

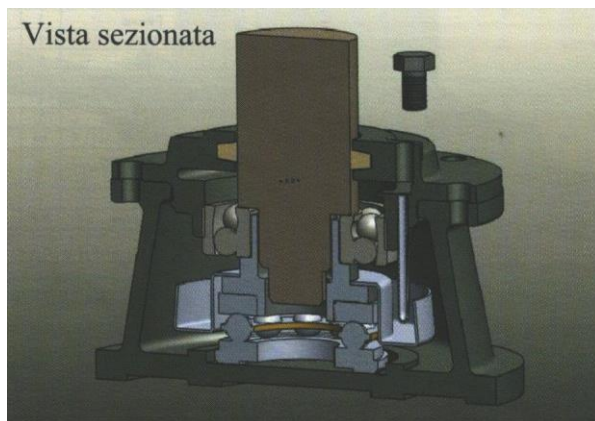


UNIVERSITÀ DI PISA

Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

Tecnologia Meccanica

PROGETTO: SUPPORTO VERTICALE



Studente: [\[Filippo Ricci\]](#) | Matricola: [\[657120\]](#)

Studente: [\[Andrea Carli\]](#) | Matricola: [\[635478\]](#)

Docenti: [\[Michele Lanzetta\]](#) | [\[Francesco Spigliati\]](#)

Anno accademico: 2024 - 2025

1 Sommario

2	Introduzione.....	4
2.1	Finalità del progetto e richiesta del committente	4
2.2	Generalità.....	4
2.3	Componenti del progetto e lavorazioni associate	5
3	Fusione	7
3.1	Scelta del materiale e della formatura.....	7
3.2	Proprietà e composizione chimica di EN-GJL-250.....	10
3.3	Composizione della terra per la formatura	10
3.4	Piano di divisione.....	11
3.5	Passaggio da pezzo finito a greggio	12
3.6	Sovrametalli	14
3.7	Analisi dei moduli di raffreddamento.....	16
3.8	Dimensionamento materozza	19
3.9	Dimensionamento sistema di colata	23
3.10	Modelli in legno per formatura	24
3.11	Dimensionamento casse d'anima	28
3.12	Simulazione di colata e solidificazione.....	31
3.13	Tempistiche e Costi	34
4	Lavorazioni per asportazione di truciolo.....	37
4.1	Analisi materiale	37
4.2	Disegno quotato	38
4.3	Analisi delle superfici.....	39
4.4	Macchine utensili	41
4.5	Utensili.....	43
4.6	Parametri di taglio.....	44
4.7	Fasi di lavorazione.....	48



4.8	Controllo dimensionale	48
4.9	Tempi di lavorazione.....	48
4.10	Prezzi di produzione.....	52
5	Deformazione plastica.....	54
5.1	Scelta del materiale.....	54
5.2	Modifiche apportate alla geometria del particolare.....	55
5.3	Processo di imbutitura	57
5.4	Processo di Rifilatura e Foratura.....	60
5.5	Tempistiche e costi.....	63
6	Saldatura.....	65
6.1	Parametri di saldatura	66
6.2	Scelta dell'attrezzatura	66
6.3	Tempi e costi.....	69
7	Stampa 3D.....	71
7.1	Scelta del materiale.....	71
7.2	Scelta della stampante	71
7.3	Simulazione di Stampa.....	72
7.4	Tempi e costi.....	74
8	Bibliografia.....	75
9	Programmi	75
10	Allegati.....	75



2 Introduzione

2.1 Finalità del progetto e richiesta del committente

Il presente elaborato ha lo scopo di sviluppare una pianificazione dettagliata del processo produttivo relativo ad alcuni componenti meccanici facenti parte di un assieme da noi selezionato, come se la produzione fosse stata affidata da un committente. Il progetto si concretizza nella redazione di una relazione tecnica che descrive in modo sistematico tutte le fasi del lavoro svolto.

Una volta scelto l'assieme, nel nostro caso un supporto verticale per cuscinetti, verranno realizzati i relativi modelli 3D tramite l'ausilio di un software CAD, insieme alle rispettive messe in tavola, riproducendo il processo di redazione documentale di un ufficio tecnico. Verranno infine analizzati i costi e i tempi di lavorazione.

Nel procedere, si ipotizza che il committente richieda la produzione di 500 supporti verticali, ponendo l'accento sull'ottimizzazione dei costi.

L'analisi riguarderà le tecnologie produttive studiate durante il corso di tecnologia meccanica da noi seguito: fusione, lavorazione alle macchine utensili, deformazione plastica, saldatura e stampa 3D.

2.2 Generalità

Il supporto verticale rappresenta un elemento meccanico fondamentale per l'alloggiamento ed il corretto funzionamento di cuscinetti destinati a sostenere alberi rotanti. Questo tipo di componente viene comunemente impiegato in macchinari industriali dove è richiesta una trasmissione del moto precisa e stabile.

Nel caso specifico, il supporto verticale è progettato per ospitare due cuscinetti: uno assiale a sfere a semplice effetto con ralla sferica e uno orientabile a sfere. La configurazione adottata consente al sistema di sopportare carichi assiali unidirezionali e di compensare eventuali disallineamenti tra albero e supporto, grazie alla geometria sferica delle superfici di contatto. Questa soluzione tecnica è particolarmente utile nei sistemi in cui non sono presenti carichi radiali rilevanti, ma è comunque necessario garantire la stabilità dell'albero e la precisione del suo posizionamento.



Il supporto stesso deve essere sufficientemente rigido e preciso, ma al tempo stesso economico da realizzare in serie. Pertanto, risulta adatto ad essere analizzato nell'ambito di una progettazione orientata alla produzione industriale, dove aspetti come la scelta del materiale, il processo produttivo, i trattamenti superficiali e l'assemblaggio rivestono un ruolo chiave.

2.3 Componenti del progetto e lavorazioni associate

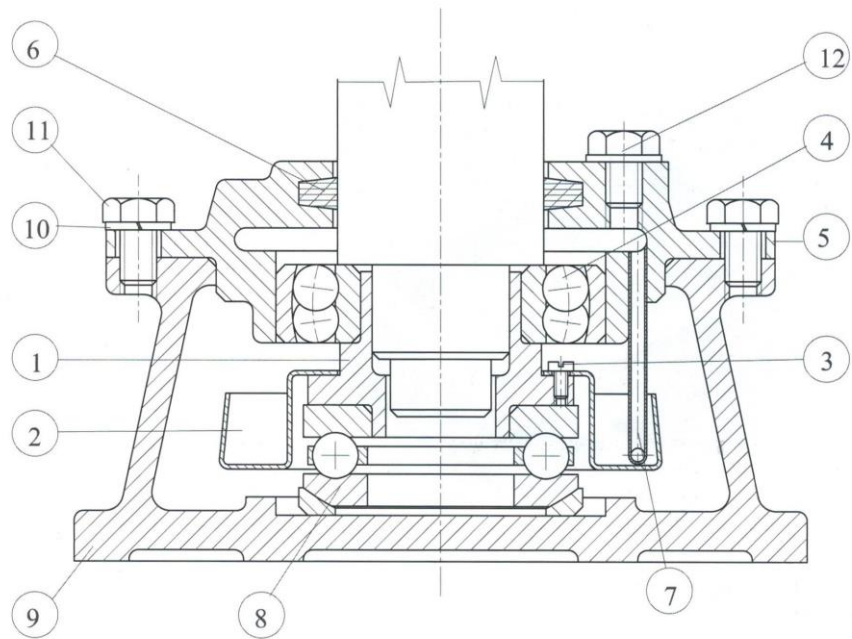
Guardando ai componenti che formano il complessivo, abbiamo ipotizzato la produzione, mediante differenti tecniche di lavorazione, di alcuni di questi. Di seguito vengono riportati i componenti trattati e le lavorazioni ad essi associati:

- Corpo (part. 9): fusione;
- Guarnizione (part. 6): stampa 3D; verrà realizzata con idoneo polimero antifrizione e confrontata, analizzando i pro e i contro in questo contesto di operatività, con la sua versione originale in feltro;
- Coppa centrifuga (part. 2): deformazione plastica;
- Distanziale (part. 1): asportazione di truciolo; comprenderà operazioni di tornitura, foratura e fresatura;
- Saldatura (part. 7 - 5): brasatura; analizzeremo il processo di fissaggio del tubo presa olio (part. 7) al coperchio (part. 5) mediante la tecnica di brasatura.

Tutti i disegni quotati dei particolari analizzati sono mostrati al Capitolo 10

Vista in sezione mostrata di seguito





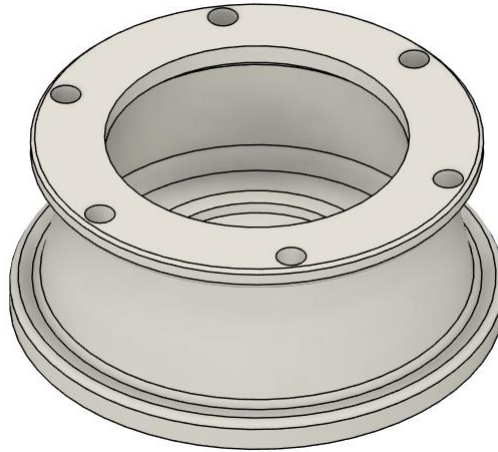
Vista in sezione

12	TAPPO	1	
11	VITE M8x14 UNI5739-8.8	6	
10	ROSETTA A8,4 UNI1751	6	
9	CORPO	1	G25 UNI5007
8	CUSC 53306/U306	1	
7	TUBO PRESA OLIO	1	Fe420
6	GUARNIZIONE	1	FELTRO
5	COPERCHIO	1	G25 UNI5007
4	Cuscinetto SKF 1207	1	
3	VITE M3x6 UNI6107-8.8	3	
2	COPPA CENTRIFUGA	1	Fe420
1	DISTANZIALE	1	C40
POS	DENOMINAZIONE	N PEZZI	MATERIALE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PISA			
COMPLESSIVO	DEN. SUPPORTO VERTICALE	FOLLIO	1 di 1
GRUPPO	DEN.	SCALA	1:1
SOTTOGRUPPO	DEN.	DATA	
DATA	MODIFICA	FIRMA	DIS. DATA
			SOSTITUISCE IL
		CONTR.	DATA
			SOSTITUITO DAL
		APPR.	DATA
			ARCHIVIO N.

Distinta dei componenti

3 Fusione

3.1 Scelta del materiale e della formatura



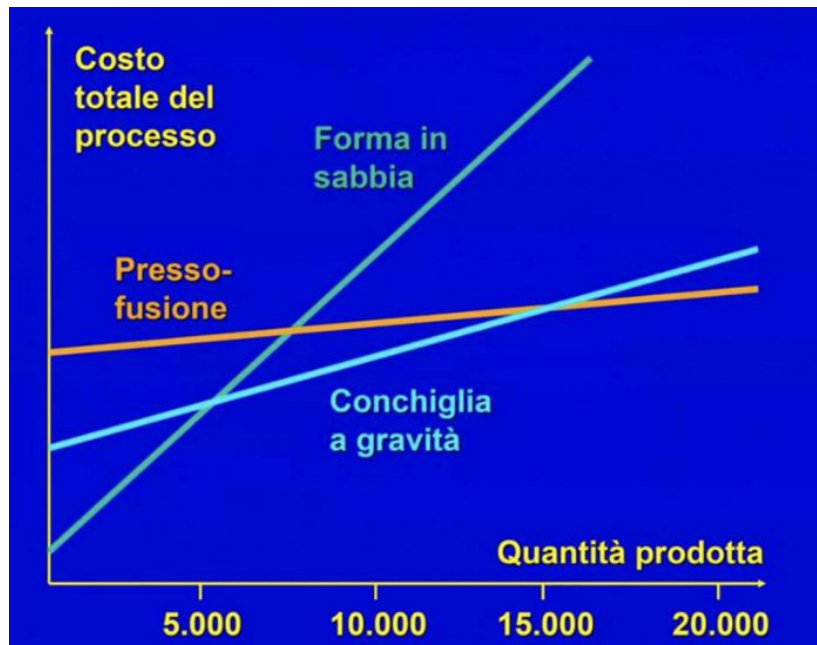
Vista particolare n°9: corpo

Come primo passaggio nella trattazione circa la produzione in serie del particolare 9 (corpo), mediante operazioni di fonderia, si analizzano i possibili materiali utilizzabili in questo contesto, compatibilmente alle caratteristiche meccaniche che il pezzo deve garantire e alla tipologia di produzione in fonderia scelta.

Il procedimento di formatura scelto è detto a terra sintetica a verde, nel quale si utilizza una lega di sabbia silicea ed altri leganti (la composizione consigliata verrà indicata in seguito), al fine di realizzare la forma che prenderà parte al processo di colata. Le ragioni che giustificano l'utilizzo di questa tecnica di fonderia sono l'economicità e la semplicità del processo in questione.

Alla luce del numero di pezzi da realizzare, la tesi di economicità del processo è basata su una stima, espressa in forma di grafico, che esprime l'andamento del prezzo di un processo in funzione del numero di pezzi; vengono inoltre confrontate diverse tecniche.

Il grafico in questione è mostrato di seguito



Costo totale del processo vs numero di pezzi prodotti

Si noti come la scelta, data richiesta di 500 pezzi, ricada sulla tecnica di fusione in sabbia (terra sintetica);

Come già detto, la scelta del materiale costituente il particolare sotto indagine deve rispondere a richieste differenti, quali: garantire prestazioni consone all'applicazione per cui è pensato e conferire un'economicità sostenibile della sua produzione.

Il committente ha consigliato, indicandone la dicitura nella distinta dei componenti, l'utilizzo di una tipologia di ghisa grigia: G25 UNI5007, oggi indicata come EN-GJL-250 (EN 1561). Di seguito verrà valutata la bontà di questa decisione circa la scelta di questo materiale nel contesto della tecnica di fusione scelta e di applicazione del componente.

La colata in forme di terra sintetica si presta all'utilizzo della ghisa grigia in questione; disponibili sul mercato e come casi studio in letteratura scientifica sono presenti numerosi esempi di applicazioni della ghisa lamellare in contesti di colata in forma transitoria, testimoniando la realizzabilità del processo richiesto.

La scelta della ghisa G25 risulta essere efficace anche dal punto di vista prestazionale. Il componente in questione, essendo un elemento strutturale statico, costituente la base del supporto per cuscinetti, è destinato a garantire l'allineamento e la stabilità dell'intero sistema. La ghisa G25 presenta un'elevata rigidità e un eccellente smorzamento delle

vibrazioni, caratteristica particolarmente vantaggiosa nei supporti per alberi rotanti, in quanto contribuisce a limitare la propagazione di oscillazioni meccaniche dannose verso la struttura. Inoltre, la sua elevata resistenza alla compressione (oltre 700 MPa) la rende idonea a sopportare i carichi statici imposti dal peso dell'albero e dalle reazioni trasmesse dai cuscinetti.

Un altro aspetto da valutare è il range di costo specifico (per unità di massa) della materia prima; la seguente tabella mostra una stima del costo di vari materiali da fonderia, tipici delle applicazioni di colata in conchiglia.

Materiale	Costo stimato (€/kg)
Ghisa G25 (EN-GJL-250)	0,35 – 0,55
Alluminio da fonderia (AlSi7)	2 – 3
Ottone (CuZn39Pb3)	4,0 – 6,0
Bronzo all'alluminio (CuAl10Fe5Ni5)	6,0 – 9,0

I dati sono stati estratti da differenti banche dati; il valore stimato del costo può variare in funzione delle fluttuazioni tipiche delle dinamiche di mercato.

Ciò che si evince dalla tabella qui sopra è che la ghisa da noi utilizzata per le operazioni di fonderia risulta essere un'opzione estremamente competitiva dal punto di vista dell'economicità della produzione.

3.2 Proprietà e composizione chimica di EN-GJL-250

Di seguito vengono mostrate in una tabella le proprietà meccaniche e la composizione chimica della lega costituente il componente.

Proprietà	Valore
-----	-----
Resistenza a trazione (Rm)	min. 250 N/mm ²
Resistenza a compressione (Rc)	fino a 900 N/mm ²
Allungamento (A%)	min. 1%
Durezza Brinell (HB)	190 – 240
Composizione chimica	Intervallo %
-----	-----
Carbonio (C)	3,2% – 3,5%
Silicio (Si)	1,9% – 2,1%
Manganese (Mn)	0,65% – 0,8%
Zolfo (S)	fino a 0,1%

Scheda tecnica EN-GJL-250

3.3 Composizione della terra per la formatura

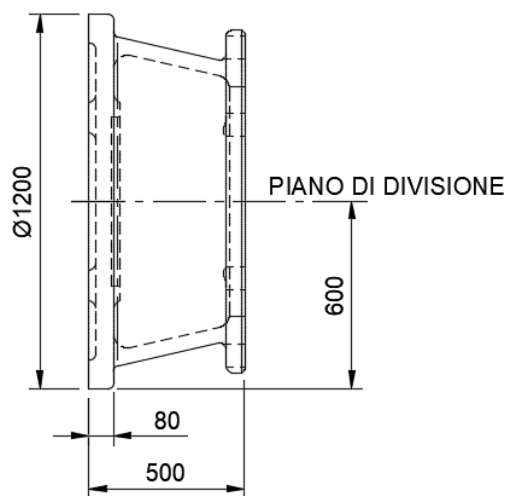
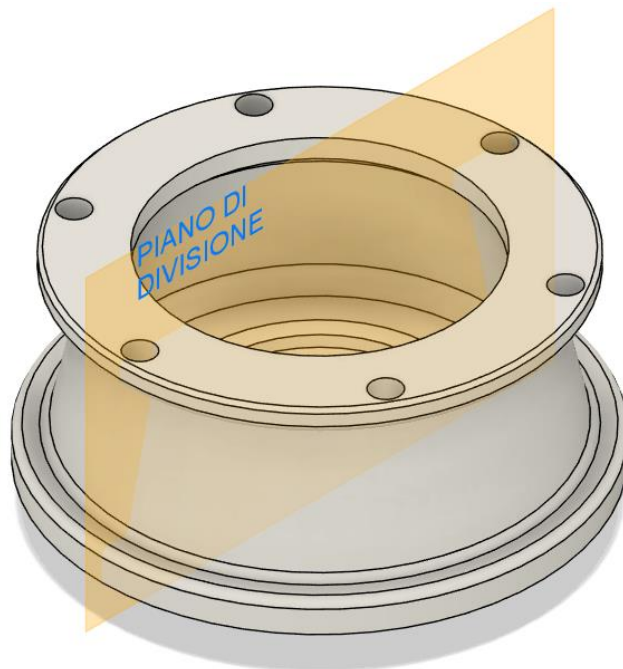
Guardando ai valori tipici consigliati, la composizione della terra è la seguente

- Sabbia silicea: 80%
- Bentonite: 10%
- Acqua: 4%
- Polvere di carbone: 5%
- Additivi: 1% (amido, farina di cereali)



3.4 Piano di divisione

Abbiamo scelto come piano di divisione quello coincidente con il piano di simmetria del componente.



Piani di divisione

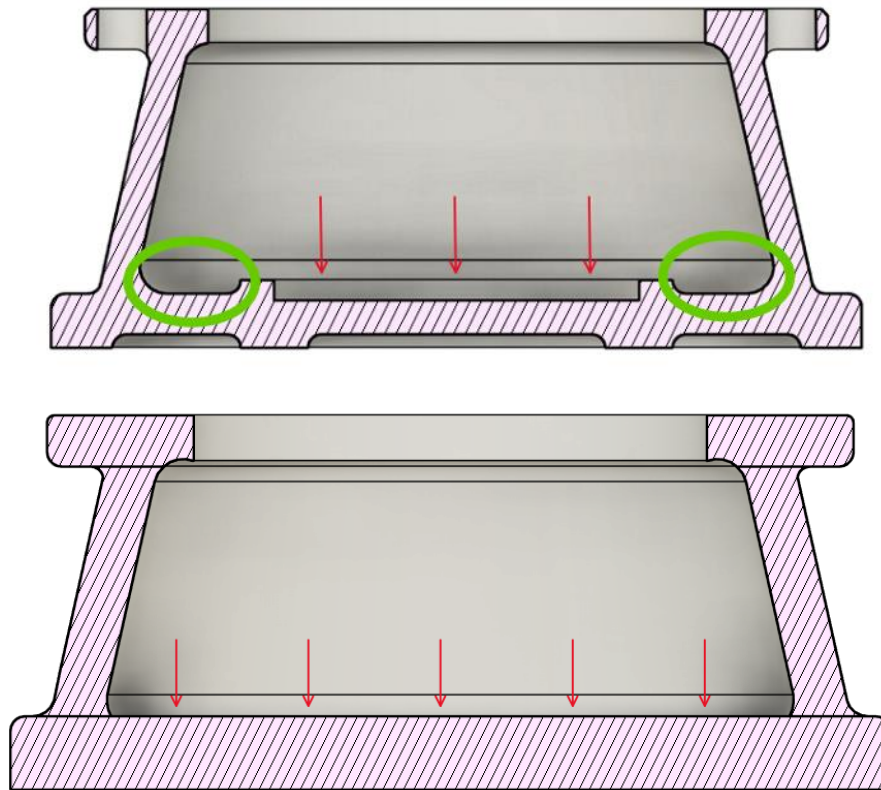


3.5 Passaggio da pezzo finito a greggio

Il greggio non può avere l'esatta forma che ha il pezzo finito per via dell'impossibilità di realizzare, mediante forme ed anime, tutte le geometrie richieste; è inoltre necessario prevedere che si ottengono, a seguito del processo di fonderia, delle rugosità e tolleranze non ammissibili, laddove invece è richiesta una finitura precisa. Le geometrie modificate saranno ottenute in un secondo momento mediante macchine utensili per l'esportazione di truciolo.

Date queste premesse le variazioni apportate al pezzo finito sono:

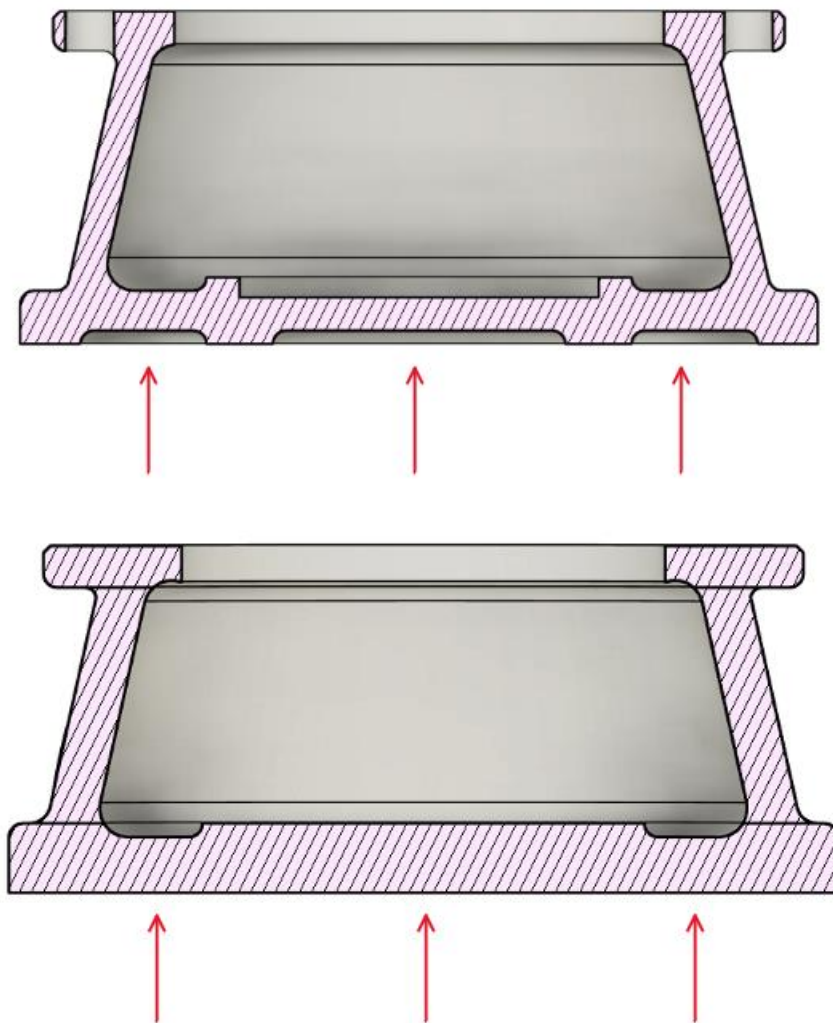
- Eliminazione dei fori sulla flangia superiore
- Modifica della superficie della base (verso l'alto)



Le modifiche apportate alla gola evidenziata in verde sono permanenti. Solo la sede per i cuscinetti, concentrica al particolare, sarà ricavata mediante l'utilizzo delle macchine utensili per asportazione di truciolo. La ragione di questa scelta risiede nell'impossibilità di ottenere la geometria modificata mediante un'anima

che prevede questa forma senza incappare in sottoquadri durante la formazione dell'anima stessa. La creazione della gola nella fase post-fusione si potrebbe ottenere solo con macchinari particolari e costosi. Per queste ragioni, e per il fatto che la gola non gioca un ruolo attivo nelle classiche operazioni del supporto per cuscinetti, abbiamo deciso, come già detto sopra, di modificare permanentemente la geometria della base ed eliminare la gola.

- Modifica della superficie della base (verso il basso)



Tutte le modifiche previste saranno conteggiate nei disegni forniti per anime/modelli

3.6 Sovrametalli

Nel greggio sono anche previsti alcuni soprametalli, ossia uno spessore di materiale che permette la lavorazione alle macchine utensili per asportazione di truciolo della superficie dove è stato previsto del materiale in eccesso. La scelta delle superfici che necessitano di lavorazioni post-forgiatura è stata fatta guardando al complessivo, osservando quali superfici richiedono tolleranze non ottenibili mediante il solo processo di fabbricazione per fusione.

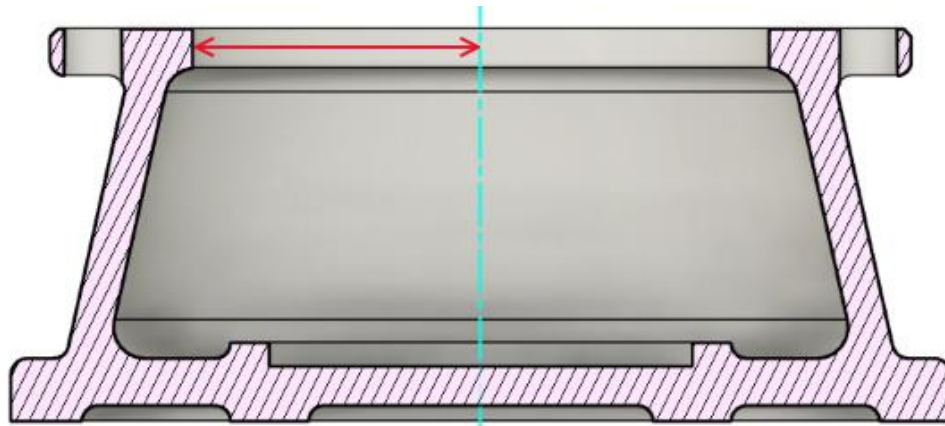
Si osservi, quindi, che le superfici con queste caratteristiche sono quelle costituenti la flangia superiore, mediante le quali si ha l'incastro e il fissaggio del particolare n°5 (coperchio) al particolare sotto esame (n°9).

Per verificare questo accoppiamento si osservi l'immagine del complessivo in sezione a pagina 6

È inoltre presente l'interazione tra il cuscinetto (particolare n°8) e il particolare sotto esame; l'interazione tra i due, e le finiture richieste, possono essere ottenute mediante lavorazioni alle macchine utensili, già previste dalle modifiche trattate alla sezione precedente.

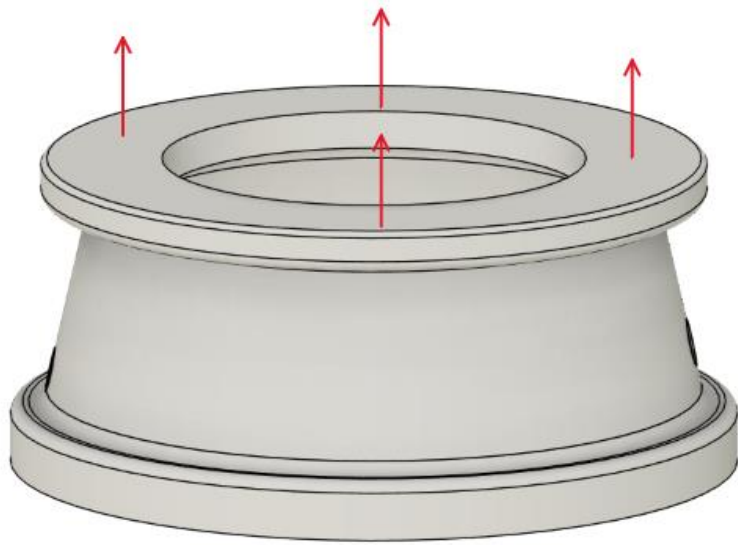
I soprametalli previsti saranno quindi:

- Soprametallo sull'anello della flangia: è stato previsto uno strato di materiale di 2mm lungo il raggio dell'anello interno; ne risulta una diminuzione di 4mm del diametro del foro della flangia



Direzione di aggiunta di soprametallo indicata in rosso

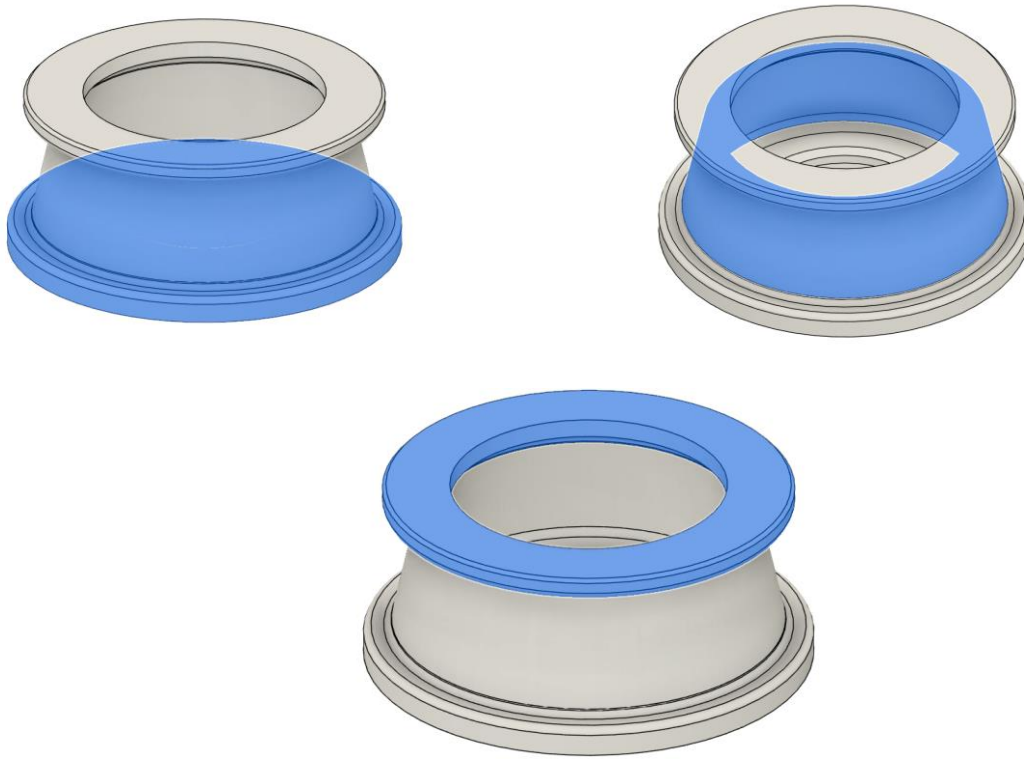
- Soprametallo sulla superficie superiore della flangia (verso l'alto): è stato previsto uno strato di soprametallo di 1mm come ispessimento della superficie in questione



Tutte le modifiche previste saranno conteggiate nei disegni forniti per anime/modelli

3.7 Analisi dei moduli di raffreddamento

In questa sezione viene valutata la direzione di solidificazione del getto mediante la teoria che prevede lo studio dei moduli di raffreddamento delle parti elementari componenti il particolare in questione. Di seguito la divisione decisa:



Da in alto a sinistra, in senso orario: parte elem.1, parte elem.2 e parte elem.3

Al fine di valutare il modulo di raffreddamento di ogni singola parte elementare abbiamo utilizzato il software CAD Fusion, il quale fornisce indicazioni su volume e superficie di ogni singola parte elementare. Mediante questo software è possibile, inoltre, valutare la quota di area non scambiante calore con l'esterno, rispetto alla superficie totale della parte elementare.

Quindi, secondo la definizione di modulo di raffreddamento M:

$$M = \frac{Volume}{Sup_{scambiante}}$$

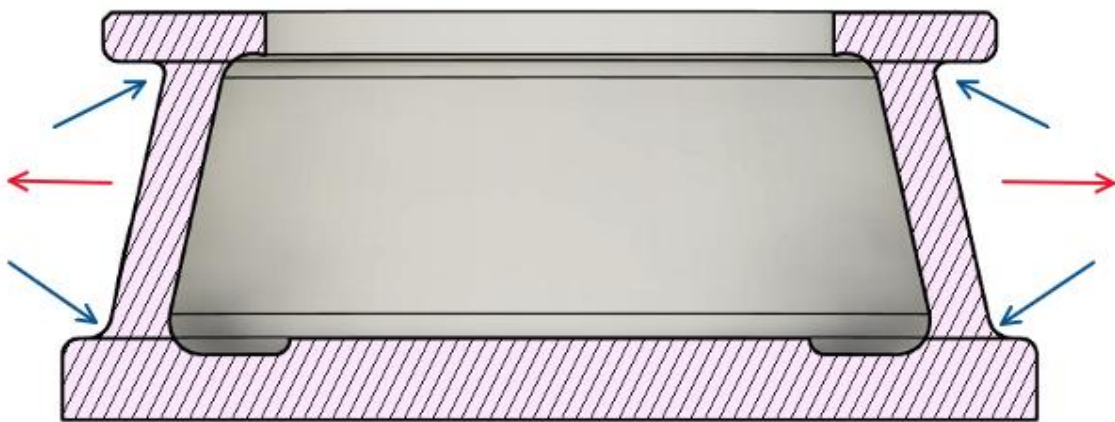
Possiamo valutare la direzione di solidificazione e, quindi, il corretto posizionamento della materozza.

Date le modifiche aggiunte nelle sezioni 3.5 e 3.6 vale che:

$$M_1 > M_3 > M_2$$

Si ha quindi una solidificazione bidirezionale, con un conseguente aumento della complessità di posizionamento della materozza.

Per far fronte a questa problematica abbiamo pensato ad una modifica apportata alla parte elementare 2, così da rendere monodirezionale la solidificazione. La modifica consiste nel prevedere 2mm di soprametallo sulla superficie avente profilo troncoconico e dei raccordi tra la nuova superficie ottenuta e le parti elementari 1 e 3. I raccordi sono necessari in quanto, nelle forme transitorie gli spigoli vivi non resisterebbero all'azione erosiva della lega che fluisce nella forma e le parti asportate andrebbero a costituire delle inclusioni non metalliche nel getto.



In rosso la direzione di aggiunta di soprametallo, in blu i raccordi

Tutte le modifiche previste saranno conteggiate nei disegni forniti per anime/modelli

Con le ulteriori modifiche apportate possiamo andare a valutare i moduli di tutte le parti elementari, al fine di verificare la monodirezionalità della solidificazione. Di seguito è riportata una tabella che mostra i passaggi per la valutazione dei moduli:

	<i>Volume</i> [mm ³]	<i>Sup_{tot}</i> [mm ²]	<i>Sup_{n.s.}</i> [mm ²]	<i>Sup_{s.}</i> [mm ²]	Modulo [mm]
Parte elem.1	1.128× 10 ⁵	26063.987	3456.23	22607.757	4.989
Parte elem.2	73409.573	27825.801	6189.331	21636.47	3.393
Parte elem.3	38456.726	14721.476	2733.101	11988.375	3.208

Sup_{n.s.} indica la Superficie non scambiante, il cui valore è pari all'area in comune tra due parti elementari contigue

Dalla tabella si evince che, a seguito delle modifiche, la direzione di solidificazione è monodimensionale, in quanto:

$$M_1 > M_2 > M_3$$

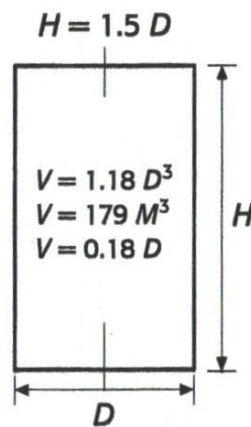
L'ultima parte elementare a solidificare sarà quindi la numero 1, motivo per il quale la materozza dovrà essere posta in collegamento con quest'ultima.



3.8 Dimensionamento materozza

La materozza, componente avente il compito di alimentare la cavità di ritiro che si avrebbe nell'ultima parte elementare che solidifica (nel nostro caso Parte elem.1), deve avere precise caratteristiche geometriche al fine di svolgere correttamente il proprio compito.

Il primo passo per il dimensionamento della materozza consiste nella scelta della geometria di quest'ultima; la scelta avviene solitamente tra alcune geometrie note, le quali presentano dei precisi rapporti tra le dimensioni caratteristiche. Per la nostra materozza abbiamo pensato ad una geometria cilindrica a cielo aperto, le cui dimensioni caratteristiche sono riportate nella figura che segue:



Geometria materozza, da libro di testo (Santochi)

Dalla figura sopra si evince come, noto il modulo di raffreddamento della materozza M , è possibile definire univocamente tutte le dimensioni necessarie per il suo dimensionamento. Affinché la materozza svolga efficacemente il suo compito, il modulo della materozza M_m deve rispettare la seguente condizione:

$$M_m \geq 1.2 \times M_1$$

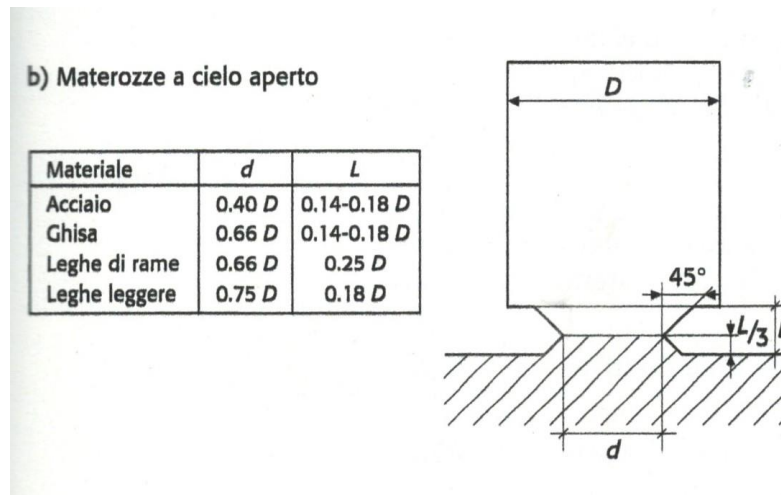
Di seguito sono riportate le dimensioni richieste per la realizzazione del modello della materozza partendo dalle relazioni mostrate nella figura sopra.

- $M_m = 1.2 \times M_1 \cong 6 \text{ mm}$
- $V = 179 \times M_m^3 = 38664 \text{ mm}^3$



- $D = \sqrt[3]{\frac{V}{1.18}} = 32 \text{ mm}$
- $H = 1.5 \times D = 48 \text{ mm}$

Un ulteriore componente che richiede un corretto dimensionamento è il collare della materozza, ossia la parte che collega la materozza al getto. La geometria del collare, e le sue dimensioni, possono essere definite partendo da relazioni note:



Geometria collare materozza, da libro di testo (Santochi)

Noto, quindi, D possiamo valutare d ed L , ricordando che il nostro getto è realizzato in ghisa:

- $d = 0.66 \times D = 21.12 \text{ mm}$
- $L = 0.16 \times D = 5.12 \text{ mm}$

Una volta dimensionata la materozza le due verifiche che seguono e che provano, in prima approssimazione, la bontà del posizionamento/dimensionamento di quest'ultima sono la valutazione della zona protetta e del volume massimo alimentabile.

La zona protetta, ossia la zona che risente della presenza della materozza, è costituito dalla somma di due componenti: il raggio di influenza della materozza e la regione caratterizzata dall'effetto di estremità. Le espressioni per la valutazione di queste due grandezze sono:

$$R = k \times S$$

$$Eff. di estrem. = 2.5 \times S$$

Dove:

- R: raggio di influenza
- K: coeff. Dipendente dal materiale (5 per la ghisa)
- S: spessore medio del getto nella zona di attacco della materozza (10 mm nel nostro caso)



Definizione zona protetta, da libro di testo (Santochi)

Nel nostro caso si ha:

$$\text{Zona protetta} = R + \text{Eff. di estrem.} = 5 \times 10 + 2.5 \times 10 = 75 \text{ mm}$$

Poiché l'intera parte elem. 1 si trova all'interno della regione di spazio identificata dalla zona protetta, così come è definita nell'immagine superiore, la materozza risulta essere ben posizionata.

La seconda verifica necessaria, al fine di valutare la bontà del dimensionamento della materozza, è il confronto tra il volume della parte elem. 1 e il massimo volume alimentabile dalla materozza; quest'ultimo deve essere maggiore rispetto al volume della parte elem. che la materozza deve proteggere. Dal libro di testo (Santochi) sono fornite alcune relazioni che, al variare della geometria della materozza e del materiale costituente il getto, forniscono una stima del massimo volume alimentabile dalla materozza.

In particolare, vale che:

$$V_{max} = V_m \times \frac{14 - b}{b}$$

Dove:

- V_{max} : massimo volume alimentabile dalla materozza
- V_m : volume della materozza
- b : coefficiente di ritiro volumetrico del materiale (2% per la ghisa grigia)

Dal software CAD è possibile valutare il V_m : $V_m = 40928.856 \text{ mm}^3$. Pertanto, vale che:

$$V_{max} = V_m \times \frac{14 - b}{b} = 40928.856 \times \frac{14 - 2}{2} = 245573.136 \text{ mm}^3$$

Osservando la tabella stilata in precedenza in corrispondenza della sezione riguardante l'analisi dei moduli (pag.17), è facile verificare che $V_{max} > V_{part. elem.1}$.

Di seguito è presente un'immagine che mostra, a livello qualitativo, l'accoppiamento tra la materozza il particolare oggetto della trattazione; si noti come quest'ultimo sia stato capovolto di 180° rispetto alle immagini finora mostrate, al fine di posizionare la superficie "a cielo aperto" della materozza, appunto, verso l'alto.



Il disegno quotato dei modelli della materozza sarà mostrato al capitolo 10

3.9 Dimensionamento sistema di colata

Per comporre il sistema di colata che alimenta il getto realizzante il particolare richiesto, abbiamo pensato ad un unico canale di colata a sezione decrescente, con sezione di attacco con il getto circolare.

Il dimensionamento del canale di colata si basa su alcune relazioni note fornite dal libro di testo (Santochi), le quali fanno leva sullo studio fluidodinamico approssimato della ghisa fusa lungo il canale di colata stesso. Le formule in questione sono:

- $T = 3.2 \times \sqrt{G}$; con: T = tempo di colata, G = massa totale (getto + materozza)
- $v = \sqrt{2gh}$; con: v = velocità approssimata, g = acc. Gravitazionale, h = altezza canale (sezione d'imbocco – centro sezione di uscita)
- $S = \frac{K}{v \times \rho}$; con: $K = G/T$ = portata massica, v = velocità approssimata, ρ = densità della lega in questione.

I dati necessari al dimensionamento sono:

- $G = V_{tot} \times \rho_{ghisa} = (V_{part.} + V_m) \times \rho_{ghisa} = 1.939 \text{ kg}$ con: $\rho_{ghisa} = 7300 \text{ kg/m}^3$
- $h = 73.12 \text{ mm}$ (altezza canale)

Dai dati sopra possiamo calcolarci:

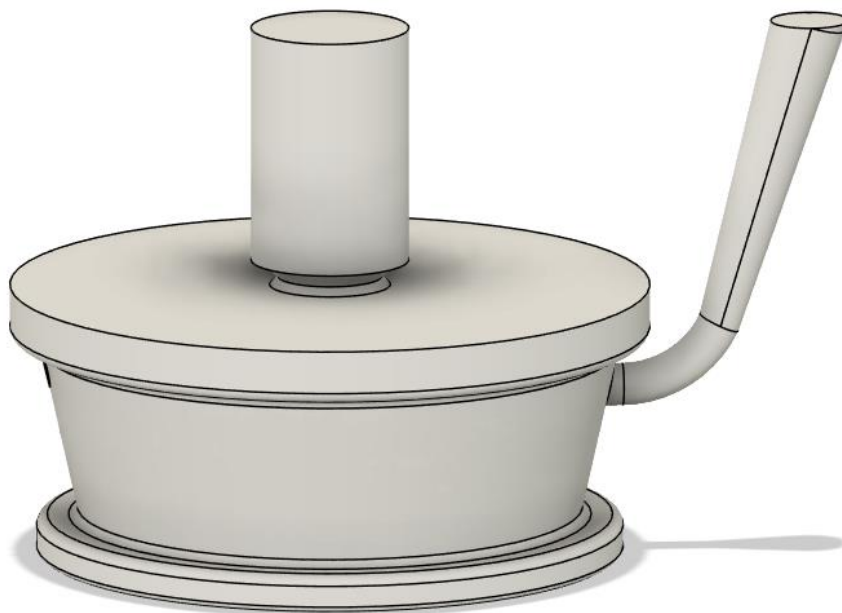
- $T = 4.456 \text{ s}$
- $v = 1.198 \text{ m/s}$
- $S = 49.757 \text{ mm}^2$

Nota la geometria (circolare) della sezione di congiunzione getto – canale di colata, possiamo valutare il diametro di quest'ultima:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times S}{\pi}} = 7.959 \text{ mm}$$

Di seguito è mostrato, in modo qualitativo, il canale di colata.





Il disegno quotato del modello del canale di colata sarà mostrato al capitolo 10

3.10 Modelli in legno per formatura

Durante la fase di formatura, per tecniche di fusione in forma transitoria, sono necessari dei modelli in legno che conferiscano alla terra sintetica la geometria necessaria alla realizzazione del greggio.

Dato il piano di divisione deciso in precedenza, i modelli del particolare da realizzare e della materozza sono divisi in semi-modello inferiore e semi-modello superiore.

I vari modelli, i quali rappresentano il profilo esterno del greggio, presentano alcune modifiche rispetto a quest'ultimo, in quanto devono assicurare una buona risposta a problematiche legate all'operazione di sformo, di centraggio e al fenomeno del ritiro.

- Per ovviare alle problematiche legate allo sformo sono state previste delle modifiche alle superfici perpendicolari alla direzione dello sformo; il valore dell'angolo di inclinazione (angolo di sformo) consigliato dal libro di testo (Santochi), per modelli in legno, è pari a 1° - 2° .
- Una corretta operazione di centraggio, tra semi-stampo inferiore e superiore, è garantita da alcune spine di registro sporgenti da uno dei due semi-stampi; sull'altro semi-stampo sono previste delle sedi complementari alle spine.

- La naturale presenza del fenomeno del ritiro, ossia di una contrazione volumetrica, che interessa leghe metalliche in fase di solidificazione, si conteggia aumentando tutte le dimensioni del modello di un fattore pari al ritiro lineare medio. I valori tipici di questo coefficiente sono forniti dalla seguente tabella:

MATERIALI	RITIRO % ⁽²⁾		
	Getti piccoli ⁽¹⁾	Getti medi ⁽¹⁾	Getti grandi ⁽¹⁾
Ghise grigie	1	0,85	0,7
Ghise malleabili	1,4	1	0,75
Ghise legate	1,3	1,05	0,35
Acciaio	2	1,5	1,2
Alluminio e leghe	1,6	1,4	1,3
Bronzi	1,4	1,2	1,2
Ottoni	1,8	1,6	1,4
Leghe di magnesio	1,4	1,3	1,1

(1) I «getti piccoli» comprendono getti con una dimensione max < 500 mm; i «getti medi» comprendono getti con una dimensione massima compresa tra 500 e 1000 mm; i «getti grandi» comprendono getti con una dimensione massima < 1000 mm.

(2) Il ritiro delle cavità è in genere un po' minore (5–10%) rispetto a quello delle superfici esterne a causa della resistenza che oppongono le anime alla libera contrazione del metallo.

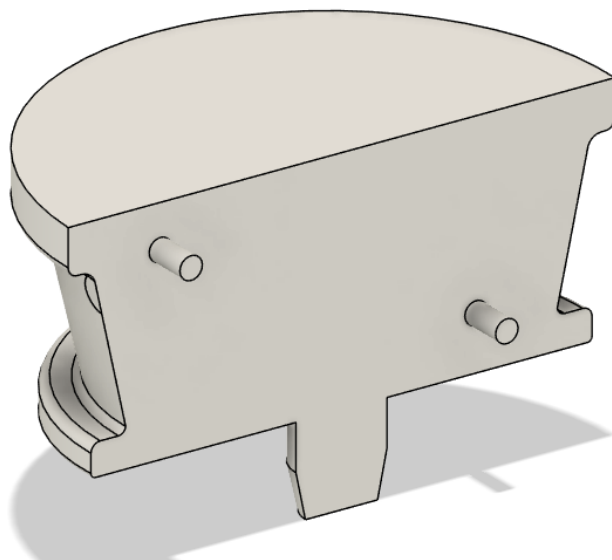
Tabella ritiro lineare medio, da libro di testo (Santochi)

Trovandoci nel caso di getto piccolo in ghisa grigia, il fattore moltiplicativo di tutte le dimensioni dei modelli è 1.01 (+1%)

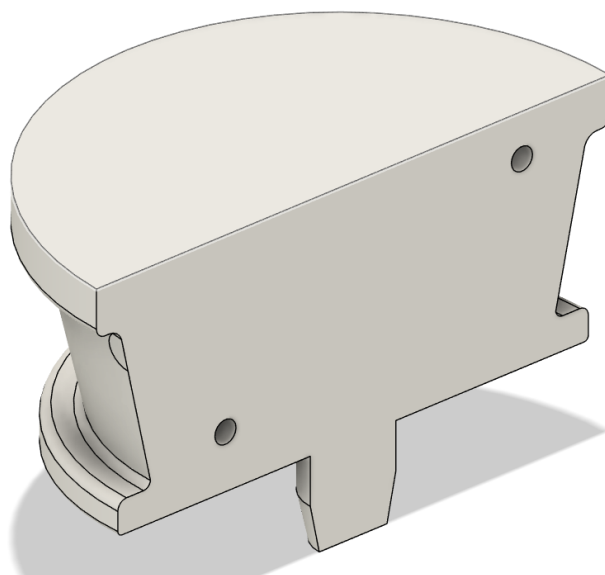
- Un'ultima modifica prevista nei semi modelli in legno è la presenza di un'appendice, posta sul fondo dei semi-modelli (li si pensi già ruotati in posizione da fonderia), atta alla realizzazione della sede d'appoggio dell'anima, detta portata d'anima.

Di seguito sono mostrati, in modo qualitativo, i due semi-modelli costituenti il greggio ed i due semi-modelli costituenti la materozza.





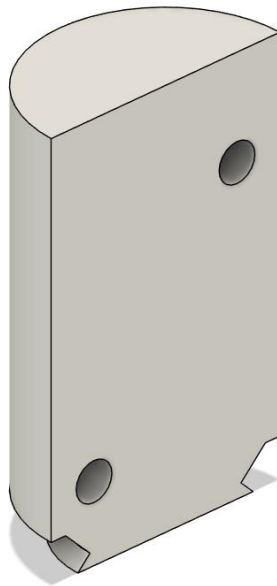
Semi-modello inferiore del greggio



Semi-modello superiore del greggio



Semi-modello inferiore della materozza



Semi-modello superiore della materozza

I disegni quotati di tutti i semi-modelli mostrati, saranno mostrati al capitolo 10

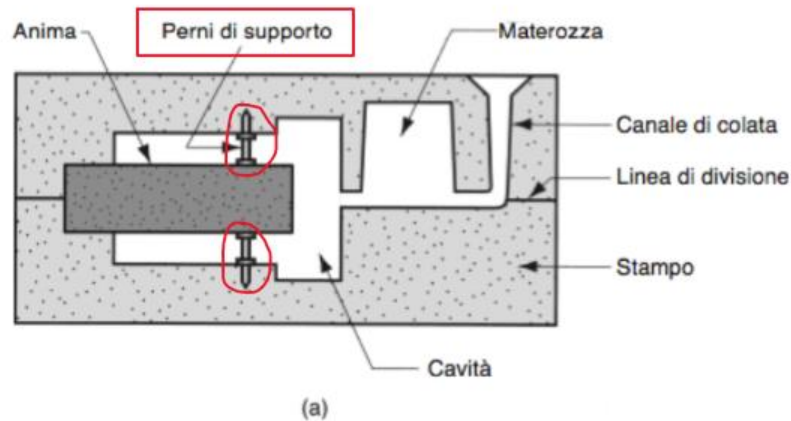
3.11 Dimensionamento casse d'anima

Questi dispositivi permettono di realizzare l'anima necessaria a conferire la geometria interna del nostro particolare durante l'operazione di colata. Queste si realizzano a partire dal dimensionamento dell'anima sul CAD, data la forma che vogliamo ottenere sul pezzo.



Il disegno quotato dell'anima sarà mostrato al capitolo 10

La nostra anima ricalcherà la forma al negativo della cavità che deve essere presente nel greggio. Per il corretto centraggio e fissaggio dell'anima nella forma sono presenti, oltre che all'estensione di quest'ultima che entrerà nella portata d'anima presente nella forma (ben visibile nell'immagine sopra), è previsto l'utilizzo di alcuni perni di supporto, la cui funzione è ben visibile nel seguente schema di utilizzo:

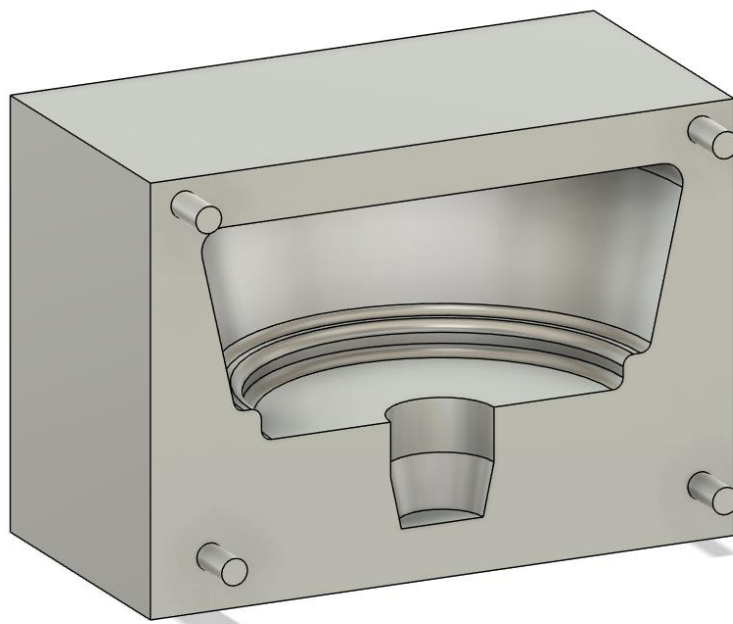


Questi supporti (evidenziati in rosso), chiamati perni di supporto, sono realizzati in un metallo con temperatura di fusione superiore a quella del metallo colato. Durante la solidificazione, i supporti vengono inglobati nel pezzo. Nella nostra applicazione, la direzione di lavoro di questi perni è differente, dato che il piano di divisione scelto è posto verticalmente; tuttavia, il loro compito è pressoché invariato.

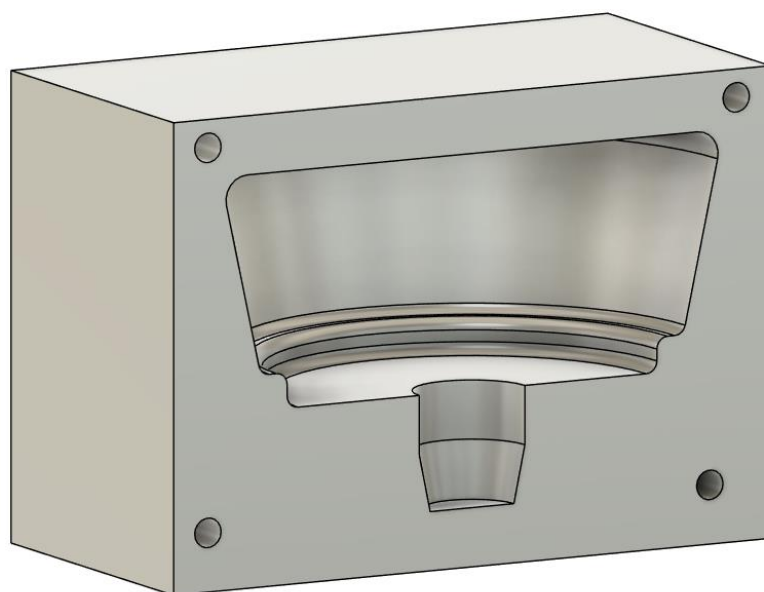
Nota la geometria dell'anima che vogliamo ottenere, è possibile ricavare le casse d'anima; queste sono delle forme che conferiscono alla terra sintetica, utilizzata anche per la forma principale, la geometria pensata per l'anima. Data l'economicità del legno, è questo il materiale pensato per la realizzazione delle casse d'anima.

Queste due unità sono provviste di spine di registro, al fine di garantire l'allineamento necessario alla corretta realizzazione dell'anima.

Di seguito sono mostrate, in modo qualitativo, le due casse d'anima (inferiore e superiore).



Cassa d'anima inferiore



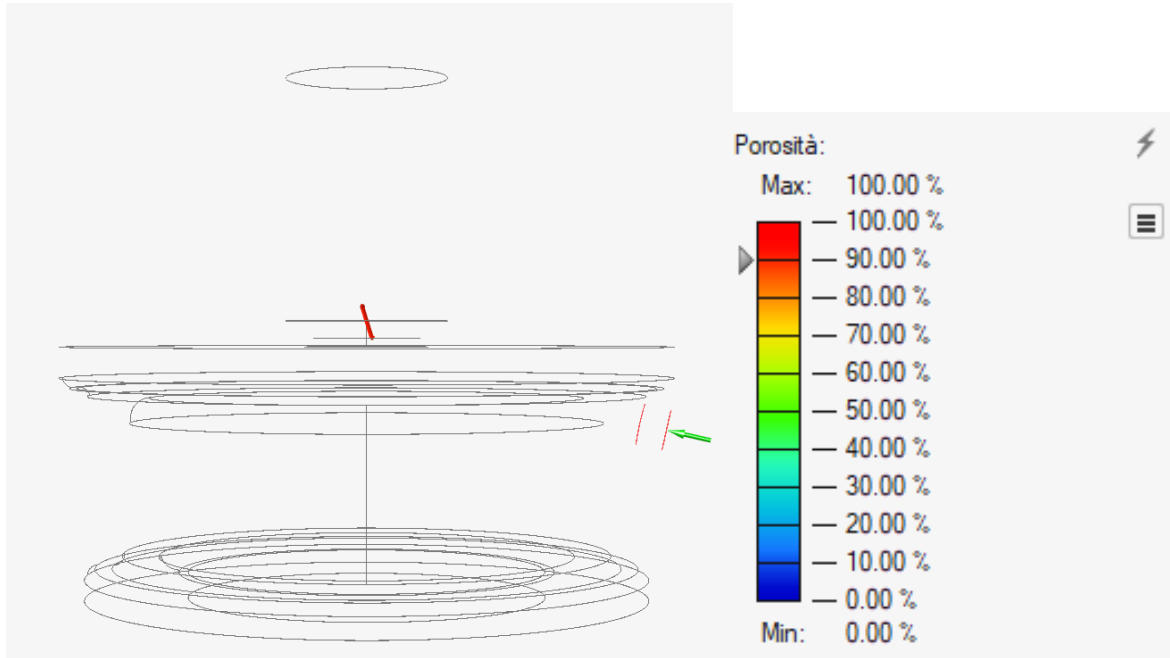
Cassa d'anima superiore

I disegni quotati delle casse d'anima saranno mostrati al capitolo 10

3.12 Simulazione di colata e solidificazione

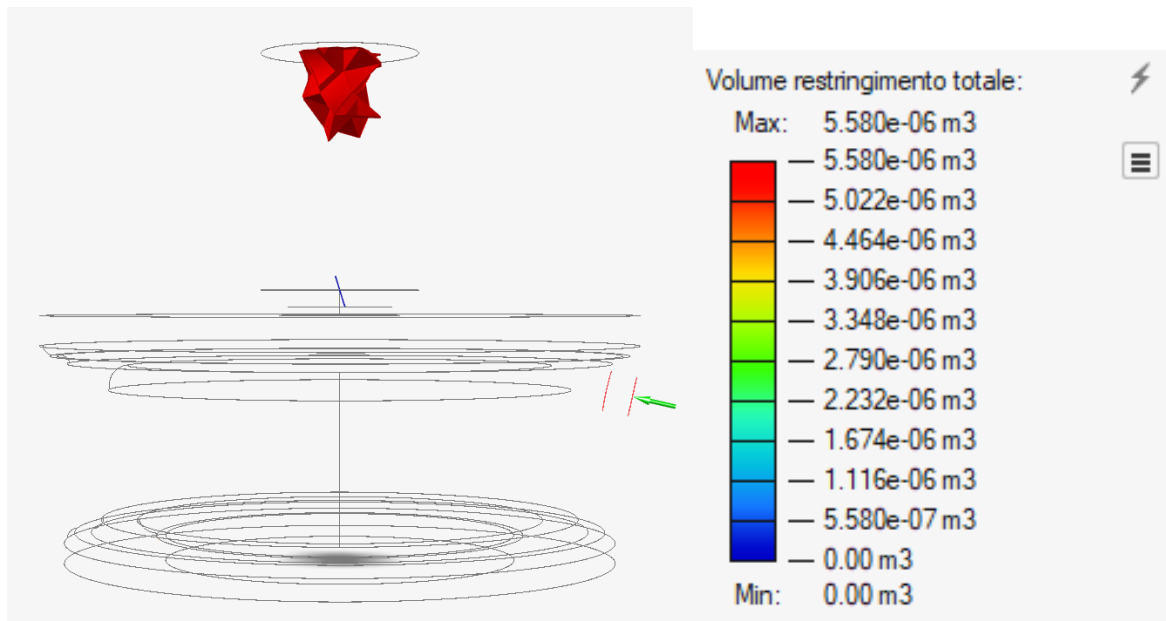
Mediante il software Inspire Cast, abbiamo valutato diversi aspetti di notevole importanza durante la colata e la solidificazione del getto.

- Analisi porosità:



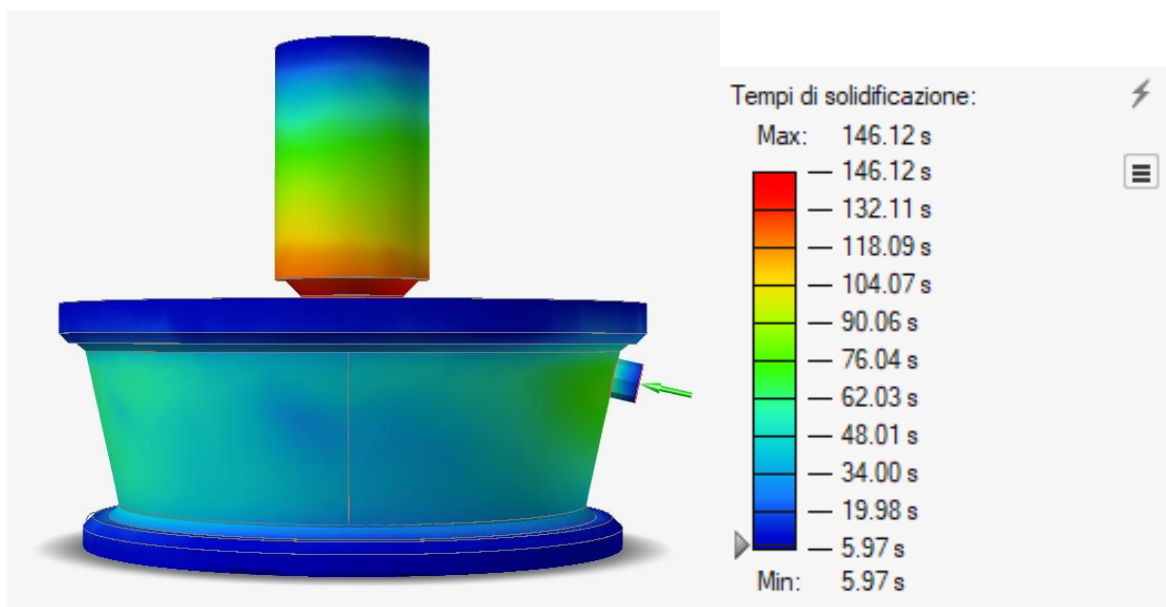
Le porosità si manifestano in una regione confinata all'interno della materozza, non intaccando la zona costituente il particolare.

- Analisi volume di restringimento totale:



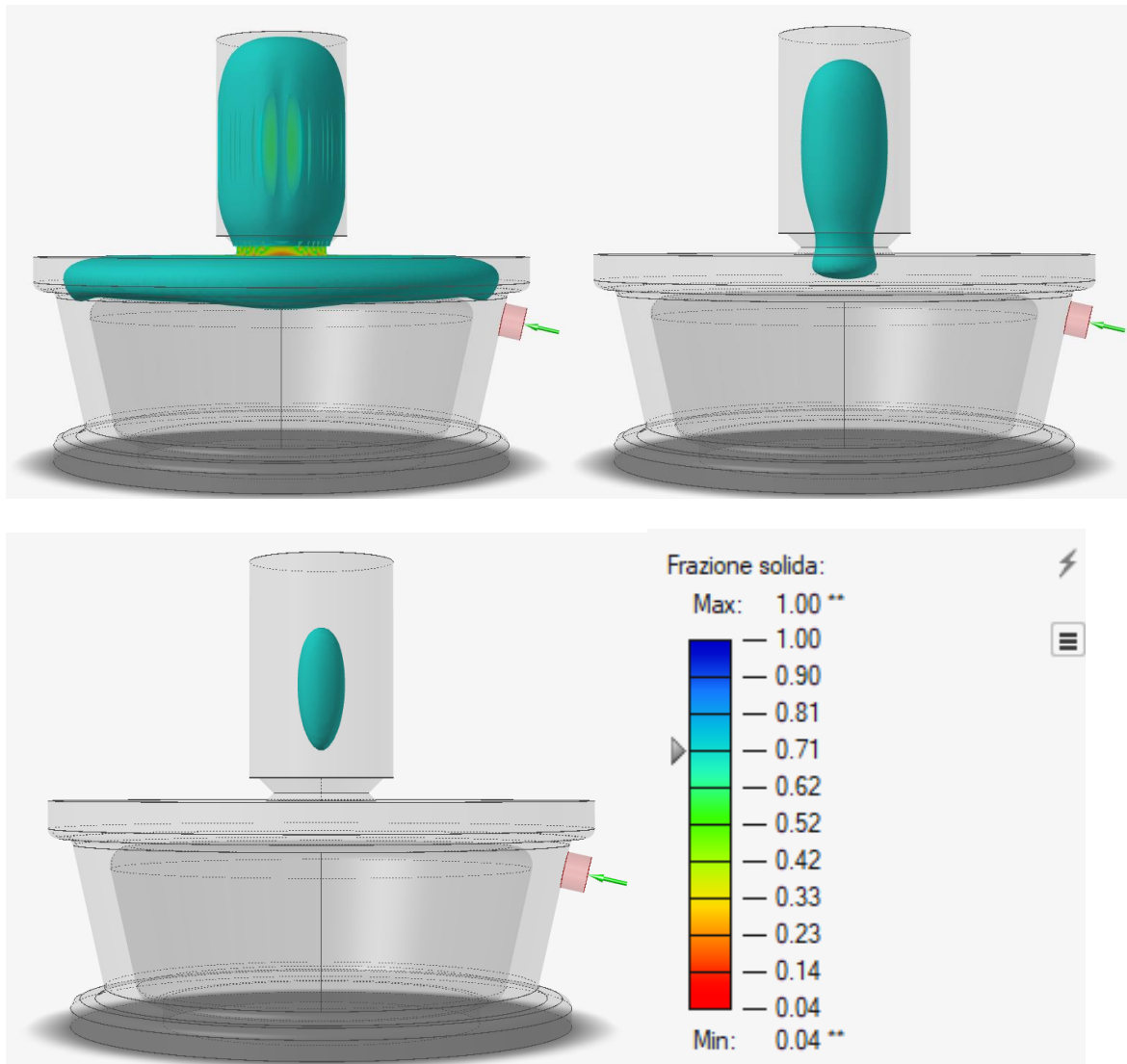
Come si evince dall'immagine sopra, il cono di ritiro si forma nella zona superiore della materozza, laddove era stata prevista la sua formazione in fase di solidificazione.

- Analisi dei tempi di solidificazione:



L'intervallo di tempo necessario per la solidificazione dell'intero getto è di 146.12 s.

- Analisi frazione solida:



L'evoluzione della frazione solida è tale per cui la materozza compia il suo compito di proteggere la parte elementare a modulo di raffreddamento maggiore, costituente insieme alle altre l'intero particolare, così come teorizzato al paragrafo 3.7 (analisi moduli di raffreddamento).

3.13 Tempistiche e Costi

- Analisi tempistiche:

Nella tabella che segue sono riportate tutte le operazioni necessarie alla realizzazione del particolare mediante il processo descritto fino a questo punto; a queste sono associate delle stime sulle tempistiche richieste da ogniuna.

OPERAZIONI	TEMPO UNITARIO	TEMPO TOTALE (500 pz.)
Preparazione dei modelli in legno + casse d'anima	*	36 h (4.5 giornate di lavoro da 8h)
Preparazione delle forme (sup./inf.)	4 min	2000 min
Preparazione anima	6 min	3000 min
Assemblaggio dell'anima (anima + forme)	1.2 min	600 min
Fusione ghisa per colata	20 min***	10000 min
Tempo di colata	0.07 min** (4.456 s)	35 min
Tempo di solidificazione	2.4 min**(146.12 s)***	1200 min
Tempo di raffreddamento	15 min***	7500 min
Sformatura	3 min	1500 min
Smaterozzatura e eliminazione del sistema di colata	2 min	1000 min

*: in questa operazione non compare il tempo unitario dal momento che i modelli realizzati sono pensati per l'intera produzione del lotto di 500 pezzi.

** : le tempistiche presentate sono frutto dell'analisi per il dimensionamento del sistema di colata presente al paragrafo 3.9 e dell'analisi svolta con il software Inspire Cast al paragrafo 3.12.

***: le tempistiche presentate sono dette tempistiche passive, le quali non richiedono una diretta attività da parte dell'operatore; queste non sono conteggiate nella valutazione dei costi per la mano d'opera, dal momento che in quel contempo si possono svolgere altre attività utili per la realizzazione del getto che segue.



- Analisi dei costi

La valutazione dei costi di produzione del particolare che vogliamo realizzare deve tener conto di due aspetti differenti: il costo dei materiali e il costo della mano d'opera impiegata nelle operazioni descritte.

➤ Costo della materia prima:

Il processo per valutare il costo della materia prima si basa sulla valutazione della massa necessaria richiesta per la realizzazione del componente, noto il volume del getto/forme/anima e la densità del materiale; il valore del costo si ottiene passando per la stima del costo specifico (euro/kg) del materiale in questione. Cautelativamente i valori della massa necessaria vengono maggiorati del 10%.

Nella tabella che segue sono riportati le voci necessarie alla stima del costo della materia prima.

MATERIALE	MASSA UNITARIA	MASSA TOTALE	COSTO SPECIFICO (EURO/KG)	COSTO UNITARIO	COSTO TOTALE
GHISA EN-GJL-250	2.2 kg	1100** kg	0.45* euro/kg	0.99 euro	495 euro
TERRA SINTETICA	10.5 kg	430*** kg	0.11* euro/kg	0.1 euro	47.3 euro

*: il costo specifico di una determinata materia prima è variabile nel tempo.

**: la stima di massa totale si basa sulla valutazione del volume totale mediante software.

***: non tutta la sabbia va sostituita tra una colata e l'altra; abbiamo stimato un reintegro dell'8%.

➤ Costo della mano d'opera:

In questa valutazione vengono conteggiate le sole attività etichettate come tempi attivi. Le attività in questione sono quelle citate nella tabella dell'analisi delle tempistiche a pag.34, a meno delle seguenti voci: **Fusione ghisa per colata, tempo di solidificazione e tempo di raffreddamento**. Le voci rimanenti sono quindi accorpate nella seguente tabella, nella quale sono presenti anche le stime dei costi unitari e totali per la mano d'opera. Quest'ultimi sono valutati



assumendo una retribuzione dell'operatore impegnato nelle operazioni di 20 euro/h.

OPERAZIONI	TEMPO UNITARIO	TEMPO TOTALE	COSTO UNITARIO	COSTO TOTALE
Accorpamento di tutte le tempistiche attive	20.59 min* (0.34 h)	10295 min (170 h)	6.8 euro	3400 euro

*: come tempo unitario abbiamo preso la somma dei tempi unitari presenti nella tabella di pag. 34 e, a questo valore, abbiamo sommato un cinquecentesimo del tempo necessario per la realizzazione di tutti i modelli.

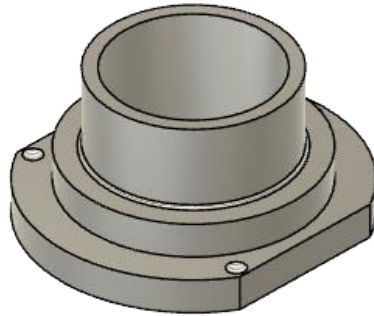
➤ Costo sommario:

questo è dato dalla somma dei costi della materia prima e dei costi della mano d'opera. Si ottengono così i valori di costo sommario unitario e si costo sommario totale.

COSTO SOMMARIO UNITARIO	7.89 euro
COSTO SOMMARIO TOTALE	3942.3 euro

4 Lavorazioni per asportazione di truciolo

4.1 Analisi materiale



Vista particolare n° 1: Distanziale

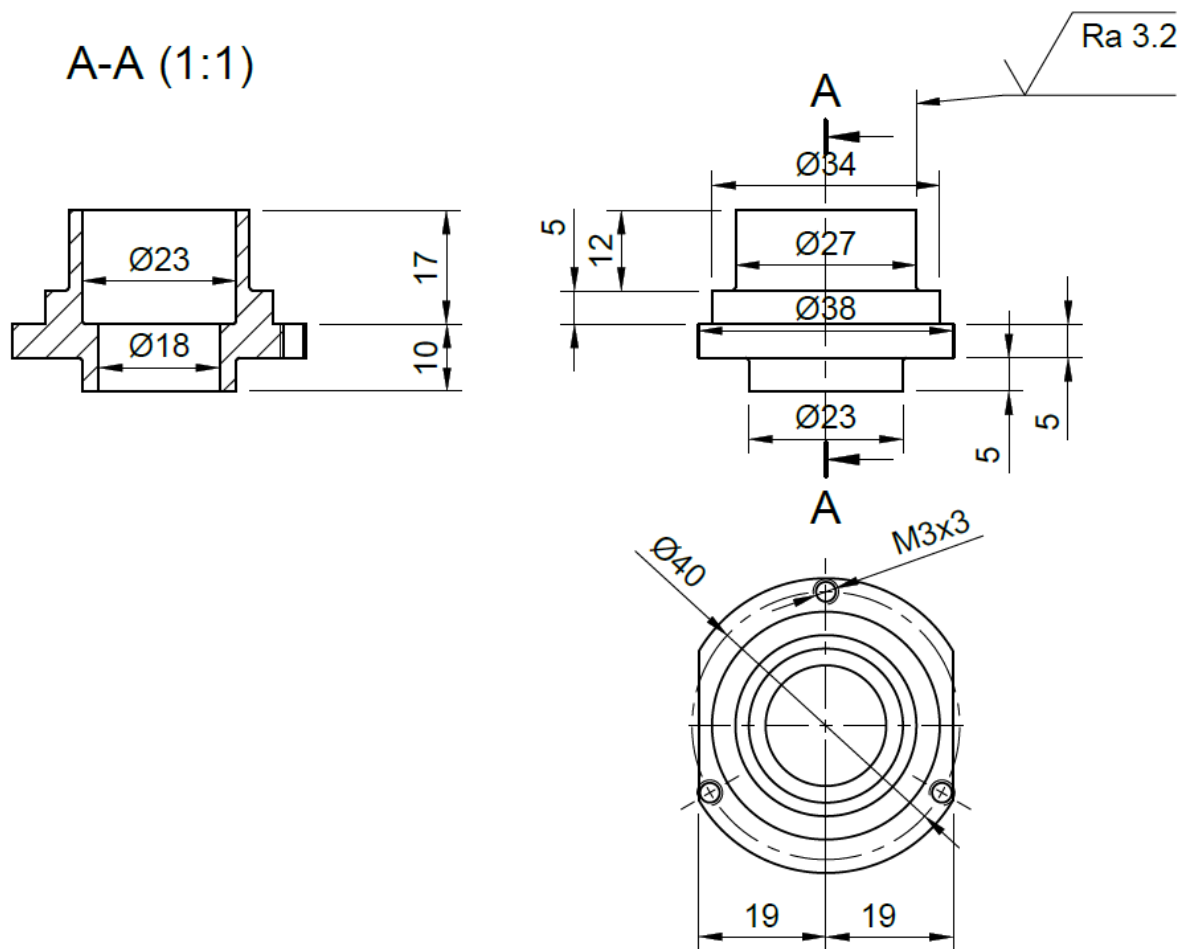
Per quanto riguarda il distanziale viene scelto come materiale quello dato nel disegno di complessivo: l'acciaio C40, questo è il tipico acciaio da bonifica molto utilizzato per applicazioni in cui sono necessarie una buona resistenza e durezza.

Inoltre, un'altra caratteristica distintiva degli acciai con questo tenore di carbonio è la loro buona lavorabilità, motivo per cui sono ampiamente utilizzati nell'ambito delle lavorazioni per asportazione di truciolo in quanto garantiscono finiture superficiali e tolleranze dimensionali di alta qualità.

Acquisteremo quindi barre di acciaio tondo C40 trafilato di diametro 50 mm, per un costo di 57,39 €/m (puntometallo.it).

4.2 Disegno quotato

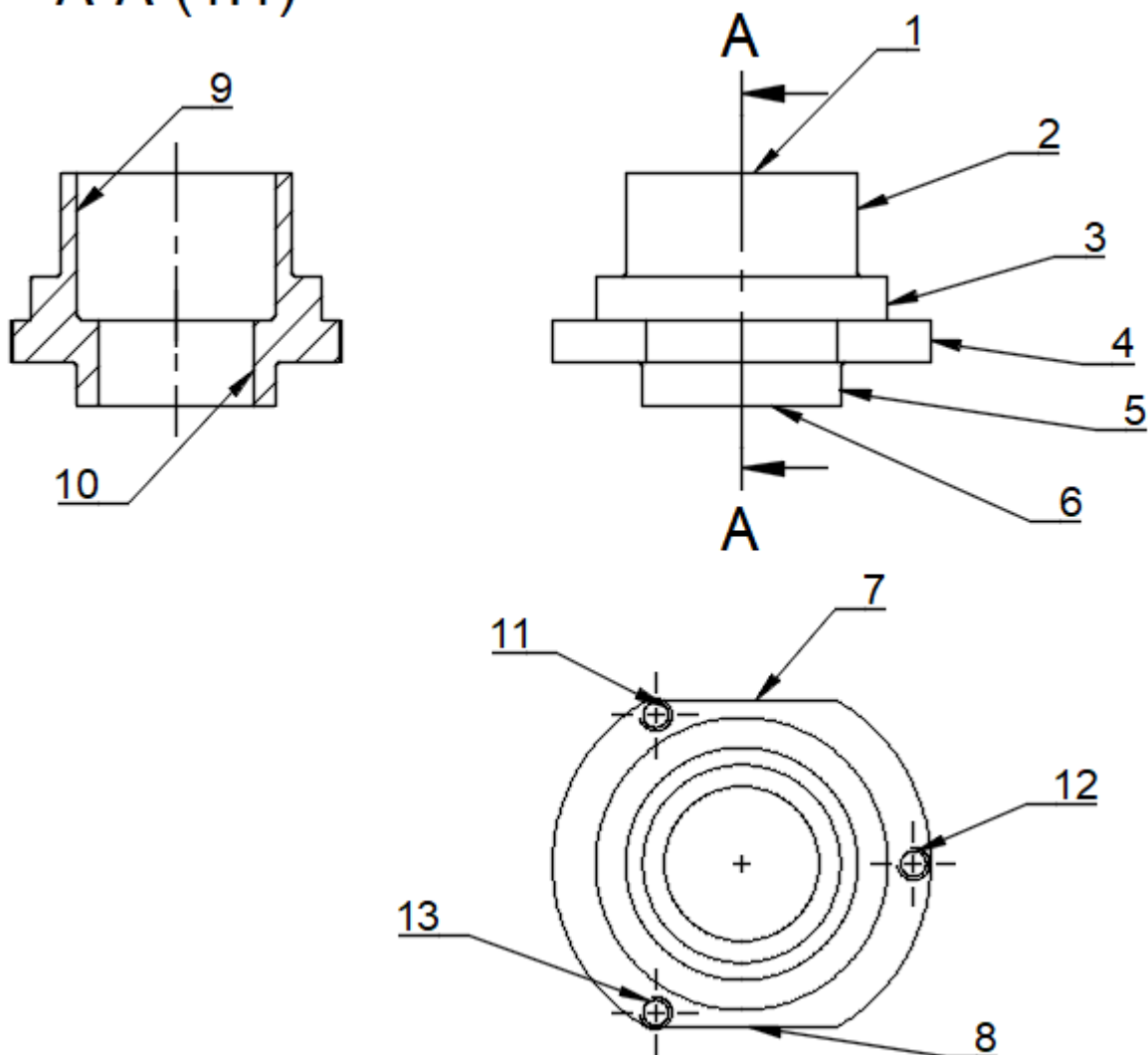
A-A (1:1)



Raccordi non quotati R2

4.3 Analisi delle superfici

A-A (1:1)



1) Analisi e processi utilizzabili:

n° superficie	tipologia superficie	processi possibili
1, 6	piane, perpendicolari all'asse	tornitura, fresatura
2, 3, 4, 5	cilindriche, esterne, coassiali	tornitura
7, 8	piana	fresatura
9, 10	cilindriche, interne, coassiali	tornitura, foratura
11, 12, 13	cilindrica interna	fresatura, foratura

2) Raggruppamenti:

n° superficie	processo
1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10	tornitura
7, 8, 11, 12, 13	fresatura

3) Vincoli di precedenza:

Le superfici 2, 3, 4, e 5 devono essere realizzate prima delle superfici 7 e 8 perché definiscono l'asse, mentre la realizzazione delle superfici 7 e 8 devono avvenire prima delle forature per le superfici 11, 12 e 13.

4) Sequenza delle lavorazioni:

Fase	Operazione
10a	Troncatura
	Sfacciatura superficie 1
	Cilindratura (sgrossatura) superficie 3 (lunghezza 2,3)
	Cilindratura (sgrossatura) superficie 2
	Cilindratura (finitura) superficie 3
	Cilindratura (finitura) superficie 2
10b	Sfacciatura superficie 6
	Cilindratura (sgrossatura) superficie 4 (lunghezza 4,5)
	Cilindratura (sgrossatura) superficie 5
	Cilindratura (finitura) superficie 4
	Cilindratura (finitura) superficie 5
	Centratura
	Foratura (preforo)
10c	Cilindratura interna (sgrossatura) superficie 10 (lunghezza 9,10)
	Cilindratura interna (sgrossatura) superficie 9
	Cilindratura interna (finitura) superficie 10
	Cilindratura interna (finitura) superficie 9

20a	Esecuzione superficie 7
	Esecuzione superficie 8
	Tracciatura fori superfici: 11, 12, 13

4.4 Macchine utensili

Per la scelta delle macchine utensili abbiamo considerato un'azienda che possiede le seguenti macchine:

1) Tornio parallelo:

Fervi T080F



Con:

- Potenza del motore: 7.5 kW
- Diametro massimo tornibile: Ø 300 mm
- Passaggio barra: Ø 100 mm
- Distanza fra le punte: 1500 mm

2) Fresatrice universale:

Optimum MH 50G



Con:

- Potenza motore: 2.2 kW
- Corsa delle guide: X = 500 mm, Y = 230 mm, Z = 350 mm
- Mandrino portafresa: mandrino orizzontale orientabile di 90° ISO 50

4.5 Utensili

Per una scelta corretta degli utensili è necessario definire la rugosità che vogliamo ottenere sulle superfici del pezzo e le tolleranze nelle superfici accoppiate.

Considerando l'utilizzo del pezzo prenderemo come rugosità $3.2 \mu\text{m}$ per tutto il pezzo, in modo da non riscontrare difficoltà nel montaggio dei cuscinetti (l'accoppiamento dell'alloggio del cuscinetto, superficie 2, è definito dal fornitore SKF nel nostro caso $\varnothing 27 \text{ H7/h6}$), mentre per la superficie 9 utilizzeremo un accoppiamento con una leggera interferenza $\varnothing 23 \text{ H7/g6}$.

Definite le rugosità scelgo degli utensili che mi consentono di ottenerle, con particolare attenzione sulla rugosità di fine finitura.

Vengono quindi scelti i seguenti utensili per la tornitura:

- Portautensile per troncatura: Walter Cut GT
- Inserto per troncatura: GX16-3F020N-WL
- Portautensile inserto per sgrossatura: SCLCR1010H06
- Inserto per sgrossatura: CCMT060204-MP
- Portautensile inserto per finitura: SDJCR1010F07
- Inserto per finitura: VBMT110304-EF
- Punta per il preforo: Dormer A002 $\varnothing 10 \text{ mm}$ HSS-TiN

mentre per la fresatura e foratura vengono scelti:

- Mandrino: ER32 ISO40 DIN 7388-1 (per poter effettuare anche la maschiatura, non possibile con il mandrino fornito con la fresatrice scelta poiché non ha un sistema di inversione automatica del moto)
- Corpo fresa: Walter F4041R.C16.040.Z04.06
- Inserti fresa: SN060408R-MR WSP45S
- Punteruolo: Haas Automatic Centre Punch
- Punta per prefori: Guhring 5511 HSS-E DIN 338 $\varnothing 2.5 \text{ mm}$
- Pinza per maschio: ER32 collet ISO40
- Maschio: Phantom UNI HSS-E TiN M3



4.6 Parametri di taglio

Verranno divisi per lavorazione, quindi per:

1) Tornitura

Dati dalla scelta dell'inserto:

- Angolo dell'inserto: β
- Raggio dell'inserto: R_E
- Diametro medio di lavorazione: D

E le costanti date dalla scelta del materiale, dell'utensile e della macchina:

- Resistenza a trazione: R_M
- Costante: $1/n = 0.2$
- Rendimento: η

Scegliendo a seconda della lavorazione:

- Profondità di passata: a_p
- Avanzamento per giro: f
- Velocità di taglio: V_c

Posso calcolare:

- Rpm mandrino: $n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D}$
- Pressione di taglio specifica: $P_s = 2.4 \cdot R_M^{0.454} \cdot \beta^{0.666}$
- Sezione di truciolo: $S = f \cdot a_p$
- Pressione di taglio: $P_T = P_s \cdot S^{-\frac{1}{n}}$
- Forza di taglio: $F_T = P_T \cdot S$
- Potenza di taglio: $P_c = \frac{F_T \cdot V_c}{60 \cdot 1000}$
- Potenza della macchina: $P_M = \frac{P_c}{\eta}$
- Rugosità teorica: $R_a = \frac{f^2}{8 \cdot R_E} \cdot 1000$



Per le varie lavorazioni di tornitura sono stati scelti i parametri di taglio facendo riferimento alle tabelle del libro di testo (Santochi) adattate alle necessità del nostro caso specifico, per poi effettuare i calcoli riportati in tabella tramite Excel:

	Troncatura	Sfacciatura	Sgrossatura esterna	Finitura esterna	Foratura	Sgrossatura interna	Finitura interna
β	90°	35°	80°	35°	35°	80°	35°
R_E	0.1 mm	0.4 mm	0.4 mm	0.4 mm	0.4 mm	0.4 mm	0.4 mm
R_M	600 MPa	600 MPa	600 MPa	600 MPa	600 MPa	600 MPa	600 MPa
η	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
a_p	3 mm	1 mm	3 mm	0.5 mm	0.5 mm	3 mm	0.4 mm
f	0.08 mm/giro	0.20 mm/giro	0.25 mm/giro	0.10 mm/giro	0.10 mm/giro	0.25 mm/giro	0.08 mm/giro
V_c	60 m/min	60 m/min	60 m/min	90 m/min	60 m/min	50 m/min	100 m/min
P_s	877 MPa	468 MPa	811 MPa	468 MPa	468 MPa	811 MPa	468 MPa
S	0.24 mm ²	0.20 mm ²	0.75 mm ²	0.05 mm ²	0.05 mm ²	0.75 mm ²	0.032 mm ²
P_T	1167 MPa	645 MPa	859 MPa	851 MPa	851 MPa	859 MPa	931 MPa
F_T	280 N	129 N	891 N	43 N	43 N	644 N	30 N
P_c	0.28 kW	0.13 kW	0.64 kW	0.06 kW	0.04 kW	0.54 kW	0.05 kW
P_M	0.33 kW	0.15 kW	0.76 kW	0.08 kW	0.05 kW	0.63 kW	0.06 kW
R_a	8 μ m	12.50 μ m	19.53 μ m	3.13 μ m	3.13 μ m	19.53 μ m	2 μ m

Con la velocità del mandrino che cambierà per ogni lavorazione in funzione della velocità di taglio e del diametro otteniamo la tabella seguente:

		sfacciatura sup.1 (= troncatura)	sgrossatura sup.3	sgrossatura sup.2
diámetro massimo	D_M	50	50	36
diámetro minimo	D_m	0	36	29
diámetro medio	D	25	43	33
Rpm mandrino	n	764	444	588
		finitura sup.3	finitura sup.2	sfacciatura sup.6
diámetro massimo	D_M	36	29	50
diámetro minimo	D_m	34	27	0



diametro medio	D	35	28	25
Rpm mandrino	n	819	1023	764
		sgrossatura sup.4	sgrossatura sup.5	finitura sup.4
diametro massimo	D_M	50	40	40
diametro minimo	D_m	40	25	38
diametro medio	D	45	33	39
Rpm mandrino	n	424	588	735
		finitura sup.5	foratura	sgrossatura sup.10
diametro massimo	D_M	25	10	16
diametro minimo	D_m	23	10	10
diametro medio	D	24	10	13
Rpm mandrino	n	1194	1910	1224
		sgrossatura sup.9	finitura sup.10	finitura sup.9
diametro massimo	D_M	16	16	21
diametro minimo	D_m	21	18	23
diametro medio	D	19	17	22
Rpm mandrino	n	860	1872	1447

Dalle precedenti tabelle possiamo notare che la rugosità dopo la finitura rispetta i limiti che ci eravamo prefissati prima della scelta degli utensili, e inoltre non superiamo mai il limite massimo di velocità del mandrino pari a 2000 rpm.

2) Fresatura

Dati dalla scelta dell'inserto:

- Angolo dell'inserto: β
- Diametro della fresa: D
- Numero di taglienti: Z

E le costanti date dalla scelta del materiale, dell'utensile e della macchina:

- Resistenza a trazione: R_M
- Costante: $1/n = 0.2$



- Rendimento: η

Scegliendo a seconda della lavorazione:

- Profondità di passata: a_p
- Avanzamento per dente: a_z
- Velocità di taglio: V_c

Posso calcolare:

- Rpm mandrino: $n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D}$ (limite 3260 rpm)
- Avanzamento della fresa: $V_a = a_z \cdot n \cdot Z$
- Pressione di taglio specifica: $P_s = 2.4 \cdot R_M^{0.454} \cdot \beta^{0.666}$
- Sezione di truciolo: $S = a_z \cdot a_p$
- Pressione di taglio: $P_T = P_s \cdot S^{-\frac{1}{n}}$
- Forza di taglio: $F_T = P_T \cdot Z \cdot S$
- Potenza di taglio: $P_c = \frac{F_T \cdot V_c}{60 \cdot 1000}$
- Potenza della macchina: $P_M = \frac{P_c}{\eta}$

Analogamente a quanto fatto per la tornitura vengono scelti i parametri di taglio facendo riferimento alle tabelle del libro di testo adattate alle nostre necessità, ottenendo la seguente tabella:

	Sgrossatura	Finitura	Foratura	Maschiatura
β	45°	45°	118°	60°
D	40 mm	40 mm	2.5 mm	3 mm
Z	4	4	2	1
R_M	600 MPa	600 MPa	600 MPa	600 MPa
η	0.8	0.8	0.8	0.8
a_p	2 mm	0.5 mm	0.5 mm	0.5 mm
a_z	0.2 mm/giro	0.1 mm/giro	0.08 mm/giro	0.5 mm/giro
V_c	16 m/min	20 m/min	20 m/min	12 m/min
n	127 rpm	159 rpm	2547 rpm	1273 rpm
V_a	102 mm/min	64 mm/min	407 mm/min	637 mm/min
P_s	552.75 MPa	552.75 MPa	1050 MPa	670 MPa
S	0.4 mm ²	0.05 mm ²	0.04 mm ²	0.25 mm ²
P_T	664 MPa	1006 MPa	2000 MPa	883 MPa
F_T	1062 N	201 N	160 N	221 N



P_c	0.28 kW	0.07 kW	0.05 kW	0.04 kW
P_M	0.35 kW	0.08 kW	0.07 kW	0.06 kW

Anche per questa lavorazione non vengono superati i limiti di velocità della macchina di 3260 rpm.

4.7 Fasi di lavorazione

Sono presenti in allegato (Capitolo 10) il foglio di fase e i fogli di ciclo con i parametri di taglio precedentemente analizzati e calcolati.

4.8 Controllo dimensionale

Dato che come detto in precedenza avremo bisogno di due accoppiamenti specifici solo sulla superficie 9 e sulla superficie 2 effettueremo il controllo dimensionale solo su queste superfici tramite 2 calibri passa/non passa:

- Calibro passa/non passa ad anello Ø27 h6, fornito da: MCT Métrologie;
- Calibro passa/non passa a tampone Ø23 H7, fornito da: Insize, modello 4124-23;

Per un prezzo totale di circa 175 €.

4.9 Tempi di lavorazione

Procediamo al calcolo dei tempi attivi e passive delle fasi di lavorazione utilizzando la seguente formula per i tempi attivi:

$$t = \frac{\text{corsa} + \text{extracorsa}}{f \cdot n}$$

Tornitura	10	Troncatura	Sfacciatura	Sgrossatura	Sgrossatura
		1	1	1	2
Avanzamento	f	0.08	0.20	0.25	0.25
RPM	n	764	764	444	588
Extracorsa	e	2	2	2	2
Lunghezza	l	25	25	17	12



N° passate		1	1	3	2
Tempo singola lavorazione	t_s	0.442	0.177	0.171	0.095
Tempo totale	t_t	0.442	0.177	0.514	0.190

Tornitura	10	Finitura 1	Finitura 2	Sfacciatura 2	Sgrossatura 3
Avanzamento	f	0.10	0.10	0.08	0.25
RPM	n	819	1023	764	424
Extracorsa	e	2	2	2	2
Lunghezza	l	5	12	25	10
N° passate		2	2	1	2
Tempo singola lavorazione	t_s	0.085	0.137	0.442	0.113
Tempo totale	t_t	0.171	0.274	0.442	0.226

Tornitura	10	Sgrossatura 4	Finitura 3	Finitura 4	Foratura 1
Avanzamento	f	0.25	0.10	0.10	0.10
RPM	n	588	735	588	1910
Extracorsa	e	2	2	2	2
Lunghezza	l	5	5	5	27
N° passate		3	2	2	1
Tempo singola lavorazione	t_s	0.048	0.095	0.119	0.152
Tempo totale	t_t	0.143	0.190	0.238	0.152

Tornitura	10	Sgrossatura 5	Sgrossatura 6	Finitura 5	Finitura 6
Avanzamento	f	0.25	0.25	0.08	0.08
RPM	n	1224	860	1447	1872
Extracorsa	e	2	2	2	2



Lunghezza	l	27	17	17	10
N° passate		1	2	3	3
Tempo singola lavorazione	t_s	0.095	0.088	0.164	0.080
Tempo totale	t_t	0.095	0.177	0.492	0.240

Per un totale sulla tornitura di 4.163 minuti ovvero: 4 minuti e 10 secondi.

Fresatura	20	Sgrossatura 1	Sgrossatura 2	Finitura 1	Finitura 2
Avanzamento	f	0.20	0.20	0.10	0.10
RPM	n	127	127	159	159
Extracorsa	e	2	2	2	2
Lunghezza	l	22	22	22	22
N° passate		1	1	1	1
Tempo singola lavorazione	t_s	0.945	0.945	1.509	1.509
Tempo totale	t_t	0.945	0.945	1.509	1.509

Fresatura	20	Foratura 1	Maschiatura 1
Avanzamento	f	0.08	0.50
RPM	n	2547	1273
Extracorsa	e	2	2
Lunghezza	l	5	5
N° passate		1	3
Tempo singola lavorazione	t_s	0.034	0.011
Tempo totale	t_t	0.034	0.033

Per un totale sulla fresatura di 4.976 minuti ovvero: 4 minuti e 59 secondi.



Per i tempi passivi stiliamo la seguente tabella:

Tempi passivi	secondi	N° volte	totale
Tornitura			
Inserimento del grezzo nel mandrino	50	3	150
Montare mandrino con contropunta	60	1	60
Chiusura con chiave del mandrino a tre griffe	10	3	30
Controllo visivo e centraggio	10	3	30
Montaggio utensile e inserto	40	8	320
Avvio macchina	5	8	40
Avvicinamento utensile	10	8	80
Impostazione profondità	10	8	80
Allontanamento utensile	10	8	80
Scarico del pezzo	20	3	60
Smontaggio utensile e inserto	30	8	240
Controllo dimensionale	20	2	40
Fresatura			
Posizionamento manuale del pezzo	30	1	30
Fissaggio/Serraggio	10	1	10
Montaggio utensile e inserto	40	3	120
Avvio macchina	5	3	15
Avvicinamento utensile	10	3	30
Impostazione profondità	10	3	30
Rotazione con divisore	10	4	40
Allontanamento utensile	10	3	30
Centraggio per foratura	40	2	80
Scarico del pezzo	20	1	20
Smontaggio utensile e inserto	30	3	90
Totale secondi			1695
Totale minuti			28', 15"

Quindi il tempo totale per la produzione del particolare 1: distanziale risulta essere di 37 minuti e 24 secondi, che considerato il processo produttivo dell'intero lotto commissionato (500 distanziali) risulta in circa 311 ore (più 40 minuti).

Noti questi risultati possiamo procedere con il calcolo dei prezzi di produzione.



4.10 Prezzi di produzione

La stima dei prezzi sarà effettuata considerando singolarmente, e poi nell'insieme: il materiale per il distanziale, la manodopera e l'energia consumata durante tutto il processo produttivo.

Non considereremo l'acquisto dei macchinari e degli utensili in quanto il lotto verrà affidato a chi è in grado di fare le lavorazioni dette in precedenza e non deve ammortizzare il costo dei macchinari su un singolo lotto; considereremo solo il costo dei due calibri passa/non passa necessari per verificare velocemente se i due accoppiamenti sono corretti che verranno acquistati apposta del diametro e della tolleranza di cui abbiamo bisogno, dal prezzo di 175 € in totale quindi circa 0.35 € per pezzo.

1) Prezzo della manodopera

Come detto nel precedente capitolo sui tempi di lavorazione il tempo totale per produrre il particolare distanziale è di 311 ore.

Stimando che l'operatore venga pagato 20 €/h, i costi risultano essere:

- $costo_{totale} = 311 \text{ h} \cdot 20 \text{ €/h} = 6220 \text{ €}$
- $costo_{unitario} = 6220 \text{ €} / 500 = 12.44 \text{ €/pezzo}$

2) Prezzo dell'energia elettrica

Noto dal capitolo precedente che il tempo totale per la tornitura (tempi attivi e passivi) è pari a 24 minuti e 20 secondi, mentre il tempo totale per la fresatura (tempi attivi e passivi) è pari a 13 minuti e 4 secondi; data la potenza dei due macchinari utilizzati per il tempo totale di utilizzo (in ore) abbiamo i kWh consumati dai due macchinari pari a:

- Tornitura: 202.78 ore
- Fresatura: 108.89 ore

Ottenendo quindi un consumo in kWh di energia elettrica pari a:

- Tornitura: 1520.85 kWh (tornio da 7.5 kW)
- Fresatura: 239.56 kWh (fresa da 2.2 kW)



Per un consumo totale di energia elettrica pari a: 1760.41 kWh.

Considerando un costo al kWh per l'energia elettrica pari a 0.2 € al kWh otteniamo:

- $costo_{totale} = 1760.41 \text{ kWh} \cdot 0.2 \text{ €/kWh} = 352.08 \text{ €}$
- $costo_{unitario} = 352.08 \text{ €} / 500 = 0.70 \text{ €/pezzo}$

3) Prezzo del materiale

Il materiale scelto per produrre il particolare: distanziale è l'acciaio tondo C40 con un costo di 57.39 € al metro, considerando come lunghezza per un singolo distanziale 30 mm (tenendo conto anche degli scarti dovuti alle lavorazioni) avremo come totale di acciaio da acquistare 15000 mm, quindi per un costo di:

- $costo_{totale} = 15 \text{ m} \cdot 57.39 \text{ €/m} = 860.85 \text{ €}$
- $costo_{unitario} = 860.85 \text{ €} / 500 = 1.72 \text{ €/pezzo}$

4) Metrologia

Per la metrologia abbiamo utilizzato 2 calibri passa/ non passa come detto in precedenza per un costo totale di 175 €, ottenendo un costo unitario di:

$$costo_{unitario} = 175 \text{ €} / 500 = 0.35 \text{ €/pezzo}$$

5) Costi finali

Parametro	Costo unitario (€/pezzo)	Costo totale (€)
Energia elettrica	0.70	352.08
Materiale	1.72	860.85
Manodopera	12.44	6220
Metrologia	0.35	175
Totale	15.21	7607.93



5 Deformazione plastica

5.1 Scelta del materiale

Il materiale indicato nella distinta dei componenti a pag.6, associato al Part.2 (coppa centrifuga), ossia l'acciaio Fe 420, non si presta in maniera ottimale alle operazioni di deformazione plastica che seguono; l'acciaio Fe 420 è un acciaio strutturale e presenta un limite di snervamento minimo di circa 420 MPa, caratteristica che conferisce a questo materiale una scarsa formabilità, rendendo il materiale poco adatto a deformazioni plastiche intense.

Abbiamo quindi optato per un acciaio che è spesso utilizzato in applicazione che prevedono lavorazioni per deformazione plastica partendo dalla lamiera. Il materiale in questione è l'acciaio DC01 EN 10130; di seguito sono mostrate in una tabella le caratteristiche meccaniche di questo materiale:

Proprietà meccanica	Valore tipico / Intervallo
Limite di snervamento, Re	140–210 MPa
Resistenza a trazione, Rm	270–410 MPa
Allungamento a rottura, A80/A5	28–34 %
Modulo di elasticità, E	~210 GPa
Durezza Brinell, HB	90–120
Spessori disponibili	0,4–2,0 mm

Queste caratteristiche garantiscono elevata duttilità, minori tensioni durante la deformazione e ridotto rischio di cricature o rotture.



5.2 Modifiche apportate alla geometria del particolare

Al fine di ottenere il particolare richiesto mediante un processo industriale che sia efficace da punto di vista economico e che non presenti criticità dal punto di vista tecnico, dati i limiti teorici su diversi parametri dettati dalla teoria associata a questa classe di lavorazioni, abbiamo apportato alcune modifiche alla geometria del particolare da realizzare, prestando attenzione a non limitare il componente delle caratteristiche previste di fase di progettazione. Le modifiche sono presentate di seguito:

- Modifica 1 - inclinazione della superficie laterale

Abbiamo deciso di variare l'inclinazione della superficie laterale del pezzo finito, rendendola parallela all'asse del pezzo, al fine di semplificare l'operazione di imbutitura.

- Modifica 2 - raccordi tra le superfici

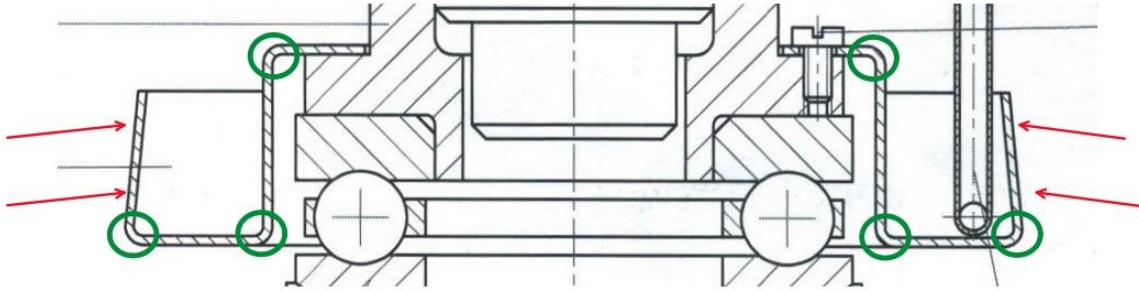
I raggi di raccordo previsti in fasi di progettazione, come mostrati nella geometria originale del particolare, non rientrano nei limiti previsti dalla teoria di Wassilief tratta dal libro di testo (Santochi) e potrebbero portare a difetti o tranciature della lamiera. Abbiamo, quindi, maggiorato tutti i raggi di raccordo secondo la teoria sopra citata. *Il valore effettivo dei raggi di raccordo sarà fornito in fase di dimensionamento del complesso matrice – punzone, dal momento che questi coincidono con i raggi di arrotondamento del punzone e della matrice.*

- Modifica 3 - superficie forata

La superficie che ospita la sede per i fori di fissaggio e di accoppiamento viene accresciuta (essendo circolare ne viene accresciuto il diametro) in quanto, a seguito della modifica 2 (raggi di raccordo), non era più disponibile la superficie necessaria per ricavare i fori, secondo le quote previste per il corretto accoppiamento del componente con gli altri particolari. Il diametro della superficie forabile è quindi stato maggiorato di 5mm, costituendo così una superficie forabile circolare avente diametro $D = 52 \text{ mm}$.

Di seguito sono mostrate le modifiche 1 e 2, evidenziate rispettivamente con colore rosso e verde.





Geometria originale



Geometria post modifiche

Tutte le modifiche previste, qua mostrate qualitativamente, saranno previste nei disegni quotati del pezzo finito e risultanti dal dimensionamento del complesso matrice – punzone necessario

5.3 Processo di imbutitura

Al fine di ottenere la geometria desiderata, il processo industriale più indicato è l'Imbutitura di una lamiera. Dal momento che il particolare presenta una simmetria assialsimmetrica, la lamiera di partenza avrà forma circolare e spessore pari allo spessore del pezzo che vogliamo realizzare.

Per determinare il diametro della lamiera di partenza ci avvaliamo dell'intuitiva formula presentata nel libro di testo (Santochi), la quale mette in relazione il diametro primitivo D e le aree che compongono l'imbutito:

$$\pi \cdot \frac{D^2}{4} = \sum S_i$$

dove S_i sono le aree degli elementi di superficie che compongono l'imbutito e D è il diametro primitivo; questa formula è valida in quanto, data la particolare geometria del componente, la forma dello sviluppo primitivo è un cerchio.

Le dimensioni derivanti dall'applicazione della teoria qui sopra sono riportate di seguito:

dati i valori delle aree degli elementi di superficie che compongono l'imbutito valutati mediante l'utilizzo del software CAD Fusion, riportati nella seguente tabella:

AREA 1	2123.717 mm ²
AREA 2	1440.128 mm ²
AREA 3	1071.283 mm ²
AREA 4	1619.449 mm ²
AREA 5	229.336 mm ²
AREA 6	1982.956 mm ²
AREA 7	1451.416 mm ²
AREA 8	2162.277 mm ²
AREA 9	2563.54 mm ²

La nomenclatura a cui fa fede la tabella è associata al pezzo che si ottiene a seguito dell'imbutitura, la cui geometria è mostrata in seguito

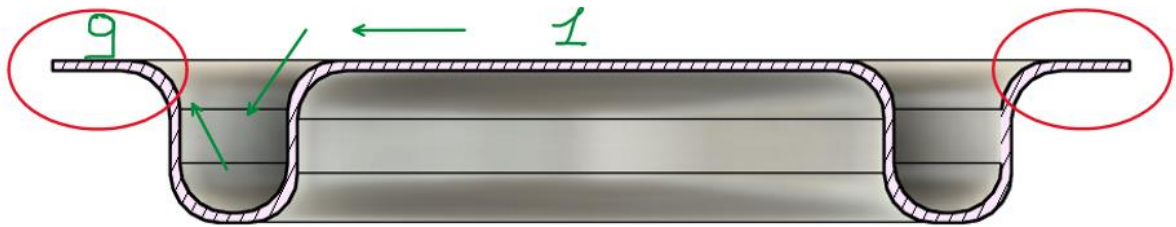
si ottiene:

- Area dello sviluppo primitivo = 14644.1 mm²
- Diametro primitivo $D = 136.55 \text{ mm}$; questo viene arrotondato ad 137 mm



La geometria ottenuta per imbutitura deve necessariamente presentare anche un bordo in eccesso, il quale verrà poi rimosso al fine di ottenere il pezzo finito, al fine di garantire la corretta realizzazione per mezzo di questa tecnica. Il bordo in questione è stato conteggiato nel processo di individuazione del diametro primitivo.

Di seguito è mostrata la sezione del pezzo risultante dall'operazione di imbutitura, provvisto di bordo (evidenziato in rosso); la direzione secondo la quale è valida l'enumerazione prevista nella tabella per la valutazione delle aree è indicata in verde.



È necessario a questo punto il dimensionamento del complesso matrice - punzone mediante il quale si ottiene la geometria sopra descritta.

Il complesso matrice - punzone deve essere progettato sulla base di alcuni vincoli geometrici, i quali garantiscono una corretta interazione tra la lamiera e il complesso stesso. Le relazioni dei limiti geometrici tratte dal libro di testo (Santochi) sono riportate di seguito:

- Gioco tra matrice e punzone (g):

$$g = s + K \cdot \sqrt{10 \cdot s}$$

dove s è lo spessore della lamiera e $K = 0.07$ per l'acciaio

- Raggio di arrotondamento punzone (r_p):

$$5 \cdot s \leq r_p$$

- Raggio di arrotondamento della matrice (r_m):

$$r_p \cong r_m$$

- Forza di imbutitura (F): dal momento che la geometria del pezzo da realizzare non si presta alla casistica trattata nel libro di testo, una formula semplificata, utile solo in prima approssimazione, è la seguente:

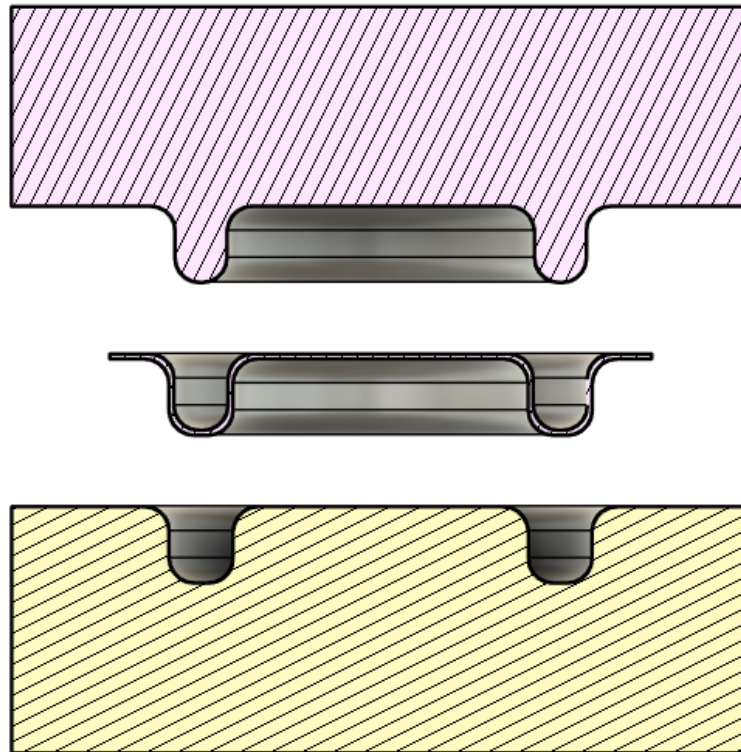
$$F \sim \pi \cdot D \cdot s \cdot R_m \cdot k$$

con $k = 0.7$ per imbutiture non profonde

Di seguito vengono elencati i valori attribuiti alle grandezze introdotte:

- $g = 1.22 \text{ mm}$
- $r_p = 5 \text{ mm}$ (valido anche come raggio di raccordo nel pezzo)
- $r_m = 5 \text{ mm}$ (valido anche come raggio di raccordo nel pezzo)
- $F \sim 102 \text{ kN}$ (con $R_m = 340 \text{ MPa}$)

Di seguito è mostrata una sezione del complesso matrice – punzone + pezzo ottenuto per imbutitura, comprendenti le caratteristiche geometriche previste dal dimensionamento.



I disegni quotati del complesso matrice-punzone saranno mostrati al Capitolo 10

5.4 Processo di Rifilatura e Foratura

Al fine di ottenere il particolare completo di tutte le sue caratteristiche geometriche, partendo dal pezzo ottenuto dal processo di imbutitura, sono necessarie le seguenti operazioni:

- Rifilatura del bordo in eccesso: il processo prevede la rimozione del bordo orizzontale lungo il perimetro esterno del pezzo, necessario in fase di imbutitura ma non previsto nel particolare finito. Questa operazione, data la geometria del pezzo e l'entità del lotto medio-piccolo di 500 pz. richiesto, si presta ad essere attuata mediante l'utilizzo di cesoie da lamiera manuali. A titolo di esempio si riporta un'immagine di modello di cesoia manuale utilizzabile:



Cesoie S&R 260 mm per Taglio Lamiera; produttore: S&R Industriewerkzeuge GmbH

A seguito della rifilatura, al fine di ottenere una finitura superficiale accettabile, si impiegano lime e materiali abrasivi.

- Foratura con trapano: al fine di ottenere i fori necessari per il montaggio, si procede con un'operazione di foratura utilizzando il trapano. Una punta da trapano indicata per la foratura dell'acciaio DC01 è riportata di seguito:



Materiale	Acciaio super rapido
Diametro di taglio	3 Millimetri
Tipo di gambo	Dritto
Corda angolo di taglio	135 Gradi
Marchio	kwb

- Foratura con pinza idraulica e complesso matrice-punzone: al fine di ottenere il foro coassiale al particolare, previsto dalla geometria del particolare finito, si utilizza un complesso matrice-punzone di diametro opportuno azionato da una pinza idraulica. Per fissare il gruppo matrice-punzone è necessario attuare in precedenza un preforo, mediante l'utilizzo di una punta elicoidale per acciaio. Un valido strumento per la realizzazione del foro in questione è il seguente:



Set di complessi matrici-punzoni e punzonatrice idraulica manuale; produttore: Würth

I riferimenti geometrici per le operazioni di rifilatura e foratura si basano sulla geometria del particolare finito, mostrato nella seguente immagine:



Il disegno quotato del particolare finito è mostrato al Capitolo 10

5.5 Tempistiche e costi

- Analisi tempistiche:

Nella tabella che segue sono riportate tutte le operazioni necessarie alla realizzazione del particolare mediante il processo descritto fino a questo punto; a queste sono associate delle stime sulle tempistiche richieste da ogniuna.

OPERAZIONI	TEMPO UNITARIO	TEMPO TOTALE (500 pz.)
Sistemazione lamiera + imbutitura+ estrazione pezzo	0.5 min	250 min
Rifilatura + rifinitura abrasivi	5 min	2500 min
Foratura con trapano	2 min	1000 min
Preforo + punzonatura idraulica	2 min	1000 min

- Analisi dei costi:

La valutazione dei costi di produzione del particolare che vogliamo realizzare deve tener conto di due aspetti differenti: il costo dei materiali e il costo della mano d'opera impiegata nelle operazioni descritte.

- Costo della materia prima:

Come costo della materia prima consideriamo l'acquisto di $500+10\%$ (n° pezzi + 10%) di dischi in lamiera aventi spessore di 1 mm e diametro di 137 mm (pari al valore del diametro primitivo D). Il costo totale che comprende, quindi, il costo per il materiale ed il costo per l'estrazione dei dischi richiesti dalla lamiera rettangolare (formato tipico della lamiera).

Una stima si può ottenere considerando i seguenti parametri:

- Volume disco di lamiera: $V = Sup \cdot spessore = 1.474 \cdot 10^{-5} m^3$
- Densità acciaio DC01: $\rho = 7850 kg/m^3$
- Massa disco: $M = 0.116 kg$
- Percentuale di sfrido per taglio di dischi da lamiera rettangolare: 15-20%
- Costo fogli di lamiera da 1 mm di acciaio DC01: 5 euro/kg (Co.Metal)



- Costo per operazione di punzonatura del disco: 1 euro/taglio

Dati questi parametri il costo totale della materia prima è pari a:

$$\text{Costo totale} = 0.116 \cdot 1.18 \cdot 550 \cdot 5 + 550 \cdot 1 = 926.42 \text{ euro}$$

dove 1.18 è la stima della percentuale di sfrido e 550 è il numero effettivo di dischi acquistati (500 + 10%).

Il costo della materia prima unitario è di: *costo unitario* = 1.68 euro (del singolo disco)

➤ Costo della mano d'opera:

Ipotizzando che un operatore specializzato per queste operazioni abbia una paga di 20 euro/h, si ha:

OPERAZIONI	TEMPO UNITARIO	TEMPO TOTALE	COSTO UNITARIO	COSTO TOTALE
Accorpamento di tutte le tempistiche attive	0.16 h (9.5 min)	79 h (4750 min)	3.2 euro	1580 euro

➤ Costo sommario:

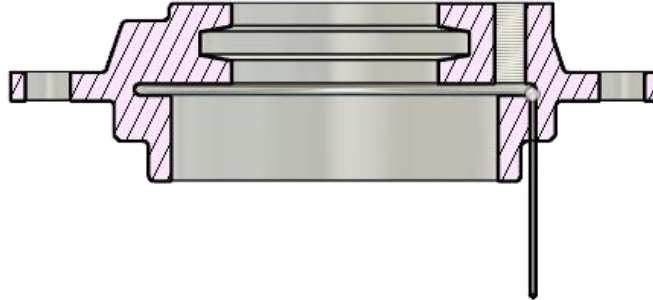
questo è dato dalla somma dei costi della materia prima e dei costi della mano d'opera. Si ottengono così i valori di costo sommario unitario e si costo sommario totale.

COSTO SOMMARIO UNITARIO	5 euro
COSTO SOMMARIO TOTALE	2506 euro*

*: il costo sommario unitario non comprende il *costo unitario* citato nel paragrafo riguardante costo della materia prima (quello è il costo per ogni disco 500 + 10%), ma è dato come un cinquecentesimo del totale.



6 Saldatura



Per quanto riguarda la saldatura siamo in presenza di un giunto di inserzione tra il particolare 7 (tubo presa olio e il particolare) e il particolare 5 (coperchio); per il processo di saldatura abbiamo pensato ad un processo per brasatura, indicato per nostro caso rispetto ad altri processi per saldatura, in quanto non richiede alcun accesso diretto alla zona con la saldatrice, che invece è necessario ad esempio per MIG, MAG, MMA, TIG, ecc.

Essendo il coperchio in ghisa G25 e il tubo presa olio in acciaio Fe420, e considerandone l'utilizzo soggetto a presenza di olio abbiamo optato per una brasatura forte poiché quella dolce non avrebbe la resistenza meccanica e termica per questo tipo di giunto; opteremo quindi per una brasatura in forno. Questa consiste nella pulizia dei pezzi tramite: prepulizia generale con solvente (un acido debole come l'acetone o alcool isopropilico), trattamento in ultrasuoni a bassa potenza, applicazione del fluxante solo sulla giunzione; con le prime due per la rimozione degli ossidi, e l'ultimo per proteggere le superfici fino al momento della brasatura.

Si procede a preposizionare i materiali di apporto, per poi inserire totalmente i pezzi nel forno, in modo che l'intero assemblaggio venga riscaldato uniformemente fino ad una temperatura a cui il materiale di apporto si fonde collegando i due pezzi separati senza però fondere i pezzi, in modo da effettuare una giuntura permanente.

Dato il carattere dei materiali utilizzati scelgo come materiale di apporto una lega a base di argento e rame: Ag45CuZnSn, adatta per le leghe ferrose come acciaio e ghisa, con un intervallo di fusione tra 640 e 680° C oltre che una buona resistenza meccanica 300-400

Mpa e un'ottima capillarità utile per un accoppiamento molto sottile come quello del nostro caso.

6.1 Parametri di saldatura

È importante scegliere per il processo di brasatura i seguenti parametri:

- Tipo di brasatura: brasatura in forno continuo ad atmosfera controllata (N₂ secco);
- Materiale di apporto: lega Ag-Cu-Zn-Sn (Ag 45, con intervallo di fusione 640-680° C);
- Tipo di giunto: ad inserzione con gioco controllato 0.05-0.15 mm;
- Pulizia preliminare: come detto in precedenza ci saranno più passaggi in questa fase:
 - sgrassaggio,
 - trattamento con ultrasuoni in vasca con detergente neutro,
 - risciacquo in acqua demineralizzata,
 - asciugatura ad aria compressa,
 - applicazione del flussante nelle zone da brasare;
- Parametri termici principali:
 - riscaldamento controllato fino a 200° C,
 - rampa di riscaldamento fino a 715° C (così da garantire fluidità del metallo di apporto, compensare le dispersioni termiche e ridurre i tempi di permanenza),
 - permanenza a temperatura di cinque minuti,
 - raffreddamento controllato fino a 200° C, poi naturale in aria;
- Atmosfera di brasatura: azoto secco, che grazie alla temperatura di rugiada di -40° C è praticamente privo di vapore, fondamentale per evitare gli ossidi;
- Controlli post brasatura: prova di tenuta all'olio a campione.

6.2 Scelta dell'attrezzatura

Per la realizzazione del giunto descritto in precedenza è stata scelta la seguente attrezzatura:

- Forno a campana SECO/WARWICK Universal CAB Batch Furnace
 - Campo di temperatura: fino a 800 °C, con controllo PID multi zona (PID è il tipo di controllo: proporzionale-integrale-derivativo, la regolazione



continua più diffusa nell'ambito delle temperature mentre multizona sta per la coppia di sensori e resistenze controllata indipendentemente dal proprio PID; utile per avere una temperatura uniforme all'interno del forno) ;

- Atmosfera di processo: azoto secco per prevenire ossidazione;
- Capacità utile: camera circa 600×600×900 mm, adatta a più componenti per ciclo;
- Sistema di movimentazione: posaggi refrattari per mantenere il corretto gioco del giunto (0,05–0,15 mm);
- Potenza: 135 kW
- Prezzo: 200000-2500000 € disponibile solo su richiesta al costruttore;
- Motivazione della scelta: garantisce uniformità di riscaldamento, cicli termici programmabili e raffreddamento controllato fino a 200–250 °C.



- Vasca a ultrasuoni Elmasonic P120H
 - Volume utile: 12,75 litri (300×240×200 mm) così da poter agire su più pezzi contemporaneamente;
 - Potenza ultrasonica: 550 W, frequenze selezionabili 37/80 kHz;

- Potenza di riscaldamento: 400 W, temperatura fino a 80 °C;
- Prezzo: 3600 €;
- Motivazione della scelta: permette la rimozione di oli e ossidi anche in cavità e fori piccoli, garantendo superfici pulite e ben bagnabili dal metallo d'apporto.



- Sistema di prova di tenuta all'olio Ateq F620
 - Metodo: riempimento del pezzo con olio minerale e pressurizzazione a 2–3 bar, seguita da ispezione visiva di eventuali perdite;
 - Attrezzatura necessaria: banco prova con serbatoio, pompa manuale/pneumatica, manometro e camera di raccolta;
 - Prezzo: 8000€;
 - Motivazione della scelta: metodo semplice, economico e adeguato al controllo funzionale richiesto.



6.3 Tempi e costi

Considerando il lotto da 500 pezzi con delle dimensioni di ingombro di circa 1200 mm² (abbiamo considerato un valore più alto così che ci sia un margine tra i pezzi) e l'area totale del forno di 360000 mm² si effettueranno nel forno 2 cicli da 250 pezzi (anche se ne potrebbero entrare fino a 300, per avere del margine e rendere i due cicli uguali), mentre per la vasca a ultrasuoni considerando l'area di 72000 mm² saranno necessari 9 cicli considerando dall'area 60 pezzi a ciclo.

Inoltre, non considereremo i costi relativi ai macchinari in quanto ipotizziamo siano già presenti nell'azienda e sarebbe poco realistico cercare l'ammortamento su un singolo lotto.

Stima dei tempi:

Fase	Tempo unitario (minuti)	N° volte	Totale (minuti)
Fasi in cui l'operatore si dedica attivamente alle prepulizie e all'applicazione del flussante	1.5	500	750
Inserimento e ritiro pezzi dalla vasca a ultrasuoni	0.2	500	100

Avvio e controllo vasca a ultrasuoni			2	9	18
Ciclo vasca a ultrasuoni			10	9	90
Inserimento e ritiro pezzi dal forno			0.2	500	100
Avvio e controllo forno			5	2	10
Avvio e controllo forno	5	2	10		
Ciclo forno			50	2	100
Controllo post brasatura			1.5	500	750
Totale					1918

Quindi considerando 100 minuti totali per il forno e 90 minuti totali per la vasca a ultrasuoni, trascurando il banco prova Ateq F620 che ha una potenza di 50 W e considerando 0.3 €/kWh per l'energia elettrica, si ha una spesa per l'energia elettrica di:

- $Costo_{energiaforno} = \frac{100}{60} h \cdot 135 kW \cdot 0.3 \text{ €/kWh} = 67.5 \text{ €}$
- $Costo_{energiaultrasuoni} = \frac{90}{60} h \cdot 0.95 kW \cdot 0.3 \text{ €/kWh} = 0.43 \text{ €}$

E considerando un costo dell'operatore di 20 €/h si avrà un costo di: (tutti gli altri tempi seguiti da un operatore attivamente)

- $Costo_{operatore} = \frac{1728}{60} h \cdot 20 \text{ €/h} = 576 \text{ €}$

Inoltre, tenendo conto del costo del materiale di apporto di 450 €/kg con un apporto di materiale di 0.75 g al pezzo si ha:

- $Costo_{materiale} = 0.75 \cdot 10^{-3} g/pezzo \cdot 500 pezzi \cdot 450 \text{ €/kg} = 168.75 \text{ €}$

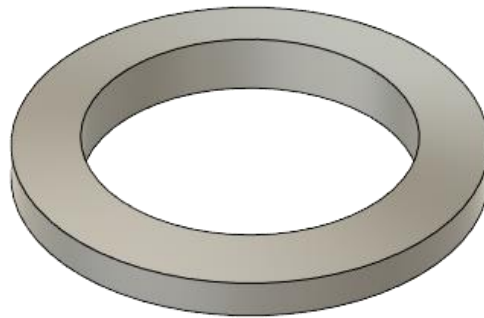
Ottenendo quindi un costo totale e un costo unitario di: (considerando un 2% in più del costo dovuto ai consumabili, ovvero: flussante, olio e acqua)

- $costo_{totale} = 812.68 \cdot 1.02 = 828.93 \text{ €}$
- $Costo_{unitario} = 1.66 \text{ €/pezzo}$



7 Stampa 3D

7.1 Scelta del materiale



Per il particolare 6 (Guarnizione) abbiamo pensato alla produzione tramite stampa 3D; questo è possibile senza perdere le caratteristiche dell'oggetto iniziale in feltro utilizzando un particolare materiale per la stampa 3D: il TPU (poliuretano termoplastico, Shore A 90-95) un materiale con proprietà elastiche e di smorzamento comparabili al feltro ma privo di porosità, che garantisce una migliore resistenza ad oli e fluidi; oppure il PAHT-CF (PA12 rinforzato) migliore del feltro in termini di tenuta all'olio, stabilità dimensionale e proprietà antifrizione ma con dei limiti rispetto all'elasticità che è migliore sia per il feltro che per il TPU.

Quindi per quanto riguarda il materiale più adatto è il PAHT-CF ma il suo svantaggio è il costo in quanto costa 100 €/kg contro i 30 €/kg del TPU; quindi, guardando anche a una spesa non eccessiva per la produzione scelgo il TPU che se anche non il migliore riesce comunque nella funzione di guarnizione mantenendo una spesa non eccessiva che nel caso del PAHT-CF sarebbe più che triplicata soltanto per il prezzo del materiale.

7.2 Scelta della stampante

Come stampante abbiamo selezionato la Bambu Lab P1S, dal costo di 499 €, adatta per le dimensioni richieste per questo tipo di lavorazioni.

Con le seguenti caratteristiche:

- Velocità di stampa fino a 500 mm/s;
- Dimensione di stampa di 16.8 litri:
256 × 256 × 256;
- Livellamento automatico tramite sensori LIDAR e rilevamento spessore layer, con camera chiusa per materiali tecnici;
- Con una potenza di 1100 W, utilizzati soprattutto nel picco iniziale per il preriscaldamento, che durante la stampa rimangono contenuti tra i 100 e i 115 W.



La stampante sopra descritta utilizza la tecnologia FDM (Fused Deposition Modeling) ovvero estrusione di filamento termoplastico; il materiale passa dallo stato solido allo stato liquido passando attraverso l'estrusore e si solidifica una volta depositato sul letto di stampa.

In particolare la tecnologia utilizzata dalla stampante scelta è un FDM avanzata in quanto è presente un estrusore con direct drive che garantisce una maggiore precisione di estrusione (soprattutto nei ritiri) e una stampa migliore con materiali flessibili come il TPU che utilizzeremo nel nostro caso, poiché il filo non deve percorrere un tubo lungo e non si piega (dato che il motore che spinge il filamento è montato direttamente sull'ugello invece che sul telaio della stampante); inoltre è considerata avanzata anche per la camera di stampa chiusa e ventilata che garantisce maggiore stabilità termica utile per materiali tecnici.

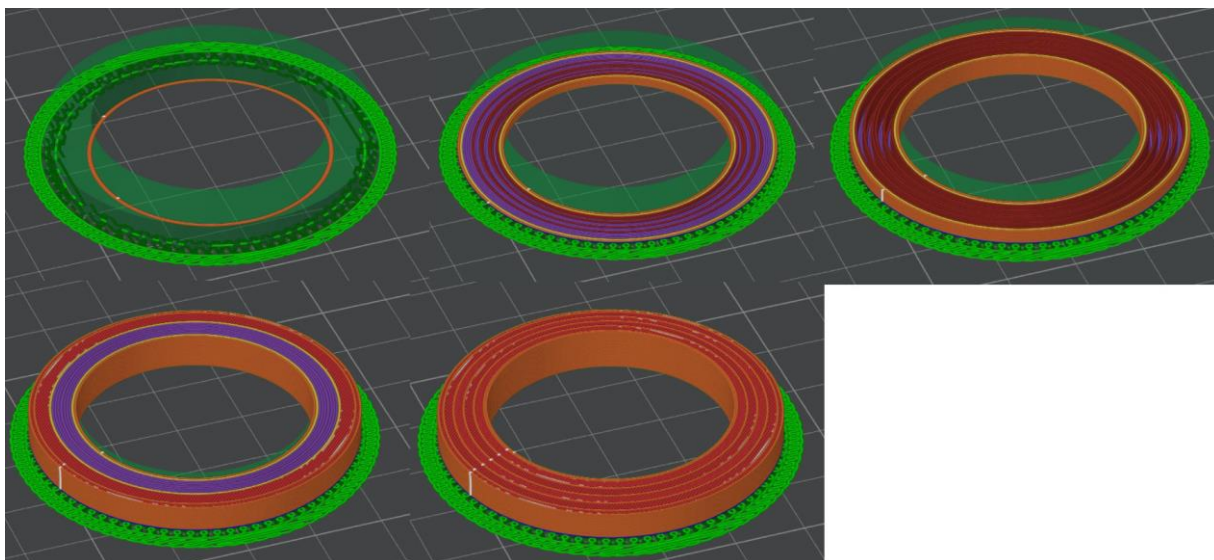
7.3 Simulazione di Stampa

Il modello 3D realizzato con Fusion e poi esportato in STL verrà quindi scomposto e in sezioni trasversali bidimensionali dette "slicing".

I layer corrispondono agli strati di materiale depositati uno sull'altro tramite il processo additivo per ottenere il pezzo finito; prendiamo come altezza del layer 0.2 mm che oltre a influire sull'estetica del pezzo finito e influisce soprattutto sulle caratteristiche meccaniche del componente, e per favorire l'elasticità necessaria per la nostra

guarnizione scegliamo un reticolo circolare con una percentuale di riempimento del 35% che anche se rallenta il processo di produzione rispetto al classico reticolo favorisce le caratteristiche meccaniche da noi volute.

Procediamo quindi con la simulazione di stampa 3D su un software esterno, Bambu studio, per verificarne l'effettiva efficacia del processo.



Tipo linea	Tempo	Percentuale	Filamento usato	Mostra
Parete interna	2m51s	9,5%	0,21 m 0,63 g	✓
Parete esterna	2m48s	9,3%	0,22 m 0,64 g	✓
Parete a sbalzo	2m0s	6,6%	0,04 m 0,12 g	✓
Riempimento	5m0s	16,6%	0,40 m 1,19 g	✓
Riempimento solido interno	3m8s	10,4%	0,25 m 0,74 g	✓
Superficie superiore	1m18s	4,4%	0,08 m 0,25 g	✓
Bridge	2m17s	7,6%	0,18 m 0,53 g	✓
Riempimento gap	12s	0,7%	0,01 m 0,02 g	✓
Supporto	1m15s	4,2%	0,05 m 0,15 g	✓
Interfaccia supporto	57s	3,2%	0,04 m 0,13 g	✓
Personalizzato	6m20s	21,0%	0,03 m 0,09 g	✓
Spostamento	1m44s	5,8%		
Retrazione				
De-retrazione				
Pulizia				
Giunzioni				✓
Stima totale				
Totale Filamento:	1,51 m	4,50 g		
Modello filamento:	1,41 m	4,22 g		
Costo:	0,09			
Tempo preparazione:	6m34s			
Tempo stampa del modello:	23m33s			
Tempo totale:	30m8s			

7.4 Tempi e costi

Tempi attivi:

- Tempo di preparazione: 6 minuti e 34 secondi;
- Tempo di stampa: 23 minuti e 33 secondi;

Tempi passivi:

- Ricarica filamento: 1 minuto;
- Rimozione e pulizia: 1 minuto;

Ottenendo quindi un tempo totale per una produzione di: 32 minuti e 8 secondi.

Supponendo che la stampante 3D sia già presente nell'azienda vado a calcolare il prezzo totale e unitario, considerando:

- Materiale: $1.51\text{ m} = 4.50\text{ g} = 0.135\text{ €}$ (per un prezzo di 30 €/kg)
- Energia: $0.115\text{ kWh} \cdot 0.2\text{ €/kWh} = 0.023\text{ €/h}$
- Manodopera: supponendo che l'operatore lavori attivamente circa 5 minuti alla preparazione della stampa per poi fare altro e stimando uno stipendio di 20 €/h otteniamo un costo di: $0.083\text{ h} \cdot 500\text{ pezzi} \cdot 20\text{ €/h} = 833.3\text{ €}$

Otteniamo quindi un costo di:

$$\text{costo}_{\text{totale}} = 0.135\text{ €} \cdot 500\text{ pezzi} + 0.023\text{ €/h} \cdot 0.536\text{ h} \cdot 500\text{ pezzi} + 833.3\text{ €} = 906.96\text{ €}$$

$$\text{costo}_{\text{unitario}} = 906.96\text{ €} / 500\text{ pezzi} = 1.81\text{ €/pezzo}$$

Andando a risparmiare rispetto all'acquisto sul mercato delle guarnizioni in feltro che per le dimensioni richieste hanno un prezzo tra i 2 e i 4 €/pezzo.



8 Bibliografia

- M. Santochi, F. Giusti – Tecnologia Meccanica e studi di fabbricazione (seconda edizione);
- S. Barone, A. Paoli, A. Razionale, M. Beretta – Disegno Tecnico Industriale;
- S. Kalpakjian, R. Schmid – Tecnologia Meccanica (seconda edizione italiana);

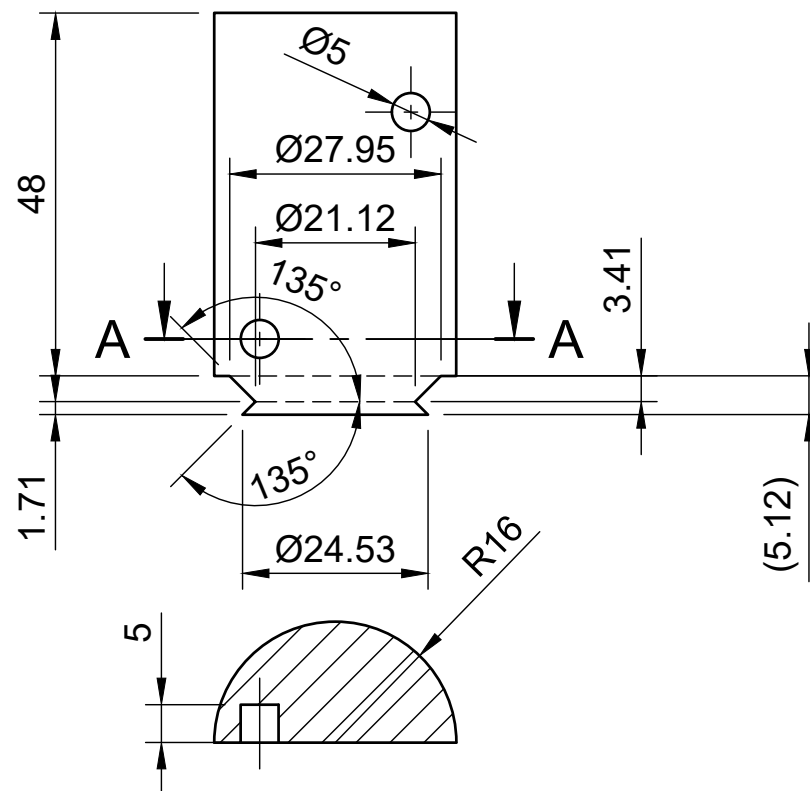
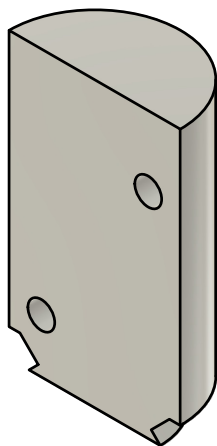
9 Programmi

- Fusion;
- Inspire Cast 2025.1;
- Excel;
- Bambu Studio;

10 Allegati

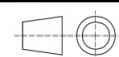
- Semi-modello materozza superiore
- Semi-modello materozza inferiore
- Canale di colata
- Semi-modello inferiore
- Semi-modello superiore
- Anima
- Cassa d'anima inferiore
- Cassa d'anima superiore
- Fogli di ciclo
- Fogli di fase
- Matrice
- Punzone
- Coppa centrifuga (Part. 2)
- Tubo presa olio (Part. 7)
- Guarnizione (Part. 6)
- Coperchio (Part. 5)
- Corpo (Part. 9)
- Distanziale (Part. 1)





A-A (1:1)

Università di Pisa- Scuola di Ingegneria



scala:
1:1

A.A: 2024/2025

Data: 01/09/2025

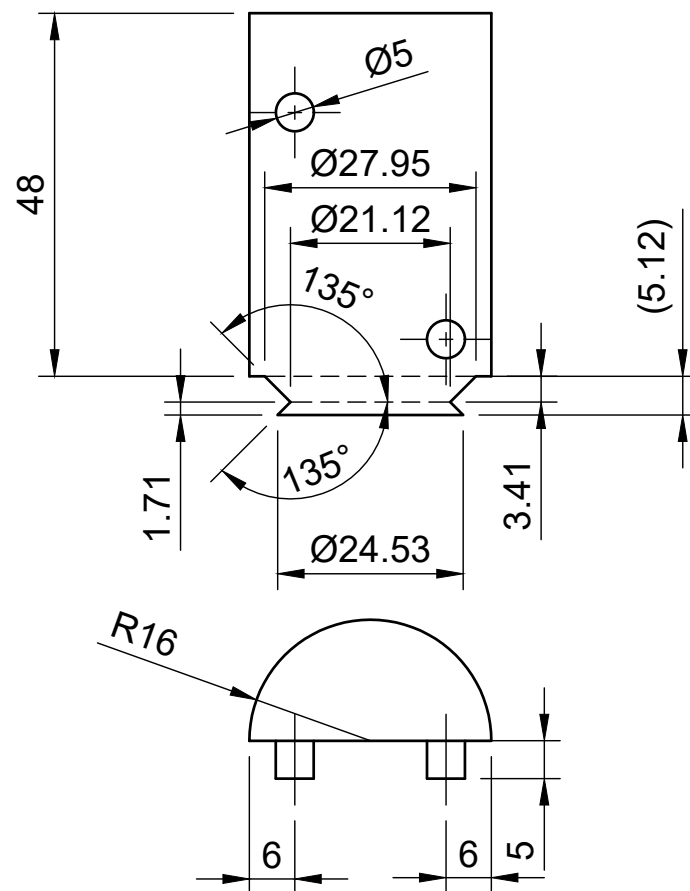
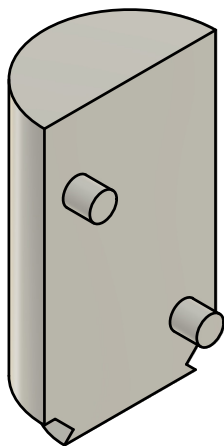
Carli Andrea
Ricci Filippo

Denominazione: Materozza superiore

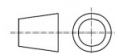
Complessivo: Supporto verticale

Tolleranze generali: ISO2768-mk

Materiale:
EN-GJL-250



Università di Pisa- Scuola di Ingegneria



scala:
1:1

A.A: 2024/2025

Data: 01/09/2025

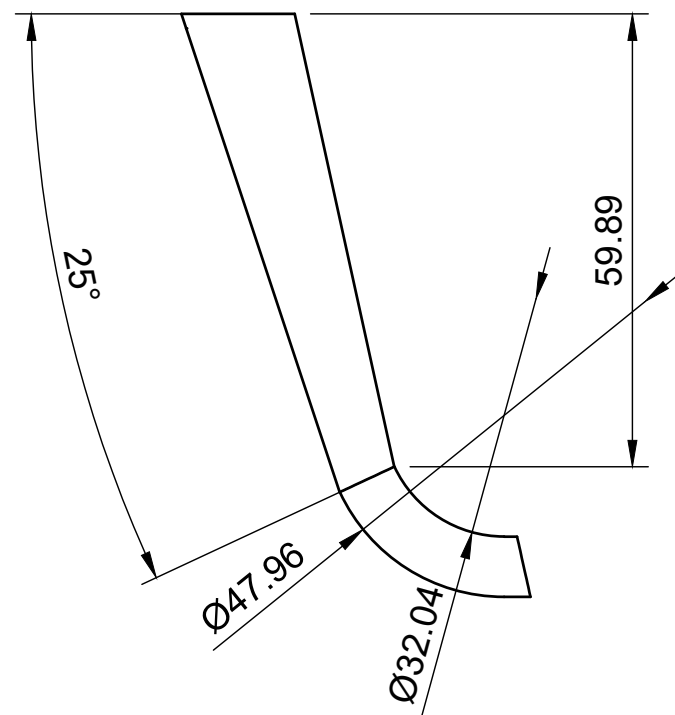
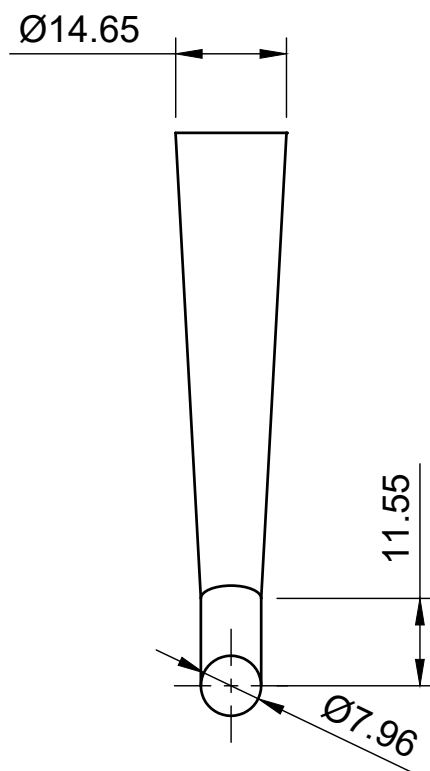
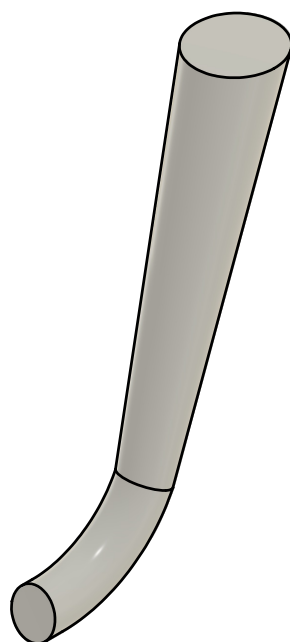
Carli Andrea
Ricci Filippo

Denominazione: Materozza Inferiore

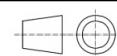
Complessivo: Supporto verticale

Tolleranze generali: ISO2768-mk

Materiale:
EN-GJL-250



Università di Pisa- Scuola di Ingegneria



scala:
1:1

A.A: 2024/2025

Data: 01/09/2025

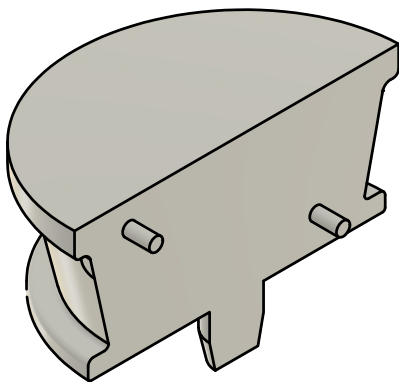
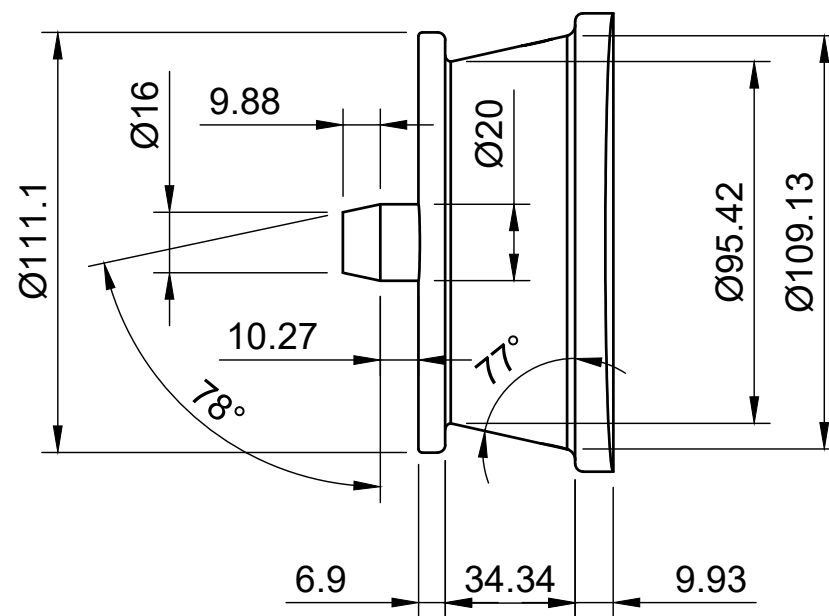
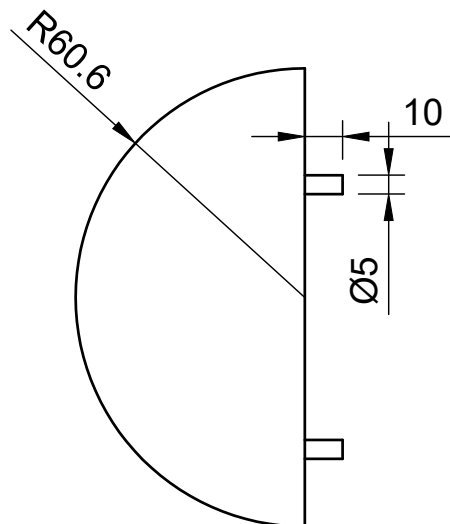
Carli Andrea
Ricci Filippo

Denominazione: Canale di Colata

Complessivo: Supporto verticale

Tolleranze generali: ISO2768-mk

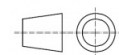
Materiale:
EN-GJL-250



Raccordi non quotati R2

Superfici normali al piano di divisione inclinate di 2° per angolo di sformo

Università di Pisa- Scuola di Ingegneria



scala:
1:2

A.A: 2024/2025

Data: 01/09/2025

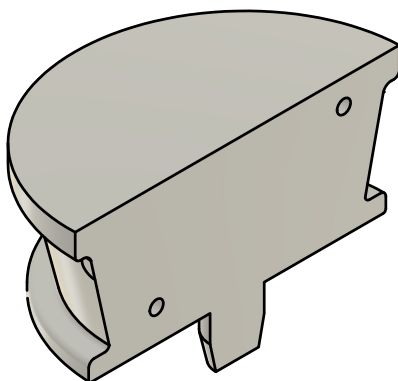
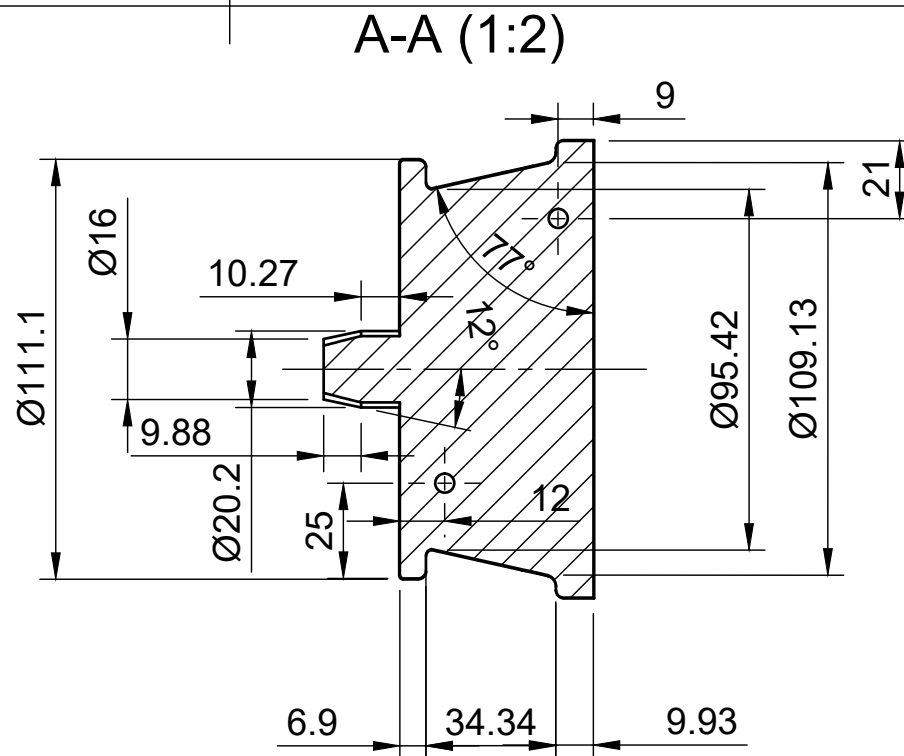
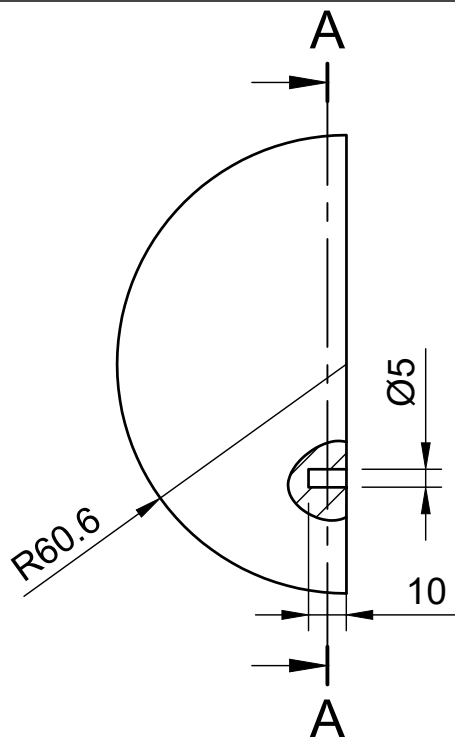
Carli Andrea
Ricci Filippo

Denominazione: Semi modello inferiore

Complessivo: Supporto verticale

Tolleranze generali: ISO2768-mk

Materiale: Legno



Raccordi non quotati R2

Superfici normali al piano di divisione inclinate di 2° per angolo di sforno

Università di Pisa- Scuola di Ingegneria



scala:
1:2

A.A: 2024/2025

Data: 01/09/2025

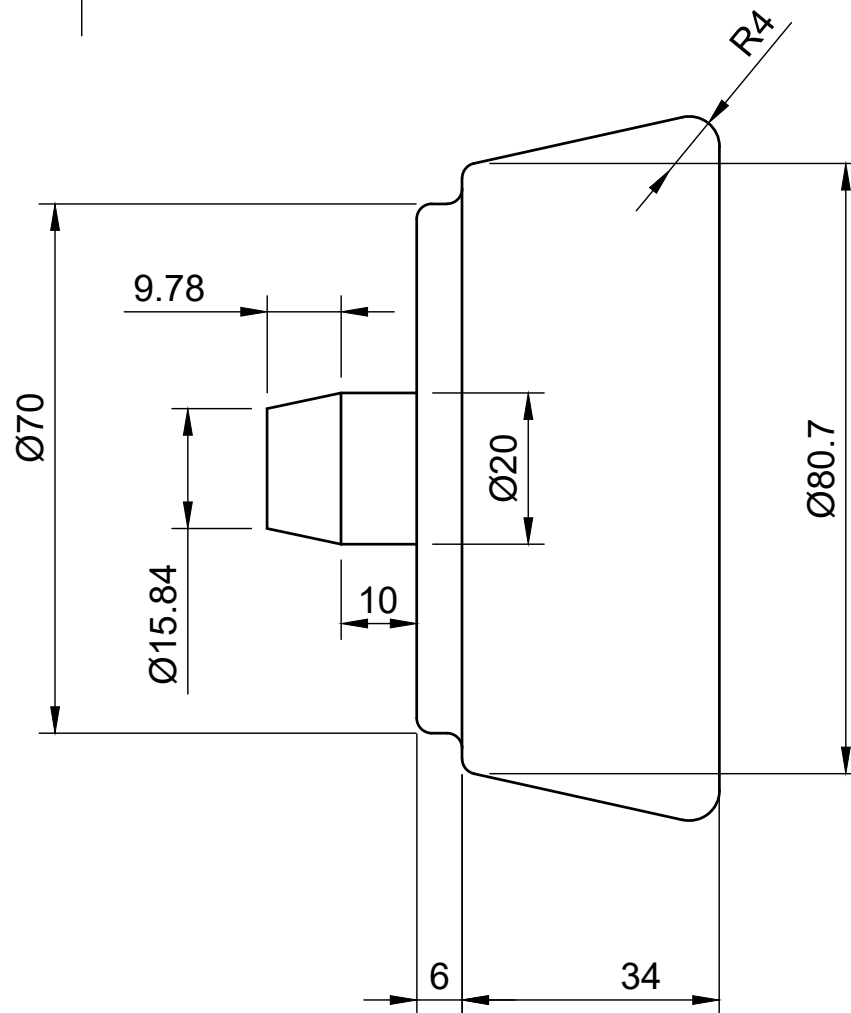
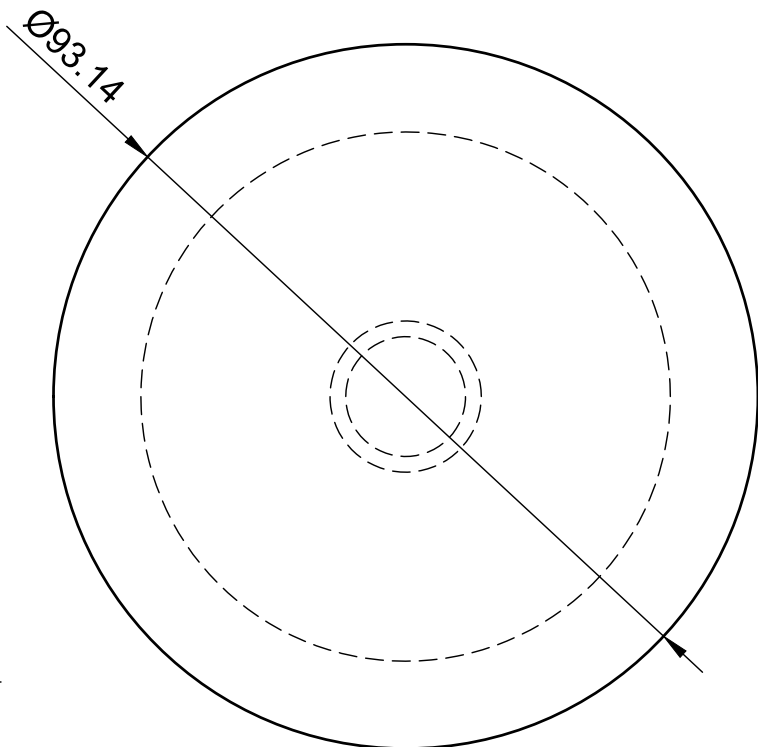
Carli Andrea
Ricci Filippo

Denominazione: Semi-modello superiore

Complessivo: Supporto verticale

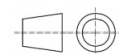
Tolleranze generali: ISO2768-mk

Materiale: Legno



Raggi non quotati R2

Università di Pisa- Scuola di Ingegneria



scala:
1:2

A.A: 2024/2025

Data: 01/09/2025

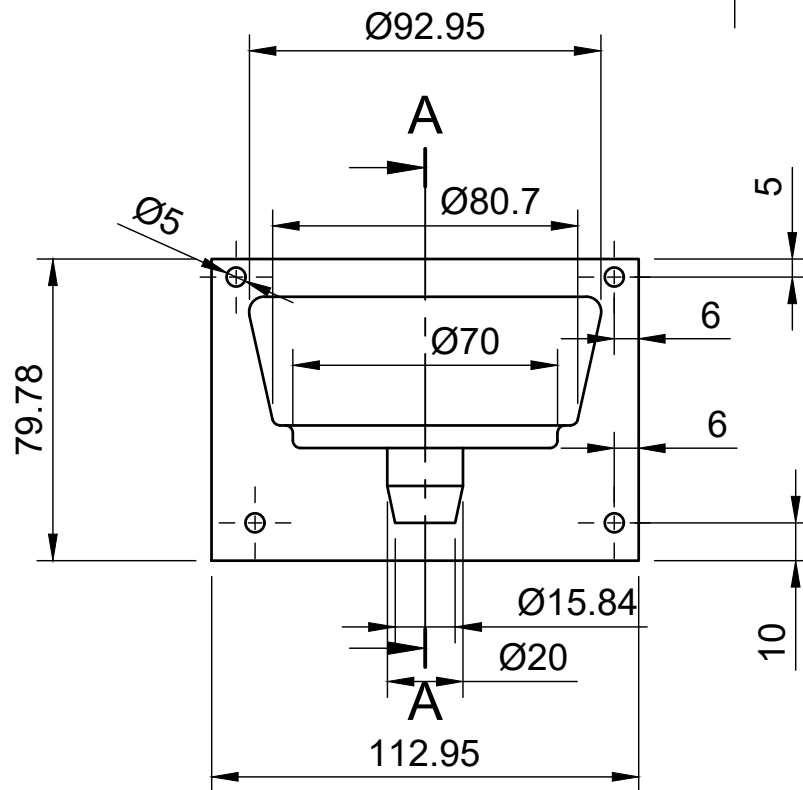
Carli Andrea
Ricci Filippo

Denominazione: Anima

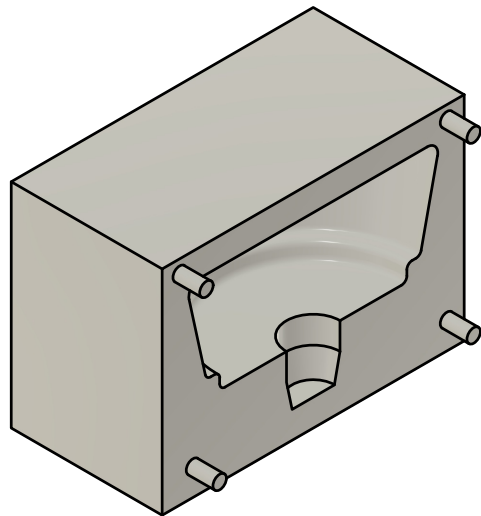
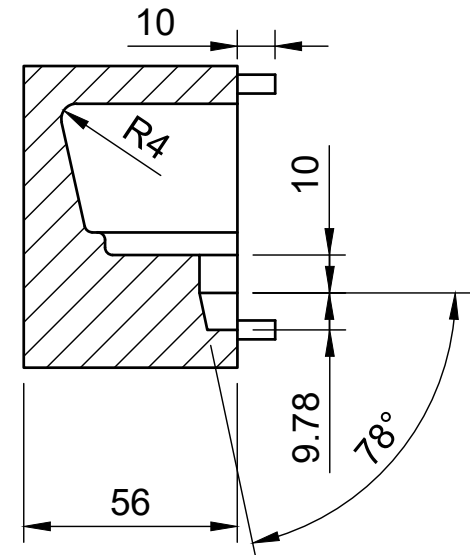
Complessivo: Supporto verticale

Tolleranze generali: ISO2768-mk

Materiale: Sabbia

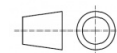


A-A (1:2)



Raccordi non quotati R2

Università di Pisa- Scuola di Ingegneria



scala:
1:2

A.A: 2024/2025

Data: 01/09/2025

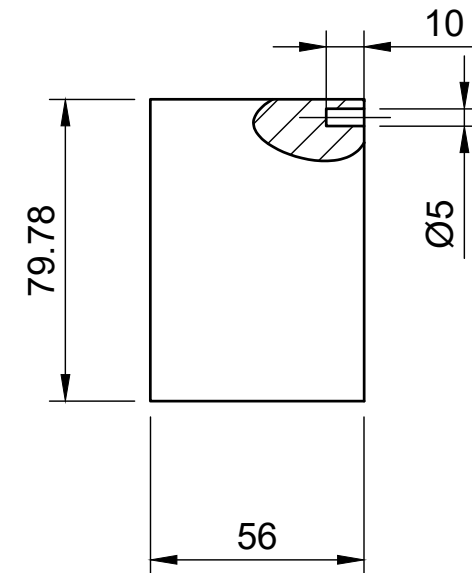
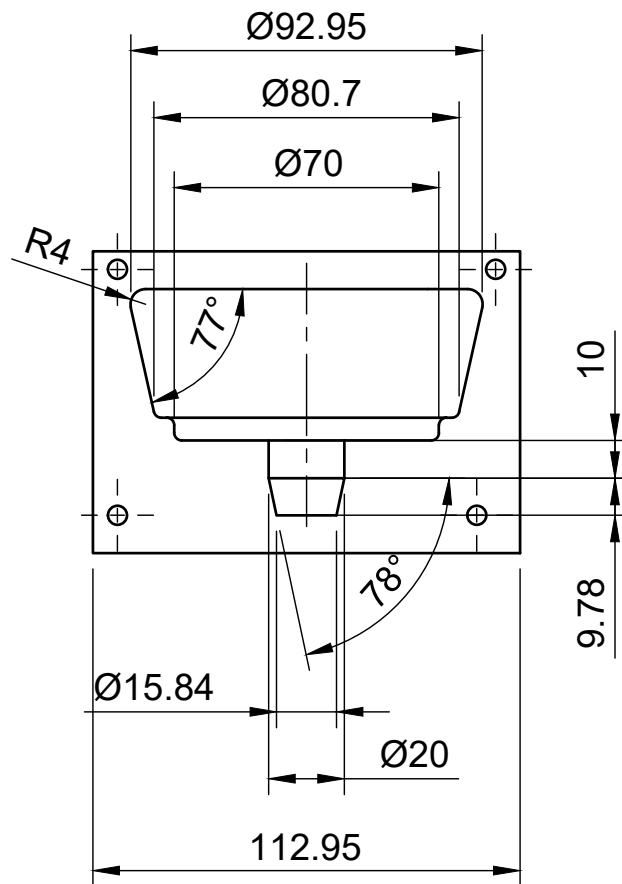
Carli Andrea
Ricci Filippo

Denominazione: Cassa d'anima inferiore

Complessivo: Supporto verticale

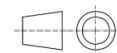
Tolleranze generali: ISO2768-mk

Materiale: Legno



Raccordi non quotati R2

Università di Pisa- Scuola di Ingegneria



scala:
1:2

A.A: 2024/2025

Data: 01/09/2025

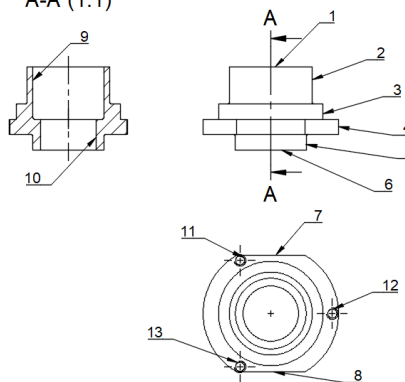
Carli Andrea
Ricci Filippo

Denominazione: Cassa d'anima superiore

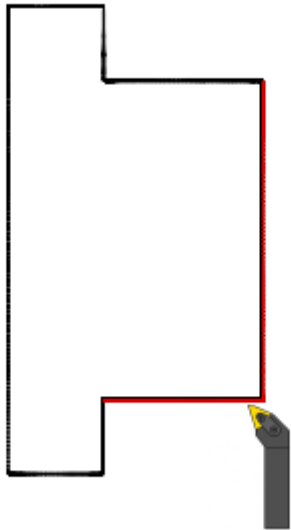
Complessivo: Supporto verticale

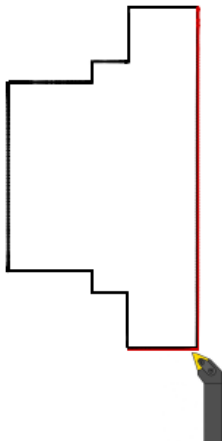
Tolleranze generali: ISO2768-mk

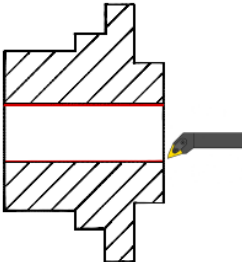
Materiale: Legno

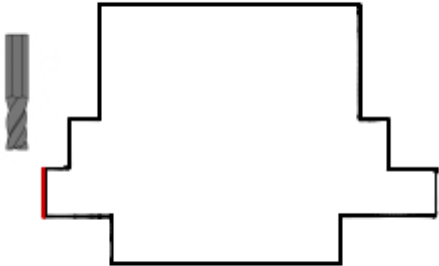
Università di Pisa Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale Corso di Laurea in Ingegneria Dell’Energia		Ciclo di lavorazione del particolare: Distanziale				Foglio n° 1 di 2	
Elemento di partenza: Barra tonda, grezza trafilata		Materiale: Acciaio C40		Dimensioni di partenza: D = Ø50 mm, L = 1000 mm			
Designazione superfici	Fase	Operazione	Tipo di macchina	Attrezzatura	Superficie di bloccaggio	Note	
A-A (1:1) 	10a	Troncatura	Tornio parallelo	Mandrino autocentrante a tre griffe, contropunta	Superfici 4, 5 provvisorie		
		Sfacciatura superficie 1					
		Cilindratura (sgrossatura) superficie 3, per la lunghezza delle superfici 2,3					
		Cilindratura (sgrossatura) superficie 2					
		Cilindratura (finitura) superficie 3					
		Cilindratura (finitura) superficie 2					
	10b	Sfacciatura superficie 6		Mandrino autocentrante a tre griffe, utensile di centratura (punta da centro)	Superficie 2		
		Cilindratura (sgrossatura) superficie 4, per la lunghezza delle superfici 4,5					
		Cilindratura (sgrossatura) superficie 5					
		Cilindratura (finitura) superficie 4					
		Cilindratura (finitura) superficie 5					
		Centratura				Cambio utensile: punta da centratura	
	10c	Foratura		Mandrino autocentrante a tre griffe, contropunta con mandrino porta punta	Superficie 4	Cambio utensile: contropunta con mandrino porta punta su cui viene montata la punta Ø10 mm	
		Cilindratura interna (sgrossatura) superficie 10, lunghezza 9,10		Mandrino autocentrante a tre griffe			

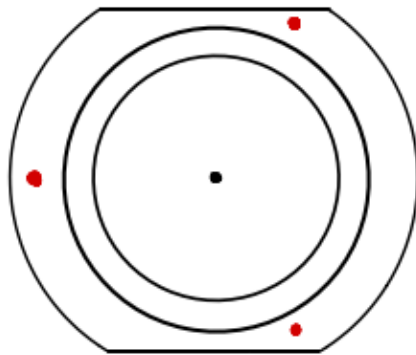
Università di Pisa Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale Corso di Laurea in Ingegneria Dell'Energia			Ciclo di lavorazione del particolare: Distanziale				Foglio n° 2 di 2
Elemento di partenza: Barra tonda, grezza trafilata			Materiale: Acciaio C40		Dimensioni di partenza: D = Ø50 mm, L = 1000 mm		
Designazione superfici	Fase	Operazione	Tipo di macchina	Attrezzatura	Superficie di bloccaggio	Note	
		Cilindratura interna (sgrossatura) superficie 9					
		Cilindratura interna (finitura) superficie 10					
		Cilindratura interna (finitura) superficie 9					
	20a	Esecuzione superficie 7	Fresatrice universale	Mandrino autocentrante, morsa	Superficie 2		
		Esecuzione superficie 8					
		Tracciatura fori					
		foratura				Marcatura preliminare dei fori	

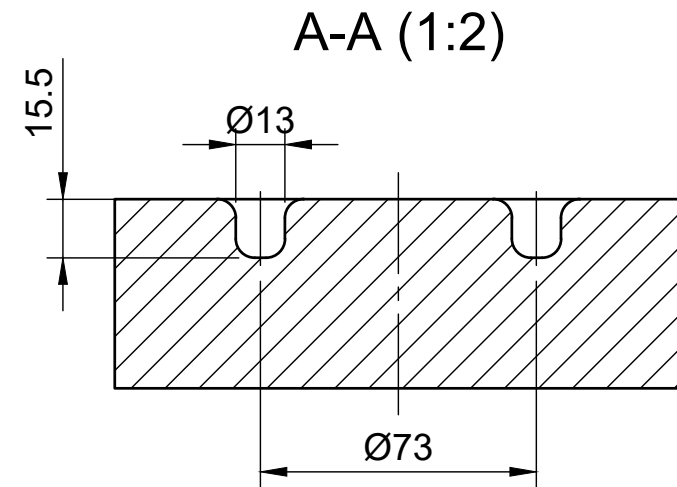
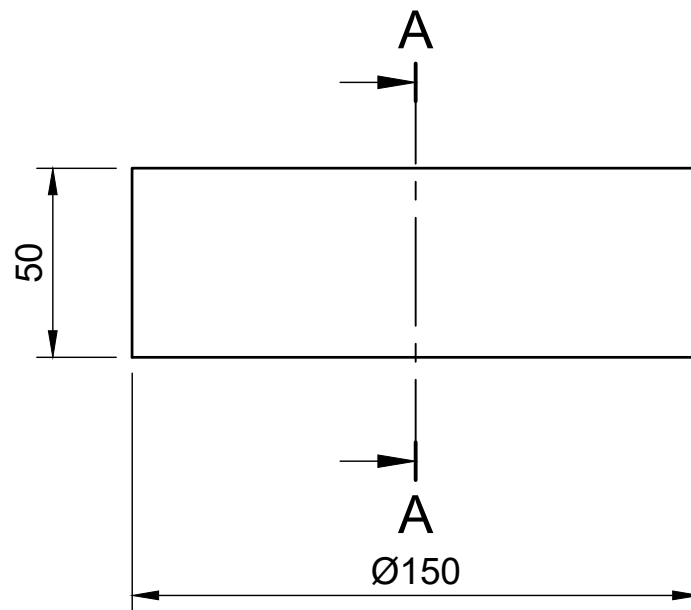
Università di Pisa Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale Corso di Laurea in Ingegneria Dell'Energia				Fase di lavorazione n° 10: tornitura del particolare: Distanziale						Foglio n° 1 di 5
S. Fase	Schizzo di lavorazione	N°	Operazione	Utensile	Attrezzatura	Parametri di taglio				
				Inserto		Pot. Mac. (kW)	Pot. Tagl. (kW)	Velocità di taglio (m/min)	n (rpm)	Note
						rendimento	N° passate	Profondità di passata (mm)	Avanzamento (mm/giro)	
a		1	Taglio di barra diametro Ø50 mm, lunghezza 1000 mm	Walter Cut GT	Mandrino autocentrante a tre griffe, contropunta	0.33	0.28	60	764	
				GX16-3F020N-WL		0.85	1	3	0.08	
		2	Sfacciatura superficie 1	SDJCR1010F07		0.15	0.13	60	764	
				VBMT110304-EF		0.85	1	1	0.20	
		3	Cilindratura (sgrossatura) superficie 3 da diametro 50 mm a 36 mm, lasciando 1 mm (sul raggio) per la finitura	SCLCR1010H06		1.05	0.89	60	444	Sgrossatura sulla lunghezza delle superfici 2, 3
				CCMT060204-MP		0.85	3	3	0.25	
		4	Cilindratura (sgrossatura) superficie 2 da 36 mm a 29 mm, lasciando 1 mm (sul raggio) per la finitura	SCLCR1010H06		1.05	0.89	60	588	
				CCMT060204-MP		0.85	2	3	0.25	
		5	Cilindratura (finitura) superficie 3 da 36mm a 34 mm	SDJCR1010F07		0.08	0.06	90	819	
				VBMT110304-EF		0.85	2	0.5	0.10	
		6	Cilindratura (finitura) superficie 2 da 29 mm a 27 mm	SDJCR1010F07		0.08	0.06	90	1023	
				VBMT110304-EF		0.85	2	0.5	0.10	

Università di Pisa Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale Corso di Laurea in Ingegneria Dell'Energia			Fase di lavorazione n. 10: tornitura del particolare: Distanziale							Foglio n° 2 di 5
S. Fase	Schizzo di lavorazione	N°	Operazione	Utensile	Attrezzatura	Parametri di taglio				
				Inserto		Pot. Mac. (kW)	Pot. Tagl. (kW)	Velocità di taglio (m/min)	n (rpm)	Note
						rendimento	N° passate	Profondità di passata (mm)	Avanzamento (mm/giro)	
b		7	Sfacciatura superficie 6	Walter Cut GT	Mandrino autocentrante a tre griffe, contropunta	0.33	0.28	60	764	
				GX16-3F020N-WL		0.85	1	3	0.08	
		8	Cilindratura (sgrossatura) superficie 4 da 50 mm a 40 mm, lasciando 1 mm sul raggio per la finitura	SCLCR1010H06		1.05	0.89	60	424	Sgrossatur a sulla lunghezza delle superfici 4, 5
				CCMT060204-MP		0.85	2	3	0.25	
		9	Cilindratura (sgrossatura) superficie 5 da diametro 40 mm a 25 mm, lasciando 1 mm (sul raggio) per la finitura	SCLCR1010H06		1.05	0.89	60	588	
				CCMT060204-MP		0.85	3	3	0.25	
		10	Cilindratura (finitura) superficie 4 da 40 mm a 38 mm	SDJCR1010F07		0.08	0.06	90	735	
				VBMT110304-EF		0.85	2	0.5	0.10	
		11	Cilindratura (finitura) superficie 5 da 25 mm a 23 mm	SDJCR1010F07		0.08	0.06	90	588	
				VBMT110304-EF		0.85	2	0.5	0.10	
		12	Centratura	Punta da centro				15		
							1	2.0	manuale	
		13	Foratura (preforo)	Dormer A002 Ø10 mm HSS-TiN		0.05	0.04	60	1910	
						0.85	1	0.5	0.10	

Università di Pisa Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale Corso di Laurea in Ingegneria Dell'Energia			Fase di lavorazione n° 10: tornitura del particolare: Distanziale							Foglio n° 3 di 5
S. Fase	Schizzo di lavorazione	N°	Operazione	Utensile	Attrezzatura	Parametri di taglio				
				Inserto		Pot. Mac. (kW)	Pot. Tagl. (kW)	Velocità di taglio (m/min)	n (rpm)	Note
						rendimento	N° passate	Profondità di passata (mm)	Avanzamento (mm/giro)	
c		1	Cilindratura interna (Sgrossatura) superficie 10 da 10 mm a 16 mm, lasciando 1 mm sul raggio per la finitura	SCLCR1010H06	Mandrino autocentrante a tre griffe, contropunta	0.71	0.61	50	1224	Sgrossatura sulla lunghezza delle superfici 9, 10
				CCMT060204-MP		0.85	1	3	0.25	
		2	Cilindratura interna (Sgrossatura) superficie 9 da 10 mm a 21 mm, lasciando 1 mm sul raggio per la finitura	SCLCR1010H06		0.71	0.61	50	860	
				CCMT060204-MP		0.85	2	3	0.25	
		3	Cilindratura (finitura) superficie 9 da 16 mm a 18 mm	SDJCR1010F07		0.06	0.05	100	1447	
				VBMT110304-EF		0.85	3	0.4	0.08	
		4	Cilindratura (finitura) superficie 10 da 21 mm a 23 mm	SDJCR1010F07		0.06	0.05	100	1872	
				VBMT110304-EF		0.85	3	0.4	0.08	

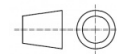
Università di Pisa Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale Corso di Laurea in Ingegneria Dell'Energia				Fase di lavorazione n° 20: fresatura del particolare: Distanziale						Foglio n° 4 di 5
S. Fase	Schizzo di lavorazione	N°	Operazione	Utensile	Attrezzatura	Parametri di taglio				
				Inserto		Pot. Mac. (kW)	Pot. Tagl. (kW)	Velocità di taglio (m/min)	n (rpm)	Note
						rendimento	N° passate	Profondità di passata (mm)	Avanzamento (mm/giro)	
a		1	Esecuzione superficie 7, sgrossatura	Walter F4041R.C16.040.Z04.06	Mandrino autocentrante, morsa	0.35	0.28	16	127	
				SN060408R-MRWSP45S		0.8	1	2	0.2	
		2	Esecuzione superficie 8, sgrossatura	Walter F4041R.C16.040.Z04.06		0.35	0.28	16	127	
				SN060408R-MRWSP45S		0.8	1	2	0.2	
		3	Esecuzione superficie 7, finitura	Walter F4041R.C16.040.Z04.06		0.08	0.07	20	159	
				SN060408R-MRWSP45S		0.8	1	0.5	0.1	
		4	Esecuzione superficie 8, finitura	Walter F4041R.C16.040.Z04.06		0.08	0.07	20	159	
				SN060408R-MRWSP45S		0.8	1	0.5	0.1	

Università di Pisa Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale Corso di Laurea in Ingegneria Dell’Energia				Fase di lavorazione n° 20: fresatura del particolare: Distanziale						Foglio n° 5 di 5
S. Fase	Schizzo di lavorazione	N°	Operazione	Utensile	Attrezzatura	Parametri di taglio				
				Inserto		Pot. Mac. (kW)	Pot. Tagl. (kW)	Velocità di taglio (m/min)	n (rpm)	Note
						rendimento	N° passate	Profondità di passata (mm)	Avanzamento (mm/giro)	
a		5	Tracciatura fori	Haas Automatic Centre Punch						
							1		manuale	
		6	Esecuzione fori	Guhring 5511 HSS-E DIN 338 Ø2.5 mm		0.07	0.05	20	2547	
						0.8	1	0.5	0.08	
		7	Maschiatura fori	ER32 collet ISO40		0.06	0.04	12	1273	
				Phantom UNI HSS-E TiN M3		0.8	3	0.5	0.5	



Raccordi non quotati R5

Università di Pisa- Scuola di Ingegneria



scala:
1:2

A.A: 2024/2025

Data: 01/09/2025

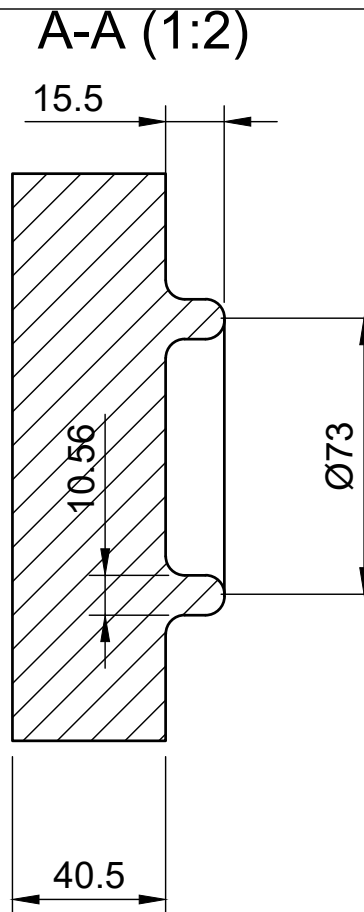
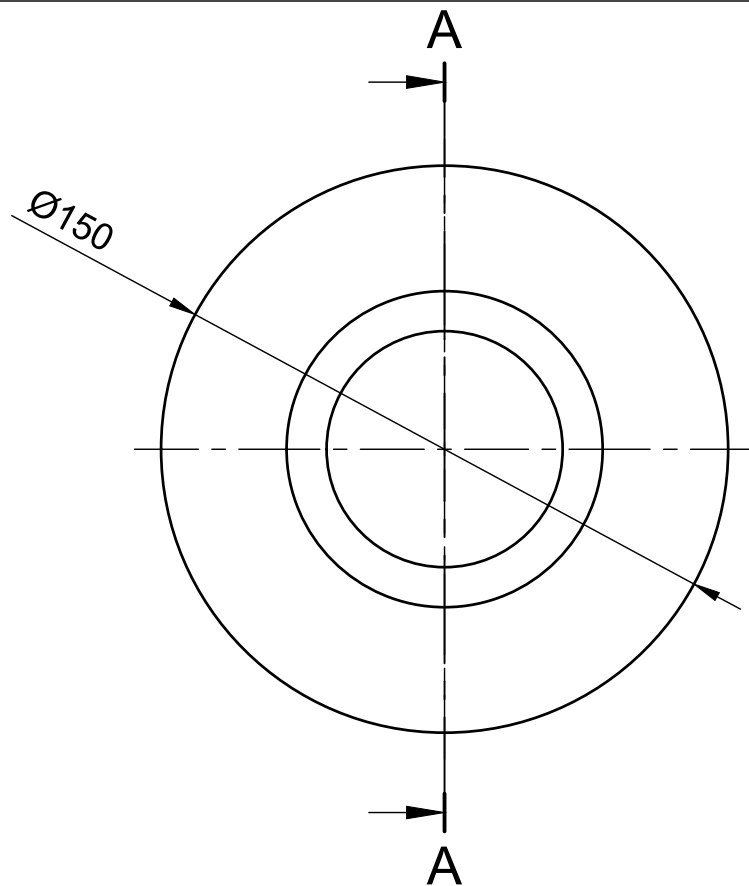
Carli Andrea
Ricci Filippo

Denominazione: Matrice

Complessivo: Supporto verticale

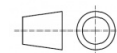
Tolleranze generali: ISO2768-mk

Materiale: ASTM P20



Raccordi non quotati R5

Università di Pisa- Scuola di Ingegneria



scala:
1:2

A.A: 2024/2025

Data: 01/09/2025

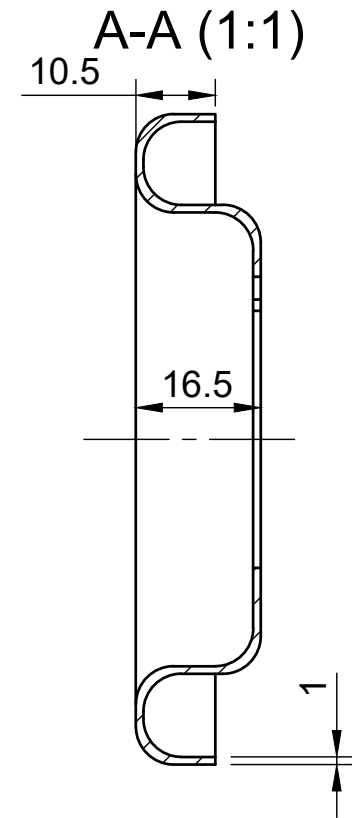
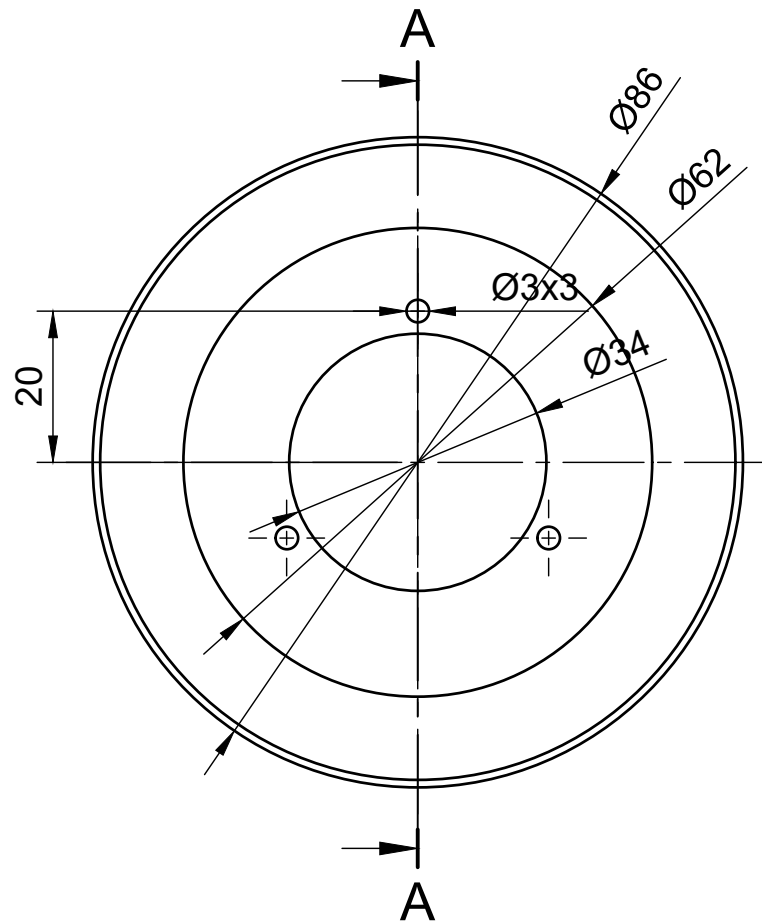
Carli Andrea
Ricci Filippo

Denominazione: Punzone

Complessivo: Supporto verticale

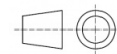
Tolleranze generali: ISO2768-mk

Materiale: ASTM P20



Raggi non quotati R5

Università di Pisa- Scuola di Ingegneria



scala:
1:1

A.A: 2024/2025

Data: 01/09/2025

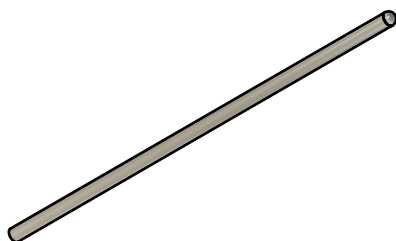
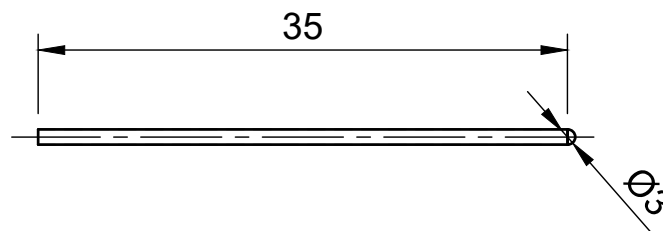
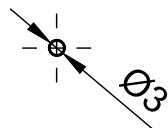
Carli Andrea
Ricci Filippo

Denominazione: Coppa centrifuga

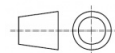
Complessivo: Supporto verticale

Tolleranze generali: ISO2768-mk

Materiale: DC01



Università di Pisa- Scuola di Ingegneria



scala:
2:1

A.A: 2024/2025

Data: 01/09/2025

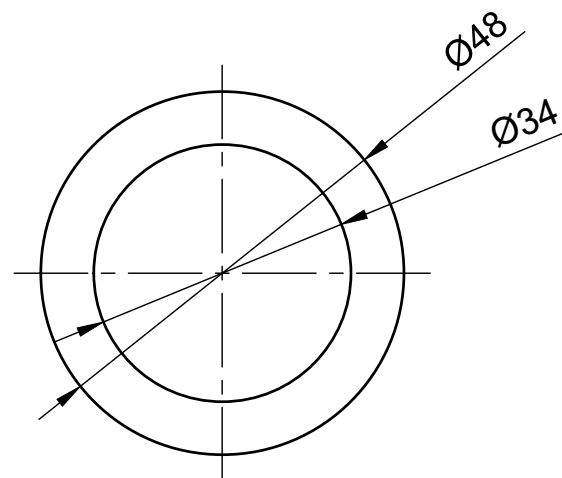
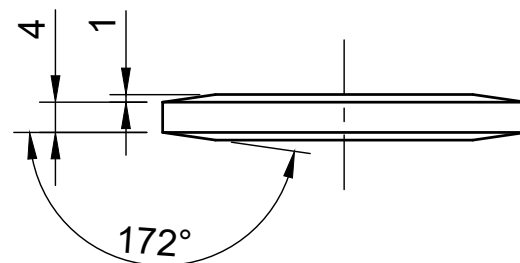
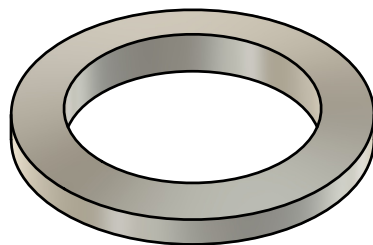
Carli Andrea
Ricci Filippo

Denominazione: Tubo presa olio

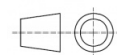
Complessivo: Supporto verticale

Tolleranze generali: ISO2768-mk

Materiale: Fe420



Università di Pisa- Scuola di Ingegneria



scala:
1:1

A.A: 2024/2025

Data: 01/09/2025

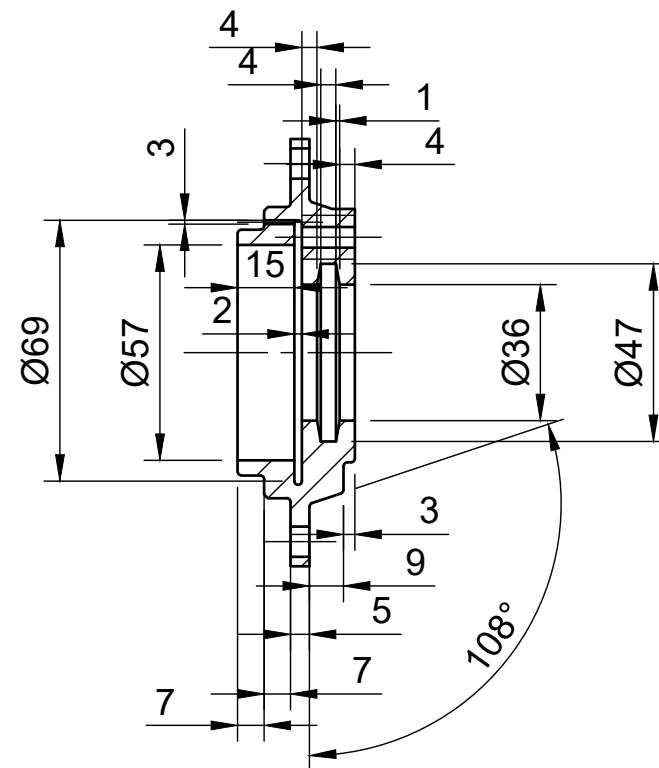
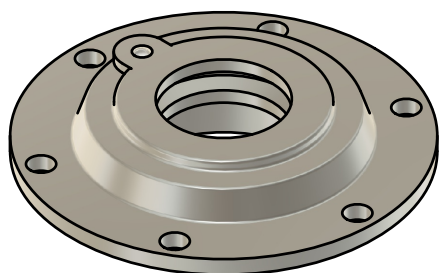
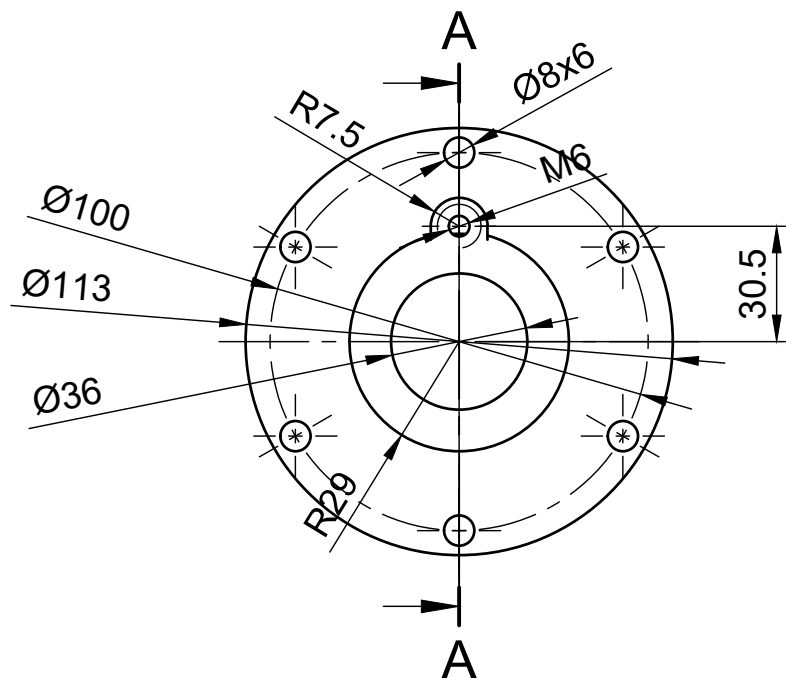
Carli Andrea
Ricci Filippo

Denominazione: Guarnizione

Complessivo: Supporto verticale

Tolleranze generali: ISO2768-mk

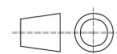
Materiale: TPU



A-A (1:2)

Raccordi non quotati R2
Smussi non quotati 2x45°

Università di Pisa- Scuola di Ingegneria



scala:
1:2

A.A: 2024/2025
Data: 01/09/2025

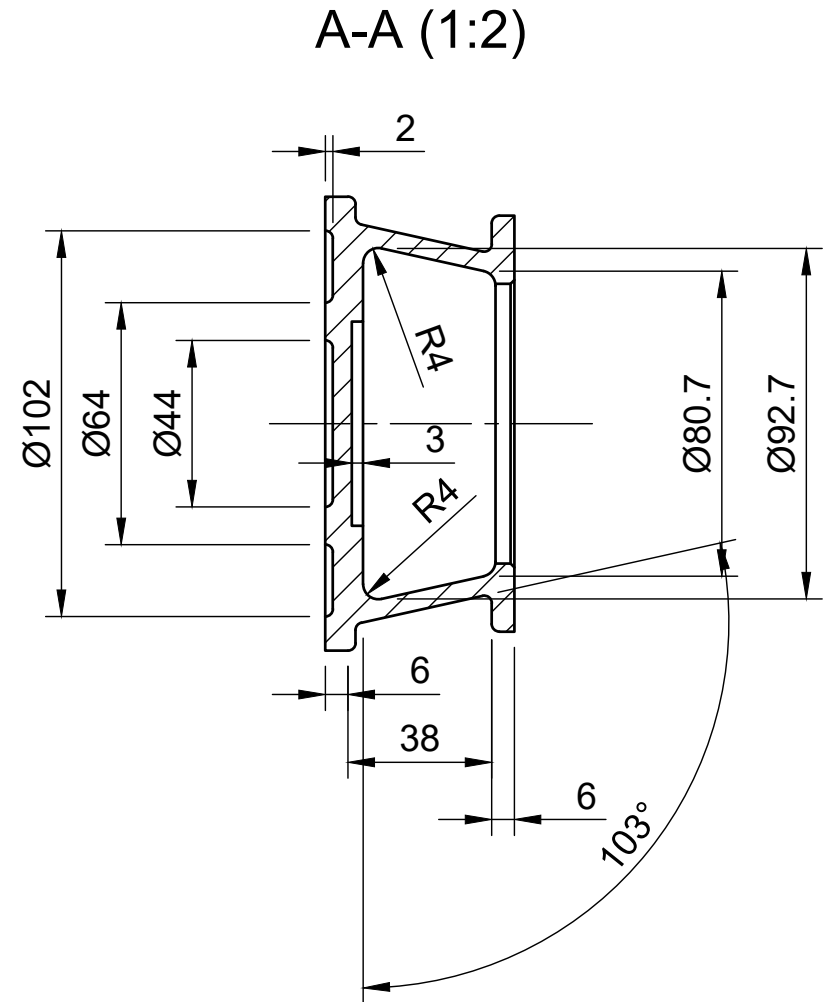
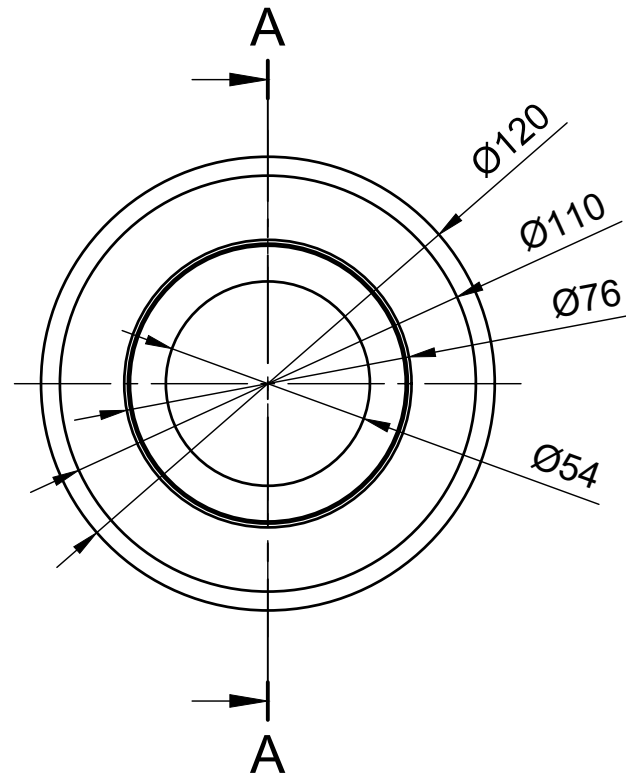
Carli Andrea
Ricci Filippo

Denominazione: Coperchio

Complessivo: Supporto verticale

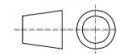
Tolleranze generali: ISO2768-mk

Materiale: G25



Raccordi non quotati R2
Smussi non quotati $2 \times 45^\circ$

Università di Pisa- Scuola di Ingegneria



scala:
1:2

A.A: 2024/2025
Data: 01/09/2025

Carli Andrea
Ricci Filippo

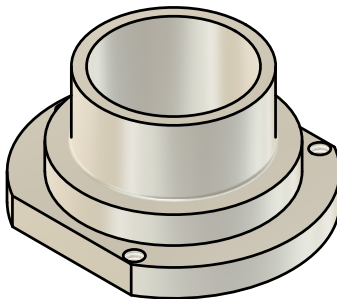
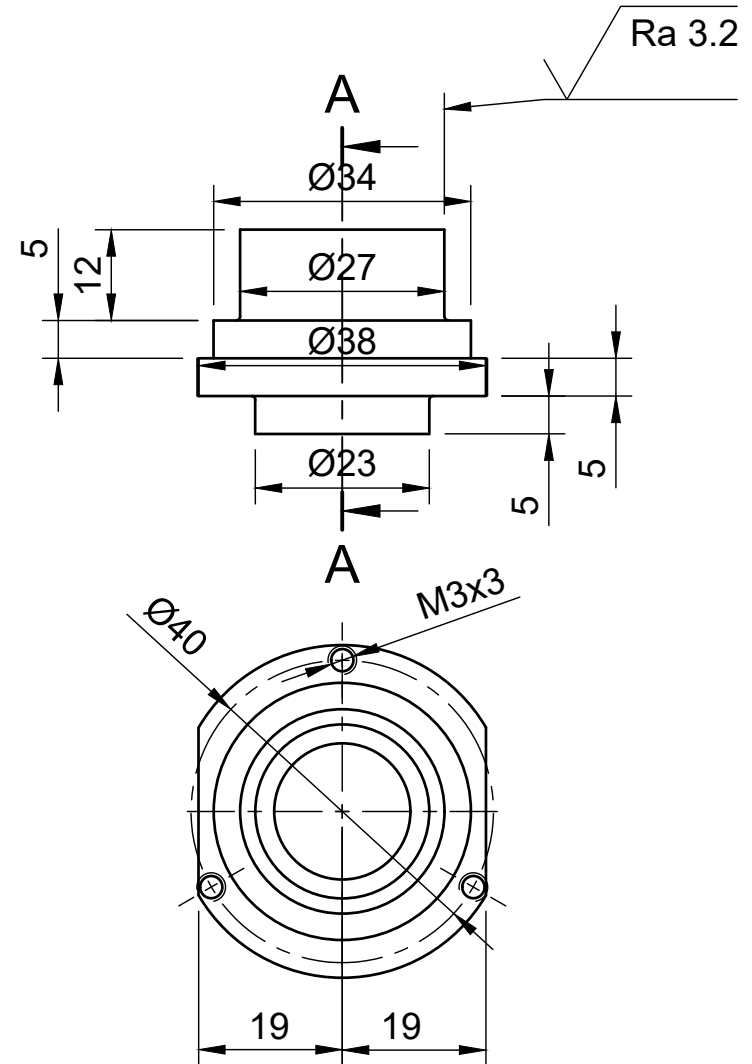
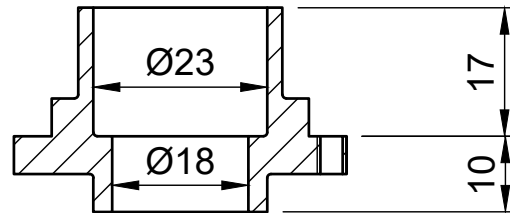
Denominazione: Corpo

Complessivo: Supporto verticale

Tolleranze generali: ISO2768-mk

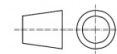
Materiale:
EN-GJL-250

A-A (1:1)



Raccordi non quotati R2

Università di Pisa- Scuola di Ingegneria



scala:
1:1

A.A: 2024/2025

Data: 01/09/2025

Carli Andrea
Ricci Filippo

Denominazione: Distanziale

Complessivo: Supporto verticale

Tolleranze generali: ISO2768-mk

Materiale: C40