



UNIVERSITÀ DI PISA

Tecnologia Meccanica

a.a. 2024/2025

Elaborato progettuale

Realizzazione di un morsetto a ginocchiera push-pull

Candidati

Parisi Christian 636236

Rapone Filippo 619648

Docenti

Spigliati Francesco

Lanzetta Michele

Indice dei contenuti

Introduzione	7
CICLO DI FUSIONE	9
Scelta del materiale	9
Scelta del tipo di formatura	9
Scelta del tipo di terra	10
Dimensionamento del greggio	10
Scelta del piano di divisione	10
Angoli di sformo	11
Raggi di raccordo	11
Analisi del ritiro del getto e dei sovrametalli	12
Progettazione anima e portata d'anima	14
Calcolo dei moduli di raffreddamento	15
Metodo dei cerchi di Heuvers	20
Dimensionamento materozza	20
Collare d'attacco materozza	22
Dimensionamento del sistema di colata	24
Sezione attacchi di colata	24
Sezione canale di distribuzione	25
Sezione canale di colata	26
Dimensionamento delle staffe	27
Disegno delle placche modello	29
Calcolo spinte metallostatiche	29
Simulazione di colata mediante l'uso di INSPIRE CAST	31
Riempimento	32
Solidificazione, frazione solida	34
Porosità	36
Tempi e costi del processo di fusione	36
Costo manodopera	37
Costo materiale	38
Costo del modello in legno	38
Costo terra da fonderia	38
Costo delle staffe	38
ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO	39
Asportazione di truciolo - corpo base	39

Disegno e analisi delle lavorazioni da effettuare	39
Raggruppamento delle operazioni in sottofasi	40
Sequenza delle lavorazioni	40
Scelta delle macchine utensili	40
Fresatrice	40
Scelta degli utensili, degli inserti e delle attrezzature	42
Allargatura (sup 3)	42
Alesatura (sup 3)	43
Fresatura (sup 2)	47
Sgrossatura	47
Finitura (sup 2)	50
Allargatura (sup 1)	54
Alesatura (sup 1)	55
Calcolo dei parametri di taglio	58
Allargatura (sup 3)	58
Allargatura (sup 1)	59
Alesatura (sup 3)	59
Alesatura (sup 1)	60
Fresatura	60
Sgrossatura	60
Finitura (superfici piane)	61
Finitura (raccordi)	61
Calcolo dei tempi di lavorazione	62
Allargatura (sup 3)	62
Alesatura (sup 3)	62
Fresatura (sup 2)	62
Sgrossatura	62
Finitura (superficie piana)	63
Finitura (raccordi di raggio 3,5 mm)	63
Allargatura (sup 1)	63
Alesatura (sup 1)	63
Fresatura (sup 4)	64
Sgrossatura	64
Finitura	64
Costi di lavorazione	65

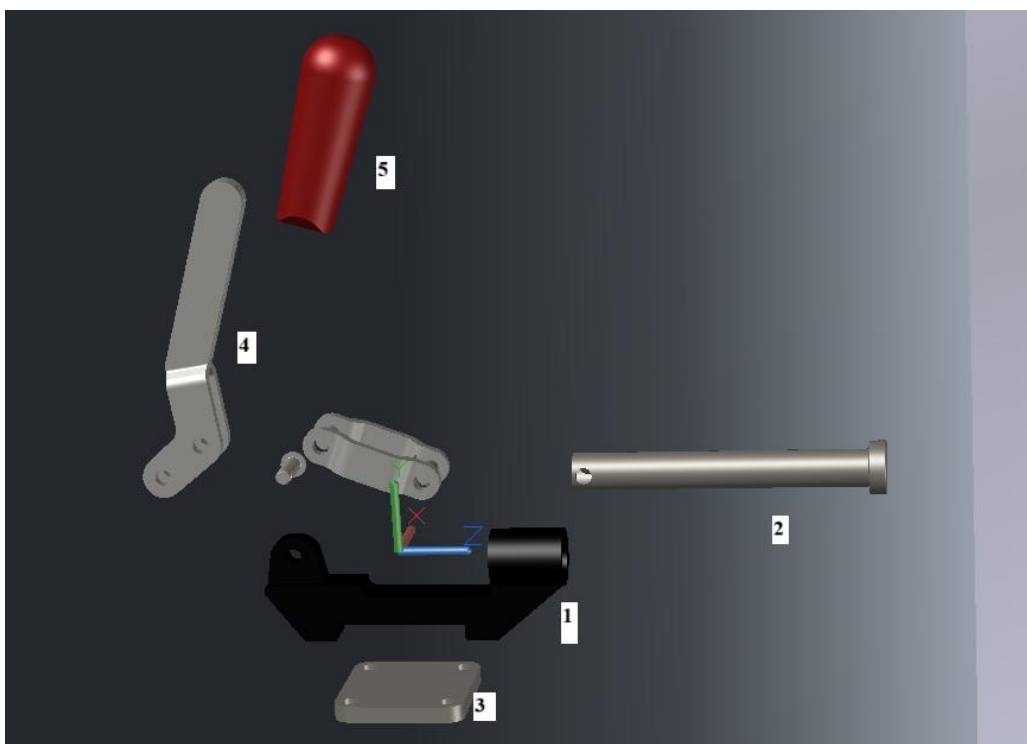
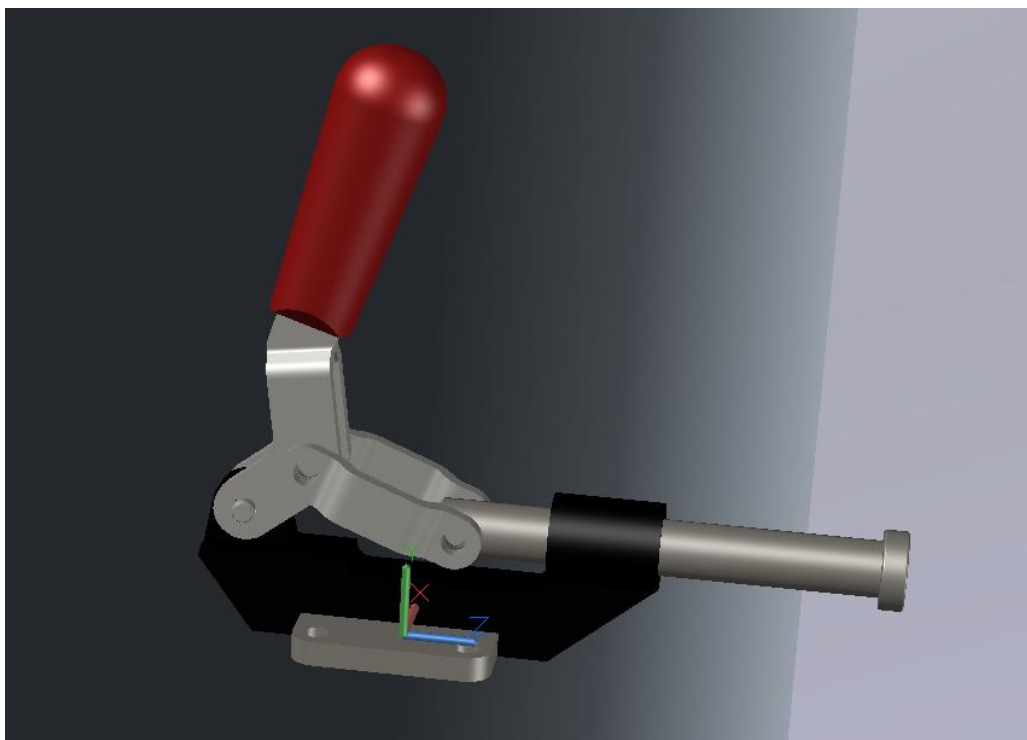
Costi di inserti e utensili	65
Costo della manodopera	65
Costo energia elettrica	65
Asportazione di truciolo - albero	66
Disegno	66
Scelta del materiale	66
Lavorazione	68
Costo materiale (2 barre × 3 m)	68
Raggruppamento delle operazioni in sottofasi	68
Sequenza delle lavorazioni	69
Scelta delle macchine utensili	69
Tornio	69
Scelta degli utensili, degli inserti e delle attrezzature	71
Tornitura	71
Sgrossatura	71
Finitura, sfacciatura e realizzazione di raccordi e smussi	75
Realizzazione della gola	79
Foratura	82
Centrata	82
Foratura	83
Alesatura	84
Calcolo dei parametri di taglio	85
Tornitura	85
Parametri di taglio sgrossatura superficie 1 e realizzazione spalla 6	85
Parametri di taglio sfacciatura (superfici 2 e 4), finitura superfici 1, e 6	86
Parametri di taglio realizzazione gola	86
Parametri di taglio per smussatura e raccordi	87
Foratura	88
Parametri di taglio della centratura	88
Parametri di taglio della foratura	88
Parametri di taglio dell'alesatura	89
Calcolo dei tempi di lavorazione	90
Tornitura	90
Sgrossatura	90
Finitura	91

Sfacciatura	91
Realizzazione gola.....	92
Smussatura	92
Raccordatura.....	92
Foratura	93
Centratura	93
Foratura	93
Alesatura	93
Tempo totale per la realizzazione di 50 alberi:.....	94
Costi di inserti e utensili	94
Costo della manodopera	94
Costo energia elettrica	94
SALDATURA	95
I materiali del giunto e la scelta del tipo di saldatura.....	95
Scelta del processo di saldatura: MIG (Ni) vs. SMAW (Elettrodo nichelato)	95
Saldatrice	96
Attrezzatura necessaria.....	99
Equipaggiamento Standard.....	99
Processo di lavorazione.....	100
Materiale d'apporto per giunto ghisa-acciaio	100
Analisi dei tempi e costi (Lotto da 50 pezzi).....	101
Calcolo dei tempi:.....	101
Calcolo dei Costi:	101
Analisi del giunto di saldatura.....	102
DEFORMAZIONE PLASTICA	103
Scelta del materiale.....	103
Caratteristiche Tecniche (S355MC):.....	103
Composizione Chimica di Riferimento:	103
Tranciatura e punzonatura	104
Sequenza delle Operazioni:	104
Dimensionamento di punzone e matrice.....	105
Calcolo della Forza Massima (Pmax)	105
Piegatura.....	106
Calcolo del carico di piegatura	106
Analisi tempi e costi: processo industriale (Lotto da 100 leve)	107

Conclusioni e Proposta di Processo Alternativo.....	107
STAMPA 3D	109
Analisi del processo di stampa 3D: Manopola	109
Scelta del Materiale	109
Stampante 3D	110
Caratteristiche tecniche fondamentali.....	110
Analisi dei Costi e Tempi di Produzione	111
Produzione di un Prototipo Singolo	111
Produzione dell'Intero Lotto (50 Manopole)	111
Bibliografia:	112
Programmi e software utilizzati:	112
APPENDICE	113

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**, commissionato da un fornitore di attrezzature per officine.



I particolari numerati sono quelli di cui andremo ad analizzare il processo di lavorazione, in particolare:

- Il **corpo base (1)** verrà realizzato tramite **fusione** e in seguito **asportazione di truciolo (alesatura e fresatura)**;
- L'**albero (2)** verrà realizzato tramite **asportazione di truciolo (tornitura, foratura, alesatura)**;
- Con la **piastra di base (3)** analizzeremo il processo di **saldatura** che la salderà al corpo base (1);
- La **manopola (4)** verrà realizzata tramite **stampa 3D**;
- E infine le **leve ad L (5)** saranno realizzate tramite **deformazione plastica**.

I disegni di tutti i particolari analizzati, delle anime e dei modelli delle placche relative al ciclo di fusione sono raccolti in appendice. La divisione degli argomenti è stata effettuata nel seguente modo:

- La fusione e tutte le lavorazioni dell'asportazione di truciolo sono state trattate da Christian Parisi (da pagina 9 a pagina 94)
- La saldatura, la deformazione plastica e la stampa 3D sono state trattate da Filippo Rapone (da pagina 95 a pagina 114)

CICLO DI FUSIONE

Scelta del materiale

Per la realizzazione del corpo base del morsetto abbiamo scelto come materiale la ghisa sferoidale EN-GJS-400-15. Inizialmente avevamo optato per un acciaio da getti, ma in seguito ci siamo resi conto che la ghisa è molto più vantaggiosa:

- Ha una colabilità molto superiore, cioè il metallo liquido scorre più facilmente all'interno dello stampo in sabbia, riuscendo a riempire anche zone sottili e geometrie complesse senza difetti di "mancata colata". Questo aspetto è fondamentale per il nostro pezzo, che presenta incavi, raccordi e differenze di sezione che, con un acciaio fuso, avrebbero richiesto canali di colata più grandi e materozze maggiorate;
- Ha un ritiro medio intorno allo 0,8–1,0%, quindi circa la metà rispetto agli acciai fusi, che si attestano attorno al 2%. Questo ci permette di progettare modelli più compatti con materozze meno voluminose, e ciò porta a un minor spreco di materiale e minor probabilità di cavità di ritiro;
- Fonde e cola a temperature inferiori rispetto all'acciaio (tipicamente 1350–1400 °C contro 1550–1600 °C), con conseguente minor usura degli stampi in sabbia e un risparmio energetico nella fusione;
- Migliore lavorabilità meccanica: la presenza della grafite nella microstruttura agisce come lubrificante naturale durante le lavorazioni di fresatura e alesatura, riducendo i tempi macchina e l'usura degli utensili;

Lega	Stato fisico	Caratteristiche meccaniche e fisiche				
		Resistenza a trazione Rm MPa Min. [N/mm²]	Carico unitario di scostamento dalla proporzionalità 0,2% Rp0,2 Min. [N/mm²]	Allungamento a rottura A% Min.	Durezza Brinell HB 30	Densità [g/cm³]
EN-GJS-400 GGG-40 5.3106 – EN 16482	Ø 35-60 mm	≥ 400	≥ 250	≥ 15	160 ↔ 180	7,3
	Ø 65-120 mm	≥ 390	≥ 250	≥ 14		
	Ø 125-400 mm	≥ 370	≥ 240	≥ 11		

Lega	Composizione chimica %				
	C	Si	Mn	S	P
EN-GJS-400-15 EN 16482	3.25 – 3.70	2.40 – 3.00	0.10 – 0.30	0.020 max	0.080 max

Scelta del tipo di formatura

Per la scelta del tipo di formatura abbiamo optato per una forma transitoria. Questo perché, nonostante la forma permanente sia riutilizzabile per molte colate, assume un senso per le produzioni di grande serie, perché il costo iniziale per la realizzazione dello stampo viene ammortizzato su un numero grande

di pezzi. Nel nostro caso quindi, per un lotto di 50 pezzi, adottare una forma permanente sarebbe antieconomico. Inoltre, la forma transitoria ha dei costi iniziali contenuti e può riprodurre facilmente forme complesse e con variazioni di sezioni, come nel caso del nostro corpo base.

Scelta del tipo di terra

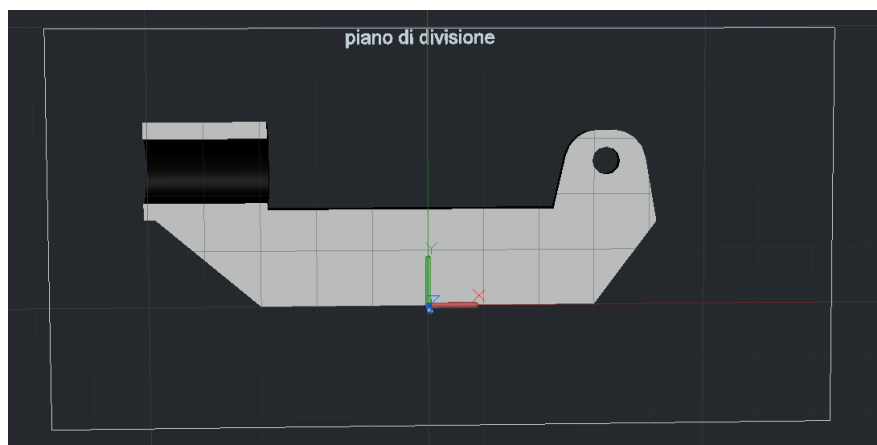
Per la nostra fusione abbiamo scelto la terra sintetica a verde con bentonite. Questo tipo di terra è quella più utilizzata per i getti in ghisa, poiché garantisce una buona coesione della forma, una refrattarietà adeguata alle temperature di colata (1350–1400 °C) e una permeabilità sufficiente ad evitare difetti dovuti ai gas sviluppati durante la fusione. Dal punto di vista economico, la terra a verde è particolarmente conveniente, sia perché ha un costo unitario ridotto, sia perché è rigenerabile in una percentuale significativa: questo aspetto la rende perfetta per la nostra produzione di 50 pezzi, evitandoci la necessità di impianti costosi per terre chimicamente legate. Sul piano pratico, dopo la colata, la sabbia si sgretola senza difficoltà, permettendo un'estrazione agevole del getto. In definitiva, abbiamo optato per la terra sintetica a verde con bentonite perché per il nostro progetto coniuga perfettamente qualità metallurgica, semplicità di processo e sostenibilità economica.

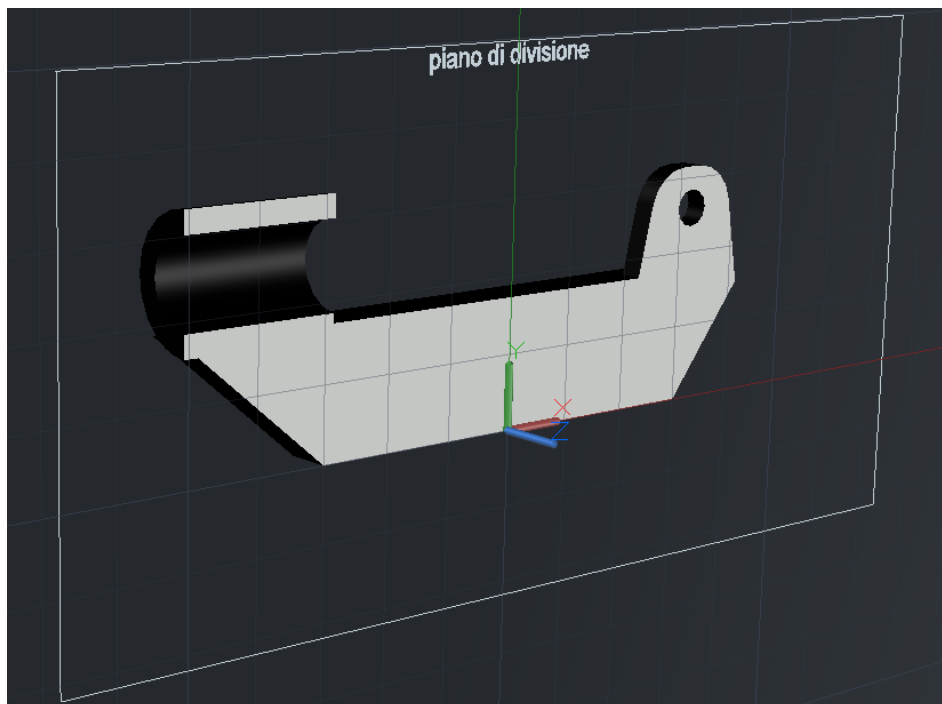
Dimensionamento del greggio

In questo paragrafo verrà dimensionato il greggio di fusione e andremo a spiegare tutte le scelte tecniche effettuate.

Scelta del piano di divisione

Per evitare problemi di sottosquadro, per non danneggiare l'oggetto durante l'estrazione e per facilitare l'applicazione degli angoli di sforno è stato scelto un piano di divisione coincidente con l'unico piano di simmetria del pezzo. Ciò assicura una buona stabilità dello stampo durante la colata: il pezzo risulta diviso in due metà simmetriche e con superfici di appoggio regolari, che riducono il rischio di disallineamenti o spostamenti delle staffe.





Angoli di sforno

Per facilitare l'estrazione del modello dalla forma e ridurre al minimo il rischio di rottura o danneggiamento delle pareti in sabbia, è necessario prevedere opportuni angoli di sforno sulle superfici verticali. Come riportato in questa tabella presa dal libro di testo (Santochi), il valore dell'angolo dipende anche dal materiale del modello, e nel nostro caso è stato previsto un modello in legno; quindi, gli angoli di sforno adottati saranno compresi tra 1° e 2° .

Valori indicativi dell'angolo di sforno	
Modelli in legno	1° - 2°
Modelli metallici	30'
Portate d'anima verticali	10° - 12°
Nervature sottili	1'-2'

Raggi di raccordo

Per garantire una buona riuscita della fusione è altrettanto importante definire i raggi di raccordo. Gli spigoli vivi devono essere eliminati e sostituiti con raggi opportuni, poiché la forma in sabbia tende a danneggiarsi in corrispondenza di angoli netti e il getto rischia di presentare difetti di riempimento e concentrazioni di tensione durante la solidificazione. Per il nostro pezzo abbiamo deciso di adottare dei raggi di raccordo di 3 mm per le zone meno sollecitate e di 5 massimo 6 mm. Il disegno 2D del pezzo con tutti i raggi di raccordo è presente nell'appendice in fondo al documento.

Analisi del ritiro del getto e dei sovrametalli

Per quanto riguarda il ritiro del getto, bisogna tenere presente che la ghisa sferoidale, come tutti i metalli, subisce una contrazione dimensionale durante il raffreddamento. Questo fenomeno deve essere compensato già in fase di progettazione del modello, maggiorando opportunamente tutte le dimensioni e quindi realizzando il modello leggermente più grande del pezzo finito. Nel caso specifico del nostro pezzo abbiamo adottato un valore di ritiro pari a circa 1,3 %, come viene riportato dalla tabella presente sul libro di testo (Santochi).

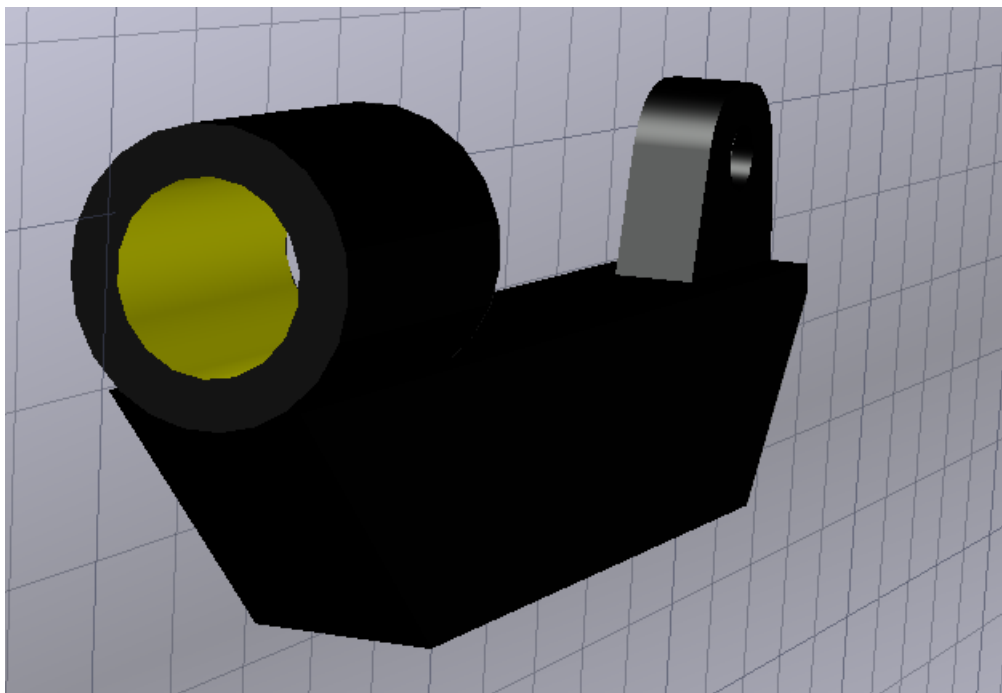
MATERIALI	RITIRO % ⁽²⁾		
	Getti piccoli ⁽¹⁾	Getti medi ⁽¹⁾	Getti grandi ⁽¹⁾
Ghise grigie	1	0,85	0,7
Ghise malleabili	1,4	1	0,75
Ghise legate	1,3	1,05	0,35
Acciaio	2	1,5	1,2
Alluminio e leghe	1,6	1,4	1,3
Bronzi	1,4	1,2	1,2
Ottoni	1,8	1,6	1,4
Leghe di magnesio	1,4	1,3	1,1

(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.

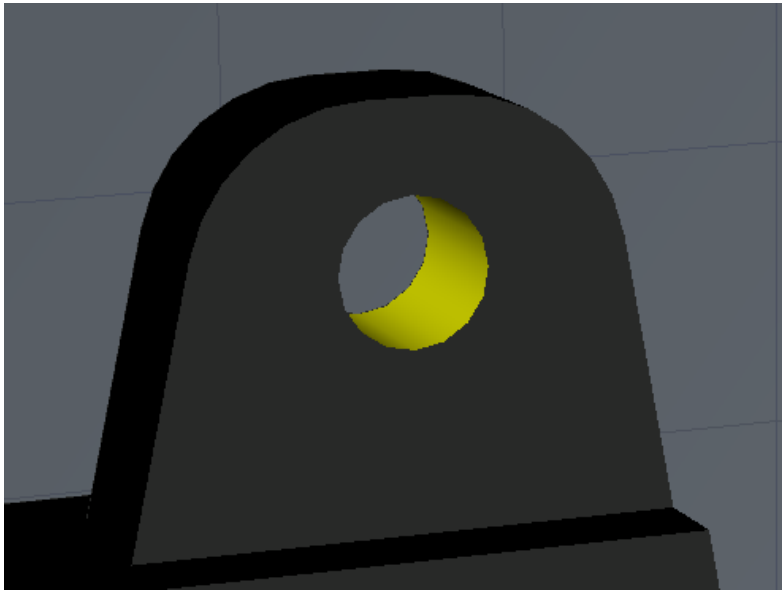
(2) Il ritiro delle cavità è in genere un po' minore (5–10%) rispetto a quello delle superfici esterne a causa della resistenza che oppongono le anime alla libera contrazione del metallo.

Il pezzo dopo la fusione presenterà delle irregolarità sulla superficie: dobbiamo dunque prevedere il sovrametallo, cioè lo spessore aggiuntivo lasciato sul getto grezzo per consentire di ottenere, con operazioni di fresatura o alesatura, le dimensioni e le tolleranze richieste sul pezzo finito. Per il nostro pezzo abbiamo optato per un sovrametallo diverso in base al tipo di superficie da lavorare. In particolare, il sovrametallo sarà:

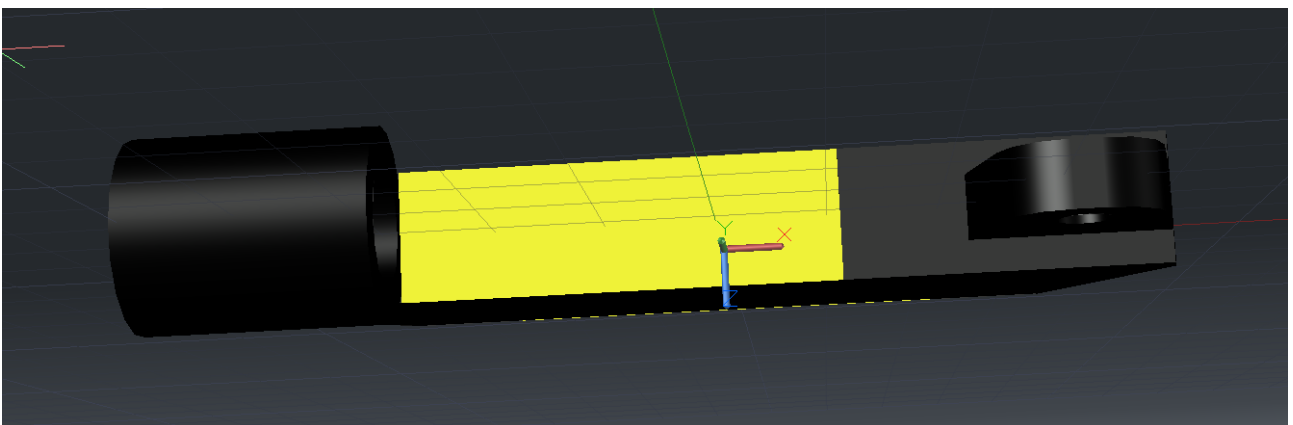
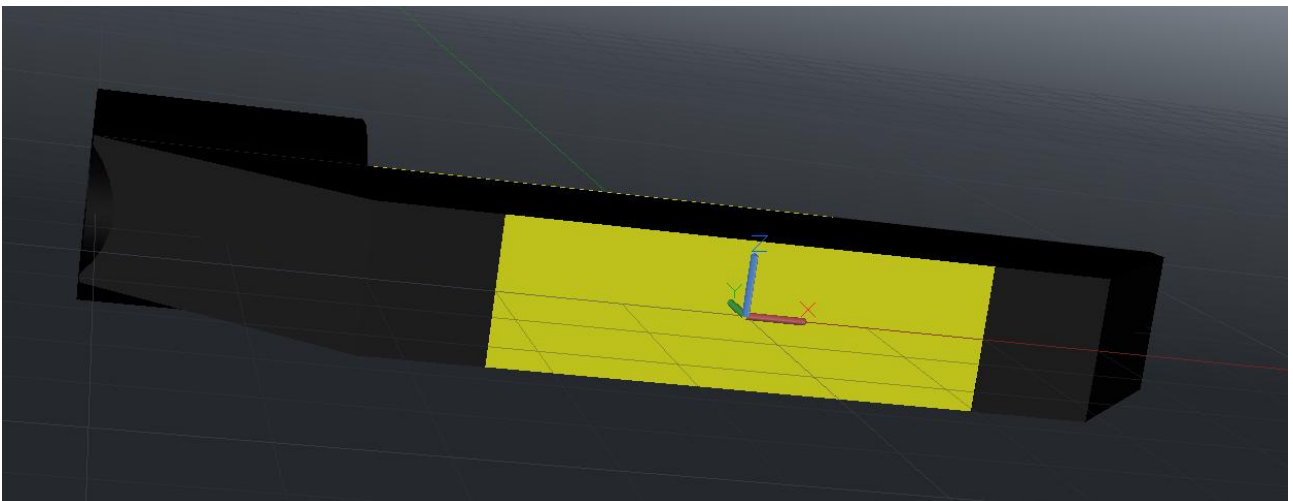
- Di 0,5 mm sulla superficie interna del foro da cui passa l'albero;



- Di 0,25 mm sulla superficie interna del foro da cui passa il perno, per evitare che l'anima venga troppo fragile;



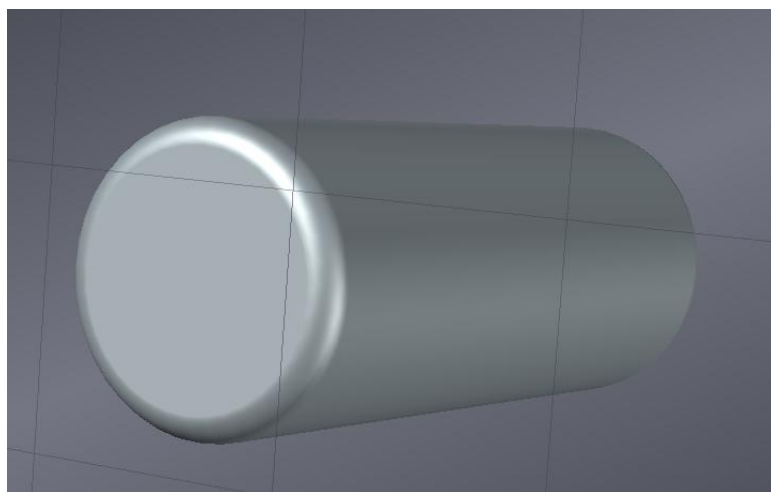
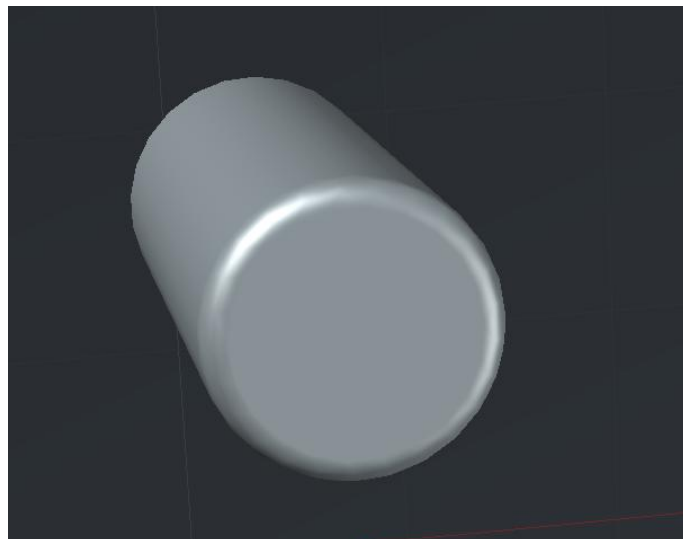
- Di 2 mm per le due superfici che andranno fresate. In particolare quella sopra ospiterà la piastra di base con saldatura.



Non abbiamo previsto sovrametallo per le superfici esterne non funzionali.

Progettazione anima e portata d'anima

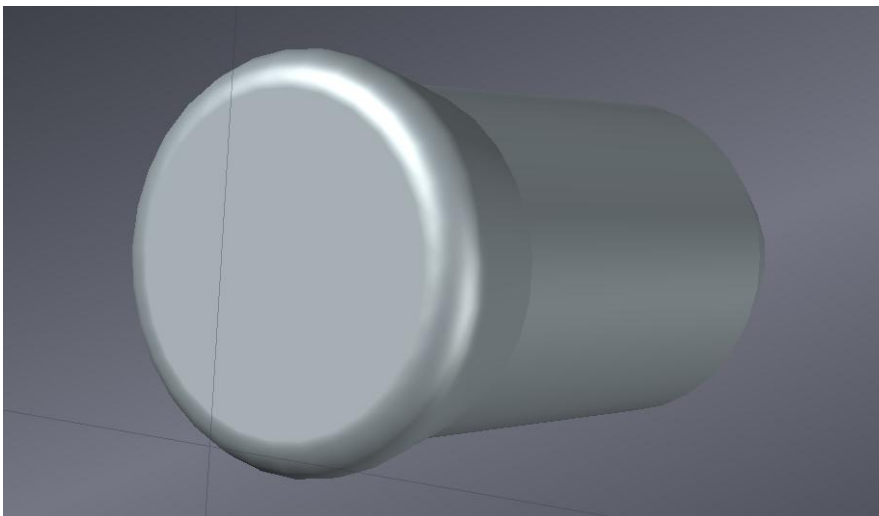
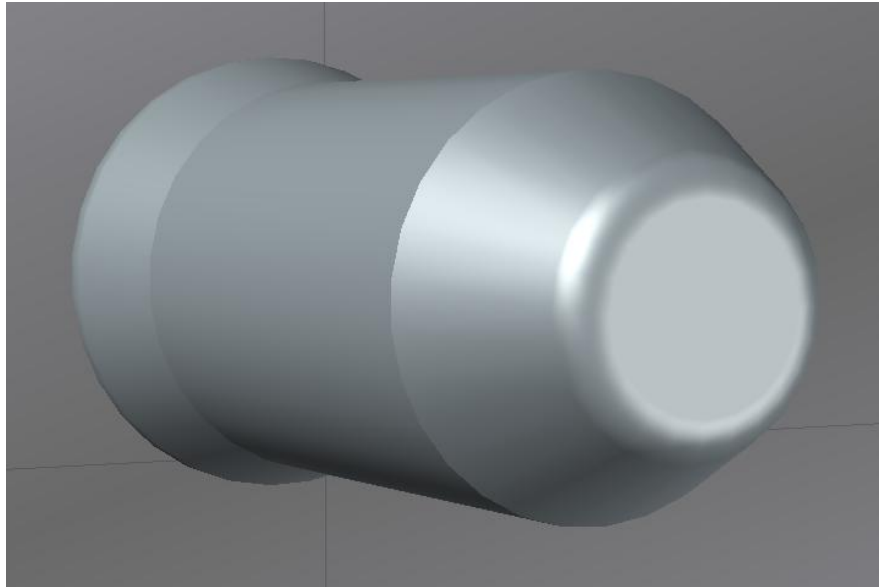
Nella progettazione del pezzo è stato necessario introdurre le anime per la realizzazione dei due fori principali: quello destinato ad accogliere l'albero, e il foro adibito al passaggio del perno. Infatti, le anime vengono utilizzate per generare cavità interne che non sarebbe possibile ottenere con il solo modello, e devono essere pensate insieme alle relative portate, ovvero le sedi che le trattengono in posizione durante la colata. Le anime devono possedere caratteristiche ben precise: resistenza meccanica per sopportare le spinte del metallo liquido, permeabilità ai gas per evitare difetti, capacità di cedimento durante il ritiro e facilità di sgretolamento al termine della colata. Il materiale di cui sono fatte è la sabbia silicea. Per quanto riguarda il nostro pezzo, l'anima destinata al foro più grande sarà di tipo cilindrico orizzontale dato che il suo asse è parallelo al piano di divisione. Per questa ragione la relativa portata sarà cilindrica, ricavata su entrambe le semiforme, con opportuni raccordi (1mm e 0,5 mm) e un angolo di sforno di circa 1–2°. Nel caso del foro più piccolo, il suo asse è ortogonale al piano di divisione, quindi è necessario prevedere una portata tronco-conica con sforni più ampi per garantire un corretto posizionamento:



- Diametro anima e portata d'anima: 11 mm, perché abbiamo contato un sovrametallo di 0,5 mm;
- Lunghezza anima: 22 mm;

- Lunghezza anima + portata d'anima: $22 + D/2 = 28$ mm (abbiamo aggiunto metà diametro senza considerare il sovrametallo per la portata d'anima).

Nel caso del foro più piccolo invece, il suo asse è ortogonale al piano di divisione, quindi è necessario prevedere una portata tronco-conica con sforni più ampi per garantire un corretto posizionamento:



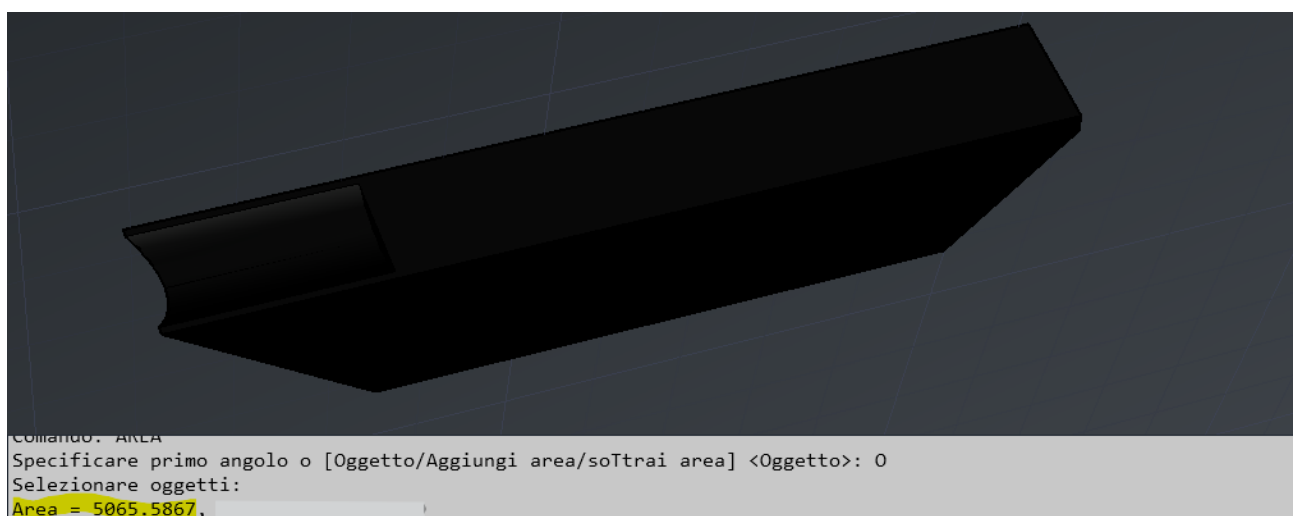
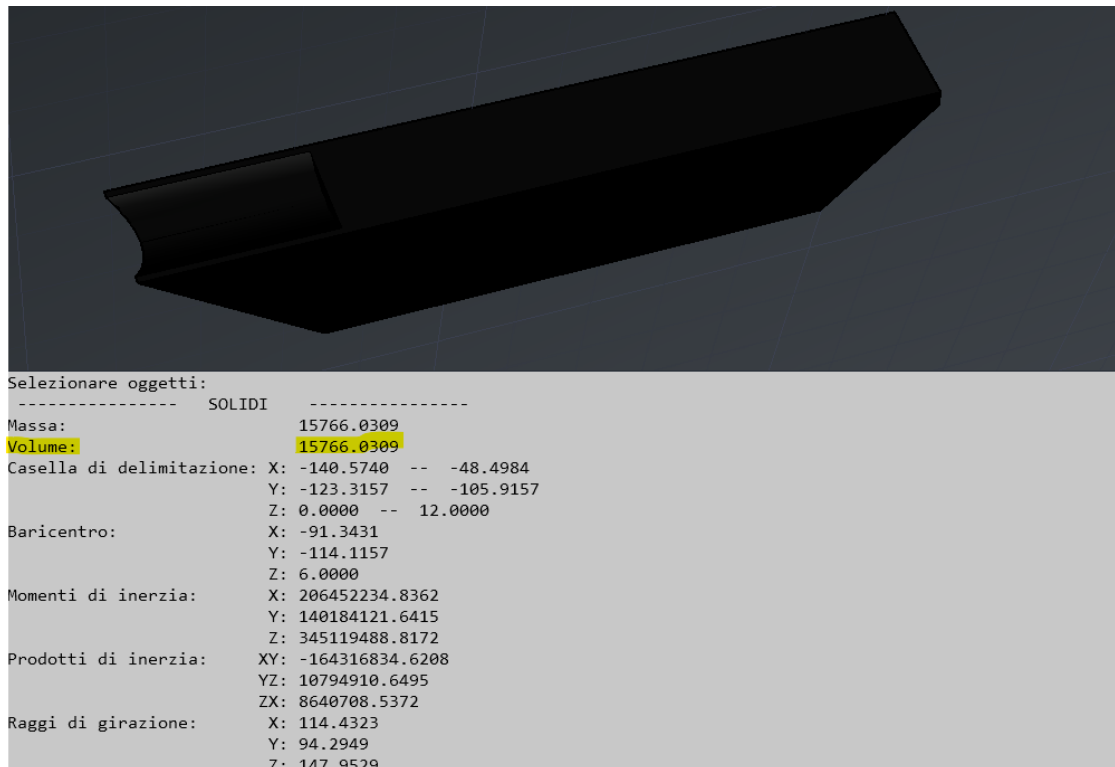
- Diametro della parte cilindrica: 5 mm;
- Diametro portata d'anima: 5.882 mm, 2,70 mm;
- Angoli di sforno: 2°;
- Lunghezza anima: 6 mm;
- Lunghezza anima + portata d'anima: 10,5 mm;

Calcolo dei moduli di raffreddamento

Per capire come e quanto velocemente si solidifica il metallo all'interno dello stampo bisogna calcolare il modulo di raffreddamento, definito come rapporto tra il volume del getto e la sua superficie effettivamente a scambio termico con la forma ($M = V/A$). Il modulo è l'indicatore diretto del tempo di solidificazione: più M è grande, più quella zona solidifica tardi; due zone con lo stesso M tendono a

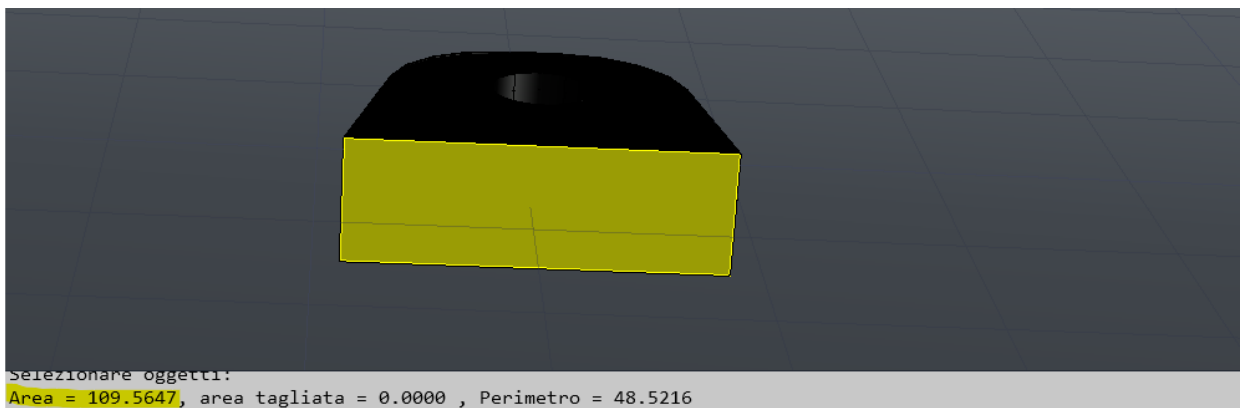
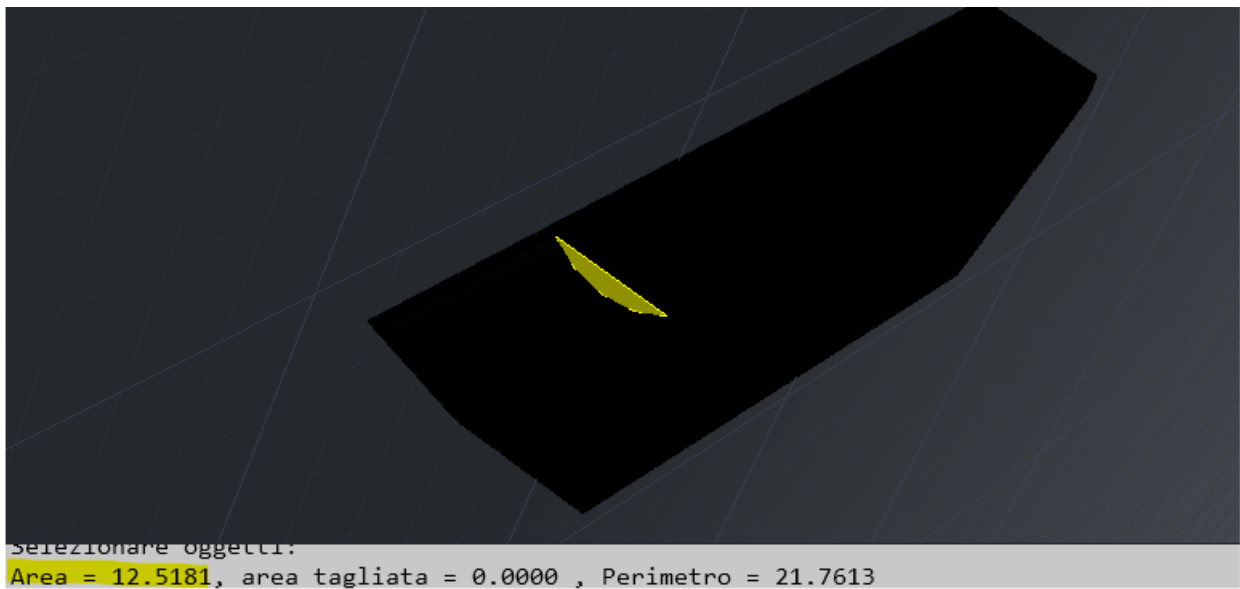
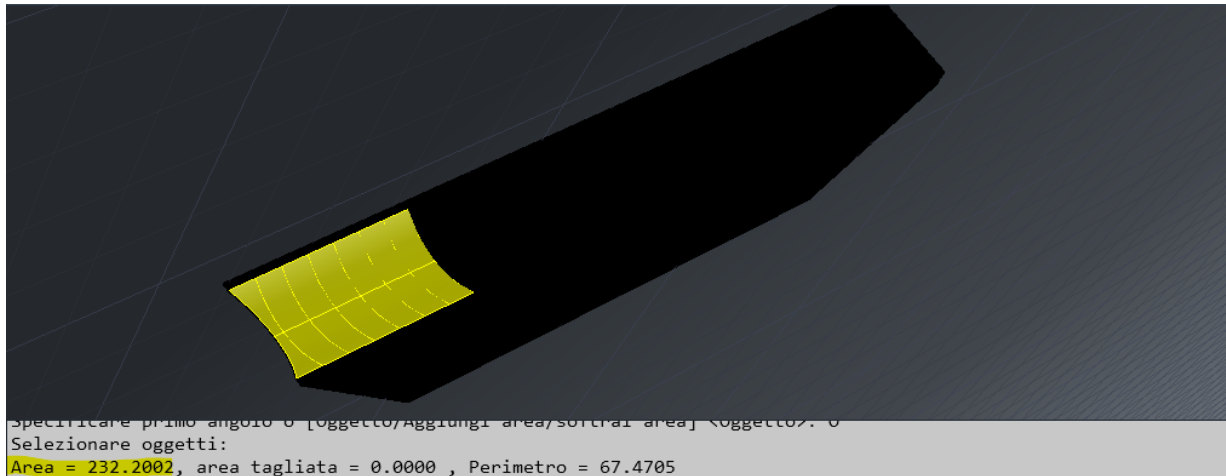
solidificare nello stesso tempo. Il calcolo del modulo di raffreddamento ci permette di evitare difetti come il ritiro, cioè delle cavità che possono formarsi dentro il pezzo quando il metallo si contrae raffreddandosi, e di conseguenza possiamo decidere dove posizionare le materozze, cioè piccoli serbatoi di metallo liquido che servono ad alimentare le zone più critiche del getto durante la solidificazione. 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). I calcoli verranno effettuati con l'ausilio di Autocad 2026:

M1:



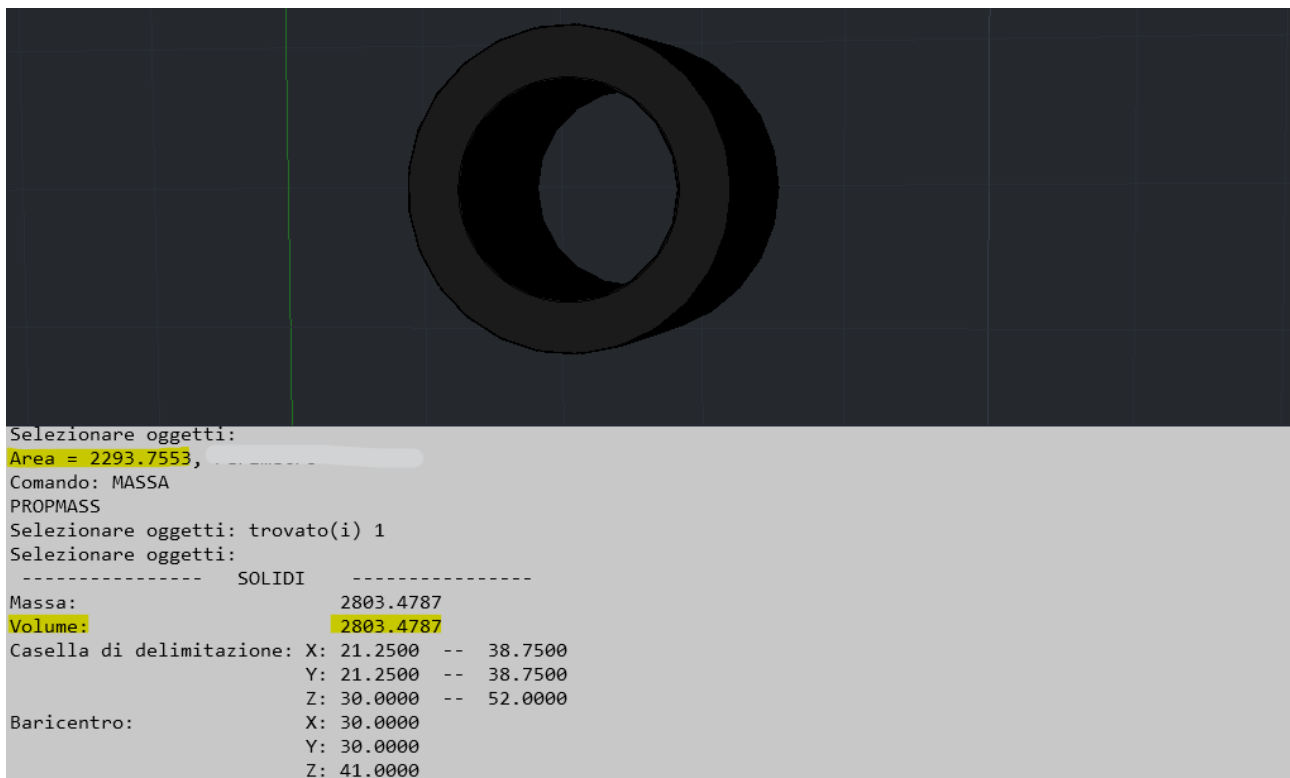
$$M_1 = \frac{\text{Volume getto}}{\text{Superficie a contatto con la forma}}$$

Con “volume getto” che è il volume misurato tramite Autocad, mentre la superficie a contatto con la forma non coincide esattamente con l’area: infatti a essa vanno sottratte le superfici di contatto di M1 con M2 e M3, che sono rispettivamente:

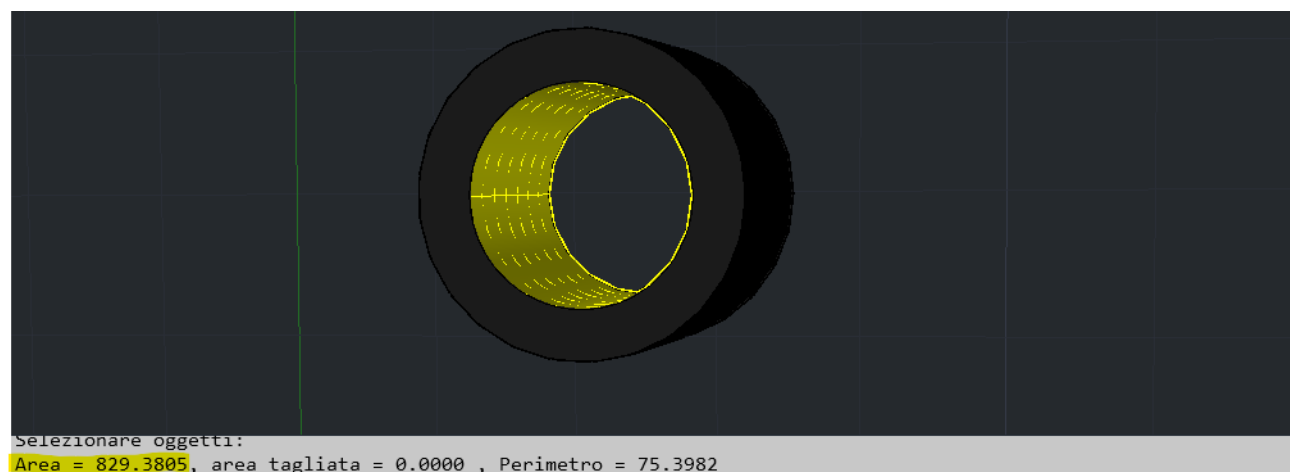


$$M_1 = \frac{\text{Volume getto}}{\text{Superficie a contatto con la forma}} = \frac{15766,0309}{5065,5867 - 232,2002 - 12,518 - 109,5647} = 3,35 \text{ mm}$$

M2:

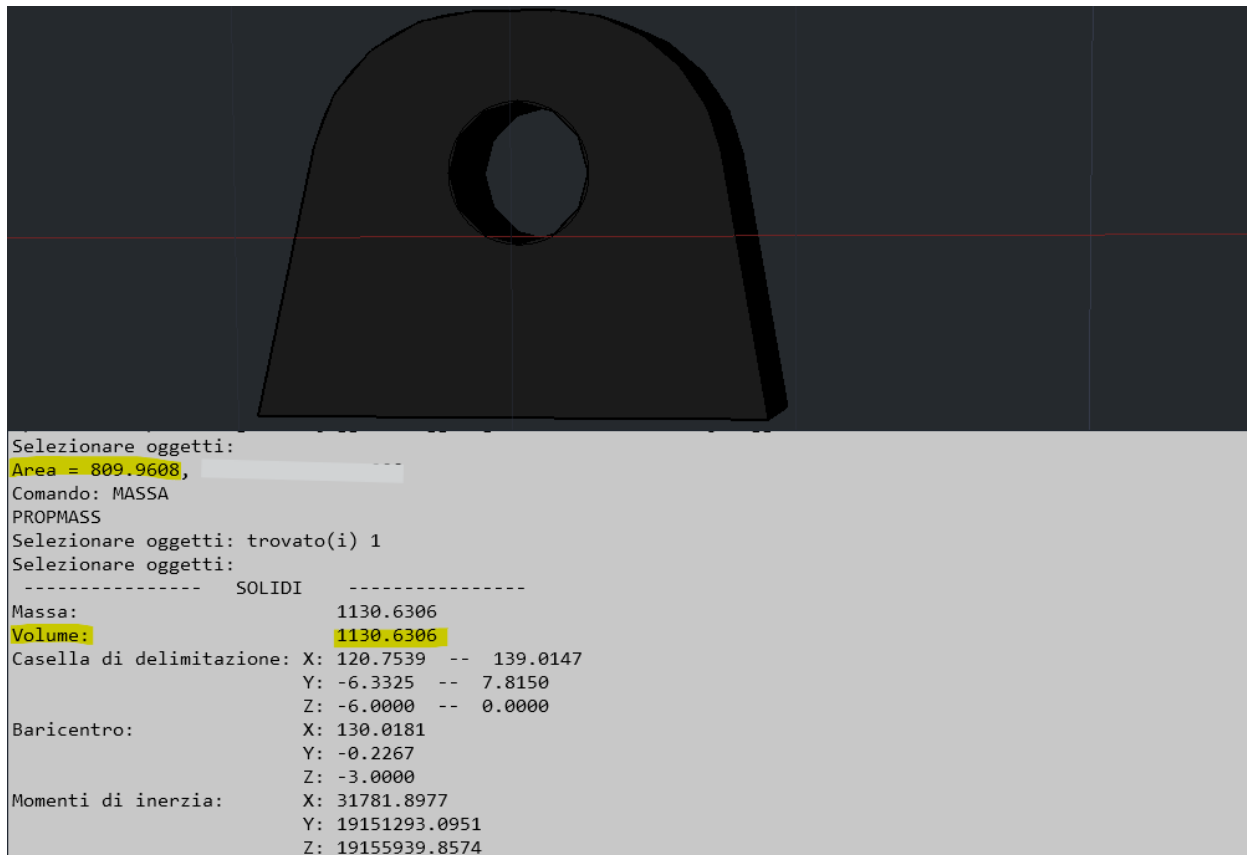


Anche in questo caso, all'area totale vanno sottratte le superfici che non entrano a contatto con la terra di fonderia, in particolare la superficie interna cilindrica e la superficie di contatto con M1, che abbiamo precedentemente misurato

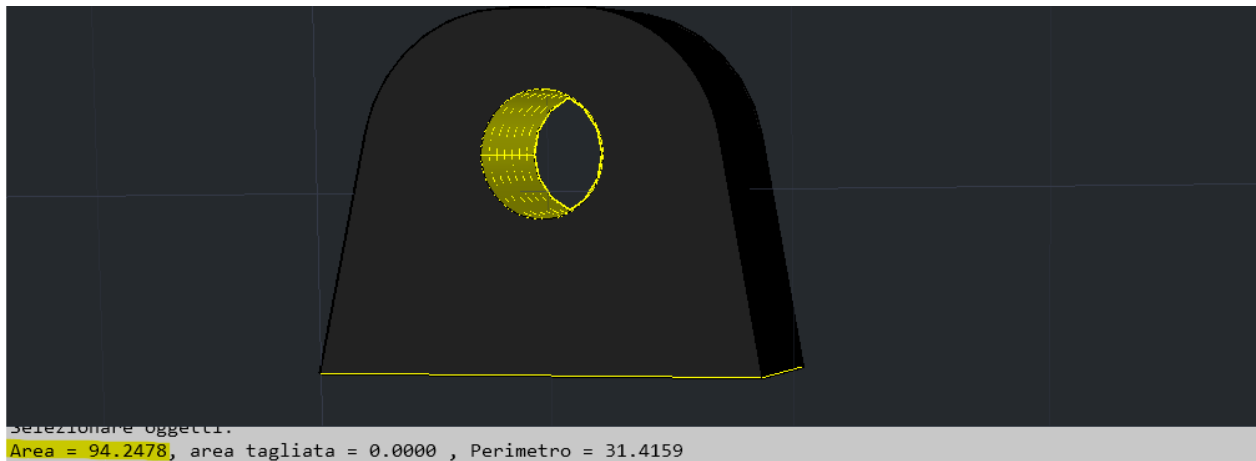


$$M_2 = \frac{\text{Volume getto}}{\text{Superficie a contatto con la forma}} = \frac{2803,4787}{2293,7553 - 829,3805 - 232,2002 - 12,5181} = 2,29 \text{ mm}$$

M3:



Coerentemente con quanto visto fin ora, sottraiamo all'area totale la superficie cilindrica interna al foro da cui passa il perno e la superficie di contatto tra M1 e M3 (vista e misurata nel calcolo di M1):

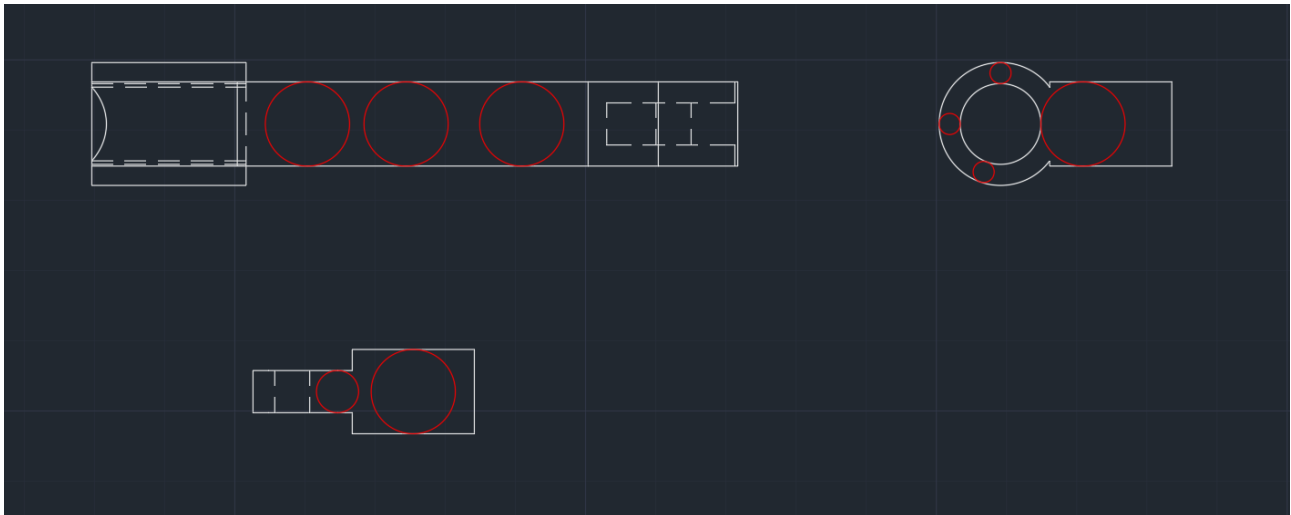


$$M_3 = \frac{\text{Volume getto}}{\text{Superficie a contatto con la forma}} = \frac{1130,6306}{809,9608 - 94,2478 - 109,5647} = 1,87 \text{ mm}$$

Alla luce dei calcoli svolti, $M_1 > M_2 > M_3$, ciò significa che il pezzo che impiegherà più tempo per solidificarsi, e dunque si esporrà di più al rischio di eventuali ritiri, è il pezzo 1. Sarà necessario progettare una materozza adeguata che si inserirà sulla superficie del pezzo 1

Metodo dei cerchi di Heuvers

Per verificare la solidificazione direzionale 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. Se i calcoli precedenti sui moduli sono stati effettuati correttamente, allora i cerchi cresceranno avvicinandosi alla materozza, confermando che le zone più vicine alla materozza si solidificano per ultime:



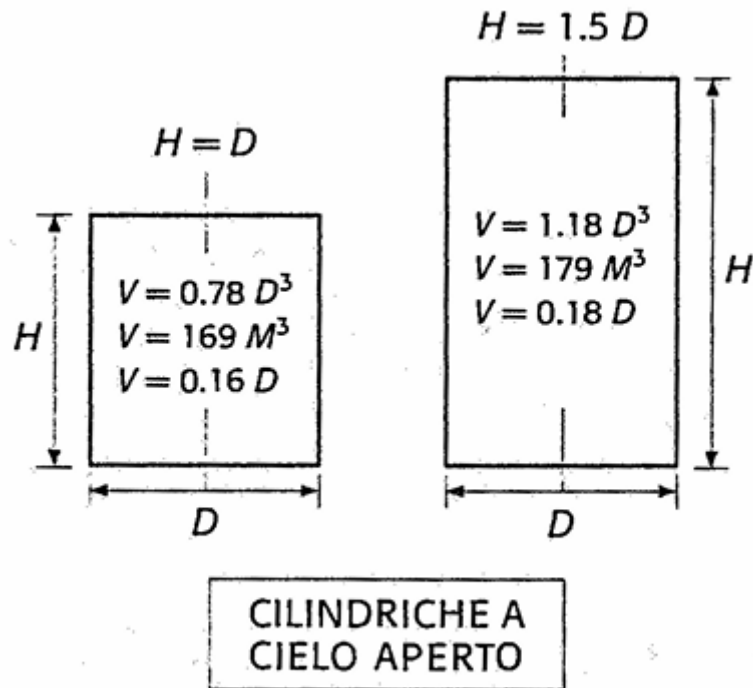
Come si può notare, i cerchi più grandi si trovano in corrispondenza di M1, e proprio in corrispondenza di essa che verrà posizionata la materozza.

Dimensionamento materozza

La materozza è un serbatoio di metallo che contiene liquido fino alla solidificazione totale del getto, ed è un elemento molto importante del processo di fusione perché è in grado di alimentare le cavità di ritiro che possono formarsi. È quindi di fondamentale importanza posizionarla dove è più ottimale (aspetto visto prima) e dimensionarla correttamente. Per semplicità realizzativa e costo contenuto abbiamo optato per una materozza cilindrica a cielo aperto. Poiché il modulo della materozza si riduce durante il raffreddamento (cono di ritiro), il modulo iniziale deve essere almeno 1,2 volte quello della parte con modulo maggiore (quella alimentata). Noi abbiamo scelto 1,3 come fattore moltiplicativo:

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

Per calcolare le dimensioni della materozza, ci siamo basati sulle informazioni fornite dal libro di testo (Santochi):



Per essere cautelativi abbiamo scelto la materozza cilindrica a destra. Passiamo quindi al calcolo delle dimensioni:

- **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:**

$$V_{max} = V_m \times \frac{(14 - b)}{b} \geq V_{M1}$$

con b che rappresenta il coefficiente di ritiro volumetrico del materiale in percentuale. Per la ghisa sferoidale $b = 6\%$. Usando la formula appena citata:

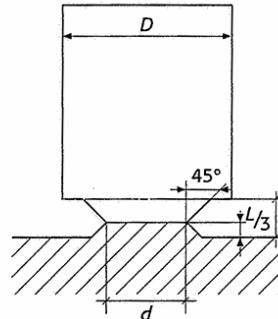
$V_{max} = 19713,15 \text{ mm}^3$ e quindi è maggiore del volume della parte alimentata dalla materozza. Scegliendo un modulo di raffreddamento della materozza di 1,2 volte più grande di $M1$, il V_{max} sarebbe stato di poco sotto al volume della parte alimentata dalla materozza. Ecco quindi spiegata la scelta di 1,3 come parametro moltiplicativo.

Collare d'attacco materozza

È altrettanto importante scegliere la forma del collare d'attacco della materozza, poiché esso fa da ponte termico tra la materozza e M1 e deve rompersi facilmente. La nostra scelta è ricaduta sul collare di forma tronco-conica suggerito dal manuale (Santochi):

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	$0.75 D$	$0.18 D$



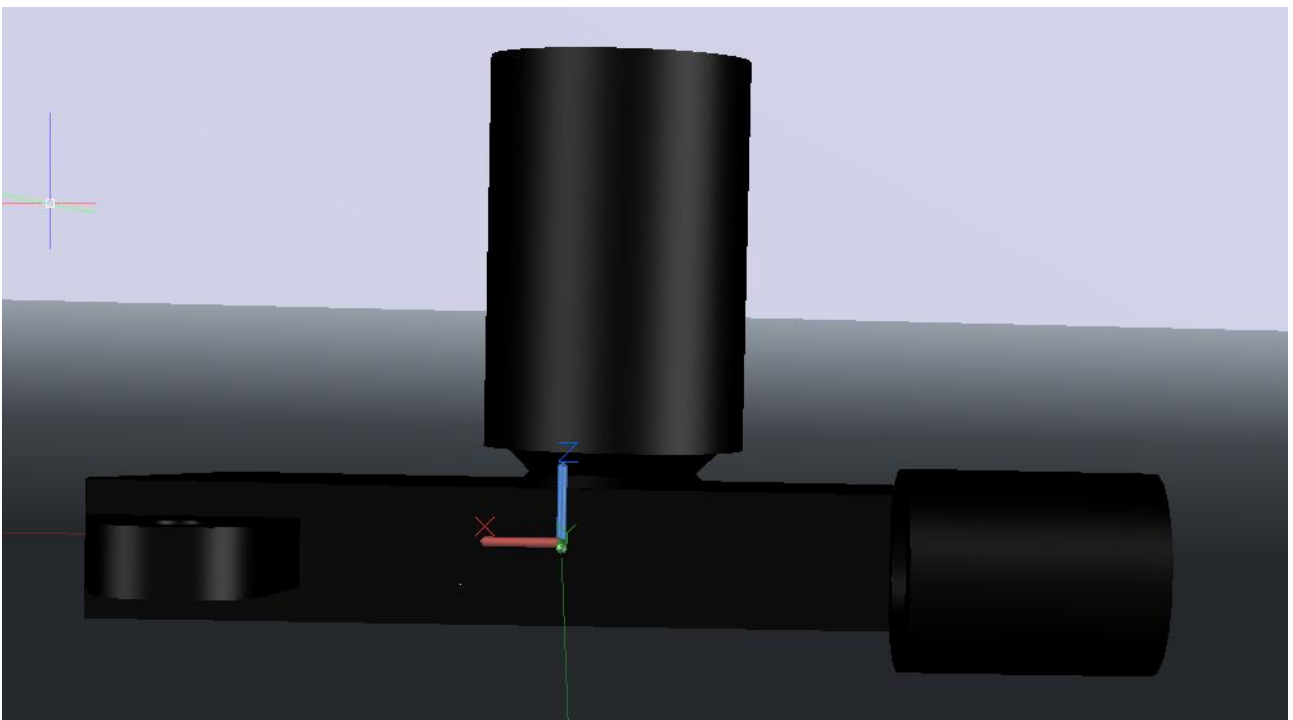
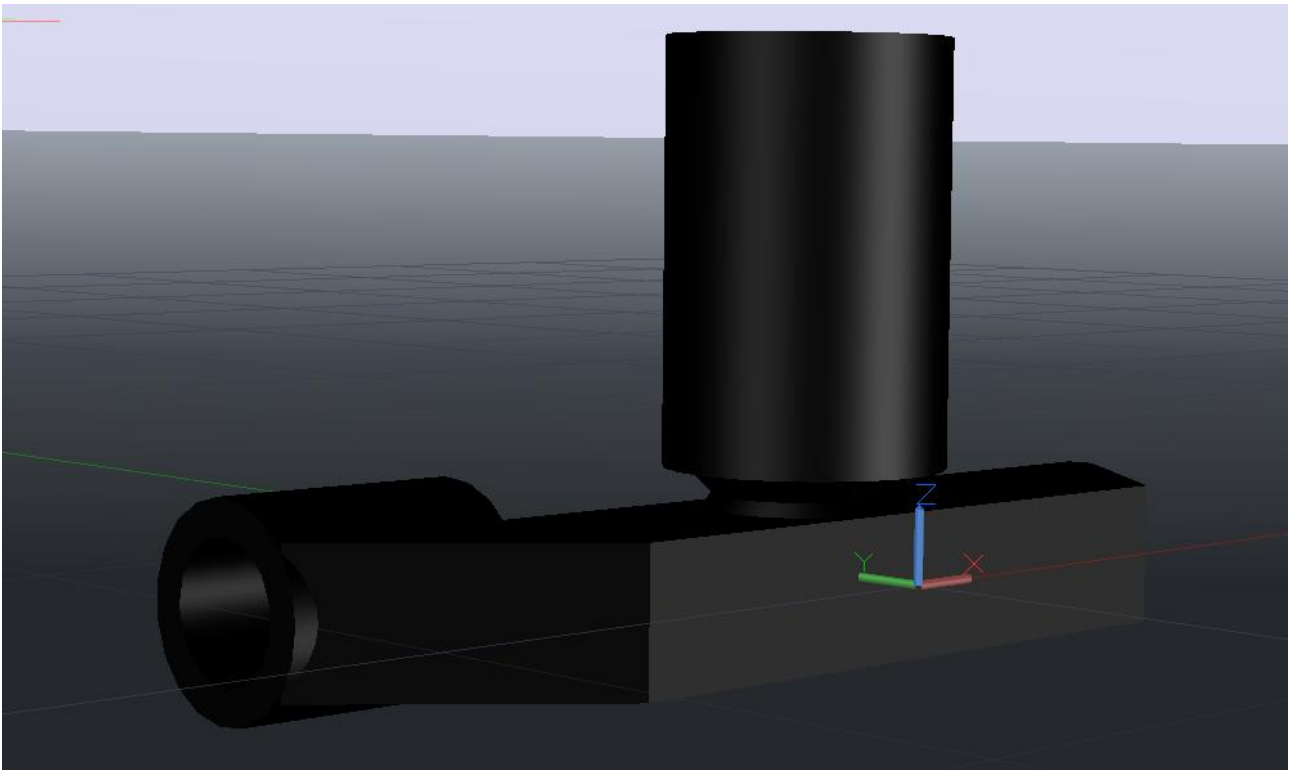
Come suggerito dalla tabella qui sopra, il collare avrà le seguenti dimensioni:

- $d = 15 \text{ mm}$
- $h = 2,167 \text{ mm}$
- inclinazione: 45°

Di conseguenza, il modulo del collare d'attacco lo calcoliamo come (volume le superfici misurate usando Autocad):

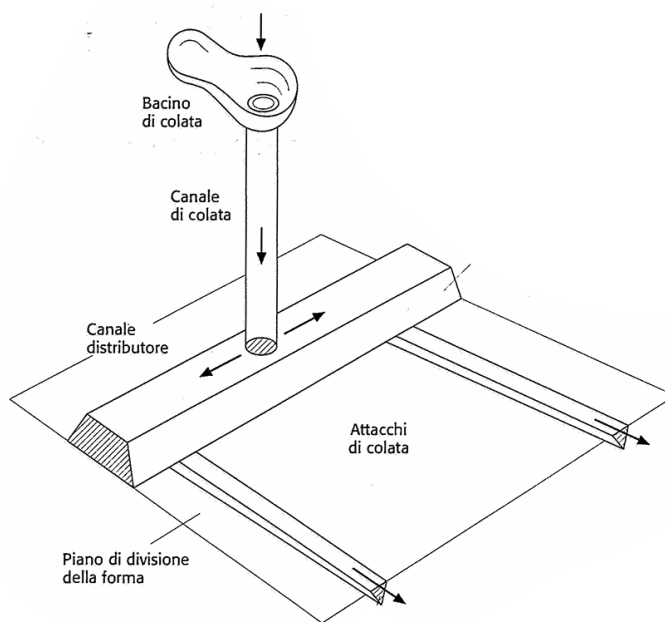
$$M_c = \frac{V_c}{S_{laterale}} = \frac{504.12}{615.36 - 176.71 - 293.56} = 3,45 \text{ mm}$$

Che è minore del modulo della materozza ma maggiore del modulo dell'intero pezzo ($\approx 3,2 \text{ mm}$). In questo modo la direzione di solidificazione avviene linearmente dal pezzo alla materozza. Qui di seguito il modello 3D del pezzo con la materozza e il relativo collare d'attacco:



Dimensionamento del sistema di colata

Il sistema di colata più adatto al nostro caso è quello sul piano di divisione delle due semiforme:



Gli elementi costituenti questo sistema sono:

- 1) il bacino di colata;
- 2) il canale di colata;
- 3) il canale distributore;
- 4) gli attacchi di colata.

Abbiamo deciso di usare un sistema pressurizzato, e di conseguenza le sezioni del canale di colata, di quello distributore e degli attacchi staranno nel rapporto 1 : 0,5 : 0,5. Ciò fa sì che i diversi canali siano sempre pieni di metallo liquido durante la colata: non c'è quindi il rischio che la vena liquida si distacchi dalle pareti della canalizzazione aspirando aria nella forma.

Sezione attacchi di colata

Per il dimensionamento delle sezioni dei vari canali si parte dal tempo di colata. Un valore troppo alto di questo parametro non sarebbe ammissibile poiché qualche parte potrebbe solidificarsi prima del termine della colata, e allo stesso modo un valore troppo basso di questo parametro non andrebbe bene perché si creerebbero erosioni nella forma dovute alla velocità troppo alta del getto. Il tempo di colata si calcola con la seguente formula:

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

Con G che rappresenta il peso del getto in kg. A sua volta G lo calcoliamo come il prodotto tra la densità della ghisa, $\rho = 7 \frac{g}{cm^3}$ e il volume totale da colare, calcolato come somma del volume del pezzo, della materozza e del collare d'attacco:

$$V_{tot} = V_{M1} + V_{M2} + V_{M3} + V_m + V_c = 15766,0309 + 2803,4787 + 1130,6306 + 14749,2 + 504,12 \\ = 34953,46 \text{ mm}^3$$

$$G = \rho \times V_{tot} = 7 \times 10^{-3} \times 34953,46 = 244,7 \text{ g} \approx 0,245 \text{ kg}$$

$$T = 3,2 \times \sqrt{G} \approx 1,60 \text{ s}$$

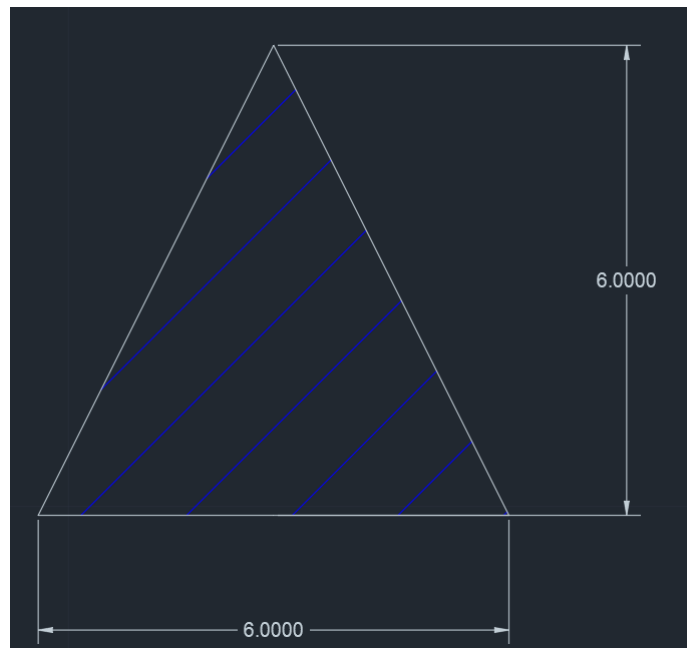
Un altro parametro importante è la sezione complessiva degli attacchi di colata, che si calcola con la seguente formula:

$$S_{ac} = \frac{K}{v \times \gamma}$$

Con $K = G/T$ che rappresenta la portata complessiva in peso degli attacchi di colata, $v = \sqrt{2gh}$ (con h = dislivello di colata, abbiamo optato per 100 mm) è la velocità approssimata (senza le perdite di carico) della vena fluida all'uscita del canale di colata, e γ che rappresenta il peso specifico della ghisa sferoidale.

$$S_{ac} = \frac{G}{T \times \sqrt{2gh} \times \gamma} = \frac{0,245}{1,60 \times 1,4 \times 7000} = 15,62 \text{ mm}^2$$

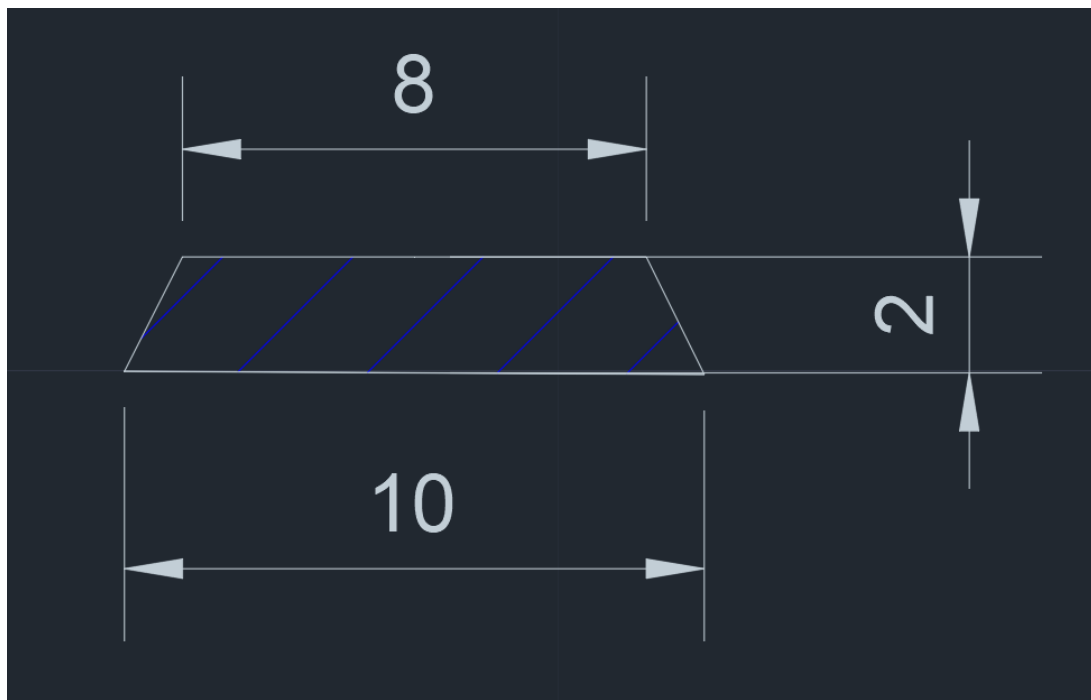
Abbiamo optato per un solo canale di colata, viste le ridotte dimensioni del pezzo. La forma della sezione scelta per l'attacco di colata è quella del triangolo isoscele, perché in sabbia è rapidissimo da formare e da staccare dopo la colata e consente di regolare l'area regolando la sola altezza, e si adatta bene al piano di divisione. Per semplicità abbiamo fatto sì che base e altezza fossero uguali, in particolare che entrambe misurassero 6 mm. L'area risultante ci viene 18 mm², quindi leggermente maggiore di quella calcolata con le formule del manuale, ma abbiamo ritenuto che questa fosse la scelta giusta perché nella pratica è sempre meglio lavorare con quote intere che con quote decimali (base e altezza sarebbero state lunghe 5,6 mm a testa) e soprattutto la differenza tra le aree è di 2,44 mm², circa il 15% dell'area di partenza.



Sezione canale di distribuzione

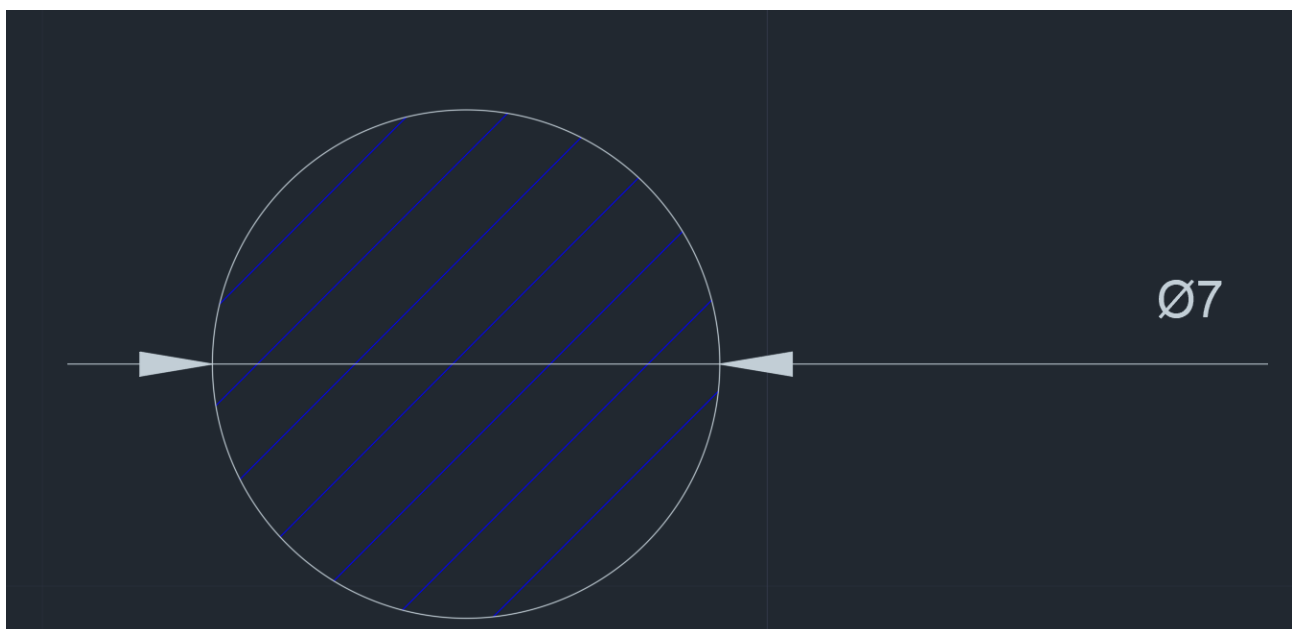
Secondo le proporzioni scritte precedentemente, la sezione del canale di distribuzione sarà la stessa della sezione degli attacchi di colata ($S_{ac} : S_{cd} = 0,5 : 0,5$), e quindi $S_{cd} = 18 \text{ mm}^2$

Come forma della sezione abbiamo optato per un trapezio isoscele, perché si quota e si regola facilmente, si forma bene sul piano e ci lascia margine per eventuali raccordi. In particolare:



Sezione canale di colata

Le proporzioni suggerite dal manuale fanno sì che la sezione del canale di colata abbia un'area grande il doppio di quella della sezione degli attacchi di colata: $S_{cc} = 2S_{ac} = 36 \text{ mm}^2$. Per lavorare con i numeri interi abbiamo scelto un diametro di 7 mm, e di conseguenza la sezione risultante ci è venuta di 38,5 mm^2 , molto simile a quella di partenza:

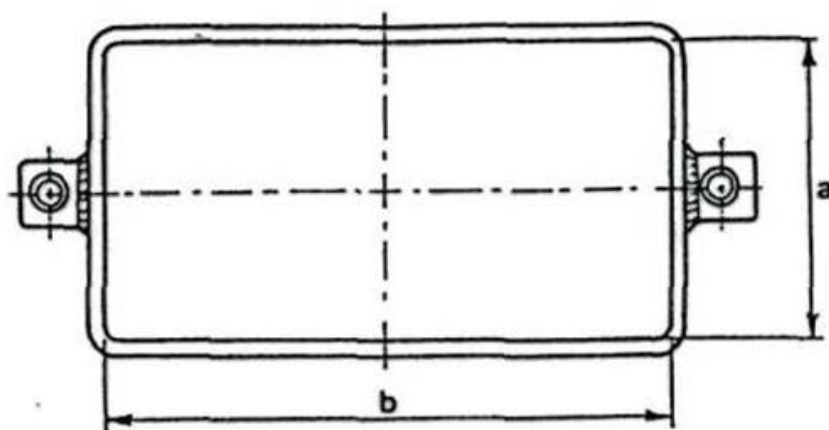
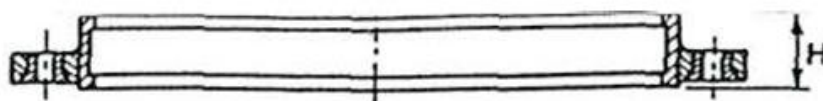


Dimensionamento delle staffe

Per dimensionare le staffe ci affideremo alla norma UNI 6765-70:

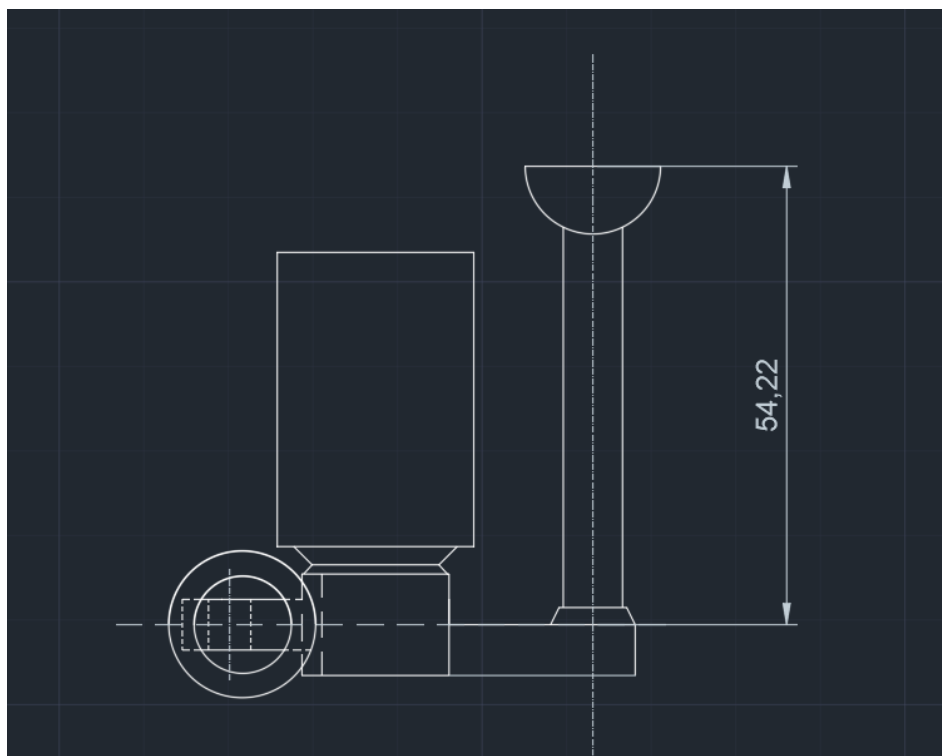
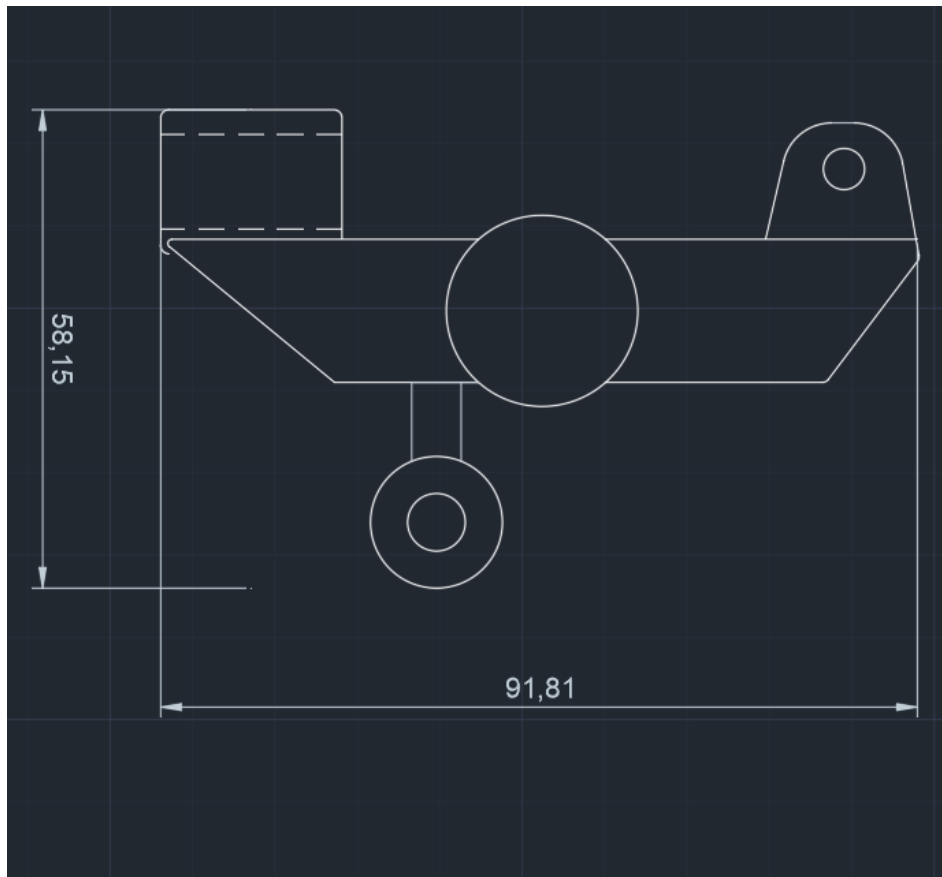
Serie rettangolare con rapporto $b/a = 1,26$

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



Per quanto riguarda l'estensione delle staffe, dato che il nostro sistema comprendente pezzo, materozza, canale di distribuzione e attacco di colata ha dimensioni piuttosto contenute, abbiamo potuto optare per la staffa più piccola, cioè la 250 x 315.

Per quanto riguarda l'altezza delle staffe, per la staffa superiore abbiamo optato per $h = 50$ mm per avere la caduta prevista e per la staffa inferiore abbiamo optato per un'altezza di 60 mm per lasciare sabbia sufficiente sotto canali/attacco, riducendo rischio di erosioni e cedimenti durante la colata. Qui di seguito due viste rappresentative del sistema di colata (per far rendere l'idea delle dimensioni):



Disegno delle placche modello

I disegni tecnici completi delle placche modello superiore e inferiore si trova nell'appendice. In essi sono presenti il pezzo, la materozza, il collare d'attacco e il sistema di colata. Tutti questi elementi sono stati provvisti di angoli di sformo e raggi di raccordo, dove necessari.

Calcolo spinte metallostatiche

Le spinte metallostatiche sono tra le sollecitazioni più rilevanti che agiscono sullo stampo durante la colata. In particolare, la pressione idrostatica del metallo liquido tende a sollevare la staffa superiore, ed essa cresce con l'altezza della colonna e con il peso specifico della lega. Se questa spinta non viene adeguatamente controbilanciata, la parte superiore può aprirsi sul piano di divisione, generando difetti come ad esempio la fuoriuscita di metallo, le bave o dei disallineamenti tra le due metà dello stampo. Per calcolare la forza metallostatica esercitata da ogni superficie che può comporre il getto abbiamo utilizzato la seguente formula:

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

Con S che è l'area della superficie considerata, h è la profondità del suo baricentro rispetto al pelo libero del liquido (l'altezza della staffa superiore) e γ che è il peso specifico della ghisa liquida. Calcoleremo S sommando tutte le aree che possiamo vedere da questa vista dall'alto:

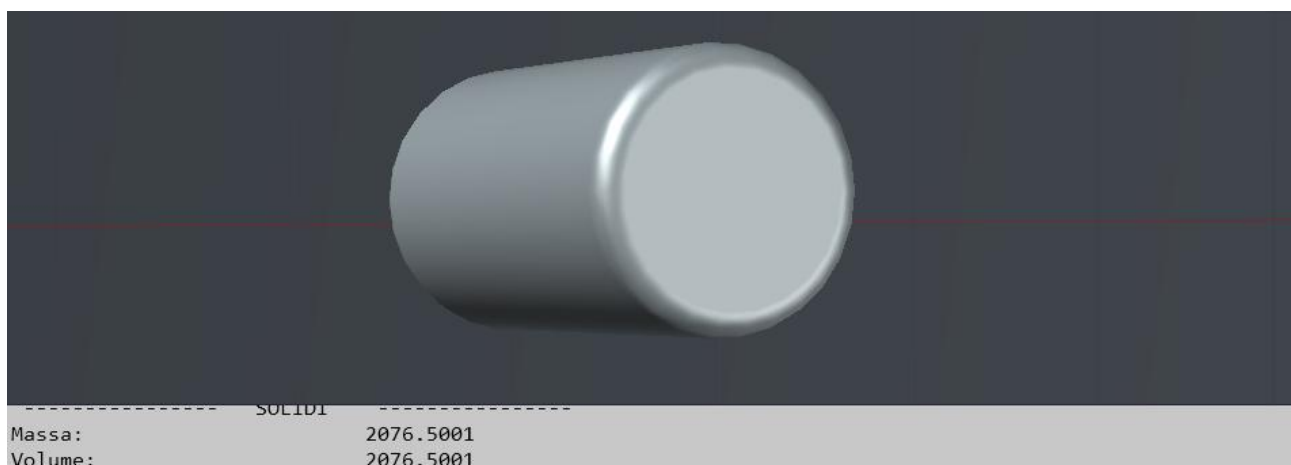
$$\begin{aligned} S_{tot} &= S_{pezzo} + S_{materozza} + S_{collare} + S_{ac} + S_{cc} + S_{cd} \\ &= 1909,35 + 423,82 + 151,06 + 18 + 38,5 + 120 = 2660,73 \text{ mm}^2 \\ F &= 2660,73 \times 50 \times 7 \times 10^{-6} = 1,86 \text{ kg} = 9,12 \text{ N} \end{aligned}$$

A questa forza va aggiunta la forza causata dalla spinta di Archimede esercitata sulle anime dei due fori presenti nel pezzo. Per calcolarla usiamo la seguente formula:

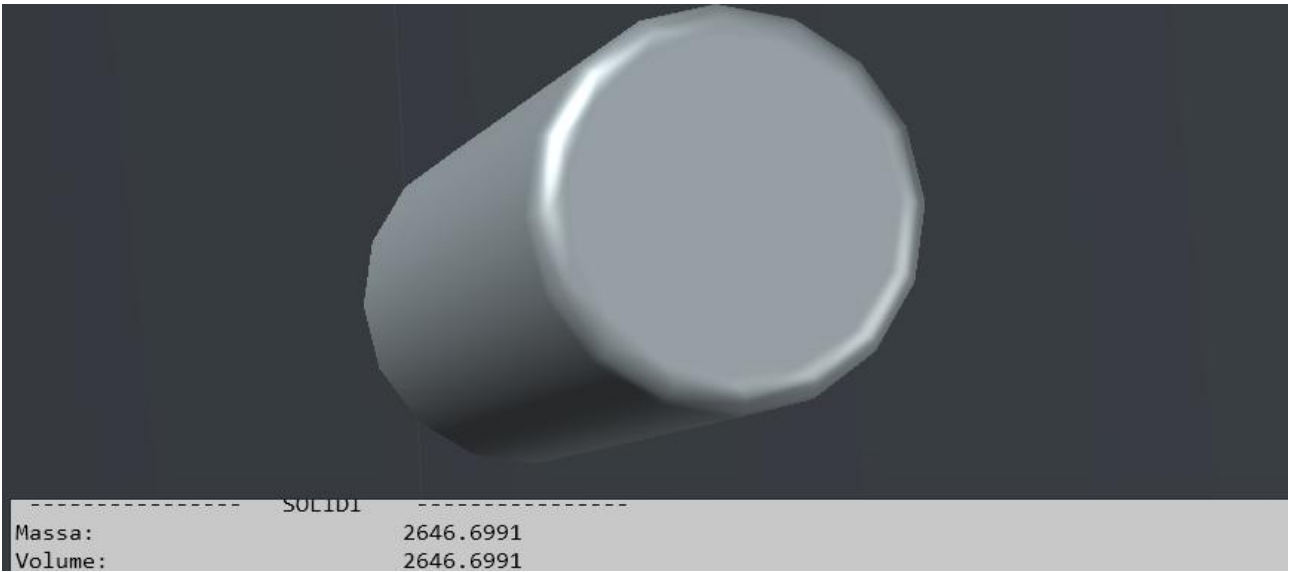
$$F_A = V_a \times \gamma + V_{tot} \times \gamma_a$$

Con V_a che è il volume dell'anima circondata da metallo liquido, V_{tot} è il volume di anima e portata d'anima insieme, γ è il peso specifico della lega fluida e γ_a è il peso specifico dell'anima, che essendo sabbia silicea, ha un peso specifico di 1.5 kg/dm^3 . Abbiamo misurato i volumi delle anime e i volumi totali usando Autocad:

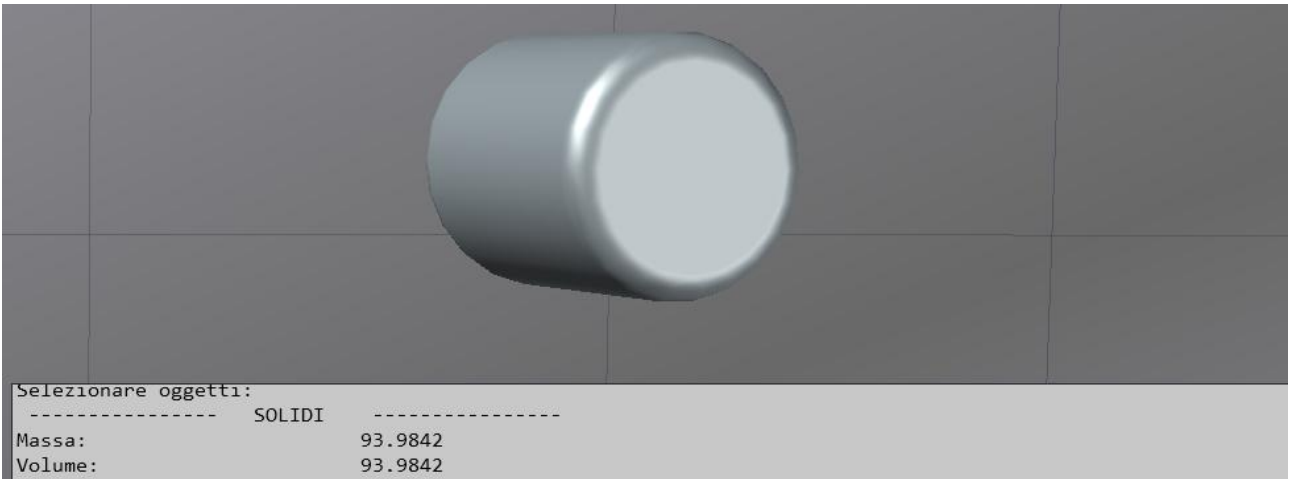
Volume anima M2:



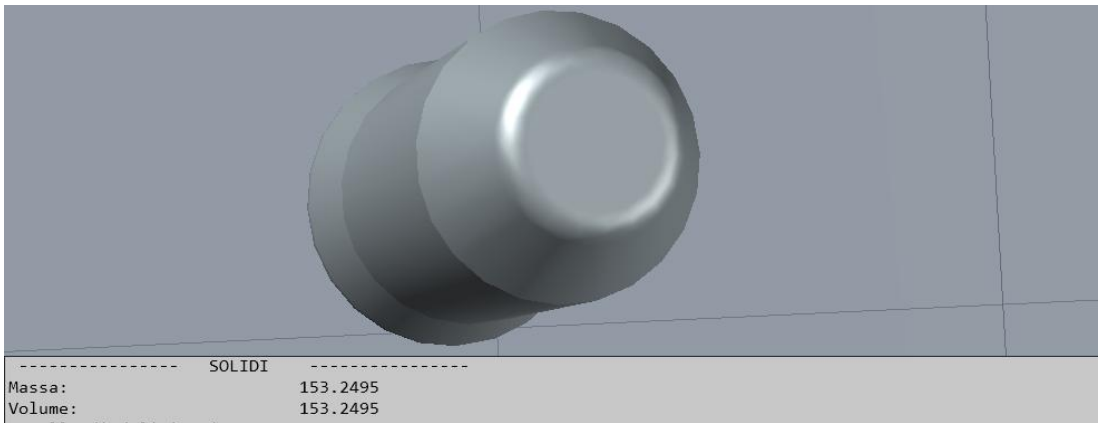
Volume anima + portata d'anima a M2



Volume anima M3:



Volume anima + portata d'anima M3:



Ora possiamo calcolare la forza data dalla spinta di Archimede:

$$F_A = (2076,5 + 93,98) \times 7 \times 10^{-6} + (2646,7 + 153,25) \times 1,5 \times 10^{-6} = 5,72 \times 10^{-3} \text{ kg} \times 9,81 = 0,056 \text{ N}$$

Quindi la forza totale è 13,1 N. Calcoliamo ora la forza peso della staffa superiore, per verificare se basta per bilanciare questa spinta:

$$P_s = V_s \times \gamma_a \times g = 3937500 \times 1,5 \times 10^{-6} \times 9,81 = 57,94 \text{ N}$$

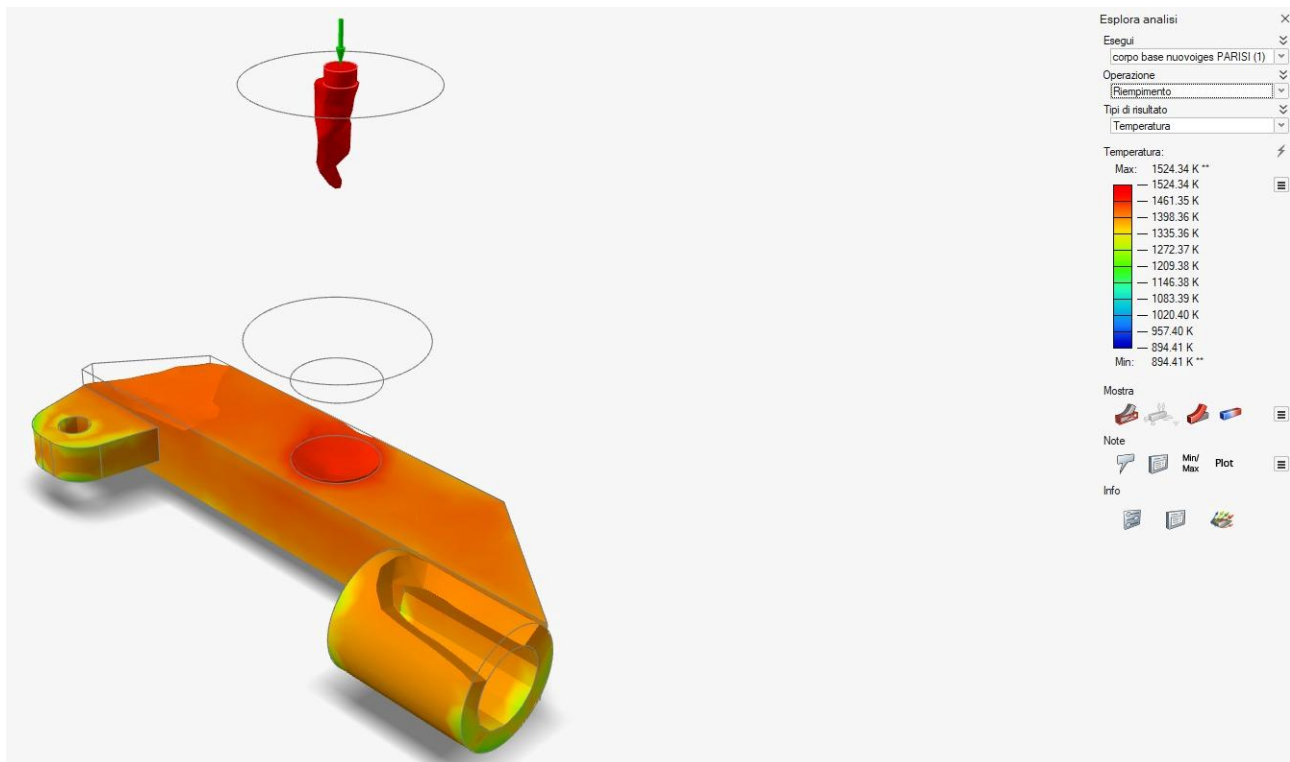
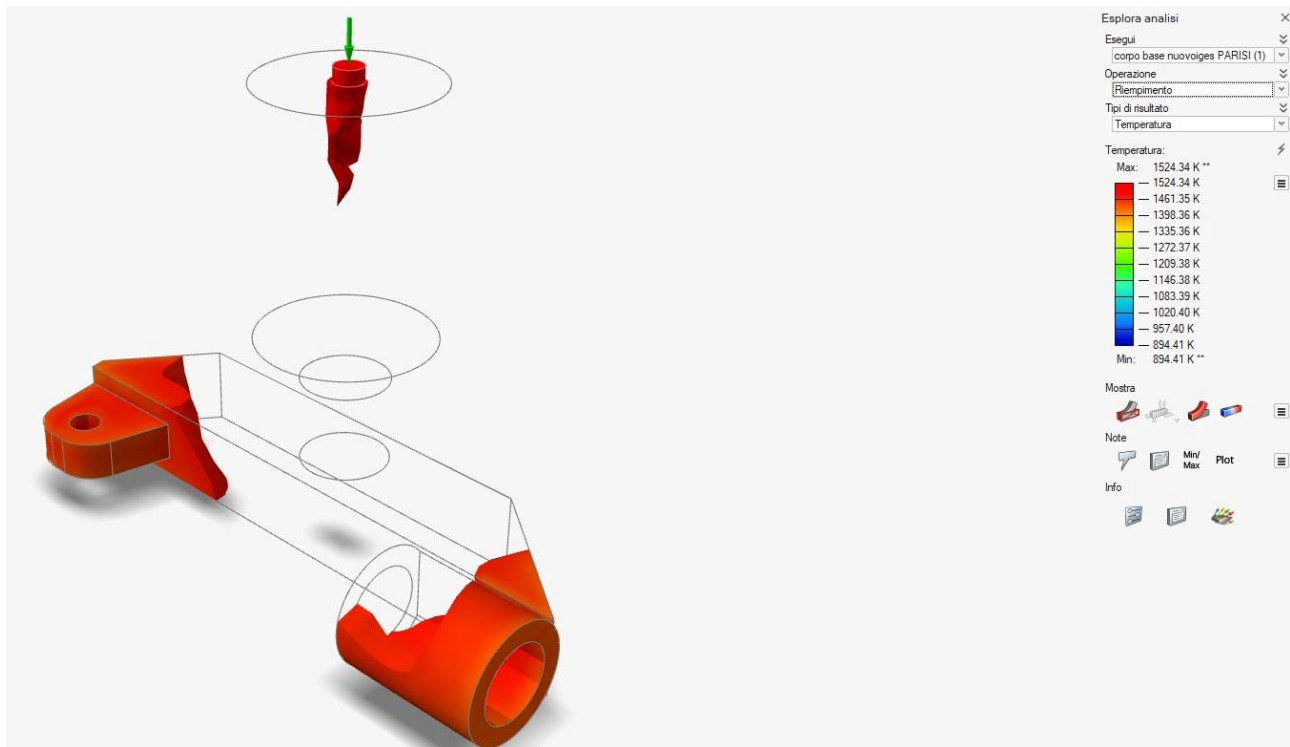
$$V_s = V_{staffa} - \frac{V_{pezzo}}{2} - V_m - V_{collare} = 3937500 - 9595,2 - 12733,1 - 2400 = 3912771,7 \text{ mm}^3$$

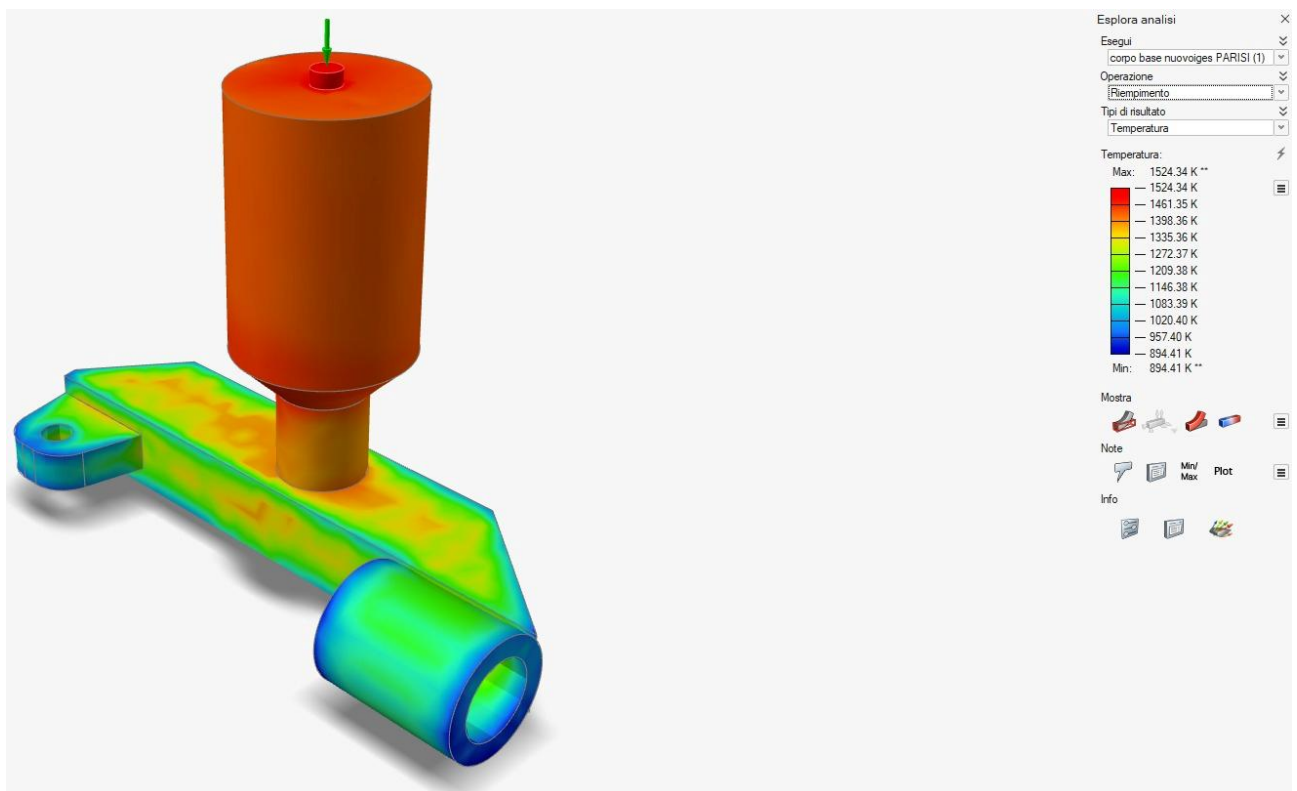
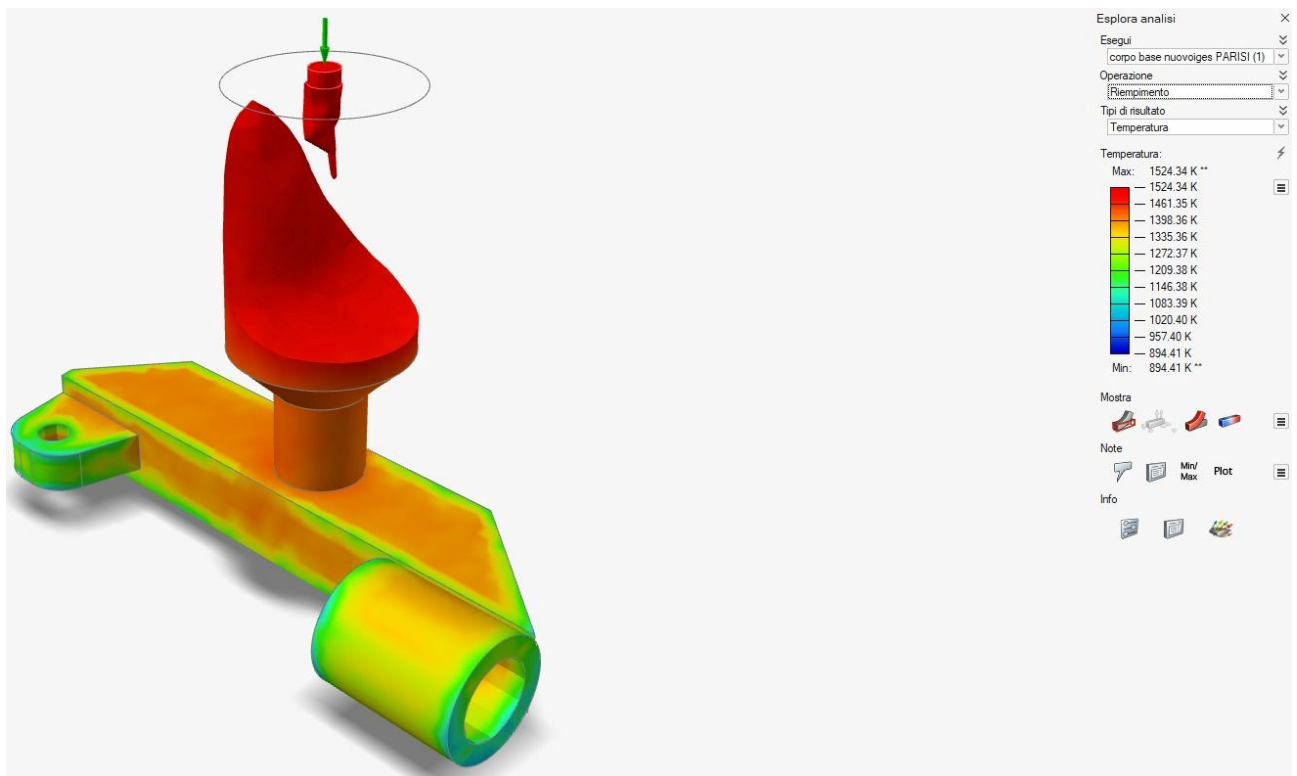
Come si può notare, la forza peso della staffa superiore è nettamente superiore alla spinta metallostatica, il che garantisce la stabilità dello stampo durante la colata.

Simulazione di colata mediante l'uso di INSPIRE CAST

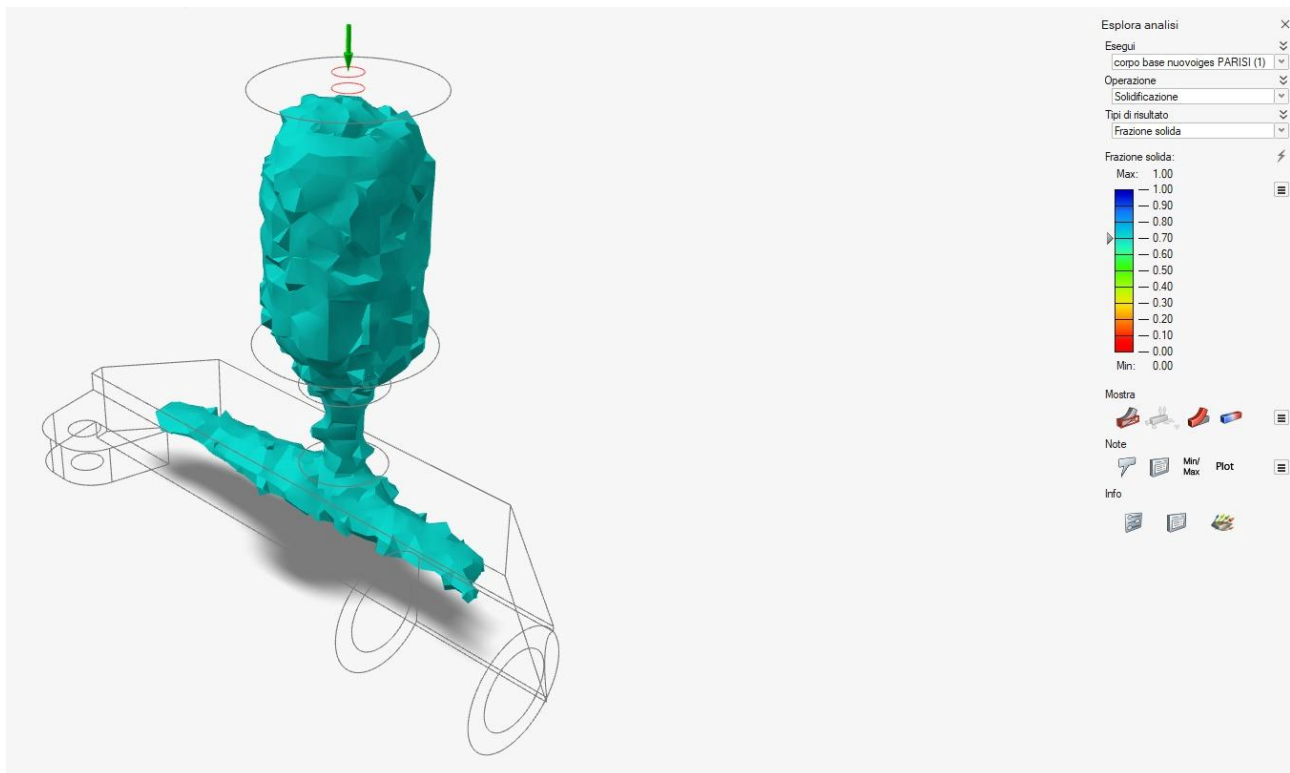
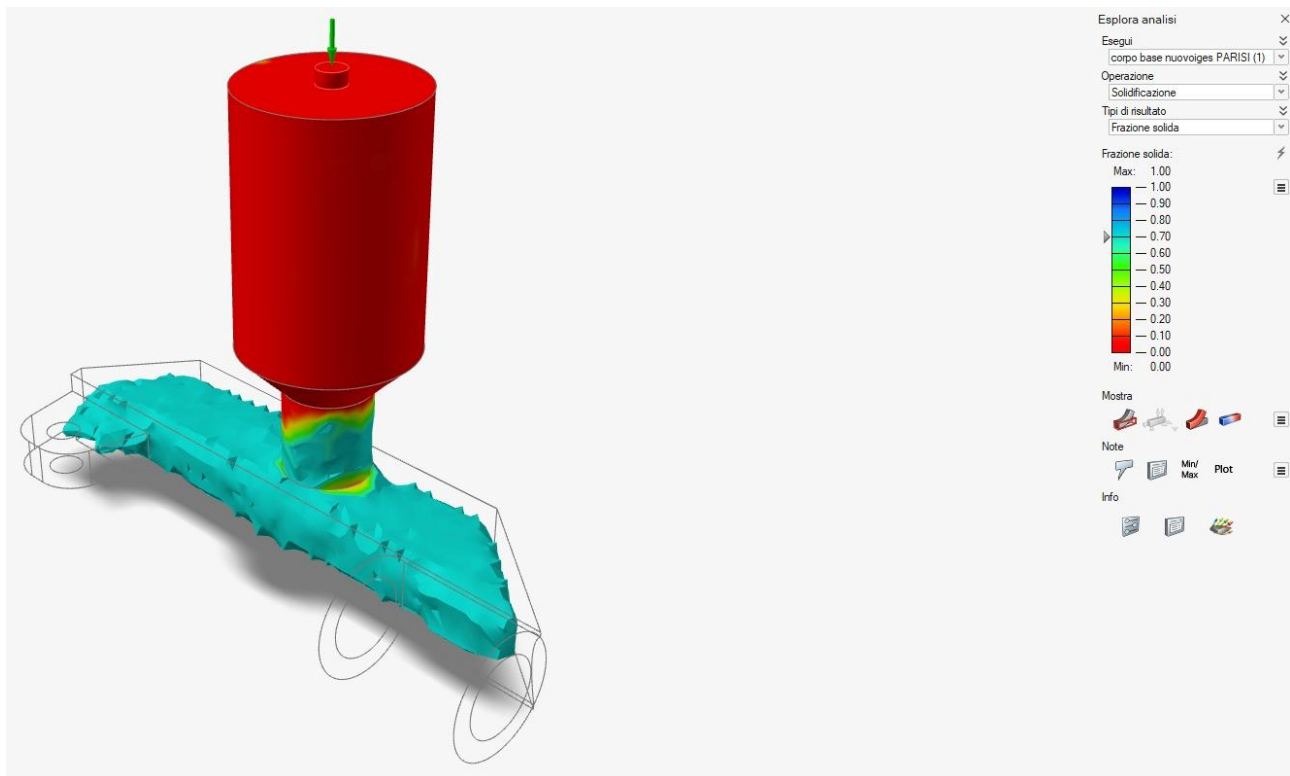
Per questa parte abbiamo utilizzato il software di *Altair Inspire Cast*. Abbiamo creato il greggio del pezzo su Autocad 2026 e dopo lo abbiamo esportato su Inspire cast. In seguito, abbiamo riprodotto la materozza e il relativo collare, rispettando le dimensioni che abbiamo calcolato. Abbiamo inserito il punto di iniezione in corrispondenza della materozza: questo perché, dopo aver effettuato numerose simulazioni, abbiamo avuto i risultati migliori in quanto a porosità e raffreddamento del pezzo. Infatti, inizialmente avevamo inserito il punto di iniezione in corrispondenza del getto, non ottenendo lo stesso risultato.

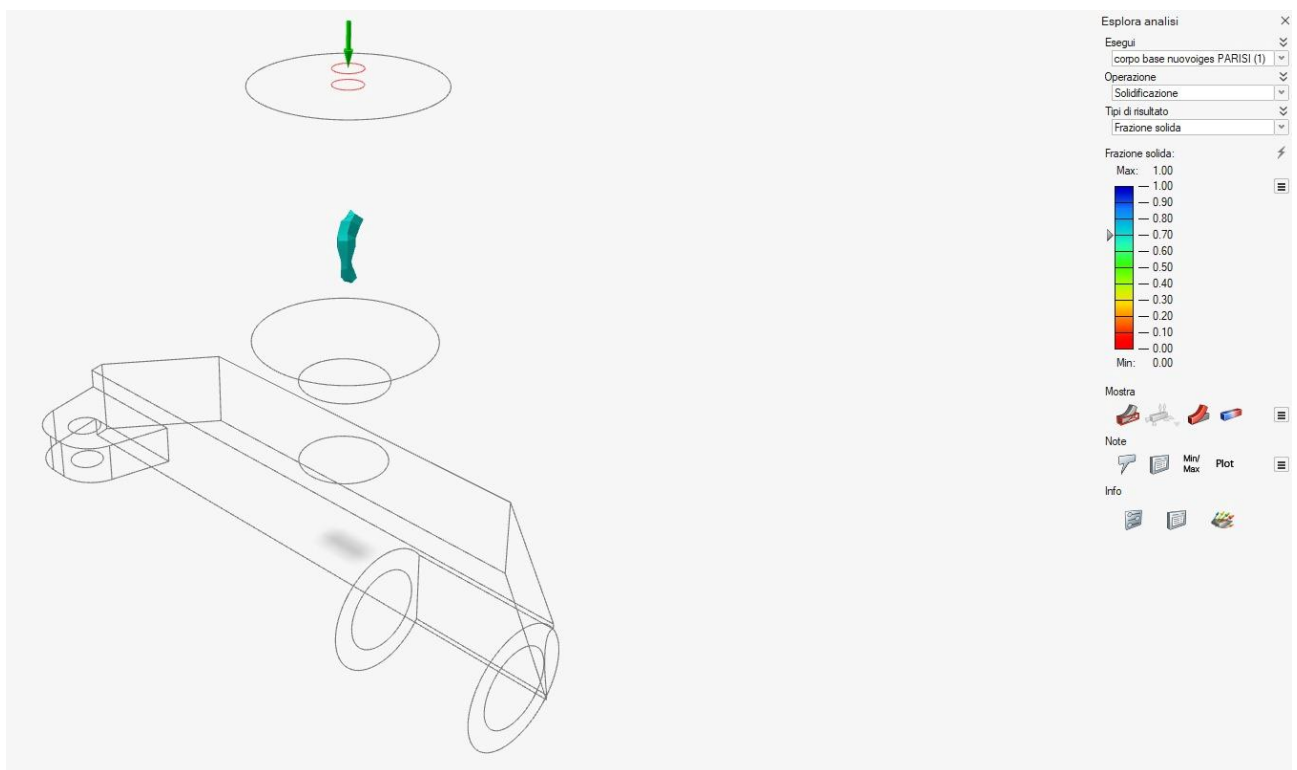
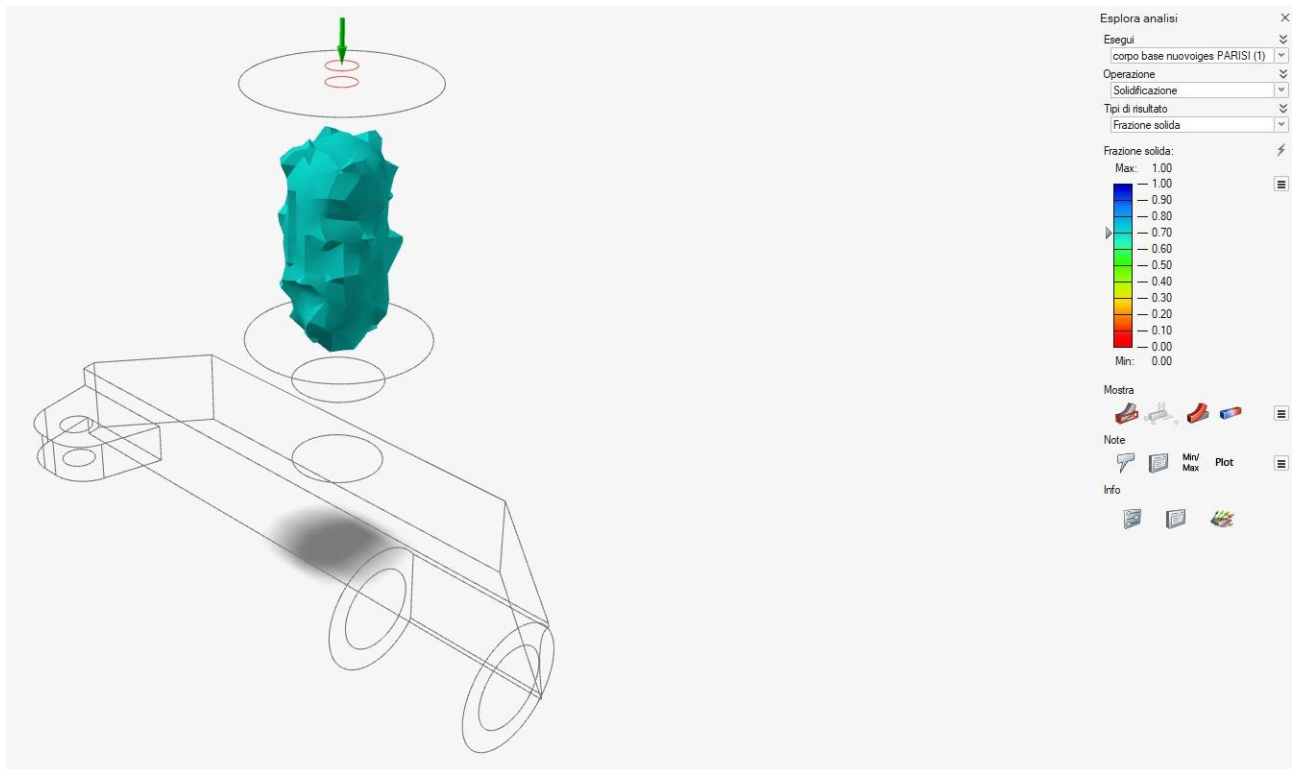
Riempimento





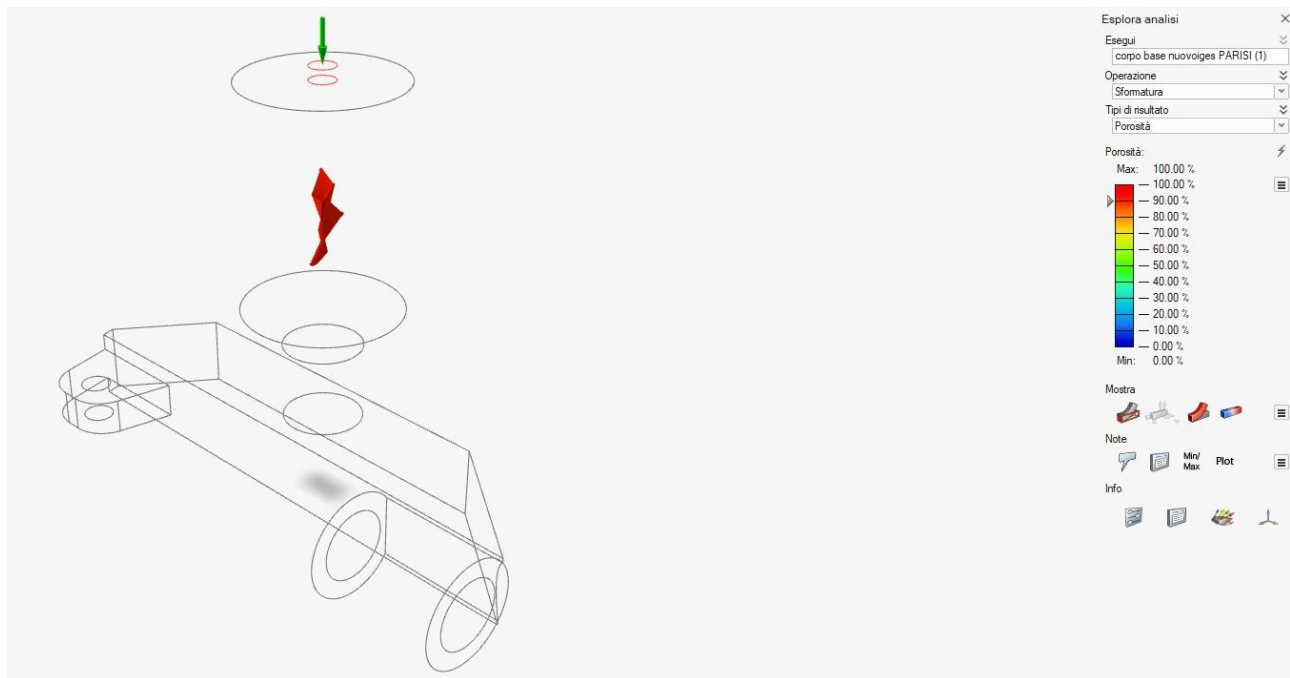
Solidificazione, frazione solida





Come possiamo notare, la zona che si raffredda per ultima è la materozza, che quindi svolge perfettamente il suo compito.

Porosità

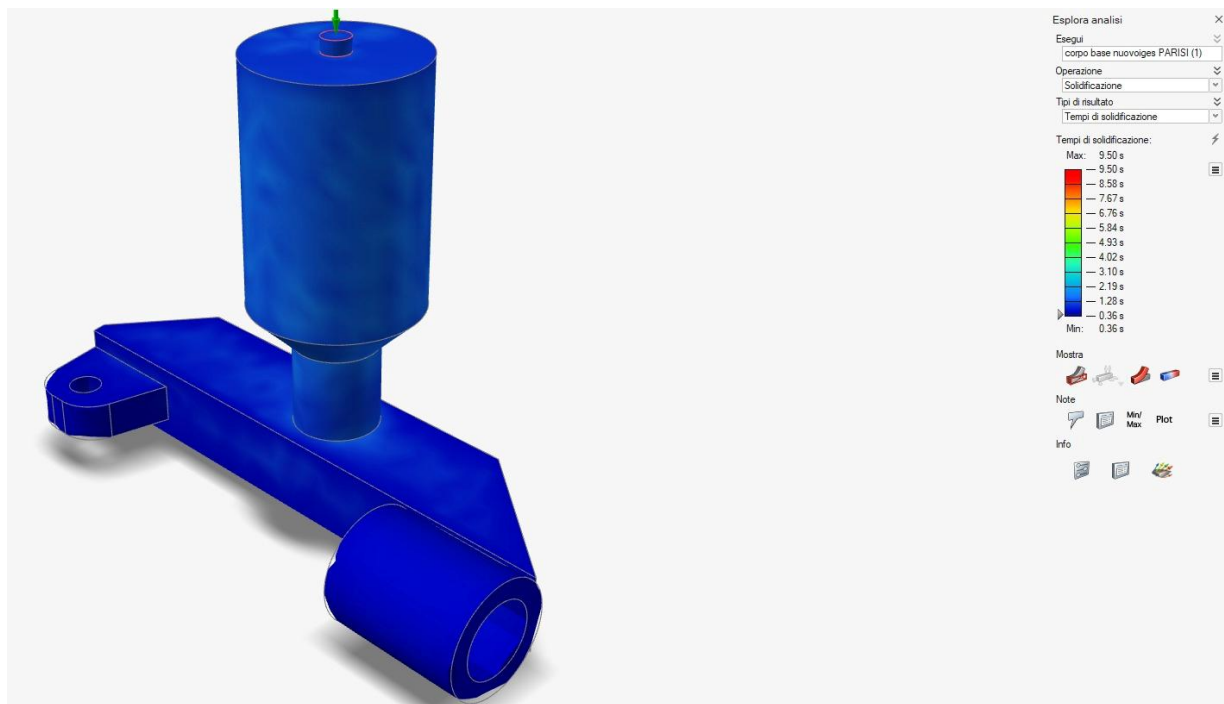


Come altra riprova della buona riuscita della colata, abbiamo che la porosità si crea tutta nella materozza.

Tempi e costi del processo di fusione

Dall'analisi del processo di fusione possiamo ricavare due tempi rilevanti:

- il **tempo di colata**, che per un pezzo è di 1,6 secondi, ma noi ne dobbiamo fabbricare 50, quindi il risultato finale è di 80 secondi, cioè 1 minuto e 20 secondi;
- il **tempo di solidificazione**, che ricaviamo analizzando il processo di solidificazione della colata su Inspire Cast:



Da questa istantanea possiamo notare che il tempo di solidificazione è di circa 9,50 secondi, e quindi il tempo totale è $9,50 \times 50 = 475 \text{ s} = 7 \text{ minuti e } 55 \text{ secondi}$

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:

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

Costo manodopera

Ipotizzando di commissionare lo svolgimento del processo ad un operaio, che pagheremo 20 €/h, calcoliamo il costo della manodopera:

$$\text{Costo manodopera} = 20 \frac{\text{€}}{\text{h}} \times 20,9875 \text{ h} = 420 \text{ €}$$

Costo materiale

Il costo della ghisa sferoidale EN-GJS-400-15 è di circa 2,5 €/kg, e noi abbiamo calcolato il peso del singolo getto di fusione: 0,245 kg. Acquistando 250 grammi di ghisa sferoidale per ogni singolo pezzo otteniamo il costo totale del materiale:

$$\text{Costo ghisa}_{tot} = 0,25 \times 2,5 \times 50 = 31,25 \text{ €}$$

$$\text{Costo ghisa}_{singolo pezzo} = 0,25 \times 2,5 = 6,25 \text{ €}$$

Costo del modello in legno

Il costo del modello si aggira intorno ai 250€, tenendo conto anche della manodopera e del costo del materiale, ma ammortizzandolo su tutti e 50 i pezzi diventa un investimento sostenibile: verrebbe a costare 5 euro a pezzo.

Costo terra da fonderia

Come terra avevamo scelto la terra sintetica verde con bentonite, il cui prezzo medio oggi si aggira intorno ai 100€/t, quindi 10 centesimi al chilo. Andiamo a calcolarci quanta terra usiamo per la fabbricazione dei 50 pezzi:

$$\begin{aligned} V_{terra staffa superiore} &= V_{staffa} - \frac{V_{pezzo}}{2} - V_m - V_{collare} = 7875000 - 9595,2 - 12733,1 - 2400 \\ &= 7850271,7 \end{aligned}$$

$$V_{terra staffa inferiore} = V_{staffa} - \frac{V_{pezzo}}{2} = 7875000 - 9595,2 = 7865404,8$$

$$V_{tot} = 7850271,7 + 7865404,8 = 15715676,5 \text{ mm}^3$$

Moltiplicando per la densità della terra, troviamo il peso:

$$P = 15715676,5 \times 10^{-9} \times 1500 = 23,57 \text{ kg}$$

Moltiplicando per il costo al chilo e per il numero di pezzi da produrre, otteniamo il costo totale della terra da fonderia:

$$\text{Costo totale} = 23,57 \text{ kg} \times 0,10 \text{ €} \times 50 = 118 \text{ €}$$

Costo delle staffe

In media, delle staffe in acciaio delle dimensioni che abbiamo precedentemente calcolato costano intorno ai 200-300 €, ma questi sono elementi che potenzialmente durano fino a 10 anni, e quindi permetterebbero produzioni molto più grosse di un lotto da 50 elementi. Ecco perché il loro costo nel tempo è molto ammortizzato, e abbiamo deciso di trascurarle nel conteggio dei costi della fusione.

Quindi, il costo per la produzione di 50 corpi base per fusione ammonta a:

$$\text{Costo totale fusione} = 118 + 31,25 + 420 + 25 = 595 \text{ €, cioè circa 12€ a pezzo}$$

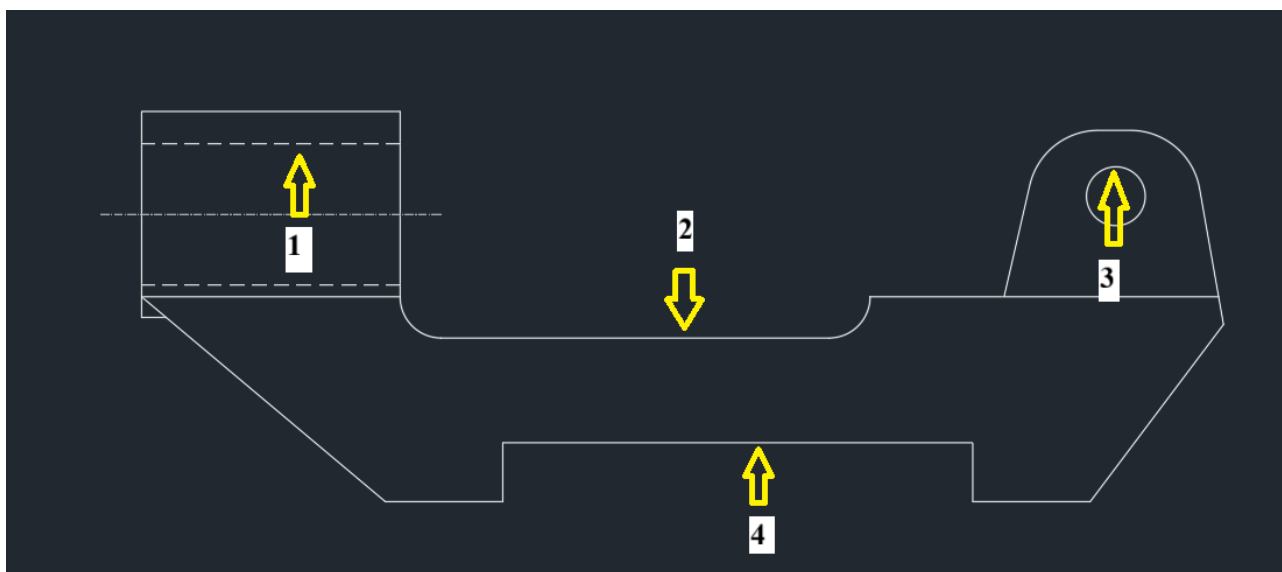
ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO

Asportazione di truciolo - corpo base

Una volta ottenuto il pezzo grezzo dalla fusione, si procede con la rimozione della materozza e del canale di colata, operazione che può essere eseguita con una smerigliatrice angolare dotata di disco da taglio.

Disegno e analisi delle lavorazioni da effettuare

Qui di seguito si riporta il disegno 2D del greggio da fusione: in particolare andranno lavorate le superfici x,y tramite fresatura e w,z tramite alesatura. 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)

Raggruppamento delle operazioni in sottofasi

Al fine di eseguire il maggior numero possibile di operazioni su una singola macchina le fasi del ciclo di lavorazione di un pezzo riducendo al minimo i cambi di macchina o utensile. Per questo motivo le abbiamo raggruppato le operazioni principali rispetto alle macchine da utilizzare:

N° superficie	Processo
1, 3	Allargatura e alesatura
2, 4	Fresatura

Sequenza delle lavorazioni

Fase	Operazione
10a	Allargatura (sup 3)
	Alesatura (sup 3)
10b	Allargatura (sup 1)
	Alesatura (sup 1)
20a	Fresatura (sup 2)
20b	Fresatura (sup 4)

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.

Fresatrice

Dopo un'attenta ricerca, abbiamo ritenuto che facesse al caso nostro la fresatrice [Fresatrice per metalli Orion 4.0 Digit](#) di Damatomacchine:



Questa fresatrice ci dà la possibilità di effettuare fresatura e alesatura mediante lo stesso macchinario e la testa orientabile di $\pm 90^\circ$ ci permette di effettuare più lavorazioni senza cambiare la posizione del

pezzo da lavorare. Di conseguenza, ci saranno delle variazioni nella tabella della sequenza delle lavorazioni:

Fase	Operazione
10a	Allargatura (sup 3)
	Alesatura (sup 3)
	Fresatura (sup 2)
10b	Allargatura (sup 1)
	Alesatura (sup 1)
20a	Fresatura (sup 4)

Specifiche tecniche:

- Dimensioni macchina con basamento: 1160 mm (lunghezza) x 900 mm (larghezza) x 2050 mm (altezza)
- Dimensioni macchina senza basamento: 1160 mm (lunghezza) x 900 mm (larghezza) x 1500 mm (altezza)
- Peso netto della macchina: 330 Kg
- 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 a 50 Hz (Italia) e 1500 a 60 Hz (estero)
- **Potenza motore: 1.100 W**
- Tipologia motore: 220 V (Monofase)
- Frequenza: 50 Hz
- Avanzamento Longitudinale: Manuale in entrambe le direzioni
- Avanzamento Trasversale (piano a croce): Manuale in entrambe le direzioni

Questa fresatrice è acquistabile al prezzo di listino di **€ 3938**.

Scelta degli utensili, degli inserti e delle attrezzature

In questo paragrafo andremo ad analizzare gli utensili ideali per la realizzazione del pezzo; tuttavia, nella realtà essi non sono sempre disponibili e si lavora con ciò che si ha in officina, per ottimizzare spese e tempi.

Allargatura (sup 3)

Per l'allargatura della superficie 3, abbiamo selezionato l'allargatore [Sicutool 8620G](#) ad attacco cilindrico con codolo di trascinamento a rotazione destra:

**Specifiche del prodotto:**

- Tipo di acciaio SUPER-RAPIDO HSS;
- Numero eliche: 3;
- Applicazioni: allargare fori precedentemente ottenuti, mediante foratura, punzonatura e fusione.;
- Non esegue fori da pieno;
- Tipo di attacco: cilindrico e codolo di trascinamento;
- Rotazione: DESTRA;
- Il preforo ottimale deve avere un Ø inferiore del 10% - 20% c.ca al Ø effettivo dell'allargatore;
- Diametro effettivo di allargatura: 4,8 mm;
- Diametro minimo di preforo: 3,5 mm;
- Lunghezza elica: 74 mm;
- Lunghezza totale: 108 mm;
- Codice produttore: 86010.

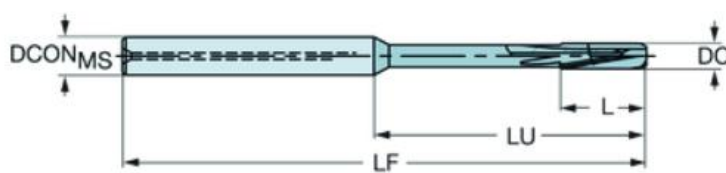
Il prezzo di listino a cui è possibile acquistare questo inserto è di **€ 34,90**.

Alesatura (sup 3)

Per l'alesatura della superficie 3, abbiamo selezionato nel catalogo proposto nel sito della Sandvik Coromant l'inserto [435.T-0500-A1-XF H10F](#):



Illustrazioni tecniche



Specifiche tecniche:

- Materiale(i) del pezzo da lavorare (TMC1ISO):  PKN
- Diametro di taglio (DC): 5 millimetri
- Tolleranza del foro raggiungibile (TCHA): H7
- Tolleranza del foro ottenibile inferiore (TCHAL): 0 millimetri

- Tolleranza del foro realizzabile superiore (TCHAU): 0,012 millimetri
- Diametro del foro prelaborato (PHD): 4,8 millimetri
- Tipo di foro (HTY): foro passante
- Lunghezza utilizzabile (LU): 39 millimetri
- Collegamento - lato macchina (ADINTMS): Gambo cilindrico (DIN6535-HA) - metrico: 6
- Tolleranza del diametro di collegamento (TCDCON): h6
- Grado (GRADE): H10F
- Substrato (SUBSTRATO): Alta frequenza
- Gruppo standard con gambo (BSG): INCORONAZIONE
- Stile di uscita del refrigerante (CXSC): uscita radiale
- Stile di ingresso del refrigerante (CNSC): ingresso concentrico assiale
- Pressione del refrigerante (CP): 20 bar
- Diametro di collegamento lato macchina (DCONMS): 6 millimetri
- Lunghezza totale (OAL): 75 millimetri
- Lunghezza funzionale (LF): 74,25 millimetri
- Lunghezza della spina (PLGL): 0,75 millimetri
- Lunghezza del tagliente (L): 12 millimetri
- Lunghezza della scanalatura del truciolo (LCF): 15,6 millimetri
- Conteggio dei flauti (NOF): 4
- Velocità di rotazione massima (RPMX): 6.112 giri al minuto
- Peso dell'articolo (WT): 0,0223 kg
- Data di rilascio (ValFrom20): 26/06/12
- ID del pacchetto di rilascio (RELEASEPACK): 12.2

Questo alesatore è acquistabile al prezzo di listino di **€ 175,00**.

Per poter usare l'allargatore e l'alesatore sulla fresatrice MT4 che abbiamo scelto, su essa vanno montati un altro mandrino portapinze e la relativa pinza: in particolare abbiamo optato per un mandrino **MT4-ER32** con **filetto tirante M16**, acquistabile sul sito [Twin Eagle Imports](https://www.twineagleimports.com) e per una pinza **MariTool**

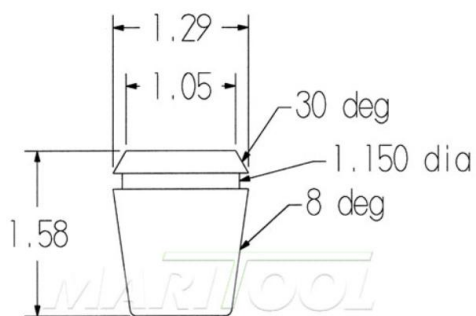
ER32 6 mm disponibile sul sito della [Maritool](#). Qui di seguito verranno riportate immagini, specifiche e prezzi del mandrino e della pinza:



Specifiche del prodotto:

- Temprato e rettificato di precisione
- Scostamento: 0,01 mm
- Filettatura del timone: M16
- Tipo di pinza: ER32 (NON inclusa)
- Diametro complessivo della testa: 50 mm
- Cono del gambo: MT4 (filettatura della barra di trazione M16)

Prezzo di listino: **€45,95**



MariTool Inc.
ER32 Collet Detail
Dimensions Are Approximate

Specifiche del prodotto:

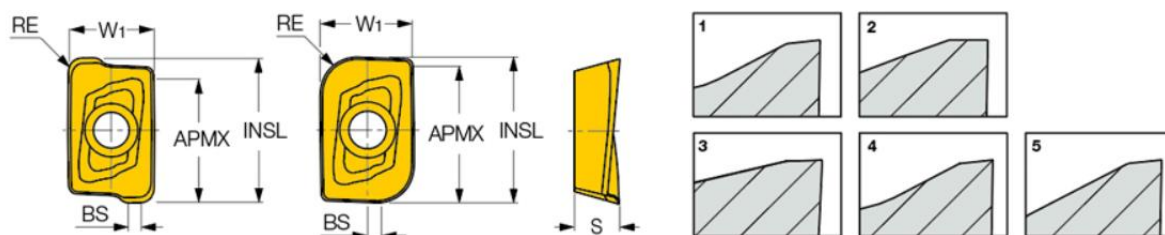
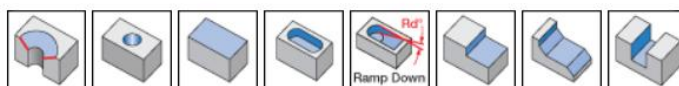
- Eccentricità totale: inferiore a 0,0003
- Realizzato in lega di acciaio per molle e completamente temprato
- Tutte le superfici critiche della pinza sono rettificate con precisione per un adattamento accurato
- Funziona con tutti i mandrini portapinze ER32
- Il codice articolo MariTool è 236-ER32-6mm

Questa pinza è acquistabile a un prezzo di listino di **€ 18,70**

Fresatura (sup 2)

Sgrossatura

Per la sgrossatura della superficie 2 abbiamo scelto l'inserto per frese a candela **HM90 APKT 1003PDR IC908** acquistabile sul sito della [Iscar](http://www.iscar.com):



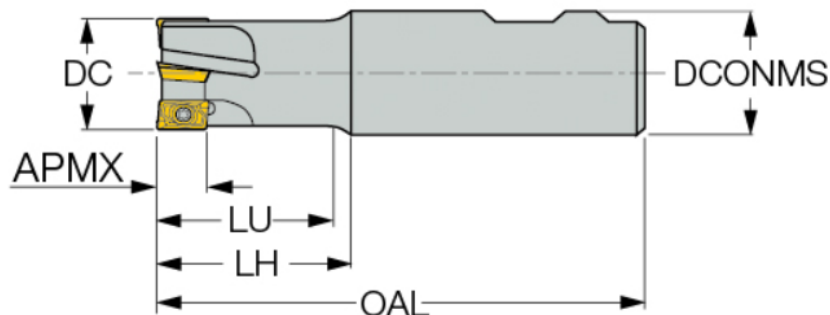
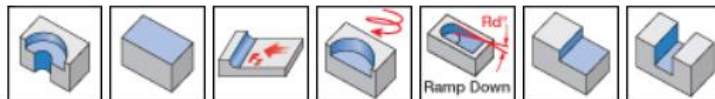
Specifiche del prodotto:

- Materiale applicabile: acciaio, acciaio inossidabile, **ghisa**, materiali duri, superleghe / titanio
- Peso: 0.0033 kg
- Applicazione: svasatura, fresa per trapano, sfacciatura, immersione e recesso, rampa di discesa, spallamento, spallamento inclinato e smusso, scanalatura;
- Tipo di strumento: inserti monofacciali;
- Lunghezza inserto (INSL): 11,45 millimetri;
- Raggio d'angolo (RE): 0,8 millimetri;
- Avanzamento minimo per dente (fz(min)): 0,08 mm/dente;
- Profondità di taglio massima (APMX): 9,8 mm;
- Numero di taglienti: 2;
- Larghezza dell'inserto (W1): 6,76 mm;
- Lunghezza effettiva del tagliente (LE): 10,26 mm;
- Spessore inserto (S): 3,53 mm;

- Tipo di misurazione: Metrico;
- Rivestimento: TiAlN;
- Materiale del corpo: Carburo;
- Grado: IC908;
- Unità: M;
- Avanzamento massimo per dente ($f_z(\max)$): 0,15 mm/dente

Questo inserto è acquistabile a un prezzo di listino di circa **€ 16,00**.

Come utensile, il catalogo della [lscar](#) ci ha consigliato l'**HM90 E90A-D12-1-C16**:



Specifiche del prodotto:

- Diametro di taglio: 12 mm;
- Conteggio degli articoli di taglio (CICT): 1;

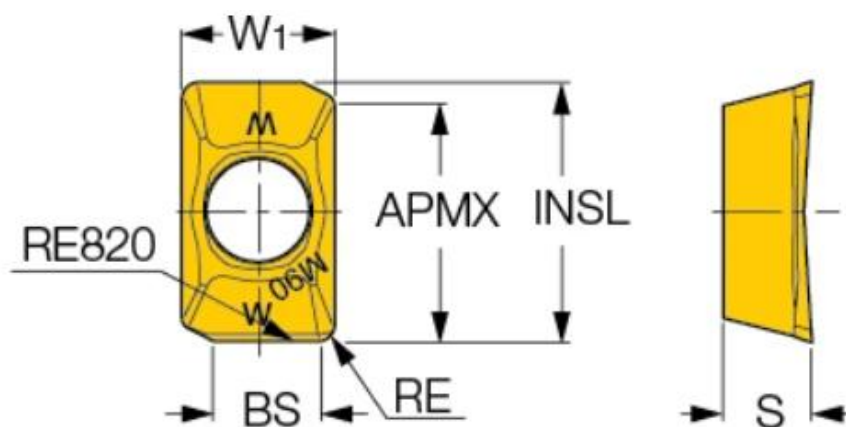
- Lunghezza utilizzabile (LU): 14 mm;
- Profondità di taglio massima (APMX): 9,8 mm;
- Conteggio dei flauti (NOF): 1;
- Lunghezza totale (OAL): 80 mm
- Proprietà di fornitura del refrigerante (CSP): Esterno;
- Tipo di gambo: circolare;
- Angolo del tagliente dell'utensile (KAPR): 90°;
- Angolo di rampa massimo (RMPX): 32°;
- Direzione di taglio (MANUALE): Destra;
- Applicazione: alesatura, sfacciatura, fresatura ad alta velocità, spallamento, scanalatura;
- Tipo di misurazione: Metrico;
- Diametro di collegamento lato macchina (DCONMS): 16 millimetri;
- Materiale del corpo: Acciaio;
- Identificazione dell'inserto principale (MIID): HM90 APKT 1003 PDR;
- Codice di connessione lato macchina (CCMS): Cilindrico;
- Lunghezza della testa (LH): 20 millimetri;
- Unità: M

Questo utensile è acquistabile al prezzo di listino di circa **€ 250,00**.

Finitura (sup 2)

Useremo due inserti diversi per la finitura della superficie 2: il primo, cioè l'**HM90 APKT 1003PD-W**, **andrà** a rifinire la parte “piana” della tasca, il secondo, cioè l'**MM EB060E04-4T04 IC908**, che andrà a rifinire i due “raccordi” di raggio 3,5 mm. Entrambi sono stati scelti dal catalogo della Iscar:

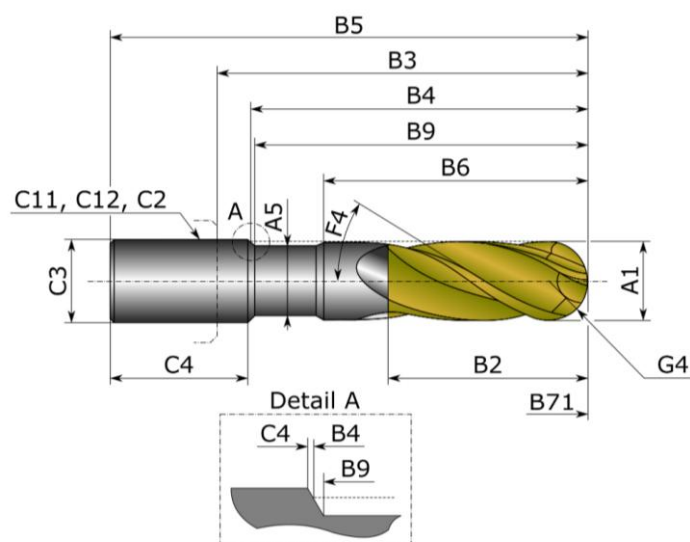
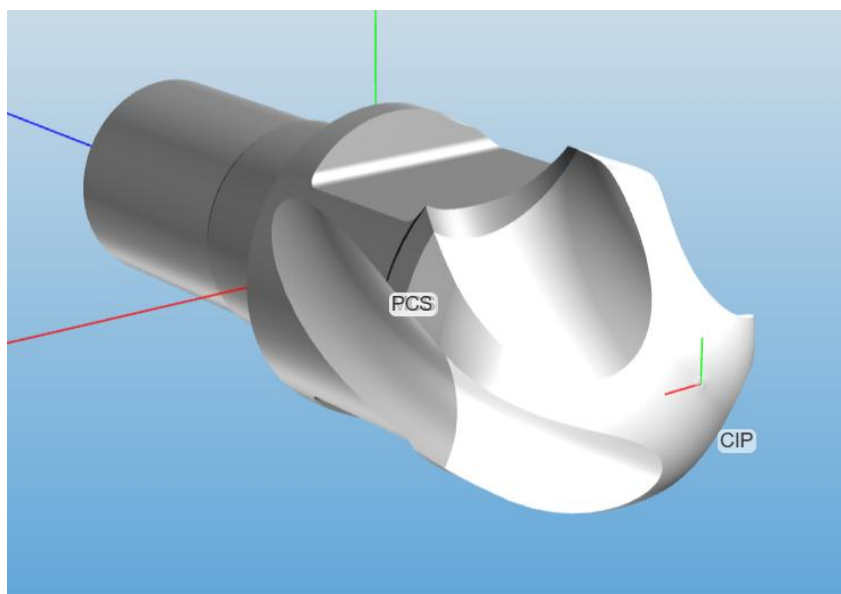




Specifiche del prodotto:

- Numero Catalogo: 5603515;
- Designazione: HM90 APKT 1003PD-W;
- Grado: IC908;
- $f_z(\min)$: 0,0059;
- $f_z(\max)$: 0,01181;
- Larghezza inserto: 0,26338;
- Raggio di punta: 0,03149;
- Spessore dell'inserto: 0,13976;
- Massima profondità di taglio: 0,38582;
- Lunghezza del tagliente raschiante: 0,17322;
- Lunghezza inserto: 0,45866;
- Application Range ISO P: P15-P30;
- Application Range ISO M: M20-M30;
- Application Range ISO K: K20-K30;
- Application Range ISO S: S10-S25;
- Application Range ISO H: H20-H30;
- Descrizione: Wiper Insert.

Questo inserto è acquistabile in lotti da 10 al prezzo di listino di **€ 100,00** circa. L'utensile a cui verrà attaccato sarà lo stesso usato precedentemente per la sgrossatura.



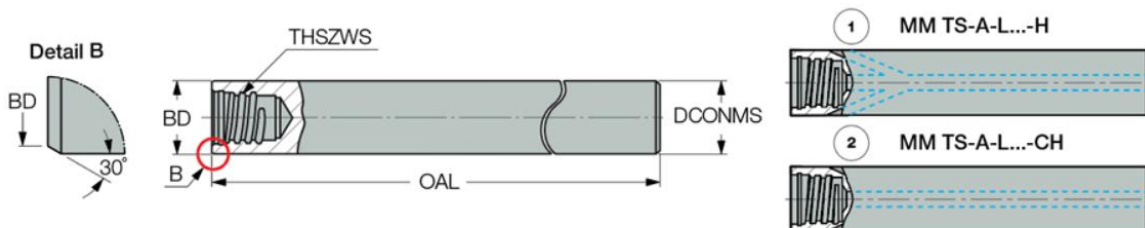
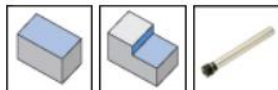
Specifiche del prodotto:

- Nome del prodotto: MM EB060E04-4T04 IC908;
- Codice aziendale: Iscar;
- Numero standard di layout delle proprietà: DIN4000-82;
- Codice di stile dello strumento: 6;
- Profondità di taglio massima: 4 mm;
- Lunghezza funzionale: 7,6 mm;
- Dimensione nominale della filettatura di collegamento lato macchina: T04;
- Direzione di taglio: Destra;
- Conteggio effettivo del tagliente periferico: 4;
- Conteggio effettivo dei taglienti del viso: 4;
- Mano elica del flauto: Mano dell'elica destra;
- Angolo dell'elica del flauto: 37 gradi;

- Raggio del profilo 1: 2,99 mm;
- Codice di stile di ingresso del refrigerante: 0 - Senza ingresso refrigerante;
- Codice di stile di uscita del refrigerante: 0 - Senza uscita refrigerante;
- Designazione del produttore del grado: IC908;
- Codice materiale del corpo: H - Carburo solido;
- Rivestimento: TiAlN;

Questo inserto è acquistabile in lotti da 10 al prezzo di listino di **€ 200,00** circa.

Come utensile porta inserto abbiamo optato per il **gambo MM TS-A-L070-C08-T04**, sempre dal catalogo della [Iscar](#) :



Specifiche del prodotto:

- Peso: 0,0390 kg;
- Dimensione nominale della filettatura di collegamento lato pezzo (THSZWS): T04;
- Tipo di misurazione: Metrico;
- Diametro di collegamento lato macchina (DCONMS): 8 millimetri;
- Materiale del corpo: Acciaio;
- Lunghezza totale (OAL): 70 millimetri;

- Codice di connessione lato macchina (CCMS): Cilindrico;
- Tipo di strumento: Gambo cilindrico;
- Unità: M;
- Diametro del corpo (BD): 5,8 millimetri;

Questo utensile è disponibile al prezzo di listino di **€ 130,00**

Allargatura (sup 1)

Per l'allargatura della superficie 1, abbiamo selezionato dal catalogo della Sicutool l'allargatore [Sicutool 8620G](#)



Specifiche del prodotto:

- Tipo di acciaio: SUPER-RAPIDO HSS;
- Numero eliche: 3;
- Applicazioni: allargare fori precedentemente ottenuti, mediante foratura, punzonatura e fusione;
- Non esegue fori da pieno;
- Tipo di attacco: cilindrico e codolo di trascinamento;
- Rotazione: DESTRA;
- Il preforo ottimale deve avere un diametro inferiore del 10% - 20% c. ca. al diametro effettivo dell'allargatore;
- Diametro effettivo di allargatura: 11,75 mm;
- Diametro minimo di preforo: 8,4 mm;
- Lunghezza elica: 134 mm;
- Lunghezza totale: 184 mm.

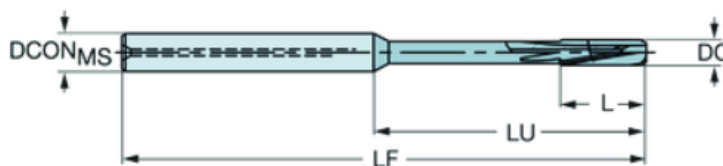
Questo allargatore è disponibile al prezzo di listino di circa **€ 63,50**.

Alesatura (sup 1)

Per l'alesatura della superficie 1 la nostra scelta è ricaduta sull'[alesatore in metallo duro integrale 435.T-1200-A1-XF H10F](#) della Sandvik:



Illustrazioni tecniche



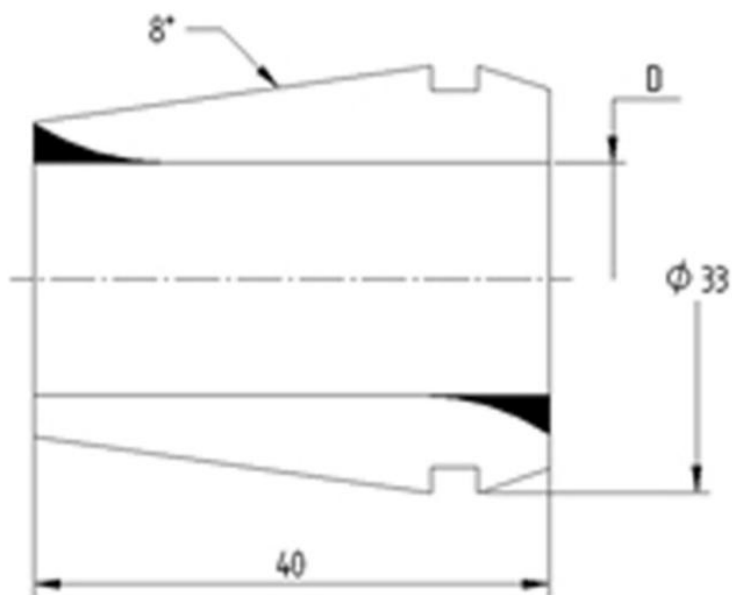
Specifiche tecniche:

- Livello 1 di classificazione del materiale (TMC1ISO): **PKN**
- Diametro di taglio (DC): 12 mm;
- Tolleranza ottenibile del foro (TCHA): H7;

- Tolleranza inferiore del foro ottenibile (TCHAL): 0 mm;
- Tolleranza superiore del foro ottenibile (TCHAU): 0,018 mm;
- Diametro del preforo (PHD): 11,8 mm;
- Tipo di foro (HTY): foro passante;
- Lunghezza utile (LU): 75 mm;
- Interfaccia adattatore lato macchina (ADINTMS): Cylindrical shank (DIN6535-HA) metric: 12;
- Tolleranza diametro stelo (TCDCON): h6;
- Qualità (GRADE): H10F;
- Substrato (SUBSTRATE): HF;
- Gruppo standard di base (BSG): COROMANT;
- Codice tipo di uscita refrigerante (CXSC): radial exit;
- Codice tipo ingresso refrigerante (CNSC): axial concentric entry;
- Pressione del refrigerante (CP): 20 bar;
- Diametro di collegamento lato macchina (DCONMS): 12 mm;
- Lunghezza globale (OAL): 120 mm;
- Lunghezza funzionale (LF): 118,2 mm;
- Lunghezza d'imbocco (PLGL): 1,8 mm;
- Lunghezza del tagliente (L): 20 mm;
- Lunghezza dell'elica (LCF): 26 mm;
- Numero di scanalature (NOF): 6;
- Velocità rotazionale massima (RPMX): 2.546 1/min;
- Peso dell'articolo (WT): 0,181 kg;
- Data di lancio (ValFrom20): 26/06/12;
- ID pacchetto di introduzione (RELEASEPACK): 12.2

Questo inserto è acquistabile sul sito della Sandvik al prezzo di listino di **€ 309,00**.

Per allargatura e alesatura della superficie 1 devo solo cambiare la pinza, il mandrino portapinze va bene per tutte le E32. Dal catalogo di BSmacchine abbiamo scelto la [pinza elastica er32 er 32 x mandrino frese](#):



Specifiche del prodotto:

- Marca: PRT TOOLS;
- Codice: EPR32160;
- TOLLERANZA DIN6499B: 0.015 mm;
- DIAMETRO (D): 16 mm;

Il prezzo di listino a cui è disponibile la pinza è di € 11,60

Calcolo dei parametri di taglio

Un'ideale scelta dei parametri di taglio (velocità di taglio, avanzamento e profondità di passata) consente di ottimizzare le varie operazioni previste nel ciclo. In generale la scelta dei parametri di taglio è legata strettamente ai seguenti aspetti: durata del tagliente, materiale dell'utensile, materiale del pezzo, condizioni di taglio, geometria dell'utensile, stabilità della lavorazione, vibrazioni, sovrametalli da asportare. Qualunque sia la strategia di scelta dei parametri, occorre verificare che non siano superati i limiti tecnologici e in particolare: insorgenza di vibrazioni, eccessive deformazioni del pezzo e dell'utensile, massima rugosità ammissibile, problemi di controllo del truciolo, massima potenza disponibile al mandrino, massima velocità angolare del mandrino e massimo avanzamento disponibile.

Allargatura (sup 3)

Questa lavorazione è essenziale per la successiva alesatura, in quanto si prepara il foro allargandolo dal diametro iniziale di 4,5 mm a quello finale di 4,8 mm, pronto appunto per essere alesato. Dalla tabella presente sul libro di testo (Santochi) abbiamo selezionato velocità di taglio:

Materiale	Velocità m/min.	Avanzamento mm/giro
Acciaio con R_m fino a 420 MPa	20-35	0,1 - 0,5
Acciaio con R_m fino a 600 MPa	12-20	0,1 - 0,4
Acciaio con R_m fino a 1000 MPa	10-18	0,06 - 0,2
Acciaio con R_m oltre 1000 MPa	8-10	0,06 - 0,2
Acciaio inox	8-16	0,1 - 0,3
Ghisa grigia con HB fino a 1800 MPa	20-30	0,2 - 0,4
Ghisa grigia con HB fino a 2000 MPa	15-20	0,1 - 0,4
Ghisa grigia con HB fino a 2200 MPa	8-20	0,1 - 0,35
Bronzo	30-50	0,1 - 0,5
Leghe di alluminio	30-40	0,1 - 0,5
Materie plastiche	30-60	0,2 - 0,5
Leghe di Magnesio	50-100	0,1 - 0,6

- Avanzamento: $a = 0,10$ mm/giro;
- Velocità di taglio: $v_c = 20$ m/min;
- Profondità di passata: $p = (4,8 - 4,5)/2 = 0,15$ mm;

Ora procediamo col calcolo dei restanti parametri di taglio:

- Giri mandrino: $n = \frac{1000 \times v_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 20}{\pi \times 4,8} = 1326 \frac{\text{giri}}{\text{min}}$, ma dato che il mandrino, alimentato a una frequenza di 50 Hz, arriva massimo a 1250 rpm, useremo questo numero di giri, e di conseguenza la velocità di taglio sarà di 18,84 m/min;
- Sezione di truciolo: $S = a \times p = 0,10 \times 0,15 = 0,015$ mm²;
- Pressione di riferimento: $P_s = 2,4 \times R_m^{0,454} \times \beta^{0,666} \approx 877 \frac{N}{\text{mm}^2}$, con $R_m = 600$ Mpa (come da tabella) e $\beta = 90^\circ$;
- Pressione di taglio: $P_t = P_s \times S^{-\frac{1}{n}} = 2506 \frac{N}{\text{mm}^2}$, con $1/n$ che per le ghise è 0,25
- Forza di taglio: $F_z = P_t \times S = 37,6$ N;
- Potenza di taglio: $W_{\text{allargatura}} = \frac{F_z \times v_c}{60000} \approx 0,012$ kW;

Allargatura (sup 1)

Il concetto è lo stesso della precedente allargatura, solo che viene applicato al foro che dovrà poi ospitare l'albero di diametro 12 mm. In questo caso allargheremo il foro passante di 11 mm di diametro a 11,8 mm, per poi alesare. Anche in questo caso, velocità di taglio e avanzamento li abbiamo selezionati dalla tabella proposta dal Santochi:

- Avanzamento: $a = 0,12 \text{ mm/giro}$;
- Velocità di taglio: $v_c = 20 \text{ m/min}$;
- Profondità di passata: $p = (11,8 - 11)/2 = 0,4 \text{ mm}$;

Ora procediamo col calcolo dei restanti parametri di taglio:

- Giri mandrino: $n = \frac{1000 \times v_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 20}{\pi \times 11,8} = 540 \frac{\text{giri}}{\text{min}}$ ma dato che il mandrino ha delle velocità prestabilite (80 – 145 – 260 – 375 – 710 – 1250 giri/min), andremo a scegliere la velocità più vicina, cioè 710 rpm, e di conseguenza la velocità di taglio sarà di 26 m/min;
- Sezione di truciolo: $S = a \times p = 0,12 \times 0,4 = 0,048 \text{ mm}^2$;
- Pressione di riferimento: $P_s = 2,4 \times R_m^{0,454} \times \beta^{0,666} \approx 877 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$, con $R_m = 600 \text{ Mpa}$ (come da tabella) e $\beta = 90^\circ$;
- Pressione di taglio: $P_t = P_s \times S^{-\frac{1}{n}} = 1873,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$, con $1/n$ che per le ghise è 0,25;
- Forza di taglio: $F_z = P_t \times S = 90 \text{ N}$;
- Potenza di taglio: $W_{\text{allargatura}} = \frac{F_z \times v_c}{60000} \approx 0,039 \text{ kW}$;

Alesatura (sup 3)

Con questa lavorazione andiamo a ultimare la creazione del foro che ospiterà il perno. Come per l'allargatura, anche per il calcolo dei parametri di taglio dell'alesatura faremo riferimento alla tabella presente sul libro di testo (Santochi). In particolare, abbiamo scelto un avanzamento di 0,15 mm/giro, una velocità di taglio di 11 m/min e una profondità di taglio di 0,10 mm. Ora passiamo ai calcoli:

- Numero di giri: $n = \frac{1000 \times v_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 11}{\pi \times 5} = 700 \frac{\text{giri}}{\text{min}}$, la velocità del mandrino più vicina è di 710 rpm, e di conseguenza la nuova velocità di taglio sarà di 11,1 m/min, che rientra nel range imposto dalla tabella;
- Sezione di truciolo: $S = a \times p = 0,15 \times 0,10 = 0,015 \text{ mm}^2$;
- Velocità di asportazione del materiale: $V_a = \pi \times D \times a \times p \times n = \pi \times 5 \times 0,15 \times 0,1 \times 710 \approx 167,3 \frac{\text{mm}^3}{\text{min}}$;
- Pressione di taglio: $P_t = P_s \times S^{-\frac{1}{n}} = 2506 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$;
- Forza di taglio: $F_z = P_t \times S = 2506 \times 0,015 = 37,6 \text{ N}$;
- Potenza di taglio: $W_{\text{alesatura}} = \frac{F_z \times v_c}{60000} \approx 0,007 \text{ kW}$

Materiale	v (m/min)	Avanzamento (mm/giro)				
		Diametro del foro (mm)				
		< 5	10	20	30	> 40
Acciaio $R_m = 500 \div 700$ MPa	12 ÷ 16	0,15	0,25	0,40	0,50	0,60
Acciaio $R_m = 700 \div 900$ MPa	10 ÷ 12	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50
Acciaio inox	4 ÷ 6	0,10	0,15	0,25	0,40	0,40
G 15 ÷ 20	14 ÷ 20	0,20	0,30	0,50	0,65	0,80
G 25 ÷ 30	10 ÷ 16	0,20	0,30	0,50	0,65	0,80
Ghise speciali	8 ÷ 12	0,15	0,25	0,40	0,50	0,60
Bronzo	10 ÷ 15	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50
Ottone	25 ÷ 30	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50
Leghe leggere	25 ÷ 40	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50

Alesatura (sup 1)

Con questa lavorazione andremo ad ultimare il foro da cui passerà l'albero del morsetto a ginocchiera. Dato che è richiesta una tolleranza superficiale H7, andremo a scegliere i parametri di taglio di conseguenza:

- Velocità di taglio: 10 m/min;
- Avanzamento: 0,20 mm/giro;
- Profondità di passata: 0,10 mm;
- Numero di giri: $n = \frac{1000 \times v_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 10}{\pi \times 5} = 636,6 \frac{\text{giri}}{\text{min}}$, la velocità del mandrino più vicina è di 710 rpm, e di conseguenza la nuova velocità di taglio sarà di 11,1 m/min, che rientra nel range imposto dalla tabella;
- Sezione di truciolo: $S = a \times p = 0,20 \times 0,10 = 0,020 \text{ mm}^2$;
- Velocità di asportazione del materiale: $V_a = \pi \times D \times a \times p \times n = \pi \times 5 \times 0,20 \times 0,1 \times 710 \approx 223 \frac{\text{mm}^3}{\text{min}}$
- Pressione di taglio: $P_t = P_s \times S^{-\frac{1}{n}} = 1311,4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$;
- Forza di taglio: $F_z = P_t \times S = 1311,4 \times 0,02 = 26,23 \text{ N}$;
- Potenza di taglio: $W_{alesatura} = \frac{F_z \times v_c}{60000} \approx 0,005 \text{ kW}$

Fresatura

Tramite l'utilizzo della fresa a candela scelta andremo prima a sgrossare e poi rifinire le due tasche presenti nel corpo base. I parametri di taglio saranno gli stessi per entrambe le lavorazioni, cambiano solo la lunghezza del tratto piano da lavorare (34 mm per sup 2 e 40 per sup 1) e la finitura dei due raccordi di raggio 3,5 mm presenti sulla superficie 2.

Sgrossatura

- Diametro: $D = 12 \text{ mm}$;
- N° giri mandrino: $n = 1250 \text{ rpm}$;
- Numero denti della fresa: $z = 1$;
- Avanzamento per tavolo: $v_f = 100 \text{ mm/minuto}$;

- Avanzamento per dente: $f_z = \frac{v_f}{n \times z} = 0,08 \text{ mm/dente}$;
- Velocità di taglio: $V_t = \frac{\pi \times D \times n}{1000} = 47,1 \text{ m/min}$;
- Avanzamento per giro: $a = z \times f_z = 0,08 \text{ mm/giro}$;
- Velocità di avanzamento: $V_a = n \times z \times f_z = 12,5 \text{ mm/minuto}$;
- Profondità di passata: $p = 2,5 \text{ mm}$, 1 mm per la seconda passata sulla superficie 2;
- Sezione di truciolo: $S = p \times f_z = 0,2 \text{ mm}^2$;
- Pressione di taglio specifica: $P_s = 2,4 \cdot Rm^{0,454} \cdot \beta^{0,666} = 999 \text{ N}$;
- Pressione di taglio: $P_t = P_s \times S^{-\frac{1}{n}} = 1495 \text{ N/mm}^2$;
- Componente tangenziale: $T = P_t \times z \times S = 299 \text{ N}$;
- Potenza: $W = \frac{T \times V_t}{60000} = 0,235 \text{ kW}$.

Finitura (superfici piane)

- Diametro: $D = 12 \text{ mm}$;
- N° giri mandrino: $n = 1250 \text{ rpm}$;
- Numero denti della fresa: $z = 1$;
- Avanzamento per tavolo: $v_f = 100 \text{ mm/minuto}$;
- Avanzamento per dente: $f_z = \frac{v_f}{n \times z} = 0,01 \text{ mm/dente}$;
- Velocità di taglio: $V_t = \frac{\pi \times D \times n}{1000} = 47,1 \text{ m/min}$;
- Avanzamento per giro: $a = z \times f_z = 0,08 \text{ mm/giro}$;
- Velocità di avanzamento: $V_a = n \times z \times f_z = 12,5 \text{ mm/minuto}$;
- Profondità di passata: $p = 0,25 \text{ mm}$;
- Sezione di truciolo: $S = p \times f_z = 0,0025 \text{ mm}^2$;
- Pressione di taglio specifica: $P_s = 2,4 \cdot Rm^{0,454} \cdot \beta^{0,666} = 999 \text{ N}$;
- Pressione di taglio: $P_t = P_s \times S^{-\frac{1}{n}} = 4467,6 \text{ N/mm}^2$;
- Componente tangenziale: $T = P_t \times z \times S = 11,2 \text{ N}$;
- Potenza: $W = \frac{T \times V_t}{60000} = 0,009 \text{ kW}$.

Finitura (raccordi)

- Diametro: $D = 6 \text{ mm}$;
- N° giri mandrino: $n = 1250 \text{ rpm}$;
- Numero denti della fresa: $z = 4$;
- Avanzamento per tavolo: $v_f = 100 \text{ mm/minuto}$;
- Avanzamento per dente: $f_z = \frac{v_f}{n \times z} = 0,02 \text{ mm/dente}$;
- Velocità di taglio: $V_t = \frac{\pi \times D \times n}{1000} = 23,6 \text{ m/min}$;
- Avanzamento per giro: $a = z \times f_z = 0,08 \text{ mm/giro}$;
- Velocità di avanzamento: $V_a = n \times z \times f_z = 100 \text{ mm/minuto}$;
- Profondità di passata: $p = 0,25 \text{ mm}$;
- Sezione di truciolo: $S = p \times f_z = 0,02 \text{ mm}^2$;
- Pressione di taglio specifica: $P_s = 2,4 \cdot Rm^{0,454} \cdot \beta^{0,666} = 999 \text{ N}$;
- Pressione di taglio: $P_t = P_s \times S^{-\frac{1}{n}} = 1494 \text{ N/mm}^2$;
- Componente tangenziale: $T = P_t \times z \times S = 120 \text{ N}$;
- Potenza: $W = \frac{T \times V_t}{60000} = 0,047 \text{ kW}$.

Calcolo dei tempi di lavorazione

Allargatura (sup 3)

Il tempo di lavorazione t lo calcoliamo con la formula:

$$t_{all,3} = \frac{l + e}{a \times n}$$

dove l è la corsa utile (cioè, la profondità dei fori), e è l'extracorsa, a è l'avanzamento [mm/giro], n sono i giri [giri/min]. Dato che con questa lavorazione allarghiamo il diametro del foro di 0,3 mm e la profondità di passata scelta è di 0,15 mm, basterà una sola passata per ogni pezzo:

$$t_{all,3} = \frac{l + e}{a \times n} = \frac{6 + 2}{0,10 \times 1250} = 0,064 \text{ min} = 3,84 \text{ s}$$

Dato che dobbiamo applicare questa lavorazione a 50 pezzi, il valore di prima va moltiplicato per 50 e così otteniamo che $t_{all,3,tot} = 162 \text{ s} = 3 \text{ minuti e } 12 \text{ secondi}$. Oltre ai tempi attivi vanno però tenuti in considerazione i tempi passivi, che comprendono tutte quelle fasi della lavorazione che non hanno come protagonisti gli utensili e i loro inserti. In particolare, in questo caso essendo la prima lavorazione, vanno considerati:

- l'accensione della macchina: circa 0,05 min
- allineamento morsa: 1,5 min
- montaggio + posizionamento: 0,2 min
- montaggio punta per allargatura: 1,5 min

Quindi i tempi passivi relativi all'allargatura della superficie 3, per un totale di 50 pezzi, ammontano a:

$$t_{pass,all3} = (0,05 + 1,5 + 0,2 + 1,5) \times 50 = 162,5 \text{ min} = 2 \text{ ore e } 42 \text{ minuti}$$

Alesatura (sup 3)

$$t_{ale,3} = \frac{l + e}{a \times n} = \frac{6 + 2}{0,15 \times 710} = 0,075 \text{ min} = 4,5 \text{ s}$$

Rispetto a prima, cambia solo l'avanzamento a che ora è di 0,15 mm/giro. Moltiplicando per 50 il risultato appena ottenuto avremo $t_{ale,3,tot} = 225 \text{ s} = 3 \text{ minuti e } 45 \text{ secondi}$. Come tempi di lavorazione andremo a considerare il controllo finale del foro, che porta via circa mezzo minuto e il cambio punte (da allargatura ad alesatura), che porta via circa 1,05 minuti. Quindi il tempo passivo totale impiegato per l'alesatura della superficie 3 di 50 pezzi è:

$$t_{pass,ale3} = (1,05 + 0,5) \times 50 = 77,5 \text{ min} = 1 \text{ ora e } 17 \text{ minuti e } 30 \text{ secondi}$$

Fresatura (sup 2)

Sgrossatura

$$t_{sg,2} = \frac{l + e}{a \times n} = \frac{34 + 2}{0,08 \times 1250} = 0,36 \text{ min} = 21,6 \text{ s}$$

Dato che la tasca è profonda 3,5 mm, serviranno due passate di sgrossatura: in particolare, la prima con profondità di passata di 2,5 mm, la seconda con $p = 1 \text{ mm}$. Per questo il tempo totale sarà di

$$t_{sg,2,tot} = 21,6 \times 2 \times 50 = 2160 \text{ s} = 36 \text{ minuti}$$

Riguardo ai tempi passivi, andremo a considerare il tempo impiegato per cambiare da alesatore a fresa, quindi circa 1,05 minuti, che per 50 pezzi diventano 52,5 minuti.

Finitura (superficie piana)

$$t_{fin,2} = \frac{l + e}{a \times n} = \frac{34 + 2}{0,08 \times 1250} = 0,42 \text{ min} = 25,2 \text{ s}$$

Per i 50 pezzi che vanno prodotti, sono un totale di 21 minuti. Per i tempi passivi consideriamo il cambio di utensile che dura circa 1,05 minuti, e per il totale dei pezzi diventano 52,5 minuti.

Finitura (raccordi di raggio 3,5 mm)

$$t_{fin,2} = \frac{2 \times (l + e)}{a \times n} = \frac{72}{0,08 \times 1250} = 0,72 \text{ min} = 43,2 \text{ s}$$

Come possiamo notare, dato che i raccordi sono due si raddoppia il numeratore, e per ottenere il totale dei 50 pezzi moltiplichiamo per la medesima cifra:

$$t_{fin,2tot} = 43,2 \times 50 = 2160 \text{ s} = 36 \text{ minuti}$$

I tempi passivi consistono negli 1,05 minuti per il cambio utensile, che fanno un totale di 52 minuti e 30 secondi contando l'intero lotto.

Allargatura (sup 1)

$$t_{all,1} = \frac{l + e}{a \times n}$$

Con questa lavorazione allarghiamo il diametro del foro di 0,8 mm e la profondità di passata scelta è di 0,4 mm, basterà una sola passata per ogni pezzo:

$$t_{all,1} = \frac{l + e}{a \times n} = \frac{22 + 2}{0,14 \times 710} = 0,241 \text{ min} = 14,48 \text{ s}$$

Dato che dobbiamo applicare questa lavorazione a 50 pezzi, il valore di prima va moltiplicato per 50 e così otteniamo che $t_{all,1,tot} = 724,34 \text{ s} = 12 \text{ minuti e } 4 \text{ secondi}$. Come tempi passivi, andremo a considerare il riposizionamento del pezzo dopo la fresatura, che porta via 2,4 min, e il cambio utensile per passare da fresatura ad allargatura, che dura circa 1,05 min.

Quindi i tempi passivi relativi all'allargatura della superficie 1, per un totale di 50 pezzi, ammontano a:

$$t_{pass,all3} = (2,4 + 1,05) \times 50 = 172,5 \text{ min} = 2 \text{ ore e } 52 \text{ minuti e } 30 \text{ secondi}$$

Alesatura (sup 1)

$$t_{ale,3} = \frac{l + e}{a \times n} = \frac{22 + 2}{0,2 \times 710} = 0,17 \text{ min} = 10,15 \text{ s}$$

Rispetto a prima, cambia solo l'avanzamento a che ora è di 0,2 mm/giro. Moltiplicando per 50 il risultato appena ottenuto avremo $t_{ale,3,tot} = 507 s = 8 \text{ minuti e } 27 \text{ secondi}$. Come tempi di lavorazione andremo a considerare il controllo finale del foro, che porta via circa mezzo minuto e il cambio ponte (da allargatura ad alesatura), che porta via circa 1,05 minuti. Quindi il tempo passivo totale impiegato per l'alesatura della superficie 1 di 50 pezzi è:

$$t_{pass,ale1} = (1,05 + 0,5) \times 50 = 77,5 \text{ min} = 1 \text{ ora e } 17 \text{ minuti e } 30 \text{ secondi}$$

Fresatura (sup 4)

Con questa lavorazione andremo a realizzare la tasca inferiore (sup 4) dove in seguito andremo a saldare la piastra di base. Come visto prima, utilizzeremo una fresa a candela.

Sgrossatura

$$t_{sg,4} = \frac{l + e}{a \times n} = \frac{40 + 2}{0,08 \times 1250} = 0,42 \text{ min} = 25,2 s$$

Con l che in questo caso è la lunghezza della tasca. Dato che la profondità di passata p è di 2,5 mm, avremo bisogno di due passate per sgrossare la tasca 4, che è profonda 5 mm. Per avere dunque il tempo totale attivo, dovremo calcolare il risultato di prima per 2 e per 50:

$$t_{sg,4,tot} = 2520 s = 42 \text{ minuti}$$

Per quanto riguarda i tempi passivi, andremo a considerare il cambio utensile, che porta via 1,05 minuti. Il tempo totale passivo per 50 pezzi è di 52 min e 30 secondi.

Finitura

$$t_{sg,4} = \frac{l + e}{a \times n} = \frac{40 + 2}{0,08 \times 1250} = 0,42 \text{ min} = 25,2 s$$

Come si nota, rimangono invariati i parametri rispetto alla precedente sgrossatura, con la differenza che ora servirà una sola passata per rifinire le pareti della tasca; quindi, il tempo totale attivo per 50 pezzi sarà di 21 minuti. Per quanto riguarda i tempi passivi, dato che questa è l'ultima lavorazione, andremo a considerare:

- spegnimento della macchina: 0,05 min;
- cambio inserto: 1,05 min;
- smontaggio: 0,40 min;

$$t_{pass,fin4} = (1,05 + 0,5 + 0,4) \times 50 = 97,5 \text{ min} = 1 \text{ ora e } 37 \text{ minuti e } 30 \text{ secondi}$$

Procediamo col calcolare il tempo totale impiegato alle macchine utensili per la produzione di 50 corpi base (in minuti, poi convertiamo in ore):

$$\begin{aligned} T_{tot} &= T_{all,1} + T_{ale,1} + T_{all,3} + T_{ale,3} + T_{fres,2} + T_{fres,4} \\ &= 184,57 + 85,95 + 165,7 + 81,25 + 250,5 + 213 = 980,97 \\ &= 16 \text{ ore } 20 \text{ minuti e } 58 \text{ secondi} \end{aligned}$$

Costi di lavorazione

Per concludere andremo a calcolare i costi dell'intera lavorazione, tenendo in considerazione i prezzi degli inserti, degli utensili, dell'energia elettrica usata e della manodopera impiegata.

Costi di inserti e utensili

- Allargatore Sicutool 8620G → 34,90 €
- Alesatore 435.T-0500-A1-XF H10F → 175,00€
- Mandrino MT4-ER32 con filetto tirante M16 → 49,95 €
- Pinza MariTool ER32 6 mm → 18,70 €
- Inserto per frese a candela HM90 APKT 1003PDR IC908 → 16,00 €
- Fresa a candela HM90 E90A-D12-1-C16 → 250,00 €
- Inserto per finitura HM90 APKT 1003PD-W (lotto da 10) → 100 € (nel calcolo del costo totale degli inserti ne conteremo uno)
- Inserto per finitura MM EB060E04-4T04 IC908 (lotto da 10) → 200 € (stesso discorso dell'inserto precedente)
- Gambo MM TS-A-L070-C08-T04 → 130 €
- Allargatore Sicutool 8620G → 63,50 €
- Alesatore in metallo duro integrale 435.T-1200-A1-XF H10F → 309 €
- pinza elastica er32 er 32 → 11,60 €

Quindi il costo totale di inserti e utensili ammonta a:

$$34,90 + 175 + 49,95 + 18,70 + 16 + 250 + 10 + 20 + 130 + 63,50 + 309 + 11,60 = 1088,65 \text{ €}$$

Costo della manodopera

Supponiamo di avere un solo operatore pagato 20 €/h. Andiamo a calcolare il costo della manodopera al tornio:

$$\text{Costo manodopera fresatrice} = \text{costo operatore} \times \text{tempo totale} = 20 \frac{\text{€}}{\text{h}} \times 16,35 \text{ h} = 327 \text{ €}$$

Costo energia elettrica

In media oggi l'energia elettrica costa circa 0,25 ÷ 0,30 €/kWh. Come valore del costo dell'energia prendiamo 27 centesimi al kWh e sapendo le potenze della nostra fresatrice andiamo a calcolare il costo dell'energia elettrica:

$$\begin{aligned} \text{Costo energia elettrica fresatrice} &= P_{\text{media fresatrice}} \times \frac{\text{Costo energia}}{60} \times \text{tempo attivo (min)} \\ &= 1,1 \text{ kW} \times \frac{0,27}{60} \times 183,46 \text{ min} = 0,90 \text{ €} \end{aligned}$$

Asportazione di truciolo - albero

Tramite questa lavorazione andremo a realizzare anche il particolare 2, ossia l'**albero**. L'albero del complessivo in esame ha la funzione di elemento di spinta, trasmette ossia la forza generata dal sistema a leva fino al pezzo da bloccare, permettendo al morsetto a ginocchiera di immobilizzarlo durante le lavorazioni.

Disegno

Scelta del materiale

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

1. **Buona resistenza meccanica:** Dovendo sopportare sforzi ripetitivi, spinte elevate e possibili urti, questa caratteristica è di fondamentale importanza, dato che i morsetti, essendo destinati a essere usati per lo più in officina, possono essere soggetti a colpi accidentali e vibrazioni. Questo acciaio è anche caratterizzato da una **tenacità** sufficiente a evitare rotture fragili.
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.

Qui di seguito se ne riporta la scheda tecnica:



BETTINELLI ACCIAI

HOT ROLLED | FORGED | COLD DRAWN | PEELLED | STAINLESS STEEL | TUBES

C45E

Norma di riferimento EN 10083-2: 2006

Numero 1.1191

ACCIAI AL CARBONIO

CORRISPONDENZE

EN	UNI	GB	DIN	AFNOR	BS	GOST	AISI SAE		
C45E	C45	45	Ck45	XC48H1	080M46	45	1045		

COMPOSIZIONE CHIMICA

C% max	Mn%	Si% max	Cr%	Ni% max	Mo% max	Cu%	Nb%	V%	
0,42-0,50	0,50-0,80	-	0,40	0,40	0,10	-	-	-	
+/- 0,02	+/- 0,04	-				-	-	-	
Al%	P% max	S% max	N%	Pb% max					
-	0,030	0,035	-	-					
-	+ 0,005	+ 0,005	-	-					

Cr+Mo+Ni max 0,63%

Per tipo C45R n° 1.1201 S% 0,020-0,040 scostamento di prodotto +/- 0,005

Per il tipo C45 n° 1.0503 S% e P% max 0,045 scostamento di prodotto + 0,005

Viene commercializzato anche con trattamento al calcio

CARATTERISTICHE MECCANICHE									
stato	C45E C45R LAMINATI A CALDO caratteristiche meccaniche allo stato normalizzato EN 10083-2: 2006								
diametro mm		spessore mm		Prova di trazione in longitudinale					
				R	Re*	A%	C%	Kv	HB
oltre	fino a	oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min	min	J min	min
	16		16	620	340	14	-	-	190
16	100	16	100	580	305	16	-	-	172
100	250	100	250	560	275	16	-	-	162
stato	C45E C45R LAMINATI A CALDO caratteristiche meccaniche allo stato bonificato EN 10083-2: 2006								
diametro mm		spessore mm		Prova di trazione in longitudinale					
				R	Re*	A%	C%	Kv	HB
oltre	fino a	oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min	min	J min	min
	16		16	700-850	490	14	35		213-253
16	100	16	100	650-800	430	16	40	25	200-240
100	250	100	250	630-780	370	17	45	25	192-232
* = Re carico unitario di snervamento superiore, qualora non si manifesti marcatamente, va considerato Rp 0,2									
stato	C45E 1.1191 C45R 1.1201 EN 10277-5: 2008 TRAFILATO A FREDDO +C								
sezione mm		Prova di trazione in longitudinale							
		R	Rp 0,2	A%	HB				
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min	per informazione				
5	10	850-1050	595	8	253-319				
10	16	810-1010	565	8	243-300				
16	40	750-950	525	9	225-286				

40	63	650-850	455	10	200-253										
63	100	650-850	455	11	200-253										
stato		C45E 1.1191 FUCINATO normalizzato EN 10250-2: 2001													
diametro mm		Prova di trazione in longitudinale													
		R	Re*	A%	A%	A%	Kv +20°C	Kv +20°C	HB						
oltre	fino a	N/mm^2	N/mm^2 min	min L	min T	min Q	J min L	J min T	min						
	100	580	305	16	-	-	-	-	172						
100	250	560	275	16	12	15	18	10	162						
250	500	540	240	16	12	15	15	10	158						
500	1000	530	230	15	11	12	12	10	156						
stato		C45E 1.1191 FUCINATO bonificato EN 10250-2: 2001													
diametro mm		spessore mm		Prova di trazione in longitudinale											
				R	Re*	A%	A%	Kv +20°C	Kv +20°C	HB					
oltre	fino a	oltre	fino a	N/mm^2	N/mm^2 min	min L	min T	J min L	J min T	min					
	100		70	630	370	17	-	25	-	192					
100	250	70	160	590	340	18	12	22	15	176					
250	500	160	330	540	320	17	11	20	12	158					
* = Re carico unitario di snervamento superiore, qualora non si manifesti marcatamente, va considerato Rp 0,2															
L = longitudinale; T = tangenziale; Q = radiale															
C45E C45R EN 10083-3: 2006 Valori di temprabilità Jominy in HRC grandezza grano 5 minimo H = normale															
Distanza dall'estremità temprata in mm															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	15	20	25
min	55	51	37	30	28	27	26	25	24	23	22	21	20		
max	62	61	61	60	57	51	44	37	34	33	32	31	30		

Lavorazione

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 con 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.

Calcoliamo quanto andremo a spendere per l'acquisto di queste due barre:

- **L totale acquistato:** $2 \times 3,00 \text{ m} = 6,00 \text{ m}$
- **Peso specifico Ø16:** 1,578 kg/m
- **Massa totale:** $6,00 \times 1,578 = 9,47 \text{ kg}$

Costo materiale (2 barre × 3 m)

Prezzo €/kg (fonte)	Peso 9,47 kg	Totale materiale
3,48 €/kg ($\approx 5,49 \text{ €/m}$)	9,47 kg	32,95 €

Ora si individuano le superfici che devono essere lavorate e si ipotizzano i possibili processi di lavorazione da usare:

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

Sequenza delle lavorazioni

Fase	Operazione
10	Taglio con sega a nastro
20a	Sfacciatura del grezzo (sup 2)
20b	Tornitura cilindrica (sup 1)
	Realizzazione spalla 6
	Raccordo R0,5
20c	Realizzazione gola di scarico E – ISO 18388
20d	Finitura sup 1 e finitura sup 6
20e	Sfacciatura (sup 4)
20f	Smussatura 0,5x45° sup 2
30a	Centrata (sup 5)
	Foratura (sup 5)
	Alesatura (sup 5)

Scelta delle macchine utensili

Per queste lavorazioni useremo il tornio e la fresatrice precedentemente usata per la lavorazione del corpo base

Tornio

Dato che andremo a lavorare un componente assialsimmetrico, la nostra decisione è ricaduta su un tornio parallelo, in

[Tornio parallelo](#)
[Profi 700 Top](#) :

particolare il
[Bernardo](#)





Specifiche tecniche:

- **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

- Intervallo di velocità continuo: 70 - 380 / 380 - 2000 giri/min
- 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
- Filettature pollici: 8 - 56 Gg/1"
- 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

In dotazione

- Punte di centraggio fisse
- Mandrino a 3-griffe DK11-160 mm
- Flangia mandrino 160 mm
- Ruote di ricambio
- Porta-utensili quadruplo
- Giunto di slittamento
- Battuta longitudinale del micrometro
- Slitte piane con supporto superiore
- Convertitore di frequenza
- Indicatore di velocità digitale
- Calibro di filettatura
- Protezione mandrino
- Parete posteriore truciolo
- Copertura mandrino guida
- Dispositivo di comando

Questo tornio è acquistabile al prezzo di listino di circa **€ 3500,00**.

Le specifiche della fresatrice sono disponibili nella sezione dell'asportazione di truciolo del corpo base.

Scelta degli utensili, degli inserti e delle attrezzature

In questo paragrafo andremo ad analizzare gli utensili ideali per la realizzazione del pezzo; tuttavia, nella realtà essi non sono sempre disponibili e si lavora con ciò che si ha in officina, per ottimizzare spese e tempi.

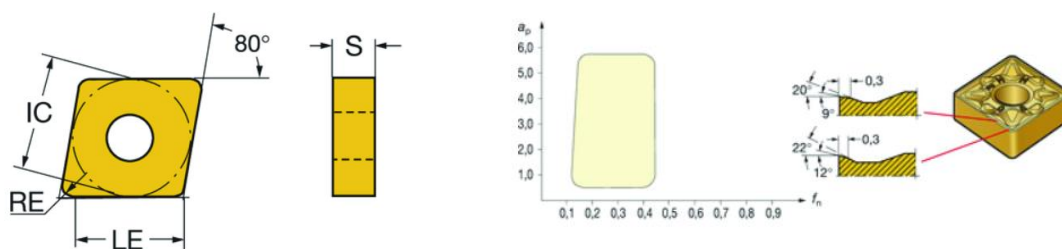
Tornitura

Sgrossatura

Per la sgrossatura della superficie 1 e per la realizzazione della spalla 6, abbiamo selezionato nel catalogo proposto dal sito l'inserto CNMG 12 04 08-MM 2035 [T-Max® P](#) :



Illustrazioni tecniche



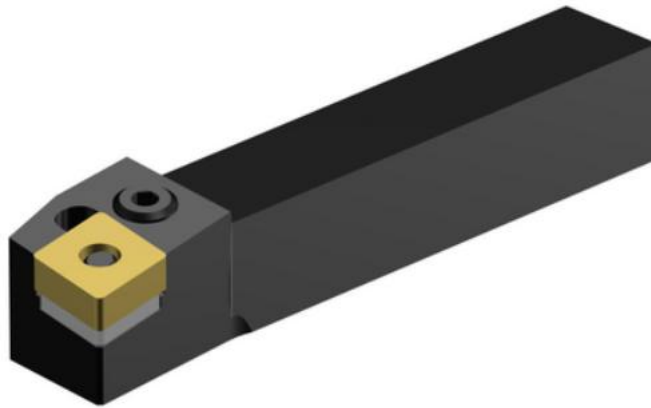
Specifiche del prodotto:

- Livello 1 di classificazione del materiale (TMC1ISO): **M**
- Geometria (CBMD): **MM**
- Tipo di operazione (CTPT): **pre-machining with demand on surface**
- Codice del tipo di montaggio dell'inserto (IFS): **Cylindrical fixing hole**
- Diametro del foro di fissaggio (D1): **5,156 mm**
- Misura e forma dell'inserto (CUTINT_SIZESHAPE): **CN1204**
- Numero di taglienti (CEDC): **4**
- Diametro del cerchio inscritto (IC): **12,7 mm**
- Codice della forma dell'inserto (SC) **Rhombic 80**
- Lunghezza effettiva del tagliente (LE): **12,0959 mm**
- Raggio di punta (RE): **0,7938 mm**
- Versione (HAND): **Neutral**
- Qualità (GRADE): **2035**

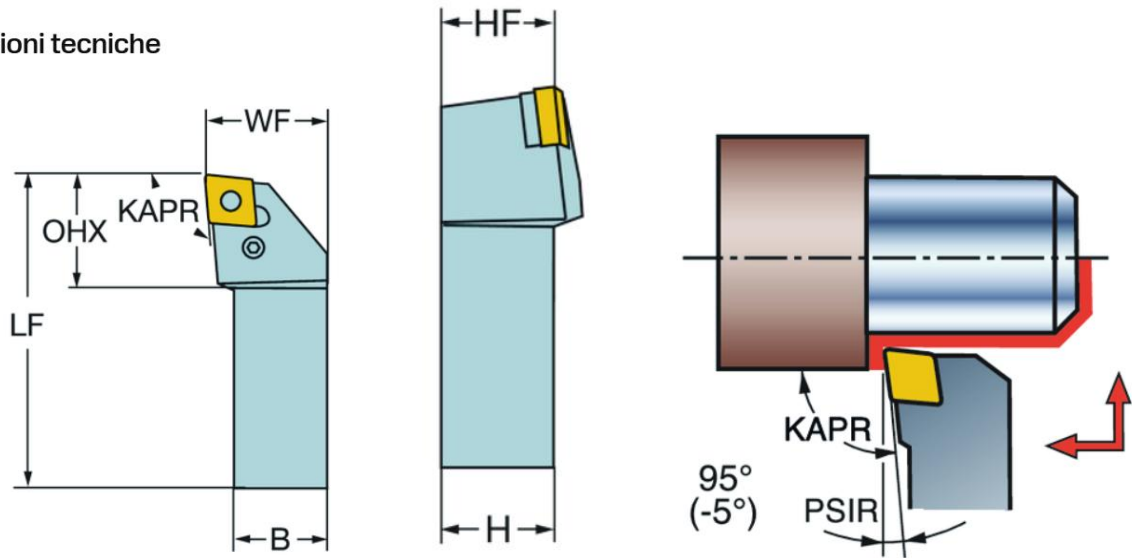
- Substrato (SUBSTRATE): **HC**
- Rivestimento (COATING): **PVD TiAlN+TiN**
- Spessore dell'inserto(S): **4,7625 mm**
- Angolo di spoglia inferiore principale (AN): **0 °**
- Peso dell'articolo (WT): **0,0088 kg**
- Sede inserto (SSC_M): **12**
- Codice misura sede inserto, in pollici (SSC_N): **1/2**
- Data di lancio (ValFrom20): **20/05/96**
- ID pacchetto di introduzione (RELEASEPACK): **00.1**

Il prezzo di listino a cui è possibile acquistare questo inserto è di **€ 13,75**.

Come utensile porta inserto, il catalogo della Sandvik Coromant ci ha consigliato il **PCLNR 1616H 12-M T-Max® P**:



Illustrazioni tecniche



Specifiche del prodotto:

- Angolo del tagliente dell'utensile (KAPR_1): **95 °**
- Angolo di attacco dell'utensile (PSIR): **-5 °**
- Codice del tipo di bloccaggio (MTP): **clamp with pin through hole**
- Parte 2 identificativi interfaccia articoli da taglio (CUTINT_MASTER): **CNMG 120408**
- Interfaccia adattatore lato macchina (ADINTMS): **Rectangular shank -metric: 16 x 16**
- Angolo massimo lavorazione del piano inclinato (RMPX): **0 °**
- Angolo del corpo lato pezzo (BAWS): **0 °**
- Angolo del corpo lato macchina (BAMS): **0 °**
- Sporgenza massima (OHX): **27,2 mm**
- Versione (HAND): **Right**
- Codice tipo di uscita refrigerante (CXSC): **no coolant exit**
- Codice tipo ingresso refrigerante (CNSC): **without coolant entry**
- Larghezza dello stelo(B): **16 mm**
- Altezza dello stelo(H): **16 mm**
- Lunghezza funzionale (LF): **100 mm**
- Larghezza funzionale (WF): **20 mm**

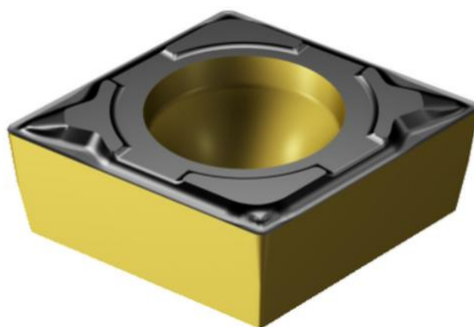
- Altezza funzionale (HF): **16 mm**
- Angolo di spoglia superiore ortogonale (GAMO): **-6 °**
- Angolo di inclinazione (LAMS): **-6 °**
- Coppia (TQ): **5 Nm**
- Code matériau du corps (BMC): **Acciaio**
- Peso dell'articolo (WT): **0,2228 kg**
- Identificazione inserto master (MIID): **CNMG 12 04 08**
- Lunghezza globale (OAL): **100 mm**
- Sede inserto (SSC_M): **12**
- Codice misura sede inserto, in pollici (SSC_N): **1/2**
- Data di lancio (ValFrom20): **28/02/77**
- ID pacchetto di introduzione (RELEASEPACK): **77.1**

Il prezzo di listino a cui è possibile acquistare questo utensile è di **€ 95,80**

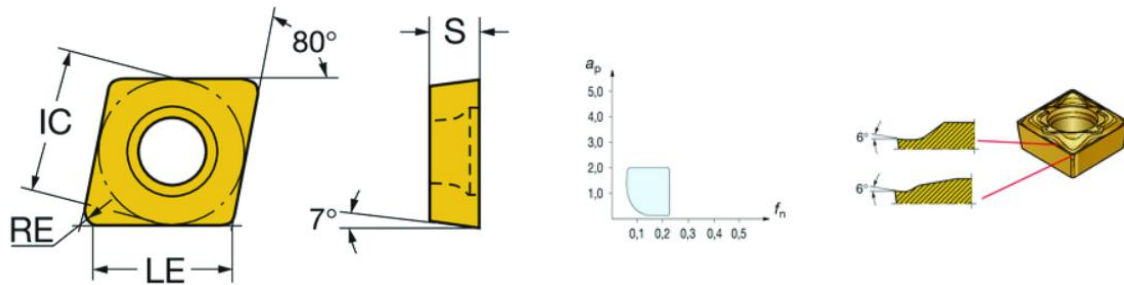
Finitura, sfacciatura e realizzazione di raccordi e smussi

Per la finitura delle superfici 1, e 6, per la sfacciatura delle superfici 2 e 4 e per la realizzazione di raccordi e smussi, il catalogo della Sandvik ci ha suggerito come inserto il **CCMT 09 T3 04-PF 4315**

CoroTurn® 107 :



Illustrazioni tecniche



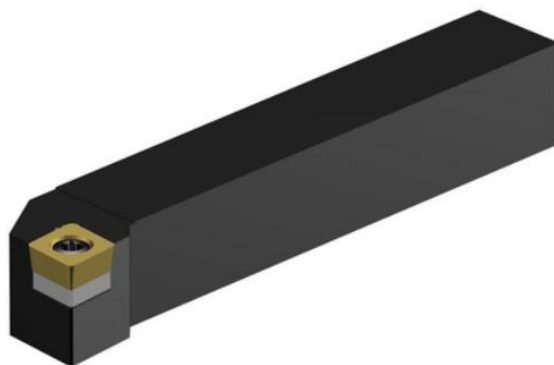
Specifiche del prodotto

- Livello 1 di classificazione del materiale (TMC1ISO): **PK**
- Geometria (CBMD): **PF**
- Tipo di operazione (CTPT): **finitura**
- Codice del tipo di montaggio dell'inserto (IFS): **Partly cylindrical, 40-60 deg countersink on one or two sides**
- Diametro del foro di fissaggio(D1): **4,4 mm**
- Misura e forma dell'inserto (CUTINT_SIZESHAPE): **CC09T3**
- Numero di taglienti (CEDC): **2**
- Diametro del cerchio inscritto (IC): **9,525 mm**
- Codice della forma dell'inserto (SC): **Rhombic 80**
- Lunghezza effettiva del tagliente (LE): **9,2719 mm**
- Raggio di punta (RE): **0,3969 mm**
- Versione (HAND): **Neutral**
- Qualità (GRADE): **4315**
- Substrato (SUBSTRATE): **HC**
- Rivestimento (COATING): **CVD TiCN+Al2O3+TiN**
- Spessore dell'inserto(S): **3,9688 mm**

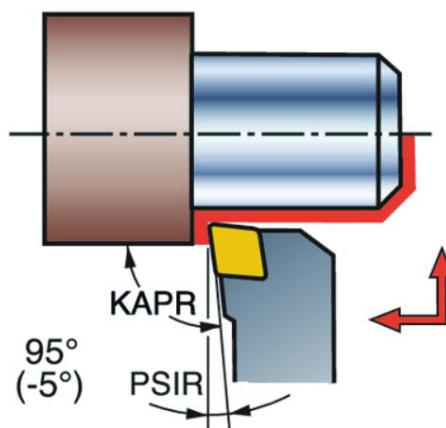
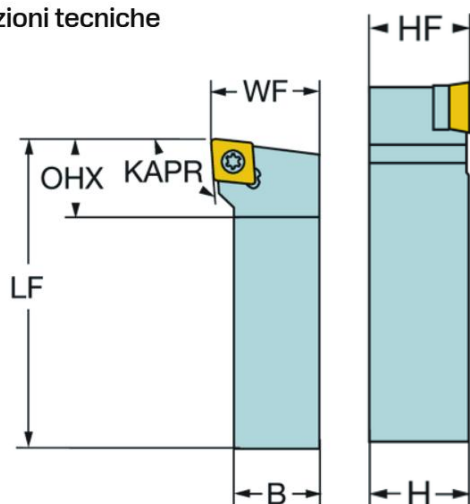
- Angolo di spoglia inferiore principale (AN): **7 °**
- Peso dell'articolo (WT): **0,0032 kg**
- Sede inserto (SSC_M): **09**
- Codice misura sede inserto, in pollici (SSC_N): **3/8**
- Data di lancio (ValFrom20): **25/02/14**
- ID pacchetto di introduzione (RELEASEPACK): **14.1**

Il prezzo di listino a cui è possibile acquistare questo inserto è di **€ 12,80**

Come utensile porta inserto, il catalogo della Sandvik Coromant ci ha consigliato l'**SCLCR 1616H 09** [CoroTurn® 107](#):



Illustrazioni tecniche



Specifiche del prodotto:

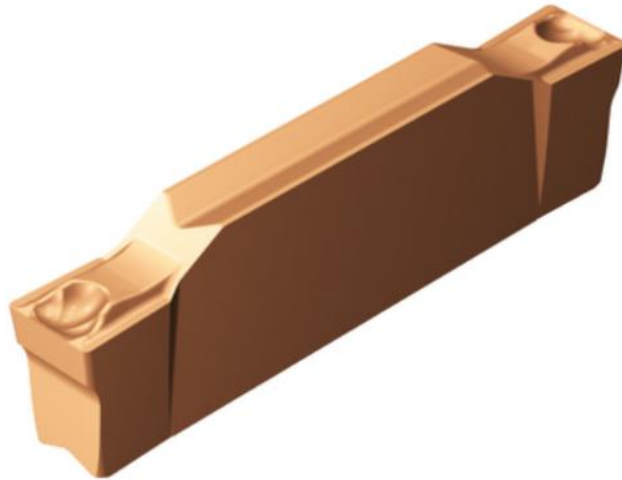
- Angolo di taglio dell'utensile (KAPR_1): **95°**
- Angolo di inclinazione (PSIR): **-5 °**

- Codice tipo di serraggio (MTP): **morsetto con vite passante**
- Inserisci tipo (CUTINT_MASTER): **CCMT 09T308**
- Collegamento - lato macchina (ADINTMS): **Gambo rettangolare - metrico: 16 x 16**
- Angolo di rampa massimo (RMPX): **0°**
- Angolo del corpo lato pezzo (BAWS): **0°**
- Angolo del corpo lato macchina (BAMS): **0°**
- Sbalzo massimo (OHX): **16,8 millimetri**
- Mano (MANO): **Destra**
- Stile di uscita del refrigerante (CXSC): **nessuna uscita del refrigerante**
- Stile di ingresso del refrigerante (CNSC): **senza ingresso del refrigerante**
- Larghezza del gambo (B): **16 mm**
- Altezza del gambo (H): **16 mm**
- Lunghezza funzionale (LF): **100 mm**
- Larghezza funzionale (WF): **20 mm**
- Altezza funzionale (HF): **16 mm**
- Angolo di spoglia ortogonale (GAMO): **0°**
- Angolo di inclinazione (LAMS): **0°**
- Coppia (TQ): **3 Nm**
- Materiale del corpo (BMC): **Acciaio**
- Peso dell'articolo (WT): **0,192 kg**
- Identificazione dell'inserto principale (MIID): **CCMT 09 T3 08**
- Lunghezza totale (OAL): **100 millimetri**
- Inserisci sedile (SSC_M): **09**
- Data di rilascio (ValFrom20): **08/09/1980**
- ID del pacchetto di rilascio (RELEASEPACK): **80.1**

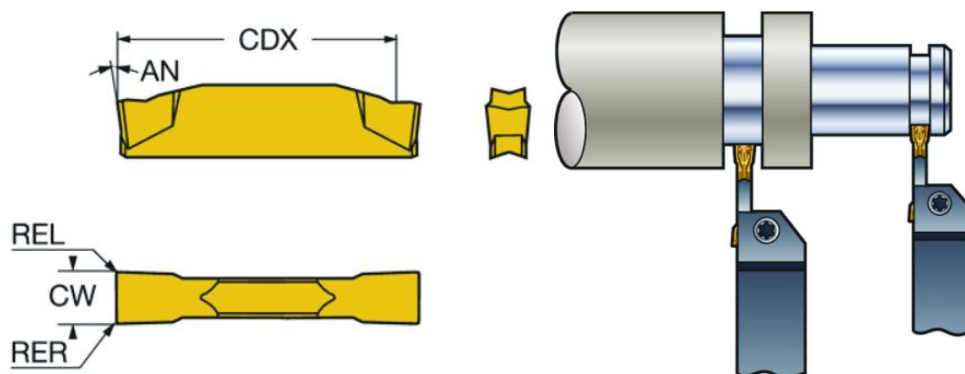
Il prezzo di listino a cui è possibile acquistare questo utensile è di **€ 104,00**

Realizzazione della gola

Per la realizzazione della gola E-ISO 18388, abbiamo scelto come inserto dal catalogo della Sandvik Coromant l'**N123D2-0150-0001-GF 1125**, [CoroCut® 1-2](#) :



Illustrazioni tecniche



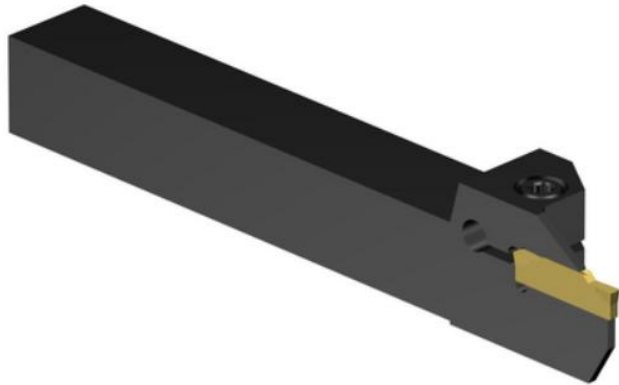
Specifiche del prodotto:

- Materiale(i) del pezzo da lavorare (TMC1ISO):  **PMKNS**
- Rompitruciolo (CBMD): **GF**
- Tipo di operazione (CTPT): **finitura**
- Inserisci il codice dello stile di montaggio (IFS): **Sezione prismatica concava**
- Inserisci dimensione e forma (CUTINT_SIZESHAPE): **CoroCut 1-2 -dimensione D2**
- Conteggio dei taglienti (CEDC): **2**
- Inserisci sede - metrica (SSC_M): **D**

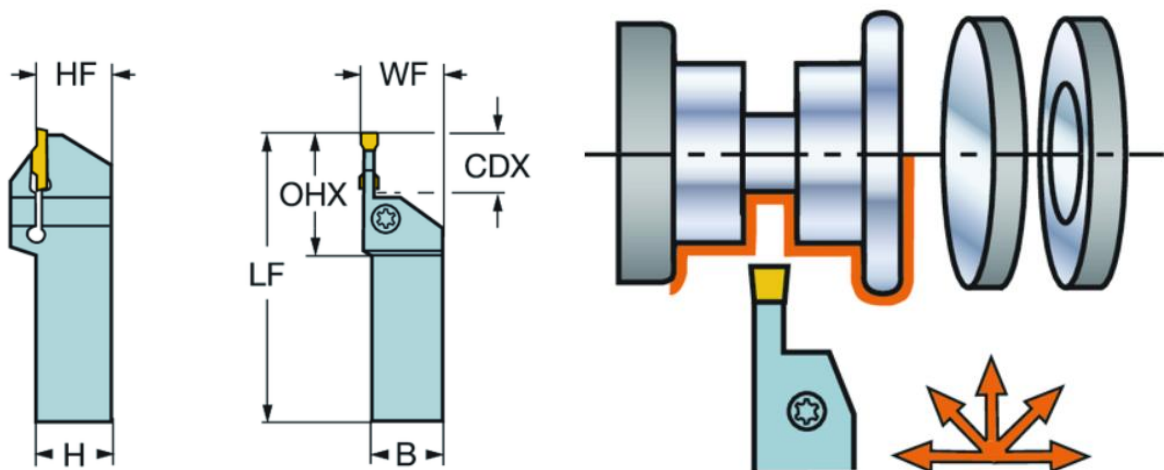
- Larghezza di taglio (CW): **1,5 millimetri**
- Tolleranza inferiore della larghezza di taglio (CWTOLL): **-0,02 millimetri**
- Tolleranza superiore della larghezza di taglio (CWTOLU): **0,02 millimetri**
- Raggio d'angolo sinistro (REL): **0,1 millimetri**
- Raggio d'angolo destro (RER): **0,1 millimetri**
- Tolleranza inferiore del raggio d'angolo (RETOLL): **-0,05 millimetri**
- Tolleranza superiore del raggio d'angolo (RETOLU): **0,05 millimetri**
- Profondità di taglio massima (CDX): **13,3 millimetri**
- Angolo del corpo lato macchina (BAMS): **0°**
- Mano (MANO): **Neutro**
- Grado (GRADE): **1125**
- Rivestimento (COATING): **PVD TiAlN**
- Spessore dell'inserto (S): **4,1 millimetri**
- Angolo di spoglia maggiore (AN): **5°**
- Inserire la lunghezza del calibro (LIG): **14 millimetri**
- Peso dell'articolo (WT): **0,0005 kg**
- Inserisci il codice della dimensione del sedile in vista imperiale (SSC_N): **D**
- Data di rilascio (ValFrom20): **9/10/07**
- ID del pacchetto di rilascio (RELEASEPACK): **07.2**

Il prezzo di listino a cui è possibile acquistare questo inserto è di **€ 36,35**

Come utensile porta inserto, sempre dal catalogo della Sandvik abbiamo scelto l' **LF123E15-1616B**, [CoroCut® 1-2](#) :



Illustrazioni tecniche



Specifiche del prodotto:

- Profondità di taglio massima (CDX): **15 millimetri**
- Codice tipo di serraggio (MTP): **morsetto sulla parte superiore dell'inserto**
- Inserisci tipo (CUTINT_MASTER): **CoroCut 2 - misura E (N123E2-0200-0002-CM)**
- Inserisci sede - metrica (SSC_M): **E**
- Collegamento - lato macchina (ADINTMS): **Gambo rettangolare - metrico: 16 x 16**
- Angolo del corpo lato pezzo (BAWS): **0°**
- Sbalzo massimo (OHX): **33,5 millimetri**

- Mano (MANO): **Sinistra**
- Stile di ingresso del refrigerante (CNSC): **senza ingresso del refrigerante**
- Stile di uscita del refrigerante (CXSC): **nessuna uscita del refrigerante**
- Larghezza del gambo (B): **16 millimetri**
- Altezza del gambo (H): **16 millimetri**
- Lunghezza funzionale (LF): **125 millimetri**
- Larghezza funzionale (WF): **17 millimetri**
- Altezza funzionale (HF): **16 millimetri**
- Coppia (TQ): **4 Nm**
- Lunghezza totale (OAL): **125 millimetri**
- Peso dell'articolo (WT): **0,2287 kg**
- Inserisci il codice della dimensione del sedile in vista imperiale (SSC_N): **E**
- Data di rilascio (ValFrom20): **01/03/99**
- ID del pacchetto di rilascio (RELEASEPACK): **99.1**

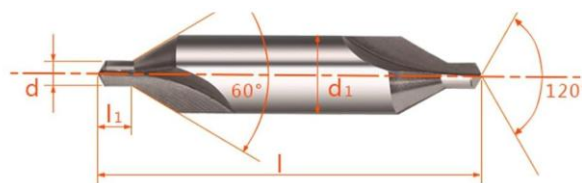
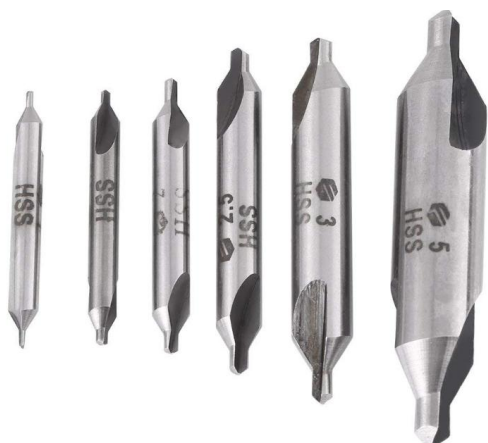
Questo utensile è acquistabile sul sito di Sandvik a un prezzo di listino di **€ 136,00**

Foratura

L'unica superficie interessata sarà la 5, e per ottenere la tolleranza desiderata H9 avremo bisogno anche di un alesatore, applicabile ugualmente al trapano da noi selezionato senza ricorrere all'utilizzo di un'alesatrice

Centratura

Per le punte adibite alla centratura abbiamo scelto un **Set da 6 pezzi di Punta a Trapano da Centro HSS 60**, sono reperibile facilmente nei negozi di ferramenta. Quello che mostreremo di seguito si trova sul sito di [Leroy Merlin](#) :



No.	d1	d
1	4mm	1mm
2	4mm	1.5mm
3	5mm	2mm
4	6mm	2.5mm
5	8mm	3mm
6	12mm	5mm

Specifiche del prodotto:

- Quantità: **6 pezzi**
- Materiale: **Acciaio HSS**
- Tipo di gambo: **Filettato**
- Tipo di scanalatura dell'utensile: **Spirale**
- Stile punta: **Punta conica**
- Numero di scanalature: **2**

Questo set è reperibile al prezzo di listino di **€ 13,65**

Foratura

Per la foratura useremo una **Punta elicoidale Dormer**, acquistabile sul sito RS-Online.it in lotti da cinque e prodotti dall'azienda Dormer:



Specifiche del prodotto:

- Marchio: Dormer
- Serie: A002
- Materiale: HSS-TiN
- Tipo di punta per trapano: Punta elicoidale
- Diametro: 4.8mm
- Lunghezza totale: 86 mm
- Numero di pezzi: 5

Un lotto da 5 punte è reperibile sul sito al prezzo di listino di **€ 15,34**

Alesatura

Per l'alesatura, che ci permetterà di raggiungere la tolleranza H9 desiderata, useremo un **Alesatore meccanico HSS-E Ø5 mm**, acquistabile su [ManoMano.it](https://www.mano.it) :

**Specifiche del prodotto:**

- **Lunghezza:** 86 mm
- **Larghezza:** 0.5 cm
- **Altezza:** 0.5 cm
- **Peso:** 1 kg
- **Materiale:** Acciaio
- **Colore:** Nero
- **Forma:** Cilindrica
- **Angolo, inclinazione:** 7 °
- **Numero articoli per confezione:** 1 prodotto

Questo prodotto è acquistabile a un prezzo di listino di **€27,18**

Calcolo dei parametri di taglio

Tornitura

Al tornio verranno eseguite diverse lavorazioni fondamentali sul grezzo in acciaio C45E. Inizialmente si procederà con la sgrossatura, che ha lo scopo di ridurre il diametro della barra da Ø16 mm a Ø12 mm, lungo la parte centrale del pezzo. Questa fase consente di asportare il materiale in eccesso lasciando un sovrametallo adeguato alla successiva finitura. Successivamente si realizzerà la spalla, e per evitare che l'inserto vi urti contro, in corrispondenza della spalla si realizzerà una gola di scarico. Una volta definite la spalla e la gola, si procederà con la finitura delle superfici tornite. Le lavorazioni verranno completate con la realizzazione degli smussi e dei raccordi. Per la scelta di alcuni parametri, ci siamo affidati alle tabelle presenti sul libro di testo (Santochi)

Parametri di taglio sgrossatura superficie 1 e realizzazione spalla 6

Conoscendo il materiale di cui è fatta la sbarra, la macchina e l'utensile che useremo possiamo intanto ricavare dei dati di partenza:

- **Materiale:** acciaio C45E, assumo R_m (resistenza alla trazione) ≈ 650 MPa (valore tipico in stato normalizzato).
- **Utensile grosso:** CNMG 12 04 08-MM 2035, $r_e = 0,8$ mm, β (angolo di taglio dell'utensile) = 95° (dal porta PCLNR).
- **Tornio:** Bernardo Profi 700 Top $\rightarrow n_{max} = 2000$ giri/min.

Passiamo ora alla scelta di tre parametri importanti: profondità di passata p , avanzamento a e velocità di taglio v . I primi due servono per calcolare la sezione di truciolo S :

- $p = 1,5$ mm, che è robusta ma sotto i limiti macchina inoltre lascia 0,2–0,3 mm per lato di sovrametallo per una successiva passata di sgrossatura leggera che precede la finitura;
- $a = 0,20$ mm/giro, rimane dentro il range 0,07–0,65 mm/giro della macchina.

Procediamo dunque calcolando la sezione di truciolo S :

$$S = a \times p = 0,30 \text{ mm}^2$$

Per quanto riguarda la velocità di taglio, va rispettato il limite massimo dei 2000 giri/min imposto dalla macchina, che portato in metri/minuto diventa:

$$v_{c,max} (\text{Ø16}) = \frac{\pi \times D \times n}{1000} = \frac{\pi \times 16 \times 2000}{1000} \approx 100 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

$$v_{c,max} (\text{Ø12}) = \frac{\pi \times D \times n}{1000} = (\pi \times 12 \times 2000)/1000 \approx 75 \text{ m/min}$$

e quindi scegliamo un valore inferiore, 95 m/min e 70 m/min basta fare la riconversione in giri/min per trovare il valore da assegnare alla velocità di taglio:

$$n = (1000 \times 95)/(\pi \times 16) \approx 1890 \text{ giri/min} = (1000 \times 70)/(\pi \times 12) \approx 1856 \text{ giri/min}$$

(notare, siamo ben sotto i 2000 giri/min del tornio).

Procediamo col calcolo della pressione di taglio P_t :

$$P_t = P_s \times S^{-\frac{1}{n}} \approx 1195 \text{ N/mm}^2$$

Con $1/n$ che vale 0,197 per gli acciai e $P_s = 2,4 \times R_m^{0,454} \times \beta^{0,666} \approx 943 \text{ N/mm}^2$ (pressione di riferimento). Ora possiamo calcolare la Forza di taglio:

$$F_z = P_t \times S = 1195 \times 0,30 = 358,5 \text{ N}$$

Infine, calcoliamo la potenza di taglio:

$$W(\varnothing 16) = (F_z \times v_c)/60000 = (358,5 \times 95)/60000 \approx 0,57 \text{ kW}$$

$$W(\varnothing 12) = (F_z \times v_c)/60000 = (358,5 \times 70)/60000 \approx 0,42 \text{ kW}$$

(forse vanno calcolati i parametri anche per la seconda passata di sgrossatura)

Parametri di taglio sfacciatura (superfici 2 e 4), finitura superfici 1, e 6

Come per la sgrossatura, abbiamo dei dati da cui partire per il calcolo dei parametri, che sono gli stessi della lavorazione precedente tranne che per l'inserto e l'utensile che vengono utilizzati: infatti ora si utilizza il **CCMT 09 T3 04-PF 4315** come inserto, che ha un $r_\epsilon = 0,4 \text{ mm}$, mentre il β dell'utensile coincide con l'utensile della sgrossatura.

Per la scelta dell'avanzamento (a), ci basiamo sulla rugosità che vorremmo raggiungere, cioè $R_a = 0,8 \mu\text{m}$, e dato che:

$$R_a = \frac{a^2}{8 \times r_\epsilon} \rightarrow a = \sqrt{8 \times r_\epsilon \times R_a} = \sqrt{8 \times 0,4 \times 0,0008} \approx 0,05 \frac{\text{mm}}{\text{giro}}$$

Come profondità di passata, dato che stiamo effettuando sostanzialmente una finitura, abbiamo optato per 0,25 mm. Come velocità di taglio rimaniamo sui 95 m/min scelti prima per $\varnothing = 16$, per le superfici 3 e 6, e sui 70 m/min per $\varnothing = 12$ e di conseguenza $n(\varnothing 16) = 1890 \text{ giri/min}$ e $n(\varnothing 12) = 1856 \text{ giri/min}$.

Calcoliamo quindi la sezione di truciolo: $S = a \times p = 0,25 \times 0,05 = 0,0125 \text{ mm}^2$;

la pressione di taglio: $P_t = P_s \times S^{-\frac{1}{n}} = 943 \times 0,0125^{-0,197} \approx 2236 \text{ N/mm}^2$;

la forza di taglio: $F = P_t \times S = 2236 \times 0,0125 \approx 28 \text{ N}$;

e infine la potenza di taglio: $W(\varnothing 16) = \frac{F_t \times v_c}{60000} = \frac{28 \times 95}{60000} \approx 0,044 \text{ kW}$; $W(\varnothing 12) = \frac{28 \times 70}{60000} \approx 0,033 \text{ kW}$

Parametri di taglio realizzazione gola

Per la realizzazione della gola di 2.3mm di profondità e 3 mm di larghezza optiamo per i seguenti parametri di taglio:

- Avanzamento: $a = 0,06 \text{ mm/giro}$
- Profondità di passata: $p = 0,30 \text{ mm}$
- Velocità di taglio: $v_c = 35 \text{ m/min}$ come suggerito dal Santochi, per la realizzazione delle gole si usa una velocità di taglio grande la metà di quella scelta per la tornitura), e di conseguenza il numero di giri è $n = \frac{1000 \times v_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 35}{\pi \times 12} = 928 \frac{\text{giri}}{\text{min}}$. Dati questi parametri avrò bisogno di otto passate per la realizzazione della gola. Andiamo ora a calcolare i restanti parametri di taglio:
- Sezione di truciolo: $S = a \times p = 0,06 \times 0,30 = 0,018 \text{ mm}^2$
- Pressione di taglio: $P_t = P_s \times S^{-\frac{1}{n}} = 943 \times 0,018^{-0,197} = 2080 \text{ N/mm}^2$
 $(P_s = 2,4 \times R_m^{0,454} \times \beta^{0,666} \approx 943 \text{ N/mm}^2)$,

con R_m che è la resistenza alla trazione e β è l'angolo di taglio dell'utensile.

- Forza di taglio: $F_z = P_t \times S = 2080 \times 0,018 = 37,44 \text{ N}$
- Infine, la potenza di taglio: $W = \frac{F_z \times v_c}{60000} = \frac{37,44 \times 35}{60000} = 0,021 \text{ kW}$

Parametri di taglio per smussatura e raccordi

Per realizzare gli smussi $0,5 \times 45^\circ$ dal lato dell'albero di diametro 12 mm e per realizzare i raccordi di raggio 0,5 sulla testa di diametro 16 mm abbiamo selezionato i seguenti parametri di taglio:

- Avanzamento: $a = 0,08 \text{ mm/giro}$
- Profondità di passata: $p = 0,50 \text{ mm}$
- Velocità di taglio: $v_c = 35 \frac{\text{m}}{\text{min}}$ per gli smussi e $47 \frac{\text{m}}{\text{min}}$ per i raccordi (come suggerito dal Santochi, per la realizzazione degli smussi si usa una velocità di taglio grande la metà di quella scelta per la tornitura), e di conseguenza il numero di giri è
- $n_{\text{smussi}} = \frac{1000 \times v_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 35}{\pi \times 12} = 928 \frac{\text{giri}}{\text{min}}$
- $n_{\text{raccordi}} = \frac{1000 \times v_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 47}{\pi \times 12} = 1246 \frac{\text{giri}}{\text{min}}$
- Sezione di truciolo: $S = a \times p = 0,08 \times 0,50 = 0,040 \text{ mm}^2$
- Pressione di taglio: $P_t = P_s \times S^{-\frac{1}{n}} = 943 \times 0,040^{-0,197} = 1777 \text{ N/mm}^2$
($P_s = 2,4 \times R_m^{0,454} \times \beta^{0,666} \approx \frac{943 \text{ N}}{\text{mm}^2}$) con R_m che è la resistenza alla trazione e β è l'angolo di taglio dell'utensile.
- Forza di taglio: $F_z = P_t \times S = 1777 \times 0,040 = 71 \text{ N}$
- Infine, la potenza di taglio:

$$W_{\text{smussi}} = \frac{F_z \times v_c}{60000} = \frac{71 \times 35}{60000} = 0,041 \text{ kW}$$

$$W_{\text{raccordi}} = \frac{F_z \times v_c}{60000} = \frac{71 \times 47}{60000} = 0,055 \text{ kW}$$

Materiale pezzo	Materiale inserto						
	P01	P10	P20	P30	P40	M10	M40
	Avanzamento mm/giro						
	0.3-0.05	0.7-0.3-0.1	1-0.3-0.1	2-0.4-0.2	2.5-0.4	0.5-0.2	3-0.4
Acciaio al C $R_m = 400+600$ (*)	250-350	200-250-300	100-250-290	70-150-200	40-150		
Acciaio al C $R_m = 600+800$ (*)	200-300	150-200-250	80-150-200	50-100-180	30-100		
Acciaio legato $R_m = 1000+1100$ (*)	120-200	70-100-150	40-80-100	25-60-90	20-60		
Acciaio legato $R_m = 1100+1500$ (*)	100-150	60-90-120	30-70-90	20-50-70	15-50		
Acciaio inox austenitico			100-140-170	90-120-150	80-110		25-90
Leghe resistenti al calore						30-50	
Getti di acciaio a basso tenore di carbonio			55-90-110	30-70-100	20-60		

Foratura

Sull'albero tornito e rifinito verrà eseguita un'operazione di foratura per realizzare il foro passante di diametro 5 mm e con tolleranza H9. Per garantire precisione dimensionale e stabilità durante la foratura, l'operazione inizia con l'impiego di una **punta da centraggio**, necessaria per creare un invito che consenta di guidare correttamente l'utensile successivo ed evitare disallineamenti. L'operazione prevede l'impiego di una punta elicoidale montata sulla fresatrice da noi selezionata. La foratura sarà condotta con i parametri di taglio scelti in funzione del materiale e del diametro, tenendo conto della tolleranza richiesta e della necessità di garantire una buona finitura superficiale. Per ottenere la precisione dimensionale prevista dal foro H9, dopo la foratura verrà eseguita un'operazione di alesatura.

Parametri di taglio della centratura

Dato che realizzeremo l'invito con la parte da Ø2 mm della punta, usiamo $D=2$ mm per il calcolo di n e di S . Come velocità di taglio abbiamo optato per un valore basso, 10 m/min, stessa cosa per l'avanzamento $a = 0,08$ mm/giro. Ora passiamo ai calcoli:

- Giri mandrino: $n = \frac{1000 \times v_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 10}{\pi \times 2} = 1591 \text{ giri/min}$ ma dato che il mandrino della fresatrice può girare a una velocità massima di 1250 rpm, impostiamo questa velocità. Di conseguenza, la velocità di taglio sarà di 7,85 m/min;
- Sezione di truciolo: $S = a \times \frac{D}{4} = 0,08 \times \frac{2}{4} = 0,04 \text{ mm}^2$;
- Pressione di taglio: $P_t = P_s \times S^{-\frac{1}{n}} = 2053 \text{ N/mm}^2$;
- Forza di taglio: $F_z = K_s \times S = 72 \text{ N}$;
- Potenza di taglio: $W_{centratura} = \frac{F_z \times v_c}{60000} \approx 0,009 \text{ kW}$;

K_s è il coefficiente di taglio specifico, e per gli acciai C45 vale circa 1800 N/mm^2 .

Parametri di taglio della foratura

Per scegliere i parametri della foratura, abbiamo fatto riferimento alla tabella presente nel libro di testo (Santochi) e alle specifiche della fresatrice. In particolare, abbiamo scelto un avanzamento "a" di 0,10 mm/giro e una velocità di taglio di 30 m/min. Ora passiamo ai calcoli:

- Profondità dei fori: 12 mm;
- Giri mandrino: $n = \frac{1000 \times v_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 30}{\pi \times 5} = 1909 \frac{\text{giri}}{\text{min}}$, e per lo stesso motivo di prima andremo a selezionare la velocità massima del mandrino della fresatrice, cioè 1250 rpm. Di conseguenza la velocità di taglio sarà di circa 20 m/min, che non rientra nell'intervallo dell'acciaio C45E (quello evidenziato in giallo). Per rimanere coerenti con la tabella, abbassiamo l'avanzamento a 0,08 mm/giro;
- Sezione di truciolo: $S = a \times \frac{5}{4} = 0,10 \times \frac{5}{4} = 0,1 \text{ mm}^2$;
- Pressione di taglio: $P_t = P_s \times S^{-\frac{1}{n}} = 1640 \text{ N/mm}^2$;
- Forza di taglio: $F_z = K_s \times S = 225 \text{ N}$;
- Potenza di taglio: $W_{smussi} = \frac{F_z \times v_c}{60000} \approx 0,075 \text{ kW}$.

Materiale	Avanzamento (mm/giro)							Velocità di taglio (m/min)
	Diametro del foro (mm)							
	1÷3	3÷6	6÷12	12÷18	18÷25	25÷35	35÷50	
G 15÷20	0,025÷0,08	0,08÷0,16	0,16÷0,26	0,26÷0,32	0,32÷0,42	0,42÷0,50	0,55	25 ÷ 30
G 25÷30	0,014÷0,05	0,05÷0,10	0,10÷0,16	0,16÷0,22	0,22÷0,26	0,26÷0,32	0,35	18 ÷ 23
Acciaio R _m = 300 - 500(*)	0,015÷0,06	0,06÷0,12	0,12÷0,2	0,20÷0,25	0,25÷0,30	0,30÷0,35	0,40	30 ÷ 45
Acciaio R _m = 500 - 700(*)	0,015÷0,04	0,04÷0,10	0,10÷0,16	0,16÷0,22	0,22÷0,27	0,27÷0,32	0,35	25 ÷ 35
Acciaio R _m = 700 - 900(*)	0,008÷0,03	0,03÷0,08	0,08÷0,12	0,12÷0,18	0,18÷0,21	0,21÷0,25	0,30	18 ÷ 25
Acciaio R _m = 900 - 1100(*)	0,007÷0,02	0,02÷0,05	0,05÷0,10	0,10÷0,14	0,14÷0,18	0,18÷0,22	0,25	10 ÷ 16
Acciaio inox.	0,015÷0,04	0,04÷0,10	0,10÷0,16	0,16÷0,20	0,20÷0,26	0,26÷0,28	0,30	7,5 ÷ 12
Ottone	0,03÷0,09	0,09÷0,17	0,17÷0,30	0,30÷0,40	0,40÷0,48	0,48÷0,50	0,65	fino a 160
Ottoni speciali-Bronzo	0,02÷0,05	0,05÷0,10	0,10÷0,18	0,18÷0,25	0,25÷0,30	0,30÷0,35	0,45	fino a 65
Allunúffio	0,03÷0,10	0,10÷0,18	0,18÷0,32	0,32÷0,40	0,40÷0,52	0,52÷0,60	0,65	fino a 200
Rame	0,02÷0,06	0,06÷0,12	0,12÷0,22	0,22÷0,28	0,28÷0,32	0,32÷0,38	0,45	fino a 70
Materie plastiche	0,03÷0,06	0,06÷0,08	0,08÷0,12	0,12÷0,18	0,18÷0,25	0,25÷0,30	0,40	20÷25

(*) MPa

Velocità di taglio consigliate per punte da taglio HSS (acciaio superrapido)		
Materiale da forare	Tipo refrigerante	Velocità di taglio (m/min)
Acciaio R ≤ 45 kg/mm ²	Olio emulsionabile	35 - 40
Acciaio 45 < R ≤ 70 kg/mm ²	Olio emulsionabile	30 - 35
Acciaio 70 < R ≤ 90 kg/mm ²	Olio emulsionabile	15 - 20
Ghisa dolce	A secco	20 - 30
Ghisa dura	A secco	10 - 20
Acciaio inossidabile	Olio emulsionabile	10 - 13
Ottone	Olio emulsionabile	50 - 100
Alluminio	Olio emulsionabile	50 - 100

Parametri di taglio dell'alesatura

Come per la foratura, anche per il calcolo dei parametri di taglio dell'alesatura faremo riferimento alla tabella presente sul libro di testo (Santochi). In particolare, abbiamo scelto un avanzamento di 0,25 mm/giro, una velocità di taglio di 14 m/min e una profondità di taglio di 0,10 mm. Ora passiamo ai calcoli:

- Numero di giri: $n = \frac{1000 \times v_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 14}{\pi \times 5} = 891 \frac{\text{giri}}{\text{min}}$, ma la velocità della fresatrice più vicina è di 710 rpm, e di conseguenza la nuova velocità di taglio sarà di circa 12 m/min, che rientra nel range imposto dalla tabella;
- Sezione di truciolo: $S = a \times p = 0,25 \times 0,10 = 0,025 \text{ mm}^2$;
- Velocità di asportazione del materiale: $V_a = \pi \times D \times a \times p \times n = \pi \times 5 \times 0,25 \times 0,1 \times 710 \approx 278 \frac{\text{mm}^3}{\text{min}}$;
- Pressione di taglio: $P_t = P_s \times S^{-\frac{1}{n}} = 1431 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$;

- Forza di taglio: $F_z = K_s \times S = 1800 \times 0,025 = 45 \text{ N}$;
- Potenza di taglio: $W_{alesatura} = \frac{F_z \times v_c}{60000} \approx 0,009 \text{ kW}$.

Materiale	v (m/min)	Avanzamento (mm/giro)				
		Diametro del foro (mm)				
		< 5	10	20	30	> 40
Acciaio $R_m = 500 \div 700 \text{ MPa}$	12 ÷ 16	0,15	0,25	0,40	0,50	0,60
Acciaio $R_m = 700 \div 900 \text{ MPa}$	10 ÷ 12	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50
Acciaio inox	4 ÷ 6	0,10	0,15	0,25	0,40	0,40
G 15 ÷ 20	14 ÷ 20	0,20	0,30	0,50	0,65	0,80
G 25 ÷ 30	10 ÷ 16	0,20	0,30	0,50	0,65	0,80
Ghise speciali	8 ÷ 12	0,15	0,25	0,40	0,50	0,60
Bronzo	10 ÷ 15	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50
Ottone	25 ÷ 30	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50
Leghe leggere	25 ÷ 40	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50

Calcolo dei tempi di lavorazione

Tornitura

Sgrossatura

Il tempo di lavorazione t lo calcoliamo con la formula:

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

dove “ l ” è la corsa utile, “ e ” è l’extracorsa, “ a ” è l’avanzamento [mm/giro], “ n ” sono i giri [giri/min]. Mediante la sgrossatura si riduce il diametro da 16 mm a 12 mm, quindi di 2 mm radiali. Lasciando 0,2–0,3 mm per lato per la finitura, la sgrossatura porta a $\approx \varnothing 12,4\text{--}12,6$, quindi la sgrossatura comporterà una rimozione radiale 1,7–1,8 mm. Dato che nel calcolo dei parametri di taglio avevamo scelto una profondità di passata $p = 1,5 \text{ mm}$ serviranno due passate (1,5 mm + 0,2/0,3 mm), e quindi il tempo di lavorazione totale sarà il risultato della somma dei tempi di lavorazione delle due passate. Consideriamo un’extracorsa (e) di 2 mm:

$$t_{s,\varnothing 16} = \frac{89 + 2}{1890 \times 0,20} = 0,24 \text{ min} = 14,4 \text{ s}$$

$$t_{s,\varnothing 12} = \frac{89 + 2}{1856 \times 0,20} = 0,245 \text{ min} = 14,7 \text{ s}$$

$$t_{tot} = t_{s,\varnothing 16} + t_{s,\varnothing 12} = 14,4 + 14,7 = 29,1 \text{ s (per pezzo)}$$

Quindi, il tempo di lavorazione totale si ottiene moltiplicando il tempo totale al tornio di un pezzo per il numero di pezzi da fabbricare:

$$T_{tot,att} = 29,1 \times 50 = 1455 \text{ s} = 24 \text{ min e } 15 \text{ s}.$$

Passiamo ora al calcolo dei tempi passivi, che comprendono tutto il tempo impiegato per preparare la macchina, preparare i pezzi sulla macchina e successivamente verificare il lavoro fatto. Per determinarli abbiamo fatto riferimento alle tabelle presenti sul libro di testo (Santochi), alle caratteristiche del tornio che abbiamo scelto e alle caratteristiche dell’inserto e dell’utensile che abbiamo scelto:

- Tempo per montare e smontare a sbalzo il pezzo su piattaforma autocentrante: 0,20 min;
- Tempo per avviare/spegnere la macchina + micromanovre: 0,1 min;
- Tempo per effettuare il controllo col calibro a corsoio: 0,5 min;

Moltiplicando la somma di questi tre tempi per il numero di pezzi totali otteniamo il tempo totale passivo impiegato per la sgrossatura:

$$T_{tot,pass} = (0,2 + 0,1 + 0,5 + 0,1) \times 50 = 40 \text{ min}$$

Sommando col tempo totale attivo, troviamo il tempo totale impiegato al tornio per la sgrossatura:

$$T_{tot,sgrossatura} = 64 \text{ min e } 15 \text{ s}$$

Finitura

Si andranno a calcolare i tempi attivi e passivi richiesti dalla finitura delle superfici 1 e 6. In particolare, per la lavorazione di finitura della spalla 6 bisogna considerare che non si tratta di una tornitura longitudinale, bensì di una passata radiale: l'utensile avanza verso l'asse per realizzare il salto di diametro tra la testa da Ø16 mm e il gambo da Ø12 mm. La quantità di materiale da asportare corrisponde quindi alla differenza di raggio, pari a 2 mm. A questa corsa effettiva si aggiunge un'extracorsa di sicurezza pari a 1 mm, necessaria per garantire che la spalla venga completata correttamente e che l'utensile possa uscire dal pezzo senza lasciare materiale residuo. La lunghezza totale percorsa dall'utensile in radiale risulta quindi pari a 3 mm (2 mm di differenza di raggio + 1 mm di extracorsa).

$$t_{f1} = \frac{89 + 2}{1856 \times 0,05} = 0,981 \text{ min} = 58,86 \text{ s}$$

$$t_{f6} = \frac{2 + 1}{1890 \times 0,05} = 0,031 \text{ min} = 1,9 \text{ s}$$

Per quanto riguarda i tempi passivi, non dovremo considerare i tempi di montaggio/smontaggio della macchina e di accensione e spegnimento, dato che siamo nella stessa fase. Tuttavia, andrà sempre considerato il tempo di misurazione, che questa volta sarà maggiore di quello della sgrossatura dato che useremo un micrometro. ($t=0,60 \text{ min}$) e quello di posizionamento dello strumento (0,10 min). Calcoliamo quindi il tempo totale impiegato per la finitura sulle superfici 1 e 6, comprensivo di tempi attivi e passivi:

$$T_{tot,finitura} = (58,86 + 1,9) \times 50 + 0,7 \times 60 \times 50 = 85 \text{ min e } 38 \text{ s}$$

Sfacciatura

$$t_{s2} = \frac{L_{rad}}{a \times n} = \frac{7}{1856 \times 0,05} = 0,075 \text{ min} = 4,5 \text{ s}$$

$$t_{s4} = \frac{L_{rad}}{a \times n} = \frac{9}{1890 \times 0,05} = 0,097 \text{ min} = 5,8 \text{ s}$$

Che in questo caso, gli unici tempi passivi si riscontrano nella misurazione con calibro, che dura 0,5 min e il posizionamento dell'utensile, che dura 0,1 min:

$$T_{tot,sfacciatura} = (5,8 + 4,5) \times 50 + 0,6 \times 60 \times 50 = 38 \text{ min e } 35 \text{ s}$$

Realizzazione gola

$$t_g = \frac{l + e}{a \times n} = \frac{1,5 + 0,5}{0,05 \times 928} = 0,043 \text{ min} = 2,6 \text{ s}$$

che, come abbiamo precedentemente detto nel calcolo dei parametri di taglio per la realizzazione della gola, serviranno 8 passate, allora il tempo attivo totale sarà:

$$t_{g,tot} = 2,6 \times 8 = 20,7 \text{ s}$$

Per il calcolo dei tempi passivi, andrà considerato, oltre il tempo per la misurazione, anche il tempo di posizionamento dell'utensile sull'asse della gola, corrispondente a 0,2 minuti, e anch'esso da moltiplicare per le 8 passate. Il tempo totale impiegato per la realizzazione della gola è dunque:

$$T_{tot,gola} = 20,7 \times 50 + 0,7 \times 60 \times 50 = 52 \text{ min e } 15 \text{ s}$$

Smussatura

$$t_{smussi} = \frac{l + e}{a \times n} = \frac{0,5 \times \sqrt{2} + 0,5}{0,08 \times 928} = 0,01626 \text{ min} = 0,97 \text{ s}$$

In questo caso L è la lunghezza geometrica dello smusso, cioè $0,5 \times \sqrt{2}$. Per il calcolo dei tempi passivi vanno considerate solo la misurazione finale, che dura 0,20 minuti e il posizionamento dell'utensile, che dura 0,10 minuti; quindi, il tempo totale passivo per un pezzo è di 0,3 min. Calcoliamo il tempo totale per i 50 pezzi:

$$T_{tot,smussi} = 0,97 \times 50 + 0,3 \times 60 \times 50 = 15 \text{ min e } 48 \text{ s}$$

Raccordatura

$$t_{raccordi} = \frac{l + e}{a \times n} = \frac{0,5 \times \frac{\pi}{2} + 0,5}{0,08 \times 1246} = 0,01289 \text{ min} = 0,77 \text{ s}$$

In questo caso L è la lunghezza geometrica del raccordo. Per il calcolo dei tempi passivi si procede come per gli smussi. Calcoliamo il tempo totale per i 50 pezzi, ricordando che va moltiplicato tutto per 2 essendo due i raccordi:

$$T_{tot,smussi} = (0,77 \times 50 + 0,3 \times 60 \times 50) \times 2 = 31 \text{ min e } 17 \text{ s}$$

Foratura

Centratura

$$t_{centratura} = \frac{l + e}{a \times n} = \frac{2 + 1}{0,08 \times 1250} = 0,03 \text{ min} = 1,8 \text{ s}$$

Con che è la lunghezza utile di invito, “e” è l’extracorsa e 1250 sono il numero di giri massimo a cui può girare il mandrino della fresatrice. Dato che la centratura è la prima lavorazione effettuata alla fresatrice, il calcolo dei tempi passivi dovrà tenere conto di:

- Tempo di bloccaggio/sboccaggio in morsa: 0,30 min;
- Tempo per avviare/spegnere la fresatrice: 0,1 min;
- Tempo per effettuare un rapido controllo dell’impronta: 0,1 min;
- Tempo di montaggio della punta: circa 1 min.

Quindi il tempo totale passivo per un pezzo è di 1,5 minuti. Calcoliamo il tempo totale impiegato per la centratura di tutti i 50 pezzi:

$$T_{tot,centratura} = 1,8 \times 50 + 1,5 \times 60 \times 50 = 76 \text{ min e } 30 \text{ s}$$

Foratura

$$t_{foratura} = \frac{l + e}{a \times n} = \frac{12 + 2}{0,08 \times 1250} = 0,14 \text{ min} = 8,4 \text{ s}$$

Con l che è la profondità utile del foro, e è l’extracorsa. A differenza delle lavorazioni al tornio, qui va cambiato l’utensile, e ciò comporta 1,05 minuti di tempo passivo. Il controllo lo effettueremo successivamente all’alesatura, e ciò ci permette di risparmiare 0,5 min di tempo. Calcoliamo quindi il tempo totale impiegato per la foratura di 50 alberi:

$$T_{tot,foratura} = 8,4 \times 50 + 1,55 \times 60 \times 50 = 84 \text{ min e } 30 \text{ s}$$

Alesatura

$$t_{alesatura} = \frac{l + e}{a \times n} = \frac{12 + 2}{0,25 \times 710} = 0,079 \text{ min} = 4,73 \text{ s}$$

I parametri “l” ed “e” sono gli stessi della foratura, cambiano l’avanzamento e il numero di giri che avevamo già calcolato nella scelta dei parametri di taglio. Per quanto riguarda i tempi passivi anche qui va considerato il cambio utensile, che impiega 1,05 min e la misurazione finale con un calibro tampone, che dura circa 0,6 min. Calcoliamo dunque il tempo totale impiegato per l’alesatura:

$$T_{tot,alesatura} = 4,73 \times 50 + 1,65 \times 60 \times 50 = 86 \text{ min e } 26 \text{ s}$$

Tempo totale per la realizzazione di 50 alberi:

$$T_{tot,alberi} = T_{sgrossatura} + T_{finitura} + T_{gola} + T_{sfacciatura} + T_{smussi} + T_{raccordi} + T_{centratura} + T_{foratura} + T_{alesatura} = 64 \text{ min e } 15 \text{ s} + 85 \text{ min e } 38 \text{ s} + 38 \text{ min e } 35 \text{ s} + 52 \text{ min e } 15 \text{ s} + 15 \text{ min e } 48 \text{ s} + 31 \text{ min e } 17 \text{ s} + 76 \text{ min e } 30 \text{ s} + 84 \text{ min e } 30 \text{ s} + 86 \text{ min e } 26 \text{ s} = 8 \text{ h e } 55 \text{ min}$$

Costi di inserti e utensili

Per concludere andremo a calcolare i costi dell'intera lavorazione, tenendo in considerazione i prezzi degli inserti, degli utensili, dell'energia elettrica usata e della manodopera impiegata

- CNMG 12 04 08-MM 2035 → 13,75 €
- Porta-inserto PCLNR 1616H 12-M → 95,80 €
- CCMT 09 T3 04-PF 4315 → 12,80 €
- Porta-inserto SCLCR 1616H 09 → 104,00 €
- N123D2-0150-0001-GF 1125 → 36,35 €
- Porta-inserto LF123E15-1616B → 136,00 €
- Set punte centraggio HSS → 13,65 €
- Punta elicoidale Dormer (lotto da 5) → 15,34 €
- Alesatore HSS-E Ø5 mm → 27,18 €

Quindi il costo totale di inserti e utensili ammonta a:

$$13,75 + 95,80 + 12,80 + 104,00 + 36,35 + 136,00 + 13,65 + 15,34 + 27,18 = 454,87€$$

Costo della manodopera

Supponiamo di avere due operatori, uno che lavora al tornio e uno al trapano. Entrambi vengono pagati 20 €/h. Andiamo a calcolare il costo della manodopera al tornio:

$$\text{Costo manodopera tornio} = \text{costo operatore} \times \text{tempo totale} = 20 \frac{€}{h} \times 4,80 h = 96 €$$

Procediamo con la fresa:

$$\text{Costo manodopera fresa} = \text{costo operatore} \times \text{tempo totale} = 20 \frac{€}{h} \times 4,12 h = 82,50 €$$

Costo energia elettrica

In media oggi l'energia elettrica costa circa 0,25 ÷ 0,30 €/kWh. Come valore del costo dell'energia prendiamo 27 centesimi al kWh e sapendo le potenze dei nostri due macchinari andiamo a calcolare il costo dell'energia elettrica:

$$\begin{aligned} \text{Costo energia elettrica tornio} &= P_{media_{tornio}} \times \frac{\text{Costo energia}}{60} \times \text{tempo attivo (min)} \\ &= 1,5 \text{ kW} \times \frac{0,27}{60} \times 102,76 \text{ min} = 0,69€ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Costo energia elettrica fresa} &= P_{media_{fresa}} \times \frac{\text{Costo energia}}{60} \times \text{tempo attivo (min)} \\ &= 1,1 \text{ kW} \times \frac{0,27}{60} \times 12,41 \text{ min} = 0,061€ \end{aligned}$$

SALDATURA

I materiali del giunto e la scelta del tipo di saldatura

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)

L'unione di ghisa e acciaio richiede un processo specifico che fa prevenire la formazione di cricche e la fragilità nella Zona Termicamente Alterata (ZTA), esse sono dovute all'elevato contenuto di carbonio della ghisa. Il metodo corretto prevede l'impiego di materiali d'apporto a base di nichel (Ni o leghe Ni-Fe) e l'applicazione di un ciclo termico controllato, che include un pre-riscaldamento del getto in ghisa a 250-350°C e un successivo raffreddamento lento. Questa tecnica è un metodo standard industriale che permette di assicurare l'integrità strutturale di giunti di questo tipo.

Scelta del processo di saldatura: MIG (Ni) vs. SMAW (Elettrodo nichelato)

Vista la natura del giunto, i processi di saldatura tradizionali per l'acciaio al carbonio (come il MAG con filo SG2) risultano inapplicabili. La scelta si limita, quindi, a due valide alternative:

Processo	Vantaggi	Considerazioni
GMAW-MIG (con filo Ni/Ni-Fe)	Elevata produttività, buona ripetibilità, processo semi-automatico. Ideale per la produzione in serie.	Richiede una corretta impostazione manuale dei parametri e un gas di protezione adeguato (Ar o Ar+He).
SMAW (con elettrodo rivestito Ni/Ni-Fe)	Massima tolleranza a impurità e condizioni operative non ideali. Maggiore flessibilità.	Processo manuale, più lento e con una produttività inferiore rispetto al MIG.

Per questo progetto, abbiamo scelto il processo GMAW-MIG con filo a base di nichel (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 a filo continuo con tecnologia inverter, progettata per offrire risultati di livello professionale in un formato versatile e accessibile.

- **Modalità Operativa:** La saldatrice dovrà essere utilizzata in modalità MIG manuale. Corrente e tensione andranno regolate manualmente in base alle specifiche del produttore del filo e alle prove iniziali.
- **Gas di Protezione:** Argon puro o, in alternativa, una miscela Ar+He.
- **Potenza:** Eroga una corrente massima di 220A, fornendo un'ampia riserva di potenza per saldare acciaio con spessore di 5 mm. Questo garantisce una penetrazione completa e di alta qualità, permettendo alla macchina di lavorare in modo efficiente senza essere spinta al suo limite.
- **Controllo Sinergico:** La funzione "Synergic" è uno dei suoi punti di forza. Permette alla macchina di impostare automaticamente i parametri di saldatura ottimali in base allo spessore del materiale.
- **Versatilità:** ha la capacità di funzionare in modo ottimale sia con gas di protezione (MAG), per un risultato pulito e di alta qualità, sia con filo animato (No Gas), per una maggiore portabilità.



Costo saldatrice: 949,00€

Link del prodotto: [Telwin Technomig 215 Dual Synergic](#)

Di seguito è riportata la scheda tecnica:

- Saldatrice inverter multiprocesso (MIG-MAG/FLUX/BRAZING/MMA/TIG DC-Lift), 220A. Con display LCD.
- Regolazione sinergica OneTouch: facile da usare. 27 curve sinergiche predisposte.
- Bobina max 15 kg (Ø 200 / 300mm).
- ATC (Advanced Thermal Control) per saldatura facilitata su spessori sottili.
- MMA: Dispositivi avanzati di controllo dell'arco: arc force, hot start, anti-stick. Dispositivo VRD.
- Peso contenuto e compattezza per facile trasportabilità.

DATI TECNICI

CODICE	816232	CORRENTE ASSORBITA MASSIMA	31 A	Ø FILO SALDATURA INOX	0,8 - 1 mm
TENSIONE DI RETE MONOFASE	230 V	CORRENTE ASSORBITA AL 60%	15 A	Ø FILO SALDATURA ALLUM.	0,8 - 1 mm
FREQUENZA DI RETE	50 / 60 Hz	POTENZA ASSORBITA MASSIMA	5 kW	Ø FILO SALDATURA ANIMATO	0,8 - 1,2 mm
TENSIONE A VUOTO MAX IN DC	52 V	POTENZA ASSORBITA AL 60%	2,2 kW	Ø FILO BRASATURA	0,8 - 1 mm
CAMPO REG. CORRENTE IN DC	20 - 220 A	RENDIMENTO	84 %	CLASSE DI ISOLAMENTO	F
CORRENTE MAX DC EN60974-1	180 @ 20% A	FATTORE DI POTENZA (cosphi)	0,7	GRADO DI PROTEZIONE	IP23
CORRENTE 35% DC	135 A	Ø ELETTRODI UTILI IN DC	1,6 - 3,2 mm	DIMENSIONI (LxWxH)	62 x 26 x 49 cm
CORRENTE AL 60% IN DC	100 A	Ø FILO SALDATURA ACCIAIO	0,6 - 1 mm	PESO	21,80 kg

ACCESSORI IN DOTAZIONE

742180	MT15 TORCIA MIG 3M (RED)
712030	TOLEDO 250 PINZA DI MASSA 250A
124466	CAVO 25 MMQ 3 M SPINA ATLAS 25
742575	RULLINO TRAINO 2R 0,6FE-0,8FE "F"

ACCESSORI OPTIONAL

PINZE PORTAELETTRODO CON CAVO	
804121	PINZA PORTAELETTRODO + CAVO 16MMQ 3M AX25

RIDUTTORI DI PRESSIONE	
722119	RIDUTTORE PRESSIONE 2 MANOMETRI 12 L/min
804208	ATTACCO RAPIDO GAS

BOX CONSUMABILI MIG-MAG	
804168	MIG READY BOX F MT15

KIT SALDATURA MIG/MAG	
802037	KIT SALDATURA ACCIAIO INOX D. 0,8 MM
802817	KIT SALDATURA ALLUMINIO D. 0,8-1 MM

TORCE MIG	
742181	MT15 TORCIA MIG 4M
742182	MT15 TORCIA MIG 5M

TORCE TIG	
722563	ST9V 4M AX25 TORCIA TIG

CARRELLI E ACCESSORI	
803073	CARRELLO EUROPA
803079	CARRELLO - COSMOPOLITAN

DESCRIZIONE

Saldatrice inverter multiprocesso MIG-MAG/FLUX/BRAZING/MMA/ TIG DC-Lift controllata a microprocessore.

La flessibilità di utilizzo e i diversi materiali saldati (acciaio, acciaio inox, alluminio) o saldobrasati (lamiere galvanizzate) confermano Technomig Dual Synergic come una ottima soluzione in una larga varietà di campi di applicazione, dalla manutenzione, alla installazione, agli interventi in carrozzeria.

La rapida regolazione SINERGICA dei parametri di saldatura, grazie alla tecnologia ONE TOUCH LCD SYNERGY, rende il prodotto molto semplice da usare.

Il controllo intelligente ed automatico dell'arco, istante per istante, manterrà performance in saldatura elevate in tutte le condizioni di lavoro, con materiali e/o gas diversi.

E' inoltre possibile intervenire manualmente sulla lunghezza dell'arco: tale regolazione permetterà di modificare la forma del cordone di saldatura in base allo stile del saldatore.

Il display grafico ONE TOUCH LCD consente una migliore lettura di tutti i parametri di saldatura.

La tecnologia ATC, Made in Telwin, consente di ottenere con grande facilità eccellenti saldature su superfici sottili grazie ad un controllo avanzato dell'arco.

Basso peso e massima compattezza assicurano inoltre una facile trasportabilità in tutti i luoghi di intervento, sia in interno che esterno.

Caratteristiche:

- Cambio polarità per saldatura NO GAS/Flux, MIG-MAG/BRAZING;
- 27 curve sinergiche predisposte;
- Visualizzazione su display LCD di tensione, corrente, velocità di saldatura;
- Regolazioni: rampa di salita del filo, reattanza elettronica, tempo di bruciatura finale del filo (burn back), post gas;
- Selezione funzionamento 2/4 tempi, spot;
- Dispositivo VRD;
- Protezioni termostatica, sovratensione, sottotensione, sovracorrente, motogeneratore (+/- 15%).

Completa di torcia MIG-MAG, cavo e pinza di massa.

Attrezzatura necessaria

Equipaggiamento Standard

- Torcia di saldatura: L'impugnatura serve a guidare il filo, erogare il gas e trasferire la corrente.
- Cavo e pinza di massa: Serve a chiudere il circuito elettrico sul pezzo da saldare.
- Bombola di gas di protezione: Contiene la miscela di Argon e CO₂.
- Riduttore di pressione con flussometro: Serve a regolare la pressione e controlla il flusso del gas dalla bombola.
- Bobina di filo per saldatura: Il materiale d'apporto (ad es. filo SG2 da 1.0 mm).
- Gas di protezione: Miscela gassosa consumata durante la saldatura.
- Parti di ricambio per la torcia:
- Ponte guidafile (diametro corretto per il filo).
- Ugello paragas.
- Diffusore del gas.

Dispositivi di Protezione Individuale (DPI)

- Maschera per saldatura: disponibile con filtro auto-oscurante per proteggere occhi e viso da schegge e corpi estranei.
- Guanti da saldatura: forniti in pelle resistente al calore.
- Giacca o grembiule da saldatura: realizzata in materiale ignifugo contro spruzzi e radiazioni UV.
- Scarpe antinfortunistiche: necessarie per la protezione dei piedi.
- Maschera per fumi di saldatura: indispensabile per proteggere le vie respiratorie.

Attrezzatura Aggiuntiva per le saldature in Ghisa

Il processo di saldatura della ghisa richiede i seguenti strumenti specifici:

- Sistema di pre-riscaldamento: Forno, cannelli ossiacetilenici o pistole termiche.
- Strumenti di misura della temperatura: Termometri a contatto o gessetti termici (termocrayons) per verificare le temperature di pre-riscaldamento e interpass.
- Strumenti per il raffreddamento controllato: Coperte termiche, sabbia calda o la possibilità di lasciare i pezzi in un forno in fase di spegnimento.
- Martello da peening: Con testa arrotondata per la martellatura dei cordoni.
- Spazzole metalliche dedicate: In acciaio inox, da utilizzare esclusivamente per detto processo per non contaminare con altri materiali.

Utensili e Accessori:

- Smerigliatrice angolare: Con dischi da sbavatura e spazzole metalliche per la preparazione e la pulizia.
- Pinza per saldatori: Multifunzione per tagliare il filo, pulire l'ugello e serrare la punta.
- Morsetti e pinze a scatto: Per bloccare saldamente i pezzi.
- Spray anti-spatter: Per prevenire l'adesione degli spruzzi di saldatura al pezzo e all'ugello.
- Spazzola metallica manuale: Per la pulizia finale.
- Dima di saldatura (opzionale ma consigliata): Per garantire un migliore posizionamento più preciso e ripetibile dei pezzi.

Processo di lavorazione

La sequenza operativa per la realizzazione di un lotto da 50 pezzi sarà la seguente:

1. **Preparazione:** Pulizia meccanica accurata dei lembi da saldare su entrambi i componenti. Si consiglia una leggera smussatura sulla piastra in acciaio per favorire la bagnatura del materiale d'apporto.
2. **Pre-riscaldamento:** Il corpo in ghisa viene riscaldato in modo lento e uniforme fino a raggiungere una temperatura compresa tra 250°C e 350°C. La temperatura deve essere verificata con gli appositi strumenti.
3. **Assemblaggio e puntatura:** I componenti vengono posizionati (preferibilmente su dima) e puntati utilizzando lo stesso materiale d'apporto della saldatura finale, mantenendo la temperatura di pre-riscaldamento.
4. **Saldatura:** Si procede con la saldatura MIG, eseguendo cordoni brevi (20-30 mm) in sequenza alternata per distribuire il calore. Ogni cordone deve essere immediatamente martellato (*peening*) a caldo per alleviare le tensioni di ritiro. La temperatura tra una passata e l'altra (*interpass*) non deve scendere mai sotto i 250°C.
5. **Raffreddamento lento:** Al termine della saldatura, il pezzo assemblato deve essere coperto con coperte termiche o immerso in sabbia calda per garantire un raffreddamento il più lento possibile e uniforme, minimizzando il rischio di cricche.
6. **Finitura e controllo qualità:** A pezzo freddo, si procede con la sbavatura e un accurato controllo visivo. È consigliato un controllo con liquidi penetranti (LP) per verificare l'assenza di cricche superficiali.

Materiale 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.

Caratteristiche e Vantaggi:

Le sue qualità distintive includono una composizione ottimizzata in lega Nichel-Ferro che conferisce proprietà meccaniche superiori, un'elevata resistenza meccanica (superiore alla ghisa stessa), una migliore tolleranza alla diluizione (riducendo il rischio di carburi fragili) e un'eccellente duttilità del deposito, prevenendo cricche e garantendo resistenza agli urti.

Applicazioni Tipiche:

L'elettrodo ERNiFe-CI è ampiamente utilizzato per riparare e unire componenti in ghisa sferoidale in vari settori. Tra questi, l'automotive (per blocchi motore e collettori di scarico), i macchinari pesanti (agricoli, edili, minerari), l'industria manifatturiera (parti di macchinari e stampi) e l'idraulica e pompe (corpi pompa, valvole, raccordi).

Analisi dei tempi e costi (Lotto da 50 pezzi)

Calcolo dei tempi:

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)

Calcolo dei Costi:

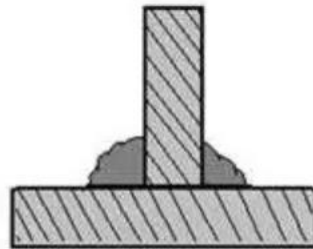
Costo Manodopera: $8,5 \text{ ore} \cdot 35,00 \frac{\text{€}}{\text{ora}} = 297,50 \text{ €}$

Costo Materiali, Energia, Consumabili: 85,00 €

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 €

Analisi del giunto di saldatura

Il giunto di saldatura che verrà realizzato per unire il corpo base alla piastra è un giunto a T (o giunto a sovrapposizione d'angolo), riempito con un cordone d'angolo (*fillet weld*).



Tee Joint

Questa configurazione è la soluzione standard e più efficace per unire due componenti disposti perpendicolarmente l'uno all'altro.

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

Nel nostro caso specifico: 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. È uno dei giunti più comuni in carpenteria metallica per la sua semplicità e robustezza.

Tipologia del Cordone: Cordone d'Angolo

La saldatura a cordone d'angolo, impiegata nei giunti a T, ha il compito di colmare lo spazio angolare. 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) sono fondamentali per prevenire la formazione di cricche da ritiro e garantire l'affidabilità meccanica del giunto.

DEFORMAZIONE PLASTICA

La produzione della leva a L avviene attraverso un ciclo di lavorazione a freddo che sfrutta la deformazione plastica del metallo. Questo sistema di lavorazione viene utilizzato per la realizzazione della leva a L. Il processo comprende due fasi importanti: prima, la tranciatura per ottenere il profilo bidimensionale del componente da una lamiera, poi la piegatura per conferire al pezzo la sua configurazione tridimensionale definitiva.

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.

Caratteristiche Tecniche (S355MC):

Norma: EN 10149-2

Numero Identificativo: 1.0976

Classificazione: Acciaio di Qualità

Tipologia: Acciaio Legato

Composizione Chimica di Riferimento:

S355MC

ACCIAIO MICRO-LEGATO

NORMA

EN 10149-2

NUMERO IDENTIFICATIVO

1.0976

CLASSIFICAZIONE

Acciaio di Qualità

TIPOLOGIA

Acciaio Legato

STATO DI LAMINAZIONE

AR - Grezzo di laminazione

DESCRIZIONE SINTETICA

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.

APPLICAZIONI D'USO

Veicoli da trasporto, containers, serbatoi, macchine agricole, profili.

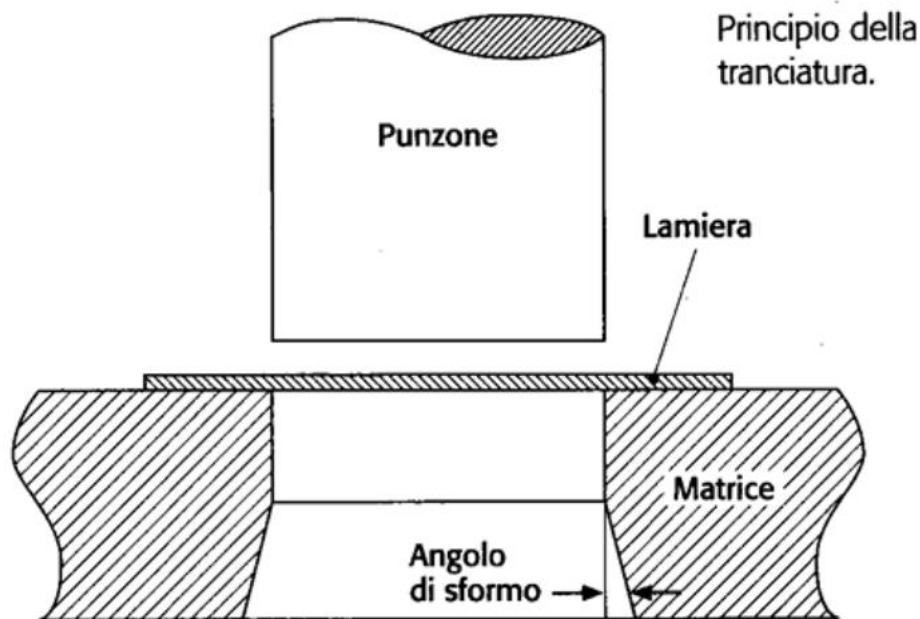
COMP. CHIMICA

Standard da norma

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Al (%)	Nb (%)	Ti (%)	V (%)	Mo (%)	Cu (%)
≤ 0,120	≤ 0,50	≤ 1,50	≤ 0,025	≤ 0,020	≥ 0,015	≤ 0,090	≤ 0,15	≤ 0,20		

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 prelamiera 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 (ad esempio, la leva in forma 2D) viene spinto attraverso l'apertura della matrice e cade liberamente in un raccogliatore 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.

Si consiglia di considerare un gioco, “uno spazio” adeguato, tra il punzone e la matrice durante la penetrazione. Un gioco corretto è essenziale per un taglio netto e varia in base allo spessore e al materiale. Per un calcolo preciso, si utilizza la formula empirica.

$$g = (0,007 \cdot s - 0,005) \cdot KT$$

Dati del nostro caso:

- Spessore (s): 3 mm
- Resistenza specifica al taglio ($K\tau$): 343 Mpa (per S355MC)
- Calcolo: $g=(0.007 \cdot 3 - 0.005) \cdot 18.52 \approx 0.30$ mm

Forma del punzone e della matrice:



Dimensionamento di punzone e matrice

Il 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 $\varnothing 5$ mm, la dimensione della Matrice è $5 + (2 \cdot 0,22) = 5,44$ mm

Calcolo della Forza Massima (P_{max})

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

$$P_{max} = L \cdot s \cdot KT$$

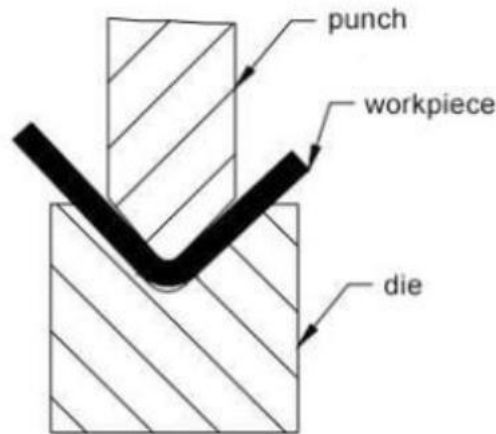
Dati del nostro caso:

- Perimetro totale da tagliare (L): ~243 mm (profilo esterno + 2 fori)
- Spessore (s): 3 mm
- Resistenza a taglio ($K\tau$): 343 MPa
- Calcolo: $P_{\max} = 315 \text{ mm} \cdot 3 \text{ mm} \cdot 343 \text{ N/mm}^2 = 324,255 \text{ N} \approx 324 \text{ kN}$

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

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



Affinché si verifichi una deformazione permanente, le tensioni applicate al materiale devono superare il suo limite di snervamento, provocando la transizione dal comportamento elastico a quello plastico. Per l'acciaio S355MC, il limite di snervamento (Y) è fissato a 355 MPa. Durante la piega, le fibre esterne del materiale vengono messe in trazione, mentre quelle interne subiscono una compressione.

Calcolo del carico di piegatura

Di seguito è riportato il calcolo del carico necessario (P) per la piegatura a V, basato sulla formula ricavata dal Santochi:

$$P = k \cdot L \cdot s^2 \cdot R_m \cdot W$$

Dati:

- k: Fattore correttivo per matrici a V (circa 1.33)
- L: Lunghezza della linea di piega (circa 25 mm). Questa rappresenta la larghezza del materiale che la pressa piegatrice deforma istantaneamente per creare l'angolo desiderato.
- s: Spessore della lamiera (3 mm)
- R_m : Resistenza a trazione (valore medio per S355MC, circa 490 MPa)
- W: Larghezza della cava della matrice a V. Per l'acciaio S355MC, è consigliabile utilizzare una cava stretta ($W = 6 \cdot s = 18 \text{ mm}$) per ottenere un raggio di piega minimo ($r_{\min} \approx 1.5 \text{ mm}$).
- Calcolo:

- $P = (1.33 \cdot 25 \text{ mm} \cdot (3 \text{ mm})^2 \cdot 490 \text{ N/mm}^2) / 18 \text{ mm} = 8.125 \text{ N} \approx 8.1 \text{ kN}$

Il carico richiesto è moderato. Una pressa piegatrice CNC è in grado di gestire agevolmente tale forza e di compensare il ritorno elastico del materiale, garantendo un angolo finale di 90° con la massima precisione.

La macchina CNC garantirà inoltre la precisione dell'angolo di 90° compensando automaticamente il ritorno elastico del materiale.

Analisi tempi e costi: processo industriale (Lotto da 100 leve)

Per lotti di 100 pezzi, si opta per una strategia di attrezzaggio modificata, utilizzando uno stampo a blocco (compound die). Sebbene questo tipo di stampo esegua le operazioni di punzonatura dei fori e tranciatura del profilo in un'unica fase, è meno complesso strutturalmente di uno stampo a passo.

La valutazione economica risulta la seguente:

- **Costi Fissi** (Investimento una tantum): Il costo fisso è rappresentato interamente dalla realizzazione dello stampo a blocco.
- **Costo Realizzazione Stampo:** 6.000,00 €
- **Costi Variabili** (Produzione di 100 Leve): Il tempo totale di lavorazione, che include l'attrezzaggio della pressa, il ciclo di produzione e la piegatura, è stimato in circa 2.75h.
- **Costo Materiale** (Acciaio S355MC): 11,00 €
- **Costo Lavorazione (Manodopera e Macchine):** 124,00 €
- **Costo Totale di Produzione (100 leve):** 6.000,00 € (Fisso) + 135,00 € (Variabile) = 6.135,00 €
- **Costo per Singola Leva:** 6.135,00 € / 100 pezzi = 61,35 €
- **Costo per Coppia di Leve (per morsetto):** 61,35 € * 2 = 122,70 €

Conclusioni

Un costo finale di 61,35 € per una singola leva è economicamente molto elevato e difficilmente giustificabile per un componente di questo tipo, confermando il principio che il processo con stampo non è sostenibile per un lotto di sole 100 unità.

Proposta di Processo Alternativo

Per la produzione di un lotto limitato di 100 leve, la scelta del processo produttivo assume un'importanza economica cruciale. Il metodo tradizionale, basato sulla tranciatura con stampo dedicato, pur essendo efficiente per grandi volumi, si rivela economicamente insostenibile per lotti così ridotti a causa dell'elevato costo di realizzazione dello stampo.

Su suggerimento del professore, l'alternativa più vantaggiosa, sia in termini economici che tecnologici, consiste nell'abbinare due lavorazioni flessibili: il taglio laser e la successiva piegatura. Questa metodologia moderna sostituisce l'oneroso stampo fisico con un semplice file CAD che guida il raggio laser per ricavare la sagoma piana della leva da un foglio di lamiera con estrema precisione. Successivamente, una pressa piegatrice CNC, macchina versatile e flessibile, esegue le pieghe necessarie.

Il vantaggio principale di questo approccio risiede nell'abbattimento quasi totale dei costi fissi di attrezzaggio. L'unico costo di setup è legato alla programmazione della macchina CNC, un'operazione rapida e relativamente economica.

Per un confronto tangibile, analizziamo in dettaglio la struttura dei costi reali per la produzione delle 100 leve con questa tecnologia:

1. Costi Fissi (Setup Macchine)

- Programmazione CAD/CAM per taglio laser e piegatrice: **120,00 €**

2. Costi Variabili (per il lotto da 100 pezzi)

- Materia prima (Acciaio S355MC): **11,00 €**
- Costo di lavorazione (ore macchina e gestione): **56,20 €**

Il costo totale per il lotto ammonta quindi a 187,70 € ($120,00 + 11,00 + 56,20$). Dividendo questa cifra per il numero di pezzi, si ottiene un **costo unitario per leva di 1,87 €**.

In conclusione, è evidente che per un volume di 100 unità, il processo basato su taglio laser e piegatura non è semplicemente un'alternativa, ma la strategia industrialmente più sostenibile.

STAMPA 3D

Analisi del processo di stampa 3D: Manopola

La manopola è il componente con cui l'operatore interagisce, ed è quindi fondamentale che sia robusta ed ergonomica. La Stampa 3D è stata scelta come processo produttivo in quanto rappresenta la soluzione tecnologica ottimale per questo specifico pezzo.

Scelta del Materiale

È stato selezionato il PETG (Polietilene Tereftalato Glicole) per garantire la rigidità e la resistenza necessarie, poiché la manopola è un componente strutturale fondamentale per trasmettere la forza dell'operatore senza flessioni. Il materiale offre un ottimo equilibrio tra robustezza, resistenza agli urti (superiore al PLA in tenacità e durezza), rigidità (indeformabile sotto sforzo) e resistenza chimica (a oli e grassi).



Parametro Fisico PETG			
Densità (g/cm³)	1.27	Allungamento a Rottura (%)	83
Resistenza alla Trazione (MPa)	52.2	IZOD Resistenza All'impatto (kJ/m²)	4.7
Resistenza alla Flessione (MPa)	58.1	Indice di Flusso di Fusione (g/10 min)	20 (250°C/2.16kg)
Modulo di Flessione (MPa)	1073	Temperatura di Distorsione del Calore (°C, 0.45 MPa)	64

Costo bobina 1 Kg di PETG rosso: 13,43 €/Kg

Link: <https://amzn.eu/d/hDm067Z>

Stampante 3D

Per questa applicazione, è stata selezionata la stampante *Creality Ender 3 S1 Pro*. Questo modello è uno standard di mercato, rinomato per la sua affidabilità e precisione, e include tutte le caratteristiche necessarie per la stampa di materiali tecnici come il PETG.



Costo: 379,00 €

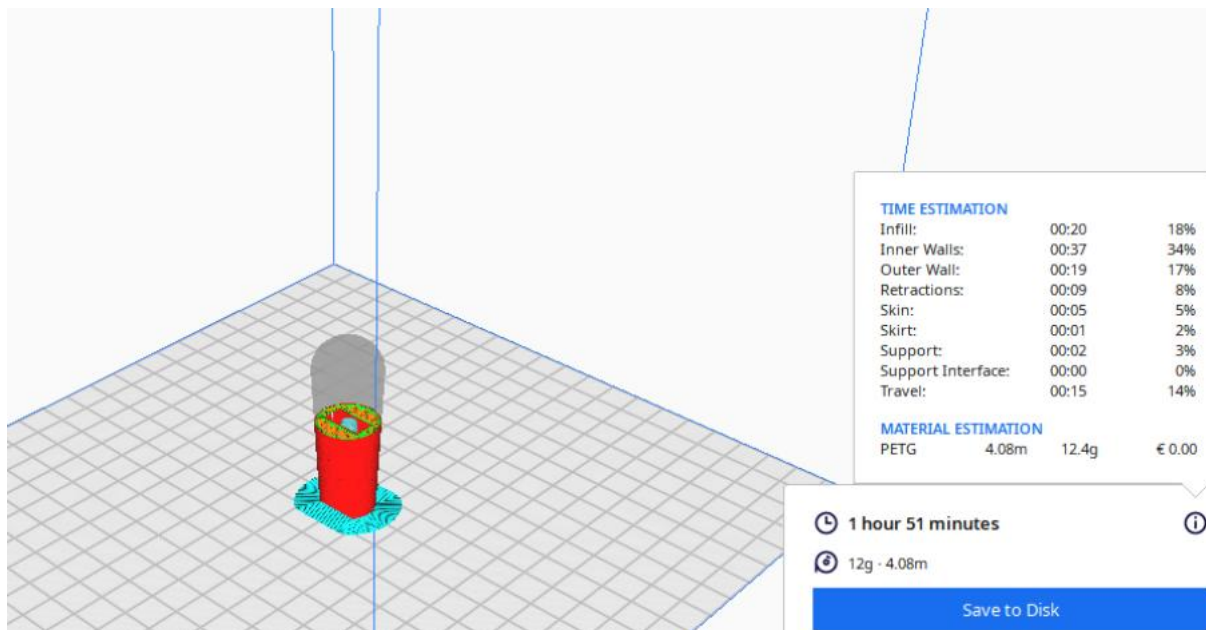
Link: <https://www.smartus.it/stampanti-3d/849-creality-ender-3-s1-pro-stampante-3d.html?srltid=AfmBOopFKOnfCbPa1R2rY7ddNSjSyxNWLJFvdT0SOxUYXb63jH-8Myf6>

Caratteristiche tecniche fondamentali

- Estrusore Direct Drive "Sprite": Garantisce un controllo del filamento preciso e affidabile, fondamentale per la qualità di stampa.
- Letto di Stampa Riscaldato con superficie in PEI: Assicura un'eccellente adesione del primo strato e previene il distacco o la deformazione (warping) del pezzo durante la stampa, un aspetto critico quando si utilizza il PETG.
- Temperatura Massima Ugello (300°C): Offre un ampio margine per stampare il PETG (che richiede circa 230-250°C) e altri materiali tecnici.
- Volume di Stampa (220x220x270 mm): Più che sufficiente per stampare più manopole contemporaneamente, ottimizzando i tempi di produzione.

Analisi dei 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.



Produzione di un Prototipo Singolo

La realizzazione di un singolo prototipo richiede un tempo di stampa effettivo di 1 ora e 51 minuti (1.85 ore), a cui si aggiungono circa 15 minuti di manodopera per la preparazione del file, l'avvio della macchina e la rimozione del pezzo finito.

Il costo totale per produrre un prototipo da zero si attesta a 8,09 €.

Tale importo è così ripartito: 7,50 € (manodopera) + 0,17 € (consumo del materiale: 13,43 €/kg) + 0,10 € (energia elettrica) + 0,32 € (ammortamento orario della stampante)

Produzione dell'Intero Lotto (50 Manopole)

Quando si passa alla produzione dell'intero lotto di 50 pezzi, i tempi e i costi si ottimizzano. Il tempo macchina totale sale a 85 ore di stampa continua. Tuttavia, grazie all'organizzazione del lavoro in lotti, il tempo totale di intervento dell'operatore si riduce a sole 3.5 ore complessive.

Il costo totale per l'intera produzione è di 134,58 €.

Tale importo è così ripartito: 105,00 € (manodopera) + 8,33 € (consumo del materiale: 13,43 €/kg) + 5,10 € (energia elettrica) + 16,15 € (ammortamento orario della stampante)

Suddividendo il costo totale per i 50 pezzi prodotti, si ottiene un costo medio finale per singola manopola pari a 2,69 €.

Bibliografia:

- “Tecnologia meccanica e studi di fabbricazione” Marco Santochi e Francesco Giusti, Casa editrice ambrosiana;
- “Tecnologia meccanica” Serope Kalpakjian e Steven R. Schmid, sesta edizione, Casa editrice Pearson.

Programmi e software utilizzati:

- Inspire cast;
- Autocad 2026;
- Excel;
- Ultimaker Cura.

APPENDICE

CICLI DI LAVORAZIONE

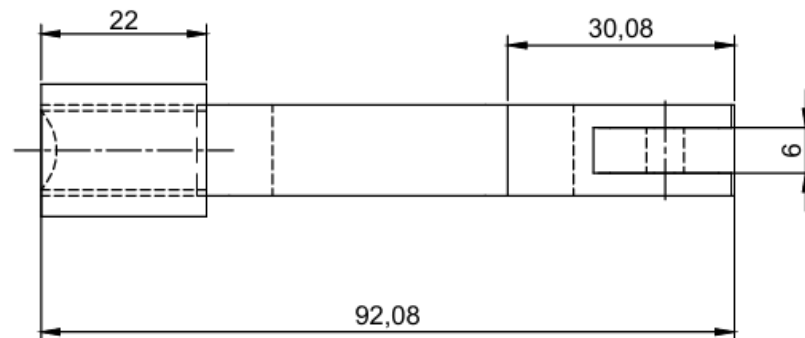
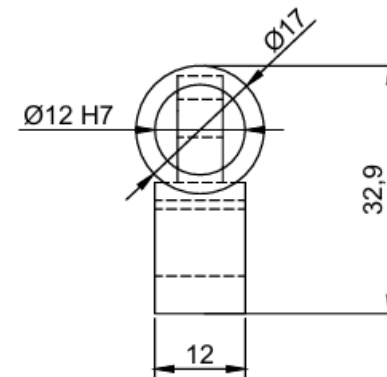
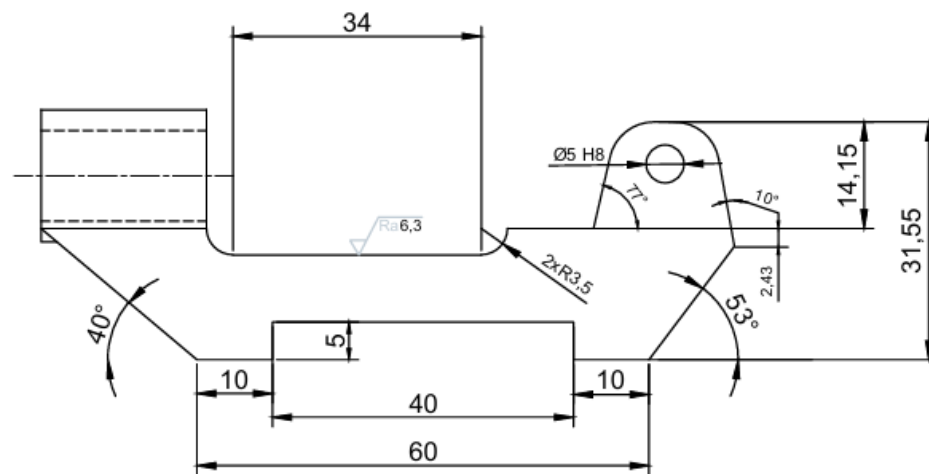
Università di Pisa	Ciclo di lavorazione elemento: Corpo Base					Foglio n° 1/4
Ingegneria dell'Energia						
Designazione superfici	Fasi, sottofasi, operazioni		Tipo di macchina	Attrezzatura	Superfici di riferimento o bloccaggio	Note
	n°					
	10	Sottofase a: Allargatura	Fresatrice per metalli Orion 4.0 Digit	Porta-inserto: B105.0010.01	3	Prepara il foro da 4,5 mm per la successiva alesatura.
	10	Sottofase a: Alesatura	Fresatrice per metalli Orion 4.0 Digit	Alesatore: 435.T-0500-A1XF H10F Mandrino: MT4-ER32 Pinza: MariTool ER32 6 mm	3	Porta il foro a diametro 5 mm con tolleranza H7.
	10	Sottofase b: Allargatura	Fresatrice per metalli Orion 4.0 Digit	Porta-inserto: B105 (Ø16mm) Inserto: R105.1833.4.H.6 TH35	1	Porta il foro da 11 mm a 11,8 mm
	10	Sottofase b: Alesatura	Fresatrice per metalli Orion 4.0 Digit	Alesatore: 435.T-1200-A1-XF H10F Mandrino: MT4-ER32	1	Porta il foro a diametro 12 mm con tolleranza H7

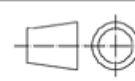
				Pinza: ER32 Ø12 mm		
Università di Pisa	Ciclo di lavorazione elemento: Corpo Base					Foglio n° 2/4
Ingegneria dell'Energia						
Designazione superfici	Fasi, sottofasi, operazioni		Tipo di macchina	Attrezzatura	Superfici di riferimento o bloccaggio	Note
	n°					
						La testa della fresatrice è inclinabile, permettendo di lavorare le superfici senza riposizionare il pezzo
	20	Sottofase a: Fresatura	Fresatrice per metalli Orion 4.0 Digit	Morsa da macchina	2	
	20	Sottofase b: Fresatura	Fresatrice per metalli Orion 4.0 Digit	Morsa da macchina	4	

Università di Pisa	Ciclo di lavorazione elemento: Albero					Foglio n° 3/4
Ingegneria dell'Energia						
Designazione superfici	Fasi, sottofasi, operazioni		Tipo di macchina	Attrezzatura	Superfici di riferimento o bloccaggio	Note
	n°					
	20	Sottofase a: Sfacciatura del grezzo	Tornio parallelo Bernardo Profi 700 Top	Mandrino a 3-griffe DK11-160 mm Inserto: CCMT 09 T3 04-PF 4315 Porta-inserto: SCLCR 1616H 09	2	Viene lavorata la prima faccia del pezzo
	20	Sottofase b: Tornitura cilindrica (sup 1) e Realizzazione spalla 6	Tornio parallelo Bernardo Profi 700 Top	Inserto: CNMG 12 04 08-MM 2035 Porta-inserto: PCLNR 1616H 12-M	1, 6	Operazioni di sgrossatura per definire i diametri principali
	20	Sottofase c: Realizzazione gola di scarico	Tornio parallelo Bernardo Profi 700 Top	Inserto: N123D2-0150-0001-GF 1125 Porta-inserto: LF123E15-1616B	1,6	

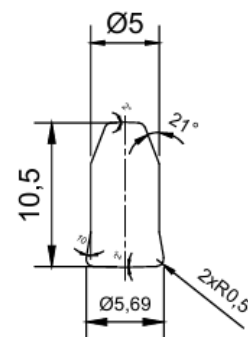
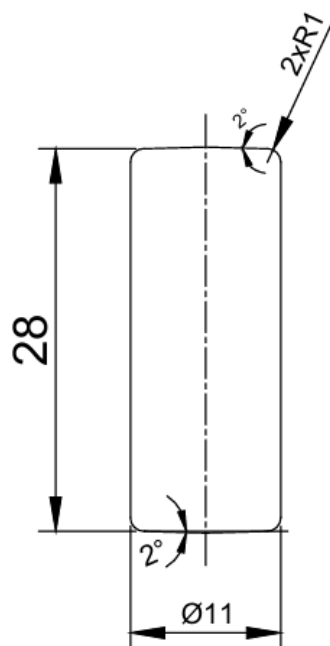
Università di Pisa	Ciclo di lavorazione elemento: Albero					Foglio n° 4/4
Ingegneria dell'Energia						
Designazione superfici	Fasi, sottofasi, operazioni		Tipo di macchina	Attrezzatura	Superfici di riferimento o bloccaggio	Note
	n°					
	20	Sottofase d,e,f: Finitura (sup 1, 6), Sfacciatura (sup 4), Smussatura e Raccordi	Tornio parallelo Bernardo Profi 700 Top	Inserto: CCMT 09 T3 04-PF 4315 Porta-inserto: SCLCR 1616H 09	1, 4, 6, 2	Completamento della geometria al tornio
	30	Sottofase a: Centratura	Fresatrice per metalli Orion 4.0 Digit	Morsa da macchina Set di punte da centro HSS 60°	5	Crea l'invito per la punta elicoidale per garantire la precisione
		Sottofase a: Foratura	Fresatrice per metalli Orion 4.0 Digit	Punta elicoidale Dormer Ø4.8mm HSS-TIN	5	Esegue il pre-foro per l'alesatura
		Sottofase a: Alesatura	Fresatrice per metalli Orion 4.0 Digit	Alesatore meccanico HSS-E Ø5 mm	5	Porta il foro alla dimensione e tolleranza H9 finale

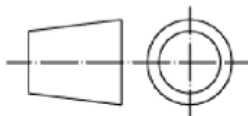
DISEGNO CORPO BASE



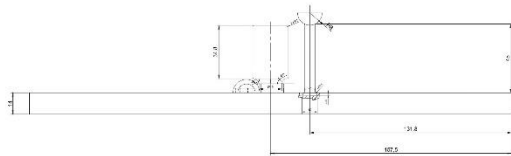
UNIVERSITA' DI PISA		
OGGETTO: Corpo base		FOGLIO: 1 di 1
		SCALA: 1:1
MATERIALE:	GHISA SFEROIDALE EN-GJS-400-15	FORMATO: A4
TOLLERANZE GENERALI:	ISO 2768-f	DATA: 07/09/2025

DISEGNO ANIMA CON PORTATE D'ANIMA



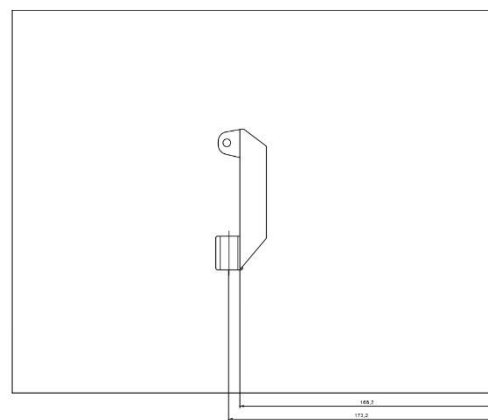
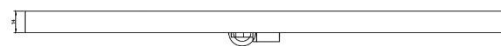
UNIVERSITA' DI PISA		
OGGETTO: Anime		FOGLIO: 1 di 1
		SCALA: 2:1
MATERIALE:	SABBIA SILICEA	FORMATO: A4
TOLLERANZE GENERALI:	ISO 2768-f	DATA: 07/09/2025

DISEGNO PLACCA MODELLO SUPERIORE



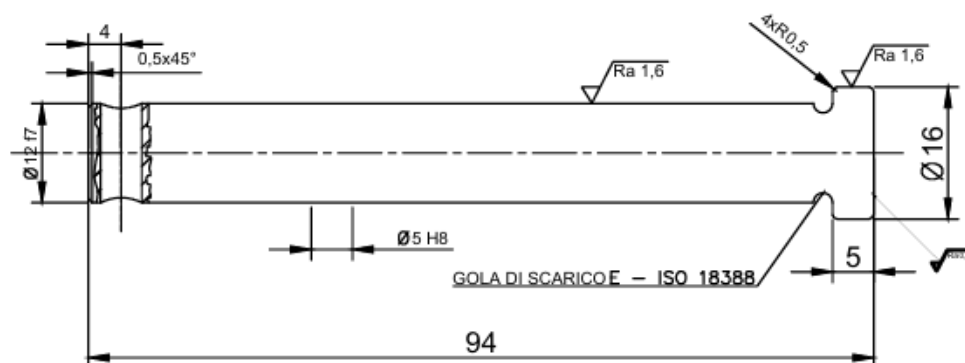
UNIVERSITA' DI PISA		
OGGETTO: Placca modello superiore		FOGLIO: 1 di 1 SCALA: 1:2
MATERIALE:		FORMATO: A2
TOLLERANZE GENERALI:	ISO 2768-f	DATA: 07/09/2025

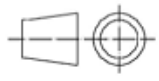
DISEGNO PLACCA MODELLO INFERIORE



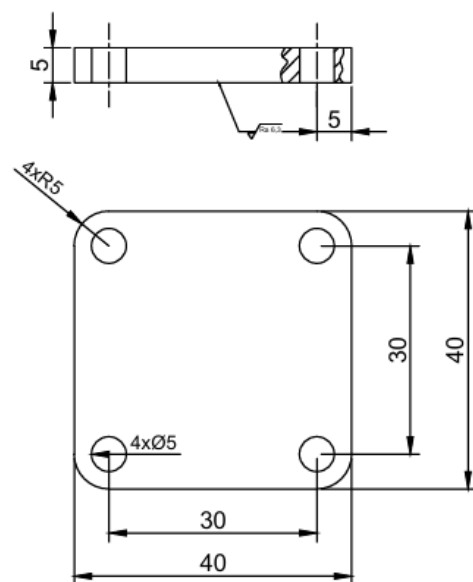
UNIVERSITA' DI PISA		
OGGETTO: Placca modello inferiore		FOGLIO: 1 di 1
		SCALA: 1:2
MATERIALE:		FORMATO: A2
TOLLERANZE GENERALI:	ISO 2768-f	DATA: 07/09/2025

DISEGNO ALBERO



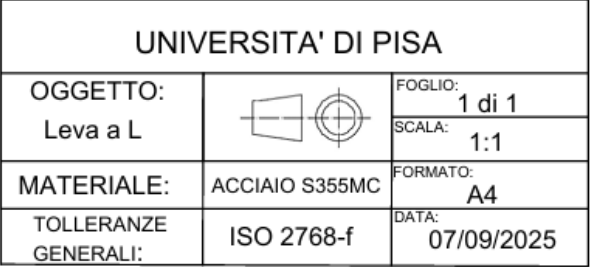
UNIVERSITA' DI PISA		
OGGETTO: Albero		FOGLIO: 1 di 1
		SCALA: 1:1
MATERIALE:	ACCIAIO C45E	FORMATO: A4
TOLLERANZE GENERALI:	ISO 2768-f	DATA: 07/09/2025

DISEGNO PIASTRA BASE

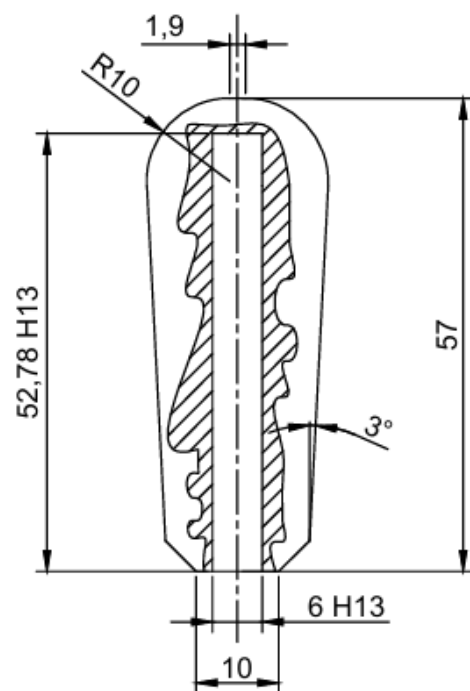
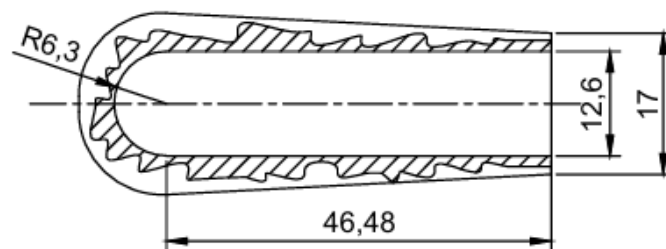
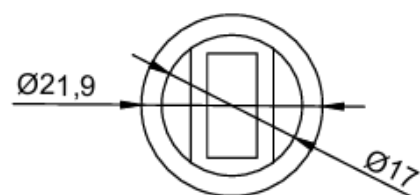


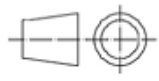
UNIVERSITA' DI PISA		
OGGETTO: Piastra base		FOGLIO: 1 di 1
		SCALA: 1:1
MATERIALE:	ACCIAIO S355JR	FORMATO: A4
TOLLERANZE GENERALI:	ISO 2768-f	DATA: 07/09/2025

DISEGNO LEVA A L



DISEGNO MANOPOLA



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

