
Relazione di calcolo pannello LIGNATUR

Pos.110.0. 001

Regolarmenti normativi

EN 1991, EN 1995, NTC 2008

Oggetto: Esempio Scuola
Elemento di costruzione: Solaio sopra piano terra
Descrizione -
N. di progetto: 2021'0017

Indice:	
Pagina	Titolo
02	Ipotesi di carico
03-04	Sezione scelta, parametri
05-06	Verifica allo stato limite ultimo e allo stato limite d'esercizio
07-08	Sezione scelta, parametri in caso di incendio
09-10	Verifica allo stato limite ultimo in caso d'incendio

Editore della relazione di calcolo:

Lignatur AG
Herisauerstrasse 30
CH-9104 Waldstatt

Incaricato: Dipl. Bauingenieur ETH/SIA Ralph Schläpfer

Data: 2021-06-29

Oggetto:	Esempio Scuola
Elemento di costruzione:	Solaio sopra piano terra
N. di progetto:	2021'0017
Incaricato:	Dipl. Bauingenieur ETH/SIA Ralph Schläpfer
Data:	2021-06-29

Ipotesi di carico

Pos.110.0. 001

Regularmenti normativi EN 1991, EN 1995, NTC 2008

Azioni permanenti

			0.00 kN/m ²
Struttura del pavimento	Massetto in cemento 60mm (22kN/m ³ * 0.060m)		1.32 kN/m ²
Pannello anticalpestio	Trittschalldämmung Mineralfaser 40mm (s' ≤ 7 MN/m ³)		0.04 kN/m ²
Appesantimento	Elastisch gebundene Schüttung 80mm (15kN/m ³ * 0.080m)		1.20 kN/m ²
	-		0.00 kN/m ²
Pannello LIGNATUR LFE t=40	g + 0.00		0.62 kN/m ²
	-		0.00 kN/m ²
		g_k=	3.18 kN/m²

Azioni variabili

C1 - Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole			3.00 kN/m ²
Pareti divisorie leggere (< 3 kN/m)			0.80 kN/m ²
		q_k=	3.80 kN/m²

Coefficienti di sicurezza parziali relativo all'azioni in situazioni di dimensionamento diverse

Coefficiente di sicurezza parziale			
- azioni permanenti		Y _g =	1.35 ()
- azioni permanenti	Azione eccezionale	Y _{g,A} =	1.00 ()
- azioni variabili		Y _q =	1.50 ()
Coefficiente per il valore di combinazione			
- raro		Ψ ₀ =	0.70 ()
- frequente		Ψ ₁ =	0.70 ()
- quasi permanente		Ψ ₂ =	0.60 ()
Coefficiente di deformazione		k _{def} =	0.60 ()

Stato limite ultimo

Azione permanente	Y _g *g _k	=	4.29 kN/m ²
Azione permanente + variabile	Y _g *g _k +Y _q *q _k	=	9.99 kN/m ²

Stato limite ultimo in caso di incendio

Azione permanente + variabile	Y _{g,A} *g _k +Ψ ₂ *q _k	=	5.46 kN/m ²
-------------------------------	--	---	------------------------

Stato limite di esercizio

Azione permanente + variabile, inst	g _k +q _k	=	6.98 kN/m ²
Azione permanente + variabile, fin	g _k *(1+k _{def})+q _k (1+Ψ ₂ *k _{def})	=	10.25 kN/m ²

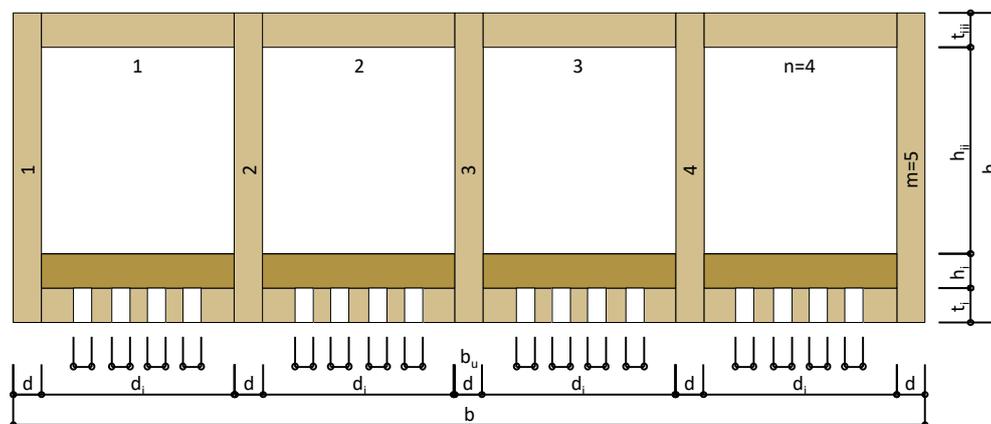
Oggetto: Esempio Scuola
Elemento di costruzione: Solaio sopra piano terra
N. di progetto: 2021'0017
Incaricato: Dipl. Bauingenieur ETH/SIA Ralph Schläpfer
Data: 2021-06-29

Caratteristiche della sezione

Pos.110.0. 001

Regolarmenti normativi

EN 1991, EN 1995, NTC 2008



Sezione

Tipo di elemento	Pannello LIGNATUR LFE t=40	L40
Resistenza al fuoco	REI60	REI60
Isolamento acustico	-	0
Isolamento termico	-	
Assorbimento acustico	Acustica tipo 3.1	3.1

Parametri

Altezza		$h=$	360 mm
Larghezza		$b=$	1000 mm
Numero di nervature		$m=$	5 ()
Spessore della nervatura		$d=$	31 mm
Numero di cavità	$m-1$	$n=$	4 ()
Larghezza cavità	$(b-m*d)/n$	$d_i=$	211 mm
Spessore lamella superiore		$t_{iii}=$	40 mm
Spessore lamella intermedia		$t_{ii}=$	0 mm
Spessore lamella inferiore		$t_i=$	40 mm
Apertura di riempimento		$b_o=$	0 mm
Ø Apertura di riempimento		$b_{o,w}=$	0 mm
Perforazione acustica tipo 3.1 nella lamella inferiore $n*4*20$		$b_u=$	320 mm
Ø Perforazione acustica tipo 3.1 nella lamella inferiore $n*4*20$		$b_{u,w}=$	320 mm
Altezza cavità	$h-t_{iii}-t_{ii}-h_i-t_i$	$h_{ii}=$	240 mm
Spessore materassino fonoassorbente		$h_i=$	40 mm

Densità

Legno di abete rosso		$\rho_{Holz}=$	4.70 kN/m ³
Isolamento nella cavità	Aria=0kg/m ³	$\rho_{Isolation}=$	0.00 kN/m ³
Materassino fonoassorbente in fibra di legno	Aria=0kg/m ³	$\rho_{Absorber}=$	1.10 kN/m ³

Aree della sezione

Legno lordo (peso proprio)	$b \cdot h - (n \cdot d_i) \cdot (h_{ii} + h_i)$	$A_b =$	123400 mm ²
Legno netto (stato limite ultimo)	$b \cdot h - (n \cdot d_i) \cdot (h_{ii} + h_i) - b_o \cdot t_{iii} - b_u \cdot t_i$	$A_n =$	110'600 mm ²
Legno Ø (stato limite d'esercizio)	$b \cdot h - (n \cdot d_i) \cdot (h_{ii} + h_i) - b_{o,w} \cdot t_{iii} - b_{u,w} \cdot t_i$	$A_{\emptyset} =$	110'600 mm ²
Cavità	$(b - m \cdot d) \cdot h_{ii}$	$A_K =$	202'800 mm ²
Materassino fonoassorbente	$(b - m \cdot d) \cdot h_i$	$A_A =$	33'800 mm ²

Peso proprio

Pannello LIGNATUR	$(A_b \cdot \rho_{Holz} + A_K \cdot \rho_{Isolation} + A_A \cdot \rho_{Absorber}) / 1000^2 / b \cdot 1000$	$g =$	0.62 kN/m ²
-------------------	--	-------	------------------------

Coordinate del baricentro in direzione Y

Legno netto	$(m \cdot d \cdot h^2 / 2 + (n \cdot d_i - b_u) \cdot t_i^2 / 2 + n \cdot d_i \cdot t_{ii} \cdot (t_i + h_i + t_{ii} / 2) + (n \cdot d_i - b_o) \cdot t_{iii} \cdot (h - t_{iii} / 2)) / A_n$	$s_y =$	199 mm
Legno Ø	$(m \cdot d \cdot h^2 / 2 + (n \cdot d_i - b_{u,w}) \cdot t_i^2 / 2 + n \cdot d_i \cdot t_{ii} \cdot (t_i + h_i + t_{ii} / 2) + (n \cdot d_i - b_{o,w}) \cdot t_{iii} \cdot (h - t_{iii} / 2)) / A_{\emptyset}$	$s_{y,\emptyset} =$	199 mm

Momenti d'inerzia

Legno netto	$m \cdot d \cdot h^3 / 12 + m \cdot d \cdot h \cdot (h/2 - s_y)^2 + (n \cdot d_i - b_u) \cdot t_i^3 / 12 + (n \cdot d_i - b_u) \cdot t_i \cdot (s_y - t_i / 2)^2 + n \cdot d_i \cdot t_{ii}^3 / 12 + n \cdot d_i \cdot t_{ii} \cdot (s_y - t_i - h_i - t_{ii} / 2)^2 + (n \cdot d_i - b_o) \cdot t_{iii}^3 / 12 + (n \cdot d_i - b_o) \cdot t_{iii} \cdot (h - s_y - t_{iii} / 2)^2$	$I_y =$	1'974'903'484 mm ⁴
Legno Ø	$m \cdot d \cdot h^3 / 12 + m \cdot d \cdot h \cdot (h/2 - s_y)^2 + (n \cdot d_i - b_{u,w}) \cdot t_i^3 / 12 + (n \cdot d_i - b_{u,w}) \cdot t_i \cdot (s_y - t_i / 2)^2 + n \cdot d_i \cdot t_{ii}^3 / 12 + n \cdot d_i \cdot t_{ii} \cdot (s_y - t_i - h_i - t_{ii} / 2)^2 + (n \cdot d_i - b_{o,w}) \cdot t_{iii}^3 / 12 + (n \cdot d_i - b_{o,w}) \cdot t_{iii} \cdot (h - s_y - t_{iii} / 2)^2$	$I_{y,\emptyset} =$	1'974'903'484 mm ⁴

Momento resistente

Legno netto	I_y / s_y	$W_y =$	9'948'275 mm ³
-------------	-------------	---------	---------------------------

Rigidezza a flessione

Legno Ø	$E_{0,mean} \cdot I_{y,\emptyset}$	$EI_{\emptyset} =$	21.724 * 10 ¹² Nmm ²
---------	------------------------------------	--------------------	--

Momento statico di area

Legno netto $t_i + h_i + t_{ii} < s_y \leq h - t_{iii}$	$m \cdot d \cdot (h - s_y)^2 / 2 + (n \cdot d_i - b_o) \cdot t_{iii} \cdot (h - s_y - t_{iii} / 2)$	$S_y =$	6'803'064 mm ³
--	---	---------	---------------------------

Sezione di taglio

Legno netto	$m \cdot d \cdot I_y / S_y$	$A_w =$	44'996 mm ²
-------------	-----------------------------	---------	------------------------

Valori caratteristici delle proprietà

Classe di resistenza				C24
Flessione	$f_{m,k} \cdot k_{mod} / \gamma_m$	$f_{m,k} =$	24 N/mm ²	$f_{m,d} =$ 16.6 N/mm ²
Trazione parallela alla fibratura	$f_{t,0,k} \cdot k_{mod} / \gamma_m$ 20	$f_{t,0,k} =$	14 N/mm ²	$f_{t,0,d} =$ 9.7 N/mm ²
Trazione perpendicolare alla fibratura	$f_{t,90,k} \cdot k_{mod} / \gamma_m$	$f_{t,90,k} =$	0.4 N/mm ²	$f_{t,90,d} =$ 0.3 N/mm ²
Compressione parallela alla fibratura	$f_{c,0,k} \cdot k_{mod} / \gamma_m$	$f_{c,0,k} =$	21 N/mm ²	$f_{c,0,d} =$ 14.5 N/mm ²
Compressione perpendicolare alla fibratura	$f_{c,90,k} \cdot k_{mod} / \gamma_m$	$f_{c,90,k} =$	2.5 N/mm ²	$f_{c,90,d} =$ 1.7 N/mm ²
Taglio	$f_{v,k} \cdot k_{mod} / \gamma_m$	$f_{v,k} =$	2.0 N/mm ²	$f_{v,d} =$ 1.4 N/mm ²
Modulo di elasticità parallelo			$E_{0,mean} =$	11'000 N/mm ²
Coefficiente di correzione			$k_{mod} =$	0.9 ()
Coefficiente di sicurezza parziale			$\gamma_m =$	1.3 ()

Oggetto: Esempio Scuola
Elemento di costruzione: Solaio sopra piano terra
N. di progetto: 2021'0017
Incaricato: Dipl. Bauingenieur ETH/SIA Ralph Schläpfer
Data: 2021-06-29

Stato limite ultimo e stato limite d'esercizio

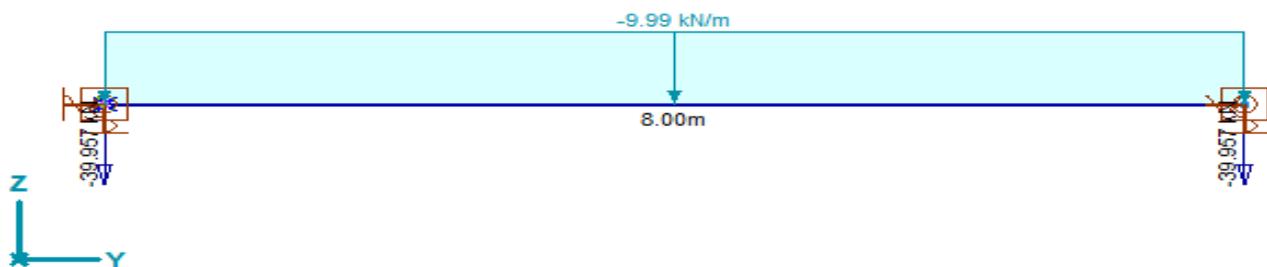
Pos.110.0. 001

Regolarmenti normativi EN 1991, EN 1995, NTC 2008

Calcolo con AxisVM

Sistema strutturale nello stato limite ultimo

Trave a 1 campata



Luce S1

$l_{s1} = 8'000$ mm

Diagramma del momento

Momento massimo

Tensione a flessione massima

$$M_{y,d} * 1000000 / (I_y / (h - s_y)) / 1000 * b$$

$$M_{y,d} * 1000000 / (I_y / s_y) / 1000 * b$$

$$\text{MAX}(\sigma_{o,d}; \sigma_{u,d}) / f_{m,d}$$

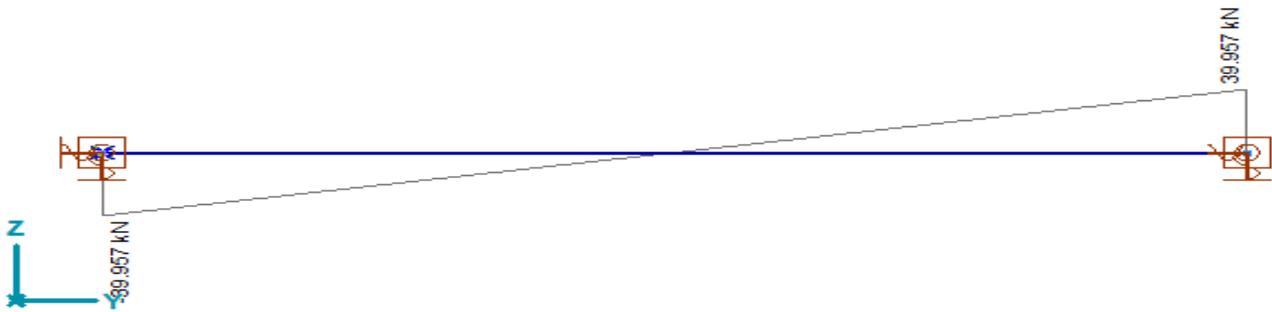
$M_{y,d} = 79.9$ kNm

$\sigma_{o,d} = 6.5$ N/mm²

$\sigma_{u,d} = 8.0$ N/mm²

0.48 ≤ 1

Diagramma del taglio



Forza di taglio massima

Tensione a taglio massima

$$V_{z,d} \cdot 1000 / A_w / 1000 \cdot b$$

$$\tau_d / f_{v,d}$$

$V_{z,d} =$

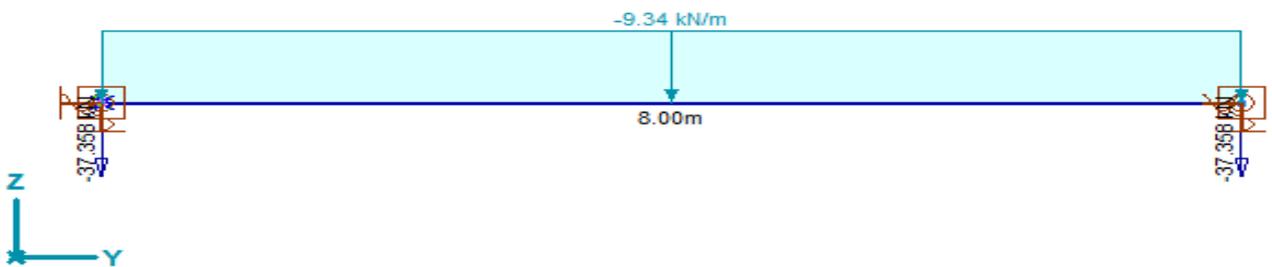
$\tau_d =$

40.0 kN

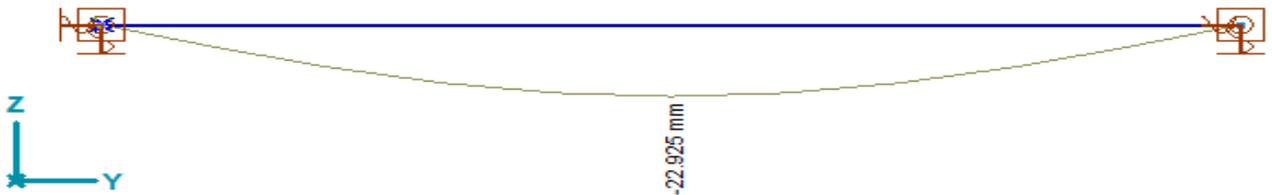
0.9 N/mm²

0.64 ≤ 1

Sistema strutturale nello stato limite d'esercizio per la combinazione frequente



Deformata



Frecce massime

$W_{z,inst,S1} =$

$W_{z,fin,S1} =$

$$I_{S1} / W_{z,inst,S1}$$

$$I_{S1} / W_{z,fin,S1}$$

17.1 mm

467 ≥ 400

25.2 mm

318 ≥ 300

Oggetto:	Esempio Scuola
Elemento di costruzione:	Solaio sopra piano terra
N. di progetto:	2021'0017
Incaricato:	Dipl. Bauingenieur ETH/SIA Ralph Schläpfer
Data:	2021-06-29

Caratteristiche della sezione in caso di incendio Pos.110.0. 001

Regolarmenti normativi	EN 1991, EN 1995, NTC 2008
	ETA-11/0137 per elementi LIGNATUR

Profondità effettiva di carbonizzazione in caso di incendio def

Durata di esposizione al fuoco		$t =$	60 min.
- tempo di carbonizzazione nella lamella ti	$t_i/\beta_1 \leq t$	$t_1 =$	46 min.
- tempo di carb. nel materassino fonoass. hi	$h_i/\beta_2 \leq t - t_1$	$t_2 =$	14 min.
- tempo di carbonizzazione nella lamella tii	$t_{ii}/\beta_3 \leq t - t_1 - t_2$	$t_3 =$	0 min.
- tempo di carb. nell'isolamento termico hii	$h_{ii}/\beta_4 \leq t - t_1 - t_2 - t_3$	$t_4 =$	0 min.
Velocità di carbonizzazione nella lamella ti	Acustica $0.22 \cdot k + 0.72$	$\beta_1 =$	0.86 mm/min.
Fattore (rapporto IBK n. 283 ETH Zurigo)	$A_{Akustik}/d_{Akustik} \cdot 1000 / (b_{Akustik}^{1.5 \cdot t_i})$	$k =$	0.65 ()
Superficie di fori o di fresature		$A_{Akustik} =$	314 mm ²
Distanza tra fori o tra freasture		$d_{Akustik} =$	40 mm
Distanza tra fori o freasture e nervatura		$b_{Akustik} =$	45 mm
Velocità di carb. nel materassino fonoass. hi	$0.9 \cdot (450/\rho_{Absorber})^{1/2}$	$\beta_2 =$	1.82 mm/min.
Velocità di carbonizzazione nella lamella tii		$\beta_3 =$	0.00 mm/min.
Velocità di carb. nell'isolamento termico hii		$\beta_4 =$	0.00 mm/min.
Strato carbonizzato	$t_1 \cdot \beta_1 + t_2 \cdot \beta_2 + t_3 \cdot \beta_3 + t_4 \cdot \beta_4$	$d_{char} =$	65 mm
Considerazione della perdita di resistenza		$d_{red} =$	7 mm
Profondità effettiva di carbonizzazione	$d_{char} + d_{red}$	$d_{ef} =$	72 mm

Parametri in caso di incendio

Altezza	$h - d_{ef}$	$h_{fi} =$	288 mm
Larghezza	b	$b_{fi} =$	1'000 mm
Numero di nervature	m	$m_{fi} =$	5 ()
Spessore della nervatura	d	$d_{fi} =$	31 mm
Numero di cavità	$n - 1$	$n_{fi} =$	4 ()
Larghezza cavità	$(b_{fi} - m_{fi} \cdot d_{fi}) / n_{fi}$	$d_{i,fi} =$	211 mm
Spessore lamella superiore	$t_{iii} \geq t_i + h_i + t_{ii} + h_{ii} + t_{iii} - d_{ef} \geq 0$	$t_{iii,fi} =$	40 mm
Spessore lamella intermedia	$t_{ii} \geq t_i + h_i + t_{ii} - d_{ef} \geq 0$	$t_{ii,fi} =$	0 mm
Spessore lamella inferiore	$t_i - d_{ef} \geq 0$	$t_{i,fi} =$	0 mm
Apertura di riempimento	b_o	$b_{o,fi} =$	0 mm
Perforazione acustica tipo 3.1 nella lamella inferic b_u		$b_{u,fi} =$	320 mm
Altezza cavità	$h_{ii} \geq t_i + h_i + t_{ii} + h_{ii} - d_{ef} \geq 0$	$h_{ii,fi} =$	240 mm
Spessore materassino fonoassorbente	$h_i \geq t_i + h_i - d_{ef} \geq 0$	$h_{i,fi} =$	8 mm

Area della sezione in caso di incendio

Legno netto (stato limite ultimo) $b_{fi} * h_{fi} - (n_{fi} * d_{i,fi}) * (h_{ii,fi} + h_{i,fi}) - b_{o,fi} * t_{iii,fi} - b_{u,fi} * t_{i,fi}$ $A_{n,fi} = 78'462 \text{ mm}^2$

Coordinate del baricentro in direzione Y in caso di incendio

Legno netto $(m_{fi} * d_{fi} * h_{fi}^2 / 2 + (n_{fi} * d_{i,fi} - b_{u,fi}) * t_{i,fi}^2 / 2 + n_{fi} * d_{i,fi} * t_{ii,fi} * (t_{i,fi} + h_{i,fi} + t_{ii,fi} / 2) + (n_{fi} * d_{i,fi} - b_{o,fi}) * t_{iii,fi} * (h_{fi} - t_{iii,fi} / 2)) / A_{n,fi}$ $S_{y,fi} = 198 \text{ mm}$

Momento d'inerzia in caso d'incendio

Legno netto $m_{fi} * d_{fi}^3 / 12 + m_{fi} * d_{fi} * h_{fi} * (h_{fi} / 2 - s_{y,fi})^2 + (n_{fi} * d_{i,fi} - b_{u,fi}) * t_{i,fi}^3 / 12 + (n_{fi} * d_{i,fi} - b_{u,fi}) * t_{i,fi} * (s_{y,fi} - t_{i,fi} / 2)^2 + n_{fi} * d_{i,fi} * t_{ii,fi}^3 / 12 + n_{fi} * d_{i,fi} * t_{ii,fi} * (s_{y,fi} - t_{i,fi} - h_{i,fi} - t_{ii,fi} / 2)^2 + (n_{fi} * d_{i,fi} - b_{o,fi}) * t_{iii,fi}^3 / 12 + (n_{fi} * d_{i,fi} - b_{o,fi}) * t_{iii,fi} * (h_{fi} - s_{y,fi} - t_{iii,fi} / 2)^2$ $I_{y,fi} = 609'685'643 \text{ mm}^4$

Momento statico di area in caso di incendio

Legno netto $t_{i,fi} + h_{i,fi} + t_{ii,fi} < s_{y,fi} \leq h_{fi} - t_{iii,fi}$ $m_{fi} * d_{fi} * (h_{fi} - s_{y,fi})^2 / 2 + (n_{fi} * d_{i,fi} - b_{o,fi}) * t_{iii,fi} * (h_{fi} - s_{y,fi} - t_{iii,fi} / 2)$ $S_{y,fi} = 3'023'564 \text{ mm}^3$ $S_{y,fi} = 3'023'564 \text{ mm}^3$

Sezione di taglio in caso di incendio

Legno netto $m_{fi} * d_{fi} * I_{y,fi} / S_{y,fi}$ $A_{w,fi} = 31'255 \text{ mm}^2$

Valori caratteristici delle proprietà in caso di incendio

Classe di resistenza			C24
Flessione	$f_{m,k} * k_{fi} / \gamma_{m,fi}$	$f_{m,d,fi} =$	30.0 N/mm ²
Trazione parallela alla fibratura	$f_{t,0,k} * k_{fi} / \gamma_{m,fi}$	$f_{t,0,d,fi} =$	17.5 N/mm ²
Compressione parallela alla fibratura	$f_{c,0,k} * k_{fi} / \gamma_{m,fi}$	$f_{c,0,d,fi} =$	26.3 N/mm ²
Taglio	$f_{v,k} * k_{fi} / \gamma_{m,fi}$	$f_{v,d,fi} =$	2.5 N/mm ²
Fattore per la determinazione del 20-esimo percentile		$k_{fi} =$	1.25 ()
Coefficiente di sicurezza parziale		$\gamma_{m,fi} =$	1.0 ()

Oggetto: Esempio Scuola
Elemento di costruzione: Solaio sopra piano terra
N. di progetto: 2021'0017
Incaricato: Dipl. Bauingenieur ETH/SIA Ralph Schläpfer
Data: 2021-06-29

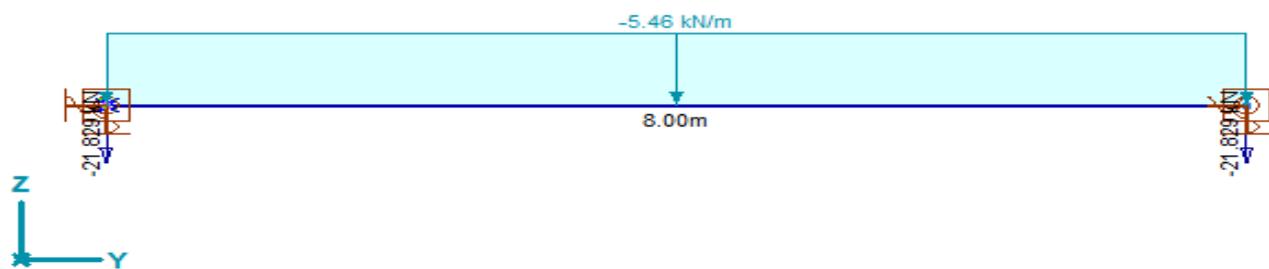
Stato limite ultimo in caso d'incendio

Pos.110.0. 001

Regolarmenti normativi EN 1991, EN 1995, NTC 2008
 ETA-11/0137 per elementi LIGNATUR

Calcolo con AxisVM

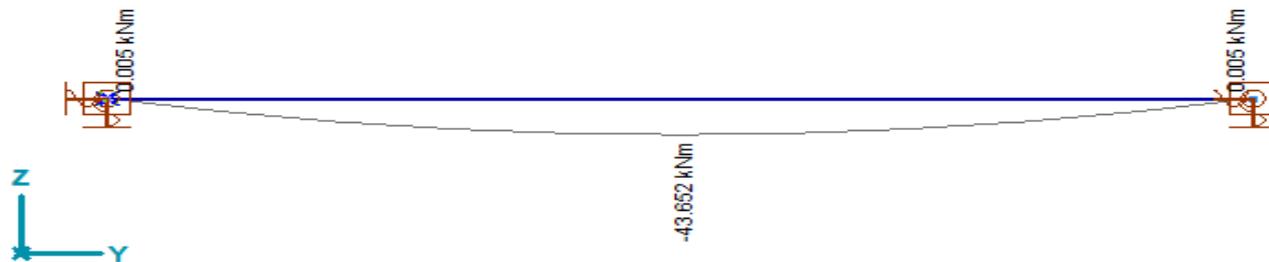
Sistema strutturale nello stato limite ultimo in caso di incendio



Luce S1

$l_{s1} = 8'000 \text{ mm}$

Diagramma del momento flettente in caso di incendio



Momento massimo

$M_{y,d,fi} = 43.7 \text{ kNm}$

Tensione a flessione massima

$$M_{y,d,fi} \cdot 1000000 / (I_{y,fi} / (h_{fi} - s_{y,fi})) / 1000 \cdot b_{fi}$$

$\sigma_{o,d,fi} = 6.5 \text{ N/mm}^2$

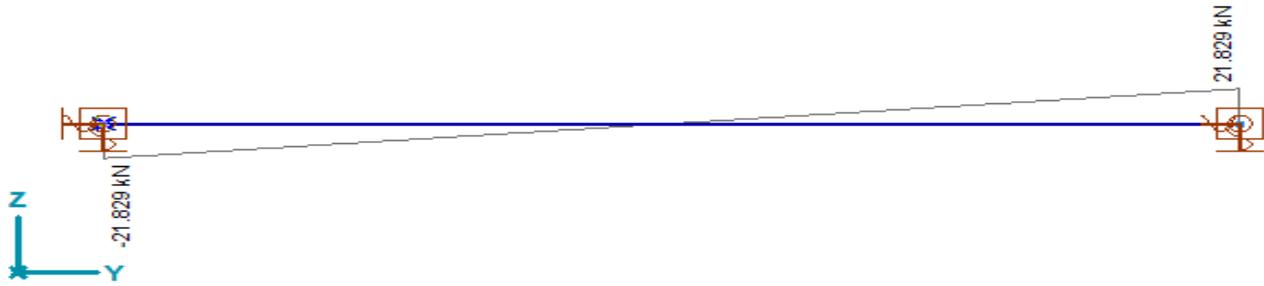
$$M_{y,d,fi} \cdot 1000000 / (I_{y,fi} / s_{y,fi}) / 1000 \cdot b_{fi}$$

$\sigma_{u,d,fi} = 14.1 \text{ N/mm}^2$

$$\text{MAX}(\sigma_{o,d,fi}, \sigma_{u,d,fi}) / f_{m,d,fi}$$

0.47 ≤ 1

Diagramma del taglio in caso di incendio



Forza di taglio massima

Tensione a taglio massima

$$V_{z,d,fi} \cdot 1000 / A_{w,fi} / 1000 \cdot b_{fi}$$

$$\tau_{d,fi} / \tau_{v,d,fi}$$

$$V_{z,d,fi} =$$

$$\tau_{d,fi} =$$

21.8 kN

0.7 N/mm²

0.28 ≤ 1