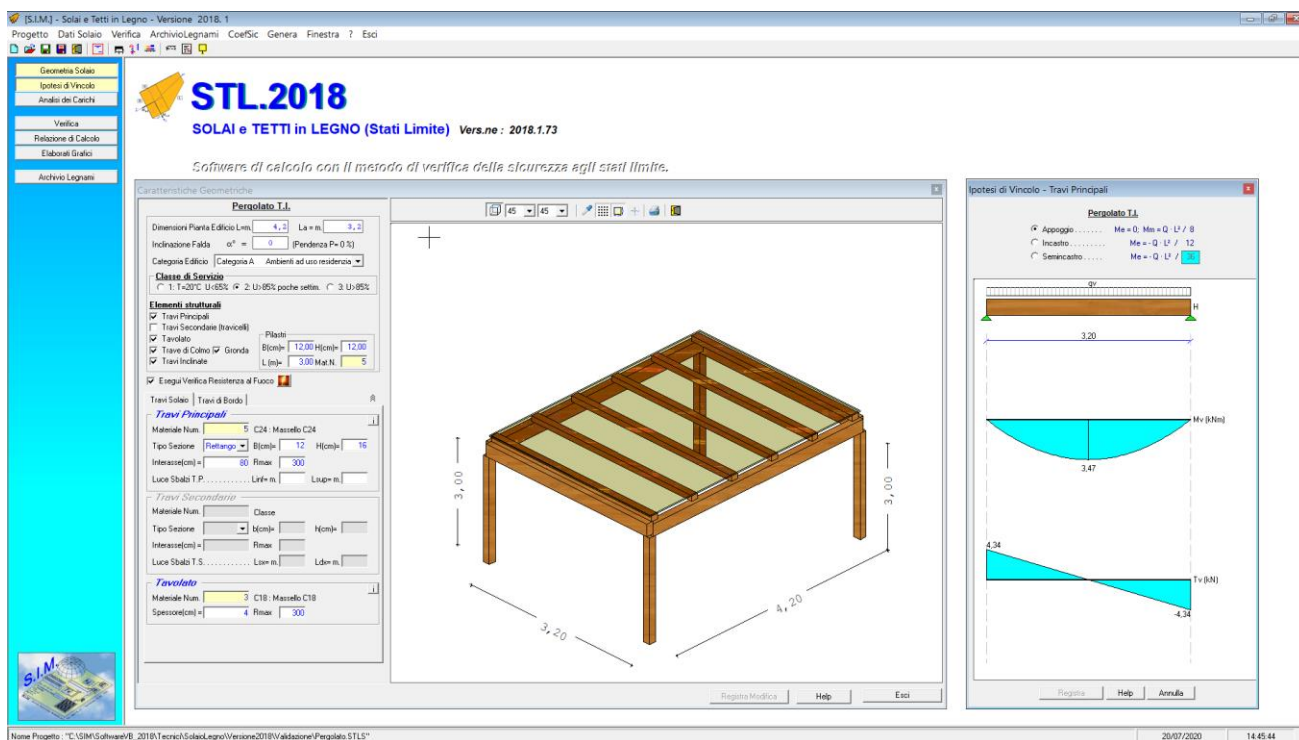


VALIDAZIONE SOFTWARE – SOLAI E TETTI IN LEGNO S.L. Vers.2018 – © SIM srl



Origine e Caratteristiche dei Codici di Calcolo

Il codice di calcolo utilizzato è un software prodotto dalla S.I.M. srl dal titolo “STL.2018 Solai e Tetti in Legno (Stati Limite)” Versione 2018.

Il sottoscritto è autorizzato all’uso dello stesso avendone acquistato la relativa LICENZA D’USO.

Affidabilità dei codici utilizzati

Esaminata preliminarmente la documentazione a corredo del software si è valutata l’affidabilità e l’idoneità dello stesso al caso specifico.

Nel Manuale d’Uso del software è riportata la descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi di calcolo.

Nelle pagine seguenti è riportato un esempio interamente risolto e commentato.

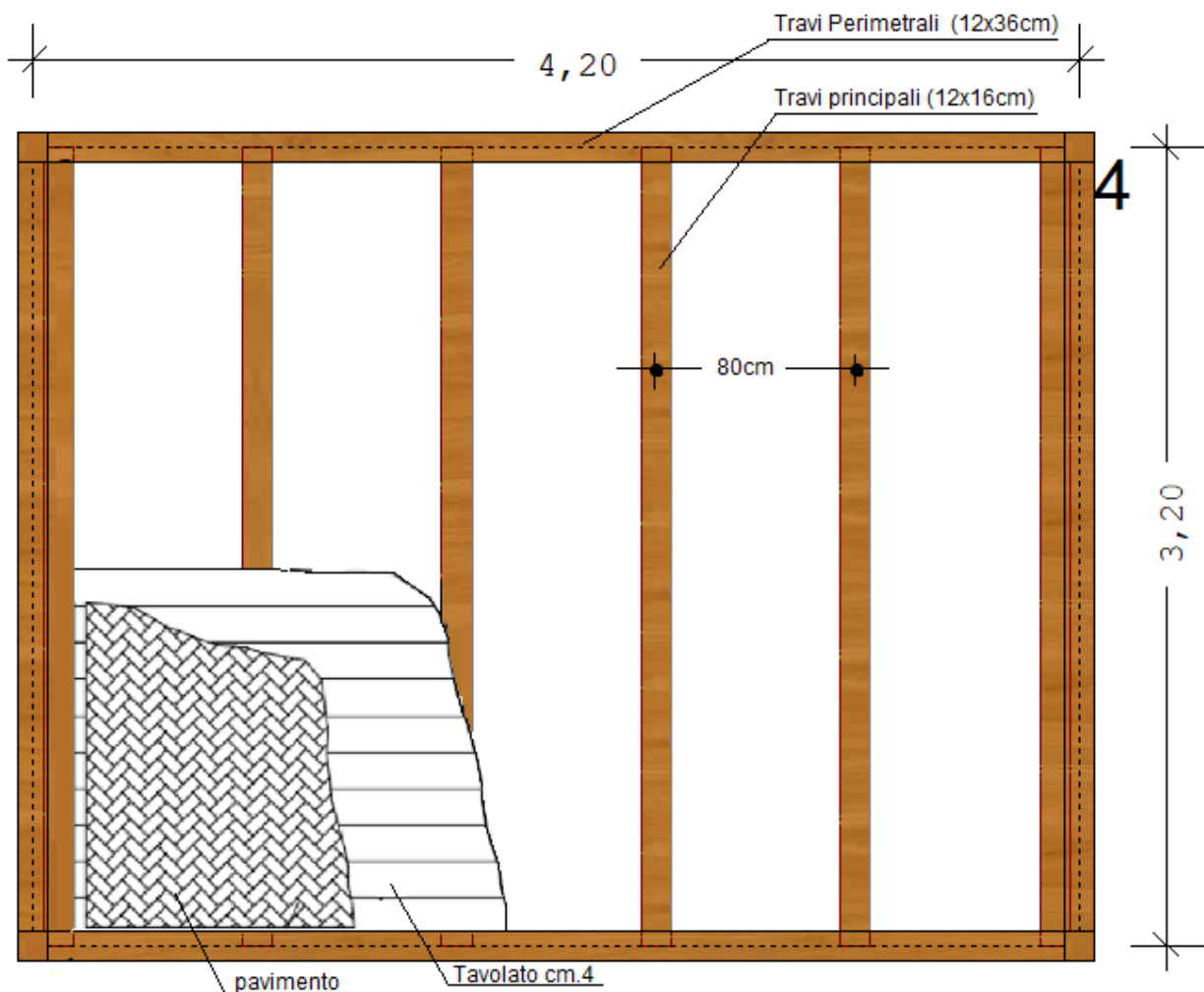
ESEMPIO DI CALCOLO

Si ipotizzi di voler realizzare un soppalco all'interno di un edificio avente una superficie di $4,20 \times 3,20$ m² sostenuto da quattro pilastri posti alle estremità.

Il soppalco sia realizzato con una struttura composta da travi perimetrali su cui poggia il solaio con travi principali in legno massiccio di conifera, con classe di resistenza C24, e assito di spessore 4 cm, con finitura in listelli di legno di spessore 1 cm.

Al fine di procedere alla validazione del software, si riporta il calcolo dello stesso con le classiche formule di Tecnica delle Costruzioni che con il software in oggetto.

Dal momento che la struttura è realizzata in un ambiente interno, si assume la classe di servizio 2 e i carichi vengono assunti di media durata.



Schema Soppalco

Resistenze di Progetto

Le resistenze di progetto vengono determinate, tenendo conto di quanto indicato dalla normativa (§.4.4.6 DM.17/01/2018):

$$X_d = \frac{k_{mod} X_k}{\gamma_M} \quad [4.4.1]$$

Essendo per il tipo di legname utilizzato:

Classe	C24
Descrizione ...	Massello C24
Resistenza Caratteristica N/mm²	
Flessione	$f_{m,k} = 24$
Trazione Parallela alle fibre	$f_{t,0,k} = 14$
Trazione Ortogonale alle fibre	$f_{t,90,k} = 0,5$
Compressione Parallela alle fibre	$f_{c,0,k} = 21$
Compressione Ortogonale alle fibre	$f_{c,90,k} = 2,5$
Taglio	$f_{v,k} = 2,5$
Rigidezza N/mm²	
Modulo Elastico Parallelo Medio	$E_{0,mean} = 11000$
Modulo Elastico Parallelo Caratteristico	$E_{0,05} = 7400$
Modulo Elastico Ortogonale Medio	$E_{90,mean} = 370$
Modulo Elastico Tangenziale Medio	$G_{mean} = 690$
Massa Kg/m³	
Massa Volumica Caratteristica	$\rho_k = 380$

ed essendo $k_{mod} = 0,80$

Tab. 4.4.IV -Valori di k_{mod} per legno e prodotti strutturali a base di legno

Materiale	Riferimento	Classe di servizio	Classe di durata del carico					
			Permanente	Lunga	Media	Breve	Istantanea	
Legno massiccio Legno lamellare incollato (*) LVL	UNI EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
	UNI EN 14080	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
	UNI EN 14374, UNI EN 14279	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90	
Compensato	UNI EN 636:2015	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90	
Pannello di scaglie orientate (OSB)	UNI EN 300:2006	OSB/2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		OSB/3	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		OSB/4	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Pannello di particelle (truciolare)	UNI EN 312 :2010	Parti 4, 5	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		Parte 5	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
		Parti 6, 7	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		Parte 7	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Pannello di fibre, pannelli duri	UNI EN 622-2:2005	HB.LA, HB.HLA 1 o 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		HB.HLA 1 o 2	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
		MBH.LA1 o 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
Pannello di fibre, pannelli semiduri	UNI EN 622-3:2005	MBH.HLS1 o 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		2	-	-	-	0,45	0,80	
Pannello di fibra di legno, ottenuto per via secca (MDF)	UNI EN 622-5:2010	MDF.LA, MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		MDF.HLS	2	-	-	-	0,45	0,80

Per i materiali non compresi nella Tabella si potrà fare riferimento ai pertinenti valori riportati nei riferimenti tecnici di comprovata validità indicati nel Capitolo 12, nel rispetto dei livelli di sicurezza delle presenti norme.

(*) I valori indicati si possono adottare anche per i pannelli di tavole incollate a strati incrociati, ma limitatamente alle classi di servizio 1 e 2.

Risulta:

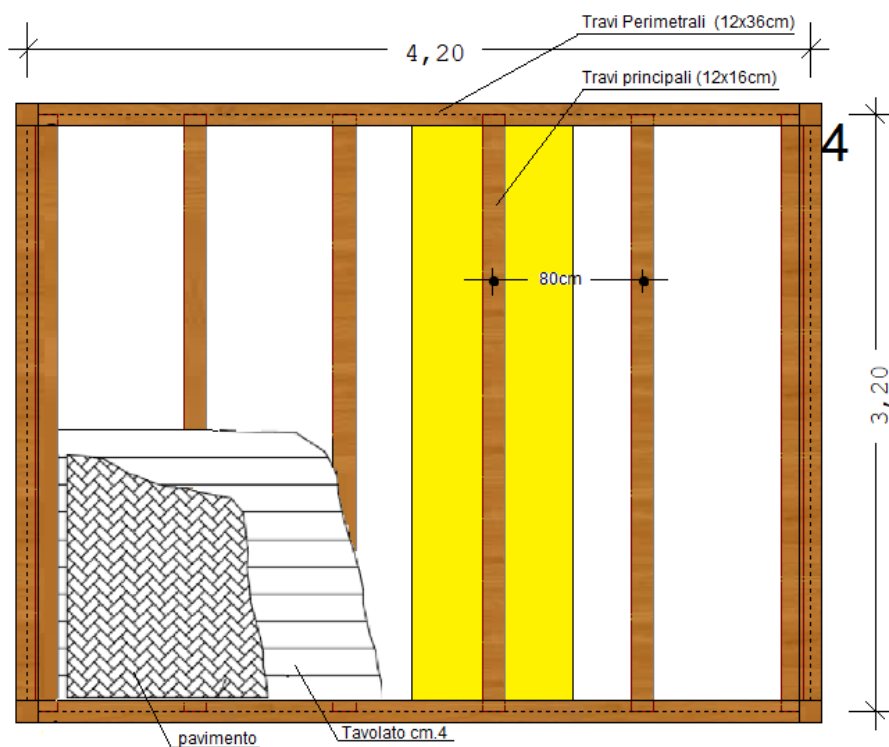
Resistenza a Flessione $f_{md} = \frac{0,80 \cdot 24}{1,5} = 12,80 \frac{N}{mm^2} = 1,28 \frac{kN}{cm^2}$

Resistenza a Compressione $f_{cd} = \frac{0,80 \cdot 21}{1,5} = 11,20 \frac{N}{mm^2} = 1,12 \frac{kN}{cm^2}$

Resistenza a Taglio $f_{vd} = \frac{0,80 \cdot 2,5}{1,5} = 1,33 \frac{N}{mm^2} = 0,13 \frac{kN}{cm^2}$

Verifica Travi Principali Solaio

Il carico gravante sulle travi principali è pari al carico complessivo del solaio per l'interasse delle travi stesse:



ANALISI DEI CARICHI

CARICHI PERMANENTI

PESO PROPRIO Travi Principali: 3,80x0,12x0,16x1,00/ 0,80
 " Tavolato: 4,60x1,00x1,00 x 0,04

$G_{k0} = 0,09 \text{ kN/mq}$
 $G_{k1} = 0,18 \text{ "}$

 $G_1 = 0,28 \text{ kN/mq}$

CARICHI VARIABILI DI LUNGA DURATA

Pavimento

0,04 kN/mq

 $Q_{k1} = 0,04 \text{ kN/mq}$

CARICHI VARIABILI DI MEDIA DURATA

Ambienti ad uso residenziale

$Q_{k2} = 2,00 \text{ kN/m}$

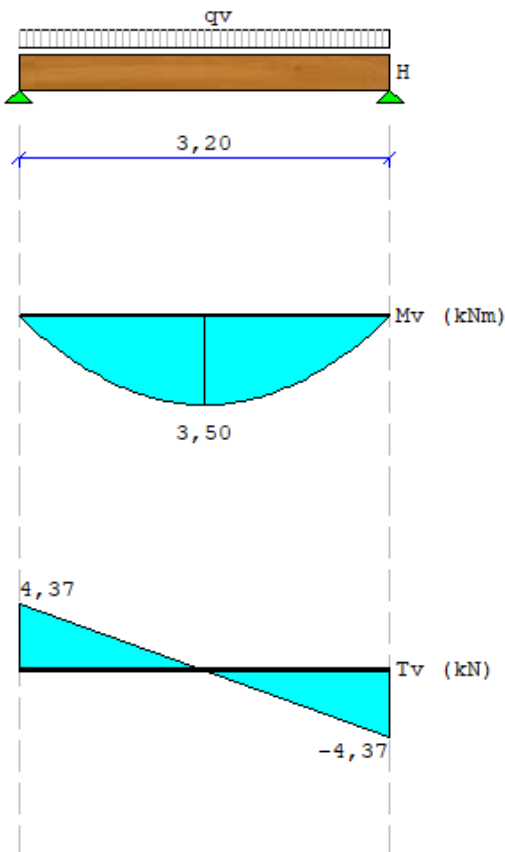
Combinazione di Carico Fondamentale

$$F_d = 1.3G_1 + 1.5Q_{k1} + 1.5Q_{k2} = 3,42 \frac{kN}{mq}$$

Carico su 1 trave:

$$q = F_d \cdot i = 3,42 \cdot 0,80 = 2,74 \frac{kN}{m}$$

Calcolo Sollecitazioni



$$M_d = M_{max} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{2,74 \cdot 3,20^2}{8} = 3,50 \text{ kNm}$$

$$T_d = T_{max} = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{2,74 \cdot 3,20}{2} = 4,37 \text{ kN}$$

Verifica

Essendo le travi principali di sezione 12x16 cm, risulta:

$$A = B \cdot H = 192,00 \text{ cm}^2$$

$$W = \frac{1}{6} B \cdot H^2 = 512,00 \text{ cm}^3$$

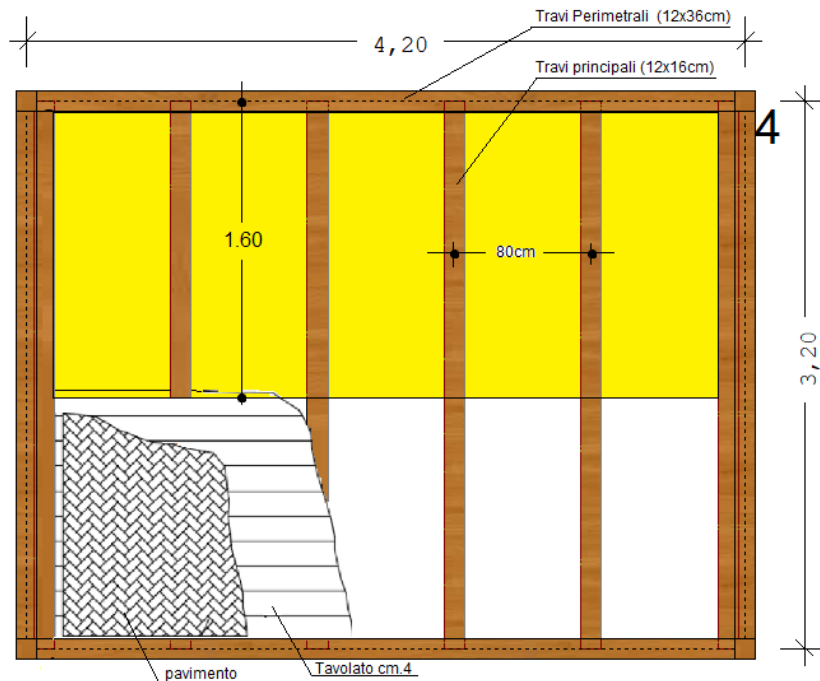
Quindi:

$$\sigma_m = \frac{M}{W} = \frac{3,50 \cdot 100}{512,00} = 0,68 \frac{kN}{cm^2} < f_{md} - \text{VERIFICA}$$

$$\tau_m = \frac{3 T}{2 A} = 1,5 \frac{4,37}{192,00} = 0,034 \frac{kN}{cm^2} < f_{vd} - \text{VERIFICA}$$

Verifica Travi Perimetrali

Il carico gravante sulle travi perimetrali è definito dall'area di influenza, definita dalla mezzeria tra le due travi:



Risulta:

$$q = F_d \cdot \frac{la}{2} = 3,42 \cdot \frac{3,20}{2} = 5,47 \frac{kN}{m}$$

$$M_d = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{5,47 \cdot 4,20^2}{8} = 12,06 \text{ kNm}$$

$$T_d = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{5,47 \cdot 4,20}{2} = 11,48 \text{ kN}$$

Ed essendo le travi perimetrali di sezione 12x36 cm, risulta:

$$A = B \cdot H = 432,00 \text{ cm}^2$$

$$W = \frac{1}{6} B \cdot H^2 = 2592,00 \text{ cm}^3$$

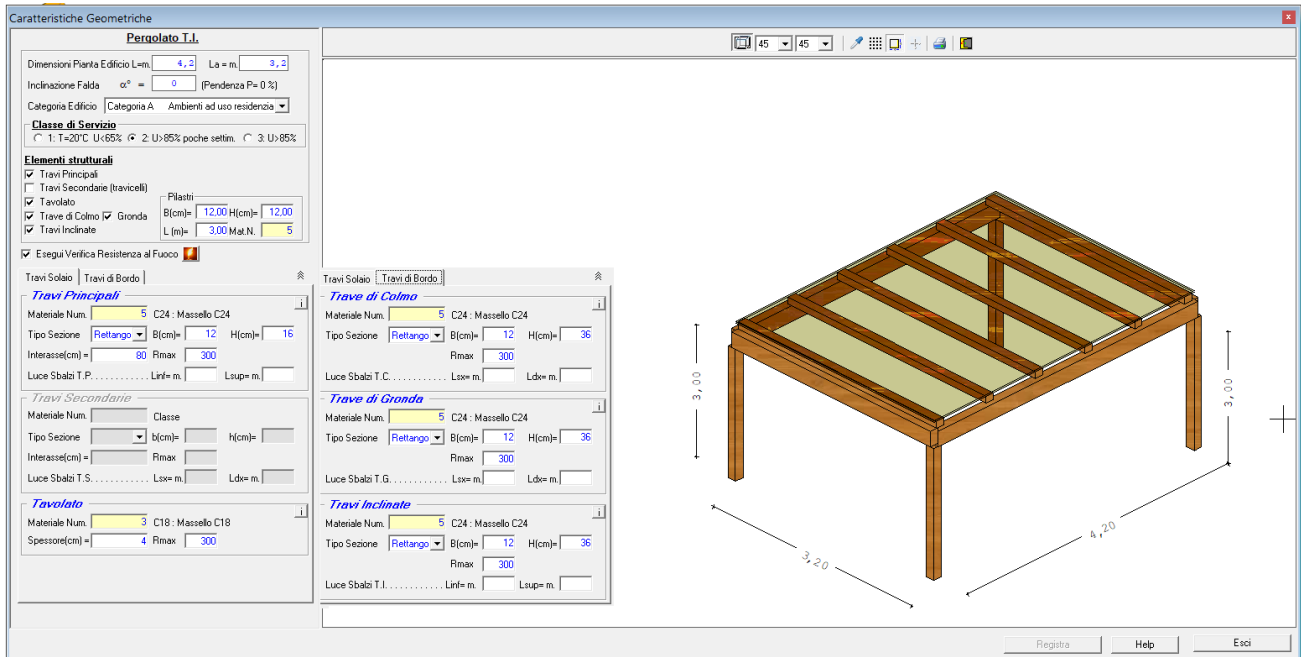
Quindi:

$$\sigma_m = \frac{M}{W} = \frac{12,06 \cdot 100}{2592,00} = 0,465 \frac{kN}{cm^2} < f_{md} - \text{VERIFICA}$$

$$\tau_m = \frac{3T}{2A} = 1,5 \frac{11,48}{432,00} = 0,040 \frac{kN}{cm^2} < f_{vd} - \text{VERIFICA}$$

- METODO DI RISOLUZIONE : AUTOMATICO (SOFTWARE "Solai e Tetti in Legno")

Utilizzando il software in oggetto, con i seguenti dati:



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

Lunghezza L = 4,20 m
 Larghezza La = 3,20 m
 Inclinazione α = 0,00 °

TRAVI PRINCIPALI - (Sezione Rettangolare, in Legno Massello C24)

Lunghezza di calcolo Lc = 3,20 m
 Altezza h = 16,00 cm
 Base b = 12,00 cm
 Interasse i = 80,00 cm
 Area trasversale A = 192,00 cm²
 Peso Specifico P = 380,00 kg/mc = 3,80 kN/mc
 Momento d'Inerzia Iy = 4096,00 cm⁴
 Modulo resistente Wy = 512,00 cm³
 Modulo Elastico E = 11000,00 N/mm²
 % di Riduzione Sez. = 0,00
 Resist. Flessione F_{m,k} = 24,00 N/mm²
 Resist. Taglio F_{v,k} = 2,50 N/mm²

TRAVE DI COLMO-GRONDA (Sezione Rettangolare, in Legno Massello C24)

Lunghezza di calcolo Lc = 4,20 m
 Altezza h = 36,00 cm
 Base b = 12,00 cm
 Area trasversale A = 432,00 cm²
 Peso Specifico P = 380,00 kg/mc = 3,80 kN/mc
 Momento d'Inerzia Iy = 46656,00 cm⁴
 Modulo resistente Wy = 2592,00 cm³
 Modulo Elastico E = 11000,00 N/mm²
 Resist. Flessione F_{m,k} = 24,00 N/mm²
 Resist. Taglio F_{v,k} = 2,50 N/mm²

Si ottiene:

VERIFICA TRAVI PRINCIPALI

Coefficienti Normativi relativi al Materiale (MASSELLO C24)

Coefficiente Materiale	:	$\gamma_M = 1,50$	
Classe di Servizio	:	2	T=20° ; U> 85% Poche settimane
Coefficiente Durata Carico	:	$k_{mod} = 0,80$	
Coefficiente Rid. tensioni	:	$k_m = 0,70$	
Resistenza a Flessione	:	$f_{md} = 12,80 \text{ N/mm}^2 = 1,28 \text{ kN/cm}^2$	
Resistenza a Taglio	:	$f_{vd} = 1,33 \text{ N/mm}^2 = 0,13 \text{ kN/cm}^2$	
Resistenza a Compressione	:	$f_{cd} = 11,20 \text{ N/mm}^2 = 1,12 \text{ kN/cm}^2$	

Carico totale:	Q = 3,418 kN/mq
Carico su 1 trave:	q = 2,734 kN/ml

VERIFICA FLESSIONE

$$M_{yd} = 3,50 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{myd} = M_{yd}/W_y = 0,684 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{myd}/f_{md} = 0,53 < 1$$

VERIFICA TAGLIO

$$T_d = 4,37 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \cdot T_d/A = 0,034 \text{ kN/cm}^2 < f_{vd}$$

VERIFICA INSTABILITA' DI TRAVE

$$L_{eff} = 2880,00 \text{ mm}$$

$$M_{y,crit} = 67661410,00 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_{m,crit} = M_{y,crit} / W_y = 132,15 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,43$$

$$k_{crit,m} = 1,00$$

$$\sigma_{myd}/k_{crit,m}f_{md} = 0,53 < 1$$

VERIFICA TAVOLATO

Coefficienti Normativi relativi al Materiale (MASSELLO C18)

Coefficiente Materiale	:	$\gamma_M = 1,50$	
Classe di Servizio	:	2	T=20° ; U> 85% Poche settimane
Coefficiente Durata Carico	:	$k_{mod} = 0,80$	
Resistenza a Flessione	:	$f_{md} = 9,60 \text{ N/mm}^2 = 0,96 \text{ kN/cm}^2$	
Resistenza a Taglio	:	$f_{vd} = 1,07 \text{ N/mm}^2 = 0,11 \text{ kN/cm}^2$	

Carico distribuito:	q = 3,299 kN/ml
---------------------	-----------------

VERIFICA FLESSIONE

$$M_{yd} = 0,26 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{myd} = M_{yd}/W_y = 0,099 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{myd}/f_{md} = 0,10 < 1$$

VERIFICA TAGLIO

$$T_d = 1,32 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \cdot T_d/A = 0,005 \text{ kN/cm}^2 < f_{vd}$$

VERIFICA PER SOVRACCARICHI VERTICALI CONCENTRATI

Ai sensi di quanto indicato al P.to 3.1.4 del D.M. 17/01/2018 'Norme Tecniche per le Costruzioni', si verifica che il carico verticale concentrato applicato all'estradosso del solaio non comporti una tensione tangenziale maggiore della resistenza di calcolo in relazione al tipo di legno utilizzato:

Carico concentrato: $N = 2,00\text{kN}$
Spessore tavolato: $s = 4,0\text{cm}$
Impronta di applicazione del sovraccarico = $5\text{cm} \times 5\text{cm}$

$$\tau = N / (s \cdot 4 \cdot 5) = 2,00 / (4,0 \cdot 4 \cdot 5) = 0,03\text{kN/cmq} < f_{vd} = 0,11\text{kN/cmq}$$

VERIFICA TRAVE DI COLMO (Trave perimetrale)

Coefficienti Normativi relativi al Materiale (MASSELLO C24)

Coefficiente Materiale : $\gamma_M = 1,50$
Classe di Servizio : 2 $T=20^\circ$; $U > 85\%$ Poche settimane
Coefficiente Durata Carico : $k_{mod} = 0,80$
Coefficiente Rid. tensioni : $k_m = 0,70$
Resistenza a Flessione : $f_{md} = 12,80 \text{ N/mm}^2 = 1,28 \text{ kN/cmq}$
Resistenza a Taglio : $f_{vd} = 1,33 \text{ N/mm}^2 = 0,13 \text{ kN/cmq}$

Carico distribuito: $q = 5,468 \text{ kN/ml}$

VERIFICA FLESSIONE

$$M_{yd} = 12,06 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{myd} = M_{yd}/W_y = 0,465 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{myd}/f_{md} = 0,36 < 1$$

VERIFICA TAGLIO

$$T_d = 11,48 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \cdot T_d/A = 0,040 \text{ kN/cm}^2 < f_{vd}$$

VERIFICA INSTABILITA' DI TRAVE

$$L_{eff} = 3780,00 \text{ mm}$$

$$M_{y,crit} = 141947100,00 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_{m,crit} = M_{y,crit} / W_y = 54,76 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,66$$

$$k_{crit,m} = 1,00$$

$$\sigma_{myd}/k_{crit,m}f_{md} = 0,36 < 1$$

VERIFICA PILASTRI

Coefficienti Normativi relativi al Materiale (MASSELLO C24)

Coefficiente Materiale : $\gamma_M = 1,50$
Classe di Servizio : 2 $T=20^\circ$; $U > 85\%$ Poche settimane
Coefficiente Durata Carico : $k_{mod} = 0,80$
Coefficiente Rid. tensioni : $k_m = 0,70$
Resistenza a Flessione : $f_{md} = 13,38 \text{ N/mm}^2 = 1,34 \text{ kN/cm}^2$
Resistenza a Taglio : $f_{vd} = 1,33 \text{ N/mm}^2 = 0,13 \text{ kN/cm}^2$
Resistenza a Compressione : $f_{cd} = 11,20 \text{ N/mm}^2 = 1,12 \text{ kN/cm}^2$

VERIFICA COMPRESSIONE

$$N_{max} = 11,91 \text{ kN}$$

$$\sigma_{cd} = N_{max}/A = 0,083 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{cd}/f_{cd} = 0,074 < 1$$

VERIFICA INSTABILITA' DI COLONNA

$$\lambda_{rel,c} = 1,47$$

$$\beta_c = 0,20$$

$$k_{crit,c} = 0,39$$

$$\sigma_{cod}/k_{crit,c}f_{cod} = 0,188 < 1$$

VERIFICHE S.L.E.

La verifica allo S.L.E. viene eseguita sulla base di quanto indicato al punto 4.4.7 del D.M. 17/01/2018, sommando:

- la deformazione istantanea U_{ist} calcolata sulla base delle combinazioni di carico frequenti:

$$q_d = G_1 + G_2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum(\psi_{2i} \cdot Q_{ki})$$

($i=2,n$)

- con la deformazione differita, pari alla deformazione istantanea U'_{ist} calcolata sulla base delle combinazioni di carico quasi permanenti:

$$q_d = G_1 + G_2 + \sum(\psi_{2i} \cdot Q_{ki})$$

($i=1,n$)

moltiplicata per il Coefficiente K_{def} che tiene conto dell'aumento di deformazione con il tempo dovuto a viscosità ed umidità.

Determinata la combinazione di Carico che fornisce il valore max di q_d , la deformazione istantanea viene calcolata con la formula seguente:

$$U = (5 \cdot q \cdot L^4) / (384 \cdot E \cdot J)$$

Combinazioni di Carico x S.L.E.

COMBINAZIONI FREQUENTI

N°Cmb.	Azioni	q_d (kN/mq)	T.P.	Tav.
1	$G_k + G_2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + ()$		1,32	1,22

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

N°Cmb.	Azioni	q_d (kN/mq)	T.P.	Tav.
1	$G_k + G_2 + (\psi_{21} \cdot Q_{k1})$		0,92	0,82

VERIFICA TRAVI PRINCIPALI

$$U_{ist} = 0,32 \text{ cm} ; U'_{ist} = 0,26 \text{ cm}$$

$$U_{fin} = U_{ist} + K_{def} \cdot U'_{ist} = 0,52 \text{ cm} < L / 300 = 1,07 \text{ cm}$$

VERIFICA TAVOLATO

$$U_{ist} = 0,01 \text{ cm} ; U'_{ist} = 0,01 \text{ cm}$$

$$U_{fin} = U_{ist} + K_{def} \cdot U'_{ist} = 0,02 \text{ cm} < L / 300 = 0,27 \text{ cm}$$

VERIFICA RESISTENZA AL FUOCO

Classe di Resistenza	REI 20 (tempo esposizione al fuoco
t=20min.)	
Tipo di Esposizione	3 lati
Sezione Rettangolare	in Legno MASSELLO C24, Massa
380,00kg/m ³	
Velocità di Carbonizzazione	$\beta_o = 0,80 \text{ mm/min.}$
Profondità zona Carbonizzata	$d_{char} = 16 \text{ mm.}$
Profondità zona Alterata	$d_o = 7 \text{ mm.}$
Coefficiente di Carbonizzazione	t=20 min. $k_o = 1$
Profondità effettiva di Carbonizzazione	$d_{ef} = d_{char} + k_o d_o = 23 \text{ mm.}$

Caratteristiche Sezione Ridotta

Altezza ridotta	h =	13,70 cm
Base ridotta	b =	7,40 cm
Area trasversale	Ar =	101,38 cm ²

Momento d'Inerzia $I_y = 1585,67 \text{ cm}^4$
Modulo resistente $W_y = 231,48 \text{ cm}^3$

Coefficiente k_{mod} a Temperatura Ambiente $k_{mod, fi} = 1,00$
Coefficiente parziale sicurezza in situazione d'incendio $\gamma_{M, fi} = 1,00$
Coefficiente per il 20% percentile della resistenza $k_{fi} = 1,25$
Coefficiente k_m di Ridistribuzione delle tensioni $k_m = 0,70$
Resistenza a Flessione : $f_{md} = 30,00 \text{ N/mm}^2 = 3,00 \text{ kN/cmq}$
Resistenza a Taglio : $f_{vd} = 3,13 \text{ N/mm}^2 = 0,31 \text{ kN/cmq}$

COMBINAZIONE ECCEZIONALE

$$q_d = G_k + G_2 + (\psi_{21} \cdot Q_{k1}) = 0,92 \text{ kN/mq}$$

VERIFICA FLESSIONE

$$M_{yd} = 0,94 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{myd} = M_{yd}/W_y = 0,405 \text{ kN/cmq}$$

$$\sigma_{myd}/f_{md} = 0,13 < 1$$

VERIFICA TAGLIO

$$T_d = 1,17 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \cdot T_d/A = 0,017 \text{ kN/cmq} < f_{vd}$$

CONCLUSIONI

Dal confronto dei risultati ottenuti con il metodo teorico ed il software in oggetto, si evince che essi sono in accordo, a meno di errori di arrotondamento.