

LAVORAZIONE DELLE LAMIERE**LAVORAZIONE DELLE LAMIERE**

La lavorazione delle lamiere si esegue fondamentalmente per deformazione plastica a freddo oppure per separazione localizzata del materiale → variazione della forma della lamiera con mantenimento dello spessore iniziale.

Materiali delle lamiere lavorate per deformazione plastica:

- acciaio
- acciaio inox
- alluminio
- ottone
- rame

Formati delle lamiere normalmente disponibile a magazzino:

- 1000x2000 mm
- 1000x3000 mm
- 1000x4000 mm
- 1250x2500 mm
- 1250x3000 mm
- 1250x4000 mm
- 1500x3000 mm
- 1500x4000 mm
- 1500x6000 mm
- 2000x4000 mm
- 2000x6000 mm

Trattamenti che si possono eseguire prima o dopo la lavorazione:

- trattamenti termici
- rivestimento superficiale (decapaggio, verniciatura, zincatura, nichelatura, cromatura, ecc.)

Le tecniche principali di lavorazione delle lamiere sono (Fig. 6.1 pag. 191):

- TAGLIO
- TRANCIATURA – PUNZONATURA
- PIEGATURA
- PROFILATURA
- CURVATURA O CALANDRATURA
- IMBUTITURA

TAGLIO

Taglio = lavorazione che imprime al foglio di lamiera una sagoma più o meno complessa mantenendo comunque la lamiera piatta

Metodi di taglio

- a caldo: taglio per fusione locale del materiale lungo una linea anche complessa. Metodi:
 - ossitaglio → taglio con fiamma ossidrica; taglio grossolano per lamiere molto spesse (fino 150 mm)
 - taglio laser → taglio con laser industriale (fascio di luce monocromatica concentrata → sviluppo di elevato calore locale); testa di taglio guidata in automatico da centro CN su percorso disegnato al CAD; taglio preciso e di piccola larghezza per lamiere anche spesse (fino 20 mm); non adatto per alluminio
 - taglio al plasma → taglio con fascio al plasma (corrente di gas ionizzato ad elevata temperatura) che fonde localmente il materiale; testa di taglio guidata in automatico da centro CN su percorso disegnato al CAD; taglio molto preciso per lamiere anche spesse (fino 20 mm); adatto per materiali difficili (alluminio)
- a freddo: taglio per deformazione plastica locale del materiale lungo una linea retta; oppure per abrasione localizzata del materiale lungo una linea anche complessa. Metodi:
 - cesoatura → taglio lineare eseguito meccanicamente fra due coltelli, di cui uno fisso sul bancale della cesoia e l'altro mobile con la traversa superiore della cesoia che scende sulla lamiera, tenuta fissa in posizione durante il taglio dal premilamiera; per avere taglio e non compressione occorre avere un piccolo gioco fra i bordi dei coltelli; il coltello superiore può essere:
 - ⇒ parallelo a quello inferiore → taglio tutto in contemporanea lungo la linea di taglio
 - ⇒ inclinato a quello inferiore → taglio progressivo lungo la linea di taglio
 - scantonatura → taglio degli angoli delle lamiere già tagliate con altri metodi → preparazione della lamiera per la successiva piegatura; concettualmente la scantonatrice è una cesoia con una coppia di lame superiori mobili e una coppia di lame inferiori fisse, che tagliano con taglio obliquo la lamiera secondo angoli di scantonatura fissi (90°) oppure regolabili
 - taglio ad acqua → taglio con getto di acqua ad elevata pressione con o senza aggiunta di polvere abrasiva → testa di taglio guidata in automatico da centro CN su percorso disegnato al CAD; taglio molto preciso per lamiere anche spesse (fino 100 mm); adatto per qualunque tipo di materiale senza alterazioni termiche o chimiche della zona di taglio.

LAVORAZIONE DELLE LAMIERE**TRANCIATURA E PUNZONATURA**

Tranciatura e punzonatura = lavorazione che sollecita la lamiera tra due utensili (punzone e matrice) che hanno taglienti sagomati → frattura della lamiera per deformazione plastica localizzata

Utensili

Gli utensili sono entrambi contenuti in uno stampo (stampo a tranciare):

- **matrice** → porta la sagoma negativa (vuoto) della forma da lavorare
- **punzone** → porta la sagoma positiva (pieno) della forma da lavorare

Tecnica di lavorazione: il punzone preme sulla lamiera che è appoggiata sopra la matrice fino a quando non viene separata una parte di lamiera → la differenza fra punzonatura e tranciatura è nei pezzi che si utilizzano:

- **punzonatura** → il pezzo finito è la lamiera, mentre la parte separata è lo scarto (sfrido) → (fig. 6.14 pag. 197) → punzonare = praticare fori sulla lamiera
- **tranciatura** → il pezzo finito è la parte di lamiera separata, mentre la lamiera forata è lo scarto (sfrido) → (fig. 6.15 pag. 197) → tranciare = produrre lamiere di forme e dimensioni prestabilite

Funzionamento (fig. 6.16 pag. 197)

- 1) La lamiera, posizionata sopra alla matrice, viene tenuta fissa in posizione dal prelamiera
- 2) Si applica la forza di tranciatura F_T al punzone per mezzo di una pressa
- 3) Il punzone esegue la lavorazione
- 4) Il prelamiera lascia libera la lamiera
- 5) Si toglie la lamiera, o la si sposta per eseguire un'altra lavorazione

Affinché il punzone possa scorrere dentro alla matrice fra i due utensili deve esistere del gioco → il gioco fra punzone e matrice dipende da:

- ⇒ spessore s della lamiera
- ⇒ carico unitario di rottura a taglio τ_R
- ⇒ coefficiente c dipendente dalla precisione della lavorazione

<u>Dimensioni degli utensili</u> →	{	<u>punzonatura</u> (gioco sul punzone) (fig. 6.18 pag. 198)	{	matrice → dimensioni nominali richieste dal pezzo
				punzone → dimensioni minori di quelle nominali
	{	<u>tranciatura</u> (gioco sulla matrice) (fig. 6.18 pag. 198)	{	matrice → dimensioni minori di quelle nominali
				punzone → dimensioni nominali richieste dal pezzo

Esecuzione del taglio della lamiera → due fasi: 1) compressione → deformazione plastica della lamiera
2) distacco → sforzo sulla lamiera maggiore di τ_R → lacerazione della lamiera e separazione in due parti → per favorire il distacco la matrice ha angoli di spoglia sul foro (fig. 6.20 pag. 198)

Utensili → { piatti e paralleli (fig. 6.21 pag. 199) → lo sforzo di taglio è uniforme su tutto il contorno del pezzo → sforzo elevato
{ ad angolo (fig. 6.22 e 6.23 pag. 199) → lo sforzo di taglio è distribuito progressivamente su tutto il contorno del pezzo → sforzo minore ma percorso di taglio maggiore

Tranciatura fine

Difetti dei pezzi tranciati con metodo tradizionale: ⇒ bordi di tranciatura strappati → scarsa precisione
⇒ bordi di tranciatura non paralleli all'asse del pezzo
⇒ pezzi tranciati bombati
⇒ scarsa tolleranza dimensionale

Per migliorare questi difetti e mantenere i vantaggi della tranciatura (lavorazione economica e veloce) →

→ tranciatura fine:

- bordi tranciati per tutto il loro spessore → assenza di strappi
- bordi paralleli all'asse del pezzo → angolo fra bordo e piano della lamiera di 90°

Caratteristiche della tranciatura fine (fig. 6.29 pag. 202 e 6.30 pag. 203)

- Taglio netto e continuo senza strappi su tutto il profilo e per tutto lo spessore della lamiera
- Gioco fra punzone e matrice molto piccolo
- Premiamiera con gioco piccolo e presenza di un risalto (cordone perimetrale) per impedire lo scorrimento della lamiera
- Presenza di un estrattore o contropunzone che sostiene la lamiera nella zona di taglio impedendone la bombatura
- Estrattore che solleva il tranciato dopo l'esecuzione del taglio

LAVORAZIONE DELLE LAMIERE**PIEGATURA**

Piegatura = lavorazione di deformazione plastica localizzata a freddo delle lamiere che imprime alla lamiera, precedentemente tagliata secondo la sagoma appiattita dell'oggetto finale, una forma permanente non piatta → *deformazione plastica locale* oltre lo snervamento solo lungo la *linea di piega*.

Utensili

Gli utensili sono due e sollecitano a flessione la lamiera:

- **punzone** → barra piena a forma di *coltello* con angolo adeguato al *raggio di piegatura* e all'*angolo della piega*.
(fig. 6.40 pag. 206) A seconda del numero di pieghe da eseguire e del loro tipo può essere semplice o con incavo (detto a collo d'anatra).
- **matrice** → barra piena con un *incavo a V* nella parte superiore con *angolo di apertura* adeguato alla lavorazione da eseguire. La *larghezza dell'apertura* è in relazione allo spessore della lamiera da piegare.

Tecnica di lavorazione: il punzone preme sulla lamiera, appoggiata libera sopra alla matrice, e la costringe a scendere dentro l'incavo della matrice prendendone la forma; i bordi della lamiera, che sono liberi, si alzano dall'appoggio sulla matrice e tendono ad abbracciare il coltello prendendone la forma. Lo spessore della lamiera rimane costante, infatti l'unica zona deformata è quella in corrispondenza del coltello.

Funzionamento (fig. 6.38 e 6.39 pag. 206)

- 1) La lamiera viene posizionata sopra alla matrice facendo coincidere la linea di piega con il centro della matrice.
- 2) Si applica la forza di piegatura F al punzone per mezzo di una pressa
- 3) Il punzone esegue la lavorazione e poi risale
- 4) Si toglie la lamiera, o la si sposta per eseguire un'altra piegatura

Piegatura a V (fig. 6.42 e 6.43 pag. 207)

Il punzone ha la forma piena che corrisponde all'incavo a V della matrice.

Fino a quando la lamiera non tocca il fondo dell'incavo → ***piegatura in aria***: - angoli di piegatura diversi da quello dell'incavo
- scarsa precisione del pezzo piegato

Quando la lamiera tocca il fondo dell'incavo → ***piegatura di coniatura***: - migliore precisione dell'angolo di piega
- maggiori costi per il maggior numero di utensili impiegati (una coppia per ogni angolo di piegatura)

Piegatura a U (fig. 6.46 e 6.47 pag. 208)

Il punzone ha la forma piena che corrisponde al foro presente nella matrice. Tipologie:

- **Piegatura senza contro disco:**
 - matrice con foro cieco
 - punzone cilindrico con dimensioni adeguate
 - il punzone costringe la lamiera ad entrare dentro al foro della matrice assumendone così la forma
 - fondo del pezzo bombato fino al contatto con il fondo del foro
 - fondo del pezzo appiattito dal contatto con il fondo del foro, ma serve una forza molto grande
- **Piegatura senza contro disco:**
 - matrice con foro passante e con controdisco alla sommità
 - punzone cilindrico con dimensioni adeguate
 - il punzone costringe la lamiera ad entrare dentro al foro della matrice assumendone così la forma
 - fondo del pezzo sempre a contatto con il controdisco per evitarne la bombatura
 - controdisco che scende nella matrice spinto dal punzone

Ritorno elastico (fig. 6.48 pag. 209)

A causa della deformazione elastica del materiale dopo l'operazione di piegatura si ha un ***ritorno elastico del materiale*** → → l'angolo di piega tende a riaprirsi → occorre compensare questo ritorno con angoli dell'incavo e del punzone minori di quelli finali da avere nel pezzo piegato.

Sviluppo delle lamiere

Per ottenere la lamiera piegata occorre partire da una lamiera piatta di dimensioni corrette → lunghezza L dello ***sviluppo piano o piatto*** della lamiera → L dipende da: - lunghezza l_1 ed l_2 delle ali ai lati della piega
- raggio R interno della curvatura della piega
- spessore s della lamiera
- angolo α di piegatura
- coefficiente di correzione e legato al rapporto R/s

Per questi motivi lo sviluppo piatto L è sempre maggiore della somma della lunghezza delle ali l_1+l_2

PROFILATURA

Profilatura = lavorazione per deformazione plastica utilizzata per imprimere un determinato profilo alla lamiera deformata a freddo (fig. 6.58 pag. 212)

Profilatrice (fig. 6.60 e 6.61 pag. 213)

la profilatrice è la macchina che esegue la profilatura della lamiera → macchine progettate e costruite per lo scopo specifico.

Processo di lavorazione

Bobine di lamiera dette *coils* → taglio a freddo in nastri → realizzazione dei profili con due metodi:

1. Processo di presso-piegatura: deformazione ottenuta impiegando una pressa che imprime la forma a tutta la lunghezza della lamiera in un solo passaggio andando a comprimerla sulla matrice che ha la stessa forma del profilo che si vuole ottenere; solo per lunghezze limitate della lamiera.
2. Processo di profilatura in continuo: la deformazione è ottenuta facendo passare il nastro di lamiera attraverso una successione di rulli adeguatamente sagomati che gli imprimono la forma desiderata. Si ottengono profili di forma complessa che richiedono molte pieghe; lunghezza dei profilati anche molto elevate.

CURVATURA O CALANDRATURA

Calandratura = procedimento di curvatura a freddo della lamiera per ottenere corpi cilindrici o tronco conici.

Calandra

La calandra è la macchina che esegue la calandratura.

E' costituita da tre cilindri ad asse orizzontale disposti a triangolo: i due inferiori sono motorizzati ad asse fisso e trascinano la lamiera, quello superiore è folle e ad asse regolabile in verticale → possibilità di regolare il raggio di curvatura della lamiera.

Se uno dei tre rulli viene inclinato rispetto agli altri due si ottengono pezzi tronco conici.

IMBUTITURA

Imbutitura = lavorazione per deformazione plastica a freddo mediante la quale una lamiera piana è trasformata in un corpo cavo, con parete sottile, che riproduce all'interno la forma del punzone.

Proprietà dei materiali per imbutitura

- Elevata purezza → non ci sono difetti dovute ad impurezze nella lamiera che quindi si deforma tutta nello stesso modo
- Elevata deformabilità e malleabilità → possibilità di eseguire deformazioni di grande entità senza screpolare il materiale
- Elevata imbutibilità → attitudine dei materiali ad essere imbutiti → verifica attraverso la Prova di imbutibilità Erichsen

Utensili (fig. 6.72 pag. 216)

Gli utensili sono due e sollecitano la lamiera con uno stato di tensioni molto complesso:

- **punzone** → barra piena con all'esterno la forma del corpo cavo che si deve realizzare.
- **matrice** → base di appoggio della lamiera con al centro un foro che ha la stessa sagoma del punzone.

- Aspetti fondamentali degli utensili:
- raggi di raccordo → ampi per evitare lo strappo della lamiera, non troppo ampi per evitare pieghe nel prodotto
 - grande gioco fra punzone e foro della matrice → la lamiera entra e può scorrere fra gli utensili ma senza fare grinze
 - dimensioni di punzone e matrice calcolate in funzione del gioco e dello spessore della lamiera
 - indispensabile l'uso di lubrificante per ridurre l'attrito fra pezzo e utensili

Tecnica di lavorazione:

il punzone preme sulla lamiera, mantenuta ferma sopra alla matrice dal premilamiera, e la costringe a scendere dentro il foro della matrice prendendo la forma all'esterno della matrice e all'interno del punzone; i bordi della lamiera, che sono fermati dal premilamiera, non si possono sollevare dall'appoggio sulla matrice e quindi la lamiera è costretta a scorrere dentro alla matrice.

LAVORAZIONE DELLE LAMIEREFunzionamento (fig. 6.66 pag. 215)

- 1) La lamiera viene posizionata sopra alla matrice centrandola sul foro della matrice e viene sostenuta dalla matrice e dall'estrattore che è salito al livello superiore della matrice.
- 2) Scende il premilamiera che blocca la lamiera sulla matrice; scende l'estrattore per liberare la lamiera dall'appoggio
- 3) Si applica la forza di imbutitura F al punzone che, per mezzo di una pressa da imbutitura, scende a deformare la lamiera.
- 4) Il punzone esegue la lavorazione e poi risale; il premilamiera risale e libera il pezzo imbutito
- 5) L'estrattore risale e il pezzo finito fuoriesce dalla matrice e può essere prelevato

Deformazione della lamiera (fig. 6.67 pag. 215; fig. 6.68 e 6.69 pag. 216)

Il tipo di deformazione della lamiera cambia durante la lavorazione in base alla posizione dell'elemento di lamiera:

- zona sopra la matrice → lamiera sottoposta contemporaneamente a trazione radiale e a compressione circonferenziale
- zona sopra al raccordo del foro della matrice → lamiera sottoposta a flessione
- zona fra punzone e matrice → lamiera sottoposta a trazione assiale
- zona sul fondo del punzone → lamiera sottoposta a flessione

Il tipo di deformazione dipende anche dal tipo di imbutitura che si sta eseguendo:

- imbutitura per stiramento: - lamiera che non può scorrere perché bloccata fra matrice e premilamiera
 - nella parte imbutita la lamiera diminuisce lo spessore → la lamiera viene *stirata*
 - occorre una forza di imbutitura elevata
- imbutitura per scorrimento: - lamiera che può scorrere perché tenuta in posizione dal premilamiera ma non bloccata
 - nella parte imbutita la lamiera non cambia lo spessore → la lamiera scorre
 - occorre una forza di imbutitura meno elevata

Metodi di imbutituraImbutitura in più passaggi o imbutitura profonda (fig. 6.77 pag. 220)

- Imbutitura eseguita in più passaggi
- Passaggi dal primo al penultimo → punzone tronco conico per favorire l'operazione successiva
- Ultimo passaggio → punzone piatto con la forma finale

Retroimbutitura (fig. 6.79 pag. 221)

- Fondo del pezzo imbutito con rientranza
- Prima imbutitura diretta per creare la forma esterna con punzone cavo
- Seconda imbutitura in verso opposto con punzone secondario pieno che conforma la rientranza

Imbutitura con cuscino di gomma o Marform (fig. 6.80 pag. 221)

- Matrice realizzata con un cuscino di gomma racchiusa in un contenitore aperto sul fondo
- Matrice mobile sopra al premilamiera mobile e al punzone che è fisso
- Lamiera sopra al premilamiera → matrice che scende sopra alla lamiera → lamiera bloccata fra matrice e premilamiera → pressione sulla matrice → discesa del premilamiera e deformazione della matrice e della lamiera → risalita della matrice ed estrazione del pezzo
- Vantaggi:
 - cuscino di gomma sostituibile
 - rischio rottura pezzo minore
 - posizionamento facile
 - possibili grosse variazioni di dimensioni della lamiera (rapporto di imbutitura elevato)

Imbutitura a matrice idraulica o Hydroform (fig. 6.81 pag. 222)

- Matrice realizzata con una membrana elastica piena di liquido in pressione racchiusa in un contenitore aperto sul fondo e con un foro per il liquido in pressione
- Matrice mobile sopra al premilamiera fisso e al punzone che è mobile
- Lamiera sopra al premilamiera → matrice che scende sopra alla lamiera → pressione sul liquido della matrice → lamiera bloccata fra matrice e premilamiera → salita del punzone e deformazione della matrice e della lamiera → scarico del liquido → risalita della matrice e discesa del punzone → estrazione del pezzo
- Vantaggi:
 - possibilità di elevata deformazione in un solo passaggio
 - metodo economico per semplicità costruttiva