



*Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca*  
**M296 – ESAME DI STATO DI ISTITUTO TECNICO INDUSTRIALE**

CORSO DI ORDINAMENTO

**Indirizzo: MECCANICA**

**Tema di: DISEGNO, PROGETTAZIONE ED ORGANIZZAZIONE INDUSTRIALE**  
**(Testo valevole per i corsi di ordinamento e per i corsi sperimentali del Progetto "SIRIO")**

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):  $V_t T^n = C$ , con  $C = 366$  e  $n = 0.25$ ,



*Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca*  
**M296 – ESAME DI STATO DI ISTITUTO TECNICO INDUSTRIALE**

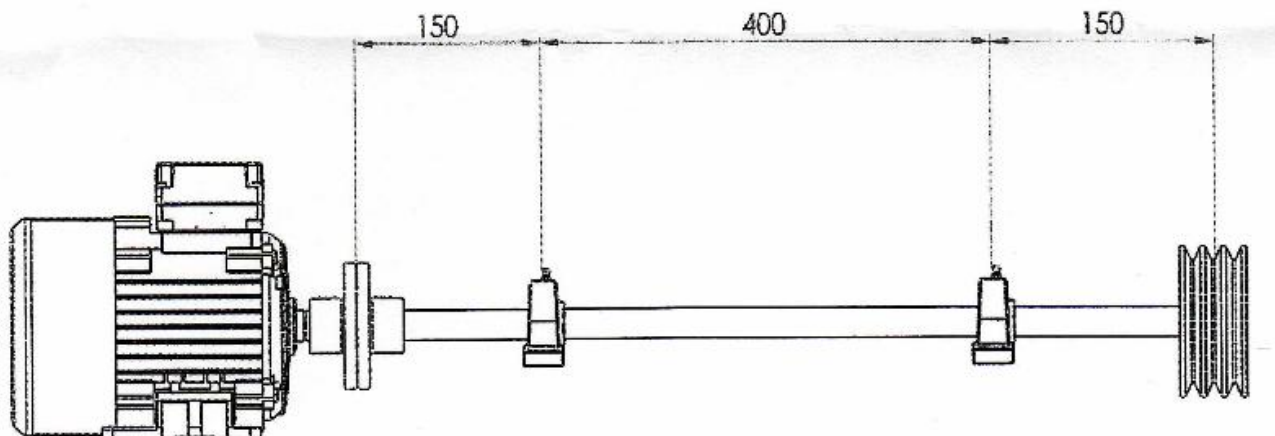
**CORSO DI ORDINAMENTO**

**Indirizzo: MECCANICA**

**Tema di: DISEGNO, PROGETTAZIONE ED ORGANIZZAZIONE INDUSTRIALE**  
**(Testo valevole per i corsi di ordinamento e per i corsi sperimentali del Progetto "SIRIO")**

calcolare:

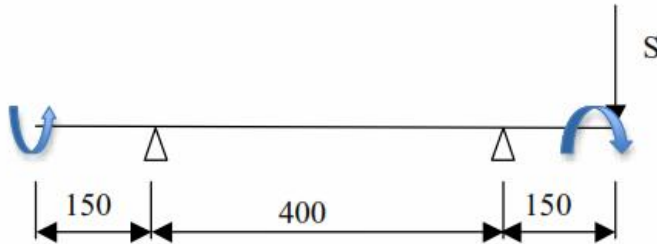
- la velocità di taglio di minimo costo e la corrispondente durata dell'utensile;
- il tempo macchina ed il costo dell'operazione, corrispondenti alla velocità di taglio ed ai parametri di taglio sopradetti.



## Dimensionamento dell'albero

L'albero rappresentato nell'allegato può essere assimilato ad una trave su due appoggi.

Esso risulta essere soggetto a sollecitazione di torsione, di taglio e di flessione secondo lo schema seguente:



Si calcola il momento torcente  $M_t$  e la spinta sull'albero  $S$ .

Data la potenza da trasmettere e il numero di giri, il momento torcente è dato da:

$$M_t = P/\omega$$

$$\text{dove } \omega = 2\pi n/60 = 2\pi \times 1500/60 = 157 \text{ rad/s.}$$

Essendo  $P = 25 \text{ KW}$ , risulta:

$$M_t = 159.24 \text{ Nm.}$$

La spinta sull'albero  $S$  viene calcolata nel seguente modo.

Si determina la forza tangenziale  $F_t$ :

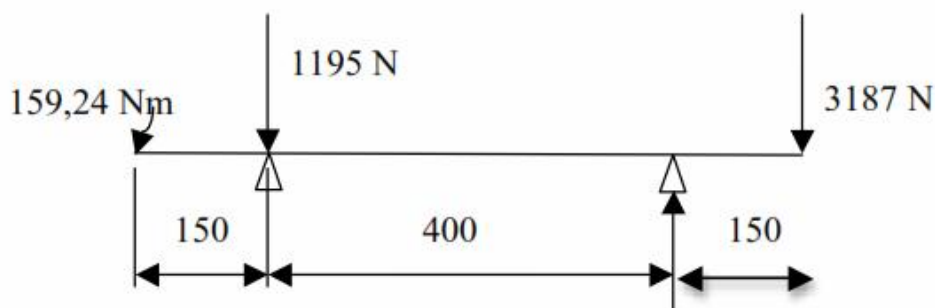
$$F_t = M_t/(d/2) = 1274 \text{ N}$$

essendo  $d = 250 \text{ mm}$  il diametro della puleggia.

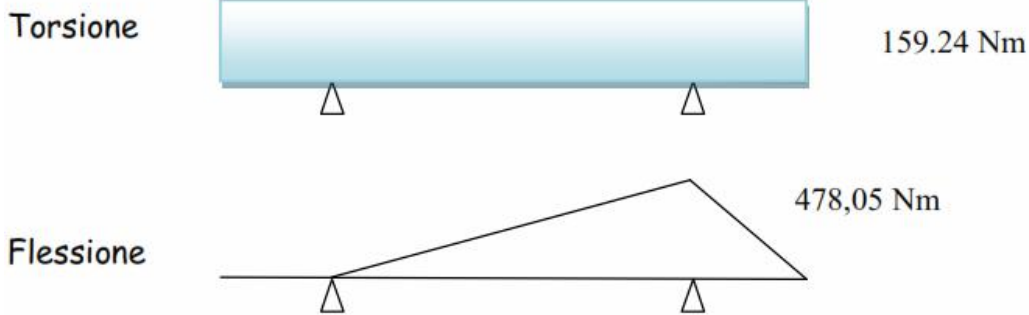
Calcolo poi la spinta  $S$  moltiplicando la forza  $F_t$  per un coefficiente pari a 2,5:

$$S = 2,5 \times F_t = 3187 \text{ N}$$

Si determinano poi le reazioni vincolari come da schema seguente:



Si tracciano quindi i diagrammi di sollecitazione a torsione e a flessione, trascurando il taglio:



Per calcolare le dimensioni dell'estremità dell'albero, lato puleggia, bisogna dimensionare la trasmissione a cinghie.

Si ipotizza di utilizzare un ventilatore con una velocità di rotazione pari a 500 g/min, utilizzando un interasse di 800 mm.

Sintetizzando i vari passaggi, si ricava la potenza di calcolo moltiplicando la potenza da trasmettere per un fattore di servizio  $F_s$  pari a 1,2: questo porta a scegliere delle cinghie di tipo B.

Successivamente si calcola il diametro equivalente della puleggia, la velocità periferica e la potenza teorica trasmissibile da una cinghia; si corregge quest'ultima con gli opportuni coefficienti correttivi e si arriva a determinare la potenza effettivamente trasmissibile, pari a 7,2 kW.

Occorrono perciò 4 cinghie trapezoidali.

La sede di calettamento della puleggia avrà perciò una lunghezza minima pari a 80 mm.

Si passa ora a dimensionare i diametri dell'albero in corrispondenza del giunto, dei cuscinetti e della puleggia.

In corrispondenza del giunto e della puleggia l'albero è sollecitato solo a torsione .

Il materiale dell'albero è un acciaio C40 UNi7845, con  $R_m = 800$  MPa.

Assumendo un grado di sicurezza pari a 10, la  $\sigma_{amm}$  risulta pari a 80 MPa e la  $\tau_{ammf}$  pari a 46 MPa.

Il diametro minimo dell'albero in corrispondenza del giunto e della puleggia è dunque:

$$d_{min} = \sqrt[3]{16 M_t / (\pi * \tau_{amm})} = 26,03 \text{ mm}$$

La linguetta da utilizzare è una linguetta 8x7 UNI 6604, la cava ha una profondità di 4 mm: di conseguenza si assume per l'albero un diametro pari a 30 mm.

Il diametro dell'albero nella sezione più sollecitata, in corrispondenza del cuscinetto di destra si calcola a flessotorsione con la formula:

$$d_{min} = \sqrt[3]{32 M_{fi} / (\pi * \sigma_{amm})} = 40 \text{ mm}$$

essendo  $M_{fi} = \sqrt{(M_f^2 + 0,75 M_f^2)} = 497256 \text{ Nmm}$  il momento flettente ideale.

## **Scelta dei cuscinetti**

La scelta di proporzionamento di un cuscinetto si effettua tenendo conto della durata prevista dalla macchina che lo monta o del tempo previsto tra due revisioni successive della macchina stessa.

La relazione che lega la durata di base o teorica e il coefficiente di carico dinamico è espressa dalla formula:

$L_{10} = (C/P)^p$  dove:

$L_{10}$  = durata di base espressa in milioni di giri

C = carico dinamico, definito come il carico in N agente sul cuscinetto a cui corrisponde la durata di 1 milione di giri (è riportato nel catalogo dei cuscinetti)

P = carico dinamico equivalente (tiene conto del carico radiale ed assiale, nel caso in oggetto corrisponde al solo carico radiale)

p = esponente della formula di durata, vale 3 per cuscinetti a sfere e 10/3 per cuscinetti a rulli

Il legame fra  $L_{10}$  e le ore di funzionamento ( $L_{10h}$ ) è dato da:

$$L_{10} = 60 \cdot n \cdot L_{10h} / 10^6 = 60 \cdot 1500 \cdot 10000 / 1000000 = 900.$$

Per il calcolo del diametro d dell'albero e della lunghezza B della sede in corrispondenza dei cuscinetti, calcolata la durata  $L_{10}$  pari a 900 milioni di cicli, si determina quindi il carico dinamico equivalente C.

Risulta:

- Cuscinetto di sinistra: C1 = 11538 N
- Cuscinetto di destra: C2 = 42289 N

Dalle tabelle del catalogo SKF:

- Cuscinetto di sinistra: d = 35 mm, B = 17 mm
- Cuscinetto di destra: d = 45 mm, B = 29 mm

## **Ciclo di lavorazione**

Lo schema del ciclo di lavorazione è il seguente:

- Lotto di produzione 10 pezzi
- Grezzo di lavorazione: barra trafilata a fredda bonificata diametro 55 mm, materiale C40 UNI 7845, lunghezza 6 m, lunghezza spezzoni 760 mm, totale 2 barre
- Macchine utensili: segatrice, tornio a controllo numerico, fresatrice, rettificatrice
- Attrezzatura: attrezzatura d'officina.
- Utensili: a placchetta (sgrossatore, finitore, per gole, filettatore), fresa a disco, mola
- Strumenti di controllo: calibro centesimale.
- Sequenza operazioni di produzione
  - 1) Taglio spezzoni alla segatrice
  - 2) Montaggio a sbalzo su piattaforma autocentrante del tornio con sporgenza di 220 mm
  - 3) Sfacciatura
  - 4) Ruotare pezzo
  - 5) Seconda sfacciatura
  - 6) Montaggio pezzo su trascinatori per lavorazione di tornitura cilindrica
  - 7) Tornitura cilindrica a gradini lungo il profilo
  - 8) Controllo dimensionale
  - 9) Montaggio sulla fresatrice ed esecuzione sedi linguetta
  - 10) Controllo
  - 11) Rettifica sedi cuscinetto
  - 12) Controllo

## **Calcolo velocità di minimo costo**

Per il calcolo della velocità di minimo costo devono essere individuati tutti i costi che concorrono a determinare quella operazione.

Considerando che la produzione si articola in più operazioni è necessario individuare ognuna di queste e determinarne il costo di ciascuna.

Si ha così:

Costo preparazione macchina [ $C_p$ ]

Costo macchina [ $C_m$ ]

Costo cambio utensile [ $C_{cut}$ ]

Costo utensile [ $C_{ut}$ ]

la loro somma determina il costo di una operazione [ $C_o$ ]

Riferendo il costo dell'operazione al volume di truciolo asportato si determina quindi il costo per unità di volume [ $C_v$ ].

Volendo individuare la velocità di minimo costo è necessario esprimere il tempo macchina in funzione della velocità di taglio e quindi una volta scritta la funzione che lega il costo per unità di volume alla velocità di taglio e tenendo conto della relazione di Taylor che lega la durata dell'utensile e la velocità di taglio con la legge  $v_t T^n = C$  dove C ed n sono coefficienti che dipendono dalle variabili di processo, calcolare la derivata prima ed eguagliarla a zero. [manuale di Meccanica HOEPLI]

con i dati del Tema:

$M = 20 \text{ €/h} = 0.33 \text{ €/min}$ ;  $p = 5 \text{ mm}$ ;  $a = 0.3 \text{ mm/giro}$ ;  $C_{ut} = 5$ ;  $T_{cu} = 1 \text{ min}$ ;  $T_p = 2 \text{ min}$ ;  $C = 366$ ;  $n = 0.25$

$A_3 = M \times T_{cu} + C_{ut} / 1000 \times p \times a = 0.0034$

velocità di taglio  $v_t = C [A_2 / A_3 \times 1 / (1/n - 1)]^n = 140 \text{ m/min}$

### **Durata dell'utensile**

Con la velocità di minimo costo si determina con la legge di Taylor la durata dell'utensile.

$T = (C/v_t)^{1/n} = 46.7 \text{ min}$

### **Tempo macchina**

Il tempo macchina dipende dalla lunghezza del pezzo + un'extracorsa dell'utensile, e dalla velocità di avanzamento dell'utensile  $V_a = n \times a$

Il numero di giri del mandrino data una certa velocità di taglio dipende dal diametro del pezzo da lavorare

$n = v_t \times 1000 / \pi \times d$

con un diametro dell'albero grezzo 55 mm ed una velocità di taglio di 140 m/min si ha un numero di giri di 810 giri/min.

Pertanto con un albero da lavorare lungo 750 mm e con un'extracorsa di 20 mm il tempo macchina è:

$T_m = L + e / v_a = 750 + 20 / 0.3 \times 810 = 3.17 \text{ min}$

### Costo operazione

Per determinare il costo dell'operazione occorre determinare un lotto di produzione.

Fissato in 10 pezzi il lotto di produzione si ha:

$$C_o = MxT_p/n_p + MxT_m + MxT_{cu}x T_m/T + C_u x T_m/T$$

$$C_o = 1.50 \text{ €/p}$$

