



COMUNE DI TRAPANI
Libero Consorzio comunale di Trapani



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU

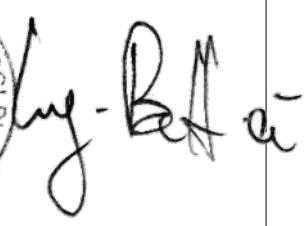
PNRR PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA

finanziato dall'Unione Europea - Next Generation EU

Missione	5 - Inclusione e coesione
Componente	2 - Infrastrutture sociali, famiglie, comunità e terzo settore
Investimento	2.1 - Investimenti in progetti di rigenerazione urbana, volti a ridurre situazioni di emarginazione e degrado sociale
Importo	€ 181.473,00
CUP	I95F21000200001
Titolo	"Recupero e valorizzazione del giardino e del padiglione Liberty di Villa Margherita, finalizzato a migliorare la qualità del decoro urbano e del tessuto sociale ed ambientale della città di Trapani"

PROGETTO ESECUTIVO

Scala	TAV.	Tipo di elaborato: Strutture
	ST.02	Oggetto: Relazione di calcolo e tabulati di calcolo

Progettista	R.T.P.: <i>Ing. Pietro Faraone (capogruppo/mandatario)</i> <i>Arch. Paola Faraone (mandante)</i> <i>Geol. Luigi Buttice (mandante)</i> <i>Ing. Emanuela Montalto (mandante/giovane professionista)</i>	 
RUP	Arch. Antonino Alestra	  
Data	Ottobre 2023	

REV	MOTIVAZIONI	DATA

Premessa

L'intervento si configura quale sostituzione del solaio ligneo di copertura, mantenendo la tipologia costruttiva esistente, i relativi carichi permanenti e non aumentando di fatto i sovraccarichi sull'orizzontamento.

Con riferimento al disposto combinato del *D.M. 14/01/2018 Cap. 8.4.1* e all'*allegato A al D.D.G. n.344 del 19/05/2020*, l'intervento è stato considerato e calcolato di **tipo locale** in quanto le opere da realizzare riguardano un singolo elemento della struttura (solaio di copertura ligneo). Inoltre, tali opere non alterano il comportamento globale della costruzione. Le opere verranno realizzate con materiali lignei (travi e tavolato) aventi buone caratteristiche di resistenza e di duttilità, impedendo meccanismi di collasso locale. Gli interventi da realizzare non comportano una riduzione dei livelli di sicurezza preesistenti.

La scelta progettuale, assunta in linea con i contenuti della *Circolare n.18 prot. n. DGB/AP/8538/34.01.10 del 25 marzo 2016* da parte del *Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo*, ha privilegiato una serie di interventi che si integrano alla struttura esistente senza trasformarla, senza alterare il comportamento originario dell'edificio, risultando reversibili, non invasivi e rispettosi delle tecniche e dei materiali tradizionali.

Inoltre, per quanto riguarda lo specifico intervento in copertura, così come indicato al *punto 6.3.5 interventi in copertura* di cui alla DIRETTIVA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI 9 febbraio 2011 Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti del 14 gennaio 2008 “...*È in linea generale opportuno il mantenimento dei tetti in legno, in quanto capaci di limitare le masse nella parte più alta dell'edificio e di garantire un'elasticità simile a quella della compagine muraria sottostante.*

In generale, vanno il più possibile sviluppati i collegamenti e le connessioni reciproche tra la parte terminale della muratura e le orditure e gli impalcati del tetto, ricercando le configurazioni e le tecniche compatibili con le diverse culture costruttive locali... ”.

VERIFICA SOLAIO IN LEGNO S.1 (LUCE 474 cm)

VERIFICA DI UN TETTO IN LEGNO A ORDITURA SEMPLICE

Dati generali:

Normativa di riferimento: DM 17/01/2018 NTC

Categoria carichi variabili: H, I, K - Coperture.

Dati geometrici:

Travi in legno:

B x H [cm]	Angolo incl.	Area [cm ²]	Av [cm ²]	Wx [cm ³]	Jx [cm ⁴]	Wy [cm ³]	Jy [cm ⁴]
12.0 x 24.0	0.0°	288.0	204.5	1152.0	13824.0	576.0	3456.0

Interasse: i = 60.0 cm

Luce di calcolo: $L = L_0 / \cos\alpha = 474.0 / 1.00000 = 474.0$ cm

Spessore tavolato in legno: $t_w = 5.0$ cm

Angolo inclinazione falda: $\alpha = 0.0^\circ$

MATERIALI

Legno:

Le normative EN dividono i legnami per costruzioni in classi (C, D, T, GL) per le quali vengono forniti dei valori caratteristici di resistenza, modulo elastico e densità.

Caratteristiche meccaniche del legno:

f_{mk}	Resistenza a flessione
f_{t0}	Resistenza a trazione parallela alle fibre
f_{t90}	Resistenza a trazione perpendicolare alle fibre
f_{c0}	Resistenza a compressione parallela alle fibre
f_{c90}	Resistenza a compressione perpendicolare alle fibre
f_{vk}	Resistenza a taglio
E_m	Modulo elastico medio
G_m	Modulo elastico tangenziale medio
ρ_k	Massa volumica caratteristica
ρ_m	Massa volumica media

L'applicazione di coefficienti correttivi legati a fattori ambientali e durata dei carichi e i coefficienti parziali di sicurezza permettono di ottenere i valori di progetto (d) da quelli caratteristici (k) con le seguenti relazioni:

Per i valori di resistenza: $X_d = K_{mod} \cdot X_k / \gamma_m$

Per verifiche a flessione e a trazione parallela alla fibratura i valori possono essere incrementati tramite il coefficiente moltiplicativo k_h che tiene conto della dimensione massima della sezione.

Per le deformazioni a lungo termine i moduli elastici risultano ridotti: $M_{m,fin} = M_m / (1 + K_{def})$

Nel caso in esame i coefficienti correttivi valgono:

Classe di servizio 1 - (caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20°C e un'umidità relativa dell'aria circostante che non superi il 65% se non per poche settimane all'anno.)

$K_{mod} = 0.90$ per classe di durata dei carichi variabili di breve durata (meno di 1 settimana)

$K_{mod} = 0.60$ per classe di durata dei carichi variabili permanenti

$K_{def} = 0.60$ per classe di servizio 1

Legno travi:

Classe: GL24h - EN14080:2013 Legno lamellare incollato

γ_m = Coef. parziale di sicurezza = 1.45

$K_h = 1.096$ ($L_{max} = 24.0$ cm)

K_{cf} = Coef. riduzione a taglio per fessurazione = 0.71

E_m	$E_{m,fin}$	G_m	$G_{m,fin}$	ρ_k	ρ_m
daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	kg/mc	kg/mc
115000.0	71875.0	6500.0	4062.5	385.0	420.0

Resistenza	f_{mk}	f_{t0}	f_{t90}	f_{c0}	f_{c90}	f_{vk}
	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²
caratteristica	240.0	192.0	5.0	240.0	25.0	35.0
prog. ($K_{mod} = 0.90$)	163.3	130.6	3.1	149.0	15.5	21.7
prog. ($K_{mod} = 0.60$)	108.8	87.1	2.1	99.3	10.3	14.5

Legno tavolato:

Classe: C24 - EN338:2016 Legname di conifere e di pioppo Classe C

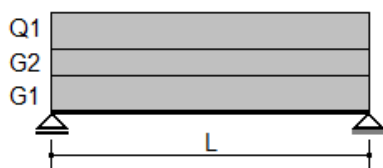
 γ_m = Coef. parziale di sicurezza = 1.50

Kh = 1.000 (Lmax = 25.0 cm - larghezza delle tavole)

Kcf = Coef. riduzione a taglio per fessurazione = 0.50

Em	Em,fin	Gm	Gm,fin	ρ_k	ρ_m
daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	kg/m ³	kg/m ³
110000.0	71875.0	6900.0	4312.5	350.0	420.0

Resistenza	f _{mk}	f _{t0}	f _{t90}	f _{c0}	f _{c90}	f _{vk}
	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²
caratteristica	240.0	145.0	4.0	210.0	25.0	40.0
prog. (K _{mod} = 0.90)	144.0	87.0	2.4	126.0	15.0	24.0
prog. (K _{mod} = 0.60)	96.0	58.0	1.6	84.0	10.0	16.0

SCHEMA STATICO:**ANALISI DEI CARICHI:**

Carichi permanenti:

- tavolato in legno 21,0 daN/mq
g1 = 21,0 daN/mq

g1 x interasse travi 12,6 daN/m
peso proprio trave 12,1 daN/m
G1 = 24,7 daN/m

Carichi permanenti non strutturali:

- manto di copertura 211,0 daN/mq
- impermeabilizzazione+coibentazione 15,0 daN/mq
g2 = 226,0 daN/mq

G2 = g2 x interasse travi (0.60 m) 135.6 daN/m

Carichi variabili:

q = carico da neve 120,0 daN/mq
q' = q cos α 120,0 daN/mq
Q1 = q' x interasse travi 72.0 daN/m

Carichi permanenti portati (non strutturali)

Stratigrafia copertura [daN/mq]

- pavimento in cotto su malta di calce	75.0
- sottofondo cls con argilla espansa (s=4.0 cm)	56.0
- pannelli solari + supporto	55.0
- controsoffitto pesante	25.0
Totale carichi G2	211.0

VERIFICHE FALSO PUNTONE IN LEGNO:

Combinazione di carico: permanenti + variabili ($K_{mod} = 0.900$)

$$Q \text{ (ortogonale)} = (G_1 \gamma_{g1} + G_2 \gamma_{g2} + Q_1 \gamma_{q1}) \cos \alpha = 343.50 \text{ daN/m} \quad (\gamma_{g1} = 1.30; \gamma_{g2} = 1.50; \gamma_{q1} = 1.50)$$

Verifica a flessione:

$$M = (Q L^2) / 8 = 96471.6 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_w = M / W_x = 83.7 \text{ daN/cm}^2 < f_{md} = 163.26 \text{ daN/cm}^2 \text{ (Ok)}$$

Verifica a taglio:

$$V = (Q L) / 2 = 814.1 \text{ daN}$$

$$\tau_w = 1,5 V / A_v = 6.0 \text{ daN/cm}^2 < f_{vd} = 21.72 \text{ daN/cm}^2 \text{ (Ok)}$$

Combinazione di carico: soli carichi permanenti ($K_{mod} = 0.600$)

$$Q \text{ (ortogonale)} = (G_1 \gamma_{g1} + G_2 \gamma_{g2}) \cos \alpha = 235.50 \text{ daN/m} \quad (\gamma_{g1} = 1.30; \gamma_{g2} = 1.50)$$

Verifica a flessione:

$$M = (Q L^2) / 8 = 66140.3 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_w = M / W_x = 57.4 \text{ daN/cm}^2 < f_{pmd} = 108.84 \text{ daN/cm}^2 \text{ (Ok)}$$

Verifica a taglio:

$$V = (Q L) / 2 = 558.1 \text{ daN}$$

$$\tau_w = 1,5 V / A_v = 4.1 \text{ daN/cm}^2 < f_{pvd} = 14.48 \text{ daN/cm}^2 \text{ (Ok)}$$

Frecce in esercizio:

Deformazione istantanea per effetto dei carichi permanenti:

$$G_k = G_1 + G_2 = 24.70 + 135.60 = 160.30 \text{ daN/m}$$

$$U_{1i} = ((5 G_k L^4) / (384 E_m J_x)) + ((1.2 G_k L^2) / (8 G_m A)) = 6.916 \text{ mm}$$

Deformazione istantanea per effetto dei carichi variabili:

$$U_{2i} = ((5 Q_1 L^4) / (384 E_m J_x)) + ((1.2 Q_1 L^2) / (8 G_m A)) = 3.106 \text{ mm}$$

Deformazione istantanea (combinazione rara):

$$U_i = U_{1i} + U_{2i} = 10.022 \text{ mm}$$

Deformazione finale per effetto dei carichi permanenti + variabili (combinazione quasi permanente):

$$U_{fin} = U_{1i} (1 + K_{def}) + U_{2i} (1 + \psi_2 K_{def}) = 14.172 \text{ mm} \quad (K_{def} = 0.600, \psi_2 = 0.00):$$

Verifiche di deformazione:

$$U_i / L = 1 / 473 < 1 / 300 \text{ (Ok)}$$

$$U_{fin} / L = 1 / 334 < 1 / 200 \text{ (Ok)}$$

VERIFICHE DEL TAVOLATO IN LEGNO:

Dimensioni di calcolo: larghezza = 100 cm, spessore = 5.0 cm, luce = 60.0 cm

$$\begin{aligned}G1x &= G1 \sin\alpha = 0.00 \text{ daN/m} & G1y &= G1 \cos\alpha = 21.00 \text{ daN/m} \\G2x &= G2 \sin\alpha = 0.00 \text{ daN/m} & G2y &= G2 \cos\alpha = 226.00 \text{ daN/m} \\Q1x &= Q1 \sin\alpha = 0.00 \text{ daN/m} & Q1y &= Q1 \cos\alpha = 120.00 \text{ daN/m}\end{aligned}$$

Combinazione di carico: permanenti + variabili ($K_{mod} = 0.900$)

$$\begin{aligned}Q_x &= G1x \gamma_{g1} + G2x \gamma_{g2} + Q1x \gamma_{q1} = 0.00 \text{ daN/m} \quad (\gamma_{g1} = 1.30; \gamma_{g2} = 1.50; \gamma_{q1} = 1.50) \\Q_y &= G1y \gamma_{g1} + G2y \gamma_{g2} + Q1y \gamma_{q1} = 546.30 \text{ daN/m} \quad (\gamma_{g1} = 1.30; \gamma_{g2} = 1.50; \gamma_{q1} = 1.50)\end{aligned}$$

Verifica a flessione deviata:

$$M_x = (Q_y L^2) / 8 = 2458.4 \text{ daN cm}$$

$$M_y = (Q_x L^2) / 8 = 0.0 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_{xw} = M_x / W_x = 5.90 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{yw} = M_y / W_y = 0.00 \text{ daN/cm}^2$$

$$(\sigma_{xw} / f_{md}) + 0,7 (\sigma_{yw} / f_{md}) = 0.041 < 1 \text{ (Ok)}$$

$$(\sigma_{yw} / f_{md}) + 0,7 (\sigma_{xw} / f_{md}) = 0.029 < 1 \text{ (Ok)}$$

Verifica a taglio:

$$V_y = (Q_y L) / 2 = 163.9 \text{ daN}$$

$$V_x = (Q_x L) / 2 = 0.0 \text{ daN}$$

$$\tau_{wy} = 1,5 V_y / A = 0.98 \text{ daN/cm}^2$$

$$\tau_{wx} = 1,5 V_x / A = 0.00 \text{ daN/cm}^2$$

$$\tau_w = (\tau_{wx}^2 + \tau_{wy}^2)^{1/2} = 0.98 \text{ daN/cm}^2 < f_{vd} = 24.00 \text{ daN/cm}^2 \text{ (Ok)}$$

Combinazione di carico: soli carichi permanenti ($K_{mod} = 0.600$)

$$Q_x = G1x \gamma_{g1} + G2x \gamma_{g2} = 0.00 \text{ daN/m} \quad (\gamma_{g1} = 1.30; \gamma_{g2} = 1.50)$$

$$Q_y = G1y \gamma_{g1} + G2y \gamma_{g2} = 366.30 \text{ daN/m} \quad (\gamma_{g1} = 1.30; \gamma_{g2} = 1.50)$$

Verifica a flessione deviata:

$$M_x = (Q_y L^2) / 8 = 1648.4 \text{ daN cm}$$

$$M_y = (Q_x L^2) / 8 = 0.0 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_{xw} = M_x / W_x = 3.96 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{yw} = M_y / W_y = 0.00 \text{ daN/cm}^2$$

$$(\sigma_{xw} / f_{md}) + 0,7 (\sigma_{yw} / f_{md}) = 0.041 < 1 \text{ (Ok)}$$

$$(\sigma_{yw} / f_{md}) + 0,7 (\sigma_{xw} / f_{md}) = 0.029 < 1 \text{ (Ok)}$$

Verifica a taglio:

$$V_y = (Q_y L) / 2 = 109.9 \text{ daN}$$

$$V_x = (Q_x L) / 2 = 0.0 \text{ daN}$$

$$\tau_{wy} = 1,5 V_y / A = 0.66 \text{ daN/cm}^2$$

$$\tau_{wx} = 1,5 V_x / A = 0.00 \text{ daN/cm}^2$$

$$\tau_w = (\tau_{wx}^2 + \tau_{wy}^2)^{1/2} = 0.66 \text{ daN/cm}^2 < f_{vd} = 16.00 \text{ daN/cm}^2 \text{ (Ok)}$$

Frecce in esercizio:

Deformazione istantanea per effetto dei carichi permanenti:

$$U1Xi = ((5 G1x L^4) / (384 Em Jy)) + ((1.2 G1x L^2) / (8 Gm A)) = 0.000 \text{ mm}$$

$$U1Yi = ((5 G1y L^4) / (384 Em Jx)) + ((1.2 G1y L^2) / (8 Gm A)) = 0.040 \text{ mm}$$

$$U1i = (U1Xi^2 + U1Yi^2)^{1/2} = 0.040 \text{ mm}$$

Deformazione istantanea per effetto dei carichi variabili:

$$U2Xi = ((5 Q1x L^4) / (384 Em Jy)) + ((1.2 Q1x L^2) / (8 Gm A)) = 0.000 \text{ mm}$$

$$U2Yi = ((5 Q1y L^4) / (384 Em Jx)) + ((1.2 Q1y L^2) / (8 Gm A)) = 0.020 \text{ mm}$$

$$U2i = (U2Xi^2 + U2Yi^2)^{1/2} = 0.020 \text{ mm}$$

Deformazione istantanea (combinazione rara):

$$Ui = U1i + U2i = 0.060 \text{ mm}$$

Deformazione finale per effetto dei carichi permanenti + variabili (combinazione quasi permanente):

$$UXfin = U1Xi (1 + Kdef) + U2Xi (1 + \psi 2 Kdef) = 0.000 \text{ mm} \quad (Kdef = 0.600, \psi 2 = 0.00):$$

$$UYfin = U1Yi (1 + Kdef) + U2Yi (1 + \psi 2 Kdef) = 0.084 \text{ mm} \quad (Kdef = 0.600, \psi 2 = 0.00):$$

$$Ufin = (UXfin^2 + UYfin^2)^{1/2} = 0.084 \text{ mm}$$

Verifiche di deformazione:

$$Ui / L = 1 / 10035 < 1 / 300 \text{ (Ok)}$$

$$Ufin / L = 1 / 7148 < 1 / 200 \text{ (Ok)}$$

VERIFICA SOLAIO IN LEGNO S.2 (LUCE 177 cm)

VERIFICA DI UN TETTO IN LEGNO A ORDITURA SEMPLICE

Dati generali:

Normativa di riferimento: DM 17/01/2018 NTC

Categoria carichi variabili: H, I, K - Coperture.

Dati geometrici:

Travi in legno:

B x H [cm]	Angolo incl.	Area [cm ²]	Av [cm ²]	Wx [cm ³]	Jx [cm ⁴]	Wy [cm ³]	Jy [cm ⁴]
10.0 x 12.0	0.0°	120.0	85.2	240.0	1440.0	200.0	1000.0

Interasse: i = 73.0 cm

Luce di calcolo: $L = L_0 / \cos\alpha = 177.0 / 1.00000 = 177.0$ cm

Spessore tavolato in legno: $t_w = 5.0$ cm

Angolo inclinazione falda: $\alpha = 0.0^\circ$

MATERIALI

Legno:

Le normative EN dividono i legnami per costruzioni in classi (C, D, T, GL) per le quali vengono forniti dei valori caratteristici di resistenza, modulo elastico e densità.

Caratteristiche meccaniche del legno:

f_{mk}	Resistenza a flessione
f_{t0}	Resistenza a trazione parallela alle fibre
f_{t90}	Resistenza a trazione perpendicolare alle fibre
f_{c0}	Resistenza a compressione parallela alle fibre
f_{c90}	Resistenza a compressione perpendicolare alle fibre
f_{vk}	Resistenza a taglio
E_m	Modulo elastico medio
G_m	Modulo elastico tangenziale medio
ρ_k	Massa volumica caratteristica
ρ_m	Massa volumica media

L'applicazione di coefficienti correttivi legati a fattori ambientali e durata dei carichi e i coefficienti parziali di sicurezza permettono di ottenere i valori di progetto (d) da quelli caratteristici (k) con le seguenti relazioni:

Per i valori di resistenza: $X_d = K_{mod} \cdot X_k / \gamma_m$

Per verifiche a flessione e a trazione parallela alla fibratura i valori possono essere incrementati tramite il coefficiente moltiplicativo k_h che tiene conto della dimensione massima della sezione.

Per le deformazioni a lungo termine i moduli elastici risultano ridotti: $M_{m,fin} = M_m / (1 + K_{def})$

Nel caso in esame i coefficienti correttivi valgono:

Classe di servizio 1 - (caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20°C e un'umidità relativa dell'aria circostante che non superi il 65% se non per poche settimane all'anno.)

$K_{mod} = 0.90$ per classe di durata dei carichi variabili di breve durata (meno di 1 settimana)

$K_{mod} = 0.60$ per classe di durata dei carichi variabili permanenti

$K_{def} = 0.60$ per classe di servizio 1

Legno travi:

Classe: GL24h - EN14080:2013 Legno lamellare incollato

γ_m = Coef. parziale di sicurezza = 1.45

$k_h = 1.100$ ($L_{max} = 12.0$ cm)

K_{cf} = Coef. riduzione a taglio per fessurazione = 0.71

E_m	$E_{m,fin}$	G_m	$G_{m,fin}$	ρ_k	ρ_m
daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	kg/mc	kg/mc
115000.0	71875.0	6500.0	4062.5	385.0	420.0

Resistenza	f_{mk}	f_{t0}	f_{t90}	f_{c0}	f_{c90}	f_{vk}
	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²
caratteristica	240.0	192.0	5.0	240.0	25.0	35.0
prog. ($K_{mod} = 0.90$)	163.9	131.1	3.1	149.0	15.5	21.7
prog. ($K_{mod} = 0.60$)	109.2	87.4	2.1	99.3	10.3	14.5

Legno tavolato:

Classe: C24 - EN338:2016 Legname di conifere e di pioppo Classe C

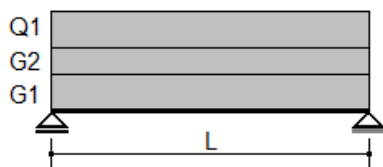
 γ_m = Coef. parziale di sicurezza = 1.50

Kh = 1.000 (Lmax = 25.0 cm - larghezza delle tavole)

Kcf = Coef. riduzione a taglio per fessurazione = 0.50

Em	Em,fin	Gm	Gm,fin	ρ_k	ρ_m
daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	kg/mc	kg/mc
110000.0	71875.0	6900.0	4312.5	350.0	420.0

Resistenza	f _{mk}	f _{td}	f _{td0}	f _{cd}	f _{cd0}	f _{vk}
	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²
caratteristica	240.0	145.0	4.0	210.0	25.0	40.0
prog. (K _{mod} = 0.90)	144.0	87.0	2.4	126.0	15.0	24.0
prog. (K _{mod} = 0.60)	96.0	58.0	1.6	84.0	10.0	16.0

SCHEMA STATICO:**ANALISI DEI CARICHI:**

Carichi permanenti:

- tavolato in legno 21,0 daN/mq
g1 = 21,0 daN/mq

g1 x interasse travi 15,3 daN/m
peso proprio trave 5,0 daN/m
G1 = 20,4 daN/m

Carichi permanenti non strutturali:

- manto di copertura 211,0 daN/mq
- impermeabilizzazione+coibentazione 15,0 daN/mq
g2 = 226,0 daN/mq

G2 = g2 x interasse travi (0.73 m) 165,0 daN/m

Carichi variabili:

q = carico da neve 120,0 daN/mq
q' = q cos α 120,0 daN/mq
Q1 = q' x interasse travi 87,6 daN/m

Carichi permanenti portati (non strutturali)

Stratigrafia copertura [daN/mq]

- pavimento in cotto su malta di calce	75.0
- sottofondo cls con argilla espansa (s=4.0 cm)	56.0
- pannelli solari + supporto	55.0
- controsoffitto pesante	25.0
Totale carichi G2	211.0

VERIFICHE FALSO PUNTONE IN LEGNO:

Combinazione di carico: permanenti + variabili ($K_{mod} = 0.900$)

$$Q \text{ (ortogonale)} = (G1 \gamma_{g1} + G2 \gamma_{g2} + Q1 \gamma_{q1}) \cos \alpha = 405.35 \text{ daN/m} \quad (\gamma_{g1} = 1.30; \gamma_{g2} = 1.50; \gamma_{q1} = 1.50)$$

Verifica a flessione:

$$M = (Q L^2) / 8 = 15874.1 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_w = M / W_x = 66.1 \text{ daN/cm}^2 < f_{md} = 163.86 \text{ daN/cm}^2 \text{ (Ok)}$$

Verifica a taglio:

$$V = (Q L) / 2 = 358.7 \text{ daN}$$

$$\tau_w = 1,5 V / A_v = 6.3 \text{ daN/cm}^2 < f_{vd} = 21.72 \text{ daN/cm}^2 \text{ (Ok)}$$

Combinazione di carico: soli carichi permanenti ($K_{mod} = 0.600$)

$$Q \text{ (ortogonale)} = (G1 \gamma_{g1} + G2 \gamma_{g2}) \cos \alpha = 273.95 \text{ daN/m} \quad (\gamma_{g1} = 1.30; \gamma_{g2} = 1.50)$$

Verifica a flessione:

$$M = (Q L^2) / 8 = 10728.3 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_w = M / W_x = 44.7 \text{ daN/cm}^2 < f_{pmd} = 109.24 \text{ daN/cm}^2 \text{ (Ok)}$$

Verifica a taglio:

$$V = (Q L) / 2 = 242.4 \text{ daN}$$

$$\tau_w = 1,5 V / A_v = 4.3 \text{ daN/cm}^2 < f_{pvd} = 14.48 \text{ daN/cm}^2 \text{ (Ok)}$$

Frecce in esercizio:

Deformazione istantanea per effetto dei carichi permanenti:

$$G_k = G1 + G2 = 20.37 + 164.98 = 185.35 \text{ daN/m}$$

$$U1i = ((5 G_k L^4) / (384 E_m J_x)) + ((1.2 G_k L^2) / (8 G_m A)) = 1.542 \text{ mm}$$

Deformazione istantanea per effetto dei carichi variabili:

$$U2i = ((5 Q1 L^4) / (384 E_m J_x)) + ((1.2 Q1 L^2) / (8 G_m A)) = 0.729 \text{ mm}$$

Deformazione istantanea (combinazione rara):

$$U_i = U1i + U2i = 2.271 \text{ mm}$$

Deformazione finale per effetto dei carichi permanenti + variabili (combinazione quasi permanente):

$$U_{fin} = U1i (1 + K_{def}) + U2i (1 + \psi_2 K_{def}) = 3.196 \text{ mm} \quad (K_{def} = 0.600, \psi_2 = 0.00):$$

Verifiche di deformazione:

$$U_i / L = 1 / 779 < 1 / 300 \text{ (Ok)}$$

$$U_{fin} / L = 1 / 554 < 1 / 200 \text{ (Ok)}$$

VERIFICHE DEL TAVOLATO IN LEGNO:

Dimensioni di calcolo: larghezza = 100 cm, spessore = 5.0 cm, luce = 73.0 cm

$$G1x = G1 \sin \alpha = 0.00 \text{ daN/m} \quad G1y = G1 \cos \alpha = 21.00 \text{ daN/m}$$

$$G2x = G2 \sin \alpha = 0.00 \text{ daN/m} \quad G2y = G2 \cos \alpha = 226.00 \text{ daN/m}$$

$$Q1x = Q1 \sin \alpha = 0.00 \text{ daN/m} \quad Q1y = Q1 \cos \alpha = 120.00 \text{ daN/m}$$

Combinazione di carico: permanenti + variabili ($K_{mod} = 0.900$)

$$Q_x = G1x \gamma_{g1} + G2x \gamma_{g2} + Q1x \gamma_{q1} = 0.00 \text{ daN/m} \quad (\gamma_{g1} = 1.30; \gamma_{g2} = 1.50; \gamma_{q1} = 1.50)$$

$$Q_y = G1y \gamma_{g1} + G2y \gamma_{g2} + Q1y \gamma_{q1} = 546.30 \text{ daN/m} \quad (\gamma_{g1} = 1.30; \gamma_{g2} = 1.50; \gamma_{q1} = 1.50)$$

Verifica a flessione deviata:

$$M_x = (Q_y L^2) / 8 = 3639.0 \text{ daN cm}$$

$$M_y = (Q_x L^2) / 8 = 0.0 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_{xw} = M_x / W_x = 8.73 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{yw} = M_y / W_y = 0.00 \text{ daN/cm}^2$$

$$(\sigma_{xw} / f_{md}) + 0,7 (\sigma_{yw} / f_{md}) = 0.061 < 1 \text{ (Ok)}$$

$$(\sigma_{yw} / f_{md}) + 0,7 (\sigma_{xw} / f_{md}) = 0.042 < 1 \text{ (Ok)}$$

Verifica a taglio:

$$V_y = (Q_y L) / 2 = 199.4 \text{ daN}$$

$$V_x = (Q_x L) / 2 = 0.0 \text{ daN}$$

$$\tau_{wy} = 1,5 V_y / A = 1.20 \text{ daN/cm}^2$$

$$\tau_{wx} = 1,5 V_x / A = 0.00 \text{ daN/cm}^2$$

$$\tau_w = (\tau_{wx}^2 + \tau_{wy}^2)^{1/2} = 1.20 \text{ daN/cm}^2 < f_{vd} = 24.00 \text{ daN/cm}^2 \text{ (Ok)}$$

Combinazione di carico: soli carichi permanenti ($K_{mod} = 0.600$)

$$Q_x = G1x \gamma_{g1} + G2x \gamma_{g2} = 0.00 \text{ daN/m} \quad (\gamma_{g1} = 1.30; \gamma_{g2} = 1.50)$$

$$Q_y = G1y \gamma_{g1} + G2y \gamma_{g2} = 366.30 \text{ daN/m} \quad (\gamma_{g1} = 1.30; \gamma_{g2} = 1.50)$$

Verifica a flessione deviata:

$$M_x = (Q_y L^2) / 8 = 2440.0 \text{ daN cm}$$

$$M_y = (Q_x L^2) / 8 = 0.0 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_{xw} = M_x / W_x = 5.86 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{yw} = M_y / W_y = 0.00 \text{ daN/cm}^2$$

$$(\sigma_{xw} / f_{md}) + 0,7 (\sigma_{yw} / f_{md}) = 0.061 < 1 \text{ (Ok)}$$

$$(\sigma_{yw} / f_{md}) + 0,7 (\sigma_{xw} / f_{md}) = 0.043 < 1 \text{ (Ok)}$$

Verifica a taglio:

$$V_y = (Q_y L) / 2 = 133.7 \text{ daN}$$

$$V_x = (Q_x L) / 2 = 0.0 \text{ daN}$$

$$\tau_{wy} = 1,5 V_y / A = 0.80 \text{ daN/cm}^2$$

$$\tau_{wx} = 1,5 V_x / A = 0.00 \text{ daN/cm}^2$$

$$\tau_w = (\tau_{wx}^2 + \tau_{wy}^2)^{1/2} = 0.80 \text{ daN/cm}^2 < f_{vd} = 16.00 \text{ daN/cm}^2 \text{ (Ok)}$$

Frecce in esercizio:

Deformazione istantanea per effetto dei carichi permanenti:

$$U1Xi = ((5 G1x L^4) / (384 Em Jy)) + ((1.2 G1x L^2) / (8 Gm A)) = 0.000 \text{ mm}$$

$$U1Yi = ((5 G1y L^4) / (384 Em Jx)) + ((1.2 G1y L^2) / (8 Gm A)) = 0.085 \text{ mm}$$

$$U1i = (U1Xi^2 + U1Yi^2)^{1/2} = 0.085 \text{ mm}$$

Deformazione istantanea per effetto dei carichi variabili:

$$U2Xi = ((5 Q1x L^4) / (384 Em Jy)) + ((1.2 Q1x L^2) / (8 Gm A)) = 0.000 \text{ mm}$$

$$U2Yi = ((5 Q1y L^4) / (384 Em Jx)) + ((1.2 Q1y L^2) / (8 Gm A)) = 0.042 \text{ mm}$$

$$U2i = (U2Xi^2 + U2Yi^2)^{1/2} = 0.042 \text{ mm}$$

Deformazione istantanea (combinazione rara):

$$Ui = U1i + U2i = 0.127 \text{ mm}$$

Deformazione finale per effetto dei carichi permanenti + variabili (combinazione quasi permanente):

$$UXfin = U1Xi (1 + Kdef) + U2Xi (1 + \psi 2 Kdef) = 0.000 \text{ mm} \quad (Kdef = 0.600, \psi 2 = 0.00):$$

$$UYfin = U1Yi (1 + Kdef) + U2Yi (1 + \psi 2 Kdef) = 0.178 \text{ mm} \quad (Kdef = 0.600, \psi 2 = 0.00):$$

$$Ufin = (UXfin^2 + UYfin^2)^{1/2} = 0.178 \text{ mm}$$

Verifiche di deformazione:

$$Ui / L = 1 / 5751 < 1 / 300 \text{ (Ok)}$$

$$Ufin / L = 1 / 4097 < 1 / 200 \text{ (Ok)}$$

VERIFICA SOLAIO IN LEGNO S.3 (LUCE 181 cm)

VERIFICA DI UN TETTO IN LEGNO A ORDITURA SEMPLICE

Dati generali:

Normativa di riferimento: DM 17/01/2018 NTC

Categoria carichi variabili: H, I, K - Coperture.

Dati geometrici:

Travi in legno:

B x H [cm]	Angolo incl.	Area [cm ²]	Av [cm ²]	Wx [cm ³]	Jx [cm ⁴]	Wy [cm ³]	Jy [cm ⁴]
10.0 x 12.0	0.0°	120.0	85.2	240.0	1440.0	200.0	1000.0

Interasse: i = 73.0 cm

Luce di calcolo: $L = L_0 / \cos\alpha = 181.0 / 1.00000 = 181.0$ cm

Spessore tavolato in legno: $t_w = 5.0$ cm

Angolo inclinazione falda: $\alpha = 0.0^\circ$

MATERIALI

Legno:

Le normative EN dividono i legnami per costruzioni in classi (C, D, T, GL) per le quali vengono forniti dei valori caratteristici di resistenza, modulo elastico e densità.

Caratteristiche meccaniche del legno:

f_{mk}	Resistenza a flessione
f_{t0}	Resistenza a trazione parallela alle fibre
f_{t90}	Resistenza a trazione perpendicolare alle fibre
f_{c0}	Resistenza a compressione parallela alle fibre
f_{c90}	Resistenza a compressione perpendicolare alle fibre
f_{vk}	Resistenza a taglio
E_m	Modulo elastico medio
G_m	Modulo elastico tangenziale medio
ρ_k	Massa volumica caratteristica
ρ_m	Massa volumica media

L'applicazione di coefficienti correttivi legati a fattori ambientali e durata dei carichi e i coefficienti parziali di sicurezza permettono di ottenere i valori di progetto (d) da quelli caratteristici (k) con le seguenti relazioni:

Per i valori di resistenza: $X_d = K_{mod} \cdot X_k / \gamma_m$

Per verifiche a flessione e a trazione parallela alla fibratura i valori possono essere incrementati tramite il coefficiente moltiplicativo k_h che tiene conto della dimensione massima della sezione.

Per le deformazioni a lungo termine i moduli elastici risultano ridotti: $M_{m,fin} = M_m / (1 + K_{def})$

Nel caso in esame i coefficienti correttivi valgono:

Classe di servizio 1 - (caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20°C e un'umidità relativa dell'aria circostante che non superi il 65% se non per poche settimane all'anno.)

$K_{mod} = 0.90$ per classe di durata dei carichi variabili di breve durata (meno di 1 settimana)

$K_{mod} = 0.60$ per classe di durata dei carichi variabili permanenti

$K_{def} = 0.60$ per classe di servizio 1

Legno travi:

Classe: GL24h - EN14080:2013 Legno lamellare incollato

γ_m = Coef. parziale di sicurezza = 1.45

$k_h = 1.100$ ($L_{max} = 12.0$ cm)

K_{cf} = Coef. riduzione a taglio per fessurazione = 0.71

E_m	$E_{m,fin}$	G_m	$G_{m,fin}$	ρ_k	ρ_m
daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	kg/m ³	kg/m ³
115000.0	71875.0	6500.0	4062.5	385.0	420.0

Resistenza	f_{mk}	f_{t0}	f_{t90}	f_{c0}	f_{c90}	f_{vk}
	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²
caratteristica	240.0	192.0	5.0	240.0	25.0	35.0
prog. ($K_{mod} = 0.90$)	163.9	131.1	3.1	149.0	15.5	21.7
prog. ($K_{mod} = 0.60$)	109.2	87.4	2.1	99.3	10.3	14.5

Legno tavolato:

Classe: C24 - EN338:2016 Legname di conifere e di pioppo Classe C

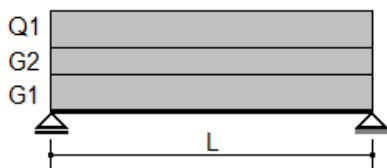
 γ_m = Coef. parziale di sicurezza = 1.50

Kh = 1.000 (Lmax = 25.0 cm - larghezza delle tavole)

Kcf = Coef. riduzione a taglio per fessurazione = 0.50

Em	Em,fin	Gm	Gm,fin	ρ_k	ρ_m
daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	kg/m ³	kg/m ³
110000.0	71875.0	6900.0	4312.5	350.0	420.0

Resistenza	f_{mk}	f_{t0}	f_{t90}	f_{c0}	f_{c90}	f_{vk}
	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²
caratteristica	240.0	145.0	4.0	210.0	25.0	40.0
prog. ($K_{mod} = 0.90$)	144.0	87.0	2.4	126.0	15.0	24.0
prog. ($K_{mod} = 0.60$)	96.0	58.0	1.6	84.0	10.0	16.0

SCHEMA STATICO:**ANALISI DEI CARICHI:**

Carichi permanenti:

- tavolato in legno 21.0 daN/mq
g1 = 21.0 daN/mq

g1 x interasse travi 15.3 daN/m
peso proprio trave 5.0 daN/m
G1 = 20.4 daN/m

G2 = g2 x interasse travi (0.73 m) 165.0 daN/m

Carichi variabili:

q = carico da neve 120.0 daN/mq

q' = q cos α 120.0 daN/mq

Q1 = q' x interasse travi 87.6 daN/m

Carichi permanenti portati (non strutturali)

Stratigrafia copertura [daN/mq]

- pavimento in cotto su malta di calce	75.0
- sottofondo cls con argilla espansa (s=4.0 cm)	56.0
- pannelli solari + supporto	55.0
- controsoffitto pesante	25.0
Totale carichi G2	211.0

VERIFICHE FALSO PUNTONE IN LEGNO:

Combinazione di carico: permanenti + variabili ($K_{mod} = 0.900$)

Q (ortogonale) = $(G_1 \gamma_{g1} + G_2 \gamma_{g2} + Q_1 \gamma_{q1}) \cos \alpha = 405.35 \text{ daN/m}$ ($\gamma_{g1} = 1.30$; $\gamma_{g2} = 1.50$; $\gamma_{q1} = 1.50$)

Verifica a flessione:

$$M = (Q L^2) / 8 = 16599.6 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_w = M / W_x = 69.2 \text{ daN/cm}^2 < f_{md} = 163.86 \text{ daN/cm}^2 \text{ (Ok)}$$

Verifica a taglio:

$$V = (Q L) / 2 = 366.8 \text{ daN}$$

$$\tau_w = 1,5 V / A_v = 6.5 \text{ daN/cm}^2 < f_{vd} = 21.72 \text{ daN/cm}^2 \text{ (Ok)}$$

Combinazione di carico: soli carichi permanenti ($K_{mod} = 0.600$)

Q (ortogonale) = $(G_1 \gamma_{g1} + G_2 \gamma_{g2}) \cos \alpha = 273.95 \text{ daN/m}$ ($\gamma_{g1} = 1.30$; $\gamma_{g2} = 1.50$)

Verifica a flessione:

$$M = (Q L^2) / 8 = 11218.6 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_w = M / W_x = 46.7 \text{ daN/cm}^2 < f_{pmd} = 109.24 \text{ daN/cm}^2 \text{ (Ok)}$$

Verifica a taglio:

$$V = (Q L) / 2 = 247.9 \text{ daN}$$

$$\tau_w = 1,5 V / A_v = 4.4 \text{ daN/cm}^2 < f_{pvd} = 14.48 \text{ daN/cm}^2 \text{ (Ok)}$$

Frecce in esercizio:

Deformazione istantanea per effetto dei carichi permanenti:

$$G_k = G_1 + G_2 = 20.37 + 164.98 = 185.35 \text{ daN/m}$$

$$U_{1i} = ((5 G_k L^4) / (384 E_m J_x)) + ((1.2 G_k L^2) / (8 G_m A)) = 1.681 \text{ mm}$$

Deformazione istantanea per effetto dei carichi variabili:

$$U_{2i} = ((5 Q_1 L^4) / (384 E_m J_x)) + ((1.2 Q_1 L^2) / (8 G_m A)) = 0.794 \text{ mm}$$

Deformazione istantanea (combinazione rara):

$$U_i = U_{1i} + U_{2i} = 2.475 \text{ mm}$$

Deformazione finale per effetto dei carichi permanenti + variabili (combinazione quasi permanente):

$$U_{fin} = U_{1i} (1 + K_{def}) + U_{2i} (1 + \psi_2 K_{def}) = 3.484 \text{ mm} \quad (K_{def} = 0.600, \psi_2 = 0.00):$$

Verifiche di deformazione:

$$U_i / L = 1 / 731 < 1 / 300 \text{ (Ok)}$$

$$U_{fin} / L = 1 / 520 < 1 / 200 \text{ (Ok)}$$

VERIFICHE DEL TAVOLATO IN LEGNO:

Dimensioni di calcolo: larghezza = 100 cm, spessore = 5.0 cm, luce = 73.0 cm

$$\begin{aligned}G1x &= G1 \sin\alpha = 0.00 \text{ daN/m} & G1y &= G1 \cos\alpha = 21.00 \text{ daN/m} \\G2x &= G2 \sin\alpha = 0.00 \text{ daN/m} & G2y &= G2 \cos\alpha = 226.00 \text{ daN/m} \\Q1x &= Q1 \sin\alpha = 0.00 \text{ daN/m} & Q1y &= Q1 \cos\alpha = 120.00 \text{ daN/m}\end{aligned}$$

Combinazione di carico: permanenti + variabili ($K_{mod} = 0.900$)

$$\begin{aligned}Q_x &= G1x \gamma_{g1} + G2x \gamma_{g2} + Q1x \gamma_{q1} = 0.00 \text{ daN/m} & (\gamma_{g1} = 1.30; \gamma_{g2} = 1.50; \gamma_{q1} = 1.50) \\Q_y &= G1y \gamma_{g1} + G2y \gamma_{g2} + Q1y \gamma_{q1} = 546.30 \text{ daN/m} & (\gamma_{g1} = 1.30; \gamma_{g2} = 1.50; \gamma_{q1} = 1.50)\end{aligned}$$

Verifica a flessione deviata:

$$M_x = (Q_y L^2) / 8 = 3639.0 \text{ daN cm}$$

$$M_y = (Q_x L^2) / 8 = 0.0 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_{xw} = M_x / W_x = 8.73 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{yw} = M_y / W_y = 0.00 \text{ daN/cm}^2$$

$$(\sigma_{xw} / f_{md}) + 0,7 (\sigma_{yw} / f_{md}) = 0.061 < 1 \text{ (Ok)}$$

$$(\sigma_{yw} / f_{md}) + 0,7 (\sigma_{xw} / f_{md}) = 0.042 < 1 \text{ (Ok)}$$

Verifica a taglio:

$$V_y = (Q_y L) / 2 = 199.4 \text{ daN}$$

$$V_x = (Q_x L) / 2 = 0.0 \text{ daN}$$

$$\tau_{wy} = 1,5 V_y / A = 1.20 \text{ daN/cm}^2$$

$$\tau_{wx} = 1,5 V_x / A = 0.00 \text{ daN/cm}^2$$

$$\tau_w = (\tau_{wx}^2 + \tau_{wy}^2)^{1/2} = 1.20 \text{ daN/cm}^2 < f_{vd} = 24.00 \text{ daN/cm}^2 \text{ (Ok)}$$

Combinazione di carico: soli carichi permanenti ($K_{mod} = 0.600$)

$$Q_x = G1x \gamma_{g1} + G2x \gamma_{g2} = 0.00 \text{ daN/m} \quad (\gamma_{g1} = 1.30; \gamma_{g2} = 1.50)$$

$$Q_y = G1y \gamma_{g1} + G2y \gamma_{g2} = 366.30 \text{ daN/m} \quad (\gamma_{g1} = 1.30; \gamma_{g2} = 1.50)$$

Verifica a flessione deviata:

$$M_x = (Q_y L^2) / 8 = 2440.0 \text{ daN cm}$$

$$M_y = (Q_x L^2) / 8 = 0.0 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_{xw} = M_x / W_x = 5.86 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{yw} = M_y / W_y = 0.00 \text{ daN/cm}^2$$

$$(\sigma_{xw} / f_{md}) + 0,7 (\sigma_{yw} / f_{md}) = 0.061 < 1 \text{ (Ok)}$$

$$(\sigma_{yw} / f_{md}) + 0,7 (\sigma_{xw} / f_{md}) = 0.043 < 1 \text{ (Ok)}$$

Verifica a taglio:

$$V_y = (Q_y L) / 2 = 133.7 \text{ daN}$$

$$V_x = (Q_x L) / 2 = 0.0 \text{ daN}$$

$$\tau_{wy} = 1,5 V_y / A = 0.80 \text{ daN/cm}^2$$

$$\tau_{wx} = 1,5 V_x / A = 0.00 \text{ daN/cm}^2$$

$$\tau_w = (\tau_{wx}^2 + \tau_{wy}^2)^{1/2} = 0.80 \text{ daN/cm}^2 < f_{vd} = 16.00 \text{ daN/cm}^2 \text{ (Ok)}$$

Frecce in esercizio:

Deformazione istantanea per effetto dei carichi permanenti:

$$U1Xi = ((5 \cdot G1x \cdot L^4) / (384 \cdot Em \cdot Jy)) + ((1.2 \cdot G1x \cdot L^2) / (8 \cdot Gm \cdot A)) = 0.000 \text{ mm}$$

$$U1Yi = ((5 \cdot G1y \cdot L^4) / (384 \cdot Em \cdot Jx)) + ((1.2 \cdot G1y \cdot L^2) / (8 \cdot Gm \cdot A)) = 0.085 \text{ mm}$$

$$U1i = (U1Xi^2 + U1Yi^2)^{1/2} = 0.085 \text{ mm}$$

Deformazione istantanea per effetto dei carichi variabili:

$$U2Xi = ((5 \cdot Q1x \cdot L^4) / (384 \cdot Em \cdot Jy)) + ((1.2 \cdot Q1x \cdot L^2) / (8 \cdot Gm \cdot A)) = 0.000 \text{ mm}$$

$$U2Yi = ((5 \cdot Q1y \cdot L^4) / (384 \cdot Em \cdot Jx)) + ((1.2 \cdot Q1y \cdot L^2) / (8 \cdot Gm \cdot A)) = 0.042 \text{ mm}$$

$$U2i = (U2Xi^2 + U2Yi^2)^{1/2} = 0.042 \text{ mm}$$

Deformazione istantanea (combinazione rara):

$$Uj = U1i + U2i = 0.127 \text{ mm}$$

Deformazione finale per effetto dei carichi permanenti + variabili (combinazione quasi permanente):

$$UXfin = U1Xi \cdot (1 + Kdef) + U2Xi \cdot (1 + \psi_2 \cdot Kdef) = 0.000 \text{ mm} \quad (Kdef = 0.600, \psi_2 = 0.00):$$

$$UYfin = U1Yi \cdot (1 + Kdef) + U2Yi \cdot (1 + \psi_2 \cdot Kdef) = 0.178 \text{ mm} \quad (Kdef = 0.600, \psi_2 = 0.00):$$

$$Ufin = (UXfin^2 + UYfin^2)^{1/2} = 0.178 \text{ mm}$$

Verifiche di deformazione:

$$Uj / L = 1 / 5751 < 1 / 300 \text{ (Ok)}$$

$$Ufin / L = 1 / 4097 < 1 / 200 \text{ (Ok)}$$