

5. Unioni saldate

5.1.1 Taglio alla fiamma

Cannello ossiacetilenico o ossipropilenico → getto di ossigeno → reazione isotermica

Taglio al plasma (gas ionizzati)

5.1.2 Procedimenti di saldatura

Si differenziano per sorgente termica e per protezione del bagno fuso.

a) saldatura ossiacetilenica:

acetilene (C_2H_2) + ossigeno. La fiamma ($3100\text{ }^\circ C$) produce gas riducenti ($CO + H_2$) che protegge il bagno. Bacchetta di materiale d'apporto.

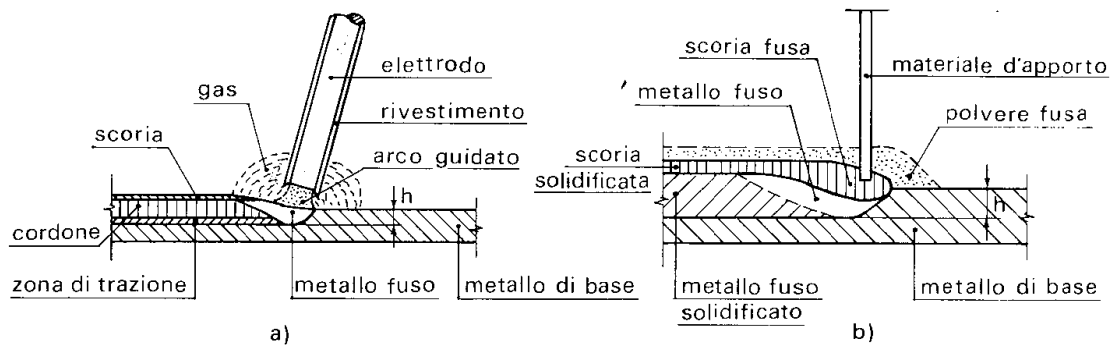


Fig. 5.1

Saldatura ad arco con elettrodi rivestiti

Saldatura ad arco sommerso
(filo continuo)

b) Saldatura ad arco con elettrodi rivestiti:

la fusione del rivestimento genera gas che proteggono il bagno.

Elettrodi basici, acidi, cellulosici. UNI 5132.

c) Saldatura ad arco sommerso:

filo continuo, polvere fusa che nasconde l'arco.

d) Saldatura con protezione di gas ed elettrodo fusibile (MIG e MAG):

gas inerte (argon MIG) o attivo (CO_2 MAG)

- e) Saldatura con protezione di gas ed elettrodo infusibile (TIG):
 arco fra elemento di tungsteno e materiale base, protezione con argon. Usato per acciai inossidabili.
- f) Saldatura ad elettroscoria:
 crogiolo verticale

5.1.3 Conseguenze dei fenomeni metallurgici

Cicli termici con elevata velocità di raffreddamento → tempera, durezza, cricche a freddo (Fig. a). Preriscaldamento, elettrodi basici.

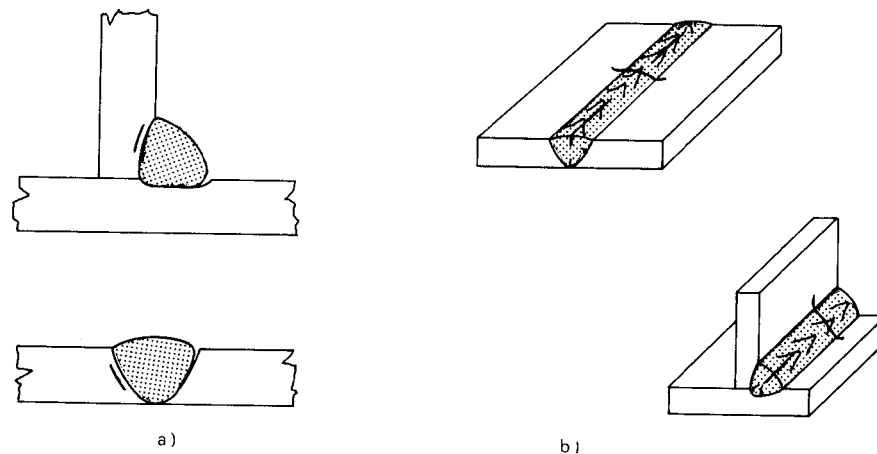


Fig. 5.2

Fig. b) cricche a caldo per impurezze.
 Evitare grosse passate.

5.1.4 Conseguenze dei fenomeni termici

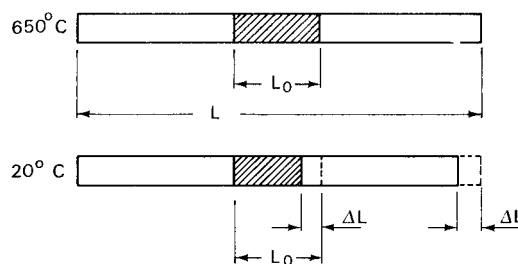


Fig. 5.3

Autotensioni per contrazione impedita.

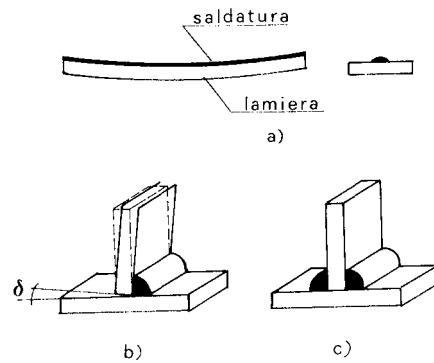


Fig. 5.4

Fig. a) ritiro longitudinale

Fig. b) ritiro trasversale

Provvedimenti preventivi: controfrecce, bloccaggio, preriscaldamenti, studio passate.

Provvedimenti successivi: calde, distensione in forno.

5.1.5 Difetti di saldatura e relativi controlli

Cricche, soffiature, inclusioni di scoria.

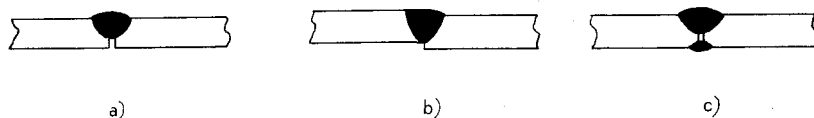


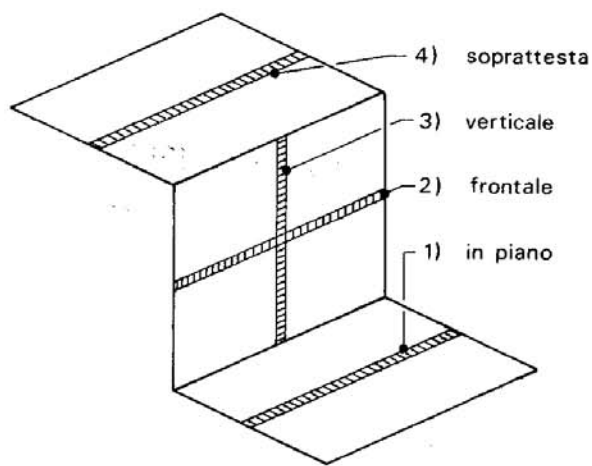
Fig. 5.5

Mancanze di penetrazione (Fig. a, b) eliminabili con passate di ripresa al rovescio (Fig. c). Incollature.

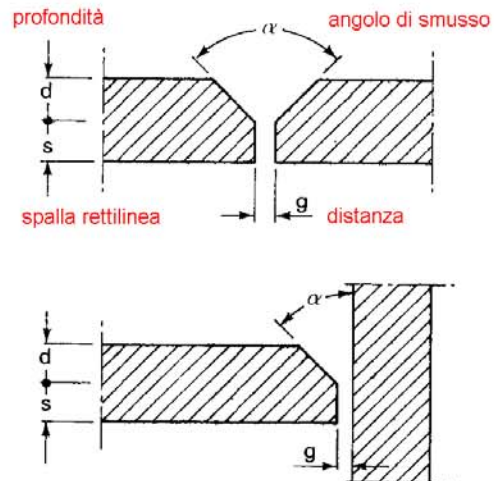
Per rilevare difetti interni: raggi X, raggi gamma, ultrasuoni. Mezzi più semplici: esame magnetoscopico, liquidi penetranti.

5.1.6 Classificazione delle unioni saldate

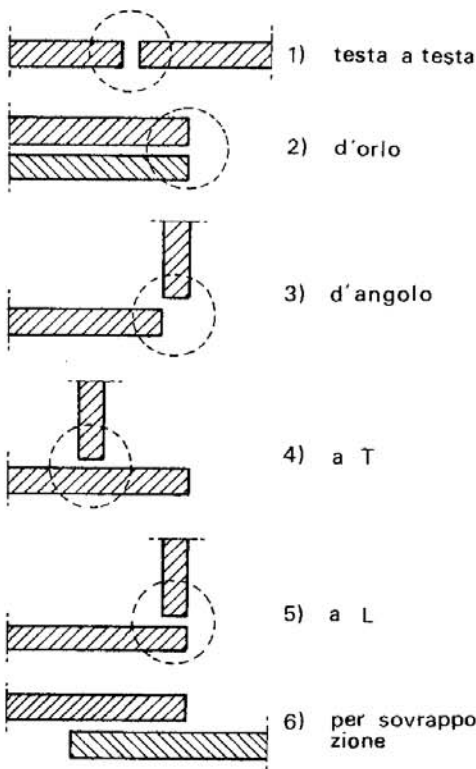
In base alla forma e posizione.



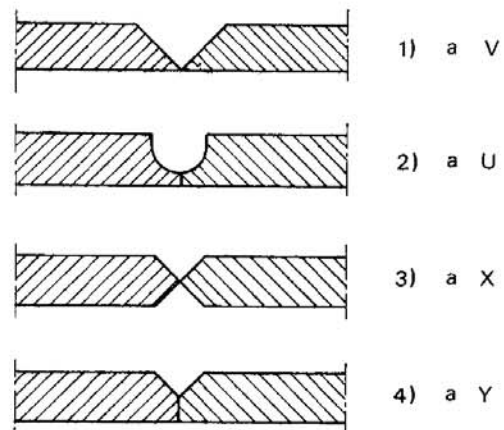
(a) posizione nello spazio



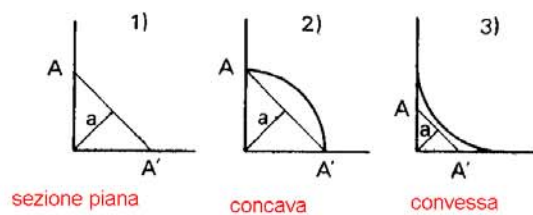
(d) dati preparazione



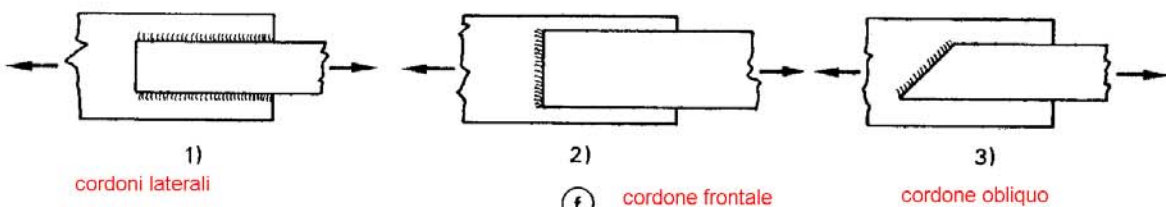
(b) posizione reciproca



(c) preparazione lembi



(e)



(f) cordone frontale

cordone obliquo

Fig. 5.6

Le CNR-UNI 10011 fanno riferimento a due categorie: giunti a completa penetrazione e giunti a cordone d'angolo. I giunti a completa penetrazione sono divisi in I e II classe.

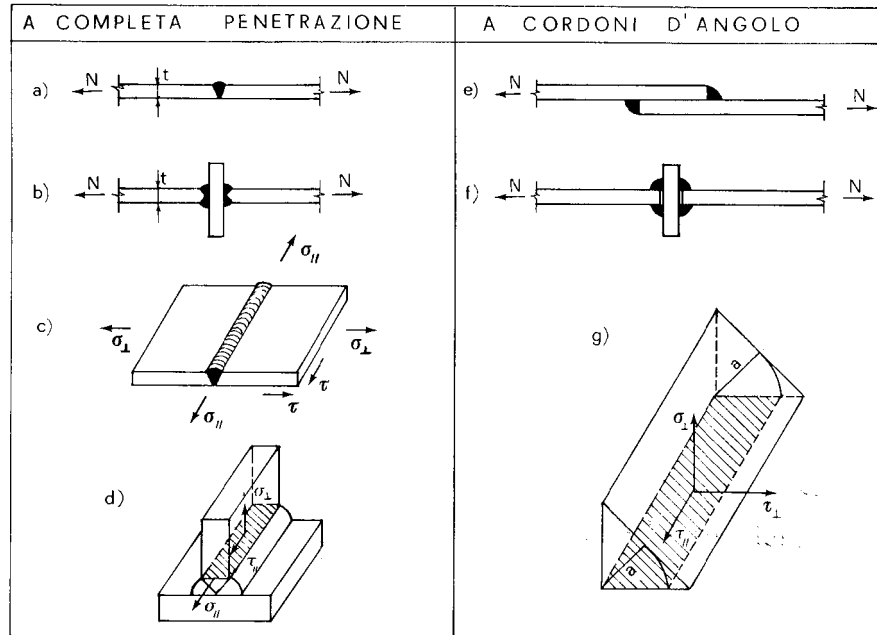


Fig. 5.7

5.2 RESISTENZA DELL'UNIONE SALDATA

5.2.1 Giunti testa a testa

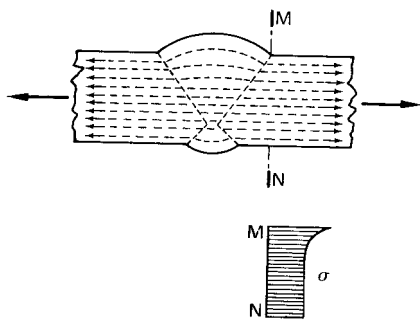


Fig. 5.8

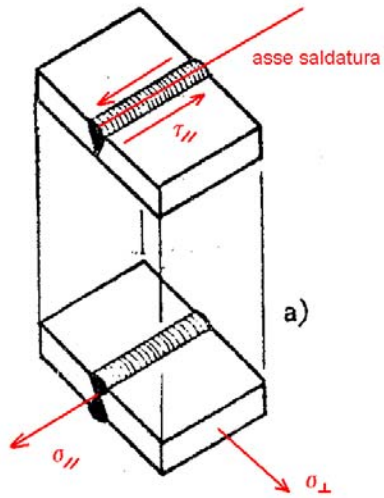
Si ignorano i picchi di tensione (verifica plastica).

Secondo CNR-UNI 10011 §5.1.1, se eseguiti correttamente e controllati (I classe) hanno la stessa resistenza del materiale base e quindi non devono essere verificati; quelli di II classe

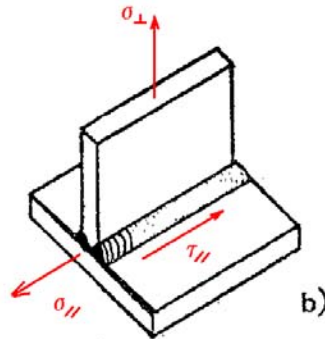
(meno controllati) sono penalizzati col coefficiente 0.85. Per la verifica si adotta come criterio di resistenza lo stesso che viene impiegato per il materiale base, cioè il criterio di Hencky-Von Mises che in regime biassiale fornisce la relazione

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \sigma_{\parallel}^2 - \sigma_{\perp} \sigma_{\parallel} + 3\tau^2}$$

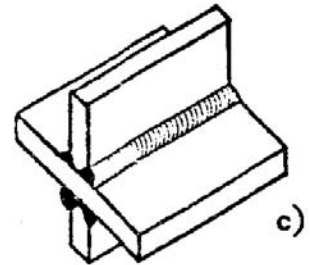
SALDATURE A COMPLETA PENETRAZIONE



testa a testa



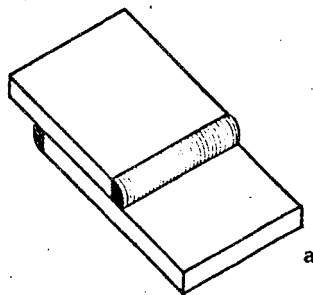
a T



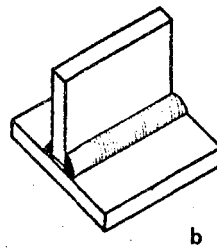
a croce

5.2.2 Giunti a cordone d'angolo

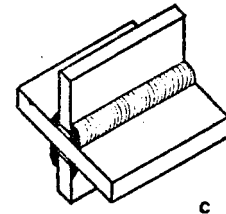
SALDATURE A CORDONI D'ANGOLO



testa a testa



a T



a croce

5.2.2.1 Definizioni

a = altezza di gola

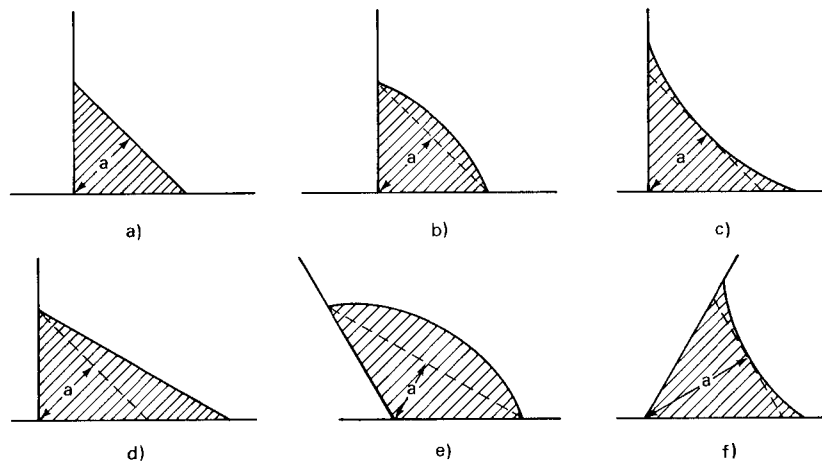


Fig. 5.9

Sezione di gola ribaltata

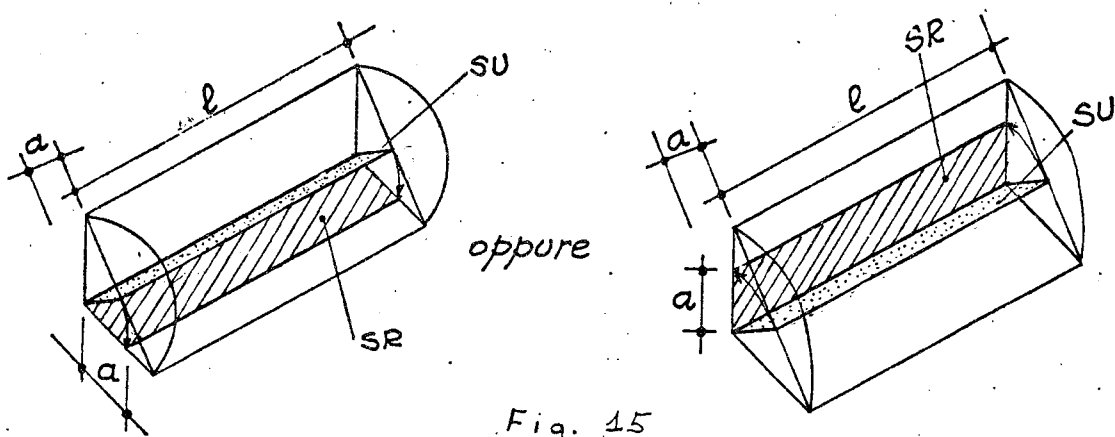


Fig. 15

a = larghezza utile della saldatura

l = lunghezza utile della saldatura

$SU = a \cdot l$ = superficie utile della saldatura

$SR = SU$ = superficie di riferimento per il calcolo degli sforzi nella saldatura, ottenuta mediante ribaltamento della superficie utile

5.2.2.2 Stato tensionale in un cordone d'angolo

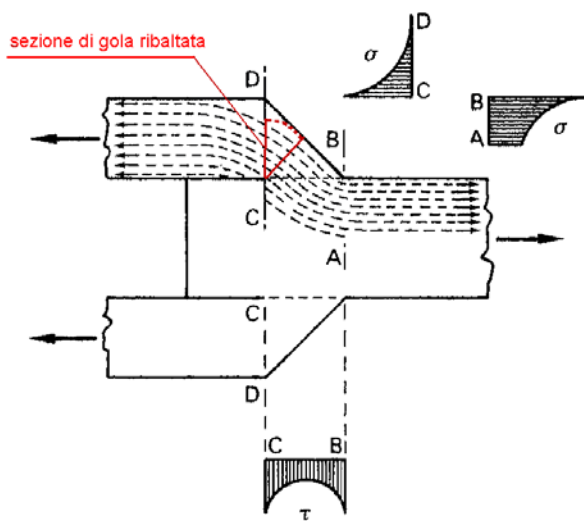
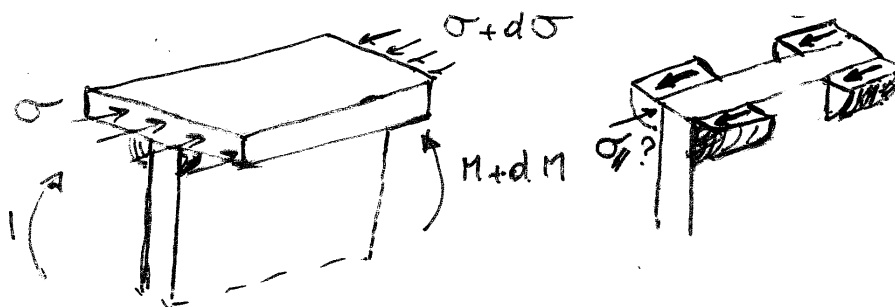


Fig. 5.11

Notevoli picchi di tensione ignorati nei calcoli.

Si considera una distribuzione uniforme sulla sezione di gola ribaltata.

Le σ_{\parallel} non vengono considerate nei calcoli e l'area trasversale del cordone non entra nel computo della sezione.



5.2.2.3 Le normative e i metodi di calcolo

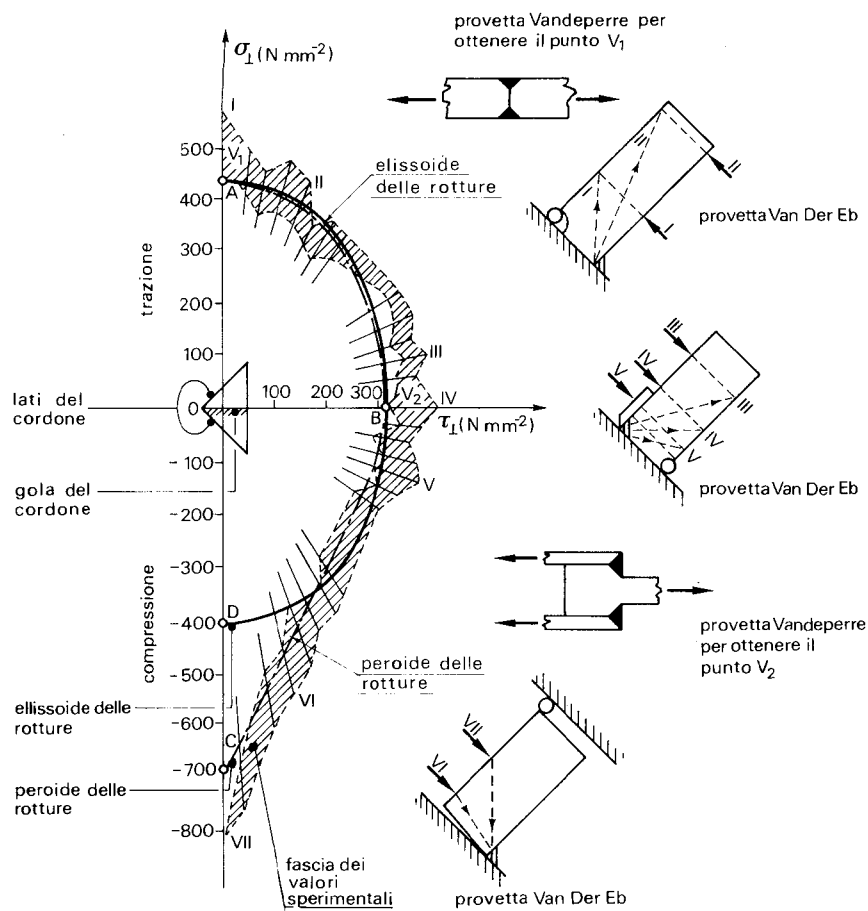


Fig. 5.12

“peroide” ed ellissoide (ISO)

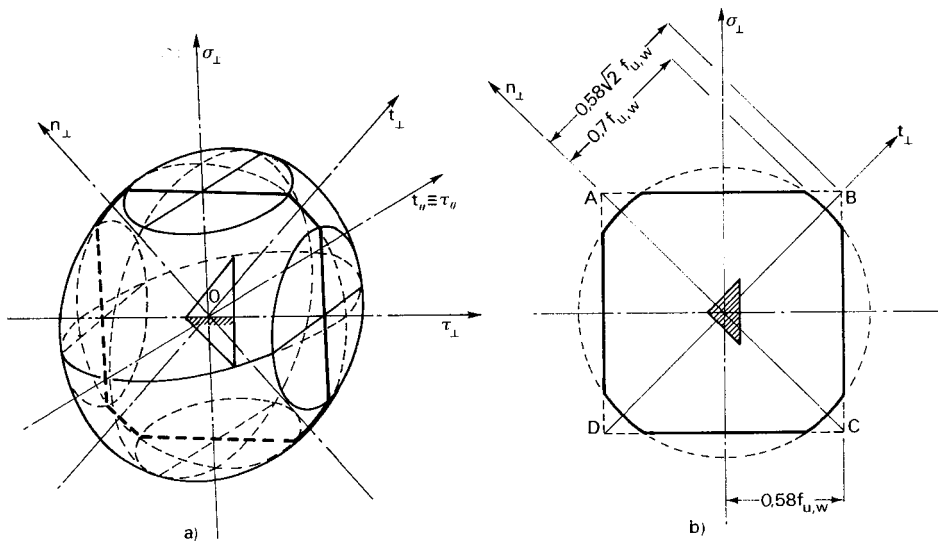


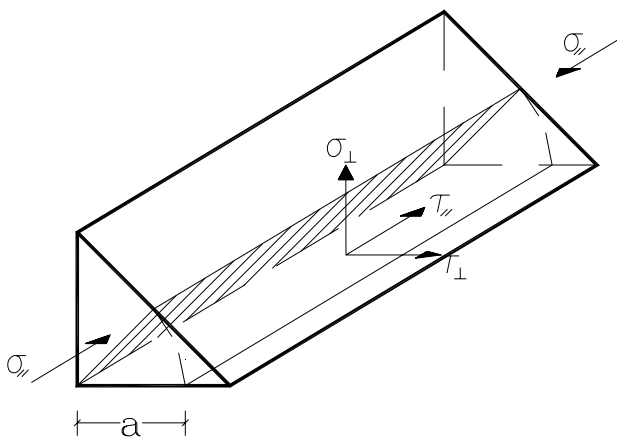
Fig. 5.14

Sfera mozza (CNR 10011)

5.3 EFFETTO DELLE CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE E VERIFICHE DI RESISTENZA

5.3.1 Metodi di verifica

NORMATIVA ITALIANA [CNR 10011 §5.1.2.5]

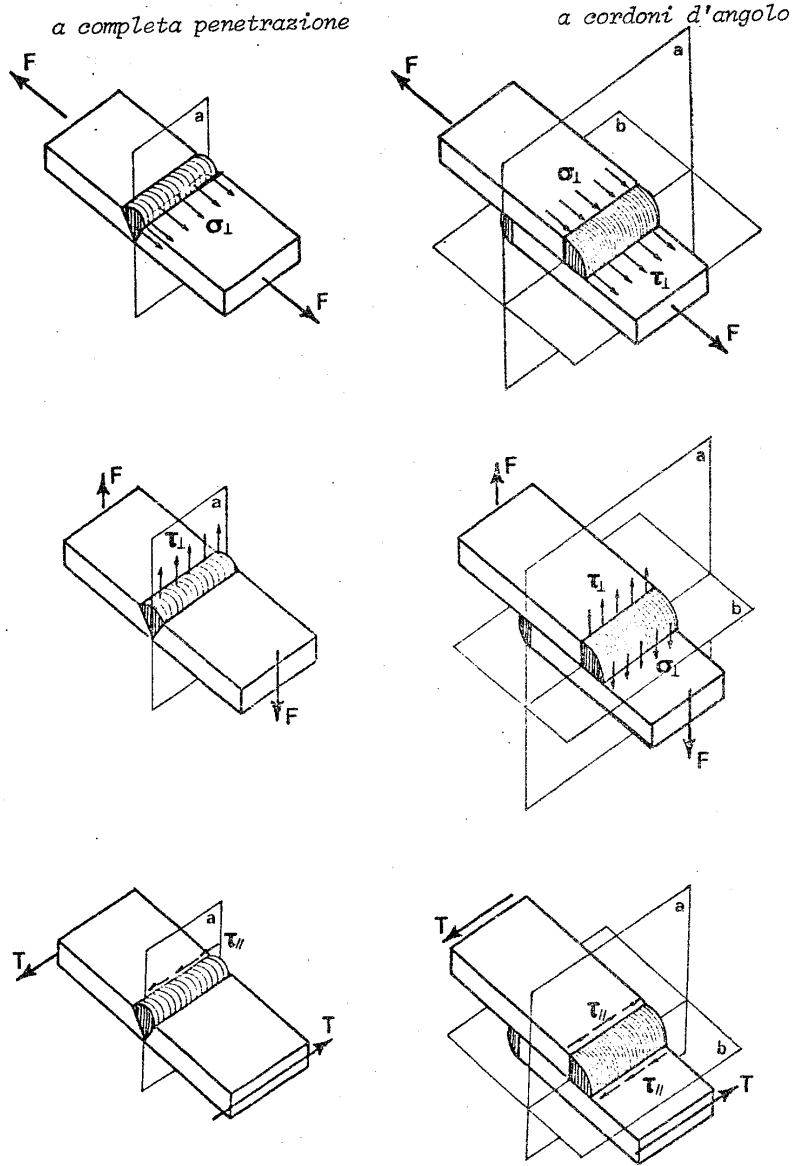


Nella normativa italiana il calcolo convenzionale delle tensioni viene eseguito ribaltando la sezione di gola sui lati del cordone.

Eventuali σ_{\parallel} presenti nella sezione trasversale del cordone non devono essere prese in considerazione ai fini della resistenza della saldatura.

- σ_{\perp} tensione normale di trazione o di compressione che agisce in direzione perpendicolare alla sezione di gola ribaltata su di un lato del cordone
- τ_{\perp} tensione tangenziale agente in direzione perpendicolare all'asse longitudinale della sezione di gola e giacente nella sezione di gola ribaltata
- τ_{\parallel} tensione tangenziale agente parallelamente all'asse longitudinale della sezione di gola e giacente nella sezione di gola ribaltata

SFORZI NELLE SALDATURE



Le s// non vengono considerate

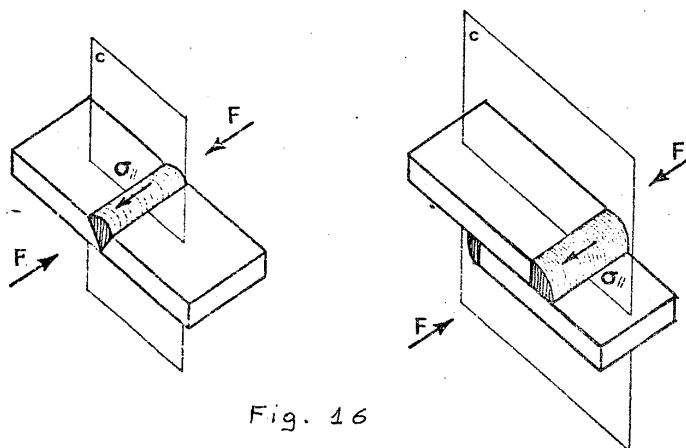


Fig. 16

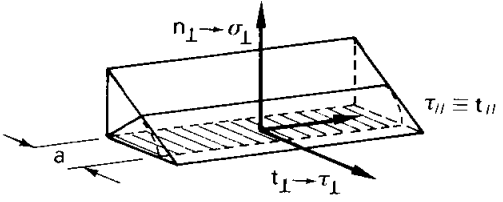
Per la verifica devono essere soddisfatte le seguenti disuguaglianze:

- nel caso siano presenti tutte e tre le componenti di sforzo $\tau_{//}$, τ_{\perp} , σ_{\perp}

$$\sqrt{\tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2 + \sigma_{\perp}^2} \leq \begin{cases} 0,85 \cdot \sigma_{adm} & \text{Fe360} \\ 0,70 \cdot \sigma_{adm} & \text{Fe430 - Fe510} \end{cases}$$

$$|\tau_{\perp}| + |\sigma_{\perp}| \leq \begin{cases} \sigma_{adm} & \text{Fe360} \\ 0,85 \cdot \sigma_{adm} & \text{Fe430 - Fe510} \end{cases}$$

- negli altri casi vedi prospetto.



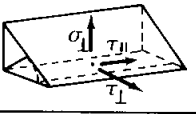
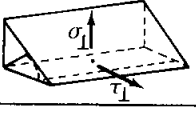
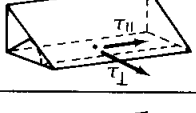
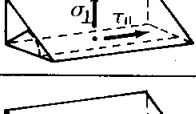
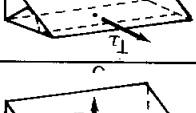
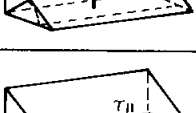

condizioni di sollecitazione	limitazioni	Fe 360	Fe 430/510
	$\sqrt{\tau_{\perp}^2 + \sigma_{\perp}^2 + \tau_{//}^2} \leq$ $ \tau_{\perp} + \sigma_{\perp} \leq$	0,85 f _d 1,00 f _d	0,70 f _d 0,85 f _d
	$ \tau_{\perp} + \sigma_{\perp} \leq$ $\tau_{\perp} \leq$ $\sigma_{\perp} \leq$	1,00 f _d 0,85 f _d	0,85 f _d 0,70 f _d
	$\sqrt{\tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2} \leq$	0,85 f _d	0,70 f _d
	$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{//}^2} \leq$	0,85 f _d	0,70 f _d
	$ \tau_{\perp} \leq$	0,85 f _d	0,70 f _d
	$ \sigma_{\perp} \leq$	0,85 f _d	0,70 f _d
	$ \tau_{//} \leq$	0,85 f _d	0,70 f _d

Fig. 5.18

EUROCODICE 3 #6.6.5.3

La resistenza di progetto per unità di lunghezza della saldatura, indipendentemente dall'orientamento della saldatura, deve essere determinata come segue:

$$F_{W.Rd} = f_{vw.d} \cdot a$$

essendo a altezza della sezione di gola
 $f_{vw.d}$ resistenza di progetto a taglio della saldatura, ovvero

$$f_{vw.d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}}$$

con:

f_u resistenza a rottura per trazione dell'elemento più debole collegato

$\gamma_{Mw}=1,25$ coeff. parziale di sicurezza dei collegamenti saldati

β_w coefficiente di correlazione funzione del tipo di materiale

	f_u N/mm ²	β_w	$f_{vw.d}$	CNR		
				f_y	Coeff	f_d
Fe360	360	0,8	208	235	0.85	200
Fe430	430	0,85	234	275	0.7	193
Fe510	510	0,90	262	355	0.7	249

In alternativa si può usare il metodo dell'appendice M in cui si considera la sezione di gola nella sua reale posizione.

5.3.2 Sollecitazioni di trazione

5.3.2.1 Cordoni laterali

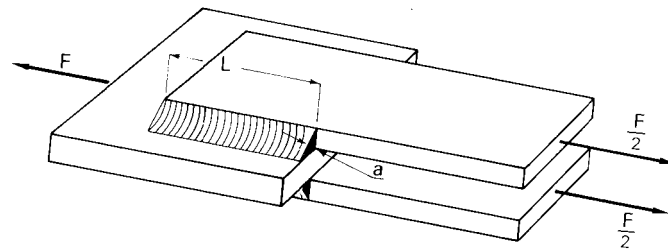


Fig. 5.19

$$\tau_{\parallel} = \frac{F/2}{2aL}$$

5.3.2.2 Cordoni frontali

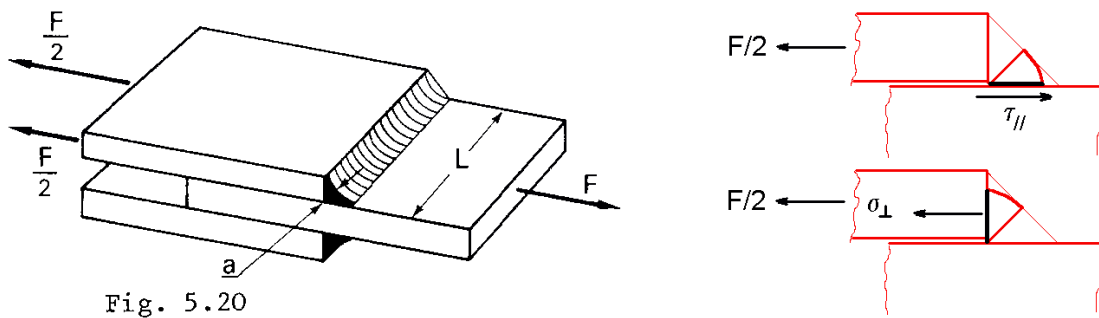
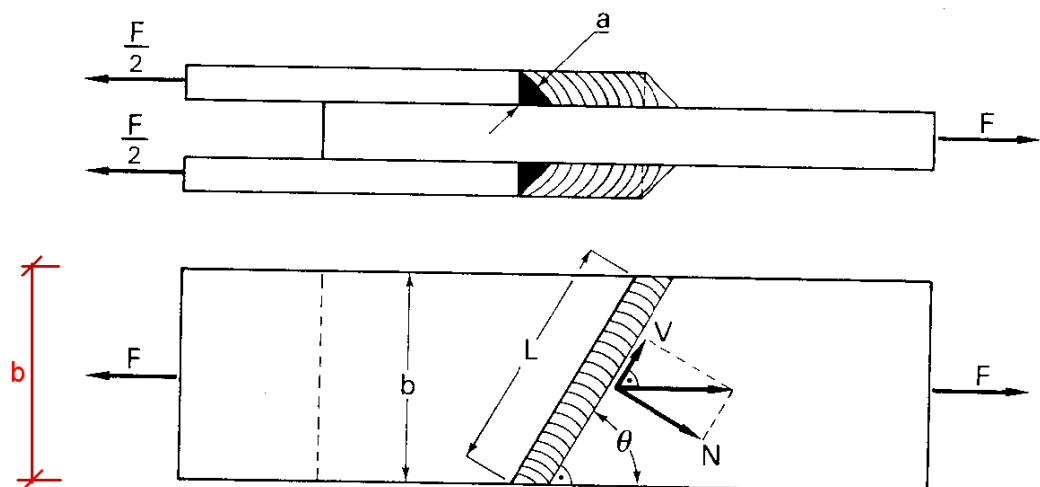


Fig. 5.20

$$\tau_{\parallel} = \sigma_{\perp} = \frac{F/2}{2aL}$$

5.3.2.3 Cordoni inclinati

Fig. 5.21



La resistenza è proporzionale a L:

$$V = F \cos \vartheta \quad N = F \sin \vartheta \quad A = aL$$

$$\tau_{//} = V / A \quad \sigma_{\perp} = N / A$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{//}^2} = \sqrt{V^2 + N^2} / A = F / A$$

5.3.2.4 Combinazione di cordoni laterali e frontali

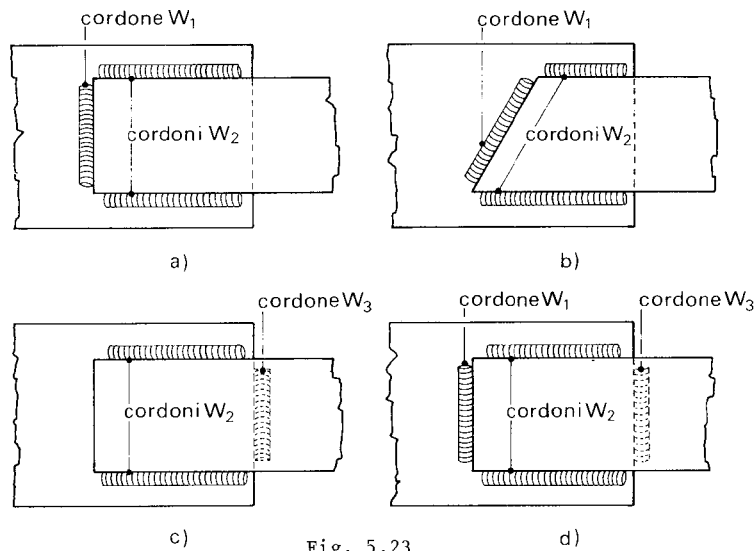


Fig. 5.23

Affidare l'intero carico ai cordoni laterali o a quelli frontali

Evitare spessori di gola differenti (evitare cordoni di sigillo)

Se si affida il carico ad entrambi eseguire un giunto compatto ($\Sigma L < 60 a$)

5.3.3 Sollecitazione di flessione e taglio

5.3.3.1 Cordoni frontali longitudinali

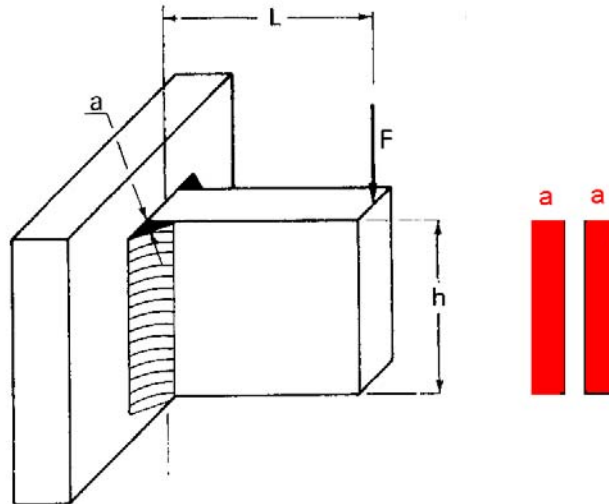


Fig. 5.24

$$M = FL \quad (\text{momento flettente})$$

$$W_{el} = 2ah^2 / 6 \quad W_{pl} = 2ah^2 / 4$$

$$\sigma_{\perp} = M / W \quad \tau_{\parallel} = F / (2ah)$$

5.3.3.2 Cordoni frontali trasversali

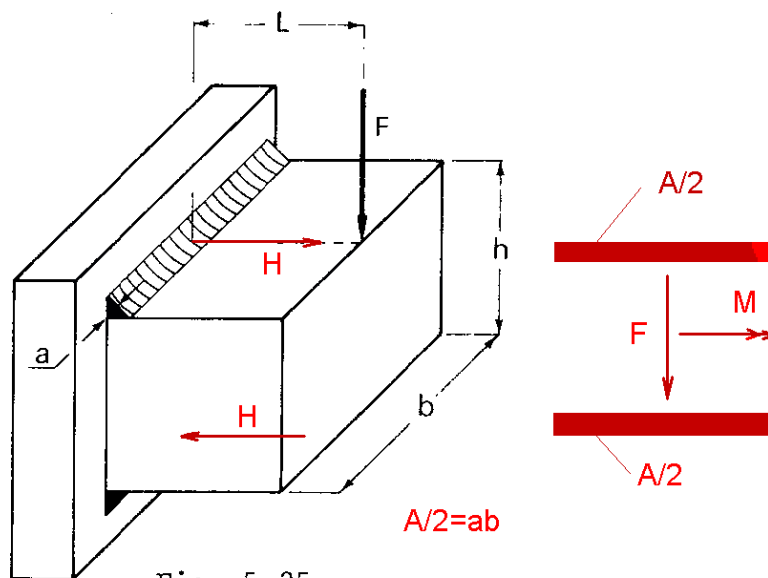


Fig. 5.25

$$M = FL \quad (\text{momento flettente})$$

$$H = M / h$$

$$\sigma_{\perp} = H / (A/2) \quad \tau_{\perp} = F / A \quad \text{oppure}$$

$$\tau_{\perp} = H / (A/2) \quad \sigma_{\perp} = F / A$$

5.3.3.3 Combinazioni di cordoni frontali longitudinali e trasversali

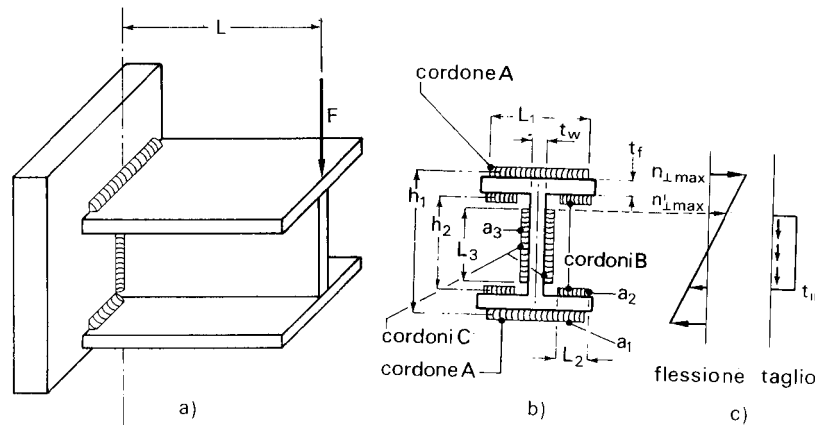


Fig. 5.26

La sezione resistente è costituita dalle sezioni di gola dei cordoni di saldatura ribaltate sul piano della giunzione. E' quindi una sezione a doppio T. Normalmente si considera che il taglio sia portato dai cordoni dell'anima e il momento flettente dai cordoni delle ali. Se si vuole un giunto a completo ripristino di resistenza, i cordoni di saldatura dovranno avere un'area di gola di resistenza pari a quella delle parti da essi collegate.

5.3.4 Sollecitazione di torsione, flessione e taglio

Torsione

I metodi più usati per il calcolo dei giunti saldati sollecitati a torsione sono il metodo del "momento polare" e il metodo della due forze.

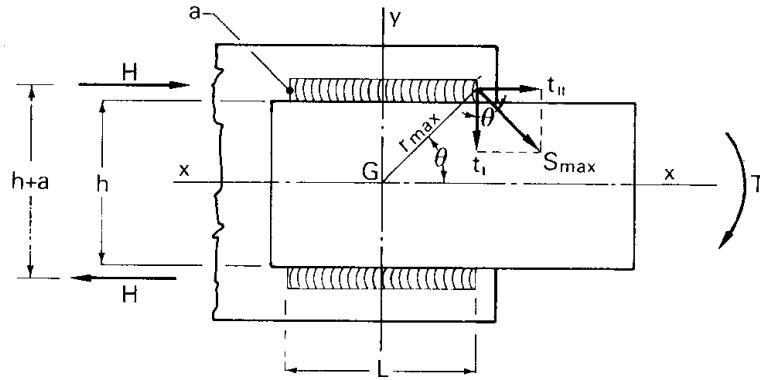
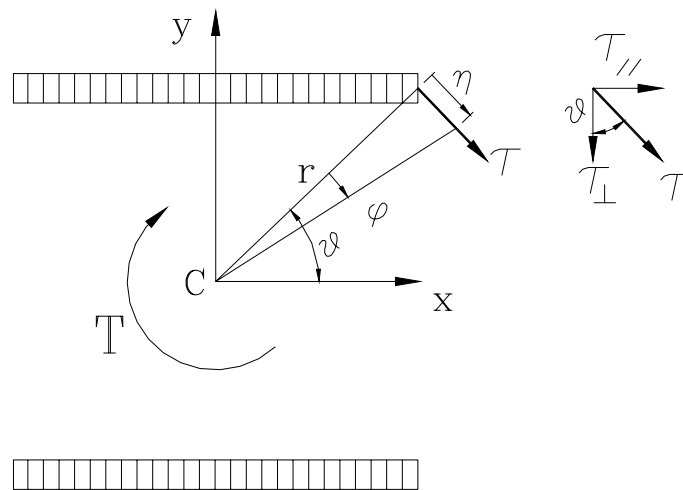


Fig. 5.27

Metodo del “momento polare”

Estende al caso dei cordoni d'angolo la teoria della resistenza a torsione valida a rigore solo per sezioni circolari.



Se si considerano le piastre infinitamente rigide rispetto ai cordoni di saldatura, il momento torcente T provoca una rotazione θ della piastra, con centro di rotazione che si considera coincidente col baricentro C della saldatura. Il generico punto della saldatura ha uno spostamento η proporzionale alla rotazione φ e alla distanza r dal centro di rotazione e nasce la tensione tangenziale τ proporzionale a η . Sia ha pertanto:

$$\eta = r\varphi$$

$$\tau = k\eta = k\varphi r$$

$$T = \int_A \tau dAr = \int_A k\varphi r^2 dA = k\varphi \int_A r^2 dA = k\varphi I_0 = \frac{\tau}{r} I_0$$

$$\tau = \frac{Tr}{I_0} \quad (I_0 = I_x + I_y)$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{Tr \sin \varphi}{I_0} = \frac{Ty}{I_0} \quad \tau_{\perp} = \frac{Tr \cos \varphi}{I_0} = \frac{Tx}{I_0}$$

Questo metodo ha il pregio di essere applicabile a qualsiasi configurazione dei cordoni di saldatura. E' una verifica puntuale nel punto più sollecitato.

Metodo delle "due forze"

Considera il momento torcente T equilibrato dalla coppia fornita dalle due forze H.

$$H = \frac{T}{h+a} \quad \tau_{\parallel} = \frac{H}{aL}$$

Questo metodo, nei casi pratici ($0.5 < L/h < 2$), fornisce risultati più conservativi.

5.3.4.1 Cordoni laterali

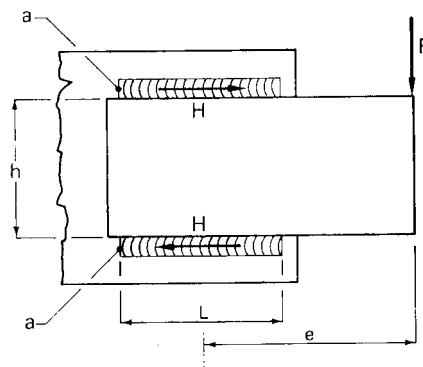


Fig. 5.28

Metodo del "momento polare"

$$T = Fe \quad \tau_{\parallel} = \frac{T(h+a)/2}{I_0} \quad \tau_{\perp} = \frac{TL/2}{I_0} + \frac{F}{2aL}$$

Metodo delle "due forze"

$$T = Fe \quad H = \frac{T}{h+a} \quad \tau_{\parallel} = \frac{H}{aL} \quad \tau_{\perp} = \frac{F}{2aL}$$

5.3.4.2 Cordoni frontali

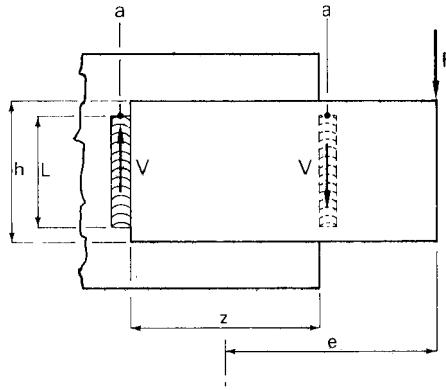


Fig. 5.29

Metodo del “momento polare”

$$T = Fe \quad \tau_{\parallel} = \frac{Tz/2}{I_0} + \frac{F}{2aL} \quad \tau_{\perp} = \frac{TL/2}{I_0}$$

Metodo delle “due forze”

$$T = Fe \quad V = \frac{T}{z} \quad \tau_{\parallel} = \frac{V + F/2}{aL} \quad \tau_{\perp} = 0$$

5.3.4.3 Due cordoni laterali e due frontali

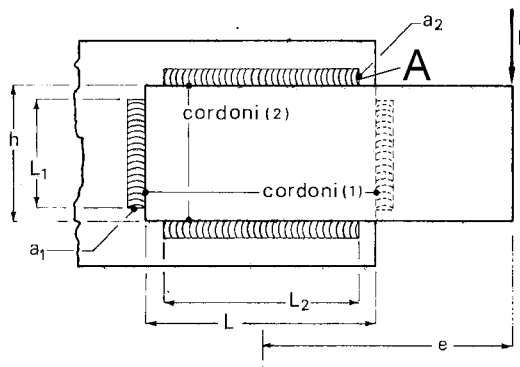


Fig. 5.30

Metodo del “momento polare”

Il taglio viene assorbito dai 4 cordoni determinando τ_{\parallel} nei cordoni verticali e τ_{\perp} nei cordoni orizzontali. Il momento torcente $T=Fe$ determina τ perpendicolari al raggio. Ad esempio nel punto A si hanno le tensioni:

$$T = Fe \quad \tau_{\parallel} = \frac{T(h+a_2)/2}{I_0} \quad \tau_{\perp} = \frac{T L_2/2}{I_0} + \frac{F}{2(a_2 L_2 + a_1 L_1)}$$

Metodo delle “due forze”

Si affida il taglio ai cordoni verticali e il momento torcente ai cordoni orizzontali, equilibrando le azioni esterne con sole $\tau_{//}$:

$$\begin{aligned} \text{cordoni orizzontali: } T = Fe & \quad H = \frac{T}{h + a_2} & \tau_{//} = \frac{H}{a_2 L_2} \\ \text{cordoni verticali: } \tau_{//} = \frac{F/2}{a_1 L_1} \end{aligned}$$

5.3.4.4 Due cordoni laterali e uno frontale

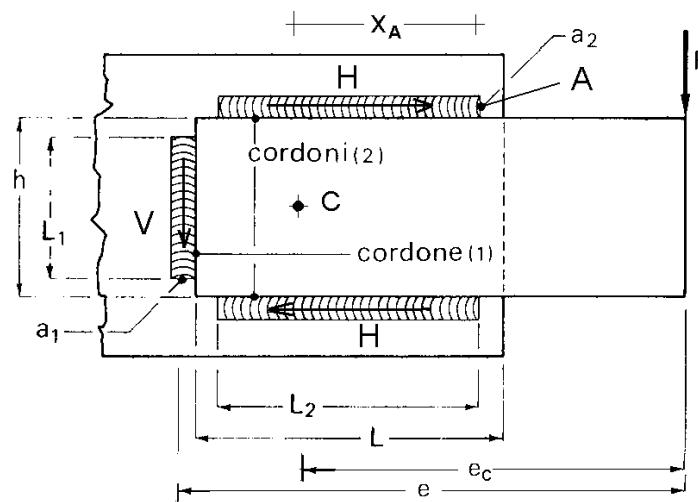


Fig. 5.31

Metodo del “momento polare”

Il taglio viene assorbito dai 3 cordoni determinando $\tau_{//}$ nel cordone verticale e τ_{\perp} nei cordoni orizzontali. Il momento torcente $T = Fe_C$ determina τ perpendicolari al raggio. Ad esempio nel punto A si hanno le tensioni:

$$T = Fe_C \quad \tau_{//} = \frac{T(h + a_2)/2}{I_0} \quad \tau_{\perp} = \frac{T x_A}{I_0} + \frac{F}{2(a_1 L_1 + a_2 L_2)}$$

Metodo delle “due forze”

Si affida il taglio al cordone verticale e il momento torcente ai cordoni orizzontali, equilibrando le azioni esterne con sole $\tau_{//}$:

$$\begin{aligned} \text{cordoni orizzontali: } T = Fe & \quad H = \frac{T}{h + a_2} & \tau_{//} = \frac{H}{a_2 L_2} \\ \text{cordone verticale: } \tau_{//} = \frac{F}{a_1 L_1} \end{aligned}$$

5.3.4.4 Sezioni a cassone

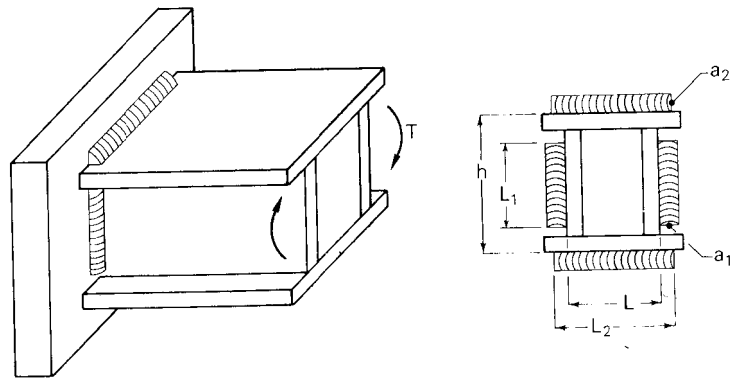


Fig. 5.32

Se la saldatura copre l'intero perimetro si può usare la formula di Bredt:

$$\tau_{//} = \frac{T}{2Aa} \quad (A = \text{area racchiusa dal contorno medio delle saldature})$$

In alternativa si può usare il metodo delle due forze:

$$\tau_{//} = \frac{T}{LL_1a_1 + hL_2a_2}$$