

Bassano del Grappa, 24 Marzo 2011

# *“Cinematica, dinamica e biomeccanica del cammino”*

*Davide Conte*

*Dipartimento di Scienze Neurologiche e Motorie, Università degli Studi di Verona*

*Laboratorio Gait Analysis, Ospedale San Bassiano, Bassano del Grappa*

*[davide.conte@univr.it](mailto:davide.conte@univr.it)*

*<http://dvdconte.jimdo.com/lessons/>*



Per muoverci, o per mantenere una certa posizione nello spazio, dobbiamo interagire con forze esterne:

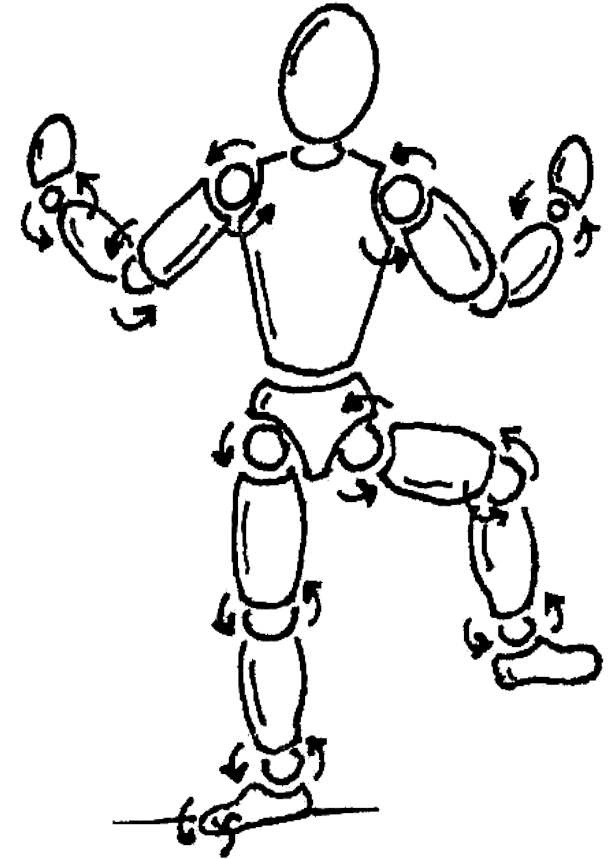
- **Forza di gravità**
- **Forze di interazione con altri corpi**  
(es. forze di attrito, reazioni vincolari...)

e produrre forze interne:

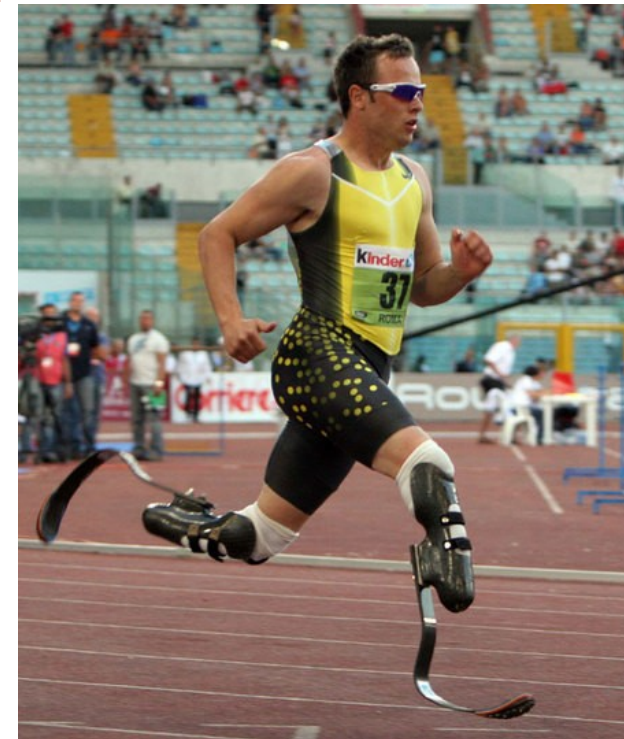
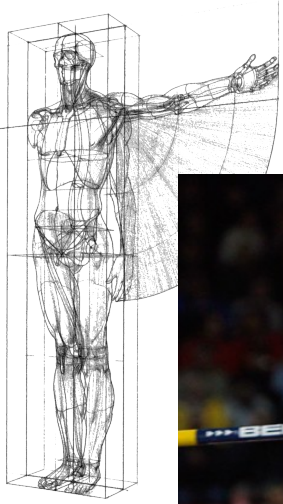
- **Forza muscolare**

secondo precise leggi della Fisica:

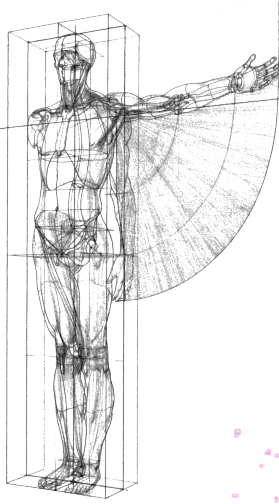
- **Principio d'inerzia, conservazione del momento angolare, conservazione/dissipazione di energia, dinamica dei fluidi, etc...**



# Alcuni esempi: gesti sportivi

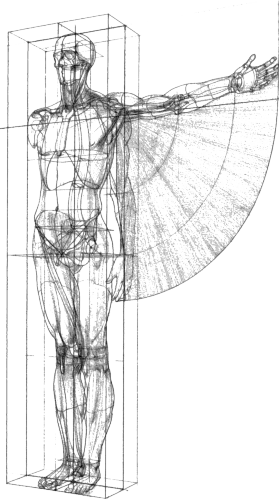


Ma anche il semplice cammino ha la sua complessità...

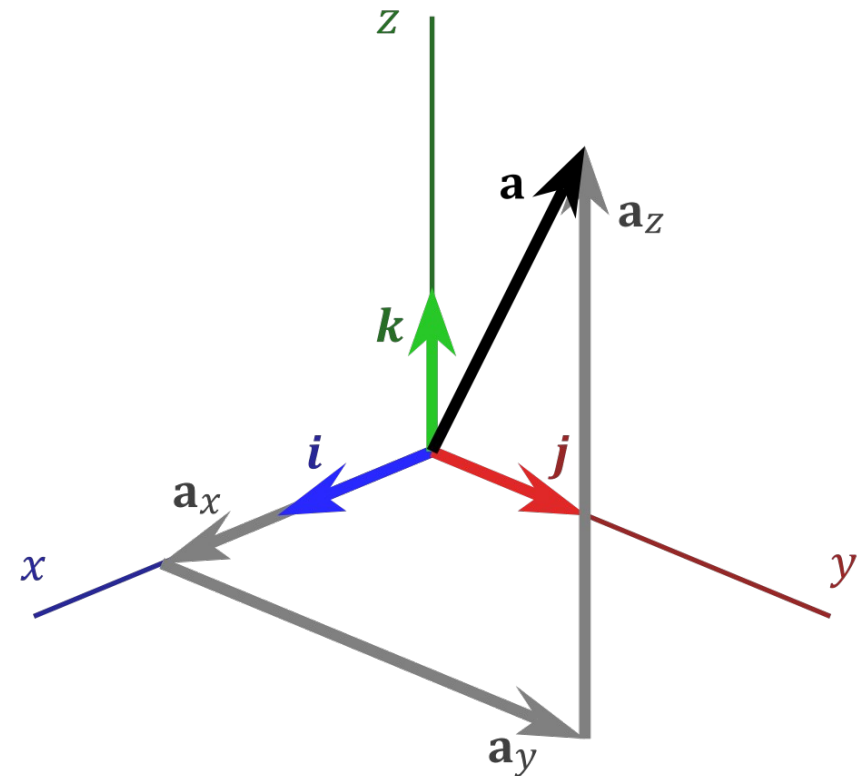
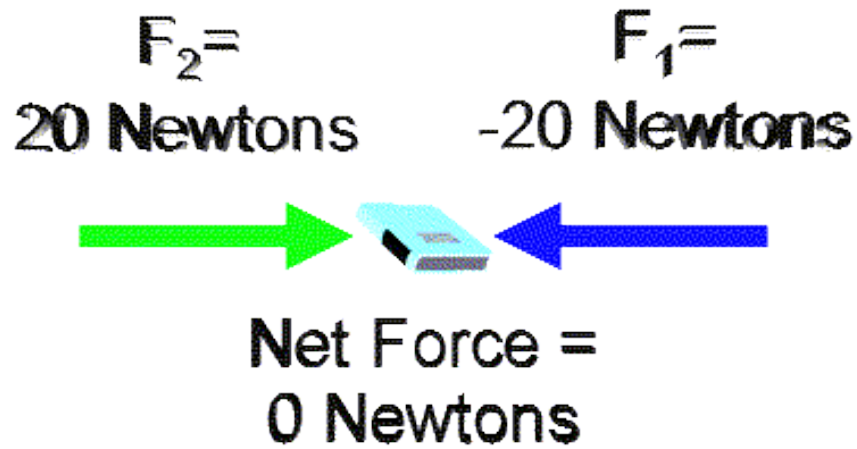
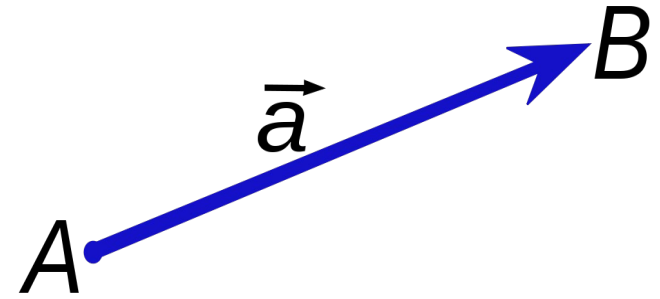


*Bassano del Grappa, 24 Marzo 2011*

# Un breve ripasso... le forze



La forza è un **vettore**!



## Prima legge di Newton:

*“Un corpo non soggetto a forze (o soggetto a forze con risultante nulla), rimane in quiete o continua a muoversi con velocità costante”*

## Seconda legge di Newton:

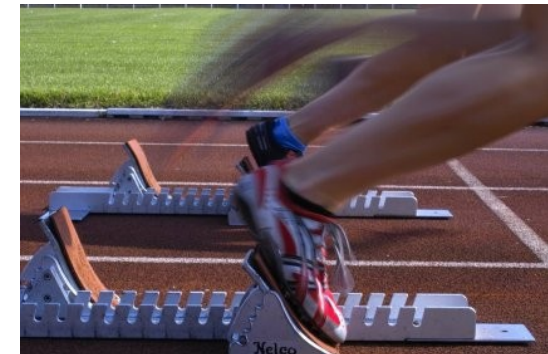
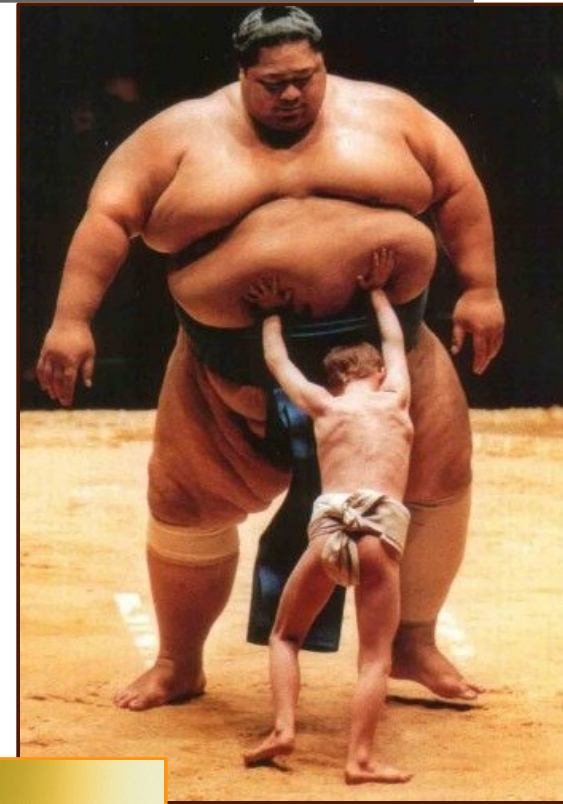
*“La variazione di velocità di un corpo è proporzionale alla forza risultante agente su di esso e inversamente proporzionale alla sua massa”*

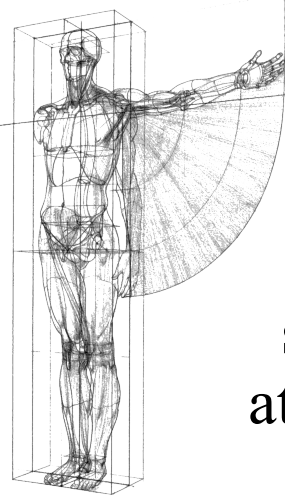
$$m \cdot \left( \frac{d\vec{v}}{dt} \right) = m \cdot \vec{a} = \vec{F}$$

$$\left( \frac{d\vec{v}}{dt} \right) = \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

## Terza legge di Newton (azione e reazione)

*“Per ogni azione (forza applicata da un corpo ad un altro), esiste una reazione uguale ed opposta)”*





## **Dinamica**

studio delle cause del moto  
attraverso lo studio delle forze

## **Cinematica**

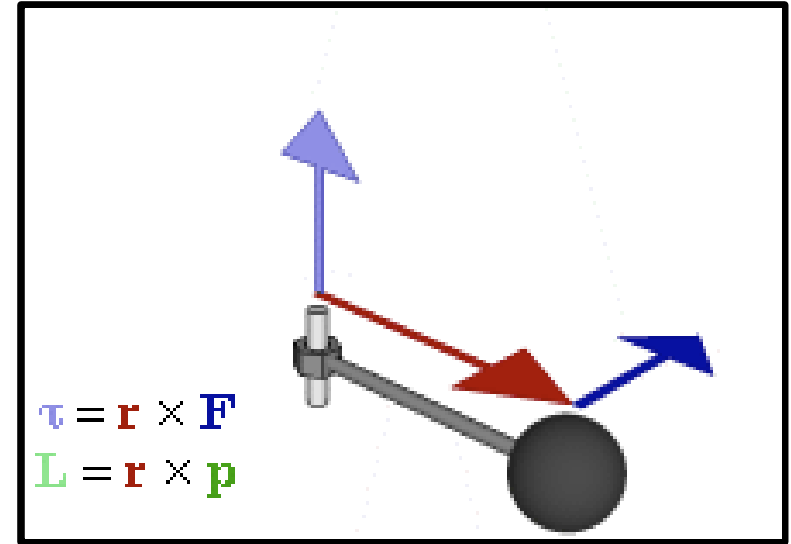
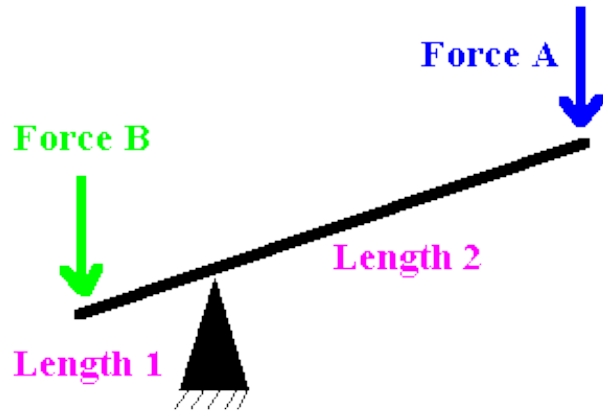
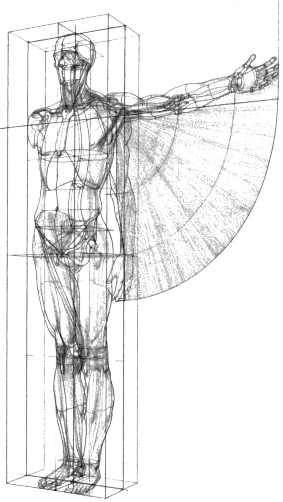
studio del moto di un corpo

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

## **Antropometria**

studio delle proprietà inerziali di un corpo

# Un breve ripasso... il momento di una forza

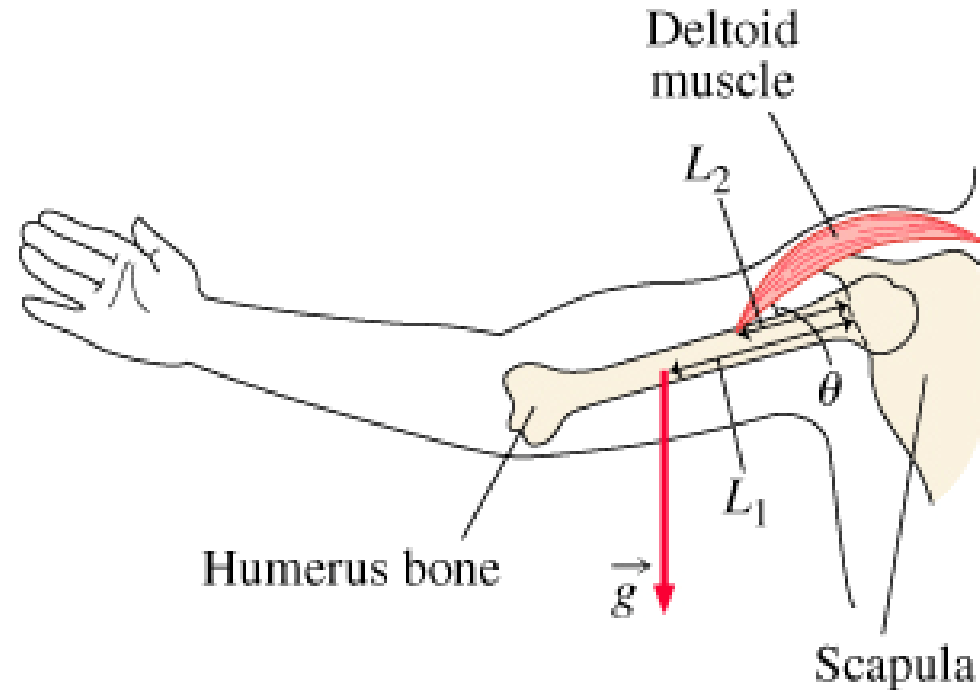
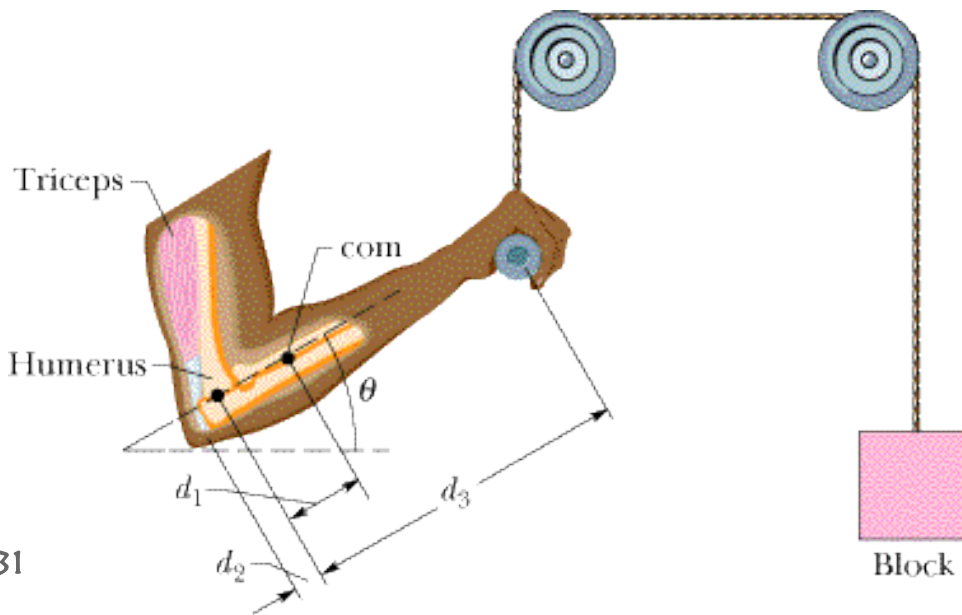


Momento di una forza  
(momento torcente)

$$\vec{M} = \vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$

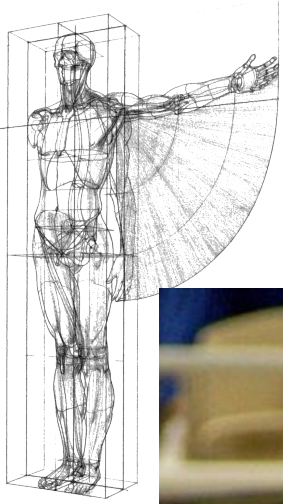
Seconda legge di Newton  
in forma rotazionale

$$|\vec{M}| = I \alpha$$

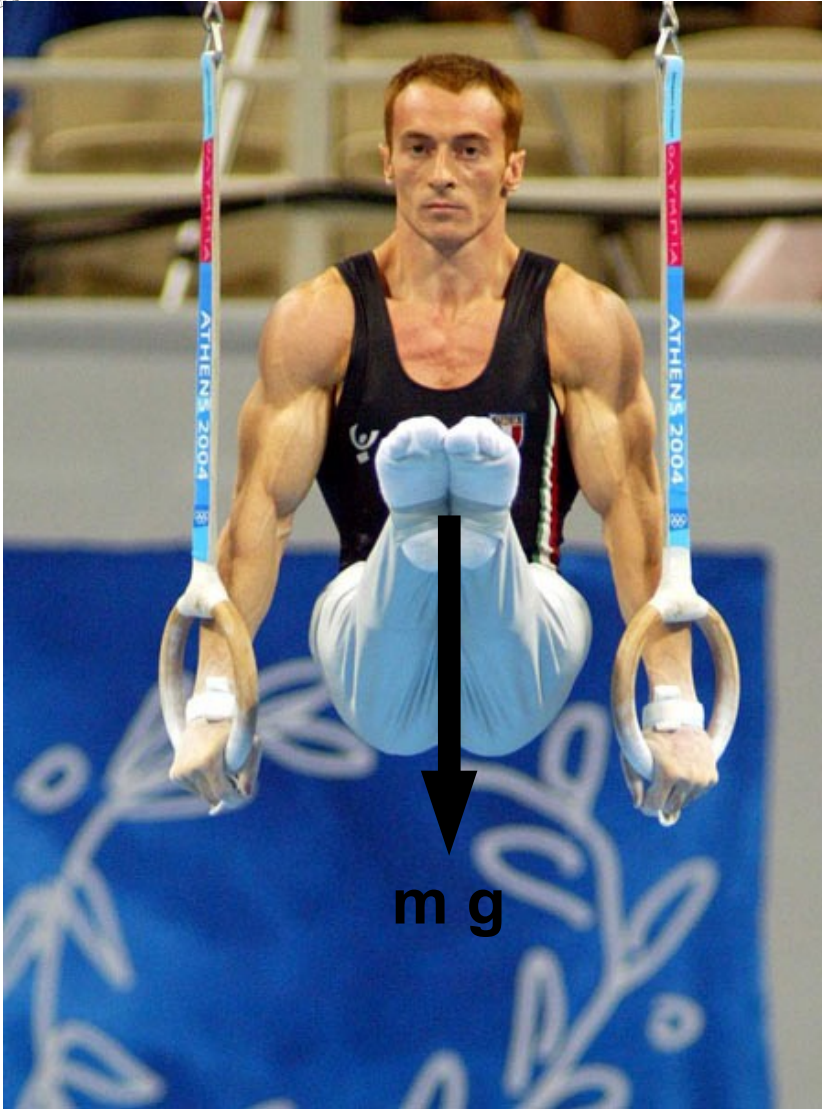




# Esempio: le croci agli anelli

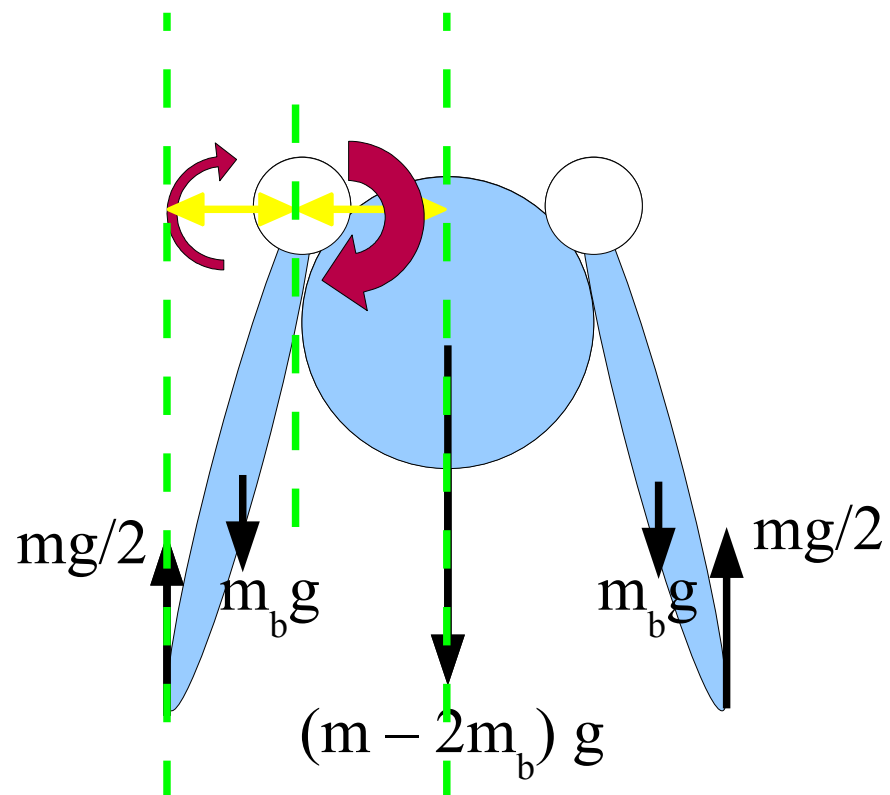
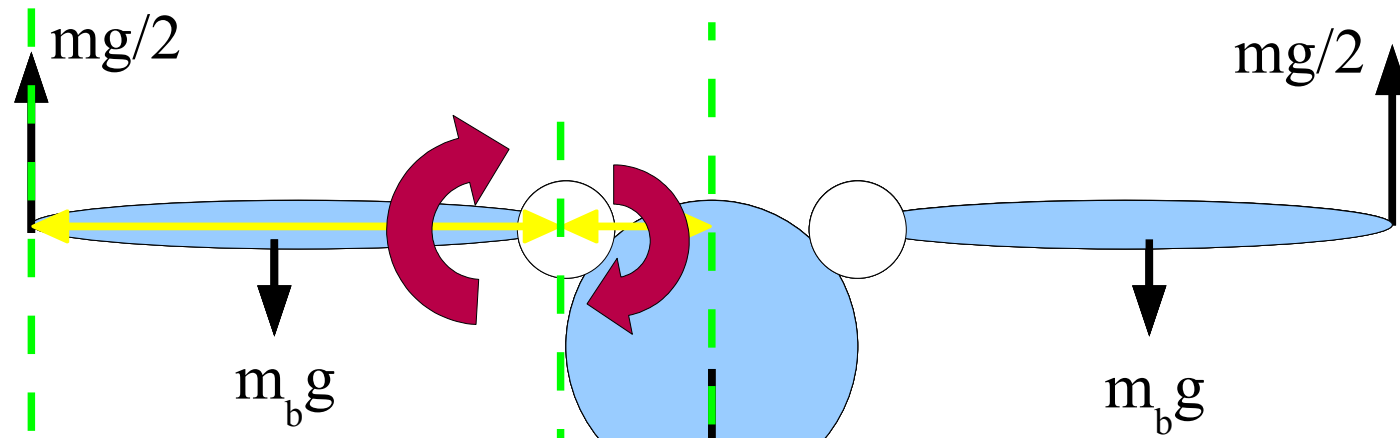
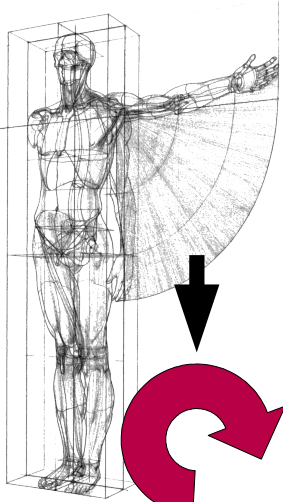


Bassano del Grappa, 24 Marzo 2011



$m g$

# Esempio: le croci agli anelli

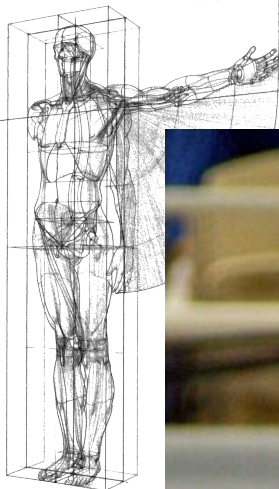


$(m - 2m_b) g$

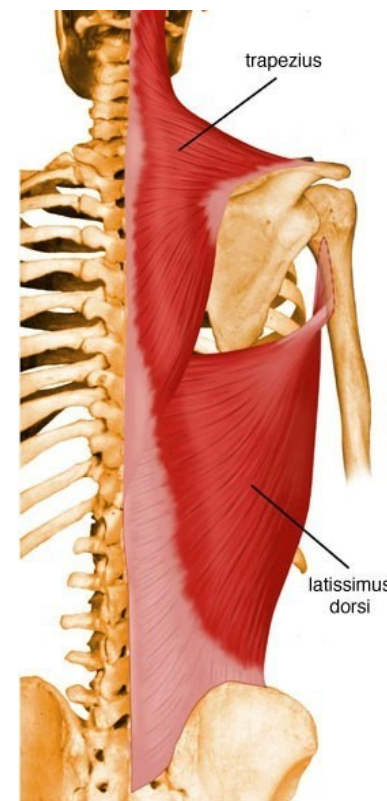
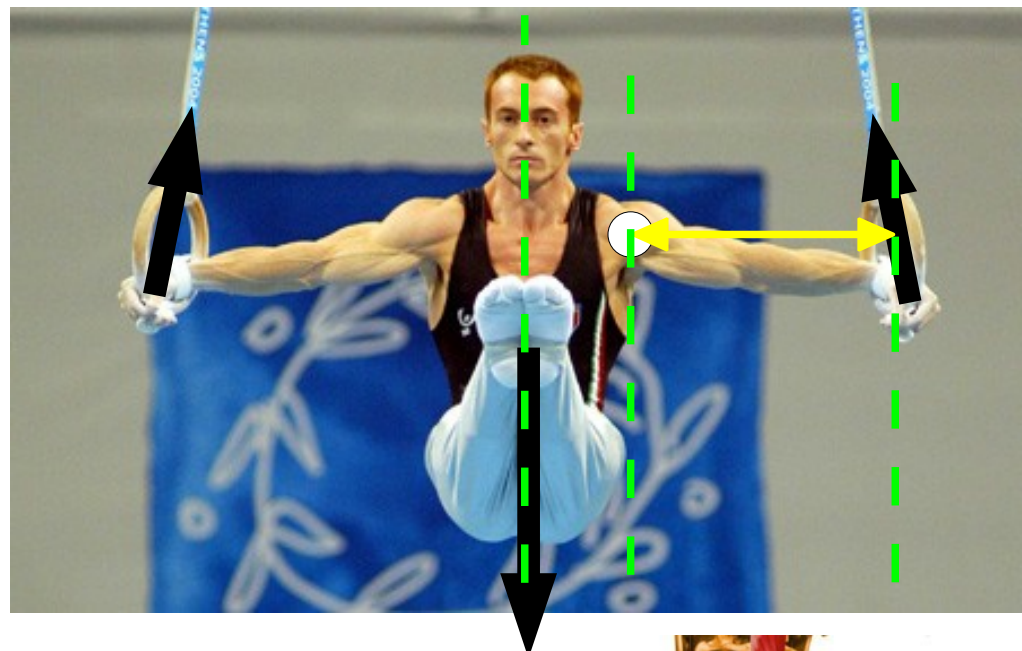
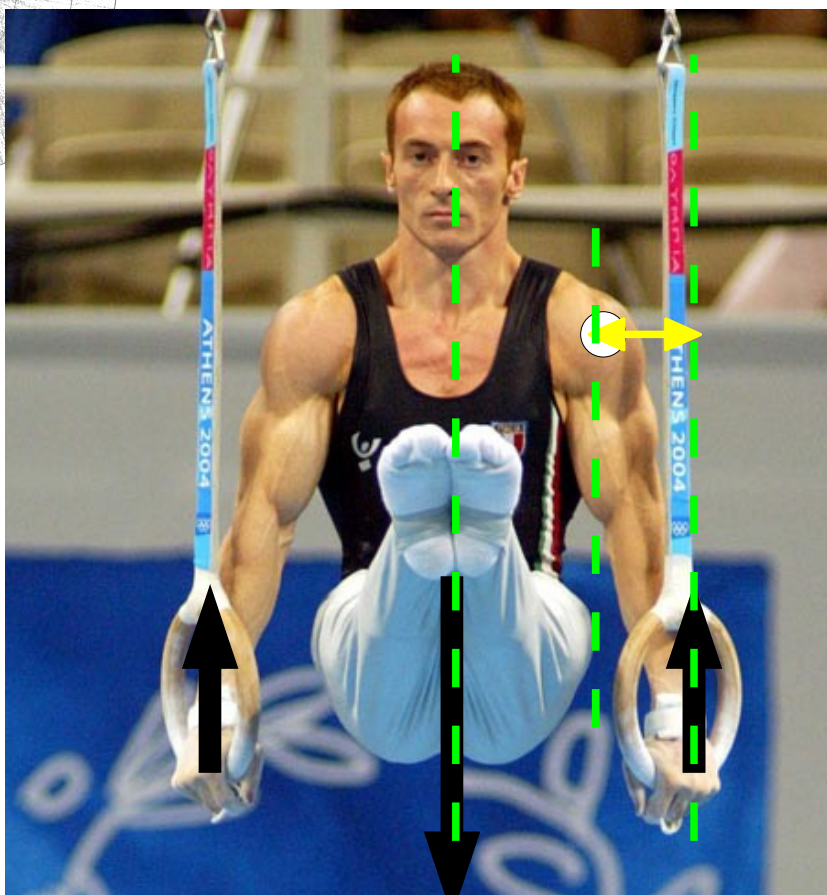
- Il braccio  $\underline{r}$  della forza esterna agente a livello della mano cambia!

Bassano del Grappa, 24 Marzo 2011

# Esempio: le croci agli anelli



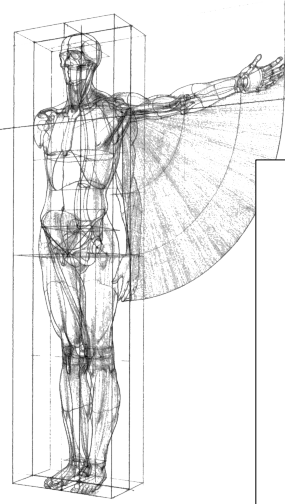
Bassano del Grappa, 24 Marzo 2011



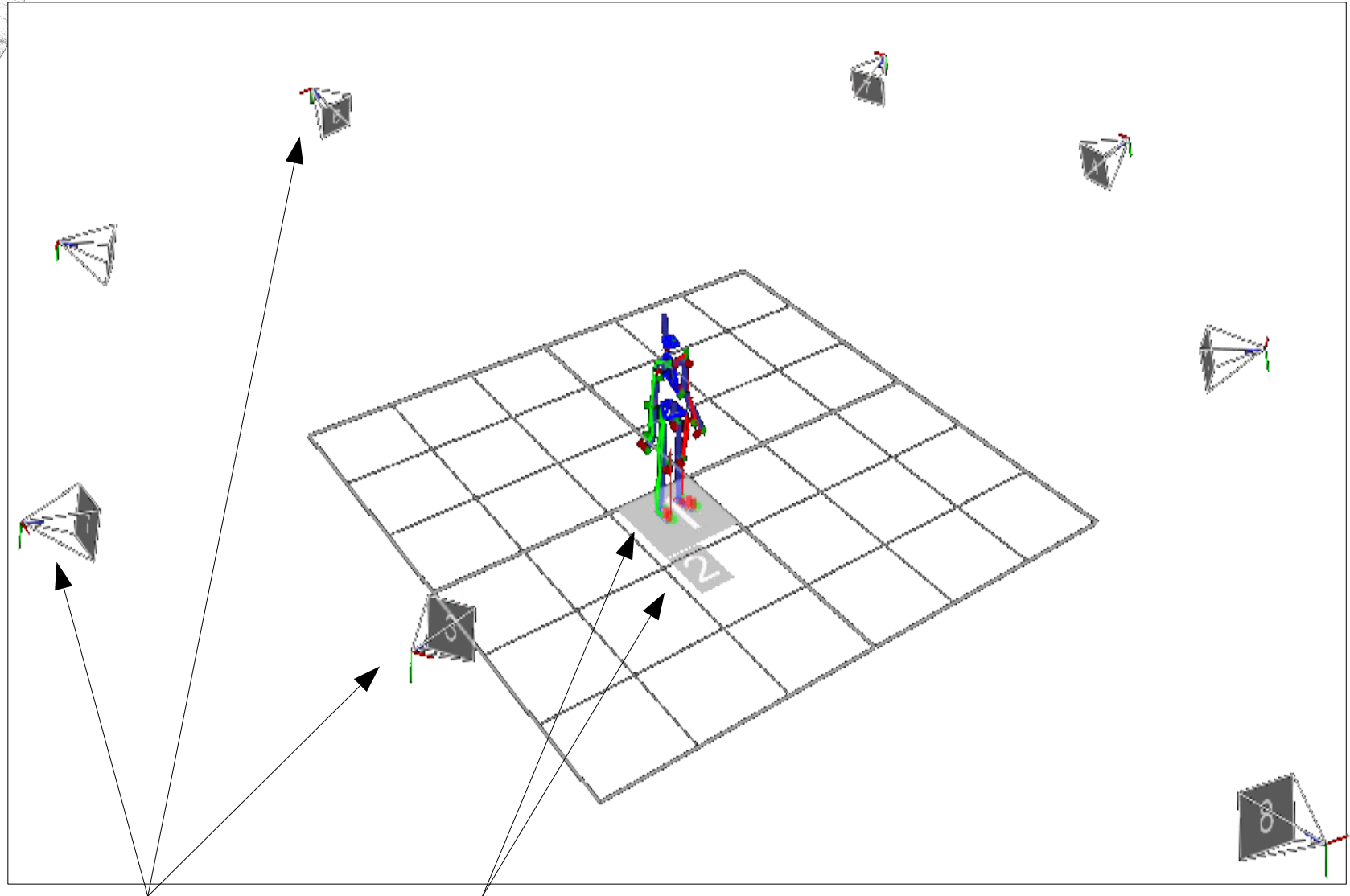
Aumentando l'angolo tra braccio e tronco, aumenta il **momento abduttore netto esterno** agente sulla spalla

Necessaria azione dei **muscoli adduttori** della spalla (*subscapularis*, *latissimus dorsi*, *pectoralis major*, ...)

# Analisi del movimento



Bassano del Grappa, 24 Marzo 2011

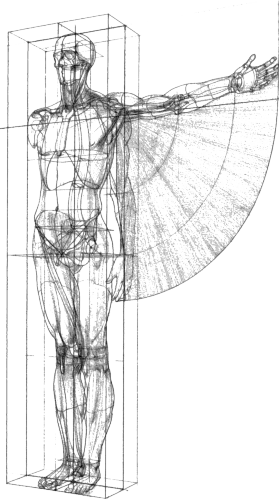


**Cinematica:**  
Sistema di  
telecamere NIR

**Dinamica:**  
Pedane di forza

**Attività muscolare:**  
Elettromiografia (S-EMG)

# Sistemi a marcatori passivi



Bassano del Grappa, 24 Marzo 2011



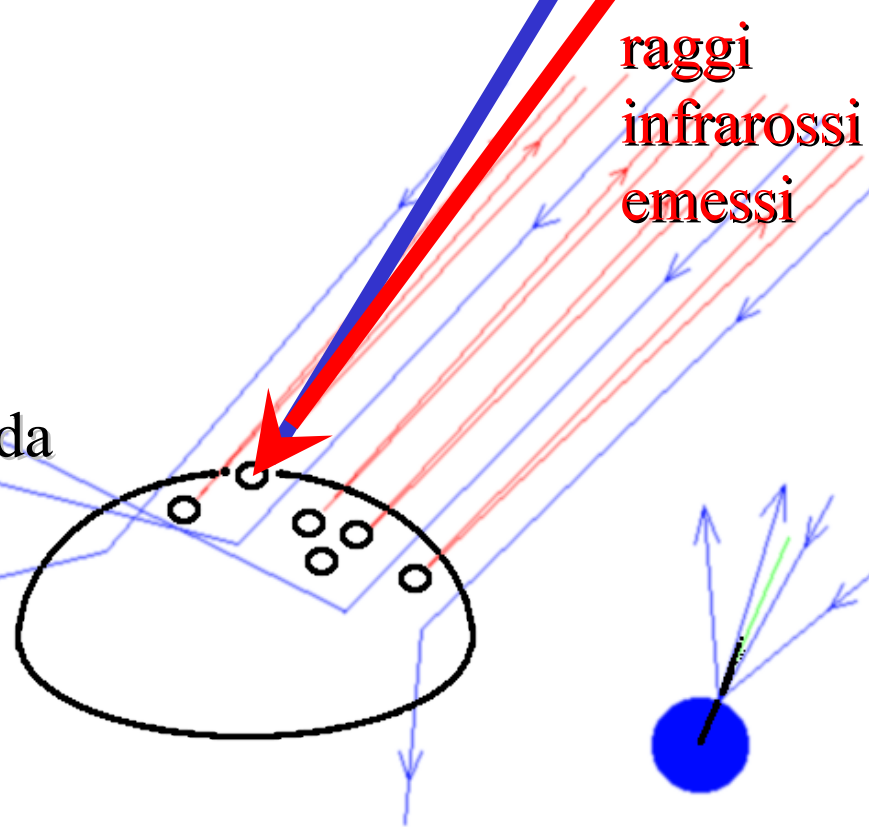
Marcatore ricoperto da materiale catarifrangente

raggi infrarossi riflessi

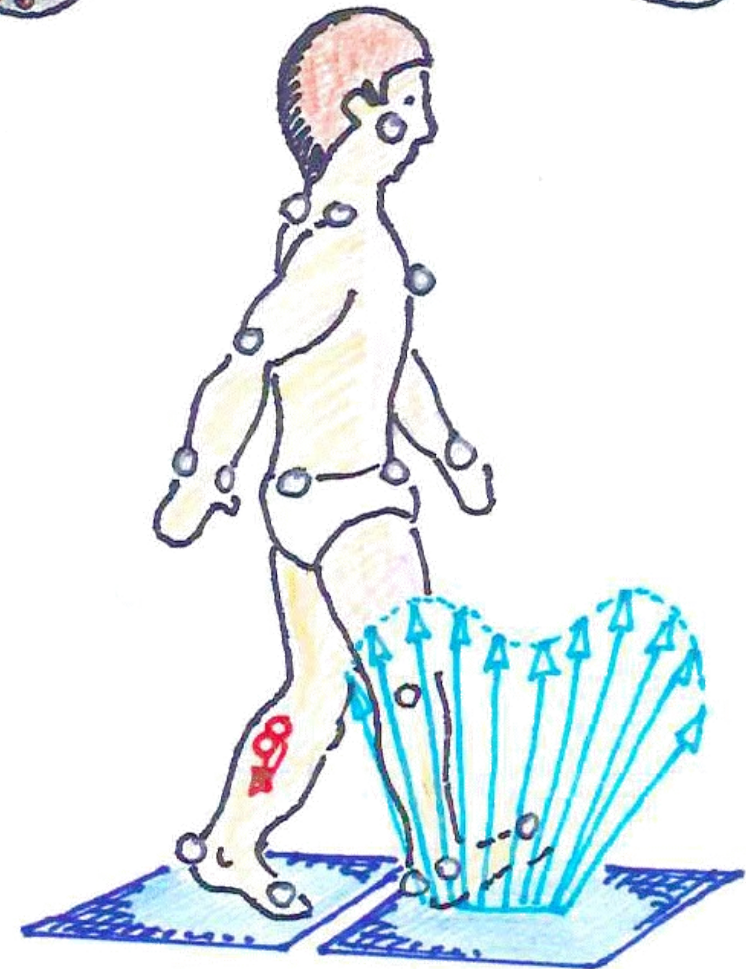
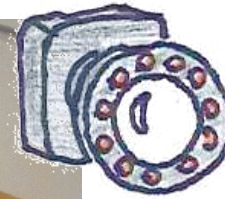
raggi infrarossi emessi



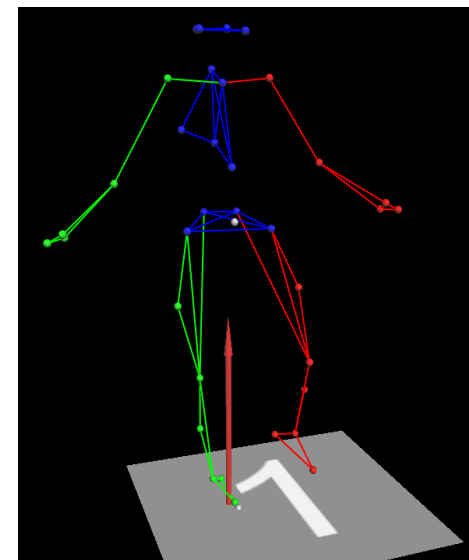
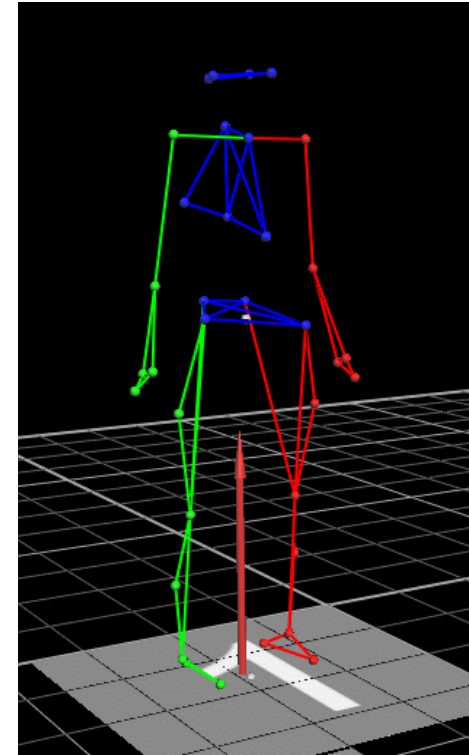
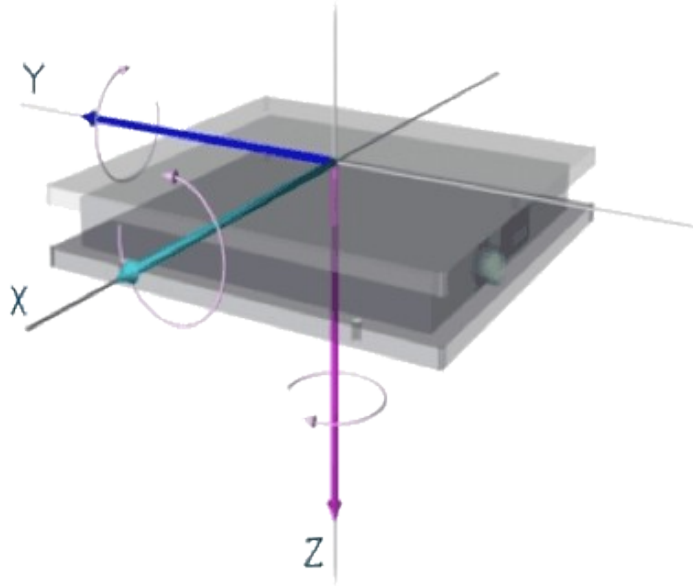
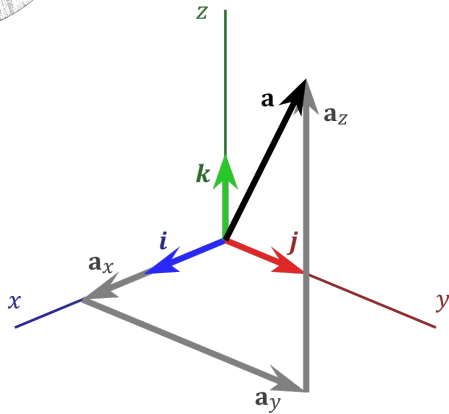
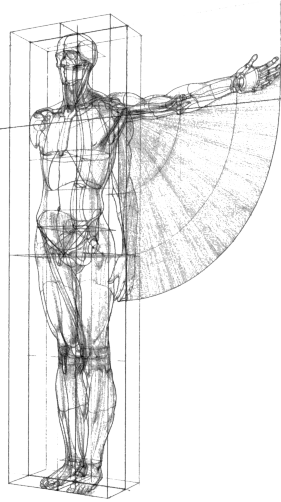
telecamera



# Sistemi a marcatori passivi e pedane di forza



# Pedane di forza e Ground Reaction Force (GRF)

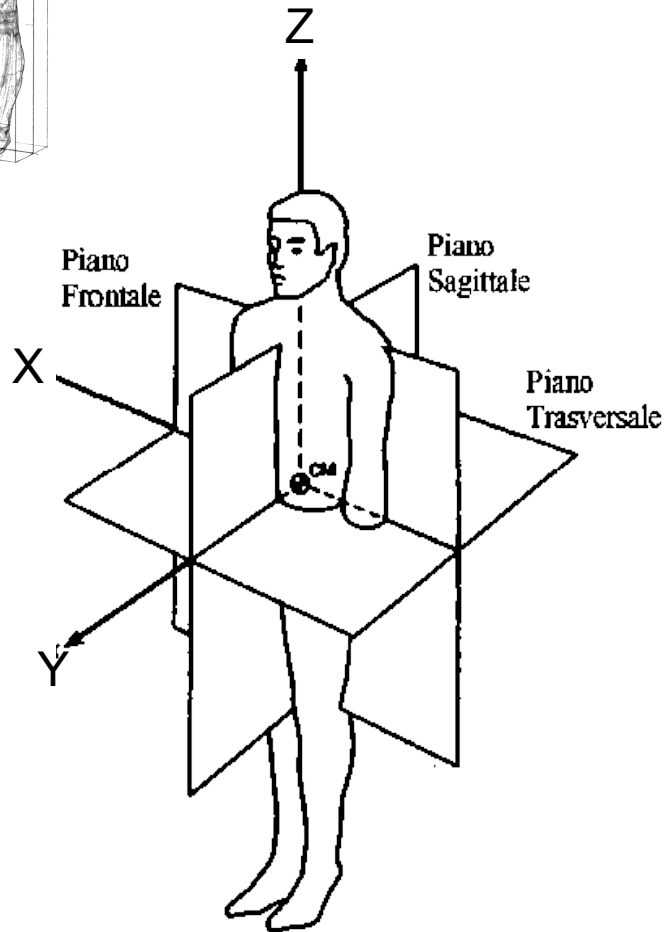
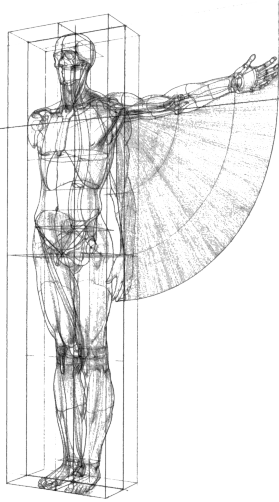


## Componenti della reazione del suolo (*segni riferiti all'arto di interesse*)

$F_v$  = forza verticale  
(+ verso l'alto)

$F_{ap}$  = forza antero-posteriore  
(+ anteriormente)

$F_{ml}$  = componente medio-laterale  
(+ medialmente)



Bassano del Grappa, 24 Marzo 2011

## Assi Biomeccanici

### (convenzione Vicon)

X: medio-laterale

Y: antero-posteriore

Z: verticale

### (convenzione ISB)

X: antero-posteriore

Y: verticale

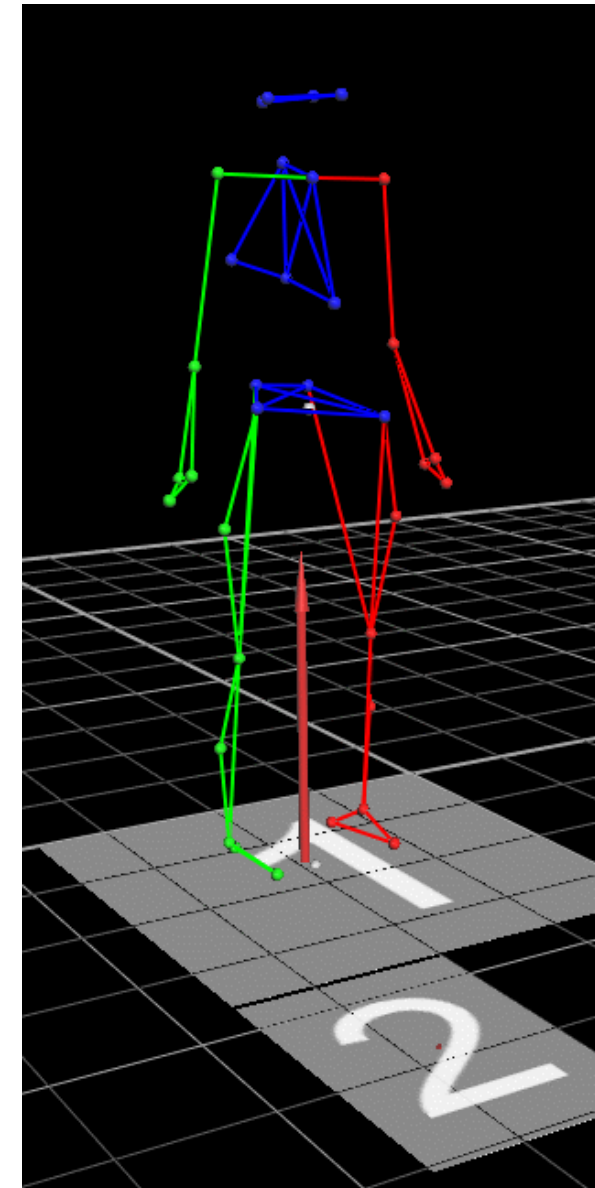
Z: medio-laterale

## Ordine angoli di Cardano-Eulero per le rotazioni:

X: flessione-estensione

Y: ab-adduzione

Z: intra-extra rotazione

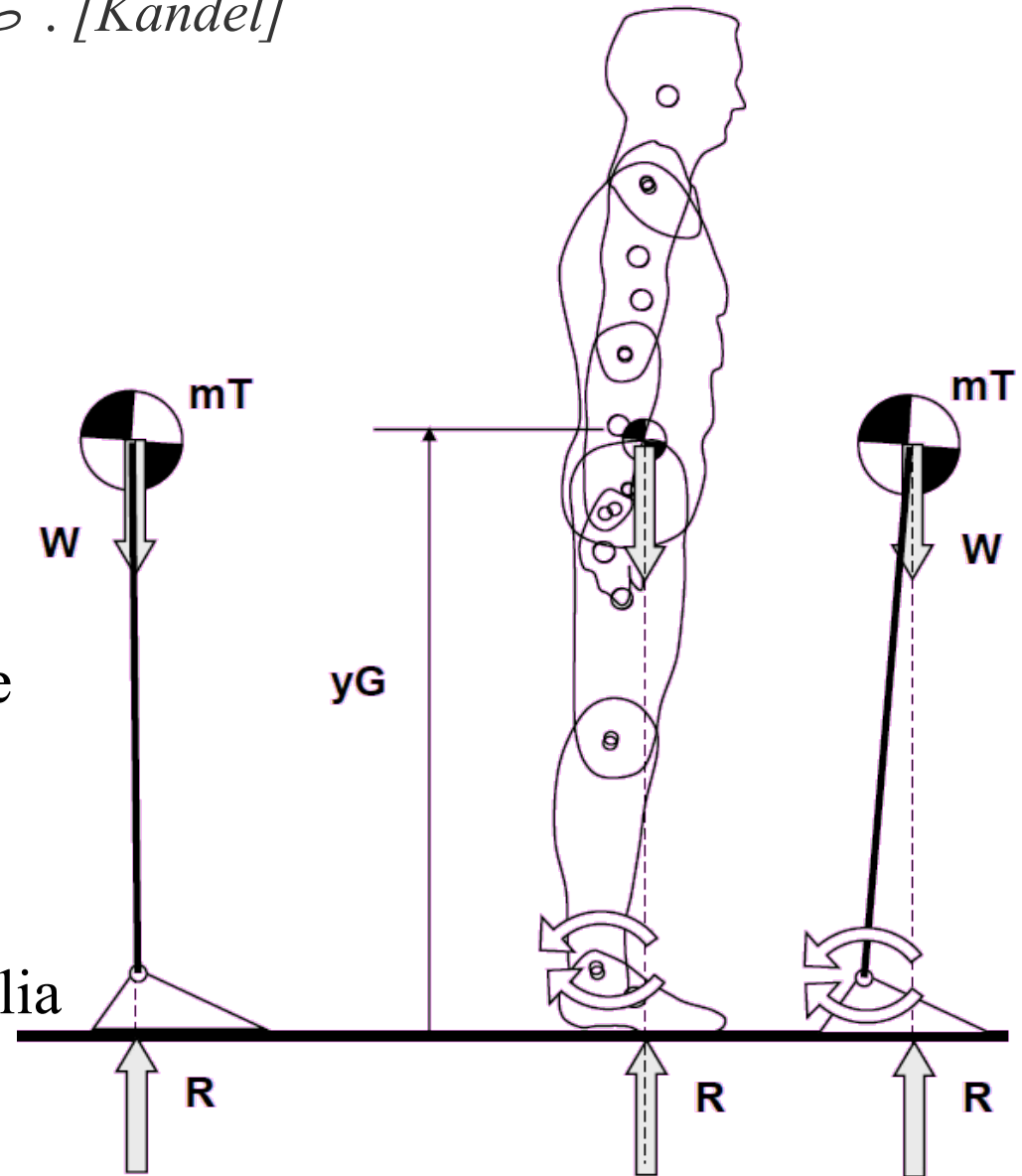


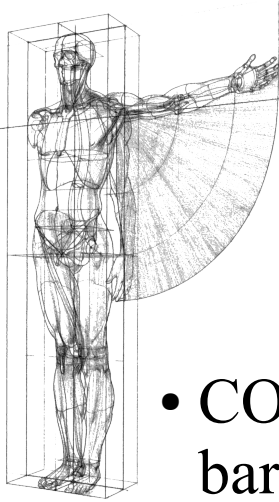


# Controllo della postura

"Per postura si intende la posizione complessiva del corpo e degli arti, l'uno rispetto agli altri, e il loro orientamento nello spazio". [Kandel]

- Il mantenimento della stazione eretta implica continui aggiustamenti posturali dei segmenti corporei rispetto alla direzione verticale
- La stazione eretta non è di equilibrio stabile
- La postura è una configurazione *dinamica*
- Pendolo inverso
- Reazione del suolo richiede momento equilibratore alla caviglia

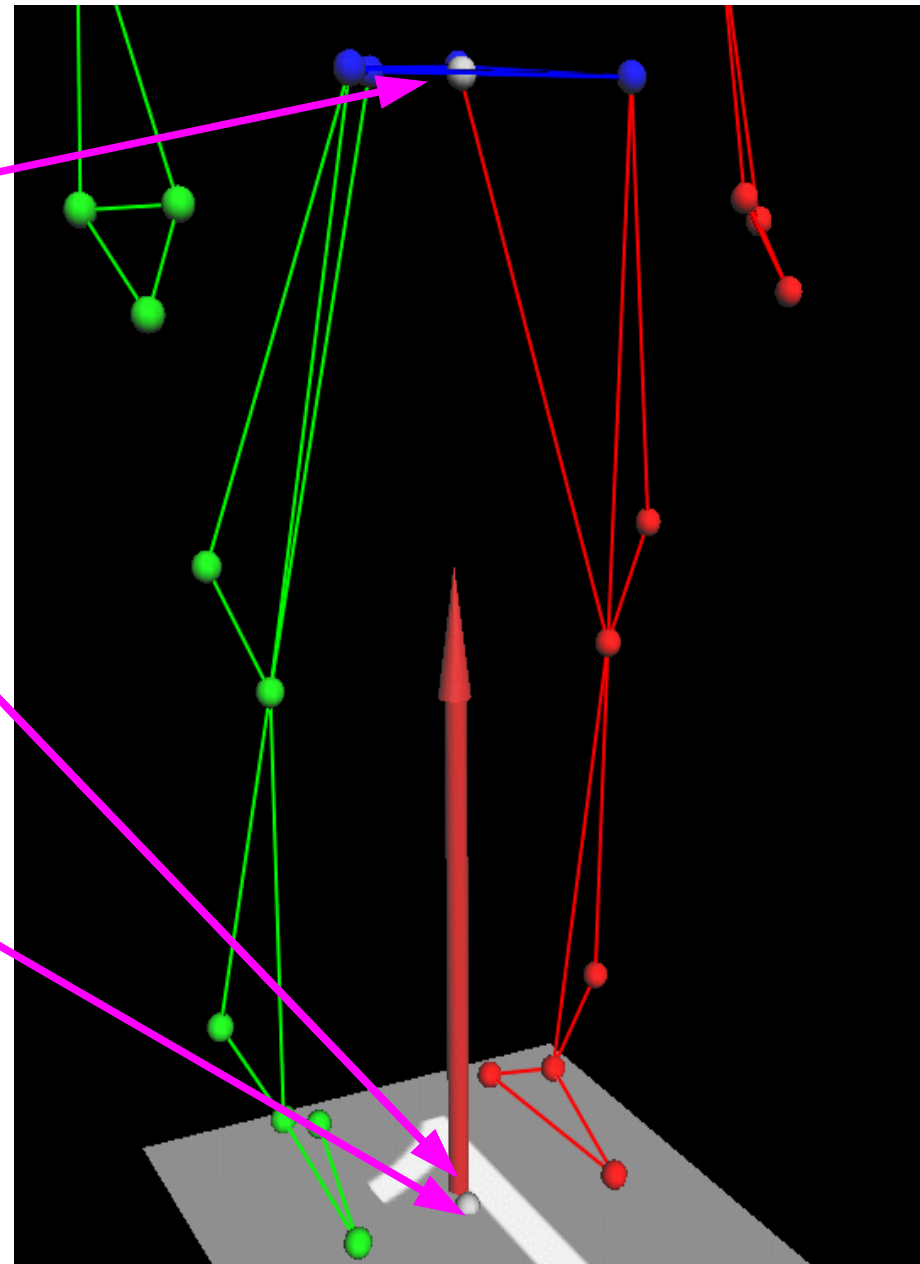




3 punti notevoli:

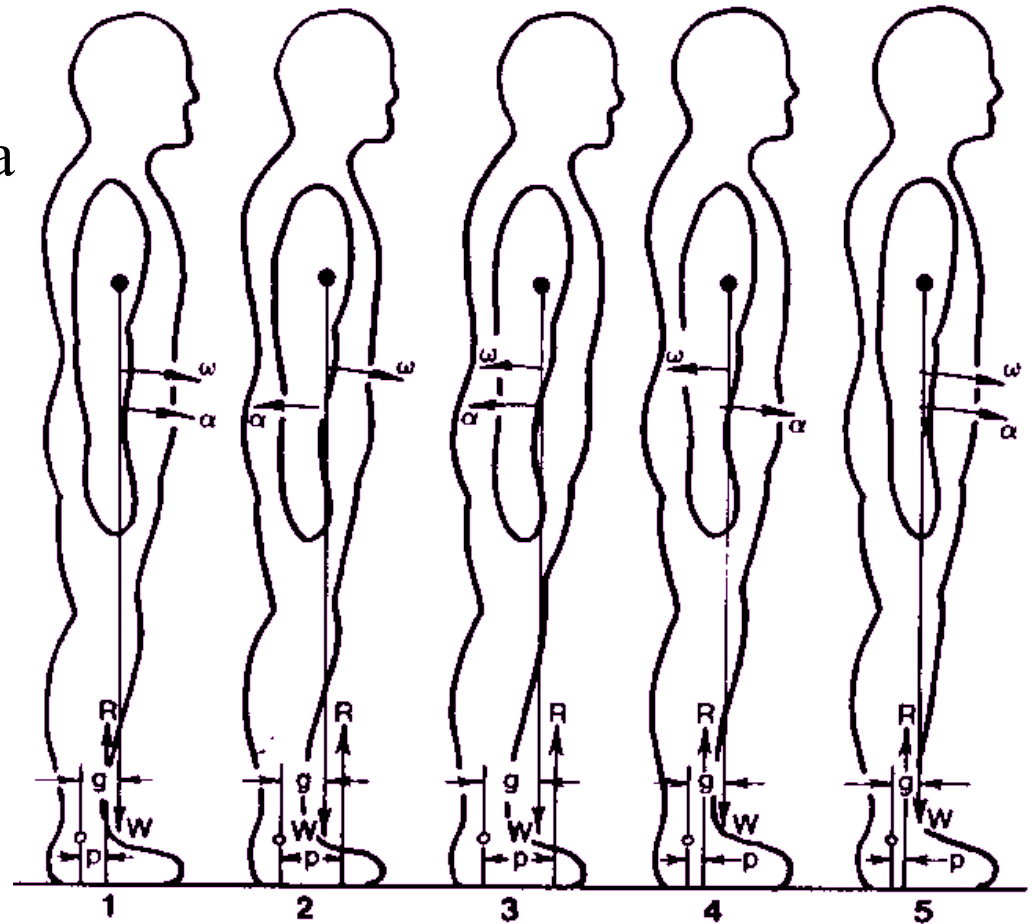
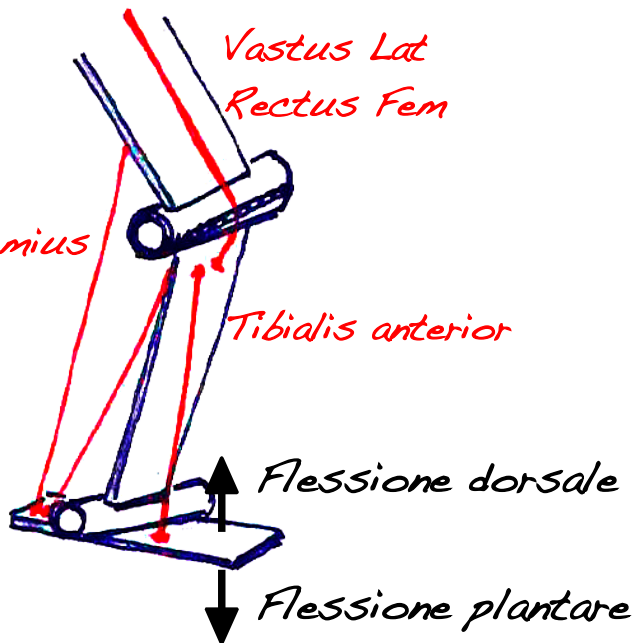
- COM (Center Of Mass):  
baricentro corporeo
- COP (Center Of Pressure):  
punto al suolo in cui si applica  
la risultante delle forze di reazione  
piede-suolo
- COG (Center of Gravity):  
proiezione a terra del COM

COP e COG generalmente non  
coincidono in condizioni dinamiche!



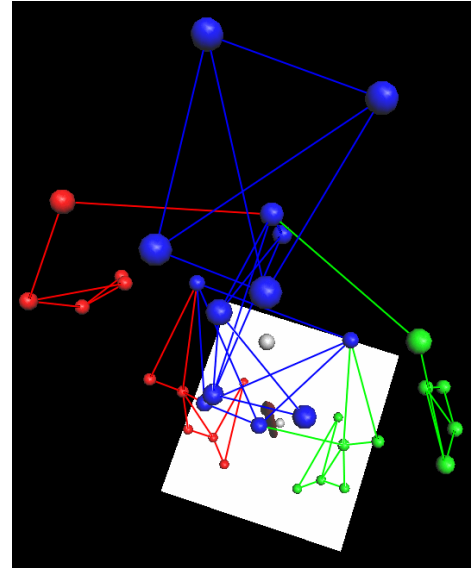
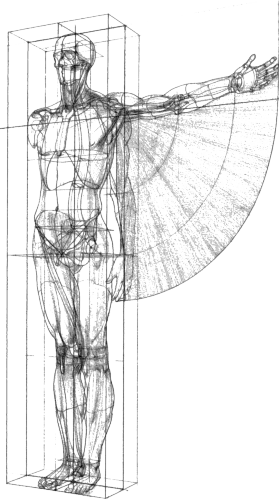
# Controllo della postura

- Soggetto in equilibrio: oscillazione antero-posteriore attorno alla caviglia con continua inversione di accelerazione angolare ( $\omega$ ) e velocità angolare ( $\alpha$ ) del COM
- Stabilità dell'equilibrio nel piano sagittale controllata dai flessori plantari della caviglia



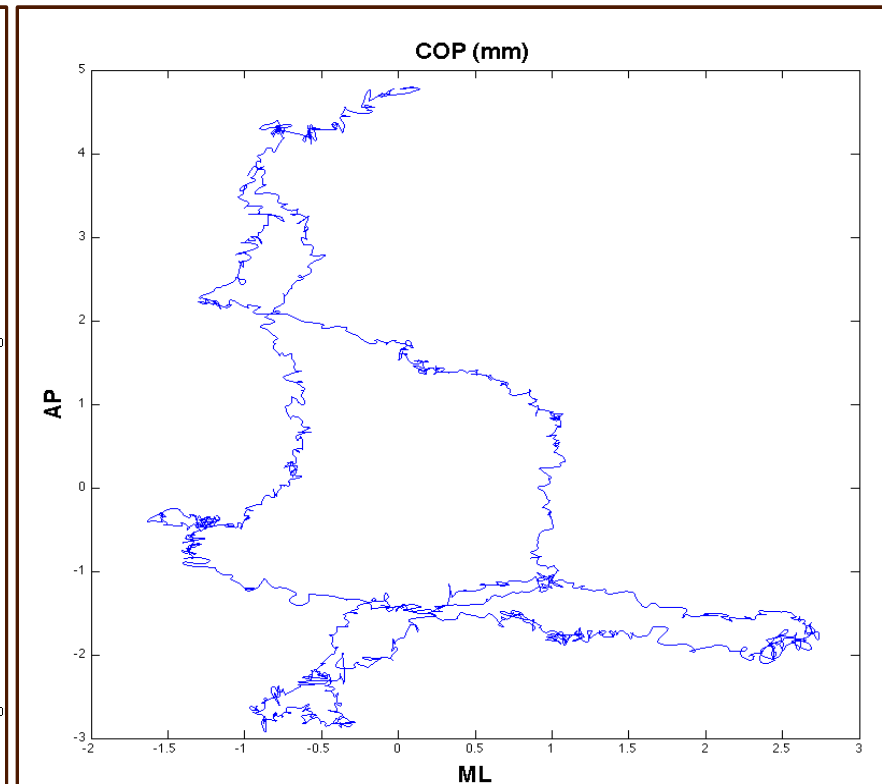
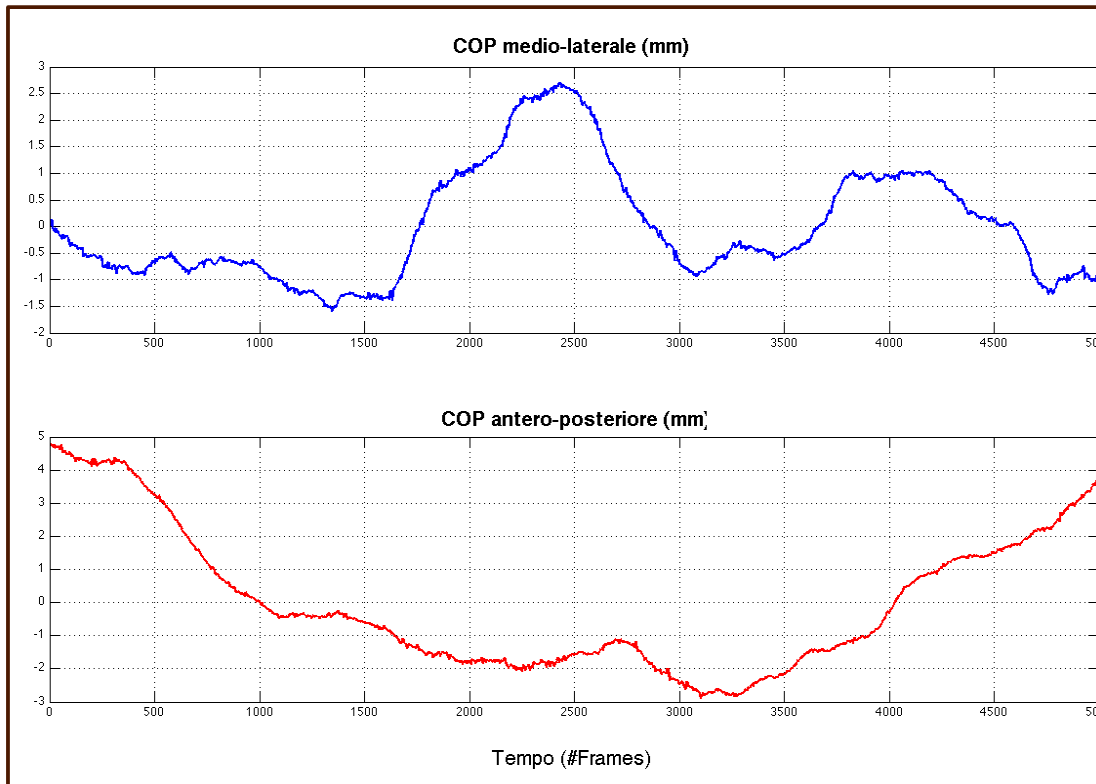
$$|R| = |W|$$

# Controllo della postura: moto del COP



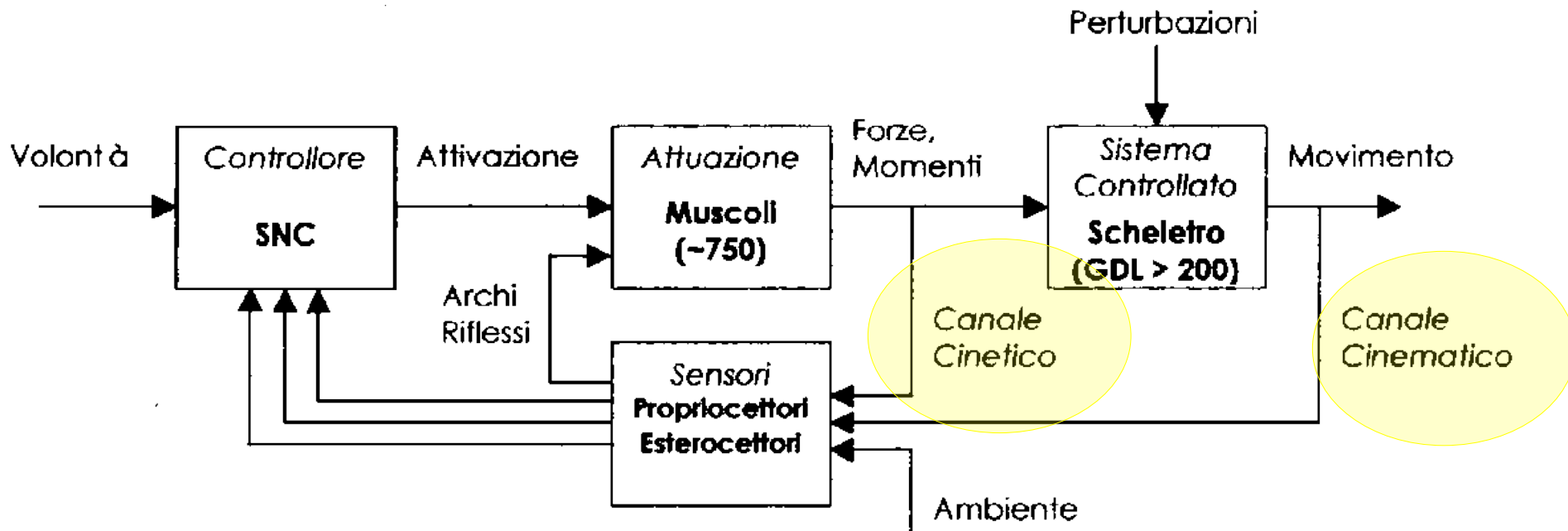
Stabilogramma

Statochinesigramma

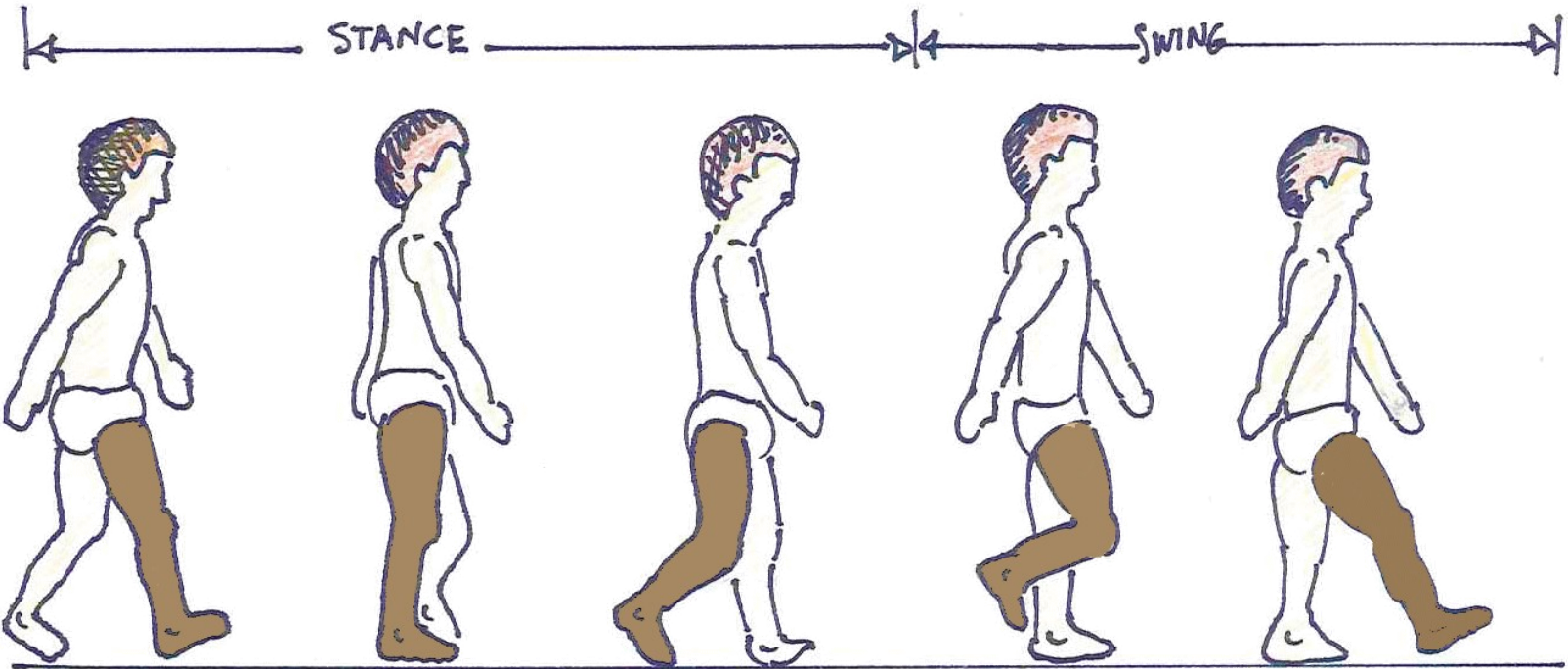
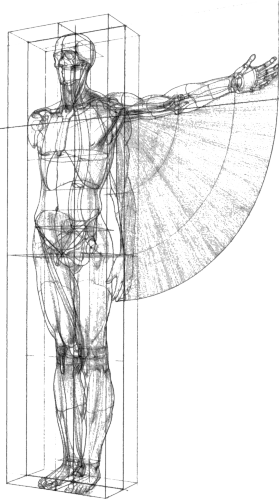


# Controllo della postura

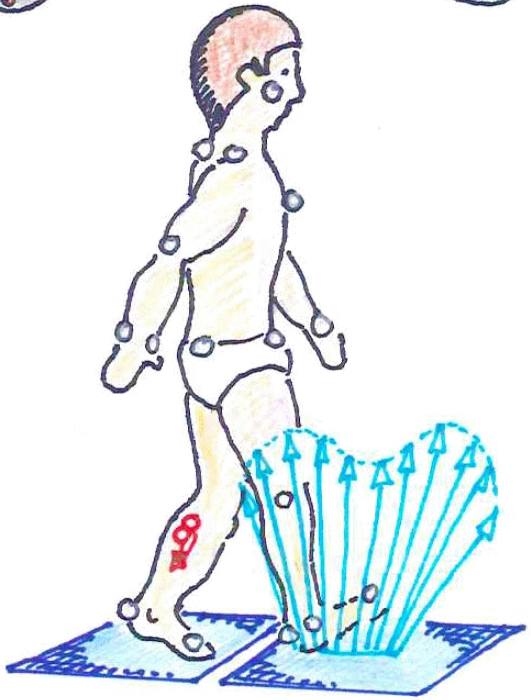
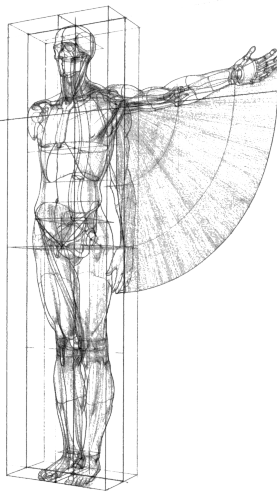
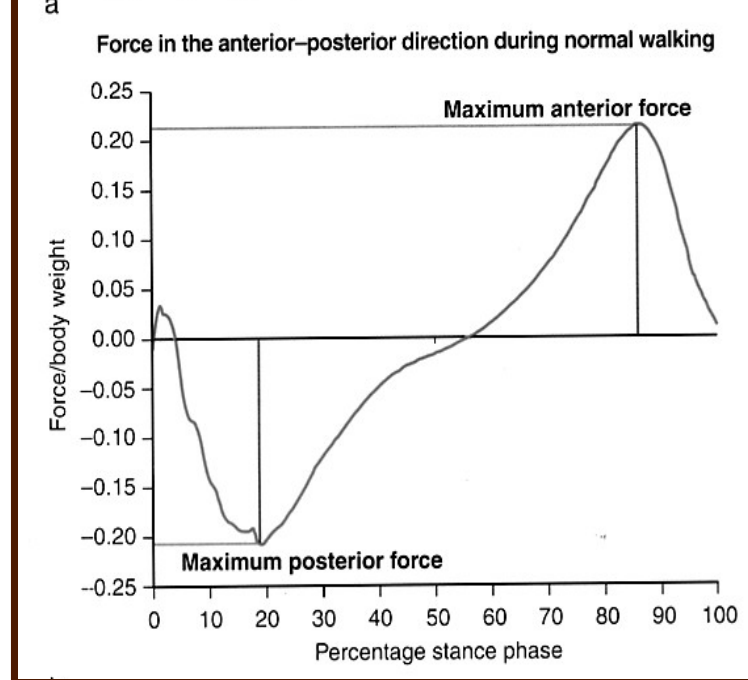
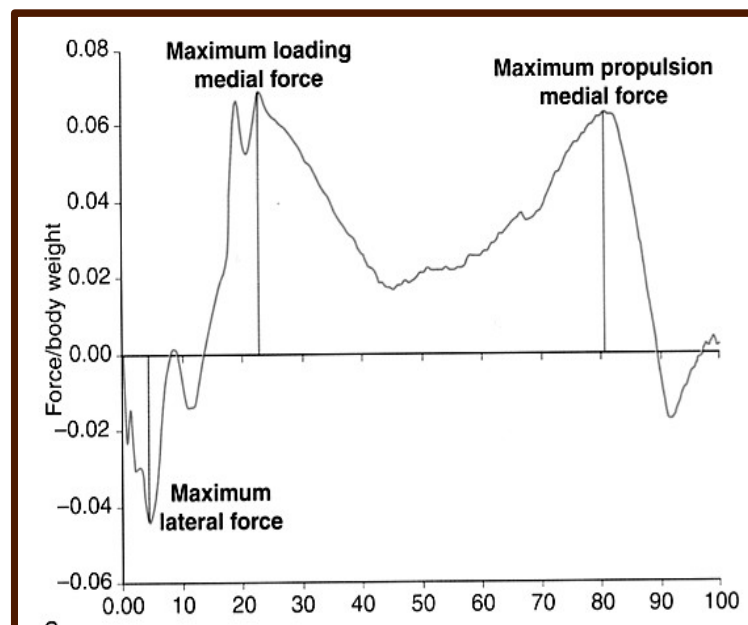
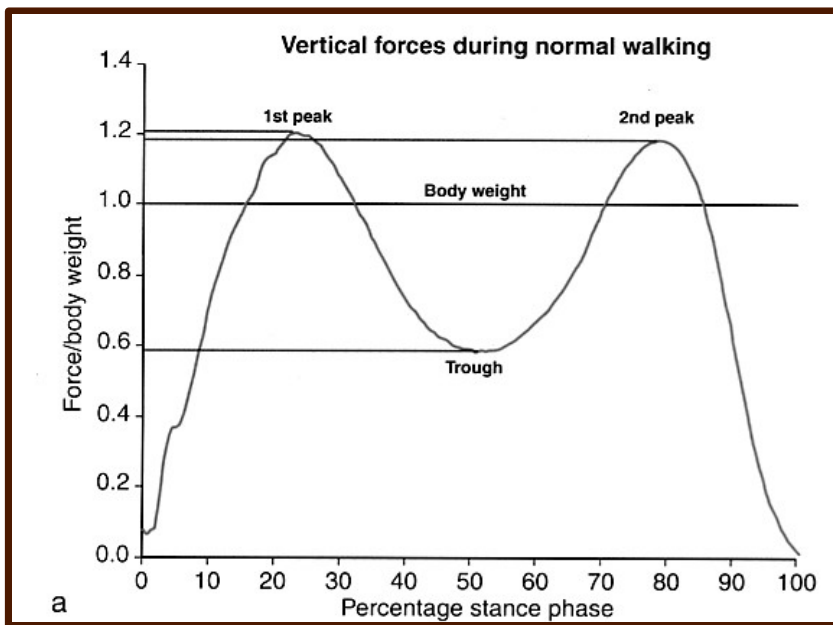
## Schema a blocchi del sistema di controllo posturale



# Il cammino



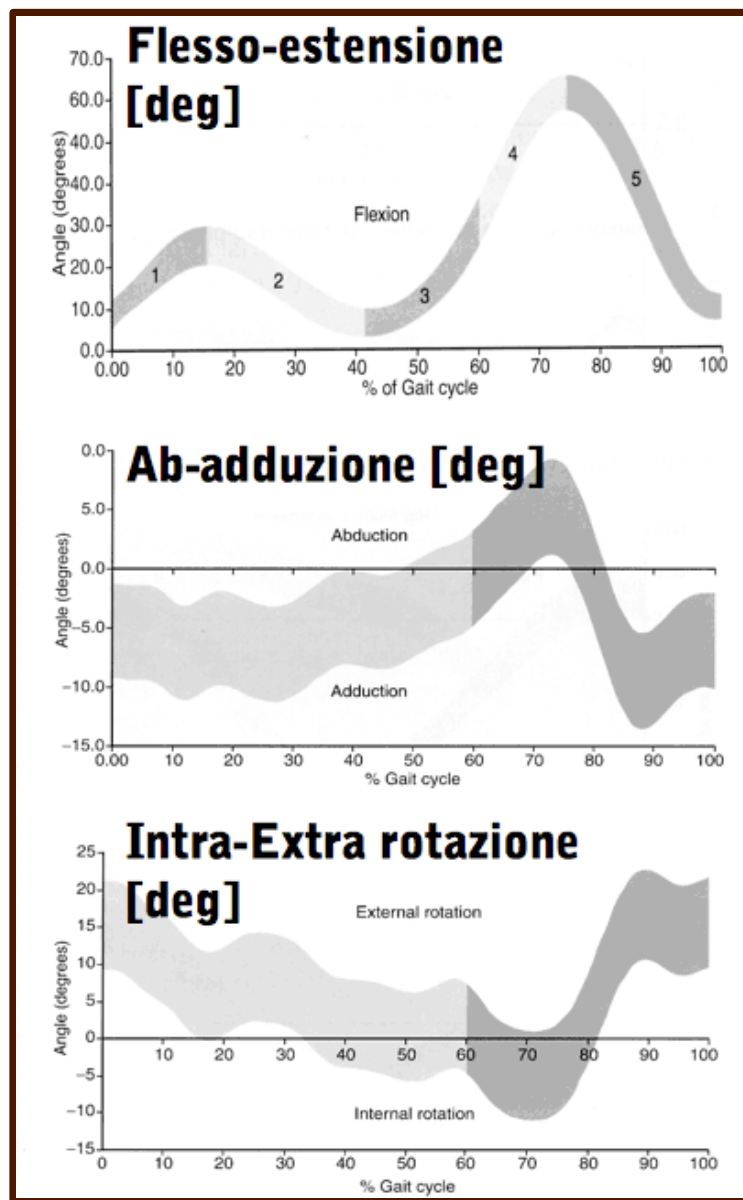
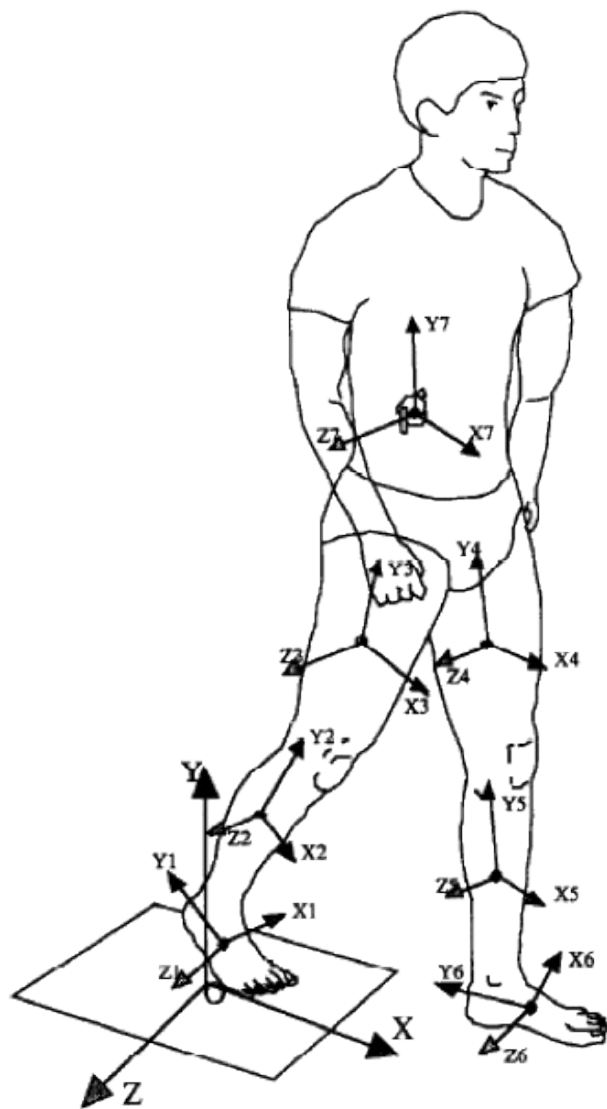
# Ground Reaction Force (GRF)



# Angoli articolari

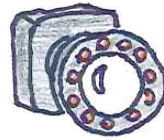
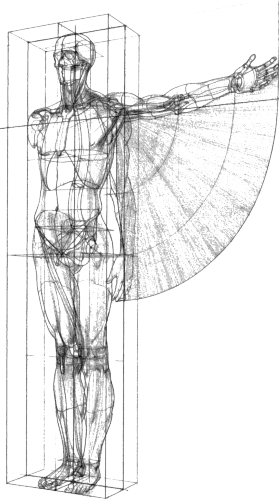
## Esempio: angoli al ginocchio

angoli di Cardano-Eulero relativi tra 2 terne XYZ (ISB)  
applicate ai segmenti anatomici della coscia e della gamba

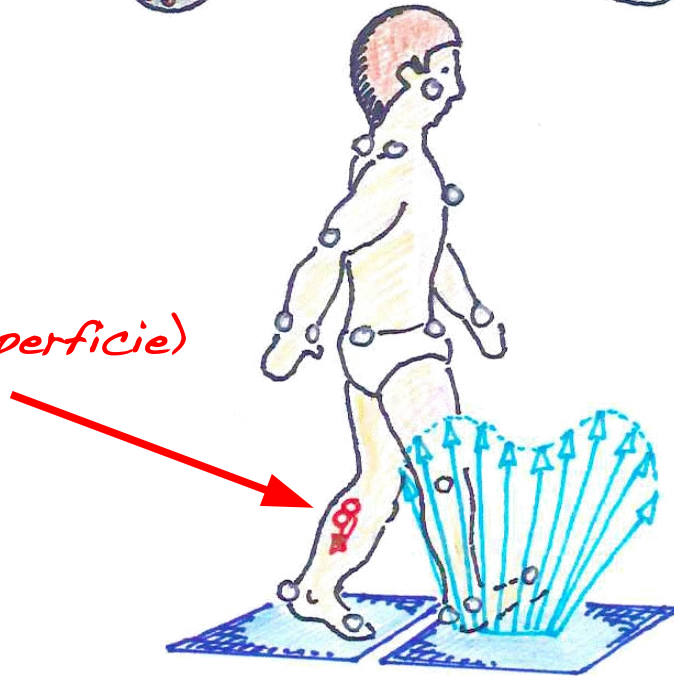




# Elettromiografia e attività muscolare



**S-EMG**  
(*elettromiografia di superficie*)



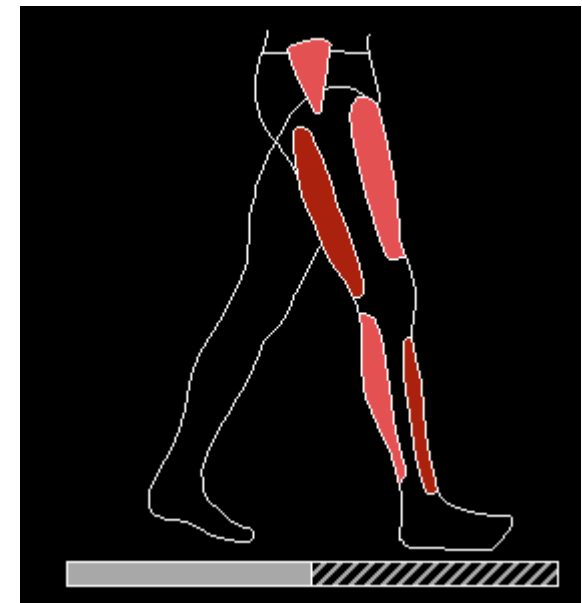
## ***Azione muscoli agonisti-antagonisti***

*Vastus Lateralis/Rectus Femoris*: estensori del ginocchio

*Biceps Femoris*: flessore del ginocchio

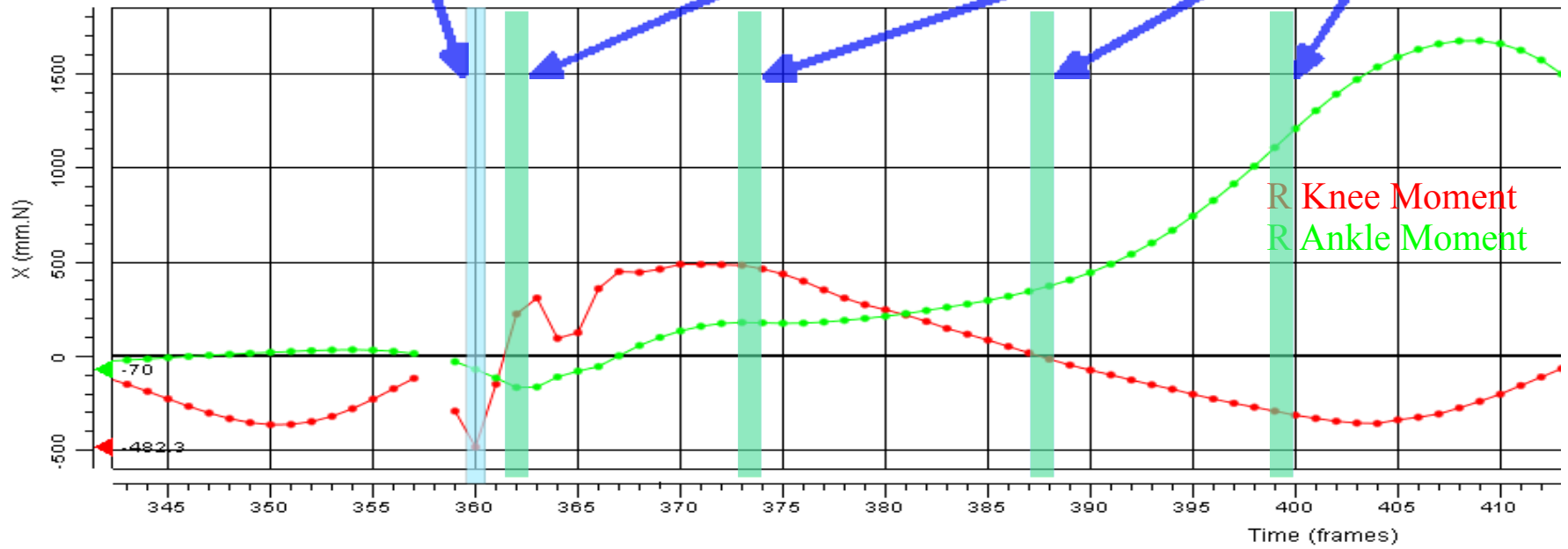
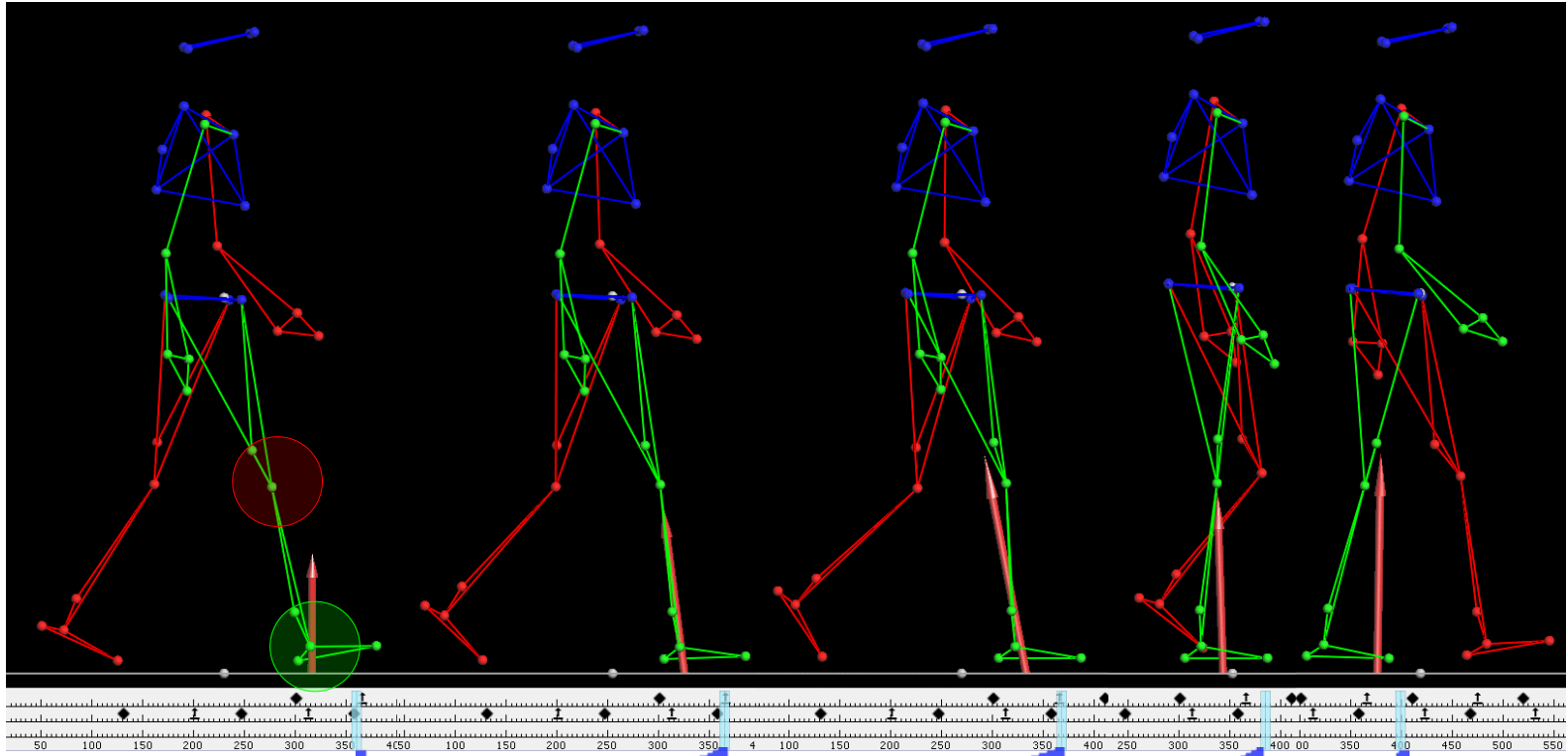
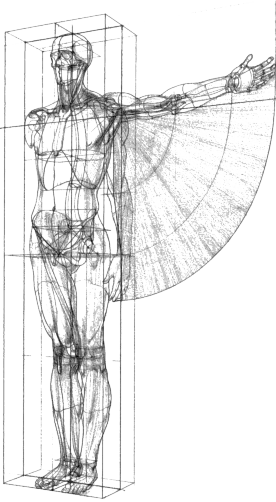
*Tibialis Anterior*: dorsiflessore della caviglia

*Gastrocnemius/Soleus*: plantarflessori della caviglia

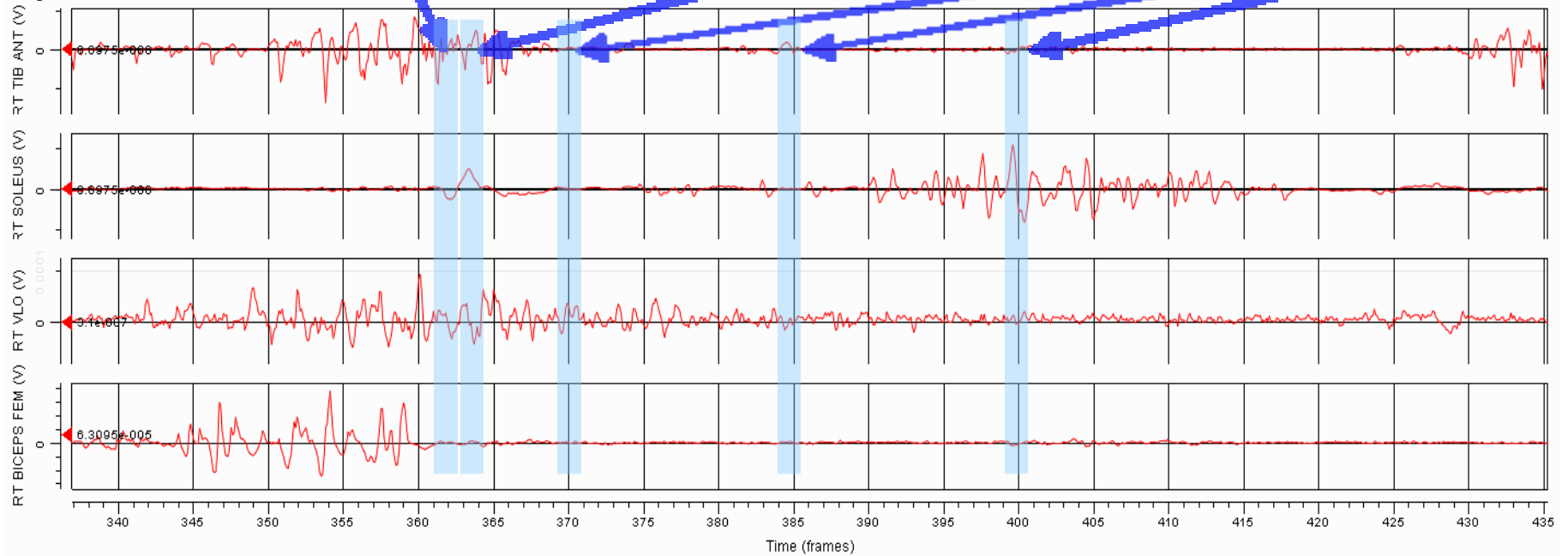
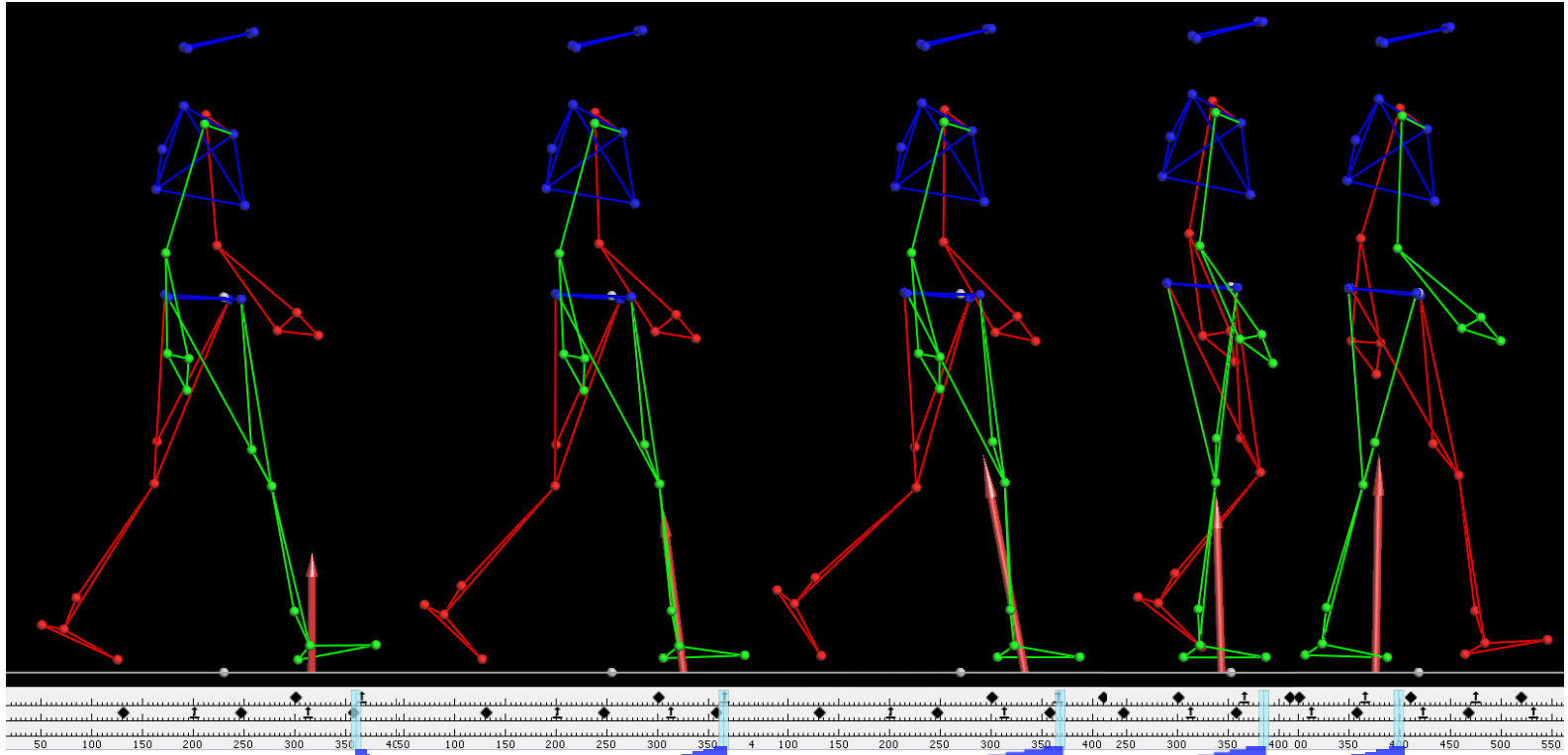


# Cammino "normale": momenti articolari

Bassano del Grappa, 24 Marzo 2011



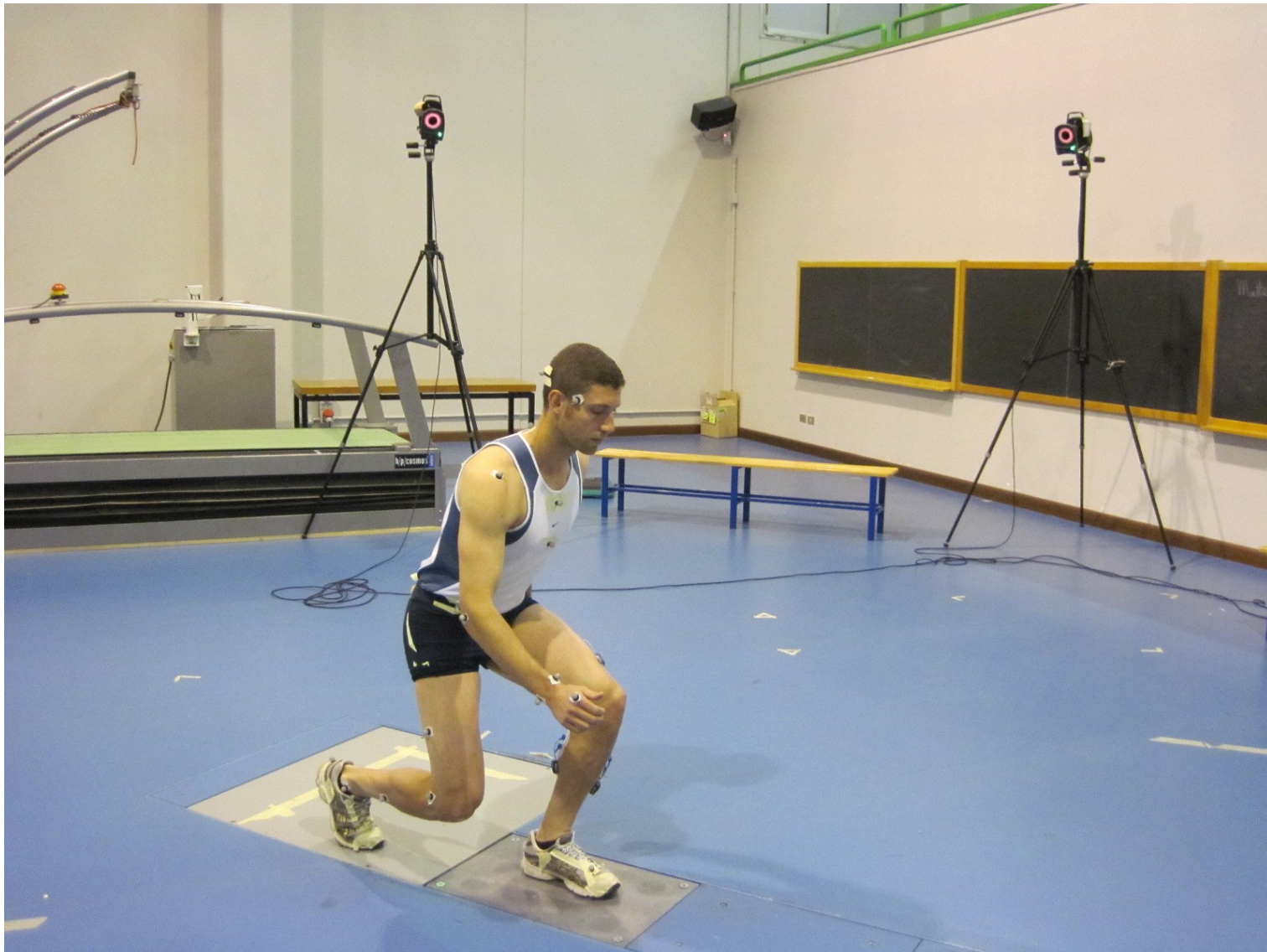
# Cammino "normale": attività muscolare



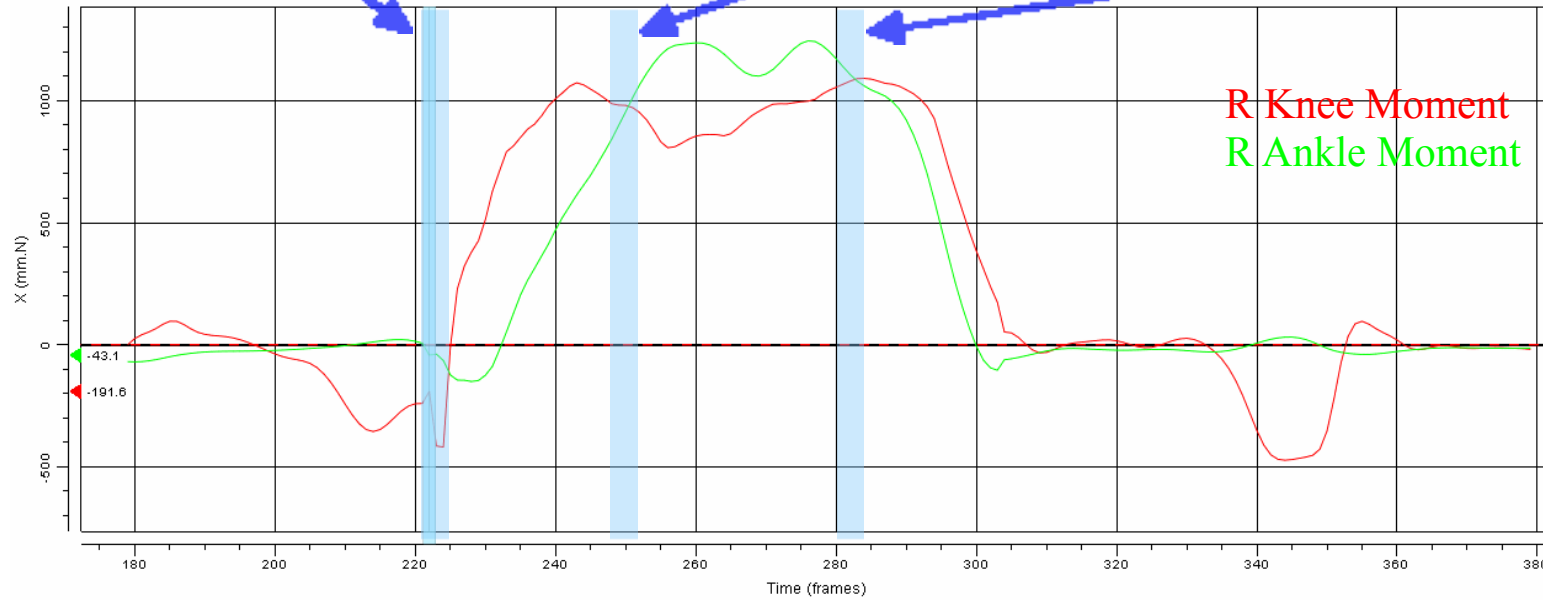
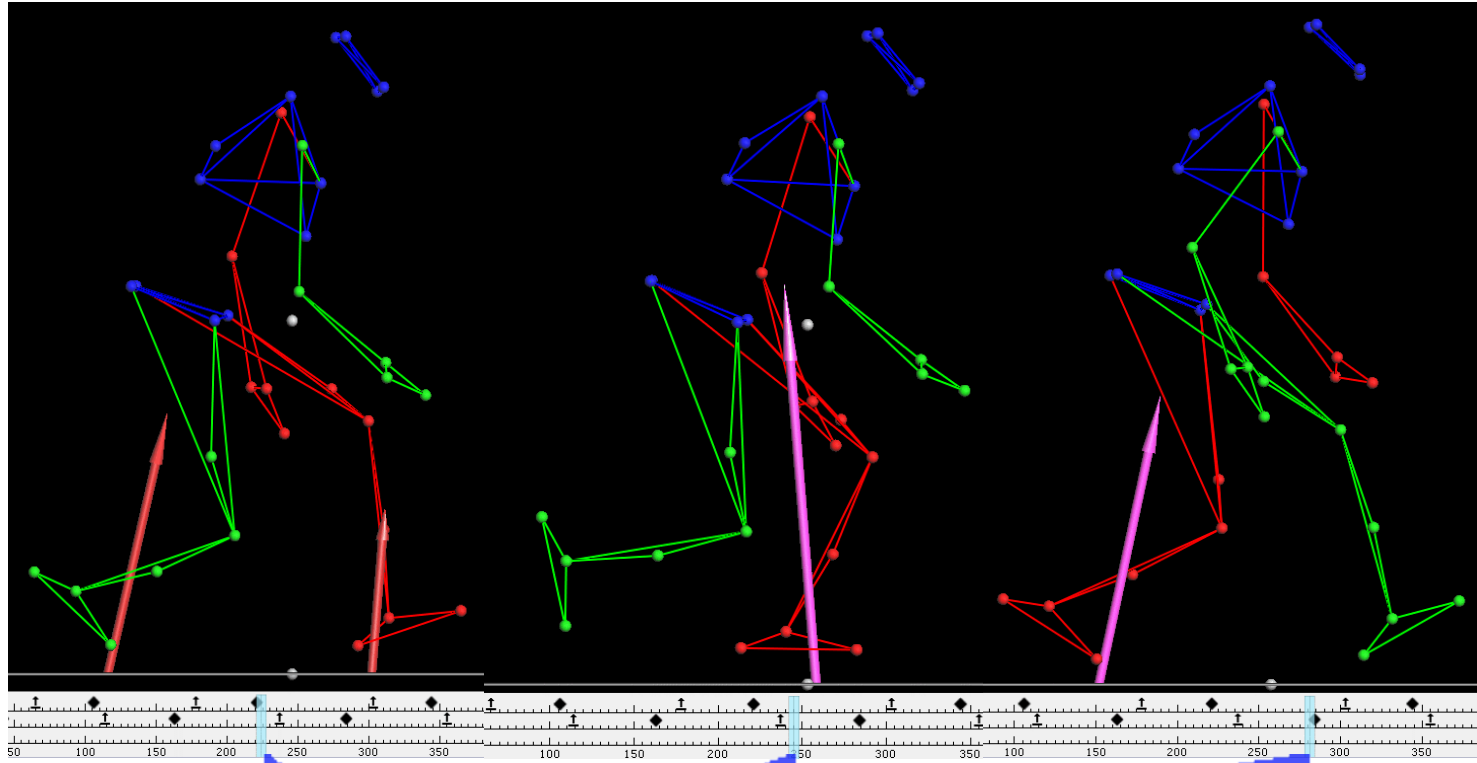
Bassano del Grappa, 24 Marzo 2011

## Cammino alterato: *crouch gait*

Caratteristiche: cammino a ginocchio piegato  
(*crouch* = accovacciato)



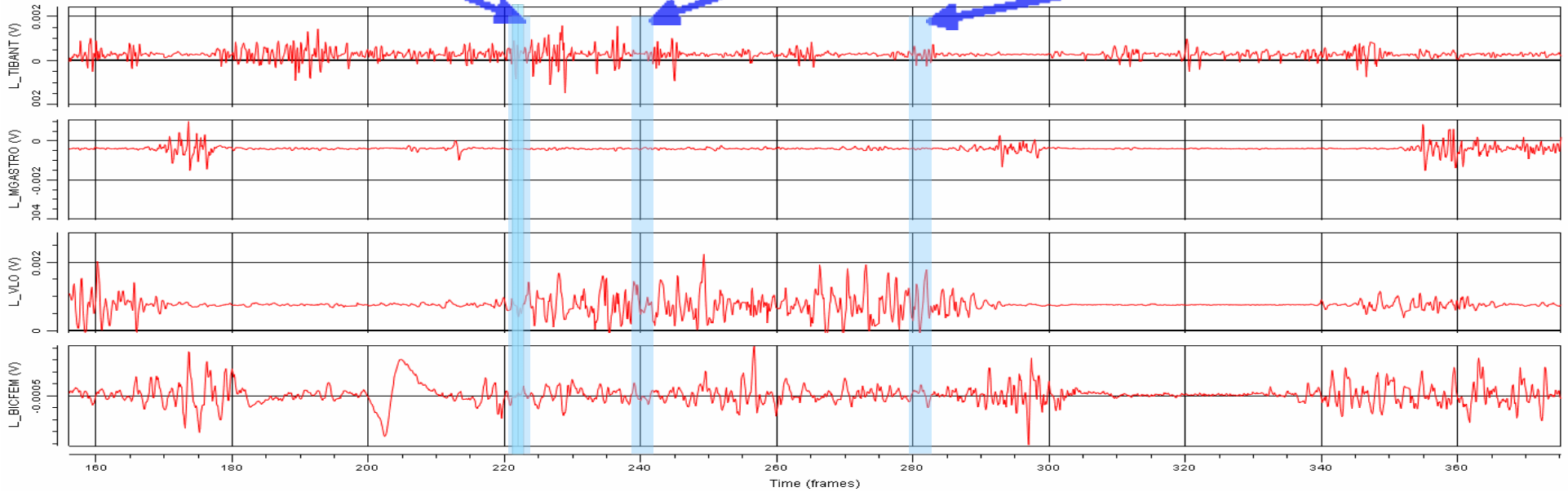
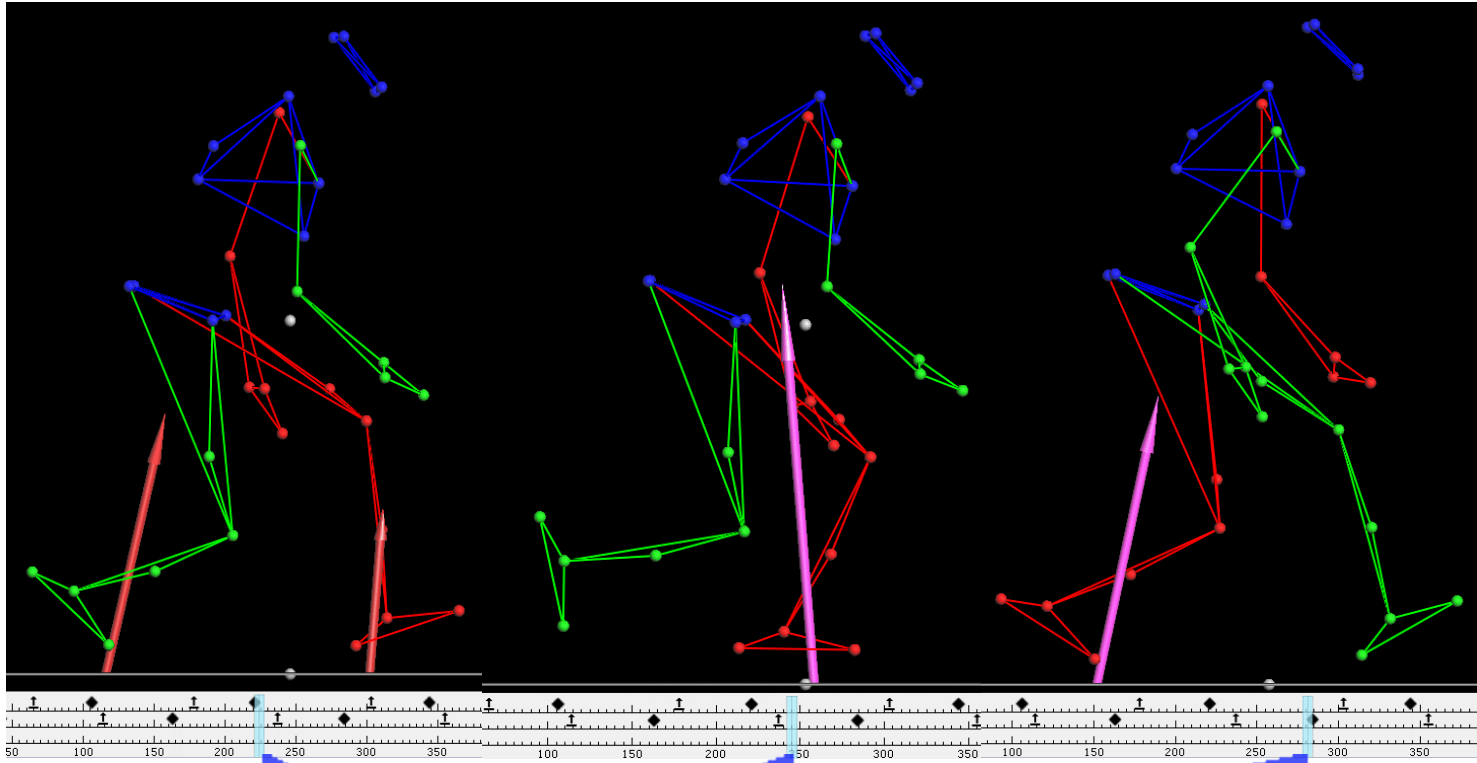
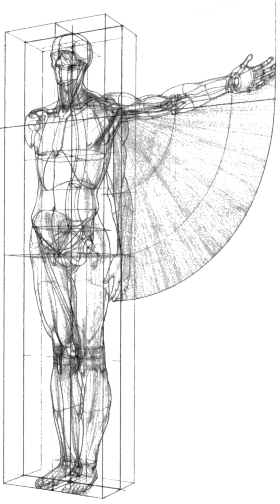
# Cammino alterato: *crouch gait*

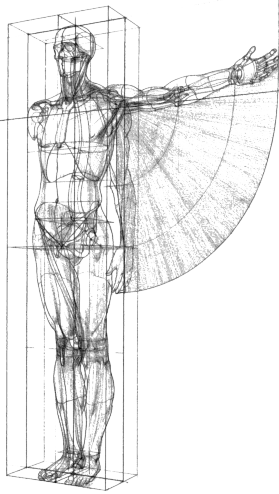


Bassano del Grappa, 24 Marzo 2011

# Cammino alterato: *crouch gait*

Bassano del Grappa, 24 Marzo 2011





---

*Grazie per l'attenzione  
e...  
domande, dubbi, perplessità?*

