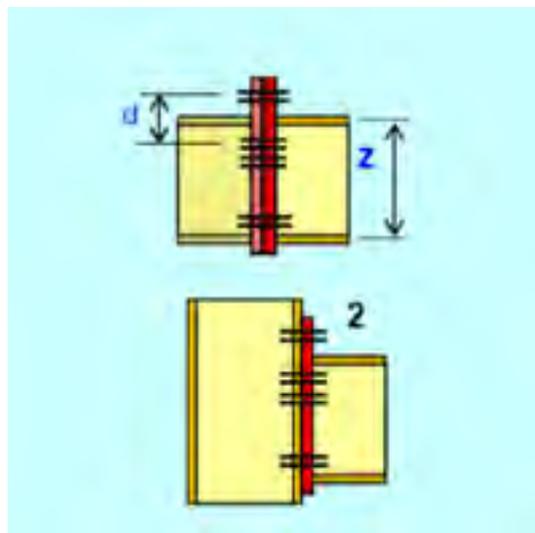


Domenico Leone

GIUNTO TRAVE-COLONNA IN ALLUMINIO CON FLANGIA BULLONATA

Parte 1



GIUNTO TRAVE-COLONNA IN ALLUMINIO CON FLANGIA BULLONATA

Domenico Leone

Il prof. Domenico Leone vanta un'esperienza più che trentennale nel campo della progettazione e realizzazione di strutture metalliche sia in campo industriale che infrastrutturale e civile ed è titolare del laboratorio di "Costruzione dell'Architettura" presso la facoltà di Architettura di Genova in qualità di professore a contratto.

E' consulente di azienda avendo occupato in precedenza il ruolo di Responsabile del settore di progettazione di opere in carpenteria metallica prima presso la Società Italimpianti S.p.A. e successivamente presso le Società SMSDemag e Paul-Wurth S.p.A.

Ha partecipato alla progettazione di grandi impianti industriali di produzione e trasformazione dell'acciaio e ne ha seguito la realizzazione con le imprese costruttrici e di montaggio acquisendo ampia esperienza in tutti i settori del ciclo di esecuzione delle opere metalliche.

Per il suo impegno in campo internazionale vanta ampia conoscenza delle norme di settore utilizzate in varie nazioni con particolare riguardo agli Eurocodici.

Ha esercitato ed esercita tuttora attività formativa in ambito Aziendale, Universitario, Pubblico, Privato e dell'Ordine Professionale.

É autore del libro "Eurocodice 3" edito da Sistemi Editoriali nonché di numerosi programmi di calcolo automatico dedicati sia alla progettazione di strutture in acciaio di impianti industriali che alla progettazione di componenti strutturali e di dettaglio proprie degli edifici civili e delle infrastrutture (pacchetto SAITU edito da STA DATA S.r.l.) in base agli Eurocodici ed alle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

La presente pubblicazione è tutelata dalla legge sul diritto d'autore e non può essere divulgata senza il permesso scritto dell'autore.

S.T.A. DATA srl

Corso Raffaello, 12 - 10126 Torino

tel. 011 6699345 www.stadata.com

GIUNTO TRAVE-COLONNA IN ALLUMINIO CON FLANGIA BULLONATA

Parte 1

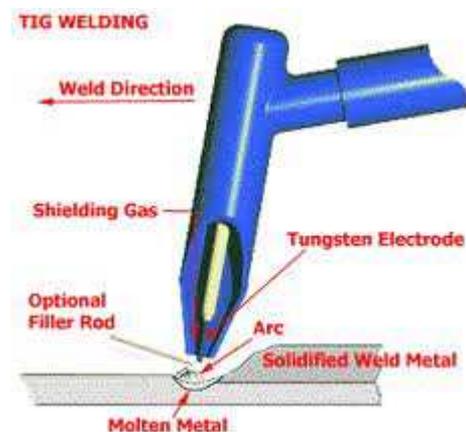
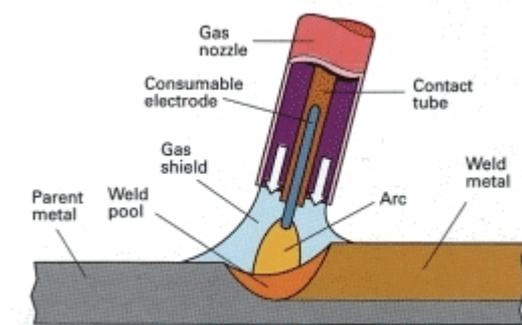
Premessa

Il tema di seguito trattato è un'applicazione pratica della norma EN 1999-1-1 relativamente all'unione trave-colonna di elementi in alluminio per mezzo di un giunto con flangia bullonata. Il calcolo di questo tipo di connessione è esposto nell'allegato B della suddetta norma (Equivalent T-stub in tension) ed in particolare, per quanto riguarda l'unione saldata trave-flangia, al punto 8.6.

Diciamo subito che la trattazione della norma EN 1999-1-1 relativamente al T-stub method non è completa ed esaustiva come nel caso di giunto tra componenti in acciaio (EN 1993-1-8) ma si limita alla verifica della flangia e dei bulloni senza considerare il comportamento interattivo con le altre componenti nodali quali l'anima e la flangia della colonna in presenza o meno di irrigidimenti locali e l'anima e le flange della trave collegata irrigidita o no. Nel testo della norma EN 1999-1-1 al punto 8.1.3 è riportata la seguente frase : *“La resistenza di un giunto dovrebbe essere determinata sulla base delle resistenze dei singoli bulloni, delle saldature e delle altre componenti del giunto”* ma nessun criterio di verifica delle *“altre componenti del giunto”* viene riportato.

L'esempio di seguito riportato fa quindi riferimento alla norma EN 1993-1-8 (giunti di componenti in acciaio) per quanto riguarda la verifica delle componenti nodali in alluminio utilizzando le resistenze caratteristiche di questo materiale.

Circa la definizione delle resistenze caratteristiche del materiale “alluminio” è bene ricordare la grande varietà di leghe strutturali esistenti ed i vari procedimenti di tempra previsti sia per lamiere, nastri e piatti che per elementi estrusi. Inoltre la resistenza caratteristica decade in modo sensibile per elementi saldati in corrispondenza delle zone termicamente alterate (nel seguito HAZ) e dipende dal procedimento di saldatura utilizzato MIG (metal inert gas) o TIG (tungsten inert gas). L'estensione della zona HAZ è solo indicativamente individuata dalla norma per saldature MIG e va determinata sperimentalmente con misure di durezza su campione per saldature TIG.



Nelle seguenti tabelle sono riportate resistenze e parametri caratteristici di diverse leghe di alluminio sia per nastri e piatti (Tab. 3.2a) che per profili estrusi (Tab. 3.2b)

Table 3.2a - Characteristic values of 0,2% proof strength f_o , ultimate tensile strength f_u (unwelded and for HAZ), min elongation A , reduction factors $\rho_{o,haz}$ and $\rho_{u,haz}$ in HAZ, buckling class and exponent n_p for wrought aluminium alloys - Sheet, strip and plate

Alloy EN-AW	Temper ¹⁾	Thick-ness mm ¹⁾	f_o ¹⁾	f_u	A_{50} ^{1) 6)}	$f_{o,haz}$ ²⁾	$f_{u,haz}$ ²⁾	HAZ-factor ²⁾		BC ⁴⁾	n_p ^{1), 5)}				
			N/mm ²		%	N/mm ²		$\rho_{o,haz}$ ¹⁾	$\rho_{u,haz}$						
3004	H14 H24/H34	≤ 6 3	180 170	220	1 3	75	155	0,42 0,44	0,70	B	23 18				
	H16 H26/H36	≤ 4 3	200 190	240	1 3			0,38 0,39	0,65	B	25 20				
3005	H14 H24	≤ 6 3	150 130	170	1 4	56	115	0,37 0,43	0,68	B	38 18				
	H16 H26	≤ 4 3	175 160	195	1 3			0,32 0,35	0,59	B	43 24				
3103	H14 H24	≤ 25 12,5	120 110	140	2 4	44	90	0,37 0,40	0,64	B	31 20				
	H16 H26	≤ 4	145 135	160	1 2			0,30 0,33	0,56	B	48 28				
5005/5005A	O/H111	≤ 50	35	100	15	35	100	1	1	B	5				
	H12 H22/H32	≤ 12,5	95 80	125	2 4	44	100	0,46 0,55	0,80	B	18 11				
	H14 H24/H34	≤ 12,5	120 110	145	2 3			0,37 0,40	0,69	B	25 17				
5052	H12 H22/H32	≤ 40	160 130	210	4 5	80	170	0,50 0,62	0,81	B	17 10				
	H14 H24/H34	≤ 25	180 150	230	3 4			0,44 0,53	0,74	B	19 11				
5049	O / H111	≤ 100	80	190	12	80	190	1	1	B	6				
	H14 H24/H34	≤ 25	190 160	240	3 6	100	190	0,53 0,63	0,79	B	20 12				
5454	O/H111	≤ 80	85	215	12	85	215	1	1	B	5				
	H14 H24/H34	≤ 25	220 200	270	2 4	105	215	0,48 0,53	0,80	B	22 15				
5754	O/H111	≤ 100	80	190	12	80	190	1	1	B	6				
	H14 H24/H34	≤ 25	190 160	240	3 6	100	190	0,53 0,63	0,79	B	20 12				
5083	O/H111	≤ 50	125	275	11	125	275	1	1	B	6				
		50 < t ≤ 80	115	270	14 ³⁾	115	270			B					
	H12 H22/H32	≤ 40	250 215	305	3 5	155	275	0,62 0,72	0,90	B	22 14				
	H14 H24/H34	≤ 25	280 250	340	2 4			0,55 0,62	0,81	A	22 14				
6061	T4 / T451	≤ 12,5	110	205	12	95	150	0,86	0,73	B	8				
	T6 / T651	≤ 12,5	240	290	6	115	175	0,48	0,60	A	23				
	T651	12,5 < t ≤ 80	240	290	6 ³⁾										
6082	T4 / T451	≤ 12,5	110	205	12	125	185	0,91	0,78	B	8				
	T61/T6151	≤ 12,5	205	280	10							0,61	0,66	A	15
	T6151	12,5 < t ≤ 100	200	275	12 ³⁾										
	T6/T651	≤ 6	260	310	6							0,48	0,60	A	25
		6 < t ≤ 12,5	255	300	9										
	T651	12,5 < t ≤ 100	240	295	7 ³⁾							0,52	0,63	A	21
7020	T6	≤ 12,5	280	350	7	205	280	0,73	0,80	A	19				
	T651	≤ 40			9 ³⁾										
8011A	H14 H24	≤ 12,5	110 100	125	2 3	37	85	0,34 0,37	0,68	B	37 22				
	H16 H26	≤ 4	130 120	145	1 2			0,28 0,31	0,59		33 33				

1) If two (three) tempers are specified in one line, tempers separated by “|” have different technological values but separated by “/” have same values. (The tempers show differences for f_o , A and n_p).

2) The HAZ-values are valid for MIG welding and thickness up to 15mm. For TIG welding strain hardening alloys (3xxx, 5xxx and 8011A) up to 6 mm the same values apply, but for TIG welding precipitation hardening alloys (6xxx and 7xxx) and thickness up to 6 mm the HAZ values have to be multiplied by a factor 0,8 and so the ρ -factors. For higher thickness – unless other data are available – the HAZ values and ρ -factors have to be further reduced by a factor 0,8 for the precipitation hardening alloys (6xxx and 7xxx) and by a factor 0,9 for the strain hardening alloys (3xxx, 5xxx and 8011A). These reductions do not apply in temper O.

Table 3.2b - Characteristic values of 0,2% proof strength f_o and ultimate tensile strength f_u (unwelded and for HAZ), min elongation A , reduction factors $\rho_{o,haz}$ and $\rho_{u,haz}$ in HAZ, buckling class and exponent n_p for wrought aluminium alloys - Extruded profiles, extruded tube, extruded rod/bar and drawn tube

Alloy EN-AW	Product form	Temper	Thick-ness t mm 1) 3)	f_o 1)	f_u 1)	A 5) 2)	$f_{o,haz}$ 4)	$f_{u,haz}$ 4)	HAZ-factor 4)		BC 6)	n_p 7)
				N/mm ²		%	N/mm ²		$\rho_{o,haz}$	$\rho_{u,haz}$		
5083	ET, EP,ER/B	O / H111, F, H112	$t \leq 200$	110	270	12	110	270	1	1	B	5
	DT	H12/22/32	$t \leq 10$	200	280	6	135	270	0,68	0,96	B	14
		H14/24/34	$t \leq 5$	235	300	4			0,57	0,90	A	18
6060	EP,ET,ER/B	T5	$t \leq 5$	120	160	8	50	80	0,42	0,50	B	17
	EP		$5 < t \leq 25$	100	140	8			0,50	0,57	B	14
	ET,EP,ER/B	T6	$t \leq 15$	140	170	8	60	100	0,43	0,59	A	24
	DT		$t \leq 20$	160	215	12			0,38	0,47	A	16
	EP,ET,ER/B	T64	$t \leq 15$	120	180	12	60	100	0,50	0,56	A	12
	EP,ET,ER/B	T66	$t \leq 3$	160	215	8	65	110	0,41	0,51	A	16
$3 < t \leq 25$			150	195	8	0,43			0,56	A	18	
6061	EP,ET,ER/B,DT	T4	$t < 25$	110	180	50	95	150	0,86	0,83	B	8
	EP,ET,ER/B,DT	T6	$t \leq 20$	240	260	8	115	175	0,48	0,67	A	55
6063	EP,ET,ER/B	T5	$t \leq 3$	130	175	8	60	100	0,46	0,57	B	16
	EP		$3 < t \leq 25$	110	160	7			0,55	0,63	B	13
	EP,ET,ER/B	T6	$t \leq 25$	160	195	8	65	110	0,41	0,56	A	24
	DT		$t \leq 20$	190	220	10			0,34	0,50	A	31
	EP,ET,ER/B	T66	$t \leq 10$	200	245	8	75	130	0,38	0,53	A	22
	EP		$10 < t \leq 25$	180	225	8			0,42	0,58	A	21
DT	$t \leq 20$		195	230	10	0,38			0,57	A	28	
6005A	EP/O, ER/B	T6	$t \leq 5$	225	270	8	115	165	0,51	0,61	A	25
			$5 < t \leq 10$	215	260	8			0,53	0,63	A	24
			$10 < t \leq 25$	200	250	8			0,58	0,66	A	20
	EP/H, ET	T6	$t \leq 5$	215	255	8	115	165	0,53	0,65	A	26
			$5 < t \leq 10$	200	250	8			0,58	0,66	A	20
6106	EP	T6	$t \leq 10$	200	250	8	95	160	0,48	0,64	A	20
6082	EP,ET,ER/B	T4	$t \leq 25$	110	205	14	100	160	0,91	0,78	B	8
	EP/O, EP/H	T5	$t \leq 5$	230	270	8	125	185	0,54	0,69	B	28
	EP/O,EP/H ET	T6	$t \leq 5$	250	290	8	125	185	0,50	0,64	A	32
			$5 < t \leq 15$	260	310	10			0,48	0,60	A	25
	ER/B	T6	$t \leq 20$	250	295	8			0,50	0,63	A	27
			$20 < t \leq 150$	260	310	8			0,48	0,60	A	25
	DT	T6	$t \leq 5$	255	310	8			0,49	0,60	A	22
$5 < t \leq 20$			240	310	10	0,52			0,60	A	17	
7020	EP,ET,ER/B	T6	$t \leq 15$	290	350	10			205	280	0,71	0,80
	EP,ET,ER/B	T6	$15 < t < 40$	275	350	10	0,75	0,80			A	19
	DT	T6	$t \leq 20$	280	350	10	0,73	0,80			A	18

I valori denominati col pedice “haz” si riferiscono alle zone termicamente alterate. In particolare si noti il valore ridotto della resistenza caratteristica $f_{o,haz}$ ($f_{u,haz}$) rispetto a quella del materiale base f_o (f_u).

La resistenza caratteristica della **saldatura** è data dalla seguente tabella in funzione del materiale di apporto :

Table 8.8 - Characteristic strength values of weld metal f_w

Characteristic strength	Filler metal	Alloy								
		3103	5052	5083	5454	6060	6005A	6061	6082	7020
f_w [N/mm ²]	5356	-	170	240	220	160	180	190	210	260
	4043A	95	-	-	-	150	160	170	190	210

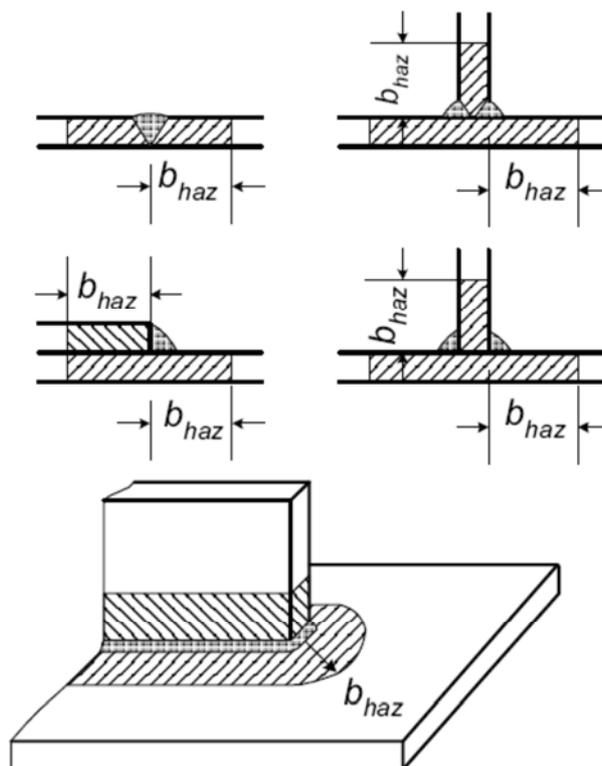
1 For alloys EN AW-5754 and EN AW-5049 the values of alloy 5454 can be used;
for EN AW-6063, EN AW-3005 and EN AW-5005 the values of alloy 6060 can be used;
for EN AW-6106 the values of alloy 6005A can be used;
for EN AW-3004 the values of alloy 6082 can be used;
for EN AW-8011A a value of 100 N/mm² for filler metal Type 4 and Type 5 can be used.

2 If filler metals 5056A, 5556A, or 5183 are used then the values for 5356 have to be applied.

3 If filler metals 4047A or 3103 are used then the values of 4043A have to be applied.

4 For combinations of different alloys the lowest characteristic strength of the weld metal has to be used.

L'estensione delle zone HAZ è schematizzata nelle seguenti figure :



Per saldature MIG l'estensione della zona HAZ può essere assunta come di seguito riportato :

$$0 < t \leq 6 \text{ mm: } b_{\text{haz}} = 20 \text{ mm}$$

$$6 < t \leq 12 \text{ mm: } b_{\text{haz}} = 30 \text{ mm}$$

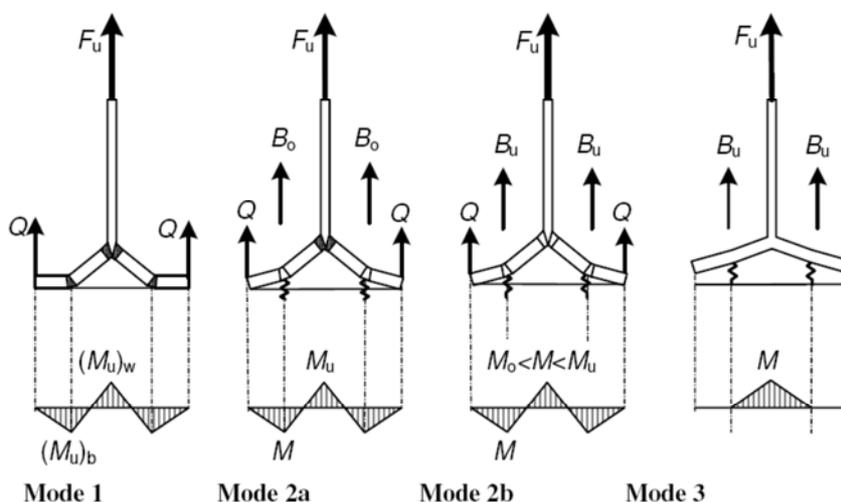
$$12 < t \leq 25 \text{ mm: } b_{\text{haz}} = 35 \text{ mm}$$

$$t > 25 \text{ mm: } b_{\text{haz}} = 40 \text{ mm}$$

Per quanto riguarda il comportamento del “nodo” trave-colonna nulla è detto dalla norma circa la capacità di **dissipare energia come nel caso di progettazione antisismica**. In questa trattazione ho fatto riferimento alla norma per le strutture in acciaio adattando le resistenze caratteristiche a quelle del materiale “alluminio” e tenendo conto delle riduzioni previste per le zone HAZ nel caso di elementi saldati.

Il giunto può essere progettato a “parziale resistenza” o a “completa resistenza” . Nel primo caso non viene tenuta in conto la maggior resistenza delle componenti nodali rispetto alla resistenza plastica della trave e della colonna; nel secondo caso (tipico di progettazione antisismica) viene attribuita al nodo una maggior resistenza nel rispetto della gerarchia nodo-colonna-trave che consenta cioè la **formazione di una cerniera plastica nella trave**. Il criterio di “**sovrarresistenza** “ del nodo in progettazione antisismica di strutture a bassa o alta duttilità è qui trattato allo stesso modo delle strutture in acciaio considerando gli stessi coefficienti di sicurezza in funzione del valore caratteristico della resistenza (NTC 2008) assumendo come valore di riferimento una tensione di snervamento di 250 N/mm² (valore che definisce il parametro ϵ).

Il metodo di calcolo dei giunti a flangia bullonati (T-stub in tension) controlla il meccanismo di collasso del giunto sia dal lato flangia che dal lato colonna e prevede, per componenti in alluminio, i seguenti modi di rottura :



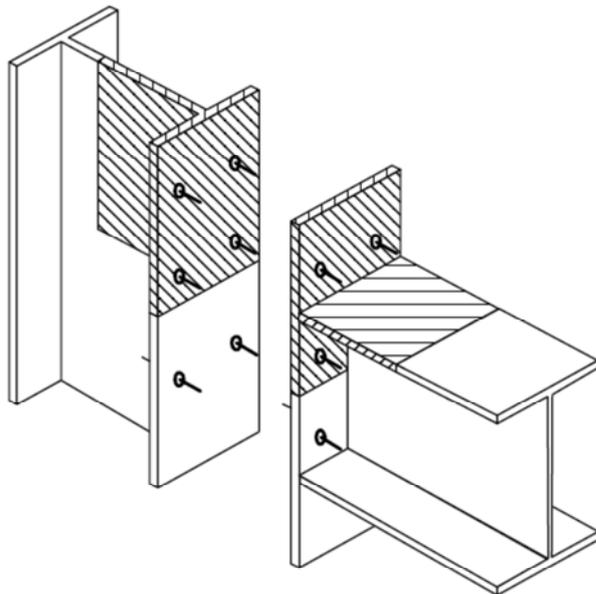
Modo 1 : collasso flangia con sviluppo di forze di reazione (prying forces)

Modo 2a : collasso flangia e forze nei bulloni al limite elastico

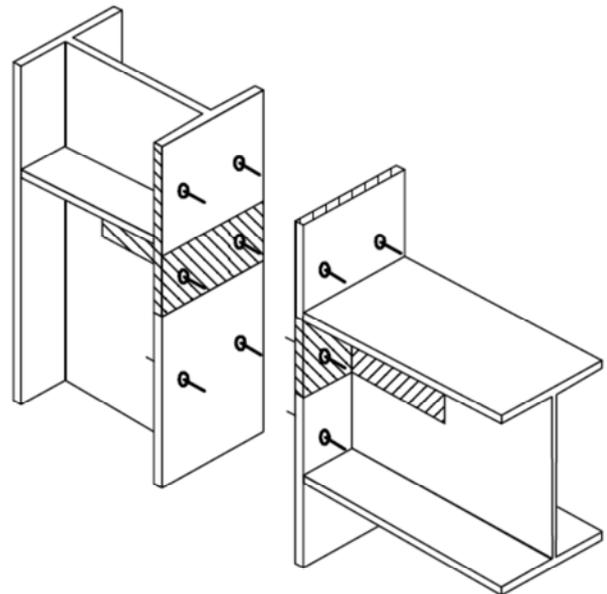
Modo 2b : snervamento flangia al limite elastico e rottura dei bulloni

Modo 3 : rottura dei bulloni

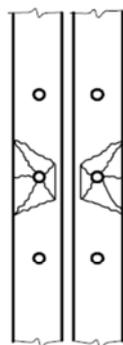
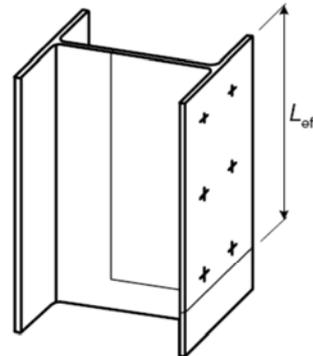
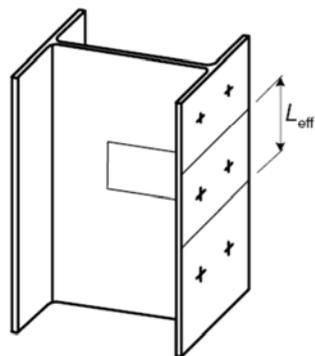
L'estensione della zona di collasso è definita dalla "larghezza efficace" (T-stub in tension) come rappresentato nella seguente figura e analiticamente esposto nelle tabelle che seguono.



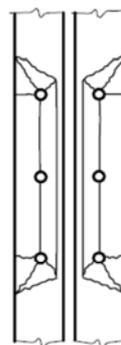
a) Unstiffened beam-to-column joint



b) Stiffened beam to column joint



a) Individual bolt-rows



b) Group of bolt-rows

Table B.1 - Effective length for unstiffened flanges

Bolt-row location	Bolt-row considered individually		Bolt-row considered as part of a group of bolt-rows	
	Circular patterns $l_{eff,cp}$	Non-circular patterns $l_{eff,np}$	Circular patterns $l_{eff,cp}$	Non-circular patterns $l_{eff,np}$
Inner bolt-row	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
End bolt-row	The smaller of: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	The smaller of: $4m + 1,25e$ $2m + 0,625e + e_1$	The smaller of: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	The smaller of: $2m + 0,625e + 0,5p$ $e_1 + 0,5p$
Mode 1:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ but $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$		$\Sigma l_{eff,1} = \Sigma l_{eff,nc}$ but $\Sigma l_{eff,1} \leq \Sigma l_{eff,cp}$	
Mode 2:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$		$\Sigma l_{eff,1} = \Sigma l_{eff,nc}$	

Table B.2 - Effective length for stiffened flanges

Bolt-row location	Bolt-row considered individually		Bolt-row considered as part of a group of bolt-rows	
	Circular patterns $l_{eff,cp}$	Non-circular patterns $l_{eff,np}$	Circular patterns $l_{eff,cp}$	Non-circular patterns $l_{eff,np}$
Bolt-row adjacent to a stiffener	$2\pi m$	αm	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$
Other inner bolt-row	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Other end bolt-row	The smaller of: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	The smaller of: $4m + 1,25e$ $2m + 0,625e + e_1$	The smaller of: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	The smaller of: $2m + 0,625e + 0,5p$ $e_1 + 0,5p$
End bolt row adjacent to a stiffener	The smaller of $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	$e_1 + \alpha m - (2m + 0,625e)$	not relevant	not relevant
Mode 1:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ but $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$		$\Sigma l_{eff,1} = \Sigma l_{eff,nc}$ but $\Sigma l_{eff,1} \leq \Sigma l_{eff,cp}$	
Mode 2:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$		$\Sigma l_{eff,1} = \Sigma l_{eff,nc}$	

C'è da notare che la definizione delle larghezze efficaci per flange in alluminio è la stessa nella norma EN 1993-1-8 per flange in acciaio quando queste si riferiscono alla **piattabanda della colonna**.

La norma EN 1999-1-1 non prevede una trattazione diversa per la flangia collegata alla trave come invece correttamente fatto e dalla norma EN 1993-1-8 e riportato nella tabella che segue :

Table 6.6: Effective lengths for an end-plate

Bolt-row location	Bolt-row considered individually		Bolt-row considered as part of a group of bolt-rows	
	Circular patterns $l_{eff,cp}$	Non-circular patterns $l_{eff,nc}$	Circular patterns $l_{eff,cp}$	Non-circular patterns $l_{eff,nc}$
Bolt-row outside tension flange of beam	Smallest of: $2\pi m_x$ $\pi m_x + w$ $\pi m_x + 2e$	Smallest of: $4m_x + 1,25e_x$ $e + 2m_x + 0,625e_x$ $0,5b_p$ $0,5w + 2m_x + 0,625e_x$	—	—
First bolt-row below tension flange of beam	$2\pi m$	αm	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$
Other inner bolt-row	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Other end bolt-row	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$\pi m + p$	$2m + 0,625e + 0,5p$
Mode 1:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ but $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$		$\sum l_{eff,1} = \sum l_{eff,nc}$ but $\sum l_{eff,1} \leq \sum l_{eff,cp}$	
Mode 2:	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$		$\sum l_{eff,2} = \sum l_{eff,nc}$	
α should be obtained from Figure 6.11.				

Il criterio da me seguito nel calcolo di questi tipi di giunti è definire le larghezze efficaci come proposto in modo completo dalla norma EN 1993-1-8 per giunti in acciaio.

Non viene peraltro definito il criterio di giunto a parziale o completa resistenza sia per colonne interrotte (nodo di sommità) che per colonne continue (nodo intermedio). Il criterio da me seguito è lo stesso delle strutture in acciaio di seguito riportato :

5.2.3.3 Full-strength joints

- (1) The design resistance of a full strength joint should be not less than that of the connected members.
- (2) A joint may be classified as full-strength if it meets the criteria given in Figure 5.5.

a) Top of column



$M_{j,Rd}$

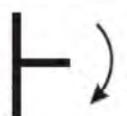
Either

$$M_{j,Rd} \geq M_{b,pt,Rd}$$

or

$$M_{j,Rd} \geq M_{c,pt,Rd}$$

b) Within column height



$M_{j,Rd}$

Either

$$M_{j,Rd} \geq M_{b,pt,Rd}$$

or

$$M_{j,Rd} \geq 2 M_{c,pt,Rd}$$

Key:

$M_{b,pt,Rd}$ is the design plastic moment resistance of a beam;
 $M_{c,pt,Rd}$ is the design plastic moment resistance of a column.

Il valore del fattore α presente nel calcolo delle larghezze efficaci di flange irrigidite è deducibile dal seguente grafico :

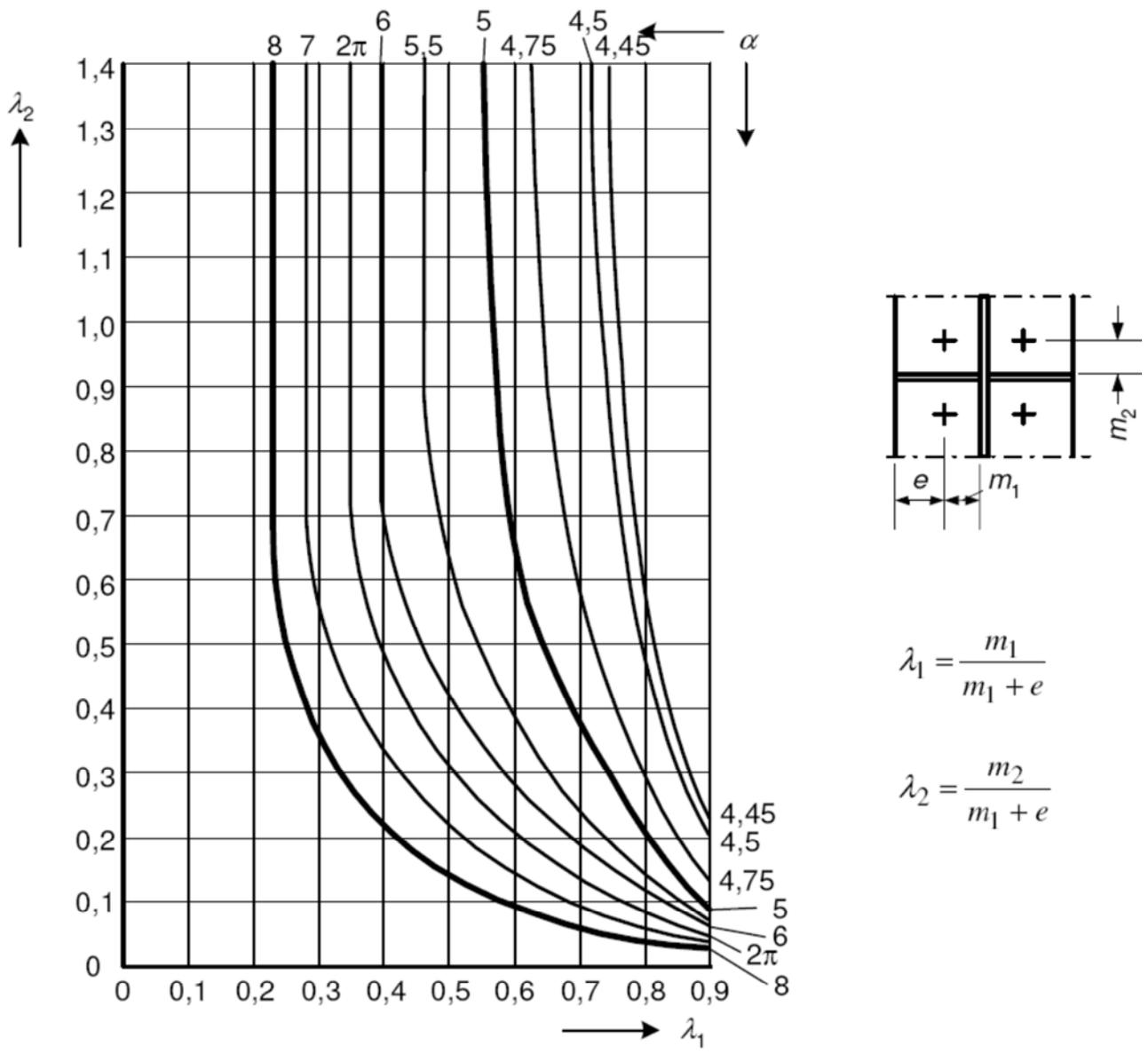


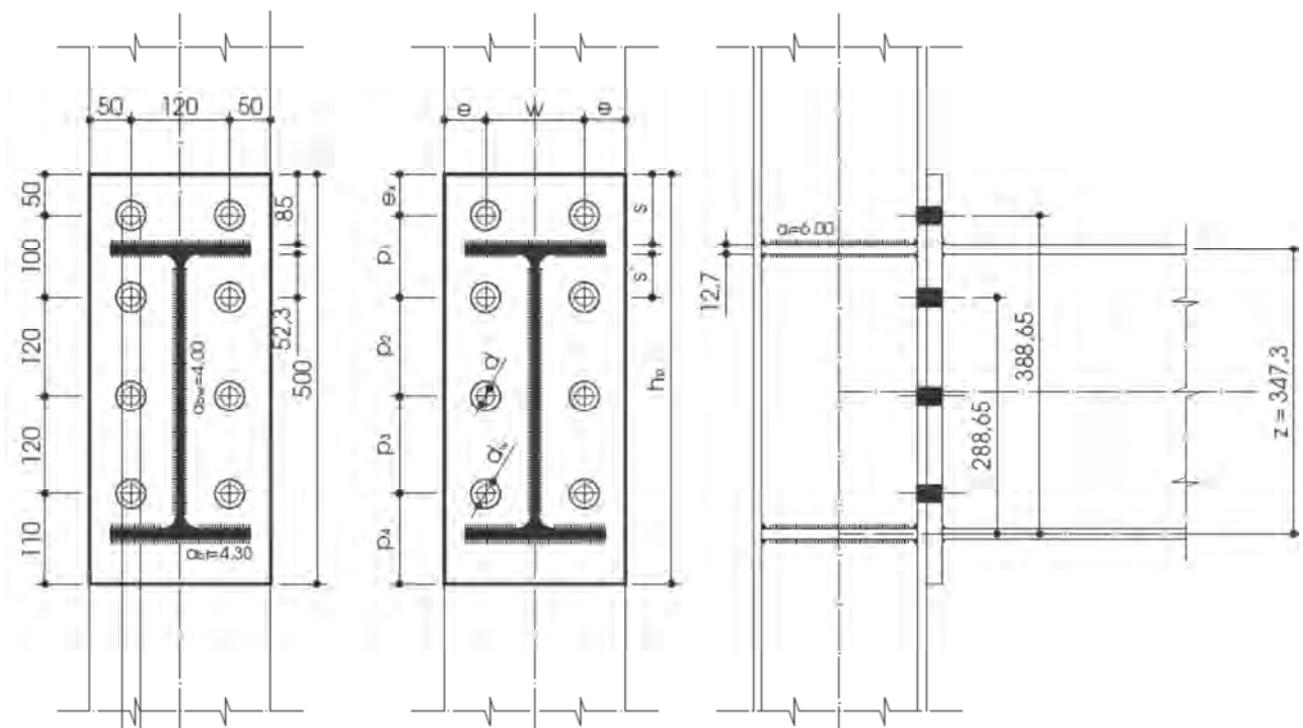
Figure B.4 - Values of factor α for the effective length for stiffened flanges

Esempio di progettazione ragionata.

Viene qui proposto un esempio completo di progettazione di un giunto a flangia bullonato tra trave e colonna in alluminio eseguito in base ai criteri precedentemente esposti evidenziando le limitazioni della norma EN 1999-1-1 ed estendendo il calcolo anche alle singole componenti nodali fino alla formazione di una cerniera plastica nella trave in base alla EN 1993-1-8.

Il calcolo è eseguito con l'uso di un programma automatico denominato "FlangiaBullAl" da me realizzato per queste tipologie di unioni e disponibile presso S.T.A.DATA (www.stadata.com)

Il giunto iniziale prevede il collegamento di una trave a I (simile a IPE 360) realizzata in soluzione composta saldata MIG con piatti in lega di alluminio EN AW-5049-H14, ad una colonna ad H (simile a HEA 220) composta saldata MIG con piatti in lega di alluminio EN AW-5083-H14.



Le sollecitazioni per lo SLU sono le seguenti :

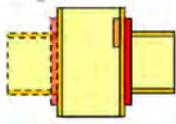
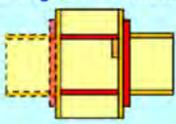
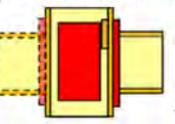
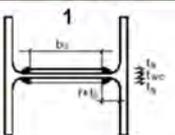
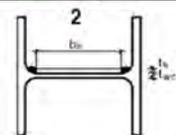
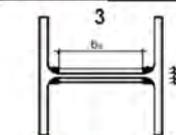
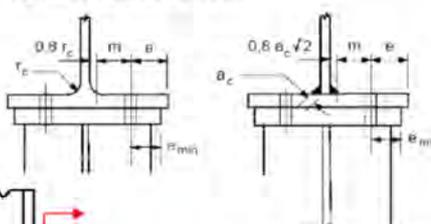
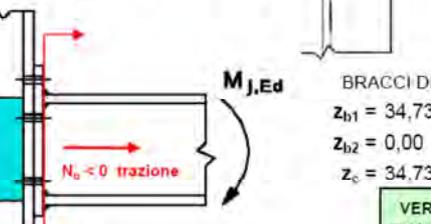
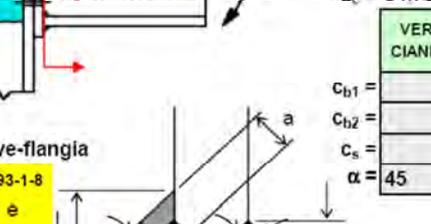
Taglio	$V = 150 \text{ kN}$
Momento	$M = 5710 \text{ kNcm}$ (destrorso)
Forza assiale	$N = 50 \text{ kN}$ (compressione)

Se applichiamo alla lettera la norma EN 1999-1-1 e consideriamo il giunto costituito dalla sola flangia e bulloni senza preoccuparci della resistenza della colonna e della trave ("altre componenti nodali") il calcolo si limita alla verifica della saldatura trave-flangia e del modo di collasso del collegamento flangia-bulloni.

La saldatura trave-flangia è con cordone d'angolo realizzata con procedimento MIG. Il lato della saldatura della flangia è 7 mm mentre quello dell'anima è di 6 mm cui corrispondono rispettivamente sezioni di gola di 4,9 mm e 4,2 mm.

Il calcolo di verifica della saldatura trave-flangia è riassunto nel seguente foglio di calcolo che è parte del programma "FlangiaBullAI".

La prima parte riporta le caratteristiche geometriche, le resistenze e le sollecitazioni del nodo :

GIUNTO A FLANGIA CON BULLONI - STATO LIMITE ULTIMO - EN 1999-1-1 ; DM 14/01/08 e O.P.C.M. n°3274										
VERIFICA DELLA SALDATURA TRAVE-FLANGIA										
materiale	lamiere, nastri e piatti	per profili estrusi definire da input le caratteristiche del materiale						fattore di riduz. per HAZ	$\epsilon = [250/f_u]^{0,5}$	
TRAVE :	EN AW-5049-H14<=25	$f_o =$	$f_u =$	$f_o = 19,0$	$f_u = 24,0$	kN/cm ²	$\beta_{w,dx} = 1$	$\beta_{w,dx} =$	$\epsilon = 1,15$	
COLONNA :	EN AW-5083-H14<=25	$f_o =$	$f_u =$	$f_o = 28,0$	$f_u = 34,0$	kN/cm ²	$\beta_{w,sx} = 1$	$\beta_{w,sx} =$	$\epsilon = 0,94$	
IRRIGIDIMENTI :	EN AW-5049-H14<=25	$f_o =$	$f_u =$	$f_o = 19,0$	$f_u = 24,0$	kN/cm ²	$\beta_{w,s} = 1$	$\beta_{w,s} =$	$\epsilon = 1,15$	
tipologia nodo	2	nodo non irrigidito			nodo con irrigidimenti trasversali			nodo con piatti di rinforzo anima		
coeff. secur. saldat.	1,25									
coeff. secur. mater.	1,1									
TR.DX.	a cordoni d'angolo									
TR.SX.										
IRRIG.	a cordoni d'angolo									
ELEMENTO	ALT. MIN	ALT. MAX	LARGHEZZA	IRRIGIDIMENTI ANIMA COLONNA			TIPO			
COLONNA CL. EC9	2	mm 210	mm 210	mm 220						
TRAVE DI DESTRA (DX.)		mm 360	mm 360	mm 170						
TRAVE DI SINISTRA (SX.)		mm	mm	mm						
SALDATURA TR. DX.	MIG	1	$l_s = 7,0$	$l_w = 6,0$						
SALDATURA TR. SX.	MIG		$l_s =$	$l_w =$						
SALDATURA IRRIG.	MIG	1	$l_s = 6,0$	$l_w =$						
SOLLECITAZIONI DI PROGETTO :										
CARATTERISTICHE DEL GIUNTO :				TRAVE DX		TRAVE SX				
				$V_{b1,Ed} = 150$	kN	$V_{b2,Ed} =$	kN			
				$M_{b1,Ed} = 5710$	kNcm	$M_{b2,Ed} =$	kNcm			
				$N_{b1,Ed} = 50$	kN	$N_{b2,Ed} =$	kN			
				$< 5\% N_{pl,Rd,b1} = 63$ kN		$< 5\% N_{pl,Rd,b2} = 0$ kN				
BRACCI DI LEVA				COLONNA		SEZIONI DI GOLA SALDATURE				
$z_{b1} = 34,73$ cm				spessore piattabanda (t_c)		TRAVE DI DESTRA piattabande (a_{fb1})				
$z_{b2} = 0,00$ cm				spessore anima (t_{wc})		TRAVE DI DESTRA anima (a_{wb1})				
$z_c = 34,73$ cm				sald.MIG raccordo anima-piattab. (r_c)		TRAVE DI SINISTRA piattabande (a_{fb2})				
				TRAVE DI DESTRA spessore piattabanda (t_{fb1})		TRAVE DI SINISTRA anima (a_{wb2})				
				TRAVE DI SINISTRA spessore anima (t_{wb1})		IRRIGIDIM. trasversali : spessore ($t_{sc} \geq t_b$)				
				sald.MIG raccordo anima-piattab. (r_{fb1})		d'anima : spessore ($t_{sc} \geq t_{wc}$)				
				TRAVE DI SINISTRA spessore piattabanda (t_{fb2})		VERTICE CIANFRINO				
				sald.MIG raccordo anima-piattab. (r_{fb2})		TRAVE DI DESTRA piattabande (a_{fb1})				
				IRRIGIDIM. trasversali : spessore ($t_{sc} \geq t_b$)		TRAVE DI SINISTRA piattabande (a_{fb2})				
				d'anima : spessore ($t_{sc} \geq t_{wc}$)		TRAVE DI SINISTRA anima (a_{wb2})				
				SEZIONI DI GOLA SALDATURE		PARAMETRI TRASFORM.				
				TRAVE DI DESTRA piattabande (a_{fb1})		giunto di destra β_1				
				TRAVE DI DESTRA anima (a_{wb1})		giunto di sinistra β_2				
				TRAVE DI SINISTRA piattabande (a_{fb2})		LARGHEZZA giunto di destra $b_{eff,b1}$				
				TRAVE DI SINISTRA anima (a_{wb2})		EFFICACE giunto di sinistra $b_{eff,b2}$				
				IRRIGIDIM. trasversali (a_{sc})		LARGHEZZA giunto di destra $b_{eff,b1}$				
				d'anima (a_{sc})		EFFICACE giunto di sinistra $b_{eff,b2}$				
saldatura trave-flangia				PARAMETRI TRASFORM.		LARGHEZZA giunto di destra $b_{eff,b1}$				
item 4.7.3 EN 1993-1-8				LARGHEZZA giunto di sinistra $b_{eff,b2}$		EFFICACE giunto di destra $b_{eff,b1}$				
per $2 \cdot a_{nom} \geq t$ e				EFFICACE giunto di sinistra $b_{eff,b2}$		EFFICACE giunto di sinistra $b_{eff,b2}$				
per $c \leq t/5$ o 3mm										
la saldatura è a										
piena penetrazione										

La seconda parte riporta le verifiche di resistenza delle saldature e delle zone HAZ

FORZA AGENTE SULLA SALDATURA DELLE PIATTABANDE :		trave di destra	$F_{w,Ed,b1} =$ kN	164
$F_{w,Ed,bi} \leq F_{w,Rd,bi}$	$f_w = 22,00$	trave di sinistra	$F_{w,Ed,b2} =$ kN	
	$f_{u,haz} = 19,00$			
FORZA AGENTE SULLA SALDATURA DELL'ANIMA :		trave di destra	$V_{w,Ed,b1} =$ kN	150
$V_{w,Ed,bi} \leq V_{w,Rd,bi}$	$f_{v,haz} = 10,97$	trave di sinistra	$V_{w,Ed,b2} =$ kN	
RESISTENZA DI PROGETTO DELLA SALDATURA PIATTABANDE :				
	$N_{b1,Rd} =$ kN 656		$M_{w1,Rd} =$ kNm 11397	
$F_{w,Rd,bi} =$ saldatura : $2 \cdot f_w / (\beta \cdot \gamma_{Mw}) \cdot a_{f,bi} \cdot b_{eff,bi} = dx$	423 SX	trave di destra	$F_{w,Rd,b1} =$ kN	328
$F_{w,Rd,bi} =$ zona HAZ : $f_{u,haz} / \gamma_{Mw} \cdot t_{fi} \cdot b_{fi} = dx$	328 SX	trave di sinistra	$F_{w,Rd,b2} =$ kN	
	0			
CRITERIO DI SOVRARESISTENZA DELLA SALDATURA PIATTABANDE :		trave di destra	$F_{w,Rd,f1} =$ kN	373
$F_{w,Rd,bi} \geq F_{w,Rd,fi} \geq F_{w,Ed,bi}$	$F_{w,Rd,fi} = b_{fi} \cdot t_{fi} \cdot f_o / \gamma_{M1}$	trave di sinistra	$F_{w,Rd,f2} =$ kN	
VERIFICA DI RESISTENZA :		trave dx.	$M_{b1,Ed} / M_{b1,Rd} + N_{b1,Ed} / N_{b1,Rd} =$	0,50
		trave sx.	$M_{b2,Ed} / M_{b2,Rd} + N_{b2,Ed} / N_{b2,Rd} =$	
RESISTENZA DI PROGETTO DELLA SALDATURA DELL'ANIMA :		trave di destra	$V_{w,Rd,b1} =$ kN	210
$V_{w,Rd,bi} = 2 \cdot f_w / (\beta \cdot \gamma_{Mw}) \cdot a_{w,bi} \cdot h_{w,bi}$	$f_{v,haz} / \gamma_{Mw} \cdot t_{wi} \cdot h_{w,bi}$	trave di sinistra	$V_{w,Rd,b2} =$ kN	
RES. DI PROGETTO DELLA SALDATURA IRRIGIDIMENTI TRASVERSALI :		trave di destra	$F_{w,Rd,s1} =$ kN	245
$F_{w,Rd,si} \geq F_{w,Ed,bi}$	$f_w = 22,00$	trave di sinistra	$F_{w,Rd,s2} =$ kN	
	$f_{u,haz} = 19,00$			

La forza agente sulla saldatura della piattabanda è data da :

$$F_{w,Ed,b1} = M / (h - t_f) = 164 \text{ kN}$$

h = altezza della trave

t_f = spessore della piattabanda della trave

La resistenza caratteristica della saldatura per il materiale considerato è :

$$f_w = 220 \text{ N/mm}^2$$

La resistenza caratteristica ultima della zona HAZ per il materiale considerato è :

$$f_{u,haz} = 190 \text{ N/mm}^2 \text{ (resistenza a trazione)}$$

$$f_{v,haz} = 109,7 \text{ N/mm}^2 \text{ (resistenza a taglio)}$$

La forza resistente della saldatura è quindi :

$$F_{w,Rd,b1} = 2 \cdot f_w / (\beta \cdot \gamma_{Mw}) \cdot a_{f,bi} \cdot b_{eff,bi} = 423 \text{ kN} > 164 \text{ kN}$$

β = fattore di riduzione per saldature d'angolo = 0,7 (& 8.6.3.3 (10))

γ_{Mw} = coefficiente di sicurezza per saldatura = 1,25 (tab. 8.1 EN 1999-1-1)

$a_{f,bi}$ = sezione di gola della saldatura = 4,9 mm

$b_{eff,bi}$ = larghezza efficace della saldatura = 170 mm

La forza resistente della zona HAZ è :

$$F_{faz,Rd,b1} = f_{u,haz} / \gamma_{Mw} \cdot t_{f,bi} \cdot b_{f,bi} = 328 \text{ kN} > 164 \text{ kN}$$

$t_{f,bi}$ = sezione della piattabanda della trave = 12,7 mm

$b_{f,bi}$ = larghezza della piattabanda della trave = 170 mm

La forza resistente della piattabanda della trave è :

$$F_{w,Rd,f1} = f_o / \gamma_{M1} \cdot t_{f,bi} \cdot b_{f,bi} = 373 \text{ kN} < 423$$

Il criterio di resistenza della saldatura risulta soddisfatto anche nei confronti della piattabanda tesa della trave (&8.6.3 (2)):

$$F_{w,Rd,b1} > F_{faz,Rd,b1} > F_{w,Ed,b1} \quad 423 \text{ kN} > 328 \text{ kN} > 164 \text{ kN}$$

$$F_{w,Rd,b1} > F_{w,Rd,f1} \quad 423 \text{ kN} > 373 \text{ kN}$$

Il calcolo automatico riporta anche la verifica a taglio della saldatura dell'anima della trave alla flangia nella zona HAZ

$$V_{w,Rd,b1} = f_{v,HAZ} / \gamma_{Mw} \cdot t_{w1} \cdot h_{w,b1} = 210 \text{ N/mm}^2 > 150 \text{ N/mm}^2$$

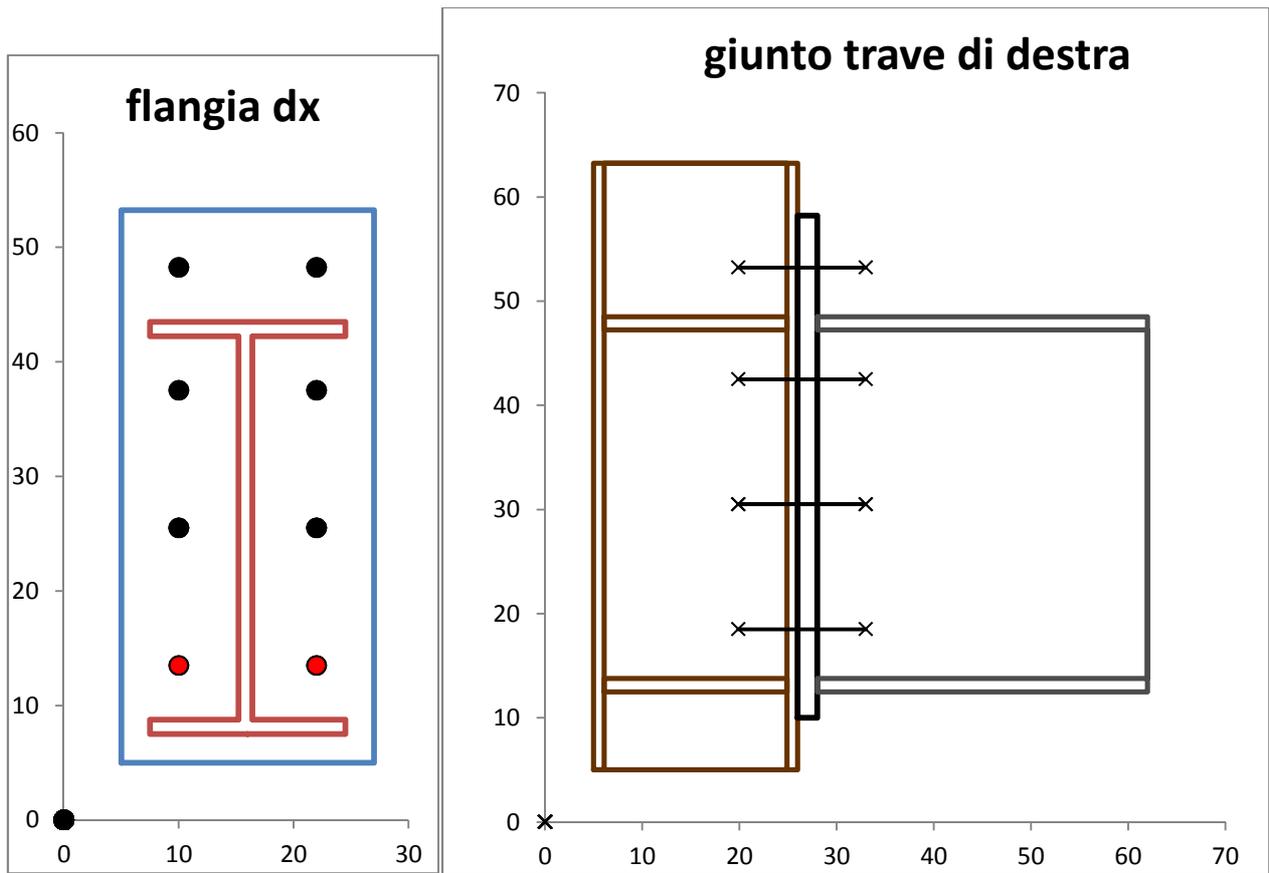
e la verifica della saldatura dell'irrigidimento della colonna eseguita a trazione sulla sezione di collegamento alla piattabanda con riferimento sia ai cordoni d'angolo sia alla zona HAZ quale delle due risulta più critica.

Il calcolo di verifica della flangia e dei bulloni del giunto è riportato nel seguente foglio di calcolo del programma "FlangiaBullAI".

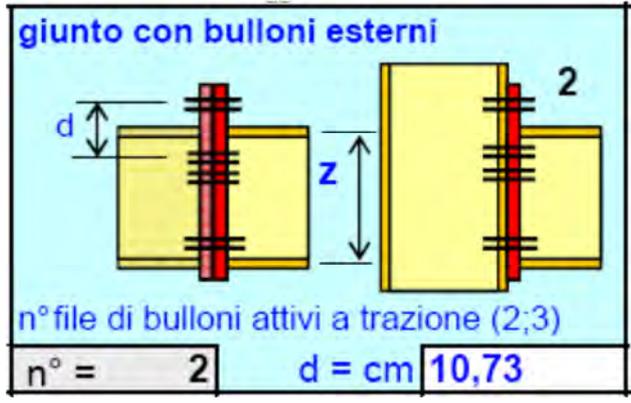
La prima parte riporta le caratteristiche della tipologia del collegamento (disposizione e numero dei bulloni, contropiatto eventuale, dimensioni della flangia) e le resistenze della flangia (anche nelle zone HAZ) e dei bulloni (in acciaio) :

VERIFICA DEL COLLEGAMENTO BULLONATO (equivalent T-stub flange method - EN 1999-1-1 & B1 e EN 1993-1-8 & 6.2.6.5)			
materiale lamiere, nastri e piatti			fatt. rid. HAZ per le flange
FLANGIA :	EN AW-5049-H14<=25	$f_{o} =$ $f_u =$ $f_{o} = 19,0$ $f_u = 24,0$ kN/cm ²	$\epsilon = 1,15$ $\rho_{u,dz} = 0,79$ $\rho_{o,dz} = 0,53$
CONTROPIATTO	assente	$f_{o} =$ $f_u =$ $f_{o} = 0,0$ $f_u = 0,0$ kN/cm ²	$\epsilon = 0,00$ $\rho_{u,sv} = 0,79$ $\rho_{o,sv} = 0,53$
BULLONI :	tipo M 20	10.9	$f_{yb} = 90,0$ kN/cm ² $f_{ub} = 100$ kN/cm ²
tipo di giunto	2 →	giunto con bulloni interni	
giunto trave-trave ?	N	contropiatto ? N	
nodo terminale ?	N	giunto con bulloni esterni	
interasse file bulloni	12 cm	giunto con bulloni esterni irrigidito	
passo min. bull. int.	6,00 cm	SEZ. SUL FILETTO : $A_s = 2,45$ cm ²	
n° file vertic. bulloni	2	n° file di bulloni attivi a trazione (<=2)	
coeff. secur. bulloni	1,25	n° file di bulloni attivi a trazione (2,3)	
coeff. secur. mater.	1,1	2 file di bulloni attivi a trazione	
		d = cm 12,00	distanza d = cm 10,73
		$\delta = 2$	$M_{pl,Rd,c} =$ kNcm 14456
VINCOLI DI PROGETTO :			
- equidistanza bulloni da piattabanda tesa ($m_{x0} = m_{z0}$)			
- numero minimo bulloni / fila interni = 2			
COLONNA	distanza bull.-raccordo	(m_c)	cm 4,21
	distanza bull.-bordo est.	(e_c)	cm 5,00
	distanza anima-raccor.	(d_c)	cm 1,44
TRAVE DI DESTRA	larghezza flangia	(l_{fb1})	cm 22
	distanza bull.-raccordo	(m_{b1})	cm 5,12
	distanza bull.-raccordo	($m_{x,b1} = m_{z,b1}$)	cm 4,17
	distanza bull.-bordo est.	(e_{b1})	cm 5,00
	distanza bull.-bordo est.	($e_{x,b1}$)	cm 5,00
	dist. min. bull.-bordo est.	($e_{min} = \eta_{b1}$)	cm 5,00
passo bull.	12 cm	n° max. bull./fila interni	($\eta_{l,b1}$) n° 3
	12,00 cm	braccio di leva	(z_{b1}) cm 34,73
		larghezza flangia	(l_{fb2}) cm
TRAVE DI SINISTRA	distanza bull.-raccordo	(m_{b2})	cm 0,00
	distanza bull.-raccordo	($m_{x,b2} = m_{z,b2}$)	cm 0,00
	distanza bull.-bordo est.	(e_{b2})	cm 0,00
	distanza bull.-bordo est.	($e_{x,b2}$)	cm
passo bull.	cm	dist. min. bull.-bordo est.	($e_{min} = \eta_{b2}$) cm 0,00
	cm	n° max. bull./fila interni	($\eta_{l,b2}$) n°
		braccio di leva	(z_{b2}) cm 0,00
DATI PER CALCOLO	TRAVE DI DESTRA	(α_{b1})	cm 6,01
LUNGHEZZE EFFICACI	TRAVE DI SINISTRA	(α_{b2})	cm 0,00
		$\lambda_{1,b1} =$ 0,51 $\lambda_{2,b1} =$ 0,41	
		$\lambda_{1,b2} =$ 0,00 $\lambda_{2,b2} =$ 0,00	
BULLONI	diametro rondella	(d_w)	mm 37
SPESORE FLANGE	TRAVE DI DESTRA	$t_{r,b1}$	mm 20,00
	TRAVE DI SINISTRA	$t_{r,b2}$	mm
	CONTROPIATTO	t_{bp}	mm

Il giunto così definito viene rappresentato graficamente dal programma per un rapido controllo :



In nero sono rappresentati i bulloni che possono essere dichiarati attivi a trazione preliminarmente; in rosso i bulloni che sono chiamati a resistere al taglio. In fase iniziale sono dichiarati attivi a trazione solo le prime due file di bulloni



Considerando una flangia di larghezza pari a quella della piattabanda della colonna (220 mm) e di spessore 20 mm, in lega di alluminio EN AW-5049-H14, con fattore di riduzione della resistenza per la zona HAZ pari a $\rho_{u,haz} = 0,79$ e bulloni M20 10.9 con diametro rondella di 37 mm vengono calcolate le larghezze efficaci per i bulloni singoli ed in gruppo e per due possibili distribuzioni delle zone plastiche (circolare e quadrilatera) con i seguenti risultati :

LUNGHEZZE EFFICACI DELLE FLANGE POSIZIONE FILA TAB. 6.6 - Item 6.2.6.5	FILA DI BULLONI SINGOLA				FILA DI BULLONI COME PARTE DI UN GRUPPO			
	DISTRIB. CIRCOLARE		DISTRIB. NON CIRCOLARE		DISTRIB. CIRCOLARE		DISTRIB. NON CIRCOLARE	
	$l_{eff,op}$ (cm)		$l_{eff,nc}$ (cm)		$l_{eff,op}$ (cm)		$l_{eff,nc}$ (cm)	
	Tr. DX	Tr. SX	Tr. DX	Tr. SX	Tr. DX	Tr. SX	Tr. DX	Tr. SX
esterno piattabanda tesa	26,20	0,00	22,93	0,00				
	25,10	0,00	16,47	0,00				
	27,10	0,00	11,00	0,00				
			17,47	0,00				
esterno piattabanda tesa	23,10	0,00	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1ª fila sotto la piattab. tesa	32,17	0,00	30,78	0,00	28,08	0,00	23,41	0,00
altre file orizz. interne	32,17	0,00	26,73	0,00	24,00	0,00	12,00	0,00
altre file di estremità	32,17	0,00	26,73	0,00	28,08	0,00	19,37	0,00
modo di collasso 1	$\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ ma $l_{eff,1} < l_{eff,op}$		11,00	0,00	$\Sigma l_{eff,1} = \Sigma l_{eff,nc} < \Sigma l_{eff,op}$		23,41	0,00
modo di collasso 2	$\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,nc}$		11,00	0,00	$\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc}$		23,41	0,00

Vengono quindi eseguite le verifiche di resistenza per i 4 modi di collasso previsti dalla norma ricercando il valore minimo della forza resistente confrontata con la sollecitazione effettiva sulla singola fila di bulloni e sul gruppo di file dichiarato attivo. Per ciascun modo di collasso le forze resistenti sono date dalle seguenti espressioni :

Modo 1 :

$$F_{u,Rd} = \frac{2(M_{u,1})_w + 2(M_{u,1})_b}{m}$$

$$M_{u,1} = 0,25 \cdot t_f^2 \cdot \sum (l_{eff,i} \rho_{u,haz} f_u) \cdot \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{\gamma_{M1}} \quad (\text{if no weld in a section, set } \rho_{u,haz} = 1)$$

$(M_{u,1})_w$ è calcolato ponendo $\rho_{u,haz} < 1$

$(M_{u,1})_b$ è calcolato ponendo $\rho_{u,haz} = 1$

Modo 2a :

$$F_{u,Rd} = \frac{2M_{u,2} + n \sum B_o}{m + n}$$

$$M_{u,2} = 0,25 \cdot t_f^2 \cdot \sum (l_{eff,2} \rho_{u,haz} f_u) \cdot \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{\gamma_{M1}} \quad (\text{if no weld in a section, set } \rho_{u,haz} = 1)$$

$$n = e_{\min} \quad \text{but} \quad n \leq 1,25 m$$

$$\frac{1}{k} = \frac{f_o}{f_u} \left(1 + \psi \frac{f_u - f_o}{f_o} \right)$$

$$\psi = \frac{\epsilon_u - 1,5 \cdot \epsilon_o}{1,5 \cdot (\epsilon_u - \epsilon_o)}$$

$$\epsilon_o = \frac{f_o}{E}$$

ϵ_u = valore minimo garantito di deformazione ultima A_{50} (tab. 3.2a e tab. 3.2b)

$$B_o \text{ is the conventional bolt strength at elastic limit} = \begin{cases} \frac{0,9 \cdot f_y \cdot A_s}{\gamma_{M2}} & \text{for steel bolts} \\ \frac{0,6 \cdot f_o \cdot A_s}{\gamma_{M2}} & \text{for aluminium bolts} \end{cases}$$

nel caso in esame i bulloni sono in acciaio (steel bolts)

$$B_u = F_{t,Rd}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$

where $k_2 = 0,9$ for steel bolts,

Modo 2b :

$$F_{u,Rd} = \frac{2M_{o,2} + n \sum B_u}{m + n}$$

$$M_{o,2} = 0,25 \cdot t_f^2 \cdot \sum (l_{eff,2} \rho_{o,haz} f_o) \cdot \frac{1}{\gamma_{M1}} \quad (\text{if no weld in a section, set } \rho_{o,haz} = 1)$$

con gli stessi parametri del modo 2a

Modo 3 :

$$F_{u,Rd} = \sum B_u$$

I parametri geometrici sono indicati nella seguente figura :

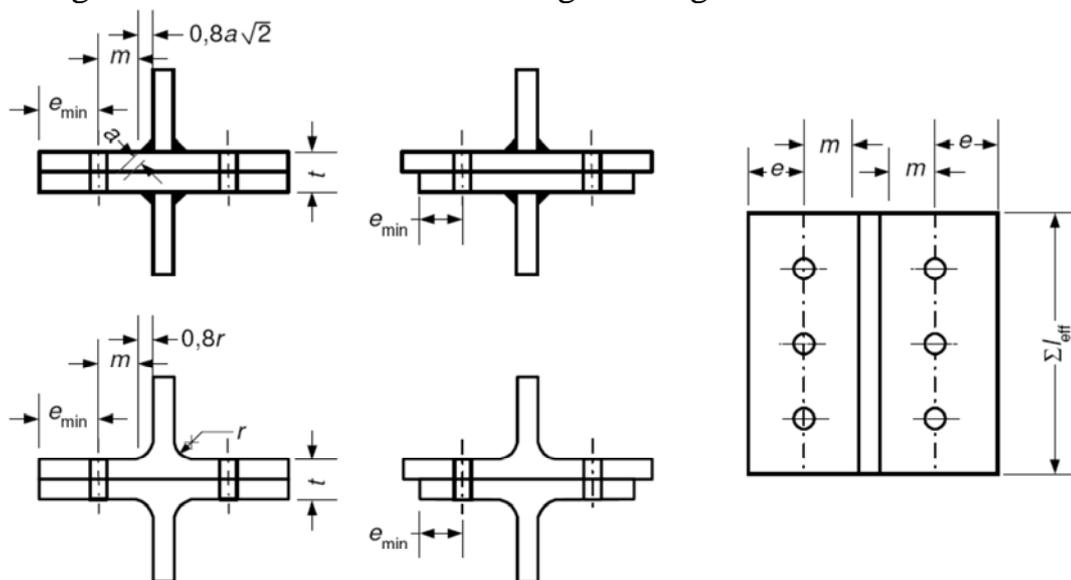


Figure B.3 - Dimensions of an equivalent T-stub.

In base alle espressioni sopra riportate il calcolo di verifica produce i seguenti risultati :

		file interne	$l_{eff,n} =$	28,73	0,00			
		RESISTENZA A TRAZIONE DEI BULLONI :			$F_{t,Rd,b} = 0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2} =$	176,43	kN	
RESISTENZA EFFETTIVA SINGOLA FILA		Trave di Destra		Trave di Sinistra				
	Tr. Destra	Tr. Sinistra	fila singola	gruppo file	fila singola	gruppo file		
	modo 1	modo 2	$F_{t,Ed} =$ kN	82,21	164,41	0,00	0,00	
	liv. 1	190,31	0,00	2	4	0	0	
	liv. 2	139,63	0,00	modo 1	190,31	329,94	0,00	0,00
	liv. 3	0,00	0,00	modo 2a	211,36	387,48	0,00	0,00
	liv. 4	0,00	0,00	modo 2b	214,36	391,04	0,00	0,00
				modo 3	352,86	705,73	0,00	0,00
MOMENTO RESISTENTE DEL GIUNTO		$M'_{j,Rd} =$	11731	kNcm	0	kNcm	limite resit. gruppo Dx	
resistenza del gruppo di bulloni limitata alla resistenza minima delle componenti nodali :			N				limite resit. gruppo Sx	

In cui si evidenzia che il modo di collasso primario è il modo 1 sia per la singola fila di bulloni che per il gruppo di file dichiarate attive a trazione.

Il momento resistente minimo del collegamento soddisfa ampiamente la verifica di resistenza essendo maggiore del momento flettente sollecitante :

$$M_{j,Rd} = 11731 \text{ kNcm} > M_{b1,Ed} = 5710 \text{ kNcm}$$

Ciò nonostante il giunto è a **parziale resistenza** poiché il momento resistente minimo del giunto risulta inferiore sia al momento resistente plastico della trave che al momento resistente plastico della colonna :

$$\text{per la trave : } M_{pl,Rd,b1} = 17594 \text{ kNcm}$$

$$\text{per la colonna : } M_{pl,Rd,c} = 14456 \text{ kNcm}$$

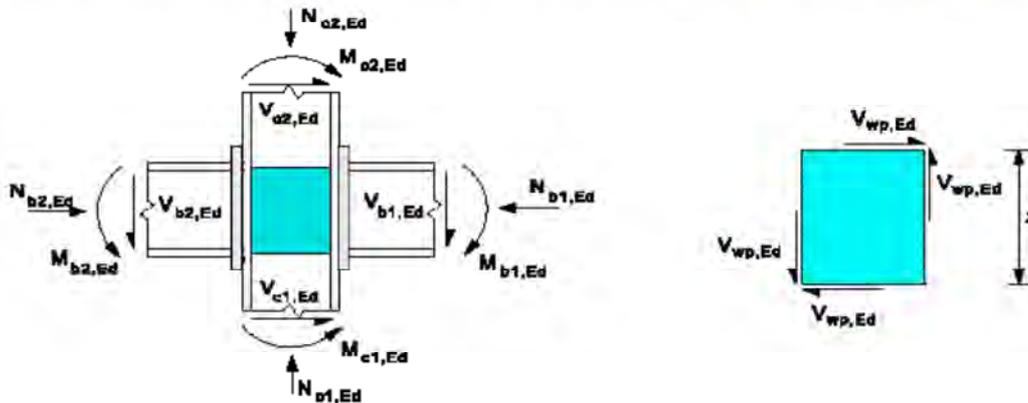
Si noti come viene imposto al programma di non limitare la resistenza dei bulloni in gruppo al valore minimo della resistenza delle “altre componenti nodali” (resistenza a taglio del pannello d’anima della colonna, resistenza a compressione dell’anima della colonna, resistenza a compressione della piattabanda della trave), ovvero, in base alla EN 1999-1-1, il calcolo del giunto finisce qui e non viene controllata l’interazione con le altre parti nodali.

A titolo informativo si riportano di seguito le verifiche di resistenza delle parti nodali che limiterebbero la resistenza del giunto.

1 – resistenza a taglio del pannello d’anima della colonna compreso tra due irrigidimenti (si trascurano le sollecitazioni trasmesse dalla parte superiore e inferiore della colonna):

RESISTENZA DI PROGETTO DEL COLLEGAMENTO TRAVE-COLONNA

anima della colonna soggetta a forza di taglio (item 6.2.6.1 EN 1993-1-8)



INPUT SOLLECITAZIONI ESTREMITA' COLONNA

PARTE INFERIORE COLONNA		PARTE SUPERIORE COLONNA	
$V_{c1,Ed}$	= 0 kN	$V_{c2,Ed}$	= kN
$M_{c1,Ed}$	= 0 kNcm	$M_{c2,Ed}$	= kNcm
$N_{c1,Ed}$	= kN	$N_{c2,Ed}$	= kN

$$V_{wp,Rd} \geq V_{wp,Ed}$$

braccio di leva : $z = 34,73$ cm
 $\rho_{0,haz} = 0,55$

FORZA DI TAGLIO AGENTE SUL PANNELLO D'ANIMA NON IRRIGIDITO :		$V_{wp,Ed} =$ kN	164
$V_{wp,Ed} = (M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed}) / z - (V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed}) / 2$	$d / t_w = 22$	$< 69 \cdot \epsilon = 65$	↕

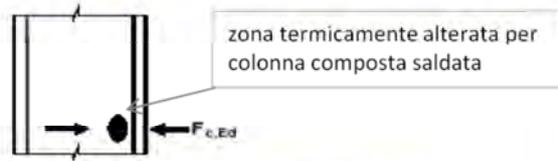
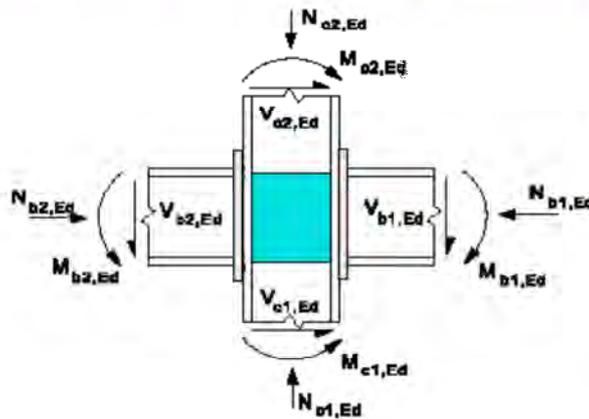
RESISTENZA DI PROGETTO A TAGLIO DEL PANNELLO D'ANIMA :		$V_{wp,Rd} =$ kN	125
pannello non irrigidito :		$V_{wp,Rd} =$ kN	106
$A_{vc} = [h_w - 2 \cdot (1 - \rho_{0,haz}) \cdot b_{haz}] \cdot t_w$	$b_{haz} =$ cm 9,40	$A_{vc} =$ 7,24 cm^2	
irrigidimenti trasversali :		$V_{wp,Rd} =$ kN	125
$V_{wp,add,Rd} = 4 \cdot M_{pl,fc,Rd} / d_s < (2 \cdot M_{pl,fc,Rd} + 2 \cdot M_{pl,st,Rd}) / d_s$		$V_{wp,add,Rd} =$ kN	18
$M_{pl,fc,Rd} = 169$ kNcm	momento resistente plastico di progetto della piattabanda della colonna		
$M_{pl,st,Rd} = 148$ kNcm	momento resistente plastico di progetto degli irrigidimenti dell'anima		
$d_s = 34,73$ cm	distanza tra gli assi degli irrigidimenti		

La resistenza di progetto a taglio del pannello d'anima della colonna, irrigidito da piatti trasversali saldati, è calcolata nella zona HAZ essendo il pannello contornato da saldature MIG. Il fattore di riduzione della resistenza del materiale nella zona HAZ è $\rho_{0,haz} = 0,55$. Il criterio è ricavato dalla norma EN 1993-1-8 poiché non trattato nella norma EN 1999-1-1. Come evidenziato dal foglio di calcolo la verifica non risulta soddisfatta.

2 – resistenza a compressione dell'anima della colonna :

RESISTENZA DI PROGETTO DEL COLLEGAMENTO TRAVE-COLONNA

anima della colonna in compressione trasversale (item 6.2.6.2 EN 1993-1-8)



CARATTERISTICHE DELLA COLONNA :

A_c = Area della sezione
 W_{wc} = modulo di resistenza di progetto riferito al piede del raccordo anima-piattabanda

A_c =	64	cm ²
W_{wc} =	568	cm ³
$\sigma_{com,Ed}$ =	0,000	kN/cm ²
$\rho_{o,haz}$ =	1,00	per verifica di stabilità anima
$\rho_{o,haz}$ =	0,55	per verifica di resistenza locale

PARTE INFERIORE COLONNA		PARTE SUPERIORE COLONNA			
$V_{c1,Ed}$ =	0	kN	$V_{c2,Ed}$ =	0	kN
$M_{c1,Ed}$ =	0	kNcm	$M_{c2,Ed}$ =	0	kNcm
$N_{c1,Ed}$ =	0	kN	$N_{c2,Ed}$ =	0	kN

$$F_{c,wc,Rd} \geq F_{c,wc,Ed}$$

$$F_{c,wc,Ed,b1} = 164,41 \text{ kN}$$

$$F_{c,wc,Ed,b2} = 0,00 \text{ kN}$$

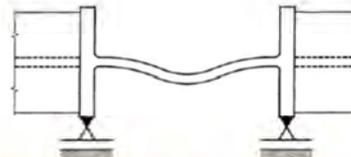
FORZA DI COMPRESSIONE AGENTE SUL PANNELLO D'ANIMA NON IRRIGIDITO :	$F_{c,wc,Ed} =$ kN	164
$F_{c,wc,Ed}$ = Forza massima trasmessa dalle piattabande delle travi collegate		

RESISTENZA DI PROGETTO A COMPRESSIONE DEL PANNELLO D'ANIMA :	$F_{c,wc,Rd} =$ kN	100
---	--------------------	-----

MOMENTO RESISTENTE DEL GIUNTO	$M_{j,Rd} =$ kNcm	3473
--------------------------------------	-------------------	------

pannello non irrigidito :	$F_{c,wc,Rd} = (\omega \cdot k_{wc} \cdot b_{eff,c,wc} \cdot t_{wc} \cdot \rho_{o,haz} \cdot f_{o,wc}) / \gamma_{M1}$	$F_{c,wc,Rd} =$ kN	82
con la seguente limitazione	$F_{c,wc,Rd} \leq (\omega \cdot k_{wc} \cdot \rho \cdot b_{eff,c,wc} \cdot t_{wc} \cdot \rho_{o,haz} \cdot f_{o,wc}) / \gamma_{M1} =$	131	kN

$\gamma_{M1} =$	1,1	coeff. parziale di sicurezza per l'instabilità
$b_{eff,c,wc} = t_{fb} + 2 \cdot 2^{0,5} \cdot a_p + 5 \cdot (t_{fc} + s) + s_p$	$b_{eff,c,wc} =$	21,17 cm
$\omega_1 = 0,39377$	$\omega_{b1} = 0,39377$	$\omega = 0,39377$
$\omega_2 = 0,209439$	$\omega_{b2} = 1$	
$k_{wc} =$	1	$\rho = 0,883688$
$\lambda_p =$	0,872106	



irrigidimenti trasversali :	$F_{c,wc,Rd} = F_{c,wc,Rd,(non\ irrig.)} + F_{c,wc,add,Rd}$	$F_{c,wc,Rd} =$ kN	100
------------------------------------	---	--------------------	-----

$F_{c,wc,add,Rd} = 4 \cdot M_{pl,fc,Rd} / d_s < (2 \cdot M_{pl,fc,Rd} + 2 \cdot M_{pl,st,Rd}) / d_s$	$F_{c,wc,add,Rd} =$ kN	18
--	------------------------	----

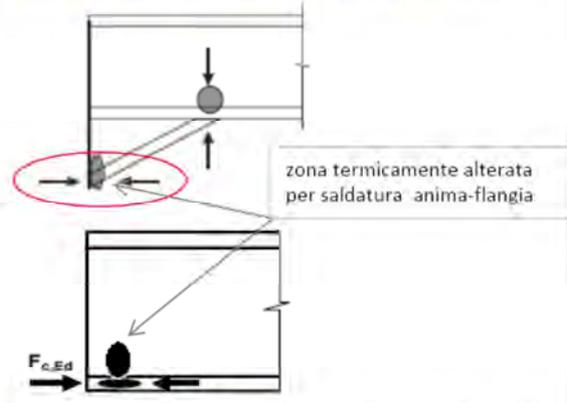
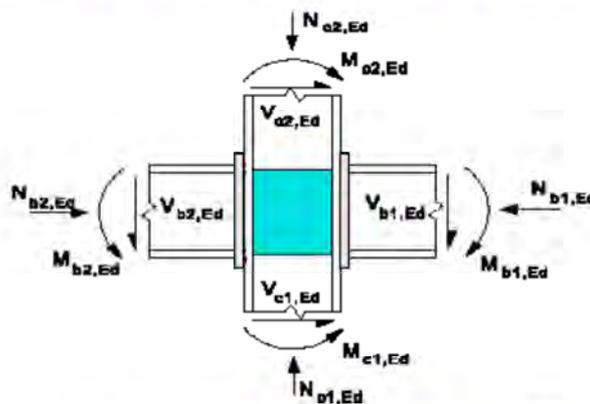
$M_{pl,fc,Rd} =$	169 kNcm	momento resistente plastico di progetto della piattabanda della colonna
$M_{pl,st,Rd} =$	148 kNcm	momento resistente plastico di progetto degli irrigidimenti dell'anima
$d_s =$	34,73 cm	distanza tra gli assi degli irrigidimenti
$\rho =$	1	$M_{j,Rd} =$ 3473

La verifica è eseguita nei confronti della stabilità dell'anima della colonna soggetta a compressione trasmessa dalla piattabanda inferiore della trave. In questo caso, assumendo uguale a 1 il fattore di riduzione delle zone HAZ, la verifica, eseguita in conformità alla norma EN 1993-1-8, non risulta soddisfatta.

3 – resistenza a compressione della piattabanda della trave

RESISTENZA DI PROGETTO DEL COLLEGAMENTO TRAVE-COLONNA

anima e piattabanda delle travi in compressione (item 6.2.6.7 EN 1993-1-8)



CERNIERA PLASTICA ? (Y,N) trave di destra : N $F_{c,Rd,bi} \geq F_{c,Ed,bi}$ $\rho_{o,haz} = 0,53$
trave di sinistra : N $\rho_{o,haz} = 0,53$

FORZA MASSIMA NELLA ZONA COMPRESSA :	trave di destra : $F_{c,Ed,b1} =$ kN 164
	trave di sinistra : $F_{c,Ed,b2} =$ kN 0

RESISTENZA DI PROGETTO PER LA ZONA COMPRESSA :	trave di destra : $F_{c,Rd,b1} =$ kN 367
$F_{c,Rd,bi} = M_{c,Rd,bi} / (h_i - t_{fb,i}) :$	trave di sinistra ; $F_{c,Rd,b2} =$ kN 0

$M_{c,v,Rd,bi} = [W_{pl} - \rho \cdot A_w^2 / 4 \cdot t_w] \cdot f_o / \gamma_{M1} \leq M_{c,Rd,bi} = W_{pl,bi} \cdot f_o,bi / \gamma_{M1}$	trave di destra : kNcm 12738
	trave si sinistra : kNcm 0
$\rho_{bi} = [2 \cdot V_{bi,Ed} / V_{pl,Rd,bi} - 1]^2$	trave di destra : kN 1,255
	trave si sinistra : kN 0,000
$V_{pl,Rd,bi} = A_{v,bi} \cdot (f_o,bi / 3^{0,5}) / \gamma_{M1}$ VEd > 50% Vpl,Rd	trave di destra : kN 141
	trave si sinistra : kN 0
altezza trave di destra < 600 mm - item 6.2.6.7(1) $\alpha_d = 1,00$	
altezza trave di sinistra < 600 mm - item 6.2.6.7(1) $\alpha_s = 1,00$	
$A_{v,b1} = [h_w - 2 \cdot (1 - \rho_{o,haz}) \cdot b_{naz}] \cdot t_w$ $b_{naz} =$ cm 16,73	trave di destra : cm ² 14
$A_{v,b2} = [h_w - 2 \cdot (1 - \rho_{o,haz}) \cdot b_{naz}] \cdot t_w$ $b_{naz} =$ cm 0,00	trave si sinistra : cm ² 0
$W_{pl,b1} =$ max h 1019 cm³ min h 1019 cm³	$M_{pl,Rd,b1} =$ max h 17594 kNcm min h 17594 kNcm
$W_{pl,b2} =$ max h 0 cm³ min h 0 cm³	$M_{pl,Rd,b2} =$ max h 0 kNcm min h 0 kNcm

La resistenza è valutata nella zona HAZ della trave e il fattore di riduzione della resistenza caratteristica del materiale vale $\rho_{o,haz} = 0,53$. In questo caso la verifica, eseguita in base ai criteri della norma EN 1993-1-8, risulta soddisfatta.

Per tener conto della resistenza del nodo nel suo complesso considerando l'interazione tra le parti che lo compongono, è necessario aumentare l'altezza della trave in corrispondenza della flangia. La verifica completa del nodo, anche come parte di struttura dissipativa a bassa duttilità, è esposta nella parte 2 dell'articolo.