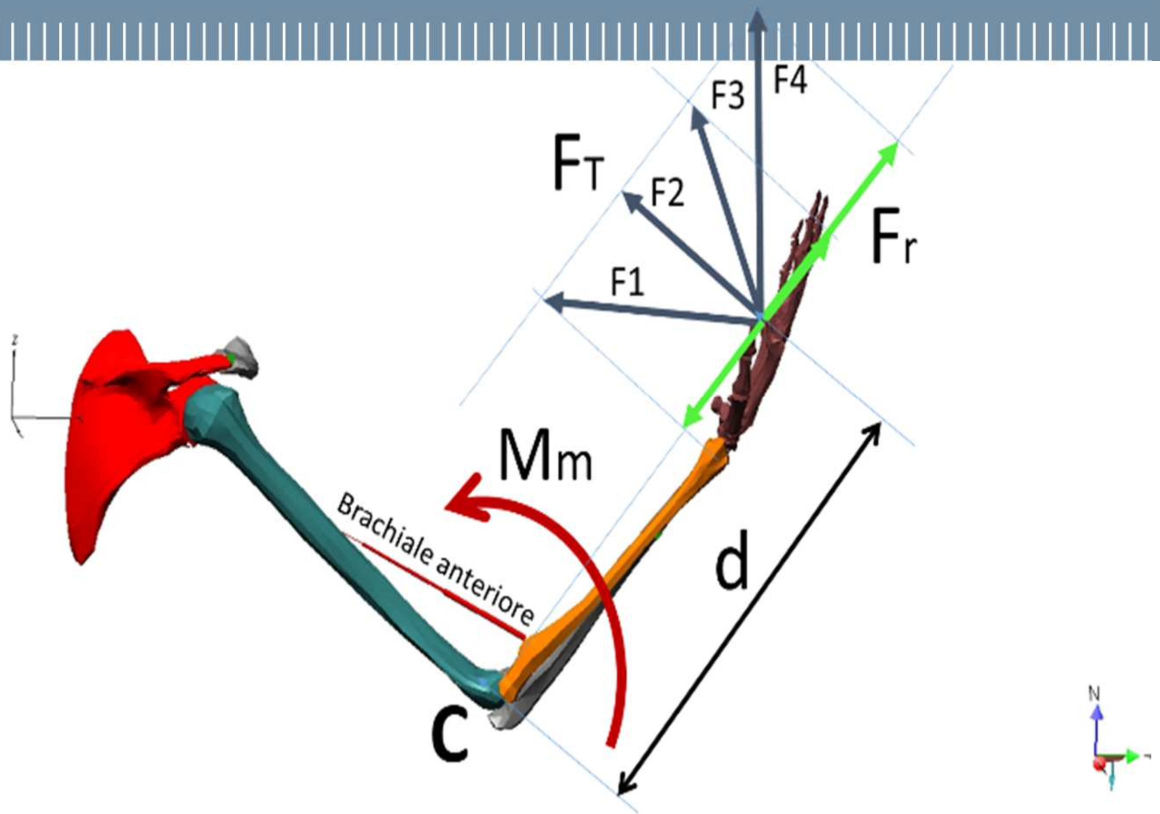
POLITECNICO MILANO 1863

BIOINGEGNERIA DEL SISTEMA MOTORIO

Sezione: M-Z

Modelli del muscolo



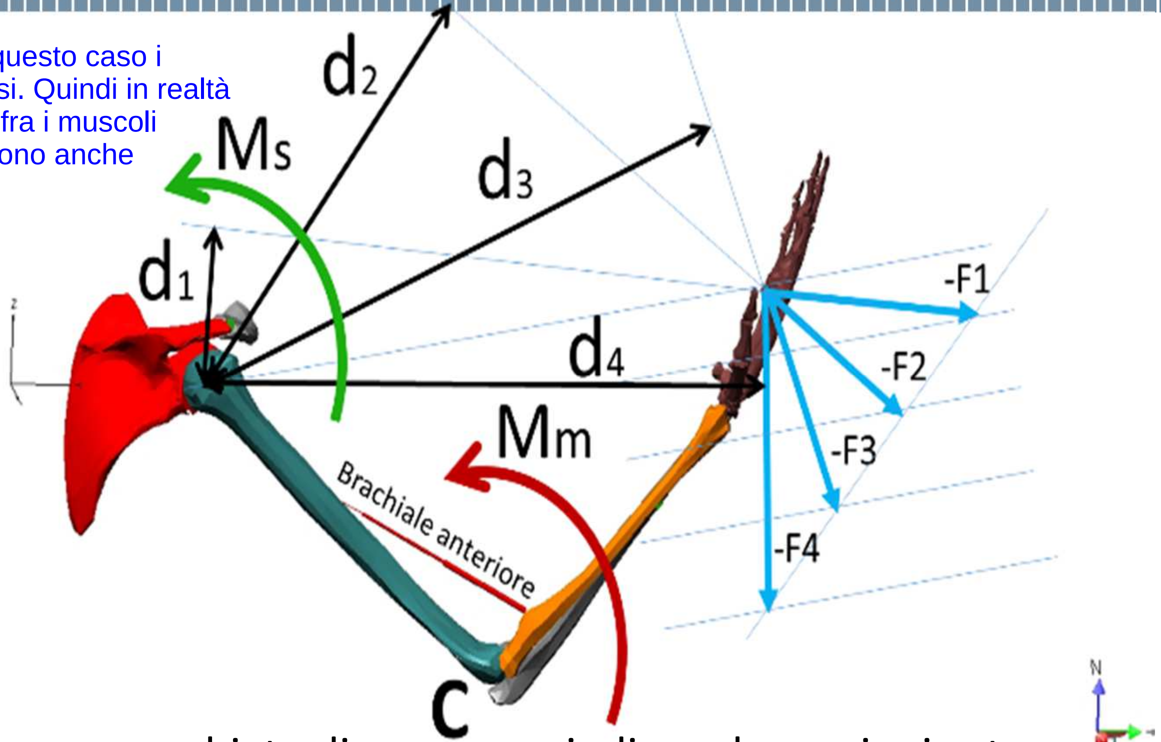
FT = M/d

Ho comunque delle forze dagli effettori. Quindi faccio FORZA->MOMENTO->FORZA

Forze prodotte al livello della mano dall'azione di un muscolo flessore del gomito che produce un momento muscolare M_m.

Si noti che F1, F2, F3, F4 hanno tutte la stessa componente tangenziale F_T rispetto al raggio congiungente il punto di applicazione e il centro articolare C.

considerando lo stesso esempio di prima, in questo caso i bracci delle forze rispetto la spalla sono diversi. Quindi in realtà ho la necessità di fare una azione coordinata fra i muscoli biarticolari e monoarticolari. Chiaramente ci sono anche le forze peso



le stesse forze sono cambiate di segno per indicare le reazioni esterne applicate al centro della mano, equilibrate dal momento Mm. Come si vede queste forze hanno bracci di leva rispetto all'articolazione della spalla ben diversi tra di loro (d1, d2, d3, d4). Quindi, a parità di momento muscolare al gomito, richiederanno momenti diversi ai muscoli della spalla (in questo caso i flessori).

Presenza di forze gravitazionali

eq. momento muscolo monoarticolare considerando f peso pa*da, il momento è ridotto dalla fpeso(conseguentemente avrò meno forza finale?)

Tralasciando i calcoli, in generale se consideriamo i muscoli antigravitari la presenza della gravità mi penalizza.

$\mathbf{M_m = P_a\, d_a + FT\, d}$, e quindi: $\mathbf{(M_m - P_a\, d_a) = FT\, d}$

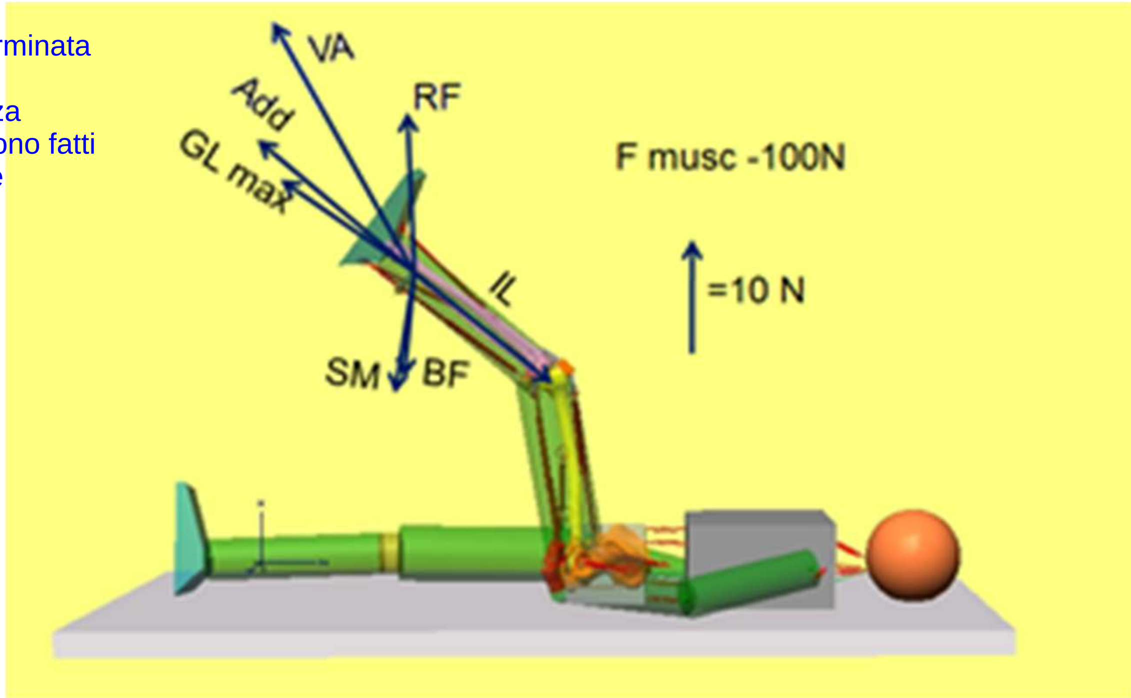
(con P_a= peso dell'avambraccio più mano; d_a= distanza tra forza peso P_a e centro articolare del gomito).

$\mathbf{M_s = P_b\, d_b + P_a\, d_{as} + F_x\, d_x}$, e quindi: $\mathbf{(Ms - P_b\, d_b - P_a\, d_{as}) = Fx\, dx}$

(con P_b= peso del braccio; d_b= distanza tra forza peso del braccio P_b e centro articolare della spalla; P_a= peso dell'avambraccio; d_{as}= distanza tra forza peso P_a e centro articolare della spalla; F_x= forza generica esterna avente componente tangenziale rispetto al gomito F_T; d_x= braccio della forza generica F_x rispetto al centro articolare della spalla).

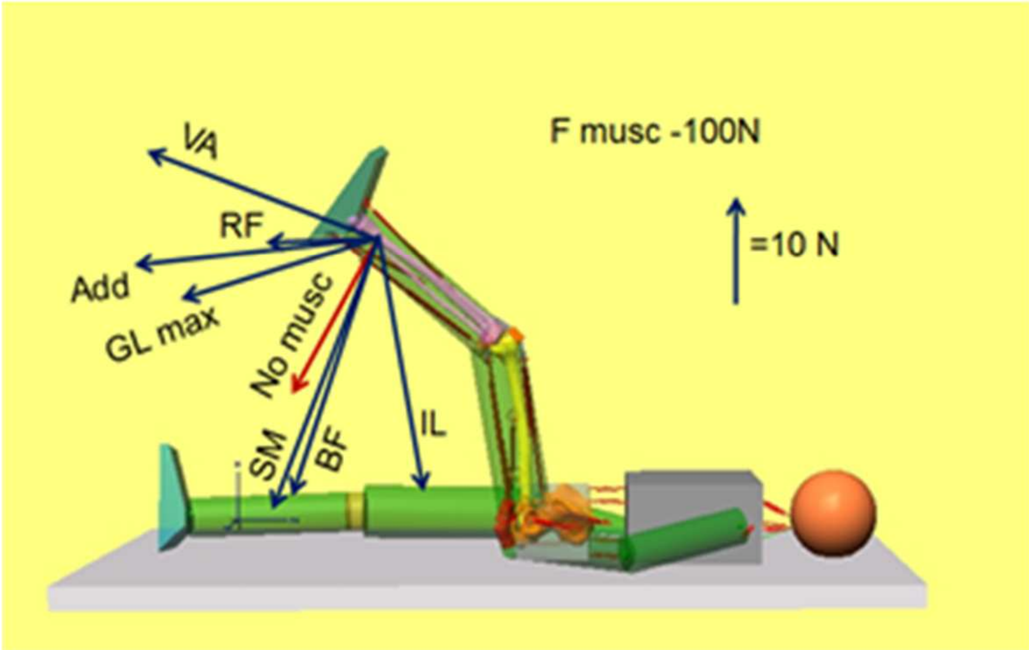
Test funzionali

viene richiesto al paziente di contrastare
il movimento. Il medico sentirà una determinata
forza applicata. Posso modellizzare la
situazione andando a considerare la forza
dei singoli muscoli a seconda di come sono fatti
ad es. se devo sollevare l'arto il paziente
deve fare opposizione ad una flessione



Senza considerare il
peso dei segmenti

Considerando il
peso dei segmenti



Muscoli: IL=iliaco; RF= retto femorale; VA= gruppo dei vasti; Add= adduttore lungo; GL max= Gluteo massimo; SM= semimembranoso; BF= Bicipite femorale capo lungo; No musc= forza generata nel punto di presa dalle sole forze peso.

Studio della relazione forza-velocità, rendimento e vel di accorciamento (Fenn & Marsh, 1935; Hill, 1938)

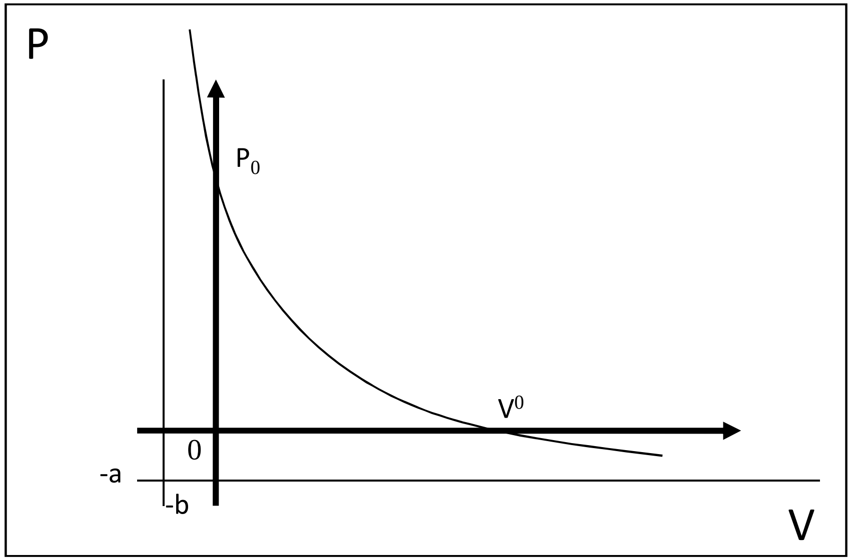
$$P = P_0 \cdot e^{-av} - K \cdot V$$

In cui:

P = forza esterna sviluppata durante un accorciamento a velocità costante;
V = velocità di accorciamento
P_0 = forza esterna esercitata durante una contrazione isometrica (V = 0);
a e K = costanti da determinare in modo che la curva segua al meglio i dati sperimentali

Equazione di Hill (1938)

$$(P + a) \cdot (V + b) = (P_0 + a) \cdot b$$



Asintoti:

$P = -a$ e $V = -b$

Intersezioni con gli assi:

P_0 ($V = 0$; $P = P_0$)

V^0 ($V = P_0 \cdot b/a$; $P = 0$)

visto che:

$V_0 = P_0 \cdot b/a$ si ha: $P_0/a = V_0/b$

$a/P_0 = 0.2\text{-}0.4$

dividendo per P_0 e per V_0 ($= P_0\, b/a$)

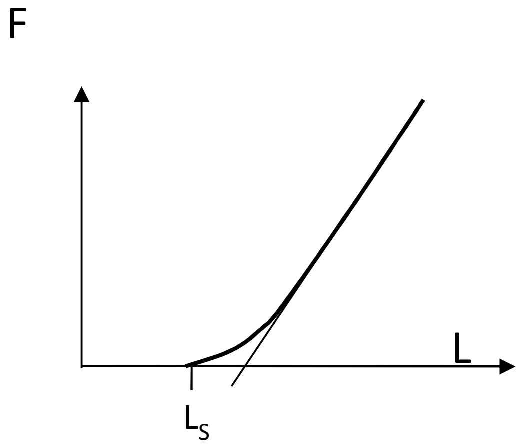
$$(P/P_0 + a/P_0) \cdot (V/V_0 + b/V_0) = (1 + a/P_0) \cdot b/V_0$$

Cioè: $(P/P_0 + a/P_0) \cdot (V/V_0 + a/P_0) = (1 + a/P_0) \cdot a/P_0$

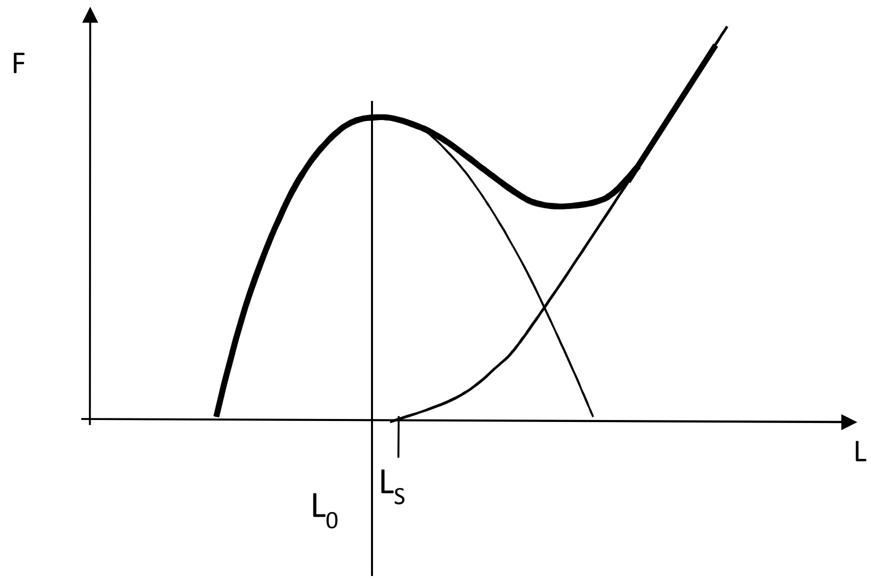
la morfologia della curva dipende solo dal rapporto a/P_0

Curva Forza Lunghezza

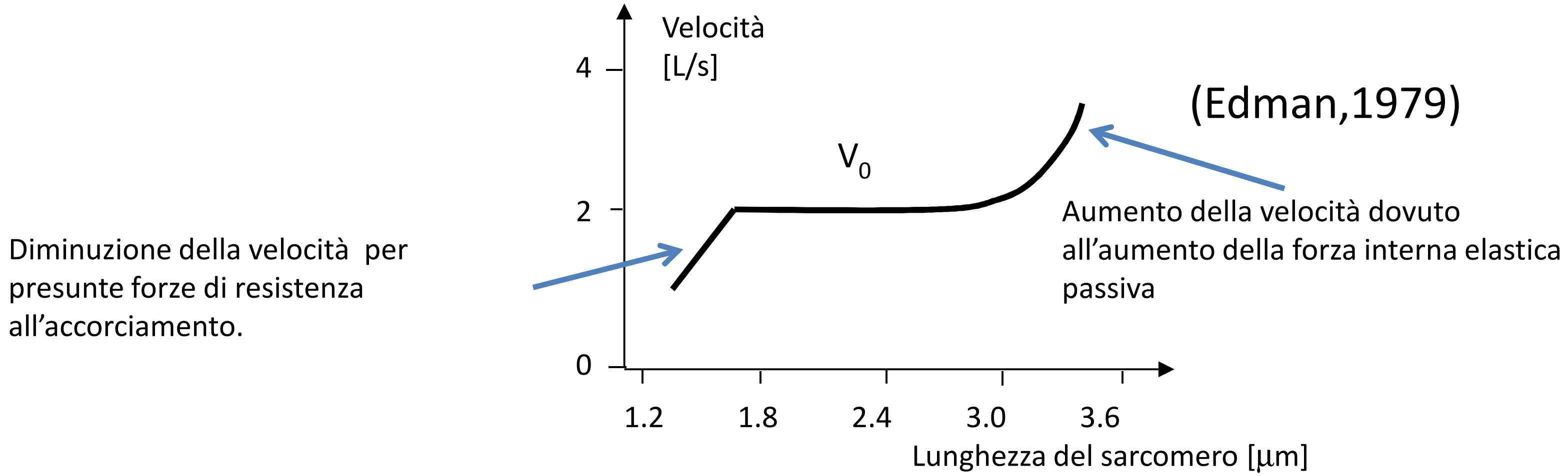
Muscoli passivi
=caratteristiche elastiche oltre
una certa lunghezza Ls (slack). Il muscolo
Se stirato oltre ad una certa lunghezza
presenta caratteristiche elastiche



Curve Forza-Lunghezza

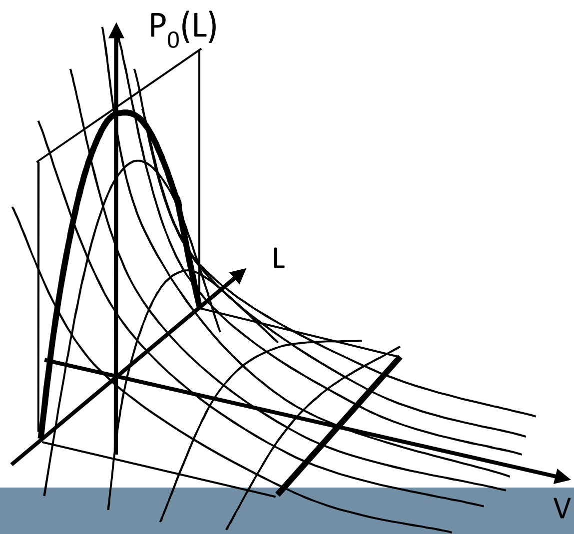


Edman, 1979- Velocità di accorciamento del muscolo



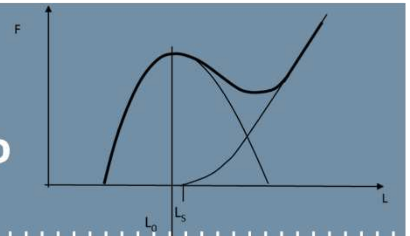
Formulazione più aderente al dato sperimentale.

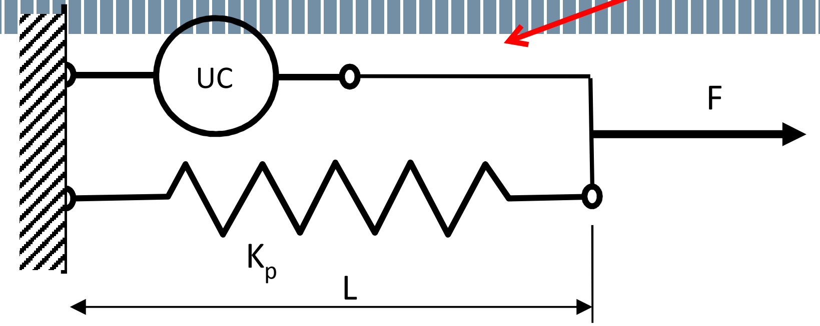
$$P = [(P_0 b - a V) / (b + V)] \; f(L) \qquad 0 \le f(L) \le 1$$



Forza isometrica=forza elastica+ forza contrazione attiva. comportamento statico

Spiegazione del comportamento statico

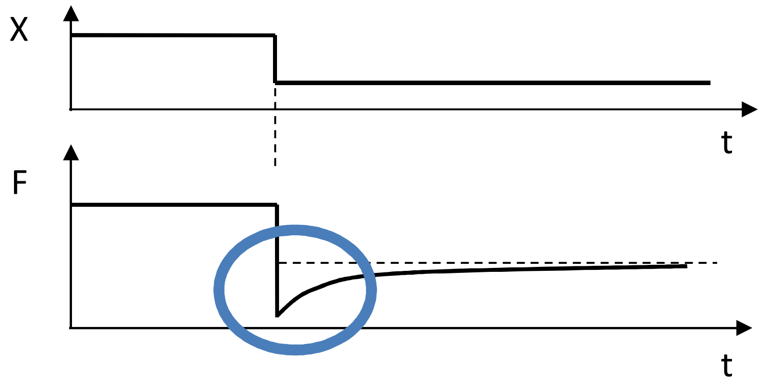




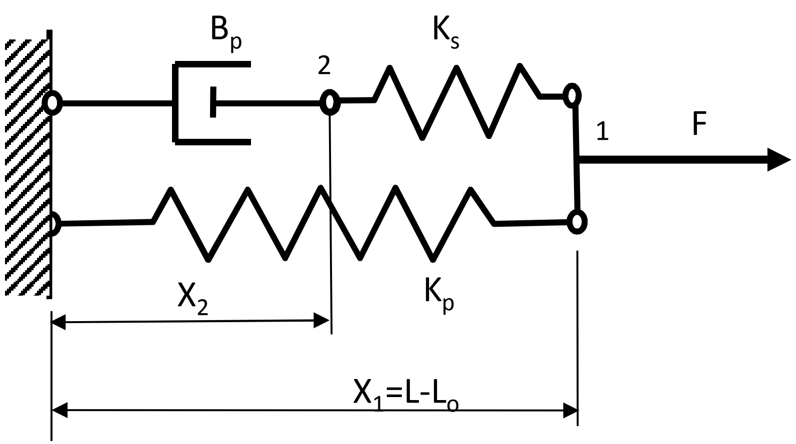
$K_p = 0$ per $L < L_0$

$K_p = \underline{K_p}$ per $L > L_0$

Fenomeno dinamico (esperimento di quick release)



Modello visco-elastico



In condizioni statiche (a regime)

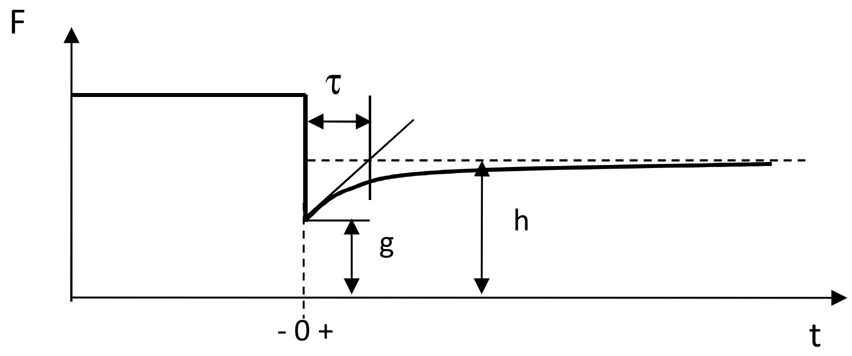
$-F_{iso} = K_p X_1$

In condizioni dinamiche (inizio scalino)

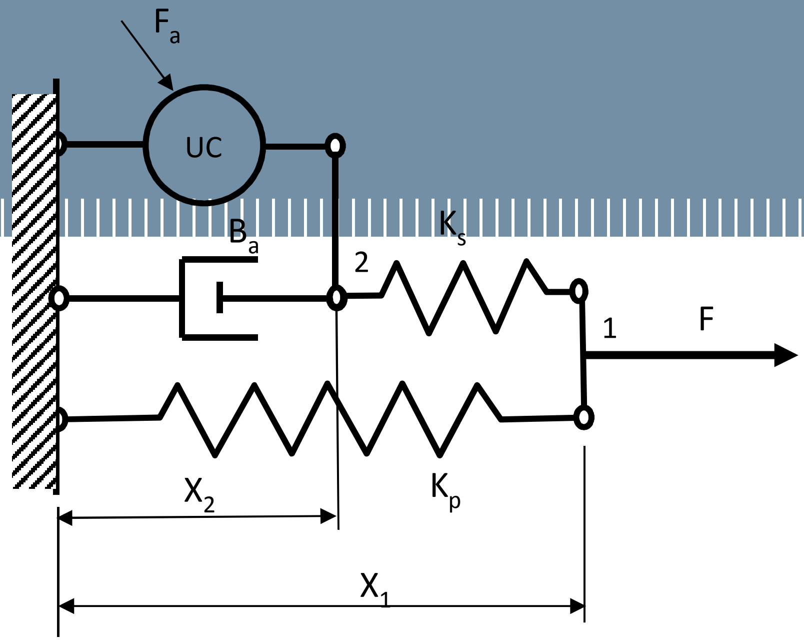
$F2 = K_s \Delta X_1$ $\quad$ $dX2/dt = K_s \Delta X_1 / B_p$

$F = K_p X_1 + K_s (X_1 - X_2)$

$B_p \, dX_2/dt = K_s (X_1 - X_2)$



$$B_p = \tau K_s$$



Con l'aggiunta dell'unità contrattile:

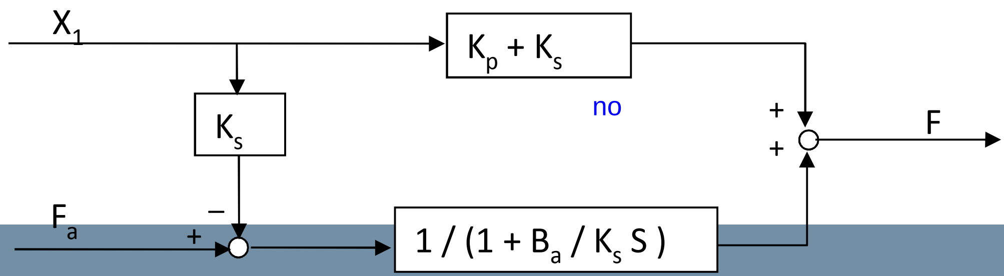
$$\begin{cases} F = K_p\, X_1 + K_s\,(X_1 - X_2) \\ K_s\,(X_1 - X_2) = F_a + B_a\, X'_2 \end{cases}$$

Trasformando secondo Laplace e sostituendo:

$$\begin{cases} F(S) = K_p\, X_1(S) + K_s\,(X_1(S) - X_2(S)) \\ Ks\,(X_1(S) - X_2(S)) = F_a(S) + B_a\, S\, X_s(S) \end{cases}$$

$$\begin{cases} F = (K_p + K_s)\, X_1 - K_s\,[(K_s X_1 - F_a) / (K_s + B_a S)] \\ X_2 = [(K_s X_1 - F_a) / (K_s + B_a S)] \end{cases}$$

$$\begin{cases} F = [\,K_p + K_s - K_s / (1 + B_a / K_s S)]\, X_1 + F_a / (1 + B_a / K_s S) \\ X_2 = (X_1 - F_a / K_s) / (1 + B_a / K_s S) \end{cases}$$



Approfondimenti