Report di validazione

Applicativo HTML «Controventi di falda»: confronto con l’esempio di riferimento (Progetto capannone 2010, par. 2.9), soluzioni in forma chiusa e valori tabellati di letteratura

Data: 01/11/2026 · motore di calcolo eseguito in Node.js sugli stessi sorgenti incorporati nell’applicativo

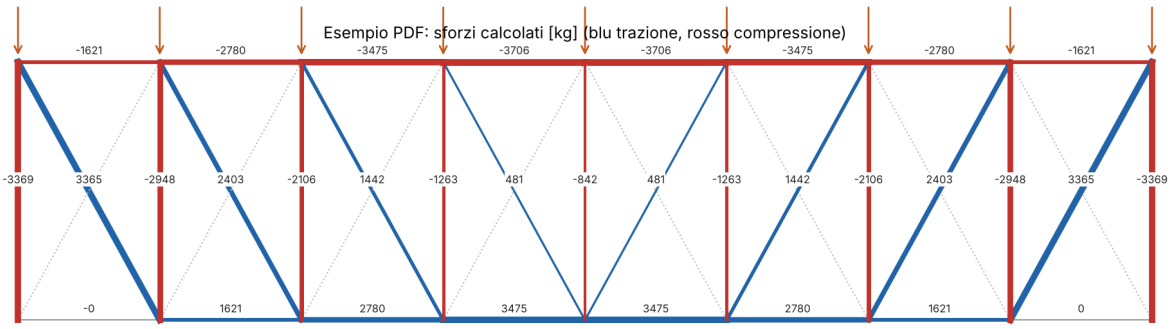
1. Sintesi

#	Caso di validazione	Riferimento	Scarto massimo	Esito
V1	Sforzi nelle 16 aste della travatura dell’esempio	Tab. 2.46 del PDF	0,78 % (0,04 % con θ = 29°)	OK
V2	Controvento L 50x5: area, bulloni, rifollamento, trazione	par. 2.9.2-2.9.4 del PDF	0,23 %	OK
V3	Arcareccio HEA 100 a presso-flessione	par. 2.9.5 del PDF	1,36 % (verifica: 0,460 vs 0,46)	OK
V4	Travature a correnti paralleli, 7 configurazioni	Metodo delle sezioni (Ritter)	8.7e-13 kN	OK
V5	Caratteristiche di 8 profili laminati I/H	Cataloghi EN 10365 / ArcelorMittal	0,07 %	OK
V6	Caratteristiche di 3 angolari	Cataloghi EN 10056-1	0,25 %	OK
V7	Coefficienti χ delle curve di instabilità	EN 1993-1-1 / NTC Tab. 4.2.VI	0,011 %	OK
V8	Resistenza a taglio dei bulloni	Tabelle EN 1993-1-8 (SCI P363)	0,09 %	OK
V9	Ripartizione del carico sul pilastrino di facciata	Statica della trave	equilibrio esatto	OK
V10	File DXF generati	Struttura DXF R12 (AC1009)	0 errori di struttura	OK

Tutti gli scarti sono riconducibili ad arrotondamenti dei valori di riferimento (angolo della diagonale arrotondato a 29°, coefficiente χ arrotondato a 2 decimali, area dell’angolare 4,80 cm²). Il motore riproduce l’esempio del PDF quando si adottano le stesse ipotesi (schema del pilastrino incastro-appoggio 3/8, bulloni 5.6 con piano di taglio sul gambo, area efficace CNR 10011, M_{eq} = 0,75 M_{max}, χ_{LT} = 1). Queste ipotesi sono selezionabili nell’applicativo tramite il pulsante «Esempio di riferimento».

2. V1 - Travatura reticolare dell’esempio di riferimento

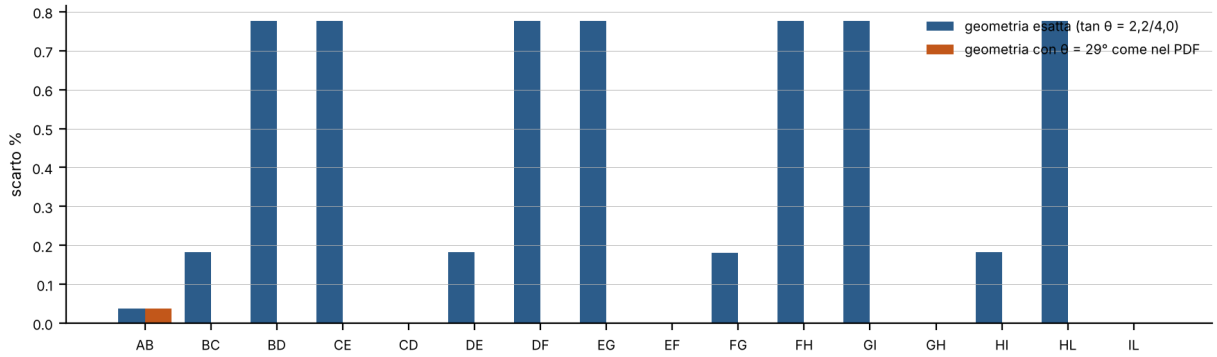
Geometria: 8 campi di passo i_a = 2,20 m, altezza i_c = 4,00 m, forze nodali F_1 = 842,31 kg ($F_2 = F_1/2$ alle estremità), diagonali compresse trascurate. Gli sforzi sono riportati in kg con la stessa convenzione del testo (1 kN = 100 kg). L’applicativo risolve la travatura con il metodo degli spostamenti ed esclude iterativamente le diagonali compresse.



Asta PDF	Asta modello	Elemento	N PDF [kg]	N calcolato [kg]	Scarto %	Scarto % (θ = 29°)
AB	F0-I0	arcareccio	-3.368,00	-3.369,24	0,04	0,037
BC	F0-I1	controvento	3.370,69	3.364,56	0,18	0,000
BD	F0-F1	corrente timpano	-1.634,14	-1.621,45	0,78	0,001
CE	I1-I2	corrente interno	1.634,14	1.621,45	0,78	0,001
CD	F1-I1	arcareccio	-2.948,07	-2.948,09	0,00	0,001
DE	F1-I2	controvento	2.407,64	2.403,26	0,18	0,000

Asta PDF	Asta modello	Elemento	N PDF [kg]	N calcolato [kg]	Scarto %	Scarto % (θ = 29°)
DF	F1-F2	corrente timpano	-2.801,39	-2.779,62	0,78	0,000
EG	I2-I3	corrente interno	2.801,39	2.779,62	0,78	0,000
EF	F2-I2	arcareccio	-2.105,77	-2.105,78	0,00	0,000
FG	F2-I3	controvento	1.444,58	1.441,96	0,18	0,001
FH	F2-F3	corrente timpano	-3.501,74	-3.474,53	0,78	0,000
GI	I3-I4	corrente interno	3.501,74	3.474,53	0,78	0,000
GH	F3-I3	arcareccio	-1.263,46	-1.263,46	0,00	0,000
HI	F3-I4	controvento	481,53	480,65	0,18	0,000
HL	F3-F4	corrente timpano	-3.735,19	-3.706,16	0,78	0,000
IL	F4-I4	arcareccio	-842,31	-842,31	0,00	0,000

Lo scarto dello 0,78 % sui correnti e dello 0,18 % sulle diagonali deriva dall'angolo arrotondato a 29° usato nel testo (l'angolo esatto è arctan(2,2/4,0) = 28,81°). Ripetendo il calcolo con una geometria che dia esattamente 29° (i_c = 3,9689 m) gli scarti si annullano (ultima colonna). Montanti e reazioni coincidono in ogni caso.



Forza nodale: con q_d = 1,5·0,78·2,2 = 2,574 kN/m e H = 8,76 m lo schema incastro-appoggio dà R = 3/8·q_d·H = 8,456 kN contro 8,42 kN del testo (scarto 0,42 %, dovuto a un arrotondamento nel testo: 3/8·2,57·8,76 = 8,44 kN). Con lo schema appoggio-appoggio richiesto per l'applicativo (metà parete in falda) si ottiene R = q_dH/2 = 11,274 kN.

3. V2 - Verifica del controvento L 50x5

N_{Ed} = 3370,69 kg; angolare collegato su un'ala con 2 bulloni M12 classe 5.6, p_1 = 50 mm, a_1 = 20 mm dal bordo libero, e_1 = 40 mm; acciaio Fe 430 / S275; area netta secondo CNR 10011 §6.2.1; taglio sul gambo (A = 1,13 cm²), come nel testo.

Grandezza	Calcolato	PDF	Scarto %
A necessaria [cm2]	1,287	1,29	0,23
Area profilo L50x5 [cm2]	4,803	4,80	0,07
Eccentricita e [cm]	1,597	1,60	0,20
Forza sul bullone Fb [kg]	1.999,785	2.000,95	0,06
Fv,Rd taglio [kg]	2.714,336	2.712,96	0,05
gamma taglio Fv,Rd/Fv,Ed	1,357	1,36	0,20
Fb,Rd rifollamento [kg]	5.160,000	5.160,00	0,00
gamma rifollamento	2,580	2,58	0,01
A1,n [cm2]	1,850	1,85	0,00
A2 [cm2]	2,250	2,25	0,00
xi	0,712	0,71	0,22
Aeff [cm2]	3,451	3,45	0,03
Npl,Rd [kg]	12.580,249	12.571,43	0,07
Nu,Rd [kg]	10.684,177	10.684,18	0,00
gamma = Nt,Rd/NEd	3,170	3,17	0,01

4. V3 - Arcareccio HEA 100 a presso-flessione deviata

N_{Ed} = 3368 kg, M_x = 384,35 kgm, M_y = 57,44 kgm, L = 4,00 m, β = 1, M_{eq} = 0,75 M_{max}, χ_{LT} = 1 (come nel testo). Classificazione calcolata: anima c/t = 11,20 (PDF 11,2), ala c/t = 4,44 (PDF 4,75, che usa c = b/2 − r senza togliere t_w/2); in entrambi i casi classe 1.

Grandezza	Calcolato	PDF	Scarto %
Ncr,x (asse forte) [kg]	45.259,582	45.163,13	0,21
Ncr,y (asse debole) [kg]	17.334,696	17.340,57	0,03
lambda x	1,136	1,14	0,33
lambda y	1,836	1,83	0,33
chi x (curva b)	0,514	0,51	0,76
chi y (curva c)	0,227	0,23	1,36
Verifica presso-flessione	0,460	0,46	0,10

Il testo arrotonda χ_y a 0,23: con lo stesso arrotondamento il motore restituisce 0,456. Lo scarto su $N_{cr,x}$ (0,21 %) deriva da I_x = 349,4 cm⁴ calcolato dalla geometria contro 349 cm⁴ del sagomario del testo.

5. V4 - Solutore reticolare contro la soluzione in forma chiusa

Per una travatura a correnti paralleli semplicemente appoggiata con carichi nodali P_i, il metodo delle sezioni di Ritter dà per la diagonale del campo k: $N_d = |V_k| \cdot L_d / h$ e per i correnti $N = M/h$. Sono state provate 7 configurazioni (numero di campi pari e dispari, rapporti a/h diversi, carichi uniformi e casuali asimmetrici, che spostano il punto di inversione delle diagonali tese). Rigidezze assiali diverse tra correnti, montanti e diagonali per verificare che la soluzione finale non ne dipenda.

Campi	a [m]	h [m]	Carichi	$N_{d,max}$ [kN]	Errore diagonali [kN]	Errore correnti [kN]	ΣR + ΣF [kN]	Solo tese	Iter.
4	2,5	5,0	uniforme	16,77	5.7e-14	2.6e-14	7.1e-14	sì	2
6	2,0	6,0	uniforme	26,35	7.1e-14	4.6e-14	-1.1e-13	sì	2
10	1,8	4,5	uniforme	48,47	3.3e-13	2.8e-13	5.4e-13	sì	2
16	1,5	7,5	uniforme	76,49	6.3e-13	4.5e-13	5.1e-13	sì	2
8	2,2	4,0	asimmetrico	35,86	2.0e-13	2.5e-13	3.1e-13	sì	2
12	2,0	5,0	asimmetrico	39,58	6.0e-13	8.7e-13	1.1e-12	sì	2
9	2,0	5,0	n dispari	43,08	6.8e-14	1.8e-13	5.7e-14	sì	2

Gli errori sono dell’ordine della precisione di macchina: il solutore ad elementi finiti con esclusione delle diagonali compresse converge in 2 iterazioni alla soluzione isostatica esatta.

6. V5/V6 - Caratteristiche geometriche dei profili

Le caratteristiche dei profili IPE, HEA, HEB, HEM e degli angolari sono calcolate dall’applicativo integrando il contorno reale della sezione (raccordi di radice compresi, discretizzati con 12 segmenti), la costante torsionale con la formula ECCS con raccordi. Confronto con i valori di catalogo:

Profilo	A [cm²]	I_y [cm⁴]	I_z [cm⁴]	$W_{pl,y}$ [cm³]	I_t [cm⁴]	Scarto max %
IPE 200	28,50 / 28,48	1.944,15 / 1.943,00	142,38 / 142,40	220,75 / 220,60	6,98 / 6,98	0,07
IPE 300	53,83 / 53,81	8.359,73 / 8.356,00	603,80 / 603,80	628,63 / 628,40	20,12 / 20,12	0,04
IPE 400	84,50 / 84,46	23.141,03 / 23.130,00	1.317,90 / 1.318,00	1.307,85 / 1.307,00	51,08 / 51,08	0,07
HEA 100	21,25 / 21,24	349,39 / 349,20	133,82 / 133,80	83,06 / 83,01	5,24 / 5,24	0,07
HEA 200	53,86 / 53,83	3.693,95 / 3.692,00	1.335,55 / 1.336,00	429,71 / 429,50	20,98 / 20,98	0,06
HEB 200	78,11 / 78,08	5.697,97 / 5.696,00	2.003,41 / 2.003,00	642,78 / 642,50	59,28 / 59,28	0,04
HEB 300	149,14 / 149,10	25.175,32 / 25.170,00	8.563,03 / 8.563,00	1.869,47 / 1.869,00	185,05 / 185,00	0,03
HEM 200	131,31 / 131,30	10.643,71 / 10.640,00	3.651,28 / 3.651,00	1.135,38 / 1.135,00	259,41 / 259,40	0,03

Formato: calcolato / catalogo.

Angolare	A [cm²]	$I_y = I_z$ [cm⁴]	e [cm]	I_v [cm⁴]	Scarto max %
L 50x5	4,80 / 4,80	10,96 / 10,96	1,40 / 1,40	4,55 / 4,54	0,23
L 80x8	12,27 / 12,30	72,22 / 72,25	2,25 / 2,26	29,88 / 29,90	0,25
L 100x10	19,16 / 19,20	176,62 / 176,70	2,82 / 2,82	73,00 / 72,90	0,22

I profili UPN usano i valori di catalogo (ali rastremate); i profili formati a freddo C e omega hanno geometria nominale a spigoli vivi e vanno controllati sul catalogo del produttore.

7. V7 - Curve di instabilità

λ̄	Curva	χ tabellato	χ calcolato	Scarto %
0,5	a	0,9243	0,9243	0,003
0,5	b	0,8842	0,8842	0,002
1,0	a	0,6656	0,6656	0,000
1,0	b	0,5970	0,5970	0,004
1,0	c	0,5399	0,5399	0,007
1,0	d	0,4671	0,4671	0,002
1,5	b	0,3422	0,3422	0,010
1,5	c	0,3145	0,3145	0,011

8. V8 - Resistenza a taglio dei bulloni (piano di taglio sulla filettatura)

Bullone	Classe	$F_{v,Rd}$ tabellato [kN]	$F_{v,Rd}$ calcolato [kN]	Scarto %
M12	8.8	32,4	32,37	0,09
M16	8.8	60,3	60,29	0,02
M20	8.8	94,1	94,08	0,02
M24	8.8	135,6	135,55	0,04
M20	4.6	47,0	47,04	0,09
M24	10.9	141,2	141,20	0,00

9. V9 - Pilastrino di facciata

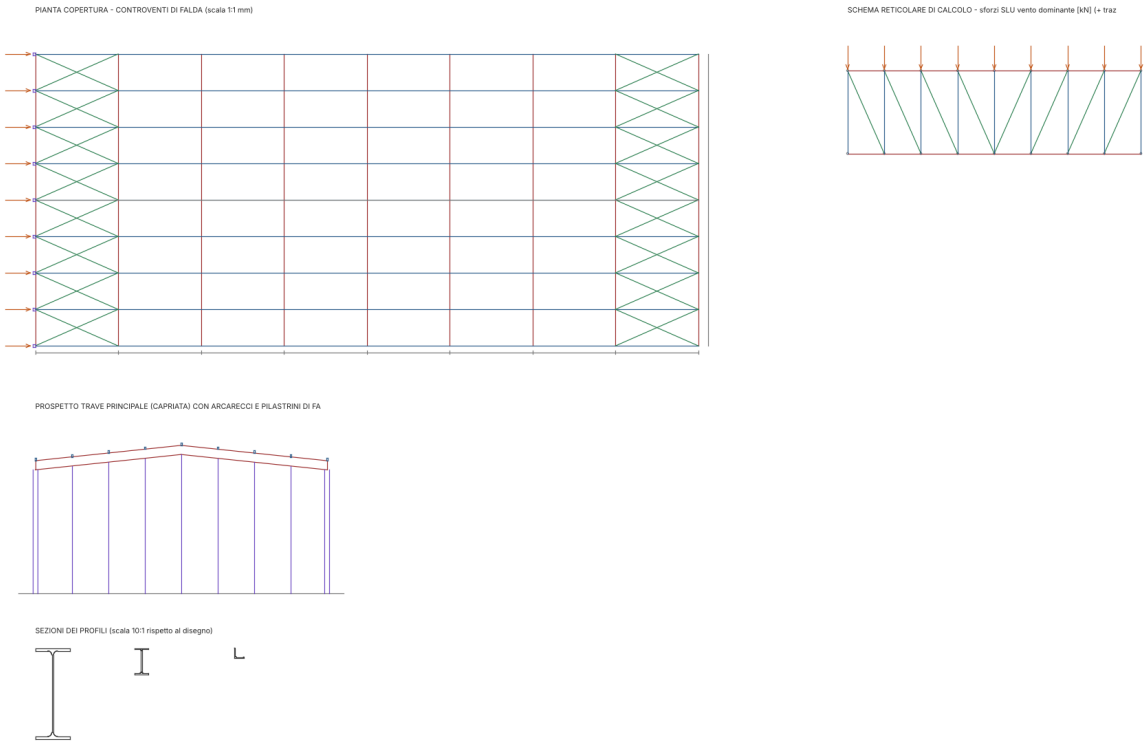
Schema appoggio-appoggio (default dell’applicativo): per il nodo F1 q_k = 1,725 kN/m, H = 8,925 m: forza in falda 7,700 kN e reazione a terra 7,700 kN, ciascuna pari a metà di qH = 15,400 kN. I pilastrini d’angolo ricevono metà carico (larghezza i_a/2). Schema incastro-appoggio: in falda 5,775 kN = 3/8·qH, a terra 9,625 kN = 5/8·qH. In tutti i casi la somma coincide con il carico totale della striscia di parete.

10. V10 - File DXF

Il file DXF è scritto in formato ASCII R12 (AC1009), leggibile da AutoCAD, BricsCAD, DraftSight, LibreCAD e QCAD. Il controllo automatico ha verificato le sezioni HEADER, TABLES (tipi di linea e 13 layer) ed ENTITIES, la chiusura EOF e la coerenza dei codici di gruppo: 512 entità per il caso di default, 506 per l’esempio. Il disegno contiene pianta della copertura con i controventi nelle campate di testata, prospetto della trave principale (capriata) con arcarecci e pilastrini di facciata, schema reticolare con gli sforzi SLU, sezioni dei profili e cartiglio dei materiali. Le unità sono millimetri.

Layer	Linee	Testi	Cerchi
ARCARECCI	54	0	0
ASSI	1	0	0
CARICHI	54	9	0
CONTROVENTI	40	0	0
PILASTRI	4	0	0
PILASTRINI	43	0	0
QUOTE	11	11	0
SCHEMA	0	18	18
SEZIONI	157	0	0
SFORZI	0	33	0

Layer	Linee	Testi	Cerchi
TERRENO	1	0	0
TESTI	0	27	0
TRAVI_PRINCIPALI	31	0	0



Anteprima del DXF del caso di default ricostruita leggendo il file generato.

11. Caso applicativo di default

Capannone B = 17,60 m, α = 6°, H_g = 8,00 m, 8 campate da 5,00 m, arcarecci IPE 160 con 1 tirante, travi IPE 550, controventi L 60x6, acciaio S275, vento 0,78 kN/m² sul timpano con schema metà parete in falda. Coefficienti di utilizzo: Controventi 0,682; Arcarecci 0,899; Travi principali 0,871. Tutti i risultati sono coerenti con l'ordine di grandezza atteso e con l'equilibrio globale (somma delle reazioni pari alla somma delle forze nodali).

12. Limiti dell'applicativo

• Travi principali schematizzate come travi a doppia falda appoggio-carrello (momento $qB^2/8$ in colmo): per telai a portale il risultato è cautelativo in campata e non copre i nodi trave-colonna.

• Profili formati a freddo: sezione efficace con larghezze di Winter (EN 1993-1-5); instabilità distorsionale degli irrigidimenti di bordo e torso-flessionale a compressione non valutate.

• Instabilità flesso-torsionale di profili a C e UPN con la formula delle sezioni bisimmetriche (centro di taglio non considerato), curva d.

• Unioni trave-arcareccio, piastre di nodo, controventi di parete e pilastrini di facciata da verificare a parte; la relazione riporta le forze da trasferire.