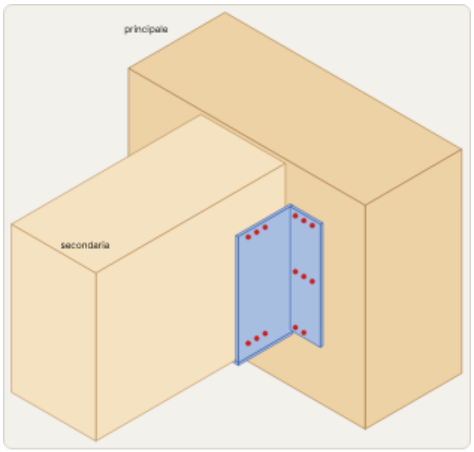
# REPORT DI VALIDAZIONE

## Programma «Trave in legno a flessione deviata e giunto con scarpa metallica» – NTC 2018 / EN 1995-1-1

Data: 24/10/2026 · Autore: giulio (studio2ganna)

**Esito.** Il programma riproduce tutti i 9 casi di letteratura (34 grandezze) con scarto massimo dell'1,3% e coincide alla precisione di macchina (scarto relativo ≤ 1.3e-15) con un'implementazione indipendente su 1000 casi casuali. Le correzioni introdotte rendono il calcolo del taglio e del peso proprio a favore di sicurezza.

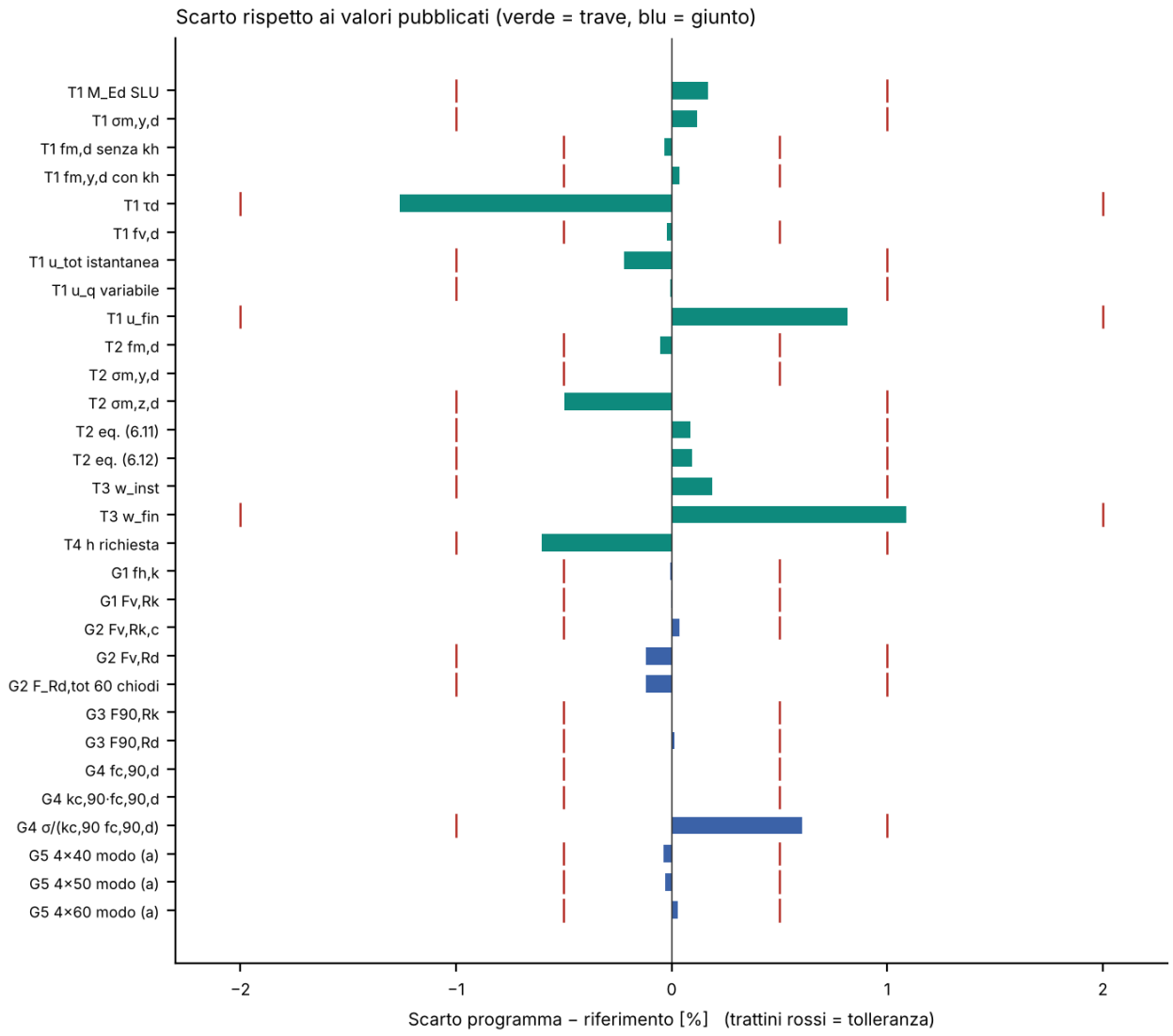



Il giunto validato: scarpa a U in acciaio S235 chiodata, trave secondaria (arcareccio) appesa alla principale.

# 1. Sintesi dei casi di validazione

| Caso | Area | Riferimento | N. | Scarto max | Esito |
|---|---|---|---|---|---|
| T1 | Trave | P. Sottile, Calcolo solaio in legno secondo NTC 2018 (2018) | 9 | 1,26% | **OK** |
| T2 | Trave | OnlineStructuralDesign – Wood element bending capacity EC5 | 5 | 0,50% | **OK** |
| T3 | Trave | Swedish Wood, Design of timber structures Vol. 3 (2022), Example 7.1 | 2 | 1,09% | **OK** |
| T4 | Trave | Swedish Wood, Design of timber structures Vol. 3 (2022), Example 3.1 | 1 | 0,60% | **OK** |
| G1 | Giunto | Swedish Wood, Design of timber structures Vol. 3 (2022), Example 4.2 | 2 | 0,01% | **OK** |
| G2 | Giunto | Swedish Wood, Design of timber structures Vol. 3 (2022), Example 4.4 | 4 | 0,12% | **OK** |
| G3 | Giunto | N. Gattesco, Collegamenti strutture in legno, Univ. Trieste – Esempio 2 | 2 | 0,01% | **OK** |
| G4 | Giunto | Swedish Wood, Design of timber structures Vol. 3 (2022), Example 3.5 | 3 | 0,60% | **OK** |
| G5 | Giunto | ETA-22/0083 Eurotec Connector Nail, Tab. B.1 | 6 | 0,04% | **OK** (a favore di sicurezza) |

Tolleranze: ±0,5% sulle resistenze, ±1% su sollecitazioni e frecce istantanee, ±2% su valori arrotondati dalla fonte (τd, freccia finale). Per G5 il criterio è «programma ≤ ETA».


Scarto rispetto ai valori pubblicati (verde = trave, blu = giunto)
T1 M_Ed SLU
T1 σm,y,d
T1 fm,d senza kh
T1 fm,y,d con kh
T1 τd
T1 fv,d
T1 u_tot istantanea
T1 u_q variabile
T1 u_fin
T2 fm,d
T2 σm,y,d
T2 σm,z,d
T2 eq. (6.11)
T2 eq. (6.12)
T3 w_inst
T3 w_fin
T4 h richiesta
G1 fh,k
G1 Fv,Rk
G2 Fv,Rk,c
G2 Fv,Rd
G2 F_Rd,tot 60 chiodi
G3 F90,Rk
G3 F90,Rd
G4 fc,90,d
G4 kc,90·fc,90,d
G4 σ/(kc,90 fc,90,d)
G5 4×40 modo (a)
G5 4×50 modo (a)
G5 4×60 modo (a)
−2
−1
0
1
2
Scarto programma − riferimento [%] (trattini rossi = tolleranza)

# 2. Correzioni apportate al programma originale

| # | Difetto | Correzione | Effetto |
|---|---|---|---|
| 1 | Taglio biassiale verificato con max(τy, τz) | τ = √(τy² + τz²): i due massimi coincidono nel baricentro della sezione | tasso di taglio × 1/cosα: +10% a 25°, +41% a 45° (prima non a favore di sicurezza) |
| 2 | Peso proprio con densità caratteristica ρk | Densità media ρmean (EN 338 / EN 14080) | +9% (GL24h) … +21% (C20) |
| 3 | G0,mean del massiccio = E/16 | Valori tabellati EN 338 | < 1% |
| 4 | Profilo laterale disegnato come puntone inclinato | Prospetto longitudinale dell'arcareccio orizzontale con le scarpe | coerenza disegno-calcolo |
| 5 | Pianta: «L lungo falda» | L orizzontale, parallela alla gronda | etichetta corretta |
| 6 | DXF: «tavolato 25 mm», un solo strato | Doppio tavolato 20 + 25 = 45 mm su layer dedicati | coerenza con il calcolo |
| 7 | PDF dipendente da jsPDF su CDN | Generatore PDF vettoriale interno | funziona offline |

Funzioni aggiunte: verifica del giunto con scarpa metallica a U (11 verifiche SLU per combinazione + 18 controlli geometrici), relazione di calcolo PDF del giunto con formule e sostituzioni numeriche, DXF (R12) con pianta, prospetto frontale, sezione, assonometria, modello 3D a facce, sviluppo della lamiera, pianta chiave e distinta di taglio, autotest di validazione integrato.

# 3. Casi di validazione – dettaglio

## T1 – Solaio in legno NTC 2018 – trave GL24h 140×200, L = 5,00 m

Fonte: P. Sottile, Calcolo solaio in legno secondo NTC 2018 (2018). Carichi: Q1 = 0,26; G2 = 0,60; Qk = 0,60 kN/m; kmod = 0,70; γM = 1,45; E = 11000, G = 650 MPa; kcr non applicato dalla fonte.

| Grandezza | Riferimento | Programma | Scarto | Toll. | Esito |
|---|---|---|---|---|---|
| M_Ed SLU [kNm] | 6,670 | 6,681 | 0,17% | ±1,0% | OK |
| σm,y,d [MPa] | 7,150 | 7,158 | 0,12% | ±1,0% | OK |
| fm,d senza kh [MPa] | 11,590 | 11,586 | -0,03% | ±0,5% | OK |
| fm,y,d con kh [MPa] | 12,740 | 12,745 | 0,04% | ±0,5% | OK |
| τd [MPa] | 0,290 | 0,286 | -1,26% | ±2,0% | OK |
| fv,d [MPa] | 1,690 | 1,690 | -0,02% | ±0,5% | OK |
| u_tot istantanea [mm] | 11,900 | 11,874 | -0,22% | ±1,0% | OK |
| u_q variabile [mm] | 4,880 | 4,880 | -0,01% | ±1,0% | OK |
| u_fin [mm] | 15,940 | 16,070 | 0,82% | ±2,0% | OK |

## T2 – Flessione deviata EC5 (6.11)/(6.12) – C14 150×200, My = 4,0 kNm, Mz = 0,5 kNm

Fonte: OnlineStructuralDesign – Wood element bending capacity EC5. kmod = 0,8; γM = 1,3; kh = 1; km = 0,7.

| Grandezza | Riferimento | Programma | Scarto | Toll. | Esito |
|---|---|---|---|---|---|
| fm,d [MPa] | 8,620 | 8,615 | -0,05% | ±0,5% | OK |
| σm,y,d [MPa] | 4,000 | 4,000 | 0,00% | ±0,5% | OK |
| σm,z,d [MPa] | 0,670 | 0,667 | -0,50% | ±1,0% | OK |
| eq. (6.11) | 0,518 | 0,518 | 0,09% | ±1,0% | OK |
| eq. (6.12) | 0,402 | 0,402 | 0,09% | ±1,0% | OK |

## T3 – Freccia travetto C24 45×220, L = 4,5 m, interasse 0,6 m (classe 1)

Fonte: Swedish Wood, Design of timber structures Vol. 3 (2022), Example 7.1. gk = 0,5; qk = 2,0 kN/m²; I = 39,93·10⁶ mm⁴; E = 11000 MPa; ψ2 = 0,3; kdef = 0,6; deformazione a taglio non considerata dalla fonte.

| Grandezza | Riferimento | Programma | Scarto | Toll. | Esito |
|---|---|---|---|---|---|
| w_inst [mm] | 18,200 | 18,234 | 0,19% | ±1,0% | OK |
| w_fin [mm] | 22,800 | 23,048 | 1,09% | ±2,0% | OK |

## T4 – Travetto C24 b = 45 mm a flessione – altezza richiesta

Fonte: Swedish Wood, Design of timber structures Vol. 3 (2022), Example 3.1. qd = 3,3 kN/m² × 0,6 m; L = 4,5 m; kmod = 0,8; γM = 1,3.

| Grandezza | Riferimento | Programma | Scarto | Toll. | Esito |
|---|---|---|---|---|---|
| h richiesta [mm] | 214,000 | 212,711 | -0,60% | ±1,0% | OK |

## G1 – Chiodo ad aderenza migliorata 4,0×40 su piastra 5 mm (piastra spessa), GL30c

Fonte: Swedish Wood, Design of timber structures Vol. 3 (2022), Example 4.2. ρk = 390 kg/m³; t1 = 35 mm; My,Rk = 9925 Nmm (valore dell'Es. 4.4 della stessa fonte); effetto fune trascurato come nella fonte.

| Grandezza | Riferimento | Programma | Scarto | Toll. | Esito |
|---|---|---|---|---|---|
| fh,k [MPa] | 21,100 | 21,099 | -0,01% | ±0,5% | OK |
| Fv,Rk [kN] (modo II) | 1,607 | 1,607 | -0,00% | ±0,5% | OK |

## G2 – Chiodo 4,0×60 su piastra 5 mm – base di colonna, GL30c

Fonte: Swedish Wood, Design of timber structures Vol. 3 (2022), Example 4.4. ρk = 390 kg/m³; tpen = 55 mm; My,Rk = 9925 Nmm; Fax,Rk = 669 N; kmod = 0,8; γM = 1,3; modo (e) governante.

| Grandezza | Riferimento | Programma | Scarto | Toll. | Esito |
|---|---|---|---|---|---|
| Fv,Rk,c [kN] | 4,640 | 4,642 | 0,04% | ±0,5% | OK |
| Fv,Rd [kN/chiodo] | 1,400 | 1,398 | -0,12% | ±1,0% | OK |
| F_Rd,tot 60 chiodi [kN] | 84,000 | 83,899 | -0,12% | ±1,0% | OK |
| modo governante (e=1) | 1,000 | 1,000 | 0,00% | ±0,0% | OK |

## G3 – Resistenza a spacco F90 – elemento 80×180, he = 120 mm

Fonte: N. Gattesco, Collegamenti strutture in legno, Univ. Trieste – Esempio 2. w = 1; kmod = 0,9; γM = 1,3.

| Grandezza | Riferimento | Programma | Scarto | Toll. | Esito |
|---|---|---|---|---|---|
| F90,Rk [kN] | 21,250 | 21,251 | 0,00% | ±0,5% | OK |
| F90,Rd [kN] | 14,710 | 14,712 | 0,01% | ±0,5% | OK |

## G4 – Compressione ortogonale alla fibratura all'appoggio – kc,90 = 1,75

Fonte: Swedish Wood, Design of timber structures Vol. 3 (2022), Example 3.5. fc,90,k = 2,5 MPa; kmod = 0,8; γM = 1,25; σc,90,d = 2,0 MPa (dalla fonte).

| Grandezza | Riferimento | Programma | Scarto | Toll. | Esito |
|---|---|---|---|---|---|
| fc,90,d [MPa] | 1,600 | 1,600 | 0,00% | ±0,5% | OK |
| kc,90·fc,90,d [MPa] | 2,800 | 2,800 | 0,00% | ±0,5% | OK |
| σ/(kc,90 fc,90,d) | 0,710 | 0,714 | 0,60% | ±1,0% | OK |

## G5 – Chiodi 4,0×40/50/60 su piastra sottile 0,9 mm – confronto con ETA (ρk = 350)

Fonte: ETA-22/0083 Eurotec Connector Nail, Tab. B.1. My,Rk = 6480 Nmm; Fax,Rk = 581/814/1046 N. Il modo (a) coincide; dove governa il modo (b) l'EC5 è più cautelativo dei valori sperimentali ETA (criterio: programma ≤ ETA).

| Grandezza | Riferimento | Programma | Scarto | Toll. | Esito |
|---|---|---|---|---|---|
| 4×40 modo (a) [N] | 1185,000 | 1184,570 | -0,04% | ±0,5% | OK |
| 4×40 Fv,Rk [N] (≤ ETA) | 1185,000 | 1184,570 | -0,04% | ≤ rif. | OK |
| 4×50 modo (a) [N] | 1488,000 | 1487,529 | -0,03% | ±0,5% | OK |
| 4×50 Fv,Rk [N] (≤ ETA) | 1488,000 | 1342,863 | -9,75% | ≤ rif. | OK |
| 4×60 modo (a) [N] | 1790,000 | 1790,488 | 0,03% | ±0,5% | OK |
| 4×60 Fv,Rk [N] (≤ ETA) | 1790,000 | 1400,863 | -21,74% | ≤ rif. | OK |

Commenti: in T1 la fonte arrotonda τd e calcola u_fin come u_tot + kdef·u_G (il programma applica la formula completa EC5 7.2, +0,8%). In T3 lo scarto dell'1,1% sulla freccia finale è compatibile con gli arrotondamenti dei carichi. In G1 la fonte trascura l'effetto fune («solo il 6%»): con effetto fune il programma dà +6,5%, coerente. In G5 il modo (a) coincide con l'ETA; dove governa il modo (b) l'EC5 dà valori inferiori a quelli sperimentali ETA (calcolo cautelativo).

# 4. Verifica incrociata con implementazione indipendente

Le formule sono state riscritte in Python direttamente dalle norme (senza riusare il codice JavaScript) e confrontate su 1000 casi generati casualmente: 6 classi di legno, α 5–45°, L 2,5–6 m, classi di servizio 1–3, durate del carico, kh e peso proprio attivi/disattivi, chiodi Ø4/5/6 lisci o ad aderenza migliorata, piastra 2–5 mm, effetto fune sì/no.

| Grandezza | Scarto relativo max | Grandezza | Scarto relativo max |
|---|---|---|---|
| M⊥ SLU1 | 3.9e-16 | taglio chiodi principale SLU1 | 4.9e-16 |
| M∥ SLU1 | 5.3e-16 | interazione taglio-estrazione SLU1 | 8.5e-16 |
| M⊥ SLU2 | 6.4e-16 | taglio chiodi secondaria SLU1 | 4.3e-16 |
| V∥ SLU2 | 4.3e-16 | flessione ala laterale SLU1 | 6.0e-16 |
| (6.11) SLU1 | 4.3e-16 | compressione ⊥ sella SLU1 | 5.6e-16 |
| (6.11) SLU2 | 5.6e-16 | spacco principale SLU1 | 4.8e-16 |
| (6.12) SLU2 | 5.5e-16 | spacco secondaria SLU1 | 4.4e-16 |
| taglio SLU1 | 5.3e-16 | taglio chiodi principale SLU2 | 6.5e-16 |
| taglio SLU2 | 5.7e-16 | interazione taglio-estrazione SLU2 | 1.3e-15 |
| freccia istantanea | 5.2e-16 | taglio chiodi secondaria SLU2 | 5.2e-16 |
| freccia finale | 5.5e-16 | flessione ala laterale SLU2 | 5.5e-16 |
| Fv,Rk chiodo (principale) | 1.5e-16 | compressione ⊥ sella SLU2 | 6.3e-16 |
| Fv,Rk chiodo (secondaria) | 1.8e-16 | spacco principale SLU2 | 6.0e-16 |
| Fax,Rk chiodo | 0.0e+00 | spacco secondaria SLU2 | 4.9e-16 |

Prove funzionali: la pagina è stata caricata in un browser Chromium senza errori; i cinque pulsanti di esportazione producono file validi (relazione del giunto di 6 pagine, verifica trave, autotest, DXF del giunto e della copertura). Il DXF è stato aperto e convertito da LibreOffice: 100 testi, 21 campiture SOLID, 42 facce 3DFACE.

# 5. Limiti e raccomandazioni

• Non esiste in letteratura aperta un esempio completo di scarpa a U per arcareccio in flessione deviata: il giunto è validato componente per componente (chiodo, spacco, compressione ⊥).

• Ipotesi cautelative del modello: intera F1 sui chiodi della secondaria, fori non calibrati = piastra sottile, ala laterale a mensola per F2.

• La ripartizione del momento di eccentricità sui chiodi (rotazione attorno al bordo inferiore) è un modello semplificato non presente negli esempi di riferimento.

• Non verificati: sollevamento da vento, sisma, torsione della principale per carico su un lato, scorrimento (SLE), fuoco.

• My,Rk e fax,k vanno presi dall'ETA del chiodo effettivamente impiegato; per scarpe certificate valgono le resistenze ETA del produttore.

• Strumento di supporto: i risultati vanno controllati e firmati da un tecnico abilitato.

# Fonti

• P. Sottile, Calcolo solaio in legno secondo NTC 2018 (2018) – https://www.paolosottile.it/wp-content/uploads/2018/03/Calcolo-Solaio-in-Legno-NTC-2018-Ing-Paolo-Sottile.pdf

• OnlineStructuralDesign – Wood element bending capacity EC5 – https://onlinestructuraldesign.com/Wood_Beam_Bending_EC5.html

• Swedish Wood – https://www.svenskttra.se/siteassets/5-publikationer/pdfer/sw-design-of-timber-structures-vol3-2022.pdf

• N. Gattesco, Collegamenti strutture in legno, Univ. Trieste – Esempio 2 – https://moodle2.units.it/pluginfile.php/323182/mod_resource/content/1/Collegamenti%20strutture%20in%20legno.pdf

• ETA-22/0083 Eurotec Connector Nail, Tab. B.1 – https://www.eurotec.team/application/files/3416/4743/8890/ETA220083_Eurotec_Connector_Nail.pdf

• Norme: D.M. 17/01/2018 (NTC 2018) §4.2 e §4.4; Circolare 21/01/2019 n. 7; UNI EN 1995-1-1; CNR-DT 206 R1/2018; EN 338:2016; EN 14080:2013.