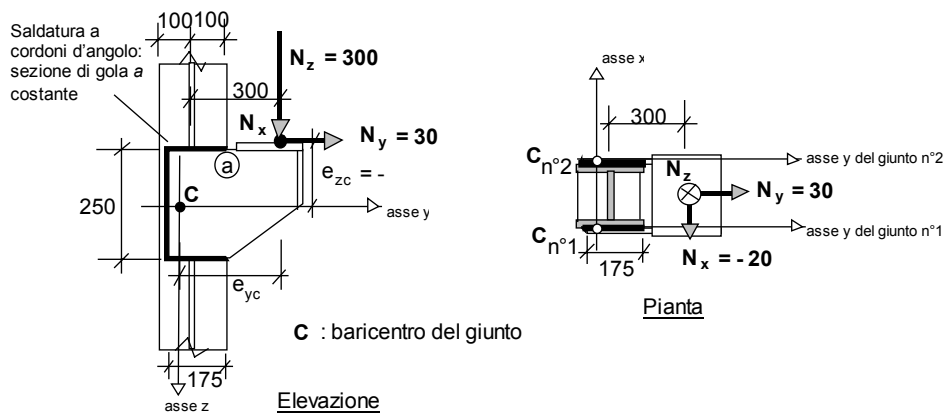




Commessa N.	Foglio	1 di 8	Rev	B
Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project				
Argomento Esempio di progetto 5 – Giunto saldato				
Cliente RFCS	Redatto da	IR	Data	Agosto2002
	Verificato da	FH/NB	Data	Ottobre 2002
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006

ESEMPIO DI PROGETTO 5 – GIUNTO SALDATO

La geometria del giunto e I carichi applicati sono riportati nella seguente figura. Si noti che il giunto è composto da due identiche saldature piane a cordoni d'angolo, a sezione di gola costante, che trasmettono il carico applicato. Il problema consiste nella determinazione della sezione di gola adeguata per trasmettere il carico. Saldature ad angolo retto (con lati uguali) verranno usate tutto intorno al giunto.



Proprietà del materiale

Tipo di acciaio inossidabile 1.4401

Carico unitario di scostamento dalla proporzionalità dello 0,2% = 220 N/mm²
Resistenza a trazione = 530 N/mm²

Valori caratteristici di resistenza si assumono $f_y = 220 \text{ N/mm}^2$ e $f_u = 530 \text{ N/mm}^2$
 $E = 200\,000 \text{ N/mm}^2$ e $G = 76\,900 \text{ N/mm}^2$

Si assume che i valori di snervamento e resistenza ultima della saldatura siano superiori a quelli del materiale base.

Coefficienti parziali di sicurezza

Per la resistenza della saldatura : $\gamma_{M2} = 1,25$

$\beta_w = 1,0$

Verrà valutata in seguito la necessità di utilizzare un coefficiente di riduzione della resistenza della saldatura che tenga conto della sua lunghezza.

Analisi

Le analisi verranno qui effettuate seguendo un approccio di analisi elastica. Questo tipo di approccio conduce comunque a stime conservative della resistenza del giunto.

Tabella 3.1

Par. 3.2.4

Par. 6.4.1

Tabella 2.1

Par. 6.4.2

EN 1993-1-8, par. 2.5



Commessa N.		Foglio	2 di 8	Rev	B
Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project					
Argomento Esempio di progetto 5 – Giunto saldato					
Cliente RFCS	Redatto da	IR	Data	Agosto2002	
	Verificato da	FH/NB	Data	Ottobre 2002	
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006	

Le coordinate (x_c, y_c, z_c) del generico punto del giunto saldato sono prese su un sistema di riferimento levogiro con origine nel baricentro del giunto. (Nel presente esempio il giunto giace nel piano y-z sicchè $x_c = 0$ ovunque). Mediante l'analisi elastica si valuta il valore della forza indotta dai carichi di progetto nei punti della saldatura più severamente caricati (chiamati "punti critici"). Per il giunto in esame il punto critico è quello più lontano dal baricentro del giunto stesso.

Il vettore della forza applicata, la sua eccentricità e i momenti risultanti che agiscono su un giunto saldato di configurazione generica e baricentro C possono essere espressi come segue:

Forza applicata

$$\overline{N_{w,Ed}} = [N_{x,Ed}, N_{y,Ed}, N_{z,Ed}]$$

Eccentricità della forza applicata

$$\overline{e_N} = [e_{xc}, e_{yc}, e_{zc}] \text{ coordinate del punto di applicazione del vettore } \overline{N_{w,Ed}}$$

Momenti risultanti

$$M_{xc,Ed} = e_{yc}N_{z,Ed} - e_{zc}N_{y,Ed}$$

$$M_{yc,Ed} = e_{zc}N_{x,Ed} - e_{xc}N_{z,Ed}$$

$$M_{zc,Ed} = e_{xc}N_{y,Ed} - e_{yc}N_{x,Ed}$$

Un'analisi lineare del giunto per una generica condizione di carico, porta alle seguenti componenti della forza indotta nel punto di coordinate (x_c, y_c, z_c) per unità di lunghezza della saldatura. La sezione di gola è denotata col simbolo a :

$$F_{wx,Ed} = a \left[\frac{N_{x,Ed}}{A_w} + \frac{z_c M_{yc,Ed}}{I_{yc}} - \frac{y_c M_{zc,Ed}}{I_{zc}} \right]$$

$$F_{wy,Ed} = a \left[\frac{N_{y,Ed}}{A_w} + \frac{x_c M_{zc,Ed}}{I_{zc}} - \frac{z_c M_{xc,Ed}}{I_{xc}} \right]$$

$$F_{wz,Ed} = a \left[\frac{N_{z,Ed}}{A_w} + \frac{y_c M_{xc,Ed}}{I_{xc}} - \frac{x_c M_{yc,Ed}}{I_{yc}} \right]$$

Nelle precedenti espressioni la sezione di gola resistente e i suoi momenti di inerzia rispetto agli assi principali del giunto sono:

$$A_w = \int a dl = \sum a_i l_i \quad \text{per una saldatura composta da segmenti dritti } i$$

$$I_{xc} = \int a(y_c^2 + z_c^2) dl$$

$$I_{yc} = \int a(x_c^2 + z_c^2) dl$$



Commessa N.		Foglio	3 di 8	Rev	B
Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project					
Argomento Esempio di progetto 5 – Giunto saldato					
Cliente RFCS	Redatto da	IR	Data	Agosto2002	
	Verificato da	FH/NB	Data	Ottobre 2002	
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006	

$$I_{zc} = \int a(x_c^2 + y_c^2) dl$$

Poichè la sezione di gola, a , è costante lungo tutto il giunto piano:

$$\frac{A_w}{a} = \int dl = \sum l_i,$$

Poichè $x_c = 0$,

$$\frac{I_{zc}}{a} = \int (y_c^2) dl, \quad \frac{I_{yc}}{a} = \int (z_c^2) dl, \quad \frac{I_{xc}}{a} = \int (y_c^2 + z_c^2) dl = \frac{I_{yc}}{a} + \frac{I_{zc}}{a}$$

Metodi di progetto

Determinazione della sezione di gola al punto critico.

Sono permesse due differenti procedure per progettare le saldature a cordoni d'angolo:

La prima si basa su uno sforzo di taglio di progetto semplificato ed è più cautelativa. La forza applicata per unità di lunghezza della saldatura in qualsiasi punto del giunto viene definita come la somma vettoriale delle forze indotte per unità di lunghezza, dovute a tutte le forze e a tutti i momenti trasmessi dal giunto saldato. Questo sollecitazione di taglio di progetto per unità di lunghezza non deve essere superiore alla resistenza di progetto che è data dallo sforzo di taglio resistente di progetto, moltiplicato per la dimensione della sezione di gola. Questo metodo ignora l'orientamento del piano della gola rispetto alla direzione della forza risultante della saldatura per unità di lunghezza.

La seconda procedura si basa sul confronto fra la resistenza di progetto della parte più debole accoppiata e la tensione di progetto applicata alla gola di saldatura determinata con la formula di Von Mises. Questo metodo è più preciso poiché tiene conto dell'orientamento del piano della sezione di gola rispetto alla direzione della forza risultante della saldatura per unità di lunghezza.

1. Sforzo di taglio di progetto semplificato della saldatura

La verifica di resistenza della saldatura avviene come segue:

$$F_{w,Ed} = \sqrt{F_{wx,Ed}^2 + F_{wy,Ed}^2 + F_{wz,Ed}^2} \leq F_{w,Rd} = a f_{vw,d} = a \left(\frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} \right)$$

Dove:

$f_{vw,d}$ è lo sforzo di taglio di progetto della saldatura

$F_{w,Rd}$ è la resistenza di progetto al taglio per unità di lunghezza della saldatura con una gola di dimensione a .

Per l'acciaio inossidabile β_w si può porre pari a 1.0

Quando la procedura richiede un'adeguata dimensione per la gola saldata, l'espressione

$$\text{diventa: } a \geq \frac{F_{w,Ed}}{f_{vw,d}}$$

Par. 6.4.2

EN 1993-1-8, par. 4.5.3.3

Par. 6.4.2



Commessa N.	Foglio	4 di 8	Rev	B
Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project				
Argomento Esempio di progetto 5 – Giunto saldato				
Cliente RFCS	Redatto da	IR	Data	Agosto2002
	Verificato da	FH/NB	Data	Ottobre 2002
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006

2. Sforzo di progetto di base della saldatura

Con questo metodo si deve controllare la tensione di tipo Von Mises nella gola della saldatura rispetto allo sforzo di taglio di progetto di base del materiale d'apporto. In generale ciò significa calcolare le tensioni nella sezione di gola, σ_{\perp} , τ_{\perp} e τ_{\parallel} tenendo quindi conto dell'orientamento del piano della gola rispetto alla direzione della forza risultante della saldatura per unità di lunghezza.

La formula di progettazione è:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

Eq. 6.12a

Si richiede anche di verificare separatamente lo sforzo normale:

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0.9 f_u}{\gamma_{M2}}$$

Eq. 6.12b

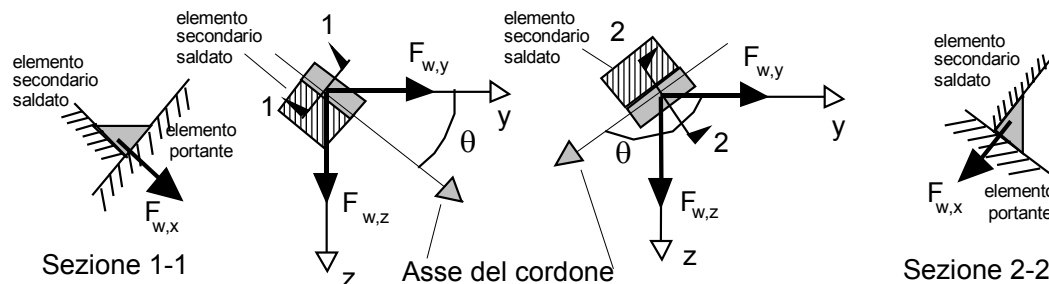
Nel presente caso di saldatura ad angolo retto (lati uguali) questa ultima verifica non è critica. Tuttavia, può esserlo per le saldature a penetrazione parziale nei giunti smussati.

Invece di dover calcolare le tensioni (σ_{\perp} , τ_{\perp} e τ_{\parallel}) nella gola della saldatura, si può usare la seguente espressione per il controllo di giunti saldati sul piano y-z ad angolo retto (lati uguali):

$$2F_{w,x}^2 + 2F_{w,y}^2 + 2F_{w,z}^2 + F_{w,y}^2 \cos^2 \theta + F_{w,z}^2 \sin^2 \theta - 2F_{w,x} F_{w,y} \sin \theta + 2F_{w,x} F_{w,z} \cos \theta + 2F_{w,y} F_{w,z} \sin \theta \cos \theta \leq \left(a \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \right)^2$$

Nota : i pedici sono stati abbreviati: $F_{w,x}$ per $F_{wx,Sd}$ etc.

Nella precedente espressione l'angolo θ è quello fra l'asse y e l'asse della saldatura come riporta la seguente figura.



Le componenti della forza nel punto critico della saldatura sono calcolate nell'Appendice di questo esempio.



Commessa N.		Foglio	5 di 8	Rev	B
Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project					
Argomento Esempio di progetto 5 – Giunto saldato					
Cliente RFCS	Redatto da	IR	Data	Agosto 2002	
	Verificato da	FH/NB	Data	Ottobre 2002	
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006	

1. Progettazione con il metodo semplificato dello sforzo di taglio di progetto

Lo sforzo di taglio di progetto nel metodo semplificato è:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2} \sqrt{3}} = \frac{530}{1.0 \times 1,25 \times \sqrt{3}} \approx 245 \text{ N/mm}^2$$

Il valore della forza indotta risultante per unità di lunghezza in una gola da 1 mm è:

$$F_{w,Ed} = \sqrt{F_{wx,Ed}^2 + F_{wy,Ed}^2 + F_{wz,Ed}^2} = \sqrt{243^2 + 747^2 + 966^2} = 1245 \text{ N/mm}$$

Pertanto, la dimensione della sezione di gola richiesta è:

$$a \geq \frac{F_{w,Ed}}{f_{vw,d}} = \frac{1245}{245} \approx 5,0 \text{ mm}$$

EN 1993-1-8, eq. 4.4

2. Progettazione della saldatura con il metodo base dello sforzo di progetto

La resistenza base di progetto del materiale d'apporto preso come riferimento è:

$$\frac{0,9 f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 530}{1,25} = 381,6 \text{ N/mm}^2$$

Eq. 6.12b

Dove f_u è la resistenza a rottura della parte più debole accoppiata

Nel punto (a), dove l'angolo θ è 0° , la verifica di progetto diventa:

$$2F_{wx,Ed}^2 + 3F_{wy,Ed}^2 + 2F_{wz,Ed}^2 + 2F_{wx,Ed} F_{wz,Ed} \leq \left(a \frac{f_u}{\gamma_{Mw}} \right)^2$$

Quindi la dimensione richiesta della gola è:

$$a \geq \frac{\sqrt{2 \times (-243)^2 + 3 \times (747)^2 + 2 \times (966)^2 + 2 \times (-243) \times (966)}}{381,6} = 4,7 \text{ mm}$$

Utilizzare una gola di 5 mm e considerare che la saldatura sia in piena dimensione per tutta la lunghezza.

Nota: E' necessario un fattore di riduzione dei giunti assiali quando la lunghezza efficace della saldatura d'angolo è maggiore di $150a$. Il fattore di riduzione sembrerebbe meno importante per il presente tipo di giunto, ma considerando, per sicurezza, l'intera lunghezza della saldatura e una gola di 5 mm, si ottiene:

$$\beta_{LW,1} = 1,2 - 0,2L_j / (150a) = 1,2 - 0,2(600) / (150 \times 5) = 1,04 \quad \text{porre } \beta_{LW,1} = 1,0$$

Concludendo, l'adozione di un fattore di riduzione sulla resistenza di progetto della saldatura non è necessaria..

EN 1993-1-8, eq. 4.9



Commessa N.		Foglio	7 di 8	Rev	B
Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project					
Argomento Esempio di progetto 5 – Giunto saldato					
Cliente RFCS	Redatto da	IR	Data	Agosto2002	
	Verificato da	FH/NB	Data	Ottobre 2002	
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006	

Momenti d'inerzia della sezione resistente del giunto

Per ciascuno dei giunti e per una sezione di gola di 1mm:

$$\frac{I_{yc}}{a} = \int z_c^2 ds = 2 \times 175 \times 125^2 + 250^3 / 12 = 6,77 \times 10^6 \text{ mm}^4/\text{mm}$$

$$\frac{I_{zc}}{a} = \int y_c^2 ds = 250 \times 51^2 + 2 \times 175^3 / 12 + 2 \times 175 \times (87,5 - 51)^2 = 210 \text{ mm}^4/\text{mm}$$

Per quanto riguarda il momento d'inerzia "torsionale", per ciascun giunto si ha:

$$I_{xc} = a \int r_c^2 ds = a \int y_c^2 ds + a \int z_c^2 ds = I_{zc} + I_{yc}$$

Così che:

$$\frac{I_{xc}}{a} = (6,77 + 2,01) \times 10^6 = 8,78 \times 10^6 \text{ mm}^4/\text{mm}$$

Forze e momenti applicati

Si presuppone che le forze e i momenti applicati siano divisi egualmente fra i due giunti.

Le componenti delle forze assiale e di taglio per ogni giunto sono:

$$N_{x,Ed} = -\frac{20}{2} = -10 \text{ kN}, \quad N_{y,Ed} = +\frac{30}{2} = +15 \text{ kN},$$

$$N_{z,Ed} = +\frac{300}{2} = +150 \text{ kN}$$

I momenti applicati sono calcolati usando le componenti della forza applicata e le loro eccentricità. Le eccentricità, cioè le coordinate del punto di carico effettivo, sono:

$$e_{xc} = 0 \text{ poiché il punto di carico effettivo è sul piano } y\text{-}z \text{ del giunto,}$$

$$e_{yc} = (300 - 100 + 175 - 51) = +324 \text{ mm,}$$

$$e_{zc} = -140 \text{ mm}$$

I momenti applicati per ciascun giunto sono;

$$M_{xc,Ed} = e_{yc} N_{z,Ed} - e_{zc} N_{y,Ed} = (+324) \times (+150) - (-140) \times (+15) = +50,7 \text{ kNm}$$

$$M_{yc,Ed} = e_{zc} N_{x,Ed} - e_{xc} N_{z,Ed} = (-140) \times (-10) - (0) \times (+150) = +1,4 \text{ kNm}$$

$$M_{zc,Ed} = e_{xc} N_{y,Ed} - e_{yc} N_{x,Ed} = (0) \times (+15) - (+324) \times (-10) = +3,24 \text{ kNm}$$

Componenti della forza sul punto critico della saldatura

Per quanto riguarda il giunto sul piano y-z, le componenti della forza per unità di lunghezza della saldatura sul punto (a) sono:

$$F_{wx,Ed} = \frac{N_{x,Ed}}{A_w / a} + \frac{z_{ca} M_{yc,Ed}}{I_{yc} / a} - \frac{y_{ca} M_{zc,Ed}}{I_{zc} / a}$$



Commessa N.		Foglio	8 di 8	Rev	B
Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project					
Argomento Esempio di progetto 5 – Giunto saldato					
Cliente RFCS	Redatto da	IR	Data	Agosto2002	
	Verificato da	FH/NB	Data	Ottobre 2002	
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006	

$$F_{wy,Ed} = \frac{N_{y,Ed}}{A_w / a} - \frac{z_{ca} M_{xc,Ed}}{I_{xc} / a}$$

$$F_{wz,Ed} = \frac{N_{zc,Ed}}{A_w / a} + \frac{y_{ca} M_{xc,Ed}}{I_{xc} / a}$$

I contributi alle componenti di forza (su tutti i punti del giunto saldato), provenienti dalle componenti della sollecitazione assiale applicata, sono:

$$F_{w,x}^{N_x} = \frac{N_{x,Ed}}{A_w / a} = \frac{-10}{600} = -0,017 \text{ kN/mm}$$

$$F_{w,y}^{N_y} = \frac{N_{y,Ed}}{A_w / a} = \frac{+15}{600} = +0,025 \text{ kN/mm}$$

$$F_{w,z}^{N_z} = \frac{N_{z,Ed}}{A_w / a} = \frac{+150}{600} = +0,25 \text{ kN/mm}$$

I vari contributi alle componenti di forza per unità di lunghezza della saldatura sul punto (a), da parte delle componenti del momento applicato, sono:

$$F_{w,y}^{M_{xc}} = -M_{xc,Ed} \frac{z_{c,a}}{(I_{xc} / a)} = -50,7 \times 10^6 \times \frac{(-125)}{8,78 \times 10^6} = +722 \text{ N/mm}$$

$$F_{w,z}^{M_{xc}} = +M_{xc,Ed} \frac{y_{c,a}}{(I_{xc} / a)} = +50,7 \times 10^6 \times \frac{(+124)}{8,78 \times 10^6} = +716 \text{ N/mm}$$

$$F_{w,x}^{M_{yc}} = +M_{yc,Ed} \frac{z_{c,a}}{(I_{yc} / a)} = +1,41 \times 10^6 \times \frac{(-125)}{6,77 \times 10^6} = -26 \text{ N/mm}$$

$$F_{w,x}^{M_{zc}} = -M_{zc,Ed} \frac{y_{c,a}}{(I_{zc} / a)} = -3,24 \times 10^6 \times \frac{(+124)}{2,01 \times 10^6} = -200 \text{ N/mm}$$

Combinando i contributi delle forze con quelli dei momenti sul punto (a), si ottiene:

$$F_{wx,Ed} = F_{w,x}^{N_x} + F_{w,x}^{M_{yc}} + F_{w,x}^{M_{zc}} = -17 -26 -200 = -243 \text{ N/mm}$$

$$F_{wy,Ed} = F_{w,y}^{N_y} + F_{w,y}^{M_{xc}} = +25 +722 = +747 \text{ N/mm}$$

$$F_{wz,Ed} = F_{w,z}^{N_z} + F_{w,z}^{M_{xc}} = +250 +716 = +966 \text{ N/mm}$$

Queste componenti risultanti dalla forza indotta per unità di lunghezza si riferiscono ad un giunto saldato con una gola di 1 mm per l'intera lunghezza efficace.