

# Processi di giunzione II

Brasatura e saldo-brasatura

Incollaggio

Giunzioni meccaniche

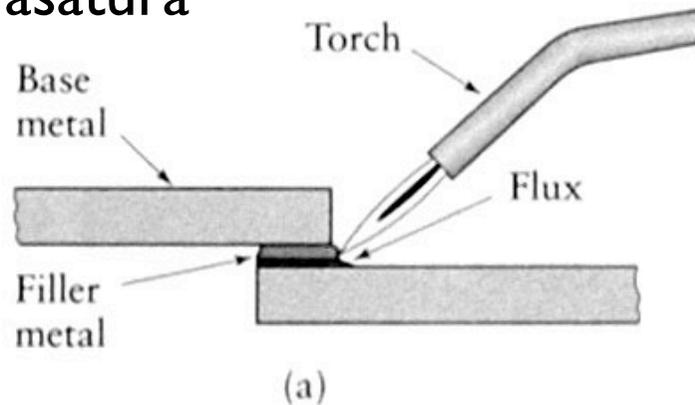
Giunzioni di ceramici, polimeri e vetri

Considerazioni progettuali

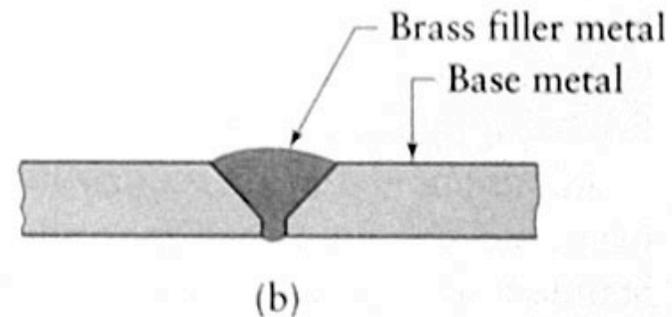
Considerazioni economiche

# Brasatura e saldo-brasatura

## Brasatura



## Saldo-brasatura



- Il processo risale al 3000-2000 a.C. Si utilizza un metallo basso-fondente che funziona da riempitivo tra le due superfici da saldare. Si scalda in modo da fondere il metallo riempitivo e non i due pezzi, il metallo liquido riempie per capillarità tutti i vuoti e solidificando genera un giunto molto forte. Questo processo è la brasatura (a). Nella saldo-brasatura (b) il metallo viene depositato sul giunto durante la fusione

# Brasatura

- I metalli per brasatura fondono generalmente sopra i 450 °C ma sotto il punto di fusione dei metalli da saldare. Dato che il riscaldamento è inferiore la saldatura è meno affetta da problemi di sforzi residui, zona alterata, distorsioni....
- La resistenza della giunzione dipende dal disegno del giunto, adesione del metallo da saldatura e tipo di metallo. Le superfici da saldare devono essere pulite perfettamente per una adesione capillare.
- La distanza tra le superfici saldate è molto importante, più corta è, maggiore la resistenza al taglio del giunto. Esiste anche una distanza ottimale per la resistenza a trazione. Tipiche distanze vanno da 0.025 mm a 0.2 mm. La rugosità non deve essere troppo elevata.

## Metallo da saldatura (filler)

| Metallo base (da saldare)           | Metallo filler     | Temperatura di brasatura (°C) |
|-------------------------------------|--------------------|-------------------------------|
| Alluminio e sue leghe               | Al-Si              | 570-620                       |
| Leghe magnesio                      | Mg-Al              | 580-625                       |
| Rame e sue leghe                    | Cu-P               | 700-925                       |
| Leghe Fe e non Fe (eccetto Al, Mg)  | Ag, leghe Cu, Cu-P | 620-1150                      |
| superleghe a base Fe, Ni, Co        | Au                 | 900-1100                      |
| Acciai inox, superleghe base Ni, Co | Ni-Ag              | 925-1200                      |

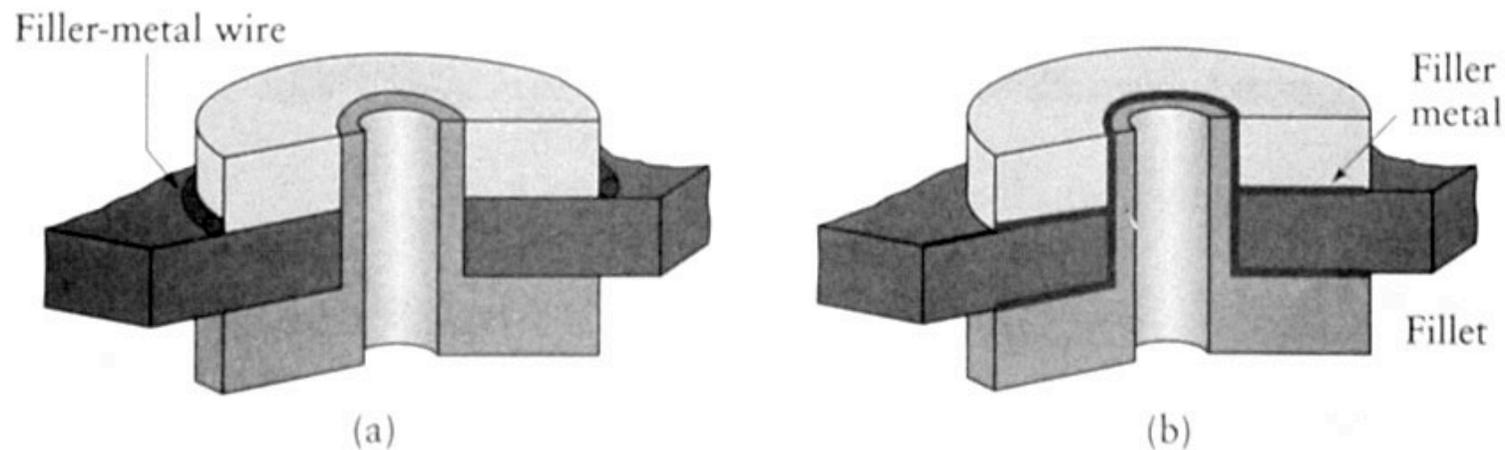
- Il metallo filler non deve causare infragilimento nel giunto per infiltrazione al bordo grano. Inoltre non deve diffondere a lungo termine nel metallo base se opera ad alta T, altrimenti il giunto si consuma. Inoltre non deve causare corrosione galvanica.

# Fondenti

- L'uso di fondenti/additivi è importante per la protezione dall'ossidazione e per eliminare gli ossidi dalle superfici da saldare.
- Fondenti per brasatura sono fatti da borace, acido borico, borati, fluoruri e cloruri. Si possono aggiungere anche agenti bagnanti che migliorino l'azione capillare e l'adesione.
- La pulizia è molto importante e può venir fatta per sabbiatura.
- Dopo la brasatura i fondenti devono essere rimossi accuratamente per evitare una loro susseguente azione corrosiva.

# Metodi di brasatura

- Brasatura alla torcia (TB): si usa una fiamma ossidrica con fiamma carburizzante. Si riscalda la zona del giunto e poi si deposita il metallo da saldo-brasare nel giunto.
- Brasatura in forno (FB): come dal nome, il metallo filler viene aggiunto in forma opportuna (a) e si mette in forno alla temperatura di fusione del filler. Il filler riempie e penetra nella zona da saldare (b).



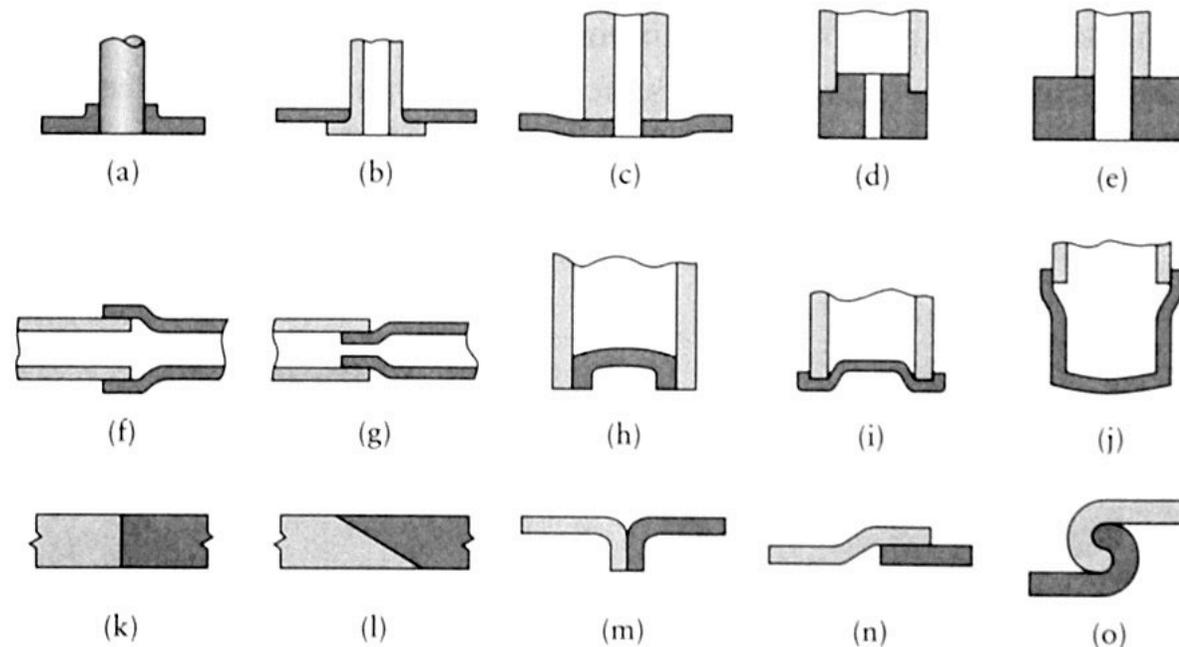
# Metodi di brasatura

- Brasatura per induzione (IB): il metallo filler viene fuso tramite una spirale ad induzione rapidamente. Viene usata per brasature continue.
- Brasatura per resistenza elettrica (RB): si fonde il metallo filler per resistenza elettrica in un processo simile alla saldatura per resistenza elettrica (resistance welding).
- Dip brazing (DB): si immerge il sistema assemblato da saldare in un bagno fuso del metallo filler.
- Brasatura all'infrarosso (IRB): la sorgente di calore è una lampada al quarzo ad alta intensità. Per componenti sottili.
- Brasatura per diffusione (DFB): si conduce in forno e il metallo filler diffonde nel giunto per diffusione.

# Metodi di brasatura

- Fascio ad alta energia: si usano fasci laser o di elettroni per brasature particolari di alta precisione.
- Saldo-brasatura. La giunzione viene realizzata per fusione del metallo tramite fiamma ossiacetilenica ossidante. L'uso di fondenti è fondamentale. Si utilizza per riparazioni. Resistenze a taglio dei giunti raggiungono anche gli 800 MPa (leghe con Ag).

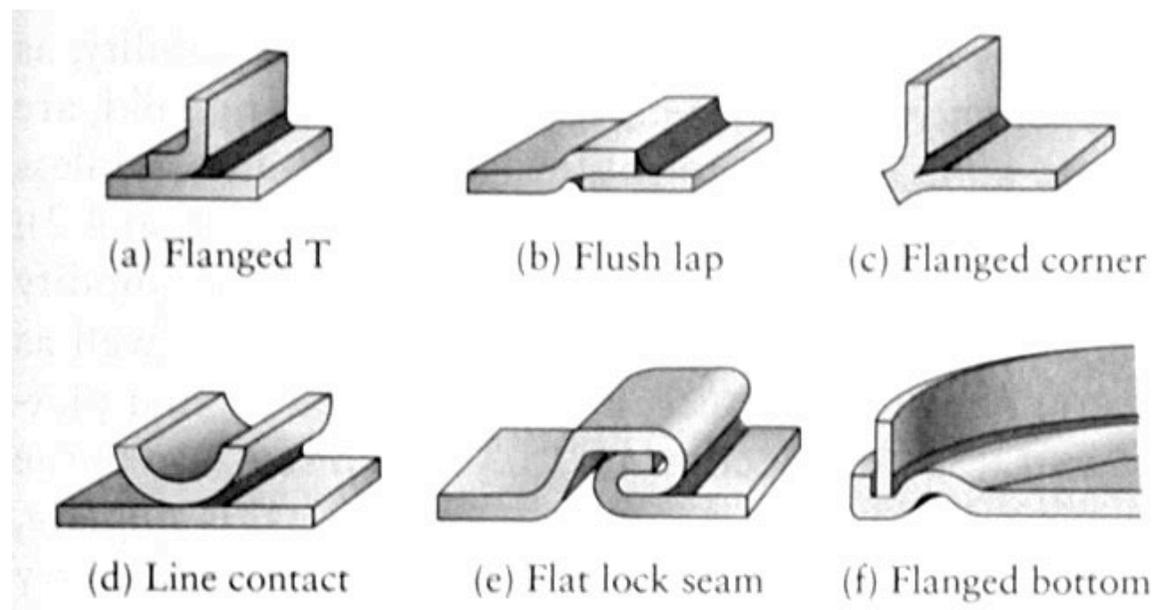
Tipi di giunti  
usati nella  
saldo-brasatura



# Soldering (saldatura a stagno e simili)

- Nel caso del soldering il metallo da saldatura (solder) fonde a temperature inferiori a 450 °C. Come nella brasatura il metallo riempie il giunto per capillarità. Il metodo risale al 4000-3000 a.C. Le sorgenti di calore per la fusione sono generalmente saldatori a resistenza, fiamme e forni.

Tipi di giunti tipici del soldering



# Tipi di leghe per soldering (solder) e fondenti

| Solder          | Applicazione                            |
|-----------------|---|
| Stagno-piombo   | Uso generale                            |
| Stagno-zinco    | Alluminio                               |
| Piombo-argento  | resistenza a temperature $> T$ ambiente |
| Cadmio-argento  | resistenza ad alta T                    |
| Zinco-alluminio | Alluminio; resistenza alla corrosione   |
| Stagno-argento  | elettronica                             |
| Stagno-bismuto  | elettronica                             |

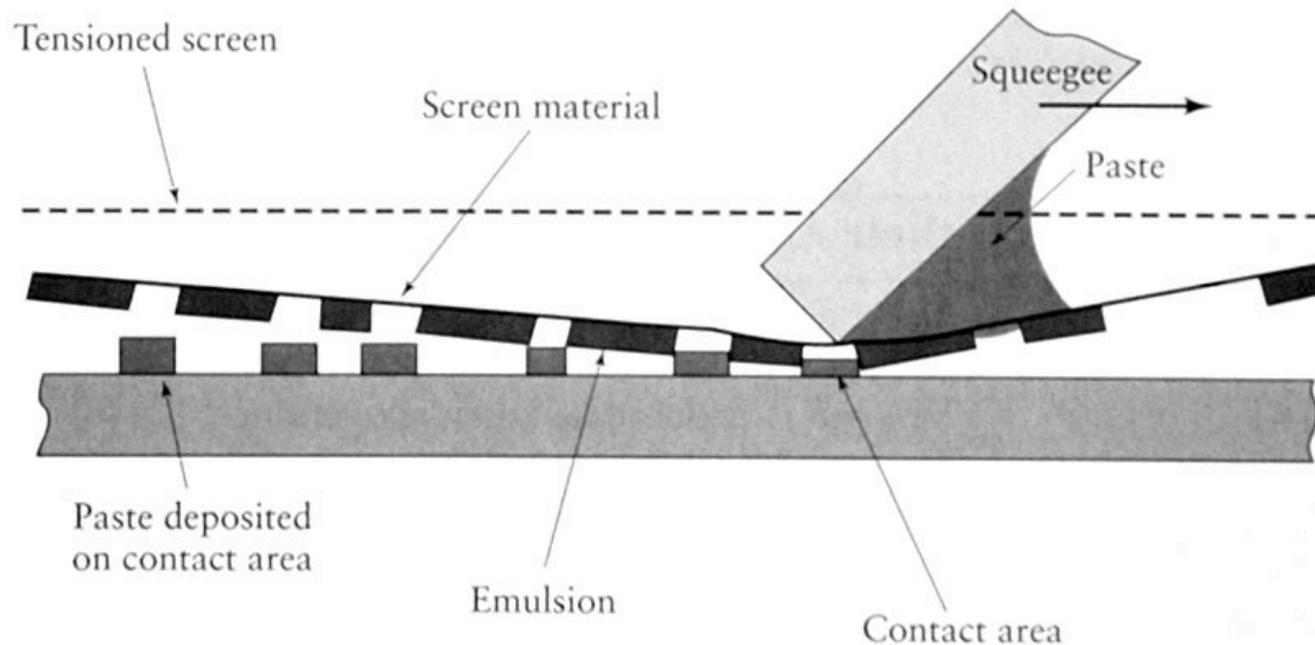
- Si cercano di sviluppare solder privi di piombo (tossico).
- Fondenti tipici sono: acidi inorganici o sali che puliscono la superficie rapidamente. Nelle applicazioni elettriche sono basati su resine.
- Solderability: difficili da saldare leghe con ossidi protettivi.

# Metodi di soldering

- Abbiamo molti metodi simili alla brasatura:
  - Torch soldering (TS), alla torcia.
  - Furnace soldering (FS), in forno.
  - Iron soldering (INS), con saldatore elettrico.
  - Induction soldering (IS), a induzione
  - Resistance soldering (RS), a resistenza elettrica
  - Dip soldering (DS), a immersione
  - Infrared soldering (IRS), a infrarossi
  - Ultrasonic soldering: un trasduttore produce cavitazione nel solder fuso che rimuove gli ossidi dalle superfici.

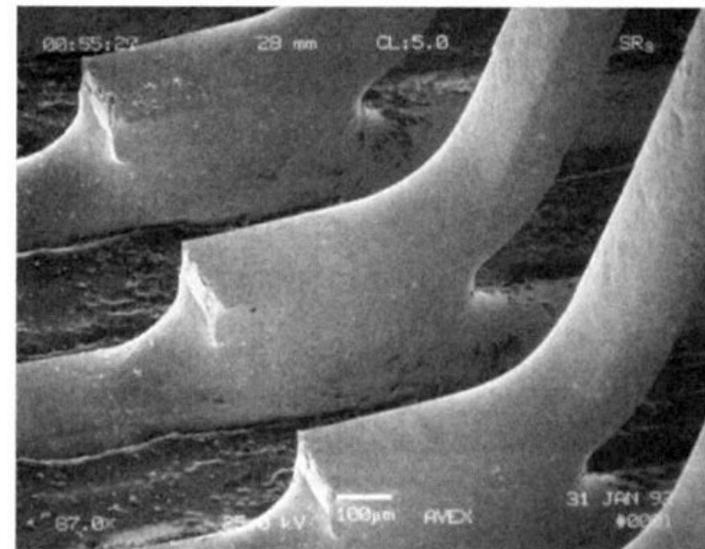
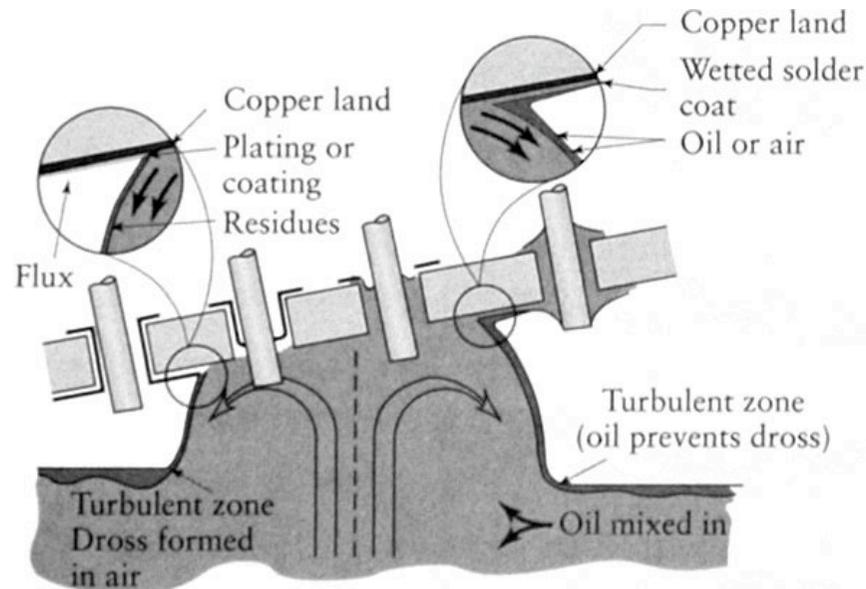
# Metodi di soldering

- Reflow (paste) soldering: si usa una pasta contenente il solder e i fondenti che danno consistenza. La pasta depositata sul pezzo viene fusa in forno. La sequenza di operazioni successiva è: il solvente evapora, i fondenti si attivano e parte la fusione, i componenti si preriscaldano, le particelle di solder fondono e bagnano il giunto, infine l'assemblaggio viene raffreddato.



# Wave soldering

- Wave soldering è usato per attaccare componenti di circuito alle piastre madri. Si basa sul principio che il solder fuso non attacca su tutte le superfici, ma attacca bene sulle parti metalliche, ma non sulle superfici polimeriche o ricoperte da polimero.
- Il solder fuso viene spinto da pompa con flusso laminare. Un flusso d'aria forma una zona turbolenta che aiuta a rimuovere il solder dalle zone dove non aderisce.



# Incollaggi: adesivi

- In base al materiale gli adesivi si classificano in:
  - adesivi naturali (colle di pesce ecc.)
  - adesivi inorganici (silicato di sodio, magnesio ossicloruro ecc.)
  - adesivi organici sintetici (questa è la classe più importante ed abbiamo adesivi termoplastici e adesivi termoindurenti)
- Gli adesivi organici si classificano poi in:
  - chimicamente reattivi (poliuretani, siliconici, epossidici, cianoacrilici, acrilici modificati, fenolici, polimmidi e anaerobici)
  - sensibili alla pressione (gomme sintetiche e naturali e poliacrilati)
  - a caldo (termoplastici: acetati, poliefine, poliammidi, poliesteri)
  - reattivi a caldo (termoindurenti basati sull'uretano)
  - a evaporazione o diffusione (vinilici, acrilici, fenolici e poliuretanici)
  - film e nastri (nylon-epossidiche, elastomeri-epossidiche ecc.)
  - ad incollaggio ritardato (stirene-butadiene copolimeri, polivinil-acetati, polistirene e poliammidi)
  - conduttori elettrici e del calore (epossidici, poliuretanici, siliconici)

# Incollaggi: adesivi

- Se basiamo la classificazione sulle specifiche chimiche:
  - sistemi epossidici: termoindurenti con alta resistenza ad alta temperatura (fino a 200 °C). Per sigillare sistemi frenanti o leganti per stampi in sabbia
  - acrilici: con substrati non puliti
  - sistemi anaerobici: induriscono in assenza di ossigeno, si usano anche UV o a caldo
  - cianoacrilati: adesivi rapidi (da 5 a 40 sec)
  - uretani: alta tenacità e flessibilità, spesso usati come sigillanti
  - siliconi: resistono agli inquinanti, tenaci e resistenti al peel, richiedono tempi di indurimento lunghi fino a 5 giorni

# Incollaggi: adesivi

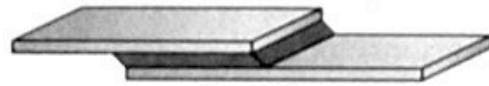
**Typical Properties and Characteristics of Chemically Reactive Structural Adhesives**

|   | Epoxy                   | Polyurethane             | Modified Acrylic         | Cyanocrylate                      | Anaerobic                 |
|---|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| Impact resistance                                 | Poor                    | Excellent                | Good                     | Poor                              | Fair                      |
| Tension-shear strength, MPa (10 <sup>3</sup> psi) | 15.4 (2.2)              | 15.4 (2.2)               | 25.9 (3.7)               | 18.9 (2.7)                        | 17.5 (2.5)                |
| Peel strength, N/m (lb/in.)                       | < 525 (3)               | 14,000 (80)              | 5250 (30)                | < 525 (3)                         | 1750 (10)                 |
| Substrates bonded                                 | Most                    | Most smooth, nonporous   | Most smooth, nonporous   | Most nonporous metals or plastics | Metals, glass, thermosets |
| Service temperature range, °C (°F)                | -55 to 120 (-70 to 250) | -160 to 80 (-250 to 175) | -70 to 120 (-100 to 250) | -55 to 80 (-70 to 175)            | -55 to 150 (-70 to 300)   |
| Heat cure or mixing required                      | Yes                     | Yes                      | No                       | No                                | No                        |
| Solvent resistance                                | Excellent               | Good                     | Good                     | Good                              | Excellent                 |
| Moisture resistance                               | Excellent               | Fair                     | Good                     | Poor                              | Good                      |
| Gap limitation, mm (in.)                          | None                    | None                     | 0.75 (0.03)              | 0.25 (0.01)                       | 0.60 (0.025)              |
| Odor  | Mild                    | Mild                     | Strong                   | Moderate                          | Mild                      |
| Toxicity  | Moderate                | Moderate                 | Moderate                 | Low                               | Low                       |
| Flammability                                      | Low                     | Low                      | High                     | Low                               | Low                       |

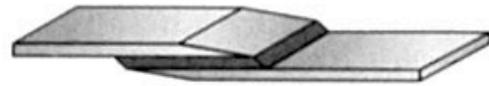
Source: *Advanced Materials & Processes*, July 1990, ASM International.

# Configurazioni di incollaggio

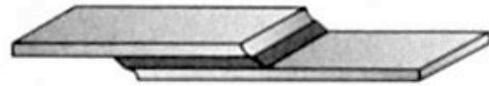
sovrapposizione  
singola



Simple



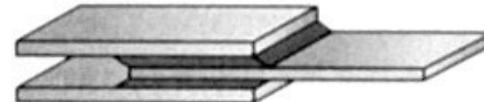
Beveled



Radiused

(a)

sovrapposizione  
doppia



Simple



Beveled



Radiused

(b)

scarf  
(ammorsatura)



Single taper



Double taper



Increased thickness

(c)

strap  
(cinghia)



Single



Double



Beveled

(d)

# Incollaggi: caratteristiche

- Vantaggi:
  - giunto all'interfaccia che isola, previene corrosioni, sigilla e riduce le vibrazioni
  - distribuisce lo sforzo all'interfaccia eliminando localizzazione degli sforzi
  - non cambia l'aspetto esteriore delle parti
  - si attaccano pezzi sottili e piccoli senza incremento di peso
  - attaccano pezzi di materiale differente, porosi o no
  - non provocano distorsioni
- Limitazioni:
  - massima temperatura piuttosto bassa (250 °C)
  - tempi di incollaggio lunghi
  - necessitano di preparazione della superficie (pulizia per rimuovere olii, sporczia ecc.)
  - test degli incollaggi difficile
  - affidabilità incerta specialmente con inquinanti

# Giunzioni meccaniche

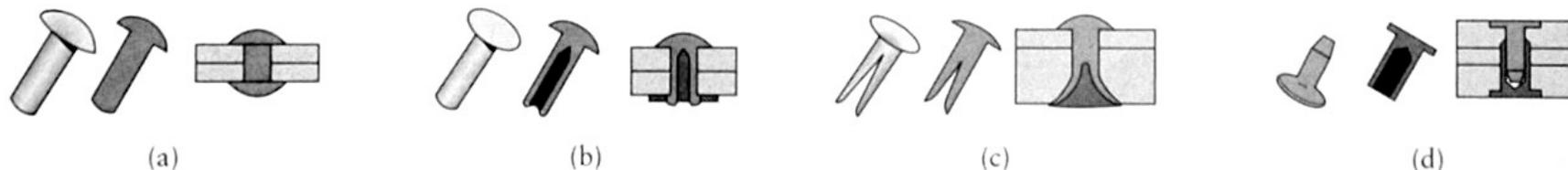
- I vantaggi delle giunzioni meccaniche per cui possono essere preferite ad altri sistemi di giunzione sono:
  - facilità di realizzazione
  - facilità d'assemblaggio e trasporto
  - facilità di manutenzione, riparazione e sostituzione pezzi
  - facilitano il disegno di sistemi che richiedono movimento di giunti o movimenti relativi (i giunti meccanici possono essere regolati in maniera fine durante il montaggio, esempio montaggio porte di un armadio, o di un'automobile
  - minor costo globale nell'assemblaggio del prodotto
- I metodi più utilizzati sono: bulloni, viti, chiodi, rivetti, pin e molti altri tipi di ganci rapidi o automatici

# Aspetti delle giunzioni meccaniche

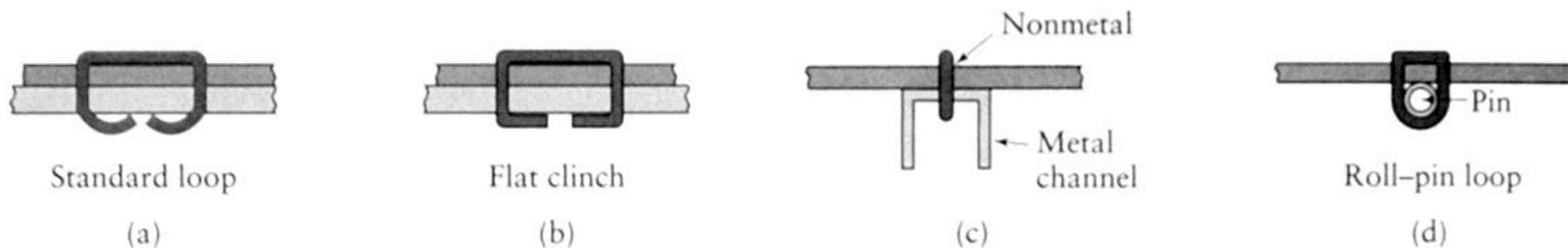
- In molti casi prevedono la realizzazione di buchi. Bisogna prestare molta attenzione sia nella realizzazione (lavorazioni all'utensile o prodotti integralmente nella formatura) che nella loro posizione poichè possono agire da concentratori di sforzi.
- Giunti a filetto: rientrano in questa categoria bulloni, dadi e viti. Richiedono tolleranze precise nella realizzazione. Possono essere assicurati con dadi oppure direttamente nel materiale (meno costoso e più flessibile per il design) Nel caso di applicazioni in sistemi soggetti a vibrazioni, i sistemi di trattenimento devono assicurare la tenuta continua (sistemi di bloccaggio ad attrito o ganci supplementari: es. blocco perno ruota nelle motociclette)

# Rivetti e altri metodi di giunzione meccanica

- Rivetti: (a) solidi, (b) tubolari, (c) biforcati, (d) a compressione



- Graffette (metal stitching or stapling), (soprattutto quando uno dei pezzi è non metallico):

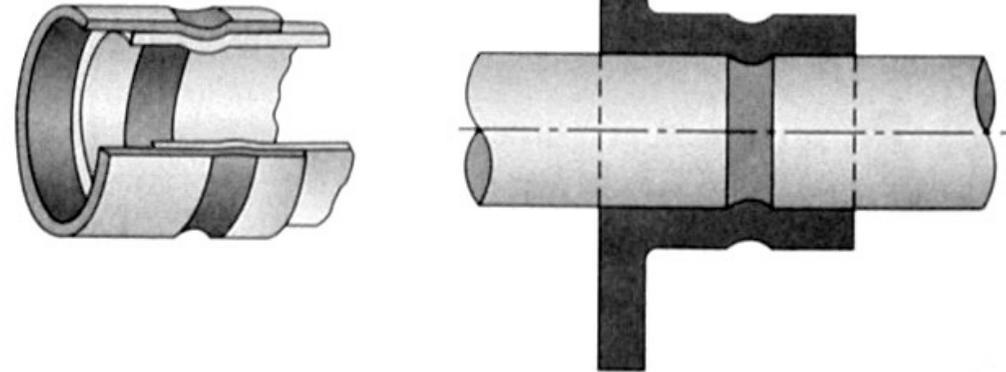


- Seaming: (cucitura)

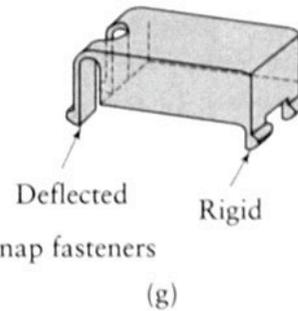
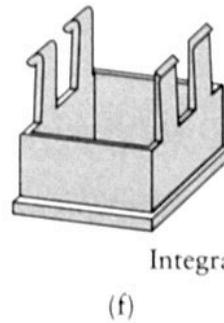
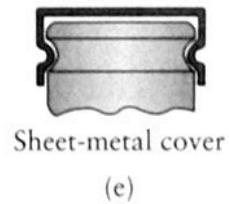
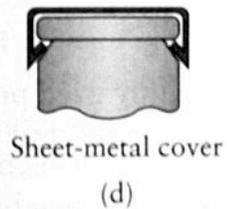
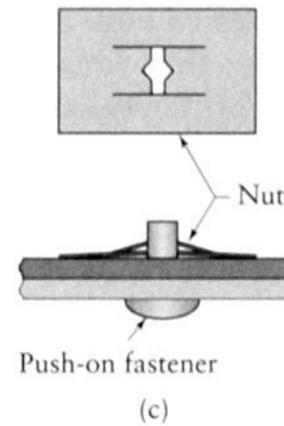
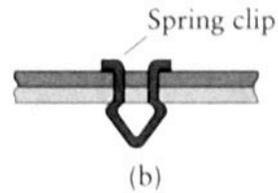
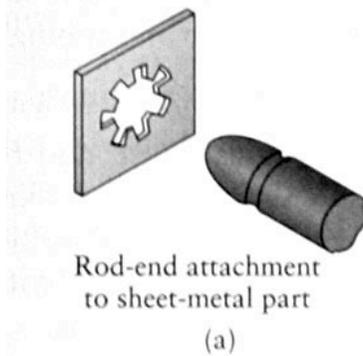


# Altri metodi di giunzione meccanica

- Crimping:

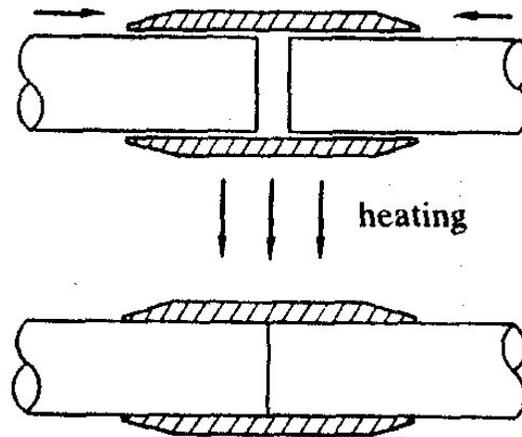


- Snap-in fasteners:

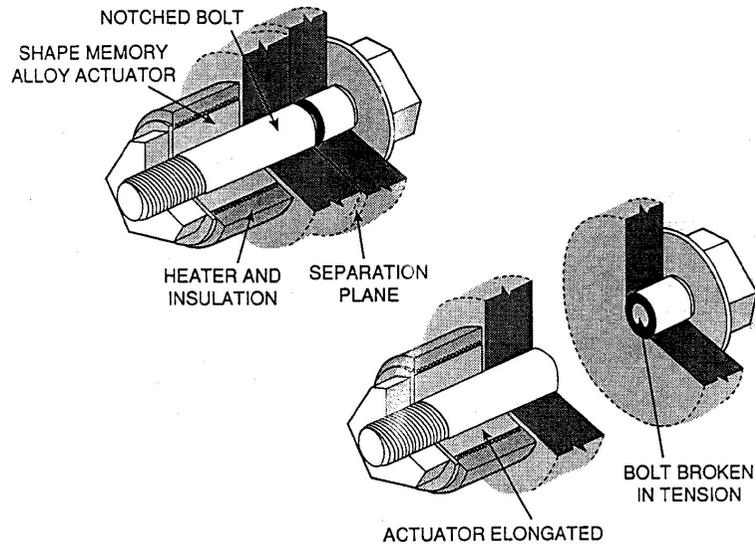


# Altri metodi di giunzione meccanica

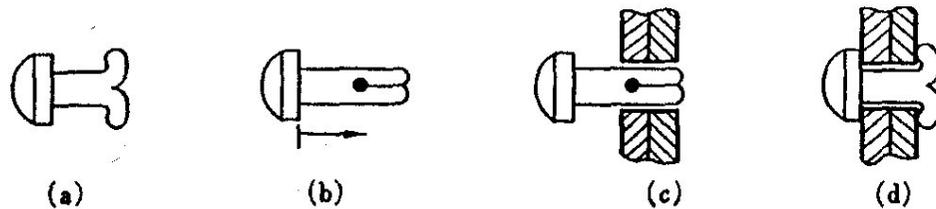
- Per ritiro e pressione, si cambia la dimensione di un pezzo rispetto all'altro temporaneamente, si inserisce (esternamente o internamente) e ripristinando la dimensione iniziale i due pezzi si bloccano relativamente:
  - per differente espansione/contrazione termica (es. sede valvole, alberi a camme). Si contrae il pezzo interno in azoto liquido
  - giunti in lega a memoria di forma (flange ecc.), molto affidabili, non dipendono dal montaggio, ma dalla progettazione



# SMA per giunzioni

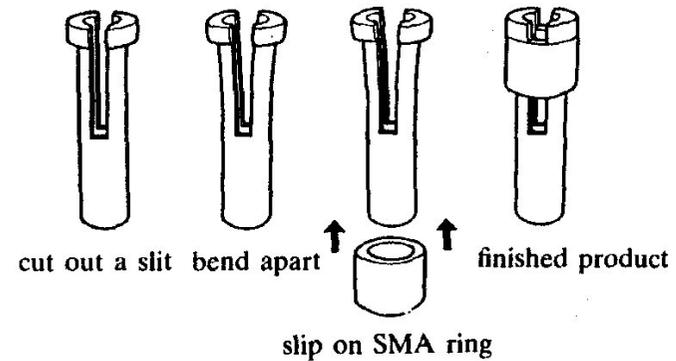
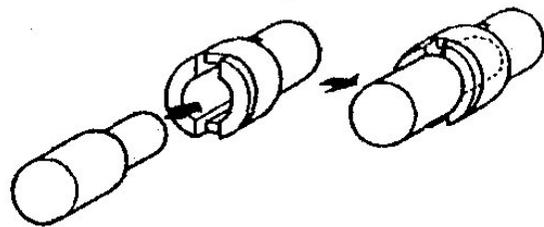


- Sistemi di giunzione e rilascio nello spazio



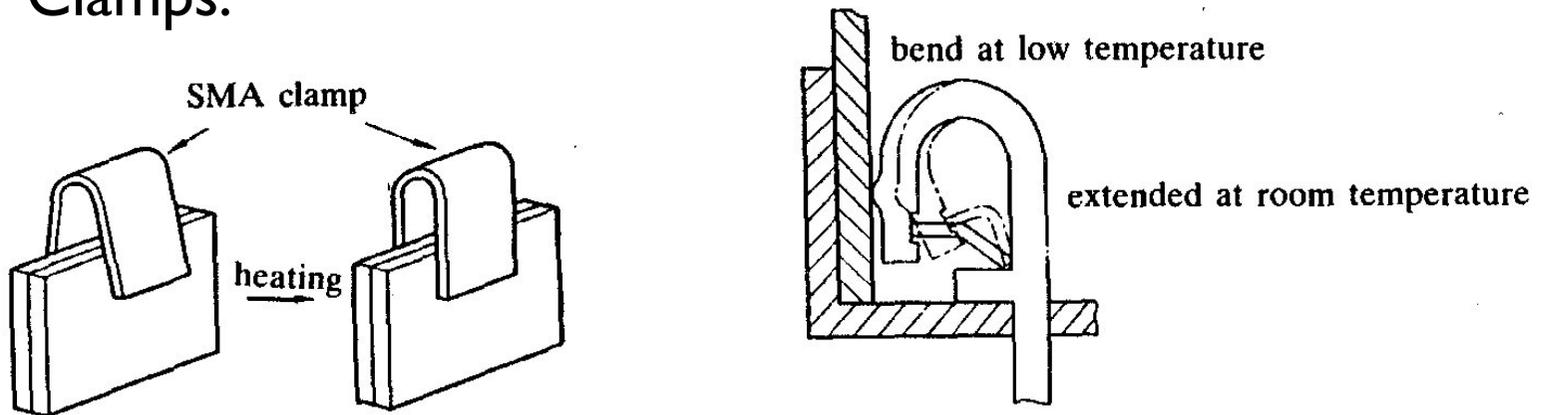
- Rivetti autobloccanti:

insert after cooling    fasten at room temperatures.

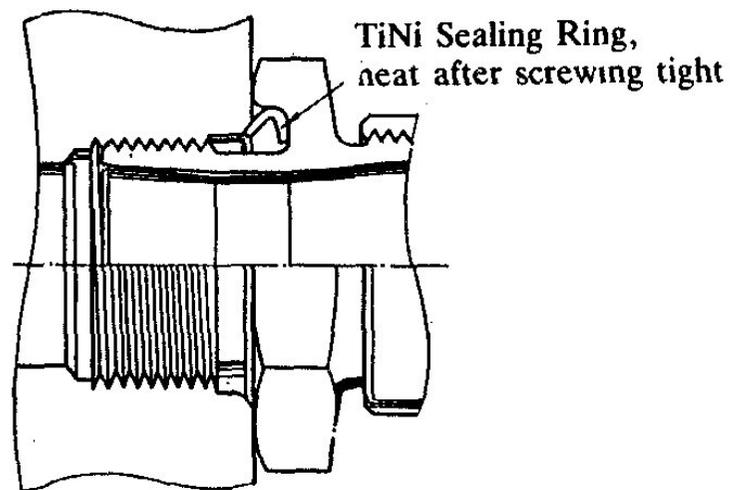


# Giunzioni in SMA

- Clamps:

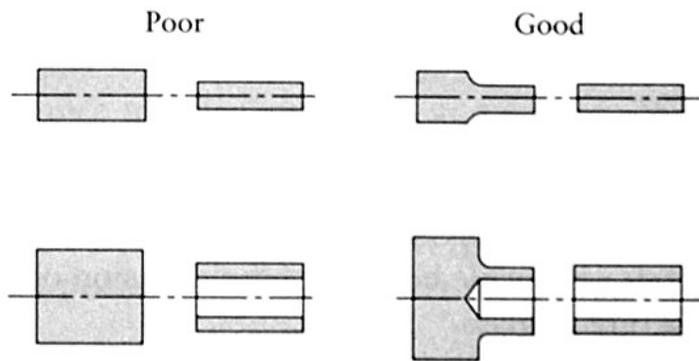
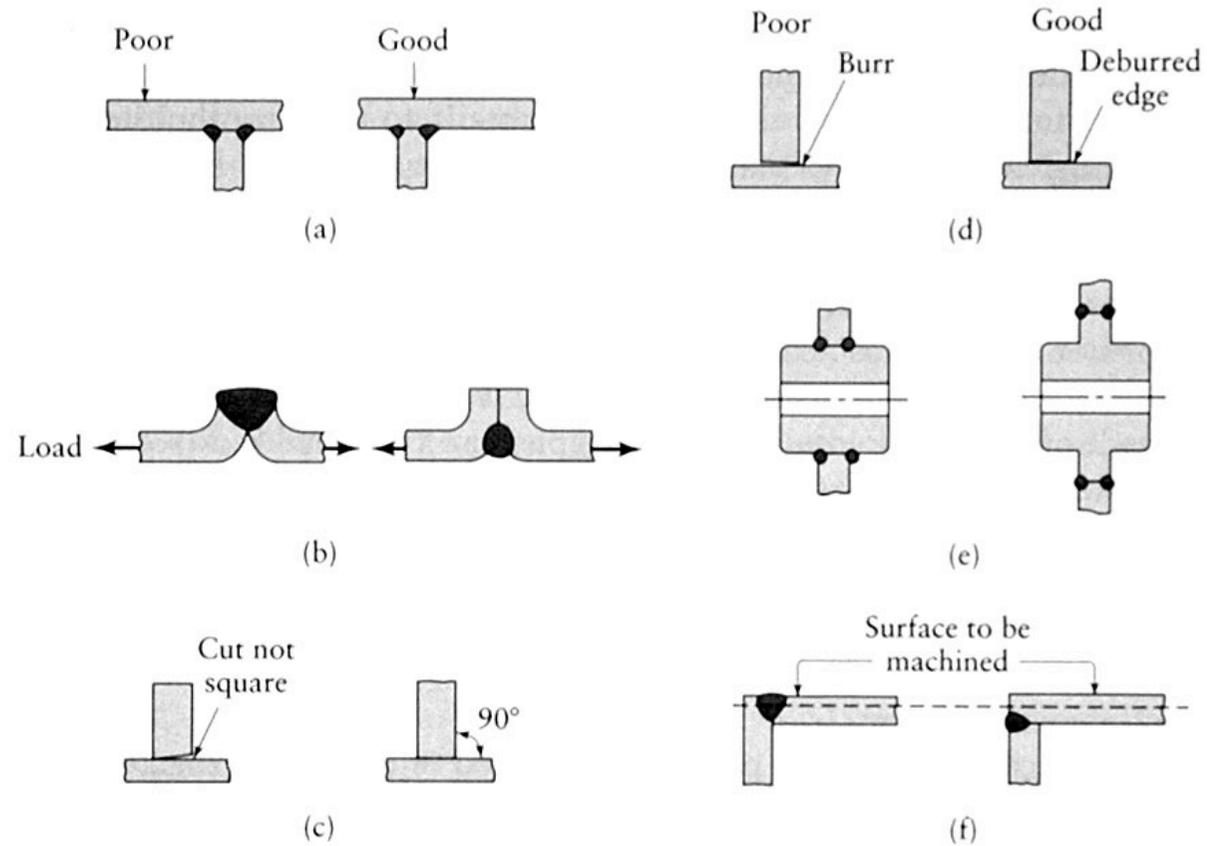


- Anelli sigillanti:



## Giunzioni su polimeri e ceramici/vetri

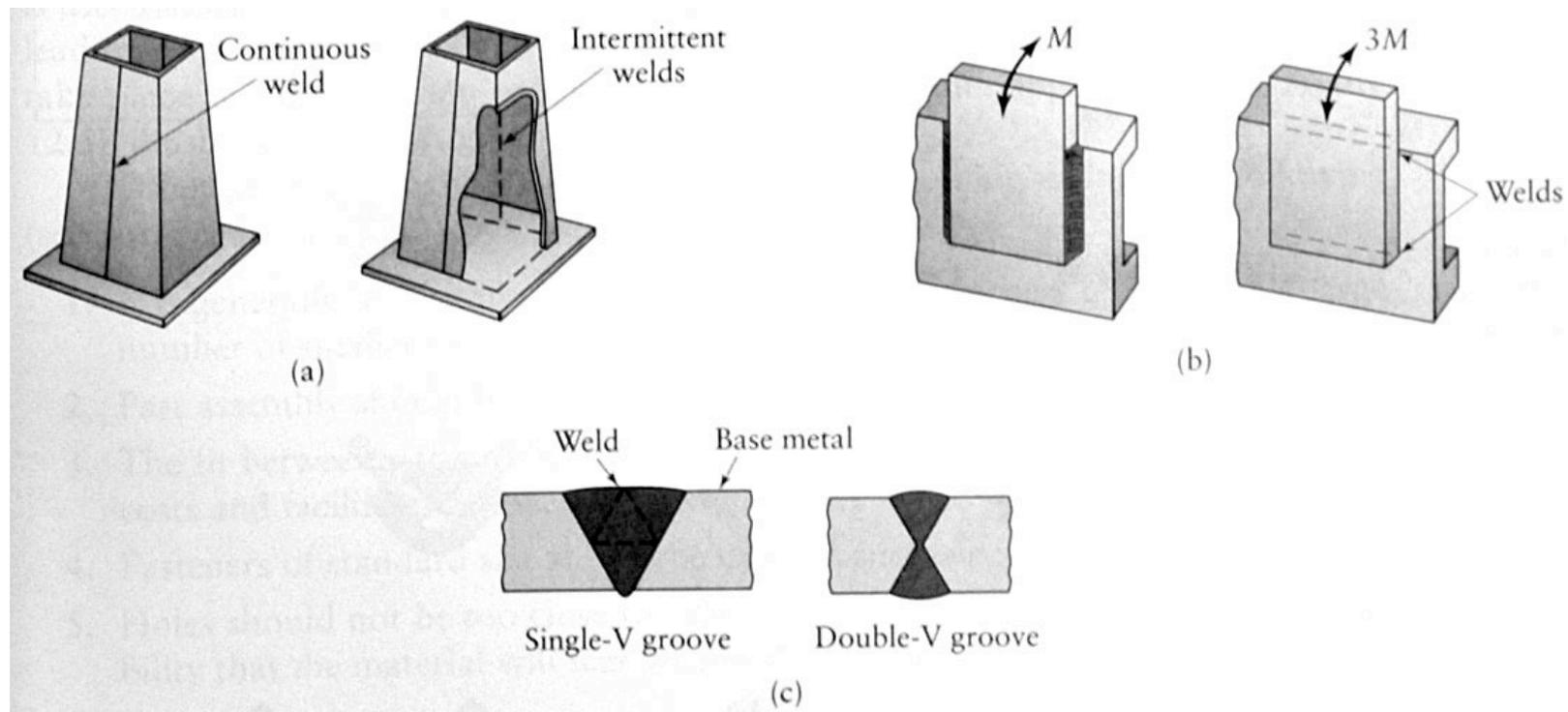
- I termoindurenti si possono incollare/saldare semplicemente tramite apporto di calore, si può anche aggiungere del polimero all'interfaccia oppure incollaggio.
- Per i termoindurenti si usano gli incollaggi con adesivi compatibili.
- Ceramici: si possono usare adesivi (anche inorganici per alta T), espansione termica differenziale e giunzioni meccaniche (attenzione fragilità ceramici). Giunzioni metallo-ceramico: per i carburi, questi vengono brasati sugli utensili; l'allumina viene vetrificata, rivestita con uno strato metallico (Ni, o Mo-Mn) e poi lo strato brasato al pezzo metallico. Oppure il pezzo inserito nella formatura.
- Vetri: si usano adesivi, oppure riscaldamento, rammollimento dell'interfaccia e pressioni dei due pezzi uno contro l'altro.



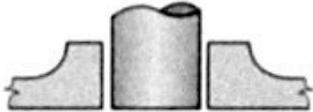
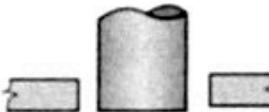
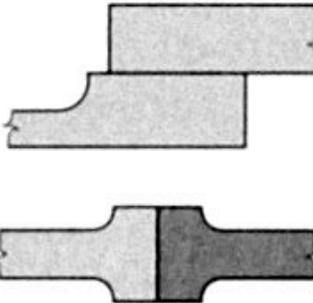
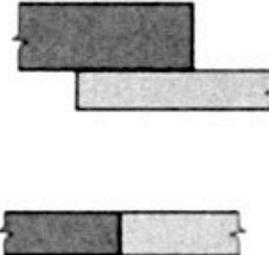
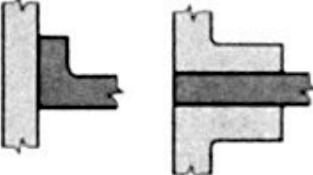
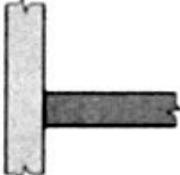
# Progettazione per la saldatura

# Differenti scelte di saldatura

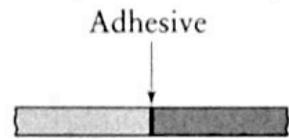
- (a) la saldatura intermittente interna richiede meno tempo e materiale, (b) la saldatura sopra-sotto supporta un momento 3 volte maggiore, (c) la doppia V richiede metà materiale di saldatura



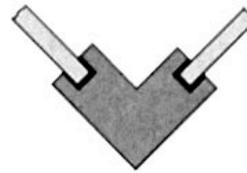
# Progettazione per la brasatura

| Good  | Poor  | Comments  |
|---|---|---|
|    |    | Too little joint area in shear                                    |
|   |    | Improved design when fatigue loading is a factor to be considered |
|  |  | Insufficient bonding  |

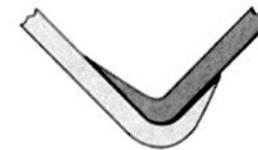
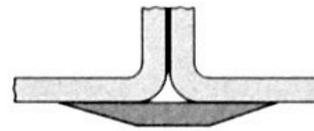
# Giunti adesivi e combinati: buon design



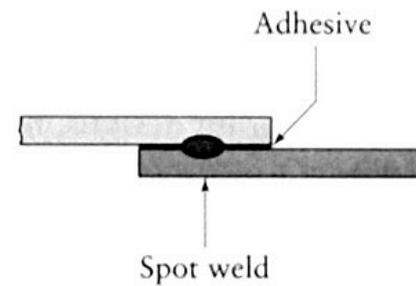
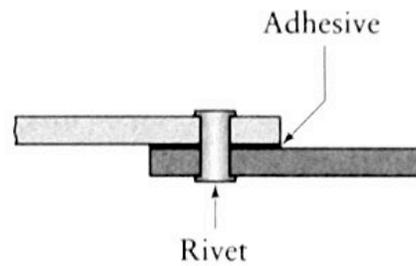
(a) Poor



(b) Good

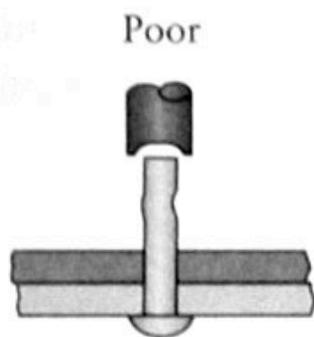


(c) Very good

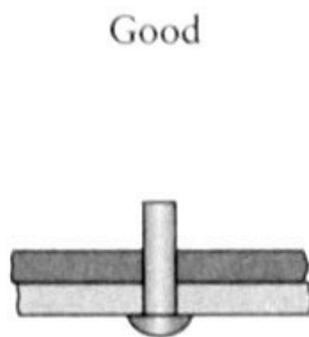


(d) Combination joints

# Progettazione con rivetti: linee guida



(a)



(b)



(c)



(d)

# Considerazioni economiche

- Nei costi globali dei vari processi, a causa della preparazione, brasatura e giunzioni meccaniche con fastening possono essere i più costosi. Per la loro facile automazione, saldatura a resistenza elettrica, seaming e crimping i meno costosi. Il costo degli adesivi varia molto, ma visto l'economicità il processo è attraente.
- Per molti processi bisogna considerare anche il costo per l'acquisto del materiale di base e attrezzatura che varia molto. Per cui in molti casi bisogna considerare il numero di giunzioni da realizzare in un processo industriale.
- Nella tabella seguente sono riportati i costi di acquisto e installazione per alcuni di questi processi.

# Costo equipaggiamento per alcuni processi

|  |                  |
|--|------------------|
| Brasatura per diffusione               | 50000-300000 \$  |
| Electron-beam welding                  | 75000-1000000 \$ |
| Electroslag welding                    | 15000-25000 \$   |
| Flash welding                          | 5000-1000000 \$  |
| Saldatura per attrito                  | 75000-300000 \$  |
| Brasatura in forno                     | 2000-300000 \$   |
| Gas metal-arc e flux-cored arc welding | 1000-3000 \$     |
| TIG, gas tungsten-arc welding          | 1000-5000 \$     |
| saldatura laser                        | 40000-1000000 \$ |
| Plasma-arc welding                     | 3000-6000 \$     |
| Saldatura a resistenza elettrica       | 20000-50000 \$   |
| Shielded metal-arc welding             | 1500 \$          |

- Per molti sistemi il costo maggiore è dato dal sistema di automazione, non disponibile o applicabile in altri.