

DISEGNO PROGETTAZIONE ORGANIZZAZIONE INDUSTRIALE

Sessione ordinaria 2013

L'albero di trasmissione rappresentato in figura trasmette una potenza $P = 25 \text{ kW}$ con una velocità di rotazione di 1500 giri/min.

L'albero, supportato da cuscinetti rigidi a sfere, riceve il moto da un motore elettrico attraverso un giunto elastico, e lo trasferisce mediante una puleggia ad un ventilatore (il ventilatore non è rappresentato in figura).

L'albero è in acciaio C40 UNI 7845. La puleggia a cinghie trapezoidali ha diametro primitivo 250 mm.

Durata di base cuscinetti $L_{10h} = 10000 \text{ h}$.

Le distanze giunto-supporti-puleggia, con riferimento ai piani mediani di ciascun elemento, sono assegnate in figura.

Al candidato si chiede di:

- eseguire il progetto strutturale dell'albero considerando i cambiamenti di diametro per l'alloggiamento dei cuscinetti, il calettamento del giunto e della puleggia;
- eseguire il disegno di fabbricazione dell'albero, completo di quote, tolleranze e gradi di rugosità superficiale;
- definire la sequenza delle operazioni necessarie per la lavorazione dell'albero, avendo fissato come grezzo di partenza una barra di opportuno diametro;

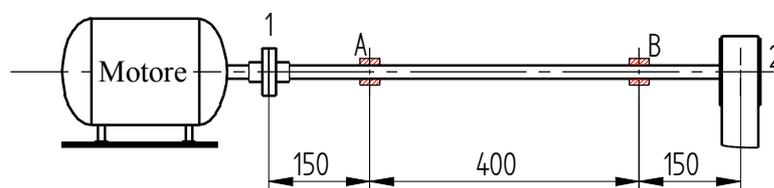
Relativamente alla tornitura cilindrica di sgrossatura su tutta la lunghezza dell'albero, assunti i seguenti dati:

- costo aziendale del posto di lavoro: $M = 20 \text{ €/h}$;
- costo utensile: $C_{ut} = 5 \text{ €}$;
- tempo cambio utensile $T_{cu} = 1 \text{ min}$;
- tempo montaggio del pezzo $T_p = 2 \text{ min}$;
- con utensile in carburo, profondità di passata $p = 5 \text{ mm}$, avanzamento $a = 0.3 \text{ mm/giro}$,

valga la relazione (legge di Taylor): $V_t \cdot T_n = C$, con $C = 366$ ed $n = 0.25$,

calcolare:

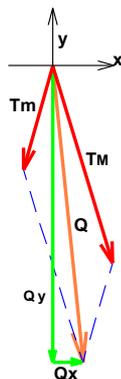
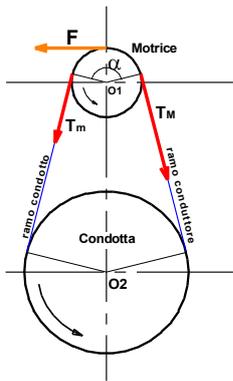
- la velocità di taglio di minimo costo e la corrispondente durata dell'utensile;
- il tempo macchina ed il costo dell'operazione, corrispondenti alla velocità di taglio ed ai parametri di taglio sopraddetti



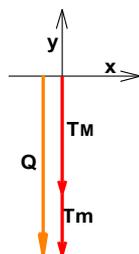
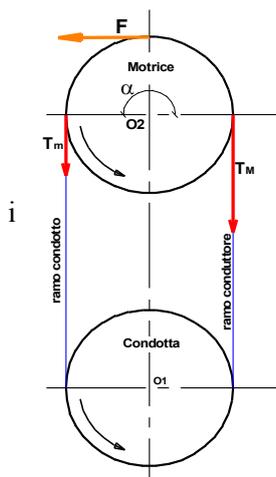
Premessa: i calcoli saranno fatti facendo riferimento alla normativa e al “Manuale di meccanica “ ed. Hoepli

Ipotesi di soluzione

Analizzando i dati forniti dalla traccia si rileva che gli elementi forniti sulla trasmissione a cinghia sono limitati, gli unici elementi forniti sono: la potenza, la velocità angolare ed il diametro della puleggia motrice. Il ventilatore potrebbe andare a velocità uguale, maggiore , minore di 1500 giri/min.



Ipotizzando un collegamento con riduzione di velocità sarà necessario scegliere il rapporto di trasmissione e l'interasse tra le due pulegge.
 In questo caso la forza Q, somma dei due tiri, motore T_M e condotto T_m , avrà una retta d'azione che sicuramente non coincide con l'asse x (i due tiri hanno una diversa intensità) per cui sull'albero da dimensionare agiranno le componenti Q_x e Q_y di Q, oltre al momento torcente.
 Definendo z come terza dimensione si dovranno analizzare i carichi agenti nei piani zx e zy, e, successivamente, effettuare la composizione dei risultati ottenuti.



Per semplificare i calcoli ed effettuare minori ipotesi si decide di considerare una trasmissione senza riduzione di velocità (i due diametri sono uguali), in tal modo non è necessario, per calcolare tiri, assegnare un interasse.
 I tiri T_M T_m saranno paralleli tra loro, e con l'asse delle x, e la Q, loro somma, avrà come retta d'azione anch'essa l'asse delle x.
 Il calcolo della azioni agenti sarà fatto solo nel piano zy.
 L'angolo di avvolgimento sarà $\alpha = \pi$ radianti.

Si ipotizza un coefficiente di attrito $f = 0,3$.

Per tenere conto di eventuali effetti dinamici si considera un fattore di servizio $F_s = 1,2$

La potenza corretta sarà:

$$P_c = F_s \cdot P = 1,2 \cdot 25 = 30 \text{ [kW]} = 30\,000 \text{ [W]}$$

la velocità angolare

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1500}{60} = 157,08 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

il momento torcente agente sull'albero.

$$M_t = \frac{P_c}{\omega} = \frac{30\,000}{157,8} = 190,99 \text{ [Nm]} = 190\,986 \text{ [Nmm]}$$

La forza tangenziale agente sulla puleggia varrà

$$F_t = \frac{2 \cdot M_t}{D_p} = \frac{2 \cdot 190986}{250} = 1527,89 [N]$$

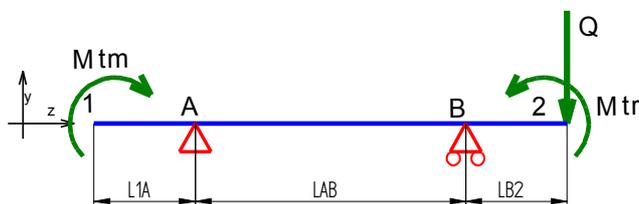
ed i due tiri, motore e condotto

$$T_M = F_t \frac{e^{f\alpha}}{e^{f\alpha} - 1} = 1527,89 \frac{e^{0,35t\pi}}{e^{0,35\pi} - 1} = 2290,75 [N]$$

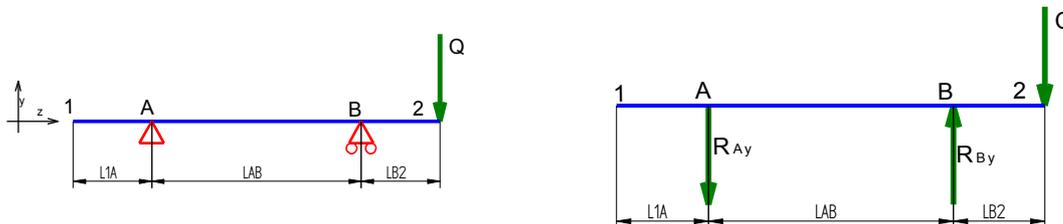
$$T_m = F_t \frac{1}{e^{f\alpha} - 1} = 1527,89 \frac{1}{e^{0,35\pi} - 1} = 762,86 [N]$$

Sull'albero agisce, oltre al momento torcente, nella sezione 2 un forza Q pari alla somma dei due tiri.

$$Q = T_M + T_m = 2290,75 + 762,86 = 3053,61 [N]$$



Calcolo reazioni vincolari

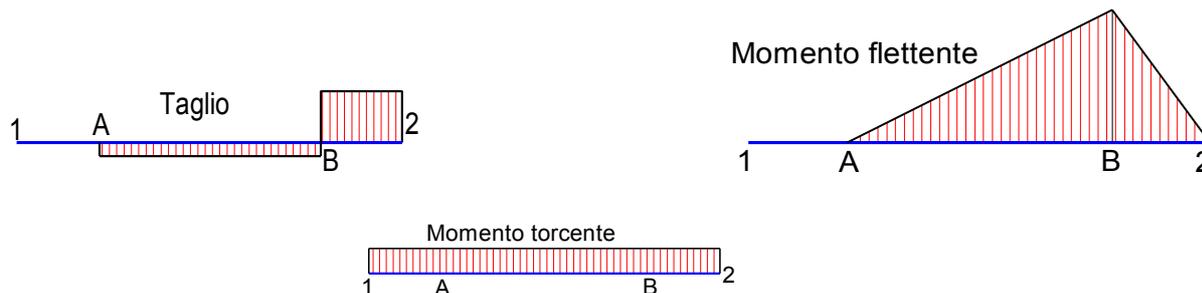


Dopo avere schematizzato il sistema e disegnato il corpo libero associato si possono ricavare le reazioni vincolari \$R_{Ay}\$ e \$R_{By}\$.

$$R_{By} = \frac{Q \cdot L_{A2}}{L_{AB}} = \frac{3053,61 \cdot 550}{400} = 4198,72 [N]$$

$$R_{Ay} = R_{By} - Q = 4198,72 - 3053,61 = 1145,10 [N]$$

ed in seguito si disegnano il diagramma del taglio, del momento flettente e del momento torcente



Dall'analisi dei diagrammi si ricava che la sezione maggiormente sollecitata è la B dove è presente un momento flettente pari a:

$$M_{Bf} = Q * L_{B2} = 3053,61 \cdot 150 = 458041 \text{ [N} \cdot \text{mm]}$$

Le sezioni 1 e 2 sono sottoposte all'azione del solo momento torcente.

Si calcoleranno i diametri minimi delle sezioni B, 1 e 2.

È necessario definire prima le caratteristiche del materiale, la traccia da un acciaio C40 bonificato che ha: $R_m = 640 \text{ N/mm}^2$ e $R_s = 420 \text{ N/mm}^2$, assegnando un coefficiente di sicurezza $\gamma = 3$ si calcolano le tensioni ammissibili:

$$\sigma_{am} = \frac{R_s}{\gamma} = \frac{420}{3} = 140 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] \quad \text{e} \quad \tau_{am} = \frac{\sigma_{am}}{\sqrt{3}} = \frac{120}{\sqrt{3}} = 80,83 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

Il diametro della sezione B sarà:

$$D_B \geq \sqrt[3]{\frac{16}{\pi \cdot \sigma_{am}} \cdot \sqrt{4 \cdot M_{Bf}^2 + 3 \cdot M_t^2}} = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi \cdot 140} \cdot \sqrt{4 \cdot (458042)^2 + 3 \cdot 190986^2}} = 32,85 \text{ [mm]}$$

Nelle sezioni 1, 2, agisce solo il momento torcente per cui facilmente si può ricavare il diametro minimo:

$$D_1 \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot \tau_{am}}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 190986}{\pi \cdot 80,83}} = 19,08 \text{ [mm]}$$

Trascurando l'effetto del taglio nella sezione A D_1 è anche il diametro minimo per questa sezione.

Nella scelta dei diametri effettivi si devono fare alcune considerazioni:

Nelle sezioni di estremità sono calettate rispettivamente un giunto ed una puleggia, per trasmettere i momenti torcenti si utilizzerà una linguetta che comporta, per questi diametri, lo scavo di una cava profonda circa 4 mm, per cui i diametri delle sezioni 1 e 2 devono essere maggiori di 24 mm.

Nelle sezioni A e B sono calettati due cuscinetti che dovranno durare almeno 10 000 ore, considerando la frequenza di rotazione n si ha:

$$L_{10} = \frac{60 \cdot n \cdot h}{10^6} = \frac{60 \cdot 1500 \cdot 10000}{10^6} = 900 \text{ [milioni di cicli]}$$

Dalla relazione generale sulla durata dei cuscinetti

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

Dove P è il carico applicato, C è il carico dinamico e p vale 3 per i cuscinetti a sfera e 10/3 per quelli a rulli, si ottiene:

$$C = P \cdot (L_{10})^{\frac{1}{p}}$$

che permette di ricavare il Carico dinamico del cuscinetto da utilizzare.

Considerando cuscinetti a sfera si ha

sezione B

$$C = R_{By} \cdot (L_{10})^{1/p} = 4198,72 \cdot 900^{\frac{1}{3}} = 40538,15 \text{ [N]}$$

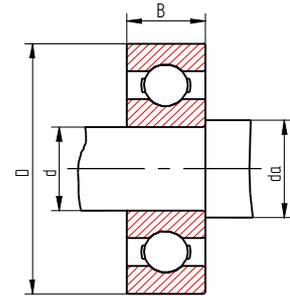
sezione A

$$C = R_{Ay} \cdot (L_{10})^{1/p} = 1145,10 \cdot 900^{\frac{1}{3}} = 11055,86 \text{ [N]}$$

Dai due carichi dinamici si sceglieranno i cuscinetti da utilizzare ;

in A il cuscinetto SKF 6207 che ha $C=25900 \text{ N}$, $d=35 \text{ mm}$, $D=72 \text{ mm}$,
 $B=17 \text{ mm}$, $da_{\min}=41,5 \text{ mm}$,

in B un cuscinetto SKF 6407 che ha $C=55300 \text{ N}$, $d=35 \text{ mm}$, $D=100 \text{ mm}$,
 $B=25 \text{ mm}$, $da_{\min}=43 \text{ mm}$,



Tenendo in conto le indicazioni su citate per la barra iniziale si sceglie un diametro di partenza di 45 mm che sarà portato a 44 mm nella zona centrale.

Per il calettamento dei due cuscinetti sarà necessaria una diminuzione di diametro, per cui si sceglie per i tratti 1A e 2B un diametro di 31 mm, infine i diametri delle sezioni 1 e 2 saranno entrambi di 27 mm.

Per individuare le lunghezze da assegnare è necessario scegliere il tipo di cinghia da utilizzare ed il loro numero, e le dimensioni del giunto rigido calettato.

Scelta cinghia

Dalla potenza corretta $P_c = 30 \text{ kW}$ e dalla frequenza di rotazione $n = 1500 \text{ giri/min}$ si ricava che la cinghia da utilizzare è quella con sezione B.

La potenza base di questo tipo di cinghia si ottiene dalla relazione fornita dalle norme UNI:

$$P_b = \left[\left(C_1 \cdot v^{-0,09} - \frac{C_2}{d_e} - C_3 \cdot 10^{-4} \cdot v^2 \right) \cdot v \right] \cdot 0,7355 \text{ [kW]}$$

dove $d_e = d_p \cdot i$ e quindi $d_e = 250 \text{ mm}$ mentre $v = \omega \cdot r = 157,08 \cdot \frac{0,250}{2} = 19,64 \left[\frac{m}{s} \right]$

sostituendo si ha:

$$P_b = \left[\left(1,08 \cdot 19,64^{-0,09} - \frac{69,80}{250} - 1,78 \cdot 10^{-4} \cdot 19,64^2 \right) \cdot 19,64 \right] \cdot 0,7355 = 6,91 \text{ [kW]}$$

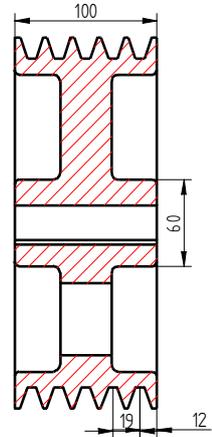
La potenza effettiva di una singola cinghia si ricava dalla relazione

$$P_{1e} = P_1 \cdot F_\alpha \cdot F_e = 6,91 \cdot 1 \cdot 1 = 6,91 \text{ [kW]}$$

Numero di cinghie necessarie $z = \frac{P_c}{P_{1e}} = \frac{30}{6,91} = 4,35$

Saranno necessarie $z=5$ cinghie

Le dimensioni della puleggia sono ricavabili dalla figura riportata a lato per cui la sede del mozzo dovrà avere una lunghezza di 100 mm.



Dalle tabelle dei giunti rigidi si ricava un semigiunto avente una lunghezza di 60 mm.

L'albero trovato è riportato nella figura che segue.

