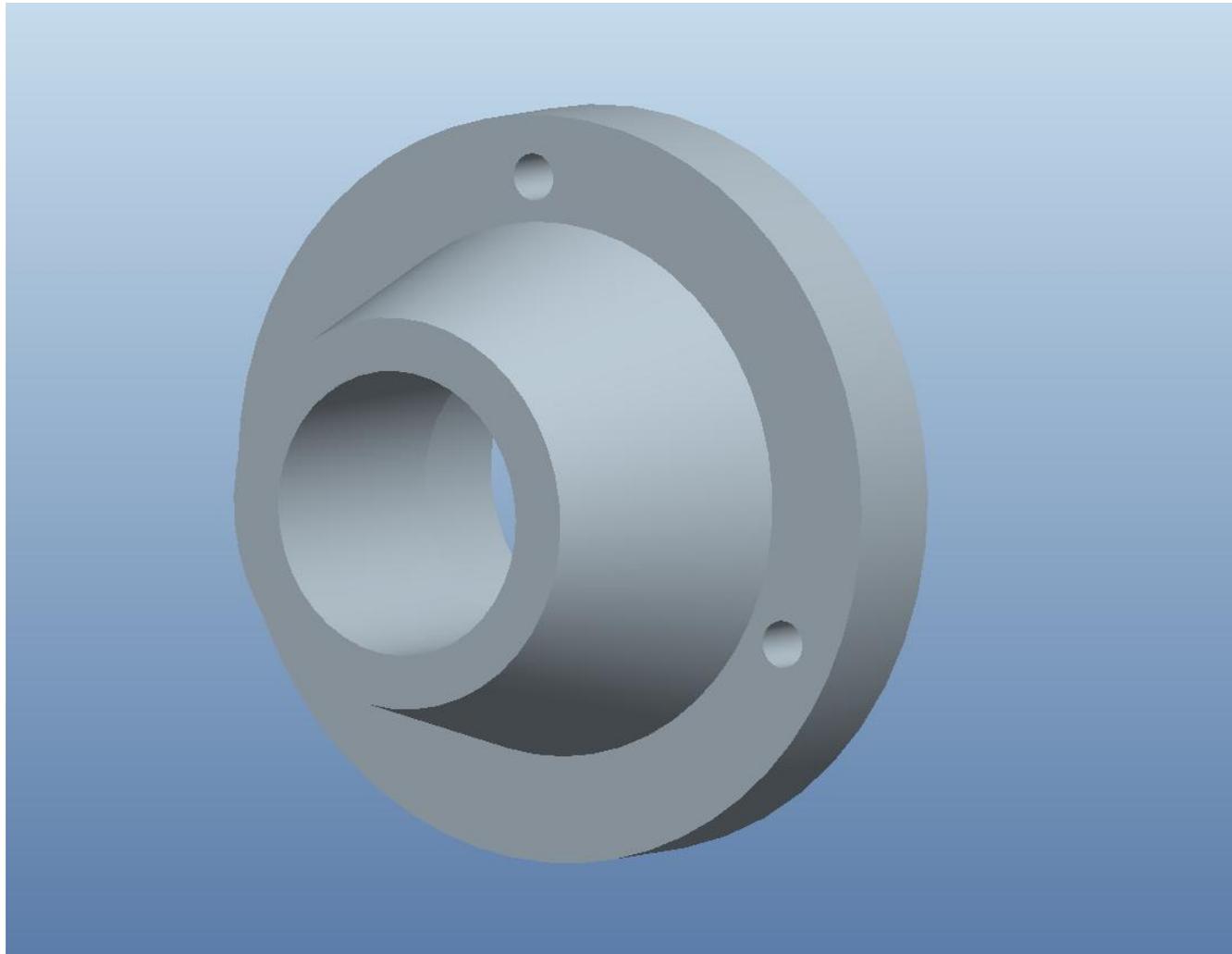
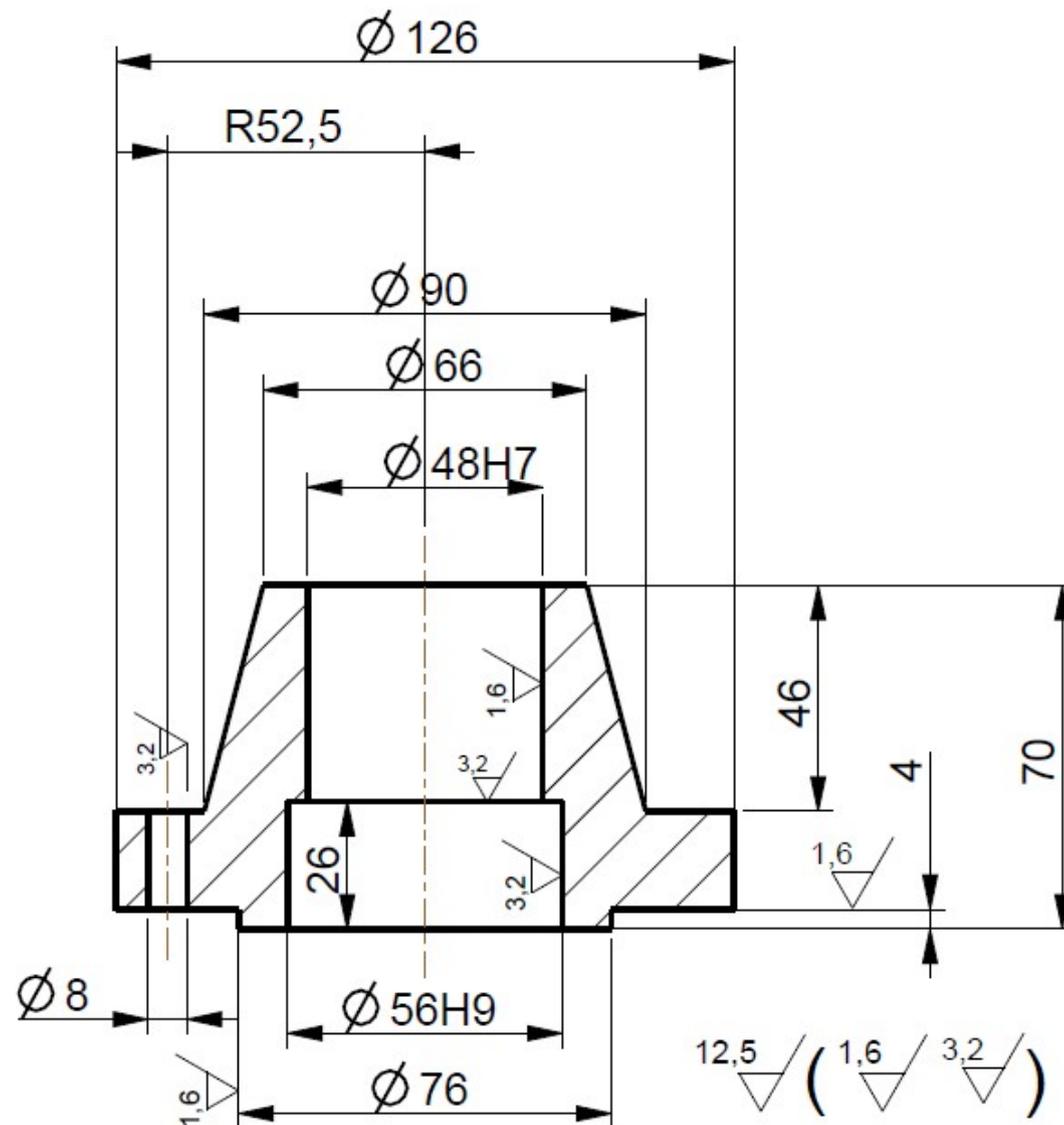


Esercitazione: ciclo di stampaggio



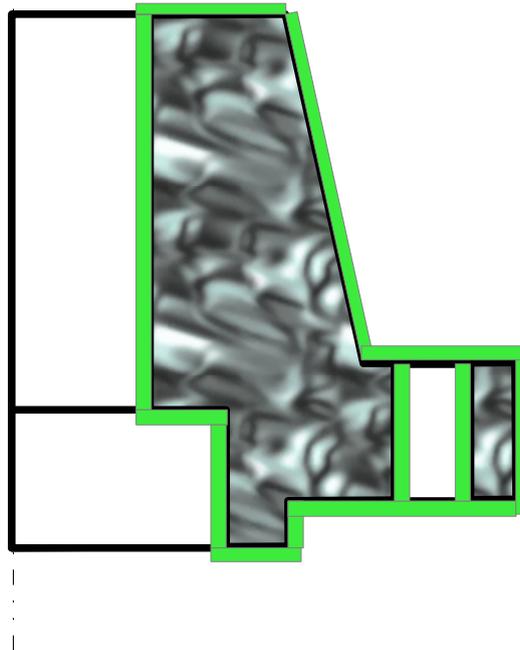
Disegno di definizione: flangia



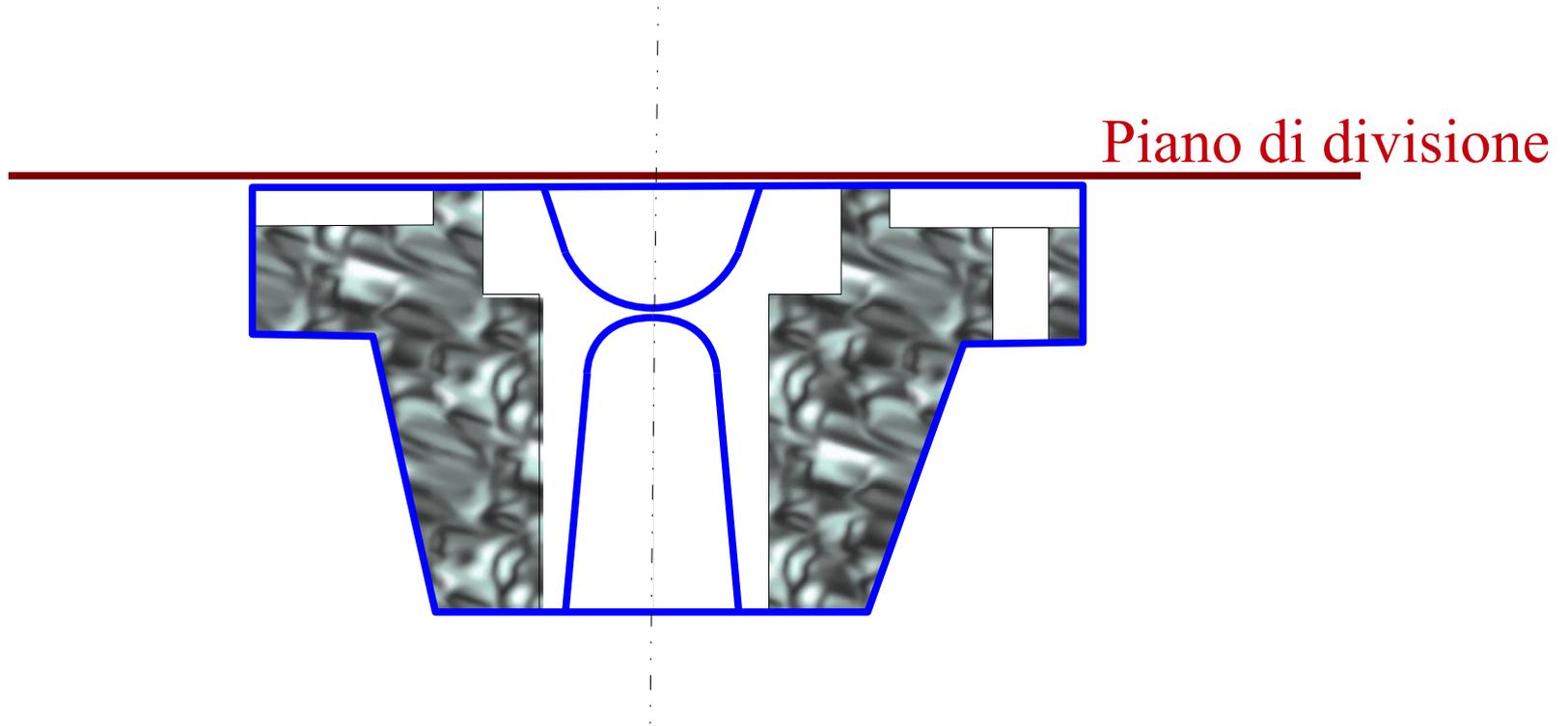
Tolleranze generali di lavorazione Js12, js12

Informazioni generali dal disegno di definizione:

- Pezzo assialsimmetrico
- N° di pezzi da fabbricare
- Materiale:C15
- Ingombri: 126x70mm
- Superfici da lavorare successivamente alle macchine utensili



Idea sul possibile greggio di stampaggio e scelta del piano di divisione



Disposizione del piano di bava perpendicolare all'asse del pezzo
I fori periferici vengono realizzati interamente alle macchine utensili

Dimensionamento dei sovrametalli

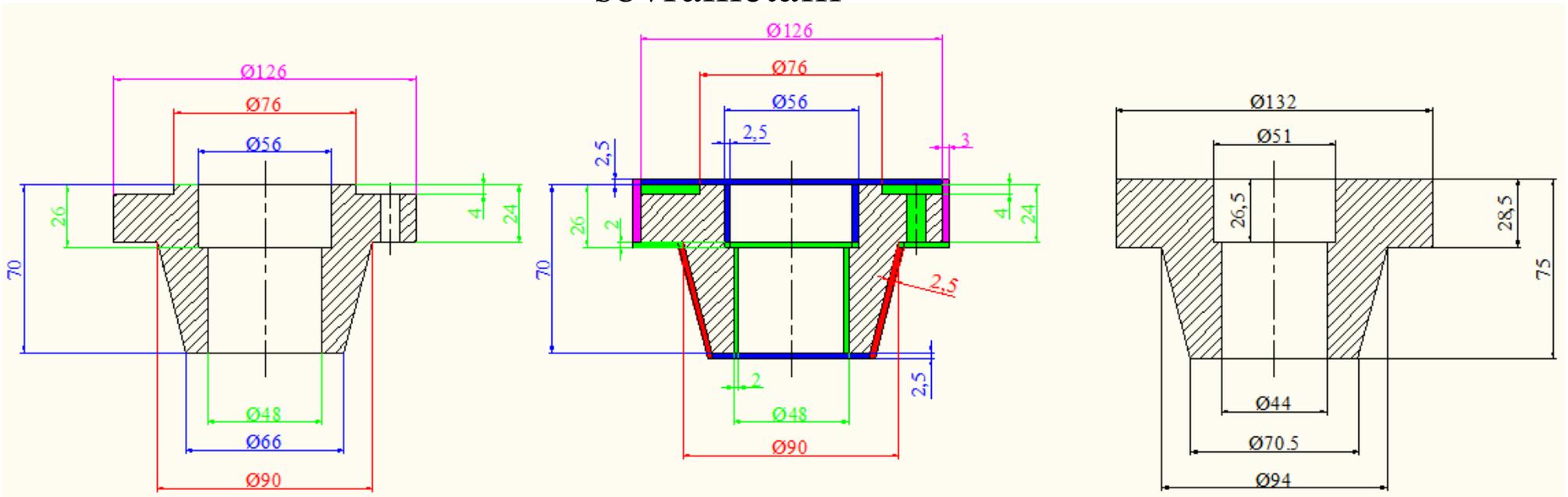
Si prevede uno spessore di sovrametallo sulle superfici che subiranno successive lavorazioni alle macchine utensili

Dimensioni nominali (mm)	Lunghezza del pezzo (mm)			
	≤ 100	100 ÷ 300	300 ÷ 500	500 ÷ 1000
≤ 50	1,8 + 2,1	1,8 + 2,3	2,3 + 3,1	3 + 3,4
50 + 75	2 + 3	2 + 3	2,5 + 3	3,5 + 4
75 + 100	2 + 3,5	2 + 3,5	3 + 3,5	3,5 + 4,5
100 + 400	3 + 3,5	3 + 4	3,5 + 4,5	4,5 + 5
400 + 800	4 + 4,5	4 + 5	4,5 + 5	5 + 5,5
800 + 1000	4 + 5	4,5 + 5,5	5,5 + 6	5 + 6,5

Quote da modificare

Dimensionamento dei sovrametalli

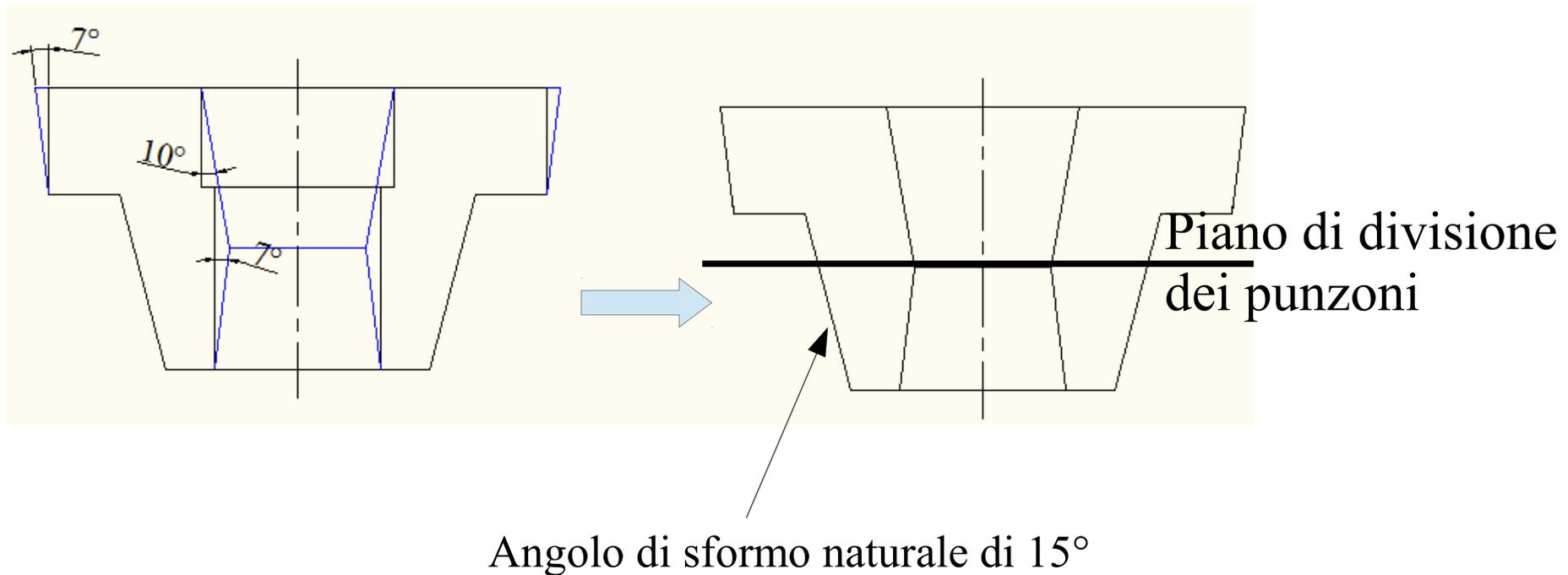
Dimensioni finali



Angoli di sformo

Onde favorire l'estrazione del pezzo e facilitare il riempimento degli stampi si cerca di modificare le pareti perpendicolari al piano di bava conferendo loro angoli di sformo di 7° - 12° in misura crescente con il rapporto altezza spessore

Poiché il modello in esame non ha particolari problemi di riempimento si prevedono angoli di sformo minimi



Raggi di raccordo

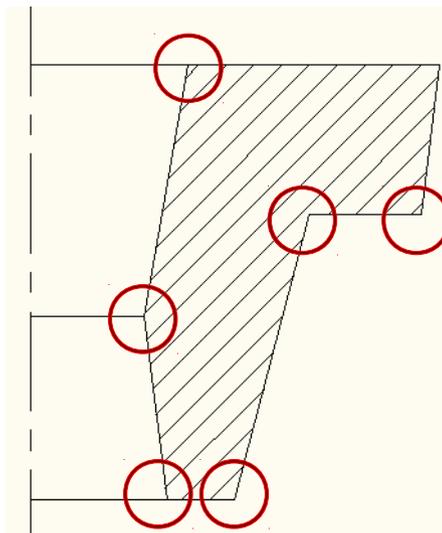
Modificare spigoli vivi con adeguati raggi di raccordo

Duplici funzione:

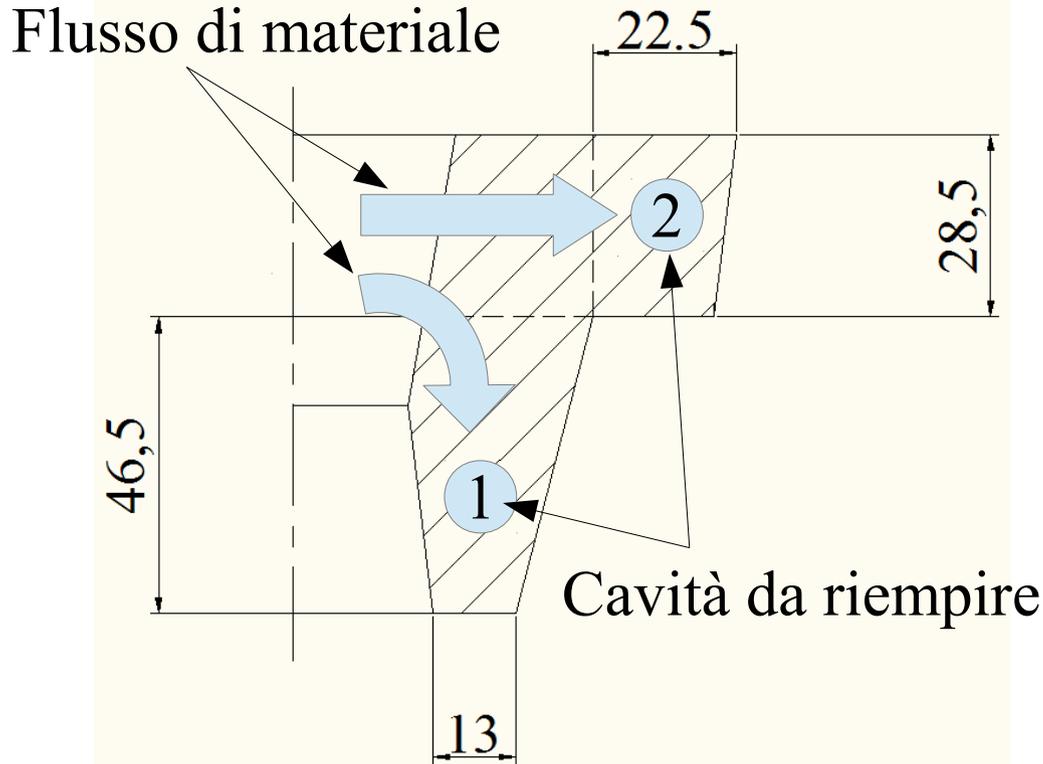
- Evitare zone di concentrazione delle tensioni sia sul pezzo sia sugli stampi
- Favorire il riempimento della cavità

Angoli di sforno e raggi di raccordo concorrono insieme a favorire il riempimento degli stampi

Individuare gli spigoli vivi sul greggio fino a qui costruito



Raggi di raccordo: dimensionamento



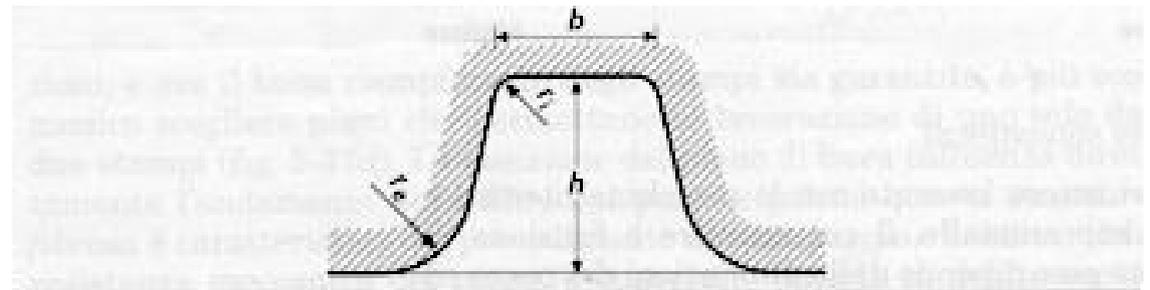
Rapporti h/b per le cavità:

$$h_1/b_1 = 3,6$$

$$h_2/b_2 = 0,8$$

Cavità 1 → $r_{i1} = 3,8\text{mm}$
 $r_{e1} = 12,1\text{mm}$

Cavità 2 → $r_{i2} = 1,8\text{mm}$
 $r_{e2} = 5,2\text{mm}$

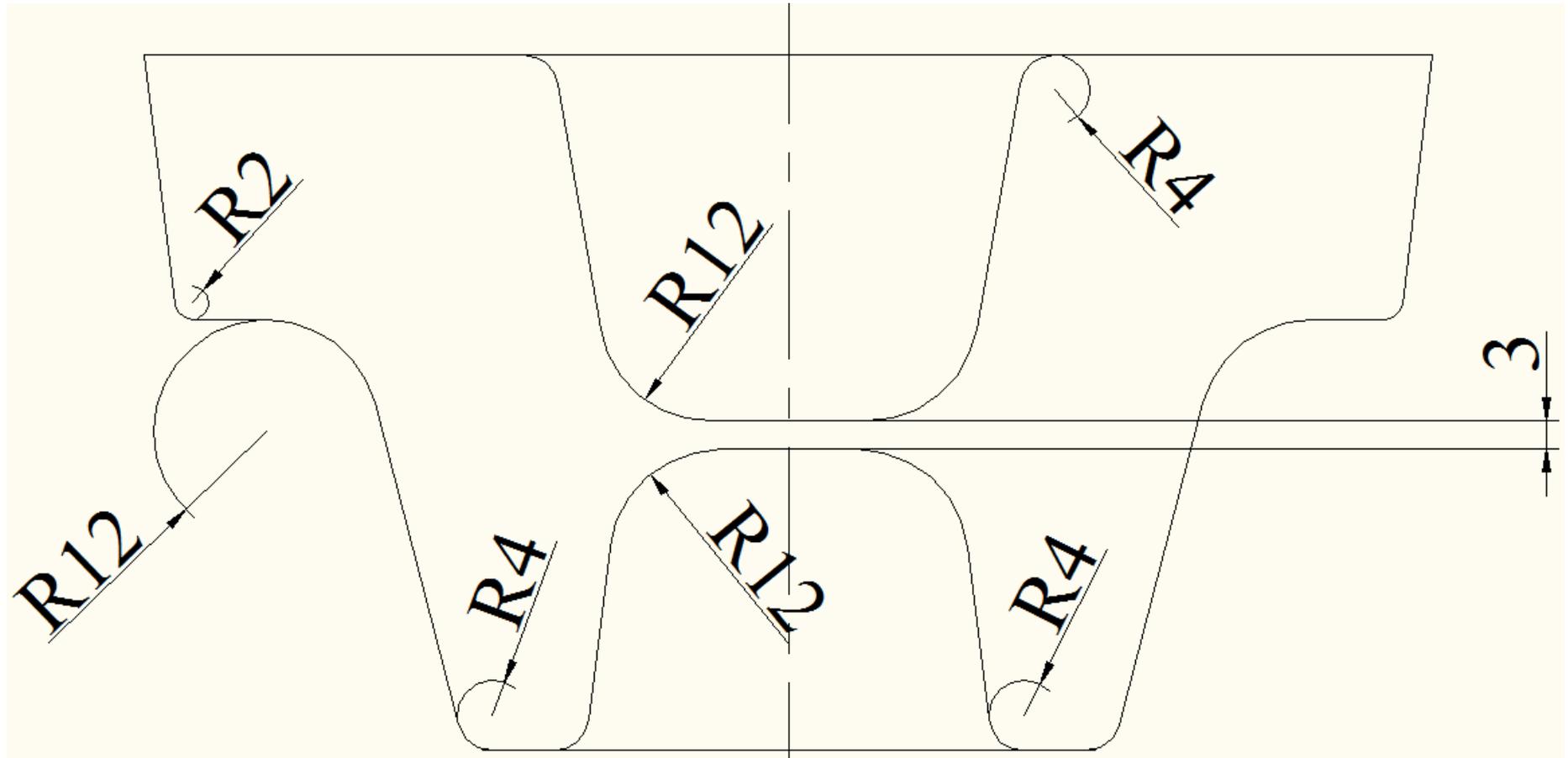


h/b	r_i (mm)	r_e (mm)
≤ 2	$0,06h + 0,5$	$2,5r_i + 0,75$
$2 + 4$	$0,07h + 0,6$	$3r_i + 0,75$
> 4	$0,08h + 0,75$	$3,5r_i + 0,75$

Cavità 2

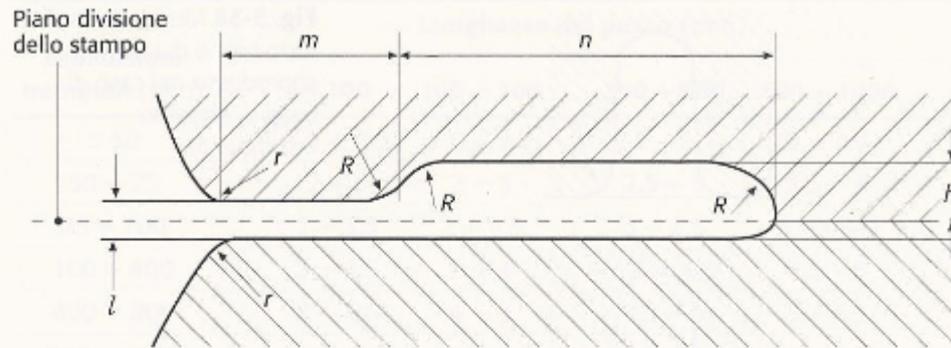
Cavità 1

Introduzione dei raggi di raccordo



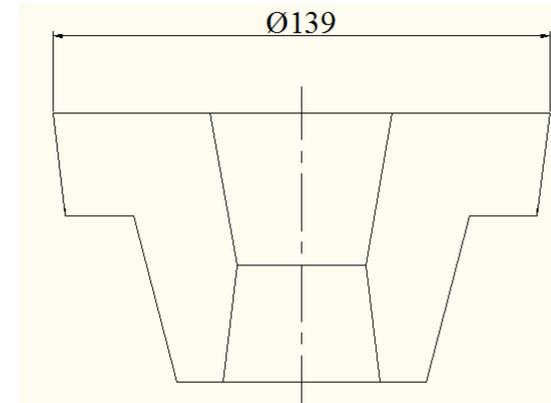
Dimensionamento del canale di bava

Dimensionamento del canale di bava funzione dell'area A dell'impronta del pezzo sul piano di bava



l (mm)	h (mm)	r (mm)	m (mm)	n (mm)
0,6	3,3	1	6	18
0,8	3,4	1	6	20
1	3,5	1	7	22
1,6	4,3	1	8	22
2	5	1,5	9	25
3	6,5	1,5	10	28
4	8	2	11	30
5	9,5	2	12	32
6	11	2,5	13	35
8	14	3	14	38
10	17	3	15	40

$R \cong (2,5 + 3)r + 0,5$; $l = 0,0175\sqrt{A}$; A = area dell'impronta del pezzo misurata sul piano di bava.

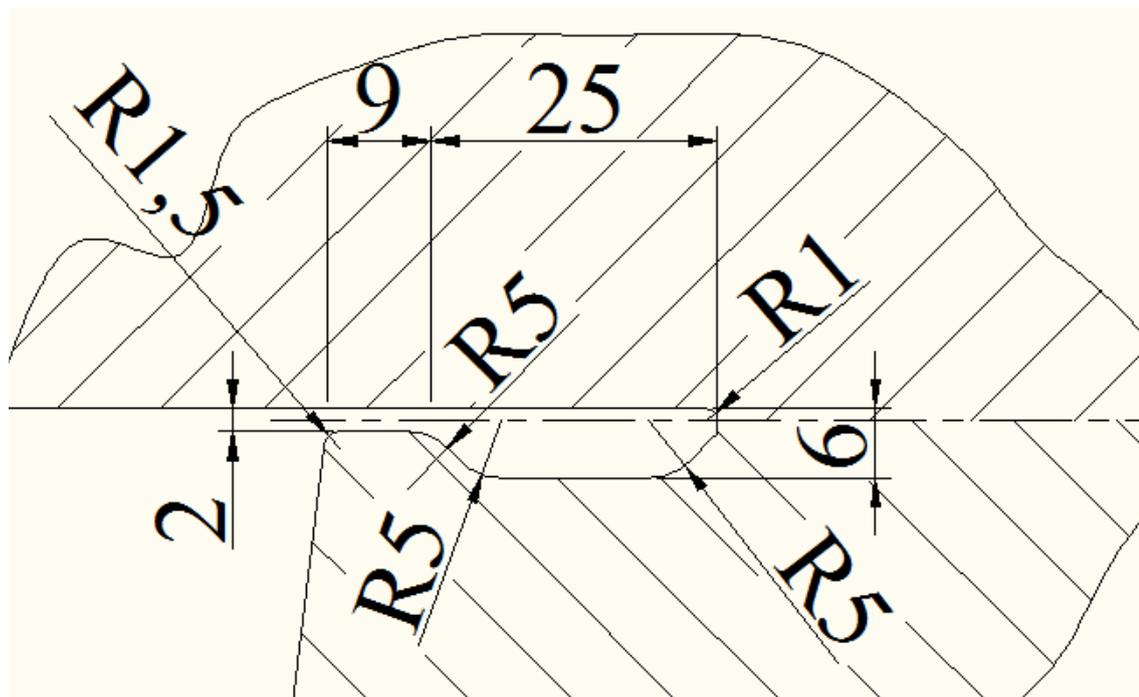


$$A = 15167\text{mm}^2$$



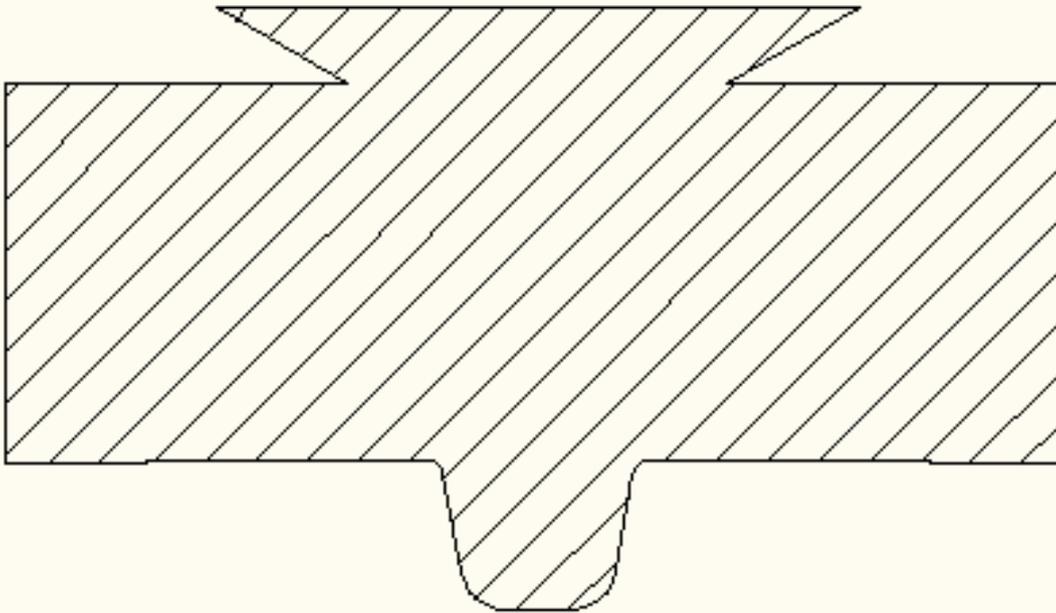
$$l = 0,0175\sqrt{A} = 2\text{mm}$$

Dimensionamento del canale di bava

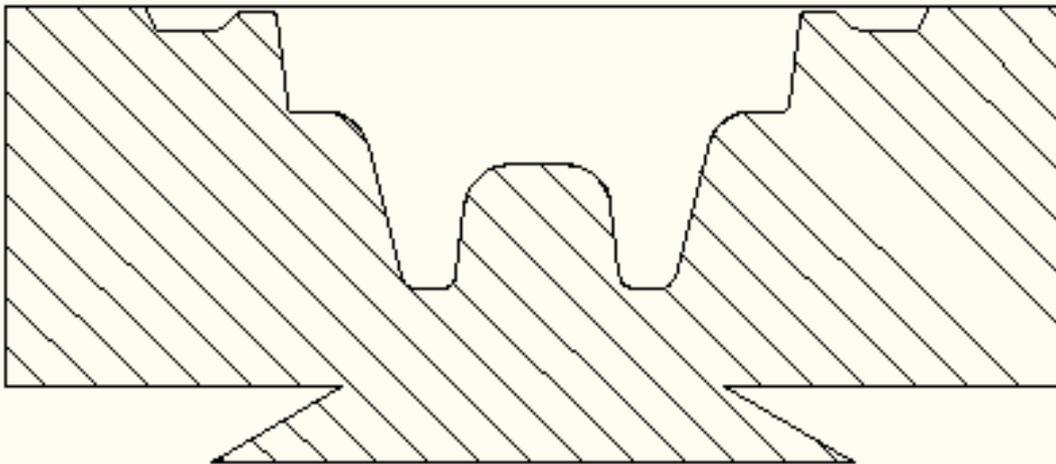


Dimensionamento degli stampi

Le dimensioni dell'impronta del pezzo vengono maggiorate per tener conto del ritiro



Le dimensioni degli stampi sono direttamente proporzionali alle dimensioni dell'impronta



Scelta della barra di partenza

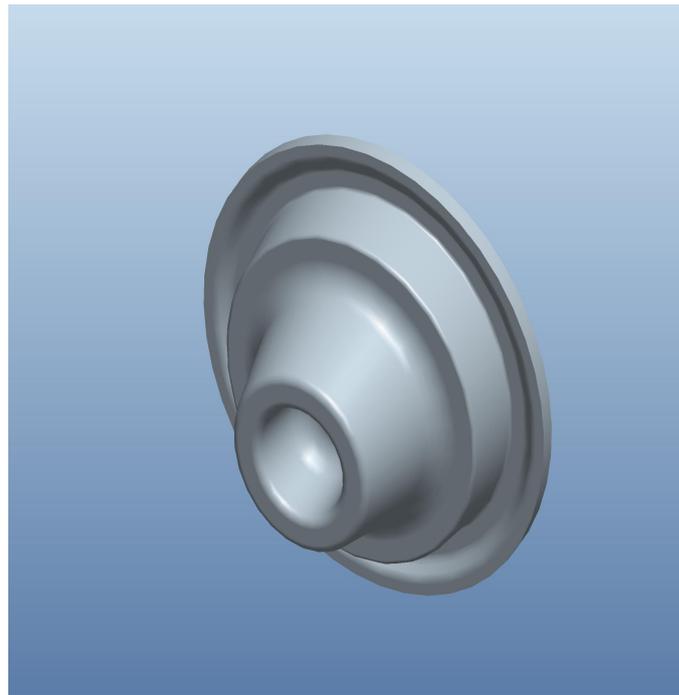
Poiché il pezzo è assialsimmetrico il semilavorato di partenza può ragionevolmente essere una barra disposta con asse perpendicolare al piano di bava

Si calcola il volume del greggio di stampaggio con canale di bava riempito al 60%

Greggio con canale di bava



Greggio con canale di bava al 60%



$$V_g = 611655 \text{ mm}^3$$

Scelta della barra di partenza

$$V_b = V_g \cdot 1,05 = 642238 \text{mm}^3 \longrightarrow \text{Volume della barra di partenza}$$

Maggiorazione che tiene conto della perdita per ossidazione di materiale

Prevedendo un rapporto H/D della barra di partenza di circa 1.5 e tenendo conto della disponibilità in commercio:

$$D_b = 80 \text{mm} \quad H_b = 128 \text{mm}$$

Valutazione della necessità di introdurre uno sbizzato intermedio

Calcolo della funzione S(r) con l'ausilio di un foglio elettronico

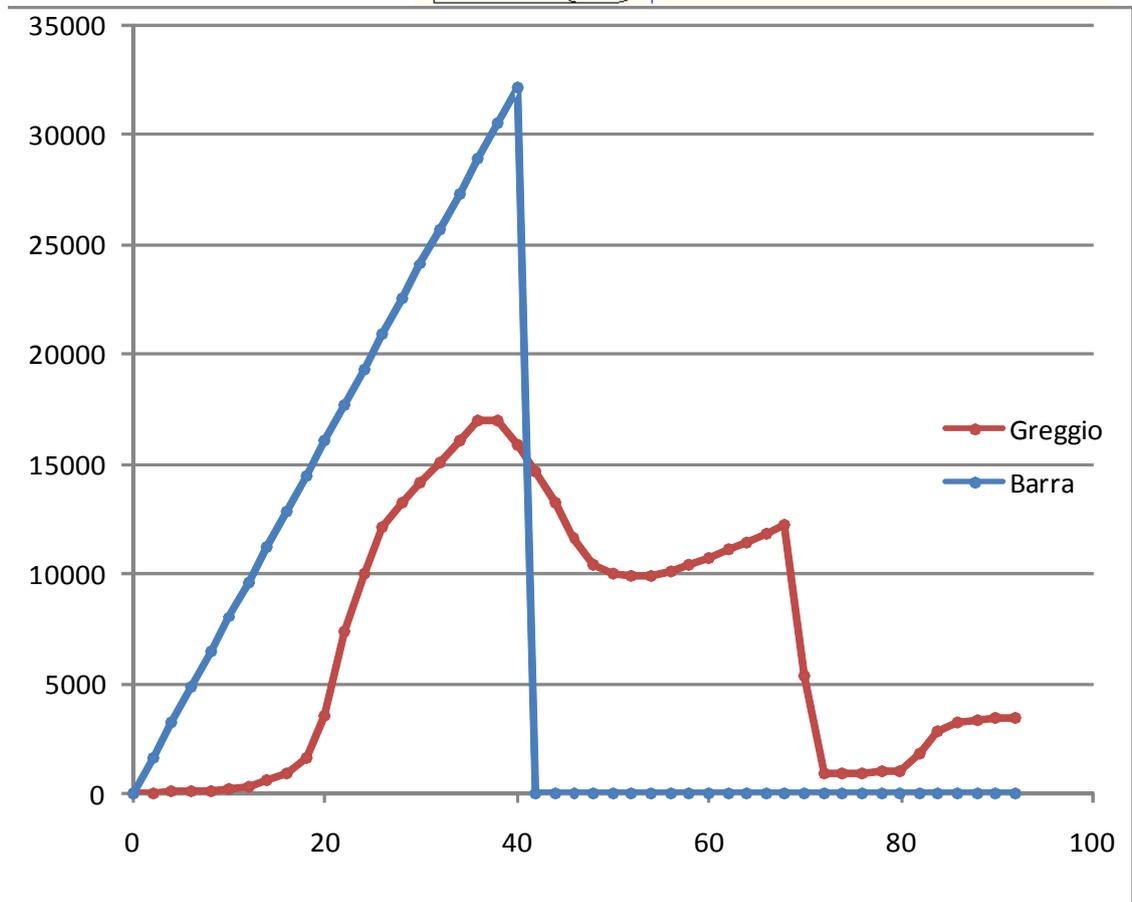
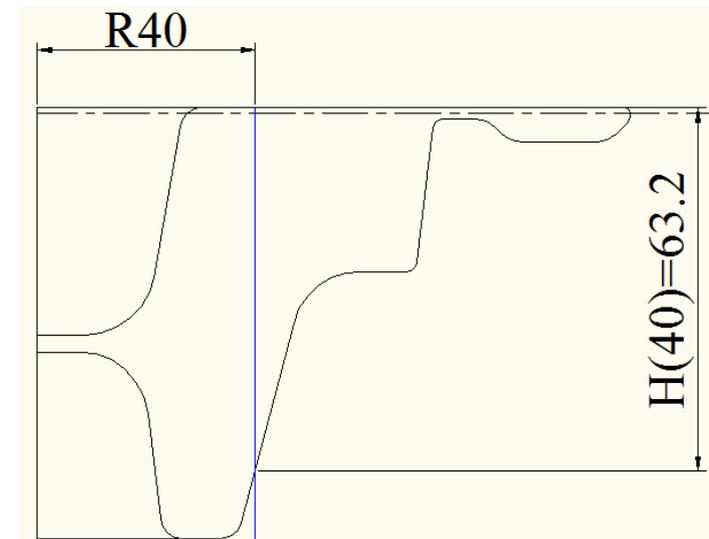
Greggio

Barra

R	H	2.PI.R.H
0	3	0
2	3	38
4	3	75
6	3	113
8	3	151
10	3,4	214
12	4,5	339
14	6,4	563
16	9,4	945
18	14,2	1605
20	28	3517
22	53,1	7336
24	66,2	9978
26	73,9	12066
28	75	13188
30	75	14130
32	75	15072
34	75	16014
36	75	16956
38	70,9	16920
40	63,2	15876
42	55,6	14665
44	47,9	13236
46	40,2	11613
48	34,4	10370
50	31,9	10017
52	30,3	9895
54	29,3	9936
56	28,7	10093
58	28,5	10381
60	28,5	10739
62	28,5	11097
64	28,5	11455
66	28,5	11813
68	28,5	12171
70	12,2	5363
72	2,1	950
74	2	929
76	2	955
78	2	980
80	2	1005
82	3,5	1802
84	5,29	2791
86	6	3240
88	6	3316
90	6	3391
92	6	3467

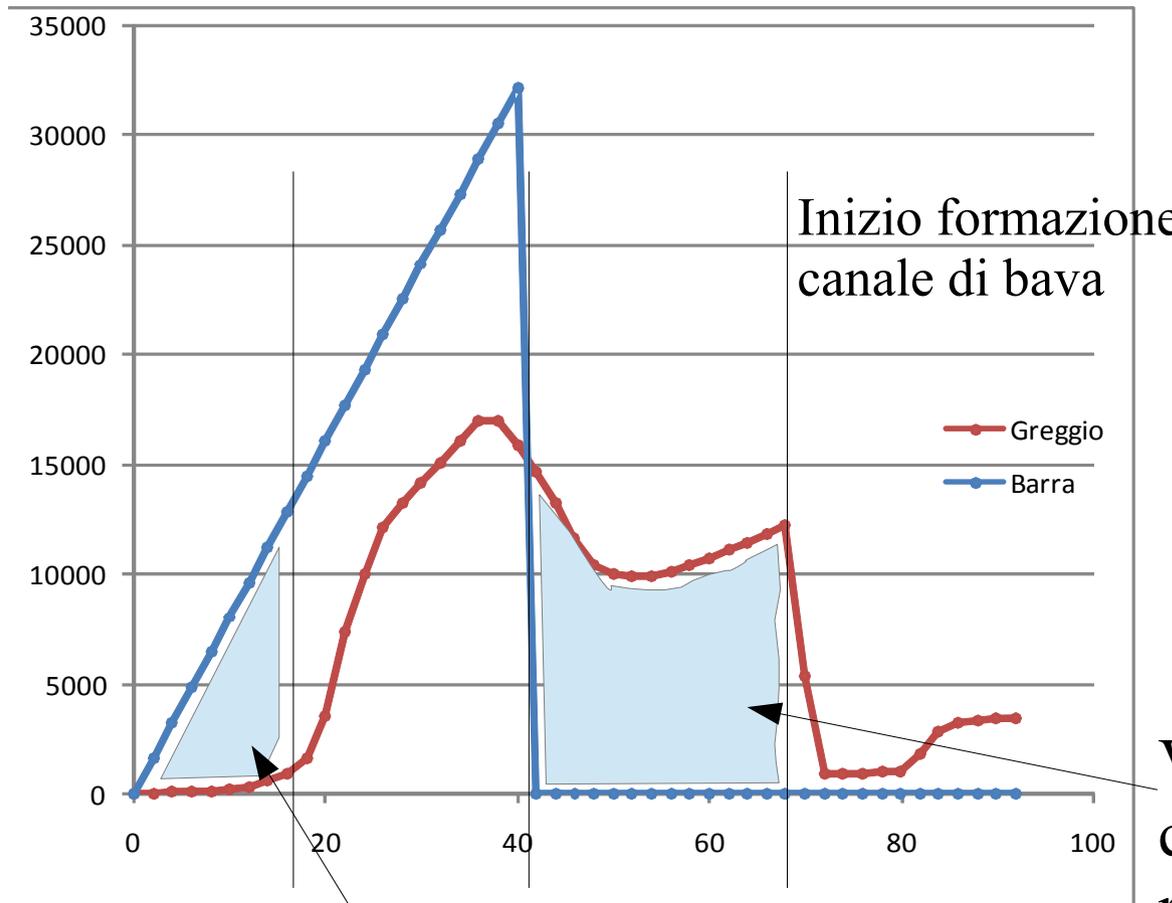
R	H	2.PI.R.H
0	128	0
2	128	1608
4	128	3215
6	128	4823
8	128	6431
10	128	8038
12	128	9646
14	128	11254
16	128	12861
18	128	14469
20	128	16077
22	128	17684
24	128	19292
26	128	20900
28	128	22508
30	128	24115
32	128	25723
34	128	27331
36	128	28938
38	128	30546
40	128	32154
42	0	0
44	0	0
46	0	0
48	0	0
50	0	0
52	0	0
54	0	0
56	0	0
58	0	0
60	0	0
62	0	0
64	0	0
66	0	0
68	0	0
70	0	0
72	0	0
74	0	0
76	0	0
78	0	0
80	0	0
82	0	0
84	0	0
86	0	0
88	0	0
90	0	0
92	0	0

$$S = 2 \pi r H(r)$$



Considerazioni qualitative sulle funzioni S(r)

Le funzioni S(r) ci danno indicazioni sul flusso di materiale dal volume del semilavorato di partenza a quello del greggio finale



L'area sottesa dalla curva S(r) fra due valori di raggi R1 e R2 rappresenta il volume di materiale contenuto in detto intervallo

$$\int S(r) dr = \int 2\pi r H(r) dr$$

Volume consistente di materiale che subisce un notevole flusso radiale

Volume consistente di materiale che subisce una notevole compressione

E' conveniente introdurre uno sbizzato intermedio

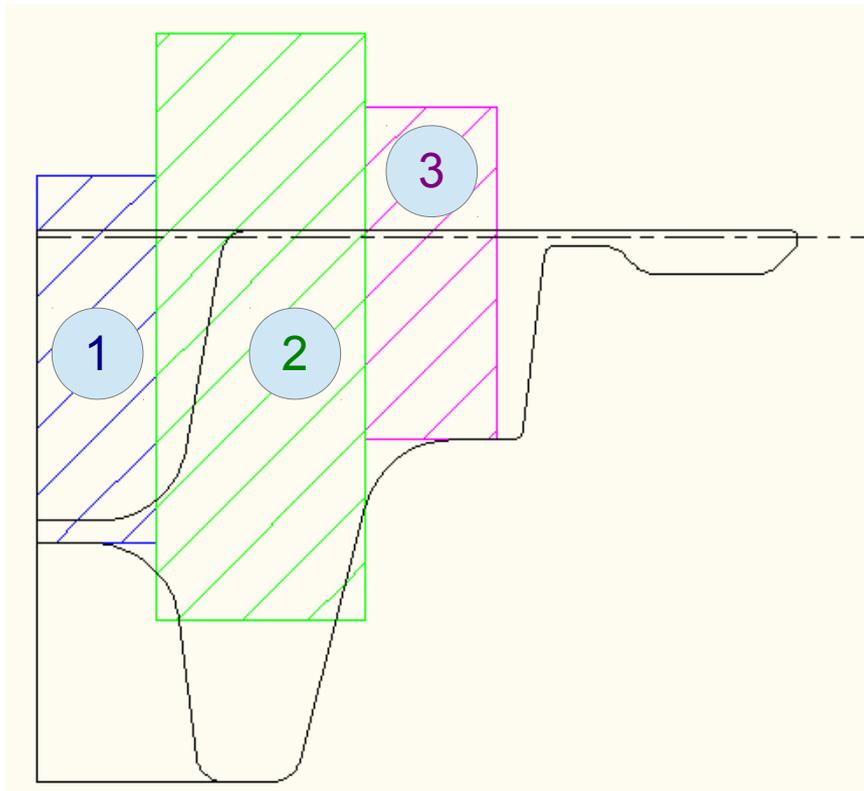
Disegno dello sbozzato intermedio

Per il disegno dello sbozzato intermedio si possono adottare le seguenti linee guida:

- La sezione dello sbozzato deve essere più facilmente riempibile dal metallo in deformazione (metodo di Teterin)
- Lo sbozzato deve essere provvisto di ampi raggi di raccordo
- Lo sbozzato deve avere forma tale da trovare stabile riferimento nello stampo finitore
- La forma dello sbozzato e quindi la corrispondente cavità nello stampo sbozzatore deve riferire la barra di partenza
- Il flusso di materiale deve essere intermedio fra quello che si otterrebbe passando direttamente dalla barra di partenza al prodotto finale di stampaggio
- La forma dello sbozzato deriva da quella del prodotto finale pensato costituito da parti toroidali a sezione rettangolare

Costruzione della geometria dello sbozzato

- Partendo dal disegno del greggio si individuano le zone da cui può considerarsi costituito il greggio stesso
- Nello sbozzato tali zone si trasformano in parti toroidali di altezza da valutarsi in base alla forma finale iniziale e all'andamento delle funzioni $S(r)$
- Si prevedono già possibili riferimenti nella cavità dello stampo finitore



E' conveniente in questa fase ottenere un volume totale delle parti toroidali leggermente maggiori di quelle del greggio finale da ridurre poi con raccordi e riducendo le altezze

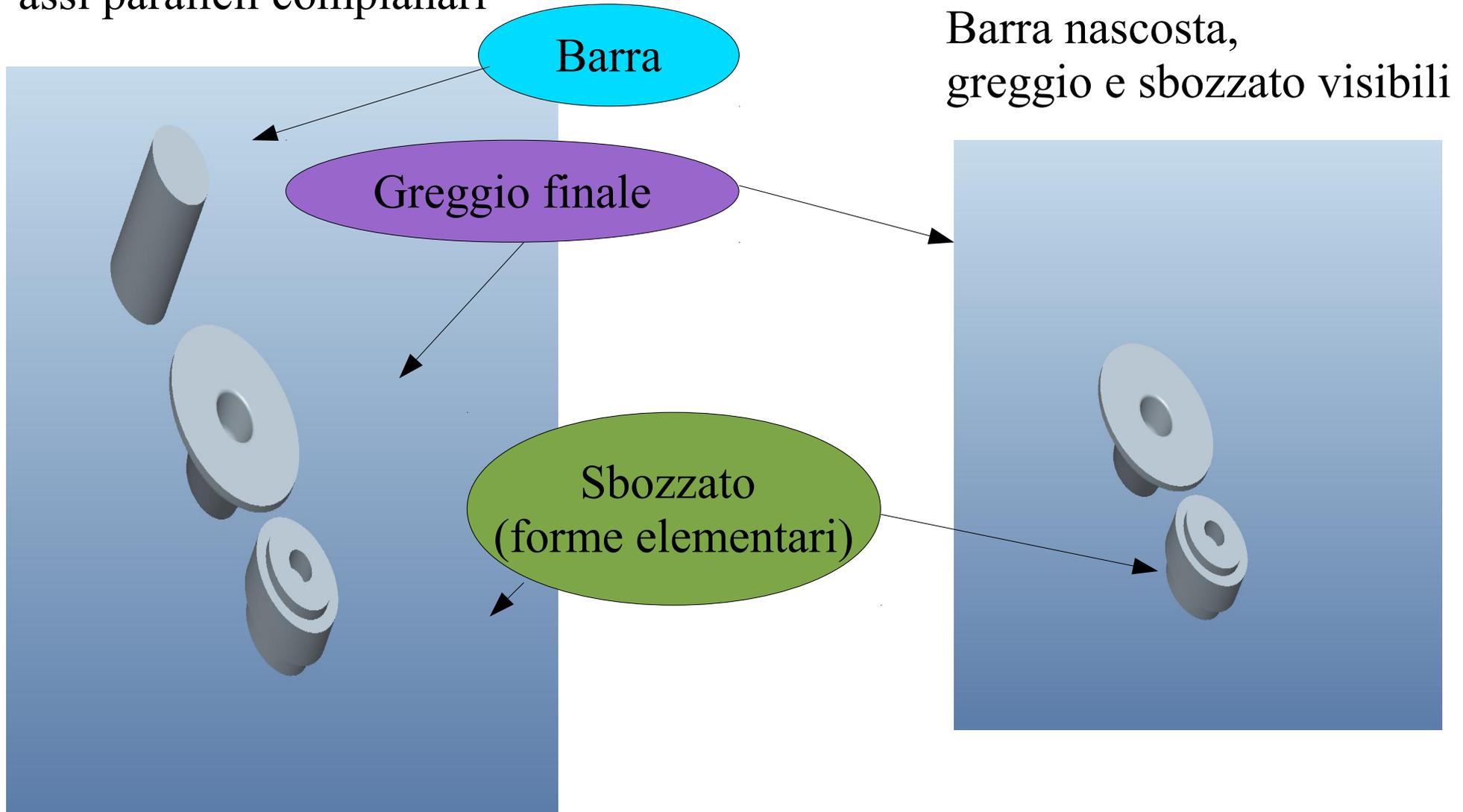
$$V_{sb} = 727476 \text{mm}^3$$

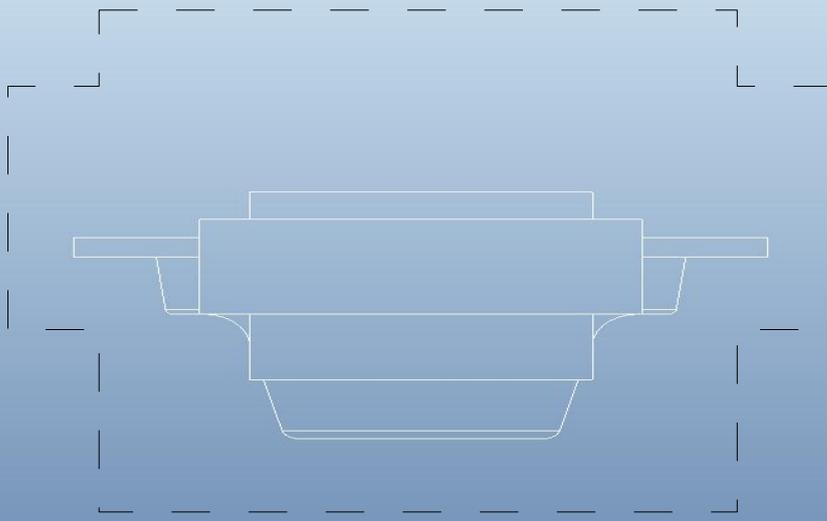


$$V_b = 642238 \text{mm}^3$$

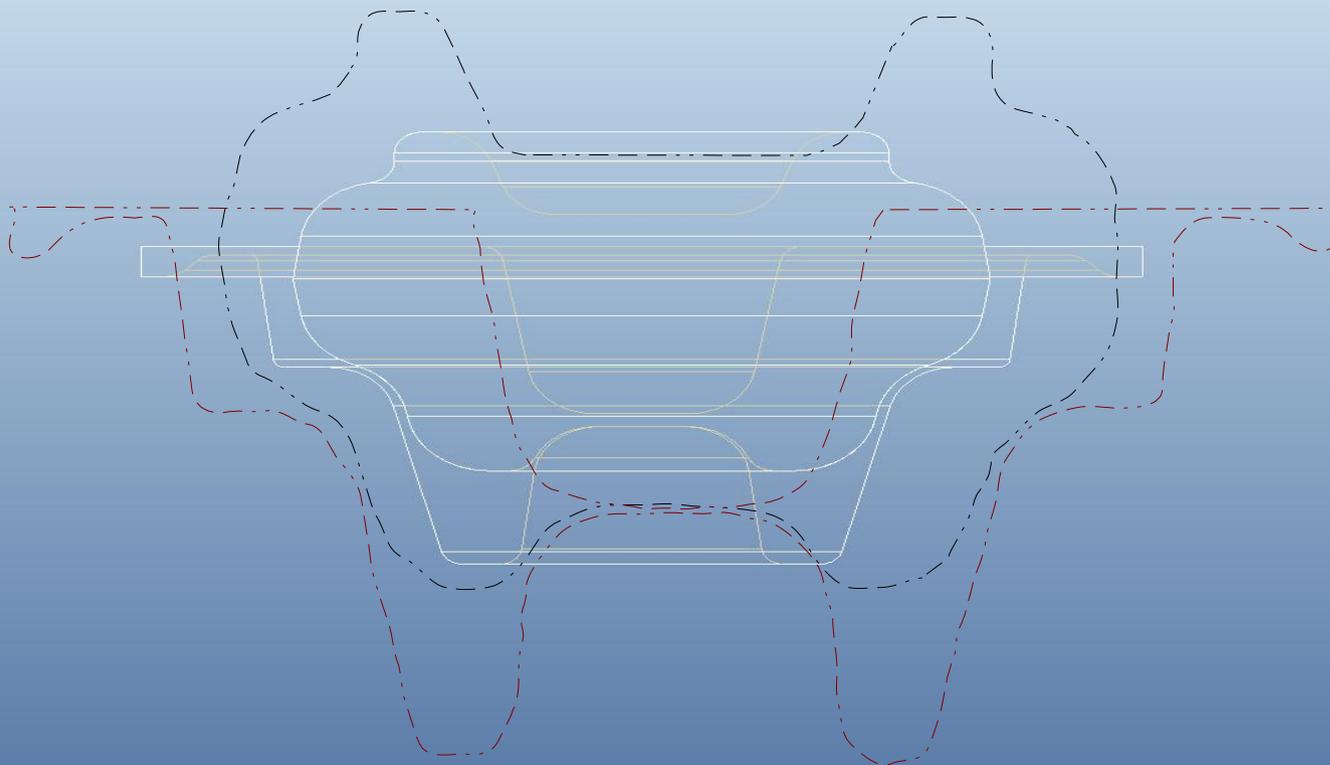
Costruzione della geometria dello sbozzato in funzione del greggio finale

Disposizione di barra, greggio e sbozzato con
assi paralleli complanari



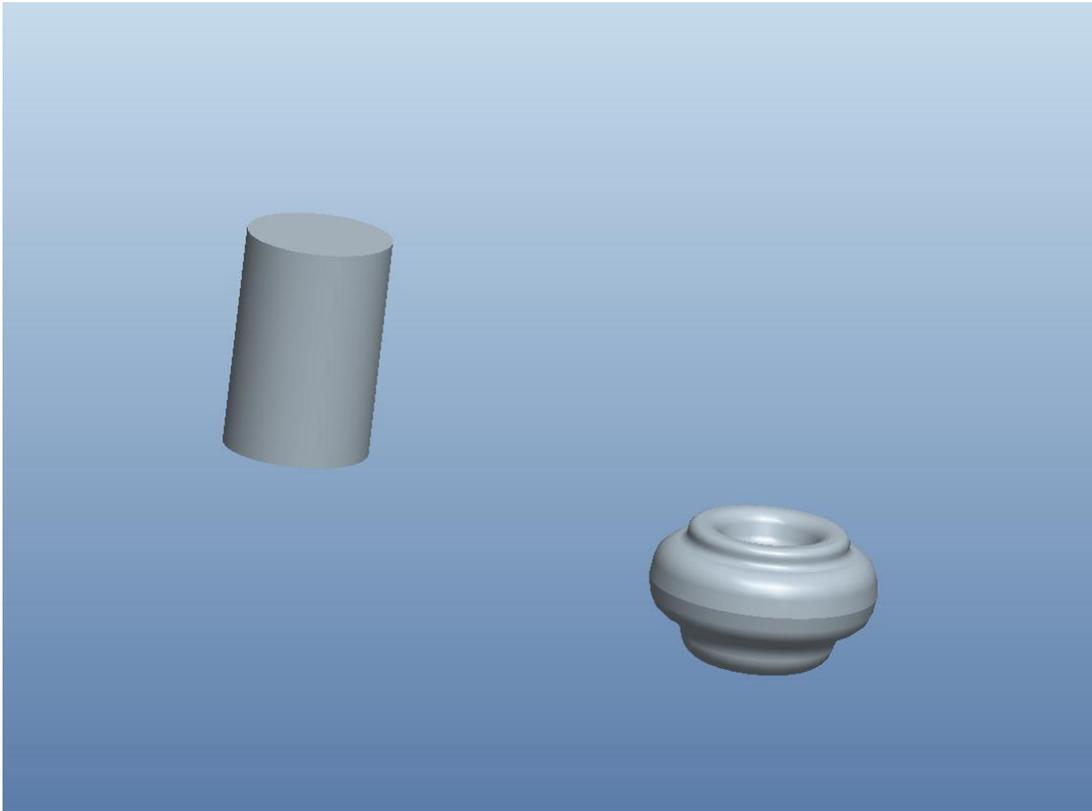


Proiezione su piano
perpendicolare
a quello contenente
gli assi perpendicolari



Con le linee nascoste
visibili si introducono i
raggi di raccordo
prevedendo riferimenti
nello stampo finitore e
controllando
periodicamente
il volume

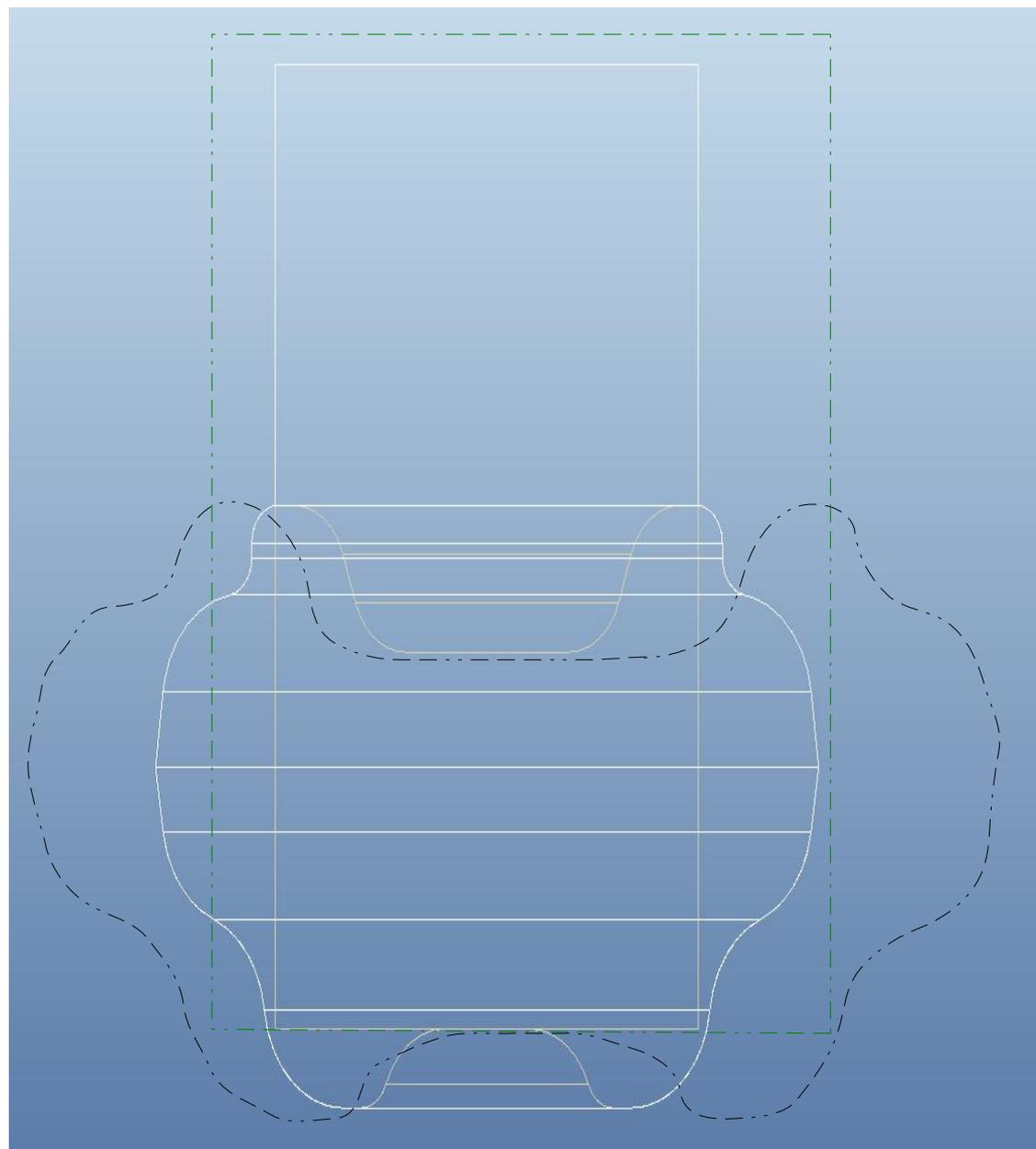
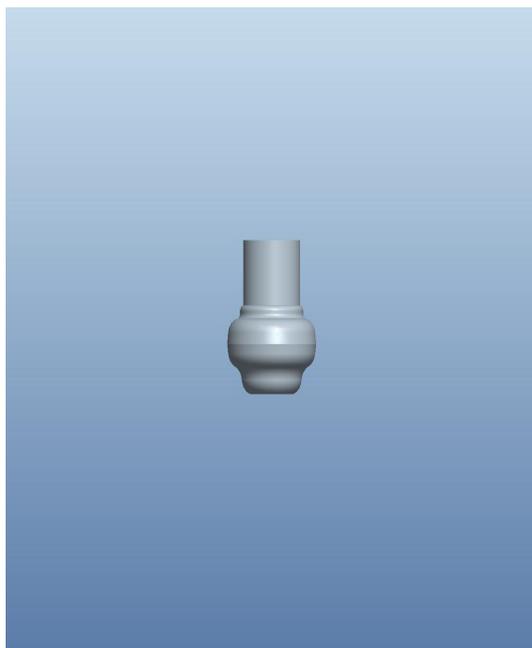
Riferimento della barra iniziale nello stampo sbozzatore



Greggio finale nascosto,
barra e sbozzato intermedio
visibili

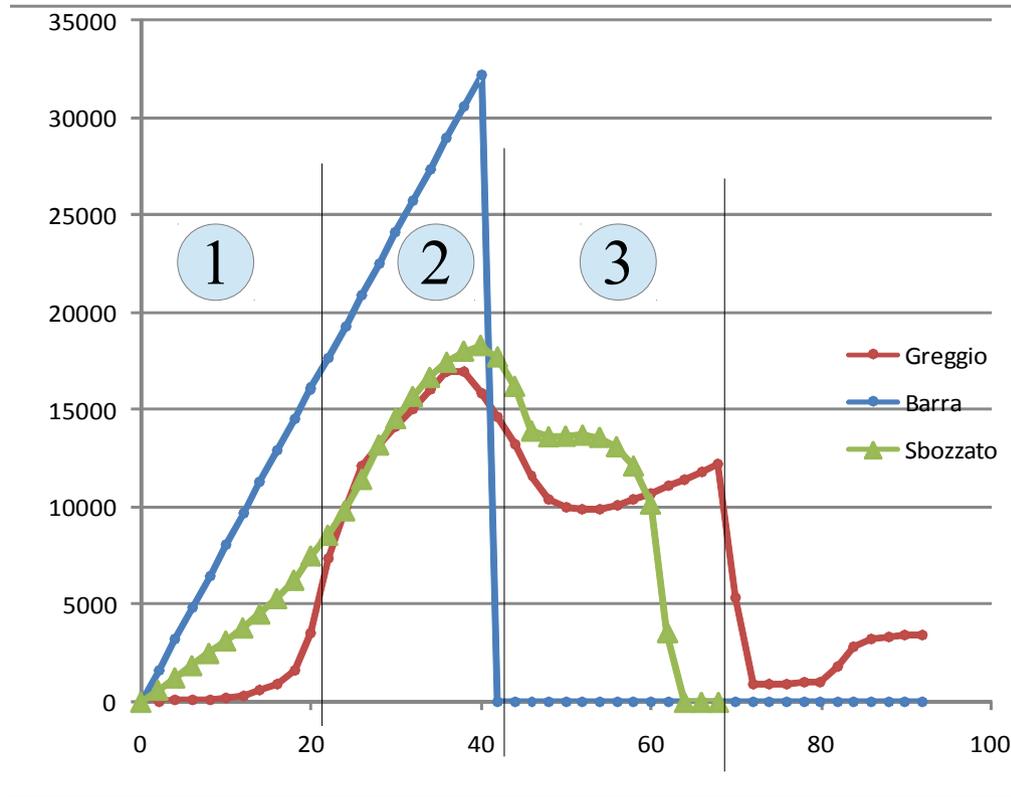
Riferimento della barra iniziale nello stampo sbozzatore

Proiezione su piano
perpendicolare
a quello contenente
gli assi perpendicolari



Sbozzato

R	H	2.P.I.R.H
0	50	0
2	50	628
4	50	1256
6	50	1884
8	50	2512
10	50,2	3153
12	50,7	3821
14	51,6	4537
16	53	5325
18	55,5	6274
20	59,8	7511
22	62,1	8580
24	65,2	9827
26	70,1	11446
28	75,1	13206
30	77,3	14563
32	78,1	15695
34	78,1	16676
36	77,2	17453
38	75,5	18017
40	72,9	18312
42	67,2	17725
44	58,7	16220
46	48,2	13924
48	45,2	13625
50	43,5	13659
52	42	13716
54	40,1	13599
56	37,3	13118
58	33,3	12129
60	27	10174
62	9,2	3582
64	0	0
66	0	0
68	0	0



Risultati ottenuti

- Minor schiacciamento del materiale nella zona 1
- Minor flusso radiale del materiale nella zona 3

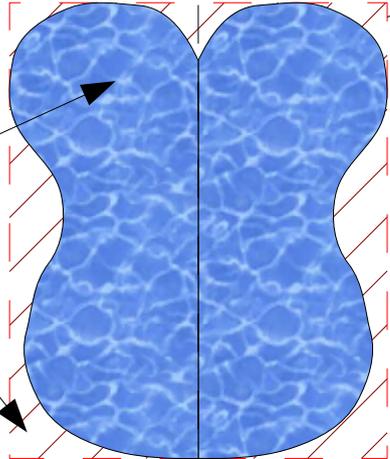
La curva dello sbozzato si può considerare intermedia a quella della barra di partenza e del greggio

Fattore di difficoltà di forma

E' un indice della complessità di riempimento della cavità degli stampi proposto da Teterin e applicabile su solidi di rivoluzione.

Consente di confrontare la complessità delle forme assunte dal pezzo nel corso del suo ciclo di stampaggio

Sezione assiale



Forma più facilmente riempibile con gli stessi ingombri del pezzo

$$\alpha = \frac{X_f}{X_c}$$
$$X_f = \frac{(\text{Perimetro del pezzo in una sezione assiale})^2}{(\text{Area del pezzo in una sezione assiale})}$$
$$X_c = \frac{(\text{Perimetro del rettangolo circoscritto})^2}{(\text{Area del rettangolo circoscritto})}$$

Ogni sbozzato, compresa la barra iniziale e il greggio finale, ha un proprio cilindro circoscritto e un proprio fattore di difficoltà di forma

Fattore di difficoltà di forma

Più grande è α più la forma del pezzo si discosta da quella più facilmente riempibile

Barra di partenza
 $\alpha = 1$

Sbozzato
 $\alpha = 1.23$

Greggio finale
 $\alpha = 6,6$



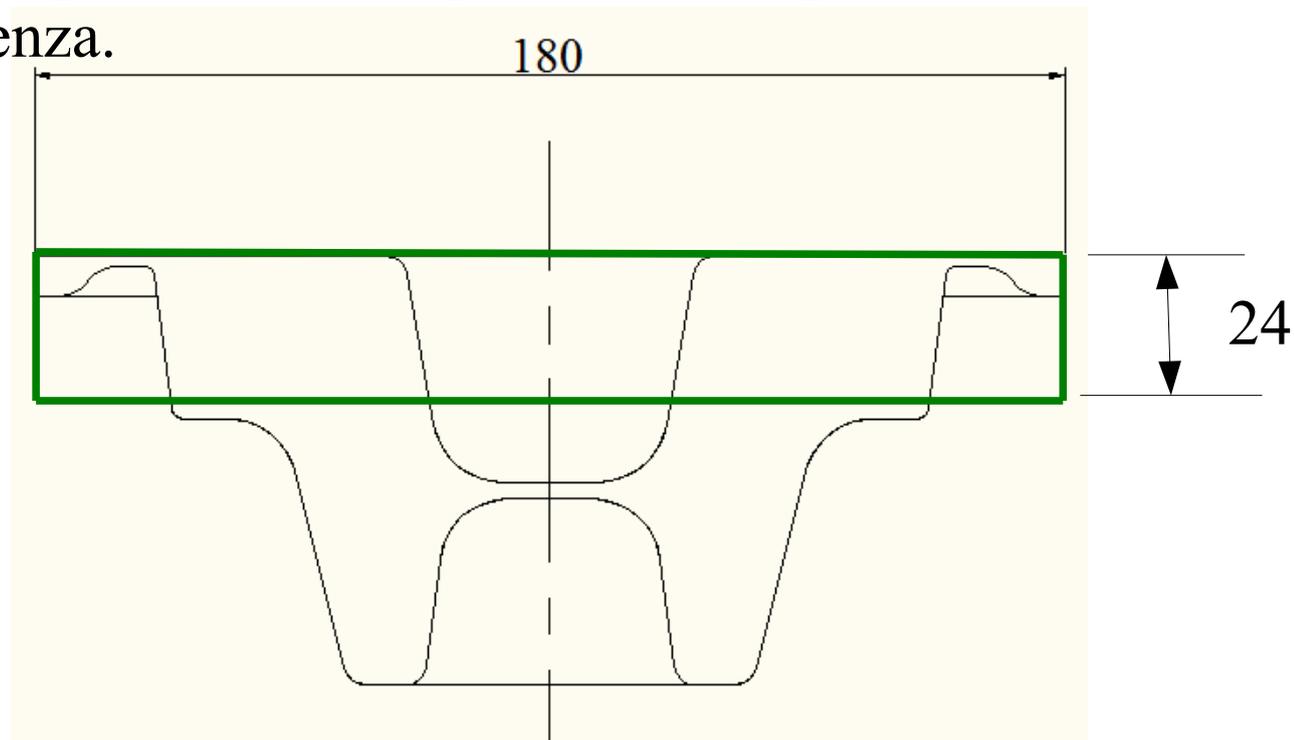
La complessità della forma aumenta con l'avvicinarsi del pezzo alla forma finale

Metodo approssimato per la stima della forza di stampaggio

La forza di stampaggio dipende:

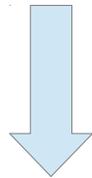
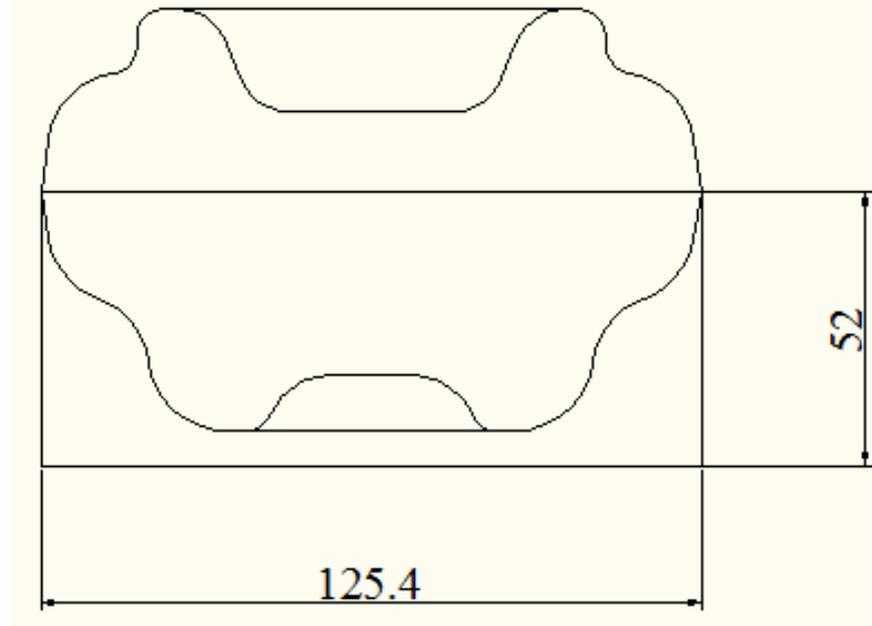
- Dalla forma del prodotto finale
- Dalla forma del prodotto di partenza
- Dal materiale
- Dalla temperatura di stampaggio
- Dalla velocità di deformazione

1) Si considera il greggio come un cilindro di ugual volume, area della sezione pari all'area A_t dell'impronta in corrispondenza del piano di bava e altezza valutata di conseguenza.



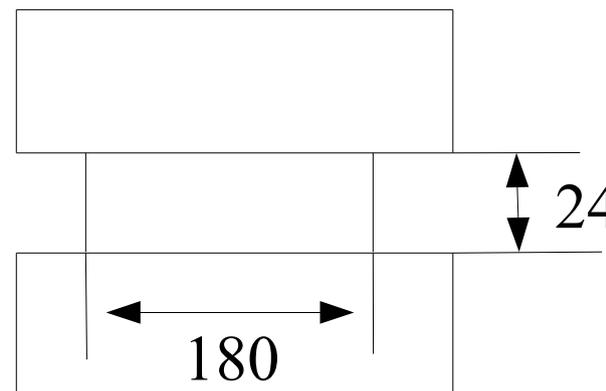
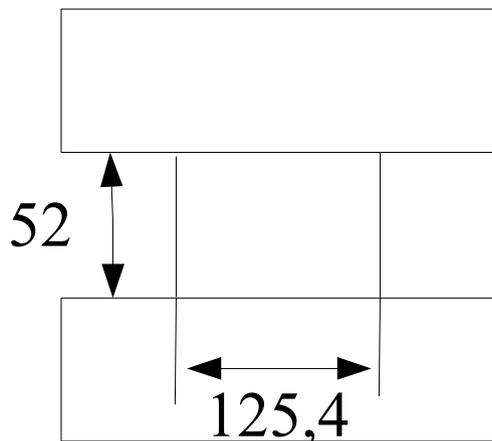
Metodo approssimato per la stima della forza di stampaggio

2) Dall'altezza della barra iniziale (o dall'altezza media dello sbozzato) si calcola la deformazione media (true strain) e la velocità di deformazione



$$\varepsilon = \ln (h_f / h_0)$$

$$\varepsilon = -0,77$$

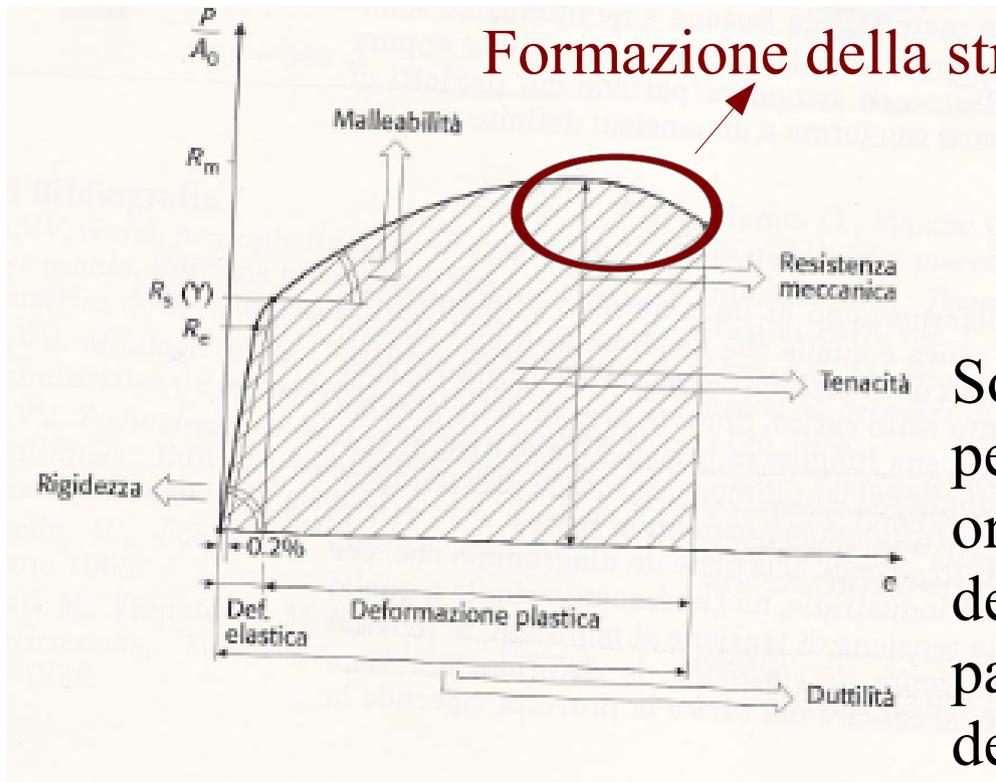


Metodo approssimato per la stima della forza di stampaggio

(Tensione ingegneristica - deformazione ingegneristica)

Prova di trazione su provino
di sezione iniziale A_0
e lunghezza iniziale L_0

Le grandezze ingegneristiche
fanno riferimento alle
dimensioni iniziali del provino



$$\sigma_{ing} = P/A_0$$

$$e_{ing} = \int_{L_0}^L \frac{dL}{L_0}$$

$$e_{ing} = \Delta L / L_0$$

Sono poco indicative in campo plastico perchè riferendosi alle dimensioni originarie del provino non tengono conto della sua variazione di forma (in particolare sezione resistente) durante la deformazione stessa

Metodo approssimato per la stima della forza di stampaggio

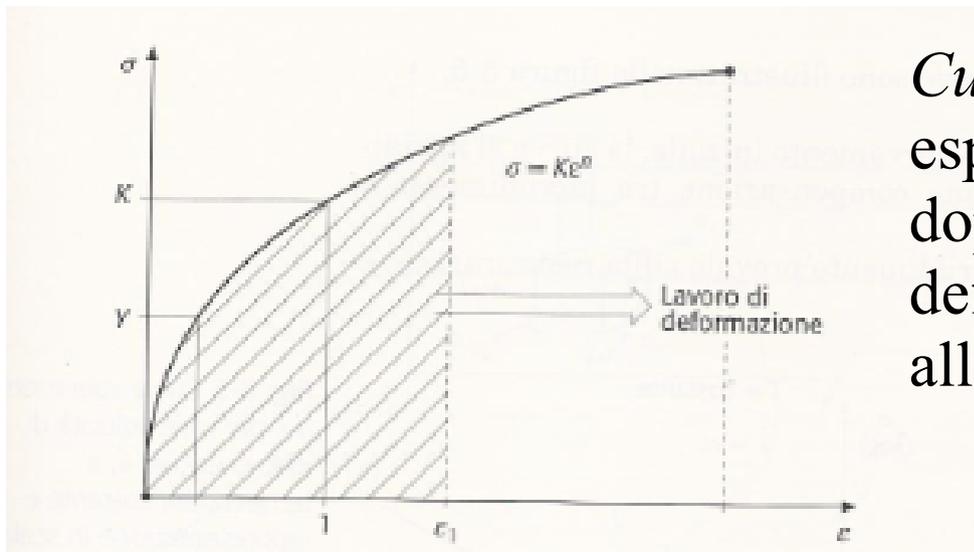
(Tensione vera - deformazione vera)

Tensioni e deformazioni vere fanno riferimento alle dimensioni istantanee del provino, quindi tengono conto della variazione della forma nel corso della deformazione stessa

$$\sigma = P/A$$

$$\varepsilon = \int_{L_0}^L \frac{dL}{L}$$

$$\varepsilon = \ln (L/L_0) = \ln (A_0/A)$$



Curva di flusso plastico : ogni punto esprime il flow stress del materiale dopo che ha accumulato la deformazione (vera) corrispondente alla sua ascissa

Nel campo delle piccole deformazioni le curve $\sigma_{ing}-\varepsilon_{ing}$ e $\sigma-\varepsilon$ coincidono agli effetti pratici, mentre nel campo delle grandi deformazioni (regime plastico) è necessario riferirsi a tensioni e deformazioni vere

Metodo approssimato per la stima della forza di stampaggio

(Formulazione analitica della curva di flusso plastico)

Oltre al materiale il flow stress è influenzato da:

- Grado di deformazione ε
- Velocità di deformazione $\dot{\varepsilon}$
- Temperatura T

Alle basse T il flow stress è prevalentemente influenzato dal grado di deformazione

$$\sigma_f = K \varepsilon^n$$

K coefficiente di resistenza K e n dipendono
n fattore di incrudimento dal materiale

A T superiori a quella di ricristallizzazione σ_f è poco influenzato da ε mentre hanno grande importanza le altre due

$$\sigma_f = C \dot{\varepsilon}^m$$

C coefficiente di resistenza
m fattore di sensitività alla velocità di
deformazione dipendente da T e in parte da ε

Metodo approssimato per la stima della forza di stampaggio

2) Dall'altezza della barra iniziale (o dall'altezza media dello sbozzato) si calcola la deformazione media (true strain) e la velocità di deformazione

$$\varepsilon = \ln(h_f / h_0) = 0,77 \quad \text{Grado di deformazione}$$

Velocità di deformazione $\longrightarrow \dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{dl}{l dt} = \frac{dl}{dt} \frac{1}{l} = \frac{v}{l}$

Utilizzando una pressa oleodinamica con velocità media sotto carico
 $v = 100 \text{ mm/sec}$

$$\dot{\varepsilon} \longrightarrow 100/24 = 4,2 \text{ s}^{-1}$$

↓
Variazione nel tempo della distanza fra gli stampi (velocità v di discesa della slitta della pressa)

Metodo approssimato per la stima della forza di stampaggio

3) Calcolo del flow stress con la formula $\sigma_f = C \dot{\epsilon}^m$

Materiale	Temperatura (°C)	C (Mpa)	m
Leghe di Al	200-500	300-40	0,05-0,02
Leghe di Cu	200-800	400-20	0,02-0,3
Acciai			
• bassa % C	900-1200	170-50	0,08-0,20
• media % C	900-1200	180-55	0,07-0,25
• inossidabili	600-1200	420-40	0,02-0,4

Tab. 5-2 Valori indicativi dei parametri C e m per alcuni materiali per valori di $\dot{\epsilon}$ compresi tra 0,2 e 1.

$$\sigma_f = 180 \cdot 4,2^{0,2} = 240\text{MPa}$$

Metodo approssimato per la stima della forza di stampaggio

4) Calcolo della forza di stampaggio

$$P = K \sigma_f A_t$$

K coefficiente che tiene conto della complessità della forma del pezzo:

3-5 forme semplici senza canale di bava

5-8 forme semplici con canale di bava

8-12 forme complesse

Nel caso in esame un valore ragionevole è $K=6$

$$P = 6 \cdot 240 \cdot 25434 = 3662496N$$

Forza di stampaggio circa 3750 t