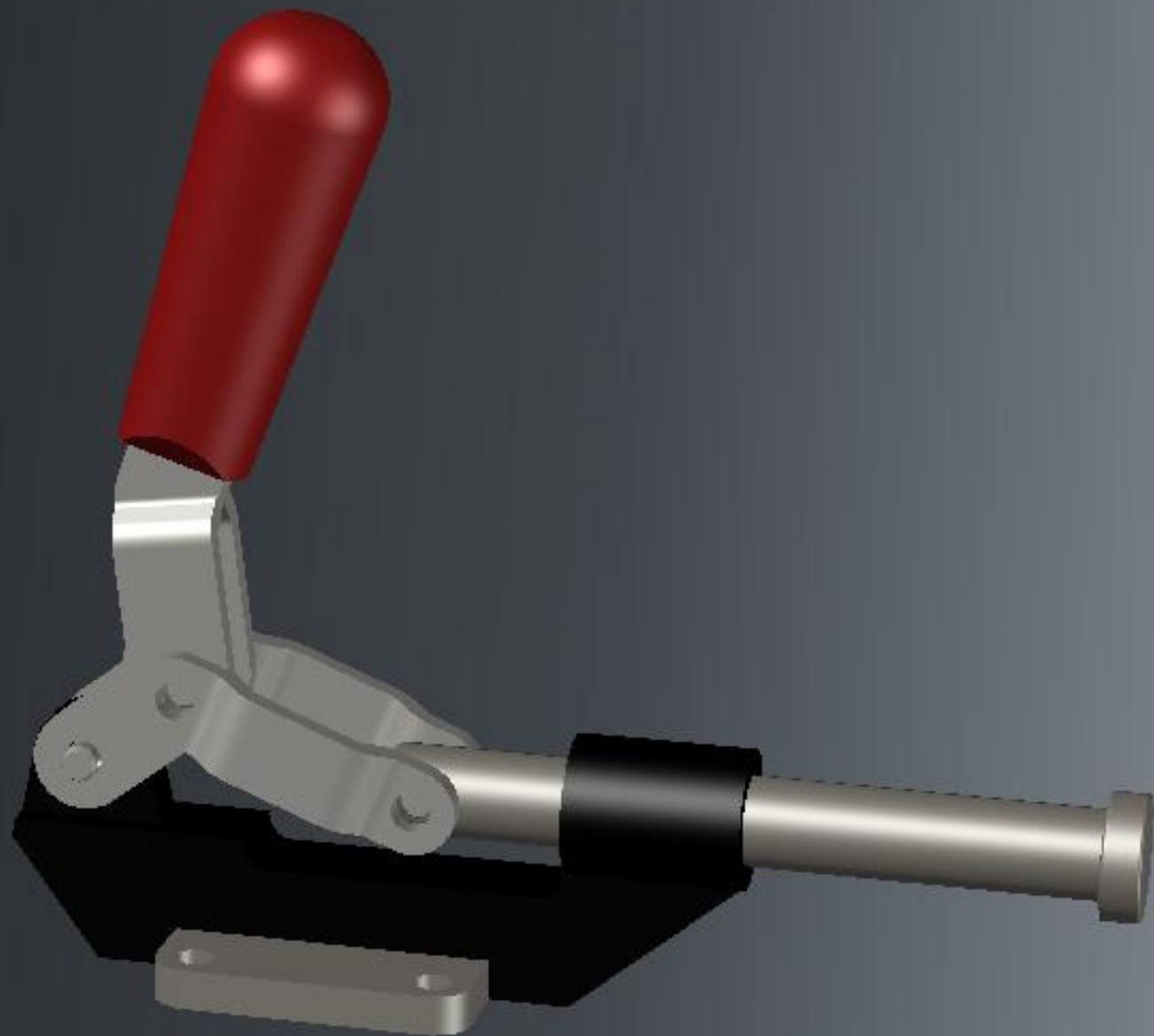




Morsetto a ginocchiera

Tecnologia Meccanica
a.a. 2024-2025

Parisi Christian
Rapone Filippo



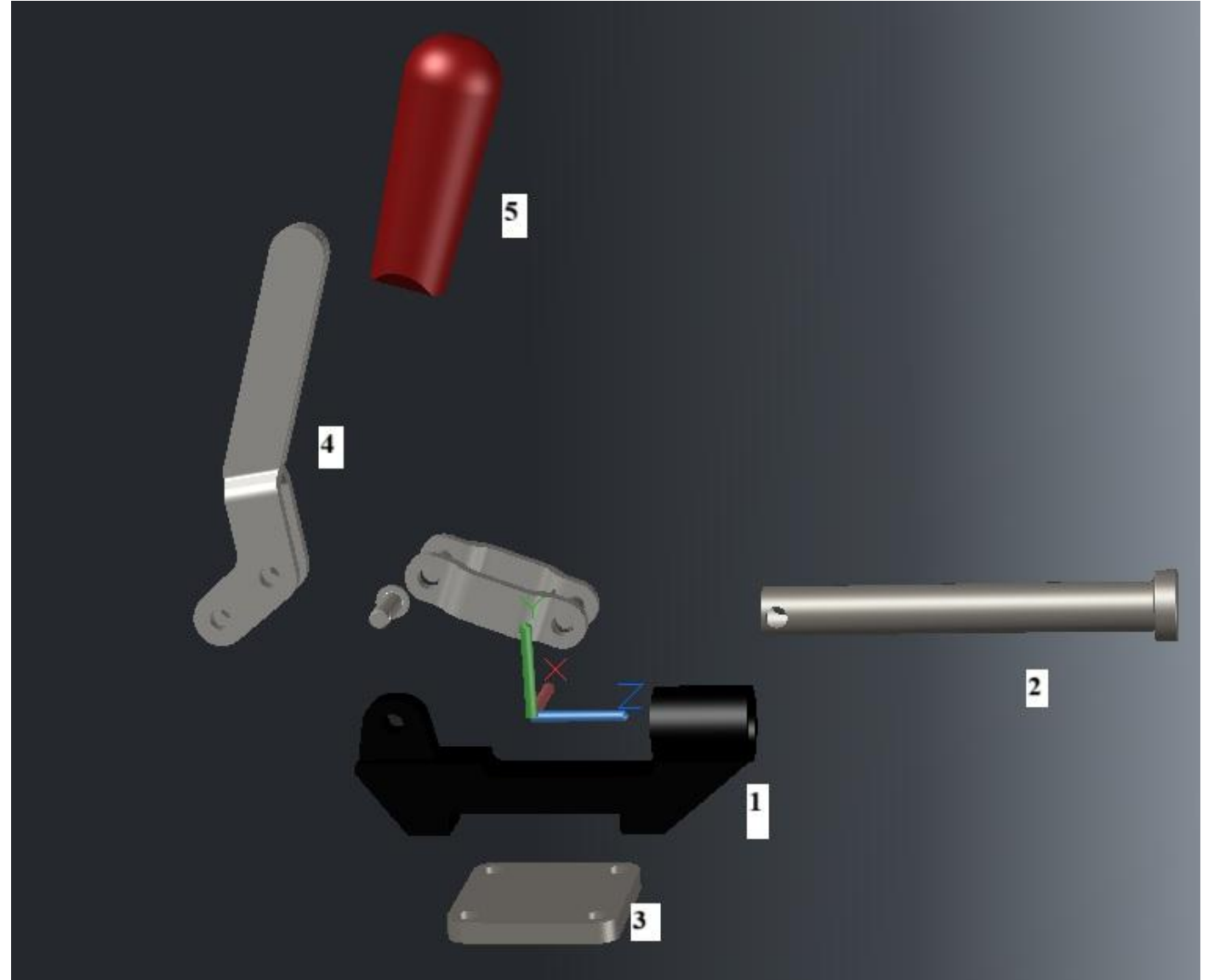
INTRODUZIONE

L'obiettivo di questo progetto è quello di analizzare e studiare le varie lavorazioni meccaniche necessarie per la realizzazione dei componenti di un complessivo meccanico.

- L'oggetto scelto come caso di studio è un **morsetto a ginocchiera**, comunemente impiegato per l'**immobilizzazione dei pezzi** durante le operazioni di lavorazione.
- L'analisi è condotta ipotizzando la **commessa di un ordine di 50 unità**, da parte di un fornitore di attrezzature per officine.

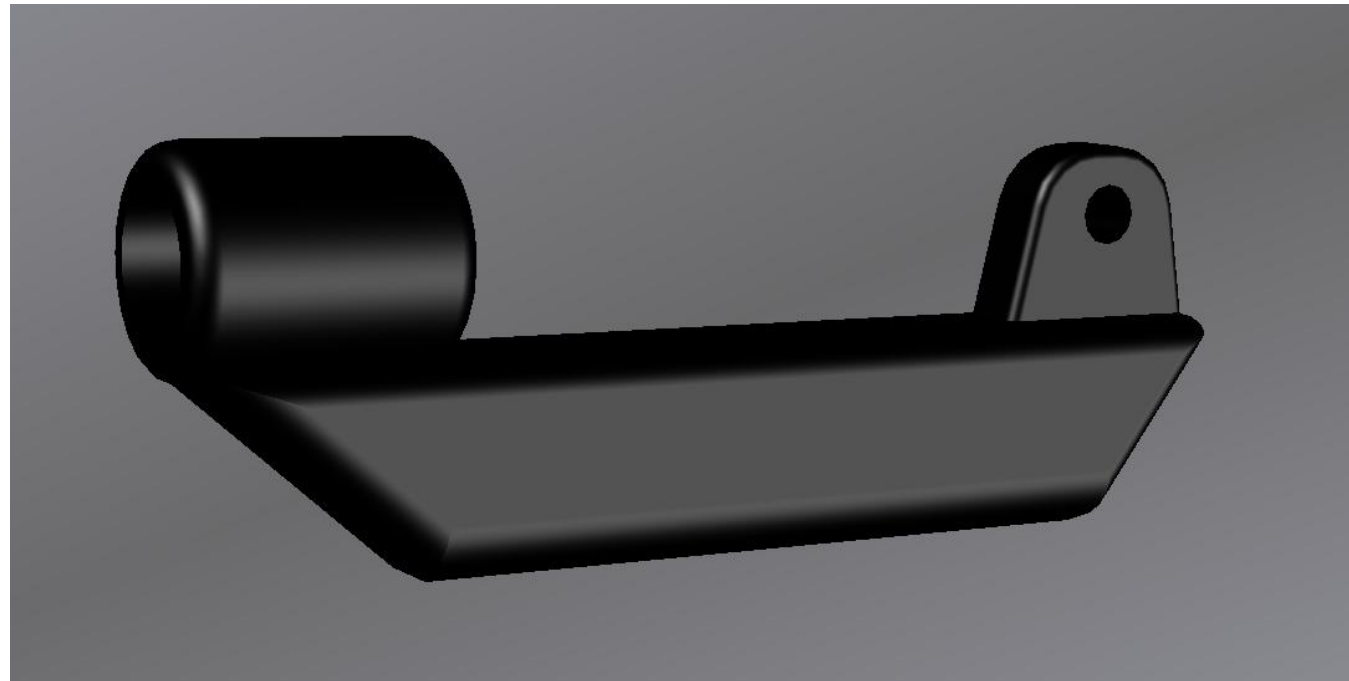
PARTICOLARI E RELATIVA LAVORAZIONE

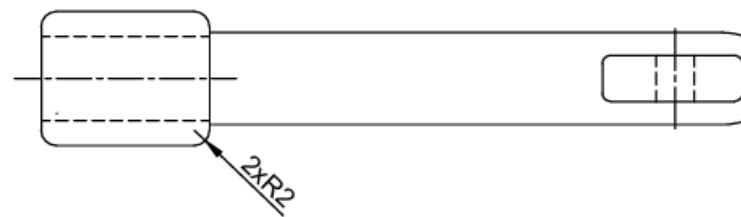
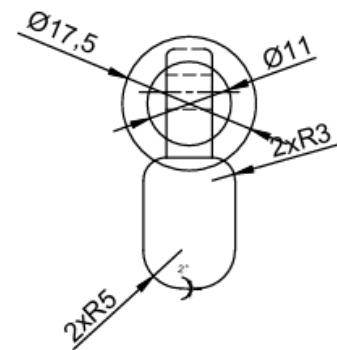
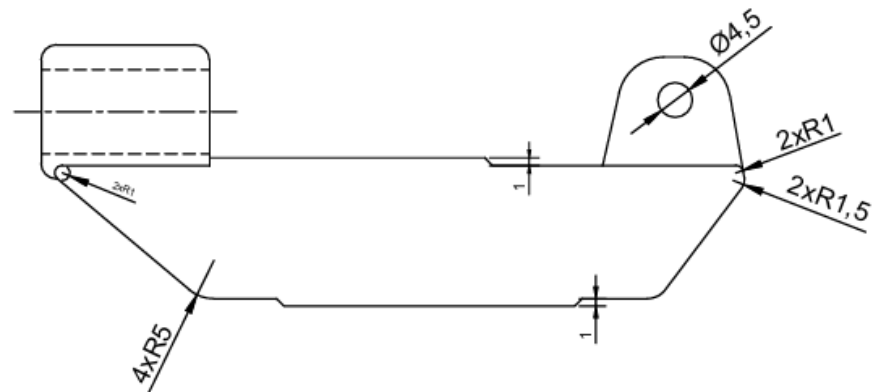
- Corpo base (1): **fusione** e in seguito **asportazione di truciolo** (alesatura e fresatura);
- Albero (2): **asportazione di truciolo** (tornitura, foratura, alesatura);
- Con la piastra di base (3) analizzeremo il processo di **saldatura** che la salderà al corpo base (1);
- Leve a L (4): **deformazione plastica**;
- Manopola (5): **stampa 3D**.





CICLO DI FUSIONE





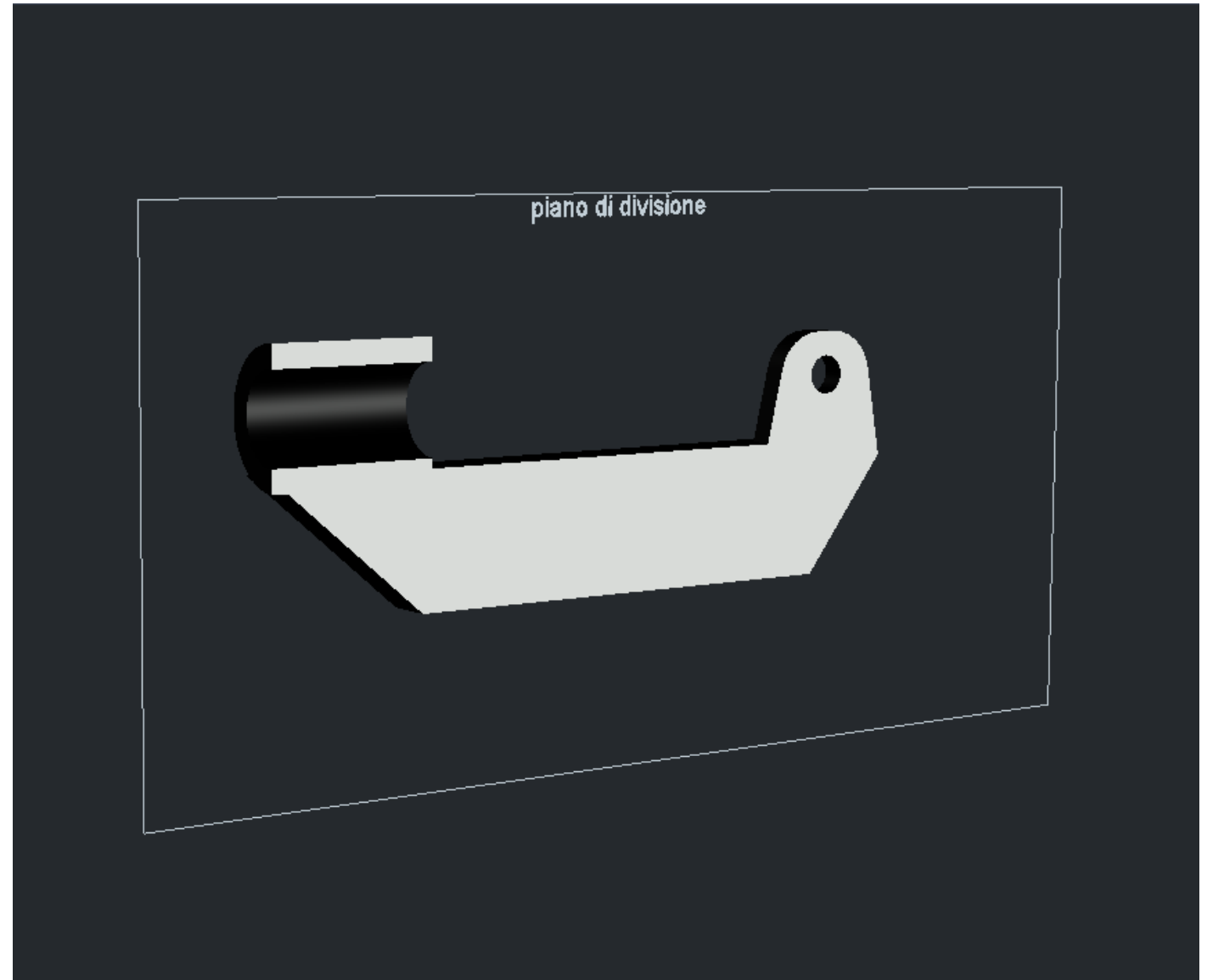
UNIVERSITA' DI PISA		
OGGETTO: Greggio piastra base		FOGLIO: 1 di 1
MATERIALE:	GHISA SFEROIDALE EN-GJS-400-15	SCALA: 1:1
TOLLERANZE GENERALI:	ISO 2768-f	FORMATO: A4
		DATA: 07/09/2025

CICLO DI FUSIONE

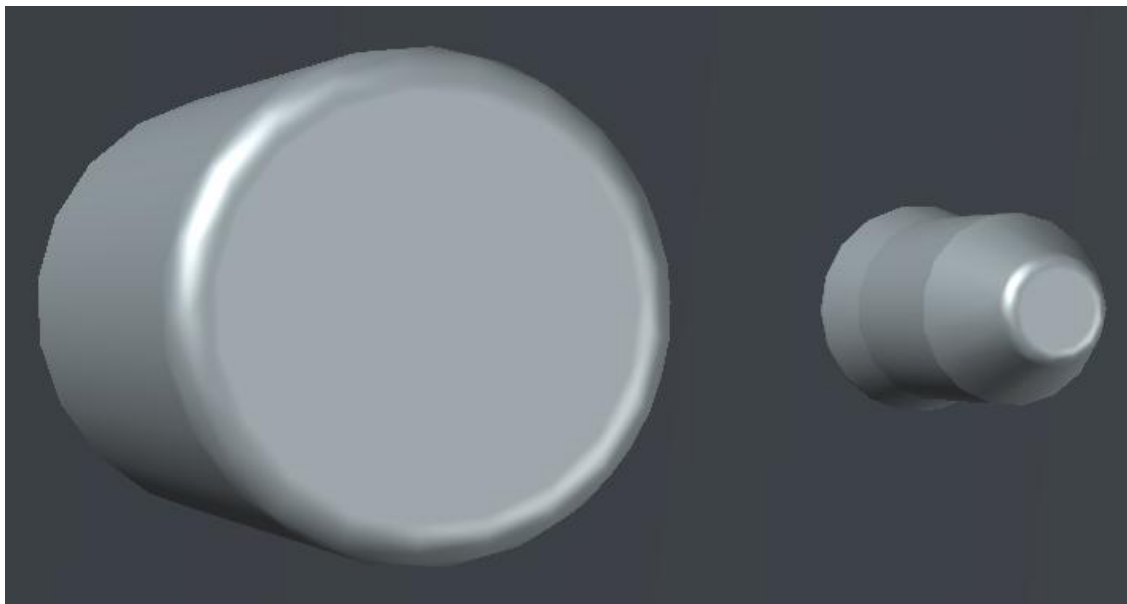
- **Materiale scelto: ghisa sferoidale EN GJS-400-15.** Rispetto ad un acciaio da getti è più vantaggiosa perché è **più colabile**, ha un **ritiro minore** (0,8-1,0% contro il 2% dell'acciaio), fonde e cola a temperature minori (1400 °C contro i 1600 °C dell'acciaio) garantendo un notevole **risparmio energetico** e ha una **migliore lavorabilità meccanica**;
- Scelta del **tipo di formatura: formatura transitoria**. Una forma permanente sarebbe troppo dispendiosa per un lotto di 50 unità come il nostro;
- Scelta del **tipo di terra: terra sintetica a verde con bentonite**. Garantisce una buona coesione della forma, refrattarietà alta, permeabilità sufficiente ad evitare difetti dovuti ai gas sviluppati durante la fusione, economica e riutilizzabile

CICLO DI FUSIONE - Dimensionamento del greggio

- Scelta del **piano di divisione**: **piano di simmetria del pezzo**;
- **Angoli di sforno**: dato che per il nostro caso abbiamo previsto un modello in legno, adotteremo angoli di sforno compresi **tra 1° e 2°**;
- **Raggi di raccordo**: di **2-3 mm** per le **zone meno sollecitate**, di **5 mm** massimo per le **zone più sollecitate**;
- **Ritiro del getto**: **1,3%**;
- **Sovrametalli**: previsti **solo sulle superfici da lavorare** successivamente per **asportazione di truciolo**.



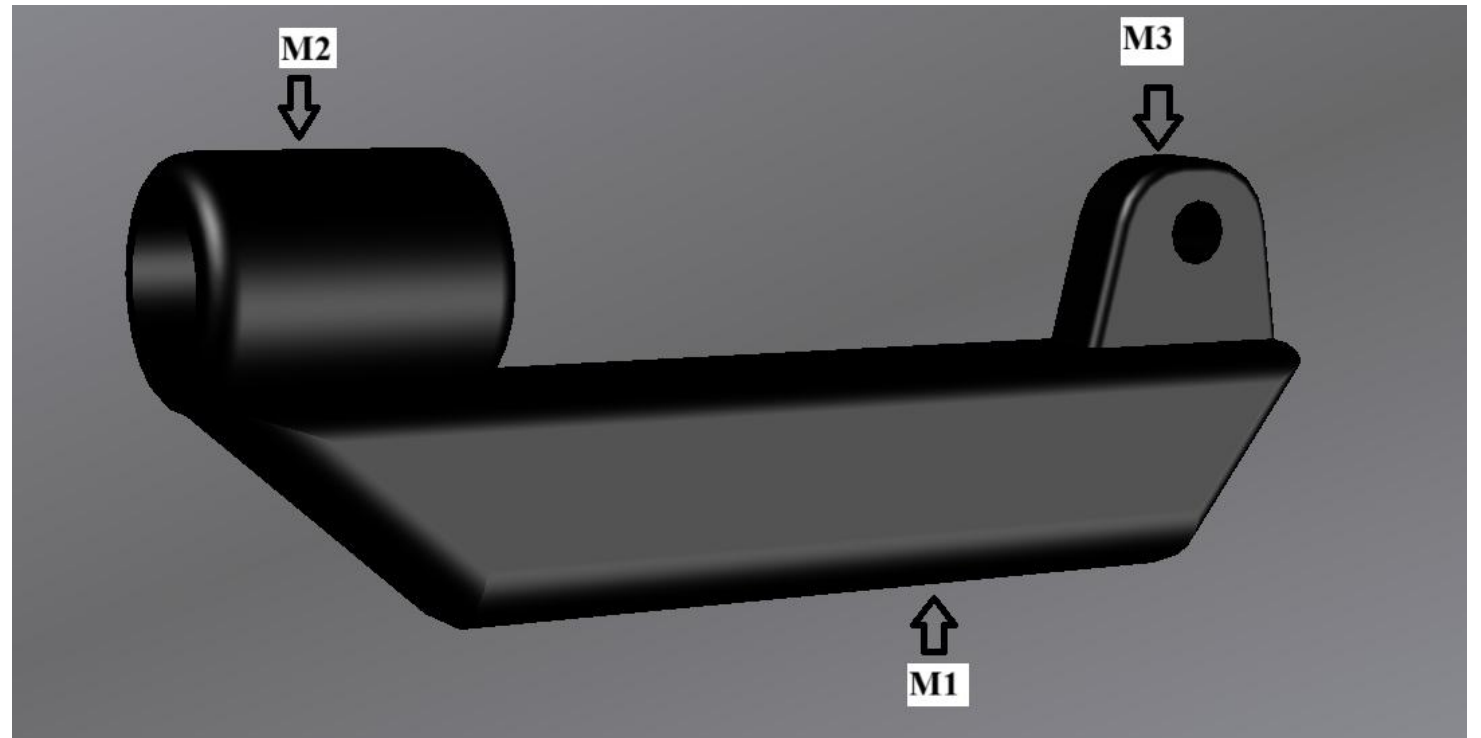
CICLO DI FUSIONE - Progettazione anime e portate d'anima



- **Funzione:** realizzazione dei due fori principali, cioè quello destinato ad accogliere l'albero, e il foro adibito al passaggio del perno;
- **Materiale:** sabbia silicea;
- **Forma delle portate d'anima:** cilindrica per il foro che ospita l'albero, tronco conica per il foro che ospiterà il perno;
- **Raggi di raccordo:** 1 mm e 0,5 mm;
- **Angoli di sforno:** circa 1–2°;
- **Diametro anima e portata d'anima** (foro più grande): 11 mm, perché abbiamo contato un sovrametallo di 0,5 mm;
- **Diametro della parte cilindrica** (foro più piccolo): 5 mm;
- **Diametro portata d'anima** (foro più piccolo): 5.882 mm, 2,70 mm;

CICLO DI FUSIONE - Calcolo dei moduli di raffreddamento

- Il modulo di raffreddamento è l'**indicatore** diretto del **tempo di solidificazione**: più M è grande, più quella zona solidifica tardi. Una volta ottenuti i tre moduli M1, M2, M3, li ordiniamo e leggiamo il verso della solidificazione: dalle zone a modulo minore (che solidificano per prime) verso quelle a modulo maggiore (che solidificano per ultime):



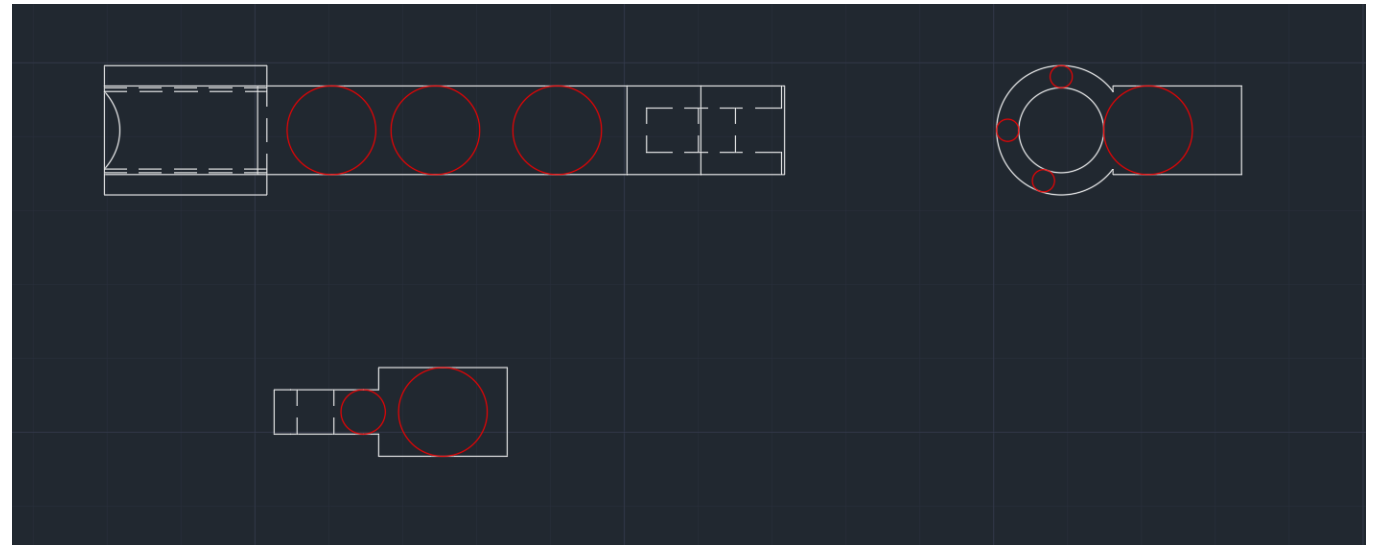
$$M = \frac{\text{Volume getto}}{\text{Superficie a contatto con la forma}}$$

- $M_1 = 3,35 \text{ mm}$
- $M_2 = 2,29 \text{ mm}$
- $M_3 = 1,87 \text{ mm}$

CICLO DI FUSIONE - Metodo dei cerchi di Heuvers

Per **verificare** quanto abbiamo precedentemente calcolato con i moduli anche **in modo qualitativo**, usiamo il **metodo dei cerchi di Heuvers**, che consiste nel disegnare dei cerchi nella sezione del getto di raggio proporzionale ai moduli di raffreddamento locali.

- I cerchi più grandi si trovano in corrispondenza di M1, perciò in corrispondenza di essa verrà posizionata la **materozza**;



CICLO DI FUSIONE - Dimensionamento della materozza

- Modulo:

$$M_m \geq 1,3 \times M_1 = 1,3 \times 3,35 = 4,355 \text{ mm};$$

- Volume materozza:

$$V_m = 179 \times M_m^3 = 14784,87 \text{ mm}^3;$$

- Diametro materozza:

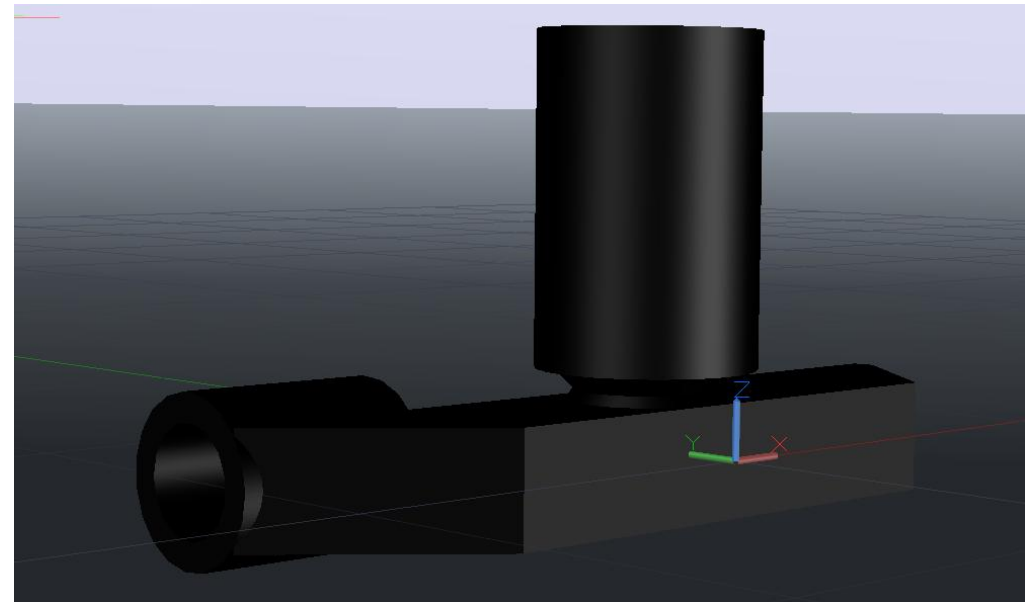
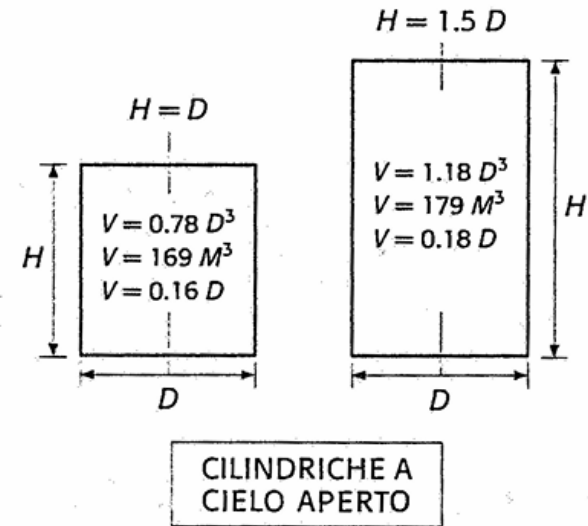
$$D = \sqrt[3]{\frac{V_m}{1,18}} = 23,23 \text{ mm};$$

- Altezza materozza:

$$H = 1,5D = 34,8 \text{ mm};$$

- Volume massimo alimentabile dalla materozza:

$$V_{max} = V_m \times \frac{(14 - b)}{b} \geq V_{M1}$$
$$V_{max} = 19713,15 \text{ mm}^3$$



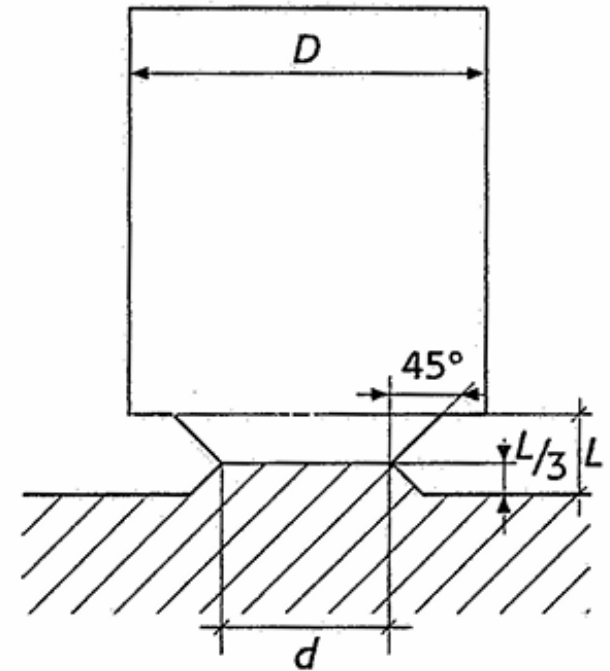
CICLO DI FUSIONE - Dimensionamento collare materozza

- Diametro= 15 mm;
- $h = 2,167 \text{ mm}$;
- Inclinazione= 45° ;
- Modulo collare d'attacco:

- $M_c = \frac{V_c}{S_{laterale}} = 3,45 \text{ mm}$

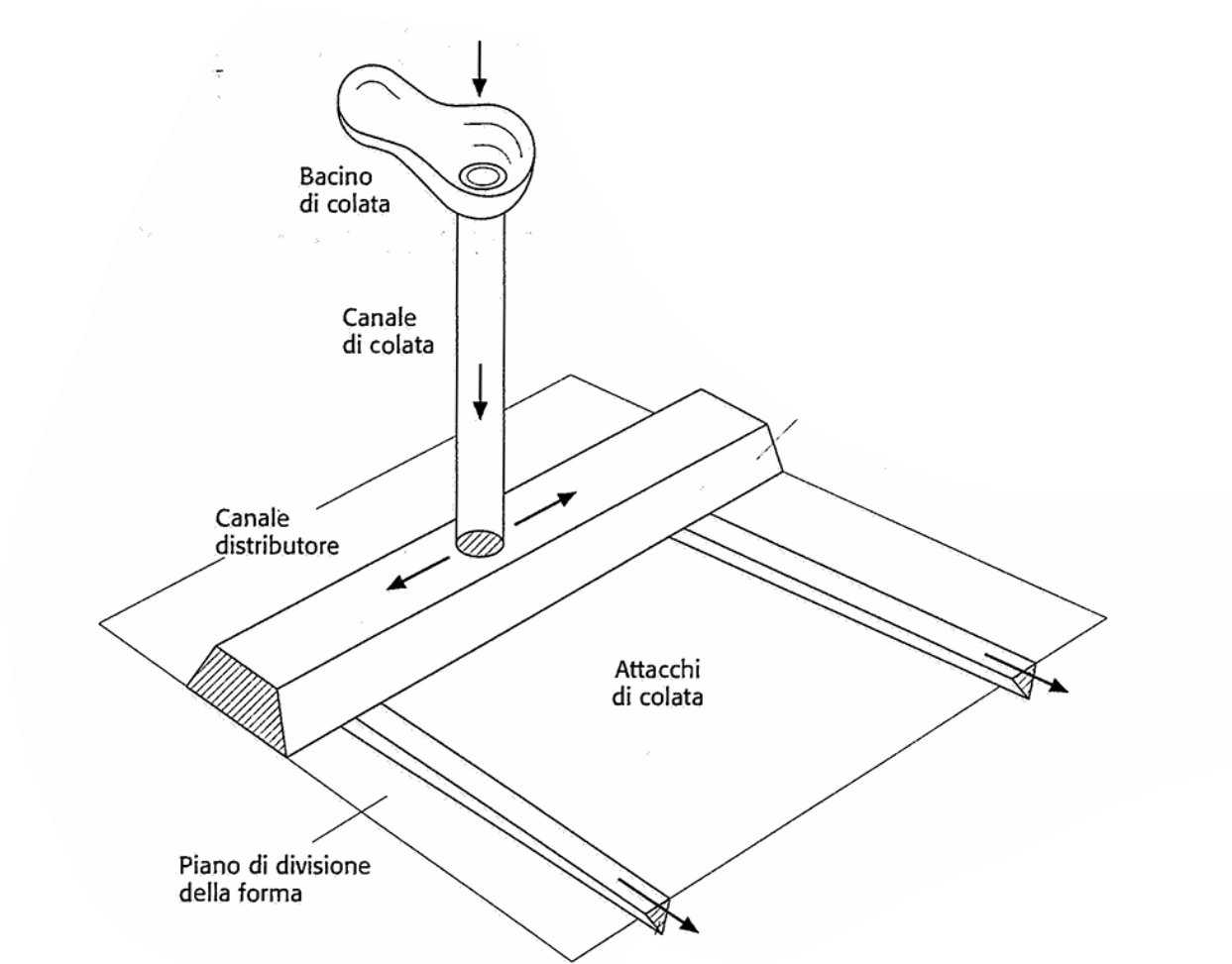
b) Materozze a cielo aperto

Materiale	d	L
Acciaio	$0.40 D$	$0.14-0.18 D$
Ghisa	$0.66 D$	$0.14-0.18 D$
Leghe di rame	$0.66 D$	$0.25 D$
Leghe leggere	$0.75 D$	$0.18 D$



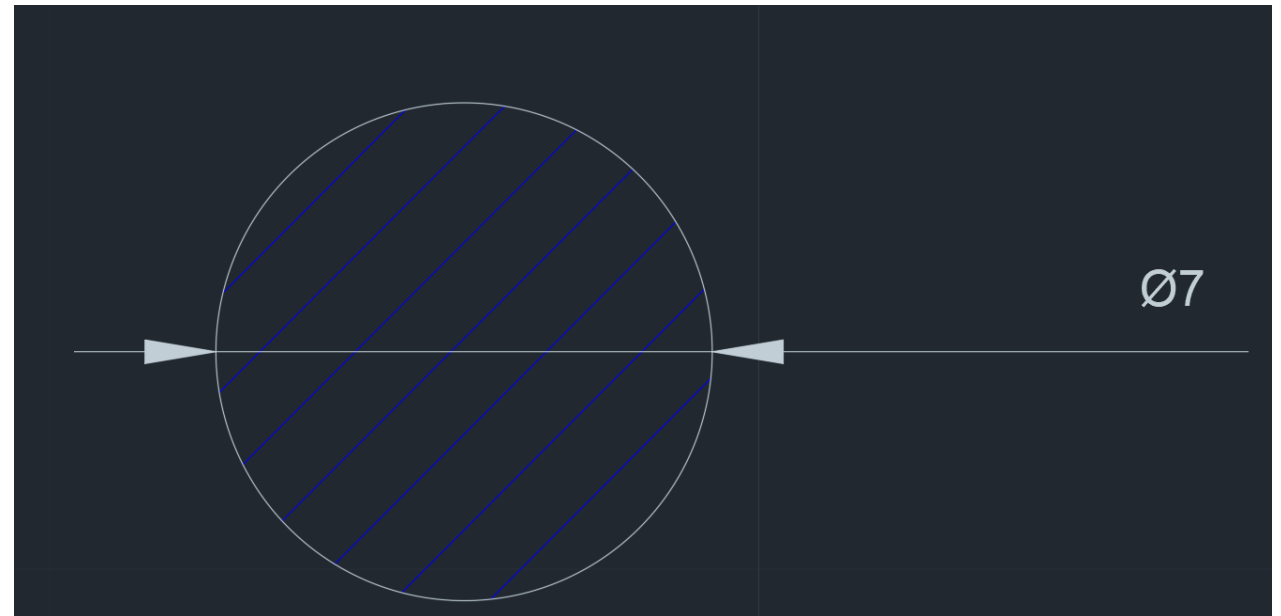
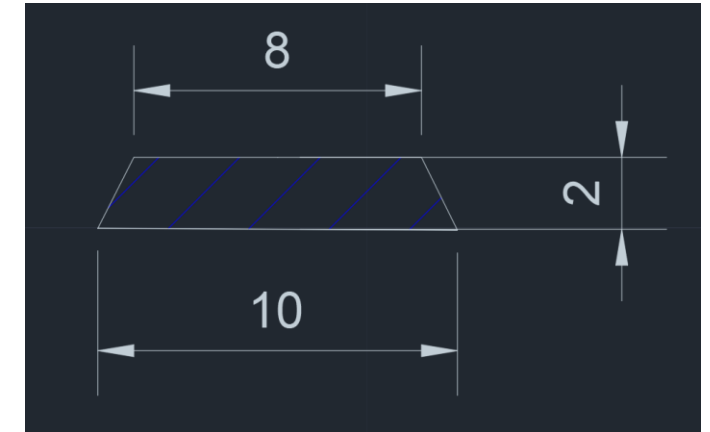
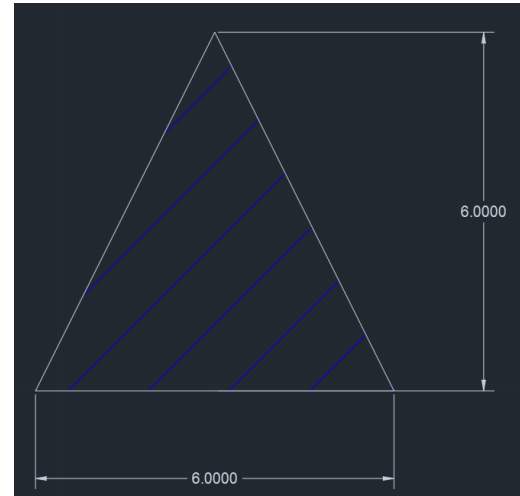
CICLO DI FUSIONE - Dimensionamento sistema di colata

- **Sistema pressurizzato:** di conseguenza le sezioni del canale di colata, di quello distributore e degli attacchi staranno nel rapporto **1 : 0,5 : 0,5**;
- **Tempo di colata:** $T = 3,2 \times \sqrt{G} \approx 1,60 \text{ s}$;
- **Forma attacco di colata:** triangolo isoscele;
- **Sezione attacco di colata:**
$$S_{ac} = \frac{G}{T \times \sqrt{2gh} \times \gamma} = 15,62 \text{ mm}^2;$$
- **Forma sezione canale di distribuzione:** trapezio isoscele;
- **Sezione canale di distribuzione:** $S_{cd} = 18 \text{ mm}^2$;
- **Forma sezione canale di colata:** circolare;
- **Sezione del canale di colata:** $S_{cc} = 2S_{ac} = 36 \text{ mm}^2$.



CICLO DI FUSIONE -

Sezioni dei canali del Sistema di colata



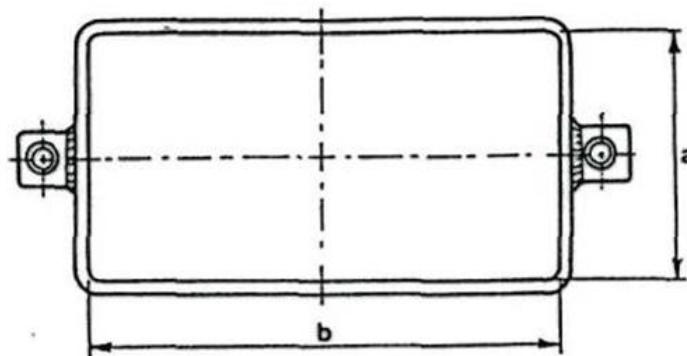
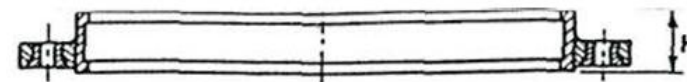
CICLO DI FUSIONE - Dimensionamento delle staffe

Abbiamo fatto riferimento alla norma **UNI 6765-70**:

- $a = 250$ mm;
- $b = 315$ mm;
- Altezza staffa superiore: 50 mm;
- Altezza staffa inferiore: 60 mm;

Serie rettangolare con rapporto $b/a = 1,26$

a	b	H															
250	315	50	63	80	100	125	160	200									
280	355	50	63	80	100	125	160	200	250								
315	400	50	63	80	100	125	160	200	250	300							
355	450	--	--	80	100	125	160	200	250	300							
400	500	--	--	--	100	125	160	200	250	300	355						
450	560	--	--	--	100	125	160	200	250	300	355						
500	630	--	--	--	100	125	160	200	250	300	355	400					
560	710	--	--	--	100	125	160	200	250	300	355	400					
630	800	--	--	--	100	125	160	200	250	300	355	400					
710	900	--	--	--	--	125	160	200	250	300	355	400	500				
800	1000	--	--	--	--	125	160	200	250	300	355	400	500				
900	1100	--	--	--	--	--	160	200	250	300	355	400	500				
1000	1300	--	--	--	--	--	--	200	250	300	355	400	500				
1100	1400	--	--	--	--	--	--	200	250	300	355	400	500				
1200	1500	--	--	--	--	--	--	--	250	300	355	400	500				
1300	1600	--	--	--	--	--	--	--	250	300	355	400	500				
1400	1700	--	--	--	--	--	--	--	--	300	355	400	500				
1500	1800	--	--	--	--	--	--	--	--	300	355	400	500				



CICLO DI FUSIONE - Calcolo delle spinte metallostatiche

$$F = S \times h \times \gamma$$

- $S_{tot} = S_{pezzo} + S_{materozza} + S_{collare} + S_{ac} + S_{cc} + S_{cd} = 2660,73 \text{ mm}^2$
- $F = 1,86 \text{ kg} = 9,12 \text{ N}$

A questa forza va aggiunta la forza causata dalla **spinta di Archimede** esercitata sulle anime dei due fori presenti nel pezzo.

$$F_A = V_a \times \gamma + V_{tot} \times \gamma_a = 0,056 \text{ N}$$

Forza totale: 9,176 N

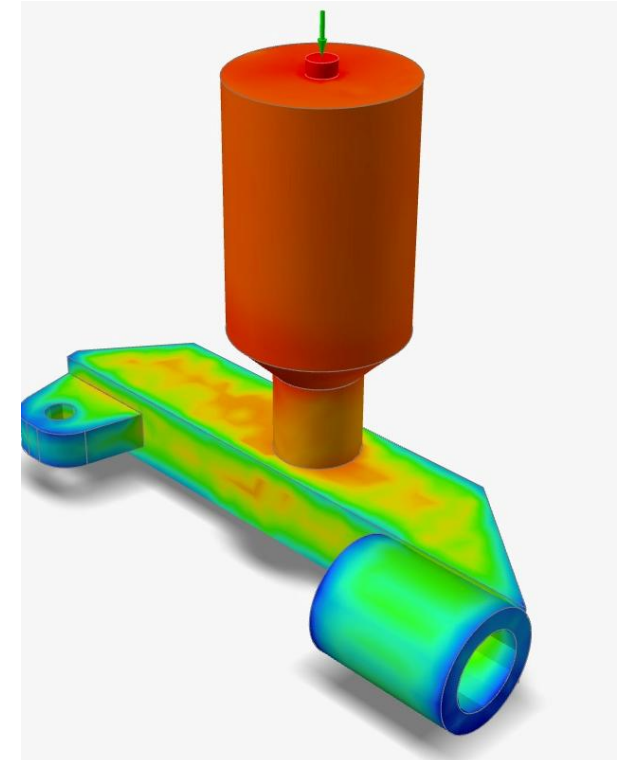
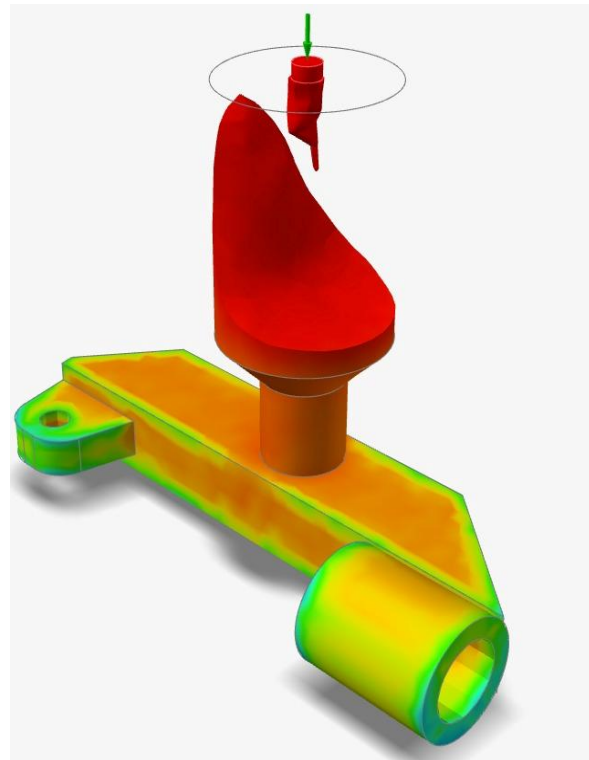
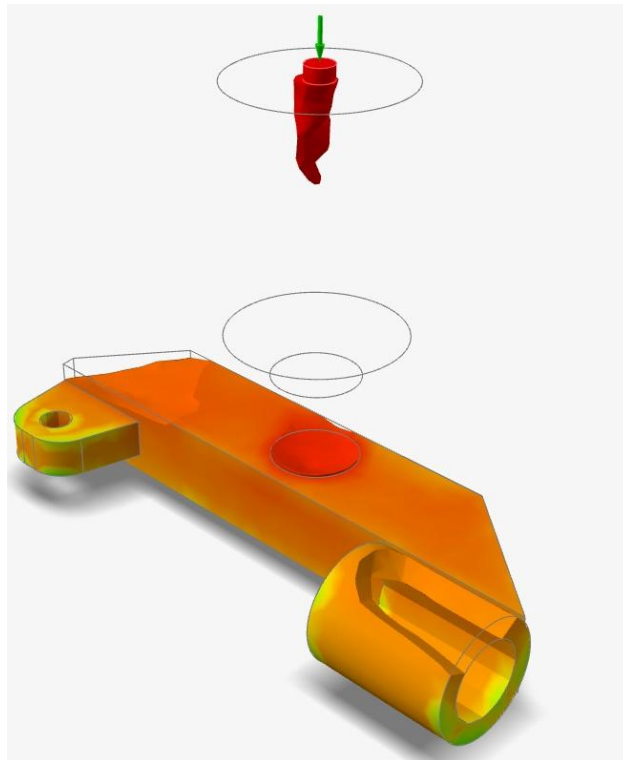
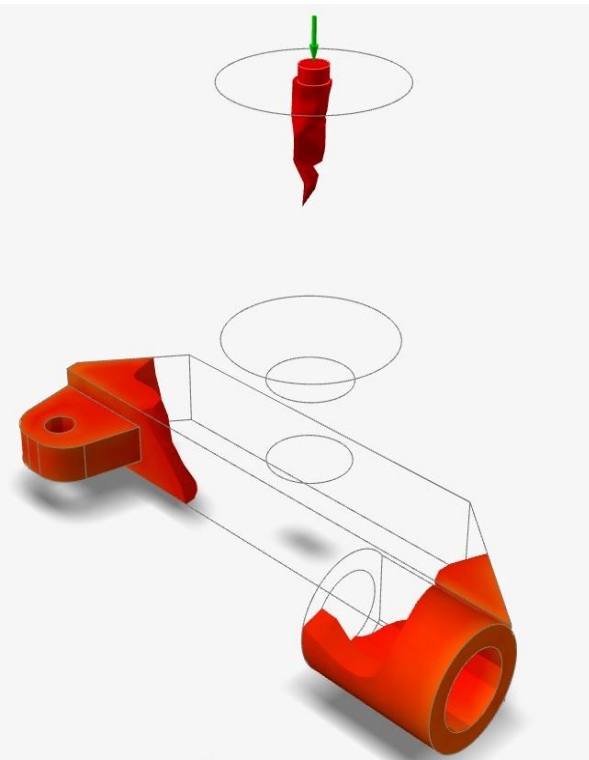
Forza peso della staffa superiore:

- $P_s = V_s \times \gamma_a \times g = 57,94 \text{ N}$
- $V_s = V_{staffa} - V_{pezzo}/2 - V_m - V_{collare} = 3912771,7 \text{ mm}^3$

La forza peso della staffa superiore è nettamente superiore alla spinta metallostatica, il che garantisce la stabilità dello stampo durante la colata.

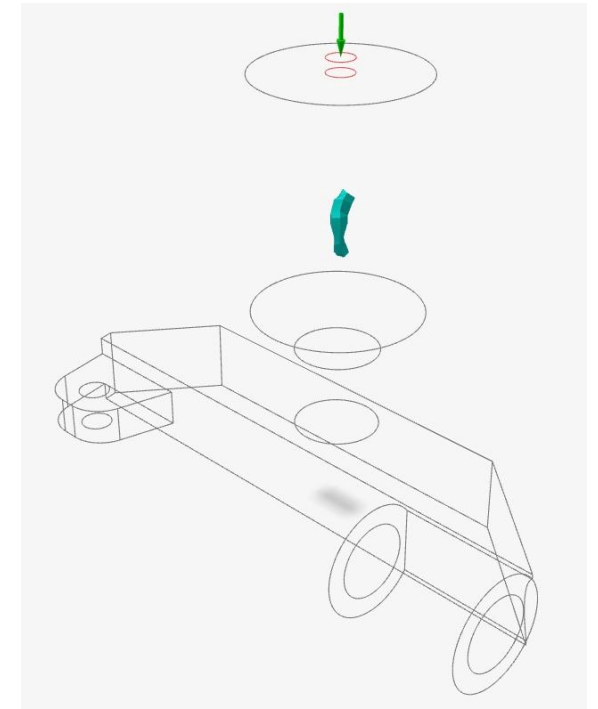
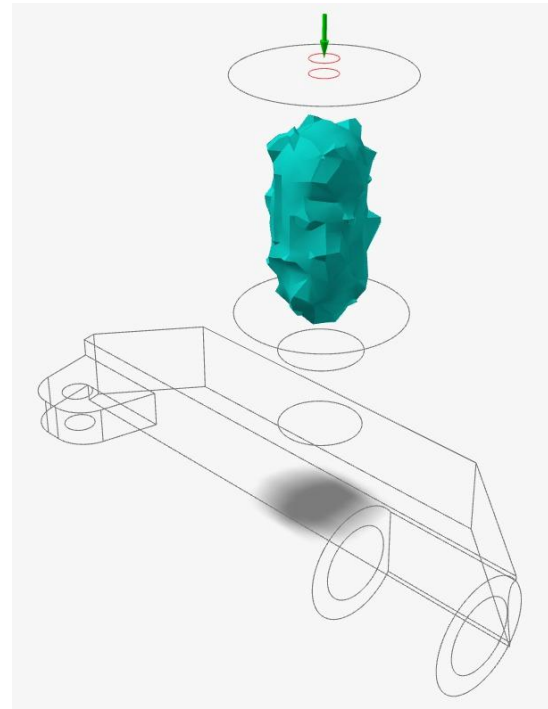
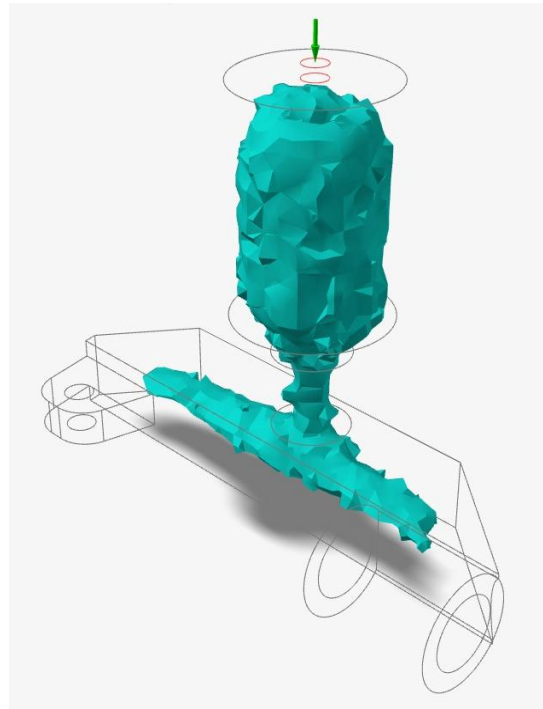
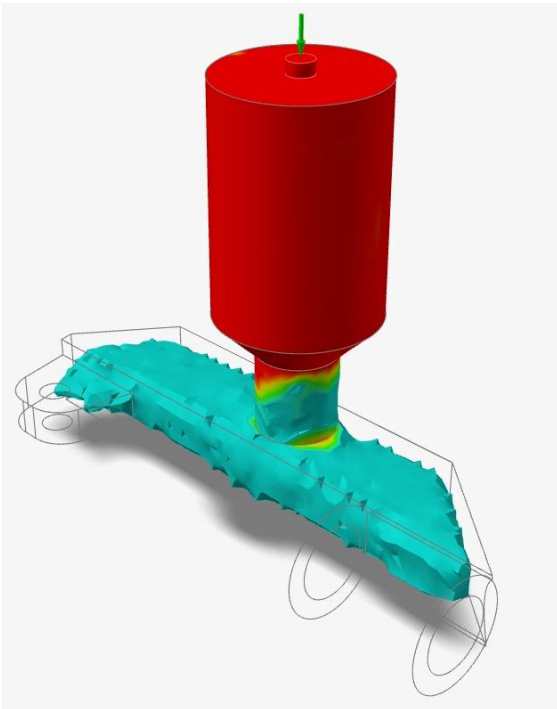
CICLO DI FUSIONE -
Simulazione di colata
mediante l'uso di
Inspire Cast

Riempimento



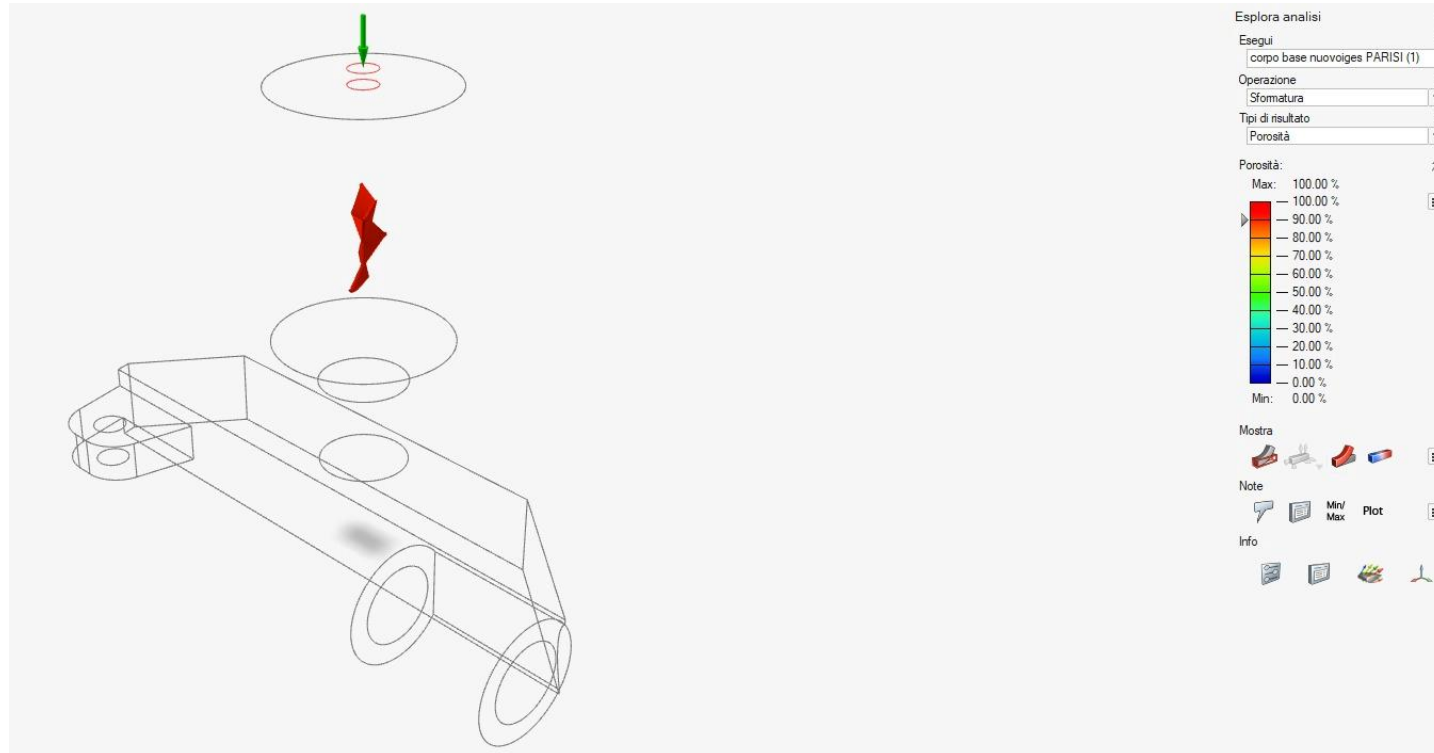
CICLO DI FUSIONE - Simulazione di colata mediante l'uso di Inspire Cast

Solidificazione, frazione solida



CICLO DI FUSIONE - Simulazione di colata mediante l'uso di Inspire Cast

Porosità



CICLO DI FUSIONE – Analisi dei tempi

- **Tempo di colata per un pezzo:** 1,6 secondi;
- **Tempo di colata per 50 pezzi:** 80 secondi (1 min 20 s)

Il **tempo di solidificazione** ricavato analizzando il processo di solidificazione della colata su Inspire Cast ed è di circa **9,50 secondi**, e quindi il **tempo totale** è $9,50 \times 50 = 475 \text{ s} = \mathbf{7 \text{ minuti e } 55 \text{ secondi}}$.

Nel calcolo dei tempi vanno considerate soprattutto le operazioni eseguite dall'operaio per il processo della fusione, ovvero:

- Posizionamento del modello nella staffa inferiore
- Riempimento della staffa con sabbia e compattazione
- Ripetizione del processo per la staffa superiore
- Estrazione del modello dalla sabbia
- Posizionamento dell'anima
- Chiusura e assemblaggio dello stampo
- Colata del metallo nello stampo
- Raffreddamento e solidificazione del getto
- Apertura dello stampo e sformatura del pezzo
- Rimozione di sabbia, anime, canali e materozze

Abbiamo ipotizzato come **durata** di un **ciclo** di questi circa **25 minuti**; quindi, **per 50 pezzi** diventano 1250 minuti, cioè **20 ore e 50 minuti**. In conclusione, sommando i tempi di colata totali e di solidificazione totali otteniamo:

$$T_{tot,fusione} = 20,83 \text{ h} + 0,14 \text{ h} + 0,22 \text{ h} = 20 \text{ ore } 59 \text{ minuti e } 15 \text{ secondi}$$

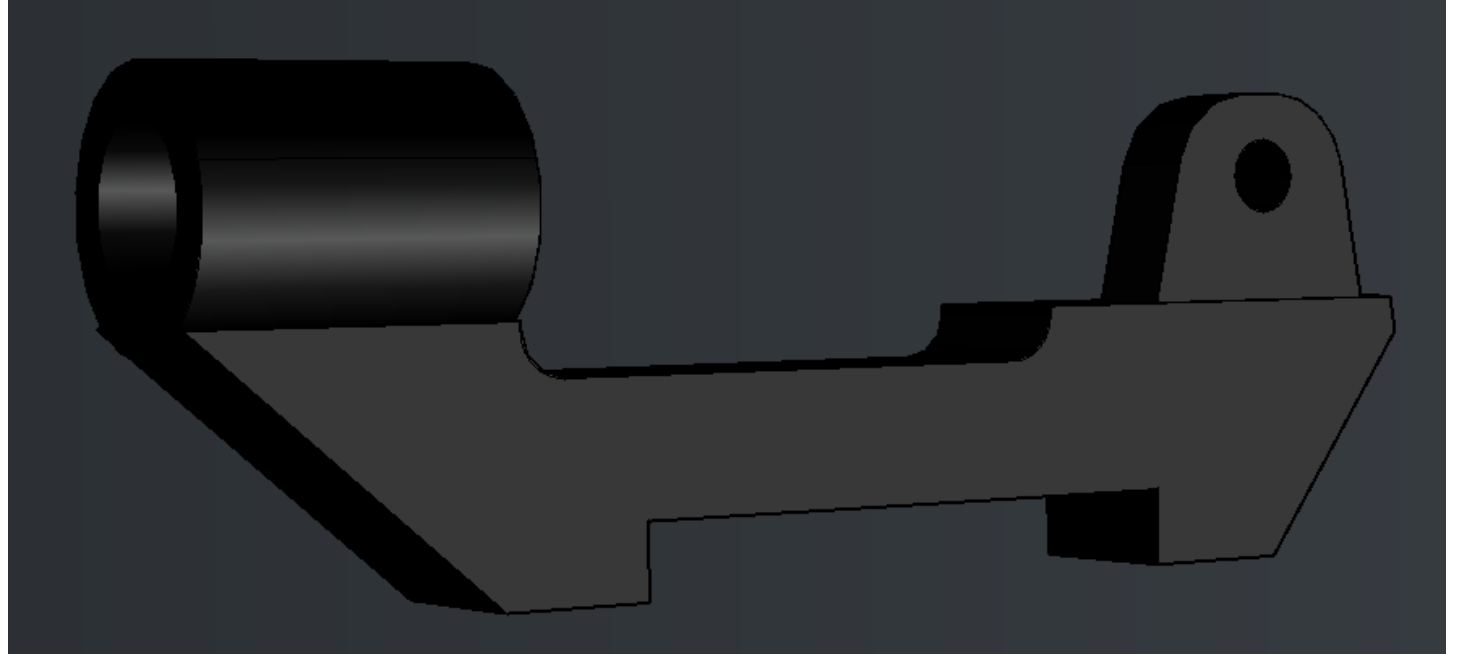
CICLO DI FUSIONE -

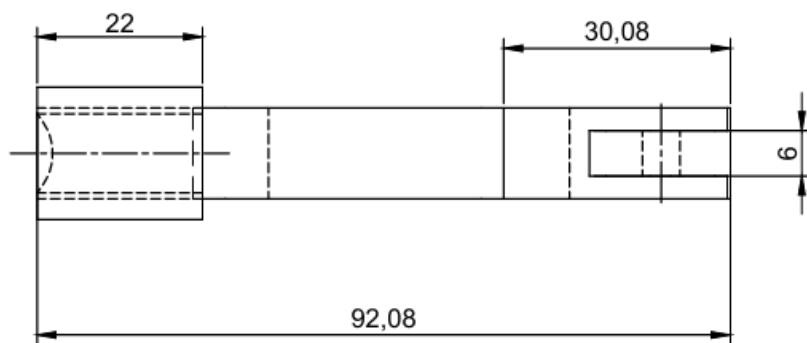
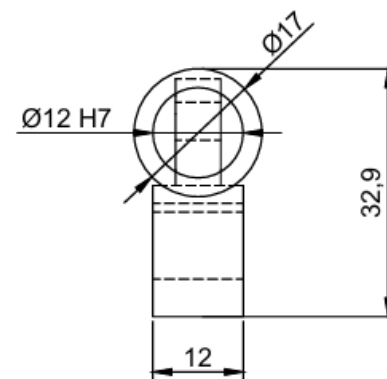
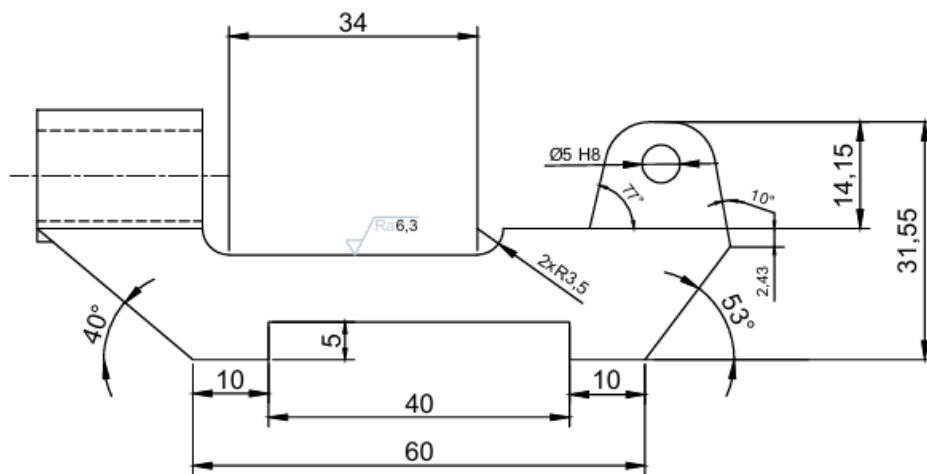
Analisi dei costi

- Per la **manodopera** abbiamo considerato una paga all'operaio di 20 €/h;
- Riguardo le **staffe**, il loro costo nel tempo è molto ammortizzato, perché sono elementi che potenzialmente durano fino a 10 anni e costano mediamente €200 - €300, di conseguenza abbiamo deciso di trascurarle nel conteggio dei costi di fusione

	Costo al pezzo	Costo totale
Manodopera	€ 8,40	€ 420
Materiale (ghisa)	€ 6,25	€ 31,25
Modello in legno	€ 5	€ 250
Terra da fonderia	€ 2,36	€ 118
Intero processo	€ 12	€ 595

ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO – Corpo base

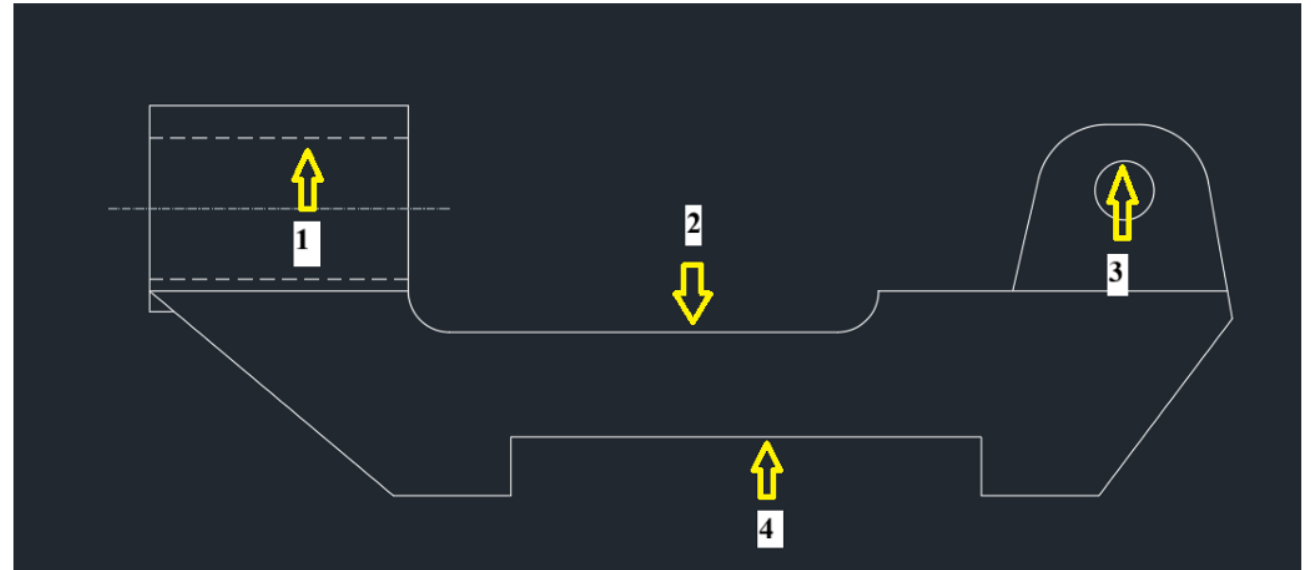




UNIVERSITA' DI PISA		
OGGETTO: Corpo base		FOGLIO: 1 di 1
		SCALA: 1:1
MATERIALE:	GHISA SFEROIDALE EN-GJS-400-15	FORMATO: A4
TOLLERANZE GENERALI:	ISO 2768-f	DATA: 07/09/2025

ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO - Disegno e analisi delle lavorazioni da effettuare

- Una volta ottenuto il pezzo grezzo dalla fusione, si procede con la **rimozione della materozza** e del canale di colata con una **smerigliatrice angolare dotata di disco da taglio**;
- La **fresatura** sarà **divisa in due parti**: una **sgrossatura** iniziale e in seguito una **finitura conclusiva**. L'**alesatura** invece sarà **preceduta da un'allargatura**, perché i due fori ottenuti grazie al posizionamento delle anime durante la fusione avevano sulla loro superficie interna un sovrametallo di 0.5 mm (il foro da 12 mm di diametro) e di 0,25 mm (quello di 5 mm), e questa fase è fondamentale per allargare i diametri dei due fori per permettere poi all'alesatura di ultimarli. In particolare l'allargatura applicata alla superficie 3 aumenterà il diametro da 4,5 mm a 4,8, l'allargatura alla superficie 1 aumenterà il diametro da 11 mm a 11,8 mm.



N° superficie	Tipologia superficie	Processi possibili
1	Cilindrica interna	Allargatura e alesatura
2	Piana	Fresatura (sgrossatura+finitura)
3	Cilindrica interna	Allargatura e alesatura
4	Piana	Fresatura (sgrossatura+finitura)

ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO – Scelta delle macchine utensili

- Per queste lavorazioni useremo una fresatrice che ci permette, **cambiando l'inserto**, di poter anche **forare e alesare**, così da avere un buon risparmio sulle macchine utensili e poter effettuare più operazioni sulla stessa macchina. Dopo un'attenta ricerca, abbiamo ritenuto che facesse al caso nostro la **Fresatrice per metalli Orion 4.0 Digit di Damatomacchine**:



Specifiche fresatrice

- Massima capacità di foratura: 40 mm
- Massima capacità di fresatura frontale: 80 mm
- **Massima distanza fra mandrino e tavola di lavoro: 330 mm**
- **Massima corsa mandrino: 130 mm**
- **Attacco mandrino: MT4**
- Dimensione tavola di lavoro: 800 x 240 mm
- Corsa longitudinale del piano di lavoro: 500 mm
- Corsa trasversale del piano di lavoro: 175 mm
- Inclinazione testa fresa: ± 90 gradi
- Velocità regolabili: N°6
- Velocità del mandrino 1250 rpm a 50 Hz (Italia) e 1500 a 60 Hz (estero)
- **Potenza motore: 1.100 W**
- Tipologia motore: 220 V (Monofase)
- Frequenza: 50 Hz

ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO – Sequenza delle lavorazioni, scelta degli utensili e degli inserti

Fase	Lavorazione	Superficie	Inserto	Utensile
10a	Allargatura	3	Allargatore Sicutool 8620G	Mandrino portapinze MT4-ER32 con filetto tirante M16, pinza MariTool ER32 6 mm
	Alesatura	3	Alesatore 435.T-0500-A1-XF H10F	
	Sgrossatura	2	Inserto per frese a candela HM90 APKT 1003PDR IC908	Fresa a candela HM90 E90A-D12-1-C16
	Finitura	2	HM90 APKT 1003PD-W per la parte piana, MM EB060E04-4T04 IC908 per i due raccordi	Stesso della sgrossatura per la parte piana, gambo MM TS-A-L070-C08-T04 per i due raccordi
10b	Allargatura	1	Allargatore Sicutool 8620G	Stesso mandrino portapinze usato per la superficie 3, pinza elastica er32 er 32 x mandrino
	Alesatura	1	Allargatore Sicutool 8620G	
20a	Sgrossatura	4	Stesso della sgrossatura 2	Fresa a candela HM90 E90A-D12-1-C16
	Finitura	4	Stesso della finitura 2 per superficie piana	

ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO – Parametri di taglio

Lavorazione	Avanzamento	Velocità di taglio	Profondità di passata	N° giri mandrino	Sezione di truciolo	Pressione di taglio	Forza di taglio	Potenza di taglio	Vel. di asportazione del materiale	N° denti della fresa	Avanzamento per tavolo	Avanzamento per dente	Velocità di avanzamento	Diametro
Allargatura (sup 3)	0,10 mm/giro	18,84 m/min	0,15 mm	1250 rpm	0,015 mm ²	2506 N/mm ²	37,6 N	0,012 kW						
Allargatura (sup 1)	0,12 mm/giro	26 m/min	0,4 mm	710 rpm	0,048 mm ²	1873,6 N/mm ²	90 N	0,039 kW						
Alesatura (sup 3)	0,15 mm/giro	11 m/min	0,10 mm	710 rpm	0,015 mm ²	2506 N/mm ²	37,6 N	0,007 kW	167,3 mm ³ /min					
Alesatura (sup 1)	0,20 mm/giro	11 m/min	0,10 mm	710 rpm	0,020 mm ²	1311,4 N/mm ²	26,23 N	0,005 kW	223 mm ³ /min					
Sgrossatura (sup 2 e 4)	0,08 mm/giro	47,1 m/min	2,5 mm	1250 rpm	0,20 mm ²	1495 N/mm ²	299 N	0,235 kW		1	100 mm/min	0,08 mm/dente	12,5 mm/min	12 mm
Finitura (sup 2 e 4)	0,08 mm/giro	47,1 m/min	0,25 mm	1250 rpm	0,0025 mm ²	4467,6 N/mm ²	11,2 N	0,009 kW		1	100 mm/min	0,01 mm/dente	12,5 mm/min	12 mm
Finitura raccordi	0,08 mm/giro	23,6 m/min	0,25 mm	1250 rpm	0,02 mm ²	1494 N/mm ²	120 N	0,047 kW		4	100 mm/min	0,02 mm/dente	100 mm/min	6 mm

ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO

– Tempi di lavorazione

- Per tutte le lavorazioni abbiamo usato la formula $t = \frac{l+e}{a \times n}$, con **l** che rappresenta la **corsa dell'utensile**, **e** è l'**extracorsa**, **a** è l'**avanzamento** e **n** sono i **numeri di giri al minuto** della fresatrice;
- Come tempi passivi abbiamo preso in considerazione l'accensione e lo spegnimento del macchinario, il cambio di utensile, l'allineamento sulla morsa, l'eventuale riposizionamento del pezzo dopo una lavorazione e un eventuale controllo finale.

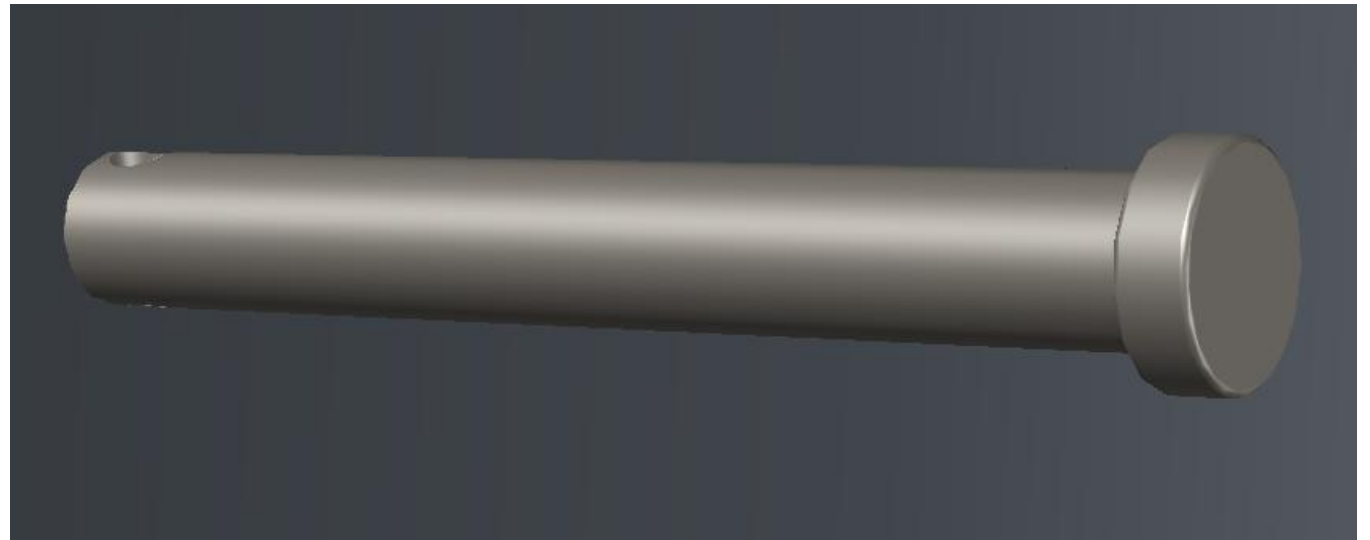
Lavorazione	Tempo attivo (per pezzo)	Tempo passivo (per pezzo)	Tempo attivo (totale)	Tempo passivo (totale)	Tempo totale
Allargatura (sup 3)	3,84 s	3 min e 15 s	3 min e 12 s	2 h e 42 min	2 h 45 min e 12 s
Alesatura (sup 3)	4,5 s	1 min e 6 s	3 min e 45 s	1 h 17 min e 30 s	1 h 21 min e 15 s
Sgrossatura (sup 2)	21,6 s	1 min e 3 s	36 min	52 min e 30 s	1 h 28 min e 30 s
Finitura (sup 2)	68,4 s	2 min e 6 s	57 min	1 h e 45 min	2 h e 42 min
Allargatura (sup 1)	14,48 s	2 min e 27 s	12 min e 4 s	2 h 52 min e 30 s	3 h 4 min e 30 s
Alesatura (sup 1)	10,15 s	1 min e 6 s	8 min e 27 s	1 h 17 min e 30 s	1 h 25 min e 30 s
Sgrossatura (sup 4)	25,2 s	1 min e 3 s	42 min	52 min e 30 s	1 h 34 min e 30 s
Finitura (sup 4)	25,2 s	1 min e 57 s	21 min	1 h 37 min e 30 s	1 h 58 min e 30 s
Intero processo	2 min e 53 s	14 min e 3 s	3 h 3 min e 28 s	13 h 15 min e 30 s	16 h 20 min e 58 s

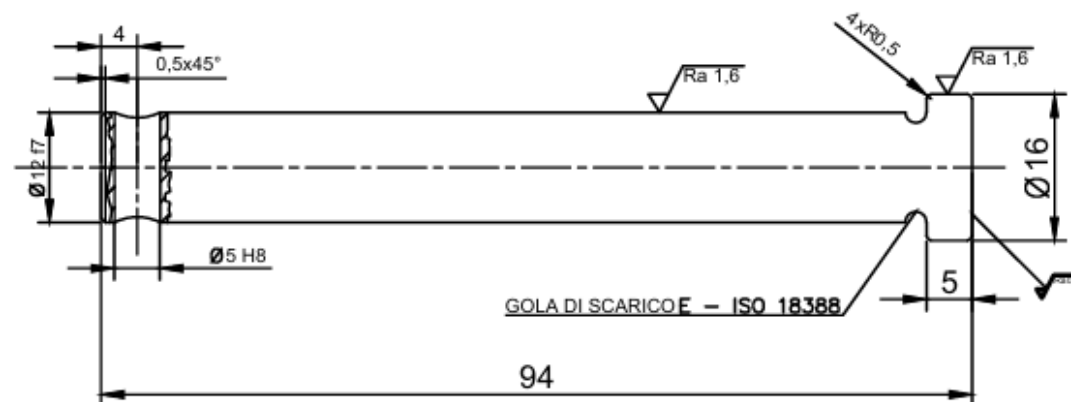
ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO – Analisi dei costi di lavorazione

- Gli inserti per finitura erano entrambi dei lotti da 10, perciò abbiamo considerato il prezzo di un singolo inserto;
- Per la manodopera abbiamo considerato una paga all'operaio di 20 €/h;
- Per il costo dell'energia elettrica, dato che ad oggi oscilla tra i 25 e i 30 centesimi al kWh, abbiamo preso il valore di mezzo, cioè € 0,27/kWh.

	Costo al pezzo	Costo totale
Allargatore (sup 3)	€ 0,70	€ 34,90
Alesatore (sup 3)	€ 3,50	€ 175
Mandrino portapinze	€ 1	€ 49,95
Pinza MariTool ER32 (6 mm)	€ 0,37	€ 18,70
Inserto per fresa a candela (sup 2 e 4)	€ 0,32	€ 16
Fresa a candela (sup 2 e 4)	€ 5	€ 250
Inserto per finitura (sup 2 piana e 4)	€ 0,20	€ 10
Inserto per finitura (sup 2, raccordi)	€ 0,40	€ 20
Gambo	€ 2,60	€ 130
Allargatore (sup 1)	€ 1,27	€ 63,50
Alesatore (sup 1)	€ 6,18	€ 309
Pinza MariTool ER32 (16 mm)	€ 0,23	€ 11,60
Manodopera	€ 6,54	€ 327
Energia elettrica	trascurabile	€ 0,90
Intero processo	€ 28,31	€ 1415,50

ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO - Albero





UNIVERSITA' DI PISA		
OGGETTO: Albero		FOGLIO: 1 di 1
		SCALA: 1:1
MATERIALE:	ACCIAIO C45E	FORMATO: A4
TOLLERANZE GENERALI:	ISO 2768-f	DATA: 07/09/2025

ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO – Scelta del materiale

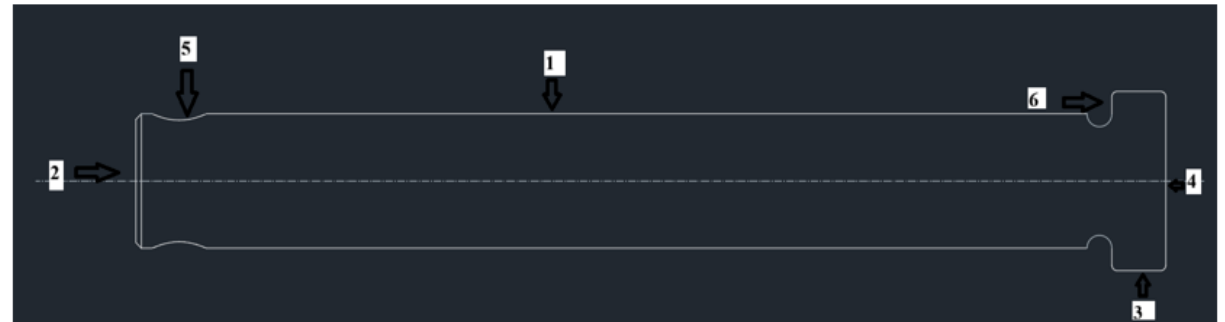
Come materiale abbiamo scelto l'**acciaio C45E** per tre motivi principali:

- 1. Buona resistenza meccanica e tenacità** sufficiente a evitare rotture;
- 2. Facile da lavorare al tornio:** Questa caratteristica permette di ottenere superfici lisce, quote precise e tolleranze strette preservando gli utensili da un'eccessiva usura;
- 3. Relativamente economico e di facile reperimento sul mercato:** L'acciaio C45E rientra tra gli acciai da costruzione più diffusi per applicazioni meccaniche generiche.

ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO - Disegno e analisi delle lavorazioni da effettuare

- Per l'acquisto del materiale abbiamo contattato un fornitore che offre **barre tonde in acciaio C45E** del **diametro** di **16 mm**. Abbiamo richiesto **2 barre da 3 metri ciascuna**, dato che dobbiamo produrre 50 alberi lunghi ognuno 94 mm. Per avere un maggior margine di errore al taglio, dalle due barre di 3 metri ricaveremo 50 barre di 97 mm ciascuna tramite l'utilizzo di una sega a nastro. Dei 6 metri di barre di acciaio comprati ne useremo quindi 4,85, e il materiale che avanza verrà destinato ad altre lavorazioni.

N° superficie	Tipologia superficie	Processi possibili
1	Cilindriche esterne, coassiali	Tornitura
2, 4, 6	Piane, perpendicolari all'asse	Tornitura
5	Cilindrica interna	Foratura
Smussi	-	Tornitura
Raccordi	-	Tornitura



Raggruppamento delle operazioni in sottofasi

N° superficie	Processo
1, 2, 4, 6	Tornitura
5	Foratura

ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO

– Scelta delle macchine utensili

- Per queste lavorazioni useremo il **tornio** e la **fresatrice** precedentemente usata per la lavorazione del corpo base. Dato che andremo a lavorare un **componente assialsimmetrico**, la nostra decisione è ricaduta su un **tornio parallelo**, in particolare il **Tornio parallelo Bernardo Profi 700 Top**



SPECIFICHE TORNIO

- **Distanza tra le punte: 700 mm**
- Altezza delle punte: 150 mm
- **Diametro massimo tornibile: 300 mm**
- Larghezza del letto: 180 mm
- **Foro del mandrino (passaggio barra): 38 mm**
- Supporto del mandrino: MK 5
- Area avanzamenti longitudinali: 0,07 – 0,65 mm/giro
- Area avanzamenti piani: 0,03 – 0,12 mm/giro
- Filettature metriche: 0,2 - 3,5 mm
- Corsa canotto contropunta: 85 mm
- Attacco contropunta: MK 3
- **Potenza di uscita del motore: 1,1 KW / 230 V**
- **Potenza di ingresso del motore: 1,5 KW / 230 V**
- Misure macchina (L x P x H): 1380 x 640 x 500 m;
- Peso: circa 235 kg senza basamento

ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO – Sequenza delle lavorazioni, scelta degli utensili e degli inserti

Fase	Lavorazione	Superficie	Inserto	Utensile
10	Taglio			
20 a	Sfacciatura del grezzo	2	CCMT 09 T3 04-PF 4315 CoroTurn® 107	SCLCR 1616H 09 CoroTurn® 107
20 b	Tornitura cilindrica	1	CNMG 12 04 08-MM 2035 T-Max® P per la sgrossatura, per la finitura il CCMT 09 T3 04-PF 4315 CoroTurn® 107	PCLNR 1616H 12-M T-Max® P per la sgrossatura, per la finitura SCLCR 1616H 09 CoroTurn® 107
	Realizzazione spalla	6	CNMG 12 04 08-MM 2035 T-Max® P	PCLNR 1616H 12-M T-Max®
	Raccordo R 0,5	3,4,6	CCMT 09 T3 04-PF 4315 CoroTurn® 107	SCLCR 1616H 09 CoroTurn® 107
20 c	Realizzazione gola di scarico E – ISO 18388	1	N123D2-0150-0001-GF 1125, CoroCut® 1-2	LF123E15-1616B, CoroCut® 1-2
20 d	Finitura	1,6	CCMT 09 T3 04-PF 4315 CoroTurn® 107	SCLCR 1616H 09 CoroTurn® 107
20 e	Sfacciatura	4		
20 f	Smussatura 0,5x45°	2		
30 a	Centratura	5	Punte a Trapano da Centro HSS 60	Mandrino portapinze MT4–ER32 con filetto tirante M16, pinza MariTool ER32 6 mm
	Foratura		Punta elicoidale Dormer	
	Alesatura		Alesatore meccanico HSS-E Ø5 mm	

ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO – Parametri di taglio

Lavorazione	Avanzamento	Profondità di taglio	Velocità di taglio	Velocità macchina	Sezione di truciolo	Pressione di taglio	Forza di taglio	Potenza di taglio	Vel. di asportazione del materiale
Sgrossatura (sup 1)	0,20 mm/giro	1,5 mm	95 m/min	1890 rpm	0,30 mm ²	1195 N/mm ²	385,5 N	0,57 kW	
Realizzazione spalla	0,20 mm/giro	1,5 mm	70 m/min	1856 rpm	0,30 mm ²	1195 N/mm ²	385,5 N	0,42 kW	
Sfacciatura sup 2 e finitura sup 1	0,05 mm/giro	0,25 mm	70 m/min	1856 rpm	0,0125 mm ²	2236 N/mm ²	28 N	0,044 kW	
Sfacciatura sup 4 e finitura sup 6	0,05 mm/giro	0,25 mm	95 m/min	1890 rpm	0,0125 mm ²	2236 N/mm ²	28 N	0,033 kW	
Realizzazione gola	0,06 mm/giro	0,30 mm	35 m/min	928 rpm	0,018 mm ²	2080 N/mm ²	37,44 N	0,021 kW	
Smussatura	0,08 mm/giro	0,50 mm	35 m/min	928 rpm	0,04 mm ²	1777 N/mm ²	71 N	0,041 kW	
Raccordatura	0,08 mm/giro	0,50 mm	47 m/min	1246 rpm	0,04 mm ²	1777 N/mm ²	71 N	0,055 kW	
Centratura	0,08 mm/giro		7,85 m/min	1250 rpm	0,04 mm ²	2053 N/mm ²	72 N	0,009 kW	
Foratura	0,08 mm/giro		20 m/min	1250 rpm	0,1 mm ²	1640 N/mm ²	225 N	0,075 kW	
Alesatura	0,25 mm/giro	0,10 mm	12 m/min	710 rpm	0,025 mm ²	1431 N/mm ²	45 N	0,009 kW	278 mm ³ /min

ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO – Analisi dei tempi di lavorazione

- Come per il corpo base, per tutte le lavorazioni abbiamo usato la formula $t = \frac{l+e}{a \times n}$, con l che rappresenta la corsa dell'utensile, e è l'extracorsa, a è l'avanzamento e n sono i numeri di giri al minuto della fresatrice;
- Come tempi passivi abbiamo preso in considerazione l'accensione e lo spegnimento del macchinario, il cambio di utensile, l'eventuale riposizionamento del pezzo dopo una lavorazione e un eventuale controllo finale.

Lavorazione	Tempo attivo (per pezzo)	Tempo passivo (per pezzo)	Tempo attivo (totale)	Tempo passivo (totale)	Tempo totale
Sfacciatura	10,3 s	36 s	8 min e 35 s	30 min	38 min e 35 s
Sgrossatura (tornitura)	29,1 s	48 s	24 min e 15 s	40 min	1 h 4 min e 15 s
Finitura (tornitura)	1 min	42 s	50 min	35 min	1 h e 25 min
Realizzazione gola	20,7 s	42 s	17 min e 15 s	35 min	52 min e 15 s
Smussatura	0,97 s	18 s	48,5 s	15 min	15 min e 48 s
Raccordatura	1,54 s	36 s	1 min e 17 s	30 min	31 min e 17 s
Centratura	1,8 s	1 min e 30 s	1 min e 30 s	1 h e 15 min	1 h 16 min e 30 s
Foratura	8,4 s	1 min e 33 s	7 min	1 h 17 min e 30 s	1 h 24 min e 30 s
Alesatura	4,73 s	1 min e 39 s	3 min e 56 s	1 h 22 min e 30 s	1 h 26 min e 26 s
Intero processo	2 min e 17 s	8 min e 24 s	1 h 53 min e 48 s	7 h	8 h 53 min e 48 s

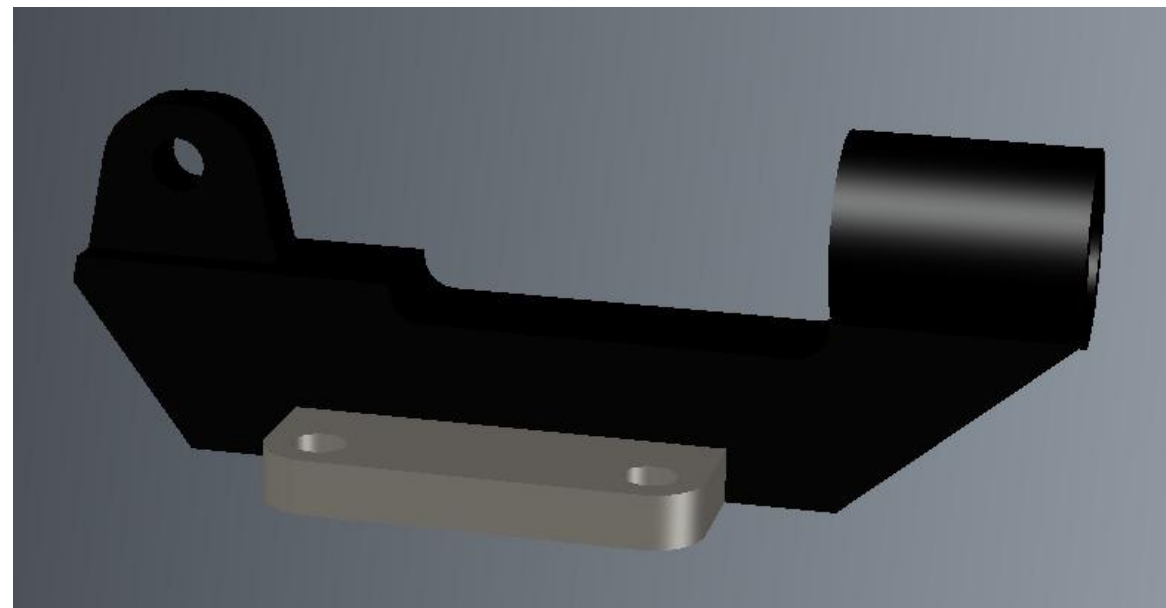
ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO – Analisi dei costi di lavorazione

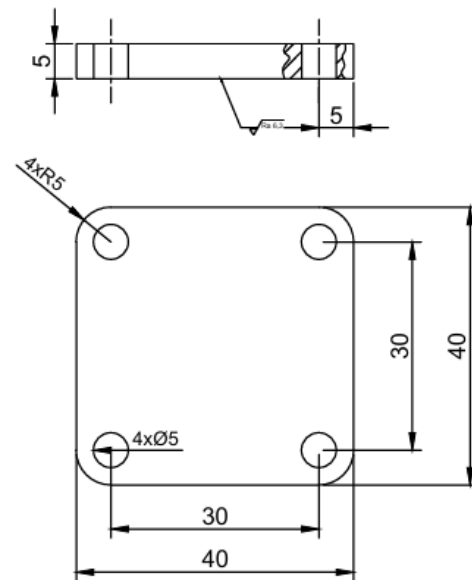
- La punta elicoidale era disponibile in lotti da 5, perciò abbiamo considerato il prezzo di una singola punta;
- Per la manodopera abbiamo considerato l'impiego di due operai, uno al tornio e uno alla fresa, e una paga di 20 €/h ciascuno;
- Per il costo dell'energia elettrica, dato che ad oggi oscilla tra i 25 e i 30 centesimi al kWh, abbiamo preso il valore di mezzo, cioè € 0,27/kWh.

	Costo al pezzo	Costo totale
CNMG 12 04 08-MM 2035	€ 0,28	€ 13,75
Porta-inserto PCLNR 1616H 12-M	€ 1,92	€ 95,80
CCMT 09 T3 04-PF 4315	€ 0,26	€ 12,80
Porta-inserto SCLCR 1616H 09	€ 2,08	€ 104
N123D2-0150-0001-GF 1125	€ 0,73	€ 36,35
Porta-inserto LF123E15-1616B	€ 2,72	€ 136
Set punte centraggio HSS	€ 0,27	€ 13,65
Punta elicoidale Dormer	€ 0,06	€ 3
Alesatore HSS-E Ø5 mm	€ 0,55	€ 27,18
Mandrino portapinze	€ 1	€ 49,95
Pinza MariTool ER32 (6 mm)	€ 0,37	€ 18,70
Costo manodopera	€ 3,57	€ 178,50
Costo energia elettrica	trascurabile	€ 0,75
Intero processo	€ 13,81	€ 690,43



SALDATURA





UNIVERSITA' DI PISA		
OGGETTO: Piastra base		FOGLIO: 1 di 1
		SCALA: 1:1
MATERIALE:	ACCIAIO S355JR	FORMATO: A4
TOLLERANZE GENERALI:	ISO 2768-f	DATA: 07/09/2025

I materiali del giunto

La giunzione saldata unisce due materiali metallurgicamente diversi:

- **Corpo Base:** Ghisa sferoidale EN-GJS-400-15
- **Piastra Base:** Acciaio strutturale S355JR (UNI EN 10025-2)

Per unire ghisa e acciaio, prevenendo cricche dovute all'alto carbonio, si usano **materiali d'apporto a base di nichel** e un **ciclo termico controllato**: pre-riscaldamento della ghisa a 250-350°C e raffreddamento lento. Questo metodo industriale assicura l'integrità strutturale.

Tipo di saldatura

Per questo progetto, abbiamo scelto il processo **GMAW-MIG** con filo a base di **niche**l (ERNiFe-Cl), in quanto offre il miglior risultato tra qualità del giunto e efficienza produttiva per un lotto di 50 pezzi.

Parametri Indicativi di Saldatura MIG:

- **Filo:** ERNiFe-Cl, Ø 0.9 - 1.0 mm
- **Gas di Protezione:** Argon (Ar) puro o miscela Argon/Elio (Ar+He)
- **Corrente (I):** 150 - 200 A
- **Tensione (V):** 24 - 30 V

Tecnica: Cordoni brevi (20-30 mm), seguiti da martellatura (peening) a caldo e mantenimento della temperatura di interpass.

Saldatrice

La **Telwin Technomig 215 Dual Synergic** è una saldatrice inverter a filo continuo, professionale e versatile.

Permette saldature MIG manuali o sinergiche (parametri automatici), usando gas (MAG) o filo animato (No Gas). Eroga 220A, saldando acciaio fino a 5 mm. Si raccomanda **Argon** o **Ar+He** come gas di protezione.

Costo saldatrice: 949,00€



Attrezzatura necessaria

Equipaggiamento Standard: Torcia di saldatura, cavo e pinza di massa, bombola di gas protettivo (Argon e CO₂), riduttore di pressione con flussometro, bobina di filo per saldatura, gas di protezione, ricambi torcia (punte, ugello, diffusore).

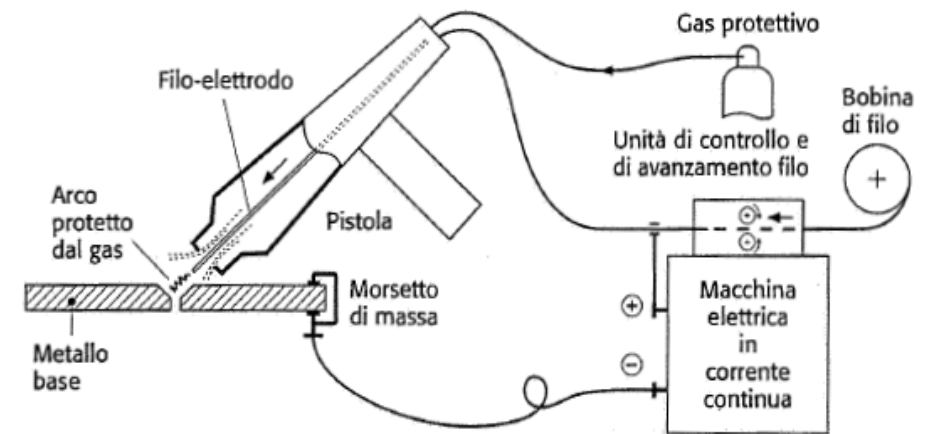
Dispositivi di Protezione Individuale: Maschera autoscurante, guanti in pelle, giacca/grembiule ignifugo, scarpe antinfortunistiche, maschera per fumi.

Attrezzatura Aggiuntiva (Saldature in Ghisa): Sistema di preriscaldamento (forno, cannelli, pistole termiche), strumenti per misurare la temperatura (termometri, gessetti), strumenti per raffreddamento controllato (coperte termiche, sabbia, forno), martello da peening, spazzole metalliche dedicate in acciaio inox.

Utensili e Accessori: Smerigliatrice angolare (dischi, spazzole), pinza saldatori multifunzione, morsetti e pinze a scatto, spray anti-splatter, spazzola metallica manuale, dima di saldatura.

Processo di lavorazione

- 1. Preparazione:** Pulizia e leggera smussatura dei lembi da saldare.
- 2. Pre-riscaldamento:** Il corpo in ghisa viene riscaldato lentamente e uniformemente tra 250°C e 350°C.
- 3. Assemblaggio e puntatura:** Posizionamento e puntatura dei componenti a temperatura di pre-riscaldamento.
- 4. Saldatura:** Saldatura MIG con cordoni brevi (20-30 mm), alternati e martellati a caldo. La temperatura interpass non deve scendere sotto i 250°C.
- 5. Raffreddamento lento:** Coprire il pezzo con coperte termiche o immergerlo in sabbia calda per un raffreddamento lento e uniforme.
- 6. Finitura e controllo qualità:** A pezzo freddo, sbavatura e controllo visivo.





Materiali d'apporto per giunto ghisa-acciaio

Il **filo ERNiFe-CI**, conforme alla specifica AWS A5.15 e a base di nichel-ferro, rappresenta la soluzione ideale per la saldatura della ghisa sferoidale. Questo materiale è apprezzato per la sua eccellente combinazione di resistenza meccanica e duttilità. Il filo è stato appositamente sviluppato per affrontare le problematiche tipiche della saldatura di leghe di ghisa, quali la tendenza alla **fragilità** nella **zona termicamente alterata (ZTA)** e la **diluizione con il materiale base**.

Analisi dei tempi di produzione

ATTIVITÀ	TEMPO STIMATO (50 PEZZI)
Setup iniziale	20 minuti
Preparazione e pulizia	75 minuti
Pre-riscaldamento e controllo T	100 minuti
Assemblaggio e puntatura	100 minuti
Saldatura (incl. pause, peening)	110 minuti
Raffreddamento e gestione	15 minuti
Finitura e controllo	75 minuti
Pulizia finale	15 minuti
TEMPO TOTALE LAVORAZIONE	510 minuti (circa 8.5 ore)



Analisi costi di produzione

VOCE DI COSTO	COSTO TOTALE (50 PEZZI)
Manodopera	297,50 €
Materiali, Energia, Consumabili	85,00 €
COSTO TOTALE LOTTO	382,50 €
COSTO PER SINGOLO PEZZO	7,65 €

Giunto di saldatura

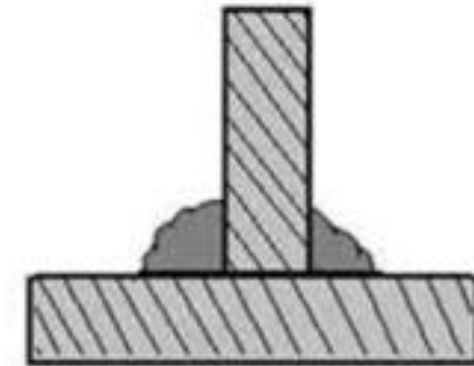
Tipologia del Giunto: Giunto a T (T-Joint)

Le pareti verticali del corpo base poggiano **perpendicolarmente** sulla superficie piana della piastra base. Questa unione crea un angolo interno ed esterno lungo tutto il perimetro di contatto, che è la sede perfetta per la saldatura.

Tipologia del Cordone: Cordone d'Angolo

La sua funzione è quella di stabilire un solido **collegamento strutturale** tra le due superfici perpendicolari.

- **Geometria del Cordone:** La sezione trasversale di un cordone d'angolo è tipicamente **triangolare**.
- **Preparazione:** La leggera smussatura sulla piastra in acciaio migliora la penetrazione e la bagnatura del materiale d'apporto al nichel.
- **Esecuzione:** L'applicazione rigorosa della tecnica a **passate brevi**, la **martellatura** (peening) a caldo dopo ogni cordone e il **controllo del ciclo termico** (pre-riscaldamento e raffreddamento lento) per prevenire la formazione di cricche da ritiro e garantire l'affidabilità meccanica del giunto.

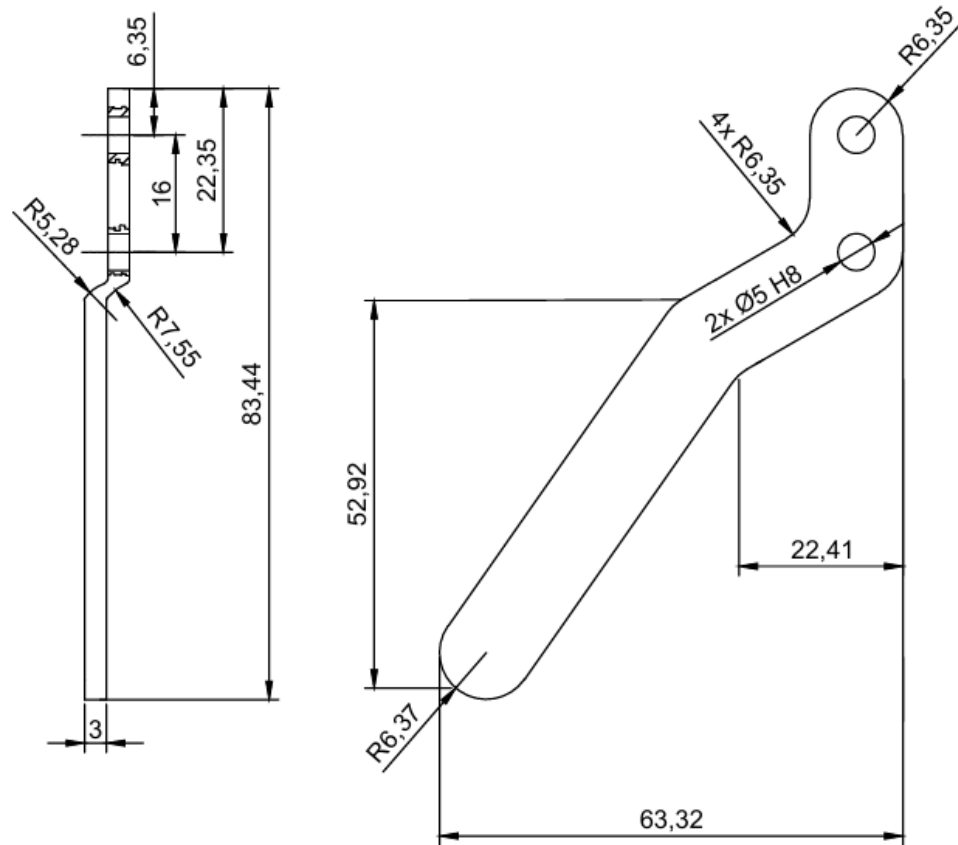


Tee Joint



DEFORMAZIONE PLASTICA





UNIVERSITA' DI PISA		
OGGETTO: Leva a L		FOGLIO: 1 di 1
		SCALA: 1:1
MATERIALE:	ACCIAIO S355MC	FORMATO: A4
TOLLERANZE GENERALI:	ISO 2768-f	DATA: 07/09/2025

Scelta del materiale

La scelta del materiale ricade sull'**acciaio S355MC**, un acciaio ad alto limite di snervamento, progettato specificamente per operazioni di formatura a freddo come la piegatura e l'imbutitura. La sua struttura a grano fine e il basso contenuto di difetti garantiscono un'**eccellente lavorabilità**, riducendo i rischi di impurità e migliorando la qualità del pezzo finito. Risulta la scelta più adatta per le lavorazioni di tranciatura e piegatura.

S355MC

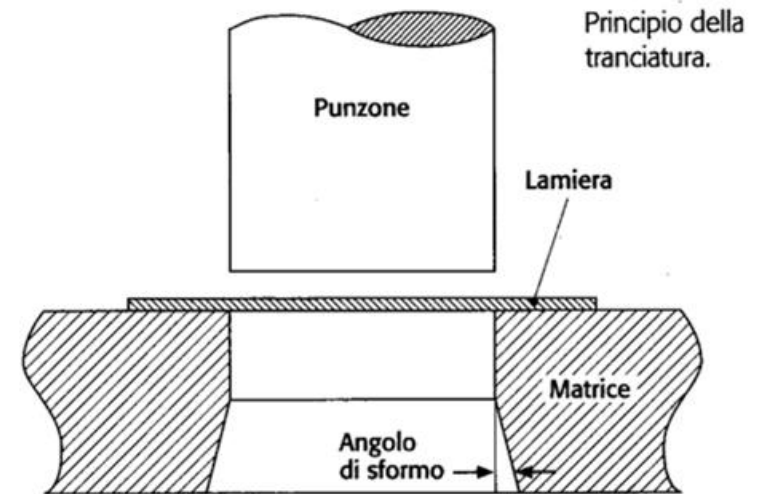
NORMA
NUMERO IDENTIFICATIVO
CLASSIFICAZIONE
TIPOLOGIA
STATO DI LAMINAZIONE
DESCRIZIONE SINTETICA
APPLICAZIONI D'USO

ACCIAIO MICRO-LEGATO

EN 10149-2
1.0976
Acciaio di Qualità
Acciaio Legato
AR - Grezzo di laminazione
Acciaio ad alto limite di snervamento per formatura, piegatura e imbutitura a freddo. Trattasi di un acciaio a grano fine, a basso contenuto di zolfo e ridotto contenuto inclusionale.
Veicoli da trasporto, containers, serbatoi, macchine agricole, profili.

Tranciatura e punzonatura

Il processo inizia con una lamiera in acciaio S355MC, avente uno spessore nominale di 3 mm. Per massimizzare l'efficienza, le operazioni di **tranciatura** (taglio del profilo esterno) e **punzonatura** (creazione dei fori) vengono eseguite **simultaneamente**, in un'unica fase, tramite l'utilizzo di uno stampo progressivo o a blocco. La lavorazione si svolge in una **pressa meccanica a eccentrico**, sulla quale è installato uno stampo di tranciatura progettato su misura. Il ciclo di lavorazione è **automatico** e ad **alta velocità**.



Sequenza delle operazioni

1. **Inserimento Lamiera:** La lamiera viene posizionata all'interno dello stampo, al di sopra della matrice.
2. **Azione di Taglio:** Durante la discesa della slitta della pressa, il punzone entra in contatto con la lamiera. Un premilamiera mantiene il materiale fermo per garantire un taglio netto e preciso.
3. **Deformazione e Tranciatura:** La penetrazione del punzone provoca inizialmente una deformazione plastica del materiale, seguita dal taglio netto per azione di cesoiatura contro i bordi affilati della matrice.
4. **Espulsione del Pezzo:** Il pezzo tranciato (leva in forma 2D) viene spinto attraverso l'apertura della matrice e cade liberamente in un raccoglitore situato sotto lo stampo.
5. **Avanzamento Materiale:** La slitta risale, liberando il nastro di lamiera che avanza automaticamente per il ciclo successivo. Il pezzo finito, agevolato da un leggero angolo di sforno, cade attraverso la matrice e viene raccolto.

Il gioco tra punzone e matrice durante la penetrazione si calcola con la formula:

$$g = (0,007 \cdot s - 0,005) \cdot Kt = 0.30 \text{ mm}$$

Dimensionamento di punzone e matrice

(varia a seconda del tipo di operazione, che sia taglio di un profilo esterno o creazione di un foro interno)

Tranciatura (profilo esterno): le dimensioni finali del pezzo corrispondono a quelle della matrice. Il **punzone**, invece, deve avere **dimensioni ridotte di 2g** rispetto a quelle della matrice.

Punzonatura (fori): le dimensioni del punzone sono quelle del foro desiderato. Per la **matrice**, le dimensioni devono essere **aumentate di 2g** rispetto a quelle del punzone. Ad esempio, per un foro da Ø5 mm, la dimensione della Matrice è $5 + (2 \cdot 0,30) = 5,6 \text{ mm}$

Calcolo della Forza Massima (Pmax)

La forza massima di taglio è necessaria per dimensionare la pressa. Si calcola con la formula

$$P_{max} = L \cdot s \cdot K_t = 324 \text{ kN}$$

- Perimetro totale da tagliare (L): ~243 mm (profilo esterno + 2 fori)
- Spessore (s): 3 mm
- Resistenza a taglio (K_t): 343 MPa

Otteniamo una forza massima di circa 33 tonnellate. Si sceglierà quindi una **pressa meccanica da 50 tonnellate** per operare con un adeguato margine di sicurezza.

Piegatura

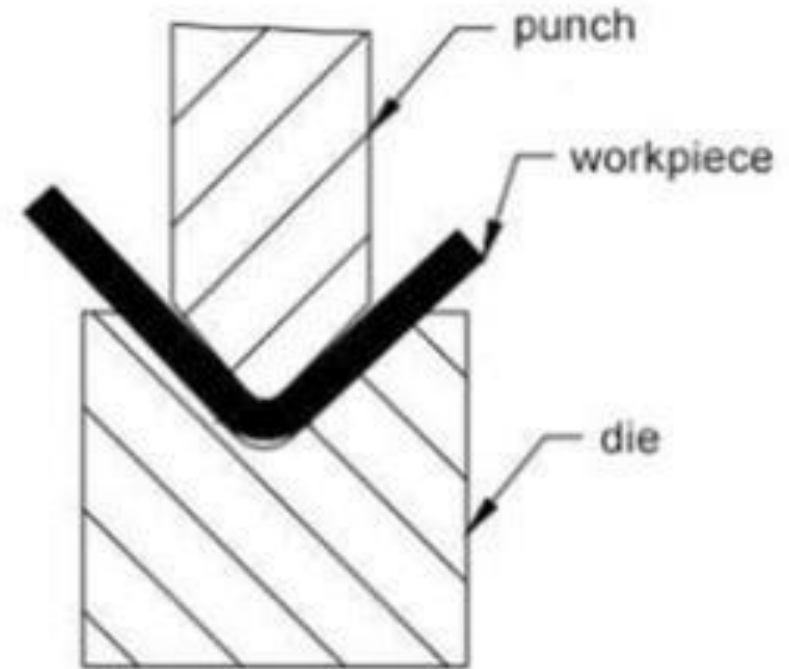
Il pezzo piano viene, successivamente, sottoposto a **piegatura a V in aria** su una pressa piegatrice a controllo numerico (CNC) per ottenere la configurazione finale a "L".

Per piegare in modo permanente una lamiera d'acciaio S355MC, è necessario applicare una forza che superi il suo limite di snervamento di 355 MPa.

Calcolo del carico per piegatura ($P_{max} = k \cdot L \cdot s^2 \cdot R_m \cdot W$)

Per una lamiera di 3 mm di spessore e 25 mm di lunghezza, con una matrice a V da 18 mm e una resistenza a trazione di 490 MPa, il carico di piegatura calcolato è di circa **8.1 kN**.

Questo carico è gestibile da una **pressa piegatrice CNC**. L'uso di questa macchina è fondamentale perché è in grado di compensare automaticamente il **ritorno elastico** del materiale, assicurando una piega precisa fino a **90°**.



Analisi costi di produzione

Per produrre un lotto di 100 leve, viene utilizzato uno **stampo a blocco**. Questo stampo esegue punzonatura e tranciatura in un'unica fase, risultando meno complesso di uno stampo a passo. L'analisi dei costi mostra che questa strategia non è economicamente sostenibile per un piccolo lotto.

Tipo di Costo	Descrizione	Valore
Costo Fisso	Realizzazione dello stampo a blocco	€6,000.00
Costo Variabile	Materiale (acciaio S355MC)	€11.00
	Lavorazione (manodopera e macchine)	€124.00
Costo Totale	Costo Fisso + Costi Variabili	€6,135.00
Costo per Leva	Costo Totale / 100 pezzi	€61.35
Costo per Coppia	Costo per Leva x 2	€122.70

Taglio laser

L'alternativa più vantaggiosa è l'uso del **taglio laser** e della **piegatura CNC**.

Questo approccio elimina il costoso stampo fisico, sostituendolo con un semplice **file CAD** per il taglio laser della forma della leva.

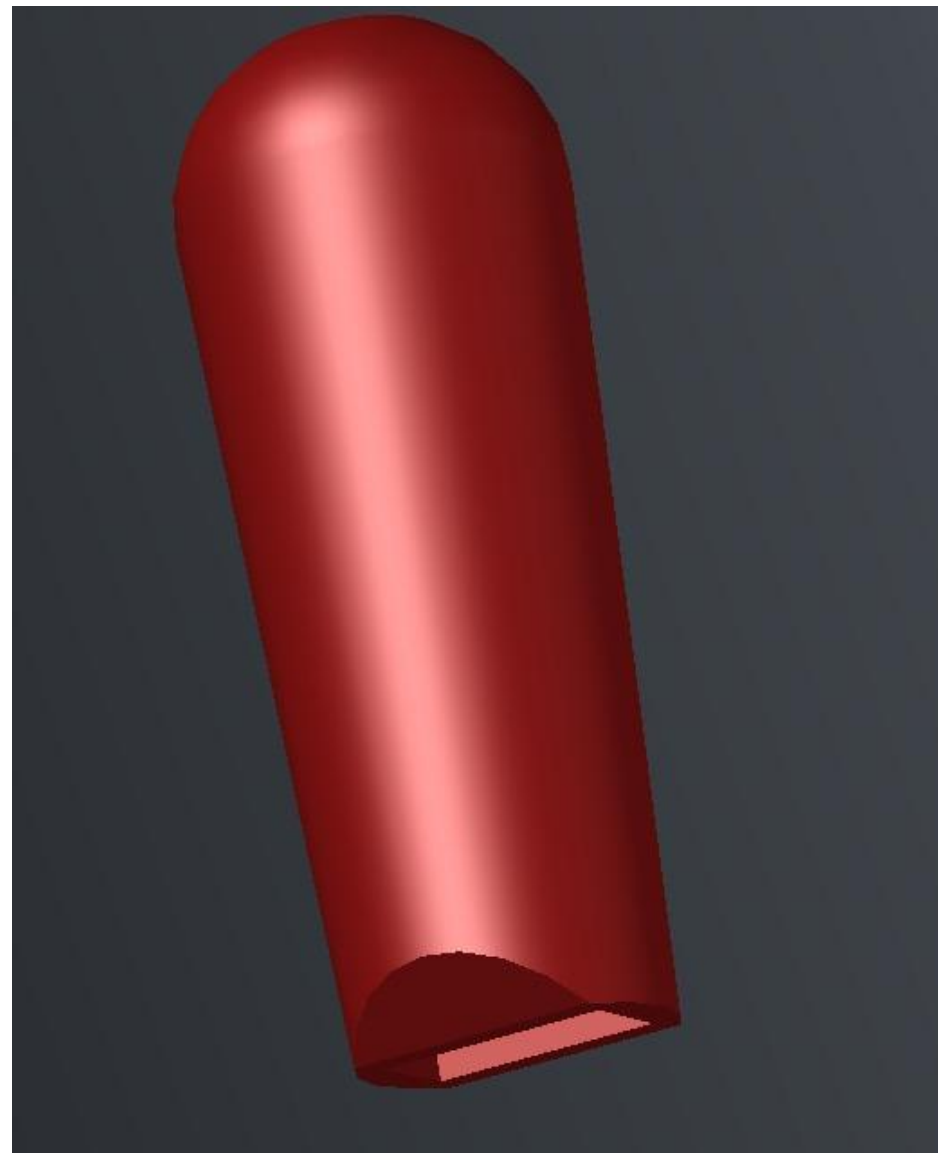
Successivamente, una pressa piegatrice CNC esegue le pieghe.

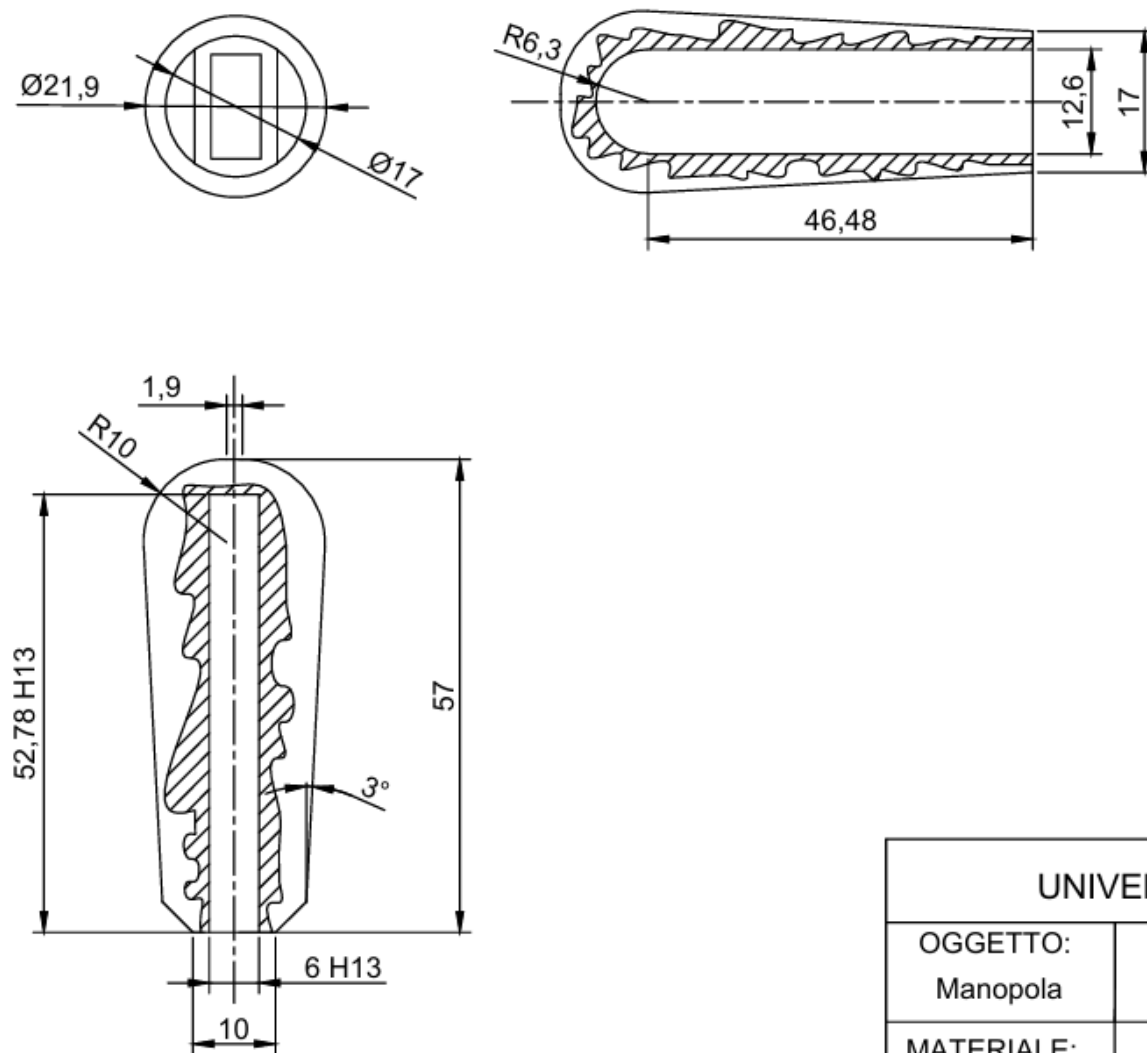
Questo metodo **riduce** drasticamente i **costi fissi** di attrezzaggio, che si limitano alla programmazione delle macchine.

Categoria di Costo	Descrizione	Importo
Costi Fissi	Programmazione CAD/CAM per taglio laser e piegatura	120,00€
Costi Variabili	Materia prima (Acciaio S355MC)	11,00€
	Costo di lavorazione (ore macchina e gestione)	56,20€
Costo Totale Lotto (100 pezzi)		187,70€
Costo Unitario per Leva		1,87€



Stampa 3D





UNIVERSITA' DI PISA		
OGGETTO: Manopola		FOGLIO: 1 di 1
		SCALA: 1:1
MATERIALE:	PETG	FORMATO: A4
TOLLERANZE GENERALI:	ISO 2768-f	DATA: 07/09/2025

Scelta materiale e stampante

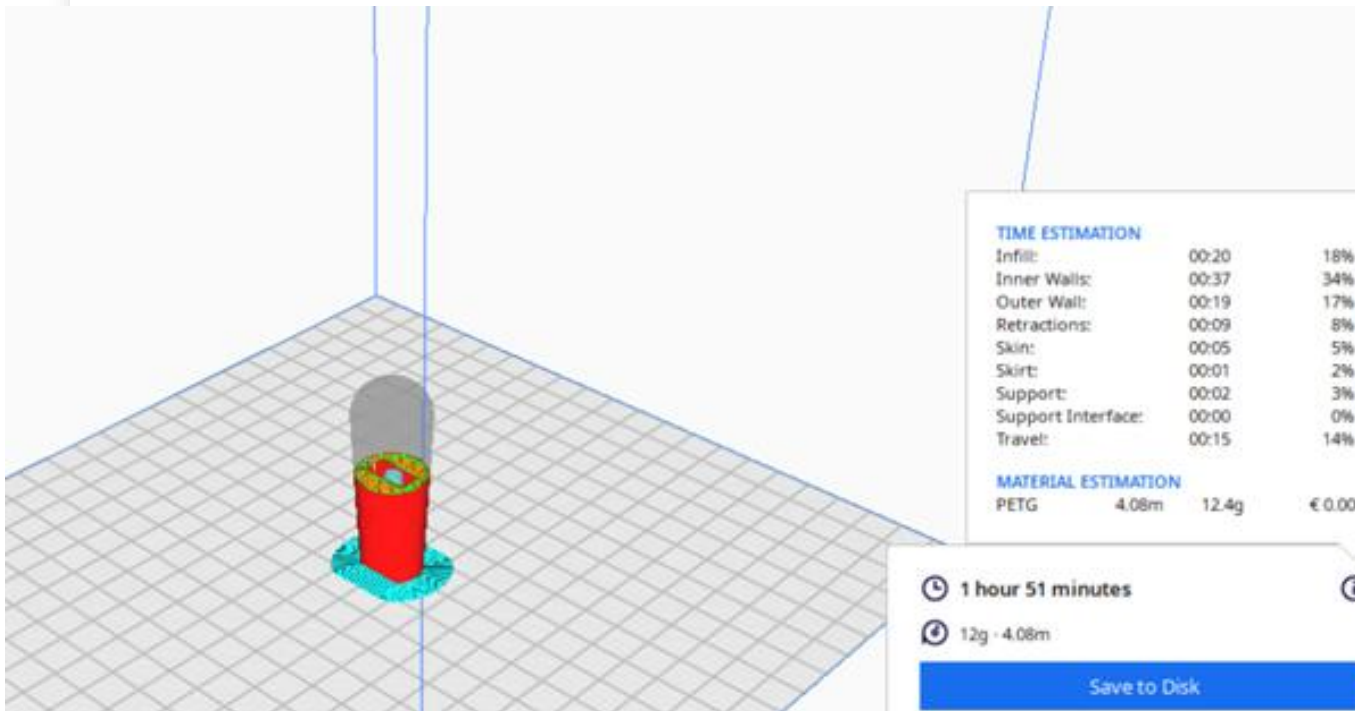
È stato scelto il **PETG** come materiale per la manopola perché offre il miglior equilibrio tra robustezza e rigidità. È un materiale resistente che non si deforma sotto sforzo, ha un'ottima **resistenza agli urti** (superiore al PLA) e resiste anche a oli e grassi, rendendolo ideale per trasmettere la forza dell'operatore senza flessioni.

Inoltre è stata scelta la stampante **Creality Ender 3 S1 Pro** perché è affidabile, precisa e adatta a stampare materiali tecnici come il PETG.



Analisi costi e tempi di produzione

La seguente analisi si basa sui dati ottenuti dalla simulazione in **Ultimaker Cura**, considerando un tempo di stampa di 1 ora e 51 minuti e un consumo di **12.4 grammi** di PETG per singola manopola.



	Prototipo Singolo	Lotto da 50 Manopole
Tempi		
Tempo di Stampa	1.85 ore	85 ore
Manodopera	15 minuti	3.5 ore
Costi		
Manodopera	€7.50	€105.00
Consumo Materiale	€0.17	€8.33
Energia Elettrica	€0.10	€5.10
Ammortamento Stampante	€0.32	€16.15
Costo Totale	€8.09	€134.58

Grazie dell'attenzione



Christian Parisi (636236)

Filippo Rapone (619648)