REPORT DI VALIDAZIONE

Programma «Giunto trave in legno – cordolo in c.a. con barre incollate» v2.0

Verifica del software, confronto dei modelli di calcolo con casi di letteratura e controllo degli elaborati prodotti (relazione PDF e esecutivo DXF).

Sommario

La validazione è articolata su tre livelli: (1) **verifica del software**, cioè che il codice calcoli ciò che dichiara, tramite una seconda implementazione indipendente in Python; (2) **validazione dei modelli**, cioè il confronto delle formule adottate con soluzioni teoriche indipendenti, con valori tabellati nei testi di riferimento e con risultati sperimentali pubblicati; (3) **controllo degli elaborati** generati (PDF e DXF). Gli esiti sono riassunti nella tabella seguente.

#	Controllo	Risultato	Esito
V1	Software: 12 casi, JS vs Python indipendente	scarto relativo max 2.0e-16	**CONFERMATO**
V2	Johansen piastra spessa vs analisi limite numerica (LP)	scarto max 0.004 % su 48 configurazioni	**CONFERMATO**
V3	Rifollamento ∥ fibra: k_{end}·$f_{h,90,k}$ vs Bejtka (2005)	programma/riferimento = 0,82–0,91 (a favore di sicurezza)	**CONFERMATO**
V4	Aderenza DIN 1052 vs Steiger et al. (2007), 9 serie	media prova / $R_{ax,k}$ = 1,78–2,43	**CONFERMATO**
V5	Aderenza DIN 1052 vs Blass & Laskewitz, 7 serie a sfilamento	media prova / $R_{ax,k}$ = 1,12–1,43	**CONFERMATO**
V6	Barre incollate a taglio: prova di Orlando et al. (2019)	$V_{prova}/V_{modello}$ = 1,78 (piastra spessa, car.)	**CONFERMATO**
V7	Ancoraggio EC2: f_{ctk} e $l_{b,rqd}$ vs EN 1992-1-1 e manualistica	f_{ctk} entro ±3 %; $l_{b,rqd}$ = 40,4Ø con f_{yd} = 435 (testo: 40Ø)	**CONFERMATO**
V8	Spinotto nel cls: Rasmussen / Vintzeleou-Tassios	fattore implicito medio/progetto ≈ 1,7	**CONFERMATO**
V9	Spacco EC5 §8.1.4: definizione di h_e	errore della v1 individuato e corretto	**CONFERMATO**
V10	Elaborati: PDF (qpdf, font) e DXF (entità, lunghezze barre)	nessun errore; lunghezza barre nel 3D −0,04 %	**CONFERMATO**

Conclusione. Il programma implementa correttamente le formule dichiarate. I modelli adottati risultano coerenti con la teoria e, dove esistono dati sperimentali confrontabili, a favore di sicurezza. Durante la validazione è stato individuato un errore nella versione precedente (definizione di h_e nella verifica a spacco), che portava a sovrastimare la resistenza fino a 4,5 volte per barre poste in alto nella sezione: l'errore è stato corretto nella v2.0. Il punto più debole resta il rifollamento parallelo alla fibra (k_{end}), per cui non esistono prove sul sistema specifico: va confermato con ETA o prove.

1. Scopo, oggetto e metodo

Oggetto della validazione è il programma HTML «Giunto trave legno–cordolo» v2.0, che verifica allo SLU il collegamento di una trave in legno a un cordolo in c.a. mediante barre B450C incollate in testata parallelamente alla fibra e ancorate nel getto con gancio. Le verifiche sono: taglio della trave; barre nel legno a taglio (Johansen, EN 1995-1-1 §8.2.3); barre a trazione e interazione (DIN 1052:2008); disposizioni geometriche; spacco (EN 1995-1-1 §8.1.4); geometria e ancoraggio dei ganci (NTC 2018 §4.1.6, EN 1992-1-1 §8.3–8.4); effetto spinotto nel calcestruzzo.

- **Verifica del software.** Ogni grandezza intermedia e finale è calcolata due volte: dal motore JavaScript del programma (eseguito in Node.js, lo stesso codice della pagina) e da un modulo Python scritto a partire dalle norme. I risultati sono confrontati su 12 casi che coprono tutte le opzioni.
- **Validazione dei modelli.** Ogni formula è confrontata con una fonte indipendente: soluzione teorica numerica, valori tabellati nelle norme e nei manuali, risultati sperimentali pubblicati.

- **Controllo degli elaborati.** Il PDF è controllato con qpdf e pdffonts; il DXF con un lettore indipendente (conteggio entità, layer, lunghezza delle barre nel modello 3D) e con l'importazione in LibreOffice Draw.

2. Correzioni apportate alla versione precedente

2.1 Spacco: bordo caricato e distanza h_e

Nella EN 1995-1-1 §8.1.4, h_e è la distanza dal *bordo caricato* al centro del connettore più lontano. Le barre sostengono la trave e quindi la spingono verso l'alto: il legno sopra le barre è compresso, mentre il legno sotto le barre deve «appendersi» alle barre per trazione ortogonale alla fibra. Il bordo caricato è quindi l'estradosso e $h_e = h - y_{inf}$, dove y_{inf} è la quota della fila più bassa. È lo stesso meccanismo dell'intaglio all'appoggio (EN 1995-1-1 §6.5.2): più la sezione resistente è alta, più il rischio di spacco è basso. La v1 usava invece la quota della fila superiore misurata dall'intradosso. L'andamento risultava rovesciato: barre più alte davano più resistenza, mentre il meccanismo fisico indica il contrario.

Configurazione (trave 200×280, 2 file, s = 90)	y_{sup} / y_{inf} [mm]	$F_{90,Rd}$ v1 [kN]	$F_{90,Rd}$ v2 [kN]	v1/v2
Caso base	200 / 110	39,51	31,06	1,27
Barre alte: y_sup = 240	240 / 150	61,21	23,26	2,63
Barre basse: y_sup = 150	150 / 60	26,84	47,85	0,56
Barre molto alte	260 / 170	90,10	20,10	4,48

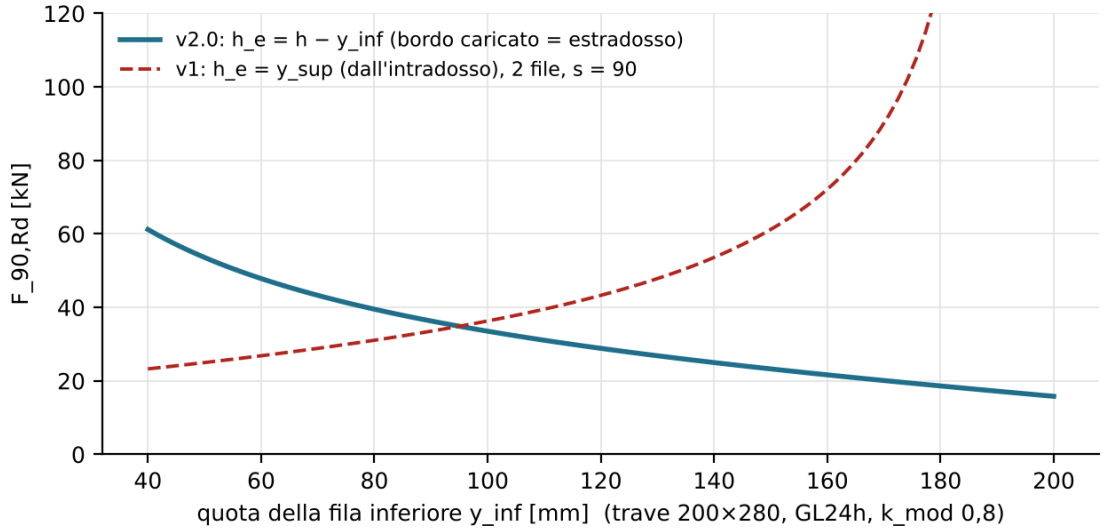

Figura 1 – Resistenza a spacco in funzione della quota della fila inferiore: la formula corretta (v2.0) decresce quando le barre salgono; la v1 aveva l'andamento opposto.

Il meccanismo è confermato dalle prove di Orlando et al. (2019) su travi con barre incollate caricate trasversalmente: le fessure si sono aperte «sotto la barra superiore» e «sopra la barra inferiore», per una combinazione di trazione ortogonale e taglio longitudinale, con tensione tangenziale media a rottura di soli 2,3–2,4 MPa, inferiore a $f_{v,k}$ = 3,5 MPa.

2.2 Altre correzioni

- **Taglio della trave.** Il carico si trasferisce alle barre oltre la tasca: oltre alla sezione forata dalla tasca ($b \cdot h - b_t \cdot h_t$) si verifica ora la sezione nella zona delle barre al netto dei fori, $(b - n_c \cdot Ø_{foro}) \cdot h$, adottando la minore.
- **Resistenza assiale DIN 1052:2008.** La norma usa $R_{ax,k} = \pi \cdot d \cdot l_{ad} \cdot f_{k1,k}$ con d = diametro nominale della barra. La v1 usava un diametro equivalente $\min(Ø_{foro}; 1{,}25d)$, con una sovrastima del 25 % nel caso base (70,69 kN contro 56,55 kN caratteristici).
- **DXF.** Rimossa la variabile $INSUNITS, non definita nel formato R12 dichiarato (AC1009). Aggiunte la tabella STYLE e le estensioni del disegno.
- **Interfaccia.** Le etichette con pedici si spezzavano su più righe e l'intestazione di stampa compariva anche a schermo: corretti entrambi.

3. Verifica del software (V1)

Le grandezze confrontate sono: τ_d, $f_{v,d}$, $f_{h,k}$, $F_{v,Rk}$, $F_{v,Rd}$, interazione, $F_{90,Rd}$, $V_{Rd,cls}$, f_{bd}, $l_{b,rqd}$, $L_{sviluppo}$, massa acciaio. Lo scarto relativo massimo su tutti i casi e tutte le grandezze è 2.0e-16, cioè pari alla precisione di macchina: le due implementazioni coincidono. Alcuni casi non superano tutte le verifiche: sono scelti per esplorare le opzioni, non per essere progetti validi (per esempio i ganci Ø20 e Ø24 non entrano in un cordolo alto 450 mm, e il programma lo segnala).

Caso	Descrizione	$F_{v,Rd}$ [kN]	$F_{90,Rd}$ [kN]	L_{svil} [mm]	Tasso max	N. KO	Scarto
C01	Caso base (dati predefiniti)	5,39	31,06	856	0,70	0	0e+00
C02	Ø12, foro 16, a = s = 70	3,35	26,84	804	1,12	1	2e-16
C03	Ø20, foro 24, a = s = 110, l_ad 400	7,71	47,55	1.101	0,49	2	0e+00
C04	Ø24, foro 28, GL32h, l_ad 500	10,96	59,39	1.272	1,40	5	2e-16
C05	Massiccio C24, classe di servizio 2	5,13	31,06	856	0,73	0	0e+00
C06	GL28h, classe di servizio 3, carico permanente	3,54	19,42	856	1,06	1	0e+00
C07	1 fila × 3 barre, senza tasca	3,35	24,99	704	1,49	1	0e+00
C08	Piega 90° verso il basso	5,39	24,99	793	1,39	1	0e+00
C09	Barre diritte, l_c = 400	5,39	31,06	800	0,70	0	0e+00
C10	Trazione N_Ed = 20 kN	5,39	31,06	856	0,70	0	0e+00
C11	l_ad = 600 (DIN, ramo 500–1000)	5,39	31,06	1.156	0,70	0	0e+00
C12	C40/50, aderenza non buona	5,39	31,06	856	1,16	1	0e+00

3.1 Calcolo manuale del caso base

Per il caso base (GL24h 200×280, 4 Ø16, l_{ad} = 300, V_{Ed} = 15 kN, k_{mod} = 0,80) si riportano i passaggi principali, ricalcolati a mano:

Grandezza	Calcolo	Risultato
$f_{h,0,k}$	0,082·(1 − 0,16)·385	26,52 MPa
$f_{h,90,k}$	26,52 / (1,35 + 0,015·16) = 26,52 / 1,59	16,68 MPa
$f_{h,k}$	0,33 · 16,68	5,50 MPa
$M_{y,Rk}$	$0,3 \cdot 540 \cdot 16^{2,6}$	218,9 kNmm
modo (e)	2,3·√(218 900 · 5,50 · 16)	10,10 kN
modo (d)	5,50·300·16·(√(2 + 4·218 900/(5,50·16·300²)) − 1)	11,96 kN
$F_{v,Rd}$	0,80 · 10,10 / 1,50	5,39 kN
$F_{v,Ed}$	15 / 4	3,75 kN → 0,70
h_e	280 − 110	170 mm (h_e/h = 0,607)
$F_{90,Rd}$	0,80·14·200·√(170/0,393)/1,50	31,06 kN → 0,48
τ_d	1,5·15 000/(0,67·32 000)	1,05 MPa ≤ 1,93 MPa
$L_{sviluppo}$	300 + 100 + 250 + π·40 + 80	855,7 mm → taglio 860

I valori coincidono con quelli del programma ($F_{v,Rd}$ = 5,39 kN, $F_{90,Rd}$ = 31,06 kN, τ_d = 1,05 MPa).

4. Validazione dei modelli di calcolo

4.1 Barre a taglio: modello di Johansen per piastra spessa (V2)

Le eq. 8.10 (c)–(e) della EN 1995-1-1 derivano dalla teoria della plasticità applicata a uno spinotto rigido-plastico su un letto rigido-plastico. Per controllarle in modo indipendente si è risolto numericamente il problema dell'analisi limite: lo spinotto lungo t, incastrato nel cordolo, è suddiviso in 300 conci con pressione di rifollamento $|q| \le f_h \cdot d$, e si massimizza la forza F con il vincolo $|M(s)| \le M_y$ in ogni sezione (programmazione lineare, teorema statico). Su 48 combinazioni (d = 10, 16, 24 mm; f_h = 5,5 e 20 MPa; t da 1d a 30d) lo scarto massimo rispetto alla teoria di Johansen è 0.0044 %. La EN 1995-1-1 moltiplica il modo (e) per 1,15 (2,3 invece di 2): il fattore rappresenta la riserva oltre la plasticità ideale, come previsto dalla norma.

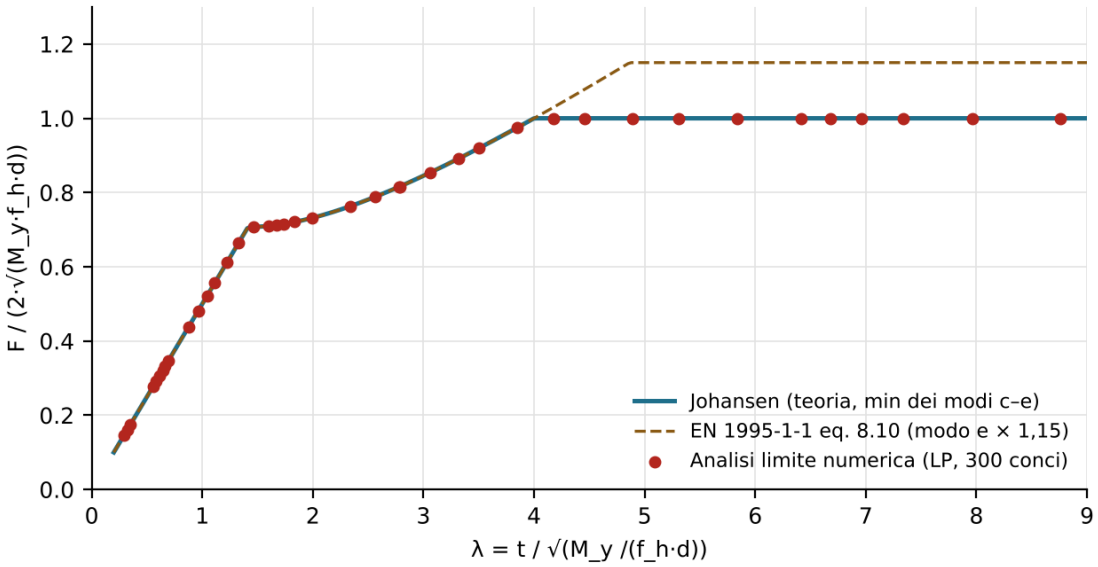

Figura 2 – Capacità adimensionale: teoria (linea continua), EN 1995-1-1 (tratteggio) e analisi limite numerica (punti).

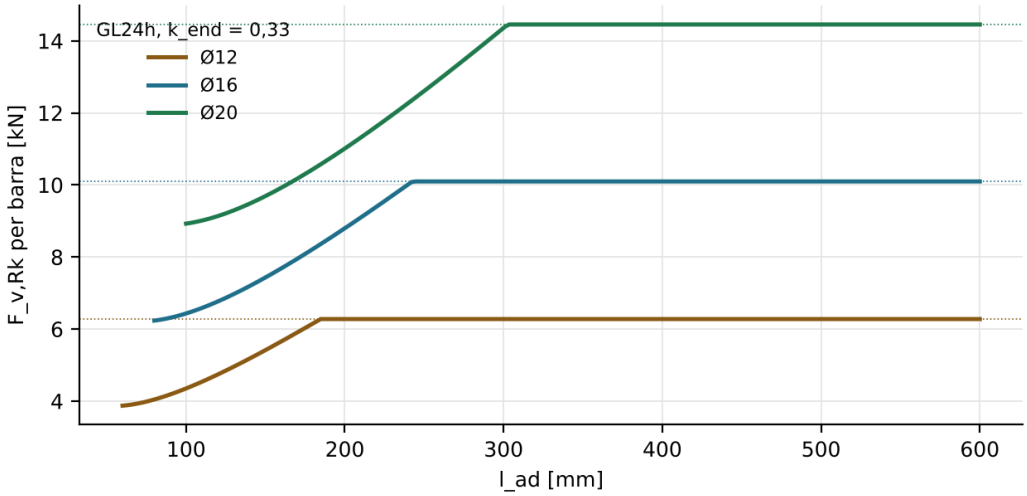

Figura 3 – $F_{v,Rk}$ per barra in funzione di l_{ad} (GL24h, k_{end} = 0,33). Oltre $l_{ad} \approx$ 8–10d governa il modo (e) con due cerniere plastiche (linee puntinate): allungare l'incollaggio non aumenta la resistenza a taglio.

4.2 Rifollamento parallelo alla fibra (V3)

La EN 1995-1-1 non fornisce f_h per spinotti con asse parallelo alla fibra. Il programma adotta $f_{h,k} = k_{end} \cdot f_{h,90,k}$ con k_{end} = 0,33. Come riferimento indipendente si usa l'espressione di Bejtka (2005) per elementi a gambo cilindrico con asse inclinato di α sulla fibra, $f_h = 0{,}022 \cdot \rho^{1{,}24} \cdot d^{-0{,}3} / (2{,}5 \cdot \cos^2\alpha + \sin^2\alpha)$, qui con α = 0 (come riportata da Stamatopoulos et al., 2022).

ρ [kg/m³]	d [mm]	programma [MPa]	Bejtka [MPa]	rapporto	k_{end} equivalente
385	10	6,25	7,09	0,88	0,37
385	12	5,99	6,71	0,89	0,37
385	16	5,50	6,15	0,89	0,37
385	20	5,05	5,76	0,88	0,38
385	24	4,63	5,45	0,85	0,39
425	10	6,90	8,01	0,86	0,38
425	12	6,61	7,58	0,87	0,38
425	16	6,08	6,96	0,87	0,38
425	20	5,58	6,51	0,86	0,39
425	24	5,11	6,16	0,83	0,40

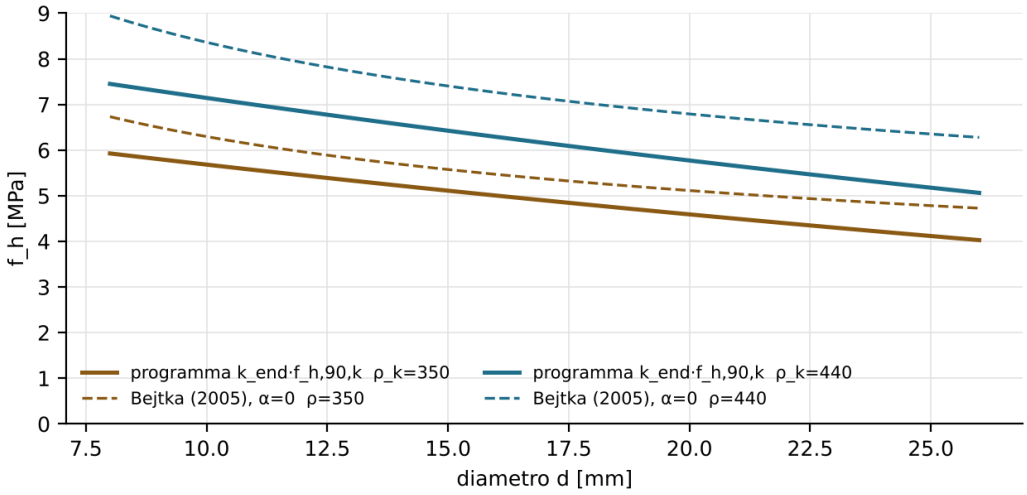

Figura 4 – Rifollamento parallelo alla fibra. Il valore del programma è inferiore del 9–18 % (k_{end} equivalente 0,37–0,40).

Il valore adottato è quindi coerente con la letteratura e a favore di sicurezza (rapporto 0,82–0,91). Si osserva però che Stamatopoulos et al. (2022) segnalano una forte dispersione del rifollamento per carichi applicati a barre filettate e che la formula di Bejtka è calibrata su viti: in assenza di prove sul sistema specifico, k_{end} = 0,33 resta l'assunzione più incerta del modello.

4.3 Resistenza di aderenza delle barre incollate (V4, V5)

La resistenza caratteristica di aderenza DIN 1052:2008 è confrontata con due serie sperimentali indipendenti. **Steiger, Gehri e Widmann (2007)** hanno provato barre M12–M20 incollate con epossidica in lamellare di abete parallelamente alla fibra (procedimento GSA) e propongono la regressione media $F_{ax,mean} = 0{,}045 \cdot (l \cdot \pi \cdot d_h)^{0{,}8}$ kN, con d_h = d + 2 mm. **Blass e Laskewitz** (progetto GIROD) hanno provato barre M16 in fori Ø17 con resina PRF, incollate perpendicolarmente alla fibra in travi di altezza crescente.

Barra	l [mm]	l/d_h	F_{mean} prova [kN]	$R_{ax,k}$ DIN [kN]	rapporto
M12	105	7,5	38,4	15,8	2,43
M12	140	10,0	48,4	21,1	2,29
M12	175	12,5	57,8	26,4	2,19
M16	140	7,8	59,2	28,1	2,10
M16	175	9,7	70,7	35,2	2,01
M16	220	12,2	84,9	44,2	1,92
M20	175	8,0	83,0	44,0	1,89
M20	220	10,0	99,7	55,3	1,80
M20	275	12,5	119,2	67,0	1,78

Serie	H [mm]	l_0 [mm]	F_{max} [kN]	τ [MPa]	$f_{k1,k}$ [MPa]	$R_{ax,k}$ [kN]	rapporto
GIq-1	320	320	84,0	5,22	3,65	58,7	1,43
GIq-2	400	320	80,7	5,02	3,65	58,7	1,37
GIq-3	480	320	70,4	4,37	3,65	58,7	1,20
GIq-4	560	320	66,0	4,10	3,65	58,7	1,12
GIq-5	240	160	42,4	5,27	4,00	32,2	1,32
GIq-6	280	160	36,5	4,54	4,00	32,2	1,13
GIq-7	320	160	37,7	4,69	4,00	32,2	1,17
GIq-8	500	160	29,7	3,70	4,00	32,2	0,92

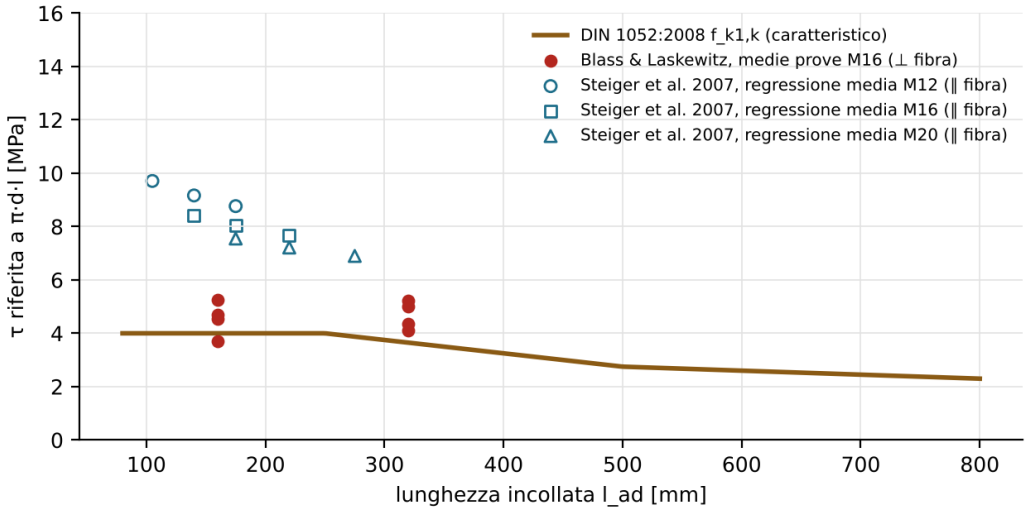

Figura 5 – Aderenza caratteristica DIN 1052:2008 e valori medi sperimentali (τ riferita a π·d·l).

Il rapporto tra resistenza media sperimentale e valore caratteristico della norma è 1,8–2,4 per le prove parallele alla fibra e 1,1–1,4 per quelle perpendicolari. L'unico valore inferiore a 1 (GIq-8, 0,92) riguarda una trave alta 500 mm con l_0 = 160 mm, rotta per trazione ortogonale alla fibra e non per sfilamento: conferma che il meccanismo di spacco va verificato a parte, come fa il programma. Il modello di aderenza risulta a favore di sicurezza.

4.4 Barre incollate caricate trasversalmente: prova di Orlando et al. (2019) (V6)

Orlando, Taddia, Benvenuti, Pizzo e Alessandri hanno provato 15 travi GL28h 120×160 mm, luce 1800 mm, con la testata ricostruita mediante 4 barre S275 Ø10 lunghe 400 mm (200 mm per parte) incollate con resina epossidica e caricate trasversalmente. Il carico medio di rottura della serie di riferimento è P = 61,7 kN, cioè un taglio sul giunto V ≈ P/2 = 30,8 kN, coerente con la tensione tangenziale media di 2,3–2,4 MPa riportata dagli autori. Si confronta la prova con il modello del programma (Johansen, rifollamento $k_{end}·f_{h,90}$) applicato sia come piastra spessa (ipotesi del programma, incastro nel cordolo) sia come giunto legno–legno (EN 1995-1-1 eq. 8.6), più vicino alla configurazione della prova.

Ipotesi	f_h [MPa]	4 barre, piastra spessa [kN]	V_{prova}/V	4 barre, legno–legno [kN]	V_{prova}/V
Caratteristico (ρ_k = 425, f_u = 430)	6,90	17,32	1,78	12,25	2,52
Medio (ρ_m = 460)	7,47	18,02	1,71	12,74	2,42
Medio, f_h di Bejtka	8,84	19,60	1,57	13,86	2,23

Il modello sottostima la resistenza sperimentale di un fattore 1,6–2,5. La rottura nelle prove è avvenuta nel legno (fessure orizzontali e sfilamento della barra inferiore) e non per plasticizzazione delle barre: il modello di Johansen con k_{end} = 0,33 è dunque cautelativo, mentre il meccanismo che ha governato le prove è quello coperto dalla verifica a spacco corretta nella v2.0. Le prove riguardano un giunto legno–legno: per il giunto legno–calcestruzzo non sono state trovate prove pubblicate direttamente confrontabili.

4.5 Spacco per forza ortogonale alla fibra (V9)

La formula 8.4 della EN 1995-1-1, $F_{90,Rk} = 14·b·w·\sqrt{(h_e/(1 - h_e/h))}$, deriva dalla meccanica della frattura (van der Put e Leijten, 2000). La validazione riguarda la sua applicazione: definizione del bordo caricato (§2.1) e forza di confronto. In testata tutta la forza grava da un lato, quindi $F_{v,Ed} = V_{Ed}$, come previsto dalla norma per $\max(F_{v,Ed,1}; F_{v,Ed,2})$. Le prove di Blass e Laskewitz mostrano il passaggio dallo sfilamento alla rottura per trazione ortogonale al diminuire del rapporto tra profondità dei connettori e altezza della trave, e le prove di Orlando et al. mostrano fessure longitudinali all'altezza delle barre: entrambe confermano il meccanismo verificato. Non avendo trovato prove con barre parallele alla fibra e posizione nota, il confronto resta qualitativo. Quando $h_e/h < 0,7$ il programma lo segnala: in quel caso si raccomandano barre basse nella sezione o rinforzi a trazione ortogonale (viti a tutto filetto), come nelle configurazioni rinforzate di Orlando et al.

4.6 Ancoraggio nel calcestruzzo (V7)

Classe	f_{ctk} NTC [MPa]	$f_{ctk,0,05}$ EC2 Tab. 3.1	scarto	f_{bd} [MPa]	$l_{b,rqd}$ (f_{yd} = 391)
C20/25	1,55	1,5	3,2 %	2,32	42,1 Ø
C25/30	1,80	1,8	-0,3 %	2,69	36,3 Ø
C30/37	2,03	2,0	1,4 %	3,04	32,2 Ø
C35/45	2,25	2,2	2,1 %	3,37	29,0 Ø
C40/50	2,46	2,5	-1,8 %	3,68	26,6 Ø
C45/55	2,66	2,7	-1,6 %	3,99	24,5 Ø
C50/60	2,85	2,9	-1,7 %	4,28	22,9 Ø

La formula NTC $f_{ctk} = 0{,}7 \cdot 0{,}30 \cdot f_{ck}^{2/3}$ riproduce i valori tabellati della EN 1992-1-1 entro il 3 %. Per C25/30 e aderenza buona si ottiene f_{bd} = 2,69 MPa, il valore di 2,7 MPa riportato nella manualistica. La lunghezza di ancoraggio di base vale 36,3Ø con f_{yd} = 391 MPa (B450C); con f_{yd} = 435 MPa (B500) diventa 36,3·435/391 = 40,4Ø, in accordo con il valore 40Ø delle tabelle di dettaglio per C25/30 (The Concrete Centre, *How to design concrete structures using Eurocode 2*).

4.7 Effetto spinotto nel calcestruzzo (V8)

Barra	f_{ck}	V_{Rd} programma [kN]	$A \cdot f_{yd}/\sqrt{3}$ [kN]	$V_{u,medio}$ [kN]	fattore
Ø12	C25	13,9	25,6	23,9	1,72
Ø12	C32	15,8	25,6	26,3	1,67
Ø16	C25	24,8	45,4	42,5	1,72
Ø16	C32	28,0	45,4	46,8	1,67
Ø20	C25	38,7	71,0	66,5	1,72
Ø20	C32	43,8	71,0	73,2	1,67
Ø24	C25	55,8	102,2	95,7	1,72
Ø24	C32	63,1	102,2	105,4	1,67

Il programma usa la formula di Rasmussen (1963), $V = 1{,}3 \cdot Ø^2 \cdot \sqrt{(f_c \cdot f_y)}$, confermata da Vintzeleou e Tassios (1986) per barre senza eccentricità e con copriferro ampio, introducendo i valori di progetto $f_{cd} = 0{,}85 \cdot f_{ck}/1{,}5$ e f_{yd}. Rispetto alla capacità media attesa ($f_{cm} = f_{ck} + 8$; $f_{y,m} \approx 1{,}1 \cdot f_{yk}$) il margine implicito è circa 1,7, adeguato per un valore di progetto. La formula vale solo se il copriferro verso il bordo caricato è ampio: il programma lo segnala con il controllo indicativo c ≥ 5Ø.

5. Controllo degli elaborati prodotti (V10)

- **Relazione PDF.** Generata dal programma senza librerie esterne, PDF 1.7. qpdf --check non rileva errori di sintassi o di codifica dei flussi. I tre font DejaVu sono incorporati come sottoinsiemi TrueType con mappa Unicode (pdffonts: emb/sub/uni = sì): il testo è selezionabile e ricercabile. La relazione del caso base è di 9 pagine: dati, materiali, disegni vettoriali, riepilogo, calcolo dettagliato, distinta e ipotesi.
- **Esecutivo DXF.** Formato R12 (AC1009), unità mm. Il lettore indipendente conta 522 3DFACE, 275 LINE, 123 TEXT, 9 POLYLINE, 8 CIRCLE e 6 ARC su 19 layer. Il file contiene sezione longitudinale, pianta, prospetto della testata, assonometria, modello 3D, sagoma quotata della barra, distinta di taglio e piegatura, lavorazioni della trave, coordinate dei fori e cartiglio. LibreOffice Draw lo importa senza errori.
- **Coerenza geometrica.** La lunghezza delle 4 polilinee 3D dell'asse delle barre è 855,3 mm, contro uno sviluppo teorico di 855,7 mm (-0,04 %, dovuto alla discretizzazione del gancio in 12 corde).

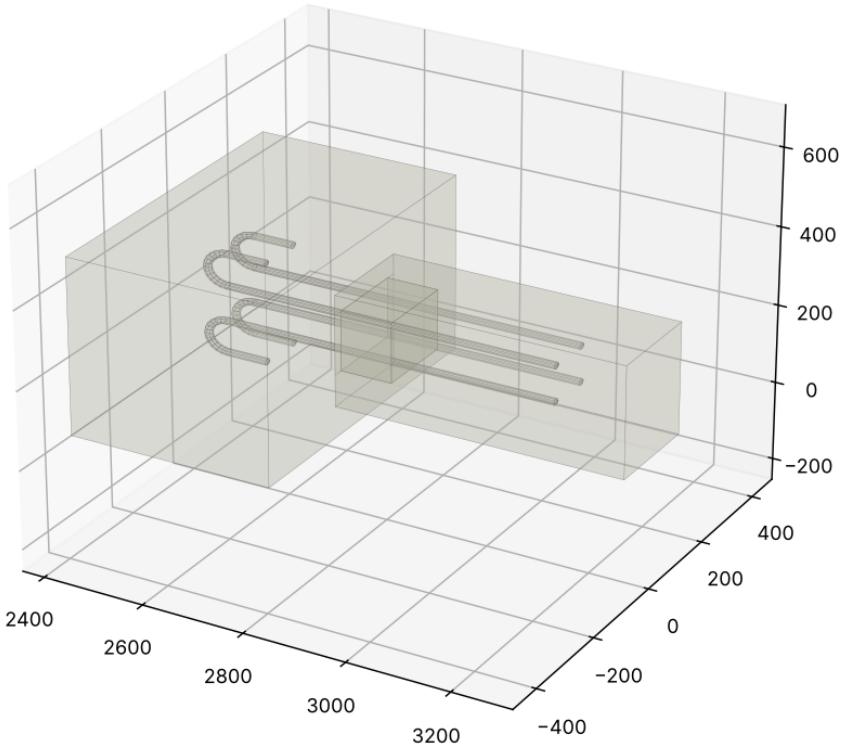

Figura 6 – Modello 3D (3DFACE) letto dal DXF con un lettore indipendente.

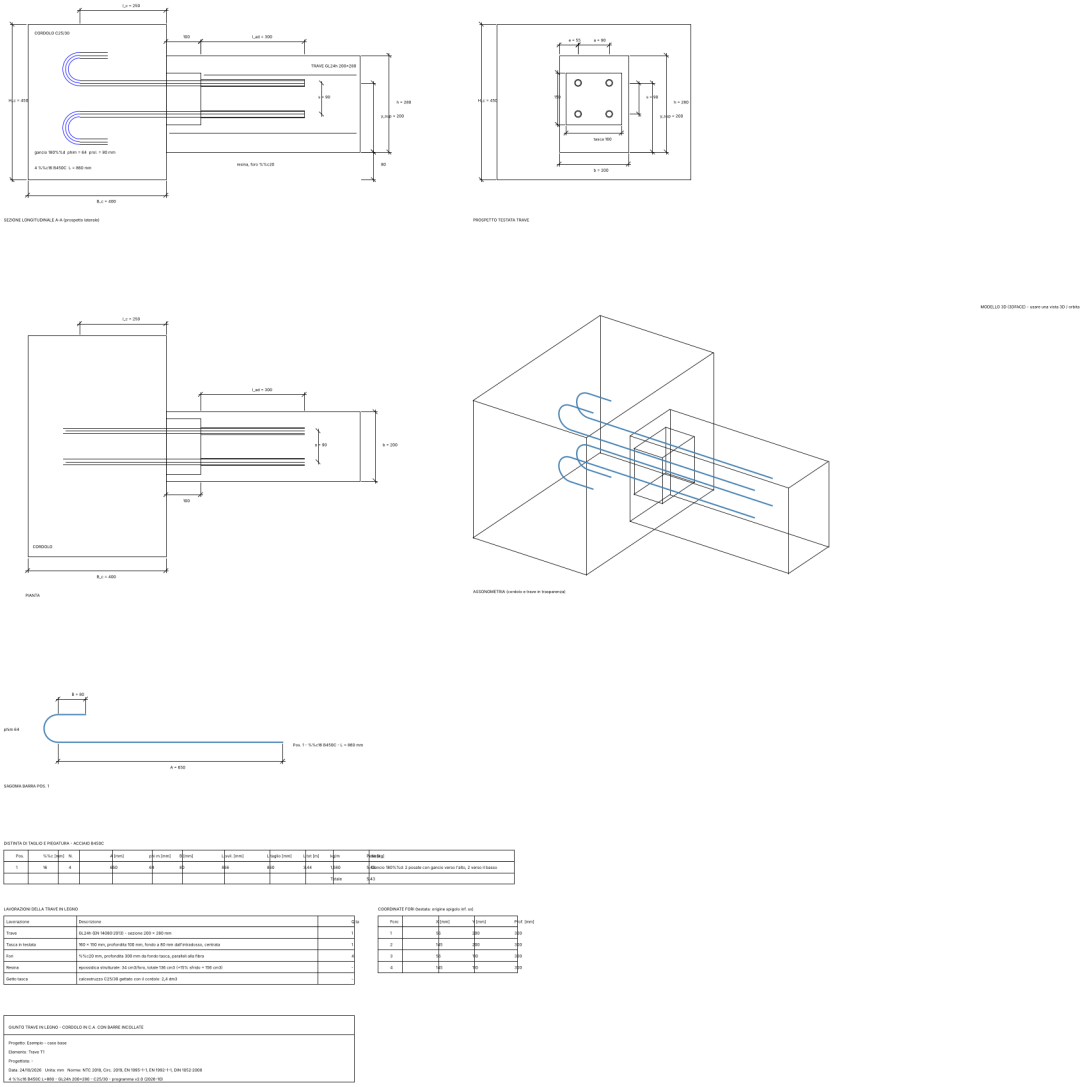

Figura 7 – Viste 2D del DXF lette con lo stesso lettore (testi non allineati: il lettore di controllo ignora l'allineamento DXF).

6. Limiti della validazione e raccomandazioni

- Non sono state trovate prove pubblicate sul giunto specifico legno–calcestruzzo con barre parallele alla fibra caricate a taglio e ancorate con gancio. La validazione combina perciò soluzioni teoriche, norme e prove su configurazioni affini.
- Il coefficiente k_{end} = 0,33 per il rifollamento parallelo alla fibra è cautelativo rispetto a Bejtka (2005) e alle prove di Orlando et al. (2019), ma non è normato: per progetti importanti va confermato con ETA del sistema o prove.
- La verifica a spacco EC5 §8.1.4 è stata validata nell'impostazione ma non quantitativamente, per mancanza di prove con posizione delle barre nota: si raccomanda di mantenere $h_e/h \geq 0{,}7$ o di prevedere rinforzi.
- Il modello presuppone il contatto tra testata e cordolo. Un giunto aperto introduce un braccio di leva sulle barre, non considerato.
- Restano escluse e vanno verificate a parte: il cordolo (taglio, torsione, staffe), la rottura a blocco del legno sotto trazione, il comportamento al fuoco e sismico, la durabilità della resina (classe di servizio 3).

7. Bibliografia

[1] D.M. 17/01/2018, Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni (NTC 2018); Circolare C.S.LL.PP. 21/01/2019 n. 7.

[2] UNI EN 1995-1-1:2014, Eurocodice 5 – Progettazione delle strutture di legno – Parte 1-1.

[3] UNI EN 1992-1-1:2015, Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1.

[4] DIN 1052:2008-12, Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken.

[5] Bejtka, I. (2005). Verstärkung von Bauteilen aus Holz mit Vollgewindeschrauben. Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Band 2, Universität Karlsruhe.

[6] Stamatopoulos, H., Massaro, F. M., Qazi, J. (2022). Mechanical properties of laterally loaded threaded rods embedded in softwood. European Journal of Wood and Wood Products 80, 169–182. doi:10.1007/s00107-021-01747-6.

[7] Steiger, R., Gehri, E., Widmann, R. (2007). Pull-out strength of axially loaded steel rods bonded in glulam parallel to the grain. Materials and Structures 40(1), 69–78.

[8] Blaß, H. J., Laskewitz, B. Load-carrying capacity of axially loaded rods glued-in perpendicular to the grain. Universität Karlsruhe, progetto europeo GIROD.

[9] Orlando, N., Taddia, Y., Benvenuti, E., Pizzo, B., Alessandri, C. (2019). End-repair of timber beams with laterally-loaded glued-in rods: experimental trials and failure prediction through modelling. Construction and Building Materials.

[10] Muciaccia, G. (2019). An experimental approach to determine pull-out strength of single and multiple axially loaded steel rods bonded in glulam parallel to the grain. Wood Material Science & Engineering. doi:10.1080/17480272.2017.1404491.

[11] Rasmussen, B. H. (1963). The carrying capacity of transversely loaded bolts and dowels embedded in concrete. Bygningsstatiske Meddelelser 34(2).

[12] Vintzeleou, E. N., Tassios, T. P. (1986). Mathematical models for dowel action under monotonic and cyclic conditions. Magazine of Concrete Research 38(134), 13–22.

[13] van der Put, T. A. C. M., Leijten, A. J. M. (2000). Evaluation of perpendicular to grain failure of beams caused by concentrated loads of joints. Proceedings CIB-W18, Meeting 33, Delft.

[14] The Concrete Centre. How to design concrete structures using Eurocode 2 – Detailing.