

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

Relazione per la prova finale

«Analisi cinematica di un meccanismo Krueger flap a tre
posizioni »

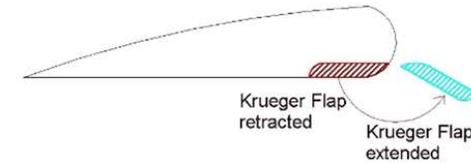
Tutor universitario: Prof. Matteo Massaro

Laureando: *Alessandro Urbani 2001785*

Padova, 20/11/2023

I flap Krüger sono stati inventati da Werner Krüger nel 1943 e valutati nelle gallerie del vento di Göttingen, in Germania. Una delle prime applicazioni civili è stata sul Boeing 707 (anni 60).

Il flap è stato aggiunto per prevenire lo stallo dell'ala durante il decollo in configurazione di assetto estremo con la coda che tocca sulla pista, una situazione che aveva causato due incidenti con uno dei primi aerei di linea 'de Havilland Comet'.



Flap Krueger su Boeing 707



Flap Krueger a camber variabile su Boeing 747

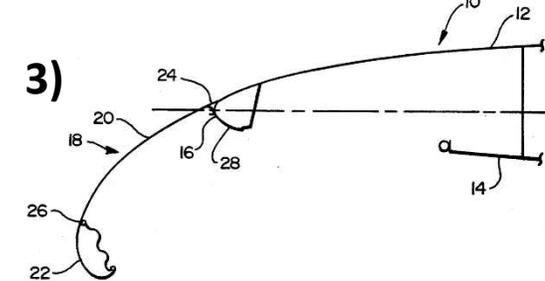
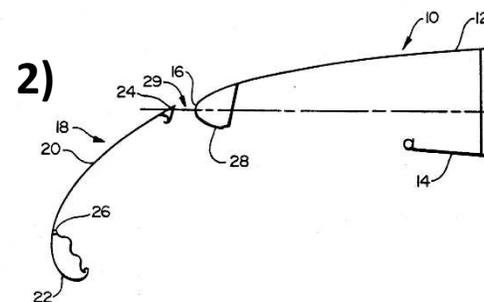
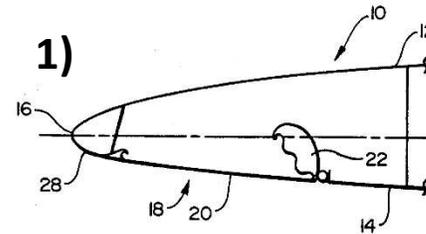
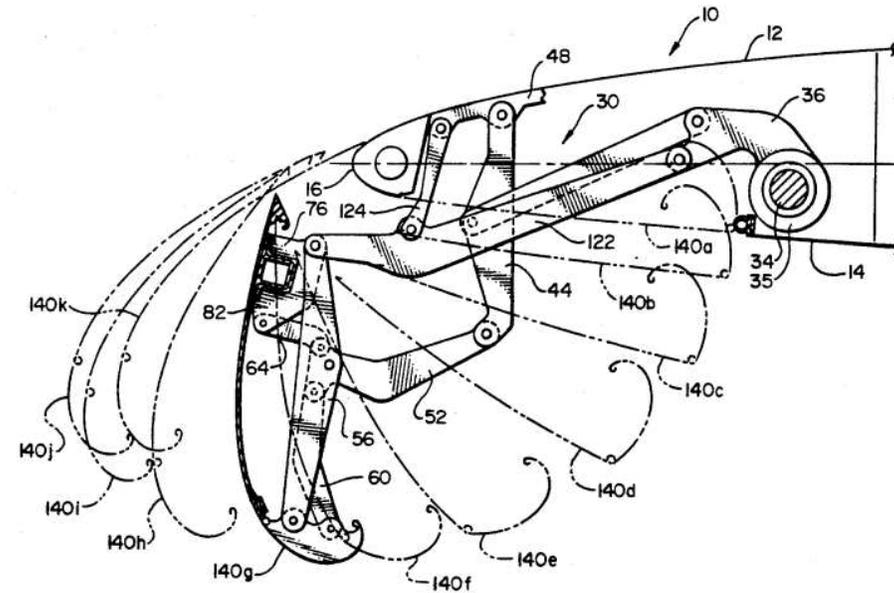
Il nuovo design è a camber variabile (es. in fibra di vetro alveolare) e si ritrae il più uniformemente possibile nella superficie inferiore dell'ala. Ciò fa aumentare il flusso laminare naturale (NLF) su un'ala di un aeromobile e può ridurre il consumo di carburante fino al 15%.

Il seguente elaborato studia il meccanismo brevettato riportato a fianco.

Si tratta di un meccanismo flap Krueger a campanatura (camber) variabile installato sul bordo d'attacco dell'ala di un aeromobile.

Esso viene utilizzato in tre configurazioni per tre momenti diversi durante il volo:

- 1) Fase di crociera
- 2) Fase di atterraggio
- 3) Fase di decollo

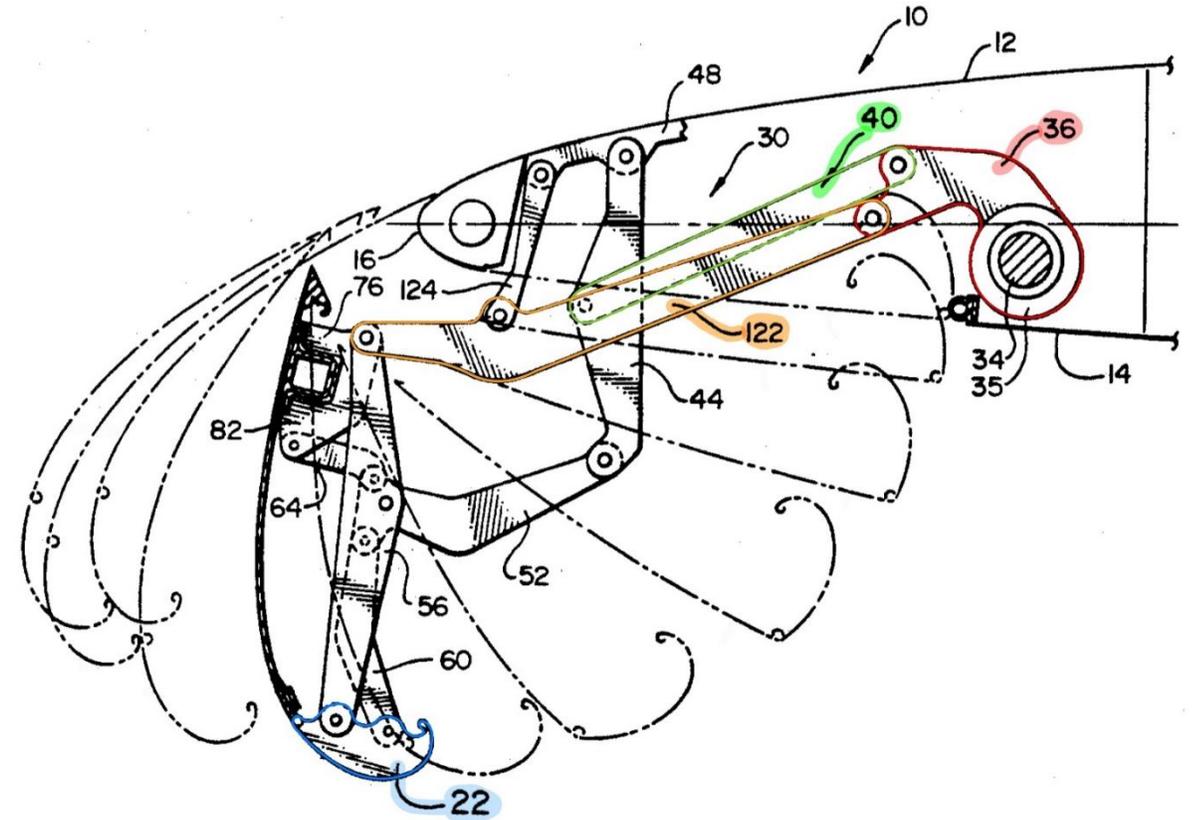


Fonte: brevetto

Il **movente** (36 sullo schema) è alimentato da un motore elettrico e fornisce una coppia che fa muovere **due sottogruppi** di collegamento (rispettivamente tramite i membri 40 e 122).

Il primo sottogruppo estende il pannello del flap verso il basso e in avanti e fa ruotare il 'bullnose' (22) all'infuori piegando di conseguenza il pannello flessibile.

Il secondo sottogruppo coopera col primo per orientare correttamente il flap nella sua posizione operativa.



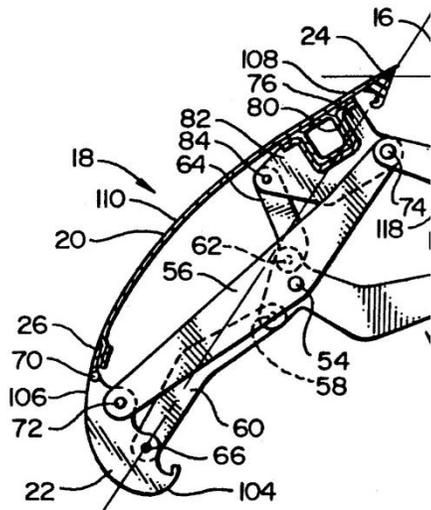
Fonte: brevetto

- Dopo un'attenta osservazione degli schemi forniti dal brevetto è stato assunto un numero di membri pari a 12 (telaio compreso) e 17 coppie rotoidali
- Si ipotizza che il movente sia il membro numero 36 nel brevetto
- Il meccanismo è in scala ed è stata assunta una lunghezza del vettore $Z1$ di circa 1 m (tale valore è stato assunto per comodità nel fare i calcoli e non rispecchia le dimensioni reali del meccanismo)
- Si è trascurata la forza di gravità e la forza d'attrito nell'applicare il Principio dei lavori virtuali
- Si assume che i membri siano infinitamente rigidi e non collidano tra loro, tranne tra membri e telaio (essendo il meccanismo realizzato in 3 dimensioni all'atto pratico)

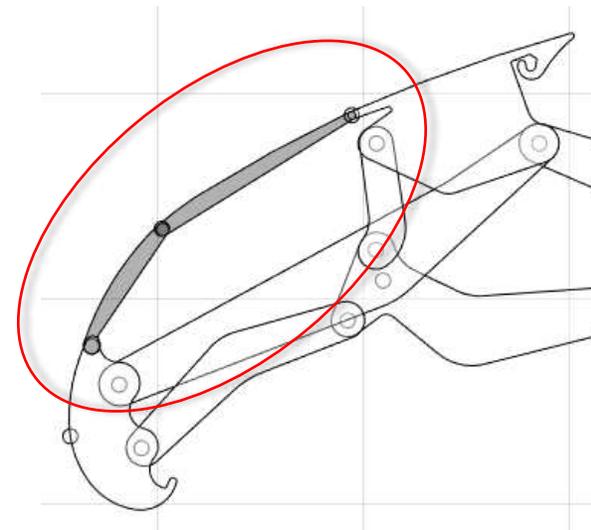
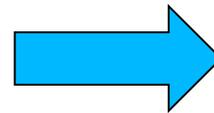
Essendo il pannello del flap flessibile, il meccanismo riesce a muoversi pur non rispettando l'equazione di Grübler :

$$n = 3(12 - 1) - 2 \times 17 = -1 \text{ gdl}$$

Per ovviare a questo problema, essendo che lo studio cinematico è fatto assumendo tutti i membri infinitamente rigidi, si propone di scambiare il pannello con una diade RRR, aggiungendo in totale 2 membri e 2 coppie rotoidali al meccanismo.



Fonte: brevetto



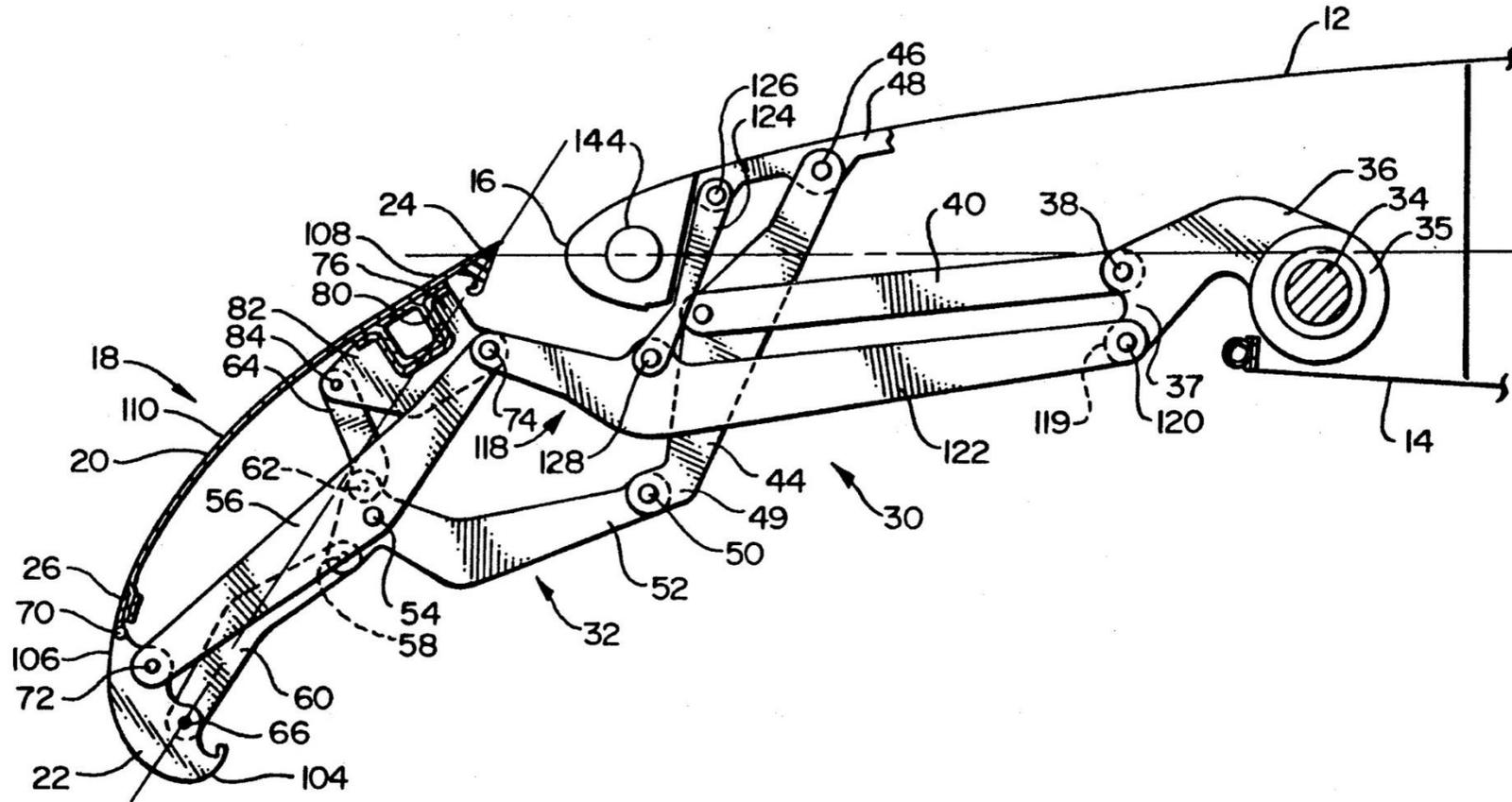
L'obiettivo di questo studio è stata l'analisi cinematica di ciascun membro tramite formule analitiche (con l'uso del software Matlab) e la successiva comparazione dei risultati forniti dal software Working model.

Nella nuova configurazione è verificato che il meccanismo sia ad un grado di libertà con l'equazione di Grübler:

$$n = 3 \overset{\substack{\text{n° membri} \\ \uparrow}}{14} - 2 \times \overset{\substack{\text{n° coppie rotoidali} \\ \uparrow}}{19} = 1 \text{ gdl}$$

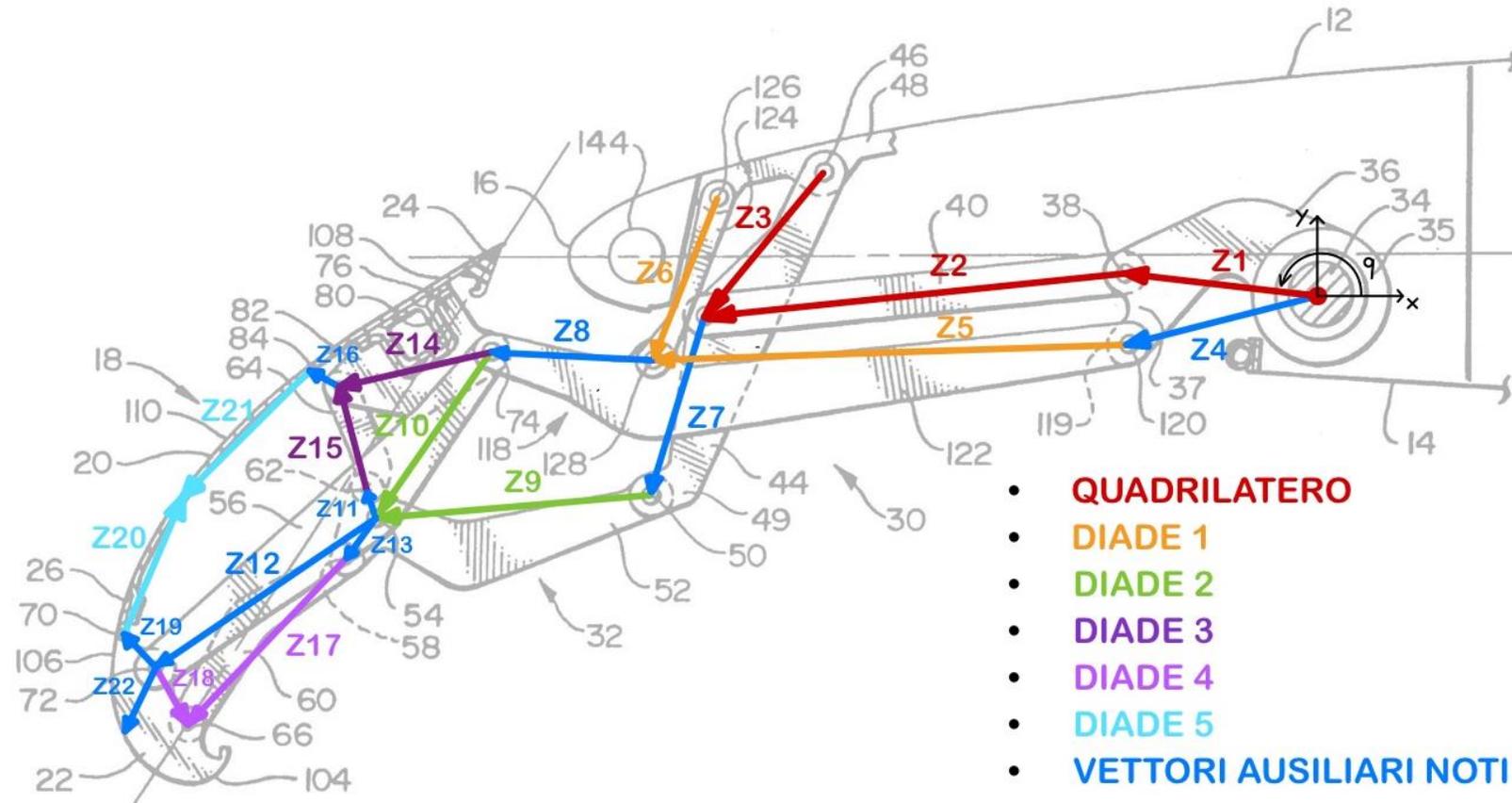
Nello studio cinematico è stato usato il metodo dei poligoni di chiusura per trovare le equazioni di posizione e velocità dei vari punti e/o membri.

Partendo dallo schema del brevetto qui sotto, si è ricavato lo schema dei vettori che formano tutti i poligoni di chiusura necessari per lo studio del meccanismo.

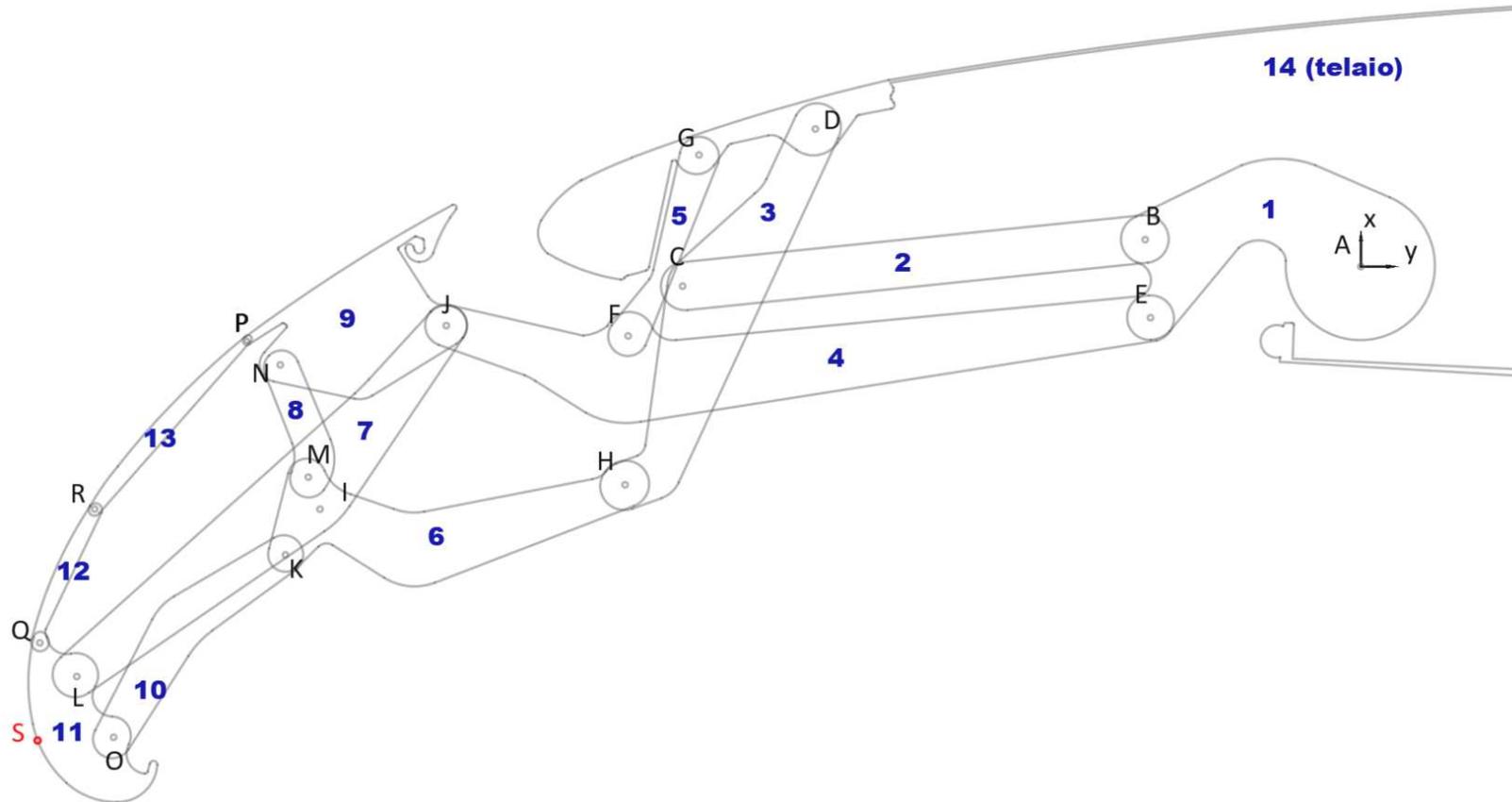


Fonte: brevetto

Partendo dallo schema del brevetto qui sotto, si è ricavato lo schema dei vettori che formano tutti i poligoni di chiusura necessari per lo studio del meccanismo.

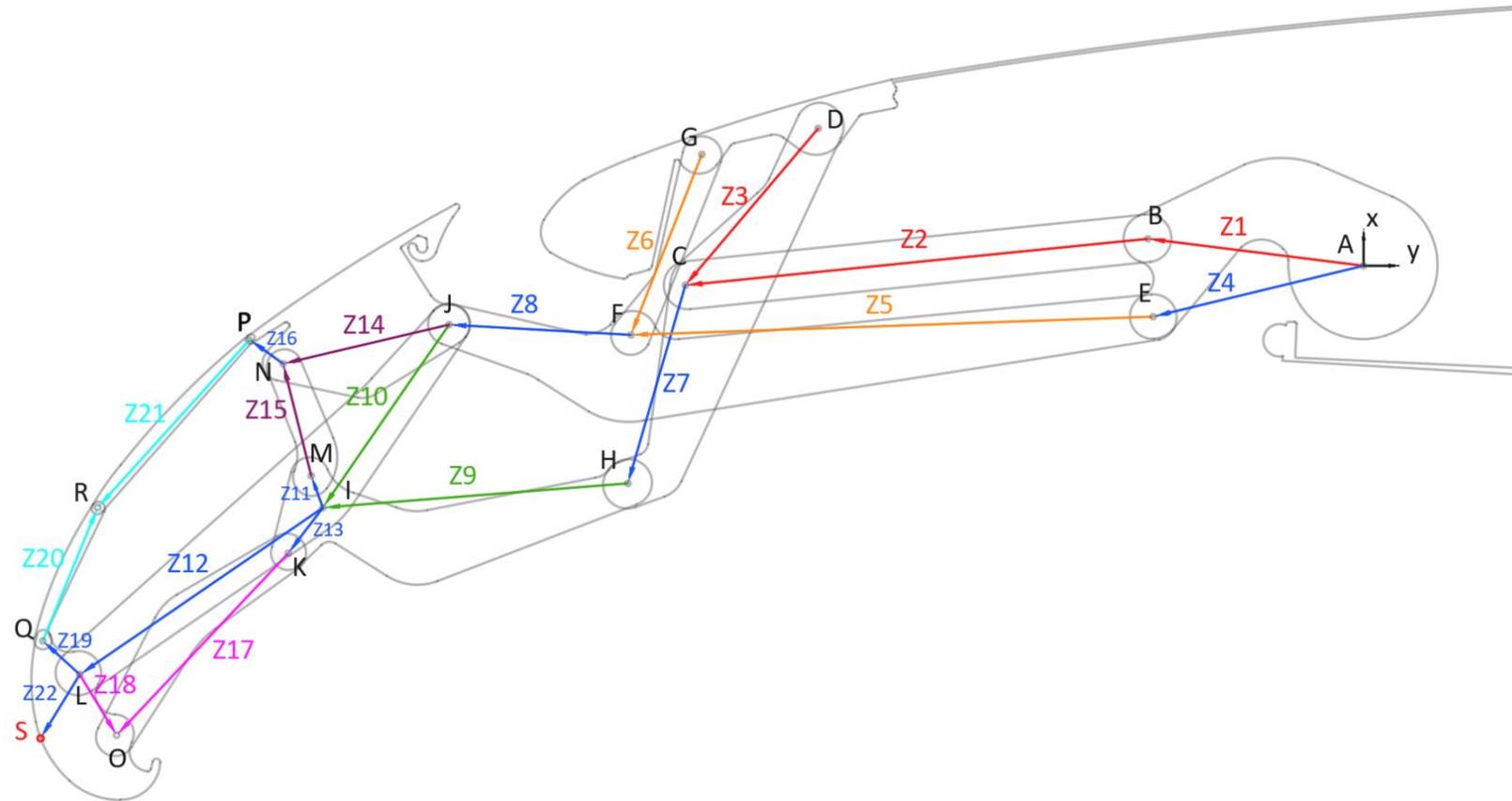


Dallo schema del brevetto si è ricavato poi in AutoCAD un disegno dell'intero meccanismo da cui si sono misurati tutti i valori riguardanti la geometria (es. lunghezza membri, angoli noti, ecc.).

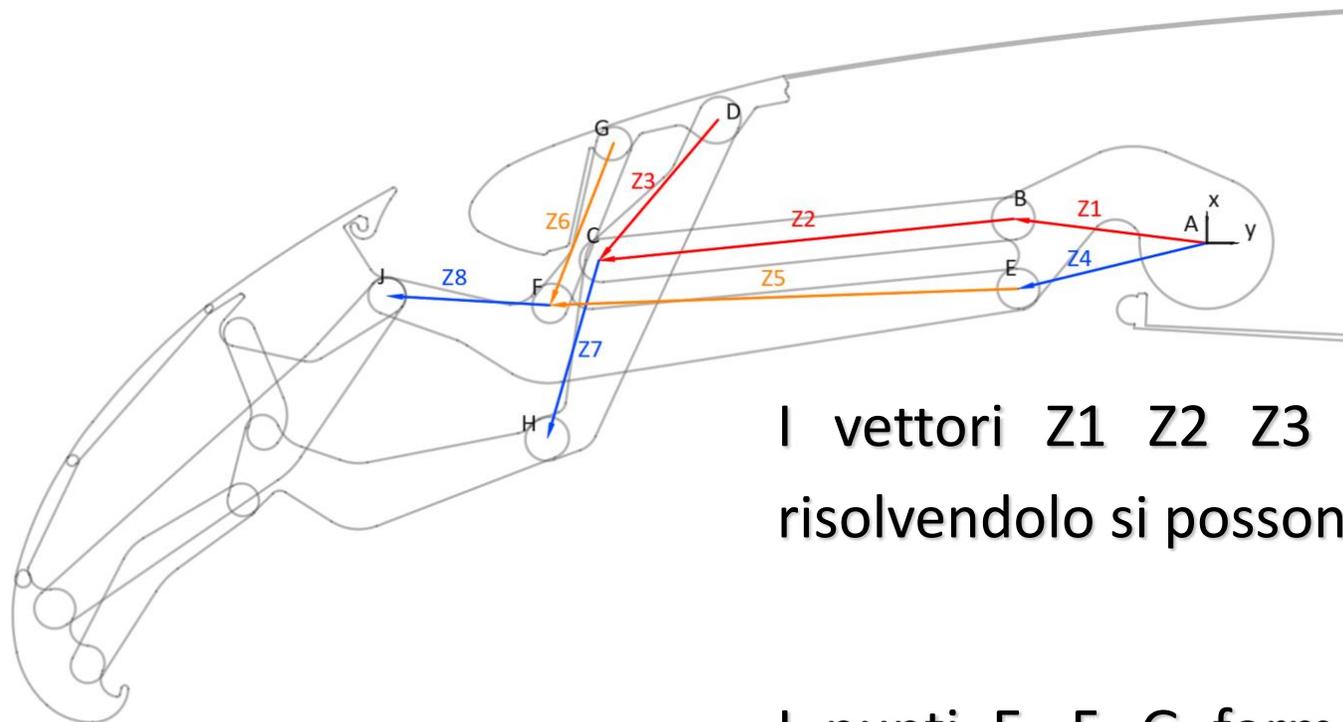


Disegno AutoCAD

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



Disegno AutoCAD



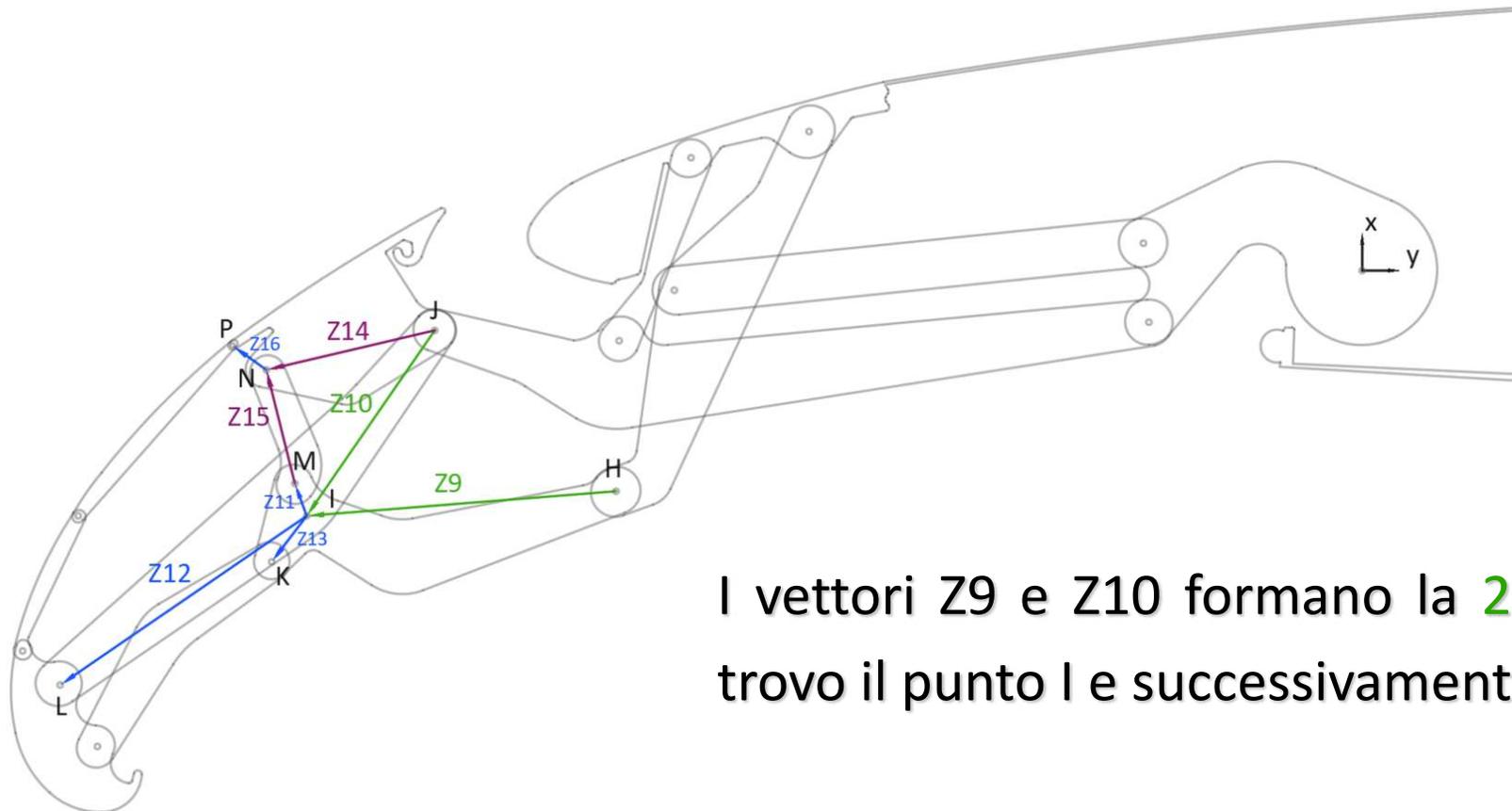
Disegno AutoCAD

- Vettori ausiliari per trovare i punti

I vettori $Z1$ $Z2$ $Z3$ formano un **quadrilatero** articolato: risolvendolo si possono trovare le coordinate dei punti C e H.

I punti E, F, G formano una **diade** (RRR): risolvendola si possono poi trovare i punti F e J.

Si noti che nel momento in cui i punti A, B e C si allineano si ha un punto morto per il meccanismo.

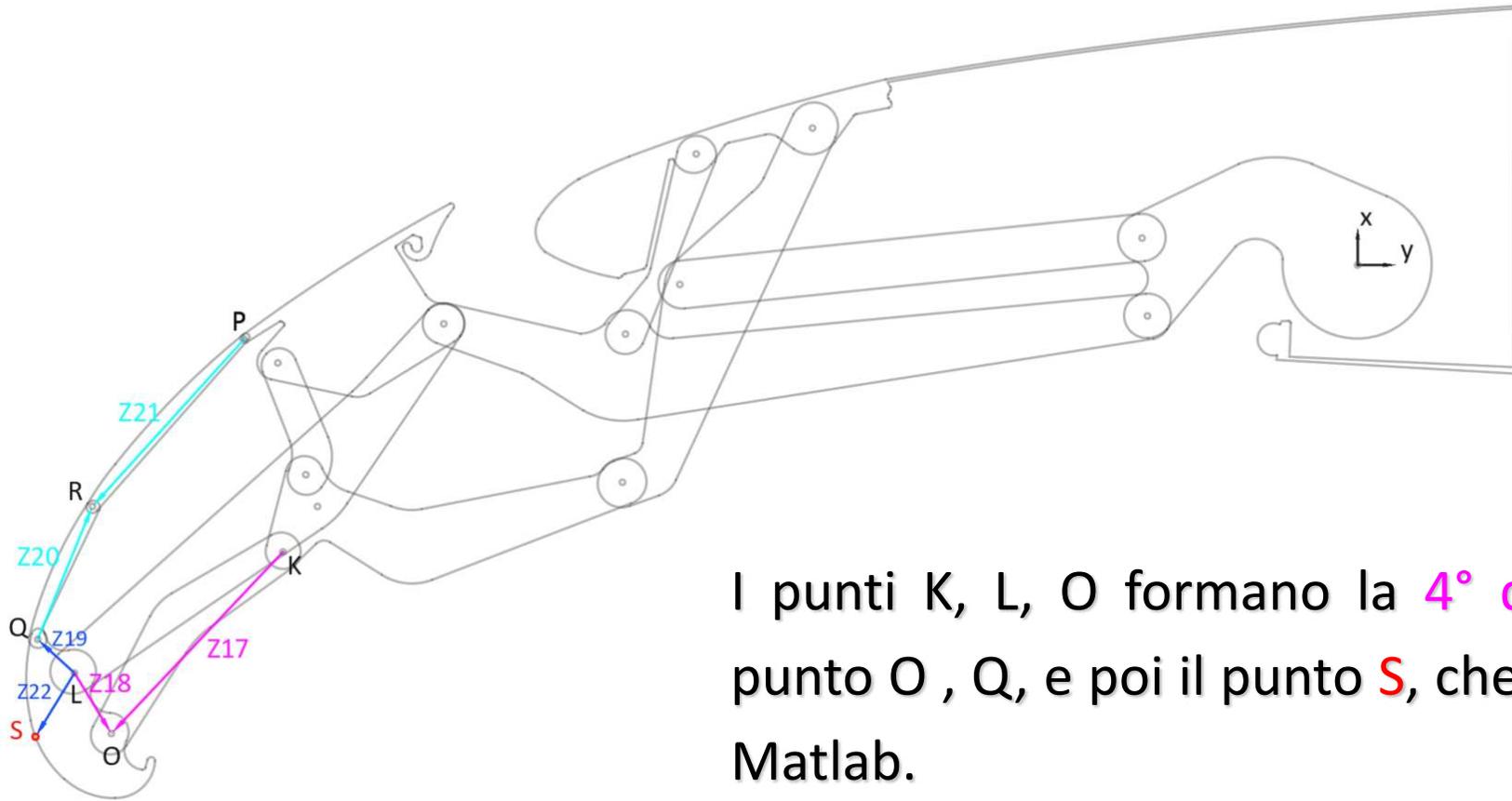


- Vettori ausiliari per trovare i punti

I vettori Z9 e Z10 formano la **2° diade** (RRR): risolvendola trovo il punto I e successivamente i punti M, L ed il punto K.

I punti M, N, J formano la **3° diade**: risolvendola trovo il punto N e poi il punto P.

Disegno AutoCAD



- Vettori ausiliari per trovare i punti

I punti K, L, O formano la **4° diade**: risolvendola trovo il punto O, Q, e poi il punto **S**, che verrà utilizzato per i grafici Matlab.

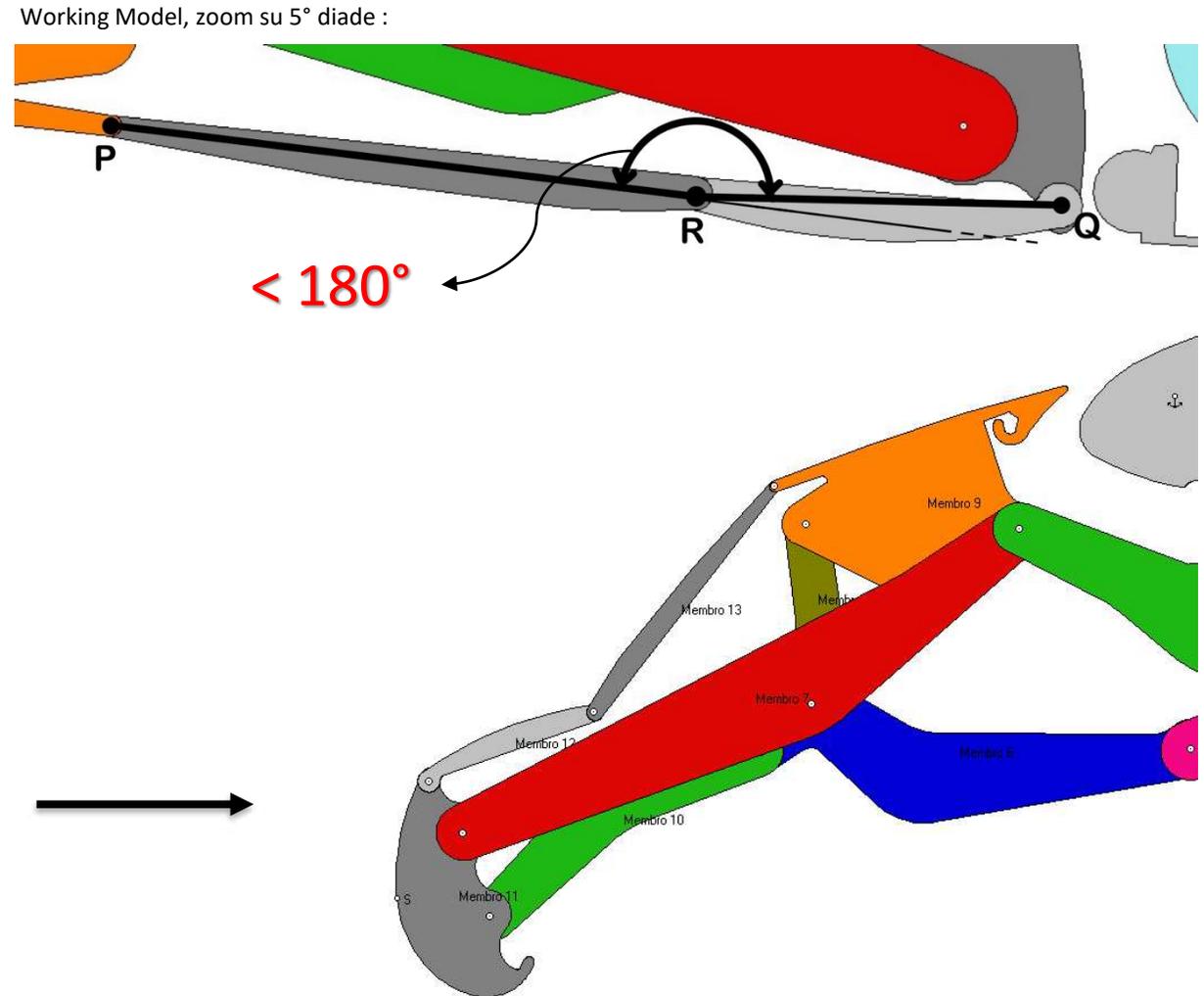
I punti P, Q, R formano la **5° diade** e trovo il punto R.

Disegno AutoCAD

CRITICITÀ :

Si noti che vicino alla configurazione iniziale i punti P, Q, R tendono ad allinearsi, stabilendo così una configurazione singolare per il meccanismo.

Bisogna fare attenzione a non superare mai la singolarità per la diade per evitare che il meccanismo assuma una configurazione alternativa.



Per l'implementazione delle formule analitiche si è creato uno script in Matlab per risolvere le diadi RRR.

La funzione riceve come input i moduli dei vettori, le coordinate e i rapporti di velocità dei 2 punti estremi della diade.

In output si ottengono gli angoli dei 2 vettori, i loro rapporti di velocità ed i dati del terzo punto incognito della diade.

Utilizzando questa funzione ed applicando alcuni accorgimenti noti dalla meccanica applicata si può risolvere l'intero meccanismo.

```
function [phi1,phi2,w1,w2,wxc,wy,c] = cinematica_RRR(A,B,a1,a2,wxa,wya,wxb,wyb,conf)
% analisi cinematica diadi RRR
%(angoli in gradi)

%punti noti
xA = A(1,:);
yA = A(2,:);
xB = B(1,:);
yB = B(2,:);

LAB= sqrt((xB-xA).^2+(yB-yA).^2);
phiAB = atan2d((yB-yA),(xB-xA)); %[]

phiAB(phiAB<0) = phiAB(phiAB<0)+360;

if conf==1
    phi1 = phiAB + acosd((LAB.^2+a1^2-a2^2)./(2*LAB*a1)); %[]
else
    phi1 = phiAB - acosd((LAB.^2+a1^2-a2^2)./(2*LAB*a1)); %[]
end

phi1(phi1<0) = phi1(phi1<0)+360;

phi2 = atan2d((yA+a1.*sind(phi1)-yB),(xA+a1.*cosd(phi1)-xB)); %[]

xC = xA+a1.*cosd(phi1);
yC = yA+a1.*sind(phi1);

C = [xC;yC];

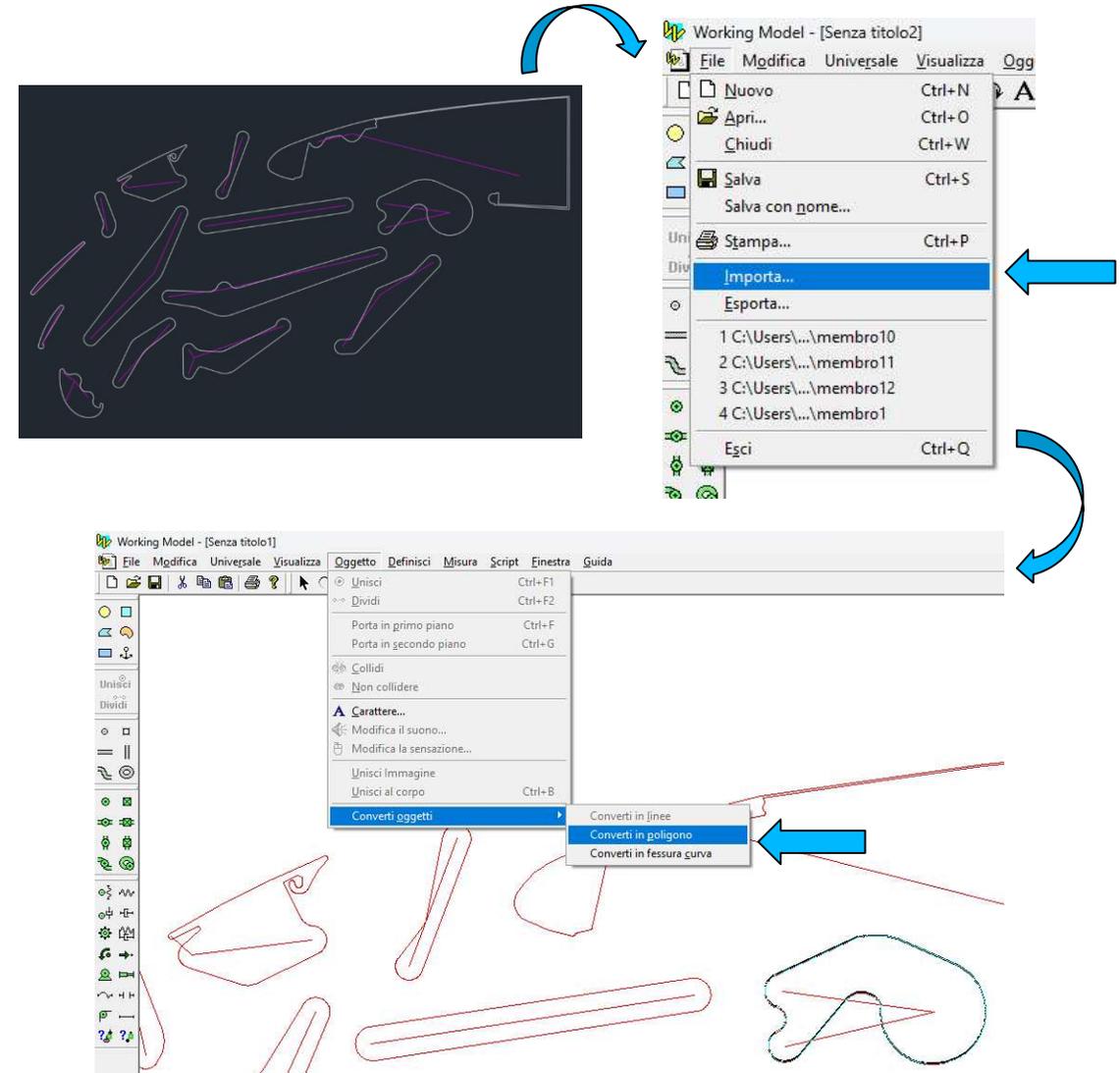
% Rapporti di velocità
w1 = -((wxb-wxa).*cosd(phi2)+(wyb-wya).*sind(phi2))./(a1.*sind(phi1-phi2)); %[]
w2 = -((wxb-wxa).*cosd(phi1)+(wyb-wya).*sind(phi1))./(a2.*sind(phi1-phi2)); %[]
wxc = wxa-a1.*sind(phi1).*w1;
wyc = wya+a1.*cosd(phi1).*w1;

end
```

Funzione per risolvere diadi RRR

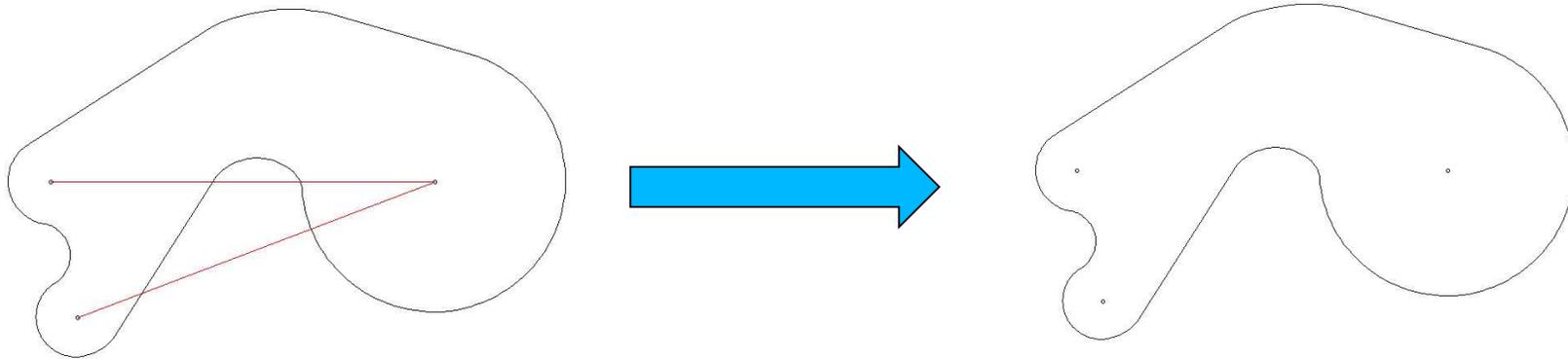
Per ricreare il meccanismo su Working Model si è partiti da un disegno 'dxf' creato in AutoCAD, è stato disegnato il bordo esterno di ogni membro e si sono messe in evidenza le coppie rotoidali tramite una linea.

In working model si è importato il file 'dxf', si sono selezionati ad uno ad uno i contorni dei membri (non le linee di riferimento) e si sono convertiti in poligono tramite l'apposita funzione.



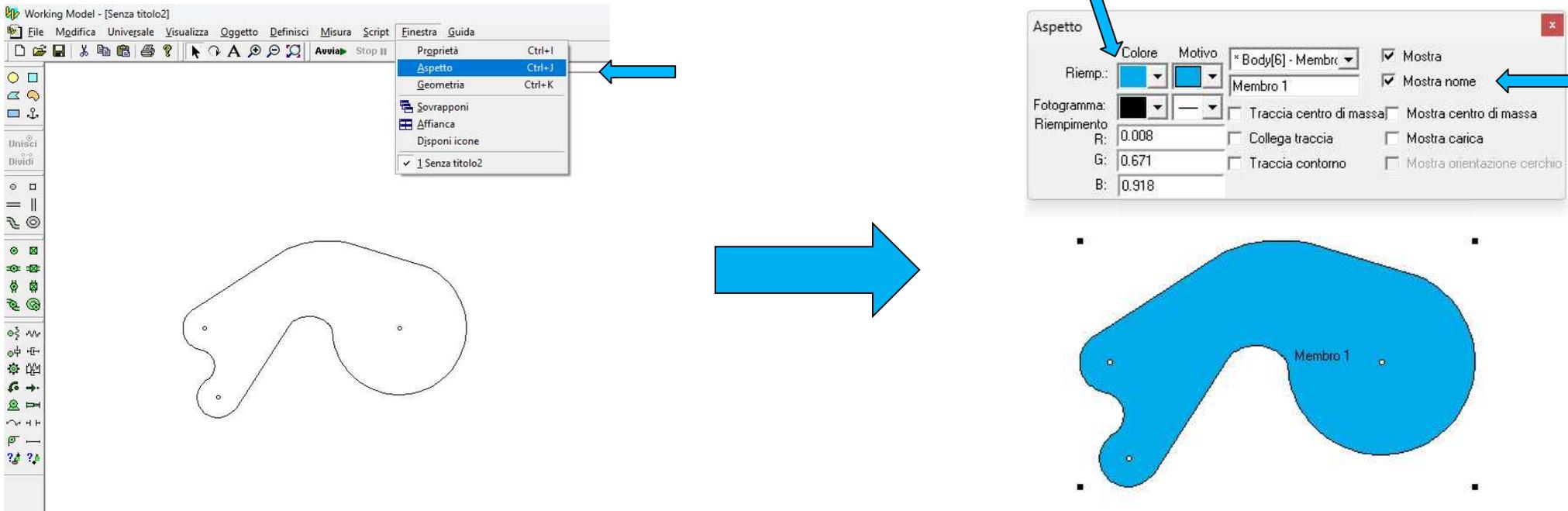
Si sono poi posizionati i punti (tramite la funzione punto) in corrispondenza delle coppie rotoidali agli estremi delle linee di riferimento.

Infine si sono cancellate le linee.



Si ripete lo stesso procedimento per tutti i membri e poi si procede con l'unione dei punti selezionandoli a 2 a 2 e usando la funzione unisci.

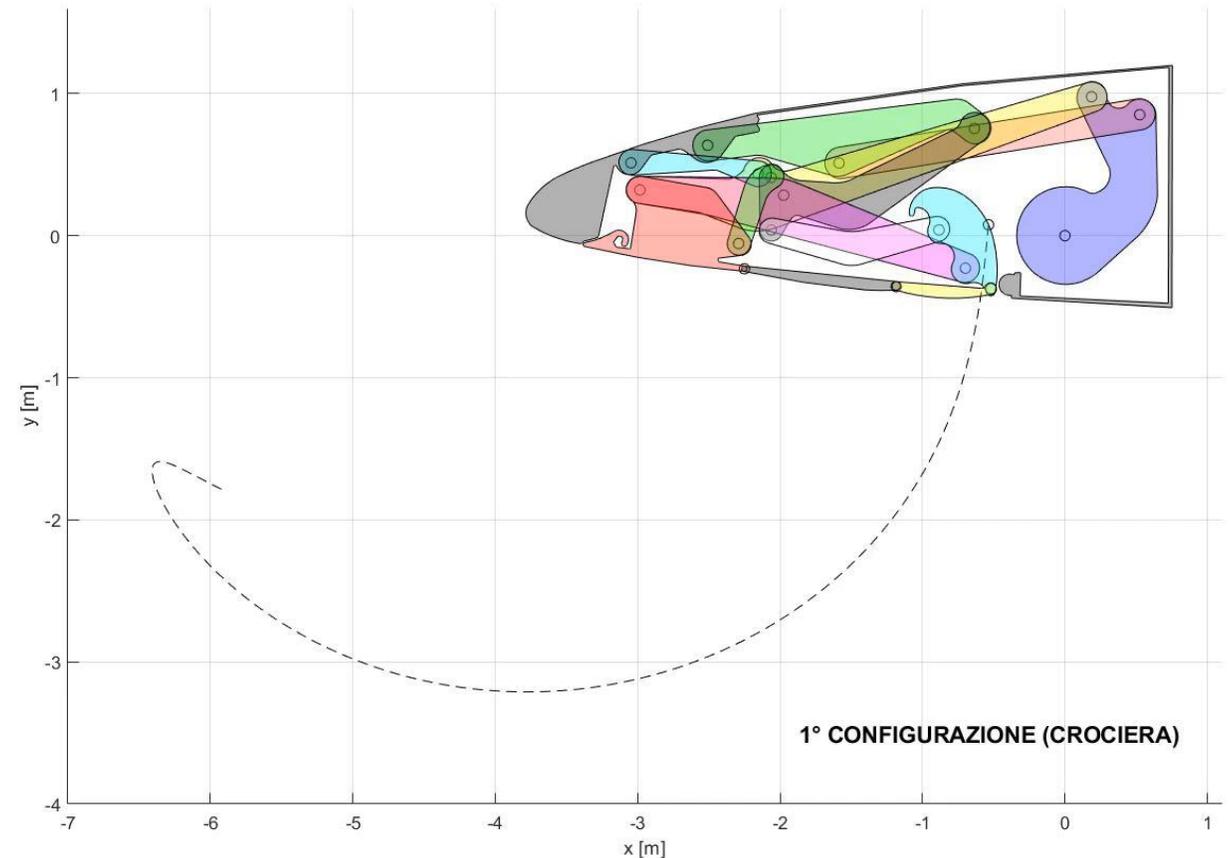
Per cambiare il colore ed il nome di un membro lo si seleziona e si apre la finestra aspetto, da qui è possibile scegliere il colore, il motivo ed il nome.



N.B.: Lo stesso procedimento è applicabile anche per i punti

Successivamente si sono creati dei grafici di posizione e rapporti di velocità del punto S su Matlab, da confrontare poi con i dati estratti da Working Model.

È stata creata poi una simulazione di movimento da Matlab per aiutare a comprenderne il funzionamento.



Nella simulazione si è optato per dei membri 2D (non delle semplici linee) in modo da capire meglio i movimenti che compie il meccanismo.

Per realizzare ciò si sono importati i punti dei membri da AutoCAD e successivamente tramite matrici di roto-traslazione si è legata la geometria dei membri con il movimento relativo dei vettori del meccanismo.

```
% matrici di trasformazione
% in input: posizioni x e y della terna e rotazione
T10 = trans2D(0,0,q(i));
T20 = trans2D(r.B(1,i),r.B(2,i),r.phi2(i));
T30 = trans2D(m.D(1),m.D(2),r.phi3(i));
T40 = trans2D(m.E(1,i),m.E(2,i),r1.phi5(i));
T50 = trans2D(m.G(1),m.G(2),r1.phi6(i));
T60 = trans2D(m.H(1,i),m.H(2,i),r2.phi9(i));
T70 = trans2D(m.J(1,i),m.J(2,i),r2.phi10(i));
T90 = trans2D(m.J(1,i),m.J(2,i),r3.phi14(i));
T80 = trans2D(m.M(1,i),m.M(2,i),r3.phi15(i));
T100 = trans2D(m.K(1,i),m.K(2,i),r4.phi17(i));
T110 = trans2D(m.L(1,i),m.L(2,i),r4.phi18(i));
T120 = trans2D(m.Q(1,i),m.Q(2,i),r5.phi20(i));
T130 = trans2D(m.P(1,i),m.P(2,i),r5.phi21(i));
T140 = trans2D(0,0,0);
```

```
% punti di contorno membri
% = matrice * punti membro
P10 = T10*m.P11;
P20 = T20*m.P22;
P30 = T30*m.P33;
P40 = T40*m.P44;
P50 = T50*m.P55;
P60 = T60*m.P66;
P70 = T70*m.P77;
P80 = T80*m.P88;
P90 = T90*m.P99;
P100 = T100*m.P1010;
P110 = T110*m.P1111;
P120 = T120*m.P1212;
P130 = T130*m.P1313;
P140 = T140*m.P1414;
```

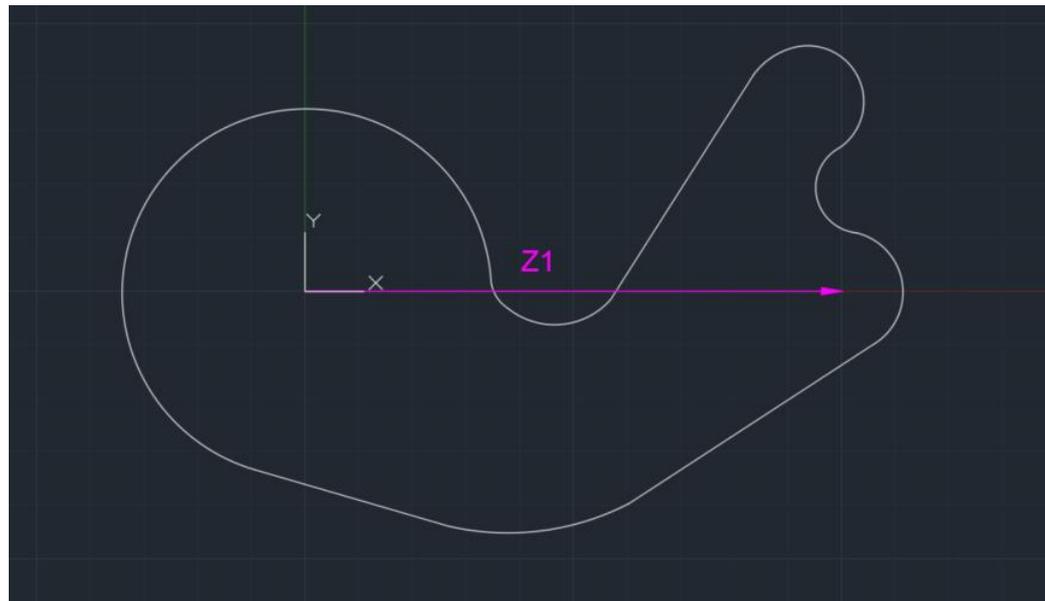
Calcolo posizione dei punti di contorno membri all'interno del ciclo for

```
function T = trans2D(dx,dy,alfa)
% calcola la matrice di trasformazione 3x3
% alfa deve essere espresso in gradi

T = [cosd(alfa) -sind(alfa) dx;
     sind(alfa)  cosd(alfa) dy;
     0           0           1];
```

Matrice di roto-traslazione

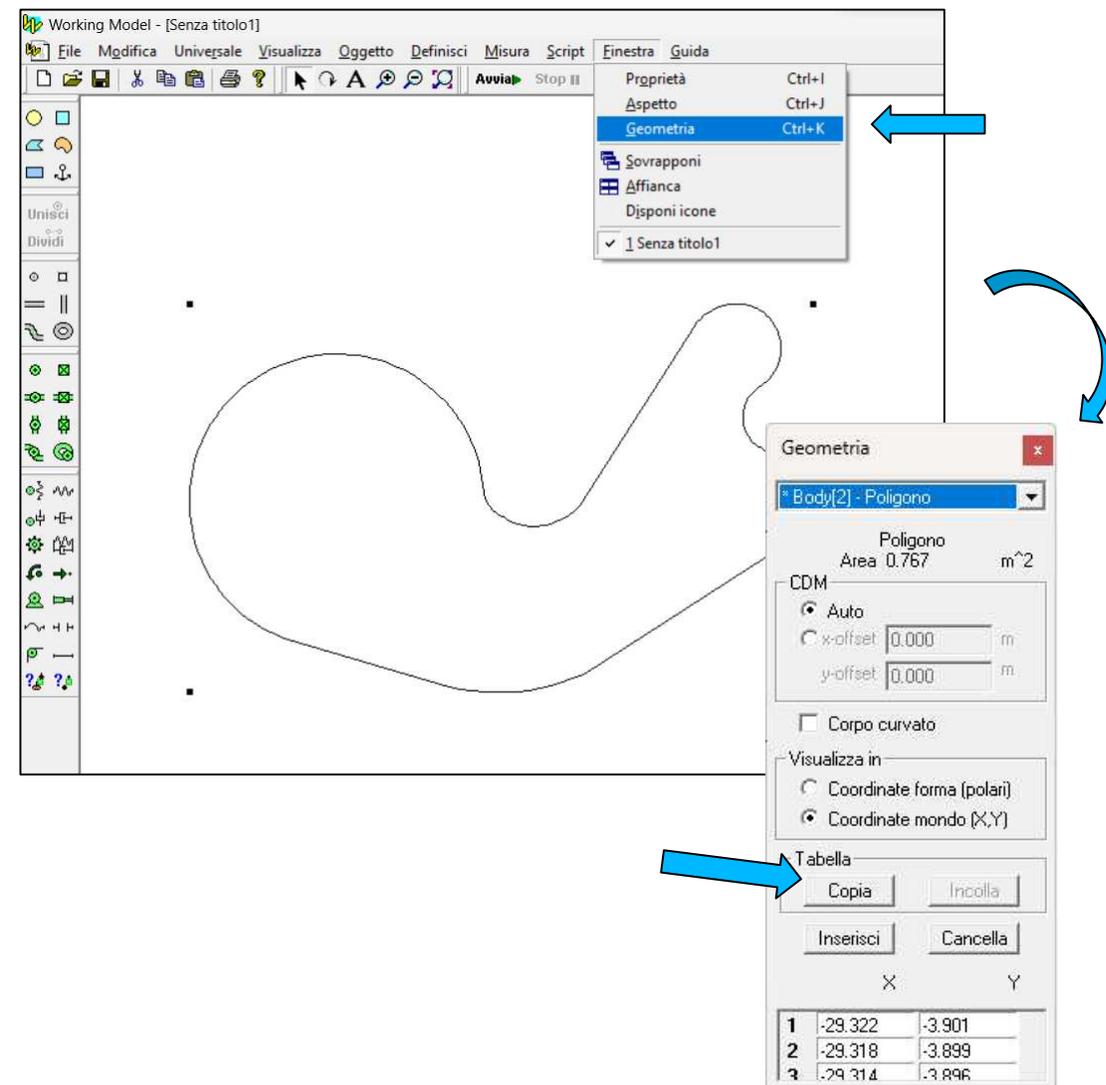
Partendo dal disegno in AutoCAD si crea un file '.dxf' per ogni membro, in questo file il punto iniziale del vettore associato al membro dovrà coincidere con l'UCS globale e dovrà essere orientato in modo che l'asse x dell'UCS coincida con la direzione del vettore. Esempio:



Una volta salvato il file in autoCAD si passa a Working Model, importando il file '.dxf' con la funzione «importa» vista in precedenza.

Il membro sarà già posizionato correttamente per l'esportazione dei punti, quindi senza spostarlo lo si converte in poligono.

Si può procedere all'esportazione dei punti: selezionando il membro si apra la finestra geometria e si selezionino «copia».



Ora è possibile creare un foglio Excel con le coordinate semplicemente incollando i dati copiati (ctrl+v), ripetendo queste operazioni per ogni membro si otterrà il risultato seguente:

	membro 1		membro 2		membro 3		membro 4		membro 5		membro 6		membro 7		membro 8		membro 9		membro 10		membro 11		membrc
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x
3	0.993	0.267	2.132	-0.110	0.877	-0.092	-0.001	-0.104	0.570	-0.003	1.531	0.263	0.498	-0.162	0.037	0.073	0.733	-0.179	1.189	-0.079	0.082	-0.286	0.662
4	0.990	0.265	2.138	-0.109	0.885	-0.094	-0.007	-0.104	0.018	-0.086	1.425	0.174	2.273	-0.563	0.033	0.075	0.732	-0.179	0.624	-0.243	0.108	-0.294	0.664
5	0.986	0.263	2.144	-0.109	0.893	-0.095	-0.012	-0.103	0.013	-0.086	1.422	0.172	2.278	-0.564	0.029	0.077	0.732	-0.179	0.611	-0.246	0.133	-0.301	0.665
6	0.983	0.260	2.149	-0.108	0.901	-0.096	-0.018	-0.102	0.008	-0.087	1.420	0.171	2.283	-0.565	0.025	0.079	0.732	-0.179	0.598	-0.248	0.159	-0.307	0.667
7	0.979	0.257	2.155	-0.106	0.909	-0.096	-0.023	-0.102	0.004	-0.087	1.418	0.169	2.289	-0.566	0.021	0.081	0.731	-0.179	0.584	-0.250	0.185	-0.311	0.669
8	0.976	0.254	2.160	-0.105	0.918	-0.096	-0.029	-0.100	-0.001	-0.086	1.415	0.168	2.294	-0.567	0.017	0.082	0.731	-0.179	0.571	-0.250	0.212	-0.314	0.670
9	0.973	0.251	2.166	-0.103	0.926	-0.096	-0.034	-0.099	-0.006	-0.086	1.413	0.167	2.300	-0.567	0.012	0.084	0.730	-0.179	0.558	-0.250	0.238	-0.315	0.672
10	0.970	0.248	2.171	-0.100	0.934	-0.095	-0.040	-0.097	-0.010	-0.085	1.410	0.166	2.305	-0.566	0.008	0.084	0.730	-0.179	0.544	-0.250	0.265	-0.315	0.673
11	0.967	0.245	2.177	-0.098	0.942	-0.094	-0.045	-0.095	-0.015	-0.084	1.408	0.165	2.311	-0.566	0.004	0.085	0.730	-0.179	0.531	-0.248	0.291	-0.314	0.675
12	0.964	0.241	2.182	-0.095	0.950	-0.092	-0.050	-0.092	-0.020	-0.083	1.405	0.165	2.316	-0.565	-9.20E-04	0.086	0.729	-0.179	0.518	-0.246	0.318	-0.311	0.676
13	0.962	0.237	2.187	-0.092	0.957	-0.090	-0.055	-0.090	-0.024	-0.082	1.403	0.164	2.322	-0.564	-0.005	0.086	0.729	-0.179	0.505	-0.244	0.344	-0.307	0.678
14	0.960	0.234	2.191	-0.089	0.965	-0.087	-0.059	-0.087	-0.029	-0.080	1.400	0.164	2.327	-0.563	-0.010	0.086	0.728	-0.179	0.492	-0.240	0.370	-0.301	0.679
15	0.958	0.230	2.196	-0.085	0.973	-0.085	-0.064	-0.084	-0.033	-0.078	1.397	0.163	2.332	-0.561	-0.014	0.086	0.728	-0.179	-0.024	-0.091	0.395	-0.294	0.681
16	0.956	0.226	2.200	-0.081	0.980	-0.081	-0.068	-0.080	-0.037	-0.076	1.395	0.163	2.337	-0.559	-0.019	0.085	0.727	-0.179	-0.029	-0.089	0.413	-0.288	0.682
17	0.954	0.221	2.205	-0.077	0.987	-0.078	-0.073	-0.077	-0.041	-0.074	1.392	0.163	2.342	-0.557	-0.023	0.085	0.727	-0.179	-0.033	-0.088	0.430	-0.282	0.683
18	0.953	0.217	2.209	-0.073	0.994	-0.074	-0.077	-0.073	-0.045	-0.071	1.389	0.163	2.347	-0.555	-0.028	0.084	0.727	-0.179	-0.037	-0.085	0.446	-0.274	0.684
19	0.952	0.213	2.212	-0.069	1.001	-0.069	-0.081	-0.069	-0.049	-0.068	1.387	0.164	2.352	-0.552	-0.032	0.082	0.726	-0.179	-0.041	-0.083	0.462	-0.266	0.685
20	0.951	0.209	2.216	-0.064	1.008	-0.065	-0.084	-0.065	-0.053	-0.065	1.384	0.164	2.357	-0.549	-0.036	0.081	0.726	-0.178	-0.045	-0.081	0.478	-0.257	0.687
21	0.950	0.204	2.219	-0.059	1.014	0.328	-0.088	-0.060	-0.056	-0.062	1.381	0.165	2.361	-0.546	-0.041	0.079	0.726	-0.178	-0.049	-0.078	0.493	-0.247	0.688
22	0.950	0.200	2.222	-0.054	1.021	0.330	-0.091	-0.056	-0.060	-0.059	1.379	0.165	2.366	-0.543	-0.045	0.078	0.725	-0.178	-0.053	-0.075	0.508	-0.236	0.689
23	0.949	0.196	2.225	-0.049	1.028	0.331	-0.094	-0.051	-0.063	-0.055	1.376	0.166	2.370	-0.539	-0.049	0.076	0.725	-0.178	-0.056	-0.072	0.522	-0.224	0.689
24	0.949	0.191	2.227	-0.044	1.035	0.332	-0.096	-0.046	-0.066	-0.052	1.374	0.167	2.374	-0.535	-0.053	0.073	0.725	-0.177	-0.059	-0.069	0.536	-0.212	0.690
25	0.949	0.187	2.230	-0.039	1.042	0.333	-0.099	-0.041	-0.069	-0.048	1.371	0.168	2.377	-0.531	-0.056	0.071	0.724	-0.177	-0.063	-0.065	0.548	-0.199	0.691
26	0.950	0.183	2.232	-0.033	1.049	0.334	-0.101	-0.036	-0.071	-0.044	1.369	0.169	2.381	-0.527	-0.060	0.068	0.724	-0.177	-0.066	-0.062	0.560	-0.185	0.692
27	0.951	0.178	2.233	-0.027	1.056	0.334	-0.103	-0.031	-0.074	-0.040	1.367	0.171	2.384	-0.523	-0.064	0.065	0.724	-0.176	-0.068	-0.058	0.572	-0.171	0.692

N.B.: Working Model usa il punto per separare i decimali, quindi su Excel va cambiata l'impostazione: file >opzioni>impostazioni avanzate >separatore decimale: .

Infine in Matlab si crea un altro codice ove si copiano ed incollano manualmente le coordinate x e y del membro all'interno di un vettore.

In questo modo si è salvata la matrice dei punti del membro in un file '.mat' che verrà utilizzato nello script principale.

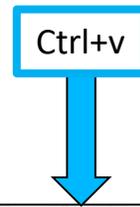
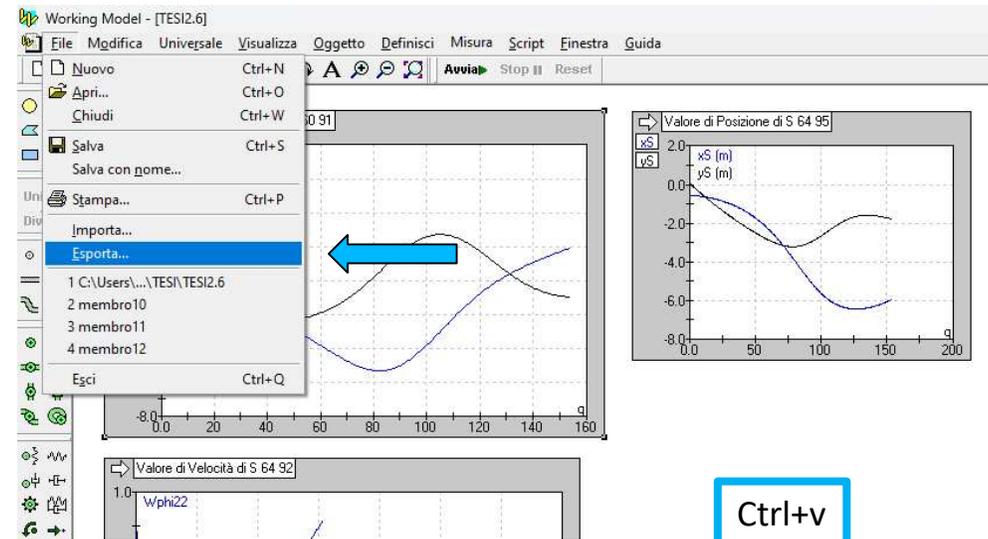
Si itera il procedimento per tutti i dati del file Excel, creando una matrice per ogni membro.



```
1 % matrice punti membro 1
2 - x1 = [ ];
3 - y1 = [ ];
4 - P1 = [x1;y1;ones(size(x1))];
5 - save('pointsP1.mat','P1')
6
```

Dopo aver creato i grafici in working model si può esportare un file '.dta' con tutti i dati, il file può essere poi aperto con Excel.

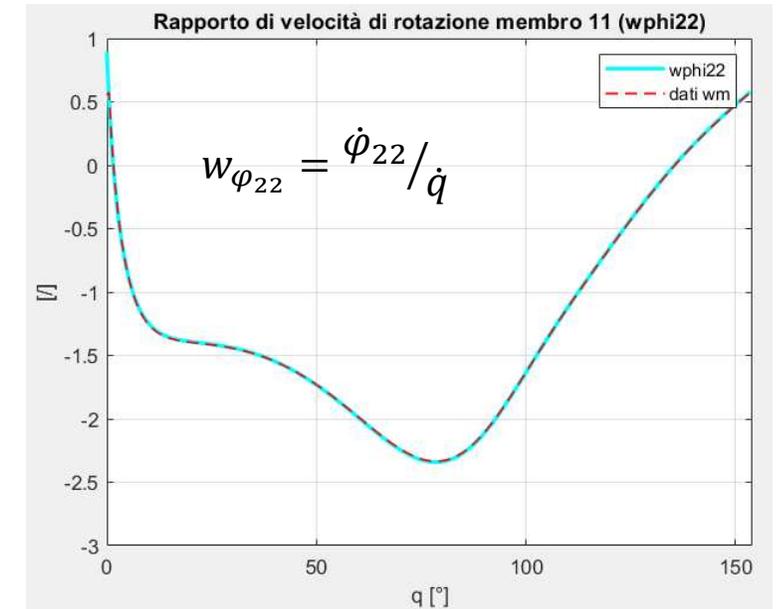
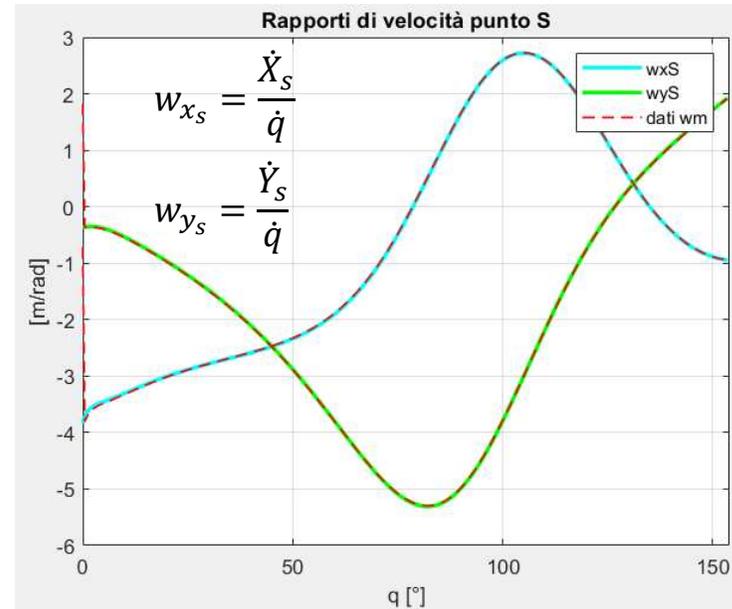
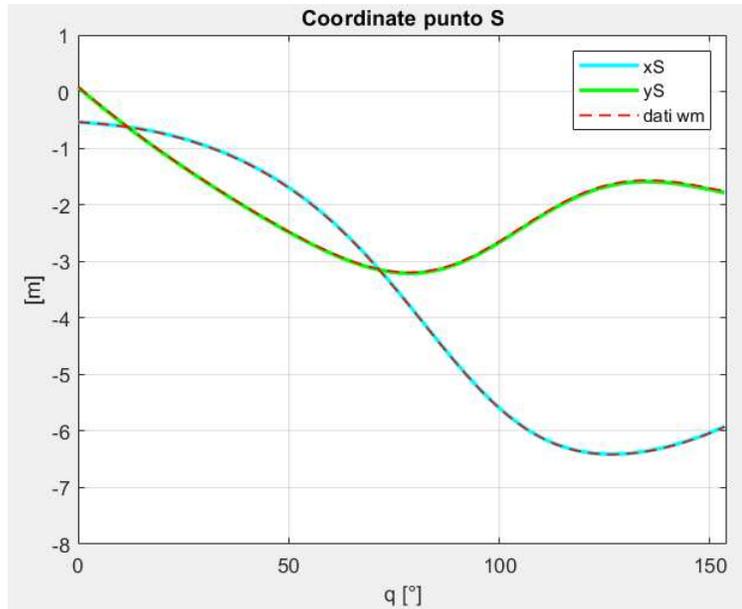
Si copiano come prima manualmente i dati dei grafici da Excel a Matlab e si salva tutto in un file '.mat' (copio solo le ordinate perché sulle ascisse rimane la posizione del movente q, attenzione ad avere lo stesso intervallo di valori di q su WM e Matlab).



(Si ripete l'operazione per tutti i dati)

```

1 -   wm.xS = [ ];
2 -   wm.yS = [ ];
3 -   wm.wxS = [ ];
4 -   wm.wyS = [ ];
5 -   wm.w22 = [ ];
6 -   wm.Mm = [ ];
7
8 -   save('extr_wm.mat','wm');
```



Come si può notare i grafici ricavati in Matlab coincidono con quelli esportati da Working Model. Si osserva come i rapporti di velocità del punto S e quello di rotazione del membro 11 (bullnose) siano prossimi allo zero per $q \approx 126^\circ$ e fanno intendere la presenza di un punto morto nel meccanismo. Mentre il fine corsa non è dato dalla singolarità del meccanismo, ma dal suo appoggio sul telaio.

Il punto S da analizzare è stato scelto in base a una ricerca del punto del flap più sollecitato in cui il coefficiente di pressione che crea portanza sia maggiore possibile.

La posizione della 2° configurazione ($q \approx 126^\circ$) è stata scelta in corrispondenza del punto morto, per avere meno coppia possibile sul movente.

Mentre nella 3° posizione ($q \approx 154^\circ$) il meccanismo si appoggia all'ala (telaio), perciò anche qua la coppia utilizzata dal movente sarà ridotta.

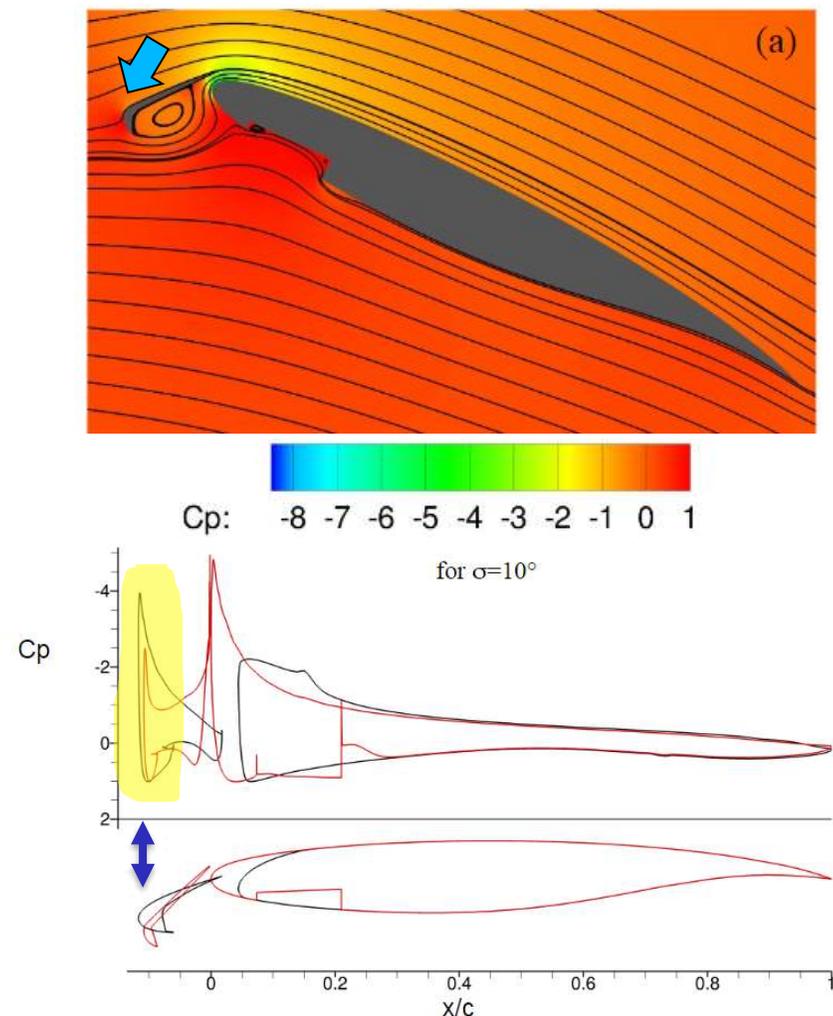


Figure 7. Pressure coefficients on the surface of the test articles. C_p data and airfoil shape are printed in red for Krueger flap configuration and in black for conventional slat configuration. Experimental data is available only for the $\sigma = 30^\circ$ case. For details on the experimental data, please see the companion paper by Bahr *et al.*²¹

Fonte: doc. NASA (ultima slide)

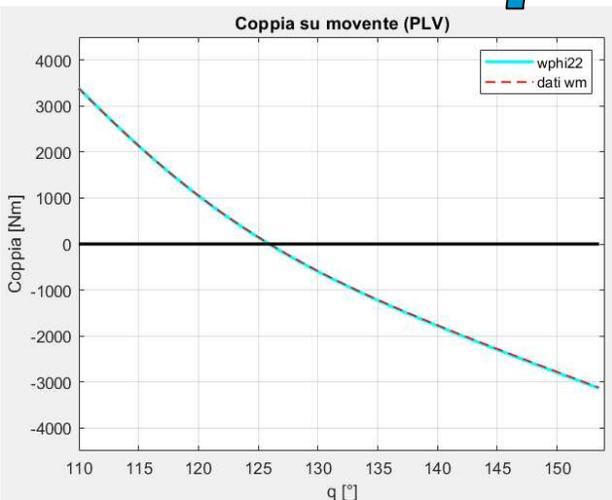
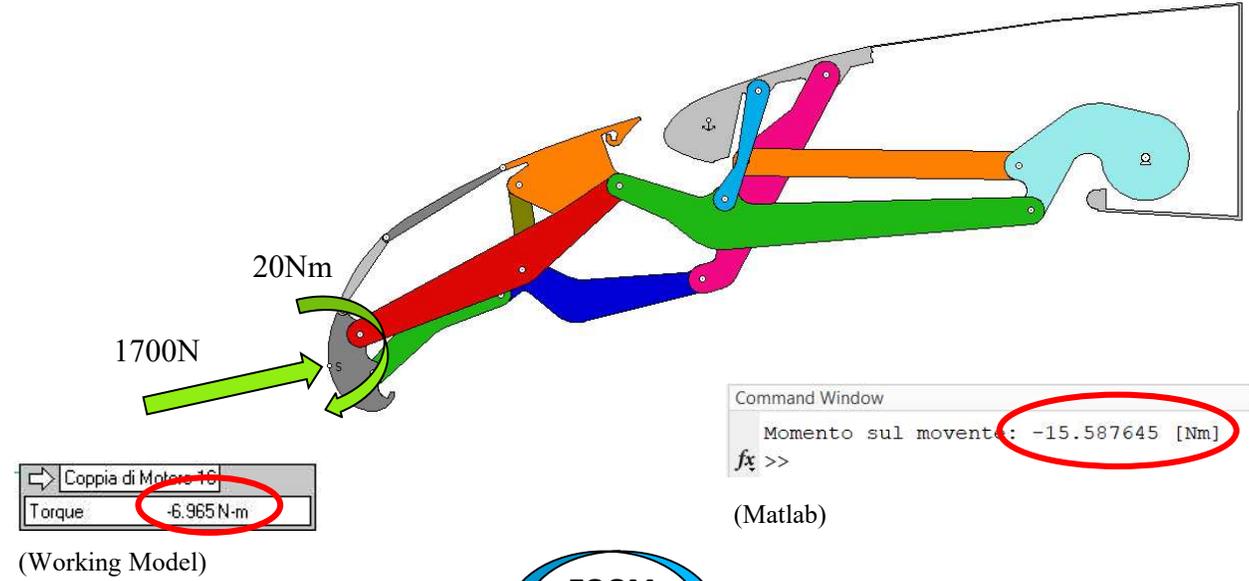
Si è applicato il Principio dei Lavori Virtuali per trovare la coppia al movente. Ipotizzando di avere membri con peso nullo (assenza di gravità), si è applicata una forza risultante di 1700 N (con inclinazione di 4 gradi) e un momento di 20 Nm in senso orario.

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

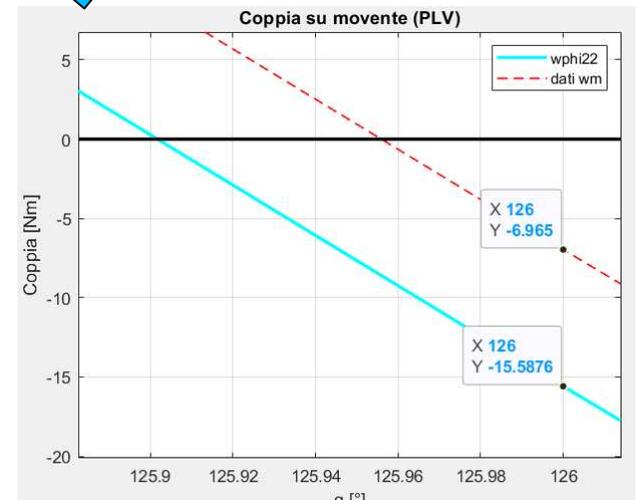
↓

$$M_m = M * w_{\varphi_{22}} - F_x * w_{x_s} - F_y * w_{y_s}$$

Si noti che la coppia è relativamente bassa considerando le dimensioni del meccanismo e la massima e minima sollecitazione misurata sia su Working Model sia su Matlab.



$q \in [110, ^\circ 154^\circ]$



$q \in [125,9, ^\circ 126^\circ]$

I flap Krueger sono sistemi in continuo sviluppo. Essi vengono equipaggiati per ottimizzare le forze in gioco (massimo rapporto L/D) durante il decollo, inoltre devono generare la massima portanza per il più lento atterraggio possibile.

Presentano poi una serie di altri vantaggi quali:

- Semplicità e affidabilità, non richiede attuatori complessi
- Più leggeri dei normali slat anteriori e utilizzati anche su ali sottili
- Utile su aerei con carico alare elevato o che operano ad altitudini elevate
- Bassi sforzi da parte dell'attuatore grazie al punto morto

Per gestire la configurazione singolare della 5° diade a inizio corsa si potrebbe aggiungere perno meccanico subito dietro il punto R, in modo tale da fermare fisicamente la diade prima che raggiunga la singolarità. Così da avere la massima certezza di ripetere sempre il medesimo movimento all'apertura.

- Per la realizzazione del meccanismo si è fatto riferimento agli schemi e descrizioni del brevetto US-5158252
- Si è ipotizzato che il meccanismo sia un meccanismo piano
- Per l'implementazione del meccanismo in Matlab e per la simulazione si è preso spunto dai file «Meccquadrilatero-20230704» forniti dal Tutor
- Per ricavare le formule analitiche e altre equazioni varie è stato usato il libro: «Meccanica applicata alle macchine, *Matteo Massaro, Giulio Rosati*»
- Per la ricerca sulla storia e funzionamento del flap Krueger : «<https://en.wikipedia.org>» , «<https://www.aviationfile.com>»
- Per la ricerca e analisi dinamica si è fatto riferimento al documento : « Computational Design of a Krueger Flap Targeting Conventional Slat Aerodynamics (NASA Ames Research Center, Moffett Field, CA) »

GRAZIE PER L'ATTENZIONE