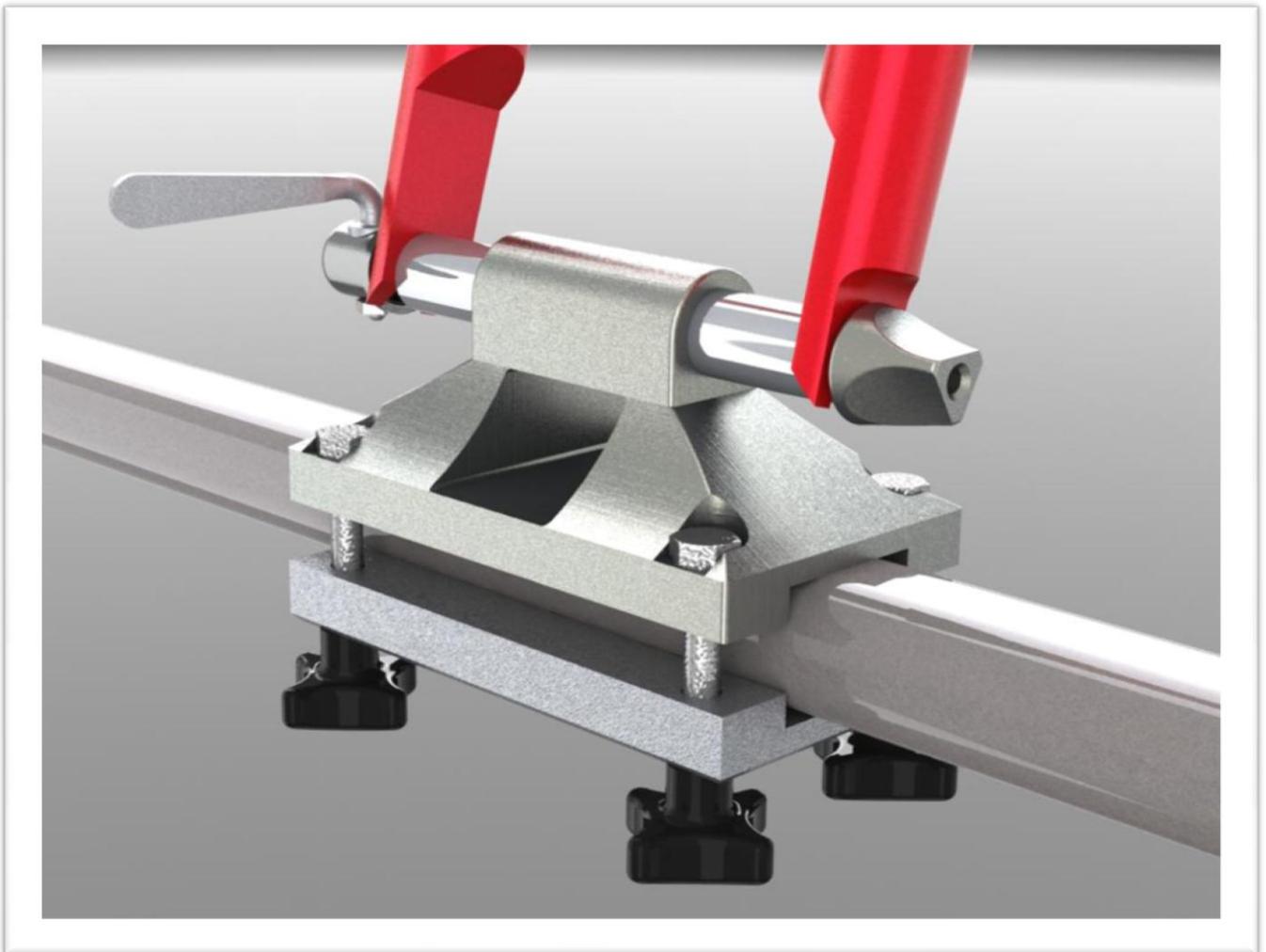


Portabici per auto

Progetto di Tecnologia Meccanica

F. Di Ciocchis C. Paradiso R. Mauceri





Indice

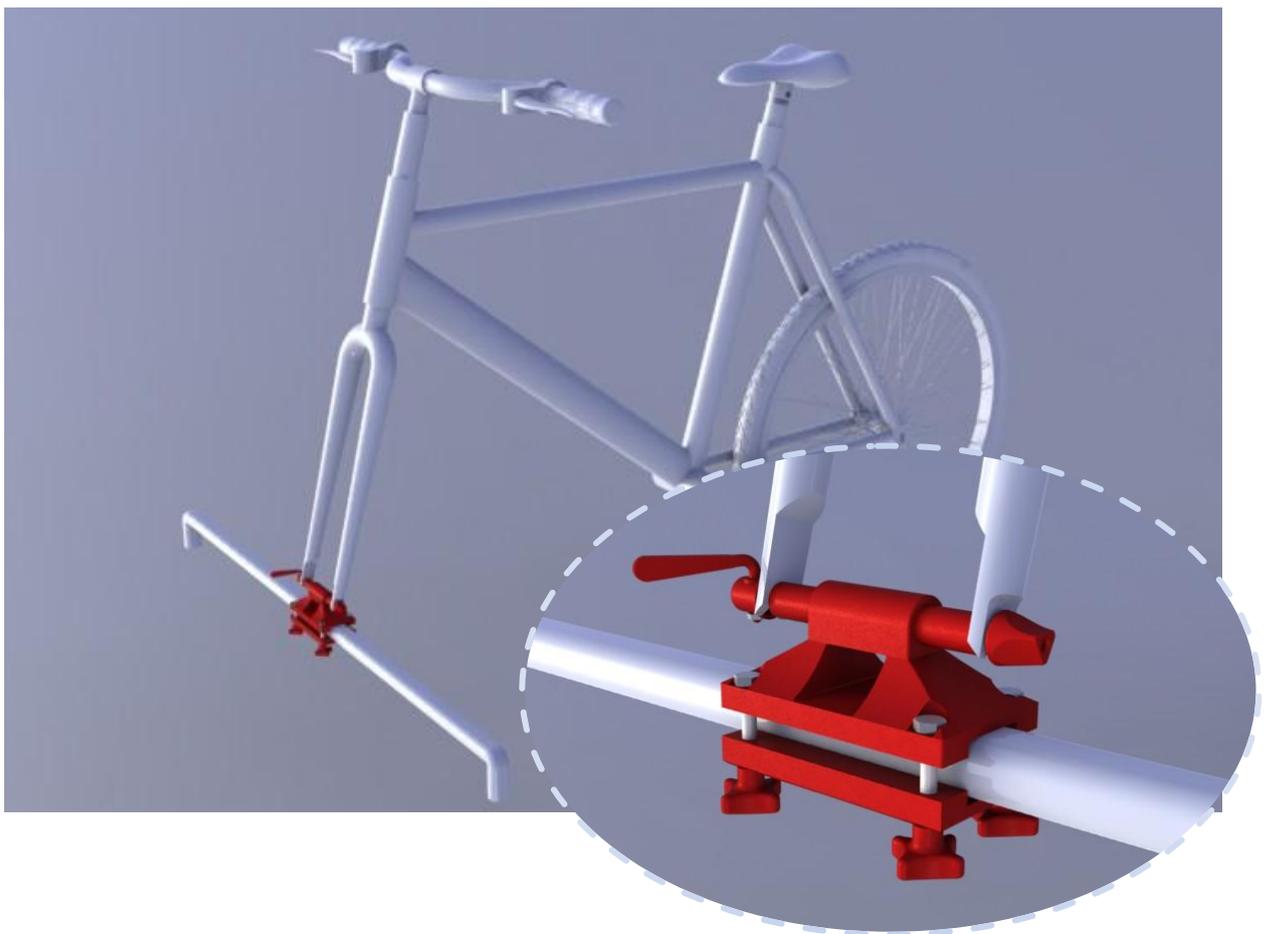
| | |
|--|----------|
| 1. Introduzione | |
| 1.1 Generalità | 1 |
| 1.2 Scelta dei processi di produzione | 2 |
| 1.3 Scelta dei materiali | 2 |
| 1.4 Varianti progettuali | 4 |
| 1.5 Disegno del complessivo | 4 |
| | |
| 2. Ciclo di fusione | 5 |
| 2.1 Disegno di definizione | 5 |
| 2.2 Scelta del tipo di formatura | 5 |
| 2.3 Realizzazione del greggio | 5 |
| 2.3.1 Scelta del piano di divisione | 6 |
| 2.3.2 Assegnazione sovrametalli | 6 |
| 2.3.3 Assegnazione raggi di raccordo | 6 |
| 2.3.4 Assegnazione angoli di sformo | 7 |
| 2.3.3 Ritiro globale del getto | 7 |
| 2.3.4 Disegno del greggio | 8 |
| 2.4 Analisi termica del getto | 8 |
| 2.3.1 Premessa | 8 |
| 2.3.2 Solidificazione direzionale | 8 |
| 2.3.3 Divisione del modello | 9 |
| 2.3.4 Moduli di raffreddamento | 9 |
| 2.3.5 Simulazione della solidificazione solo getto | 10 |
| 2.3.6 Discussione della simulazione | 10 |
| 2.3.7 Scelta del numero di materozze occorrenti | 11 |
| 2.3.8 Dimensionamento delle materozze e dei relativi collari d'attacco | 11 |
| 2.3.9 Dimensionamento del sistema di colata | 12 |
| 2.3.10 Spinte metallostatiche | 13 |
| 2.3.11 Simulazione della solidificazione getto e materozze | 13 |

| | |
|---|----|
| 2. Appendice | 18 |
| A-2.4.4 <i>Moduli di raffreddamento</i> | 18 |
| A-2.4.8 <i>Dimensionamento delle materozze e dei relativi collari d'attacco</i> | 20 |
| A-2.4.9 <i>Dimensionamento del sistema di colata</i> | 23 |
| A-2.4.10 <i>Spinte metallostatiche</i> | 25 |
| | |
| 3. Ciclo di lavorazione alle macchine utensili | 34 |
| 3.1 Disegni di definizione | 34 |
| 3.2 Scelta dei processi di lavorazione | 34 |
| 3.3 Raggruppamento delle operazioni in sottofasi | 38 |
| 3.4 Scelta della sequenza delle operazioni | 38 |
| 3.5 Scelta della macchina utensile | 39 |
| 3.6 Scelta degli utensili | 40 |
| 3.6.1 Premessa | 40 |
| 3.6.2 Utensili per fresatura | 41 |
| 3.6.3 Utensili per foratura | 42 |
| 3.6.4 Scelta utensili dal catalogo Coromat 2012 | 42 |
| 3.7 Scelta dei parametri di taglio | 45 |
| 3.8 Part program | 47 |
| 3.9 Tempi di lavorazione | 51 |
| 3.10 Fogli di ciclo | 51 |
| 3.11 Fogli di fase | 51 |
| 3.12 Simulazione CAM dell'elemento "supporto inferiore" | 52 |
| | |
| 3. Appendice | 57 |
| A-3.7 <i>Forze e potenze di taglio</i> | 57 |
| A-3.9 <i>Tempi di lavorazione</i> | 59 |
| | |
| Allegati | 62 |

1 Introduzione

1.1 Generalità

Il dispositivo, la cui funzione è ovvia, è costituito da due supporti, ad uno dei quali è fissato un mozzo. Quest'ultimo viene agganciato alla forcella dopo aver rimosso la ruota anteriore, mentre il corpo centrale è assicurato al portapacchi mediante bullonatura, come visibile in figura.



Alcune quote sono state standardizzate per poter rendere l'oggetto compatibile col maggior numero di biciclette e di portapacchi. In particolare la lunghezza del mozzo è stata fissata a 100mm, valore di interasse delle più comuni forcelle, mentre alla scanalatura che alloggia il portapacchi è stata data una larghezza di 30mm, in accordo con la misura di numerose marche (FIAT, BMW, Audi,..).

Poiché il pezzo deve essere maneggiato frequentemente, si è cercato di rendere la geometria più dolce possibile, inserendo ampi raggi di raccordo. Inoltre si è preferito adottare un sistema di serraggio rapido, che agevola notevolmente le operazioni di montaggio e smontaggio della bicicletta.

1.2 Scelta dei processi di produzione

I pezzi dei quali analizzeremo in dettaglio i processi produttivi sono: supporto superiore e supporto inferiore.

La geometria elaborata del supporto superiore suggerisce una realizzazione per fusione (da direttive didattiche è stata scelta una formatura transitoria in shell-molding), seguita da una rifinitura alle macchine utensili, mentre l'estrema semplicità del supporto inferiore permette di ottenere il pezzo mediante la lavorazione di una barra estrusa.

1.3 Scelta dei materiali

I principali requisiti che il materiale dovrà soddisfare, tenendo conto delle modalità di produzione e delle condizioni esterne a cui sarà soggetto il pezzo, sono:

- Resistenza alla corrosione ad umido (autopassivante)
- Lega leggera
- Colabilità (supporto superiore)

Adatte allo scopo risultano essere le leghe d'alluminio.

Per il supporto superiore è stata scelta la lega G Al Si 13 – 4514. Per il s. inf. è stata scelta la lega Al Si 1 Mg Mn (6082). Di seguito le principali caratteristiche:

| Tipo di lega Al Si | | Designazioni EN-AB 44100 | |
|---------------------------|---|---------------------------------|--|
| Equivalenze Orientative | G Al Si 13 – UNI 4514 | | |
| Impiego più comune | Adatta per getti a disegno complesso e pareti sottili, con tenuta a pressione. Per getti a forti spessori è conveniente modificare il bagno | | |

| | | | |
|--------------------------------------|--|--|-------------------|
| Attitudine all'ottenimento del getto | Fluidità | | Ottimo |
| | Resistenza alla criccatura da ritiro | | Ottimo |
| | Tenuta a pressione | | Ottimo |
| | Intervallo ottimo di colata in sabbia | | 700-750 °C |
| | Peso Specifico | Kg/dm ³ | ~ 2,65 |
| | Ritiro lineare | | ~ 1,30 % |
| Caratteristiche meccaniche | Resistenza alla temperatura ambiente | | Mediocre |
| | Resistenza fino alla temperatura elevata fino a 200° C | | Sufficiente |
| | Resistenza agli urti (duttilità) | | Buono |
| | Resistenza a fatica | Mpa | da 60 a 90 |
| Altre Caratteristiche | Lavorabilità | Grezzo di fonderia Dopo trattamento termico | Sufficiente |
| | Resistenza alla corrosione | | Buono/Sufficiente |
| | Anodizzazione decorativa | | Sconsigliata |
| | Saldabilità | | Ottimo |
| | Attitudine alla levigatura | | Mediocre |
| | Dilatazione termica lineare | $10^{-6}/K (293K - 373K)$ | 20 |
| | Conducibilità elettrica | MS/m | da 16 a 23 |
| | Conducibilità termica | W/(m K) | Da 130 a 160 |

| Composizione Chimica (in % di massa) | Getti | |
|---|-------|-------|
| | Min | Max |
| Si | 10,50 | 13,50 |
| Fe | - | 0,65 |
| Cu | - | 0,15 |
| Mn | - | 0,55 |
| Mg | - | 0,10 |
| Cr | - | - |
| Ni | - | 0,10 |
| Zn | - | 0,15 |
| Pb | - | 0,10 |
| Sn | - | - |
| Ti | - | 0,20 |
| Altri Elementi | - | 0,15 |
| Al | Resto | |

Composizione chimica della lega 6082 in %

| <u>Cu</u> | <u>Fe</u> | <u>Mn</u> | <u>Mg</u> | <u>Si</u> | <u>Zn</u> | <u>Cr</u> | <u>Ti</u> |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0,10 | 0,50 | 0,4 - 1 | 0,6 - 1,2 | 0,7 - 1,3 | 0,2 | 0,25 | 0,1 |

Caratteristiche meccaniche minime a temperatura ambiente

Barre

| Stato | Spessore (mm) | Rm (MPa) | Rp0.2 (MPa) | A % |
|-------|---------------|----------|-------------|-----|
| T6 | Fino a 20 | 295 | 250 | 8 |
| | Da 20 a 150 | 310 | 260 | 8 |
| | Da 150 a 200 | 280 | 240 | 8 |
| | Da 200 a 250 | 270 | 200 | 8 |

1.4 Varianti progettuali

In una prima versione il progetto prevedeva che il mozzo fosse tenuto in posizione all'interno del foro del s. sup. tramite un accoppiamento forzato, ma la scelta di operare in shell-molding ha fornito una nuova soluzione. Con questa tecnica è possibile l'utilizzo di anime in acciaio ed è quindi ragionevole utilizzare lo stesso mozzo come anima. Questa soluzione offre diversi vantaggi: con un'unica lavorazione si realizzano anima e mozzo (coincidono) e con un piccolo espediente si può fissare quest'ultimo senza ricorrere all'accoppiamento con interferenza. Basta infatti operare una spianatura sulla superficie esterna del mozzo così che la lega liquida, solidificandogli attorno, generi un dente di ancoraggio, che impedisce al componente ogni movimento.

1.5 Disegno del complessivo

Per il disegno del complessivo si veda Allegato 1- tavola1

2.3.1 Scelta del piano di divisione

È stato scelto come piano di divisione il piano di sez. A-A (fig.1). La scelta è giustificata dall'assenza di sottosquadri in sfornatura.

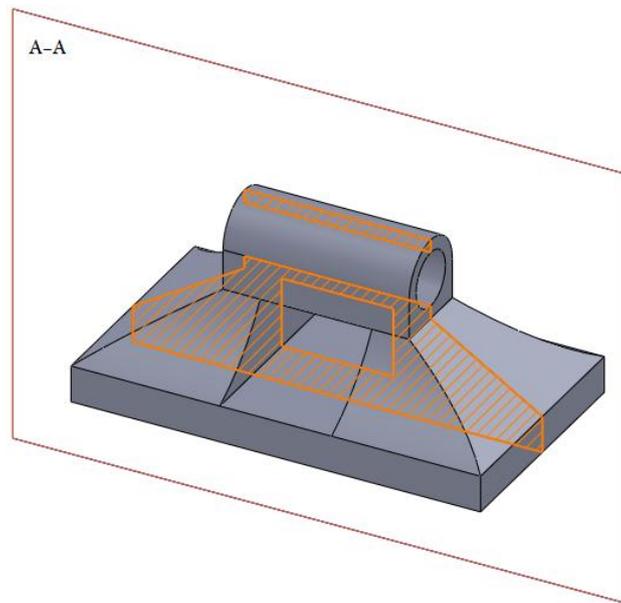


Fig. 1

2.3.2 Assegnazione sovrametalli

Non sono stati previsti sovrametalli al greggio.

2.3.3 Assegnazione raggi di raccordo

Per evitare fenomeni di erosione durante la colata, si prevedono raggi di raccordo nelle zone in cui sono presenti spigoli vivi. Considerando le modeste dimensioni del componente, i valori assegnati ai raggi di raccordo sopracitati sono $R=1\text{ mm}$ ed $R=3\text{ mm}$.

2.3.4 Assegnazione angoli di sforno

Per facilitare l'operazione di sfornatura si assegnano angoli di sforno alle superfici perpendicolari al piano di divisione. Per modelli in acciaio¹ (2.2) si prescrive in genere un valore degli angoli di sforno pari a 30'. Grazie all'utilizzo dei moderni software cad, è possibile analizzare lo sforno del modello specificando il piano di divisione e la direzione di sforno. Il software evidenzia (fig.2) le superfici che necessitano di sforno.

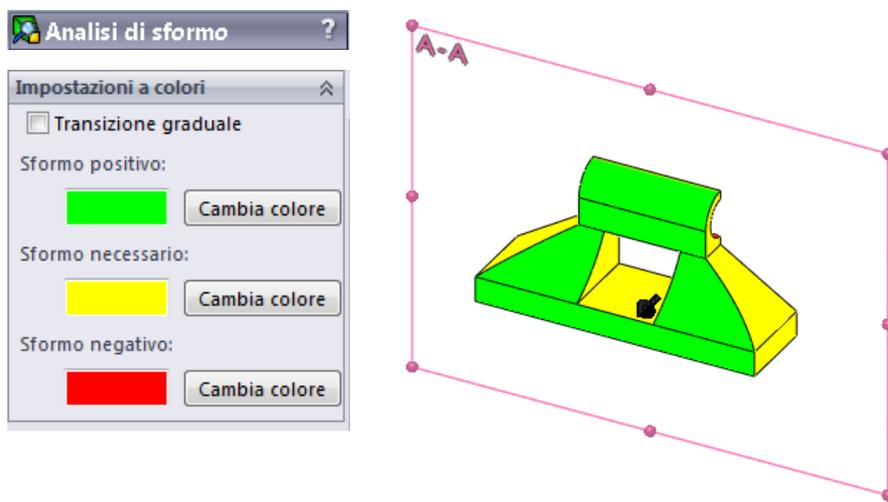


Fig. 2

2.3.5 Ritiro globale del getto

Si tiene conto della contrazione volumetrica del getto durante la solidificazione, aumentando le dimensioni del greggio; tale maggiorazione si impone sulla progettazione del modello tramite un coefficiente di ritiro lineare medio², che per le leghe di alluminio e per getti piccoli è del 1,6% (fig.3).

| coefficiente di ritiro lineare medio | | Quota disegno di definizione | Quota disegno del greggio |
|--------------------------------------|---------------|------------------------------|---------------------------|
| materiale getto | getto piccolo | | |
| Alluminio | 1,60% | 10 | 10,2 |
| | | 15 | 15,2 |
| | | 19 | 19,3 |
| | | 22 | 22,4 |
| | | 30 | 30,5 |
| | | 50 | 50,8 |
| | | 60 | 61,0 |
| | | 110 | 111,8 |

Fig. 3

¹ M.Santochi, F.Giusti, "Tecnologia meccanica e studi di fabbricazione", 2° edizione, Ed. Ambrosiana, Tab. 4-5.

² M.Santochi, F.Giusti, "Tecnologia meccanica e studi di fabbricazione", 2° edizione, Ed. Ambrosiana, Tab. 4-1.

2.3.6 Disegno del greggio

Per il disegno del greggio si rimanda all'allegato 1- tavola 6-7

2.4 Analisi termica del getto

2.4.1 Premessa

Nel seguente paragrafo verrà analizzato il processo di solidificazione del getto. Attraverso l'analisi termica viene definito il numero di materozze occorrenti per evitare la presenza di cavità di ritiro nel getto ed il relativo dimensionamento con il metodo dei moduli. Si anticipa che i risultati di questa analisi non corrispondono a quelli valutati attraverso simulazione numerica CAE. Per questo motivo nel sottoparagrafo 2.4.5 verrà discussa, qualitativamente, l'incongruenza fra l'analisi condotta attraverso il metodo dei moduli e l'analisi assistita al calcolatore.

2.4.2 Solidificazione direzionale

Lo studio della solidificazione direzionale viene eseguito suddividendo il getto in parti a modulo di raffreddamento crescente. Per questa fase è utile applicare il metodo dei cerchi di Heuvers (fig.4). Questo metodo fornisce graficamente la direzione (qualitativa) di solidificazione, permettendo di localizzare le parti del getto con modulo di raffreddamento più alto.

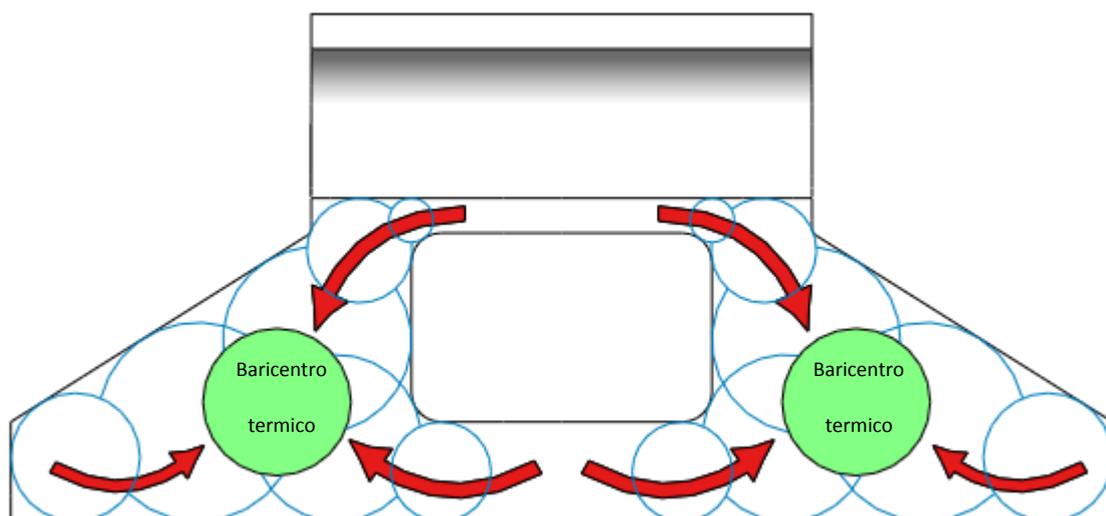


Fig. 4

2.4.3 Divisione del modello

La fig.4 motiva la seguente scelta di divisione del modello fig.5-6 :

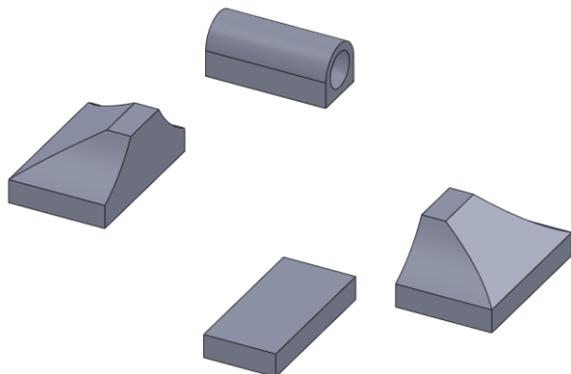


Fig. 5

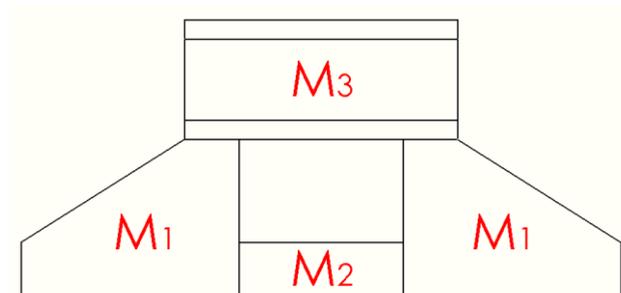


Fig. 6

2.4.4 Moduli di raffreddamento

Dalla divisione si calcolano i moduli di raffreddamento come rapporto fra volume della parte e superficie di scambio termico. A seguire i risultati³:

- Parte 1(M_1)

| | | |
|--------------------------------|-------|---------------|
| Volume: | 43520 | mm^3 |
| Superficie (di scambio utile): | 6974 | mm^2 |
| Modulo di raffreddamento: | 6,2 | mm |

- Parte 2(M_2)

| | | |
|--------------------------------|-------|---------------|
| Volume: | 18000 | mm^3 |
| Superficie (di scambio utile): | 4200 | mm^2 |
| Modulo di raffreddamento: | 4,3 | mm |

- Parte 3(M_3)

| | | |
|--------------------------------|-------|---------------|
| Volume: | 12768 | mm^3 |
| Superficie (di scambio utile): | 6077 | mm^2 |
| Modulo di raffreddamento: | 2,1 | mm |

³ In questo paragrafo sono riportati i moduli di raffreddamento calcolati con l'utilizzo di un software cad; per lo svolgimento dei calcoli si rimanda all'appendice 2.

2.4.5 Simulazione della solidificazione solo getto

Dopo aver realizzato il modello solido del componente, tramite software cad, è stata analizzata la solidificazione del getto con l'ausilio di Solidcast. La solidificazione del getto senza materozze permette di verificare quanto previsto in fase di progettazione con il metodo dei moduli e i cerchi di Heuvers. Come anticipato nella premessa, questa verifica non corrisponde esattamente a quanto previsto attraverso i moduli di raffreddamento. Infatti, come mostra la fig.7-8, la zona a più alta temperatura del getto non risulta essere in corrispondenza della parte M_1 , ma in corrispondenza della parte M_2 .

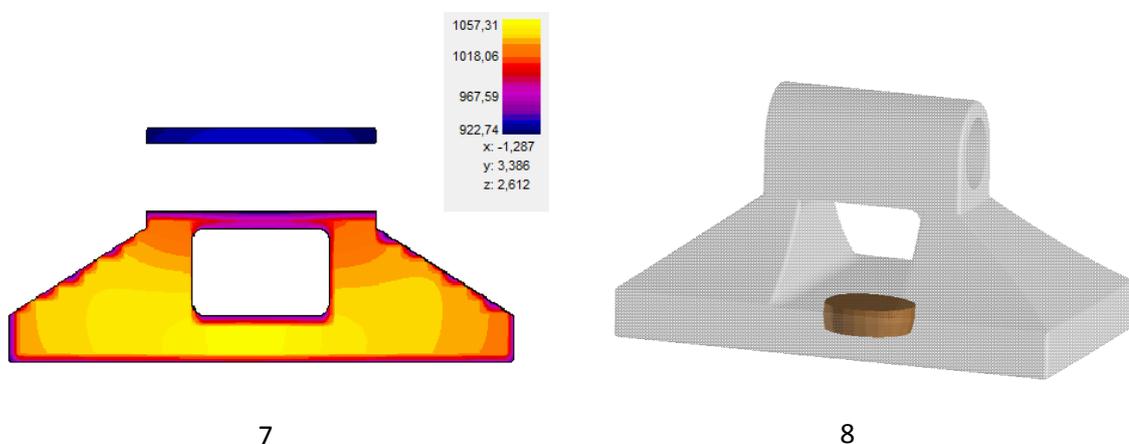


Fig.7 Temperature getto nella sezione con piano YZ (scala della temperatura in °F) Fig.8 Zone del getto caratterizzate da una temperatura di 1050 °F

2.4.6 Discussione della simulazione (solo getto)

La ragione dell'incongruenza fra l'analisi assistita e quella teorica riguarda il metodo dei moduli. In effetti questo metodo non dettaglia tra le superfici di scambio termico, superfici interne come fori, scanalature o più in generale superfici a contatto con anime. A tali superfici andrebbe assegnato un peso minore dell'unità a seconda dei casi. A sostegno di questa teoria vi è la fig.9 che rappresenta la temperatura del foro della sola forma. In particolare è possibile osservare come, a differenza delle superfici esterne del getto, in corrispondenza del foro, la forma ha una temperatura prossima a quella massima presente nella parte M_2 .

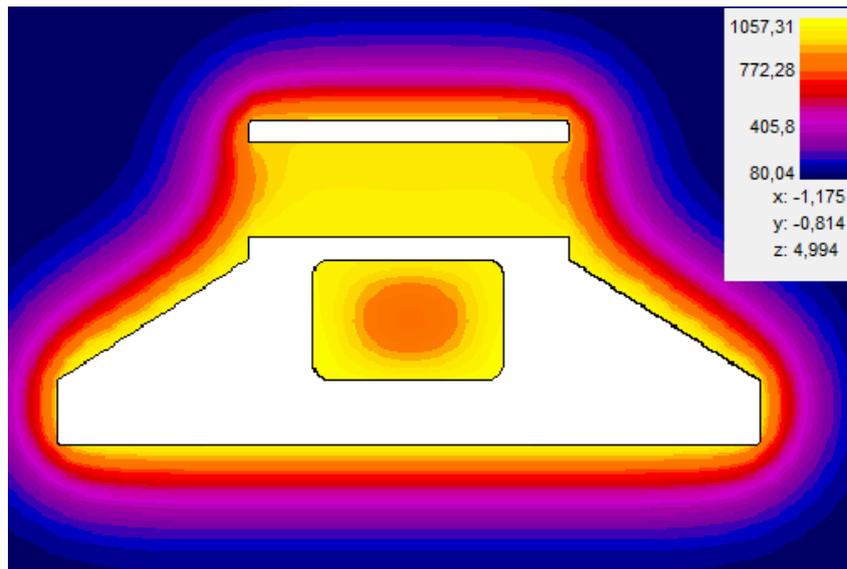


Fig. 9

2.4.7 Scelta del numero di materozze occorrenti

La simulazione solo getto sembra suggerire il piazzamento di una sola materozza in corrispondenza della parte M_2 . Dalla figura 7, però, è anche evidente come la zona caratterizzata dalla temperatura massima (o prossima) del getto interessi entrambe le parti M_1 - M_2 . La soluzione di alimentare il getto con un'unica materozza appare così poco cautelativa. Per questo motivo si sceglie di utilizzare due materozze in corrispondenza delle parti M_2 , seguendo in questo modo i risultati ottenuti con il metodo dei moduli. Con una successiva simulazione si avrà l'accortezza di verificare che le materozze riescano ad alimentare anche la parte M_2 .

2.4.8 Dimensionamento delle materozze e dei relativi collari di attacco

Da quanto descritto precedentemente, si posizionano due materozze cieche, di forma cilindrica, sulla superficie inferiore del getto in corrispondenza delle parti M_1 .

Dal dimensionamento della materozza e del collare di attacco⁴, effettuato attraverso il metodo dei moduli, sono stati ottenuti i seguenti risultati (fig.10 e fig.11):

Materozza

$$\phi=38 \text{ mm}$$

$$H=57 \text{ mm}$$

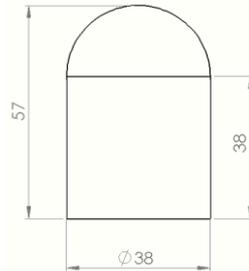


Fig. 10

Collare

$$a=28 \text{ mm}$$

$$b=24 \text{ mm}$$

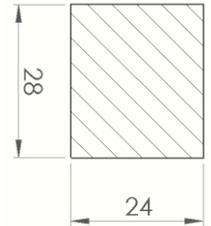


Fig. 11

2.4.9 Dimensionamento del sistema di colata

La progettazione di un sistema di colata viene effettuata partendo dal tempo di colata T e scegliendo il tipo di flusso: pressurizzato o non pressurizzato. Generalmente nelle colate in forma transitoria viene utilizzato il sistema pressurizzato per evitare, durante la discesa della lega, l'aspirazione di aria da parte del fluido. Il tempo di colata (oggi ottimizzato tramite software CAE) risulta importante per evitare che qualche parte del getto solidifichi prematuramente prima del termine della colata, portando quindi a problemi di riempimento. In maniera qualitativa un flusso pressurizzato si ottiene facendo decrescere progressivamente la sezione del canale durante la discesa del fluido. Per i motivi esposti la lega è stata distribuita attraverso due attacchi di colata in corrispondenza delle materozze. In questo modo viene "marcato" l'effetto delle materozze nel senso che sicuramente, al termine della colata, all'interno di queste si troveranno i punti a temperatura più alta. E' anche da sottolineare che la disposizione scelta permette di non effettuare ulteriori lavorazioni alle macchine utensili. Dal dimensionamento⁵ dei canali costituenti il sistema di colata⁶ sono stati ottenuti i risultati rappresentati in fig. 12.

⁴ Per lo svolgimento dei calcoli relativi al dimensionamento e alle verifiche necessarie a garantire l'integrità del getto, si rimanda all'appendice 2.

⁵ Per lo svolgimento dei calcoli relativi al dimensionamento dei canali di colata si rimanda all'appendice 2.

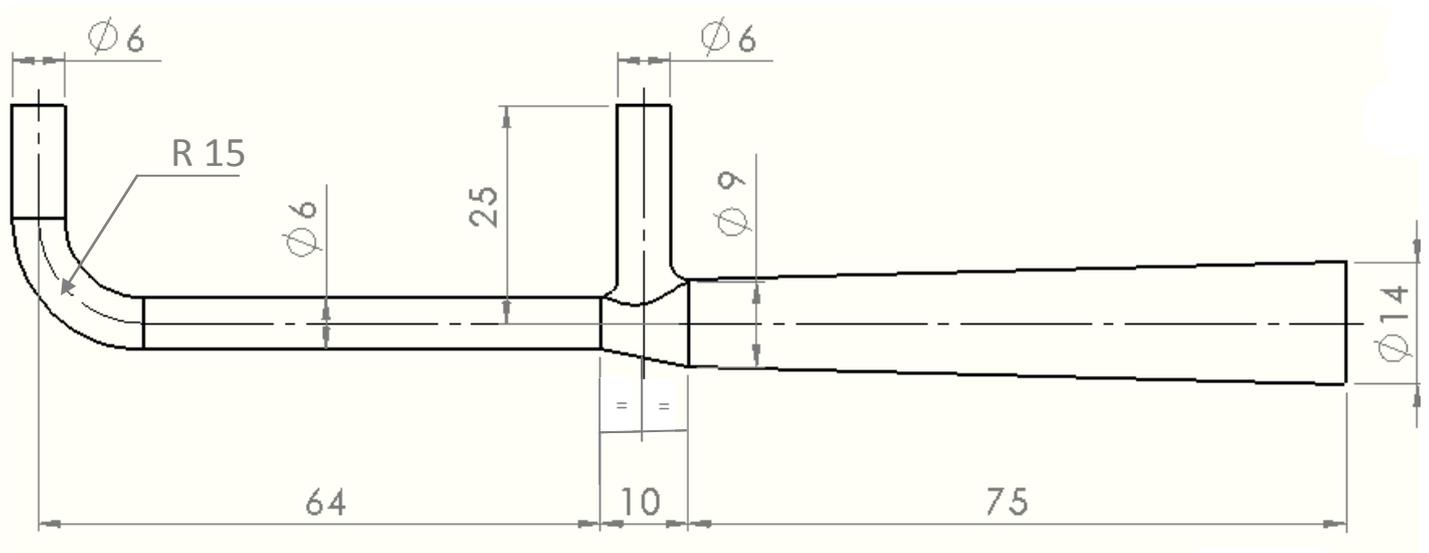


Fig. 12

2.4.10 Spinte metallostatiche

La forza totale a cui il guscio⁷ è sottoposto per effetto delle spinte metallostatiche⁸ è riportata in componenti nella figura 13.

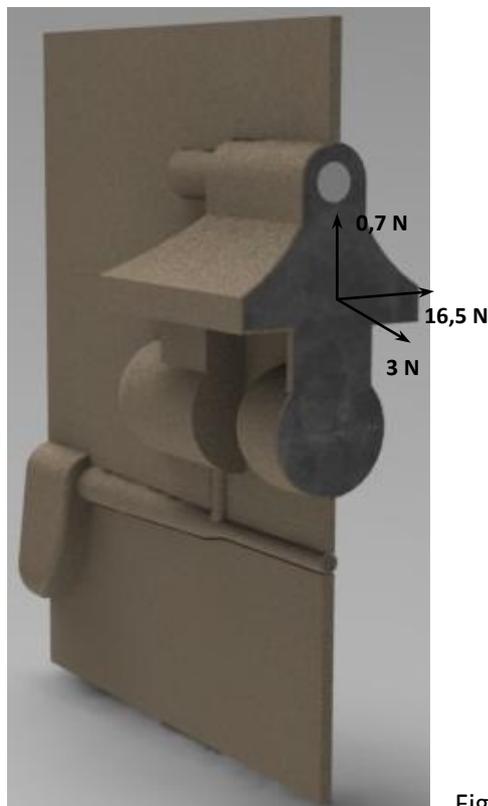


Fig. 13

⁷ Nella fig.13 le forze sono riferite al guscio destro, ma data la simmetria del getto e il piano di divisione scelto i valori coincidono anche per il guscio sinistro.

⁸ Per lo svolgimento dei calcoli relativi alle spinte metallostatiche si rimanda all'appendice 2.

2.4.11 Simulazione della solidificazione getto e materozze⁹

La prova, eseguita con le materozze, ha mostrato che le cavità di ritiro si formano effettivamente al loro interno.

Solidification time

Il solidification time mostra il tempo, in minuti, che ogni parte del getto impiega per diventare completamente solida. In seguito sono state messe delle immagini che rappresentano l'andamento della solidificazione nel getto: la zona gialla è quella non ancora solidificata.

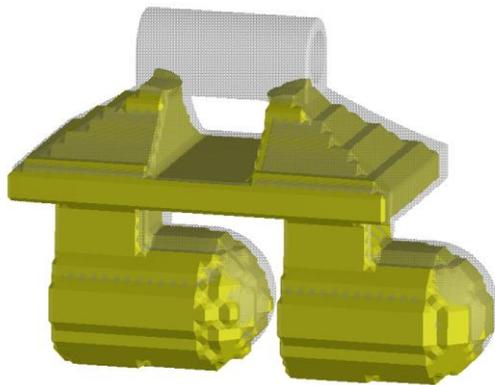


Fig. 14-a: lega liquida dopo 1 min.

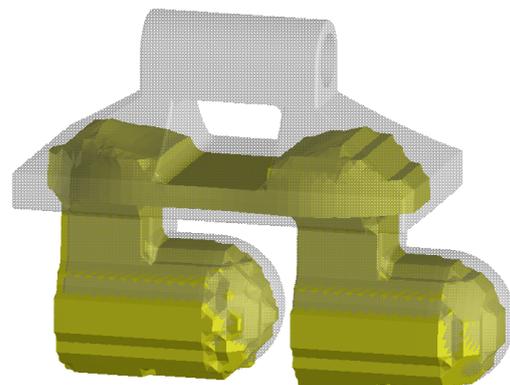


Fig. 14-b: lega liquida dopo 3,3 min.

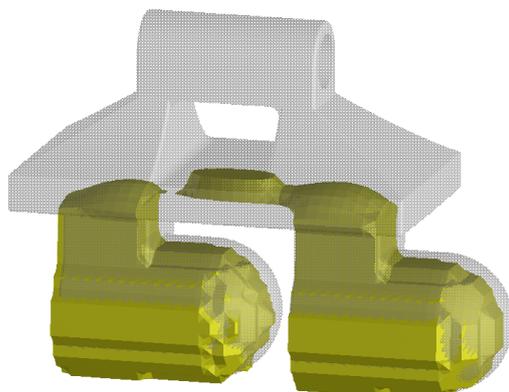


Fig. 14-c: lega liquida dopo 3,5 min.

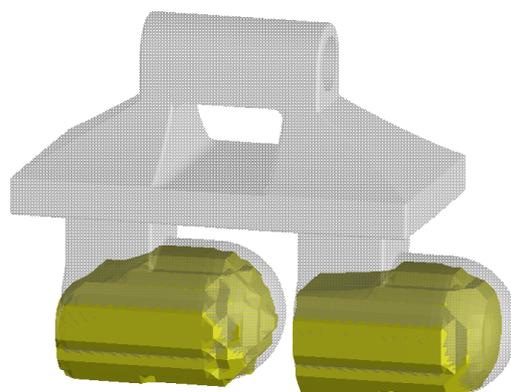


Fig. 14-d: lega liquida dopo 4 min.

⁹ Nelle immagini relative alla simulazione il getto è stato disposto orizzontalmente per una questione grafica, ma la colata avviene in realtà verticalmente (quindi con il getto ruotato di 90° in senso antiorario dalla posizione attuale)

La successione delle immagini 14-a,b,c,d mostra chiaramente come il processo di solidificazione avvenga in modo corretto, lasciando l'ultima parte di liquido nelle materozze.

Critical fraction solid time

Il Critical fraction solid time mostra il tempo, in minuti, che ogni parte del getto impiega per arrivare al punto critico di solidificazione. Questo è l'istante in cui la lega è solida al punto da non riuscire più a scorrere. L'analisi dell'andamento di questa funzione durante la solidificazione risulta utile nella valutazione dell'efficienza delle materozze. Infatti per una corretta solidificazione non dovrebbero aversi aree isolate nel getto in cui si raggiunga la condizione del Critical fraction solid time, ma esso dovrebbe essere raggiunto solo nelle materozze.

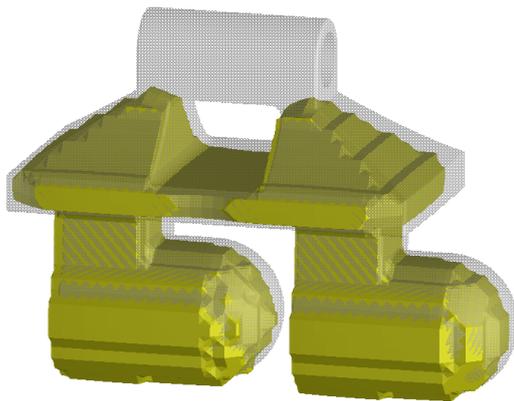


Fig. 15-a: Critical fraction solid dopo 0,4 min.

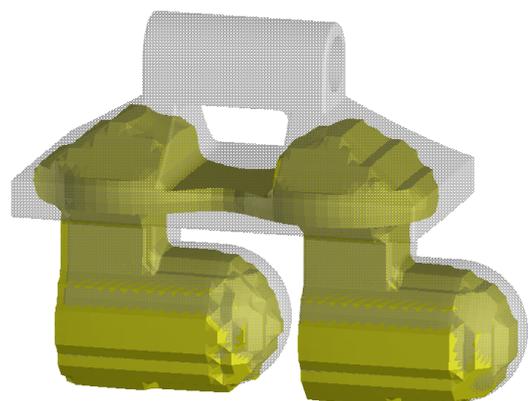


Fig. 15-b: Critical fraction solid dopo 0,6 min.

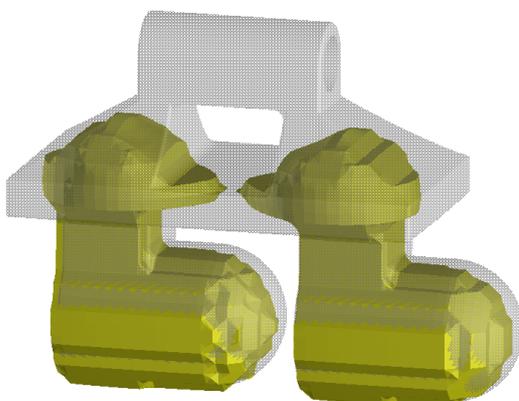


Fig. 15-c: Critical fraction solid dopo 0,7 min.

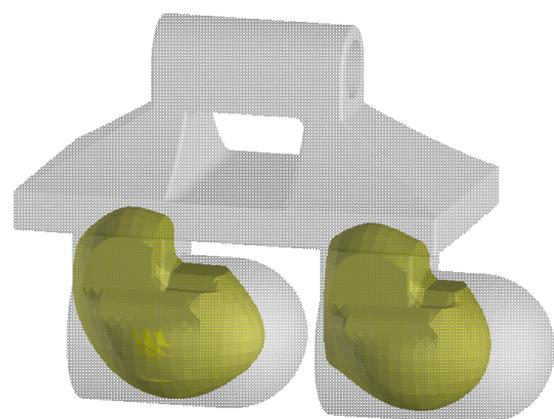


Fig. 15-d: Critical fraction solid dopo 1 min.

Material density function

La material density function mostra la densità della lega nel momento in cui tutto il getto è completamente solidificato. Le aree in cui si sono verificate porosità o cavità di ritiro presentano, a causa della mancanza di lega solida, una densità minore rispetto alle altre. La Material density function è un numero che varia da 0 a 1: con 0 si indica presenza nulla di lega e con 1 presenza totale di lega. In generale è possibile affermare che le zone con densità inferiore a 0,95 rappresentano vere e proprie cavità di ritiro, zone con densità compresa fra 0,95 e 0,98 rappresentano zone con porosità e le zone con densità superiore a 0,999 rappresentano regioni completamente riempite di lega.

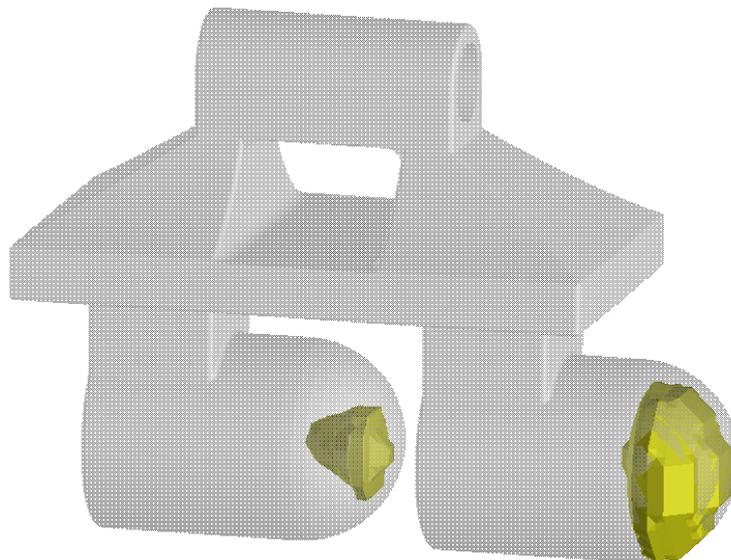


Fig. 16-a: Material density 0,95: cavità di ritiro.

La fig.16-a rappresenta una prospettiva del modello in cui sono evidenziate in giallo zone con densità inferiore a 0,95: queste zone sono cavità di ritiro.

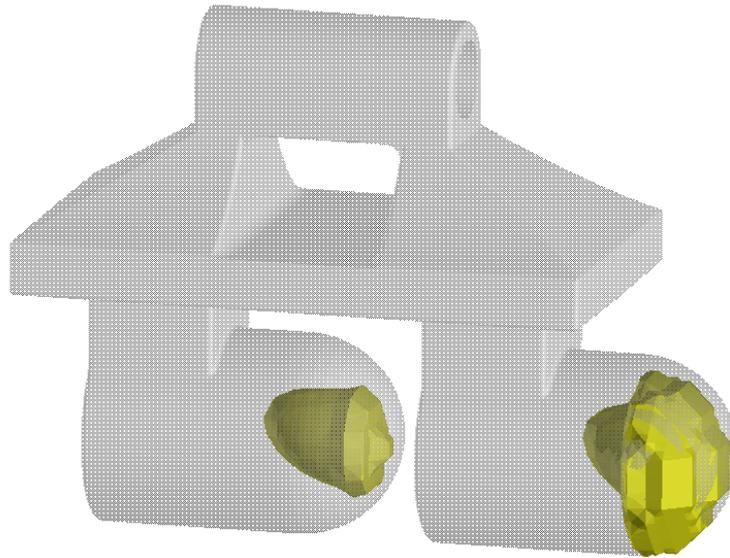


Fig. 16-b: Material density 0,98: cavità di ritiro e macroporosità.

La fig.16-b rappresenta una prospettiva del modello in cui sono evidenziate in giallo zone con densità inferiore a 0,98: le zone gialle che compaiono nella 15-b e non nella 15-a rappresentano macroporosità.

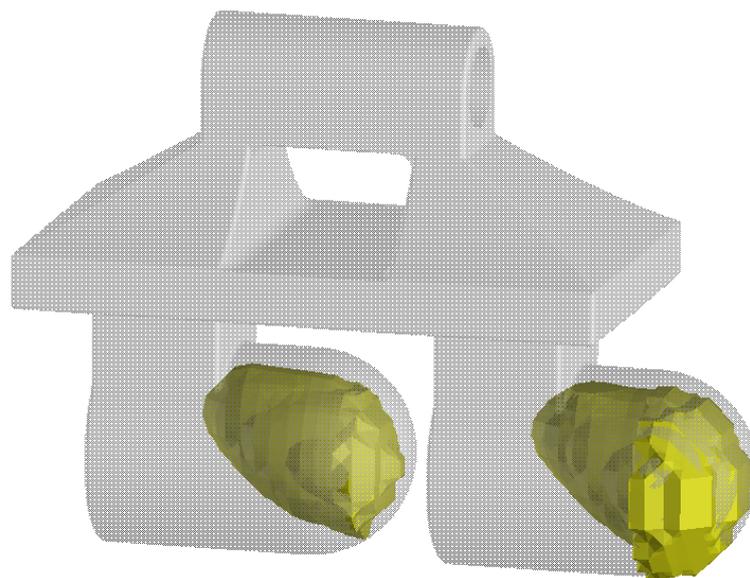


Fig. 16-c: Material density 0,999: cavità di ritiro, macroporosità e microporosità.

La fig.16-c rappresenta una prospettiva del modello in cui sono evidenziate in giallo zone con densità inferiore a 0,999: le zone gialle che compaiono nella 16-c e non nella 16-b rappresentano microporosità. Le immagini 16-a,b,c mostrano come i difetti dovuti a fenomeni di ritiro (cavità di ritiro, macroporosità e microporosità) sono confinate nelle materozze. Questo garantisce un getto di ottima qualità.

2 Appendice

A-2.4.4 Moduli di raffreddamento

M₁

Volume¹⁰ (fig.A-1)

$$V_1 = \left[\frac{(60 + 22)}{2} \cdot 19 \right] \cdot 10 = 7790 \text{ mm}^3$$

$$V_2 = 60 \cdot 10 \cdot 40 = 24000 \text{ mm}^3$$

$$V_3^{11} = \frac{\left[\frac{(60 + 22)}{2} \cdot 19 \right] \cdot 30}{2} = 11685 \text{ mm}^3$$

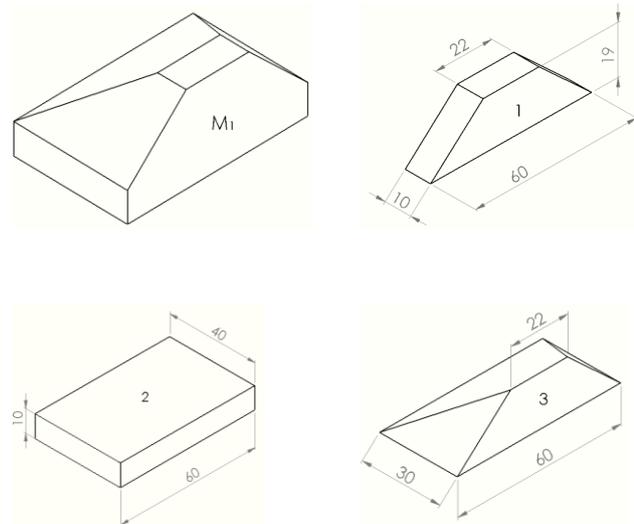


Fig. A-1

Superficie di scambio termico (fig.A-2)¹²

$$S = (60 \cdot 10) + (40 \cdot 10 \cdot 2) + (60 \cdot 40) +$$

$$(2 \cdot 10 \cdot \sqrt{2} \cdot 19) + (\sqrt{2} \cdot 19 \cdot 30) +$$

$$\left(\frac{(22 + 60)}{2} \cdot \sqrt{19^2 + 30^2} \right) = 6600 \text{ mm}^2$$

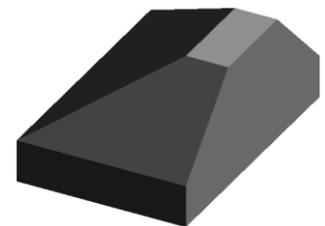


fig.A-2: le superfici in grigio scuro sono quelle di scambio termico

Modulo

$$M_1 = \frac{(11685 + 24000 + 7790)}{6819,4} \cong 6,3 \text{ mm}$$

¹⁰ Per agevolare il calcolo (data la minima influenza) sono stati trascurati raccordi e angoli di sforno; inoltre è stata approssimata la superficie cilindrica delle sottoparti 1-3 con una superficie piana la cui generatrice coincide con la corda dell'arco in proiezione ortogonale.

¹¹ È stato stimato il volume della sottoparte 3 come la metà di un prisma a base trapezia; in questo modo il volume è leggermente minore di quello effettivo, ma dato che anche le superfici di scambio termico sono minori di quelle reali (nota 7) il risultato finale ne verrà poco influenzato.

¹² Nella figura A-2 non è rappresentata la superficie inferiore; tale superficie va ad aggiungersi a quelle di scambio.

M₂Volume (fig.A-3)

$$V = 60 \cdot 10 \cdot 30 = 18000 \text{ mm}^3$$

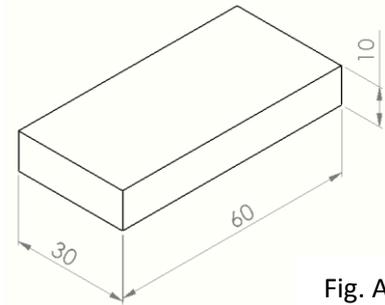


Fig. A-3

Superficie di scambio termico (fig.A-4)

$$S = (30 \cdot 10 \cdot 2) + (60 \cdot 30 \cdot 2) = 4200 \text{ mm}^2$$

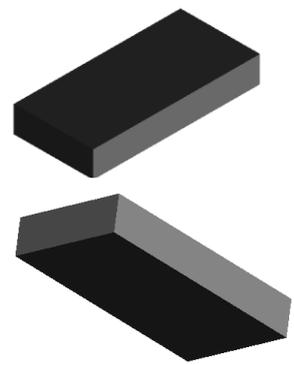


fig.A-4: le superfici in grigio scuro sono quelle di scambio termico

Modulo

$$M_2 = \frac{18000}{4200} \cong 4,3 \text{ mm}$$

M₃Volume (fig.A-5)

$$V = (\pi \cdot 11^2 \cdot 50) - (\pi \cdot 7,5^2 \cdot 50) + (50 \cdot 22 \cdot 11) -$$

$$\left(\frac{\pi \cdot 11^2 \cdot 50}{2} \right) = 12767,6 \text{ mm}^3$$

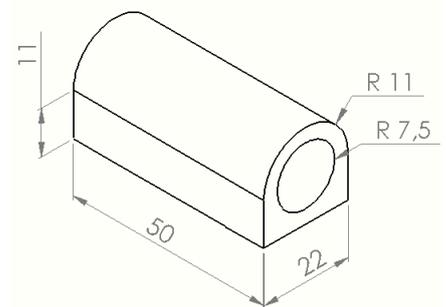


Fig. A-5

Superficie di scambio termico (fig.A-6)

$$S = \left(\frac{\pi \cdot 22 \cdot 50}{2} \right) + (\pi \cdot 15 \cdot 50) + (2 \cdot 50 \cdot 11)$$

$$(22 \cdot 10) + \left(\frac{\pi \cdot 11^2}{2} \right) - (\pi \cdot 7,5^2) + (30 \cdot 22) = 6077 \text{ mm}^2$$

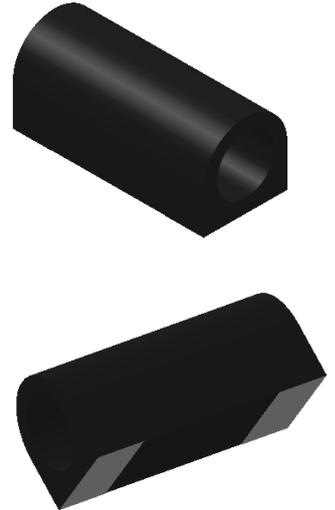


fig.A-6: le superfici in grigio scuro sono quelle di scambio termico

Modulo

$$M_3 = \frac{12768}{6077} \cong 2,1 \text{ mm}$$

A-2.4.8 Dimensionamento delle materozze e dei relativi collari d'attacco

Modulo da proteggere

$$M_1 = 6,3 \text{ mm}$$

Modulo della materozza

$$M_m = 1,2 \cdot 6,2 = 7,4 \text{ mm}$$

Dimensioni della materozza

$$V_m = 156 \cdot M^3 = 63215 \text{ mm}^3 \Rightarrow D = \sqrt[3]{\frac{V}{1,04}} = 38 \text{ mm} \Rightarrow H = 1,5 \cdot D = 57 \text{ mm}$$

Modulo collare d'attacco

$$M_c = \frac{7,4}{1,1} = 6,7 \text{ mm}$$

Dimensioni del collare

- a=28

$$M_c = \frac{a \cdot b}{2 \cdot (a + b)} \xrightarrow{a=28} b = \frac{2 \cdot 28 \cdot 6,7}{(28 - 2 \cdot 6,7)} = 24 \text{ mm}$$

Verifica volume alimentabile

- $V_g^{13} = 162346 \text{ mm}^3$
- $b^{14} = 3,5$
- $V_{max} = V_m \cdot \frac{(20-b)}{b} = 189645 \text{ mm}^3$

Ogni materozza protegge metà del getto quindi la verifica risulta positiva

$$V_{max} > \frac{V_g}{2}$$

Raggio di influenza

(fig.A-7)

- $S = \left[\frac{(10+19,5+29)}{3} \right] = 19,5 \text{ mm}$

- $k^{15} = 6$

- $R = k \cdot S = 117 \text{ mm}$

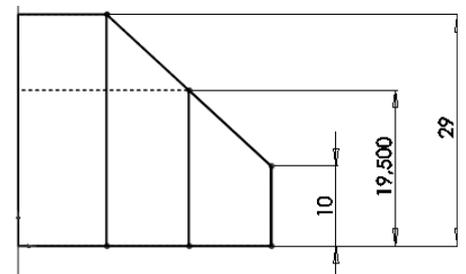


Fig. A-7

Dalla fig.A-8 è evidente che il raggio d'azione delle materozze è sufficiente a proteggere il getto.

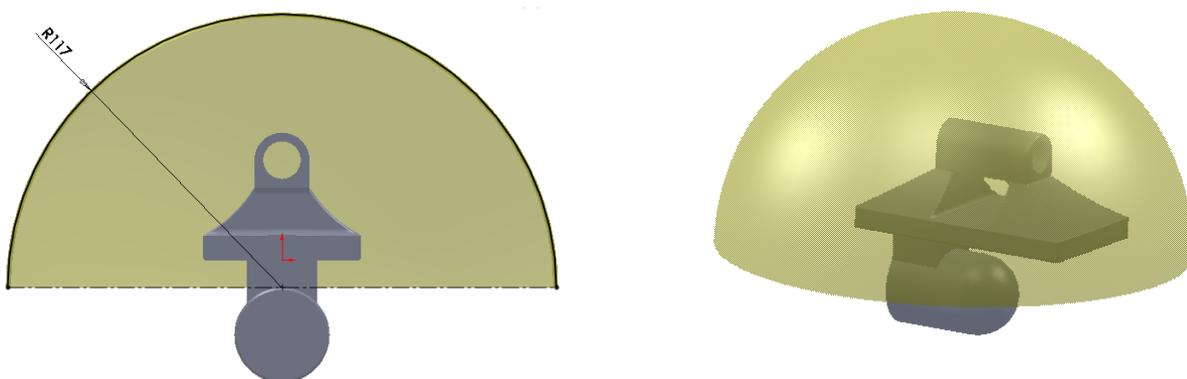


Fig. A-8: Raggio di influenza di una sola materozza.

¹³ Il volume del getto è comprensivo di collari di attacco.

¹⁴ M.Santochi, F.Giusti, "Tecnologia meccanica e studi di fabbricazione", 2° edizione, Ed. Ambrosiana, fig.4-33.

¹⁵ M.Santochi, F.Giusti, "Tecnologia meccanica e studi di fabbricazione", 2° edizione, Ed. Ambrosiana, paragrafo 4.3.3.

Inoltre le dimensioni delle materozze ottenute con il metodo dei moduli coincidono con quelle proposte dal software solidcast attraverso l'utility *Materozzatura assistita* (fig.A-9).

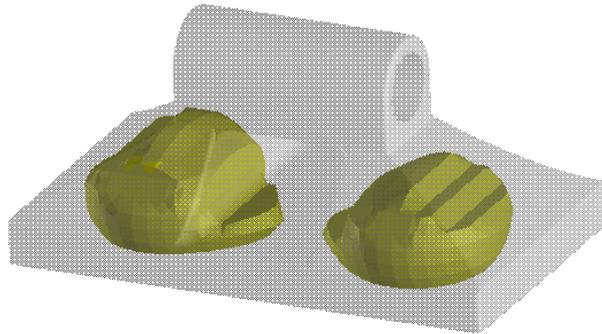


Fig. A-9-a: Aree da alimentare

| Materozzatura SOLIDCast | | | |
|--|-------------------------------------|---|--|
| Calcolo materozze | | | |
| Disegna la materozza 1 | | | |
| Modulo getto | <input type="text" value="0,539"/> | cm | |
| Volume getto | <input type="text" value="58,178"/> | cm ³ | |
| Rapporto moduli mat./getto | <input type="text" value="1,2"/> | | |
| Modulo richiesto materozza | <input type="text" value="0,646"/> | cm | |
| <input checked="" type="radio"/> In sabbia | Fattore incremento modulo | <input type="text" value="1"/> | |
| <input type="radio"/> Manica isolante | | | |
| <input type="radio"/> Manica esotermica | | | |
| Calcolatore | | | |
| Calcola il diametro in base ad un'altezza data e al modulo richiesto | | Calcola l'altezza in base ad un dato diam. ed al modulo richiesto | |
| Calcolare il modulo in base al diametro e altezza | | Calcolare diam. e altezza in base al rapporto H:D ed il modulo desiderato | |
| Diametro materozza | <input type="text" value="34,468"/> | mm | Volume mat. attuale: <input type="text" value="48,244"/> |
| Altezza materozza | <input type="text" value="51,702"/> | mm | Vol. richiesto materozza <input type="text" value="26,596"/> |
| Modulo mat. attuale | <input type="text" value="0,646"/> | cm | Efficienza materozza <input type="text" value="10,07"/> |
| Rapporto altezza:diametro | <input type="text" value="1,5"/> | | Volume materozza OK <input type="checkbox"/> Usare Wlodawer |

Fig. A-9-b: Dimensioni materozza e verifica volume alimentabile

A-2.4.9 Dimensionamento del sistema di colata

La densità della lega è

- $\gamma = 2,7 \frac{\text{Kg}}{\text{dm}^3}$

dal volume si ricava il peso complessivo del getto

- $G = V^{16} \cdot \gamma = 0,67 \text{ Kg}$

il tempo di colata viene calcolato attraverso la formula empirica

- $T = 3,2 \cdot \sqrt{G} = 2,6 \text{ s}$

quindi la portata massica di lega che deve fluire nel getto risulta

- $K = \frac{G}{T} = 0,26 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$

Con riferimento alla figura A-10 si ottengono, dall'applicazione della legge di Bernoulli alla discesa del fluido (velocità Torricelliana), i seguenti valori delle velocità

- $v_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot 31 \cdot 10^{-3}} = 0,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

- $v_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot (31 + 75) \cdot 10^{-3}} = 1,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

- $v_3 = \sqrt{2 \cdot g \cdot (31 + 75 + 5) \cdot 10^{-3}} = 1,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

- $v_4 = \sqrt{2 \cdot g \cdot (31 + 75 + 10) \cdot 10^{-3}} = 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

- $v_5 = \sqrt{2 \cdot g \cdot (31 + 75 + 10 + 64) \cdot 10^{-3}} = 1,9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

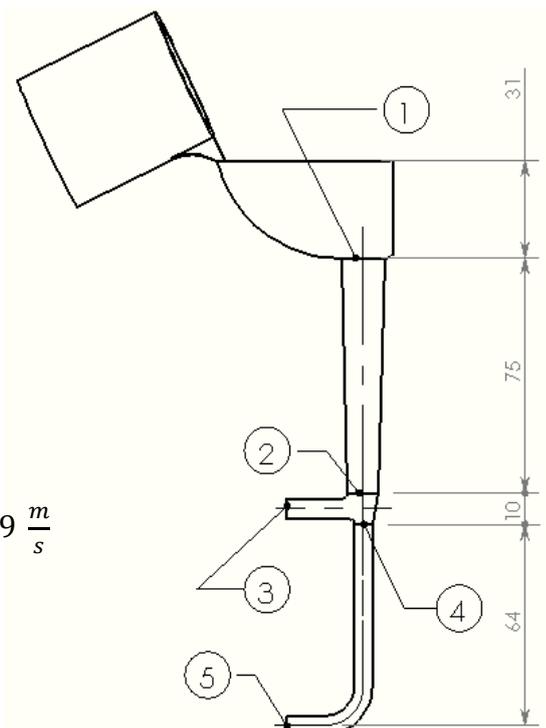


Fig. A-10

¹⁶ Il volume in questione comprende il greggio, le materozze e i collari d'attacco.

dalle velocità, e dalla portata massica prima calcolata, si ottengono le sezioni degli attacchi di colata¹⁷

- $S_3 = \frac{K}{2 \cdot \gamma \cdot v_3} = 33 \text{ mm}^2$
- $S_5 = \frac{K}{2 \cdot \gamma \cdot v_5} = 26 \text{ mm}^2$

applicando la legge di conservazione della portata alle varie sezioni del canale di colata si perviene al seguente sistema (determinato)

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_1 = Q_2 \\ Q_2 - Q_3 = Q_4 \\ Q_4 = Q_5 \end{array} \right.$$

la soluzione del sistema porta al valore delle sezioni rimanenti del sistema di colata

- $S_1 = \frac{v_5 \cdot S_5 + v_3 \cdot S_3}{v_1} = 124 \text{ mm}^2$
- $S_2 = \frac{v_5 \cdot S_5 + v_3 \cdot S_3}{v_2} = 67 \text{ mm}^2$
- $S_4 = \frac{v_5 \cdot S_5}{v_4} = 32 \text{ mm}^2$

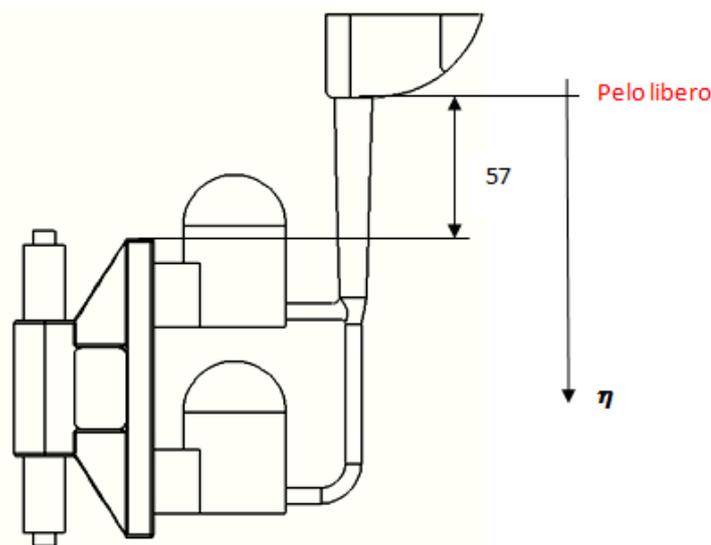
adottando per ogni sezione una geometria circolare si ricavano i relativi raggi

- $r_1 = 7 \text{ mm}$
- $r_2 = 5 \text{ mm}$
- $r_3 = 3 \text{ mm}$
- $r_4 = 3 \text{ mm}$
- $r_5 = 3 \text{ mm}$

¹⁷ La portata massica complessiva è stata equiripartita fra gli attacchi di colata.

A-2.4.10 Spinte metallostatiche

Di seguito vengono svolti i calcoli relativi alle spinte metallostatiche gravanti su ogni superficie¹⁸ interna della shell. I risultati¹⁹ delle spinte metallostatiche permettono di capire l'insorgere di un eventuale difetto nel getto noto in fonderia come bava²⁰. Infatti questo difetto si ha quando le forme (in questo caso i gusci) per effetto delle spinte metallostatiche, non correttamente bilanciate, tendono ad aprirsi formando un meato in cui la lega fluisce, conferendo al getto delle appendici sottili e frastagliate. Per lo svolgimento dei calcoli si fa riferimento allo schema riportato in basso, attraverso il quale è possibile definire la quota piezometrica di ogni punto del getto.



Per identificare le varie superfici costituenti lo shell è stato posto un numero simbolico ad ognuna di esse come in figura A-11.

¹⁸ E' stata approssimata la superficie cilindrica delle sottoparti 1-3 con una superficie piana la cui generatrice coincide con la corda dell'arco in proiezione ortogonale.

¹⁹ E' stato trascurato l'effetto del sistema di colata perché si è ritenuto che questo avesse una minima influenza sul risultato delle spinte.

²⁰ L'analisi delle spinte metallostatiche può risultare utile anche per verifiche di resistenza e rigidezza della forma e delle anime.

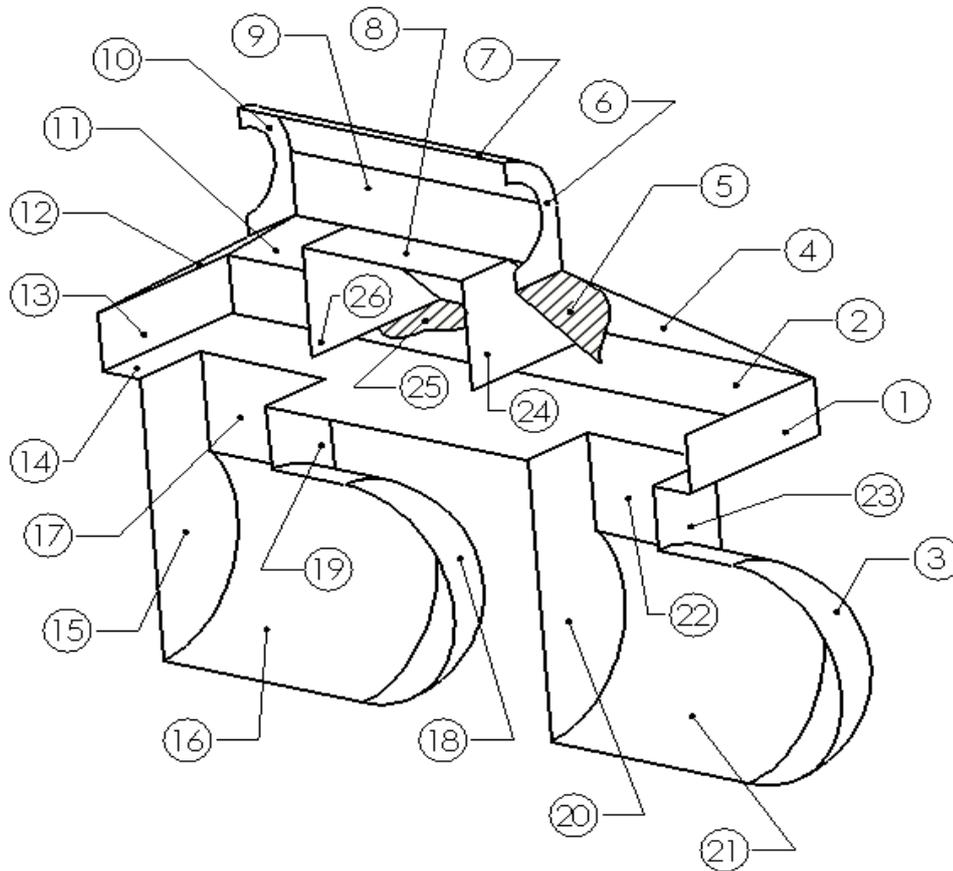
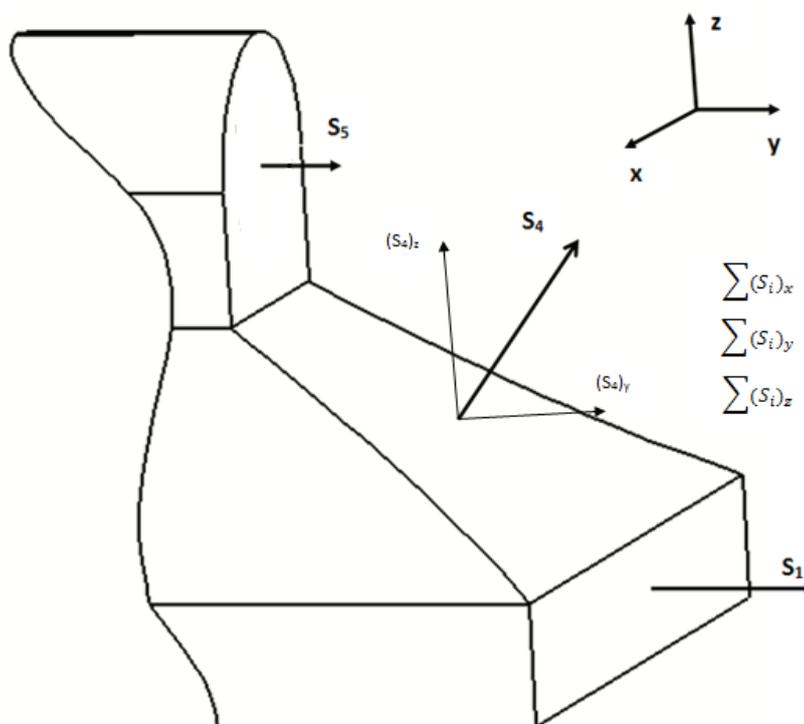


Fig. A-11

Il calcolo è svolto sequenzialmente secondo i seguenti passi (fig A-12):

- Calcolo delle componenti x,y,z della spinta agente su ogni superficie
- Somma estesa a tutte le superfici dello shell per ogni componente



Per non appesantire questa sezione, sarà descritto dettagliatamente il calcolo per tre superfici, mentre per le rimanenti vengono riportati i soli risultati finali. Con riferimento alla figura A-11:

- A_1

La superficie A_1 è rettangolare e la quota piezometrica del centroide risulta (fig. A-13)

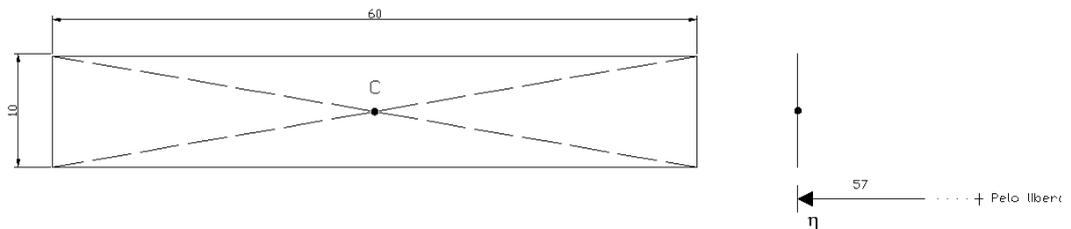


Fig. A-13

$$h_c = 57 \text{ mm}$$

$$A_1 = 10 \cdot 60 = 600 \text{ mm}^2$$

$$(S_1)_x = 0 \text{ N}$$

$$(S_1)_y = 0,9 \text{ N}$$

$$(S_1)_z = 0 \text{ N}$$

- A_2

La superficie A_2 è rettangolare (fig. A-14)

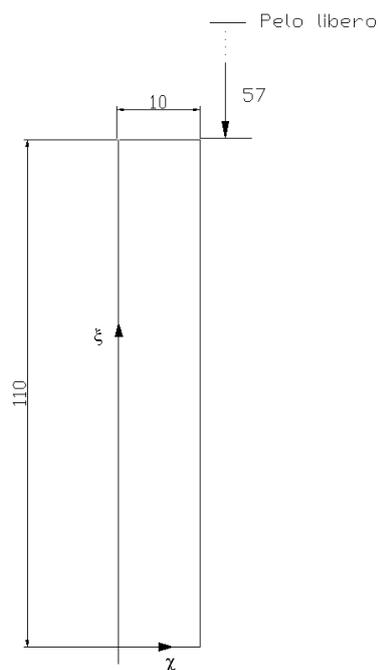


Fig. A-14

la pressione risulta

$$p(\xi) = \rho \cdot g \cdot (57 + 110 - \xi)$$

esprimendo la superficie Σ attraverso il seguente insieme

$$\Sigma = [(x, y) \in R^2: 0 \leq \chi \leq 10, 0 \leq \xi \leq 110]$$

Le componenti della spinta metallostatica risultano

$$(S_2)_x = \int_0^{10} \left(\int_0^{110} \rho \cdot g \cdot (167 - \eta) \cdot d\xi \right) \cdot d\chi = -3,2 \text{ N}$$

$$(S_2)_y = 0 \text{ N}$$

$$(S_2)_z = 0 \text{ N}$$

- A_3

La superficie in questione ha forma semi-sferica (cielo materozza)

A-15

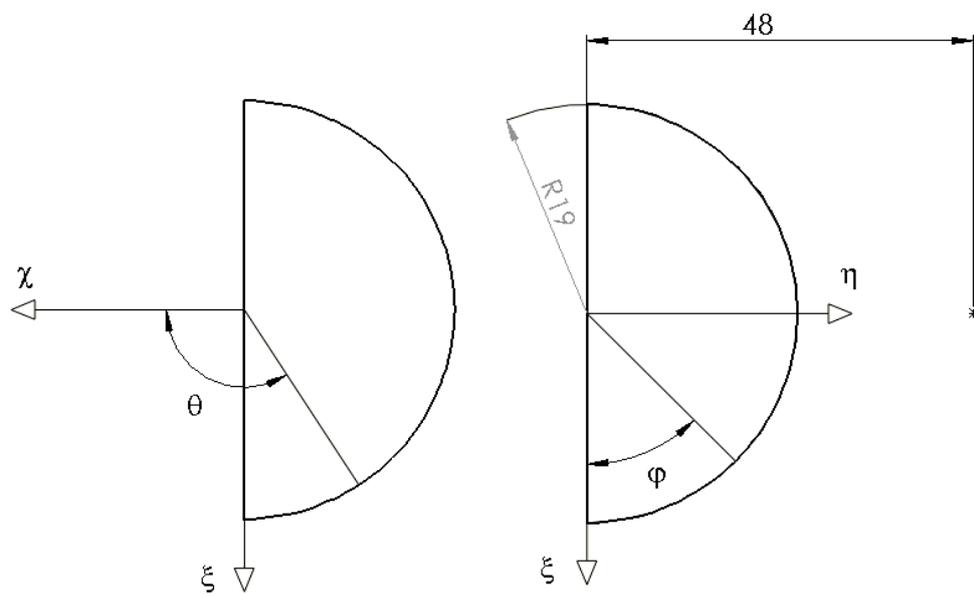


Fig. A-15

la pressione risulta

$$p(z) = \rho \cdot g \cdot (48 - \eta)$$

esprimendo la superficie Σ attraverso il seguente insieme

$$\Sigma = \begin{cases} \chi = 19 \cos \varphi \cos \theta & \frac{\pi}{2} \leq \theta \leq 3\frac{\pi}{2} \\ \xi = 19 \cos \varphi \sin \theta & \\ \eta = 19 \sin \varphi & 0 \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

per le componenti si procede scomponendo la densità superficiale di forza (pressione) in ogni direzione e integrando sulla superficie in questione; quindi risulta

$$(S_3)_x = \int_{\frac{\pi}{2}}^{3\frac{\pi}{2}} \left(\int_0^{\frac{\pi}{2}} 19^2 \cdot \rho \cdot g \cdot (48 - 19 \cdot \sin\varphi) \cdot \cos\varphi^2 \cdot \cos\theta \cdot d\varphi \right) \cdot d\theta = -0,7 \text{ N}$$

$$(S_3)_y = \int_{\frac{\pi}{2}}^{3\frac{\pi}{2}} \left(\int_0^{\frac{\pi}{2}} 19^2 \cdot \rho \cdot g \cdot (48 - 19 \cdot \sin\varphi) \cdot \sin\varphi \cdot \cos\varphi \cdot d\varphi \right) \cdot d\theta = 0,9 \text{ N}$$

$$(S_3)_z = - \int_{\frac{\pi}{2}}^{3\frac{\pi}{2}} \left(\int_0^{\frac{\pi}{2}} 19^2 \cdot \rho \cdot g \cdot (48 - 19 \cdot \sin\varphi) \cdot \cos\varphi^2 \cdot \sin\theta \cdot d\varphi \right) \cdot d\theta = 0 \text{ N}$$

- A_4
 $(S_4)_x = -1,32 \text{ N}$
 $(S_4)_y = 0 \text{ N}$
 $(S_4)_z = 0,7 \text{ N}$
- A_5
 $(S_5)_x = 0 \text{ N}$
 $(S_5)_y = 0,3 \text{ N}$
 $(S_5)_z = 1,1 \text{ N}$
- A_6
 $(S_6)_x = 0 \text{ N}$
 $(S_6)_y = 0,3 \text{ N}$
 $(S_6)_z = 0 \text{ N}$
- A_7
 $(S_7)_x = -1,25 \text{ N}$
 $(S_7)_y = 0 \text{ N}$
 $(S_7)_z = 1,25 \text{ N}$
- A_8
 $(S_8)_x = 0 \text{ N}$
- A_9
 $(S_9)_x = -1,6 \text{ N}$
 $(S_9)_y = 0 \text{ N}$
 $(S_9)_z = 0 \text{ N}$
- A_{10}
 $(S_{10})_x = 0 \text{ N}$
 $(S_{10})_y = -0,5 \text{ N}$
 $(S_{10})_z = 0 \text{ N}$
- A_{11}
 $(S_{11})_x = -2,21 \text{ N}$
 $(S_{11})_y = 0 \text{ N}$
 $(S_{11})_z = 1,2 \text{ N}$
- A_{12}
 $(S_{12})_x = 0 \text{ N}$
 $(S_{12})_y = -1,94 \text{ N}$
 $(S_{12})_z = 2,15 \text{ N}$
- A_{13}
 $(S_{13})_x = 0 \text{ N}$
 $(S_{13})_y = -1,3 \text{ N}$
 $(S_{13})_z = 0 \text{ N}$

$$(S_8)_y = 0 \text{ N}$$

$$(S_8)_z = -1 \text{ N}$$

- A_{14}

$$(S_{14})_x = 0 \text{ N}$$

$$(S_{14})_y = 0 \text{ N}$$

$$(S_{14})_z = -5,8 \text{ N}$$

- A_{20}

$$(S_{20})_x = 0 \text{ N}$$

$$(S_{20})_y = -1,7 \text{ N}$$

$$(S_{20})_z = 0 \text{ N}$$

- A_{15}

$$(S_{15})_x = 0 \text{ N}$$

$$(S_{15})_y = -3,2 \text{ N}$$

$$(S_{15})_z = 0 \text{ N}$$

- A_{21}

$$(S_{21})_x = 0,8 \text{ N}$$

$$(S_{21})_y = 0 \text{ N}$$

$$(S_{21})_z = -0,4 \text{ N}$$

- A_{16}

$$(S_{16})_x = 1,3 \text{ N}$$

$$(S_{16})_y = 0 \text{ N}$$

$$(S_{16})_z = -0,8 \text{ N}$$

- A_{22}

$$(S_{22})_x = -0,8 \text{ N}$$

$$(S_{22})_y = 0 \text{ N}$$

$$(S_{22})_z = 0 \text{ N}$$

- A_{17}

$$(S_{17})_x = -1,6 \text{ N}$$

$$(S_{17})_y = 0 \text{ N}$$

$$(S_{17})_z = 0 \text{ N}$$

- A_{23}

$$(S_{23})_x = 0 \text{ N}$$

$$(S_{23})_y = 0,3 \text{ N}$$

$$(S_{23})_z = 0 \text{ N}$$

- A_{18}

$$(S_{18})_x = -1,1 \text{ N}$$

$$(S_{18})_y = 1,4 \text{ N}$$

$$(S_{18})_z = 0 \text{ N}$$

- A_{24}

$$(S_{24})_x = 0 \text{ N}$$

$$(S_{24})_y = -1 \text{ N}$$

$$(S_{24})_z = 0 \text{ N}$$

- A_{19}

$$(S_{19})_x = 0 \text{ N}$$

$$(S_{19})_y = 0,65 \text{ N}$$

- A_{25}

$$(S_{25})_x = 0 \text{ N}$$

$$(S_{25})_y = 0 \text{ N}$$

$$(S_{25})_z = 1 \text{ N}$$

$$(S_{19})_z = 0 \text{ N}$$

- A_{26}

$$S_{26} = 1,3 \text{ N}$$

$$(S_{26})_x = 0 \text{ N}$$

$$(S_{26})_y = 1,3 \text{ N}$$

Per quanto riguarda la spinta trasmessa al guscio attraverso le portate d'anima, questa può ricavarsi facendo riferimento alla porzione di superficie dell'anima bagnata dalla lega (fig. A-16)



Fig. A-16

esprimendo la superficie di cui sopra con il seguente insieme

$$\Sigma = \begin{cases} \Psi = 7,5 \sin \theta & -\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \\ \xi = 7,5 \cos \theta & \\ \eta = \eta & 0 \leq \eta \leq 50 \end{cases}$$

ed essendo la pressione idrostatica pari a

$$p(\eta) = \rho \cdot g \cdot (87 + \eta)$$

si ottengono per integrazione le componenti della spinta gravante sulle portate d'anima del guscio

$$(S_3)_x = \int_0^{50} \left(\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} 7,5 \cdot \rho \cdot g \cdot (87 + \eta) \cos \theta \cdot d\theta \right) \cdot d\eta = -2,22 \text{ N}$$

$$(S_3)_y = 0 \text{ N}$$

$$(S_3)_z = 0 \text{ N}$$

Le componenti risultanti delle spinte metallostatiche agenti sullo shell risultano

- $S_x = \sum_{i=1}^{26} (S_i)_x \cong -13 \text{ N}$ (pari circa al peso di 1,3 Kg)
- $S_y = \sum_{i=1}^{26} (S_i)_y = -3 \text{ N}$ (pari circa al peso di 0,3 Kg)
- $S_z = \sum_{i=1}^{26} (S_i)_z = -0,7 \text{ N}$ (pari circa al peso di 0,07 Kg)

La risultante x delle spinte metallostatiche tende ad allontanare i gusci dal piano di divisione. Ciò porterebbe alla formazione di bave. Questo pericolo è sicuramente assente in questo caso data l'entità della spinta, bilanciata ampiamente dalla terra interposta fra i gusci e l'involucro e le spine di riferimento dei gusci stessi (che definisco un accoppiamento forzato). Lo stesso ragionamento vale per la componente z. Per quanto riguarda la componente y, un suo valore positivo potrebbe far fuoriuscire²¹ parzialmente i gusci dall'involucro. Ovviamente in questo caso il valore di tale componente risulta negativo e va quindi ad aggiungersi al peso dei gusci.

²¹Il suo valore deve comunque superare la somma data dal peso dei gusci e dalla forza d'attrito che si genera fra i gusci stessi e la terra .

3 Ciclo di lavorazione alle M.U.

3.1 Disegni di definizione

Per i disegni di definizione degli elementi “supporto inferiore” e “supporto superiore” si veda Allegato 1- tavola 2-3-4-5.

3.2 Scelta dei processi di lavorazione

- Supporto inferiore

La figura 17 mostra l'elemento “supporto inferiore” finito affiancato al greggio di partenza. Sono state contrassegnate con un numero le superfici da ottenere attraverso lavorazione per asportazione di truciolo e le possibili superfici necessarie al riferimento e bloccaggio del componente sulla macchina utensile.

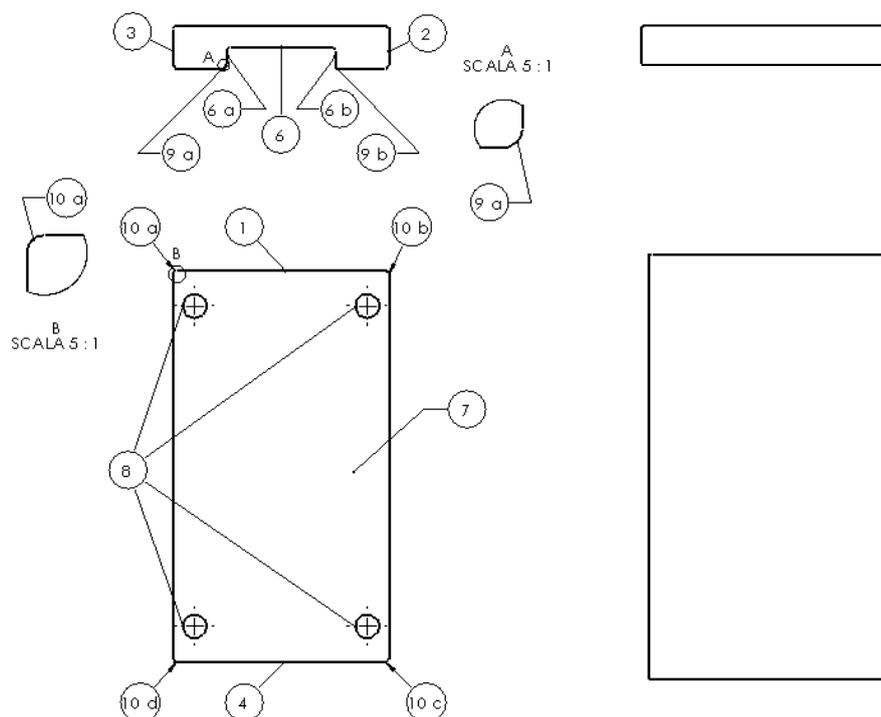


Fig. 17

Per un'idea di massima delle lavorazioni occorrenti, sono state raccolte nella tabella 1 le superfici da lavorare specificandone la tipologia e descrivendo, in funzione di questa, i processi possibili.

| n° superficie | tipologia | processi possibili |
|---------------------|------------------------|--------------------|
| 1,4 | piane | fresatura |
| 6, 6 a, 6 b | piane | fresatura |
| 8 | Cilindriche interne | foratura |
| 9-a,b,10-a, b, c, d | Cilindriche esterne | fresatura |

Tab.1

Si raggruppano ora le superfici ottenibili con il medesimo processo di lavorazione nella tabella 2.

| n° superficie | processo |
|---------------------------------------|-----------|
| 1,4, 6, 6 a, 6 b, 9-a,b, 10-a, b c, d | fresatura |
| 8 | foratura |

Tab.2

Infine viene stilato il ciclo¹ di lavorazione nella tabella 3.

| fase | operazioni | macchina |
|------|---|---------------------------------|
| 10 | Fresatura 1, 4, 6, 6-a, b, 9-a, b, 10-a, b, c, d Foratura 8 | Fresatrice verticale a CN |

Tab.3

- Supporto superiore

La figura 18 mostra l'elemento "supporto superiore" finito affiancato al greggio di partenza. Sono state contrassegnate con un numero le superfici da ottenere attraverso lavorazione per asportazione di truciolo e le possibili superfici necessarie al riferimento e bloccaggio del componente sulla macchina utensile.

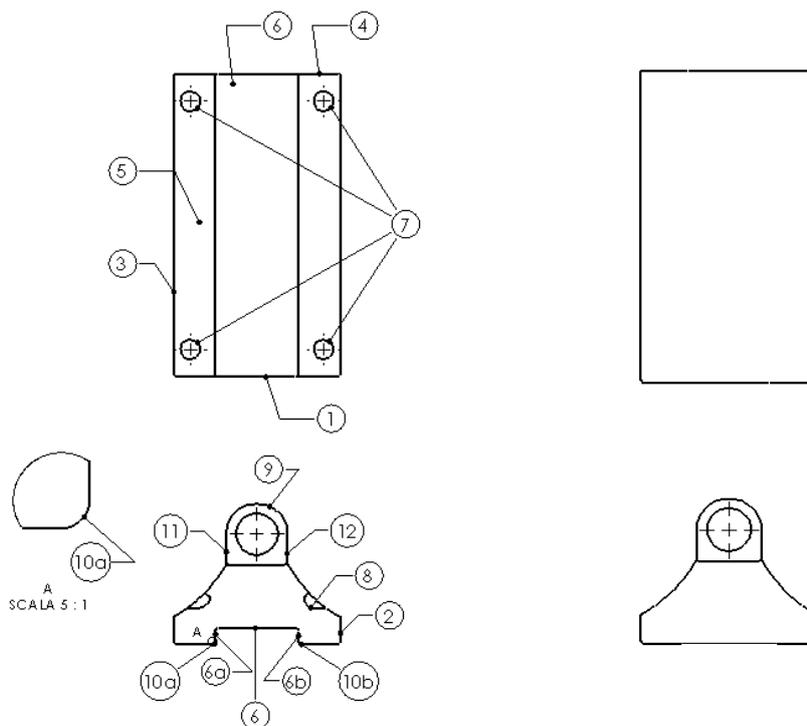


Fig. 18

¹ Da direttive didattiche viene scelta una macchina moderna a controllo numerico.

Con la stessa metodologia precedente saranno presentate in sequenza le tre tabelle riguardanti l'elemento "supporto superiore".

| n° superficie | tipologia | processi possibili |
|---------------|---------------------|--------------------|
| 6, 6a, 6b | piane | fresatura |
| 7 | cilindriche interne | foratura |
| 8 | piano-cilindriche | fresatura |
| 10a, b | cilindriche esterne | fresatura |

Tab.1

| n° superficie | processo |
|------------------------|-----------|
| 6, 6a, 6b, 8, 10a, 10b | fresatura |
| 7 | foratura |

Tab.2

| fase | operazioni | macchina |
|------|------------------------|------------|
| 10 | Fresatura 6, 6a, 6b, 8 | Fresatrice |
| | 10a, 10b | verticale |
| | Foratura 7 | a CN |

Tab.3

3.3 Raggruppamento delle operazioni in sottofasi

- Supporto inferiore

Per l'elemento "supporto inferiore" è sufficiente un solo piazzamento. Quindi il ciclo sarà costituito da una sola sottofase.

- Supporto superiore

Per l'elemento "supporto superiore" sono necessari due piazzamenti², in quanto non è possibile ottenere la fresatura della superficie 8 senza capovolgere il pezzo. Quindi il ciclo sarà costituito da due sottofasi.

3.4 Scelta della sequenza delle operazioni

- Supporto inferiore

La sequenza delle operazioni per l'elemento "supporto inferiore" è influenzata dall'esigenza tecnologica di realizzare la "raccordatura" degli spigoli vivi 9a, 9b successivamente alla fresatura delle superfici 6, 6a, 6b.

- Supporto superiore

La sequenza delle operazioni per l'elemento "supporto superiore" è influenzata dall'esigenza tecnologica di realizzare la "raccordatura" degli spigoli vivi 9a, 9b successivamente alla fresatura delle superfici 10a, 10b.

² Il numero di piazzamenti necessari (sottofasi) può essere funzione anche del numero di assi controllati della macchina; in questo caso indifferentemente dal numero di assi risulta complicato realizzare tutte le superfici con un unico piazzamento.

3.5 Scelta della macchina utensile

Le specifiche importanti per la scelta della macchina utensile sono le seguenti:

- Campo operativo o cubo di lavoro corrispondente alle dimensioni della zona in cui il mandrino può operare secondo gli assi di traslazione
- La posizione del mandrino
- Il numero di assi controllati e la massima velocità di rapido
- La precisione di posizionamento
- La potenza al mandrino e il campo di regimi di rotazione
- Il tipo e dimensione di attacco portautensile
- Il tipo di magazzino e le sue caratteristiche tecniche
- La presenza o meno del dispositivo cambio pallet

Generalmente si ha che la potenza del mandrino e il campo di regimi di rotazione, così pure le dimensioni del magazzino utensili, dipendono dalle dimensioni della macchina. Sulla base di queste considerazioni e delle caratteristiche tecniche di una macchina a controllo numerico su citate, è stata cercata in rete la macchina che più rispondeva alle nostre esigenze.

I requisiti in funzione degli elementi da lavorare sono:

- Campo operativo con dimensioni minime 150 x 100 x 100 (x,y,z)
- Tre assi controllati
- Potenza del mandrino³ superiore a 6 kW
- Mandrino verticale

Quindi è stata scelta una fresatrice verticale EMCO modello “EMCOMILL E350” la cui scheda tecnica è riportata in fig. 19. Questa macchina ha installato un controllo numerico Fanuc.

³ In questa sezione è stata stimata la potenza del mandrino considerando il sovrametallo da asportare e il tipo di lavorazione da effettuare: sgrossatura; in effetti dai disegni di definizione degli elementi è possibile dedurre che la finitura superficiale prescritta può ottenersi, con un sistema pezzo-macchina-utensile stabile e preciso, con operazioni di sgrossatura, riducendo così i tempi attivi.

[EMCOMILL E350]

Work area

- Travel in X/Y/Z: 350 / 250 / 300 mm
- Distance spindle nose: 120 - 420 mm
- Rapid motion speeds in X/Y/Z: 24 / 24 / 24 m/min

Table

- Clamping area: 500 x 300 mm
- Max. table load: 100 kg

Tool change

- Number of tool stations: 20
- Tool changing time (tool to tool): 2.5 s
- Max. tool diameter: 63 (80) mm
- Max. tool length: 200 mm

milling spindle

- Max. speed: 10000 rpm
- Max. drive power: 7 kW (S1)
- Max. torque: 41 Nm (S6 60%)

General data

- Dimensions (LxWxH): 1600 x 1700 x 2200 mm
- Machine weight: 1970 kg

Fig. 19

3.6 Scelta degli utensili

3.6.1 Premessa

La scelta utensili è una fase progettuale delicata che influenza direttamente la qualità delle lavorazioni. Per questo motivo, dopo una idea di massima dell'utensile necessario, una scelta ottimale può aversi consultando le moderne guide elettroniche dei vari costruttori sul mercato. Inoltre, affiancati alle guide, molti costruttori forniscono, grazie alla maturata esperienza sul campo, consigli tecnici che garantiscono, in un range di tolleranza, alcune specifiche dell'utensile. Quindi nelle pagine seguenti saranno scelti dal catalogo Coromat 2012 gli utensili adatti ad ogni operazione del ciclo, adottando alla fine il criterio di utilizzare il minor numero di utensili possibile, in modo da minimizzare i tempi passivi.

3.6.2 Utensili per fresatura

- Supporto inferiore

Nella tabella 4 sono riportate le superfici da ottenere per fresatura dell'elemento "supporto inferiore" con accanto il tipo di fresa (o frese) adatta.

| superficie | fresa |
|------------------------------|---|
| 1, 4, 10-a, 10-b, 10-c, 10-d | - cilindrico- frontale a codolo |
| 6, 6a, 6b | - cilindrico- frontale a codolo -a disco a tre tagli |
| 9-a, 9-b | - di forma |

Tab.4

- Supporto superiore

Nella tabella 5 sono riportate le superfici da ottenere per fresatura dell'elemento "supporto inferiore" con accanto il tipo di fresa (o frese) adatta.

| superficie | fresa |
|------------|---|
| 8 | - cilindrico- frontale a codolo |
| 6, 6a, 6b | - cilindrico- frontale a codolo -a disco a tre tagli |
| 10a, 10b | - di forma |

Tab.5

Nelle tabelle precedenti sono state proposte due tipologie di frese differenti per la realizzazione della cava passante (superfici 6, 6a, 6b). La fresa cilindrico-frontale a codolo è una fresa più versatile e può essere montata su mandrini verticali, mentre la fresa a disco a tre tagli è caratterizzata da un alta produttività (data la rigidità del corpo) ma da una scarsa versatilità. Per ridurre i tempi passivi e la voce di costo utensili si è preferito utilizzare una fresa a codolo, adatta anche all'esecuzione di contornature.

3.6.3 Utensili per foratura

Per entrambi gli elementi è sufficiente una punta elicoidale in esecuzione N.

3.6.4 Scelta utensili dal catalogo Coromat 2012

Seguendo la guida elettronica della Sandivik sono stati scelti gli utensili necessari alle lavorazioni precedentemente descritte. Prima di presentare i prodotti ed i relativi codici commerciali, vengono riportati i consigli presenti sulla guida elettronica Sandivik sotto la voce Consulenza tecnica:

- Nella lavorazione di leghe di Al è opportuno utilizzare metallo duro rivestito quando il contenuto di Si è superiore all'8%
- Per lavorazioni di sgrossatura è opportuno utilizzare una geometria dell'inserto robusta tipo M/H.
- Nella realizzazione di cave dal pieno è opportuno adottare una profondità di passata che non impegni tutta la lunghezza del tagliente

Prendendo in considerazione i consigli della casa costruttrice e le descrizioni riportate in precedenza, vengono di seguito presentati gli utensili scelti.

- Fresa a codolo per esecuzione superfici 6, 6a, 6b, 1, 4, 10a, 10b, 10c, 10d

- Porta-utensile

| Parametro | Valore |
|-------------|--------|
| Weight | 0.843 |
| Zc | 2 |
| Dc | 25 |
| Zn | 2 |
| l1 | 74 |
| ap_max | 12 |
| Max_rpm | 28000 |
| Insert_Size | 16 |
| Kappa_r | 90 |

Codice
R790-025C5S2-16L

- inserti

| Parametro | Valore |
|-------------|--------|
| Weight | 0.006 |
| Insert_Size | 16 |
| la | 16 |
| l | 20 |
| iW | 11 |
| s | 4 |
| bs | 1 |
| re | 0.8 |
| alfa_n | 20 |

Codici
R790-160408PH-NM H13A
R790-160408PH-NM PCD

- Fresa a codolo integrale in metallo duro per esecuzione superficie 8 dell'elemento "supporto superiore"

- Fresa

| Parametro | Valore |
|-----------|--------|
| Weight | 0.085 |
| Dc | 10 |
| Zn | 4 |
| dmm | 10 |
| D4 | 9.5 |
| l2 | 72 |
| l3 | 30 |
| Helix | 50 |
| re | 1.5 |
| ap_max | 22 |

Codice
R216.24-10050DCC2 1620

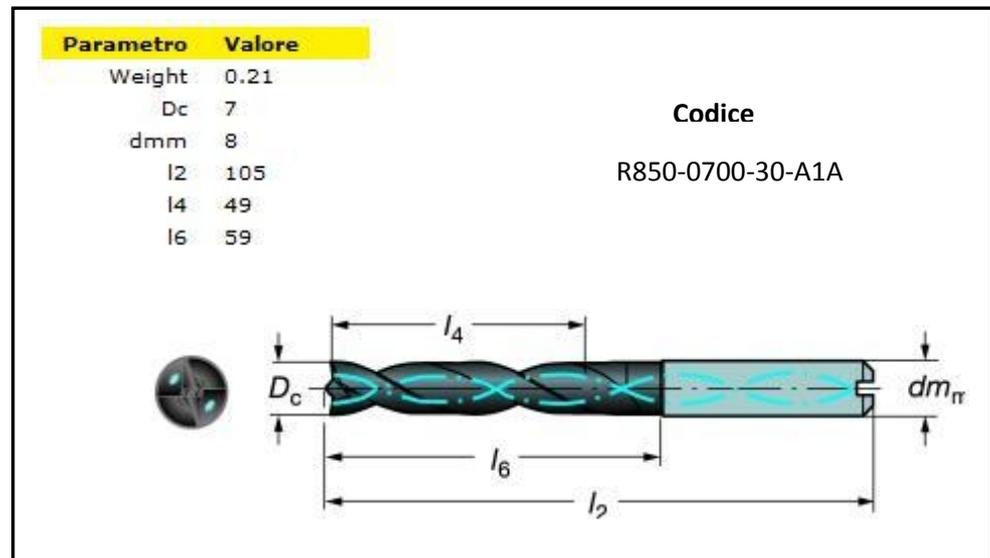
- Fresa di forma integrale in metallo duro per esecuzione superfici 9a, 9b, 10a, 10b

- Fresa

| Parametro | Valore |
|-----------|--------|
| Weight | 0.06 |
| Zn | 4 |
| Dc | 4 |
| re | 1 |
| l2 | 63 |
| ap_max | 1 |
| dmm | 8 |

Codice
R215.04-04000CAC01G

- Punta elicoidale specifica per la foratura di Al per esecuzione superfici 7,8
 - Punta elicoidale



3.7 Scelta dei parametri di taglio

La scelta dei parametri di taglio è stata fatta cercando un compromesso fra diverse esigenze:

- Cercare di utilizzare i parametri di taglio consigliati dalla Sandvik
- Mantenere la potenza di taglio inferiore a quella di targa della macchina
- Non superare i limiti tecnologici relativamente al sistema pezzo-macchina-utensile

Con l'ausilio di un foglio elettronico⁴ è stato raggiunto il compromesso di cui sopra ottenendo i seguenti risultati:

⁴ Per lo svolgimento dei calcoli delle potenze e delle forze di taglio si rimanda all'appendice 3

- Esecuzione superfici 1, 4, 10a, 10b, 10c, 10d (contornatura)

| Operazione | n° passate | profondità di passata | avanzamento per dente | Velocità di taglio | Velocità di avanzamento |
|----------------------|------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------|
| fresatura periferica | n | p | a | V_t | V_a |
| | / | [mm] | [mm] | [m/min] | [mm/min] |
| | 1 | 1 | 0,1 | 350 | 890 |

- Esecuzione superfici 6, 6a, 6b (cava passante a generatrice rettilinea)

| Operazione | n° passate | profondità di passata | avanzamento per dente | Velocità di taglio | Velocità di avanzamento |
|--------------------|------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------|
| fresatura frontale | n | p | a | V_t | V_a |
| | / | [mm] | [mm] | [m/min] | [mm/min] |
| | 1 | 6 | 0,2 | 500 | 2500 |

- Esecuzione superficie 8 dell'elemento supporto superiore (lamatura)

| Operazione | n° passate | profondità di passata | avanzamento per dente | Velocità di taglio | Velocità di avanzamento |
|--------------------|------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------|
| fresatura frontale | n | p | a | V_t | V_a |
| | / | [mm] | [mm] | [m/min] | [mm/min] |
| | 1 | 6 | 0,1 | 250 | 3200 |

- Esecuzione superfici 9a, 9b, 10a, 10b (esecuzione raccordi)

| Operazione | n° passate | profondità di passata | avanzamento per dente | Velocità di taglio | Velocità di avanzamento |
|----------------------|------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------|
| fresatura periferica | n | p | a_z | V_t | V_a |
| | / | [mm] | [mm] | [m/min] | [mm/min] |
| | 1 | 1 | 0,1 | 150 | 3200 |

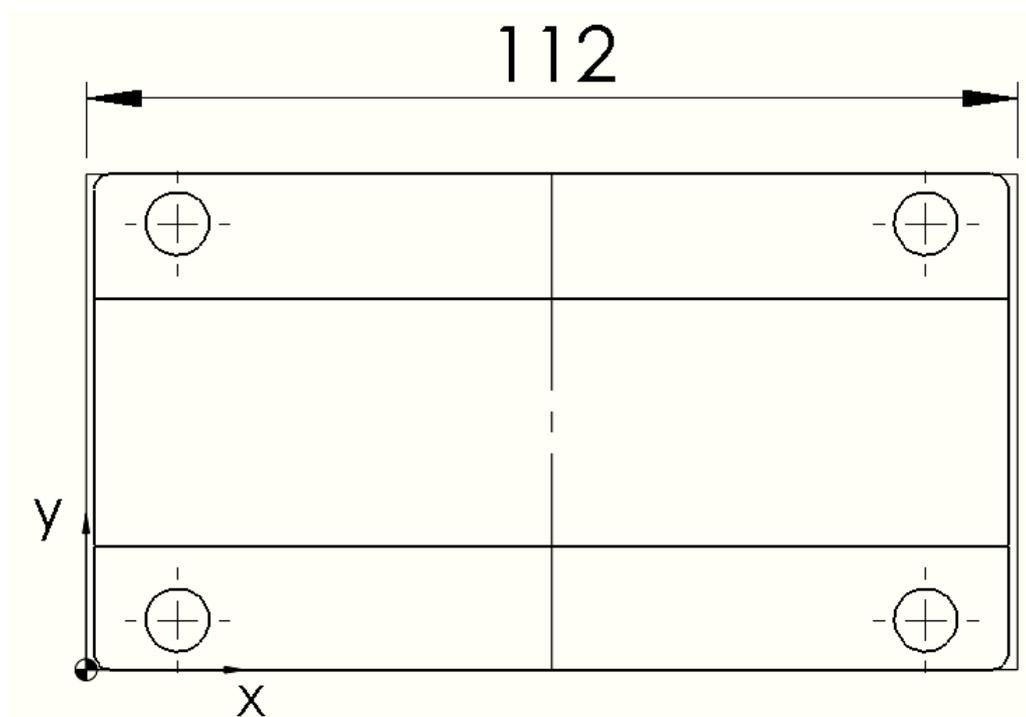
- Esecuzione superfici 7,8 (foratura passante)

| Operazione | n° passate | profondità di passata | avanzamento | Velocità di taglio | Velocità di rotazione |
|-------------------|------------|-----------------------|-------------|--------------------|-----------------------|
| foratura passante | n | p | a | V_t | n° |
| | / | [mm] | [mm/giro] | [m/min] | [giri/min] |
| | 1 | / | 0,3 | 150 | 7000 |

3.8 Part-program

| Magazzino utensili | |
|--------------------|---------------------------|
| Codifica | Descrizione |
| T1 01 | Fresa a codolo $\phi 25$ |
| T2 02 | Fresa a codolo $\phi 10$ |
| T3 03 | Fresa di forma |
| T4 04 | Punta elicoidale $\phi 7$ |

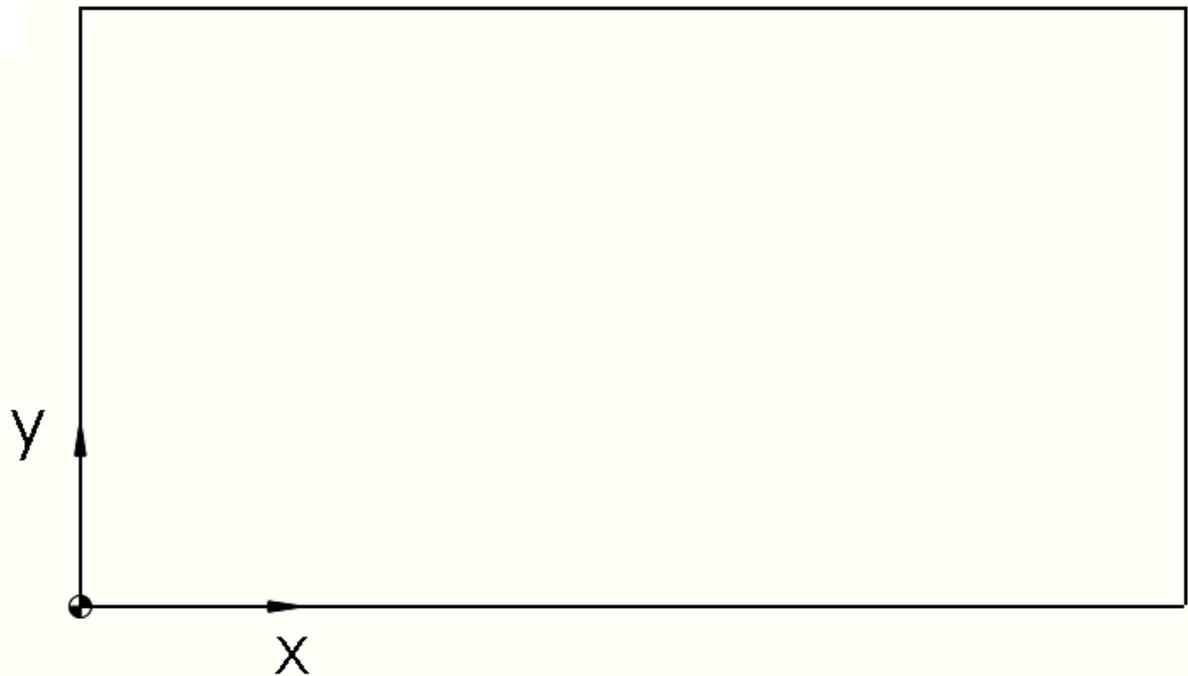
- Supporto inferiore



| | | |
|------------------------|------------------------|---------|
| T1 01 M6 | G01 Y1 | X11 Y48 |
| G94 G96 S350 F890 M14 | G03 X2 Y0 I2 J1 | G80 |
| G X110 Y-13,5 Z-12 | G Y-1 G40 | G00 Z50 |
| G01 Y G42 | Z50 | M5 |
| G03 X111 Y1 I110 J1 | T3 03 M6 | M30 |
| G01 Y59 | G94 G96 S150 F3200 M14 | |
| G03 X110 Y60 I110 J59 | G X115 Y17 | |
| G Y61 G40 | Z-1 | |
| Z2 | G01 X | |
| X124,5 Y27,5 | G X-3 | |
| Z-6 | Z2 | |
| G94 G96 S500 F2500 M14 | Y43 | |
| G01 X-13,5 | Z-1 | |
| G Y32,5 | G01 X112 | |
| G01 X124,5 | G X115 | |
| G Z2 | Z50 | |
| G94 G96 S350 F890 M14 | T4 04 M6 | |
| X2 Y73,5 | G95 G97 S7000 F0,3 | |
| Z -12 | G81 X11 Y6 Z-14 R2 K4 | |
| G01 Y60 G42 | X101 Y6 | |
| G03 X1 Y59 I2 J59 | X 101 Y48 | |

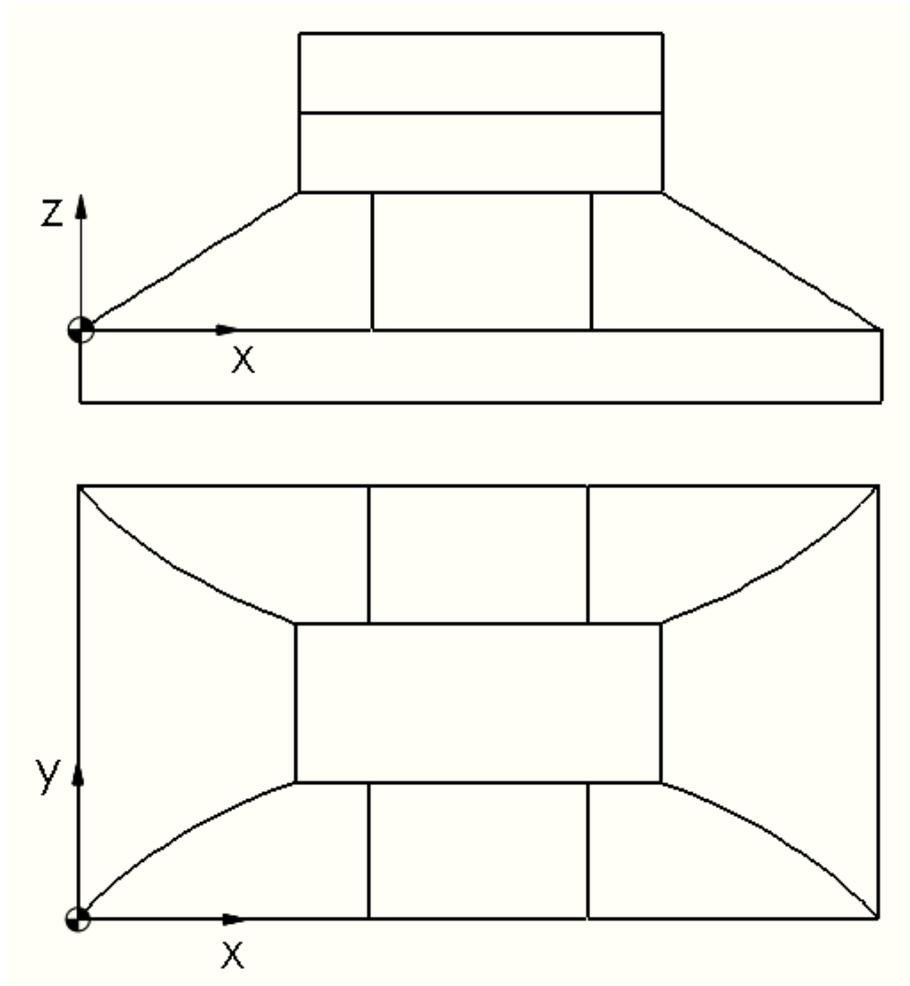
- Supporto superiore

- sottofase a



| | | |
|------------------------|-----------------------|---------|
| T1 01 M6 | G X-4 | X10 Y48 |
| G94 G96 S500 F2500 M14 | Z2 | G80 |
| G X123,5 Y27,5 | Y43 | G Z50 |
| Z-6 | Z-1 | M0 |
| G01 X-13,5 | G01 X111 | |
| G Y32,5 | G X114 | |
| G01 X123,5 | Z50 | |
| T03 03 M6 | T4 04 M6 | |
| G94 G96 S150 F3200 M14 | G95 G97 S7000 F0,3 | |
| G X114 Y17 | G81 X10 Y6 Z-14 R2 K4 | |
| Z-1 | X100 Y6 | |
| G01 X | X 100 Y48 | |

- sottofase b



| | |
|------------------------|---------|
| T2 O2 M6 | G Y66 |
| G94 G96 S250 F3200 M14 | X10 |
| G X10 Y-6 | G01 Y52 |
| Z | G Y66 |
| G01 X10 Y8 | Z50 |
| G Y-6 | M5 |
| X100 | M30 |
| G01 X100 Y8 | |
| G Y-6 Z10 | |
| Y66 | |
| Z | |
| G01 Y52 | |

3.9 Tempi di lavorazione⁵

In questo paragrafo sono riportati i tempi⁶ totali attivi e passivi delle lavorazioni.

- Supporto inferiore

| Tempo attivo | Tempo passivo |
|--------------|---------------|
| 18'' | 70'' |

- Supporto superiore

| Tempo attivo | Tempo passivo |
|--------------|---------------|
| 15'' | 128,2'' |

3.10 Fogli di ciclo

Per i fogli di ciclo si veda allegato 2

3.11 Fogli di fase

Per i fogli di fase si veda allegato 2

⁵ Per lo svolgimento dei calcoli dei tempi attivi e passivi si rimanda all'appendice 3

⁶ Nel calcolo dei tempi non sono stati considerati i tempi di setup della macchina; inoltre sono stati trascurati tempi passivi riferiti a spostamenti rapidi inferiori a 5mm, perché si è ritenuto che questi fossero poco corretti essendo la velocità variabile con lo spostamento.

3.12 Simulazione CAM dell'elemento "supporto inferiore"

In questo paragrafo sono riportate alcune immagini relative ad una simulazione CAM dell'elemento "supporto inferiore". Prima di mostrare le immagini si vuole descrivere brevemente la procedura che l'utente deve portare a termine per ottenere il part program della lavorazione. Una volta realizzato il modello solido, il primo passo consiste nel definire lo stock, ovvero il greggio di lavorazione come mostrato in figura 20.

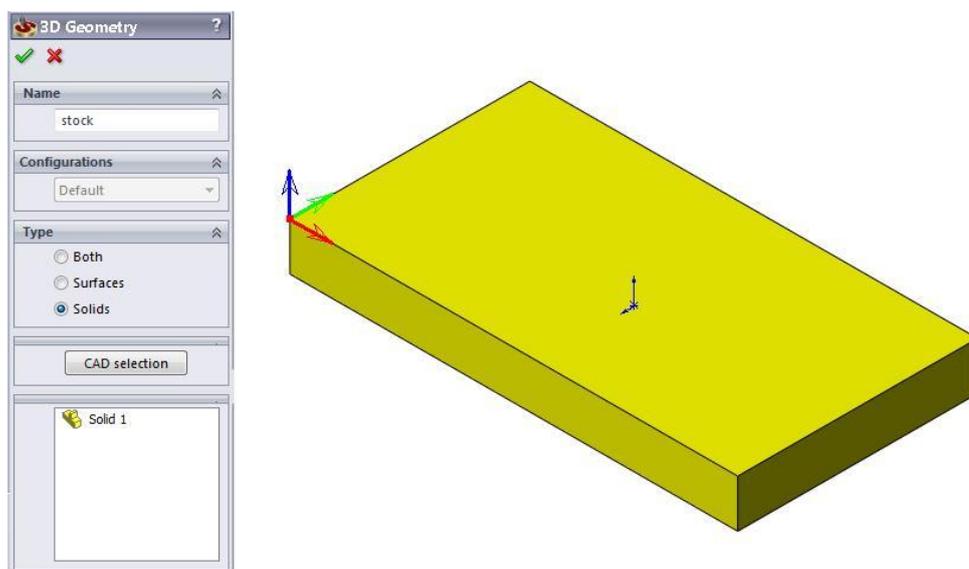


Fig. 20

La seconda operazione consiste nel definire gli assi di riferimento e quindi lo zero pezzo come mostrato in figura 21.

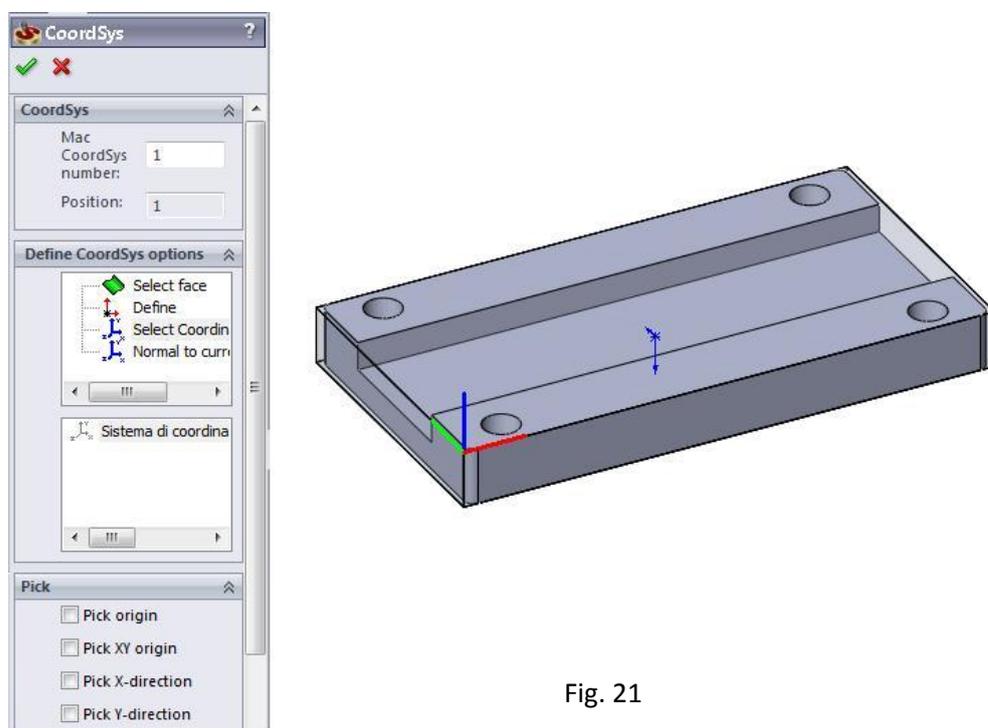


Fig. 21

Successivamente il software ha bisogno di riconoscere il Target ovvero il pezzo finito come mostrato in figura 22.

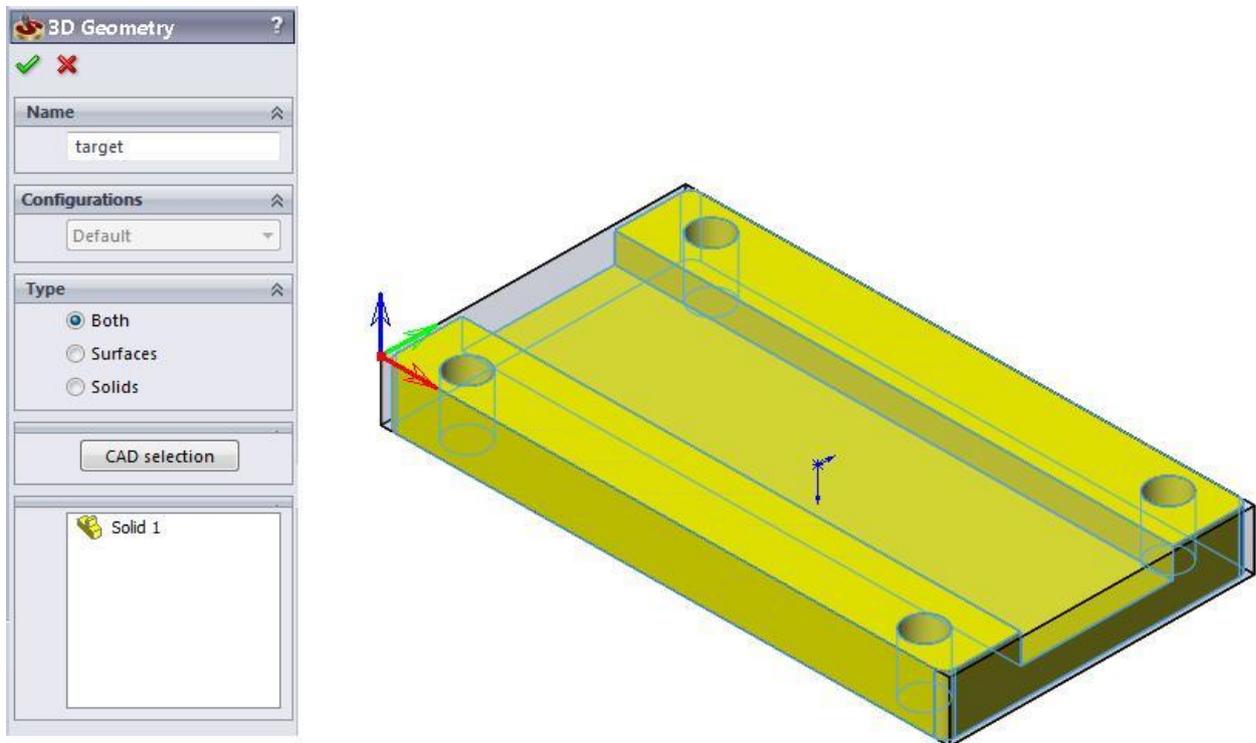


Fig. 22

Una volta aver definito le “informazioni di partenza” l’utente sceglie il tipo di controllo numerico montato sulla macchina (nel nostro caso un controllo fanuc) (fig.23).



Fig. 23

Adesso è possibile scegliere da un menù a tendina le form-features e quindi impostare in successione le varie operazioni presenti all’interno del foglio di fase del pezzo. La figura 24 mostra alcuni esempi di form-features.

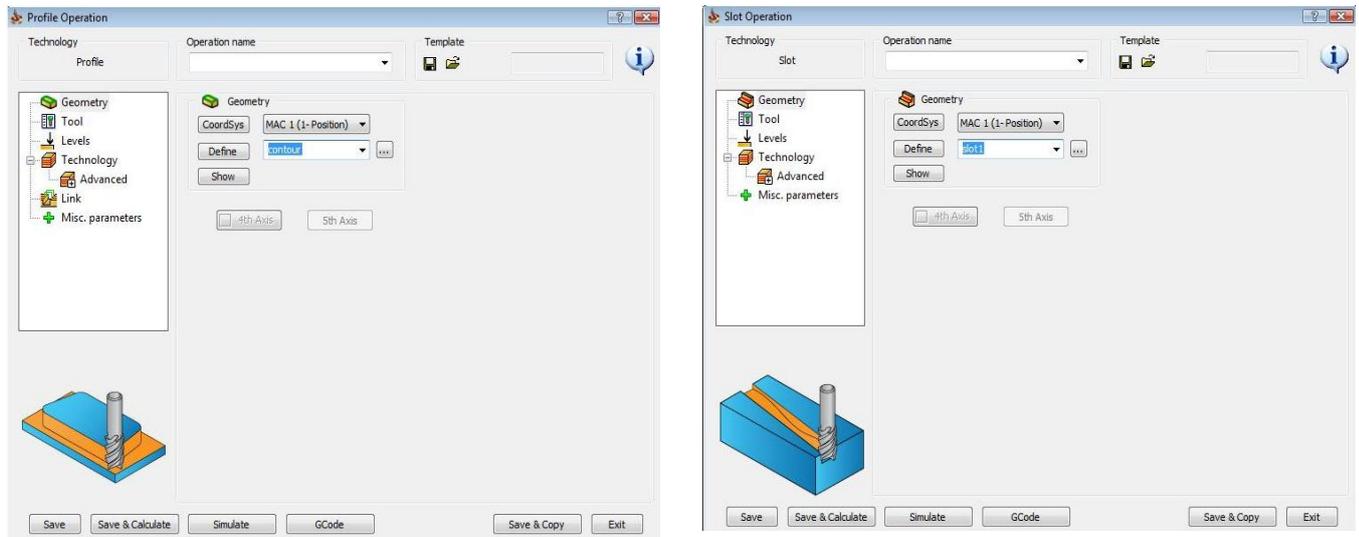


Fig. 24

Per ogni operazione è necessario specificare l'utensile da utilizzare, scegliendolo da un menù, come in figura 25, oppure importandolo nel programma in formato .stl⁷.

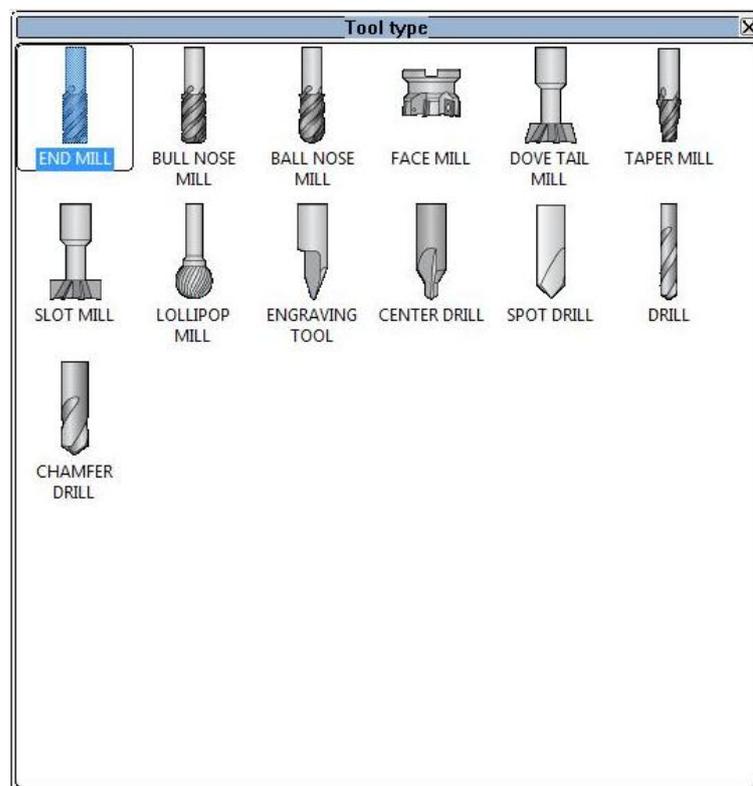


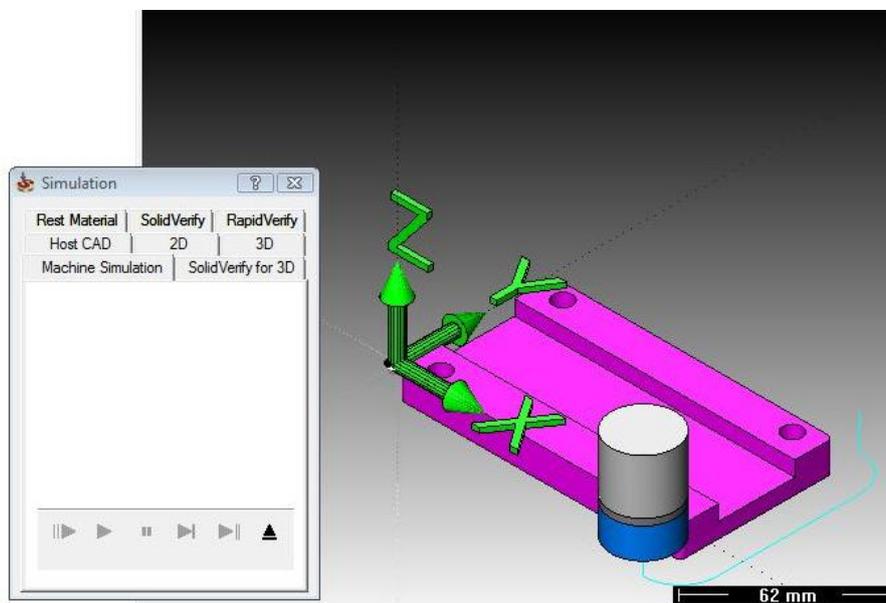
Fig. 25

⁷ Il formato .stl è quello utilizzato dai costruttori di utensili per i modelli 3D.

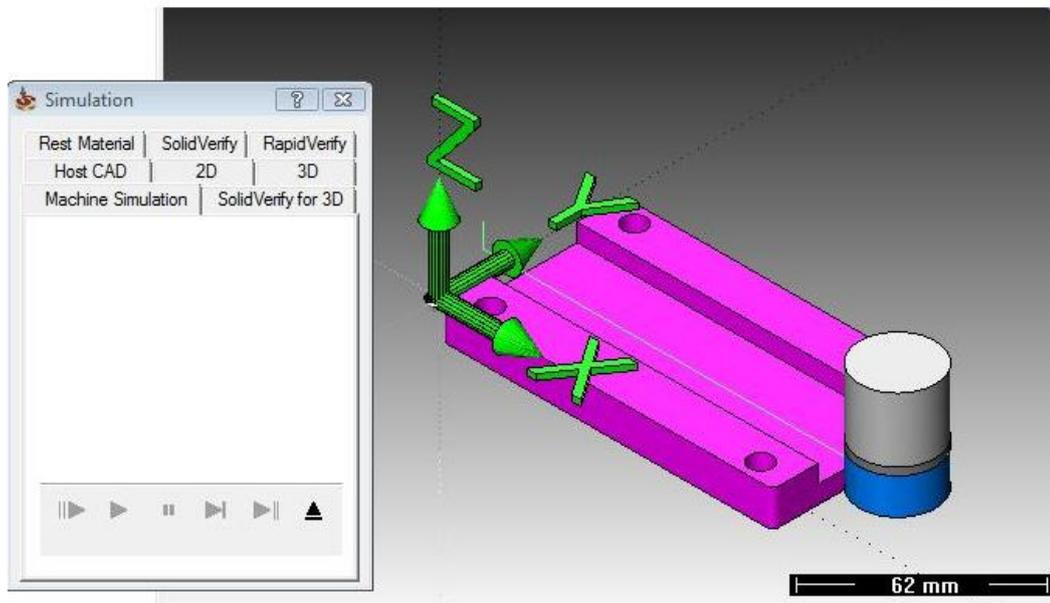
A questo punto è possibile effettuare la simulazione della lavorazione, attraverso la quale è possibile dedurre:

- Se le traiettorie utensile sono quelle volute
- Se ci sono eventuali collisioni con il pezzo o con l'attrezzatura
- Se è rimasto ancora del sovrametallo

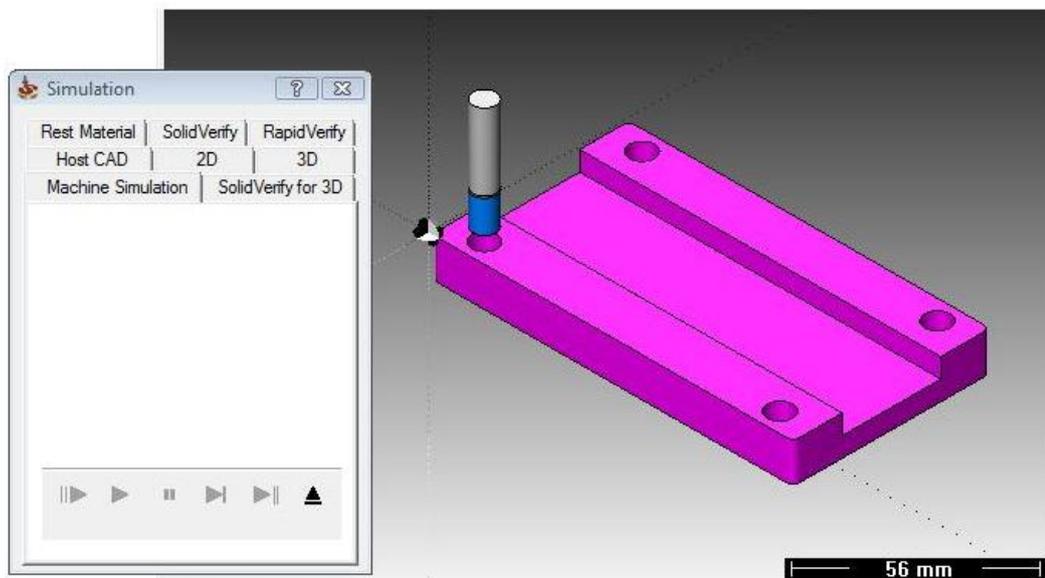
A seguire sono riportate alcune immagini della simulazione.



Prima operazione
del foglio di fase
“contornatura”



Seconda operazione
del foglio di fase
“esecuzione cava”

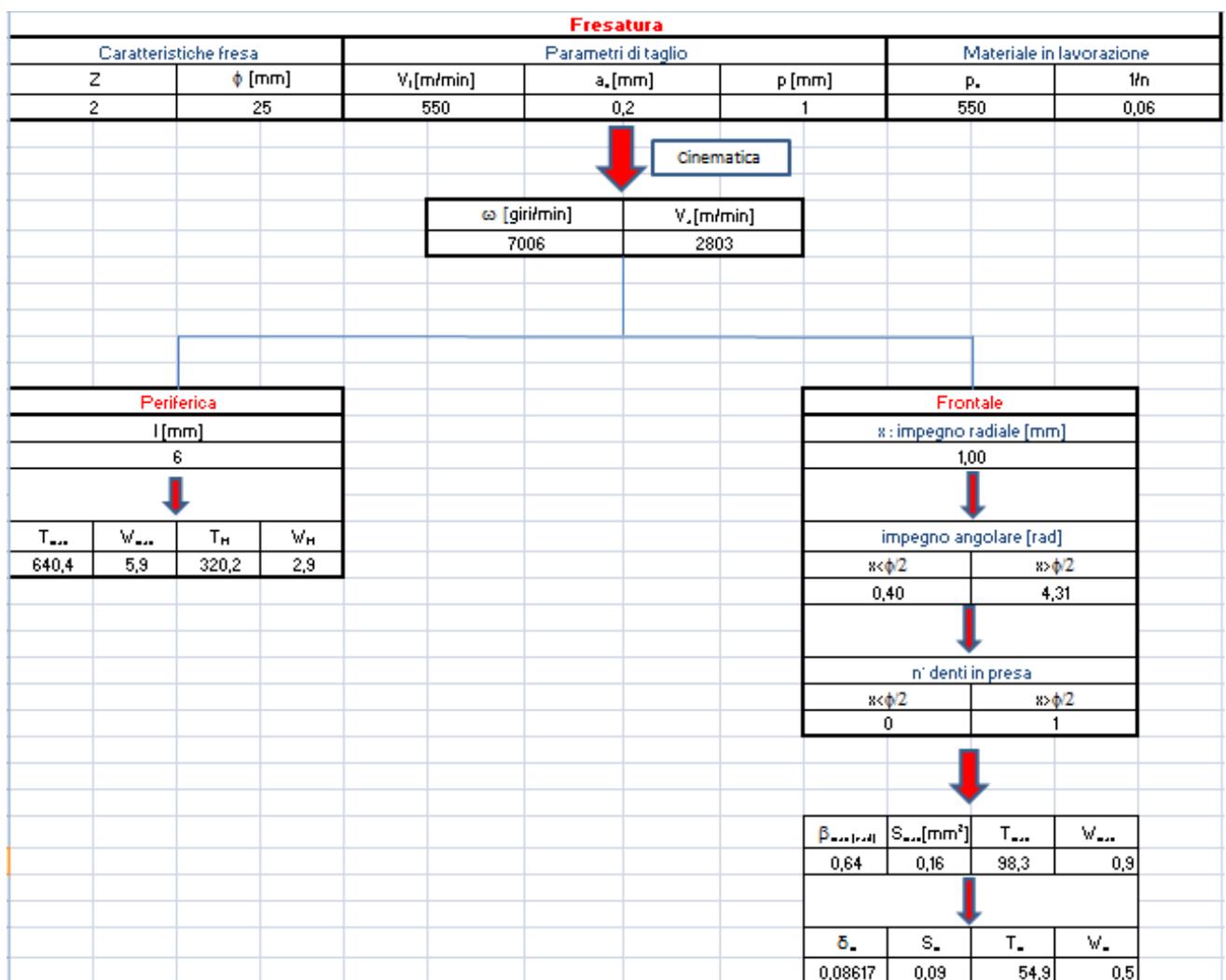


Ultima operazione
del foglio di fase
“foratura”

3 Appendice

A-3.7 Forze e potenze di taglio

Per il calcolo delle forze e delle potenze di taglio, relative ad ogni operazione, è stato utile costruire un foglio elettronico come di seguito riportato.



Al programma vengono forniti in input le caratteristiche della fresa, i parametri di taglio (parametri di taglio consigliati o tabulati) e il materiale in lavorazione; mentre l'output consiste nelle informazioni relative alla cinematica del taglio, alle sezioni di truciolo, alle forze di taglio e alle potenze

assorbite. Per quanto riguarda la sezione di truciolo è stata ricercata una relazione più generale, adatta ad ogni caso. Con riferimento alla figura A-1 approssimando l'arco di contatto fra la fresa e il pezzo in lavorazione ad un arco di cerchio, è possibile scrivere l'equazione della circonferenza traslata lungo l'asse x di un valore pari all'avanzamento per dente:

$$(x - a_z)^2 + y^2 - R^2 = 0$$

passando in coordinate polari si ottiene

$$\rho^2 - 2 \cdot a_z \cdot \rho \cdot \cos \theta + a_z^2 - R^2 = 0$$

da cui risolvendo rispetto a ρ risulta

$$\rho = a_z \cos \theta + \sqrt{a_z^2 \cos^2 \theta - a_z^2 + R^2}$$

quindi lo spessore di truciolo da asportare in funzione di θ è

$$\delta(\theta) = \rho(\theta) - R = a_z \cos \theta - R + \sqrt{a_z^2 \cos^2 \theta - a_z^2 + R^2}$$

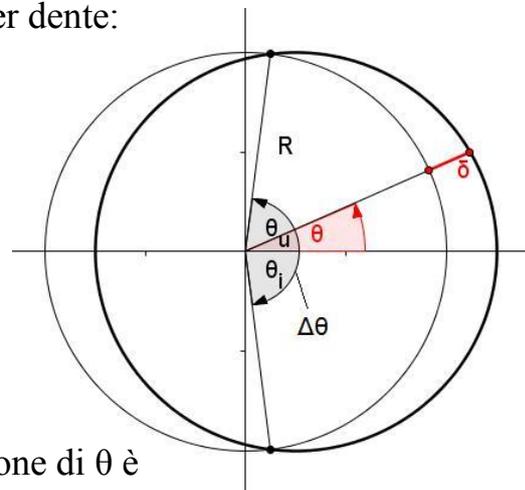


Fig. A-1

Attraverso questa relazione è possibile calcolare lo spessore di truciolo massimo e medio in qualsiasi operazione di fresatura periferica⁸ o frontale. Lo spessore di truciolo medio risulta:

$$\delta_M = \frac{1}{\Delta\theta} \int_{\theta_i}^{\theta_u} \delta(\theta) \cdot d\theta$$

(dove θ_i individua il punto di ingresso dell'utensile, θ_u quello d'uscita)

Mentre lo spessore massimo è da valutare di caso in caso. Con l'utilizzo del programma e sfruttando le relazioni riportate sono state ottenuti i seguenti valori delle forze e delle potenze di taglio:

- Esecuzione superfici 1, 4, 10a, 10b, 10c, 10d (contornatura)

| Operazione | Forza di taglio massima | Forza di taglio media | Potenza massima | Potenza media |
|----------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------|---------------|
| | T_{max} | T_m | P_{max} | P_m |
| | [N] | [N] | [kW] | [kW] |
| fresatura periferica | 640 | 320 | 5,3 | 2,7 |

- Esecuzione superfici 6, 6a, 6b (cava passante a generatrice rettilinea)

⁸ La relazione trovata coincide con quella riportata dal testo M.Santochi, F.Giusti, "Tecnologia meccanica e studi di fabbricazione" relativamente al caso di fresatura periferica non effettuando l'approssimazione $(1 - \frac{p}{D}) \approx 1$.

| Operazione | Forza di taglio massima | Forza di taglio media | Potenza massima | Potenza media |
|--------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------|---------------|
| fresatura frontale | T_{max} | T_m | P_{max} | P_m |
| | [N] | [N] | [kW] | [kW] |
| | 653 | 296 | 5,4 | 2,5 |

- Esecuzione superficie 8 dell'elemento supporto superiore (lamatura)

| Operazione | Forza di taglio massima | Forza di taglio media | Potenza massima | Potenza media |
|--------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------|---------------|
| fresatura frontale | T_{max} | T_m | P_{max} | P_m |
| | [N] | [N] | [kW] | [kW] |
| | 340 | 185 | 1,4 | 0,6 |

- Esecuzione superfici 9a, 9b, 10a, 10b (esecuzione raccordi)⁹

| Operazione | Forza di taglio massima | Forza di taglio media | Potenza massima | Potenza media |
|----------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------|---------------|
| fresatura periferica | T_{max} | T_m | P_{max} | P_m |
| | [N] | [N] | [kW] | [kW] |
| | 52 | 26 | 0,1 | 0,05 |

Per quanto riguarda la foratura il calcolo è relativamente semplice e risulta:

$$P = \frac{a \cdot D^2}{8000} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \cdot p_t \cdot 10^{-3} = 0,7 [kW]$$

A-3.9 Tempi di lavorazione

Per il calcolo dei tempi di lavorazione è necessario:

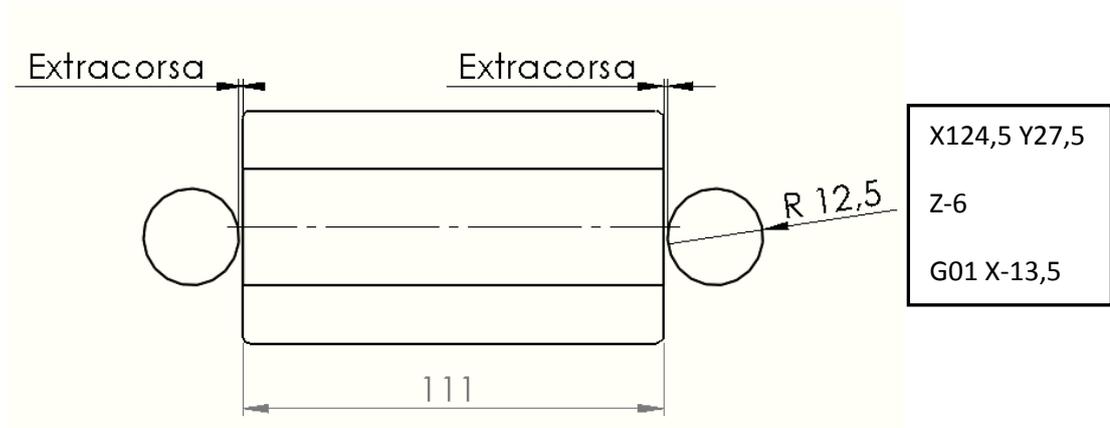
- Aver definito i parametri di taglio
- Aver stilato il part-program (traiettorie utensile)
- Conoscere le caratteristiche tecniche della macchina (velocità di rapido, tempo di cambio utensile)

Quindi con riferimento ai parametri di taglio definiti (3.7), ai part-program (3.8) e alla scheda tecnica della macchina (3.5) si riporta di seguito il calcolo dettagliato di alcuni esempi di tempi attivi e passivi.

⁹ Le forze e le potenze nella lavorazione dei raccordi sono state stimate con quelle ricavabili da una fresatura periferica.

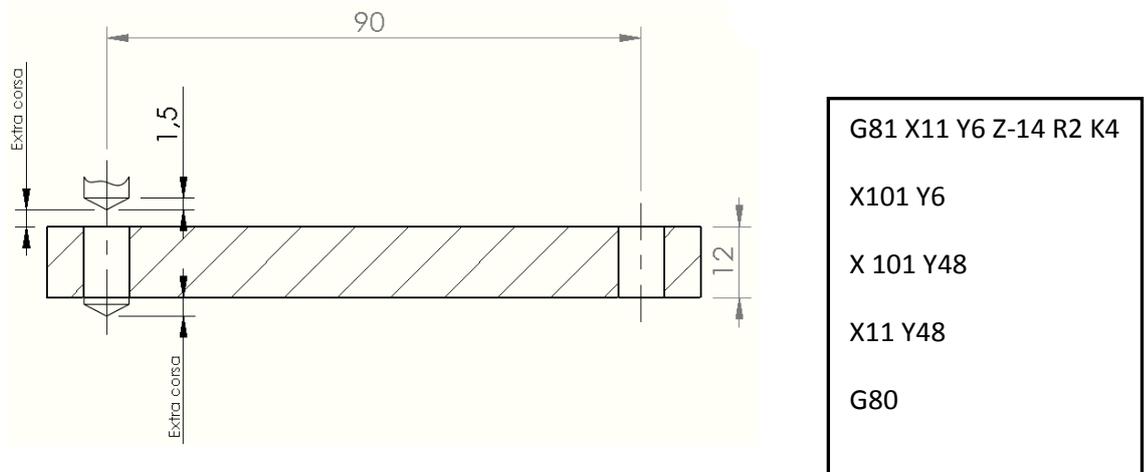
- Tempi attivi

- Esecuzione cava 1° corsa



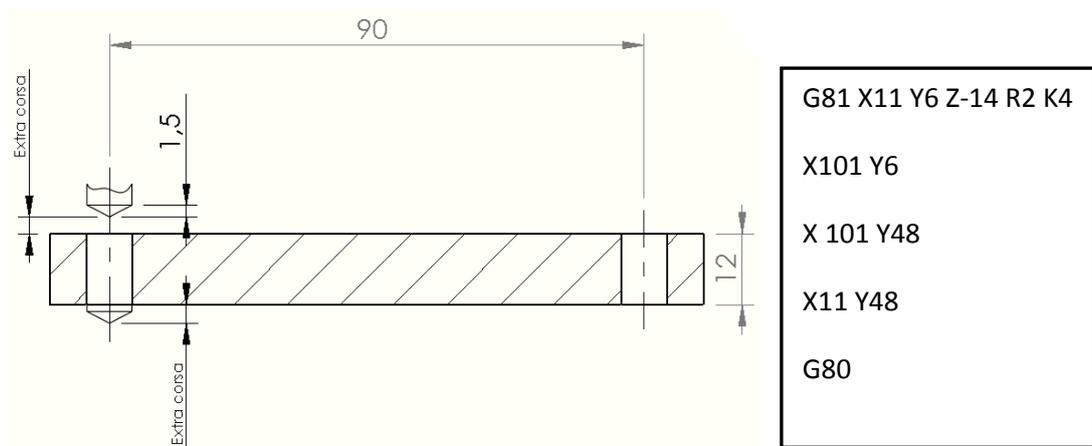
$$t_A = \frac{2 \cdot e + l + R}{V_a} = \frac{2 \cdot 1 + 111 + 2 \cdot 12,5}{2500} \cdot 60 \cong 3 \text{ s}$$

- Esecuzione 4 fori passanti (ciclo fisso foratura poco profonda)

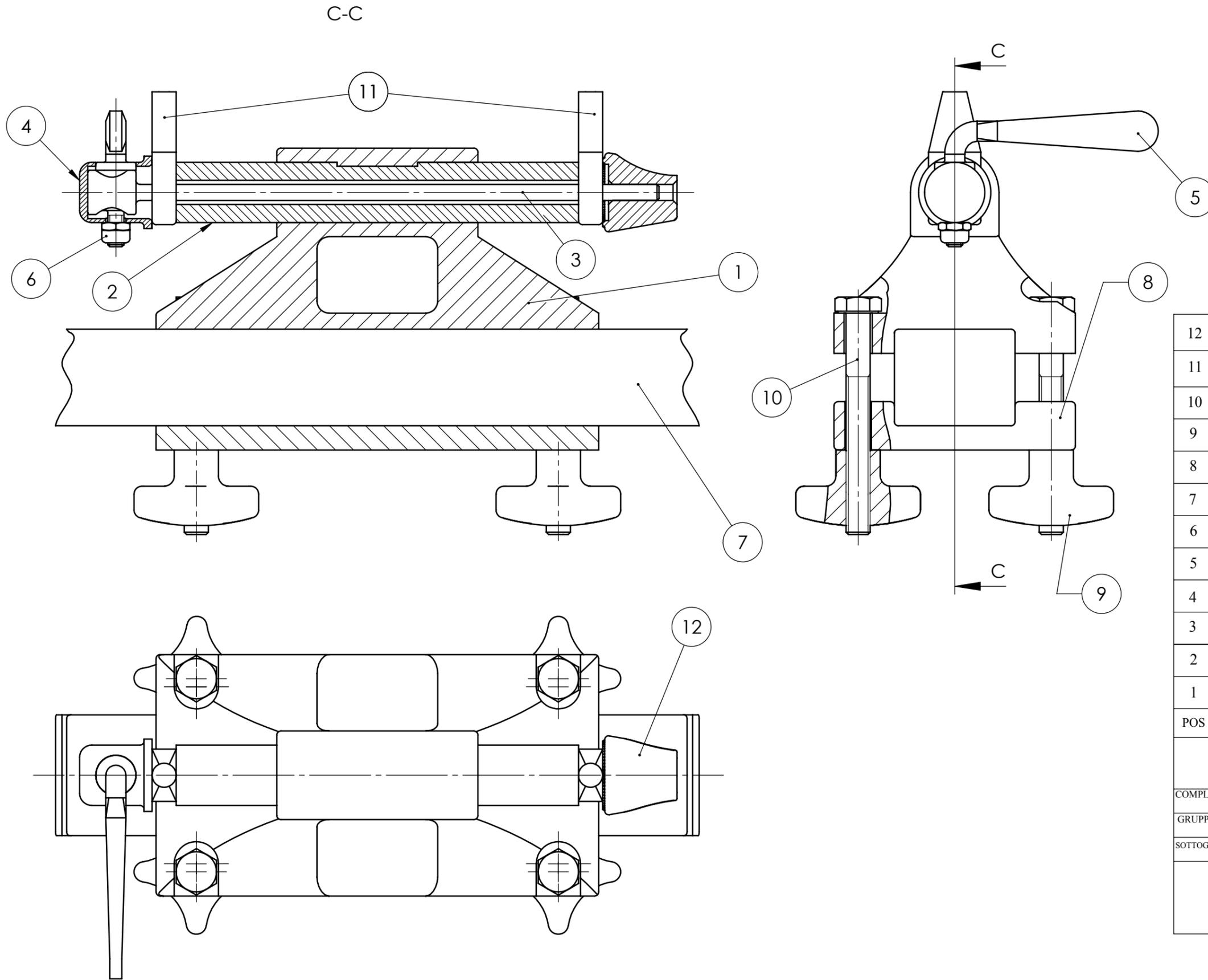


$$t_A = 4 \cdot \frac{2 \cdot e + l}{a \cdot n} = 4 \cdot \frac{2 \cdot 2 + 12}{0,3 \cdot 7000} \cdot 60 \cong 2 \text{ s}$$

- Tempi passivi



$$t_A = 4 \cdot \frac{2 \cdot e + l}{V_r} + \frac{2 \cdot (101 - 11) + (48 - 6)}{V_r} = \left[4 \cdot \frac{2 \cdot 2 + 12}{24000} + \frac{2 \cdot 90 + 42}{24000} \right] \cdot 60 \cong 0,7 \text{ s}$$

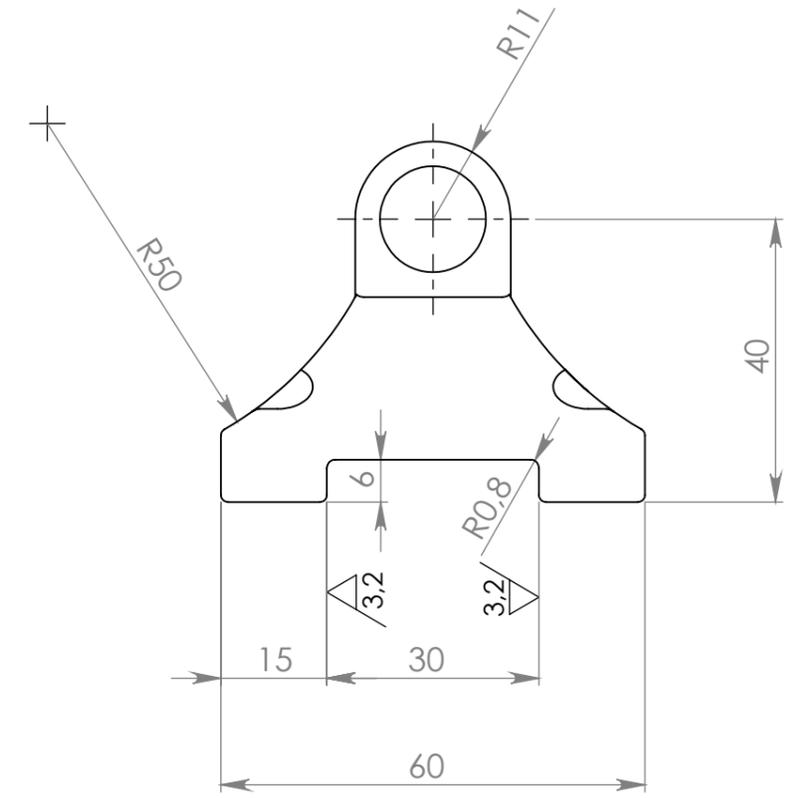
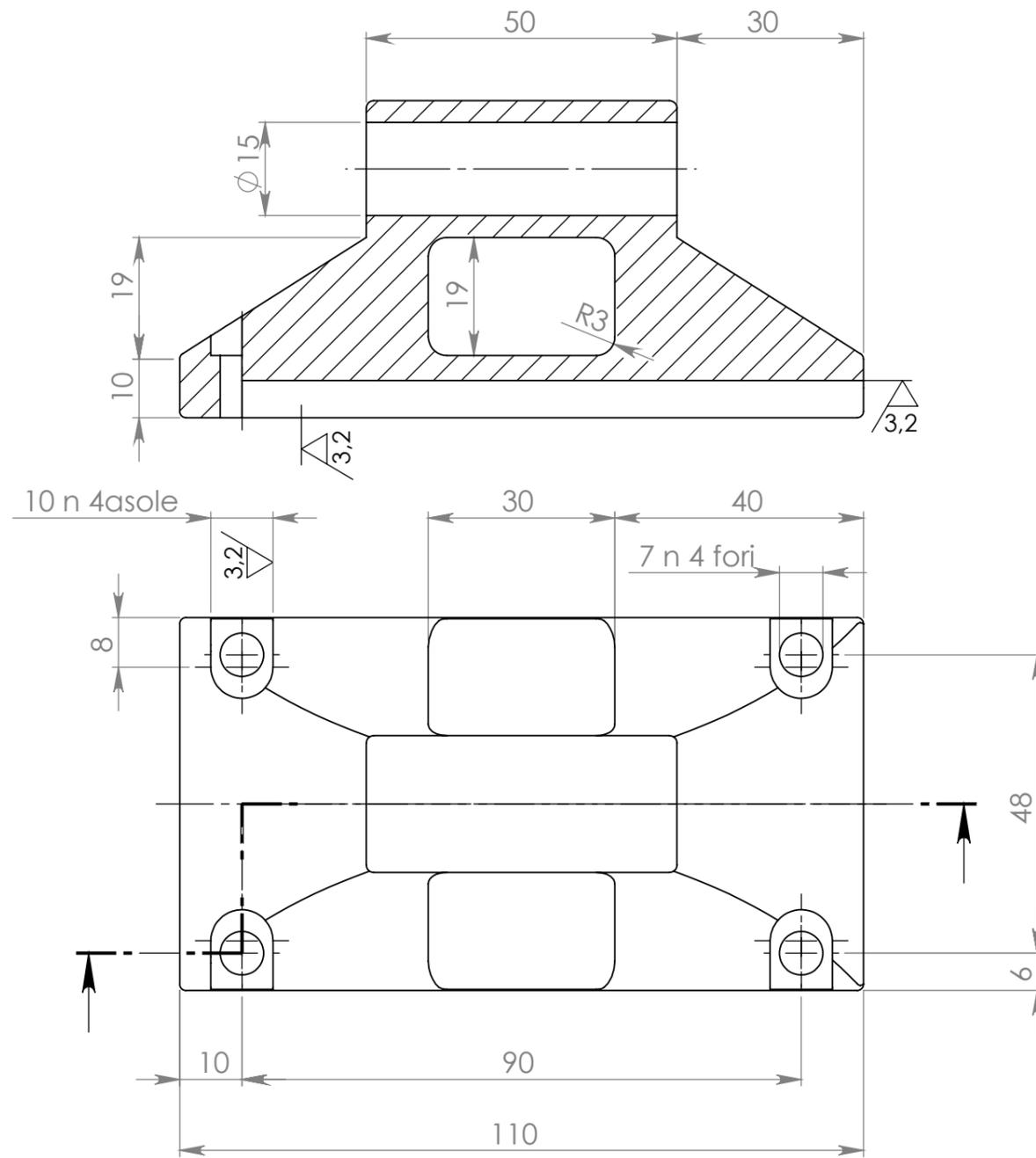


| | | | |
|-----|--------------------------|----------|---------------------------|
| 12 | DADO M6 UNI 5723-4A | 1 | Termoplastico/ Acciaio |
| 11 | FORCELLA | 1 | G Al Mg 10 |
| 10 | VITE M6X60 UNI EN 24016 | 4 | UNI-X 12 Cr 13 (AISI 410) |
| 9 | VOLANTINO | 1 | Termoplastico/ Acciaio |
| 8 | SUPPORTO INFERIORE | 1 | Al Si 1 Mg Mn (6082) |
| 7 | BARRA PORTAPACCHI | 1 | Lega di alluminio |
| 6 | DADO M4 UNI 7473 | 4 | AISI 304 |
| 5 | LEVA DI SERRAGGIO RAPIDO | 4 | Al Mn 1,2 Cu (3003) |
| 4 | CILINDRETTO SCORREVOLE | 4 | Al Mn 1,2 Cu (3003) |
| 3 | PERNO | 1 | 40 Ni Cr Mo 7 UNI 5332 |
| 2 | MOZZO | 1 | Fe 410 |
| 1 | SUPPORTO SUPERIORE | 1 | G Al Si 13-UNI 4514 |
| POS | DENOMINAZIONE | N. PEZZI | MATERIALE |

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PISA
FACOLTA DI INGEGNERIA

| | | | | |
|-------------|------|--------------------|------|----------------|
| COMPLESSIVO | DEN. | Portabici per auto | | FOGLIO |
| GRUPPO | DEN. | | | SCALA |
| SOTTOGRUPPO | DEN. | | | DATA |
| | DIS | Paradiso Carlo | DATA | SOSTITUISCE IL |
| | DIS | Mauceri Roberto | DATA | SOSTITUITO DAL |
| | DIS | Di Ciocchis Franco | DATA | ARCHIVIO N |

Allegato 1 Tavola 2



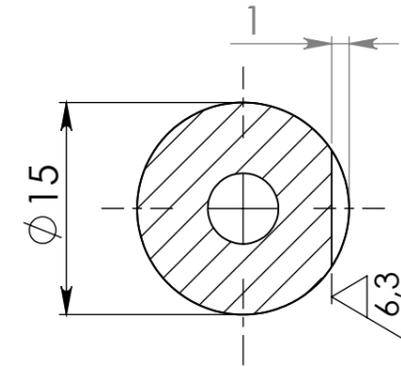
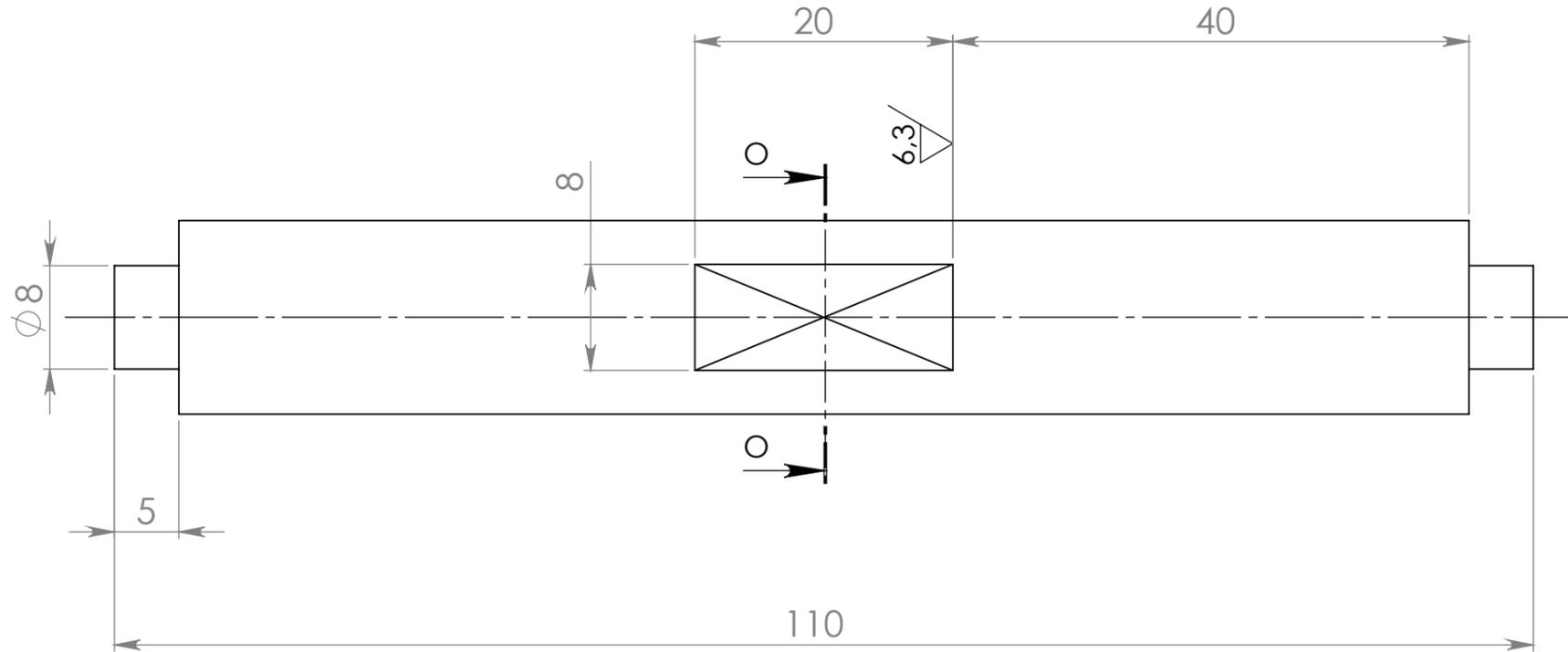
Raccordi non quotati R1

Tolleranze generali UNI-ISO 2768 m

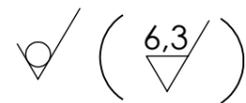


| UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PISA FACOLTA DI INGEGNERIA | | | | |
|--|------------------------|------|--------------------|----------------|
| PART.N | 1 | DEN. | Supporto superiore | |
| COMPLESSIVO | | DEN. | Portabici per auto | |
| GRUPPO | | DEN. | SCALA | |
| SOTTOGRUPPO | | DEN. | DATA | |
| QUOTE SENZA INDICAZIONE DI TOLLERANZ | TRATTAMENTI TERMICI | DIS | Paradiso Carlo | DATA |
| | | DIS | Di Ciocchis Franco | DATA |
| | RUGOSITA' | DIS | Mauceri Roberto | DATA |
| | | | | SOSTITUISCE IL |
| | | | | SOSTITUITO DAL |
| | | | | ARCHIVIO N |

Allegato 1 Tavola 3

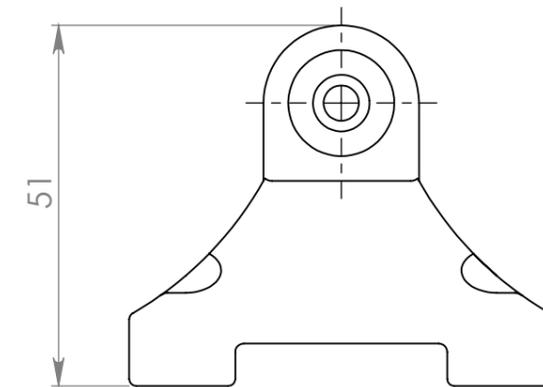
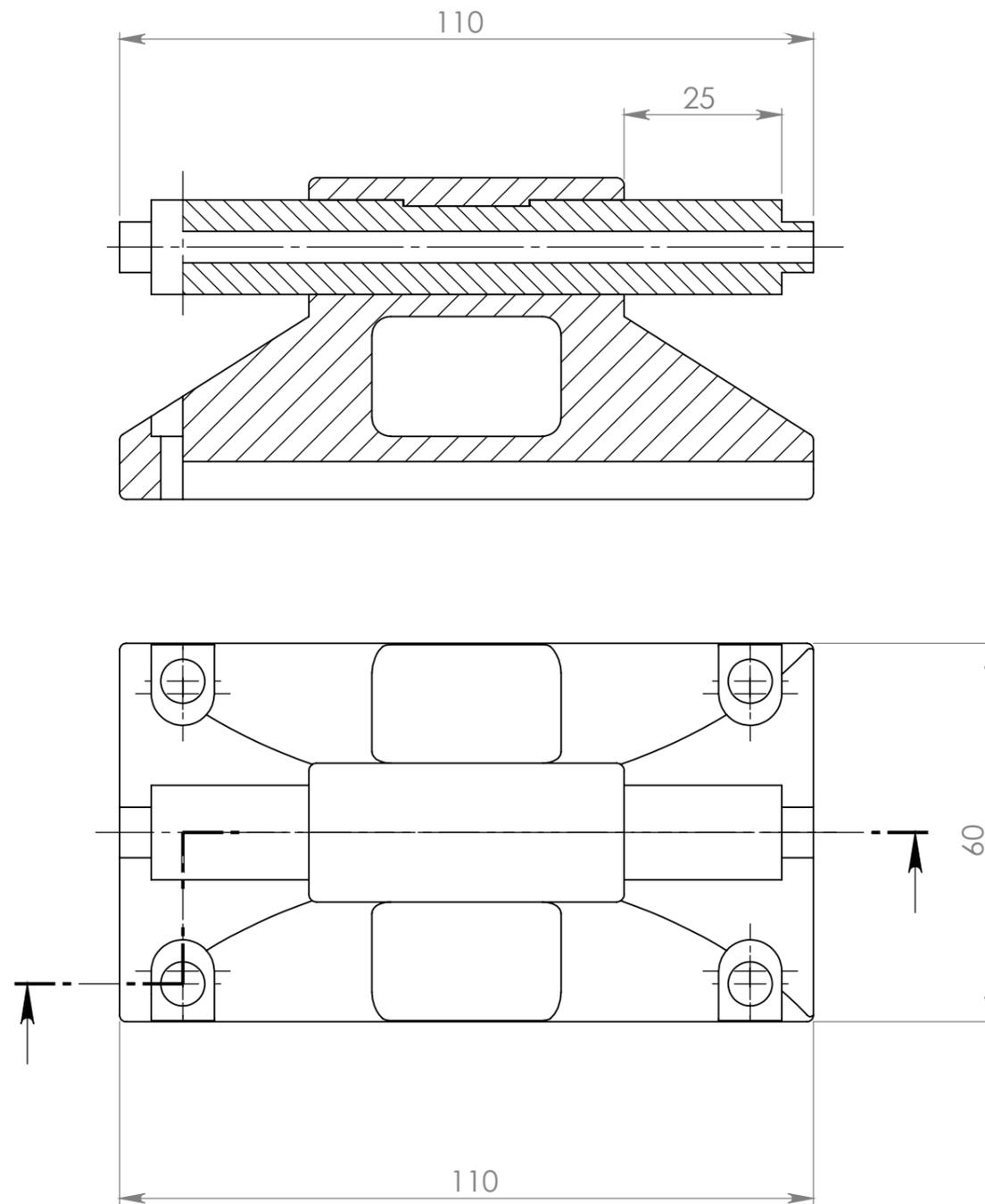


Tolleranze generali UNI-ISO 2768 m



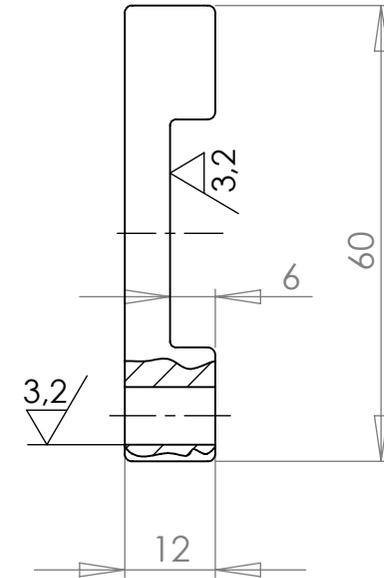
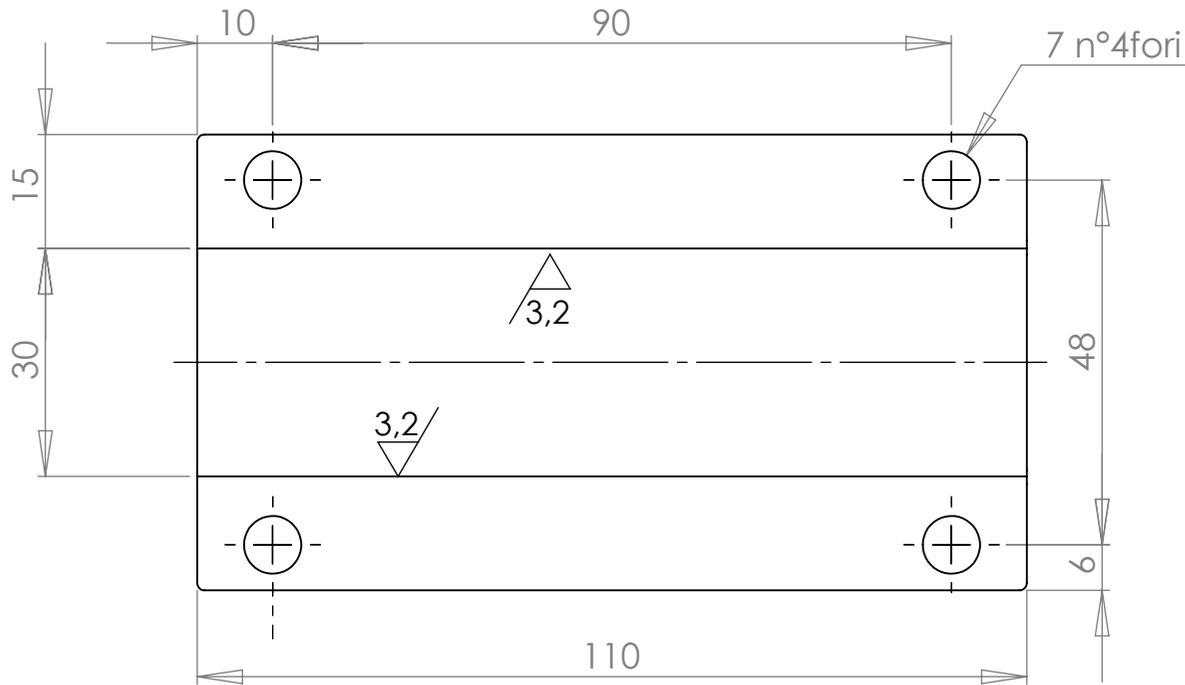
| UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PISA FACOLTA DI INGEGNERIA | | | | |
|--|------------------------|---------------------------|-------|---------------------|
| PART.N | 2 | DEN. | Mozzo | |
| COMPLESSIVO | DEN. | | | MATERIALE Fe 410 |
| GRUPPO | DEN. | | | FOGLIO 2 di 3 |
| SOTTOGRUPPO | DEN. | | | SCALA |
| QUOTE SENZA INDICAZIONE DI TOLLERANZ | TRATTAMENTI TERMICI | DIS Paradiso Carlo | DATA | SOSTITUISCE IL |
| | RUGOSITA' | DIS Di Ciocchis Franco | DATA | SOSTITUITO DAL |
| | | DIS Mauceri Roberto | DATA | ARCHIVIO N |

Allegato 1 tavola 4



| UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PISA FACOLTA DI INGEGNERIA | | | | |
|--|------------------------|------|--------------------|----------------|
| PART.N | 1 | DEN. | | MATERIALE |
| COMPLESSIVO | | DEN. | | FOGLIO 3 di 3 |
| GRUPPO | | DEN. | | SCALA |
| SOTTOGRUPPO | | DEN. | Supporto superiore | DATA |
| QUOTE SENZA INDICAZIONE DI TOLLERANZ | TRATTAMENTI TERMICI | DIS | Paradiso Carlo | DATA |
| | | DIS | Di Ciocchis Franco | DATA |
| | | DIS | Mauceri Roberto | DATA |
| | RUGOSITA' | | | SOSTITUISCE IL |
| | | | | SOSTITUITO DAL |
| | | | | ARCHIVIO N |

Allegato 1 Tavola 5



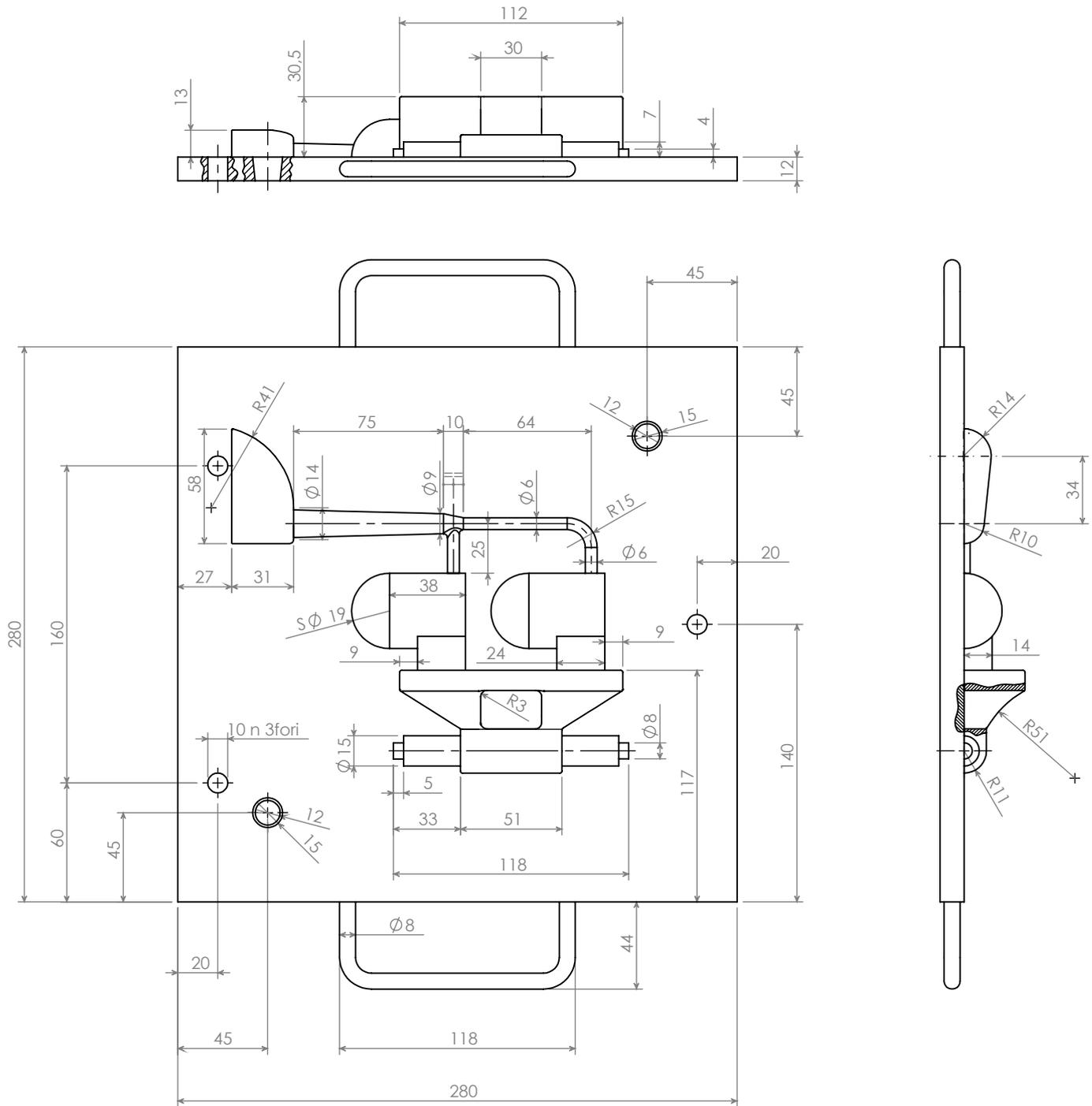
Tolleranze generali UNI ISO 2768-m

Raccordi non quotati R1



| UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PISA FACOLTA DI INGEGNERIA | | | | | |
|--|------------------------|------|--------------------|-----------------------------------|----------------|
| PART.N | 8 | DEN. | Supporto inferiore | MATERIALE Al Si 1 Mg Mn (6082) | |
| COMPLESSIVO | | DEN. | Portabici per auto | FOGLIO 1/1 | |
| GRUPPO | | DEN. | | SCALA | |
| SOTTOGRUPPO | | DEN. | | DATA | |
| QUOTE SENZA INDICAZIONE DI TOLLERANZ | TRATTAMENTI TERMICI | DIS | Paradiso Carlo | DATA | SOSTITUISCE IL |
| | | | Di Ciocchis Franco | DATA | SOSTITUITO DAL |
| | | | Mauceri Roberto | DATA | ARCHIVIO N |

Allegato 1 Tavola 6



Tolleranze generali UNI ISO 2768-f

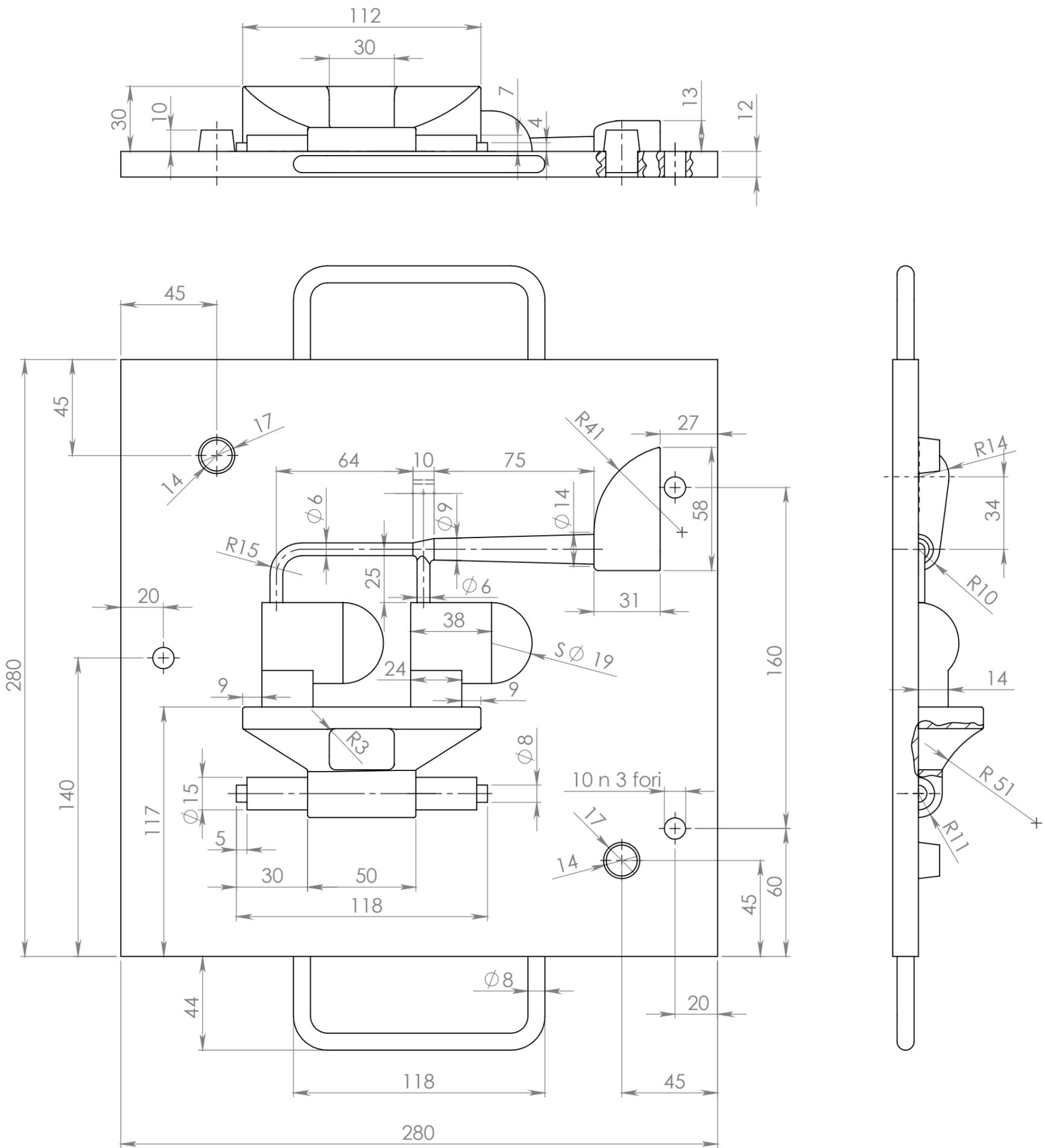
Sforni generali 30'

Raccordi non quotati R1

3,2/
▽

| UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PISA FACOLTA DI INGEGNERIA | | | | |
|--|------------------------|---------------------------|------|----------------------|
| PART.N | DEN. | Placca modello | | MATERIALE Acciaio |
| COMPLESSIVO | DEN. | Placche modello | | FOGLIO 1 di 2 |
| GRUPPO | DEN. | | | SCALA |
| SOTTOGRUPPO | DEN. | | | DATA |
| QUOTE SENZA INDICAZIONE DI TOLLERANZ | TRATTAMENTI TERMICI | DIS Paradiso Carlo | DATA | SOSTITUISCE IL |
| | RUGOSITA' | DIS Di Ciocchis Franco | DATA | SOSTITUITO DAL |
| | | DIS Mauceri Roberto | DATA | ARCHIVIO N |

Allegato 1 tavola 7



Tolleranze generali UNI ISO 2768-f

Sformi generali 30'

Raccordi non quotati R1

3,2

| UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PISA FACOLTA DI INGEGNERIA | | | | |
|--|------------------------|-----------------|--------------------|--|
| PART.N | DEN. | Placca modello | | MATERIALE Acciaio |
| COMPLESSIVO | DEN. | Placche modello | | FOGLIO 2 di 2 |
| GRUPPO | DEN. | | | SCALA |
| SOTTOGRUPPO | DEN. | | | DATA |
| QUOTE SENZA INDICAZIONE DI TOLLERANZ | TRATTAMENTI TERMICI | DIS | Paradiso Carlo | DATA |
| | | DIS | Di Ciocchis Franco | DATA |
| | | DIS | Mauceri Roberto | DATA |
| | RUGOSITA' | | | SOSTITUISCE IL SOSTITUITO DAL ARCHIVIO N |

Allegato 2

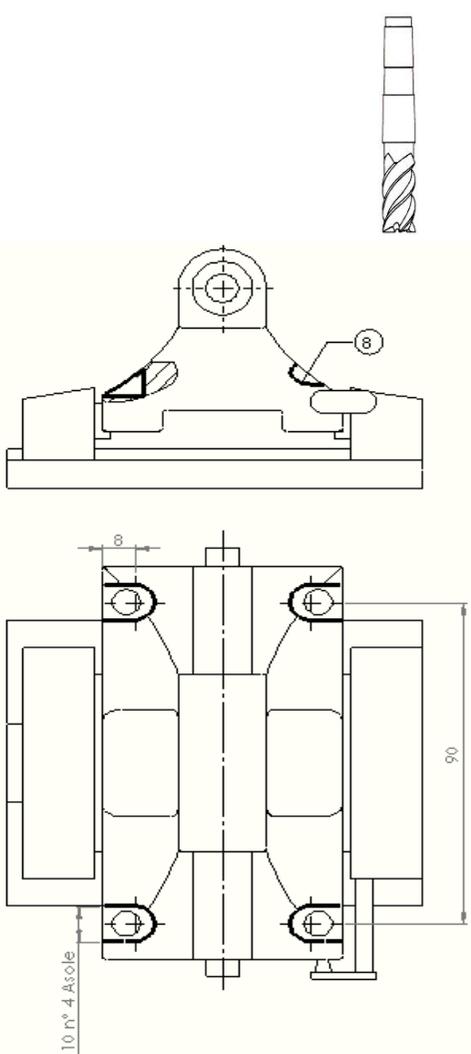
| Università di Pisa Dip. di Ingegneria meccanica, nucleare e della produzione | Ciclo di lavorazione elemento : Part. n° 4 "SUPPORTO INFERIORE" | | | | | | | Foglio n° 1 di 1 | | |
|--|--|---------------------------------|----------------------------|---|--------------------|------------------|-----------------------------|----------------------------|------|--|
| Designazione superfici | n° | Fasi, sottofasi, operazioni | Tipo di macchina | Attrezzatura | Tempo attivo | Tempo passivo | Superfici di riferimento | Superfici di bloccaggio | Note | |
| | 10 | TAGLIO DA BARRA | Sega a nastro | | | | | | | |
| | 20 | a | FRESATURA | | | | | | | |
| | | | Fresatura 10-b, 1, 10-a | | | 3'' | 60'' | | | NOTA 1: Superficie di partenza SP 4 : SUP 4 |
| | | | Spianatura 6, 6-a, 6-b | | | 6'' | / | | | |
| | | | Fresatura 10-d, 4, 10-c | Fresatrice verticale 7 kW a CN | Morsa Puntalini | 3'' | / | SR7 SR3 | SB2 | |
| | | Esecuzione raccordo 9-a, 9-b | | | 4'' | 2,5'' | SR4 | | | |
| | | Foratura 8 | | | 2'' | 2,5'' | | | | |

Allegato 2

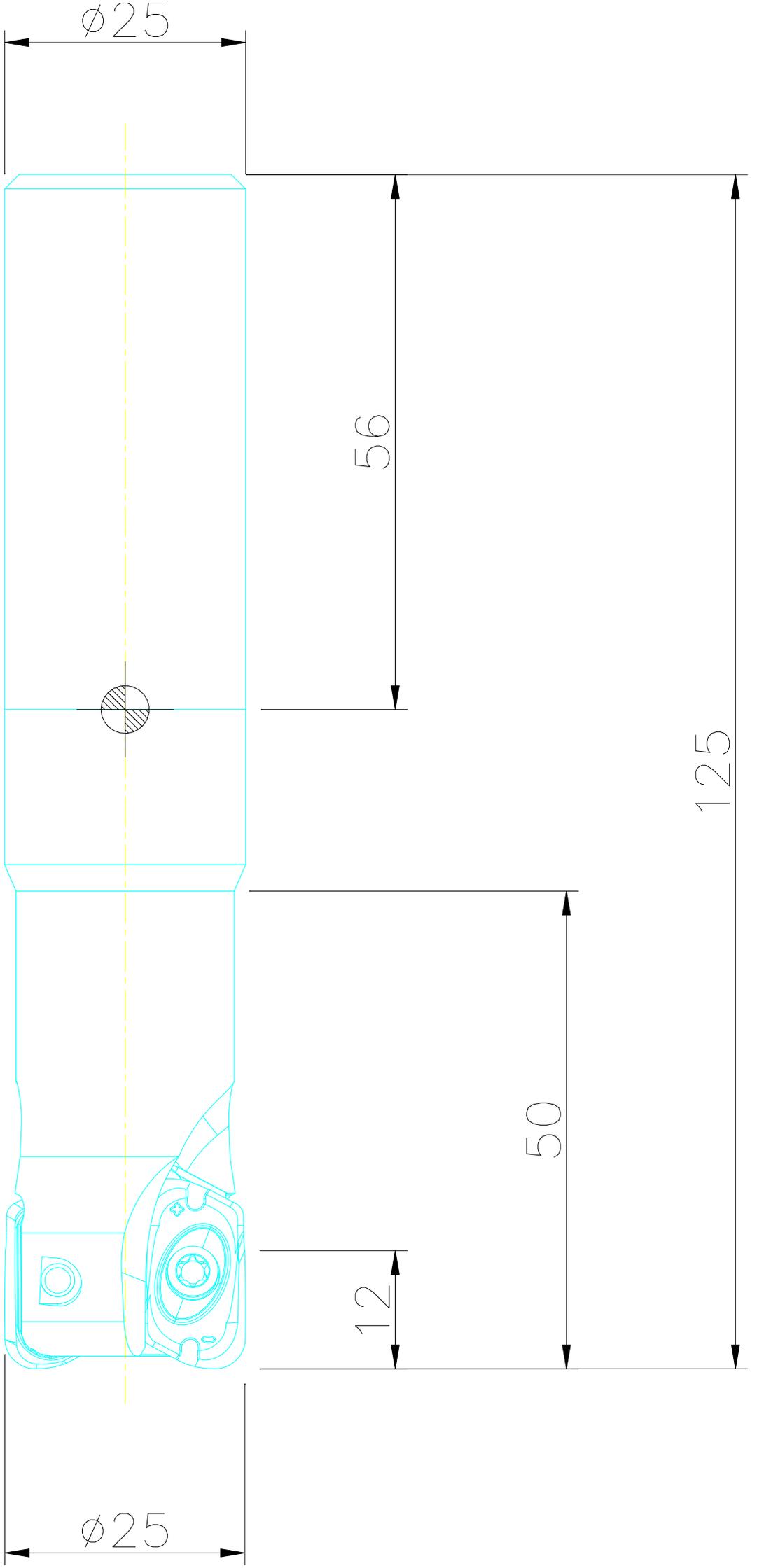
| Università di Pisa Dip. di Ingegneria meccanica, nucleare e della produzione | Ciclo di lavorazione elemento : Part. n° 1 "SUPPORTO SUPERIORE" | | | | | | | Foglio n° 1 di 1 | |
|--|--|---------------------|---|---|------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|------|
| Designazione superfici | Fasi, sottofasi, operazioni n° | Tipo di macchina | Attrezzatura | Tempo attivo | Tempo passivo | Superfici di riferimento | Superfici di bloccaggio | Note | |
| | 10 | SBAVATURA | Banco manuale | | | | | | |
| | 20 | a | FRESATURA | | | | | | |
| | | | Fresatura 6, 6a ,6b | Fresatrice verticale 7 kW a CN | Morsa Puntalini | 6'' | 60'' | SR1 SR11 SR9 | SB12 |
| | | | Esecuzione raccordo 10a, 10b | | | 4'' | 2,5'' | | |
| | Foratura 7 | 2'' | 2,7'' | | | | | | |
| | b | Lamatura 8 | Fresatrice verticale 7 kW a CN | Morsa Puntalini | 3'' | 62,5'' | SR1 SR5 SR3 | SB2 | |

| Università di Pisa Dip. di Ingegneria meccanica, nucleare e della produzione | | Fase di lavorazione n° 20 dell'elemento: Supporto inferiore | | | | Foglio n°1/2 | | | | |
|--|---|---|--|--|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|
| Materie prime | Materiale: P _c -Al Si 1 Mg Mn (6082) | Stato: Estruso | Dimensioni: 60x112x12 | | Parametri di taglio | | | | | |
| s. fase | Schizzo di lavorazione | n° | Operazione Descrizione | Utensile | Controllo | Potenza macchina (kW) | Potenza di taglio (kW) | Velocita' di taglio (m/min) | n° giri mandrino (giri/min) | Note |
| | | | | | | rendim.to | n° passate | Prof. di Passata(mm) | Avanzam. (mm/min) | |
| a | | 1 | Bloccaggio del pezzo nella morsa e fresatura* periferica 10-b, 1, 10-a | R790025C5S216L R790160408PHNM H13A Ditta Sandvik (vedi allegato) | Calibro a corsoio 1/20 | 7 | 2,5 | 350 | 4450 | *Prima di iniziare la lavorazione rimuovere il puntalino di riferimento dalla zona di lavoro. |
| | | | | | | 0,85 | 1 | 1 | 890 | |
| | | 2 | Fresare cava passante 30x110 6,6a,6b | R790025C5S216L R790160408PHNM H13A Ditta Sandvik (vedi allegato) | | 7 | 2,5 | 500 | 6350 | |
| | | | | | | 0,85 | 1 | 6 | 2500 | |
| | | 3 | Fresatura periferica 10-d, 4, 10-c | R790025C5S216L R790160408PHNM H13A Ditta Sandvik (vedi allegato) | | 7 | 2,5 | 350 | 4450 | |
| | | | | | | 0,85 | 1 | 1 | 890 | |
| | | 4 | Eseguire raccordi R1 9-a, 9-b | R215.0404000CAC 01G Ditta Sandvik (vedi allegato) | | 7 | 0,4 | 150 | 8000 | |
| | | | | | | 0,85 | 1 | 1 | 3200 | |

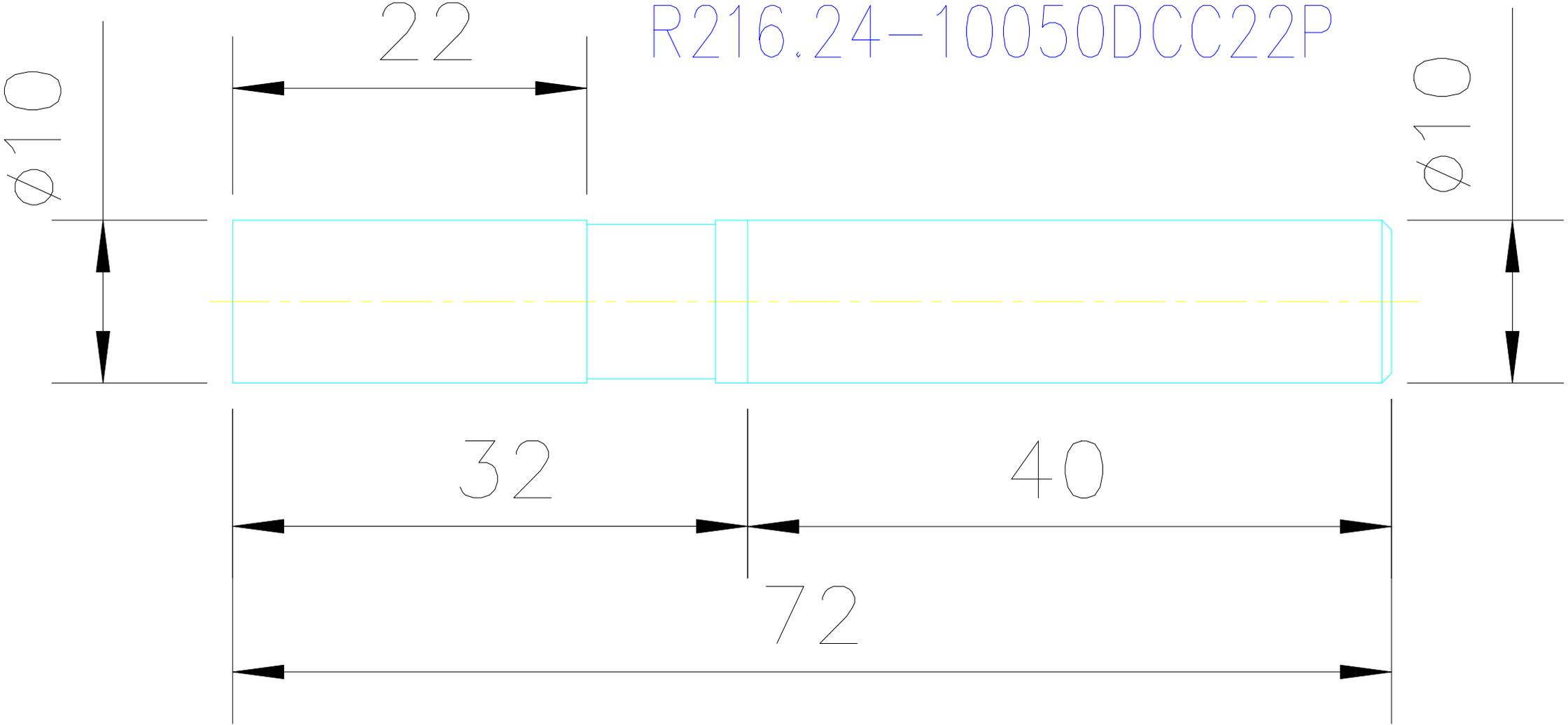
| Università di Pisa Dip. di Ingegneria meccanica, nucleare e della produzione | | Fase di lavorazione n° 20 dell'elemento: Supporto superire | | | | | | Foglio n° 1/2 | | |
|--|---------------------------|--|---|--|---------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| Materie prime | | Materiale: G Al Si 13-UNI 4514 | | Stato: Getto | | Dimensioni: | | Parametri di taglio | | |
| s. fase | Schizzo di lavorazione | n° | Operazione Descrizione | Utensile | Controllo | Potenza macchina (kW) | Potenza di taglio (kW) | Velocita' di taglio (m/min) | n° giri mandrino (giri/min) | Note |
| | | | | | | rendim.to | n° passate | Prof. di Passata(mm) | Avanzam. (mm/min) | |
| a | | 1 | Bloccaggio del pezzo nella morsa e fresatura cava passante 30x110 6, 6-a, 6-b | R790025C5S216L R790160408PHNM H13A Ditta Sandvik (vedi allegato) | Calibro a corsoio 1/20 | 7 0,85 | 2,5 1 | 500 6 | 6350 2500 | |
| | | 2 | Esecuzione raccordi R1 10-a, 10-b | R215.0404000CAC 01G Ditta Sandvik (vedi allegato) | | 7 0,85 | 0,4 1 | 150 1 | 8000 3200 | |
| | | 3 | Forare i 4 fori passanti 7 | R850-0700-30-A1A Ditta Sandvik (vedi allegato) | Calibro a corsoio 1/20 | 7 0,85 | 0,7 1 | 150 | 7000 0,3* | * Avanzamento in mm/giro. |

| Università di Pisa Dip. di Ingegneria meccanica, nucleare e della produzione | | Fase di lavorazione n° 20 dell'elemento: Supporto superire | | | | | | Foglio n°2/2 | | |
|--|--|--|---|--|---------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------|
| Materie prime | Materiale:G Al Si 13-UNI 4514 | Stato: Getto | Dimensioni: | | Parametri di taglio | | | | | |
| s. fase | Schizzo di lavorazione | n° | Operazione Descrizione | Utensile | Controllo | Potenza macchina (kW) | Potenza di taglio (kW) | Velocita' di taglio (m/min) | n° giri mandrino (giri/min) | Note |
| | | | | | | rendim.to | n° passate | Prof. di Passata(mm) | Avanzam. (mm/min) | |
| b |  | 1 | Esecuzione lamatura 8 (4 asole sede bulloni) | R216.2410050DCC2 1620 Ditta Sandvik (vedi allegato) | Calibro a corsoio 1/20 | 7 | 0,6 | 250 | 8000 | |
| | | | | | | 0,85 | 1 | 6 | 3200 | |

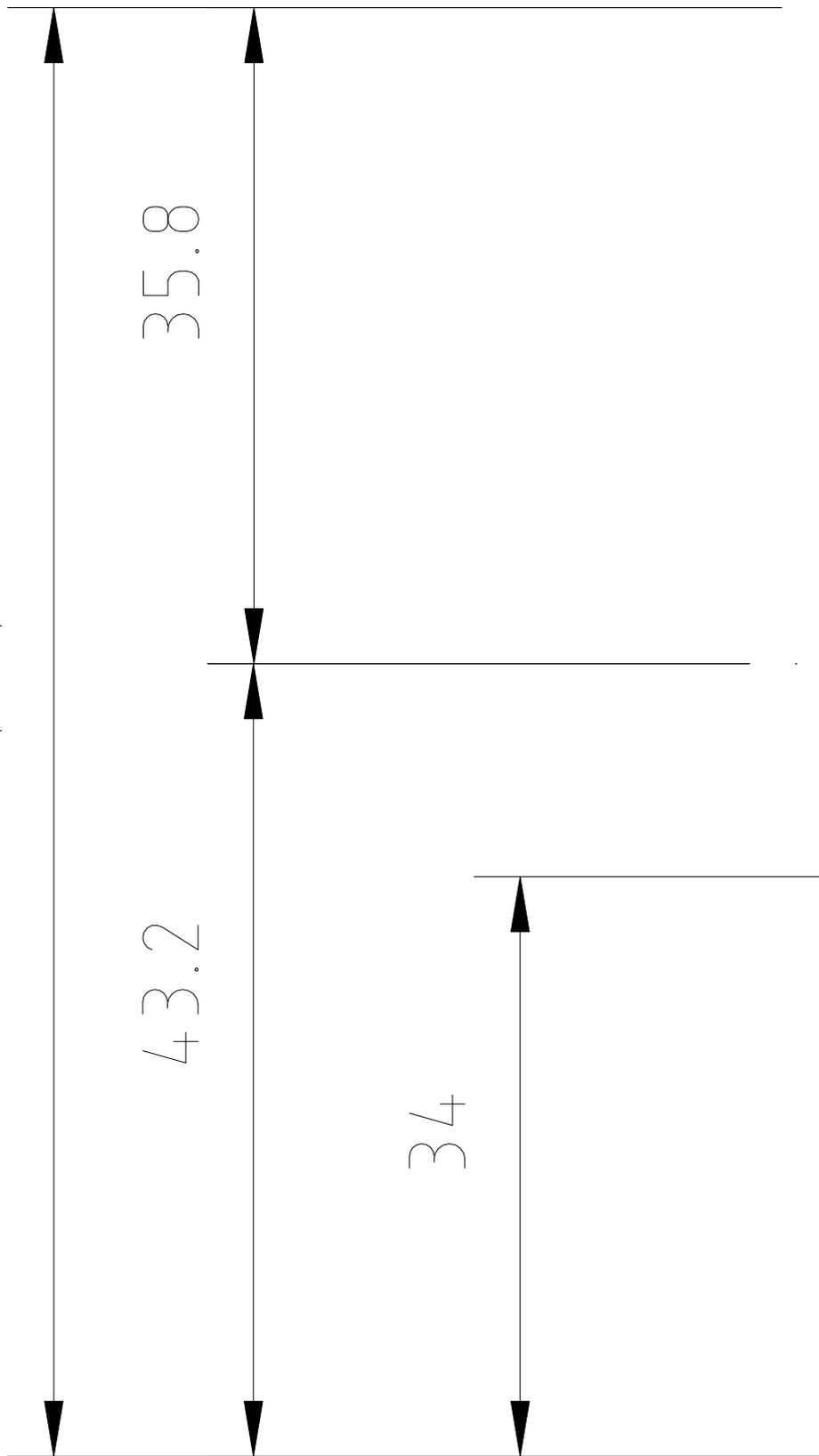
R790-025A25S2-16L



R216.24-10050DCC22P



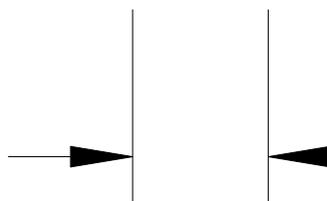
(79)



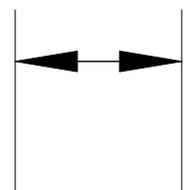
35.8

43.2

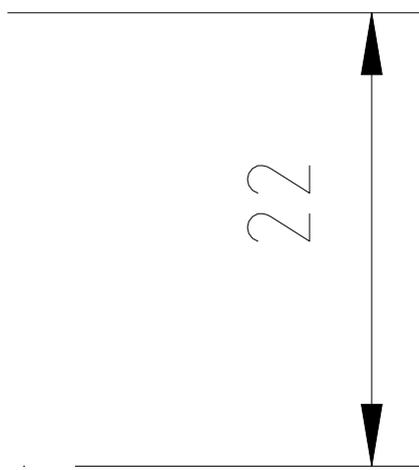
34



$\phi 7.00$

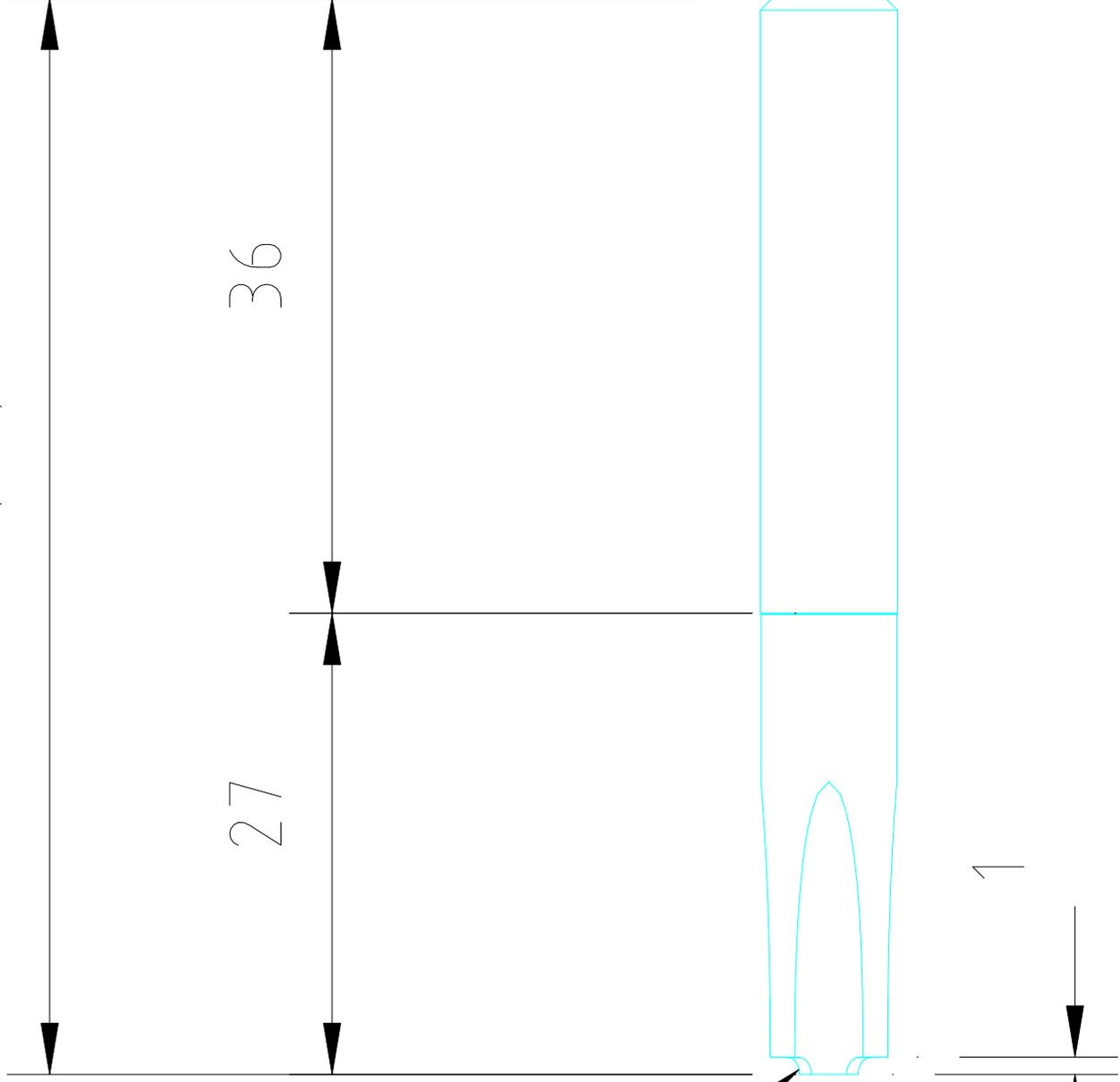


$\phi 8.0$



22

(63)



36

27

R 1.0

$\phi 4$

1

$\phi 8$

