



ars
mechanica

02010 - Micigliano (RI)

Fg.12 Part.1480

Dott. Ing. Alessandro TESTA - Albo Ing. Prov. RI n° 656

timbro e firma del progettista e/o del D.L.

www.arsmechanica.it

info@arsmechanica.it

Elaborato	RELAZIONE DI CALCOLO E FASCICOLO DEI CALCOLI DI STABILITA'
D10	
scala	

rev	data	descrizione	redatto	verificato	approvato
a					
b					
c					
d					
e					

CODICE INTERVENTO			FASE	CODICE ELAB. GRAFICI			CODICE ELAB.DESCRITTIVI								
tipologia	anno		n° progressivo		prog.	elab.	tipo	rev.							rev.
X X	1	9	0 0 0	-					-						

1 Premessa

L'intervento prevede il rinforzo statico di un solaio piano SAP posto al primo impalcato, il quale rappresenta il solaio di calpestio della sala consiliare. Il rinforzo viene eseguito per mezzo della posa in opera di travi in legno lamellare poste in aderenza all'intradosso del solaio esistente, ancorate alle murature perimetrali mediante delle squadrette in acciaio.

2 Normativa e documenti di riferimento

2.1 Normativa di riferimento

- D.M. 18 gennaio 2018. **NTC2018** - Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni - (*supplemento ordinario GU n. 42 del 20-2-2018*).
- Circ. Ministero Infrastrutture e Trasporti 21 Gennaio 2019, n. 7 "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018" - (*supplemento ordinario n.5 GU n. 35 del 11-2-2019*).
- CNR-DT 206-R1/2018, "Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di Legno".

3 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO E CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

3.1 Descrizione dell'intervento

L'intervento riguarda il rinforzo a carichi verticali del solaio di calpestio della sala consiliare. Tale solaio è in latero-cemento della tipologia SAP, inadeguato a sopportare i carichi statici di competenza. Il rinforzo viene eseguito con la posa in opera di nuove travi in legno lamellare poste all'intradosso del solaio esistente, in aderenza ad esso. Tali travi vengono dimensionate nell'ipotesi di dover portare tutto il carico derivante dai pesi permanenti e accidentali del solaio. Le nuove travi in legno vengono posizionate lungo la dimensione minore del locale e sono ancorate alle pareti esistenti per mezzo di angolari in acciaio.

3.2 Caratteristiche dei materiali

I materiali sono conformi a quanto riportato nel capitolo 11 delle NTC 2018. Di seguito si riportano le caratteristiche meccaniche impiegate nel calcolo e nelle verifiche della struttura, valutate secondo quanto indicato dalle norme.

Legno lamellare GL28h

Resistenza a flessione	$f_{m,k} = 28 \text{ MPa}$
Resistenza a trazione parallela alla fibratura	$f_{t,0,k} = 22.3 \text{ MPa}$
Resistenza a trazione perpendicolare alla fibratura	$f_{t,90,k} = 0.50 \text{ MPa}$
Resistenza a compressione parallela alla fibratura	$f_{c,0,k} = 28 \text{ MPa}$
Resistenza a compressione perpendicolare alla fibratura	$f_{c,90,k} = 2.5 \text{ MPa}$
Resistenza a taglio	$f_{v,k} = 3.5 \text{ MPa}$
Modulo elastico medio parallelo alle fibre	$E_{0,\text{mean}} = 12600 \text{ MPa}$
Modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre	$E_{0,05} = 10500 \text{ MPa}$
Modulo elastico medio perpendicolare alle fibre	$E_{90,\text{mean}} = 300 \text{ MPa}$
Modulo di taglio medio	$G_{\text{mean}} = 650 \text{ MPa}$
Massa volumica caratteristica	$\rho_k = 425 \text{ kg/m}^3$
Massa volumica media	$\rho_{\text{mean}} = 460 \text{ kg/m}^3$

4 DETERMINAZIONE DELLE AZIONI E LORO COMBINAZIONI

4.1 Analisi dei carichi

L'analisi dei carichi per la struttura è ottenuta considerando le dimensioni geometriche degli elementi strutturali e non strutturali per la determinazione dei carichi permanenti G_k , e considerando la destinazione d'uso della sala consiliare per i carichi variabili Q_k secondo normativa.

Di seguito si riportano in dettaglio l'analisi dei carichi.

Solaio SAP esistente								
	Peso		l	s	H	n	Tot	
			[m]	[m]	[m]	[m^2]		
Solaio SAP	1.75	kN/m^2					1.75	kN/m^2
Totale peso proprio (Gk1)							1.75	kN/m^2
Intonaco intradosso	20.00	kN/m^3		0.02			0.40	kN/m^2
Massetto	21.00	kN/m^3		0.04			0.84	kN/m^2
Pavimento	20.00	kN/m^3		0.02			0.40	kN/m^2
Totale peso portato (Gk2)							1.64	kN/m^2
Totale pesi permanenti (Gk)							3.39	kN/m^2
Sovraccarichi variabili (Qk) (Cat. C2)	4.00	kN/m^2					4.00	kN/m^2

5 Verifiche

5.1 Verifica travi in legno

La verifica delle travi in legno di rinforzo del solaio SAP esistente viene eseguito considerando tale solaio unicamente come un peso gravanti sulle travi in legno. La verifica viene condotta per mezzo di foglio di calcolo attraverso le formulazioni delle linee guida CNR-DT 206-R1/2018, "Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di Legno". La verifica viene condotta considerando la luce delle travi di 4.07 m poste ad un interasse di 60 cm.

Seguono le tabelle del foglio di calcolo, dove i termini che compaiono sono:

- b: larghezza della trave;
- h: altezza della trave;
- L: luce di calcolo della trave;
- proprietà del materiale;
- G_k : carico permanente che grava sulla trave;
- Q_{k1} : carico variabile principale sulla trave;
- Q_{k2} : carico variabile secondario gravante sulla trave;
- $w_{gk,ist}$: spostamento istantaneo dovuto al carico permanente, pari a:

$$w_{gk,ist} = \frac{5}{384} \frac{G_k L^4}{E_{0,g,mean} I}$$

dove I è il momento di inerzia della sezione.

- $w_{qk1,ist}$: spostamento istantaneo dovuto al carico variabile principale, pari a:

$$w_{qk1,ist} = \frac{5}{384} \frac{Q_{k1} L^4}{E_{0,g,mean} I}$$

- $w_{qk2,ist}$: spostamento istantaneo dovuto al carico variabile secondario, pari a:

$$w_{qk2,ist} = \frac{5}{384} \frac{Q_{k2} L^4}{E_{0,g,mean} I}$$

- k_{def} : è un coefficiente che tiene conto dell'aumento di deformabilità con il tempo causato dall'effetto combinato della viscosità e dell'umidità del materiale. Dalla Tabella C-1 delle Istruzioni, scegliendo una classe di servizio 2, si pone $k_{def} = 0.8$;
- ψ_{22} : coefficiente di combinazione caratteristica carico variabile secondario;
- ψ_{21} e ψ_{22} : coefficienti di combinazione permanente per la categoria delle azioni variabili;
- w_{ist} : spostamento istantaneo

$$w_{ist} = w_{gk,ist} + w_{qk1,ist} + \psi_{02} \cdot w_{qk2,ist}$$

- w'_{in} : spostamento iniziale istantaneo

$$w'_{in} = w_{gk,ist} + \psi_{21} w_{qk1,ist} + \psi_{22} \cdot w_{qk2,ist}$$

- w_{creep} : spostamento differito

$$w_{creep} = w'_{in} \cdot k_{def}$$

- w_{fin} : spostamento finale

$$w_{fin} = w_{ist} + w_{creep}$$

- le verifiche di deformabilità allo SLE sono (§4.4.7 NTC2018):

$$\frac{w_{ist}}{L/300} < 1 \quad \frac{w_{fin}}{L/200} < 1$$

- γ_m : coefficiente di sicurezza del legno;
- k_h : coefficiente amplificativo per tener conto che il lato maggiore della sezione è inferiore a quello del provino di legno con cui sono state determinate le proprietà (andando a favore di sicurezza si pone pari a 1);
- k_{mod} : coefficiente di correzione che tiene conto dell'effetto sulla resistenza della durata del carico e dell'umidità (Tab. 4.4.IV NTC2018);
- W_y : modulo di resistenza a flessione;
- $M_{sd,slv}$: momento sollecitante di calcolo allo SLU, pari a:

$$M_{sd,slv} = \frac{(1.3 \cdot G + 1.5 \cdot Q_{k1}) \cdot L^2}{8}$$

- $\sigma_{m,y,d}$: tensione massima sollecitante la sezione, pari a:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{sd,slv}}{W_y}$$

- $f_{y,d} = (f_{m,k} \cdot k_{mod}) / \gamma_m$ resistenza di progetto del legno;

- la verifica a flessione allo SLU è:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{y,d}} < 1$$

- $V_{sd,slv}$: taglio sollecitante di calcolo allo SLU all'appoggio, pari a:

$$V_{sd,slv} = \frac{(1.3 \cdot G + 1.5 \cdot Q_{k1}) \cdot L}{2}$$

- τ_d : tensione massima di taglio della sezione, pari a:

$$\tau_d = \frac{V_{sd}}{(0.9 \cdot b \cdot h)}$$

- $f_{v,g,d} = f_{v,k}/\gamma_m$ resistenza a taglio di progetto;
- la verifica a taglio allo SLU è:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,g,d}} < 1$$

- I_{tor} : momento torsionale della sezione:

$$I_{tor} = \frac{b^3 h}{3 \left(1 + 0.6 \frac{b}{h} \right)}$$

- I_z : momento di inerzia rispetto l'asse debole della sezione;

- l_{eff} : lunghezza effettiva dell'elemento, che nel caso di trave appoggiata con carico distribuito è pari a $0.9L$;
- $M_{y,crit}$: momento critico:

$$M_{y,crit} = \frac{\pi}{l_{eff}} \sqrt{E_{0.05} \cdot I_z \cdot G_{0.05} \cdot I_{tor}}$$

- $\sigma_{m,crit}$: tensione critica:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y}$$

- $\lambda_{rel,m}$: snellezza relativa della trave:

$$\lambda_{rel,m} = \left(\frac{f_{m,g,k}}{\sigma_{m,crit}} \right)^{0.5}$$

- $k_{crit,m}$: coefficiente di riduzione della resistenza;
- la verifica di instabilità della trave è:

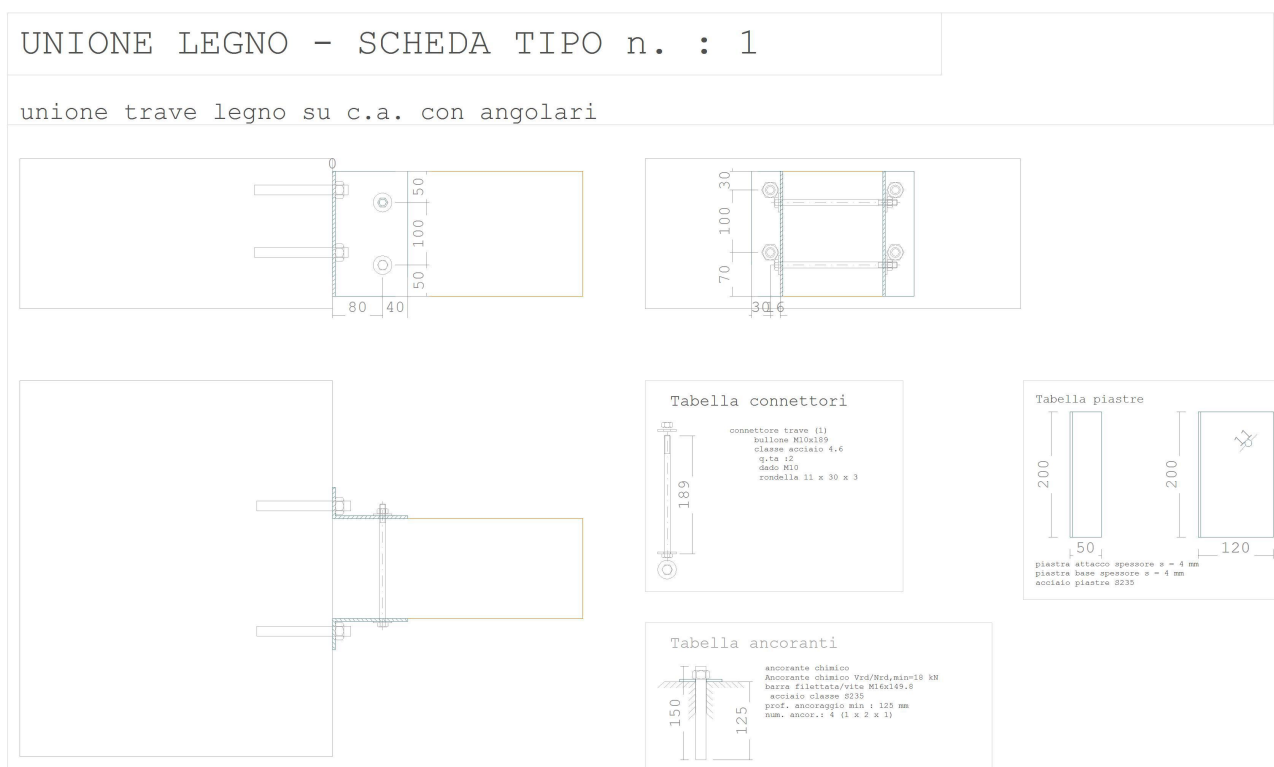
$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{y,d}} < 1$$

VERIFICA TRAVE LEGNO															
PROPRIETA' GEOMETRICHE				PROPRIETA' MATERIALE											
b	h	i	L	gamma	E0gmean	Gmean	E0,g,05	G005	fmk	fvk	Gk	Qk1	Qk2	wgkist	
m	m		m	kN/m³	MPa	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	kN/m	kN/m	kN/m	m	
0.160	0.20	0.60	4.07	4.60	12600.00	650	10500	541.67	28	3.5	2.18	2.40	0.00	0.0058	
wqk1ist	wqk2ist	kdef	y02	y21	y22	wist	w'in	wcreep	wfin	wist/(L/300)	wfin/(L/200)	gm	kh	kmod	
m	m					m	m	m	m					m	
0.0064	0.0000	0.80	0.00	0.60	0.00	0.0122	0.0096	0.0077	0.0199	0.90	0.98	1.45	1.00	0.9	
Wy	Msd,slv	s,m,y,d	s,m,y,d/f,y,d	Vsd,slv	td	td/fvgd	ltor	lz	leff	Mycrit	s,m,crit	lrel,m	kcrit,m	s,m,y,d/(kcrit f,y,d)	
m³	kNm	N/mm²		kN	N/mm²	N/mm²	m⁴	m⁴	m	kNm	N/mm²				
0.00107	13.33	12.49	0.72	13.10	0.45	0.21	1.85E-04	6.83E-05	3.663	229.55	215.21	0.360705	1	0.72	

5.2 Verifica ancoraggio alle pareti

L'ancoraggio delle travi alle pareti viene eseguito per ciascuna trave per mezzo di due angolari, posti ai due lati della trave, uniti alla trave per mezzo di due bulloni M10 passanti e ancorati alla murature attraverso 4 connettori M16 ancorati con resina epossidica.

La verifica è stata condotta con il software kipleigno. Nelle figure seguenti è riportata una sintesi dei risultati.



distanze e interassi minimi connettore trave - bullone M10x189 :

a1 / a1 min : 40 / 50 mm interasse connettori(longitudinale) / minimo

a2 / a2 min : 100 / 40 mm interasse connettori (trasversale) / minimo

a3 / a3c / a3t min : 80 / 70 / 80 mm distanza dall'estremità della trave in legno : attuale / minima per compressione / minima per trazione

a4 / a4c / a4t min : 50 / 30 / 40 mm distanza dal bordo della trave in legno : attuale / minima per compressione / minima per trazione

Verifica distanze e interassi minimi fori piastre

p1 / min / max : 100 / 37.4 / 56 mm interasse fori

p2 / min / max : 50 / 40.8 / 56 mm distanza file, minima e massima

e1 / min / max : 30 / 20.4 / 999 mm distanza dal bordo laterale della piastra

e2 / min / max : 20 / 20.4 / 999 mm distanza dal bordo laterale della piastra

p1 / min / max : 40 / 24.2 / 56 mm interasse fori

p2 / min / max : 100 / 26.4 / 56 mm distanza file, minima e massima

e1 / min / max : 20 / 13.2 / 999 mm distanza dal bordo laterale della piastra

e2 / min / max : 20 / 13.2 / 999 mm distanza dal bordo laterale della piastra

eccentricità tra centri di taglio flangia-piastra

Eccv = 134 mm : braccio orizzontale tra centro di taglio connettori piastra di attacco

EccN = 0 mm : eccentricità verticale tra centro di taglio connettori piastra di attacco e baricentro connettori colonna

Rigidità rotazionale connessione trave

krot = 43.81 kNm (= 4.38 tm vincolo interno trave : Rxc)

Caratteristiche di resistenza

- flangia : Mrk = 0 kNm (resistenza caratteristica a flessione (Ns=0))
- flangia : Vrk = 0 kNm (resistenza caratteristica a taglio)
- attacco trave : Mrk = 1.45 kNm (resistenza caratteristica a flessione (Ns=0))
- attacco trave : Vrk = 29.08 kN (resistenza caratteristica a taglio)
- piastra : Wel,x = 533.33 mm³ (modulo resistenza elastico flangia)
- piastra : Wpl,x = 800 mm³ (modulo resistenza plastico flangia)
- piastra : Mrd,el,x = 0.12 kNm (Momento resist.elast flangia)
- piastra : Mrd,el,x = 0.18 kNm (Momento resist.plastico flangia)
- ancoraggi : Vrd,b = 18 kN (resistenza di progetto a taglio singolo tirafondo/ancoraggio)
- ancoraggi : Vrd = 72 kN (resistenza di progetto a taglio complessiva ancoraggio)
- ancoraggi : Nrd = 18 kN (resistenza di progetto a trazione del singolo ancoraggio)
- flangia : Vrd,fl, x = 133.02 kN (resistenza di progetto a taglio in dir X della flangia)
- flangia : Vrd,fl, y = 33.26 kN (resistenza di progetto a taglio in dir Y della flangia)
- flangia : Vrd,fl, rif = 44.56 kN (resistenza di progetto a rifollamento della flangia)

SINTESI RISULTATI

STATUS VERIFICA GENERALE	VERIFICA	
- verif. di resistenza :	VERIFICA	coeff. sic minimo = 1.057
- verif. distanze connettori :	VERIFICA	
- verif. distanze fori piastre :	VERIFICA	
- verif. duttilità :	VERIFICA	duttile

Dettagli verifiche :

verifica interassi e distanze minime connettore trave - trave

connettore trave - bullone M10x189 : VERIFICA

Verifica distanze e interassi minimi fori piastre

status verifica : VERIFICA

status verifica : VERIFICA

Verifica unione

verifica connessione : VERIFICA - c.sic min = 1.06