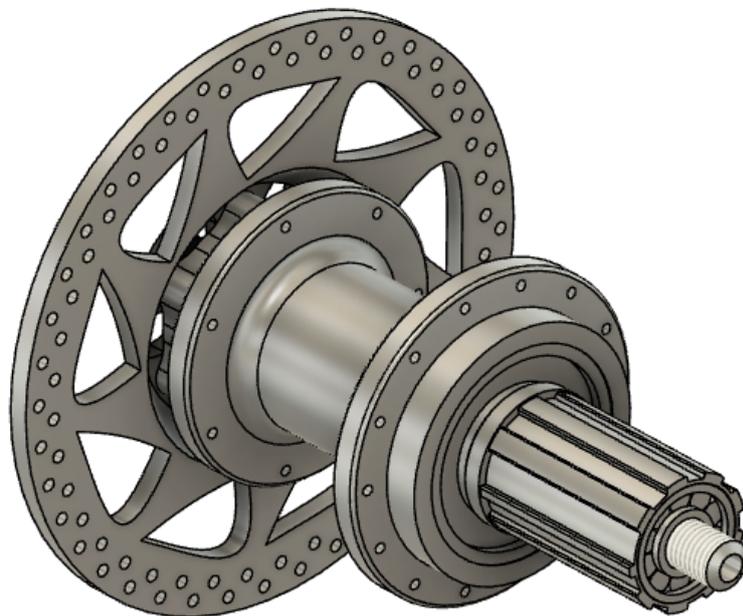


Progetto di Tecnologia Meccanica

Freschi Tommaso e Benvenuti Filippo

Docenti: Michele Lanzetta, Francesco Spigliati



Scuola di Ingegneria UNIPI

Indice

1	Introduzione	4
1.1	Generalità	4
1.2	Il pezzo	5
1.2.1	Disegni del pezzo	5
2	Il processo di fusione	12
2.1	Generalità	12
2.2	Scelta del materiale	14
2.3	Scelta del processo	14
2.4	Scelta del materiale in cui fondere	14
2.5	Analisi dei problemi di estrazione	14
2.5.1	Scelta del piano di divisione	14
2.5.2	Modifica del disegno	15
2.6	Modifica del disegno per la contrazione durante la solidificazione	15
2.7	Modifica del disegno per la predisposizione del sovrametallo	15
2.8	Studio della solidificazione direzionale	17
2.8.1	Divisione del pezzo in volumi elementari e calcolo dei moduli di raffreddamento	17
2.8.2	Posizionamento e dimensionamento della/e materozza/e	21
2.8.3	Verifica con il metodo dei cerchi di Heuvers	22
2.8.4	Verifica con il diagramma del Caine	23
2.9	Dimensionamento dei sistemi di colata	25
2.9.1	Calcolo della sezione dei canali	25
2.9.2	Scelta del punto di iniezione	25
2.9.3	Calcolo della spinta metallostatica	26
2.10	Progettazione dell'anima e del modello.	26
2.11	Simulazione	30
2.12	Analisi dei tempi	31
2.12.1	Tempi passivi	31
2.12.2	Tempo di riempimento	31
2.12.3	Tempo di solidificazione	32
2.13	Calcolo dei costi	32
2.13.1	Costo acciaio	32
2.13.2	Costo materiale di formatura	32
2.13.3	Costo del modello e della cassa d'anima	33
2.13.4	Costo della manodopera	33
2.13.5	Costo totale	33
3	Processo di stampa 3D	34
3.1	Generalità	34
3.2	Scelta del processo	36
3.3	Scelta del materiale	36
3.4	Scelta della stampante	36
3.5	Orientamento e generazione dei supporti	37
3.6	Analisi e scelta dei parametri di stampa	38
3.7	Simulazione e risultato finale	38
3.8	Tempi e costi di produzione	38
3.8.1	Costo del materiale	38

3.8.2	Costo dell'energia elettrica	38
3.8.3	Costo della manodopera	39
3.8.4	Ammortamento della stampante	39
3.8.5	Costo totale	39
4	Le lavorazioni per asportazione di truciolo	40
4.1	Generalità	40
4.2	Scelta della sequenza delle operazioni, fasi e sottofasi	42
4.3	Scelta delle macchine	42
4.3.1	Il tornio	43
4.3.2	La fresatrice	43
4.4	Scelta delle attrezzature	44
4.4.1	La sega a disco	44
4.4.2	Il calibro ventesimale	44
4.4.3	Il micrometro	44
4.4.4	Il mandrino	45
4.5	Utensileria	45
4.6	Scelta dei parametri di taglio	46
4.6.1	Parametri di taglio segatura	46
4.6.2	Parametri di taglio tornitura	46
4.6.3	Parametri di taglio fresatura	50
4.7	Calcolo tempi di lavorazione	50
4.7.1	Tempi attivi	50
4.7.2	Tempi passivi	51
4.8	Calcolo dei costi di lavorazione	52
4.8.1	Costi della materia prima	52
4.8.2	Costi di manodopera	52
4.8.3	Costi delle macchine	52
4.8.4	Costo delle attrezzature	53
4.8.5	Costo degli utensili	53
4.8.6	Costi totali	54
4.9	Ciclo di lavoro	54
5	Lavorazione per deformazione plastica	56
5.1	Generalità	56
5.2	Scelta del materiale	58
5.3	Scelta del greggio di partenza	58
5.4	Calcolo dei parametri di riferimento	58
5.4.1	Gioco tra matrice e punzone	58
5.4.2	Raggio di arrotondamento della matrice	58
5.4.3	Raggio di arrotondamento del punzone	58
5.4.4	Pressione del premilamiera	59
5.4.5	Forza di imbutitura	59
5.5	Scelta della macchina	59
5.6	Calcolo dei tempi e dei costi	60
5.6.1	Materia prima	60
5.6.2	Costo della macchina	60
5.6.3	Costo del kit per imbutitura	60
5.6.4	Costo della manodopera	61
5.6.5	Consumo energia elettrica	61
5.6.6	Costo totale	61
6	Lavorazione per taglio laser	62
6.1	Generalità	62
6.2	Scelta del processo	64
6.3	Scelta della macchina	64
6.4	Scelta dei parametri di taglio	65
6.5	Utensileria	65
6.6	Calcolo dei tempi e dei costi	65

6.6.1	Calcolo dei tempi di produzione	65
6.6.2	Costo della materia prima	66
6.6.3	Costo degli utensili	66
6.6.4	Ammortamento macchina	66
6.6.5	Costo energia elettrica	66
6.6.6	Costo della manodopera	66
6.6.7	Costo totale	66
7	Appendice	67
7.1	Schede tecniche e link macchine	67
7.1.1	Tornio	67
7.1.2	Fresatrice universale	67
7.1.3	Pressa	68
7.1.4	Macchina per taglio laser	68
7.2	Link Attrezzature	69
7.2.1	Sega a disco	69
7.2.2	Sega a disco	69
7.2.3	Micrometro	69
7.2.4	Calibro ventesimale	69
7.2.5	Mandrino	69
7.3	Link utensili	69
7.3.1	Utensile per segatura	69
7.3.2	Utensile per centratura	69
7.3.3	Utensili per tracciatura	69
7.3.4	Utensili sgrossatura interna	70
7.3.5	Utensili Alesatura interna	70
7.3.6	Utensili Sgrossatura esterna, Attestatura, Smussatura	70
7.3.7	Utensili finitura esterna	70
7.3.8	Utensili foratura	70
7.3.9	Utensili fresatura	70
7.3.10	Utensile per taglio laser	70
8	Fonti	71
8.1	Bibliografia	71
8.2	Sitografia	71

Capitolo 1

Introduzione

1.1 Generalità

Come oggetto del progetto abbiamo scelto di occuparci di un complessivo da noi pensato e progettato: si tratta di un complesso mozzo-portapignoni-discofreno da montare su una bicicletta. L'idea nasce dalla ricerca di un'alternativa valida alle ruote libere per biciclette che si trovano attualmente sul mercato, che utilizzano un profilo scanalato con tre denti di aggancio sostenuti da molle, i quali permettono la trasmissione del moto rotatorio in un unico verso.

I vantaggi della nostra soluzione sono i seguenti:

- 1) Minor necessità di manutenzione.
- 2) Maggior solidità complessiva del sistema.
- 3) Maggior fluidità nel momento della messa in moto del pedale.

L'unico svantaggio che riscontriamo è un leggero aumento di peso: per questo motivo il nostro progetto non è destinato per essere montato su bici che mirano a minimizzare il peso, ma piuttosto su altre che mirano ad una maggior efficienza di pedalata e resistenza all'usura per uso intensivo.

La ruota libera che abbiamo deciso di utilizzare per trasmettere il moto è una CSK25P: si tratta di un cuscinetto a rulli unidirezionale e frizione, noto anche come cuscinetto *sprang*. Il diametro interno è di 25mm, l'esterno di 52mm, e lo spessore di 15mm. Inoltre, è presente una cava per linguetta in corrispondenza del diametro interno.



Figura 1.1: CSK25P

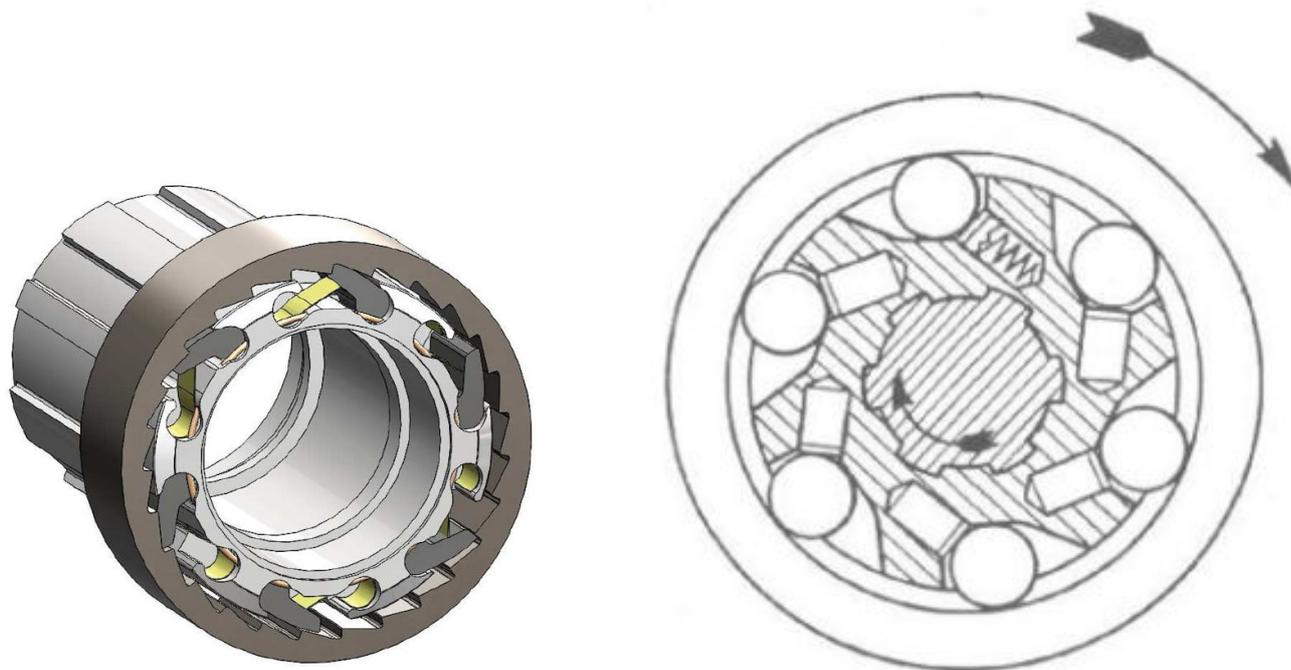


Figura 1.2

La figura sulla sinistra mostra il classico meccanismo utilizzato nelle biciclette di oggi.

Sulla destra possiamo osservare il sistema di ruota libera, integrato nel cuscinetto CSK25P. Questo componente è stato il punto di partenza della nostra progettazione: potremmo dire che abbiamo costruito tutto “intorno” a lui. La sua funzione è quella di permettere la rotazione in un solo verso, bloccando il movimento opposto — una caratteristica fondamentale per il tipo di applicazione che avevamo in mente.

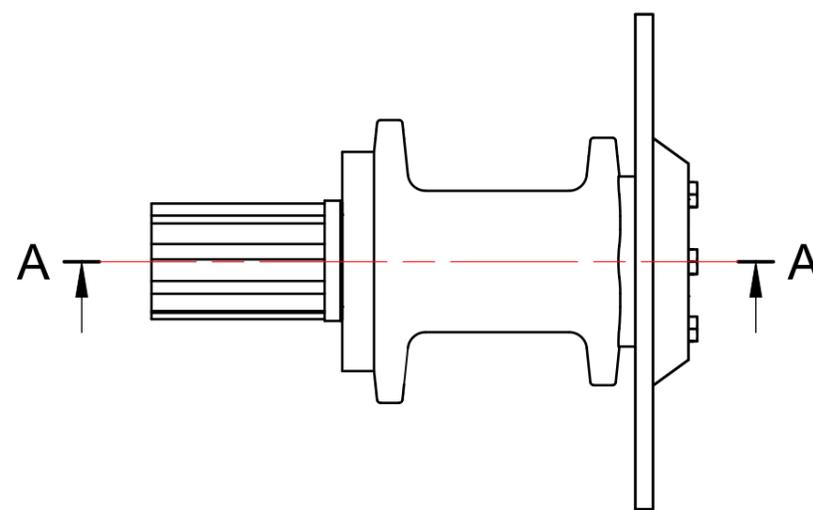
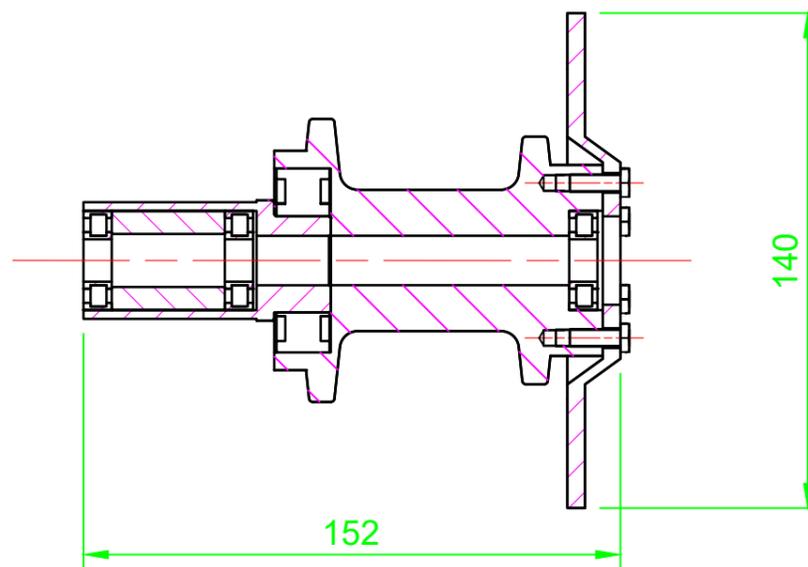
Una volta scelto il cuscinetto, ci siamo concentrati su come adattare tutti gli altri pezzi per farli lavorare in sinergia con questa ruota libera. Abbiamo studiato le sue dimensioni, il modo in cui si monta, e le sue proprietà meccaniche, e da lì abbiamo modellato il resto del sistema. Questo ci ha permesso di ottenere un complessivo ben integrato, preciso e affidabile, dove ogni componente è pensato per valorizzare le prestazioni della ruota libera.

Nota: tutte le misure sono espresse in mm, salvo diversa indicazione.

1.2 Il pezzo

1.2.1 Disegni del pezzo

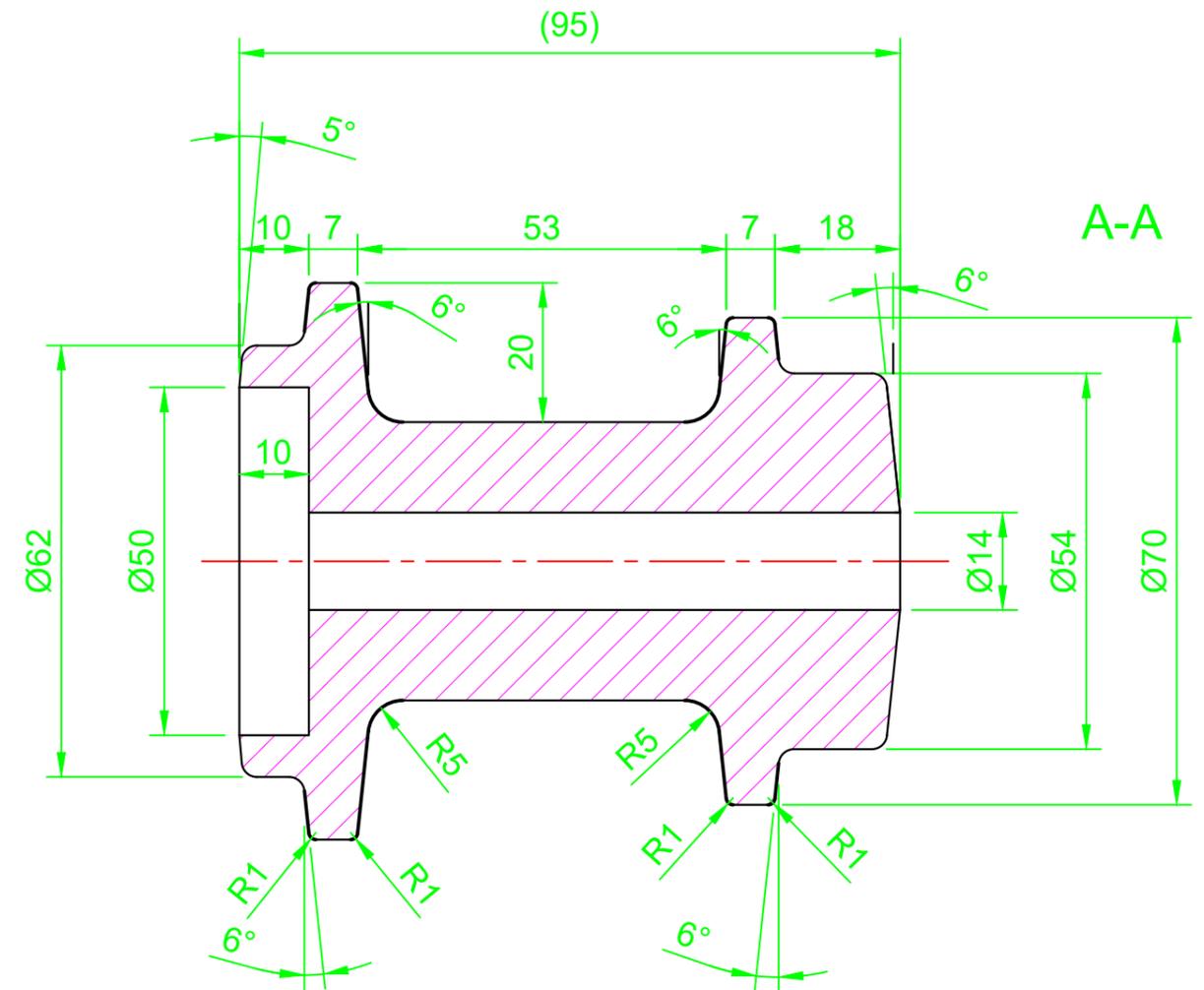
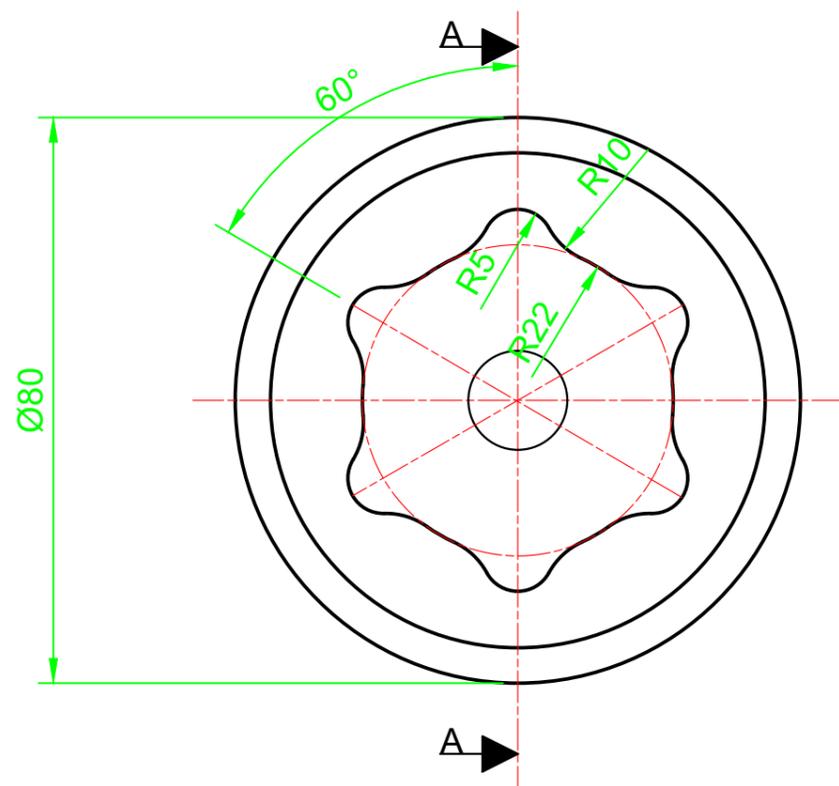
A-A



Tolleranze generali UNI EN 22768-mK

	Scala 1:4	Foglio 1
	Complessivo	
	Freschi Tommaso, Benvenuti Filippo	

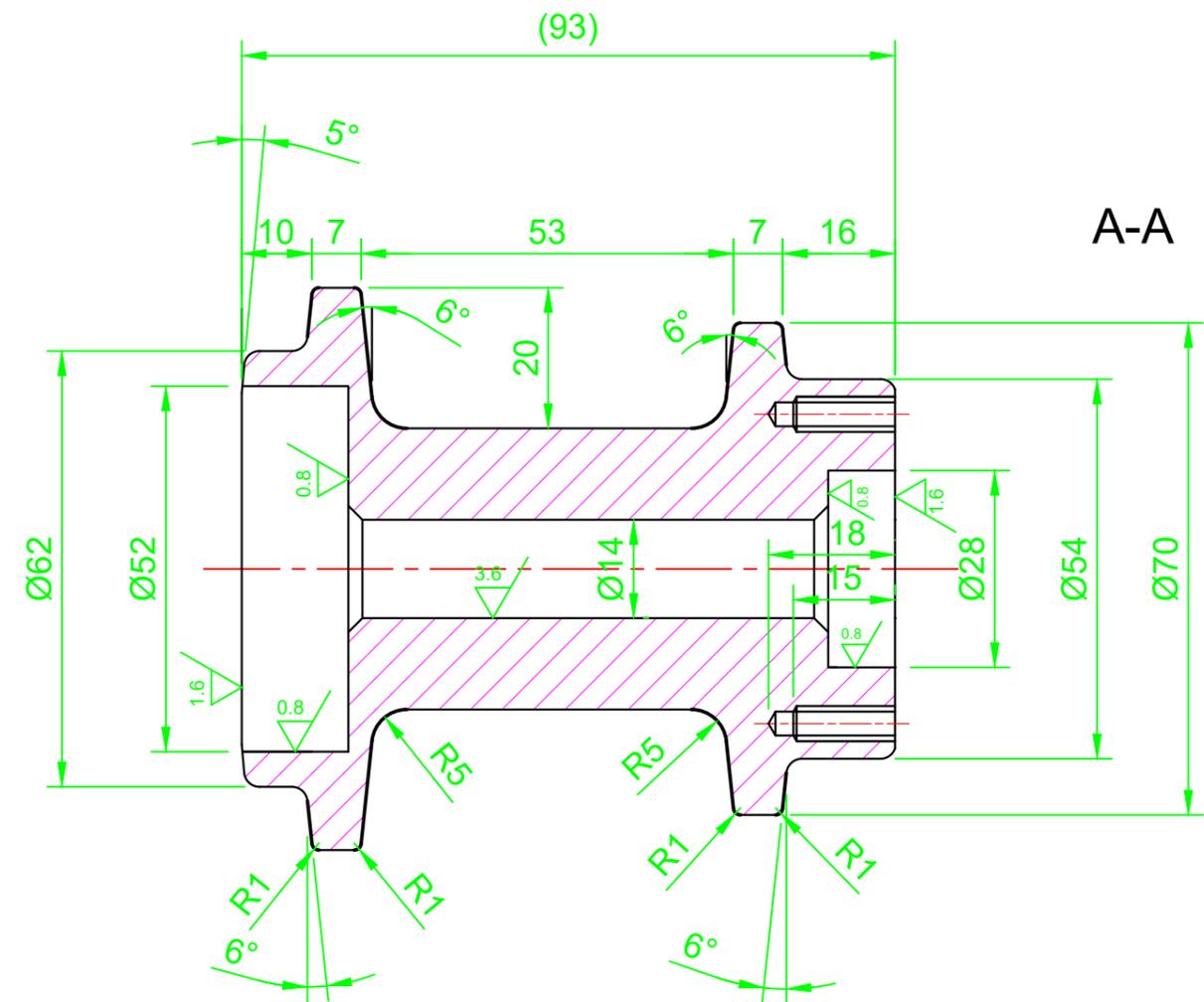
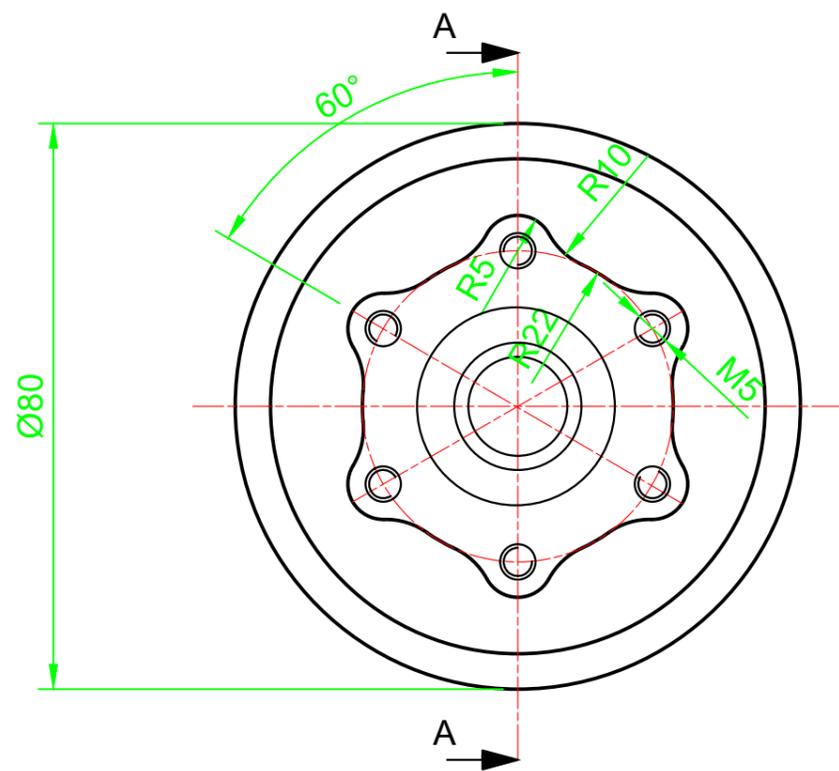
La scala del disegno è stata adattata perché il disegno nasce su A3



Raccordi non quotati R2
Tolleranze generali UNI EN 22768-mK

Materiale: Alluminio A356			
Scala 1:2		Foglio 2	
Mozzo ruota grezzo			
Freschi Tommaso, Benvenuti Filippo			

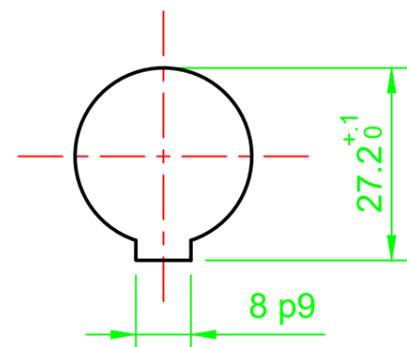
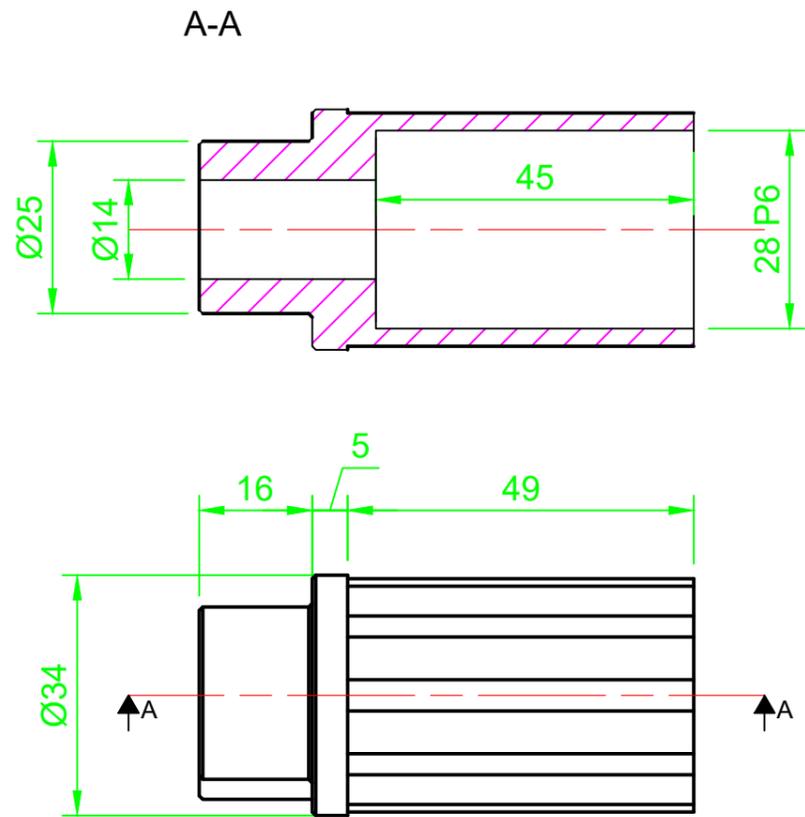
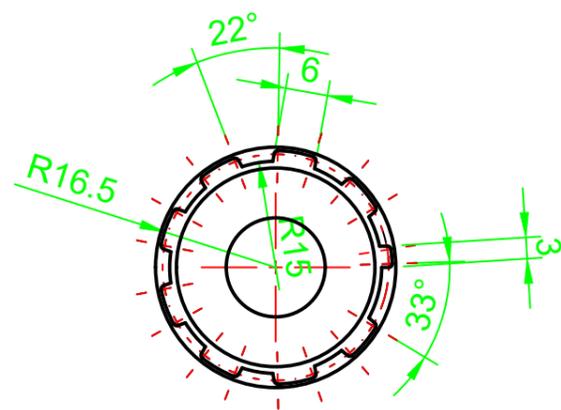




Smussi non quotati 2x45°
 Raccordi non quotati R2
 Tolleranze generali UNI EN 22768-mK



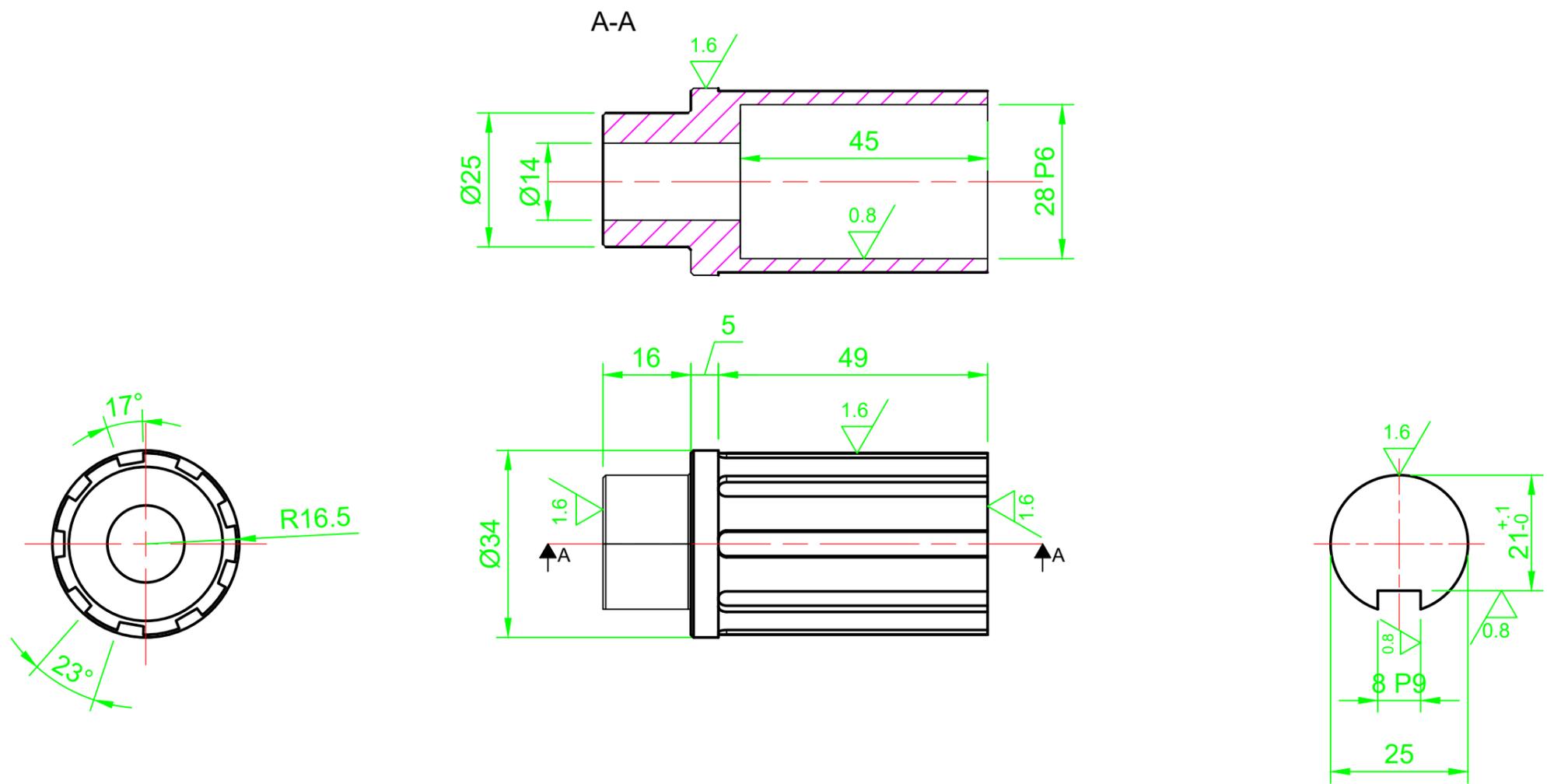
Materiale: Alluminio A356			
Scala 1:2		Foglio 3	
Mozzo ruota finito			
Freschi Tommaso, Benvenuti Filippo			



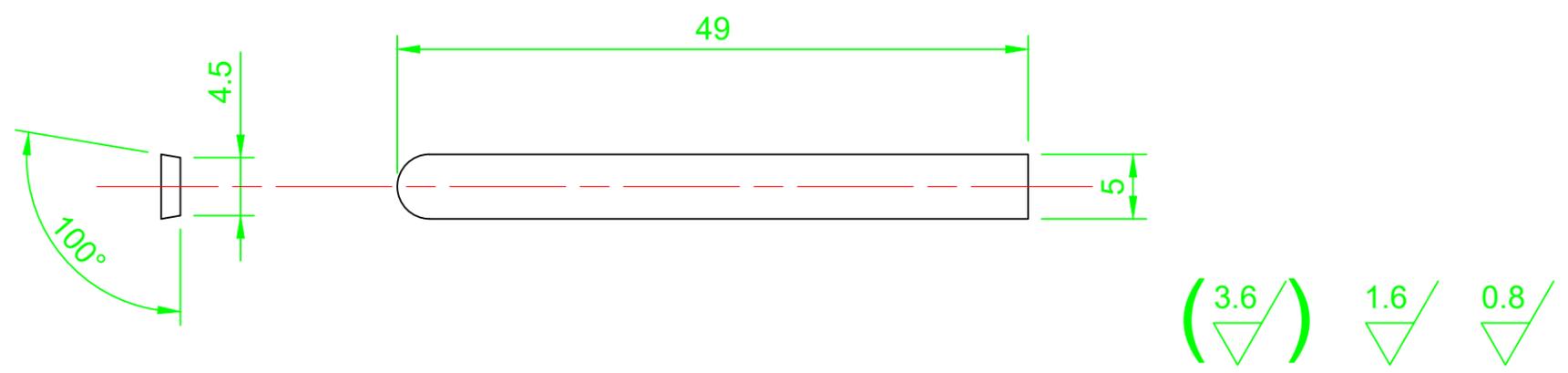
(25/)

Smussi non quotati 0.5x45°
Tolleranze generali UNI EN 22768-mK

Materiale: ABS				
Scala 1:2		Foglio 4		
Porta pignoni				
Freschi Tommaso, Benvenuti Filippo				

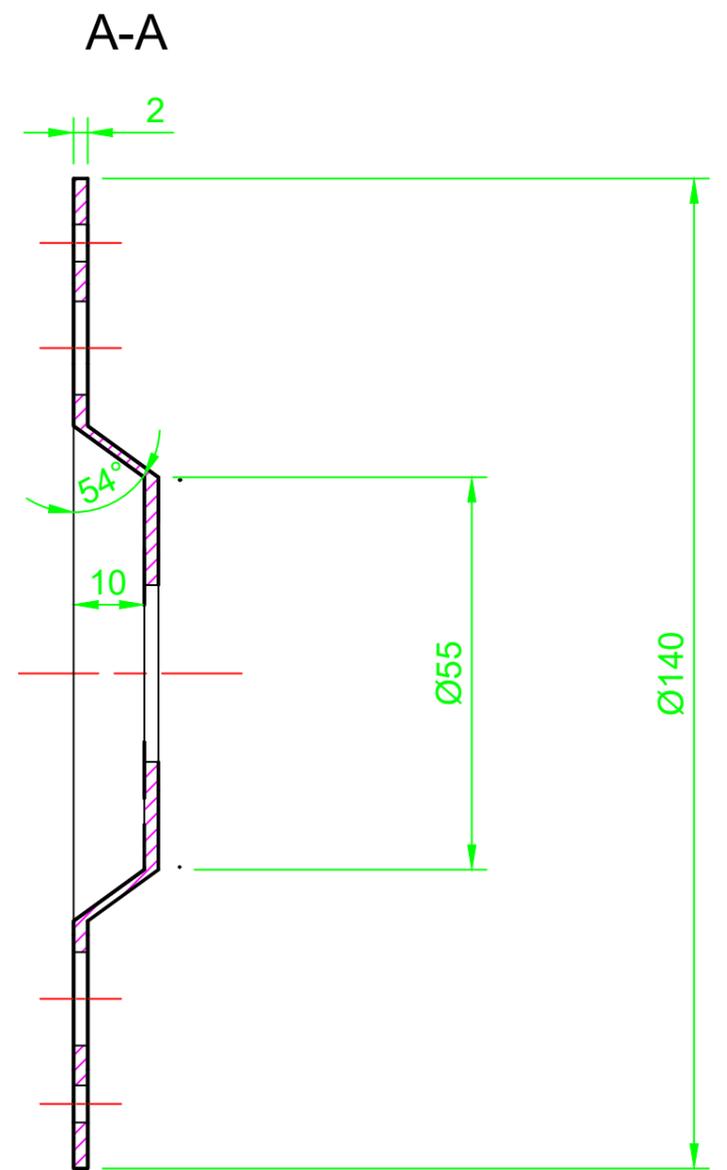
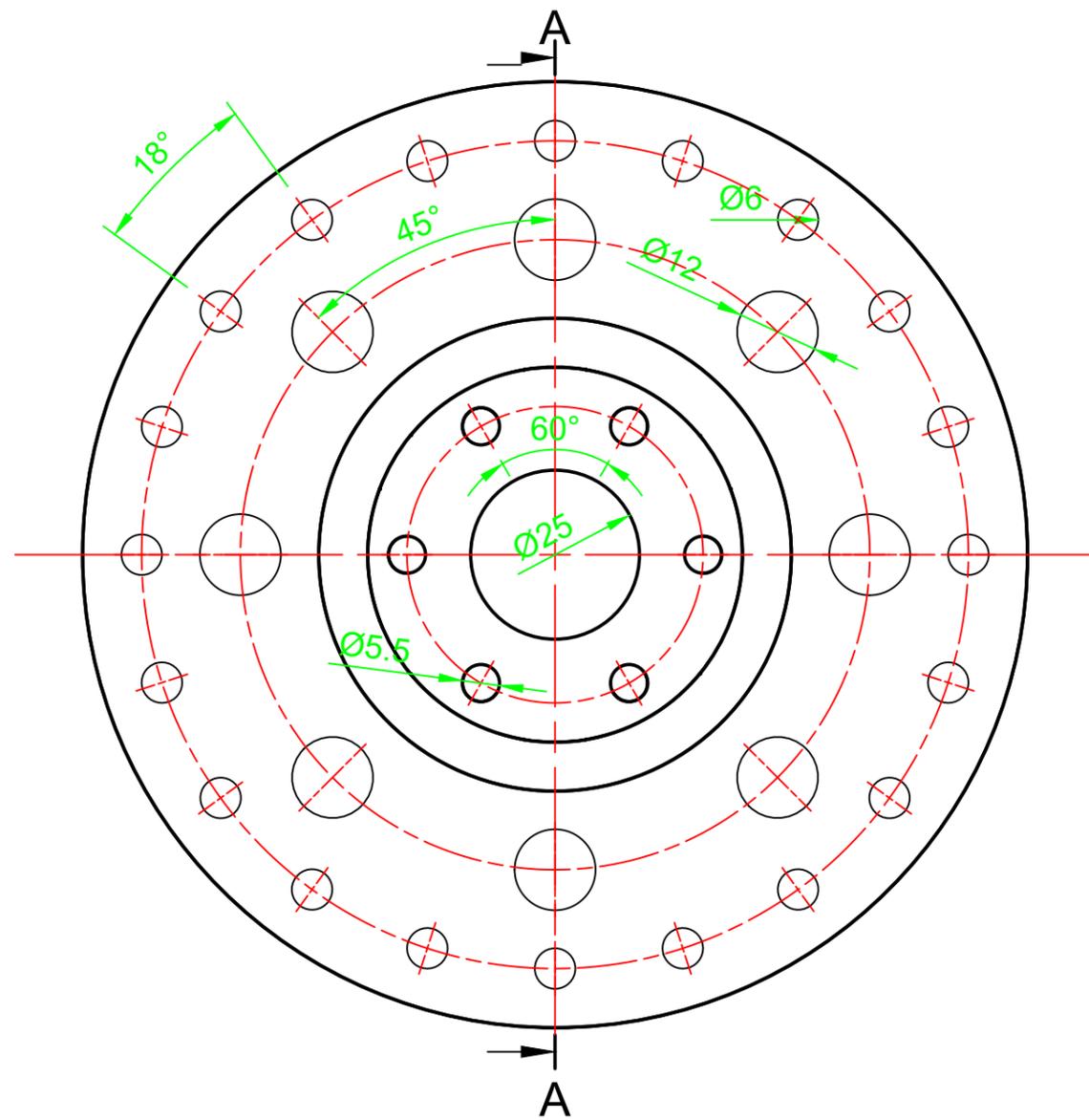


Dettaglio della scanalatura
Scala: 2:1



Smussi non quotati 0.5x45°
Tolleranze generali UNI EN 22768-mK

Materiale: Alluminio A7075			
Scala 1:2		Foglio 5	
Porta pignoni			
Freschi Tommaso, Benvenuti Filippo			



Tolleranze generali UNI EN 22768-mK

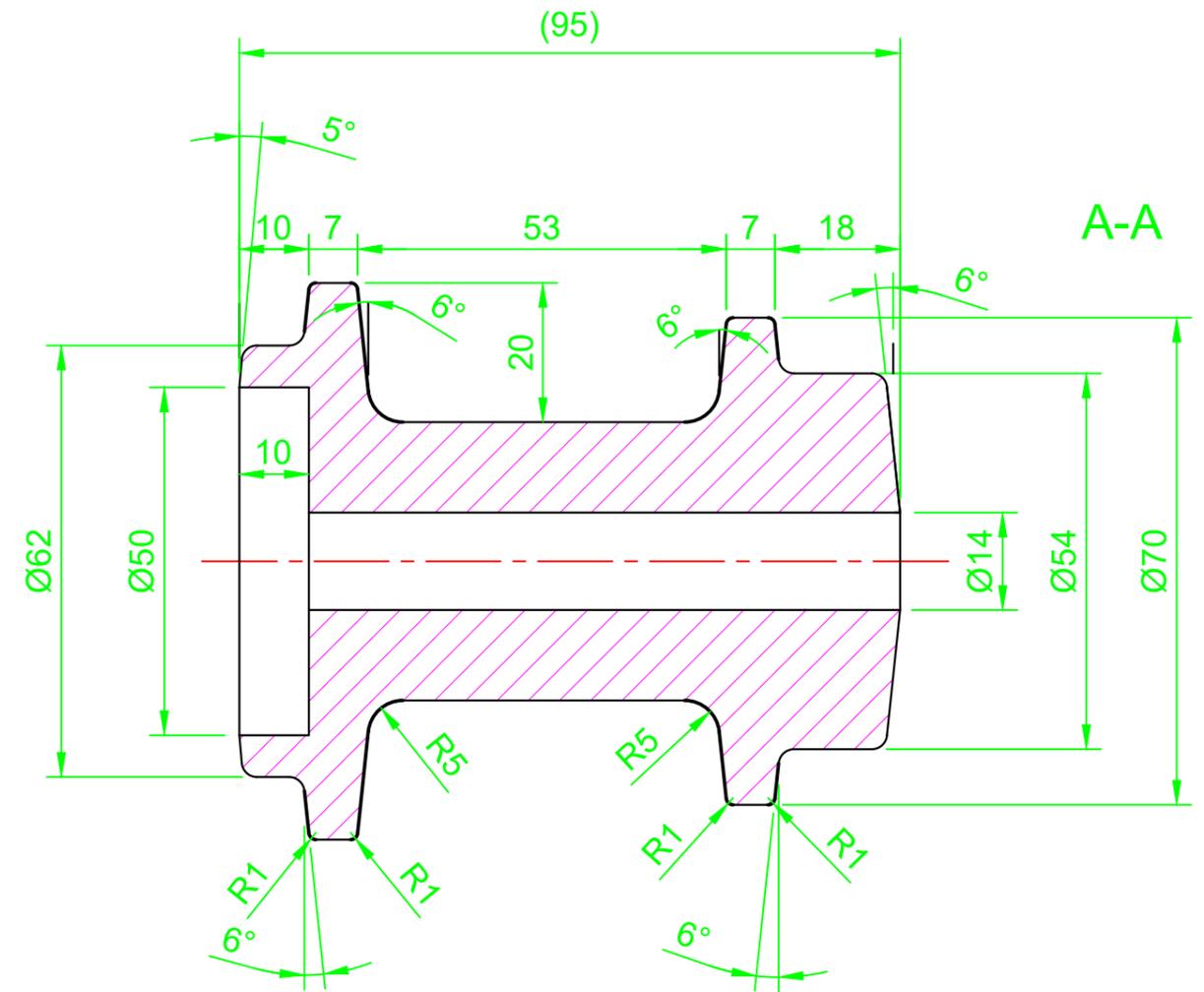
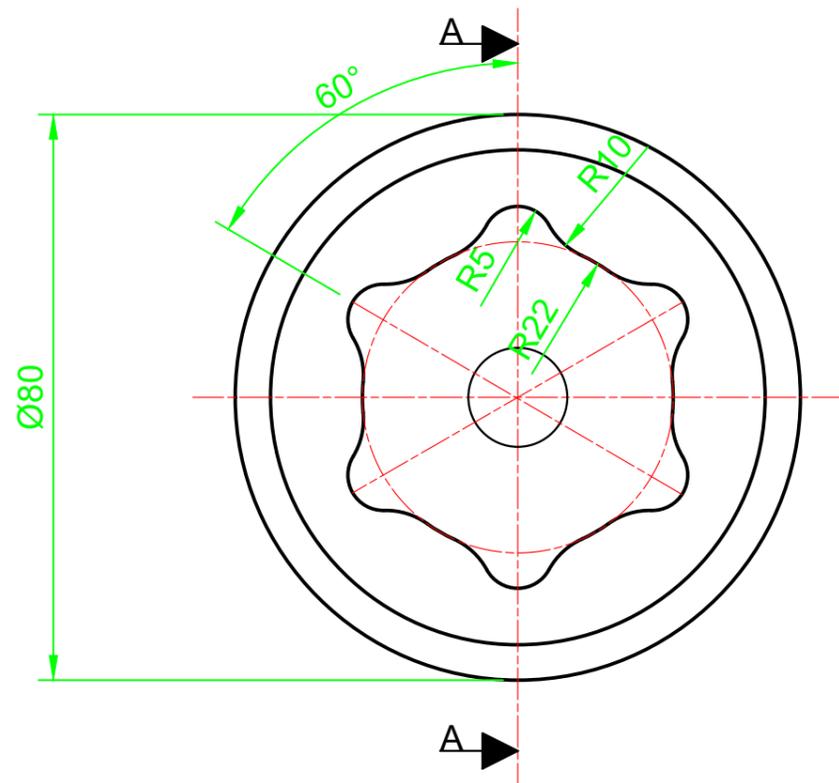
AISI 410		
	Scala 1:2	Foglio 6
	Disco Freno	
	Freschi Tommaso, Benvenuti Filippo	

Capitolo 2

Il processo di fusione

2.1 Generalità

Il componente che decidiamo di produrre tramite fusione è il mozzo. Riportiamo il disegno quotato del greggio che otterremo per fusione:



Raccordi non quotati R2
Tolleranze generali UNI EN 22768-mK

Materiale: Alluminio A356				
Scala 1:2		Foglio 2		
Mozzo ruota grezzo				
Freschi Tommaso, Benvenuti Filippo				



2.2 Scelta del materiale

Per la produzione del mozzo posteriore è stata scelta la lega A356, una lega di alluminio con ottime caratteristiche di colabilità, buona resistenza meccanica e ottima resistenza alla corrosione. È ampiamente utilizzata per componenti strutturali fusi, e si presta bene a lavorazioni successive. La sua leggerezza e affidabilità la rendono particolarmente adatta all'ambito ciclistico, dove è fondamentale ridurre i pesi senza compromettere la robustezza.

2.3 Scelta del processo

Il processo selezionato è la fusione in terra, ideale per produzioni limitate come il primo lotto da 500 pezzi. Questo metodo consente di contenere i costi iniziali, evitando la realizzazione di stampi metallici, e offre buona flessibilità nella fase di prototipazione. Pur presentando finiture meno precise rispetto ad altri processi, è compatibile con la geometria del mozzo e con la lega scelta, permettendo una produzione efficiente e accessibile.

2.4 Scelta del materiale in cui fondere

Per la realizzazione dello stampo si è scelta una terra da fonderia a base di sabbia silicea e bentonite, una miscela ampiamente utilizzata nella fusione in terra per la sua versatilità, economicità e ottime prestazioni tecniche.

È ideale per produzioni limitate come il primo lotto da 500 pezzi, perché consente di ottenere stampi precisi e funzionali con costi contenuti. Inoltre, la terra può essere rigenerata e riutilizzata, riducendo ulteriormente l'**impatto economico e ambientale**.

2.5 Analisi dei problemi di estrazione

2.5.1 Scelta del piano di divisione

Analizzando il nostro pezzo abbiamo individuato tre possibili piani di divisione:

- 1) piano alfa (figura 2.1)
- 2) piano beta (figura 2.2)
- 3) piano gamma (figura 2.3)

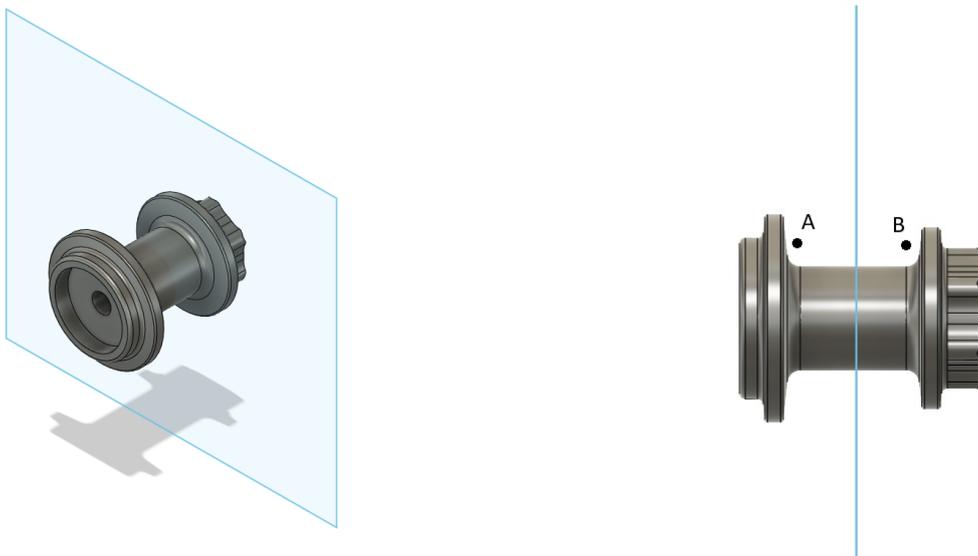


Figura 2.1

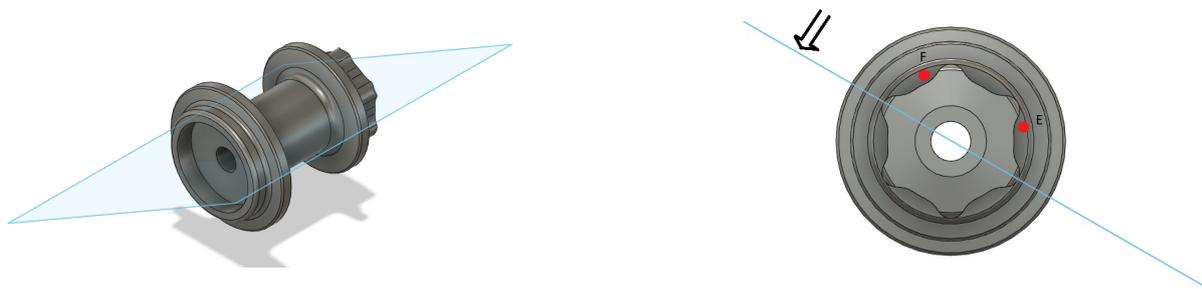


Figura 2.2

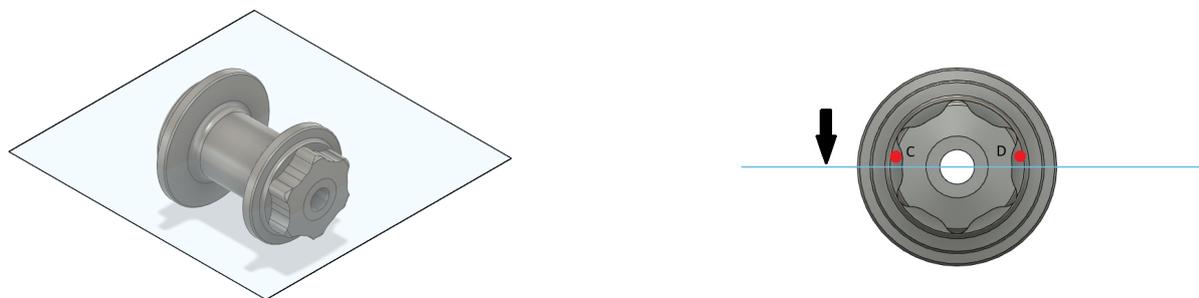


Figura 2.3

Abbiamo a priori escluso il piano alfa, in quanto comporta evidenti problemi di estrazione in corrispondenza dei punti A e B.

Tra i due rimanenti piani, beta e gamma, che entrambi dividono la figura in due metà simmetriche, quello che comporta meno problemi di estrazione è sicuramente il piano beta. Infatti, nonostante questo piano comporti dei problemi di estrazione (punti E ed F), quest'ultimi risultano comunque essere di minore importanza rispetto a quelli del piano gamma (punti C e D).

2.5.2 Modifica del disegno

Una volta scelto il piano, al fine di risolvere i problemi in fase di estrazione, o problemi di sottosquadro, è necessario verificare che nessuna delle superfici del greggio sia parallela alla direzione di estrazione, e che non ci siano spigoli vivi. Per far fronte a ciò, siamo costretti a prevedere dei raggi di raccordo.

2.6 Modifica del disegno per la contrazione durante la solidificazione

Il coefficiente di ritiro volumetrico della lega A356 si aggira intorno al 5%. Provvediamo dunque ad aumentare le misure principali del greggio per evitare un ritiro eccessivo.

2.7 Modifica del disegno per la predisposizione del sovrametallo

Alcune zone del pezzo dovranno essere lavorate successivamente alle macchine utensili (non ci occuperemo in questa relazione di tali lavorazioni). Quindi, dobbiamo prevedere del sovrametallo in suddette zone.

Per quanto riguarda il foro di diametro 52mm, lo riduciamo a 50mm, predisponendo 1mm di sovrmetallico costante per ognuna delle due superfici. Riguardo la profondità di tale foro, che nel pezzo pronto all'uso deve essere di 16mm, la riduciamo a 10mm, il che ci aiuterà anche successivamente ad affrontare lo studio della solidificazione direzionale, rendendo più attendibile la verifica con il metodo dei cerchi di Heuvers.

Per il foro di diametro 28mm, invece, decidiamo di predisporre un sovrmetallico costante di 7 mm per ogni superficie, riducendo il diametro a 14mm e semplificando molto la costruzione dell'anima, affinché ci siano minori problemi in fase di estrazione di quest'ultima (già presenti nella zona opposta).

Tutte le modifiche menzionate in precedenza vengono riassunte con le seguenti immagini: la figura 2.4 mostra il disegno quotato del pezzo finito. La figura 2.5, invece, mostra il greggio che otterremo con la colata.

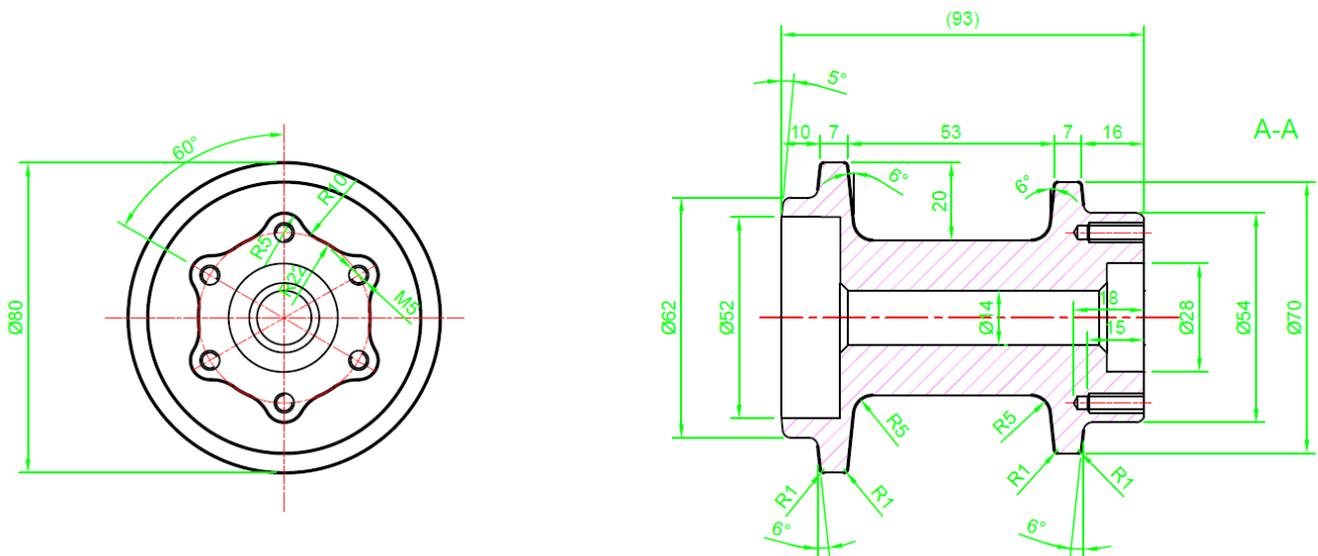


Figura 2.4

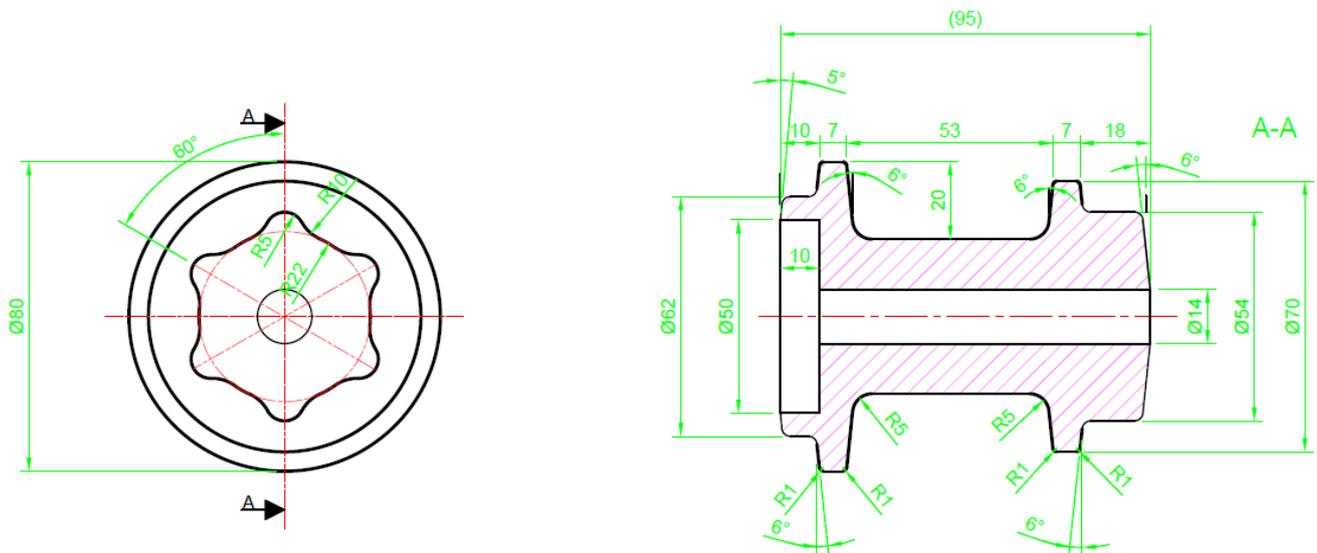


Figura 2.5

2.8 Studio della solidificazione direzionale

2.8.1 Divisione del pezzo in volumi elementari e calcolo dei moduli di raffreddamento

Il primo passo per lo studio qualitativo della solidificazione direzionale è la suddivisione del pezzo in volumi elementari, per calcolare il modulo di raffreddamento di ciascuno di essi e prevedere la direzione di solidificazione. A tale scopo, come mostrato in figura, identifichiamo i seguenti volumi elementari:

Per calcolarli approssimiamo il pezzo in cinque parti, equivalenti a cinque cilindri forati, di cui seguono le dimensioni e il calcolo dei rispettivi moduli:

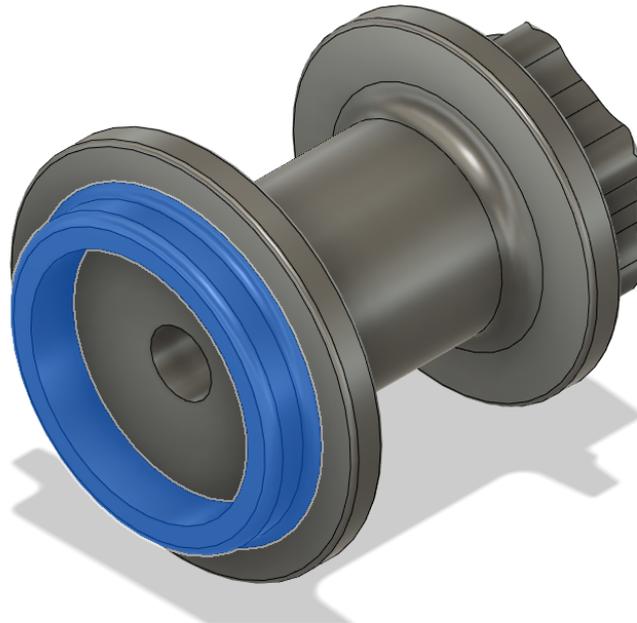


Figura 2.6: Volume 1

Il componente in questione è un cilindro cavo con altezza di 10 mm, diametro esterno di 62 mm e diametro interno di 50 mm. Per calcolare il modulo di raffreddamento, si parte dal volume, ottenuto con la formula del cilindro cavo:

$$V = \pi \times h \times (R^2 - r^2)$$

in cui:

$$h = 10\text{mm}$$

$$R = 31\text{mm}$$

$$r = 25\text{mm}$$

Sostituendo i valori:

$$V = \pi \times 10 \times (31^2 - 25^2) = 10555,75\text{mm}^3$$

La superficie esterna comprende le superfici laterali interna ed esterna, più una delle due basi ad anello:

$$A = \pi \times (R^2 - r^2) + 2 \times \pi \times h \times (R + r)$$

Sostituendo i dati:

$$A = \pi \times (31^2 - 25^2) + 2 \times \pi \times h \times (31 + 25) = 4574,1\text{mm}^2$$

Il modulo di raffreddamento si ottiene quindi come:

$$M_1 = \frac{10555,75\text{mm}^3}{4574,1\text{mm}^2} = 2,30\text{mm}$$

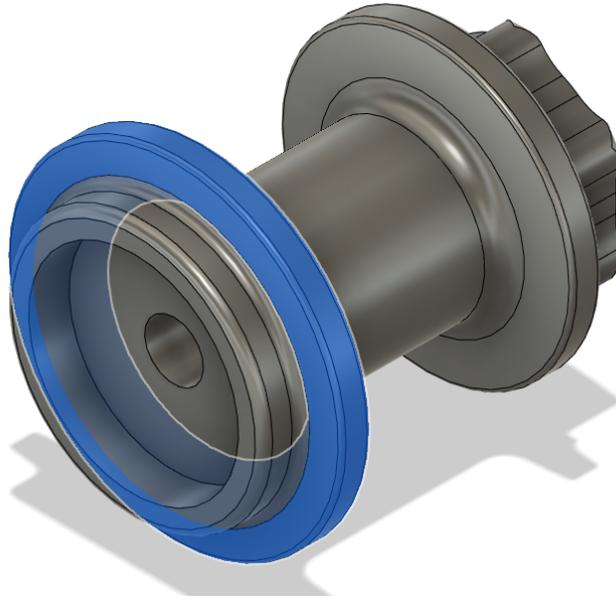


Figura 2.7: Volume 2

Il componente in questione è un cilindro cavo con altezza di 7 mm, diametro esterno di 80 mm (raggio 40 mm) e diametro interno di 14 mm (raggio 7 mm). Per calcolare il modulo di raffreddamento, si parte dal volume:

$$V = \pi \times h \times (R^2 - r^2)$$

in cui:

$$h = 7\text{mm}$$

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

$$r = 7\text{mm}$$

Sostituendo i valori:

$$V = \pi \times 7 \times (40^2 - 7^2) = 34108,3\text{mm}^3$$

La superficie esterna comprende le superfici laterali interna ed esterna, più le due basi ad anello, che hanno superficie differente:

$$A = \pi \times (40^2 - 7^2) + \pi \times (40^2 - 20^2) + 2 \times \pi \times 7 \times (40 + 7) = 10709,7\text{mm}^2$$

Il modulo di raffreddamento si ottiene quindi come:

$$M_1 = \frac{34108,3\text{mm}^3}{10709,7\text{mm}^2} = 3,184\text{mm}$$

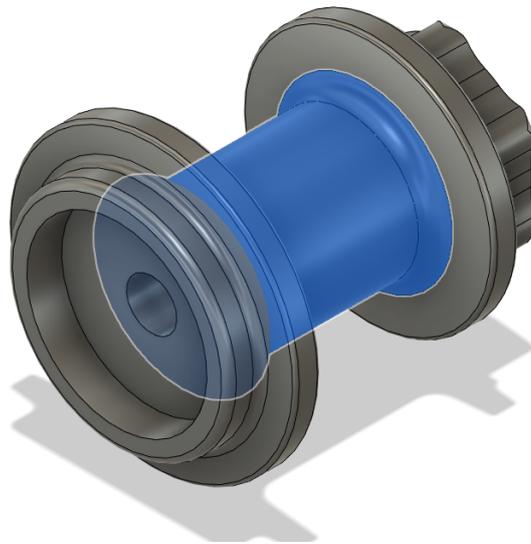


Figura 2.8: Volume 3

Il componente in questione è un cilindro cavo con altezza di 53 mm, diametro esterno di 40 mm (raggio 20 mm) e diametro interno di 14 mm (raggio 7 mm). Per calcolare il modulo di raffreddamento, si parte dal volume:

$$V = \pi \times h \times (R^2 - r^2)$$

in cui:

$$h = 53\text{mm}$$

$$R = 20\text{mm}$$

$$r = 7\text{mm}$$

Sostituendo i valori:

$$V = \pi \times 53 \times (20^2 - 7^2) = 58443,04\text{mm}^3$$

La superficie esterna comprende le superfici laterali interna ed esterna:

$$A = 2 \times \pi \times 53 \times (20 + 7) = 8991,24\text{mm}^2$$

Il modulo di raffreddamento si ottiene quindi come:

$$M_1 = \frac{58443,04\text{mm}^3}{8991,24\text{mm}^2} = 6,5\text{mm}$$

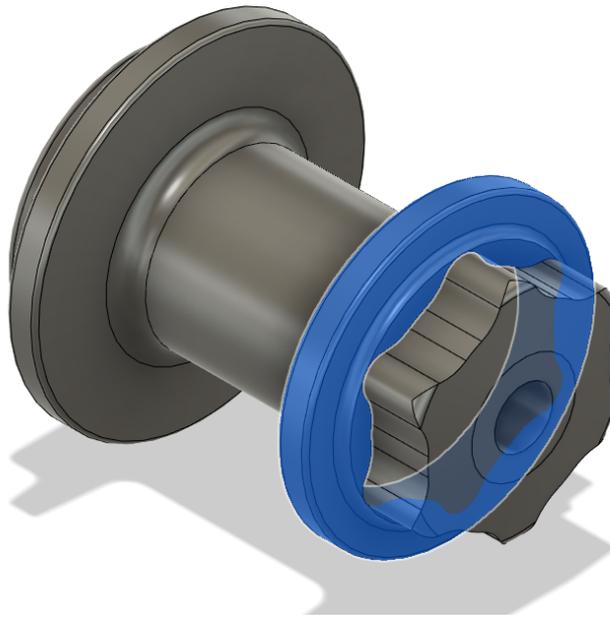


Figura 2.9: Volume 4

Il componente in questione è un cilindro cavo con altezza di 14 mm, diametro esterno di 70 mm (raggio 35 mm) e diametro interno di 14 mm (raggio 7 mm). Per calcolare il modulo di raffreddamento, si parte dal volume:

$$V = \pi \times h \times (R^2 - r^2)$$

in cui:

$$h = 14\text{mm}$$

$$R = 35\text{mm}$$

$$r = 7\text{mm}$$

Sostituendo i valori:

$$V = \pi \times 14 \times (35^2 - 7^2) = 51723,2\text{mm}^3$$

La superficie esterna comprende le superfici laterali interna ed esterna, e le due aree di base:

$$A = 2 \times \pi \times 14 \times (35 + 7) + 2 \times \pi \times (35^2 - 7^2) = 8880\text{mm}^2$$

Il modulo di raffreddamento si ottiene quindi come:

$$M_1 = \frac{51723,2\text{mm}^3}{8880\text{mm}^2} = 5,824\text{mm}$$

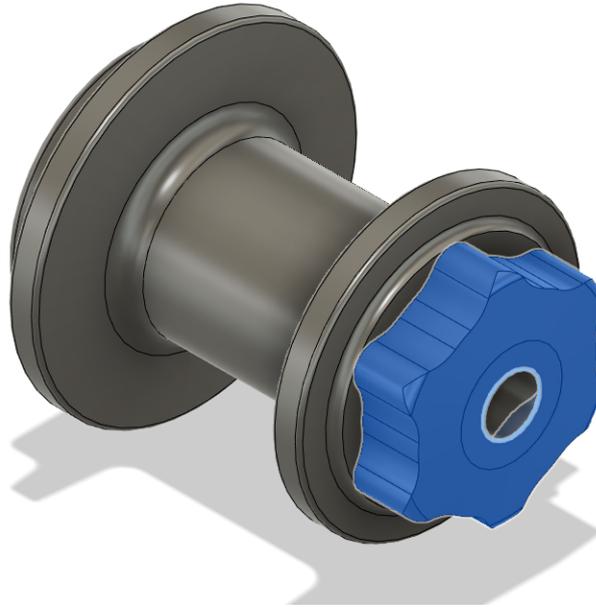


Figura 2.10: Volume 5

Il componente in esame è stato approssimato a un cilindro cavo con altezza di 18 mm, diametro esterno di 54 mm (raggio 27 mm) e diametro interno di 14 mm (raggio 7 mm). Il calcolo del modulo di raffreddamento parte dal volume:

$$V = \pi \times h \times (R^2 - r^2)$$

in cui:

$$h = 18\text{mm}$$

$$R = 27\text{mm}$$

$$r = 7\text{mm}$$

Sostituendo i valori:

$$V = \pi \times 18 \times (27^2 - 7^2) = 38453\text{mm}^3$$

La superficie esterna comprende le superfici laterali interna ed esterna, e l'area di base a contatto con l'esterno:

$$A = 2 \times \pi \times 14 \times (27 + 7) + \pi \times (27^2 - 7^2) = 5127,08\text{mm}^2$$

Il modulo di raffreddamento si ottiene quindi come:

$$M_1 = \frac{38453\text{mm}^3}{5127,08\text{mm}^2} = 7,5\text{mm}$$

Identifichiamo dunque due direzioni di solidificazione: una che va dal Volume 1 al Volume 3, un'altra che va dal volume 4 verso i volumi 3 e 5.

2.8.2 Posizionamento e dimensionamento della/e materozza/e

Una volta effettuato il calcolo dei diversi moduli di raffreddamento, notiamo che le zone con il modulo maggiore, ossia quelle che andranno protette con una materozza, sono le zone 3 e 5. Vediamo nel dettaglio le dimensioni delle materozze:

Per la zona 3 e 5, il modulo deve essere pari a:

$$\text{Modulo zona 3} = 1.2 \times 6,5\text{mm} = 7,8\text{mm}$$

$$\text{Modulo zona 5} = 1.2 \times 7,5\text{mm} = 9\text{mm}$$

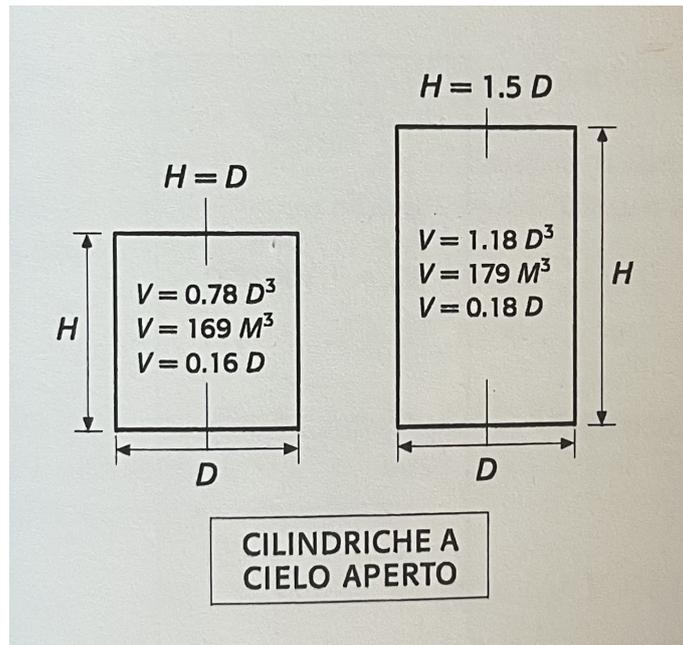


Figura 2.11

Scegliamo di seguire le relazioni dell'immagine di destra sotto consiglio dell'intelligenza artificiale, essendo il modulo delle nostre materozze molto elevato.

Usiamo la formula:

$$V = 1791 \times M^3$$

Materozza 1 ($M = 7,8 \text{ mm}$)

$$V_1 = 179 \times (7,8 \text{ mm})^3 = 84944 \text{ mm}^3$$

Materozza 2 ($M = 9 \text{ mm}$)

$$V_2 = 179 \times (9 \text{ mm})^3 = 130491 \text{ mm}^3$$

2.8.3 Verifica con il metodo dei cerchi di Heuvers

Il metodo dei cerchi di Heuvers è una verifica qualitativa per verificare che la direzione di solidificazione sia stata individuata correttamente, e che le materozze siano state posizionate e dimensionate nel modo giusto. Sezionando il pezzo, proviamo a disegnare dei cerchi di diametro crescente man a mano che ci avviciniamo alla materozza:

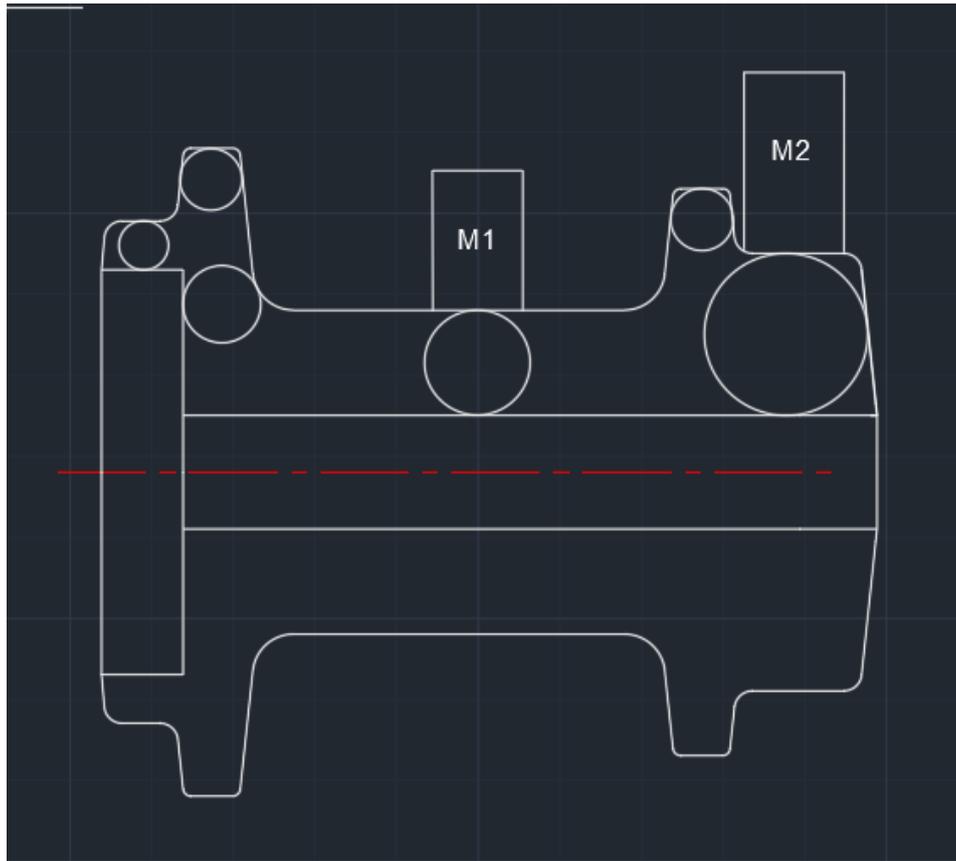


Figura 2.12

2.8.4 Verifica con il diagramma del Caine

Come ultima verifica qualitativa, misuriamo la “sanità” del nostro pezzo tramite la verifica con il diagramma del Caine. Le coordinate del pezzo sono date da:

$$x = \frac{\text{ModuloMaterozza}}{\text{ModuloComponente}}$$

$$y = \frac{\text{Volumematerozza}}{\text{Volumecomponente}}$$

La curva che identifica la sanità del pezzo è:

$$y = \frac{a}{y - b} + c$$

in cui: $a = 0.1$ $b =$ coefficiente di ritiro volumetrico del materiale (per la lega A356 circa 0.065) $c = 1$
Calcoliamo le coordinate del Volume 3:

$$x = \frac{7,8mm}{6,5mm} = 1.2$$

$$y = \frac{84944mm^3}{58443,04mm^3} = 1.45$$

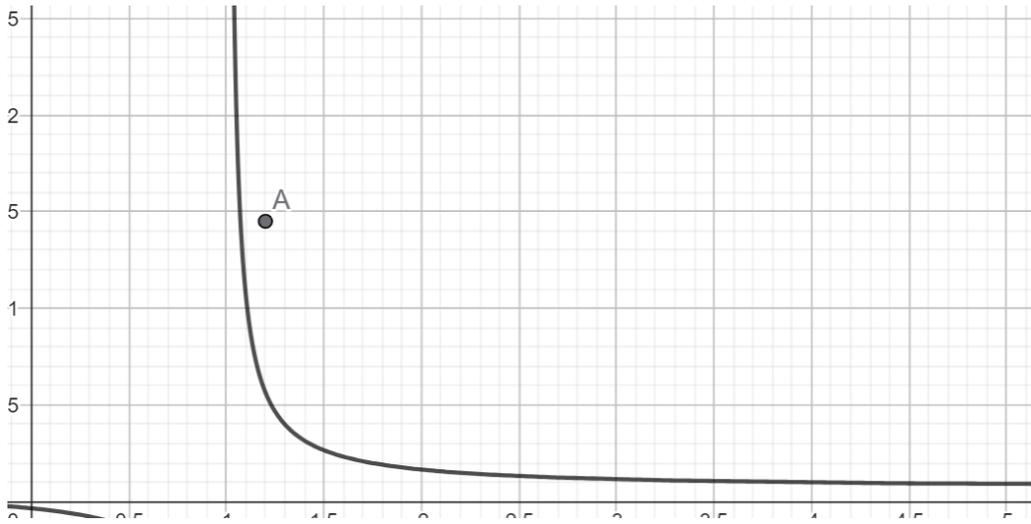


Figura 2.13

Notiamo che il punto A rientra nella zona dei pezzi sani.
 Adesso facciamo lo stesso per il volume 5:

$$x = \frac{9mm}{7,5mm} = 1,2$$

$$y = \frac{130491mm^3}{38453mm^3} = 3,39$$

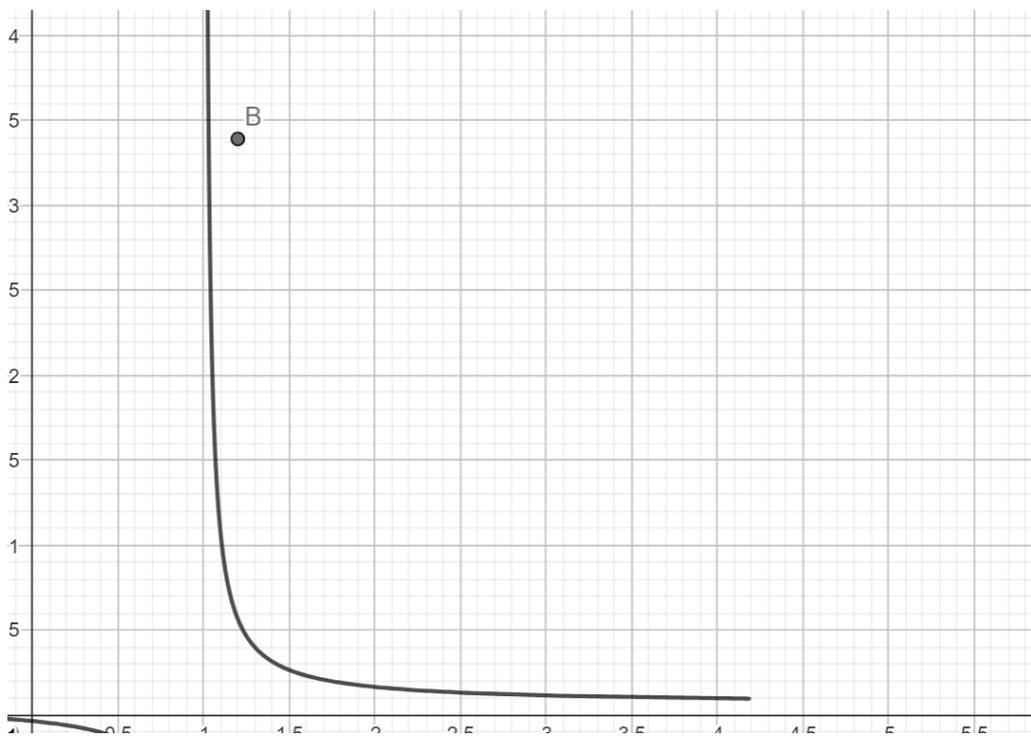


Figura 2.14

Anche il punto C rientra fin da subito nella zona dei pezzi sani, e dunque anche il Volume 5 può considerarsi sano.

2.9 Dimensionamento dei sistemi di colata

2.9.1 Calcolo della sezione dei canali

Per calcolare la sezione dei canali, utilizziamo la seguente relazione:

$$S = \frac{k}{vy}$$

in cui:

“k” è la portata, che si calcola come $k=G/T$, ossia la massa (G) del solido, fratto il tempo di riempimento, che a sua volta si calcola come $T= 3.2 \times \text{rad}(G)$.

“v” è la velocità di colata, ossia la velocità con cui il liquido, dopo esser stato colato, toccherà il canale di colata. Scegliamo un'altezza di ogni staffa di 80mm, necessaria per il calcolo di v.

“y” è la densità lineare di massa, che si calcola come $y=p \times A$, dove p è la densità del materiale colato, e A è la sezione trasversale del pezzo.

Dati i seguenti valori:

G = massa del pezzo in Kg

$$G = \text{Densità} \times \text{Volume del pezzo} = 2650 \text{Kg/m}^3 \times 1,649 \times 10^{-4} \text{m}^3 = 0,436 \text{Kg}$$

T=tempo di solidificazione in secondi:

$$T = 3,2x\sqrt{G}$$

E dunque:

$$T = 3,2 \times \sqrt{0,436 \text{Kg}} = 2,11 \text{s}$$

$k = G/T = 0.21 \text{ Kg/s}$

$$V = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9,81 \text{N/m}^2 \times 80 \text{mm}} = 1,25 \text{m/s}$$

$y = 10.38 \text{ Kg/m}$

Possiamo calcolare S: $S = 16 \text{mm}^2$

Il raggio della sezione, dunque, è di $r=2.25 \text{mm}$

2.9.2 Scelta del punto di iniezione

Come punti di iniezione scegliamo il Volume 1 e il Volume 4: questo perché sono i volumi da cui hanno origine le tre direzioni di solidificazione del pezzo. Inseriamo un'immagine a scopo illustrativo del greggio con il sistema di colata:

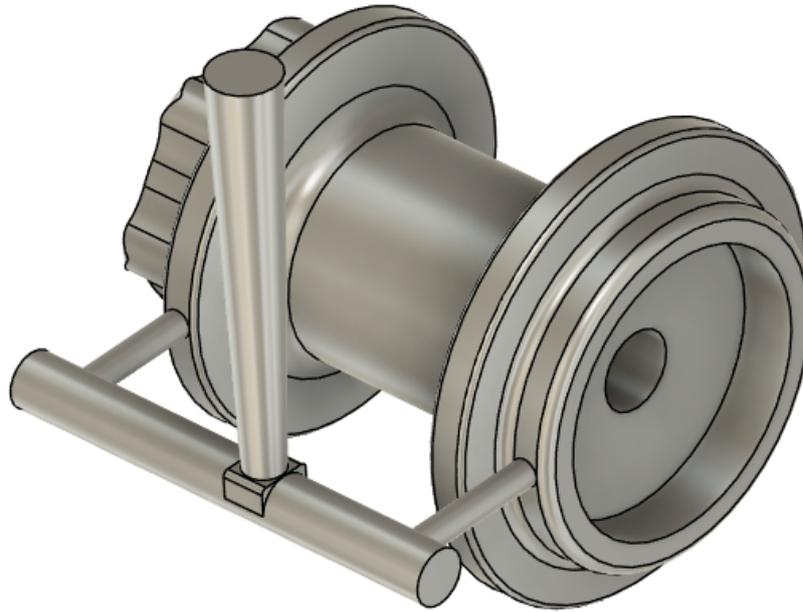


Figura 2.15

2.9.3 Calcolo della spinta metallostatica

Per il calcolo della spinta metallostatica, utilizziamo la seguente formula reperita online:

$$F = \gamma \times h \times A$$

Dove:

F = forza di spinta (in Newton)

γ = peso specifico del metallo liquido (N/m)

h = altezza della colonna di metallo liquido sopra la superficie di separazione (in metri)

A = area della superficie di separazione tra le staffe (in m^2)

Nel nostro caso:

$\gamma = 24000 N/m^3$

$h = 80mm = 0.08m$

A = essendo l'ingombro del pezzo in larghezza e profondità di circa $80 \times 100mm$, stimiamo delle dimensioni delle staffe di $150 \times 200mm$. Dunque:

$$A = 150mm \times 200mm = 30000mm^2 = 0,03m^2$$

Calcoliamo F :

$$F = 24000 N/m^3 \times 0.08m \times 0,03m = 57.6N$$

Scegliamo un coefficiente di sicurezza di 1.5 per il calcolo del peso da posizionare sopra le staffe:

$$\text{Peso da contrastare} = 57.6N \times 1.5 = 86.4N$$

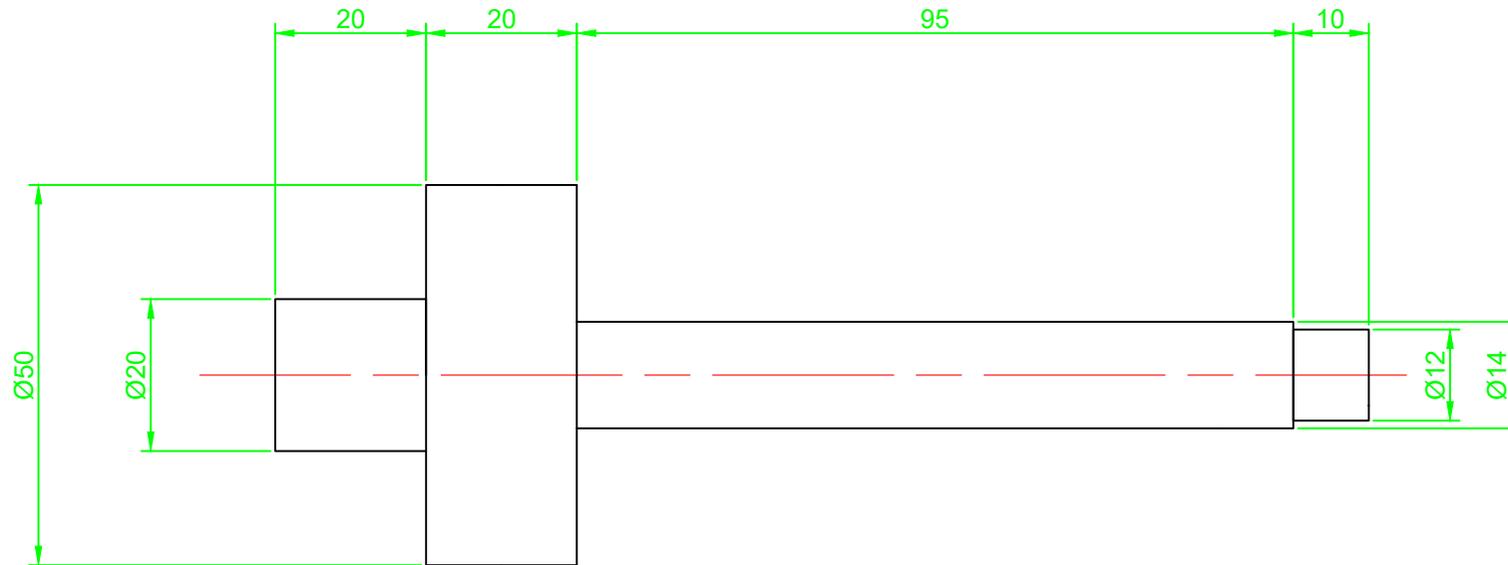
Decidiamo di utilizzare un peso di 9kg in ghisa sopra la staffa superiore.

2.10 Progettazione dell'anima e del modello.

Scegliamo di realizzare l'anima in sabbia silicea, aumentando la lunghezza da ambo i lati del pezzo in modo che possa essere posata sul materiale di formatura.

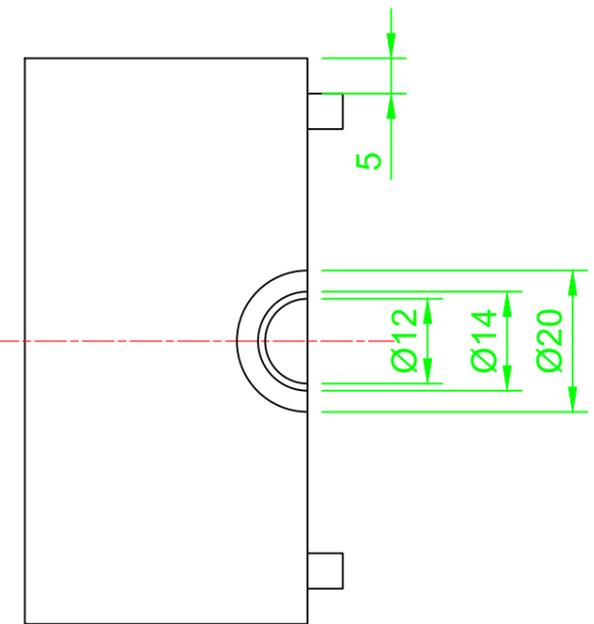
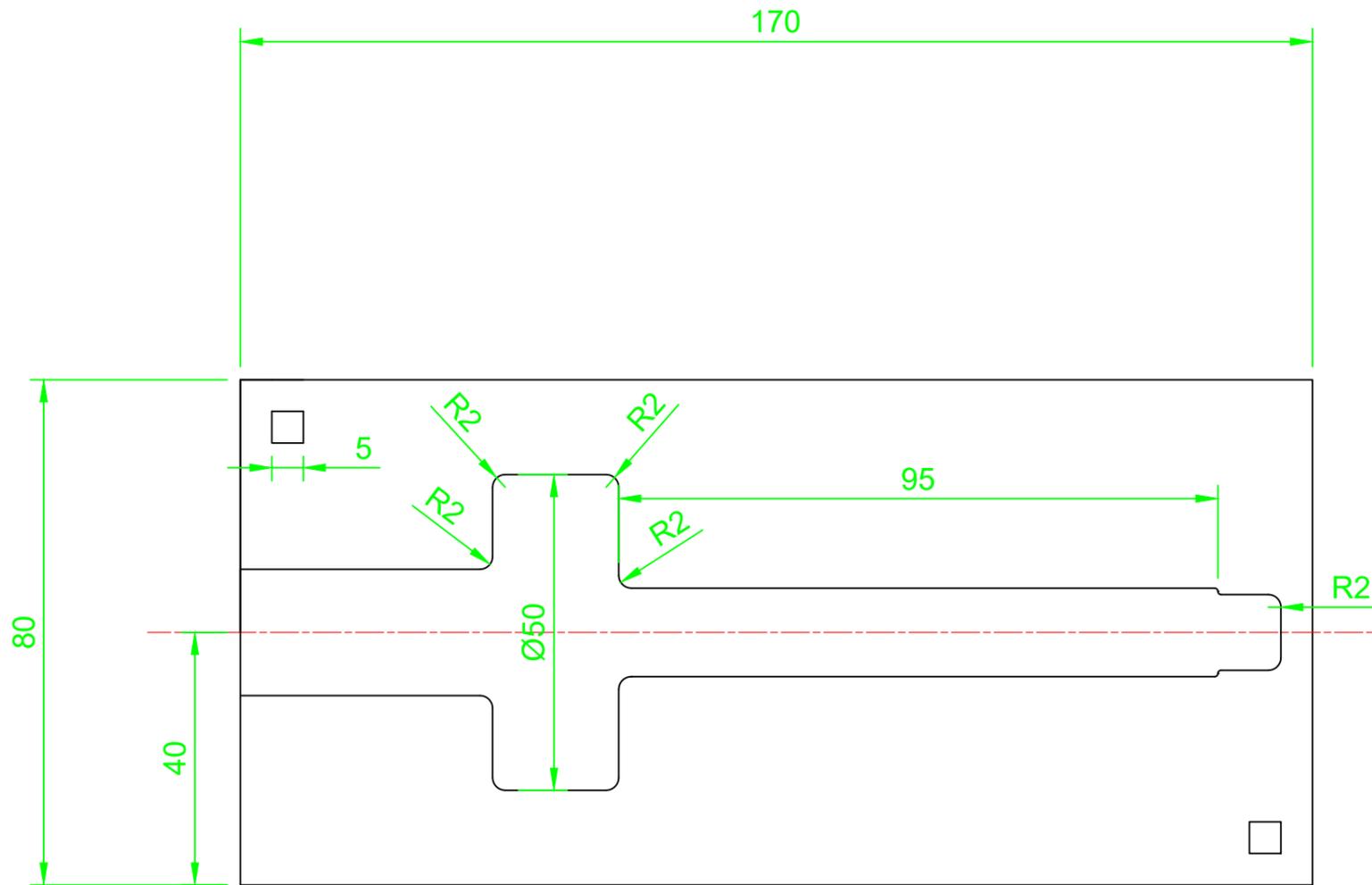
Il materiale scelto per il modello e la cassa d'anima, invece, è il tiglio, un legno facilmente lavorabile a mano.

Proponiamo un disegno quotato dell'anima, della cassa d'anima e del modello:



Tolleranze generali UNI EN 22768-cL

Materiale: Sabbia Silicea		
	Scala 1:1	Foglio 7
	Anima mozzo per fusione	
	Freschi Tommaso, Benvenuti Filippo	



Raccordi non quotati: R0.5

Tolleranze generali UNI EN 22768-mK

Materiale: ABS			
	Scala 1:2	Foglio 9	
	Cassa d'anima		
	Freschi Tommaso, Benvenuti Filippo		

2.11 Simulazione

Dopo aver effettuato vari tentativi di simulazione, che si sono rivelati fallimentari seguendo i dati teorici da noi calcolati, siamo giunti alle seguenti conclusioni:

- 1) E' necessario colare da punti diversi rispetto a quelli ipotizzati in seguito al calcolo della direzioni di solidificazione.
- 2) E' sufficiente una sola materozza di modulo 0,9cm, in corrispondenza del Volume 3, il centro del pezzo, con modulo maggiore rispetto a tutti gli altri.
- 3) E' necessario inserire un manicotto di raffreddamento in argilla, al fine di rallentare la solidificazione del metallo.

A scopo illustrativo, proponiamo un'immagine pre-simulazione, ed una post-simulazione, effettuata tramite il software Inspire Cast.

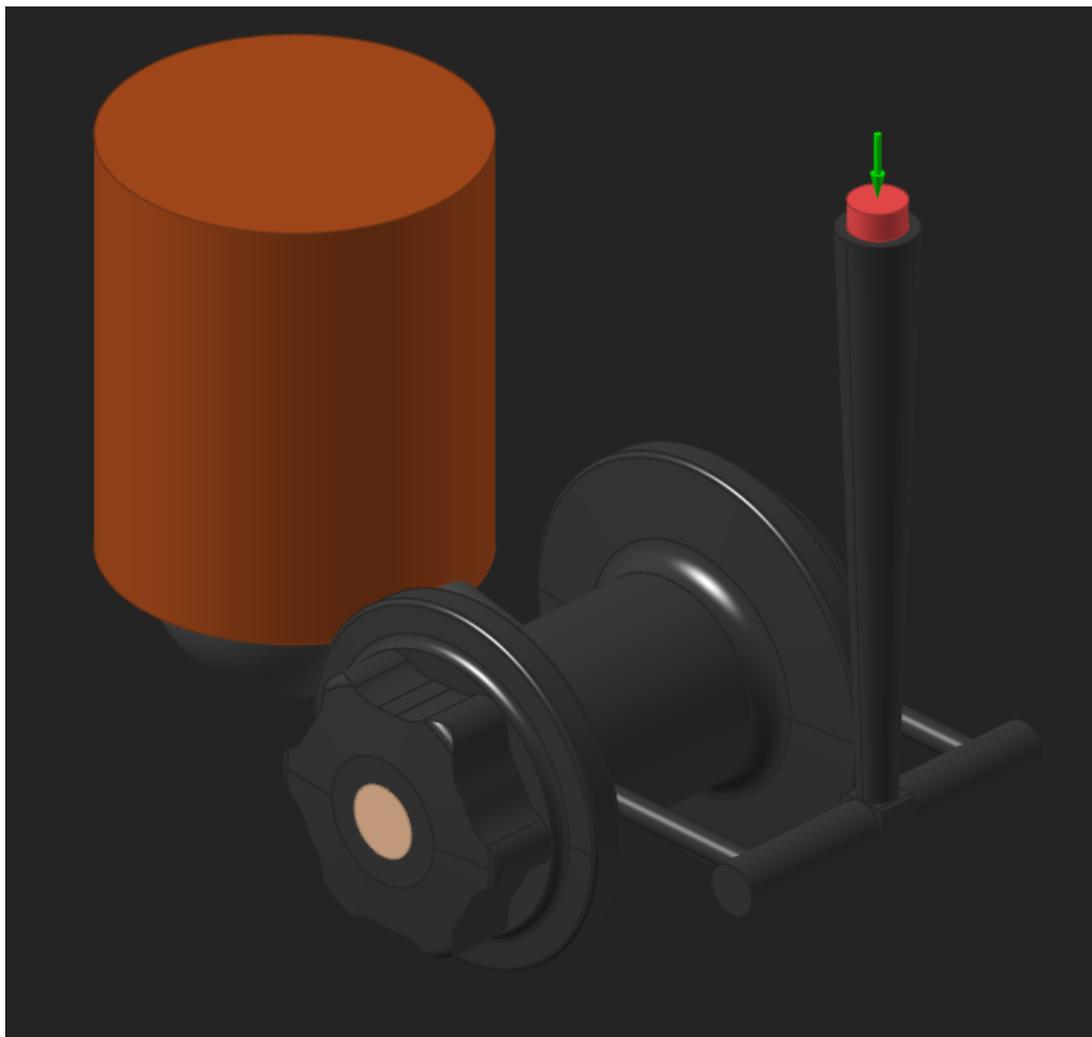


Figura 2.16

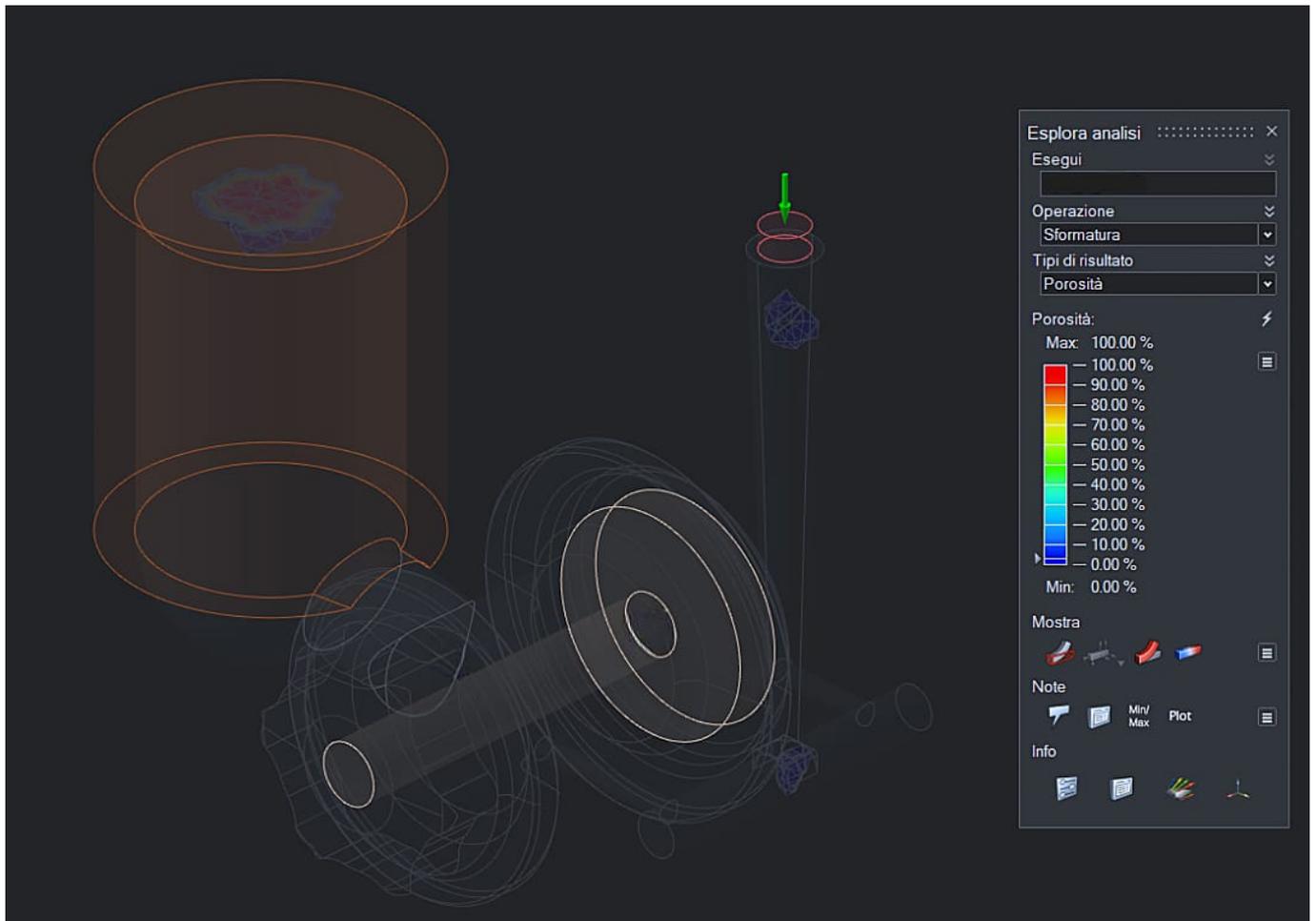


Figura 2.17

2.12 Analisi dei tempi

2.12.1 Tempi passivi

Una tabella compilata dall'intelligenza artificiale, stima i tempi passivi necessari all'operatore per realizzare il processo di fonderia.

Fase operativa	Tempo medio (minuti)	Note pratiche
Preparazione delle staffe	5	Pulizia, posizionamento, verifica
Riempimento con sabbia e compattazione	10	Manuale o con vibratore
Posizionamento del modello	5	Include centraggio e distacco
Inserimento dell'anima	5	Dipende dalla geometria e dai supporti
Chiusura stampo e preparazione canali	5	Include materozze e sfiati

Per un totale di 30minuti di tempi passivi.

2.12.2 Tempo di riempimento

Abbiamo precedentemente calcolato il tempo di riempimento con la formula:

$$T = 3,2x\sqrt{G}$$

dove G è il peso del getto in Kg, e T il tempo in secondi.

$$G = \text{Densità} \times \text{Volume del pezzo} = 2650Kg/m^3 \times 1,809 \times 10^{-4}m^3 = 0,479Kg$$

E dunque:

$$T = 3,2 \times \sqrt{0,436Kg} = 2,11s$$

2.12.3 Tempo di solidificazione

Possiamo calcolare il tempo di solidificazione con la formula:

$$t = B \times \left(\frac{V}{A}\right)^n$$

in cui: B = costante di solidificazione

V = volume del getto

A = superficie di scambio termico

n = esponente, solitamente tra 1.5 e 2

Nel nostro caso:

$$B = 0,5s/mm^2$$

n= 2 per gli acciai

$$V = \text{Volume greggio con sistema di colata} + \text{volume materozza} = 1,809 \times 10^5 mm^3 + 1,23 \times 10^5 mm^3 = 3,039 \times 10^5 mm^3$$

$$A = \text{Superficie greggio} + \text{superficie esterna materozza} = 39561,7mm^2 + 9160mm^2 = 48722,6mm^2$$

Calcoliamo quindi t:

$$t = 0,5s/mm^2 \times \left(\frac{3,039 \times 10^5 mm^3}{48722,6mm^2}\right)^2 = 19,45S$$

2.13 Calcolo dei costi

2.13.1 Costo acciaio

Abbiamo un volume da riempire di:

$$V = 3,039 \times 10^5 mm^3 = 303,9cm^3$$

La densità della lega A356 è circa:

$$d = 2,68g/cm^3$$

Quindi la massa necessaria è:

$$M = V \times d = 303,9cm^3 \times 2,68g/cm^3 = 814,5g = 0,8145Kg$$

Secondo le fonti online, il prezzo dell'alluminio A356 è attualmente intorno a 0,47 €/kg. Dunque:

$$\text{Costo per pezzo} = 0,814Kg \times 0,47€/Kg = 0,38€$$

2.13.2 Costo materiale di formatura

Ogni staffa ha dimensioni 200 x 150 x 80mm.

La somma dei volumi di entrambe le staffe sarà dunque di:

$$\text{Volume staffe} = 2 \times (200mm \times 150mm \times 80mm) = 4800000mm^3$$

a cui dobbiamo sottrarre il volume di tutto il pezzo, ossia $3,039 \times 10^5 mm^3$.

$$\text{Volume terra} = 4800000mm^3 - 303900mm^3 = 4496100mm^3$$

Assumiamo un costo della sabbia+bentonite di 64€/ton ed una densità di 1.6ton/m³

$$\text{Massa} = 0.0044961 \times 1.6 = 0.00719376 \text{ ton}$$

$$\text{Costo totale} = 0.00719376 \times 65 = 0.4675944\text{€}$$

Per l'anima, costituita da sabbia silicea, calcoliamo il volume:

$$\text{Volume} = 61308,2\text{m}^3$$

Assumiamo una densità media della sabbia silicea di:

$$\rho = 1,6 \text{ ton/m}^3$$

$$\text{Massa} = 0,0000613082 \cdot 1,6 = 0,00009809312 \text{ ton} = 0,0981\text{Kg}$$

Assumiamo un prezzo medio della sabbia silicea di 65 €/ton

$$\text{Costo} = 0,00009809312 \cdot 65 = 0,006376 \text{ €}$$

2.13.3 Costo del modello e della cassa d'anima

Possiamo calcolare il volume della cassa d'anima sottraendo al volume totale quello dell'anima:

$$\text{Volume cassa d'anima} = 2 \times (40 \times 80 \times 170\text{mm}) - 61308,2\text{mm}^3 = 482692\text{mm}^3$$

Assumendo una densità del taglio di $0,00053\text{g/mm}^3$ ed un costo di circa $10/\text{Kg}$, calcoliamo il costo della cassa d'anima :

$$\text{Massa cassa d'anima} = 0,00053\text{g/mm}^3 \times 482692\text{mm}^3 = 255,8\text{g} = 0,2558\text{Kg}$$

$$\text{Costo singola cassa d'anima} = 0,2558\text{Kg} \times 10\text{€/Kg} = 2,55\text{€}$$

Per calcolare il costo del modello, prendiamo il volume usato per il calcolo dell'acciaio e otteniamo:

$$\text{Massa modello} = 3,03910^5\text{mm}^3 \times 0,00053\text{g/mm}^3 = 161,06\text{g} = 0,16\text{Kg}$$

$$\text{Costo singolo modello} = 0,16\text{Kg} \times 10\text{€/Kg} = 1,6\text{€}$$

Consideriamo un prezzo extra di 20€ di manodopera necessaria per la realizzazione della cassa d'anima e del modello.

Dato che entrambi possono essere utilizzati per la totalità del primo lotto di 500 pezzi, calcoliamo il prezzo per ogni pezzo:

$$\text{Costo per pezzo (cassa d'anima)} = 22,55\text{€}/500\text{pz} = 0,0451\text{€/pz}$$

$$\text{Costo per pezzo (modello)} = 21,6\text{€}/500\text{pz} = 0,0432\text{€/pz}$$

2.13.4 Costo della manodopera

Sommando tempi passivi, tempo di riempimento e tempo di solidificazione, otteniamo un tempo totale per la produzione di un pezzo di:

$$\text{Tempo totale} = 30\text{min} + 2,11\text{s} + 19,45\text{s} = 30\text{minutie}22\text{secondi}.$$

Il costo della manodopera per un singolo pezzo, considerando una paga di 15€/ora, è di:

$$\text{Costo per pezzo} = 15\text{€} \times 0,5\text{h} = 7,5\text{€}$$

2.13.5 Costo totale

Il costo totale per ogni singolo pezzo sarà di:

$$\text{Costo totale} = 7,5\text{€/pz} + 0,38\text{€/pz} + 0,47\text{€/pz} + 0,006\text{€/pz} + 0,0451\text{€/pz} + 0,0432\text{€/pz} = 8,44\text{€/pz}$$

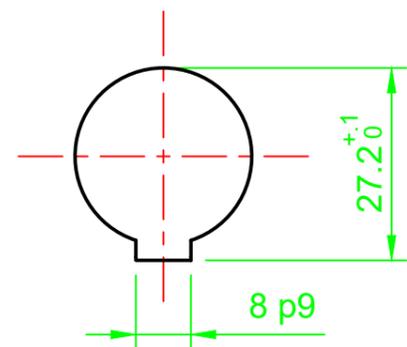
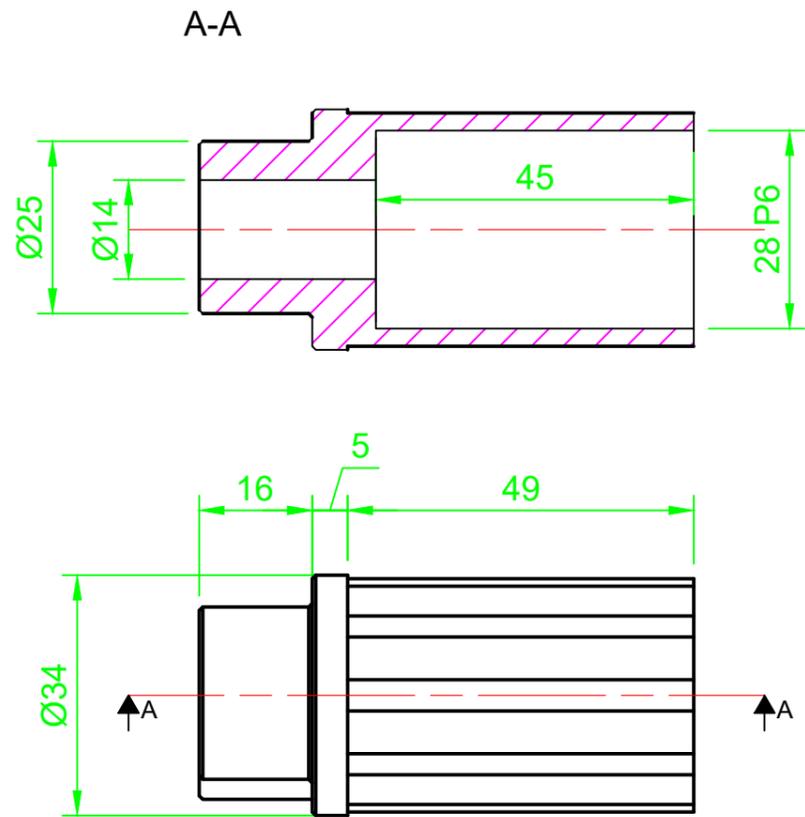
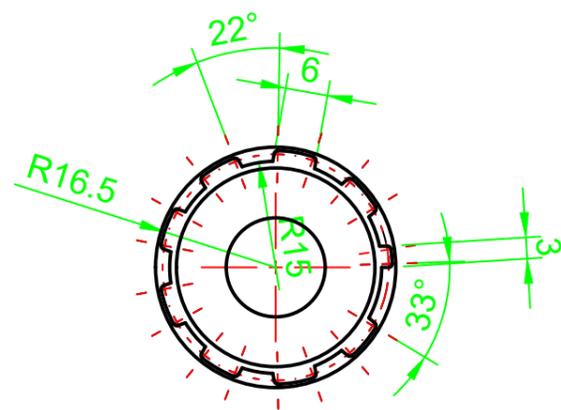
Capitolo 3

Processo di stampa 3D

3.1 Generalità

Per quanto riguarda la produzione in stampa 3D, scegliamo di proporre un'alternativa al particolare “supporto pacco pignoni”, valutandolo a confronto con il sistema con linguetta per l'accoppiamento con la ruota libera.

Tale alternativa prevede un riferimento singolo che sporge esternamente al supporto, e va ad incastrarsi nella ruota libera. Il disegno del particolare da stampare, dunque, è il seguente:



(25/)

Smussi non quotati 0.5x45°
Tolleranze generali UNI EN 22768-mK

Materiale: ABS			
Scala 1:2		Foglio 4	
Porta pignoni			
Freschi Tommaso, Benvenuti Filippo			

3.2 Scelta del processo

Per la realizzazione di questo componente, è stato scelto il processo di stampa 3D FDM (Fused Deposition Modeling), che offre una buona combinazione di **flessibilità, precisione e costo contenuto**.

La scelta del processo **FDM** rispetto all'**MSLA** (Masked Stereolithography) è stata guidata dalle esigenze specifiche del progetto, tra cui la necessità di prototipazione rapida e economica. L'**FDM** è stato preferito all'**MSLA** per diversi motivi:

Costo: l'acquisto di una stampante FDM è generalmente più economico rispetto all'acquisto di una stampante MSLA. Inoltre, il costo dei materiali per FDM è spesso inferiore rispetto ai materiali per MSLA.

Lavorazioni successive: l'**MSLA** richiede spesso lavorazioni successive per rimuovere i supporti e pulire la superficie del pezzo, mentre l'**FDM** può produrre pezzi con una geometria più semplice e meno supporti. Ciò riduce il tempo e il costo di produzione.

Flessibilità: l'**FDM** consente di utilizzare una varietà di materiali, tra cui ABS, PLA, PETG e altri, che possono essere scelti in base alle esigenze specifiche del progetto.

Velocità di stampa: l'**FDM** può essere più veloce dell'**MSLA** per pezzi di grandi dimensioni o con geometrie complesse.

Resistenza meccanica: l'**FDM** può produrre pezzi con una resistenza meccanica più alta rispetto all'**MSLA**, grazie alla possibilità di utilizzare materiali più resistenti.

Durata: l'**FDM** può produrre pezzi più duraturi rispetto all'**MSLA**, grazie alla possibilità di utilizzare materiali più resistenti all'usura e alla corrosione.

In considerazione di questi fattori, è stato scelto di utilizzare l'**FDM** come tecnologia di stampa.

3.3 Scelta del materiale

Il materiale selezionato per questo progetto è l'**ABS** (Acrylonitrile Butadiene Styrene), noto per la sua buona resistenza meccanica, stabilità termica e resistenza all'impatto. È stato scelto per la sua capacità di sopportare le sollecitazioni moderate che il pezzo potrebbe subire durante l'uso.

3.4 Scelta della stampante

Dopo aver valutato diverse opzioni, è stata scelta la stampante FDM Creality Ender 3 V2, che offre una buona combinazione di prezzo, prestazioni e funzionalità, tra cui:

Prezzo: la Creality Ender 3 V2 è una delle stampanti FDM più economiche sul mercato, con un prezzo di circa 200-300 euro.

Dimensioni di stampa: la stampante ha una dimensione di stampa di 220x220x250 mm, che è sufficiente per la maggior parte dei progetti di prototipazione.

Risoluzione: la stampante ha una risoluzione di 0,1 mm, che è sufficiente per la maggior parte delle applicazioni.

Materiali: la stampante può utilizzare una varietà di materiali, tra cui ABS, PLA, PETG e altri.

Questa stampante risulta quindi una buona scelta per la prototipazione rapida ed economica, e può essere utilizzata per produrre pezzi di alta qualità con una buona finitura superficiale.

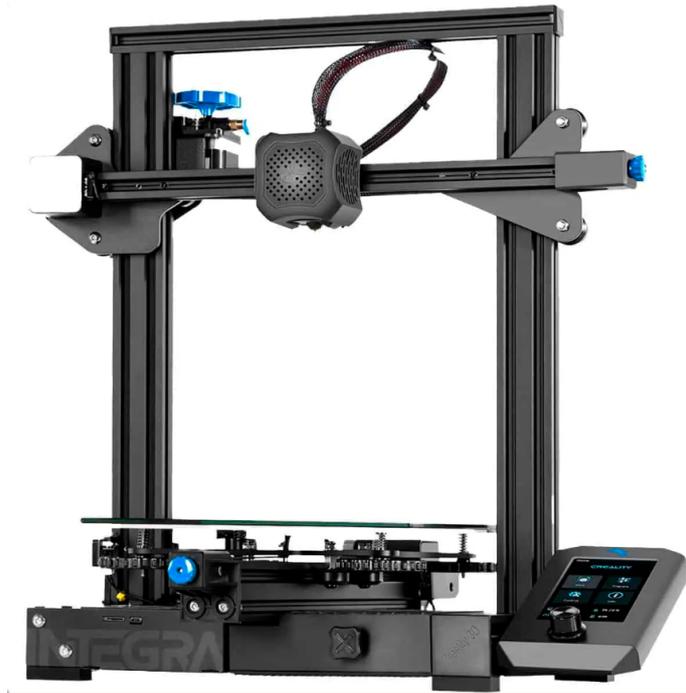


Figura 3.1

3.5 Orientamento e generazione dei supporti

La prima scelta da fare è l'orientamento del pezzo all'interno del piatto di stampa. Al fine di avere meno problemi possibili in fase di produzione, è ottimale che l'orientazione migliore sia quella che richiede un minor numero di supporti ed una maggior semplicità nella geometria di essi, indispensabili nel nostro caso per evitare errori di stampa a causa della gravità. Dopo un'analisi del nostro pezzo, abbiamo appurato che la scelta migliore sia posizionarlo nel seguente modo (vedi figura 2.5), che richiede l'utilizzo di un unico supporto:

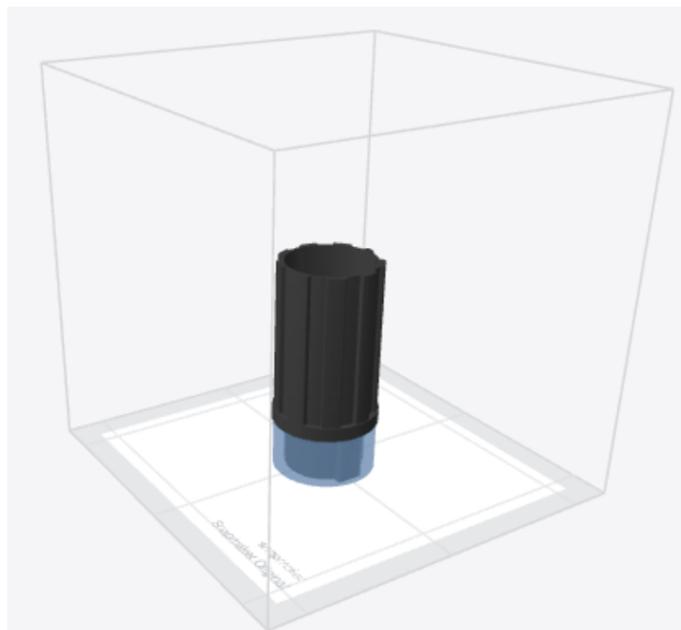


Figura 3.2

3.6 Analisi e scelta dei parametri di stampa

E' necessario scegliere con accuratezza degli adeguati parametri di stampa. I nostri obiettivi sono, in ordine di importanza:

- 1) Ottenere una **precisione maggiore possibile** (soprattutto in corrispondenza delle scanalature).
- 2) Ottenere delle **buone proprietà meccaniche**, per le forze a cui il pezzo dovrà essere sottoposto.
- 3) Ottimizzare **tempi e costi**.

Scegliamo, dunque, un'altezza del filamento relativamente ridotta ($h=0.08\text{mm}$), ed una velocità di stampa piuttosto elevata ($v=60\text{mm/s}$). Inoltre, per prevenire la contrazione in fase di raffreddamento del materiale, aumentiamo del 10% ogni lunghezza lineare.

Per quanto riguarda le misure da adottare per evitare il fenomeno dello "warping", scegliamo il tipo di adesione "bordo" consigliato dal programma di simulazione.

3.7 Simulazione e risultato finale

Segue un'immagine della simulazione da noi effettuata:

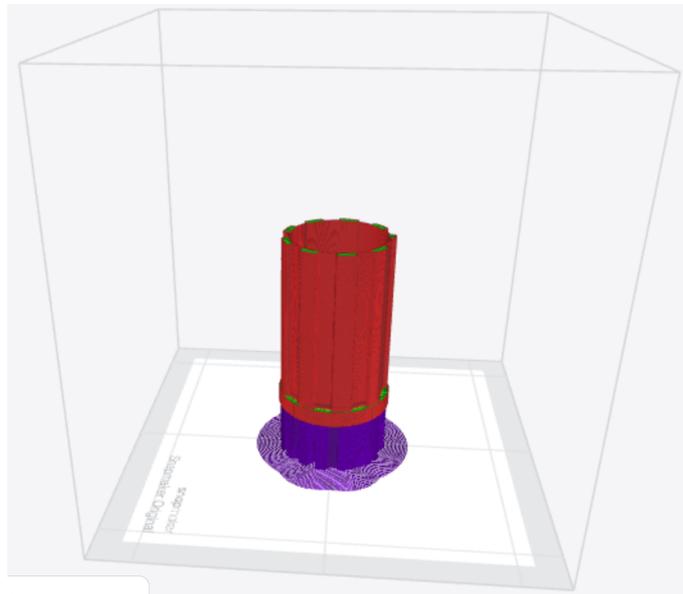


Figura 3.3

3.8 Tempi e costi di produzione

3.8.1 Costo del materiale

Quantità di materiale utilizzato: 20,2 g

Costo dell'ABS: 25 €/kg (supponendo un costo medio)

Costo del materiale utilizzato: $20,2 \text{ g} \times 25 \text{ €/kg} / 1000 \text{ g/kg} = 0,505 \text{ €}$

3.8.2 Costo dell'energia elettrica

Tempo di stampa: 7 ore e 25 minuti = 7,42 ore

Consumo di energia elettrica della stampante: supponiamo un consumo medio di 120 W (dato che la Creality Ender 3 V2 ha un consumo di circa 120-150 W)

Energia elettrica utilizzata: $7,42 \text{ ore} \times 120 \text{ W} = 890,4 \text{ Wh} = 0,8904 \text{ kWh}$

Costo dell'energia elettrica: $0,8904 \text{ kWh} \times 0,20 \text{ €/kWh} = 0,178 \text{ €}$

3.8.3 Costo della manodopera

Tempo di stampa: 7 ore e 25 minuti = 7,42 ore

Costo della manodopera: supponiamo un costo di 15 €/ora

Costo della manodopera: 7,42 ore x 15 €/ora = 111,3 € (ma questo costo potrebbe non essere applicabile se la stampante funziona autonomamente)

3.8.4 Ammortamento della stampante

Costo della stampante: 250 €

Vita utile della stampante: 5 anni

Ore di utilizzo all'anno: supponiamo 2000 ore/anno (circa 4 ore/giorno x 5 giorni/settimana x 50 settimane/anno)

Ore di utilizzo totali: 2000 ore/anno x 5 anni = 10.000 ore

Costo orario della stampante: 250 € / 10.000 ore = 0,025 €/ora

Costo della stampante per pezzo: 7,42 ore x 0,025 €/ora = 0,1855 €

3.8.5 Costo totale

Costo del materiale: 0,505 €

Costo dell'energia elettrica: 0,178 €

Costo della manodopera: 0 € (se la stampante funziona autonomamente) o 111,3 € (se necessaria la supervisione)

Costo della stampante: 0,1855 €

Costo totale (senza manodopera): 0,505 € + 0,178 € + 0,1855 € = 0,8685 €

Costo totale (con manodopera): 0,8685 € + 111,3 € = 112,16 €

In sintesi, il costo di produzione del pezzo sarebbe di circa 0,87 € senza considerare il costo della manodopera, e di circa 112,16 € se si considera il costo della manodopera. E' dunque necessario far lavorare la stampante autonomamente affinché possa esserci guadagno dalla successiva vendita.

Capitolo 4

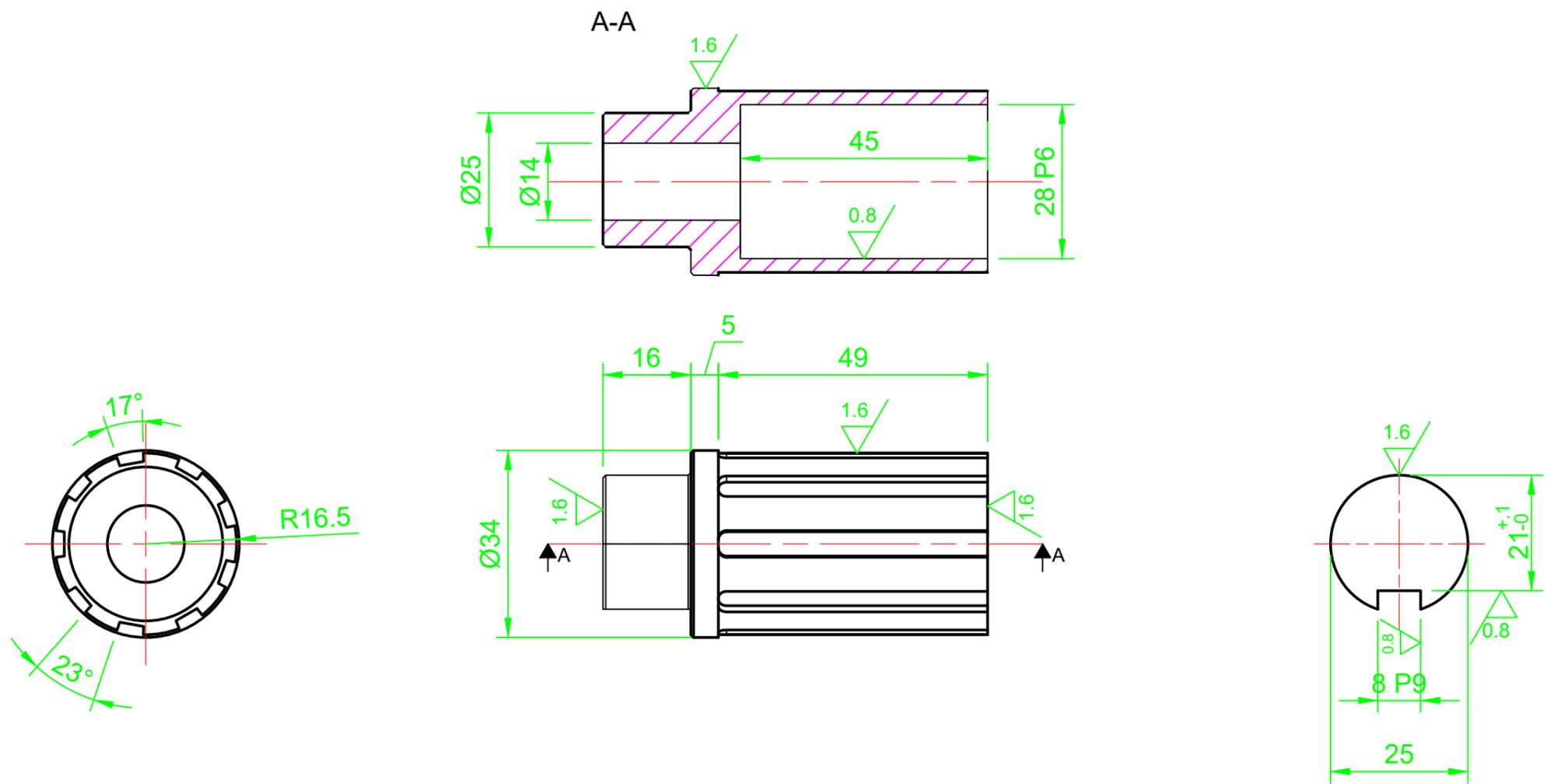
Le lavorazioni per asportazione di truciolo

4.1 Generalità

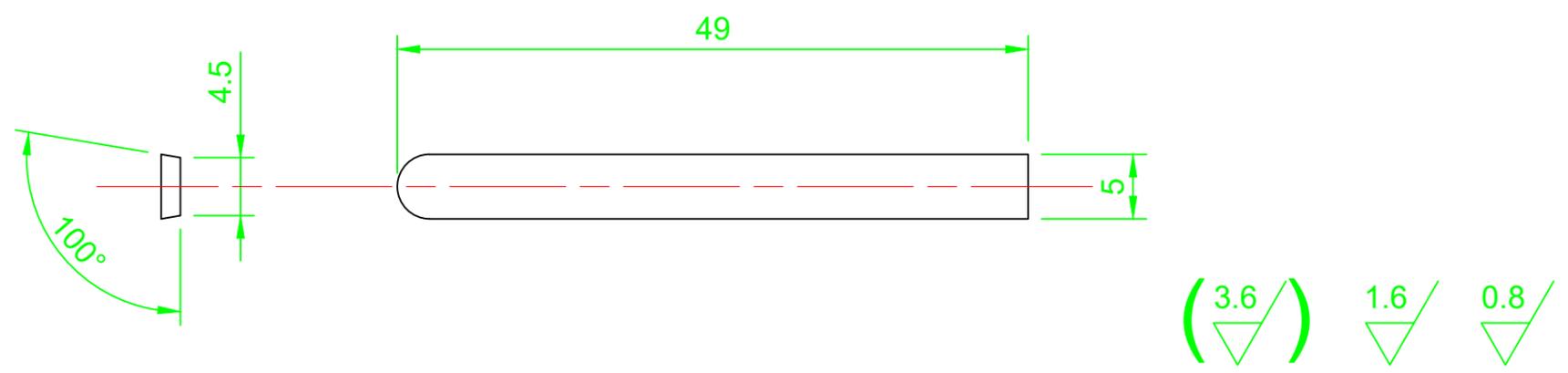
Dopo aver esaminato il componente ottenuto mediante stampa 3D, proponiamo un'alternativa realizzata con tecniche di produzione meccanica tradizionale. L'obiettivo non è semplificare o contenere i costi, bensì offrire un approccio didattico differente per l'accoppiamento dei pezzi. Per rendere il nuovo modello pienamente lavorabile su macchine utensili, abbiamo apportato le seguenti modifiche:

- sostituito il dente di aggancio con una **cava** predisposta all'inserimento di una linguetta;
- ridisegnato il **profilo scanalato** destinato all'alloggiamento dei pignoni, adeguandolo ai vincoli di lavorazione meccanica.

In questo modo il componente conserva le funzionalità originali e, al contempo, diventa uno strumento formativo per illustrare un'alternativa "meccanica" alla stampa 3D. Il disegno del particolare è il seguente:



Dettaglio della scanalatura
Scala: 2:1



Smussi non quotati 0.5x45°
Tolleranze generali UNI EN 22768-mK

Materiale: Alluminio A7075			
Scala 1:2		Foglio 5	
Porta pignoni			
Freschi Tommaso, Benvenuti Filippo			

4.2 Scelta della sequenza delle operazioni, fasi e sottofasi

Per una corretta pianificazione del ciclo di lavorazione, si procede alla numerazione progressiva delle superfici da lavorare, come illustrato in **Figura 1**. A ciascuna superficie viene associata la relativa operazione, specificando il tipo di lavorazione richiesta e la macchina utensile impiegata. Le operazioni vengono quindi raggruppate in funzione della compatibilità tra le superfici, ovvero se possono essere lavorate simultaneamente, e ordinate secondo la sequenza tecnologica ottimale.

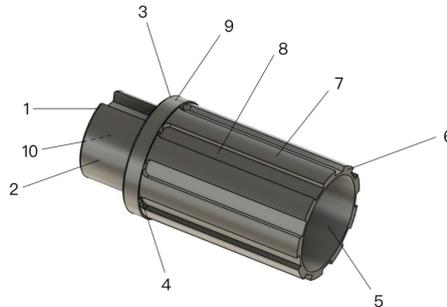


Figura 4.1

Numero superficie	Lavorazione	Processo
1,3,6	Attestatura	Tornitura
1,5	Centratura	Tornitura
2,5,7	Sgrossatura	Tornitura
2,7	Tracciatura	Tornitura
2,7	Finitura	Tornitura
5	Alesatura	Tornitura
1,6	Foratura	Tornitura
3/9, 1/2, 5/10	Smussatura	Tornitura
2	Fresatura	
8	Fresatura	

Fase	Operazione	Macchina
10	Segatura	Sega a disco
20	Attestatura, Centratura, Sgrossatura esterna	Tornio
	Controllo dimensionale	Calibro ventesimale
30	Attestatura, Centratura, Sgrossatura esterna, Tracciatura,	Tornio
	Controllo dimensionale	Calibro ventesimale
40	Tracciatura, Finitura esterna, Foratura	Tornio
50	Fresatura	Fresa
60	Sgrossatura interna, alesatura interna	Tornio
70	Smussatura interna, Finitura esterna	Tornio
80	Fresatura	Fresa
	Controllo dimensionale	Micrometro

4.3 Scelta delle macchine

Le macchine di cui abbiamo bisogno sono le seguenti, e le schede tecniche contenenti le caratteristiche principali di esse sono riportate nell'appendice:

4.3.1 Il tornio

Abbiamo scelto il tornio TU2004V per la sua regolazione elettronica dei giri, utile per adattarsi all'A7075. La struttura in ghisa garantisce stabilità, mentre il visualizzatore digitale facilita il controllo preciso delle lavorazioni.

Prezzo sul mercato: 1800€



Figura 4.2

4.3.2 La fresatrice

La fresatrice UWF è adatta all'A7075 grazie alla sua robustezza, al cambio a 8 velocità e al visualizzatore a tre assi, che migliora la precisione e semplifica il posizionamento del pezzo

Prezzo sul mercato: 9900€



Figura 4.3

4.4 Scelta delle attrezzature

4.4.1 La sega a disco

Abbiamo scelto la Einhell TC-MS 2112 per il taglio dell'A7075 perché compatibile con dischi in metallo duro e adatta a lavorazioni precise su leghe leggere. Prezzo sul mercato. 100€



4.4.2 Il calibro ventesimale

Scegliamo il calibro ventesimale analogico Borletti CNR 150mm, per effettuare il controllo metrologico delle superfici esterne.

Prezzo sul mercato: 27,98€




UTENSILERIA
ONLINE

4.4.3 Il micrometro

Scegliamo il Micrometro digitale Rupac a becchi Digitronic 5-30mm risoluzione 0,001mm, che ci permette il controllo metrologico sia del foro per il cuscinetto (diametro 28mm tolleranza P6), sia della cava per la linguetta (8x7x16).

Prezzo sul mercato: 205,00€



4.4.4 Il mandrino

Per consentirci di eseguire le scanalature con la fresatrice, è necessario eseguirne una alla volta, ruotando il pezzo dei gradi stabiliti in seguito alla creazione di ogni scanalatura. Per farlo, ci serviamo della VEVOR BS-0, un mandrino con scala in gradi regolabile. Prezzo sul mercato: 268,99€



Figura 4.4

4.5 Utensileria

La selezione degli utensili dipende strettamente dal tipo di lavorazione da eseguire e dalla specifica operazione prevista. Tuttavia, esistono utensili caratterizzati da una notevole versatilità, che consentono di essere impiegati in più fasi del processo produttivo, ottimizzando tempi e costi.

Per facilitare la pianificazione e l'organizzazione delle lavorazioni, abbiamo sintetizzato nella tabella seguente tutti gli utensili necessari, indicando per ciascuno le operazioni compatibili.

Lavorazione	Portainserito	Inserito
Segatura	Disco Saxton TCT	
Sgrossatura esterna	SCMCN 1616H09	CCMT09T
Attestatura		
Smussatura		
Tracciatura	ISCAR 2300514	ISCAR GTN-3 IC354
Sgrossatura interna	SDJCR/L diametro 10-12	DCMT 070204
Alesatura interna	Garant Master Eco Destro	CNMG 120408
Centratura	Punta da centraggio	
Finitura esterna	Nvlcl 1616 H16	VCGT 160404
Foratura	Punta elicoidale in HSS N TiN 6, 10, 14mm	
Fresatura (cava)	Fresa per cave HM S802HA	
Fresatura (scanalature)	3 Flute Alu-Power HPC Lapped Carbide Slot Drill - E5H22 (YG-1)	

Figura 4.5

4.6 Scelta dei parametri di taglio

4.6.1 Parametri di taglio segatura

Per il taglio di barre in lega A7075 da 1mm è stata utilizzata la troncatrice Einhell TC-MS 2112, equipaggiata con disco Saxton TCT da Ø250mm e spessore 2,6mm. La velocità di rotazione è stata determinata applicando la formula:

$$\text{RPM} = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D}$$

Assumendo una velocità di taglio pari a 400m/min, valore idoneo per leghe leggere con utensili in metallo duro, si ottiene:

$$\text{RPM} = \frac{1000 \times 400}{\pi \times 250} = 5095rpm$$

Il valore impostato di 5000rpm risulta quindi coerente con il calcolo teorico. È stata eseguita una singola passata, sufficiente per garantire il distacco netto del pezzo senza deformazioni, considerando lo spessore ridotto e la rigidità del materiale.

4.6.2 Parametri di taglio tornitura

Per la definizione preliminare dei parametri di taglio nella tornitura, si fa riferimento al manuale tecnico del tornio, disponibile online e accessibile tramite il link riportato in appendice. In questa fase, si seleziona una velocità di taglio consigliata basandosi sulla tabella "Speed Cutting Table", specifica per inserti appartenenti alla classe K10—categoria che include la maggior parte degli utensili impiegati nel nostro processo.

La tabella suggerisce un intervallo di velocità compreso tra 80 e 200 m/min. Per semplicità e coerenza, si adotta un valore medio pari a 140 m/min, calcolato come media aritmetica tra i due estremi. A partire da questo dato, si determina il numero di giri (RPM) in funzione del diametro del pezzo, secondo la formula:

$$\text{RPM} = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D}$$

Chiaramente anche la velocità di taglio non è fissa, ma varia a seconda dell'operazione. In particolare, abbiamo scelto una velocità di taglio pari a 140m/min per le operazioni di sgrossatura esterna, attestatura e centratura, in quanto rappresenta un valore intermedio consigliato per inserti di classe K10 su leghe leggere, garantendo un buon compromesso tra produttività e durata dell'utensile. Per la sgrossatura interna, è stato adottato un valore più contenuto di 100m/min, al fine di ridurre vibrazioni e usura, considerando la geometria meno favorevole e le difficoltà di evacuazione del truciolo. Infine, per le operazioni di finitura esterna e alesatura interna, è stata selezionata una velocità più elevata di 200m/min, compatibile con avanzamenti ridotti e profondità di passata contenute, così da ottenere una migliore qualità superficiale. Per la scelta dell'avanzamento (f) e della profondità di passata (ap), il manuale tecnico raccomanda di mantenere un rapporto ap/f compreso tra 4 e 10.

-Per la sgrossatura, l'avanzamento non deve superare la metà del raggio di punta dell'inserto. Per un inserto K10 con raggio pari a 0,4 mm, si ottiene:

$$f(max) = \frac{0,4mm}{2} = 0,2mm/giro$$

-Per la finitura: l'avanzamento massimo è un terzo del raggio, quindi:

$$f(max) = \frac{0,4mm}{3} = 0,13mm/giro$$

In fase preliminare, si adotta un valore di avanzamento prudenziale, ad esempio:

$$f = 0,15mm/giro$$

Da questo, si calcolano i limiti della profondità di passata:

$$ap(min) = 4 \times 0,15 = 0,6mm$$

$$ap(max) = 10 \times 0,15 = 1,5mm$$

La profondità di passata effettiva verrà poi definita in base alla sottofase specifica del ciclo di lavorazione, tenendo conto delle esigenze tecniche e delle condizioni operative. Per praticità, riportiamo i seguenti dati in due tabelle: una per le lavorazioni di sgrossatura, con avanzamento comune di 0,15mm/rev e velocità di taglio 100m/min o 140m/min, e una per le lavorazioni di finitura, con avanzamento di 0,08mm/rev e velocità di taglio di 200m/min:

NOTA: il raggio di punta nella seconda tabella è di 0,4mm.

	Vel. taglio	Diametro	n° giri est.	n° giri int.	ap min	ap max	f	f max	ap/f min	ap/f max	raggio di punta
Sgrossatura esterna, Attestatura, Centratura, Smussatura, Tracciatura	140	13	3430	2450	0,6	1,5	0,15	0,2	4	10	0,4
Sgrossatura Interna	100	14	3185	2275							
		15	2972	2123							
		16	2787	1990							
		17	2623	1873							
		18	2477	1769							
		19	2347	1676							
		20	2229	1592							
		21	2123	1517							
		22	2027	1448							
		23	1939	1385							
		24	1858	1327							
		25	1783	1274							
		26	1715	1225							
		27	1651	1180							
		28	1592	1137							
		29	1537	1098							
		30	1486	1062							
		31	1438	1027							
		32	1393	995							
		33	1351	965							
		34	1311	937							
		35	1274	910							
		36	1238	885							
		37	1205	861							
		38	1173	838							
		39	1143	817							
		40	1115	796							

	Velocità di taglio	Diametro	n° giri est.	raggio di punta	ap min	ap max	f	f max	ap/f min	ap/f max
Finitura esterna ed alesatura interna	200	13	4.900	0	0,32	0,8	0,08	0,12	4	10
		14	4.550							
		15	4.246							
		16	3.981							
		17	3.747							
		18	3.539							
		19	3.352							
		20	3.185							
		21	3.033							
		22	2.895							
		23	2.769							
		24	2.654							
		25	2.548							
		26	2.450							
		27	2.359							
		28	2.275							
		29	2.196							
		30	2.123							
		31	2.055							
		32	1.990							
		33	1.930							
		34	1.873							
		35	1.820							
		36	1.769							
		37	1.721							
		38	1.676							
		39	1.633							
		40	1.592							

4.6.3 Parametri di taglio fresatura

Per la fresatura, calcoliamo il numero di giri della macchina con la stessa formula usata per le lavorazioni di tornitura. Nel caso delle scanalature, l'intelligenza artificiale consiglia una velocità di taglio di 100m/min. Dato il diametro del codolo di 3mm, otteniamo:

$$\text{RPM} = \frac{1000 \times 100}{\pi \times 3} = 10.610 \text{rpm}$$

L'avanzamento si ottiene dalla relazione:

$$F = f \times z \times n$$

in cui:

f = avanzamento per dente

z = numero di taglienti

n = numero di giri

Stimando un avanzamento per dente di 0,02mm/dente, e dato il numero di taglienti del codolo (3), otteniamo:

$$F = 0,02 \times 3 \times 10.610 = 636 \text{mm/min}$$

La profondità di passata consigliata dall'intelligenza artificiale, dati questi parametri, è di 1mm.

Per l'esecuzione della cava, allo stesso modo ci viene consigliata una velocità di taglio di 100m/min. Dato il diametro dell'utensile (4mm), possiamo calcolare gli rpm:

$$\text{RPM} = \frac{1000 \times 100}{\pi \times 4} = 7960 \text{rpm}$$

Analogamente, l'avanzamento risulta essere:

$$F = 0,03 \times 2 \times 7960 = 478 \text{mm/min}$$

Abbiamo però un problema: la macchina che utilizziamo ha un range di velocità che va da 115 a 1750 giri/min. Quindi, sia per eseguire le scanalature che la cava, gli rpm calcolati teoricamente sono troppo elevati. La soluzione che decidiamo di adottare è abbassare la velocità di taglio, portandola a 22m/min. Con questa accortezza, possiamo definire i parametri di taglio finali, che per praticità riportiamo in una tabella:

Lavorazione	Vel. di taglio (Vc)	rpm	Av. per dente (fz)	Av. totale (F)	Prof. passata (ap)
Scanalatura	22m/min	1750	0.02mm	70mm/min	0.5-1mm
Cava	22m/min	1750	0.03mm	105mm/min	1-1.5mm

4.7 Calcolo tempi di lavorazione

4.7.1 Tempi attivi

Per calcolare i tempi attivi di lavorazione, utilizziamo le formule di riferimento disponibili nel manuale Santochi: - per le lavorazioni di tornitura e foratura, il tempo attivo è dato da:

$$t = \frac{L + e}{a \times n}$$

in cui: L = lunghezza della superficie o profondità del foro in mm;

e = extracorsa in mm all'inizio e alla fine della lavorazione;

a = avanzamento in mm/giro

n = velocità di rotazione del mandrino in rpm

- per le lavorazioni di fresatura, il tempo attivo è dato da:

$$t = \frac{L' + e}{V}$$

L' = corsa in mm dell'asse della fresa

e = extracorsa

V = velocità di avanzamento in mm/min

Per praticità riassumiamo tutti i tempi attivi di ogni lavorazione nella seguente tabella:

Tornitura e Foratura	L	e	a	n	tempo (min)	tempo (s)
Attestatura 20.2/ 30.1	100,00	100,00	0,15	1115,00	1,20	71,75
Sgrossatura esterna 20.4	160,00	160,00	0,15	1115,00	1,91	114,80
Sgrossatura esterna 30.4	150,00	145,00	0,15	1115,00	1,76	105,83
Sgrossatura esterna 30.6	96,00	96,00	0,15	1310,00	0,98	58,63
Attestatura 30.8	11,00	0,00	0,15	1310,00	0,06	3,36
Finitura esterna 40.3	108,00	108,00	0,05	1870,00	2,31	138,61
Foratura 40.4/40.5/40.6	70,00	200,00	0,05	2500,00	2,16	129,60
Sgrossatura interna 60.2	405,00	405,00	0,15	1600,00	3,38	202,50
Finitura interna 60.4	90,00	90,00	0,05	2270,00	1,59	95,15
Finitura esterna 70.3	32,00	32,00	0,05	2400,00	0,53	32,00
Fresatura	L'	e	V	tempo (min)	tempo (s)	
Fresatura 50.3 (1 scanalatura)	45,00	5,00	70	0,71	43	
Fresatura 80.2	16,00	5,00	105	0,20	12	

L'analisi dei tempi di processo, ottenuta mediante la somma delle durate relative a ciascuna sottofase del ciclo operativo, evidenzia un tempo complessivo pari a 1707 secondi (equivalenti a 28,45 minuti). Di tale intervallo, 400 secondi (6,7 minuti) sono attribuibili alle lavorazioni eseguite mediante fresatrice, mentre i restanti 1308 secondi (21,8 minuti) corrispondono alle operazioni effettuate al tornio.

4.7.2 Tempi passivi

Per la determinazione dei tempi passivi, ovvero delle durate associate alle operazioni di approntamento macchina, predisposizione delle attrezzature e sostituzione o preparazione degli utensili, si fa riferimento ai valori tabellari riportati nel manuale Santochiall (pp. 521-522). I dati estratti sono stati sistematizzati nella tabella sottostante per facilitarne l'impiego nelle analisi di ciclo produttivo.

Fase	tempo (min)	tempo (s)
10	0,50	30,00
20	0,30	18,00
	0,10	6,00
	0,50	30,00
	0,20	12,00
	0,50	30,00
	0,50	30,00
30	0,60	36,00
	0,50	30,00
	0,50	30,00
	0,50	30,00
	0,50	30,00
	0,50	30,00
40	0,60	36,00
	2,70	162,00
	0,50	30,00
	0,50	30,00
	0,50	30,00
50	0,30	18,00
	0,60	36,00
60	0,30	18,00
	0,50	30,00
	2,70	162,00
70	0,60	36,00
	0,50	30,00
	2,70	162,00
80	0,60	36,00

Otteniamo un totale di 19,30 minuti (1158s) di tempi passivi.

4.8 Calcolo dei costi di lavorazione

4.8.1 Costi della materia prima

Il greggio di partenza è costituito da barre in alluminio A7075 di diametro 40mm e lunghezza 1000m. Il taglio dei pezzi avviene mediante sega a disco con spessore di 2,6 mm. Utilizzando barre da 1.000 mm, si possono ottenere 12 spezzoni da 80 mm, con 11 tagli che generano uno sfrido complessivo di 28,6 mm. Il residuo finale della barra, pari a circa 3,4 mm, non è sufficiente per ricavare un ulteriore pezzo. Lo scarto totale ammonta quindi a 32 mm, corrispondente al 3,2% del costo di una singola barra è di 57,40€. Considerando che da una di esse si ottengono 12 pezzi, possiamo calcolare il costo per pezzo:

$$\text{costo} = \frac{57,40\text{€}}{12} = 4,79\text{€}$$



Figura 4.6

4.8.2 Costi di manodopera

Per la produzione di un pezzo, un operaio specializzato deve essere pagato per tutta la durata della produzione. Sommando tempi attivi e passivi del ciclo di lavoro otteniamo un totale di circa 48 minuti (0,8h). Supponendo di pagare l'operaio 15€/ora, per produrre un singolo pezzo un operaio ci costa:

$$\text{Costo operaio per pezzo} = 0,8 \times 15 = 12\text{€}$$

4.8.3 Costi delle macchine

Per calcolare il costo del tornio e della fresa per ogni singolo pezzo teniamo conto di: 1) Costi di ammortamento, stimando una vita utile di 2000h per il tornio e 3000h per la fresatrice. 2) Consumo elettricità, scegliendo un costo medio di energia sul mercato in Italia di 0,25€/kWh 3) Costi di manodopera, stimando 200€ di manodopera per il tornio e 500€ per la fresatrice. Riportiamo tutti i dati nella tabella seguente:

Macchina	Tornio Optimum TU 2004V	Fresatrice UWF
Costo capitale	1800	9900
Vita utile (h)	2000	3000
Pezzi/h	4	9
Pezzi tot	8000	27000
Ammort./pezzo	0,22	0,37
Consumo (kW/h)	1,5	2
Costo energia/h	0,375	0,5
Consumo/pezzo	0,09	0,05
Manutenzione tot.	200	500
Manutenzione/pezzo	0,025	0,0185
Costo totale/pezzo	0,33	0,44

Otteniamo un costo totale per pezzo dato dall'utilizzo delle macchine di 0,77€

4.8.4 Costo delle attrezzature

Per le attrezzature utilizzate, valgono le analoghe considerazioni fatte per le macchine (a meno che manutenzine e costo di energia non siano necessarie, ome nel caso degli strumenti per il controllo metrologico). Riportiamo i dati ottenuti nella seguente tabella:

Attrezzatura	Sega a disco	Calibro ventesimale	Micrometro	Mandrino
Costo capitale	100	28	205	269
Vita utile (h)	2000	2000	2000	2000
Produzione oraria (pezzi/h)	360	600	600	9
Pezzi totali	720000	1200000	1200000	18000
Ammortamento/pezzo	0,0001	0,00002	0,0002	0,01
Consumo energia (kW/h)	1			
Costo energia/h	0,25			
Consumo/pezzo	0,0007			
Manutenzione totale	100			
Manutenzione/pezzo	0,0001			
Costo totale/pezzo	0,001	0,00002	0,0002	0,01

Otteniamo un costo totale per pezzo dato dalle attrezzature di 0,01€

4.8.5 Costo degli utensili

Per il costo di ogni utensile per un singolo pezzo, abbiamo stimato la vita utile di ognuno in h, e compilato la seguente tabella:

Nome utensile	Costo	Vita (h)	Pezzi/h	Pezzi totali	Amm.	Costo /pezzo
Disco Saxton TCT	25	2000	360	720000	0,000035	0,000035
Inserto CCMT 09T304N	1	2	9	18	0,055555556	0,055555556
Portainsero SCMCN 1616H09	26	18000	9	162000	0,000160494	0,000160494
Inserto ISCAR GTN-3 IC354	2	2	360	720	0,002777778	0,002777778
Portainsero ISCAR 2300514	145	18000	360	6480000	0,000022	0,000022
Inserto DCMT 070204	1	2	18	36	0,027777778	0,027777778
Portainsero SDJCR/L	70	18000	18	324000	0,000216049	0,000216049
Inserto CNMG 120408	8	2	35	70	0,114285714	0,114285714
Portainsero Garant Master Eco Destro	157	18000	35	630000	0,000249206	0,000249206
Inserto VCGT 160404	70	2	21	42	1,666666667	1,666666667
Portainsero Nvlcl 1616 H16	63	18000	21	378000	0,000166667	0,000166667
Punta elicoidale in HSS N TiN 6mm	4,5	4	27	108	0,041666667	0,041666667
Punta elicoidale in HSS N TiN 10mm	8,6	4	27	108	0,07962963	0,07962963
Punta elicoidale in HSS N TiN 14mm	26	4	27	108	0,240740741	0,240740741
Punta HM R200	38	10	360	3600	0,010555556	0,010555556
3 Flute Alu-Power HPC	23,53	30	55	1650	0,014260606	0,014260606
Fresa per cave	25,84	3	300	900	0,028711111	0,028711111

Otteniamo un costo totale per pezzo dato dall'uso degli utensili di 2,28€

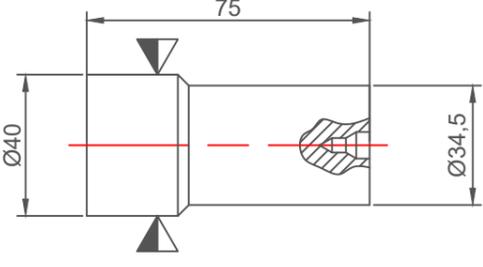
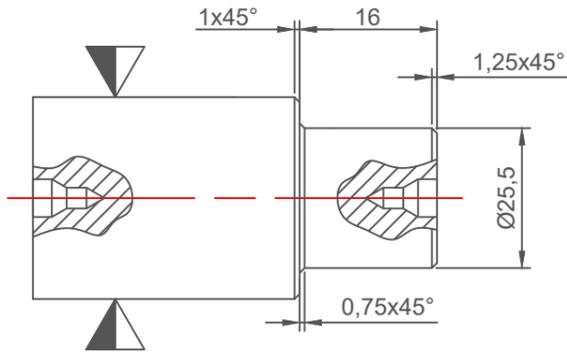
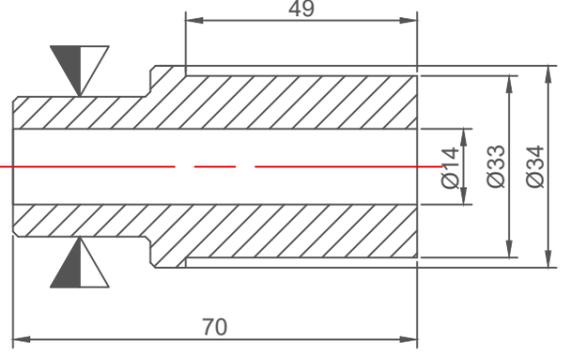
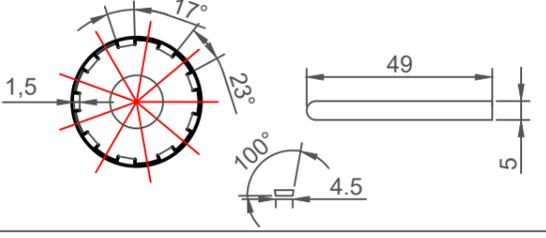
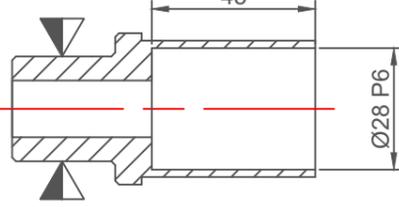
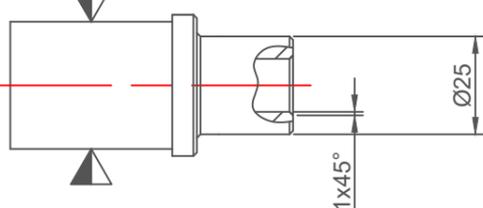
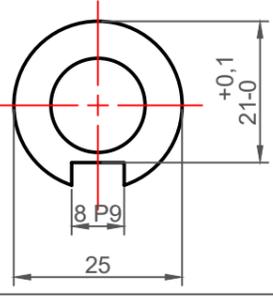
4.8.6 Costi totali

Sommando tutti i singoli prezzi (materia prima, manodopera, macchine, attrezzature, utensili), otteniamo un totale di spesa per ogni singolo pezzo pari a:

$$\text{Costo totale} = 4,79\text{€} + 12\text{€} + 0,77\text{€} + 0,01\text{€} + 2,28\text{€} = 19,85\text{€},$$

un prezzo accettabile per la rivendita.

4.9 Ciclo di lavoro

OP N°	DESCRIZIONE OPERAZIONE	SCHIZZO OPERAZIONE	MACCHINA	N° (Giri/1')	AV (mm/Giro)	UTENSILI LAVORO	STRUMENTI DI MUSURA E CONTROLLO	PROF (mm)	NUMERO PASSATE	TEMPO (1")
10	10.1 taglio spezzoni barra tramite sega a disco (40Øx80)		SEGA A DISCO	5000		Disco			1	10
20	20.1 Montaggio del pezzo sul mandrino 20.2 Attestatura 20.3 Centatura 20.4 Sgrossatura 20.5 Controllo dimensionale		TORNIO PARALLELO	1115	0.15	Attestatore	CALIBRO VENTESIMALE	1	5	72
		2500			Punta di centraggio				5	
		1115		0.15	Sgrossatore	1,5x3 1x1		4	115	
		1115		0.15	Attestatore	1		5	72	
30	30.01 Smontaggio del pezzo e rimontaggio dalla parte opposta 30.02 Attestatura 30.03 Centatura 30.04 Sgrossatura 30.05 Tracciatura 30.06 Sgrossatura esterna 30.07 Smussatura a 45° 30.08 Attestatura 30.09 Smussatura 30.10 Controllo dimensionale calibro ventesimale			2500		Punta di centraggio				5
		1115		0.15	Sgrossatore	1,5x3 1x1		4	106	
		1310		0.15	Sgrossatore	1.5		6	59	
		1310		0.15	Attestatore	1		1	4	
		1310			Sgrossatore				1	
		1310			Sgrossatore				1	
40	40.1 Smontaggio del pezzo e rimontaggio dalla parte opposta 40.2 Tracciatura 40.3 Finitura superficie esterna 40.4 Foratura da 6 mm 40.5 Foratura da 10mm 40.6 Foratura da 14 mm (passante)		1870	0.05	Finitore		0.5	2	138	
		2500		Punta 6mm				130		
		2500		Punta 10mm				130		
		2500		Punta 14mm				130		
50	50.1 Smontaggio del pezzo 50.2 Montaggio del pezzo sulla fresa 50.3 Esecuzione scanalature come da disegno tramite rotazione mandrino		FRESATRICE UNIVERSALE			Codolo da 3mm			54	
60	60.1 Smontaggio del pezzo 60.2 Montaggio del pezzo sul tornio 60.3 Sgrossatura interna 60.4 Alesatura interna P6		TORNIO PARALLELO	1600	0.15	Sgrossatore interno	CALIBRO VENTESIMALE MICROMETRO PER INTERNI	1.5	9	202
		2270		0.05	Finitore interno	0.5		2	95	
70	70.1 Smontaggio e rimontaggio sul tornio 70.2 Smussatura interna 70.3 Finitura esterna		TORNIO PARALLELO	1600		Sgrossatore	CALIBRO VENTESIMALE			1
		2400		0.05	Finitore	0.25		2	32	
80	80.1 Smontaggio del pezzo e montaggio su fresatrice 80.2 Esecuzione cava per linguetta		FRESATRICE UNIVERSALE			Codolo da 8mm P9	CALIBRO VENTESIMALE MICROMETRO PER INTERNI			2
									TOT (1")	1364

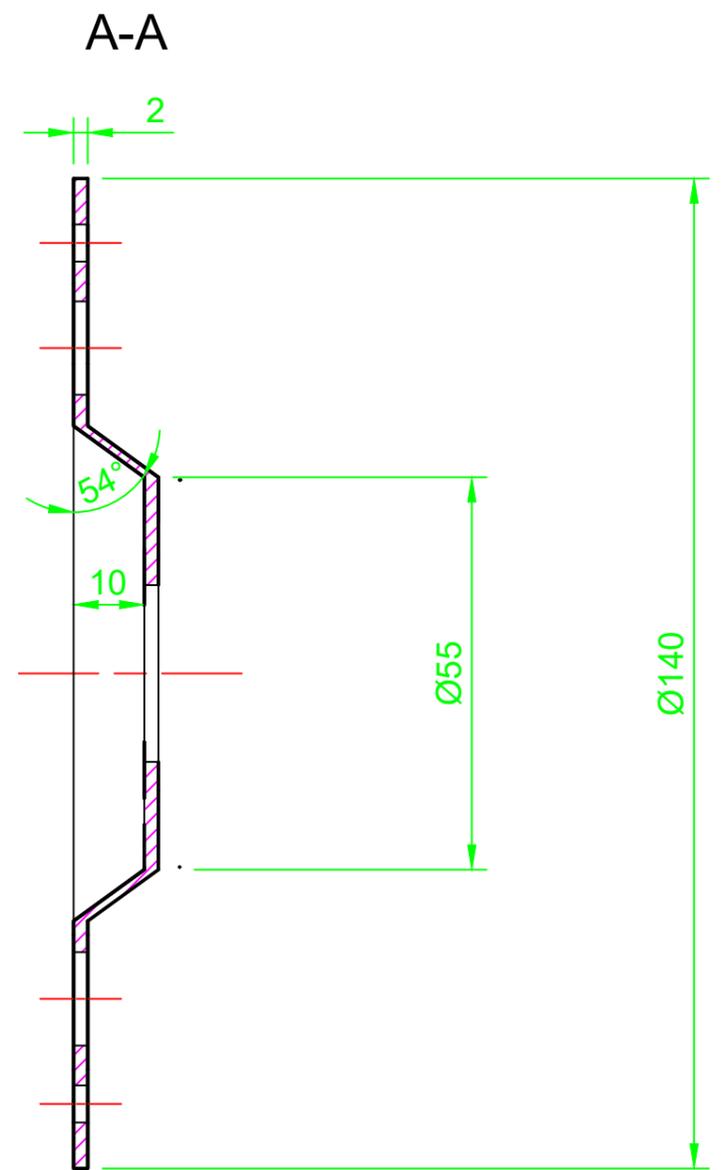
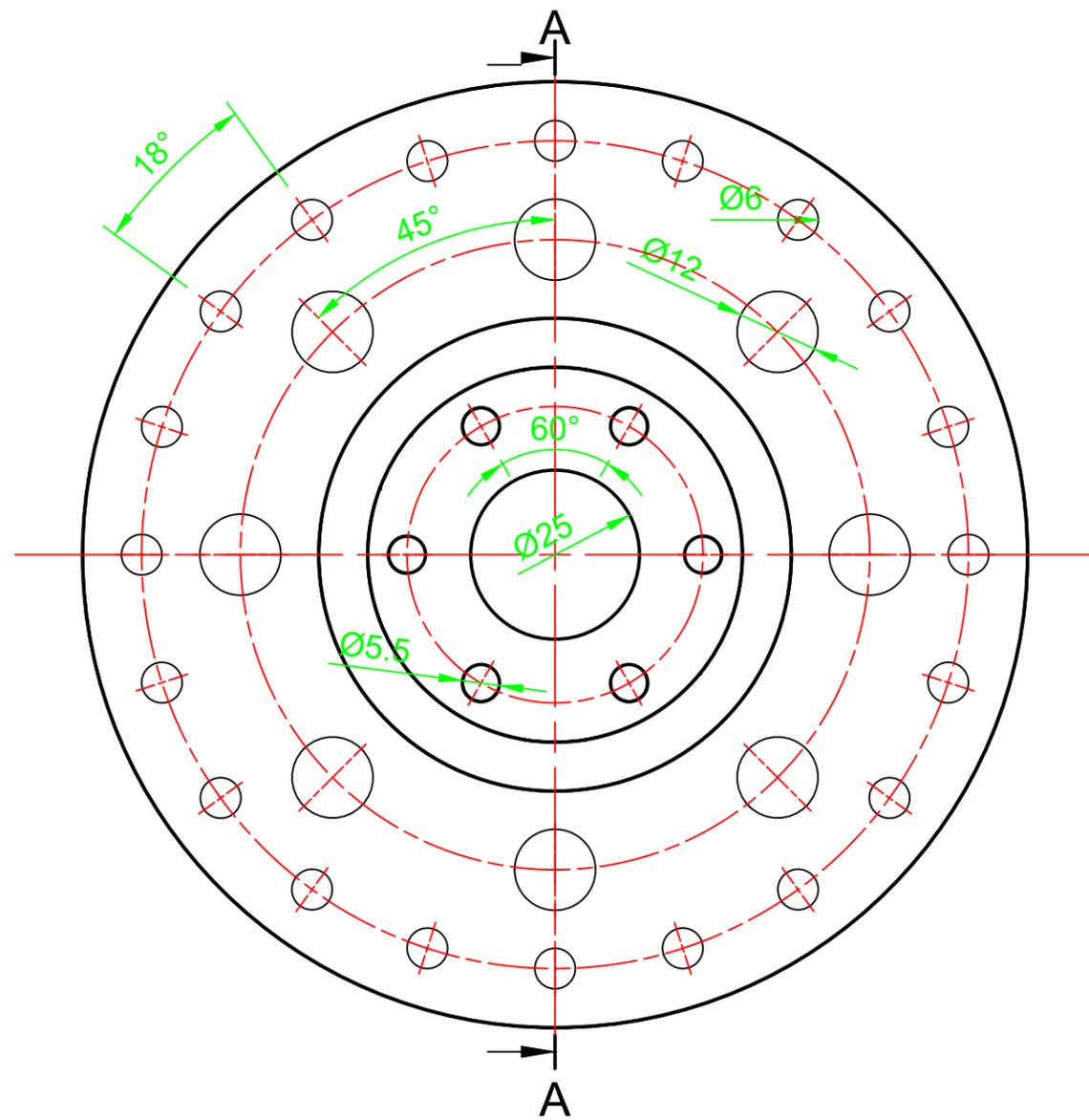
Capitolo 5

Lavorazione per deformazione plastica

5.1 Generalità

Il componente che decidiamo di lavorare per deformazione plastica è il disco freno, di cui riportiamo il disegno quotato. Il nostro obiettivo è ottenere una lamina forata e piegata. Per farlo abbiamo deciso di procedere nel seguente modo:

- 1) Realizzare la concavità sulla lamina tramite imbutitura
- 2) Forare la lamina piegata tramite taglio laser



Tolleranze generali UNI EN 22768-mK

AISI 410		
	Scala 1:2	Foglio 6
	Disco Freno	
	Freschi Tommaso, Benvenuti Filippo	

5.2 Scelta del materiale

Per la realizzazione del disco freno è stato scelto l'acciaio AISI 410 ricotto, per la sua ottima facilità di lavorazione, costo contenuto e resistenza all'usura. Inoltre, è importante che il materiale scelto sia compatibile con il taglio laser, permettendoci di realizzare fori precisi e bordi puliti, mantenendo le caratteristiche meccaniche del pezzo.

5.3 Scelta del greggio di partenza

Per ottenere la lamina circolare in acciaio AISI 410 possiamo procedere in due modi: 1) Ottenere i dischi con taglio laser a partire da una lamina rettangolare. Questa soluzione deve tener conto dei costi della materia prima, dell'elettricità e dell'ammortamento macchina. Procedendo in questo modo, il costo per pezzo sarebbe di circa 3,90€.

2) Far produrre i dischi ad un'azienda esterna, in modo da evitare un'ulteriore lavorazione. Una stima dell'intelligenza artificiale ci dice che, considerando un primo lotto di 500 pezzi, il costo per pezzo sarebbe di circa 5€ a pezzo.

In conclusione, decidiamo di produrre i pezzi autonomamente, dato che il prezzo per ogni singolo disco è minore, e la macchina che utilizzeremo sarebbe comunque la stessa necessaria per realizzare i fori in seguito all'imbutitura

NOTA: a scopo didattico tratteremo il processo di taglio laser unicamente per la realizzazione dei fori.

5.4 Calcolo dei parametri di riferimento

Per pezzi assialsimmetrici (come nel nostro caso), il manuale Santochi consiglia di calcolare una serie di parametri di riferimento:

5.4.1 Gioco tra matrice e punzone

$$g = s + K \times rad(10 \times s)$$
$$g = 2mm + 0,07 \times rad(20) = 2,31mm$$

in cui:

s = spessore lamiera

K= costante che per gli acciai vale 0,07

5.4.2 Raggio di arrotondamento della matrice

Utilizziamo la relazione di Kaczmarek

k = costante dimensionale che varia tra 0,8 e 0,9

D = diametro disco lamiera di partenza

d = diametro del punzone

s = spessore lamiera

$$r_m = K \cdot \sqrt{(D - d) \cdot s} \quad (5.1)$$

in cui:

k = costante dimensionale che varia tra 0,8 e 0,9

D = diametro disco lamiera di partenza

d = diametro del punzone

s = spessore lamiera

così otteniamo:

$$r_m = 0,8 \cdot \sqrt{(156 - 55) \cdot 2} = 11,37mm$$

5.4.3 Raggio di arrotondamento del punzone

Il valore del raggio di arrotondamento del punzone è determinato come segue, secondo la teoria di Wassilief:

$$5s < r_p < 0.3d$$

e dunque deve essere compreso tra 10mm e 16.5mm

5.4.4 Pressione del premilamiera

Il valore ottimo della pressione del premilamiera è di 2,5 MPa per gli acciai

5.4.5 Forza di imbutitura

La forza di imbutitura è calcolabile come:

$$P = pi \times d \times s \times m \times R_m$$

d = diametro punzone

s = spessore lamiera

m = valore che dipende dal rapporto tra diametro punzone e diametro del disco che partecipa all'imbutitura.

R_m = resistenza a trazione, che per l' AISI410 ricotto vale circa 400 MPa

Per calcolare m, vediamo quanto vale d/D:

Per calcolare D, che non è il diametro del disco di partenza utilizzato nel calcolo del raggio di arrondamento della matrice, applichiamo la formula a pagina 279 del manuale indicata per l'imbutito n° 5, che più si avvicina alla forma della nostra concavità.

La formula da utilizzare è la seguente:

$$D = \sqrt{d^2 + 2[s(d_1 + d_2) + 2d_2h]}$$

Dati:

$d_2 = 70mm$

$d_1 = 55mm$

$s = 12.3mm$

$h = 2mm$

Calcoliamo D.

$$D = \sqrt{70^2 + 2[12.3(55 + 70) + 2702]} = 92.38mm$$

Posiamo quindi calcolare d/D:

$$d/D = \frac{55mm}{92.38mm} = 0.59 \quad (5.2)$$

E dunque $m = 0,86$ secondo la tabella

Notiamo che, siccome $m > 0,5$, è sufficiente una singola passata.

Calcoliamo infine la forza di imbutitura necessaria per questa passata:

$$P = pi \times 55 \times 2 \times 0,86 \times 400 = 118817.6N$$

5.5 Scelta della macchina

Scegliamo una macchina che riesca ad esercitare facilmente una forza del genere: la pressa HWP 160-1500 è sicuramente una buona scelta, dato che riesce ad arrivare fino a 160 tonnellate (circa 1569kN).



Figura 5.1

5.6 Calcolo dei tempi e dei costi

Per calcolare il tempo e il costo che l'operazione di imbutitura ci costerà dobbiamo considerare diversi fattori:

5.6.1 Materia prima

Producendo i dischi in AISI 410, utilizzando la macchina da taglio laser, scegliamo lamine di 1250x2500mm. Considerando:

- manodopera a 15€/h
- Ammortamento macchina
- Costo energia medio in Italia di 0,25€/pezzo
- Manutenzione standard

Otteniamo in seguenti dati, riportati in una tabella, per un costo totale di 0,15€ al pezzo.

Voce di costo	Valore (€)
Lamiera AISI 410	0,085
Macchina (ammortamento)	0,0018
Manodopera	0,0417
Energia elettrica	0,0007
Manutenzione/utensili	0,02
Totale stimato	0,15 €/pz

5.6.2 Costo della macchina

La macchina ha un costo di 15963€. Considerando:

- un periodo di ammortamento di 10 anni
- una vita utile di circa 20000h
- una produzione oraria di circa 360 pezzi/H (circa 1 pezzo ogni 10s)

Ci viene a costare circa 0,00221€ al pezzo per l'ammortamento della macchina.

5.6.3 Costo del kit per imbutitura

Decidiamo di farci fornire da un'azienda un kit completo che comprende:

- Punzone personalizzato: circa 500€. Realizzato in acciaio da utensili, forma convessa, compatibile con pressa HWP 160-1500

- Matrice abbinata: circa 300€. Sagomata per contenere il disco e guidare la deformazione, con sede per concavità da 55 mm.

- Sistema di bloccaggio esterno (pressore o anello di ritegno): circa 200€. Fondamentale per evitare pieghe

- Centratore/guida disco: circa 100€. Aiuta a posizionare il disco sempre nello stesso punto, utile per ripetibilità

- Piastra di supporto esterna: circa 100€. Piastra in acciaio con foro centrale, sostiene il bordo del disco durante l'imbutitura

Il kit ha una vita utile di circa 10000 ore di lavoro, consente quindi la produzione di 3600000 pezzi. Dato un costo del kit (stimato con l'intelligenza artificiale di 1200 €), l'ammortamento risulta con un totale di 0,00033€/pezzo.

5.6.4 Costo della mandopera

E' necessario che ci sia un operaio a cambiare il pezzo da imbutire per tutta la durata dell'operazione. Considerando:

- una paga oraria di 15€/h

- una produzione oraria di 360 pezzi

Ogni pezzo ci viene a costare circa 0,041€ al pezzo per la **mandopera**.

5.6.5 Consumo energia elettrica

Considerando:

- una potenza motore pari a 3kW

- un costo medio dell'energia elettrica in Italia pari a 0,25€/kWh

Otteniamo un costo di 0,75€/h. Dividendolo per il numero di pezzi prodotti in un'ora, 360, otteniamo un costo di 0,0028€ al pezzo per il consumo di **energia elettrica**.

5.6.6 Costo totale

Il costo totale aumenta a:

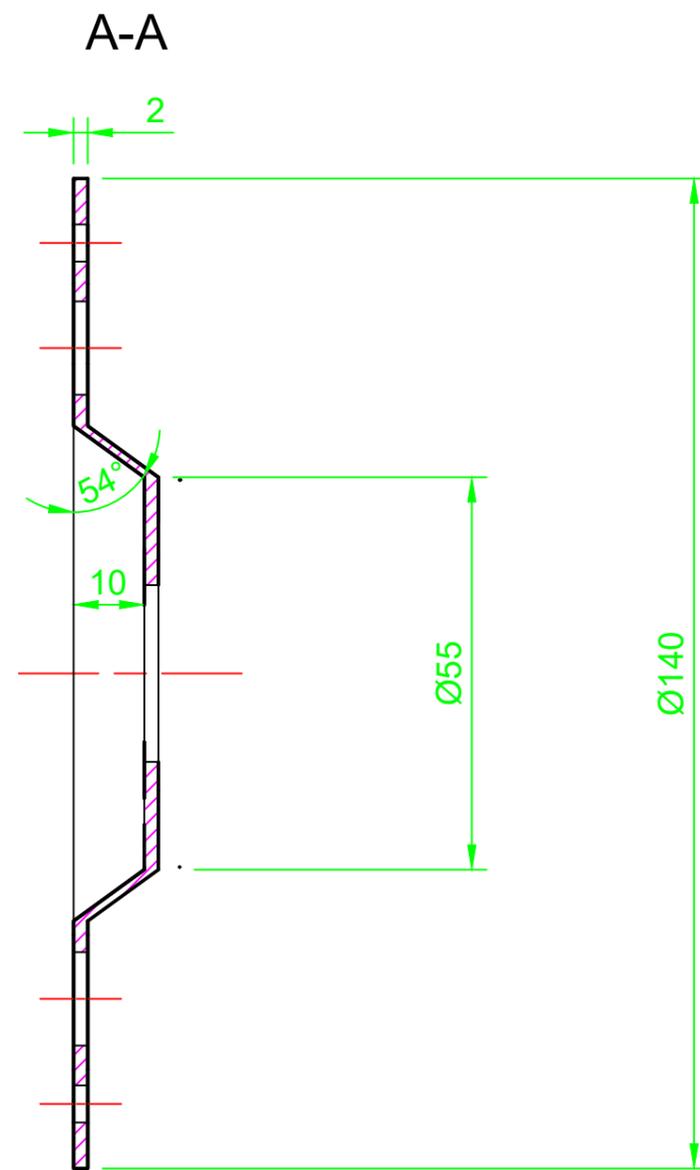
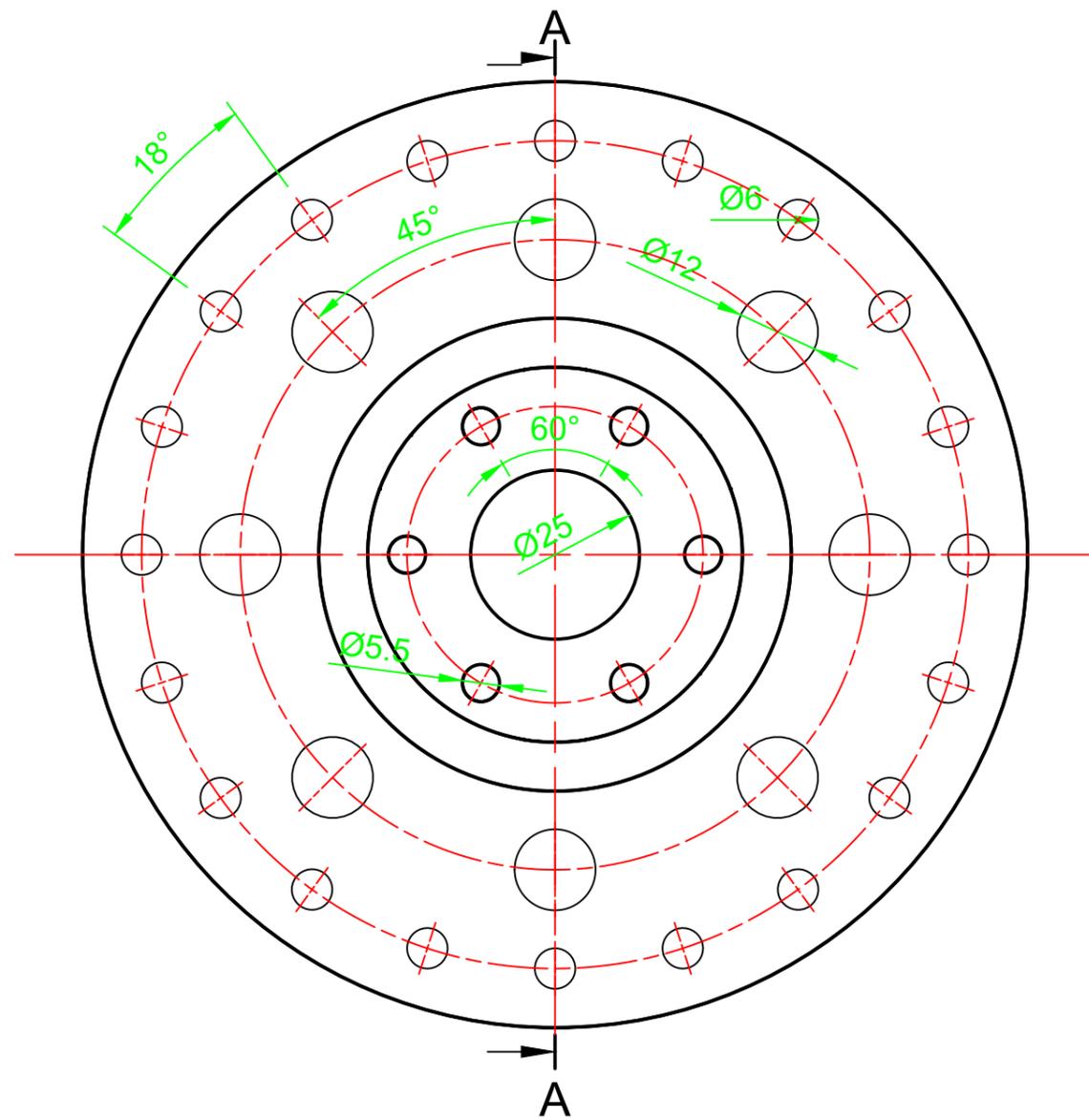
$$\text{Costo totale} = 0,0028\text{€} + 0,041\text{€} + 0,00033\text{€} + 0,0022\text{€} + 0,15\text{€} = \text{circa } 0,20\text{€/pezzo}.$$

Capitolo 6

Lavorazione per taglio laser

6.1 Generalità

Il componente individuato per la lavorazione mediante taglio laser è il disco freno, provvisto di numerosi fori essenziali sia per la dissipazione termica sia per l'alleggerimento strutturale. Tali fori, date le loro dimensioni e la ripetitività, risultano ottimali da realizzare con tecnologia laser, poiché l'impiego di un trapano a colonna richiederebbe tempi operativi eccessivi e condizioni di lavoro non ergonomiche.



Tolleranze generali UNI EN 22768-mK

AISI 410		
	Scala 1:2	Foglio 6
	Disco Freno	
	Freschi Tommaso, Benvenuti Filippo	

6.2 Scelta del processo

Il taglio laser a fibra è la tecnologia più adatta per ricavare il blank di un disco in AISI 410 da 2 mm in vista delle successive operazioni di imbutitura e foratura, perché coniuga precisione, velocità e qualità dei bordi minimizzando le deformazioni. In particolare: 1. Eccellente qualità del fascio: la sorgente a fibra genera un raggio di diametro ridotto e con ottima concentrazione di potenza, assicurando kerf stretti e tolleranze dimensionali entro pochi centesimi di millimetro. 2. Elevata densità di potenza ed efficienza di taglio l'emissione a 1 m è assorbita in modo ottimale dall'acciaio, permettendo velocità elevate pur con potenze modeste, riducendo i tempi ciclo e i consumi energetici. 3. Ridotto apporto termico il laser a fibra produce un'area interessata al calore (HAZ) molto contenuta, preservando la planarità del pezzo e le proprietà meccaniche dell'AISI 410, elementi fondamentali per un imbutitura senza crepe o distorsioni. 4. Bordi privi di ossidazione l'impiego di azoto ad alta purezza evita la formazione di ossidi, eliminando operazioni di satinatura o decapaggio post-taglio e garantendo superfici perfette per le fasi successive. 5. Automazione e affidabilità l'integrazione con sistemi CNC/CAM consente nesting ottimizzato, monitoraggio in-process e parametri ripetibili, riducendo gli scarti e i fermi macchina derivanti da usura o regolazioni manuali. Grazie a queste caratteristiche, il laser a fibra assicura una produzione rapida, ripetibile e di elevata qualità, perfettamente allineata ai requisiti di un disco freni destinato a finiture e forature di precisione.

6.3 Scelta della macchina

La RM-1530 è una macchina per il taglio laser a fibra di origine cinese che coniuga ingresso contenuto e prestazioni elevate, ideali per impieghi industriali di medio-alto volume.

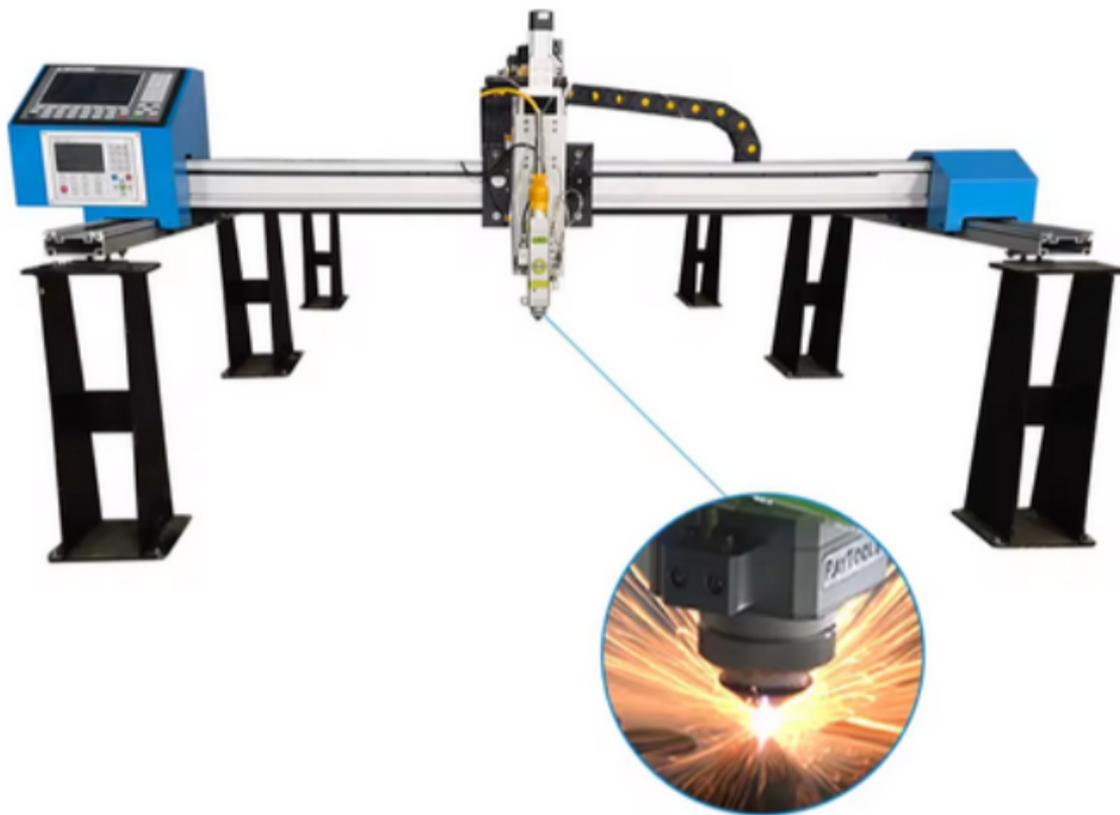


Figura 6.1

Grazie al kerf ridotto, al controllo termico e alla struttura robusta, garantisce precisione, ripetibilità e bassi costi operativi. È dotata di sistema di estrazione fumi, nozzles intercambiabili e sensore di retro-riflessione per monitoraggio in-process. Perfetta per integrazione in linee automatizzate, offre flessibilità e massima qualità con un investimento competitivo.

6.4 Scelta dei parametri di taglio

Non avendo trovato alcuna indicazione utile online a proposito del materiale da noi scelto, AISI 410, siamo costretti a chiedere all'intelligenza artificiale dei parametri di riferimento, dato uno spessore della lamina di 2mm ed una potenza massima della macchina di 2000W.

I valori forniti dall'intelligenza artificiale sono i seguenti:

Parametro	Valore consigliato	Note tecniche
Materiale	AISI 410	Acciaio inox martensitico
Spessore materiale	2 mm	Target di lavorazione
Potenza laser	1000–1200 W	Modulata, non fissa
Velocità di taglio	1800–2200 mm/s	Alta velocità per spessori sottili
Gas di assistenza	Azoto	Alta purezza, no ossidazione
Pressione gas	6–8 bar	Sufficiente per espulsione scoria
Frequenza impulso	20–25 kHz	Adatta per inox sottile
Modalità impulso	CW o modulata	Dipende dalla macchina
Diametro ugello	1.2–1.5 mm	Ugello singolo, centrato
Distanza ugello-pezzo	0.8–1.2 mm	Più vicino = taglio più reattivo
Tipo di fuoco	Fuoco negativo (-1 a -2 mm)	Concentra energia nel piano di taglio
Spessore spot laser	0.08–0.12 mm	Spot fine per taglio pulito
Pressione di taglio	6–8 bar	Coincide con pressione gas

6.5 Utensileria

Come ugello scegliamo l'UBODØ-D-32, compatibile con la nostra macchina ed i parametri di taglio scelti.

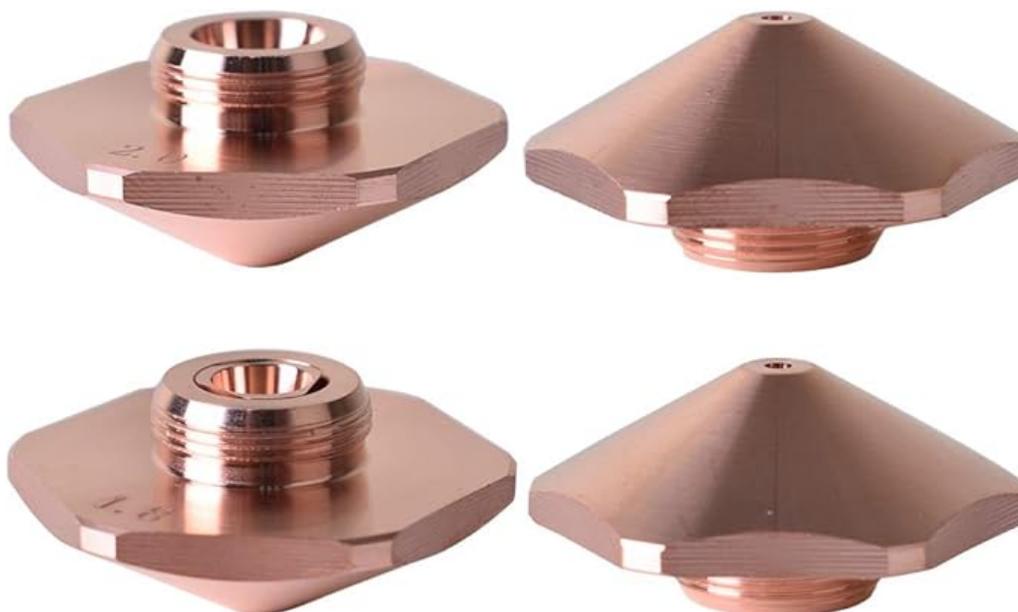


Figura 6.2

6.6 Calcolo dei tempi e dei costi

6.6.1 Calcolo dei tempi di produzione

Una stima dell'intelligenza artificiale, per realizzare tutti i fori necessari, prevede un tempo attivo di 2,25 secondi, e un tempo passivo totale di 34,15 secondi.

Dunque, il tempo totale necessario per produrre un singolo pezzo è di 36,4 secondi.

Questo consente di produrre 1,65 pezzi al minuti, o 99 pezzi all'ora.

6.6.2 Costo della materia prima

Il costo della materia prima non viene considerato in quanto si utilizza il prodotto Near Net Shape precedentemente lavorato con imbutitura.

6.6.3 Costo degli utensili

Un ugello UBODØ-D-32 ha un costo di 5,15€ per singolo pezzo, ed una vita utile di circa 1000 ore di lavoro. In mille ore si producono circa 99000 pezzi, e dunque il costo per pezzo sarà di:

$$\text{Costo per pezzo} = \frac{€1000}{99000} = €0.01 \quad (6.1)$$

6.6.4 Ammortamento macchina

Considerando un costo capitale della macchina di 6300€, una vita utile di 20000 ore di lavoro, ed un tempo produttivo di 99 pezzi/ora, calcoliamo il numero di pezzi totali che la macchina può produrre e l'ammortamento macchina:

$$\text{Pezzi totali} = 99\text{pezzi}/h \times 20000h = 1980000\text{pezzi} \quad (6.2)$$

$$\text{Ammortamento macchina} = \frac{6300€}{1980000\text{pezzi}} = 0,0032€/pezzo \quad (6.3)$$

6.6.5 Costo energia elettrica

Data una potenza motore di 2kW ed un costo medio dell'energia elettrica in Italia di 0,25€/kWh il consumo orario sarà:

$$\text{Consumo orario} = 2kW \times 0,25€/kWh = 0,50€/h \quad (6.4)$$

Siccome in un'ora la macchina è in grado di produrre circa 99 pezzi:

$$\text{Consumo per pezzo} = \frac{0,50}{99} = 0,005€/pezzo \quad (6.5)$$

6.6.6 Costo della manodopera

Considerando un salario per l'operaio di 15€/h, calcoliamo il costo della manodopera:

$$\text{Costo manodopera} = 1 \frac{15€/h}{99} = 0,15€/pezzo \quad (6.6)$$

6.6.7 Costo totale

Sommando tutte le spese per il taglio laser e otteniamo:

$$\text{Costo totale} = 0,0032€ + 0,01€ + 0,005€ + 0,15€ = 0,17€/pezzo. \quad (6.7)$$

Dato che per mettere sul mercato il prodotto è necessaria anche la lavorazione precedente di imbutitura, calcoliamo il costo totale delle due lavorazioni:

$$\text{Costo totale} = 0,20€/pezzo + 0,17€/pezzo = 0,37€/pezzo \quad (6.8)$$

Capitolo 7

Appendice

7.1 Schede tecniche e link macchine

7.1.1 Tornio

[VISITA IL SITO]

Caratteristica	Dettaglio
Modello	TU 2004 V
Potenza motore	600 W – 230 V 50 Hz
Velocità mandrino	150 – 2.500 rpm (regolazione continua)
Numero velocità	2 (elettroniche)
Altezza punte	100 mm
Distanza tra le punte	300 mm
Ø tornibile su bancale	200 mm
Ø tornibile su slitta trasversale	110 mm
Larghezza bancale	100 mm
Cono mandrino	CM 3
Passaggio barra	Ø 21 mm
Corsa slitta superiore	55 mm
Corsa slitta trasversale	75 mm
Avanzamento longitudinale	0,1 – 0,2 mm/giro
Filettatura metrica	0,4 – 3,5 mm/giro (14 passi)
Filettatura pollici	44 – 8 fil/1" (12 passi)
Cono contropunta	CM 2
Corsa contropunta	65 mm
Dimensioni	830 × 425 × 360 mm
Peso netto	61 kg
Dotazione standard	Mandrino Ø100 mm, portautensili 4 posizioni, vasca raccogli-trucioli

7.1.2 Fresatrice universale

[VISITA IL SITO]

Caratteristica	Dettaglio
Modello	UWF 80 E
Struttura	Ghisa grigia ad alta rigidità – 980 kg
Dimensioni tavola	1000 × 240 mm
Attacco mandrino	ISO 40
Mandrino verticale	115 – 1750 giri/min (8 velocità)
Mandrino orizzontale	60 – 1350 giri/min (9 velocità)
Corsa canotto	125 mm
Corsa longitudinale (X)	590 mm
Corsa trasversale (Y)	180 mm
Corsa verticale (Z)	320 mm
Distanza mandrino/tavola	0 – 375 mm
Lunghezza bracci	230 – 685 mm
Tavolo inclinabile	da -45° a +45°
Testa inclinabile	da -90° a +90°
Avanzamento longitudinale (X)	32 – 700 mm/min
Scanalature a T	16 mm
Potenza motore verticale	0,85 / 1,5 kW
Potenza motore orizzontale	1,5 kW
Dimensioni macchina (L × P × H)	1500 × 1430 × 2100 mm
Peso netto	980 kg
Visualizzatore digitale	ES-12 H – Display LCD su 3 assi
Accessori inclusi	Mandrino Ø ISO40, luce LED, refrigerazione, adattatori ISO/MK

7.1.3 Pressa

[VISITA IL SITO]

Caratteristica	Dettaglio
Modello	HWP 160-1500
Tipo	Pressa idraulica
Forza di compressione	160 tonnellate
Passaggio tra le colonne	1500 mm
Corsa del pistone	400 mm
Pressione massima	255 bar
Potenza motore	3,0 kW
Dimensioni (L × P × H)	2125 × 935 × 2270 mm
Peso netto	1430 kg
Struttura	Ghisa ad alta resistenza

7.1.4 Macchina per taglio laser

[VISITA IL SITO]

Caratteristica	Dettaglio
Modello	SFX-1530
Tipo	Taglio laser a fibra
Potenza laser	2000 W
Area di lavoro	1500 × 3000 mm
Materiali lavorabili	Acciaio al carbonio, inox, alluminio, ottone, rame, titanio
Precisione di taglio	±0,05 mm
Precisione di riposizionamento	±0,03 mm
Velocità massima di taglio	60 m/min
Accelerazione massima	1.2 G
Sistema di raffreddamento	Chiller industriale ad acqua
Software compatibile	Cypcut / Cypone – DXF, DWG
Testa laser	Raytools con autofocus
Motori	Servo Yaskawa (Giappone)
Struttura	Telaio saldato con travi in alluminio aeronautico
Peso netto	2800 kg
Certificazioni	CE, FDA

7.2 Link Attrezzature

7.2.1 Sega a disco

[VISITA IL SITO]

7.2.2 Sega a disco

[VISITA IL SITO]

7.2.3 Micrometro

[VISITA IL SITO]

7.2.4 Calibro ventesimale

[VISITA IL SITO]

7.2.5 Mandrino

[VISITA IL SITO]

7.3 Link utensili

7.3.1 Utensile per segatura

[VISITA IL SITO]

7.3.2 Utensile per centratura

[VISITA IL SITO]

7.3.3 Utensili per tracciatura

Insero: [VISITA IL SITO]

Portainsero: [VISITA IL SITO]

7.3.4 Utensili sgrossatura interna

Inserito: [VISITA IL SITO]

Portainserito: [VISITA IL SITO]

7.3.5 Utensili Alesatura interna

Inserito: [VISITA IL SITO]

Portainserito: [VISITA IL SITO]

7.3.6 Utensili Sgrossatura esterna, Attestatura, Smussatura

Inserito: [VISITA IL SITO]

Portainserito: [VISITA IL SITO]

7.3.7 Utensili finitura esterna

Inserito: [VISITA IL SITO]

Portainserito: [VISITA IL SITO]

7.3.8 Utensili foratura

Punta da 6 e 10mm:[VISITA IL SITO]

Punta da 14mm: [VISITA IL SITO]

7.3.9 Utensili fresatura

Fresa per cava: [VISITA IL SITO]

Codolo per scanalature: [VISITA IL SITO]

7.3.10 Utensile per taglio laser

[VISITA IL SITO]

Capitolo 8

Fonti

8.1 Bibliografia

- Manuale di Tecnologia Meccanica Santochi

8.2 Sitografia

- [VISITA IL SITO]