

45.2 Forzamenti

I collegamenti forzati sono ottenuti mediante le elevate forze di attrito generate, nell'accoppiamento reciproco, dalle deformazioni elastiche degli stessi elementi da collegare. Più che fissi, questi collegamenti dovrebbero essere definiti *semipermanenti* poiché possono essere sciolti con l'applicazione di forze superiori a quelle di attrito, mediante adeguate attrezzature e artifici. Tipico è il collegamento tra albero e mozzo di una ruota montati con opportuna *interferenza*, per cui, volendo bloccare la ruota sull'albero, il foro deve sempre risultare di dimensioni inferiori all'albero. Presi, ad esempio, un albero, di diametro minimo pari a 20 mm e diametro massimo di 20,3 mm, e un foro, in un campo di tolleranze di 0,2 mm, con un diametro minimo di 19,7 mm e un diametro massimo di 19,9 mm, l'interferenza massima risulta $(20,3 - 19,7) \text{ mm} = 0,6 \text{ mm}$, mentre quella minima è $(20,0 - 19,9) \text{ mm} = 0,1 \text{ mm}$. Di solito viene assunto un valore dell'interferenza intorno allo 0,1% del diametro.

Quando il valore dell'interferenza non è molto elevato, per il montaggio si può ricorrere a un forzamento mediante una pressa che produce una deformazione elastica del foro. Se invece i valori dell'interferenza sono elevati, si deve operare con un riscaldamento che dilata il foro. Per la 19-8 infatti, la variazione Δd del diametro interno del foro d è proporzionale, attraverso il coefficiente di dilatazione termica lineare del materiale α , alla variazione di temperatura ΔT tra la temperatura iniziale e la temperatura di riscaldamento: $\Delta d = d \cdot \alpha \cdot \Delta T$. Oltre a dilatare il diametro interno del mozzo si può contrarre con un raffreddamento il diametro dell'albero, ovvero si possono usare contemporaneamente le due tecniche. L'aumento del diametro Δd consente di introdurre l'albero nel foro del mozzo della ruota e quindi di realizzare il montaggio. Quando vengono ripristinate le condizioni iniziali di temperatura si genera una pressione di contatto tra albero e mozzo; il diametro interno del mozzo tende infatti a riprendere la dimensione primitiva ma è ostacolato dalla presenza del diametro esterno dell'albero: si genera così una deformazione impedita (Paragrafo 19.6).

Presi un albero di diametro nominale d e un mozzo di lunghezza l (Figura 45.3), l'area della superficie di contatto tra albero e mozzo è πdl [m²]; la forza di attrito F [N] è il prodotto del coefficiente di attrito μ per questa area e per la pressione media di contatto p [N/m²]: $F = \mu(\pi dl)p$. Moltiplicando questa forza per il raggio $d/2$ dell'albero, si ottiene il momento M [N·m] dovuto alla forza di attrito: $M = \mu\pi dlp(d/2) = \mu\pi d^2lp/2$. In condizioni di incipiente slittamento tra mozzo e albero, il momento limite M_{lim} è pari al momento M , maggiorato di 1,2 volte per essere sicuri che lo slittamento non avvenga; questo momento deve essere maggiore o uguale al momento massimo M_{max} che si vuole trasmettere: $M_{\text{lim}} \geq M_{\text{max}}$. Noti il coefficiente di attrito acciaio su acciaio ($\mu \approx 0,1$) e il diametro nominale d dell'albero, si impone un valore massimo alla pressione scambiata, ad esempio $p = 50 \text{ N/mm}^2$ (valore a riposo della pressione di contatto, che deve essere inferiore alla tensione normale ammissibile σ_{amm} dell'albero affinché non si verifichi il cedimento del materiale), e si dimensiona la lunghezza l del mozzo ponendo $M_{\text{lim}} = M_{\text{max}}$.

$$M_{\text{lim}} = 1,2\mu\pi d^2l \frac{p}{2} = M_{\text{max}} \quad \Rightarrow \quad l = \frac{2M_{\text{max}}}{1,2\mu\pi d^2p} \quad 45-1$$

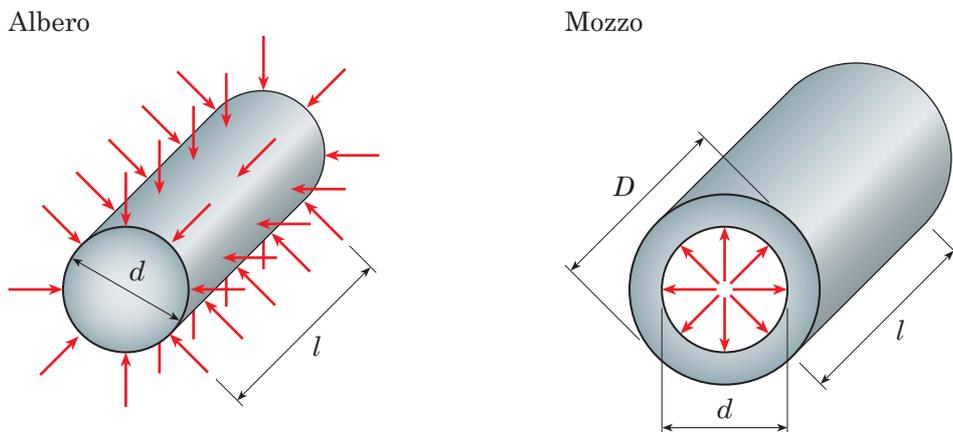


Fig. 45.3 - Dimensioni caratteristiche dell'albero e del mozzo.

45.3 Chiodature

A differenza dei chiodi fra parti in legno o strutture murarie che operano per l'attrito sul gambo inserito nei pezzi da congiungere e per l'arresto dovuto alla testa, nelle strutture meccaniche i chiodi comprimono tra loro i pezzi da collegare e il bloccaggio deriva dall'attrito generato tra i pezzi stessi (Figura 45.4). I chiodi sono costituiti da un *gambo* cilindrico con (all'estremità) una *testa*, a calotta stretta o larga o tronco-conica, e vengono inseriti in fori praticati nei lembi dei pezzi da unire; una *controtesta* viene ottenuta per ricalcatura del tratto di gambo che sporge dal foro (Figura 45.5).

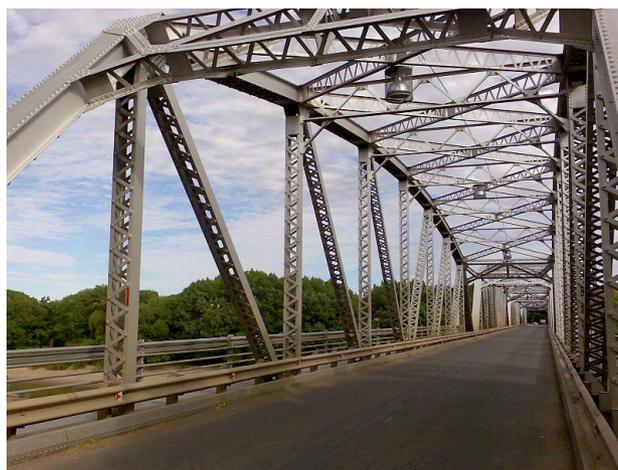


Fig. 45.4 - Struttura chiodata.

Per chiodi in acciaio di diametro superiore a 8 mm il chiodo viene inserito nel foro a caldo, preriscaldandolo fino a 900 °C, e ribadito; raffreddandosi si accorcia comprimendo i lembi uniti che rimangono tali per l'attrito che si forma tra le superfici adiacenti mentre il gambo del chiodo viene sollecitato a trazione (Figura 45.6-a); l'unione a caldo è adatta per applicazioni relative a pareti di spessore fortemente sollecitate.

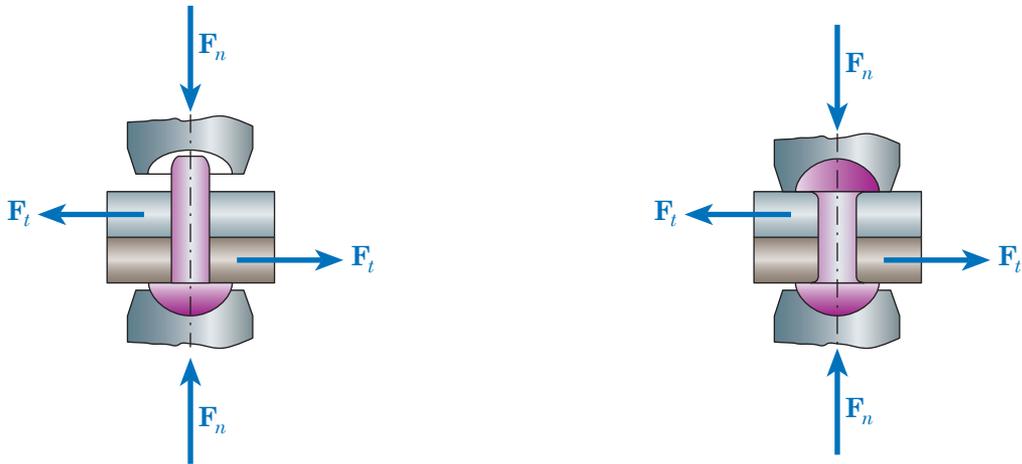


Fig. 45.5 - La testa del chiodo inserito nel foro predisposto viene bloccata mentre l'estremità sporgente viene riscaldata per formare una controtesta.

Operando invece a freddo su elementi in acciaio dolce o leghe di alluminio e rame, il chiodo viene posto nell'alloggiamento e ribadito: il collegamento avviene in quanto è ostacolato il movimento reciproco dei pezzi cosicché la trazione è modesta e quindi pure l'attrito che si genera tra le superfici adiacenti. Il collegamento è assicurato dalla resistenza a taglio dei gambi dei chiodi (*Figura 45.6-b*); questo secondo metodo è più usato per le lamiere e i chiodi sono detti *ribattini*. Nei collegamenti delle strutture leggere, come quelle aeronautiche, si parla di *rivetti*, ribattini di forma particolare con l'estremità del gambo alleggerita da un foro assiale o semplicemente da una biforcazione per facilitare la formazione della controtesta di bloccaggio.

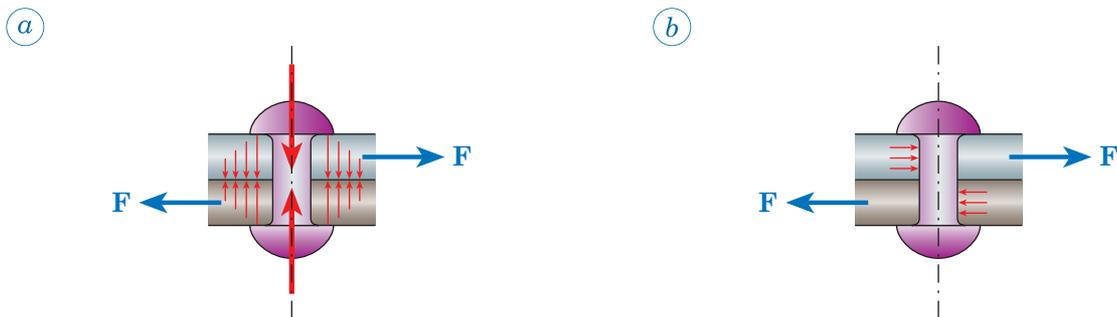


Fig. 45.6 - Distinzione della chiodatura in base all'applicazione:

- a) nella chiodatura a caldo il gambo contraendosi esercita tramite le teste una compressione dei pezzi da collegare;
- b) nella ribaditura a freddo il gambo impedisce lo spostamento dei pezzi e viene sollecitato a taglio.

Le giunzioni chiodate o rivettate (*bolted or rivetted joints*) prevedono l'impiego di numerosi chiodi per ripartire meglio gli sforzi e assicurare una pressione omogenea: il diametro unificato dei chiodi, la loro distanza, il numero di file e il tipo di giunzione (*Figura 45.7*) vanno scelti sulla base delle norme.

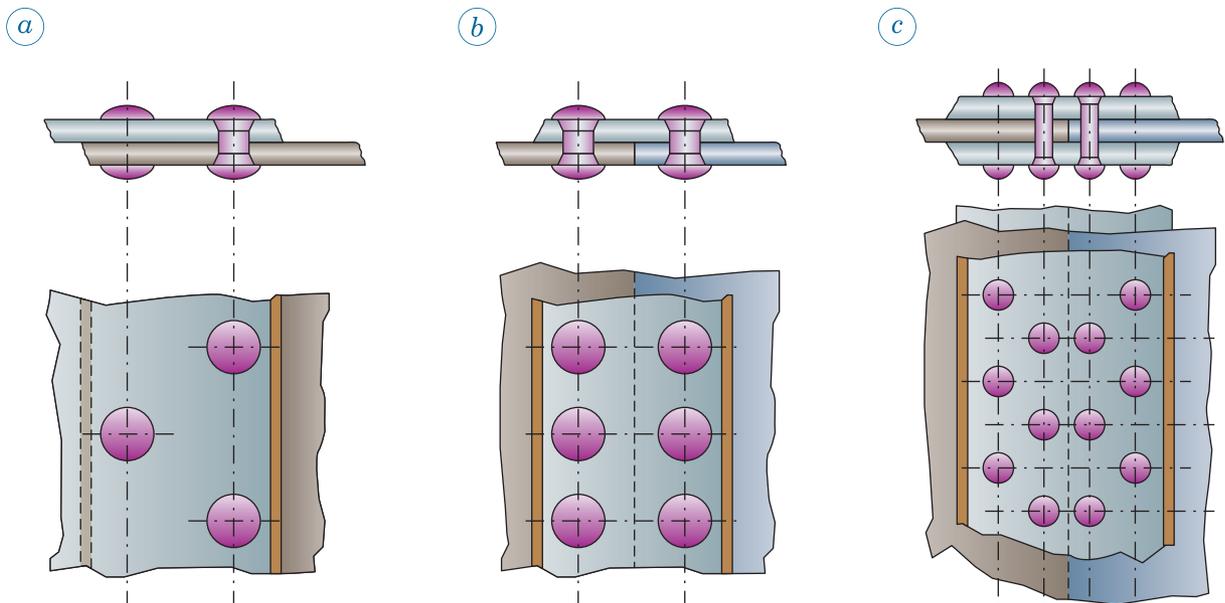


Fig. 45.7 - Distinzione della chiodatura in base all'unione dei lembi da collegare:

- a) chiodatura a sovrapposizione semplice con i due lembi che si ricoprono;
- b) chiodatura a coprighiunto semplice quando i due lembi sono testa a testa e ricoperti su di una superficie da un tratto di lamiera;
- c) chiodatura a doppio coprighiunto quando i due lembi sono testa a testa e ricoperti su entrambe le superfici da tratti di lamiera.

Il chiodo di diametro nominale d può rompersi sotto l'azione di un carico di taglio F e allora occorre verificare che la tensione tangenziale τ sia inferiore o uguale alla tensione ammissibile τ_{amm} (Figura 45.8):

$$\tau = \frac{F}{\pi d^2/4} \leq \tau_{amm} \quad \ll \text{semplice} \gg \quad \tau = \frac{F/2}{\pi d^2/4} \leq \tau_{amm} \quad \ll \text{doppio coprighiunto} \gg \quad \mathbf{45-2}$$

e che la pressione media di contatto chiodo/foro lamiera o pressione p_{rif} di rifollamento (fenomeno descritto più avanti parlando dei bulloni), che la forza del chiodo F_{chiodo} esercita sull'area proiettata lateralmente data dal diametro d per lo spessore t della lamiera, sia inferiore o uguale alla pressione ammissibile p_{amm} :

$$p_{rif} = \frac{F_{chiodo}}{dt} \leq p_{amm} \quad \mathbf{45-3}$$

Per i chiodi comuni in acciaio S 275, la tensione tangenziale e la pressione ammissibile valgono rispettivamente $\tau_{amm} = 120$ MPa e $p_{amm} = 320$ MPa. Se non disponibile, il valore della pressione ammissibile può essere presa pari a 2 volte la tensione ammissibile σ_{amm} .

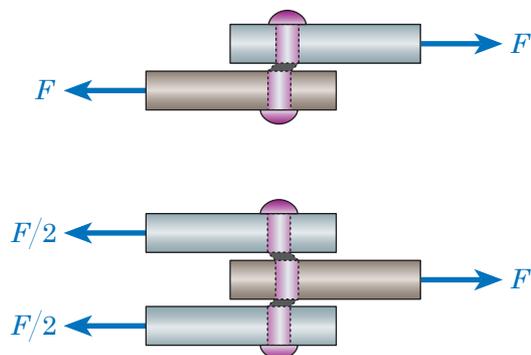


Fig. 45.8 - Rottura del chiodo per taglio in una giunzione semplice ottenuta per semplice sovrapposizione di lamiera e in una giunzione con doppio coprigiunto. Nel secondo caso la forza vale $F/2$ (Esempio 19.4).

Indicata con A_{netta} l'area netta della sezione resistente della lamiera (depurata cioè dell'area complessiva dei fori dovuti ai chiodi), si esegue la verifica della resistenza a strappo della lamiera indebolita dalla presenza dei fori ponendo la tensione di rottura a trazione σ_{strappo} (Figura 45.2-d) inferiore o uguale alla tensione normale ammissibile σ_{amm} del materiale (per l'acciaio S 275, si può prendere $\sigma_{\text{amm}} = 190$ MPa):

$$\sigma_{\text{strappo}} = \frac{F}{A_{\text{netta}}} \leq \sigma_{\text{amm}} \quad 45-4$$

45.4 Saldature

Con il processo di saldatura si realizza una giunzione stabile tra due o più parti, in genere metalliche, mediante la loro parziale fusione per effetto di un riscaldamento localizzato dovuto a energia termica di origine chimica oppure elettrica. Il metallo che viene portato a temperature prossime a quelle di fusione può essere lo stesso materiale delle parti che devono venire saldate oppure un *materiale di apporto* diverso dal metallo base. I processi di saldatura si suddividono in saldature *autogene* e in saldature *eterogene* o *brasature* (Tabella 45.2): nella saldatura autogena, che si può eseguire con o senza il metallo d'apporto, il metallo base partecipa per fusione alla costituzione del giunto saldato, mentre la brasatura viene ottenuta per sola fusione del metallo d'apporto come nel caso della saldatura a stagno impiegata nei componenti elettrici ed elettronici.

La Figura 45.9-a mostra i componenti delle tensioni nelle due sezioni trasversale (ortogonale all'asse del cordone di saldatura) e longitudinale (parallela all'asse del cordone) nel caso di una giunzione a completa penetrazione. Nella Figura 45.9-b invece è rappresentata una giunzione a cordone d'angolo in cui è evidenziato lo spessore minimo della sezione di gola $a = s/\sqrt{2} = 0,707 \cdot s$, poiché ciascun triangolo con ipotenusa s ha i due cateti uguali ad a ($a^2 + a^2 = s^2 \Rightarrow 2a^2 = s^2 \Rightarrow \sqrt{2} \cdot a = s$).

Tabella 45.2
Processi di saldatura

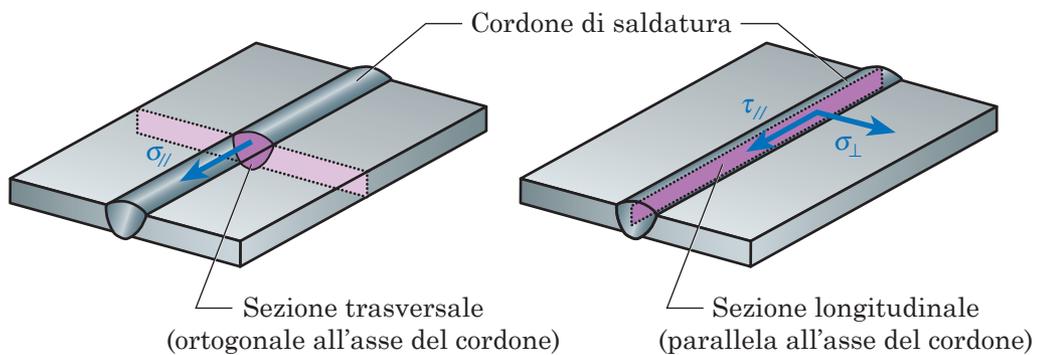
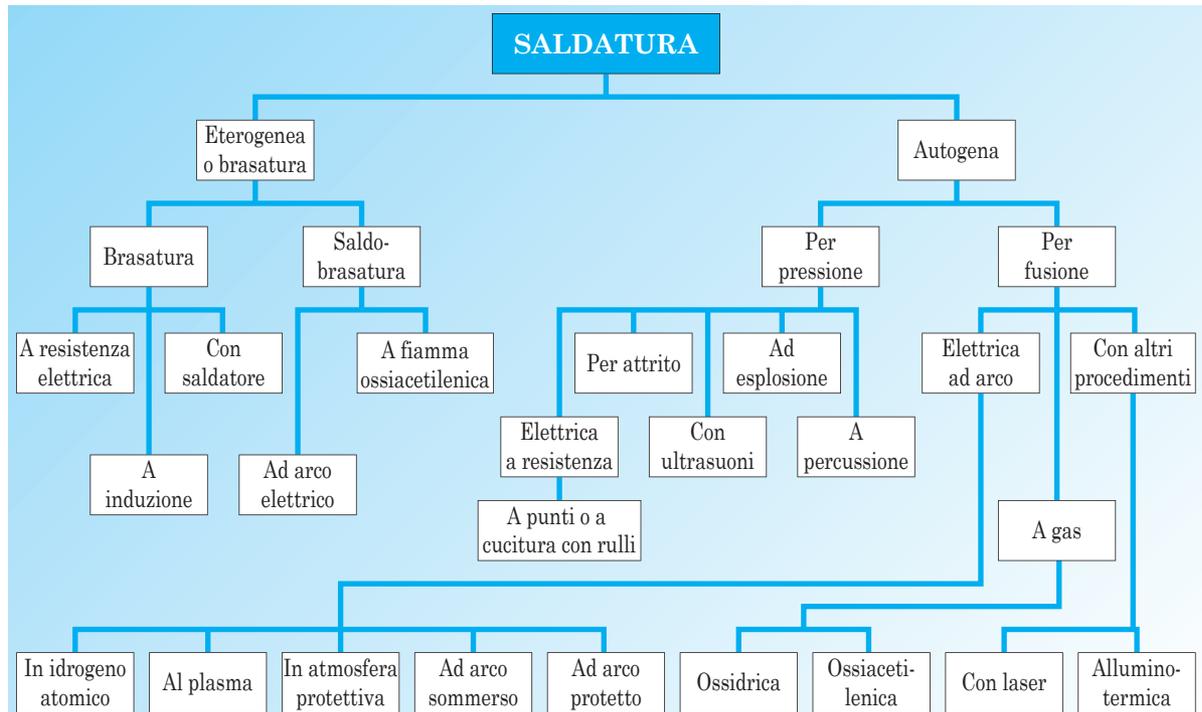


Fig. 45.9-a - Giunzioni a completa penetrazione con le tensioni normali $\sigma_{//}$ e σ_{\perp} rispettivamente parallela e perpendicolare alla sezione di gola e la tensione tangenziale $\tau_{//}$ parallela al piano della sezione di gola.

Nell'*Esempio 20.6* del secondo volume si era affrontato un caso specifico di saldatura. In generale, per la verifica della saldatura, che va eseguita sul più debole degli elementi saldati, bisogna calcolare una tensione equivalente funzione delle direzioni delle tensioni, parallele e perpendicolari alla sezione di gola (*metodo di verifica direzionale*) con i coefficienti parziali di sicurezza rispetto alla condizione limite di esercizio utilizzati nell'Eurocodice 3 (si veda più avanti il *Paragrafo 45.8.5*).

È tuttavia possibile impiegare un *metodo di verifica semplificato*, naturalmente più cautelativo, con il quale si calcola la risultante delle forze per unità di lunghezza F_w sulle linee

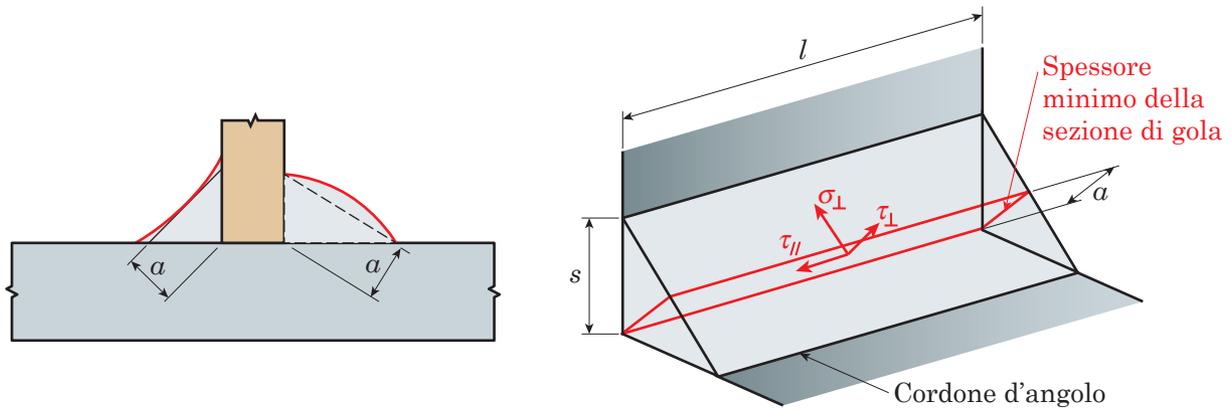


Fig. 45.9-b - Giunzioni a cordone d'angolo. Sono rappresentate la tensione normale alla sezione di gola σ_{\perp} e le tensioni tangenziali τ_{\parallel} e τ_{\perp} rispettivamente parallela e perpendicolare alla sezione di gola di spessore a e di altezza s .

della radice dei cordoni di saldatura. Dividendo queste forze unitarie per lo spessore minimo a otteniamo il valore della forza riferita all'area sul cordone di saldatura, in pratica una tensione ($\sigma_w = F_w/a$) che moltiplicata per il coefficiente parziale di sicurezza γ_s (valore minimo 1,5) va confrontata con la tensione ultima di rottura σ_u del materiale da dividersi per $\sqrt{3}$ (tiene conto della tensione equivalente), β_w (coefficiente di correlazione tra resistenza della saldatura e resistenza del materiale di base riportato nella *Tabella 45.3*) e $\gamma_m = 1,25$ (coefficiente parziale di sicurezza).

$$\gamma_s \cdot \sigma_w = \gamma_s \cdot \frac{F_w}{a} \leq \frac{\sigma_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_m} \quad 45-5$$

Il calcolo va impostato (*Esempio 45.1*) tracciando prima le linee dei cordoni di saldatura sul piano della giunzione in corrispondenza della radice dei cordoni e calcolando quindi la posizione del baricentro in modo da riportare le forze sul baricentro.

Tabella 45.3

Saldature

Coefficiente di correlazione β_w tra resistenza della saldatura e resistenza del materiale base.

Materiale base	S 235	S 275	S 355	S 420	S 460
β_w	0,8	0,85	0,9	1	1

Esempio 45.1 Saldatura a cordone d'angolo di un tubo

Un supporto a sbalzo in acciaio S 235, costituito da un tubo di diametro $d = 63,7$ mm e lungo $L = 90$ mm, viene saldato con cordone d'angolo di altezza $s = 11,3$ mm per sostenere all'estremo libero il carico $P = 40$ kN \downarrow .

Eeguire la verifica a resistenza della saldatura a cordone d'angolo nei due punti A e B (*Figura 45.10*).

SOLUZIONE

Lo spessore minimo a del cordone di saldatura vale $a = 0,707 \cdot s = 0,707 \times 11,3 \text{ mm} = 8,00 \text{ mm}$. Nel metodo semplificato il cordone di saldatura figura come una circonferenza di diametro pari al diametro esterno d del tubo. Calcoliamo allora l'area A e il momento di inerzia a flessione I di un anello sottile di spessore δ e di raggio r . L'area A è data dalla lunghezza della circonferenza $2\pi r$ moltiplicata per lo spessore δ : $A = 2\pi r\delta$. Il momento di inerzia si calcola in base all'espressione (*Tabella VII*) di quello della corona circolare di raggio esterno r e raggio interno r_i , prendendo $\delta = r - r_i$ e considerando $\delta/r \ll r$.

$$\begin{aligned} I &= \frac{\pi}{4}(r^4 - r_i^4) = \frac{\pi}{4}(r^2 + r_i^2)(r^2 - r_i^2) = \frac{\pi}{4}(r^2 + r_i^2)(r + r_i)(r - r_i) = \\ &= \frac{\pi}{4} \left[\left(r + \frac{\delta}{2} \right)^2 + \left(r - \frac{\delta}{2} \right)^2 \right] \left[\left(r + \frac{\delta}{2} \right) + \left(r - \frac{\delta}{2} \right) \right] \delta = \frac{\pi}{4} \left[\left(r^2 + 2\frac{\delta}{2} + \frac{\delta^2}{4} \right) + \left(r^2 - 2\frac{\delta}{2} + \frac{\delta^2}{4} \right) \right] 2r\delta = \\ &= \frac{\pi}{2} r\delta \left[2r^2 + 2\frac{\delta^2}{4} \right] = \frac{\pi}{2} r\delta \left[2r^2 \left(\frac{\delta^2}{4r^2} \right) \right] = \pi r\delta \left[r^2 (1 + 0) \right] = \pi \delta r^3 \end{aligned}$$

Dividendo per δ l'area A e il momento di inerzia I , otteniamo l'area unitaria e il momento di inerzia unitario:

$$A' = 2\pi r = 2 \times \pi \times \frac{63,7 \text{ mm}}{2} = 200 \text{ mm} \quad I' = \pi r^3 = \pi \times \left(\frac{63,7 \text{ mm}}{2} \right)^3 = 101,5 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

Sulla sezione del cordone di saldatura abbiamo la forza tagliante $P = 40 \text{ kN}$ e il momento flettente $M_f = PL = 40.000 \text{ N} \times 90 \text{ mm} = 3,6 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$. Per le **20-8** e **20-4**, le forze corrispondenti riferite all'unità di lunghezza valgono rispettivamente:

$$F_{w,\text{taglio}} = \frac{P}{A'} = \frac{40.000 \text{ N}}{200 \text{ mm}} = 200 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$F_{w,\text{flett}} = \frac{M_f}{I'} r = \frac{3,6 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}}{101,5 \times 10^3 \text{ mm}^3} \times \frac{63,7 \text{ mm}}{2} = 1130 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Verifichiamo in primo luogo la componente dovuta al taglio nel punto B, unica componente poiché si trova sull'asse neutro della sollecitazione di flessione. I valori dei parametri presenti nell'equazione **45-5** sono per l'acciaio S 235: tensione ultima a rottura $\sigma_u = 360 \text{ MPa}$ (*Tabella 45.1*) e di $\beta_w = 0,8$ (*Tabella 45.3*); i coefficienti parziali di sicurezza valgono $\gamma_s = 1,5$ e $\gamma_m = 1,25$ (*Paragrafo 45.4*).

$$\gamma_s \cdot \sigma_w \Big|_B = \gamma_s \cdot \frac{F_{w,\text{taglio}}}{a} = 1,5 \times \frac{250 \frac{\text{N}}{\text{mm}}}{8 \text{ mm}} = 46,9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq \frac{\sigma_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_m} = \frac{360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \times 0,8 \times 1,25} = 207,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \blacktriangleleft$$

Per condurre la verifica nel punto A, occorre prima comporre con il teorema di Pitagora (*Tabella IV*) le due componenti dovute alla sollecitazione di taglio e a quella di flessione che sono tra loro perpendicolari.

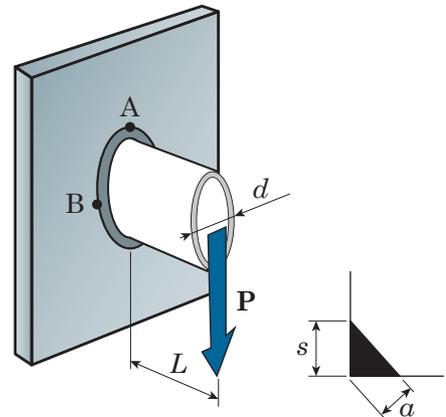
$$\sigma_w|_A = \frac{\sqrt{F_{w,\text{taglio}}^2 + F_{w,\text{flett}}^2}}{a} = \frac{\sqrt{(200 \text{ N/mm})^2 + (1130 \text{ N/mm})^2}}{8 \text{ mm}} = 143,4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\gamma_s \cdot \sigma_w|_A = 1,5 \times 143,4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 215,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq \frac{\sigma_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_m} = 207,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \ll \text{non verificata} \gg$$

Per verificare l'equazione **45-5** dobbiamo passare all'acciaio S 275 con tensione ultima a rottura $\sigma_u = 430 \text{ MPa}$ (*Tabella 45.1*) a cui corrisponde il coefficiente $\beta_w = 0,85$ (*Tabella 45.3*):

$$\gamma_s \cdot \sigma_w|_A = 215,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq \frac{\sigma_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_m} = \frac{430 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \times 0,85 \times 1,25} = 233,7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \blacktriangleleft$$

Fig. 45.10 - Supporto a sbalzo saldato dell'Esempio 45.1.



45.5 Incollaggi

Chiodature e saldature possono essere sostituite in alcune applicazioni dagli adesivi, sempreché i valori delle tensioni in gioco ne consentano l'uso. Di fatto, l'impiego di adesivi nelle giunzioni è cresciuto enormemente grazie alla disponibilità di adesivi polimerici particolarmente resistenti e compatibili con l'ambiente. L'uso degli adesivi consente una consistente riduzione dei pesi poiché vengono eliminati tutti i dispositivi di collegamento. Particolarmente importante è l'ancoraggio del materiale legante alle superfici dei pezzi da incollare, possibile solo se le superfici sono estremamente pulite (*Figura 45.11*).

I principali vantaggi dell'uso degli adesivi sono:

- possibilità di unire materiali diversi per composizione chimica, modulo di elasticità, coefficiente di dilatazione termica, spessore e forma;

- distribuzione delle tensioni su un'area più ampia di quella che si realizza con i chiodi o con la saldatura per punti;
- giunzione di materiale anche molto sottile con riduzione di peso e di costo;
- assenza di fori che, salvaguardando l'integrità strutturale, consente di evitare la concentrazione delle tensioni permettendo così una riduzione degli spessori dei pezzi che vanno incollati;
- buona tenuta e isolamento elettrico, termico e sonoro;
- riduzione dei costi di assemblaggio.

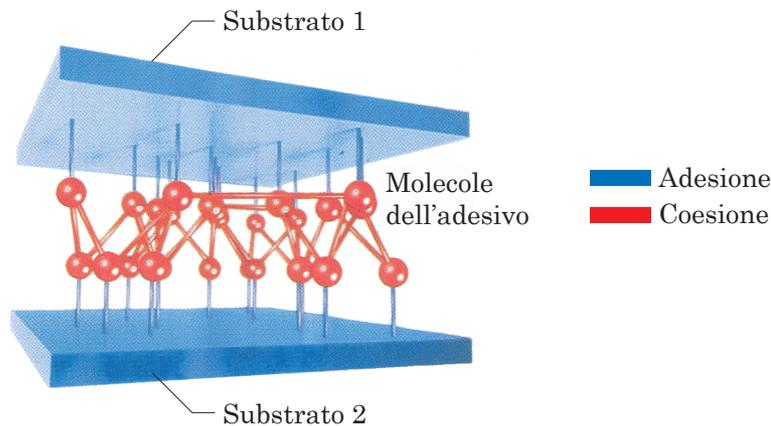


Fig. 45.11 - L'incollaggio si basa sull'adesione fra il collante e lo strato superficiale del pezzo e sulla coesione fra le molecole del collante. È quindi fondamentale che le superfici da incollare siano perfettamente pulite per non ridurre la bagnabilità e quindi l'adesione.

Il metodo di calcolo deve necessariamente rifarsi alle specifiche fornite dal produttore degli adesivi. Per alcuni aspetti ci si può rifare alle chiodature. Volendo, ad esempio, confrontare l'incollaggio di lamiera, se si fa l'ipotesi che le lamiera collegate siano molto più rigide dello strato di adesivo, la tensione tangenziale media vale $\tau_{\text{media}} = F/(bl)$ con b larghezza della lamiera ed l lunghezza della zona in cui si trova l'adesivo.

SINTESI

<p>La lunghezza l del mozzo da <i>forzare</i> su un albero di diametro nominale d è uguale a 2 volte il momento massimo che si vuole trasmettere M_{\max} diviso la costante 1,2 che moltiplica il coefficiente di attrito μ, il quadrato del diametro d e la pressione media di contatto p.</p> <p>Noti il coefficiente di attrito acciaio su acciaio ($\mu \approx 0,1$) e il diametro nominale d dell'albero, si dimensiona la lunghezza l del mozzo imponendo un valore massimo alla pressione scambiata (es.: $p = 50 \text{ N/mm}^2$), valore che deve essere inferiore alla tensione ammissibile σ_{amm} dell'albero affinché non si verifichi il cedimento del materiale.</p>	$l = \frac{2M_{\max}}{1,2\mu\pi d^2 p} \quad \mathbf{45-1}$ <p> l = lunghezza del mozzo [mm] M_{\max} = momento massimo da trasmettere [N·mm] μ = coefficiente di attrito [-] d = diametro nominale dell'albero [mm] p = pressione media di contatto [N/mm²] </p>
<p>Nelle <i>chiodature</i> si verifica che la tensione tangenziale τ del chiodo di diametro nominale d data, per il coprigiunto semplice, dal carico di taglio F ($F/2$ per il doppio coprigiunto) diviso l'area $\pi d^2/4$ sia inferiore o uguale alla tensione ammissibile τ_{amm}.</p> <p>Occorre anche verificare che la pressione media di contatto chiodo/foro lamiera o pressione p_{rif} di rifollamento, dovuta alla forza F_{chiodo} esercitata dal chiodo sull'area proiettata lateralmente data dal diametro d per lo spessore t della lamiera, sia inferiore o uguale alla pressione ammissibile p_{amm}.</p> <p>Per i chiodi comuni in acciaio S 275, la tensione tangenziale e la pressione ammissibile valgono rispettivamente $\tau_{\text{amm}} = 120 \text{ MPa}$ e $p_{\text{amm}} = 320 \text{ MPa}$. Se non disponibile, il valore della pressione ammissibile può essere preso pari a 2 volte la tensione ammissibile σ_{amm}.</p>	$\tau = \frac{F}{\pi d^2/4} \leq \tau_{\text{amm}} \quad \mathbf{45-2}$ $p_{\text{rif}} = \frac{F_{\text{chiodo}}}{dt} \leq p_{\text{amm}} \quad \mathbf{45-3}$ <p> τ = tensione tangenziale [N/mm²] F = carico di taglio [N] d = diametro nominale del chiodo [mm] τ_{amm} = tensione ammissibile [N/mm²] p_{rif} = pressione di rifollamento [N/mm²] F_{chiodo} = forza del chiodo sulla parete laterale del foro [N] t = spessore della lamiera [mm] p_{amm} = pressione ammissibile [N/mm²] </p>

Nelle *saldature* (metodo di verifica semplificato) la risultante delle forze per unità di lunghezza F_w sulle linee della radice dei cordoni di saldatura divisa per lo spessore minimo a dà la tensione $\sigma_w = F_w/a$. Questa tensione, moltiplicata per il coefficiente parziale di sicurezza γ_s (valore minimo 1,5) deve risultare inferiore o uguale alla tensione ultima di rottura σ_u del materiale divisa la radice quadrata di 3 che moltiplica β_w (coefficiente tabulato di correlazione tra resistenza della saldatura e resistenza del materiale di base) e il coefficiente parziale di sicurezza $\gamma_m = 1,25$.

$$\gamma_s \cdot \sigma_w = \gamma_s \cdot \frac{F_w}{a} \leq \frac{\sigma_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_m} \quad \mathbf{45-5}$$

- γ_s = coefficiente parziale di sicurezza [-]
- σ_w = forza per area sul cordone di saldatura [N/mm²]
- F_w = risultante delle forze per unità di lunghezza [N/mm]
- a = spessore minimo della saldatura [mm]
- σ_u = tensione ultima di rottura [N/mm²]
- β_w = coefficiente di correlazione [-]
- γ_m = coefficiente parziale di sicurezza [-]

ESERCIZI

45.8 - Un supporto a sbalzo in acciaio S 235, costituito da un tubo di diametro $d = 70$ mm e lungo $L = 80$ mm, viene saldato con cordone d'angolo di altezza $s = 10$ mm per soste-

nere all'estremo libero il carico $\mathbf{P} = 40$ kN \downarrow . Eseguire la verifica a resistenza della saldatura a cordone d'angolo nei due punti B e A (*Figura 45.10*).

$$\gamma_s \cdot \sigma_w \Big|_B = 38,6 \text{ N/mm}^2 \leq 207,8 \text{ N/mm}^2; \quad \gamma_s \cdot \sigma_w \Big|_A = 180,6 \text{ N/mm}^2 \leq 207,8 \text{ N/mm}^2$$

VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

8. I *collegamenti forzati* sono ottenuti mediante le elevate forze di attrito generate, nell'accoppiamento reciproco, dalle deformazioni elastiche degli stessi elementi da collegare. Più che fissi, questi collegamenti dovrebbero essere definiti poiché possono essere sciolti con l'applicazione di forze superiori a quelle di attrito.
9. La pressione media di contatto chiodo/foro lamiera o pressione p_{rif} di rifollamento, che è la forza esercitata del chiodo F_{chiodo} sull'area proiettata lateralmente data dal, deve essere inferiore o uguale a
10. La saldatura va verificata non sul più debole ma sul più forte degli elementi saldati, perché è quello che sostiene le due parti della giunzione.

Vero Falso