



POLITECNICO
MILANO 1863

BIOINGEGNERIA DEL SISTEMA MOTORIO

Sezione: M-Z

Dinamica Sinergie Posturali e Motorie

Ultima lezione

Definizione di Biomeccanica

Hatze, 1971

“Biomechanics is the science which studies structures and functions of biological systems using **the knowledge and methods of mechanics**”

Hay, 1973

“ Biomechanics is the science that **examines forces acting upon and within a biological structure and effects produced by such forces**”

ARGOMENTI

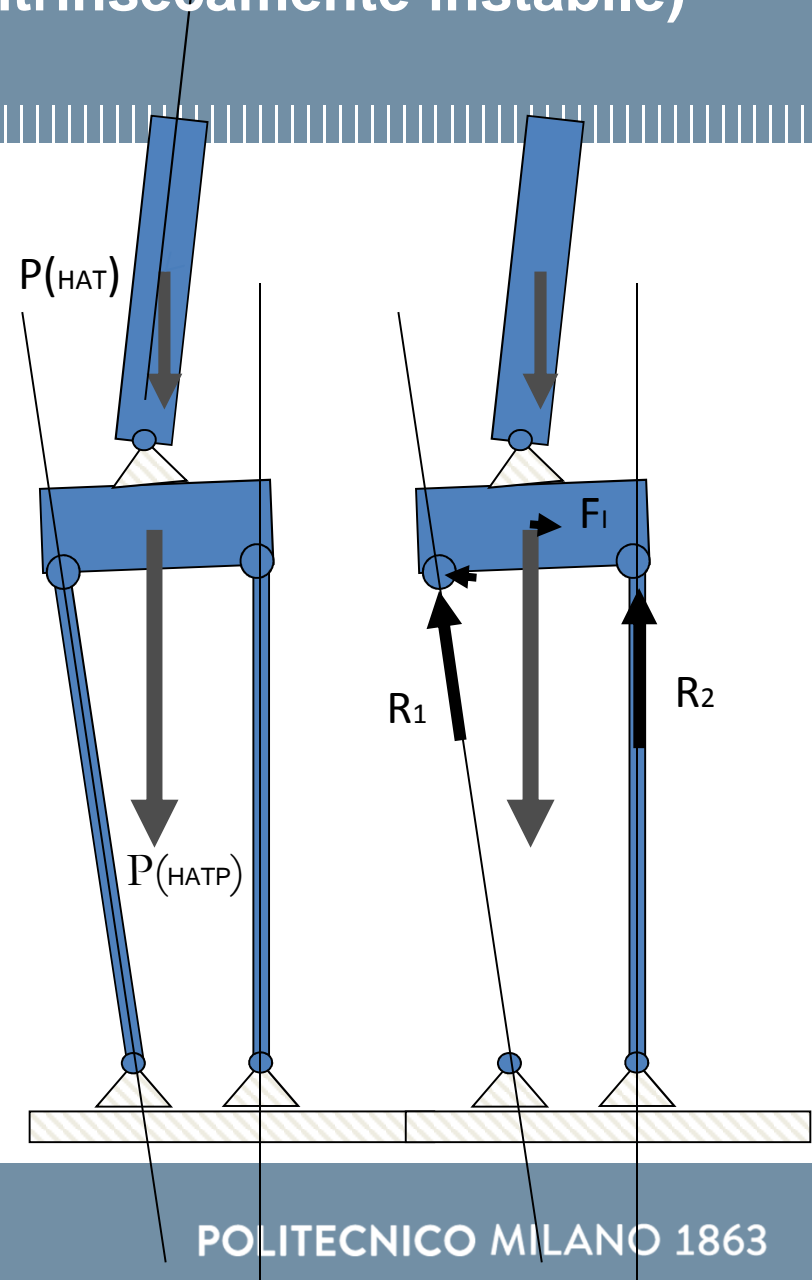
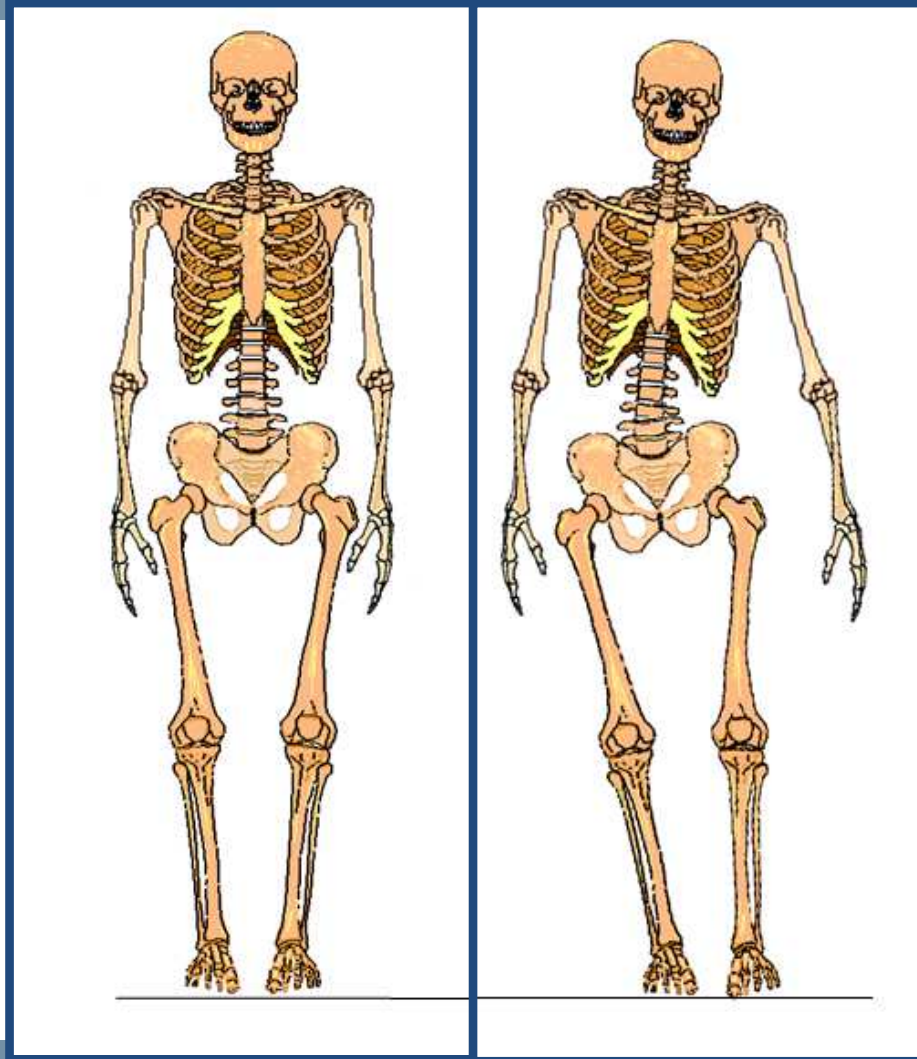


La dinamica e l'interazione con l'ambiente

Necessità di controllo neuromuscolare

Sinergie posturali e motorie

Struttura meccanica complessa (e intrinsecamente instabile)





La postura e movimento umano

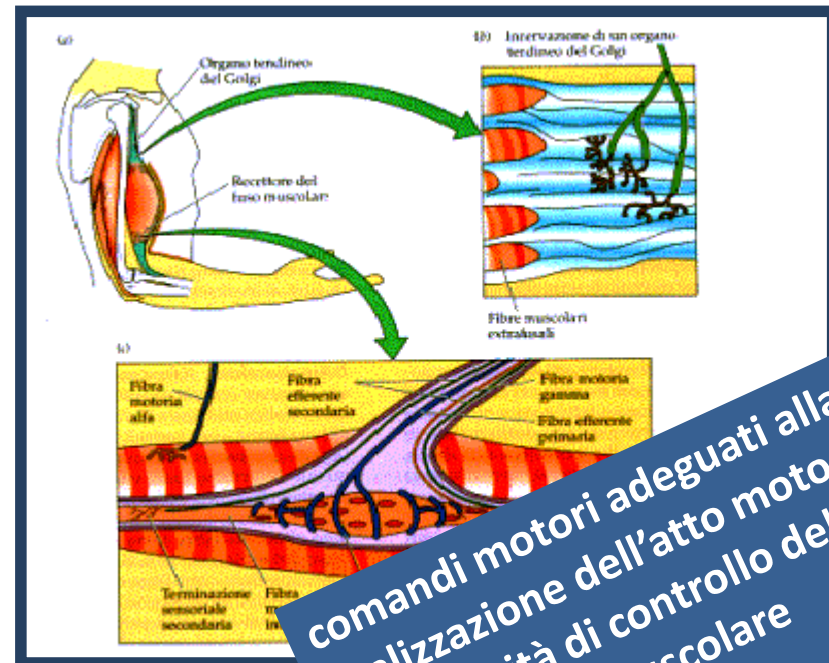
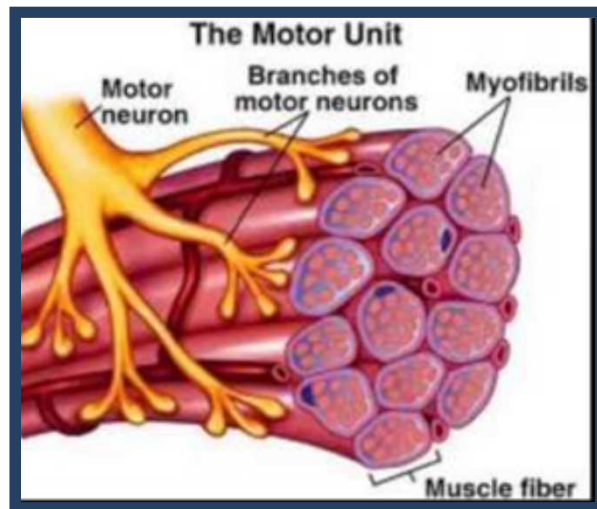
Il movimento umano viene eseguito mediante il cambiamento del **sistema di forze** che precedentemente manteneva l'equilibrio statico del corpo o di una sua parte (primo principio della dinamica).

FORZE ESTERNE
(nuove forze applicate,
diminuzione forze
esistenti)

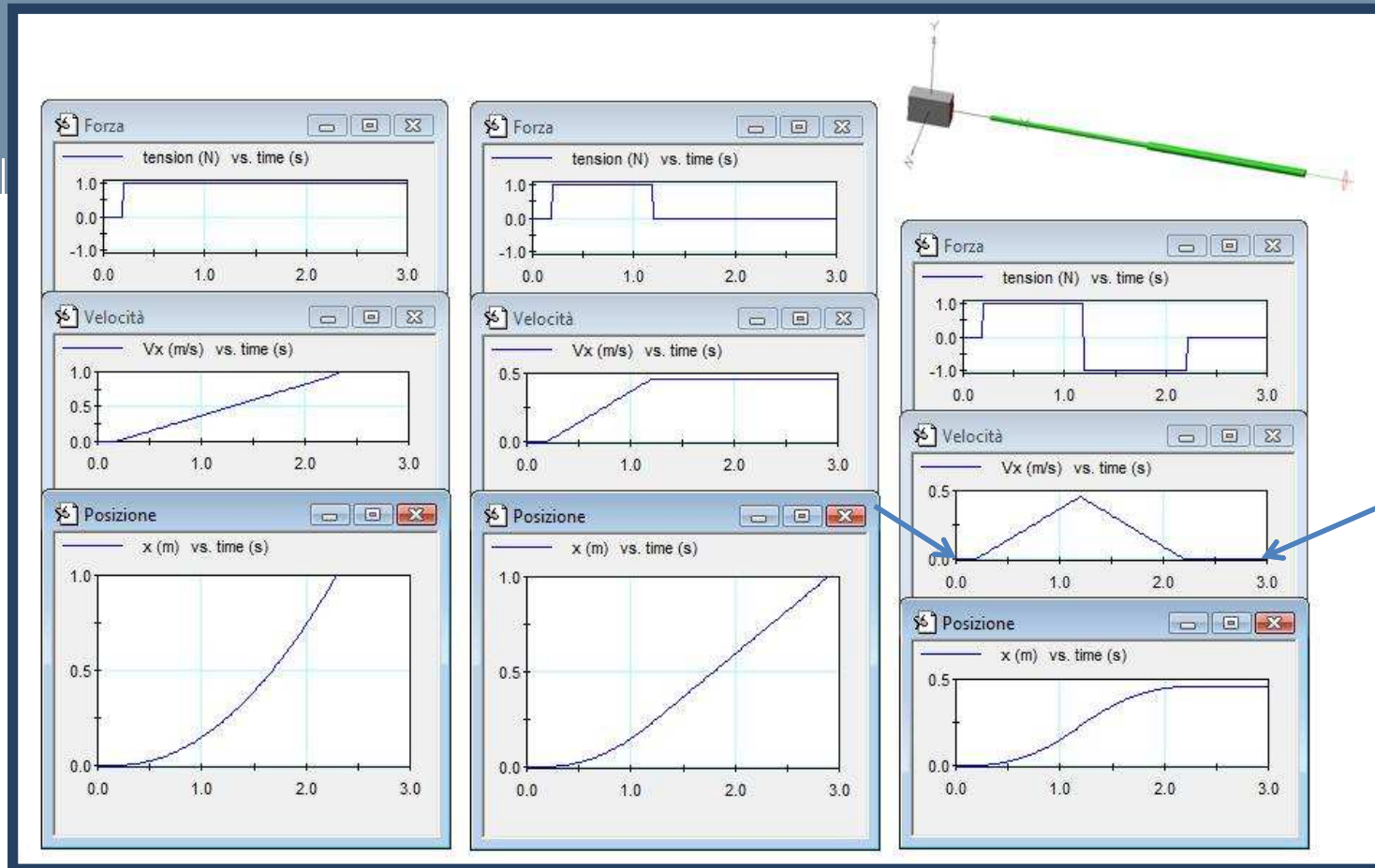
FORZE INTERNE
(forze muscolari)

I muscoli

Gli organi in grado di modificare queste forze in tempi brevi sono i muscoli, i quali agiscono generalmente sotto l'azione di comandi motori ricevuti dal Sistema Nervoso.

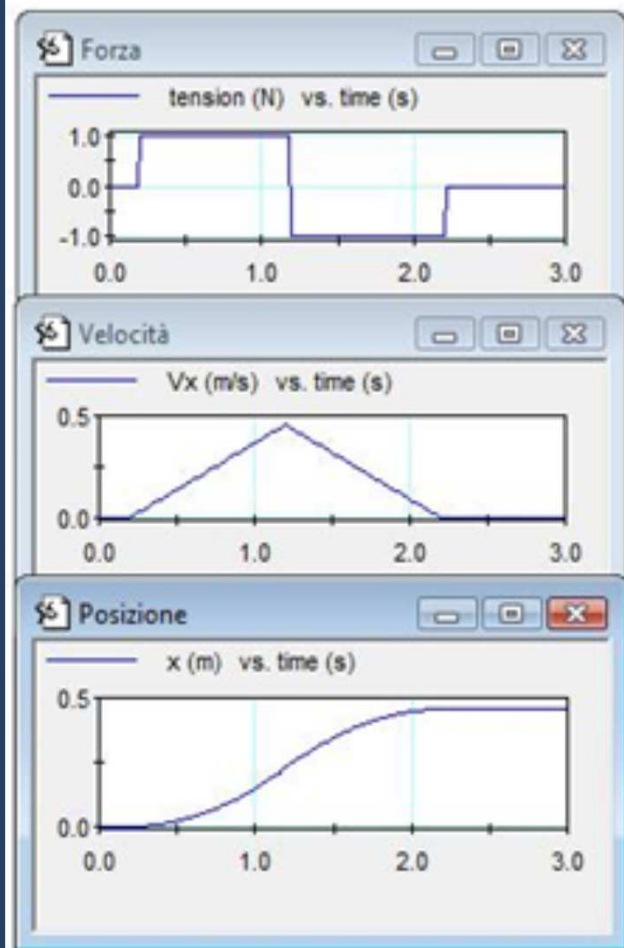


comandi motori adeguati alla
realizzazione dell'atto motorio
e necessità di controllo della
contrazione muscolare
(retroazioni)

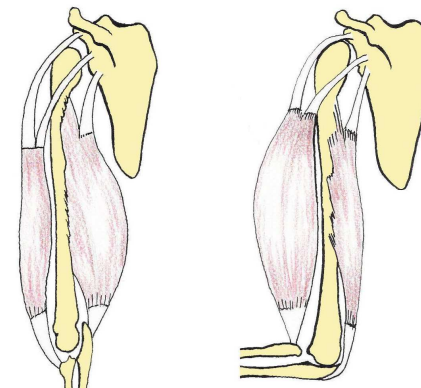


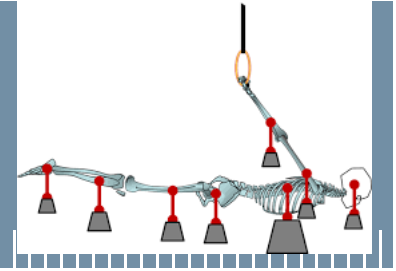
Posizione
statica

Le forze applicate alle masse dei segmenti anatomici determinano in generale non spostamenti, ma accelerazioni. Gli spostamenti sono il risultato di una doppia integrazione temporale delle accelerazioni.



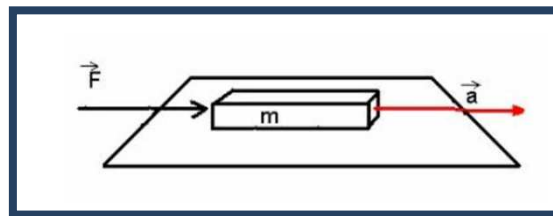
Muscoli agonisti e
antagonisti

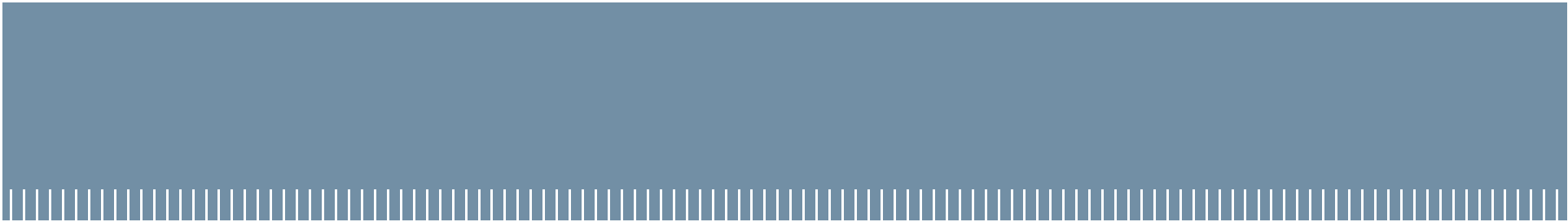




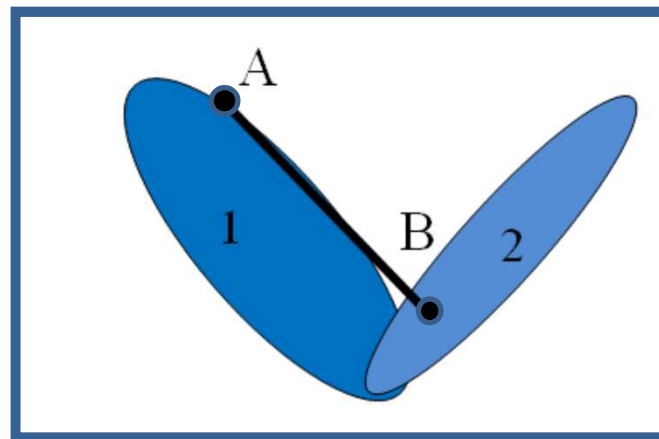
I principi dell'equilibrio statico e dinamico applicati al corpo umano

- a) il corpo umano è costituito da segmenti anatomici dotati di massa e connessi da articolazioni
- b) se il corpo umano è immerso nel campo gravitazionale terrestre ciascuna sua molecola è sottoposta ad una forza diretta verso il centro della terra.
- c) una forza applicata ad un corpo, in assenza di una forza che la contrasti, produce una accelerazione del baricentro del corpo stesso di valore inversamente proporzionale alla sua massa (secondo principio fondamentale della dinamica).

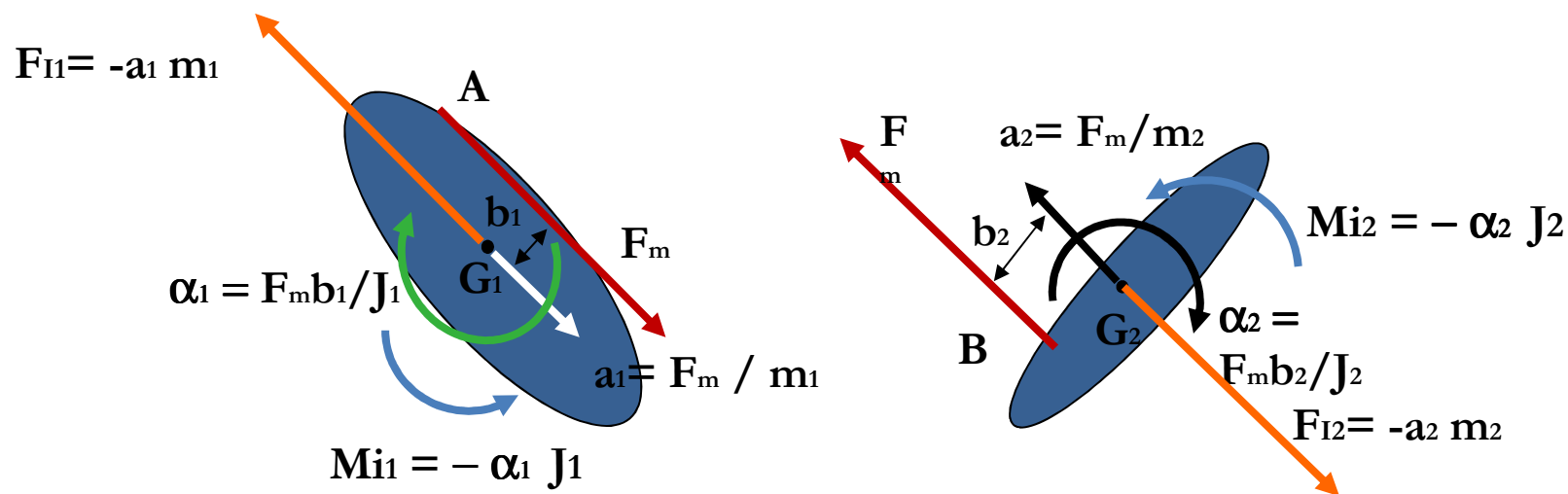


- 
- d) quando la forza applicata si annulla la massa conserva la velocità raggiunta; per annullare tale velocità occorre applicare una forza deceleratrice per un tempo sufficiente.
 - e) forze interne a un sistema di masse (cioè forze di interazione tra le masse) non sono in grado di spostare il baricentro del sistema di masse; solo le forze esterne sono in grado di farlo (reazioni d'appoggio, forze gravitazionali, ecc...)
 - f) nel sistema articolato che rappresenta il corpo umano le articolazioni possono essere considerate come cerniere ideali (senza attrito) che permettono la rotazione relativa tra segmenti adiacenti;

Ipotesi: partendo da condizioni di equilibrio statico, un solo muscolo (linea A-B) modifichi istantaneamente la forza di contrazione.



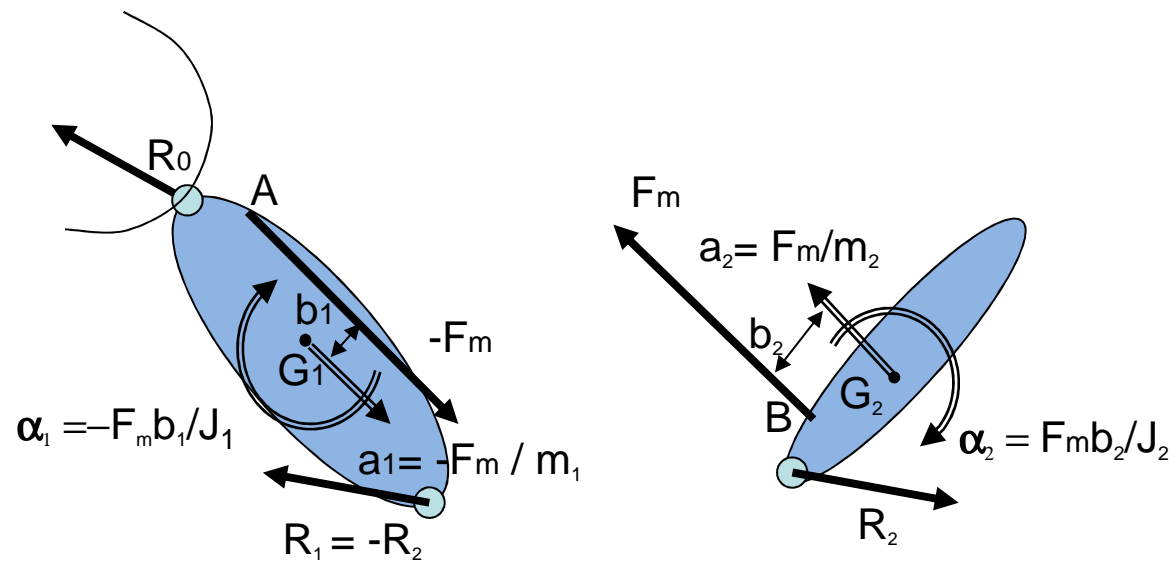
In assenza di articolazione



I segmenti A e B subirebbero:

- una accelerazione istantanea lineare inversamente proporzionale alla loro massa (m),
- una accelerazione angolare proporzionale al momento della forza muscolare rispetto al baricentro ed inversamente proporzionale al momento d'inerzia baricentrale (J)

In presenza di articolazione



In presenza di articolazione

La forza di interazione tra i segmenti anatomici può variare istantaneamente in accordo con il principio di azione e reazione, e quindi il movimento risultante non è facilmente prevedibile.

Ne risulta che, la variazione di forza muscolare di un solo muscolo, rispetto a quella necessaria per mantenere l'equilibrio statico, deve comportare necessariamente, **in assenza di interventi di compensazione**:

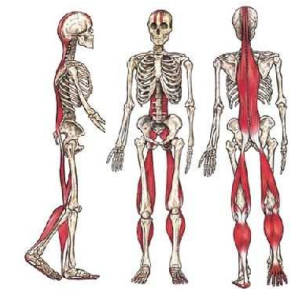
- l'accelerazione (lineare e rotatoria) di *tutti* i segmenti corporei;
- la conseguente variazione di configurazione geometrica del corpo;
- la conseguente variazione dei momenti dovuti alle forze gravitazionali rispetto alle articolazioni;
- la conseguente variazione delle forze di reazione al terreno;
- il collasso del corpo a terra.

Di fatto : Muscoli fissatori e antigravitari

- l'azione del muscolo che produce il movimento è accompagnata da variazioni di forze muscolari nei muscoli che agiscono su articolazioni prossimali rispetto al segmento in movimento (i muscoli **fissatori**);



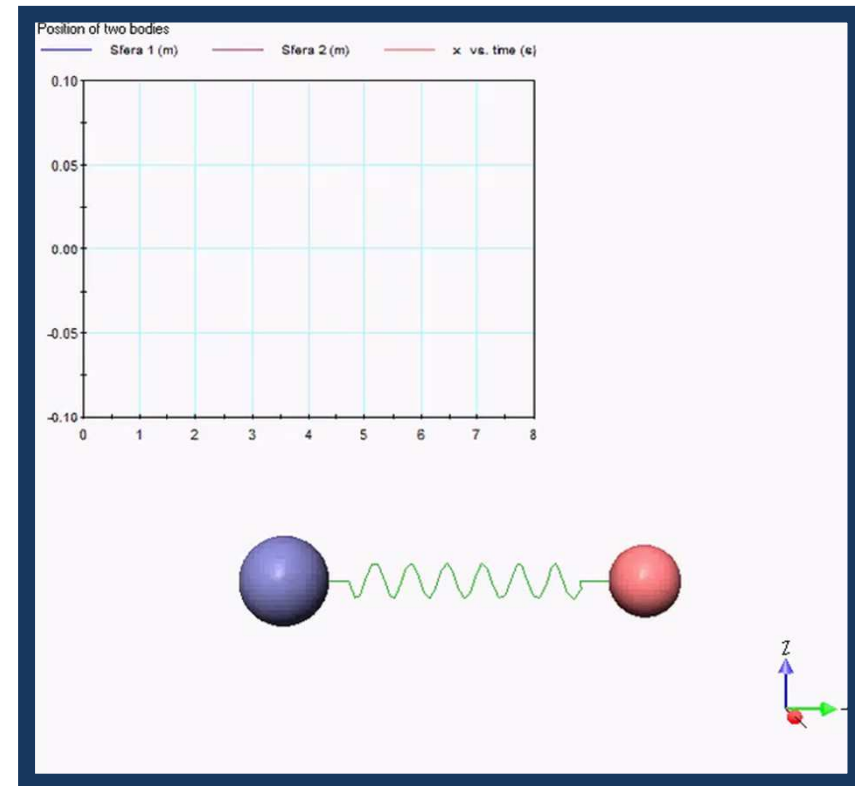
- cambiamenti di assetto posturale conseguenti al movimento e comportanti rischio di collasso al terreno vengono compensati da variazioni di forze nei muscoli che impediscono tale cedimento (muscoli **antigravitari**).



Cos'è l'accoppiamento dinamico

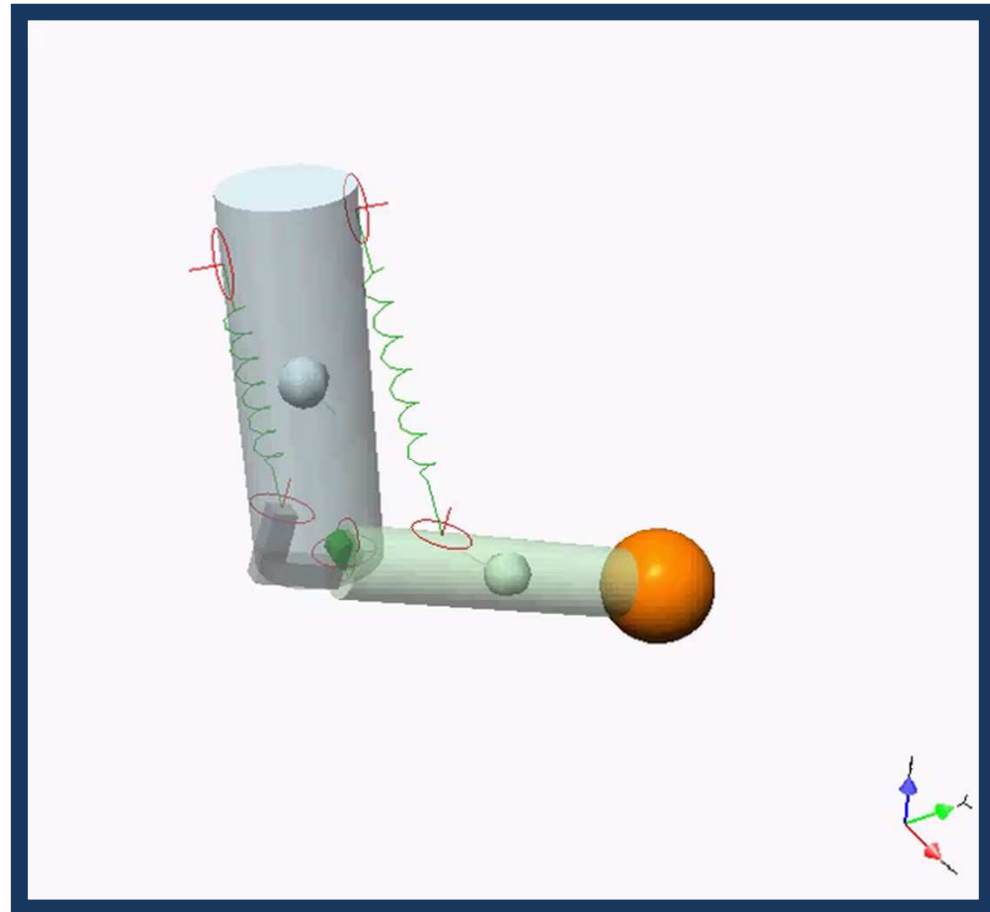
Legge della conservazione
della quantità di moto (in un
sistema isolato)

$$Q = m_1 v_1 = m_2 v_2$$



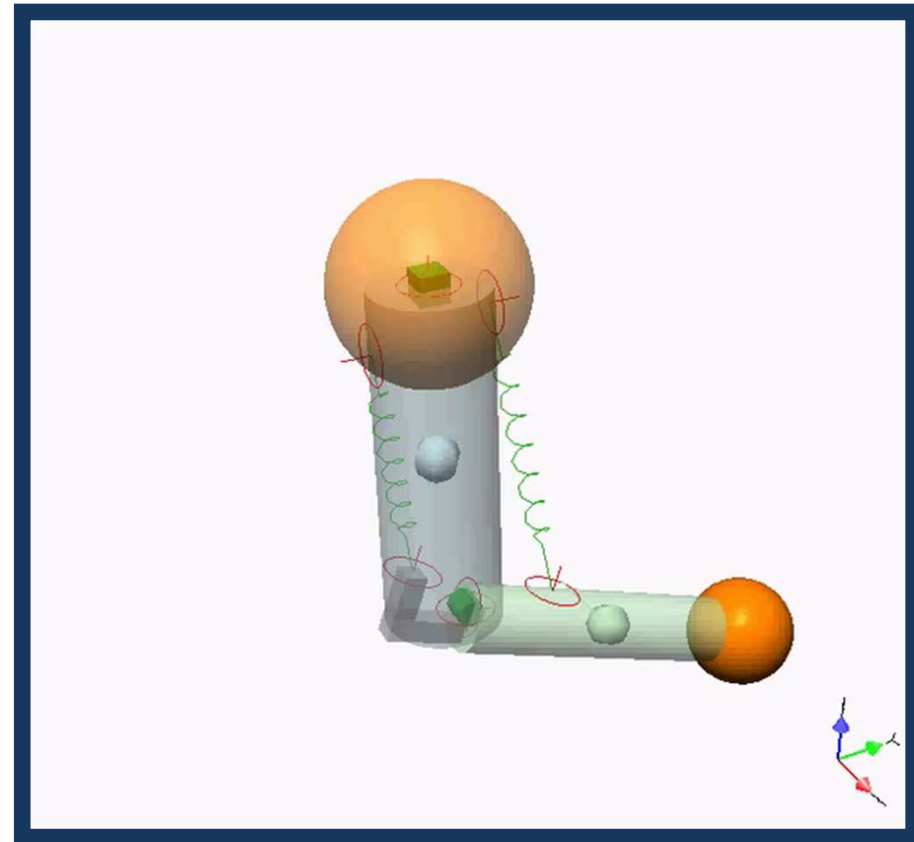
In assenza di forze esterne.....

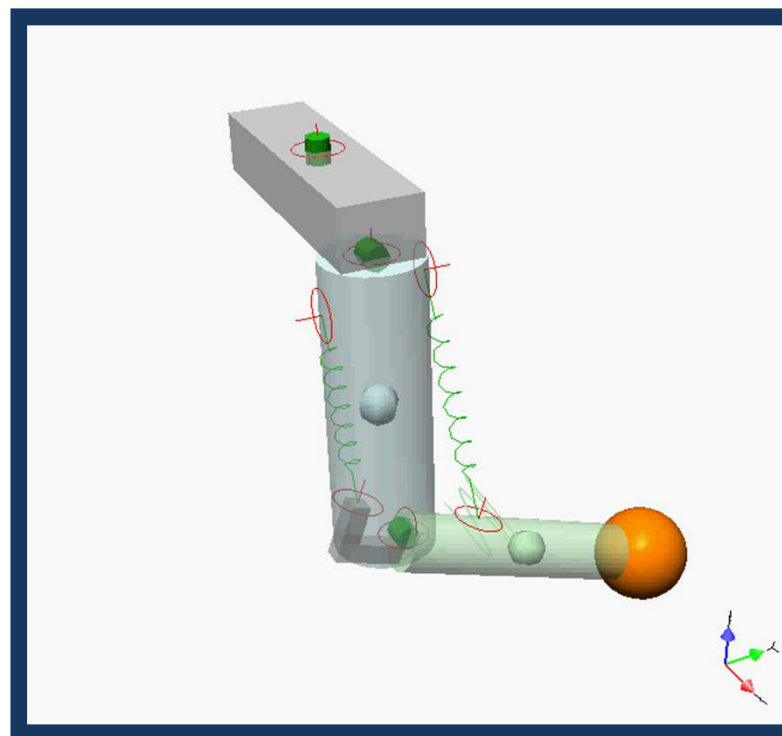
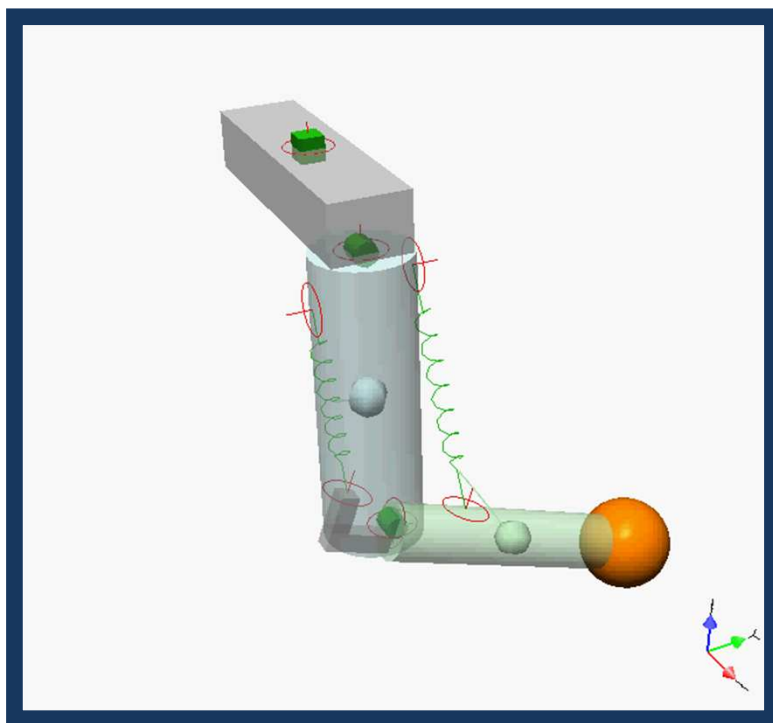
Il movimento risultante
dipende dalle forze interne:
forze articolari e forze
muscolari
(in assenza di forze esterne il
baricentro è fisso)



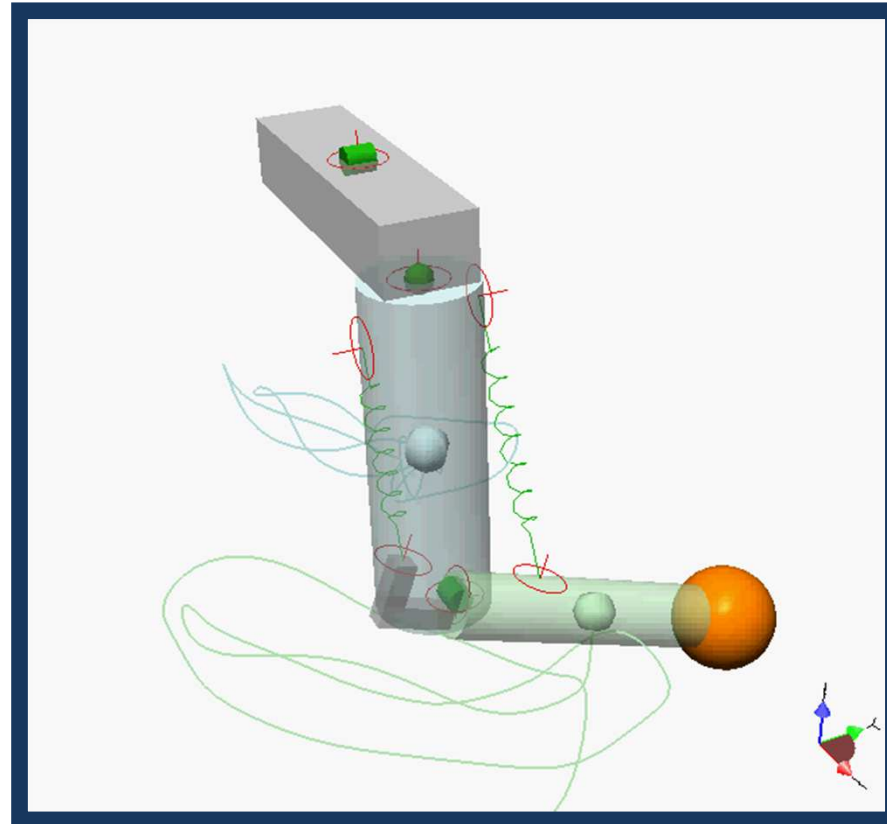
In assenza di vincoli esterni e di forze di gravità....

In assenza di vincoli
esterni e di forze di gravità
il movimento risultante
dipende dalle masse



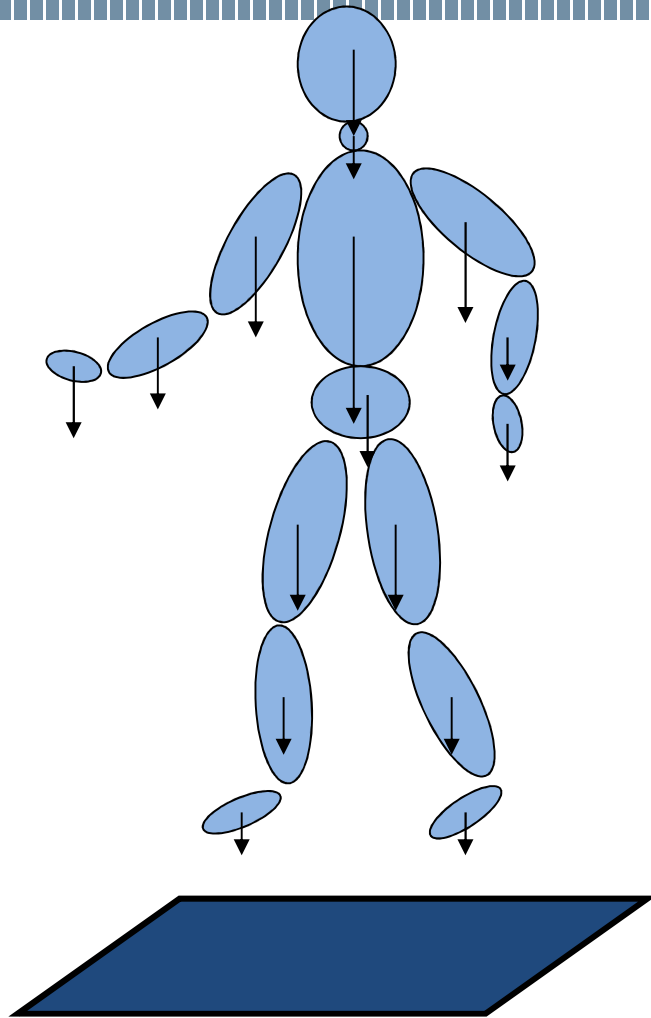


Il movimento risultante
dipende dai vincoli



...e dalle forze esterne....FORZA DI GRAVITA'

Supponendo condizioni cinematiche iniziali caratterizzate da velocità nulle

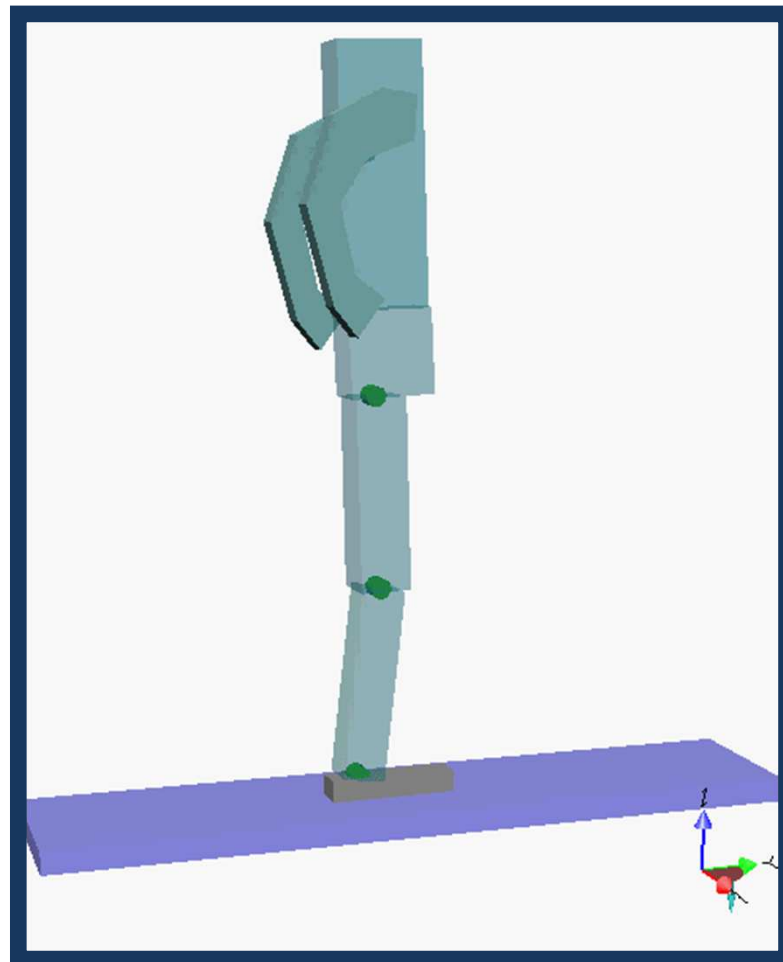


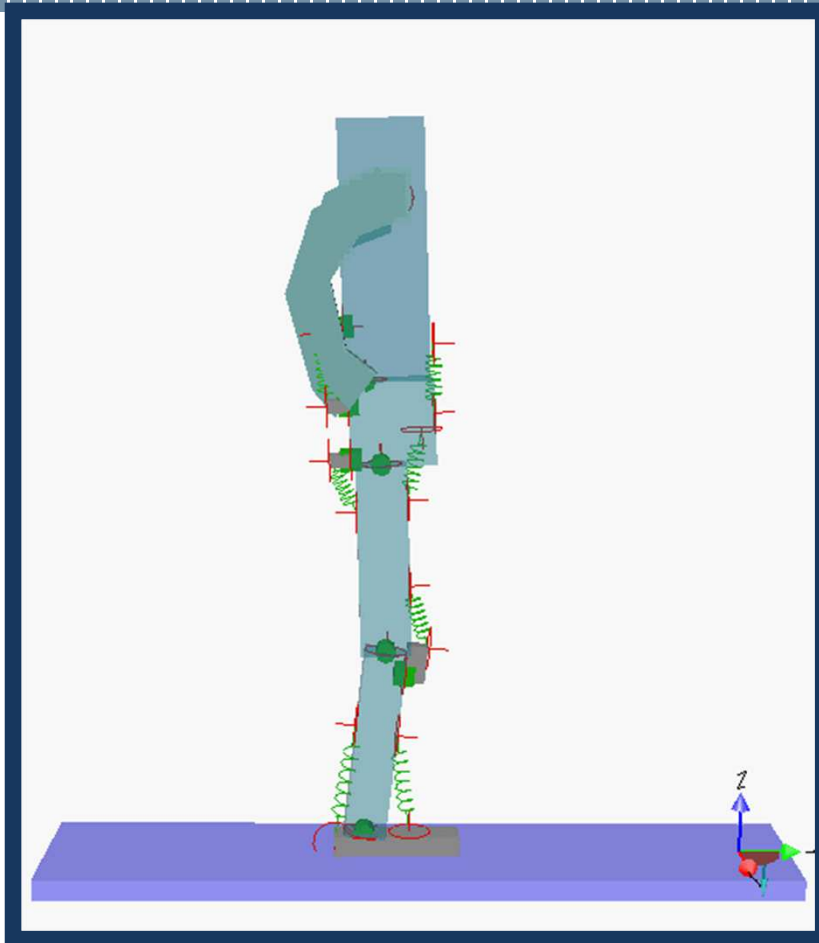
1 in assenza di forze muscolari e di contatti con il terreno tutti i segmenti corporei accelererebbero verso il centro della terra mantenendo la configurazione geometrica iniziale.

2 in presenza di terreno si svilupperebbero forze di contatto in grado di impedire il movimento verso il basso dei segmenti anatomici a contatto col terreno. I segmenti più in alto ruoterebbero attorno alle articolazioni dei segmenti inferiori ed il corpo collasserebbe al suolo;

3 in presenza oltre che del terreno anche di forze muscolari in grado di produrre momenti alle articolazioni che equilibrino i momenti generati dalle forze gravitazionali e dalle forze di contatto con il terreno il corpo rimarrebbe nelle condizioni iniziali.

Esempio

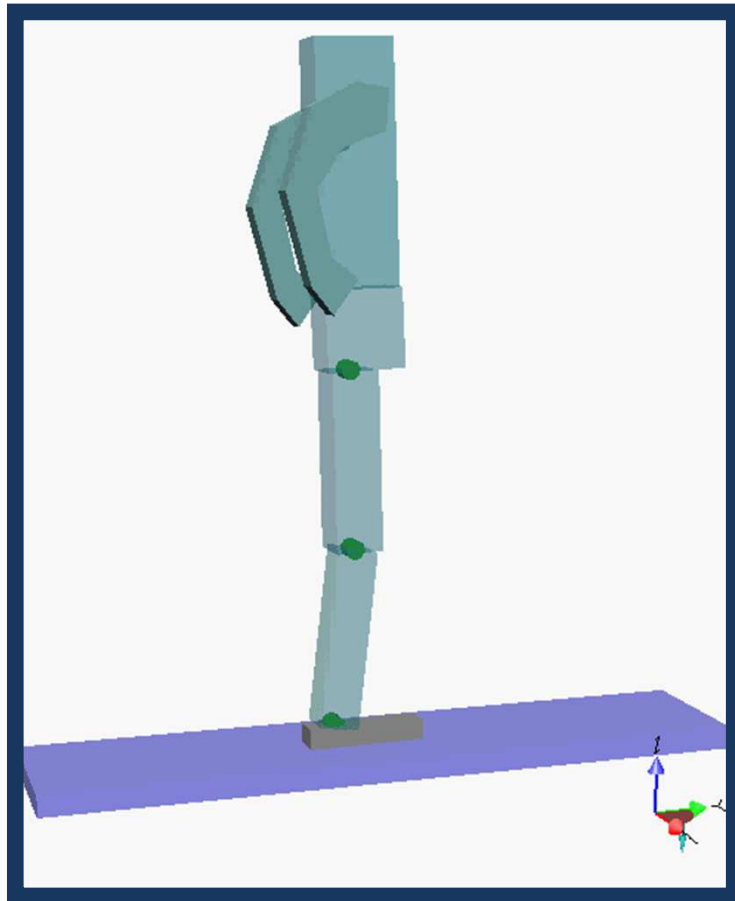




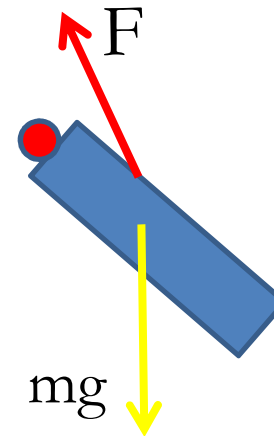
Now the
model stands



Il 'Monopode'

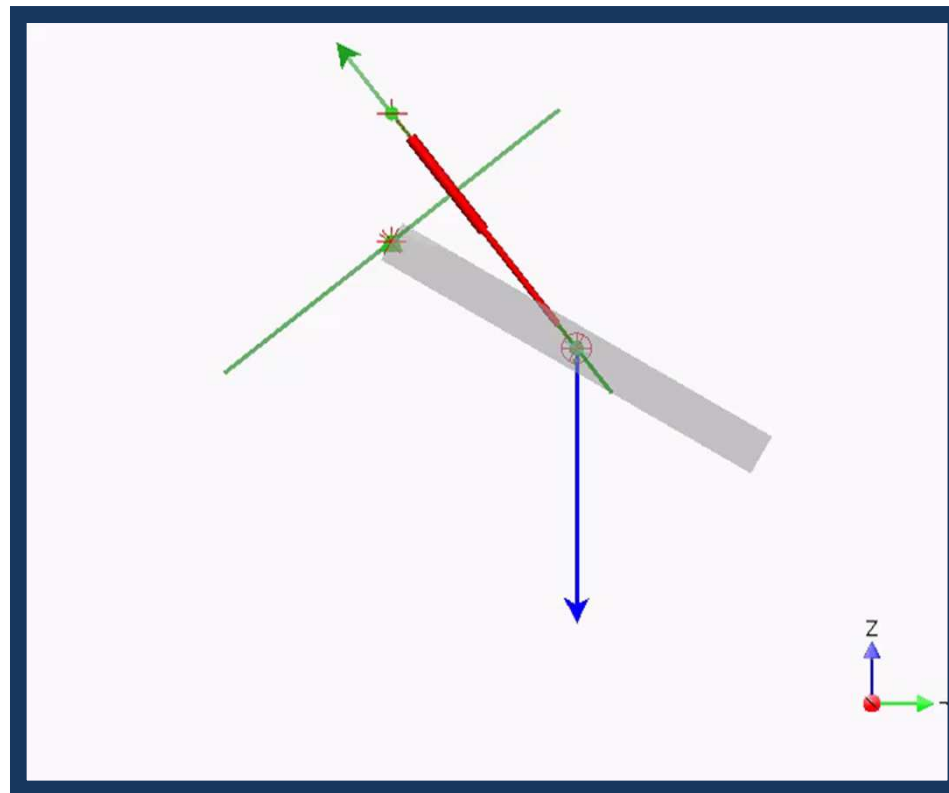


**Come far stare in piedi
il modello?**



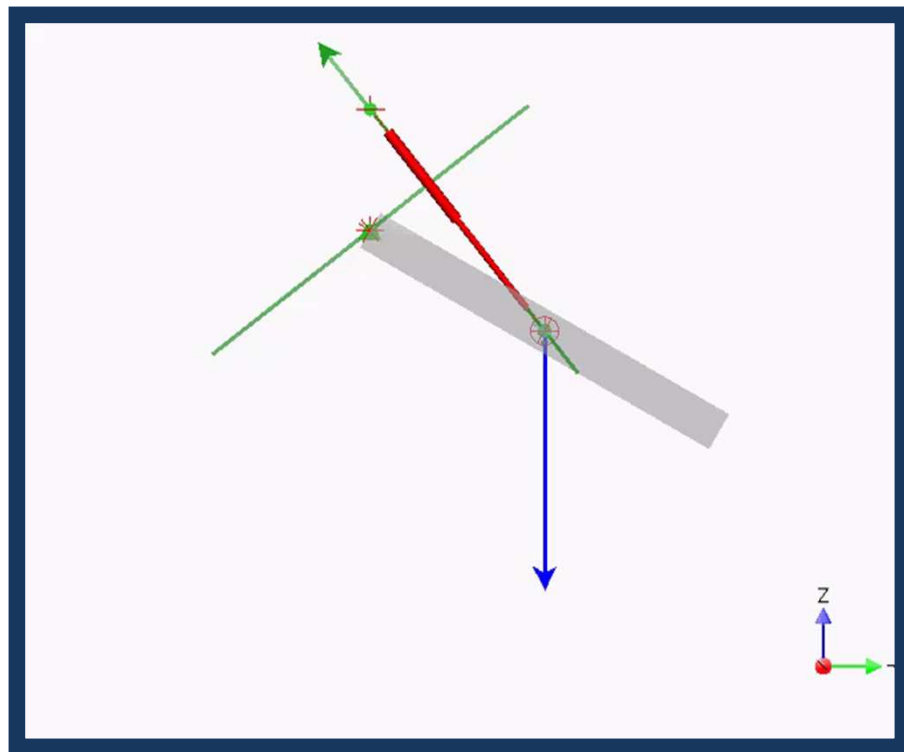
Produrre l'esatto valore di momento
richiesto oppure....

Massa
1Kg

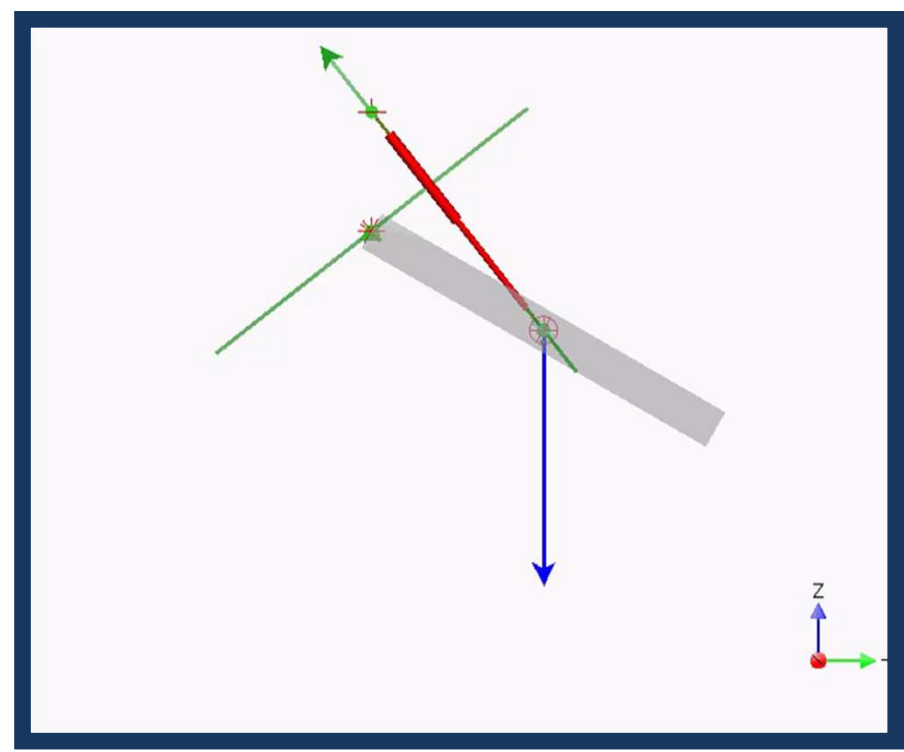


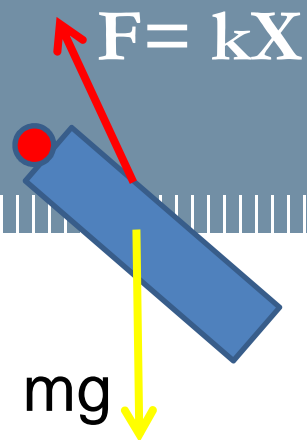
Forza attuatore:
22.8 N

F attuatore
22.9 N

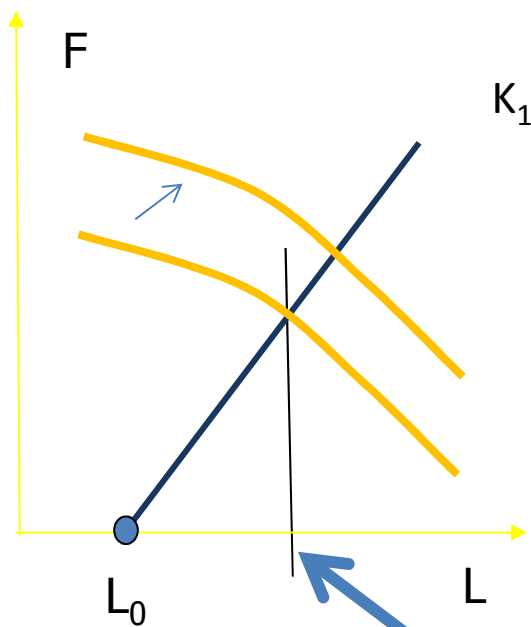


F attuatore
22.7 N



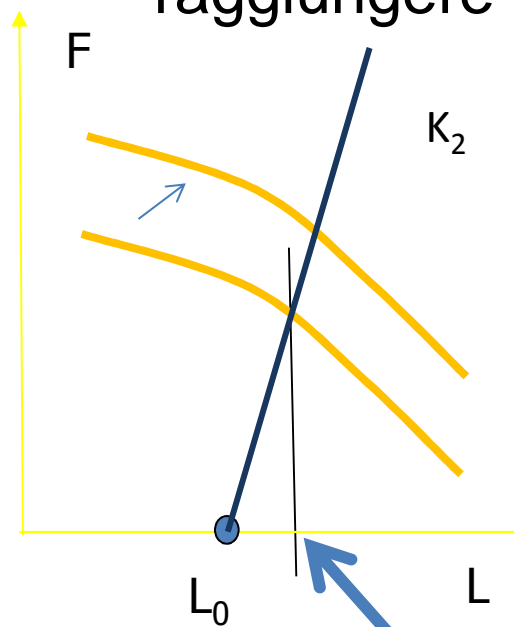


Usare il muscolo
come una molla



Punto di equilibrio

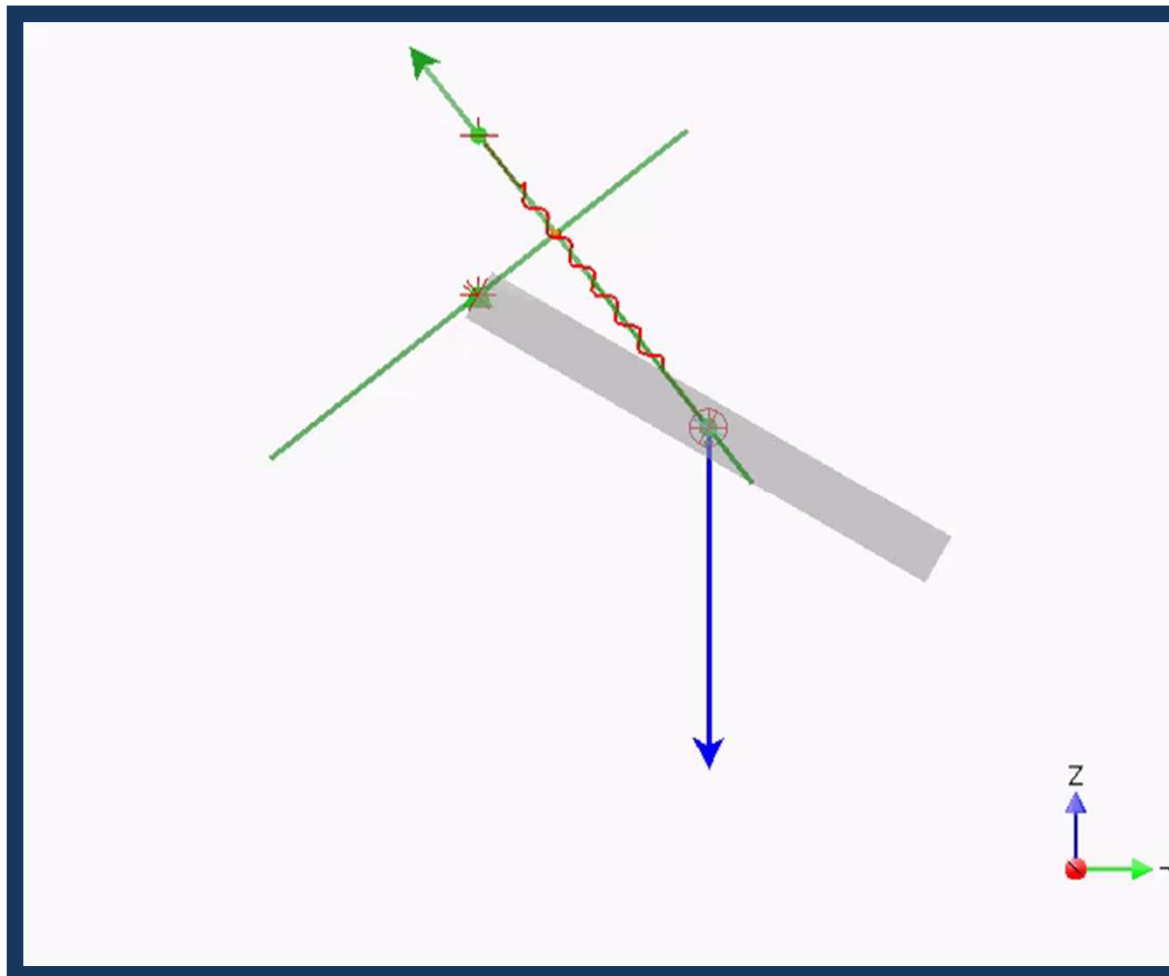
Aumentare la rigidità
della molla per
raggiungere la stabilità



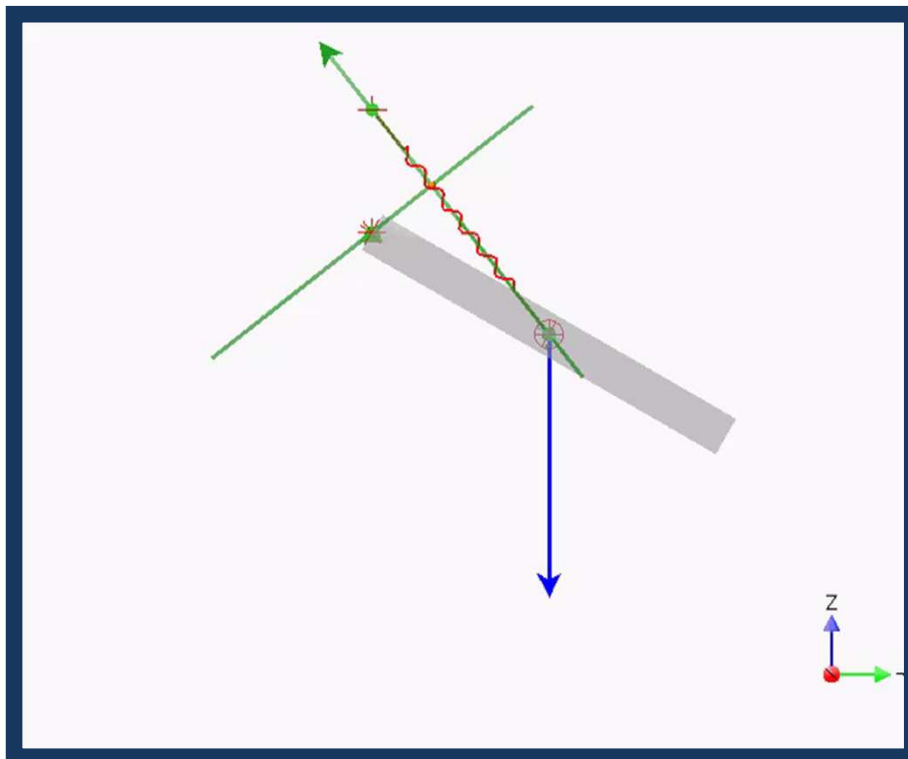
Punto di equilibrio

$$K_1 < K_2$$

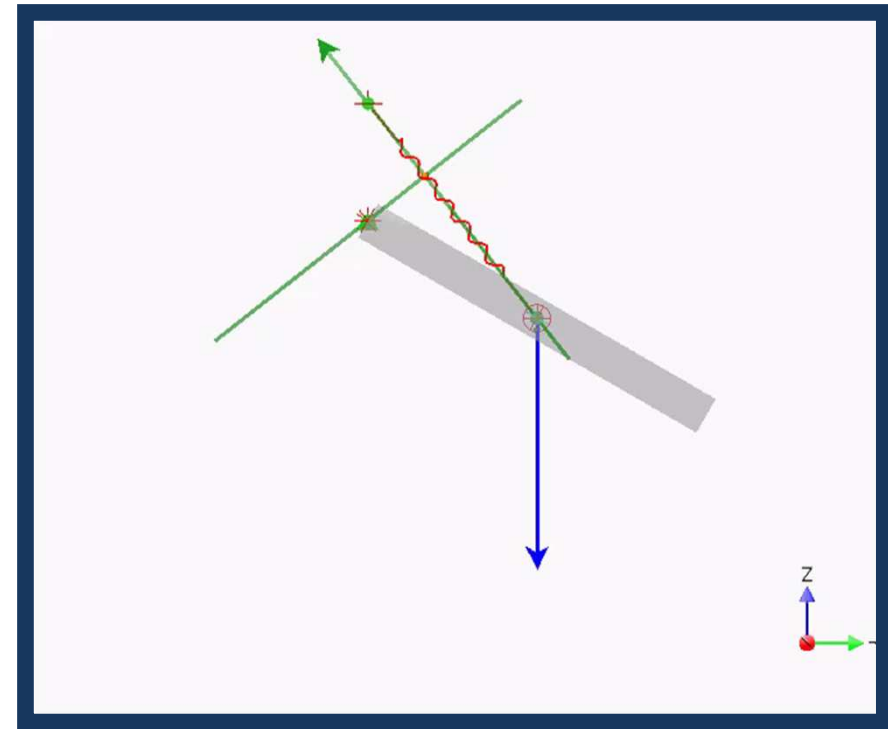
Tensione iniziale 22.8 N

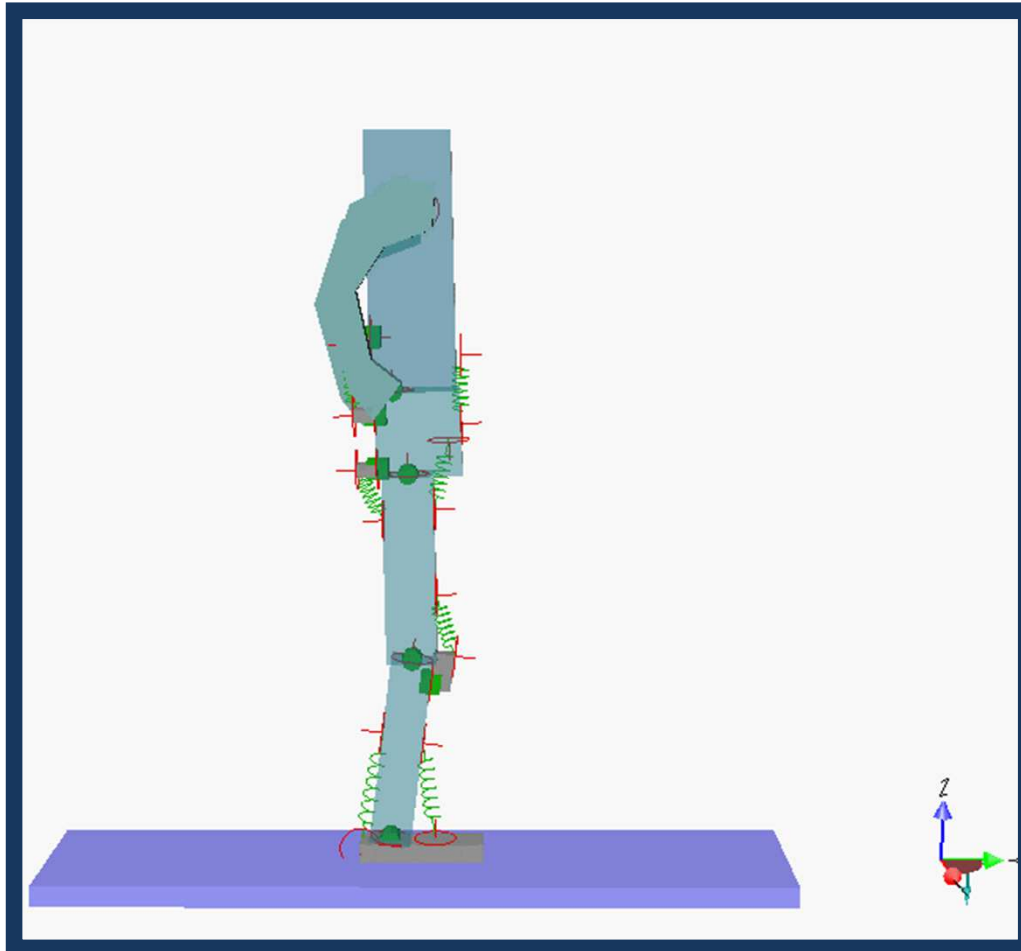


Tensione iniziale 10 N



Tensione iniziale 5 N





Cosa accade in
presenza di
perturbazioni
esterne?

Necessità di aggiustamenti posturali anticipatori o Anticipatory Postural Adjustments- APAs

