Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

Relazione per la prova finale
«Bici da cross: analisi cinematica e statica del sistema di ammortizzazione»

Tutor universitario: Ing. Bottin Matteo

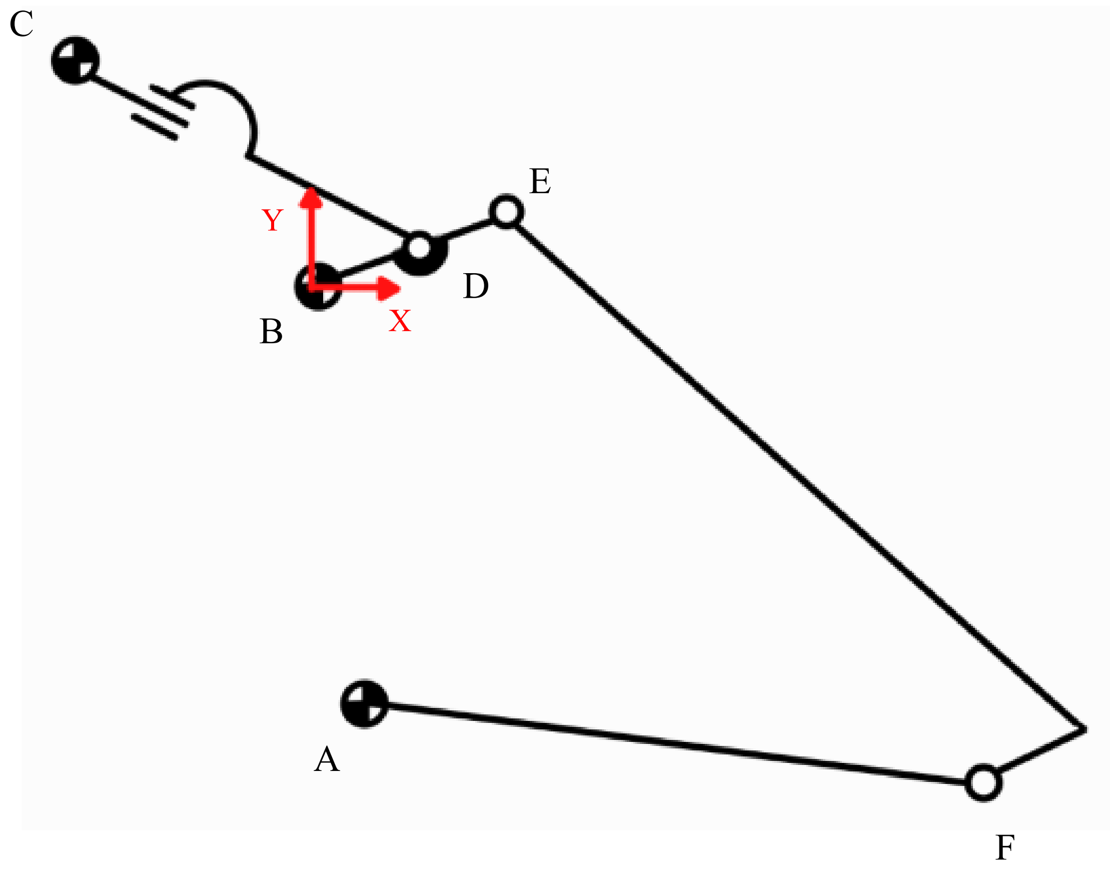
Laureando*: Odetti Niccolò*

Padova, 09/09/2022

INTRODUZIONE

L'obiettivo di questo elaborato finale è quello di analizzare staticamente e cinematicamente il meccanismo di sospensione di una bici da cross marca *Specialized* modello *Stumpjumper FSR Comp Carbon 29*. Il meccanismo si compone di un pistone, fulcro del sistema di ammortizzazione, collegato tramite un quadrilatero articolato al perno della ruota posteriore

OBIETTIVI DEL LAVORO



Calcolo dei gradi di libertà del meccanismo:

$$n = 3(m-1) - 2C_1 - C_2$$

$$m = 5$$

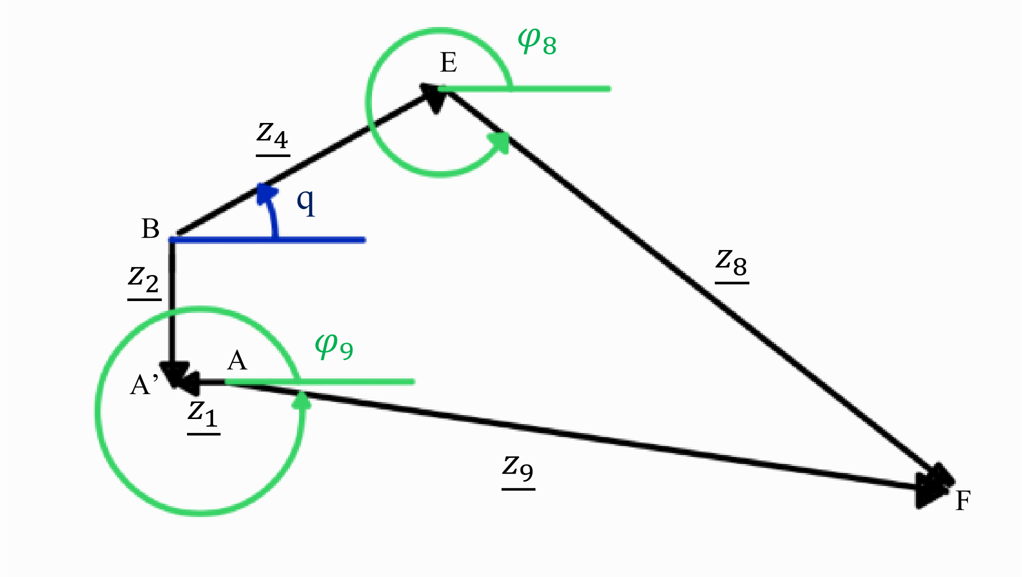
$$C_1 = 5$$

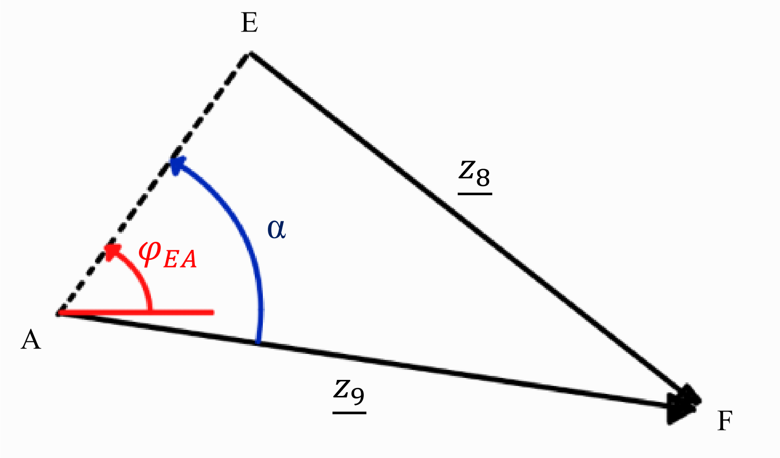
$$C_2 = 1$$

$$n = 3 \cdot (5-1) - 2 \cdot 5 - 1 = 1$$

Il meccanismo presenta quindi un grado di libertà. Si è assunta come coordinata libera la quota verticale del punto F, corrispondente al perno ruota. Per l'analisi del meccanismo sono state individuate 2 maglie

ANALISI CINEMATICA DI POSIZIONE





$$\underline{z_4} + \underline{z_8} - \underline{z_9} - \underline{z_1} - \underline{z_2} = \underline{0}$$

$$\begin{Bmatrix} x_E \\ y_E \end{Bmatrix} = \underline{z_4} * \begin{Bmatrix} \cos(q) \\ sen(q) \end{Bmatrix}$$

$$\text{EA} = \sqrt{(x_E - x_A)^2 + (y_E - y_A)^2}$$

$$\varphi_{EA} = tan^{-1}\left(\frac{y_E - y_A}{x_E - x_A}\right)$$

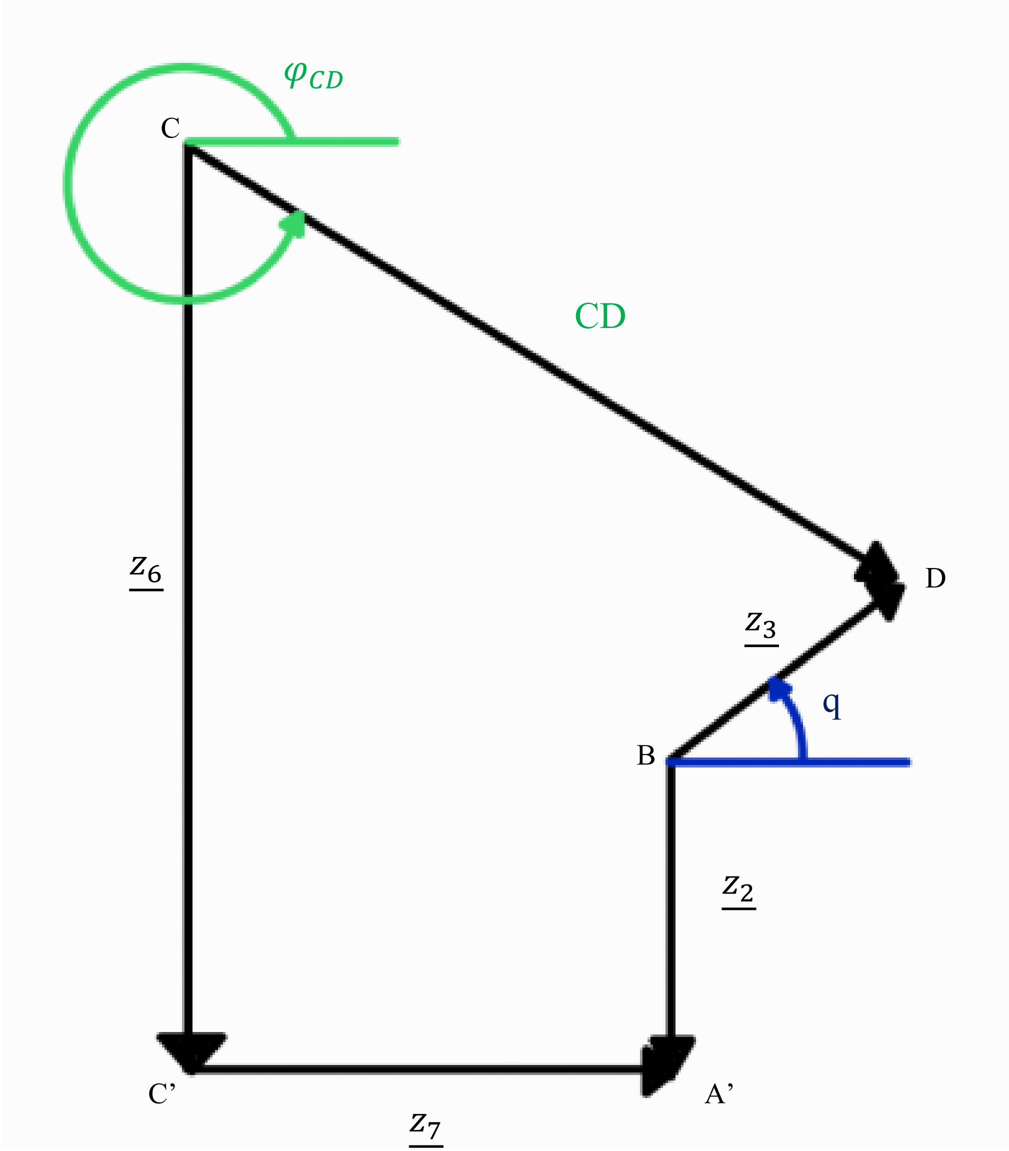
$$\varphi_9 = 360^\circ - (\alpha - \varphi_{EA})$$

$$\alpha = cos^{-1}\left(\frac{\overline{EA}^2 + \overline{AF}^2 - \overline{EF}^2}{2\overline{EA} * \overline{AF}}\right)$$

$$\begin{Bmatrix} x_F \\ y_F \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} x_A \\ y_A \end{Bmatrix} + \underline{z_9} \begin{Bmatrix} \cos(\varphi_9) \\ sen(\varphi_9) \end{Bmatrix}$$

$$\varphi_8 = tan^{-1}\left(\frac{y_F - y_E}{x_F - x_E}\right)$$

ANALISI CINEMATICA DI POSIZIONE



$$\underline{z_3} - \underline{CD} + \underline{z_6} + \underline{z_7} - \underline{z_2} = \underline{0}$$

$$\begin{Bmatrix} x_D \\ y_D \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} x_B \\ y_B \end{Bmatrix} + \underline{z_3} * \begin{Bmatrix} cos(q) \\ sen(q) \end{Bmatrix}$$

$$CD = \sqrt{(x_C - x_D)^2 + (y_C - y_D)^2}$$

$$\varphi_{CD} = 180° + tan^{-1}\left(\frac{y_D - y_C}{x_D - x_C}\right)$$

ANALISI CINEMATICA DI VELOCITÀ

Derivo l'equazione della prima maglia:

$$z_4\begin{Bmatrix}-sen(q)\\ cos(q)\end{Bmatrix}\dot{q}+z_8\begin{Bmatrix}-sen(\varphi_8)\\ cos(\varphi_8)\end{Bmatrix}\dot{\varphi_8}-z_9\begin{Bmatrix}-sen(\varphi_9)\\ cos(\varphi_9)\end{Bmatrix}\dot{\varphi}_9=\begin{Bmatrix}0\\0\end{Bmatrix}$$

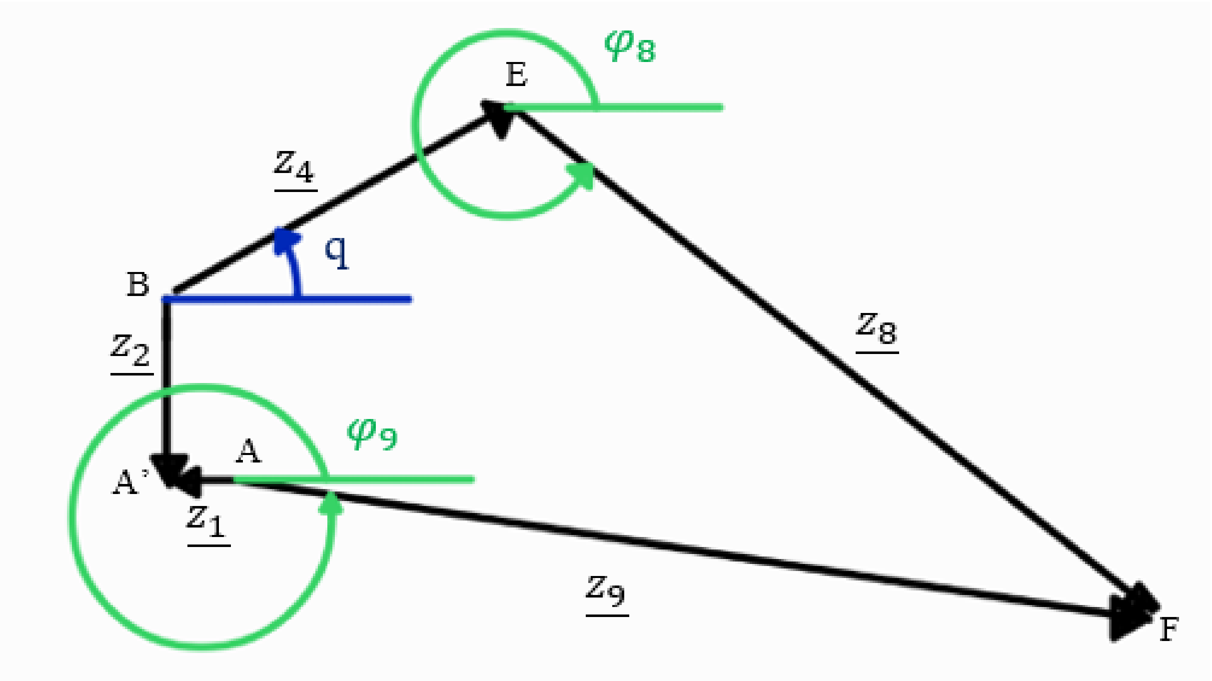
Definisco la matrice Jacobiana ed il vettore dei termini noti:

$$J=\begin{bmatrix}-z_8sen(\varphi_8) & z_9sen(\varphi_9)\\ z_8cos(\varphi_8) & -z_9cos(\varphi_9)\end{bmatrix}$$

$$A=\begin{Bmatrix}-z_4sen(q)\\ z_4cos(q)\end{Bmatrix}$$

Calcolo dei rapporti di velocità:

$$\begin{Bmatrix}w_{\varphi_9}\\ w_{\varphi_{11}}\end{Bmatrix}=-J^{-1}A\;=\begin{Bmatrix}\dfrac{z_4sen(\varphi_9-q)}{z_8sen(\varphi_8-\varphi_9)}\\ \dfrac{z_4sen(\varphi_8-q)}{z_9sen(\varphi_8-\varphi_9)}\end{Bmatrix}$$



Derivo l'equazione della seconda maglia:

$$z_3\begin{Bmatrix}-sen(q)\\ cos(q)\end{Bmatrix}\dot{q}-\dot{CD}\begin{Bmatrix}\cos(\varphi_{CD})\\ sen(\varphi_{CD})\end{Bmatrix}-CD\begin{Bmatrix}-sen(\varphi_{CD})\\ cos(\varphi_{CD})\end{Bmatrix}\dot{\varphi_{CD}}=\begin{Bmatrix}0\\0\end{Bmatrix}$$

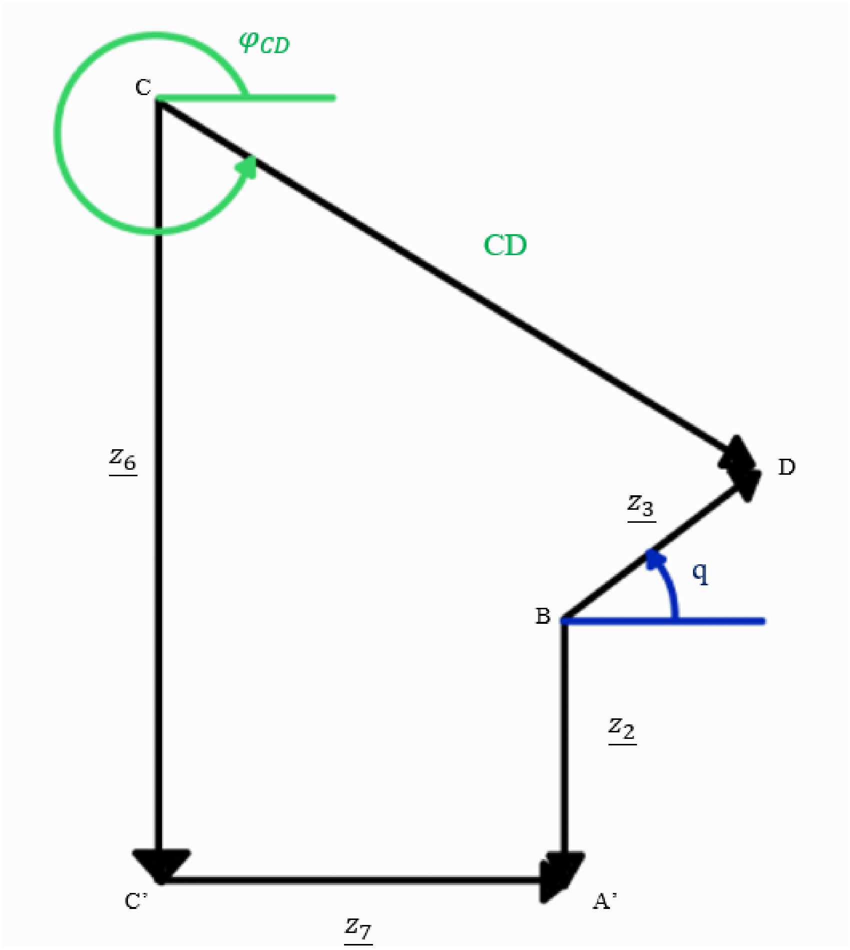
Definisco la matrice Jacobiana ed il vettore dei termini noti:

$$J=\begin{bmatrix}cos\,(\varphi_{CD}) & -CDsen(\varphi_{CD})\\ sen\,(\varphi_{CD}) & CDcos(\varphi_{CD})\end{bmatrix}$$

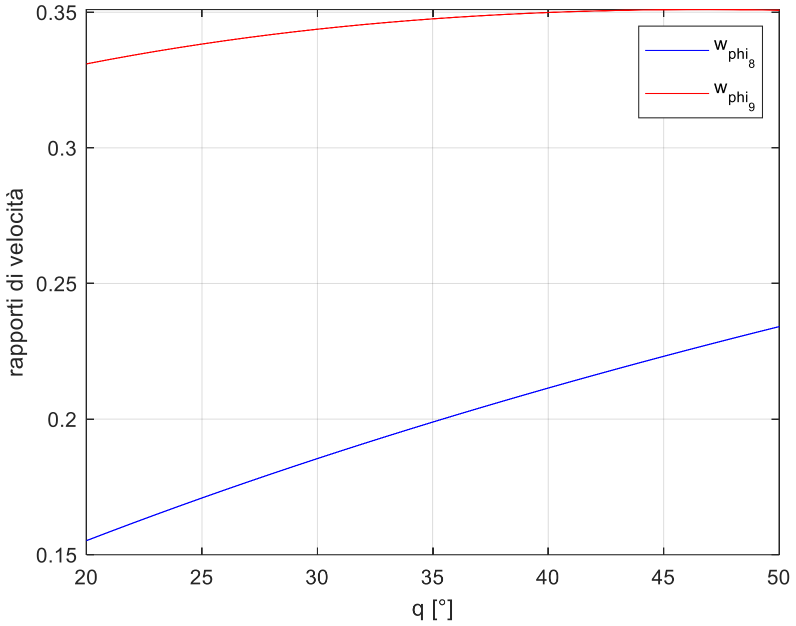
$$A=\begin{Bmatrix}-z_3sen(q)\\ z_3cos(q)\end{Bmatrix}$$

Calcolo dei rapporti di velocità:

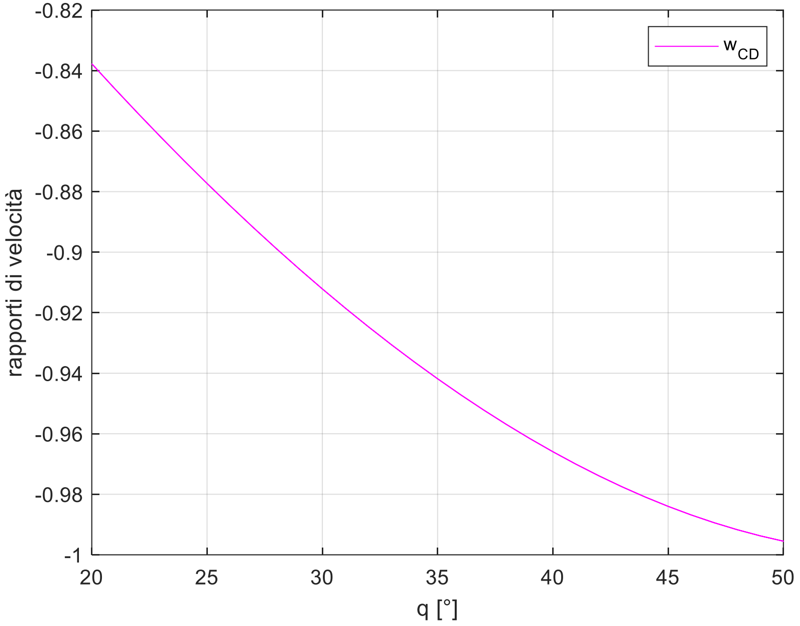
$$\begin{Bmatrix}w_{CD}\\ w_{\varphi_{CD}}\end{Bmatrix}=-J^{-1}A\;=\begin{Bmatrix}sen(\varphi_{CD}-q)\\ \dfrac{sen(\varphi_{CD})sen(q)+\cos(\varphi_{CD})\cos(q)}{CD}\end{Bmatrix}$$

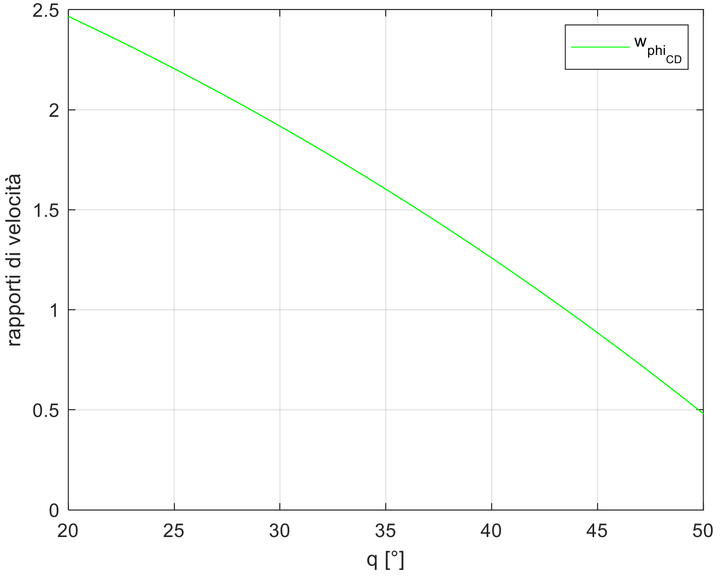


ANALISI CINEMATICA DI VELOCITÀ



Rapporti di velocità della prima maglia
In rosso w_{φ_9}
In blu w_{φ_8}

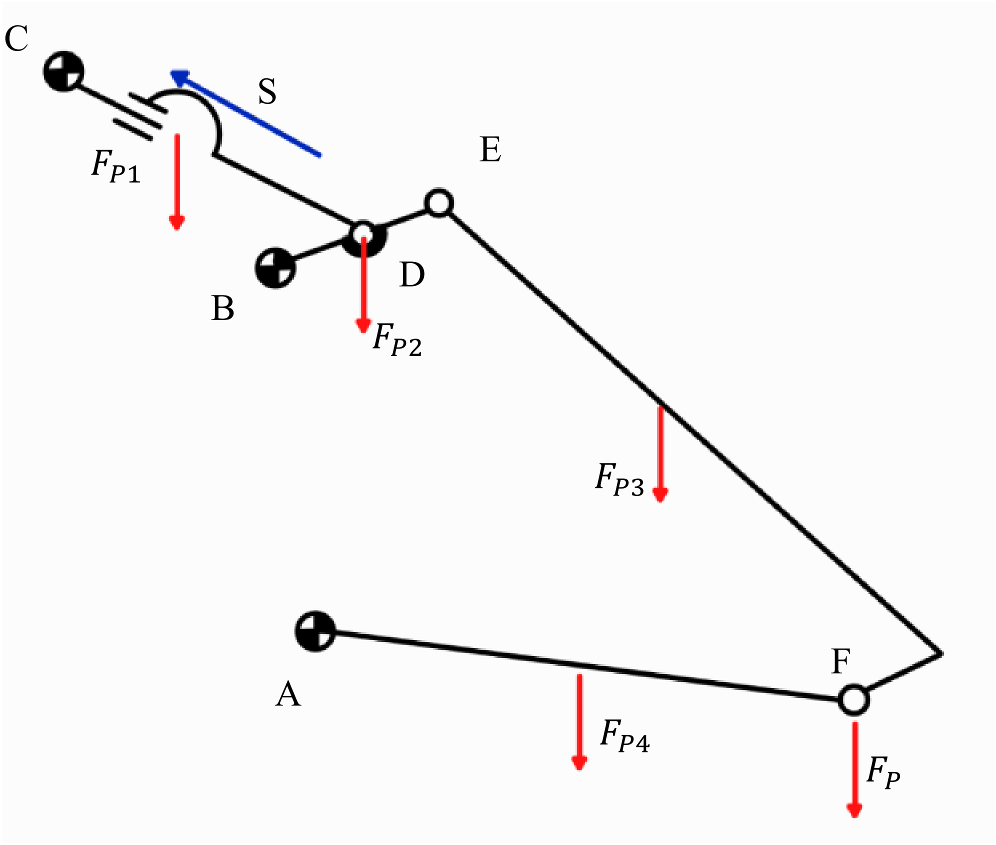




Rapporti di velocità della seconda maglia
Sopra w_{CD}
A sinistra $w_{\varphi_{CD}}$

ANALISI STATICA

Le forze considerate per l'analisi statica sono la forza peso dei singoli membri e metà del peso del ciclista considerato ripartito equamente tra asse anteriore e posteriore:



$$w_{y_{G1}} = \frac{w_{CD}}{2} sen(\varphi_{CD}) + \frac{CD}{2} cos(\varphi_{CD}) w_{\varphi_{CD}}$$

$$w_{y_{G2}} = \frac{BD}{2} cos(\varphi_q)$$

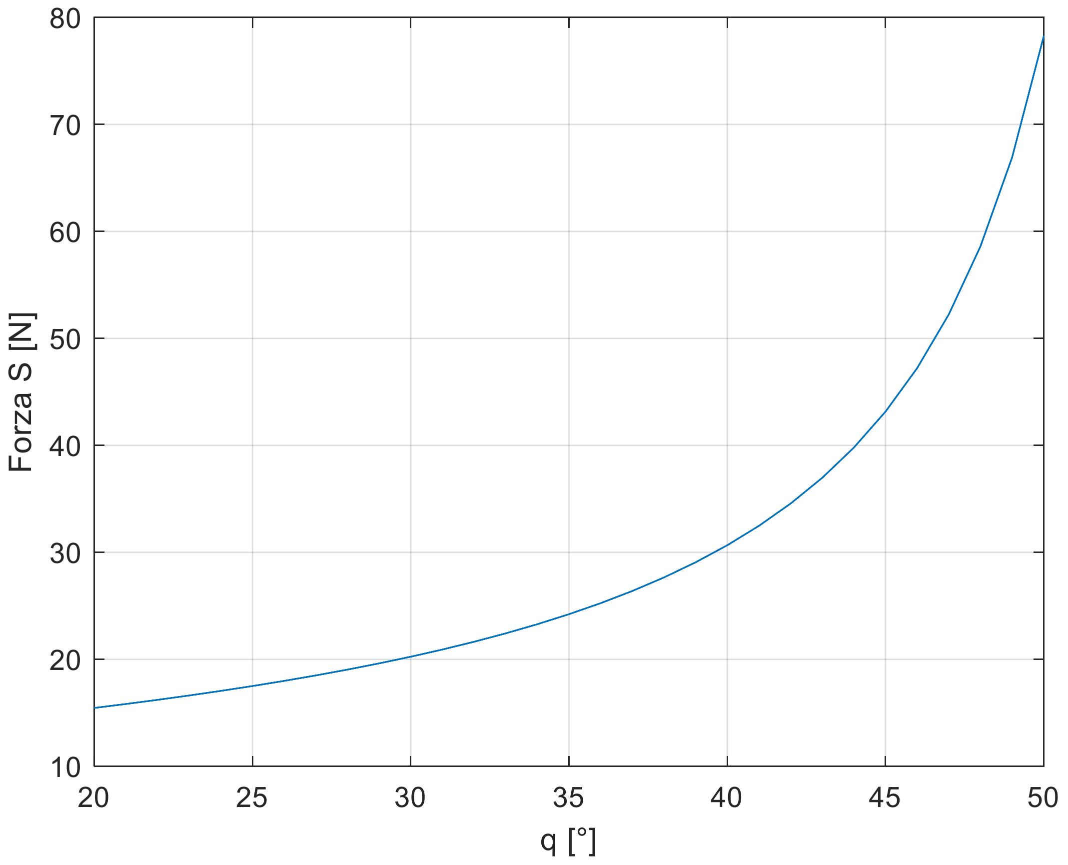
$$w_{y_{G3}} = BEcos(q) + \frac{EF}{2} \cos(\varphi_8) w_{\varphi_8}$$

$$w_{y_{G4}} = \frac{AF}{2} cos(\varphi_9) w_{\varphi_9}$$

$$w_{y_F} = AFcos(\varphi_9) w_{\varphi_9}$$

$$S = \frac{F_{P1} w_{y_{G1}} + F_P w_{y_F} + F_{P2} w_{y_{G2}} + F_{P3} w_{y_{G3}} + F_{P4} w_{y_{G4}}}{w_{CD}}$$

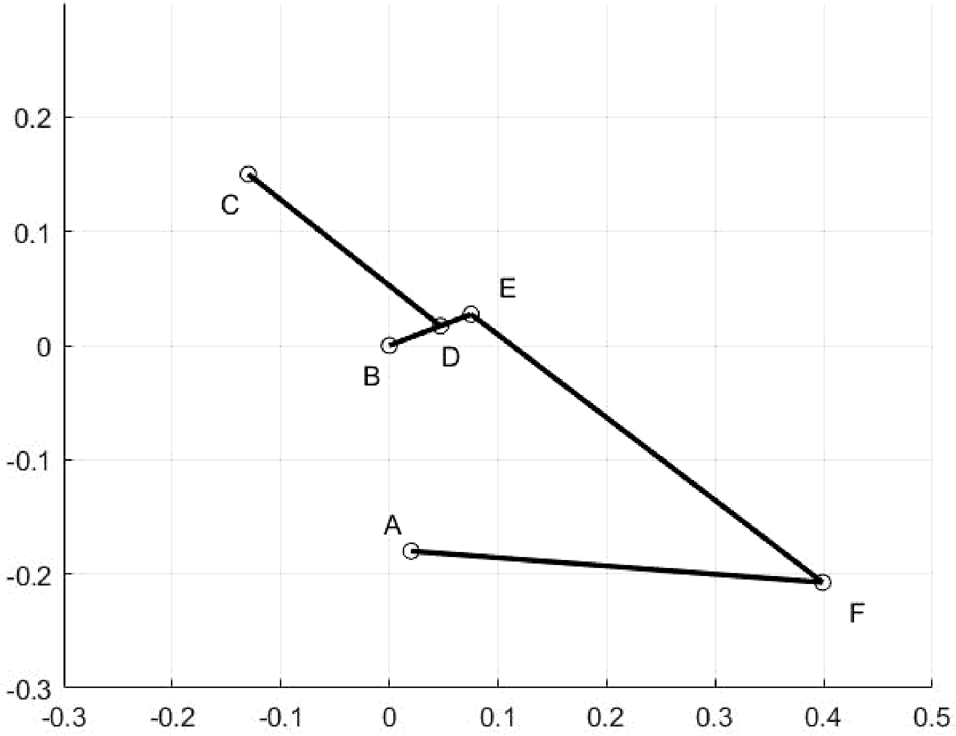
ANALISI STATICA



In questo diagramma si vede la forza richiesta al pistone per bilanciare
Il sistema considerando metà della forza peso del ciclista e tutte le forze
Peso dei singoli membri

CONCLUSIONI

Si riporta in conclusione un video di simulazione del meccanismo di ammortizzazione:



Ho considerato un'escursione dai 20˚ iniziali ai 30˚ della Coordinata libera