

PROCESSI DI FORMATURA PLASTICA DI LAMIERE: PIEGATURA

1

Piegatura delle lamiere

PIEGATURA

- È uno tra i più comuni metodi di lavorazione delle lamiere
- Utilizzata sia come processo a sé stante, sia in combinazione con altre operazioni (imbutitura, coniatura, ecc.)
- Nella maggior parte dei casi eseguita a T ambiente
- Con pezzi di grandi sezioni o con piccoli raggi di curvatura, si preferisce eseguire il processo a caldo per limitare i valori delle forze in gioco

2

Piegatura delle lamiere

PROCESSI DI PIEGATURA

- Piegatura con matrice – punzone
- Piegatura a V
- Piegatura ad U
- Piegatura con utensile rotante
- Piegatura a rulli

3

Piegatura delle lamiere

PIEGATURA CON MATRICE - PUNZONE

- Pezzo posizionato su una matrice opportunamente conformata e forzato all'interno di questa da un punzone, della medesima forma della matrice, azionato da una pressa
- Matrici e punzoni per operazioni singole:
 - eseguono una piegatura alla volta e sono relativi ad un singolo lotto
 - al completamento di un lotto sono rimossi per lasciar posto ad altri utensili necessari nella sequenza della lavorazione
 - utilizzati o per produzioni limitate o per pezzi così complicati che una sola piegatura alla volta è economicamente vantaggiosa
- Utensili composti:
 - combinano due o più operazioni in una singola stazione di lavoro senza ridisporre la parte ➡ pezzo finito prodotto con un solo colpo della pressa
 - operazioni generalmente svolte in successione durante la corsa del punzone

4

Piegatura delle lamiere

PIEGATURA CON MATRICE - PUNZONE

• Utensili progressivi:

- simili ai composti, nel senso che combinano in un settaggio diverse operazioni effettuate con un solo colpo della pressa, che sono però distribuite in un certo numero di stazioni
- fra queste avanza una striscia metallica, corrispondente a tanti pezzi uniti insieme quante sono le stazioni di lavoro
- ad ogni colpo sono effettuate tutte le lavorazioni contemporaneamente ma su pezzi diversi
- forma finale della parte delineata man mano che viaggia attraverso le varie stazioni, fino a che dall'ultima non viene estratto il pezzo finito e dalla prima non entra una nuova striscia da formare
- costi iniziali generalmente più elevati di quelli di un set di utensili singoli per la fabbricazione dello stesso pezzo
- i minori riattrezzaggi, le manutenzioni meno frequenti ed i più bassi costi del lavoro diretto tendono a compensare i più alti investimenti iniziali

5

Piegatura delle lamiere

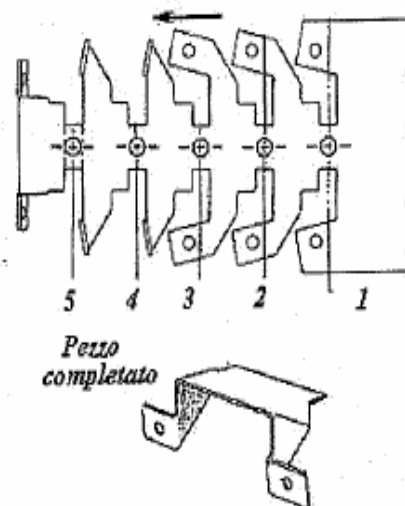


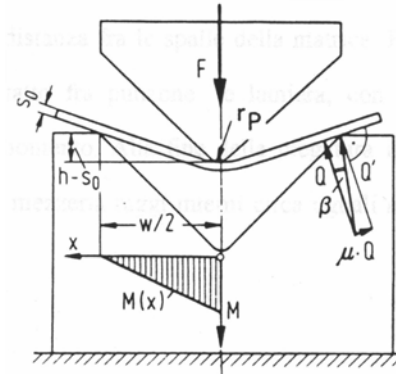
Fig. 8-28

6

Piegatura delle lamiere

PIEGATURA A V

- Detta anche "piegatura a tre punti"
- Momento di piegatura variabile (nullo agli appoggi, massimo in mezzeria) \Rightarrow curvatura variabile lungo tutto l'arco di piega
- Suddivisa in due fasi:
 - piegatura in aria
 - coniatura



7

Piegatura delle lamiere

PIEGATURA A V

Piegatura in aria

- Se la formatura si arresta alla fase della piegatura in aria:
 - angolo richiesto ottenuto controllando la corsa del punzone
 - grande varietà di formature ottenute con un numero minimo di punzoni e di utensili
 - forze per un dato angolo di piega, più basse preservando i macchinari da eccessive sollecitazioni
 - alla fine della lavorazione, esistendo ritorno elastico, se non si procede ad opportune correzioni, forma del pezzo indefinita

8

Piegatura delle lamiere

PIEGATURA A V

Coniatura

- segue la piegatura in aria con lo scopo di eliminare l'incertezza della geometria "forzando" la lamiera tra punzone e matrice fino a stabilire un contatto su tutta la superficie del punzone

9

Piegatura delle lamiere

PIEGATURA A V

Matrici:

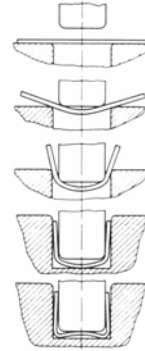
- chiuse: raggio di raccordo fra le superfici laterali pari alla somma di quello del punzone e dello spessore della lamiera
- semichiuse: raggio di raccordo minore della somma di quello del punzone e dello spessore della lamiera

10

Piegatura delle lamiere

PIEGATURA A U SENZA CONTRODISCO

- Nelle prime fasi si ha piegatura in campo elastico e, data la distribuzione costante del momento, arco di curvatura circolare
- Aumento della curvatura con la corsa del punzone fino a quando i lembi esterni della lamiera non diventano // alle costole della matrice
- Da tale punto in poi, non si hanno più significativi incrementi deformativi fino all'inizio della coniatura
- Durante la coniatura passaggio della curvatura da convessa a concava, per poi annullarsi con la "spianatura" finale della lamiera

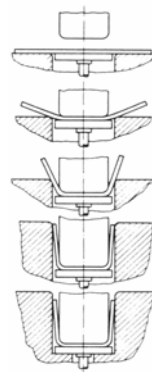


11

Piegatura delle lamiera

PIEGATURA A U CON CONTRODISCO

- Lamiera continuamente premuta tra cuscinetto di pressione e punzone → coniatura superflua
- Per mantenere piana la lamiera, è richiesta una forza fra punzone e controdisco pari al 30% di quella di piegatura
- Di contro viene eliminata la coniatura che richiederebbe una forza pari a circa tre volte quella di piegatura
- Maggiore investimento per l'utensileria e, al solito, la scelta definitiva di quale processo utilizzare si effettua dopo un'attenta analisi dei costi



12

Piegatura delle lamiera

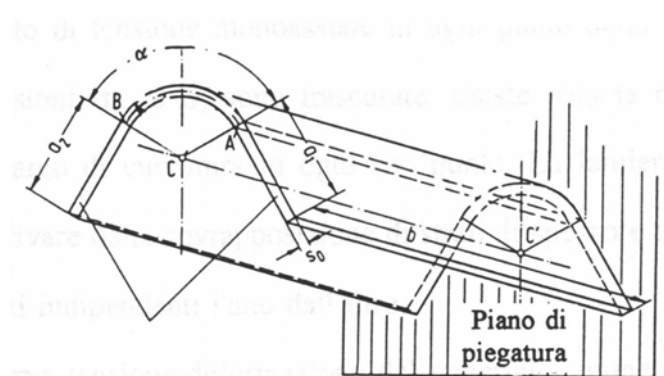
PIEGATURA CON UTENSILE ROTANTE

- Eseguita:
 - bloccando un lembo della lamiera con una morsa,
 - piegando l'altro con un punzone che, mentre applica un carico verticale, si muove secondo una traiettoria circolare
- Vantaggio rispetto alla piegatura con matrici: possibilità di lavorare pezzi anche molto corti e piccoli
- lavorazione svolta completamente in aria

13

Piegatura delle lamiere

TRATTAZIONE ANALITICA DELLA PIEGATURA



14

Piegatura delle lamiere

TRATTAZIONE ANALITICA DELLA PIEGATURA

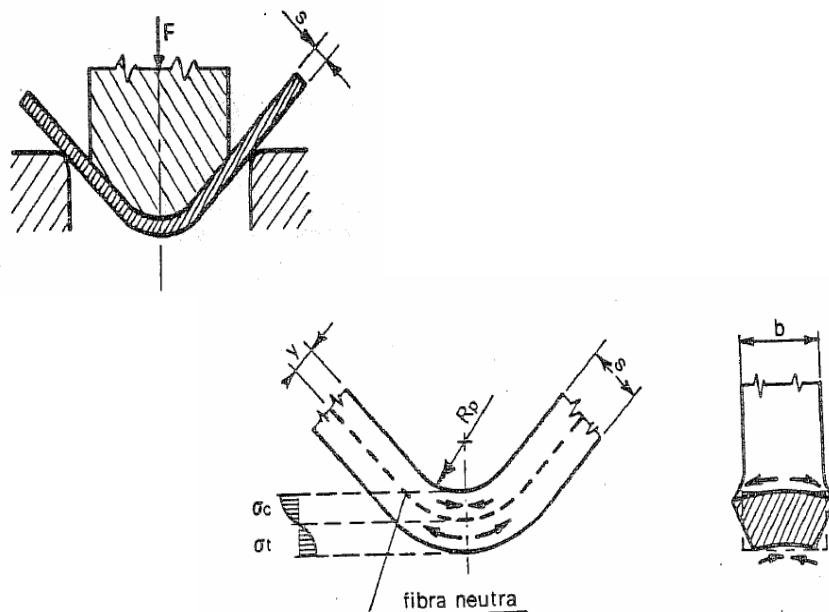
Ipotesi:

1. Lamiera con spessore, lunghezza e larghezza uniformi, sottoposta ad un momento di piegatura costante
2. Materiale omogeneo ed isotropo
3. Stato di deformazione piano con piano di deformazione coincidente con quello della sezione \implies deformazioni lungo l'asse \perp alla sezione trascurabili
4. Le sezioni piane e // all'asse di piegatura si mantengono tali
5. Stato di tensione monoassiale in ogni punto della sezione:
 - tensioni σ_y e σ_z trascurabili
 - solo σ_x , tangente all'arco di curvatura in ogni suo punto, $\neq 0$
6. Curva σ - ε del materiale simmetrica rispetto all'origine
7. Spessore della lamiera costante durante tutta la fase di piegatura

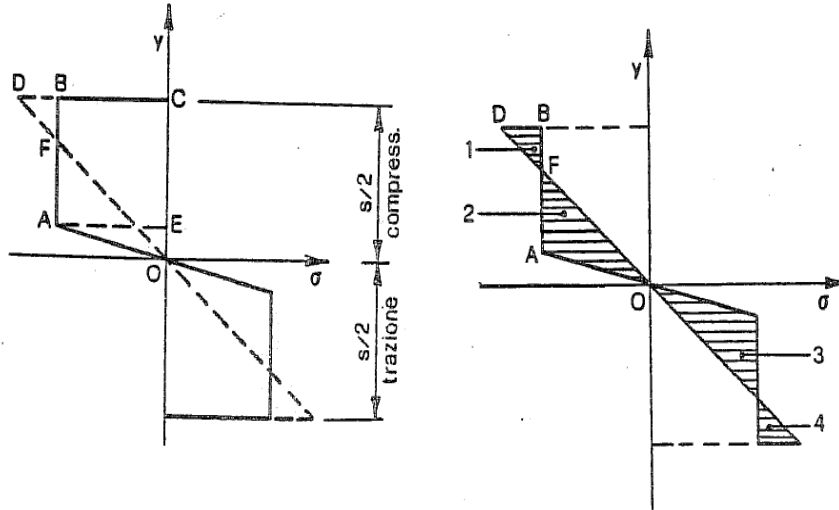
15

Piegatura delle lamiere

TRATTAZIONE ANALITICA DELLA PIEGATURA



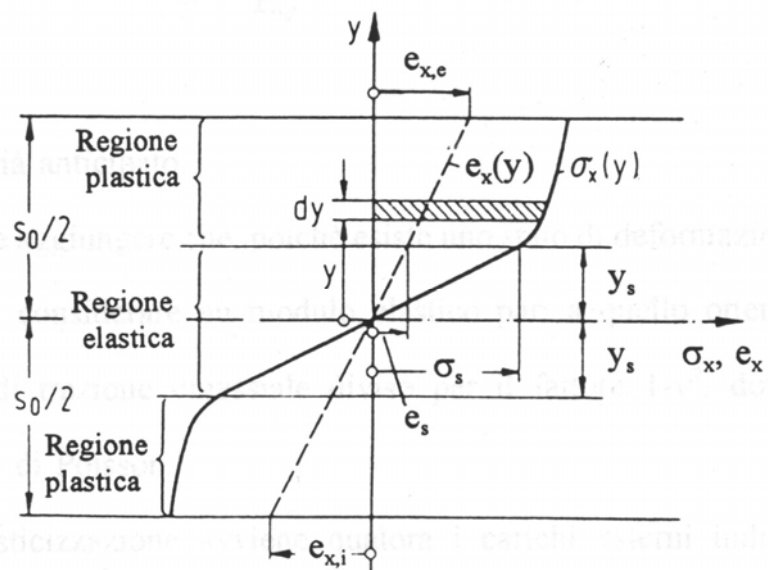
TRATTAZIONE ANALITICA DELLA PIEGATURA



17

Piegatura delle lamiere

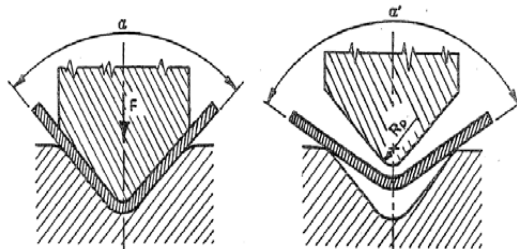
TRATTAZIONE ANALITICA DELLA PIEGATURA



amiere

RITORNO ELASTICO

- Parziale ritorno alla forma originale dopo la rimozione delle forze e dei momenti di piegatura
- Fenomeno che si manifesta nei pezzi che sono stati sottoposti a flessione in campo elasto-plastico
- Il suo valore cresce:
 - all'aumentare di σ_0 , dei coefficienti di resistenza e di incrudimento, del raggio di piegatura
 - al diminuire di E e dello spessore della lamiera



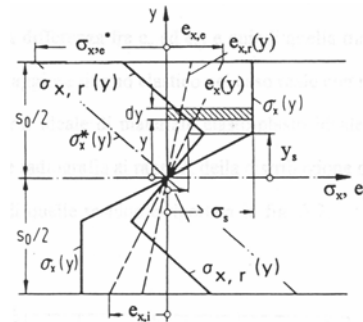
Piegatura delle lamiera

RITORNO ELASTICO

- Tendenza delle fibre plasticizzate nella fase di carico a tornare, durante quella di rilascio, nella posizione originale restituendo la loro componente di deformazione elastica
- Fibre diversamente sollecitate \Rightarrow recupero non completo
- Esempio:
 - fibre a cavallo della linea media della sezione sollecitate, sotto carico, in regime elastico
 - scarico totale al rilascio inibito dalla presenza delle fibre più esterne che hanno subito deformazioni permanenti
 - presenza di tensioni e deformazioni residue, diverse cioè dai valori rilevati con momenti di piegatura applicati
 - ammontare del ritorno elastico evidenziato dalla differenza tra le deformazioni e/o le tensioni nei due casi

RITORNO ELASTICO

- Distribuzione delle deformazioni lineare sia durante la fase di piegatura che in quella di scarico
- Fibre del nucleo elastico: distribuzione delle tensioni lineare in entrambe le fasi (fibre inizialmente tese restano tali dopo lo scarico, analogamente per quelle compresse)
- Fibre al di fuori del nucleo elastico: cambio di tendenza della tensione residua dopo rilascio del momento applicato:
 - decresce in modulo con y fino ad annullarsi ad una distanza y^* dal centro per poi raggiungere un massimo di segno opposto
 - tale andamento risulta lineare se si ipotizza il materiale elastico-idealmente plastico

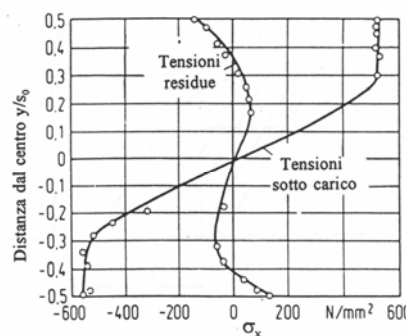


21

Piegatura delle lamiere

RITORNO ELASTICO

- Tenendo conto dell'incrudimento \Rightarrow incremento delle tensioni nel tratto plastico rispetto al caso ideale
- Aumento di M_{pl} e quindi dell'intero momento flettente.
- Andamento delle tensioni:
 - lineare nel nucleo elastico
 - curvilineo in campo plastico



22

Piegatura delle lamiere

SPOSTAMENTO RELATIVO DELLE FIBRE

- Variazione dello spessore della lamiera durante la piegatura
- Spostamento delle fibre verso il bordo interno \Rightarrow fibra media originaria, dopo deformazione, in posizione più vicina al punzone
- Fibra a metà spessore soggetta ad uno stato tensionale
- Volume nella zona di piegatura costante \Rightarrow accorciamento delle fibre tese nella direzione dell'asse di piegatura e allungamento di quelle compresse \Rightarrow lamiere più larghe all'interno della curvatura e più strette all'esterno



- Effetti complessivi: diminuzione dello spessore nella zona inflessa ed inclinazione del piano della sezione tanto più marcati quanto maggiore è la curvatura

23

Piegatura delle lamiere

SPOSTAMENTO RELATIVO DELLE FIBRE

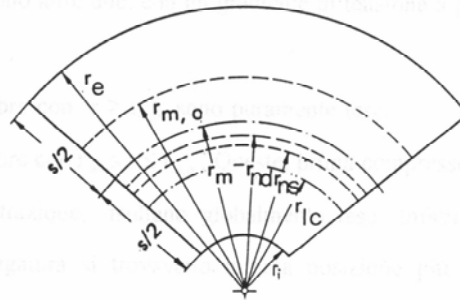
- Concetto di fibra neutra (contemporaneamente non soggetta né a tensione né a deformazione) pura astrazione
- Durante l'applicazione del carico tutti i punti della lamiera interessati da sollecitazioni che variano continuamente nel tempo
- Fibra indeformata coincidente con quella non tensionata solo all'inizio della piegatura \Rightarrow curva della tensione e della deformazione in funzione di y non simmetriche rispetto ai punti della linea media della sezione
- Discrepanza tanto maggiore quanto più è piccolo il raggio di piegatura

24

Piegatura delle lamiere

SPOSTAMENTO RELATIVO DELLE FIBRE

- r_e raggio fibra esterna
- $r_{m,o}$ raggio fibra media originale
- r_m raggio fibra media attuale
- r_{nd} raggio fibra non deformata
- r_{ns} raggio fibra non sollecitata
- r_{lc} raggio fibra limite della zona di compressione
- r_i raggio fibra interna

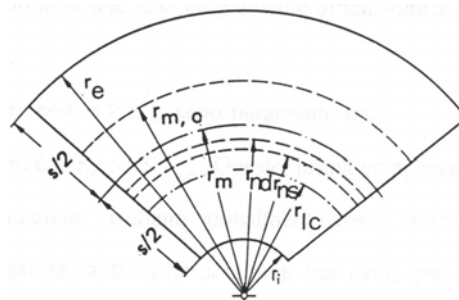


25

Piegatura delle lamiere

SPOSTAMENTO RELATIVO DELLE FIBRE

- Fibre interne ad r_{nd} globalmente compresse
- Fibre esterne ad r_{nd} globalmente tese
- In ognuna di queste due zone se ne distinguono altre due, con un gradiente di tensione a partire dal bordo esterno:
 - Fibre con $r \geq r_{m,o}$: puramente tese
 - Fibre con $r_{nd} \leq r \leq r_{m,o}$: prima compresse poi tese, sono globalmente tese
 - Fibre con $r_{lc} \leq r \leq r_{nd}$: prima compresse poi leggermente tese alla fine della piegatura rimangono compresse
 - Fibre con $r \leq r_{lc}$: solamente compresse



26

Piegatura delle lamiere

ATTRITO NELLA PIEGATURA

- Meno importante rispetto ad altre operazioni di formatura a freddo:
 - scorrimento relativo metallo - utensili contenuto e non rappresenta la principale causa di deformazione
 - esplicito in zone estremamente limitate
 - basse pressioni in gioco
 - assenza di riscaldamenti sensibili degli utensili
- In molti casi lubrificazione non necessaria
- In altri leggero velo di olio sufficiente a prevenire rotture nei pezzi ed eccessiva usura negli utensili
- Nelle operazioni di formatura a rulli, un minimo valore di μ richiesto per il trascinarsi del materiale
- Eccezioni a questa pratica: lavorazioni di piegatura profonda o con angoli di piega molto accentuati e con piccoli raggi di curvatura
- Nella maggior parte dei casi forze di piegatura e ritorno elastico non influenzati dalla lubrificazione

27

Piegatura delle lamiere

RAGGIO MINIMO DI PIEGATURA

- Raggio di curvatura di una lamiera sottoposta ad un processo di piegatura non inferiore ad un certo valore o il metallo si romperà in corrispondenza delle fibre più esterne
- A tutti gli effetti è il limite di formabilità
- Dipende:
 - dalle proprietà del materiale
 - dalla lunghezza del pezzo nel senso dell'asse di piegatura
 - dall'orientazione di quest'ultimo rispetto alla direzione di laminazione

28

Piegatura delle lamiere

ORIENTAMENTO DELL'ASSE DI PIEGATURA RISPETTO ALLA DIREZIONE DI LAMINAZIONE

- Influenza notevolmente il valore della deformazione massima ammissibile
- Grani cristallini, inclusioni ed altri difetti presenti nel materiale allungati nella direzione di laminazione formando le linee di tessitura meccanica
- Formature severe ottenute quando asse di piegatura e direzione di laminazione sono \perp , in quanto la deformazione del materiale, che avviene in larghissima parte in direzione \perp all'asse di piegatura, è favorita dall'allungamento dei grani
- Quando le due direzioni sono $//$ ► tendenza alla rottura lungo le linee di tessitura