

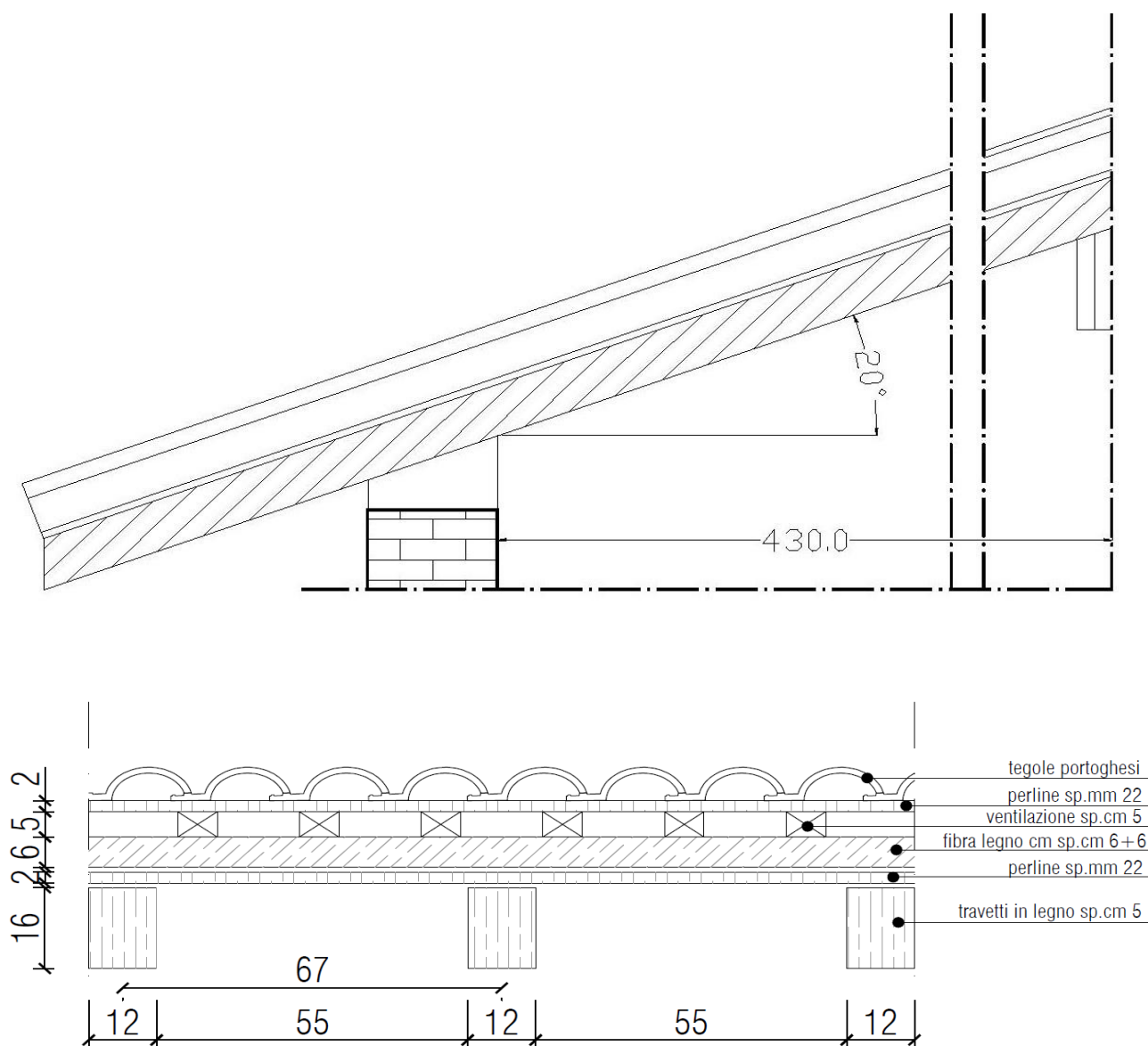


Oggetto: Verifiche di massima per la resistenza al fuoco di una trave soggetta a flessione semplice.

Su una copertura a due falde, avente pianta 9 x 20 metri, sono presenti dei falsi puntoni in legno massiccio C24, poggiati alle estremità su una trave di colmo e su dormienti di gronda. Tali elementi hanno una sezione pari 12 x 16 centimetri e sono posti ad un interasse di 67 centimetri.

Attingendo ai dati sopra riportati e a quelli ricavabili dai disegni sottostanti, si richiede una verifica di massima a momento flettente, e la seguente verifica della classe R60 di resistenza al fuoco.

Si riporta di seguito una rappresentazione schematica della copertura.



Verifica al fuoco di un falso puntone di copertura
La luce di calcolo viene assunta pari a:

$$L = 4,30m \times 1,05 / \cos \alpha = 4,30m \times 1,05 / \cos 20^\circ = 4,80m$$

Si effettua di seguito l'analisi dei carichi di un metro quadro di copertura.

$$\text{Peso propriofalsi puntone} = 0,12m \times 0,16m \times 1m \times 4,2kN / mc / 0,67m = 0,12kN / mq$$

$$1^\circ \text{tavolato} = 0,022m \times 1m \times 1m \times 4,2kN / mc = 0,09kN / mq$$

$$\text{Pannelli in fibre di legno} = 0,12m \times 1m \times 1m \times 1,6kN / mc = 0,19kN / mq$$

$$\text{Listelli ventilazione} = 0,06m \times 0,05m \times 1m \times 4,2kN / mc / 0,20m = 0,06kN / mq$$

$$2^\circ \text{tavolato} = 0,022m \times 1m \times 1m \times 4,2kN / mc = 0,09kN / mq$$

$$\text{Tegole Portoghesi} = 0,5 kN/mq$$

$$\text{Varie} = 0,2kN / mq$$

$$\text{Totale} = 0,12kN / mq + 0,09kN / mq + 0,19kN / mq + 0,06kN / mq + 0,09kN / mq + 0,5kN / mq + 0,2kN / mq = 0,8kN / mq$$

Si ipotizza un carico neve di 0,8 kN/mq e un carico di esercizio di 0,5 kN/mq

Si assume una classe di servizio 2 e carichi di lunga durata.

$$f_{m,d} = \frac{K_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 24Mpa}{1,5} = 11,2Mpa$$

Si assume il seguente carico.

$$F_d = \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{Q1} \cdot Q_1 + \gamma_{Q2} \cdot Q \cdot \psi_{q2} = 1,5 \cdot 0,8kN / mq + 1,5 \cdot 0,8kN / mq + 1,5 \cdot 0 \cdot 0,5kN / mq = 2,4kN / mq$$

$$q_d = 2,4kN / mq \cdot 0,67m = 1,6kN / m$$

$$M_{max} = \frac{1}{8} q_d \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 1,6kN / m \cdot 4,8^2 m = 4,6kNm$$

$$W = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 120 \cdot 160^2 = 512.000mm^3$$

$$M_{res} = W \cdot f_{m,d} = 512.000 \cdot 11,2Mpa = 5,7kNm$$

$M_{res} > M_{max}$ La verifica di massima a flessione fornisce esito positivo

Si effettua ora la verifica al fuoco.

Essendo la trave in legno tenero, tipo abete, si assume una velocità di carbonizzazione, comprensiva di arrotondamento degli spigoli, pari a 0,8 mm/min, come suggerito dalla EN 1995-1-2.

Per un'esposizione al fuoco superiore a 20 minuti si dovrà decurtare dalla sezione residua un'ulteriore quota fissa $K_0 = 7$ mm per ogni lato esposto al fuoco.

Dopo 60 minuti di esposizione all'incendio, secondo curva di incendio standard ISO 834, si ha una riduzione delle sezioni, per ogni lato esposto al fuoco, pari a:

$$0,8mm / \text{min} \cdot 60\text{min} + 7mm = 55mm$$

Considerando le travi esposte su 3 lati, ovvero con il lato superiore inizialmente protetto dalla presenza del 1° tavolato, la sezione residua dopo 60 minuti è pari a:

$$b = 120mm - 2 \cdot 55mm = 10mm$$

$$h = 160mm - 55mm = 105mm$$

Nelle verifiche al fuoco si assume la combinazione eccezionale dei carichi, che in copertura prevede i soli carichi permanenti, per edifici posti a meno di 1.000 m.s.l.m.

Risulta inoltre possibile assumere le resistenze caratteristiche con coefficienti di sicurezza pari a 1 per carichi istantanei ovvero eccezionali

$$F_{dFIRE} = G_1 = 0,8kN / mq$$

$$q_{dFIRE} = 0,8kN / mq \cdot 0,67m = 0,54kN / m$$

$$M_{maxFIRE} = \frac{1}{8} q_d \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 0,54kN / m \cdot 4,8^2 m = 1,6kNm$$

$$W = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 10 \cdot 105^2 = 18.375mm^3$$

$$M_{res} = W \cdot f_{m,d} = 18375 \cdot 24Mpa = 0,44kNm$$

$M_{res} < M_{max}$ La verifica di massima a flessione fornisce esito negativo

NOTA IMPORTANTE: vista la ridottissima sezione di base, anche ci fosse stata una verifica a flessione positiva, una più accurata verifica a svergolamento avrebbe dato sicuramente esito ampiamente negativo, come è possibile vedere dall'estratto di calcolo del foglio Excel allegato a fine documento.

Intervenendo sulle travi, applicando il ciclo protettivo costituito da 700 g/mq di Aithon PV33 fondo e 70 g/mq di finitura F3, si riduce la velocità di carbonizzazione di travi e pilasti in legno massiccio tenero a 0,54 mm/min per un'esposizione al fuoco di 60 minuti. [Tali prestazioni sono certificate a seguito di prove al fuoco effettuate in conformità alla norma di prova europea ENV 13381-7](#)

A questo punto la sezione residua e le verifiche a flessione assumono la seguente forma:

$$0,54mm / min \cdot 60min + 7mm = 39,4mm$$

$$b = 120mm - 2 \cdot 39,4mm = 41,2mm$$

$$h = 160mm - 39,4mm = 120,6mm$$

$$F_{dFIRE} = G_1 = 0,8kN / mq$$

$$q_{dFIRE} = 0,8kN / mq \cdot 0,67m = 0,54kN / m$$

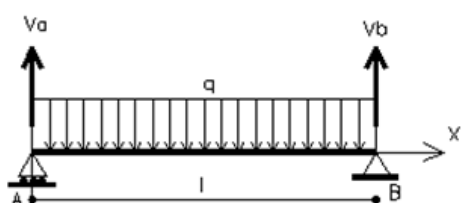
$$M_{maxFIRE} = \frac{1}{8} q_d \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 0,54kN / m \cdot 4,8^2 m = 1,6kNm$$

$$W = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 41,2 \cdot 120,6^2 = 99.871mm^3$$

$$M_{res} = W \cdot f_{m,d} = 99.871 \cdot 24Mpa = 2,39kNm$$

$M_{res} > M_{max}$ La verifica di massima R60 a flessione fornisce esito positivo

Si riporta di seguito l'estratto di calcolo con foglio Excel circa la verifica negativa per la classe R60 dell'elemento privo di protezione intumescente

	<p>Verifiche in condizioni di incendio secondo eurocodice EN 1995-1-2</p> <p>Trave singola Semplice appoggio Carichi permanenti + accidentali uniformemente distribuiti Valido solo per travi a sezione quadrata e rettangolare Verifica condotta con velocità di carbonizzazione nominale</p> <p>Cliente :</p>
---	--

Verifica al fuoco di un falso puntone di copertura

categoria Legno	C24		Valori di rigidità	
coefficiente $K_{mod\ incendio}$	1		modulo elast. Parallelo medio	$E_{0,mean}$ 11000 MPa
coefficiente K_{fi}	1		modulo elastico parallelo caratt.	$E_{0,05}$ 7400 MPa
coefficiente $\gamma_{m\ incendio}$	1		modulo elastico ortogonale medio	$E_{90,mean}$ 370 MPa
Valori di resistenza			modulo di taglio medio	G_{mean} 690 MPa
flessione	$f_{m,k}$	24.00 MPa		
trazione parallela alla fibra	$f_{t,0,k}$	14.00 MPa		
trazione ortogonale alla fibra	$f_{t,90,k}$	0.50 MPa		
compressione parallela alla fibra	$f_{c,0,k}$	21.00 MPa		
compressione ortogonale alla fibra	$f_{c,90,k}$	2.50 MPa		
Taglio e torsione	$f_{v,k}$	2.50 MPa	Pesi propri	
			massa volumica media	ρ_m 4.20 kNm ³

Classe di resistenza al fuoco richiesta	R 60	Sezioni residua trave		lati esposti al fuoco
coefficiente β , legno non protetto	0.80 mm/min	base residua trave	b_{res} 10.00 mm	4
coefficiente β , legno protetto	0.8000 mm/min	altezza residua trave	h_{res} 105.00 mm	3
max scarto sez. residua e sez. efficace	7.00 mm	area sezione residua - $A_{f,fil}$	$A_{f,fil}$ 1050.00 mm ²	
coeff. correttivo scarto sez.res. sez. eff.	1	Modulo di inerzia - $J_{f,fil}$	$J_{f,fil}$ 964 687.50 mm ⁴	
Sezione trave		Modulo di resistenza - $W_{f,fil}$	$W_{f,fil}$ 18 375.00 mm ³	
base	120 mm	Torsione semplificata ?	SI	
altezza	160 mm			

Dati geometrici e di carico		Coefficienti EC5 1-1,2,3,2,2b in condizioni eccezionali	
lunghezza trave	l 4.80 m	Destinazione d'uso edificio	coperture < 1000m
Interasse	i 0.67 m	γ_{GA1}	1
carico permanente	q_{G2K} 0.80 kNm ²	$\psi_{1,1}$	0.2
carico accidentale principale	$q_{QK,1}$ 0.80 kNm ²	$\psi_{2,i}$	0
carico accidentale secondario	$q_{QK,2}$		

Carico agenti per metro lineare		Carico totale di progetto per metro lineare	$q_{fi,d}$ 0.54 kNm
peso proprio trave residua	q_{G1K} 0.00 kNm	Sollecitazioni di progetto	
carico permanente	q_{G2K} 0.54 kNm	Taglio	$V_{fi,d} = (q_{fi,d} \times l/2)$ 1.30 kN
carico accidentale principale	$q_{QK,1}$ 0.00 kNm	Momento flettente	$M_{fi,d} = (q_{fi,d} \times l^2/8)$ 1.56 kNm
carico accidentale secondario	$q_{QK,2}$		

Verifica trave			
$\sigma_{m,fi,d} = M_{fi,d} / W_{f,fil}$	84.90 MPa	Verifica a flessione	3.54 NO
$\tau_{m,fi,d} = 3/2 V_{fi,d} / A_{f,fil}$	1.24 MPa	Verifica a Taglio	0.74 OK
$\sigma_{m,crk} = \pi b^2 / (h l_{eff}) \times E_{0,05} \times (G_{0,05} / E_{0,05})^{0.5}$	1.28 MPa		
$\lambda_{rel,m} = (f_{m,k} / \sigma_{m,crk})^{0.5}$	4.33		
K_{crk}	0.053336462	Verifica a svergolamento	66.32 NO

Si riporta di seguito l'estratto di calcolo con foglio Excel circa la verifica positiva per la classe R60 considerando l'applicazione del ciclo protettivo Aithon PV33, [certificato secondo ENV 13381-7](#).

Verifiche in condizioni di incendio secondo eurocodice EN 1995-1-2

Trave singola
 Semplice appoggio
 Carichi permanenti + accidentali uniformemente distribuiti
 Valido solo per travi a sezione quadrata e rettangolare
 Verifica condotta con velocità di carbonizzazione nominale

Cliente :

categoria Legno	C24		Valori di rigidità	
coefficiente $K_{mod\ incendio}$	1		modulo elast. Parallelo medio	$E_{0,mean}$ 11000 MPa
coefficiente K_{fi}	1		modulo elastico parallelo caratt.	$E_{0,05}$ 7400 MPa
coefficiente $\gamma_{m\ incendio}$	1		modulo elastico ortogonale medio	$E_{90,mean}$ 370 MPa
Valori di resistenza			modulo di taglio medio	G_{mean} 690 MPa
flessione	$f_{m,k}$	24.00 MPa		
trazione parallela alla fibra	$f_{t,0,k}$	14.00 MPa		
trazione ortogonale alla fibra	$f_{t,90,k}$	0.50 MPa		
compressione parallela alla fibra	$f_{c,0,k}$	21.00 MPa		
compressione ortogonale alla fibra	$f_{c,90,k}$	2.50 MPa		
Taglio e torsione	$f_{v,k}$	2.50 MPa	Pesi propri	
			massa volumica media	ρ_m 4.20 kNm ³

Verifica al fuoco di un falso puntone di copertura

Classe di resistenza al fuoco richiesta		R 60	Sezioni residua trave		lati esposti al fuoco	
coefficiente β_a , legno non protetto		0.80 mm/min	base residua trave	b_{res}	40.72 mm	4
coefficiente β_a , legno protetto		0.5440 mm/min	altezza residua trave	h_{res}	120.36 mm	3
max scarto sez. residua e sez. efficace		7.00 mm	area sezione residua - A_{res}	A_{res}	4 901.06 mm ²	
coeff. correttivo scarto sez.res. sez. eff.		1	Modulo di inerzia - J_{res}	J_{res}	5 916 611.60 mm ⁴	
Sezione trave			Modulo di resistenza - W_{res}	W_{res}	98 315.25 mm ³	
base		120 mm	Torsione semplificata ?		SI	
altezza		160 mm				
Dati geometrici e di carico			Coefficienti EC5 1-1 2,3,2b in condizioni eccezionali			
lunghezza trave	l	4.80 m	Destinazione d'uso edificio	coperture < 1000m		
interasse	i	0.67 m		ψ_{GAi}		1
carico permanente	q_{GK}	0.80 kN/m ²		$\psi_{1,1}$		0.2
carico accidentale principale	$q_{EK,1}$	0.80 kN/m ²		$\psi_{2,j}$		0
carico accidentale secondario	$q_{EK,2}$					
Carico agenti per metro lineare			Carico totale di progetto per metro lineare		$q_{fi,d}$	0.56 kN/m
peso proprio trave residua	q_{G1K}	0.02 kN/m	Sollecitazioni di progetto			
carico permanente	q_{G2K}	0.54 kN/m	Taglio	$V_{fi,d} = (q_{fi,d} \times l/2)$		1.34 kN
carico accidentale principale	$q_{EK,1}$	0.00 kN/m	Momento flettente	$M_{fi,d} = (q_{fi,d} \times l^2/8)$		1.61 kNm
carico accidentale secondario	$q_{EK,2}$					
Verifica trave						
$\sigma_{m,fi,d} = M_{fi,d} / W_{fi}$		16.38 MPa	Verifica a flessione			0.68 OK
$\tau_{m,fi,d} = 3/2 V_{fi,d} / A_{fi}$		0.27 MPa	Verifica a taglio			0.16 OK
$\sigma_{m,crit} = \pi b^2 / (h l_{eff}) \times E_{0,05} \times (G_{0,05} / E_{0,05})^{0.5}$		18.57 MPa				
$\lambda_{rel,m} = (f_{m,k} / \sigma_{m,crit})^{0.5}$		1.14				
K_{crit}		0.705	Verifica a svergolamento			0.97 OK

Il servizio tecnico di Aithon Ricerche International s.r.l. è a vostra disposizione per assistenza e supporto a questo ed altri tipi di verifiche volte alla soluzione di problemi di resistenza al fuoco con l'ausilio di pitture intumescenti di nostra formulazione e produzione.