



Progettazione funzionale di sistemi meccanici e meccatronici. Progetto d'anno: Magazzino automatico
A.A. 2017/2018

Progettazione Funzionale di Sistemi Meccanici e Meccatronici

sistema di trasporto e sollevamento per magazzino automatico

Dipartimento di Ingegneria e Scienze Applicate
Mechatronics and Mechanical Dynamics Labs

prof. Paolo Righettini

Linee guida per lo sviluppo del progetto

Maggio 2018

Indice

1	Introduzione	1
1.1	Movimento verticale	2
2	Obiettivi	4



Indirizzo

Università di Bergamo
Facoltà di Ingegneria
Laboratorio di Meccatronica e
Mechanical Dynamics
Via Stezzano, 87
Bergamo

tel: +39 035 2052.120 - 2052.315

fax: +39 035 2052.310

<http://www.unibg.it/>

Autori

prof. Paolo Righettini
paolo.righettini@unibg.it
<http://mech.unibg.it>

1 Introduzione

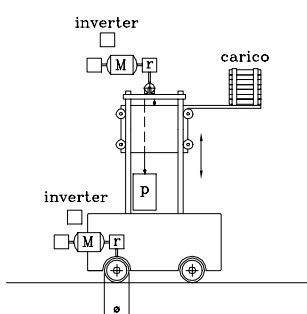


Figura 1: Schema del trasloelevatore

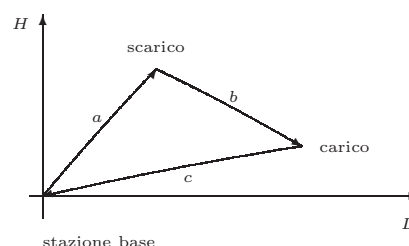


Figura 2: “ciclo medio combinato” richiesto dal committente, a) sotto carico, b) a vuoto, c) sotto carico

In questa applicazione due motori brushless comandano il movimento orizzontale e verticale del carrello portaforcole di figura 1. Il massimo carico trasportabile è $P = 8 \text{ kN}$, il carrello per il movimento orizzontale ha ruote di diametro $D_o = 0.32 \text{ m}$ con coefficiente d’attrito volvente $f_v = 0.009$ ed ha un peso $P_{co} = 8 \text{ kN}$, il carrello per il movimento verticale ha ruote di diametro $D_v = 0.182 \text{ m}$ con coefficiente d’attrito volvente $f_v = 0.009$, un peso $P_{cv} = 3 \text{ kN}$ ed è equilibrato per mezzo di un contrappeso $P_{ct} = 7 \text{ kN}$. Viene sollevato per mezzo di una fune avvolta attorno ad un tamburo di diametro $D_t = 0.2 \text{ m}$.

Il dimensionamento degli azionamenti viene eseguito facendo riferimento ad una missione tipica (“ciclo medio combinato”) rappresentato in figura 2. Questi movimenti sono stati definiti nel settore dei magazzini automatici per definirne le prestazioni. Lo spostamento verticale massimo corrisponde ai $2/3$ della massima corsa verticale, analogamente per il movimento orizzontale. La posizione intermedia, sia lungo la direzione verticale, sia lungo la direzione orizzontale, corrisponde ad $1/3$ della rispettiva corsa massima. La missione di riferimento viene eseguita ciclicamente, prendendo anche in considerazione i tempi di pausa per le operazioni di carico e scarico del magazzino.

Gli spostamenti orizzontali risultano $S_{h_1} = 15 \text{ m}$, $S_{h_2} = 15 \text{ m}$ e $S_{h_3} = 30 \text{ m}$, mentre i corrispondenti verticali $S_{v_1} = 10 \text{ m}$, $S_{v_2} = 5 \text{ m}$ e $S_{v_3} = 5 \text{ m}$. Al termine di ogni spostamento è previsto un tempo di sosta t_s pari a 10 s per consentire le operazioni di carico e di scarico. La velocità minima di funzionamento richiesta è di $V_{h_{min}} = 20 \text{ m/min}$, mentre la massima $V_{h_{max}} = 100 \text{ m/min}$. Gli spostamenti orizzontali sono percorsi con leggi di moto ad accelerazione costante pari a $a_h = 0.4 \text{ m/s}^2$ sia per il tratto ad accelerazione positiva che per quello ad accelerazione negativa, con la medesima velocità di regime. I movimenti verticali sono percorsi con accelerazione costante pari a $a_v = 0.4 \text{ m/s}^2$ per una velocità di regime che può variare fra il valore minimo $V_{v_{min}} = 10 \text{ m/min}$ e il valore massimo $V_{v_{max}} = 40 \text{ m/min}$.

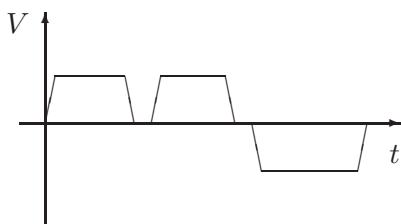


Figura 3: profilo di velocità per movimento orizzontale

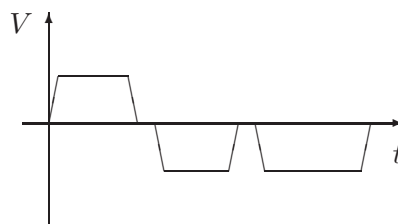


Figura 4: profilo di velocità per movimento verticale

La velocità massima in ciascuna fase è regolata in funzione del tipo di carico; questo influenza la durata del movimento, in particolare la durata della fase a velocità costante. Fra motore e carrello viene interposto un riduttore di cui si deve determinare il rapporto di trasmissione; si deve inoltre determinare la taglia dei motori che realizzano le prestazioni richieste.

Poiché il funzionamento è ciclico con periodo molto inferiore (1 ordine di grandezza) della costante di tempo termica, dell'ordine dei 30 *min* per i motori asincroni che si intendono utilizzare, il comportamento termico del motore dipende dal “valore quadratico medio” C_{rms} della coppia richiesta. Il periodo del ciclo di lavoro richiesto è minore della costante di tempo termica, dell'ordine dei 20 – 30 *min*. La temperatura di regime a cui tende il motore dipende perciò non dal carico massimo richiesto durante il ciclo di funzionamento ma dal “valore quadratico medio” C_{rms} della coppia richiesta. Si fa riferimento alla C_{rms} in quanto il riscaldamento del motore dovuto alle perdite per effetto joule dipende dal quadrato della corrente che attraversa gli avvolgimenti è proporzionale alla corrente citata. La temperatura a cui si stabilisce il motore a seguito della ripetizione infinita di cicli di funzionamento è equivalente a quella che si avrebbe caricando il motore con una coppia costante pari a

$$C_{rms} = \sqrt{\frac{\sum C_i^2 t_i}{\sum t_i}}$$

Il dimensionamento dei sistemi di azionamento deve quindi essere eseguito valutando il limite termico, le coppie di picco e le massime velocità richieste.

I movimenti da prendere in considerazione devono essere quelli che consentono la realizzazione delle traiettorie indicate nella missione di riferimento, alle massime prestazioni di progetto.

1.1 Movimento verticale

Il sistema di azionamento del moto verticale deve essere dimensionato con e senza il contrappeso. L'introduzione del contrappeso porta, in alcune applicazioni, ad un incremento del costo della carpenteria e ad una maggiore complicazione della trasmissione. Nel caso di soluzione senza contrappeso, identificare la tipologia di trasmissione più adatta fra vite a ricircolo di sfere e pignone-cremagliera.

Per il calcolo della forza motrice F_{sm} necessaria per il sollevamento del carrello verticale si fa riferimento alla figura 5. Per semplicità di calcolo vengono considerate

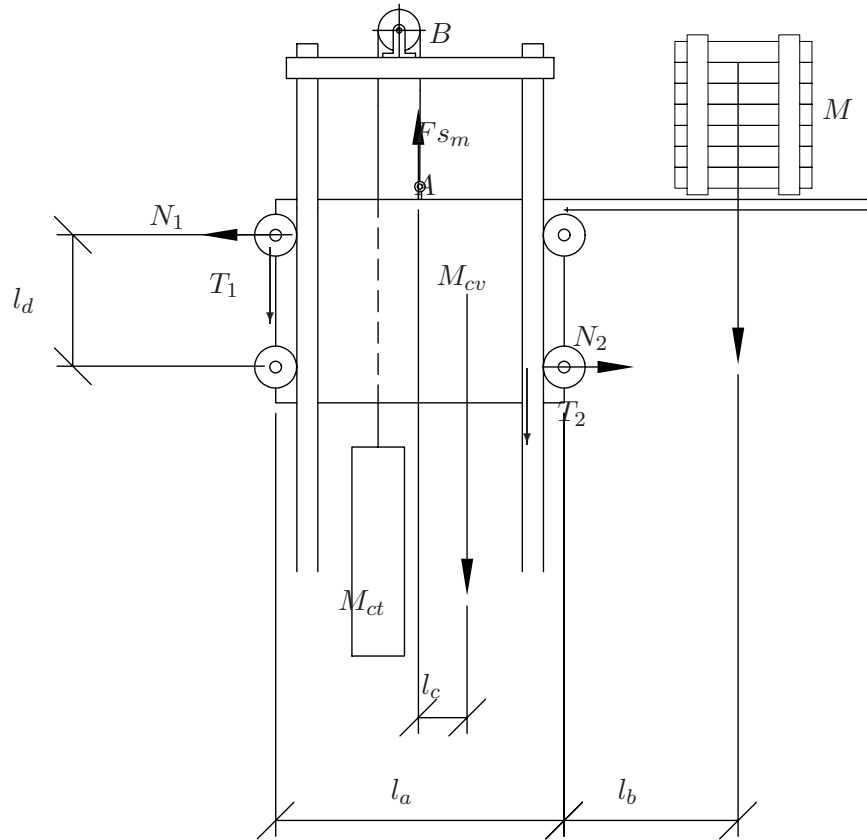


Figura 5: Carrello per il movimento verticale.

appoggiate alle guide verticali solamente 2 delle 4 ruote. Mettendo in evidenza le reazioni tangenziali dovute all'attrito, imponendo l'equilibrio delle forze verticali, delle forze orizzontali e l'equilibrio dei momenti rispetto al punto A si ottiene

$$F_{sm} = (M + M_{cv})(g + a) + \frac{2f_v(g + a)}{l_d} [M_{cv}l_c + M(l_b + l_a/2)] \quad (1)$$

in cui a rappresenta l'accelerazione con cui viene sollevato il carico, g l'accelerazione di gravità, M massa del carico pagante $M = P/g$, M_{cv} massa del carrello verticale $M_{cv} = P_{cv}/g$, M_{ct} massa del contrappeso $M_{ct} = P_{ct}/g$.

Per il calcolo della coppia M_{smt} richiesta per il movimento del tamburo avvolgicavo B si deve tenere anche conto dell'effetto del contrappeso, risulta quindi

$$M_{smt} = \frac{D_t}{2} \left\{ (M + M_{cv})(g + a) + \frac{2f_v(g + a)}{l_d} [M_{cv}l_c + M(l_b + l_a/2)] - M_{ct}(g - a) \right\}. \quad (2)$$

Nelle fasi di regime l'accelerazione è nulla, quindi per $a = 0$ risulta

$$M_{smt_r} = \frac{D_t}{2} \left\{ (M + M_{cv})g + \frac{2f_v g}{l_d} [M_{cv}l_c + M(l_b + l_a/2)] - M_{ct}g \right\} = 428 \text{ Nm} \quad (3)$$

Nella fase di accelerazione, prendendo in considerazione la massima accelerazione ammessa pari a 0.2 m/s^2 , risulta

$$M s_{mt_a} = M s_{mt_r} + \frac{D_t}{2} a_{max} \left\{ M + M_{cv} + \frac{2f_v}{l_d} [M_{cv} l_c + M(l_b + l_a/2)] + M_{ct} \right\} = 465 \text{ Nm} \quad (4)$$

mentre nelle fasi di decelerazione

$$M s_{mt_d} = M s_{mt_r} - \frac{D_t}{2} a_{max} \left\{ M + M_{cv} + \frac{2f_v}{l_d} [M_{cv} l_c + M(l_b + l_a/2)] + M_{ct} \right\} = 391 \text{ Nm} \quad (5)$$

Per la discesa del carico, durante il moto di regime risulta

$$M d_{mt_r} = \frac{D_t}{2} \left\{ (M + M_{cv})g - \frac{2f_v g}{l_d} [M_{cv} l_c + M(l_b + l_a/2)] - M_{ct} g \right\} = 372 \text{ Nm} \quad (6)$$

nella fase di avvio del carico

$$M d_{mt_a} = M d_{mt_r} - \frac{D_t}{2} a_{max} \left\{ M + M_{cv} - \frac{2f_v}{l_d} [M_{cv} l_c + M(l_b + l_a/2)] + M_{ct} \right\} = 336 \text{ Nm} \quad (7)$$

mentre nelle fasi di decelerazione

$$M d_{mt_d} = M d_{mt_r} + \frac{D_t}{2} a_{max} \left\{ M + M_{cv} - \frac{2f_v}{l_d} [M_{cv} l_c + M(l_b + l_a/2)] + M_{ct} \right\} = 408 \text{ Nm} \quad (8)$$

2 Obiettivi

Per lo sviluppo della relazione si chiede di:

- identificare i moti lungo la direzione orizzontale e verticale che realizzano le traiettorie della missione di riferimento
- dimensionare i sistemi di azionamento utilizzando le procedure proposte al corso
- discutere, per il sistema di azionamento verticale, le condizioni di funzionamento per le soluzioni con e senza contrappeso
- discutere la complessità della soluzione a tamburo con contrappeso rispetto alla soluzione senza contrappeso
- per il sistema di azionamento verticale senza contrappeso, discutere dell'impatto della forza peso sul dimensionamento del motore

Esercitazioni

Esercitazioni dell'insegnamento Progettazione Funzionale di Sistemi Meccanici e Meccatronici - prof. Paolo Righettini

<http://mech.unibg.it/>.

