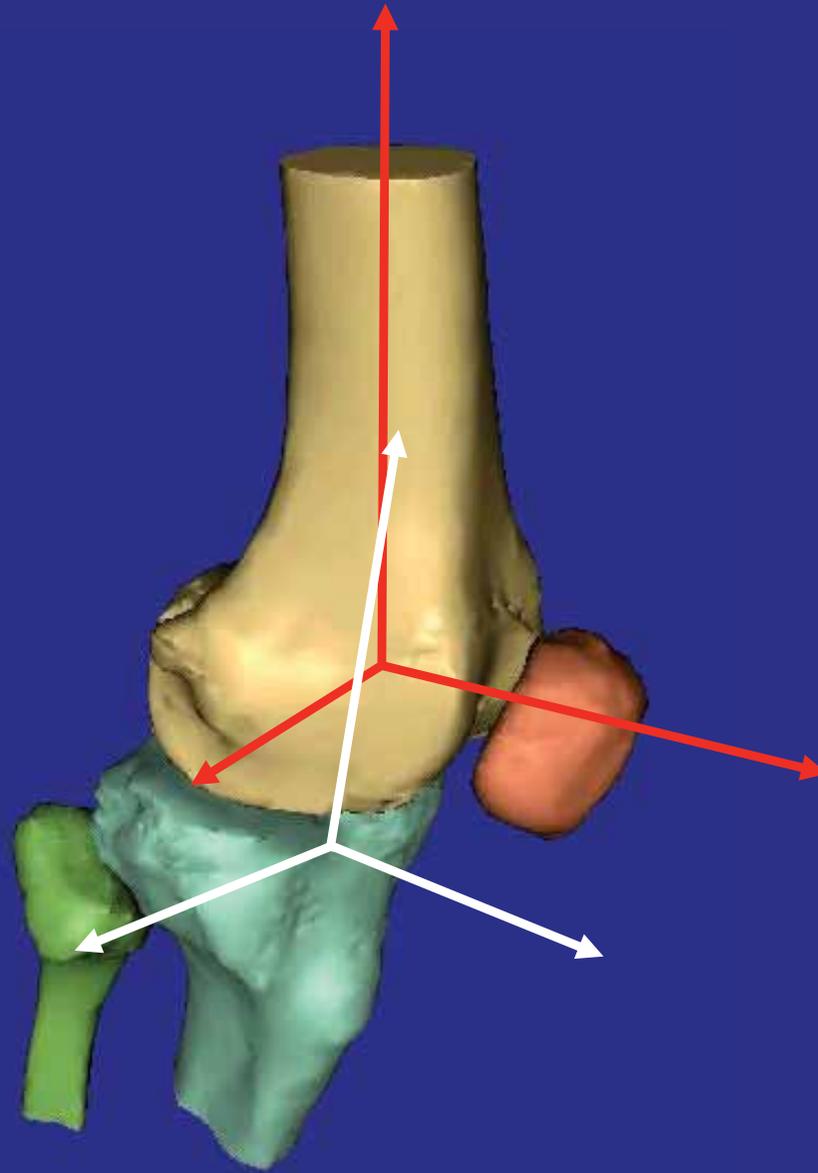
ginocchio



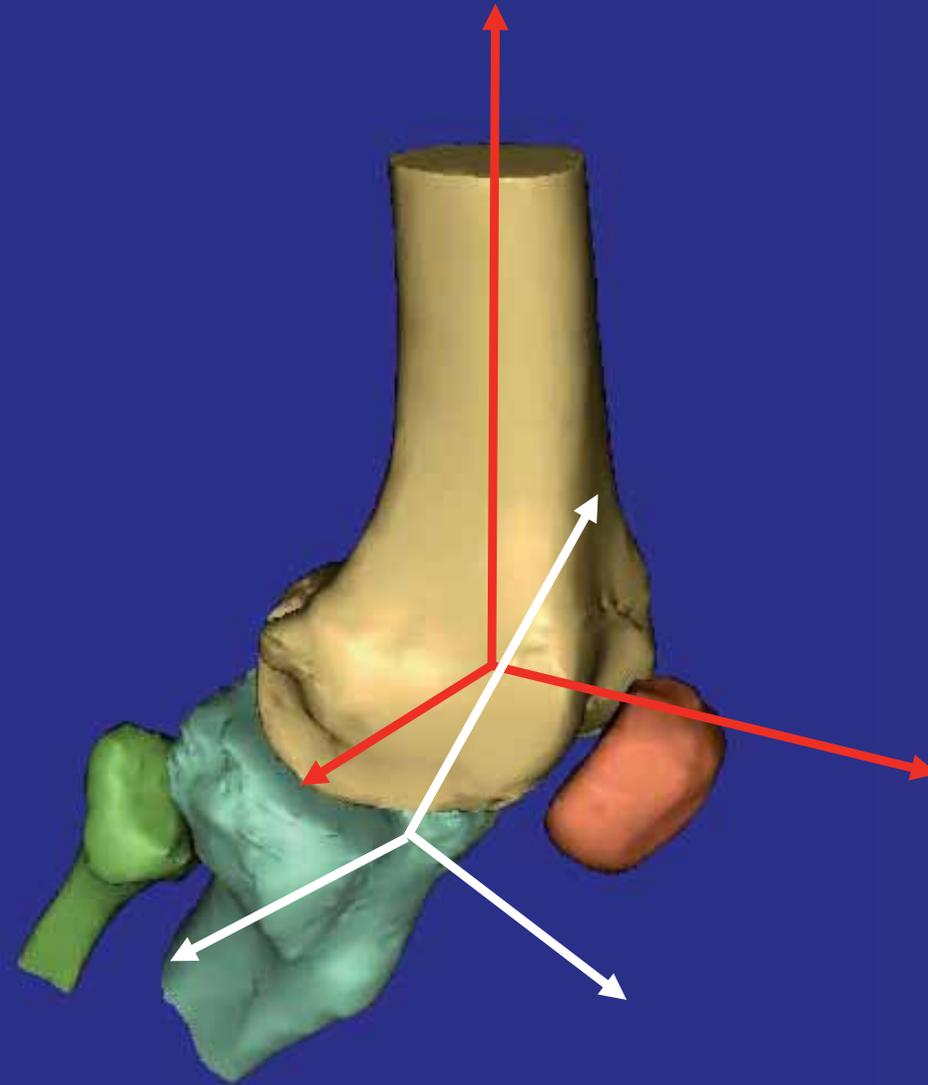
ginocchio



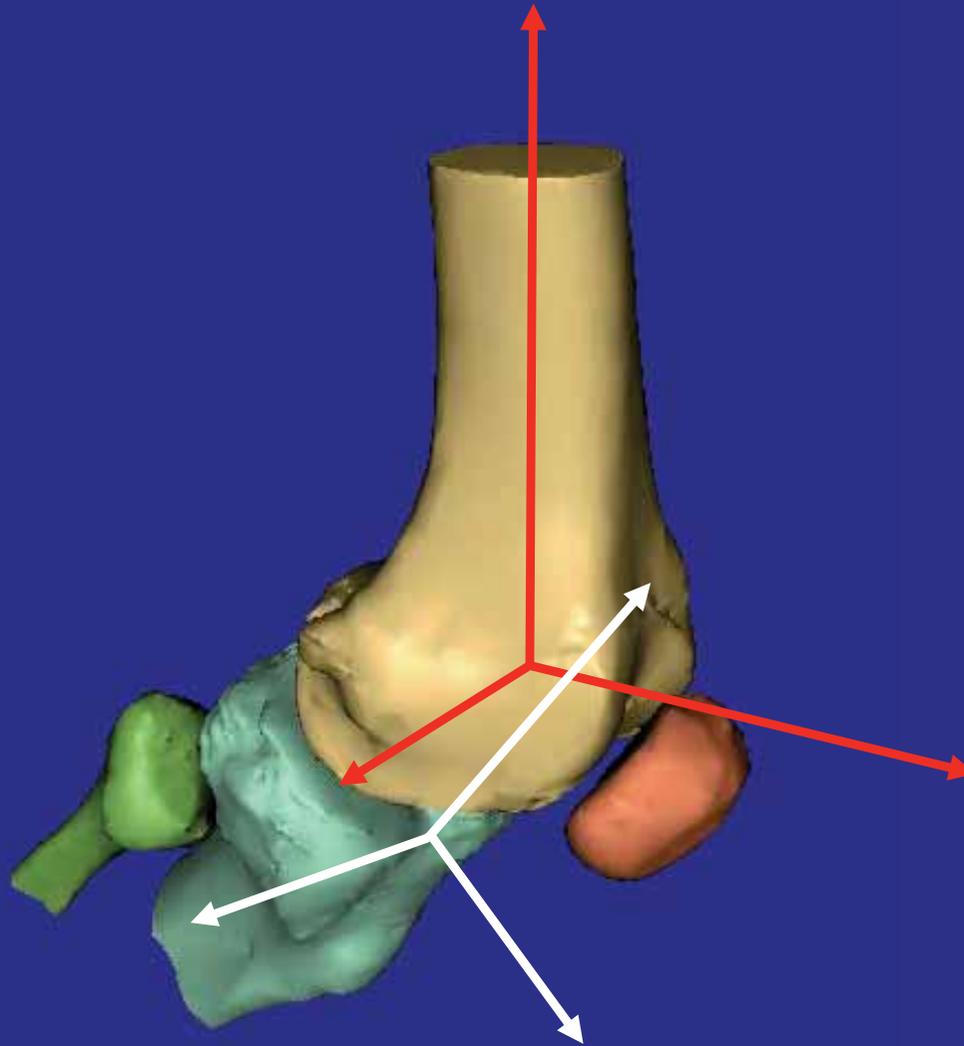
ginocchio



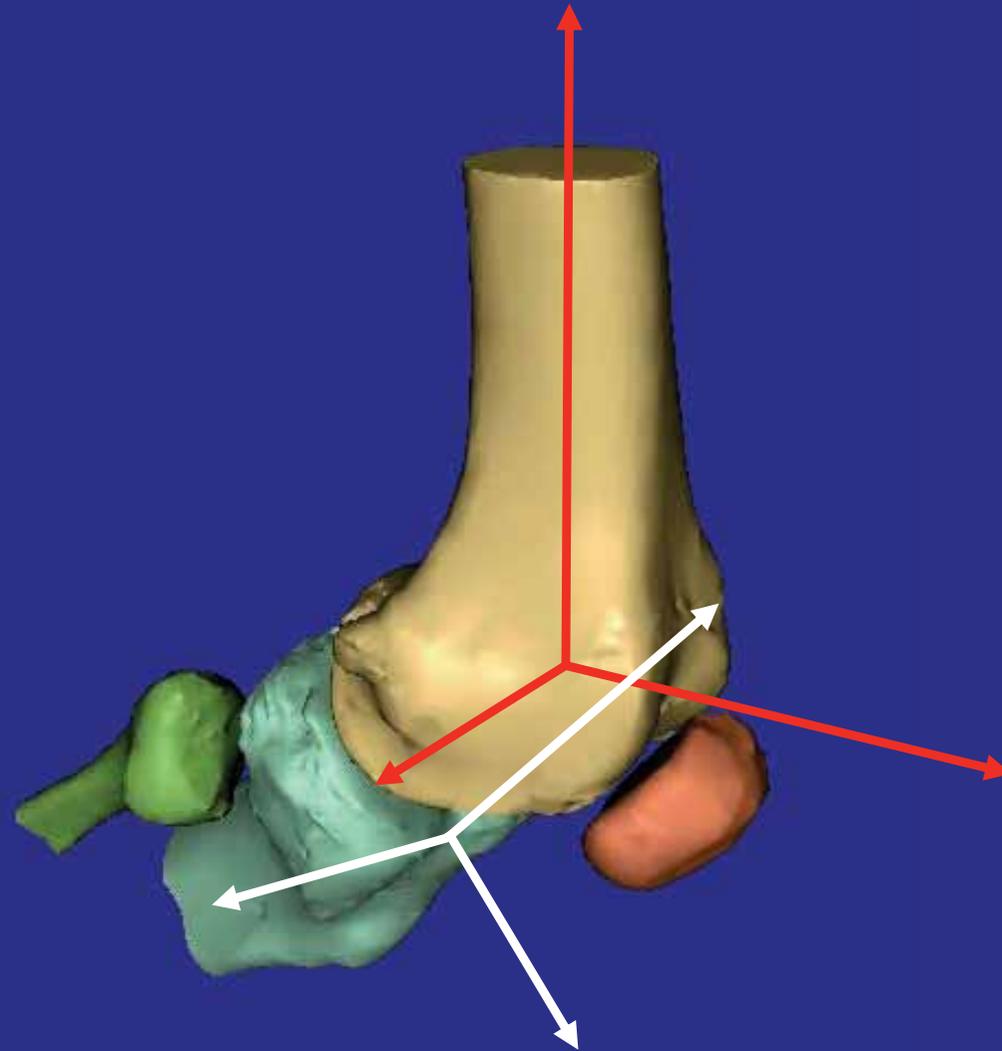
ginocchio



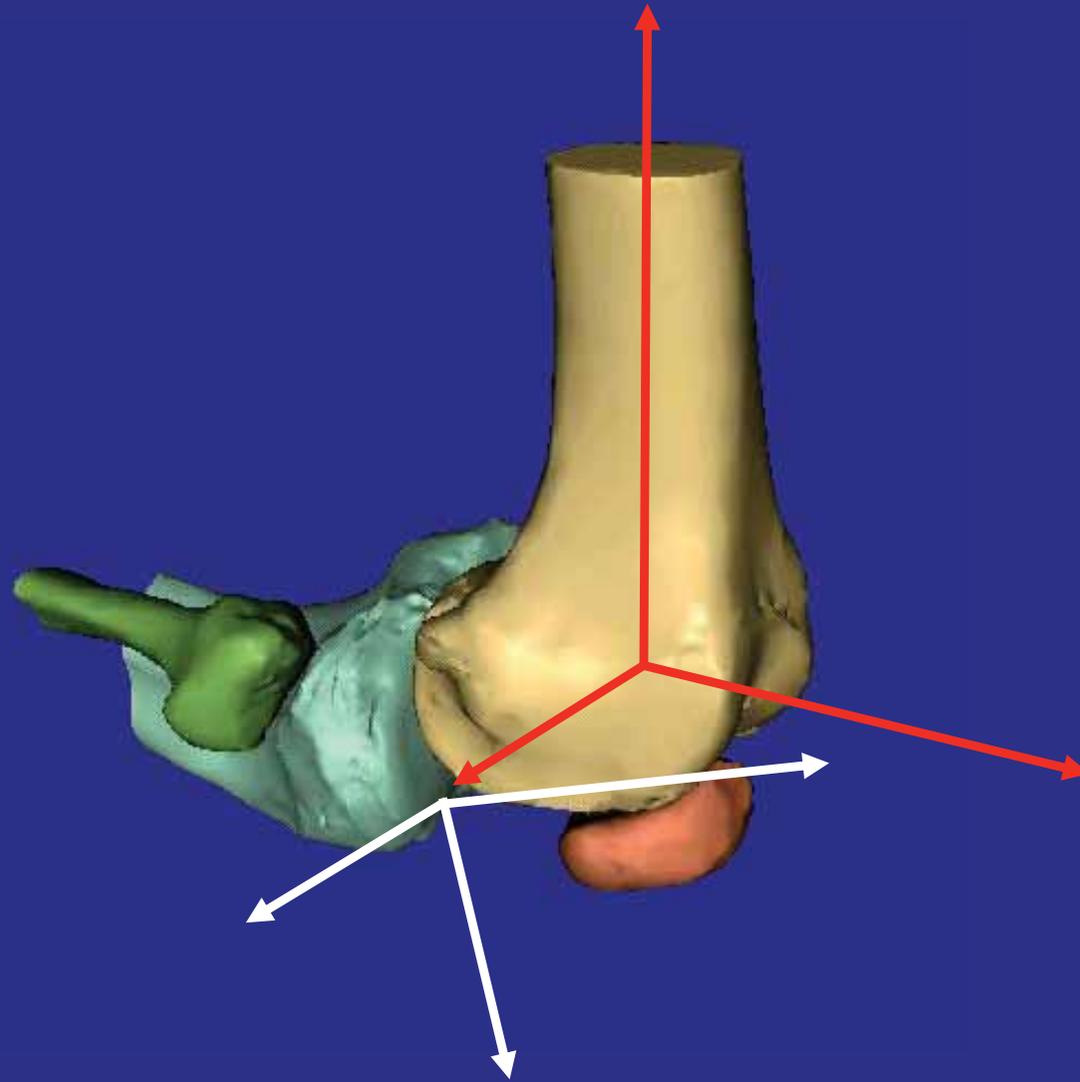
ginocchio



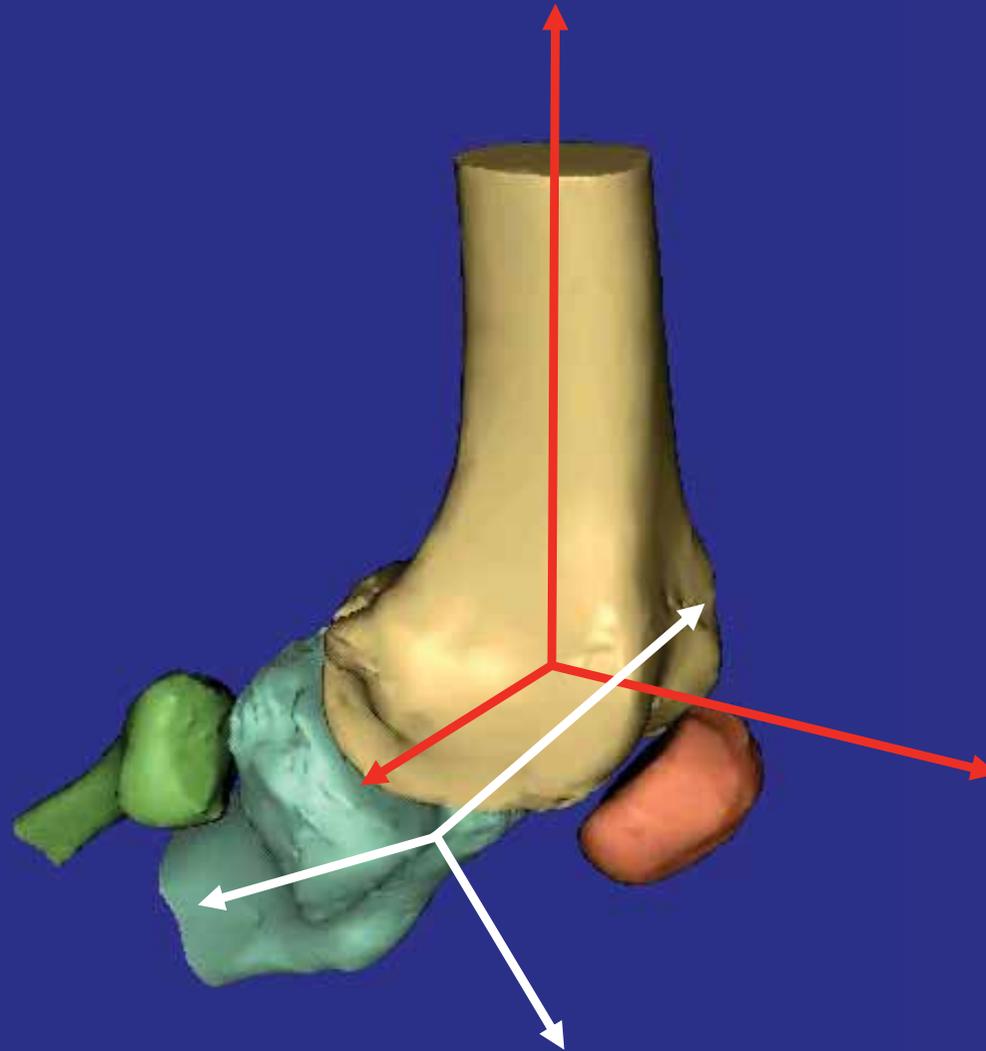
ginocchio



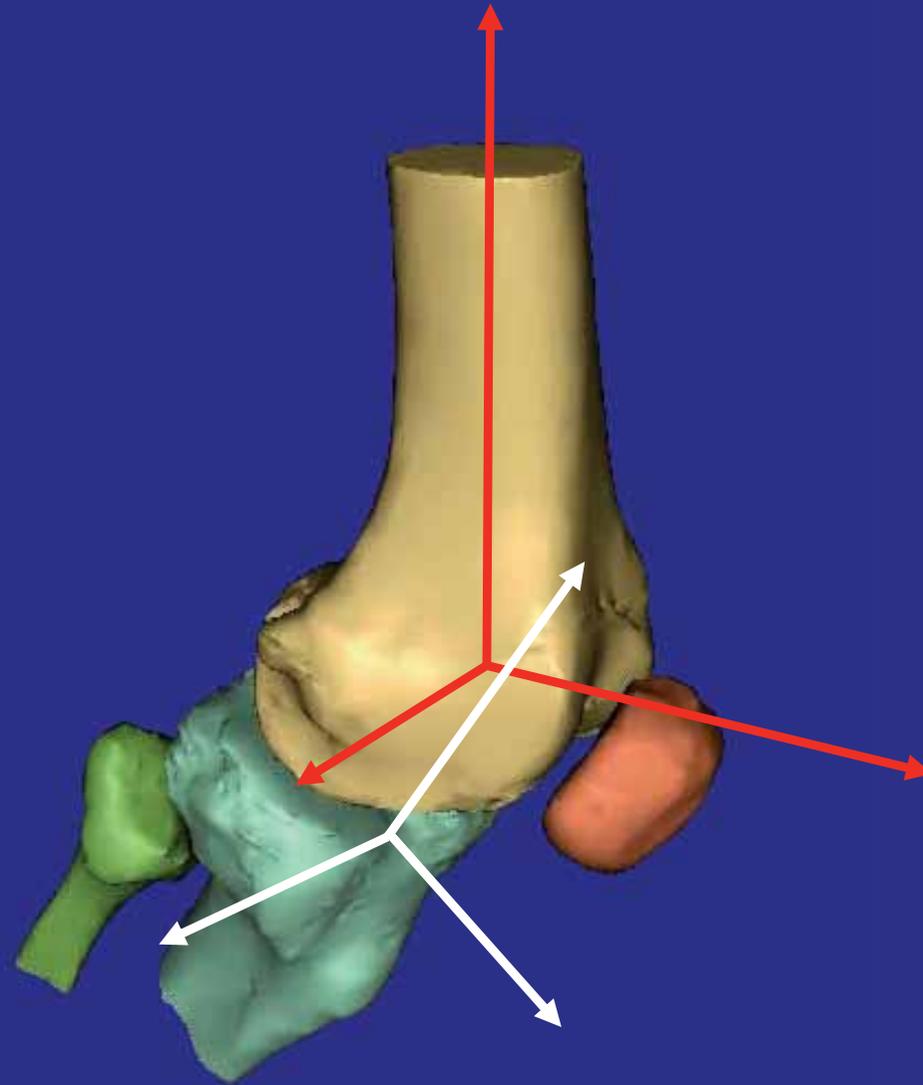
ginocchio



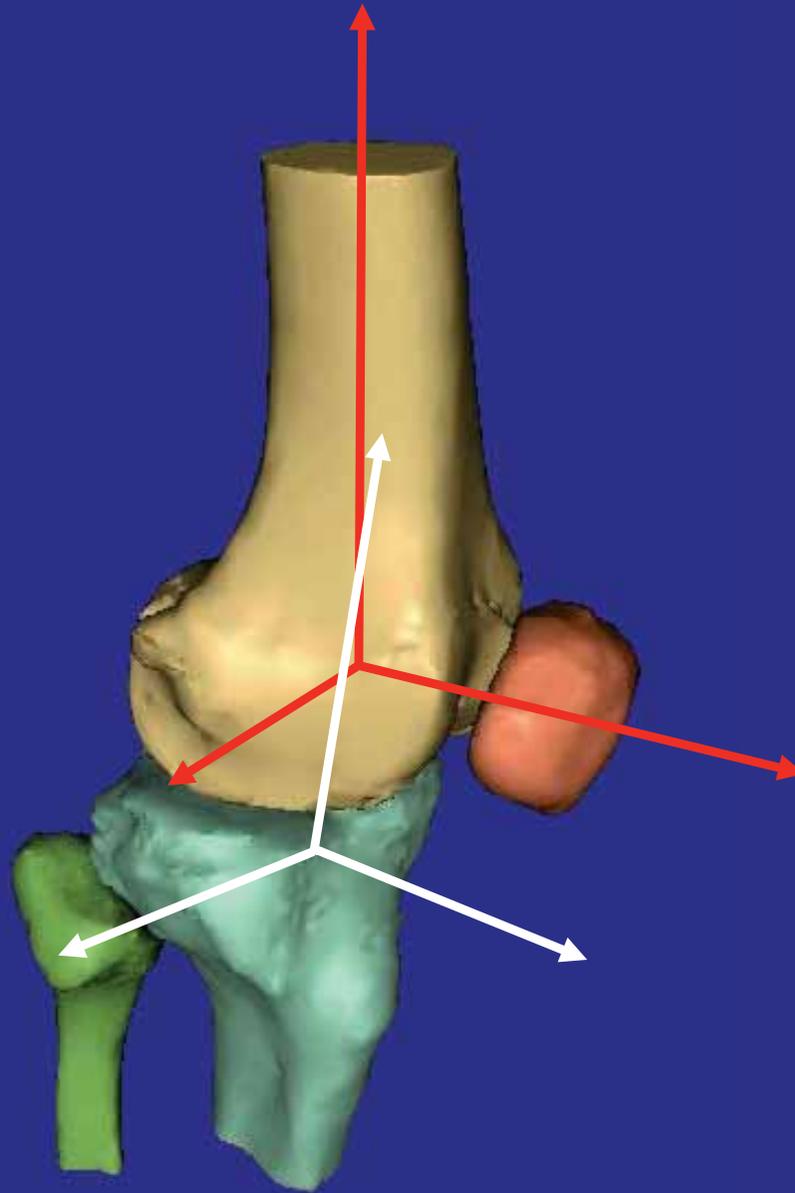
ginocchio



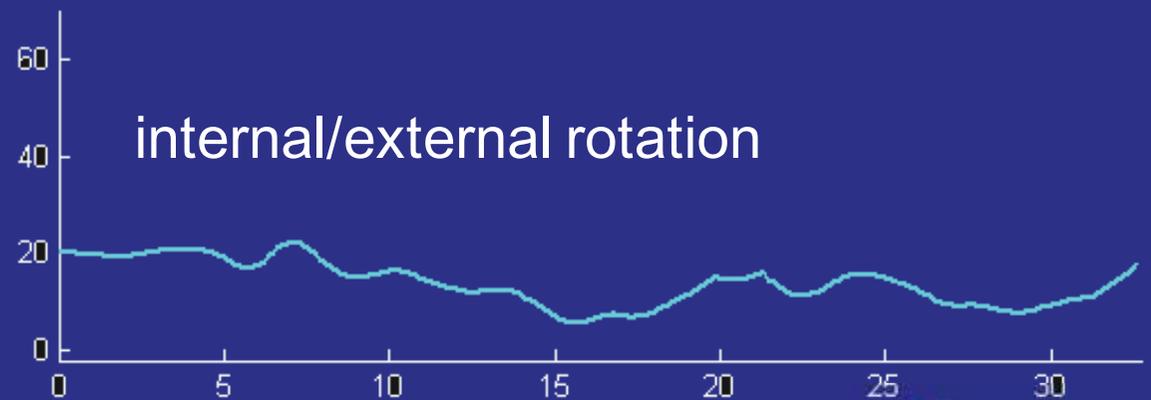
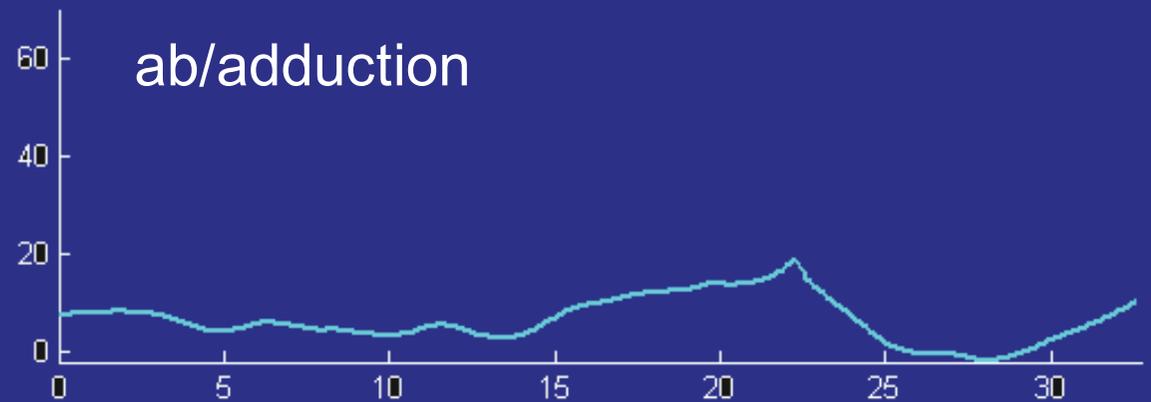
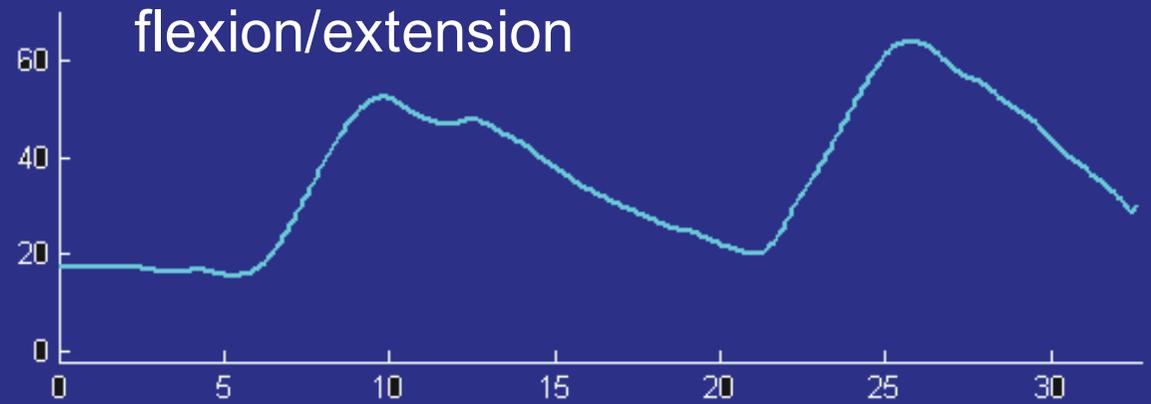
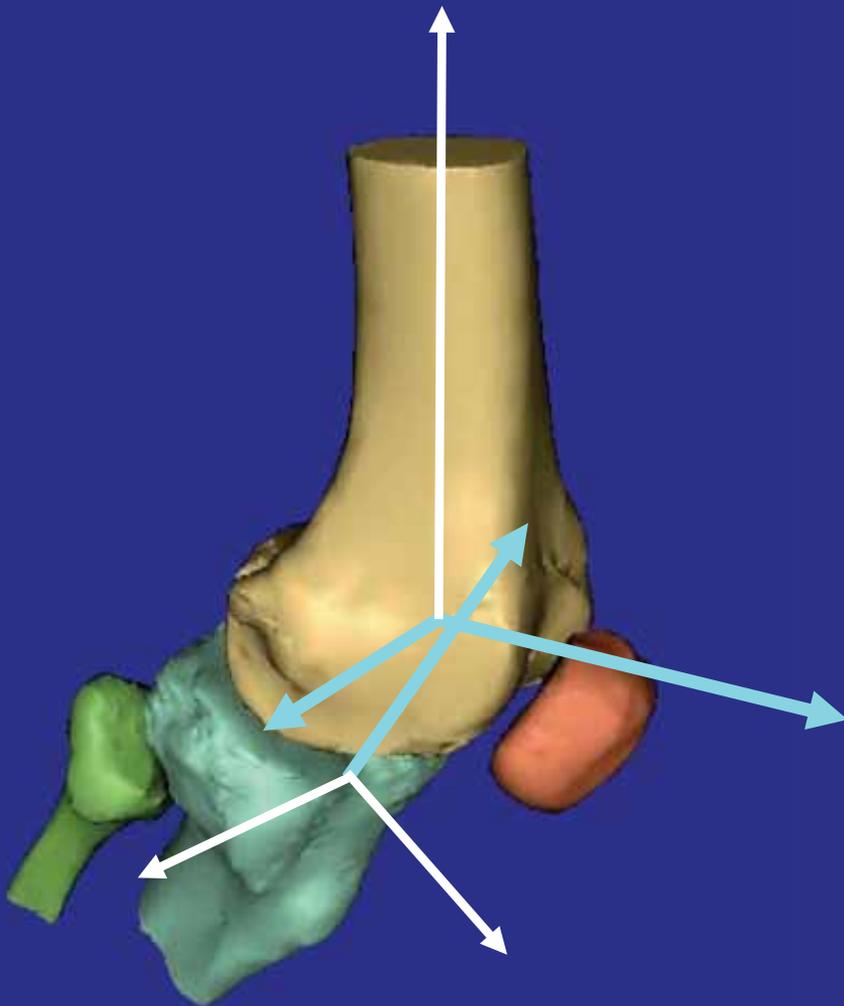
ginocchio



ginocchio

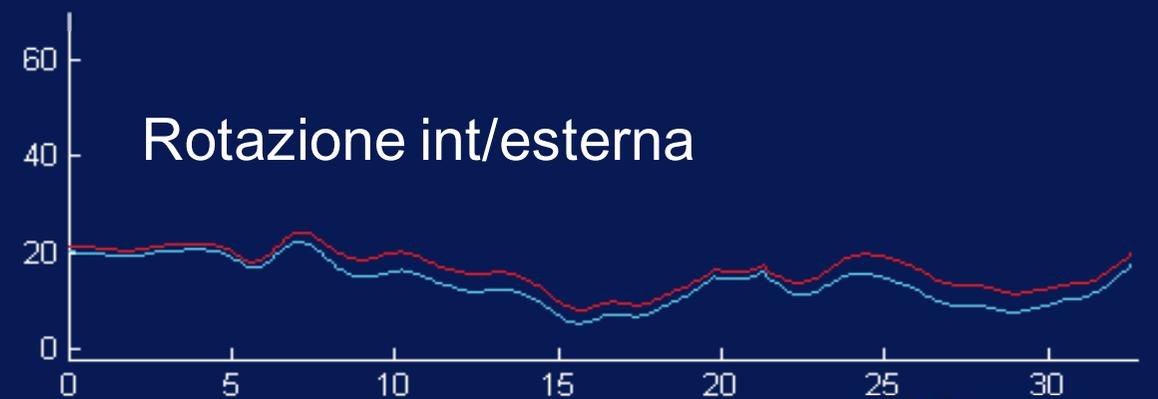
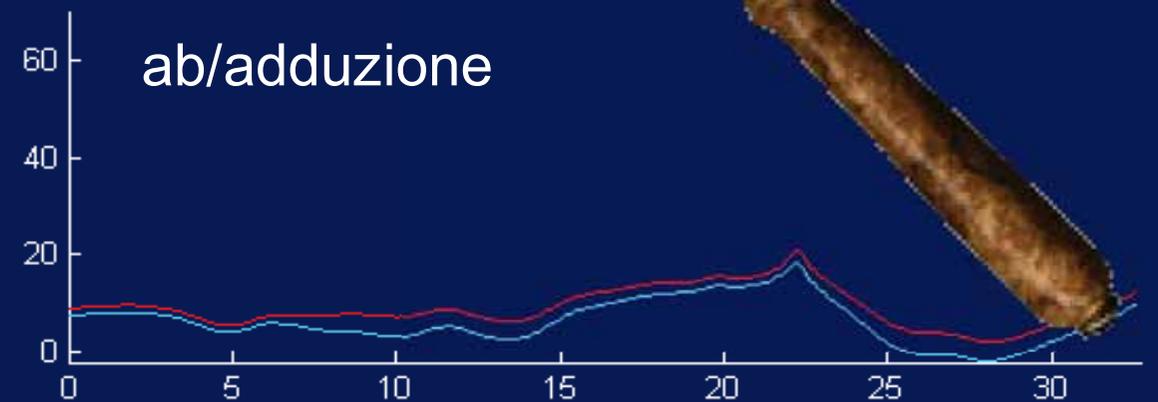
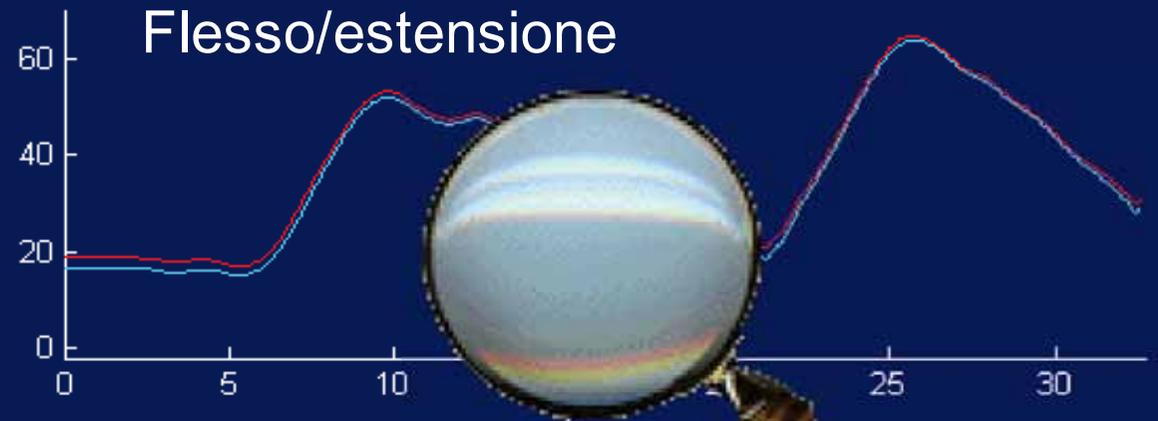
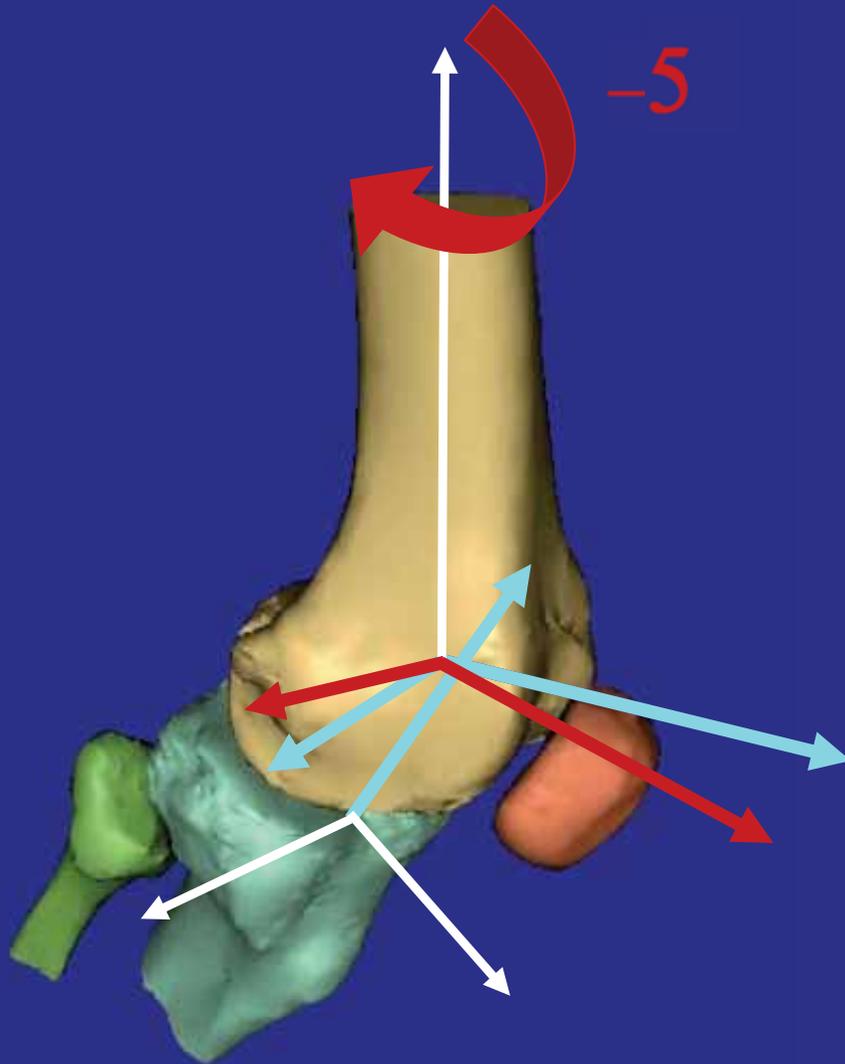


ginocchio



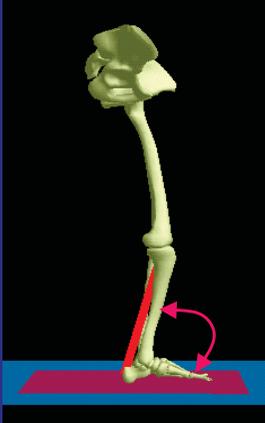
ginocchio

*Rotazione intorno
all'asse lungo del femore*

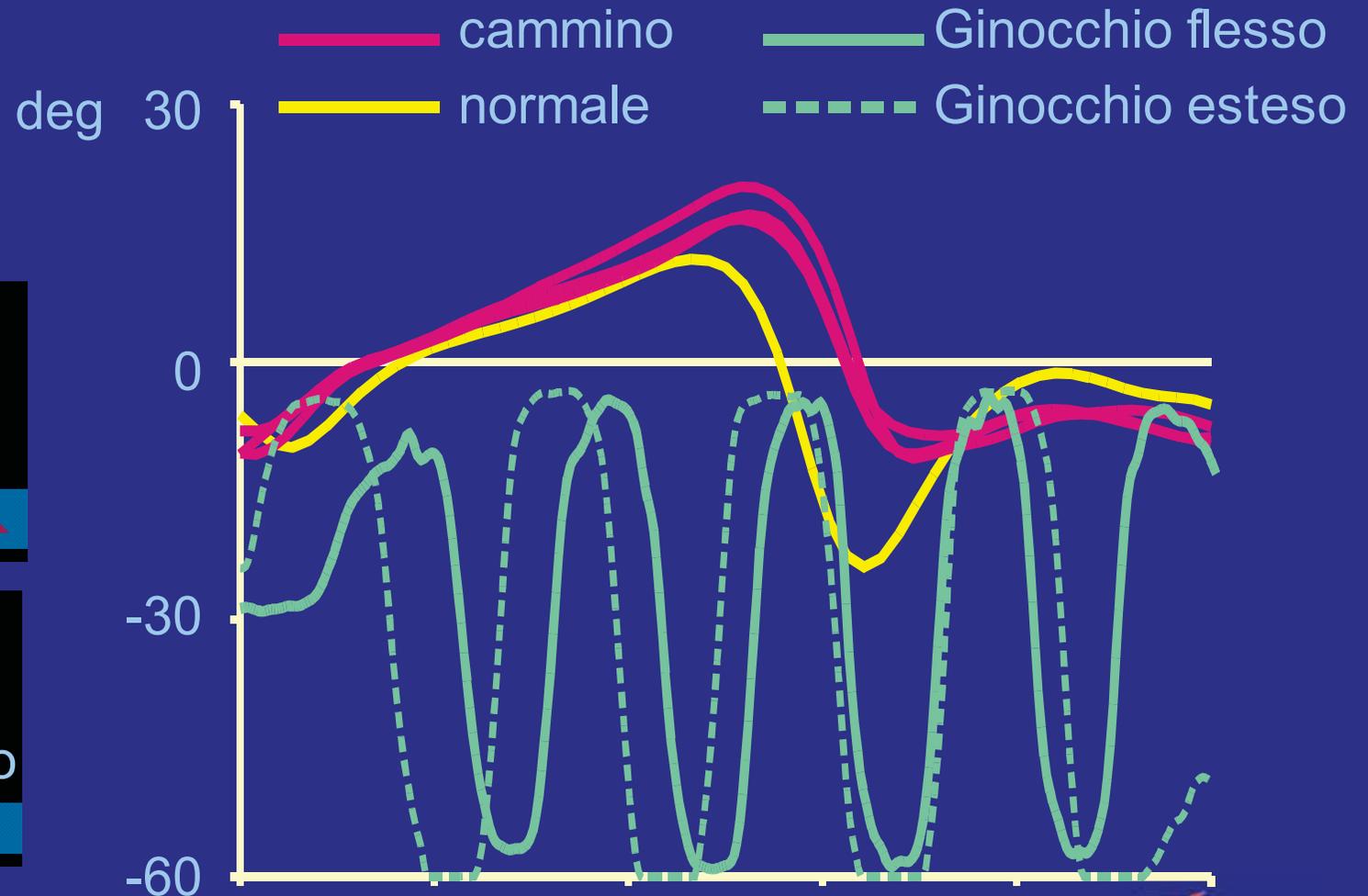
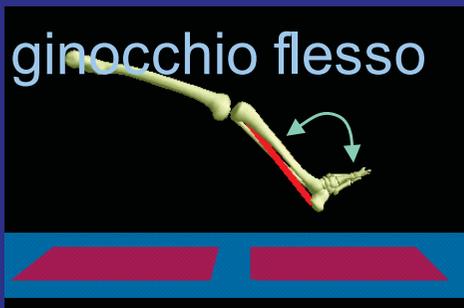


caviglia

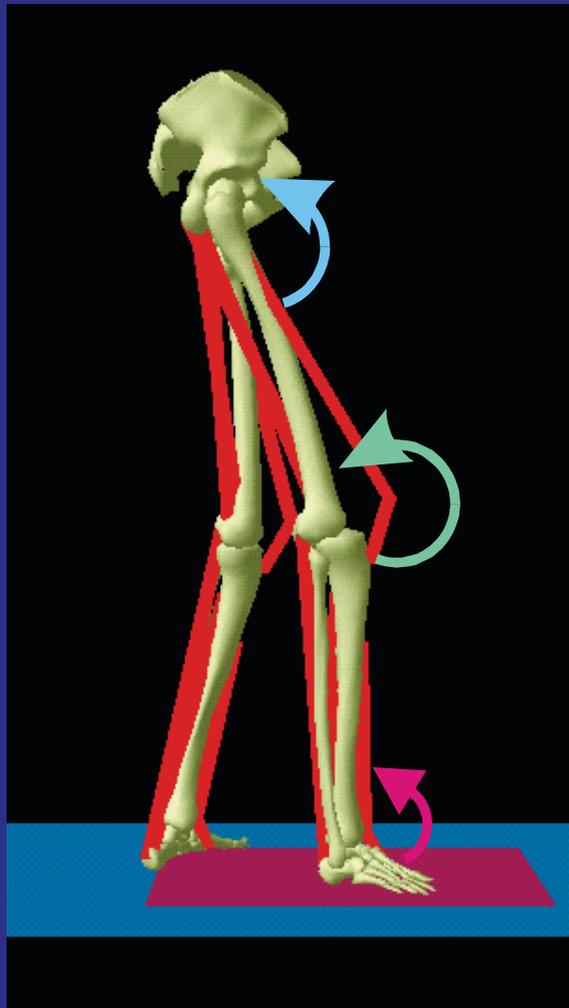
cammino



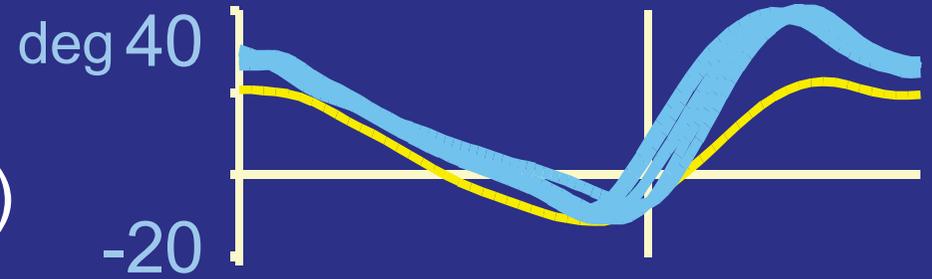
Flessione dorsali plantare



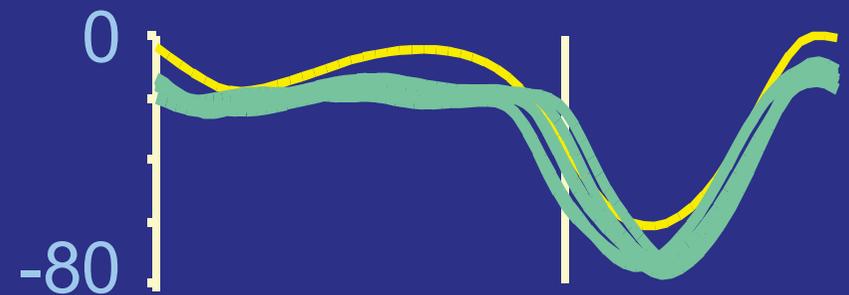
Flesso/estensioni durante il cammino



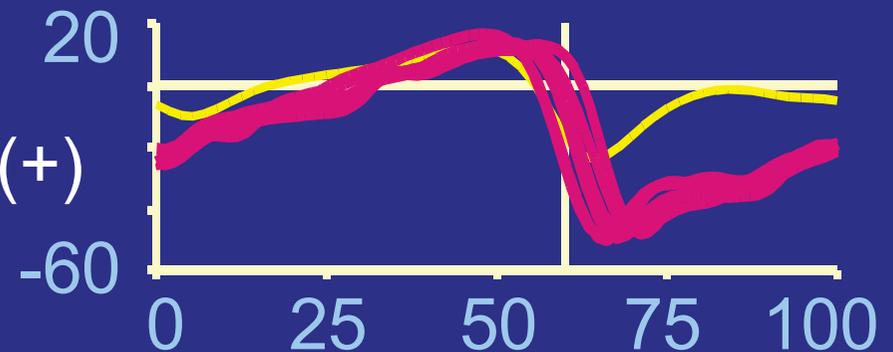
Anca
flessione (+)



Ginocchio
estensione (+)

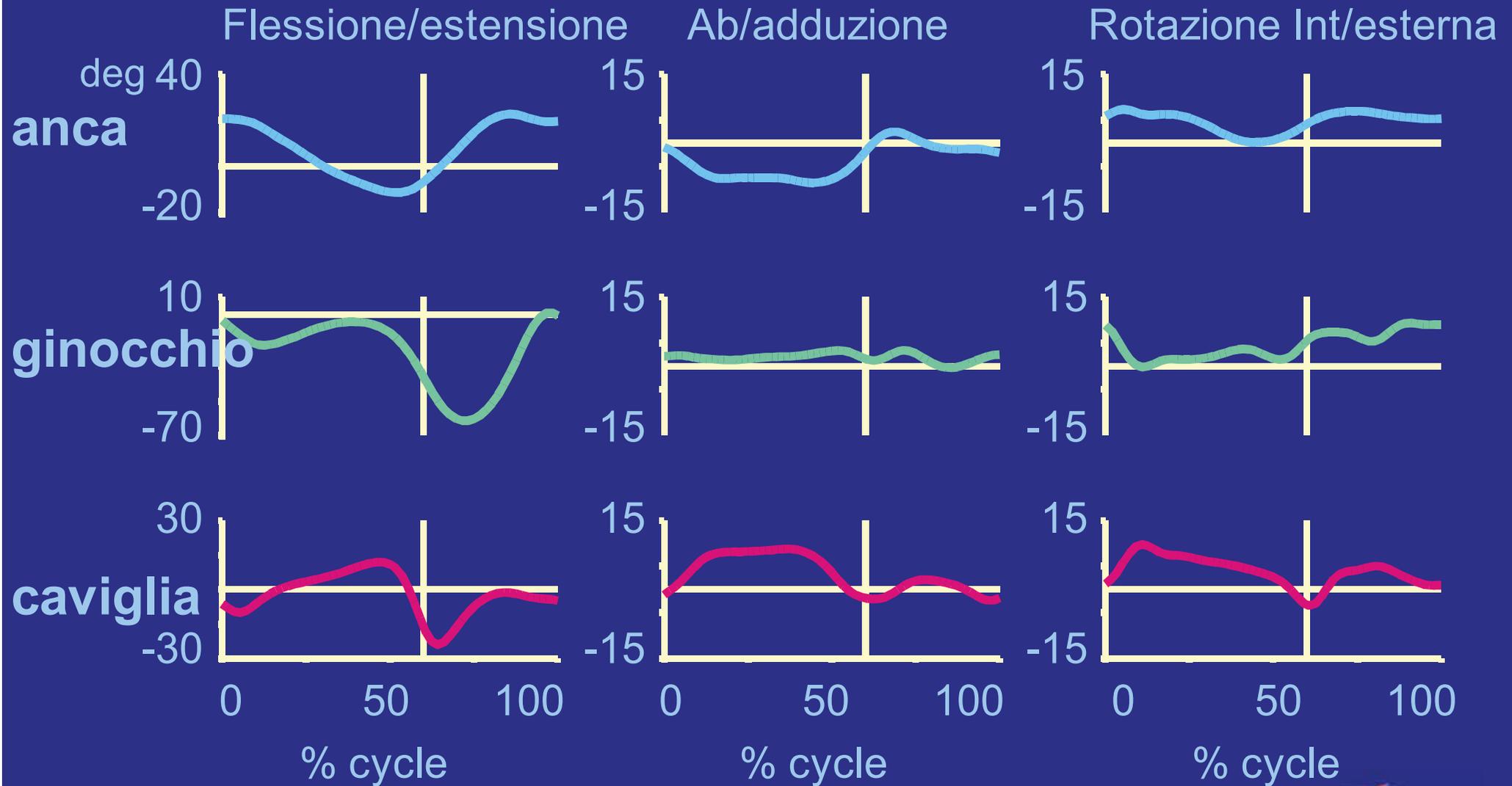


Caviglia
dorsiflessione (+)

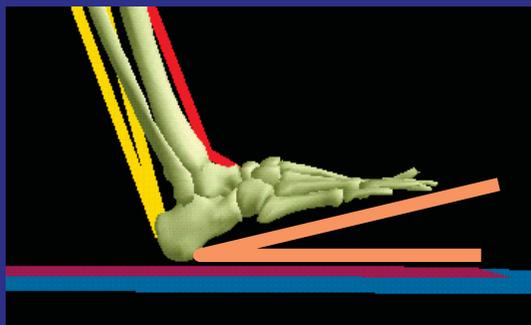


(Karen Lohmann Siegel, MA, PT)

Rotazioni articolari durante il cammino



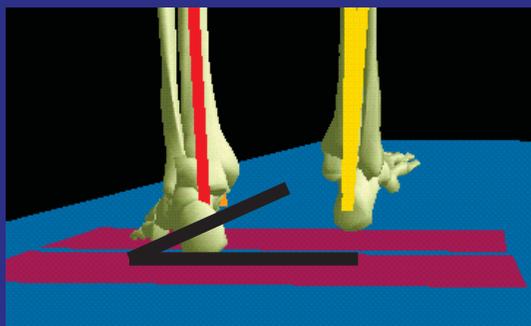
Rotazione del piede durante il cammino



Sagittale

deg 30

-90



Frontale

10

-20



Transverso

30

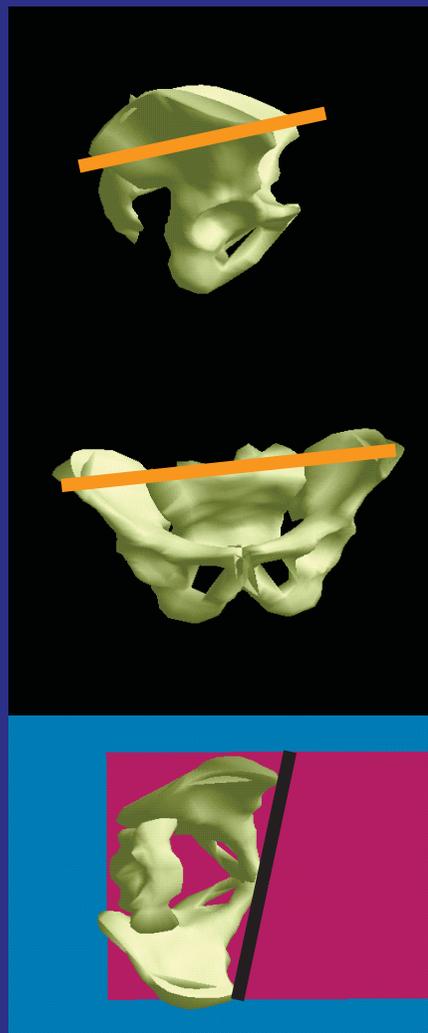
-15

0 25 50 75 100

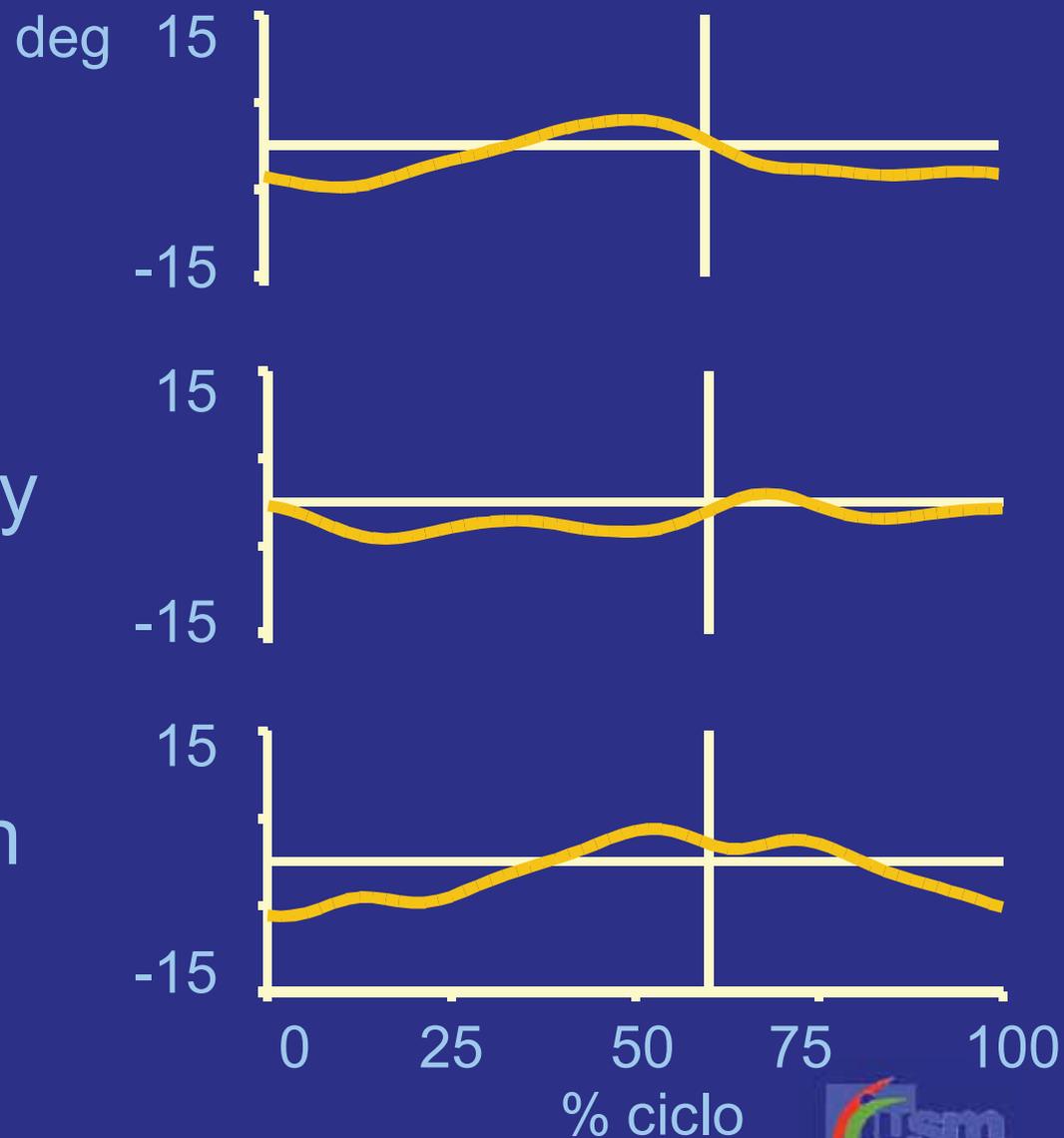
% ciclo



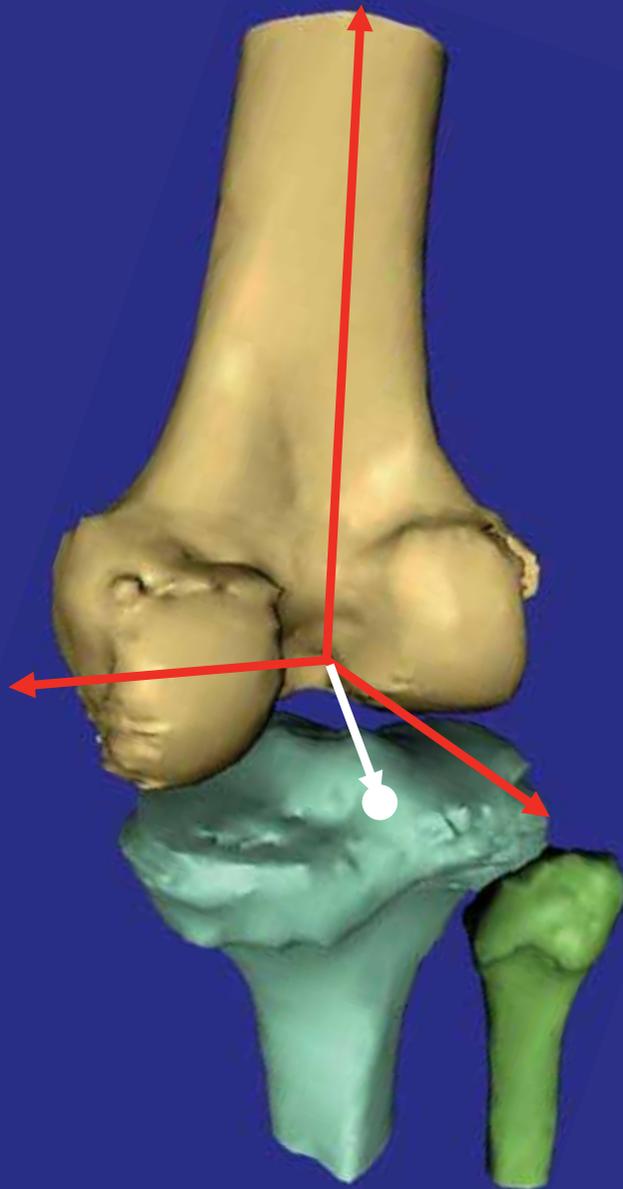
Rotazione della pelvi durante il cammino



Tilt

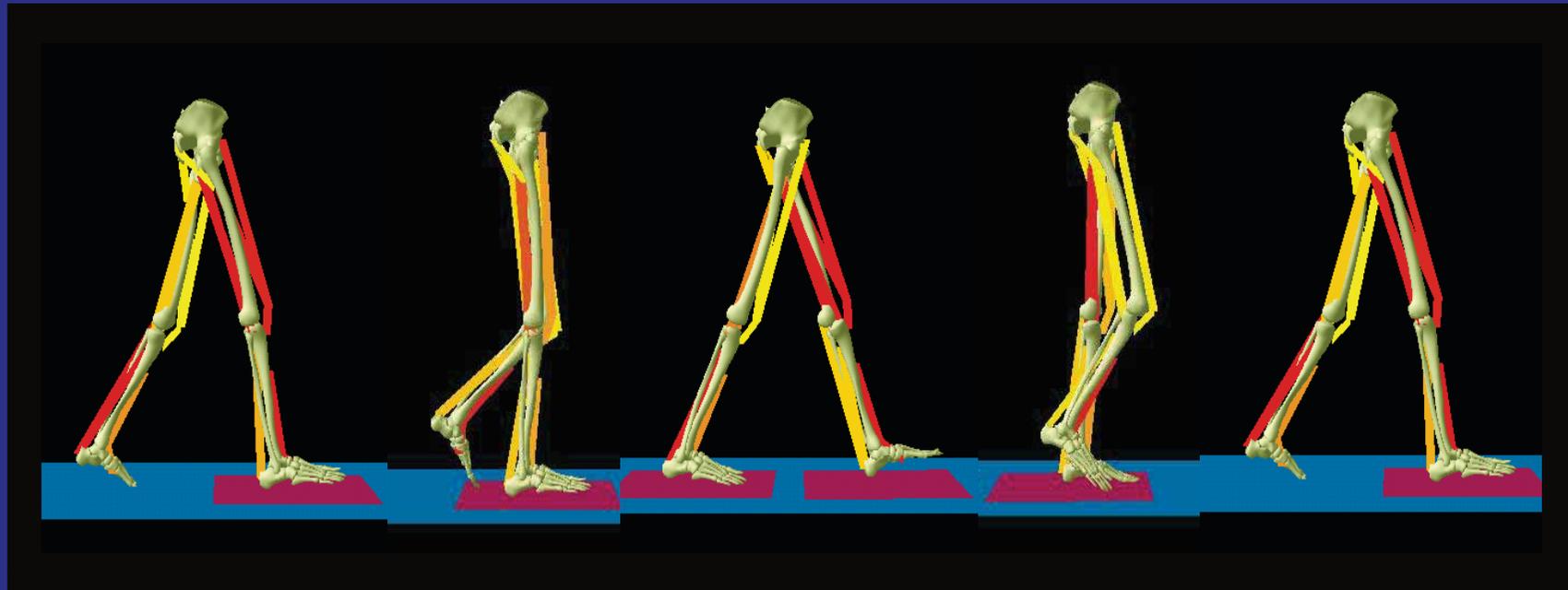
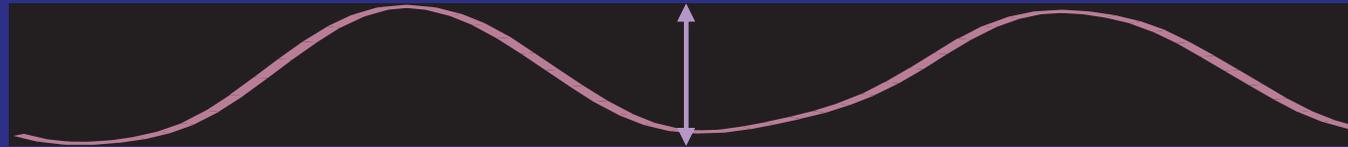


traslazioni



- Posizione di un punto rigido con l'osso distale rispetto all'osso prossimale

Traslazione della pelvi durante il cammino



Grandezze dinamiche misurate

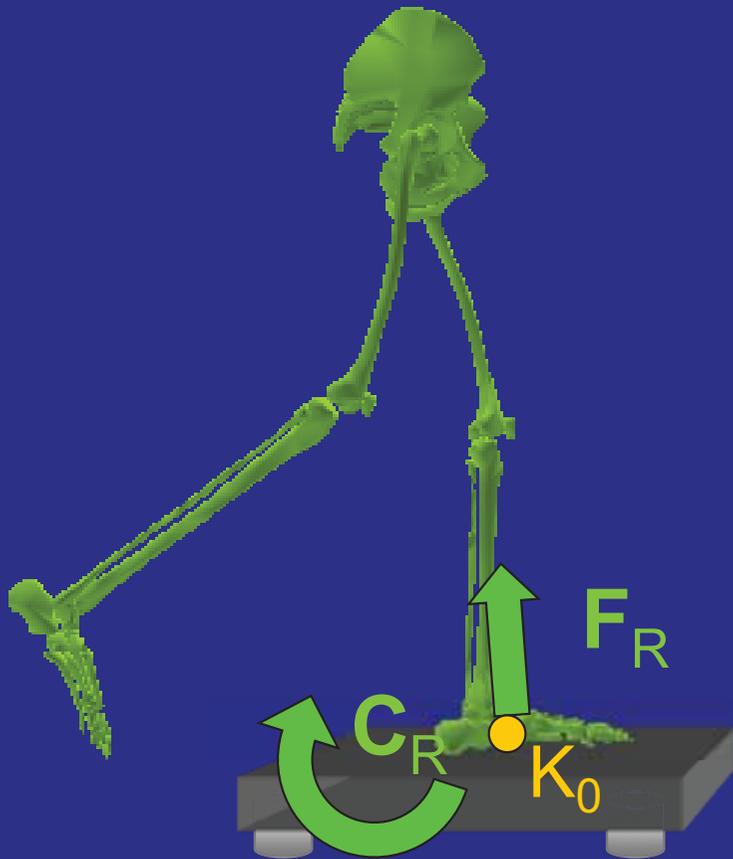
Durante il contatto dei piedi con il suolo vengono misurati i vettori forza e momento relativi all'interazione con il suolo:
Reazioni vincolari del suolo

forza

F_R

momento

C_R



Centro di pressione (K dell' "articolazione" piede-suolo)

K_0

Parametri inerziali stimati



Vengono stimati per ogni segmento:

massa del segmento

m

posizione del CM rispetto al sistema di riferimento anatomico

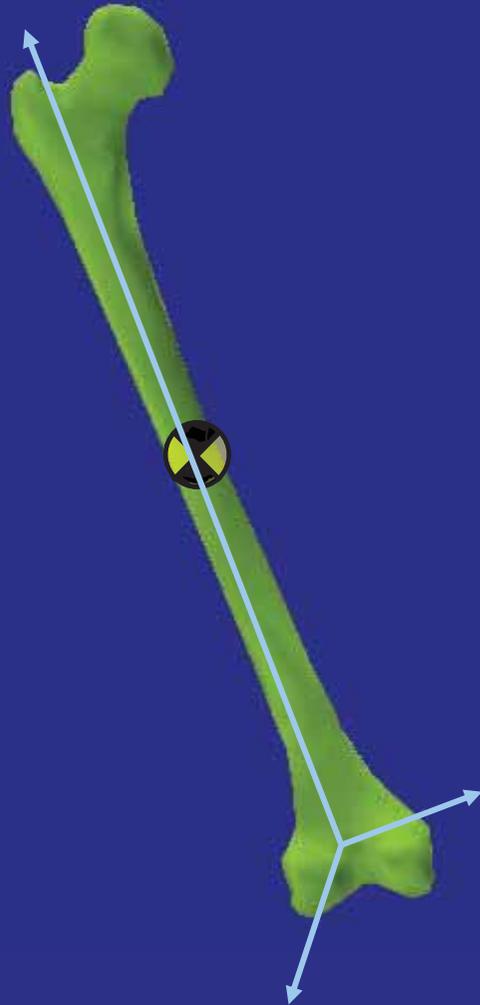
CM

orientamento degli assi principali di inerzia rispetto al sistema di riferimento anatomico

I

momenti principali di inerzia

Metodi di stima dei parametri inerziali



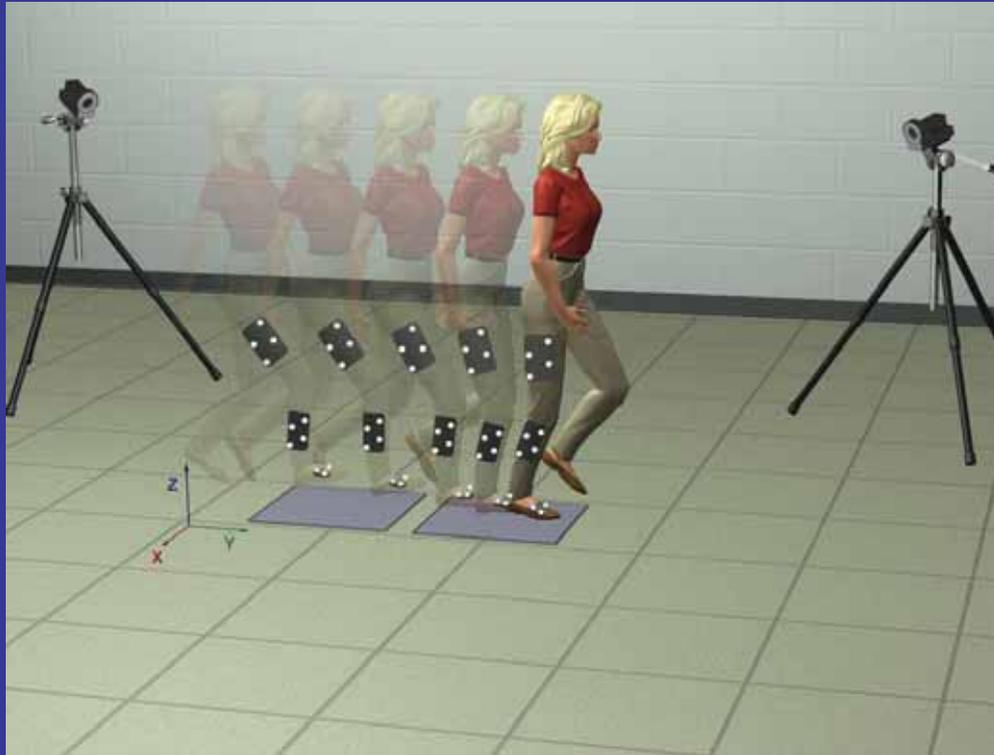
Cadaveri smembrati
Stima indiretta

tabelle
antropometriche

Modelli segmentali
geometrici

Imaging su
soggetti viventi

Grandezze cinematiche stimate



Vengono stimati per ogni segmento
(considerato rigido)

dalla misura delle posizioni di
marker posti sulla cute

Grandezze cinematiche stimate



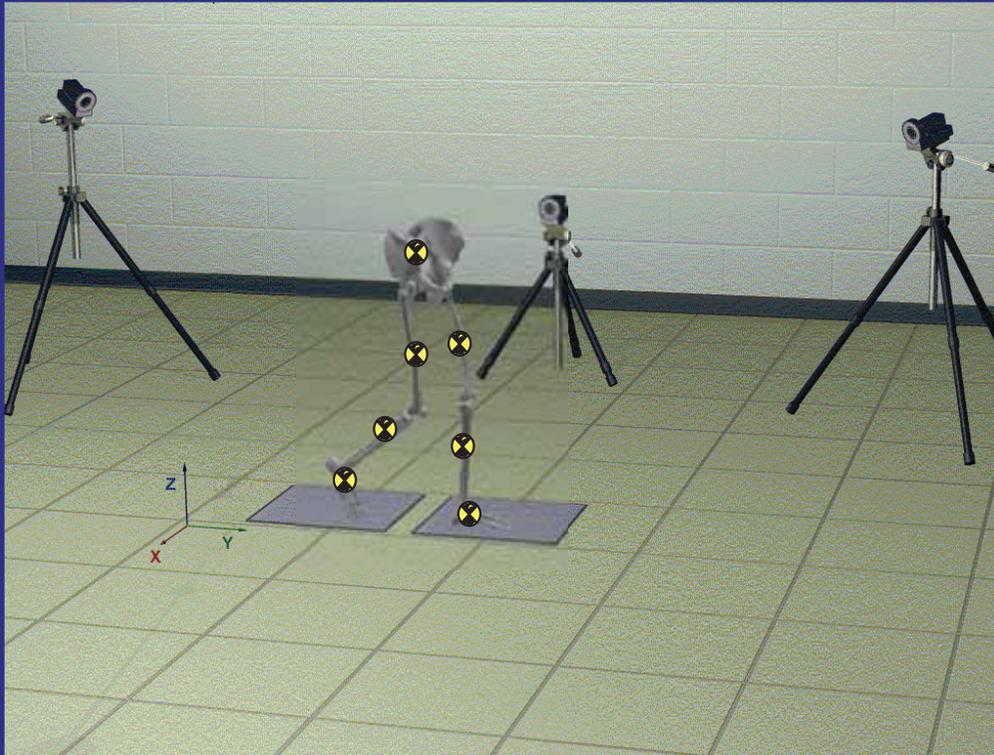
Vengono stimati per ogni segmento
(considerato rigido)

dalla misura delle posizioni di
marker posti sulla cute

orientamento

α

Grandezze cinematiche stimate



Vengono stimati per ogni segmento
(considerato rigido)

dalla misura delle posizioni di
marker posti sulla cute

orientamento

α

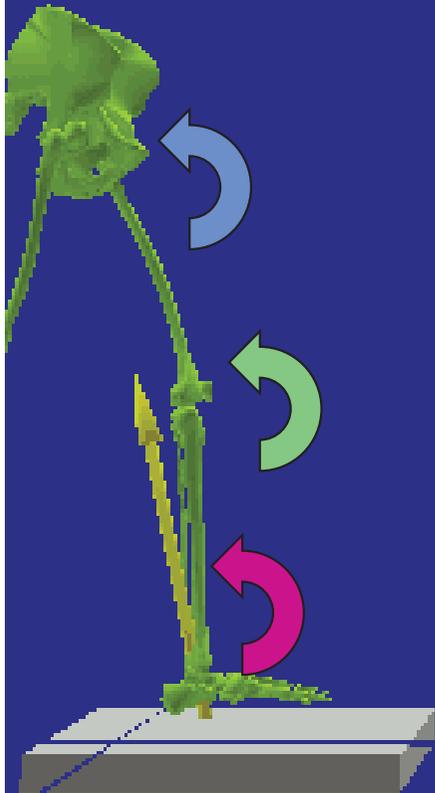
posizione del CM rispetto al
sistema di riferimento di laboratorio

a

posizione dei punti di riduzione dei
carichi intersegmentali (K)

K

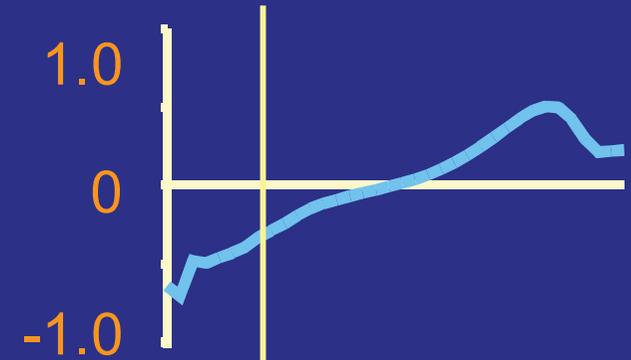
Interpretazione dei momenti articolari



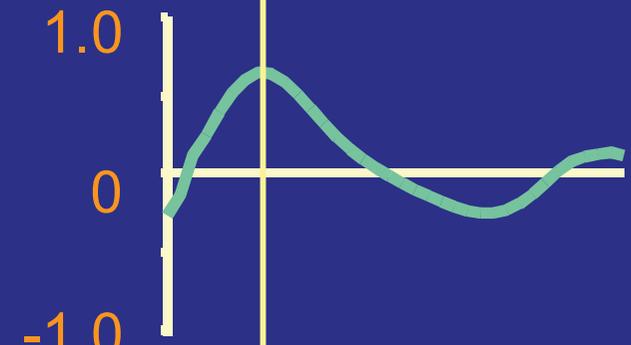
θ

Nm/kg 1.0

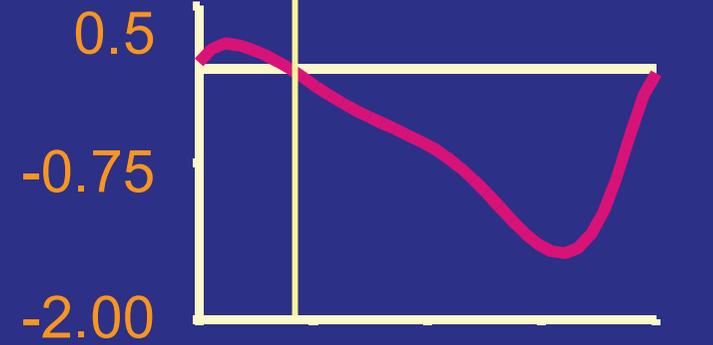
Anca
Flessione (+)



Ginocchio
Estensione (+)

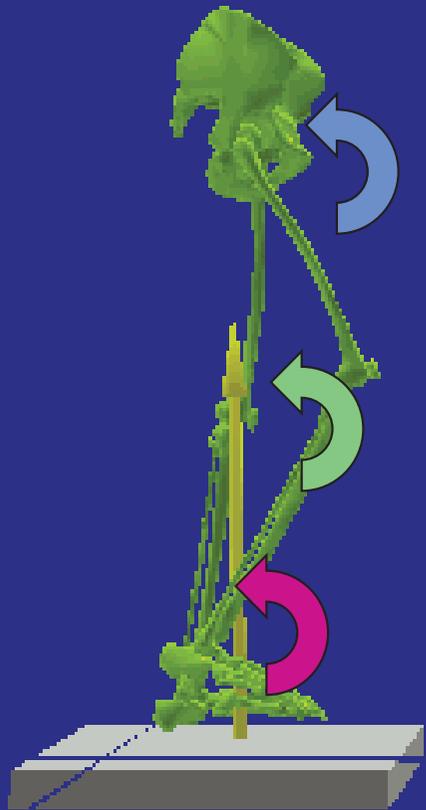


Caviglia
Dorsiflessione (+)



0 25 50 75 100
% fase di appoggio

Interpretazione dei momenti articolari



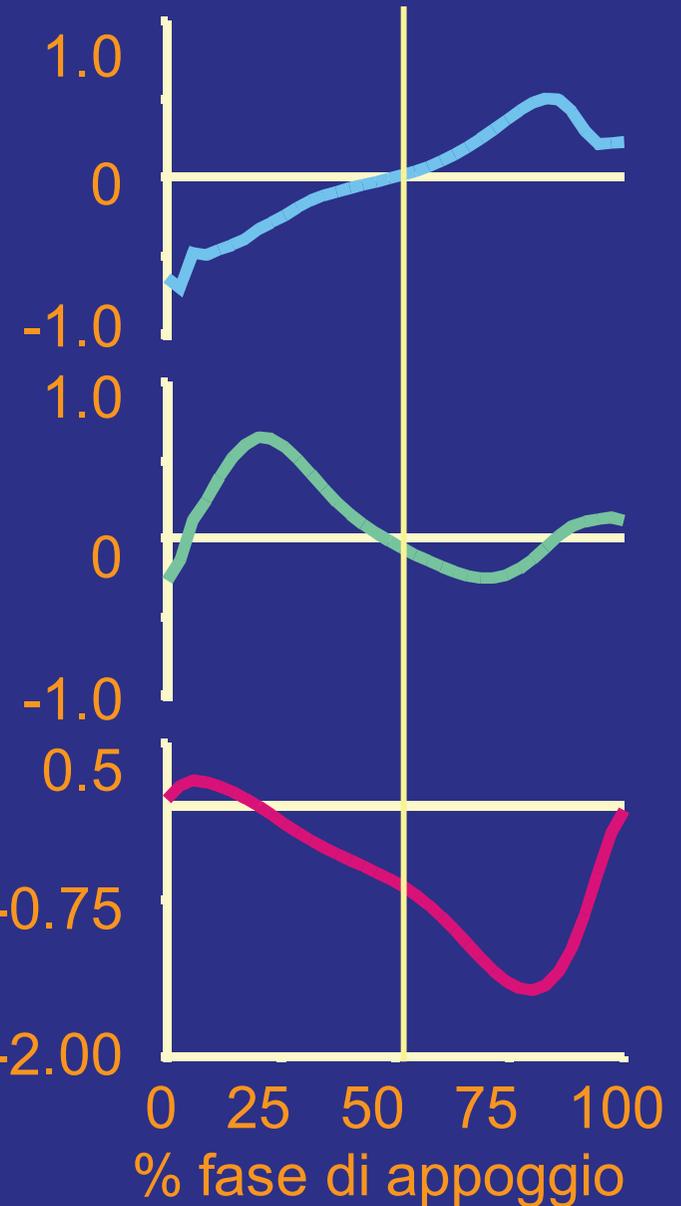
0

Anca
Flessione (+)

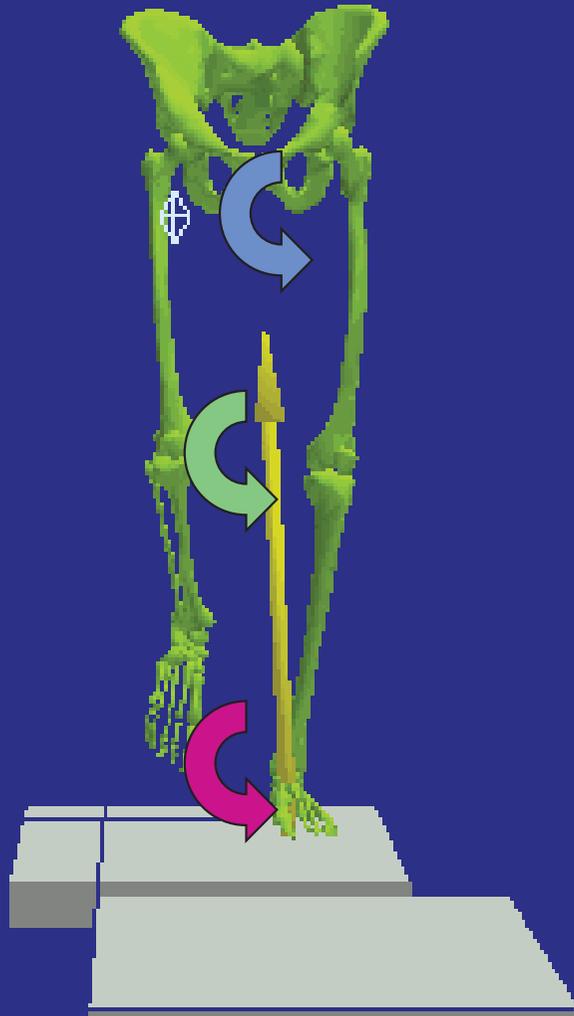
Ginocchio
Estensione (+)

Caviglia
Dorsiflessione (+)

Nm/kg 1.0



Interpretazione dei momenti articolari

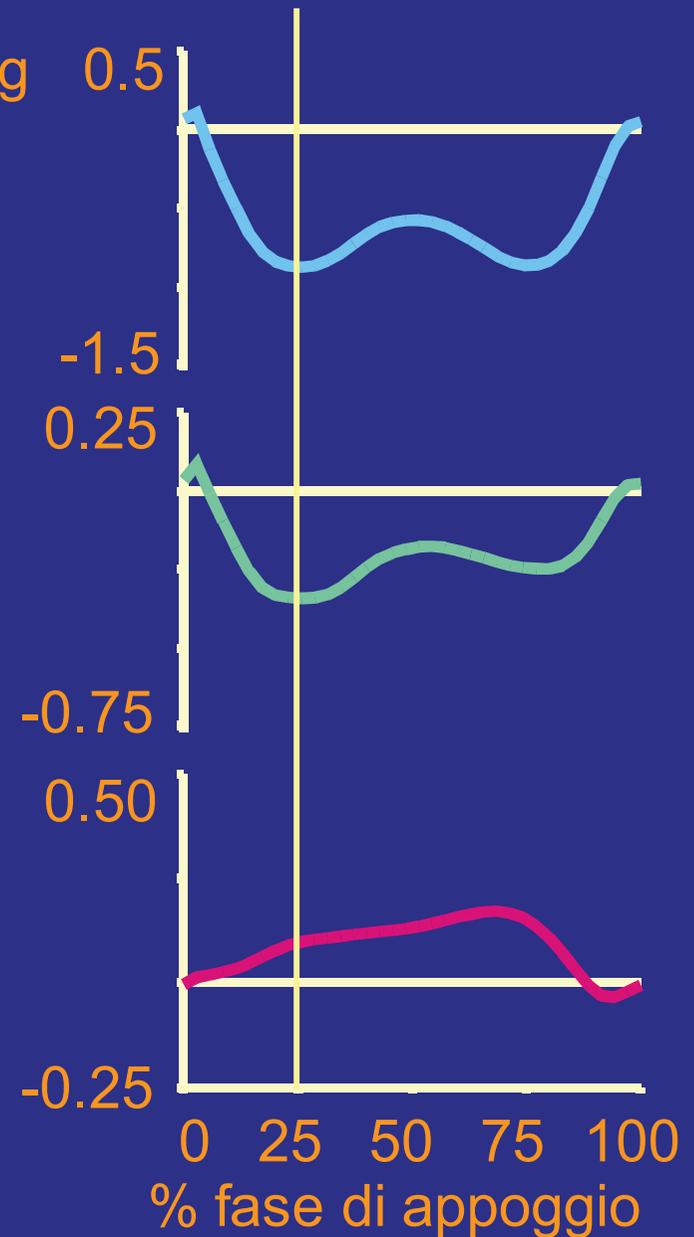


Anca
Adduzione (+)

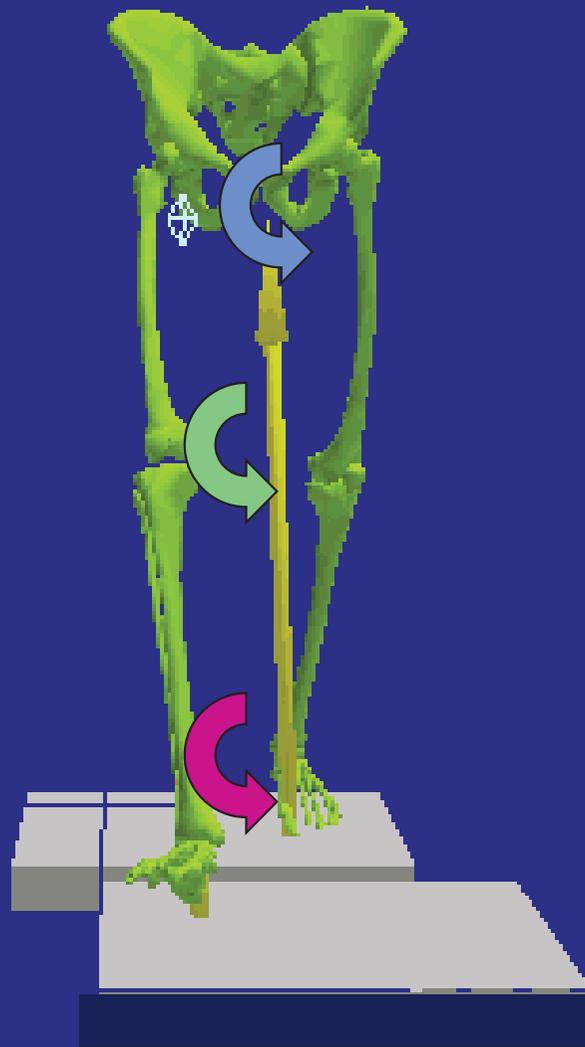
Ginocchio
Adduzione (+)

Caviglia
Inversione (+)

Nm/kg 0.5



Interpretazione dei momenti articolari

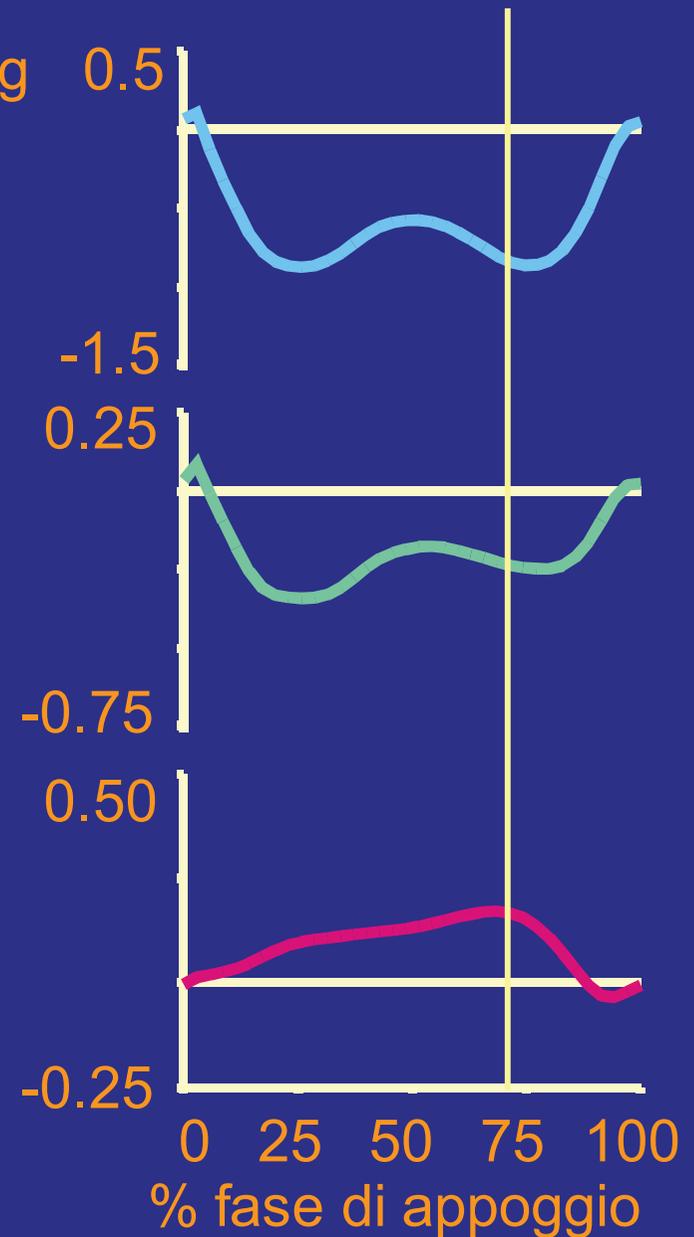


Anca
Adduzione (+)

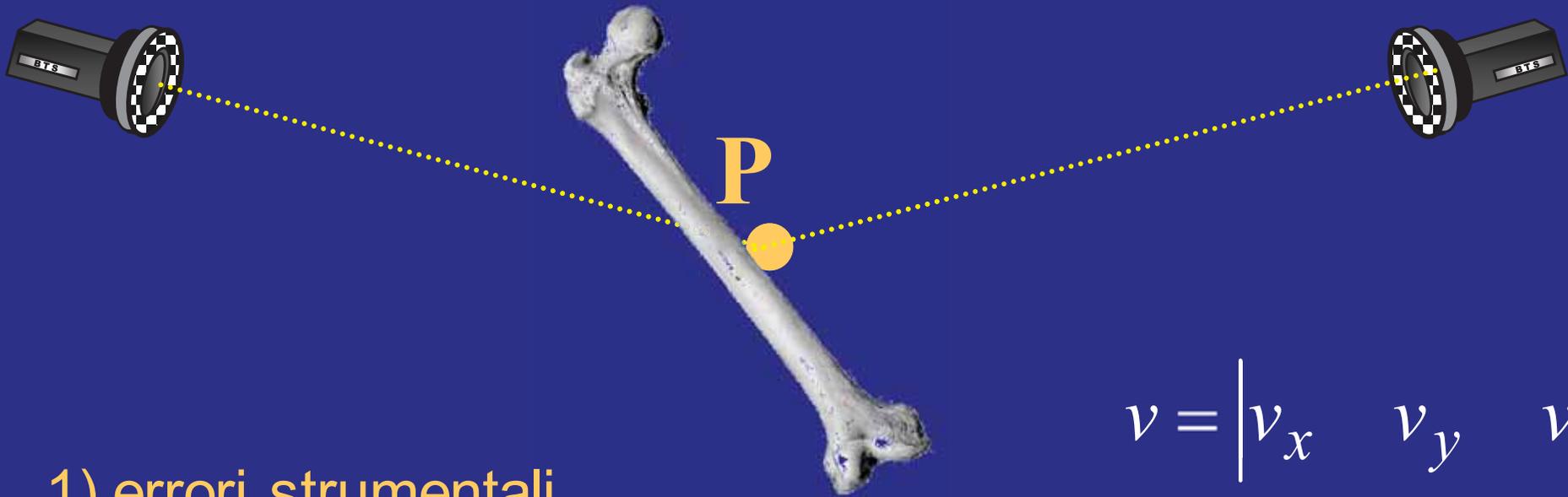
Ginocchio
Adduzione (+)

Caviglia
Inversione (+)

Nm/kg 0.5



Sorgenti di errore



1) errori strumentali

2) artefatti dei tessuti molli

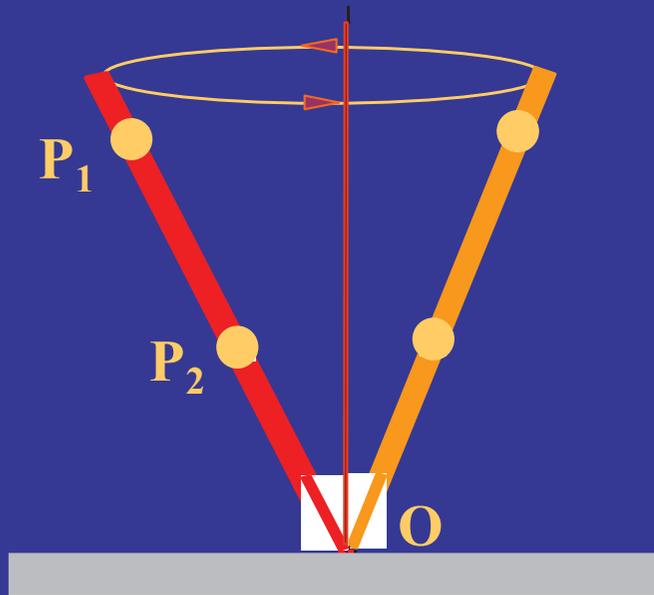
3) posizione approssimata dei repere anatomici

$$v = \begin{vmatrix} v_x & v_y & v_z \end{vmatrix}$$

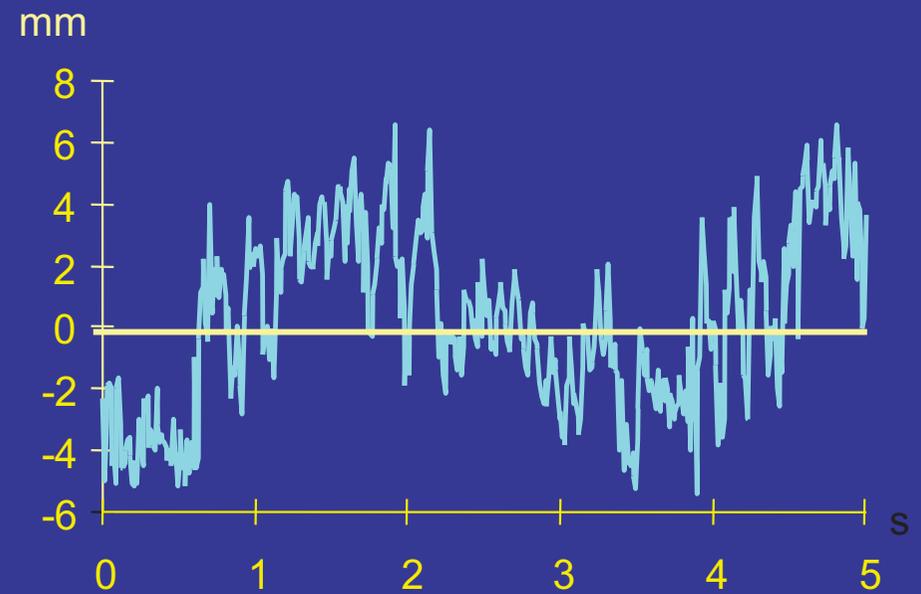


1) Errori strumentali

(movimento apparente dei markers)



$O_X(t)$



compensazione degli errori strumentali

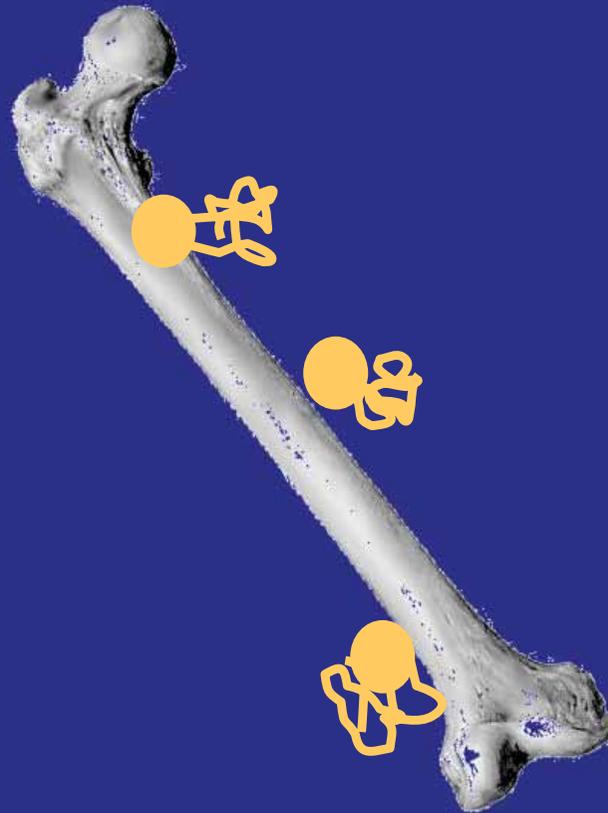


aumento del numero di telecamere

miglioramento del posizionamento delle camere

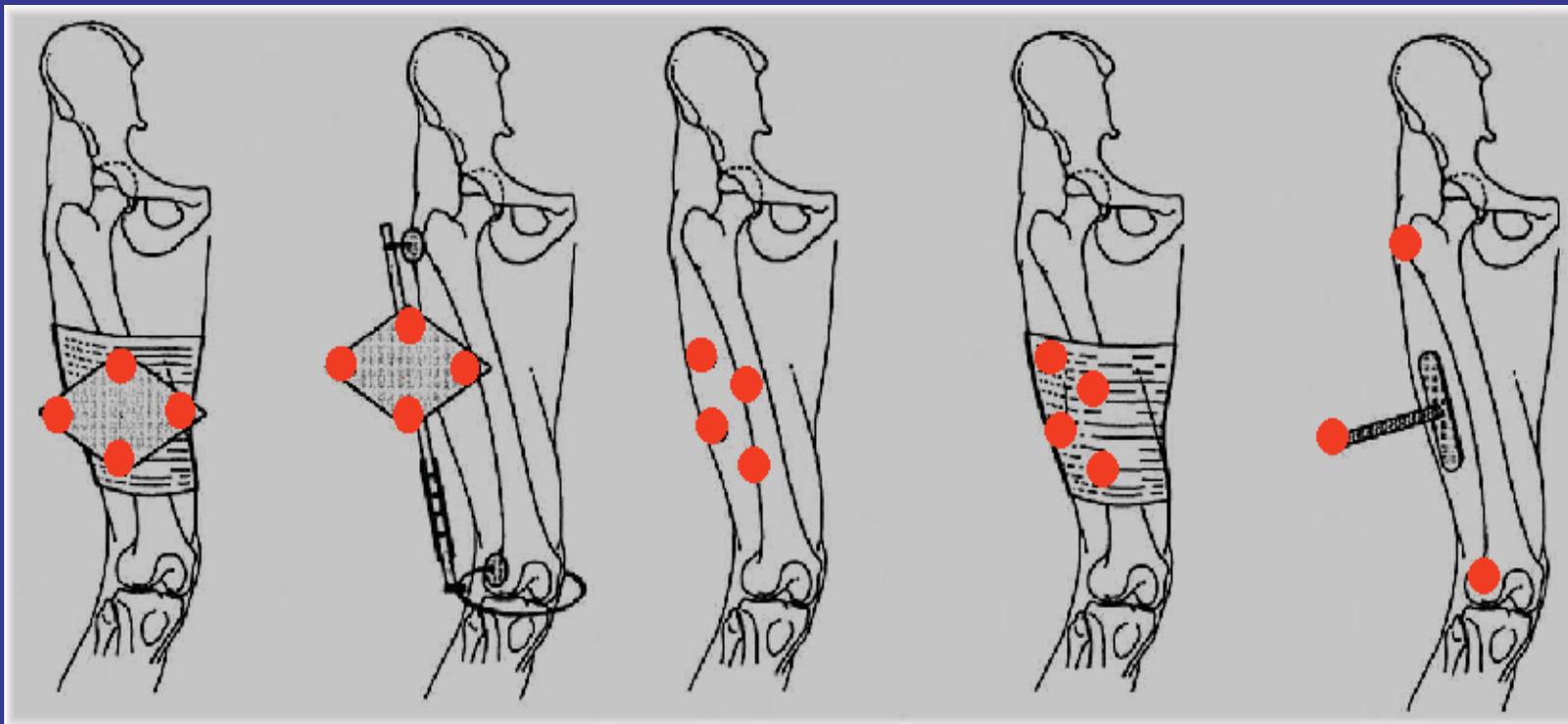
corretta manutenzione dei markers

2) artefatti dei tessuti molli



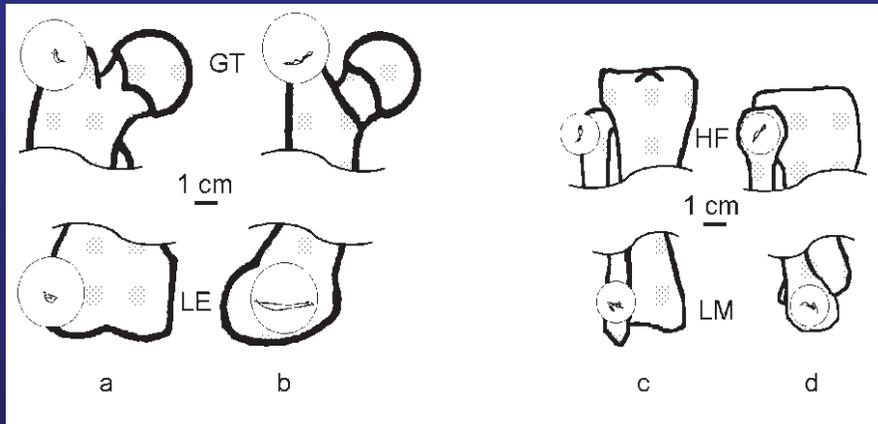
(movmento reale dei markers)

posizionamento dei markers



come misurare gli artefatti dei tessuti molli

Fluoroscopia,
GT, LE, HF, LM
flessione volontaria
6 campioni/sec



Precisione dei repere anatomici palpabili

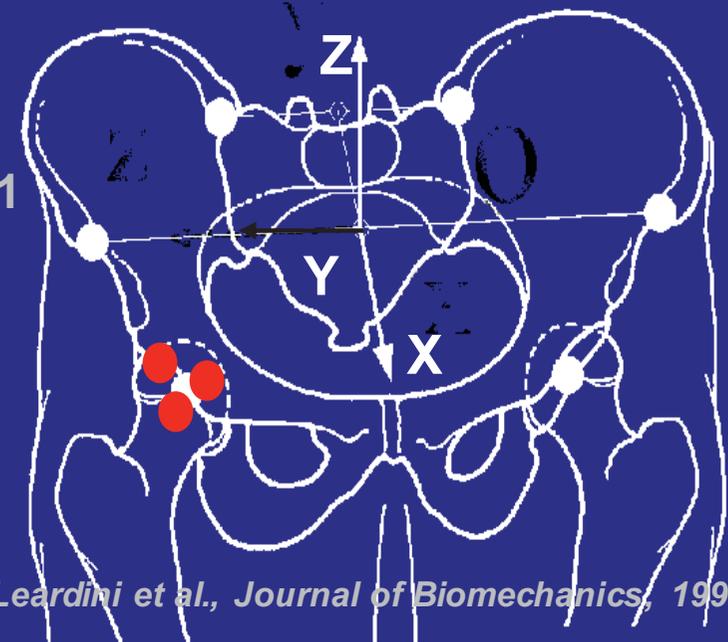


[mm]	landmark	INTRA-OPERATOR	INTER-OPERATOR
		<i>r</i>	<i>r</i>
PELVIS	ASIS	12	15
	PSIS	13	25
FEMUR	GT	18	18
	ME	10	15
	LE	10	19
TIBIA and FIBULA	TT	5	12
	HF	6	12
	MM	7	15
	LM	9	17
FOOT	CA	10	16
	FM	8	22

Identificazione del centro d'anca

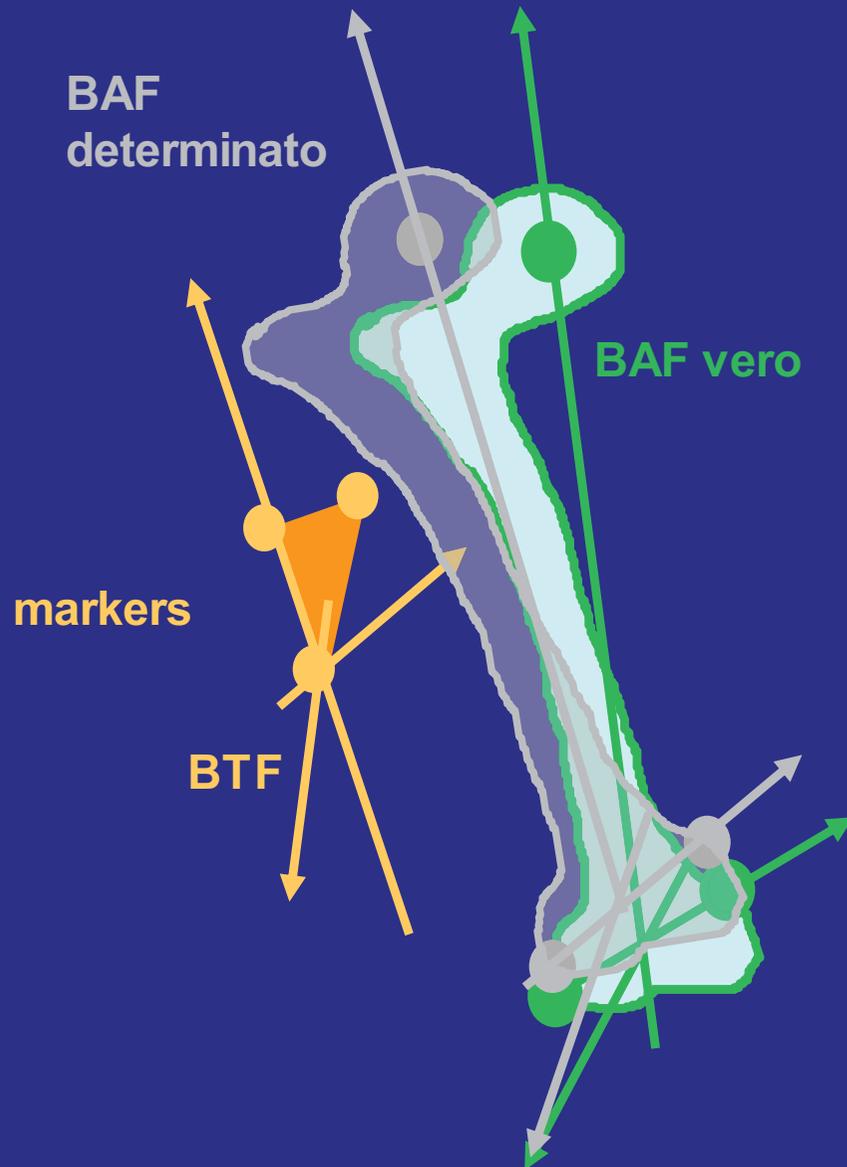
METHOD	Δx			Δy			Δz		
	Func.	Bell	Davis	Func.	Bell	Davis	Func.	Bell	Davis
MEAN [mm]	4	-7	-12	3	-19	8	-2	5	17
SD [mm]	6	6	17	6	10	10	4	10	10

- Func.  Cappozzo, Human Movement Science, 1984
 Bell  Bell et al., Journal of Biomechanics, 1990
 Davis  Davis et al., Human Movement Science, 1991



Leardini et al., Journal of Biomechanics, 1999

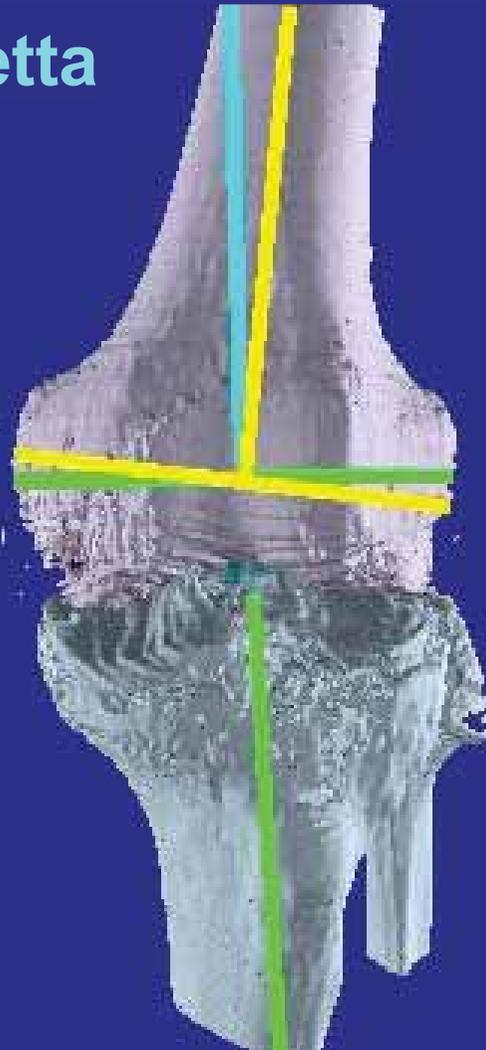
Precisione del riferimento anatomico



<i>r [deg]</i>		INTRA-OPERATOR	INTER-OPERATOR
PELVIS	A-P	2.3	5.2
	V	2.6	3.7
	M-L	3.7	4.1
FEMUR	A-P	0.9	2.5
	V	4.7	5.1
	M-L	0.9	3.0
TIBIA and FIBULA	A-P	1.4	4.2
	V	3.5	9.4
	M-L	0.3	2.6
FOOT	A-P	2.7	5.9
	V	2.3	9.2
	M-L	1.8	5.1

Precisione della cinematica articolare

postura eretta

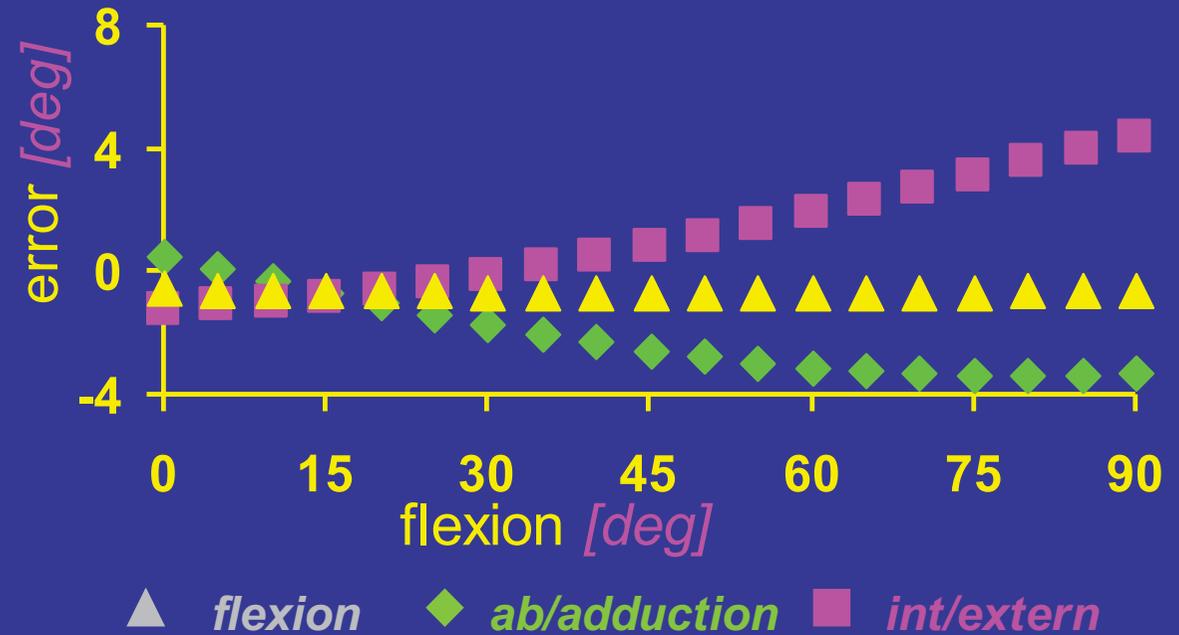
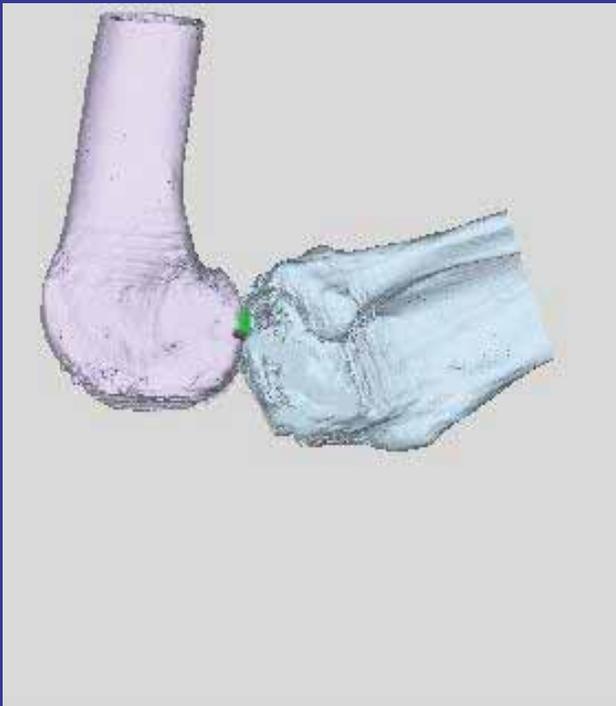


<i>r</i> [deg]		INTRA-OPERATOR	INTER-OPERATOR
HIP	Fl/ex	3.9	5.0
	Int/ext	5.3	10.4
	Ab/add	2.5	5.2
KNEE	Fl/ex	1.0	3.7
	Int/ext	5.8	10.4
	Ab/add	1.7	5.2
ANKLE	Fl/ex	1.6	3.3
	Int/ext	3.9	10.3
	Ab/add	3.5	10.9

Della Croce et al., Medical & Biol. Eng. & Comp., 1999

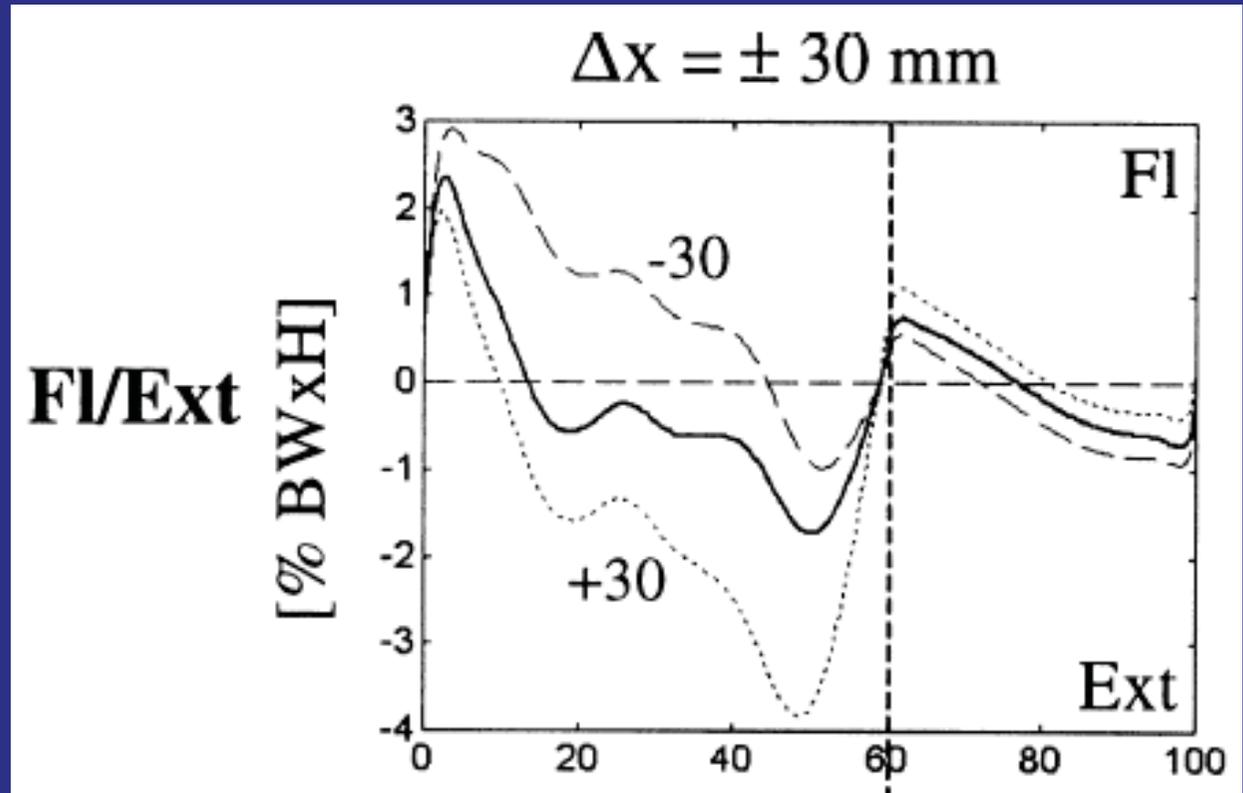
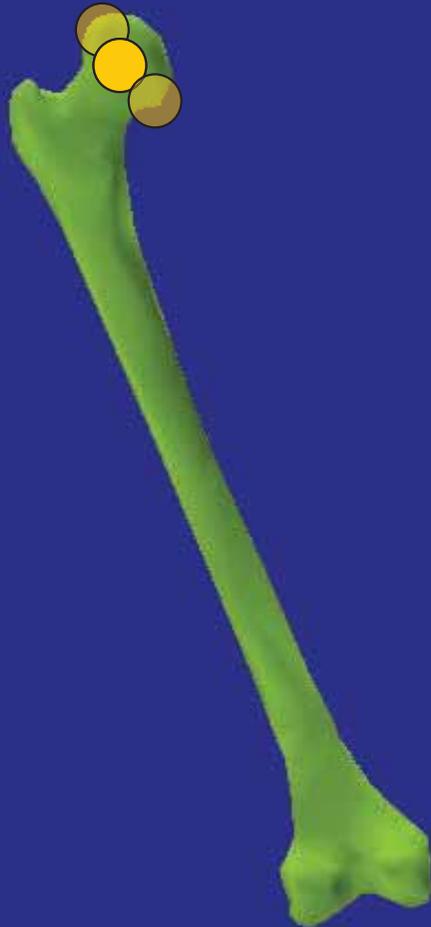
Precisione della cinematica articolare

flesso-estensione



Adeguatezza del modello del sistema musculo-scheletrico

momento articolare all'anca



Stagni et al. Journal of Biomechanics, 2000

Grazie