DINAMICA DELLA MACCHINA A 1 GDL

→ sistema meccanico con
- motore
- trasmissione
- utilizzatore

→ Si trascurano deformabilità
→ HO una sola coordinata indipendente ϑ_m

MOTORE ⇒ genera potenza da fonti
- ELETTRICHE
- IDRAULICA
- CHIMICHE

→ meccanica

TRASMISSIONE ⇒ trasforma la potenza generata dal motore e la rende disponibile per l'utilizzatore

UTILIZZATORE ⇒ sfrutta la potenza meccanica

Per la risoluzione utilizzo il Bilancio di potenze $\frac{dE_c}{dt} = \Pi + \Pi'$

$$W_m + W_r + W_p = \frac{dE_c}{dt}$$

dove $E_c = E_{cm} + E_{cr}$

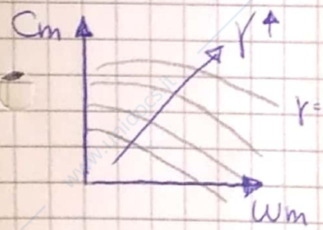
MOTORE Può essere ricondotto ad una coppia equivalente, per cui $W_m = M_m^* \omega_m$ (coppia motrice ridotta all'albero)
le inerzie possono essere ridotte $E_c = \frac{1}{2} J_m^* \omega_m^2$

$M_m^*(\vartheta_m, \dot{\vartheta}_m)$
$J_m^*(\vartheta_m)$
macchina a regime periodico

noi consideriamo il caso in cui $M_m^*(\dot{\vartheta}_m)$ e J_m^* costante
Questa approx. è sempre valida se si considerano i valori medi nel periodo

CARATTERISTICA meccanica del motore (curva di coppia)

Combustione interna

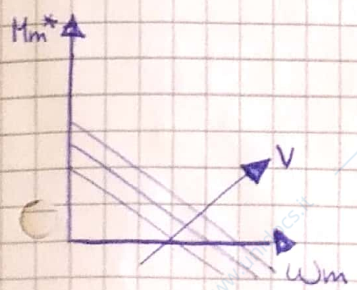


La caratteristica meccanica di un motore a combustione interna definisce la coppia erogata dal motore in funzione del proprio regime di rotazione al variare del grado di ammissione γ (parametro che indica l'apertura della valvola che regola la miscela di gas e combustibile)

$$M_m^*(\omega_m, \gamma) = \gamma \underbrace{M_{m\,max}}_{\gamma=1}(\omega_m) + (1-\gamma) M_{m\,min}(\omega_m)$$

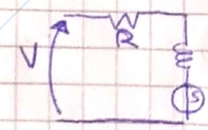
→ valore di coppia per un generico valore del grado di ammissione γ

Motore elettrico a corrente continua a magneti permanenti



statore: elementi magnetici
rotore: circuito di armatura c

→ controelettromotrice



$V - Ri - e_{cem} = 0$

Scanned by CamScanner

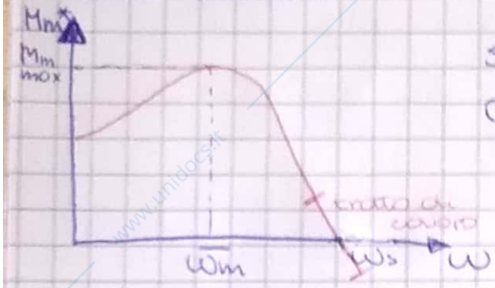
$$\begin{cases} V = Ri + e_{cem} \\ e_{cem} = K_e\,\omega_m \\ M_m^* = K_m\, i \end{cases} \Rightarrow V = \frac{R}{K_m} M_m^* + K_e\,\omega_m$$

nota
Potenza meccanica = Potenza elettrica
$M_m^*\,\omega_m = e_{cem}\, i$

$K_m i\,\omega_m = K_e\,\omega_m\, i$

$K_m = K_e$

Motore elettrico asincrono trifase

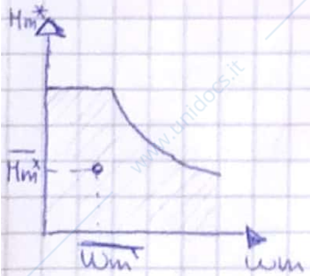


statore + rotore
Gli avvolgimenti dello statore sono percorsi da V trifase alternata
↳ Genera campo magnetico rotante

$\omega_s = \frac{2\pi f_r}{P}$ → frequenza rete

ω_s: velocità di sincronismo
P → n° dei poli

MOTORE ASINCRONO (azionato) PILOTATO DA INVERTER
varia le correnti nel circuito (intensità e frequenza) con sistema di valvole (elettroniche) → ~~erogata~~ coppia pratica erogata con controllo di coppia e velocità



... è sempre positivo < 1

UTILIZZATORE

$W_r = M_r^* \omega_r$ $\qquad E_c = \frac{1}{2} J_r^* \omega_r^2$

↳ coppia resistente ridotta all'albero

generalmente M_r^* è negativa

Caso frequente le resistenze lato utilizzatore siano la somma di due componenti, una costante con la velocità, l'altra dipendente quadraticamente dalla velocità.

da libro

$M_r^* = -(M_{r0} + K\omega_r^2)$

$$\begin{cases} M_r^* = f(\omega_r) \\ M_r^* < 0 \end{cases}$$

TRASMISSIONE

Realizzato con organi meccanici (cinghie, pulegge, ingranaggi...)

Cinematica → rapporto di trasmissione $= \tau = \frac{\omega_r}{\omega_m}$ ⇒ Trasmissioni omocinetiche $\tau = cost = \frac{\omega_r}{\omega_m}$

Dinamica → è priva di inerzia, ma fa nascere un termine di potenza persa o dissipata W_p

---

Parleremo solo di trasmissione omocinetica, nella quale avremo che $\omega_r = \tau\omega_m$ o $\omega_m = \frac{\omega_r}{\tau}$

La potenza dissipata dalla trasmissione viene di norma espressa come una frazione della potenza entrante nella trasmissione stessa.

È quindi necessario distinguere tra:

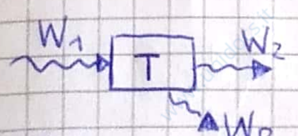
- MOTO DIRETTO se la potenza fluisce dalla macchina dal lato motore verso il lato utilizzatore
- MOTO RETROGRADO (viceversa)

BILANCIO DI POTENZA PARZIALE ALLA TRASMISSIONE $W_1 + W_2 + W_p = 0 \quad \frac{dE_c}{dt} = 0$

Entrante lato U (W_2); Entrante lato M (W_1); Persa (W_p); la trasmis. non ha inerzia

NB si mette segno + ai termini che entrano e − a quelli che escono da T

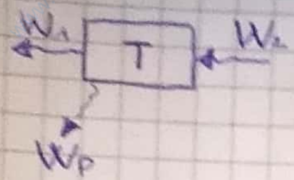
- MOTO DIRETTO



$\eta_D = \frac{-W_2}{W_1}$ Il rendimento diretto è sempre positivo < 1

$$W_p = -(W_1 + W_2) = -(1 - \eta_D) W_1$$

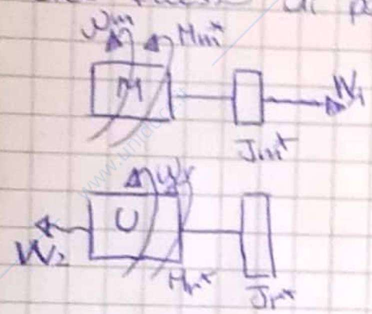
MOTO RETROGRADO



$$\eta_R = -\frac{W_1}{W_2}$$ rendimento retrogrado

$$W_p = -(W_1 + W_2) = -(1 - \eta_R) W_2$$

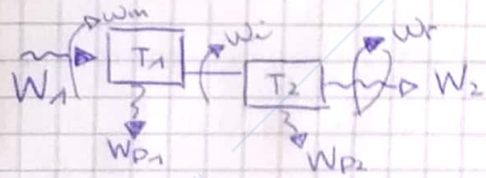
Per la risoluzione è fondamentale conoscere la direzione del flusso di potenza



$$W_1 = (M_m^* - J_m \dot{\omega}_m)\,\omega_m \begin{cases} >0 & \text{Diretto} \\ <0 & \text{Retrogrado} \end{cases}$$

$$W_2 = (M_r^* - J_r^* \dot{\omega}_r)\,\omega_r \begin{cases} >0 & \text{retrogrado} \\ <0 & \text{diretto} \end{cases}$$

Per trasmissione in serie senza inerzie interposte



in ipotesi di moto diretto

$$\tau = \tau_1 \tau_2$$

$$\bar{\eta}_D = \eta_{D1} \eta_{D2}$$

CONDIZIONI DI FUNZIONAMENTO DELLA MACCHINA

$\Rightarrow dEc/dt = 0$

* **regime** (regime assoluto) l'energia cinetica della macchina si mantiene costante nel tempo

$M_m^*(\omega_m)$ $M_r^*(\omega_r)$
J_m^* cost J_r^* cost

* **moto vario** (transitorio) è una condizione di moto in cui l'energia cinetica della macchina subisce una variazione nel tempo (es. avviamento) $\Rightarrow \boxed{E_c = E_c(t)}$

* **regime periodico** particolare condizione di moto vario, l'energia cinetica della macchina, pur variando nel tempo, assume andamento periodico

$E_c = E_c(t)$ ma $E_c(t) = E_c(t + T)$ — periodo

Moto vario diretto

$$\begin{cases} W_m = M_m^* \omega_m \\ W_r = M_r^* \omega_r \\ W_p = -(1-\eta_D) W_1 = -(1-\eta_D)(M_m^* - J_m^* \dot{\omega}_m)\omega_m \\ E_c = \frac{1}{2} J_m^* \omega_m^2 + \frac{1}{2} J_r^* \omega_r^2 \\ \omega_r = \tau \omega_m \end{cases}$$

$$\boxed{W_1 + W_2 + W_p = \frac{dE_c}{dt}}$$

$$\Rightarrow \dot{\omega}_m = \frac{\eta_D M_m^* + \tau M_r^*}{\eta_D J_m^* + \tau^2 J_r^*}$$

Moto vario retrogrado

con analoghi passaggi per il moto retrogrado si ottiene che

$$\dot{\omega}_m = \frac{M_m^* + \eta_R \tau M_r^*}{J_m^* + \eta_r \tau^2 J_r^*}$$

Moto a regime

$$\begin{cases} W_M = M_m^* \omega_m \\ W_u = M_r^* \omega_r \end{cases}$$

Moto diretto

$M_m^* \omega_m \eta_D + \tau \omega_m M_r^* = 0$

$\Rightarrow M_m^* \eta_D + \tau M_r^* = 0$

Moto retrogrado

$M_m^* + \eta_R \tau M_r^* = 0$

Osservazioni

1. η_D erode parte di M_r^*
2. $\tau < 1$ permette di avere coppie elevate all'utilizzatore
3. $\tau^2 \ll 1$ evidenzia che è importante avere J_m^* piccolo
4. Moto a regime diretto $M_m^* = -\frac{1}{\eta_D} \tau M_r^*$

MACCHINA A REGIME PERIODICO

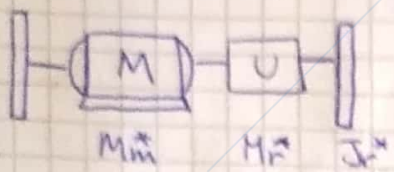
→ Presenza di legami non lineari lato motore o lato utilizzatore

Le coordinate dipendenti sono funzioni non lineari di θ_m

$M_m^*(\theta_m, \dot\theta_m)$ $\quad J_m^*(\theta_m)$

$M_r^*(\theta_r, \dot\theta_r)$ $\quad J_r^*(\theta_r)$

Nella trattazione trascuro la trasmissione ($\tau=1$, $\eta=1$) $\Rightarrow$ $\theta_m = \theta_r = \theta$, $\dot\theta_m = \dot\theta_r = \dot\theta$



$$\left[M_m^*(\theta,\dot\theta) + M_r^*(\theta,\dot\theta)\right]\dot\theta = \frac{dE_c}{dt}$$

$$E_c = \dot\theta^2\left[\frac{1}{2}J_m^*(\theta) + \frac{1}{2}J_r^*(\theta)\right]$$

$$\frac{dE_c}{dt} = \left[J_m^*(\theta) + J_r^*(\theta)\right]\dot\theta\ddot\theta + \frac{1}{2}\frac{d}{d\theta}\left[J_m^*(\theta) + J_r^*(\theta)\right]\dot\theta^3$$

$$M_m^*(\theta,\dot\theta) + M_r^*(\theta,\dot\theta) = \underbrace{\left[J_m^*(\theta) + J_r^*(\theta)\right]}_{J^*(\theta)}\ddot\theta + \underbrace{\frac{1}{2}\frac{d}{d\theta}\left[J_m^*(\theta) + J_r^*(\theta)\right]\dot\theta^2}_{-M_{i,q}^*(\theta,\dot\theta)}$$

$-M_{i,q}^*(\theta,\dot\theta)$ momento dato delle forze di inerzia quadratiche

$$\ddot\theta = \dot\omega = \frac{M_m^* + M_r^* + M_{i,q}^*}{J^*}$$ eq. di moto a regime periodico

Oss:
- J^* dipende dalla posizione angolare dell'albero
- Le $M_{i,q}^*$ dipende dal quadrato della velocità angolare

Il regime periodico è incompatibile al regime assoluto,

perchè se $\frac{dE_c}{dt} = 0$ condizione di regime assoluto $= M_m^* + M_r^*$ NON può essere soddisfatta in ogni istante

L'accelerazione angolare dell'albero motore, varia periodicam. nel tempo, con periodo T, il che significa che nel proprio moto la macchina subirà una periodica alternanza di fasi di accelerazione e fasi di decellerazione, tali da compensarsi a vicenda

La condizione di funzionamento in regime periodico può essere ottenuta imponendo nell' ~~equazione~~ equazione di bilancio delle potenze, che l'energia cinetica della macchina abbia andamento periodico nel tempo:

$$E_c(t+T) - E_c(t) = \int_t^{t+T} W_m + W_r \, dt = \int_t^{t+T} \frac{dE_c}{dt} \, dt = 0$$

$$\int_t^{t+T} \left[M_m^*(\vartheta,\dot\vartheta) + M_r^*(\vartheta,\dot\vartheta)\right]\dot\vartheta \, dt = \int_{\vartheta}^{\vartheta+\bar\vartheta} \left[M_m^*(\vartheta,\dot\vartheta) + M_r^*(\vartheta,\dot\vartheta)\right] d\vartheta = 0$$

$\bar\vartheta$ periodo angolare della macchina

Indica che per il moto periodico è necessario che si annulli l'integrale esteso al periodo angolare $\bar\vartheta$ della somma dei momenti motore e resistente ridotti all'albero motore.

- Un problema tecnico che si presenta nella progettazione delle macchine che operano in regime periodico, consiste nel limitare le oscillazioni di velocità che la macchina subisce nel suo funzionamento.

L'entità delle oscillazioni di velocità può essere quantificata per mezzo di un parametro adimensionale i, detto GRADO DI IRREGOLARITÀ PERIODICA

$$i = \frac{W_{max} - W_{min}}{W_{med}}$$

Per ridurre i si utilizza: - inerzie (volano) (immagazzinano energia)

- motori con curva di coppia stabilizzante (a pendenza negativa elevata nell'area di lavoro), che permette di reagire con forti variazioni di coppia a fronte di piccole variazioni di velocità

caso particolare
macchina 1 gdl

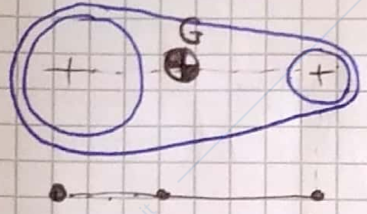
DINAMICA DELLA MACCHINA ALTERNATIVA

numerose applicazioni e problematiche
- Dimension. volano
- equilib. inerzie
- velocità
- cricche tensionali

↳ macchina che ha sul lato M o U un manovellismo ordinario centrato
(lato M motore a comb. interna)
(lato U pompa / compressore)

Esempio di legami cinematici NON lineari

BIELLA



m_1 testa di Biella — m_3 BARICENTRO — m_2 Piede di Biella

I valori delle 3 masse devono soddisfare

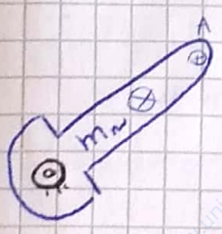
$$\begin{cases} m_1 + m_2 + m_3 = m_{Biella} \\ -m_1 l_1 + m_2 l_2 = 0 \quad \text{Momento statico del Baricentro} \\ m_1 l_1^2 + m_2 l_2^2 = J_{G,B} \end{cases}$$

Per ottimizzare il cinematismo si modifica il numero di masse, cosicché da ridurre le inerzie della biella.
Si cerca di spostare il baricentro dalla massa 3, cosicché da eliminare gli sforzi generati dalla rotazione della massa 1.

$$\begin{cases} m_1 + m_2 = m_b \\ -m_1 l_1 + m_2 l_2 = 0 \end{cases}$$

La massa m_1 è posta nel punto di collegamento della biella con la manovella, il che significa che può essere pensata appartenente alla manovella.
Essa va ad aumentare la massa della manovella e a modificare la posizione del baricentro.
Per far sì che il baricentro sia posto sull'asse di rotazione si aggiunge un contrappeso, collegato sulla cerniera fissa

Manovella



Il contrappeso annulla il contributo di m_1 al momento statico

$$m_m \overline{OG} + m_1 \overline{OA} = 0$$

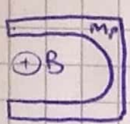
$m_m + m_1$ baricentro in O

Per quanto riguarda la massa m_2, essa non può essere annullata, azzerando le inerzie che ne seguono, ma ponendo insieme più cilindri può essere equilibrata con altre forze inerziali (motore pluricilindrico)

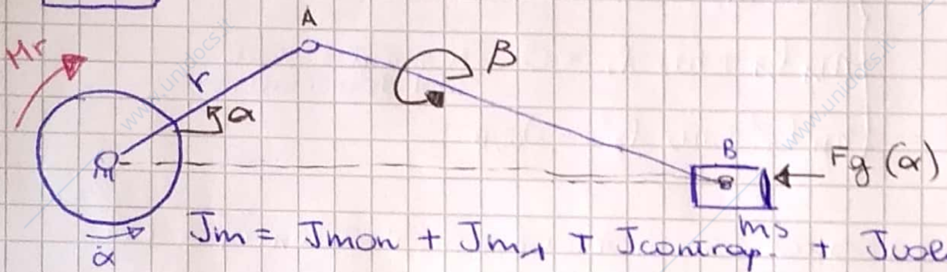
m_2, essendo solo traslante avrà inerzia solo legata alla traslazione

($m_2 + m_p$ → massa equivalente traslante) $= m_s$

• Pistone



In B è applicata m_2 e massa del pistone



$J_m = J_{man} + J_{m_1} + J_{contrap.} + J_{volano}$

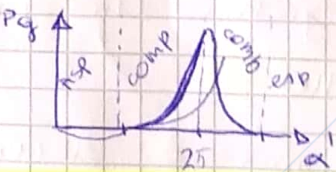
$M_r(\dot{\alpha})$ coppia resistente = coppia erogata dal motore (media sul periodo)

$$F_g(\alpha) = \frac{\pi D^2}{4} P_g(\alpha)$$

diametro pistone

↳ risultante delle pressioni

P_g è la pressione sul pistone, determinata dall'alternarsi delle 4 fasi di funzionamento di un motore
- aspirazione
- compressione
- combustione
- espulsione gas esausti



BILANCIO di POTENZE x EQ. DI MOTO della MACCHINA

$$W_m + W_r = \frac{dE_c}{dt}$$

$$W_m = -F_g(\alpha)\,\dot{c}(\alpha,\dot{\alpha})$$

$$W_r = -M_r\,\dot{\alpha}$$

$$E_c = \frac{1}{2} J_m \dot{\alpha}^2 + \frac{1}{2} m_s \dot{c}^2(\alpha,\dot{\alpha})$$

$$\dot{c} = \Lambda(\alpha)\dot{\alpha}$$

$\Lambda_c = -r \sin\alpha$ I app.

$\Lambda_c = -r\sin\alpha - \frac{1}{2} r\lambda \sin 2\alpha$ II app.

$\Lambda_c = -r\sin\alpha \left(1 + \frac{\lambda\cos\alpha}{\sqrt{1-\lambda^2\sin^2\alpha}}\right)$ Esatta

Scanned by CamScanner

MACCHINA ALTERNATIVA (2)

Il bilancio di potenze diventa

$$\left[-F_g(\alpha)\Lambda_c - M_r\right]\dot{\alpha} = \left[J_m + m_s\Lambda_c^2(\alpha)\right]\dot{\alpha}\ddot{\alpha} + m_s\Lambda_c\frac{d\Lambda_c(\alpha)}{d\alpha}\dot{\alpha}$$

$$\ddot{\alpha} = \frac{M_m^*(\alpha) + M_r^* + M_i^*(\alpha,\dot{\alpha})}{J^*(\alpha)}$$

eq. di moto diff. non lineare, risolvibile solo per integrazione numerica

CONDIZIONI DI REGIME PERIODICO

- Motore alternativo monocilindrico 4 tempi

$$\int_0^{4\pi}\left(-F_g(\alpha)\Lambda_c(\alpha) - M_r\right)d\alpha = 0$$

da cui $M_r = \frac{1}{4\pi}\int_0^{4\pi} -F_g(\alpha)\Lambda(\alpha)\,d\alpha$

Questo valore corrisponde al momento motore medio sul periodo erogato dalla macchina.

PROBLEMI SPECIFICI
(1) Regolazione moto $\Rightarrow$ Dimensionamento volano
(2) Equilibramento forze inerzia

Fai da foto

(1)
$$\begin{cases} J^*(\alpha) = \Lambda^2(\alpha)m_s + J_m \cong J_m^* \\ M_{i,q}^*(\alpha,\dot{\alpha}) = M_{i,q}^*(\alpha,\omega_{med}) \end{cases}$$

$$M_m^*(\alpha) + M_r^*(\alpha) + M_{i,q}^*(\alpha) = J_m^*\ddot{\alpha}$$

$$\dot{\alpha}\left[M_m^*(\alpha) + M_r^*(\alpha) + M_{i,q}^*(\alpha)\right] = J_m^*\dot{\alpha}\ddot{\alpha} \qquad \frac{dE_c}{dt} = \frac{d}{dt}(J$$

$$\int_0^{\alpha}\left[M_m^*(\alpha) + M_r^*(\alpha) + M_{i,q}^*(\alpha)\right]d\alpha = \Delta E_c(\alpha)$$

EQUILIBRAMENTO FORZE DI INERZIA

↳ Forze di inerzia sulla manovella sono nulle

↳ Rimangono solo forze inerzia di Biella + pistone (m_s)

↳ Compaiono anche se $\omega = \dot{\alpha} = \text{cost}$ perchè $\ddot{c} \neq 0$

$$\dot{c} = -r\omega \sin(\omega t) - r\omega \frac{\lambda}{2} \sin(2\omega t)$$

$$\ddot{c} = \underbrace{-r\omega^2 \cos(\omega t)}_{I} \underbrace{- r\lambda\omega^2 \cos(2\omega t)}_{II}$$

Si ottiene una forza di inerzia

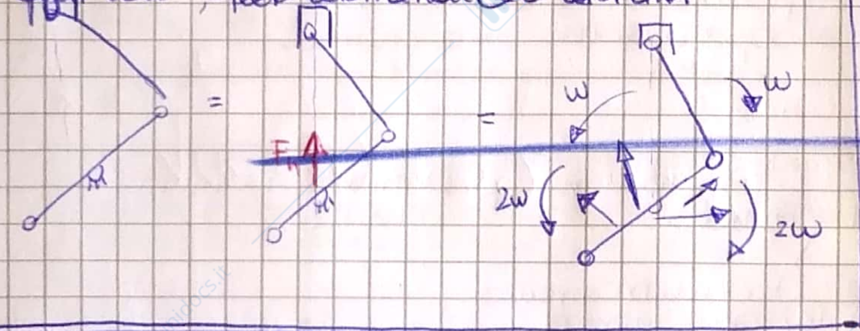
$$F_{in} = \underbrace{m_s (r\omega^2 \cos(\omega t))}_{} - \underbrace{m_s r\lambda\omega^2 \cos(2\omega t)}_{}$$

Forza di primo ordine, variabile armonicamente con la pulsazione, pari alla velocità angolare della manovella

Forza di II ordine variabile armonic. con una pulsazione doppia rispetto alla velocità angolare della manovella

F_{in}

~~Ugualiz, per diminuire la Fin~~



Macchina monocilindrica

~~• Per eliminare la componente di I ordine si può aggiungere un ulteriore contrappeso, che bilancia la componente di forza di inerzia di velocità angolare ω, nel verso di rotazione della manovella~~

Per eliminare la componente controrotante

FOGLIO STAMPATO

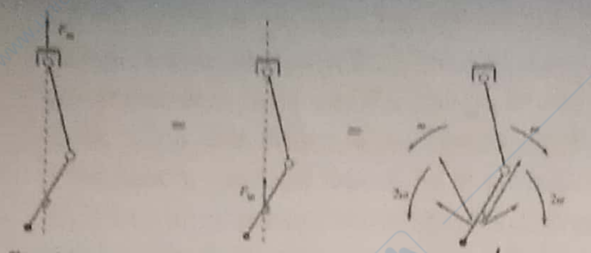


Figura 8.8 Rappresentazione mediante vettori controrotanti delle forza di inerzia sul pistone.

Macchina monocilindrica

Per eliminare parzialmente la componente di I ordine della forza di inerzia si può aggiungere un ulteriore contrappeso, che bilanci la componente di I ordine di forza di inerzia di velocità angolare ω nel verso di rotazione della manovella. L'effetto che si ottiene è una diminuzione di forza di inerzia nella direzione del corsoio, ma contemporaneamente la nascita di una componente di forza in direzione perpendicolare all'asse del manovellismo.

Per eliminare anche la componente controrotante della forza di inerzia è necessario utilizzare un albero ausiliario controrotante. Ma questo tipo di soluzione aumenta ingombri e costi e normalmente non viene utilizzata.

Macchina pluricilindrica

Nel caso della macchina pluricilindrica, l'equilibramento viene fatto utilizzando la presenza di più forzanti inerziali, che risultano sfalsate tra loro.

Ex motore 4 cilindri in linea

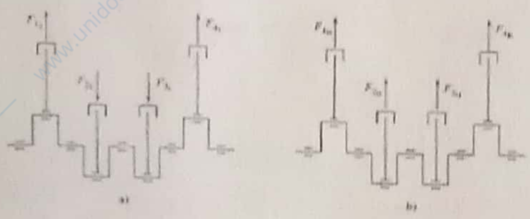
Le forze di inerzia del primo ordine risultano in fase tra loro sul primo e sul quarto pistone, e in controfase con quelle sul secondo e sul terzo. La somma di tutte le forze di primo ordine sarà dunque nulla.

Grazie allla disposizione simmetrica delle manovelle, risulta anche nullo il momento delle forze di inerzia rispetto alla mezzeria del motore.

Per quanto riguarda le forze di inerzia di secondo ordine, invece, danno una risultante non nulla, in quanto sono in fase.

Per simmetria risulta nullo il momento delle forze di inerzia di secondo ordine rispetto alla mezzeria del motore.

Quindi per un motore 4 cilindri in linea risultano equilibrate inerzie di primo ordine, i momenti di inerzia di primo e secondo ordine, ma non le forze di inerzia di secondo ordine.



Scanned by CamScanner