

Progetto no-brim

Daniele Moser, Francesco Maraner, Michele Mattè

25 giugno 2020

Indice

1	Introduzione	2
2	Meccanica	3
2.1	Descrizione macchina e motivazione dei componenti	3
2.1.1	Trasporto	3
2.1.2	Taglio ed espulsione	4
2.2	Calcoli di progetto	4
2.2.1	Calcolo dei giri utili del motore	4
2.2.2	Calcolo della forza di taglio	6
2.2.3	Calcolo della potenza del motore	6
2.2.4	Dimensionamento della trasmissione	7
2.2.5	Calcolo della velocità periferica della puleggia minore	8
2.3	Schema elettropneumatico	10
2.3.1	Scelta dei componenti	10
2.3.2	Lista componenti	11
2.4	Elettronica	12
2.5	Programmazione	12
2.6	Utilizzo della macchina	12
2.7	Sviluppi futuri	12
2.8	Crediti	12

Capitolo 1

Introduzione

Capitolo 2

Meccanica

2.1 Descrizione macchina e motivazione dei componenti

La parte meccanica, realizzata su Inventor, è stata divisa in 2 gruppi principali:

- Trasporto;
- Taglio ed espulsione.

2.1.1 Trasporto

La prima parte si occupa del trasporto del tubo mediante un asse lineare ($l = 300\text{ mm}$) che sfrutta una trasmissione a vite a ricircolo di sfere, comandata da un motore elettrico, per spostare un pistone pneumatico (1M1), dove alla sua estremità è montata una lamiera che con la sua elasticità garantisce la corretta aderenza al tubo, sfruttando tutta la forza del pistone. Il pistone è stato collegato al pattino dell'asse lineare mediante una lamiera e una piastra. Dalla parte opposta all'asse, troviamo una lamiera a forma di "V" che garantisce il corretto scorrimento del tubo fino alla parte di taglio, grazie all'utilizzo di una rulliera costruita con dei cuscinetti a sfera. Poco più a destra dell'asse lineare si colloca un altro pistone (2M1) fisso a telaio che si occupa di bloccare il tubo con la stessa logica del primo, contro un supporto in materiale tenero per non danneggiare l'oggetto da lavorare. All'estremità del telaio sono presenti delle lamiere che garantiscono il corretto ingresso ed uscita del tubo dalla parte di trasporto e dei sensori per controllare la posizione di quest'ultimo. Il telaio è stato realizzato mediante l'uso di tubolari quadrati in acciaio, dove sono stati fissati i supporti per le parti nominate in precedenza.

2.1.2 Taglio ed espulsione

La seconda parte si occupa del taglio e l'espulsione del tubo mediante l'uso di una sega circolare ($D = 300 \text{ mm}$) messa in moto da un motore elettrico monofase ($P = 1.5 \text{ kW}$, $n_{max} = 2500 \text{ rpm}$), il tutto collegato con una trasmissione a cinghie piate con rapporto di trasmissione $i = 0.5$ che si occupa di moltiplicare i giri della puleggia operatrice per garantire un taglio ottimale, come consigliato da tabella. Il sottoinsieme descritto è stato assemblato con un "telaietto" creato con dei tubolari quadrati in acciaio di piccole dimensioni per contenere il peso complessivo (motore, trasmissione, porta cuscinetto e lama) e vincolato ad un'estremità con 2 perni (che generano un effetto cerniera) che permettono la salita e la discesa di quest'ultimo mediante un pistone a doppio effetto (3MX). Per trasformare lo spostamento lineare del pistone in angolare dovuto alla rotazione attorno ai perni sono stati montati dei perni a forcella, collocati tra una piastra fissa e la base del pistone e tra l'estremità dello stelo e il telaietto, garantendo una buona spinta senza considerevoli perdite di forze.

Infine, troviamo l'espulsione del pezzo lavorato grazie all'utilizzo di un pistone pneumatico (4M1) dove all'estremità dello stelo è stata fissata una lamiera con delle prolunghie laterali che fanno scorrere il tubo su un piano d'appoggio (con la possibilità di essere allungato in base alla lunghezza del tubo desiderata) verso una caduta libera. Il telaio portante è stato realizzato mediante l'uso di tubolari quadrati in acciaio, dove sono stati fissati i supporti per le parti nominate in precedenza.

2.2 Calcoli di progetto

2.2.1 Calcolo dei giri utili del motore

I tubi da tagliare, utilizzati per il trasporto di fluidi possono esseri creati con 3 diversi materiali plastici:

- PVC (cloruro di polivinile) con $R_m = 55 \text{ MPa}$;
- PVC-C $R_m = 60 \text{ MPa}$;
- PE (polietilene) $R_m = 17 \text{ MPa}$;
- PP (polipropilene) $R_m = 35 \text{ MPa}$.

PVC, PE e PP fanno parte della famiglia dei pannelli termoplastici (tabella V_t consigliate) dove la velocità di taglio V_t consigliata si aggira tra $50 \text{ m s}^{-1} \div 75 \text{ m s}^{-1}$ e l'avanzamento tra $0.05 \text{ mm s}^{-1} \div 0.1 \text{ mm s}^{-1}$.

Velocità di taglio consigliate:

MATERIALI		Velocità di taglio (m/s)	Avanzamento per dente (mm/z)
Legno tenero	Taglio lungo vena	58÷100	0,5÷3,0
	Taglio trasverso vena	60÷100	0,2÷0,4
Legno duro	Taglio lungo vena	61÷100	0,3÷1,0
	Taglio trasverso vena	65÷100	0,2÷0,8
Legno esotico	Taglio lungo vena	58÷100	0,3÷1,0
Legno pressato (compensato, multistrato)		55÷80	0,1÷0,2
Legno pressato (truciolare grezzo)		60÷85	0,3
Pannelli HDF		60÷80	0,1÷0,3
Pannelli MDF		60÷80	0,1÷0,3
Pannelli impiallacciati		60÷100	0,2
Pannelli laminati		55÷80	0,1-0,25
Pannelli melaminici		58÷80	0,15
Pannelli termoplastici		50÷75	0,05-0,1
Pannelli duroplastici (Corian)		30÷60	0,02-0,05
Profilati di alluminio		35÷70	0,005-0,08

Figura 2.1: V_t consigliate

Seguendo la linea nera (per materiali plastici) della tabella, si assume un diametro della lama circolare di $D = 300$ mm (inoltre utilizzata nella maggior parte dei casi, grazie al suo ottimo rapporto efficienza/ingombro).

giri/min D=mm	Nr. giri (giri/min)																
	1500	2000	2500	2800	3000	3500	4000	4500	5000	5600	6000	8000	9000	10000	12000	18000	
80	6,5	8,5	10,5	12	13	14	15	19,1	21	23,5	26	34	38	42	52	76	
90	7	9,5	12	13,5	14	16	17	21	24	26,5	28	38	42	48	56	84	
100	8	10	13	15	16	18	21	24	26	29	31	41	47	52	63	96	
120	9,5	13	16	18	19	22	25	28	31	35	38	49	57	63	85		
125	10	14	16,5	20	19,5	24	27	31	34	36,5	41	53	61	68	82		
140	11	15	18	21	22	26	29	33	37	41	44	57	66	73	88		
150	12	16	19,5	22	23,5	27	31	35	39	44	47	63	71	79	94		
160	13	17	21	24	26	29	33	38	42	47	50	65	75	84			
180	14	19	24	27	28	33	42	42	47	53	57	73	85	94			
200	16	21	26	29	32	37	42	47	52	58,5	63	81	94				
225	17	23	30	32	36	40	46	52	58	66	69	92	104				
250	20	26	33	37	40	46	52	59	65	73,5	79						
300	24	31	40	44	48	55	63	71	79	88	94						
350	27	37	47	51	56	64	73	83	92	105							
400	31	42	54	59	64	73	83	92	105								
450	35	47	59	66	70,5	83	94	105									
500	39	52	67	73	80	92											

- Laminati in fibra minerale - Materiale legnoso, plastico e metallo non ferroso
- Legno naturale (duro) - Legno naturale (morbido) - Limite di sicurezza

Figura 2.2: Grafico V_t consigliate

Conoscendo la V_t richiesta dal materiale per essere tagliato possiamo calcolare il numero di giri generati dal motore, che successivamente verranno moltiplicati mediante una trasmissione a cinghie piatte. Sapendo che:

$$\omega = \frac{V_t}{r_{lama}} \quad (2.1)$$

Si calcola:

- $\omega_{min} = \frac{V_t}{r} = \frac{50 \text{ m s}^{-1}}{0.15 \text{ m}} = 334 \text{ rad s}^{-1}$;
- $\omega_{max} = \frac{V_t}{r} = \frac{75}{0.15} = 500 \text{ rad s}^{-1}$.

Per una lettura più comoda si converte la ω in rpm mediante la seguente formula:

$$n = \frac{60\omega}{2\pi} \quad (2.2)$$

Quindi:

$$n_{min} = \frac{334 \cdot 60}{2\pi} \approx 3200 \text{ rpm};$$

$$n_{max} = \frac{500 \cdot 60}{2\pi} \approx 4800 \text{ rpm}.$$

Conoscendo questi dati, con l'intenzione di utilizzare una trasmissione a cinghie piate con un rapporto di trasmissione $i = 0.5$ (che moltiplica la velocità della puleggia operatrice del doppio rispetto a quella motrice) si può restringere il campo di ricerca del motore monofase fino a 2500 rpm massimi che, grazie alla trasmissione, potrà raggiungere i 5000 rpm.

2.2.2 Calcolo della forza di taglio

La taglia del tubo da tagliare, nel nostro caso, ha le seguenti dimensioni:

$$D = 104 \text{ mm}$$

$$d = 100 \text{ mm}$$

$$A = 641 \text{ mm}^2$$

Utilizzando il carico di rottura del materiale più resistente (PVC-C) con $\sigma = 60 \text{ MPa}$, si calcola la sua τ , sapendo che $\tau = \frac{\sigma}{\sqrt{3}}$ e di conseguenza $\tau = k \frac{F}{A}$ dove per sezioni circolari $k = 4/3$. Rovesciando la formula si può calcolare la F necessaria per tagliare il tubo:

$$\tau = \frac{60}{\sqrt{3}} = 35 \text{ MPa} \quad (2.3)$$

$$F = \frac{A\tau}{k} = 16.7 \text{ kN} \quad (2.4)$$

2.2.3 Calcolo della potenza del motore

Per il calcolo della potenza del motore, dopo aver trovato il numero di giri necessari, è stato utilizzato il metodo sperimentale. Grazie alla presenza di una sega circolare (da falegnameria) e il tubo da lavorare, dopo varie prove e tagli siamo giunti alla conclusione di adottare un motore con una potenza di 1.5 kW. La possibilità di provare il taglio ci ha permesso di stabilire le seguenti considerazioni:

- Le velocità di taglio, calcolate in precedenza sono state del tutto coerenti con le prove effettuate.
- La velocità di avanzamento, invece, ha soddisfatto le aspettative con un andamento lento e costante, senza imprimere troppa forza (circa 50 N) tra il tubo e la lama per evitare che quest'ultima si bloccasse.

2.2.4 Dimensionamento della trasmissione

Le cinghie sono organi flessibili impiegati nella trasmissione di potenza da una puleggia motrice a una condotta, montate su alberi disposti ad una certa distanza (interasse). Le cinghie possono appartenere a due gruppi distinti: cinghie di tipo convenzionale e cinghie sincrone. Le cinghie di tipo convenzionale trasmettono il moto sfruttando l'aderenza (attrito) con il profilo esterno della puleggia. In questo caso possono verificarsi scorrimenti fra la cinghia e la puleggia durante il moto. Le cinghie sincrone trasmettono il moto tramite l'ingranamento dei denti della cinghia con quelli della puleggia. Non sono soggette a scorrimento e necessitano di un precarico molto modesto. Industrialmente sono usate cinghie piatte, trapezoidali e sincrone. Per dimensionare una trasmissione partiamo dai dati del motore, forniti dal datasheet:

Dati motore	
Potenza	1.5 kW
Giri motore	2500 rpm
Diametro albero	19 mm

Successivamente, una volta trovato il numero di giri che vogliamo sviluppare sull'operatrice ($n = 5000$ rpm), calcolo il rapporto di trasmissione (i) e l'interasse (I) tra i due elementi rotanti in base alla dimensione delle mie pulegge, che assumo a piacere dalla serie di Renard R20 a partire da un diametro minimo di 40 mm.

Assumiamo il diametro della puleggia motrice $D_m = 100$ mm e di conseguenza (per rispettare il rapporto di trasmissione e la serie R20) $D_o = 50$ mm per il diametro dell'operatrice. Questa scelta è giustificata dagli ingombri in fase di modellazione 3D per tagliare correttamente il tubo senza urti. Il calcolo dell'interasse dipende dal carico, nel nostro caso $I \geq 3 \cdot D_m$ per trasmissioni a carico variabile. Una volta rispettata questa condizione si può scegliere a piacimento la lunghezza in base alle esigenze (ingombri, etc...)

Dati Pulegge		Formula
Numero giri motrice (n_m)	2500 rpm	Fornito dal motore
Numero giri operatrice (n_o)	5000 rpm	$\frac{n_m}{i}$
Rapporto di trasmissione (i)	0.5	$\frac{n_m}{n_o}$
Diametro puleggia motrice (D_m)	100 mm	Scelta personale rispettando R20
Diametro puleggia operatrice (D_o)	50 mm	$D_o = D_m \cdot i$
Interasse (I)	300 mm	$I = 3 \cdot D_m$

Durante la progettazione di una trasmissione è importante consultare le tabelle unificate che forniscono dati di correzione in base ai materiali utilizzati per la realizzazione e il servizio che devono compiere. Dati provenienti dalle tabelle del manuale di Meccanica:

Dati tabelle		Provenienza dati
F_s	1.2	Tab. I.101 Fattore di servizio
F_t	1	Tab. I.102 Fattore correttivo
F_α	1	Tab. I.108 Coeff. correzione
P_1	0.7	Tab. I.106 P specifica (cinghia gomma-tessile)

Calcolo della potenza corretta

$$P_c = P \cdot F_s \cdot F_t \quad (2.5)$$

Dove P è la potenza erogata dal motore, $F_s = 1.2$ da tabella per macchine utensili che lavorano dalle 8 alle 10 ore al giorno e $F_t = 1$ da tabella per condizioni normali.

$$P_c = 1.5 \text{ kW} \cdot 1.2 \cdot 1 = 1.8 \text{ kW} \quad (2.6)$$

2.2.5 Calcolo della velocità periferica della puleggia minore

$$V = \frac{\pi D_{min} n_{min}}{60\,000} \quad (2.7)$$

Dove $D_{min} = D_o$ e $n_{min} = n_o$.

$$V = \frac{\pi \cdot 50 \cdot 5000}{60\,000} = 13.1 \text{ m s}^{-1} \quad (2.8)$$

Calcolo della lunghezza della cinghia

$$l = 2I + \frac{\pi(D_m + D_o)}{2} + \frac{(D_o - D_m)^2}{4I} = 838 \text{ mm} \approx 840 \text{ mm} \quad (2.9)$$

Si approssima a 840 mm per lasciare un po' di gioco prima di tendere o allentare la cinghia.

Calcolo dell'angolo di avvolgimento α

$$\alpha = 180^\circ - 57^\circ \cdot \frac{D_m - D_o}{I} = 190^\circ \quad (2.10)$$

Il valore servirà per trovare F_α da tabella.

Calcolo della larghezza della cinghia a

I principali materiali utilizzati per la costruzione di cinghie piatte sono:

- cuoio;
- struttura composita di laminati plastici e gomme o resine;
- struttura composita di gomme e tessuti;
- cotone, balata e altre fibre tessili vegetali;
- gomma o materiali plastici (per alte velocità).

Da questa informazione si può calcolare la larghezza della cinghia ricavando il valore P_1 in base al materiale scelto, nel nostro caso gomma-tessile pesante in cotone a 4 tele, data la seguente formula:

$$a = \frac{P_c}{P_1 F_\alpha} = \frac{1.8 \text{ cm}}{0.7 \text{ cm} \cdot 1} = 2.57 \text{ cm} \approx 26 \text{ mm} \quad (2.11)$$

La larghezza della cinghia è stata scelta in riferimento ai valori dati dalla serie R40, a partire dal valore minimo di 16 mm.

Calcolo dello spessore della cinghia s

Dalla seguente tabella ricavo lo spessore s della cinghia in base al materiale scelto in precedenza. In questo caso 6 mm.

Campo applicazione cinghie piatte

Tipo di cinghia e materiale	Costruzione	Potenza massima kW	Velocità massima m/s	Spessori medi approssimati s mm	Diametri minimi di puleggia app. mm	Campo di temperatura C
Cuoio	semplice	750	40	4 ÷ 6	15 ÷ 20 s	-20 +50
	doppia	500	30	7 ÷ 9	15 ÷ 20 s	-20 +50
	tripla	1500	25	11 ÷ 14	30 ÷ 45 s	-20 +50
Componente: nylon o poliestere	lamina in gomma o plastici	3500	40	0,5 ÷ 6	30 ÷ 60 s	-30 +60
Composita: gomma e tessuti	Tessuti medi	750	40	6 ÷ 20	15 ÷ 30 s	-30 +60
	Tessuti pesanti	1500	40	6 ÷ 20	15 ÷ 30 s	-30 +60
Cotone, balata e altre fibre tessili	Multistrato o unico strato	1500	30	4 ÷ 20	20 ÷ 30 s	-20 +40
In gomma o plastici per alte velocità	Unico strato	50	70	0,5 ÷ 2	15 ÷ 30 s	-20 +80

Figura 2.3: Parametri consigliati per vari tipi di cinghie

Calcolo della larghezza della puleggia b

$$b = a1.15 \approx 30 \text{ mm} \quad (2.12)$$

Calcolo della bombatura della puleggia h

Le pulegge per cinghie piatte vengono costruite con profilo esterno leggermente bombato per ottenere la stabilità della cinghia sulla corona. I materiali più indicati sono l'alluminio, per il peso contenuto, o la ghisa per piccole serie.

$$h = b0.006 = 0.186 \text{ mm} \quad (2.13)$$

2.3 Schema elettropneumatico

2.3.1 Scelta dei componenti

Lo schema elettropneumatico è stato realizzato con i seguenti componenti:

Compressore Si occupa di accumulare e innalzare la pressione dell'aria all'interno del suo serbatoio per alimentare il circuito pneumatico;

Gruppo trattamento aria Composta da filtro di scarico manuale, un riduttore di pressione variabile, un manometro e una valvola di sicurezza (quasi sempre inclusa nei gruppi trattamento aria industriali per togliere aria al sistema in caso di emergenza);

Pistone pinza mobile 1M1, pistone pinza fissa 2M1, pistone espulsore 4M1
Composti dalla stessa logica, tramite l'uso di:

- 1 pistone a singolo effetto con ritorno a molla con le seguenti caratteristiche: corsa di 50 mm, diametro pistone 16 mm e forza di spinta teorica a 6 bar di $F = 90 \text{ bar} \div 120 \text{ bar}$ (dove la sola andata è utile per svolgere il lavoro richiesto di bloccaggio ed espulsione);
- 1 strozzatore che si utilizza solamente uno strozzatore senza una o più valvole di non ritorno perché la regolazione della portata mediante strozzatura su ambedue i lati viene spesso applicata in cilindri a semplice effetto o in cilindri di piccole dimensioni che svolgono lavori "semplici". Quest'aspetto inoltre va a vantaggio dei costi di realizzazione dell'impianto e della semplicità d'applicazione;
- 1 valvola 3/2 normalmente chiusa comandata elettricamente nella fase di spinta e con ritorno a molla;

Pistone sollevamento lama circolare 3MX Composto da:

- 1 pistone a doppio effetto con le seguenti caratteristiche: corsa 100 mm, diametro del pistone 32 mm e forza di spinta teorica a 6 bar di $F = 415 \text{ N} \div 483 \text{ N}$, dati necessari a soddisfare il corretto movimento della lama verso l'alto, considerando che il peso che deve movimentare è

composto dal telaietto con relativa trasmissione (motore, cinghia, pulegge etc) che risulta essere circa 25 kg, di conseguenza 250 N con un'ulteriore aggiunta di 50 N per la fase di avanzamento come descritto nei calcoli. In questo modo, con una determinata forza richiesta ($F = 300 \text{ N}$) è stato scelto un pistone leggermente sovradimensionato per tenere conto delle possibili piccole perdite di forza dovute agli attriti dei perni a forcella;

- 2 strozzatori in scarico per ottenere una buona regolazione della portata, entro certi limiti indipendenti dal carico applicato allo stelo, poiché viene guidato dal cuscinio d'aria che si forma nella camera di scarico; agendo sulle viti di regolazione degli strozzatori si possono tarare separatamente le velocità delle due corse.
- 1 valvola 5/3 a centri chiusi comandata elettricamente con ritorno a molla in ambedue i versi di commutazione per comandare il pistone a doppio effetto. La scelta di questa valvola è dovuta alla necessità di mantenere in posizione la lama (senza spostarsi in punti indesiderate, evitando danni all'oggetto da tagliare) in caso di arresto voluto o improvviso.

Finecorsa dei pistoni Festo prevede l'utilizzo di sensori magnetici che determinano la corsa dello stelo, montati direttamente sul cilindro.

2.3.2 Lista componenti

Componenti	Quantità
Pistone sing. effetto	3
Pistone doppio effetto	1
Elettrovalvola 3/2 nc con ritorno a molla	3
Elettrovalvola 5/3 centri chiusi con ritorno a molla	1
Strozzatori	5
Valvole di non ritorno	2
Gruppo trattamento aria	1
Compressore	1

- 2.4 Elettronica
- 2.5 Programmazione
- 2.6 Utilizzo della macchina
- 2.7 Sviluppi futuri
- 2.8 Crediti