

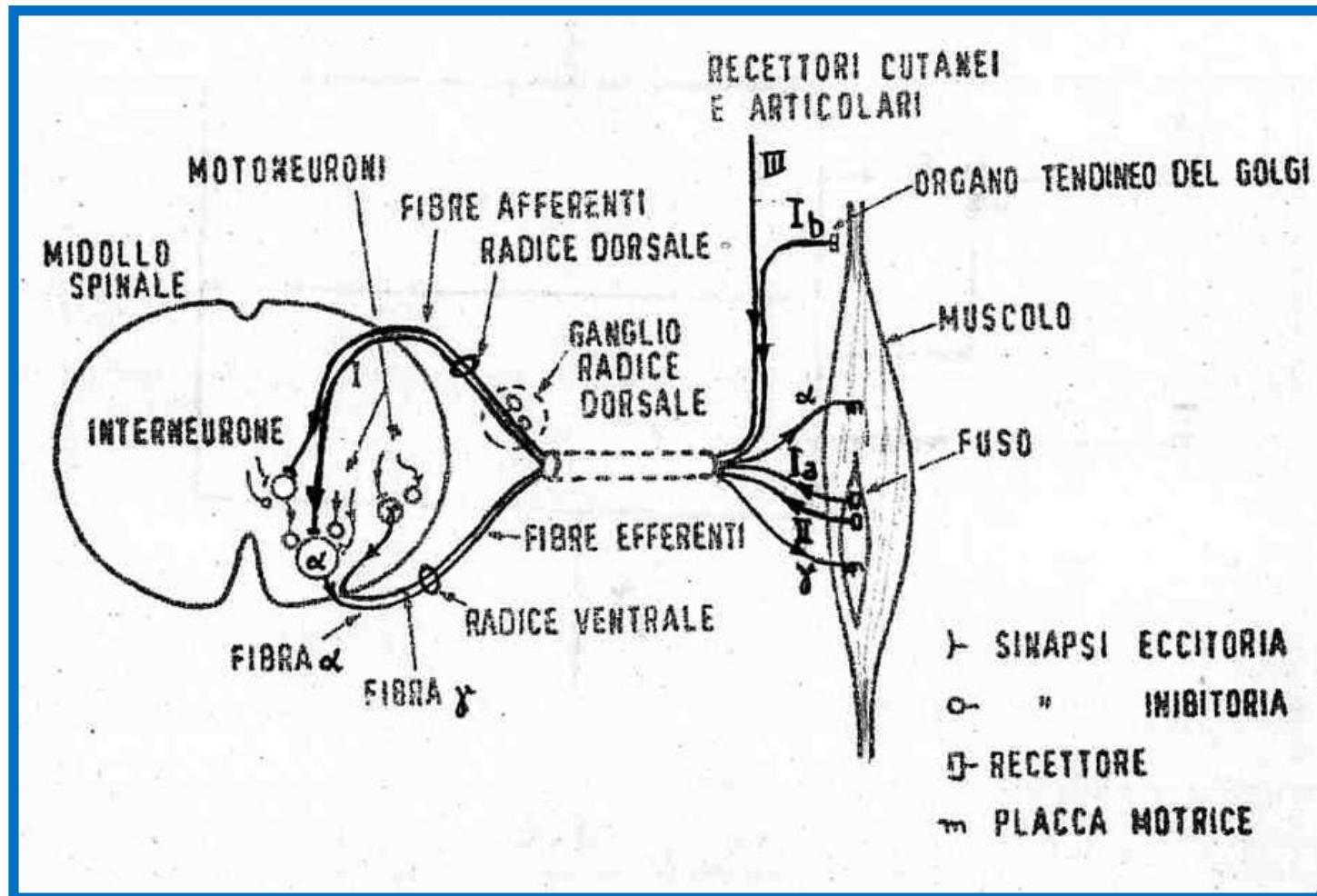


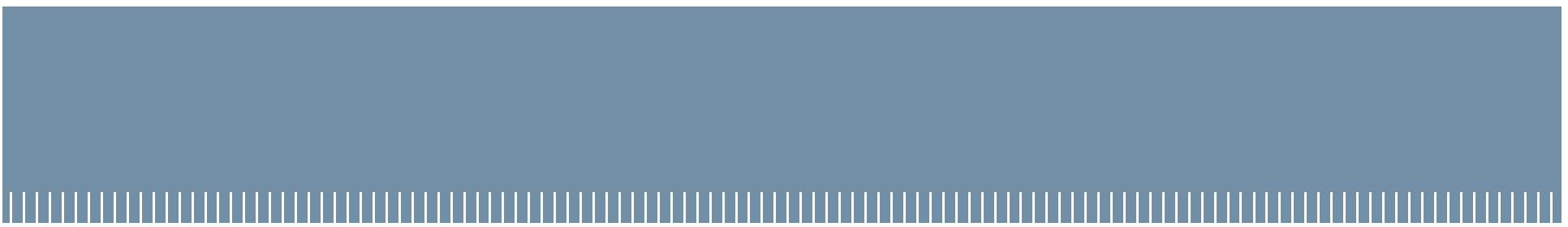
POLITECNICO
MILANO 1863

BIOINGEGNERIA DEL SISTEMA MOTORIO

Sezione: M-Z

Modelli dei meccanismi di controllo motorio.





L'individuo è in grado idealmente di controllare qualunque variabile connessa al movimento: angoli articolari, momenti (forze), velocità, accuratezza, ecc...

Sembra improbabile che i livelli elevati del sistema di controllo motorio si occupino di regolare direttamente questi segnali.

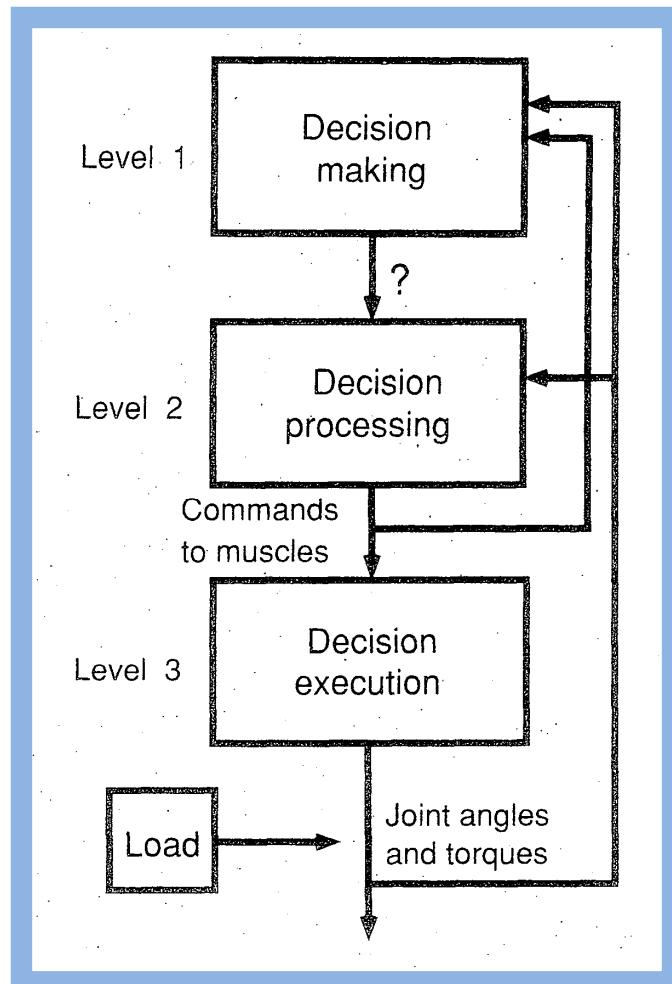
Bernstein (1926, 1935)

Il suo approccio è quello di analizzare la relazione tra input e output. L'input viene modulato impartendo diverse istruzioni al soggetto, o cambiando le condizioni periferiche in cui si svolge il compito motorio, o entrambe le cose; l'output viene monitorato in termini di cinematica del movimento.

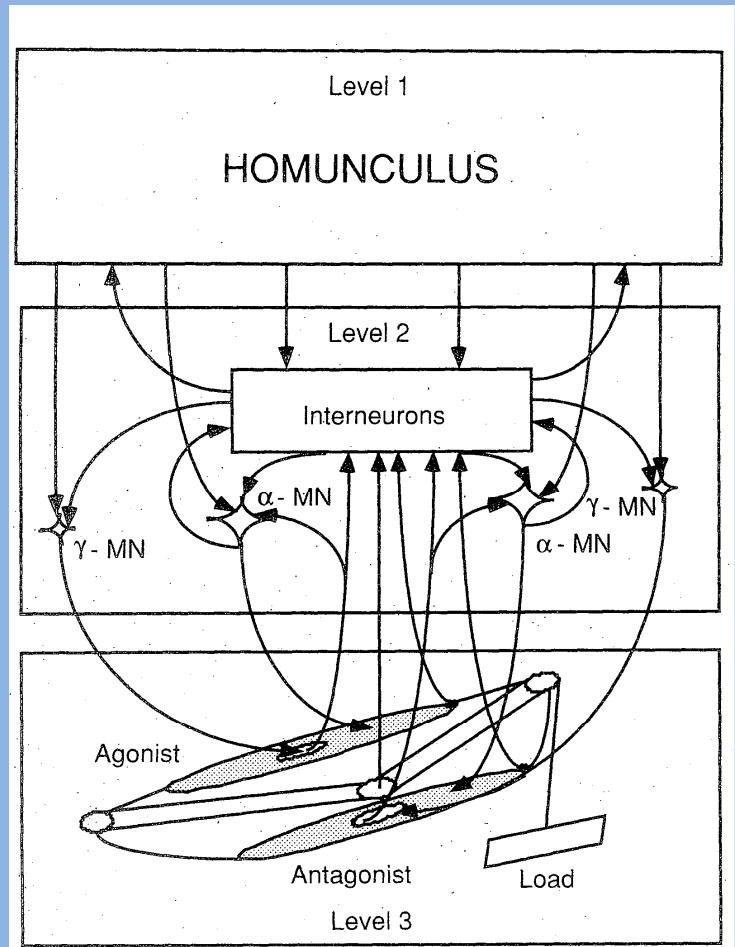


Sistema che controlla un apparato effettore
composto da molti collegamenti e gradi di
libertà.

Schema gerarchico del sistema di controllo neuromuscolare (Bernstein, 1967)



- 1) Il sistema di controllo deve essere rappresentato da una gerarchia a molti livelli
- 2) Ci devono essere anelli di retroazione che connettono i livelli inferiori con quelli superiori per accordare i comandi discendenti
- 3) Inevitabilmente i ritardi temporali negli anelli di retroazione richiedono di combinare opportunamente lo schema feed-back con lo schema feed-forward (predittivo, ad anello aperto)
- 4) Il numero di gradi di libertà in un sistema motorio (inteso come numero di variabili da controllare) è sempre eccessivo, ed il processo di controllo deve superare le ambiguità causate dalla ridondanza di questi gradi di libertà



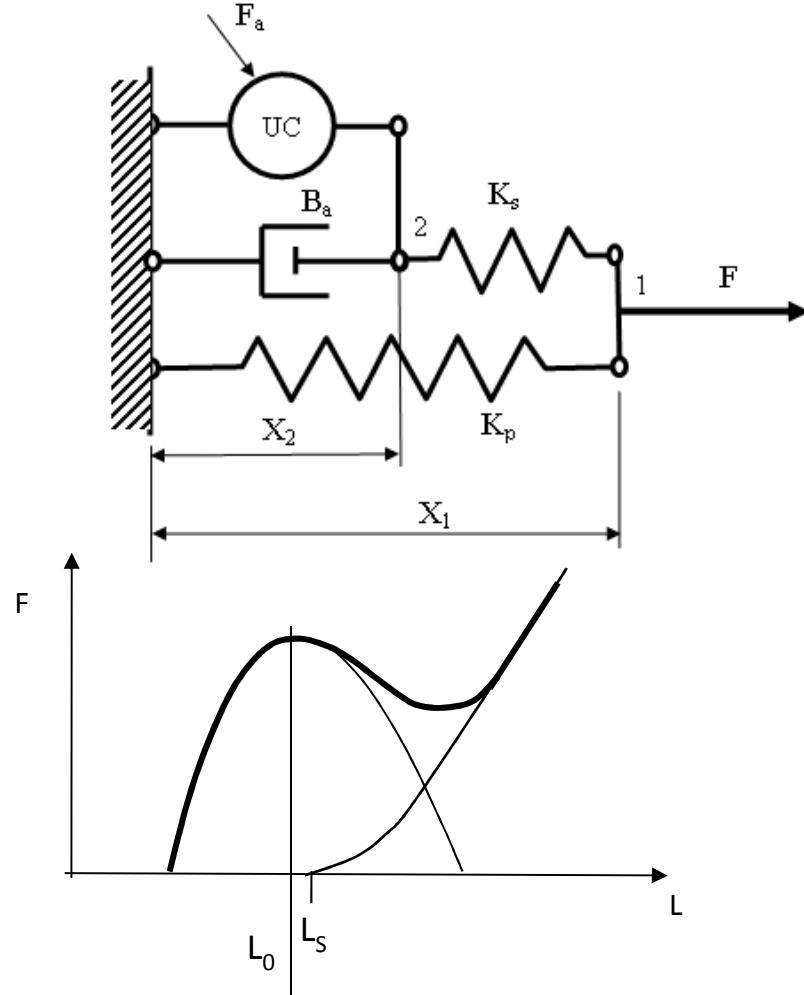
Livello 1 Homunculus (strutture sopraspinali, gangli della base, cervelletto, aree corticali premotorie e motorie, ecc...)

Livello 2 Interneuroni (nuclei intraspinali, neuroni sensoriali e motori alfa, gamma)

Livello 3 Attuatori muscolari, leve ossee, articolazioni, recettori, carichi esterni

teoria del punto di equilibrio (equilibrium point hypothesis), o modello lambda (λ).

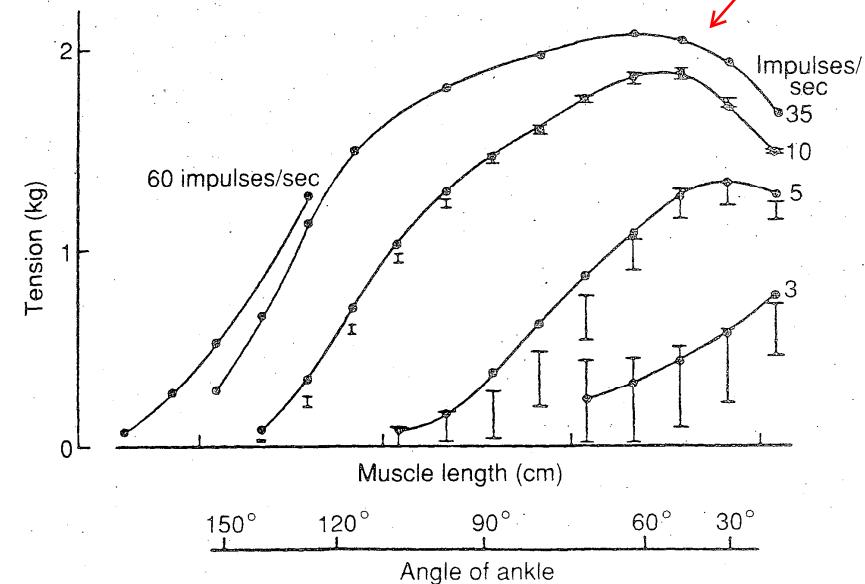
Proprietà 'simil-molla' del muscolo



Modello di Hill del muscolo isolato

Comportamento del
muscolo deafferentato

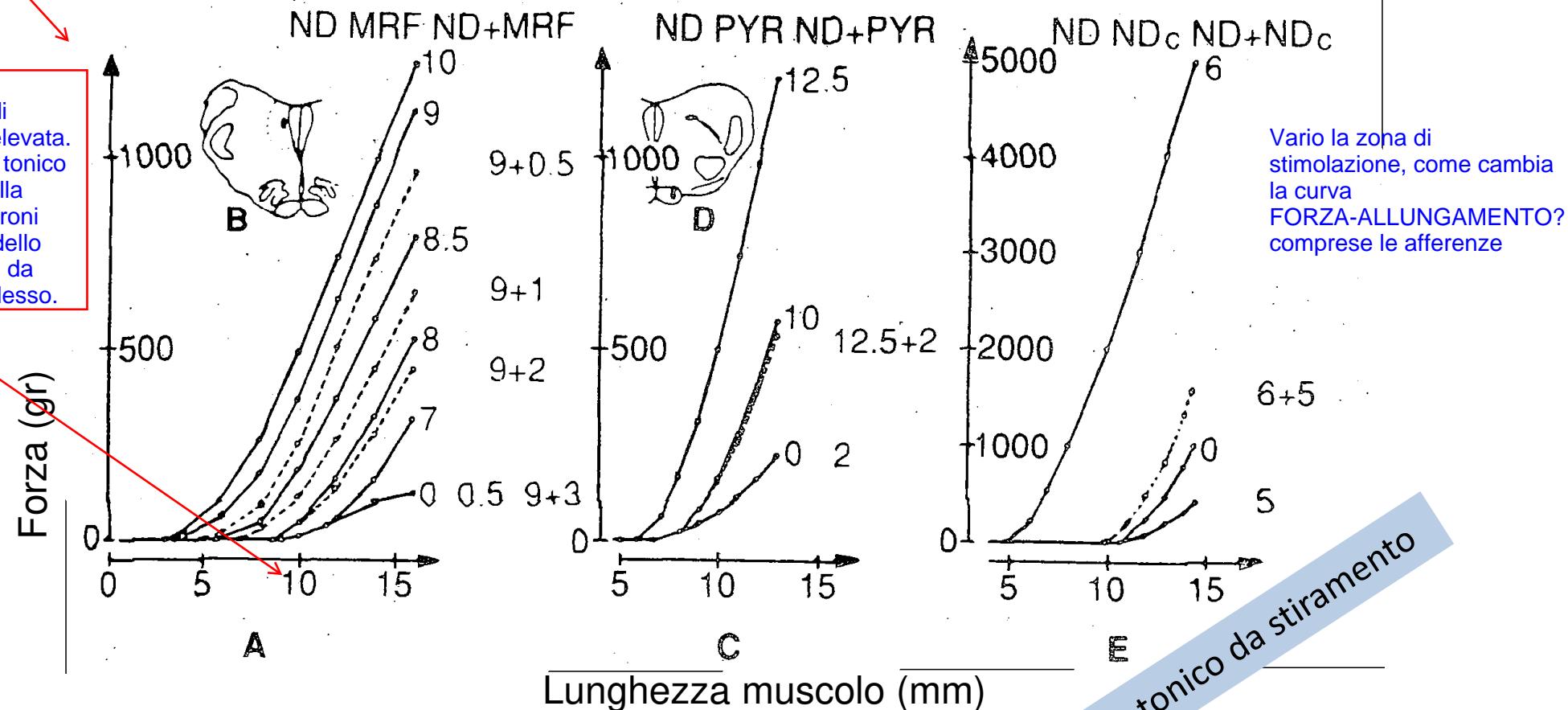
Diversi livelli di
stimolazione.
Senza afferenze



Stimolazione fatta
nel mesencefalo

Comportamento del muscolo innervato (con afferenze propriocettive)

Superamento di una lunghezza: velocità di incremento di forza elevata. Aka soglia di riflesso tonico da stiramento. A quella lunghezza i motoneuroni sono attivati per via dello stimolo afferente che dà informazioni. Arco rifleso.



Stimolazione in vari punti del mesencefalo (ND= Nucleo Dentato; MRF= Nucleo Reticolare Mesencefalico; PYR= Nuclei Piramidali)

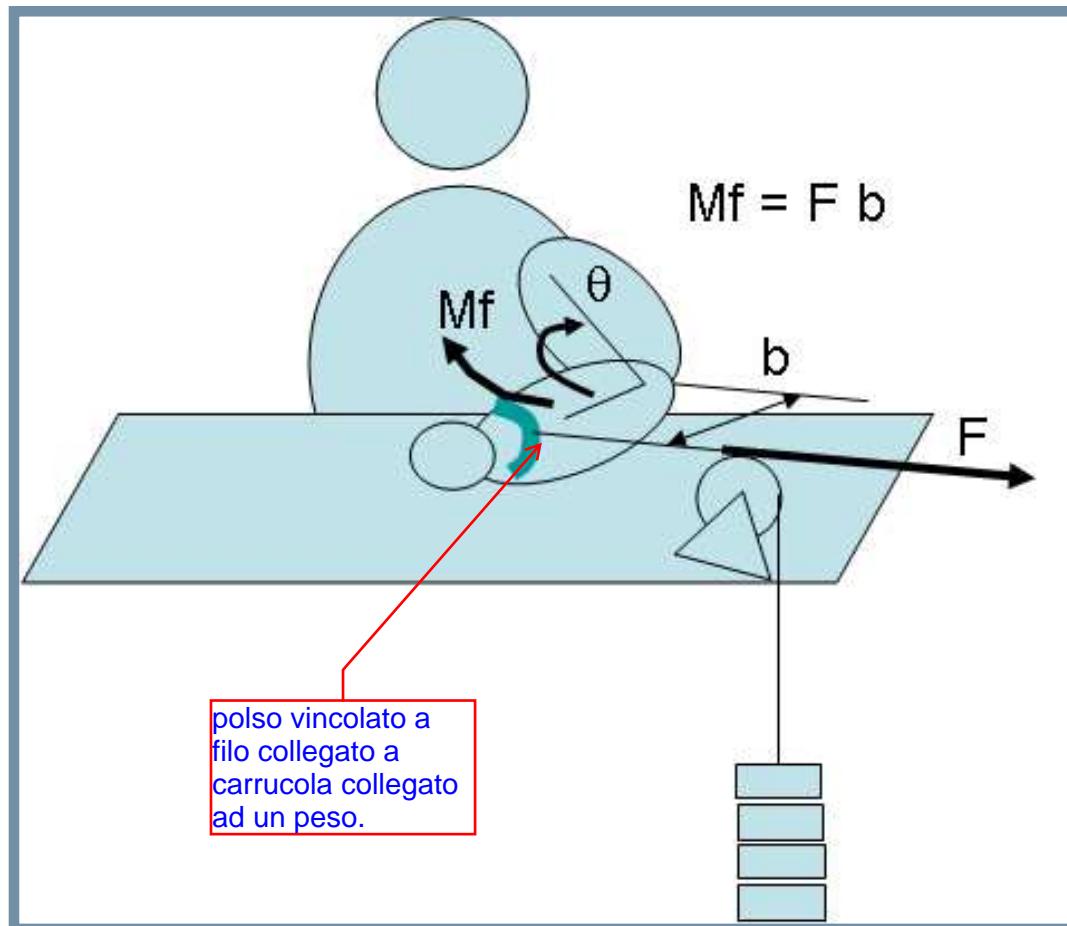
Funzioni del riflesso tonico da stiramento

Rigidezza o stiffness di
un muscolo intatto

Proprietà meccaniche del
muscolo isolato

Contributo anelli di
retroazione nueronale

Esperimento di Feldman (1966)

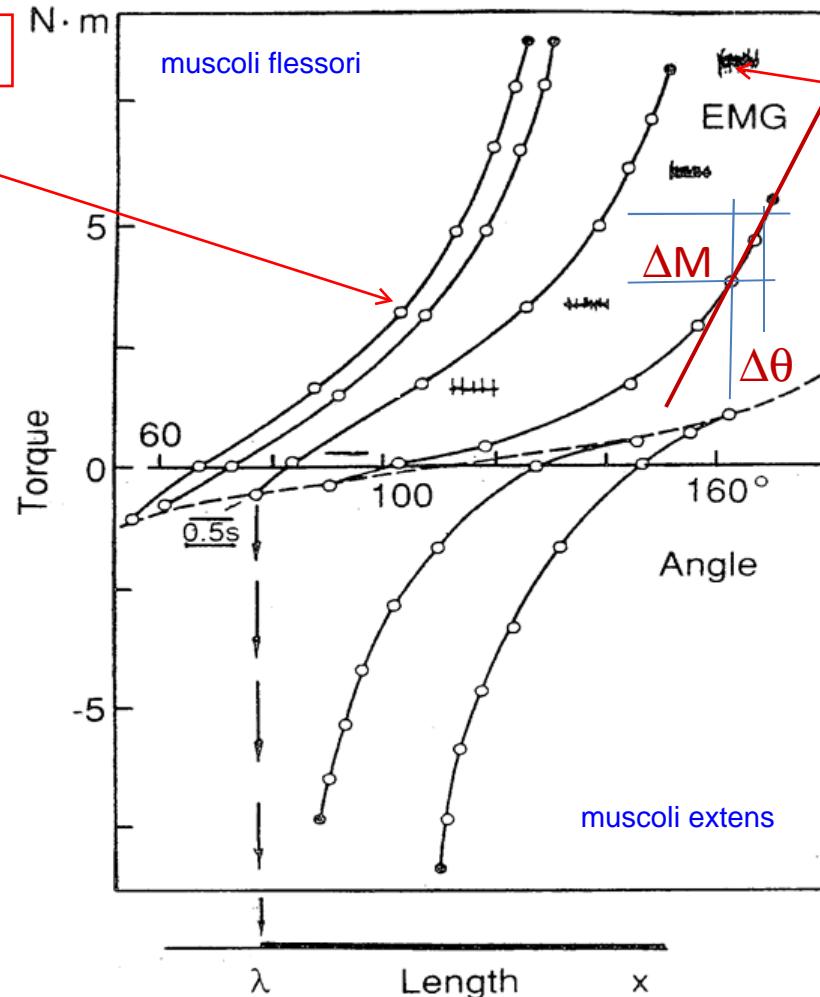


Viene richiesto di mantenere una determinata posizione. Variando il carico applicato (riducendolo), come varia la cinematica? Viene richiesto di non intervenire più in modo attivo. Diminuendo il carico ho una nuova posizione cinematica data dall'articolazione. Quindi creo curve coppia-angolo.

Non deve fare variazione alla variazione di carico applicato!

Curve caratteristiche invarianti per i flessori (curve superiori) e per gli estensori (curve inferiori)

ciascun punto è una riduzione del peso



Ottenimento di Curve Caratteristiche invarianti

si vede anche dall'emg, il muscolo lavora anche di meno perché il carico è minore

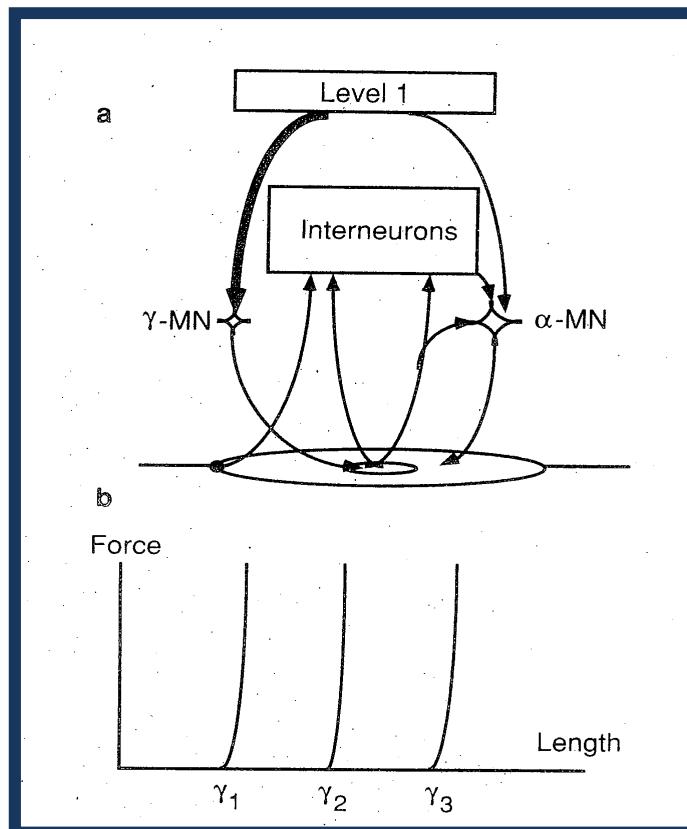
$$K = \Delta M / \Delta \theta$$

Parametro Lambda = soglia del riflesso tonico di stiramento

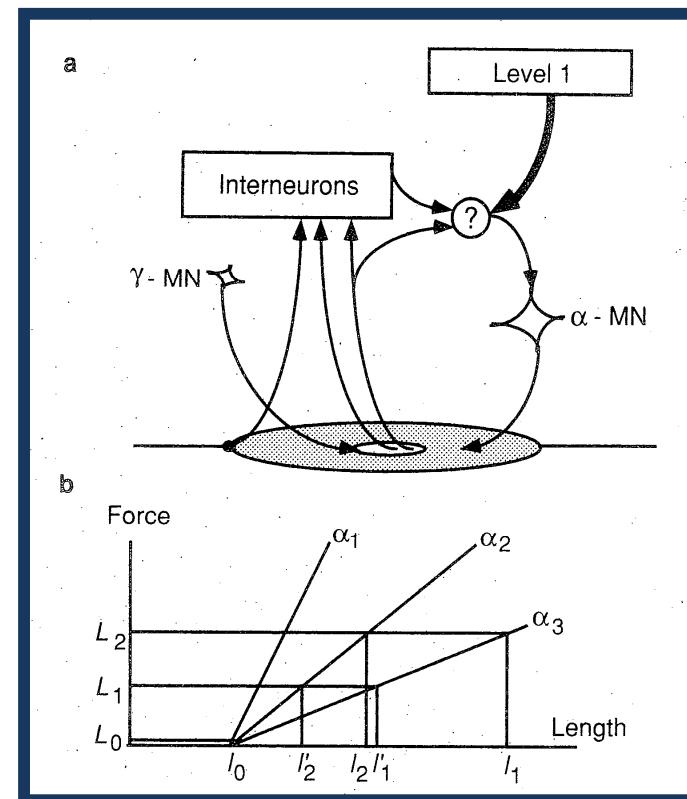
Ogni curva è un punto di partenza diverso (con aperture diverse, angolo iniziale). VOLEVA FAR VEDERE CHE LE CURVE SONO COME QUELLE DEL PREPARATO MUSCOLARE.

Modelli di controllo motorio

Modello di Merton
(controllo gamma)

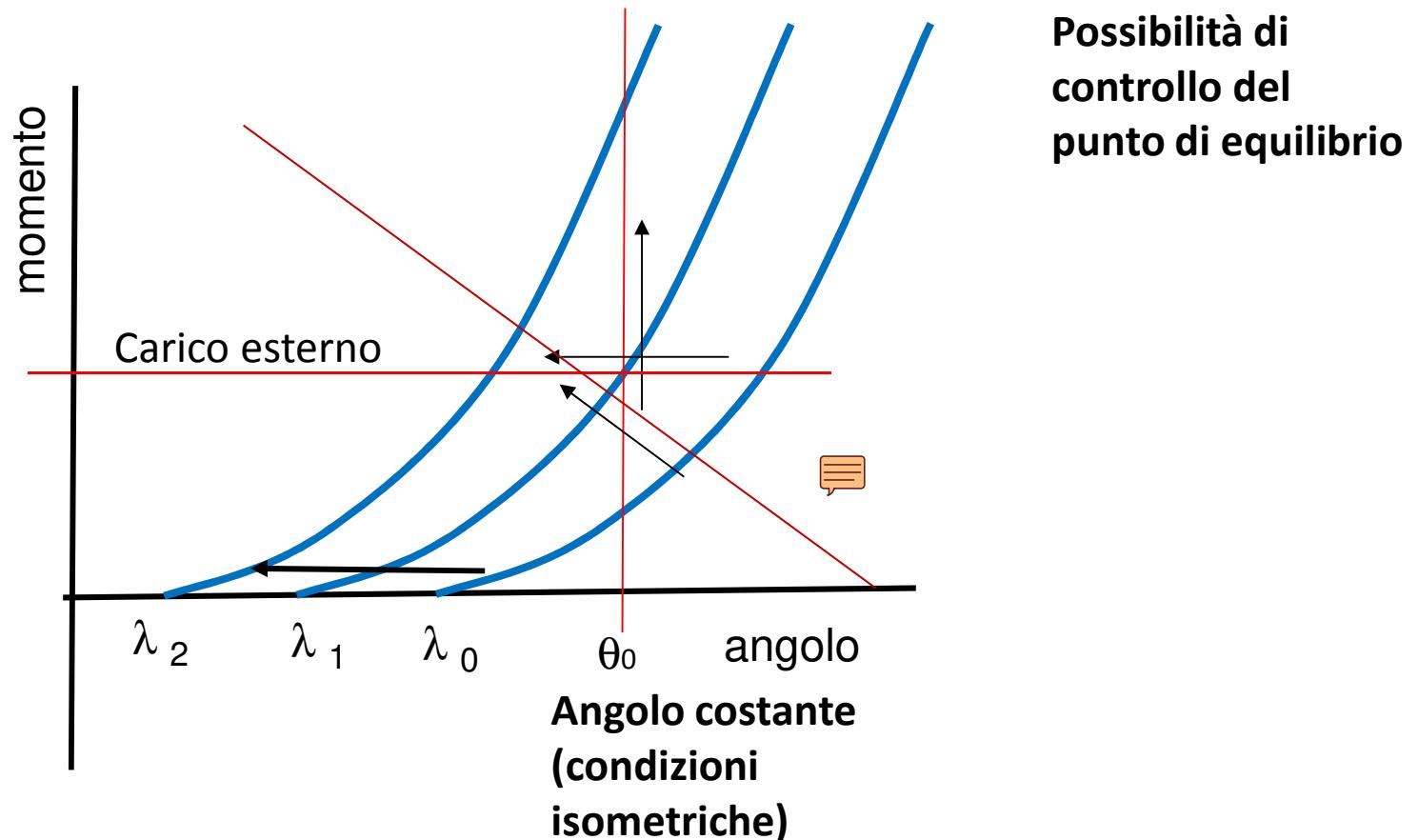


Modello di Bizzi
(controllo alfa)



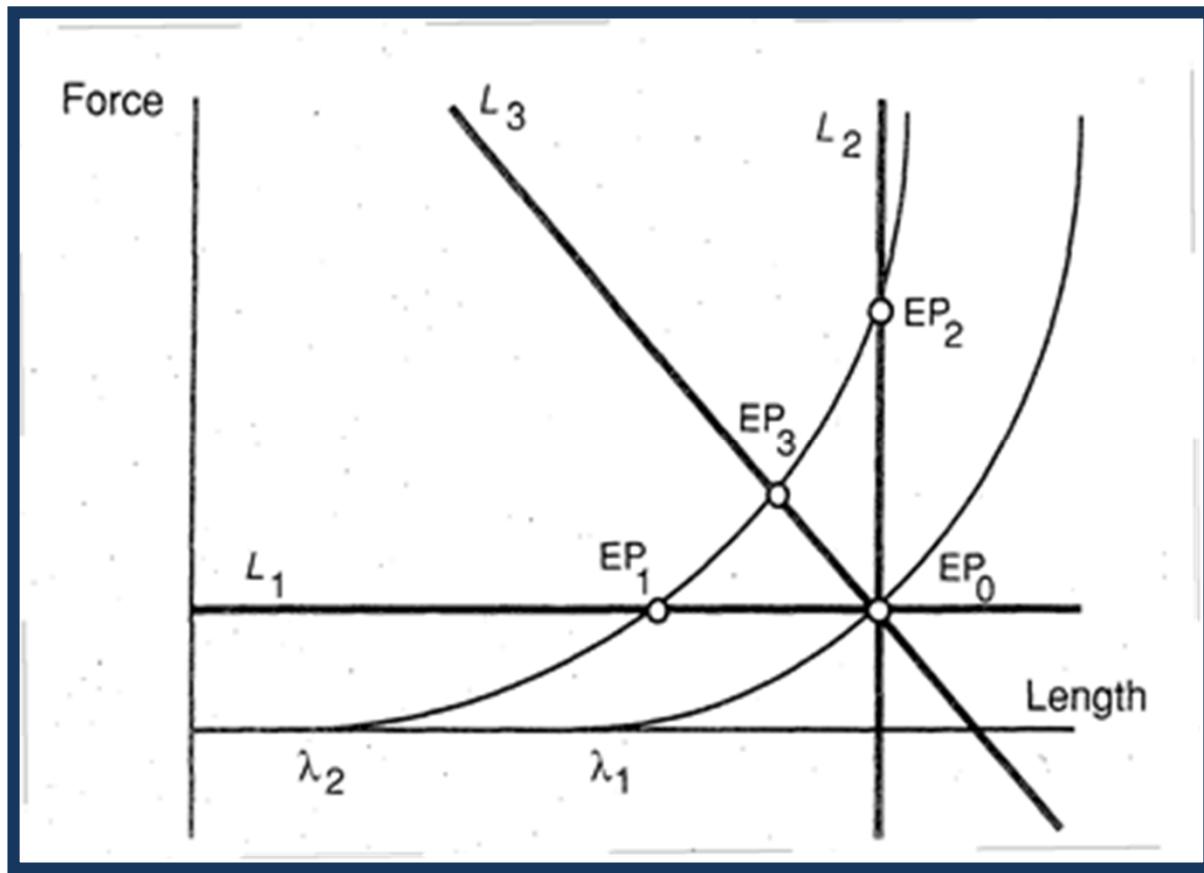
modelli che danno spiegazioni di cosa succede a livello 2, controllo motorio di merton per dare spiegazione delle fibre gamma sul motoneurone alfa. Modello di Bizzi invece ipotizza che le informazioni che dal muscolo det. il controllo alfa siano del livello superiore ed il SNC venga ad intervenire. Cercano di dare un ruolo alle fibre efferenti ed afferenti.

Il modello Lambda (λ)



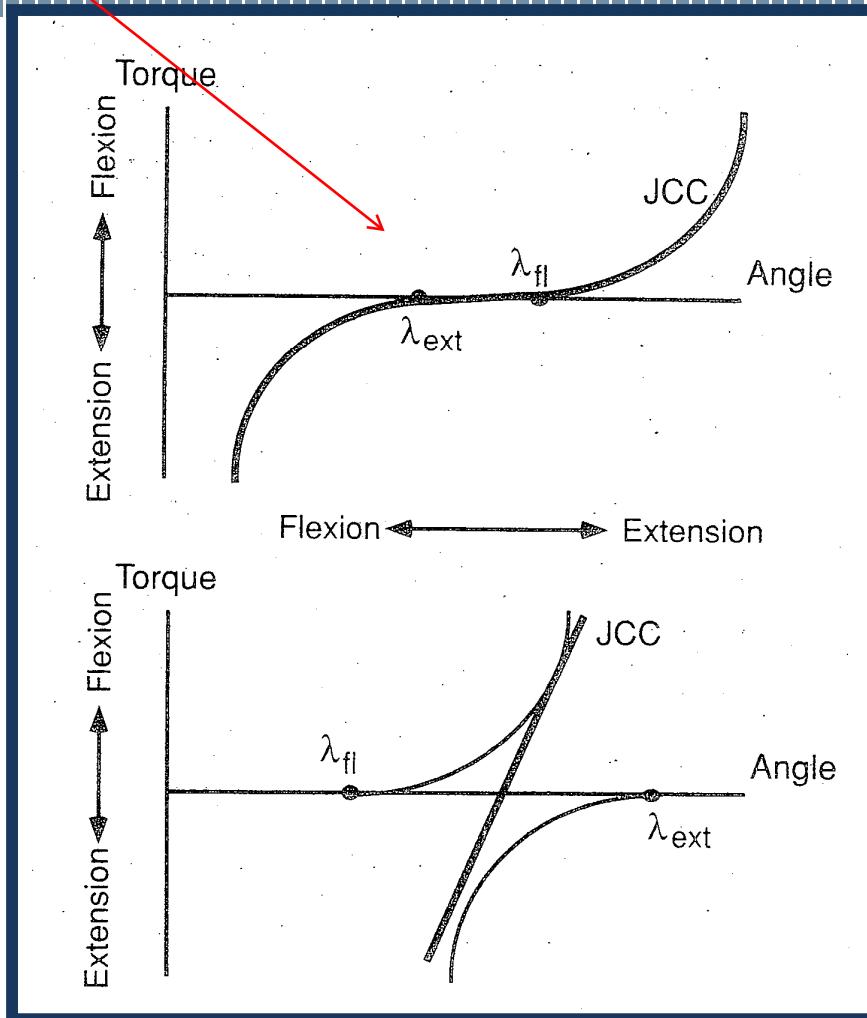
modello di Feldman (o modello λ)

no?



- 1) carico esterno isotonico rappresentato da una linea orizzontale (L_1)
- 2) carico esterno isometrico rappresentato da una linea verticale (L_2)
- 3) carico esterno dipendente linearmente dalla posizione (esempio di una molla di trazione esterna, linea L_3)

teoricamente sono i flessori

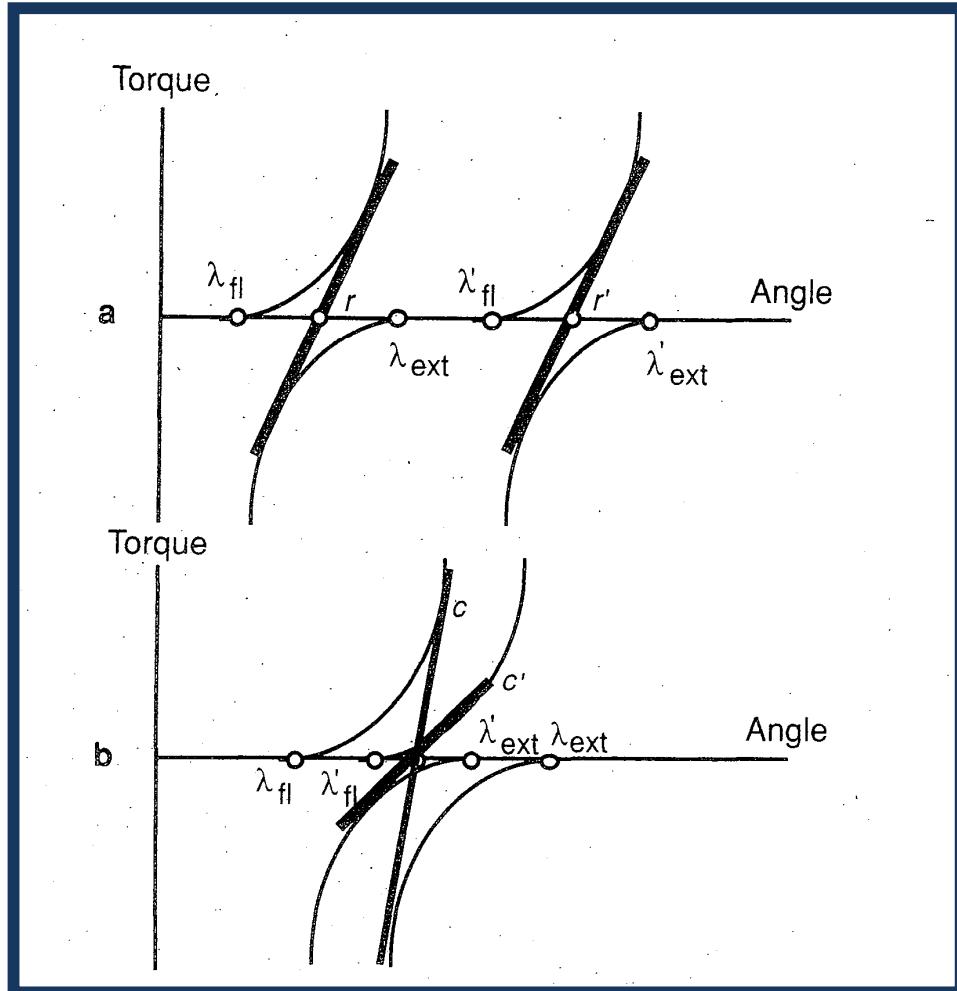


E' valida se si stanno contraendo solo i flessori (sotto solo gli estensori). Però nella realtà in det. situazioni non avviene. Cioè c'è cocontrazione

Effetto dell'azione di muscoli antagonisti

Curva invariante caratteristica globale (dell'articolazione)

Effetto di variazioni concordi e discordi delle soglie di attivazione del riflesso tonico da stiramento dei flessori λ_{fl} e degli estensori λ_{ext}

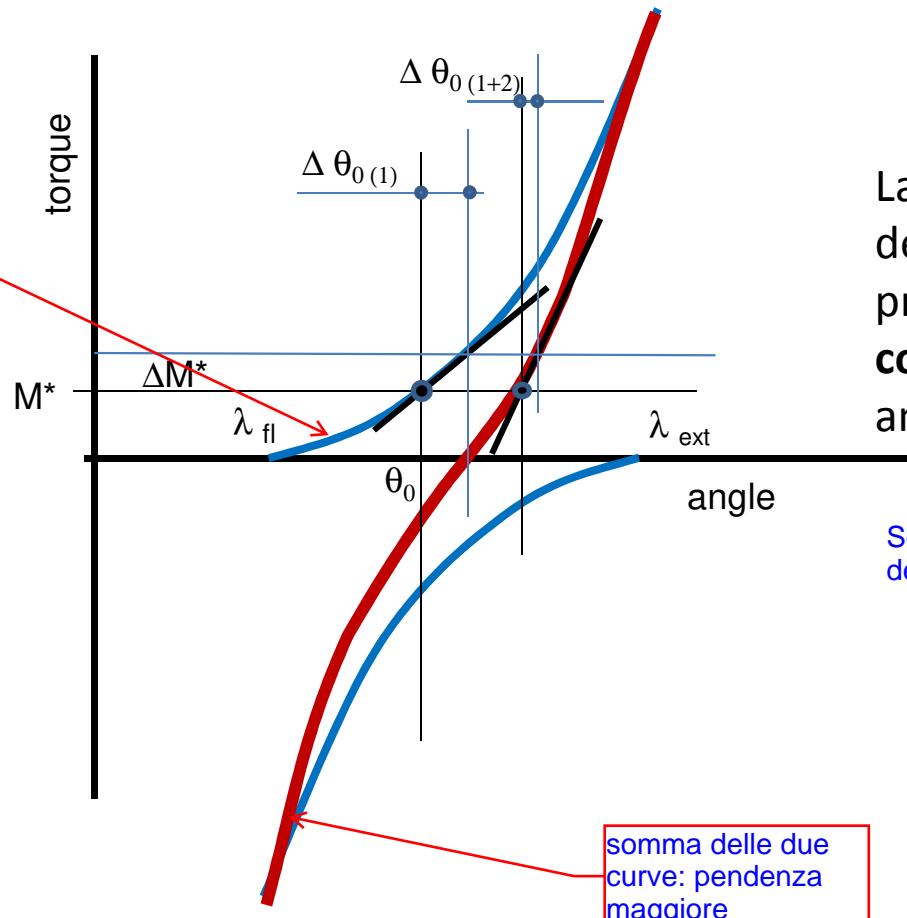


Controllo separato di
posizione e stiffness

$$r = \frac{1}{2} (\lambda_{fl} + \lambda_{ext})$$

$$c = \frac{1}{2} (\lambda_{ext} - \lambda_{fl})$$

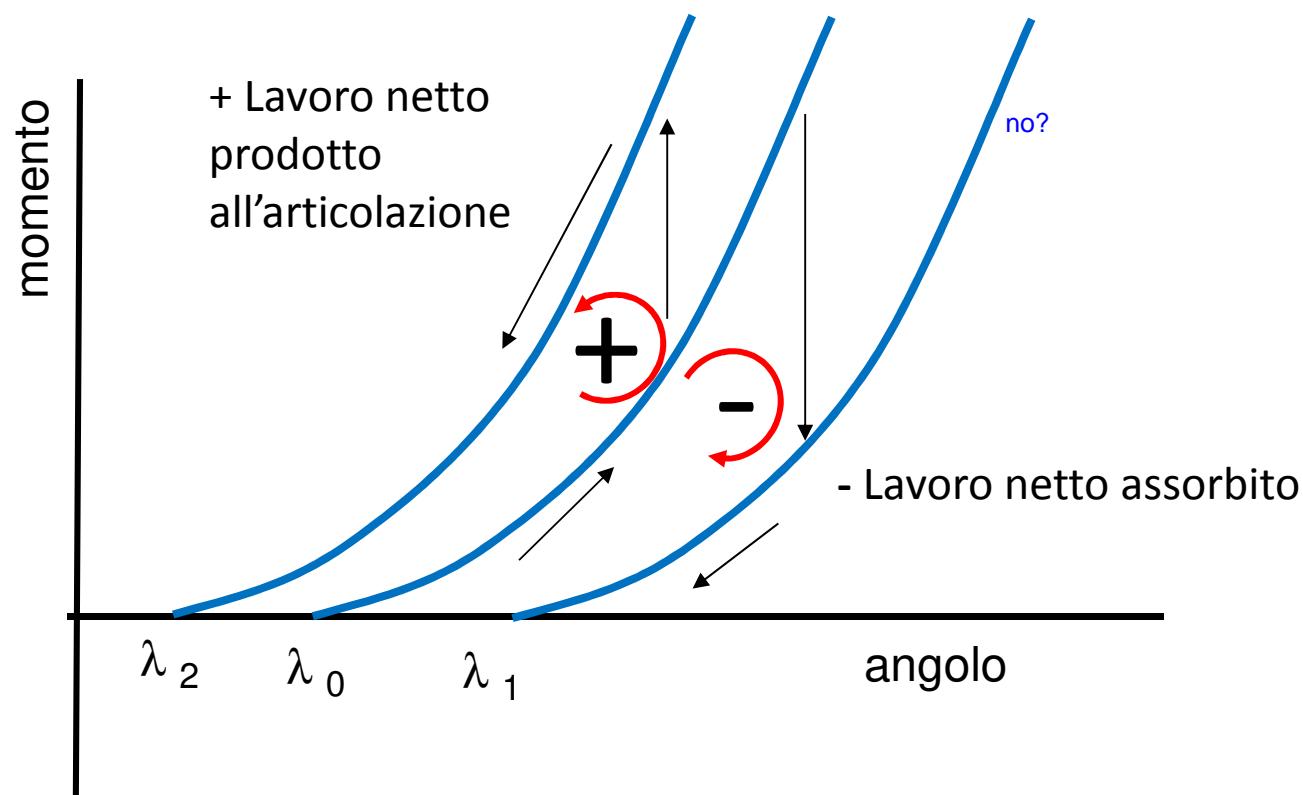
solo componente flessoria



La stiffness dell'articolazione in presenza di **co-contrazione** di muscoli antagonisti **AUMENTA**

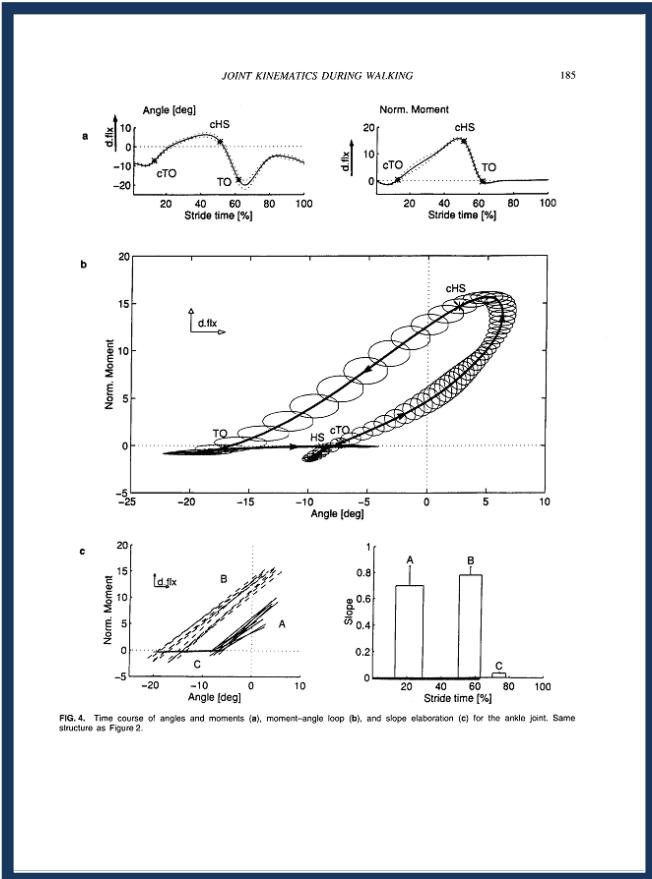
Se considero la rigidezza, quando ho cocontrazione la stiffness dell'articolazione viene aumentata.

Possibilità di produrre o assorbire lavoro netto

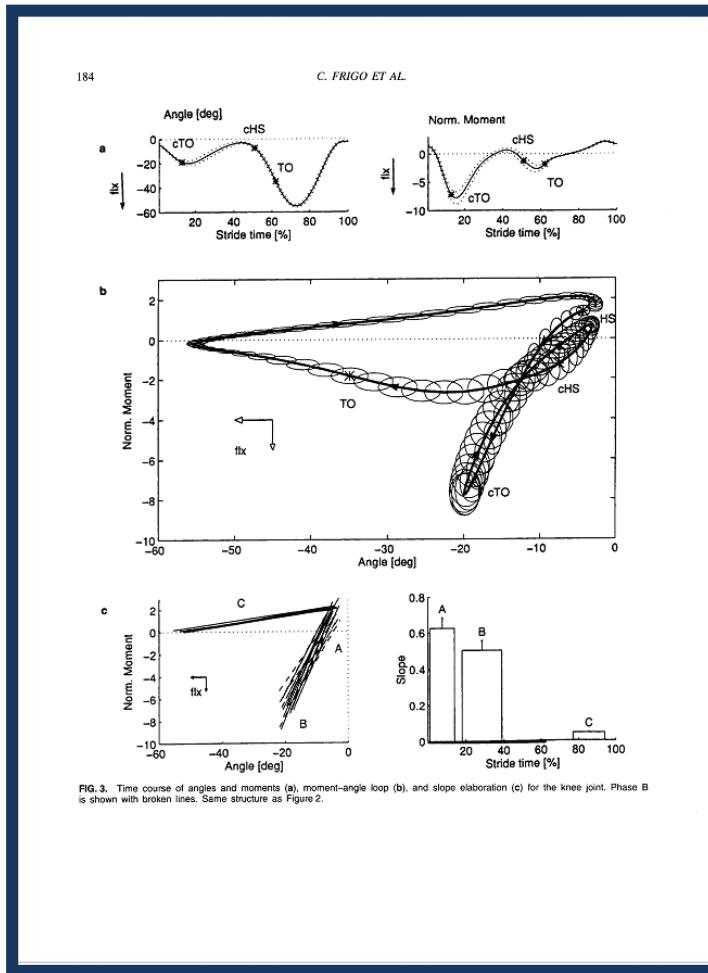
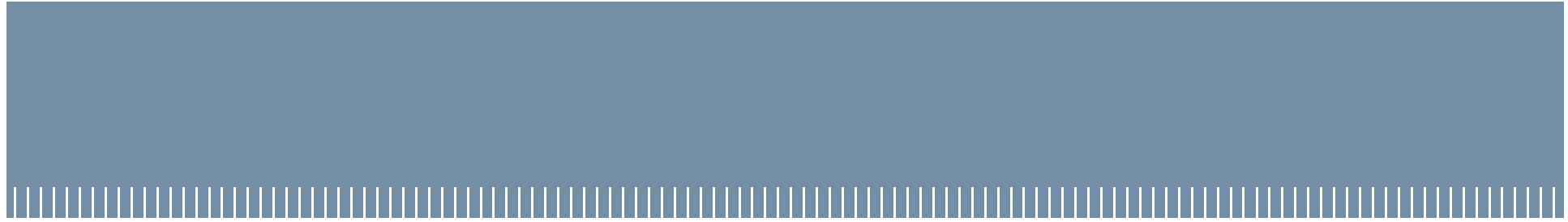


Cicli Momento-Angolo nel cammino normale

Caviglia



Frigo C., Crenna P., Jensen L.M., Moment-Angle relationship at lower limb joints during human walking at different velocities, J.Electromyog. Kinesiol, vol 6, No3, pp 177-190, 1996



in det. situazioni patologiche la stiffness sarà variata rispetto alla situazione normale

