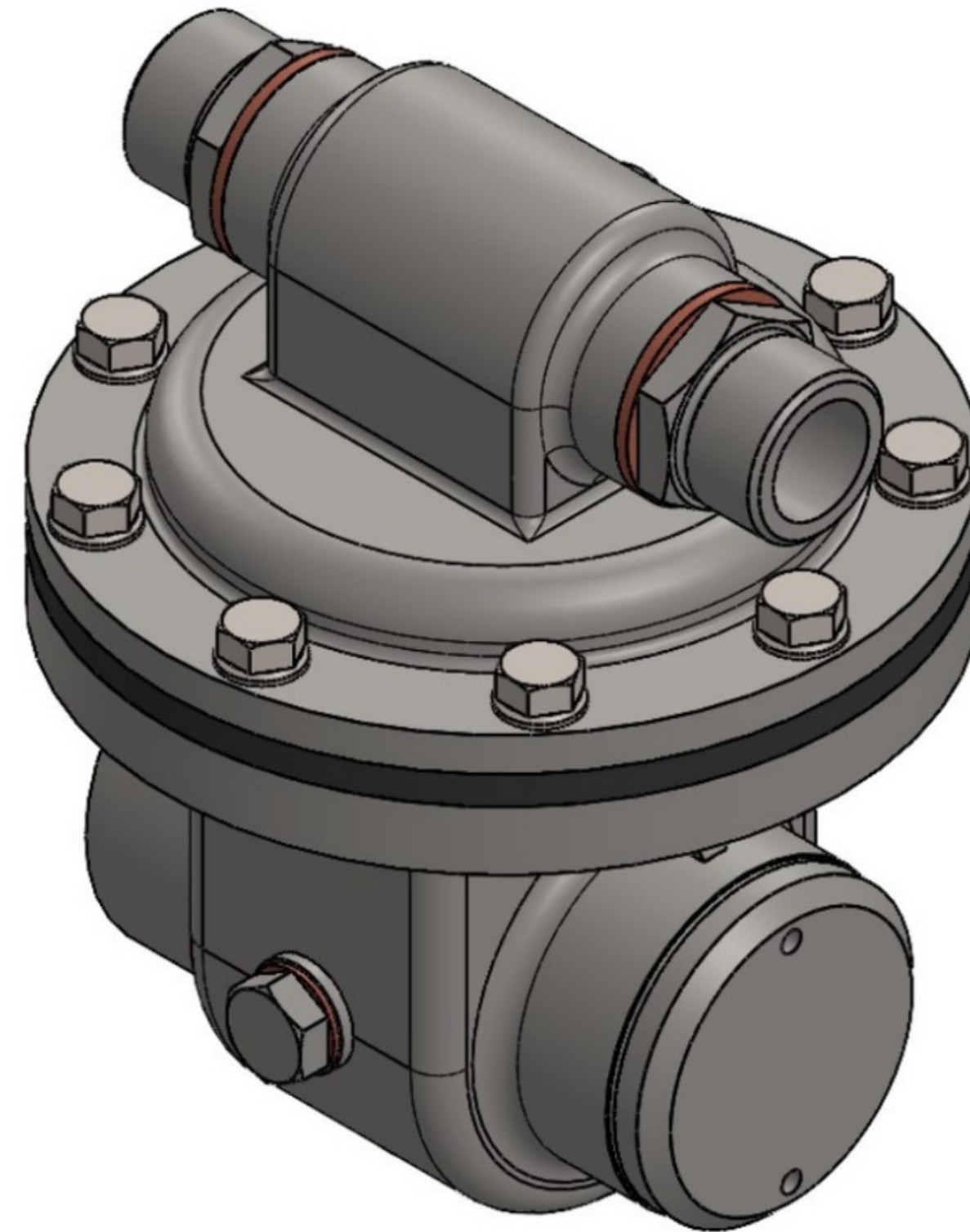


POMPA A MEMBRANA

Progetto di Tecnologia Meccanica
A cura di Milla Lanzoni e Alessia Scordato



1. INTRODUZIONE

Background

Piccola-media impresa → 2000 pompe a membrana per il settore agricolo



Prezzo di vendita stimato per 1 pompa → 500 €



Analisi produzione 5/34 pezzi



Costo stimato per set 5 pezzi → 75 €



Guadagno max annuo → 150.000 €

di cui



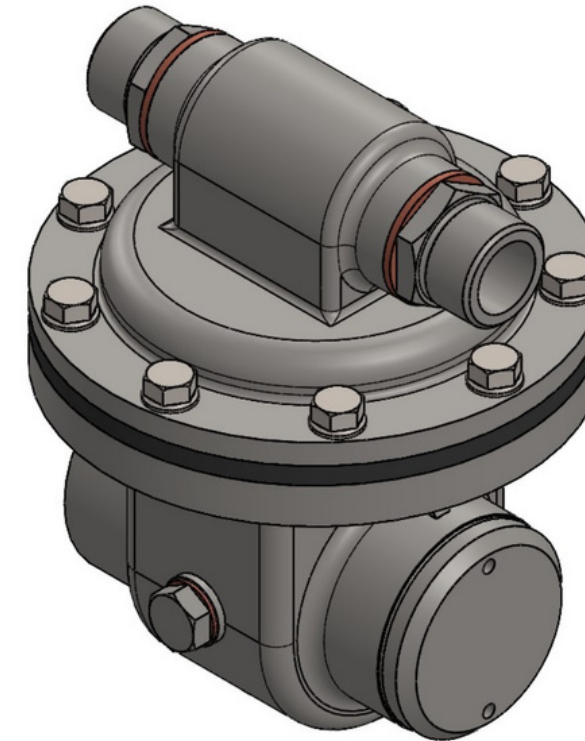
Spese operative → 125.000 €



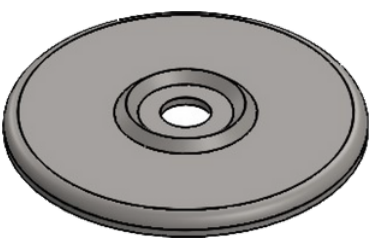
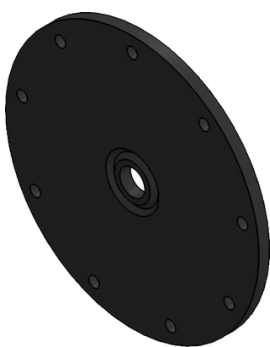
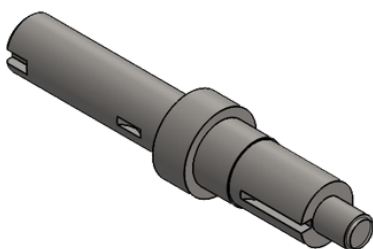
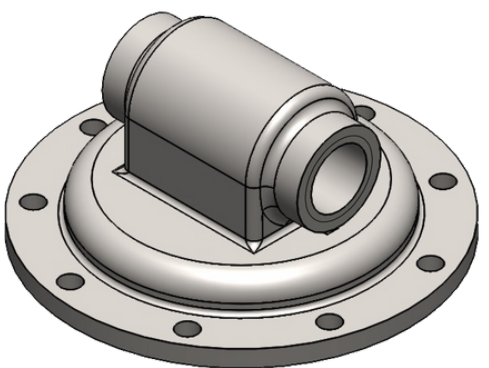
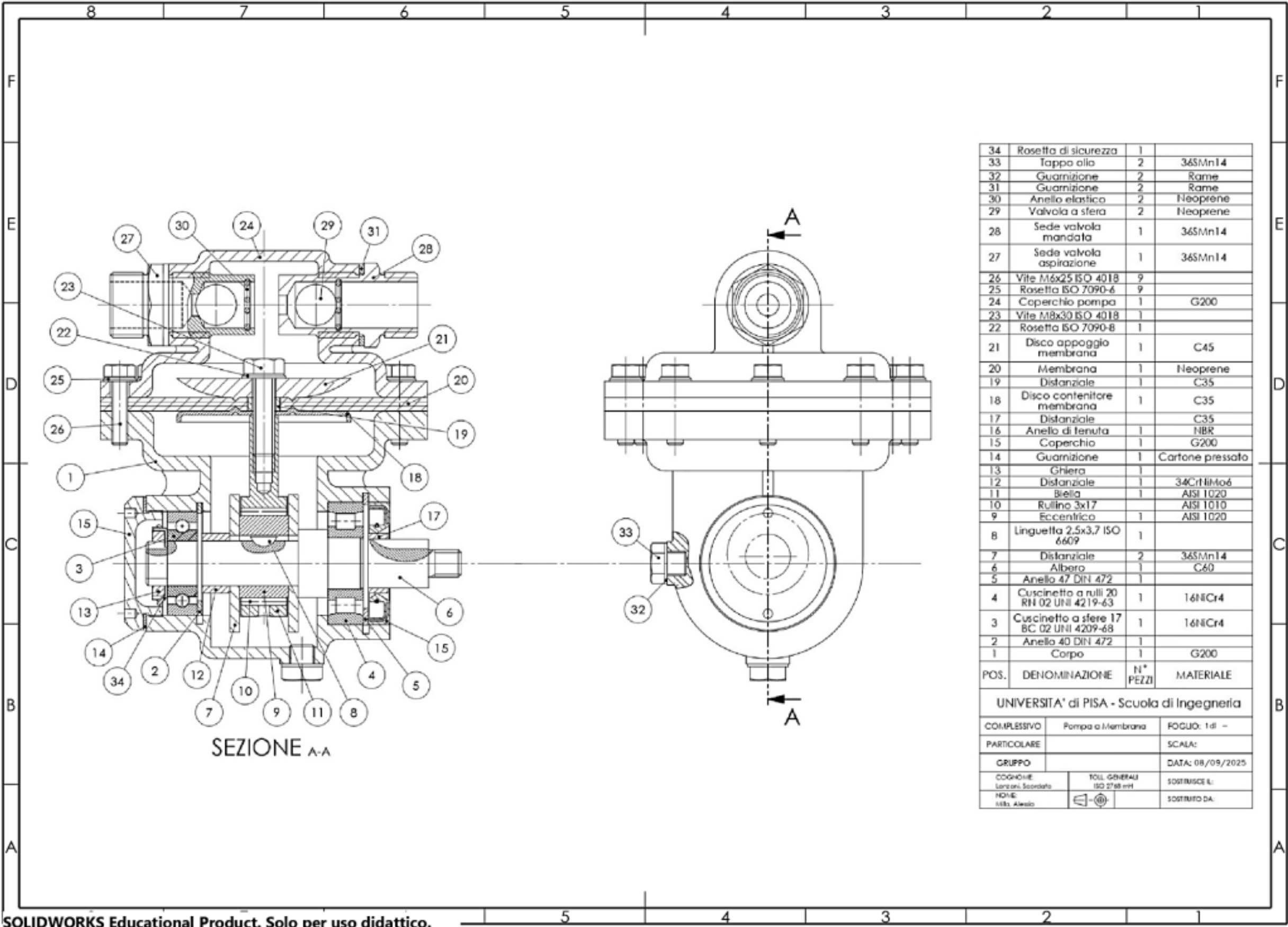
17% di guadagno



in positivo



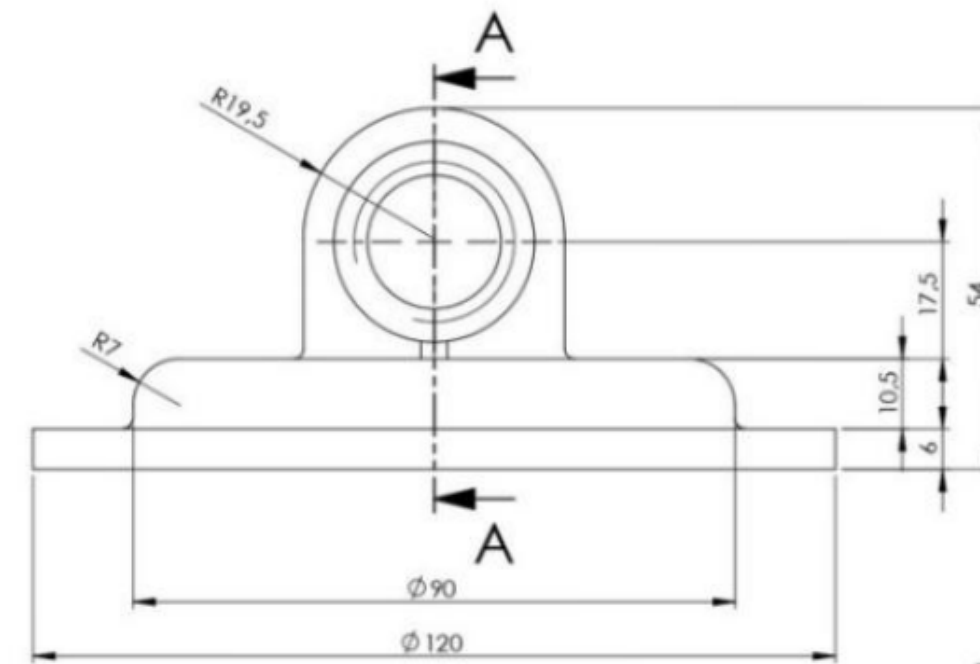
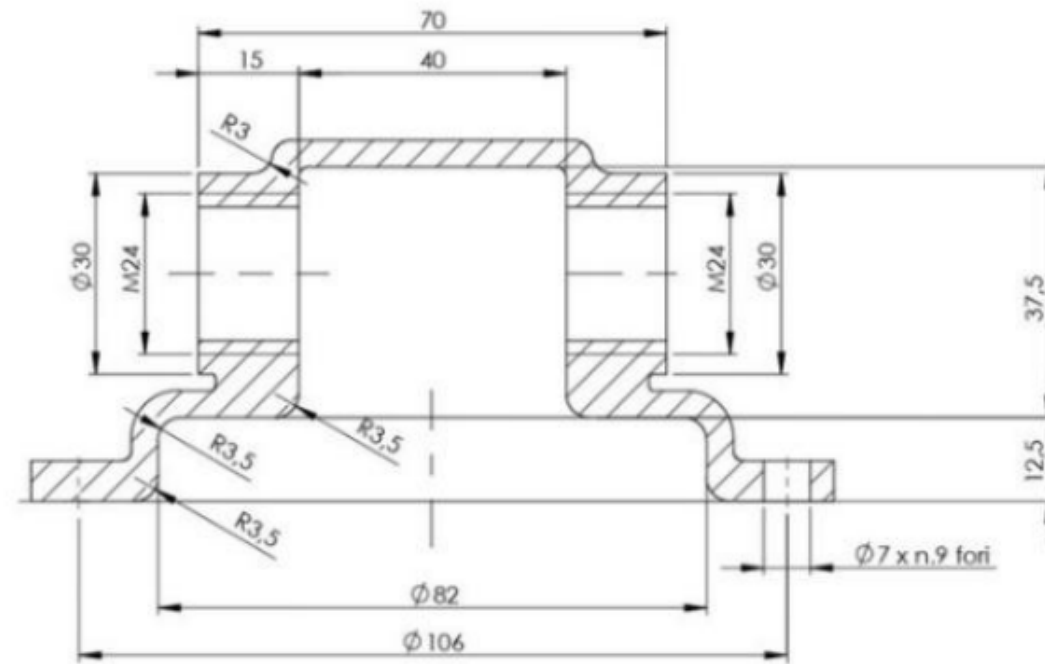
2. DISEGNI TECNICI



3. FUSIONE

24. Coperchio pompa

SEZIONE A-A



Raccordi non quotati R1,5

Processo

Scelta del processo in base a:

- forma: **geometria simmetrica e regolare**
- materiale: **ghisa grigia lamellare EN-GJL-200** →

- buona resistenza
- facile da lavorare e colare
- buona resistenza meccanica/all'usura/alla corrosione
- smorza vibrazioni



SCELTA DEL PROCESSO DI FROMATURA

Formatura in terra verde sintetica

PRO

- Economico (sia per materiali/attrezzature)
- Consolidato per oggetti in ghisa con geometrie non troppo complesse
- Buona qualità interna
- Per serie medio-piccole

TIPO DI TERRA

- Sabbia silicea: 90-94%
- Bentonite sodica: 5-8%
- Polverino di carbone: 2-4%
- Acqua: 2-4%
- Eventuali additivi: <1%

PROCESSI SCARTATI

- Formatura *in fossa* e *in sabbia-cemento* → lente/per pezzi di grandi dimensioni/per piccole quantità
- Formatura *al CO2* → discreta finitura/costi maggiori
- *Shell molding* e *Cold-box* → ottima finitura/costi operativi elevati/impianti specializzati
- *Microfusione* e *Policast* → molto precisi/per oggetti dalle piccole dimensioni/cicli lavorativi costosi e complessi

CONTRO

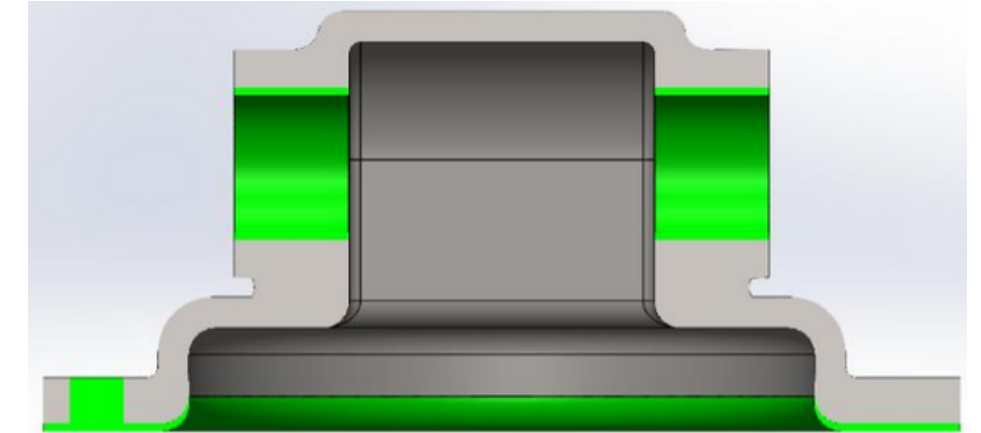
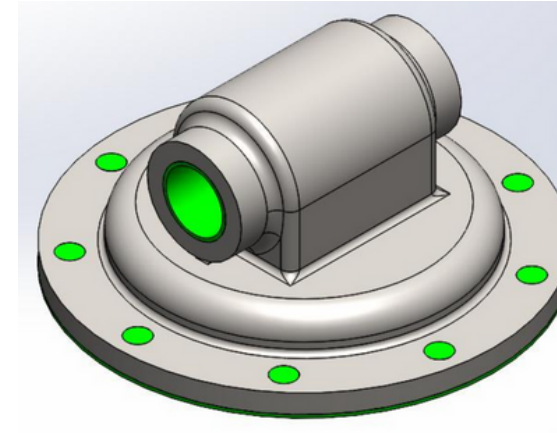
- Inferiore precisione dimensionale (superfici più ruvide)

Soluzioni per:

- 1) *Due parti interne a contatto con valvola di mandata e valvola di aspirazione:*
→ successiva lavorazione al tornio per filettature
- 2) *Base del disco grande:*
→ beneficia delle proprietà intrinseche del TPU (si adatta/compensa micro-irregolarità/rugosità)
-possibile finitura al tornio

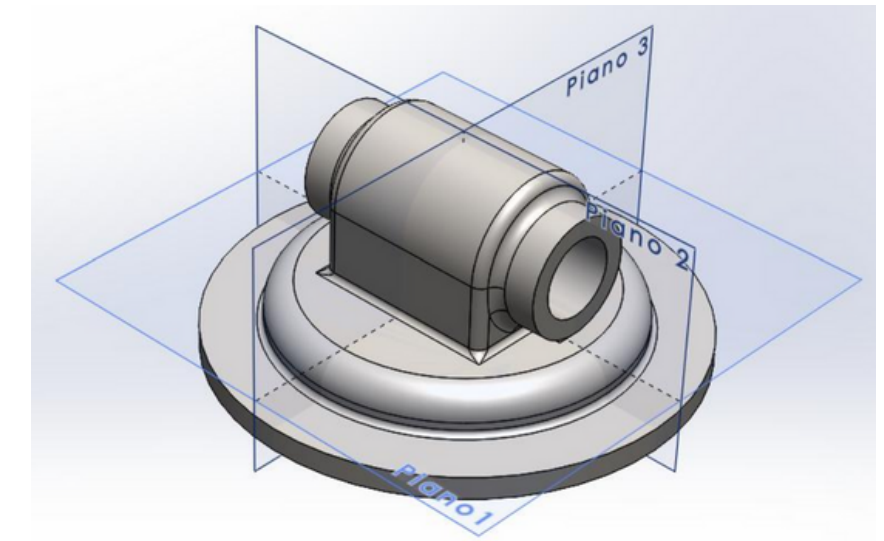
Sovrametalli

- **+ 1mm** sia in nelle pareti interne dei due cilindri che nella parte inferiore del disco maggiore
- **a riempire i 9 fori $\varnothing 7$ mm**



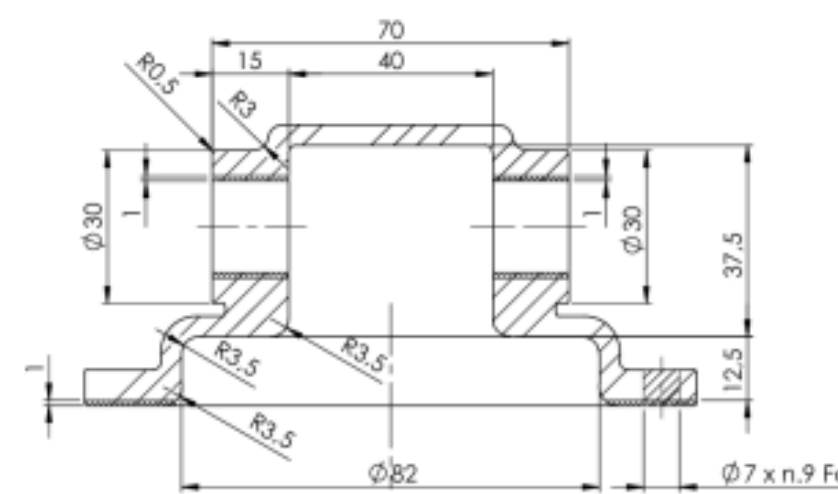
Piano di divisione

- 1) Problemi di *sottosquadro* nel disco maggiore e alla base dei due cilindri
- 2) No sottosquadri, ma devo inserire anima
- 3) No sottosquadri (se con anima), ma possibili problemi di *centraggio* con stampo

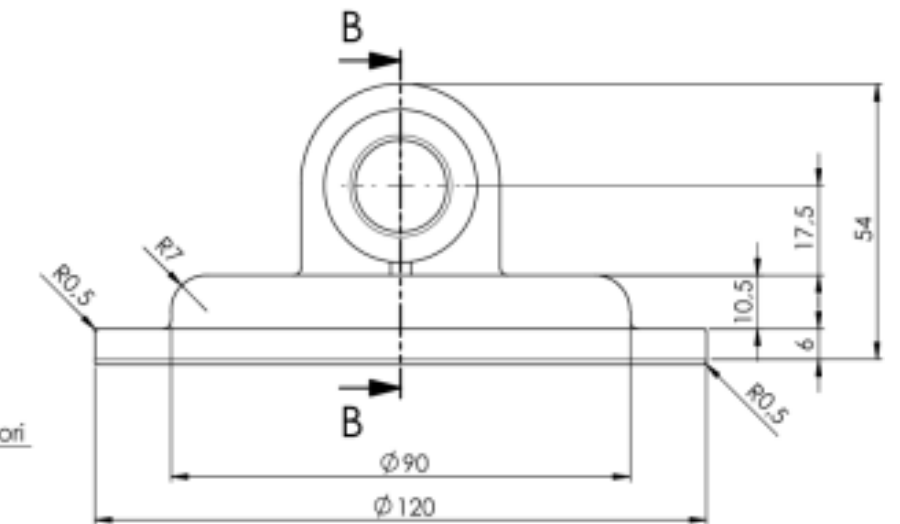


Modifiche del pezzo

- Placca modello: **resina poliuretanica** (leggera/facile da lavorare/resistente per intero ciclo/economica)
- Sformi conici di **1°** per facilitare estrazione del modello
- Raccordi di **R 0,5 mm**
- Ingrandimento del greggio: **1%** (tengo conto del *coefficiente di ritiro lineare medio* $\lambda \rightarrow 1 : (1 - \lambda) = s : 1 \rightarrow s = 1,01 \rightarrow$ errore del 0,01% $\rightarrow$ buona approssimazione)

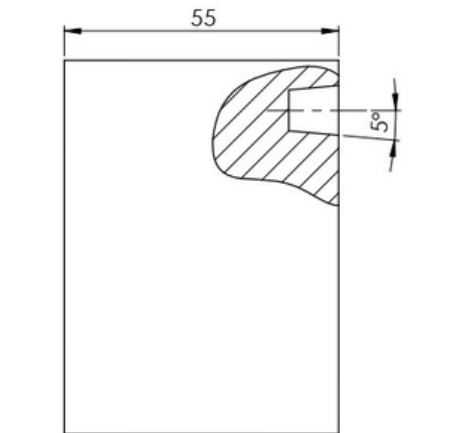
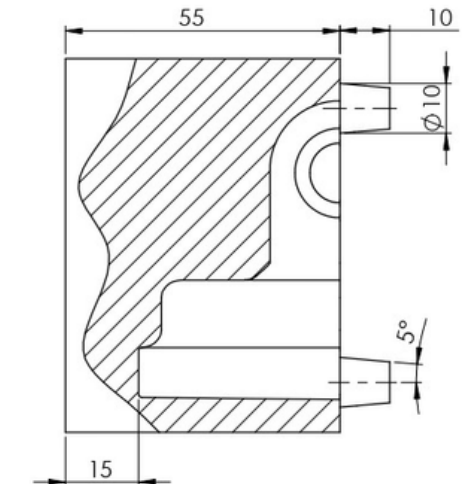
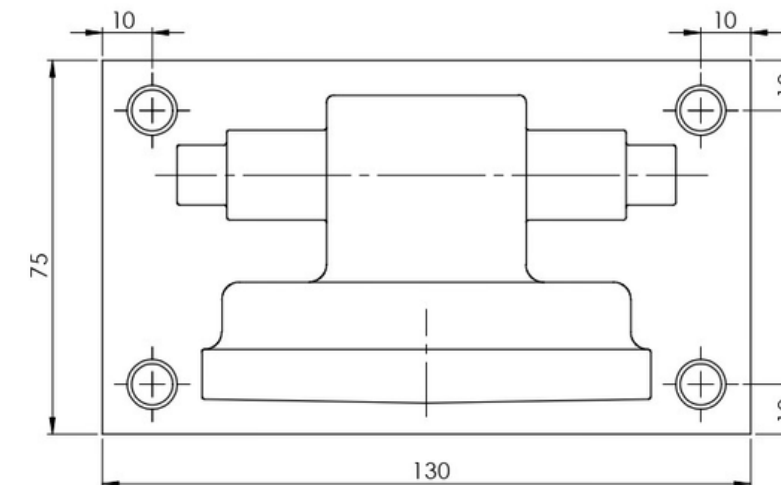
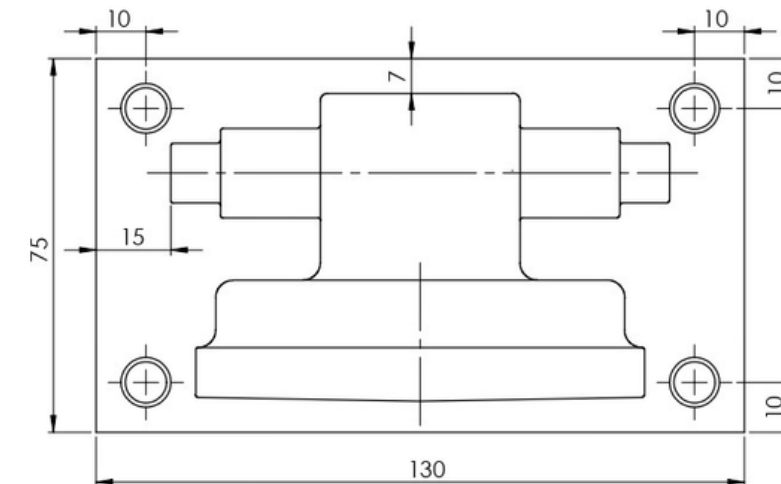
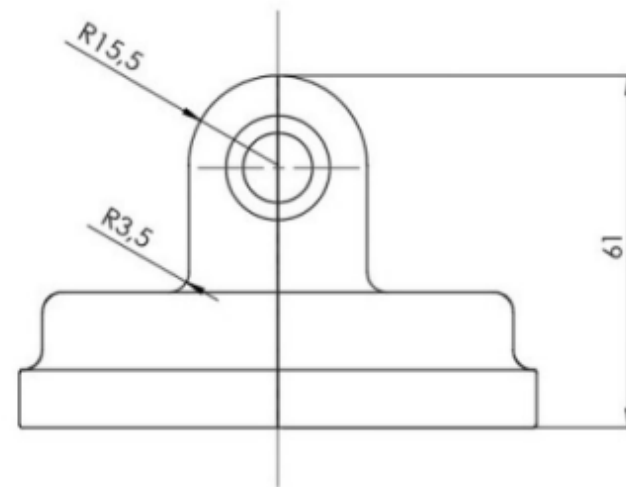
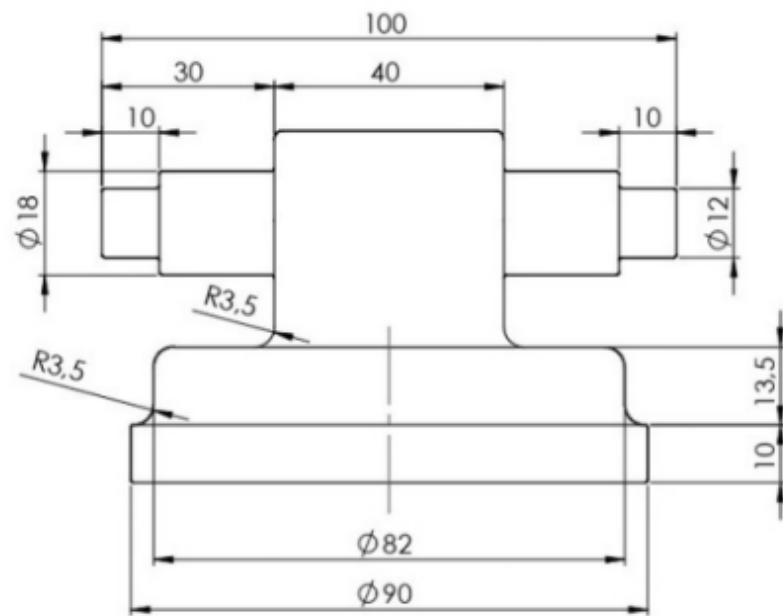


Raccordi non quotati R1.5
Angoli di sforno non quotati 1°



Anima

- Unica anima a **perdere** in **sabbia silicea** ad alta purezza con legante inorganico a base di silicato di sodio
- No in metallo/ceramica refrattaria (2 anime ad incastro → rischio difetti da infiltrazioni)
- **3 portate d'anima da 10 mm**
- Per agevolare estrazione dalla cassa d'anima: **sformi di 1°** e **raccordi di R 0,5mm**



Raccordi non quotati R0,5
Angoli di sformo non quotati 1°

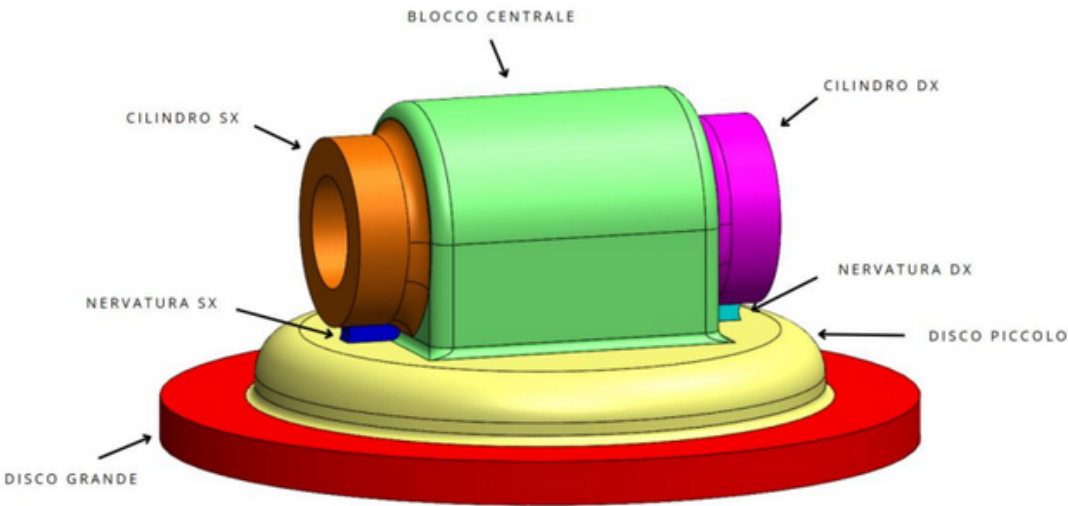
Raggi di raccordo non quotati R0,5
Angoli di sformo non quotati 1°

SOLIDIFICAZIONE DEL GETTO

Suddivisione del getto in 7 solidi elementari

Per stimare i tempi di raffreddamento (e individuare zone soggette a ritiri/cavità) trovo i moduli di raffreddamento.

	VOLUME (MM³)	SUP. DI SCAMBIO TERMICO (MM²)	M (MM)
1. BLOCCO CENTRALE (M1)	22241,73	11175,24	1,99
2. CILINDRO DX (M2)	5136,88	2192,84	2,34
3. CILINDRO SX	5136,88	2192,84	2,34
4. DISCO PICCOLO (M3)	25058,82	11286,35	2,22
5. DISCO GRANDE (M4)	41510,88	14606,22	2,84
6. NERVATURA DX (M5)	81,59	52,83	1,54
7. NERVATURA SX	81,59	52,83	1,54

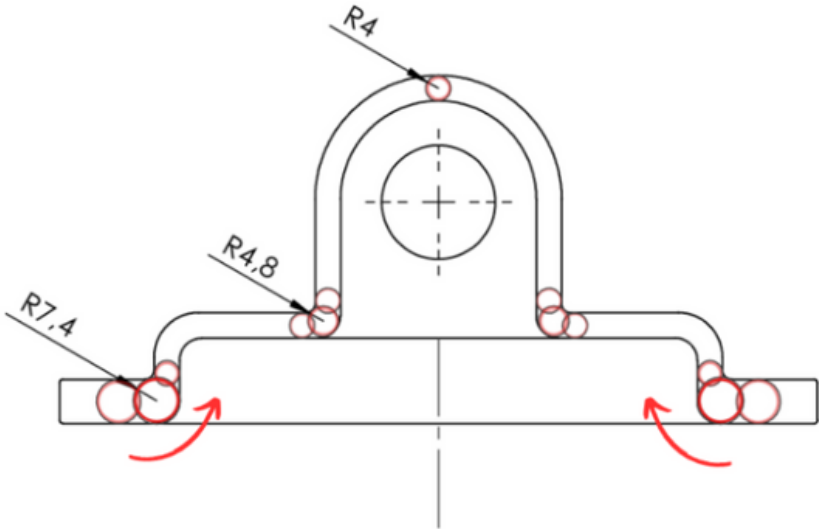
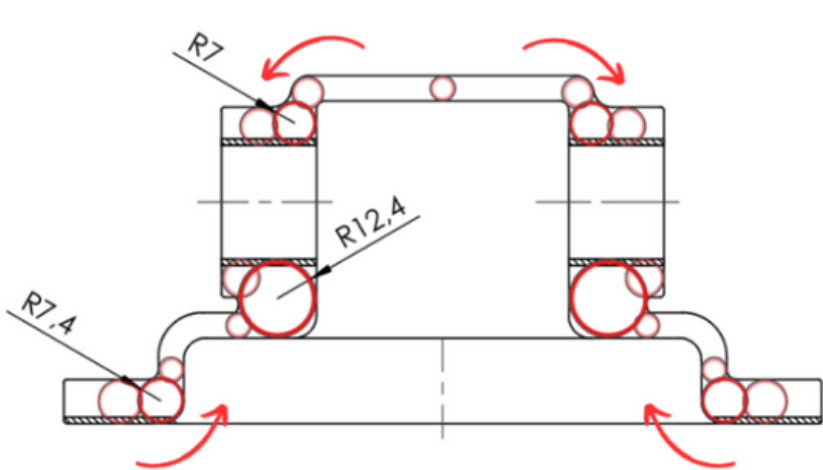


$$M = \frac{\text{volume getto}}{\text{superficie di cambio tra getto e forma}}$$

M4 > M2 > M3 > M1 > M5 → il disco grande raffredda per ultimo

Metodo dei cerchi di Heuvers

I cerchi e la direzione dei fronti di solidificazione indicano che → l'ultima zona a solidificare è in prossimità delle nervature

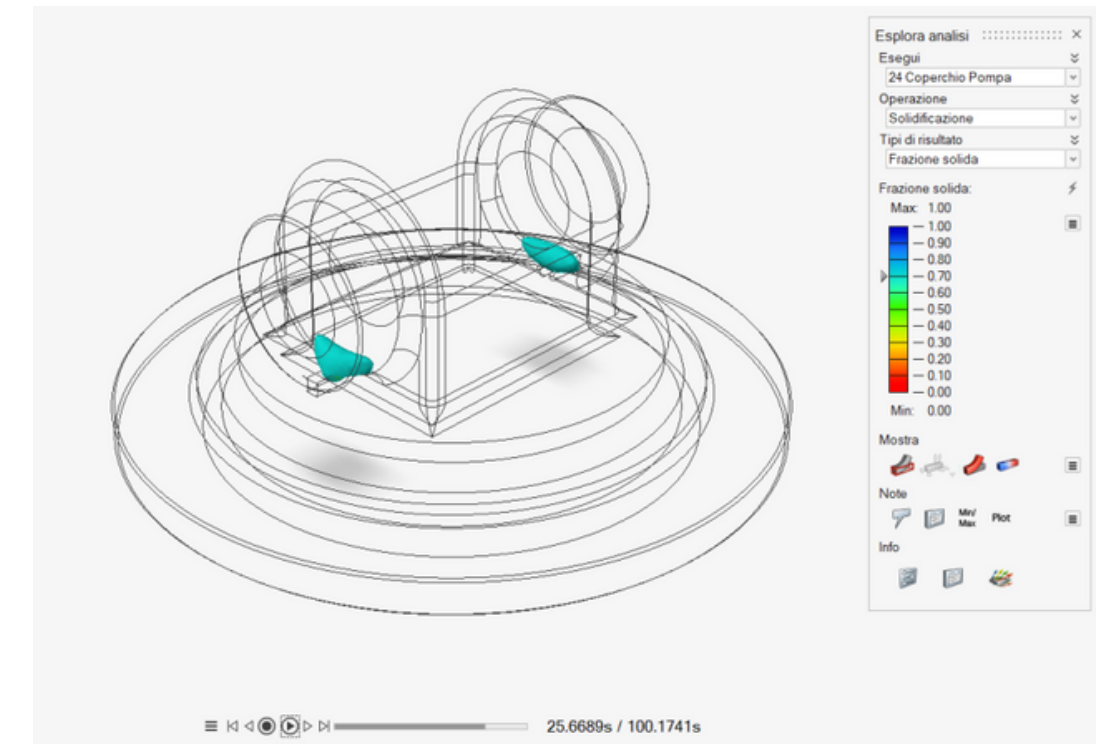
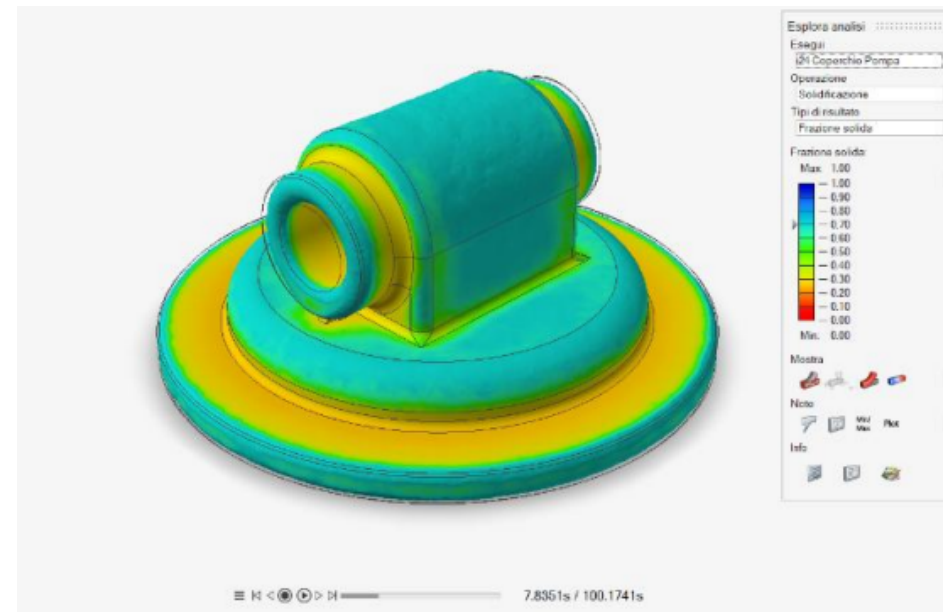


SOLIDIFICAZIONE DEL GETTO

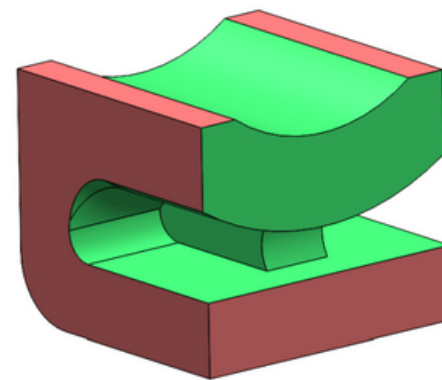
Prima simulazione con InspireCast

Inserendo i seguenti parametri, conferma quanto affermato con il metodo dei cerchi di Heuvers.

- Materiale getto: ghisa GJL 200
- Temperatura di colata: 1578,15 K
- Materiale dello stampo: sabbia verde
- Temperatura iniziale dello stampo: 293,15 K
- Spessore minimo impostato: 8 mm



Calcolo del nuovo modulo M6



M6 = 3,93 mm > di tutti

MATEROZZA

2 materozze

2 punti caldi simmetrici

Raffreddatori + 1 materozza

(aumento volume complessivo/maggiore consumo materiali/possibile difficoltà di collocamento/rimozione)

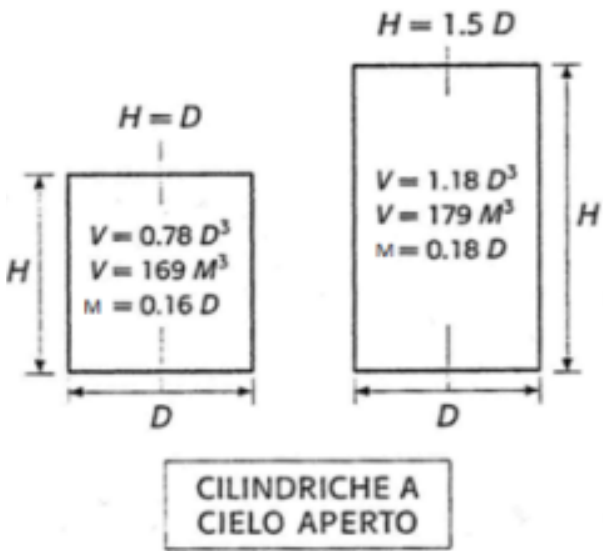
(riduce complessità costruttiva e quantità di materiale necessario)

Dimensionamento materozze

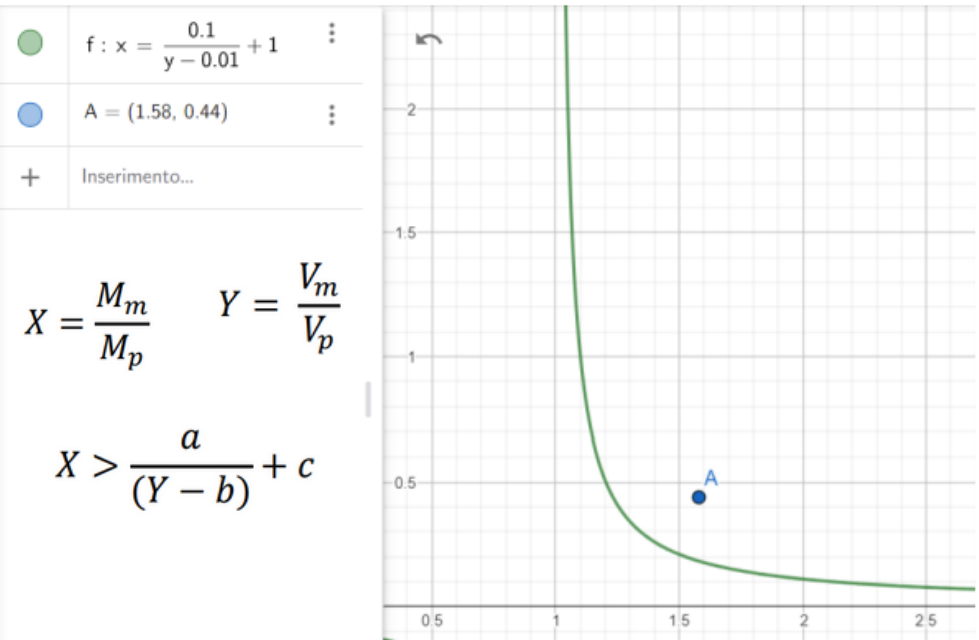
materozza cilindrica a cielo aperto

$H = D \longrightarrow D2 = 30\text{mm}$ per entrambe

$H = 1,5D$



Valori di b	
MATERIALE	b%
Acciai non legati	7
Acciai legati	10
Ghisa bianca	6
Ghisa grigia	
$C_{eq} = 3,5\%$	2-3
$C_{eq} = 4,1\%$	1-2
$C_{eq} > 4,1\%$	1-0.4



- 1) Calcolo M_m ($M_m > 1,2 M_{max}$) $\rightarrow M_{m0} = 3,4 \text{ mm}$
- 2) Trovo $D = 18,9 \text{ mm}$ $\rightarrow$ approssimo a 20 mm $\rightarrow M_m = 3,6 \text{ mm}$
- 3) Trovo $V_m = 9440 \text{ mm}^3$
- 4) Trovo b effettivo = 1% ($C_{eq} > 4,3$) da tabella
- 5) Calcolo $V_{max} = V_m \cdot ((14 - b)/b) = 122720 \text{ mm}^2$
- 6) $V_{max} > V_{getto}$ ($122720 > 99248,37$) $\rightarrow$ il volume massimo alimentabile è sufficiente
- 7) Verifica 1 con Caine $\rightarrow 1,26 > 1,45 \rightarrow$ non soddisfatta
- 8) Ingrandimento $D = 25 \text{ mm}$
- 9) Verifica 2 con Caine $\rightarrow$ soddisfatto



Dimensionamento raffreddatori

Dimensionamento 1

1) Materiale: rame

2) $V = 1,5 \text{ cm}^3$

3) Tin raff = 400°C

4) Tcolata = $1578,15 \text{ K}$

5) Posizione: attaccati al getto

$$V_{chill} = 1,66 \cdot V_{oc} \cdot \frac{M_{oc} - M_{req}}{M_{oc}}$$

Risultato: raffreddamento eccessivamente rapido/prematuro

Dimensionamento 2

1) Materiale: acciaio

2) $V = 1,01 \text{ cm}^3$

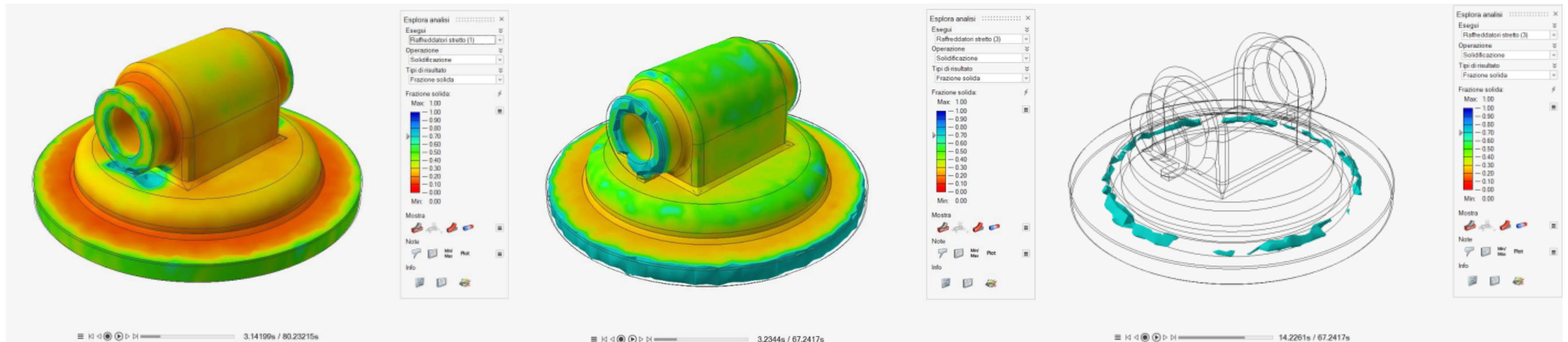
3) Tin = 600°C

4) Tcolata = $1478,15 \text{ K}$

5) Posizione: allontanati di 0,5 mm dal pezzo

$$V_{chill} = 1,01 \cdot V_{oc} \cdot \frac{M_{oc} - M_{req}}{M_{oc}}$$

Conclusione: $M4 > M2 > M6 > M3 > M1 > M5$



Dimensionamento collare di attacco

- $d = 0,66D = 16,5 \text{ mm}$
- $L = 0,18D = 4,5 \text{ mm}$

Dimensionamento sistema di colata

Sistema pressurizzato

- 1) Tempo di colata: $T = 3,2 \sqrt{G} = 2,97 \text{ s}$ (con $G = \rho \cdot V$)
- 2) Sezione complessiva attacchi di colata: $S = K/(\nu \cdot \rho) = 30,28 \text{ mm}^2$ (con $K = G/T$)
- 3) Proporzioni sistema: $1 : 0,75 : 0,5$ (C. colata : C. distribuzione : C. attacchi)



Canali di attacco: Sac singolo = **15,14 mm²** ($b = h = 5,5 \text{ mm}$)



Canale di colata: $S_{cc} = 30,28 \times 2 = \mathbf{60,56 \text{ mm}^2}$ ($d = 8,8 \text{ mm}$)



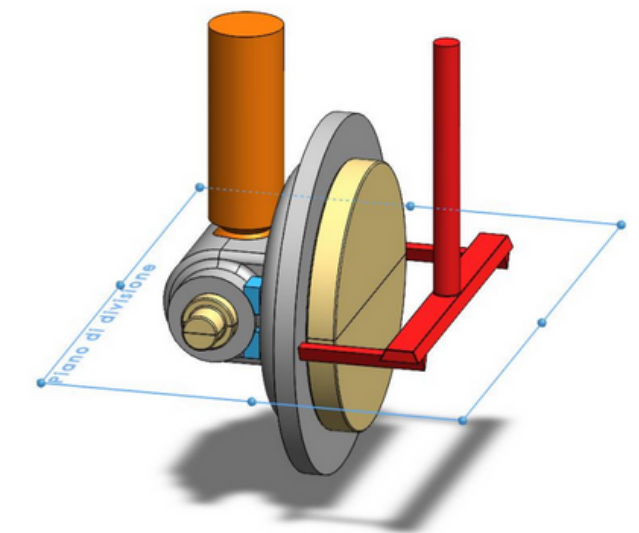
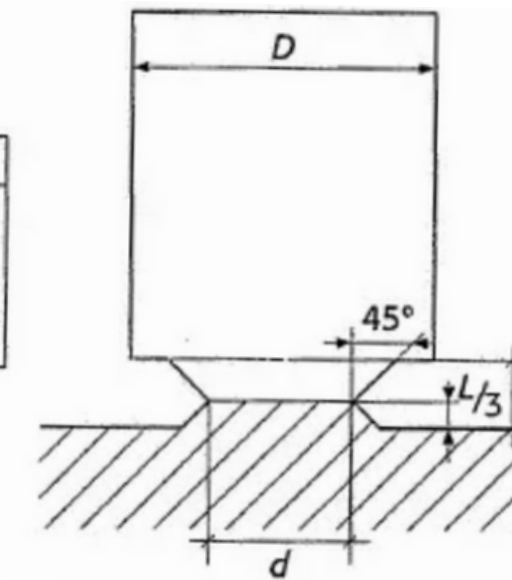
Canale di distribuzione: $S_{cd} = 0,75 S_{cc} = \mathbf{45,42 \text{ mm}^2}$ ($B = 13,2 \text{ mm}$, $b = 9,5 \text{ mm}$, $h = 4 \text{ mm}$)

Dimensione finale materozza

- $D = 25 \text{ mm}$
- $H = 67,5 \text{ mm}$ → valore superiore al rapporto $H = 1,5D$ calcolato → aumentato per arrivare a pelo dello stampo

b) Materozze a cielo aperto

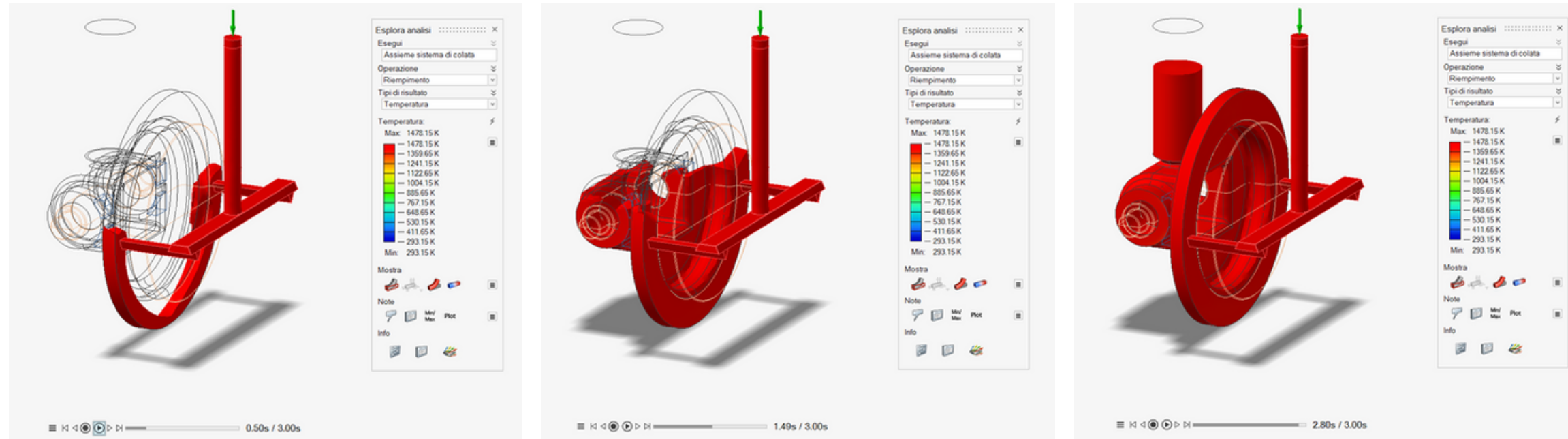
Materiale	d	L
Acciaio	$0,40 D$	$0,14-0,18 D$
Ghisa	$0,66 D$	$0,14-0,18 D$
Leghe di rame	$0,66 D$	$0,25 D$
Leghe leggere	$0,75 D$	$0,18 D$



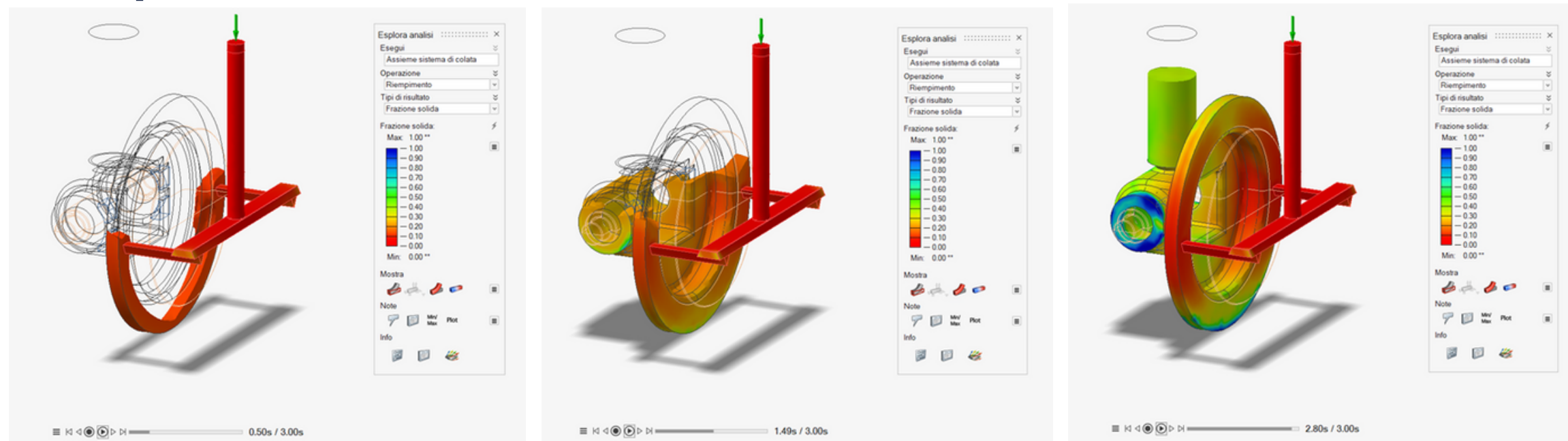
Simulazioni Inspirecast

Sono state eseguite le simulazioni di riempimento, solidificazione, porosità e volume di ritiro per validare il sistema di alimentazione. Vengono successivamente riportati i seguenti risultati:

Temperatura

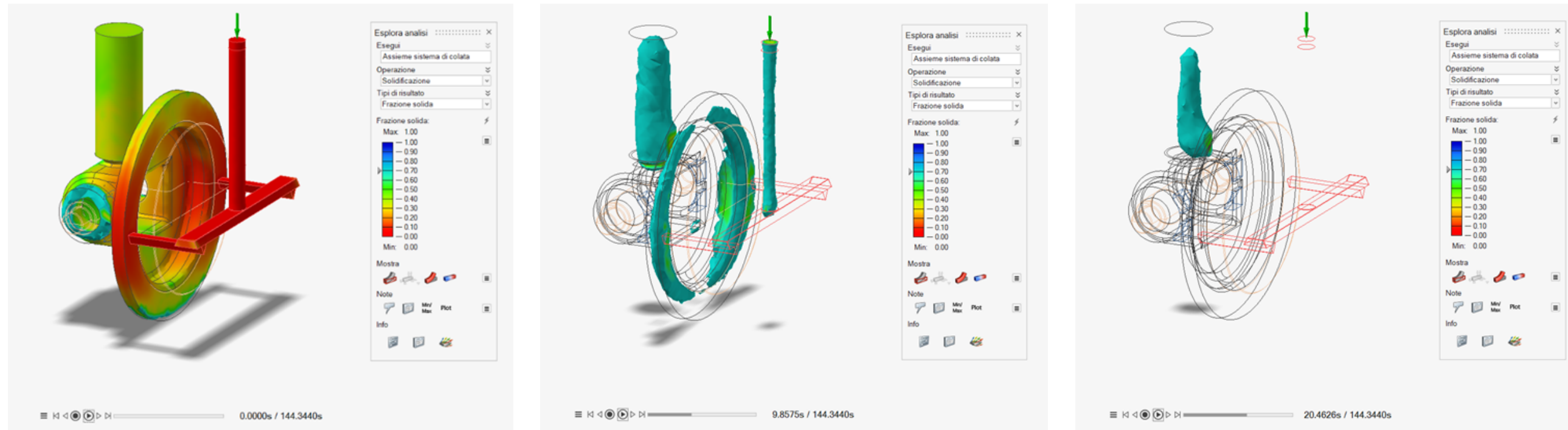


Riempimento - frazione solida



- I due cilindri laterali e il disco maggiore solidificano subito dopo il riempimento ma ciò non ostacola la colata.

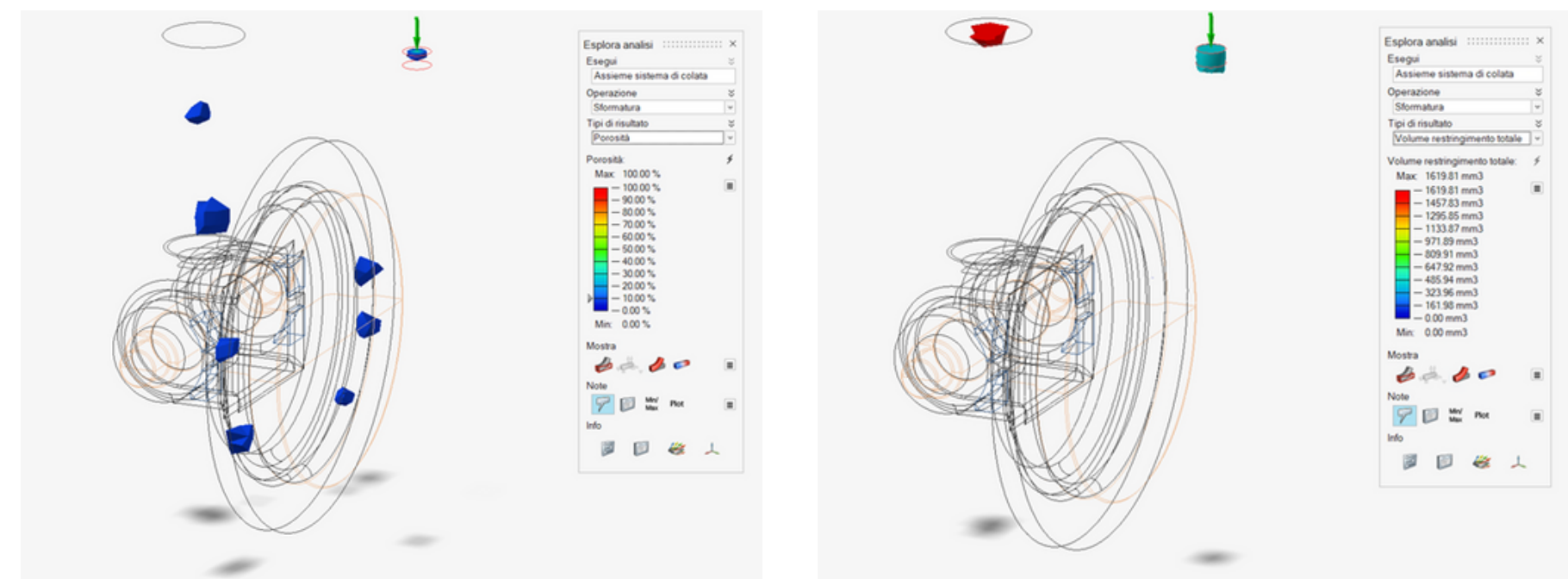
Solidificazione - frazione solida



- La solidificazione procede in maniera attesa, l'ultimo componente a solidificarsi è la materozza.

Porosità e Volume di restringimento

- Le porosità principali sono localizzate nella materozza.
- Porosità secondarie (<10%) nel disco maggiore, ma con volume limitato.
- L'unica cavità di ritiro significativa è nella materozza.



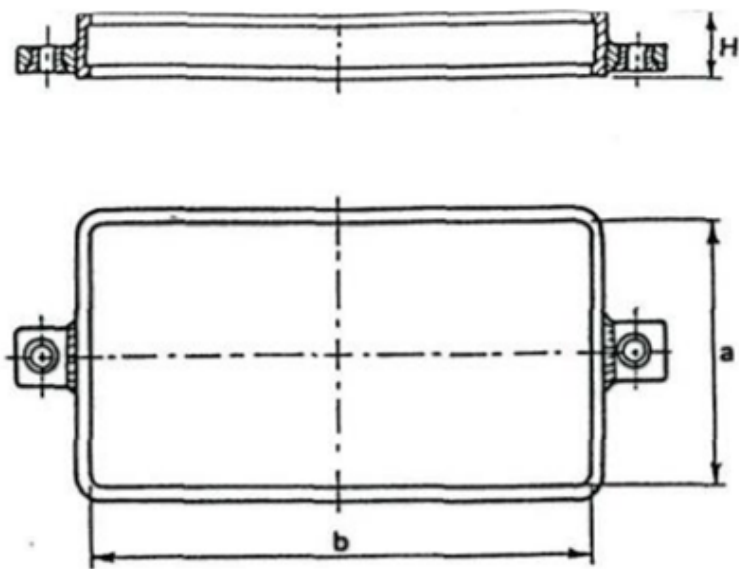
Staffe, spinte metallostatiche e placche modello

Successivamente sono state dimensionate le staffe, valutate le spinte metallostatiche e progettate le placche modello.

Staffe

Serie rettangolare con rapporto b/a = 1,26

a	b	K									
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
560	710	--	--	--	100	125	160	200	250	300	355
630	800	--	--	--	100	125	160	200	250	300	355
710	900	--	--	--	--	125	160	200	250	300	355
800	1000	--	--	--	--	125	160	200	250	300	355
900	1100	--	--	--	--	--	160	200	250	300	355
1000	1300	--	--	--	--	--	--	200	250	300	355
1100	1400	--	--	--	--	--	--	200	250	300	355
1200	1500	--	--	--	--	--	--	--	250	300	355
1300	1600	--	--	--	--	--	--	--	250	300	355
1400	1700	--	--	--	--	--	--	--	--	300	355
1500	1800	--	--	--	--	--	--	--	--	300	355



- Margine preventivo tra staffa e getto ≥ 30 mm.
- Inferiore: $250 \times 315 \times 100$ mm
- Superiore: $250 \times 315 \times 125$ mm
- Leggero sovradimensionamento per colate future

Spinte metallostatiche

- Calcolate le forze sulle superfici piane $[F_p]$
- Calcolate le forze sulle superfici cilindriche $[F_c]$
- Calcolata la spinta di Archimede dell'anima $[F_a]$
- Ottenuta una spinta totale di ≈ 106 N
- Calcolata la forza peso della staffa $[F_s]$ pari a ≈ 143 N
- Dal confronto emerge che non servono pesi aggiuntivi

$\rightarrow [F_p = S \cdot h \cdot \rho \cdot g]$

$\rightarrow [F_c = D \cdot \delta \cdot L \cdot (H - (\pi D)/8)]$ con $\delta = \rho \cdot g$

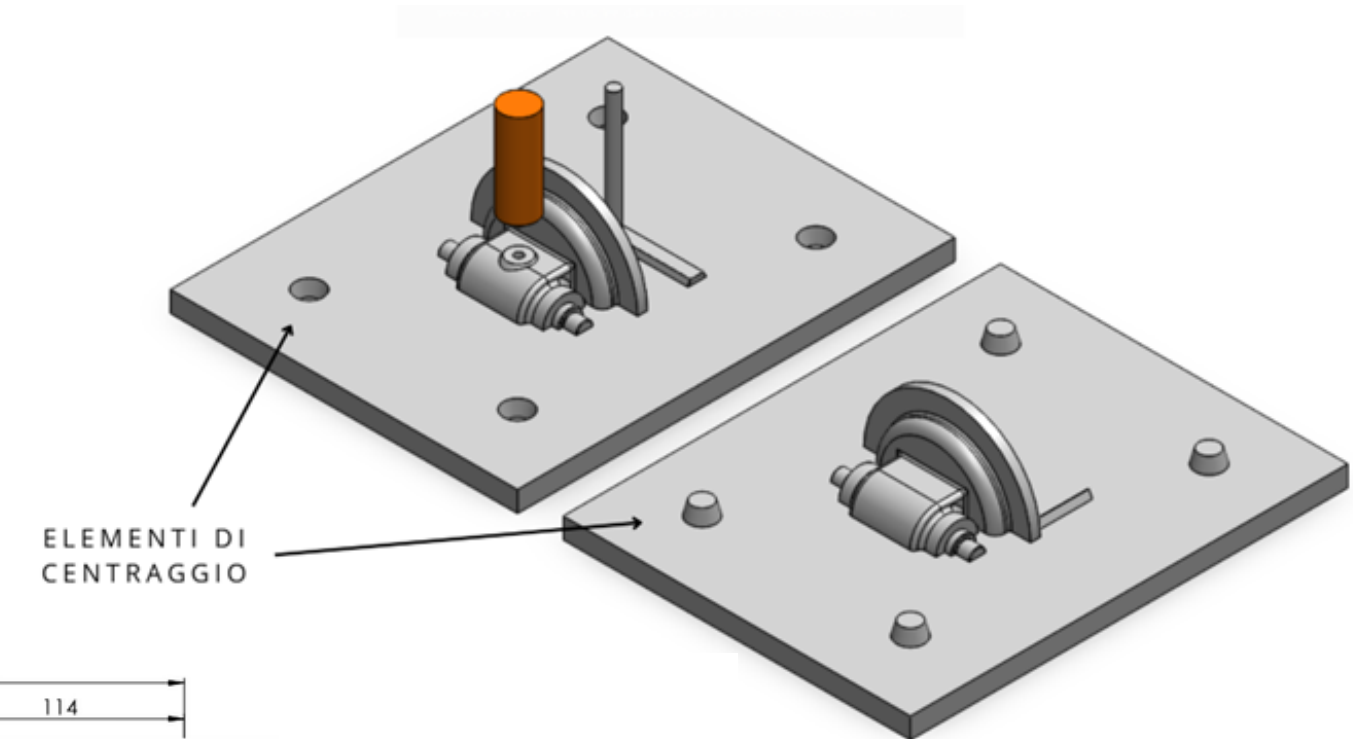
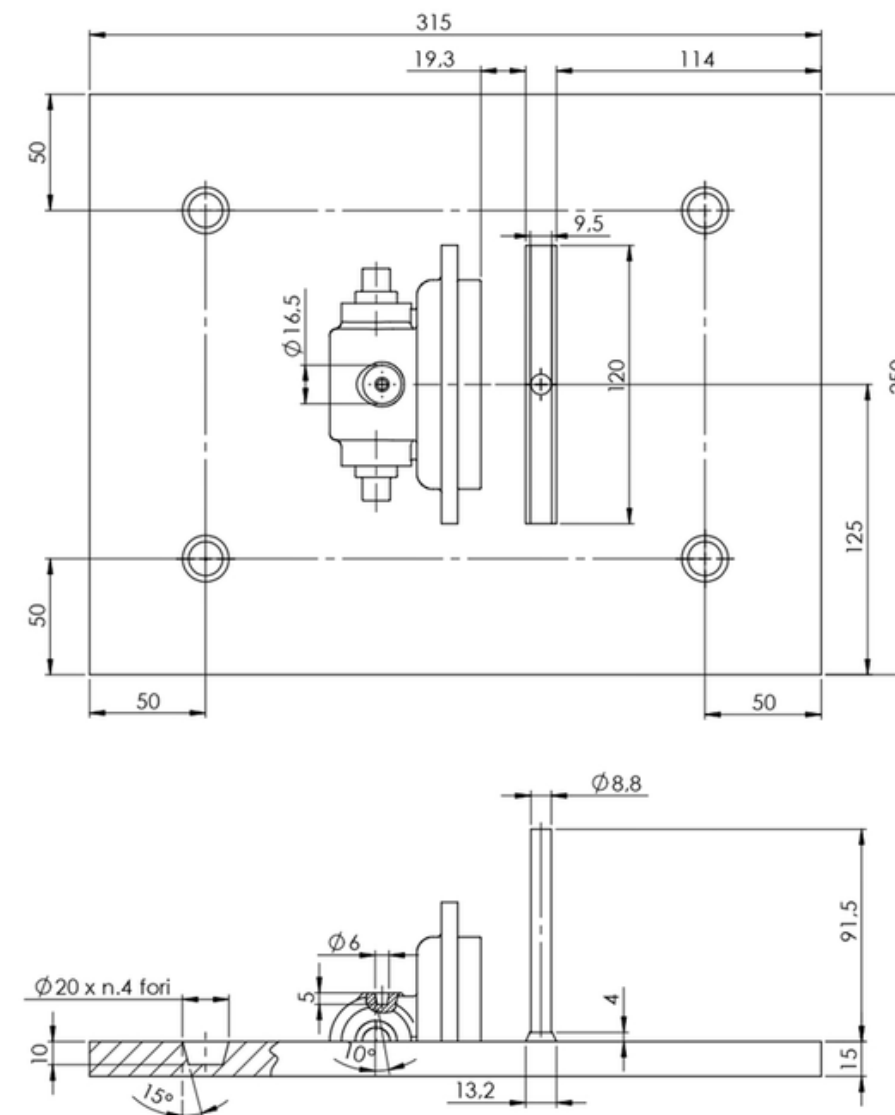
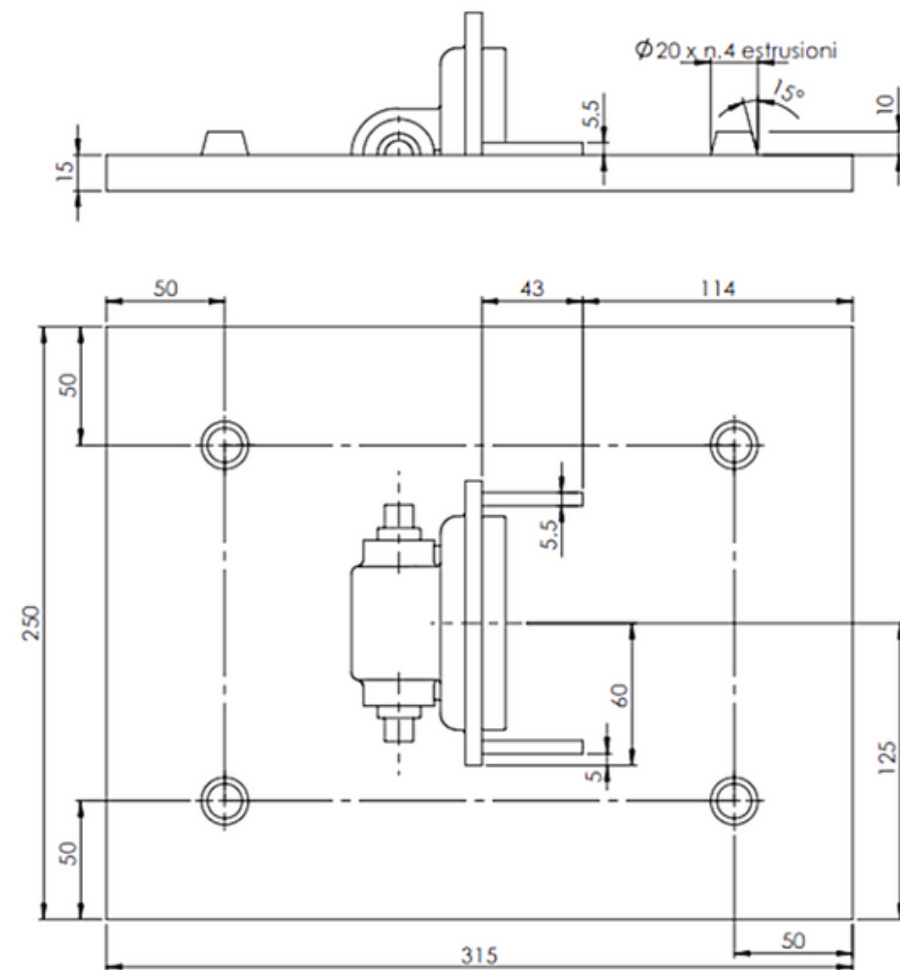
$\rightarrow [F_a = V \cdot \delta - V_t \cdot \delta_a]$

$\rightarrow [F_s = V_{sabbia} \cdot \delta_s]$

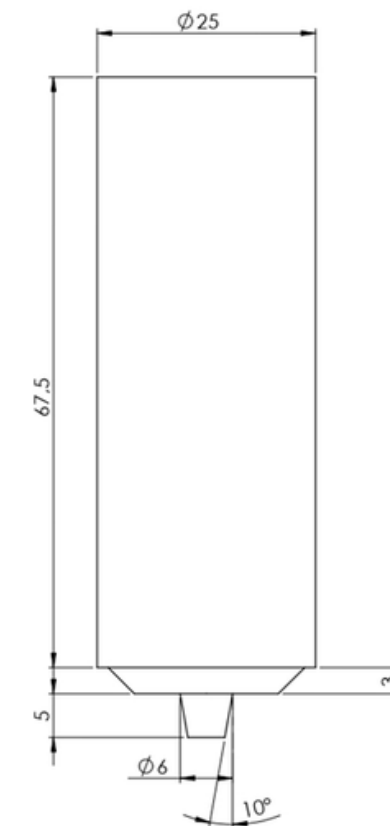


Placche modello

- Realizzate in resina poliuretanica (resistente, stabile, riutilizzabile)
- Materozza progettata con incastro removibile per facilitare sformatura e manutenzione



Sformi non quotati 1°
Raccordi non quotati R0,5



Tempi e costi

Per soddisfare la richiesta di 2000 pezzi l'anno, è necessario fondere circa 1720 kg di ghisa. L'attività viene distribuita su 250 giorni lavorativi, con una produzione giornaliera di 8 pezzi (circa 7 kg di ghisa), realizzati da due operatori in un turno da 8 ore, organizzato in due cicli di colata da 4 pezzi ciascuno.

Tempi di lavorazione

- Fusione 7 kg ghisa: 30 min (in parallelo ad altre operazioni)
- Preparazione stampo (modellazione, sabbia, anima, assemblaggio): 22 min/pezzo
- Raffreddamento e solidificazione: 60 min (in parte sovrapposto ad altre operazioni)
- Sformatura e pulizia: 40 min/pezzo

Tempi totali

- 1° ciclo (produzione di 4 pezzi): ~4h
- 2° ciclo (produzione di 4 pezzi): ~2h 30min
- Otto pezzi vengono prodotti in 6h 30min
- Un pezzo viene prodotto in **49 min**

Costi principali

- Ghisa G200: 3.440 € ($2 \text{ €/kg} \times 1720 \text{ kg}$)
- Sabbia e anime: 8.000 €
- Energia (forno + ausiliari): ~400 €
- Manodopera: ~26.500 €
- Totale stimato: ~38.444 € ($\approx$ **19,20 €/pezzo**)

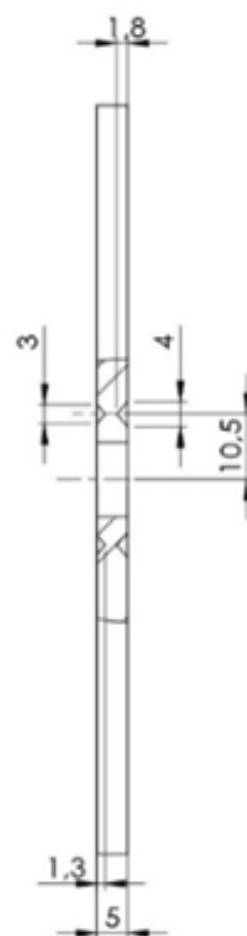
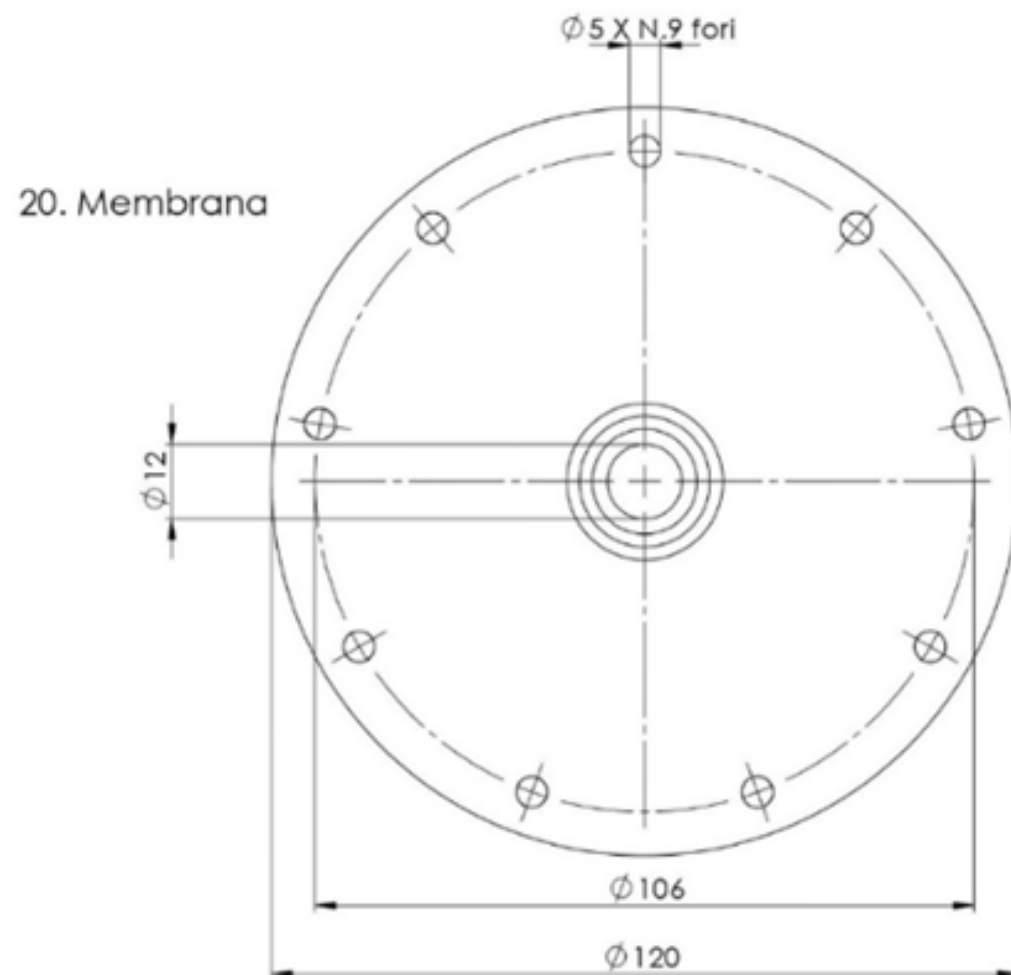


4. STAMPA 3D

Scelta del processo, materiale e macchina

Per la realizzazione del componente n.20 (membrana) è stato scelto il processo di FDM (Fused Deposition Modeling) che consiste nell'estrusione di filamento termoplastico strato su strato.

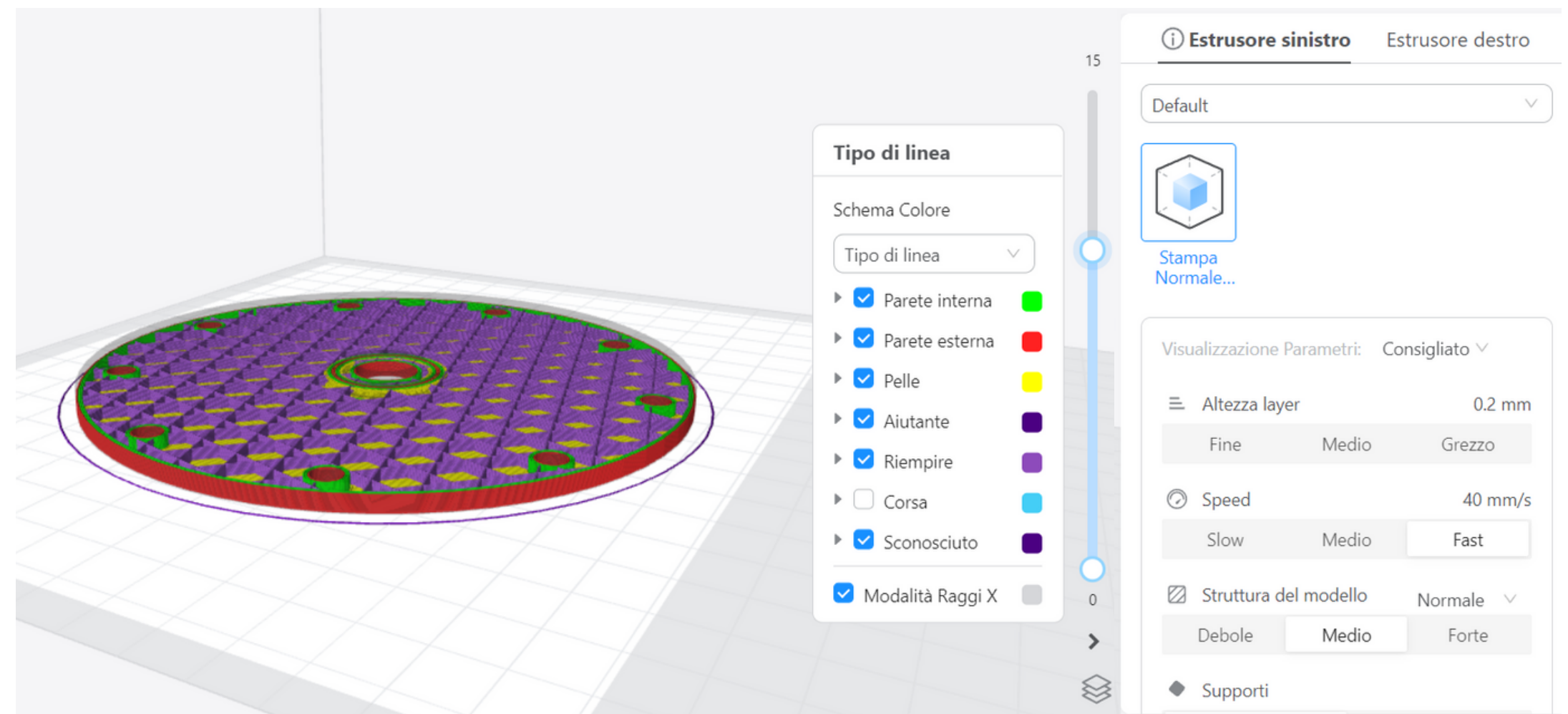
- Materiale: TPU (Shore 85–88 A), elastico, resistente ad acqua e oli, adatto a sollecitazioni cicliche
- Macchina: Snapmaker J1s High Speed IDEX
- Volume stampa: 300 × 200 × 200 mm
- Ugelli 0,4 mm, parametri regolabili
- Adatta per TPU e componenti funzionali
- Prezzo: 1.028,30 €



Parametri di stampa

Scelta dei parametri

- Modalità Copy (2 pezzi stampati simultaneamente)
- Temperatura di estrusione 225 °C
- Piano preriscaldato a 50 °C
- Controllo della retrazione disattivato per evitare stringing
- Velocità: 40 mm/s
- Software: Snapmaker Luban 4.15.0



Tempi e costi

Tempi

- Dal software 1 membrana viene realizzata in **4 h 54 min**
- Lotto 2 pezzi: 4 h 54 min
- Totale 2000 pezzi: 4900 h
- Con 4 stampanti → 1225 h totali
- Operatore attivo: 39 min/ciclo × 250 cicli = 162,5 h (~20 gg lavorativi)

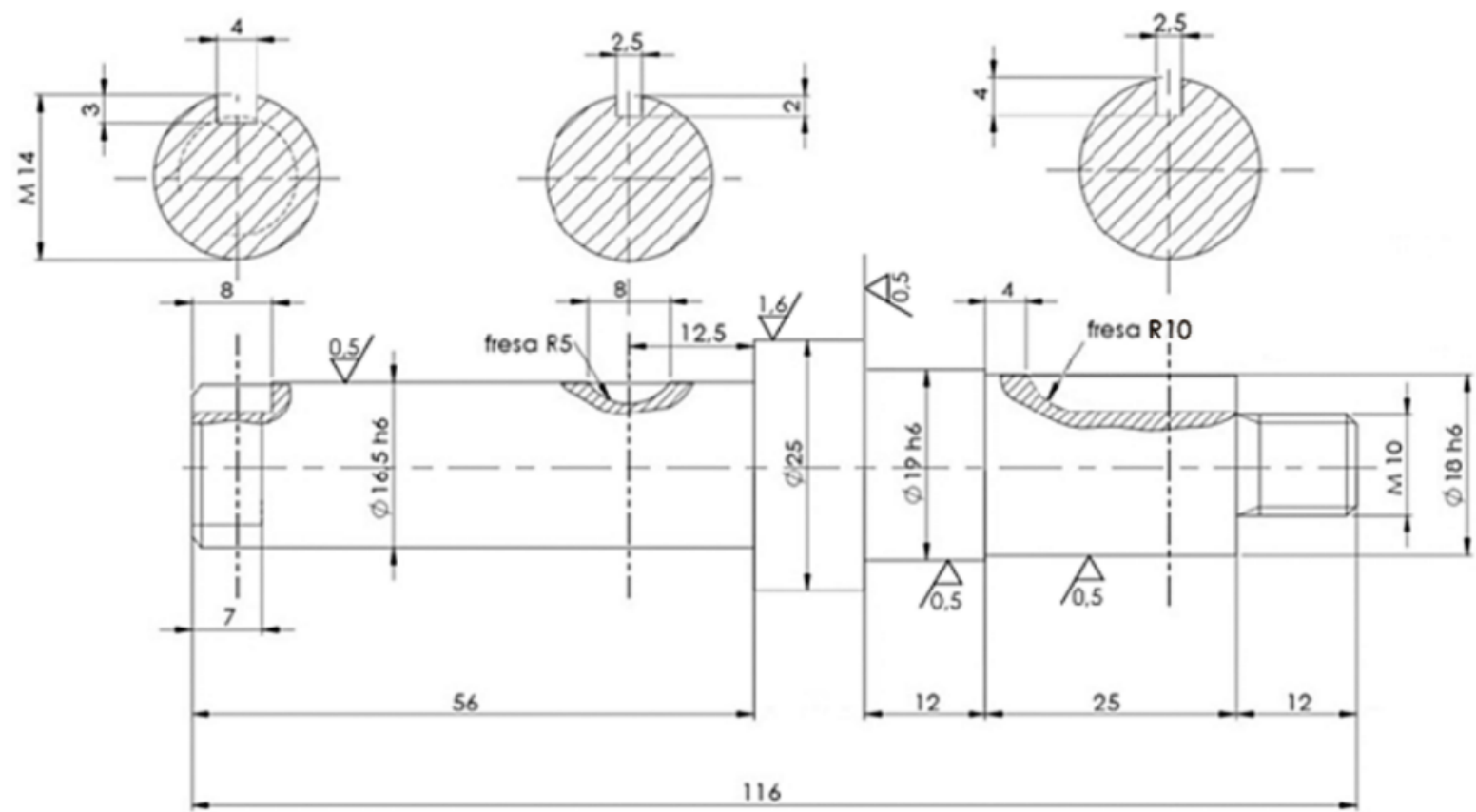
Nota: Tempi attivi della manodopera prudenziali.

Costi

- 4 stampanti: 4113 € (ammortizzato in 4 anni)
- Materiale TPU: 4040 € (2,02 €/pz)
- Manodopera: 2438 €
- Totale: 7.506,25 €
- Costo del singolo pezzo **3,75€**



5. ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO



Smussi non quotati 1x45°

Tolleranza con cuscinetto a sfere (3) h6/H7
Tolleranza con cuscinetto a rulli (4) h6/H7
Tolleranza con distanziale (7, 12) e eccentrico (9) h6/G6
Tolleranza con distanziale (17) h6/H7

Rugosità non indicate $\sqrt{3.2}$

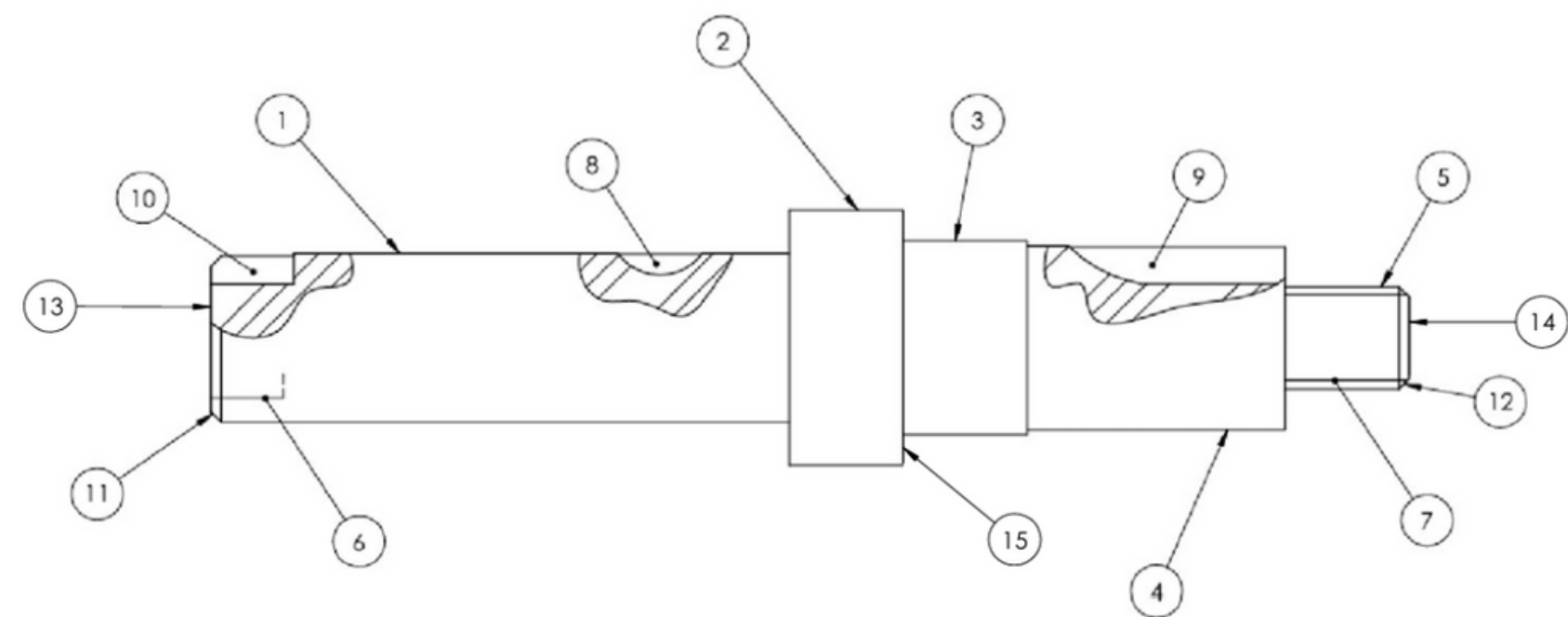
Materiale

Trafilato a profilo tondo ($\varnothing 26$ mm x L936 mm) in acciaio C45 (no C60) fornito da Bettinelli Acciai.

CARATTERISTICHE MECCANICHE						
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	



Suddivisione delle superfici e scelta del processo



Suddivisione delle superfici		
N. Superficie	Tipologia di superficie	Processo
1, 2, 3, 4, 5	Cilindriche esterne coassiali	Tornitura seguita da rettifica (se necessario)
6, 7	Filettata cilindrica esterna coassiale a 1, 2, 3, 4, 5	Tornitura (filettatura)
11, 12	Smusso esterno	Tornitura (smusso)
13, 14, 15	Piana ortogonale all'asse delle 1, 2, 3, 4, 5	Tornitura
8, 9, 10	Cave e alloggiamenti per linguette	Fresatura



Fasi di lavorazione

Ciclo di lavorazione			
Fase	Sottofase	Operazione	Macchina
10		Taglio barra	Sega a nastro
20	A	◆ Sfacciatura sup.13	Tornio Parallelo
		◆ Sfacciatura sup.14	
	B	Centraggio	
		◆ Sgrossatura sup.2	
		◆ Sgrossatura sup.1	
		◆ Filettatura sup.6	
	C	◆ Smussatura sup.11	
		◆ Sgrossatura sup.3	
		◆ Sgrossatura sup.4	
30	A	Realizzazione sup.10	Fresatrice Universale
	B	Realizzazione sup.8	
	C	Realizzazione sup.9	

◆ Sgrossatura sup.5

◆ Finitura sup.3

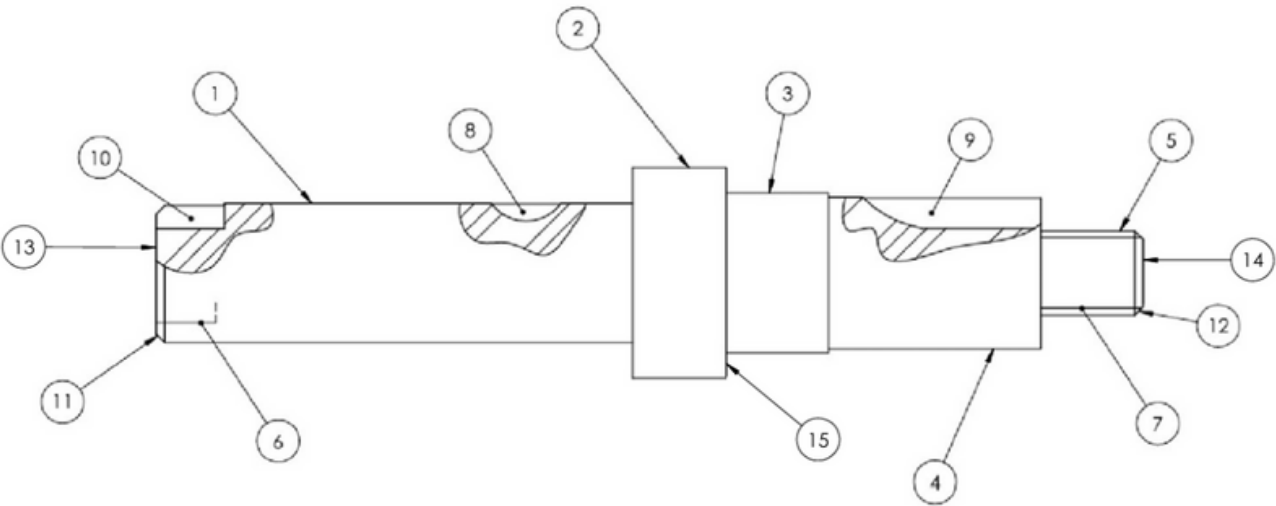
◆ Finitura sup.4

◆ Filettatura sup.7

◆ Smussatura sup.12

◆ Finitura sup.15

◆ Rettifica sup.1



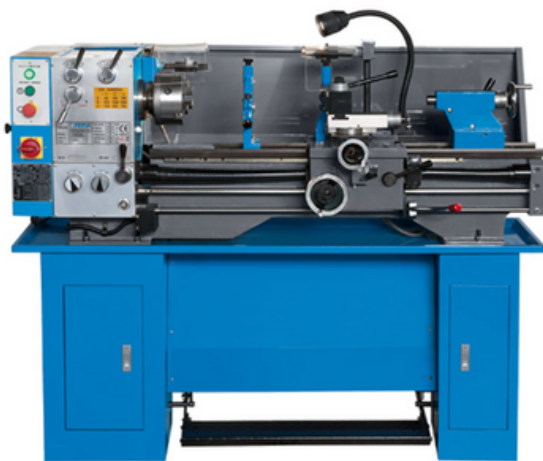


Segatrice a nastro

- Segatrice a nastro Metallkraft MBS 105
- Una scelta migliore sarebbe stata ad esempio una sega a nastro più consona alla scala industriale e con potenze maggiori, dell’ordine di 1,5-2 Kw per evitare usura rapida del macchinario.

Dati tecnici della sega a nastro

Potenza motore	1,01 kW
Tensione del motore	230 V / 50 Hz
Velocità nastro	30 - 80 m/min
Dimensioni del nastro	1335 x 13 x 0,65 mm
Dimensioni macchina	630 x 300 x 410 mm
Prezzo di listino	674,29 €



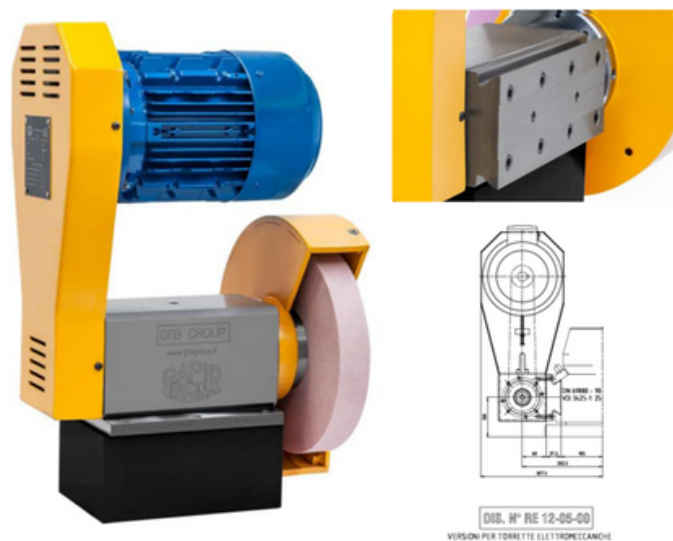
Tornio

- Tornio parallelo Fervi T940
- DRO a 3 assi (±0,01 mm)
- Mandrino autocentrante 3+3 Ø 160 mm
- Contropunta fissa CM 3
- Torretta a cambio rapido TOAE

Dati tecnici del Tornio T940

Altezza punte	150 mm
Diametro max sul banco	300 mm
Diametro max sul carro	173 mm
Passaggio barra	38 mm
Distanza tra le punte	940 mm
Altezza utensile	16 mm
Velocità del mandrino (autocentrante 3+3)	64 - 1500 rpm
Numero di velocità del mandrino	9
Filettature metriche	0,5 - 3,5 mm
Potenza motore	1,5 kW
Alimentazione	230 V
Dimensioni	600 x 1600 x 1270 mm
Prezzo di listino	8459,99 €





Rettificatrice

- Modulo RAPID HP2
- Fissaggio alla torretta con cambio T0AE
- Peso di 25 kg

Dati tecnici della rettificatrice

Potenza motore	1,5 kW
Alimentazione	400 V 50 Hz
Velocità di taglio	30 m/s
Flangia porta mola (ø interno)	50 mm
Flangia porta mola (ø esterno)	100 mm
Mola per esterni	254 x 40 x 50 mm
Ingombri della macchina	377 x 307,5 x 508,66 mm
Prezzo di listino	800 €



Fresatrice

- Fresatrice a colonna HBM BF 60
- DRO (ISO 40)
- Avanzamento automatico della tavola
- Impianto di raffreddamento completo
- Serraggio con morsa HBM Tipo 10

Dati tecnici della fresatrice

Potenza motore orizzontale	0,85 – 1,5 kW
Alimentazione	400 V
Gamma di velocità (8 passi)	115 – 1.750 giri/minuto
Corsa del mandrino	125 mm
Attacco del mandrino	ISO 40
Distanza massima mandrino dalla tavola	375 mm
Distanza mandrino dalla colonna	210 - 550 mm
Capacità massima di fresatura in acciaio	40 mm
Capacità massima di foratura in acciaio	35 mm
Spostamento laterale massimo	175 mm
Spostamento longitudinale massimo	560 mm
Ingombri della macchina	1300 x 1400 x 2100 mm
Prezzo di listino	6249,98 €

Utensili

Sgrossature, finiture e smussi

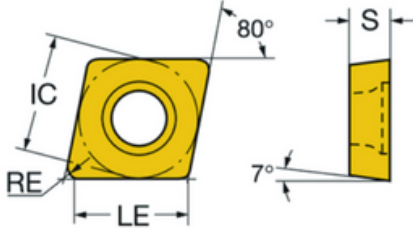
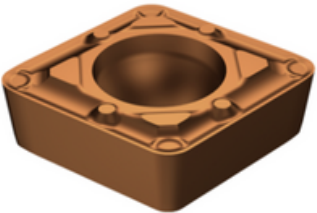
Sgrossature leggere, finiture e smussi

- CCMT 06 02 04-WF in carburo cementato
- SCLCR 1616H09 (portautensile)

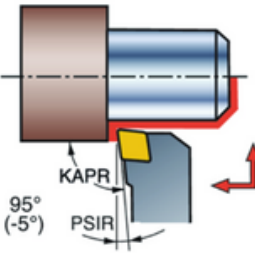
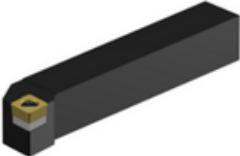
Sgrossature pesanti

- CNMG 120408-MM in carburo cementato
- PCLNR 1616H12-M (portautensile)

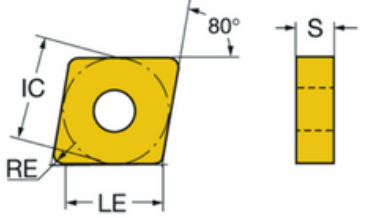
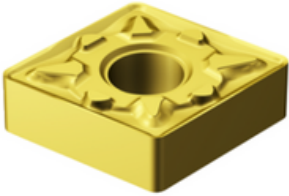




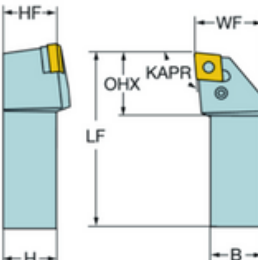
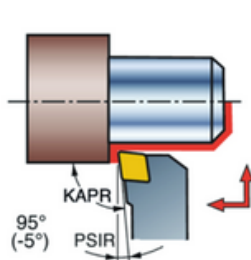
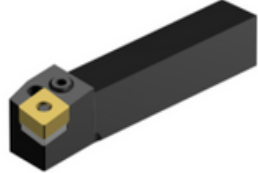
Livello 1 di classificazione del materiale	M
Profondità di passata a_p	0.8 mm (0.3 - 2)
Avanzamento f_z	0.12 mm/giro (0.05 - 0.3)
Avanzamento massimo consigliato h_{max}	0.12 mm/giro (0.05 - 0.3)
Velocità di taglio V_c	200 m/min (200 - 125)
Forma dell'inserto	Rhombic 80
Raggio di punta (RE)	0,3969 mm
Lunghezza effettiva del tagliente (LE)	6,048 mm
Diametro del cerchio inscritto (IC)	6,35 mm
Spessore dell'inserto (S)	2,3813 mm
Angolo di spoglia inferiore principale (AN)	7°



Angolo del tagliente dell'utensile (KAPR)	95 °
Angolo di attacco dell'utensile (PSIR)	-5 °
Sporgenza massima (OHX)	16,8 mm
Altezza dello stelo(H)	16 mm
Altezza funzionale (HF)	16 mm
Larghezza dello stelo(B)	16 mm
Lunghezza funzionale (LF)	100 mm
Larghezza funzionale (WF)	20 mm
Angolo di spoglia superiore ortogonale (GAMO)	0 °
Angolo di inclinazione (LAMS)	0 °



Livello 1 di classificazione del materiale	M
Profondità di passata a_p	3 mm (0.5 - 5.7)
Avanzamento f_z	0.25 mm/giro (0.1 - 0.45)
Avanzamento massimo consigliato h_{max}	0.25 mm/giro (0.1 - 0.45)
Velocità di taglio V_c	180 m/min (235 - 135)
Forma dell'inserto	Rhombic 80
Raggio di punta (RE)	0,7938 mm
Lunghezza effettiva del tagliente (LE)	12,0959 mm
Diametro del cerchio inscritto (IC)	12,7 mm
Spessore dell'inserto (S)	4,7625 mm



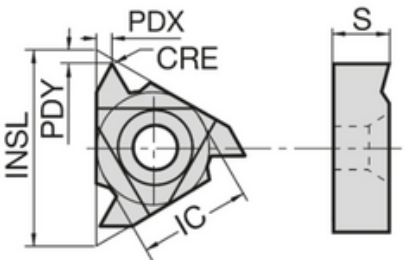
Angolo del tagliente dell'utensile (KAPR)	95 °
Angolo di attacco dell'utensile (PSIR)	-5 °
Sporgenza massima (OHX)	27,2 mm
Altezza dello stelo(H)	16 mm
Altezza funzionale (HF)	16 mm
Larghezza dello stelo(B)	16 mm
Lunghezza funzionale (LF)	100 mm
Larghezza funzionale (WF)	20 mm
Angolo di spoglia superiore ortogonale (GAMO)	-6 °
Angolo di inclinazione (LAMS)	-6 °

Filettature esterne

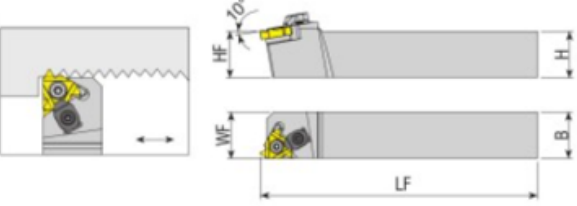
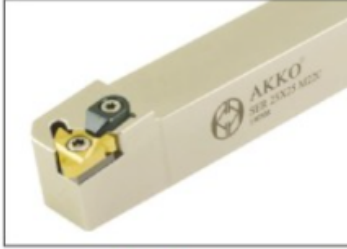
- 11ER A60 BCU20T in carburo rivestito
- SER 1616 H11 (portautensile)

Rettifica

- Mola Norton 32A46IVS
- Grana abrasiva in ossido di alluminio



Livello 1 di classificazione del materiale	P
Profondità di passata a _p	0.1 - 0.2 mm
Velocità di taglio V _c	50 - 70 m/min
Avanzamento massimo consigliato h _m	0.05 – 0.2 mm/giro
Avanzamento f	passo del filetto
Forma dell'inserto	ERA
Raggio di punta (RE)	0.05 mm
Lunghezza effettiva del tagliente (INSL)	11 mm
Diametro del cerchio inscritto (IC)	6.35 mm
Spessore dell'inserto (S)	3 mm
Angolo di profilo (PNA)	60°
Prezzo di listino (10pz)	17,30 €



Angolo del tagliente dell'utensile	60°
Angolo di attacco dell'utensile (PSIR)	60°
Sporgenza massima (OHX)	48 mm
Altezza dello stelo (H)	16 mm
Altezza funzionale (HF)	16 mm
Larghezza dello stelo(B)	16 mm
Lunghezza funzionale (LF)	100 mm
Larghezza <u>funzionale</u> (WF)	16 mm
Angolo di spoglia superiore ortogonale (GAMO)	0° - 5°
Angolo di inclinazione (LAMS)	0° - 6°
Prezzo di listino	29,32 €



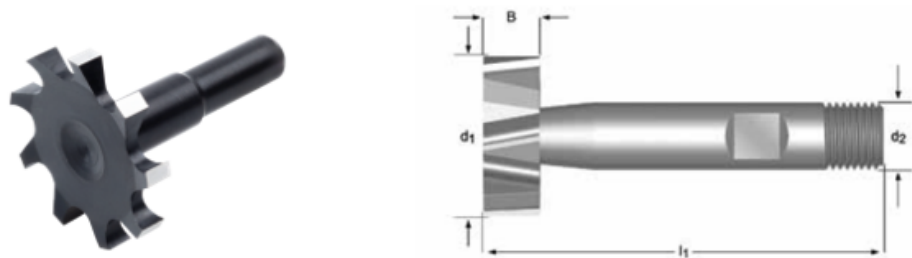
Diametro (mm) ↑↓	Foro (mm) ↑↓	Spessore (mm) ↑↓	Granulometria ↑↓	Max Velocità Operativa (m/s) ↑↓	Specifica ↑↓	Abrasivo ↑↓	Forma ↑↓	Part # ↑↓
250	76	32	46	35	32A46IVS	Ossido di alluminio	05 Mola con incavo cilindrico su un lato	69936639419
200	76	20	46	35	32A46IVS	Ossido di alluminio	01 Mola cilindrica	69936639554



Fresatura

Superficie 8:

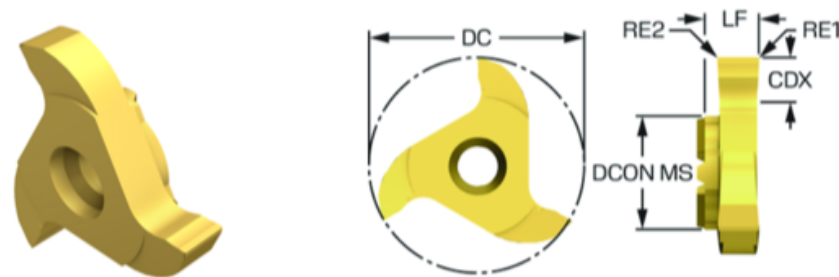
- fresa a disco Dormer per Woodruff Master 703
- pinza ER16 DIN 6499/B LTF con Ø6 mm e relativo mandrino



Diametro di taglio (d1)	10,5 mm
Spessore di taglio (B)	2,5 mm
Lunghezza totale utensile (l1)	50 mm
Diametro utensile lato macchina (d2)	6 mm
Angolo di tagliente	5° - 10°
Raggio di punta	5 mm
Numero di taglienti	8
Prezzo di listino	51,96 €

Superficie 9:

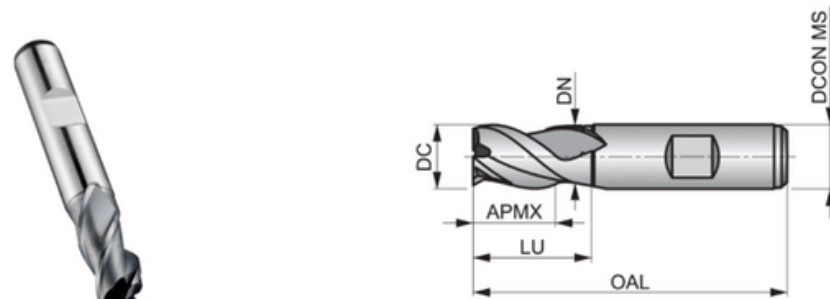
- testina 327R12-22 25002-GM 1025 con adattatore 327-16A24SC-12 (Sandvik Coromant)
- pinza pinza ER32 e relativo mandrino



Diametro di taglio (DC)	21,7 mm
Larghezza di taglio (CW)	2,5 mm
Profondità di taglio massima (CDX)	4,5 mm
Diametro utensile lato macchina (DCONMS)	12 mm
Angolo di tagliente	1,5°
Raggio di punta	0,2 mm
Numero di taglienti	3
Prezzo di listino	59,80 €

Superficie 10:

- fresa a candela Dormer C3674.0
- pinza ER32 e relativo mandrino



Diametro di taglio (DC)	4 mm
Profondità di taglio massima (APMX)	7 mm
Diametro del collo (DN)	4 mm
Lunghezza del collo (LU)	7,8 mm
Lunghezza totale utensile (OAL)	51 mm
Diametro di attacco (DCON MS)	6 mm
Angolo di tagliente	15°
Numero di taglienti periferici	3
Prezzo di listino	38,50 €



Strumenti di controllo

Calibro ventesimale

- Lunghezze, spessori e diametri generali.



Micrometro per esterni (0,001 mm, 0–25 mm)

- Controllo diametri in tolleranza h6 ($\varnothing 16,5$ – $\varnothing 18$ – $\varnothing 19$).



Micrometro per interni (2–6 mm)

- Misura precisa di profondità e larghezza delle cave.



Rugosimetro (Ra, Rz)

- Controllo finitura superficiale ($Ra \leq 0,013$ mm).



Anelli filettati (Passa/Non passa)

- Verifica corretta esecuzione filettature M14 e M10 secondo ISO.



Calcolo dei parametri di taglio per tornio e fresatrice

Per il calcolo dei principali parametri di taglio sono stati eseguiti i seguenti passaggi:

Tabella 3 • Velocità di taglio V_c (mm/min) consigliate per tipi di lavorazioni al tornio																		
Materiale da lavorare	Sgrossatura			Finitura			Sgrossatura e finitura			Troncatura			Filettatura				Foratura	
	R	RR	W	R	RR	W	R	W	R	W	R	R	R	R	R	RR		
R = acciaio rapido RR = acciaio superrapido W = placchetta di metallo duro (widia)																		
	R	RR	W	R	RR	W	R	W	R	W	R	R	R	R	R	R	RR	
Acciaio extra dolce	60	90	100	80	120	150	40	70	70	100	45	95	50	15	15	20	7	35
Acciai duri	35	50	95	45	70	120	25	40	50	95	50	70	30	9	8	18	6	31
Acciai extra duri	30	40	65	40	50	80	20	30	40	65	18	55	25	8	6	10	5	23
Acciai bonificati	20	25	60	30	35	70	15	18	35	60	15	50	20	7	5	8	4	20
Ghisa dolce	40	60	90	50	70	100	30	40	65	90	25	80	30	14	7	10	6	22
Ghisa dura	20	40	60	30	55	70	15	20	40	60	18	55	18	8	6	8	4	20
Rame - Bronzo	45	65	165	60	90	260	35	45	80	160	30	100	40	14	11	18	9	50
Ottone	100	200	220	200	300	350	75	100	100	220	55	200	80	20	15	20	10	85
Alluminio	200	300	400	300	500	600	150	200	300	400	150	300	150	30	24	30	15	175

	1	2	3
A	64	640	380
B	210	1500	1300
C	130	940	790

NUMERO DI PASSATE INDICATIVE PER FILETTATURE METRICHE ESTERNE E INTERNE															
PASSO mm.	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	1,75	2,0	1,5	1,25	1,0	0,75	0,5
Numero passate	16	16	14	14	14	12	12	10	8	8	6	6	5	4	4

Tornitura

- Determinazione velocità di taglio massima in base alla macchina (n_{max} e $\varnothing$ pezzo).
- Definizione parametri di lavorazione: profondità passata, avanzamento, numero passate.
- Scelta della velocità teorica (da tabella)
- Adattamento ai giri disponibili sul tornio.
- Calcolo sezione di truciolo, pressione di taglio, forza di taglio, potenza richiesta.
- Verifica compatibilità con la macchina (potenza disponibile e limiti giri).
- Inserimento dati nei fogli di ciclo e di fase.

Filettatura

- Avanzamento = passo filettatura
- Numero passate stabilito facendo affidamento ai valori in tabella (8 per M14, 5 per M10)
- Profondità decrescente per ridurre usura e vibrazioni



Rettifica

- Calcolo del rapporto di rettifica G (da letteratura: G = 30)
- Definita la velocità di taglio mola Vt = 30 m/s
- Da Vt ricavati i giri mola n ≈ 2865 giri/min
- Velocità di rotazione del pezzo np ≈ 48 giri/min
- Avanzamento f ≈ 0,36 mm/giro
- Profondità di passata ap = 0,01 mm ×4 + 0,005 mm ×2
- Infine, calcolo della potenza assorbita W = 0,17 kW

Operazione	Velocità rotazione pezzo	Avanzamento longitudinale	Avanzamento trasversale	Profondità di passata (mm)
Rettifica in tondo esterna	$\frac{1}{60}$ velocità periferica della mola	$\frac{2}{10} + \frac{2}{3}$ spessore mola / giro pezzo	/	0.02+0.06 sgross. 0.002+0.01 finit.
Rettifica in tondo interna	$\frac{1}{100}$ velocità periferica della mola	(idem)	/	0.01
Rettifica in piano tangenziale	/	8+20 m/min	$\frac{2}{10} + \frac{2}{3}$ spessore mola / corsa	0.05+0.2 sgross. 0.01+0.05 finit.
Rettifica in piano frontale	/	8+20 m/min	/	(idem)

Fresatura

In aggiunta ai parametri visti per il tornio sono stati calcolati anche:

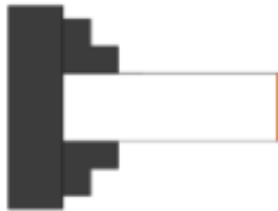
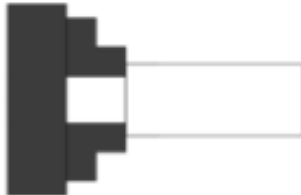
- Avanzamento tavolo vf, avanzamento per dente fz, avanzamento per giro a
- Velocità di avanzamento Va
- Profondità di passata p e sezione del truciolo (S = p · fz)
- Componente tangenziale della forza (T = Pt · z · S)
- Potenza richiesta (W = T · Vt / 60 000)

	L	H
BC	115	230
AC	290	580
BD	360	720
AD	875	1750



Fogli di ciclo e di fase

- Vengono presentati i fogli di ciclo e di fase con i principali parametri di taglio
- Una scelta di velocità inferiore a quelle presentate sarebbero state più adatte alla gestione del processo da parte dell'operatore
- Sono stati aggiunti i metodi di controllo alla fine di ogni sottofase

Università di Pisa Ingegneria per il Design Industriale			Ciclo di lavorazione elemento: Albero							
Materie prime			Materiale: C45 Dimensioni: Barra cilindrica trafilata di $\phi = 26\text{ mm}$				Parametri di taglio			Note
Fase	Sotto fase	Schizzo di lavorazione	Operazione		Utensile	Controllo	N° giri mandrino	N° passate	Avanzamento [mm/giro]	
			n°	Descrizione			Velocità di taglio [m/min]	Profondità di passata [mm]	Potenza di taglio [Kw]	
10					Sega a nastro	Calibro ventesimale, perpendicolarità			$W_t = 0,115$	7 tagli per 250 barre
20	A		1	-Montaggio del pezzo nel mandrino autocentrante facendolo sporgere il pezzo di 58,5 mm. -Sfacciatura sup. 13	CCMT 06 02 04-WF 1125 SCLCR 1616H09 (portautensile)	Calibro ventesimale (ortogonalità visiva), rugosimetro	$n = 790$	$n_p = 10$	$a = 0,1$	
							$V_t = 62,05$	$a_p = 1,25$	$W_t = 0,196$	
			2	-Giro il pezzo -Inserisco il pezzo nel mandrino facendolo sporgere di 60,5 mm. -Sfacciatura sup. 14	CCMT 06 02 04-WF 1125 SCLCR 1616H09 (portautensile)	Calibro (lunghezza totale), rugosimetro	$n = 940$	$n_p = 4$	$a = 0,1$	
							$V_t = 29,53$	$a_p = 1,25$	$W_t = 0,097$	
	B		1	-Tolgo il pezzo dal mandrino -Centraggio del pezzo tra punta e contropunta. -Sgrossatura sup. 2	CCMT 06 02 04-WF 1125 SCLCR 1616H09 (portautensile)	Concentricità, calibro ventesimale, rugosimetro	$n = 940$	$n_p = 1$	$a = 0,07$	
							$V_t = 76,78$	$a_p = 0,5$	$W_t = 0,087$	



Fogli di ciclo e di fase

Parametri tornitura:

Velocità di taglio e n. giri

$$V_t = \frac{\pi \cdot D_i \cdot n}{1000}$$

Avanzamento

$$a = \sqrt{(R \cdot 8 \cdot RE)}$$

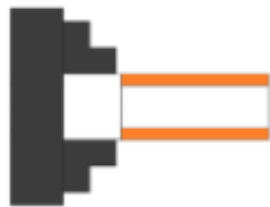
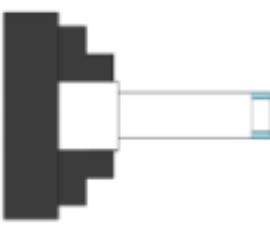
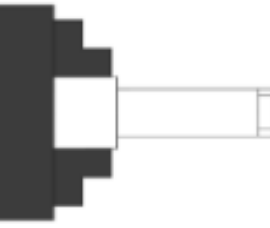
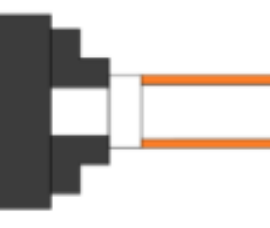
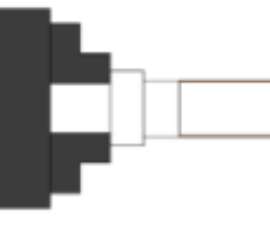
(con R= rugosità, RE = raggio di punta)

Potenza di taglio

$$W_t = \frac{F_t \cdot V_t}{60000}$$

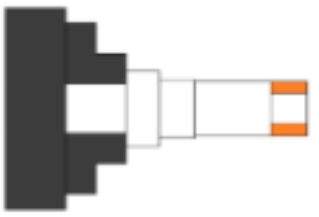
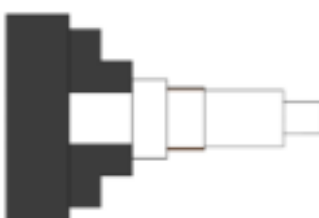
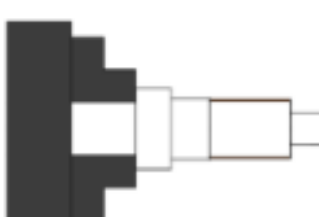
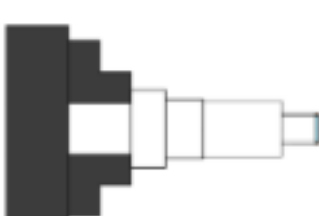
dove:

Forza di taglio	$F_t = P_t \cdot S$
Pressione di taglio	$P_t = P_s \cdot S^{-(1/n)}$
Sezione di truciolo	$S = a \cdot a_p$
Press. di t. specifica	$P_s = 2,4 \cdot Rm^{0,454} \cdot \beta^{0,666}$

			2	-Cambio utensile -Sgrossatura sup. 1	CNMG 120408-MM PCLNR 1616H12-M (portautensile)	Calibro ventesimale	n = 1300 Vt = 102,1	$\eta_p = 1$ $a_p = 3,95$	a = 0,056 $W_i = 0,51$	
			3	-Cambio utensile -Filettatura sup. 6	11ER A60 BCU20T SER 1616 H11 (portautensile)	Anello filettato passa/non passa M14	n = 64 Vt = 2,81	$\eta_p = 1$ $a_p = 0,2$	a = 2 $W_i = 0,017$	
			4	-Cambio utensile -Smussatura sup. 11	CCMT 06 02 04-WF 1125 SCLCR 1616H09 (portautensile)	Controllo visivo	n = 1300 Vt = 67,39	$\eta_p = 1$ $a_p = 1$	a = 0,33 $W_i = 0,46$	
	C		1	-Giro il pezzo -Inserisco il pezzo nel mandrino facendolo sporgere di 60,5 mm. -Cambio utensile -Sgrossatura sup. 3	CNMG 120408-MM PCLNR 1616H12-M (portautensile)	Calibro ventesimale	n = 1300 Vt = 102,1	$\eta_p = 1$ $a_p = 4,05$	a = 0,056 $W_i = 0,52$	
			2	-Cambio utensile -Sgrossatura sup. 4	CCMT 06 02 04-WF 1125 SCLCR 1616H09 (portautensile)	Calibro ventesimale	n = 1300 Vt = 80,05	$\eta_p = 1$ $a_p = 1$	a = 0,04 $W_i = 0,101$	
										Parametri calcolati per la passata maggiore. In totale vanno fatte 8 passate (con a_p da 0,2; 0,2; 0,18; 0,1; 0,1; 0,1; 0,1; 0,1)



Fogli di ciclo e di fase

			3	-Cambio utensile -Sgrossatura sup. 5	CNMG 120408-MM PCLNR 1616H12-M (portautensile)	Calibro ventesimale	n = 790	n _p = 1	a = 0,143	
							Vt = 46,16	a _p = 4,3	W _i = 0,52	
			4	-Cambio utensile -Finitura sup. 3	CCMT 06 02 04-WF 1125 SCLCR 1616H09 (portautensile)	Micrometro esterni (h6)	n = 1300	n _p = 1	a = 0,04	
							Vt = 80,05	a _p = 0,3	W _i = 0,039	
			5	Finitura sup. 4	CCMT 06 02 04-WF 1125 SCLCR 1616H09 (portautensile)	Micrometro esterni (h6)	n = 1300	n _p = 1	a = 0,04	
							Vt = 75,93	a _p = 0,3	W _i = 0,037	
			6	-Cambio utensile -Filettatura sup. 7	11ER A60 BCU20T SER 1616 H11 (portautensile)	Anello filettato passa/non passa M10	n = 64	n _p = 1	a = 1	Parametri calcolati per la passata maggiore. In totale vanno fatte 5 passate (con a _p da 0,2; 0,11; 0,1; 0,1; 0,1)
							Vt = 2,01	a _p = 0,2	W _i = 7,06	
			7	-Cambio utensile -Smussatura sup. 12	CCMT 06 02 04-WF 1125 SCLCR 1616H09 (portautensile)	Controllo visivo	n = 940	n _p = 1	a = 0,1	
							Vt = 29,53	a _p = 1	W _i = 0,081	



Fogli di ciclo e di fase

Parametri fresatura:

Velocità di taglio e n. giri

$$V_t = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$

Avanzamento per dente

$$f_z = \frac{V_f}{n \cdot z}$$

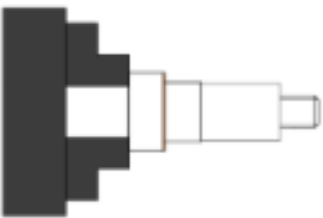
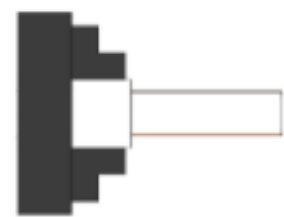
(con v_f = avanzamento per tavolo)

Avanzamento per giro

$$a = z \cdot f_z$$

Velocità di avanzamento

$$V_a = n \cdot z \cdot f_z$$

			8	Finitura sup. 15	CCMT 06 02 04-WF 1125 SCLCR 1616H09 (portautensile)	Calibro ventesimale, rugosimetro	n = 940 Vt = 73,83	n _p = 5 a _p = 0,6	a = 0,04 W _i = 0,062	
			9	-Montaggio Rettificatrice -Rettifica sup. 1	Norton 32A46IVS RAPID Original HP2	Micrometro esterni (tolleranza h6, finitura con rugosimetro Ra < 0,013 mm)	n = 2865 Vt = 30 m/s	n _p = 1 a _p = 0,05	a = 0,36 W _i = 0,17	
30	A		1	-Posizionamento del pezzo nella morsa -Fresatura alloggiamento dentino ghiera (sup. 10)	Dormer C3674.0 Pinza ER16	Micrometro per interni	n = 875 Vt = 11	n _p = 1 p = 3	f _z = 0,04 W _i = 0,097	f _z : Avanzamento per dente [mm/dente] p: profondità di passata [mm]
	B		1	-Rotazione del pezzo di 90° - Cambio utensile -Fresatura alloggiamento per chiavetta Woodruff (sup. 8)		Micrometro per interni	n = 720 Vt = 23,75	n _p = 1 p = 2	f _z = 0,06 W _i = 0,56	
	C		1	-Cambio pinza e utensile -Fresatura alloggiamento per linguetta (sup. 9)	327R12-22 25002-GM 1025 Pinza ER32	Micrometro per interni	n = 875 Vt = 59,65	n _p = 1 p = 4	f _z = 0,04 W _i = 0,70	



Tempi

Fase 10 - Taglio barra Ø26 mm x L936 mm

Annualmente è previsto il taglio di 250 barre.

Ogni barra viene tagliata in 8 parti ad una velocità di avanzamento di 40 mm/min.

- Tempo taglio 1 barra: (39 s + 15 s) x 7 = 6,3 min

- Tempo totale annuo: 26 h

Fase 20 - Tornitura

Tempi attivi → Ta tot = 12,15 min

$$t_a = \frac{L + e}{a \cdot n}$$

L = lunghezza lavorata (per la sfacciatura questa lunghezza equivale alla metà del diametro del pezzo all’inizio della lavorazione, ovvero h)

e = extra corsa (per noi e = 2mm)

a = avanzamento

n = numero di giri

Tempi passivi → Tp tot = 52,96 min

Tempi standard per lavorazioni al tornio parallelo [min]	
Azione	Tempo
Allontanare contropunta	0,20
Avviare/fermare la macchina	0,05
Controllare una dimensione con calibro o micrometro	0,20
Disimpegnare l'utensile	0,10
Eseguire centratura	0,10
Eseguire gola interna/esterna	0,40
Eseguire smusso	0,10
Innestare/disinnestare l'avanzamento automatico	0,05
Montare e regolare il morsetto autocentrante sul mandrino	5
Montare il pezzo tra le punte con brida	1,20
Montare il pezzo tra mandrino e contropunta	1,20
Montare la torretta girevole	0,50
Montare nel mandrino la punta menabrida	1
Montare o smontare il mandrino nella contropunta	0,40
Montare o smontare la contropunta	0,30
Montare o smontare punta per centri (o elicoidale) nel mandrino	0,35
Montare o smontare utensile su torretta girevole	0,70
Posizionare e bloccare il pezzo nel morsetto autocentrante	0,90
Posizionare l'utensile	0,20
Regolare l'utensile	0,50
Ruotare la torretta portautensili	0,20
Selezionare l'avanzamento automatico	0,18
Selezionare n. di giri	0,18
Smontare il pezzo dall'autocentrante	0,40

Attrezzature	Azione	Tempo standard (min)
Piattaforma autocentrante	Montare	0,6
	Smontare	0,6
	Regolare apertura	0,1

Utensili-Attrezzi	Azione	Tempo standard (min)
Portautensili	Montare e smontare su torretta a serraggio rapido	0,1
Utensile	Montare e smontare su torretta o portautensili	0,5
Portapunta a forare	Montare e smontare su controtesta	0,4
Portautensile	Regolare altezza su torretta a serraggio rapido	0,2
Utensile	Regolare altezza su torretta	0,5
Carrello portautensili	Orientare normalmente	0,5
	Orientare con precisione	2,7

Tempo tot 1 pezzo al tornio = 65,11 min



Tempi

Fase 30 - Fresatura

Tempi attivi → Ta tot = 0,3 min

Tempi passivi → Tp tot = 23,04 min

$$t_a = \frac{L + e}{V_a}$$

L = lunghezza lavorata (per la sfacciatura questa lunghezza equivale alla metà del diametro del pezzo all’inizio della lavorazione, ovvero h)

e = extra corsa (per noi e = 2mm)

Va = velocità di avanzamento

Conclusione

Tempi standard per lavorazioni alla fresatrice [min]	
Azione	Tempo
Allineare morsa	1,5
Avviare/fermare la macchina	0,05
Controllare dimensione con calibro o con micrometro	0,2
Innestare/disinnestare l'avanzamento automatico	0,05
Montare albero portafresa su mandrino della fresatrice orizzontale	6
Montare fresa a codolo e punta a forare su mandrino	2
Montare fresa su albero portafresa (asse orizzontale)	5
Montare fresa su portafresa con attacco a cono (asse verticale)	3
Montare il pezzo nella morsa	1
Montare portafresa con attacco a cono su mandrino della fresatrice	2
Montare utensile su portautensile	1,2
Montare/smontare contropunta del divisore	2
Montare/smontare divisore	4
Montare/smontare il pezzo con contropunta	1,2
Montare/smontare il pezzo sull'autocentrante del divisore	0,9
Montare/smontare il pezzo sulla tavola con staffe	3
Montare/smontare morsa	3
Montare/smontare punta con menabrida sul divisore	4
Posizionare il pezzo rispetto all'utensile:	
- senza sfioramento (o disimpegnare utensile)	0,2
- con uno sfioramento	1
- con due sfioramenti	1,5
- con tre sfioramenti	2
Posizionare una staffa con un tirante	2
Ruotare la testa verticale della fresatrice	2
Ruotare tavola portapezzo	5
Selezionare l'avanzamento automatico	0,18
Selezionare numero di giri	0,18
Smontare il pezzo dalla morsa	0,4

Tempo tot 1 pezzo alla fresa = 23,34 min

	FASE 10	FASE 20	FASE 30	TOTALE
TEMPI ATTIVI [MIN]	4,55	12,15	0,3	16,88
TEMPI PASSIVI [MIN]	1,75	52,96	23,04	76,59
TOTALE PER 2000 PEZZI	1575	130220	46680	178475

Tempo tot 1 albero = 93,47 min

Per realizzare 2000 pezzi l'anno (280 gg lavorativi):

- Operatore 1 → 8h al tornio (al giorno)
- Operatore 2 → 3h tra fresatrice e sega a nastro



Costi

Materiale

- Prezzo per 1 barra = 15,99 €
- Prezzo annuo = 3998 €

Macchinari *(tornio, sega a nastro, rettificatrice, fresatrice, morsa)*

- Prezzo complessivo = 16159,96 € (2693,32 €/anno ammortizzato in 6 anni)

Utensili

- Prezzo utensili “fissi” = 613,72 € (ammortizzati)
- Prezzo utensili “consumabili” (per 2000 pezzi) = 541,32 €
- Prezzo annuo = 1155,04 €
- Incidenza media su 1 pezzo = 0,58 €

Manodopera

- Prezzo per 1 pezzo = 22 €
- Prezzo annuo (15 €/h x 2975 h) = 44625 €

Energia *(potenza macchinari-sega a nastro/tornio/fresatrice-, tempi utilizzo, velocità)*

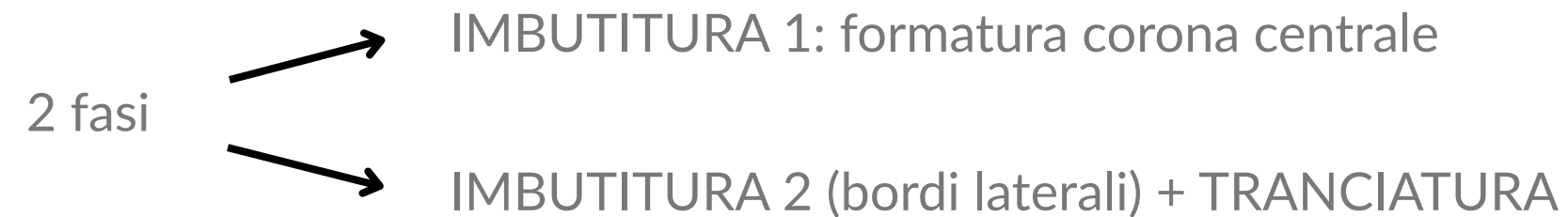
- Consumo energetico per 1 pezzo = 0,368 kWh
- Consumo energetico per 2000 pezzi = 737 kWh
- Prezzo annuo (con costo medio energia = 0,2 €/kWh) = 147,36 €

- Prezzo tot annuo = 35.200,04 €
 - Prezzo tot 1 pezzo = 17,60€



6. DEFORMAZIONE PLASTICA

Processo



Lamierino di partenza

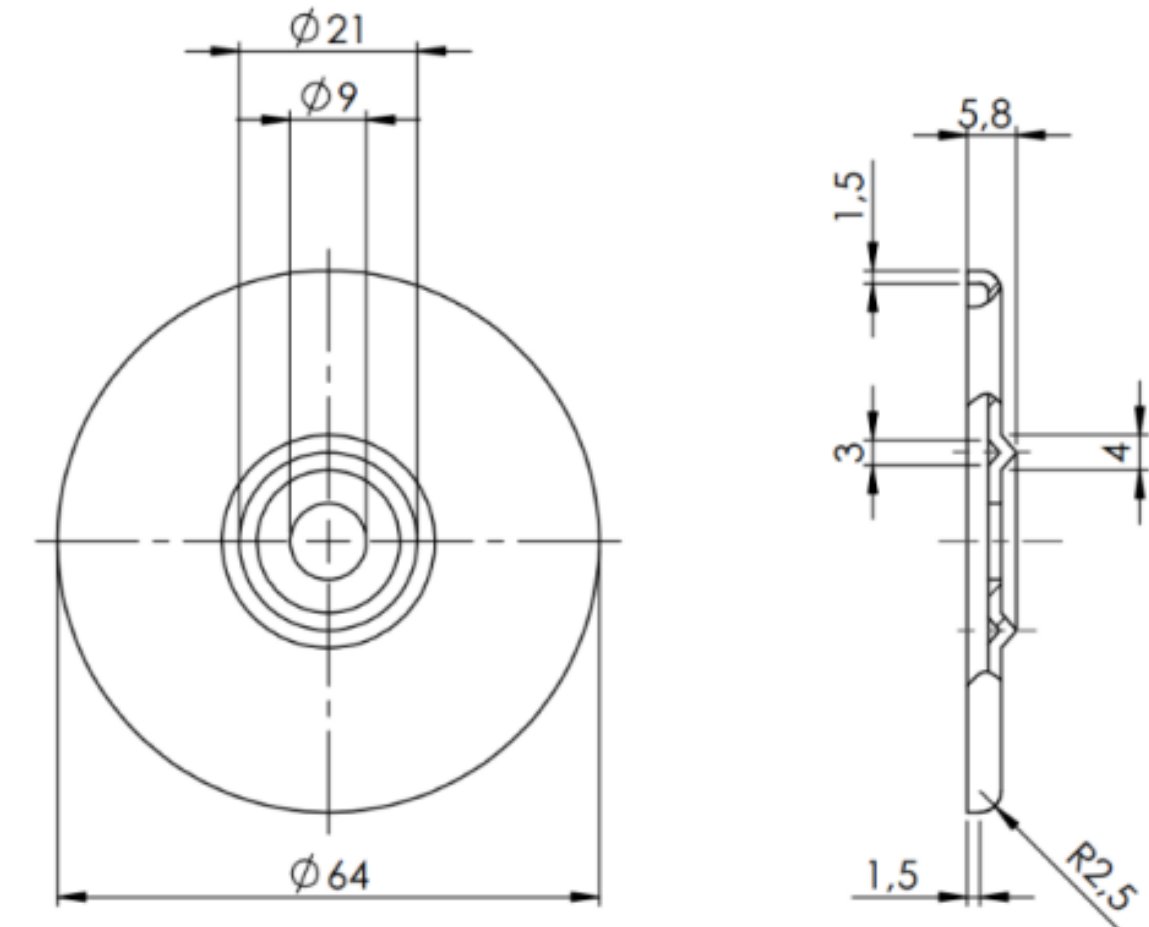
- Materiale: **S315MC** (buona resistenza meccanica e a fatica)
- Dimensioni: **D** = 70,30 mm; **Spessore** = 1,5 mm

Macchinario

AIDA NC1 - Series → pressa meccanica monocolonna a singolo effetto

Caratteristiche:

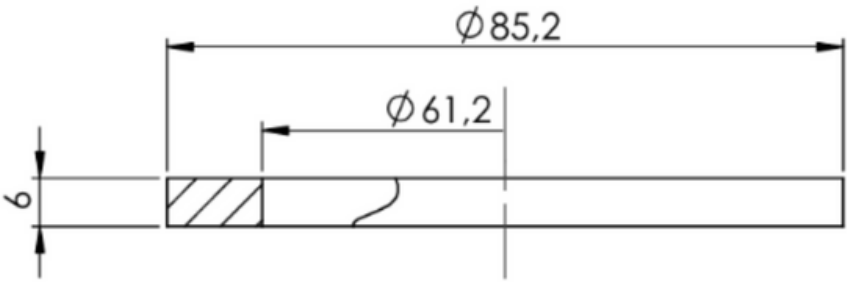
- adatta per lotti medio-piccoli
- tempi di cambio stampo contenuti
- Corsa del pistone: 70mm
- Velocità di lavoro: 90 – 150 colpi/min
- Altezza dello stampo: 200 mm
- Area del banco: 730x310 mm
- Altezza operativa: 800 mm



IMBUTITURA

Parametri

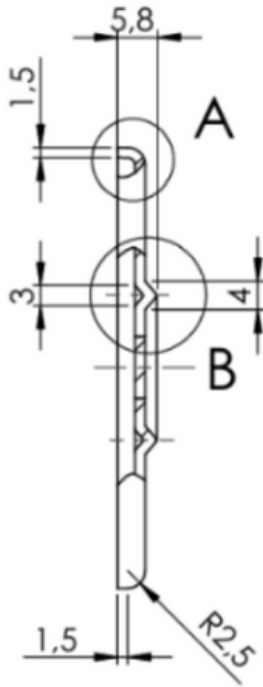
- Premilamiera: ✓
($D - dp > 5s \rightarrow 70,3 - 64 > 7,5$)
- Passaggi di imbutitura: **1**
(per entrambi) ($d1/D = 0,99$ e $d/D1 = 0,92 \rightarrow m < 0,58$)
- Pressione del premilamiera: **P = 2,5 MPa** (per acciai)
(per entrambi)
$$(p_{min} = R_m \frac{(\beta-1)^2 + 0,005 \cdot \frac{d_1}{s}}{400})$$
- Gioco tra matrice e punzone: **g = 1,77 mm**
(per stampo 2) ($g = s + K \cdot \sqrt{10s}$)
- Forza di imbutitura: **P1 = 59,02 kN ; P2 = 54,29 kN**
(per entrambi) ($P = \pi \cdot d \cdot s \cdot m \cdot Rm$)
- Raggi di raccordo pezzo: **R0,4 mm** (interni), **R0,5 mm** (esterni)
- Sformi: sformo **1°** (matrice), **2°** (punzone)



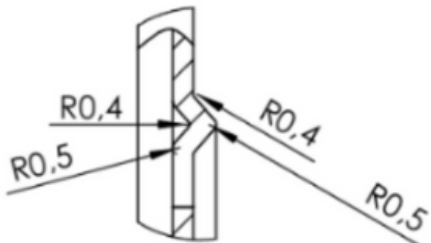
Premilamiera per stampo 2

d/D	m
0,55	1
0,6	0,86
0,65	0,72
0,70	0,60
0,75	0,50
0,80	0,40

Materiale	I° operazione m_1	Operazioni successive m_n
Acciaio		
$s < 2 \text{ mm}$	0,58	0,85
$s \geq 2 \text{ mm}$	0,58	0,85



DETTAGLIO A
SCALA 2 : 1



DETTAGLIO B
SCALA 2 : 1



Parametri

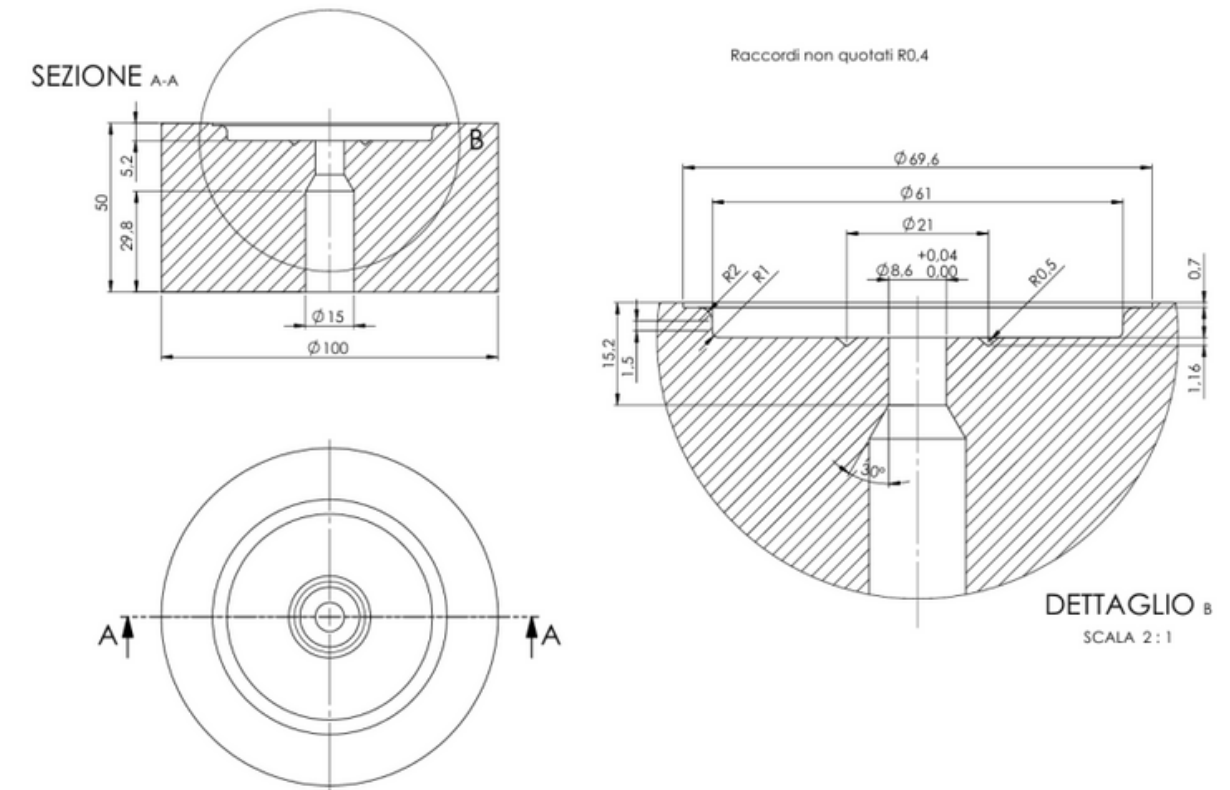
- Raggi arrotondamento punzone: **1 mm**
(per stampo 2) $(5s < rp < 0,3d)$
- Raggi arrotondamento matrice: **2 mm**
(per stampo 2) $(rm = K \cdot \sqrt{(D1 - d) \cdot s})$
- Lubrificazione: lubrificante a base di **grafite e olio**
- Espulsori: **2 non centrali**

TRANCIATURA

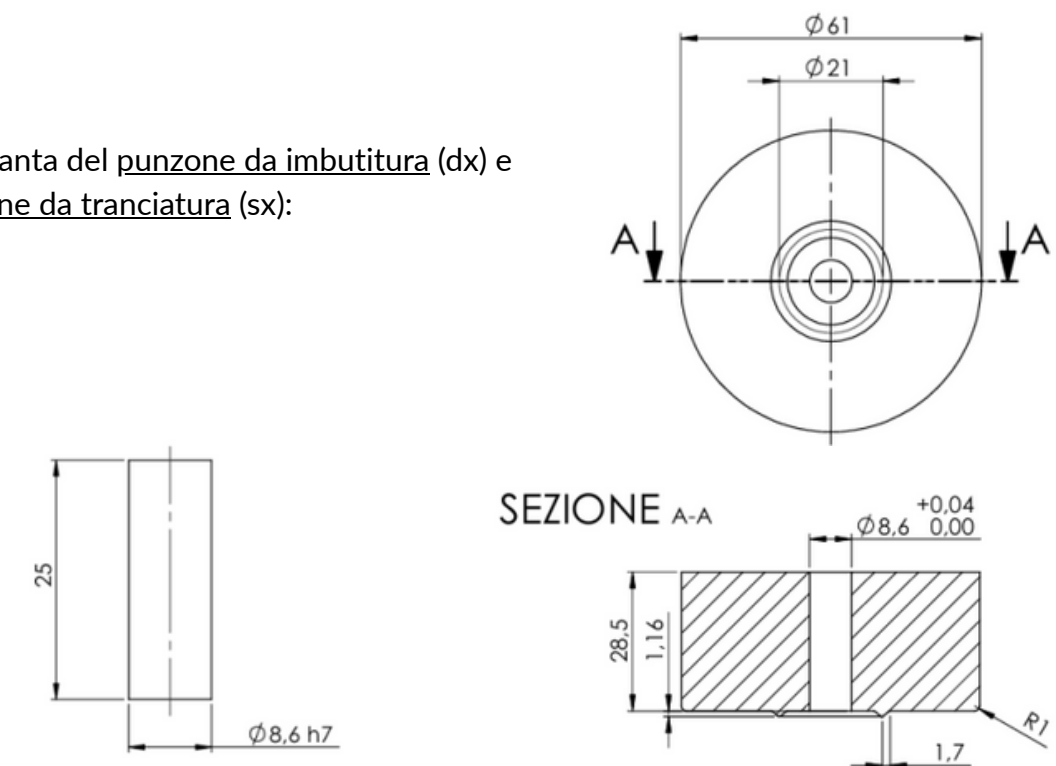
Parametri

- Diametro matrice: **9 mm (foro)**
- Diametro punzone: **8,6 mm**
(perchè gioco matrice/punzone: $g = 0,007 \cdot s \cdot \sigma_t^{0,5} = 0,2 \text{ mm}$)
- Forza di tranciatura: **18,32 kN** (valore maggiorato del 20% da 15,27 kN)
($P_{\max} = l \cdot s \cdot \sigma_t$)

Vista in pianta della matrice



Vista in pianta del punzone da imbutitura (dx) e del punzone da tranciatura (sx):



Tempi

Tempi calcolati sulla produzione giornaliera di **10 pezzi** (in quanto ogni dieci sostituiamo matrice e punzone).

- Preparazione macchina (setup iniziale): 15 min
 - Posizionamento pezzo: 30 s
 - Accensione e spegnimento macchina: 3 min
 - Imbutitura 1 (stampo 1): 50 s
 - Cambio stampo 1 → stampo 2: 15 min
 - Imbutitura 2 + tranciatura: 80 s
 - Totale tempo macchina attiva: 2 min 40 sec
 - Totale tempo operatore: 33 min
- Tempo totale (10 pezzi) = 38 min 20 s
 - Tempo totale (2000 pezzi) = 127 h 47 min
 - Tempo totale (**1 pezzo**) = **3 min 50 s**

Costi

- Costo macchina: 15000 € (2500 €/anno ammortizzato in 6 anni)
 - Costo stampi (in acciaio alto legati al cromo temprabili): 8000 € (1330 €/anno ammortizzati in 6 anni)
 - Costo materiale circa: 170 €
 - Costo manodopera: 15 €/h
- Costo totale (2000 pezzi) = 5920 €
 - Costo totale (**1 pezzo**) = **3,00 €**



7. SALDATURA

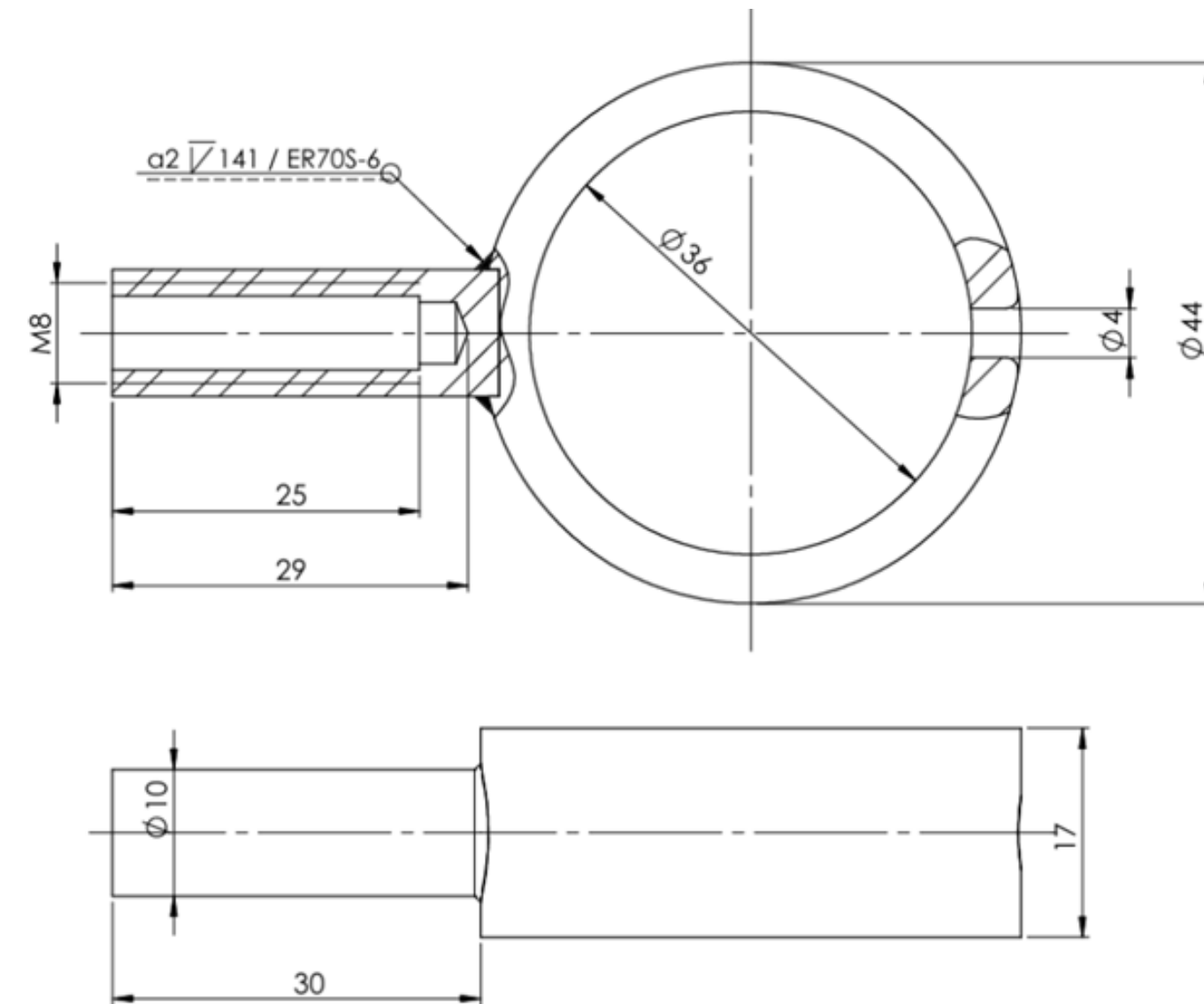
Per la realizzazione della biella (componente n.11) è stata scelta una saldatura autogena TIG pulsata a bassa energia, su acciaio AISI 1020. Il disegno è stato modificato per permettere l'operazione, garantendo un giunto resistente anche a sollecitazioni a fatica (a differenza di saldobrasatura e brasatura).

Accorgimenti filettatura



Per proteggere la filettatura da possibili deformazioni in fase di saldatura è stato scelto un inserto pieno in CuCrZr (rame legato):

- Dissipa calore, minore dilatazione termica.
- Riutilizzabile per 100–300 pezzi.
- Pasta antigrippaggio per rimozione facilitata



Scelta macchina e accessori

Saldatrice

- IPOTOOLS TIG 200P AC/DC (499,99 €)
- Funzione TIG pulsata, controllo di corrente di picco/base, frequenza, duty cycle.
- Cordoncini sottili (~2 mm) senza deformazioni.
- Memorizzazione parametri → costanza qualitativa in produzione industriale.
- Potenza 1,1 kW



Dati tecnici della saldatrice

> Tipo: Saldatrice inverter TIG AC/DC TIG-200P	> Tempo di postflusso del gas: 0-25 s
> Processo: TIG AC/DC, MMA	> Frequenza AC: 20-250 Hz
> Pannello touch: funzione pulsazioni, preflusso gas, postflusso gas, frequenza AC, ecc.	> Effetto pulente: 10-90%
> Impostazioni: continuo digitale	> Discesa: 0-10 sec
> Alimentazione: 1x AC230V 50/60Hz	> Accensione HF: Sì
> Tensione a circuito aperto: 80V	> Ventilatore
> Campo di regolazione TIG DC: 5-200 A TIG AC: 20-200 A MMA: 20-160 A	> Diametro elettrodo raccomandato: MMA 1,0-4,0mm / TIG 1,0-3,2mm
> Campo di regolazione AC TIG: 200A/35% / 160A/60% / 130A/100%	> Classe di isolamento: F
> Campo di regolazione MMA: 160A/35% / 130A/60% / 100A/100%	> Grado di protezione della custodia: IP21S
> Connettore: 2 poli (senza opzione pedale)	> Dimensioni (LxPxA): 430x185x320mm
> Frequenza impulsi: 1Hz o 50Hz	> Peso: 19 kg
> Tempo di preflusso del gas: 0-10 s	> Peso netto: 13,5kg

Materiali e accessori

- Elettrodo tungsteno WL20 (2% Lantanio) Ø 1,6 mm → arco stabile anche a basse correnti.
- Gas Argon 99,9% (flusso ~8 L/min) → protezione da ossidazioni/porosità.
- Materiale d'apporto ER70S-6 Ø 1,6 mm → cordone d'angolo con gamba a = 2 mm.

CRITERI DI SCELTA						
Tipo	Metallo		Stabilità dell'arco	Innesco	Durata	Resistenza termica
	Leghe leggere	Acciaio Acciaio Inox				
WP Tungsteno puro	*		**	*	*	*
WC 20 Cerio 2%	*	*	**	*	**	**
WL 10 Lantanio 1%	*	*	**	**	**	**
WL 15 Lantanio 1,5%	*	*	**	**	**	***
WL 20 Lantanio 2%	*	*	***	***	***	***
WS 20 Terre rare 0,8%	*	*	***	***	***	***
WZr 20 Zirconio 0,8%	*		***	**	**	***
*** Eccellente - **Buono - * Medio						



Parametri di saldatura e preparazione del metallo

Scelta dei parametri

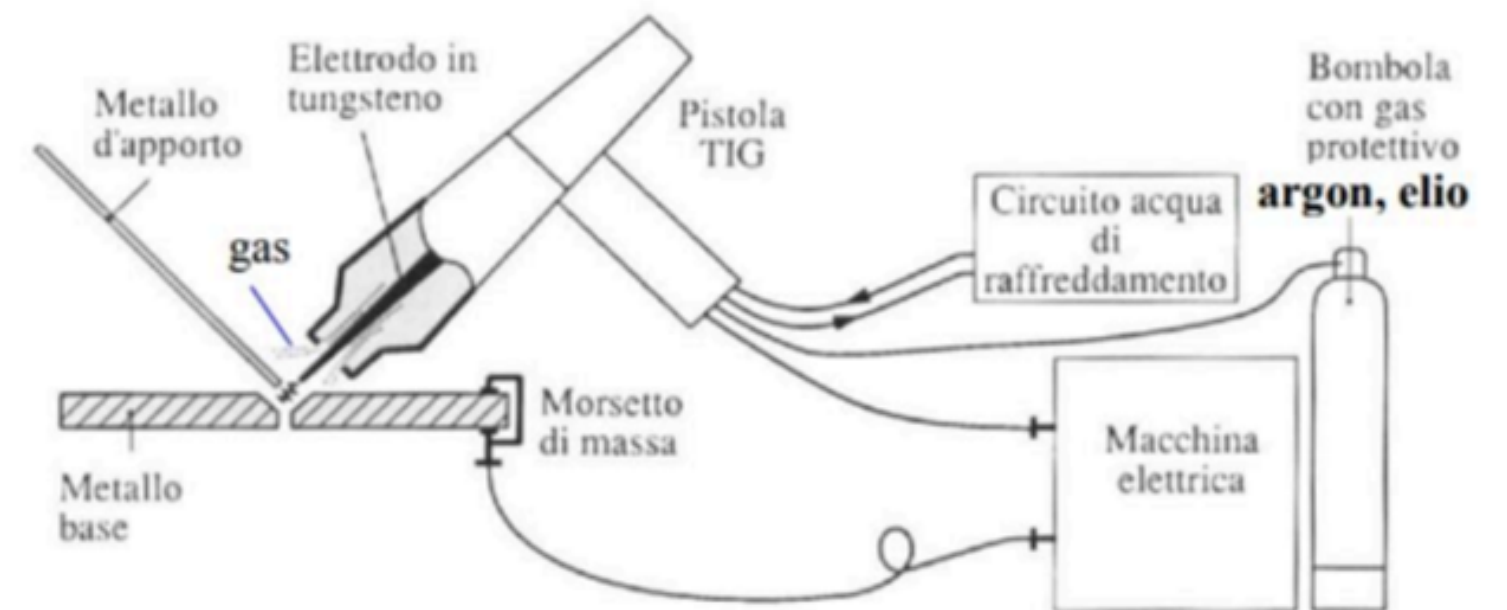
Modalità DC pulsata:

- Corrente di picco: 50–70 A
- Corrente di base: 20–30 A
- Frequenza: ~1 Hz
- Duty cycle (tempo corrente di picco): 30–50%

Preparazione del metallo

Prima di eseguire la saldatura il componente deve essere preparato per una migliore adesione, porosità e cricche ridotte.

- Superfici perfettamente pulite (no ossidi, oli o ruggine).
- Sgrassatura con solventi (acetone/alcol).
- Spazzolatura con spazzole inox dedicate.



Tempi e costi

Tempi

- Lunghezza cordone: 31,4 mm (circonferenza Ø10 mm)
- Tempo saldatura singolo pezzo: ~20 s
- Preparazione macchina/pezzo: ~2 min
- Saldatura: 11 h 7 min
- Preparazione macchina/pezzo: 66 h 40 min

Totale (2000 pezzi): 77 h 47 min

Singolo pezzo: **2,3 min**

Costi

- Saldatrice TIG: 499,99 €
- Materiale d'apporto (ER70S-6): 21,20 €
- Gas Argon 99,9%: 350 €
- Elettrodi WL20 (7 pz): 10,50 €
- Inserti in rame (15 pz): 15 €
- Energia (stima): consumo medio annuale 83 kW/h ~ 17 €
- Manodopera (77,8 h × 20 €/h): 1555,60 €

Totale annuo: ~2452,29 €

Costo unitario: **1,23 €** per biella



GRAZIE

Per l'attenzione