

RELAZIONE DI CALCOLO

Somma urgenza - Codice SOUP-RT n. 2026-1295/0254

Oggetto: Intervento locale di ripristino copertura

Immobile: CIMITERO DI CARMIGNANO, via del Camposanto, Carmignano (PO)

Richiedente: Comune di Carmignano

1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le opere strutturali relative alla presente progettazione sono dimensionate in conformità alla normativa tecnica italiana vigente al momento. In particolare, le norme cui si fa riferimento sono:

- **Legge 1086 del 5/11/1971** "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso e a struttura metallica".
- **Legge 64 del 2/02/1974** "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".
- **D.M. 17/01/2018** "Aggiornamento Nuove norme tecniche per le costruzioni".
- **Circolare C.S.LL.PP. n.7 del 17/01/2019** "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni - di cui al D.M. 17.01.2018".

2. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

L'intervento è finalizzato al ripristino di una porzione di copertura lignea parzialmente crollata. L'intervento strutturale è localizzato sul corpo di fabbrica posto in aderenza al lato destro della cappella centrale (*ved. foto 1*). La copertura si configura ad un'unica falda, costituita da un'orditura primaria e secondaria lignea, con sovrastante scempiato in tavelle di laterizio e manto di tenuta in tegole marsigliesi. Il ripristino consisterà nello smontaggio controllato della porzione danneggiata e nella sostituzione dell'orditura primaria e secondaria compromessa. I nuovi elementi portanti saranno realizzati in legno di abete sezione 20x20 (orditura primaria), sezione 10x10 (orditura secondaria). Si procederà inoltre alla posa di nuove tavelle in laterizio in sostituzione di quelle attuali danneggiate, all'inserimento di una membrana impermeabilizzante (guaina) per prevenire futuri fenomeni infiltrativi a tutela del bene, e al rimontaggio del manto originale in tegole marsigliesi.



Foto 1 (con evidenziata la porzione di copertura oggetto di intervento)

3. ANALISI DEI CARICHI E CALCOLI

Dati geometrici:

Dimensioni delle travi dell'orditura principale: $B \times H = 20.0 \times 20.0 \text{ cm}$

$A = 400.0 \text{ cm}^2$, $W_x = 1562.5 \text{ cm}^3$, $J_x = 19531.3 \text{ cm}^4$

Interasse: $i = 140.00 \text{ cm}$

Angolo inclinazione della falda $\alpha = 19.0^\circ$

Luce di calcolo: $L = 300.0 \text{ cm}$

Dimensioni dei travetti dell'orditura secondaria: $B \times H = 10.0 \times 10.0 \text{ cm}$

$A = 100.0 \text{ cm}^2$, $A_v = A$, $K_{cf} = 80.4 \text{ cm}^2$, $W_x = 240.0 \text{ cm}^3$, $W_y = 200.0 \text{ cm}^3$, $J_x = 1440.0 \text{ cm}^4$, $J_y = 1000.0 \text{ cm}^4$

Interasse: $i = 40.0 \text{ cm}$

Spessore tavole: $t_w = 3.0 \text{ cm}$

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_m 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_v Resistenza a taglio
 E_m Modulo elastico medio
 G_m Modulo elastico tangenziale medio
 ρ_k Massa volumica caratteristica
 ρ_L Peso per unità di volume

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: $X_d = K_{mod} X_k / \gamma_m$

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: $M_{mfin} = M_m / (1 + K_{def})$

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 principali:

Classe: GL24h - EN14080:2013 Legno abete

γ_m = Coef. parziale di sicurezza = 1.45

$K_h = 1.091$ ($L_{max} = 20.0$ cm)

K_{cf} = Coef. riduzione a taglio per fessurazione = 1.00

E_m	E_{mfin}	G_m	G_{mfin}	ρ_k	ρ_L
daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	kg/m ³	daN/m ³
115000.0	71875.0	6500.0	4062.5	385.0	420.0

Resistenza	f_m	f_{t0}	f_{t90}	f_{c0}	f_{c90}
f_v	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²
caratteristica	240.0	192.0	5.0	240.0	5.0
35.0					
prog. ($K_{mod} = 0.90$)	162.6	130.1	3.1	149.0	15.5
21.7					
prog. ($K_{mod} = 0.60$)	108.4	86.7	2.1	99.3	10.3
14.5					

Legno travetti:

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

γ_m = Coef. parziale di sicurezza = 1.50

K_h = 1.046 (L_{max} = 10.0 cm)

K_{cf} = Coef. riduzione a taglio per fessurazione = 0.67

E_m	$E_{m,fin}$	G_m	$G_{m,fin}$	ρ_k	ρ_L
daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	kg/mc	daN/mc
110000.0	71875.0	6900.0	4312.5	350.0	420.0

Resistenza	f_m	f_{t0}	f_{t90}	f_{c0}	f_{c90}	f_v
	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. ($K_{mod} = 0.90$)	150.6	91.0	2.4	126.0	15.0	24.0
prog. ($K_{mod} = 0.60$)	100.4	60.6	1.6	84.0	10.0	16.0

TRAVETTI ORDITURA SECONDARIA:

Analisi dei carichi:

Schema statico: trave su 2 appoggi

Carichi permanenti:

- tavole in laterizio 25,00 daN/mq

g_1 = 12,6 daN/mq

g_1 x interasse travetti 5.0 daN/m

peso proprio travetti 5.0 daN/m

G_1 = 10.1 daN/m

Carichi permanenti non strutturali:

- copertura in coppi 70,0 daN/mq

- impermeabilizzazione 15,0 daN/mq

g_2 = 85,0 daN/mq

G_2 = g_2 x interasse travi (0.40 m) 34.0 daN/m

Carichi variabili:

q = carico da neve 120,0 daN/mq

$q' = q \cos \alpha$ 113,5 daN/mq

Q_1 = q' x interasse travetti 45.4 daN/m

Verifiche dei travetti in legno:

Scomposizione delle azioni nelle direzioni degli assi principali d'inerzia:

$G_{1x} = G_1 \sin \alpha = 3.28$ daN/m $G_{1y} = G_1 \cos \alpha = 9.53$ daN/m

$G_{2x} = G_2 \sin \alpha = 11.07$ daN/m $G_{2y} = G_2 \cos \alpha = 32.15$ daN/m

$Q_{1x} = Q_1 \sin \alpha = 14.78$ daN/m $Q_{1y} = Q_1 \cos \alpha = 42.91$ daN/m

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

$Q_x = G_{1x} \gamma_{g1} + G_{2x} \gamma_{g2} + Q_{1x} \gamma_{q1} = 43.03$ daN/m ($\gamma_{g1} = 1.30$; $\gamma_{g2} = 1.50$; $\gamma_{q1} = 1.50$)

$Q_y = G_{1y} \gamma_{g1} + G_{2y} \gamma_{g2} + Q_{1y} \gamma_{q1} = 124.98$ daN/m ($\gamma_{g1} = 1.30$; $\gamma_{g2} = 1.50$; $\gamma_{q1} = 1.50$)

Verifica a flessione deviata:

$M_x = (Q_y L^2) / 8 = 14060.2$ daN cm

$$\begin{aligned}M_y &= (Q_x L^2) / 8 = 4841.3 \text{ daN cm} \\ \sigma_{xw} &= M_x / W_x = 58.58 \text{ daN/cm}^2 \\ \sigma_{yw} &= M_y / W_y = 24.21 \text{ daN/cm}^2 \\ \sigma_{xw} / f_{md} + 0,7 \sigma_{yw} / f_{md} &= 0.502 < 1 \text{ (Ok)} \\ \sigma_{yw} / f_{md} + 0,7 \sigma_{xw} / f_{md} &= 0.433 < 1 \text{ (Ok)}\end{aligned}$$

Verifica a taglio:

$$\begin{aligned}V_y &= (Q_y L) / 2 = 187.5 \text{ daN} \\ V_x &= (Q_x L) / 2 = 64.6 \text{ daN} \\ \tau_{wy} &= 1,5 V_y / A = 3.50 \text{ daN/cm}^2 \\ \tau_{wx} &= 1,5 V_x / A = 1.20 \text{ daN/cm}^2 \\ \tau_w &= (\tau_{wx}^2 + \tau_{wy}^2)^{1/2} = 3.70 \text{ daN/cm}^2 < f_{vd} = 24.00 \text{ daN/cm}^2 \text{ (Ok)}\end{aligned}$$

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

$$Q_x = G_{1x} \gamma_{g1} + G_{2x} \gamma_{g2} = 20.87 \text{ daN/m} \quad (\gamma_{g1} = 1.30; \gamma_{g2} = 1.50)$$

$$Q_y = G_{1y} \gamma_{g1} + G_{2y} \gamma_{g2} = 60.61 \text{ daN/m} \quad (\gamma_{g1} = 1.30; \gamma_{g2} = 1.50)$$

Verifica a flessione deviata:

$$\begin{aligned}M_x &= (Q_y L^2) / 8 = 6818.8 \text{ daN cm} \\ M_y &= (Q_x L^2) / 8 = 2347.9 \text{ daN cm} \\ \sigma_{xw} &= M_x / W_x = 28.41 \text{ daN/cm}^2 \\ \sigma_{yw} &= M_y / W_y = 11.74 \text{ daN/cm}^2 \\ (\sigma_{xw} / f_{md}) + 0,7 (\sigma_{yw} / f_{md}) &= 0.365 < 1 \text{ (Ok)} \\ (\sigma_{yw} / f_{md}) + 0,7 (\sigma_{xw} / f_{md}) &= 0.315 < 1 \text{ (Ok)}\end{aligned}$$

Verifica a taglio:

$$\begin{aligned}V_y &= (Q_y L) / 2 = 90.9 \text{ daN} \\ V_x &= (Q_x L) / 2 = 31.3 \text{ daN} \\ \tau_{wy} &= 1,5 V_y / A = 1.70 \text{ daN/cm}^2 \\ \tau_{wx} &= 1,5 V_x / A = 0.58 \text{ daN/cm}^2 \\ \tau_w &= (\tau_{wx}^2 + \tau_{wy}^2)^{1/2} = 1.79 \text{ daN/cm}^2 < f_{vd} = 16.00 \text{ daN/cm}^2 \text{ (Ok)}\end{aligned}$$

Frecce in esercizio:

Deformazione istantanea per effetto dei carichi permanenti:

$$U_{1Xi} = ((5 G_{1x} L^4) / (384 E_m J_y)) + ((1.2 G_{1x} L^2) / (8 G_m A)) = 1.399 \text{ mm}$$

$$U_{1Yi} = ((5 G_{1y} L^4) / (384 E_m J_x)) + ((1.2 G_{1y} L^2) / (8 G_m A)) = 2.843 \text{ mm}$$

$$U_{1i} = (U_{1Xi}^2 + U_{1Yi}^2)^{1/2} = 3.169 \text{ mm}$$

Deformazione istantanea per effetto dei carichi variabili:

$$U_{2Xi} = ((5 Q_{1x} L^4) / (384 E_m J_y)) + ((1.2 Q_{1x} L^2) / (8 G_m A)) = 1.441 \text{ mm}$$

$$U_{2Yi} = ((5 Q_{1y} L^4) / (384 E_m J_x)) + ((1.2 Q_{1y} L^2) / (8 G_m A)) = 2.927 \text{ mm}$$

$$U_{2i} = (U_{2Xi}^2 + U_{2Yi}^2)^{1/2} = 3.263 \text{ mm}$$

Deformazione istantanea (combinazione rara):

$$U_i = U_{1i} + U_{2i} = 6.431 \text{ mm}$$

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

$$UX_{fin} = U1X_i (1 + K_{def}) + U2X_i (1 + \square^2 K_{def}) = 3.680 \text{ mm} (K_{def} = 0.600, \square^2 = 0.00):$$

$$UY_{fin} = U1Y_i (1 + K_{def}) + U2Y_i (1 + \square^2 K_{def}) = 7.476 \text{ mm} (K_{def} = 0.600, \square^2 = 0.00):$$

$$U_{fin} = (UX_{fin}^2 + UY_{fin}^2)^{1/2} = 8.333 \text{ mm}$$

Verifiche di deformazione:

$$U_i / L = 1 / 466 < 1 / 300 \text{ (Ok)}$$

$$U_{fin} / L = 1 / 360 < 1 / 200 \text{ (Ok)}$$

TRAVI ORDITURA PRINCIPALE:

Schema statico: trave su 2 appoggi

Analisi dei carichi:

Carichi permanenti:

- tavelle	12,6 daN/mq
- travetti: 10.0x10.0, i = 40.0 cm	12,6 daN/mq
<u>g1 =</u>	<u>25,2 daN/mq</u>

g1 x interasse travi	75.6 daN/m
<u>peso proprio trave</u>	<u>15.8 daN/m</u>
<u>G1 =</u>	<u>91.4 daN/m</u>

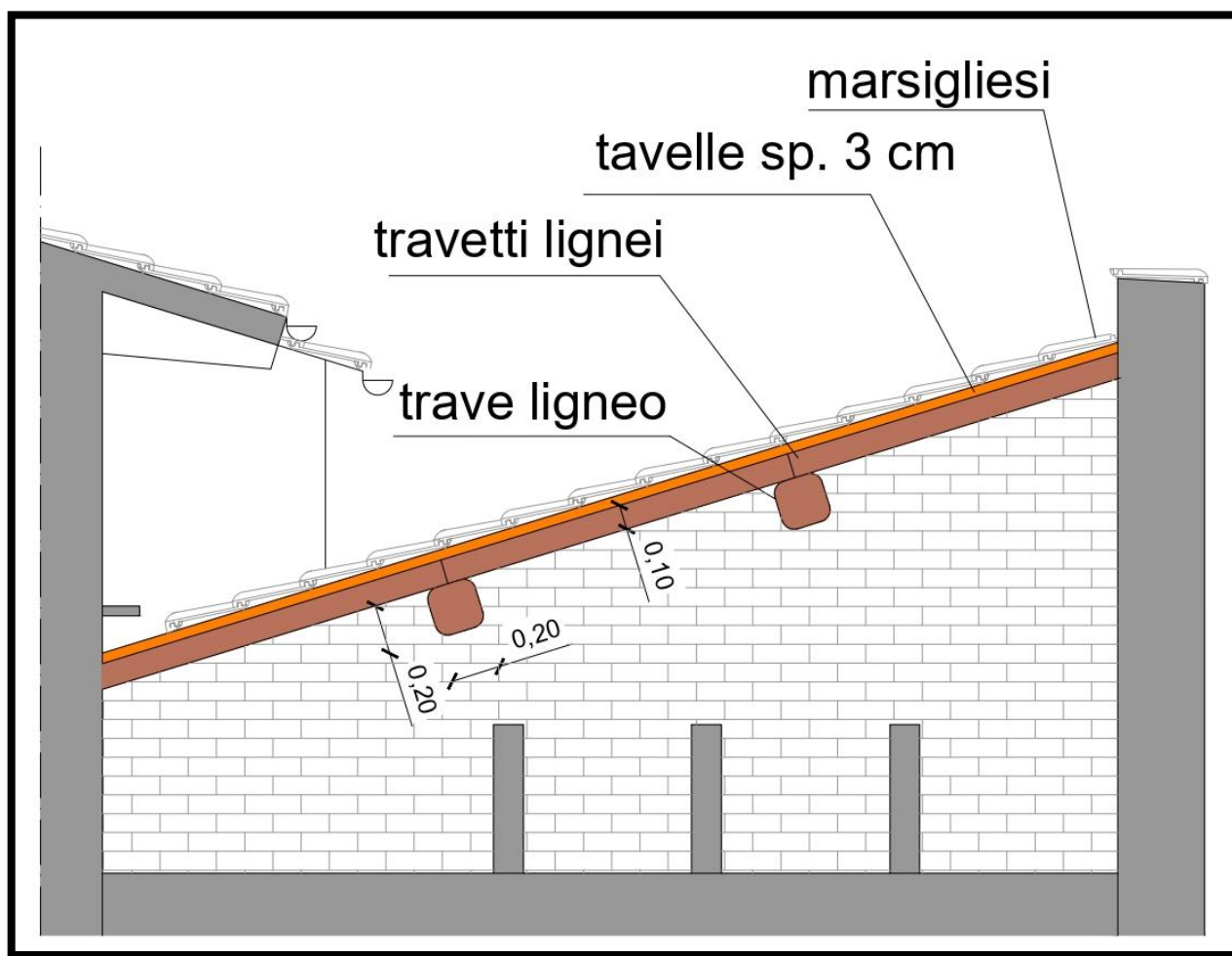
Carichi permanenti non strutturali:

- copertura in coppi	70,0 daN/mq
- impermeabilizzazione	15,0 daN/mq
<u>g2 =</u>	<u>85,0 daN/mq</u>

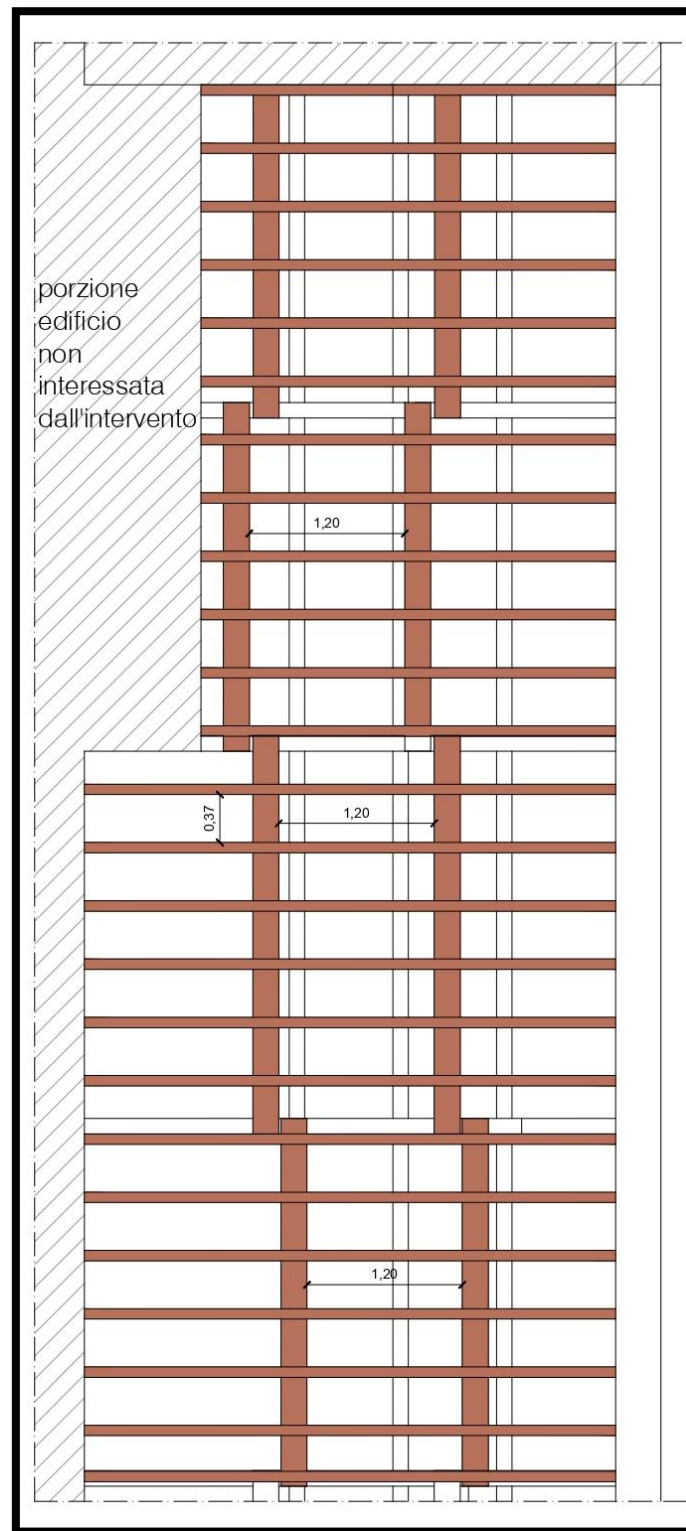
$$G2 = g2 \times \text{interasse travi (3.00 m)} = 255.0 \text{ daN/m}$$

Carichi variabili:

q = carico da neve	120,0 daN/mq
q' = q cos α	113,5 daN/mq
<u>Q1 = q' x interasse travi</u>	<u>340.4 daN/m</u>



Sezione della copertura



Pianta rditura lignea

Pistoia li 07/09/2026

