# Report di validazione

Confronto dei risultati del motore di calcolo con soluzioni in forma chiusa, con i dati pubblicati nel catalogo Esse Team e con esempi numerici pubblicati in rete. Gli scostamenti sono riportati senza correzioni.

## V1 — Statica e deformabilità della trave appoggiata

| Grandezza | Formula esatta | Software | Scarto |
|---|---|---|---|
| M max, q = 20 kN/m, L = 12 m | 360,00 kNm | 360,00 kNm | 0,000% |
| V appoggio | 120,00 kN | 120,00 kN | 0,000% |
| Freccia $5qL^4/384EI$ | 32,006 mm | 32,001 mm | -0,016% |
| M sotto P = 100 kN in mezzeria | 300,00 kNm | 300,00 kNm | 0,000% |
| Freccia $PL^3/48EI$ | 21,338 mm | 21,336 mm | -0,010% |
| Controfreccia $-P \cdot e \cdot L^2/8EI$ | -21,338 mm | -21,338 mm | 0,000% |

EI = 36283 MPa × 4,65·10⁹ mm⁴; integrazione numerica su 100 tratti. Gli scarti sono dovuti alla sola discretizzazione.

## V2 — Peso $g_1k$ rispetto alle tabelle del catalogo

Il catalogo riporta il «peso totale per m²» con controcappa di 7 cm (elementi U) e 5 cm (elementi O). Il software calcola $g_1k$ = P_L/1,203 + 25·hc. Scarto massimo sui 48 moduli: 0,84%.

| Sezione | hc | Catalogo kN/m² | Software kN/m² | Scarto |
|---|---|---|---|---|
| U7H35 | 7 cm | 5,00 | 5,04 | 0,84% |
| U7H40 | 7 cm | 5,20 | 5,23 | 0,63% |
| U7H45 | 7 cm | 5,42 | 5,45 | 0,54% |
| U7H50 | 7 cm | 5,64 | 5,67 | 0,59% |
| U7H55 | 7 cm | 5,86 | 5,89 | 0,51% |
| U7H60 | 7 cm | 6,08 | 6,11 | 0,56% |
| U7H65 | 7 cm | 6,30 | 6,33 | 0,48% |
| U7H70 | 7 cm | 6,52 | 6,55 | 0,40% |
| U7H75 | 7 cm | 6,74 | 6,77 | 0,46% |
| U7H80 | 7 cm | 6,95 | 6,99 | 0,53% |
| U7H85 | 7 cm | 7,17 | 7,21 | 0,58% |
| U7H90 | 7 cm | 7,39 | 7,43 | 0,51% |
| U14H35 | 7 cm | 6,12 | 6,15 | 0,45% |
| U14H40 | 7 cm | 6,34 | 6,37 | 0,50% |
| U14H45 | 7 cm | 6,56 | 6,60 | 0,55% |
| U14H50 | 7 cm | 6,78 | 6,81 | 0,48% |
| U14H55 | 7 cm | 6,98 | 7,01 | 0,46% |
| U14H60 | 7 cm | 7,22 | 7,25 | 0,46% |
| U14H65 | 7 cm | 7,44 | 7,47 | 0,39% |
| U14H70 | 7 cm | 7,66 | 7,69 | 0,44% |
| U14H75 | 7 cm | 7,88 | 7,91 | 0,38% |
| U14H80 | 7 cm | 8,10 | 8,13 | 0,32% |
| U14H85 | 7 cm | 8,32 | 8,35 | 0,36% |
| U14H90 | 7 cm | 8,53 | 8,57 | 0,43% |
| O7H35 | 5 cm | 5,55 | 5,58 | 0,56% |
| O7H40 | 5 cm | 5,76 | 5,79 | 0,50% |
| O7H45 | 5 cm | 5,98 | 6,00 | 0,41% |
| O7H50 | 5 cm | 6,20 | 6,22 | 0,34% |
| O7H55 | 5 cm | 6,42 | 6,45 | 0,39% |
| O7H60 | 5 cm | 6,64 | 6,66 | 0,32% |
| O7H65 | 5 cm | 6,86 | 6,89 | 0,38% |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| O7H70 | 5 cm | 7,08 | 7,10 | 0,31% |
| O7H75 | 5 cm | 7,30 | 7,32 | 0,25% |
| O7H80 | 5 cm | 7,52 | 7,54 | 0,30% |
| O7H85 | 5 cm | 7,74 | 7,76 | 0,24% |
| O7H90 | 5 cm | 7,96 | 7,98 | 0,29% |
| O14H35 | 5 cm | 6,67 | 6,69 | 0,25% |
| O14H40 | 5 cm | 6,90 | 6,92 | 0,28% |
| O14H45 | 5 cm | 7,12 | 7,14 | 0,33% |
| O14H50 | 5 cm | 7,34 | 7,37 | 0,38% |
| O14H55 | 5 cm | 7,54 | 7,57 | 0,37% |
| O14H60 | 5 cm | 7,78 | 7,81 | 0,37% |
| O14H65 | 5 cm | 8,00 | 8,02 | 0,31% |
| O14H70 | 5 cm | 8,22 | 8,24 | 0,25% |
| O14H75 | 5 cm | 8,44 | 8,47 | 0,30% |
| O14H80 | 5 cm | 8,66 | 8,68 | 0,25% |
| O14H85 | 5 cm | 8,88 | 8,91 | 0,29% |
| O14H90 | 5 cm | 9,10 | 9,12 | 0,24% |

## V3 — Stato di precompressione ricavato dal catalogo

| Modulo | P∞ | σp∞ = P∞/Ap | σs cat. / ricalc. | σi cat. / ricalc. |
|---|---|---|---|---|
| U7H35 a | 719 kN | 1288 MPa | -1,23 / -1,23 | -5,60 / -5,60 |
| U14H50 u | 3838 kN | 1150 MPa | 2,66 / 2,66 | -20,32 / -20,32 |
| O7H50 r | 4036 kN | 1208 MPa | 2,28 / 2,28 | -26,79 / -26,79 |
| O14H90 a | 1020 kN | 1223 MPa | 0,24 / 0,24 | -4,45 / -4,45 |

La tensione media nei trefoli a cadute esaurite (circa 1150–1290 MPa, pari a 0,62–0,69·fptk con fptk = 1860 MPa) è coerente con una tesatura iniziale di circa 0,75–0,80·fptk e perdite totali dell'ordine del 12–20%. Le tensioni ricalcolate coincidono con quelle di catalogo per costruzione.

## V4 — Resistenza a taglio-punzonamento: esempio pubblicato

Fonte: Structville, «Design example of punching shear in slabs (Eurocode 2)», 2018 — piastra h = 250 mm, d = 213 mm, C30, ρl = 0,00582. Si ricalcola con la stessa espressione usata dal software (stessa forma di NTC 2018 §4.1.2.3.5.1, senza il termine σcp).

| Grandezza | Pubblicato | Software | Scarto |
|---|---|---|---|
| k = 1 + √(200/d) | 1,969 | 1,969 | 0,000% |
| v_Rd,c [MPa] | 0,613 | 0,613 | -0,004% |
| v_Rd,max [MPa] con 0,5·ν·fcd, fcd = fck/1,5 (scelta dell'esempio) | 5,28 | 5,280 | 0,000% |
| v_Rd,max [MPa] adottato dal software: 0,4·ν·0,85·fck/1,5 | — | 3,590 | più cautelativo |

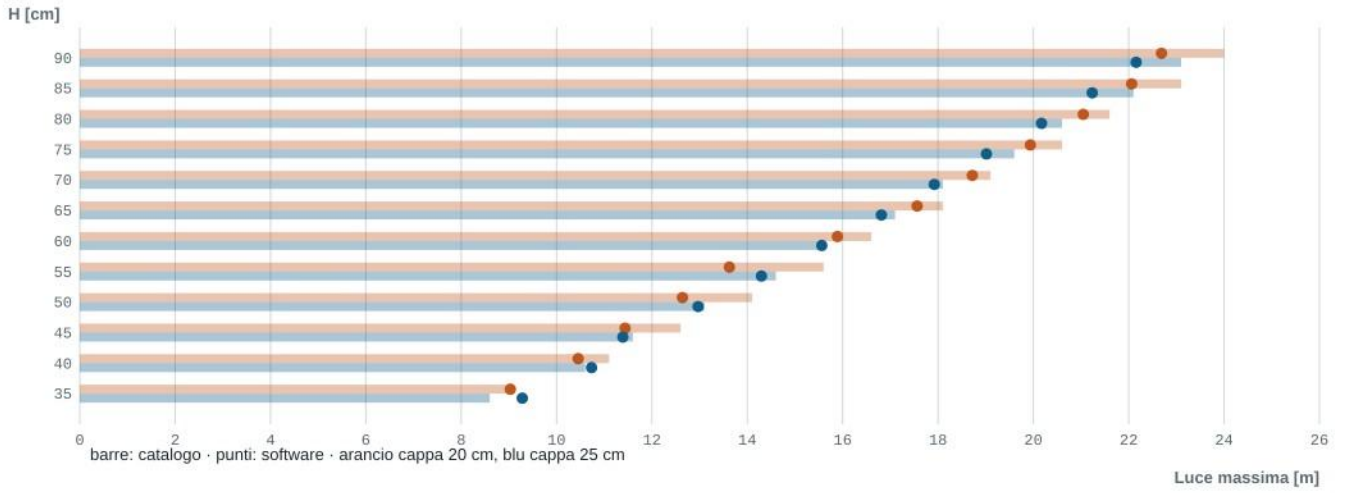
## V5 — Perimetro critico di punzonamento

Impronta 400×400 mm, pavimentazione 100 mm → 600×600 mm; d = 200 mm. Formula EC2: u1 = 2(a0 + b0) + 4πd = 4913,3 mm. Il software usa la stessa espressione per l'impronta in mezzeria e la forma troncata u1 = b0 + 2(a0 + a) + 2πd vicino alla testata (EC2 fig. 6.15).

## V6 — Luci massime rispetto al diagramma di predimensionamento del catalogo

Il catalogo (pag. 27) riporta, per TOP BRIDGE U14 con controcappa 20 e 25 cm, la luce di calcolo massima per ogni altezza H. Il software cerca, per ciascuna altezza, la luce massima per cui almeno un'armatura della serie U14 soddisfa tutte le verifiche, con le ipotesi di carico: NTC Schema 1 (tandem 2×300 kN ripartito su 3,0 m di corsia; q1k = 9 kN/m²), $g_2k$ = 3,0 kN/m², staffe 503 mm²/m, ambiente aggressivo. Il catalogo non dichiara le proprie ipotesi di carico: il confronto misura la coerenza d'insieme.

| Modulo | Cappa | L max catalogo [m] | L max software [m] | Scarto |
|---|---|---|---|---|
| U14H35 | 20 cm | 9,0 | 9,0 | 0% |
| U14H40 | 20 cm | 11,1 | 10,5 | -6% |
| U14H45 | 20 cm | 12,6 | 11,4 | -9% |
| U14H50 | 20 cm | 14,1 | 12,6 | -10% |
| U14H55 | 20 cm | 15,6 | 13,6 | -13% |
| U14H60 | 20 cm | 16,6 | 15,9 | -4% |
| U14H65 | 20 cm | 18,1 | 17,6 | -3% |
| U14H70 | 20 cm | 19,1 | 18,7 | -2% |
| U14H75 | 20 cm | 20,6 | 19,9 | -3% |
| U14H80 | 20 cm | 21,6 | 21,0 | -3% |
| U14H85 | 20 cm | 23,1 | 22,1 | -4% |
| U14H90 | 20 cm | 24,0 | 22,7 | -5% |
| U14H35 | 25 cm | 8,6 | 9,3 | 8% |
| U14H40 | 25 cm | 10,6 | 10,7 | 1% |
| U14H45 | 25 cm | 11,6 | 11,4 | -2% |
| U14H50 | 25 cm | 13,1 | 13,0 | -1% |
| U14H55 | 25 cm | 14,6 | 14,3 | -2% |
| U14H60 | 25 cm | 15,6 | 15,6 | -0% |
| U14H65 | 25 cm | 17,1 | 16,8 | -2% |
| U14H70 | 25 cm | 18,1 | 17,9 | -1% |
| U14H75 | 25 cm | 19,6 | 19,0 | -3% |
| U14H80 | 25 cm | 20,6 | 20,2 | -2% |
| U14H85 | 25 cm | 22,1 | 21,2 | -4% |
| U14H90 | 25 cm | 23,1 | 22,2 | -4% |




Scarto medio -3,1%, minimo -12,7%, massimo 7,9%. Nella maggior parte dei casi il software fornisce luci uguali o leggermente inferiori a quelle del catalogo (lato della sicurezza). Gli scostamenti maggiori, per H 45–55 con cappa 20 cm, derivano dalla verifica a taglio della sezione alleggerita e dalla lunghezza massima delle zone piene, che dipendono da ipotesi non riportate nel catalogo (armatura a taglio delle nervature, ripartizione trasversale del tandem).

## Esito

Le formule implementate riproducono le soluzioni esatte (scarti < 0,1% dovuti alla discretizzazione), i pesi di catalogo (scarto < 1%) e l'esempio pubblicato di resistenza a punzonamento (scarto < 0,1%). Il confronto globale con il diagramma di predimensionamento del produttore fornisce scarti compresi nell'intervallo indicato sopra. Il software è uno strumento di predimensionamento e verifica: non sostituisce la verifica del produttore né il giudizio del progettista.

Fonti: catalogo «TOP SOL® / TOP BRIDGE® — Versione 2», Esse Team (esseteam.it); Structville (2018), Design example of punching shear in slabs Eurocode 2, structville.com; D.M. 17/01/2018; UNI EN 1992-1-1.