Report di validazione

Programma «Giunto di base colonna» – versione con irrigiditori sagomati, relazione PDF e disegno DXF · 19/10/2026

1. Scopo e metodo

Il report documenta il confronto del motore di calcolo del programma con casi pubblicati in letteratura e in benchmark di software commerciali, basati sul metodo delle componenti di UNI EN 1993-1-8 §6.2.5, §6.2.6 e §6.2.8 per le basi delle colonne. Per ogni caso sono stati riprodotti i dati di input del riferimento: geometria, materiali e coefficienti parziali. Dove il riferimento adotta un valore particolare (γ_{M0} = 1,0, f_{jd} assegnato, f_{ub} = 830 MPa, profilo britannico), lo si è imposto al motore. Si è usata una funzione di sovrascrittura interna, non visibile nell'interfaccia e attiva solo in validazione. Così il confronto riguarda il modello di calcolo e non le scelte di input.

Sono confrontate le grandezze intermedie: c, area efficace, resistenze $F_{c,pl,Rd}$, $F_{c,fb,Rd}$, m, l_{eff}, $F_{T,1-2,Rd}$, $F_{T,3,Rd}$ e bracci. Quando il riferimento lo riporta, si confronta anche il momento resistente $M_{j,Rd}$. Lo scarto è Δ = valore programma / valore di riferimento − 1. Colori: **verde** per |Δ| ≤ 1%, **arancio** per 1–5%, **rosso** oltre il 5%. Ogni scarto rosso è spiegato nel testo. La colonna «versione prec.» riporta il risultato del programma caricato prima delle modifiche.

I calcoli sono stati eseguiti estraendo dal file HTML lo stesso codice JavaScript usato dall'interfaccia (Node.js 22). Le verifiche degli irrigiditori sono state ricalcolate in modo indipendente in Python.

2. Riepilogo

Caso	Riferimento	Grandezze confrontate	Esito
A	SCIA Engineer – Benchmark 50 (EC-EN 1993): HEB 240	15	tutte entro ±0,1% (incluso $M_{j,Rd}$ = 96,2 kNm con Tab. 6.7)
B	F. Wald – JRC Eurocodes Workshop, es. 2: HE 200 B	10	8 entro ±0,1%; 2 scarti spiegati (m = 60 mm nel riferimento; braccio della compressione)
C	Structville – piastra a momento: UKC 254×254×132	11	tutte entro ±0,3%
D	Structures Centre – UKC 305×305×118	9	8 entro ±0,3%; 1 errore aritmetico del riferimento
E	Irrigiditori: ricalcolo indipendente (Python)	4 configurazioni × 2 lati	σ_{id} entro 0,5%; χ, σ_{bordo}, sezione critica coincidenti
F	Curva di instabilità c (EN 1993-1-1 §6.3.1)	7 snellezze	coincidenti con i valori tabellati

Risultato principale. Il confronto ha messo in luce un errore nella versione precedente del programma. La lunghezza efficace del T-stub teso di una fila di tirafondi era calcolata come min(B; n_b·min(2πm; 4m + 1,25e)). Nei quattro casi di riferimento il valore risultava esattamente doppio di quello di letteratura (0,5·b_p), con $F_{T,1-2,Rd}$ sovrastimata del 90–100%. La formula è stata corretta secondo EN 1993-1-8 Tab. 6.6 (fila esterna all'ala), nella forma usata da Wald et al., da SCIA e dagli esempi britannici. Dopo la correzione tutti i casi coincidono.

3. Confronti con la letteratura

Caso A – SCIA Engineer, Benchmark 50 (EC-EN 1993)

Dati. HEB 240 S235; piastra 440 (direzione M) × 330 × 20 mm; 2+2 tirafondi M20 8.8 a 170 mm dall'asse (f_{ub} = 830 MPa e A_s = 220 mm² come nel benchmark), cordoni a = 8 mm; C16/20 con f_j = 20,642 MPa; γ_{M0} = 1,0, γ_{M2} = 1,25; N = 200 kN di compressione, M = 50 kNm (e = 250 mm).

Grandezza	Riferimento	Programma	Δ	Versione prec.
m (bracci T-stub)	40,90 mm	40,95 mm	**+0,1%**	
l_{eff} T-stub teso	165,0 mm	165,0 mm	**+0,0%**	330,0
$F_{T,1-2,Rd}$	189,4 kN	189,4 kN	**-0,0%**	360,7
$F_{T,3,Rd}$ (2 tirafondi)	263,0 kN	262,9 kN	**-0,0%**	

Grandezza	Riferimento	Programma	Δ	Versione prec.
$F_{T,Rd}$	189,4 kN	189,4 kN	**-0,0%**	282,2
c	39,00 mm	38,96 mm	**-0,1%**	
b_{eff}	94,90 mm	94,92 mm	**+0,0%**	
l_{eff} compresso (SCIA 318 (il benchmark riporta 330, segnalato errato))	318,0 mm	317,9 mm	**-0,0%**	
A_{eff}	30 180 mm²	30 178 mm²	**-0,0%**	
$F_{c,pl,Rd}$	622,9 kN	622,9 kN	**+0,0%**	
$M_{c,Rd}$ colonna	247,5 kNm	247,5 kNm	**-0,0%**	
$F_{c,fb,Rd}$	1 109,7 kN	1 109,8 kN	**+0,0%**	
z_T	170,0 mm	170,0 mm	**+0,0%**	
z_C	111,5 mm	111,5 mm	**+0,0%**	
$M_{j,Rd}$ (Tab. 6.7, e = 250 mm)	96,20 kNm	96,23 kNm	**+0,0%**	

Schemi per tirafondo calcolati dal programma: 2πm = 257; 4m+1,25e_x = 226; πm+2e = 269; e+2m+0,625e_x = 183; πm+w = 319; 0,5w+2m+0,625e_x = 208 mm; governa 0,5·B.

Commento. Coincidenza completa, compreso il momento resistente secondo la Tab. 6.7 a eccentricità costante (funzione aggiunta in questa versione). Per l_{eff} del T-stub compresso il benchmark scrive 330 mm, ma nel calcolo usa 318 mm = b_c + 2c. Il commento SCIA lo segnala come refuso; il programma restituisce 318 mm. La versione precedente forniva l_{eff} = 330 mm e $F_{T,Rd}$ = 282 kN, invece di 189 kN.

Caso B – F. Wald, JRC Eurocodes Steel Workshop, esempio 2

Dati. HE 200 B S235; piastra 420 × 420 × 30 mm; 2+2 tirafondi M24 (f_{ub} = 360 MPa) a r_t = 160 mm, w = 240 mm, e = 90 mm; cordoni a = 6 mm; f_{jd} = 24,0 MPa (come nel riferimento); γ_{M0} = 1,0; N = 500 kN.

Grandezza	Riferimento	Programma	Δ	Versione prec.
c	54,20 mm	54,20 mm	**-0,0%**	
b_{eff} (t_f + 2c)	123,4 mm	123,4 mm	**-0,0%**	
m	53,20 mm	53,21 mm	**+0,0%**	
l_{eff} T-stub (0,5·b_p)	210,0 mm	210,0 mm	**+0,0%**	420,0
$F_{T,3,Rd}$ = 2 $F_{t,Rd}$	183,0 kN	183,0 kN	**-0,0%**	
$F_{T,1\text{-}2,Rd}$ (il riferimento usa m = 60 mm invece di 53,2)	370,0 kN	417,3 kN	**+12,8%**	794,9
$F_{T,Rd}$	183,0 kN	183,0 kN	**-0,0%**	406,7
r_t	160,0 mm	160,0 mm	**+0,0%**	
r_c (baricentro ala)	92,50 mm	92,50 mm	**+0,0%**	
M_{Rd} con N = 500 kN (riferimento con braccio 108,1 mm dell'area strettamente necessaria; EN Tab. 6.7 usa z_C = 92,5 mm)	103,1 kNm	92,5 kNm	**-10,3%**	116,3

Schemi per tirafondo calcolati dal programma: 2πm = 334; 4m+1,25e_x = 275; πm+2e = 347; e+2m+0,625e_x = 228; πm+w = 407; 0,5w+2m+0,625e_x = 258 mm; governa 0,5·B.

Commento. Due scarti sono spiegati da scelte del riferimento:

• **$F_{T,1\text{-}2,Rd}$ (+12,8%).** Il riferimento definisce m = 53,2 mm ma nella formula usa 60 mm. Con m = 60 mm il programma darebbe 2·0,25·210·30²·235/60 = 370,1 kN, coincidente. La resistenza della fila è comunque governata dai tirafondi (183 kN), con scarto nullo.

• **M_{Rd} (−10,3%).** Il riferimento usa un blocco compresso ridotto all'area strettamente necessaria (b_{eff} = 92,3 mm), con braccio 108,1 mm. Il programma applica la Tab. 6.7 di EN 1993-1-8, con la compressione al baricentro dell'ala (r_c = 92,5 mm, valore riportato dallo stesso riferimento). Con il braccio di 108,1 mm il programma darebbe 183·0,160 + 683·0,1081 = 103,1 kNm, coincidente. Lo scarto è quindi un margine di sicurezza del modello normativo, non un errore.

Caso C – Structville, «Design of moment-resisting column base plates»

Dati. UKC 254×254×132 (S355, f_y = 345 MPa); piastra 500 × 500 × 50 S275 (f_y = 255 MPa); 3+3 M24 8.8, p = 190 mm, e = 60 mm, m_x = 52 mm; f_{jd} = 17 MPa; γ_{M0} = 1,0.

Grandezza	Riferimento	Programma	Δ	Versione prec.
c	112,0 mm	111,8 mm	**-0,2%**	
b_{eff}	249,3 mm	248,9 mm	**-0,2%**	
l_{eff} compresso	485,3 mm	484,9 mm	**-0,1%**	
A_{eff}	120 985 mm²	120 697 mm²	**-0,2%**	
$F_{c,pl,Rd}$	2 057,0 kN	2 051,8 kN	**-0,3%**	
$M_{c,Rd}$ colonna	645,0 kNm	645,1 kNm	**+0,0%**	
$F_{c,fc,Rd}$	2 569,4 kN	2 570,3 kN	**+0,0%**	
$l_{eff,1}$ T-stub	250,0 mm	250,0 mm	**+0,0%**	500,0
$M_{pl,1,Rd}$	39,84 kNm	39,84 kNm	**+0,0%**	
$F_{T,1-2,Rd}$	1 532,3 kN	1 536,9 kN	**+0,3%**	2 927,4
$F_{T,3,Rd}$	609,0 kN	610,0 kN	**+0,2%**	

Schemi per tirafondo calcolati dal programma: 2πm = 326; 4m+1,25e_x = 282; πm+2e = 283; e+2m+0,625e_x = 201; πm+w = 353; 0,5w+2m+0,625e_x = 236 mm; governa 0,5·B.

Commento. Per la fila di 3 tirafondi il riferimento calcola gli schemi individuali come 1,5 × il valore per tirafondo (424,5 = 1,5·283; 490 = 1,5·2π·52) e il limite 0,5·b_p = 250 mm. È la stessa generalizzazione adottata nel programma: l_{eff} = ½·min(B; n_b·min schemi). Gli scarti di 0,2–0,3% su c e A_{eff} derivano dall'arrotondamento c = 112 mm del riferimento.

Caso D – Structures Centre, «Design of moment resisting column base plate»

Dati. UKC 305×305×118 (f_y = 345 MPa); piastra 600 × 600 × 50 S275; 4+4 M24 8.8; m_x = 60 mm; f_{jd} = 17 MPa; γ_{M0} = 1,0.

Grandezza	Riferimento	Programma	Δ	Versione prec.
c	112,0 mm	111,8 mm	**-0,2%**	
b_{eff}	243,0 mm	242,3 mm	**-0,3%**	
l_{eff} compresso	531,0 mm	531,0 mm	**+0,0%**	
$F_{c,fc,Rd}$	2 286,0 kN	2 286,0 kN	**+0,0%**	
$F_{c,pl,Rd}$ (valore del riferimento non coerente con f_{jd}·A_{eff} = 17·243·531 = 2193 kN)	2 924,8 kN	2 187,3 kN	**-25,2%**	
m_x	60,00 mm	60,00 mm	**+0,0%**	
$l_{eff,1}$ (0,5·b_p)	300,0 mm	300,0 mm	**+0,0%**	600,0
$F_{T,1-2,Rd}$	1 594,0 kN	1 593,8 kN	**-0,0%**	3 035,7
$F_{T,3,Rd}$ (4 tirafondi)	812,0 kN	813,3 kN	**+0,2%**	

Schemi per tirafondo calcolati dal programma: 2πm = 377; 4m+1,25e_x = 334; πm+2e = 338; e+2m+0,625e_x = 242; πm+w = 338; 0,5w+2m+0,625e_x = 242 mm; governa 0,5·B.

Commento. Unico scarto: $F_{c,pl,Rd}$. Il valore del riferimento (2924,8 kN) non è coerente con i suoi stessi dati, perché f_{jd}·b_{eff}·l_{eff} = 17·243·531 = 2193 kN. Il programma restituisce 2187 kN (scarto −0,3% rispetto al valore ricalcolato). La resistenza del lato compresso è comunque governata da $F_{c,fc,Rd}$ = 2286 kN, con scarto nullo.

4. Momento resistente a eccentricità costante (Tab. 6.7)

La versione precedente calcolava solo $M_{j,Rd}$ per N_{Ed} costante. Le espressioni della Tab. 6.7 di EN 1993-1-8 presuppongono invece un carico proporzionale a eccentricità costante. Il programma ora calcola entrambe le grandezze e il dominio M–N completo. La verifica resta condotta, a favore di sicurezza, con N_{Ed} costante; il valore della Tab. 6.7 è riportato in relazione. Nel caso A la formula di Tab. 6.7, min[F_T·z/(z_C/e + 1); −F_C·z/(z_T/e − 1)] con e = −250 mm, applicata alle componenti del programma, dà 96,23 kNm. Il risultato coincide con quello della ricerca iterativa sul dominio e con il benchmark (96,2 kNm).

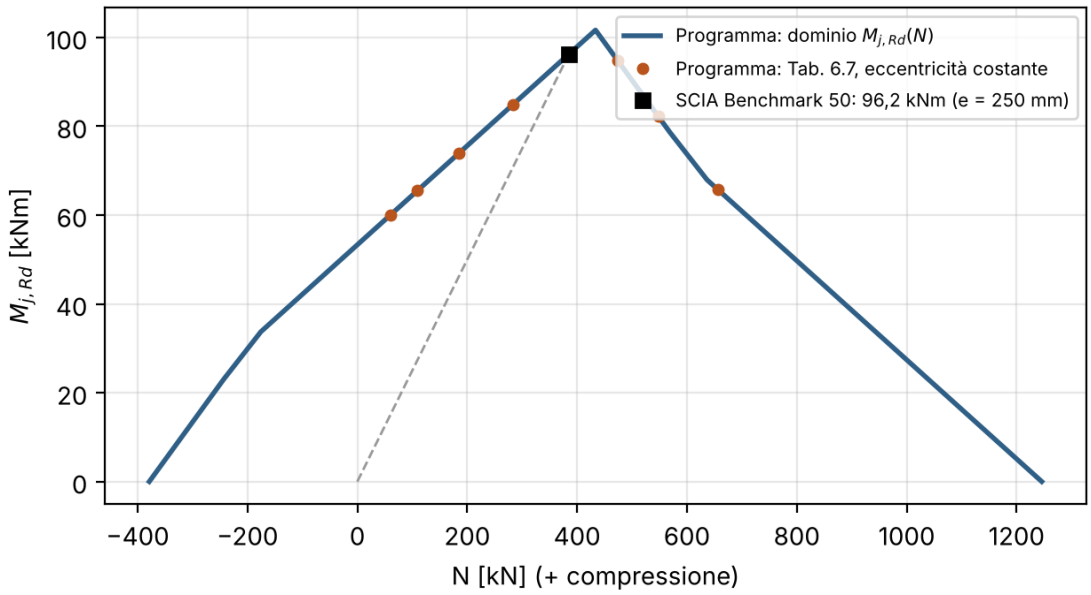

Fig. 1 – Caso A: dominio di resistenza del programma, punti a eccentricità costante e valore del benchmark SCIA.

5. Irrigiditori: verifica indipendente

Non sono stati trovati in letteratura esempi numerici di costole trapezie su piastre di base calcolati con lo stesso schema. Le nuove verifiche degli irrigiditori sono state quindi ricalcolate da zero in Python. Il ricalcolo usa lo stesso modello meccanico con una discretizzazione diversa: 4000 sezioni invece di 80, con il controllo dei salti di taglio in corrispondenza dei carichi concentrati. Il modello prevede:

- mensola a T costituita da costola e piastra collaborante (b_{pl} = min(B/n; t_s + 2c)), con altezza variabile linearmente da h_s a h_e e sezione d'attacco a x = s (smusso);
- lato compresso: pressione ripartita sulla striscia efficace; lato teso: forze concentrate delle file di tirafondi;
- $\sigma_{id} = \sqrt{(\sigma^2 + 3\tau^2)}$ nella sezione critica; instabilità del bordo libero compresso come puntone di spessore t_s, con $l_0 = 0{,}7 \cdot L_{bordo}$ e curva c;
- saldature: costola–ala con V e quota di momento $M \cdot I_{costola}/I$; costola–piastra con il flusso $q = V \cdot S/I$.

Configurazione	Lato	σ_{id} prog. [MPa]	σ_{id} Python	Δ	x_{crit} [mm]	χ prog. / Python	σ_{bordo} prog. / Python
HEA 260, 3 costole 12×150/50, L = 105	compresso	71,31	71,36	**-0,1%**	54 / 54	0,9581 / 0,9581	33,73 / 33,73
HEA 260, 3 costole 12×150/50, L = 105	teso	176,37	176,37	**+0,0 %**	50 / 50	0,9581 / 0,9581	51,44 / 51,44
costole 10×120/80, L = 80, s = 20	compresso	87,08	87,18	**-0,1%**	54 / 54	1,0000 / 1,0000	50,34 / 50,34
costole 10×120/80, L = 80, s = 20	teso	223,05	223,05	**-0,0%**	50 / 50	1,0000 / 1,0000	72,45 / 72,45
N = 600 kN, M = 90 kNm, h_e = 40	compresso	92,85	93,28	**-0,5%**	54 / 54	0,9462 / 0,9462	42,68 / 42,68
N = 600 kN, M = 90 kNm, h_e = 40	teso	8,40	8,40	**+0,0 %**	50 / 50	0,9462 / 0,9462	2,54 / 2,54
1 costola 15×200/60	compresso	56,67	56,72	**-0,1%**	54 / 54	0,9583 / 0,9583	22,38 / 22,38
1 costola 15×200/60	teso	344,94	344,94	**+0,0 %**	50 / 50	0,9583 / 0,9583	83,41 / 83,41

Gli scarti su σ_{id} (≤ 0,5%) derivano dalla discretizzazione del programma in 80 sezioni, con il carico ripartito. Sono trascurabili e restano sul lato non cautelativo di pochi decimi di MPa. Il coefficiente χ è stato verificato anche sui valori tabellati della curva c (EN 1993-1-1 Tab. 6.1 e Fig. 6.4): per $\bar{\lambda}$ = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,5 si ottengono 1,000; 0,897; 0,785; 0,662; 0,540; 0,434; 0,315, coincidenti

alla quarta cifra.

Limiti del modello degli irrigiditori. Il modello a mensola con piastra collaborante è una schematizzazione tecnica e non una formulazione esplicita di EN 1993-1-8, che non tratta le costole delle piastre di base. È coerente con la prassi progettuale (verifica della sezione a T e del bordo libero). L'irrigidimento offerto dalle costole al T-stub teso è trascurato, a favore di sicurezza. La lunghezza libera $l_0 = 0{,}7 \cdot L_{bordo}$ e la curva c sono assunzioni del progettista, modificabili nel codice.

6. Impatto della correzione del T-stub su casi tipici

Caso	$F_{T,1\text{-}2,Rd}$ prec. → nuovo [kN]	$F_{T,Rd}$ prec. → nuovo [kN]	$M_{j,Rd}$ prec. → nuovo [kNm]	η T-stub prec. → nuovo	tirafondi (autoprog.)
Esempio HEA 260 (manuale)	957 → 479	496 → 479	161,6 → 156,6	0,42 → 0,85	3×M27 → 3×M27
HEA 260, autoprogetto	862 → 431	496 → 431	161,6 → 142,6	0,47 → 0,94	3×M27 → 3×M27
HEB 300, M 250 kNm, autoprogetto	1 041 → 542	661 → 542	267,2 → 229,3	0,59 → 1,11	4×M27 → 4×M42
IPE 400, 2 file, M 200	1 710 → 761	735 → 605	334,1 → 315,0	0,47 → 0,60	2×M30 → 2×M30

La resistenza della piastra a flessione lato teso si dimezza. Dove la fila era già governata dai tirafondi (modo 3), il momento resistente cambia poco (−3/−12%). Nei casi in cui governa la piastra l'autoprogetto sceglie ora tirafondi e piastre più grandi: per esempio HEB 300 con M = 250 kNm passa da M27 a M42 con piastra 550 × 470 mm. I giunti progettati con la versione precedente andrebbero ricontrollati.

7. Controllo degli elaborati generati

Relazione PDF. È prodotta dal programma senza librerie esterne: font standard Helvetica e Symbol, figure rasterizzate in JPEG, flussi compressi FlateDecode. Il file di esempio (10 pagine, con indice e numerazione) supera il controllo sintattico di qpdf. Il testo è estraibile con pdftotext, con lettere greche, pedici e simboli (≤, √, →) resi correttamente.

DXF. Il file è in formato ASCII R12 (AC1009), in mm, in codifica ANSI_1252. Il file di esempio contiene 1428 LINE, 24 CIRCLE, 111 TEXT e 854 3DFACE su 20 layer. Un lettore indipendente in Python ne ha verificato la struttura (coppie codice/valore, sezioni, EOF) e ha ridisegnato tutte le entità:

- pianta quotata;
- sezioni A-A e B-B;
- assonometria con facce visibili;
- modello 3D a facce (3DFACE);
- distinta di taglio con pesi;
- sagome quotate di piastra, costole, nervature e tirafondi.

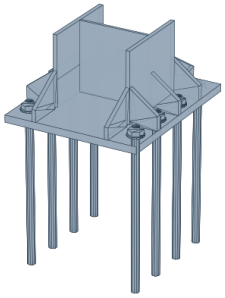

Fig. 2 – Modello 3D letto dal DXF (3DFACE) e ridisegnato in modo indipendente.

8. Conclusioni

Sui quattro casi di riferimento, dopo la correzione del T-stub teso, il motore riproduce i valori pubblicati entro ±0,3%. Fanno eccezione solo gli scarti attribuibili a incoerenze o a ipotesi diverse dei riferimenti, documentate sopra. In particolare il momento resistente del benchmark SCIA (96,2 kNm) è riprodotto esattamente. Le verifiche degli irrigiditori coincidono con un ricalcolo indipendente.

Restano a carico del progettista, come indicato in relazione:

- la verifica del cono di calcestruzzo e dello sfilamento dei tirafondi (UNI EN 1992-4);
- l'effetto leva con tirafondi corti;
- l'interazione biassiale, valutata con una regola lineare cautelativa;
- le assunzioni del modello delle costole.

Fonti

- SCIA Engineer – Benchmark 50: Column base connection (EC-EN 1993), help.scia.net/19.1/en/hba/benchmarks_en_1993/benchmark__ec_en_1993__50.htm
- F. Wald – «Bolts, welds, column base», JRC Eurocodes Steel Workshop, eurocodes.jrc.ec.europa.eu (06_Eurocodes_Steel_Workshop_WALD.pdf)
- Structville – «Design of moment-resisting column base plates», structville.com/2020/08/design-of-moment-resisting-column-base-plates.html
- Structures Centre – «Designing a moment resisting column base plate», structurescentre.com/design-of-moment-resisting-column-base-plate/
- F. Wald, Z. Sokol, J.-P. Jaspart – «Base plate in bending and anchor bolts in tension», HERON 53 (2008); Wald et al. «Component method for steel column bases», HERON 53 (2008)
- IDEA StatiCa – Verification example «Column base: open section column in bending to strong axis» (consultato per i dati di inquadramento)
- UNI EN 1993-1-8:2005 §6.2.5, §6.2.6.11, §6.2.8, Tab. 6.6 e 6.7; UNI EN 1993-1-1 §6.3.1; D.M. 17/01/2018; Circolare n. 7/2019