

Corso teorico- pratico

IL LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE

LO STATO DELL'ARTE CIRCA IL TRATTAMENTO, LA RIABILITAZIONE E LA VALUTAZIONE DEL RECUPERO FUNZIONALE



La biomeccanica del legamento crociato anteriore

Relatore Ing. Andrea Cereatti

Sommario

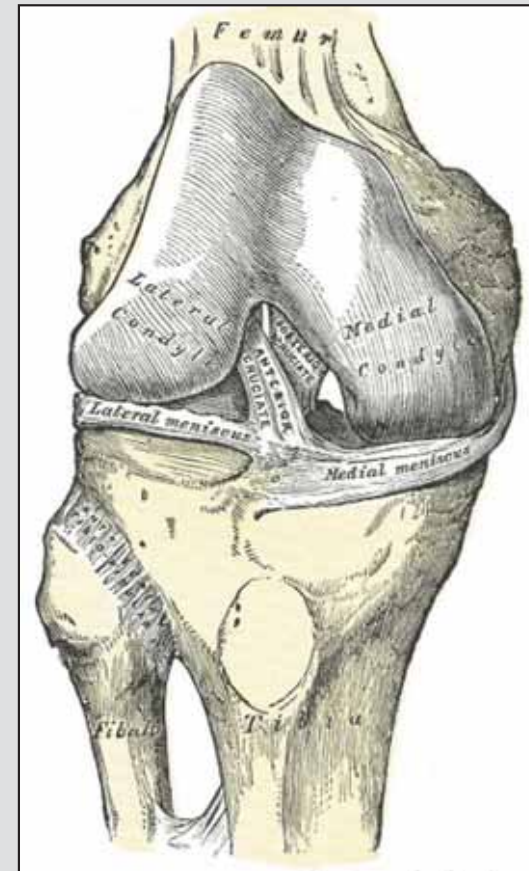
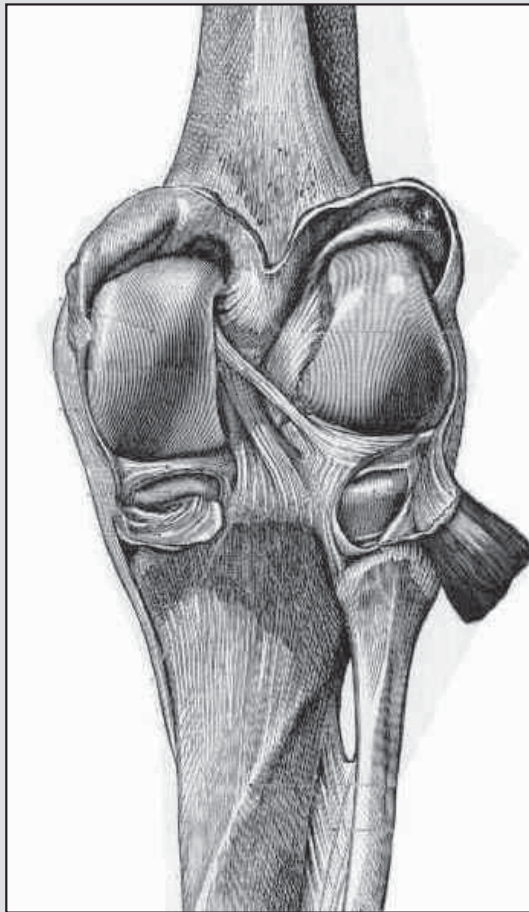
1. Caratteristiche dell'articolazione tibio-femorale
2. Come si muove il ginocchio
3. Biomeccanica del LCA
4. Ricostruzione a singolo e doppio fascio

Sommario

- 1. Caratteristiche dell'articolazione tibio-femorale**
2. Come si muove il ginocchio
3. Biomeccanica del LCA
4. Ricostruzione a singolo e doppio fascio

L'articolazione tibio-femorale

L'articolazione del ginocchio e in particolare la tibio-femorale è costituita dai segmenti ossei di femore e tibia vincolati tra loro da una struttura complessa di elementi l'interazione tra i quali ne definisce la cinematica e cioè il movimento



Requisiti funzionali: Mobilità vs Stabilità



1) devono essere **mobili** per raggiungere un'ampia e regolare escursione

La mobilità è associata all'abilità di alcuni legamenti di lavorare isometricamente durante l'escursione articolare e dalla abilità delle superfici articolari di scivolare l'una sull'altra senza né compenetrazione né separazione.

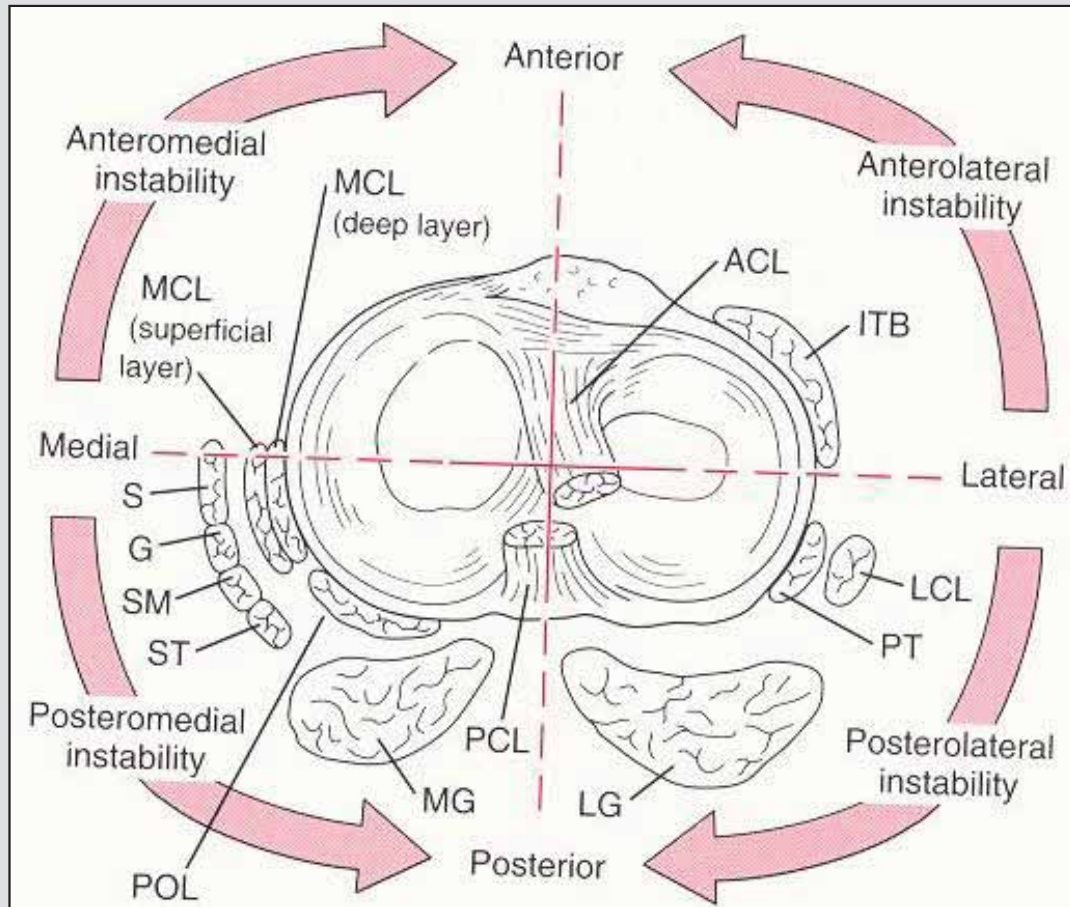
Requisiti funzionali: Mobilità vs Stabilità



2) devono essere **stabili** per garantire un saldo supporto durante le attività motorie.

La stabilità articolare è invece la capacità di resistere al movimento provocato da sollecitazioni di carico esterne (stabilità passiva - e stabilità attiva)

Strutture di vincolo e di stabilizzazione



Elementi passivi

- Superfici articolari: superfici ossee, cartilagine e menischi
- Legamenti e capsula articolare

Elementi attivi

- Muscoli

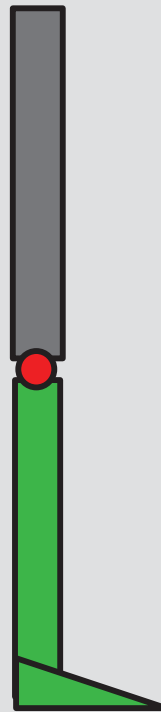
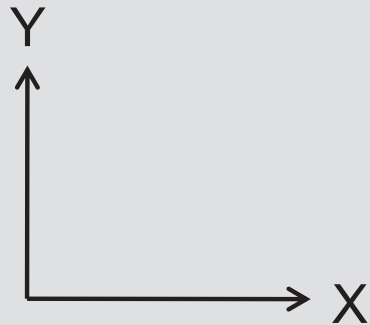
Sommario

1. Caratteristiche dell'articolazione tibio-femorale
- 2. Come si muove il ginocchio**
3. Biomeccanica del LCA
4. Ricostruzione a singolo e doppio fascio

Caso ideale: vincolo perfetto

Nel caso in cui femore e tibia fossero collegati tramite una **cerniera cilindrica**

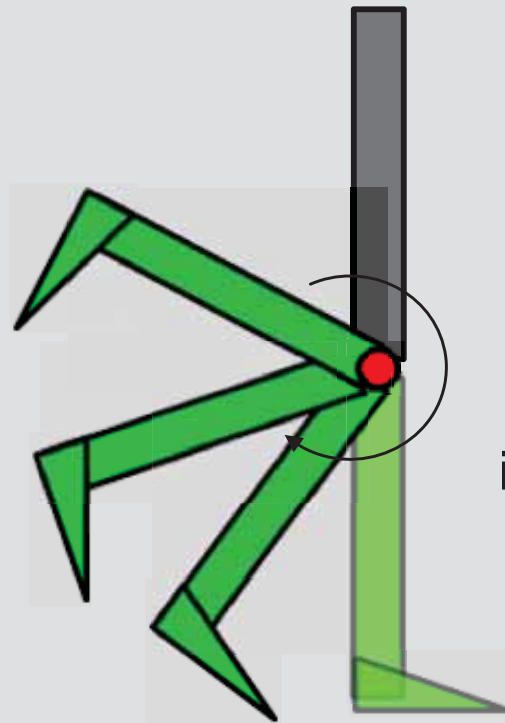
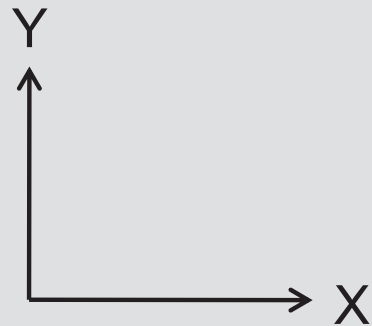
CASO PIANO



Caso ideale: vincolo perfetto

Nel caso in cui femore e tibia fossero collegati tramite una **cerniera cilindrica**

CASO PIANO

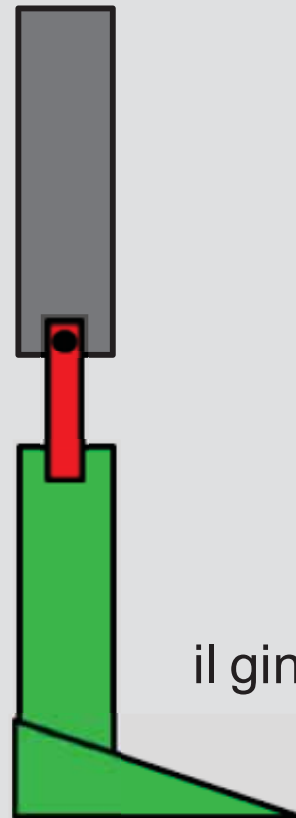
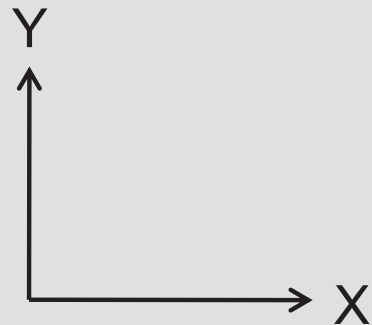


il ginocchio presenta **1 grado di libertà**
• 1 angolo (flesso-estensione)

Caso più reale: vincolo cedevole

Nel caso in cui femore e tibia fossero collegati tramite un **elemento elastico**

CASO PIANO



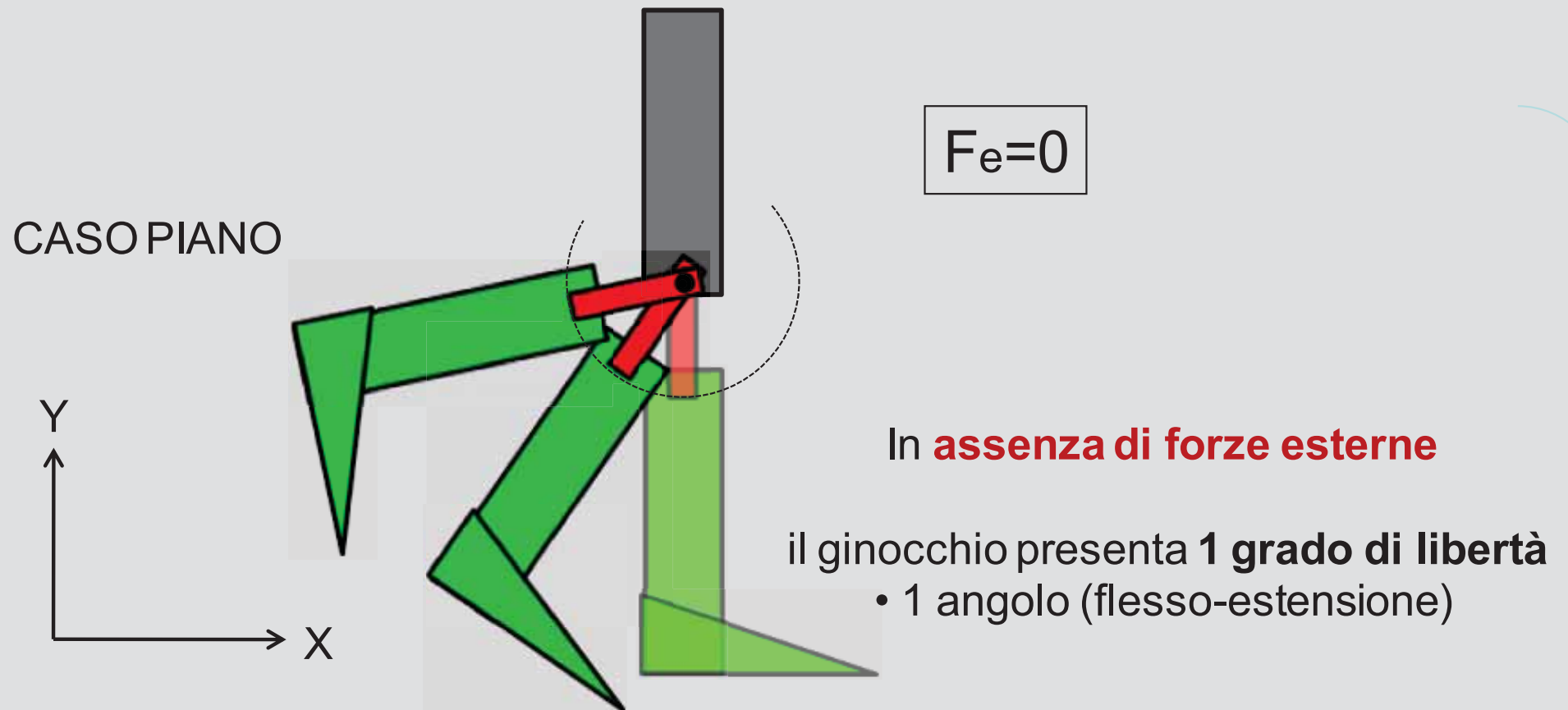
$$F_e = 0$$

In **assenza di forze esterne**

il ginocchio presenta **1 grado di libertà**
• 1 angolo (flesso-estensione)

Caso più reale: vincolo cedevole

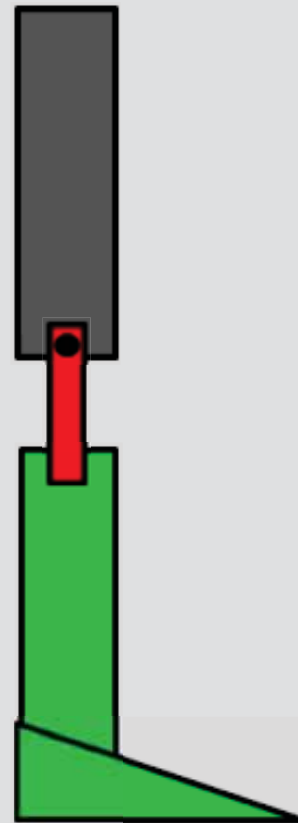
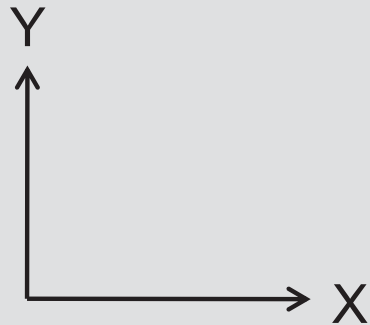
Nel caso in cui femore e tibia fossero collegati tramite un **elemento elastico**



Caso più reale: vincolo cedevole

Nel caso in cui femore e tibia fossero collegati tramite un **elemento elastico**

CASO PIANO

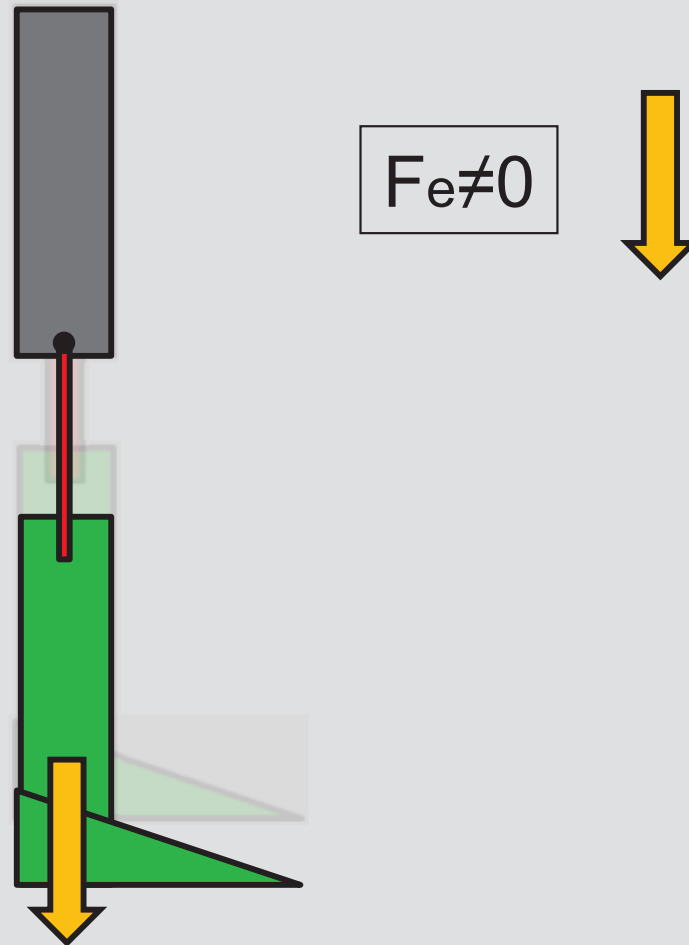
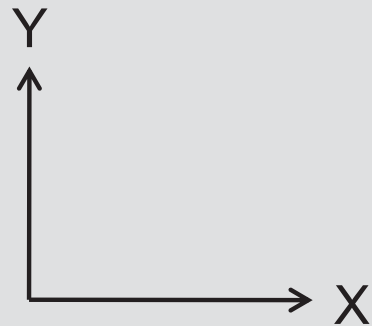


$F_e \neq 0$

Caso più reale: vincolo cedevole

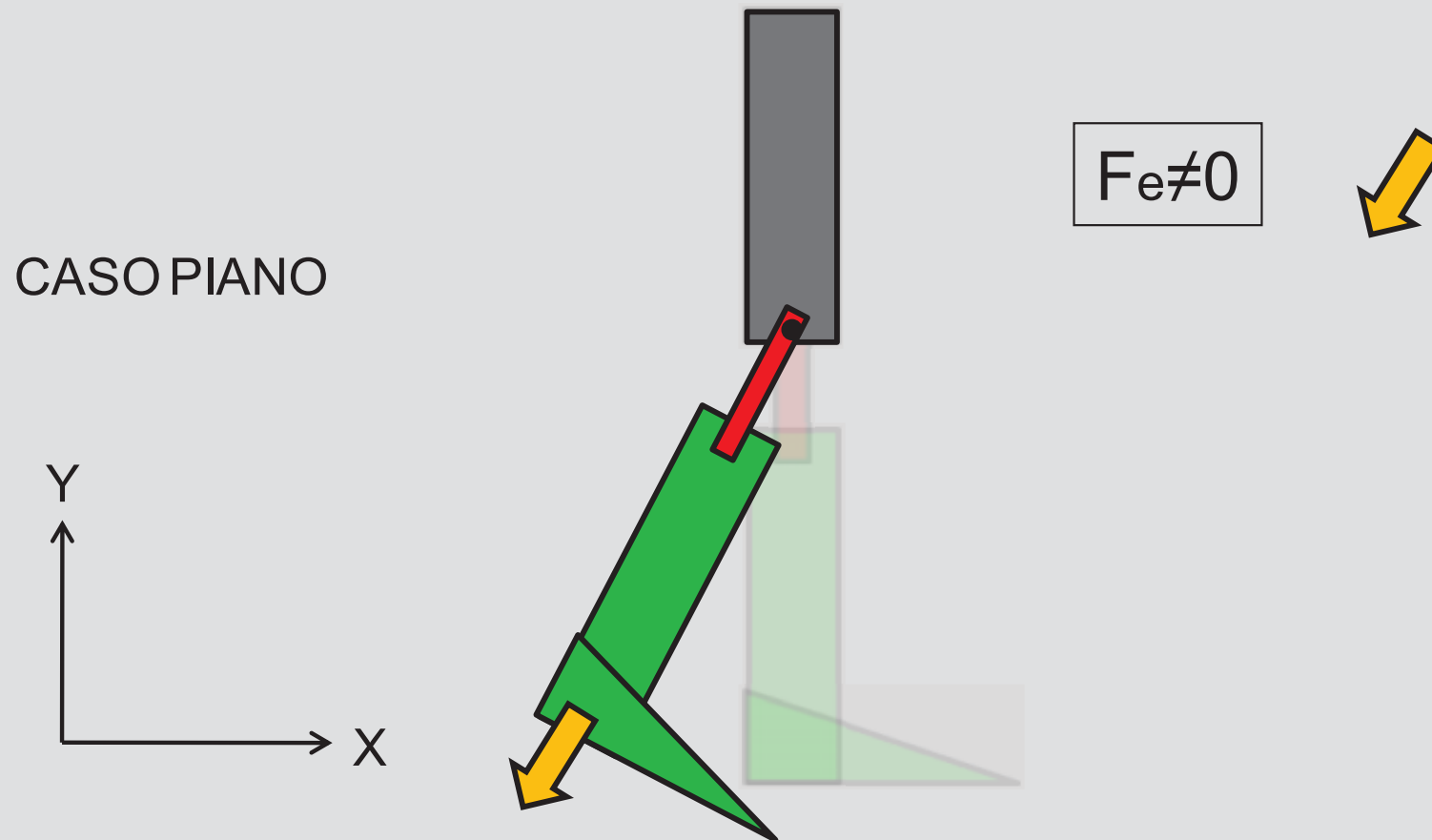
Nel caso in cui femore e tibia fossero collegati tramite un **elemento elastico**

CASO PIANO



Caso più reale: vincolo cedevole

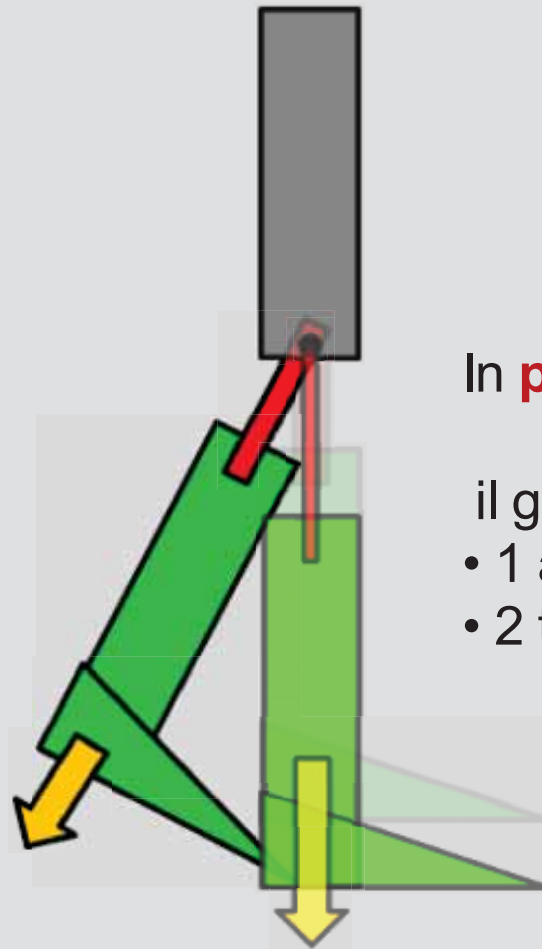
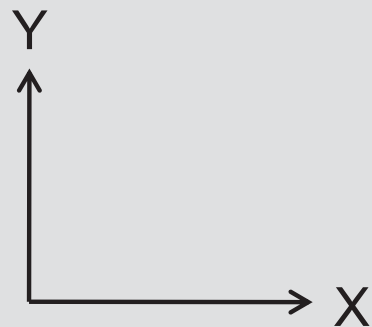
Nel caso in cui femore e tibia fossero collegati tramite un **elemento elastico**



Caso più reale: vincolo cedevole

Nel caso in cui femore e tibia fossero collegati tramite un **elemento elastico**

CASO PIANO



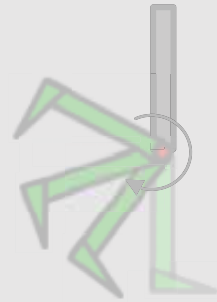
$F_e \neq 0$

In **presenza di forze esterne**

- il ginocchio presenta **3 gradi di libertà**:
- 1 angolo (flesso-estensione)
 - 2 traslazioni (lungo X e Y)

Range di movimento

cerniera cilindrica



IL MOVIMENTO DEL GINOCCHIO VARIA AL VARIARE DELLE FORZE

$$F_e = 0$$

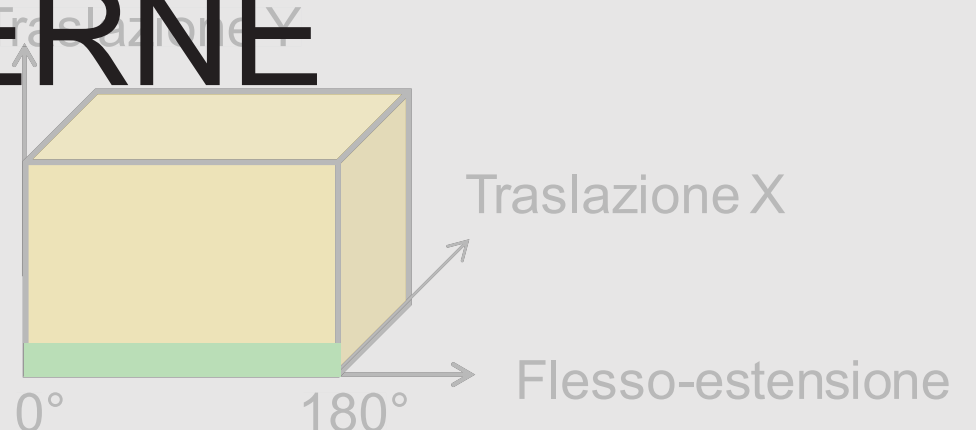
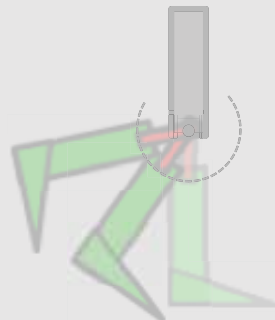
Vincolo cedevole



ESTERNE

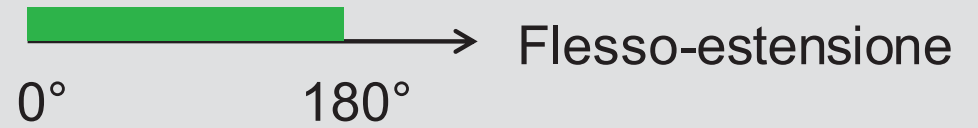
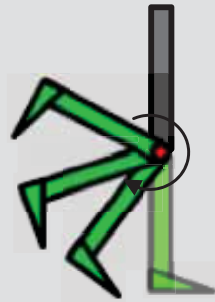
$$F_e \neq 0$$

Vincolo cedevole



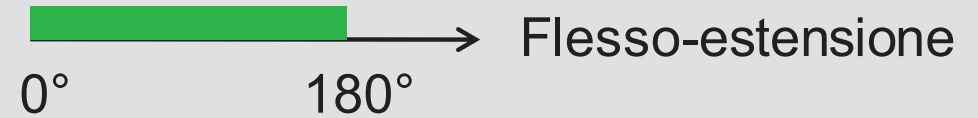
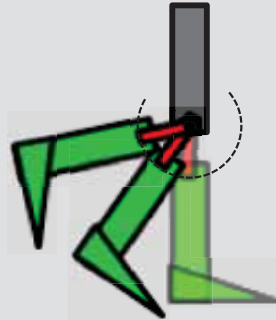
Range di movimento

cerniera cilindrica



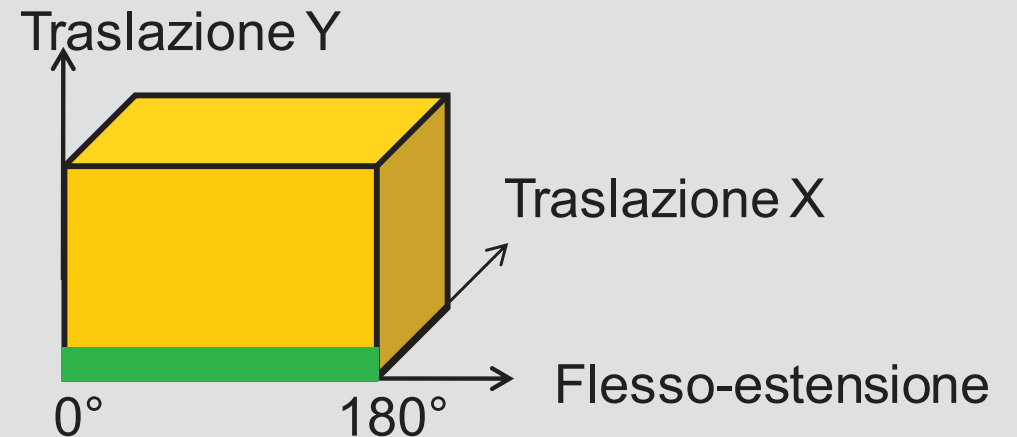
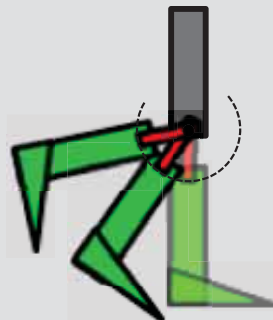
$$F_e=0$$

vincolo cedevole

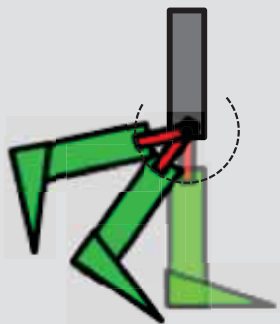


$$F_e \neq 0$$

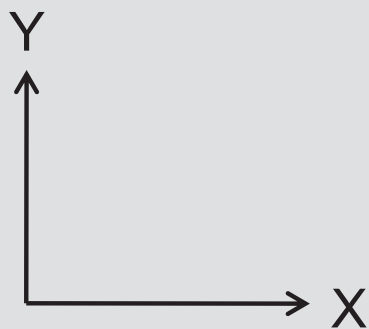
vincolo cedevole



Range di movimento: vincolo cedevole



CASO PIANO



Traslazione Y



0°

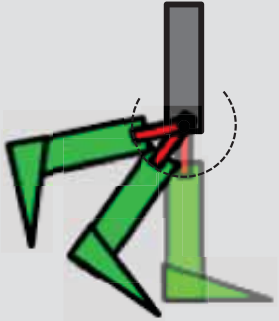
180°

Traslazione X

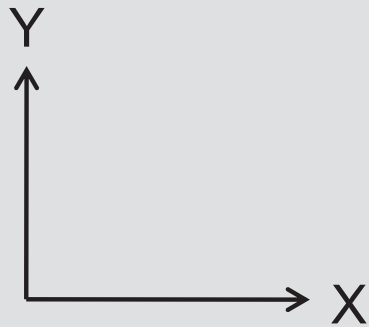


Flesso-estensione

Range di movimento: vincolo cedevole



CASO PIANO



Traslazione Y



0°

180°

Traslazione X

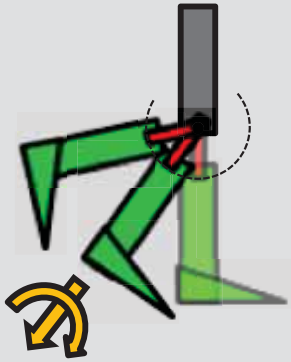


Flesso-estensione

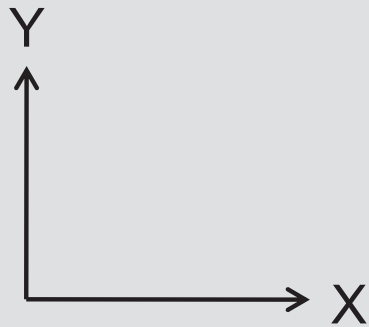
Range di movimento non forzato ($F_e = 0$)

Range di movimento: vincolo cedevole

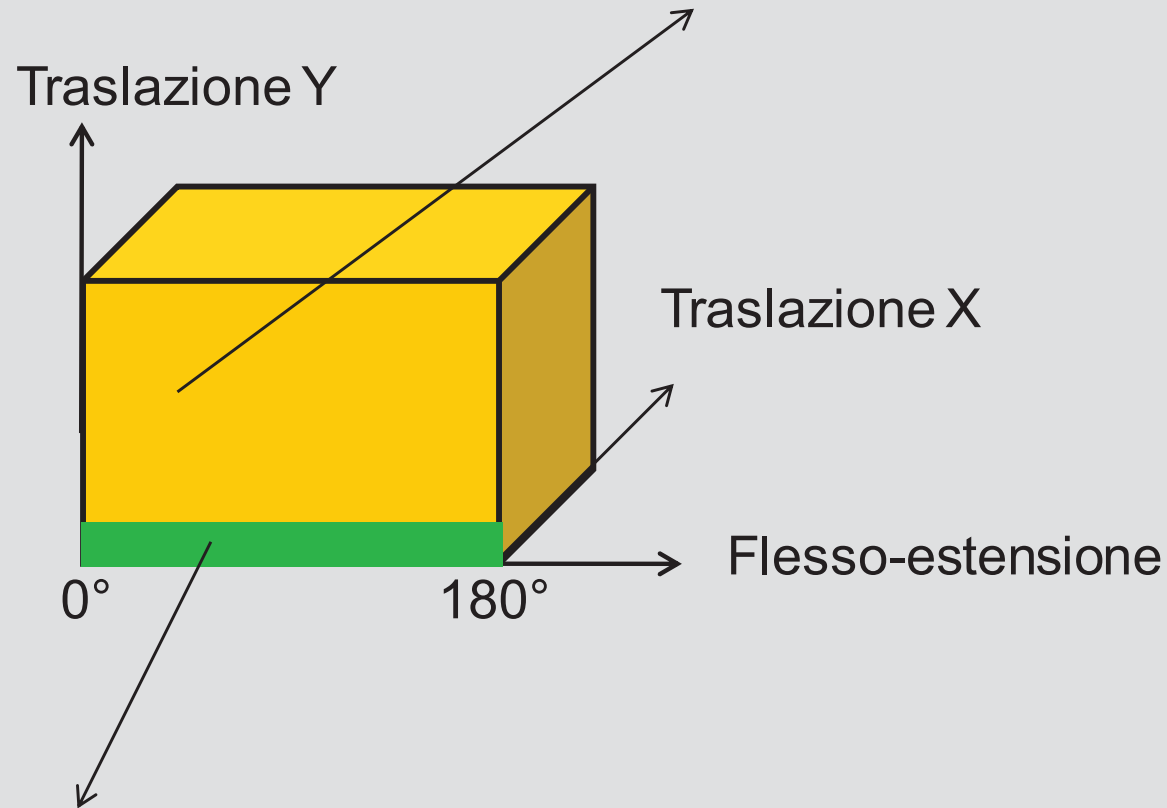
$$F_e < F_{lim}$$



CASO PIANO



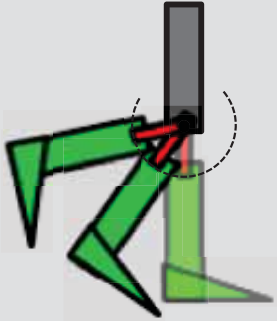
Range di movimento forzato ($F_e < F_{lim}$)



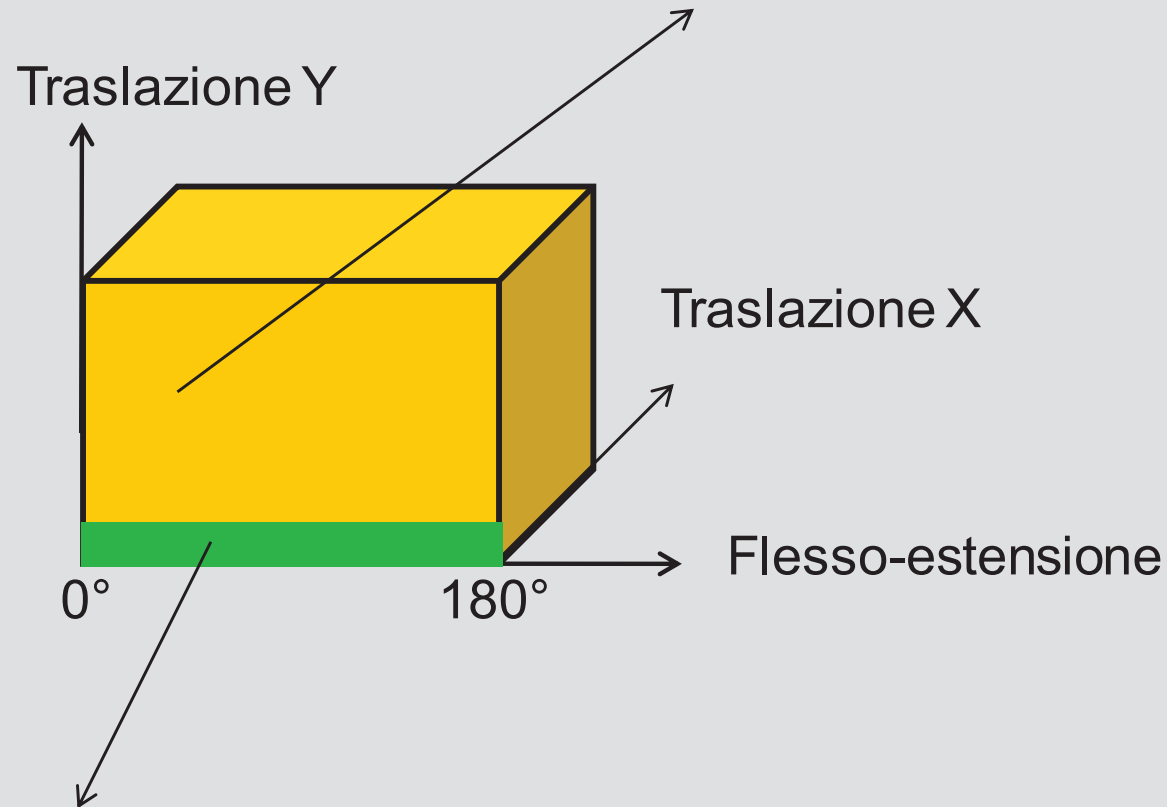
Range di movimento non forzato ($F_e = 0$)

Range di movimento

$$F_e < F_{lim}$$



Range di movimento forzato ($F_e < F_{lim}$)



$$F_e > F_{lim}$$

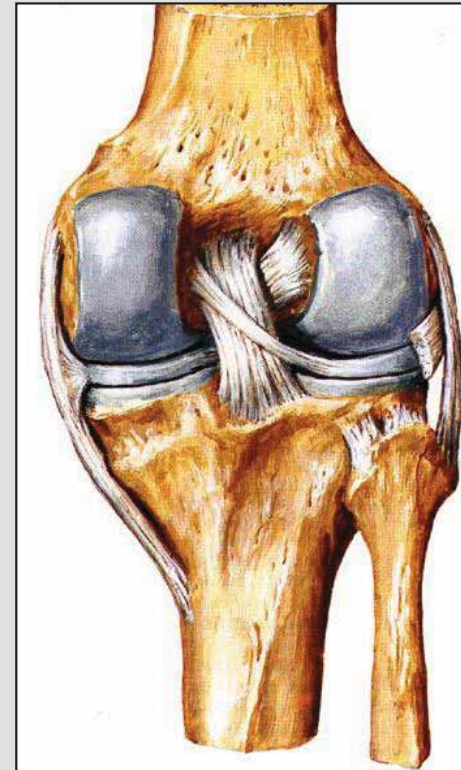
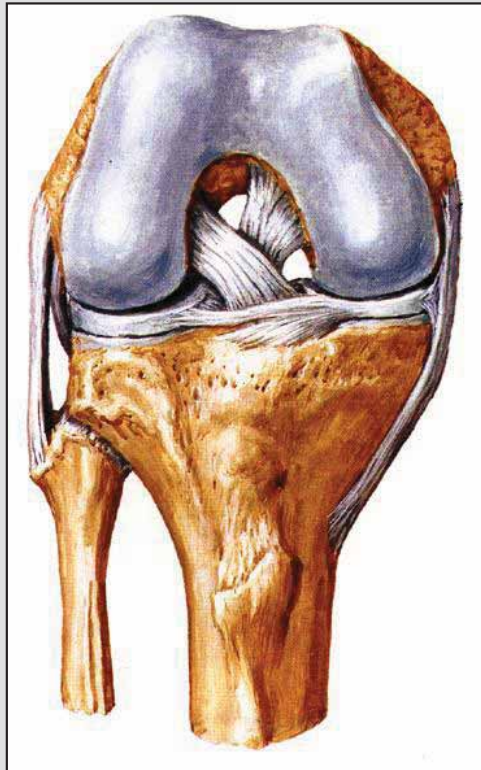


Range di movimento non forzato ($F_e = 0$)

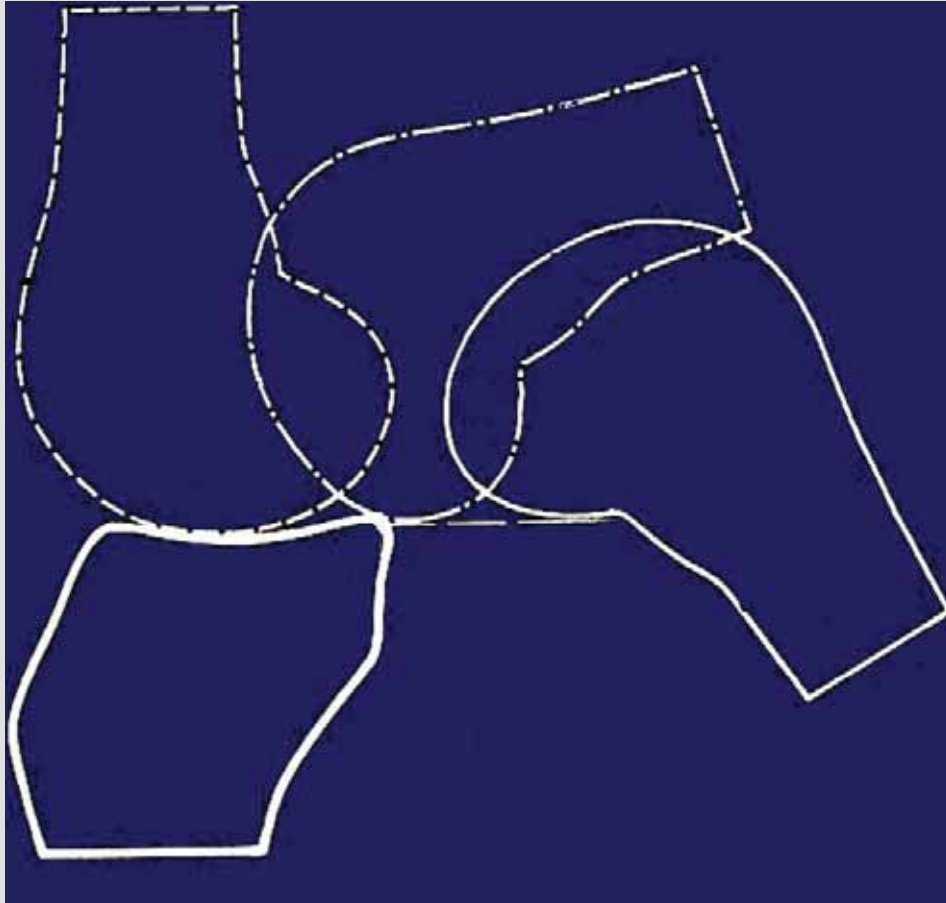
Come si muove il ginocchio?

Il movimento passivo del ginocchio è governato da:

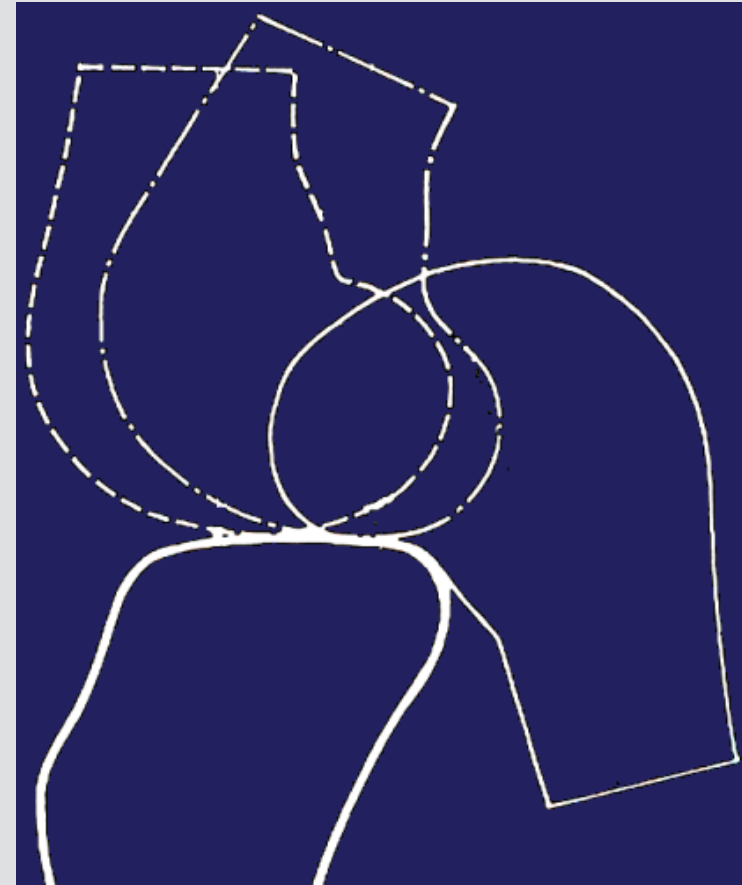
- Geometria delle superfici articolari dei condili e piatto tibiale
- Strutture di ritegno (legamenti, menischi, capsula articolare, tendini)



Come si muove il ginocchio?

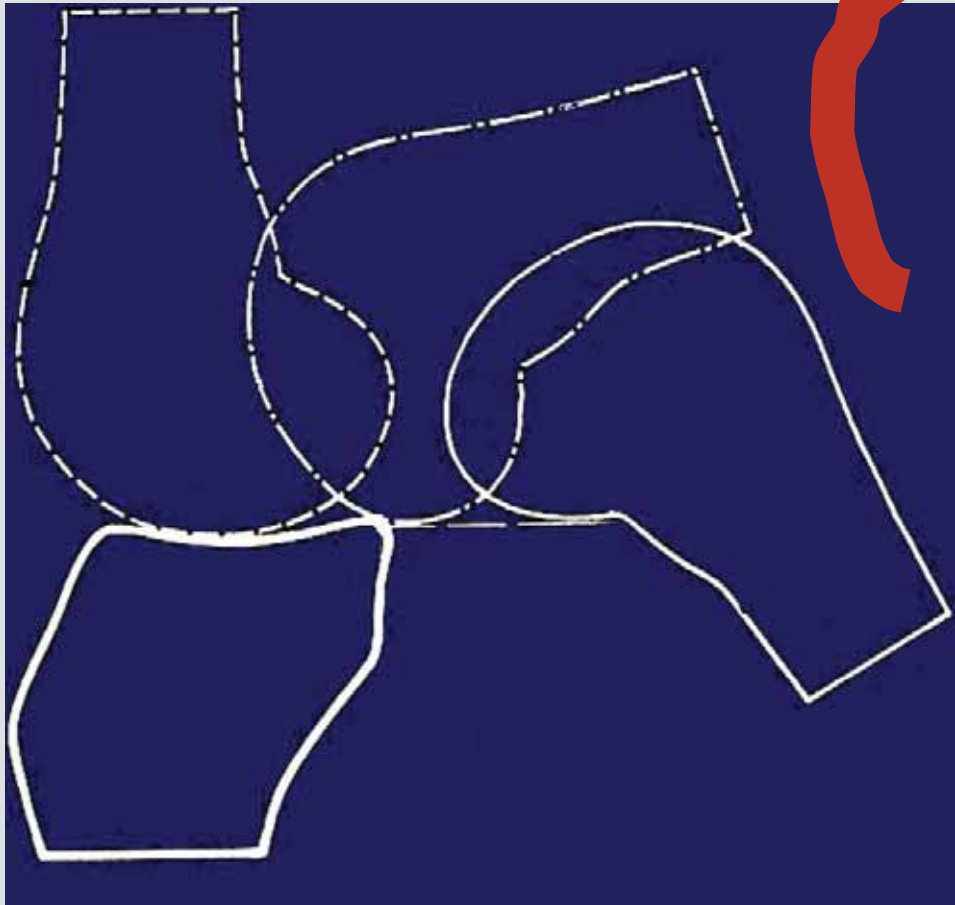


Moto di puro rotolamento



Moto roto-traslatorio

Come si muove il ginocchio?



Moto di puro rotolamento



Moto roto-traslatorio



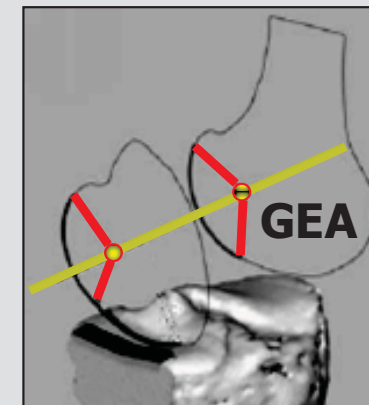
Movimento del ginocchio in vivo sotto carico



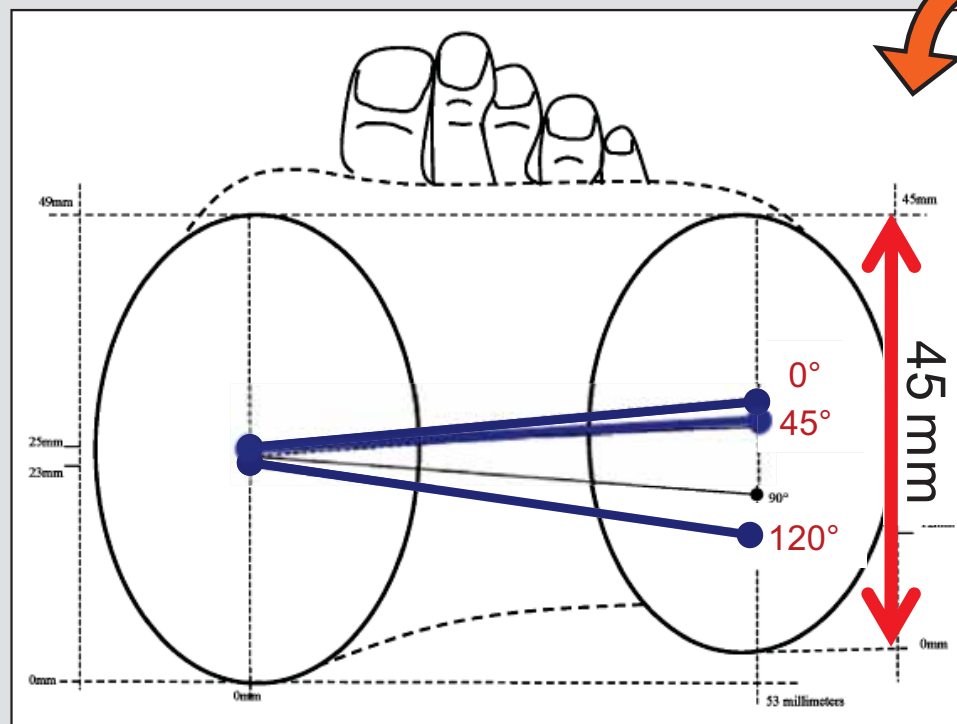
A. Williams, M. Logan / The Knee 11 (2004) 81–88

Movimento del ginocchio in vivo sotto carico

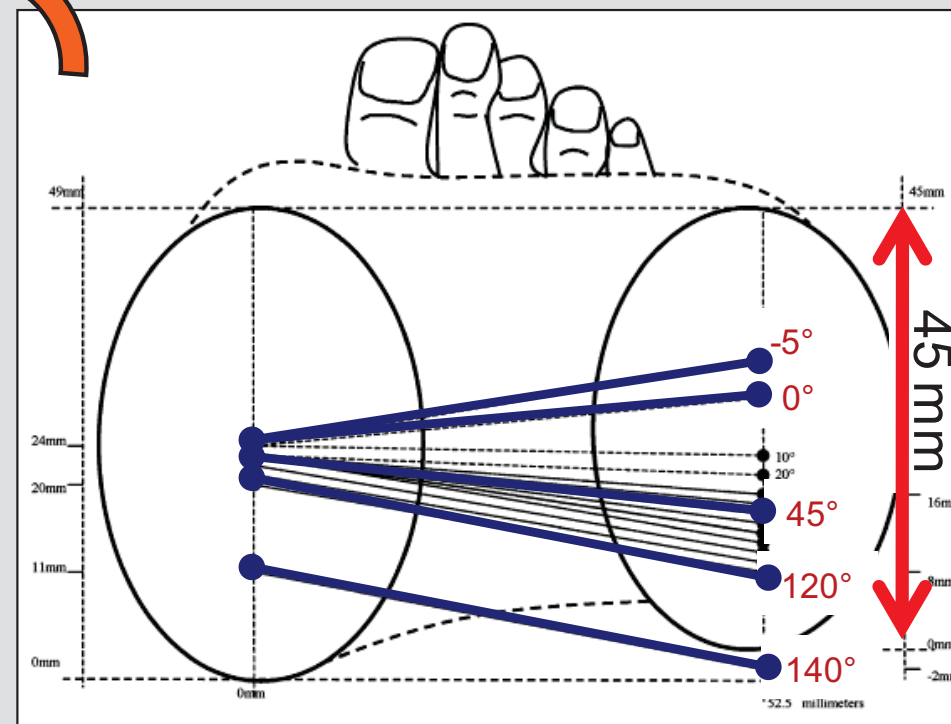
Traslazione degli epicondili rispetto al piatto tibiale in funzione della flessione-estensione



rotazione interna della tibia

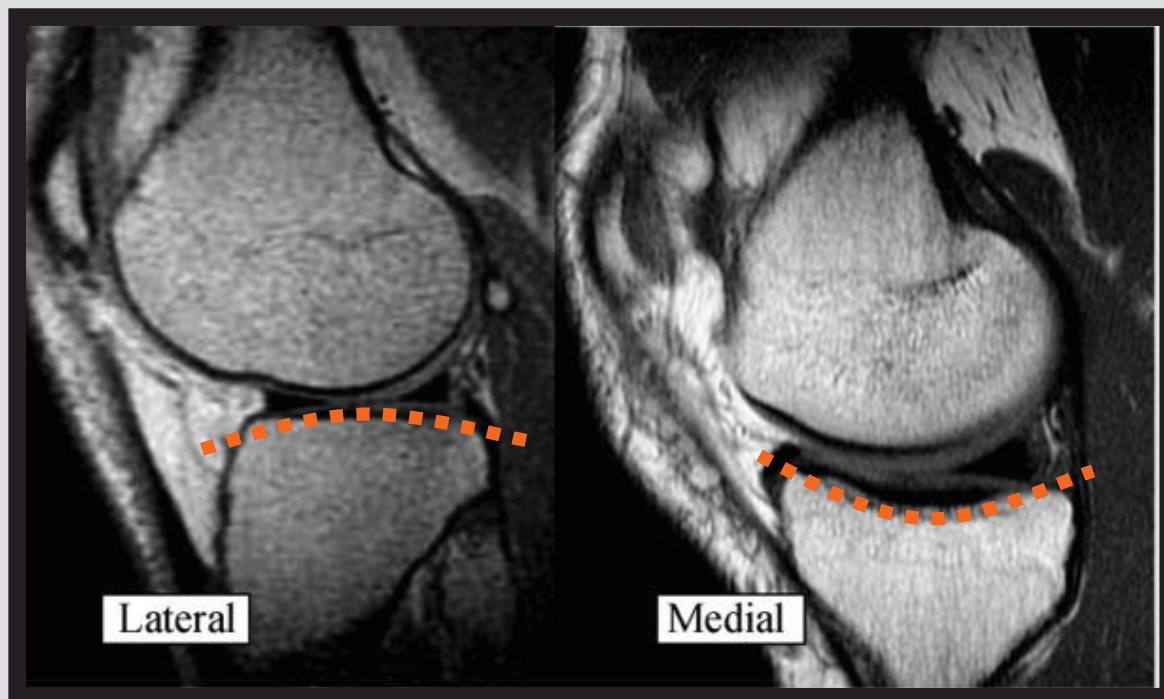


Cinematica senza carico



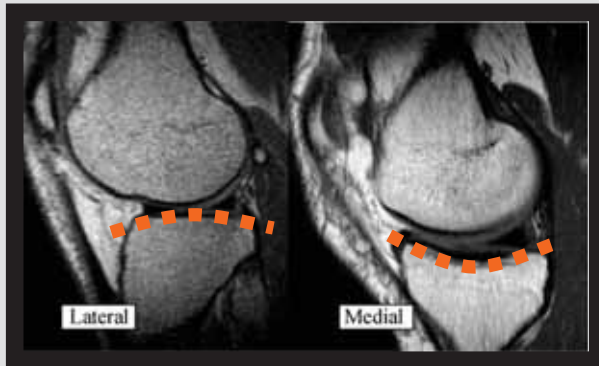
**Cinematica sotto carico
(peso corporeo)**

Movimento del ginocchio in vivo sotto carico

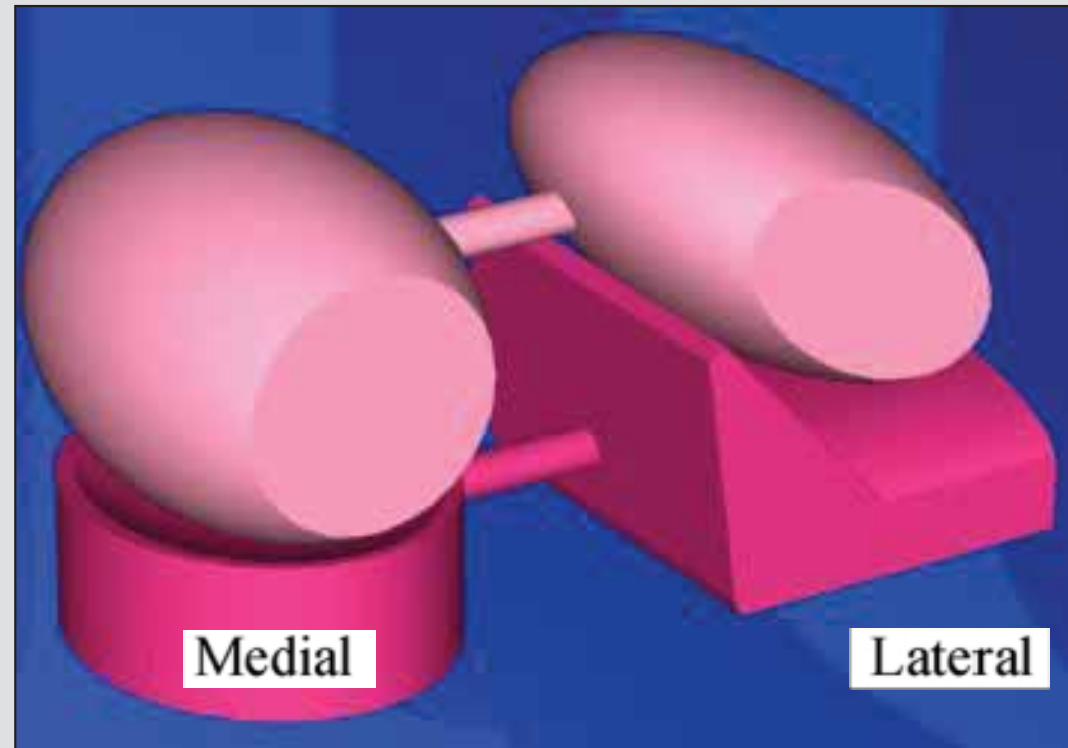


Superficie laterale della tibia leggermente **convessa**, superficie mediale **concava**

Movimento del ginocchio in vivo sotto carico

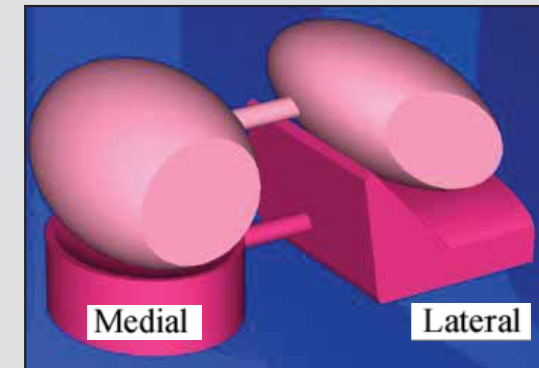
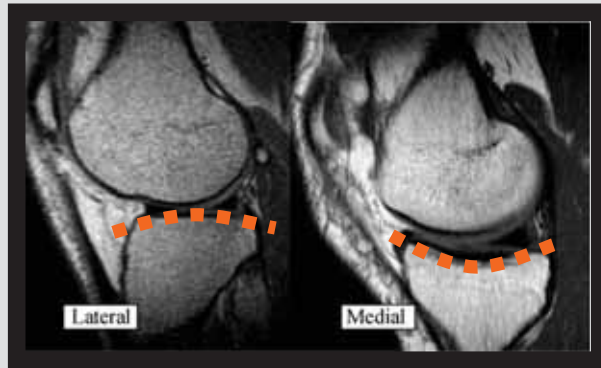


Iwaki et al., 2000



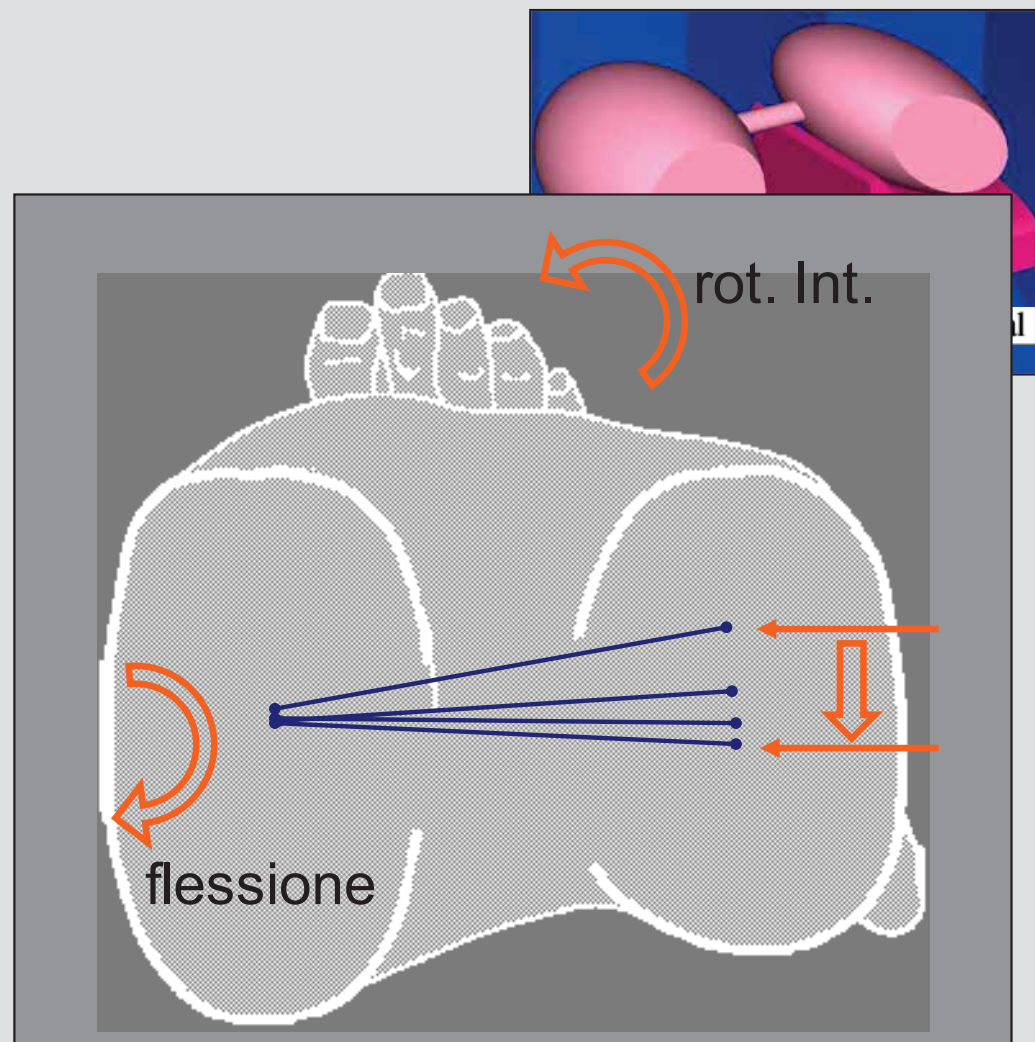
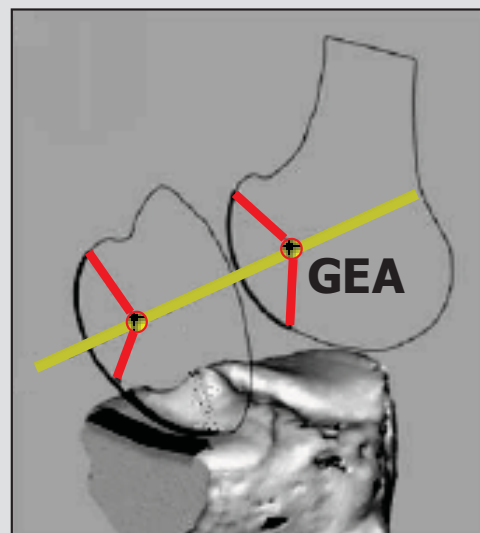
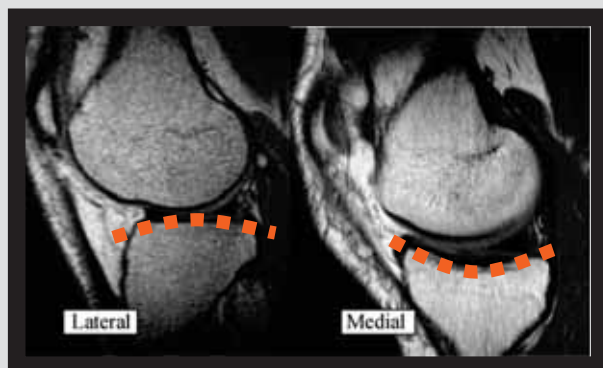
Il condilo laterale raggio maggiore del condilo mediale

Movimento del ginocchio in vivo sotto carico



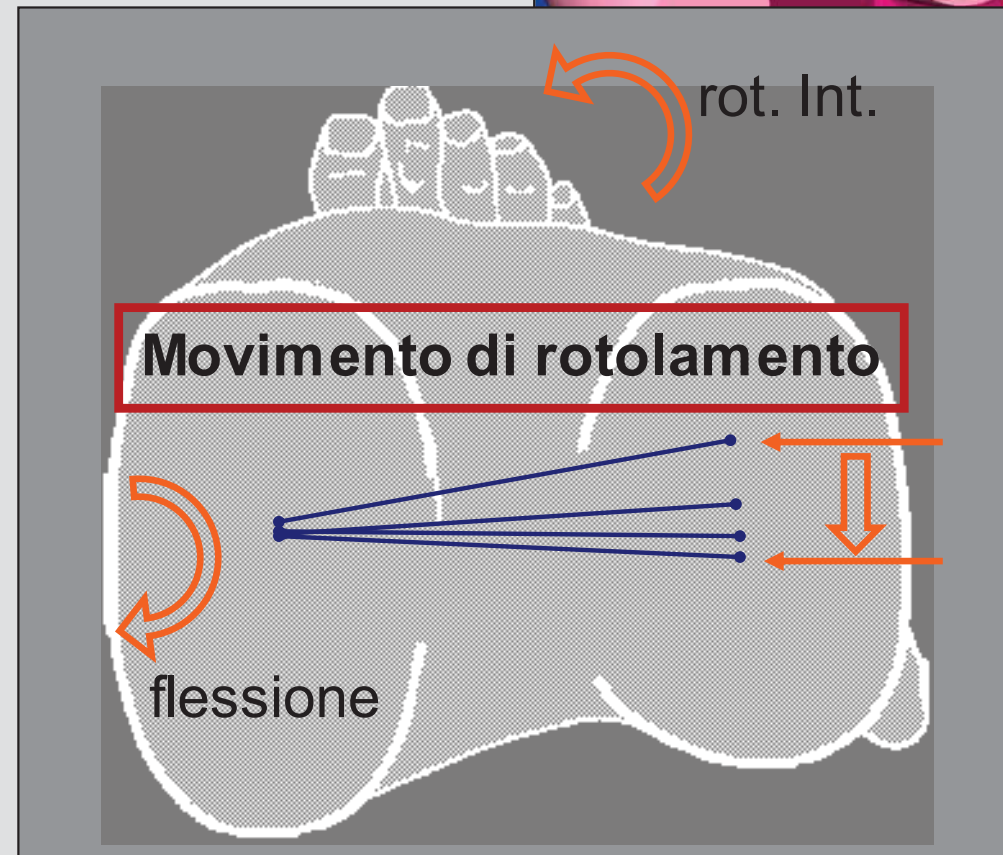
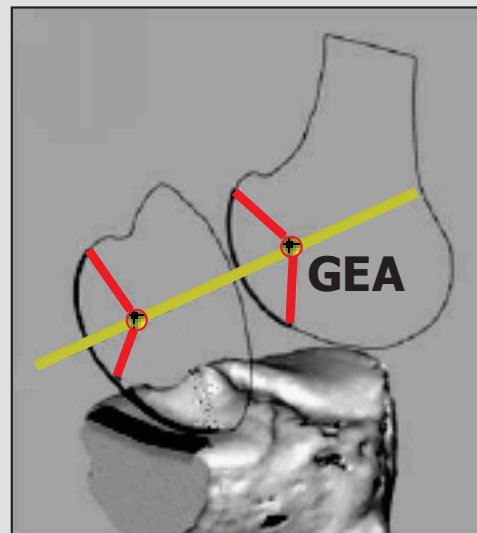
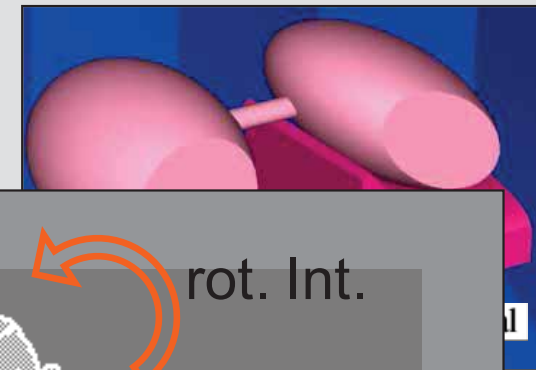
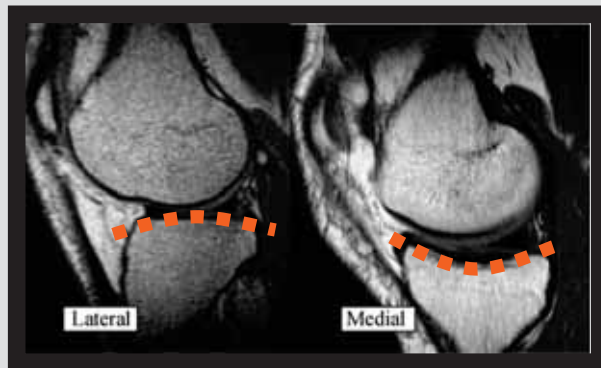
Iwaki et al., 2000

Movimento del ginocchio in vivo sotto carico



Spostamento posteriore del condilo laterale durante la flessione.
Rotazione interna della tibia rispetto al femore

Movimento del ginocchio in vivo sotto carico



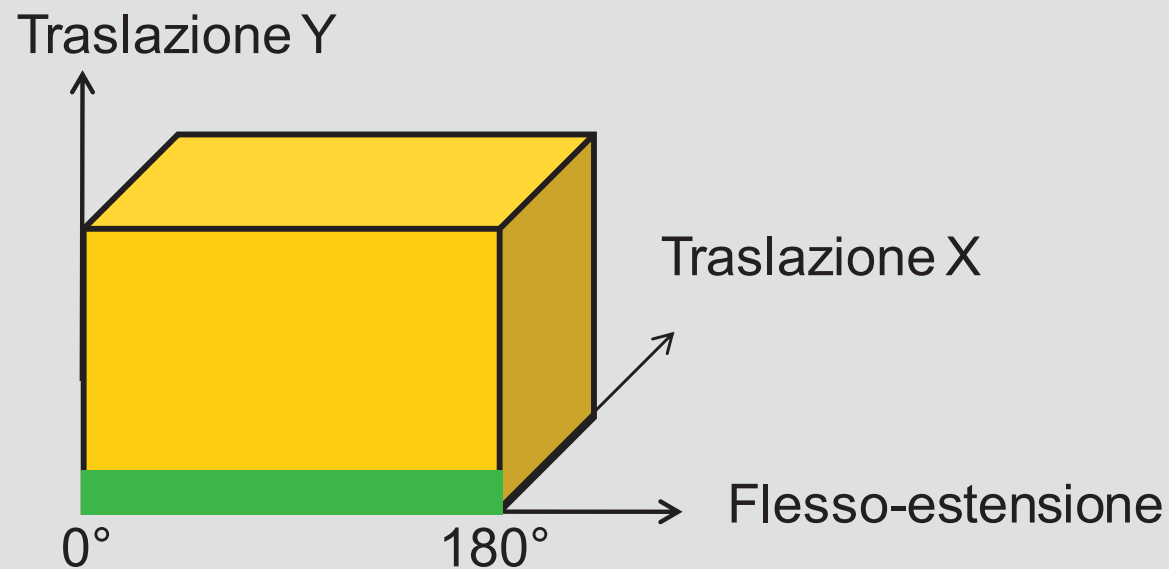
Spostamento posteriore del condilo laterale durante la flessione.
Rotazione interna della tibia rispetto al femore

Sommario

1. Caratteristiche dell'articolazione tibio-femorale
2. Come si muove il ginocchio
- 3. Biomeccanica del LCA**
4. Ricostruzione a singolo e doppio fascio

Il contributo delle strutture periferiche e del LCA

In generale, la cinematica del ginocchio è determinata dai legamenti che agiscono in sinergia con le superfici articolari. In presenza di forze esterne, i legamenti allungandosi esercitano delle forze che impediscono l'ulteriore movimento



Proprietà meccaniche del LCA

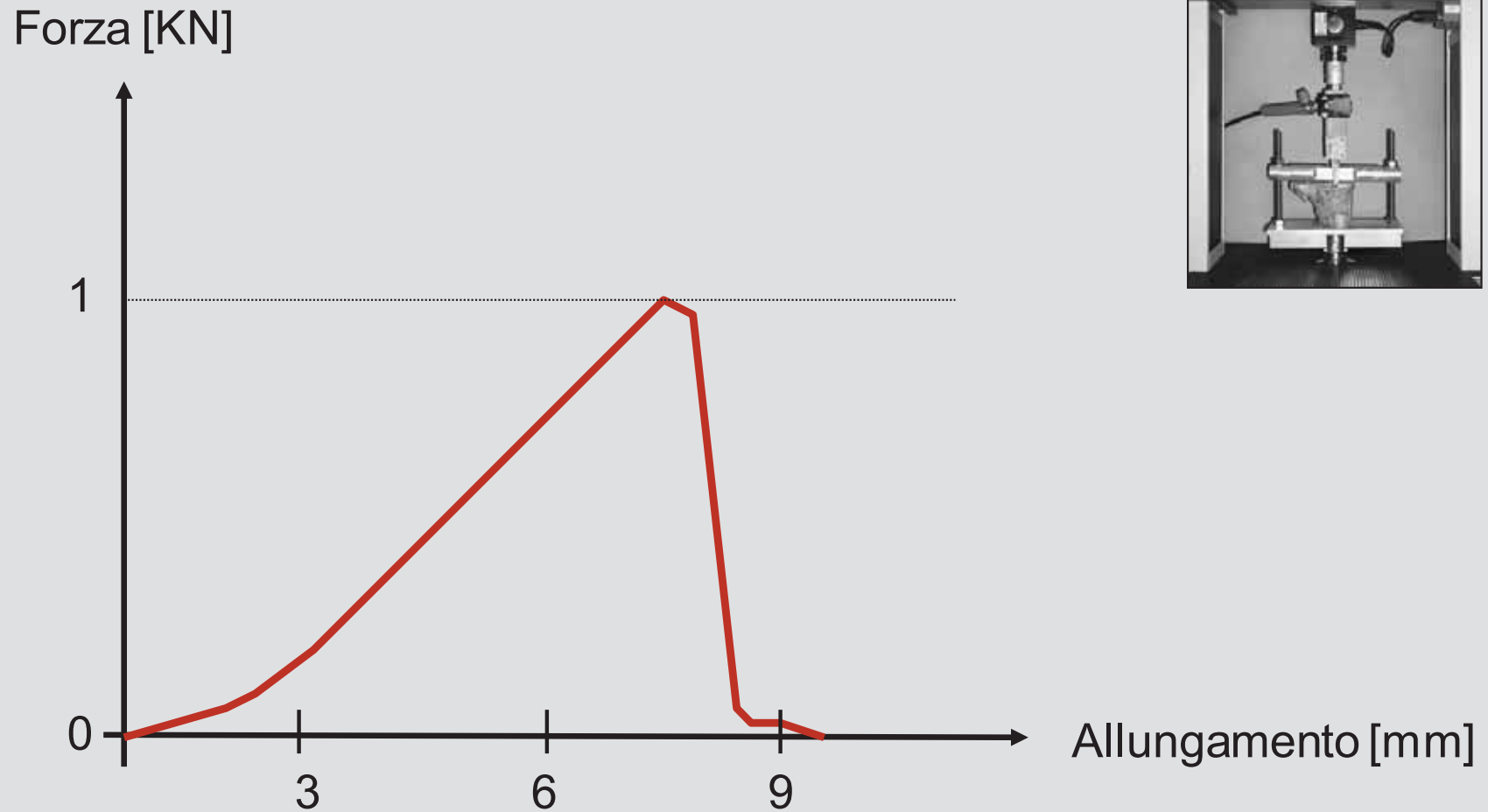
L'LCA esercita la sua funzione di vincolo elastico in seguito al suo allungamento



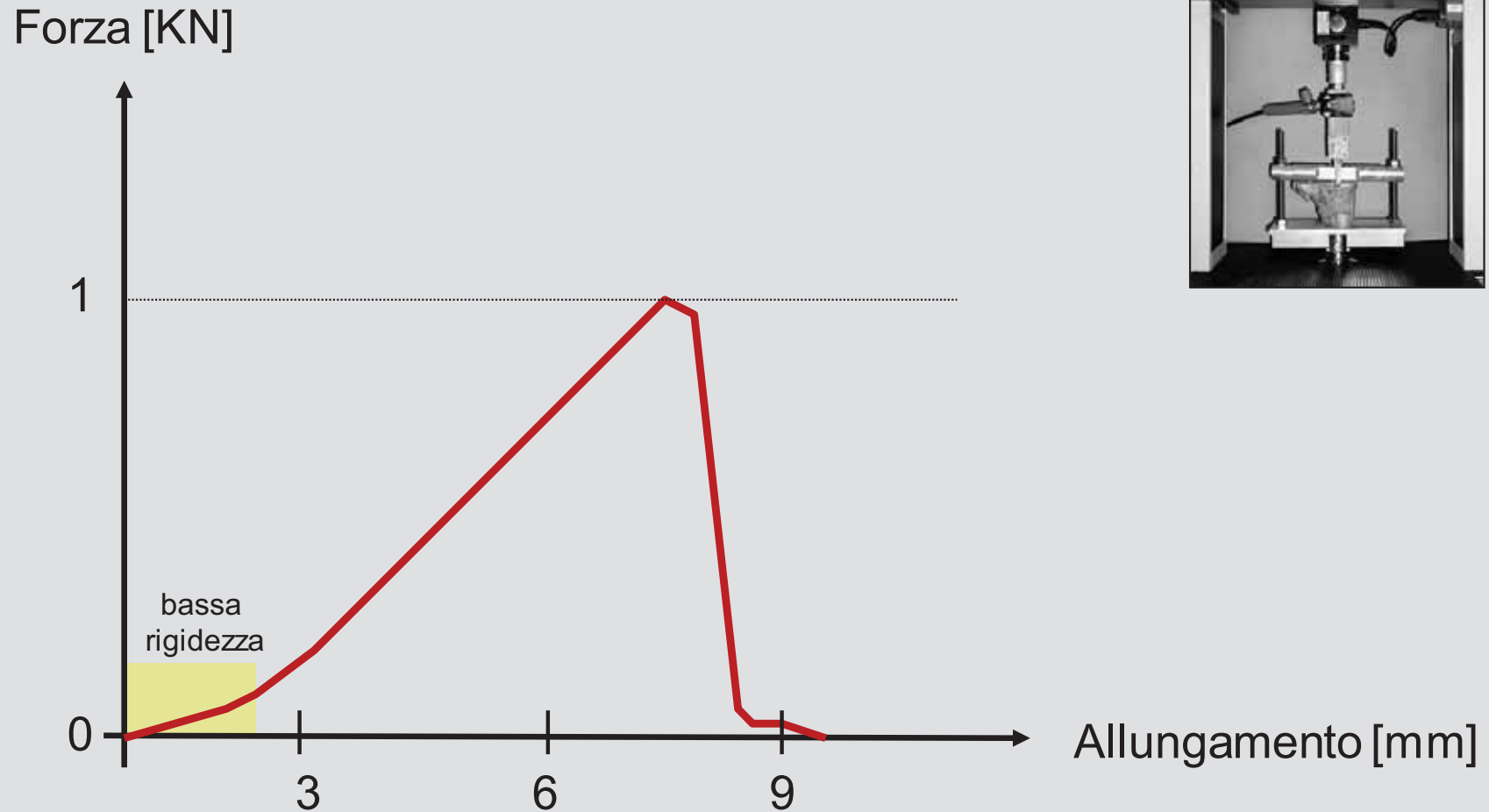
La forza prodotta in seguito al suo allungamento dipende dalle sue **proprietà meccaniche**

Che vuol dire?...

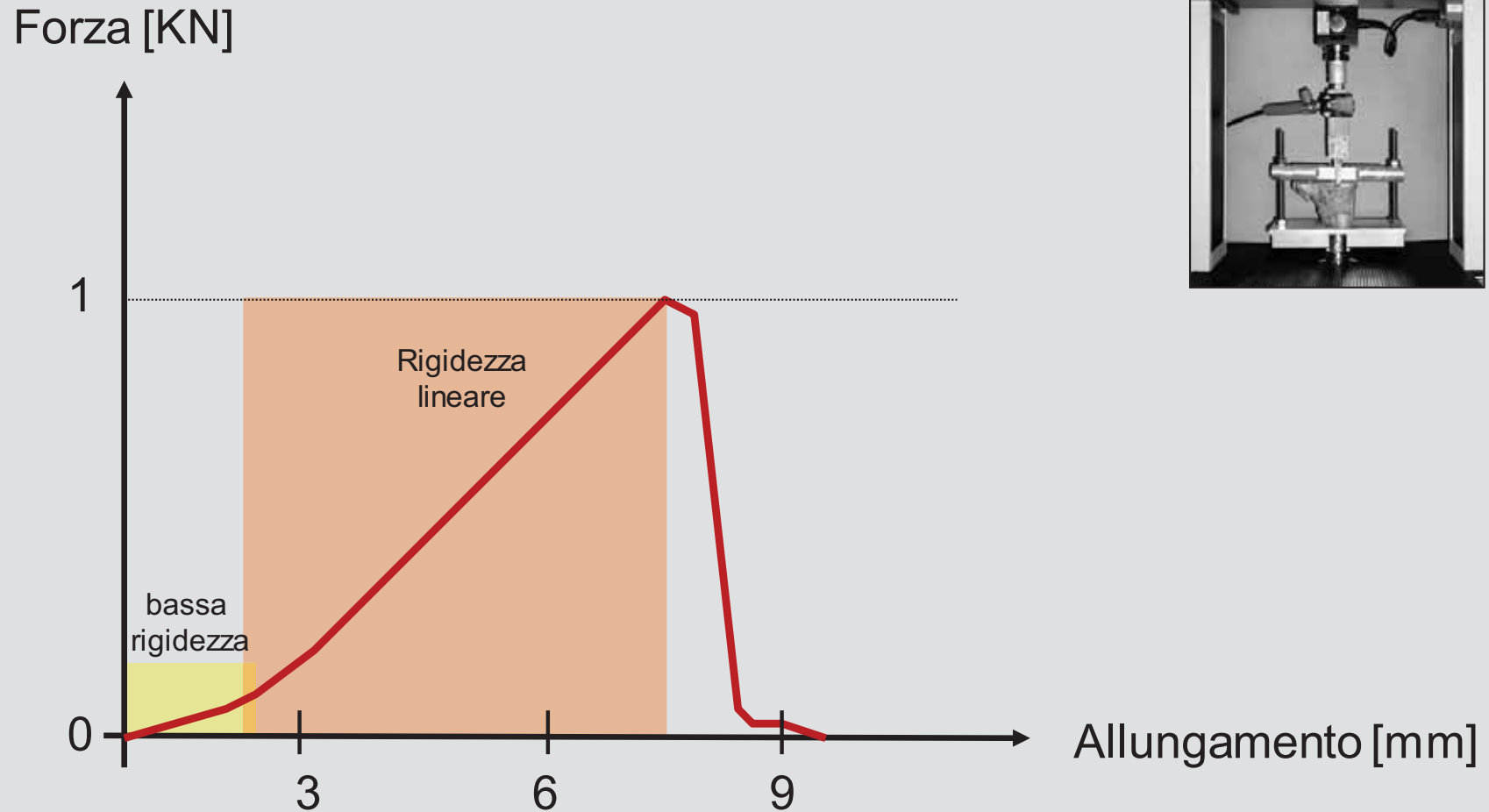
Curva forza-spostamento



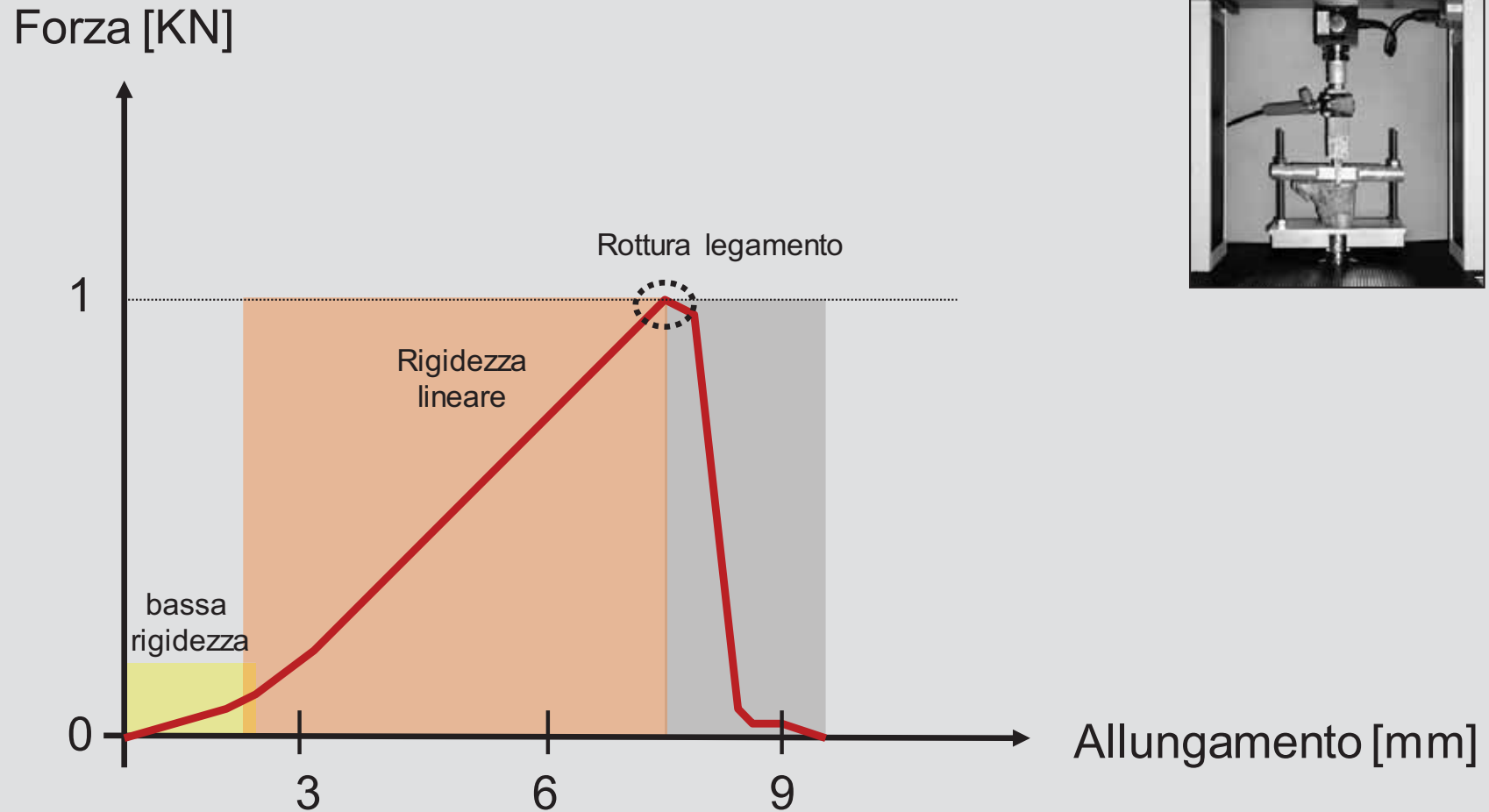
Analisi delle forze: curva forza-spostamento



Analisi delle forze: curva forza-spostamento



Analisi delle forze: curva forza-spostamento



Resistenze alla trazione

Legamenti crociati:

LCA: 2000 N

LCP: 1500 N

LMF: 300 N (forza simile al fascio PM del LCP)

Strutture mediali:

LCM: 550 N

CPM: 418 N

Strutture posterolaterali:

LCL: 500 N

LPF: 250 N

Resistenze alla trazione

Legamenti crociati:

LCA: 2000 N

LCP: 1500 N

LMF: 300 N (forza simile al fascio PM del LCP)

Strutture mediali:

LCM: 550 N

CPM: 418 N

Letteratura riporta valori molto diversi!!!!



fattori prettamente tecnici

Strutture posterolaterali:

LCL: 500 N

LPF: 250 N

Resistenze alla trazione

Legamenti crociati:

LCA: 2000 N

LCP: 1500 N

LMF: 300 N (forza simile al fascio PM del LCP)

Strutture mediali:

LCM: 550 N

CPM: 418 N

Letteratura riporta valori molto diversi!!!!



fattori prettamente tecnici

“Età” dei campioni

Strutture posterolaterali:

LCL: 500 N

LPF: 250 N

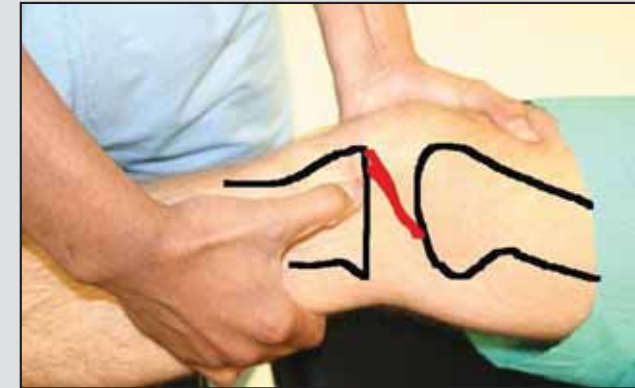
Woo et al., 1991

“Forza del LCA 2-3 volte maggiore nella 3° decade rispetto all’8°”

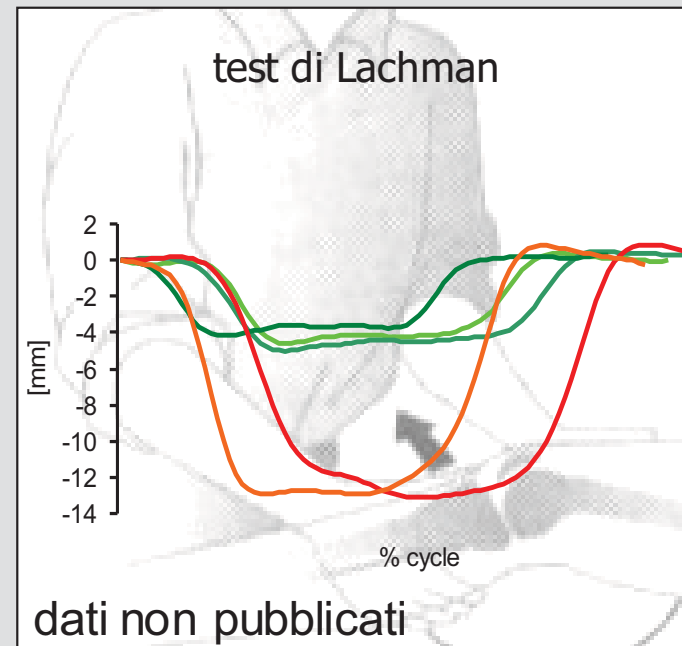
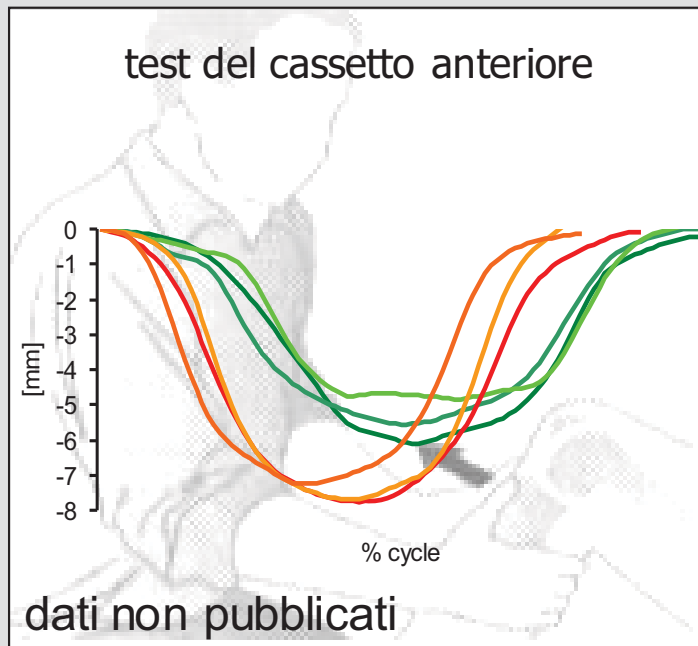
Il ruolo dell'LCA

Ruolo primario:

controllo della traslazione anteriore



<http://www.orthopaedia.com>

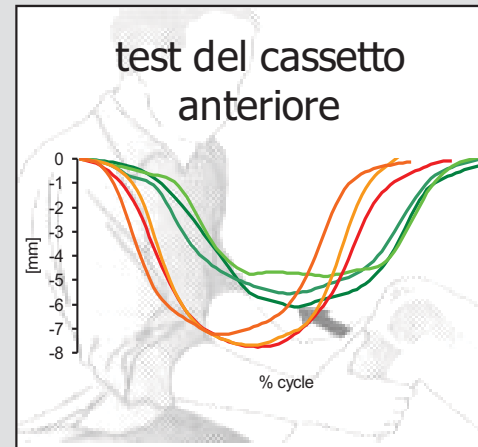


verde pre-taglio ACL
rosso post-taglio ACL

Il ruolo dell'LCA

Ruolo primario:

controllo della traslazione anteriore



Ruolo secondario:

controllo della rotazione interna in sinergia con i legamenti collaterali

Il taglio di questo legamento comporta un aumento della rotazione interna

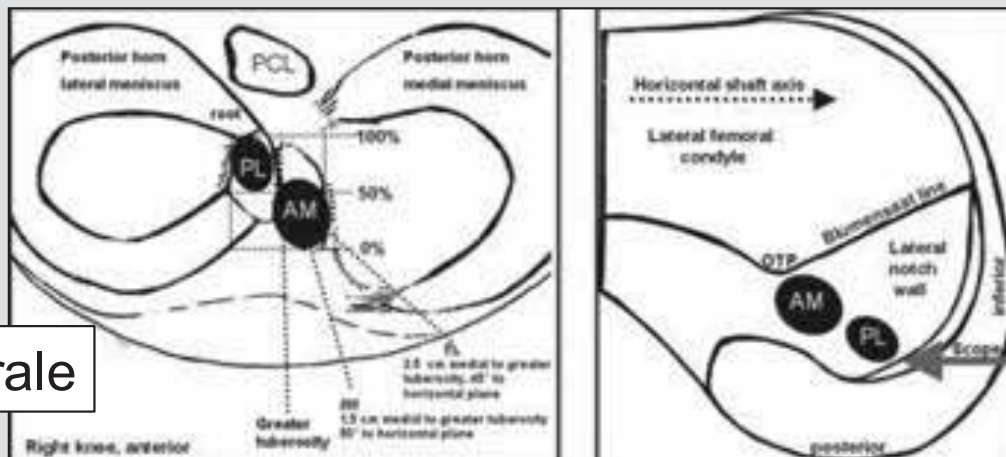
Recrutamento dell'LCA

Il processo che determina la relazione tra il movimento del ginocchio e le variazioni di lunghezza del legamento stesso

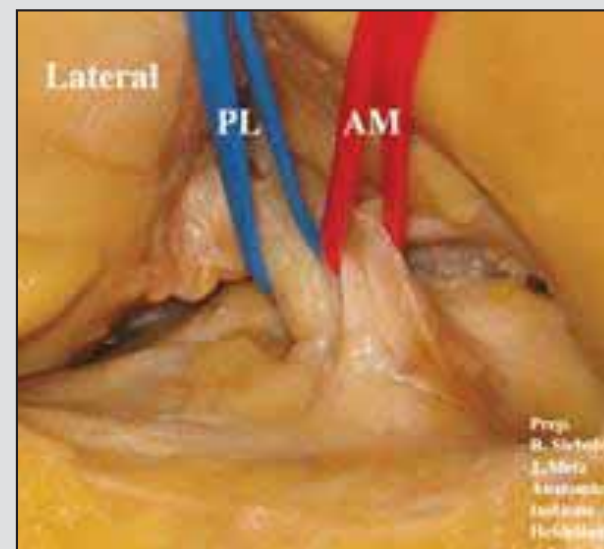
Il LCA può essere considerato costituito da due fasci:

Fascio antero-mediale (AM)

Fascio postrero-laterale (PL)

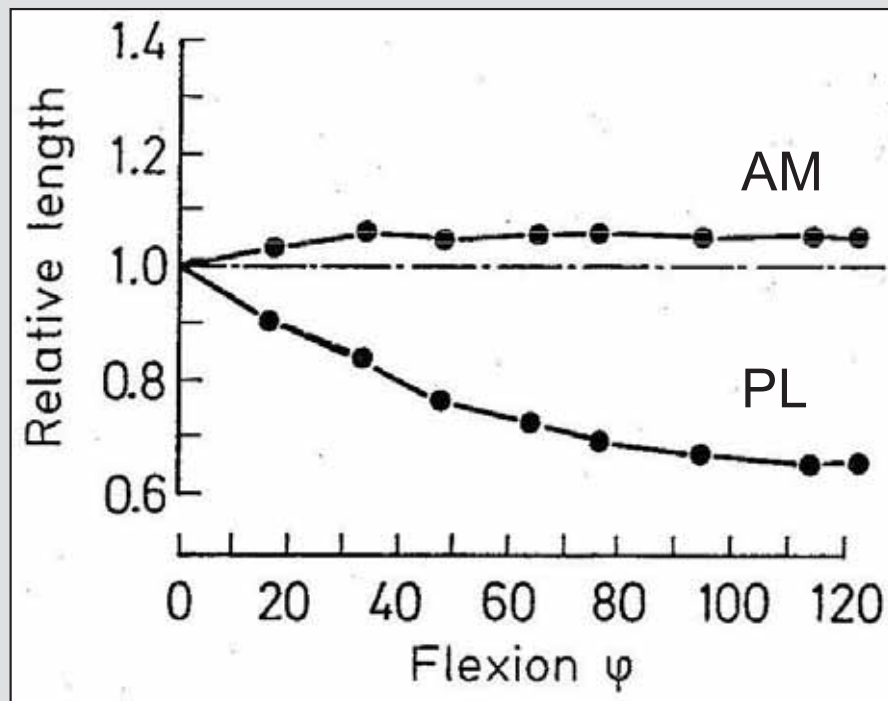
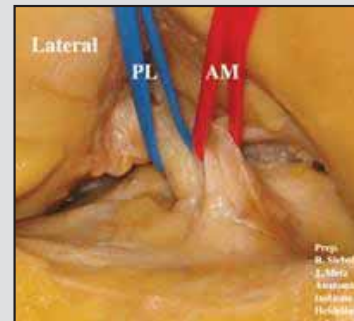


laterale



Recrutamento dell'LCA

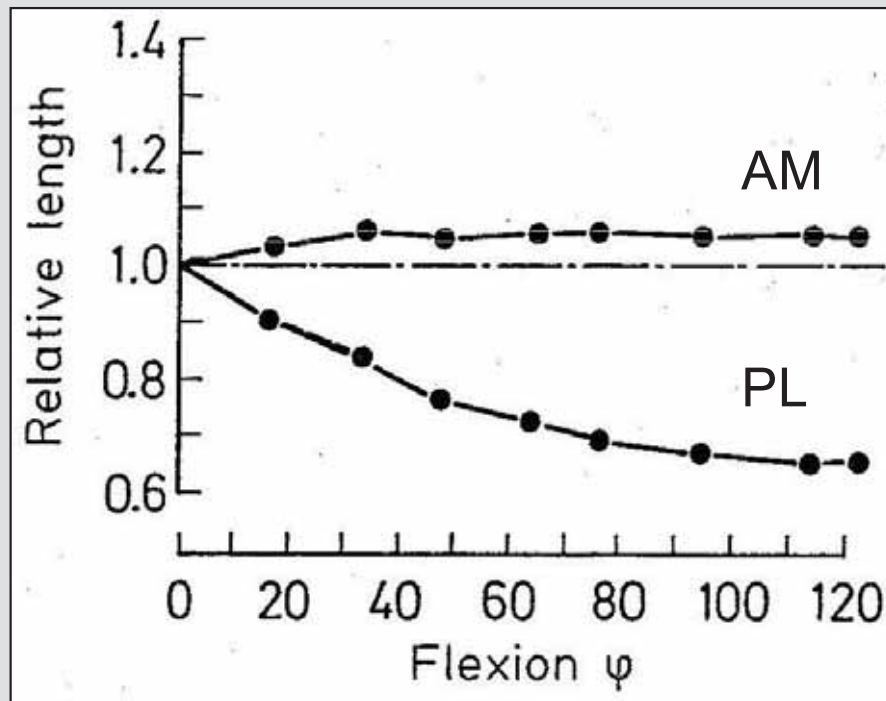
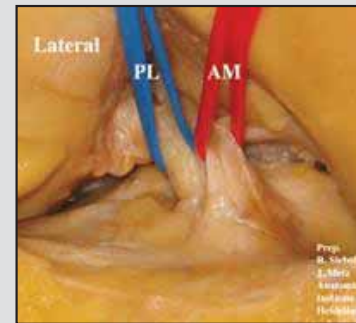
Fascio antero-mediale (AM)
Fascio postero-laterale (PL)



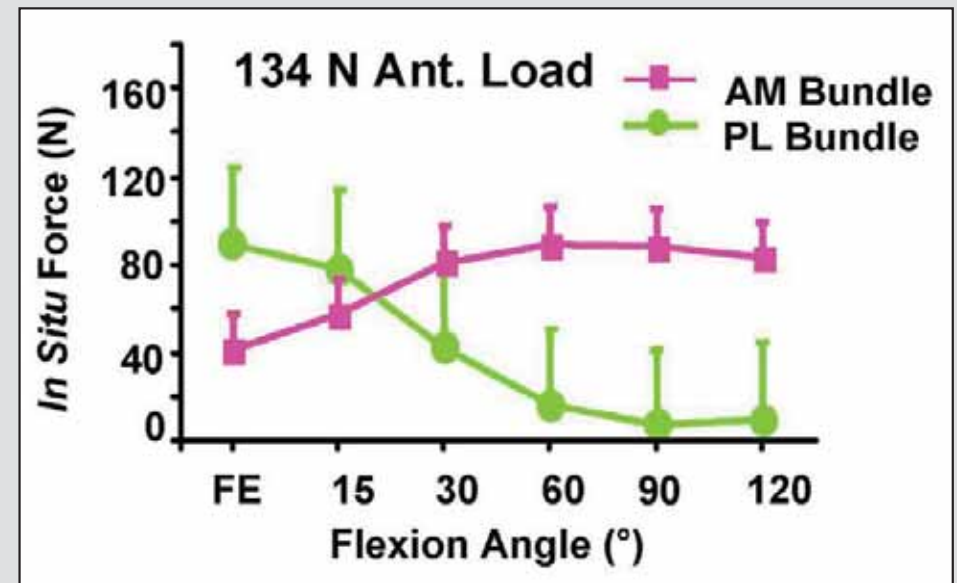
Huiskes et al., 1985

Recrutamento dell'LCA

Fascio antero-mediale (AM)
Fascio postero-laterale (PL)



Huiskes et al., 1985

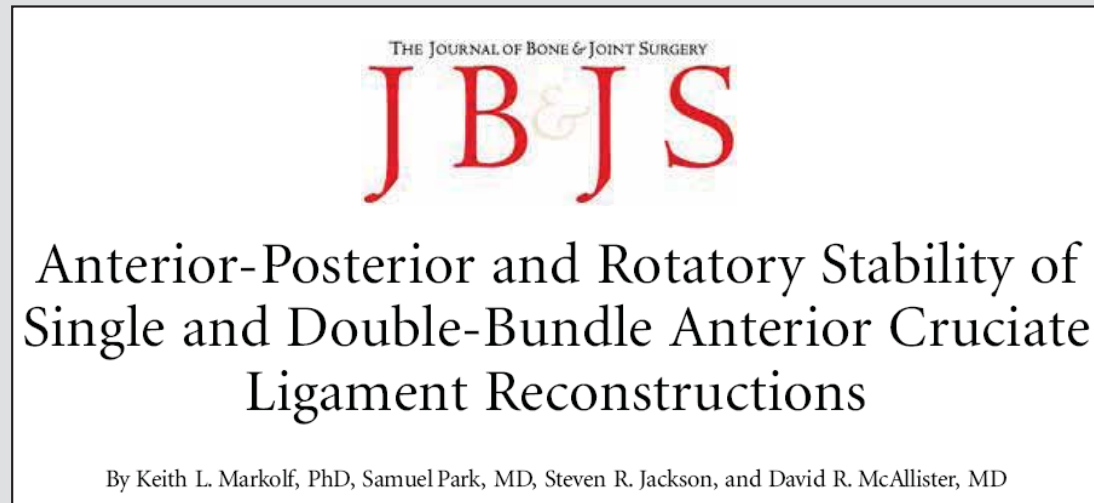


Woo et al., 2010

Sommario

1. Caratteristiche dell'articolazione tibio-femorale
2. Come si muove il ginocchio
3. Biomeccanica del LCA
- 4. Ricostruzione a singolo e doppio fascio**

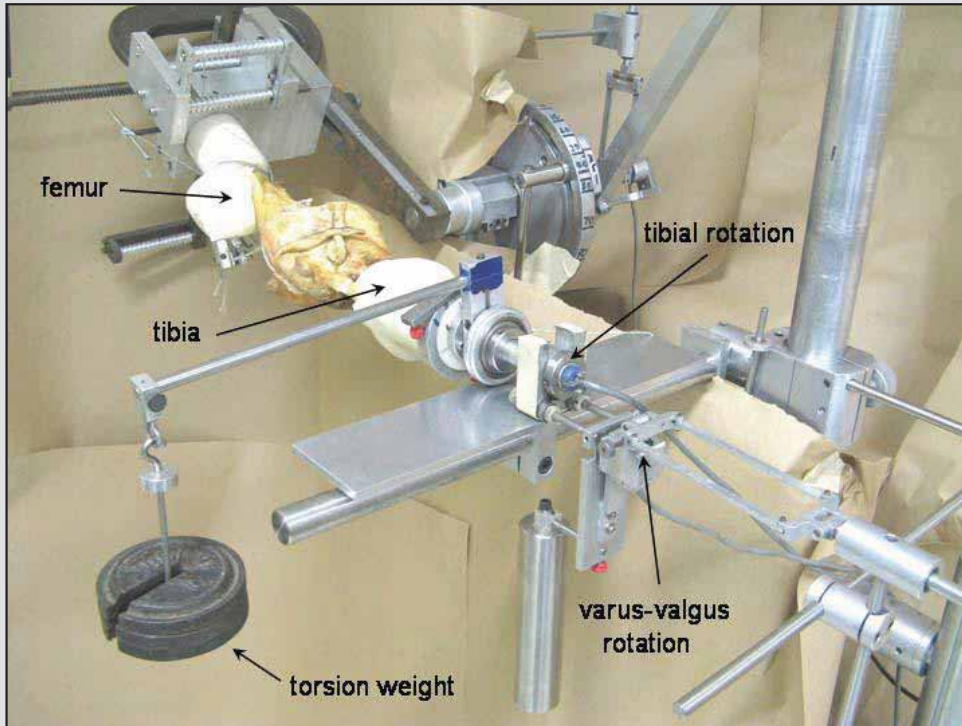
Analisi biomeccanica per differenti tecniche di ricostruzione



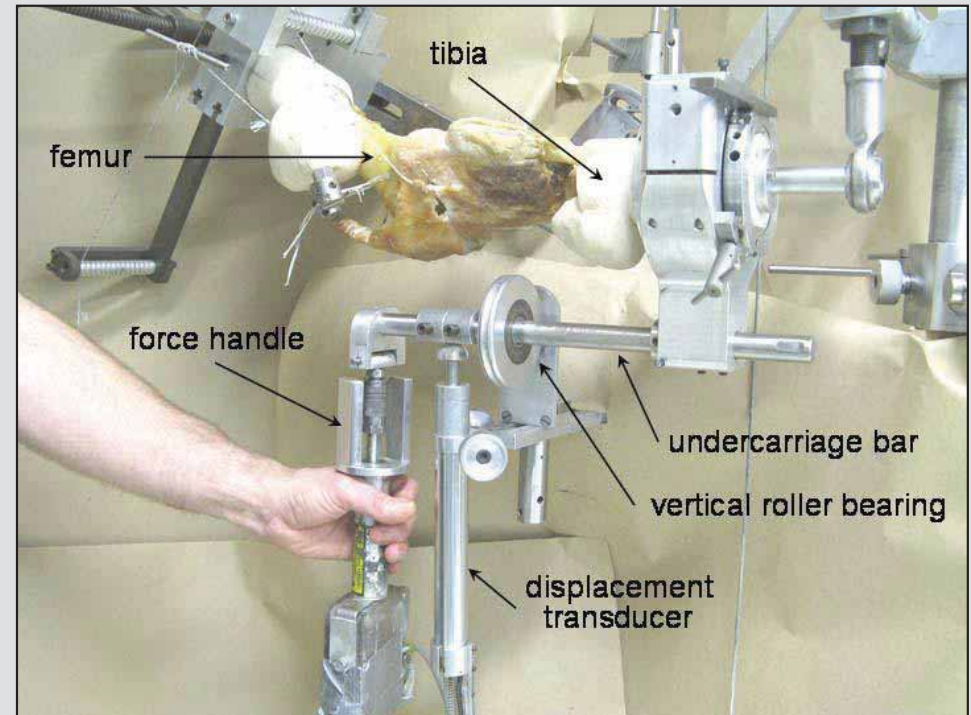
Scopi dello studio :

- 1. Misurare la capacità della ricostruzione a singolo e a doppio fascio nel ripristinare la lassità antero-posteriore e rotazionale**
- 2. Confrontare le forze di tensione degli innesti con la tensione dei legamenti originali**

Apparati sperimentali

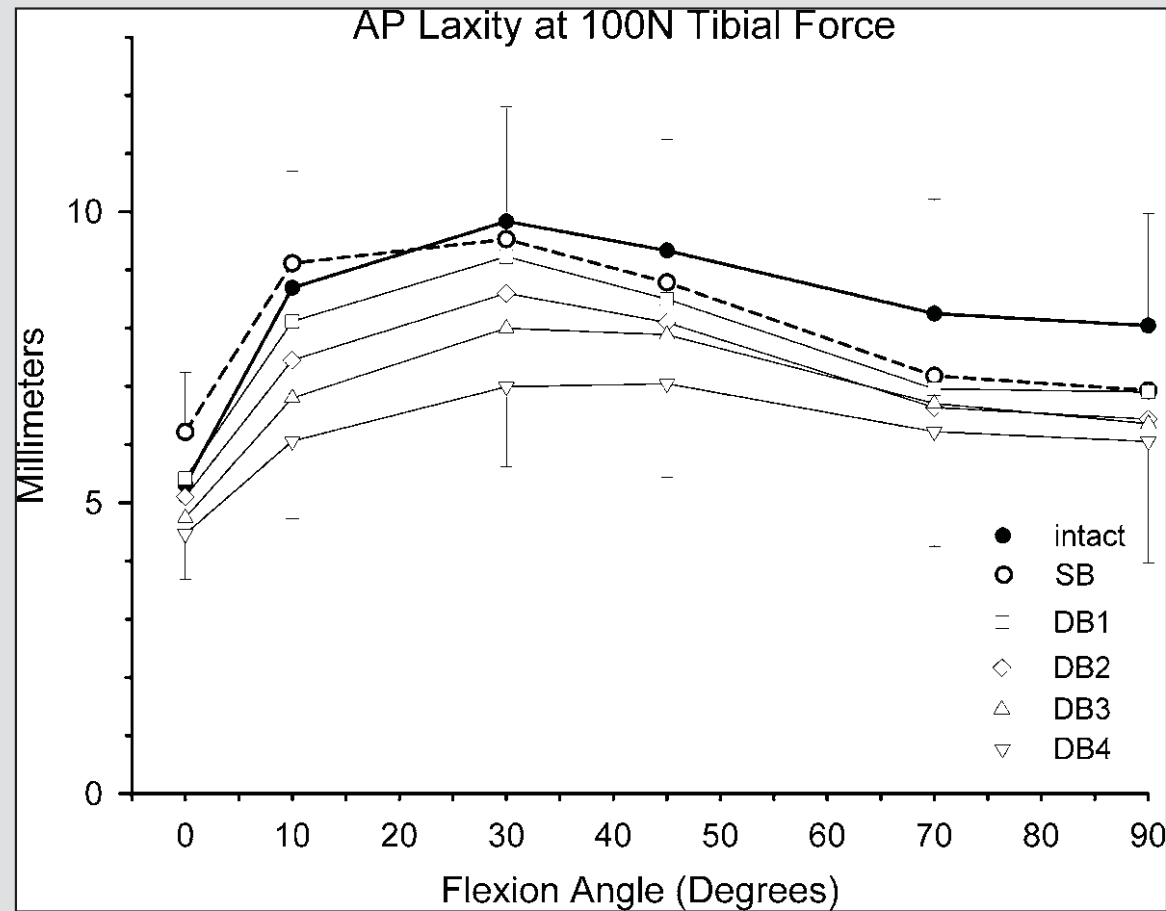


Apparato sperimentale per la misura delle rotazioni

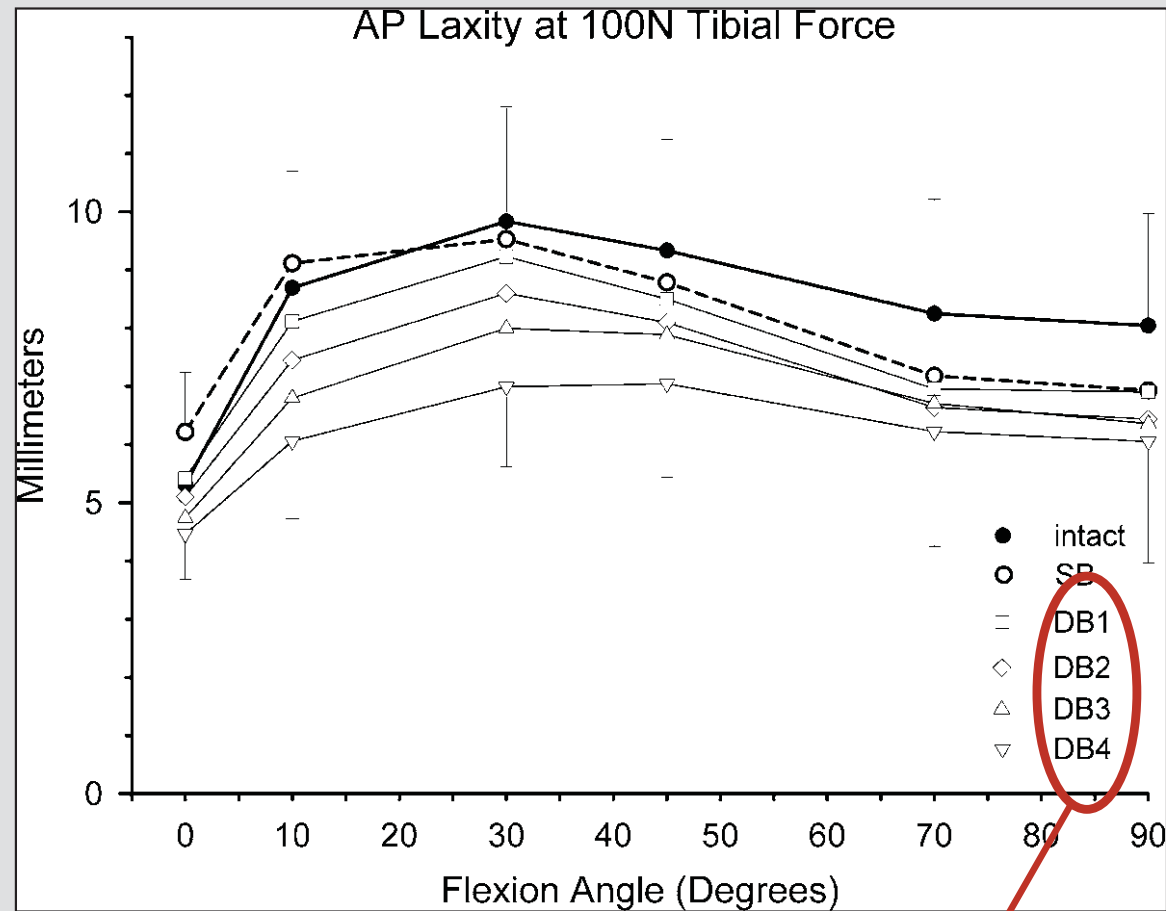


Apparato sperimentale per la misura traslazioni AP

Lassità antero-posteriore: traslazioni



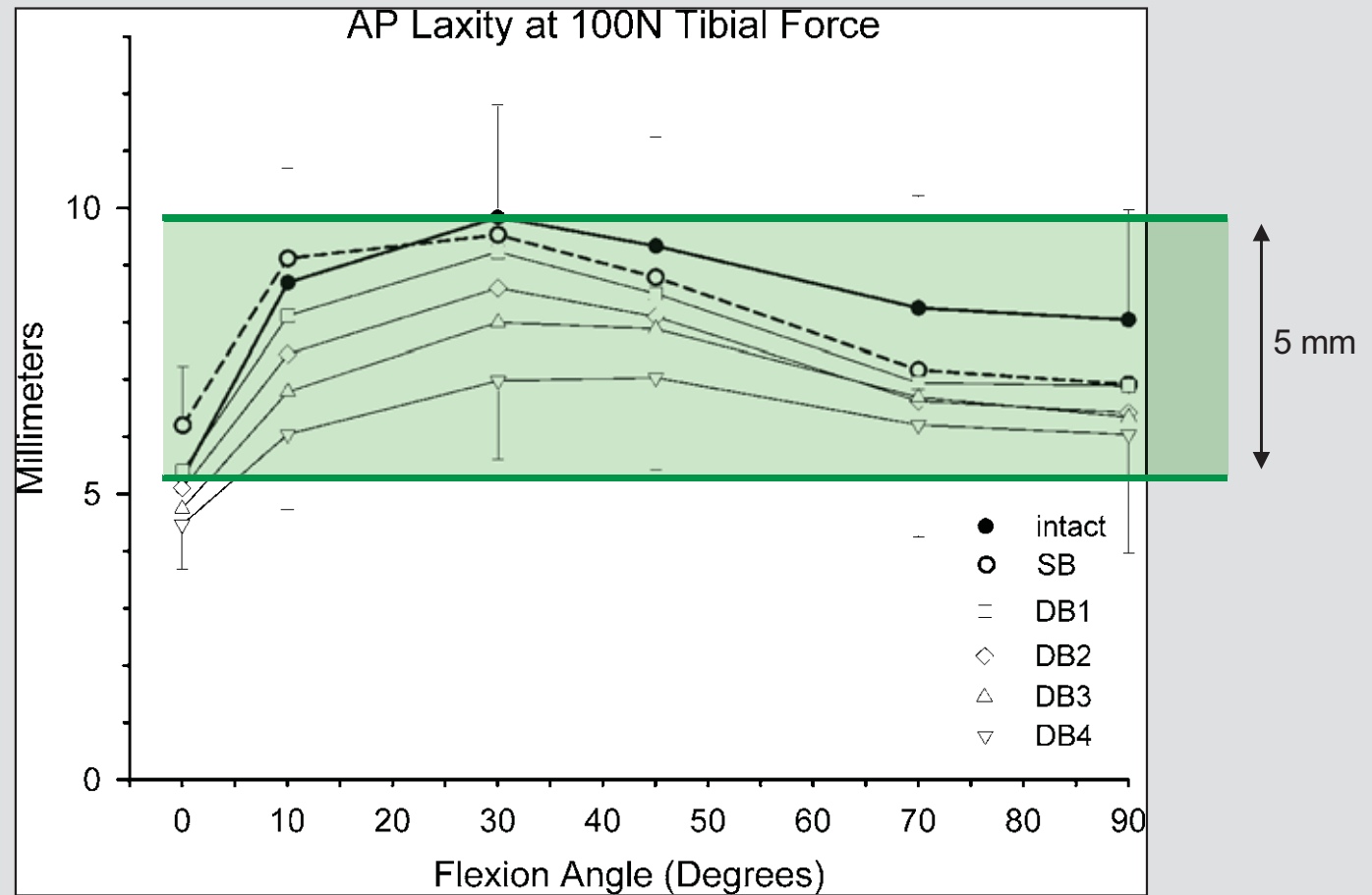
Lassità antero-posteriore: traslazioni



Diversi livelli di tensione del fascio AM e PL

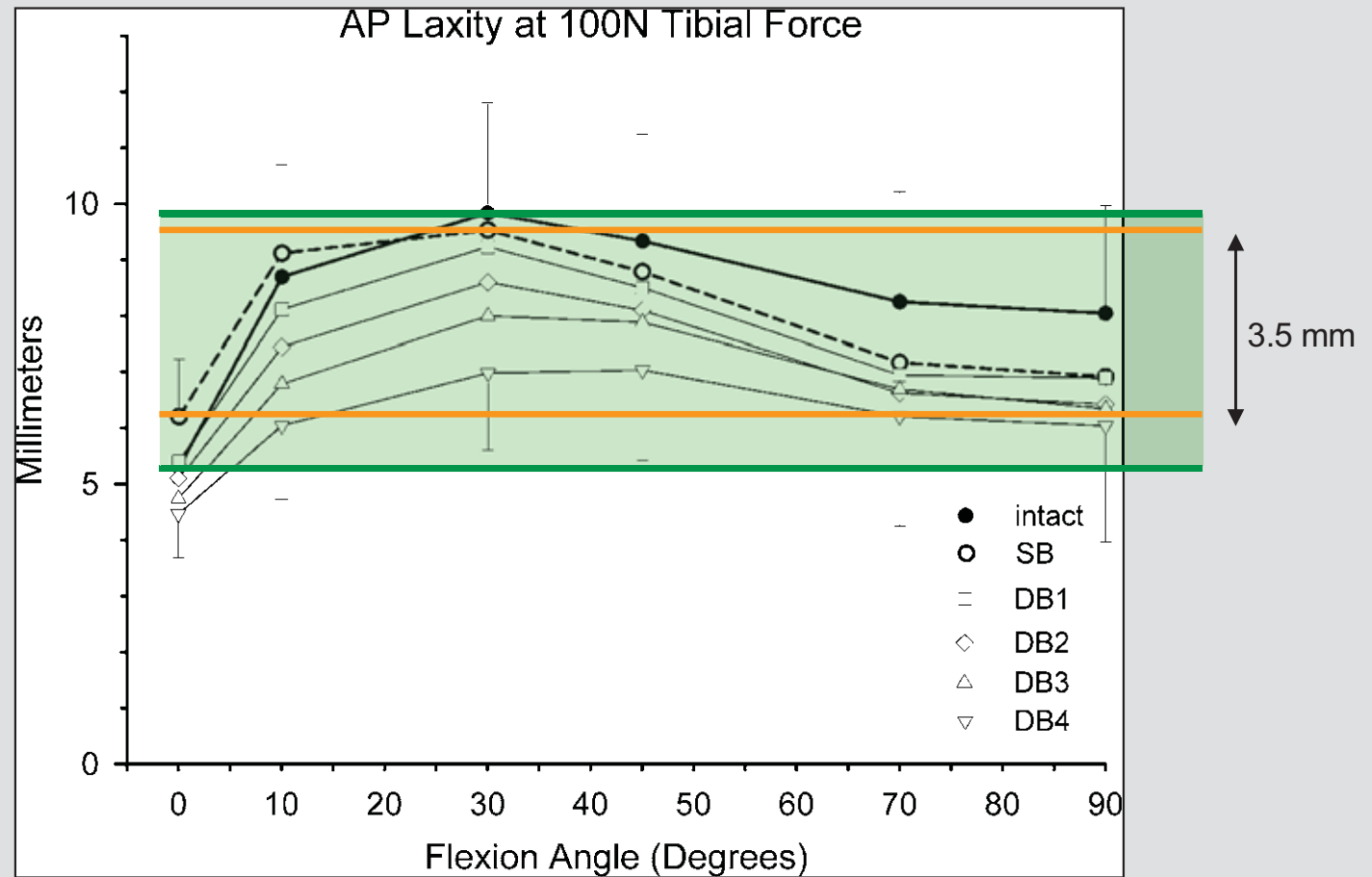
Lassità antero-posteriore: traslazioni

- Traslazione massima ginocchio intatto



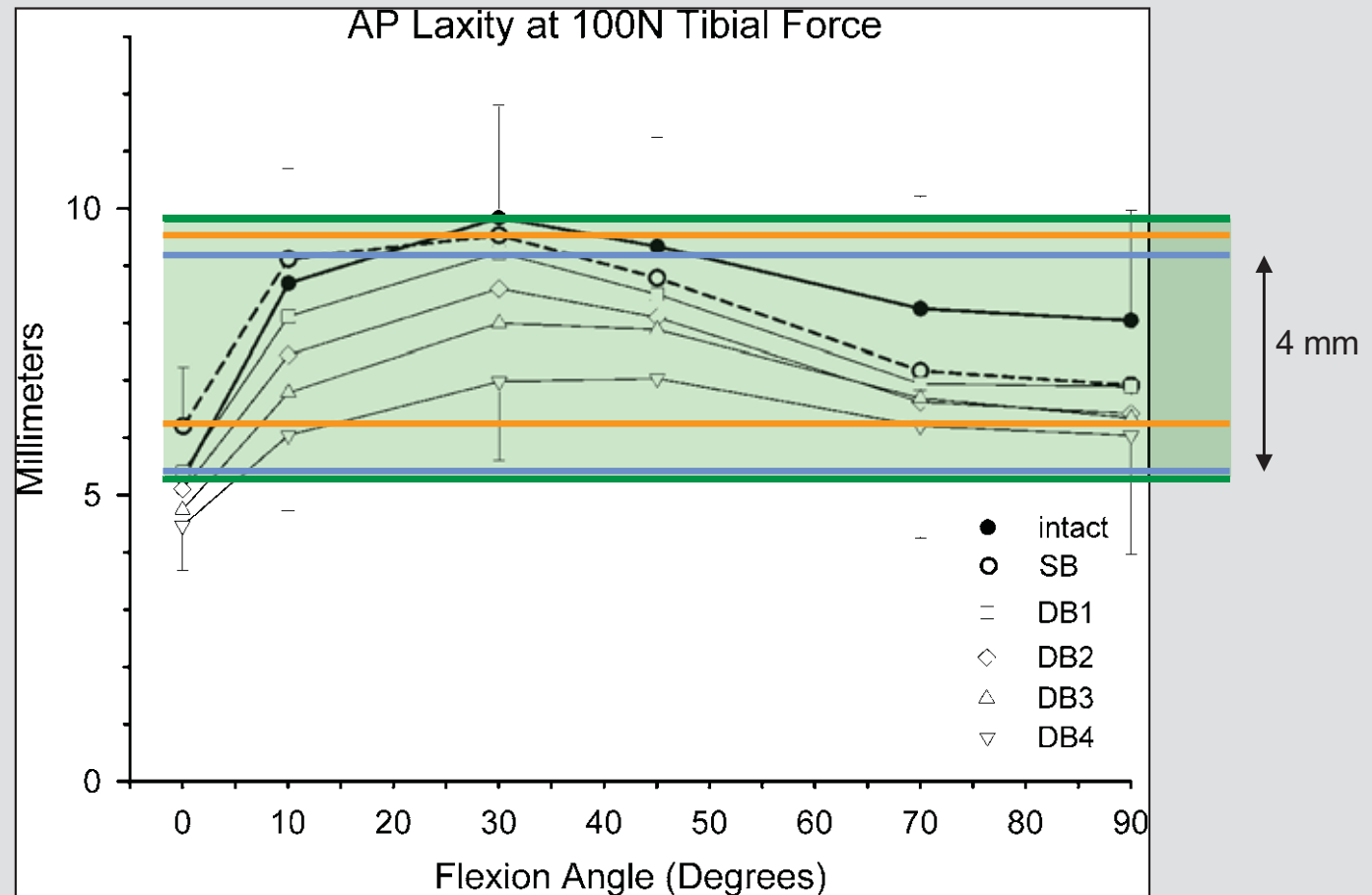
Lassità antero-posteriore: traslazioni

- Traslazione massima ginocchio intatto
- Range di traslazione ridotto per singolo fascio

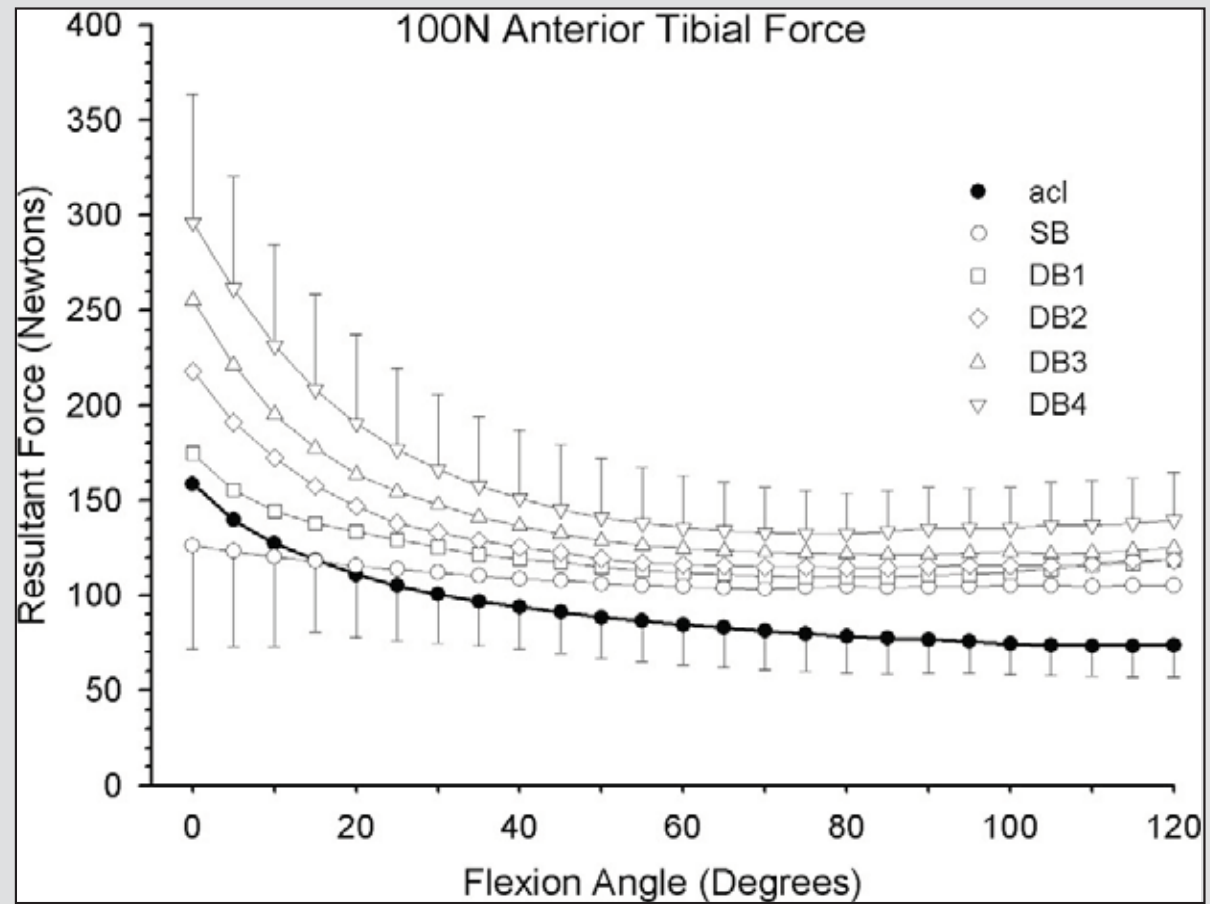


Lassità antero-posteriore: traslazioni

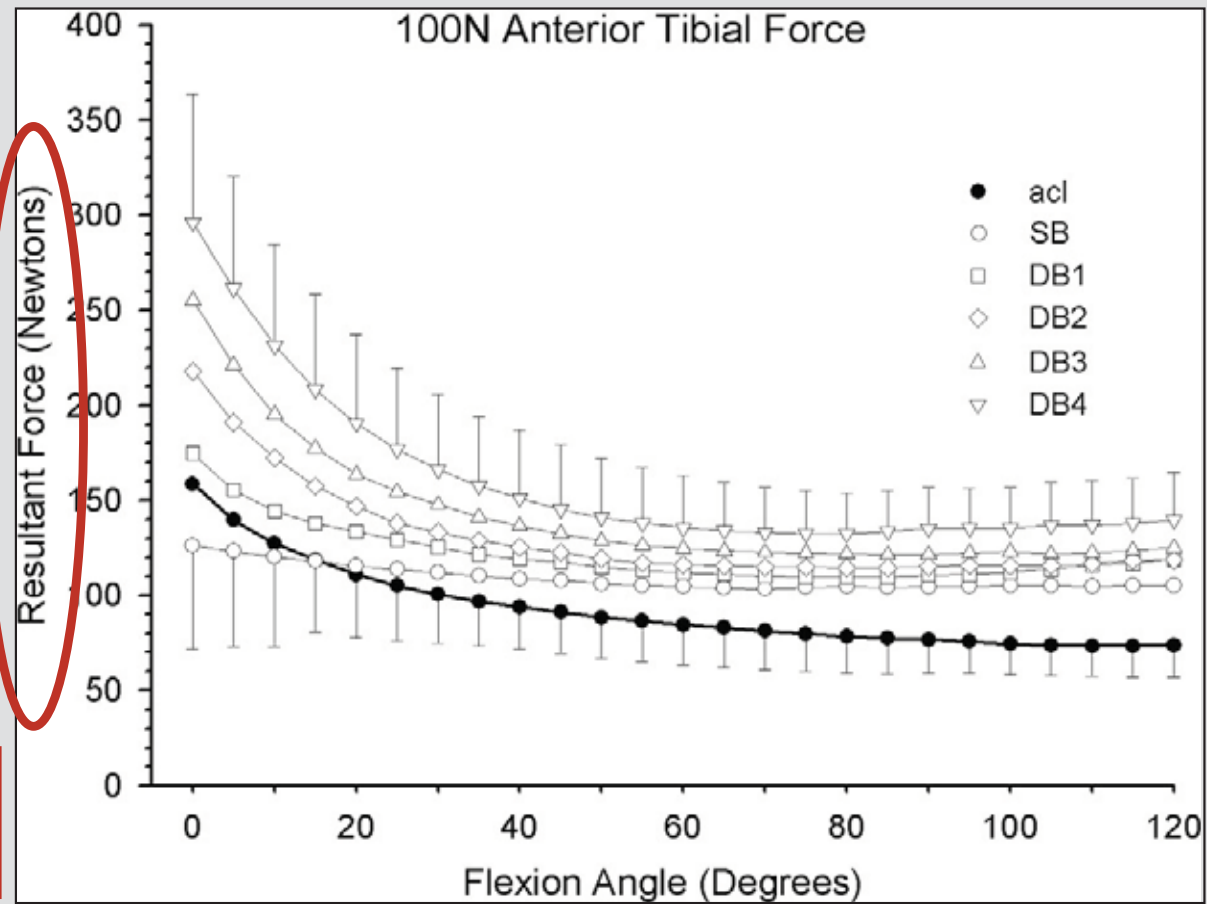
- Traslazione massima ginocchio intatto
- Range di traslazione ridotto per singolo fascio
- Valori traslazioni a 0° gradi di flessione ripristinati con il doppio fascio
- Alcune ricostruzioni a doppio fascio causano un irrigidimento del ginocchio



Lassità antero-posteriore: forze

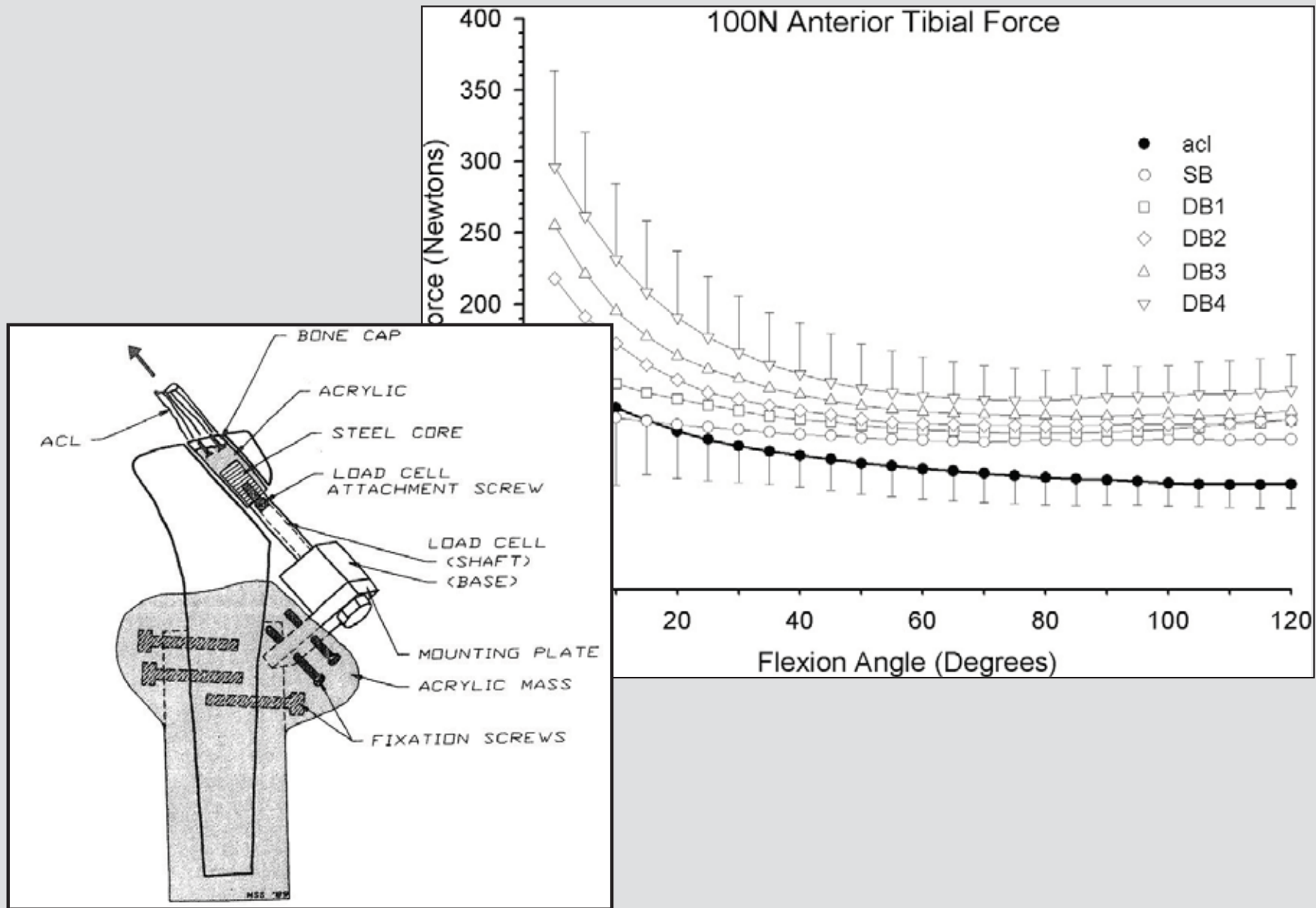


Lassità antero-posteriore: forze

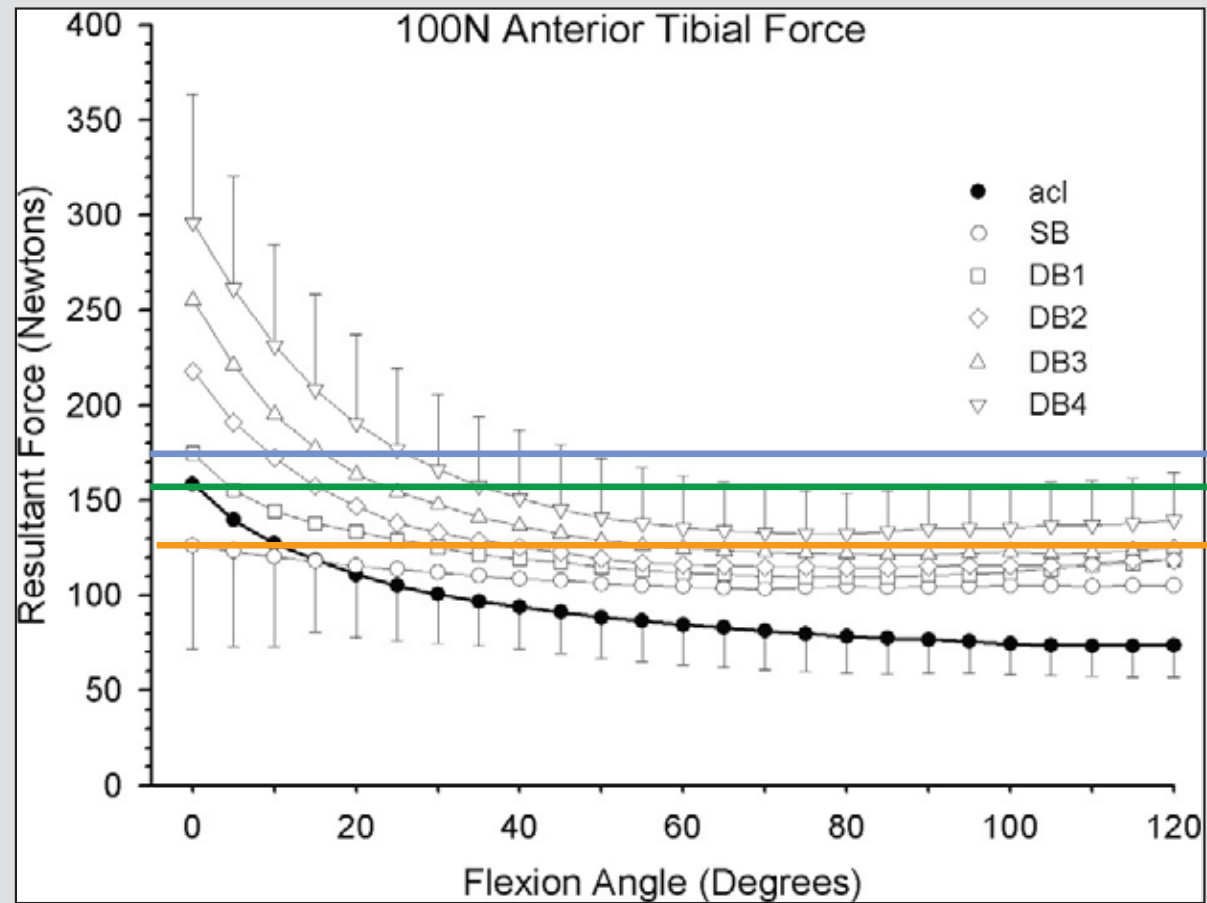


Tensione trasmessa dai legamenti

Lassità antero-posteriore: forze

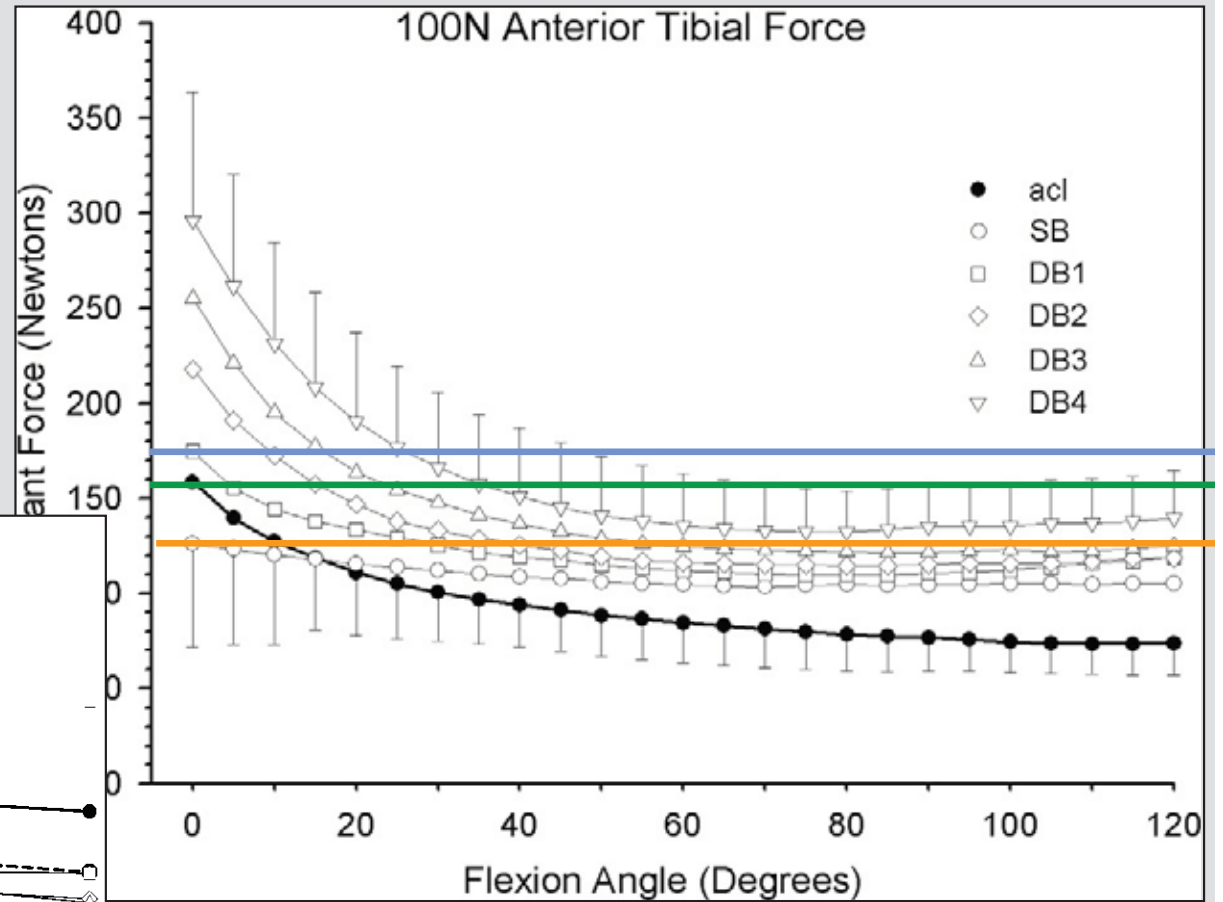
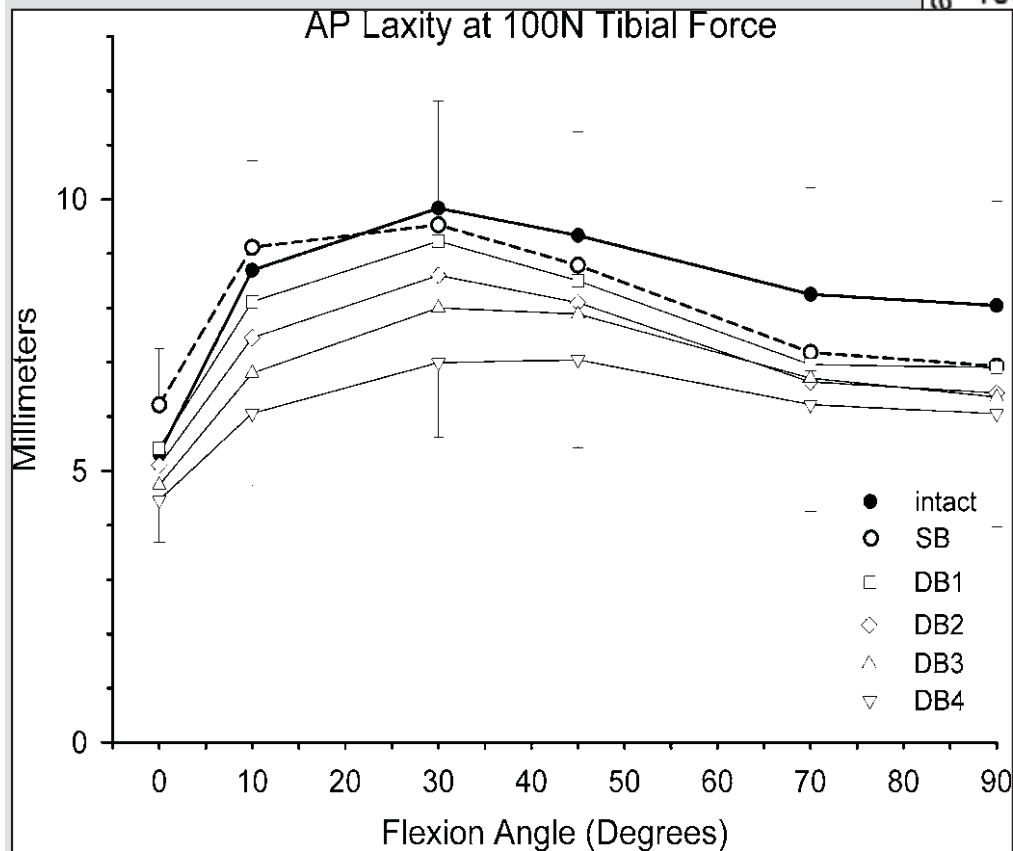


Lassità antero-posteriore: forze

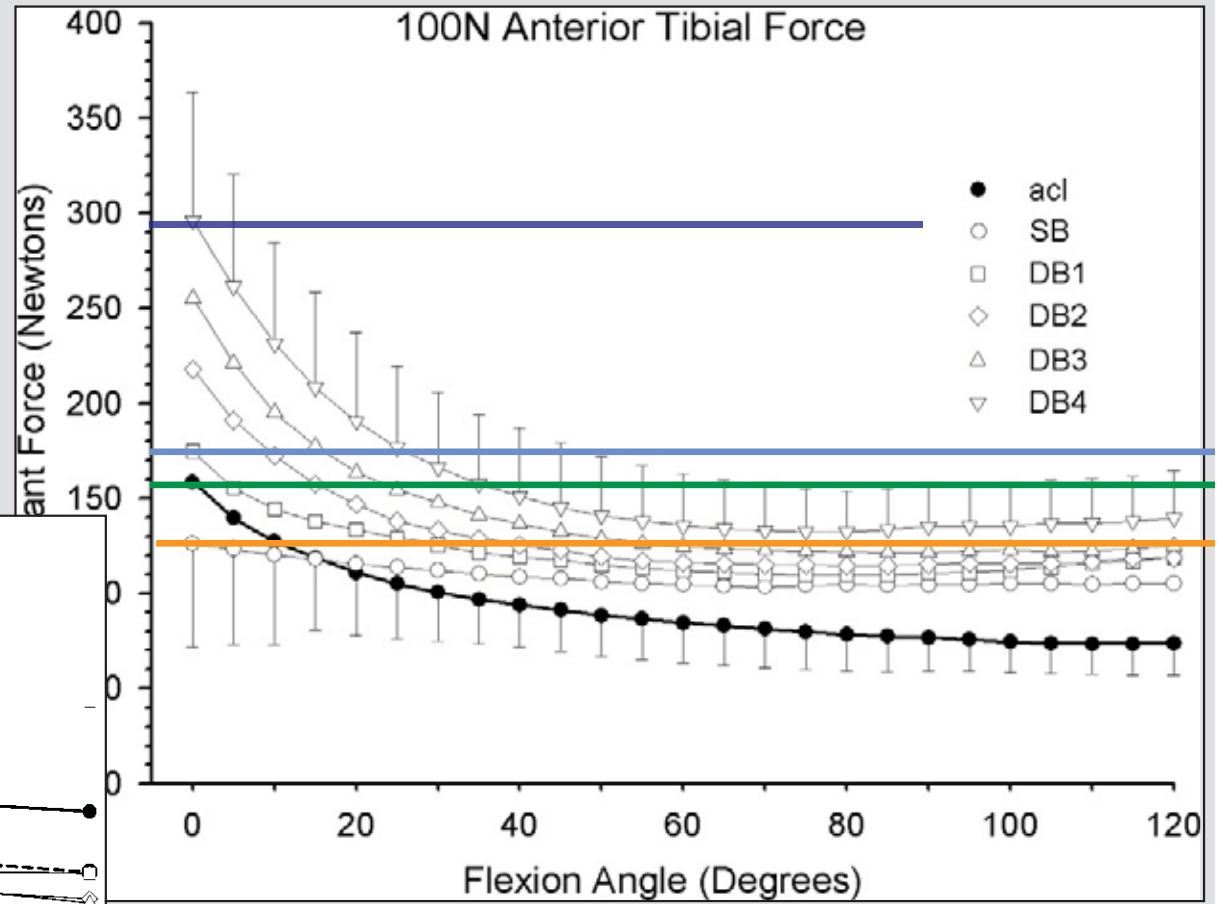
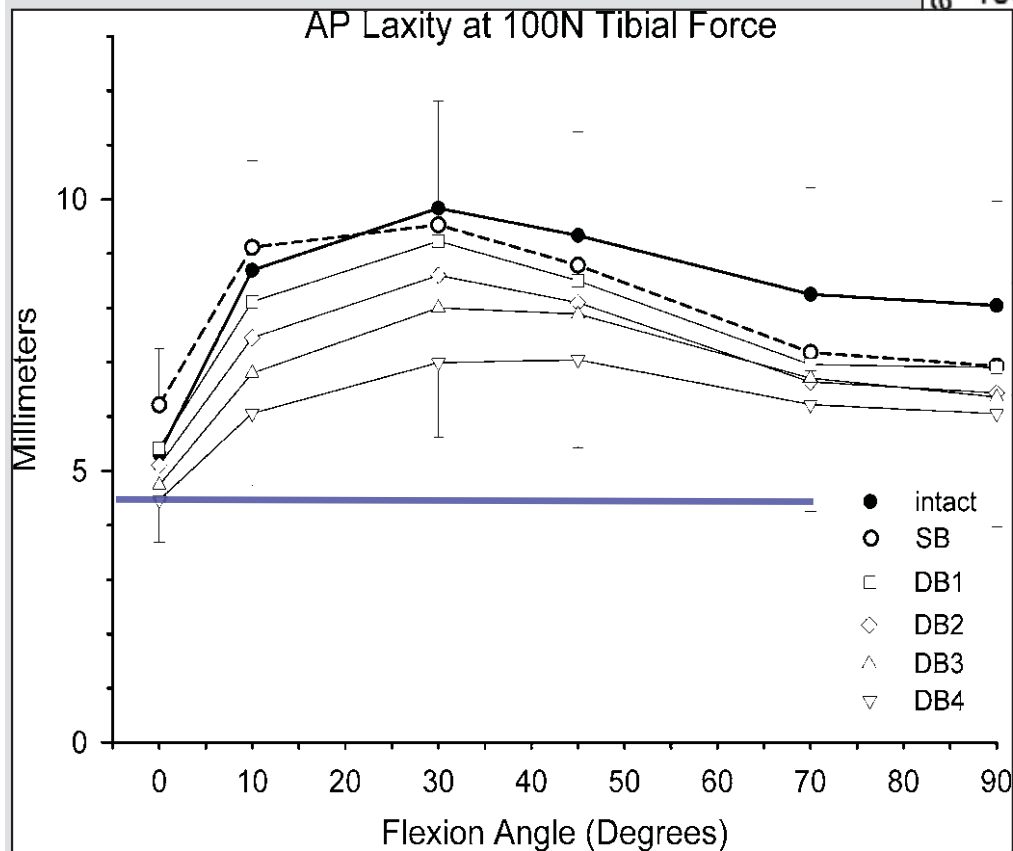


Traslazione minima a 0°, tensione massima dell'innesto

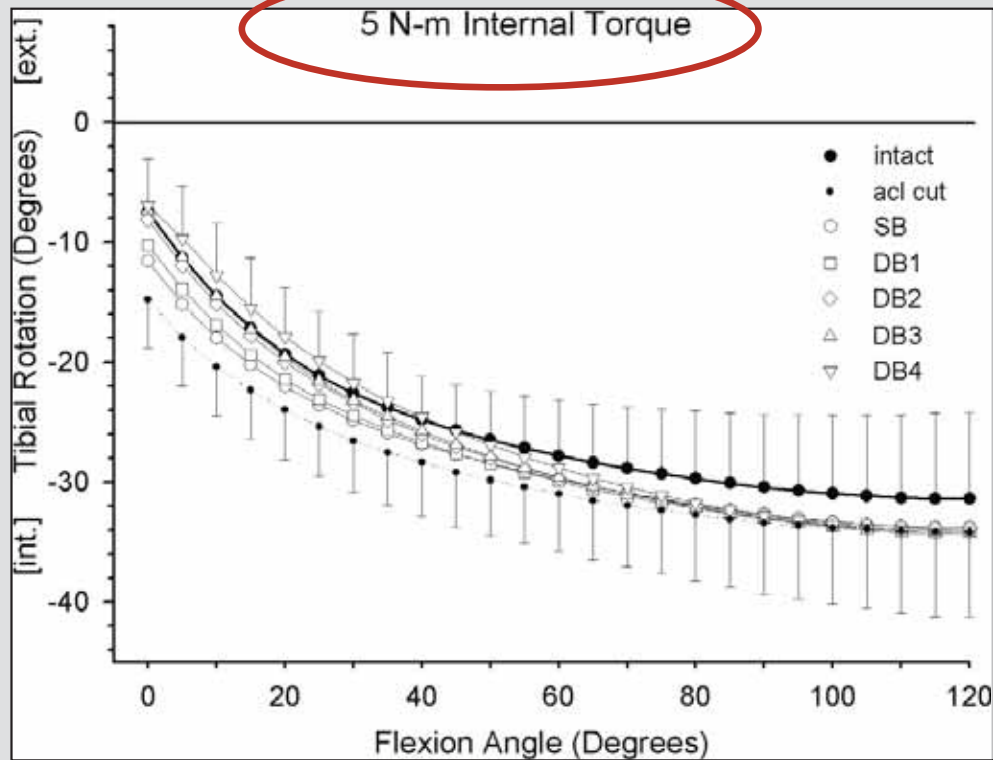
Lassità antero-posteriore: forze



Lassità antero-posteriore: forze

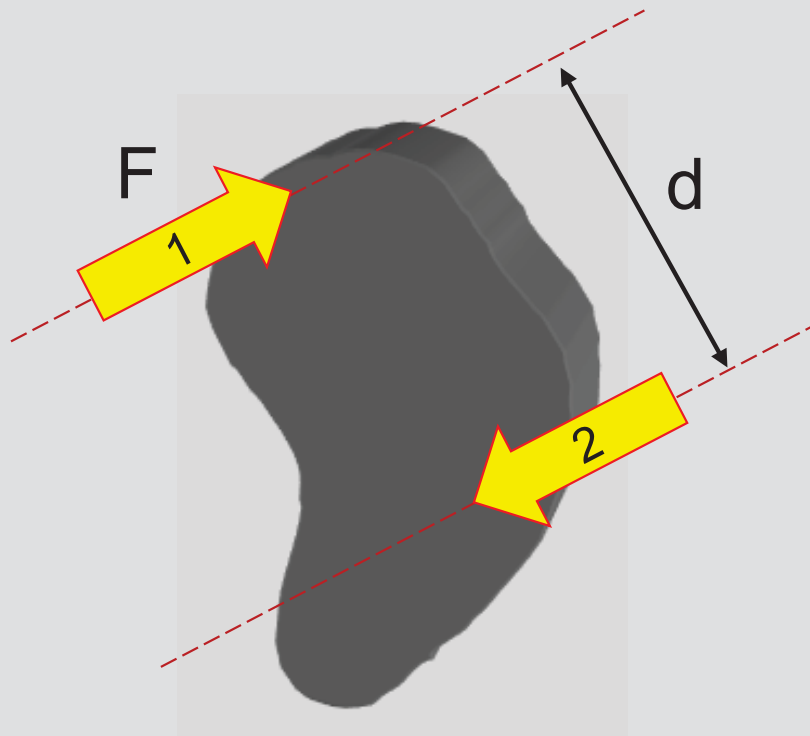


Lassità rotazionale



Come si definisce il momento di una coppia di forze?

Generato da due forze aventi la stessa intensità e linea di azione ma verso opposto

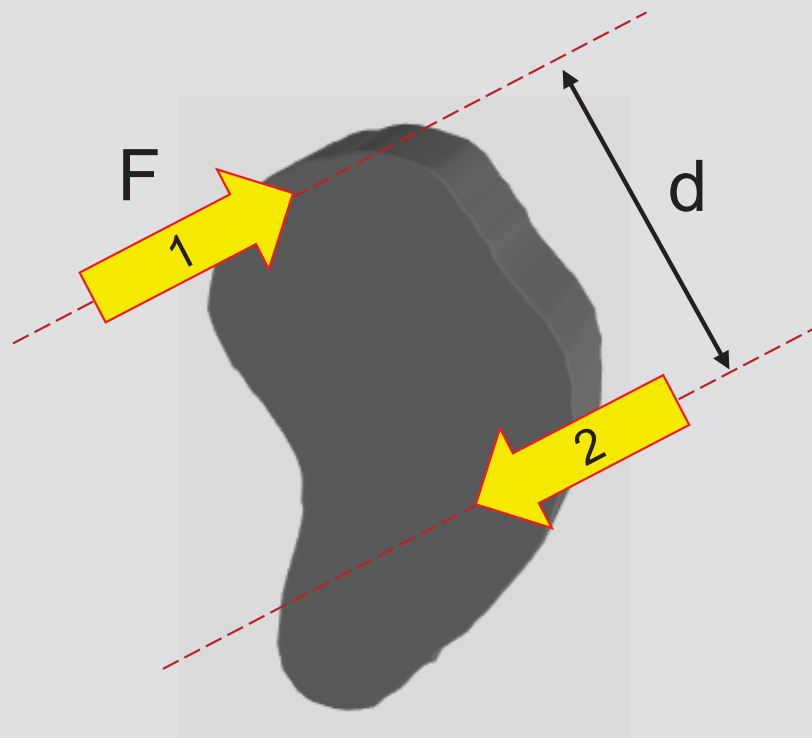


momento della coppia

$$C = F d$$

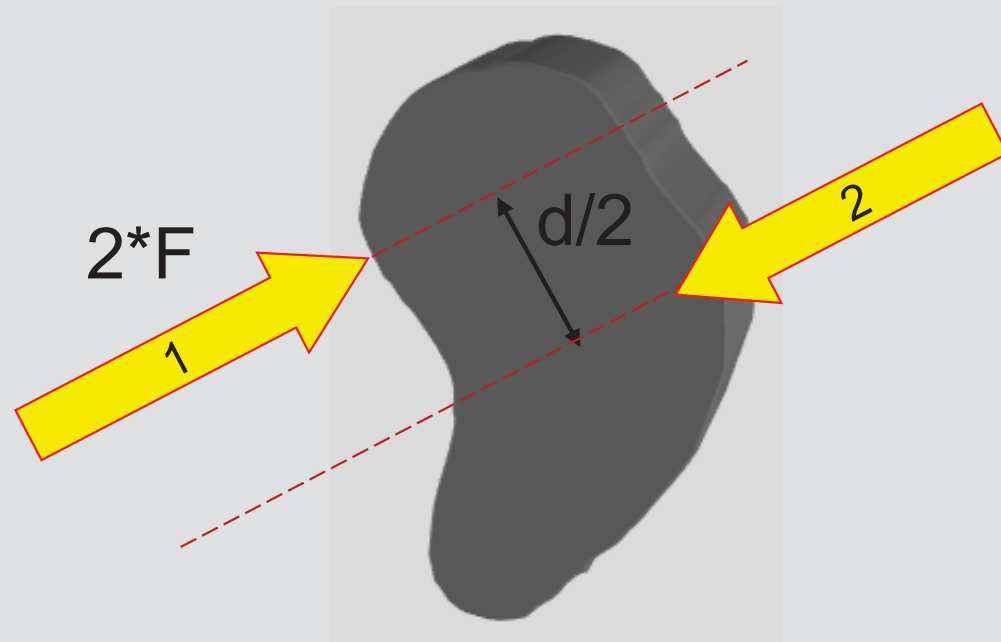
Come si definisce il momento di una coppia di forze?

Generato da due forze aventi la stessa intensità e linea di azione ma verso opposto

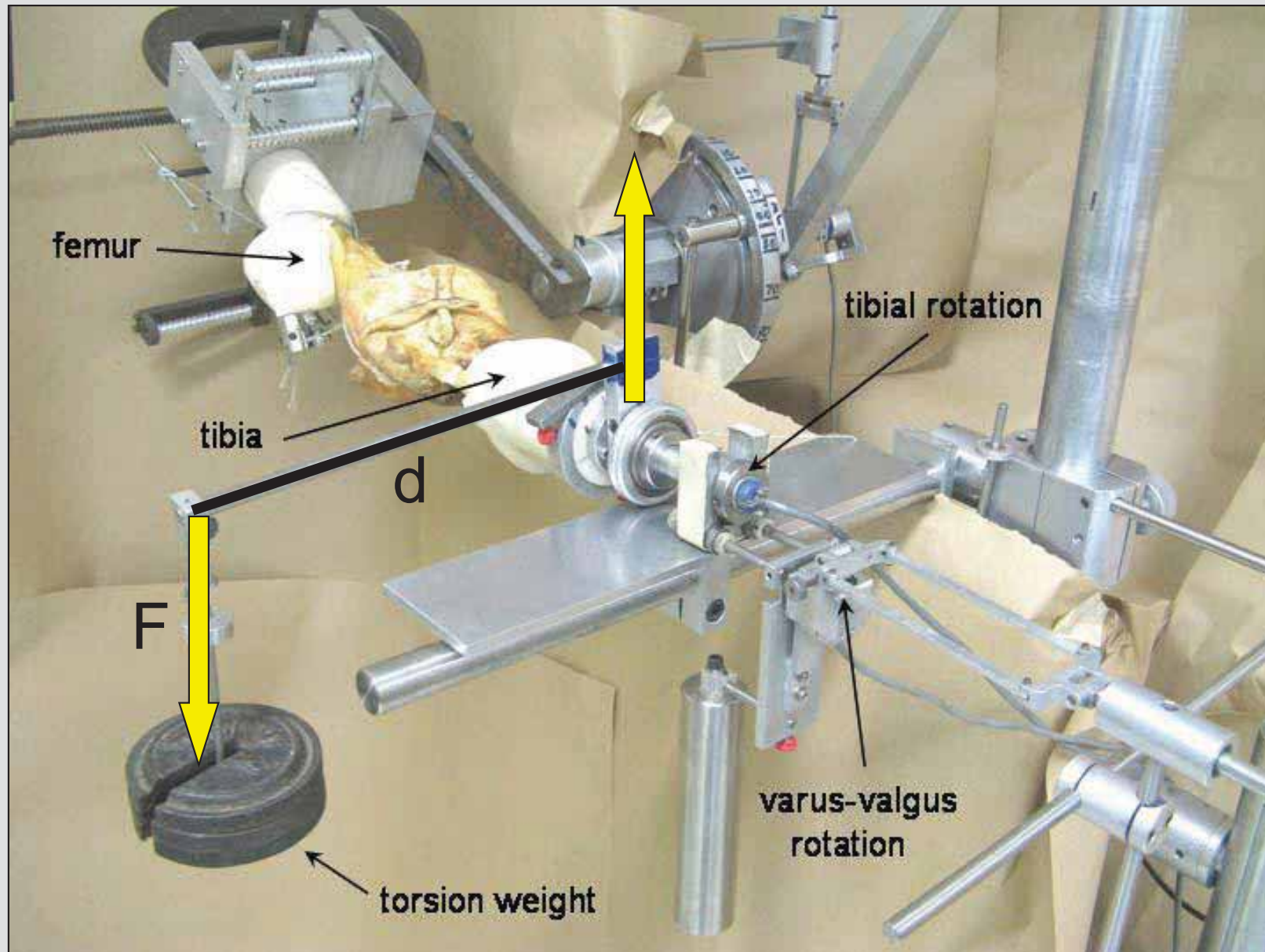


momento della coppia

$$C = F d$$

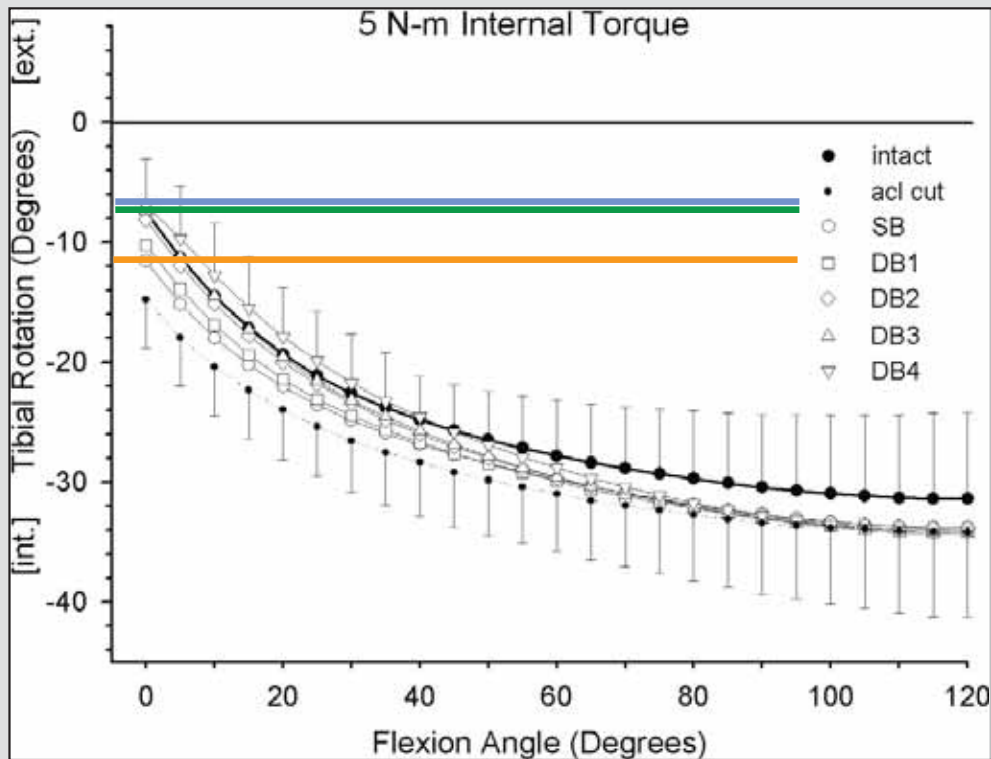


Applicazione del momento torcente



Lassità rotazionale

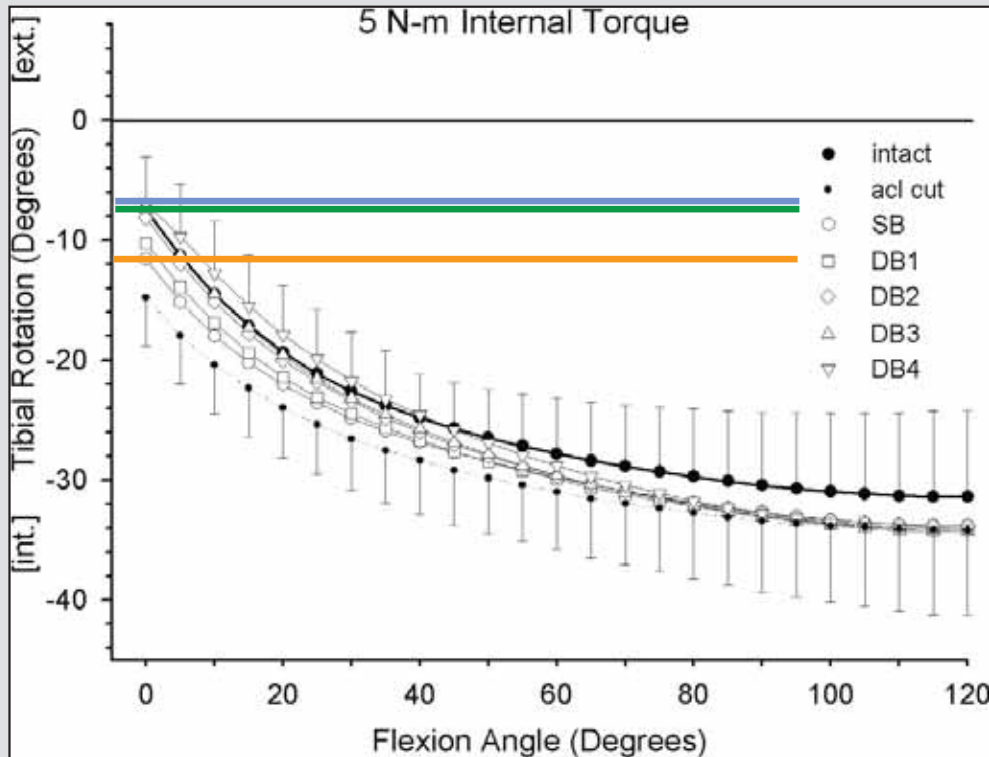
Rotazione interna della tibia



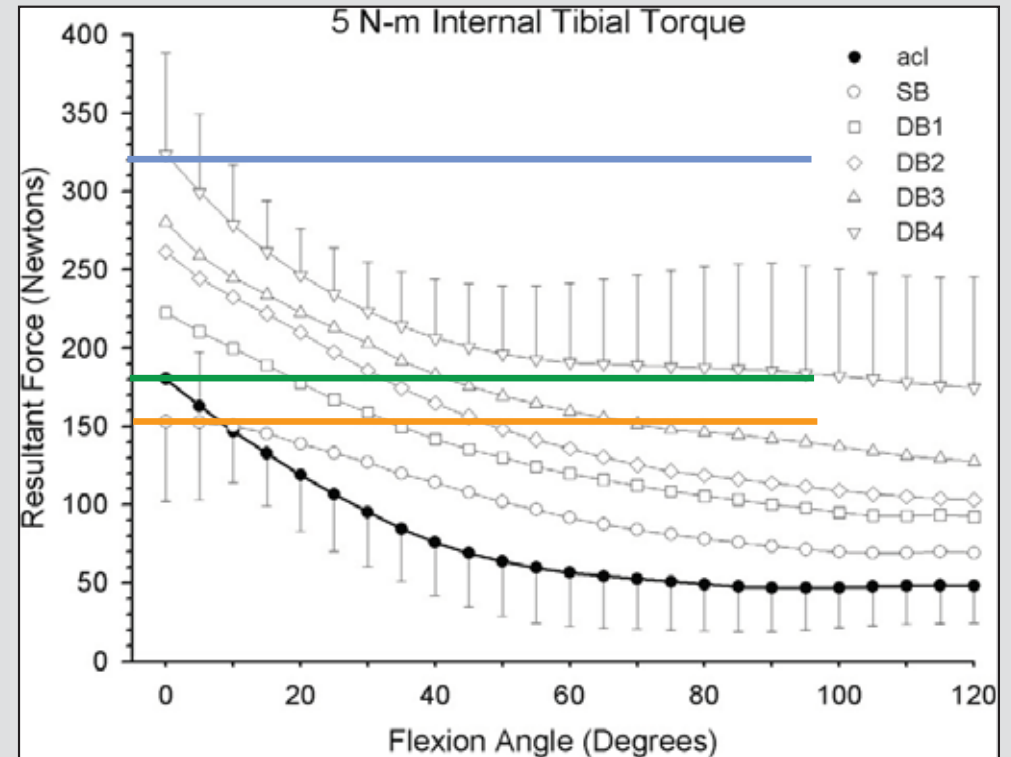
Ottimo ripristino della rotazione interna con doppio fascio, comunque **buono** con singolo fascio

Lassità rotazionale

Rotazione interna della tibia



Tensione degli innesti



Valori di tensione **molto alti** con doppio fascio, **molto bassi** con singolo fascio

Cosa dice questo studio?

Ricostruzione a doppio fascio ripristina leggermente meglio la lassità rotazionale rispetto al fascio singolo

Un aumento della resistenza rotazionale comporta valori di tensione elevati degli innesti

Miglioramenti della stabilità in seguito all'aggiunta di un secondo fascio PL comporta un aumento considerevole delle forze di tensione (Rotture del fascio 3% - 11%)

A fronte delle maggiori complicazioni tecniche, i vantaggi a seguito della doppia ricostruzione sono questionabili

Domande ?

