Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

# *Relazione per la prova finale*
# *«Analisi del meccanismo di salto del ginocchio di una locusta»*

Tutor universitario: Prof. Giulio Rosati

Correlatore: Prof. Matteo Bottin

Laureando*: Davide Costa - 1141730*

Padova, 14/11/2024

# INTRODUZIONE



In questa relazione si esaminerà il cinematismo del ginocchio saltatorio di un celifero (*Caelifera*), comunemente conosciuta come *"cavalletta"* o *"locusta"*.

A differenza di quanto si possa intuire dalle grosse dimensioni del femore, questo insetto non compie balzi ampi multiple volte (5) le proprie dimensioni attraverso uno sforzo puramente muscolare: bensì si avvale di un cinematismo di moltiplicazione della potenza massima posto nel ginocchio. Questo elegante cinematismo sfrutta l'elasticità di un particolare elemento dell'esoscheletro per accumulare energia elastica che verrà rilasciata durante il salto.

# OBIETTIVI DEL LAVORO





i. Eseguire la sintesi cinematica di una rappresentazione schematica del ginocchio.

ii. Analizzare la sequenza di salto e dei relativi rapporti di trasmissione.

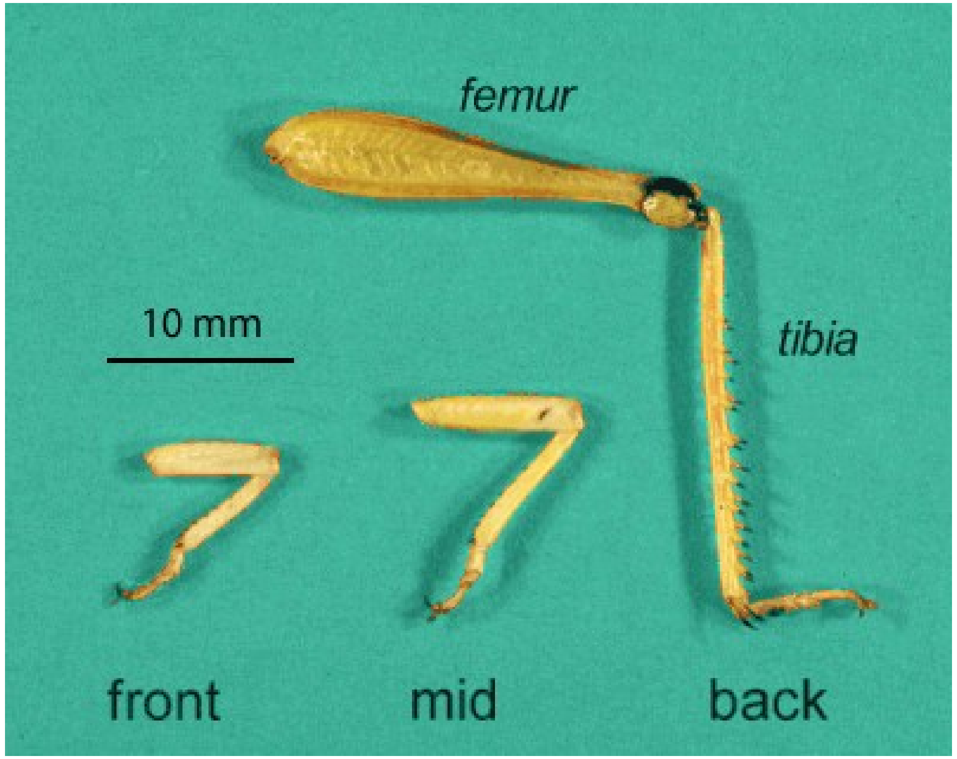
iii. Analizzare, attraverso simulazioni eseguite su software Matlab, le curve di potenza delle fasi di carica e scarica dell'organo elastico.

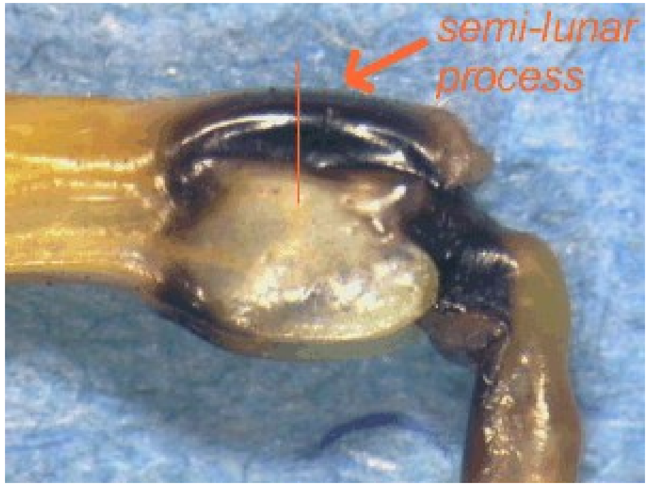
# BREVE DESCRIZIONE ANATOMICA



Le locuste sono dotate di 3 paia di zampe, delle quali solo le posteriori hanno funzione saltatoria.

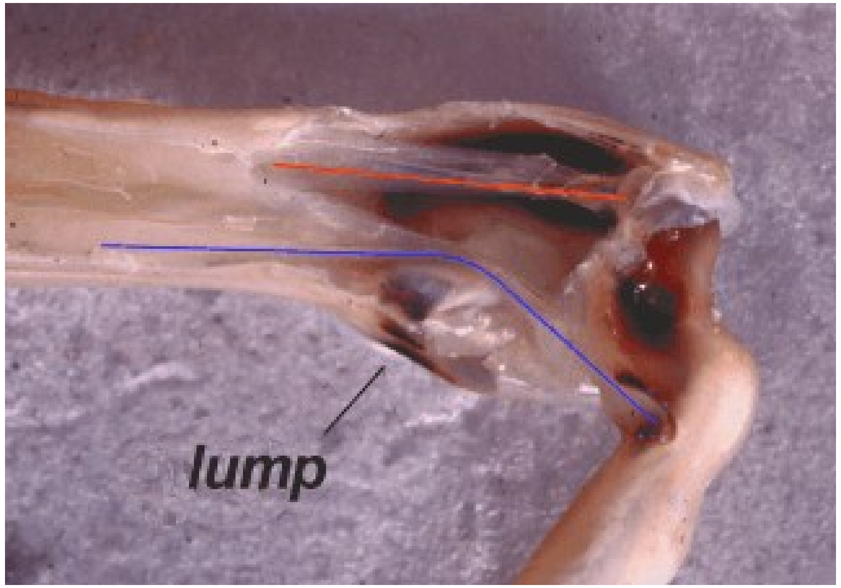
Dall’immagine accanto si possono notare la dimensione del femore e la conformazione peculiare del ginocchio rispetto alle zampe anteriori. Si notino inoltre gli aculei: aventi funzione difensiva, permettono di colpire i predatori con un potente ‘‘calcio’’.




# BREVE DESCRIZIONE ANATOMICA



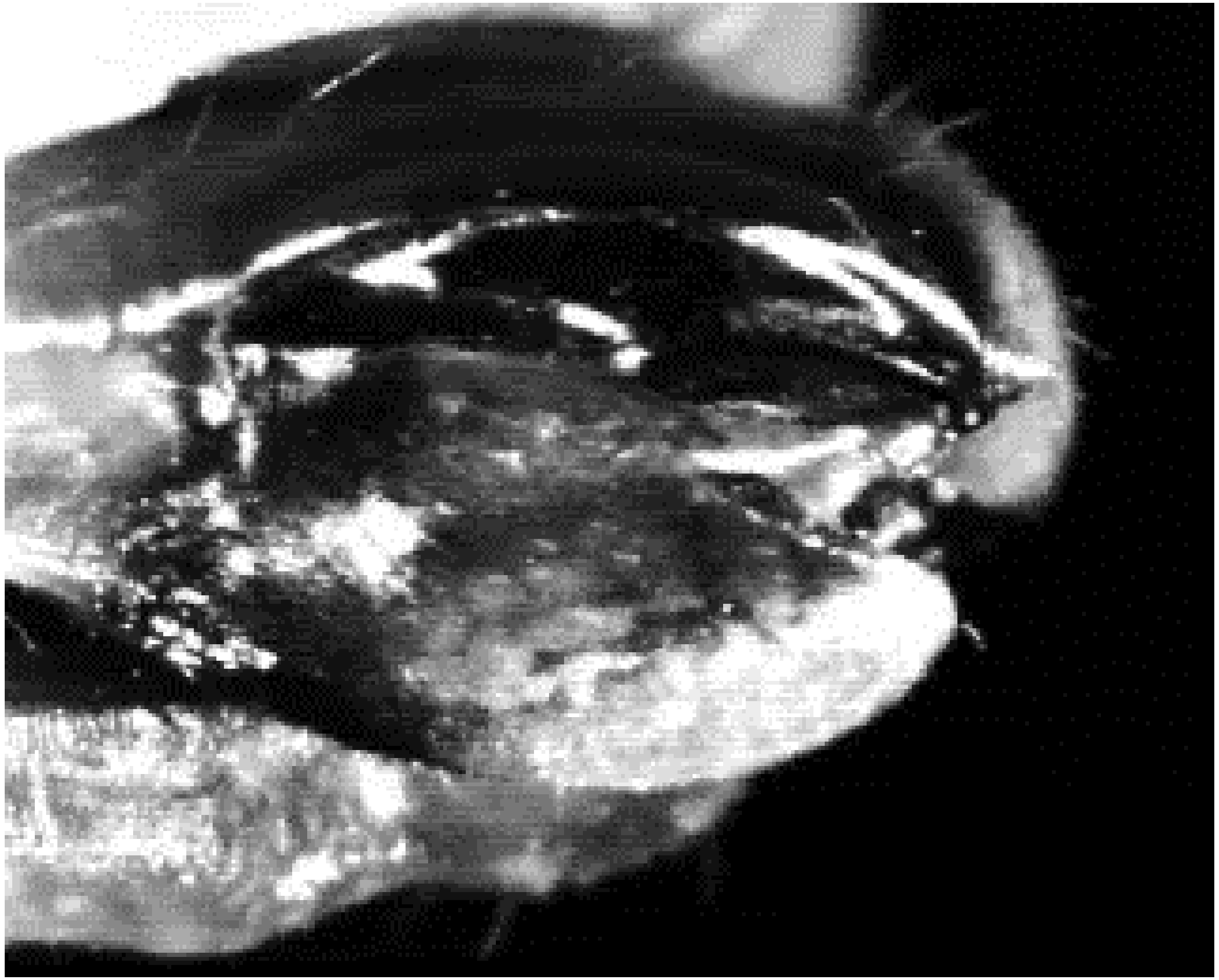



I muscoli femorali sono molto sviluppati: devono essere sufficientemente forti (negli esemplari femmine, pesanti circa 3 g, fino a 1.4 kgf) per flettere l'esoscheletro e immagazzinare l'energia elastica necessaria a copiere il balzo. Si noti il rapporto di volume tra il muscolo estensore e il muscolo flessore; quest'ultimo infatti si avvantaggia dell'avvolgimento del tendine attorno ad una ''tasca'' per bloccarsi in posizione (un esempio di bloccaggio meccanico naturale!).

# BREVE DESCRIZIONE ANATOMICA (FILMATO)





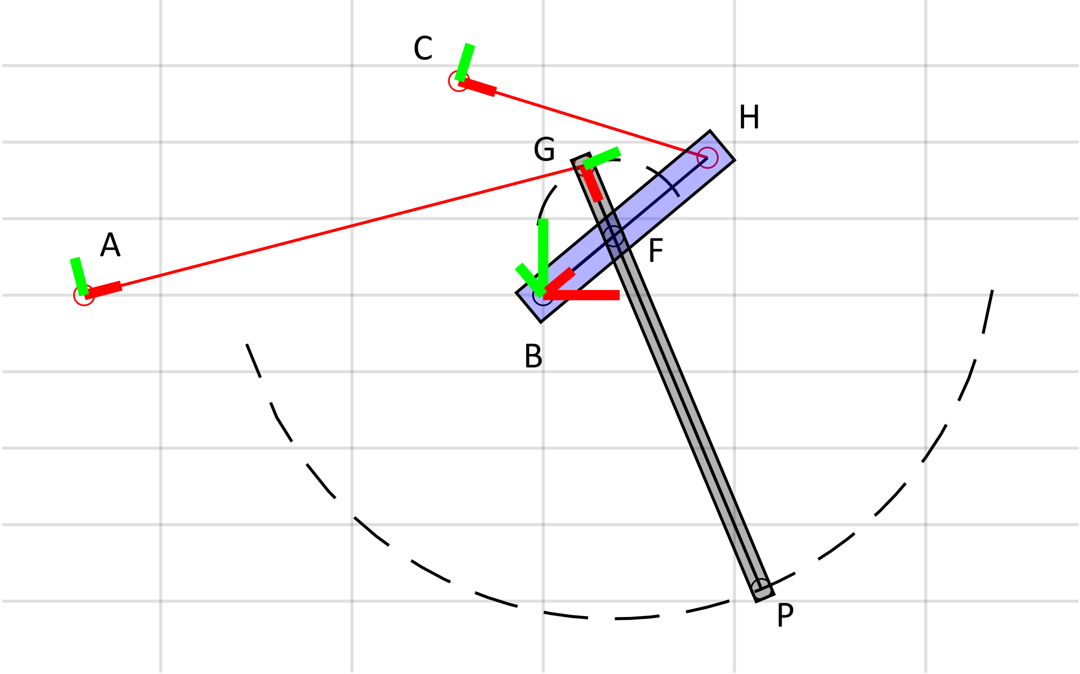


# SINTESI CINEMATICA





- $M = \overline{AG}$
- $S = \overline{CH}$
- $L_{S1} = \overline{BF}$
- $L_{S2} = \overline{FH}$
- $L_{M1} = \overline{GF}$
- $L_{M2} = \overline{FP}$




- $\theta_M = angolo\ del\ membro\ GP$
- $\theta_S = angolo\ del\ membro\ BH$

Il numero di gradi di libertà è normalmente 2, diventa 1 durante la fase di carica:

$$3 \cdot (7-1) - (2 \cdot 2)_{Prism} - (2 \cdot 6)_{Cern} = 2.$$

La sintesi è stata eseguita risolvendo prima l'assieme «Spring», poi l'assieme «Muscle».

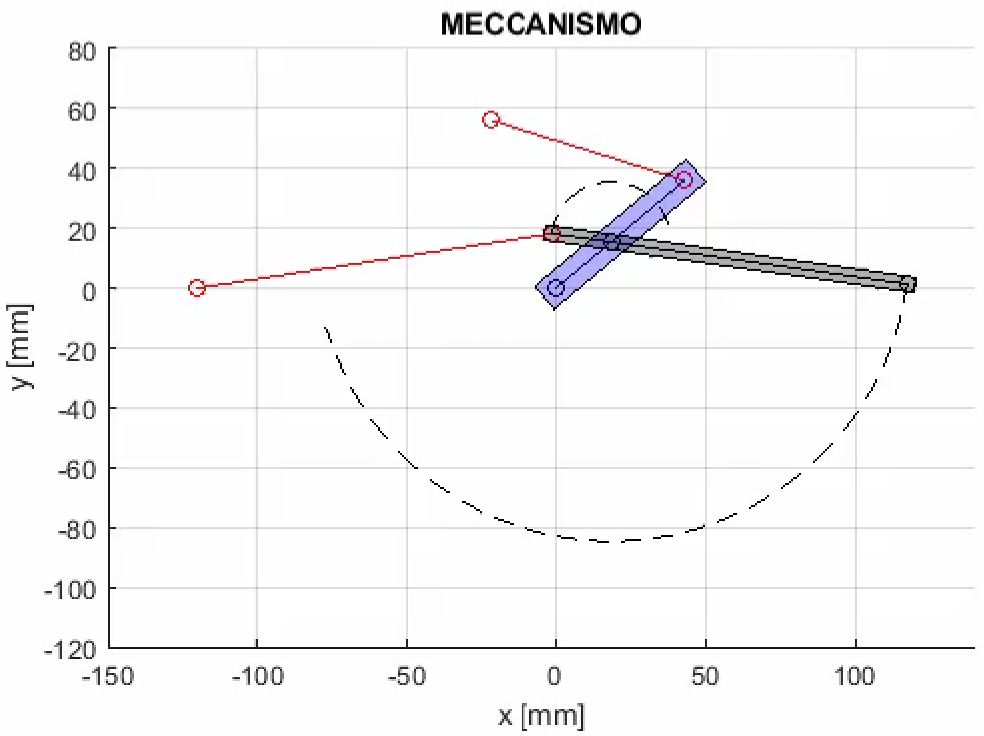
**Simulazione della deambulazione:**

Per risolvere il p.d.c. si sfrutta la seguente identità dei triangoli:

$$\overline{AB}^2 = \overline{BC}^2 + \overline{AC}^2 - 2\overline{BC}\,\overline{AC}\cos\hat{c}$$

$$\cos\hat{c} = \frac{\overline{BC}^2 + \overline{AC}^2 - \overline{AB}^2}{2\overline{BC}\overline{AC}}$$

È possibile quindi risolvere il triangolo in base ad un sistema di riferimento.



**Simulazione della carica della molla: si noti l'aggiunta di un grado di vincolo**

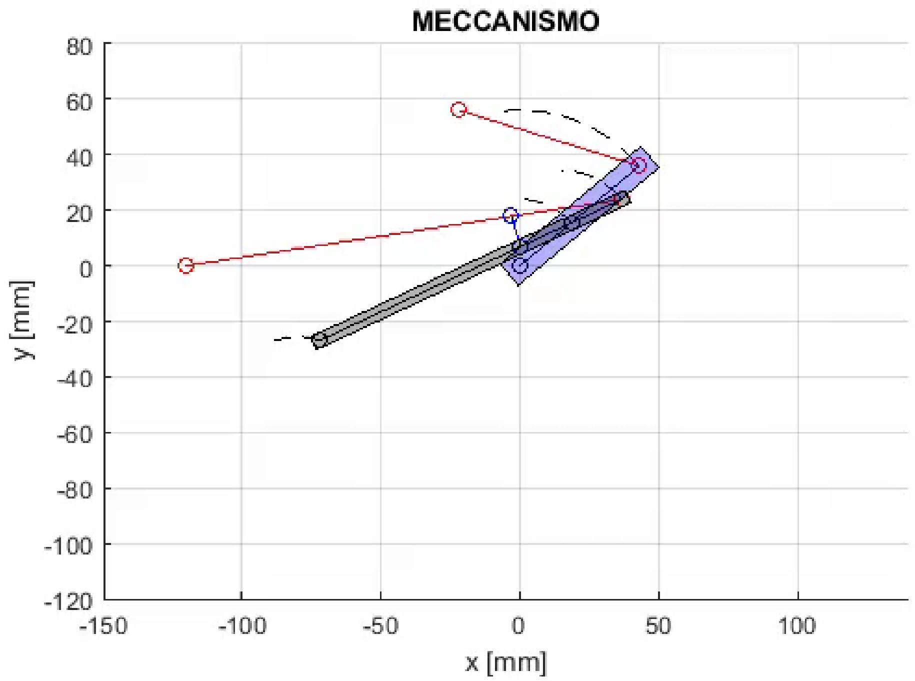
La distanza $\overline{AF}$ si ricava risolvendo il p.d.c. $S$. Con questo, tutti i parametri sono noti:

$$\vec{M}^2 - (2\|\overrightarrow{L_{M1}}\|\cos\hat{G})\|\vec{M}\| + (\overrightarrow{L_{M1}}^2 - \overline{AF}^2) = 0$$

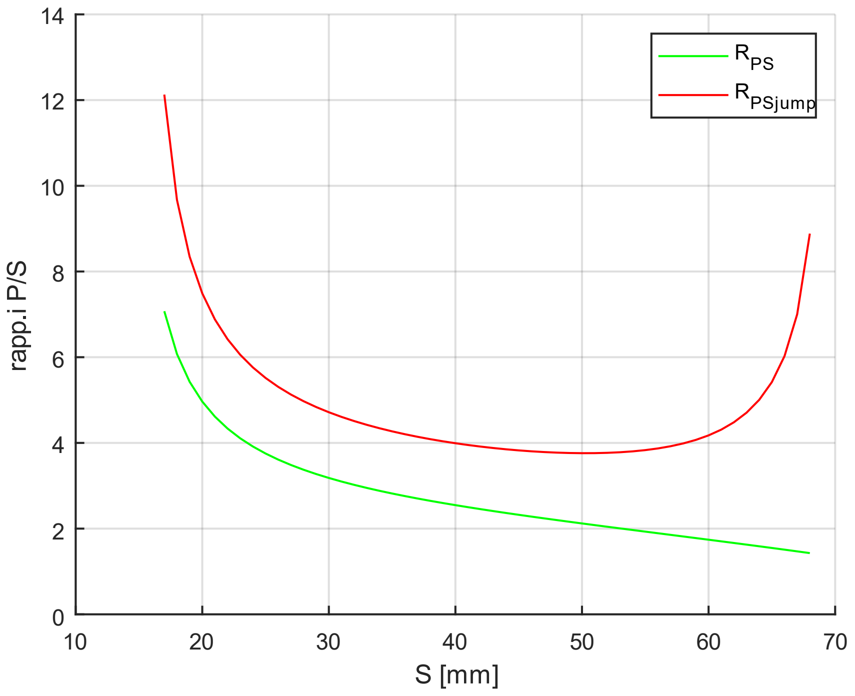
$$\Delta = (2\|\overrightarrow{L_{M1}}\|\cos\hat{G})^2 - 4\left(\overrightarrow{L_{M1}}^2 - \overline{AF}^2\right)$$

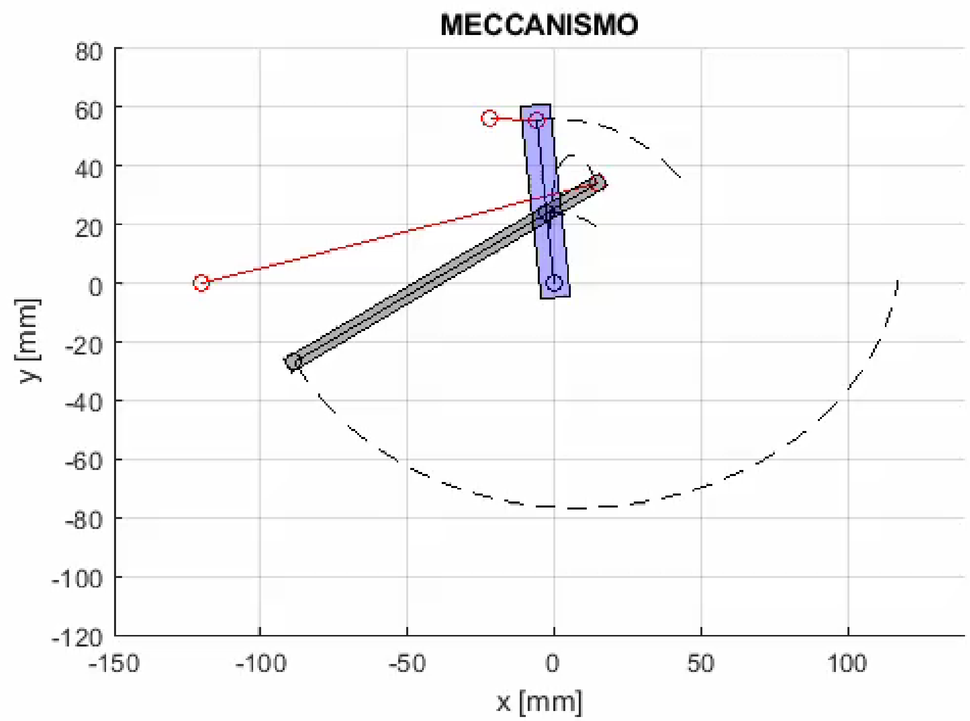
$$\|\vec{M}\|_{1,2} = \frac{-2\|\overrightarrow{L_{M1}}\|\cos\hat{G} \pm \sqrt{\Delta}}{2}$$

La configurazione corretta corrisponde alla radice presa positiva.



**Simulazione del salto: si ipotizza che M ed S finiscano la corsa contemporaneamente**

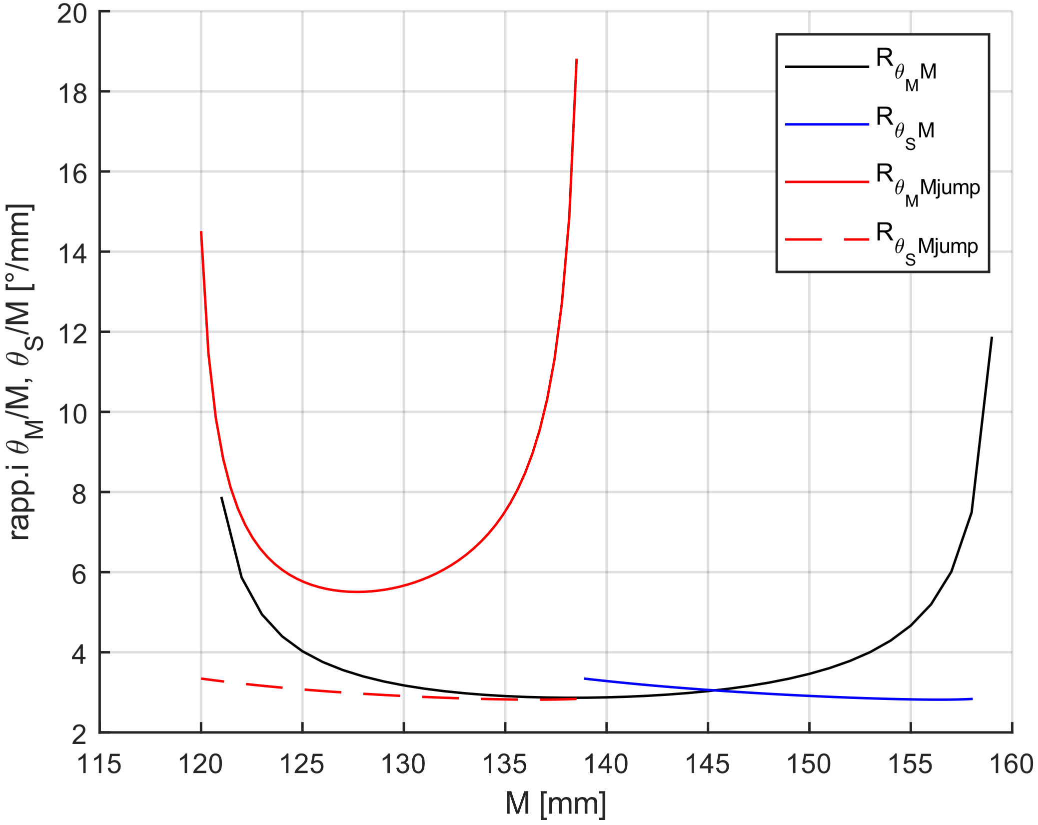


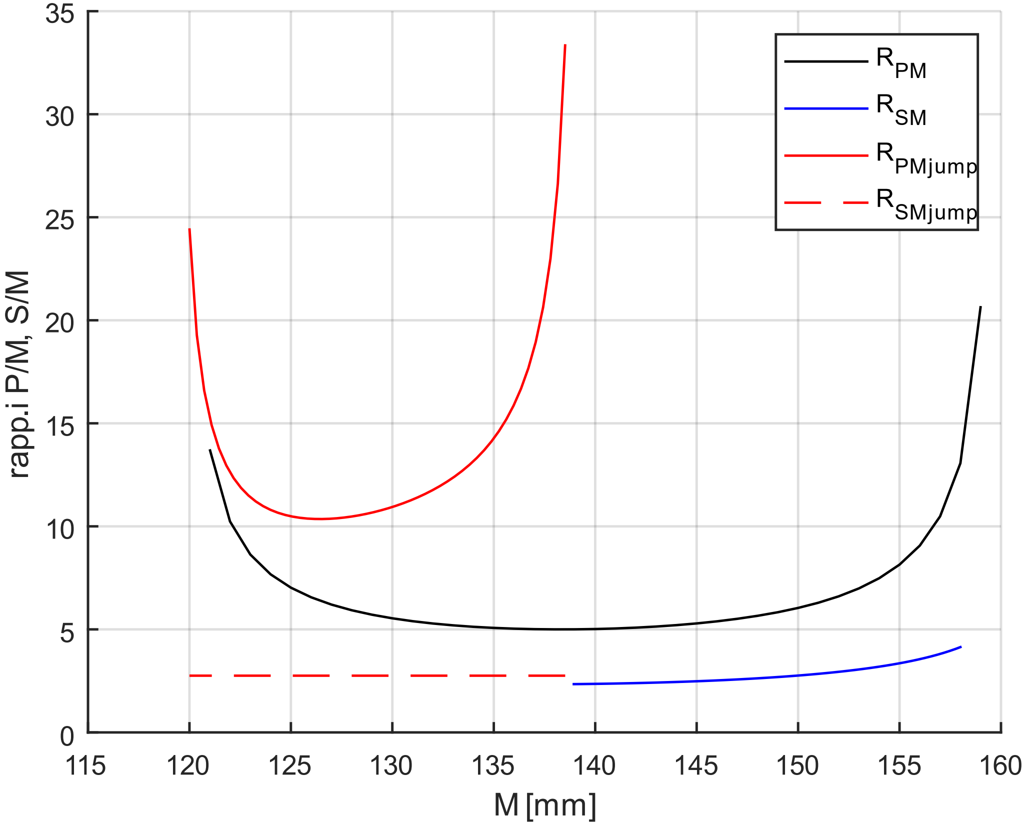



# RAPPORTI DI TRASMISSIONE







# CALCOLO DELLE FORZE





## Carica

Per calcolare la forza della fase di carica si utilizza la formula:

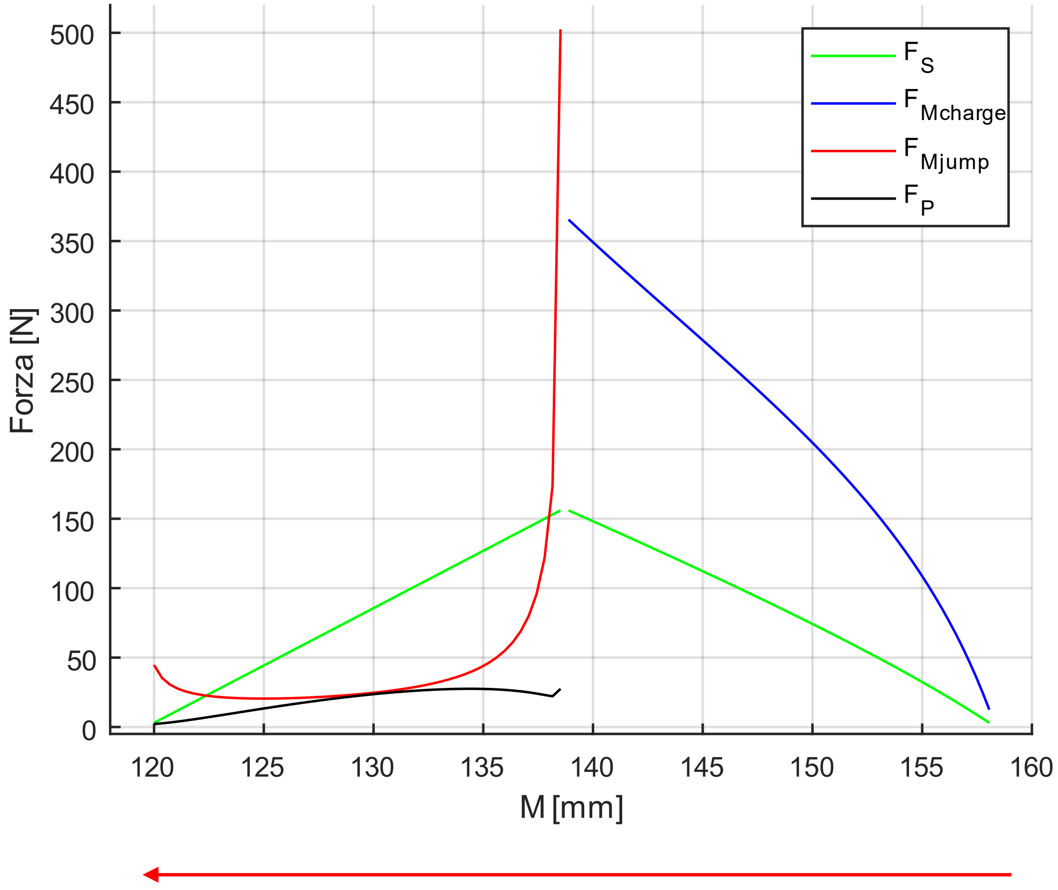
$$F_S = k\left(S_{riposo} - S\right) \quad \Rightarrow \quad F_M = \frac{F_S}{R_{SM}}$$

Dove è stato scelto $\mathrm{k} = 3\,\frac{N}{mm}$

## Salto

$$F_S = k\left(S_{riposo} - S\right)$$

PROBLEMA: l'intensità di $F_M$ lungo $M$ non è determinabile a priori: $P_{M\,jump} = P_{TOT\,jump} - P_{S\,jump} = cost. \Rightarrow F_{M\,jump}$ ma $P_{TOT\,jump} = \frac{L_P}{\Delta t} = f(F_M, F_S, \Delta t)$. Per sopperire ciò il codice prevede un ciclo iterativo che corregge $F_M$ e la ricava garantendo che sviluppi una potenza costante



## Carica

$$E_S = L_{Mcharge}$$

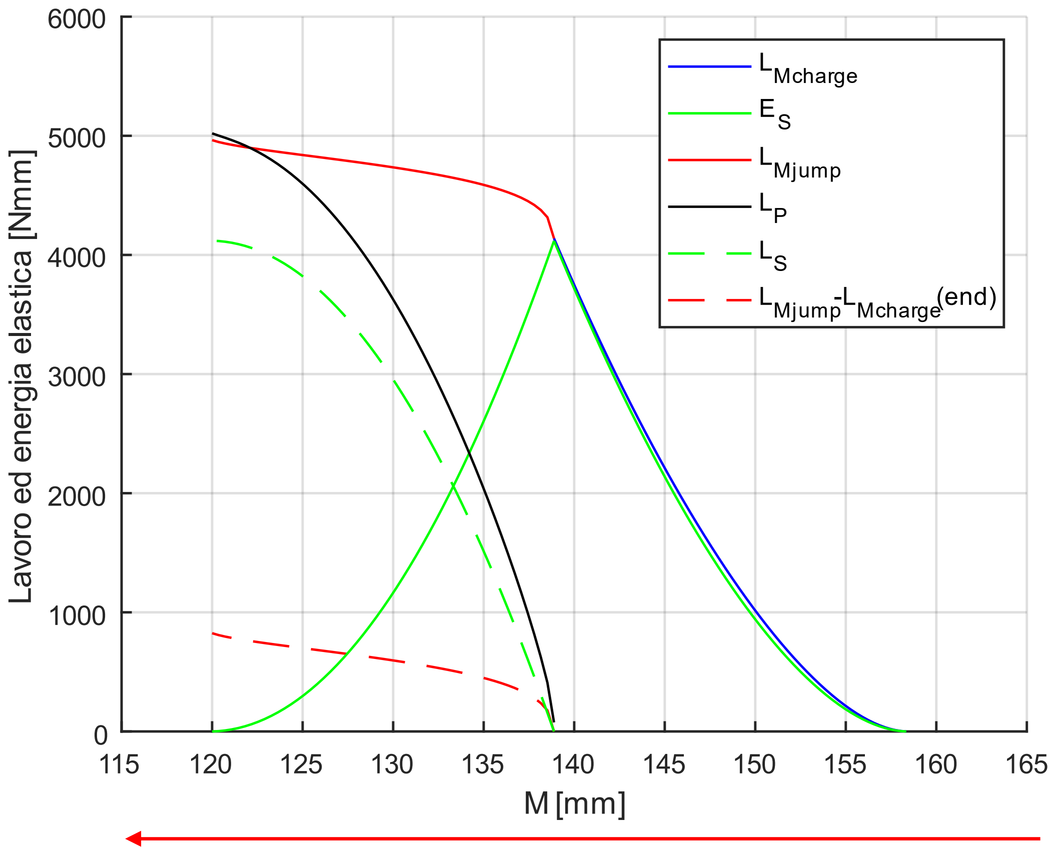
$$F_S \cdot s_S \cdot \cos\varphi_S = F_{Mcharge} \cdot s_M \cdot \cos\varphi_M$$

## Salto

$$L_P(M) = L_S(S) + (L_{Mjump}(M) - L_{Mcharge}(end))$$

$$F_P \cdot s_P = F_S(R_{SM} \cdot s_M)\cos\varphi_S + F_{Mcharge} \cdot s_{Mcharge} \cdot \cos\varphi_M$$

$$F_P = \frac{L_P}{s_P}$$



## Carica

Ipotesi potenza costante: $P_{Mcharge} = P_{Mjump} = 1800\ mW$

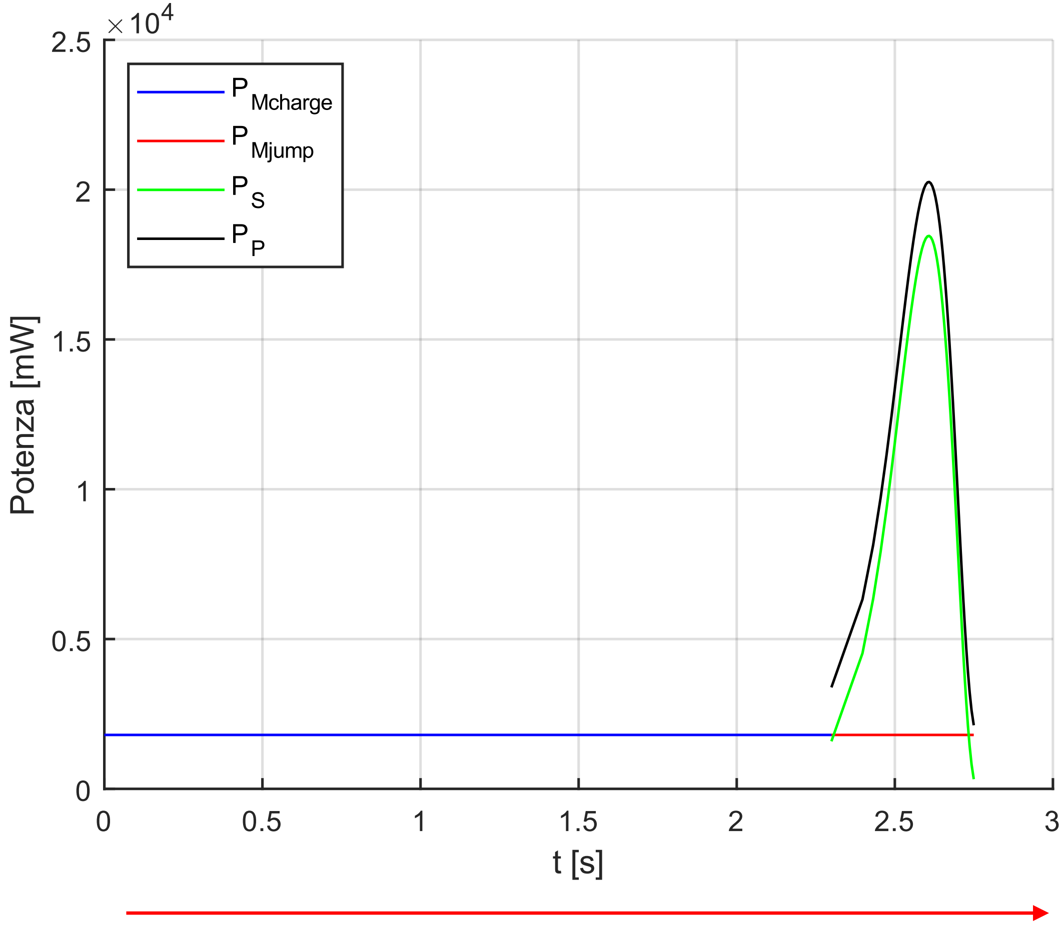
## Salto

$$m = 0.010\ kg$$

$$\frac{1}{2} m {v_P}^2 = L_P \ \Rightarrow \ v_P = \sqrt{\frac{2L_P}{m}}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta s_P}{v_P}\ , \qquad P_i = \frac{L_i}{\Delta t} = F_i \frac{\Delta s_i}{\Delta t}$$

Il rapporto di moltiplicazione è di $11.25x$!



# CONCLUSIONI





Il ginocchio di un celifero si configura come un efficiente cinematismo di moltilpicazione della potenza massima riuscendo, nel frattempo, a non inficiare sulle capacità di deambulazione.

Rappresenta un esempio di eleganza tra le soluzioni emerse dall'evouzione delle specie animali.

Couresy of cryseIs https://pixabay.com/photos/desert-locust-insect-macro-nature-1865955/

# RINGRAZIAMENTI






Ringrazio:

- Prof. William (Bill) Heitler della University of St. Andrews per le risorse condivise attraverso il suo splendido sito web: https://www.st-andrews.ac.uk/~wjh/jumping/index.html
- Mia mamma Michela, mio papà Alessandro e mia sorella Giulia per essere sempre stati la fonte di supporto incondizionato che mi ha permesso di concludere questo percorso
- Mirko per avermi fornito una spalla solida sulla quale ho sempre potuto contare
- Joe, Gio, Edoardo, Andrea e Leti per avermi sopportato☺ e per essere stati degli insostituibili compagni di viaggio