

POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale

**Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Meccanica**

Tesi di Laurea Magistrale

**Revisione delle procedure di
progettazione degli stampi progressivi
seguendo le linee guida dell'industria 4.0**



Relatori

Prof. Dario Antonelli

Candidato

Marco Chittano

Dicembre 2018

Introduzione

Questo lavoro nasce dalla volontà di correlare le informazioni acquisite nei corsi di studio, le pratiche osservate quotidianamente nel lavoro di mio padre e la possibilità di utilizzare software innovativi caratteristici dell'industria 4.0.

L'analisi parte dallo studio di uno stampo progressivo realizzato presso l'azienda di famiglia (Antonio Chittano – Costruzioni Meccaniche) in modo del tutto empirico, cioè basandosi esclusivamente sull'esperienza pratica dello stampista. La domanda è sorta spontanea: cosa comporta l'utilizzo di un software dedicato alla progettazione di tali stampi?

Per poter rispondere a tale quesito ho potuto utilizzare il software di AutoForm, che comprende un modulo dedicato agli stampi progressivi.

Dunque, gli obiettivi che si pone questa tesi sono:

- Validare il software
- Progettare da zero un nuovo stampo
- Ottimizzare lo stampo
- Definire i vantaggi provenienti dall'utilizzo del software.

Inizialmente è stata inserito un capitolo riassuntivo sullo stampaggio a freddo.

Nella prima fase del lavoro è stato simulato lo stampo per evidenziare le differenze che la simulazione dà rispetto al caso reale.

Successivamente sono state effettuate analisi su diversi fattori che possono incidere sul risultato finale del pezzo.

In fine è stata trovata quella che potrebbe essere una soluzione ottimale che possa sostituire lo stampo reale.

Indice

1. Stampaggio a freddo	1
1.1 Generalità.....	1
1.2 Lo stampo e le sue parti.....	17
1.3 I materiali per lo stampo e per i pezzi stampati.....	49
1.4 La progettazione di uno stampo.....	64
1.5 Le macchine per l'utilizzo di uno stampo: le presse	68
2. Studio di uno stampo progressivo	75
2.1 Componente analizzato.....	75
2.2 Progettazione dello stampo progressivo per il componente analizzato.....	78
2.3 Realizzazione dello stampo progressivo per il componente analizzato	79
2.4 Messa a punto dello stampo.....	104
3. Simulazione e realtà	105
3.1 Simulazione dello stampo progressivo	105
3.2 Soluzioni di stampo per la realizzazione del componente.....	108
3.3 Risultati.....	116
3.4 Soluzione ottimale e caso reale simulato.....	117
4. Conclusioni.....	119
Riferimenti.....	121

1. Stampaggio a freddo

1.1 Generalità

Per stampaggio a freddo della lamiera si intende l'insieme di operazioni che permettono di ottenere, senza asportazione di materiale, oggetti di forma e dimensioni volute. Il materiale metallico di partenza (acciaio, rame, ottone, alluminio, leghe leggere) è costituito da lastre di spessore limitato.

Questa tecnica consente la rapida produzione di un gran numero di pezzi uguali, di grandi, medie o piccole dimensioni, di forma anche irregolare e complessa.

Le principali operazioni di stampaggio sono:

- *Tranciatura*
- *Piegatura e curvatura*
- *Imbutitura*

Queste operazioni vengono effettuate utilizzando attrezzi speciali detti *stampi*, montati su opportune presse, o macchine appositamente progettate. È importante dire che un singolo stampo permette anche la combinazione di tali operazioni.

Nello stampaggio sono principalmente due le difficoltà di maggior rilievo:

- la definizione del ciclo di stampaggio, cioè della serie ordinata di passaggi per la trasformazione del laminato in un oggetto di forma definita;
- la progettazione degli stampi.

Il numero delle operazioni costituenti il ciclo di stampaggio dipende essenzialmente dalla forma e dalle dimensioni dell'oggetto e dalle caratteristiche del materiale da stampare. [1]

Tranciatura

È detta *tranciatura* “un'operazione meccanica per la quale, agendo con utensili speciali atti alla recisione, si riesce a distaccare una parte metallica da un'altra, ottenendo istantaneamente una figura definita”. [3]

La tranciatura è effettuata per ottenere pezzi piani i quali possono essere soggetti a successive operazioni di piegatura o imbutitura. [4]

In **Figura 1** si può vedere quali sono gli effetti della tranciatura sulla lamiera. Inizialmente, il punzone mette in compressione il materiale dando luogo quindi ad una deformazione plastica del materiale. In quest'istante si origina un corpo cavo (**Figura 1 a**). La discesa del punzone prosegue fino a quando lo sforzo di compressione diventa pari alla resistenza al taglio del materiale: qui si ha un brusco strappo che permette il distacco del pezzo dal resto della lamiera (**Figura 1 b**). [3]

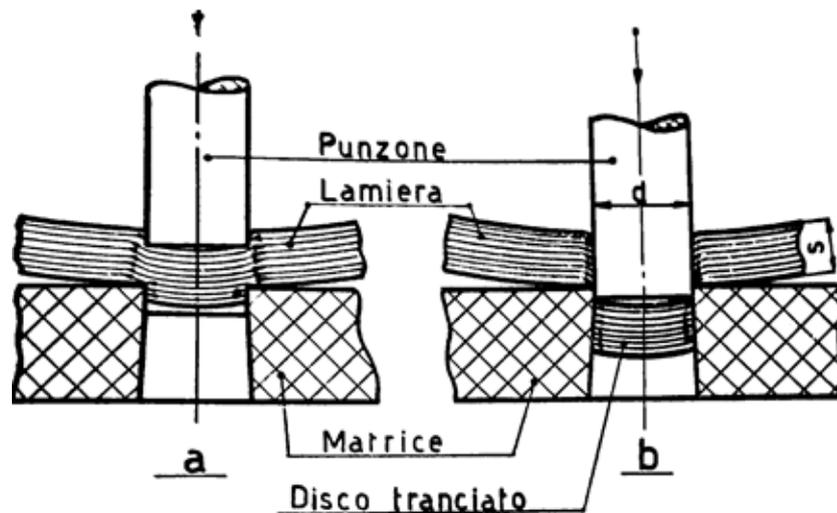


Figura 1: Comportamento lamiera nella tranciatura

È noto che durante la tranciatura, le fibre della lamiera, in corrispondenza degli spigoli degli utensili, inizialmente tendono a flettersi verso il basso assecondando la discesa del punzone; successivamente oppongono una resistenza al taglio che comunque è inferiore alla forza del punzone. A tranciatura ultimata, si vede come le fibre della lamiera siano deformate e compresse su tutto il contorno tranciato.

La tranciatura viene effettuata anche per l'eliminazione degli sfridi, per effettuare fori o sedi sia su lamiere che su particolari che hanno già subito un'operazione di imbutitura.

Fattori come lo spessore della lamiera, la qualità del materiale, la dimensione degli utensili, il gioco tra punzone e matrice e le condizioni degli spigoli taglienti, determinano le caratteristiche della tranciatura [1]. È stato ricavato, teoricamente e sperimentalmente, che il rapporto tra lo spessore s della lamiera in acciaio e il diametro d del punzone in acciaio temprato (s/d) deve essere pari a 1.2. Quindi lo spessore della lamiera deve essere minore o al massimo uguale al diametro del punzone.

I valori del gioco u tra punzone e matrice (**Figura 2**) dipendono dallo spessore della lamiera; per ottenere superfici lisce, il valore del gioco è dato dalle Eq.(1) e Eq.(2): [4]

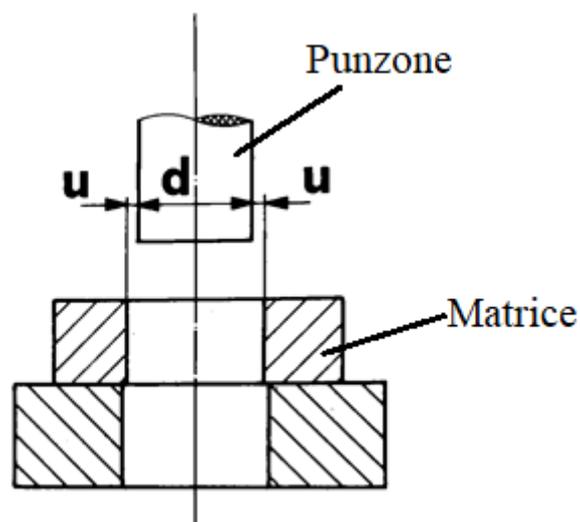


Figura 2: Gioco u tra punzone e matrice

$$u = 0.05 * s * \sqrt{\tau_R} \quad \text{per } s < 3 \quad (1)$$

$$u = (0.075s - 0.015) * \sqrt{\tau_R} \quad \text{per } s > 3 \quad (2)$$

per avere valori di forza e lavoro minimi per effettuare la tranciatura, il valore del gioco è dato dalle Eq.(3) e Eq.(4):

$$u = 0.035 * s * \sqrt{\tau_R} \quad \text{per } s < 3 \quad (3)$$

$$u = (0.05s - 0.015) * \sqrt{\tau_R} \quad \text{per } s > 3 \quad (4)$$

dove:

u è il gioco tra punzone e matrice in mm;

s è lo spessore della lamiera in mm;

τ_R è la resistenza al taglio del materiale in kg/mm².

Sforzo di tranciatura

Lo sforzo per la tranciatura è dato dall'Eq.(5): [3]

$$Q = l * s * \sigma_T \quad (5)$$

$$\sigma_T = \left(\frac{3}{4}; \frac{4}{5} \right) \sigma_R$$

dove:

Q è lo sforzo teorico di tranciatura in kg;

l è la lunghezza in mm dello sviluppo perimetrale della figura da ricavare;

s è lo spessore della lamiera in mm;

σ_T è il carico di rottura alla rescissione in kg/mm²;

σ_R è il carico di rottura alla trazione in kg/mm².

Per tener conto dell'attrito che si genera lungo le pareti della matrice a causa della dilatazione del materiale, viene maggiorata la potenza richiesta alla pressa di un fattore pari a 1.1-1.2. Lo sforzo quindi richiesto alla pressa è dato dall'Eq.(6):

$$Q' = (1.1; 1.2)Q \quad (6)$$

dove:

Q' è lo sforzo della pressa in kg;

Q è lo sforzo teorico di tranciatura in kg.

Nel caso in cui vengano utilizzati utensili a tagliente inclinato è data dall'Eq.(7): [2]

$$Q = \frac{ls^2\sigma_R}{c} \quad (7)$$

dove:

Q è lo sforzo teorico di tranciatura in kg;

l è la lunghezza in mm dello sviluppo perimetrale della figura da ricavare;

s è lo spessore della lamiera in mm;

σ_R è il carico di rottura alla trazione in kg/mm²;

c la corsa utile di lavoro in mm.

In alternativa alle formule, è possibile ricavare la forza di tranciatura mediante il nomogramma in **Figura 3**.

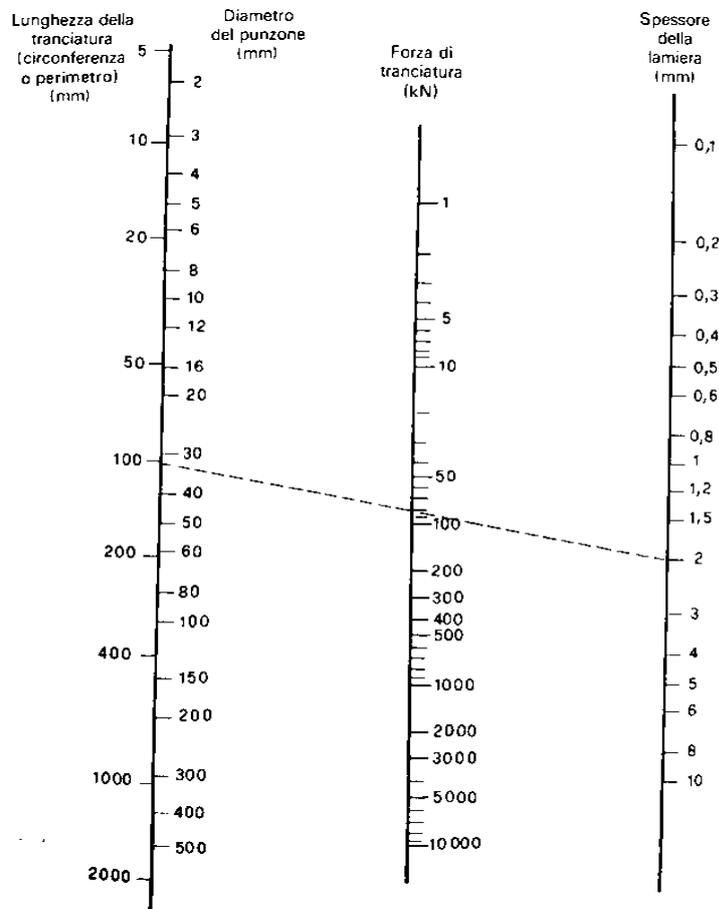


Figura 3: Nomogramma per la determinazione della forza di tranciatura

Piegatura

La piegatura può essere definita come “l’operazione che modifica la forma dell’elemento, precedentemente ritagliato alla cesoia o tranciato alla pressa, piegando ad angolo orli e pareti da 0° sino a 180°”. [2]

Prima di effettuare una piegatura è da tener bene in considerazione due fattori:

- il raggio di piegatura;
- il ritorno elastico del materiale.

Il ritorno elastico, una volta cessata la piegatura, è maggiore se il materiale è duro e se il raggio di piegatura è grande. Per questo comportamento del materiale, quando si realizza uno stampo, bisogna accentuare l’angolo di piegatura in modo tale da far assumere al pezzo l’angolo desiderato una volta cessata la pressione del punzone. [2]

Il raggio di piegatura va ad incidere sulle prestazioni del componente sottoposto a sollecitazioni meccaniche: se il raggio è piccolo si formano incrinature che riducono la resistenza del pezzo. Il raggio minimo ammissibile dipende dal materiale e dallo spessore della lamiera: è maggiore per i materiali duri e deve essere maggiore dello spessore della lamiera. La **Tabella 1** riassume i valori di raggio minimo in funzione del materiale e dello spessore della lamiera.

Tabella 1: Raggi minimi di piegatura

Spessore della lamiera (mm)		1	1.5	2.5	3	4	5	6	7	8	10	12	16	20	
Materiale		Raggio minimo di piegatura (mm)													
Acciaio	$R \leq 400$ N/mm ²	1	1.6	2.5	3	5	6	8	10	12	16	20	28	40	
	$R = 400-500$ N/mm ²	1.2	2	3	4	5	8	10	12	16	20	25	32	45	
	$R \geq 500$ N/mm ²	1.6	2.5	4	5	6	8	10	12	16	20	25	36	50	
Inox ricotto		1.6	1.6	4	5	5	6								
Leghe Al	ricotto	2	2.5	5	5	8	10	12							
	temprato	3	5	12	12	18	20	25							
Alluminio (99.5%)		1	1.6	2.5	4										

La piegatura può essere effettuata mediante stampi montati su presse (**Figura 4**) o mediante presse piegatrici (**Figura 5**); l’una o l’altra scelta dipende dalle quantità e dalle dimensioni del componente da realizzare. Ovviamente, per pezzi corti e di dimensioni contenute si utilizzano gli stampi.

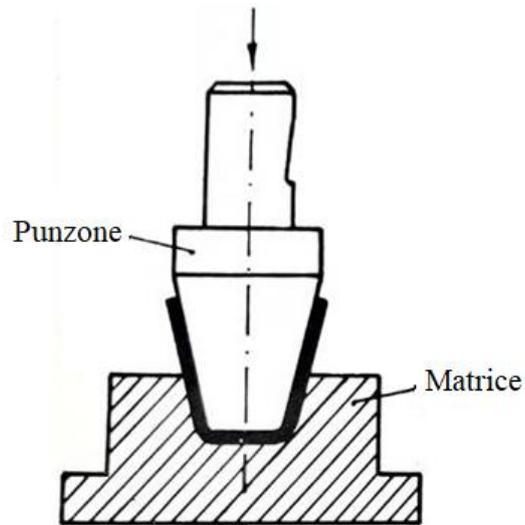


Figura 4: Stampo per piegatura

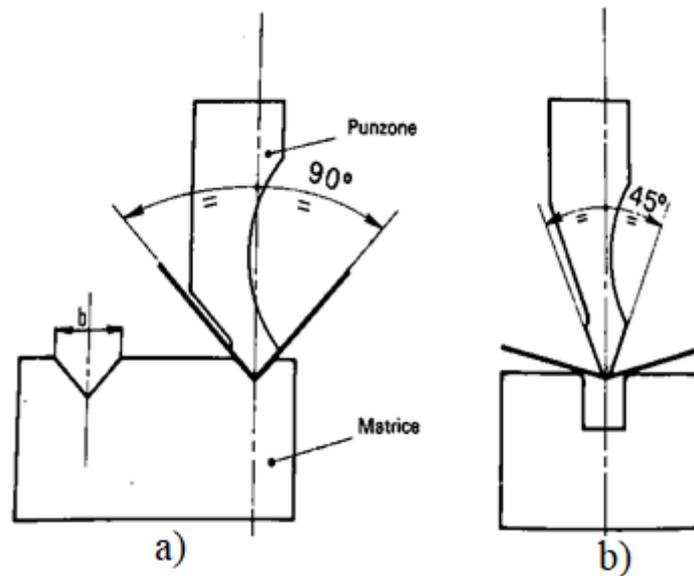


Figura 5: Piegatura su presse piegatrici: a) a 90°, b) da 45° a 180°

Sforzo di piegatura

Caso 1

Una piastrina metallica su una matrice di piegatura è uguale ad una trave su due appoggi agli estremi e caricata nel mezzo (**Figura 6**). Lo sforzo di piegatura si ricava dalle seguenti formule:

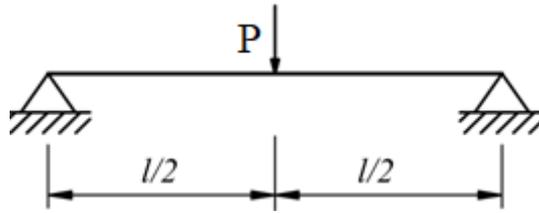


Figura 6: Piastrina su matrice di piegatura

$$M_f = \frac{P \frac{l}{2} \cdot \frac{l}{2}}{l} = \frac{Pl^2}{4l} = \frac{Pl}{4} \quad (8)$$

dove:

M_f è il momento flettente in kgmm;

P è lo sforzo di piegatura in kg;

l è la distanza degli appoggi in mm.

Il momento flettente, dovuto alla reazione interna molecolare, è uguale a:

$$M_f = \sigma_d \frac{I}{z} \quad (9)$$

dove:

M_f è il momento flettente in kgmm;

σ_d è la sollecitazione alla flessione in kg/mm^2 occorrente per la deformazione permanente e per la pressatura del fondo;

I è il momento d'inerzia in mm^4 della sezione rispetto all'asse neutro;

z è la distanza max in mm delle fibre dall'asse neutro.

I/z è il modulo di resistenza in mm^3 .

Uguagliando l'Eq.(8) e l'Eq. (9):

$$\frac{Pl}{4} = \sigma_d \frac{I}{z} \quad (10)$$

Per le sezioni rettangolari, considerando il modulo di resistenza minimo, si ha:

$$\frac{I}{z} = \frac{bs^2}{6} \quad (11)$$

dove:

I/z è il modulo di resistenza in mm^3

b è la larghezza della striscia in mm;

s è lo spessore della piastrina in mm (**Figura 7**).

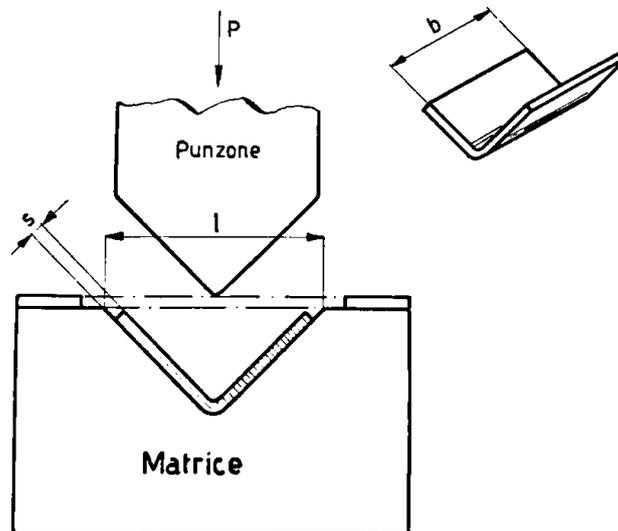


Figura 7: Dimensioni di riferimento piastrina e matrice

Sostituendo l'Eq.(11) nell'Eq.(10) otteniamo:

$$\frac{Pl}{4} = \sigma_d \frac{bs^2}{6} \quad (12)$$

E quindi:

$$P = \frac{2 \cdot \sigma_d \cdot bs^2}{3l} \quad (13)$$

con $\sigma_d = 2\sigma_R$ secondo Schuler e Cincinnati (σ_R è la sollecitazione di rottura a trazione in kg/mm^2). [3]

Caso 2

Il secondo caso è quello riportato in **Figura 8**.

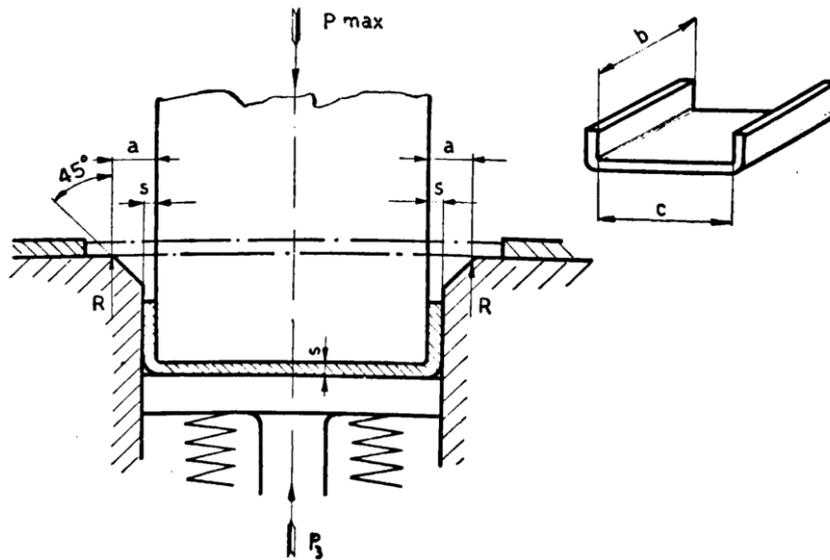


Figura 8: Piegatura a U

La piastrina è spinta contro il punzone da un organo elastico sottostante per tutta la fase di piegatura; per questo motivo, lo sforzo necessario non ha un unico valore bensì due:

- P_1 che è lo sforzo iniziale per far scivolare la lamiera lungo i due bracci a 45° ;
- P_2 che è uno sforzo maggiore di P_1 perché il braccio di piegatura è pari allo spessore s della lamiera.

Per semplicità, si prende in considerazione lo sforzo P_2 .

Passando al calcolo si ha:

$$M_f = \frac{P_2}{2} * s \quad (14)$$

$$\frac{P_2}{2} = R \quad (15)$$

dove:

M_f è il momento flettente in kgmm;

P_2 sforzo in kg occorrente per piegare la piastrina, considerando bracci minimi di lunghezza s ;

s è lo spessore della piastrina;

R è la reazione in kg di ogni appoggio.

Utilizzando l'Eq.(9) per il momento flettente e l'Eq.(11) per il modulo di resistenza, otteniamo la seguente espressione:

$$\frac{P_2}{2} * s = \sigma_d \frac{bs^2}{6} \quad (16)$$

da cui si ottiene l'Eq.(17) per il calcolo di P_2 :

$$P_2 = \frac{\sigma_d * bs}{3} \quad (17)$$

Curvatura

Le stesse regole e le stesse considerazioni fatte per la piegatura valgono anche per la curvatura. La curvatura permette di curvare, mediante l'impiego di appositi stampi, sia fili in acciaio che strisce di lamiera per ottenere rispettivamente occhielli e tubetti. [3]

Imbutitura

L'operazione di imbutitura è l'operazione più importante e difficoltosa; per definizione, questa operazione *“trasforma la lamiera in un corpo cavo di aspetto vario da cui il termine generico imbutitura, che dà cioè forma ad imbuto”*. [2]

Durante l'imbutitura, in pratica, la lamiera è sottoposta alla pressione del punzone che la spinge attraverso la matrice; il premilamiera mantiene la superficie sempre tesa durante la fase di discesa del punzone per evitare la formazione di grinze (**Figura 9**).

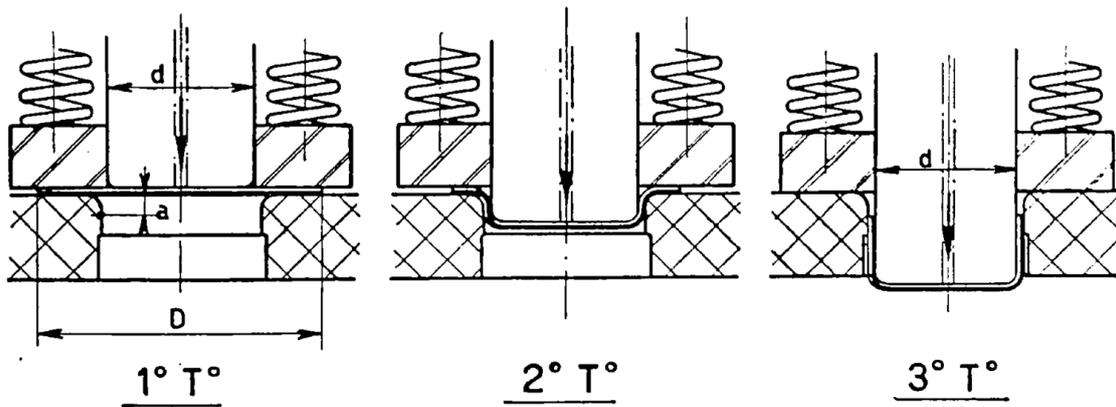


Figura 9: Fasi di imbutitura

Quando il pezzo richiede delle imbutiture profonde si ricorre spesso a due o più riprese (**Figura 10**) per evitare che le forti sollecitazioni portino il pezzo a rottura. Una buona imbutitura dipende dallo stampo, dalla qualità del materiale utilizzato, dai trattamenti che ha subito il materiale e dalla lubrificazione tra stampo e pezzo.

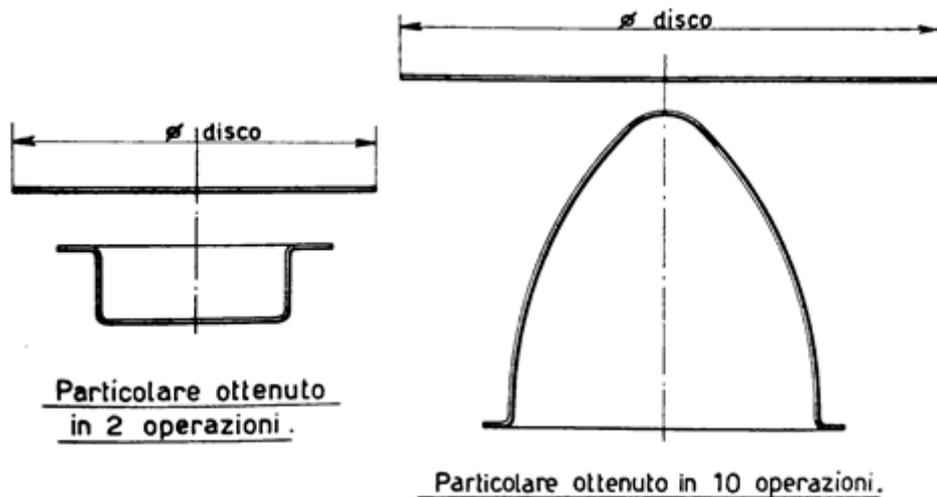


Figura 10: Particolari ottenuti con differenti riprese di imbutitura

Essendo un'operazione complessa il materiale deve avere un comportamento quasi isotropo. Prendiamo in considerazione il contenitore cilindrico in **Figura 11**: i triangolo tratteggiati, ottenuti per trasformazione geometrica, costituiscono quella parte di materiale che è destinata ad essere eliminata per poter formare le pareti laterali del componente. Questo materiale è soggetto a compressione e tende a formare delle grinze impedito dal premilamiera; mentre la lamiera in deformazione nella matrice è soggetta a forza di trazione lungo le pareti verticali. Queste sollecitazioni provocano variazioni di spessore: assottigliamenti nelle parti tese ed ispessimenti nelle parti compresse, pertanto i pezzi imbutiti non hanno uno spessore costante. [5]

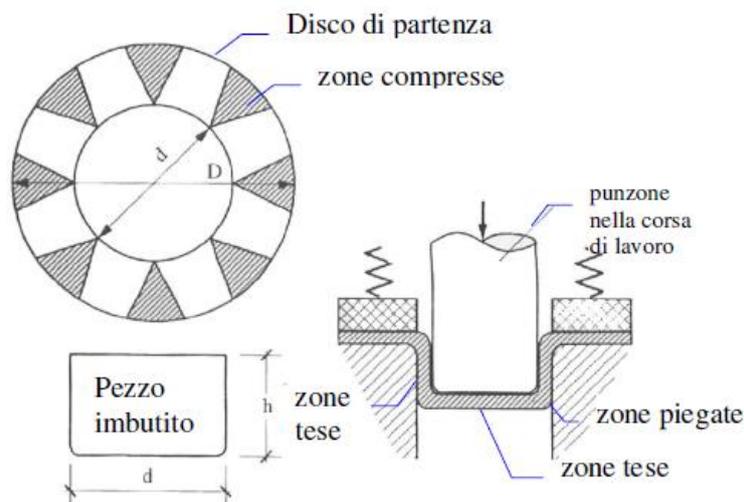


Figura 11: Pezzo imbutito con rappresentazione del disco di partenza

Un'operazione preliminare all'operazione di imbutitura è il calcolo dello sviluppo primitivo del pezzo di lamiera. Tale calcolo è effettuabile solo se il pezzo da realizzare è un solido di rivoluzione; nel caso generale, invece, si effettuano delle prove pre-serie. [5]

Nel calcolo dello sviluppo primitivo, si parte col ricavare il diametro D del disco di partenza:

$$\frac{\pi D^2}{4} = \sum A_i \quad (18)$$

dove:

$\sum A_i$ è la sommatoria delle aree degli elementi di superficie che compongono il pezzo;

D è il diametro in mm del disco di partenza.

quindi il D è dato dall'Eq.(19):

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} \sum A_i} \quad (19)$$

Le **Figura 12**, **Figura 13** e **Figura 14** riportano le formule per il calcolo del diametro del disco di partenza di elementi imbutiti a sezioni circolari. [2]

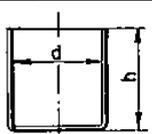
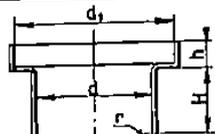
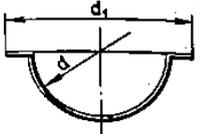
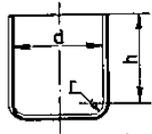
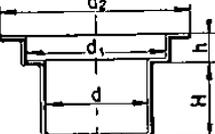
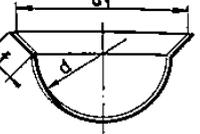
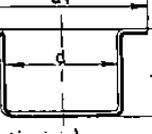
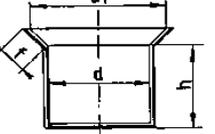
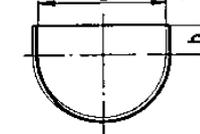
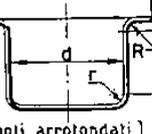
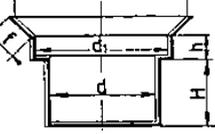
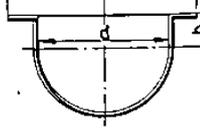
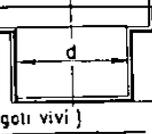
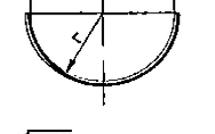
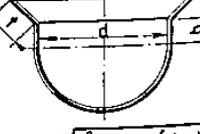
 <p>(Spigoli vivi) $D = \sqrt{d^2 + 4 dh}$</p>	 <p>(Spigoli del fondoarrotond.) $D = \sqrt{d_1^2 + 4d(H + 0,57r) + 4d_1h}$</p>	 <p>$D = \sqrt{d^2 + d_2^2}$</p>
 <p>(Spigoli arrotondati) $D = \sqrt{d^2 + 4d(h + 0,57r)}$</p>	 <p>$D = \sqrt{d_2^2 + 4(dH + d_1h)}$</p>	 <p>$D = 1,414 \sqrt{d^2 + f(d + d_1)}$</p>
 <p>(Spigoli vivi) $D = \sqrt{d_1^2 + 4 dh}$</p>	 <p>$D = \sqrt{d^2 + 4dh + 2f(d + d_1)}$</p>	 <p>$D = 1,414 \sqrt{d^2 + 2dh}$</p>
 <p>(Spigoli arrotondati) $D = \sqrt{d^2 + 4d(h + 0,57(R + r))}$</p>	 <p>$D = \sqrt{d_2^2 + 4(dH + d_1h) + 2f(d_1 + d_2)}$</p>	 <p>$D = \sqrt{d^2 + d_2^2 + 4 dh}$</p>
 <p>(Spigoli vivi) $D = \sqrt{d_1^2 + 4(dH + d_1h)}$</p>	 <p>$D = \sqrt{8r^2} = 2,828r = 1,414d$</p>	 <p>$D = 1,414 \sqrt{d^2 + 2dh + f(d + d_1)}$</p>

Figura 12: Formule per il calcolo del diametro del disco di partenza di elementi imbutiti a sezioni circolari

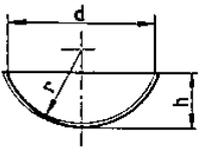
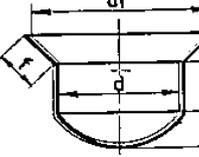
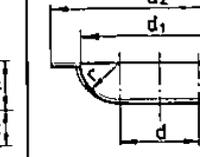
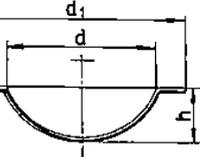
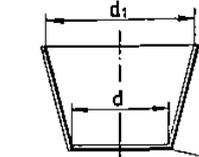
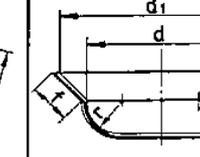
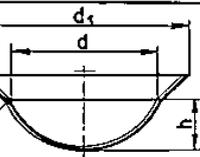
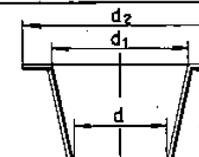
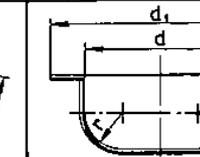
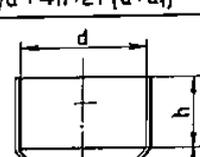
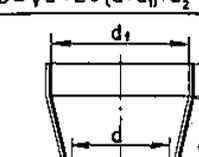
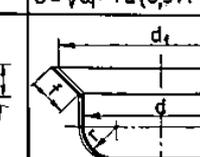
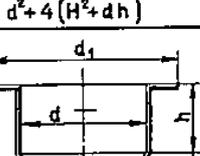
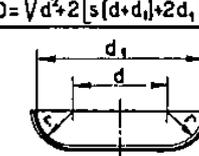
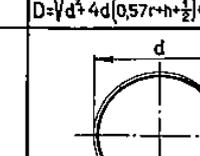
 $D = \sqrt{8 r h} = \sqrt{d^2 + 4 h^2}$	 $D = \sqrt{d^2 + 4 [H^2 d h + 0,5 (d + d_1)]}$	 $D = \sqrt{6,28 r d + 8 r^2 d^2 (d_2^2 - d^2)}$
 $D = \sqrt{d_1^2 + 4 h^2}$	 $D = \sqrt{d^2 + 2 s (d + d_1)}$	 $D = \sqrt{d^2 + 2,28 r d + 2 f (d + d_1) - 0,57 f^2}$
 $D = \sqrt{d^2 + 4 h^2 + 2 f (d + d_1)}$	 $D = \sqrt{d^2 + 2 s (d + d_1) + d_2^2 - d_1^2}$	 $D = \sqrt{d_1^2 + 4 d (0,57 r + h) - 0,57 r^2}$
 $D = \sqrt{d^2 + 4 (H^2 + d h)}$	 $D = \sqrt{d^2 + 2 [s (d + d_1) + 2 d_1 h]}$	 $D = \sqrt{d^2 + 4 d (0,57 r + h + \frac{1}{2}) + 2 d_1 f - 0,57 r^2}$
 $D = \sqrt{d_1^2 + 4 (H^2 + d h)}$	 $D = \sqrt{d^2 + 6,28 r d + 8 r^2}$	 <p>Sfera:</p> $D = 1,128 \sqrt{\pi} d^2 = \sqrt{4 d^2} = 2 d$

Figura 13: Formule per il calcolo del diametro del disco di partenza di elementi imbutiti a sezioni circolari

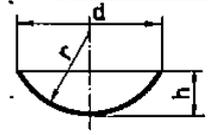
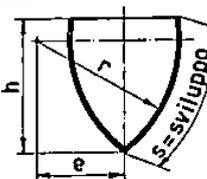
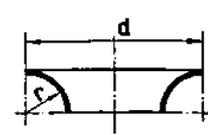
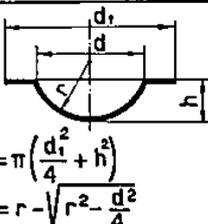
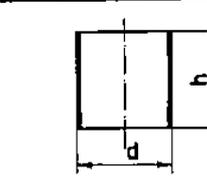
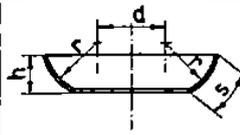
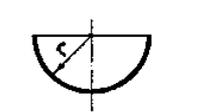
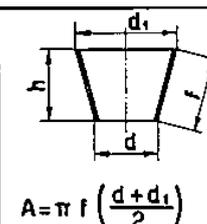
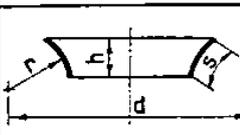
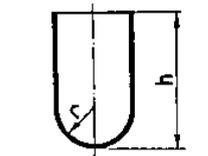
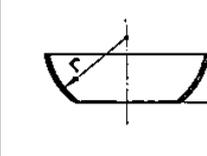
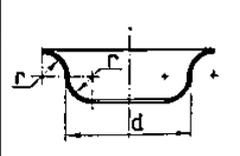
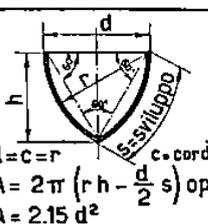
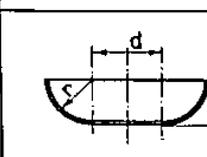
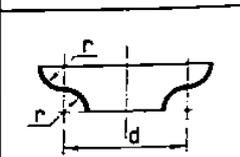
 <p> $A = 2\pi r h$ oppure: $A = \pi \left(\frac{d^2}{4} + h^2 \right)$ </p>	 <p> $A = 2\pi (r h - e s)$ </p>	 <p> $A = \frac{\pi^2 r d}{2} - 2\pi r^2$ </p>
 <p> $A = \pi \left(\frac{d_1^2}{4} + h^2 \right)$ $h = r - \sqrt{r^2 - \frac{d^2}{4}}$ </p>	 <p> $A = \pi d h$ </p>	 <p> $A = \pi (d s + 2 r h)$ $s = \text{sviluppo}$ </p>
 <p> $A = 2\pi r^2$ </p>	 <p> $A = \pi f \left(\frac{d + d_1}{2} \right)$ </p>	 <p> $A = \pi (d s - 2 r h)$ $s = \text{sviluppo}$ </p>
 <p> $A = 2\pi r h$ </p>	 <p> $A = 2\pi r h$ </p>	 <p> $A = \pi^2 r d$ </p>
 <p> $d = c = r$ $A = 2\pi \left(r h - \frac{d}{2} s \right)$ opp. $A = 2.15 d^2$ </p>	 <p> $A = 2\pi r^2 + \frac{\pi^2 r d}{2}$ </p>	 <p> $A = \pi^2 r d$ </p>

Figura 14: Formule per il calcolo del diametro del disco di partenza di elementi imbutiti a sezioni circolari

Nelle formule, d è il diametro interno di imbutitura.

Determinazione del numero delle imbutiture necessarie per la formatura di un elemento

È fondamentale, nella realizzazione di un pezzo, poter conoscere il numero di operazioni di imbutiture necessarie affinché non ci siano difetti nel componente come grinze, lacerazioni del materiale, incrudimenti ecc.

È possibile determinare il numero di operazioni necessarie grazie al rapporto costante tra profondità d'imbutitura e diametro del componente; tale profondità può essere calcolata mediante l'Eq.(20):

$$h = \frac{D^2 - d^2}{4d} \quad (20)$$

dove:

d è il diametro interno di imbutitura in mm;

D è il diametro del disco di partenza in mm.

Definito il diametro del disco, il numero delle operazioni di imbutitura è definito dalle seguenti relazioni:

$$d = mD$$

$$d_1 = m_1 d \tag{21}$$

$$d_x = m_1 d_{x-1}$$

dove:

m e m_1 sono coefficienti per la prima e le successive imbutiture, rispettivamente. I valori di tali coefficienti sono riportati in **Tabella 2**:

Tabella 2: Coefficienti m e m_1 per diverse operazioni di imbutitura

Materiale	m	m_1
Lamiera acciaio per imbutiture	0.60	0.80
Lamiera acciaio per imbutiture profonde	0.55 – 0.60	0.75 – 0.80
Lamiera acciaio inossidabile	0.50 – 0.55	0.80 – 0.85
Latta	0.50 – 0.55	0.75 – 0.80
Lastra di rame	0.55 – 0.60	0.85
Lastra di zinco	0.65 – 0.70	0.85 – 0.90
Lastra di alluminio	0.53 – 0.60	0.80
Lastra di duralluminio	0.55 – 0.60	0.90

Quando il diametro ricavato dalle relazioni nell'Eq.(21) è inferiore o uguale al diametro del componente ultimato, si ha il numero di imbutiture necessarie per realizzare il pezzo.

Pressione di imbutitura

La pressione di imbutitura è data dall'Eq.(22):

$$P_i = d * \pi * s * n * \sigma_R \quad (22)$$

dove:

P_i è la pressione di imbutitura in kg;

d è il diametro del punzone in mm;

s è lo spessore della lamiera in mm;

σ_R è la sollecitazione di rottura a trazione in kg/mm²;

n è un fattore correttivo adimensionale, dato dal rapporto d/D (D è il diametro del disco iniziale in mm) e riportato in **Tabella 3**:

Tabella 3: Valori di n in funzione del rapporto d/D

$\frac{d}{D}$	0.55	0.575	0.6	0.625	0.65	0.675	0.7	0.725	0.75	0.775	0.8
n	1	0.93	0.86	0.79	0.72	0.66	0.6	0.55	0.5	0.45	0.4

Bisogna poi considerare la pressione esercitata dal premilamiera, data dall'Eq.(23):

$$P_l = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)p = 0.785 (D^2 - d^2)p \quad (23)$$

dove:

P_l è la pressione del premilamiera

D è il diametro del disco di lamiera in cm

d è il diametro del punzone in cm

p è la pressione specifica in kg/cm² che varia da 10 kg/cm² per lamiere spesse fino a 20 kg/cm² per lamiere sottili (l'alluminio, ad esempio, richiede 8-10 kg/cm²).

Quindi, nel caso di imbutitura, la pressione totale sarà data dall'Eq. (24):

$$P_t = P_i + P_l \quad (24)$$

dove:

P_t è la pressione totale

P_l è la pressione del premilamiera

P_i è la pressione di imbutitura.

1.2 Lo stampo e le sue parti

Lo stampo

Il concetto più semplice di *stampo* può essere dato dalla rappresentazione schematica della **Figura 15**: “un utensile cilindrico a base piana (punzone P) preme e penetra, durante la sua corsa, nella lamiera appoggiata su di una base opportunamente forata (matrice M) sino a quando dalla striscia o dal foglio si stacca per scorrimento la parte premuta che attraversa la matrice ed è convogliata ai mezzi di raccolta”. [2]

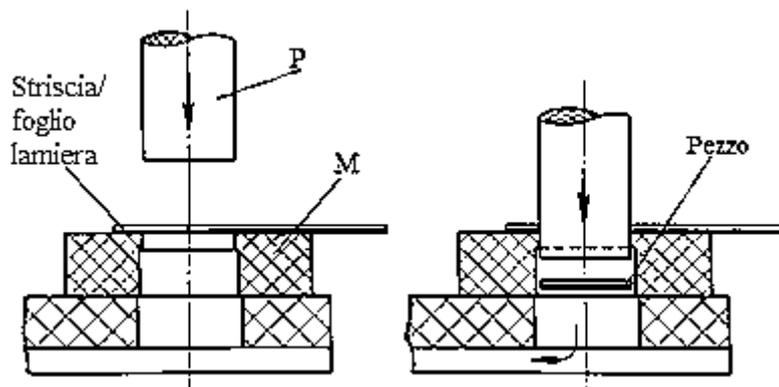


Figura 15: Rappresentazione schematica di uno stampo

Solitamente lo stampo si compone di due parti: una superiore A collegata alla slitta scorrevole e l'altra inferiore B fissata alla base della macchina (**Figura 16**).

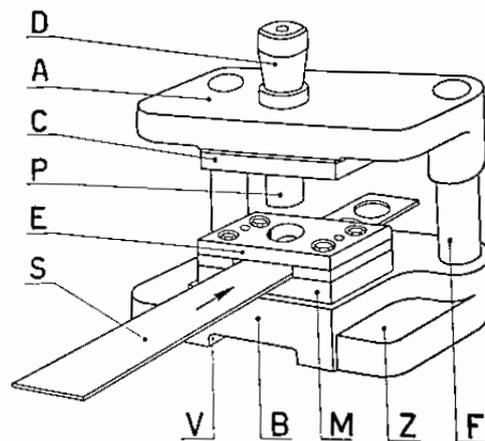


Figura 16: Parti dello stampo: A parte superiore, B base inferiore, C piastra porta-punzone, D codolo, E ponte, F colonne guida normalizzate, M matrice, P punzone, S striscia/foglio lamiera, V vano convogliatore

In **Figura 16** notiamo che nella parte superiore A è presente una piastra C che ha il compito di trattenere il punzone P il quale è fissato alla piastra stessa mediante viti e spine. Il collegamento con la slitta della pressa è effettuato mediante un codolo cilindrico D.

Nella parte inferiore, sulla base B, alla quale è fissata la matrice M, viene montato e bloccato con viti e spine un ponte E costituito da una semplice piastra contro cui si arresta la striscia (o foglio di lamiera) durante il sollevamento del punzone; questo particolare è indispensabile data l'elasticità del materiale il quale a tranciatura effettuata, tende a restringersi sul punzone che, in assenza del ponte o altri dispositivi, dovrebbe essere liberato con mezzi manuali.

Al di sotto della base B è presente un vano V che permette di convogliare i pezzi per la raccolta in cestelli o cassette di solito posizionati posteriormente alla macchina.

Due staffe, o semplicemente dei bulloni a testa quadrangolare se lo stampo è provvisto di asole, trattengono quest'ultimo alla base della macchina utilizzando come zone di bloccaggio i piani Z creati appositamente.

Per quanto riguarda la disposizione degli utensili (matrice e punzone), nulla esclude che in caso di necessità essa possa essere invertita.

Quindi, a differenza delle macchine utensili lavoranti per asportazione di truciolo, lo stampo essendo *un complesso organicamente completo rigidamente collegato alle parti fisse e mobili della pressa* [2], non richiede l'utilizzo di chiavi, organi o particolari dispositivi per il posizionamento e bloccaggio dell'elemento in lavoro.

Una volta effettuato lo studio e la realizzazione dello stampo, è necessario garantire la precisione della lavorazione nella fase di stampaggio. Per questo, la parte superiore e quella inferiore dello stampo devono essere collegate mediante guide; affinché ciò avvenga, la base dello stampo deve sorreggere le colonne F che guidano il movimento della parte scorrevole superiore A durante l'azione della pressa. Il movimento guidato delle due parti dello stampo evita che ci sia sovrapposizione di organi privi di guide, elimina frequenti rotture di matrici e punzoni dovute a sollecitazioni impreviste, limita l'usura e l'affilatura degli utensili stessi.

Elementi costitutivi di uno stampo

Gli elementi costitutivi di uno stampo hanno caratteristiche specifiche in relazione alle operazioni per le quali sono stati progettati. Spesso, in un medesimo stampo, variano i sistemi di collegamento e i materiali con i quali sono stati realizzati tali elementi.

I principali organi di uno stampo sono i seguenti: [2]

- Corpo dello stampo (piastre)
- Guide
- Punzoni e matrici
- Organi di collegamento
- Dispositivi di riferimento e orientamento
- Premilamiera
- Ponti estrattori ed espulsori
- Camme

Di seguito verranno descritte le caratteristiche e le funzioni di tali elementi costitutivi.

Corpo dello stampo (piastre)

Come già anticipato, lo stampo è composto da due piastre (superiore e inferiore) sulle quali vengono applicati i vari organi. I materiali e le forme di questi elementi dipendono dalle dimensioni e dalla geometria del particolare da realizzare oltre alle pressioni richieste per effettuare l'operazione di stampaggio.

È usuale nella produzione di piccoli pezzi, realizzare entrambe le piastre in ghisa oppure quella superiore in ghisa e quella inferiore in acciaio fuso; mentre per componenti di notevoli dimensioni vengono di solito formate entrambe in lamiera di acciaio naturale Aq34.

Il collegamento dello stampo è riportato in **Figura 17**. La piastra superiore è collegata mediante l'utilizzo di un codolo avvitato alla piastra e bloccato da un cuscinetto mobile C nella sede della slitta e dalla vite V che preme sul tratto conico. La piastra inferiore invece è tenuta ferma da due staffe S fissate con bulloni a testa quadrangolare collocati nelle scanalature a T della base d'appoggio della macchina.

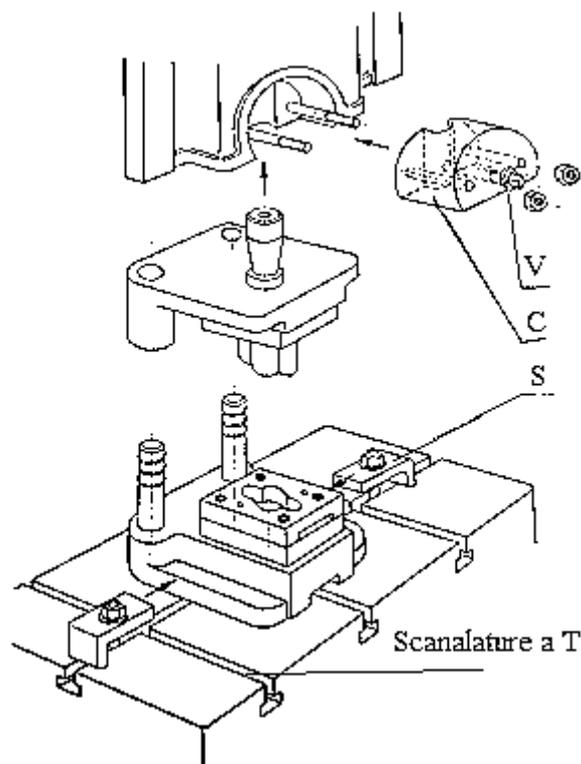


Figura 17: Collegamento piastre-macchina

Nel caso di stampi di notevoli dimensioni per i quali è necessario l'impiego di presse di forte tonnellaggio, le due piastre sono collegate alla macchina mediante staffe. L'utilizzo di bulloni per il fissaggio delle piastre, munite di apposite asole, vincola l'uso dello stampo su una determinata pressa; per questo per stampi di medie e piccole dimensioni è preferibile utilizzare le staffe. Tuttavia, a causa della necessità da parte delle staffe di una maggior superficie per il loro fissaggio, molto spesso è opportuno utilizzare una pressa di maggior potenzialità con un inutile dispendio di energia.

La movimentazione degli stampi, specie se pesanti, richiede l'uso di gru o del paranco; per questo sono necessari su entrambe le piastre dei perni di sollevamento in modo da render veloce e comoda l'imbracatura con corde metalliche o di canapa, oppure con catene e anelli.

Guide

Per avere un riferimento concreto nel collegamento delle due parti dello stampo in azione (gruppo-matrice e gruppo-punzone) si usano le colonne guida o di allineamento.

Tali organi sono realizzati in acciaio C 10 cementato e fissate solitamente nella piastra inferiore dello stampo (piastra fissa). In **Figura 18** sono rappresentate quattro sistemi di allineamento.

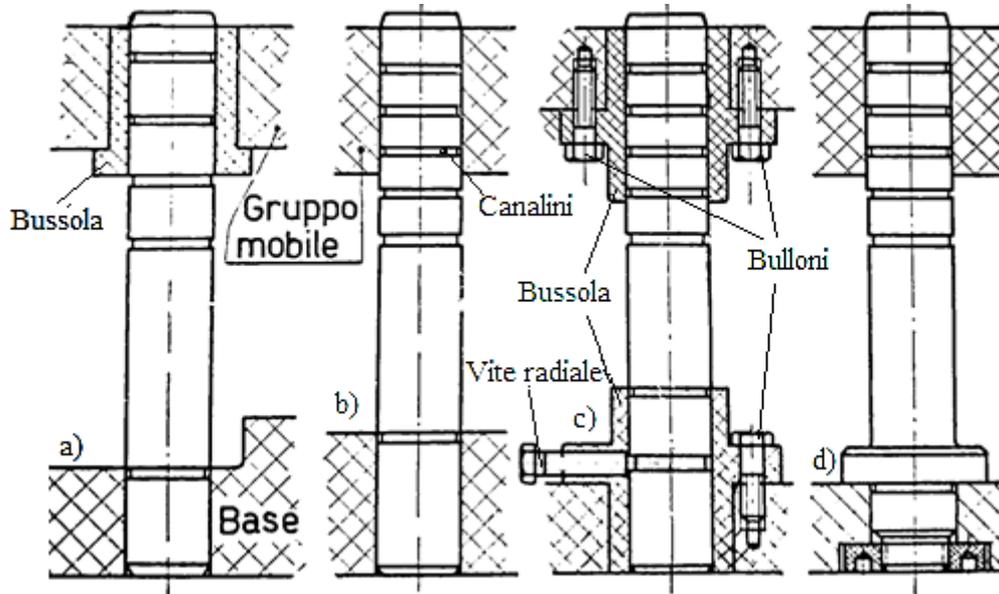


Figura 18: Tipologia di colonne

Nella **Figura 18 a)** è raffigurata una colonna avente l'estremità inferiore fissata alla base dello stampo e l'estremità superiore ha la possibilità di scorrere nel foro della corrispondente bussola della parte mobile dello stampo.

Le colonne in **Figura 18 b)** hanno sempre l'estremo inferiore fissato alla base dello stampo ma l'estremo superiore è libero di scorrere nei fori eseguiti direttamente nel blocco mobile dello stampo.

Quando invece si richiede una maggiore precisione e garanzia di allineamento, è opportuno utilizzare il sistema di allineamento in **Figura 18 c)**, dove entrambi gli estremi della colonna è guidata da bussole fissate tramite bulloni. Ogni colonna, in questo caso, è fissata inferiormente con una vite radiale.

Il sistema in **Figura 18 d)** è indicato invece per garantire stabilità in caso di colonne di lunghezza elevata.

I canalini eseguiti lungo le pareti cilindriche di scorrimento servono per la lubrificazione delle colonne; mentre l'ampio smusso superiore ha il compito di facilitare l'accoppiamento tra la parte fissa e mobile dello stampo. [3]

Altre tipologie di colonne sono illustrate in **Figura 19**; queste hanno un gambo conico e sono fissate alla base (in una bussola) da una vite.

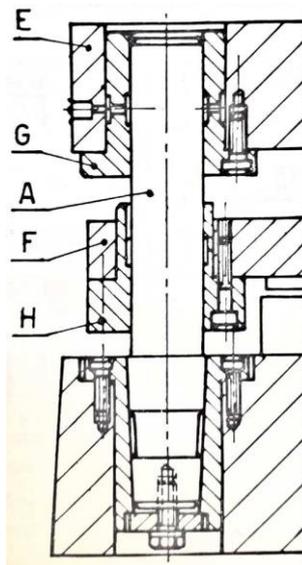


Figura 19: Colonnette gambo conico

In **Figura 19 a)** la colonna entra nel foro della piastra superiore B; in **Figura 19 b)** la colonna guida anche la piastra prelamiera C alla quale è fissata la bussola D; in **Figura 19 c)** la piastra superiore E quella intermedia F sono guidate dalla stessa colonna grazie alle bussole G e H.

La **Figura 20** mostra la colonna a gambo espandibile, e si blocca nella propria sede grazie alla pressione che provoca una vite centrale I a sede conica.

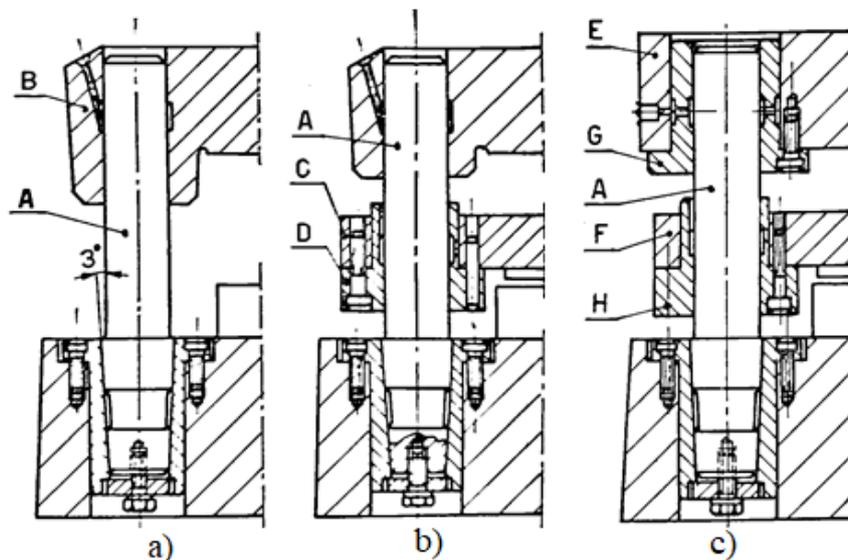


Figura 20: Colonneta a gambo espandibile

Quando la produzione richiede stampi cosiddetti “*veloci*”, che compiono oltre 100 corse al minuto, si possono utilizzare le “*gabbie*” portanti A un certo numero di sfere allineate, che sono interposte tra la colonna B e la bussola C (**Figura 21**).

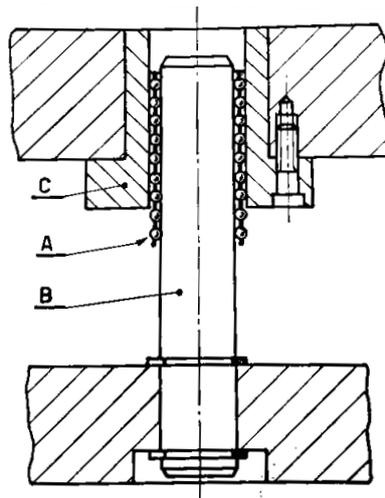


Figura 21: Gabbie per stampi veloci

Nella progettazione di uno stampo la posizione delle colonne guida è tale da non ostacolare i movimenti da parte dell'operatore e il passaggio della striscia.

Le colonne di solito sono due di ugual diametro in quanto molto spesso lo stampo risulta essere simmetrico; tuttavia, in fase realizzativa, si preferisce far differire il diametro delle due colonne di almeno un millimetro in modo da non avere alcuna possibilità di montaggio errato delle due parti mobili dello stampo. Questo accorgimento serve per evitare il possibile danneggiamento dello stampo e dei suoi componenti, dopo un eventuale e momentaneo svincolamento delle due parti mobili. [3]

Punzoni e matrici

Per punzone si intende “un utensile che, unitamente alla matrice, sia atto ad eseguire le operazioni di stampaggio di tranciatura, piegatura e curvatura e di imbutitura” [2].

In alcuni casi è usuale l'appellativo di maschio e contromaschio piuttosto che punzone e matrice (o contropunzone).

TRANCIATURA

In **Figura 22** sono rappresentati i punzoni maggiormente utilizzati per le operazioni di tranciatura e foratura.

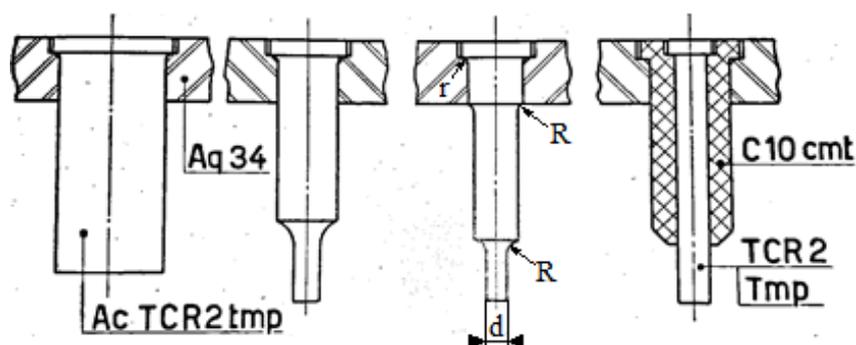


Figura 22: Tipologia punzoni per tranciatura e foratura

Per evitare zone di rottura o zone di indebolimento, il punzone deve essere privo di solchi e gole; infatti, vengono raccordati gli spallamenti e zone di passaggio dal diametro maggiore a quello minore.

Il diametro minimo d del punzone è determinato in funzione dello spessore del foglio di lamiera s , affinché il punzone possa sostenere con sicurezza lo sforzo che lo sollecita:

$$d_{\min} = s \text{ per lamiere di acciaio con resistenza sino a } 40 \text{ kg/mm}^2$$

$$d_{\min} = 1.5 s \text{ per lamiere di acciaio con resistenza oltre i } 40 \text{ kg/mm}^2 \text{ [2]}$$

In molti casi tra la testa del punzone e la piastra d'appoggio è inserita una lamina di acciaio bonificato (25MC6 Lam Bon) che ha una resistenza alla trazione di 85-100 kg/mm² con uno spessore minore o uguale a 5 mm. Questo particolare viene introdotto per evitare che la testa del punzone penetri nella piastra d'appoggio a causa della pressione sostenuta dal punzone stesso (**Figura 23**).

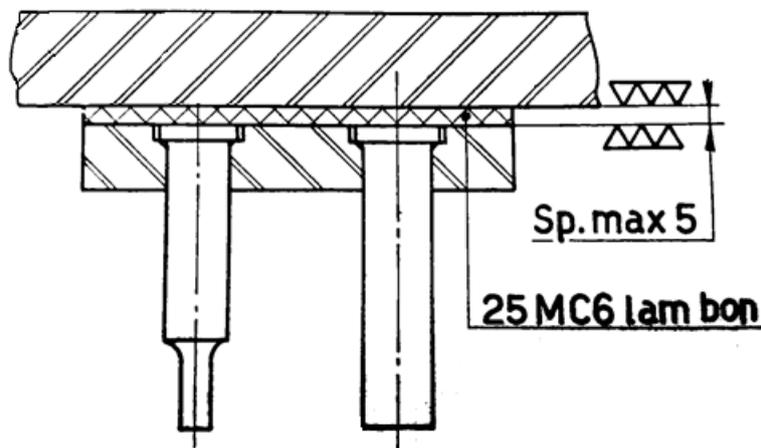


Figura 23: Sistema con lamina ad alta resistenza

Per rendere agevole il montaggio degli organi dello stampo, i punzoni cilindrici hanno un diametro di accoppiamento, con le piastre che li trattengono, maggiori di 1-2 mm rispetto a quello di tranciatura (**Figura 24**).

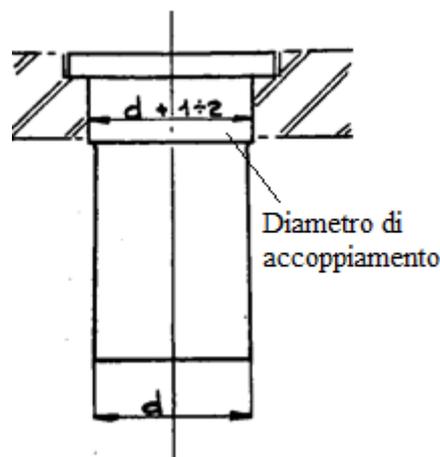


Figura 24: Montaggio punzone-piastra

Nella realizzazione delle matrici e dei punzoni spesso è il punzone ad esser costruito per primo e dopodiché su questo si accoppia la matrice con dimensioni maggiorate secondo il gioco stabilito (Figura 25 e Tabella 4).

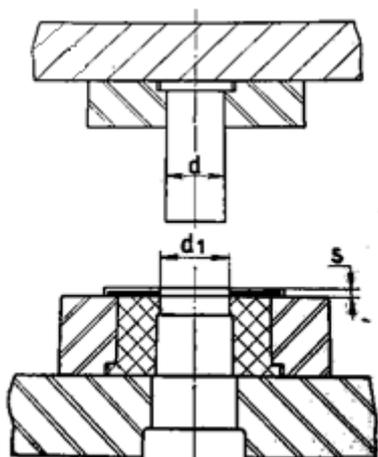


Figura 25: Schema per gioco matrice-punzone

Tabella 4: Valori gioco g matrice-punzone in base alla resistenza acciaio R e spessore lamiera s . NB: valori adottati e consigliati dalla Casa americana “Cincinnati”

Spessore s della lamiera in mm	Gioco u in mm sul diametro			Spessore s della lamiera in mm	Gioco u in mm sul diametro		
	Acciaio dolce R= 40 kg	Acciaio semiduro R= 60 kg	Acciaio duro R= 80 kg		Acciaio dolce R= 40 kg	Acciaio semiduro R= 60 kg	Acciaio duro R= 80 kg
	$u = \frac{s}{10}$	$u = \frac{s}{11.1}$	$u = \frac{s}{12.5}$		$u = \frac{s}{10}$	$u = \frac{s}{11.1}$	$u = \frac{s}{12.5}$
0.5	0,05	0,05	0,040	6	0,60	0,54	0,480
0.8	0,08	0,07	0,064	7	0,70	0,63	0,560
1.0	0,10	0,09	0,080	8	0,80	0,72	0,640
1.2	0,12	0,11	0,096	9	0,90	0,81	0,720
1.5	0,15	0,14	0,120	10	1,00	0,90	0,800
2.0	0,20	0,18	0,160	11	1,10	0,99	0,880
2.5	0,25	0,23	0,200	12	1,20	1,08	0,960
3.0	0,30	0,27	0,240	13	1,30	1,17	1,040
3.5	0,35	0,32	0,280	14	1,40	1,26	1,120
4.0	0,40	0,36	0,320	15	1,50	1,35	1,200
4.5	0,45	0,41	0,360	16	1,60	1,44	1,280
5.0	0,50	0,45	0,400	18	1,80	1,62	1,440
5.5	0,55	0,50	0,440	20	2,00	1,80	1,600

Nel caso in cui il gioco è prestabilito, i punzoni vengono accoppiati alle matrici in modo da poter posizionare gli utensili agli stampi in modo esatto; successivamente i punzoni vengono rettificati solo nel tratto inferiore raggiungendo così le dimensioni necessarie per rispettare il gioco prestabilito. [2]

Inoltre è da tener presente che la corsa del punzone non deve mai superare i due millimetri dal filo matrice (**Figura 26**).

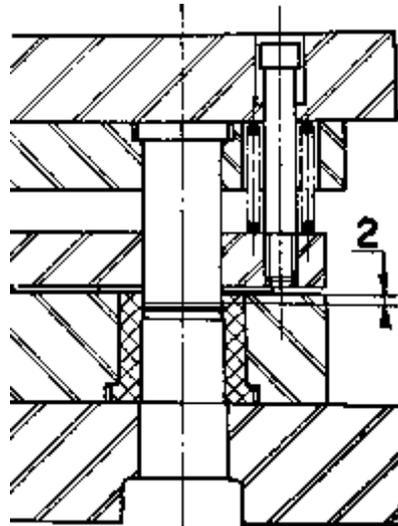


Figura 26: Corsa punzone

Matrici e punzoni sono principalmente realizzati in acciaio legato al carbonio che cambiano le loro caratteristiche in base alle percentuali di cromo, wolframio, vanadio, silicio.

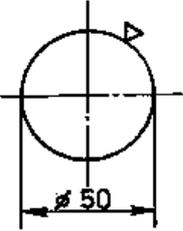
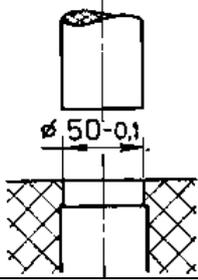
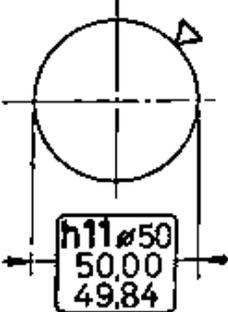
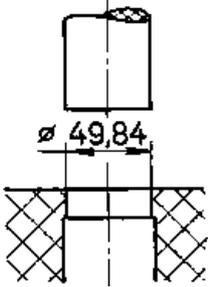
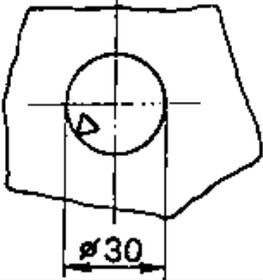
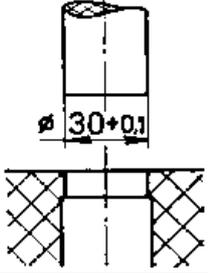
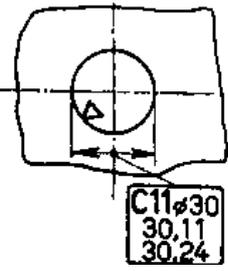
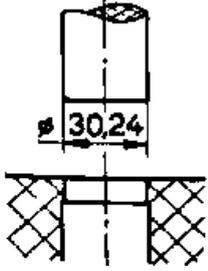
Un altro aspetto da tenere in considerazione è il calore che si genera dall'attrito durante la fase di scorrimento degli utensili, il quale è proporzionale allo spessore della lamiera; quindi non è da escludere che gli utensili possano perdere quelle caratteristiche inizialmente adatte per una determinata operazione.

Durante la fase di tranciatura si genera una pressione, da parte degli utensili, che genera una contrazione e una conseguente distensione del metallo. È quindi ovvio che le dimensioni teoriche del punzone e della matrice debbano essere necessariamente maggiori o minori sia in dipendenza delle dimensioni che deve assumere il materiale una volta tranciato sia se si tratta di tranciatura esterna o interna.

In caso di tranciatura esterna il pezzo ricavato dalla lamiera avrà un contorno entro i limiti di tolleranza stabiliti; mentre, nel caso di tranciatura interna essa crea fori e vani a tolleranza eliminando le parti asportate.

Per il dimensionamento sicuro degli utensili si fa riferimento alla **Tabella 5** dove sono illustrati i diversi casi e le relative norme da seguire per la progettazione e realizzazione degli stampi. Per lo stampaggio pesante si trascura tale prospetto assegnando al punzone il diametro massimo di tolleranza. Tuttavia è bene che tra questi due organi ci sia un ulteriore gioco per non avere problemi durante la contrazione del materiale che varia in relazione allo spessore e alle caratteristiche della lamiera. [2]

Tabella 5: Norme di dimensionamento punzoni e matrici

Descrizione dell'operazione	Condizioni e grado della lavorazione	Dimensionamento utensili	
Tranciatura dalla lamiera di particolari di produzione quotati senza tolleranze		La matrice deve essere minorata di 0.1	
Tranciatura dalla lamiera di particolari di produzione quotati con tolleranze		Il diametro della matrice deve corrispondere al diametro minimo della tolleranza	
Foratura e tranciatura di particolari di produzione quotati senza tolleranze		Il punzone deve essere maggiorato di 0.1	
Foratura e tranciatura di particolari di produzione quotati con tolleranze		Il diametro del punzone deve corrispondere al diametro massimo della tolleranza	

Per quanto riguarda le geometrie degli organi dello stampo, è preferibile che questi abbiano una forma cilindrica perché più facili da realizzare; anche nel caso in cui il profilo di tranciatura non sia cilindrico, si può realizzare il punzone modellandone l'estremità tagliente, come in **Figura 27**.

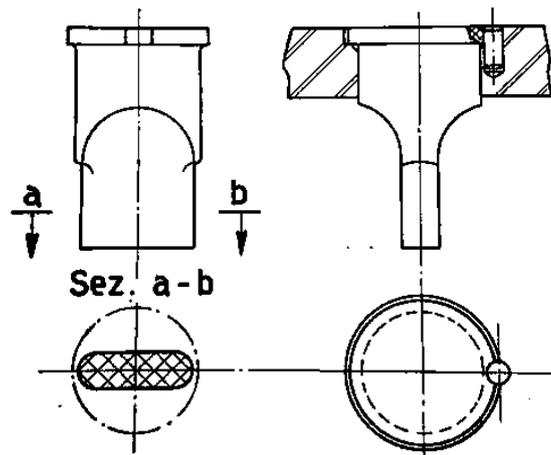


Figura 27: Punzone con estremità tagliente non circolare

La tranciatura di pezzi di grandi dimensioni viene effettuata a volte, per ragioni che riguardano esclusivamente il ciclo di lavoro, su presse che non hanno una potenza tale da tranciare simultaneamente tutto il profilo: in questo caso si realizzano o punzoni a taglio inclinato anziché orizzontale per tranciare il profilo gradatamente (**Figura 28 a**), o matrici con il piano superiore curvo dove la lamiera è sostenuta da un espulsore che consente la graduale tranciatura da parte di un punzone a taglio orizzontale (**Figura 28 b**).

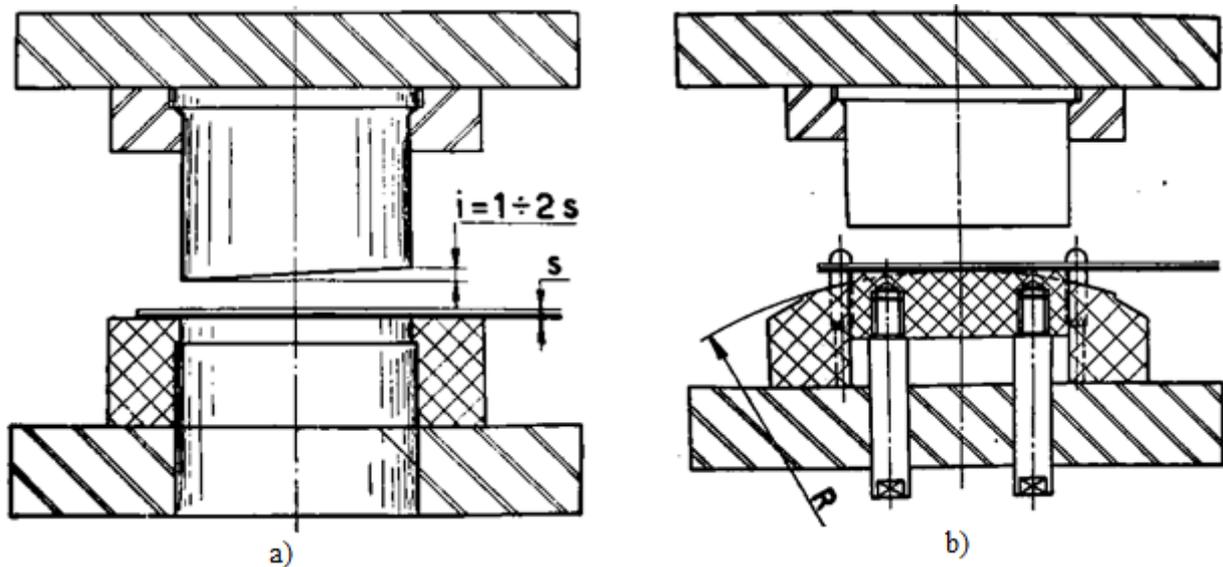


Figura 28: Soluzioni di tranciatura graduale

PIEGATURA

Per le operazioni di piegatura, i punzoni e le matrici sono realizzati in acciai legati da costruzione 35 MS5, 35 NC9 ed il 38 NCD4 bonificati con durezza Rockwell che variano tra i 38° e i 54° (il 35 MS5 è ormai sostituito dal 38 NCD4).

I materiali sopra citati vengono utilizzati in base alle condizioni di lavoro cui sono sottoposti gli utensili. Per piegature semplici, come quella rappresentata in **Figura 29**, l'acciaio raggiunge una durezza HRc tra i 38-40; mentre la doppia piegatura presene nello stampo in **Figura 30**, fa

raggiungere alle lame laterali una durezza HRc 52-54. Nel caso in cui lo stampo preveda delle piegature complicate o la lamiera utilizzata ha un forte spessore, è preferibile utilizzare acciai con una resistenza maggiore (ad esempio 35 NC9 Bon) per realizzare gli utensili.

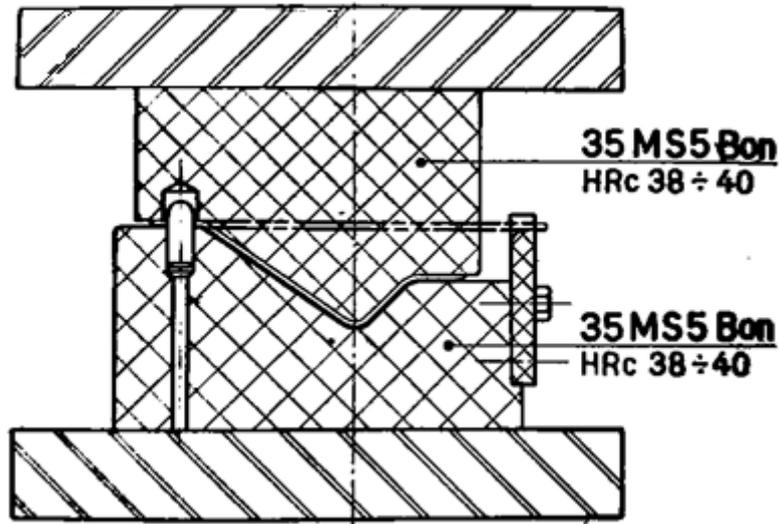


Figura 29: Stampo per piegatura semplice

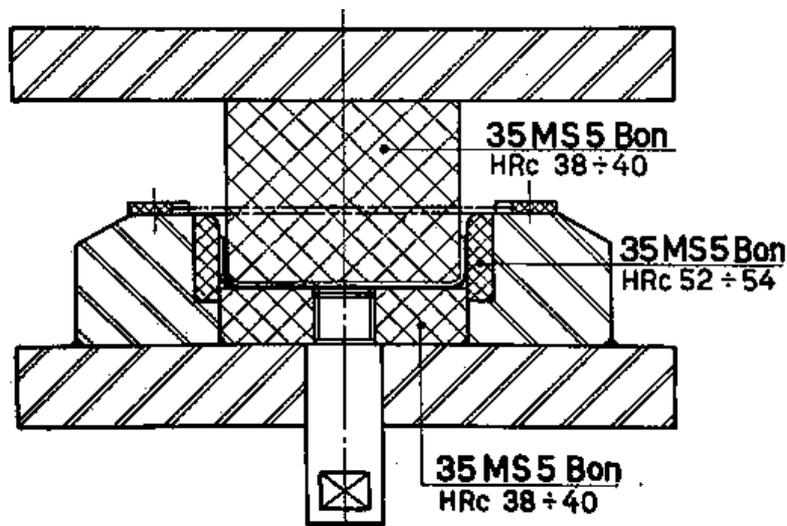


Figura 30: Stampo per doppia-piegatura

IMBUTITURA

Per l'operazione di imbutitura, gli utensili sono costruiti con lo stesso materiale per l'operazione di piegatura, tenendo presente la deformazione della lamiera a causa dello stiramento o della compressione della stessa sotto l'azione del punzone e della matrice. Un possibile stampo per imbutitura è riportato in **Figura 31**.

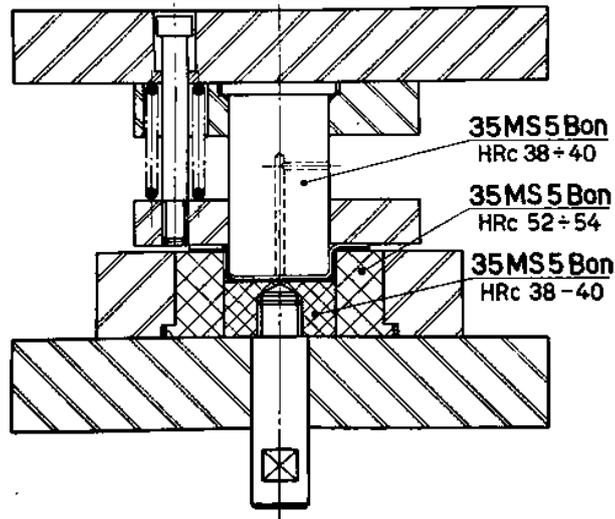


Figura 31: Stampo per imbutitura

Organi di collegamento

Le piastre, alle quali sono connessi gli utensili, sono collegate alle parti inferiore e superiore dello stampo mediante bulloni, spine e con poca frequenza viti.

Durante la fase di progettazione dello stampo, si cerca di effettuare il collegamento della piastra superiore mediante bulloni avvitati superiormente (**Figura 32**); questo accorgimento è utile in quanto facilita l'accoppiamento con gli organi inferiori durante il montaggio dello stampo. L'utilizzo delle spine è necessario per determinare la posizione corretta degli organi in gioco.

Il collegamento della piastra inferiore, invece, non ha particolare interesse in quanto non comporta particolari problemi in fase di montaggio/smontaggio dello stampo. Tuttavia è preferibile adottare la soluzione in **Figura 32** ossia con bulloni avvitati al di sotto della base, che la soluzione in **Figura 33** in quanto le sedi, i fori, i vani, effettuati nel piano d'appoggio superiore della lamiera per l'inserimento dei bulloni, possono essere zone di accumulo di corpi estranei che possono indurre a lavorazioni difettose.

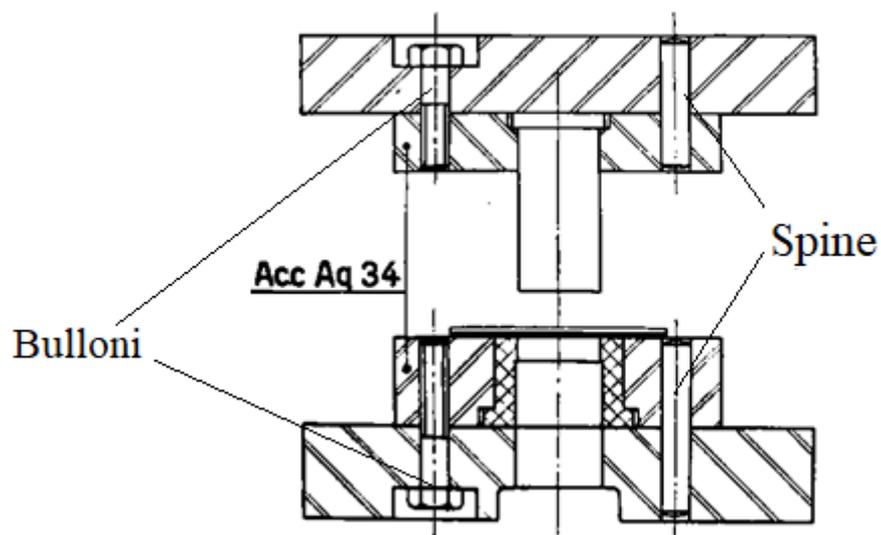


Figura 32: Collegamento stampo-piastre superiori e inferiori

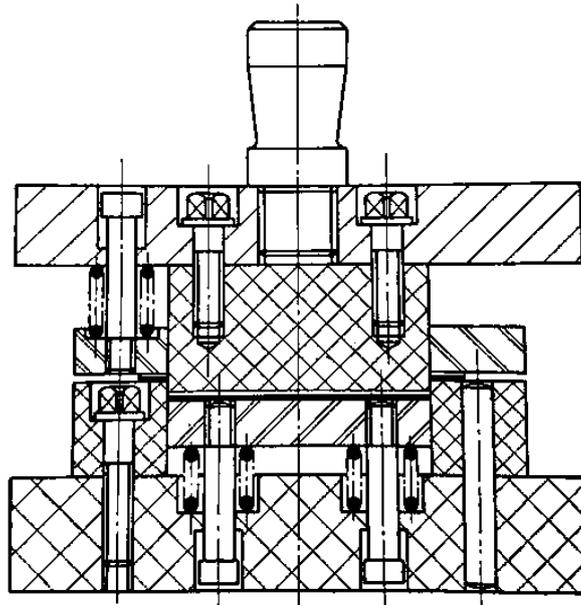


Figura 33: Collegamento con bulloni sul piano d'appoggio della lamiera

Tra gli organi di collegamento, come già anticipato, ci sono le spine che hanno una doppia funzione: oltre a fungere da riferimento nel montaggio, servono anche a sostenere le reazioni degli organi soggetti a urti violenti e forti sollecitazioni. Per quest'ultima funzione, le spine sono prettamente di forma cilindrica, costruite in acciaio C10, cementate e rettificate.

Tra le tipologie di spine presenti, quelle coniche non hanno applicazione, in quanto, in caso di affilatura degli utensili, è necessario un ripristino della sede con conseguente sostituzione della spina (**Figura 34**). Inoltre, a causa delle forti sollecitazione e dei violenti urti, la spina potrebbe essere soggetta ad uno spostamento nella propria sede causando così il non corretto allineamento tra matrice e punzone.

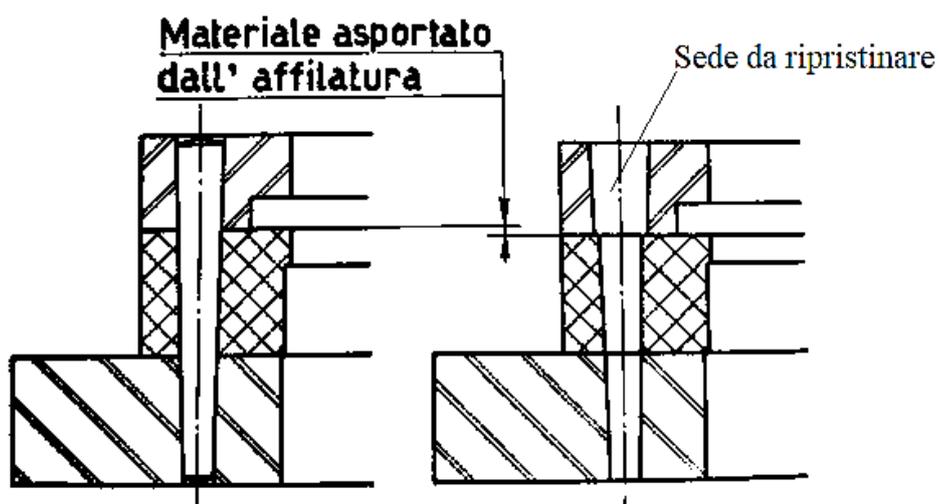


Figura 34: Sede spina conica prima e dopo affilatura utensile

In **Figura 35** vengono riportare le forme e la disposizione delle spine sugli stampi.

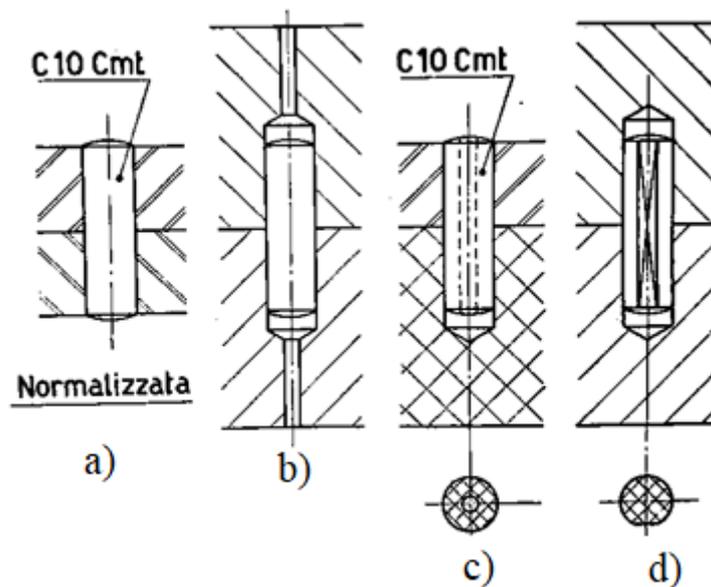


Figura 35: Forme e disposizione spine

Le soluzioni b), c) e d) sono adottate quando c'è il collegamento delle parti con fori ciechi e l'aria compressa nella sede della spina impedisce il corretto montaggio delle parti stesse; quindi si effettuano dei fori di sfiato (**Figura 35 b**), fori longitudinali la spina (**Figura 35 c**) oppure si effettua una fresatura lungo la generatrice della spina (**Figura 35 d**).

Riferimenti ed orientamenti

Affinché la lamiera possa essere posizionata nel modo opportuno per la realizzazione corretta del pezzo, è necessaria la presenza di arresti o riferimenti all'interno dello stampo.

Quindi la lamiera, sia essa sotto forma di strisce, nastri, barrette o sviluppi già ritagliati, viene disposta nello stampo e deve procedere invariabilmente durante la lavorazione sia mediante alimentazione (manualmente dall'operatore o tramite un alimentatore automatico) sia mediante sostituzione.

Il caso più comune prevede un perno di riferimento iniziale sul quale batte l'estremità della lamiera e dei perni laterali sui quali batte il lato della lamiera. Una volta effettuata la prima tranciatura viene sollevata la lamiera, per superare l'altezza del perno di riferimento, e fatto battere il perno contro il profilo interno ottenuto dalla tranciatura. Questo caso è riportato in **Figura 36** dove A è il perno di riferimento d'estremità e B sono i perni laterali.

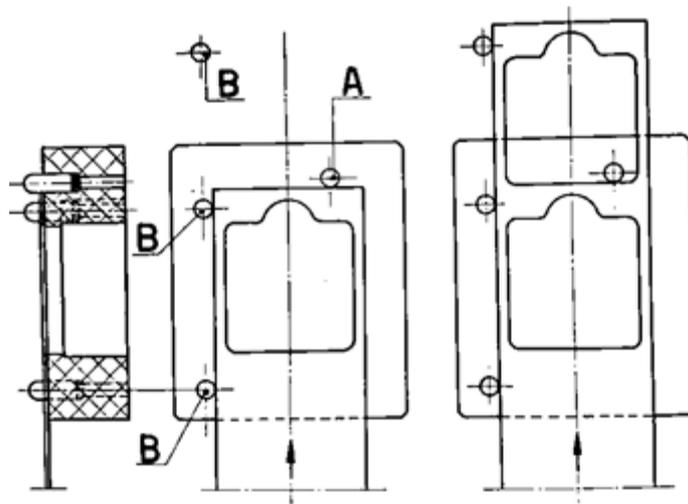


Figura 36: Riferimenti nella fase di stampaggio

Per evitare che manovre errate possano portare a lavorazioni errate, spesso vengono utilizzati i perni mobili; sono perni che possono entrare nella loro sede abbassandosi e successivamente riposizionarsi correttamente grazie all'azione di una molla (**Figura 37**).

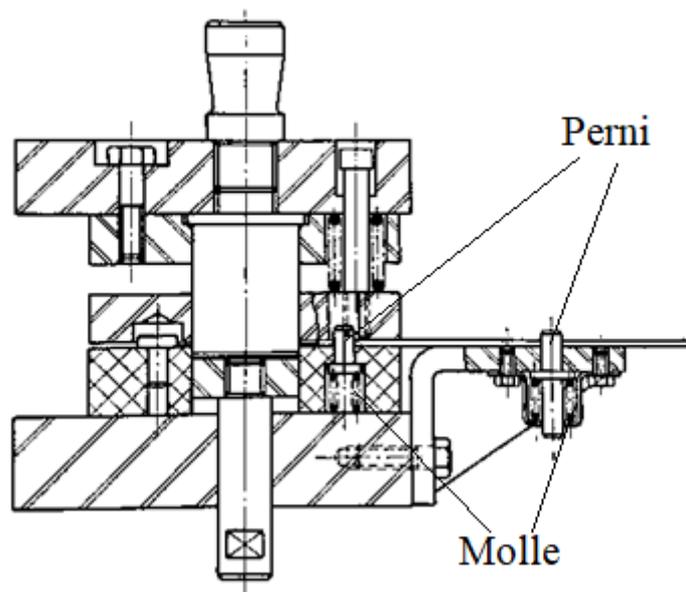


Figura 37: Soluzione con perni mobili

Nel caso in cui le strisce di lamiera siano costantemente larghe L per tutta la loro lunghezza, i perni laterali sono sostituiti da guide che hanno una larghezza maggiore di 0.3-0.4 mm in più rispetto a quella delle strisce, come riportato in **Figura 38**.

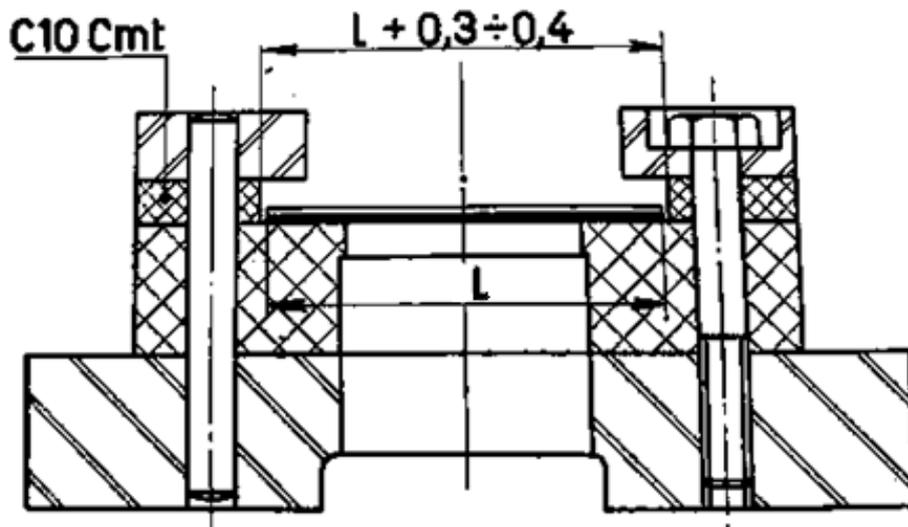


Figura 38: Stampo con guide come riferimenti laterali

Utile, semplice, efficace e poco costoso è il dispositivo di posizionamento e di riferimento rappresentato in **Figura 39**. Si tratta di un albero C la cui rotazione di 180° permette la salita e la discesa, in modo alternato, dei due perni di riferimento A e B.

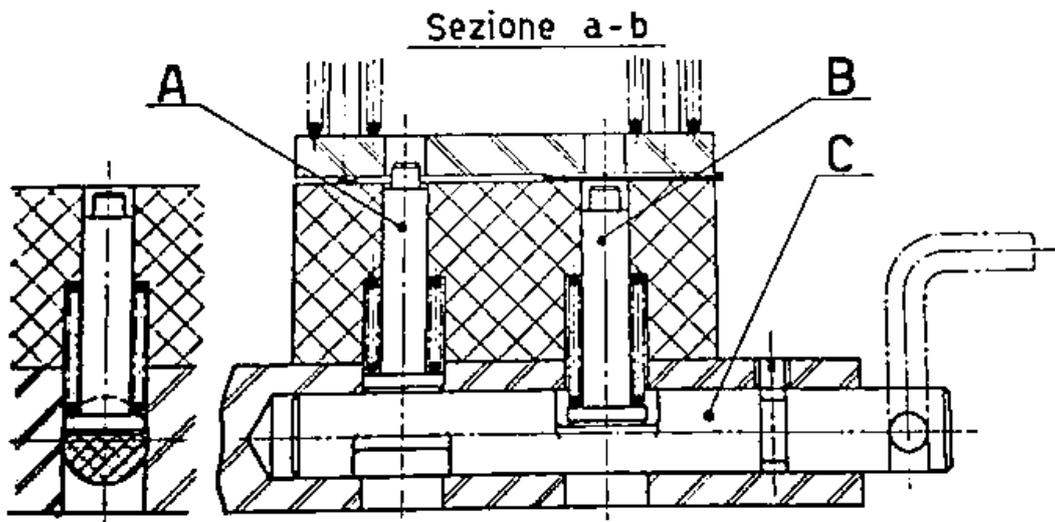


Figura 39: Dispositivo di riferimento alternato

In alternativa all'utilizzo dei perni di riferimento, si possono sfruttare le geometrie che subirà la lamiera durante il ciclo di lavoro nello stampo. Ovviamente servirà comunque un riferimento d'arresto per la prima operazione. Un esempio pratico è dato dallo stampo in **Figura 40** che ha due punzoni P_1 disposti dietro il punzone P. I due punzoni hanno la funzione di tranciare lo sfrido nelle due zone di minor larghezza; in questo modo, all'avanzare della striscia, le due estremità tranciate possono essere portate a contatto con un tassello T che costituisce il riferimento d'arresto. Per la prima operazione di tranciatura si utilizza un *riferimento visivo* di inizio striscia. In **Figura 41** è riportato lo schema di avanzamento di tale stampo.

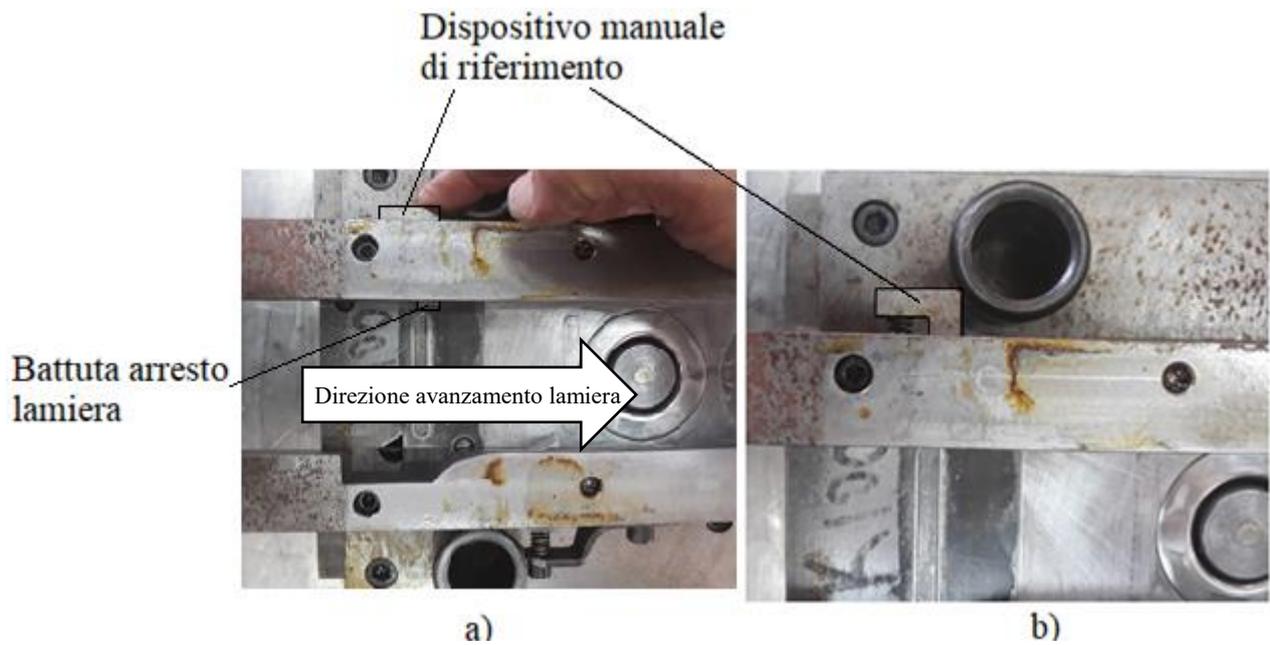


Figura 42: Riferimento con dispositivo manuale: a) azionato, b) a riposo

Dispositivi simili possono essere utilizzati invece per far aderire un lato della striscia contro la guida di riferimento, in quanto la larghezza della striscia supera di qualche decimo di millimetro la larghezza teorica (**Figura 43**). Nel caso in cui la pressione di contatto dispositivo-lamiera impedisca l'avanzamento della lamiera, si può adottare la soluzione in **Figura 44**: la discesa dello stampo provoca, tramite il punteruolo P e la leva L, lo spostamento laterale del dispositivo C, che spinge la lamiera in battuta sul fianco della guida un istante prima della tranciatura.

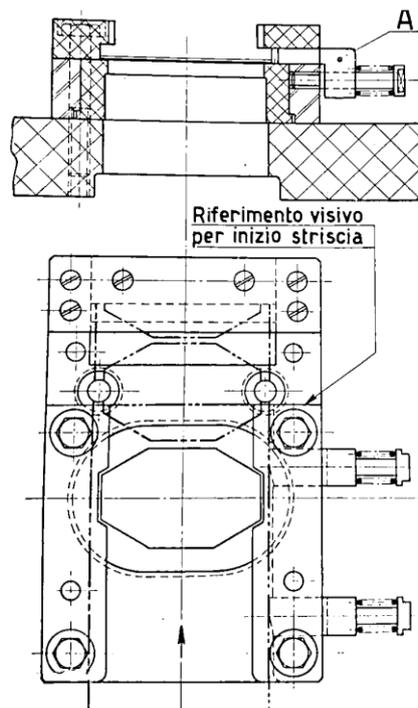


Figura 43: Dispositivi mobili A

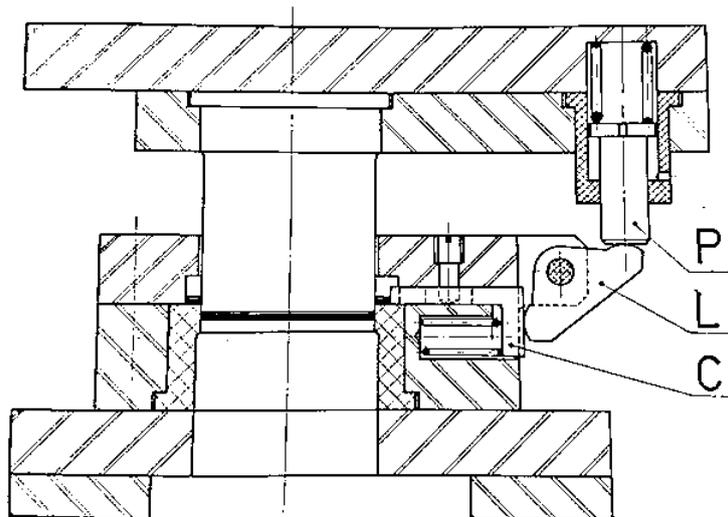


Figura 44: Stampo con dispositivo mobile azionato da punteruolo durante la discesa del punzone

Nel caso in cui fosse possibile, è meglio sfruttare i fori e i vani eseguiti nelle prime operazioni in quanto costituiscono riferimenti per le operazioni successive; anche la sagomatura della lamiera secondo un profilo, interno o esterno, può essere sfruttata come riferimento per le operazioni successive del ciclo di lavorazione del pezzo (**Figura 45**).

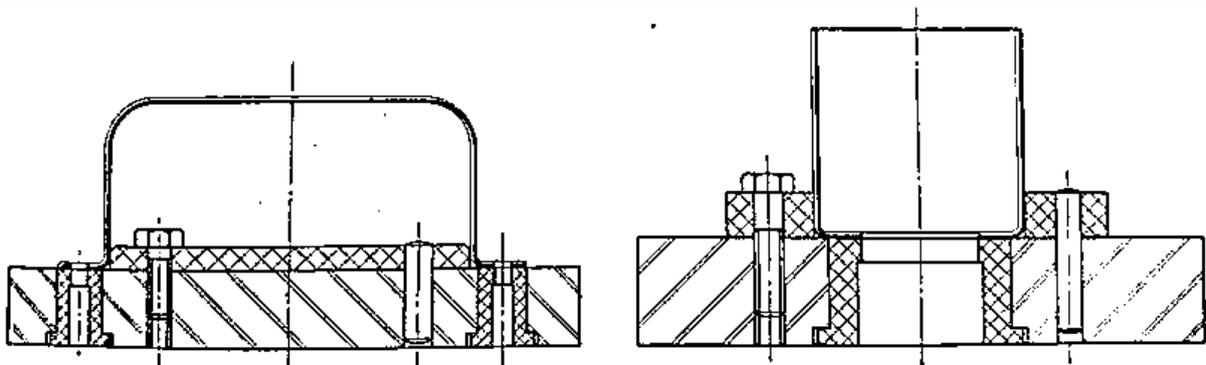


Figura 45: Sagomatura lamiera come riferimento

Premilamiera

I premilamiera sono “*piastre mobili collegate alle parti superiore e inferiore dello stampo che, spinte da molle, premono la lamiera contro il piano d'appoggio*” [2].

Questi dispositivi hanno l'importante compito di garantire una determinata pressione sulla lamiera durante la fase di imbutitura per impedire la formazione di grinze, allungamenti rilevanti o rottura del materiale. I premilamiera sono stati adottati anche per stampi di tranciatura, piegatura ecc. in quanto permettono di avere una stabilità migliore della lamiera o del componente, garantendo una vita utile degli utensili maggiore. Infatti, nel caso in cui non ci fosse il premilamiera durante un'operazione di tranciatura, il materiale tenderebbe a restringersi attorno al punzone che, durante la fase di salita, potrebbe rompersi.

Quindi riassumendo, i premilamiera hanno il compito di [2]:

- 1) Impedire la formazione di grinze, bordi e superfici ondulate durante l'imbutitura (**Figura 46**);

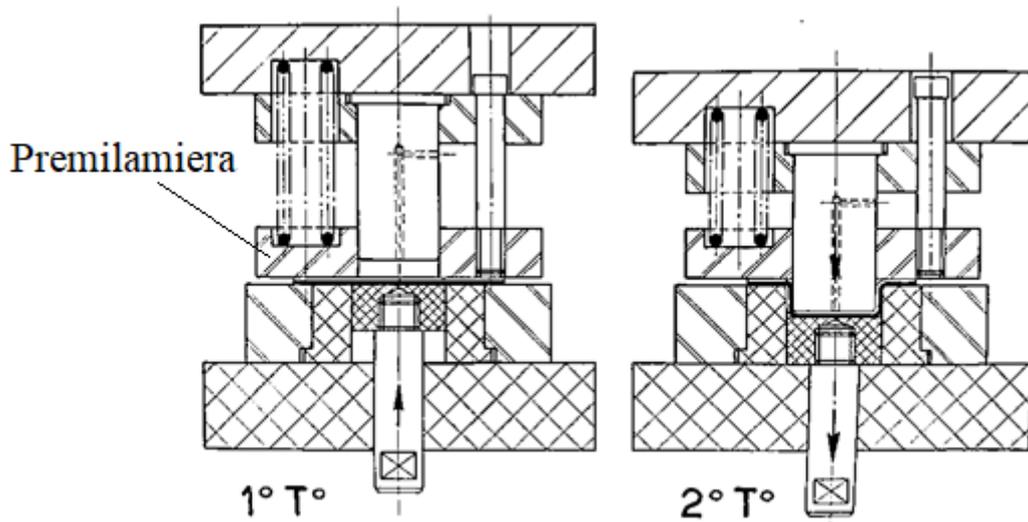


Figura 46: Premilamiera per stampo di imbutitura

- 2) Trattenere rigidamente la lamiera o il componente nella precisa posizione di lavoro (**Figura 47**);

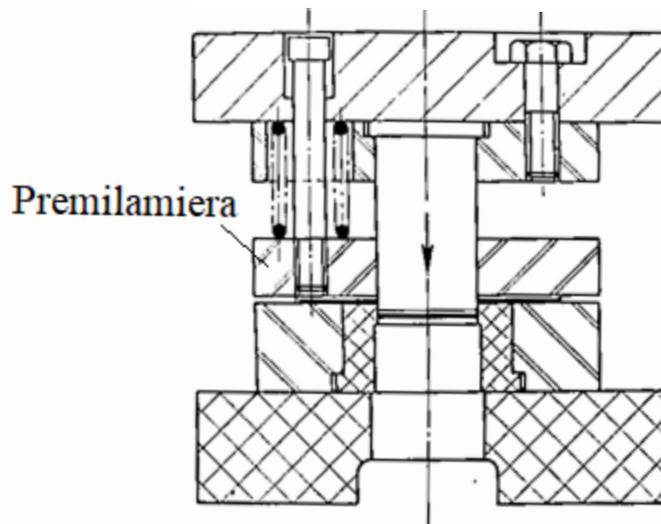


Figura 47: Premilamiera per stampo di tranciatura

- 3) Trattenere lo sfrido liberando l'utensile nella sua corsa di ritorno evitando la deformazione del materiale (**Figura 48**);

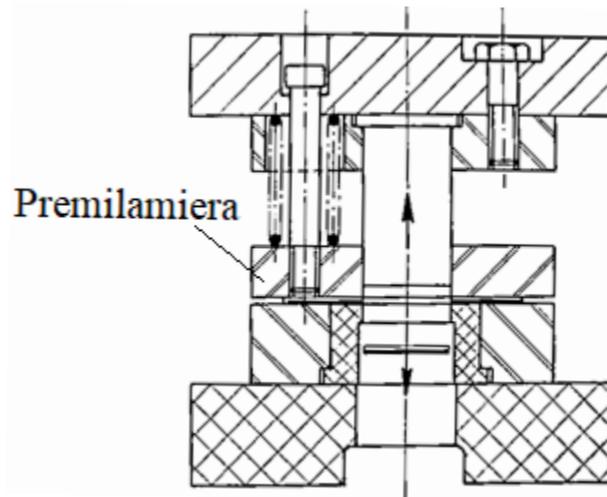


Figura 48: Premilamiera per stampo di tranciatura

- 4) Preservare gli utensili da eventuali rotture allungandone la vita utile.

Per determinare la pressione necessaria affinché il prelamiera possa garantire i compiti prima esposti, si utilizza l'Eq. (25):

$$P_l = 0.1 P \quad (25)$$

dove:

P_l è la pressione del prelamiera

P è la pressione di tranciatura o piegatura

La pressione totale è data dall'Eq. (26):

$$P_t = 1.1 P \quad (26)$$

dove:

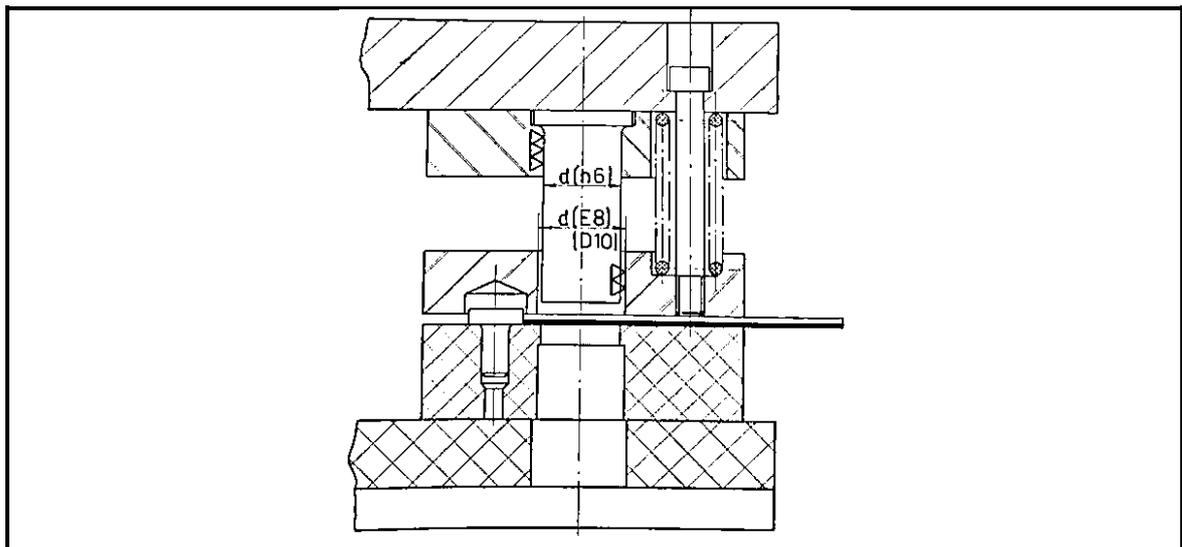
P_t è la pressione totale

P è la pressione di tranciatura o piegatura

Per l'imbutitura la pressione del prelamiera e la pressione totale sono date dalle Eq.(23) e Eq. (24).

Per quanto riguarda il gioco che deve esserci tra prelamiera e utensili, esso dipende dallo spessore della lamiera; in **Tabella 6** sono riportate le tolleranze d'accoppiamento. [2]

Tabella 6: Tolleranze accoppiamento punzone-premilamiera



Tolleranze d		
Punzone	Premilamiera	
h6	E8	Per lamiere con spessore sino a 0.8 mm
	D10	Per lamiere con spessore maggiore di 0.8 mm

Ponti estrattori ed espulsori

In uno stampo, i ponti estrattori sono costituiti da piastre applicati sopra la matrice munite di apposito foro per il passaggio del punzone. I lati interni del ponte fungono da guida per la striscia.

Questo dispositivo serve a trattenere la lamiera che si stringe attorno al punzone, durante la corsa di ritorno, dopo la tranciatura. La geometria del ponte è funzione dello stato di fornitura del materiale e della geometria del pezzo da realizzare (**Figura 49**).

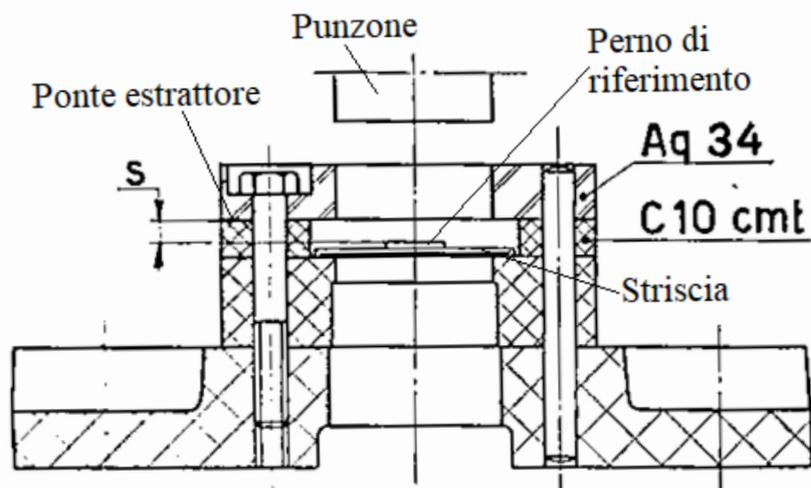


Figura 49: Schema stampo con ponte estrattore

Le norme da seguire per la realizzazione del ponte sono le seguenti [2]:

- 1) Sagomatura del ponte in modo che vani, incavi e smussi offrano comunque la maggior visibilità possibile;
- 2) Costruire le guide di materiale indurito per evitare il rapido deterioramento a causa dello scorrimento della striscia;
- 3) Lasciare uno spazio sufficiente tra il perno di riferimento e il ponte proporzionale allo spessore della lamiera;
- 4) Disporre l'avanzamento del materiale di fronte piuttosto che lateralmente, eccetto in caso di alimentazione automatica.

I ponti estrattori sono indicati per essere utilizzati in stampi di tranciatura esterna e non per eseguire fori o vani a particolari singoli in quanto, sollevandosi contro l'estrattore, potrebbero essere soggetti a deformazione.

Una categoria di estrattori è quella degli *estrattori mobili* caratterizzati dal fatto di essere azionati da molle o da aste comandate pneumaticamente o da dispositivi che utilizzano la corsa di ritorno della slitta.

Quelli azionati da molle sono simili ai premilamiera e quindi anche la loro pressione dipende dallo spessore della lamiera ed è ricavabile dall'Eq.(1). Un esempio di ponte mobile è riportato in **Figura 50**.

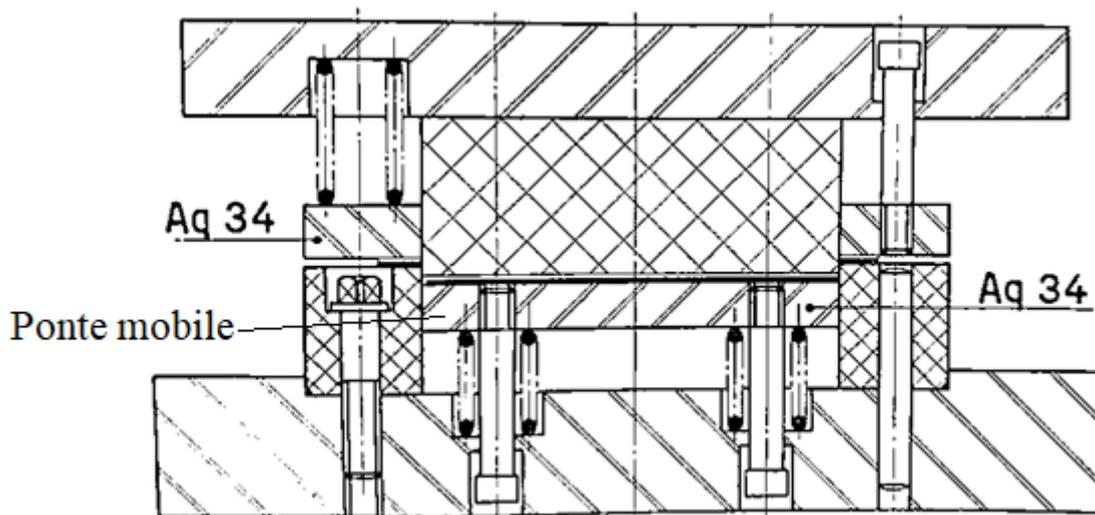


Figura 50: Stampo di tranciatura con ponte mobile

Invece, gli estrattori azionati da aste sono utilizzati maggiormente in stampi montati su presse dotate di appositi dispositivi meccanici o pneumatici quasi sempre elastici. Un esempio è riportato in **Figura 51** dove il pezzo tranciato non cade attraverso la matrice, ma viene sollevato dall'estrattore.

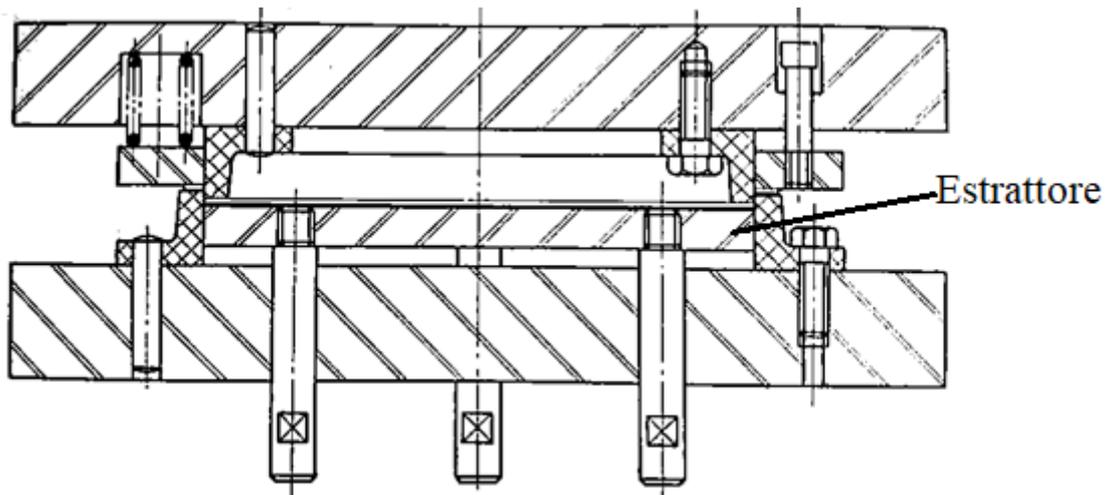


Figura 51: Stampo con estrattore azionato da aste

L'applicazione dell'estrattore è regolato da alcune norme [2]:

- 1) Quando il disco da realizzare ha un diametro maggiore di 150 mm e, per diametri minori, quando lo spessore della lamiera supera i 2 mm;
- 2) Quando la struttura del pezzo richiede piani e tagli perfetti senza imperfezioni e difetti;
- 3) Quando lo spessore della lamiera è inferiore di 0.5 mm.

Oltre a queste norme, è di solito buona norma lasciare un millimetro di spazio tra il piano d'appoggio della lamiera e il piano dell'estrattore in modo da assicurare una pressione efficiente nella fase di tranciatura (**Figura 52**); nel caso di stampaggio pesante tale è consigliato lasciare 4-5 mm sia nella fase di tranciatura che in quella di imbutitura.

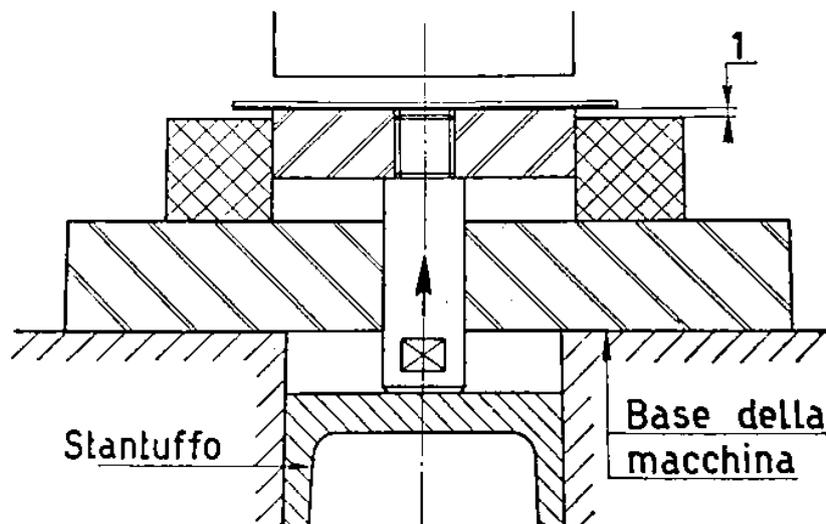


Figura 52: Stampo con piano ponte e piano appoggio lamiera distanti 1 mm

Esempi di azionamenti degli estrattori mediante molle e dispositivi pneumatici sono riportate in **Figura 53** e **Figura 54**.

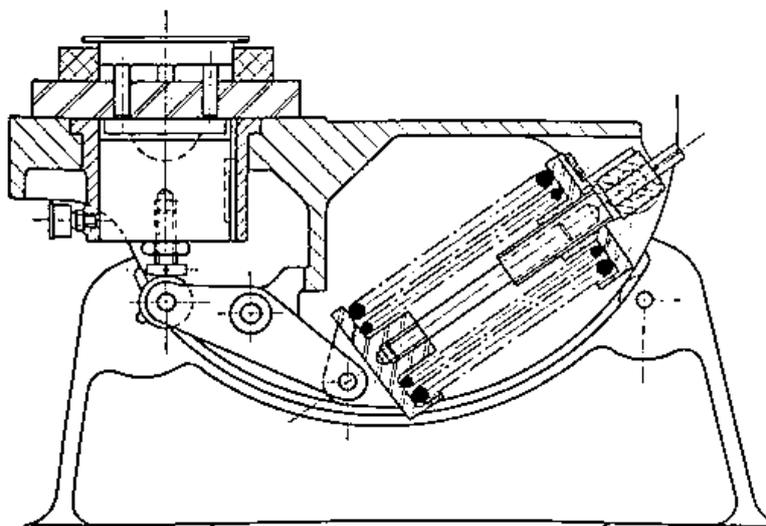


Figura 53: Dispositivo a molla per comando estrattori

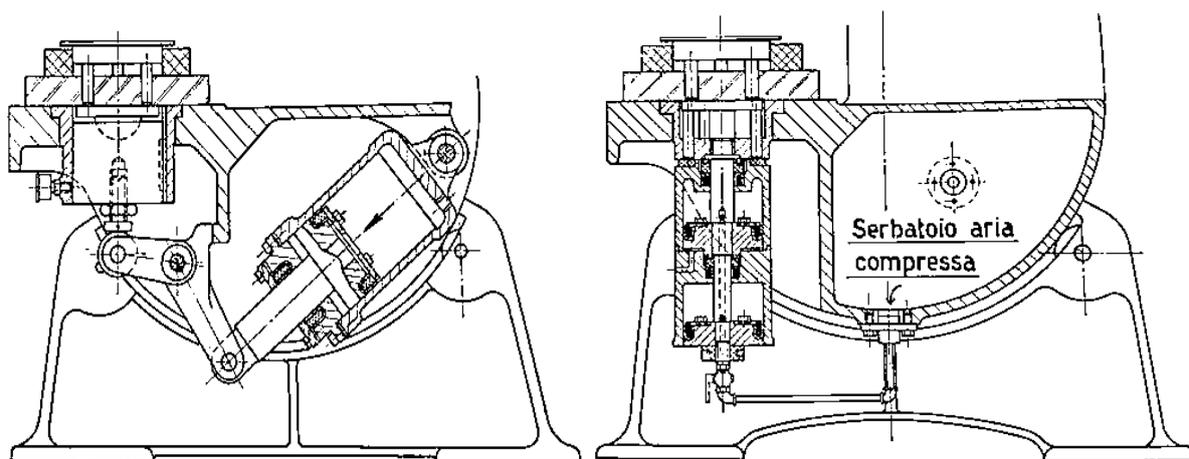


Figura 54: Dispositivi pneumatici per comando estrattori

Talvolta l'estrazione del pezzo può avvenire attraverso getti di aria compressa. Un esempio è riportato in **Figura 55**, dove la rotazione di un disco D montato sull'albero A della pressa, muove l'asta B per mezzo della camma C; l'asta B va ad azionare ad intermittenza la valvola V che aprendosi inietta un getto d'aria compressa.

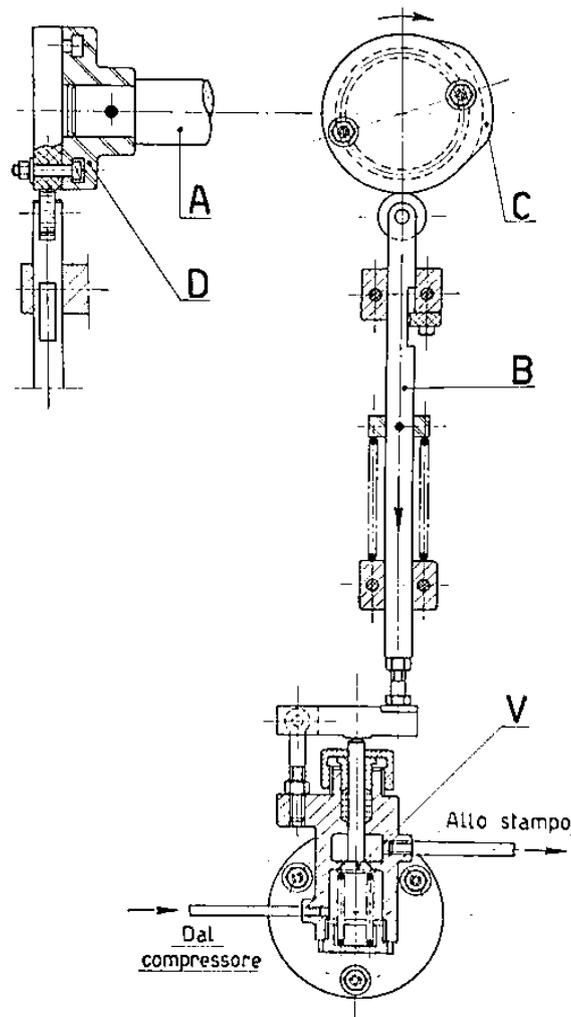


Figura 55: Schema di un sistema per estrazione pezzo mediante getti d'aria compressa

Hanno un notevole impiego, per l'estrazione del pezzo, gli *espulsori* montati nel codolo dello stampo (**Figura 56**). Il loro azionamento è generato dalla corsa di rientro della slitta: la testa dell'asta batte contro un apposito dispositivo e ne comporta la discesa dell'espulsore che quindi espelle il pezzo.

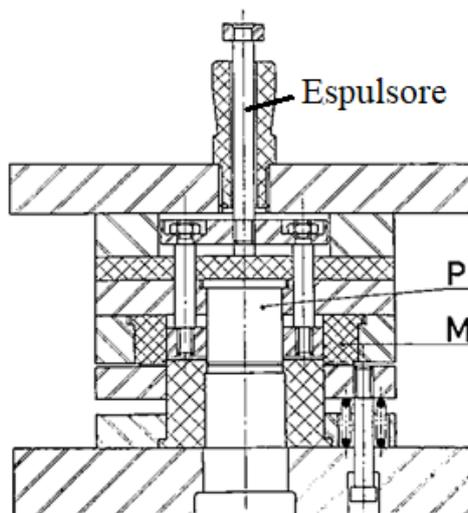


Figura 56: Stampo con espulsore

Camme

Capita spesso che, per far fronte alle geometrie del componente, gli utensili debbano muoversi in modo orizzontale, piuttosto che verticale, per eseguire operazioni di tranciatura o formatura. Tale soluzione viene adottata per evitare di realizzare stampi irrazionali e poco pratici.

Per muovere orizzontalmente gli utensili si utilizzano le *camme*; di solito questi dispositivi sono solidali alla parte superiore dello stampo che con il suo moto, fa avvicinare ed allontanare le slitte su cui sono montati i punzoni dal pezzo. La **Figura 57** ci mostra un esempio di tale sistema: una camma C che comanda la slitta S sulla quale è montato il punzone di tranciatura.

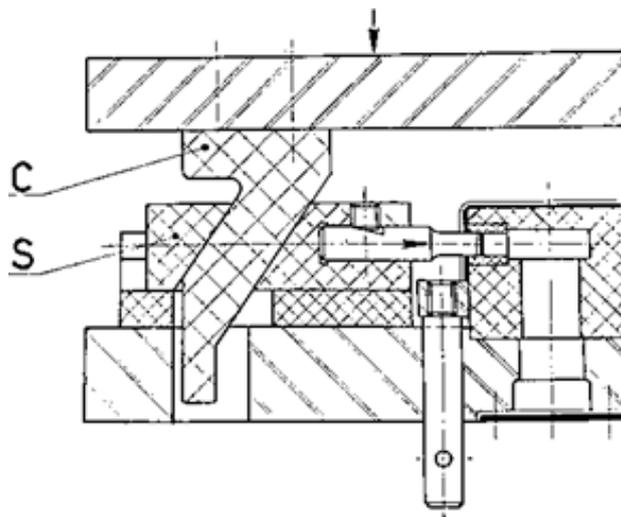


Figura 57: Stampo con movimentazione punzoni orizzontale

La foratura radiale multipla presenta però delle problematiche che riguardano l'estrazione del pezzo. Spesso dopo la foratura si forma della bavatura specie se il foro della matrice ha gli orli un po' arrotondati a causa dell'usura ed è quindi necessaria una pressione di estrazione maggiore rispetto al normale.

Tipologie di stampo

Le varie tipologie di stampo sono caratterizzate dall'operazione, descritte nel capitolo 1.1, a cui questi sono destinati. Quindi si distinguono:

- Stampi per tranciare
- Stampi per piegare e curvare
- Stampi per imbutire

Oltre a questi, ci sono altri tipi di stampi:

- Stampi progressivi (a passo)
- Stampi combinati (a blocco)
- Stampi a trasferta

Stampi progressivi

Sono detti *stampi progressivi* o *a passo* quegli stampi che comprendo “una serie di operazioni successive che trasformano gradatamente, su uno stesso stampo, una lamiera piana, o una striscia, o un nastro, al fine di staccare degli oggetti di altra forma”. [3]

Tali stampi vengono utilizzati per ottenere, mediante un solo colpo e un solo stampo, una serie di lavorazioni successive che, diversamente, dovrebbero essere effettuate singolarmente su stampi semplici.

Gli stampi progressivi possono essere composti da due o più operazioni; il più semplice è costituito da due operazioni che possono essere:

- Tranciatura e piegatura;
- Imbutitura e tranciatura;
- Foratura e tranciatura.

I pezzi prodotti mediante stampi progressivi sono molto vari e quindi non è possibile definire le caratteristiche delle varie fasi; per questo è indispensabile immettere nello stampo tanto materiale quanto necessita il pezzo ultimato.

Questi stampi sono detti anche *stampi multipli* in quanto è possibile avere dodici coppie di utensili (punzone e matrice) utilizzate in un ciclo di lavoro composto da tre operazioni che permettono la realizzazione di quattro pezzi in simultanea piuttosto che uno solo. [2]

La progettazione e realizzazione di uno stampo progressivo è molto complessa; prima, infatti, è necessario eseguire prove pratiche con stampi semplici ed indipendenti. Terminata questa fase, è possibile determinare il numero di passaggi che servono per realizzare il pezzo e quindi valutare se vale la pena o meno realizzare uno stampo progressivo.

Quando si passa alla progettazione di uno stampo progressivo è necessario che i punzoni, oltre ad essere paralleli tra di loro, debbano lavorare in modo sincrono.

Gli stampi progressivi sono montati di solito su presse a piccolo tonnellaggio che lavorano ad una velocità che varia dai 60 ai 150 colpi/min. La loro alimentazione può avvenire, come per uno stampo semplice, manualmente o automaticamente: nell'alimentazione automatica è necessario impostare, nel dispositivo di alimentazione, l'avanzamento del materiale del passo per passare da un'operazione a quella successiva.

Alcuni esempi di stampaggio progressivo sono riportati in **Figura 58, Figura 59** .

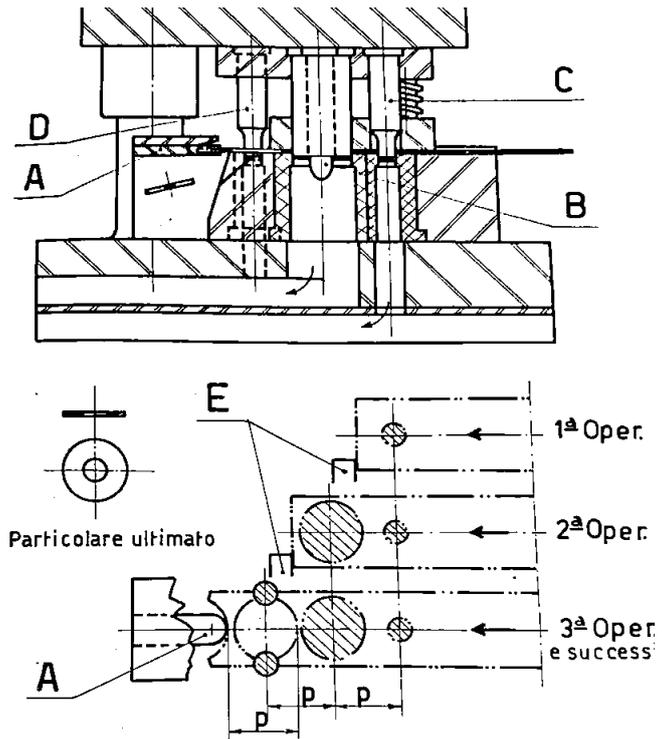


Figura 58: Stampo progressivo di tranciatura: A - perno fisso di riferimento, B - perno mobile di riferimento, C - punzone di foratura, D - punzoni tranciasfrido, E - arresti mobili

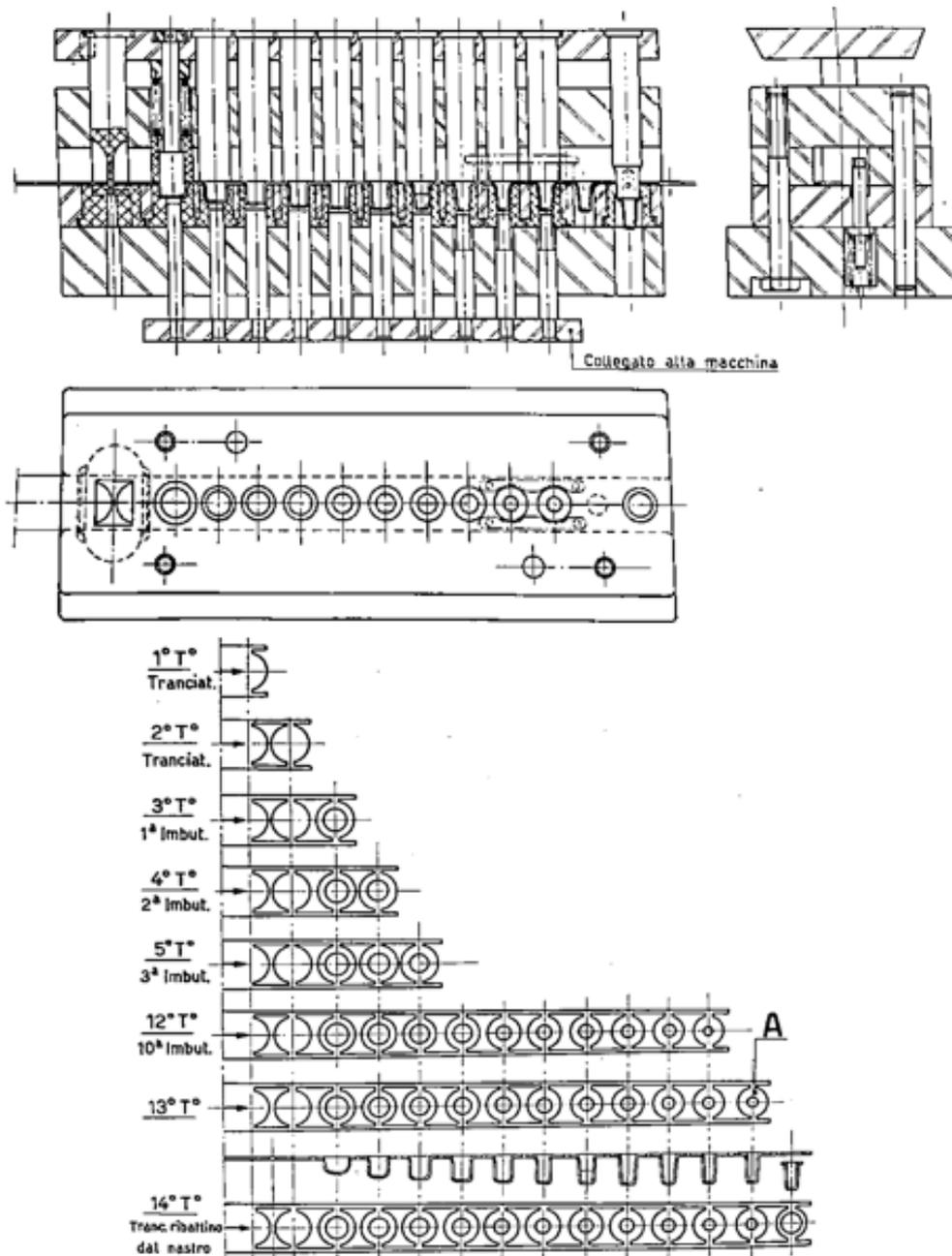


Figura 59: Stampo progressivo di imbutitura e tranciatura

Il ciclo di lavoro in **Figura 58** è costituito da:

- 1) Foratura effettuata con il punzone C;
- 2) Tranciatura effettuata dal punzone centrale dentro al quale è presente il perno B;
- 3) Tranciatura dello sfrido effettuata con i punzoni D.

Il ciclo di lavoro in **Figura 59** è costituito da:

- 1) Tranciatura sfrido;
- 2) Tranciatura sfrido;
- 3) Serie di imbutiture
- 4) Tranciatura del pezzo finale.

Stampi combinati

Gli *stampi combinati* o *a blocco* sono “tutti quegli stampi i quali, pur avendo azione mista come negli stampi progressivi, non hanno gli utensili in allineamento, ma combinati in modo da svolgere un'azione simultanea senza necessità di ripresa”. [3]

In pratica, questi stampi sono utilizzati per effettuare due o più azioni contemporaneamente su una stessa porzione di lamiera, realizzando così in un solo passaggio il pezzo finale.

In **Figura 60** è riportato un esempio di stampo combinato che funziona nel seguente modo:

- 1) il punzone A trancia la lamiera spingendo il pezzo tranciato sulla matrice M;
- 2) il punzone A funge da prelamiera per la successiva operazioni di imbutitura;
- 3) la discesa della slitta aziona il punzone B di imbutitura;
- 4) ultimata l'imbutitura il pezzo cade attraverso la matrice M.

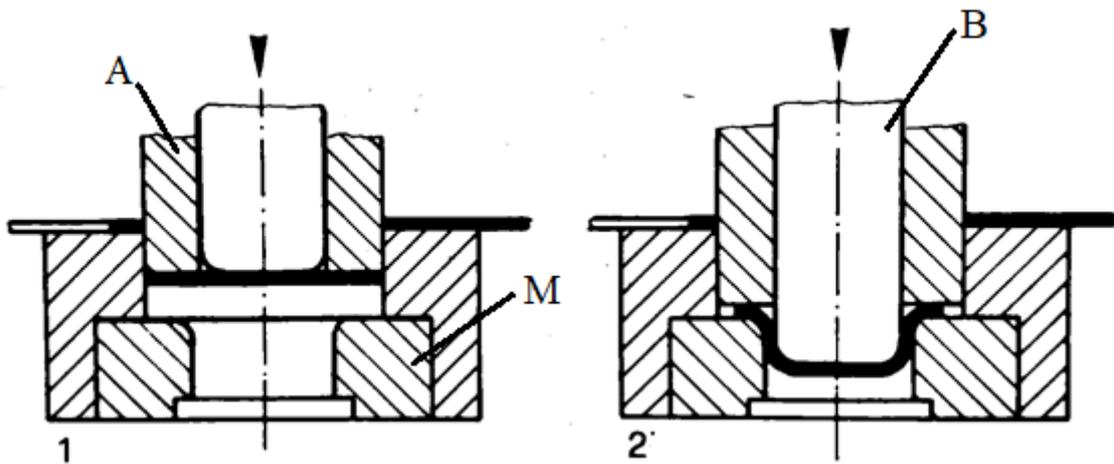


Figura 60: Stampo combinato con due operazioni: 1) tranciatura, 2) imbutitura

Stampi a trasferta

“Quando le lavorazioni si limitano a due o tre passaggi, e cioè quando gli stampi necessari sono quindi due o tre, gli stessi stampi vengono montati in linea sotto il piano mobile di un'unica pressa”. [4]

Questa è la definizione di *stampi a trasferta*; può succedere che il piano mobile di una pressa non abbia dimensioni tali da accogliere tutti gli stampi e quindi in questo caso si può montare uno stampo all'esterno della pressa, come nell'esempio in **Figura 61**.

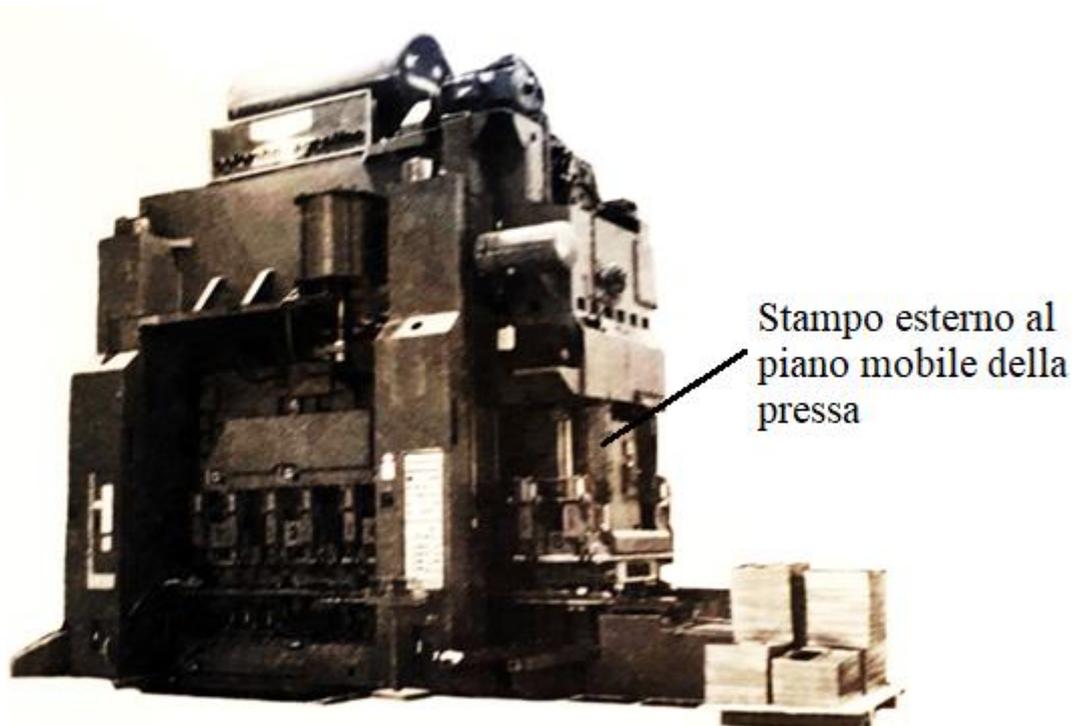


Figura 61: Pressa per stampaggio a trasferta

Ovviamente, questa tipologia di stampaggio è possibile effettuarla in apposite presse per la realizzazione di pezzo di dimensioni e forme varie.

Quando la linea di produzione prevede numerose stazioni di lavorazione, gli stampi possono essere montati su due, tre o più presse. L'avanzamento del materiale e la raccolta dei pezzi finiti avviene in modo automatico tramite dispositivi che funzionano in sincronia con l'apertura della pressa. [4]

1.3 I materiali per lo stampo e per i pezzi stampati

Nelle lavorazioni meccaniche si utilizzano i materiali metallici distinti in:

- metalli
- leghe metalliche.

I metalli sono elementi semplici presenti in natura allo stato solido a temperatura ambiente (tranne il mercurio); le leghe metalliche sono l'unione, allo stato fuso, di due o più metalli o di metalli con uno o più metalloidi (carbonio, silicio, ecc.).

Per le parti dello stampo vengono utilizzati diversi materiali metallici (acciai, ghisa, metalli duri, ecc.) a seconda della geometria del particolare e delle sollecitazioni che si generano. Anche il materiale da lavorare per realizzare il pezzo è, quasi sempre, un materiale metallico scelto in base alle sue caratteristiche e all'utilizzo al quale è destinato il pezzo.

Deformazione del materiale

Lo stampaggio induce nel materiale stampato una deformazione permanente, cioè una deformazione di tipo plastico. “L’attitudine di un materiale ad essere stampato è la sua capacità di resistere alle sollecitazioni a cui è sottoposto senza presentare rotture, incrinature o discontinuità di altro genere”. [4]

Per determinare le caratteristiche del materiale, viene effettuata una prova di trazione su un provino a sezione rettangolare al quale viene applicato un carico su entrambi gli estremi (**Figura 62**).

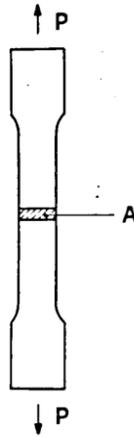


Figura 62: Provino sotto sforzo di trazione: P - carico applicato, A - sezione iniziale del provino scarico

Dall’Eq.(27) otteniamo la tensione (o sforzo o sollecitazione) di trazione per deformazioni molto piccole (si è ancora nel campo elastico):

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (27)$$

In questo tratto vale la legge di Hooke espressa dall’Eq.(28):

$$\sigma = \varepsilon * E \quad (28)$$

$$\varepsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \quad (29)$$

dove:

ε è la deformazione convenzionale;

E è il modulo di elasticità o di Young;

l_0 è la lunghezza iniziale del provino;

l_1 è la lunghezza finale del provino.

Tali relazioni possono essere riportate nel grafico in **Figura 63**:

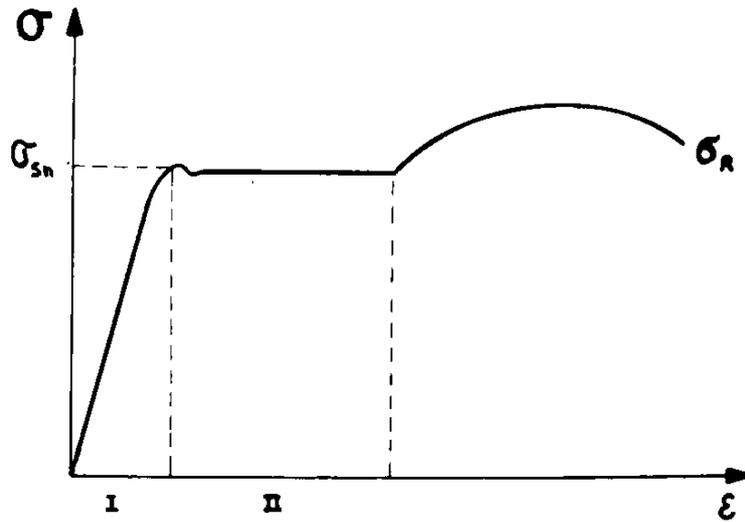


Figura 63: Grafico sforzo-deformazione

Il campo I, che è detto campo di proporzionalità e che arriva fino a σ_{sn} (tensione limite di snervamento), la tensione è proporzionale alla deformazione; il coefficiente di proporzionalità è il modulo di elasticità E .

Nel tratto II il materiale presenta un cedimento plastico dove la tensione è costante all'aumentare della deformazione.

La tensione effettiva in questo tratto sarà data dall'Eq.(30):

$$\sigma_{eff} = \frac{P}{A_0 \frac{l_1}{l_0}} \quad (30)$$

Dove:

A_0 è la sezione effettiva del provino in quell'istante.

La deformazione effettiva quindi sarà pari a:

$$\varepsilon_{eff} = \int_0^{l_1-l_0} \frac{d(l_1-l_0)}{l_0} = \ln \frac{l_1}{l_0} \quad (31)$$

Sostituendo l'Eq.(29) nell'Eq.(31) otteniamo:

$$\varepsilon_{eff} = \ln(1 + \varepsilon) \quad (32)$$

Considerando la deformazione effettiva, il grafico sforzo-deformazione diventa quello in **Figura 64**.

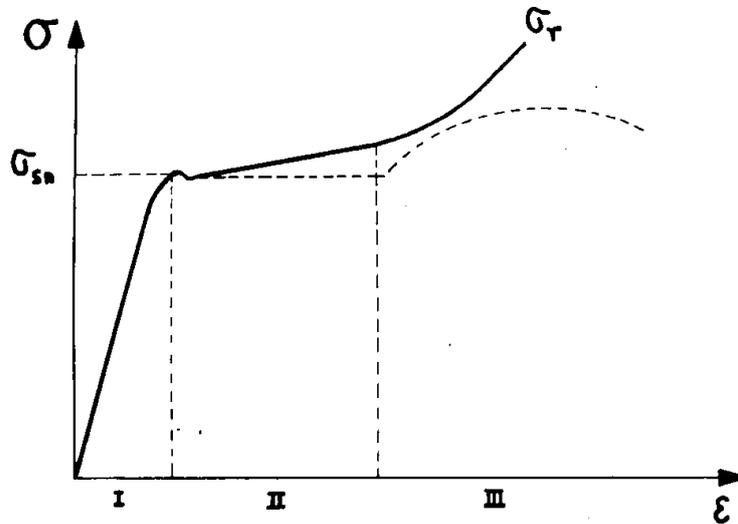


Figura 64: Grafico sforzo-deformazione considerando la ϵ_{eff}

I grafici riportati finora sono validi per acciai con basso tenore di carbonio allo stato ricotto; per acciai con nickel o altri elementi in lega, il diagramma è quello in .

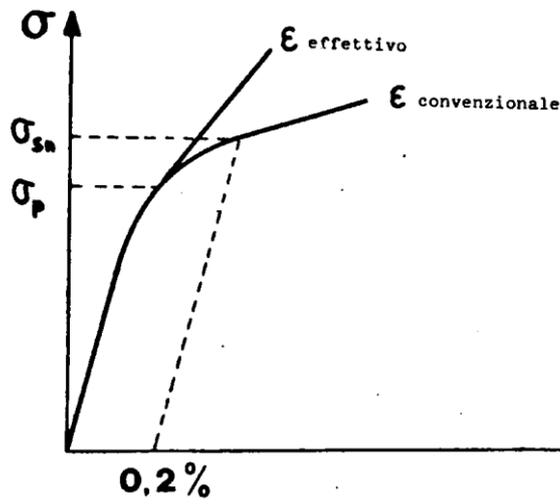


Figura 65: Grafico sforzo-deformazione per acciai contenenti nickel o altri elementi in lega

Analizzando il grafico in **Figura 64**, la legge che regola il tratto II è data dall'Eq.(33):

$$\sigma = K * \epsilon_{eff}^n \quad (33)$$

dove:

n è l'esponente di incrudimento

K è il coefficiente di incrudimento.

Il valore dell'esponente di incrudimento è *“una grandezza caratteristica di un certo materiale e fornisce la misura della capacità di incrudirsi del materiale stesso, cioè di aumentare la propria resistenza durante la deformazione”*. [4]

Nello stampaggio, quindi, viene limitato il fenomeno della strizione e allontanato il rischio di rottura poiché le sollecitazioni tendono ad espandersi in modo uniforme su tutta l'area a disposizione.

Per determinare il valore dell'esponente n , si può utilizzare il grafico in **Figura 66** in coordinate bilogaritmiche del campo plastico, ottenuto eseguendo prove di trazione su un provino di un determinato materiale e calcolando le tensioni e le deformazioni effettive corrispondenti.

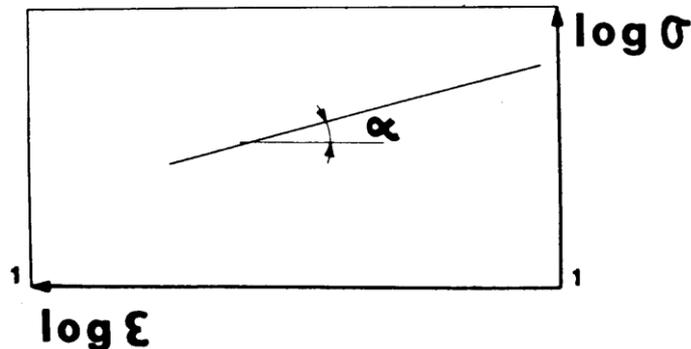


Figura 66: Grafico bilogaritmico per determinare l'esponente di incrudimento

L'esponente n è dato dall'Eq.(34):

$$n = \tan \alpha \quad (34)$$

Dallo stesso grafico si può ricavare il coefficiente di incrudimento K dato dall'intersezione della retta inclinata dell'angolo α e l'ascissa 1:

$$\log K = 2 \quad (35)$$

Un altro coefficiente importante è il coefficiente di anisotropia plastica. Quando si realizza un nastro di lamiera in acciaio attraverso la laminazione delle fibre, queste vengono disposte secondo direzioni preferenziali.

L'anisotropia è dovuta *“all'orientamento dei grani cristallini che determina un differente comportamento del materiale quando viene sottoposto a deformazioni, o più precisamente una resistenza meccanica diversa in certe direzioni piuttosto che in altre”*. [4]

Tale coefficiente si determina sperimentalmente utilizzando un provino rettangolare che è ricavato prelevandolo in tre direzioni diverse rispetto al senso di laminazione:

- 1) in direzione longitudinale;
- 2) in direzione perpendicolare;
- 3) a 45°.

Su tali provini vengono effettuate delle prove di trazione (**Figura 67**).

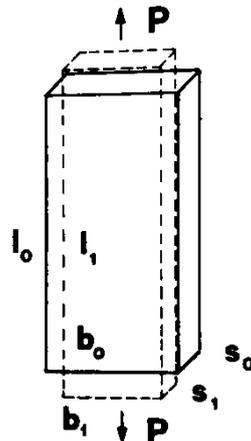


Figura 67: Provino di trazione per determinare il coefficiente di anisotropia plastica

Il coefficiente di anisotropia plastica è dato dall'Eq.(36):

$$r = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_s} \quad (36)$$

dove:

ε_b è la deformazione effettiva nel senso della larghezza

ε_s è la deformazione effettiva nel senso dello spessore.

Supponendo che il volume del provino resti uguale, si possono ricavare le due deformazioni effettive ε_b e ε_s :

$$l_1 b_1 s_1 = l_0 b_0 s_0 \quad \text{cioè} \quad \frac{s_1}{s_0} * \frac{l_1}{l_0} * \frac{b_1}{b_0} = 1$$

Passando ai logaritmi si ha:

$$\ln \frac{s_1}{s_0} + \ln \frac{l_1}{l_0} + \ln \frac{b_1}{b_0} = 0$$

Da cui si ricava:

$$\varepsilon_b = \int_{b_0}^{b_1} \frac{db}{b} = \ln \frac{b_1}{b_0}; \quad \varepsilon_s = \int_{s_0}^{s_1} \frac{ds}{s} = \ln \frac{s_1}{s_0}$$

$$\varepsilon_s + \varepsilon_{eff} + \varepsilon_b = 0$$

Quindi il coefficiente di anisotropia plastica è pari a:

$$r = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_s} = \frac{\ln \frac{b_1}{b_0}}{\ln \frac{s_1}{s_0}} = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_{eff} - \varepsilon_b} = \frac{\ln \frac{b_1}{b_0}}{\ln \frac{l_1}{l_0} - \ln \frac{b_1}{b_0}} \quad (37)$$

Dai tre provini prelevati otteniamo i seguenti valori del coefficiente:

- 1) r_0 coefficiente di anisotropia plastica rispetto alla direzione longitudinale
- 2) r_{90° coefficiente di anisotropia plastica rispetto alla direzione perpendicolare
- 3) r_{45° coefficiente di anisotropia plastica rispetto a 45° .

Così si ottengono il coefficiente di anisotropia normale dato dall'Eq.(38) e il coefficiente di anisotropia planare dato dall'Eq.(39):

$$\bar{r}_m = \frac{r_0 + r_{90^\circ} + r_{45^\circ}}{4} \quad (38)$$

$$\Delta r = \frac{r_0 + r_{90^\circ} + 2r_{45^\circ}}{4} \quad (39)$$

Δr indica di quanto varia r nel piano; mentre \bar{r}_m indica la capacità del materiale di resistenza all'assottigliamento durante la deformazione.

Importante è la determinazione della deformazione del materiale che può essere dedotta praticamente da un operatore. Si incidono dei cerchi sullo sviluppo di partenza dal quale si realizza il pezzo; successivamente si effettua lo stampaggio che causa anche la deformazione dei cerchi impressi. I tipi di deformazione dipendono dall'operazione di stampaggio effettuata; in **Figura 68** sono riportati le possibili ellissi risultati dallo stampaggio:

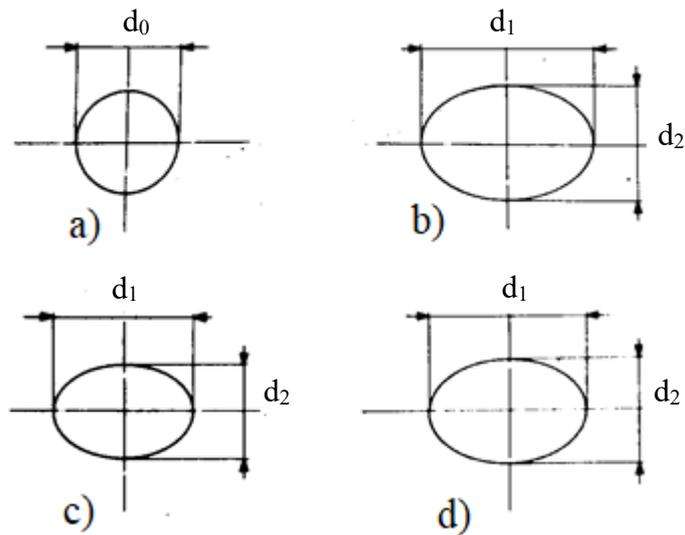


Figura 68: Ellissi risultanti dallo stampaggio: a) cerchio iniziale, b) stiramento $d_1 > d_0$ $d_2 > d_0$, c) imbutitura $d_1 > d_0$ $d_2 < d_0$, d) deformazione piana $d_1 > d_0$ $d_2 = d_0$

Le deformazioni principali si possono ricavare dalle seguenti equazioni:

$$e_1 = \frac{d_1 - d_0}{d_0} * 100$$

$$e_2 = \frac{d_2 - d_0}{d_0} * 100$$

dove:

e_1 è la deformazione principale maggiore (sempre >0);

e_2 è la deformazione principale inferiore (maggiore o minore di 0).

I valori di tali deformazioni si calcolano solo in certi punti caratteristici e, riportando su un diagramma con ascisse e_2 e ordinate e_1 , si ottiene un insieme di punti che rappresentano l'insieme delle deformazioni cui è sottoposto il pezzo (**Figura 69**).

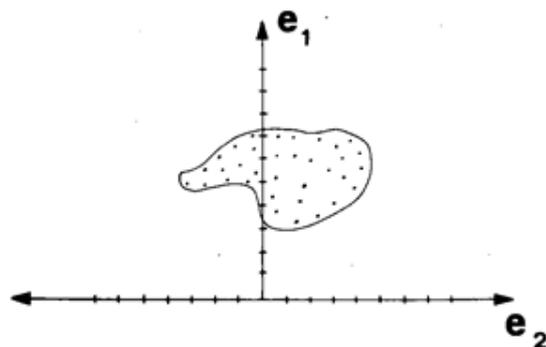


Figura 69: Diagramma delle deformazioni del pezzo

Questo grafico dovrà poi essere confrontato con le curve limite di formabilità proprie del materiale; ovviamente i punti ottenuti devono trovarsi sotto tale curva. Se cadono al di sopra della curva, lo stampista può decidere di aumentare lo spessore della lamiera, utilizzare un materiale maggiormente deformabile o modificare la forma del pezzo.

Acciai

Gli acciai sono leghe di ferro e carbonio con la percentuale di quest'ultimo non superiore al 2%. In base alla percentuale di carbonio, le caratteristiche dell'acciaio cambiano; se questa aumenta, aumentano la durezza e la temprabilità mentre diminuiscono la malleabilità e la duttilità.

Oltre al carbonio, negli acciai sono presenti altri elementi i quali conferiscono proprietà alla lega in base alle loro percentuali. Questi elementi sono cromo, nickel, tungsteno, molibdeno, manganese ecc. Nello specifico: [1]

- il cromo aumenta la durezza e la resistenza alla corrosione;
- il nickel aumenta la resilienza e la resistenza all'usura;
- il manganese aumenta la resistenza all'usura;
- il tungsteno e il molibdeno influiscono sulle caratteristiche degli acciai a caldo.

Trattamenti termici degli acciai

Si dicono trattamenti termici *“tutti quei procedimenti che consentono di modificare la struttura o la composizione chimica di metalli e leghe metalliche, e quindi le loro proprietà meccaniche e tecnologiche, mediante l'azione del calore”*. [1]

I trattamenti che modificano la struttura sono:

- tempra
- rinvenimento
- ricottura
- normalizzazione

I trattamenti che modificano la composizione chimica sono:

- cementazione
- nitrurazione

Per stabilire, per un dato acciaio, la temperatura, il tempo e la velocità di raffreddamento occorrenti per ottenere una data struttura, si fa riferimento ai diagrammi di trasformazione dell'austenite, detti curve TTT (temperatura, tempo, trasformazione) o curve ad S o curve di Bain (**Figura 70, Figura 71**).

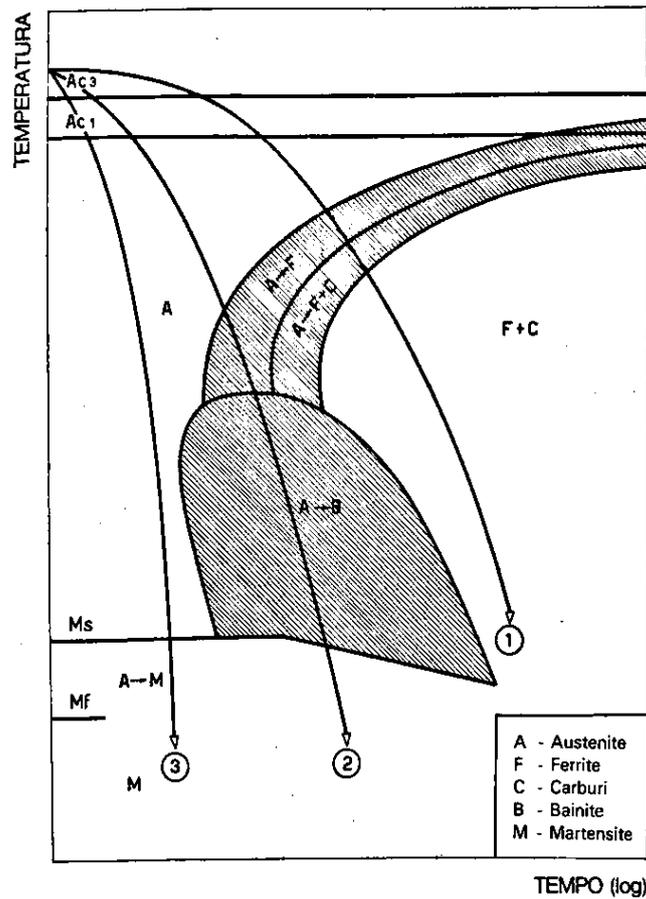


Figura 70: Esempio di curva TTT a raffreddamento continuo per un acciaio mediamente legato

Le tre curve sovrapposte (1,2,3) indicano le tre diverse velocità di raffreddamento. I punti critici sono:

- Ac_1 = temperatura alla quale, durante il riscaldamento, inizia la formazione di austenite;
- Ac_3 = temperatura alla quale, durante il riscaldamento, termina la trasformazione di ferrite in austenite;
- Ms = temperatura alla quale, durante il raffreddamento, inizia la trasformazione di austenite in martensite;
- Mf = temperatura alla quale, durante il raffreddamento, termina la trasformazione di austenite in martensite.

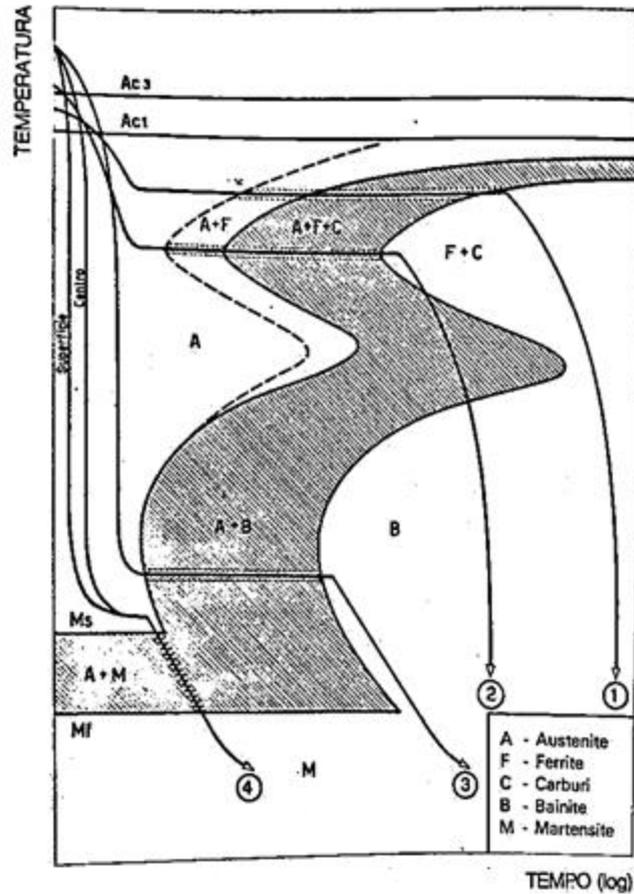


Figura 71: Diagramma TTT di un acciaio mediamente legato con l'indicazione dei trattamenti is termici fondamentali.

I trattamenti is termici fondamentali in **Figura 71**, sono:

- 1) e 2) ricottura isoterma
- 3) bonifica isoterma
- 4) tempra scalare martensitica.

TEMPRA

Un pezzo sottoposto al trattamento di *tempra* viene riscaldato ad una determinata temperatura e successivamente raffreddato bruscamente. In questo caso si ha la formazione di una struttura di grande durezza detta martensite; la quantità di martensite presente nel pezzo va diminuendo quando si passa dalle zone superficiali a quelle più interne. Questo fenomeno di non uniformità di distribuzione della martensite dipende principalmente dalla temprabilità dell'acciaio e dalla drasticità del mezzo refrigerante (tanto è più bassa la temperatura di raffreddamento tanto maggiore sarà la durezza del materiale).

Inoltre, la durezza della martensite dipende dalla quantità di carbonio presente: acciai poveri di carbonio non sono temprabili.

Questo trattamento termico provoca la formazione di tensioni interne che possono portare a deformazione e rotture.

TEMPRA SUPERFICIALE AD INDUZIONE

Nella *tempra superficiale ad induzione* si porta a riscaldamento il materiale avvolgendolo in una bobina percorsa da corrente alternata ad alta tensione; una volta raggiunta la temperatura desiderata, il pezzo viene raffreddato bruscamente.

RINVENIMENTO

Il *rinvenimento* si effettua riscaldando nuovamente il pezzo temprato ad una temperatura inferiore a quella di tempra; una volta riscaldato, viene fatto raffreddare rapidamente. Tale trattamento serve ad eliminare le tensioni interne negli acciai temprati e, inoltre, a recuperare la tenacità del materiale a discapito della durezza che diminuisce.

Nel caso del rinvenimento si fa riferimento al diagramma in **Figura 72** dove si evidenzia la relazione tra la durezza e la temperatura di rinvenimento: maggiore è la temperatura, minore sarà la durezza. Inoltre, il pezzo viene di solito sottoposto alla temperatura di rinvenimento, che dipende dalle dimensioni del pezzo e dal tipo di forno impiegato, per almeno due ore.

La combinazione dei trattamenti di tempra e di rinvenimento prende il nome di *bonifica*. [1]

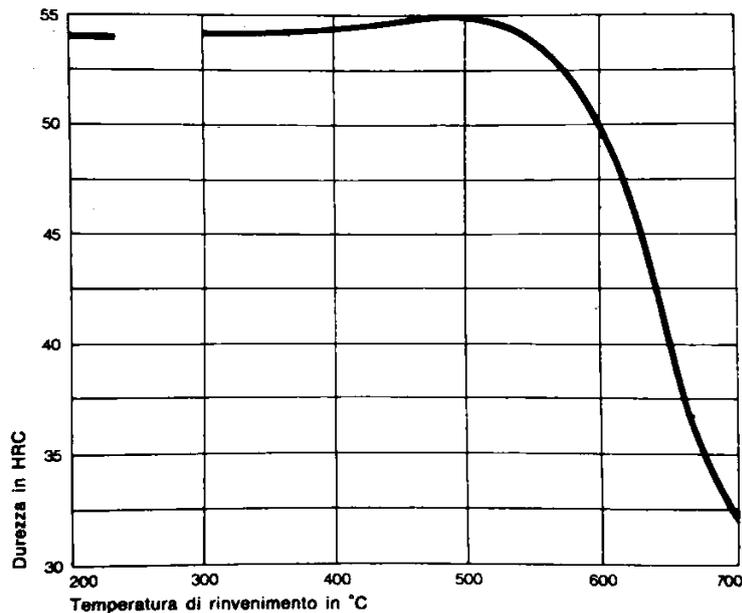


Figura 72: Diagramma di rinvenimento

RICOTTURA

Il trattamento di *ricottura*, effettuato riscaldando un pezzo temprato ad una determinata temperatura e poi facendolo raffreddare lentamente, serve per eliminare o ridurre gli effetti della tempra. Questo trattamento va ad eliminare le tensioni interne e gli incrudimenti rendendo il materiale più lavorabile. Anche le operazioni di imbutitura determinano un aumento delle tensioni interne e della durezza del materiale (incrudimento); per questo motivo è necessario, in taluni casi, ricorrere al trattamento di ricottura tra un passaggio e l'altro nel ciclo di lavorazione di un pezzo.

Dopo la ricottura, i pezzi devono essere disossidati meccanicamente o chimicamente (decapaggio) immergendo il pezzo in un disossidante adatto.

NORMALIZZAZIONE

La *normalizzazione* di un materiale è molto simile alla ricottura: si riscalda il pezzo ad una determinata temperatura e poi lo si lascia raffreddare in aria libera. Questo trattamento, utilizzato spesso prima di una tempra, serve per omogeneizzare ed affinare la struttura dell'acciaio.

CEMENTAZIONE

La *cementazione* è un trattamento che serve per aumentare il tenore di carbonio negli strati superficiali di acciai a basso tenore di carbonio. Questi acciai vengono messi in appositi forni e circondati da sostanze ricche di carbonio, per un determinato tempo e ad una certa temperatura.

A questo trattamento, di solito, segue una tempra che conferisce una durezza superficiale al pezzo trattato; in questo modo il pezzo è duro superficialmente, in quanto è alto il tenore di carbonio, ma conserva la sua tenacità all'interno che è povero di carbonio. I pezzi così ottenuti sono resistenti all'usura e agli urti.

La profondità di cementazione non supera 1 – 1.5 mm.

NITRURAZIONE

La *nitrurazione* serve ad infondere azoto superficialmente in acciai speciali. Le superfici così formate sono resistenti alla corrosione ed alle elevate temperature. Non richiede un trattamento di tempra successivo.

La profondità di nitrurazione non supera il millimetro.

Metalli duri

I metalli duri sono materiali molto duri e resistenti all'usura. Questa tipologia di materiali è ottenuta per sinterizzazione di polveri di carburo di tungsteno e di altri metalli rari. Vengono utilizzati principalmente per la realizzazione di punzoni e matrici.

Alluminio e le sue leghe

L'alluminio è un materiale leggero (pesa circa un terzo dell'acciaio) caratterizzato dall'essere resistente agli agenti atmosferici, un buon conduttore di elettricità e calore. Tali caratteristiche lo rendono adatto alla realizzazione di pezzi stampati. La ricottura si effettua riscaldando:

- in forno:
 - alluminio a 330-380 °C per 120-180 min;
 - duralluminio a 350-400 °C per 100-120 min;
- in bagno di sale:
 - alluminio a 450-500 °C per 30-60 min;
 - duralluminio a 370-420 °C per 30-60 min.

e poi raffreddando lentamente in aria.

Rame e le sue leghe

Il rame è un materiale metallico che ha la caratteristica di essere malleabile, duttile, buon conduttore di calore ed elettricità; viene usato sia allo stato puro che in lega.

L'ottone è una lega di rame e zinco con buone caratteristiche meccaniche; le lamiere di ottone per imbutitura contengono il 63% di rame. [1]

I bronzi sono leghe di rame e stagno dure, resistenti, tenaci e fusibili.

La ricottura viene effettuata in forno:

- rame a 600-650 °C per 30-60 min;
- ottone e bronzo a 550-600 °C per 30-60 min

e poi il successivo raffreddamento in acqua.

Ghise

Le ghise sono leghe di ferro e carbonio con percentuali di carbonio superiori al 2% che le rendono fragili, dure, non duttili, non malleabili e resistenti alla compressione. Alcune di queste leghe hanno caratteristiche simili agli acciai.

Forme del materiale da stampare

Come già spesso accennato, il materiale destinato allo stampaggio può essere recepito sotto forma di nastri, di fogli di lamiera, di tubi a sezione circolare o quadrata, di filo.

Acciai per stampi e utensili e da costruzione

Gli acciai da utensili hanno le designazioni seguite dalle lettere KU. Questi acciai si suddividono normalmente in acciai per lavorazioni a freddo, per lavorazioni a caldo, acciai rapidi e super rapidi. Gli acciai per lo stampaggio a freddo sono riportati in

Tabella 7.

Tabella 7: Acciai da utensili per lavorazioni a freddo

Corrispondenza fra le principali unificazioni				Tempra		Rinvenimento	Impieghi
UNI	AFNOR	DIN	AISI-SAE	°C	Mezzo di tempra	°C	
C 98 KU	(Y 105 V)		CW1-p	760-800	Acqua	150-200	Utensili di forma semplice
58 W Cr 9 KU	55 W C 20	45 WCRV 7	S1	860-920	Olio	200-350	Punzoni e lame per cesoie
58 SiMo 8 KU	(Y 60 SC 7)		S5	860-890	Olio o sale	200-450	Lame da trancia
				840-860	Acqua		Punzoni per fori Estrattori
88 Mn V8 KU	90 MV 8	90 Mn 8	O2	780-820	Olio o sale	150-250	Matrici e punzoni per tranciare, imbutire e piegare
115 W 4 KU	(100 WC 10)	(120 WV 4)	F1	810-830	Olio o acqua	150-250	Punzoni per tranciatrici automatiche. Utensili da imbutitura
X 150 CrMo 12 KU	Z 160 CDV 12	X 155 CrMo V 121	D2	1010-1040	Aria, olio, sale	150-290	Matrici e punzoni ad alto rendimento per la tranciatura fine, normale o di precisione. Lame per cesoie. Stampi per imbutitura
X 210 Cr 13 KU	Z 200 C 12	X 210 Cr 12	D3	960-1000	Olio o sale	150-300	Stampi e punzoni per grandi produzioni

Gli acciai da costruzione si distinguono in acciai da cementazione, da bonifica, da nitrurazione, per tempra superficiale, per molle, per bulloneria. [1]

1.4 La progettazione di uno stampo

Criteri generali

Quando si progetta e si realizza uno stampo bisogna sempre tenere in considerazione molti e diversi fattori. La scelta delle possibili soluzioni dei problemi legati alla produzione di un pezzo deve essere effettuata tenendo in conto le caratteristiche dell'oggetto (forma, dimensioni, materiale), le caratteristiche delle macchine disponibili (corsa, dimensione, tonnellaggio ecc.) e il quantitativo di pezzi da realizzare. Spesso la decisione viene fatta in base a delle prove sperimentali. [1]

Nella progettazione degli stampi sono da evitare spigoli vivi ed è inoltre conveniente utilizzare elementi costruttivi unificati. [1]

I materiali per gli utensili (punzone e matrice) vengono scelti in base alle caratteristiche dell'oggetto da stampare; ad esempio, per pezzi di piccole o medie dimensioni si impiegano di solito punzoni e matrici in acciaio.

I punzoni e le matrici di forma non circolare vengono fatti di solito in acciaio da tempra in olio; mentre quelli di forma complessa ed irregolare, che sono maggiormente soggetti a rischi di incrinature e deformazioni, sono realizzati in acciaio autotemprante o da cementazione.

Per le produzioni di grandi serie è preferibile realizzare gli utensili in acciaio autotemprante o da tempra in olio in quanto, anche se sono più costosi di quelli da tempra in acqua, sono più resistenti all'usura.

Gli organi di collegamento, le guide, gli espulsori, gli arresti ecc. vengono realizzati in acciaio da costruzione. [1]

Negli stampi progressivi, va data molta importanza ai perni d'arresto e di allineamento; una giusta disposizione permette il corretto allineamento della striscia sotto i punzoni di lavoro. [4]

Opportunità di utilizzo dello stampo in base al costo

La maggior parte dei pezzi derivanti dalla lavorazione della lamiera può essere realizzata a mano mediante sistemi e mezzi antiquati e rudimentali. Questo metodo però va in contrasto con quelle che sono le esigenze della produzione in serie che pretende tempi e costi sempre minori.

Per questo motivo una progettazione ottimale di uno stampo e un'ottima stesura del ciclo operativo sono di notevole importanza al fine di ottenere tempi e costi minimi. Infatti, il costo dello stampo, insieme ai costi di manutenzione, vanno poi ad incidere su quello che sarà il costo del singolo pezzo.

La media e grande produzione necessita dell'utilizzo degli stampi mentre per la piccola produzione si può decidere se conviene o meno, in base al quantitativo da produrre, progettare e realizzare lo stampo (per piccola produzione si intende un quantitativo che varia dai 250 ai 1000 pezzi; per media produzione si intende un quantitativo che varia dai 1000 ai 10000 pezzi; per grande produzione si intende un quantitativo oltre i 10000 pezzi). [2]

Per valutare economicamente l'opportunità dell'utilizzo di uno stampo, si utilizza l'Eq.(40):

$$N = \frac{C}{A-B} \quad (40)$$

dove:

N è il numero di pezzi per ammortizzare gli stampi;

C è il costo degli stampi;

A è il costo del pezzo eseguito manualmente;

B è il costo del pezzo realizzato mediante stampaggio.

Quando la richiesta supera il valore calcolato di N allora l'utilizzo dello stampo è sicuramente vantaggiosa specie se si considerano i maggiori scarti che produce una lavorazione manuale piuttosto che una meccanica.

Compilazione del ciclo operativo

La prima fase nella compilazione del ciclo operativo è l'analisi della forma iniziale del materiale da stampare, cioè se si tratta di una striscia, di una lamiera, di un nastro ecc. Questa scelta va effettuata dopo aver steso un breve bilancio economico e dopo aver analizzato le caratteristiche delle macchine a disposizione ed il loro carico di saturazione giornaliero. [2]

La produzione del pezzo, quindi, va fatta sulla macchina più adatta ed utilizzando ogni dispositivo per rendere quanto più possibile semplice lo stampo, per ottenere il massimo rendimento di produzione.

Se per realizzare il pezzo sono necessari numerosi macchinari e/o stampi è possibile costruirlo in due parti che verranno poi successivamente collegate tramite saldatura. Questa scelta è consigliata solo se l'importanza del pezzo non è tale da giustificare l'utilizzo di numerosi macchinari e/o stampi.

Talvolta si può pensare di eliminare un'operazione o rivedere e diminuire la profondità di imbutitura per evitare incrinature, grinze, ricotture ecc. per semplificare il ciclo operativo dello stampaggio.

Una volta scelto il materiale d'impiego e la sua forma, si passa alla scelta della tipologia di stampo (se singolo o multiplo o progressivo) in base alla produzione richiesta, cioè se per piccola o grande serie. Conclusa questa fase, la fase successiva è quella della progettazione dello stampo.

Progetto dello stampo

Per quanto possibile, lo stampo deve essere semplice ed efficace e quindi durante la progettazione bisogna evitare organi inutili, ingombranti e costosi che vanno ad incidere anche sui costi di manutenzione.

Un fattore di notevole importanza è la sicurezza dell'operaio: l'avanzamento del materiale, l'estrazione e il convogliamento dei pezzi finiti devono poter essere sia manuali che automatici, cercando di evitare, quanto più possibile, l'inserimento delle mani fra lo stampo. Un accorgimento va alle zone di convogliamento dei pezzi: non ci deve essere mai un accumulo di pezzi tale da poter recare danno o allo stampo o alla pressa.

L'altezza di chiusura dello stampo, indicata sul disegno, agevola la messa a punto sulla macchina senza spreco di produzioni iniziali difettose.

I fattori che maggiormente incidono sulla durata di uno stampo sono:

- la forma degli utensili e il loro allineamento;
- l'ampiezza d'appoggio degli utensili;
- il parallelismo dei piani dello stampo;
- la qualità dei materiali impiegati (negli utensili devono essere tali da poter consentire numerose affilature prima della loro sostituzione).

Per quanto riguarda i materiali, è sempre preferibile utilizzare acciai allo stato naturale di durezza elevata piuttosto che ricorrere ai trattamenti termici in quanto, molte volte, sono necessarie ulteriori operazioni di rettificazione che comportano scarti e quindi costi in più. È stato dimostrato infatti che uno stampo in lega dura sia più conveniente di uno stampo tradizionale, in quanto, nonostante sia più costoso, ci sono numerosi fattori che vanno a ridurre i tempi di ammortamento. A titolo di esempio, vengono riportati in **Figura 73** i vantaggi di uno stampo in lega dura rispetto ad uno stampo in acciaio con 13% di cromo.

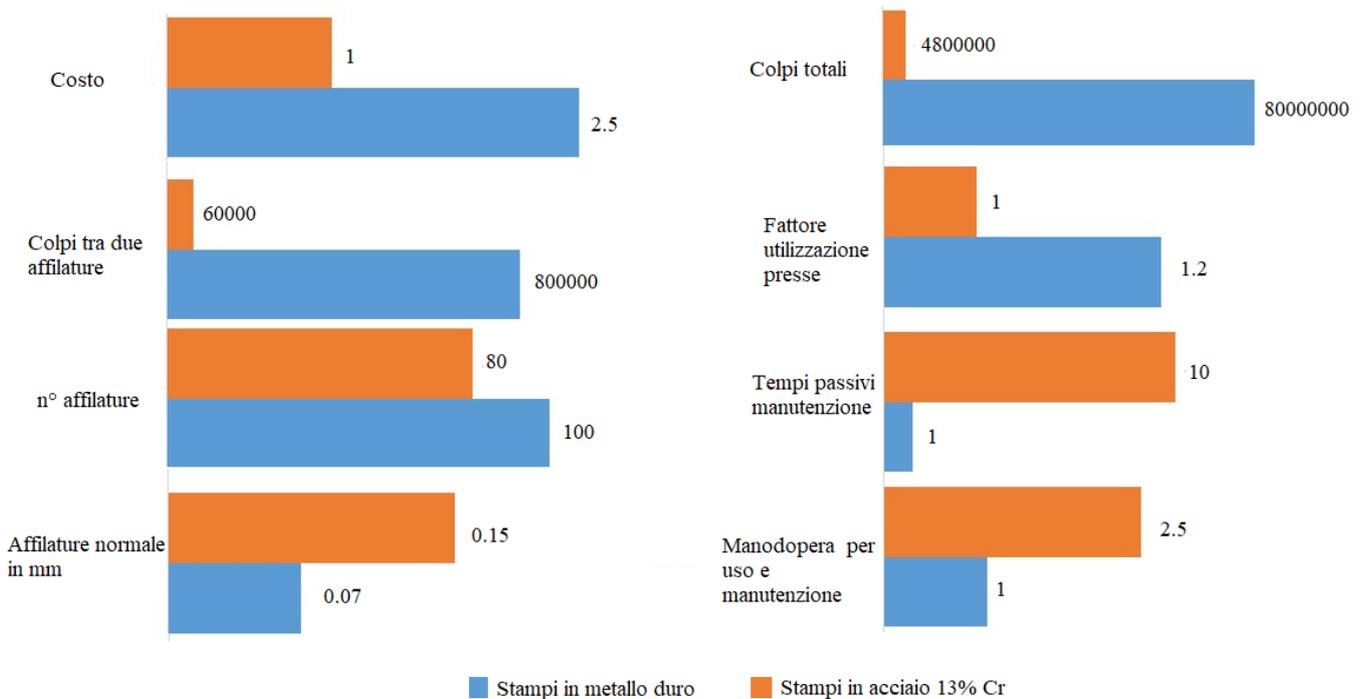


Figura 73: Diagramma dei vantaggi di uno stampo in metallo duro rispetto ad uno tradizionale

Considerando:

- pezzi da tranciare $N = 4800000$;
- colpi della pressa = 150/min;

il tempo macchina sarà pari a:

$$t = \frac{4800000}{150} = 32000 \text{ min} = 532 \text{ h}$$

Considerano ora i colpi tra due affilature degli utensili otteniamo:

$$\frac{4800000}{60000} = 80 \text{ arresti per uno stampo tradizionale;}$$

$$\frac{4800000}{800000} = 6 \text{ arresti per uno stampo a lega dura.}$$

Per ogni affilatura occorre smontare e rimontare lo stampo; ciò comporta la spesa di 1h 30'. Quindi si avranno:

$$80 * 1.5 = 120 \text{ h perse per le affilature in uno stampo tradizionale;}$$

$$6 * 1.5 = 9 \text{ h perse per le affilature in uno stampo a lega dura.}$$

Il rapporto tra i tempi macchina sommati ai tempi passivi per i due tipi di stampi è il seguente:

$$\frac{532 + 120}{532 + 9} = \frac{652}{541} = 1.2$$

Ciò significa che il capitale speso per costruire uno stampo in metallo duro viene ammortizzato in un tempo inferiore al 20%. Se i colpi battuti dalla pressa sono maggiori di 150/min, allora migliora il fattore di utilizzazione della pressa a favore degli stampi a lega dura. [2]

La semplificazione nella progettazione di uno stampo viene data anche dall'impiego di elementi normalizzati.

Prova dello stampo

Giunti alla realizzazione dello stampo, questo dovrà essere provato, realizzando il primo pezzo campione che verrà sottoposto a verifica e collaudo. Date le problematiche che comportano gli stampi, specie quelli di imbutitura, è necessario per il progettista effettuare queste prove affinché possa incrementare la propria esperienza e cercare, in stretta collaborazione con il personale dell'officina, una possibile soluzione a tali problemi.

Tutte le modifiche apportate allo stampo vanno poi riprodotte sul disegno in modo da non avere perdite a causa di ripetizioni di errori che comportano spese inutili.

Manutenzione

La manutenzione di uno stampo è un'operazione molto importante che ne influenza la vita utile. Prima della messa in macchina e prima del ricollocamento nello scaffale, lo stampo va accuratamente ispezionato e, in caso, riparato. La revisione consiste in:

- un'accurata pulizia;

- in una verifica degli utensili ed eventuale riaffilatura o riparazioni del filo tagliente;
- eliminazione di alterazioni che si creano durante lo stampaggio;
- controllo dell'usura dei riferimenti;
- controllo di grippature;
- controllo di eventuali rottura di molle o altri dispositivi elastici;
- controllo di eventuali deformazione di qualche parte dello stampo.

Quando lo stampo viene riposto nello scaffale va opportunamente collocato nella sua posizione che gli è stata data in base al codice di riferimento del pezzo lavorato.

Ogni stampo deve poi essere dotato di apposita scheda nella quale vengono riportati movimenti, modifiche, trasferimenti in altre sedi, riparazioni ecc. [2]

1.5 Le macchine per l'utilizzo di uno stampo: le presse

Come già detto, gli stampi vengono montati su apposite macchine per poter essere utilizzati; queste macchine sono dette *presse*. Si tratta di “*macchine che sviluppano una forza, ed in cui il lavoro di deformazione prodotto, deriva da energia immagazzinata o in un volano in rotazione (presse meccaniche) o sotto forma di pressione idraulica (presse idrauliche)*”. [4]

Ci sono vari fattori che caratterizzano una pressa e che permetterebbero una loro classificazione. Nella definizione di pressa è stata già fatta una distinzione in base al tipo di comando che viene utilizzato per azionare la slitta:

- presse meccaniche, in cui la slitta è mossa da manovellismi e meccanismi vari azionati da un motore elettrico;
- presse idrauliche, in cui la slitta è azionata da un fluido in pressione.

Un'altra classificazione può essere fatta in base al tipo di struttura della macchina; infatti si possono avere presse a “collo di cigno” oppure presse a doppio montante; quest'ultime a loro volta possono distinguono per costruzione modulare o per struttura unica.

Un'ultima caratterizzazione viene fatta in base al numero degli effetti di cui una pressa è dotata: si parla infatti di presse a semplice, doppio o triplo effetto. [4]

Parametri per la scelta della pressa

I parametri da tenere in considerazione nella scelta della pressa sono:

- a) lunghezza della corsa: deve essere stabilita in base alle dimensioni dell'oggetto da stampare. In caso di imbutiture, la corsa della slitta dovrà essere pari a circa 2.5 volte l'altezza massima del pezzo imbutito;
- b) distanza tra slitta e bancale (a slitta abbassata): deve essere scelta una macchina adatta ad alloggiare lo stampo più alto che si prevede di utilizzare;
- c) velocità e numero di colpi al minuto (cadenza);
- d) forza sviluppata.

Presse meccaniche ad eccentrico o a manovella

Sono presse utilizzate in molti settori e la loro versatilità le rendono adatte a lavorazioni di tranciatura, imbutitura, piegatura ecc. rendendole le più diffuse nel settore della lavorazione a freddo della lamiera. [4]

In **Figura 74** è riportato un esploso di una pressa ad eccentrico, dove:

A è la struttura;

B è il bancale;

C è la slitta;

D è l'ingranaggio di trasmissione;

E è la manovella;

F è il freno/frizione;

G è il motore elettrico;

H è il volano.

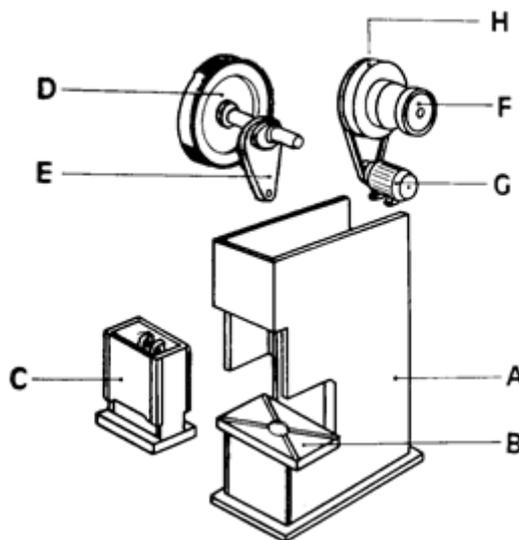


Figura 74: Vista esplosa di una pressa ad eccentrico

Presse a collo di cigno

Una pressa a collo di cigno è una pressa ad un montante di piccole dimensioni che genera forze limitate. Alcune di queste presse sono inclinabili mediante dispositivi che rendono sicuro questo orientamento della macchina. La possibilità di inclinare la macchina permette di rendere più semplice sia l'alimentazione automatica dei pezzi che lo scarico dei pezzi finiti. In **Figura 75** un esempio di pressa a collo di cigno.

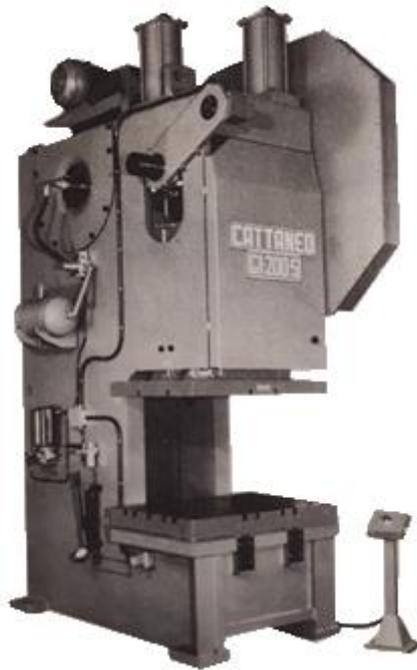


Figura 75: Pressa a “collo di cigno”

Presse a due montanti

Quando la forza sviluppata supera determinati valori o quando è necessario un piano di lavoro di dimensioni abbastanza rilevanti, si utilizzano le presse a due montanti che possiedono una struttura che assicura una maggiore rigidità (**Figura 76**).

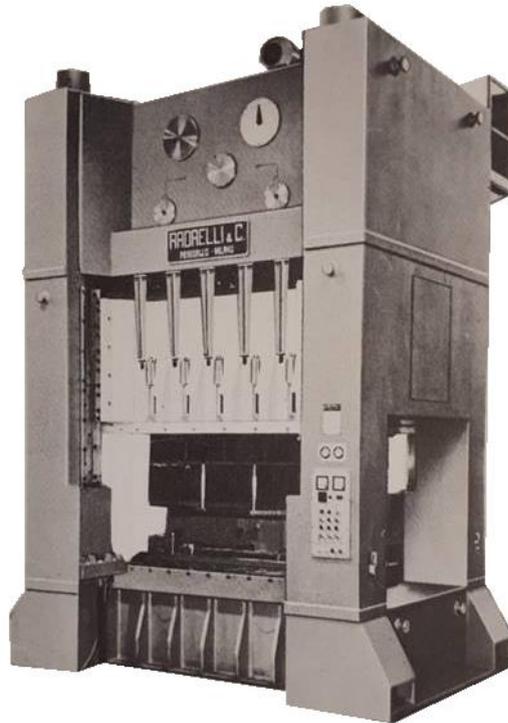


Figura 76: Pressa a due montanti del tipo ad eccentrico

Queste presse si distinguono in due tipi costruttivi:

- 1) presse in cui il piano ha dimensioni massime 1500 x 1000 mm: la struttura può essere costruita in un unico pezzo di acciaio saldata e successivamente trattata termicamente;
- 2) presse in cui il piano ha dimensioni maggiori di 1500 x 1000 mm: la struttura è composta da più elementi di lamiera saldata uniti fra loro con tiranti.

Quest'ultima tipologia è vantaggiosa in quanto permette lo smontaggio veloce di una pressa per il suo trasferimento e anche il successivo rimontaggio.

I montanti laterali fungono in pratica da distanziali tra il basamento e la testata; su questi sono ricavate le guide di scorrimento della slitta e gli spazi per gli asservimenti elettrici e pneumatici. Le guide sono ricoperte di bronzo fosforoso e vengono lubrificate da un sistema di lubrificazione centralizzato e temporizzato. [4]

Pressa a semplice effetto

Le presse a semplice effetto sono presse dotate, di solito, di una sola slitta. Vengono generalmente utilizzate per lavori di tranciatura e anche di piegatura. Alcune di queste sono fornite di cuscino premilamiera sotto il bancale che permette di effettuare imbutiture abbastanza profonde (**Figura 77**).

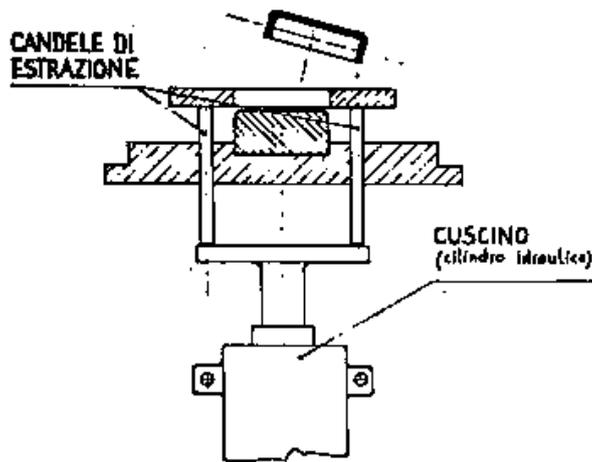


Figura 77: Cuscino prelamiera

Presse a doppio effetto

Nel caso in cui le slitte sono due, separate, indipendenti e agenti una internamente all'altra si parla di presse a doppio effetto. La slitta interna effettua lo stampaggio mentre quella esterna ha la funzione di trattenere il foglio di lamiera ("prelamiera") (Figura 78).

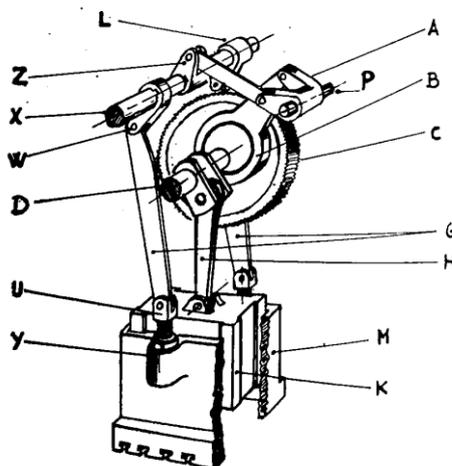


Figura 78: Pressa a doppio effetto

Le due slitte, in Figura 78, sono denominate con le lettere K (slitta per lo stampaggio) e M (slitta prelamiera).

Presse a triplo effetto

Le presse a triplo effetto hanno un doppio sistema di prelamiera; uno azionato dai soliti comandi sopra il piano mobile, l'altro con sistema "a cuscino" situato nella parte inferiore del piano fisso della macchina.

Presse idrauliche

Le presse idrauliche sono macchine autonome e funzionanti ad olio compresso da ogni singola pompa accoppiata e indipendente. Il gruppo motore-pompa è installato nell'incastellatura della pressa. La pompa a portata variabile permette di regolare la velocità di discesa e salita della slitta: a pressione minima o nulla la velocità è massima, invece, a pressione massima la velocità è minima.

Nella fase di stampaggio quindi la slitta scende rapidamente a vuoto senza esercitare nessuna pressione; giunta a contatto con la lamiera, precedentemente posta sul piano dello stampo, inizia lo stampaggio e la pressione aumenta e contemporaneamente diminuisce la velocità. Terminato lo stampaggio il piatto della pressa ritorna verso l'alto ad una velocità superiore in quanto ha bisogno di una pressione che serve solo per vincere il peso dello stampo e del corsoio.

Le presse idrauliche possono essere a semplice effetto, a doppio effetto e a triplo effetto.

Presse transfer

Le presse transfer sono macchine utilizzate per l'utilizzo degli stampi a trasferta; sono quindi presse dotate di piani di grandi dimensioni in quanto devono poter ospitare due, tre o anche quattro stampi singoli.

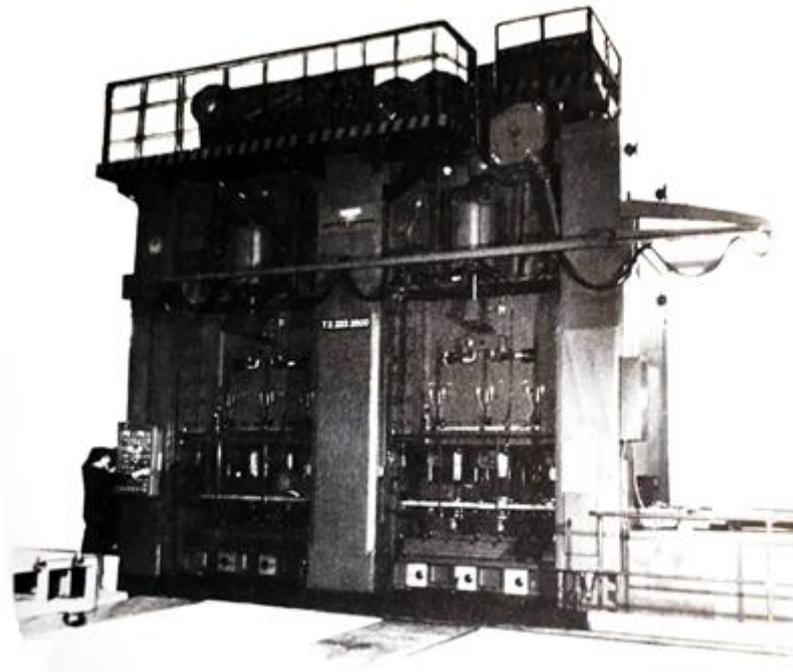


Figura 79: Pressa transfer

2. Studio di uno stampo progressivo

In questo capitolo verrà analizzato un componente in metallo realizzato mediante uno stampo progressivo.

In una prima analisi verrà descritto il componente, la sua geometria, il materiale con il quale è stato realizzato e per cosa è stato realizzato.

Nella seconda parte del capitolo, invece, verrà descritto lo stampo, le sue parti e la loro funzione.

2.1 Componente analizzato

Il componente preso in analisi, denominato *chiave filtri*, è un elemento di piccole dimensioni realizzato in acciaio; la sua geometria consiste in un disco con al centro una concavità esagonale (**Figura 80**).

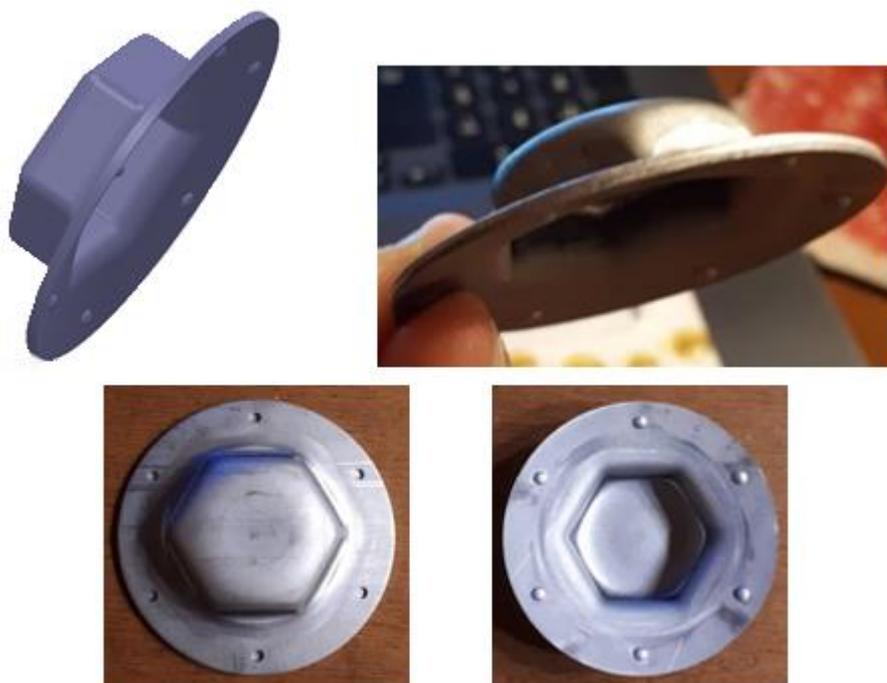


Figura 80: Componente analizzato: in alto a sinistra il disegno CAD, le altre immagini sono del pezzo stampato

Le dimensioni principali del pezzo sono riportate in **Figura 81**:

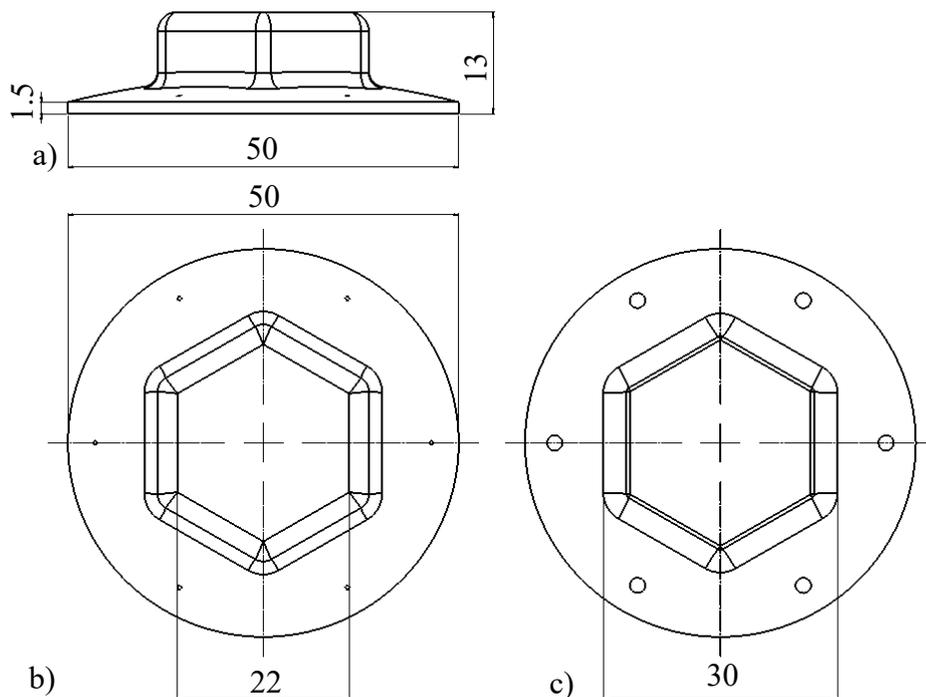


Figura 81: Dimensionamento *chiave filtri*: a) vista superiore, b) vista posteriore, c) vista anteriore

Il materiale, sotto forma di rotoli di lamiera spessa 1.5 mm, è un acciaio per imbutitura e piegatura a freddo Fe P04 secondo normativa UNI EN 10130:91 o DC04 secondo normativa EN 10130:07.

Le caratteristiche di questo materiale sono riportate in **Tabella 8:** [6]

Tabella 8: Caratteristiche tecniche del materiale; t è lo spessore della lamiera in mm

Fe P04 o DC04			
Composizione chimica	C (%) max		0.08
	Mn (%) max		0.40
	P (%) max		0.030
	S (%) max		0.030
Caratteristiche meccaniche	Re (MPa) min-max	$t \leq 0.5$	(140) – 250
		$0.5 \leq t \leq 0.7$	(140) – 230
		$t > 0.7$	(140) – 210
	Rm (MPa) min-max		270 – 350
	A ₈₀ (%) min	$t \leq 0.5$	34
		$0.5 \leq t \leq 0.7$	36
		$t > 0.7$	38
	r min	$t < 2.0$	1.6
$t \geq 2.0$		1.4	
n min		0.180	

Questo componente è stato realizzato per permettere il montaggio e lo smontaggio del filtro dell'olio di una macchina; in pratica la *chiave filtri* viene saldata sulla coppa dell'olio permettendo così l'utilizzo di una chiave fissa o a stella per l'avvitamento e lo svitamento della coppa stessa (**Figura 82**). [7]



Figura 82: Chiave filtri saldata su una coppa del filtro dell'olio

La saldatura è facilitata dalle bugne presenti sulla superficie del componente che si sciolgono al passaggio della corrente in fase di saldatura (**Figura 83**).



Figura 83: 6 bugne per facilitare la saldatura del componente sulla coppa

2.2 Progettazione dello stampo progressivo per il componente analizzato

Come già anticipato nel paragrafo riguardante la progettazione di uno stampo, la scelta di realizzare uno stampo progressivo è stata giustificata dal fatto che il quantitativo da produrre del componente rientrava nella produzione di grande serie.

È da specificare che la progettazione e la realizzazione di tale stampo sono state effettuate basandosi solamente sull'esperienza professionale dello stampista.

Dall'analisi del componente è stato redatto un ciclo operativo composto da quattro operazioni:

- 1) Imbutitura a boccia;
- 2) Imbutitura esagonale;
- 3) Imbutitura per la realizzazione delle bugne superficiali;
- 4) Tranciatura per distaccare il pezzo dalla lamiera.

La prima operazione di imbutitura è necessaria perché non è possibile effettuare direttamente un'imbutitura esagonale in quanto andrebbe a lacerare la lamiera.

Una volta stabilito il ciclo operativo, era indispensabile determinare lo sviluppo del pezzo in lamiera in modo da poter capire quanto materiale fosse necessario per poterlo realizzare. Tale sviluppo è stato determinato mediante prove pratiche utilizzando un campione di stampo singolo azionato manualmente per la sola operazione di imbutitura a boccia. Da tali prove si è ricavato un diametro del disco di partenza pari a 55 mm.

Questo risultato ha permesso anche la determinazione della larghezza della lamiera pari a 65 mm; la scelta della larghezza è in funzione del ciclo operativo in quanto il pezzo, di diametro 50 mm, deve muoversi di pari passo con la lamiera fino a quando non viene staccato da essa mediante la tranciatura finale.

Stabilita la larghezza della lamiera, si impone il passo da far rispettare considerando, oltre alle dimensioni del pezzo, anche le dimensioni della tranciatura per separare le due operazioni consecutive (e quindi i due pezzi che andranno a formarsi). Per ragioni di tempo, tale separazione è data un'asola lunga 55 mm e larga 6 mm. Il passo quindi sarà pari a (**Figura 84**):

$$\text{passo} = D_p + L_a + m = 55 \text{ mm} + 6 \text{ mm} + 6.5 \text{ mm} = 67.5 \text{ mm}$$

dove:

D_p è il diametro di partenza dato dallo sviluppo del componente;

L_a è la larghezza asola;

m è il materiale necessario affinché il pezzo resti attaccato alla lamiera per tutto il ciclo operativo.

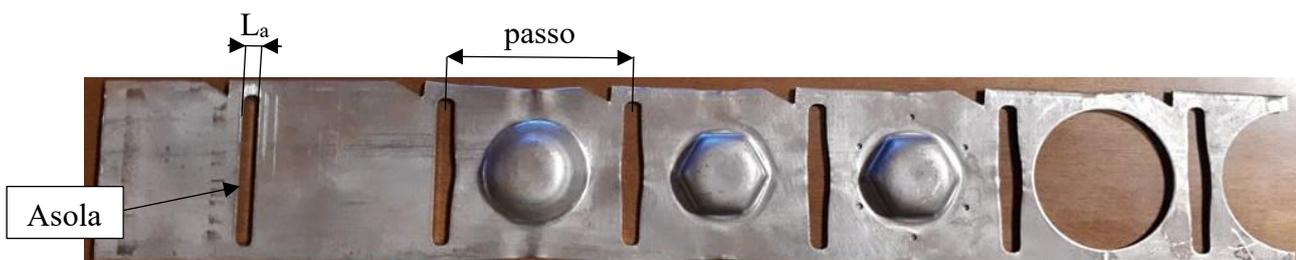


Figura 84: Striscia stampata con indicati asola, larghezza asola e passo

Concluse queste fasi, si passa alla realizzazione dello stampo e delle sue parti (piastre, punzoni, matrici ecc.) e al loro corretto montaggio.

2.3 Realizzazione dello stampo progressivo per il componente realizzato

In **Figura 85** e in **Figura 86** lo stampo compare aperto in modo da poter individuare le varie parti che lo compongono.

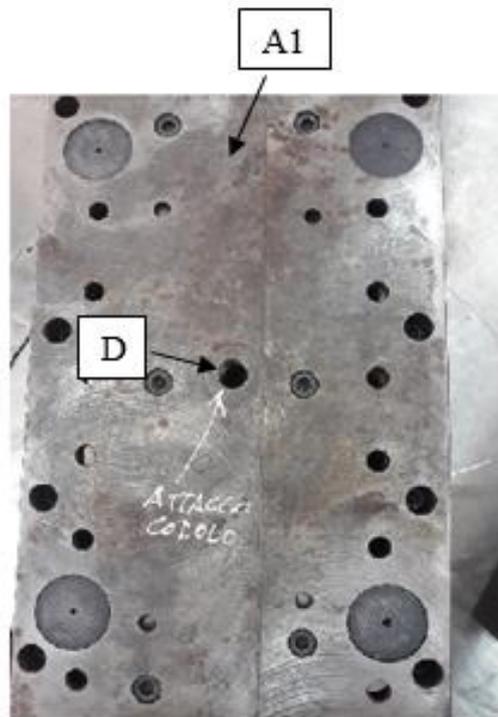


Figura 85: Vista superiore stampo

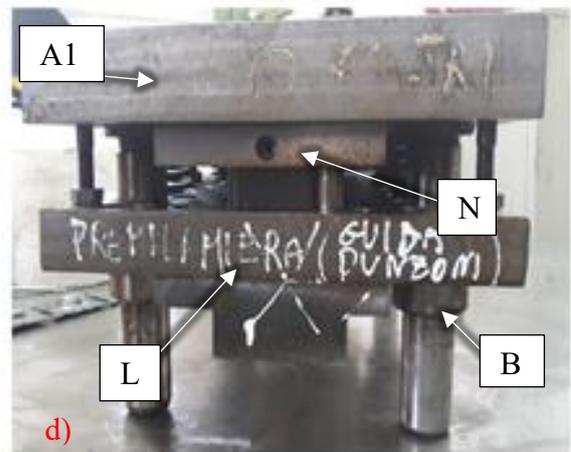
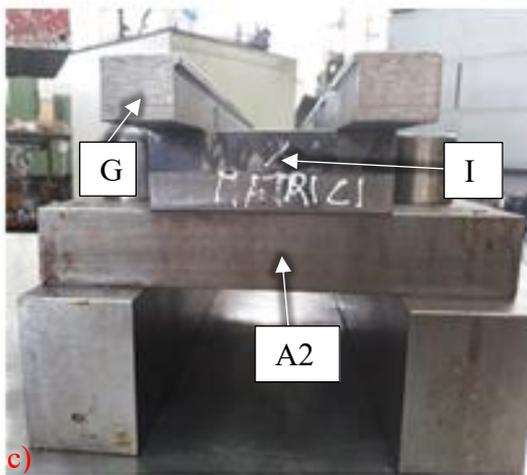
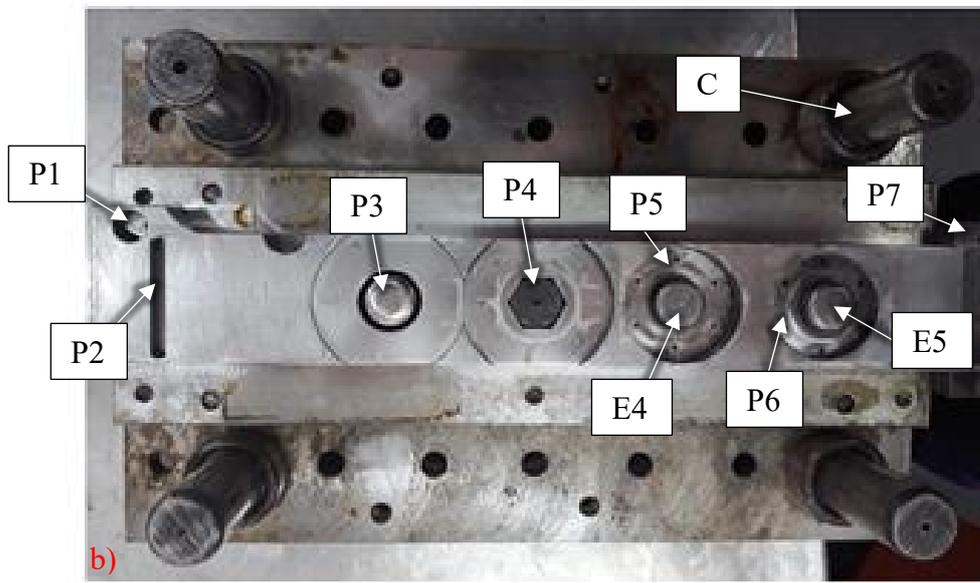
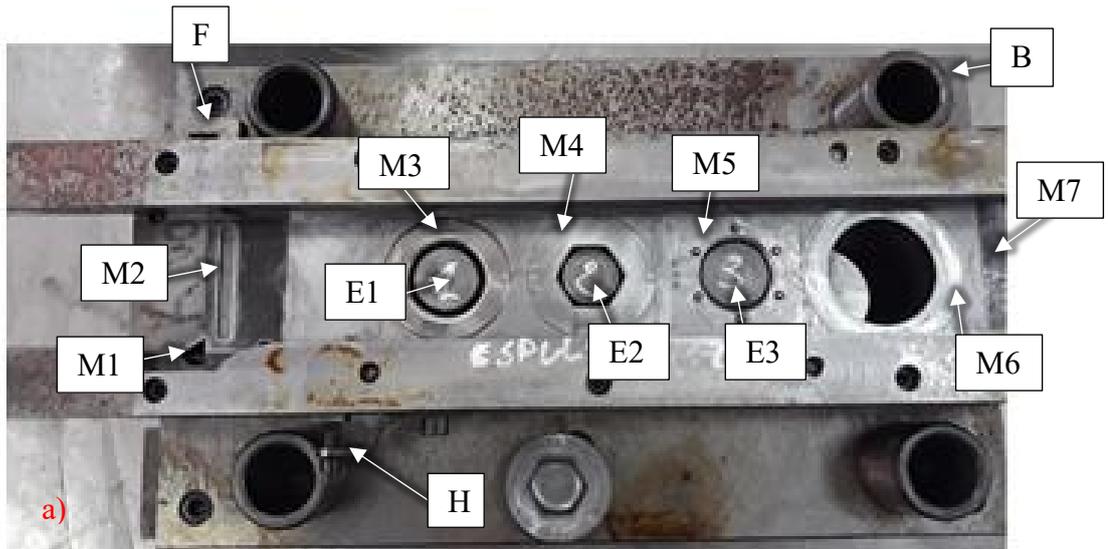


Figura 86: Le parti dello stampo; a) parte fissa, b) parte mobile, c) vista laterale parte fissa, d) vista laterale parte mobile

Da queste immagini si possono individuare i seguenti componenti:

- A1 è la piastra superiore dello stampo;
- D è l'attacco del codolo;
- C sono le colonne guida;
- B sono le bussole per le colonne guida;
- P1 è il punzone segnapasso;
- P2 è il punzone trancia asola;
- P3 è il punzone per imbutitura a boccia;
- P4 è il punzone per imbutitura esagonale;
- P5 è il punzone per bugne;
- P6 è il punzone trancia finale;
- P7 è il punzone trancia sfrido;
- M1 è la matrice segnapasso;
- M2 è la matrice per l'asola;
- M3 è la matrice per l'imbutitura a boccia;
- M4 è la matrice per l'imbutitura esagonale;
- M5 è la matrice per le bugne dove sono presenti sei punzoni fissi per la formazione delle bugne;
- M6 è la matrice per la tranciatura finale;
- M7 è la matrice trancia sfrido;
- E1 è l'espulsore azionato da una molla dopo l'imbutitura a boccia;
- E2 è l'espulsore azionato da una molla dopo l'imbutitura esagonale;
- E3 è l'espulsore azionato da una molla dopo la formazione delle bugne;
- E4 è l'espulsore azionato da una molla per non permette alla lamiera di restare attaccata al punzone dopo la formazione delle bugne;
- E5 è l'espulsore azionato da una molla per non permette alla lamiera di restare attaccata al punzone dopo la tranciatura finale;
- F è il riferimento di inizio striscia;
- H è il riferimento segnapasso;
- G sono le guide a L;
- I è il porta matrici;
- A2 è la piastra inferiore dello stampo;
- L è il premilamiera e guida punzoni;
- N è la piastra porta punzoni.

I materiali utilizzati per la costruzione dei punzoni e delle matrici è un acciaio K100 sottoposto ai trattamenti di tempra e rinvenimento. Le sue caratteristiche sono riportate in **Tabella 9**:

Tabella 9: Caratteristiche tecniche del materiale acciaio K100

K 100 qualità X205Cr12 KU UNI EN 2955 W.1.: 1.2080				
Composizione chimica	C (%) min – max		1.90 – 2.20	
	Mn (%) min – max		0.15 – 0.45	
	P (%) max		0.030	
	S (%) max		0.030	
	Cr (%) min – max		11.00 – 12.00	
	Si (%) min – max		0.10 – 0.40	
Caratteristiche meccaniche	Stato	Ricotto	Saggio Φ (mm)	-
			Durezza HB	240 max
			HRC	-
		Tempra e rinvenimento	Saggio Φ (mm)	10
			Durezza HB	-
			HRC	58 min

L'acciaio K100 è un acciaio indeformabile di elevatissima durezza e resistenza all'usura, all'abrasione e alla compressione, buona resistenza al calore (fino a 200 °C), discreta lavorabilità allo stato ricotto e resistenza alla corrosione atmosferica, modesta resistenza a flessione. È impiegato per filiere, matrici, punzoni e stampi per imbutitura e tranciatura ecc. [8]

Per quanto riguarda gli altri componenti dello stampo, il materiale utilizzato è un acciaio C45 le cui caratteristiche sono riportate in **Tabella 10:** [9]

Tabella 10: Caratteristiche tecniche materiale acciaio C45

C45 UNI EN 10083 W.1.: 1.1191

Composizione chimica	C (%) min – max		0.42 – 0.50				
	Mn (%) min – max		0.50 – 0.80				
	P (%) max		0.030				
	S (%) max		0.035				
	Cr (%) max		0.40				
	Si (%) min – max		0.40				
	Mo (%) max		0.10				
	Ni (%) max		0.40				
	Cr + Ni + Mo (%) max		0.63				
Caratteristiche meccaniche	Stato	Saggio Φ (mm)	Re min (N/mm ²)	Rm min (N/mm ²)	A min (%)	KCU min	Durezza HB
	Bonificato	16	510	730 – 870	14	20	Ricotto lavorabile ≤ 235
	Bonificato	16 – 40	460	690 – 830	15	17.5	Ricotto isothermico 163 – 217
	Bonificato	40 – 100	410	640 – 780	16	15	Ricotto sferoidale 163 – 217
	Normalizzato	16 – 100	335	590 – 740	17	-	-

Di seguito verranno descritti tutti i componenti appartenenti allo stampo.

Piastre

Le due piastre, inferiore e superiore, dello stampo sono due blocchi in acciaio C45 le cui dimensioni sono riportate in **Figura 87** e **Figura 88** rispettivamente:

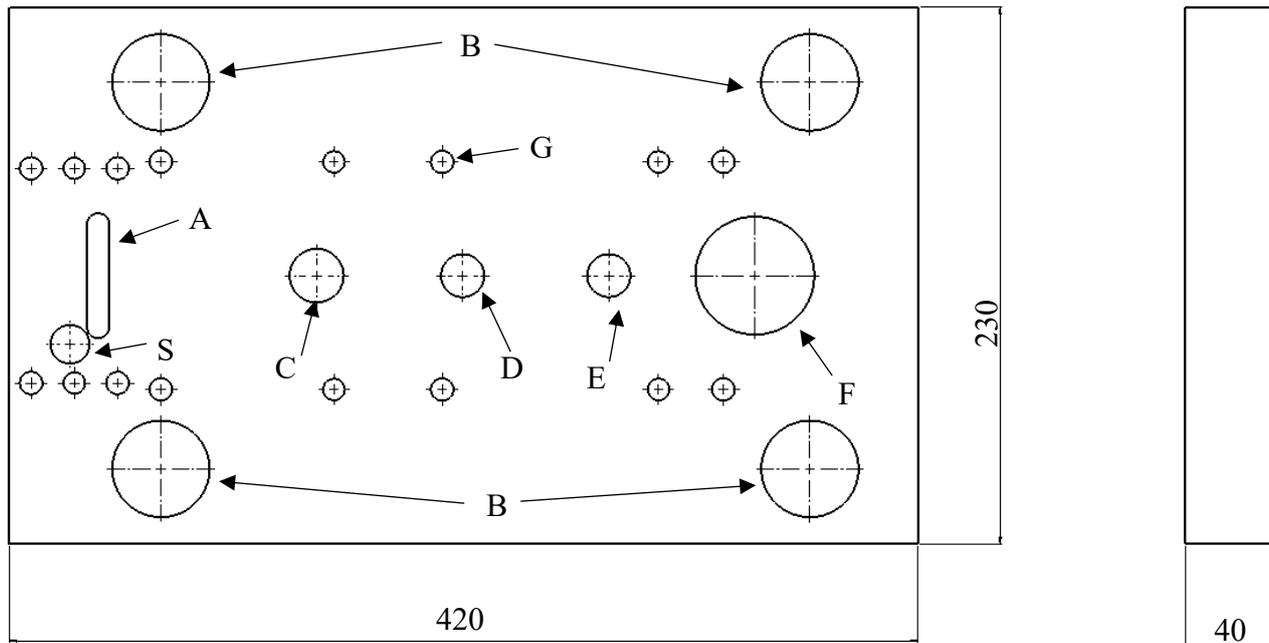


Figura 87: Vista anteriore e laterale della piastra inferiore; A) sede sfrido asola, B) sede bussole, C) sede molla per azionamento estrattore prima imbutitura a boccia, D) sede molla per azionamento estrattore seconda imbutitura esagonale, E) sede molla per azionamento estrattore imbutitura bugne, F) sede trancia finale pezzo, G) sedi organi di collegamento, S) sede sfrido segnappasso

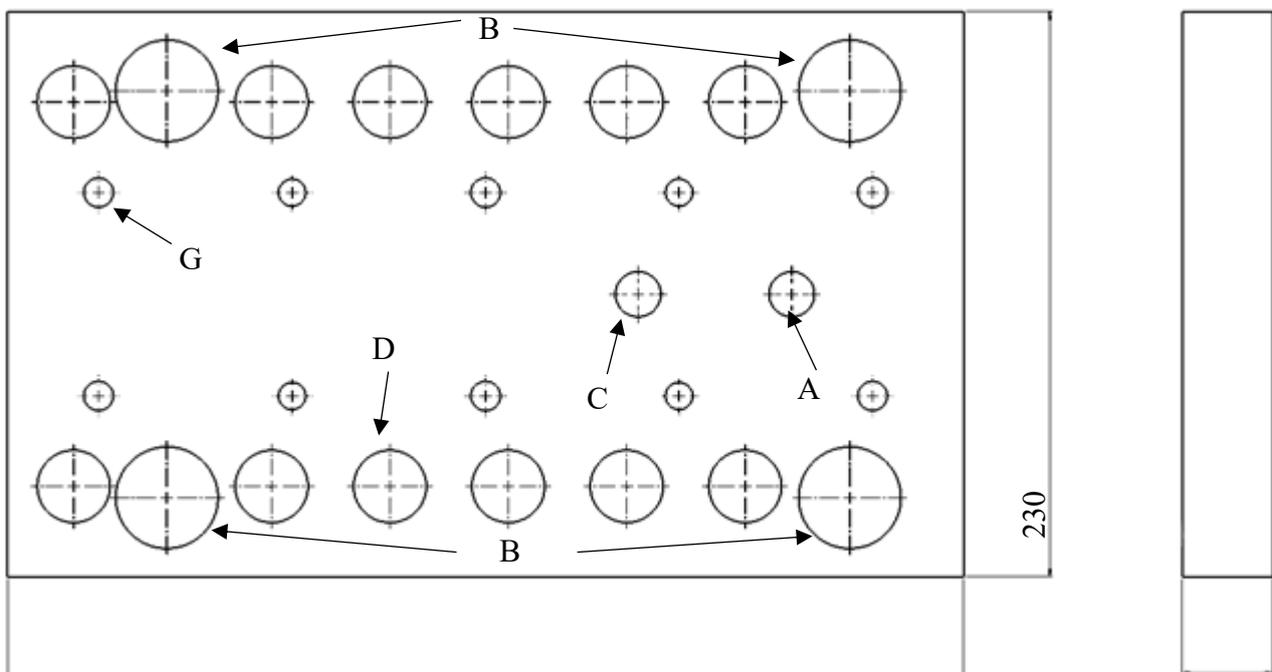


Figura 88: Vista anteriore e laterale della piastra Superiore; A) sede molla per punzone trancia finale, B) sede bussole, C) sede molla per punzone imbutitura bugne, D) sede molle, G) sedi organi di collegamento

Guide

420

40

Gli elementi di guida, bussole e colonne di guida con teste, sono componenti normalizzati acquistati dal produttore Pedrotti S.p.a.[10]; le loro caratteristiche sono riportate in **Tabella 11** e in **Tabella 12**:

Tabella 11: Caratteristiche meccaniche e dimensionali bussola

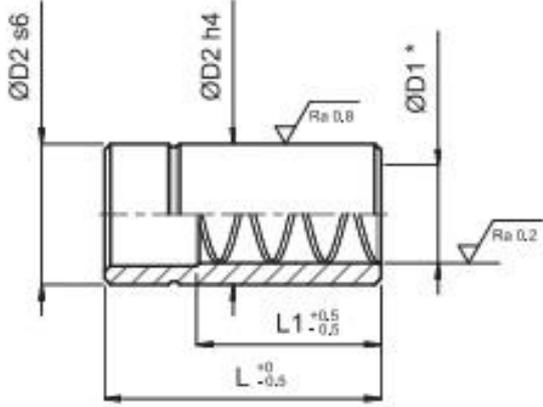
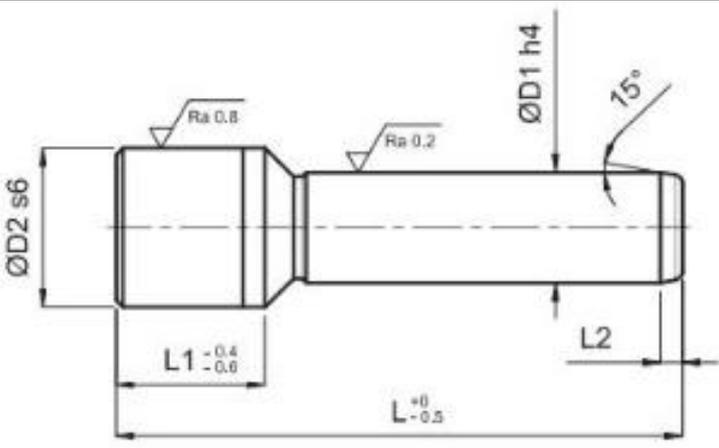
		
Caratteristiche meccaniche	Acciaio	Da cementazione
	Durezza HRC	60 – 62
Caratteristiche dimensionali	D1* (mm)	+0.008 / +0.012
	D1 (mm)	30/31
	D2 (mm)	45
	L (mm)	80
	L1 (mm)	51

Tabella 12: Caratteristiche meccaniche e dimensionali colonne di guida con teste



The technical drawing shows a cylindrical guide column with a diameter of $\varnothing D2$ s6. It features a chamfered end with a diameter of $\varnothing D1$ h4 and a chamfer angle of 15° . The surface finish is specified as Ra 0.8 for the chamfered part and Ra 0.2 for the main body. The length of the chamfered part is $L1$ with a tolerance of $+0.4$ / -0.0 . The length of the main body is $L2$. The total length is L with a tolerance of $+0$ / -0.5 .

Caratteristiche meccaniche	Acciaio	Da cementazione
	Durezza HRC	
Caratteristiche dimensionali	D1 (mm)	30/31
	D2 (mm)	45
	L2 (mm)	8
	L1 (mm)	45
	L (mm)	200

Nello stampo sono presenti quattro colonne guida e otto bussole distribuite nel seguente modo:

- Quattro colonne montate sulla piastra superiore dello stampo;
- Quattro bussole montate sul premilamiera (guida punzoni);
- Quattro bussole montate sulla piastra inferiore dello stampo.

Per un corretto montaggio dello stampo, una volta aperto, sono stati utilizzati due differenti diametri per le colonne guida e di conseguenza anche per le bussole corrispondenti; tre colonne hanno diametro D1 pari a 31 mm, mentre una ha diametro D1 pari a 30 mm.

Punzoni

I punzoni presenti in questo stampo, come già anticipato, sono realizzati in acciaio K100 e sono collegati tutti alla piastra porta punzoni collegata a sua volta alla piastra superiore dello stampo (Figura 89).

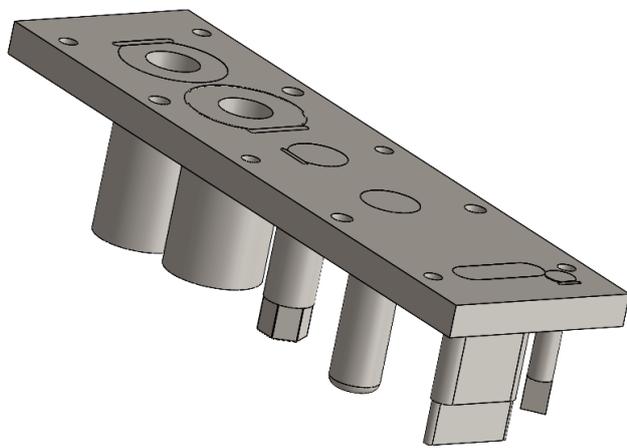


Figura 89: Piastra porta punzoni a sinistra e parte mobile stampo a destra

In Figura 90 è riportato il disegno CAD di tale piastra identificando, oltre alle dimensioni, anche la locazione dei vari punzoni.

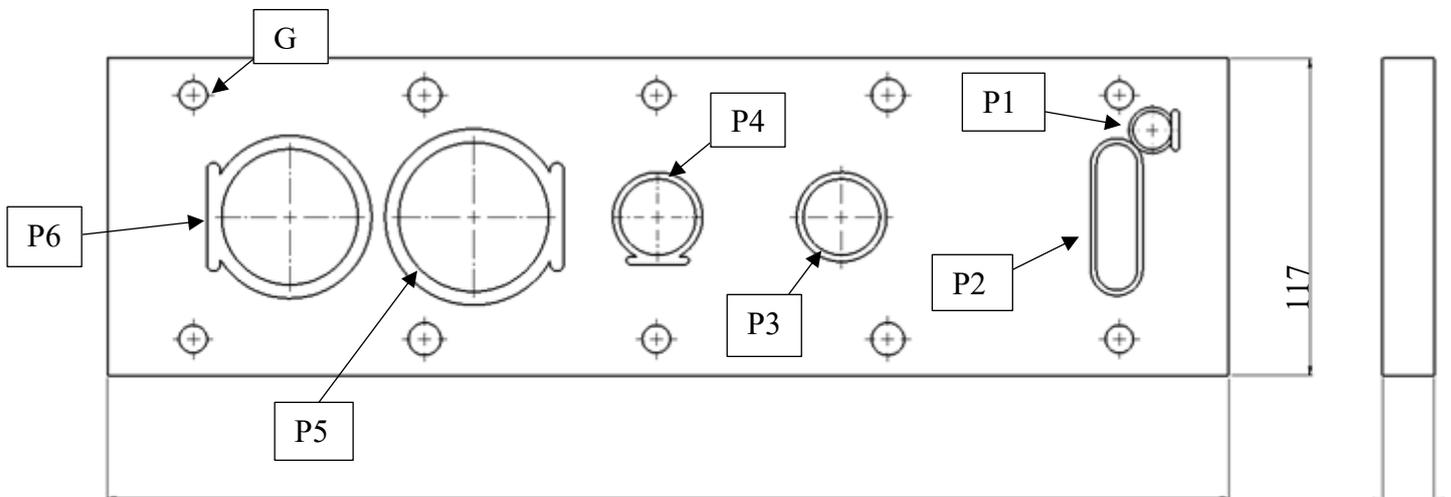


Figura 90: Vista anteriore e laterale della piastra porta punzoni; P1) sede punzone segnapasso, P2) sede punzone asola, P3) sede punzone imbutitura a boccia, P4) sede punzone imbutitura esagonale, P5) sede punzone bugne, P6) sede punzone tranciatura finale, G) sedi per viti a brugola di collegamento con la piastra superiore

Al fine di inserire nel modo corretto e con il giusto orientamento, i punzoni P1, P4, P5 e P6 hanno subito una *fresatura di allineamento*; le sedi ad asola in P1, P4, P5 e P6 servono per inserire una

linguetta prismatica rettificata di acciaio che, in contrasto con la parte fresata della testa del punzone, non permette al punzone di ruotare (**Figura 91**).

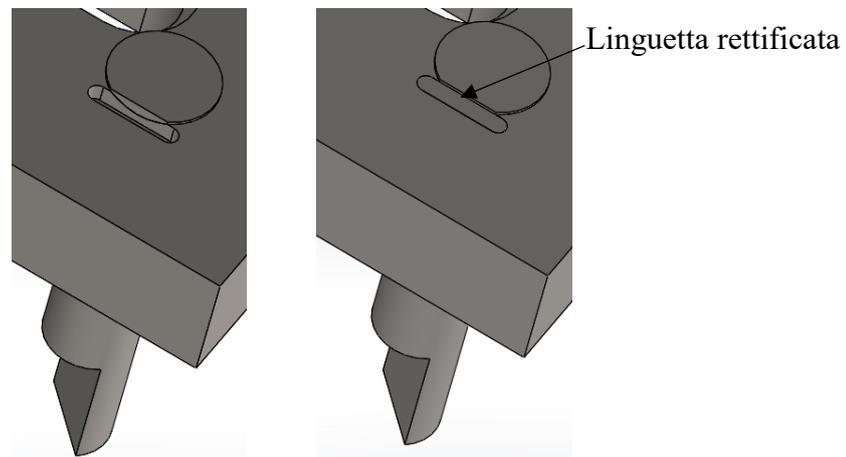


Figura 91: Allineamento punzone mediante linguetta rettificata

Verranno di seguito riportati i vari punzoni dello stampo.

Punzone segnapasso

Il punzone segnapasso è un punzone di trancitura la cui estremità tagliente non è a sezione circolare ma triangolare (**Figura 92**).



Figura 92: CAD punzone segnapasso

In **Figura 93** sono riportate le dimensioni del punzone.

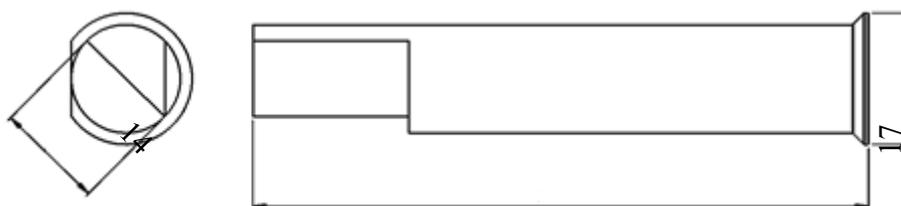


Figura 93: Dimensioni punzone segnapasso

Punzone asola

Anche il punzone per la tranciatura ad asola è un punzone a cui è stata modificata l'estremità tagliente (**Figura 94**).



Figura 94: Punzone trancia asola

In **Figura 95** sono riportate le dimensioni del punzone.

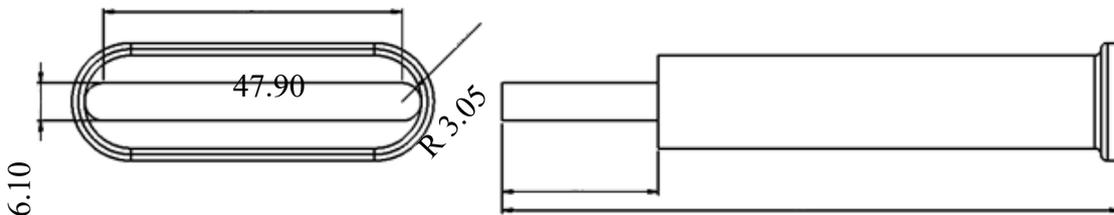


Figura 95: Dimensioni punzone tranciatura asola

Punzone boccia

Il punzone per l'imbutitura a boccia è un semplice punzone a sezione circolare (**Figura 96**).



Figura 96: Punzone imbutitura a boccia

Le dimensioni sono riportate in **Figura 97**.

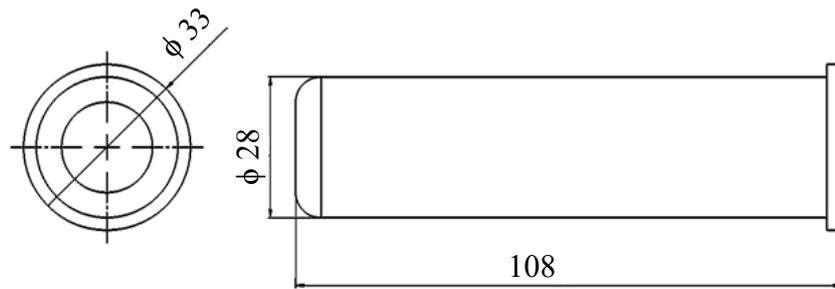


Figura 97: Dimensione punzone imbutitura a boccia

Punzone esagono

Anche in questo caso, il punzone per l'imbutitura esagonale è un punzone cilindrico a cui è stata modificata l'estremità, dandogli una forma a sezione esagonale (**Figura 98**).

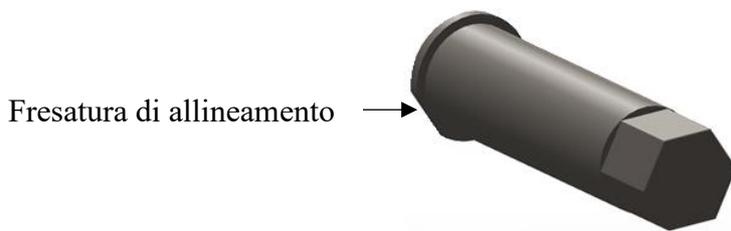


Figura 98: Punzone imbutitura esagonale

Il dimensionamento è riportato in **Figura 99**.

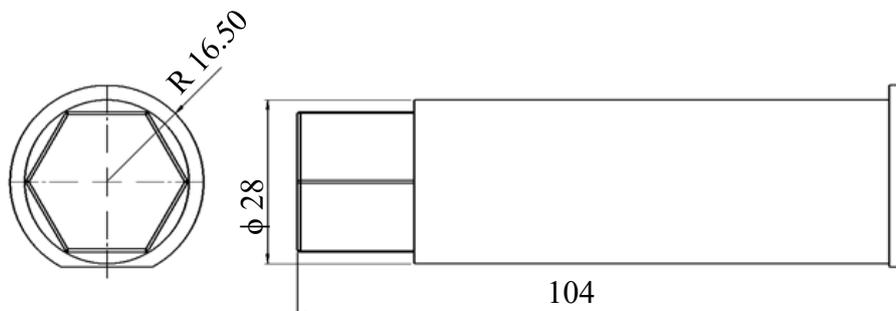


Figura 99: Dimensioni punzone imbutitura esagonale

Punzone bugne

Il punzone per bugne è un cilindro cavo in quanto va ad agire solo sulla parte superficiale del pezzo e non su quella concava già formata con le prime due imbutiture (**Figura 100**).

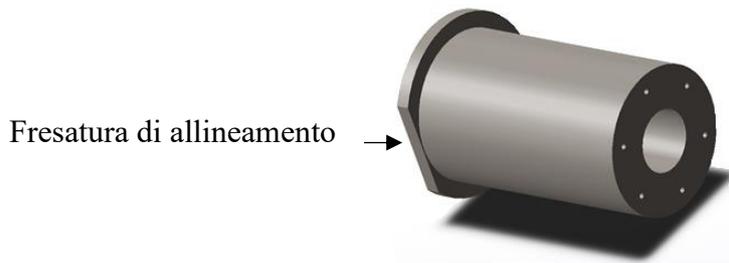


Figura 100: Punzone per bugne

I sei fori presenti fungono da matrici per la formazione delle bugne create dai punzoni fissi montati sulla matrice.

Le dimensioni del punzone sono riportate in **Figura 101**.

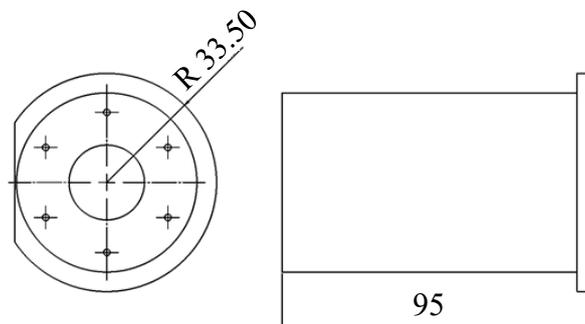


Figura 101: Dimensioni punzone per bugne

Punzone trancia finale

Questo punzone è un punzone cilindrico cavo che presenta sulla superficie a contatto con la lamiera sei fori in corrispondenza delle bugne, formate nell'operazione precedente, per non schiacciarle. Inoltre, la superficie estrema è leggermente inclinata per conferire al pezzo una superficie che aderisca quanto più possibile alla parete della coppa del filtro (**Figura 102**).

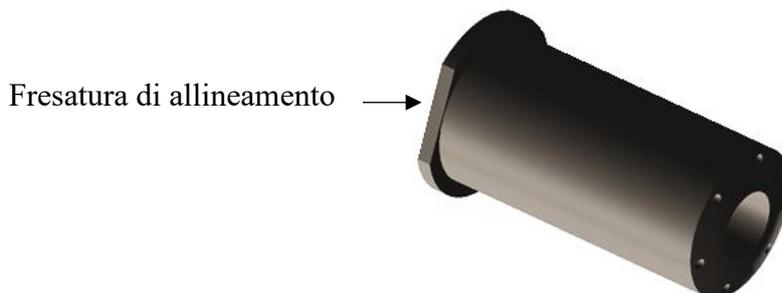


Figura 102: Punzone tranciatura finale

Il dimensionamento è riportato in **Figura 103**.

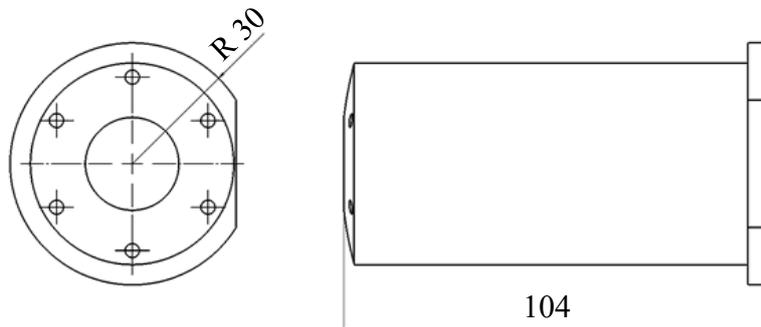


Figura 103: Dimensioni punzone tranciatura finale

La cavità presente nei punzoni per la formazione delle bugne e per la tranciatura finale del pezzo servono per l'inserimento degli espulsori al fine di non permettere alla lamiera di restare attaccata al punzone una volta finita la sua operazione.

Matrici

Le matrici sono realizzate in acciaio K100. Si possono distinguere due blocchi collegati alla piastra inferiore dello stampo: la matrice per i punzoni segnapasso e trancia asola e la piastra porta matrici dove sono collocate le matrici per i restanti punzoni (**Figura 104**).

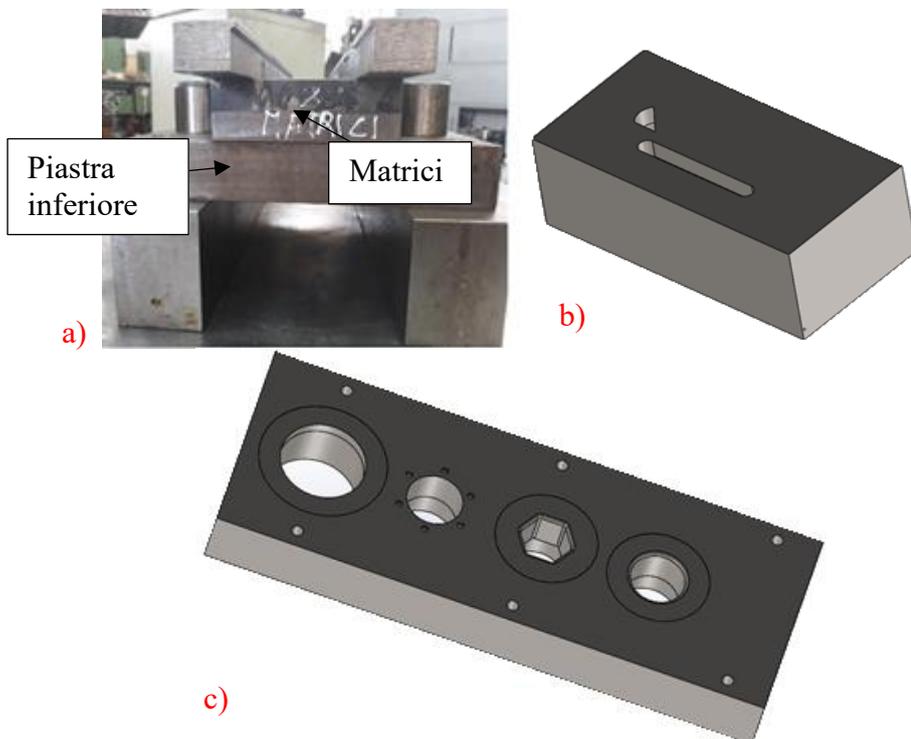


Figura 104: a) parte fissa dello stampo, b) matrice per punzoni segnapasso e trancia asola, c) matrice per punzoni boccia, esagonale, bugne e tranciatura finale

La piastra porta matrici ha le dimensioni riportate in **Figura 105**; mentre la matrice per i punzoni segnapasso e trancia asola ha le dimensioni riportate in **Figura 106**.

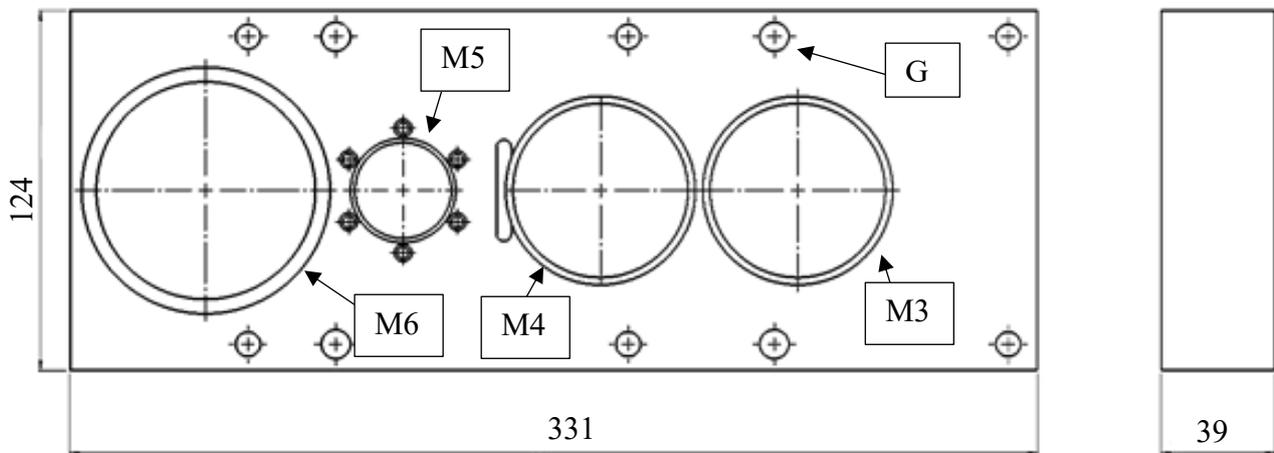


Figura 105: Dimensioni piastra porta matrici; M3) sede matrice boccia, M4) sede matrice esagono, M5) matrice bugne, M6) sede matrice tranciatura finale, G) sedi per viti a brugola di collegamento con la piastra inferiore

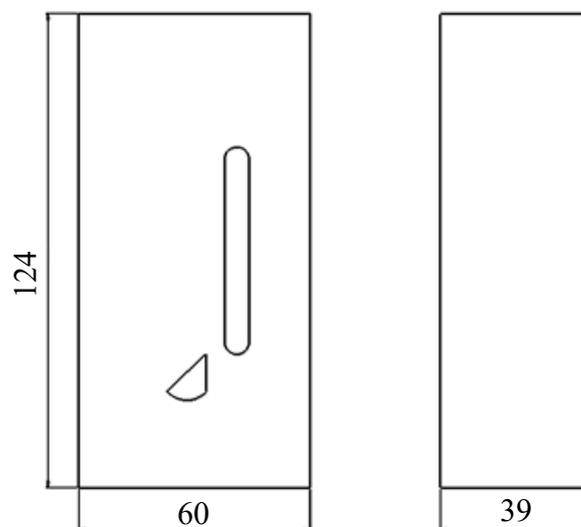


Figura 106: Dimensioni matrice per punzone segnapasso e trancia asola

Anche in questo caso, come per le sedi dei punzoni, è stata eseguita una sede a per l'inserimento di una linguetta prismatica rettificata di acciaio per impedire alla matrice M4, per l'imbutitura esagonale, di ruotare (**Figura 107**).

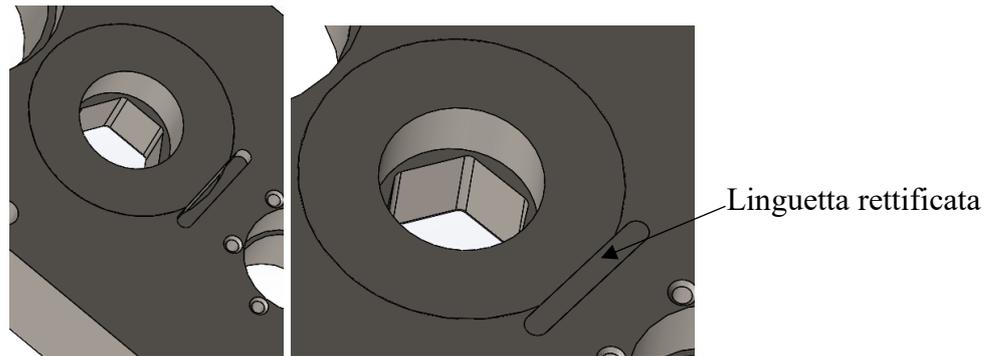


Figura 107: Allineamento matrice

Di seguito verranno riportate le varie matrici presenti nella piastra porta matrici.

Matrice boccia

In **Figura 108** è riportata la matrice per l'imbutitura a boccia con le sue dimensioni principali.

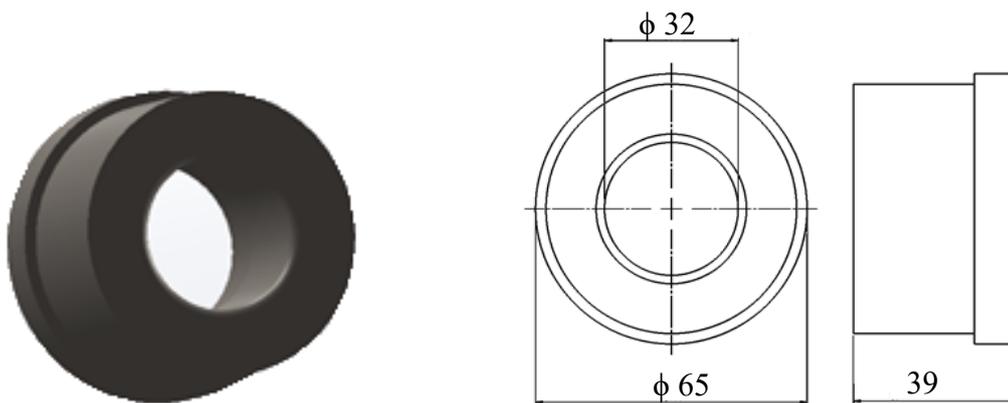


Figura 108: Matrice boccia

Matrice esagonale

In **Figura 109** è riportata la matrice per l'imbutitura esagonale con le sue dimensioni principali.

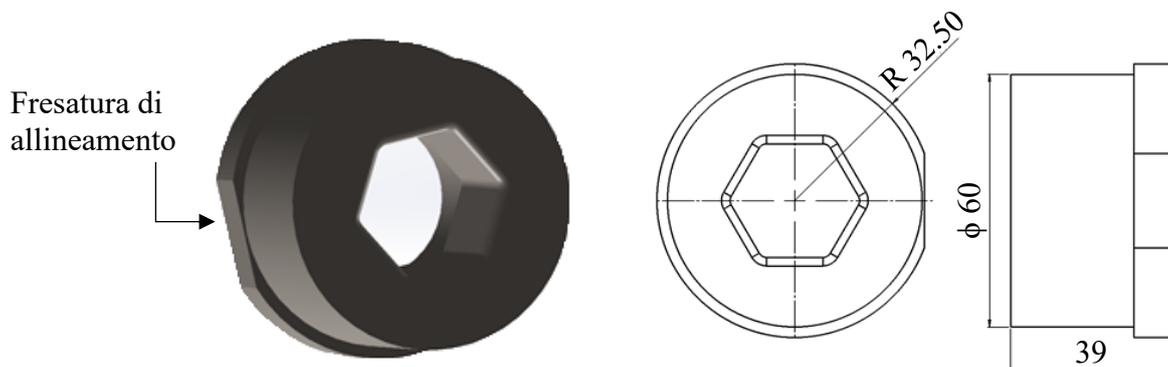


Figura 109: Matrice per imbutitura esagonale

Matrice bugne

In questo caso la piastra porta matrici può essere intesa come una piastra porta punzoni, in quanto su di essa sono stati eseguiti sei fori che sono le sedi dei punzoni di imbutitura per formare le bugne sul pezzo (**Figura 110**). In **Figura 111** è riportato il punzone con le sue dimensioni principali.

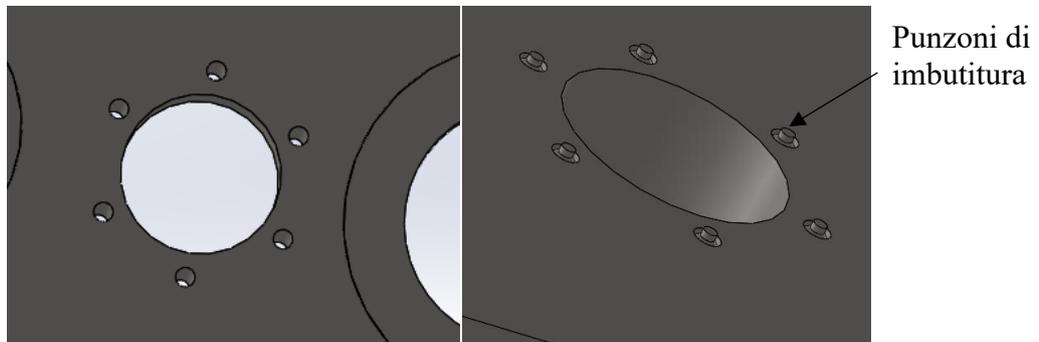


Figura 110: Matrice per bugne

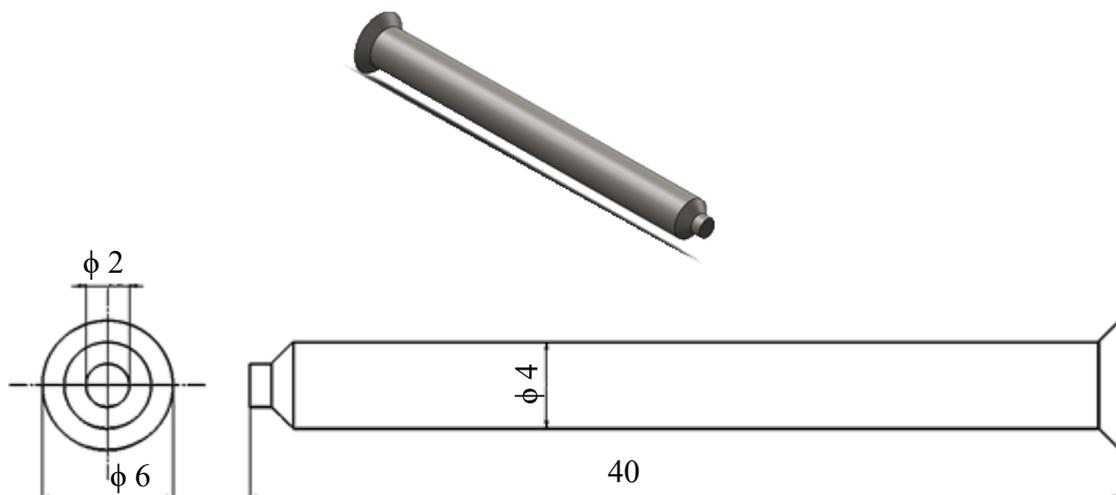


Figura 111: Punzone per bugne

Queste tre matrici (boccia, esagonale e bugne) presentano una cavità che è l'apposita sede per gli espulsori azionati da molla; durante l'azione del punzone la lamiera viene spinta, attraverso la matrice, contro l'espulsore che ne accompagna la discesa fino a fondo corsa del punzone e poi ne permette l'espulsione dalla matrice.

Matrice tranciatura finale

La matrice per la tranciatura finale è un cilindro cavo che permette la tranciatura finale del pezzo dalla lamiera che cade, attraverso essa, negli appositi contenitori di convogliamento (**Figura 112**).

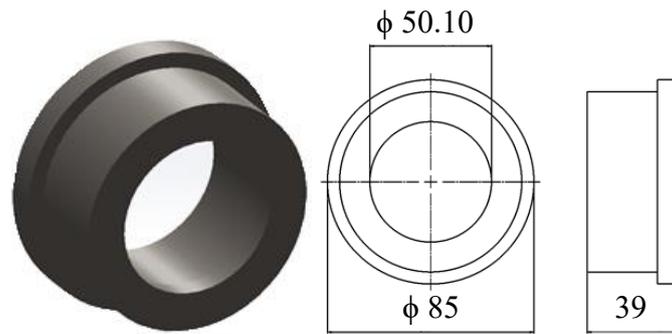


Figura 112: Matrice tranciatura finale

Espulsori

Gli espulsori presenti nello stampo, come già anticipato, sono cinque:

- E1: espulsore montato nella matrice per l'imbutitura a boccia;
- E2: espulsore montato nella matrice per l'imbutitura esagonale;
- E3: espulsore montato nella matrice per la formazione delle bugne;
- E4: espulsore montato nel punzone bugne;
- E5: espulsore montato nel punzone trancia finale.

In **Figura 113** e **Figura 114** sono riportate le piastre porta punzoni e porta matrici complete di punzoni, matrici ed espulsori.

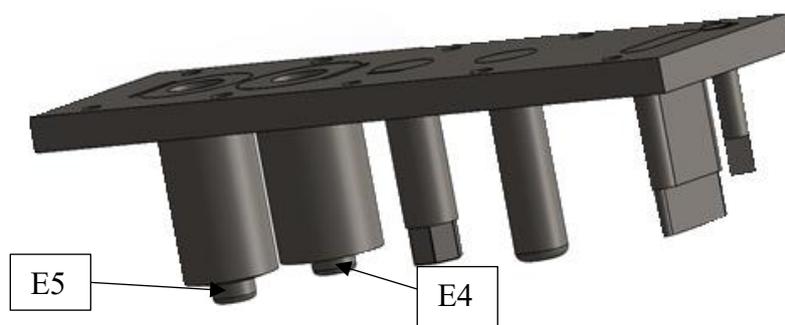


Figura 113: Piastra porta punzoni completa di espulsori

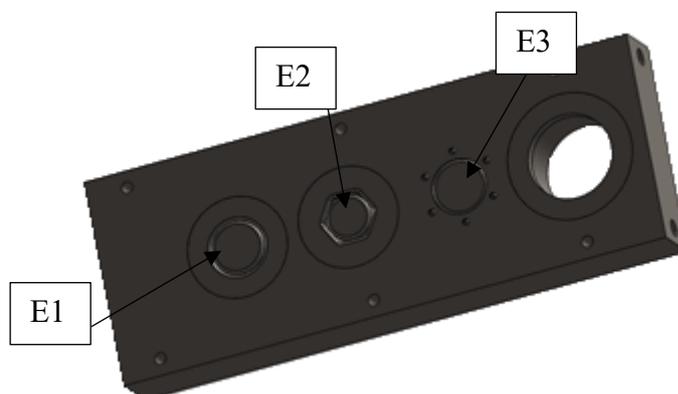
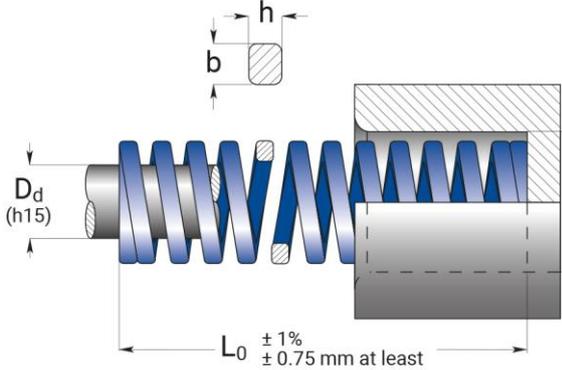


Figura 114: Piastra porta matrici completa di espulsori

Le molle utilizzate per l'azionamento di questi espulsori sono molle a filo ISO 10243:2010 dell'azienda Special Springs S.R.L. del tipo B serie a carico medio con $R = 0.042 \text{ kN/mm}$; in **Tabella 13** sono riportate le loro caratteristiche. [11]

Tabella 13: Caratteristiche molla serie B20

		Serie B20			
		D_H (mm)	D_d (mm)	b x h (mm)	L₀
		20	10	4.1 x 2.4	25/305
	Cicli	mm		N	
 25% L ₀	+3000000	6.3 – 76.3		617 – 465	
 30% L ₀	~ 1500000	7.5 – 91.5		735 – 558	
 33.75% L ₀	300 – 500000	8.4 – 103		827 – 628	
 37.5% L ₀	100 – 200000	9.4 – 114		921 – 698	

Nello specifico, per gli espulsori delle matrici sono state utilizzate molle B20 – 051 dove la seconda cifra della sigla indica il valore di L_0 (51 mm); mentre per gli espulsori nei punzoni sono state utilizzate molle B20 – **(chiedere)**.

Espulsore E1

In **Figura 115** è rappresentato l'estrattore per l'espulsione della lamiera dopo l'imbutitura a boccia.

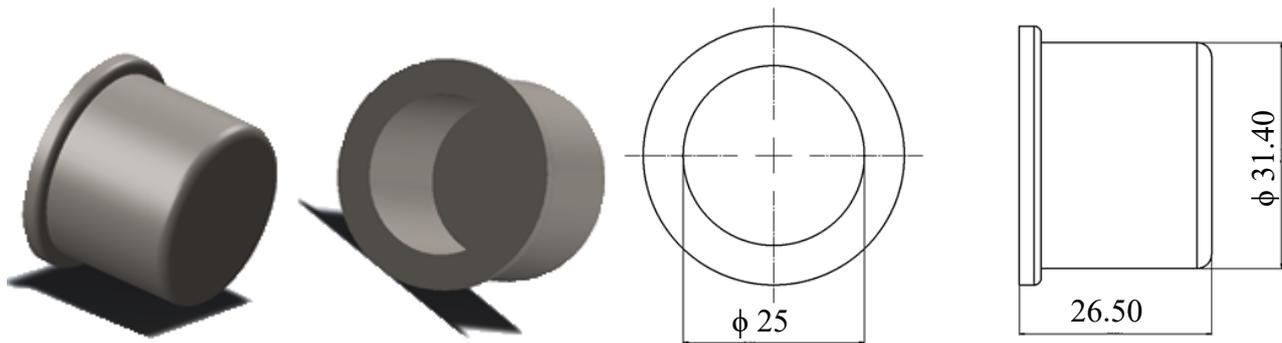


Figura 115: Espulsore boccia

Espulsore E2

In **Figura 116** è rappresentato l'estrattore per l'espulsione della lamiera dopo l'imbutitura esagonale.

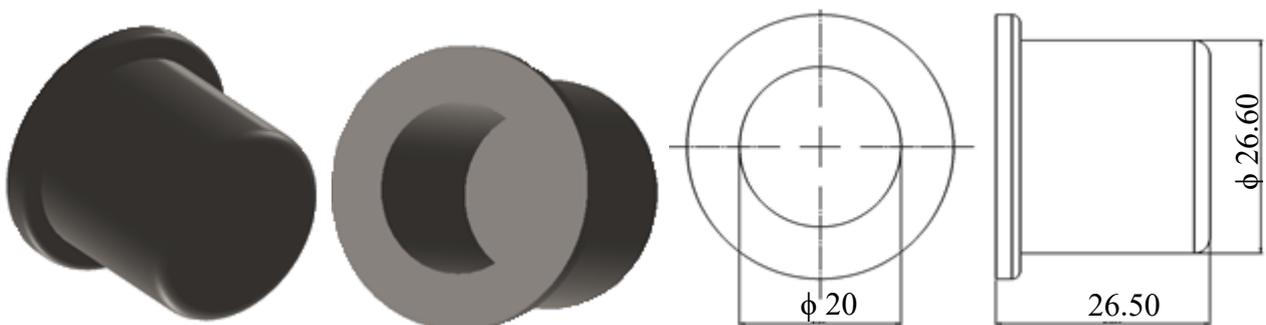


Figura 116: Espulsore dopo imbutitura esagonale

Espulsore E3

In **Figura 117** Figura 116 Figura 115 è rappresentato l'estrattore per l'espulsione della lamiera dopo la formazione delle bugne.

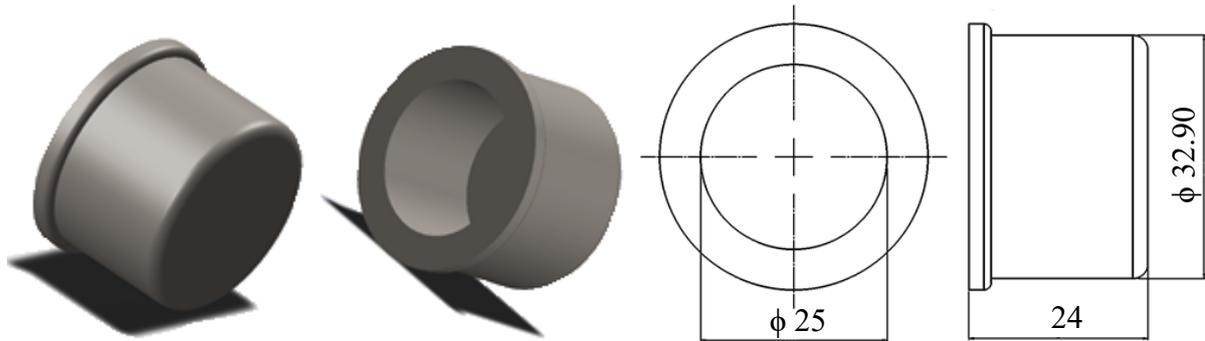


Figura 117: Espulsore dopo imbutitura bugne

Espulsori E4 e E5

In **Figura 118** e in sono rappresentati i due espulsori inseriti nei punzoni. La loro funzione è quella di non far restare aggrappata la lamiera al punzone durante la sua corsa di ritorno. La molla, che agisce su di esso, si contrae durante l'azione del punzone sulla lamiera e si distende durante la risalita del punzone andando ad azionare così l'espulsore.

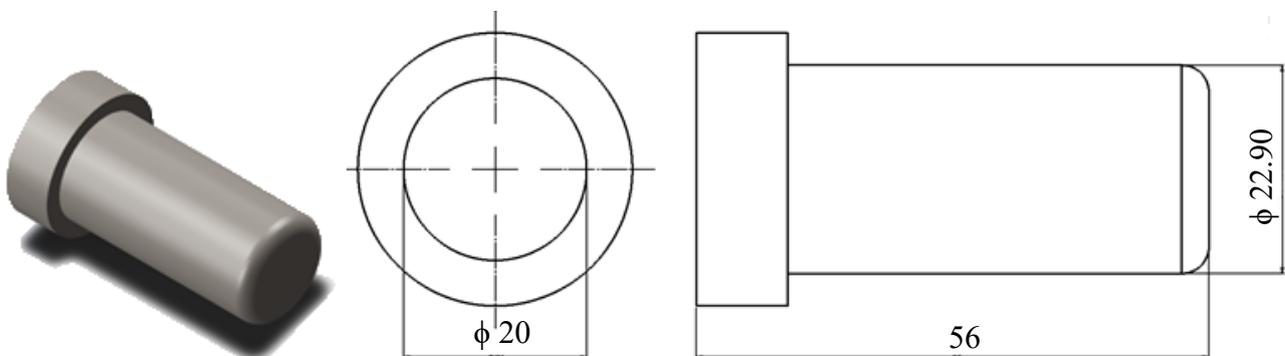


Figura 118: Espulsore punzone bugne

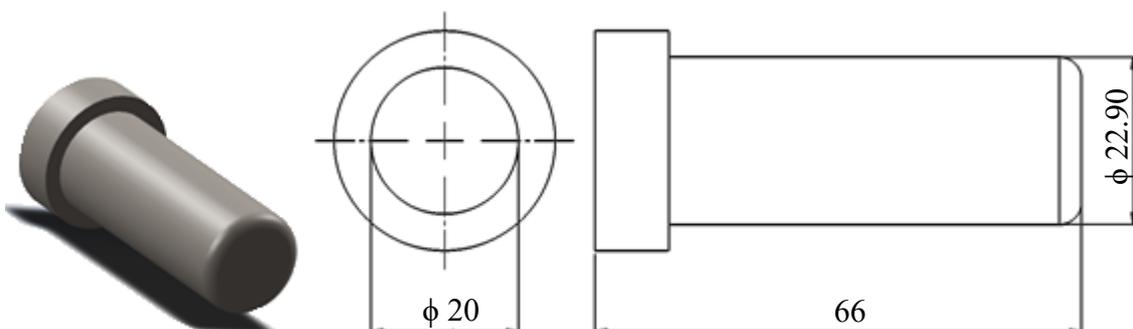


Figura 119: Espulsore punzone trancia finale

Riferimenti

I riferimenti in questo stampo sono due:

- Riferimento di inizio striscia;
- Riferimento segnapasso.

Entrambi i riferimenti sono montati sulle guide di scorrimento ad L ed è presente una molla che riporta i riferimenti nella loro posizione di riposo.

Il riferimento di inizio striscia è da azionare manualmente () per la prima operazione di tranciatura (asola e segnapasso).

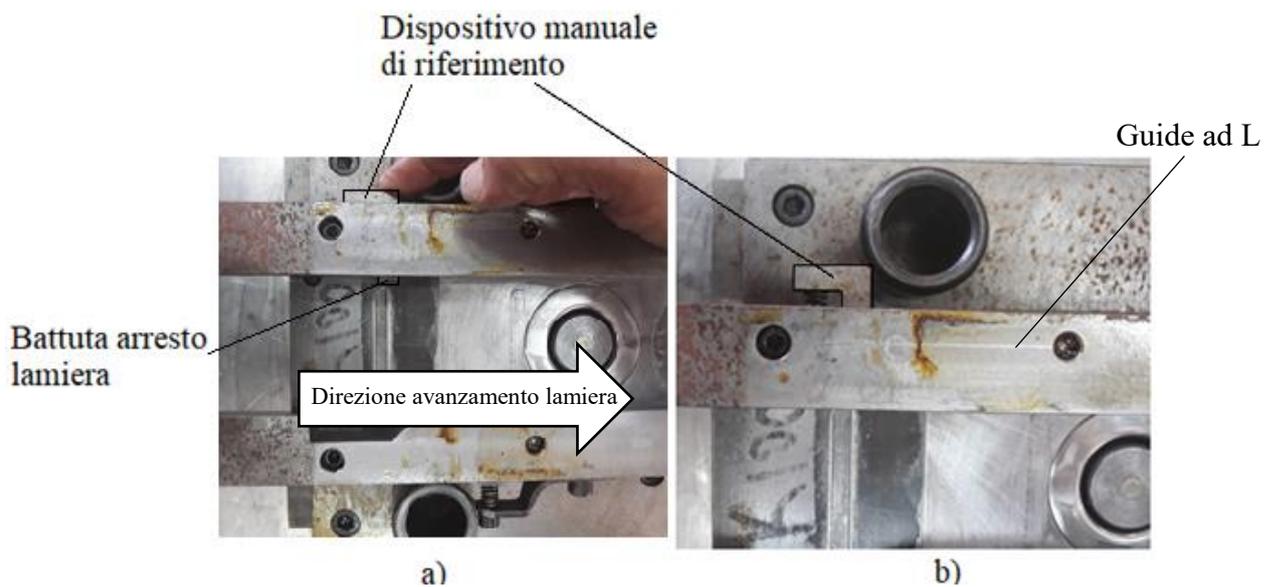


Figura 120: Riferimento di inizio striscia; a) azionato, b) a riposo

Il riferimento segnapasso, invece, viene spinto dalla lamiera all'esterno del suo piano di scorrimento facendo contrarre la molla che lo aziona; in corrispondenza della tranciatura effettuata dal punzone segnapasso sulla lamiera, la molla si distende e spinge il riferimento nella sua sede. La forma del riferimento è tale da non ostacolare l'avanzamento della lamiera grazie alla superficie inclinata del riferimento (**Figura 121**).

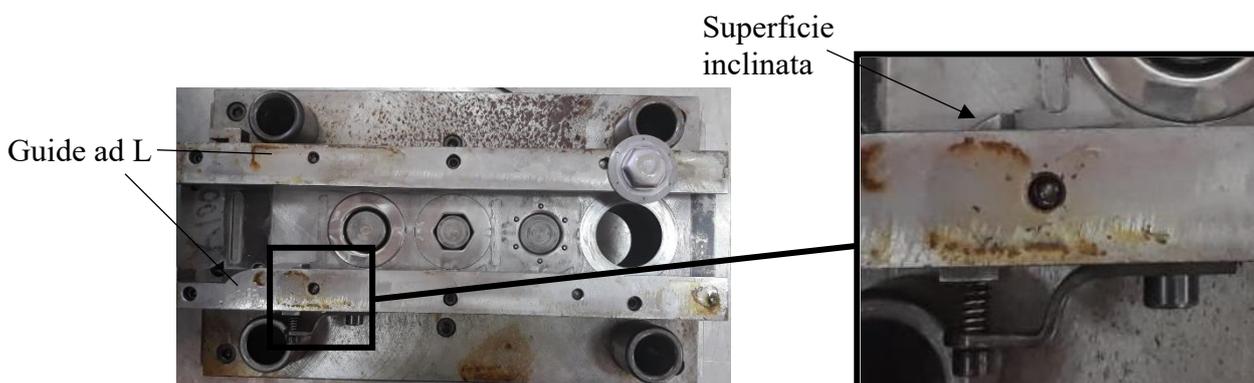


Figura 121: Riferimento segnapasso

Premilamiera e guida-punzoni

Il premilamiera è una piastra rettangolare, collegata alla piastra superiore dello stampo, le cui dimensioni sono riportate in **Figura 122**. La spinta che esercita sulla lamiera tramite la guida-punzoni è data da una serie di molle a filo ISO 10243:2010 dell'azienda Special Springs S.R.L. del tipo G serie a carico extra forte con $R = 0.180 \text{ kN/mm}$; in **Tabella 14** sono riportate le loro caratteristiche. [12]

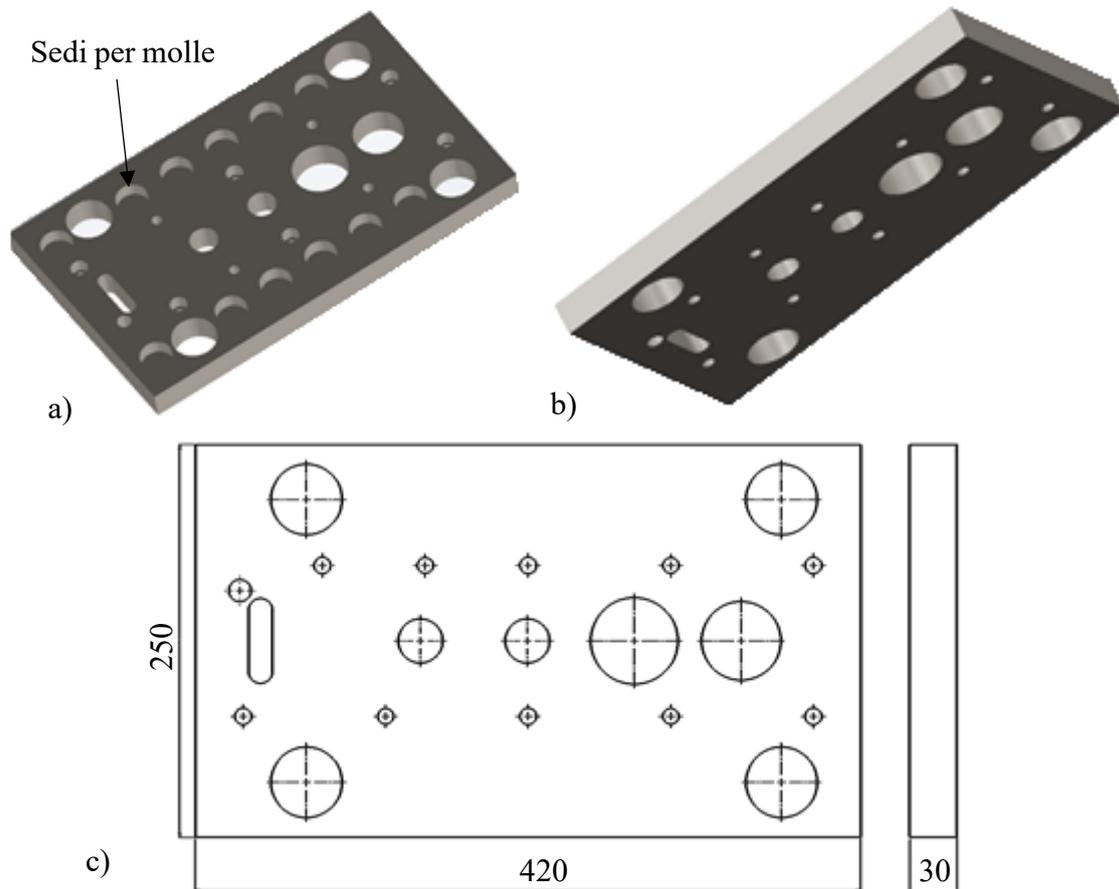
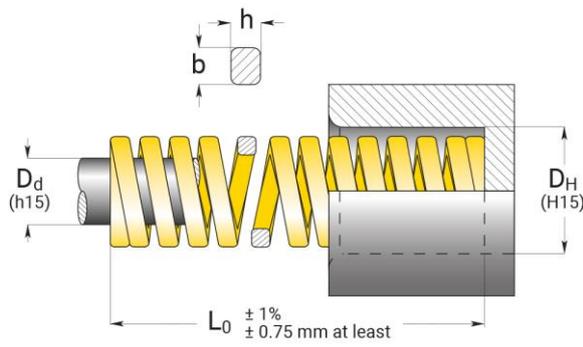


Figura 122: Premilamiera: a) vista posteriore, b) vista anteriore, c) dimensioni

Tabella 14: Caratteristiche molla serie G32

		Serie G32			
		D_H (mm)	D_d (mm)	b x h (mm)	L₀
		32	16	7.3 x 5.9	38/305
	Cicli	mm	N		
 17% L ₀	+3000000	6.5 – 51.9	3120 - 2543		
 20% L ₀	~ 1500000	7.6 – 61	3648 – 2989		
 22.5% L ₀	300 – 500000	8.6 – 68.6	4128 – 3861		
 25% L ₀	100 – 200000	9.5 – 76.3	4560 – 3739		

La piastra guida-punzoni (**Figura 123**), per mezzo della sua geometria, funge da premilamiera effettivo in quanto riesce ad inserirsi tra le due guide ad L e premere la lamiera contro il piano di scorrimento durante l'azione dei punzoni.

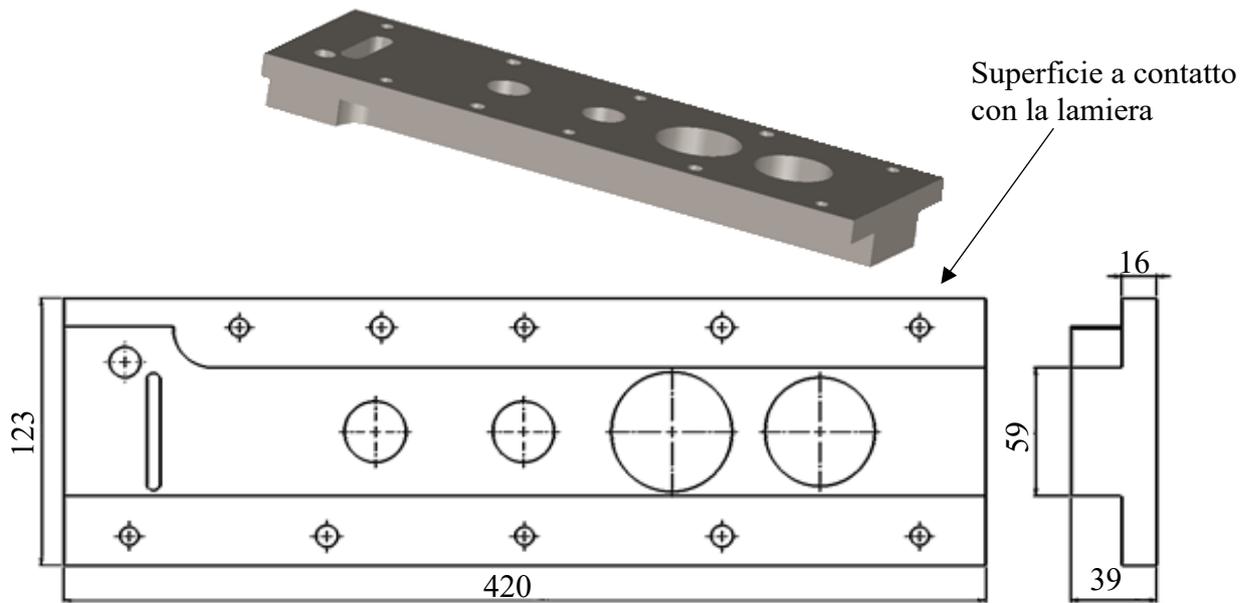


Figura 123: Piastra guida-punzoni

Queste due piastre, quindi, si possono considerare a tutti gli effetti come un unico componente; la loro separata realizzazione è dipesa solo da questioni puramente economici.

Stampo

Il CAD 3D dello stampo completo è riportato in ; mentre, in **Figura 124** è riportata la striscia di lamiera risultante dall'azione di stampaggio (**Figura 125**).

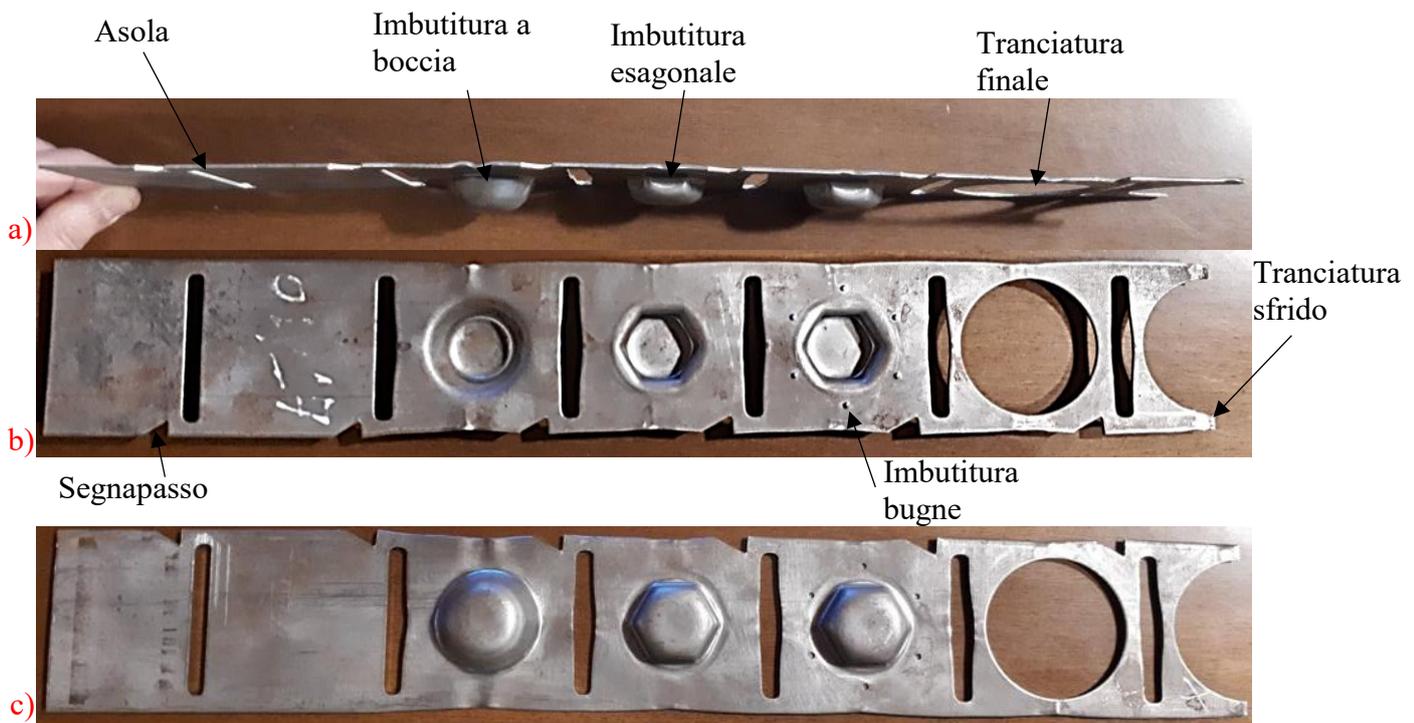


Figura 124: Striscia lamiera stampata; a) vista laterale, b) vista anteriore, c) vista posteriore



Figura 125: Corrispondenza tra striscia e stampo

Pressa

La pressa utilizzata è del tipo meccanico ad eccentrico a semplice effetto, con una forza sviluppata di 50 tonnellate e una cadenza di 150 colpi/min.

2.4 Messa a punto dello stampo

La fase finale è quella della messa a punto dello stampo, cioè sono state effettuate delle prove pratiche sulla lamiera e per poter vedere se il pezzo risultante è conforme con le direttive di progetto. In questo caso le maggiori criticità si sono riscontrate solo nella prima operazione di imbutitura a boccia, essendo la principale operazione a determinare la qualità di quelle successive.

La scelta di utilizzare l'acciaio DC04 è stata determinata da prove pratiche su altri acciai per imbutitura; questi materiali, più duri rispetto al DC04, portavano alla formazione di lacerazioni della lamiera già nella prima operazione di imbutitura a boccia.

Stabilito il materiale, se sono presenti difetti in fase di lavorazione, si passa ad osservare e modificare lo stampo.

Dopo aver determinato quindi la prima operazione, si passa alla successiva cioè all'imbutitura esagonale; in questo caso, essendo un'operazione che tende per lo più a deformare la lamiera piuttosto che a tirarla, se sono presenti lacerazioni si deve modificare la profondità di imbutitura a boccia in quanto è quella che determina la quantità di materiale che ha a disposizione il punzone esagonale.

Da queste prove, ovviamente, si andrà a verificare anche se la scelta della lamiera e del passo, impostati in fase di progettazione, sono corretti o se bisogna modificarli di conseguenza.

Un'altra operazione di fondamentale importanza è la determinazione della pressione del premilamiera per evitare la generazione di grinze nel componente finale.

3. Simulazione e realtà

Come abbiamo visto, la progettazione dello stampo è stata fatta grazie all'esperienza del progettista e mediante prove pratiche, senza la possibilità di sfruttare le potenzialità delle simulazioni effettuabili da un software dedicato alla progettazione di stampi progressivi. L'utilizzo di questi strumenti può essere utile al fine di ridurre quanto più possibile le modifiche allo stampo dopo le prove di messa a punto.

In questo capitolo verrà dapprima simulato, tramite un software, lo stampo realizzato per verificare quanto i risultati ottenuti in simulazione siano veritieri, paragonandoli a quelli reali. In un secondo momento verranno analizzate le varie proposte di stampo possibili per la realizzazione del componente. In fine è stata scelta una soluzione ottimale di stampo andando ad evidenziare i vantaggi e gli svantaggi derivanti rispetto al caso reale.

3.1 Simulazione dello stampo progressivo

Prima di procedere con la simulazione dello stampo, sono state effettuate delle misure su un pezzo campione sezionato a metà per ricavare gli spessori delle zone critiche raggiunti dopo le operazioni di imbutitura. Queste misurazioni, effettuate mediante calibro digitale, hanno fornito i seguenti risultati riportati in **Figura 126**.



Figura 126: Spessori critici del componente

È stata effettuata anche la misurazione dello spessore nella zona centrale del pezzo in quanto durante il processo di imbutitura esagonale viene a formarsi una gobba che l'azione del punzone tende ad appiattire (**Figura 127**); questo valore (**Figura 128**) è stato determinato per definire al meglio il processo.

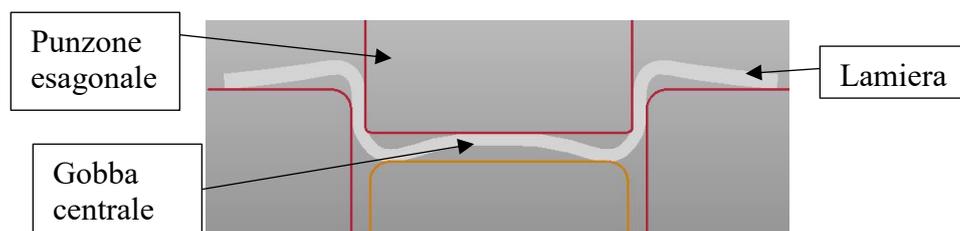


Figura 127: Gobba centrale durante imbutitura esagonale



Figura 128: Spessore zona centrale

A questo punto la simulazione è stata effettuata su AutoForm Plus R7, tralasciando l'operazione di realizzazione delle bugnette in quanto il software non è in grado di simularle; in quel passo è stata inserita un'operazione di sosta non compromettendo in nessun modo il risultato finale.

La posizione iniziale dello stampo è riportata in **Figura 129**.

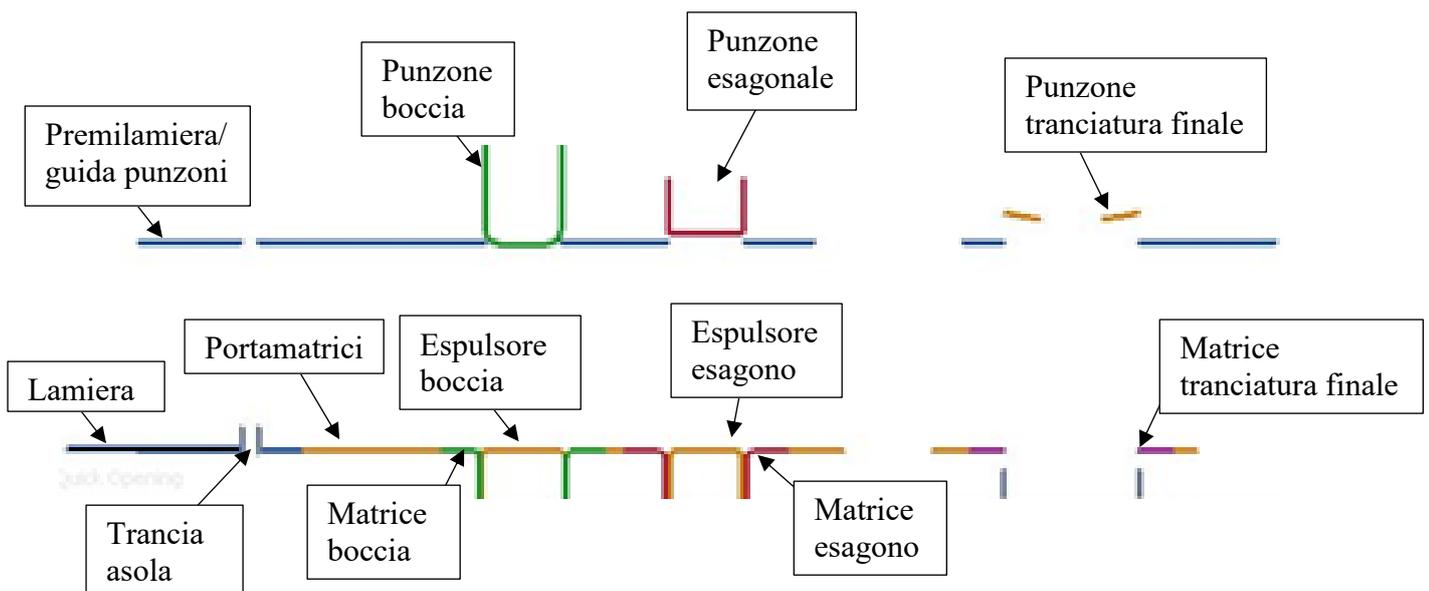


Figura 129: Configurazione iniziale stampo

I risultati ottenuti dalla simulazione sono riportati in **Figura 130**.

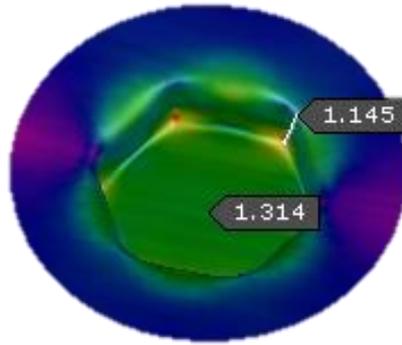


Figura 130: Spessori critici in simulazione

Come possiamo notare la differenza di valori degli spessori è dell'ordine del centesimo di millimetro riconducibile magari alla precisione dello strumento di misura. Infatti, facendo il rapporto tra i due valori di spessore otteniamo:

$$\text{caso reale: } \frac{1.17}{1.34} = 0.873$$

$$\text{caso reale simulato: } \frac{1.145}{1.314} = 0.871$$

Il loro rapporto è pressoché uguale; l'errore può essere considerato trascurabile e quindi si ritiene valida la simulazione del processo di stampaggio (**Figura 131**).

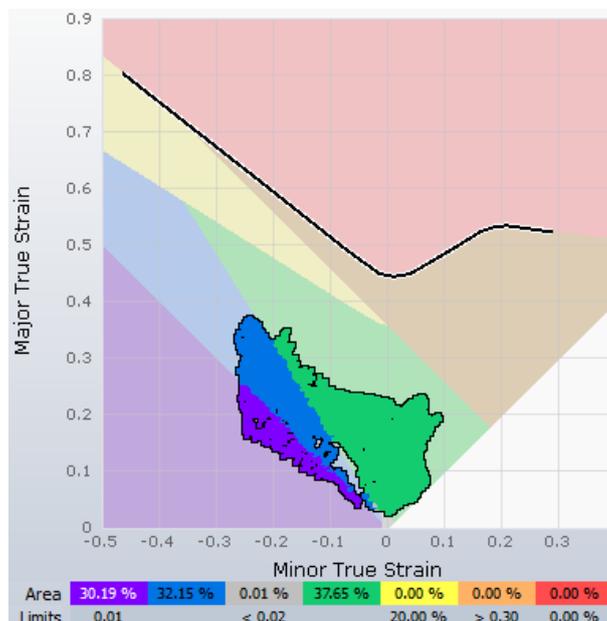


Figura 131: Curva di formabilità

Come si può vedere dal grafico della curva di formabilità, la nuvola di punti si trova ben al di sotto della curva limite quindi il pezzo non presenta rotture.

3.2 Soluzioni di stampo per la realizzazione del componente

Una volta verificata l'affidabilità del software nel riprodurre il caso reale, sono state progettate e analizzate varie soluzioni di stampo per la produzione del componente.

Da una prima analisi del pezzo, si evince che la sua realizzazione deriva da una serie di passaggi e non da un unico poiché altrimenti il processo porterebbe sicuramente a rottura il materiale. Si può anche dedurre che l'imbutitura esagonale non può essere effettuata direttamente sulla lamiera piana perché una tale profondità di imbutitura non sferica porterebbe a lacerazioni della lamiera in quanto il punzone fungerebbe più da tranciatura che da imbutitura.

Fatte queste analisi preliminari, si è passati alla stesura del ciclo operativo cercando di ottimizzare quanto più possibile il processo di stampaggio.

Il ciclo operativo sviluppato in questo caso è composto da tre operazioni:

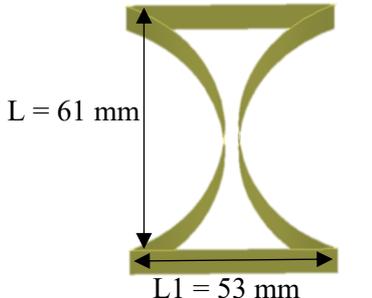
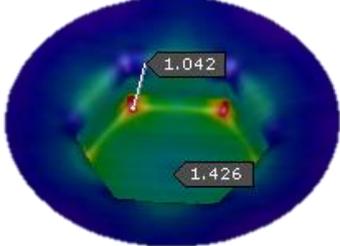
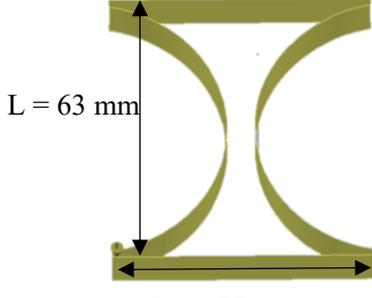
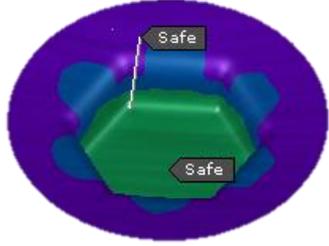
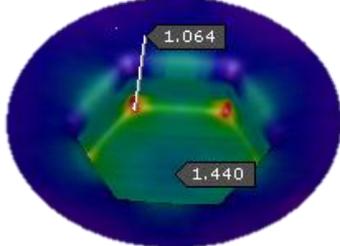
1. Tranciatura di divisione pezzi
2. Passo sosta
3. Imbutitura a boccia;
4. Imbutitura esagonale;
5. Deformazione e tranciatura finale.

Grazie alle sue potenzialità, il software propone delle decisioni pre-progettuali per quanto riguarda la geometria del punzone di tranciatura per separare un pezzo d'altro.

Decisioni pre-progettuali

In questo caso, il punzone per la tranciatura di divisione non ha una forma ad asola bensì “*a farfalla*” andando quasi a sagomare già il pezzo; la tranciatura con questa geometria viene fatta per far deformare la lamiera, nelle fasi di imbutitura, nel modo più omogeneo possibile lungo tutto il pezzo (**Tabella 15**).

Tabella 15: Geometrie pre-progettuali e relativa formabilità e spessori

Geometria punzone	Formabilità	Spessori
 <p>L = 61 mm L1 = 53 mm</p>		
 <p>L = 63 mm L1 = 55 mm</p>		

Com'è possibile notare dalle mappe di formabilità nel caso in cui la tranciatura di divisione asseconi quanto più possibile la geometria del pezzo si avrà una deformazione più omogenea nel pezzo finale, avendo inoltre zone a rischio di rotture di grandezza inferiore.

Per quanto riguarda gli spessori è possibile notare che la differenza è dell'ordine del centesimo di millimetro e che tale differenza quindi non è determinante per la scelta della geometria del punzone.

Basandoci sulle mappe di formabilità si sceglie la seconda geometria proposta dal software.

Modifica Corsa punzone imbutitura boccia

Per permettere al punzone esagonale di riuscire a sagomare la lamiera senza rotture, è necessario che la boccia realizzata nella prima imbutitura sia abbastanza profonda e grande. Per questo motivo si è pensato di modificare la corsa del punzone per formare la boccia aumentando la sua corsa di un millimetro e diminuendola di un millimetro. I due casi sono riportati in **Figura 132**.

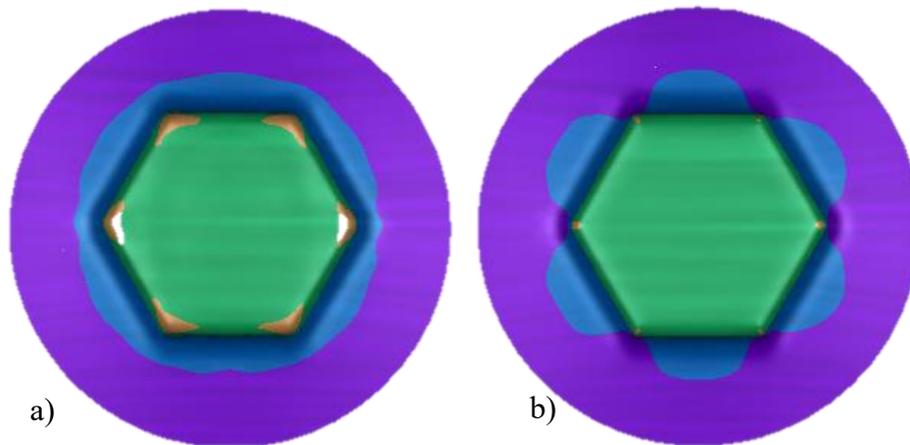


Figura 132: Formabilità a) aumento corsa, b) diminuzione corsa

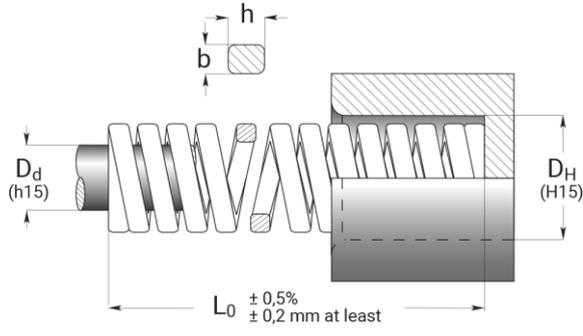
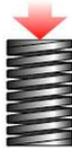
Si vede che, nel caso in cui venga aumentata la corsa del punzone per la formazione della boccia, nei vertici dell'esagono è presente un eccessivo assottigliamento che potrebbe portare nel caso reale, nella peggiore delle ipotesi, a delle lacerazioni della lamiera.

Una diminuzione della corsa, invece, può portare ad avere una situazione simile a quella reale ma tuttavia peggiore. Si deduce, quindi, che la modifica della corsa del punzone non migliora la formabilità del pezzo.

Modifica molle prelamiera

Durante le simulazioni, il software ci forniva dei messaggi di warning in cui ci diceva che, durante alcune azioni di stampaggio, la reazione della lamiera era maggiore della pressione del prelamiera portando ad un suo leggero innalzamento. Per evitare questo sono state sostituite le 12 molle a carico extra forte con 12 molle a carico iper-forte con $R = 1.538 \text{ kN/mm}$ le cui caratteristiche sono riportate in **Tabella 16**.

Tabella 16: Caratteristiche molla serie W32

	Serie W32			
	DH (mm)	Da (mm)	b x h (mm)	L0
	32	12.5	9.25 x 10.8	35/150
	Cicli	mm	N	
	100 – 200000	3 – 19	20000	

Dalla simulazione si ottengono i seguenti risultati .

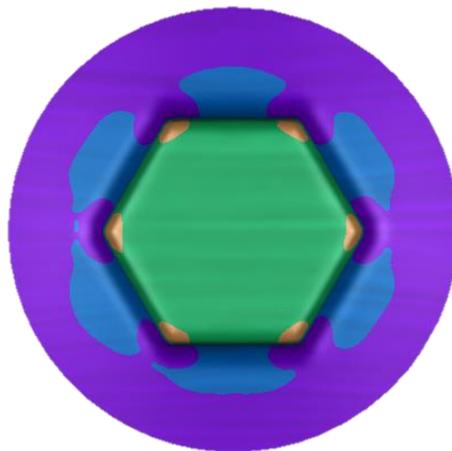


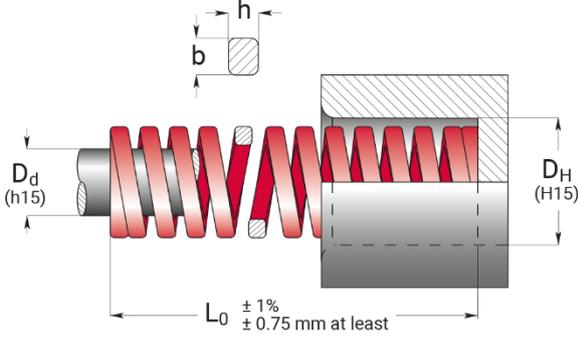
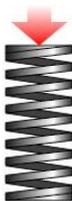
Figura 133: Formabilità con molle a carico iper-forte

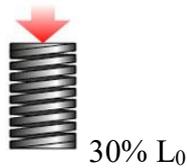
Da questi risultati si deduce che le molle imprimono una forza tale da non permettere un agevole scorrimento della lamiera durante le fasi di imbutitura, creando eccessivi assottigliamenti nelle zone critiche.

Vedendo i risultati ottenuti sono state effettuate altre prove utilizzando molle a carico inferiore (molle a carico forte (**Tabella 17**), con $R = 0.141 \text{ kN/mm}$, e a carico medio con $R = 0.0691 \text{ kN/mm}$), anche se c'è la possibilità che il premiamiera si sollevi durante il processo di stampaggio.

È stata presa in analisi tale opzione perché il sollevamento del premiamiera potrebbe comunque non incidere negativamente sul risultato finale.

Tabella 17: Caratteristiche molla serie R32

		Serie R32			
		D_H (mm)	D_d (mm)	b x h (mm)	L₀
		32	16	7.1 x 5.4	38/305
	Cicli	mm		N	
 20% L ₀	+3000000	7.6 – 61		2949 – 2318	
 25% L ₀	~ 1500000	9.5 – 76.3		3686 – 2899	
 27.5% L ₀	300 – 500000	10.5 – 83.9		4055 – 3187	

	100 – 200000	11.4 – 91.5	4423 – 3477
---	--------------	-------------	-------------

I risultati sono riportati in **Figura 134**.

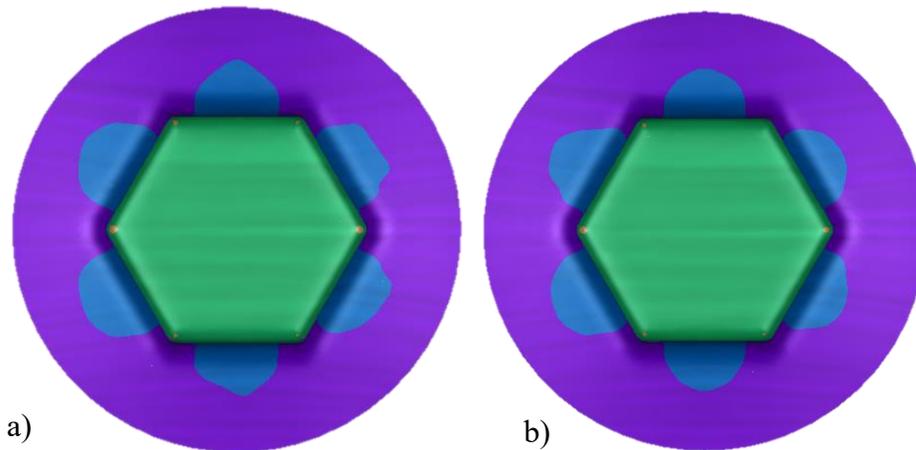


Figura 134: Formabilità a) molle a carico forte, b) molle a carico medio

Come possiamo vedere, andando a diminuire la resistenza delle molle, l'andamento della formabilità è quello di migliorare.

Modifica lubrificante

In questo caso è stato simulato lo stampaggio con un lubrificante diverso, analizzando coefficienti d'attrito pari a 0.2 e 0.07.

I risultati in termini di formabilità sono riportati in .

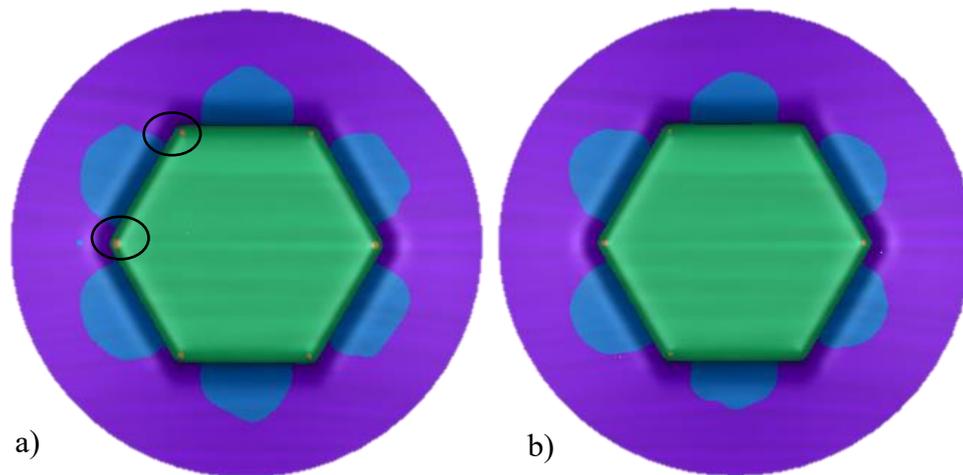


Figura 135: Formabilità a) $f = 0.2$, b) $f = 0.07$

Un aumento del coefficiente d'attrito non porta benefici dal punto di vista della formabilità, mentre una sua diminuzione porta ad avere maggiori zone sicure e quindi migliora la formabilità del pezzo.

Modifica materiale pezzo

Finora si è cercato di ottimizzare lo stampo apportando delle modifiche al processo, utilizzando, per realizzare il pezzo, l'acciaio DC04. Verranno ora analizzati i casi in cui il pezzo venga realizzato in acciaio DC03 e DC05 le cui caratteristiche sono riportate in **Tabella 18** e in **Tabella 19**. Il costo delle tre tipologie di acciai sono:

- DC04 65 €/Ton;
- DC03 49 €/Ton;
- DC05 114 €/Ton.

Tabella 18: Caratteristiche tecniche del materiale; t è lo spessore della lamiera in mm

Fe P03 o DC03			
Composizione chimica	C (%) max		0.10
	Mn (%) max		0.45
	P (%) max		0.035
	S (%) max		0.035
Caratteristiche meccaniche	Re (MPa) min-max	$t \leq 0.5$	(140) – 280
		$0.5 \leq t \leq 0.7$	(140) – 260
		$t > 0.7$	(140) – 240
	Rm (MPa) min-max		270 – 370
	A ₈₀ (%) min	$t \leq 0.5$	30
		$0.5 \leq t \leq 0.7$	32
		$t > 0.7$	34
	r min	$t < 2.0$	1.3
		$t \geq 2.0$	1.1

Tabella 19: Caratteristiche tecniche del materiale; t è lo spessore della lamiera in mm

Fe P05 o DC05			
Composizione chimica	C (%) max		0.06
	Mn (%) max		0.35
	P (%) max		0.025
	S (%) max		0.025
Caratteristiche meccaniche	Re (MPa) min-max	$t \leq 0.5$	(140) – 220
		$0.5 \leq t \leq 0.7$	(140) – 200
		$t > 0.7$	(140) – 180
	Rm (MPa) min-max		270 – 330
	A ₈₀ (%) min	$t \leq 0.5$	36
		$0.5 \leq t \leq 0.7$	38
		$t > 0.7$	40
	r min	$t < 2.0$	1.9
		$t \geq 2.0$	1.7
n min		0.220	

Dei tre acciai considerati il DC03 è il più duro; mentre il DC05 è quello meno duro.

I risultati sono riportati in .

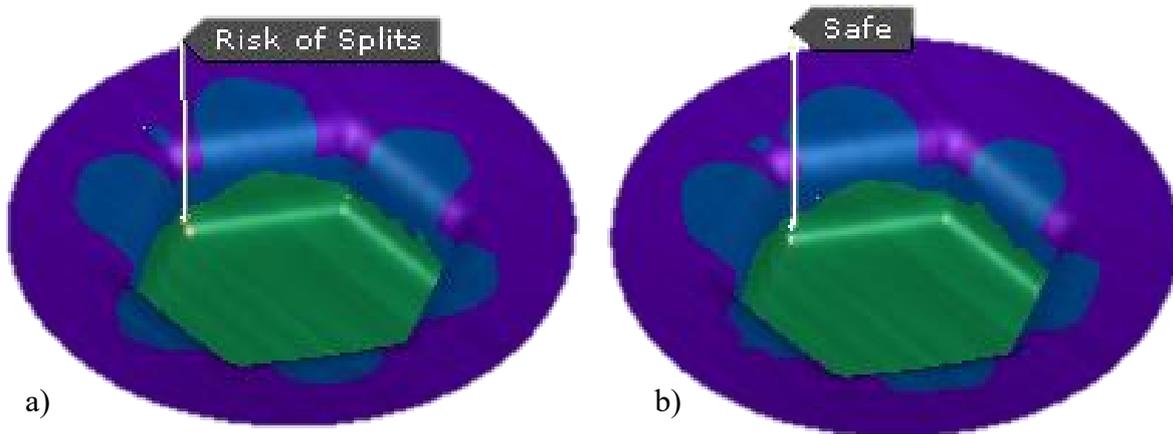


Figura 136: Formabilità a) acciaio DC03, b) acciaio DC05

In questo caso la riduzione di durezza del materiale ha una tendenza a migliorare la formabilità del pezzo; utilizzare un acciaio più duro comporta avere maggiori rischi di rottura durante lo stampaggio.

3.3 Risultati

I risultati ottenuti nelle analisi effettuate sono riassunti in **Tabella 20** andando ad evidenziare l'influenza che hanno sulla formabilità del pezzo.

Tabella 20: Tendenza formabilità fattori analizzati

Fattori analizzati	Migliora la formabilità	Peggiora la formabilità
Aumento corsa punzone imbutitura boccia		✓
Diminuzione corsa punzone imbutitura boccia		✓
Aumento resistenza molle prelamiera		✓
Diminuzione resistenza molle prelamiera	✓	
Aumento coefficiente d'attrito		✓
Diminuzione coefficiente d'attrito	✓	
Aumento durezza materiale		✓
Diminuzione durezza materiale	✓	

3.4 Soluzione ottimale e caso reale simulato

Individuati i fattori che hanno la tendenza a migliorare la formabilità, è stata effettuata un'ultima analisi andando a inserire nel progetto una combinazione tra questi fattori per ottenere la soluzione ottimale che possa essere migliore del caso reale.

Le due situazioni analizzate sono le seguenti:

Soluzione 1	Soluzione 2
Corsa del punzone standard	Corsa del punzone standard
12 molle a carico forte per il premilamiera	12 molle a carico medio per il premilamiera
$f = 0.07$	$f = 0.07$
DC05	DC05

I risultati sono raffigurati in **Figura 137**.

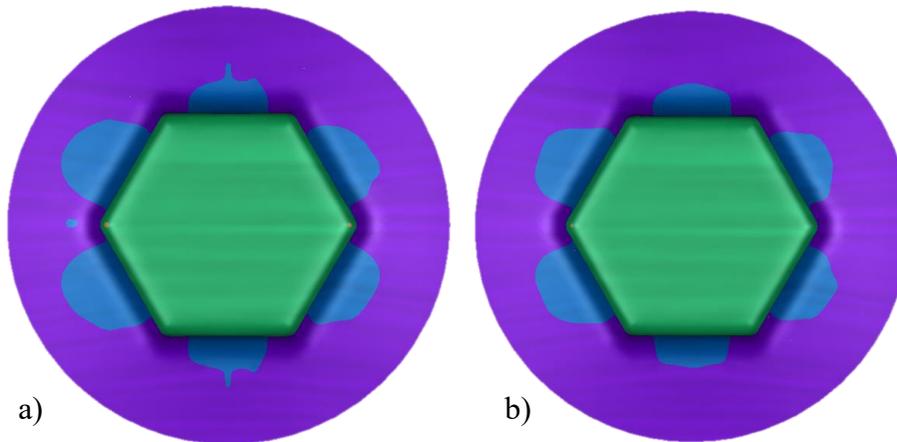


Figura 137: Formabilità a) soluzione 1, b) soluzione 2

Da questi risultati si potrebbe dedurre che la soluzione ottimale sia la 2; tuttavia, il software in questo caso ci ha mandato un messaggio di warning in quanto erano presenti punti di non convergenza e quindi non è stata reputata corretta tale soluzione. Di conseguenza la soluzione ottimale accettata è la 1.

Paragonandola al caso reale simulato (**Figura 138 e Figura 139**):

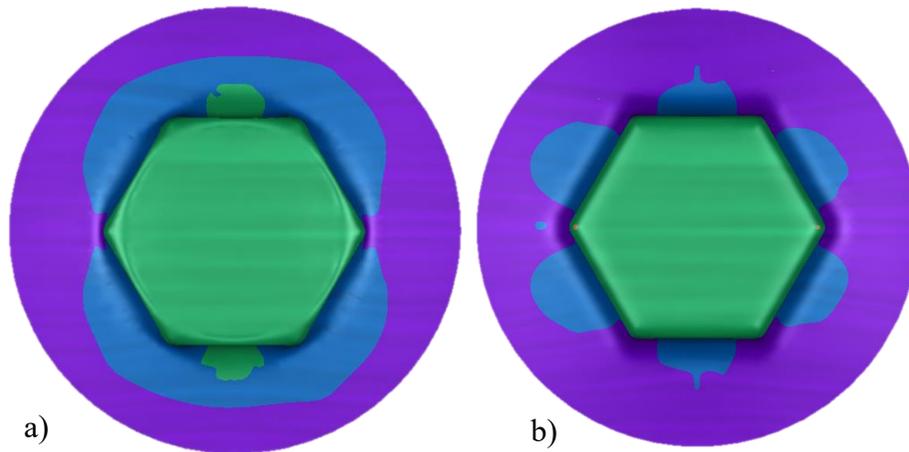


Figura 138: Formabilità a) caso reale, b) soluzione ottimale

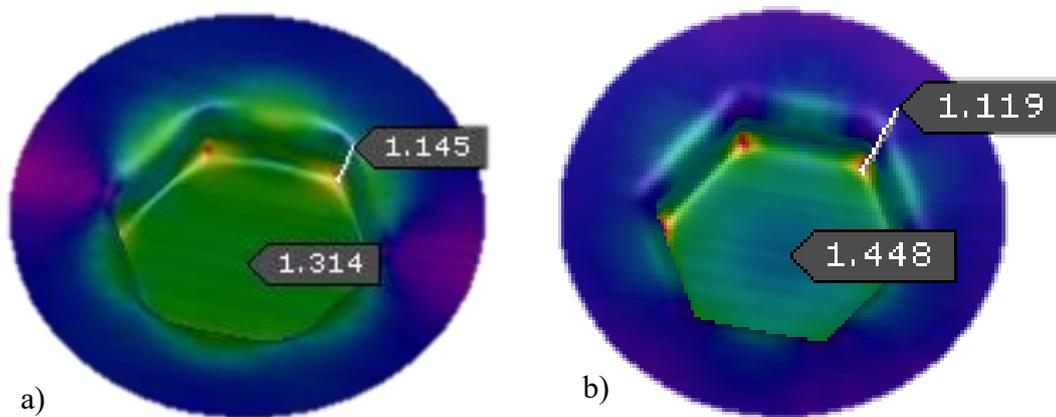


Figura 139: Spessori a) caso reale, b) soluzione ottimale

Da questi risultati si può affermare che la soluzione ottimale presenta una formabilità più omogenea rispetto al caso reale; tuttavia nei punti critici, cioè in prossimità dei vertici dell'esagono, ha degli assottigliamenti maggiori e anche lo spessore nella zona centrale differisce di circa un decimo di millimetro.

$$\text{caso reale simulato: } \frac{1.145}{1.314} = 0.871$$

$$\text{soluzione ottimale: } \frac{1.119}{1.448} = 0.773$$

Per le differenze trovate, possiamo affermare che la soluzione ottimale sia una valida alternativa al caso reale.

4. Conclusioni

In questo lavoro di tesi si è dimostrato quanto possa essere difficile progettare uno stampo progressivo in quanto bisogna saper determinare:

- Caratteristiche del materiale e le dimensioni della lamiera;
- Passo d'avanzamento;
- Posizioni e corse degli utensili (punzoni e matrici) in modo da poterli far lavorare in sincronia.

Un lavoro empirico porterebbe ad un eccessivo spreco di risorse (spreco di materiale per le prove di messa a punto, spreco di tempo per effettuare le prove di messa a punto, possibili modifiche allo stampo che richiedono l'utilizzo di risorse di materiale e di manodopera ecc.) che tramite una progettazione mediante l'utilizzo di un software dedicato si possono ridurre o eliminare quasi del tutto.

Il software utilizzato in questo lavoro ha simulato il processo di stampaggio in modo corretto, fornendo dei risultati, in termini di spessore, quasi del tutto reali; infatti la differenza di valori (dell'ordine del centesimo di millimetro, **Tabella 21**) può essere attribuita alla precisione dello strumento di misura utilizzato.

Tabella 21: Valori spessori di riferimento nel caso reale e nella simulazione

Spessori di riferimento		
Zona di misura	Caso reale	Simulazione
Vertici esagono	1.17 mm	1.145 mm
Centro pezzo	1.34 mm	1.314 mm

Grazie all'utilizzo del software, inoltre, è possibile analizzare tutte le soluzioni di stampo per la realizzazione del componente andando poi a scegliere quella che rispondesse meglio, in linea teorica, con le esigenze e le capacità di un'azienda.

Un progettista può sfruttare a pieno le potenzialità di un software per la progettazione degli stampi progressivi andando a verificare cosa accade se vengono cambiati alcuni parametri; tra questi ci sono:

- Il numero di operazioni contenute nel ciclo operativo: l'eliminazione di alcune operazioni comporterebbe una riduzione drastica di costi, tempi di manodopera, spreco di materiale ecc.;
- Il costo del materiale di realizzazione del pezzo: nel caso esaminato, l'acciaio DC03 aveva un costo decisamente inferiore al DC04 ma essendo troppo duro non poteva essere utilizzato in quanto presentava sempre zone di rottura;
- Le forze in gioco;
- La tipologia di lubrificazione;
- Le corse dei punzoni.

Negli stampi progressivi ogni fattore è correlato all'altro, quindi cambiarne uno comporta rivedere le scelte o le ipotesi fatte fino ad allora. Nel caso in cui si faccia l'ipotesi di aggiungere

operazioni al ciclo operativo per poter utilizzare un materiale dal costo inferiore non sempre porta a dei vantaggi; dovrebbe essere fatta un'analisi che tenga conto dei costi, cioè se effettivamente conviene utilizzare un acciaio dal costo minore a discapito di un aumento del costo dello stampo derivante dall'aggiunta di un'operazione, e delle capacità aziendali, cioè se l'azienda ha una pressa adatta alle dimensioni dello stampo.

Tuttavia, il software ti guida nella progettazione dello stampo facendoti analizzare passo dopo passo ogni informazione necessaria al processo, rendendo tale operazione semplice e veloce.

Ciò non toglie che in fase di realizzazione, di messa a punto o di collaudo dello stampo non sorgano problemi non prevedibili.

RIFERIMENTI

- [1] Ariosi V. and Marzi C., 1982, *Stampi e lavorazione della lamiera*, Editore Ulrico Hoepli Milano, pp.1, [ISBN 88-203-1265-4]
- [2] Berruti A., 1964, *Stampi e presse*, S. LATTES & C. EDITORI, Torino, 4° Edizione
- [3] Rossi M., 1979, *Stampaggio a freddo delle lamiere Stampi-Matrici-Punzoni-Presses e macchine*, Ulrico Hoepli Editore, Milano, 10° Edizione, [ISBN 88-203-1111-9]
- [4] Consoli G., *Macchine e stampi per lavorazione a freddo della lamiera*, San Rocco, Brescia
- [5]<http://www.istitutopesenti.edu.it/dipartimenti/meccanica/tecnologia/lavorazioni%20lamiera.pdf>
- [6]http://www.metalsider.it/catalogo/acciai-laminati-a-freddo/acciai-per-imbutitura-e-piegatura-a-freddo_accimbufreddo.htm
- [7] <https://www.tecneco.com/p/prodotti.htm#carburante>
- [8] <http://www.ciasacciai.it/acciai/acciaio-X205Cr12-KU.html>
- [9] <http://www.ciasacciai.it/acciai/acciaio-C45.html>
- [10] https://issuu.com/pedrottispa/docs/pedrotti_catalogo_componenti?e=26279669/39833544
- [11]<https://www.specialsprings.com/it/prodotti/molle-filo/molle-filo-iso-10243-2010/prodotti/b-serie>
- [12]<https://www.specialsprings.com/it/prodotti/molle-filo/molle-filo-iso-10243-2010/prodotti/g-serie>