

## DISEGNO, PROGETTAZIONE ED ORGANIZZAZIONE INDUSTRIALE

Sessione ordinaria 2015

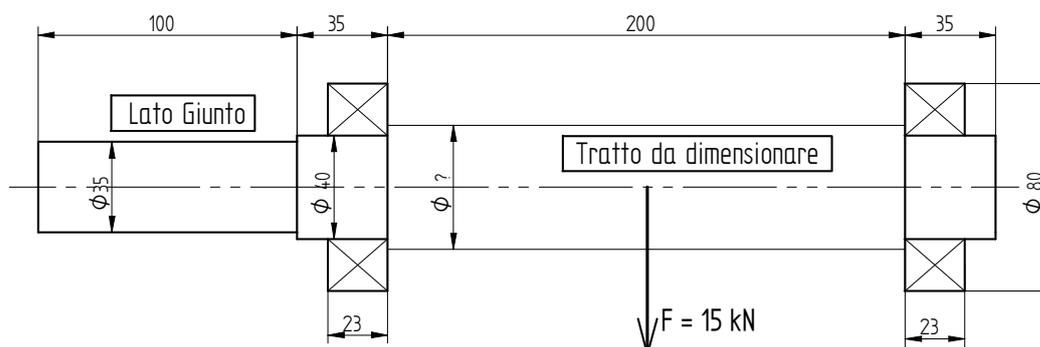
Il candidato svolga la prima parte della traccia e risponda a due tra i quesiti proposti nella seconda parte

**PRIMA PARTE**

Lo schema rappresentato in figura si riferisce ad un albero in acciaio C40 che trasmette, tramite un giunto rigido a dischi di ghisa, la potenza ad una puleggia su cui grava un carico complessivo di 15 kN; l'albero ruota a 500 giri/minuto e il carico risulta posizionato simmetricamente rispetto ai cuscinetti.

Scegliendo opportunamente i dati mancanti si chiede al candidato di:

- Completare il dimensionamento dell'albero nella parte in cui è posta la puleggia calcolando la potenza trasmessa dal giunto.
- Effettuare il disegno esecutivo dello stesso scegliendo i sistemi di calettamento per gli organi anzidetti (giunto e puleggia) nonché quelli di bloccaggio dei cuscinetti. Il disegno deve essere comprensivo di smussi, raccordi e quotatura completa, nonché delle tolleranze e gradi di lavorazione tenendo conto che è previsto un trattamento termico di indurimento superficiale.
- Effettuare il ciclo di lavorazione dell'albero indicando la successione delle fasi, gli utensili, gli attrezzi e strumenti di misura utilizzati.

**SECONDA PARTE**

- Effettuare il dimensionamento di massima del giunto a dischi eseguendone il ciclo di lavorazione.
- Scelti opportunamente gli utensili e gli altri dati mancanti determinare per l'esecuzione dell'albero:
  - le condizioni ottimali di taglio per le fasi di lavoro svolte al tornio;
  - la potenza massima necessaria considerando un rendimento pari a 0,8.
- Calcolare il fabbisogno ottimale di materiale per una produzione di 500 pezzi, valutandone gli scarti di lavorazione sapendo che gli alberi potranno essere ricavati da barre commerciali di 4 o 6 metri. Il candidato riferisca altresì con esempi concreti, che fanno riferimento ad esperienze da lui fatte direttamente o verificate nell'ambito di stage aziendali e/o percorsi di alternanza scuola-lavoro, quale è, a suo avviso, la differenza tra il criterio di organizzazione della produzione da lui riscontrato e quanto invece da lui appreso nel corso dello studio della materia (layout per posizione, per prodotto, ecc.).
- Tracciare il diagramma di carico (di Gantt) delle macchine utensili utilizzate conoscendo, per le lavorazioni proposte nella tabella riassuntiva allegata:
  - il numero di pezzi alla volta che ogni macchina riesce a lavorare;
  - il numero di lavorazioni previste;
  - il tempo macchina e i tempi passivi standard per ogni lavorazione

### Premessa

I calcoli saranno fatti facendo riferimento alla normativa e al “Manuale di meccanica “ ed. Hoepli del 2006

Nella traccia mancano vari dati per cui sarà necessario effettuare delle scelte e delle ipotesi.

Si ipotizza che la puleggia sia calettata in posizione intermedia tra i due cuscinetti, per il coefficiente di sicurezza  $\gamma$  si decide per  $\gamma=3$

### Ipotesi di soluzione

Il materiale dell'albero è un acciaio C40, dal manuale si ricavano le tensioni limite di rottura e di snervamento:

$$\text{per diametri da 16 mm fino a 40 mm} \quad \sigma_r = 690 \frac{N}{mm^2} \quad \sigma_s = 400 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{per diametri oltre 40 mm e fino a 100 mm} \quad \sigma_r = 640 \frac{N}{mm^2} \quad \sigma_s = 350 \frac{N}{mm^2}$$

Considerando le dimensioni fornite si nota che, il diametro da calcolare, è sicuramente maggiore di 40 mm, per questo si utilizzeranno i dati per diametri maggiore di 40 mm.

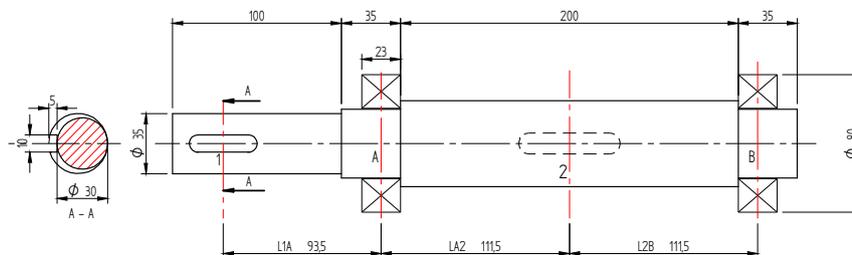
Si calcolano le tensioni ammissibili.

Dal manuale (pag I- 84) si ha:

$$\sigma_{am} = \frac{2}{3} \cdot \frac{R_m}{\gamma} = \frac{2}{3} \cdot \frac{640}{3} = 142,22 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

$$\tau_{am} = \frac{2}{3 \cdot \sqrt{3}} \cdot \frac{R_m}{\gamma} = \frac{2}{3 \cdot \sqrt{3}} \cdot \frac{640}{3} = 82,11 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

Per iniziare si disegna l'albero indicando le dimensioni che saranno utilizzate nel calcolo.



La traccia riporta che, nella sezione di estremità, 1 è calettato un giunto rigido, e nella sezione 2 una puleggia, una coppia è trasmessa dalla sezione 1 alla sezione 2; per una sua valutazione approssimata si calcola la massima che può trasmettere la sede di calettamento del giunto e la si prende come riferimento.

Nella sezione 1 è presente la cava di una linguetta che deve avere profondità di 5 mm per cui il diametro resistente è:

$$d_{r1} = 30 \text{ [mm]}.$$

Essendo una sezione di estremità su di essa agisce solo un momento torcente, dalla equazione di stabilità, applicata alla sezione 1, si ha:

$$\tau_{max} \leq \tau_{am}$$

effettuando le opportune sostituzioni si ottiene:

$$\frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot d_{r1}^3} \leq \tau_{am} \quad \text{da cui} \quad M_t \leq \frac{\tau_{am} \cdot \pi \cdot d_{r1}^3}{16}$$

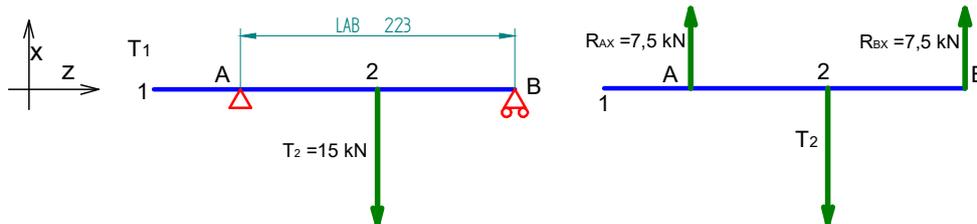
La tensione ammissibile è stata calcolata in precedenza per cui il momento torcente deve essere :

$$M_t \leq \frac{\tau_{am} \cdot \pi \cdot d_{r1}^3}{16} = \frac{82,11 \cdot \pi \cdot 30^3}{16} = 435301,04 \text{ [Nmm]} = 435,30 \text{ [Nm]}$$

Si pone:  $M_t = 430 \text{ [Nm]} = 430000 \text{ [Nmm]}$

Per calcolare il diametro della sezione 2 è necessario valutare il momento flettente causato dalla presenza della forza  $T_2 = 15 \text{ kN}$  agente nella sezione media.

Si schematizza l'albero come una trave vincolata, nelle sezioni A e B, con una cerniera ed un carrello.

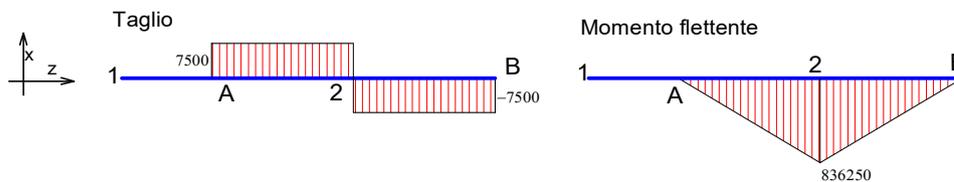


Le reazioni vincolari saranno uguali a pari alla metà di  $T_2$  per cui

$$R_{Ax} = 7500 \text{ [N]} \quad R_{Bx} = 7500 \text{ [N]}$$

Il momento flettente della sezione 2 è:

$$M_f = \frac{R_{Ax} \cdot L_{AB}}{2} = \frac{7500 \cdot 111,5}{2} = 836250 \text{ [Nmm]} = 836,25 \text{ [Nm]}$$



Nella sezione 2 agisce un momento flettente ideale pari a:

$$M_{fi} = \sqrt{M_f^2 + \frac{3}{4} M_t^2} = \sqrt{836250^2 + \frac{3}{4} 430000^2} = 915417,42 \text{ [Nmm]} = 915,42 \text{ [Nm]}$$

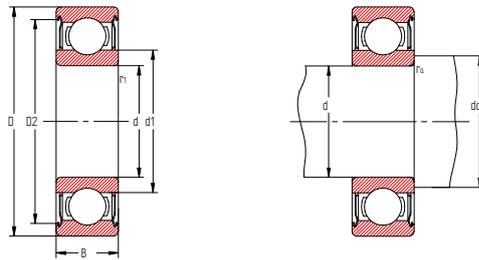
Dopo aver ricavato il momento è possibile trovare il diametro minimo resistente che è:

$$d_2 \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{fi}}{\pi \cdot \sigma_{am}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 915417,42}{\pi \cdot 142,11}} = 40,33 \text{ [mm]}$$

Per definire l'effettivo diametro è necessario tener presente che nelle sezioni A e B sono calettati due cuscinetti e che nella sezione 2 è presente la cava di una linguetta.

Per prima cosa si considerano i due cuscinetti.

Le dimensioni che sono assegnate dalla traccia, con riferimento alla figura che segue sono:



$$B = 23 \text{ mm}$$

$$d = 40 \text{ mm}$$

$$D = 80 \text{ mm.}$$

Dal catalogo dei cuscinetti volventi della SKF si ricava che, queste misure, sono compatibili con un cuscinetto radiale con una corona di sfera con guarnizioni incorporate (altri tipi di cuscinetti sono compatibili, ad esempio i "Cuscinetti ad una corona di rulli cilindrici"), considerando il tipo di calettamento si opta per un cuscinetto a sfera con guarnizioni. avente carico dinamico  $C=70400 \text{ N}$ .

Le altre caratteristiche del cuscinetto e dell'albero.

$$d_1 = 52,6 \text{ mm}, \quad D_2 = 69,8 \text{ mm}, \quad d_{\text{amin}} = 47 \text{ mm}, \quad r_{\text{amax}} = 1 \text{ mm.}$$

Il diametro dell'albero, lato spallamento, dovrà quindi essere maggiore di 47 mm ed inferiore a 52,6 mm.

Si sceglie il diametro  $d_a = 48 \text{ mm}$

Per questo diametro la profondità della cava della linguetta è  $t_1 = 5,5 \text{ [mm]}$

di diametro resistente sarà:  $d_{aR} = d_a - t_1 = 48 - 5,5 = 42,5 \text{ [mm]}$

Questo diametro è maggiore del diametro minimo trovato in precedenza.

L'albero gira a 500 giri /min, è possibile calcolare la velocità angolare

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 500}{60} = 52,36 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

La massima potenza che l'albero può trasmettere è

$$P = M_t \cdot \omega = 430 \cdot 52,36 = 22489 \text{ [W]} = 22,5 \text{ [kW]}$$

Si definiscono adesso le altre caratteristiche dell'albero

### Tolleranze e rugosità

#### Perni

Ricordato che  $R_{Ay} = 7500 \text{ [N]}$  è il carico agente sul cuscinetto.

Definito il rapporto  $c = \frac{R_{Ay}}{C} = \frac{7500}{70400} = 0,106$  si ha  $0,006 \leq c \leq 0,12$

Dal manuale SKF si può considerare il carico come normale o elevato, per un cuscinetto a sfera con diametro compreso tra 18 e 100 mm la tolleranza dell'albero consigliata è m5 che si sceglie per entrambi i perni,

La loro superficie avrà rugosità massima  $R_a = 0,5 \text{ mm}$

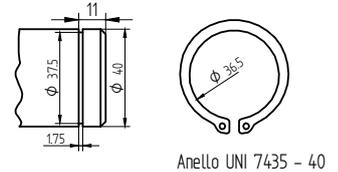
## Collegamento giunto albero e puleggia albero

Il giunto sarà posizionato sull'albero con una leggera interferenza, il manuale (pag. E-53), per un accoppiamento con precisione normale e bloccato leggermente, raccomanda un accoppiamento H8/n8

La superficie avrà rugosità massima  $R_a = 1,25$  mm

Il bloccaggio dei cuscinetti avverrà mediante anello elastico UNI 7435 - 40

Sull'albero sarà ricavato una gola avente larghezza di 1,75 mm e diametro di 36,5 mm.



Dalla tabella dei cuscinetti si sceglie, per lo spallamento un raggio di raccordo  $r = 1$  mm

## Scelta e calcolo lunghezze linguette

La potenza sarà trasmessa, sia per il giunto che per la puleggia mediante linguetta

Dalla tabella a pag. I-32 si sceglie di utilizzare linguette di forma B

Si calcolano adesso le dimensioni delle cave presenti nelle sezioni 1 e 2,

Si decide che la tensione ammissibile della linguetta sia  $\tau_{am} = \frac{R_{mL}}{\gamma \sqrt{3}} = \frac{590}{3 \sqrt{3}} \approx 113 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$

e una pressione superficiale massima  $p_{amm} = 150 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$

Nella sezione 1 il diametro è  $d_1 = 35$  [mm] la linguetta deve avere dimensioni  $b \times h = 10 \times 8$

la lunghezza deve soddisfare la relazione  $l_1 \geq \frac{3 M_t}{d_1 \cdot b_1 \cdot \tau_{am}} = \frac{3 \cdot 430000}{35 \cdot 10 \cdot 113} = 32,61$  [mm]

si sceglie  $l_1 = 50$  [mm]

la pressione superficiale vale  $p_1 = \frac{4 M_t}{d_1 \cdot h_1 \cdot l_1} = \frac{4 \cdot 430000}{35 \cdot 8 \cdot 50} = 123,9 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$

valore accettabile

Nella sezione 2 il diametro è  $d_2 = 48$  [mm] la linguetta deve avere dimensioni  $b \times h = 14 \times 9$

la lunghezza deve soddisfare la relazione  $l_2 \geq \frac{3 M_t}{d_2 \cdot b_2 \cdot \tau_{am}} = \frac{3 \cdot 430000}{48 \cdot 14 \cdot 113} = 16,98$  [mm]

si sceglie la lunghezza  $l_2 = 35$  [mm]

la pressione superficiale vale  $p_2 = \frac{4 M_t}{D_2 \cdot h_2 \cdot l_2} = \frac{4 \cdot 430000}{48 \cdot 9 \cdot 35} = 113,8 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$

valore accettabile

## Scelta giunto

Nella traccia viene fornito il tipo di giunto applicato: un giunto rigido a dischi.

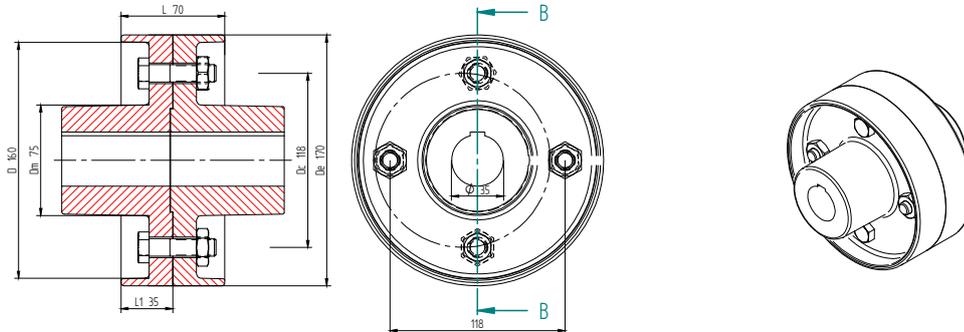
Si ricorda come il giunto viene, in genere, fornito senza la presenza del foro di calettamento dell'albero, il foro e la cava della linguetta sono ricavati in base al diametro necessario.

Il manuale riporta una tabella ( la I.54 ) che permette la scelta del giunto partendo dalle dimensioni dell'albero

Si possono scegliere tra due tipi

- il primo prevede un diametro compreso tra 30 e 40 mm e può trasmettere una coppia massima di 300 Nm.
- il secondo prevede un diametro compreso tra 35 e 45 mm e può trasmettere una coppia massima di 500 Nm.

Considerano che la coppia che si vuole trasmettere è di 430 Nm si sceglie il secondo



Per questo giunto è prevista la presenza di 4 viti M12x1,25;

Sono assegnati il numero e le dimensioni, non sono date le caratteristiche meccaniche, è necessario effettuare la scelta della classe di resistenza.

Il giunto trasmette la coppia mediante l'attrito che si genera tra le due flange.

Si sceglie come coefficiente di attrito  $f = 0,15$ ,

si ipotizza che le viti si trovino sul diametro  $D_c$  valore medio tra  $D_e$  e  $D_m$ .

$$D_c = \frac{D_e + D_m}{2} = \frac{160 + 75}{2} = 117,5 \text{ [mm]} \approx 118 \text{ [mm]}$$

la forza di attrito totale è 
$$F_t = \frac{2 M_t}{D_2} = \frac{2 \cdot 430000}{118} = 7288,14 \text{ [N]}$$

la forza relativa alla singola vite è 
$$F_1 = \frac{F_t}{z} = \frac{7288,14}{4} = 1822,04 \text{ [N]}$$

Le viti sono sollecitate a trazione e torsione, la scelta del materiale sarà effettuata considerando la vite soggetta alla sola trazione, poi si farà un verifica considerando la sollecitazione composta trazione-torsione

Dalla Tabella I.4 si ricava per una vite M12 ha come sezione resistente  $A_r = 92,1 \text{ [mm}^2]$  sia inoltre  $d_v = 12 \text{ [mm]}$  il suo diametro e passo  $p = 1,25 \text{ [mm]}$

la tensione di trazione vale

$$\sigma_{Nv} = \frac{F_1}{A_r} = \frac{1822,04}{92,1} = 19,78 \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

dalla equazione di stabilità  $\sigma_{max} \leq \sigma_{am}$  dove  $\sigma_{am} = \frac{R_m}{\gamma}$  si ricava

$$R_m \geq \sigma_{Nv} \cdot \gamma = 19,78 \cdot 3 = 59,34 \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

è possibile scegliere una classe di resistenza 3.6 avente  $R_{mv} = 330 \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$  e  $R_{sv} = 200 \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$

Per verificare la vite anche a torsione si calcola la coppia applicata

il diametro medio della vite è  $d_2 = d_v - 0,64952 \cdot p = 12 - 0,64952 \cdot 1,25 = 11,19 \text{ [mm]}$

il diametro di nocciolo della vite è  $d_3 = d_v - 2 \cdot 0,64952 \cdot p = 12 - 0,64952 \cdot 1,25 = 10,37 \text{ [mm]}$

L'angolo medio dell'elica vale  $\alpha = \arctg \frac{p}{\pi \cdot d_2} = \arctg \frac{1,25}{\pi \cdot 11,19} = 2,03^\circ$

l'angolo fittizio di attrito vale  $\varphi = \arctg \frac{f}{\cos \frac{\theta}{2}} = \arctg \frac{0,15}{\cos \frac{60}{2}} = 9,82^\circ$

la coppia applicata sulla vite vale  $C_v = F_1 \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \frac{d_2}{2} = 1822,04 \cdot \operatorname{tg}(2,03 + 9,82) \frac{11,19}{2} = 2141,07 \text{ [Nmm]}$

Il taglio massimo dovuto alla torsione è  $\tau_{max} = \frac{16 \cdot C_v}{\pi \cdot d_3^3} = \frac{16 \cdot 2141,1}{\pi \cdot 10,37^3} = 9,76 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$

la tensione ideale è  $\sigma_i = \sqrt{\sigma_n^2 + 3 \tau^2} = \sqrt{9,76^2 + 3 \cdot 18,96^2} = 22,06 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$

il grado di sicurezza  $n = \frac{R_{es}}{\sigma_i} = \frac{200}{22,06} = 9,07$  è ampiamente maggiore del coefficiente di sicurezza  $\gamma = 3$

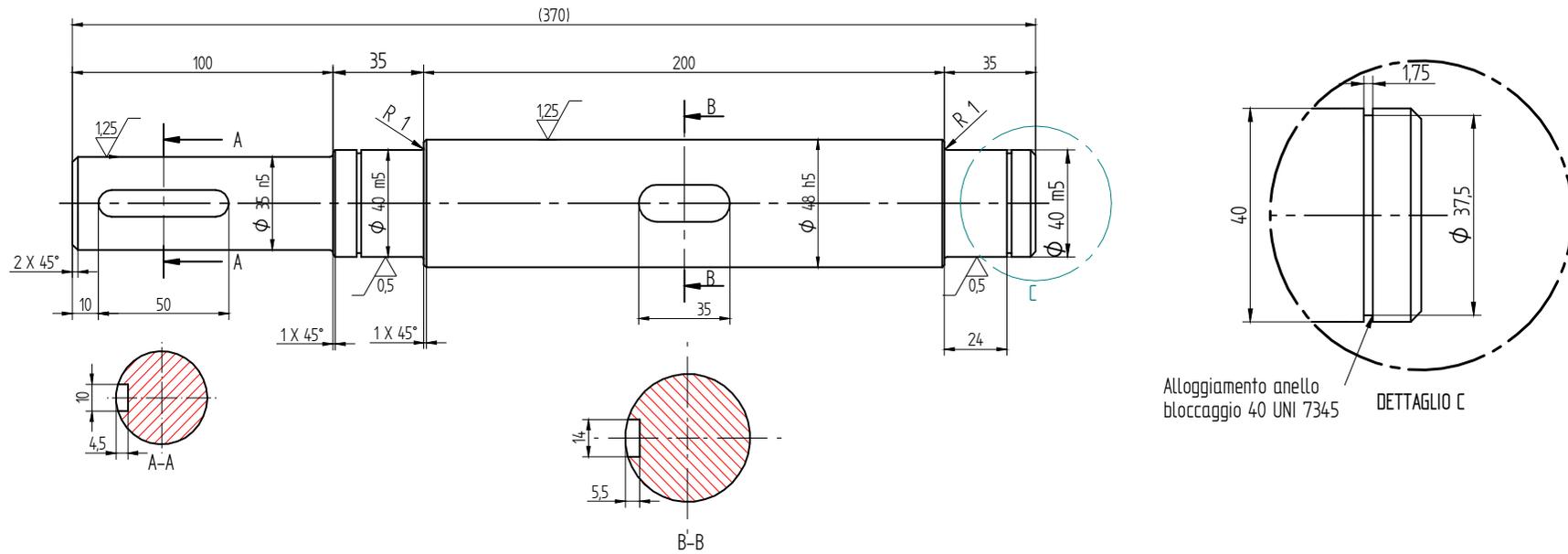
Posto come diametro medio di contatto tra dado e rosetta  $D_{mr} = \frac{s + d_{1r}}{2} = \frac{18 + 13}{2} = 15,5 \text{ [mm]}$

La coppia da applicare per vincere l'attrito sulla rosetta vale

$$C_r = F \cdot f \cdot \frac{D_{mr}}{2} = 1822,04 \cdot 0,15 \cdot \frac{15,5}{2} = 2118,13 \text{ [Nmm]}$$

La coppia totale da applicare al dado per il serraggio è:  $C_t = C_v + C_r = 2141,07 + 2118,13 = 4259,2 \text{ [Nmm]}$

Disegno dell'albero



*Calcolo fabbisogno materiale*

Si decide di utilizzare una barra di diametro  $d = 52 [mm]$  con lunghezza  $L_b = 6 [m]$

la massa lineica è  $m_l = 16,7 [kg/m]$  .

la lunghezza totale dell'alberino è  $l_{tot} = 200 + 2 \cdot 35 + 100 = 370 [mm]$

la lunghezza dell'alberino da tagliare dalla barra, deve essere maggiore, si decide per

$$l_p = l_{tot} + 2 \cdot 3 = 370 + 6 = 376 [mm]$$

tenendo conto dello sfrido dovuto al taglio con una sega avente 3 mm di spessore si ha

$$l_{ta} = l_p + 3 = 376 + 3 = 379 [mm]$$

Per ogni barra si taglierà un lunghezza di 10 mm, dalle due estremità, per tener conto di eventuali danneggiamenti delle stesse

Per cui la lunghezza effettiva della barra diventa  $L_{bp} = L_b - 2 \cdot 10 = 6000 - 20 = 5980 [mm]$

Siamo in grado adesso di conoscere il numero di pezzi che si ricavano da ogni barra

$$N_{pb} \leq \frac{L_{bp}}{l_{ta}} = \frac{5980}{379} = 15,77 \quad \text{il numero di pezzi sarà} \quad N_{pb} = 15$$

Ipotizzando uno sfrido di lavorazione del 5% il numero di pezzi da ottenere sarà:

$$N_{ta} = N_a \left(1 + \frac{5}{100}\right) = 500 \cdot (1 + 0,05) = 525$$

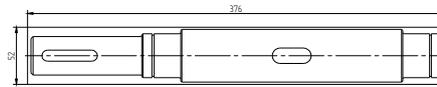
il numero di barre da utilizzare sarà:  $N_b \geq \frac{N_{ta}}{N_{pb}} = \frac{525}{15} = 35$  si avrà  $N_b = 35$

Per conoscere la quantità di acciaio utilizzata si ha

$$m_{ta} = m_l \cdot l_b \cdot N_b = 16,7 \cdot 6 \cdot 35 = 3507 [kg]$$

*Sequenza delle operazioni del ciclo di lavoro*

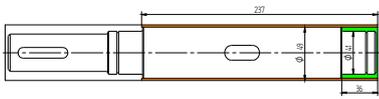
Il disegno che segue rappresenta il grezzo di partenza con disegnato, all'interno, il pezzo da ricavare



Per la lavorazione si utilizzerà un tornio parallelo e una fresatrice su utilizzeranno utensili in materiali ceramici con placchette P20.



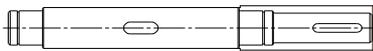
Si posiziona il pezzo sul tornio e si effettua la sfaccettatura del lato destro



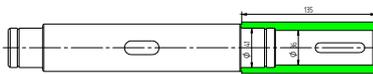
Si eseguono, in successione, lavorazione di sgrossatura una sulla lunghezza di 237 mm e un'altra per una lunghezza di 36 mm, si effettuano in fine le gole per l'alloggiamento degli anelli d'arresto.

Si effettua infine una passata di finitura su tutte le superfici lavorate in precedenza

Si gira il pezzo e si effettuano le successive operazioni

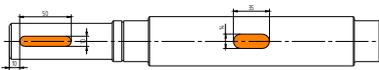


Si effettua la sfaccettatura del lato adesso destro



Si eseguono, in successione, lavorazione di sgrossatura una lunghezza totale di 135 mm per ottenere i diametri di 41 e 36 mm, si effettuano infine le gole per l'alloggiamento degli anelli d'arresto.

Si effettua infine una passata di finitura su tutte le superfici lavorate in precedenza



Si posiziona l'albero sulla tavola della fresatrice e mediante una fresa frontale si ricavano le due cave per le linguette

Per le misure di verifica saranno utilizzati calibri e micrometri