

Università degli Studi di Padova -Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

Relazione per la prova finale:

**Analisi delle forze trasmesse al telaio dal
meccanismo biella-manovella**

Padova, 22/09/2023

Tutor Universitario: Prof. Matteo Massaro

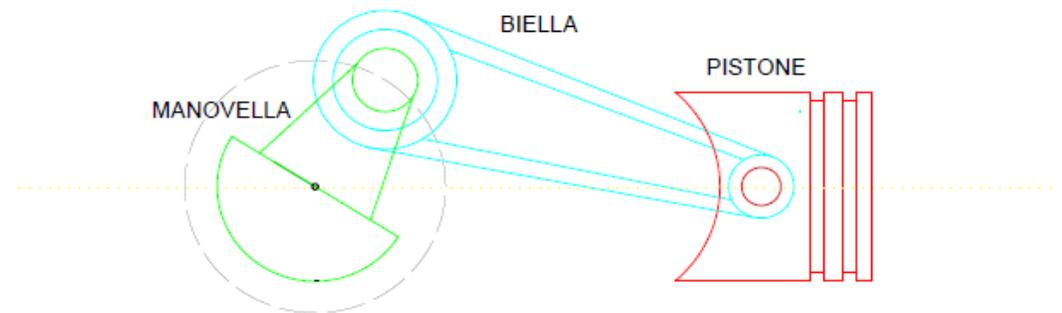
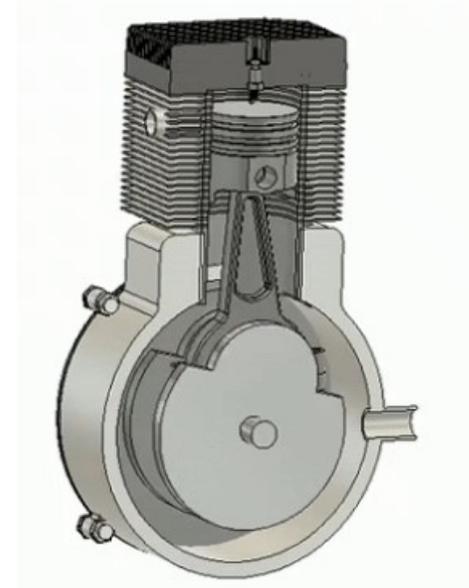
Laureando: Nicholas Lessio

Il manovellismo di spinta è un meccanismo che converte il movimento lineare in movimento rotativo (e viceversa). È composto da una manovella, una biella, e un pistone. Questo tipo di meccanismo è utilizzato nei motori a combustione interna per convertire il movimento alternativo dei pistoni in movimento rotativo dell'albero motore. Il meccanismo presenta tre coppie rotoidali e una coppia prismatica. Nella trattazione si farà riferimento in particolare al caso di manovellismo centrato, cioè con asse di scorrimento del pistone che interseca l'asse di rotazione della manovella.

Utilizzando la formula di Grübler per il calcolo dei gradi di libertà del meccanismo si ottiene:

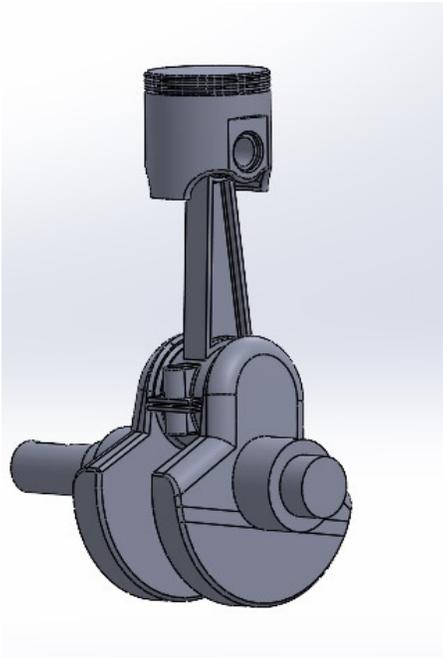
$$g. d. l. = 3(m - 1) - 2R - 2P - 1C = 3(4 - 1) - 2 * 3 - 2 = 1$$

La manovella segue un moto rotatorio mentre il pistone si sposta alternativamente dal punto morto superiore (P.M.S.) al punto morto inferiore (P.M.I.).

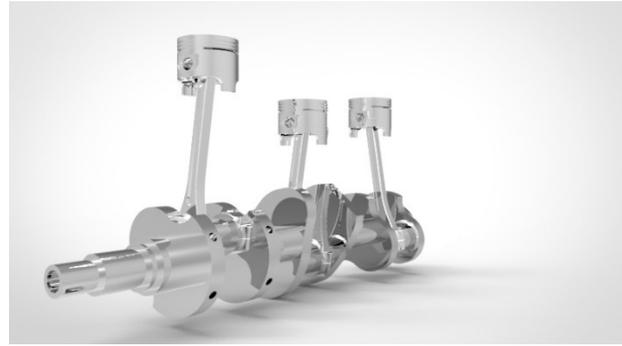


Il bilanciamento del meccanismo biella-manovella consiste nella riduzione delle forze trasmesse a telaio durante il movimento del sistema. Si affronta il problema tramite la *dinamica inversa* e le *equazioni del moto* che permettono di calcolare le forze e i momenti in funzione del movimento del sistema.

Si analizzano in seguito le varie configurazioni:



MONOCILINDRO



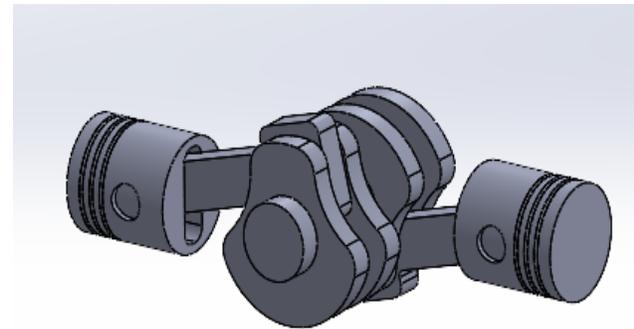
TRE CILINDRI IN LINEA



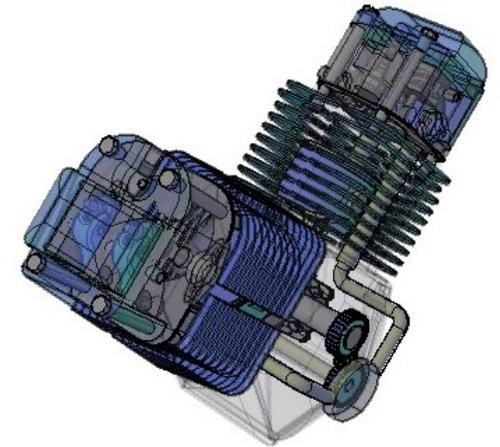
QUATTRO CILINDRI IN LINEA



SEI CILINDRI IN LINEA



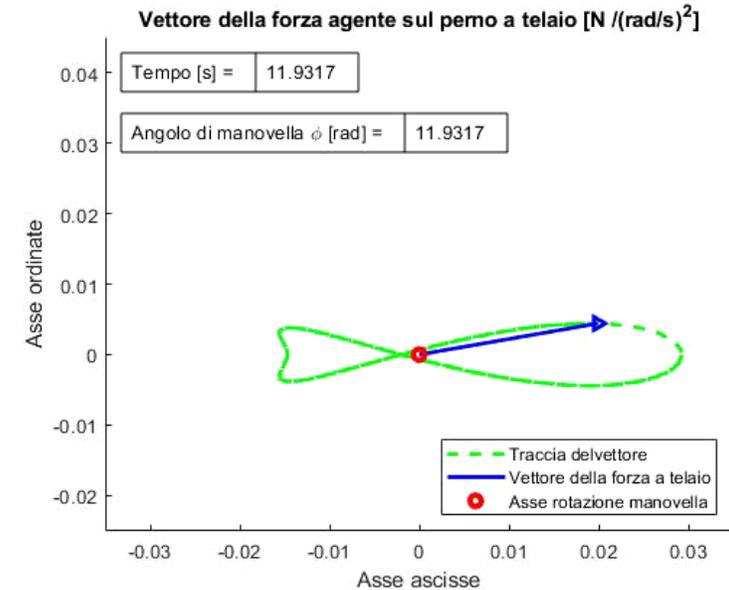
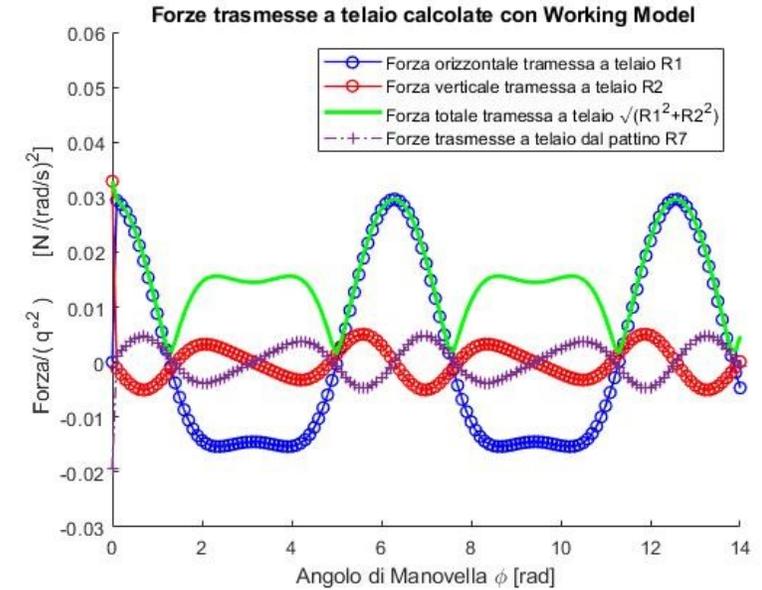
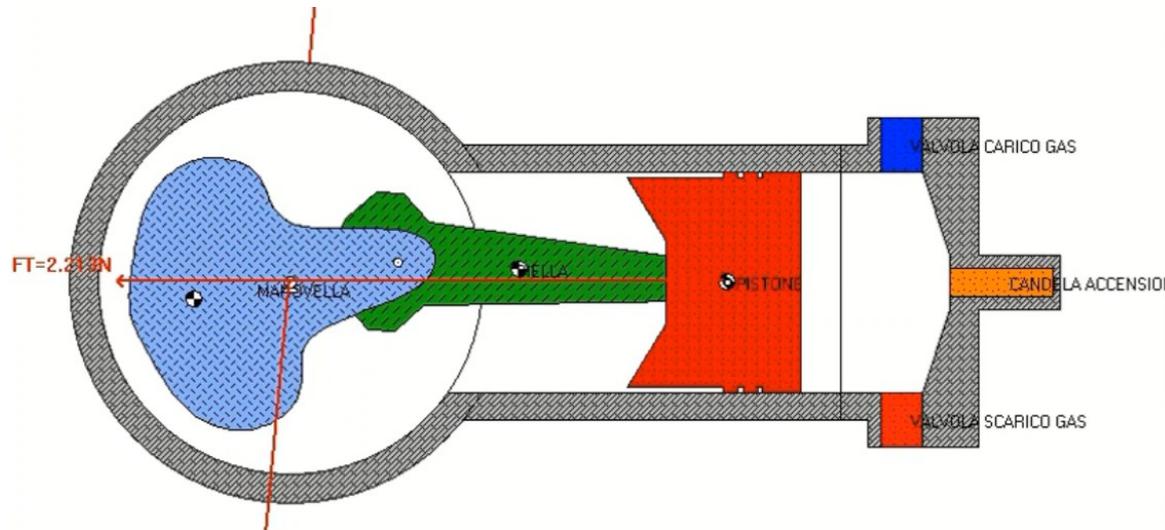
DUE CILINDRI BOXER



DUE CILINDRI A V

Si analizza il caso del modello monocilindrico, stimando le forze agenti tramite il software 'Working Model 2D'.

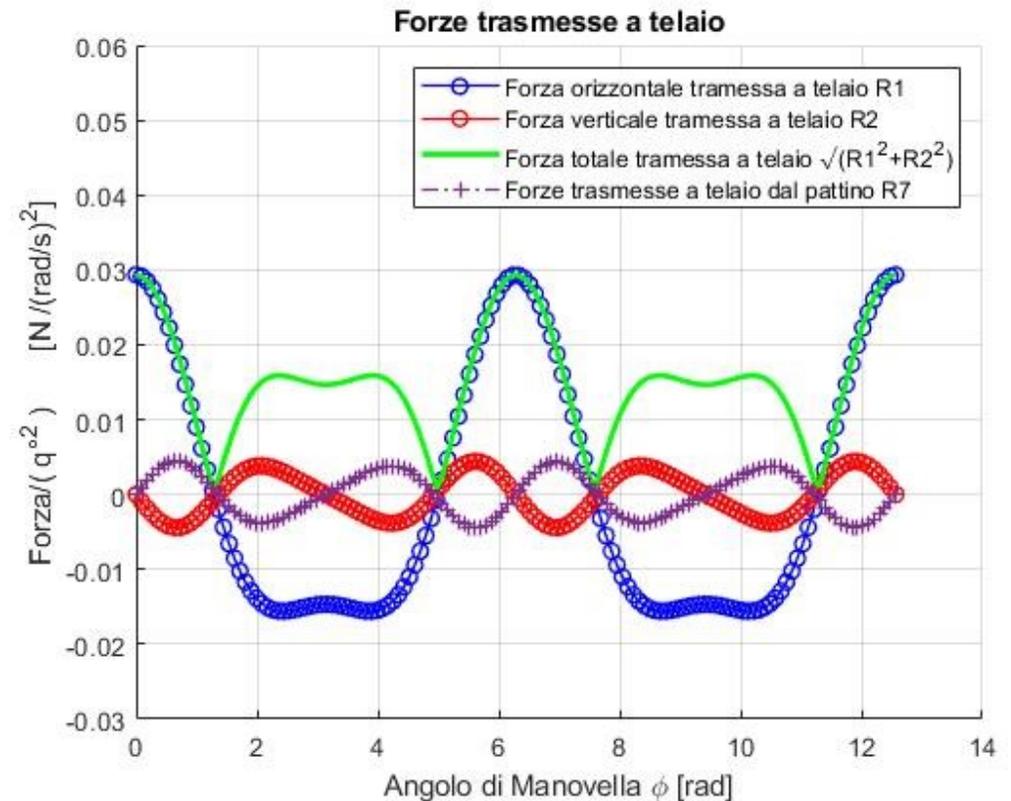
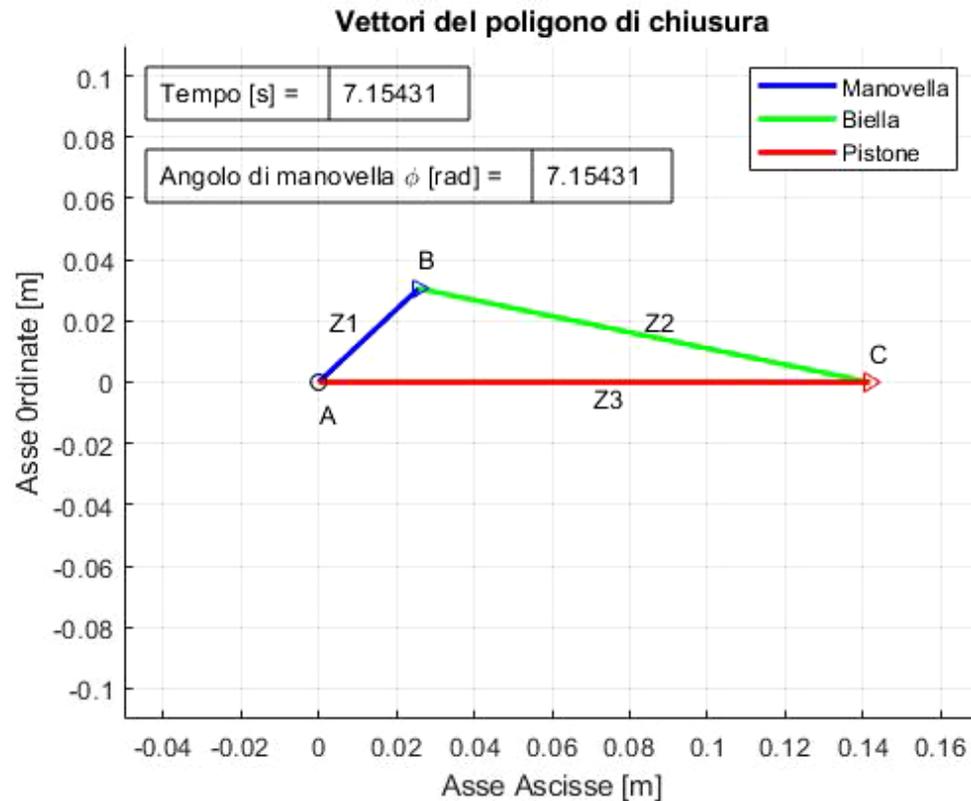
	LUNGHEZZA [mm]	MASSA [Kg]	MOMENTO D'INERZIA BARICENTRICO [Kg*mm ²]
MANOVELLA	40	2,5	4200
BIELLA	120	0,45	1200
PISTONE	-	0,4	-



Si valutano le forze trasmesse al telaio dal meccanismo attraverso il software ‘*Matlab*’.

Si noti come la forza trasmessa al telaio dal pattino R_7 sia opposta alla forza verticale agente sul perno della manovella R_2 .

A sinistra vengono rappresentati i vettori del poligono di chiusura al variare dell’angolo di manovella.



Si valutano le forze alterne agenti: si noti nel primo grafico come la forza orizzontale a telaio R_1 (simulata) sia approssimabile con la somma delle forze alterne del primo e del secondo ordine (ottenute con la classica assunzione della 'biella lunga').

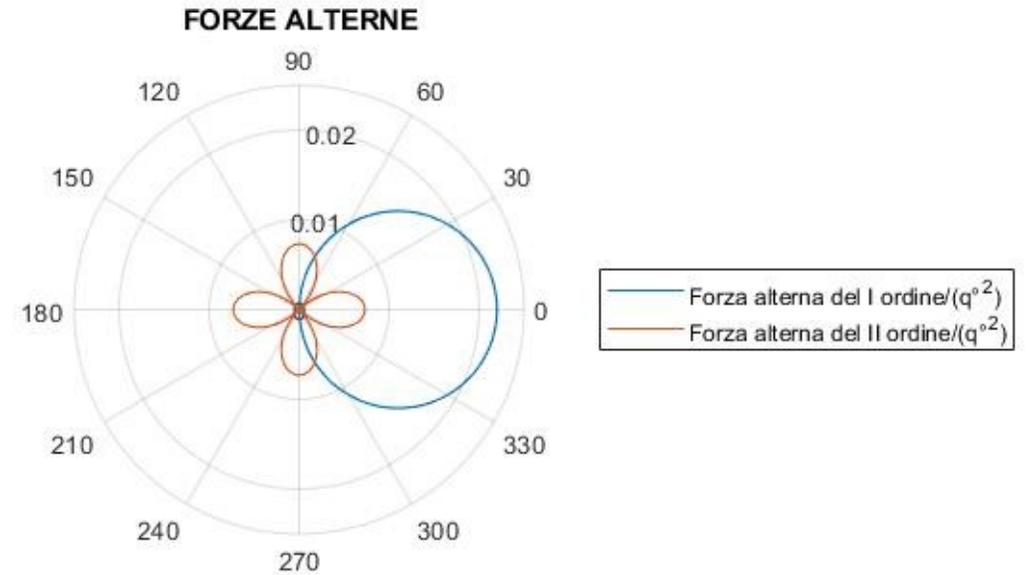
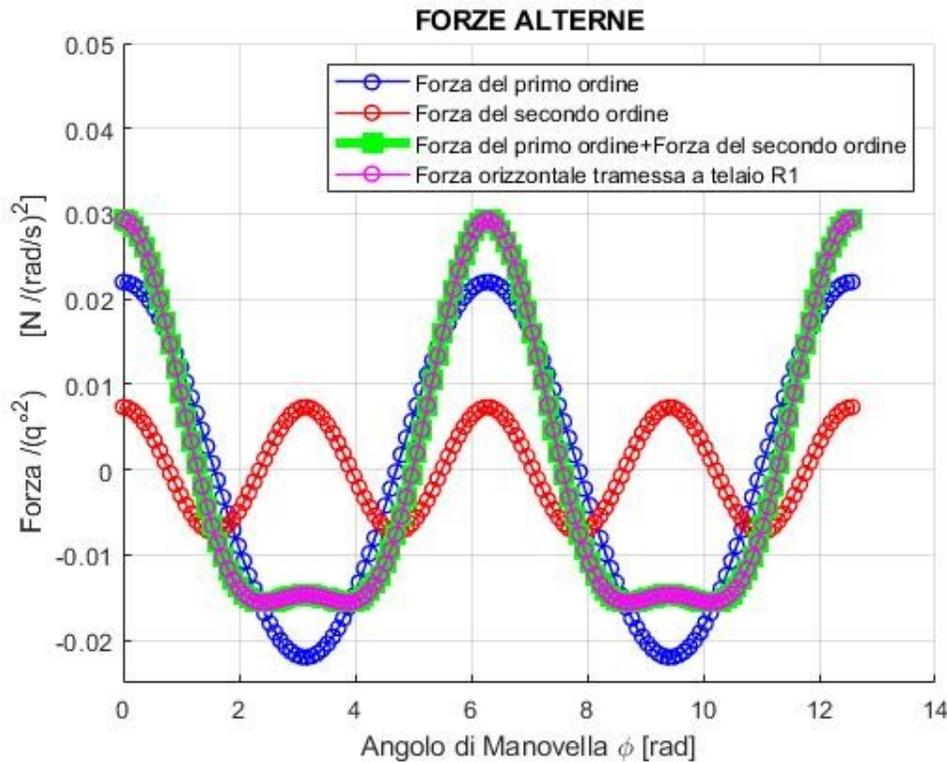


Grafico raffigurante le forze del primo e del secondo ordine al variare dell'angolo di manovella.

Forza alterna del I ordine

$$F_I = m_c q^{\circ 2} r \cos(q)$$

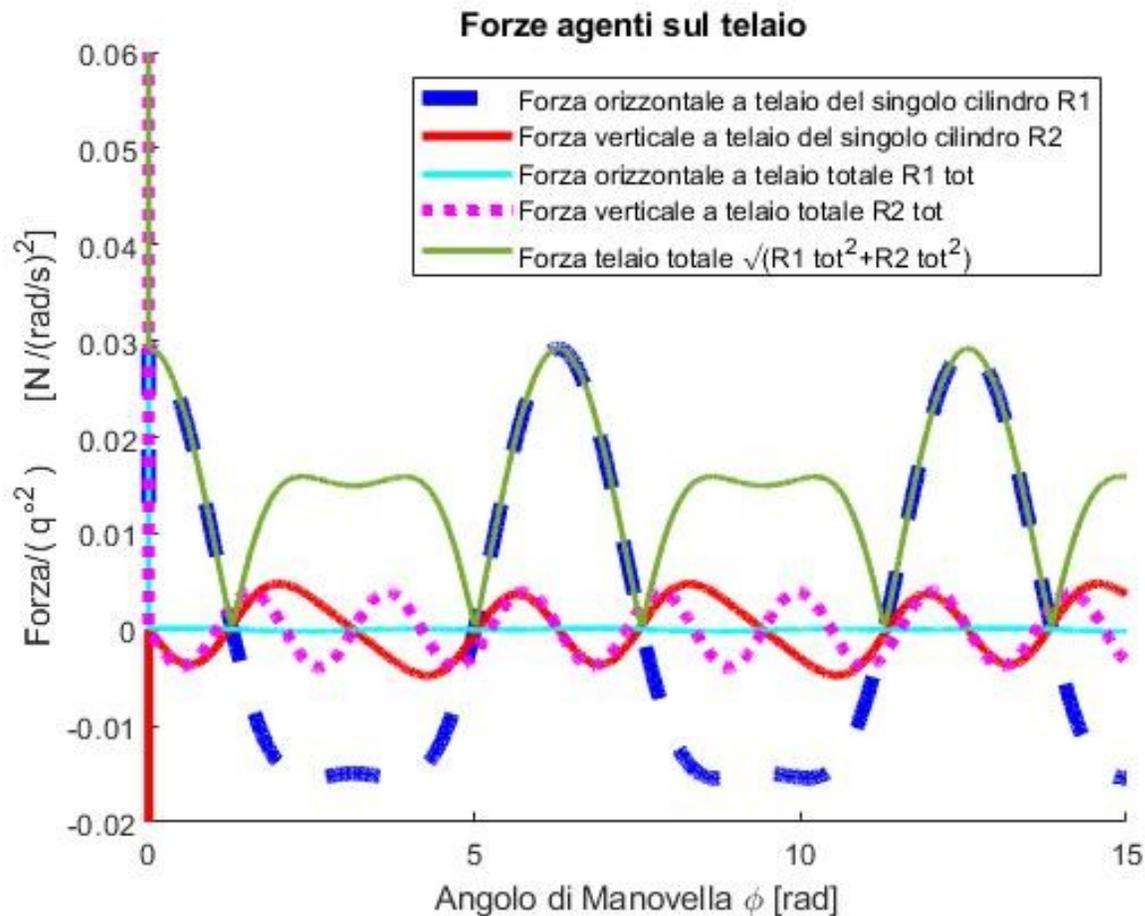
Forza alterna del II ordine

$$F_{II} = m_c \frac{q^{\circ 2} r^2}{c} \cos(2q)$$

Nei motori tre cilindri in linea con manovelle sfalsate di 120° (configurazione $\alpha_1 = 0^\circ$; $\alpha_2 = 120^\circ$; $\alpha_3 = 240^\circ$) si ha l'annullamento delle forze alterne del primo e del secondo ordine, ma non di tutti i momenti.

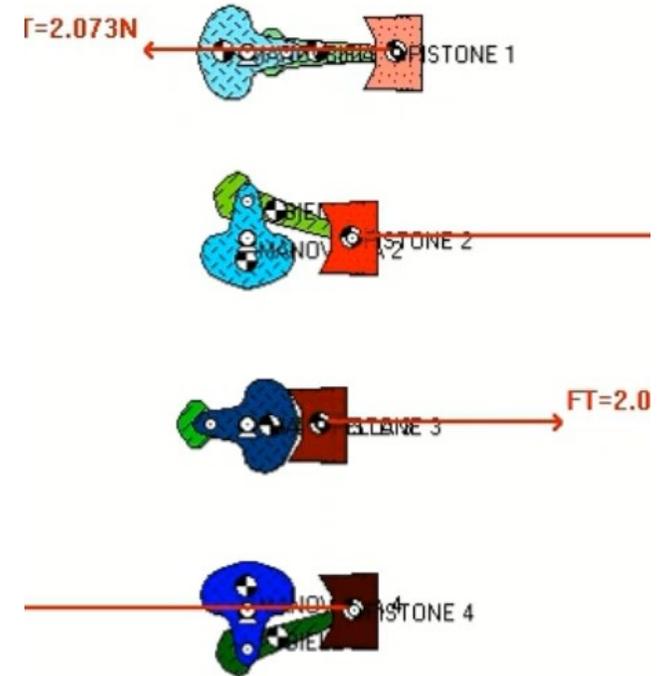
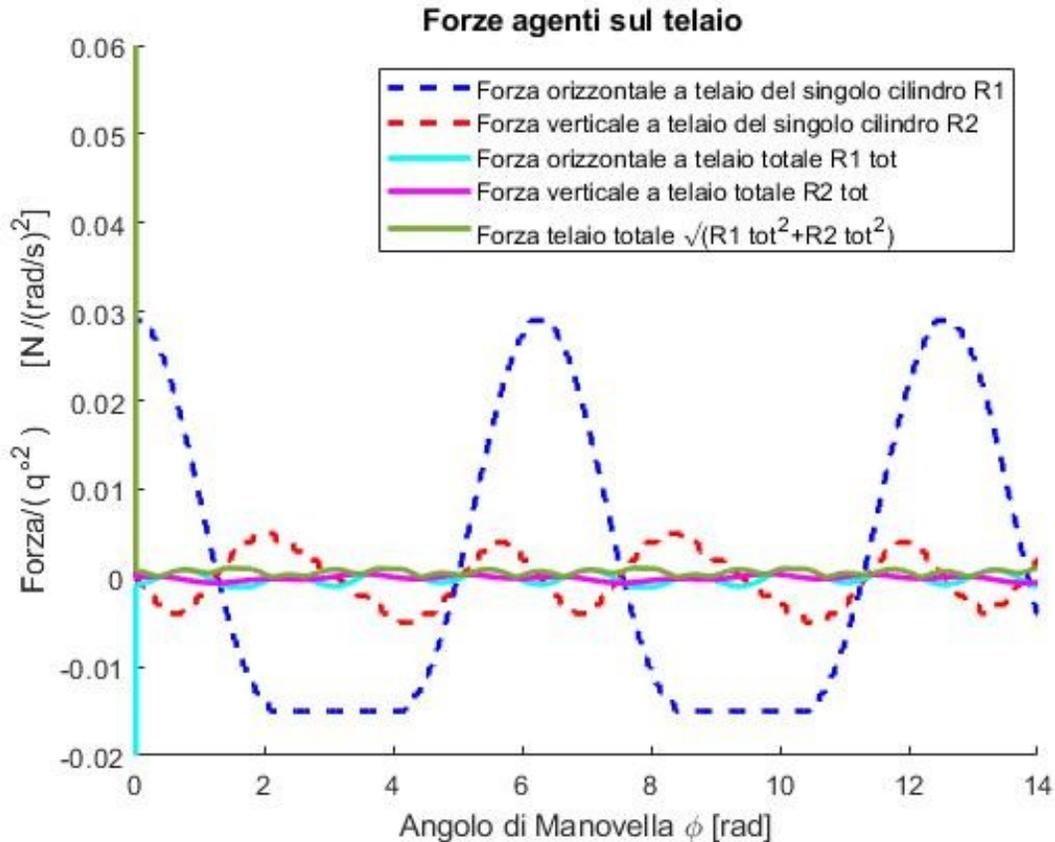
Si noti la diminuzione della forza totale dovuta dalla somma algebrica dei vettori forza dei singoli cilindri.

La risultante delle forze verticali è nulla perché la forza R_2 sul perno di banco è uguale e contraria alla R_7 sul pistone.



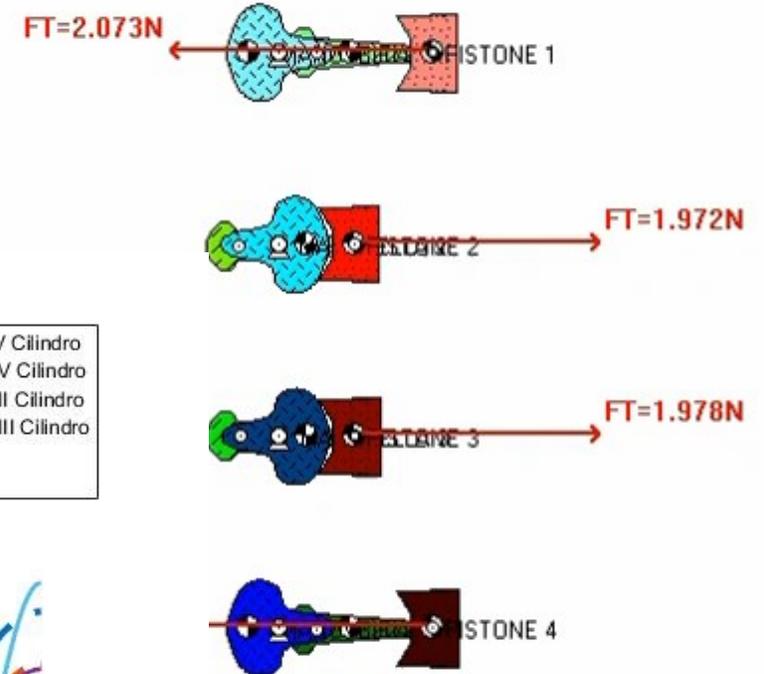
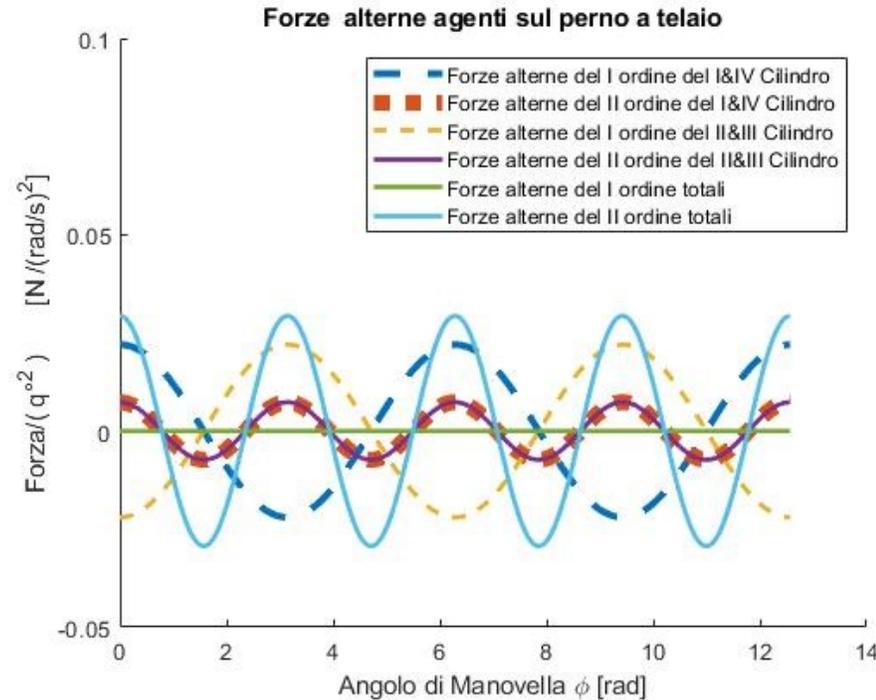
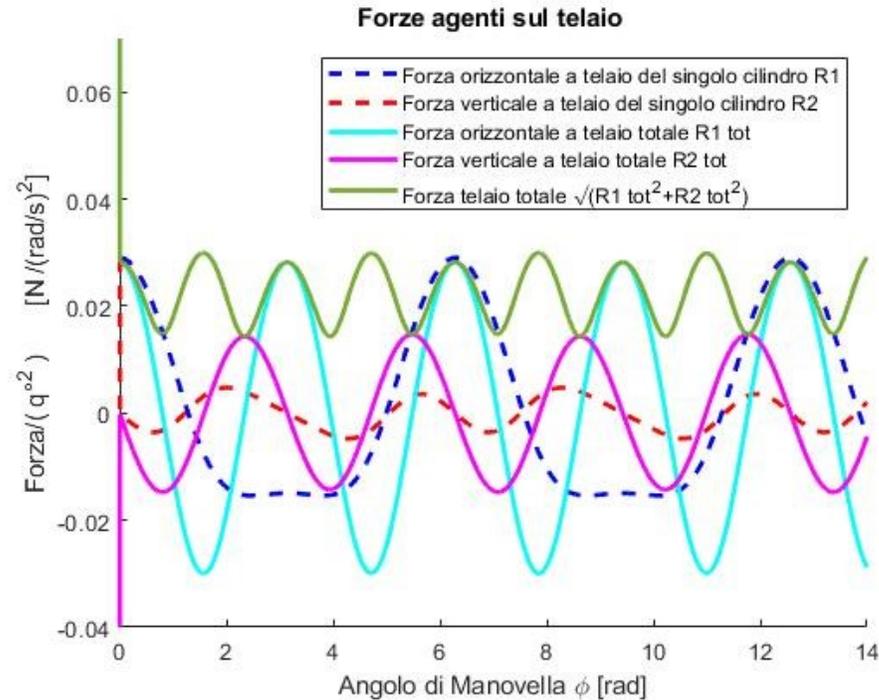
Si analizza il caso di motore in linea con quattro cilindri con manovelle sfalsate di 90° (configurazione $\alpha_1 = 0^\circ$; $\alpha_2 = 90^\circ$; $\alpha_3 = 180^\circ$; $\alpha_4 = 270^\circ$).

Questa configurazione non è molto comune ma talvolta utilizzata in ambito motoristico e viene chiamata in gergo 'Crossplane a 90°'.



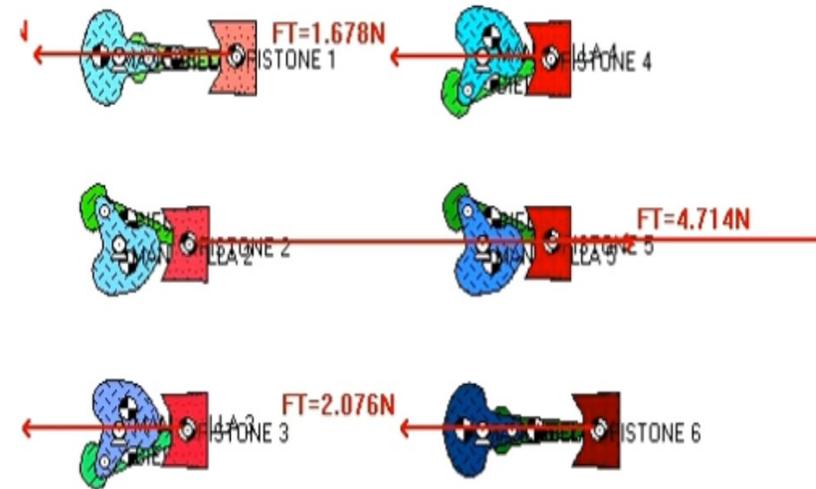
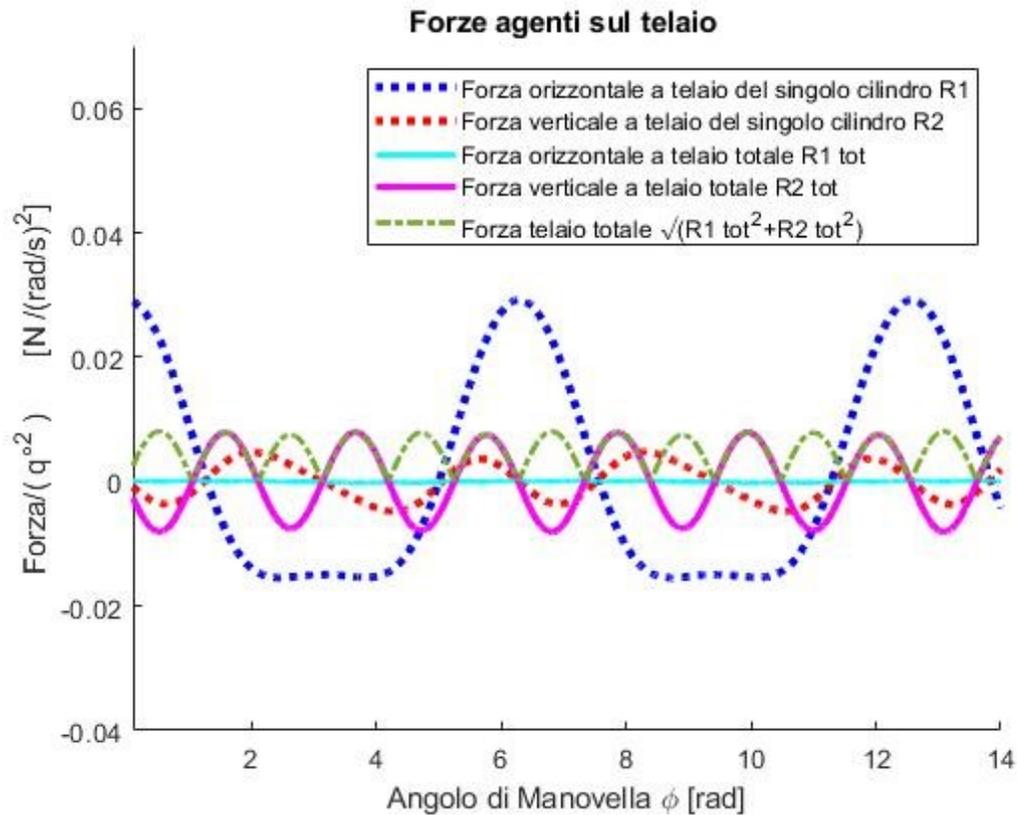
Una configurazione molto comune del motore a quattro cilindri in linea vede invece le manovelle sfasate di 180° (configurazione $\alpha_1 = 0^\circ$; $\alpha_2 = 180^\circ$; $\alpha_3 = 180^\circ$; $\alpha_4 = 0^\circ$), e viene comunemente chiamata 'Flatplane a 180°'.

Questa disposizione delle manovelle porta alla somma dei contributi delle forze del II ordine mentre le forze alterne del I ordine si annullano tra loro, e in aggiunta non si annullano i momenti attorno all'asse y.



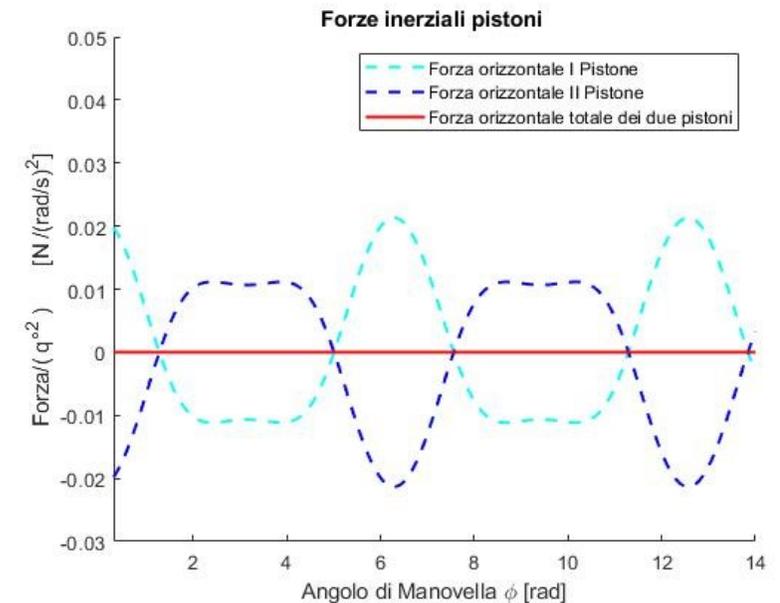
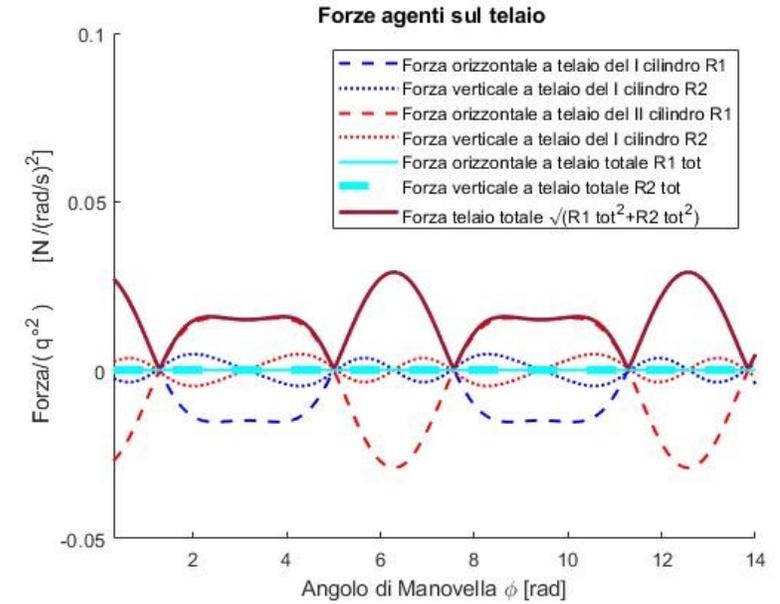
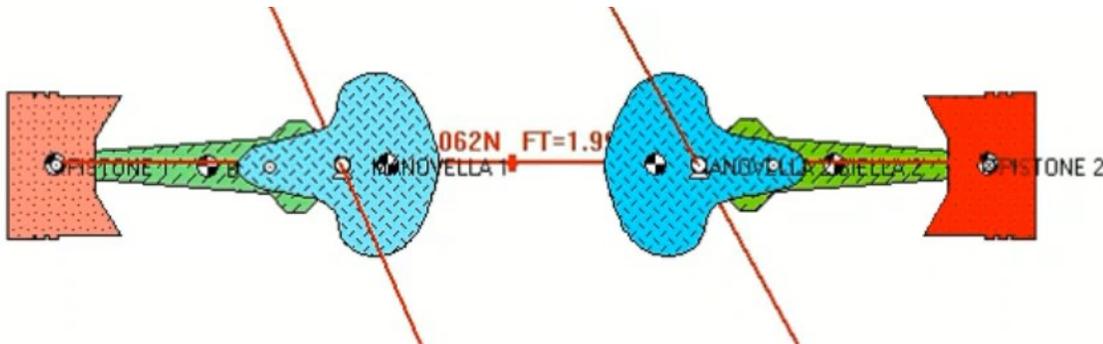
Nella configurazione a sei cilindri si ottiene l'annullamento di tutte le forze e di tutti i momenti.

Ponendo $\alpha_1 = \alpha_6 = 0^\circ$, $\alpha_2 = \alpha_5 = 120^\circ$, $\alpha_3 = \alpha_4 = 240^\circ$, si ottiene il bilanciamento di tutte le forze e di tutti i momenti. I motori a sei cilindri sono molto ed elastici, tuttavia comportano ingombri e dimensioni notevoli del motore.



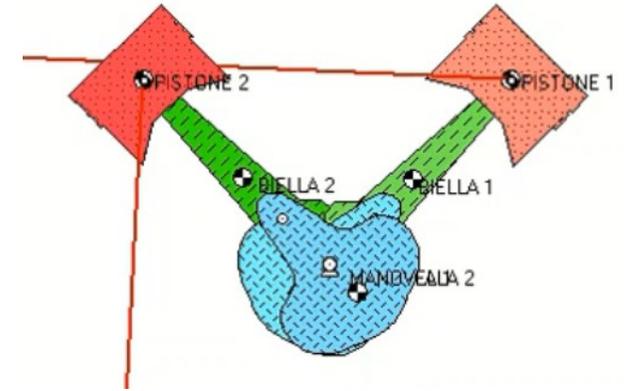
Si va ad analizzare il caso del motore bicilindrico piatto con configurazione a boxer. Gli assi dei cilindri sono sfalsati di 180° ($\beta_1 = 0^\circ$; $\beta_2 = 180^\circ$). Questa configurazione è molto utilizzata in quanto le forze generate da un pistone vengono annullate dall'altro. Si vanno ad annullare le forze del primo e del secondo ordine utilizzando unicamente due cilindri.

Questa configurazione tuttavia genera una coppia oscillante data dalla distanza dei pistoni dal centro di rotazione delle manovelle.

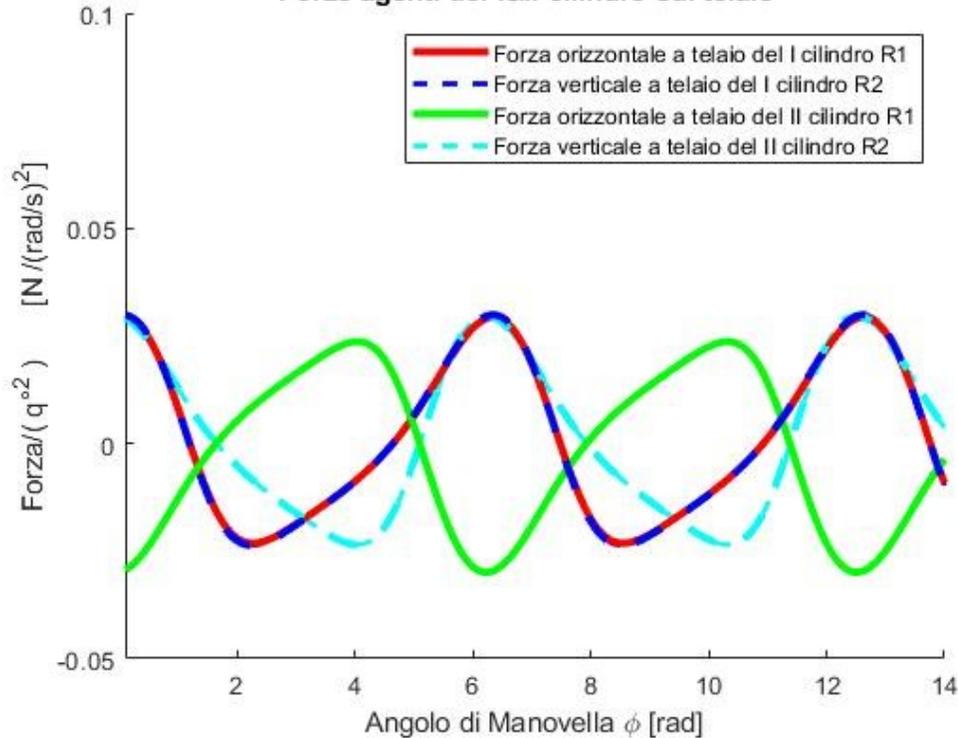


Il motore a V, come il Boxer, è caratterizzato da avere gli assi dei cilindri separati di un certo angolo. Nel caso in questione l'angolo formato tra i due assi è pari a 90°, chiamato anche motore a L.

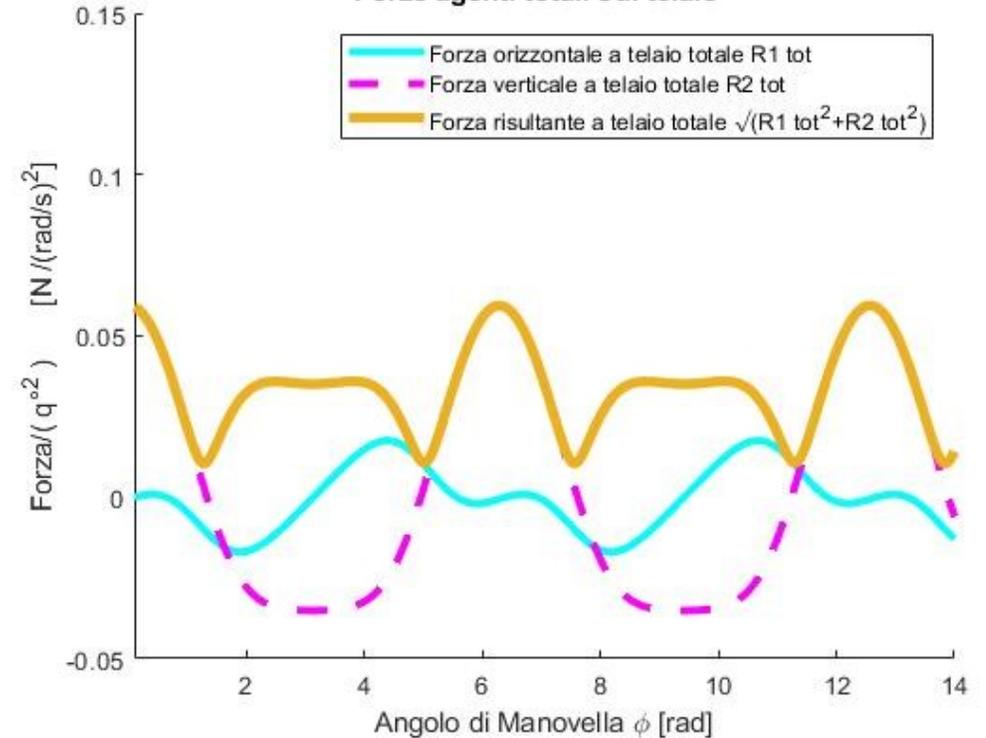
Questi motori non hanno un'ottima bilanciatura delle forze, causando vibrazioni notevoli, ma gli ingombri ridotti e le ottime prestazioni hanno fatto sì che questo tipo di motore venisse largamente utilizzato.



Forze agenti del I&II cilindro sul telaio

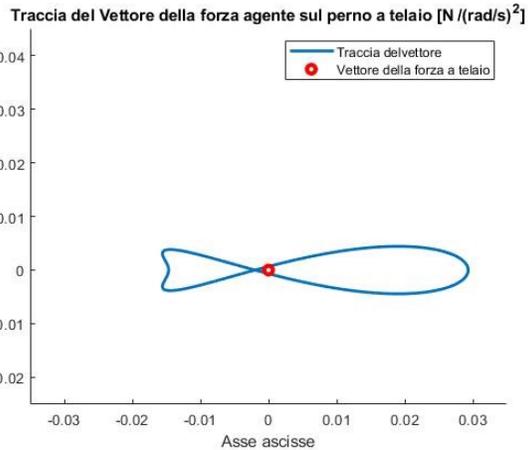


Forze agenti totali sul telaio

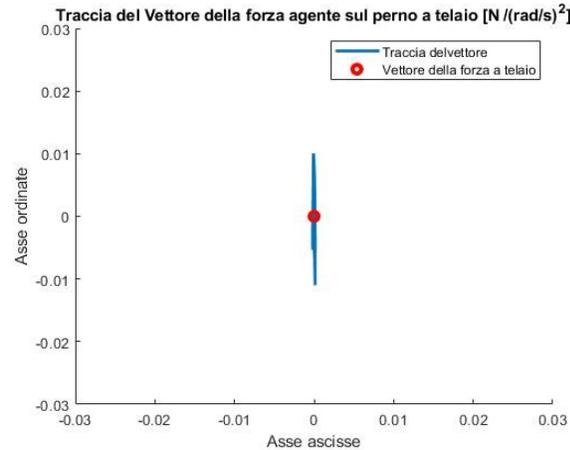


Confrontiamo ora le diverse tracce delle reazioni vincolari scaricate sul perno di banco al variare della configurazione. Si noti che, quando si ha l'annullamento delle forze del primo e del secondo ordine, la forza ha componente unicamente verticale.

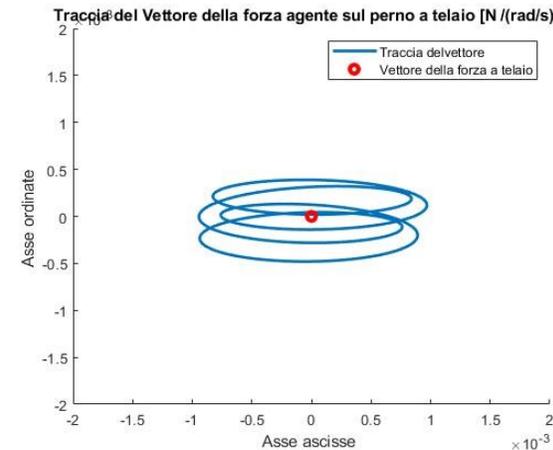
MONOCILINDRO



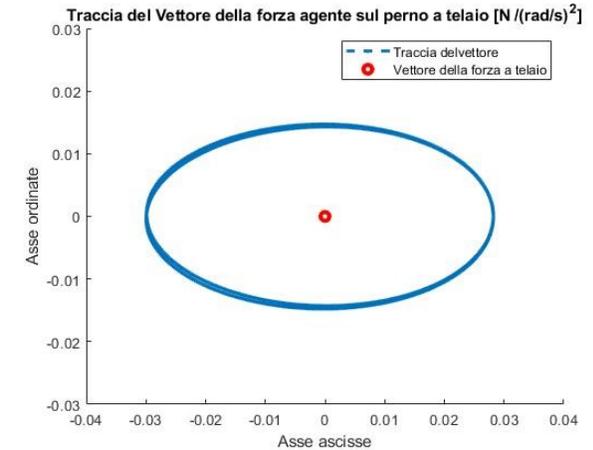
TRE CILINDRI IN LINEA



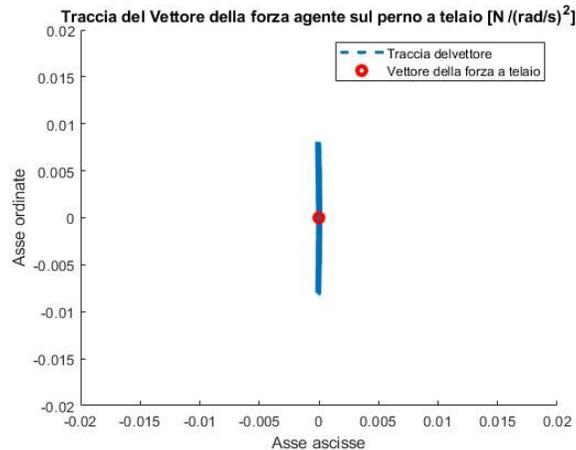
CROSSPLANE a 90°



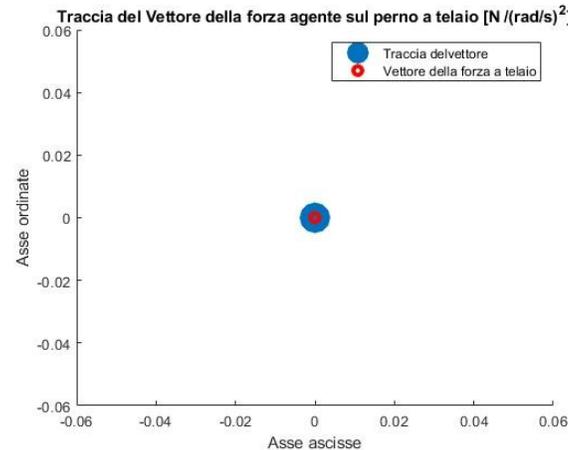
FLATPLANE a 180°



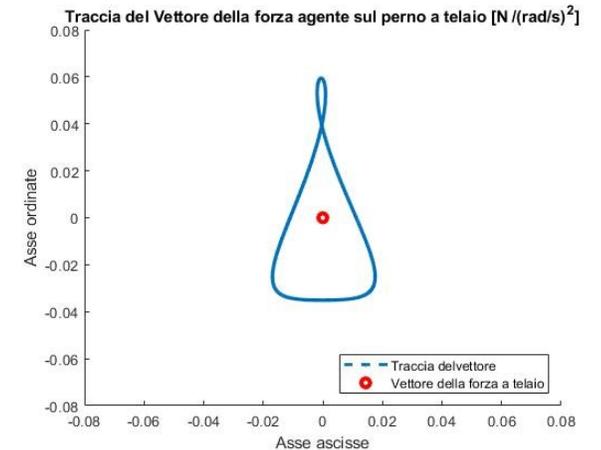
SEI CILINDRI IN LINEA



BOXER 2 CILINDRI

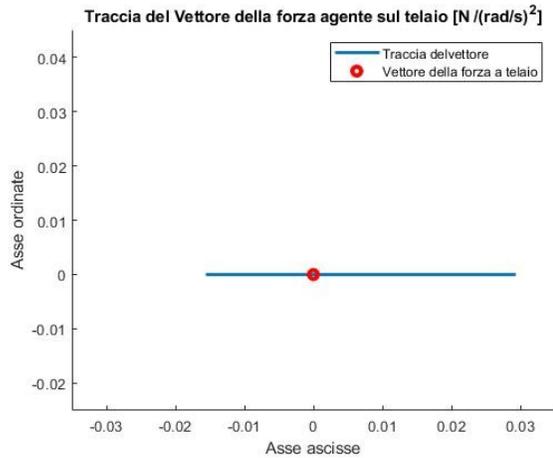


DUE CILINDRI A V

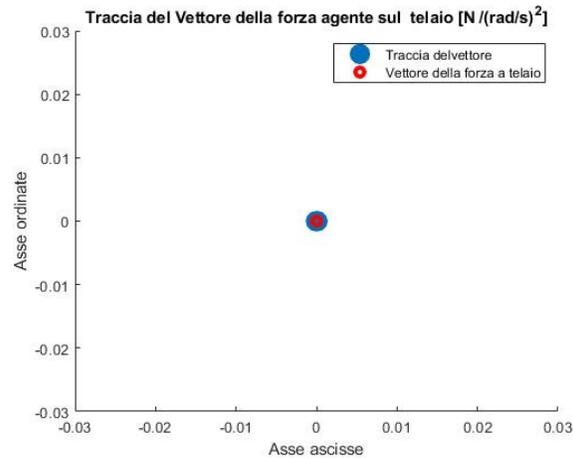


Confrontiamo ora le diverse tracce delle reazioni vincolari scaricate sul telaio al variare della configurazione. La componente verticale della forza trasmessa a telaio è nulla in ogni caso poiché la forza R_2 agente sul perno di manovella viene bilanciata con la forza R_7 sul pistone.

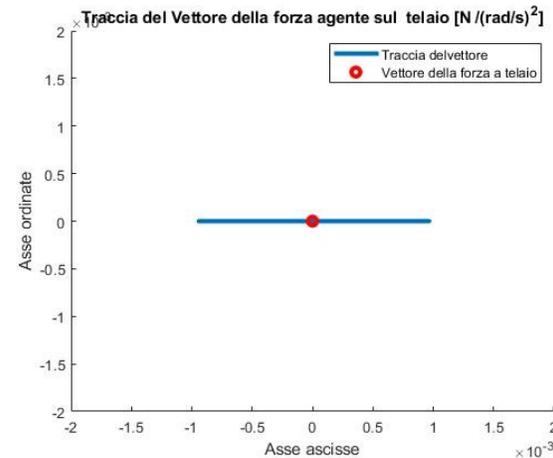
MONOCILINDRO



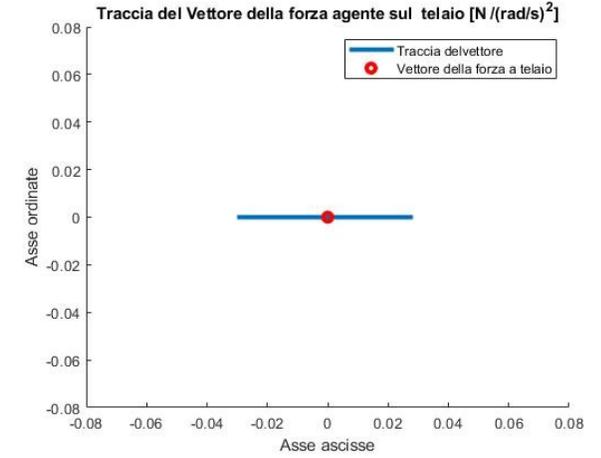
TRE CILINDRI IN LINEA



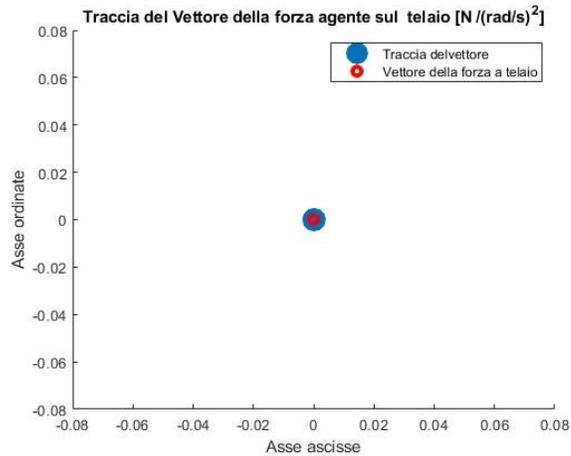
CROSSPLANE a 90°



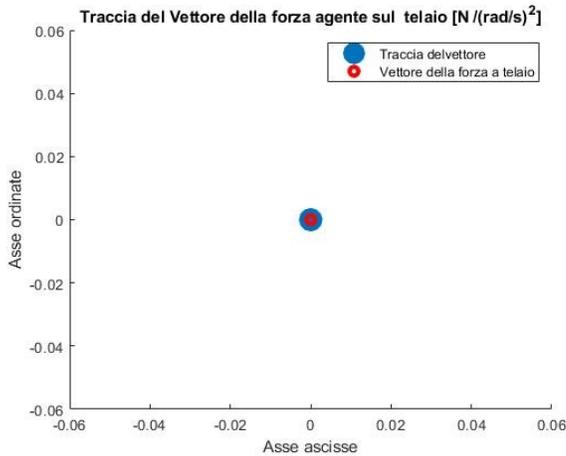
FLATPLANE a 180°



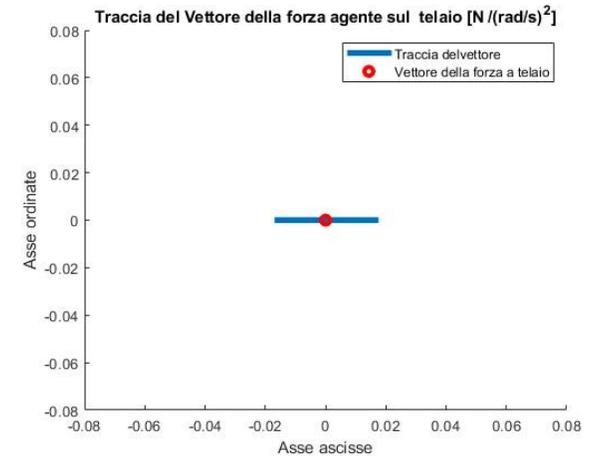
SEI CILINDRI IN LINEA



BOXER 2 CILINDRI



DUE CILINDRI A V



GRAZIE



PER L'ATTENZIONE

