RAPPORTO DI VALIDAZIONE DEL SOFTWARE

Giunto trave–colonna flangiato – EN 1993-1-8 / NTC 2018

Versione validata: giunto-flangiato_4 (colonna di ultimo piano, rinforzi all'estradosso) · confronto con giunto-flangiato_3 · 30/10/2026

PROVE ESEGUITE	SUPERATE	NON SUPERATE
62	**62**	**0**

Esito complessivo: tutte le prove sono superate.

Riepilogo per gruppo

	Gruppo di prove	Prove	Superate	Esito
A	Non regressione rispetto alla versione precedente (colonna continua)	4	4	**SUPERATO**
B	Controllo con calcolo manuale indipendente – esempio di riferimento	11	11	**SUPERATO**
C	Colonna di ultimo piano che termina al nodo	15	15	**SUPERATO**
D	Rinforzo a T e costole all'estradosso	6	6	**SUPERATO**
E	Generazione degli elaborati	12	12	**SUPERATO**
F	Interfaccia e flusso completo nel browser (Chromium headless)	14	14	**SUPERATO**

Modifiche oggetto della validazione

- **Colonna continua / di ultimo piano.** Nuovo gruppo "Colonna al nodo": la colonna può terminare al nodo con la testa a quota c_t dal bordo superiore della flangia, con estremità libera o chiusa da una piastra di testa saldata (spessore e cordoni assegnabili).
- **Ala della colonna a flessione e anima tesa.** Le file più vicine alla testa usano le lunghezze efficaci d'estremità di EN 1993-1-8 Tab. 6.4 e 6.5 (singole e in gruppo, con e_1); la piastra di testa è trattata come irrigidimento (coefficiente α di Fig. 6.11); è gestita la fila d'estremità adiacente a una nervatura.
- **Anima compressa vicino alla testa** ($M < 0$): diffusione $b_{eff,c,wc}$ troncata in corrispondenza dell'estremità.
- **Verifiche aggiuntive:** distanza $e_{1,c}$ della fila dalla testa, rifollamento dell'ala colonna con $e_{1,c}$, file al di sopra della testa (errore), snellezza della piastra di testa, colonna all'attacco del nodo d'angolo ($M_{N,y,Rd}$).
- **Rinforzi all'estradosso.** Il rinforzo a T saldato può essere posto sopra l'ala superiore della trave; la sezione composta, i bracci, i cordoni, le nervature, le costole (fazzoletti) sulla sporgenza superiore, i disegni 2D, il modello 3D, il DXF, la distinta e la relazione sono generalizzati.
- Nuovo esempio "Esempio ultimo piano" (HEB 300 / IPE 400, T all'estradosso, costola superiore, piastra di testa).

Metodo

Il motore di calcolo è estratto dal file HTML ed eseguito in Node.js per le prove A–E; la prova F usa l'applicazione completa in Chromium headless. I calcoli manuali dei gruppi B, C e D sono scritti nello script di validazione in modo indipendente dalle funzioni del motore. Tolleranza numerica sui confronti: 10^{-9} relativo.

A Non regressione rispetto alla versione precedente (colonna continua)

Il motore modificato e la versione precedente (giunto-flangiato_3) sono eseguiti sugli stessi dati per un campione parametrico di configurazioni con colonna continua e rinforzo all'intradosso. Si confrontano M_j,Rd, V_j,Rd, S_j,ini, N_j,Rd, F_c,wc,Rd, V_wp,Rd, F_c,fb,Rd, le resistenze efficaci di tutte le file, il numero, l'esito e il coefficiente η di ogni verifica.

#	Prova	Esito	Valori / dettagli
A1	Campione parametrico: 114 configurazioni (5 coppie di profili × 19 varianti, autoprogetto e layout manuale)	✓ **OK**	114/114 identiche; scarto relativo massimo 0.0e+0
A2	Esempio di riferimento (HEA 220 / IPE 300, S275, 3 file M20 10.9, t_p = 20 mm): risultati invariati	✓ **OK**	M_j,Rd = 84.58 kNm (prec. 84.58); S_j,ini = 22314 kNm/rad (prec. 22314); V_j,Rd = 308.0 kN; η max = 0.946
A3	Distinta materiali invariata per colonna continua	✓ **OK**	peso 267.40 kg, 3 posizioni
A4	Modello solido 3D invariato per colonna continua	✓ **OK**	37 solidi

B Controllo con calcolo manuale indipendente – esempio di riferimento

Le grandezze principali dell'esempio di riferimento sono ricalcolate nello script di validazione con le formule di NTC 2018 e EN 1993-1-8, senza utilizzare le funzioni del motore (salvo il coefficiente α di Fig. 6.11, verificato a parte).

#	Prova	Esito	Valori / dettagli
B1	F_t,Rd = 0,9 f_tb A_res/γ_M2 NTC (4.2.68)	✓ **OK**	176.40 = 176.40 kN
B2	F_v,Rd = 0,5 f_tb A_res/γ_M2 (cl. 10.9) NTC (4.2.57)	✓ **OK**	98.00 = 98.00 kN
B3	B_p,Rd flangia = 0,6π d_m t_p f_u/γ_M2 NTC (4.2.70)	✓ **OK**	419.15 = 419.15 kN
B4	Parametri m, e del T-stub (ala colonna e flangia) EN 1993-1-8 Fig. 6.2	✓ **OK**	m_c = 32.10, e_c = 60.0, m_p = 41.92, e_p = 50.0 mm
B5	Ala colonna, fila 1: l_eff,cp = 2πm, l_eff,nc = 4m + 1,25e EN 1993-1-8 Tab. 6.4	✓ **OK**	l_cp = 201.7, l_nc = 203.4 mm
B6	Ala colonna, fila 1: F_T,Rd = min(modo 1, 2, 3) EN 1993-1-8 Tab. 6.2	✓ **OK**	F_T,1 = 199.1, F_T,2 = 240.6, F_T,3 = 352.8 → 199.1 kN (motore 199.1)
B7	Flangia, fila esterna: lunghezze efficaci della sporgenza EN 1993-1-8 Tab. 6.6	✓ **OK**	m_x = 43.21 mm; l_cp = 235.8, l_nc = 100.0 mm

#	Prova	Esito	Valori / dettagli
B8	$V_{wp,Rd} = 0{,}9\, f_y\, A_{vc}/(\sqrt{3}\,\gamma_{M0})$ EN 1993-1-8 (6.7)	✓ OK	A_{vc} = 2063 mm² → 280.8 kN
B9	$b_{eff,c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2}\,a_f + 5(t_{fc} + s) + s_p$ EN 1993-1-8 (6.11)	✓ OK	212.7 mm
B10	$M_{j,Rd} = \Sigma\, h_r\, F_{tr,Rd}$ e braccio della fila 1 EN 1993-1-8 (6.25)	✓ OK	h_1 = 344.65 mm; $M_{j,Rd}$ = 84.582 kNm
B11	Coefficiente α (Fig. 6.11): limiti $4{,}45 \le \alpha \le 8$, decrescente in λ_1 e λ_2, curva $\alpha = 2\pi$ EN 1993-1-8 Fig. 6.11	✓ OK	α sulla curva 2π: 6.287

C Colonna di ultimo piano che termina al nodo

Nuova funzionalità: la colonna può terminare all'altezza della trave (testa a quota c_t dal bordo superiore della flangia), con estremità libera o chiusa da piastra di testa. Si verificano le lunghezze efficaci delle file d'estremità (EN 1993-1-8 Tab. 6.4 e 6.5), la diffusione della compressione troncata, le verifiche aggiuntive e il comportamento limite.

#	Prova	Esito	Valori / dettagli
C1	Testa molto lontana (c_t = 3000 mm): risultati identici alla colonna continua convergenza	✓ OK	$M_{j,Rd}$ = 84.582 kNm
C2	Fila d'estremità, individuale: $l_{cp} = \min(2\pi m;\ \pi m + 2e_1)$, $l_{nc} = \min(4m + 1{,}25e;\ 2m + 0{,}625e + e_1)$ EN 1993-1-8 Tab. 6.4	✓ OK	e_1 = 50 mm: l_{cp} = 200.85 (motore 200.85), l_{nc} = 151.70 (motore 151.70) mm
C3	Gruppo file 1÷2 con fila d'estremità: Σl_{cp} e Σl_{nc} EN 1993-1-8 Tab. 6.4	✓ OK	Σl_{cp} = 422.25, Σl_{nc} = 262.40 mm (motore 422.25 / 262.40)
C4	Anima colonna tesa: $b_{eff,t,wc} = l_{eff}$ dell'ala d'estremità EN 1993-1-8 §6.2.6.3(3)	✓ OK	$b_{eff,t,wc}$ = 151.70 mm
C5	Piastra di testa: fila 1 adiacente a irrigidimento, $l_{cp} = 2\pi m$, $l_{nc} = \alpha m$ EN 1993-1-8 Tab. 6.5	✓ OK	m_2 = 43.21 mm, λ_1 = 0.349, λ_2 = 0.469 → α = 7.578; l_{nc} = 243.25 mm
C6	Fila tra estremità libera e nervatura: $l_{nc} = e_1 + \alpha m - (2m + 0{,}625e)$ EN 1993-1-8 Tab. 6.5 (end bolt-row adjacent to a stiffener)	✓ OK	α = 7.517; l_{nc} = 189.59 mm (motore 189.59)
C7	$M_{j,Rd}$ crescente con la distanza della testa e ≤ colonna continua	✓ OK	c_t = 0: 77.18; c_t = 20: 81.30; c_t = 50: 84.58; c_t = 100: 84.58; c_t = 200: 84.58; c_t = 400: 84.58 · continua 84.58 kNm
C8	Piastra di testa: $M_{j,Rd}$ ≥ estremità libera	✓ OK	84.58 ≥ 77.18 kNm

#	Prova	Esito	Valori / dettagli
C9	Esempio di riferimento con colonna terminale a filo flangia: non verificato (η > 1), con piastra di testa verificato	✓ OK	η max: libera 1.036, con piastra 0.946
C10	M < 0: b_eff,c,wc troncata dalla testa = b_eff/2 + d_E EN 1993-1-8 §6.2.6.2	✓ OK	b_eff = 212.7 mm, d_E = 105.35 mm → 211.69 mm (motore 211.69)
C11	File al di sopra della testa della colonna: segnalazione d'errore e giunto non verificato	✓ OK	Fila di bulloni al di sopra della testa della colonna (testa a -60,0 mm dal bordo superiore della flangia)
C12	Distanza della fila dalla testa $e_{1,c} < 1{,}2\,d_0$ → verifica non soddisfatta	✓ OK	$e_{1,c}$ = 20,0 mm, $1{,}2d_0$ = 26.4
C13	Rifollamento ala colonna: α_b include $e_{1,c}/(3d_0)$ NTC (4.2.61)	✓ OK	α_b = 0.7576 (motore 0.7576)
C14	Nodo d'angolo: M_N,y,Rd della colonna con N_Ed NTC (4.2.39)	✓ OK	n = 0.1781, a = 0.2473, M_pl = 148.76 → M_N,Rd = 139.51 kNm
C15	Autoprogetto con colonna di ultimo piano (4 casi) trova soluzioni verificate	✓ OK	HEB 240/IPE 330, M = 110: 3×2 M16, η = 0.92 HEB 300/IPE 400, M = 180: 3×2 M18, η = 0.92 HEA 280/IPE 360, M = 130: 3×2 M16, η = 0.92 HEB 360/IPE 500, M = 300: 3×2 M20, η = 0.95

D Rinforzo a T e costole all'estradosso

Nuova funzionalità: il rinforzo a T può essere saldato sopra l'ala superiore della trave. La verifica principale è di simmetria: un giunto simmetrico (flangia estesa sui due lati, file speculari) con T all'estradosso e momento −M deve fornire esattamente gli stessi risultati del T all'intradosso con momento +M.

#	Prova	Esito	Valori / dettagli
D1	Simmetria T intradosso (+M) ↔ T estradosso (−M), 4 configurazioni	✓ OK	M = 180: M_j,Rd 337.628 / 337.628, S_j,ini 101654 / 101654 ✓ M = 220 + stiffTop, stiffBot: M_j,Rd 351.831 / 351.831, S_j,ini 150313 / 150313 ✓ M = 160 + ribTop, ribBot: M_j,Rd 342.684 / 342.684, S_j,ini 101180 / 101180 ✓ M = 200 + stiffTop, stiffBot, diag, ew: M_j,Rd 437.184 / 437.184, S_j,ini 724325 / 724325 ✓
D2	Sezione composta con T all'estradosso: A, baricentro, I calcolo manuale	✓ OK	A = 10869 mm², y_G = 293.45 mm, I = 41872.5 cm⁴
D3	Geometria: flangia allungata di h_T e ala sup. trave abbassata di h_T	✓ OK	h_p = 700.0 mm; ala sup. trave a 260.0 mm dal bordo
D4	T all'estradosso con M > 0: ala del T tesa, verifica dei cordoni ala T–flangia attivata	✓ OK	Ala del T tesa (estradosso) $F_T \le A_{f,T}\, f_y/\gamma_{M0}$
D5	Il T all'estradosso dal lato teso aumenta il braccio e il momento resistente	✓ OK	autoprogetto: con T 223.6 kNm (3 file) – senza T 180.3 kNm (3 file)

#	Prova	Esito	Valori / dettagli
D6	Costola sulla sporgenza superiore (fazzoletto all'estradosso) con colonna di ultimo piano	✓ OK	Costola flangia: resistenza della sezione: η = 0.89 Costola flangia: cordoni su flangia: η = 1.00 Costola flangia: cordoni su ala trave: η = 0.50 Costola flangia: snellezza h_r/t_r ≤ 14ε: η = 0.31

E Generazione degli elaborati

Per ogni configurazione si generano relazione HTML, tavola SVG, DXF completo e relazione PDF (generatore interno, senza figure raster); si controlla l'assenza di eccezioni e di valori non numerici.

#	Prova	Esito	Valori / dettagli
E1	Esempio di riferimento: relazione, tavola e DXF	✓ OK	relazione 61 kB, tavola 48 kB, DXF 2775 entità (37 solidi 3D)
E2	Ultimo piano, estremità libera: relazione, tavola e DXF	✓ OK	relazione 63 kB, tavola 48 kB, DXF 2765 entità (37 solidi 3D)
E3	Ultimo piano + piastra + nervature: relazione, tavola e DXF	✓ OK	relazione 65 kB, tavola 49 kB, DXF 2948 entità (42 solidi 3D)
E4	T all'estradosso + costola, ultimo piano: relazione, tavola e DXF	✓ OK	relazione 81 kB, tavola 57 kB, DXF 3859 entità (55 solidi 3D)
E5	T all'intradosso, M < 0, ultimo piano: relazione, tavola e DXF	✓ OK	relazione 70 kB, tavola 51 kB, DXF 2893 entità (39 solidi 3D)
E6	Trave inclinata, ultimo piano: relazione, tavola e DXF	✓ OK	relazione 64 kB, tavola 48 kB, DXF 2819 entità (38 solidi 3D)
E7	Esempio di riferimento: relazione PDF (generatore interno)	✓ OK	71 kB
E8	Ultimo piano, estremità libera: relazione PDF (generatore interno)	✓ OK	78 kB
E9	Ultimo piano + piastra + nervature: relazione PDF (generatore interno)	✓ OK	84 kB
E10	T all'estradosso + costola, ultimo piano: relazione PDF (generatore interno)	✓ OK	105 kB
E11	T all'intradosso, M < 0, ultimo piano: relazione PDF (generatore interno)	✓ OK	87 kB
E12	Trave inclinata, ultimo piano: relazione PDF (generatore interno)	✓ OK	81 kB

F Interfaccia e flusso completo nel browser (Chromium headless)

L'applicazione completa è aperta in un browser reale: si caricano gli esempi, si commutano colonna continua / ultimo piano e rinforzo intradosso / estradosso, si controllano schede, tavola e relazione, si scaricano la relazione PDF (con figure rasterizzate) e il DXF, si verifica il salvataggio dello stato.

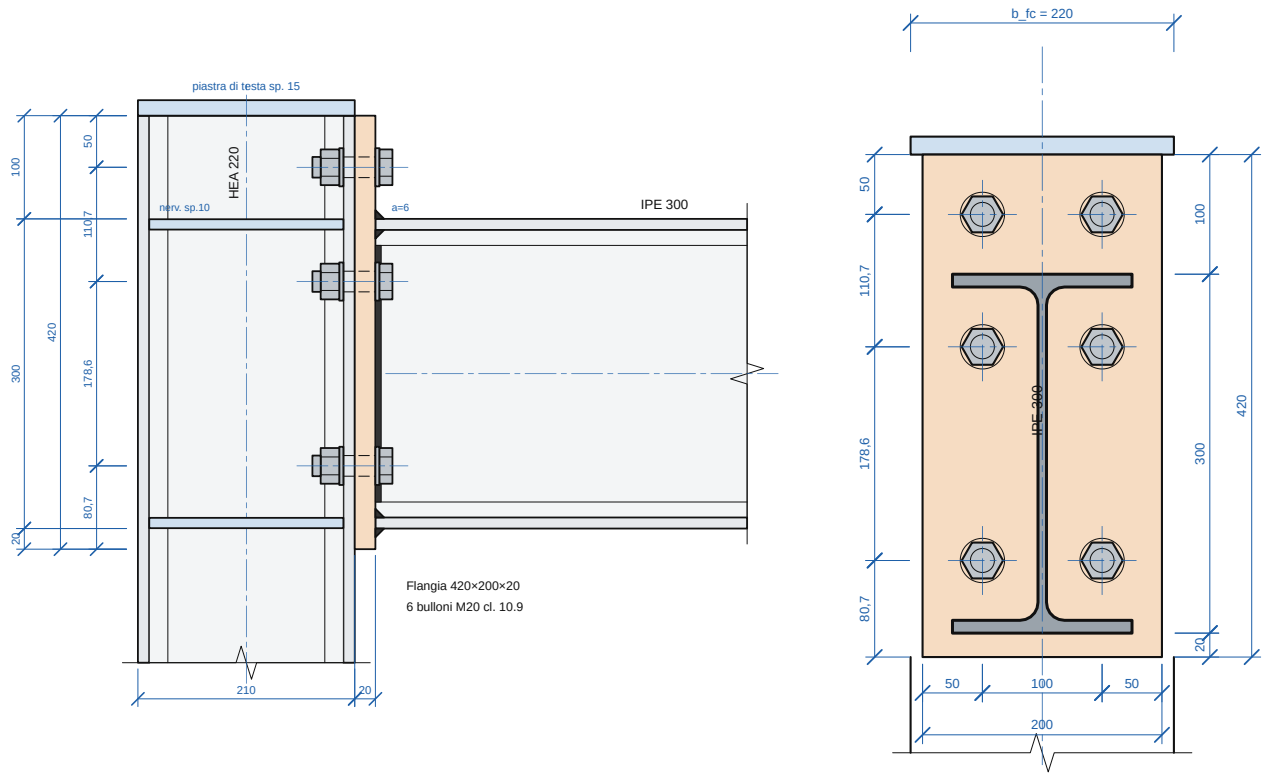
#	Prova	Esito	Valori / dettagli
F1	Caricamento dell'applicazione senza errori JavaScript	✓ OK	

#	Prova	Esito	Valori / dettagli
F2	Esempio "ultimo piano": calcolo e indicatori	✓ **OK**	MJ,RD 384,6 kNm VJ,RD 285,3 kN SJ,INI 167,9 MNm/rad H MAX 1,00 VERIFICATO
F3	Riepilogo gruppo "Colonna al nodo"	✓ **OK**	ultimo piano + piastra
F4	Scheda Verifiche: gruppo "Colonna terminale" e rinforzo all'estradosso	✓ **OK**	
F5	Tavola: piastra di testa e rinforzo T all'estradosso disegnati	✓ **OK**	
F6	Relazione: paragrafo "Colonna di ultimo piano" e lunghezze d'estremità	✓ **OK**	
F7	Relazione PDF scaricata dall'applicazione (generatore interno, figure rasterizzate)	✓ **OK**	614 kB
F8	DXF completo scaricato	✓ **OK**	471 kB
F9	Passaggio a colonna continua	✓ **OK**	continua
F10	Passaggio del rinforzo a T all'intradosso	✓ **OK**	intr. 200×600
F11	Colonna terminale senza piastra: campi piastra disattivati	✓ **OK**	
F12	Stato salvato e ripristinato dopo il ricaricamento	✓ **OK**	ultimo piano
F13	Esempio di riferimento invariato nell'interfaccia	✓ **OK**	MJ,RD 84,6 kNm VJ,RD 308,0 kN SJ,INI 22,3 MNm/rad H MAX 0,95 VERIFICATO
F14	Nessun errore JavaScript durante l'intera sessione	✓ **OK**	

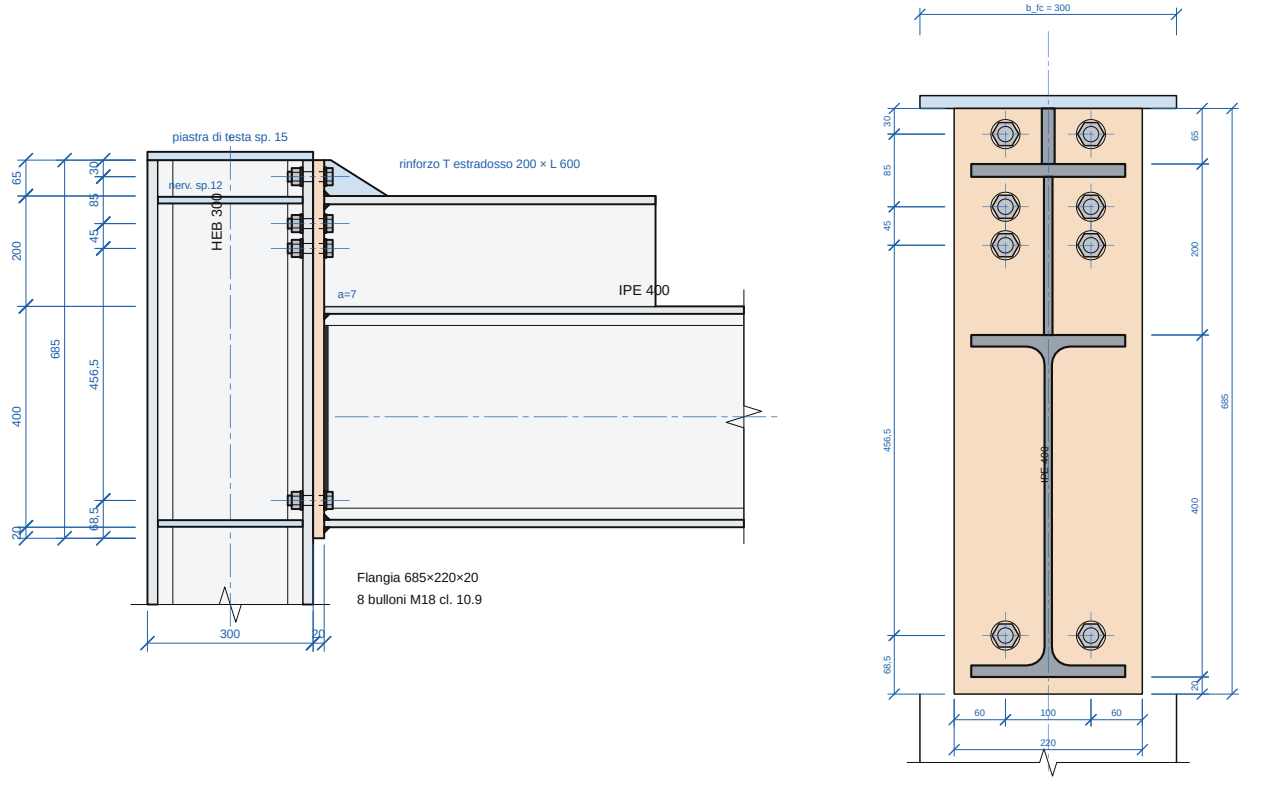
G Elaborati delle configurazioni di prova

Prospetti A-A e viste della flangia B-B generati dal motore per alcune configurazioni dei gruppi C ed E.

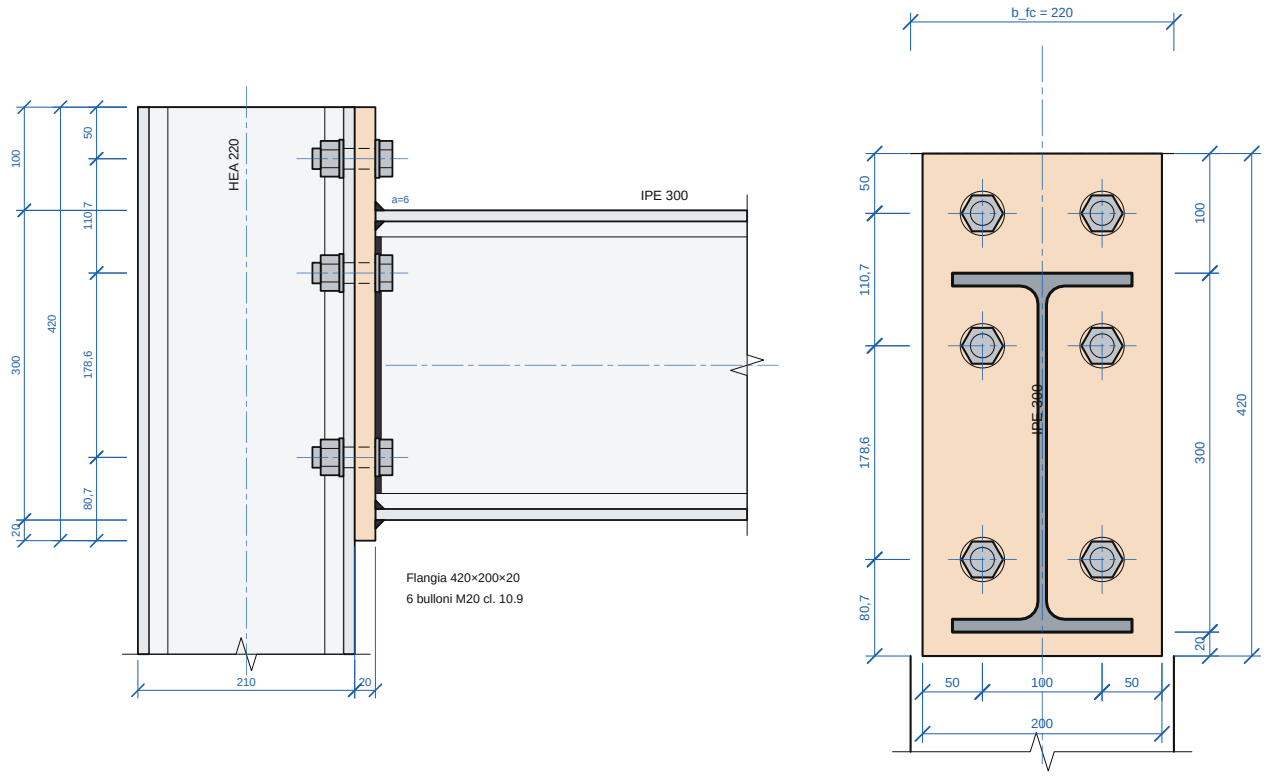
Ultimo piano + piastra + nervature — $M_{j,Rd}$ = 92.9 kNm, η_{max} = 0.86 (verificato)



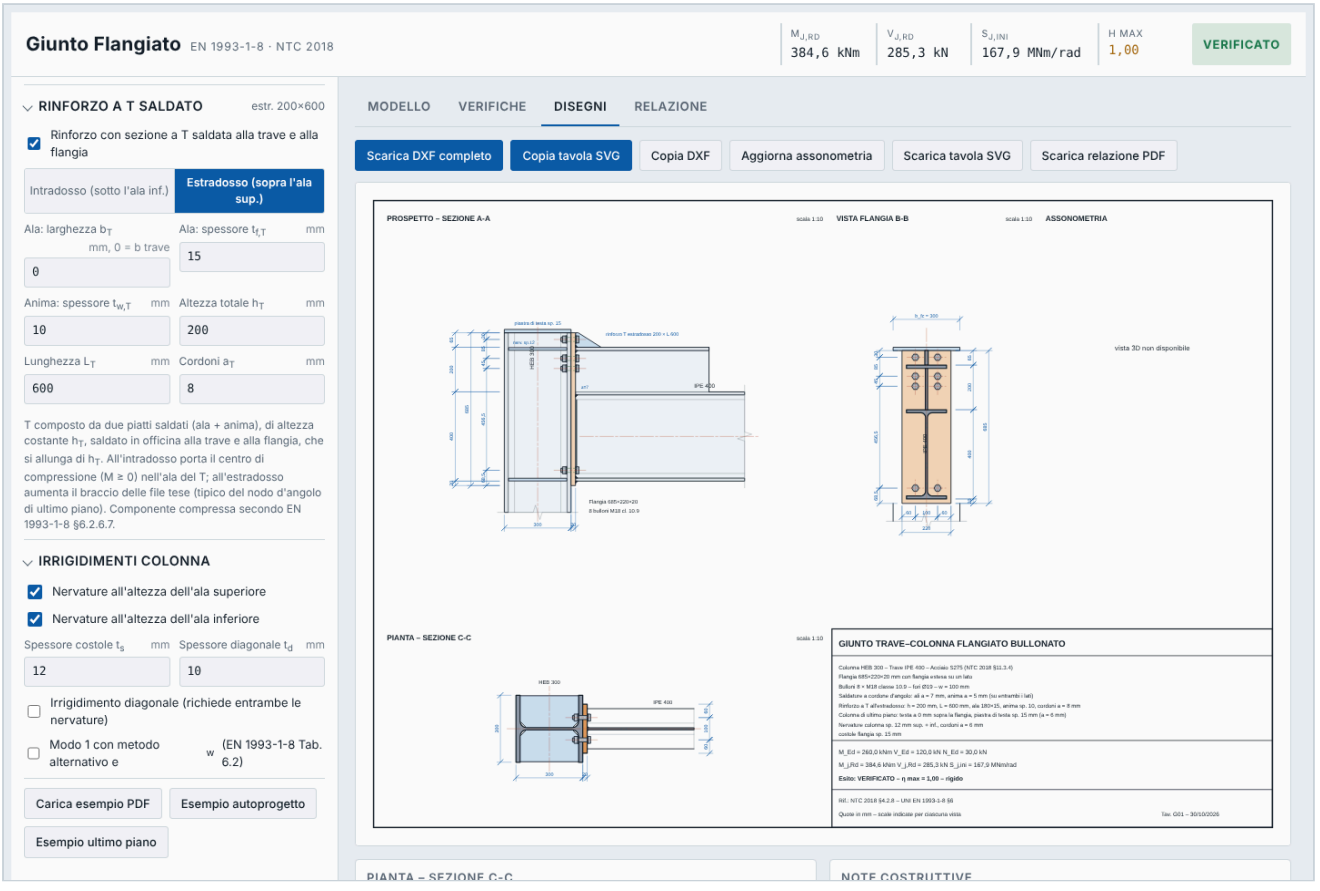
T all'estradosso + costola, ultimo piano — $M_{j,Rd}$ = 384.6 kNm, η_{max} = 1.00 (verificato)



Ultimo piano, estremità libera — $M_{j,Rd}$ = 77.2 kNm, η_{max} = 1.04 (non verificato)



Scheda "Disegni" dell'applicazione – esempio ultimo piano (Chromium headless)



H Limiti e note

- Il visualizzatore 3D WebGL non è stato provato nel browser di validazione, perché l'ambiente non raggiunge la CDN di three.js; il modello solido 3D è comunque verificato tramite il DXF (3DFACE) e la funzione di generazione dei solidi.
- Per il pannello d'anima del nodo d'angolo si assume $\beta = 1$ e si trascura il taglio della colonna sottostante (a favore di sicurezza).
- La piastra di testa è considerata come irrigidimento dell'ala tesa; non è conteggiata come irrigidimento a compressione né nel contributo $V_{wp,add,Rd}$: se servono, attivare le nervature all'altezza delle ali.
- Il coefficiente α è ottenuto dall'espressione analitica delle curve di Fig. 6.11 (può differire di qualche decimo dalla lettura grafica).
- I risultati del software vanno verificati e assunti sotto la responsabilità del progettista abilitato.