



Capitolo 2

PROGETTAZIONE ORIENTATA ALLA FABBRICAZIONE

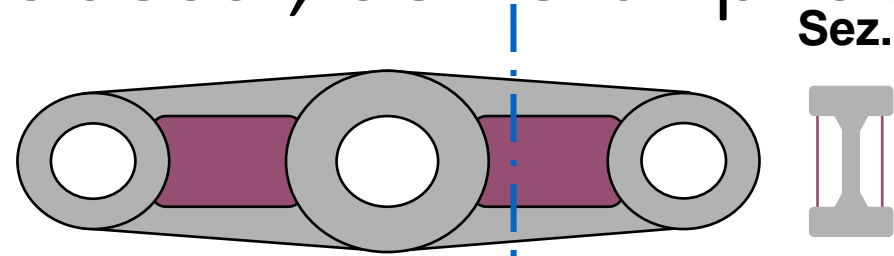
Argomenti

- Criteri generali di Design For Manufacturing
- Processi di fabbricazione
- Errori da evitare

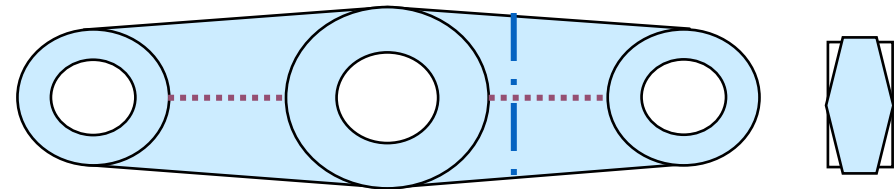
Processi di fabbricazione

- Formatura (fonderia, metallurgia polveri, stampaggio ad iniezione)
- Deformazione plastica
 - “a caldo” (forgiatura, stampaggio, ricalcatura)
 - “a freddo” (piegatura imbutitura, profilatura)
- Addizione
 - sovrapposizione di strati (compositi, *rapid prototyping*, *additive manufacturing*)
- Separazione
 - meccanica (tranciatura, lavorazioni alle M.U.)
 - termica (taglio al cannello, laser, ecc.)
 - elettrochimica
- Unione
 - per saldatura o brasatura
 - incollaggio
 - con chiodi, rivetti, ecc.
 - per deformazione

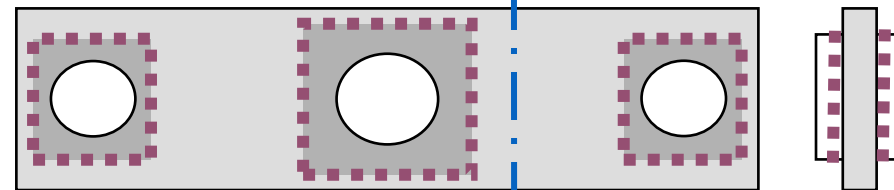
Processi, serie di produzione e costi



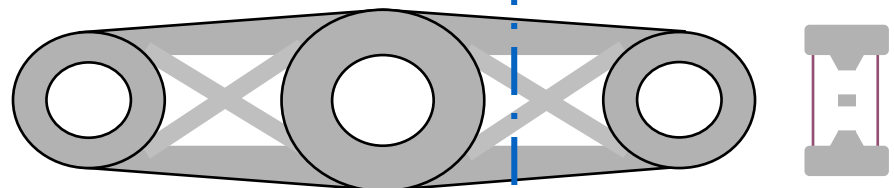
**Per fusione, in ghisa
(media e grande serie)**



**Per stampaggio, in acciaio
(grande serie)**

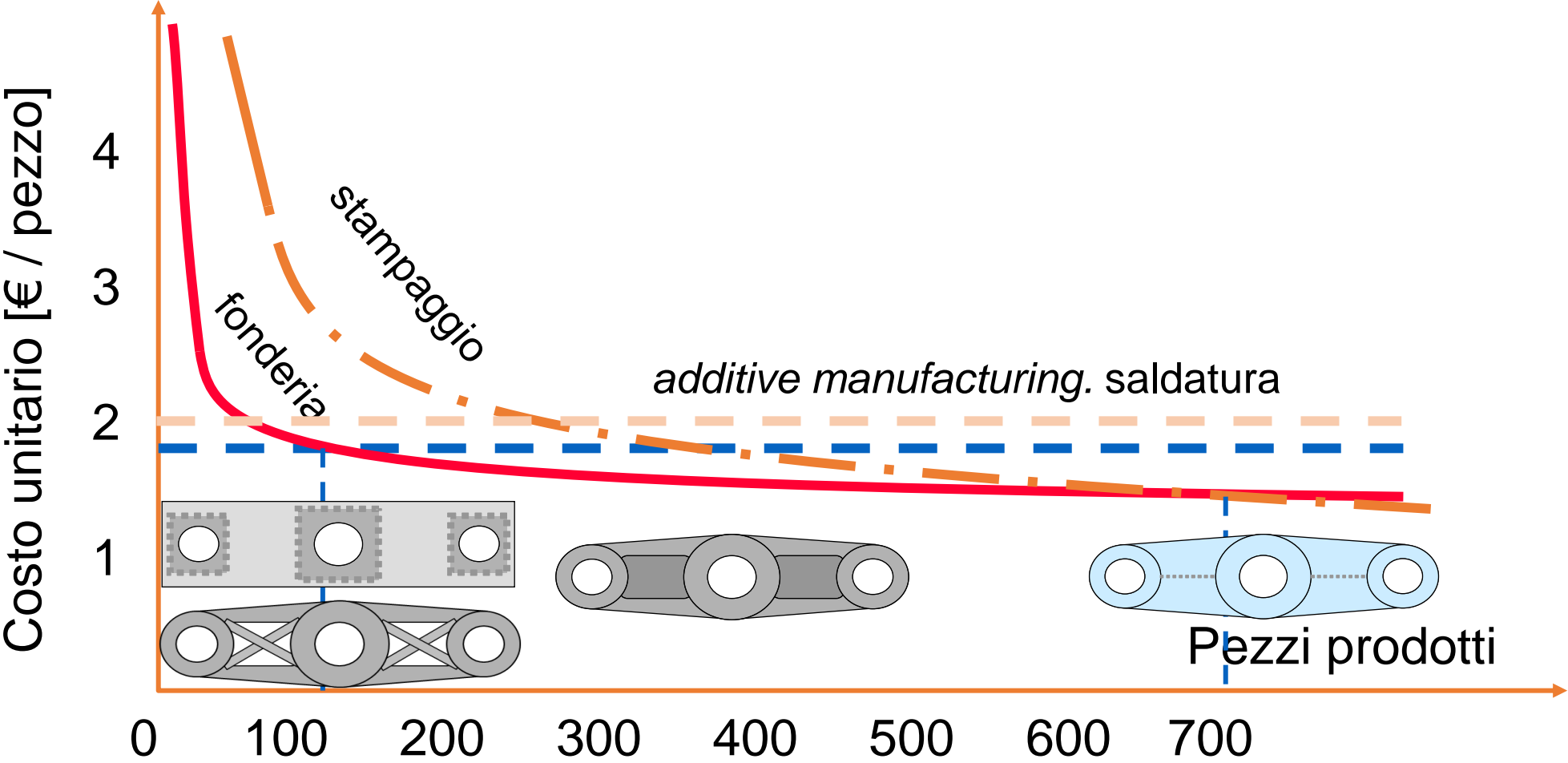


**Per saldatura, in acciaio
(pochi esemplari)**

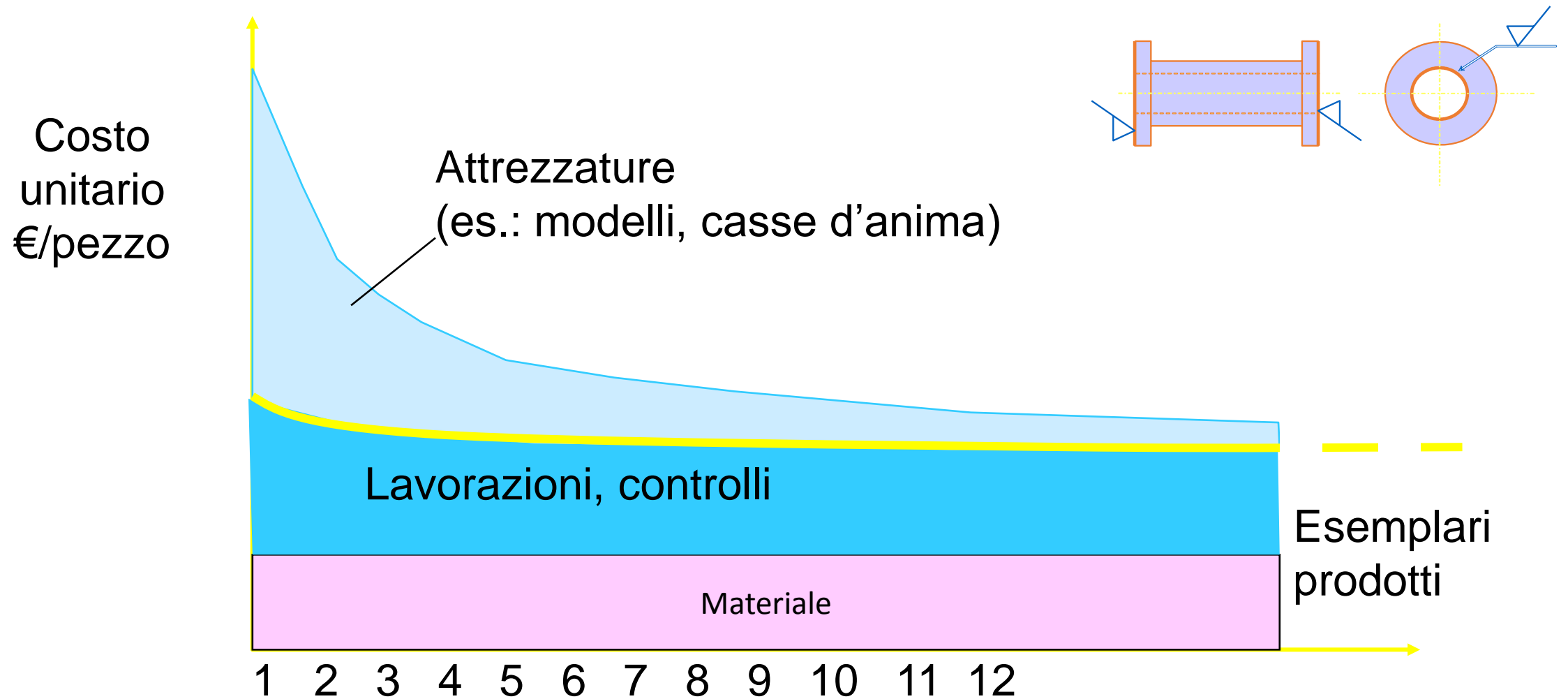


**Per *additive manufacturing*
(singolo / piccola serie)**

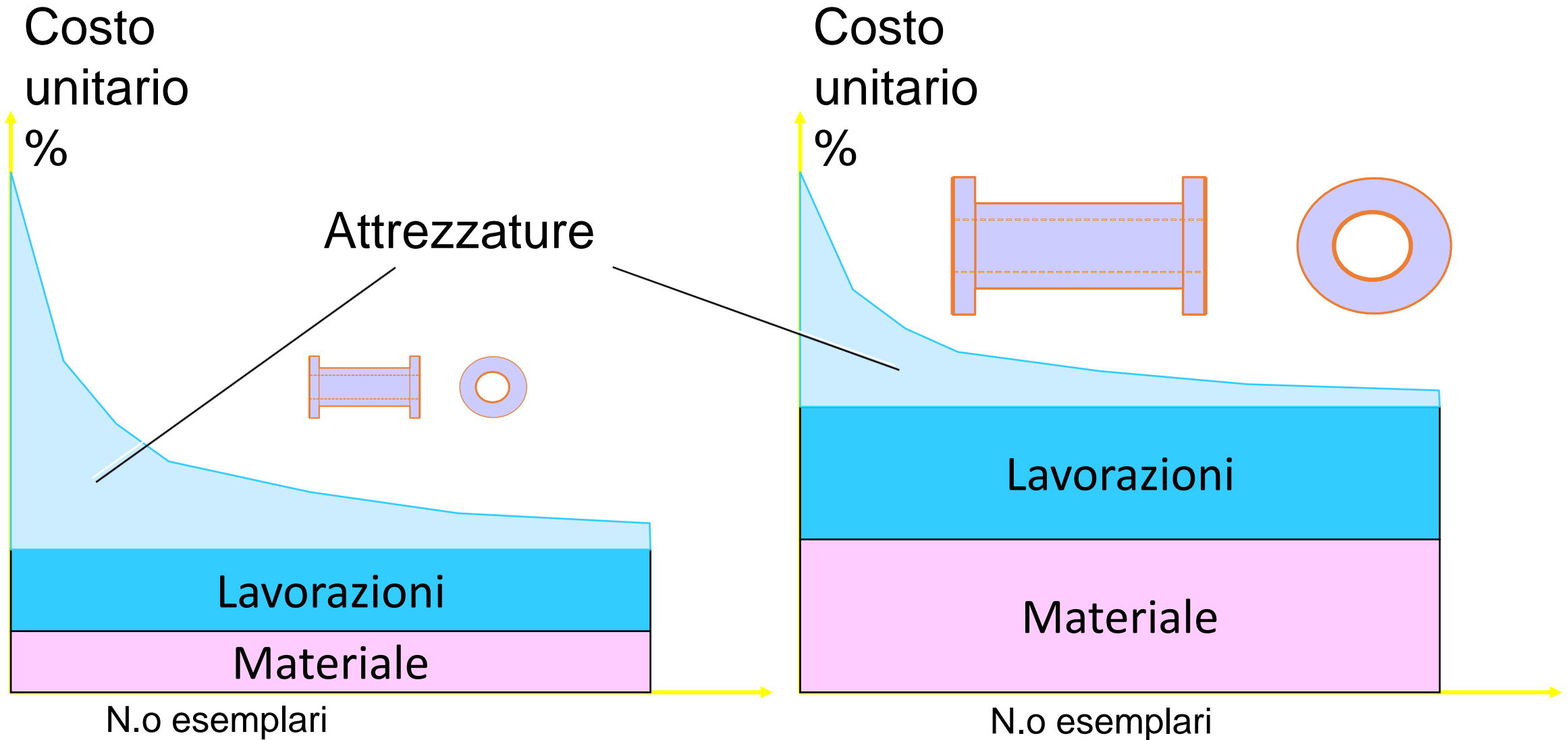
Processi, serie di produzione e costi



Componenti del costo di fabbricazione



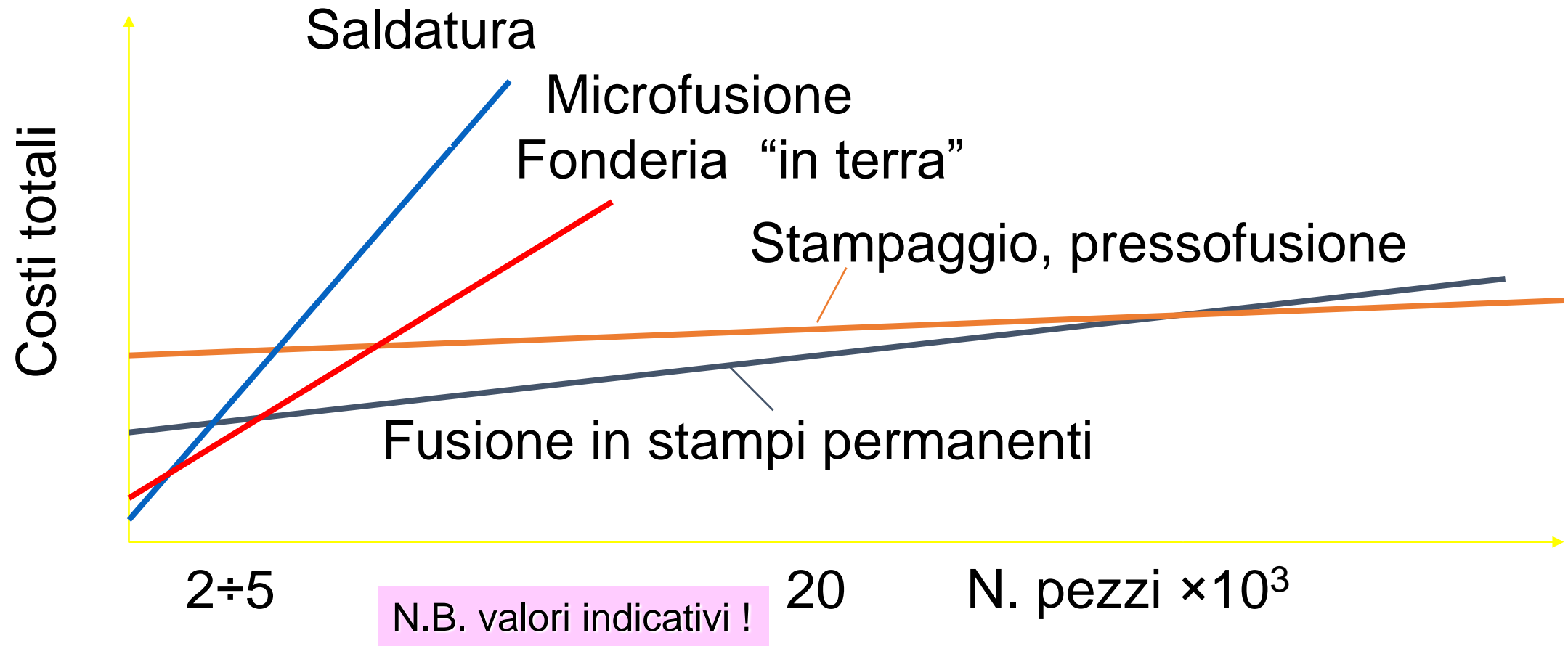
Influenza delle dimensioni sui costi



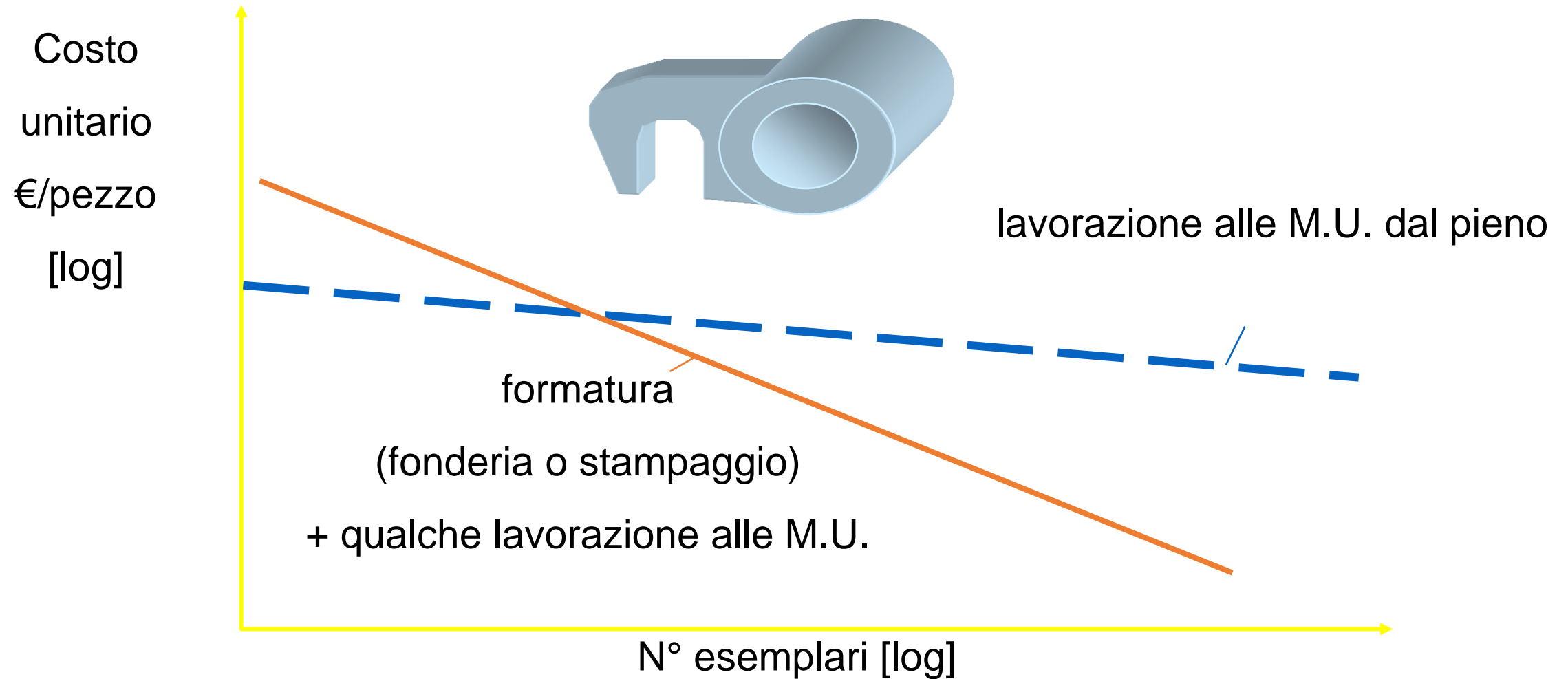
Dimensioni, volumi di produzione e costi

- Costi del materiale $\propto L^3$
- Costi dei trattamenti termici $\propto L^3$
- Costi delle lavorazioni $\propto L^2$
- Costi di ricoprimenti superficiali $\propto L^2$
- Costi attrezzature, impianti $\propto N^{-1}$

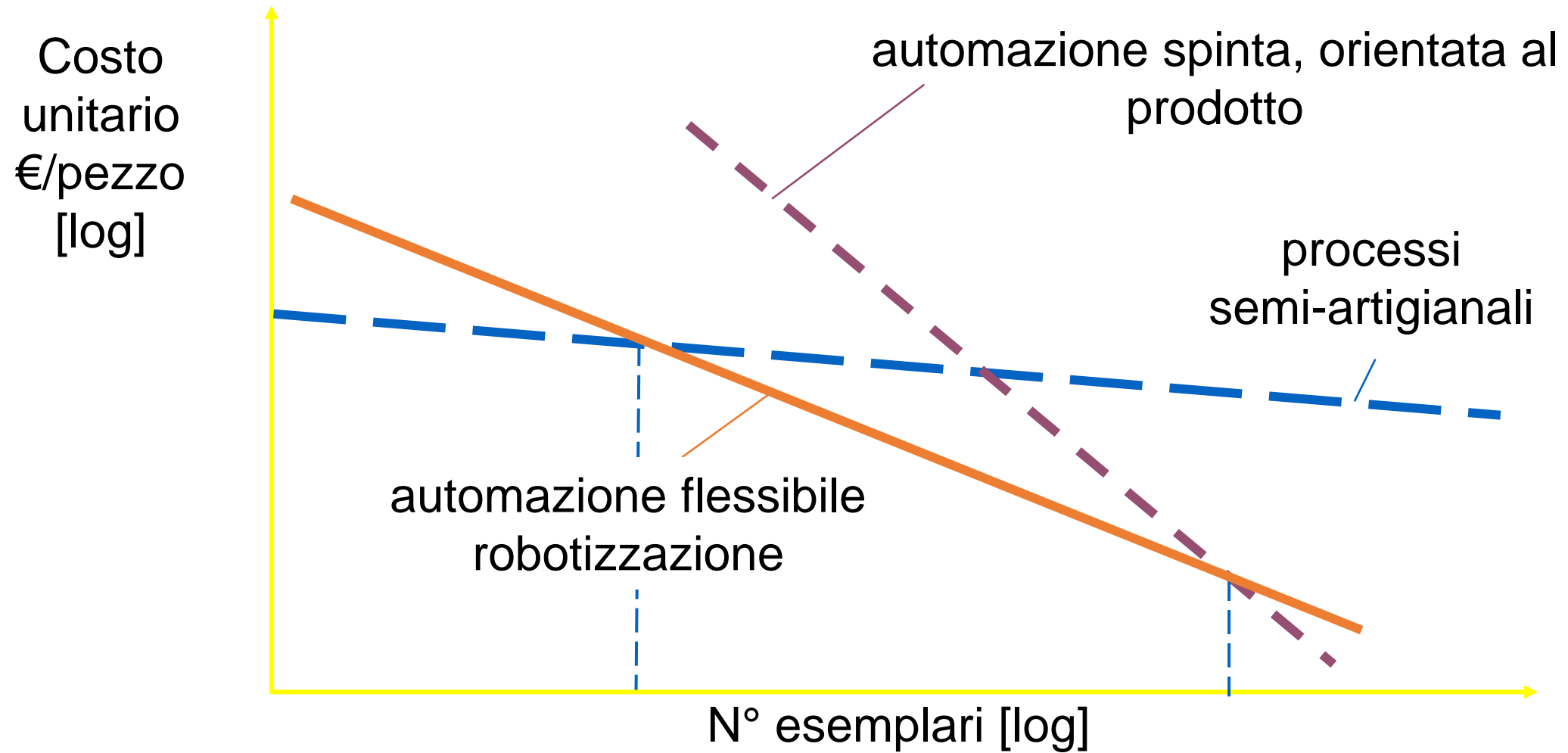
Processi, costi e serie di produzione



Costi unitari e volumi produzione



Costi unitari e volumi produzione



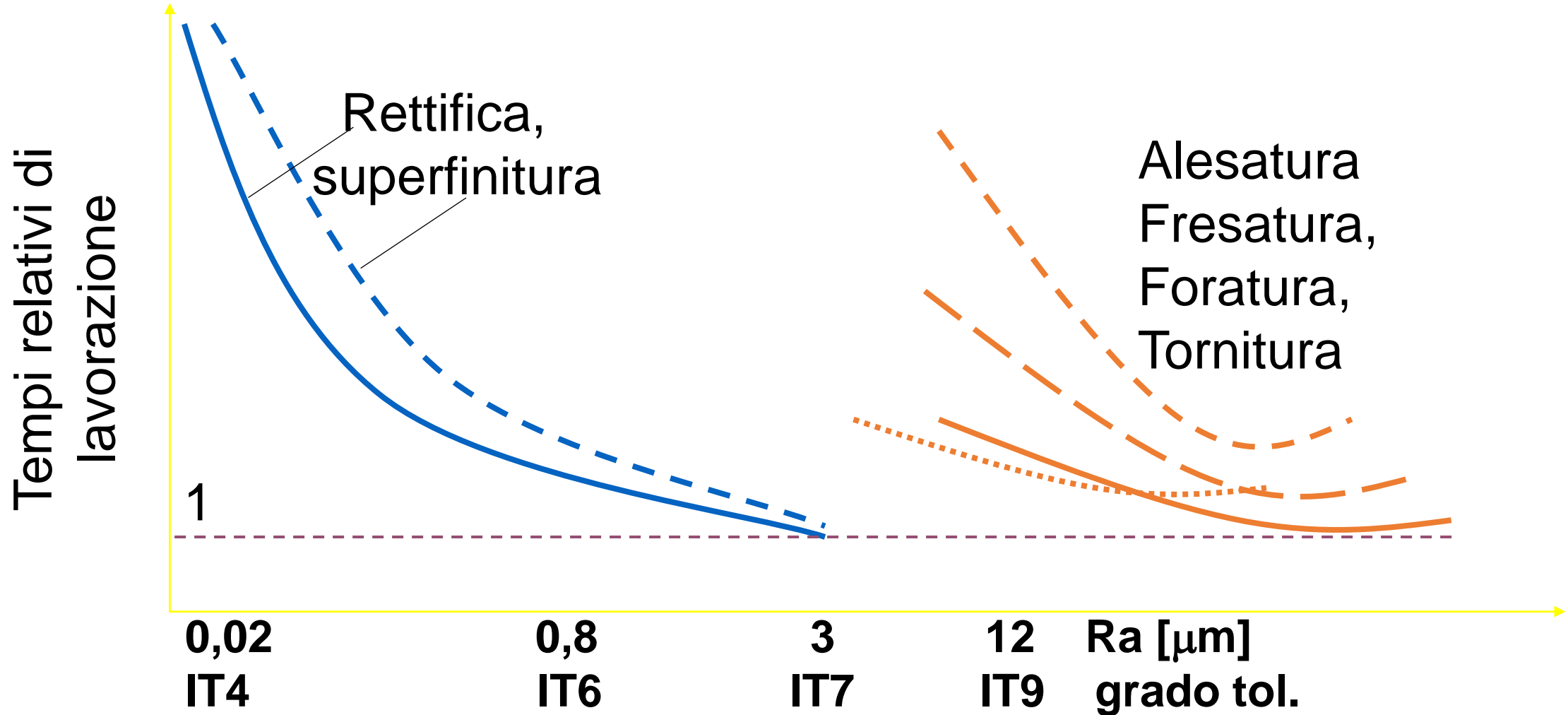
Riepilogo

- La componente percentuale del costo che dipende dalla realizzazione di modelli, stampi, attrezzi e strumenti speciali si riduce:
 - con l'aumento del volume di produzione (contributo al costo unitario $\propto N^{-1}$)
 - con l'aumento delle dimensioni perché allora prevalgono altri costi (del materiale e dei trattamenti termici $\propto L^3$; per lavorazione o trattamento delle superfici $\propto L^2$)

Precisione, finiture

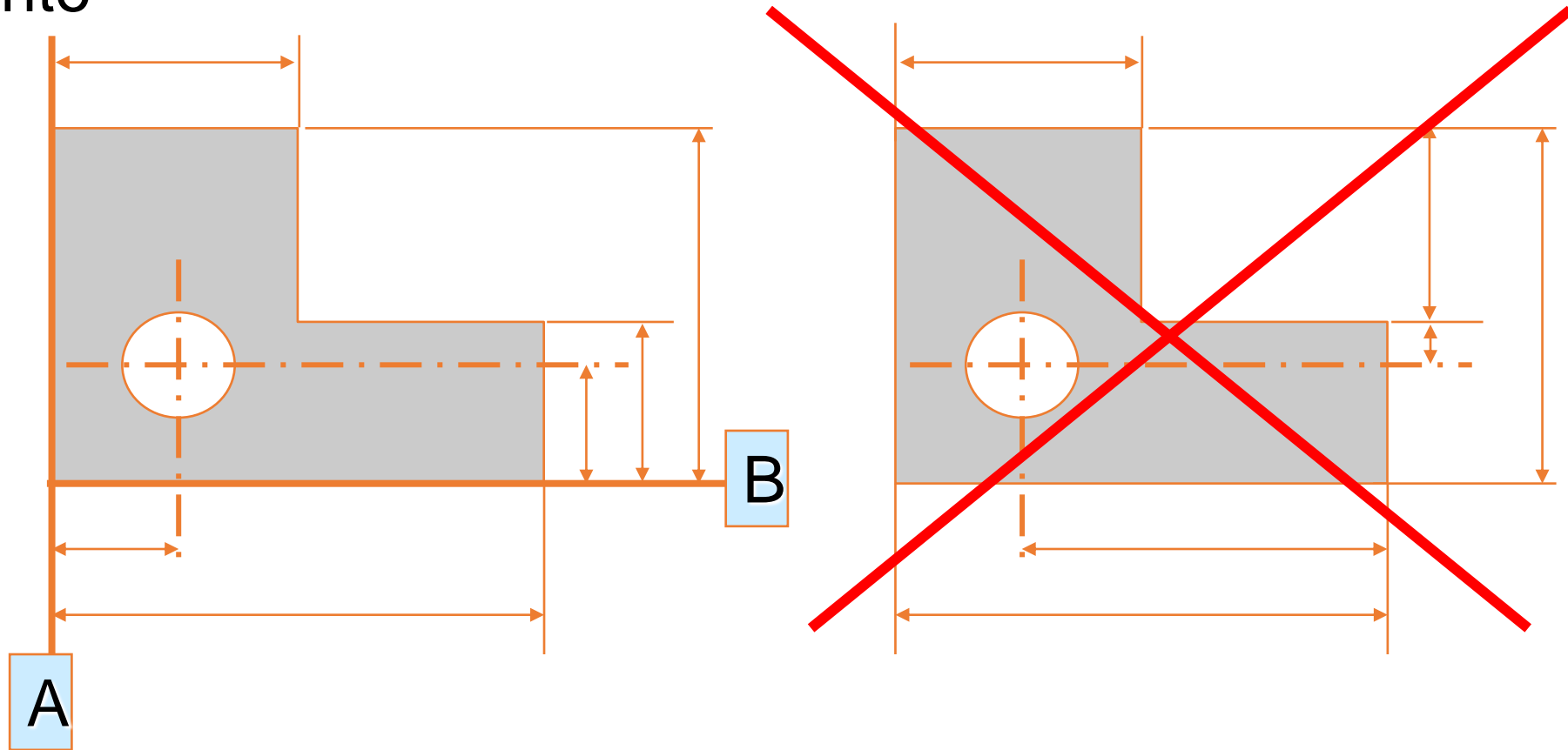
- Ad ogni processo corrispondono una precisione ed una finitura “ordinarie”.
- Precisione o finitura “straordinarie” richiedono lavorazioni più lunghe e/o utensili e macchine speciali.
- I costi aumentano rapidamente con le esigenze di maggiore precisione o di migliore finitura.

Finitura e precisione, tempi (e costi) delle lavorazioni alla M.U.



Criteri generali: quotatura

Poche, chiare superfici di riferimento





PROCESSI DI FORMATURA

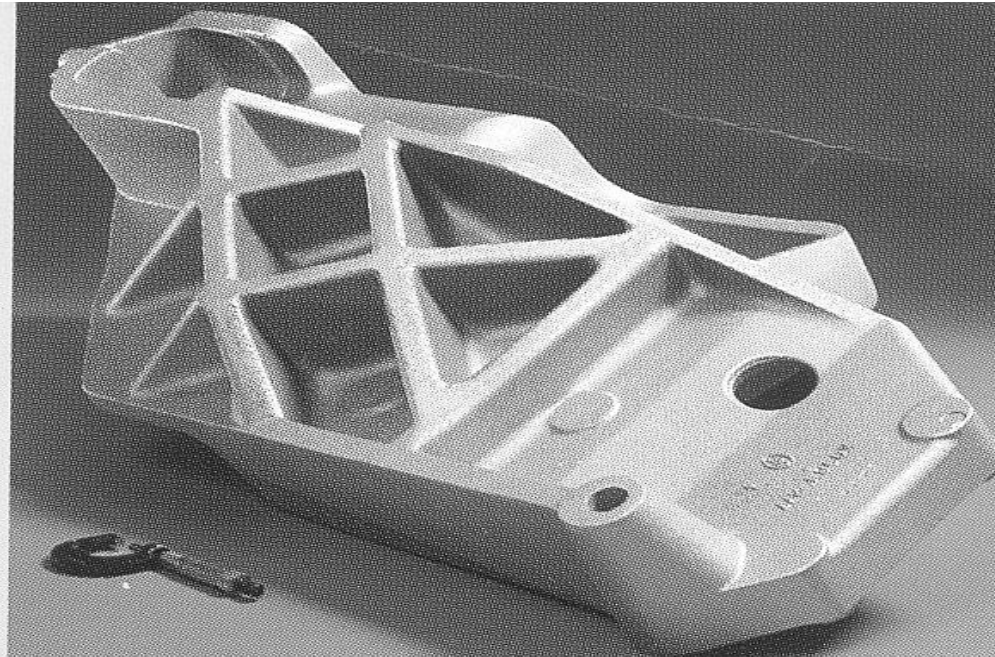
Esempi

Criteri generali

Richiami sui processi principali

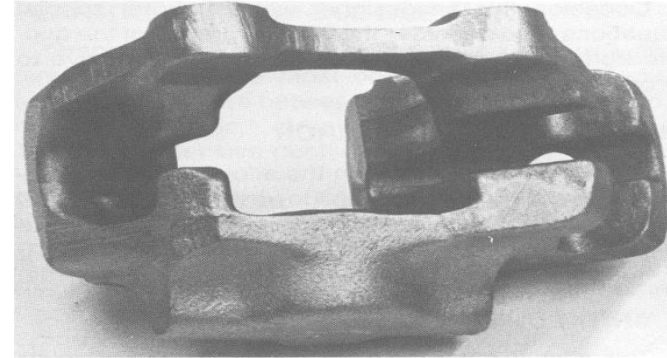
Criteri di disegno dei pezzi

Esempi di pezzi fusi

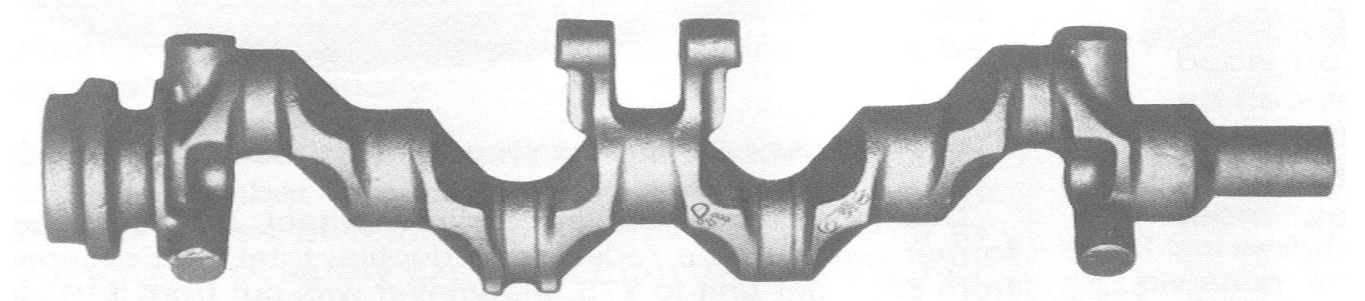


Carcasse, supporti

Lega Al Si



Pinze per freni a disco
Alberi a gomito



Ghisa malleabile

Esempi di pezzi fusi o microfusi (cera persa)



Grande getto in acciaio

Getti in Al Si
In forme terra

Piccola pressofusione
In ZAMa



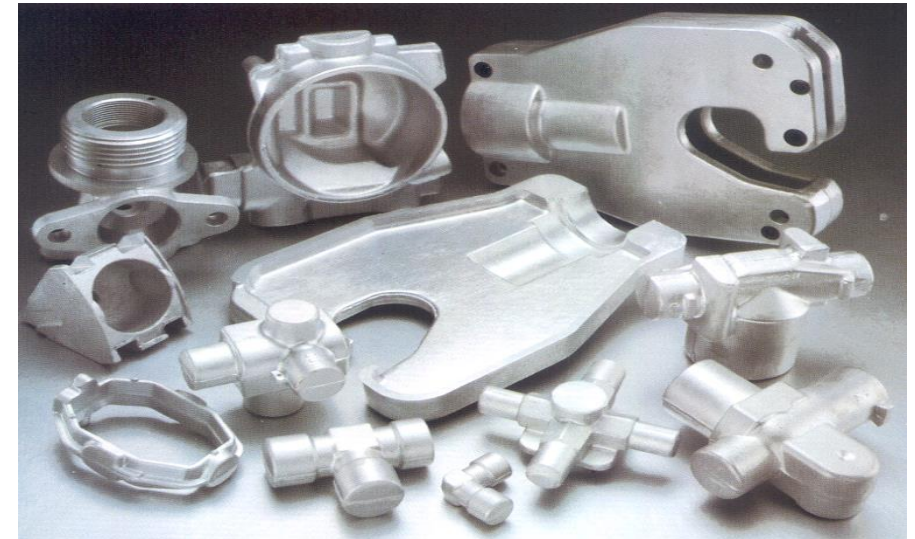
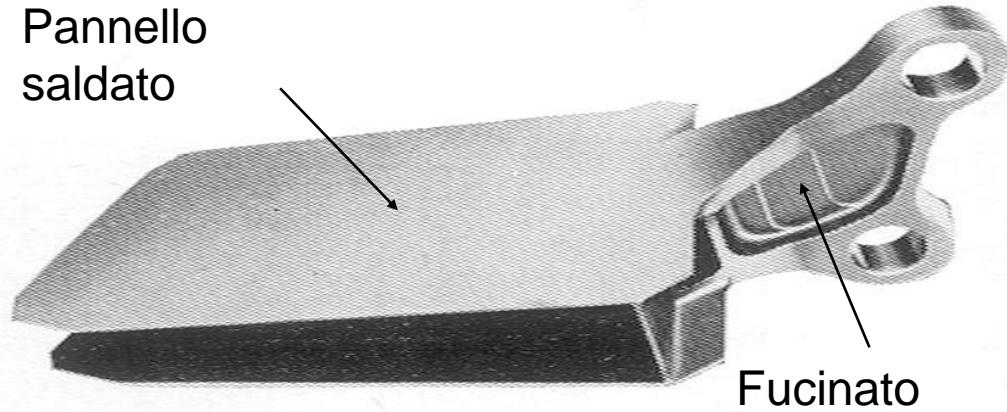
Microfusione in
acciaio



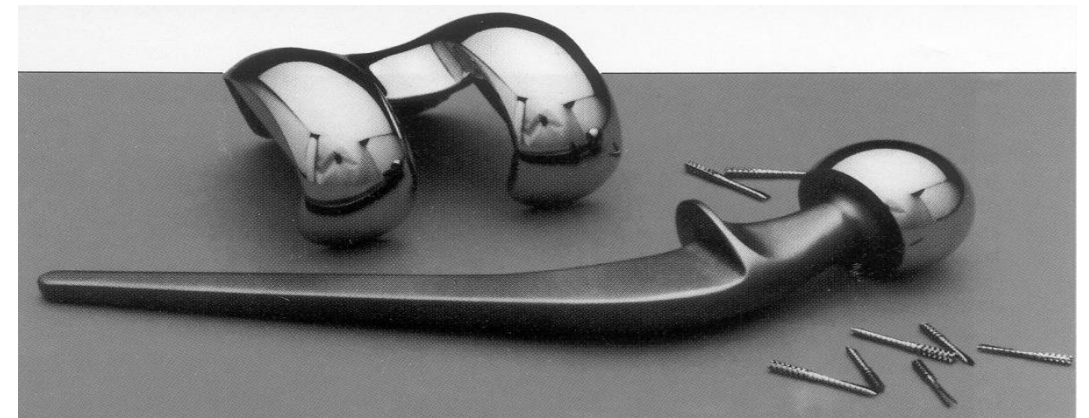
Esempi di pezzi stampati a caldo

Leghe di Al Cu Mg

Pannello
saldato



Acciai alta resistenza

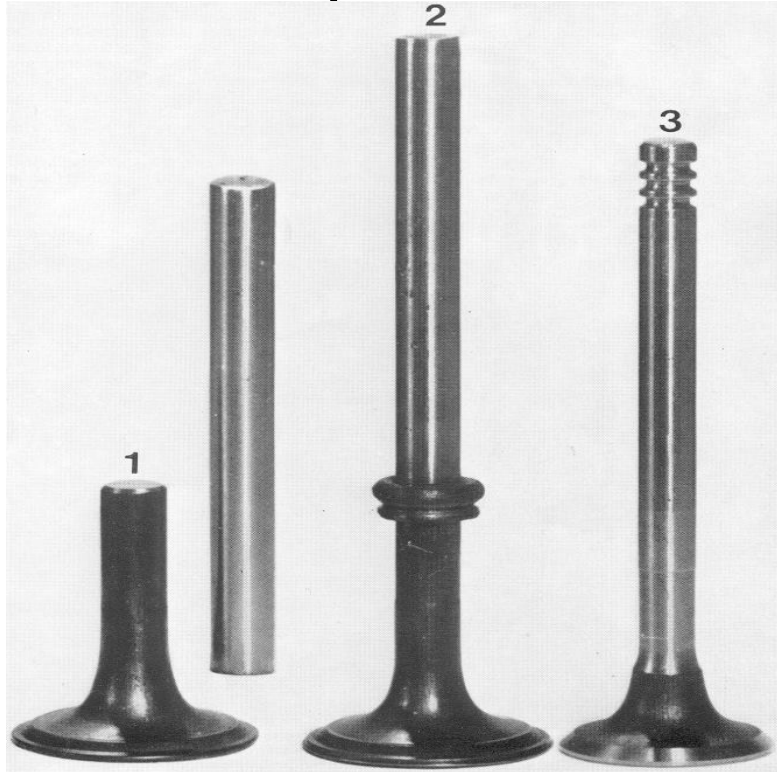


Legha di Titanio

Integrazione tra più processi

- La fonderia offre grande libertà di scelta di forme e dimensioni
- Lo stampaggio a caldo pone invece numerose limitazioni al riguardo
- Tramite la saldatura si possono:
 - superare alcune delle suddette limitazioni
 - combinare materiali diversi

Esempi di pezzi stampati e saldati a caldo



Valvola di scarico



BLISK = BLades + diSK
Palette saldate al disco



Formatura: pro e contro

- Riduzione del materiale grezzo e dello sfrido.
- Forme prossime o coincidenti (*net shape*) con quella definitiva.
- Struttura interna del materiale:
 - favorevole? orientamento delle fibre in direzione flusso (proprietà meccaniche migliori in tale direzione)
 - sfavorevole? orientamento delle fibre sfavorevole e soluzioni di continuità ove due flussi separati si riuniscono (meglio flusso unidirezionale)
- Costo di attrezzature, stampi, modelli.

Formatura e materiali

- **Fonderia**

- Struttura creata dalla solidificazione
- Difettosità diffusa o locale (bolle e cavità)
- Coazioni dovute ad impedito ritiro (spessori diversi, tempi di solidificazione diversi).

- **Deformazione plastica a caldo**

- Struttura orientata dal flusso plastico
- Limitata difettosità
- Alterazioni (es. decarburazione superficiale, minore durezza, legata alla lavorazione ad alta temperatura)

Fonderia “in terra”

spessori minimi indicativi [mm]

<i>Dimensioni</i>	<i>< 300</i>	<i>< 1200</i>	<i>< 3600</i>
Leghe Al	3-5	8	16
Bronzi	2,4-3	8	16
Ghisa grigia	3	10	19
Ghise mall.	5	13	19
Acciaio	6	15	24



DISEGNO DEI PEZZI DA FONDERIA

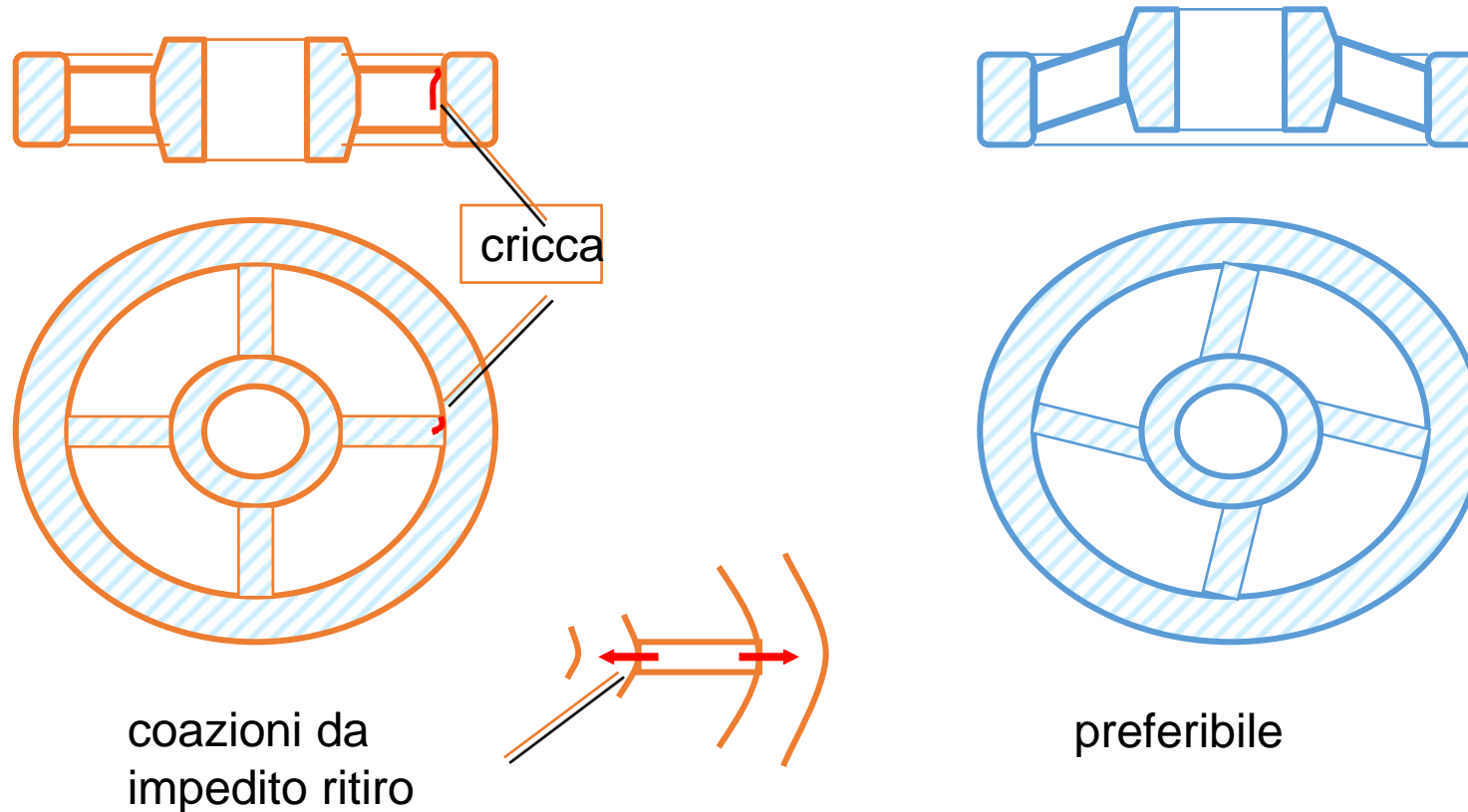
Criteri generali:

Semplificare la formatura

Criteri generali

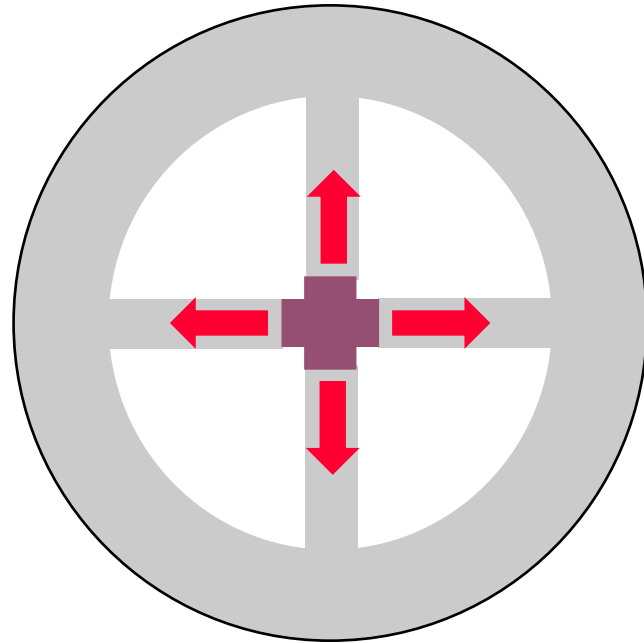
Evitare coazioni

l'ultima parte a solidificare "tira" quella già solidificata

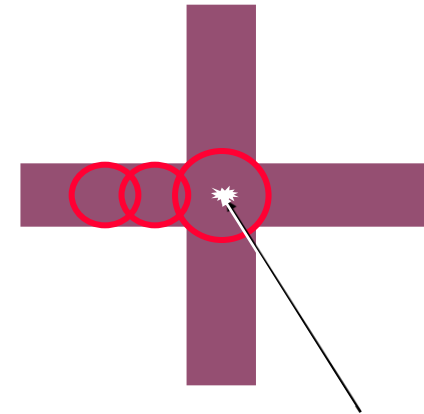


Criteri generali

Evitare l'incrocio in un punto di più nervature



coazioni

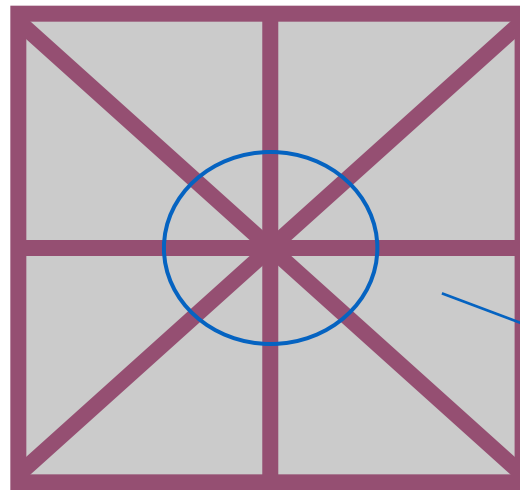


difettosità

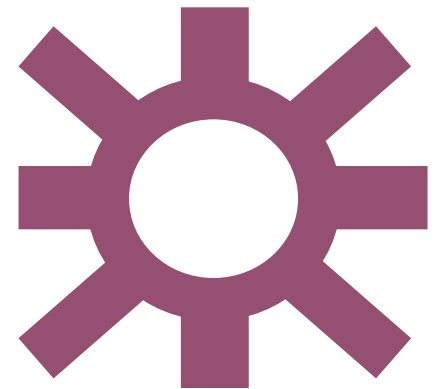
dovute alla solidificazione differenziata (parti sottili/spesse)

Criteri generali

Nervature

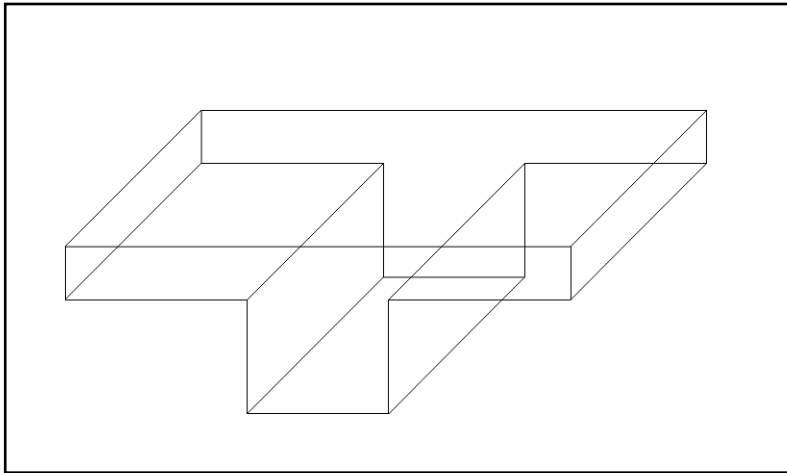


rimediao

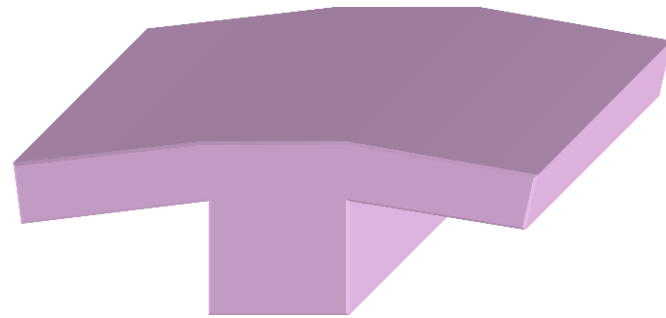


Criteri generali

Evitare distorsioni



Disegnato



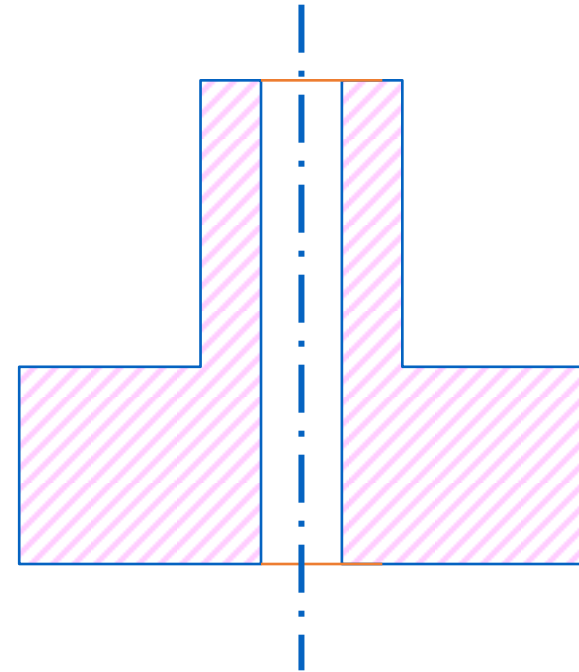
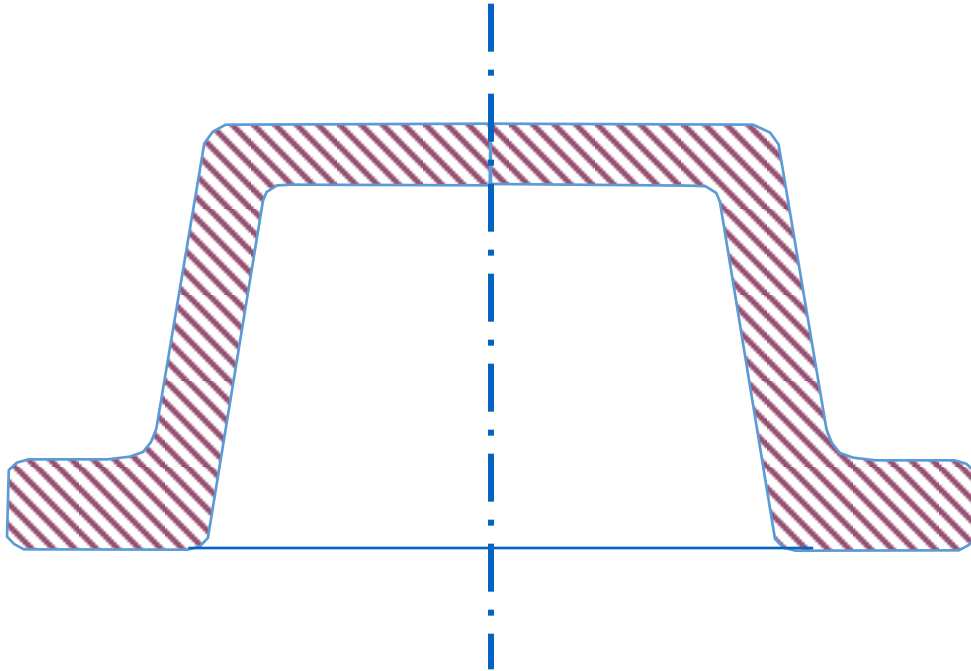
Dopo formatura:



Modifica

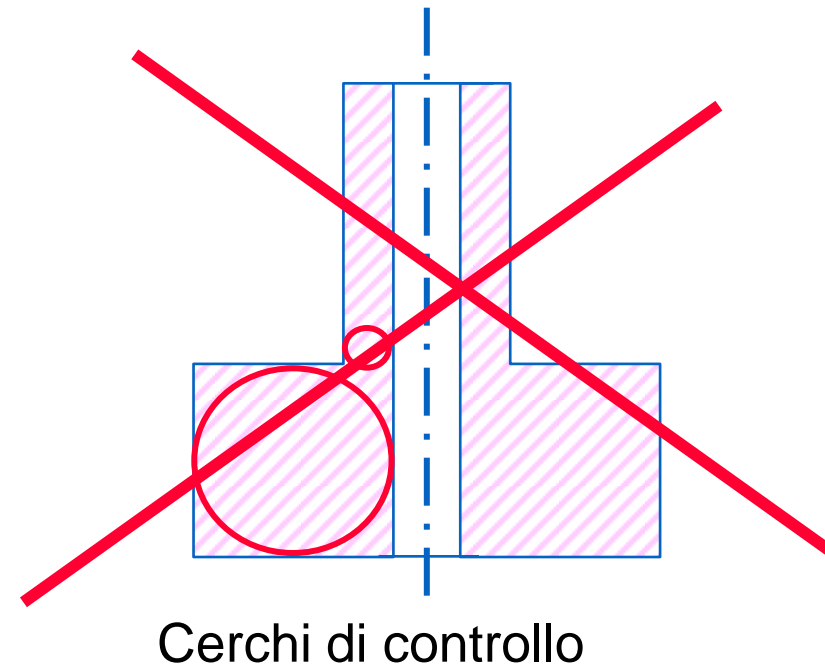
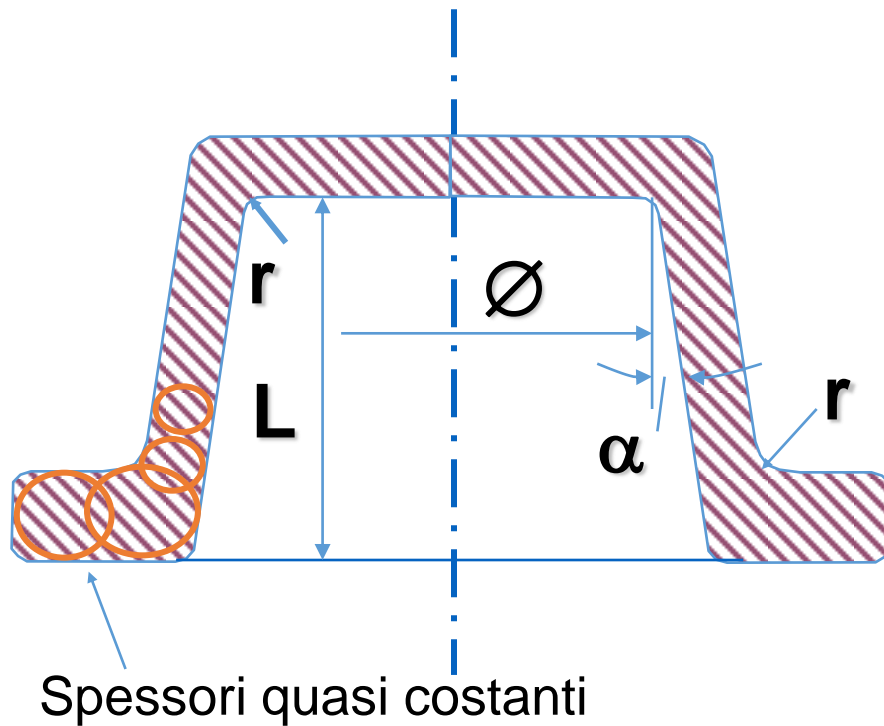
Criteri generali

Spessori uniformi, raccordi



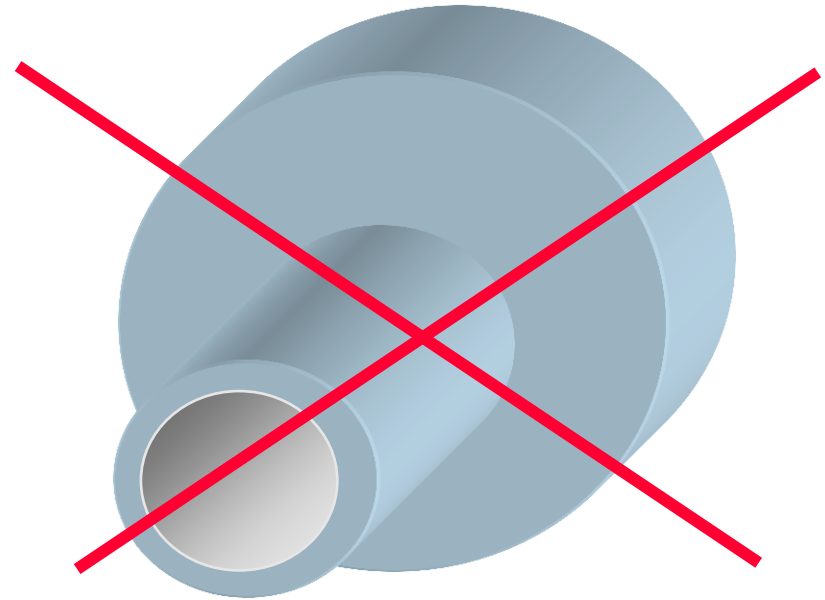
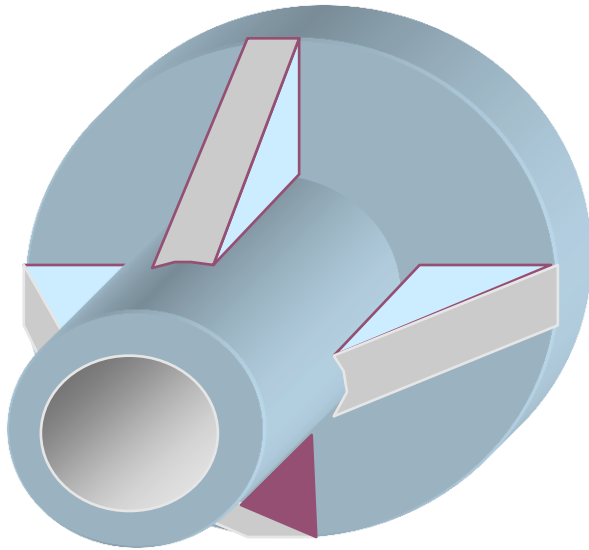
Criteri generali di formatura

Ampi raggi di raccordo, angoli di sformo,
 $L/\varnothing \leq 1$



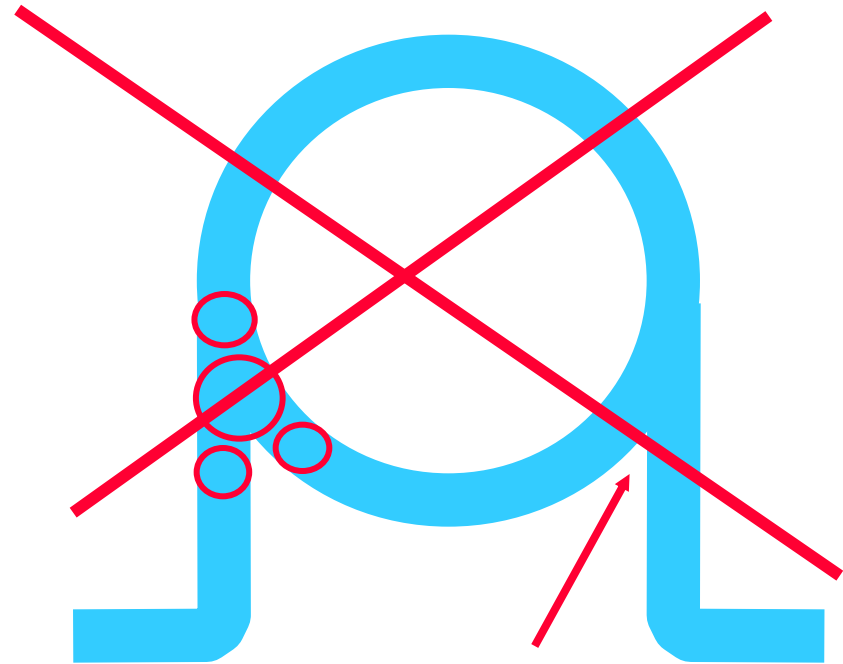
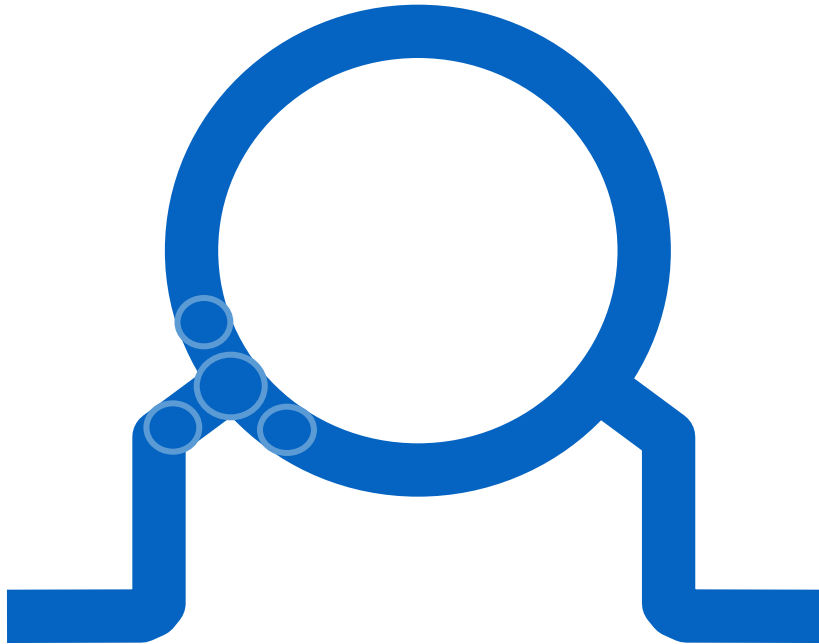
Criteri generali

Spessori quasi costanti, irrigidire tramite nervature



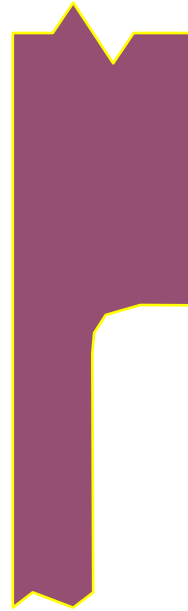
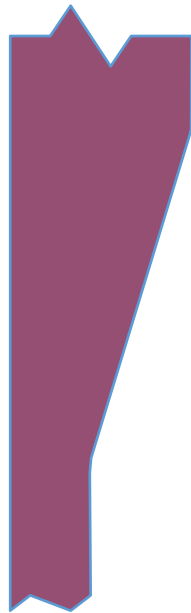
Criteri generali

Raccordi non spigolosi (+ spessori quasi costanti)

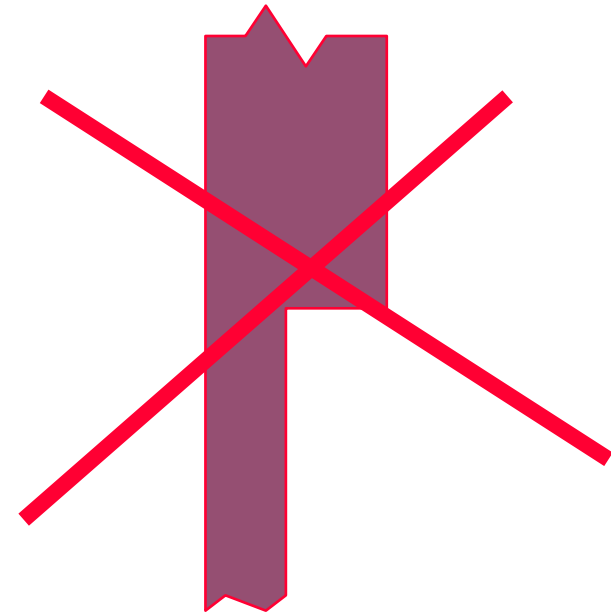


Criteri generali

Evitare brusche variazioni di spessore



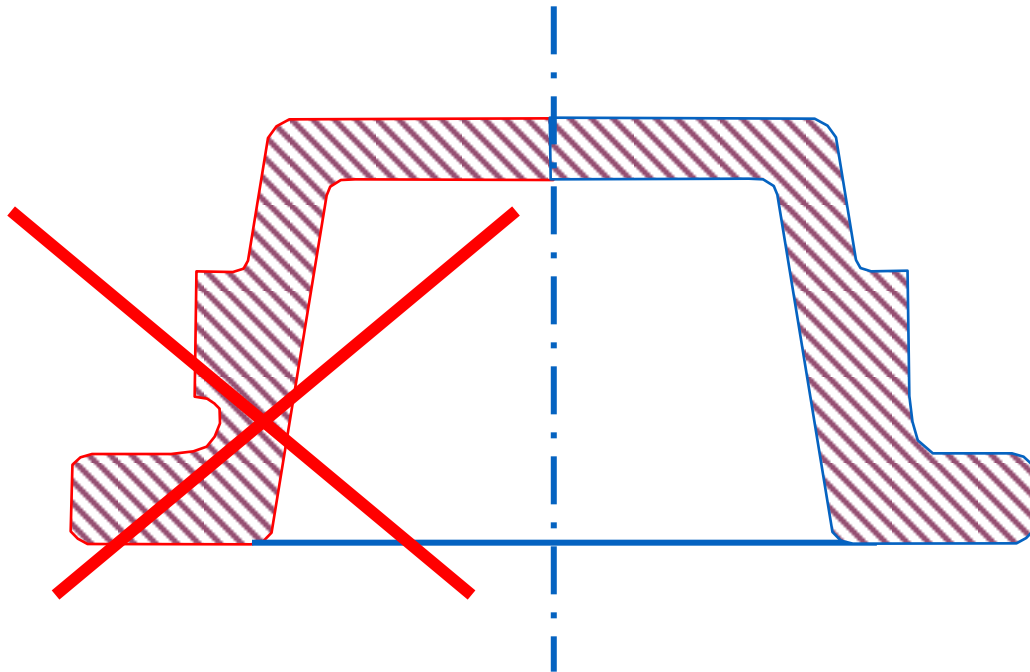
?



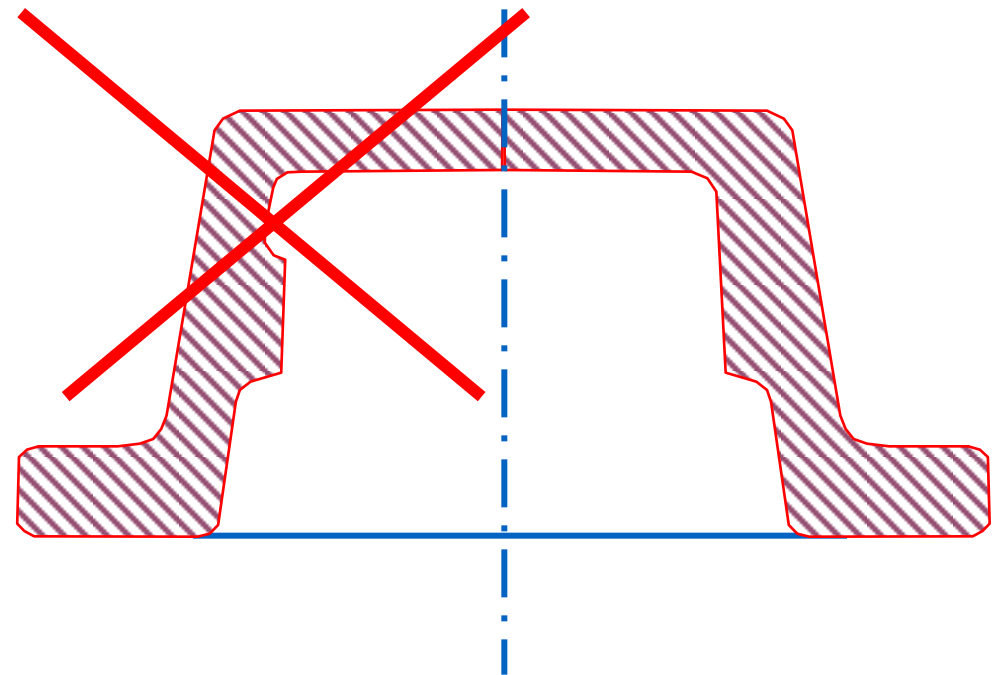
Criteri generali

Evitare sottosquadri

Esterni



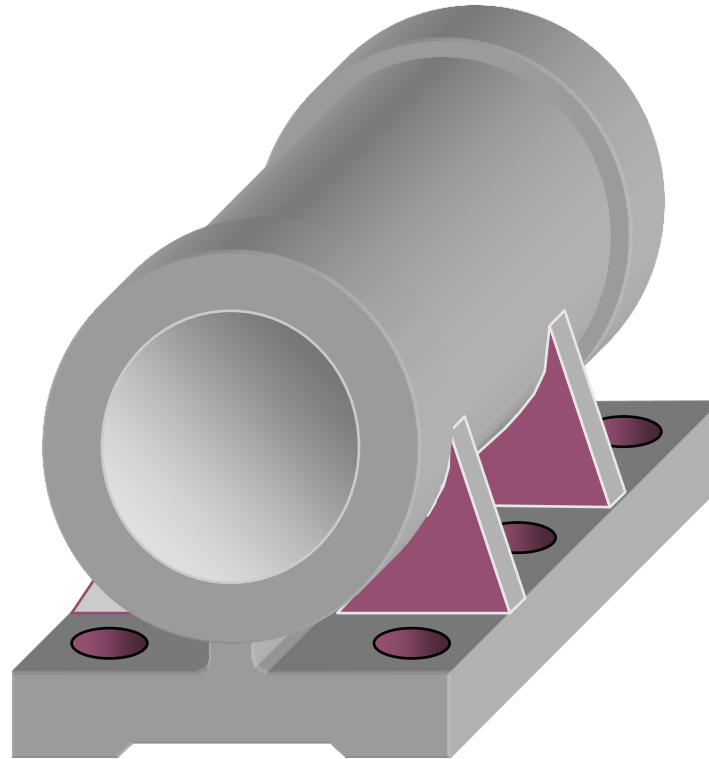
Interni



Criteri generali

adattare il disegno al materiale

Getto in
ghisa

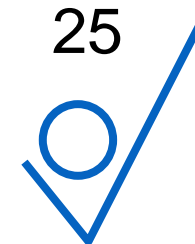
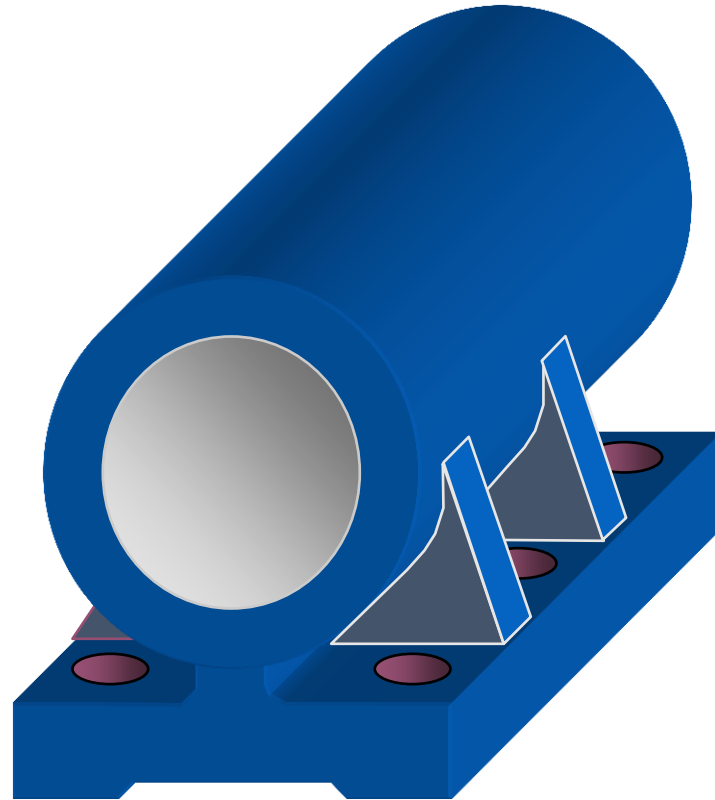


spessori costanti e nervature
sia per irrigidimento
sia per un migliore flusso di riempimento

Criteri generali

Adattare il disegno al materiale

Getto in
acciaio

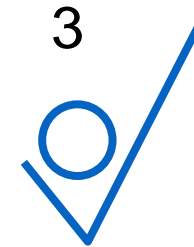
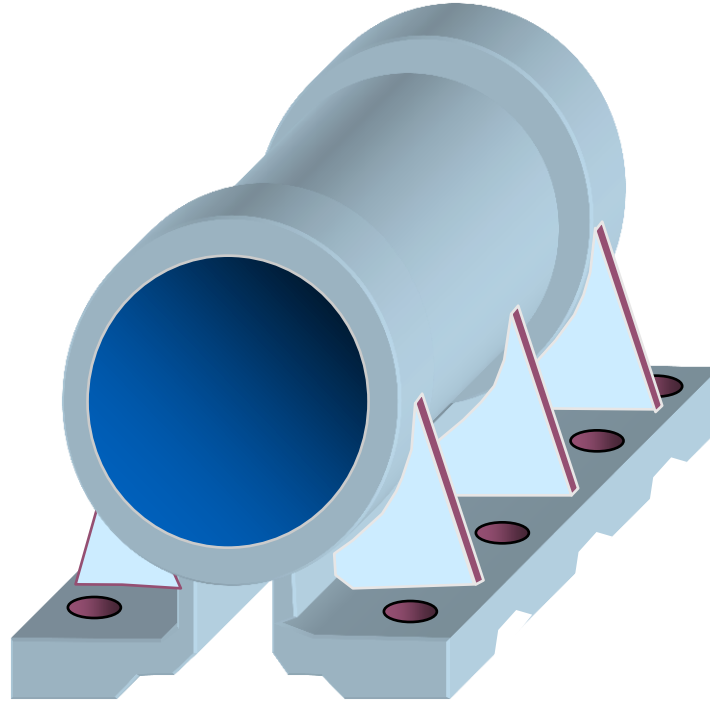


spessori maggiori, forme più semplici
(minore fluidità dell'acciaio fuso, maggiore ritiro)

Criteri generali

Adattare il disegno al materiale

Pressofusione
in lega di
alluminio



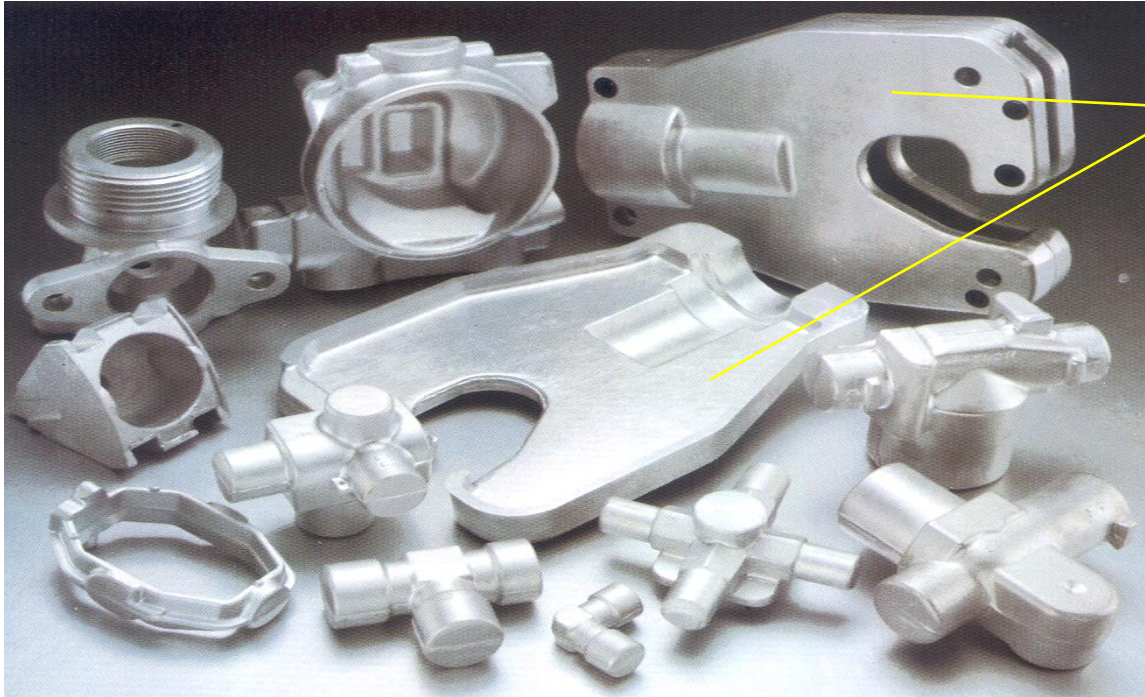
spessori e nervature più sottili
migliore finitura superficiale



DEFORMAZIONE PLASTICA A CALDO

di materiali allo stato viscoso

Esempi di pezzi stampati a caldo



forgiato in due parti e
saldato

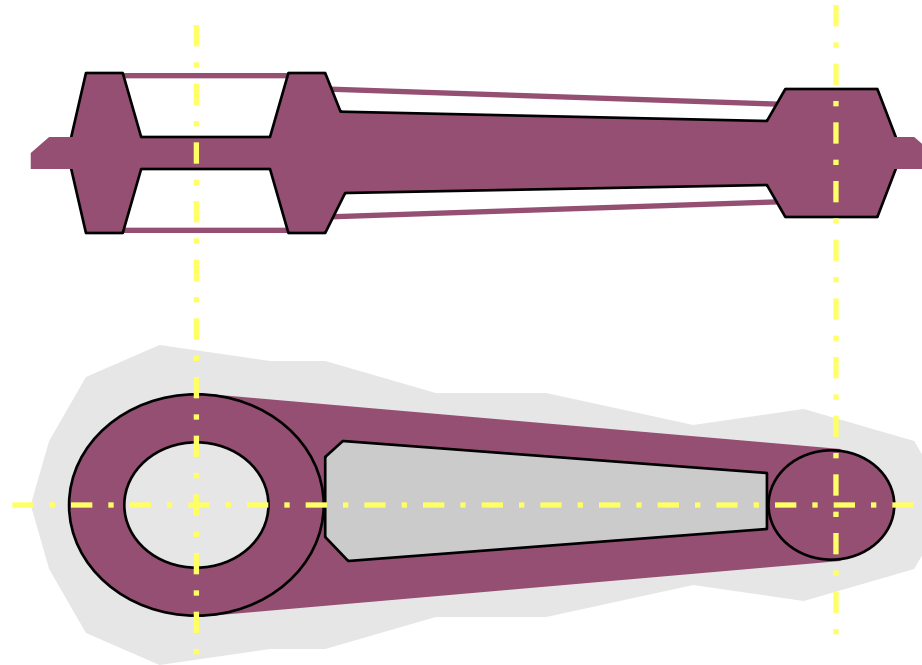
in lega leggera

difetto in forgiato di acciaio



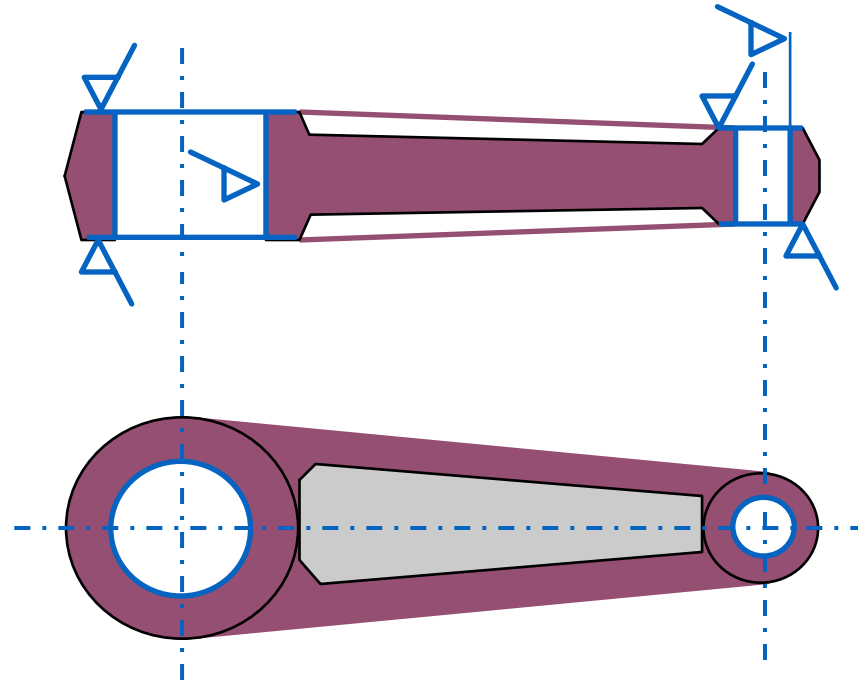
Stampaggio a caldo dei materiali metallici

Pezzo grezzo



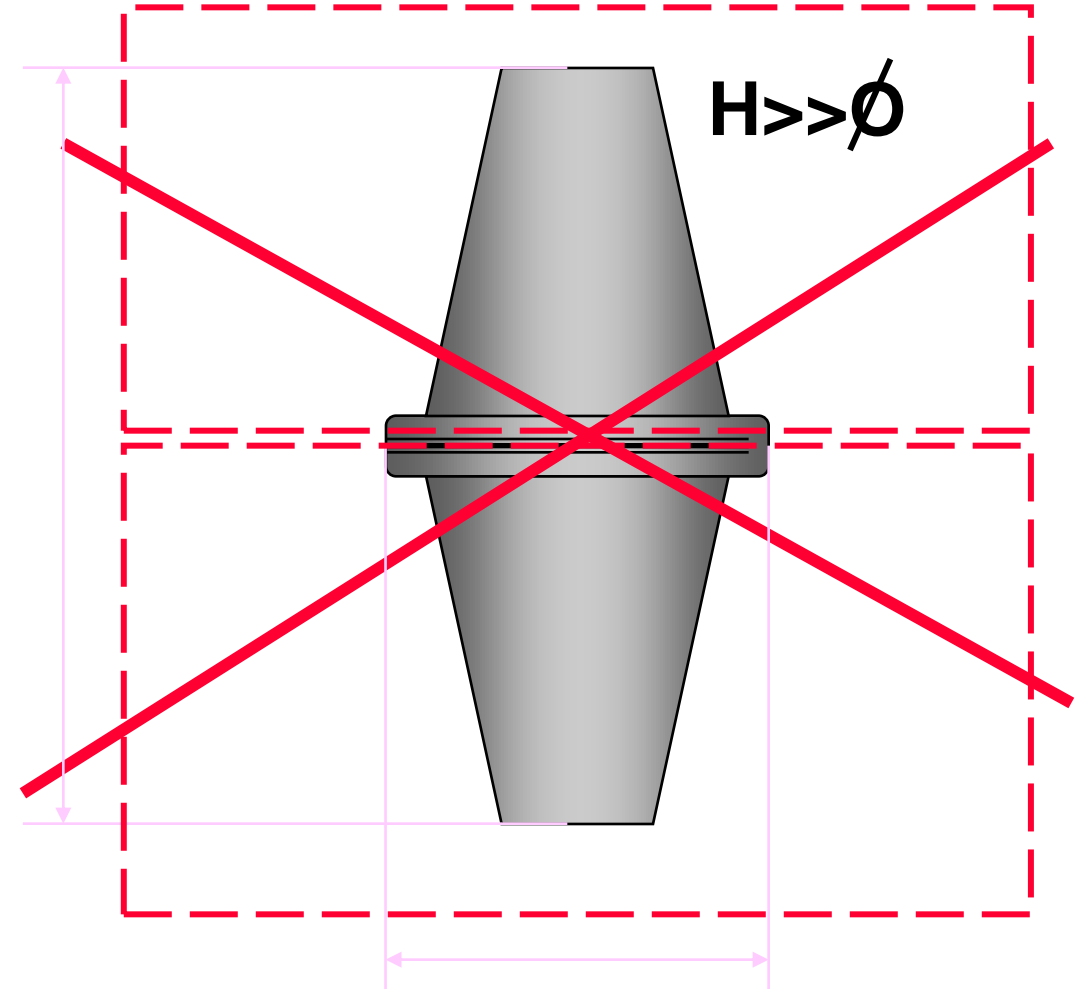
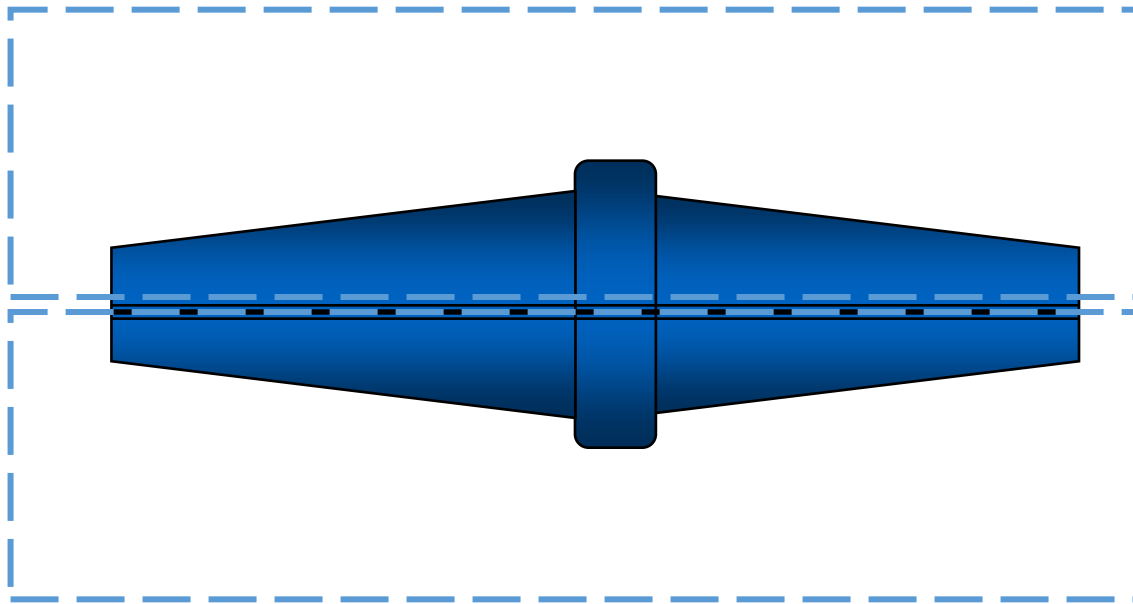
Stampaggio a caldo dei materiali metallici

Pezzo finito



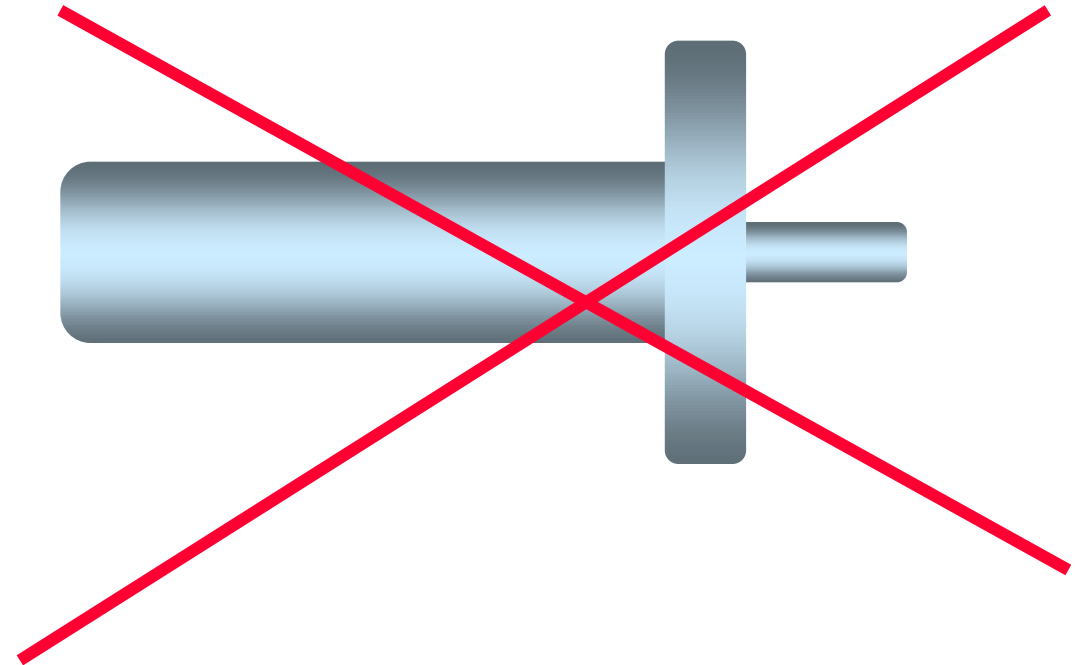
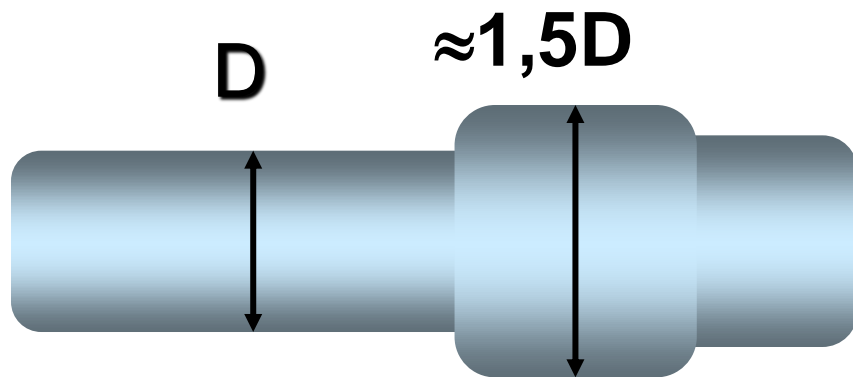
Criteri generali

Limitare la profondità delle impronte dello stampo



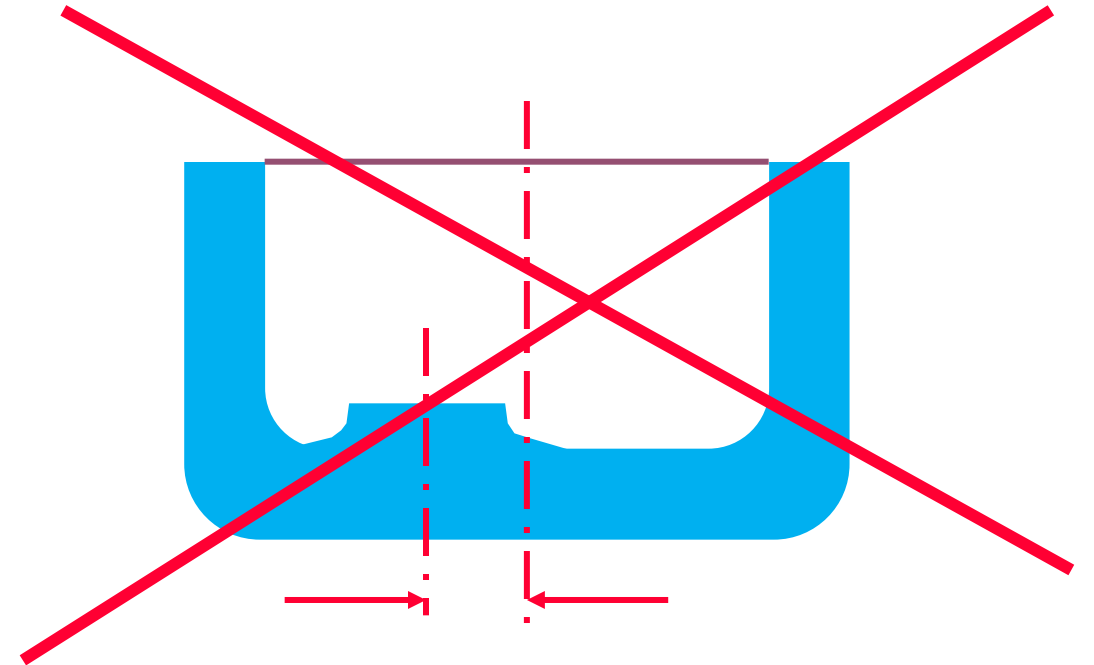
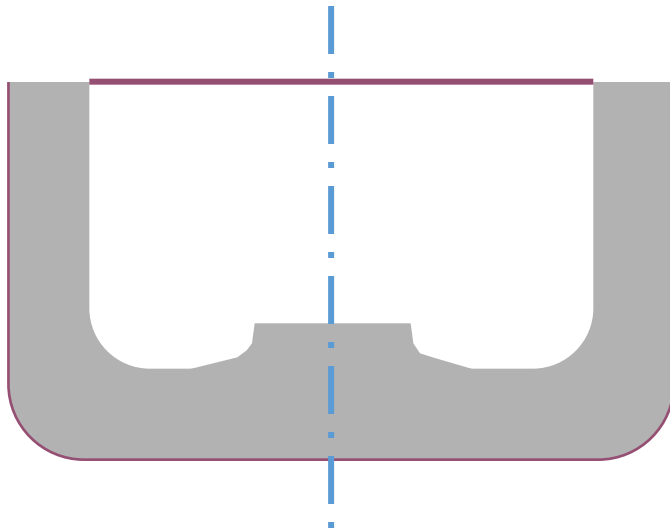
Criteri generali

Variazioni di sezione limitate



Criteri generali

Evitare asimmetrie

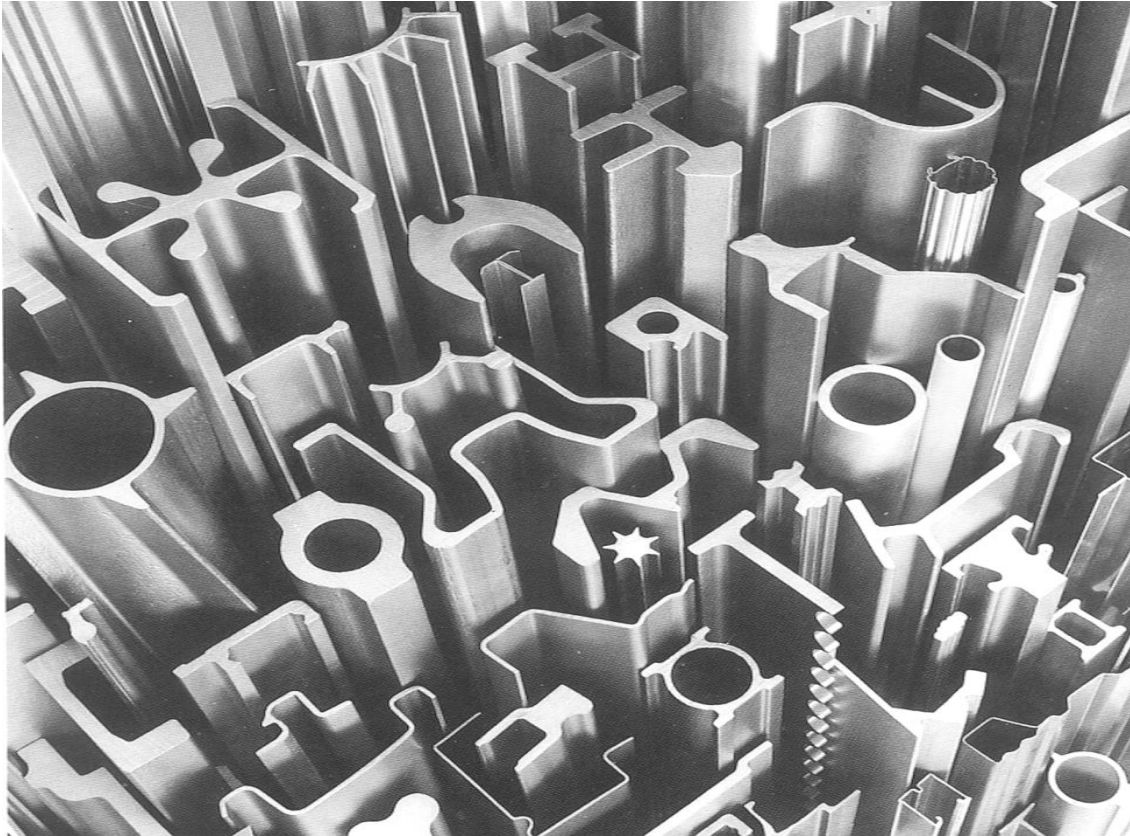




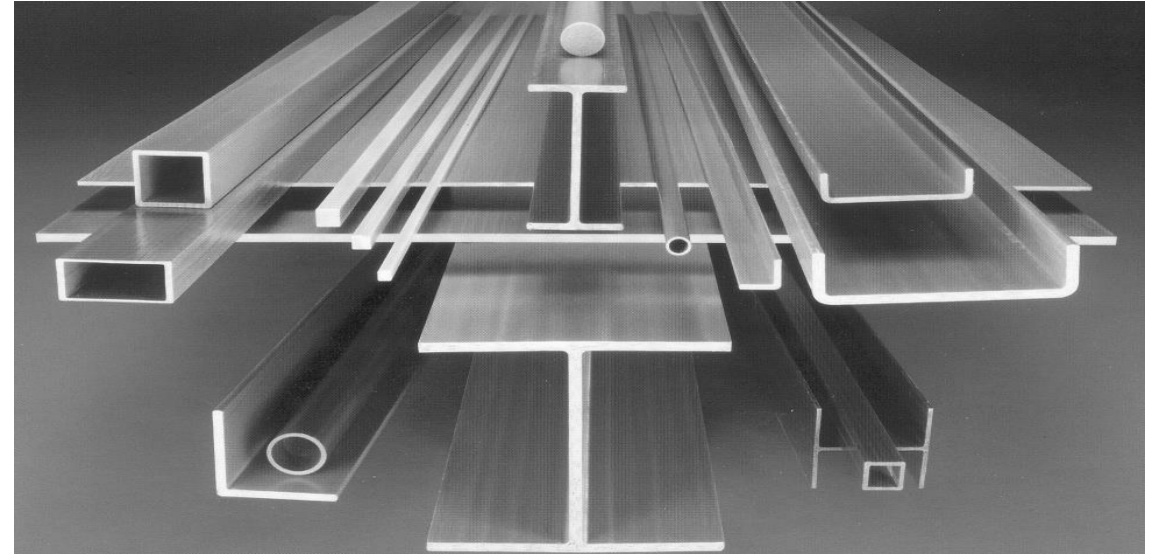
TRAFILATURA, ESTRUSIONE

Esempi, forme ottenibili,
criteri di disegno

Esempi di profili ottenibili



Leghe metalliche



Polimeri rinforzati da fibre di vetro

Estrusione



Evitare spigoli ed asimmetrie



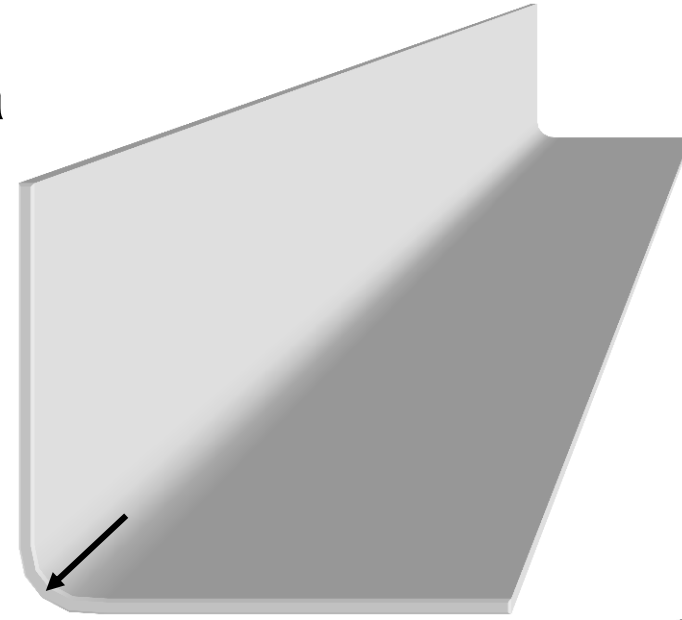
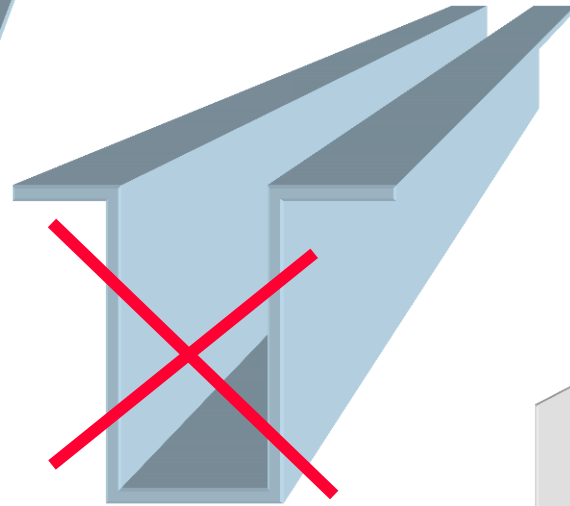
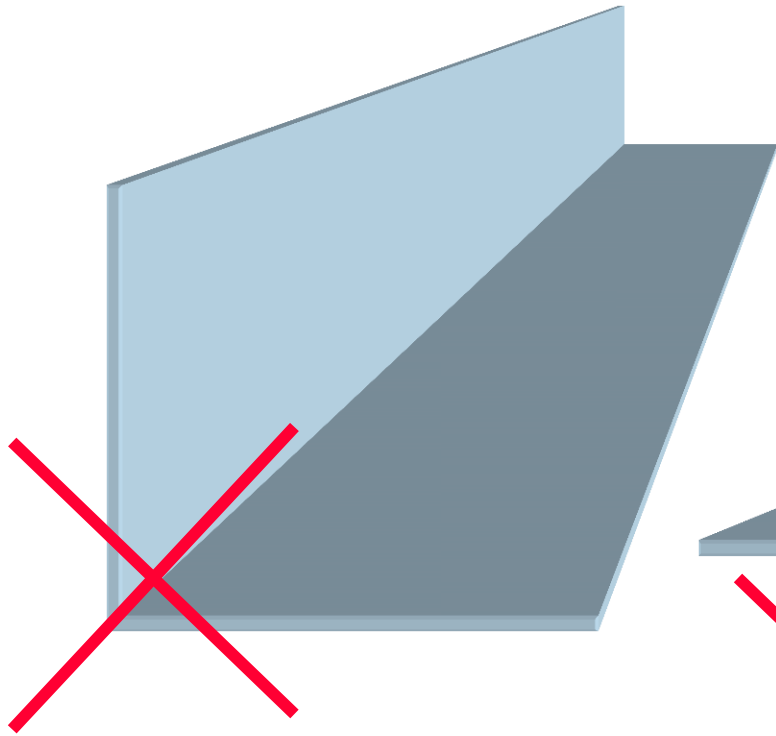


LAVORAZIONE DELLE LAMIERE

Piegatura, tranciatura, imbutitura, etc.

Profilatura o piegatura della lamiera

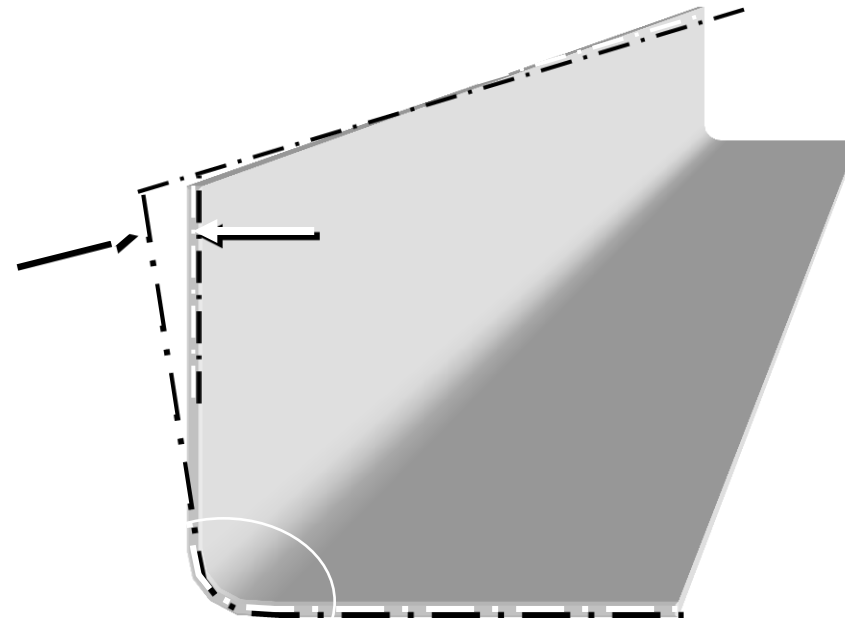
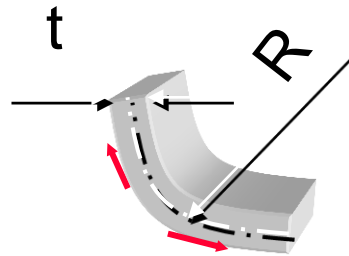
Evitare spigoli vivi,
garantire accessibilità



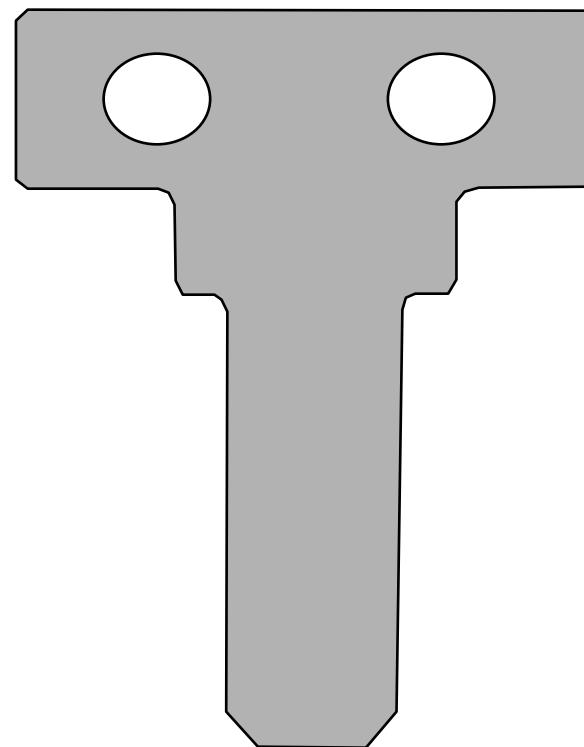
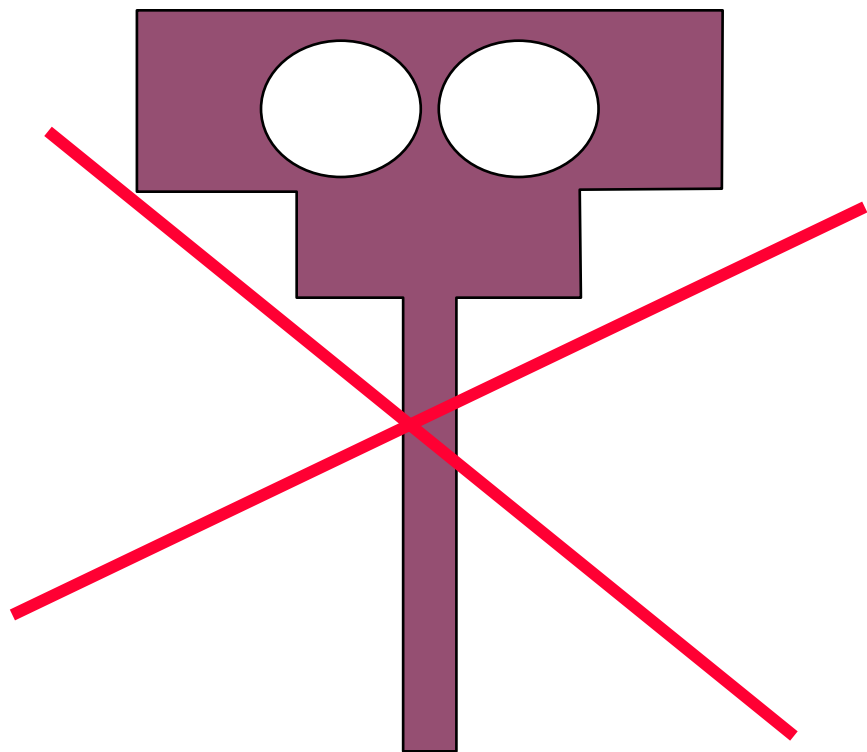
Piegatura della lamiera

Ritorno elastico
crescente con S_y

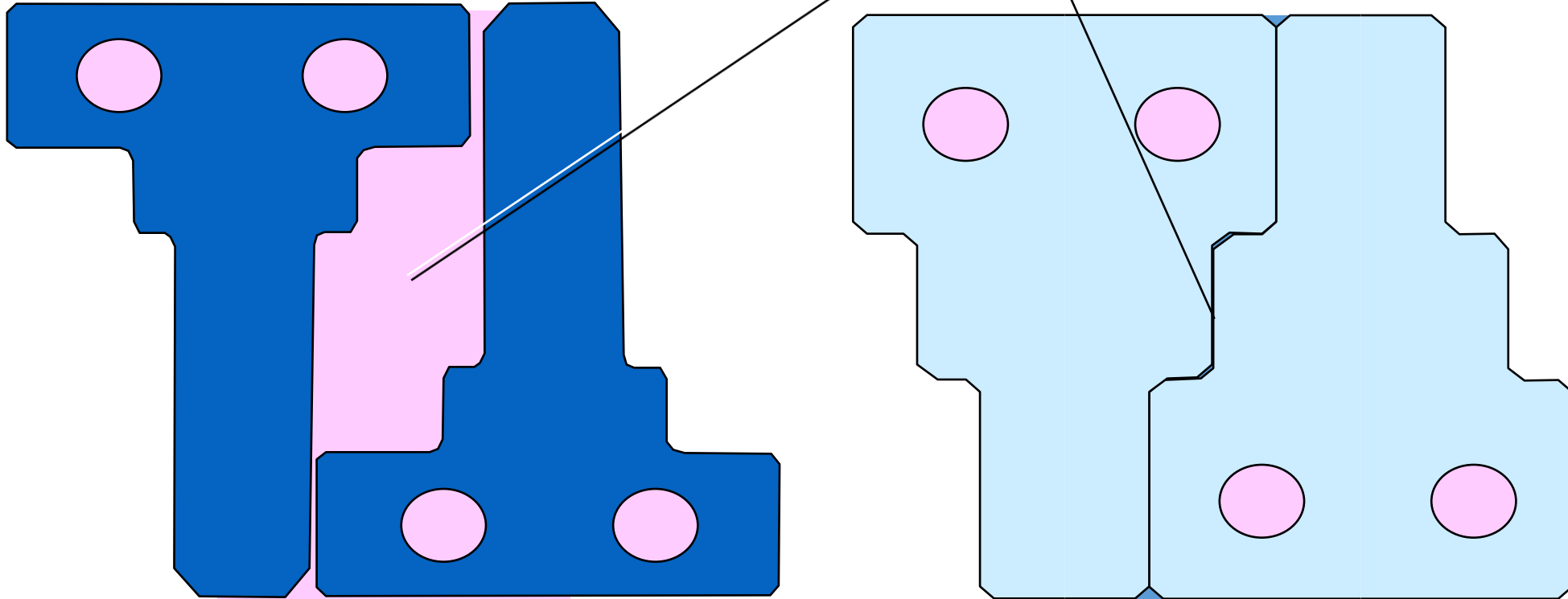
R_{min} dipendente
da spessore e
duttilità



Tranciatura della lamiera

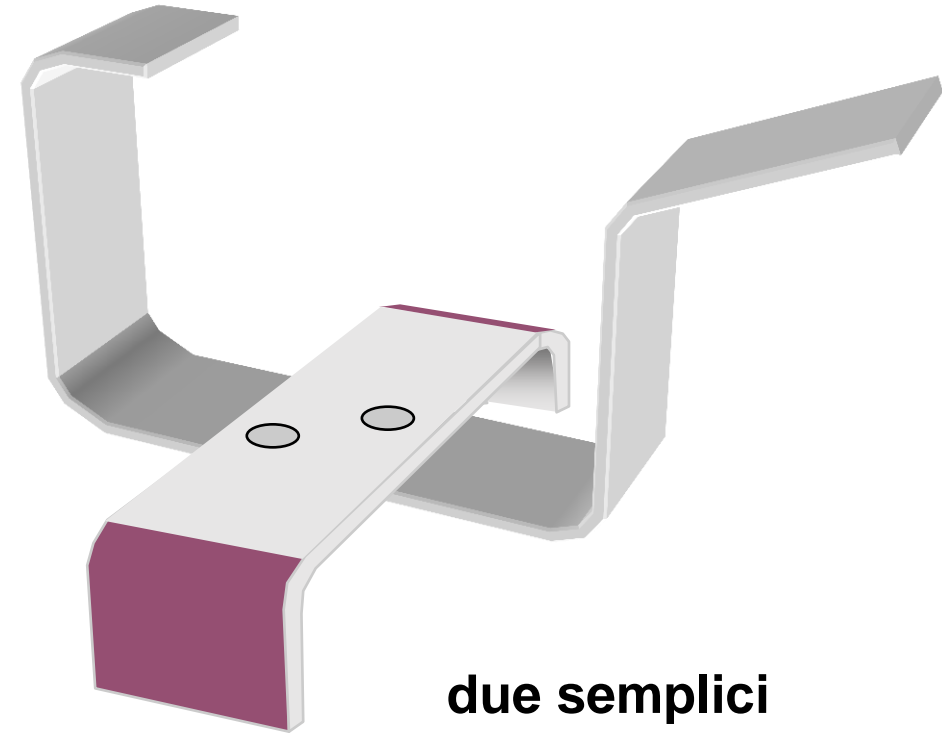
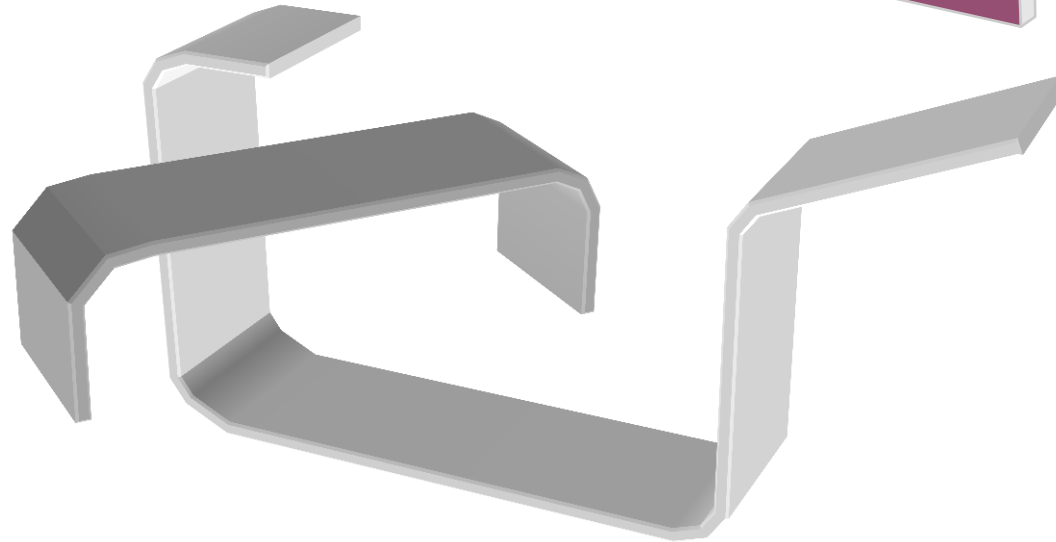
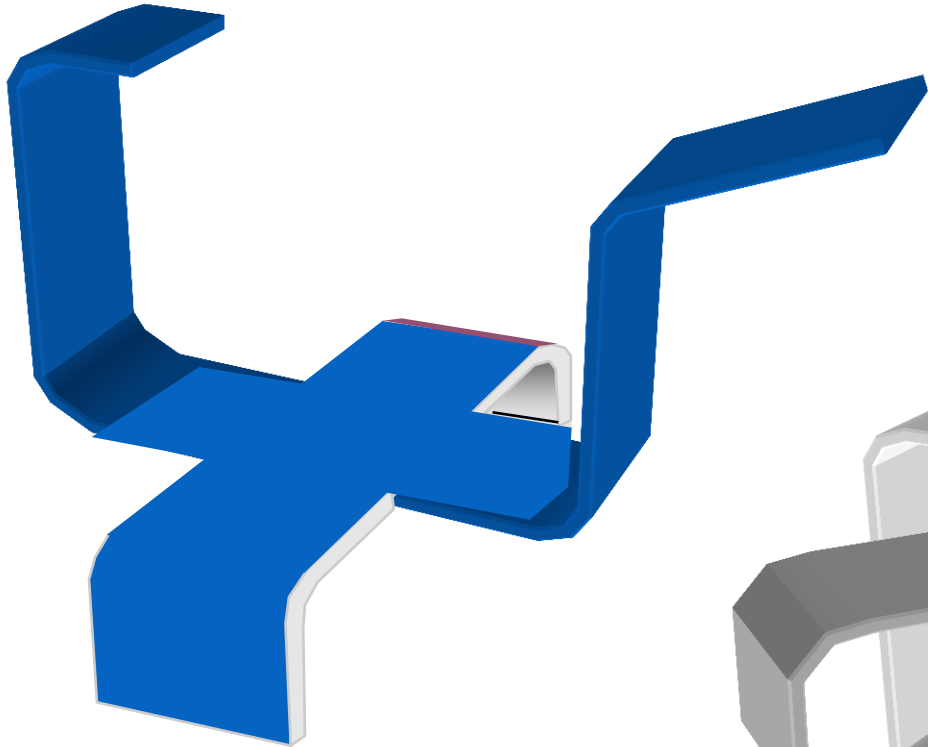


Ridurre lo sfrido



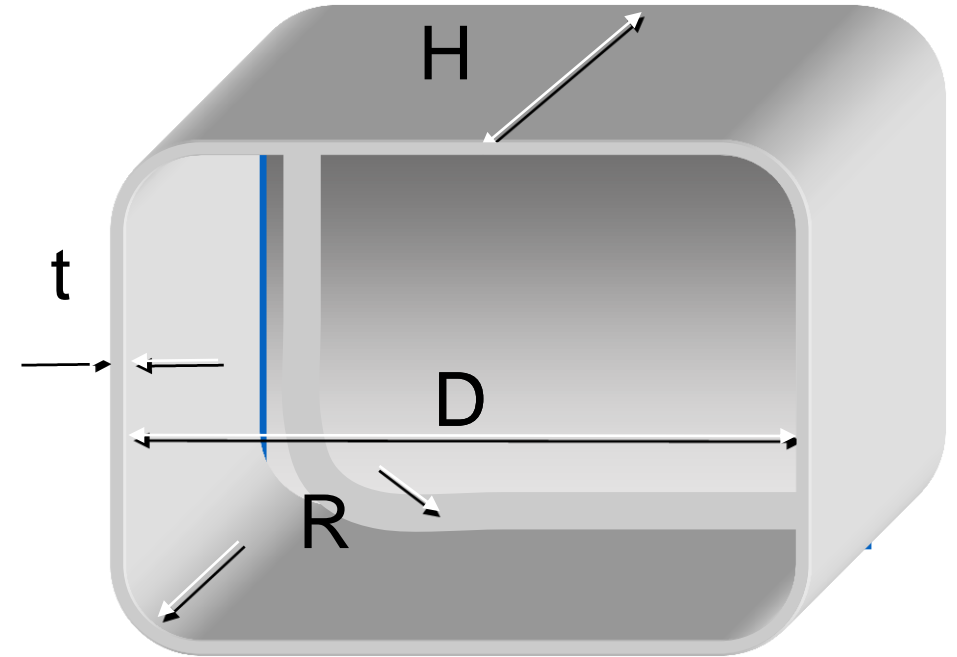
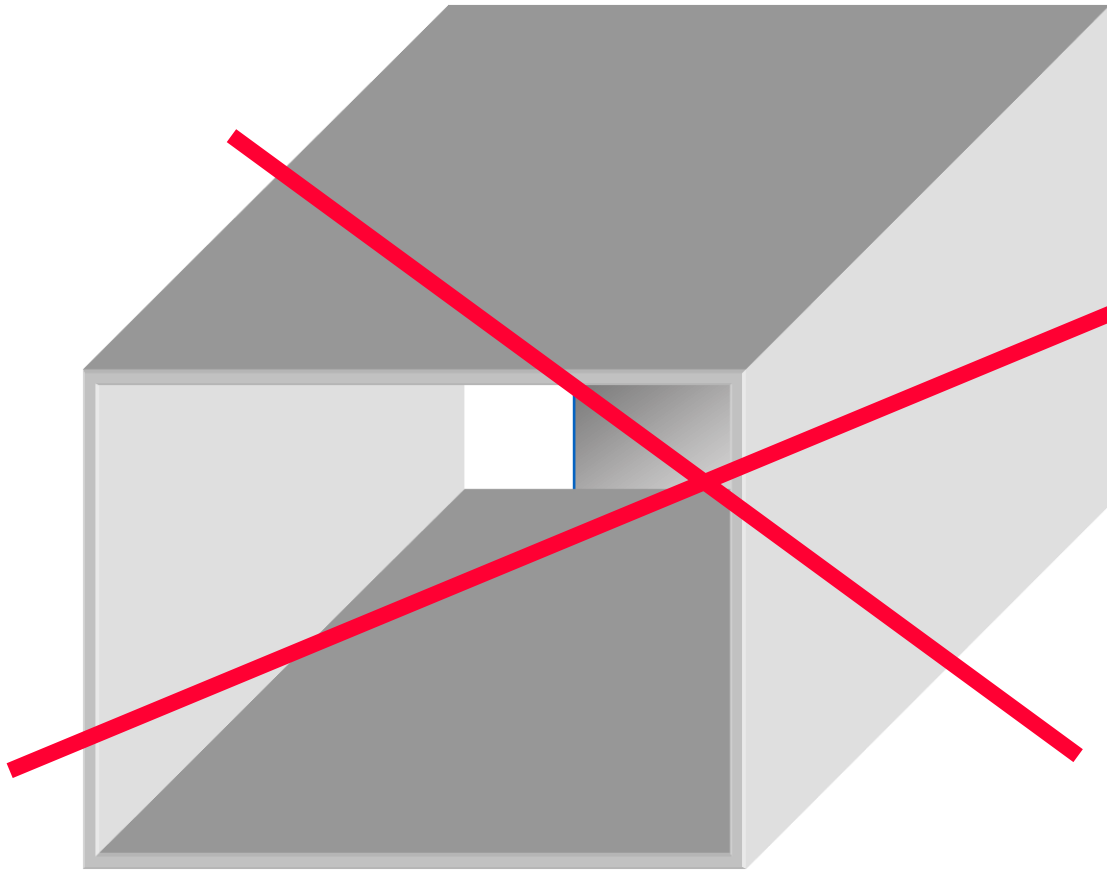
Piegatura della lamiera

particolare singolo (complesso)



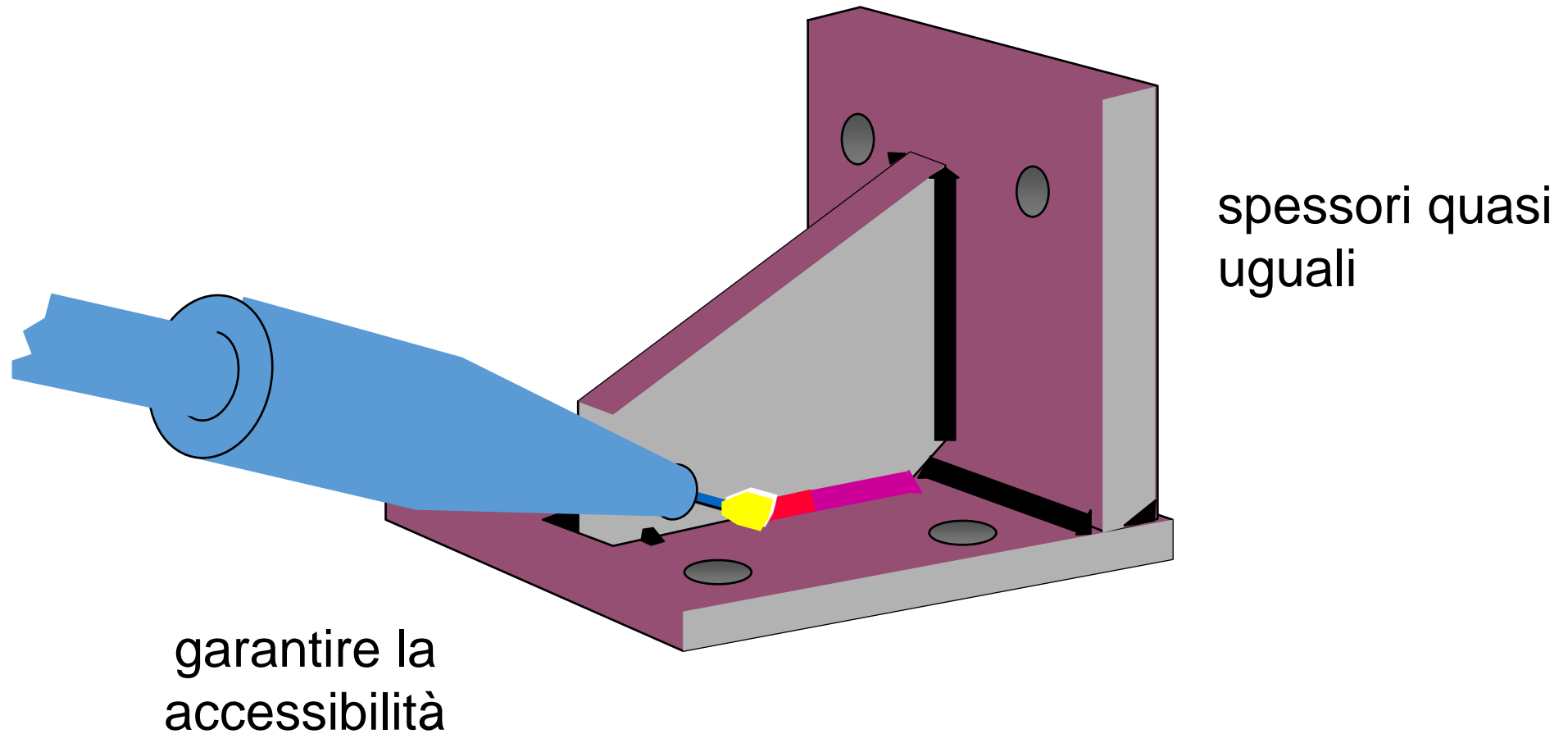
**due semplici
sub- particolari
saldati per punti**

Imbutitura della lamiera



$$H/D < 1; R > H/4; R > 4t$$

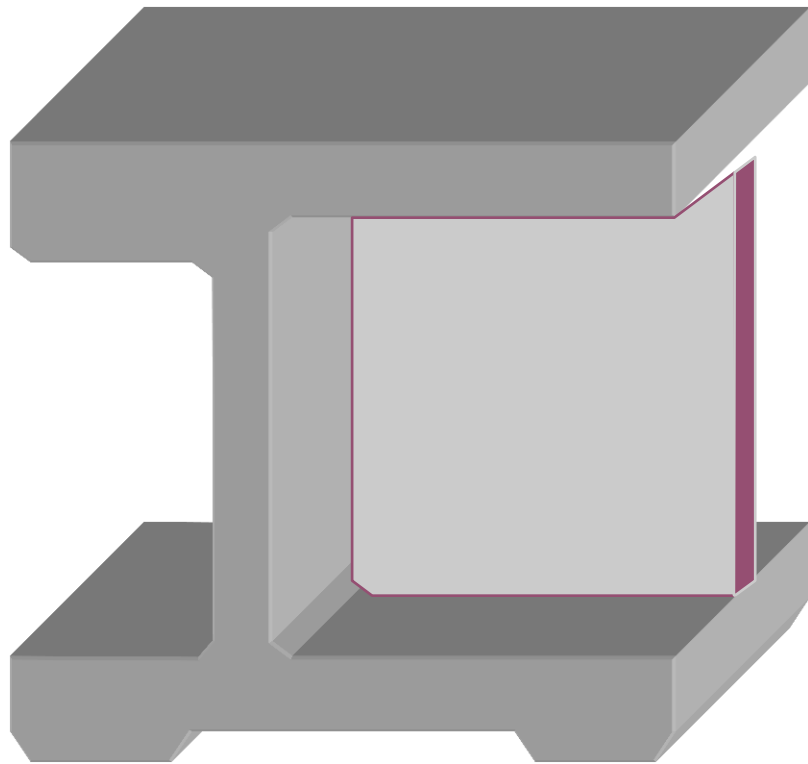
Taglio di lamiera e saldatura



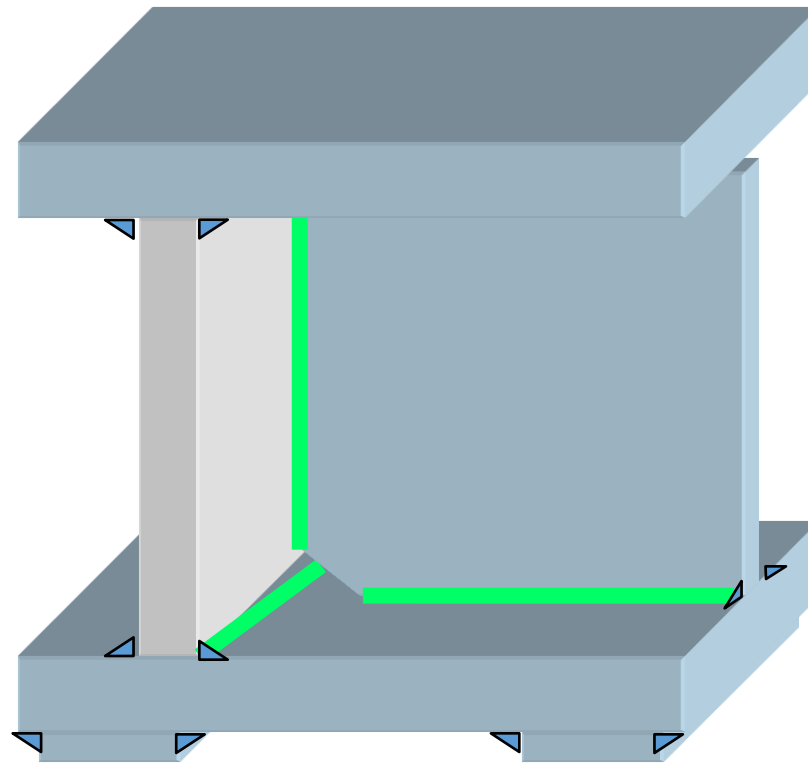
Esempio

adattare il disegno al materiale e al tipo di processo

Semplice sostituzione = soluzione **non ottimale**



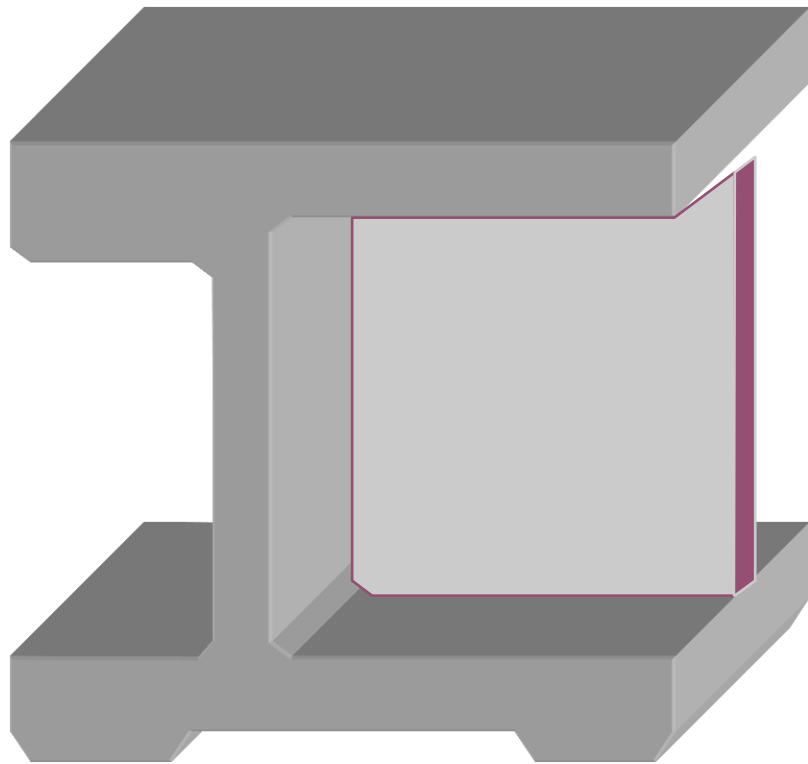
Ghisa: una sola parte



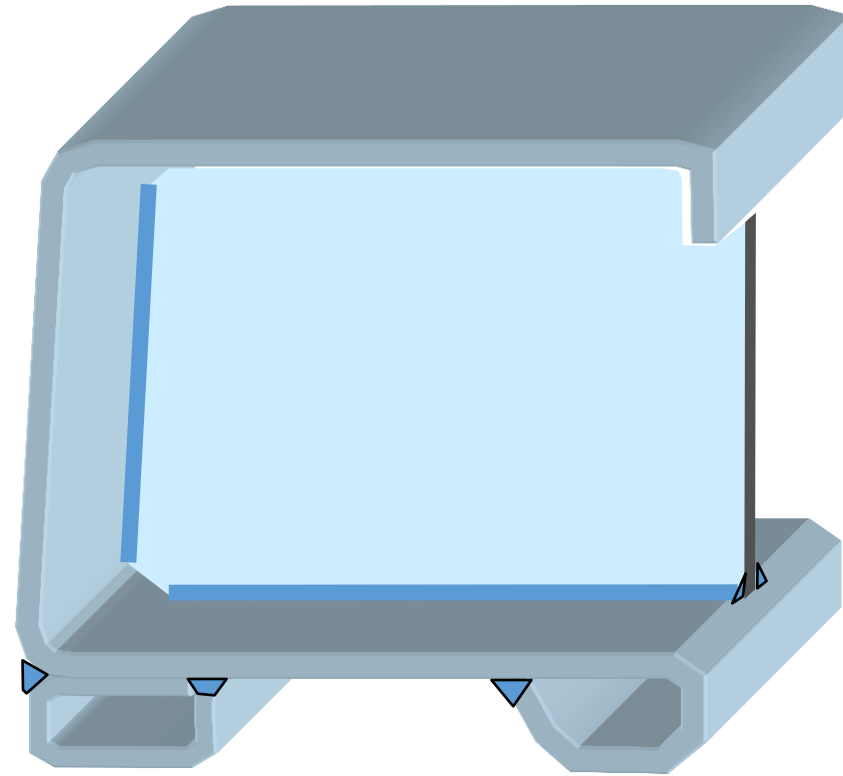
Acciaio: 6 parti saldate

Esempio

adattare il disegno al materiale e al tipo di processo
soluzione ottimale

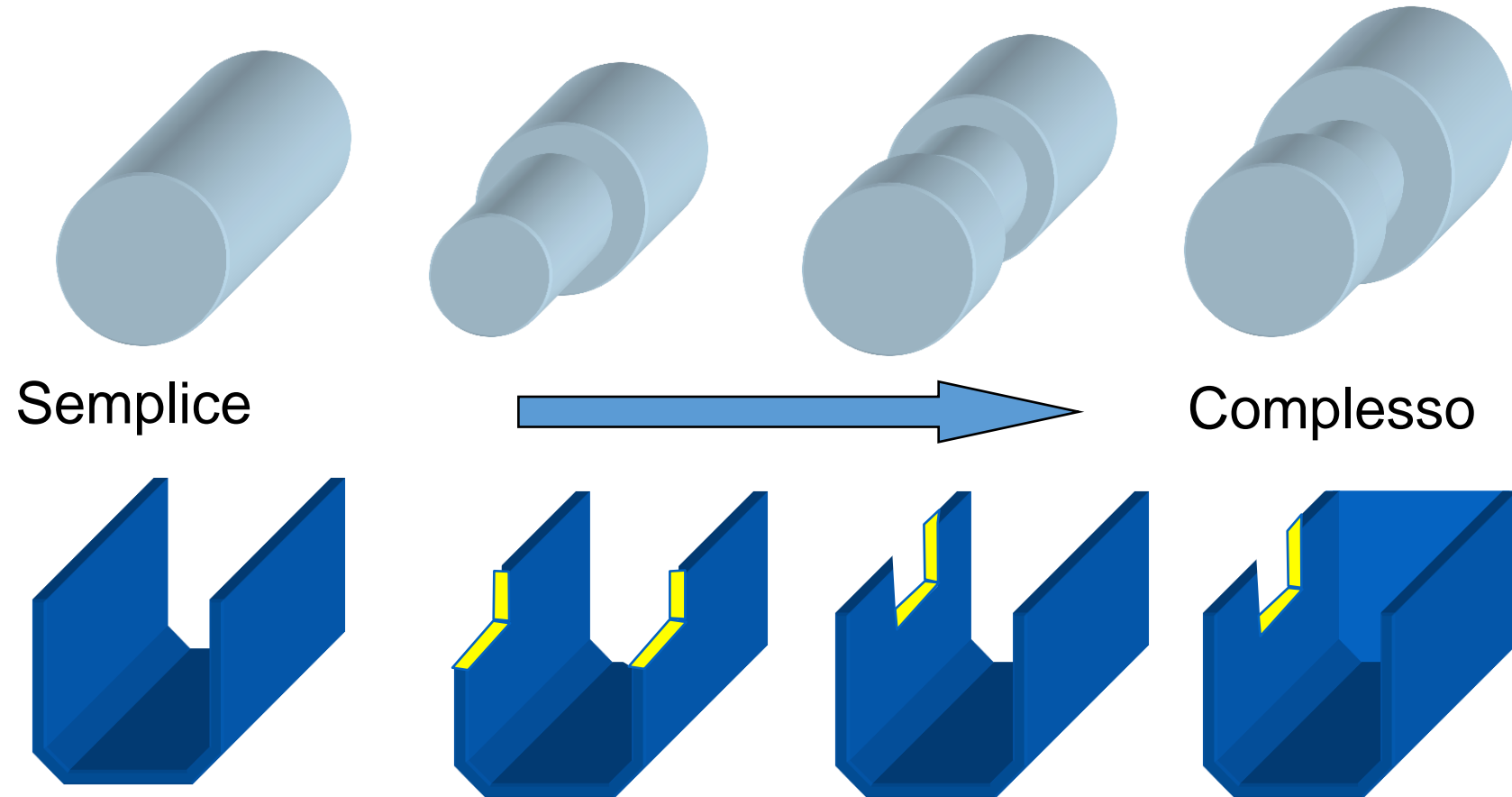


Ghisa 1 parte

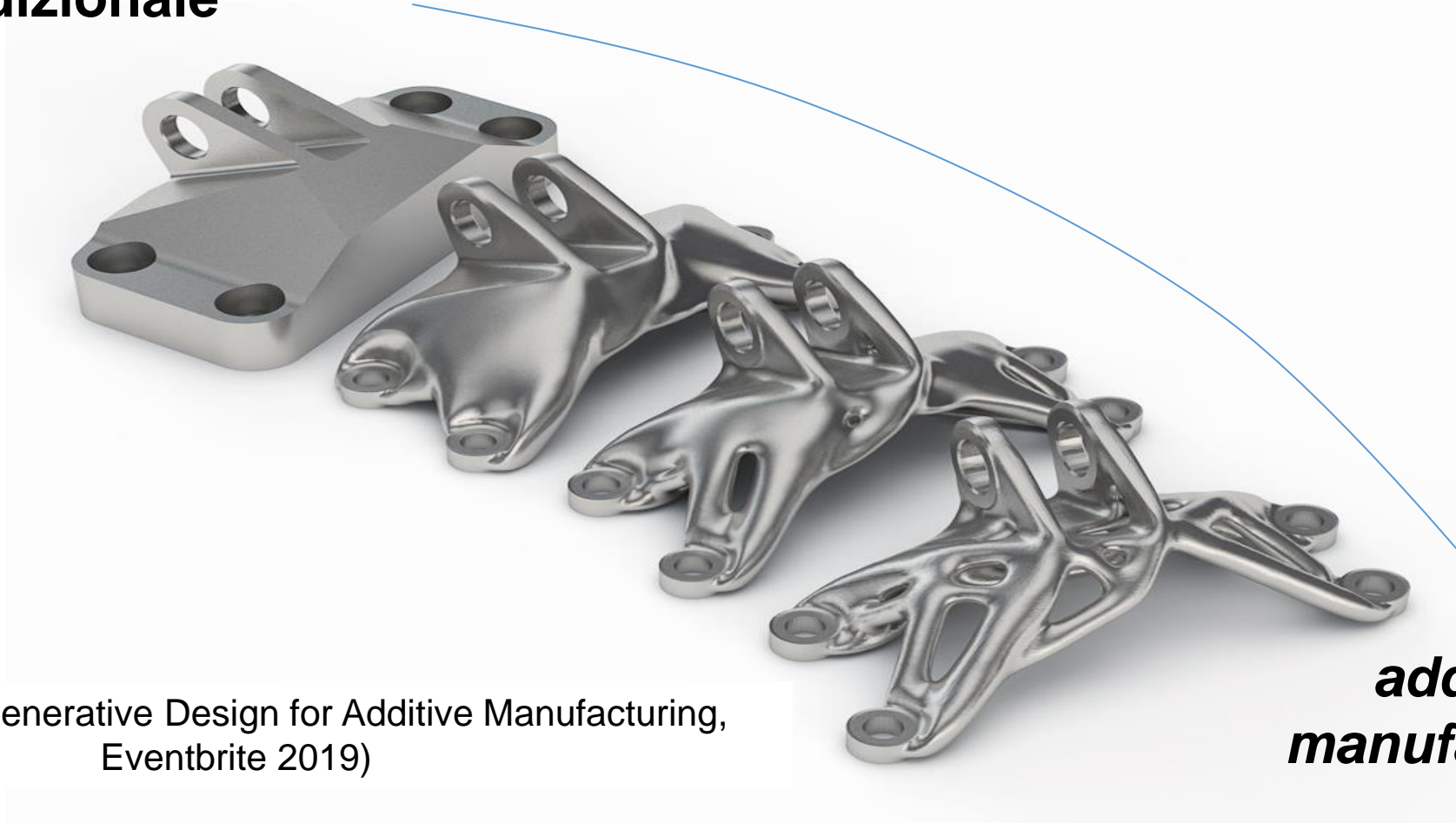


Acciaio 3 parti

Criteri generali: preferire forme semplici



Con l'avvento dello *additive manufacturing* i criteri tradizionali tendono a perdere importanza **tradizionale**



(da Siemens, Generative Design for Additive Manufacturing, Eventbrite 2019)

Inoltre, lo *additive manufacturing* favorisce la ottimizzazione delle forme



(Catia per Additive Manufacturing Design System)