

Ministero della Pubblica Istruzione
M058 - ESAME DI STATO DI ISTITUTO PROFESSIONALE

Indirizzo: TECNICO DELLE INDUSTRIE MECCANICHE

CORSO DI ORDINAMENTO

Tema di: TECNICA DELLA PRODUZIONE E LABORATORIO

Si devono produrre 3000 manovelle di estremità in acciaio fucinato, per una motrice lenta.

Il candidato, sulla base dei seguenti dati fondamentali della macchina e dell'organo meccanico:

- potenza trasmessa $P = 55 \text{ kW}$
- raggio della manovella $R = 250 \text{ mm}$
- velocità di rotazione $n = 390 \text{ giri/min}$

e, dopo avere assunto con giustificato criterio gli altri dati mancanti:

- esegua il ciclo di lavorazione del bottone di manovella;
- descriva le eventuali attrezzature necessarie e gli eventuali trattamenti termici;
- effettui il programma ISO per realizzare una delle lavorazioni su macchine utensili a C.N.C.

Dobbiamo premettere che trattandosi di una manovella di estremità situata a sbalzo all'estremità dell'albero motore, che presenta un solo cuscinetto di banco con un evidente sbilanciamento dei carichi, la soluzione sarebbe limitata a macchine di modesta potenza e velocità (pompe, compressori).

Siccome il tema ministeriale cita una manovella di una motrice lenta, ci accingeremo, tuttavia, a dimensionare i componenti per questa determinata applicazione motoristica.

Consultando la tabella delle caratteristiche dei motori endotermici, in funzione del numero di giri 390 riportato nel testo del tema ministeriale, possiamo stabilire che la motrice può considerarsi, non a torto, un Diesel – 4T lento monocilindrico.

In base a questa assunzione e affermazione, possiamo determinare la cilindrata complessiva con la seguente relazione:

$$V = P_{\text{mot}} \cdot 60 \cdot m / n \cdot P_{\text{me}}$$

Dove :

P_{me} = rappresenta la pressione media effettiva ;

V = cilindrata complessiva del motore ;

n = numero di giri del motore ;

$m = 1$ se motore a 2T , 2 se motore a 4T ;

P_{mot} = potenza sviluppata dal motore .

Prefissiamo la pressione media effettiva P_{me} , data dal prodotto della pressione media indicata con il rendimento organico; ovverosia :

$$P_{me} = P_{mi} \cdot \eta_o .$$

Testi tecnici forniscono la pressione media effettiva compresa fra 0,6 – 0,7 MPa , nel nostro caso assumeremo il valore di 0,6 MPa , quindi, conoscendo tutti i termini incogniti, ci accingeremo a ricavare la cilindrata complessiva :

$$V = 55 \cdot 1000 \cdot 60 \cdot 2 / 390 \cdot 6 \cdot 10^5 = 0,0282 \text{ m}^3 \rightarrow 28,2 \text{ dm}^3 .$$

Con cilindrata unitaria pari a :

$$v = V / z .$$

$$v = 28,2 / 1 = 28,2 \text{ dm}^3 .$$

La potenza specifica risulta :

$$P_s = P_{mot} / V .$$

$$P_s = 55 / 28,2 = 1,95 \text{ Kw} / \text{dm}^3 .$$

Solitamente i valori sono compresi tra 1,1 – 3,3 ; quindi il valore trovato è compatibile ed in linea a quelli tabellati .

Essendo noto il raggio di manovella 250 mm, possiamo calcolare la corsa C dello stantuffo :

$$C = 2 \cdot r .$$

$$C = 2 \cdot 250 = 500 \text{ mm} .$$

Ora, conoscendo la corsa C , possiamo determinare il diametro del cilindro con la seguente relazione :

$$d = \sqrt{4 \cdot v / \pi \cdot C} .$$

$$d = \sqrt{4 \cdot 0,0282 / \pi \cdot 0,5} = 0,268 \text{ m} \rightarrow \text{assumeremo il valore di } 270 \text{ mm} .$$

Verifichiamo il rapporto corsa/diametro :

$$\lambda = 500 / 270 = 1,8 .$$

valore decisamente in linea con quelli riportati nei manuali ; solitamente 1,6 – 2,2 .

Determiniamo la spinta F_{max} dei gas nella situazione di massima pressione del ciclo, al culmine della combustione :

$$F_{max} = P_{max} \cdot \pi \cdot d^2 / 4 .$$

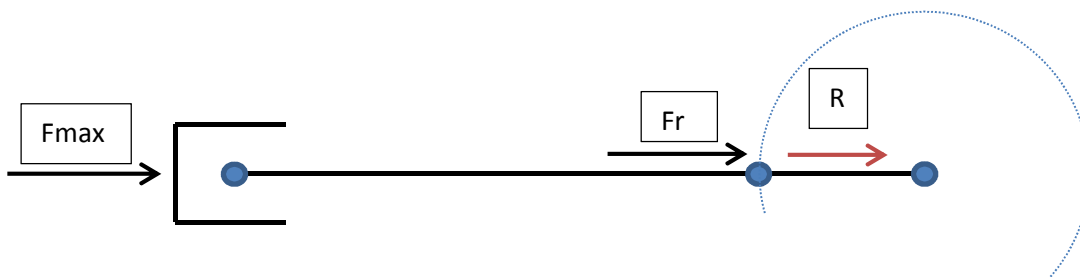
Dove P_{max} rappresenta la pressione di combustione; assumiamo un valore di P_{max} pari a 5,5 MPa , per cui :

$$F_{max} = 5,5 \cdot \pi \cdot 270^2 / 4 \sim 315000 \text{ N} .$$

Ricordando le equivalenze : 5,5 MPa \rightarrow 5500000 N/m² \rightarrow 5,5 N/mm² \rightarrow 55 bar .

Il calcolo della manovella verrà condotto in due posizioni critiche. La prima posizione critica, massimo carico radiale, corrisponde al massimo momento flettente sull'albero e alla massima componente radiale R della spinta trasmessa alla manovella; $R = Fr = F_{max}$. Si verifica con il pistone al PMS , quando il momento torcente trasmesso è nullo; essendo nulla la componente tangenziale T . Per sicurezza si trascura il contributo della forza d'inerzia, che ha il verso opposto e non si considerando i pesi della biella e del pistone, in questa applicazione non certamente di poco conto, avendo assunto una P_{max} sufficientemente elevata per trascurare le masse in gioco .

Schema del manovellismo nella prima posizione critica.



La seconda posizione critica, massimo carico tangenziale, corrisponde al massimo momento torcente sull'albero e quindi alla massima componente tangenziale della forza scambiata con la biella . Nelle macchine in cui la pressione è pressoché costante, durante il ciclo, il momento dipende solo dalla variazione del braccio, che risulta massimo in quadratura; $M_{max} = T \cdot r$.

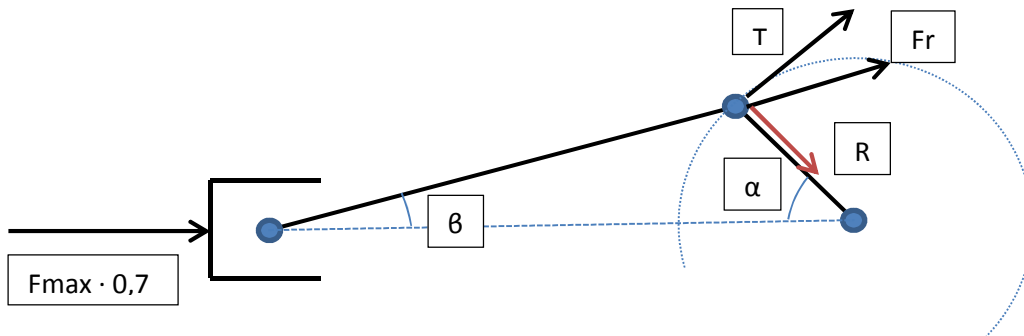
Nei motori endotermici la pressione è variabile secondo l'andamento del ciclo termodinamico ; il momento massimo si verifica nella fase di espansione per angoli di manovella variabili attorno a 30° - 40° , cui corrisponde una pressione media pari a circa 0,7 · P_{max} .

Scegliendo un angolo intermedio , tra quelli citati, di manovella $\alpha = 35^\circ$ e $u = 4$, ricordando questo rapporto adimensionale tra la lunghezza della biella e la manovella, otteniamo :

$$\sin \beta = \sin \alpha / \mu .$$

$$\sin \beta = \sin 35^\circ / 4 = 0,143 \rightarrow \arcsin \beta = 8,24^\circ .$$

Schema del manovellismo nella seconda posizione critica.



La forza Fr agente lungo l'asse della biella, in questa fase, risulta :

$$Fr = F_{max} \cdot 0,7 / \cos \beta .$$

$$Fr = 315000 \cdot 0,7 / \cos 8,24 = 222800 \text{ N} .$$

La componente tangenziale risulta pari a :

$$T = Fr \cdot \sin (\alpha + \beta) .$$

$$T = 222800 \cdot \sin (35 + 8,24) = 152630 \text{ N} .$$

La componente radiale risulta pari a :

$$R = Fr \cdot \cos (\alpha + \beta) .$$

$$R = 222800 \cdot \cos (35 + 8,24) = 162308 \text{ N} .$$

E il momento, in questa fase, assume il valore massimo :

$$M_{max} = T \cdot r .$$

$$M_{max} = 152630 \cdot 250 = 38157500 \text{ N} \cdot \text{mm} .$$

A tali valori massimi, faremo riferimento per la verifica della manovella .

DIMENSIONAMENTO DEL BOTTONE DI MANOVELLA .

Per la costruzione del bottone di manovella si sceglierà un acciaio bonificato 34NiCrMo16 UNI 7845 con un carico a rottura minimo $R_m = 1200 \text{ N/mm}^2$ ed un limite a fatica a flessione alternata $\sigma_{Lfi} = 600 \text{ N/mm}^2$; assunto come coefficienti $K = 0,35$ e $n = 1,4$, la tensione ammissibile diviene :

$$\sigma_{adm} = K \cdot \sigma_{Lfi} / n .$$

$$\sigma_{adm} = 0,35 \cdot 600 / 1,4 = 150 \text{ N/mm}^2 .$$

Al passo successivo , adottando una pressione ammissibile P_{amm} , come riportata nel manuale, pari a 12 N/mm² , ricaveremo il seguente rapporto :

$$\ell/d = \sqrt{\sigma_{adm} / (5 \cdot P_{amm})} .$$

$$\ell/d = \sqrt{150 / (5 \cdot 12)} = 1,6 .$$

Mediante questo rapporto, possiamo determinare il diametro del bottone di manovella :

$$d \geq \sqrt{(5 \cdot F_{max} / \sigma_{adm}) \cdot (\ell/d)} .$$

$$d \geq \sqrt{(5 \cdot 315000 / 150) \cdot 1,6} = 129,6 \rightarrow \text{che portiamo ad un valore di } 135 \text{ mm} .$$

La lunghezza del bottone di manovella risulta :

$$\ell = 1,6 \cdot d .$$

$$\ell = 1,6 \cdot 135 = 216 \text{ mm} \rightarrow \text{che porteremo ad un valore di } 210 \text{ mm} .$$

La pressione specifica sul perno risulta :

$$P_s = F_{max} / (\ell \cdot d) .$$

$$P_s = 315000 / (210 \cdot 135) = 11,1 \text{ N/mm}^2 < P_{amm} .$$

Prima verifica, importante, del bottone di manovella è rispetto alla tensione massima, in corrispondenza della sez. A-A figura 1 , che si genera a causa del seguente momento flettente :

$$M_f = F_{max} \cdot \ell/2 .$$

$$M_f = 315000 \cdot 210 / 2 = 33075000 \text{ N}\cdot\text{mm} .$$

La tensione massima è pari a :

$$\sigma_{max} = 32 \cdot M_f / \pi \cdot d^3 .$$

$$\sigma_{max} = 32 \cdot 33075000 / \pi \cdot 135^3 = 137 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm} .$$

La verifica ha dato esito positivo.

Seconda verifica, degna di nota, del bottone di manovella è rispetto alla tensione massima, in corrispondenza della sezione a filo dell' incastro con la manovella, che si genera a causa del seguente momento flettente:

$$M_f = F_{max} \cdot (\ell/2 + 15) .$$

$$M_f = 315000 \cdot (210 / 2 + 15) = 37800000 \text{ N}\cdot\text{mm} .$$

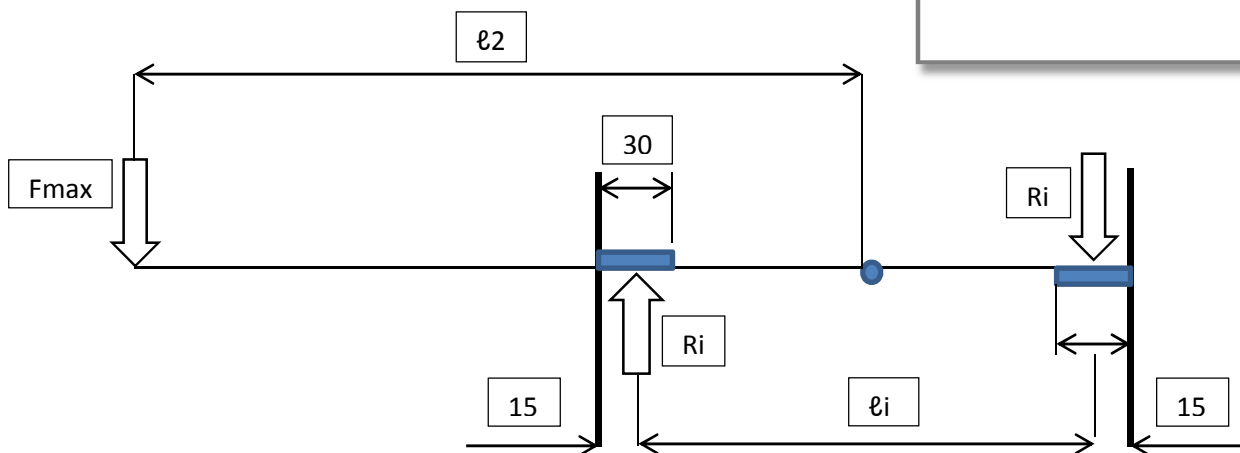
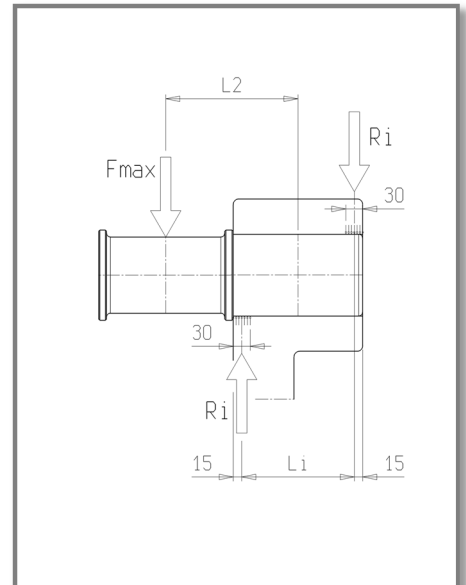
La tensione massima è pari a :

$$\sigma_{\max} = 32 \cdot M_f / \pi \cdot d^3 .$$

$$\sigma_{\max} = 32 \cdot 37800000 / \pi \cdot 145^3 = 126,3 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{\text{adm}} .$$

La verifica ha dato esito positivo. Nota di rilievo, come noteremo, il diametro del bottone di manovella all'incastro è stato aumentato per tener conto della maggiore sollecitazione in questa sezione generica, di certo, si avessimo mantenuto il diametro di 135 mm la tensione sarebbe stata maggiore di quella ammissibile.

Terza verifica, comunque apprezzabile, è la verifica della pressione, che si genera sul diametro del bottone, all' interno dell' incastro con la manovella, a causa della coppia di forze reagenti al momento flettente sviluppato dalla F_{\max} .



Considerando lo schema statico, sopra rappresentato, il momento flettente sviluppato dalla F_{\max} corrisponde al valore di :

$$M_f = F_{\max} \cdot l_2 .$$

$$M_f = F_{\max} \cdot (210 / 2 + 15 + 230/2) .$$

$$M_f = 315000 \cdot 235 = 74025000 \text{ N}\cdot\text{mm} .$$

La coppia di forze, che reagiranno a tale momento, corrispondono a :

$$R_i = M_f / \ell_i .$$

$$R_i = 74025000 / 230 - 30 = 370125 \text{ N}$$

La pressione, che si genera su una fascia di 30 mm presa come riferimento, si puo' considerare una fascia pari a circa il 20 % del diametro esterno del perno, corrisponde a :

$$\sigma_c = R_i / S_i .$$

$$\sigma_c = 370125 / (145 \cdot 30) = 85 \text{ N/mm}^2 .$$

Il limite di fatica in una sollecitazione di trazione pulsante dallo zero vale 0,8 del limite di fatica in una sollecitazione di flessione pulsante dallo zero, che coincide con la tensione di snervamento del materiale. Risulta cioe':

$$\sigma_{LFo} = 0,8 \cdot R_s .$$

essendo $R_s = 880 \text{ N/mm}^2$, si ottiene :

$$\sigma_{LFo} = 0,8 \cdot 880 = 704 \text{ N/mm}^2 .$$

Assunto come grado di sicurezza $n = 1,5$ e un fattore di maggiorazione $\Psi = 2$ per urti forti , la tensione ammissibile diviene :

$$\sigma_{adm} = \sigma_{LFo} / (n \cdot \Psi) .$$

$$\sigma_{adm} = 704 / (1,5 \cdot 2) = 235 \text{ N/mm}^2 .$$

Come si evince, il valore di tensione calcolato in precedenza risulta inferiore, quindi con esito positivo, al valore della tensione ammissibile.

Adesso, eseguiremo la verifica al surriscaldamento del perno attraverso la seguente relazione :

$$K = P_s \cdot v .$$

Dove v rappresenta la velocita' periferica del perno, per cui risulta :

$$K = P_s \cdot \pi \cdot n \cdot d / 60 .$$

$$K = 11,1 \cdot \pi \cdot 390 \cdot 0,135 / 60 = 30,6 \text{ w/mm}^2 .$$

Valore accettabile ; i valori massimi ammissibili corrispondono a 50 – 60 w/mm² .

L' ulteriore dimensionamento del perno si fa nel modo seguente :

$$r = 0,05 \cdot d .$$

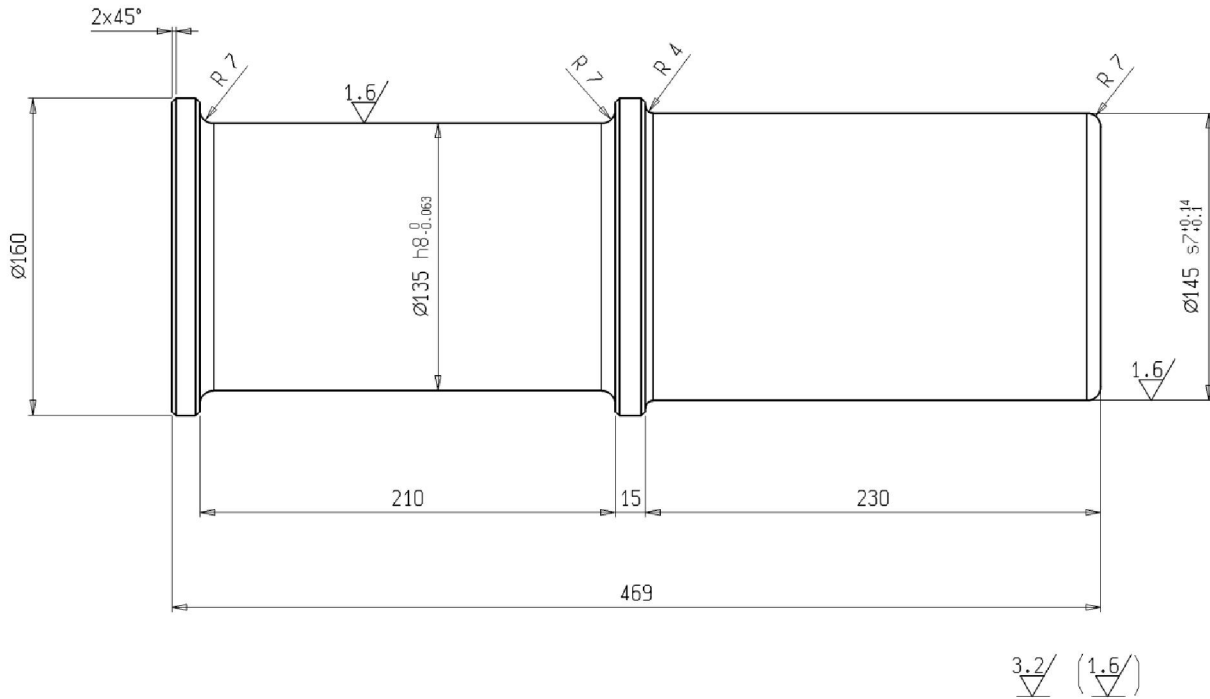
$$r = 0,05 \cdot 135 = 6,75 \text{ mm} \rightarrow 7 \text{ mm} .$$

$$S = 0,08 \cdot d + 3 .$$

$$S = 0,08 \cdot 135 + 3 = 13,8 \text{ mm} \rightarrow 14 \text{ mm} .$$

Per il calettamento, del perno nella manovella, si impiega un accoppiamento con interferenza, allo scopo di evitare la riduzione di sezione conseguente all'impiego di una linguetta trasversale, per bloccare gli organi uno rispetto l'altro; il montaggio verrà eseguito con un torchietto e con differenza di temperatura, di circa 100° C, fra i due pezzi.

DISEGNO DI FABBRICAZIONE DEL PERNO .



Dimensioni utili per disegnare la parte di manovella circoscritta alla zona del bottone; vedi figura 1 sotto riportata:

$D_{\text{mozzo}} = 2 \cdot d .$

$D_{\text{mozzo}} = 2 \cdot 135 = 270 \text{ mm} .$

$l_{\text{mozzo}} = 1,7 \cdot d .$

$l_{\text{mozzo}} = 1,7 \cdot 135 = 230 \text{ mm} .$

$b = 0,9 \cdot d .$

$b = 0,9 \cdot 135 = 121,5 \text{ mm} \rightarrow 140 \text{ mm} .$

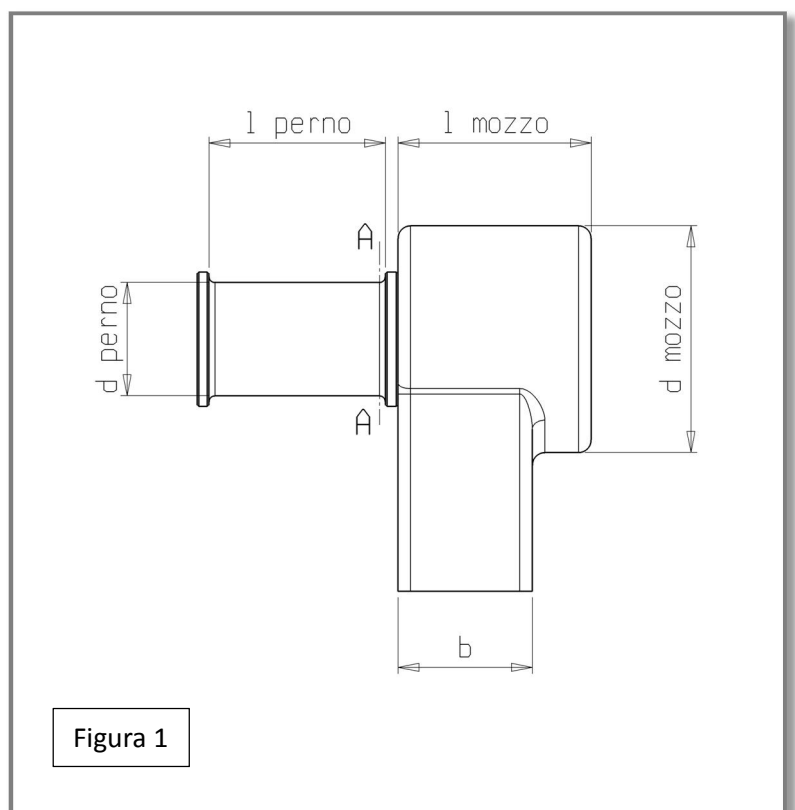


Figura 1

DIMENSIONAMENTO DEL PERNO DI BANCO .

Prevederemo per la costruzione del perno di banco lo stesso materiale utilizzato per il bottone di manovella, quindi un acciaio bonificato 34NiCrMo16 UNI 7845 con un carico a rottura minimo $R_m = 1200 \text{ N/mm}^2$ ed un limite a fatica a flessione alternata $\sigma_{Lfi} = 600 \text{ N/mm}^2$, assunto come coefficienti $K = 0,35$ e $n = 1,4$, la tensione ammissibile diviene :

$$\sigma_{adm} = K \cdot \sigma_{Lfi} / n .$$

$$\sigma_{adm} = 0,35 \cdot 600 / 1,4 = 150 \text{ N/mm}^2 .$$

Il perno di banco, in corrispondenza della sez. B-B figura 2, è sottoposto ad un momento flettente ed a un momento torcente; per cui dobbiamo trovare il momento flettente ideale seconda la nota relazione :

$$M_{fid} = \sqrt{M_f^2 + \frac{3}{4} \cdot M_t^2} .$$

Nel nostro caso, il momento torcente corrisponde a :

$$M_t = M_{tmax} = 38157500 \text{ Nmm} .$$

Per determinare, invece, il valore del momento flettente, si assume, di primo tentativo :

$$L_1 = 3,5 \cdot d_{\text{perno}} .$$

$$L_1 = 3,5 \cdot 135 = 472,5 \text{ mm} \rightarrow 470 \text{ mm} .$$

Conoscendo i termini noti, possiamo determinare il momento flettente in corrispondenza di B-B .

$$M_f = F_r \cdot L_1 .$$

$$M_f = 222800 \cdot 470 = 1,05 \cdot 10^8 \text{ Nmm} .$$

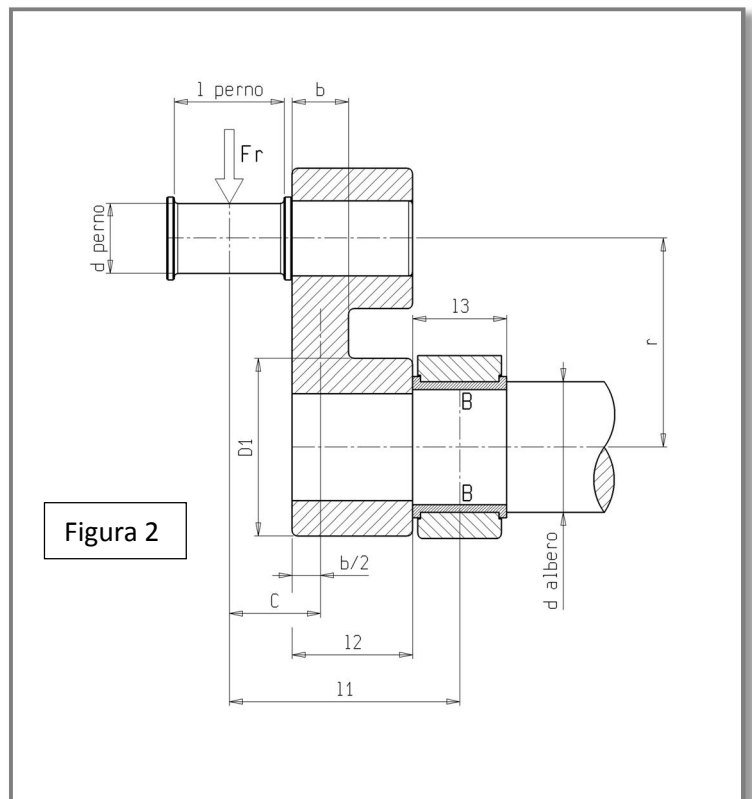
Ora, ci accingeremo a calcolare il momento flettente ideale :

$$M_{fid} = \sqrt{(1,05 \cdot 10^8)^2 + \frac{3}{4} \cdot 38157500^2} = 1,10 \cdot 10^8 \text{ Nmm} .$$

Il diametro dell' albero del supporto di banco D' , in corrispondenza della sez. B-B di verifica, risulta :

$$D' \text{ banco} = \sqrt[3]{32 \cdot M_{fid} / \pi \cdot \sigma_{amm}} .$$

$$D' \text{ banco} = \sqrt[3]{32 \cdot 1,10 \cdot 10^8 / \pi \cdot 150} \sim 195 \text{ mm} .$$



Il diametro del perno di banco, da collegare al mozzo della manovella, può assumere il seguente valore :

$$D_{\text{perno}} = D'_{\text{banco}} - 8 .$$

$$D_{\text{perno}} = 195 - 8 = 187 \text{ mm} .$$

Tale diametro, tuttavia, deve essere aumentato di t_1 per tenere conto della cava della linguetta; ovvero sia :

$$D_{\text{perno}} = 187 + t_1 .$$

$$D_{\text{perno}} = 187 + 17 = 204 \text{ mm} \rightarrow 205 \text{ mm}$$

Ciononostante, dobbiamo aumentare di circa la medesima quantità anche il diametro dell' albero del supporto di banco, precedentemente calcolato, e portarlo al valore di :

$$D_{\text{banco}} = D_{\text{perno}} + 15 .$$

$$D_{\text{banco}} = 205 + 15 = 220 \text{ mm} .$$

Eseguiamo il proporzionamento del mozzo della manovella, in corrispondenza del perno di banco, e del supporto di banco :

$$D_1 = 1,8 \cdot D_{\text{perno}} .$$

$$D_1 = 1,8 \cdot 205 \sim 370 \text{ mm} \rightarrow \text{porteremo a } 340 \text{ mm} .$$

$$L_2 = 1,1 \cdot D_{\text{perno}} .$$

$$L_2 = 1,1 \cdot 205 \sim 225 \text{ mm} \rightarrow \text{porteremo a } 230 \text{ mm} .$$

$$L_3 = 1,1 \cdot D_{\text{banco}} .$$

$$L_3 = 1,1 \cdot 220 = 242 \text{ mm} \rightarrow \text{porteremo a } 240 \text{ mm} .$$

Operiamo alla determinazione della quota L_1 , assunta di primo tentativo pari a 470 mm , mediante la seguente relazione :

$$L_1 = (L_{\text{perno}} / 2 + 15) + L_2 + (L_3 / 2) .$$

$$L_1 = (210 / 2 + 15) + 230 + (240 / 2) = 470 \text{ mm} .$$

L_1 rispecchia il valore assunto di primo tentativo, comunque, è opportuno verificare l' albero, nella sezione B-B di controllo, nella prima posizione critica :

ricordando che $F_{\text{max}} = 315000 \text{ N}$, trascurando i pesi delle masse in gioco (pistone, spinotto, biella, bottone, manovella) , perchè assunto una P_{max} sufficientemente elevata per tralasciare detti carichi, risulta un momento flettente pari a :

$$M_f = F_{\text{max}} \cdot L_1 .$$

$$M_f = 315000 \cdot 470 = 1,48 \cdot 10^8 \text{ Nmm} .$$

Il diametro dell' albero del supporto di banco risulta :

$$D'' \text{ banco} = \sqrt[3]{32 \cdot M_{fid} / \pi \cdot \sigma_{amm}}$$

$$D'' \text{ banco} = \sqrt[3]{32 \cdot 1,48 \cdot 10^8 / \pi \cdot 150} = 216 \text{ mm}$$

Il quale risulta essere inferiore al valore $D \text{ banco} = 220 \text{ mm}$, calcolato in precedenza, in via definitiva assumeremo $D \text{ banco} = 220 \text{ mm}$.

Per la verifica della pressione specifica, consideriamo lo schema statico, figura 3, necessario a determinare la reazione sul supporto di banco dal complesso dei carichi presenti sul bottone di manovella; anche in questo caso non si considerano i pesi delle masse in gioco, dato che abbiamo assunto una P_{max} , come accennato al punto precedente, sufficientemente elevata per tralasciare tali carichi:

$$R1 = F_{max} \cdot (L1 + 900) / 900$$

$$R1 = 315000 \cdot (470 + 900) / 900 = 479500 \text{ N}$$

$$R2 = R1 - Fr$$

$$R2 = 479500 - 315000 = 164500 \text{ N}$$

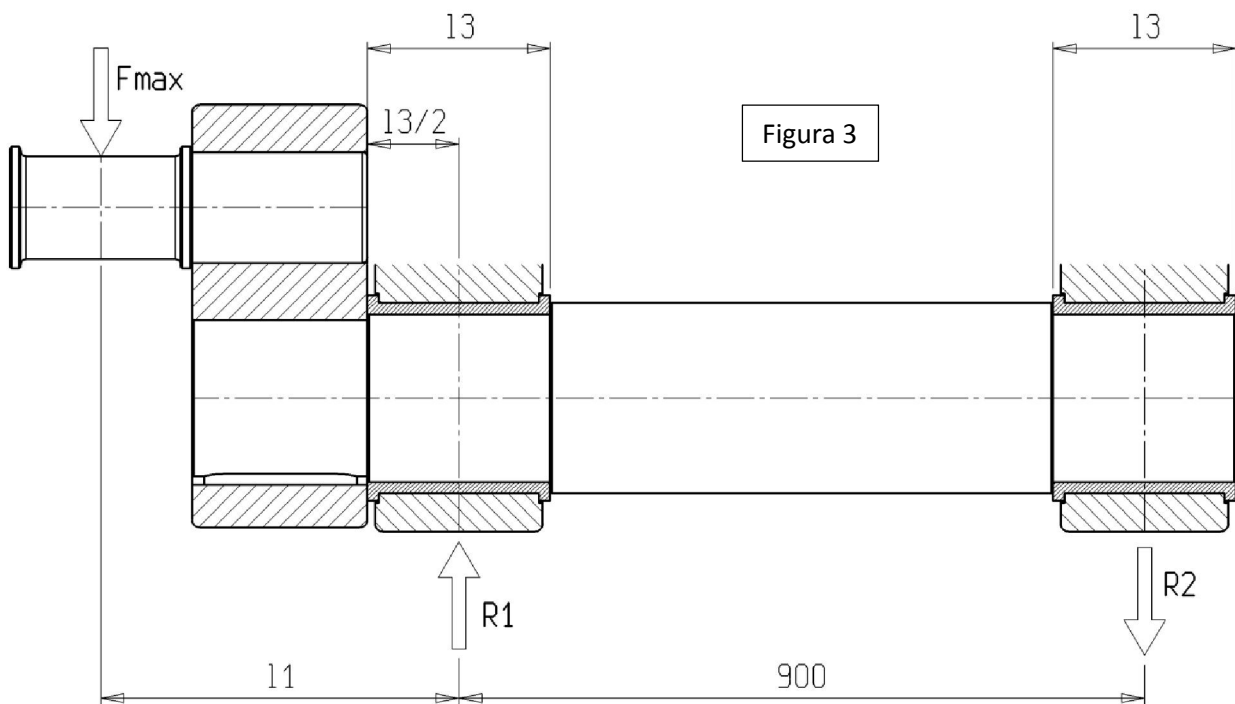


Figura 3

Determiniamo la pressione specifica P_s sul perno di banco più caricato:

$$P_s = R1 / D \text{ banco} \cdot L3$$

$$P_s = 479500 / 220 \cdot 240 \sim 9 \text{ N/mm}^2$$

Valore ammissibile; solitamente compresi tra 8 – 9 N/mm² .

La potenza dissipata risulta :

$$K = P_s \cdot v .$$

Dove v rappresenta la velocità periferica del perno, per cui risulta :

$$K = P_s \cdot \pi \cdot n \cdot d / 60 .$$

$$K = 9 \cdot \pi \cdot 390 \cdot 0,220 / 60 = 40 \text{ w/mm}^2 .$$

Valore accettabile ; i valori massimi ammissibili corrispondono a 30 – 40 w/mm² .

VERIFICA DEL BRACCIO DI MANOVELLA .

Per la costruzione del braccio della manovella si adopererà un acciaio bonificato C40 UNI 7845, che ha un limite di fatica a flessione simmetrica alternata $\sigma_{Lfi} = 350 \text{ N/mm}^2$; assunto come coefficienti $K = 0,3$ ed $n = 1,4$, la tensione ammissibile diviene :

$$\sigma_{adm} = K \cdot \sigma_{Lfi} / n .$$

$$\sigma_{adm} = 0,3 \cdot 350 / 1,4 = 75 \text{ N/mm}^2 .$$

Nella prima posizione critica (pistone al PMS) in cui, trascurando il taglio, si ha nella generica sezione della mascherina un momento flettente pari a; vedi figura a lato :

$$M_f = F_{max} \cdot C .$$

$$C = 15 + (L \text{ perno} / 2 + b / 2) .$$

$$M_f = F_{max} \cdot [15 + (L \text{ perno} / 2 + b / 2)] .$$

$$M_f = 315000 \cdot [15 + (210 / 2 + 140 / 2)] = 59850000 \text{ Nmm} .$$

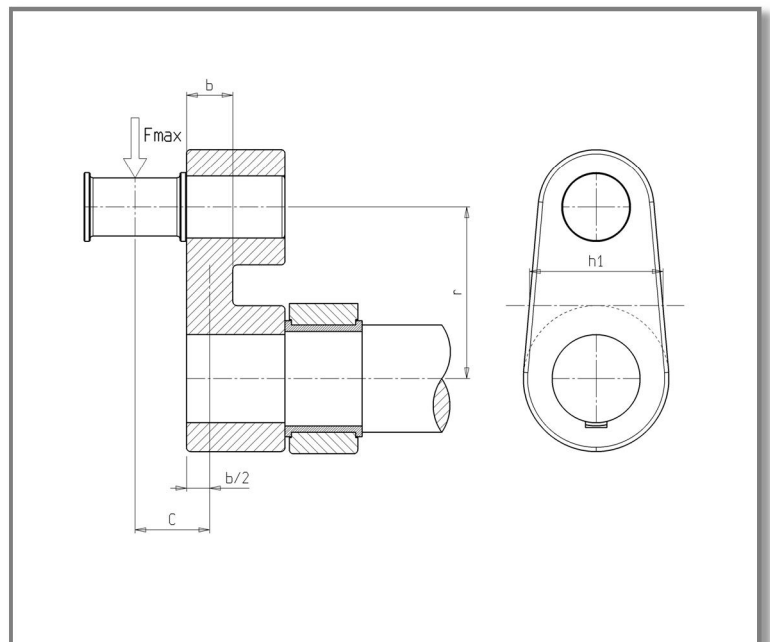
Le caratteristiche geometriche della sezione generica sono :

$$A = h_1 \cdot b .$$

$$A = 305 \cdot 140 = 42700 \text{ mm}^2 .$$

$$W_x = h_1 \cdot b^2 / 6 .$$

$$W_x = 305 \cdot 140^2 / 6 = 996333 \text{ mm}^3 .$$



Le tensioni di compressione e flessione nella sezione generica valgono rispettivamente :

$$\sigma_n = F_{max} / A .$$

$$\sigma_n = 315000 / 42700 = 7,4 \text{ N/mm}^2 .$$

$$\sigma_m = M_f / W_x .$$

$$\sigma_m = 59850000 / 996333 = 60 \text{ N/mm}^2 .$$

$$\sigma_{max} = \sigma_n + \sigma_m = 7,4 + 60 = 67,4 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm} .$$

Nella seconda posizione critica, in cui la spinta T, perpendicolare all' asse della manovella, dà ; vedi a lato :

$$M_f = T \cdot m_2 .$$

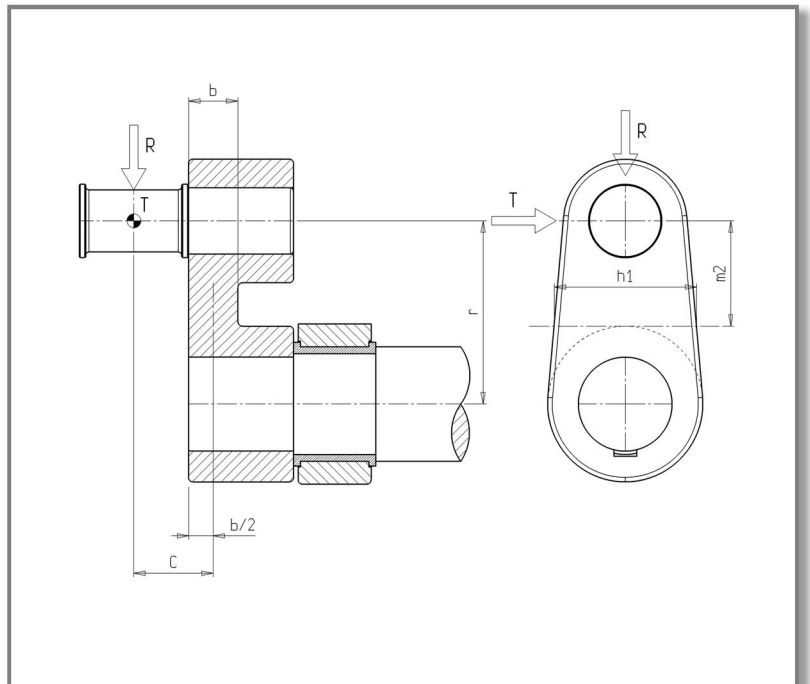
$$M_f = 152630 \cdot 147,5 = 22512925 \text{ Nmm} .$$

$$M_t = T \cdot C .$$

$$C = 15 + (L_{perno} / 2 + b / 2) .$$

$$M_t = T \cdot [15 + (L_{perno} / 2 + b / 2)] .$$

$$M_t = 152630 \cdot [15 + (210 / 2 + 140 / 2)] = 28999700 \text{ Nmm} .$$



In funzione del rapporto h/b dei lati della sezione generica, possiamo ricavare il coefficiente β ; dalla tabella, per un rapporto h/b = 305/140 = 2.2 , si ricava un valore di $\beta = 3,4$.

La tensione tangenziale, al centro dei lati piu' corti, corrisponde a :

$$\tau = \beta \cdot M_t / b^2 \cdot h .$$

$$\tau = 3,4 \cdot 28999700 / 240^2 \cdot 305 = 5,6 \text{ N/mm}^2 .$$

La tensione di flessione, all' esterno dei alti piu' corti, diviene :

$$\sigma_m' = M_f / W_y .$$

$$\sigma_m' = 6 \cdot M_f / h^2 \cdot b .$$

$$\sigma_m' = 6 \cdot 22512925 / 305^2 \cdot 240 = 6 \text{ N/mm}^2 .$$

La tensione di compressione, sulla sezione generica pericolosa, corrisponde a :

$$\sigma_n' = R / A .$$

$$\sigma_n' = 162308 / 42700 = 3,8 \text{ N/mm}^2 .$$

$$\sigma_{max}' = \sigma_n' + \sigma_m' = 3,8 + 6 \sim 10 \text{ N/mm}^2 .$$

Risulta pertanto :

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma_{max}^2 + 3 \cdot \tau^2} .$$

$$\sigma_{id} = \sqrt{10^2 + 3 \cdot 5,6^2} = 14 \text{ N/mm}^2 \ll \sigma_{adm} .$$

Ultima verifica della pressione, che si genera tra il diametro esterno del bottone, calcolata in precedenza ,e il diametro interno della manovella, causata dalla coppia di forze reagenti al momento flettente sviluppato dalla F_{max} .

La pressione, calcolata ai punti precedenti, che si genera, come dicevamo, su una fascia di 30 mm presa come riferimento, corrisponde a :

$$\sigma_c = 85 \text{ N/mm}^2 .$$

Il limite di fatica in una sollecitazione di trazione pulsante dallo zero vale 0,8 del limite di fatica in una sollecitazione di flessione pulsante dallo zero, che coincide con la tensione di snervamento del materiale. Risulta cioè:

$$\sigma_{LFo} = 0,8 \cdot R_s .$$

essendo $R_s = 370 \text{ N/mm}^2$, si ottiene :

$$\sigma_{LFo} = 0,8 \cdot 370 = 296 \text{ N/mm}^2 .$$

Assunto come grado di sicurezza $n = 1,5$ e un fattore di maggiorazione $\Psi = 2$ per urti forti , la tensione ammissibile diviene :

$$\sigma_{adm} = \sigma_{LFo} / (n \cdot \Psi) .$$

$$\sigma_{adm} = 296 / (1,5 \cdot 2) = 98,6 \text{ N/mm}^2 > \sigma_c .$$

RELAZIONE SUL CICLO DI LAVORO DELLA MANOVELLA .

La manovella, dato il numero sufficientemente elevato di pezzi da produrre, verrà ottenuta mediante il procedimento di forgiatura. Aver optato per questa scelta, deriva, principalmente, perché i pezzi stampati a caldo hanno migliori caratteristiche meccaniche; in quanto le fibre del materiale vengono stirate, si spostano, si deformano, ma non vengono mai tagliate e, quindi, i pezzi così ottenuti sopportano maggiori sollecitazioni meccaniche. In secondo piano, comunque rilevante dal punto di vista economico, il pezzo semilavorato ottenuto con la forgiatura presenta il vantaggio, soprattutto nel nostro caso dove la massa è importante, di risparmio di materiale rispetto all' indefinito lavorato alle macchine utensili e, a sua volta, di risparmio sulle lavorazioni con asportazione di truciolo.

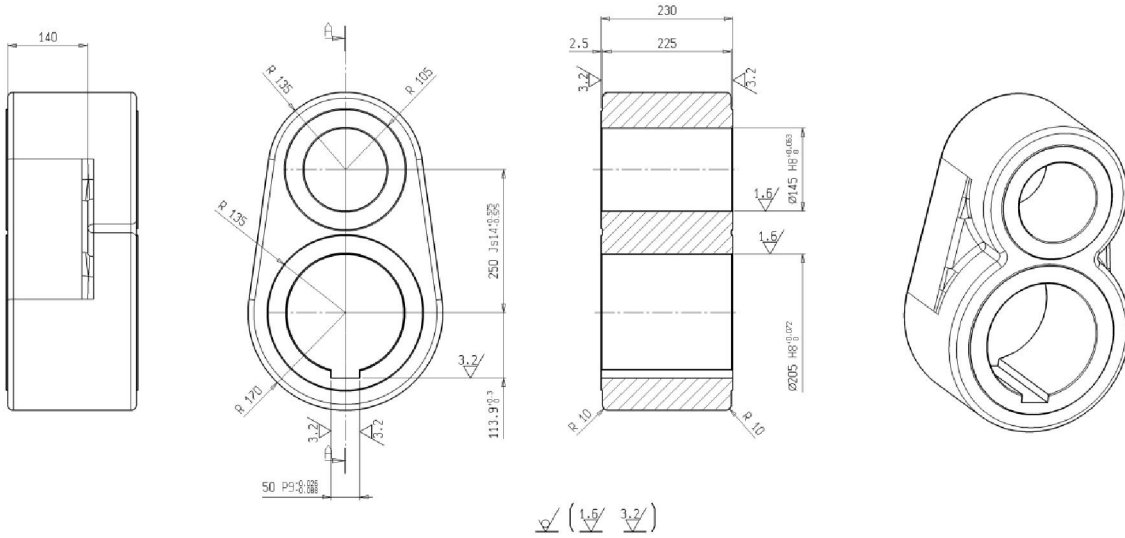
Di contro, ne segue, che essendo gli stampi molto costosi questo processo è indicato per lavorazioni di grande serie come nel nostro caso, dove il numero sufficientemente elevato di pezzi permette di ammortizzare il costo elevato dell' attrezzatura.

In definitiva, le manovelle arriveranno, al reparto di lavorazione, stampati a caldo mediante fucinatrice, sbavati, trattati e disossidati.

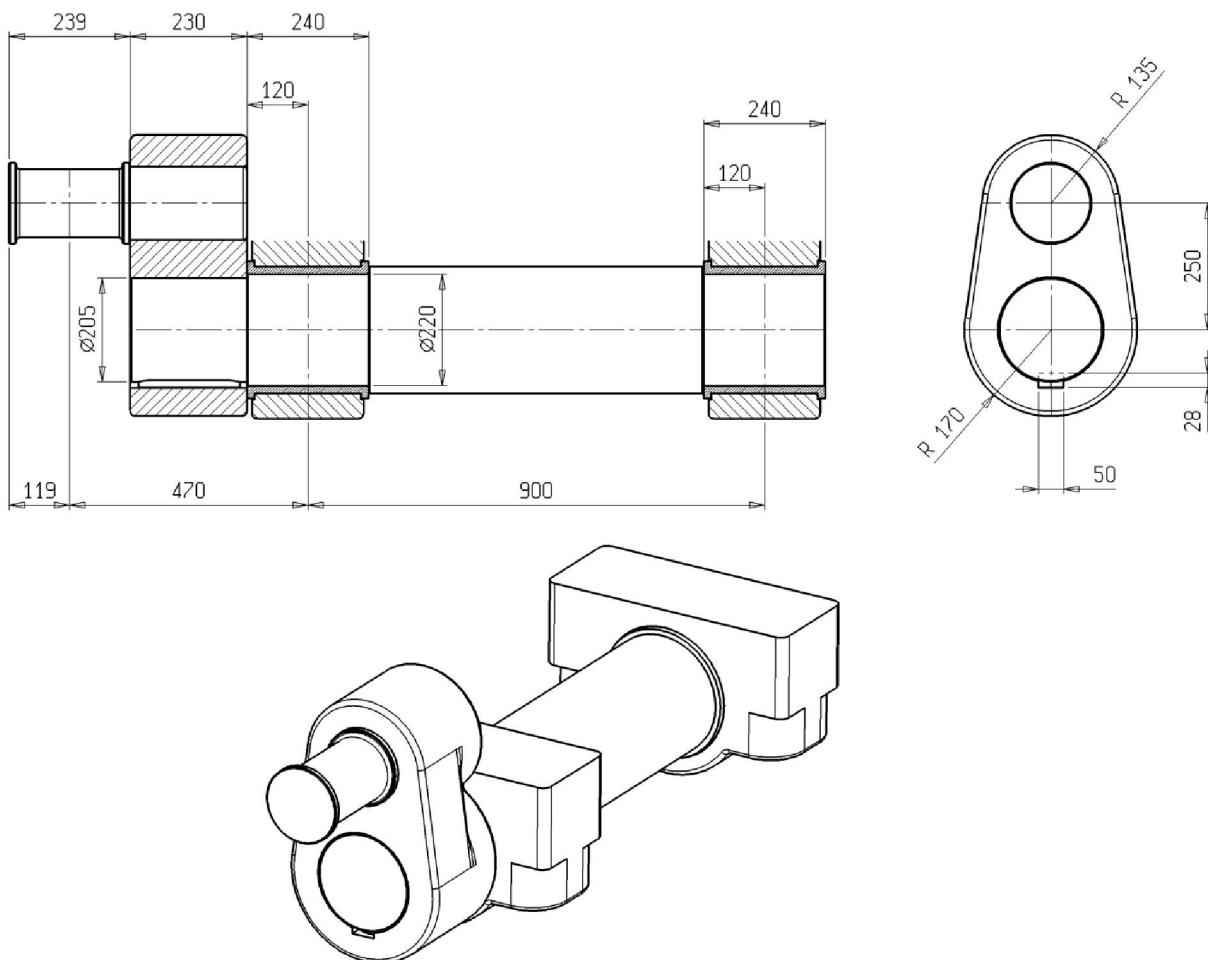
Per le lavorazioni alle macchine utensile si utilizza una fresa a controllo numerico tradizionale a tre assi per le operazioni di spianatura e alesatura dei fori, e in fine, una stozzatrice per la sede per linguetta.

Per il calettamento, del perno di banco nella manovella, si impiega un accoppiamento con interferenza, come per il il bottone di manovella , per bloccare gli organi uno rispetto l' altro ; il montaggio verrà eseguito con un torchietto e con differenza di temperatura, di circa 100° C , fra i due pezzi ; il perno con tolleranza s7, è forzato, a caldo, nella manovella con tolleranza H8 per il foro .

DISEGNO DI FABBRICAZIONE DELLA MANOVELLA .

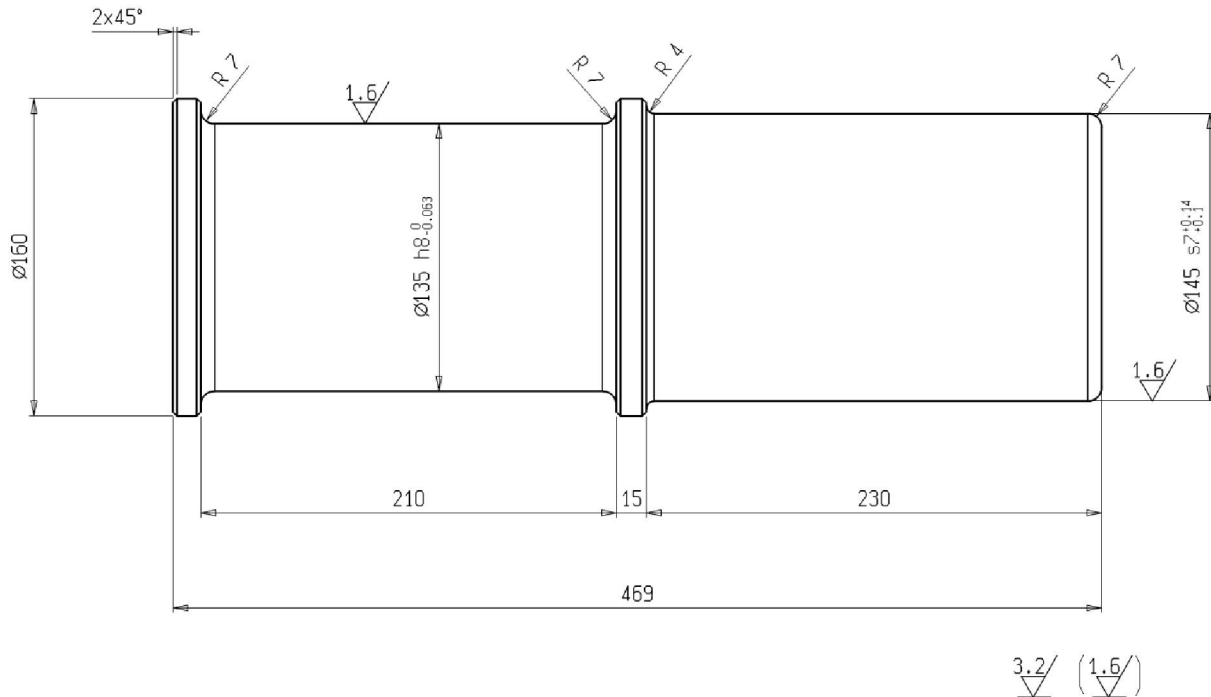


Sotto, riporteremo il disegno di massima dell' albero a manovelle con i supporti di banco .



RELAZIONE SUL CICLO DI LAVORO DEL BOTTONE DI MANOVELLA .

PEZZO DA COSTRUIRE



Come materiale di partenza, per realizzare il pezzo, si sceglie, come stabilito dal dimensionamento ai punti precedenti, un acciaio da bonifica 34NiCrMo16 UNI 7845; questo è reperibile in commercio in barre laminate, già allo stato bonificato, di durezza superficiale intorno a 40 - 38 HRC; il che consente di eseguire la lavorazione completa all' utensile senza necessità di rettifica, a fine ciclo, a causa delle deformazioni provocate dai trattamenti termici.

Il diametro di partenza sarà un tondo di diametro esterno 165 mm; tali barre verranno acquistate con lunghezza di 6 metri.

La lunghezza del pezzo, comprensiva di uno sfrido di taglio di 5 mm, risulta:

$$L = 475 + 5 = 480 \text{ mm} .$$

Per cui, da ogni barra si possono ricavare un numero di pezzi pari a:

$$n \text{ pezzi} = 6000 / 480 = 12 \text{ pezzi} .$$

Determiniamo il numero di barre per realizzare il lotto di produzione di 3000 pezzi:

$$n \text{ barre} = 3000 / 12 = 250 \text{ barre} .$$

Per un lotto di produzione di media serie, com'è definita la produzione in esame, i pezzi possono essere realizzati su un tornio a CNC MAHO GRAZIANO GR 400 C.

La potenza disponibile, dalla scheda macchina, risulta, in servizio continuo all' asse del motore del mandrino, pari a 15 Kw.

Le varie fasi del ciclo si svolgono sul tornio : inizialmente viene eseguita l' intestatura e la centratura di una estremità , operazione 20/1, successivamente la tornitura del diametro 145 mm in tolleranza s7, operazione 20/2 , poi, capovolgendo il pezzo, l' intestatura e la centratura dell' altra estremità , operazione 30/1 , in fine , la sede con gli spallamenti raggiati su cui si articola la testa della biella , operazione 30/2 .

Durante l' operazione di sgrossatura , fase 20 , utilizzando un utensile con placchette di carburi metallici, una profondità di passata $t = 5$ mm , un avanzamento $a = 0,4$ mm / giro e la velocità di taglio consigliata V_t , dobbiamo disporre della seguente potenza all' asse del mandrino :

$$N_a = \sigma_s \cdot q \cdot V_t / 1000 \cdot 60 \cdot \eta .$$

con la sezione di truciolo $q = a \cdot t \rightarrow 0,4 \cdot 5 = 2$ mm² ;

la pressione specifica di taglio $\sigma_s = 4000$ N/mm² ;

La velocità di taglio da adottare, con un utensile in carburo sinterizzato avente un angolo di attacco principale $\chi_1 = 45^\circ$ e volendo una durata del filo tagliente di 80 minuti, corrisponde a :

$$V_t = V_1 \cdot (G / 5)^g / q^f \cdot (T / 60)^n .$$

V_1 = velocità di taglio in funzione del materiale che assicura una durata del tagliente di 60 minuti con $q = 1$ mm² e $G = 5$; tabellata e nel nostro caso pari a 67 m/min ;

G = fattore di forma $\rightarrow b / h_o \rightarrow (t / \sin \chi_1) / (a \cdot \sin \chi_1) \rightarrow (5 / \sin 45^\circ) / (0,4 \cdot \sin 45^\circ) = 25$;

g = valore tabellato in funzione del materiale da lavorare, nel nostro caso 0,14 ;

f = valore tabellato in funzione del materiale da lavorare, nel nostro caso 0,28 ;

n = costante 0,25 per utensili in carburi sinterizzati ;

per cui, conoscendo tutti i termini, possiamo determinare :

$$V_t = 67 \cdot (25 / 5)^{0,14} / 2^{0,28} \cdot (80 / 60)^{0,25} = 64 \text{ m/min}$$

La potenza necessaria, in definitiva, risulta :

$$N_a = \sigma_s \cdot q \cdot V_t / 1000 \cdot 60 \cdot \eta .$$

$$N_a = 4000 \cdot 2 \cdot 64 / 1000 \cdot 60 \cdot 0,7 = 12,2 \text{ Kw} .$$

Le condizioni scelte risultano valide, dato che la potenza all' asse del motore è di 15 Kw .

Durante l' operazione di sgrossatura della scanalatura , fase 30/3 , utilizzando un utensile con placchette di carburi metallici, una profondità di passata $t = 4$ mm (che corrisponde alla larghezza del tagliente) , un avanzamento $a = 0,2$ mm / giro , dobbiamo disporre della seguente velocità di taglio consigliata V_t :

$$V_t = V_1 \cdot (G / 5)^g / q^f \cdot (T / 60)^n .$$

V_1 = velocità di taglio in funzione del materiale che assicura una durata del tagliente di 60 minuti con $q = 1$ mm² e $G = 5$; tabellata e nel nostro caso pari a 67 m/min ;

G = fattore di forma $\rightarrow b / h_o \rightarrow (t / \sin \chi_1) / (a \cdot \sin \chi_1) \rightarrow (4 / \sin 90^\circ) / (0,2 \cdot \sin 90^\circ) = 20$;

g = valore tabellato in funzione del materiale da lavorare, nel nostro caso 0,14 ;

f = valore tabellato in funzione del materiale da lavorare, nel nostro caso 0,28 ;

n = costante 0,25 per utensili in carburi sinterizzati ;

$q = a \cdot t \rightarrow 0,2 \cdot 4 = 0,8 \text{ mm}^2$;

per cui, conoscendo tutti i termini, possiamo determinare :

$$Vt = 67 \cdot (20 / 5)^{0,14} / 0,8^{0,28} \cdot (80 / 60)^{0,25} = 80,6 \text{ m/min}$$

Non sarà necessario, dato trattasi di una motrice lenta, che la superficie del perno sia particolarmente liscia, rettificata, perché essa sarà a contatto con la bronzina della biella, che, ruotando, si adatterà perfettamente al perno stesso .

Alla fine del processo di lavorazione , si eseguirà un controllo dimensionale del manufatto con l'ausilio di calibro e micrometro .


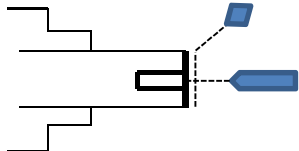
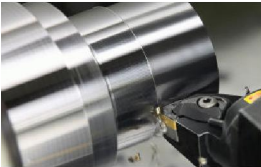
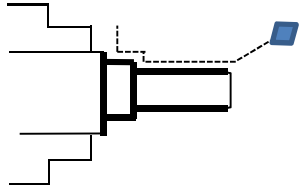
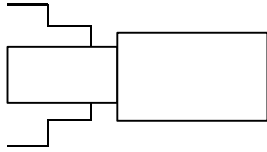

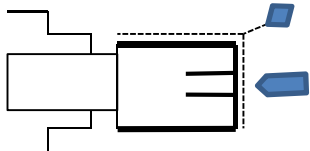

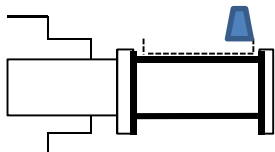
Il montaggio del perno nella manovella, trattandosi di una motrice lenta di modesta precisione, avverrà a caldo con interferenza . Il bottone, con tolleranza del perno s7, è forzato, a caldo, nella manovella con tolleranza H8 per il foro . Riscaldando la massa attorno all' alesaggio in modo uniforme, ed a una determinata temperatura, di circa 100° C fra i due pezzi , è possibile aumentare considerevolmente la dimensione del foro. L'asse del perno si inserisce, quindi, facilmente nel foro ingrandito. Durante il raffreddamento, la massa, attorno al foro, riprende la sua dimensione di origine e le forze di frizione creano un assemblaggio notevolmente efficace.

Il trattamento di bonifica viene eseguito, nel nostro caso, direttamente sulle barre commerciali allo stato laminato, il che rende possibile un vantaggio economico, dato che esso viene attuato con impianti automatici, sul costo del manufatto .

Si deve, tuttavia, tener presente, che la durezza residua sulla superficie del pezzo lavorato è inferiore rispetto a quella in superficie allo stato grezzo . Nel nostro esempio, le tabelle, per un acciaio da bonifica 34NiCrMo16 UNI 7845, riportano un valore sull' esterno, a 1,5 mm dall' estremità del raggio , intorno a 40 – 38 HRC e un valore di 32 – 30 HRC in corrispondenza del cuore ; valori decisamente accettabili .

La bonifica è un trattamento termico composto da una tempra seguita dal rinvenimento . Il costituente principale è la martensite . Il ciclo termico comprende, successivamente il riscaldamento alla temperatura di austenizzazione di 850° C (al di sopra del punto critico AC3 di circa 50° C) , una permanenza di 30 minuti e un raffreddamento fino ad una temperatura inferiore ad MS, sufficientemente rapido, da permettere la trasformazione in martensite, struttura di elevata durezza e fragilità. Allo stato temprato, l' acciaio presenta una elevata durezza e basse caratteristiche di tenacità . Per ovviare a questa condizione di stato, è necessario, quindi, ricorrere ad un successivo trattamento, che ne modifichi, piu' o meno profondamente, la struttura martensitica di tempra, annullando, cosi' , le tensioni e la fragilità. Questo trattamento, denominato rinvenimento, comprende un riscaldamento ad una temperatura inferiore ad AC1 , 600° C , un mantenimento per un certo tempo, circa 2 ore, a questa determinata temperatura ed in fine un raffreddamento, in un mezzo appropriato (aria, olio) , fino a temperatura ambiente .

CARTELLINO DEL CICLO DI LAVORAZIONE

OPERAZIONE	DESCRIZIONE OPERAZIONE	MACCHINA, UTENSILI	SCHEMA CICLO DI LAVORO
10	Prelievo materiale	tondo 34NiCrMo16 UNI 7845 laminato bonificato D.165 X 475 mm	
20	Preparazione macchina	TORNIO A CNC MAHO GRAZIANO GR 400 C	
20/1 	Intestare e centrare	placchetta P20 da esterni utensile sgrossatore punta da centro	
20/2 	Tornitura di sgrossatura Tornitura di finitura a tolleranza del diametro 145 mm e dello spallamento sinistro ricavando il raggio R 4 , R 7 e SM. 2X45°	placchetta P20 da esterni utensile sgrossatore utensile finitore	
30	Capovolgere il pezzo		
30/1 	Intestare a misura 469 mm e centrare Tornitura di sgrossatura e finitura del diametro 160 mm. Esecuzione smusso SM.2X45°	placchetta P20 da esterni utensile sgrossatore utensile finitore punta da centro	
30/3 	Tornitura di sgrossatura Tornitura di finitura spallamenti a misura ricavando raggi R 7 Esecuzione smussi SM.2X45°	placchetta P20 da esterni utensile da scanalature	
40	Deporre il pezzo		
50	Collaudo	Calibro Micrometro	

PROGRAMMA GUIDATO

Premessa: tutte le coordinate cartesiane X e Z fanno riferimento allo zero pezzo W ; per le operazioni 20, il punto zero pezzo corrisponde al centro della faccia finita destra del perno; per le operazioni 30, il punto zero pezzo, capovolgendo il particolare, corrisponde al centro della faccia finita sinistra del perno.

Cerca l' utensile 1 (utensile sgrossatore rombico)	N1 T01
Avvia il mandrino in senso orario	M03
Raggiungi 247 giri/min (Vt = 64 m/min)	S247
In linea retta alla massima velocità raggiungi il punto X170, Z0,5	N2 G00 X170 Z0,5
Manda il liquido refrigerante	M08
Alla velocità di lavoro con avanzamento di 0,40 mm/giro vai in X0	N3 G01 F0,40 X0
In linea retta alla massima velocità raggiungi il punto X170, Z2	N4 G00 X170 Z2
In linea retta alla massima velocità raggiungi il punto X170, Z0	N5 G00 X170 Z0
Alla velocità di lavoro con avanzamento di 0,20 mm/giro vai in X0	N6 G01 F0,20 X0
In linea retta alla massima velocità raggiungi il punto X800 Z800	N7 G00 X800 Z800
Cerca l' utensile 2 (punta da centri)	N8 T02
Raggiungi 860 giri/min	S860
In linea retta alla massima velocità raggiungi il punto X0 Z2	N9 G00 X0 Z2
Alla velocità di lavoro con avanzamento di 0,05 mm/giro vai in Z-13	N10 G01 F0,05 Z-13
In linea retta alla massima velocità raggiungi il punto Z2	N11 G00 Z2
In linea retta alla massima velocità raggiungi il punto X800, Z800	N12 G00 X800 Z800
Avanzamento contropunta	G152 W-700
Avanzamento canotto contropunta	M56
Cerca l' utensile 1 (utensile sgrossatore rombico)	N13 T01 G00 X165 Z1
Raggiungi 130 giri/min (Vt = 64 m/min)	S130
Inizio definizione contorno longitudinale	N14 LAP1 G81
In linea retta alla massima velocità raggiungi il punto X130, Z2	G00 X130 Z2
Alla velocità di lavoro con avanzamento di 0,2 mm/giro vai in Z0	G01 F0,2 Z0
Eeguire raggiatura di 7 mm alla velocità di lavoro portandosi al punto X145,12, Z-7	G76 X145,12 L7
Alla velocità di lavoro vai in Z-230 X153 eseguendo il raggio R4	G76 Z-230 L4
Alla velocità di lavoro vai in Z-232 X160 eseguendo lo smusso 2x45°	G75 X160 L2
In linea retta alla velocità di lavoro raggiungi il punto Z-255	Z-255
In linea retta alla velocità di lavoro raggiungi il punto X170	X170
Fine definizione profilo di lavoro	G80
Richiamo ciclo di sgrossatura p.p.= 5 mm ag=0,4 mm con sovrammetallo sul diametro 0,4 e 0,1 su spallamenti per la finitura	G85 LAP1 D4,8 U0,4 W0,1 F 0,4
In linea retta alla massima velocità raggiungi il punto X800, Z800	G00 X800 Z800
Cerca l' utensile 3 (utensile finitore rombico)	T02
Richiamo ciclo di finitura ag=0,2 mm	G87 NLAP1
In linea retta alla massima velocità raggiungi il punto 0	N15 G00 X800 Z800
Ferma il mandrino	M05
Refrigerante off	M09
Arretramento canotto	M155
Arretramento contropunta	M152 W00
CAPOVOLGERE IL PEZZO	
Cerca l' utensile 1 (utensile sgrossatore rombico)	N16 T01
Avvia il mandrino in senso orario	M03
Raggiungi 247 giri/min (Vt = 64 m/min)	S247
In linea retta alla massima velocità raggiungi il punto X170 Z0,5	N17 G00 X170 Z0,5

Manda il liquido refrigerante	M08
Alla velocità di lavoro con avanzamento di 0,30 mm/giro vai in X0	N18 G01 F0,30 X0
In linea retta alla massima velocità raggiungi il punto X170 Z0,5	N19 G00 X170 Z0,5
In linea retta alla massima velocità raggiungi il punto X170 Z0	N20 G00 X170 Z0
Alla velocità di lavoro con avanzamento di 0,20 mm/giro vai in X0	N21 G01 F0,20 X0
In linea retta alla massima velocità raggiungi il punto X155 Z2	N22 G00 X155 Z2
Raggiungi 125 giri/min (Vt = 64 m/min)	S125
Alla velocità di lavoro con avanzamento di 0,20 mm/giro vai in Z0	N23 G01 Z0F0,20
Alla velocità di lavoro vai in Z-2 X160 eseguendo lo smusso 2x45°	N24 G75 X160 L2 F0,2
Alla velocità di lavoro vai in X160,5	N25X160,5
Alla velocità di lavoro con avanzamento di 0,40 mm/giro vai in Z-224	N26 Z-224 F0,4
In linea retta alla massima velocità raggiungi il punto X800 Z800	N27 G00 X800 Z800
Cerca l' utensile 3 (utensile finitore rombico)	N28 T03
In linea retta alla massima velocità raggiungi il punto X160 Z2	N29 G00 X160 Z2
Alla velocità di lavoro con avanzamento di 0,2 mm/giro vai in Z-224	N30 G01 F0,20 Z-224
In linea retta alla massima velocità raggiungi il punto X800 Z800	N31 G00 X800 Z800
Cerca l' utensile 2 (punta da centri)	N32 T02
Raggiungi 860 giri/min	S860
In linea retta alla massima velocità raggiungi il punto X0 Z2	N33 G00 X0 Z2
Alla velocità di lavoro con avanzamento di 0,05 mm/giro vai in Z-13	N34 G01 S F0,05 Z-13
In linea retta alla massima velocità raggiungi il punto Z2	N35 G00 Z2
In linea retta alla massima velocità raggiungi il punto X800 Z800	N36 G00 X800 Z800
Avanzamento contropunta	G152 W-700
Avanzamento canotto contropunta	M56
Cerca l' utensile 4 (utensile da scanalature sgrossatore sp.4mm)	N37 T04
Raggiungi 170 giri/min (Vt = 80 m/min)	S170
In linea retta alla massima velocità raggiungi il punto X162 Z-18	N38 G00 X162 Z-18
Ciclo per gole: alla velocità di lavoro con avanzamento di 0,2 mm/giro vai in X135,5 Z-213	N39 G73 X135,5 Z-213 D100 L100 K3,5 F0,2
In linea retta alla massima velocità raggiungi il punto X162 Z-18	N39 G00 X170 Z-25
In linea retta alla massima velocità raggiungi il punto X800 Z800	N40 G00 X800 Z800
Cerca l' utensile 5 (utensile da scanalature finitore sp.4mm)	N41 T05
In linea retta alla massima velocità raggiungi il punto X162 Z-12	N42 G00 X162 Z-12
Alla velocità di lavoro con avanzamento di 0,1 mm/giro vai in X160	N43 G01 X160 F0,1
Alla velocità di lavoro vai in X156 Z-14 eseguendo lo smusso 2x45°	N44 G75 Z-14 L2
Alla velocità di lavoro vai in Z-21 X134,95 eseguendo il raggio R7	N45 G76 X134,95 L7
Alla velocità di lavoro vai in Z-213	N46 Z-213
Alla velocità di lavoro con avanzamento di 0,9 mm/giro vai in X162	N47 G01 X162 F0,9
Alla velocità di lavoro vai in Z-222	N48 Z-222
Alla velocità di lavoro con avanzamento di 0,2 mm/giro vai in X160	N49 X160 F0,2
Alla velocità di lavoro vai in X156 Z-220 eseguendo lo smusso 2x45°	N50 G75 Z-220 L2
Alla velocità di lavoro vai in Z-213 X134,95 eseguendo il raggio R7	N51 G76 X134,95 L7
Alla velocità di lavoro vai in Z-210	N52 Z-210
In linea retta alla massima velocità raggiungi il punto X200	N53 G00 X200
In linea retta alla massima velocità raggiungi il punto 0	N54 N29 G00 X800 Z800
Ferma il mandrino	M05
Refrigerante off	M09
Arretramento canotto	M155
Arretramento contropunta	M152 W00
Fine programma	M02