

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale
Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

Relazione per la prova finale

«Analisi cinematica del meccanismo di chiusura del
vano superiore di un'automobile decappottabile»

Tutor universitario: Prof. Matteo Massaro

Laureando: *Faccin Luca 2005103*

Padova, 14/11/2023

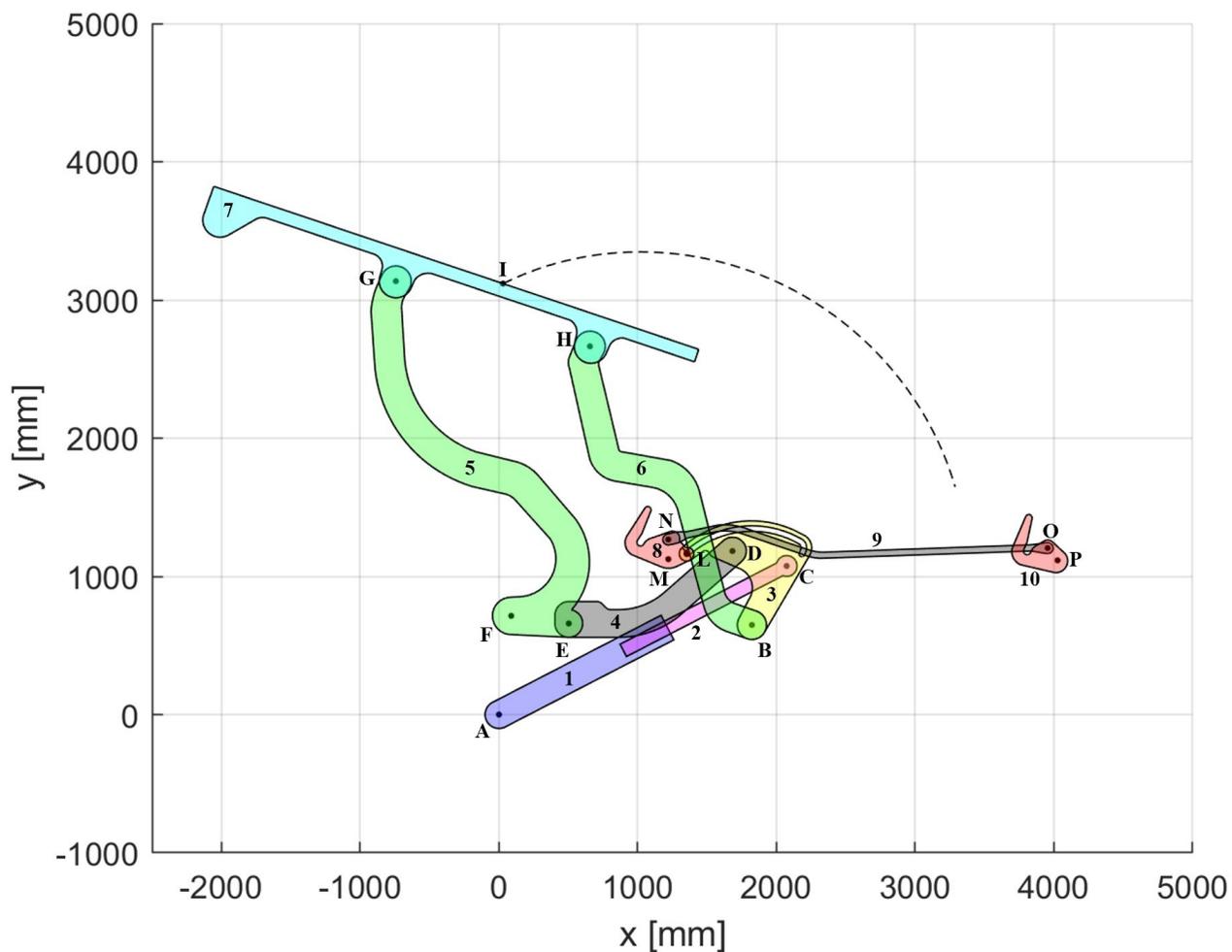
Il seguente elaborato riguarda l'analisi cinematica del meccanismo brevettato riportato nell'immagine.

Si tratta del dispositivo di chiusura del vano superiore di un'autovettura decappottabile.

Tale meccanismo è costituito da due movimenti distinti azionati però dal medesimo attuatore idraulico (1 e 2).

Il primo consiste nell'apertura e chiusura del vano tramite un quadrilatero articolato (5,6 e 7).

Il secondo è un sistema di bloccaggio che sfrutta un perno che scorre all'interno di una guida sul membro 3 per ottenere la funzione di chiusura richiesta.



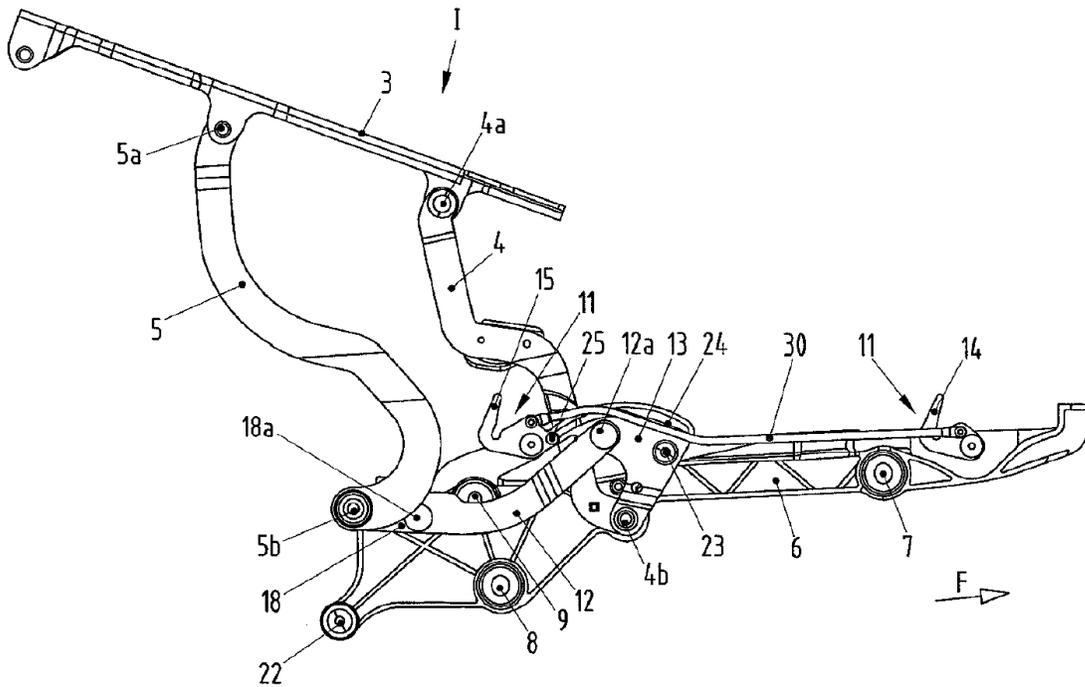
L'obiettivo di questo studio è stata l'analisi cinematica di ciascun membro del brevetto tramite formule analitiche (con l'uso del software Matlab) e la successiva comparazione dei risultati ottenuti con quelli forniti dal software Working Model.

Innanzitutto si è verificato che il meccanismo fosse ad un grado di libertà utilizzando l'equazione di Grübler:

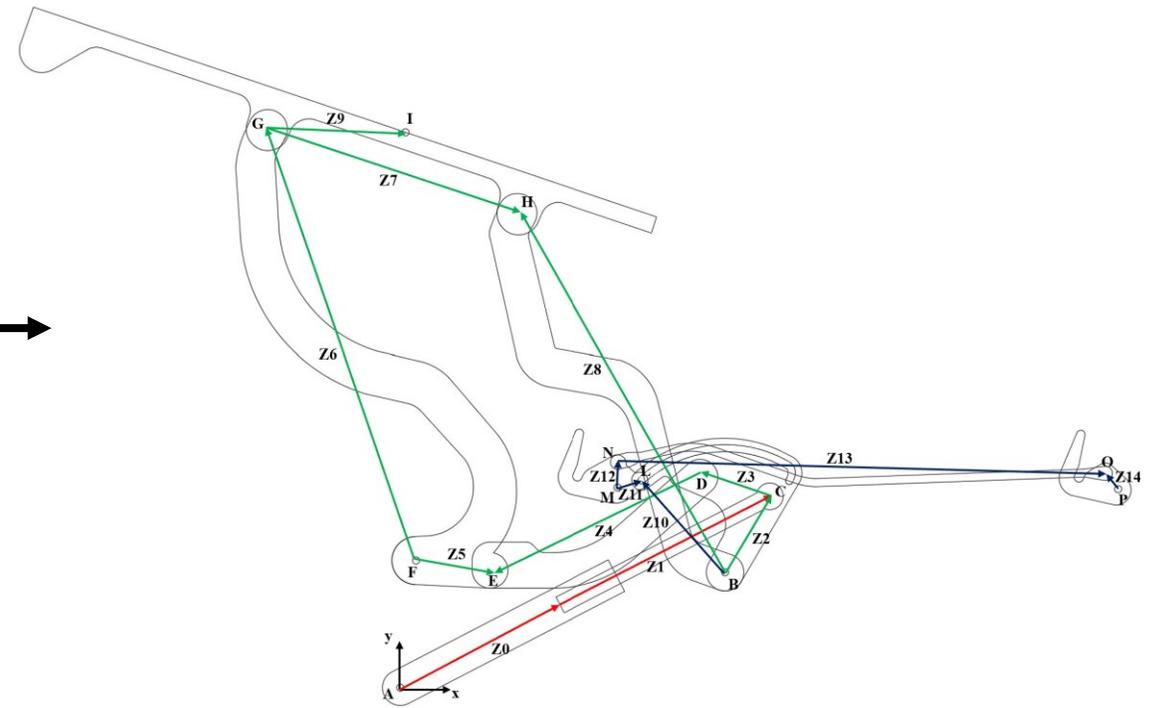
$$n = 3(11 - 1) - 2 \times 13 - 2 \times 1 - 1 \times 1 = 1 \text{ gdl}$$

Nello studio cinematico è stato usato il metodo del poligono di chiusura per trovare le equazioni di posizione e velocità dei vari punti.

Partendo dallo schema del brevetto si è ricavato in AutoCAD un disegno dell'intero meccanismo da cui si sono misurati tutti i valori riguardanti la geometria (es. lunghezza membri, angoli noti, ecc.)



Fonte: brevetto

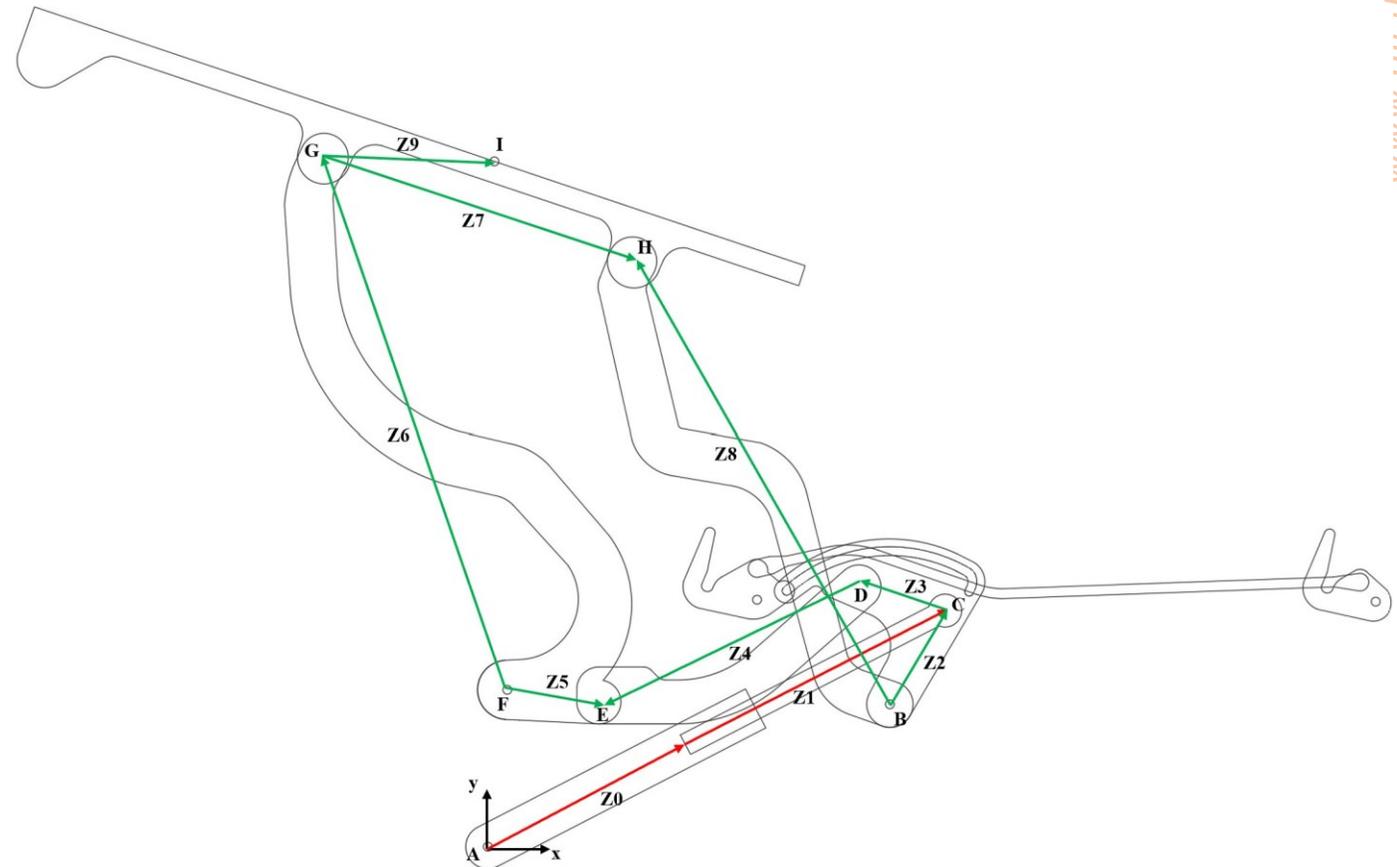


Disegno autoCAD

I vettori Z_0 , Z_1 e Z_2 costituiscono un glifo oscillante con movente il pattino e risolvendolo si possono trovare le coordinate di C e D.

I punti D, E ed F formano una diade RRR, risolvendo la quale si individuano le coordinate di E e G.

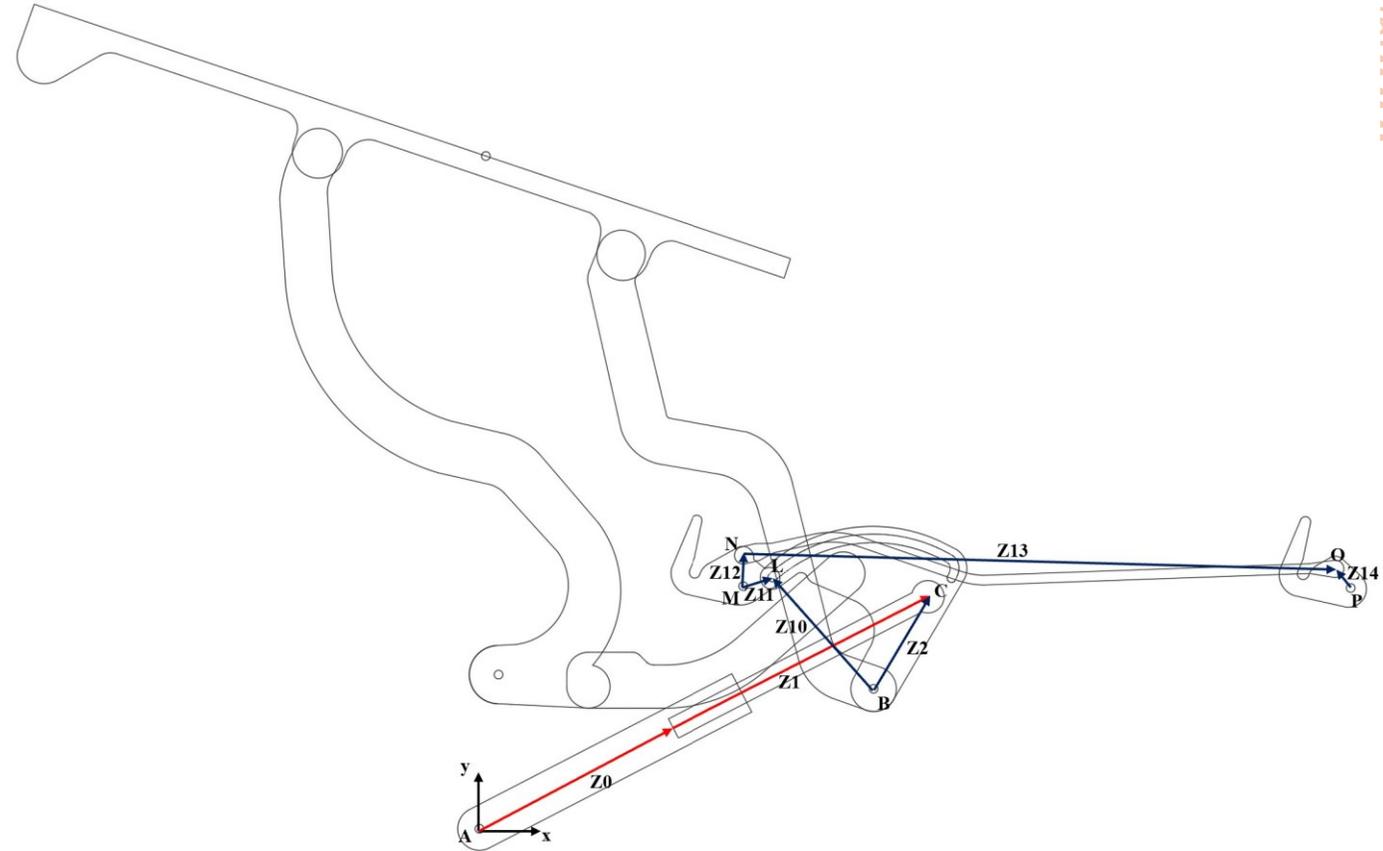
I vettori Z_6 , Z_7 e Z_8 formano un quadrilatero articolato e risolvendolo troviamo la posizione del punto H e del punto I che verrà usato come riferimento nei grafici Matlab e Working Model.



Il movente fa ruotare il membro 3 attorno alla sua coppia rotoidale a telaio, il punto B.

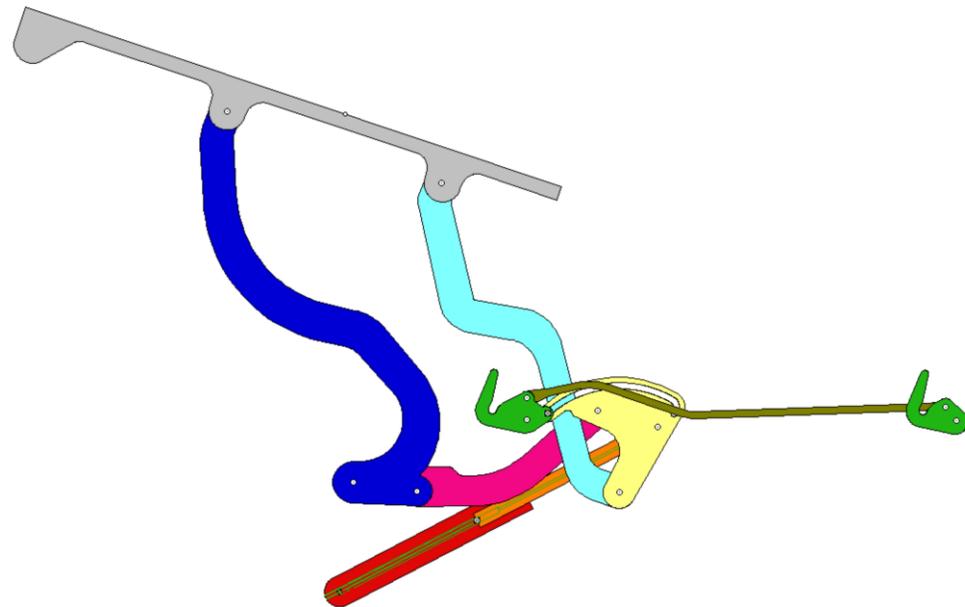
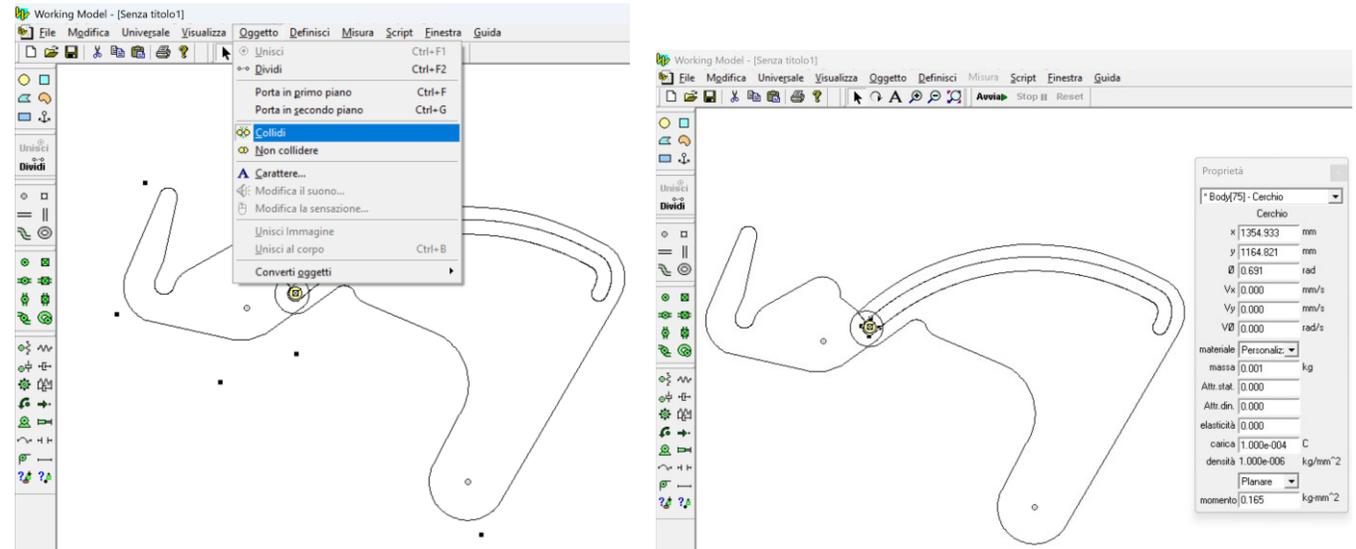
Il profilo della guida sul membro 3 può essere visto come una camma di forma arbitraria e dunque i vettori Z_{10} , R e Z_{11} costituiscono il poligono di chiusura di un bilanciere a rotella. Risolvendolo si trovano le coordinate del punto L e N.

Infine, i vettori Z_{12} , Z_{13} e Z_{14} formano un quadrilatero articolato e risolvendolo si trova la posizione di O.



Per realizzare la coppia cinematica a camma è stato modificato il membro 3, facendo un taglio tra la guida e l'esterno del pezzo. In questo modo working model riconosce la guida ed è possibile accoppiarla con un perno che vi scorrerà all'interno.

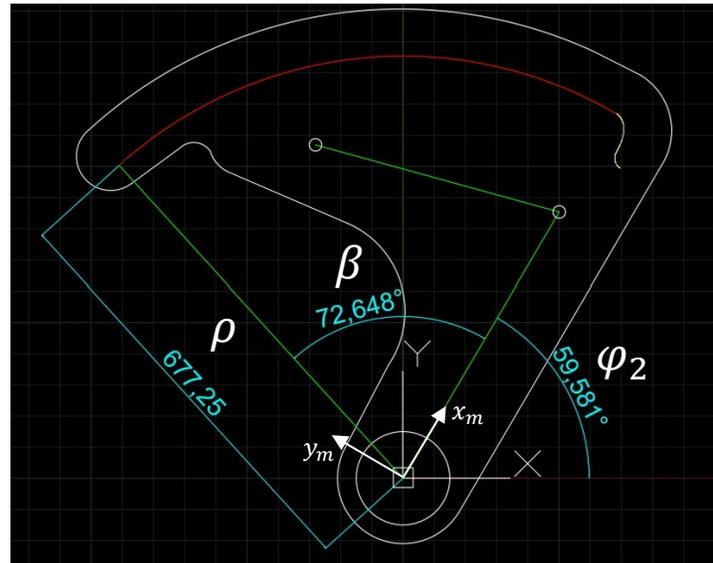
Si devono selezionare i due membri, far sì che collidano ed, inoltre, conviene modificare le proprietà del perno, ponendo attrito dinamico, statico ed elasticità pari a 0.



Si è scelto il vettore Z2 come asse x_m del sistema di riferimento solidale alla camma.

Il profilo della camma è costituita per gran parte da una sezione di circonferenza con centro nell'origine del sistema, mentre il tratto finale è una linea curva più complessa che permette il movimento di bloccaggio dei due ganci.

Per la prima parte (in rosso) si sono trovate le coordinate del profilo grazie al valore ρ del raggio, misurato su AutoCAD, e l'angolo β ricavato geometricamente su Excel.



Membro 3 in posizione iniziale ($q=0$)

$$x = \rho \cos \beta$$

$$y = \rho \sin \beta$$

Membro3_prof.cammas				
phi2	delta_phi2	beta	x_rho	y_rho
59.58074	0	72.6480	201.9824	646.4239
60.44215	0.861407	71.7866	211.6778	643.3143
61.2874	1.706656	70.9413	221.1448	640.1217
62.11747	2.536722	70.1113	230.395	636.8508
62.93323	3.352489	69.2955	239.4387	633.506
63.7355	4.154759	68.4932	248.2855	630.0914
64.52501	4.944267	67.7037	256.944	626.6104
65.30243	5.721684	66.9263	265.4222	623.0665
66.06837	6.487628	66.1604	273.7275	619.4627
66.82341	7.242669	65.4053	281.8668	615.8018
67.56807	7.98733	64.6607	289.8462	612.0866
68.30284	8.722099	63.9259	297.6716	608.3193
69.02817	9.447428	63.2006	305.3485	604.5023
69.74448	10.16374	62.4843	312.8819	600.6377
70.45216	10.87142	61.7766	320.2765	596.7275
71.15158	11.57083	61.0772	327.5368	592.7735
71.84307	12.26233	60.3857	334.6669	588.7774
72.52697	12.94623	59.7018	341.6707	584.7409
73.20357	13.62283	59.0252	348.5519	580.6654
73.87316	14.29241	58.3556	355.3139	576.5525
74.536	14.95525	57.6927	361.9599	572.4035
75.19234	15.61116	57.0364	368.4931	568.2197
75.84243	16.26168	56.3863	374.9164	564.0022
76.48648	16.90574	55.7423	381.2324	559.7523
77.12471	17.54397	55.1040	387.4439	555.471
77.75733	18.17659	54.4714	393.5532	551.1594
78.38452	18.80378	53.8442	399.5628	546.8184
79.00648	19.42573	53.2223	405.4749	542.4489
79.62336	20.04261	52.6054	411.2917	538.052
80.23534	20.65459	51.9934	417.0151	533.6283
80.84257	21.26183	51.3862	422.6471	529.1788
81.44521	21.86447	50.7835	428.1895	524.7042

Per la seconda parte (in giallo) si sono trovate le coordinate dei punti con lo stesso procedimento usato per tutti i membri, tramite Working Model.

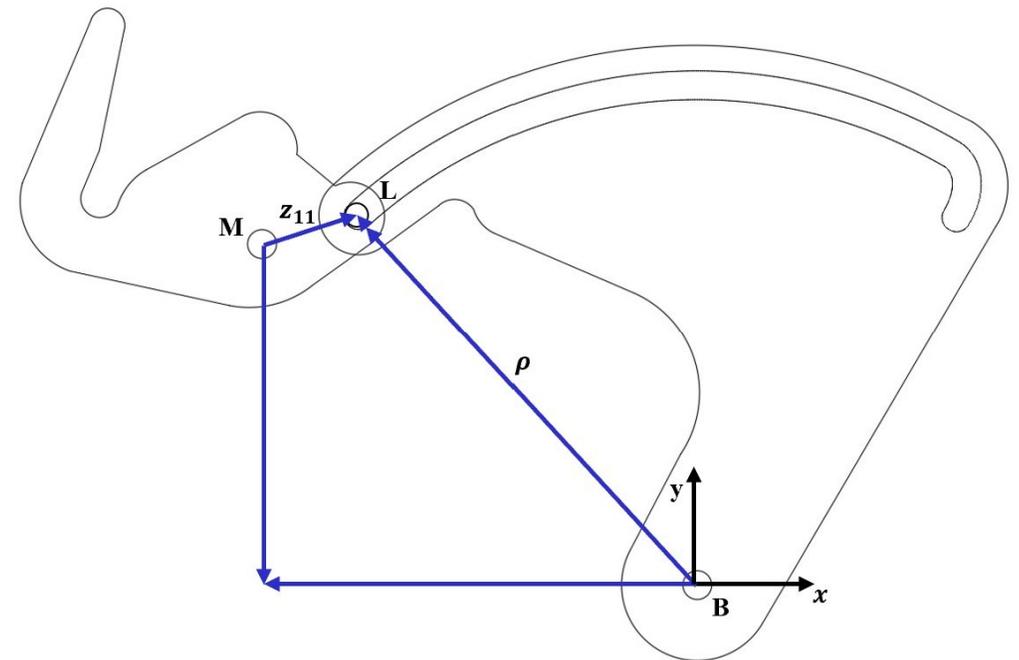
Una volta trovati tutti i valori x e y del profilo si sono inseriti su Matlab come vettori e salvati in una matrice.

Si può quindi iniziare con l'analisi cinematica:

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2} \quad \beta = \tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right)$$

$$v(\beta) = \arctan \left(-\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{d\beta} \right)$$

$$\begin{cases} \rho \begin{pmatrix} \cos(\varphi_2 + \beta) \\ \sin(\varphi_2 + \beta) \end{pmatrix} + r \begin{pmatrix} \cos(\varphi_r) \\ \sin(\varphi_r) \end{pmatrix} - a_{11} \begin{pmatrix} \cos(\varphi_{11}) \\ \sin(\varphi_{11}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_M - x_B \\ y_M - y_B \end{pmatrix} \\ \varphi_2 + \beta + v(\beta) = \varphi_r \end{cases}$$



Poligono di chiusura bilanciata a rotella

$$\begin{cases} \rho \begin{pmatrix} \cos(\varphi_2 + \beta) \\ \sin(\varphi_2 + \beta) \end{pmatrix} + r \begin{pmatrix} \cos(\varphi_r) \\ \sin(\varphi_r) \end{pmatrix} - a_{11} \begin{pmatrix} \cos(\varphi_{11}) \\ \sin(\varphi_{11}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_M - x_B \\ y_M - y_B \end{pmatrix} \\ \varphi_2 + \beta + \nu(\beta) = \varphi_r \end{cases}$$

$$\Rightarrow \varphi_{11} = \tan^{-1} \left(\frac{r \sin(\varphi_r) + \rho \sin(\varphi_2 + \beta) - (y_M - y_B)}{r \cos(\varphi_r) + \rho \cos(\varphi_2 + \beta) - (x_M - x_B)} \right)$$

```
function [phir, phi11, xL, yL] = cinematica_camma_luca(m)
% analisi cinematica della camma
% angoli espressi in gradi

% Definizione dei parametri della camma
rho = sqrt(m.PT(1,:).^2+m.PT(2,:).^2);
beta = atan2d(m.PT(2,:),m.PT(1,:));

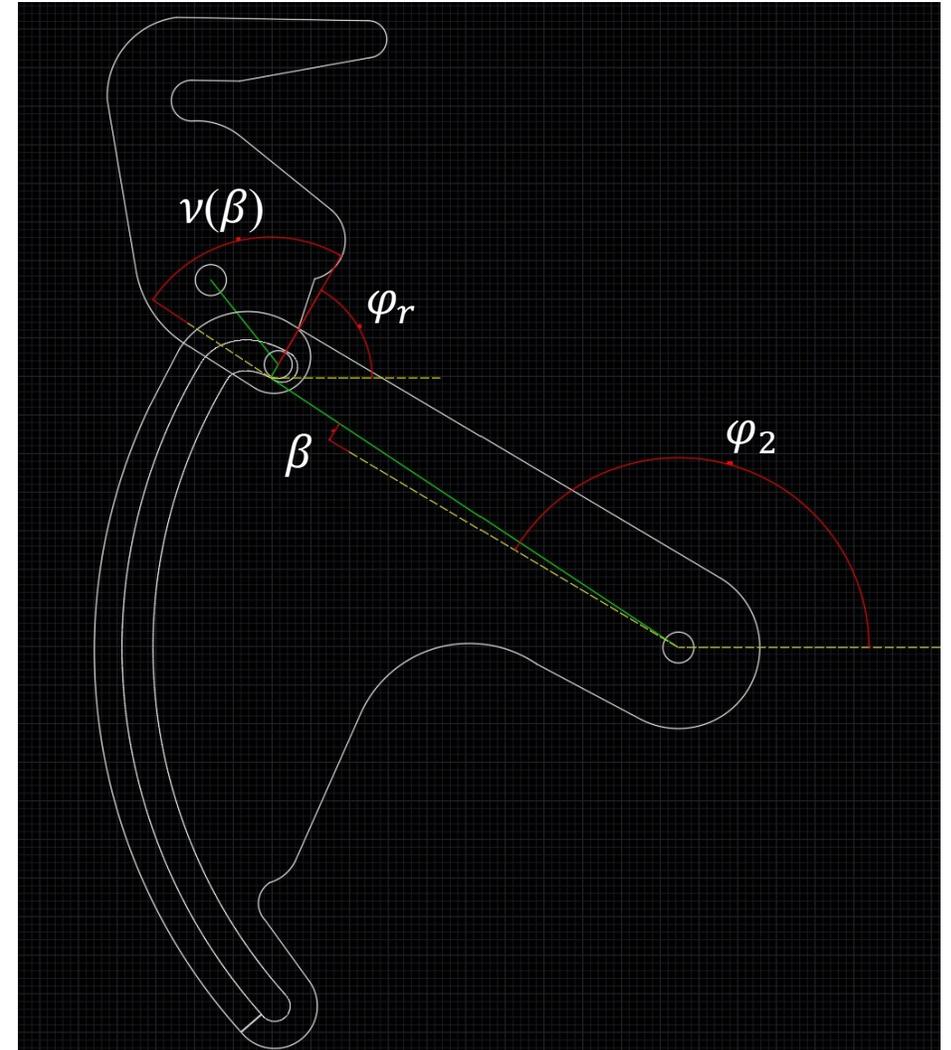
% Calcolo della derivata d(rho)/d(beta)
d_rho_beta = gradient(rho, beta);

% Calcolo di nu (angolo di pressione)
nu = atand(-d_rho_beta ./ rho);

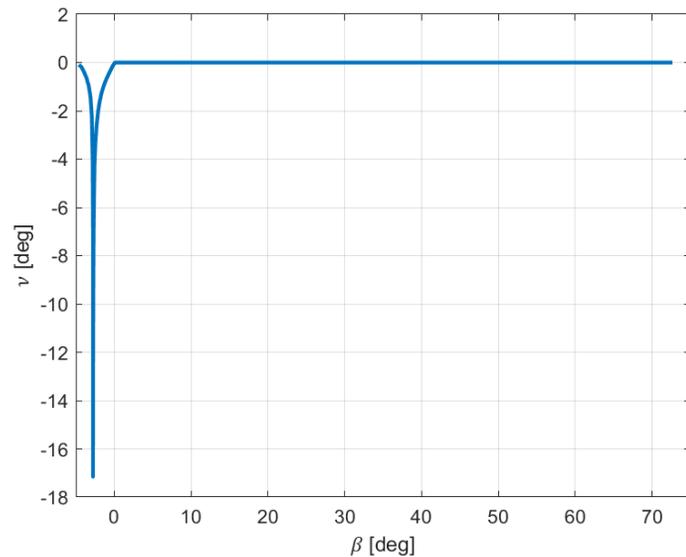
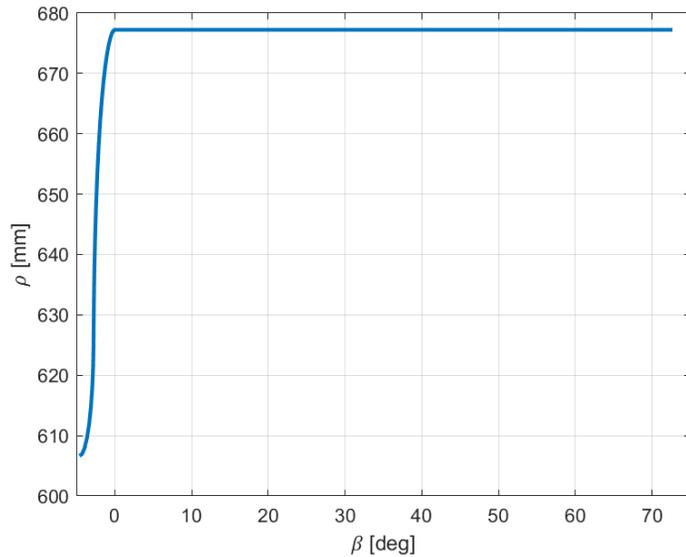
% phir = m.phi2 + beta + nu;
% phi11 = atan2d(m.raggio*sind(phir)+rho.*sind(m.phi2+beta)-(m.M(2)-m.B(2)),
%               m.raggio*cosd(phir)+rho.*cosd(m.phi2+beta)-(m.M(1)-m.B(1)));

xL = m.M(1) + m.a11*cosd(phi11);
yL = m.M(2) + m.a11*sind(phi11);

end
```



Schema equazione ausiliaria

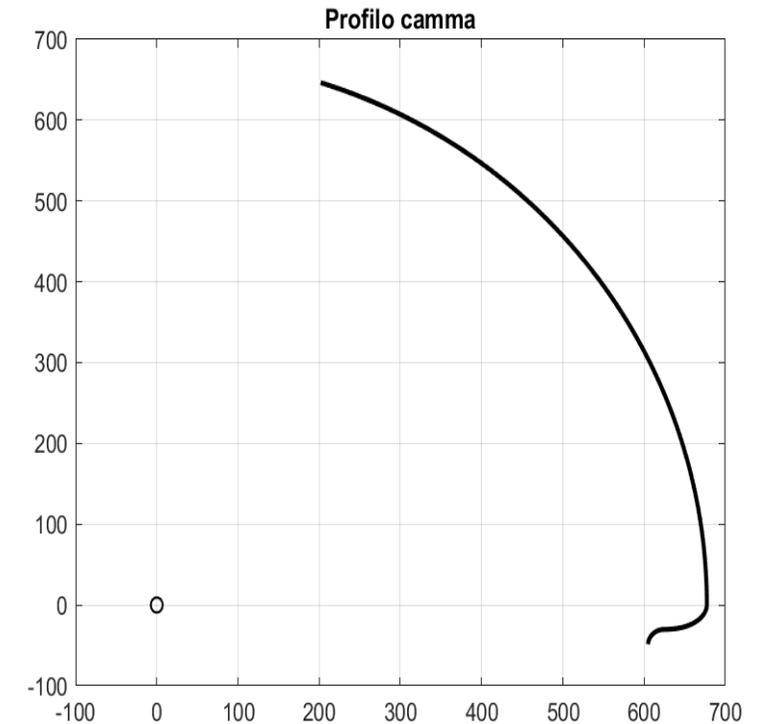


Si sono realizzati i seguenti grafici per visualizzare l'andamento di ρ e ν in funzione di β .

Inoltre, si è rappresentato il profilo della camma utilizzando i valori di ρ e β calcolati con la funzione su Matlab.

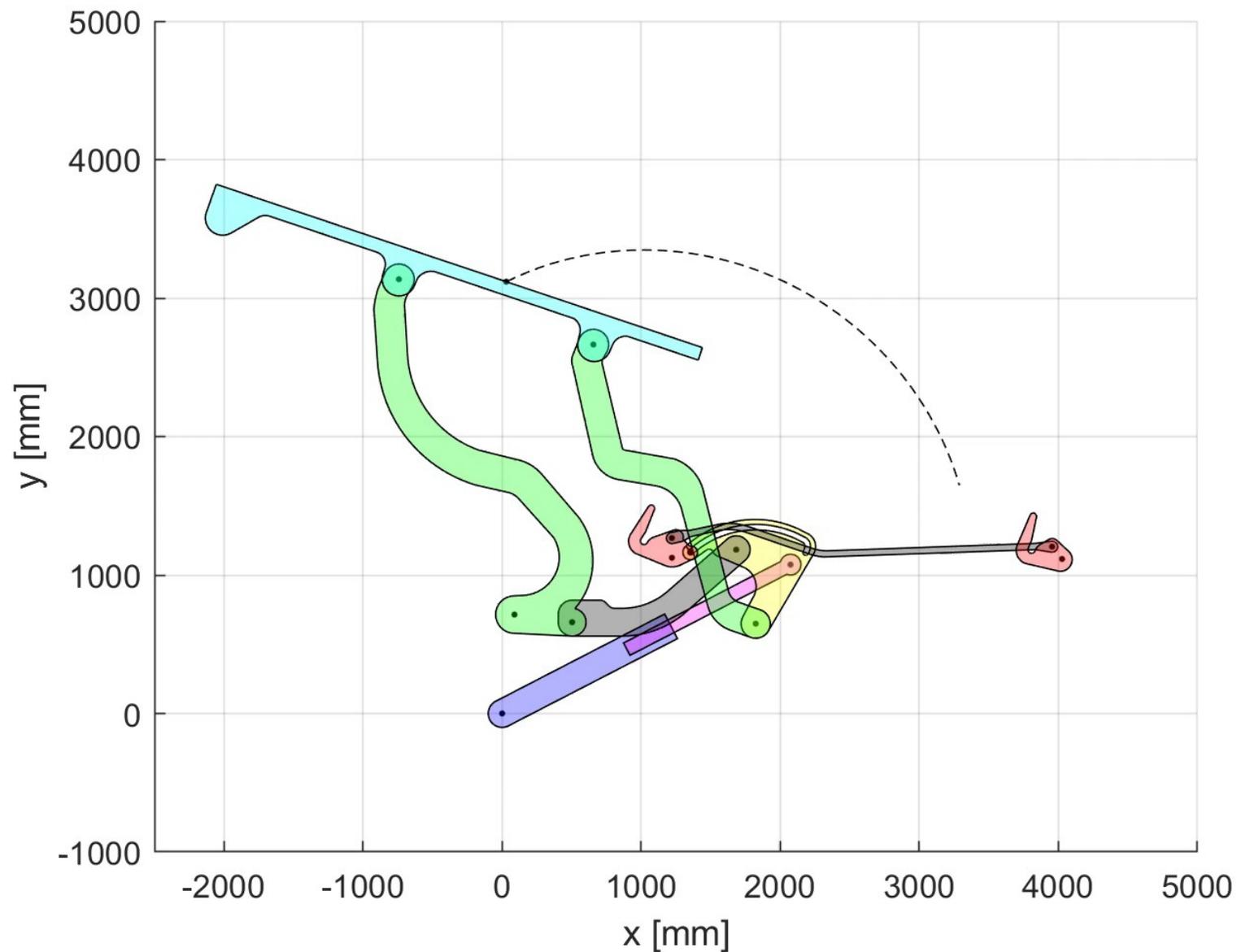
$$x = \rho \cos \beta$$

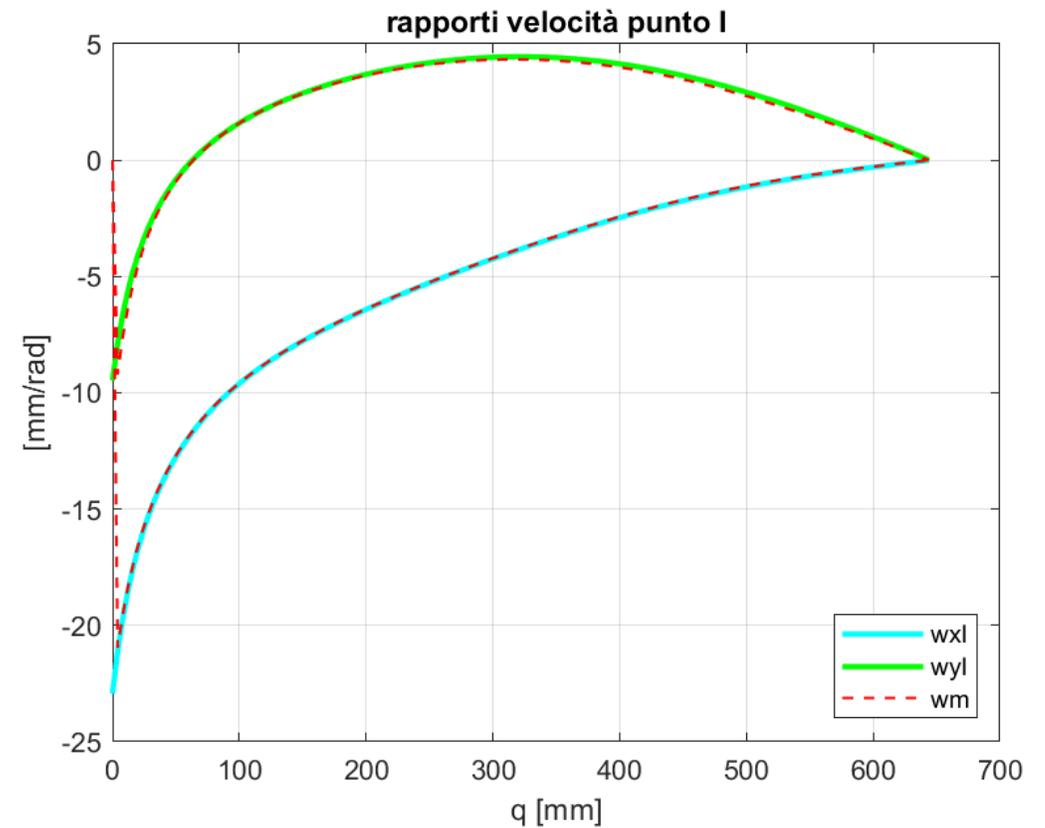
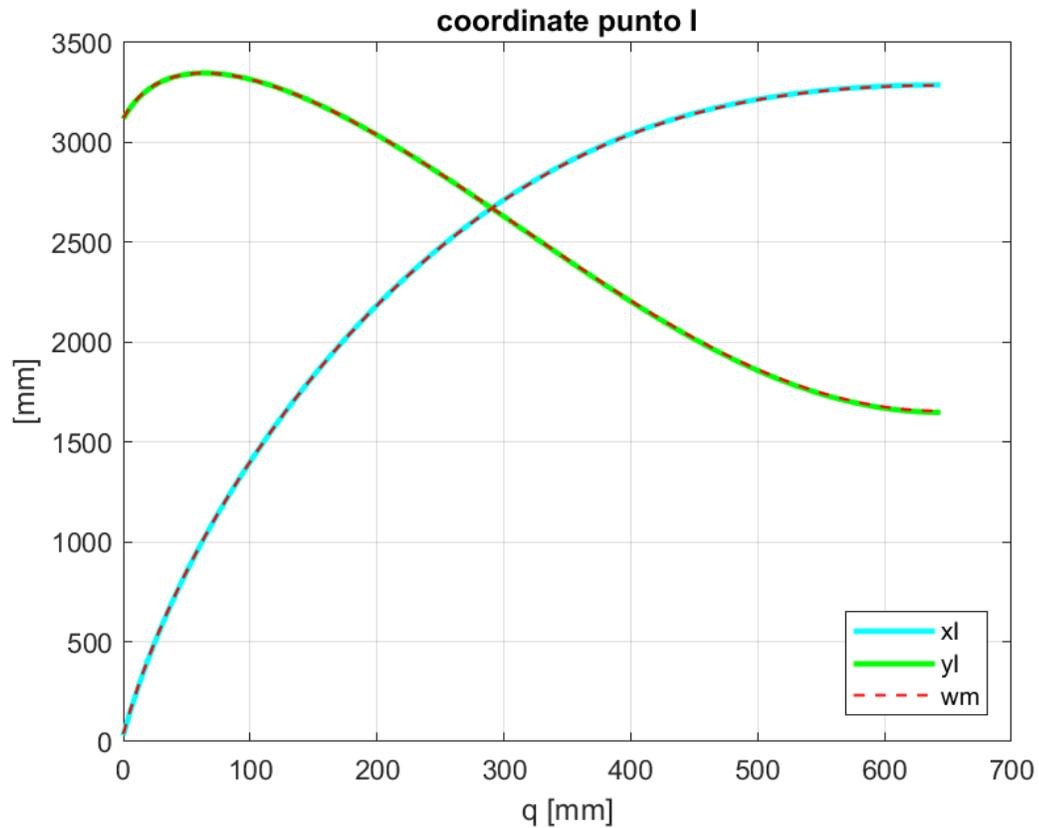
$$y = \rho \sin \beta$$



Una volta che si sono inseriti tutti i membri e risolti tutti i cinematismi del meccanismo, è stata creata una simulazione di movimento per aiutare a comprendere meglio il funzionamento.

La linea tratteggiata rappresenta la traiettoria del punto I, scelto arbitrariamente sul membro 7 (che sarebbe il coperchio del vano).





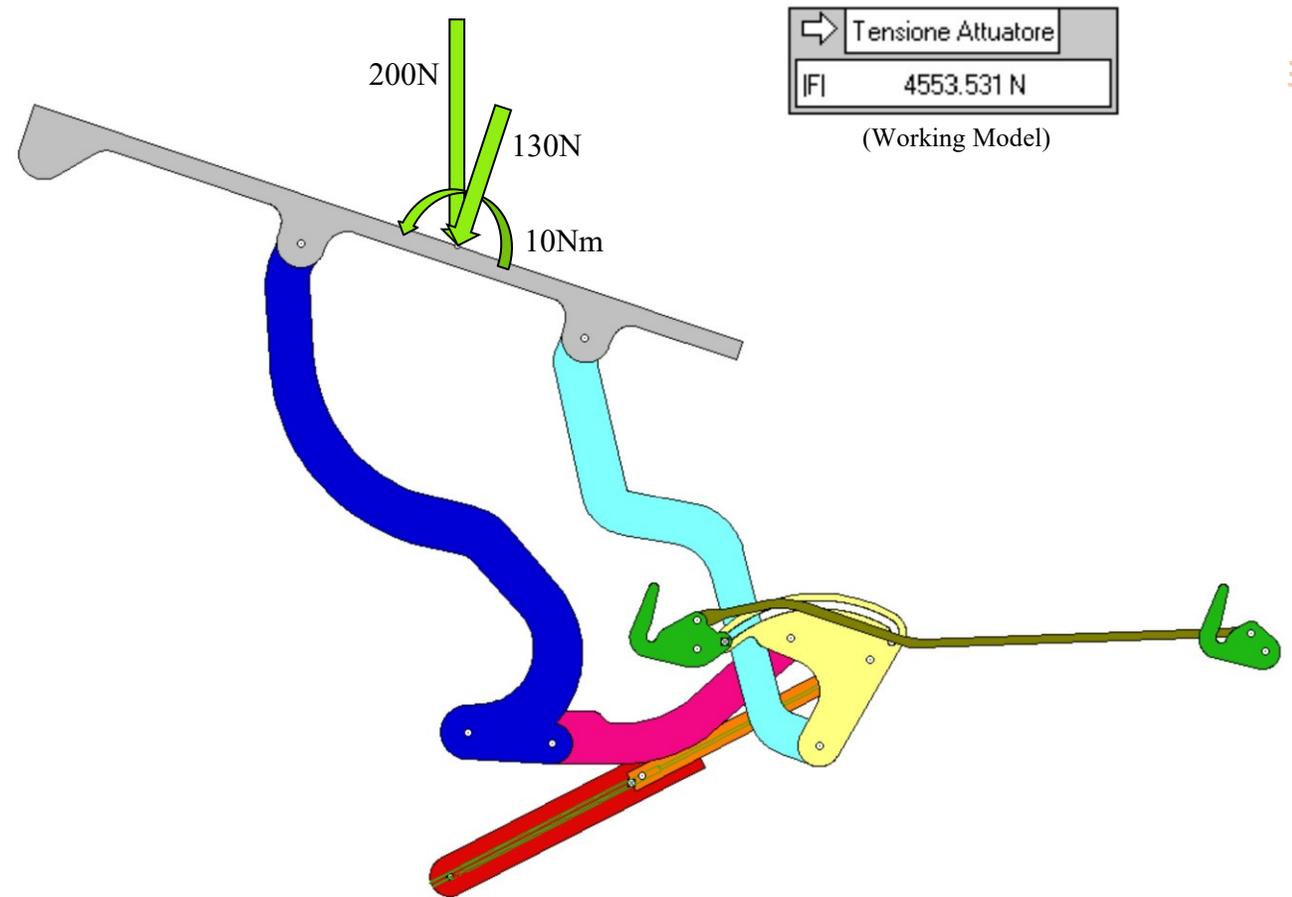
Come si può notare i grafici ricavati in Matlab coincidono con quelli esportati da Working Model.

Si nota che i rapporti di velocità vanno tutti a zero in corrispondenza del punto morto che si ottiene con la configurazione chiusa ($q = 644\text{mm}$) del meccanismo.

Infine si è applicato il principio dei lavori virtuali per trovare la forza al movente, ipotizzando una forza peso di 200N, una forza aerodinamica (solo se il veicolo è in movimento) di 130N e un momento.

$$S^T W = 0^T$$

I due valori ottenuti sono tuttavia confrontabili e la forza sul cilindro idraulico è quasi 0 nella configurazione chiusa del coperchio.



Forza massima sull'attuatore: 4583.227 [N]

(Matlab)

Questo brevetto ha l'obiettivo di fornire un meccanismo che possa essere spostato in una posizione aperta e in una posizione chiusa sia quando il veicolo è fermo che quando è in movimento e che garantisca un bloccaggio sicuro quando il coperchio del vano si trova nella configurazione «chiusa».

Presenta alcuni vantaggi, quali:

- Necessità di un solo attuatore per movimentare tutto il meccanismo
- Limitato ingombro nella configurazione «chiusa»
- La forza sull'attuatore è praticamente nulla quando è chiuso poiché siamo in corrispondenza del punto morto, inoltre, poggia su dei supporti in gomma ed è vincolato dai ganci di bloccaggio.

GRAZIE PER L'ATTENZIONE