Validazione programma cerchiature – benchmark 3Muri e foglio «Verifica telaio»

Oct 29, 2026 · @giulio

Il programma *Cerchiatura_aperture_elastoplastica_3.html* riproduce 3Muri su maschi murari, rigidezza del telaio e risultati della parete ante operam con scarti entro l'arrotondamento dei dati 3Muri (⩽ 0,4%). Si discosta solo sul ramo plastico del telaio in acciaio: qui il programma dà 260,6 kN contro i 534,0 kN di 3Muri, e il valore del programma è quello corretto. I giunti coincidono con il foglio «Verifica telaio» (scarti ⩽ 0,2%, dovuti a π = 3,14 nel foglio).

Oggetto e file confrontati

Ruolo	File
Programma validato	Cerchiatura_aperture_elastoplastica_3.html (calcolo dei giunti corretto, diagrammi M-V-N, export DXF)
Benchmark	caso_benchmarck_acciaio__3muri.docx (relazione 3Muri, cerchiatura con 2 HEM 120 + 2 IPE 240)
Riferimento per i giunti	Esempio2_Verifica_telaio_acciaio.xls (foglio «Verifica telaio»)

Tutti i casi sono stati eseguiti con lo stesso codice JavaScript del programma, caricato in un browser senza interfaccia e con i dati impostati come da un utente.

Benchmark 3Muri: dati di input

Parete L = 950 cm, H = 300 cm, t = 30 cm; tre aperture 80 × 220 cm ante operam; post operam la prima apertura diventa 320 × 220 cm con portale in acciaio.

Parametro	3Muri	Impostazione nel programma
Muratura	E = 4550, G = 1137,5 N/mm²; fm = 650, τ = 12,5 N/cm²; w = 15 kN/m³	Tipologia «Personalizzata», stessi valori, γM = 1
Fattore di confidenza	FC = 1,20	LC2 (FC = 1,20)

Parametro	3Muri	Impostazione nel programma
Legame a taglio	Turnsek/Cacovic, rigidezza fessurata	Turnsek/Cacovic, K × 0,5
Altezza maschi	300 cm	«altezza di piano (come 3Muri)»
Spostamento ultimo	3,00 cm per tutti i maschi	drift pressoflessione 1% h
Aperture ante (x da sx)	60, 418, 592 cm	uguali
Aperture post (x da sx)	10 cm (320 × 220, cerchiata), 418, 592 cm	uguali
Carichi sui maschi ante	q = 428, 348, 1743, 679 daN/m	nuovo campo «q per maschio»: 4,28; 3,48; 17,43; 6,79 kN/m
Carichi sui maschi post	q = 1250, 1250, 1743, 679 daN/m	12,50; 12,50; 17,43; 6,79 kN/m
Montanti	2 HEM 120: A = 132,82 cm², J = 4036 cm⁴, Wpl = 701,2 cm³	2 × HEM120 (Wpl = 700 cm³)
Traverso	2 IPE 240: A = 78,24 cm², J = 7784 cm⁴, Wpl = 733,2 cm³	2 × IPE240 (Wpl = 734 cm³)
Acciaio	fyk = 215 N/mm², γs = 1,05; vincoli rigidi	fyk = 215, γs = 1,05; base e nodi rigidi; senza riduzione Mpl per N

Il campo «q in sommità per maschio» è stato aggiunto per poter riprodurre il benchmark: imposta σ0 = q/t senza peso proprio, come risulta fare 3Muri (Vpf = N·l/h con N = q·l). Se lasciato vuoto, il programma calcola σ0 dai carichi come prima.

Benchmark 3Muri: confronto dei risultati

Maschi, rigidezze e parete ante operam coincidono; la parete post operam differisce solo per il contributo resistente del telaio.

Elementi

Elemento	K 3Muri [N/m]	K programma [N/m]	Vlim 3Muri [daN]	Vlim programma [daN]	Scarto V	du 3Muri / programma [cm]
Ante M1 (l = 60)	4.580.536,91	4.580.536,91	51	51,2	+0,4% (arrotond.)	3,00 / 3,00

Elemento	K 3Muri [N/m]	K programma [N/m]	Vlim 3Muri [daN]	Vlim programma [daN]	Scarto V	du 3Muri / programma [cm]
Ante M2 (I = 278)	106.035.071,34	106.035.071,35	893	894,2	+0,13%	3,00 / 3,00
Ante M3 (I = 94)	14.270.362,08	14.270.362,08	507	506,9	−0,02%	3,00 / 3,00
Ante M4 (I = 278)	106.035.071,34	106.035.071,35	1.742	1.740,6	−0,08%	3,00 / 3,00
Post M1 (I = 10)	25.143,68	25.143,68	4	4,1	arrotond.	3,00 / 3,00
Post M2 (I = 88)	12.191.036,96	12.191.036,96	320	319,7	−0,09%	3,00 / 3,00
Post M3, M4	come ante	come ante	507 / 1.742	506,9 / 1.740,6	come ante	3,00 / 3,00
Cerchiatura (portale)	14.309.931,70	14.309.803,89	53.402	26.060,6	**−51,2%**	8,21 / 9,55

Gli scarti sui maschi sono entro l'arrotondamento dei carichi q (interi in daN/m nella relazione 3Muri). Tutti i maschi rompono per pressoflessione in entrambi i calcoli.

Parete

Grandezza	Ante 3Muri	Ante programma	Post 3Muri	Post programma	Scarto post
Resistenza [daN]	3.193	3.192,9	45.502	28.632,0	**−37,1%**
Rigidezza [N/m]	230.921.041,68	230.921.041,69	146.831.545,77	146.831.417,96	−0,0001%
Lavoro [daN·cm]	9.551	9.551,4	72.084	61.389,2	**−14,8%**
Spostamento ultimo [cm]	3,00	3,00	3,00	3,00	0%

Ricostruzione di controllo: sommando ai maschi del programma il telaio bilineare di 3Muri (K = 14.309.932 N/m fino a 534,0 kN) si ottengono 45.501 daN e 72.081 daN·cm, cioè i valori 3Muri a meno di 0,01%. L'intera differenza sulla parete post operam viene quindi dal telaio.

Verifiche

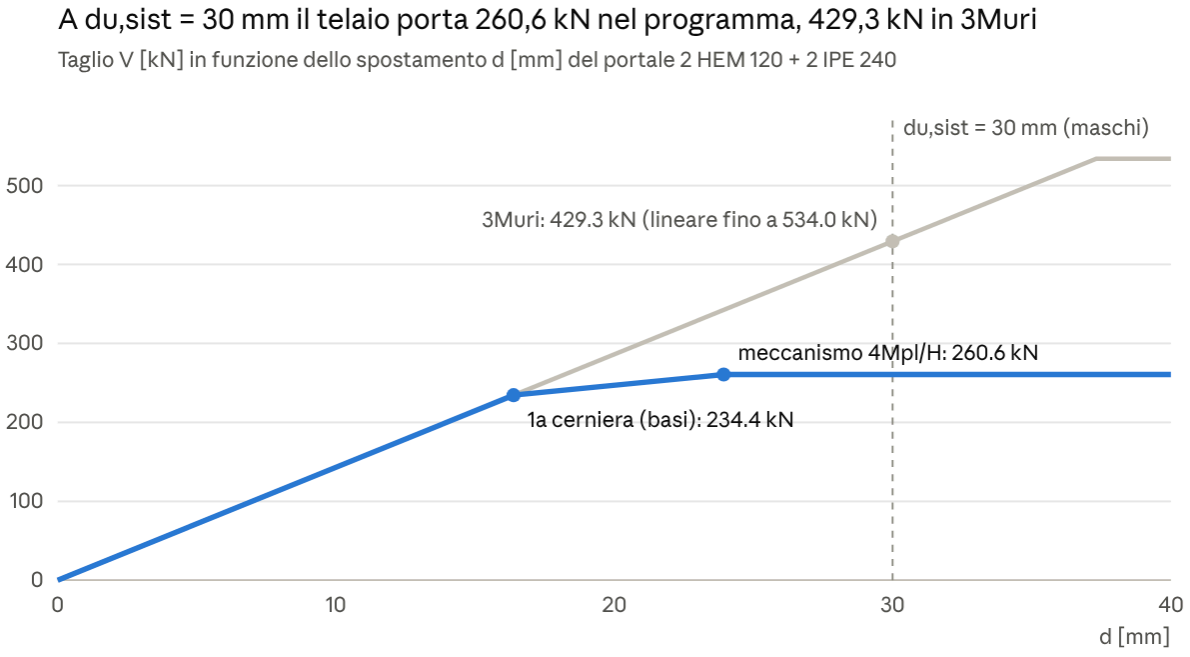
Verifica	3Muri	Programma
Resistenza post/ante	14,25 → soddisfatta	8,97 → soddisfatta

Verifica	3Muri	Programma
Variazione di rigidezza	−36,41% (non commentata nella relazione)	−36,41% → non soddisfatta con limite ±15%
Lavoro di deformazione	+654,7%	+542,7% → soddisfatta
Spostamento ultimo	0,00%	0,00% → soddisfatta

L'esito della resistenza non cambia. La riduzione di rigidezza del 36% è identica nei due calcoli e va comunque affrontata (per esempio con montanti più rigidi): il programma stima J minimo per piedritto ≈ 34.362 cm⁴ contro 4.036 cm⁴ adottati.

Perché il telaio differisce

Il valore del programma (260,6 kN) è il carico di collasso plastico del portale; quello di 3Muri (534,0 kN) ne è circa il doppio e non corrisponde a nessun meccanismo ammissibile.



Programma: analisi per passi (output del caso benchmark); 3Muri: bilineare K = 14.309.932 N/m, Vlim = 53.402 daN dalla relazione

1. **Rigidezza.** Formula chiusa per portale incastrato con ρ = (J_t/L)/(J_c/H) = 1,326: K = 24EJ_c/H³ · (6ρ+1)/(6ρ+4) = 14.310 kN/m. Coincide con entrambi i calcoli.
2. **Prima plasticizzazione.** M_base = V·H·(3ρ+1)/(2(6ρ+1)) = 0,278·V·H; con Mpl,c = 143,3 kNm si ha V_1 = 234,4 kN a d = 16,4 mm. 3Muri invece prosegue lineare fino a 37,3 mm.

3. **Meccanismo.** Il traverso (Mpl = 150,3 kNm) è più resistente dei montanti (143,3 kNm), quindi le cerniere si formano alle 4 estremità dei montanti: V = 4·Mpl,c/H = 4·143,3/2,20 = 260,6 kN. Nessun meccanismo a traslazione supera (2Mpl,c + 2Mpl,b)/H = 267 kN.
4. **Valore 3Muri.** 53.402 daN coincide con (2·Mpl,c + 2·Mpl,b)/(H/2) = 587,4 kNm / 1,10 m = 534,0 kN, calcolato con i Wpl della relazione. È il doppio del limite superiore del punto 3: un'ipotesi compatibile, non verificabile senza il codice 3Muri, è l'uso di H/2 al posto di H.

A d_u,sist = 30 mm 3Muri attribuisce al telaio K·d = 429,3 kN, già oltre la sua prima cerniera (234 kN) e oltre il meccanismo (261 kN): è questo che porta la resistenza della parete da 28.632 a 45.502 daN. Lo spostamento ultimo del telaio (8,21 contro 9,55 cm) dipende dalla capacità rotazionale assunta (nel programma θpl,u = 6·θy) e non influisce sui risultati, perché il sistema è governato dai maschi a 3,00 cm.

Giunti: confronto con il foglio «Verifica telaio»

Con i dati dell'Esempio 2 il programma riproduce sollecitazioni, giunto di base e saldature del foglio Excel; l'unico scarto (0,05%) nasce da π = 3,14 usato nel foglio per l'ancoraggio chimico.

Dati: portale l = 1,67 m, h = 2,20 m, piedritti e traverso 2 × IPE 200, S235; p = 18,40 kN/m, F_T = 83,86 kN; piastra 350 × 300 × 20 mm, 6 tirafondi Ø20 cl. 6.8, e1 = 35, p2 = 60 mm, Lb = 200 mm, τr = 9 N/mm²; fcd = 14,11 N/mm²; cordoni s = 7 mm con b = 150, b1 = 50, h1 = 200, h = 300 mm.

Grandezza	Foglio Excel	Programma	Scarto
M_A / M_C / M_E / M_D / M_B [kNm]	−50,01 / 38,36 / 3,84 / −43,52 / 52,59	−50,01 / 38,36 / 3,84 / −43,52 / 52,59	0%
N_A / N_B [kN] (+ trazione)	33,67 / −64,40	33,67 / −64,40	0%
V_A / V_B [kN]	40,17 / 43,69	40,17 / 43,69	0%
fj / c / beff / heff	9,407 N/mm² / 56,32 / 212,65 / 312,65 mm	9,407 / 56,32 / 212,65 / 312,65	0%
Aeff [mm²]	59.842	59.842	0%
Nud (ancoraggio) [kN]	99,48	99,53	+0,05% (π)
MRd base A / B [kNm]	65,65 / 65,59	65,67 / 65,61	+0,03%
Flessione piastra MEd / Mc,Rd [kN·mm]	11.937 / 6.714 → non verificato	11.943 / 6.714 → non verificato	+0,05%

Grandezza	Foglio Excel	Programma	Scarto
Taglio piastra Vc,Rd [kN]	775,3	775,3	0%
Rifollamento Fb,Rd / Fv,Ed [kN]	160,0 / 7,28	160,0 / 7,28	0%
Taglio + trazione tirafondi	0,785 (V della base A)	0,786 (A) – 0,796 (B, governa)	vedi nota
Saldature: Jx / A / Wx / Sr	10.765 cm⁴ / 74,25 cm² / 694,8 cm³ / 329,6 cm³	10.765 / 74,25 / 694,8 / 329,6	0%
Cordoni d'anima n⊥ / τ∥ / √(…) [kN/cm²]	5,753 / 1,351 / 5,909	5,753 / 1,351 / 5,909	0%
Cordoni d'ala n⊥ [kN/cm²]	8,437	8,437	0%

Note sulle scelte del programma rispetto al foglio:

- La verifica combinata dei tirafondi usa il taglio maggiore fra le due basi (B), non solo quello della base A: è più cautelativa.
- Le saldature si verificano separatamente alla base e in sommità, ciascuna con i propri massimi di M, N, V; il foglio usa l'inviluppo di tutto il montante, che qui coincide con la base B.
- Se il blocco compresso non entra nell'area efficace, x viene limitato e l'esito lo segnala; nel caso dell'esempio non accade.
- Nel programma le sollecitazioni dei giunti sommano carichi verticali SLU e stato del telaio a d_u,sist (F_T = F(d_u,sist)), come il foglio somma p e F_T. Se il telaio è già plastico, la somma può superare Mpl e il programma lo segnala come inviluppo cautelativo.

Conclusioni e limiti

Il programma è validato per maschi murari, rigidezze, curva della parete e giunti; sul telaio in acciaio è più cautelativo di 3Muri, che nel benchmark sovrastima la resistenza del portale di circa 2 volte.

- Usare il risultato del programma per il contributo resistente del portale; nel caso benchmark la verifica di resistenza resta soddisfatta (28.632 daN contro 3.193 daN).
- La rigidezza post operam cala del 36,4% in entrambi i calcoli: con il criterio ±15% l'intervento del benchmark va ridimensionato.

- Da chiarire: chiedere a S.T.A. Data (3Muri) la formula del Vlim delle cerchiature in acciaio, per confermare l'ipotesi H/2.
- Non coperti dalla validazione: verifiche locali dell'anima, punzonamento del cordolo, profondità di ancoraggio rispetto allo spessore del supporto, instabilità fuori piano dei montanti con cerniere plastiche.