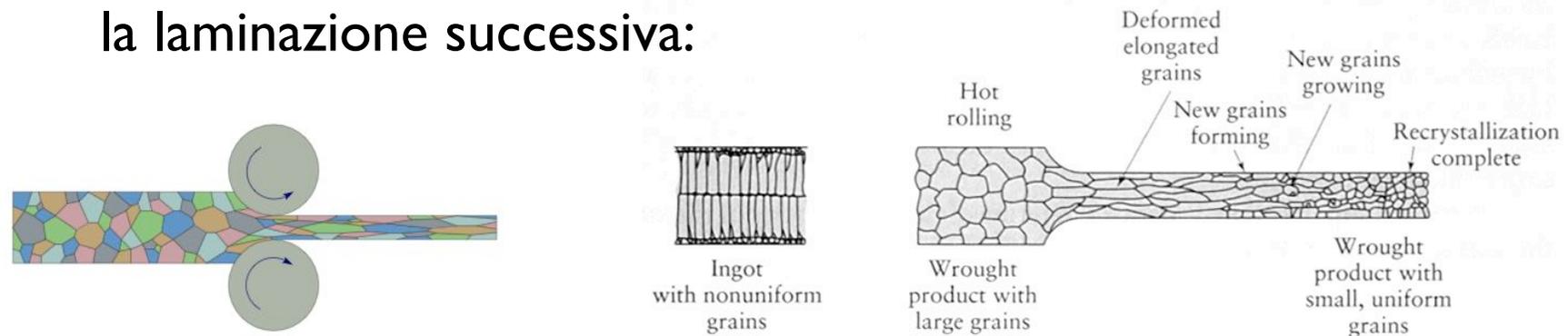
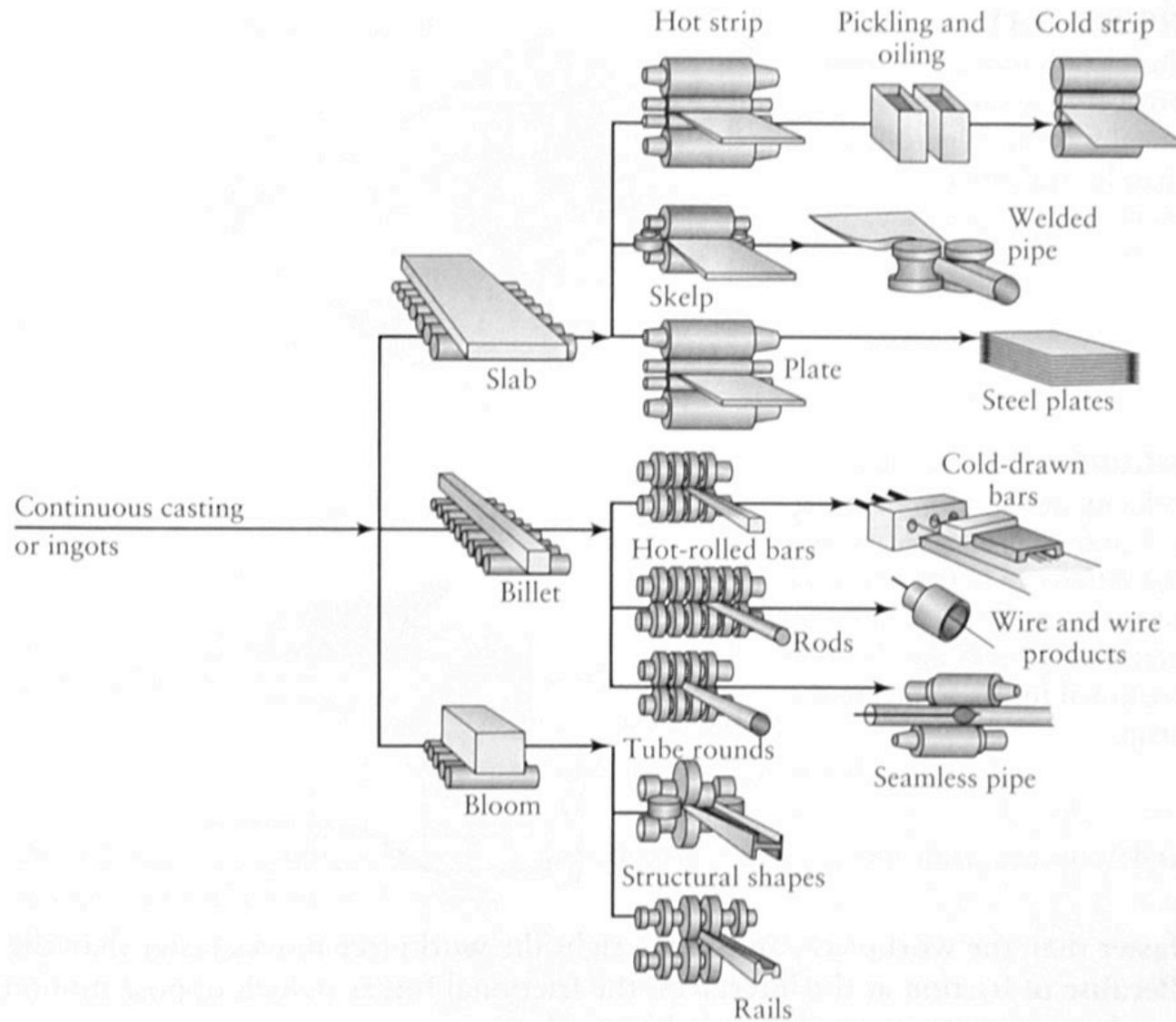


# Laminazione

- Processo di riduzione dell'altezza o cambio di sezione di un pezzo attraverso la pressione applicata tramite due rulli rotanti.
- La laminazione rappresenta il 90% dei processi di lavorazione per deformazioni ed è stata sviluppata nel 1500, si producono principalmente laminati che si suddividono in:
  - piastre (spessore > 6 mm)
  - fogli o lamiere (spessore < 6 mm)
- Si parte da semilavorati da fusioni continue o semicontinue. La prima laminazione viene effettuata a caldo per cambiare la microstruttura da fusione in una grana più fine e regolare per la laminazione successiva:

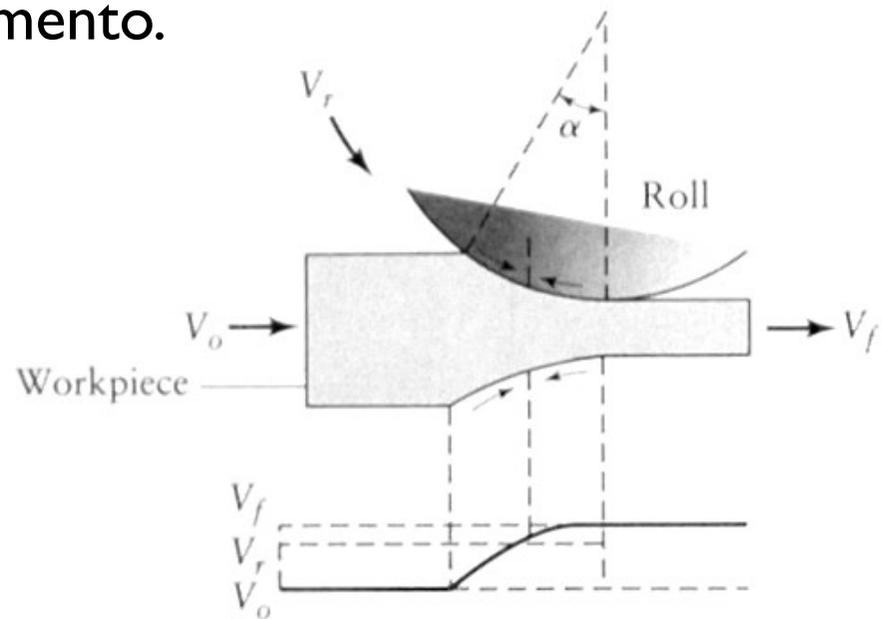
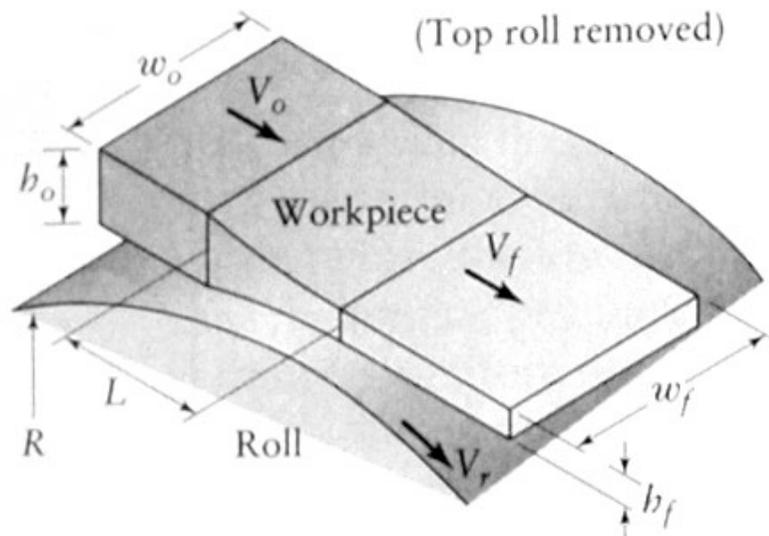


# Schema generale laminazioni



# Meccanica della laminazione

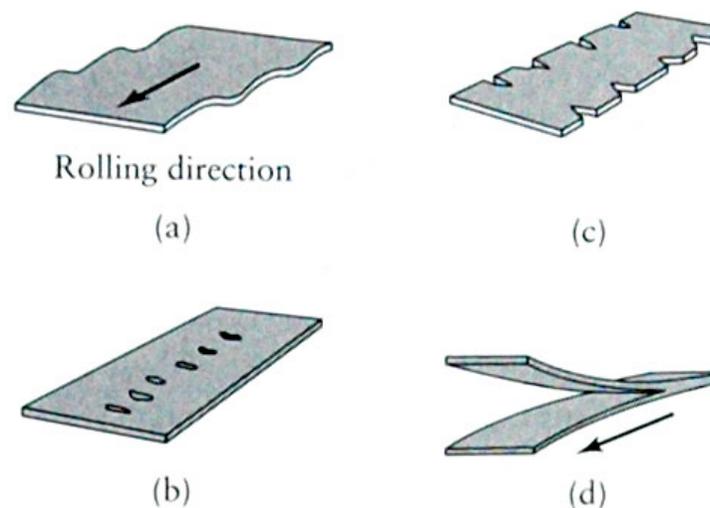
- Si parte con un pezzo di spessore  $h_0$  che entra nello spazio tra i due rulli ad una velocità  $V_0$  ed esce con uno spessore  $h_f$  e velocità  $V_f$ . La velocità periferica dei rulli è  $V_r$ .
- Poichè le tre velocità sono differenti una parte del materiale slitta sui rulli ( $V_0 < V_r < V_f$ ). Nel punto neutrale (I in figura) non si ha slittamento.



# Difetti di laminazione

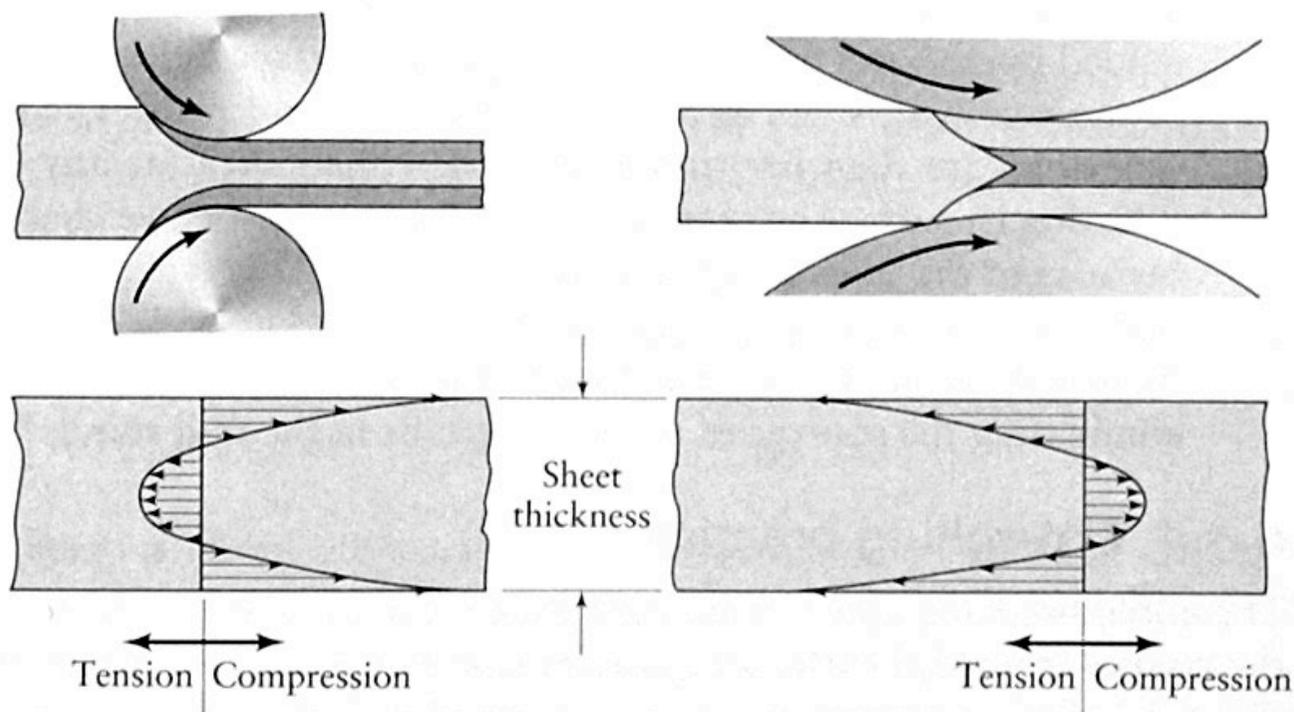
- Possiamo avere difetti di superficie e difetti strutturali.
- I difetti di superficie possono derivare da inclusioni nel materiale come scaglie d'ossido, sporco, etc. oppure da cause derivanti dai processi pre-laminazione. Nella laminazione a caldo si rimuovono in anticipo gli ossidi con un trattamento alla torcia.
- I difetti strutturali invece distorcono o compromettono l'integrità di un laminato:

- (a) ondulazioni al bordo
- (b) cricche a cerniera nel centro
- (c) cricche al bordo
- (d) delaminazione (alligatoring)



## Sforzi residui da laminazione

- Rulli di piccolo diametro tendono a deformare maggiormente la superficie e metterla in compressione.
- Con rulli di grande diametro l'attrito limita la deformazione della superficie e l'interno si deforma di più risultando in compressione.



# Vibrazioni e chatter(ing) nella laminazione

- Il chatter è una vibrazione autoeccitata nel processo che porta a una variazione random dello spessore della lamiera e scarsa finitura superficiale.
- E' un fenomeno complesso che risulta dall'interazione dinamica tra i vari componenti in movimento. Più frequente nelle laminazioni con rulli in serie.
- I parametri di controllo sono la velocità di laminazione e la lubrificazione. Il chatter attualmente limita del 50% le velocità utilizzabili in un laminatoio con grosse perdite economiche.
- Si hanno i seguenti modi di vibrazione nel chatter:
  - Chatter torsionale (5-15 Hz): ha poco effetto.
  - Chatter nella terza ottava (125-240 Hz): il più pericoloso. Si riduce la velocità (energia di laminazione) per controllarlo oppure si aumenta la distanza tra gli stadi, la larghezza del laminato, il raggio dei rulli o l'attrito oppure si riduce la deformazione per passata.
  - Chatter di quinta ottava (550-650 Hz): è dovuto alla formazione di difetti sui rulli per troppo lavoro a velocità costanti critiche. Si riduce o previene modulando le velocità di laminazione.

# Operazioni di laminazione

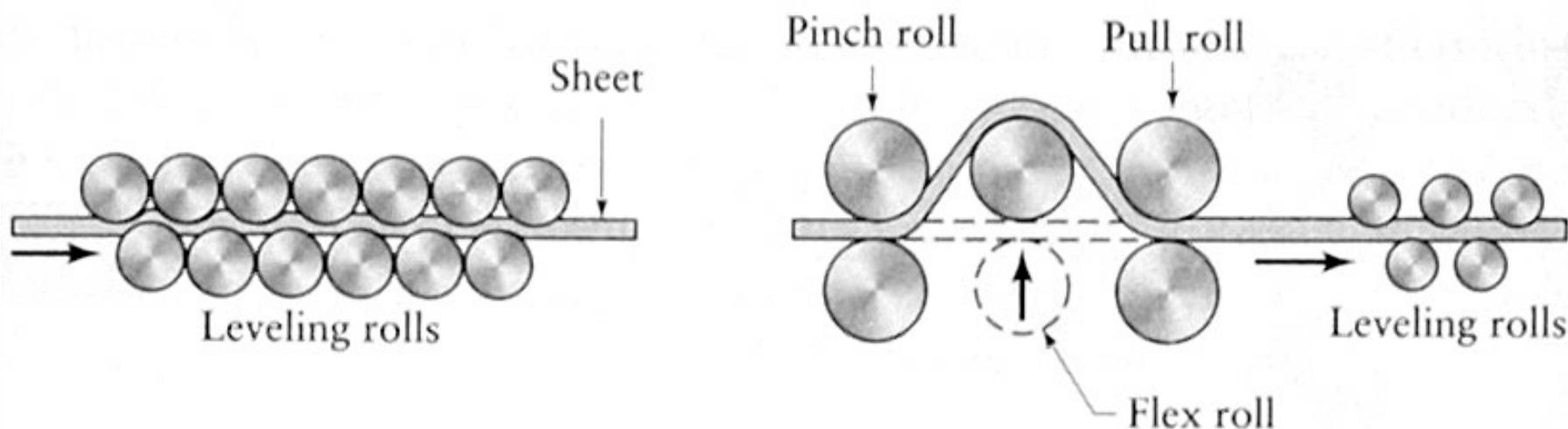
- Il lingotto o il pezzo da colata continua passa prima di tutto attraverso una laminazione a caldo che oltre a uniformare il pezzo dimensionalmente e chiudere la porosità, produce una grana fine e regolare che ne aumenta la duttilità. Le temperature utilizzate sono quelle della forgiatura a caldo (vedere tabella).
- Si produce la bramma (bloom, di sezione quadrata) o lastre (slab, sezione rettangolare).
- Dalle bramme si producono travi di varia sezione oppure rotaie.
- Dalle lastre si procede ad ulteriore laminazione per produrre laminati come lamiere e piastre.
- Possiamo avere anche billette (più piccole, quadrate o tonde) da utilizzare per successiva trafilatura.

# Operazioni di laminazione

- Prima della laminazione a caldo si rimuovono ossidi e scaglie superficiali tramite cannello (torcia) o sgrossatura per abrasione.
- Dopo la laminazione a caldo gli ossidi vengono tolti in acido, per abrasione o getti d'acqua in pressione.
- Si possono eseguire laminazioni a pacchetto, nella quale si laminano insieme due o più strati. E' utilizzata con fogli di alluminio, la parte a contatto con i rulli assume una superficie più splendente, mentre le superfici foglio-foglio hanno un aspetto satinato.
- Per acciai a medio contenuto di carbonio si esegue una laminazione con riduzione di sezione bassa (0.5-1.5%) per incrudire la superficie ed evitare irregolarità della superficie (bande di Lueder)

# Operazioni di laminazione

- Per aumentare la planarità delle lamiere si può utilizzare una serie di rulli livellanti, ogni rullo ha un motore indipendente e flette la lamiera nel verso opposto al precedente.

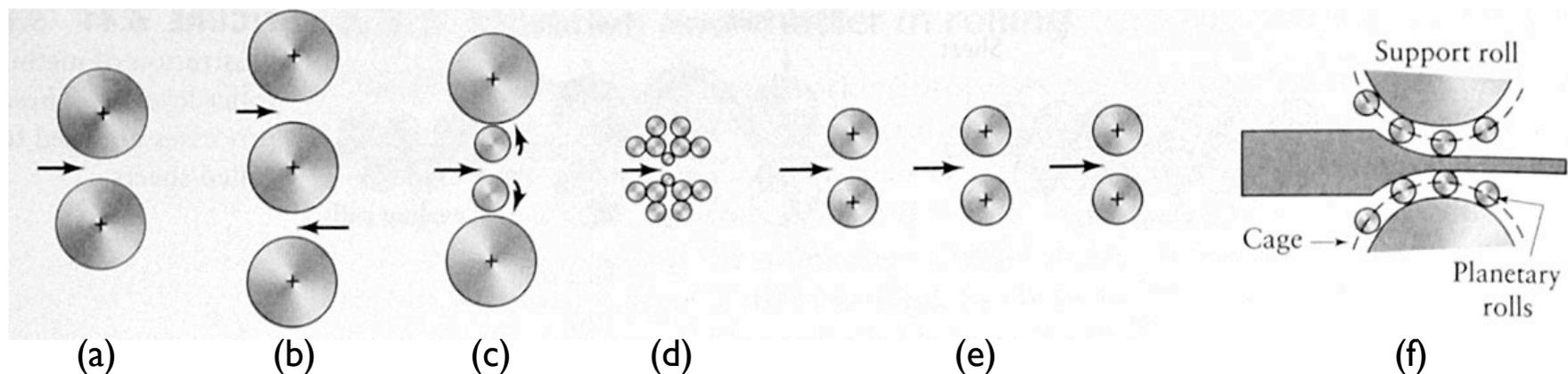


# Operazioni di laminazione

- **Lubrificazione:**
  - le leghe ferrose non usano lubrificazione, tranne alcuni casi dove si usa grafite
  - si usano delle soluzioni acquose per raffreddare i rulli e rompere l'ossido che si forma sul pezzo
  - le leghe non ferrose vengono lubrificate con oli, emulsioni e acidi grassi
  - nella laminazione a freddo si usano lubrificanti a bassa viscosità come oli minerali, emulsioni, paraffine e oli grassi.

# Sistemi di laminazione

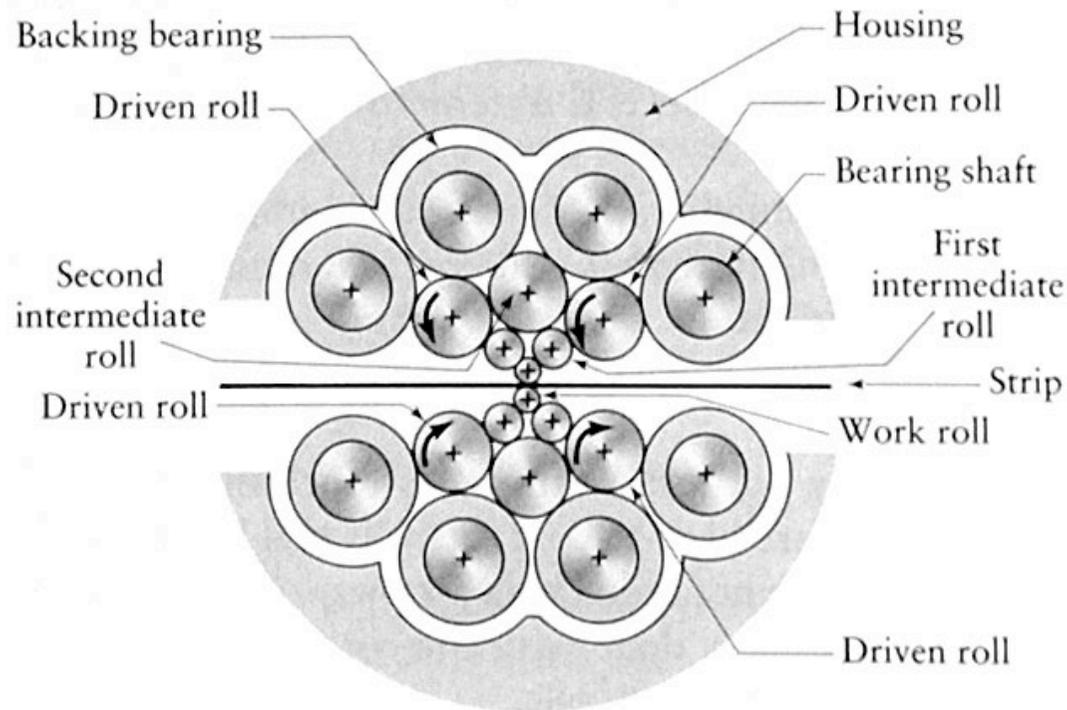
- I sistemi principali di laminazione sono indicati in figura:



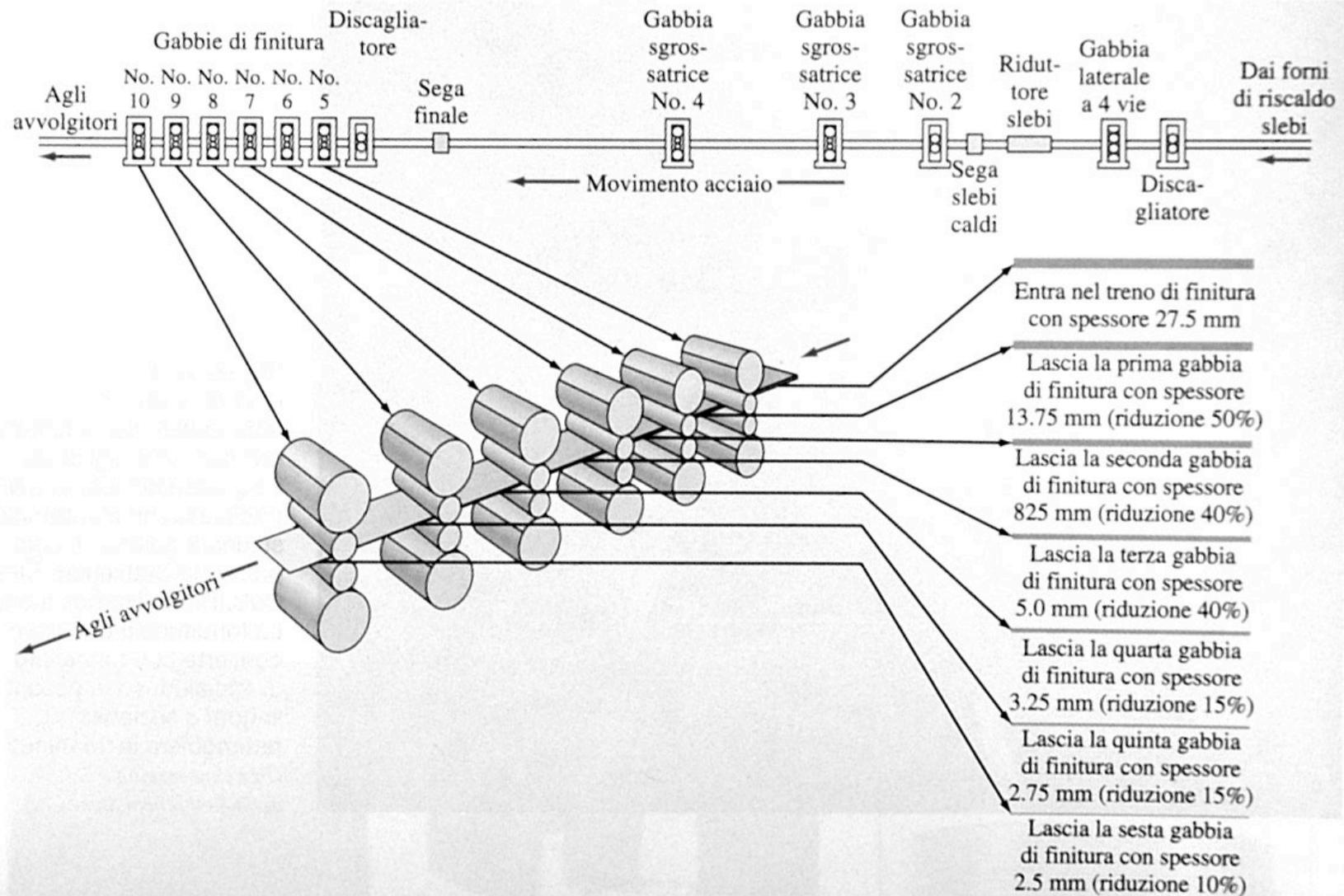
- (a) Sistema a due rulli sovrapposti (si usano per laminazioni iniziali)
- (b) Sistema a tre rulli sovrapposti (si usano per laminazioni iniziali)
- (c) Sistema a quattro rulli sovrapposti, i rulli a diametro maggiore riducono la flessione dei rulli più piccoli
- (d) Sistema in cluster
- (e) Laminazione in tandem con tre stadi
- (f) Sistema di laminazione planetario

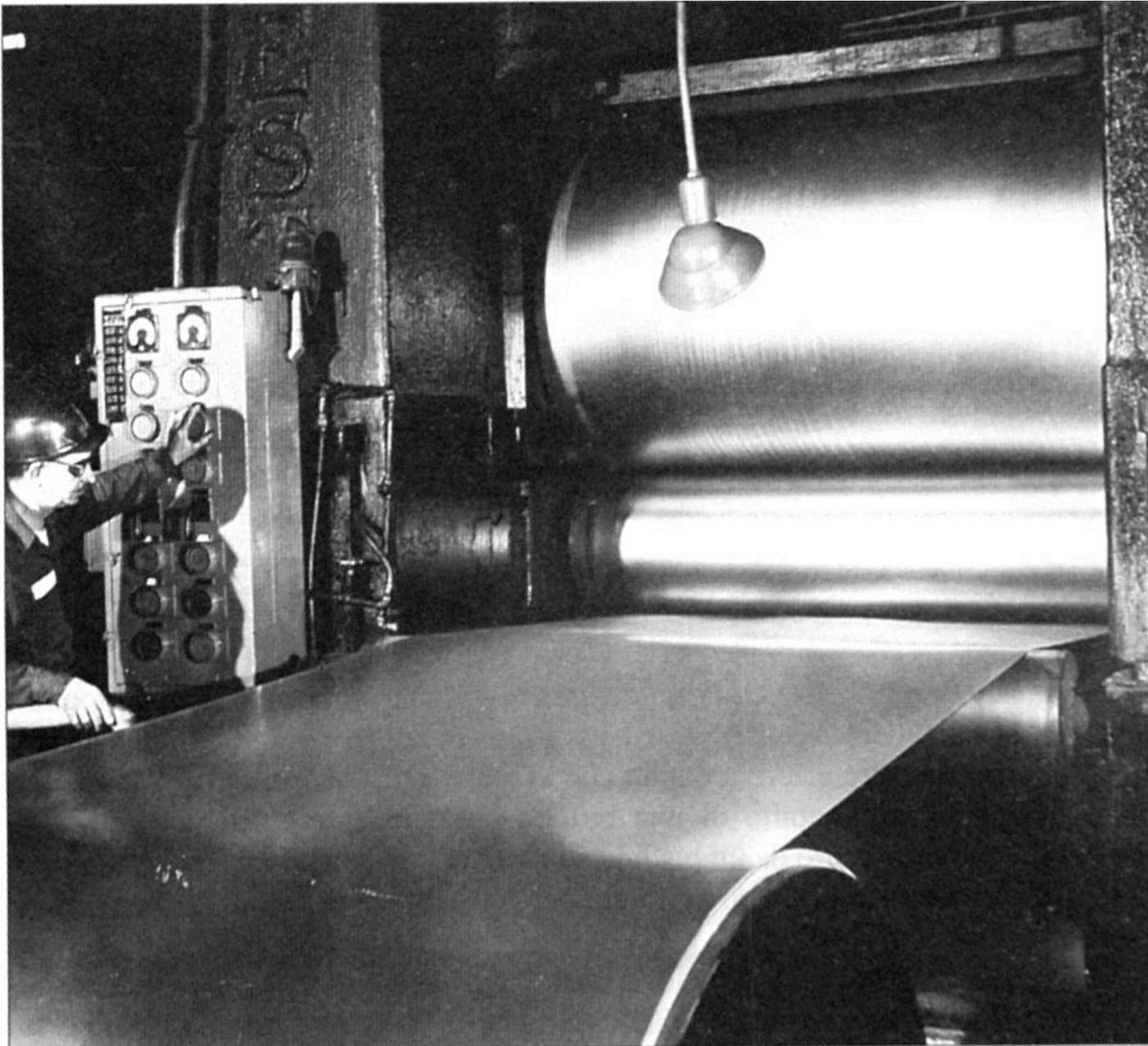
# Cluster mill (laminatoio, Sendzimir)

- Si utilizza per laminazioni a freddo in fogli sottili (fino a 2.5 microns) di materiali duri e fogli molto larghi (5 m). L'alta rigidezza del sistema garantiscono un ottimo controllo dimensionale.
- Sono sistemi altamente automatizzati che lavorano fino a 25 m/s. I rulli sono in genere in ghisa e acciai forgiati. Il rullo di lavoro centrale è di solito in carburo di tungsteno.



# Esempio laminatoio





L. Lutterotti - Tecnologie e sistemi di lavorazione I- anno 2005-2006

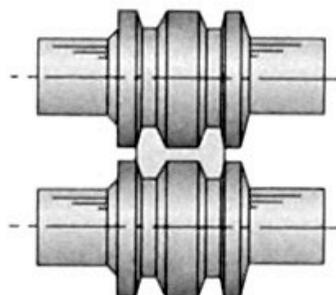
## Altri sistemi di laminazione

- **Minimills (minilaminatoi):** utilizzano metalli da riciclo che vengono fusi in forni ad arco elettrico, colati in continuo e laminati in prodotti specifici diretti per il mercato. In genere operano a livello locale sia per l'approvvigionamento di materiale da riciclo che per la vendita dei prodotti.
- **Laminatoi integrati:** sono facilities di grosse dimensioni che integrano attività complete dalla produzione in colata alla laminazione nei prodotti finali con ampia flessibilità.

# Laminazioni minori: shape rolling

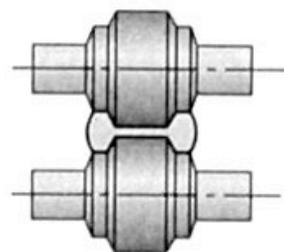
- Si parte da bramme e si producono forme di sezione particolare tramite laminazioni a più stadi.

Stage 1



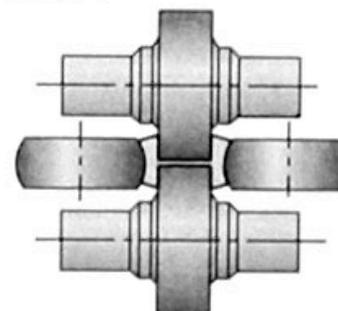
Blooming rolls

Stage 2



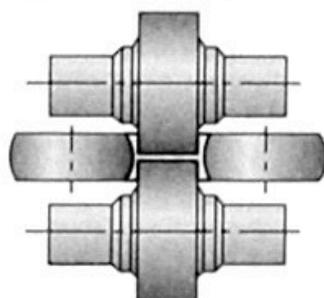
Edging rolls

Stage 3



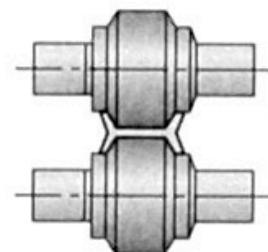
Roughing horizontal  
and vertical rolls

Stage 4



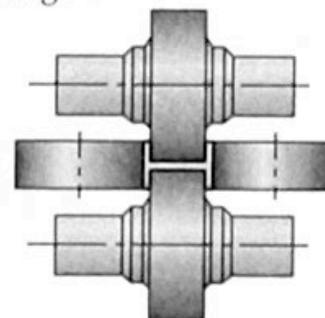
Intermediate horizontal  
and vertical rolls

Stage 5



Edging rolls

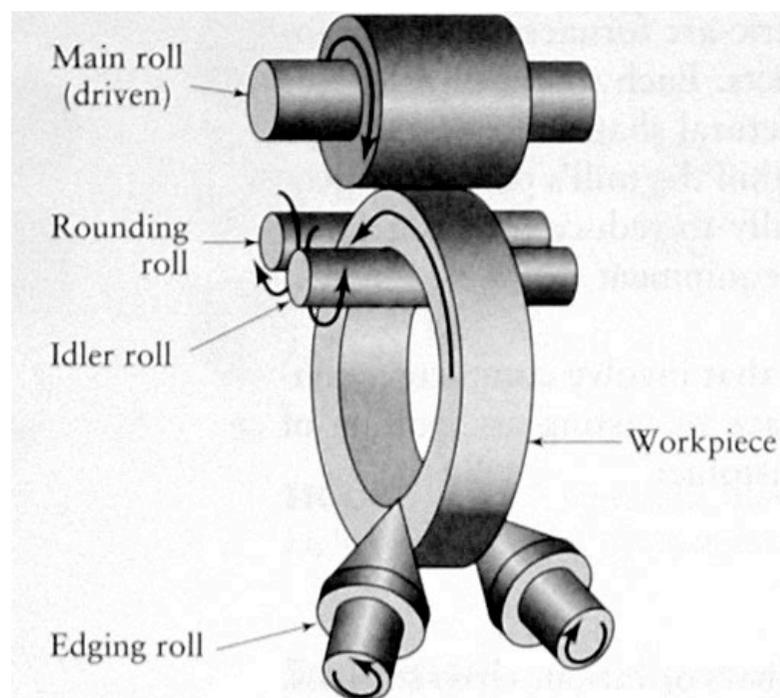
Stage 6



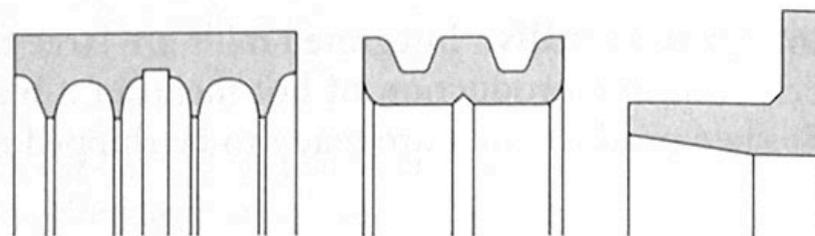
Finishing horizontal  
and vertical rolls

## Laminazioni minori: laminazione ad anello

- Si parte da un anello spesso che viene espanso in un anello di diametro maggiore e sezione inferiore.
- Si producono grossi anelli di tenuta per turbine o per cuscinetti con tolleranze molto basse e tessitura dei grani favorevole alle proprietà meccaniche.

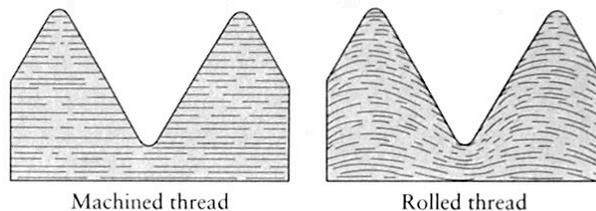
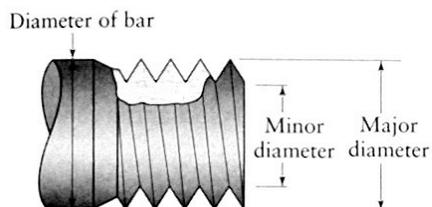
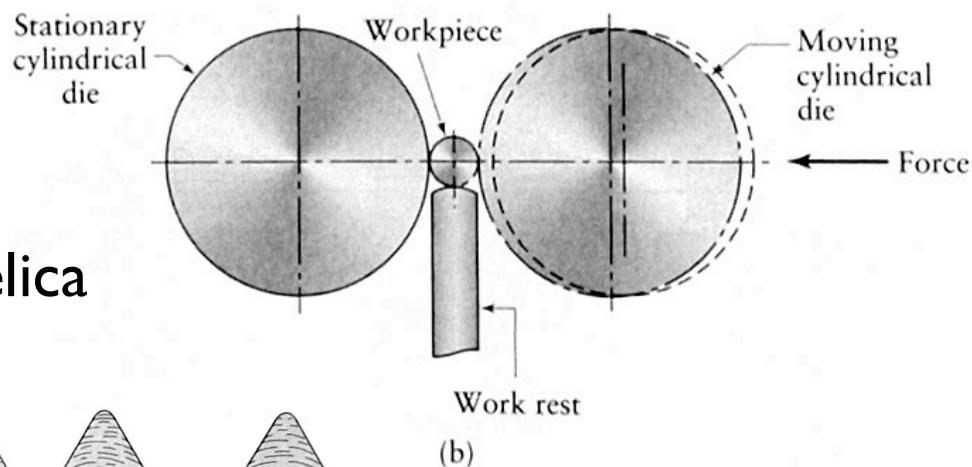
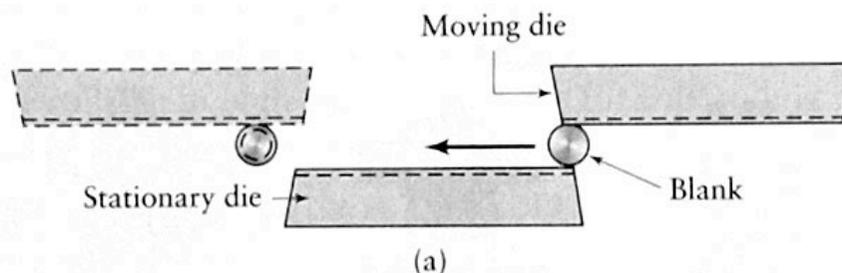


### Esempi di sezioni realizzabili

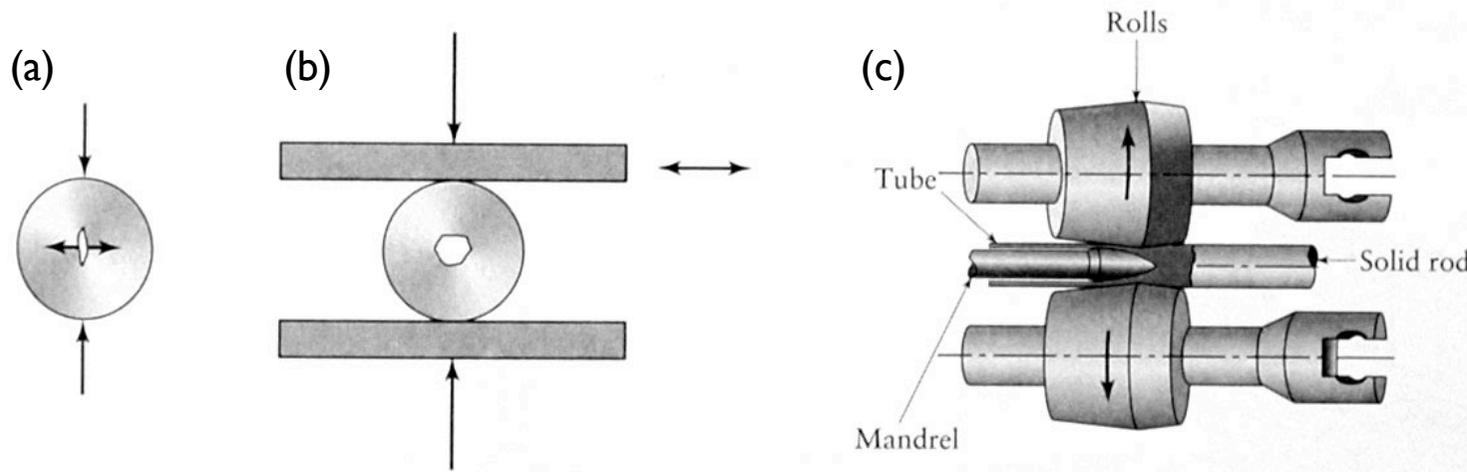


# Laminazioni minori: thread and gear rolling

- Si eseguono filettature per formatura senza asportazione di truciolo.
- I pezzi hanno resistenze e durezza maggiori.
- Con stampi piani si arriva a 8 pezzi/s
- Con stampi rotanti si arriva a 80 pezzi/s
- Si producono ingranaggi a elica



## Rotary tube piercing e laminazioni a tubo



- Rotary tube piercing, si sfrutta il principio di Mannesmann, ossia che un cilindro compresso come in (a) si frattura al centro per sforzi secondari. Comprimeo e ruotando si sviluppa una cavità al centro (b). Nel processo si utilizza un mandrino per allargare il buco e portarlo alle dimensioni richieste. I due rulli sono inclinati per muovere in avanti il pezzo.
- Tube rolling: si modifica lo spessore e diametro dei tubi con un sistema simile al precedente, con o senza mandrino interno.