
COMUNE DI LUCCA

PROVINCIA DI LUCCA

INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA
DELLE SERRE ORTO BOTANICO.
CUP J61E24000200004

≡ PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO- ECONOMICA

Relazione di calcolo delle strutture

PFTE_3STR_CSR_RS_SP_030_00

25-016

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	21/04/2026	PRIMA EMISSIONE	001S	001M	001A

COMMITTENTE:
Comune di Lucca
RUP Ing. Stefano Angelini

TEAM DI PROGETTAZIONE
Studio INTRE

Studio INTRE
Tel. 0583 491507
info@studiointre.it
P.IVA 02197070465



INTRE®

INDICE

1.	PREMESSA STRUTTURE ESISTENTI	3
2.	VERIFICA DELLA COPERTURA LIGNEA.....	4
2.1.	VERIFICA DELLE ORDITURE PRIMARIE.....	4
2.2.	VERIFICA DEI TRAVICELLI.....	6
3.	VERIFICA DEL SOLAIO DI PIANO.....	8
3.1.	VERIFICA DEI RINFORZI.....	8
3.2.	VERIFICA DEI TRAVICELLI.....	16
4.	VERIFICA DEL CORDOLO.....	18
5.	VERIFICHE DELLE MURATURE.....	20
5.1.	VERIFICHE STATICHE.....	20
5.2.	VERIFICHE SISMICHE.....	24
5.3.	VERIFICHE CINEMATISMI LOCALI.....	25
6.	VERIFICA ALL'INCENDIO.....	26
6.1.	STRUTTURE IN LEGNO.....	26
6.2.	STRUTTURE IN MURATURA.....	32
6.3.	STRUTTURE IN ACCIAIO.....	32
7.	VERIFICA DEL MIGLIORAMENTO SISMICO.....	33
8.	GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITA' DEI RISULTATI.....	34

1. PREMESSA STRUTTURE ESISTENTI

La valutazione della sicurezza deve effettuarsi quando ricorra anche una sola delle seguenti situazioni:

- riduzione evidente della capacità resistente e/o deformativa della struttura o di alcune sue parti dovuta a: significativo degrado e decadimento delle caratteristiche meccaniche dei materiali, deformazioni significative conseguenti anche a problemi in fondazione; danneggiamenti prodotti da azioni ambientali (sisma, vento, neve e temperatura), da azioni eccezionali (urti, incendi, esplosioni) o da situazioni di funzionamento ed uso anomali;
- provati gravi errori di progetto o di costruzione;
- cambio della destinazione d'uso della costruzione o parti di essa, con variazione significativa dei carichi variabili e/o passaggio ad una classe d'uso della costruzione;
- esecuzione di interventi non dichiaratamente strutturali, qualora essi interagiscano, anche solo in parte, con elementi aventi funzione strutturale e, in modo consistente, ne riducano la capacità e/o ne modifichino la rigidità;
- ogni qualvolta si eseguano gli interventi strutturali di cui al § 8.4;
- opere realizzate in assenza o difformità dal titolo abitativo, ove necessario al momento della costruzione, o in difformità alle norme tecniche per le costruzioni vigenti al momento della costruzione.

Qualora le circostanze di cui ai punti precedenti riguardino porzioni limitate della costruzione, la valutazione della sicurezza potrà essere effettuata anche solo sugli elementi interessati e su quelli con essi interagenti, tenendo presente la loro funzione nel complesso strutturale, posto che le mutate condizioni locali non incidano sostanzialmente sul comportamento globale della struttura.

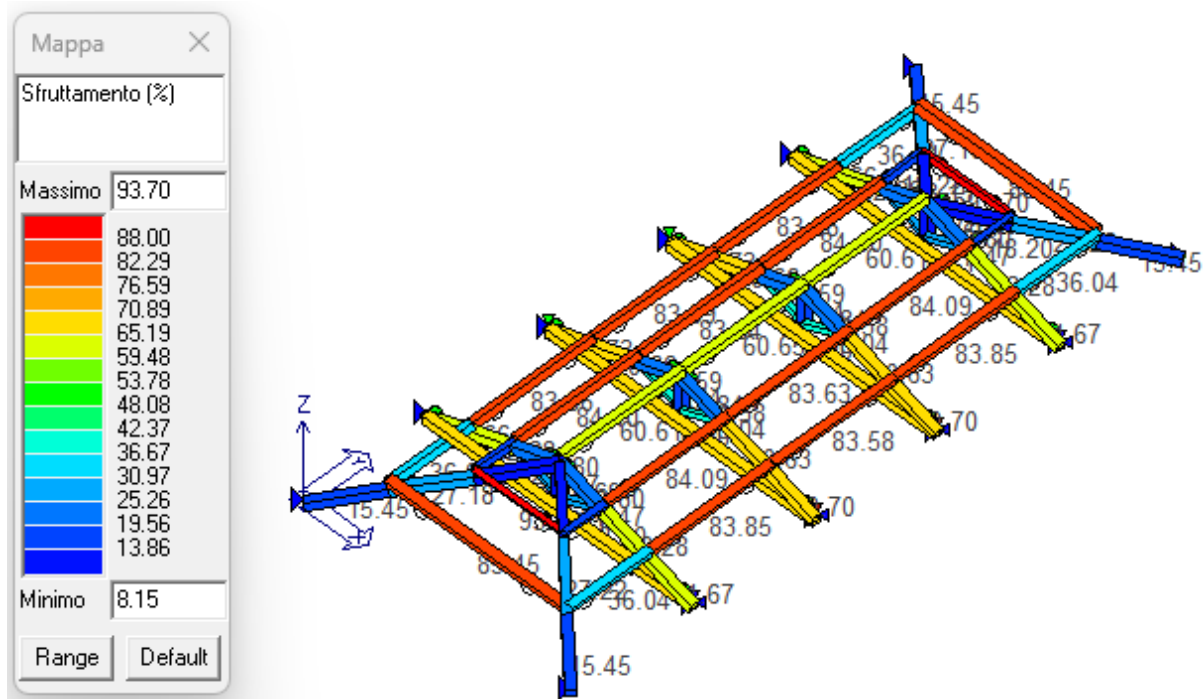
Si riportano di seguito brevemente le verifiche condotte per gli elementi della struttura.

Le verifiche condotte mediante l'utilizzo di software vengono riportate mediante mappe cromatiche per facilitarne la lettura. Per maggiori informazioni si rimanda al fascicolo dei calcoli allegato.

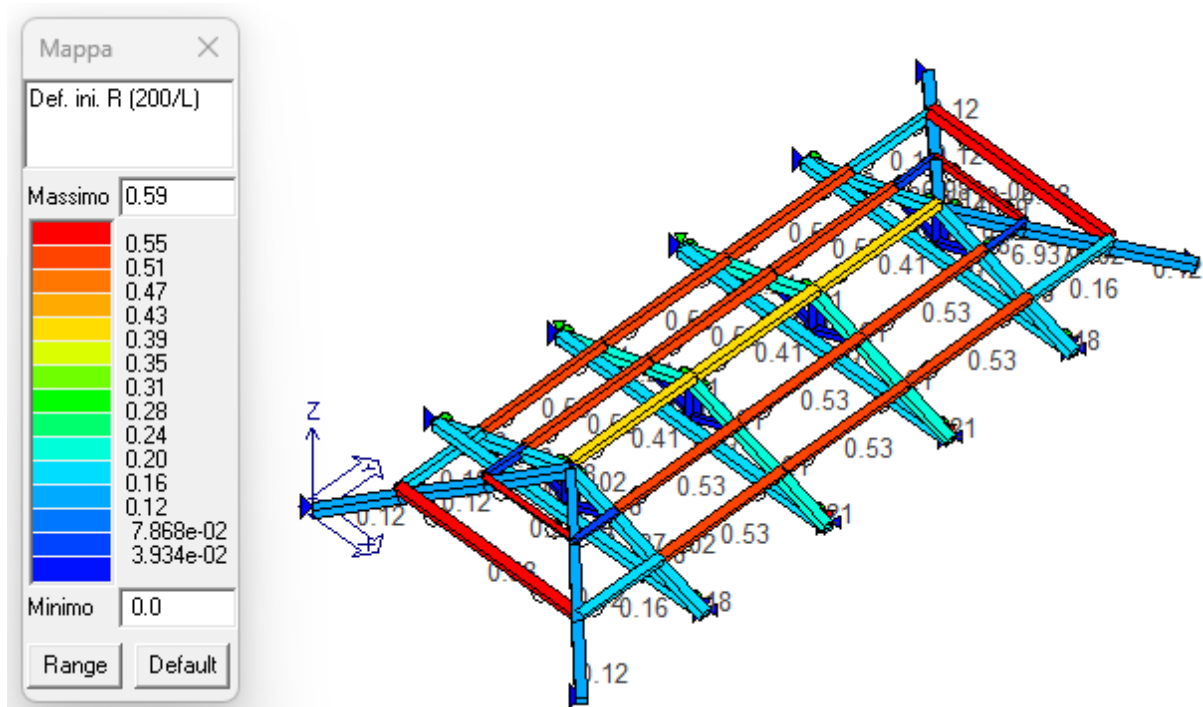
Le restanti verifiche sono condotte direttamente mediante l'uso di semplici fogli di calcolo o software di normale utilizzo.

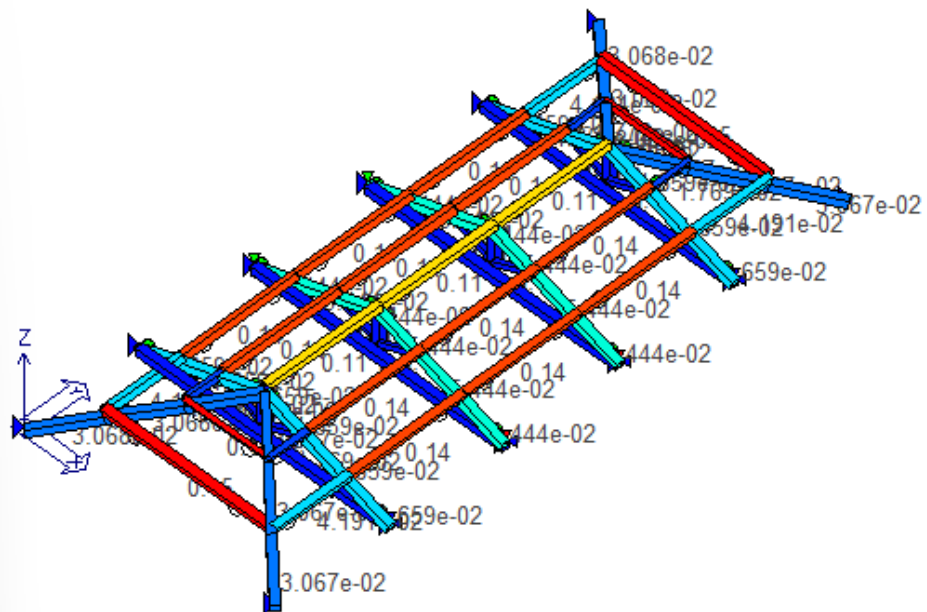
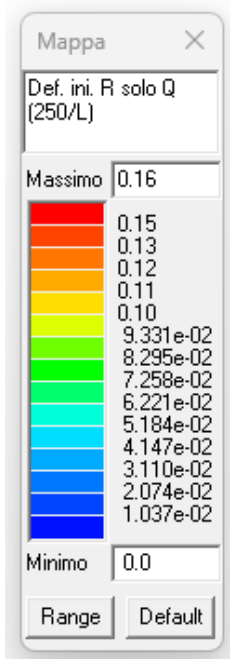
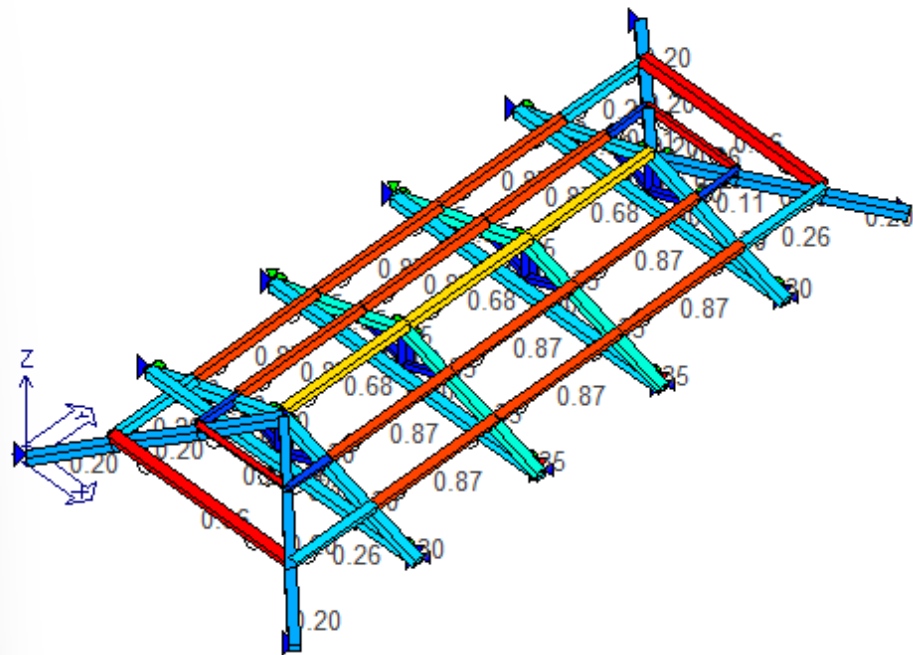
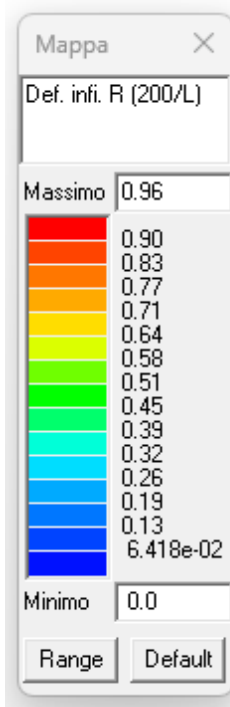
2. VERIFICA DELLA COPERTURA LIGNEA

2.1. VERIFICA DELLE ORDITURE PRIMARIE



d2 sfruttamento %: sfruttamento percentuale degli elementi strutturali (dato dal risultato della verifica più gravosa): d2 SLU -Verifica N+M: verifica a tensoflessione (formula 4.4.6a e 4.4.6b), -Verifica N-M: verifica a pressoflessione (formula 4.4.7a e 4.4.7b), -Verifica VT: verifica a taglio e torsione (formula 4.4.10), -Stabilità: verifica di stabilità a pressoflessione (formula 6.23 e 6.24 EC5), -Svergolamento: verifica di stabilità per elementi inflessi (formula 4.4.11)





2.2. VERIFICA DEI TRAVICELLI

Di seguito si riporta la verifica dei travicella della copertura; a vantaggio di sicurezza viene trascurato il contributo della soletta collaborante.

Titolo:

TRAVICELLO DI COPERTURA

DATI DI PROGETTO

Caratteristiche geometriche

Luce netta dell'elemento:	L	=	1460	[mm]
Angolo inclinazione del solaio:	α	=	21	[°]
Elemento ad asse inclinato:			si	
Elemento ad asse ruotato:			no	
Luce di calcolo dell'elemento:	L	=	1365	[mm]
Interasse tra gli elementi:	i	=	308	[mm]
Base della sezione resistente dell'elemento:	b	=	80	[mm]
Altezza della sezione resistente dell'elemento:	h	=	80	[mm]
Area della sezione dell'elemento:	A	=	6400	[mm ²]
Modulo di resistenza della sezione dell'elemento:	W _x	=	8,533E+04	[mm ³]
	W _y	=	8,533E+04	[mm ³]
Momento d'inerzia della sezione dell'elemento:	J _x	=	3,413E+06	[mm ⁴]
	J _y	=	3,413E+06	[mm ⁴]

Carichi

1) Peso proprio degli elementi:			0,07	[kN/m ²]
2) Peso proprio pacchetto strutturale portato:			1,80	[kN/m ²]
Peso proprio totale del pacchetto strutturale:	G _{k,1}	=	1,87	[kN/m ²]
1) Pacchetto			0,90	[kN/m ²]
2) Tramezzi			0,00	[kN/m ²]
3)			0,00	[kN/m ²]
4)			0,00	[kN/m ²]
5)			0,00	[kN/m ²]
Carichi non strutturali e portati:	G _{k,2}	=	0,90	[kN/m ²]
Carico variabile:	Q _k	=	0,80	[kN/m ²]
Angolo di rotazione della trave:	α	=	0	[°]

Caratteristiche del materiale

Materiale :

Legno massiccio

Classe di resistenza (Gruppo EN338 / EN 11035) :

C24

Classe di servizio :

Classe di servizio 2

– Classe di servizio 2: è caratterizzata da un'umidità dei materiali in equilibrio con ambiente a una temperatura di 20°C e un'umidità relativa dell'aria circostante che superi l'85% solo per poche settimane all'anno. Possono appartenere a tale classe gli elementi lignei posti all'esterno degli edifici ma protetti, almeno parzialmente, dalle intemperie e dall'irraggiamento solare

Coefficiente parziale per il materiale :	γ_M	=	1,50	[-]
Coefficiente di deformazione :	k _{def}	=	0,80	[-]
Coefficiente di taglio :	k _{cr}	=	0,80	[-]

Combinazione I - perm. + acc.	Breve durata (meno di 1 settimana) - Neve
$k_{mod,I} =$	0,90
Combinazione II - perm.	Permanente (più di 10 anni) - Peso proprio
$k_{mod,II} =$	0,60

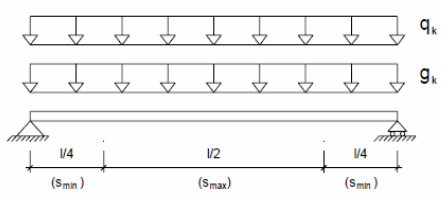
Valori caratteristici	Valori di progetto	$k_{mod,I}$ 0,90	$k_{mod,II}$ 0,60		
$f_{m,k}$ [MPa]	24,00	$f_{m,d}$ [MPa]	14,40	9,60	Flessione
$f_{t,0,k}$ [MPa]	14,00	$f_{t,0,d}$ [MPa]	8,40	5,60	Trazione parallela alle fibre
$f_{t,90,k}$ [MPa]	0,50	$f_{t,90,d}$ [MPa]	0,30	0,20	Trazione ortogonale alle fibre
$f_{c,0,k}$ [MPa]	21,00	$f_{c,0,d}$ [MPa]	12,60	8,40	Compress. parallela alle fibre
$f_{c,90,k}$ [MPa]	2,50	$f_{c,90,d}$ [MPa]	1,50	1,00	Compress. ortogonale alle fibre
$f_{v,k}$ [MPa]	2,50	$f_{v,d}$ [MPa]	1,50	1,00	Taglio
Modulo elastico parallelo medio		$E_{0,mean}$	=	11000	[MPa]
Modulo elastico ortogonale medio		$E_{90,mean}$	=	370	[MPa]
Modulo elastico parallelo caratteristico		$E_{0,05}$	=	7400	[MPa]
Modulo elastico tangenziale medio		G_{mean}	=	690	[MPa]
Massa volumica caratteristica		ρ_k	=	3,50	[kN/m ³]

Rigidezza
Massa

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Livello di conoscenza	LC	=	3
Fattore di confidenza	FC	=	1,00
Carichi permanenti	γ_{G1}	=	1,30
Carichi permanenti non strutturali	γ_{G2}	=	1,50
Carichi variabili	γ_Q	=	1,50

Combinazione di carico	carico F_d [kN/m]	M_d [kNm]	V_d [kN]	σ_d [MPa]	$f_{m,d}$ [MPa]	τ_d [MPa]	$f_{v,d}$ [MPa]	NOTE
asse x - I perm+acc.	1,54	0,36	1,05	4,19	14,40	0,20	1,50	Verificato
asse y - I perm+acc.	0,00	0,00	0,00	0,00	14,40	0,00	1,50	Verificato
				0,29		0,13		Verificato
asse x - II perm.	1,17	0,27	0,80	3,18	9,60	0,15	1,00	Verificato
asse y - II perm.	0,00	0,00	0,00	0,00	9,60	0,00	1,00	Verificato
				0,33		0,15		Verificato



VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO

Si devono effettuare verifiche di deformazione istantanea e differita, nell'ipotesi di controfreccia nulla.

Limite freccia istantanea :	L/300	$u_{2,ist,lim}$	=	4,55	[mm]
Limite freccia differita :	L/200	$u_{net,fin,lim}$	=	6,82	[mm]
Coefficiente riduttivo k_{def}		ψ_2	=	0,20	[-]
Coefficiente		χ	=	1,20	[-]
Freccia istantanea asse x (carichi permanenti) :		$u_{1,ist X}$	=	1,08	[mm]
Freccia istantanea asse y (carichi permanenti) :		$u_{1,ist Y}$	=	0,00	[mm]
Freccia istantanea risultante (carichi permanenti) :		$u_{1,ist ris}$	=	1,08	[mm]
Freccia istantanea asse x (carichi variabili) :		$u_{2,ist X}$	=	0,31	[mm]
Freccia istantanea asse y (carichi variabili) :		$u_{2,ist Y}$	=	0,00	[mm]
Freccia istantanea risultante (carichi variabili) :		$u_{2,ist ris}$	=	0,31	[mm]
Freccia netta finale risultante :		$u_{net,fin ris}$	=	2,31	[mm]

$u_{2,ist} =$	0,31	[mm]	<	$u_{2,ist,lim} =$	4,55	[mm]	Verificato
$u_{net,fin} =$	2,31	[mm]	<	$u_{net,fin,lim} =$	6,82	[mm]	Verificato

$$u_{1,ist} = \frac{5}{384} \frac{g_k \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot J} + \chi \frac{g_k \cdot L^2}{8G_{mean} \cdot A}$$

$$u_{2,ist} = \frac{5}{384} \frac{q_k \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot J} + \chi \frac{q_k \cdot L^2}{8G_{mean} \cdot A}$$

$$u_{net,fin} = u_{1,ist} \cdot (1 + k_{def}) + u_{2,ist} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def})$$

3. VERIFICA DEL SOLAIO DI PIANO

3.1. VERIFICA DEI RINFORZI

Per la determinazione della trave lignea del solaio maggiormente caricata si fa riferimento alla seguente tabella:

trave n°	Luce della trave	Interasse di competenza
1	736 cm	162 cm
2	737 cm	167 cm
3	738 cm	178 cm
4	625 cm	183 cm

Pertanto la trave maggiormente sollecitata è la n°3.

Visto che la trave esistente lignea è in opera già da tempo, viene fatta a vantaggio di sicurezza la seguente ipotesi di calcolo:

- i carichi di tipo G1 sono portati dalla trave lignea esistente;
- i carichi aggiunti di tipo G2 e Q sono portati dal rinforzo metallico inserito.

Si riporta di seguito la verifica della trave lignea esistente con soletta collaborante in cls.

Dati generali:

Normativa di riferimento: DM 17/01/2018 NTC

Categoria carichi variabili: C3 - Ambienti suscettibili di affollamento. Ambienti privi di ostacoli al movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, aree d'accesso a uffici, ad alberghi e ospedali, ad atri di stazioni ferroviarie.

Dati geometrici:

Travi dell'orditura principale:

B x H [cm]	Area [cm ²]	Av [cm ²]	Wx [cm ³]	Jx [cm ⁴]
38.0 x 38.5	1463.0	731.5	9387.6	180711.0

Interasse: $i = 178.0$ cm

Luce di calcolo: $L = 738.0$ cm

Travetti dell'orditura secondaria:

B x H [cm]	Area [cm ²]	Av [cm ²]	Wx [cm ³]	Jx [cm ⁴]
8.0 x 8.0	64.0	32.0	85.3	341.3

Interasse: $i = 30.0$ cm

Spessore tavelle in cotto: $t_w = 2.5$ cm

Spessore della soletta in CLS: $t_c = 5.0$ cm

Larghezza utile della soletta: $b = 178.0$ 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_{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: $X_d = K_{mod} X_k / \gamma_m$

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.)

$K_{mod} = 0.70$ per classe di durata dei carichi variabili di lunga durata (da 6 mesi a 10 anni)

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

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

Legno travi principali:

Classe: C24 Abete - Cat. S2 UNI 11035-2:2010

$\gamma_m =$ Coef. parziale di sicurezza = 1.50

$K_h = 1.000$ ($L_{max} = 38.5$ cm)

$K_{cf} =$ Coef. riduzione a taglio per fessurazione = 0.50

Em	Em,fin	Gm	Gm,fin	ρ_k	ρ_m
daN/cmq	daN/cmq	daN/cmq	daN/cmq	kg/mc	kg/mc
118000.0	73750.0	7400.0	4625.0	375.0	450.0

Resistenza	f_{mk}	f_{t0}	f_{t90}	f_{c0}	f_{c90}	f_{vk}
	daN/cmq	daN/cmq	daN/cmq	daN/cmq	daN/cmq	daN/cmq
caratteristica	250.0	150.0	4.0	210.0	26.0	40.0
prog. ($K_{mod} = 0.70$)	116.7	70.0	1.9	98.0	12.1	18.7
prog. ($K_{mod} = 0.60$)	100.0	60.0	1.6	84.0	10.4	16.0

Legno travetti:

Classe: C24 Abete - Cat. S2 UNI 11035-2:2010

$\gamma_m =$ Coef. parziale di sicurezza = 1.50

$K_h = 1.134$ ($L_{max} = 8.0$ cm)

$K_{cf} =$ Coef. riduzione a taglio per fessurazione = 0.50

Em	Em,fin	Gm	Gm,fin	ρ_k	ρ_m
daN/cmq	daN/cmq	daN/cmq	daN/cmq	kg/mc	kg/mc
118000.0	73750.0	7400.0	4625.0	375.0	450.0

Resistenza	f_{mk}	f_{t0}	f_{t90}	f_{c0}	f_{c90}	f_{vk}
	daN/cmq	daN/cmq	daN/cmq	daN/cmq	daN/cmq	daN/cmq
caratteristica	250.0	150.0	4.0	210.0	26.0	40.0
prog. ($K_{mod} = 0.70$)	132.3	79.4	1.9	98.0	12.1	18.7
prog. ($K_{mod} = 0.60$)	113.4	68.0	1.6	84.0	10.4	16.0

Calcestruzzo della soletta:

Caratteristiche meccaniche del calcestruzzo:

R_{ck}	Resistenza cubica
f_{ck}	Resistenza cilindrica
f_{ctm}	Resistenza media a trazione semplice assiale

f_{cd} Resistenza di progetto a compressione
 f_{ctd} Resistenza di progetto a trazione
 E_c Modulo elastico
 G_c Modulo di elasticità tangenziale
 ρ_c Peso per unità di volume

Calcestruzzo classe: LC30/33 D1,6

R_{ck}	f_{ck}	f_{ctm}	f_{cd}	f_{ctd}	E_c	G_c	ρ_c
daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/mc
330.0	274.0	29.0	155.3	13.5	203403.2	90805.0	1750.0

Acciaio per armature:

Caratteristiche meccaniche dell'acciaio:

f_{yk} Tensione di snervamento
 f_{tk} Tensione di rottura
 E Modulo elastico
 ρ_A Peso per unità di volume

Acciaio: B450C (barre ad aderenza migliorata)

f_{yk}	f_{tk}	E	ρ_A
daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/mc
4500.0	5400.0	2060000.0	7850.0

Connettori: s_{min} : passo minimo (tratti alle estremità di lunghezza L/4 dagli appoggi) s_{max} : passo massimo (tratto centrale di lunghezza L/2)Con il rapporto $s_{max} / s_{min} < 4$ si usa un passo equivalente ai fini del calcolo. $s_{eq} = 0,75 s_{min} + 0,25 s_{max}$

Tipo: B450C innestati senza preforatura

f_{yk}	f_{tk}	Diam. \varnothing	s_{min}	s_{min}	s_{eq}
daN/cm ²	daN/cm ²	mm	cm	cm	cm
4500	5400	12.0	15.0	30.0	18.8

TRAVETTI ORDITURA SECONDARIA:

Schema statico: trave su 2 appoggi

ANALISI DEI CARICHI:

Carichi permanenti:

- pavimento+sottofondo 120,0 daN/mq
 - soletta in CLS 87,5 daN/mq
 - tavole in cotto 42,5 daN/mq

 $g_1 = 250,0$ daN/mq

$g_1 \times$ interasse travetti (250.00 x 0.30) 75.0 daN/m
 peso proprio travetti 2.9 daN/m

 $G_1 = 77.9$ daN/m

Carichi permanenti non strutturali:

- ripartizione tramezzature 0,0 daN/mq

 $g_2 = 0,0$ daN/mq

$G_2 = g_2 \times$ interasse travetti (0.00 x 0.30) 0.0 daN/m

Carichi variabili:

$q =$ sovraccarico variabile 0,0 daN/mq
 $Q_1 = q \times$ interasse travetti (0.00 x 0.30) 0.0 daN/m

VERIFICHE DEI TRAVETTI IN LEGNO:

Combinazione di carico: permanenti + variabili (Kmod = 0.700)

$$Q = G1 \gamma g1 + G2 \gamma g2 + Q1 \gamma q1 = 77.9 \times 1.30 + 0.0 \times 1.30 + 0.0 \times 1.50 = 101.24 \text{ daN/m}$$

Verifica a flessione:

$$M = (Q L^2) / 8 = 4009.8 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_w = M / W_x = 47.0 \text{ daN/cm}^2 < f_{md} = 132.30 \text{ daN/cm}^2 \text{ (Ok)}$$

Verifica a taglio:

$$V = (Q L) / 2 = 90.1 \text{ daN}$$

$$\tau_w = 1,5 V / A_v = 4.2 \text{ daN/cm}^2 < f_{vd} = 18.67 \text{ daN/cm}^2 \text{ (Ok)}$$

Combinazione di carico: soli carichi permanenti (Kmod = 0.600)

$$Q = G1 \gamma g1 + G2 \gamma g2 = 77.9 \times 1.30 + 0.0 \times 1.30 = 101.24 \text{ daN/m}$$

Verifica a flessione:

$$M = (Q L^2) / 8 = 4009.8 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_w = M / W_x = 47.0 \text{ daN/cm}^2 < f_{pmd} = 113.40 \text{ daN/cm}^2 \text{ (Ok)}$$

Verifica a taglio:

$$V = (Q L) / 2 = 90.1 \text{ daN}$$

$$\tau_w = 1,5 V / A_v = 4.2 \text{ daN/cm}^2 < f_{pvd} = 16.00 \text{ daN/cm}^2 \text{ (Ok)}$$

Frecce in esercizio:

Deformazione istantanea per effetto dei carichi permanenti:

$$G_k = G1 + G2 = 77.88 + 0.00 = 77.88 \text{ daN/m}$$

$$U1i = ((5 G_k L^4) / (384 E_m J_x)) + ((1.2 G_k L^2) / (8 G_m A)) = 2.606 \text{ mm}$$

Deformazione istantanea per effetto dei carichi variabili:

$$U2i = ((5 Q1 L^4) / (384 E_m J_x)) + ((1.2 Q1 L^2) / (8 G_m A)) = 0.000 \text{ mm}$$

Deformazione istantanea (combinazione rara):

$$U_i = U1i + U2i = 2.606 \text{ mm}$$

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

$$U_{fin} = U1i (1 + K_{def}) + U2i (1 + \psi_2 K_{def}) = 4.169 \text{ mm} \quad (K_{def} = 0.600, \psi_2 = 0.60):$$

Verifiche di deformazione:

$$U_i / L = 1 / 683 < 1 / 200 \text{ (Ok)}$$

$$U_{fin} / L = 1 / 427 < 1 / 150 \text{ (Ok)}$$

TRAVI ORDITURA PRINCIPALE:

Schema statico: trave su 2 appoggi

ANALISI DEI CARICHI:

Carichi permanenti:

- pavimento+sottofondo	120,0	daN/mq
- soletta in CLS	87,5	daN/mq
- tavelle in cotto	42,5	daN/mq
- travetti: 8.0x8.0, i = 30.0 cm	9,6	daN/mq
g1 =	259,6	daN/mq

g1 x interasse travi (259.60 x 1.78)	462.1	daN/m
peso proprio trave	65.8	daN/m
G1 =	527.9	daN/m

Carichi permanenti non strutturali:

- ripartizione tramezzature	0,0	daN/mq
g2 =	0,0	daN/mq

G2 = g2 x interasse travi (0.00 x 1.78)	0.0	daN/m
---	-----	-------

Carichi variabili:

q = sovraccarico variabile	0,0	daN/mq
Q1 = q x interasse travi (0.00 x 1.78)	0.0	daN/m

Capacità portante dei connettori:

Le istruzioni CNR-DT 206/2007 definiscono la capacità portante caratteristica del singolo connettore ai fini del progetto il minore dei valori risultanti dalle tre seguenti espressioni:

$$F_{vRk,1} = fhk Lwf \varnothing = 84427.20 \text{ N}$$

$$F_{vRk,2} = fhk Lwf \varnothing [(2 + (4 \text{ Myrk}) / (fhk \varnothing lwf^2))^{1/2} - 1] = 35533.11 \text{ N}$$

$$F_{vRk,3} = 2,3 (\text{Myrk } fhk \varnothing)^{1/2} = 13340.60 \text{ N}$$

dove:

Myrk = 0,3 ftk $\varnothing^{2,6}$ = 103606.30 N mm, val. caratt. del momento di snervamento del connettore (f.8.30 8.5.1.1 EC5)

Lwf = 260.0 mm, lunghezza effettiva di infissione nel legno

fhk = 0.082 (1 - 0.01 \varnothing) \varnothing_k = 27.1 N/mm², val. caratt. della resistenza a rifollamento del legno (f.8.16 8.3.1.1 EC5)

Resistenza caratteristica del connettore:

$$F_{vRk} = \min[F_{vRk,1,2,3}] = 1334.06 \text{ daN} \quad (F_{vRk,3})$$

Capacità portante di progetto del connettore:

$$f_{vrd} = K_{mod} F_{vRk} / \gamma_m = 622.56 \text{ daN} \quad (K_{mod} = 0.700)$$

$$f_{pvr} = K_{mod} F_{vRk} / \gamma_m = 533.62 \text{ daN} \quad (K_{mod} = 0.600)$$

Rigidezza dei connettori:

Connettori senza preforatura:

Kser = 2 $\rho_k^{1,5} \varnothing^{0,8} / 30$ = 3534.3 N/mm, modulo di scorrimento istantaneo SLE (tab. 7.1 EC5)

Ku = 2 Kser / 3 = 2356.2 N/mm, modulo di scorrimento istantaneo SLU

Azioni di calcolo:

Verifica di resistenza (SLU):

Combinazione di carico: permanenti + variabili

$$Q = G_1 \gamma_{g1} + G_2 \gamma_{g2} + Q_1 \gamma_{q1} = 686.30 \text{ daN/m} \quad (\gamma_{g1} = 1.30; \gamma_{g2} = 1.30; \gamma_{q1} = 1.50)$$

Combinazione di carico: solo permanenti

$$Q_p = G_1 \gamma_{g1} + G_2 \gamma_{g2} = 686.30 \text{ daN/m} \quad (\gamma_{g1} = 1.30; \gamma_{g2} = 1.30)$$

Verifica delle deformazioni (SLE):

$$Q_i = G_1 + G_2 + Q_1 = 527.92 \text{ daN/m}$$

$$Q_f = G_1 + G_2 + Q_1 \psi_{21} = 527.92 \text{ daN/m} \quad (\psi_{21} = 0.60)$$

Sollecitazioni (permanenti + variabili):

$$M_{sd} = (Q L^2) / 8 = 467236.4 \text{ daN cm}$$

$$V_{sd} = (Q L) / 2 = 2532.4 \text{ daN}$$

Sollecitazioni (solo permanenti):

$$M_{p,sd} = (Q_p L^2) / 8 = 467236.4 \text{ daN cm}$$

$$V_{p,sd} = (Q_p L) / 2 = 2532.4 \text{ daN}$$

Verifiche di resistenza a tempo t = 0

Formulazione da EC5, Appendice B.

I valori con indice 1 sono riferiti alla soletta di cls, quelli con indice 2 alla trave.

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_1 = 1 / [1 + (\pi^2 E_1 A_1 s_{eq}) / (Ku L^2)] = 0.0369$$

$$a_1 + a_2 = t_l / 2 + t_w + h + H / 2 = 322 \text{ mm}$$

$$a_2 = [\gamma_1 E_1 A_1 (a_1 + a_2)] / (\gamma_1 E_1 A_1 + \gamma_2 E_2 A_2) = 12 \text{ mm}$$

$$a_1 = 322 - 12 = 310 \text{ mm}$$

$$y_2 = H_{\text{soffitto}} - (a_1 + 0,5 t_c) = 125 \text{ mm}$$

$$(E J)_{ef} = (E_1 J_1 + \gamma_1 E_1 A_1 a_1^2) + (E_2 J_2 + \gamma_2 E_2 A_2 a_2^2) = 28367910000 \text{ daN cm}^2$$

Verifiche calcestruzzo:

$$\sigma_1 = \gamma_1 E_1 a_1 M_{sd} / (E J)_{ef} = 3.83 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{M1} = 0,5 E_1 t_c M_{sd} / (E J)_{ef} = 8.38 \text{ daN/cm}^2$$

Estradosso soletta:

$$\sigma_{1c} = \sigma_1 + \sigma_{M1} = 12.21 \text{ daN/cm}^2 < f_{cd} \quad (\text{Ok})$$

Intradosso soletta:

$$\sigma_{1t} = \sigma_1 - \sigma_{M1} = |-4.54| \text{ daN/cm}^2 < f_{ctd} \quad (\text{Ok})$$

Verifiche legno (car. permanenti + variabili) :

$$\sigma_2 = \gamma_2 E_2 a_2 M_{sd} / (E J)_{ef} = 2.33 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{M2} = 0,5 E_2 H M_{sd} / (E J)_{ef} = 37.41 \text{ daN/cm}^2$$

$$(\sigma_2 / f_{t0d}) + (\sigma_{M2} / f_{md}) = 0.35 < 1 \quad \text{Ver. tensoflessione (Ok)}$$

$$\tau_{max2} = 0,5 E_2 y_2^2 V_{sd} / (E J)_{ef} = 0.82 \text{ daN/cm}^2 < f_{vd} = 18.67 \text{ Ver. taglio (Ok)}$$

Verifica connettori (car. permanenti + variabili) :

$$F_1 = \gamma_1 E_1 A_1 a_1 s_{eq} V_{sd} / (E J)_{ef} = 346.55 \text{ daN} < f_{vrd} = 622.56 \text{ Ver. capacità portante (Ok)}$$

Verifiche legno (car. permanenti) :

$$\sigma_2 = \gamma_2 E_2 a_2 M_{psd} / (E J)_{ef} = 2.33 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{M2} = 0,5 E_2 H M_{psd} / (E J)_{ef} = 37.41 \text{ daN/cm}^2$$

$$(\sigma_2 / f_{pt0d}) + (\sigma_{M2} / f_{pmd}) = 0.41 < 1 \quad \text{Ver. tensoflessione (Ok)}$$

$$\tau_{max2} = 0,5 E_2 y_2^2 V_{psd} / (E J)_{ef} = 0.82 \text{ daN/cm}^2 < f_{pvd} = 16.00 \text{ Ver. taglio (Ok)}$$

Verifica connettori (car. permanenti) :

$$F_{p1} = \gamma_1 E_1 A_1 a_1 s_{eq} V_{psd} / (E J)_{ef} = 346.55 \text{ daN} < f_{pvr} = 533.62 \text{ Ver. capacità portante (Ok)}$$

Verifiche SLE a tempo $t = 0$

Viene utilizzata la precedente formulazione con K_{ser} al posto di K_u

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_1 = 1 / [1 + (\pi^2 E_1 A_1 s_{eq}) / (K_{ser} L^2)] = 0.0543$$

$$a_1 + a_2 = tc / 2 + tw + H / 2 = 322 \text{ mm}$$

$$a_2 = [\gamma_1 E_1 A_1 (a_1 + a_2)] / (\gamma_1 E_1 A_1 + \gamma_2 E_2 A_2) = 17 \text{ mm}$$

$$a_1 = 322 - 17 = 305 \text{ mm}$$

$$y_2 = H_{soffitto} - (a_1 + 0,5 tc) = 130 \text{ mm}$$

$$(E J)_{ef,ser} = (E_1 J_1 + \gamma_1 E_1 A_1 a_1^2) + (E_2 J_2 + \gamma_2 E_2 A_2 a_2^2) = 31350520000 \text{ daN cm}^2$$

Verifica di deformabilità, freccia istantanea per comb. caratteristica rara

$$\alpha = 0,96 (E_2 / G_m) (H / L)^2 = 0.042$$

$$U_i = (1 + \alpha) 5 Q_i L^4 / (384 (E J)_{ef,ser}) = 6.8 \text{ mm} \quad \text{corrispondente a: } 1 / 1089 < 1 / 200 \quad (\text{Ok})$$

Verifiche calcestruzzo:

$$M_{rare} = (Q_i L^2) / 8 = 359412.6 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_1 = \gamma_1 E_1 a_1 M_{rare} / (E J)_{ef} = 3.86 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{m1} = 0,5 E_1 tc M_{rare} / (E J)_{ef} = 5.83 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,rare} = \sigma_{m1} + \sigma_1 = 9.69 \text{ daN/cm}^2 < 0,6 f_{cd} \quad \text{Ver. compr. comb. rare (Ok)}$$

$$M_{qp} = (Q_f L^2) / 8 = 359412.6 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_1 = \gamma_1 E_1 a_1 M_{qp} / (E J)_{ef} = 3.86 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{m1} = 0,5 E_1 tc M_{qp} / (E J)_{ef} = 5.83 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,qp} = \sigma_{m1} + \sigma_1 = 9.69 \text{ daN/cm}^2 < 0,45 f_{cd} \quad \text{Ver. compr. comb. quasi permanenti (Ok)}$$

Verifiche di resistenza a tempo $t = \infty$

Dati di calcolo corretti per tener conto degli effetti viscosi del legno e del calcestruzzo:

$$K_{ser,fin} = K_{ser} / (1 + K_{def}) = 2208.9$$

$$K_{u,fin} = K_u / (1 + K_{def}) = 1472.6$$

$$E_2 = E_{m,fin} \text{ (travi)} = 73750.0$$

$$G_2 = G_{m,fin} \text{ (travi)} = 4625.0$$

$$E_1 = E_{cm,fin} = E_c / (1 + \emptyset) = 61082.0$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_1 = 1 / [1 + (\pi^2 E_1 A_1 s_{eq}) / (K_{u,fin} L^2)] = 0.0738$$

$$a_1 + a_2 = tc / 2 + tw + H / 2 = 242 \text{ mm}$$

$$a_2 = [\gamma_1 E_1 A_1 (a_1 + a_2)] / (\gamma_1 E_1 A_1 + \gamma_2 E_2 A_2) = 9 \text{ mm}$$

$$a_1 = 242 - 9 = 233 \text{ mm}$$

$$y_2 = H_{solaio} - (a_1 + 0,5 tc) = 202 \text{ mm}$$

$$(E J)_{ef,fin} = (E_1 J_1 + \gamma_1 E_1 A_1 a_1^2) + (E_2 J_2 + \gamma_2 E_2 A_2 a_2^2) = 15707300000 \text{ daN cmq}$$

Verifiche calcestruzzo:

$$\sigma_1 = \gamma_1 E_1 a_1 M_{sd} / (E J)_{ef,fin} = 3.13 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{M1} = 0,5 E_1 tc M_{sd} / (E J)_{ef,fin} = 4.54 \text{ daN/cm}^2$$

Estradosso soletta:

$$\sigma_{1c} = \sigma_1 + \sigma_{M1} = 7.67 \text{ daN/cm}^2 < f_{cd} \text{ (Ok)}$$

Intradosso soletta:

$$\sigma_{1t} = \sigma_1 - \sigma_{M1} = |-1.42| \text{ daN/cm}^2 < f_{ctd} \text{ (Ok)}$$

Verifiche legno (car. permanenti + variabili) :

$$\sigma_2 = \gamma_2 E_2 a_2 M_{sd} / (E J)_{ef,fin} = 1.97 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{M2} = 0,5 E_2 H M_{sd} / (E J)_{ef,fin} = 42.23 \text{ daN/cm}^2$$

$$(\sigma_2 / f_{t0d}) + (\sigma_{M2} / f_{md}) = 0.39 < 1 \text{ Ver. tensoflessione (Ok)}$$

$$\tau_{max2} = 0,5 E_2 y_2^2 V_{sd} / (E J)_{ef,fin} = 2.43 \text{ daN/cm}^2 < f_{vd} = 18.67 \text{ Ver. taglio (Ok)}$$

Verifica connettori (car. permanenti + variabili) :

$$F_1 = \gamma_1 E_1 A_1 a_1 s_{eq} V_{sd} / (E J)_{ef,fin} = 282.74 \text{ daN} < f_{vrd} = 622.56 \text{ Ver. capacità portante (Ok)}$$

Verifiche legno (car. permanenti) :

$$\sigma_2 = \gamma_2 E_2 a_2 M_{p,sd} / (E J)_{ef,fin} = 1.97 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{M2} = 0,5 E_2 H M_{p,sd} / (E J)_{ef,fin} = 42.23 \text{ daN/cm}^2$$

$$(\sigma_2 / f_{pt0d}) + (\sigma_{M2} / f_{pmd}) = 0.46 < 1 \text{ Ver. tensoflessione (Ok)}$$

$$\tau_{max2} = 0,5 E_2 y_2^2 V_{p,sd} / (E J)_{ef,fin} = 2.43 \text{ daN/cm}^2 < f_{pvd} = 16.00 \text{ Ver. taglio (Ok)}$$

Verifica connettori (car. permanenti) :

$$F_{p1} = \gamma_1 E_1 A_1 a_1 s_{eq} V_{p,sd} / (E J)_{ef,fin} = 282.74 \text{ daN} < f_{pvr} = 533.62 \text{ Ver. capacità portante (Ok)}$$

Verifiche SLE a tempo $t = \infty$

Viene utilizzata la precedente formulazione con $K_{ser,fin}$ al posto di $K_{u,fin}$

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_1 = 1 / [1 + (\pi^2 E_1 A_1 s_{eq}) / (K_{ser,fin} L^2)] = 0.1068$$

$$a_1 + a_2 = tc / 2 + tw + H / 2 = 242 \text{ mm}$$

$$a_2 = [\gamma_1 E_1 A_1 (a_1 + a_2)] / (\gamma_1 E_1 A_1 + \gamma_2 E_2 A_2) = 12 \text{ mm}$$

$$a_1 = 242 - 12 = 230 \text{ mm}$$

$$y_2 = H_{solaio} - (a_1 + 0,5 tc) = 205 \text{ mm}$$

$$(E J)_{ef,ser,fin} = (E_1 J_1 + \gamma_1 E_1 A_1 a_1^2) + (E_2 J_2 + \gamma_2 E_2 A_2 a_2^2) = 16667840000 \text{ daN cmq}$$

Verifica di deformabilità, freccia finale per comb. quasi permanenti

$$\alpha = 0,96 (E_2 / G_2) (H / L)^2 = 0.042$$

$$U_f = (1 + \alpha) 5 Q_f L^4 / (384 (E J)_{ef,ser,fin}) = 12.7 \text{ mm}$$

$$U^*f = (1 + \alpha) 5 (Q_i - Q_f) L^4 / (384 (E J)_{ef,ser}) = 0.0 \text{ mm}$$

$$U^f = U_f + U^*f = 12.7 \text{ mm} \text{ corrispondente a: } 1 / 581 < 1 / 150 \text{ (Ok)}$$

Verifiche calcestruzzo:

$$M_{rare} = (Q_i L^2) / 8 = 359412.6 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_1 = \gamma_1 E_1 a_1 M_{rare} / (E J)_{ef,fin} = 3.24 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{m1} = 0,5 E_1 t_c M_{rare} / (E J)_{ef,fin} = 3.29 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,rare} = \sigma_{m1} + \sigma_1 = 6.53 \text{ daN/cm}^2 < 0,6 \text{ fcd} \text{ Ver. compr. comb. rare (Ok)}$$

$$M_{qp} = (Q_f L^2) / 8 = 359412.6 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_1 = \gamma_1 E_1 a_1 M_{qp} / (E J)_{ef,fin} = 3.24 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{m1} = 0,5 E_1 t_c M_{qp} / (E J)_{ef,fin} = 3.29 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,qp} = \sigma_{m1} + \sigma_1 = 6.53 \text{ daN/cm}^2 < 0,45 \text{ fcd} \text{ Ver. compr. comb. quasi permanenti (Ok)}$$

Si riporta di seguito la verifica della trave metallica di rinforzo.

VERIFICA RINFORZO ORDITURA PRINCIPALE - III TRAVE - 1 UPN 300				
g1		46,1	daN/m	peso della trave
g2		0	daN/m	carico permanente sulla trave
G1		0	daN/mq	carico permanente sul solaio
G2		160	daN/mq	carico permanente sul solaio
Q		500	daN/mq	carico accidentale sul solaio
QSLU	1,3*G1+1,5*G2+1.5*Q	990	daN/mq	carico SLU sul solaio
QSLErare	G1+G2+0,7*Q	510	daN/mq	carico SLE rare sul solaio
QSLEfreq	G1+G2+0,7*Q	510	daN/mq	carico SLE frequente sul solaio
QSLEqperm	G1+G2+0,6*Q	460	daN/mq	carico SLE quasi permanente sul solaio
Ln		7,38	m	luce netta
Lc	1.0*Ln	7,38	m	luce di calcolo
i		1,78	m	interasse massimo dei profili
		no		trave d'angolo
ic	i	1,78	m	interasse di calcolo dei profili
qslu	QSLU*ic+1,3*g1+1,5*g2	1822	daN/m	carico slu sulla trave
qsle rare	QSLErare*ic+g1+g2	954	daN/m	carico slerare sulla trave
qsle freq	QSLEfreq*ic+g1+g2	954	daN/m	carico slefreq sulla trave
qsle qperm	QSLEqperm*ic+g1+g2	865	daN/m	carico sleqperm sulla trave
Mxslu	qslu*Lc^2/8	12405	daNm	Mx flettente max SLU
Mxslerare	qslerare*Lc^2/8	6494	daNm	Mx flettente max SLE rare
Mxslefreq	qslefreq*Lc^2/8	6494	daNm	Mx flettente max SLE frequente
Mxsleqperm	qsleqperm*Lc^2/8	5888	daNm	Mx flettente max SLE quasi perm
f _{yk}		3550	daN/cm ²	tensione caratteristica snervamento
γ _{M0}		1,05		coefficiente sicurezza
FC		1		fattore di confidenza
f _{yd}	f _{yk} /(γ _{M0} *FC)	3381	daN/cm ²	tensione limite
W _x		535	cm ³	modulo di resistenza X
	Mx/(W _x *f _{yd})	68,58		percentuale sfruttamento
				verifica soddisfatta
J _x		8028	cm ⁴	momento d'inerzia
E		2100000	daN/cm ²	modulo elastico
δ ₁	5/384*Qp*ic*Lc^4/(E*J)	0,76	cm	freccia dovuta ai permanenti
δ ₂	5/384*Qa*ic*Lc^4/(E*J)	2,04	cm	freccia dovuta agli accidentali
δ _c		0,00	cm	controfreccia
δ _{max}	δ ₁ +δ ₂ -δ _c	2,80	cm	freccia totale
δ _{lim1}	Lc/250	2,95	cm	freccia limite 1
δ _{lim2}	Lc/300	2,46	cm	freccia limite 2
				verifica soddisfatta

3.2. VERIFICA DEI TRAVICELLI

Si riporta di seguito la verifica del travicello di piano più sollecitato, quello dotato di maggiore lunghezza.

Titolo:

TRAVICELLO DI PIANO

DATI DI PROGETTO

Caratteristiche geometriche

Luce netta dell'elemento:	L	=	1580	[mm]
Angolo inclinazione del solaio:	α	=	0	[°]
Elemento ad asse inclinato:			no	
Elemento ad asse ruotato:			no	
Luce di calcolo dell'elemento:	L	=	1580	[mm]
Interasse tra gli elementi:	i	=	308	[mm]
Base della sezione resistente dell'elemento:	b	=	80	[mm]
Altezza della sezione resistente dell'elemento:	h	=	80	[mm]
Area della sezione dell'elemento:	A	=	6400	[mm ²]
Modulo di resistenza della sezione dell'elemento:	W _x	=	8,533E+04	[mm ³]
	W _y	=	8,533E+04	[mm ³]
Momento d'inerzia della sezione dell'elemento:	J _x	=	3,413E+06	[mm ⁴]
	J _y	=	3,413E+06	[mm ⁴]

Carichi

1) Peso proprio degli elementi:			0,08	[kN/m ²]
2) Peso proprio pacchetto strutturale portato:			1,35	[kN/m ²]
Peso proprio totale del pacchetto strutturale:	G _{k,1}	=	1,43	[kN/m ²]
1) Pacchetto			1,20	[kN/m ²]
2) Tramezzi			1,60	[kN/m ²]
3)			0,00	[kN/m ²]
4)			0,00	[kN/m ²]
5)			0,00	[kN/m ²]
Carichi non strutturali e portati:	G _{k,2}	=	2,80	[kN/m ²]
Carico variabile:	Q _k	=	5,00	[kN/m ²]
Angolo di rotazione della trave:	α	=	0	[°]

Caratteristiche del materiale

Materiale :

Legno massiccio

Classe di resistenza (Gruppo EN338 / EN 11035) :

Abete/N S1

Classe di servizio :

Classe di servizio 1

– Classe di servizio 1 è caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con 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. Possono appartenere a tale classe gli elementi lignei protetti contro le intemperie come quelli posti all'interno degli edifici in ambienti condizionati.

Coefficiente parziale per il materiale :	γ_M	=	1,50	[-]
Coefficiente di deformazione :	k _{def}	=	0,60	[-]
Coefficiente di taglio :	k _{cr}	=	0,67	[-]

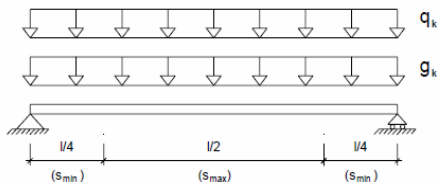
Combinazione I - perm. + acc.	Breve durata (meno di 1 settimana) - Neve
$k_{mod,I} =$	0,90
Combinazione II - perm.	Permanente (più di 10 anni) - Peso proprio
$k_{mod,II} =$	0,60

Valori caratteristici	Valori di progetto	$k_{mod,I}$ 0,90	$k_{mod,II}$ 0,60		
$f_{m,k}$ [MPa]	29,00	$f_{m,d}$ [MPa]	17,40	11,60	Flessione
$f_{t,0,k}$ [MPa]	17,00	$f_{t,0,d}$ [MPa]	10,20	6,80	Trazione parallela alle fibre
$f_{t,90,k}$ [MPa]	0,40	$f_{t,90,d}$ [MPa]	0,24	0,16	Trazione ortogonale alle fibre
$f_{c,0,k}$ [MPa]	23,00	$f_{c,0,d}$ [MPa]	13,80	9,20	Compress. parallela alle fibre
$f_{c,90,k}$ [MPa]	2,90	$f_{c,90,d}$ [MPa]	1,74	1,16	Compress. ortogonale alle fibre
$f_{v,k}$ [MPa]	3,00	$f_{v,d}$ [MPa]	1,80	1,20	Taglio
Modulo elastico parallelo medio		$E_{0,mean}$	=	12000	[MPa]
Modulo elastico ortogonale medio		$E_{90,mean}$	=	400	[MPa]
Modulo elastico parallelo caratteristico		$E_{0,05}$	=	8000	[MPa]
Modulo elastico tangenziale medio		G_{mean}	=	750	[MPa]
Massa volumica caratteristica		ρ_k	=	3,80	[kN/m ³]

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Livello di conoscenza	LC	=	3
Fattore di confidenza	FC	=	1,00
Carichi permanenti	γ_{G1}	=	1,30
Carichi permanenti non strutturali	γ_{G2}	=	1,50
Carichi variabili	γ_Q	=	1,50

Combinazione di carico	carico F_d [kN/m]	M_d [kNm]	V_d [kN]	σ_d [MPa]	$f_{m,d}$ [MPa]	τ_d [MPa]	$f_{v,d}$ [MPa]	NOTE
asse x - I perm+acc.	4,18	1,30	3,30	15,27	17,40	0,52	1,80	Verificato
asse y - I perm+acc.	0,00	0,00	0,00	0,00	17,40	0,00	1,80	Verificato
				0,88		0,29		Verificato
asse x - II perm.	1,87	0,58	1,47	6,82	11,60	0,21	1,20	Verificato
asse y - II perm.	0,00	0,00	0,00	0,00	11,60	0,00	1,20	Verificato
				0,59		0,17		Verificato



VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO

Si devono effettuare verifiche di deformazione istantanea e differita, nell'ipotesi di controfreccia nulla.

Limite freccia istantanea :	L/300	$u_{2,ist,lim}$	=	5,27	[mm]
Limite freccia differita :	L/200	$u_{net,fin,lim}$	=	7,90	[mm]
Coefficiente riduttivo k_{def}		ψ_2	=	0,20	[-]
Coefficiente		χ	=	1,20	[-]
Freccia istantanea asse x (carichi permanenti) :		$u_{1,ist X}$	=	2,68	[mm]
Freccia istantanea asse y (carichi permanenti) :		$u_{1,ist Y}$	=	0,00	[mm]
Freccia istantanea risultante (carichi permanenti) :		$u_{1,ist ris}$	=	2,68	[mm]
Freccia istantanea asse x (carichi variabili) :		$u_{2,ist X}$	=	3,17	[mm]
Freccia istantanea asse y (carichi variabili) :		$u_{2,ist Y}$	=	0,00	[mm]
Freccia istantanea risultante (carichi variabili) :		$u_{2,ist ris}$	=	3,17	[mm]
Freccia netta finale risultante :		$u_{net,fin ris}$	=	7,84	[mm]

$u_{2,ist}$	=	3,17	[mm]	<	$u_{2,ist,lim}$	=	5,27	[mm]	Verificato
$u_{net,fin}$	=	7,84	[mm]	<	$u_{net,fin,lim}$	=	7,90	[mm]	Verificato

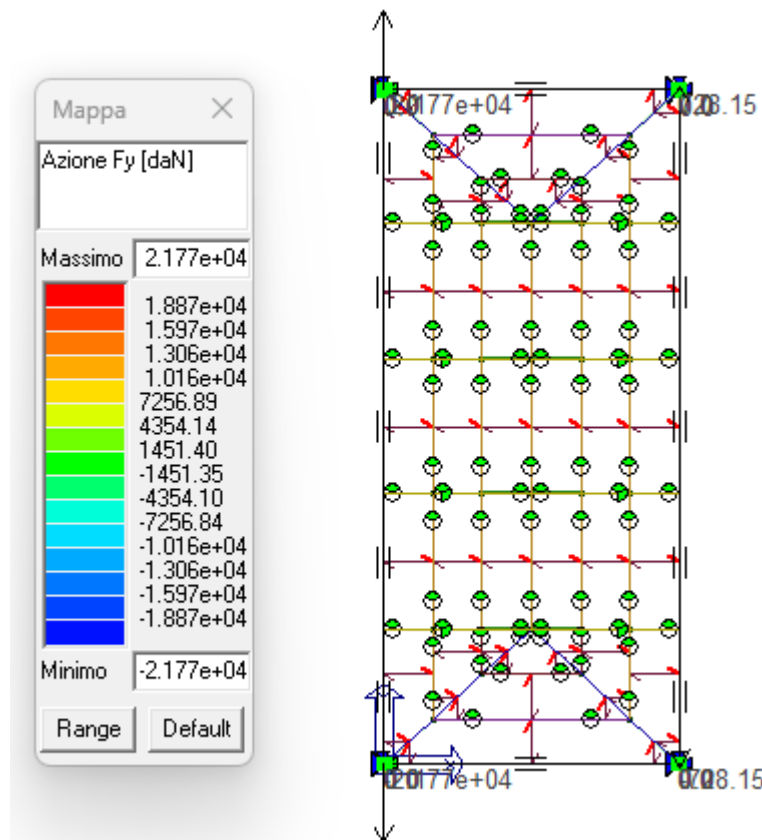
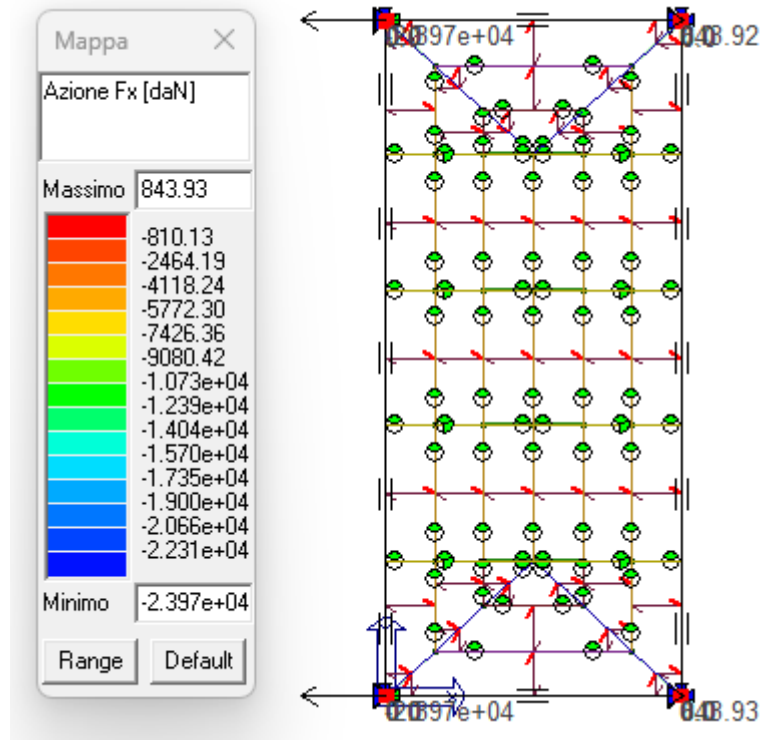
$$u_{1,ist} = \frac{5}{384} \frac{g_k \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot J} + \chi \frac{g_k \cdot L^2}{8G_{mean} \cdot A}$$

$$u_{2,ist} = \frac{5}{384} \frac{q_k \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot J} + \chi \frac{q_k \cdot L^2}{8G_{mean} \cdot A}$$

$$u_{net,fin} = u_{1,ist} \cdot (1 + k_{def}) + u_{2,ist} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def})$$

4. VERIFICA DEL CORDOLO

La massima spinta da contrastare vale



4 barre Ø16:

- Area singola:
 $A = \pi \cdot 16^2 / 4 = 201 \text{ mm}^2$
- Area totale:
 $4 \times 201 = 804 \text{ mm}^2$

Assumendo acciaio B450C:

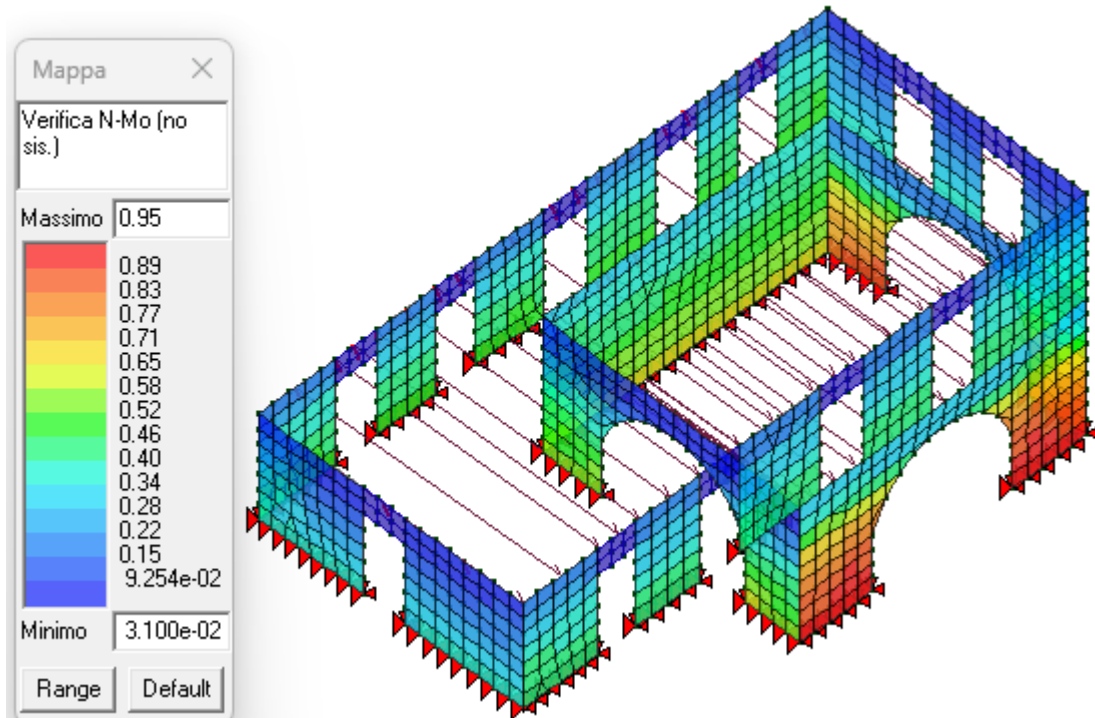
1 Resistenza a snervamento caratteristica

$$N_{yk} = 8.04 \times 4500 = 36.180 \text{ daN}$$

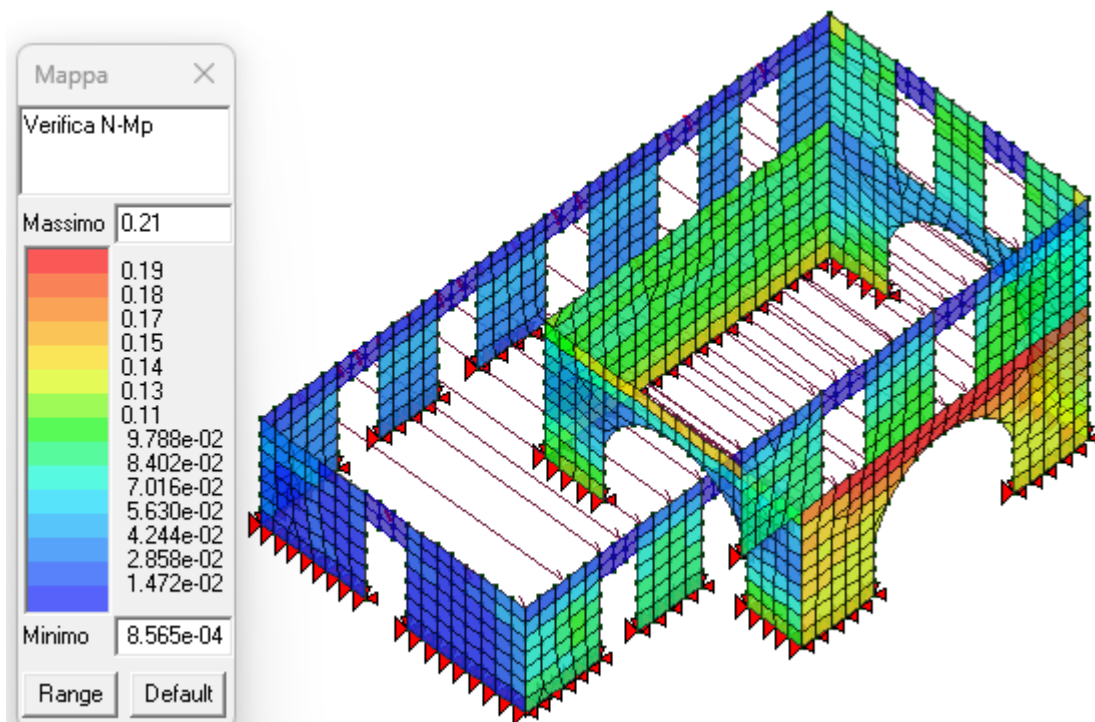
Il contributo aggiuntivo delle catene garantisce un ulteriore contributo al comportamento scatolare della struttura.

5. VERIFICHE DELLE MURATURE

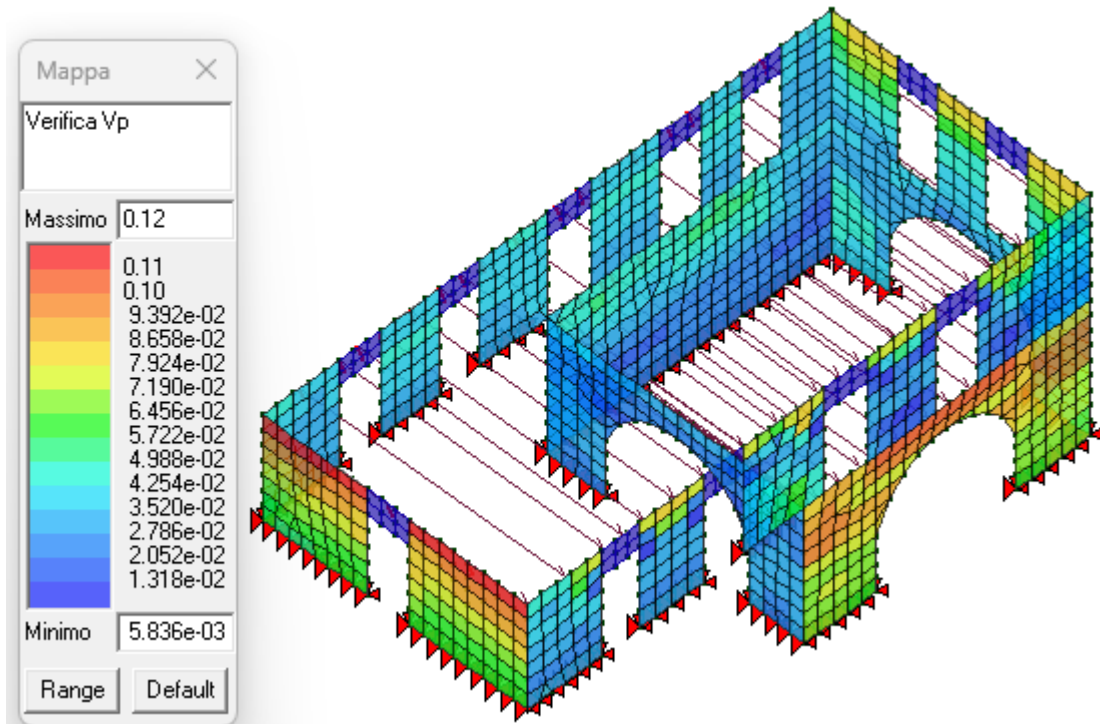
5.1. VERIFICHE STATICHE



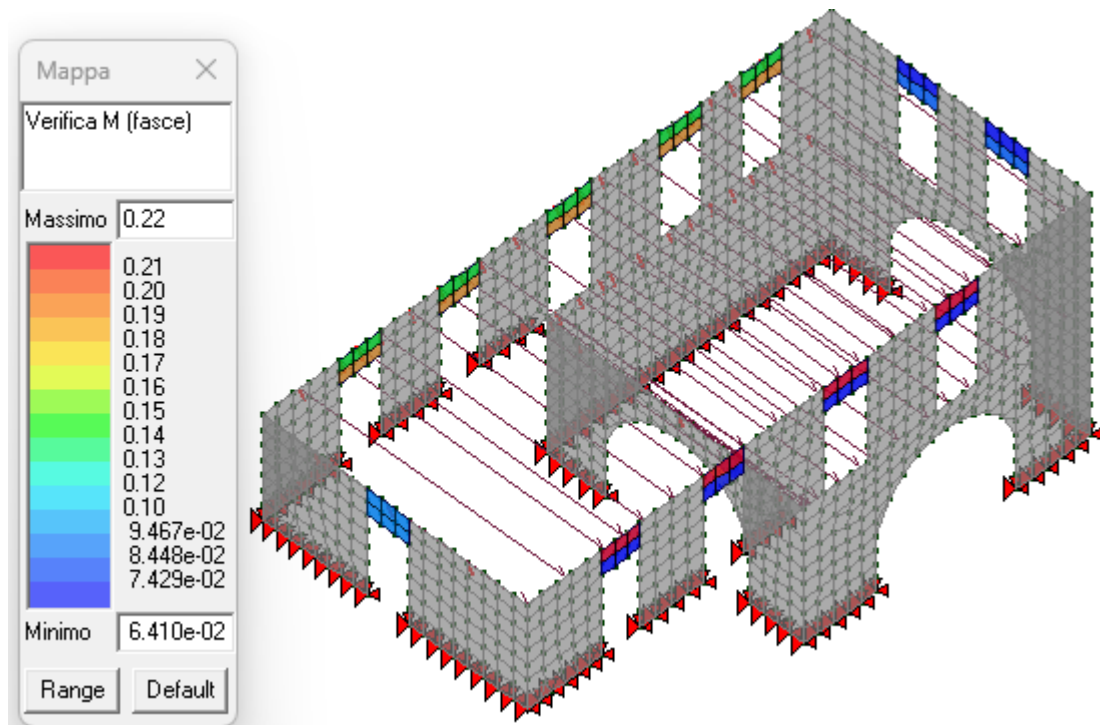
Verifica N-Mo (no sis.): verifica a pressoflessione fuori dal piano dei maschi murari per i soli carichi statici senza interventi di rinforzo (formula 4.5.4 D.M.2018)



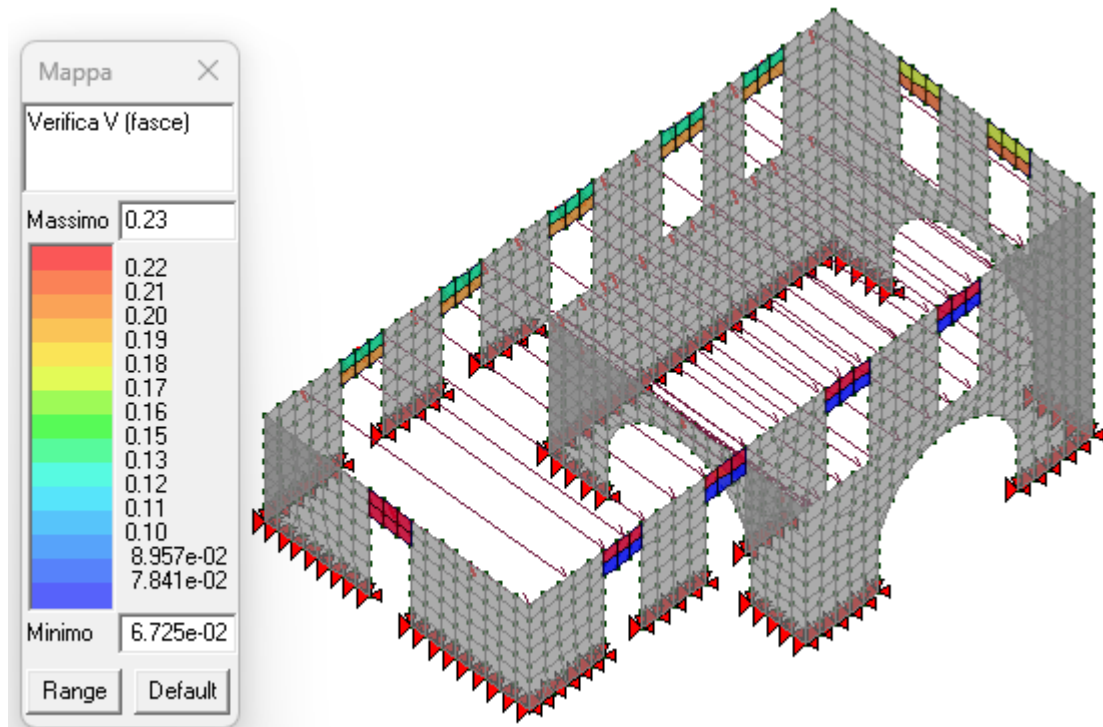
Verifica N-Mp: verifica a pressoflessione nel piano dei maschi murari sia per soli carichi statici che per carichi sismici senza interventi di rinforzo (§7.8.2.2.1 D.M.2018)



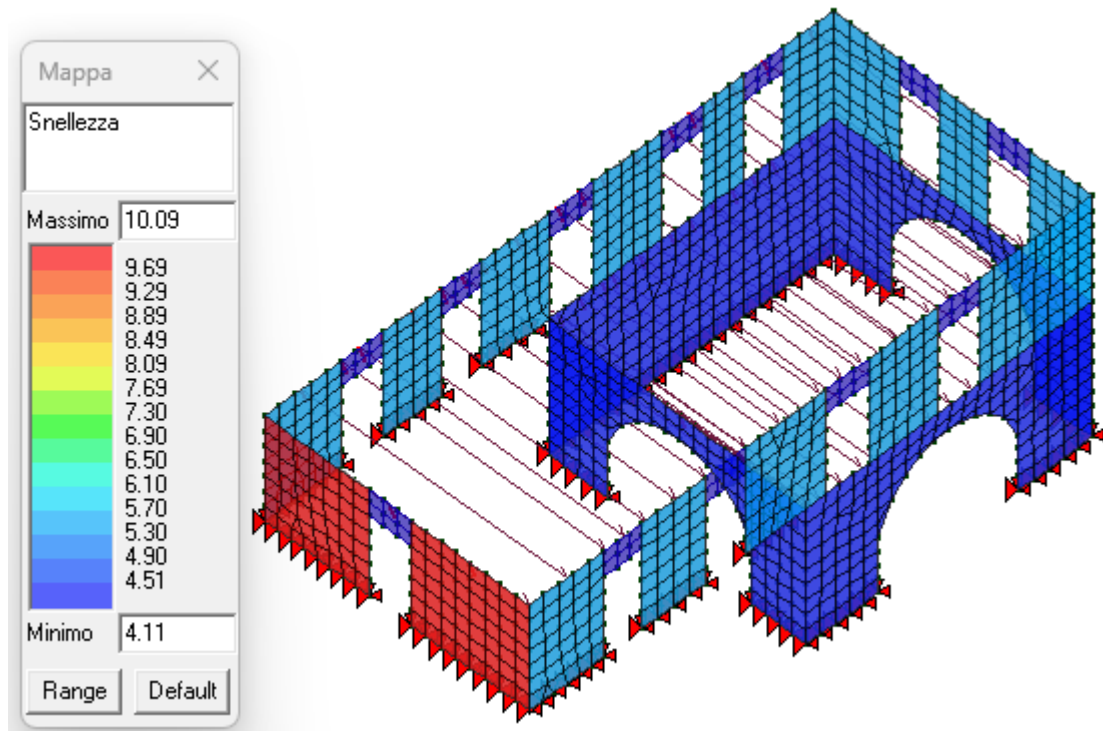
Verifica Vp: verifica a taglio dei maschi murari sia per soli carichi statici che per carichi sismici senza interventi di rinforzo (§7.8.2.2.2 D.M.2018)



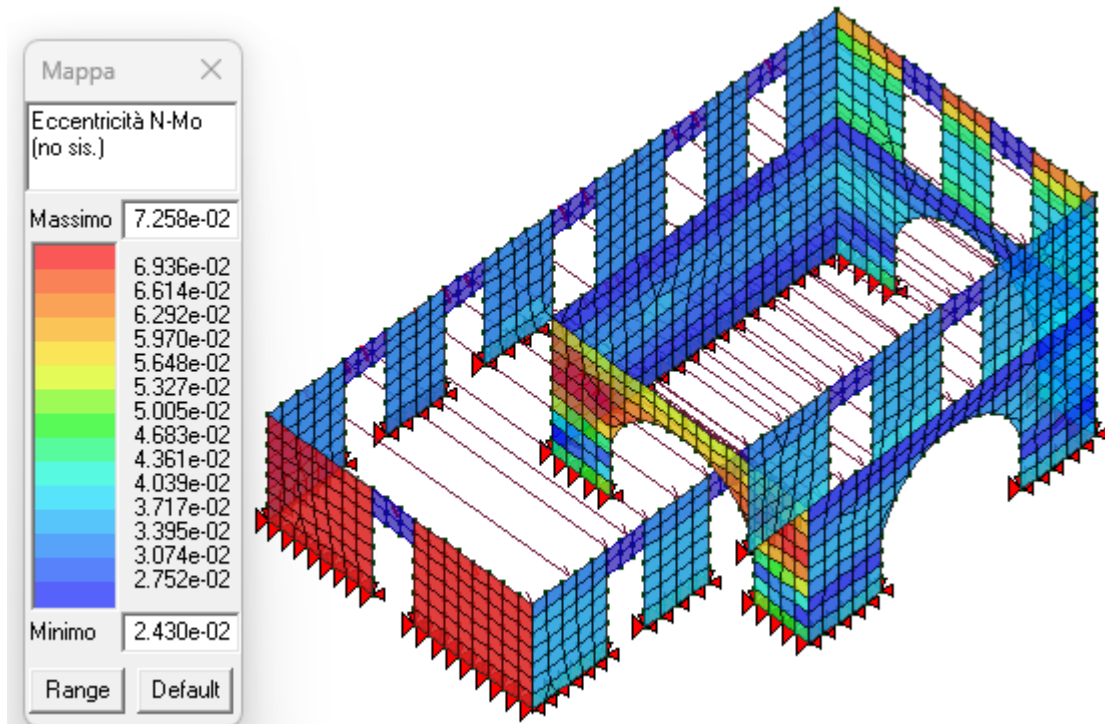
Verifica M (fasce): verifica a flessione delle travi in muratura sia per soli carichi statici che per carichi sismici senza interventi di rinforzo (§7.8.2.2.4 D.M.2018)



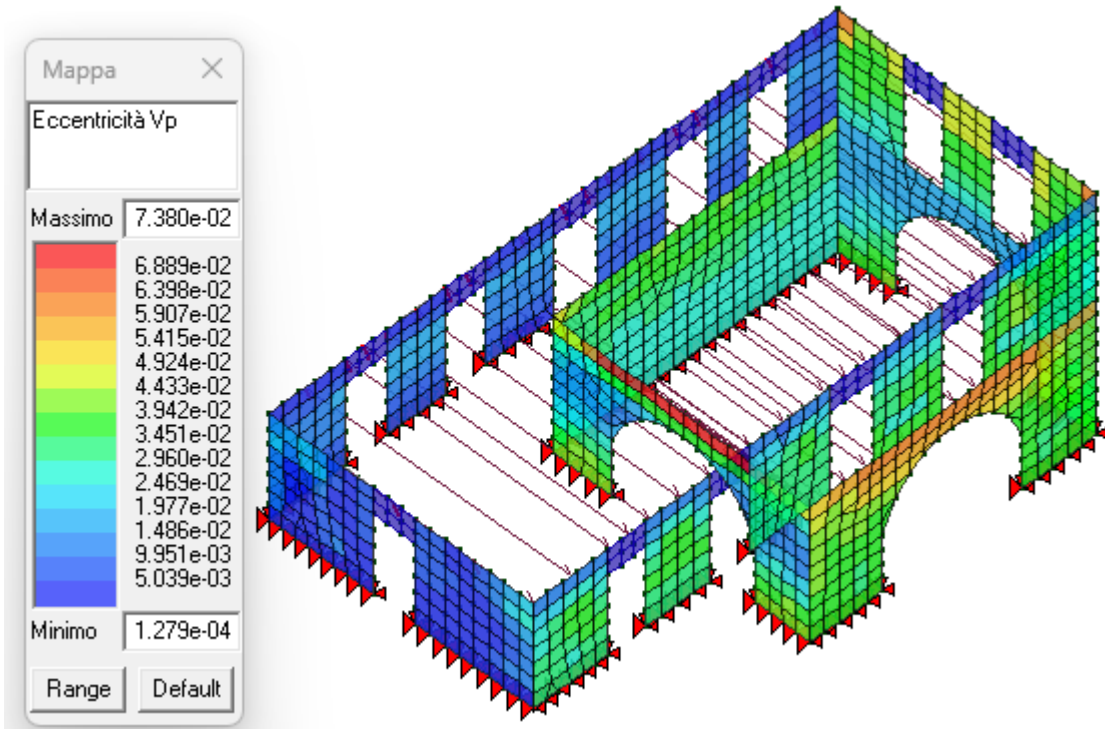
Verifica V (fasce): verifica a taglio delle travi in muratura sia per soli carichi statici che per carichi sismici senza interventi di rinforzo (§7.8.2.2.4 D.M.2018)



Snellezza: riporta i valori della snellezza delle pareti in muratura. Se il valore della snellezza risulta superiore al limite previsto nel criterio di progetto la parete risulta non verificata

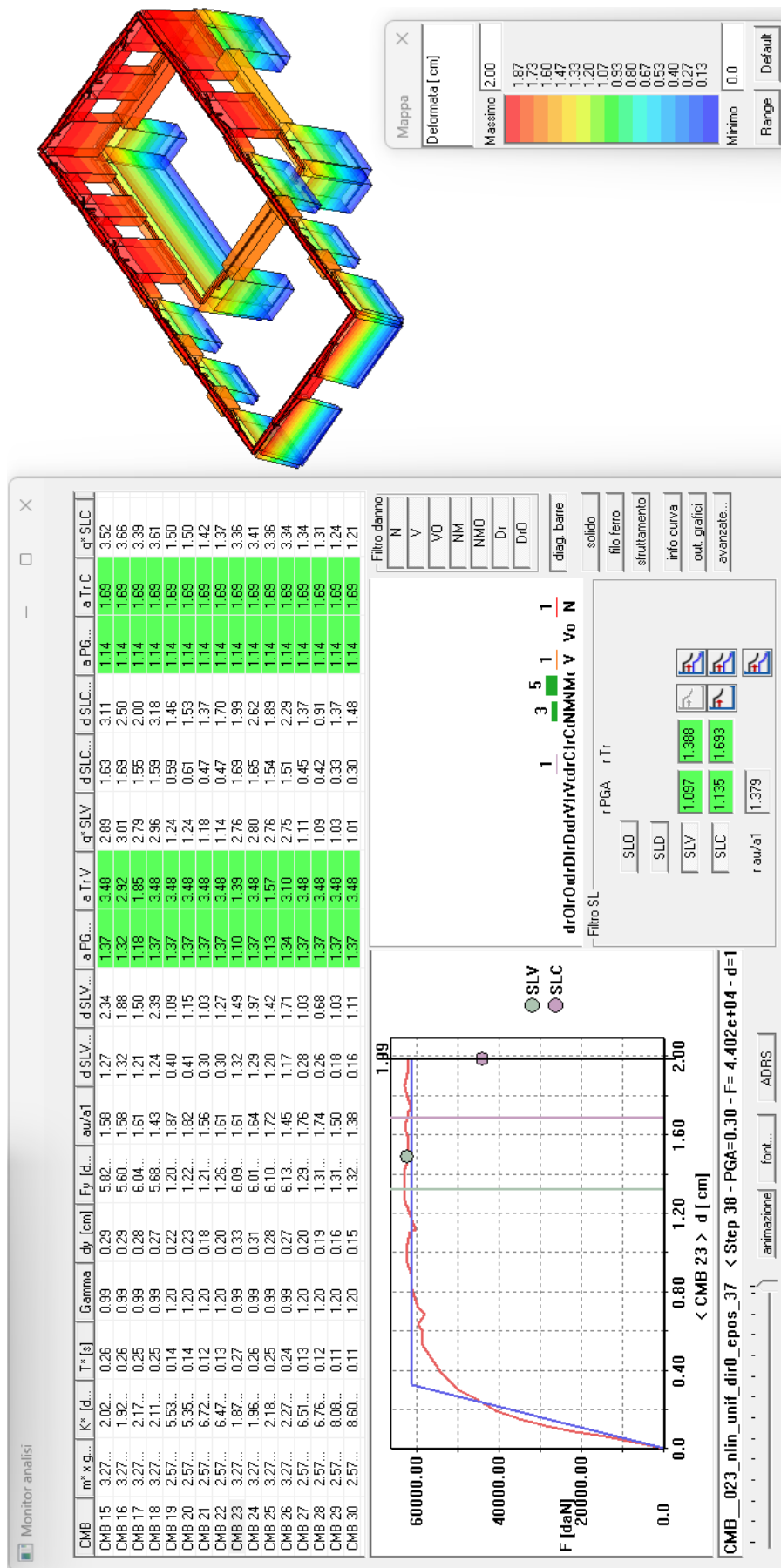


Eccentricità N-Mo (no sis.): riporta i valori dell'eccentricità considerando il massimo tra e1 ed e2 e dividendo il valore per lo spessore della muratura. Se il valore in mappa risulta ≤ 0.33 la verifica è soddisfatta



Eccentricità Vp: valore dell'eccentricità calcolata utilizzando il momento flettente nel piano

5.2. VERIFICHE SISMICHE



5.3. VERIFICHE CINEMATISMI LOCALI

La sicurezza globale di un edificio in muratura non può prescindere dalla verifica della stabilità locale delle pareti che lo compongono. Per gli edifici esistenti, l'analisi della risposta sismica deve infatti considerare sia il comportamento d'insieme, sia la possibile attivazione di meccanismi di collasso locale (cinematismi) che possono verificarsi prima del raggiungimento della capacità globale.

Sulla base di quanto emerso nelle analisi di vulnerabilità sismica condotte sul fabbricato, l'attenzione è stata posta sulla stabilità dei paramenti murari fuori dal piano (ribaltamenti, flessioni verticali e orizzontali).

In fase di modellazione e rilievo strutturale, sono stati indagati i seguenti potenziali cinematismi:

- Ribaltamento semplice della parete;
- Ribaltamento composto;
- Flessione verticale ed orizzontale.

L'intervento in progetto mira a eliminare i fenomeni di spinta della copertura e mira a legare in modo efficace tra loro le murature anche mediante l'inserimento di un cordolo di testa e l'inserimento delle catene.

Visti i cinematismi locali teoricamente possibili, ed esaminata la configurazione strutturale di progetto, si conclude quanto segue:

- Impedimento dei cinematismi: La presenza combinata del cordolo superiore e del sistema di catene funge da vincolo cinematico efficace. Tali dispositivi assicurano il collegamento della muratura agli orizzontamenti e impediscono l'attivazione dei principali meccanismi di ribaltamento fuori dal piano.
- Congruenza con l'analisi di vulnerabilità: I risultati delle verifiche confermano quanto già emerso in fase di analisi di vulnerabilità: la struttura presenta una buona qualità dei collegamenti, rendendo di fatto i meccanismi locali non suscettibili di attivazione per i livelli di accelerazione sismica attesi.

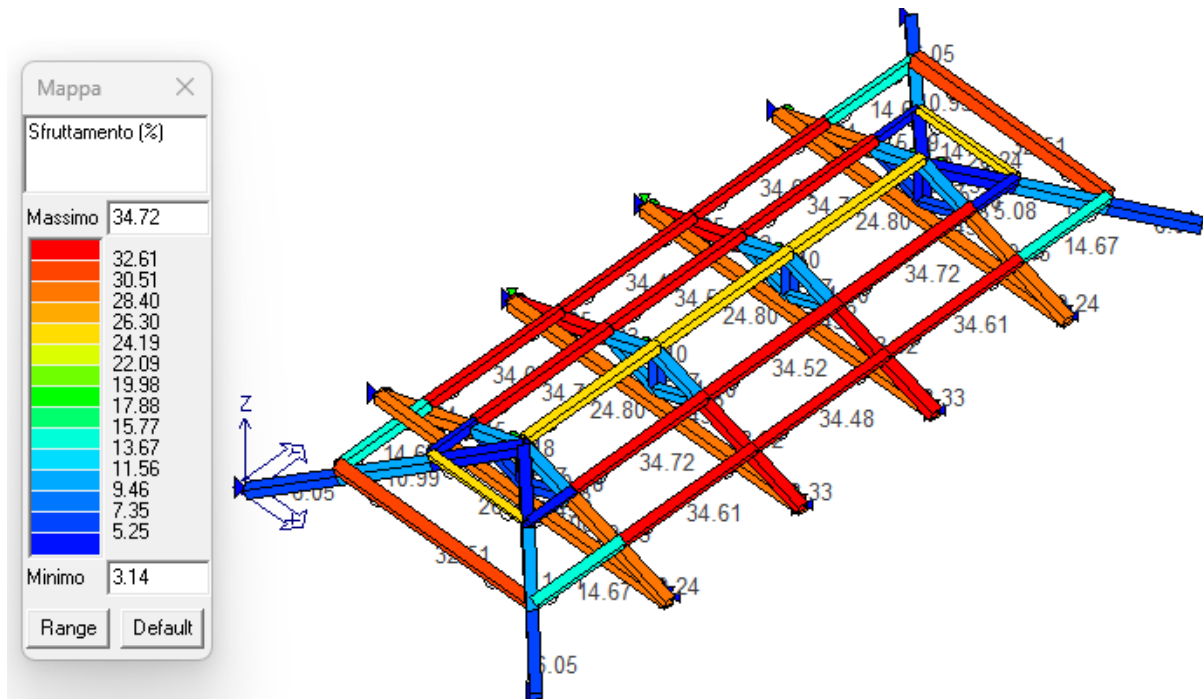
In definitiva, grazie al buon grado di ammassamento tra le pareti e alla presenza di efficaci presidi antisismici (cordoli e catene), i cinematismi locali risultano impediti. Pertanto, la capacità portante dell'edificio è governata dal comportamento globale e la stabilità locale dei setti murari è da ritenersi soddisfatta.

6. VERIFICA ALL'INCENDIO

6.1. STRUTTURE IN LEGNO

Le verifiche di resistenza al fuoco delle strutture in legno sono condotte secondo il metodo della sezione efficace (UNI EN 1995-1-2), assumendo un'esposizione conforme alla curva nominale standard (ISO 834). Si tiene conto della riduzione della sezione resistente tramite la velocità di carbonizzazione nominale (β_n) e lo spessore efficace di carbonizzazione (d_{ef}), che include lo strato carbonizzato e la zona a proprietà meccaniche ridotte. Le resistenze residue sono confrontate con le sollecitazioni di progetto nella combinazione eccezionale di carico.

6.1.1. VERIFICA DELLA COPERTURA



d2 sfruttamento %: sfruttamento percentuale degli elementi strutturali (dato dal risultato della verifica più gravosa): d2 SLU -Verifica N+M: verifica a tensoflessione (formula 4.4.6a e 4.4.6b), -Verifica N-M: verifica a pressoflessione (formula 4.4.7a e 4.4.7b), -Verifica VT: verifica a taglio e torsione (formula 4.4.10), -Stabilità: verifica di stabilità a pressoflessione (formula 6.23 e 6.24 EC5), -Svergolamento: verifica di stabilità per elementi inflessi (formula 4.4.11)

I travicelli della copertura vengono protetti da vernice intumescente stratificata a più mani che garantisce un ritardo di inizio carbonizzazione pari a 15 minuti. Per i restanti 15 minuti avviene la carbonizzazione del legno con conseguente riduzione della sezione.

I carichi agenti sulla copertura sono:

$G_1 = 225 \text{ daN/mq}$ peso proprio del solaio

$G_2 = 90 \text{ daN/mq}$ carico permanente portato

$Q = 80 \text{ daN/mq}$ carico accidentale neve

$L = 1.80 \text{ m}$ luce massima del travicello

$i = 0.3 \text{ m}$ interasse travicelli

Il coefficiente ψ_2 del carico accidentale è 0.00 e pertanto si ottiene:

$M = (225+90+0*80)*0.3*1.80^2/8 = 38.3 \text{ daNm}$ momento massimo flettente nel travicello

$$T = (225+90+0*80)*0.3*1.80/2 = 85\text{daN taglio massimo nel travicello}$$

SEZIONE 1 — PARAMETRI GENERALI					
Parametro	Valore	Unità	Descrizione / Note	Limite / Opzione	Esito
Classe richiesta	R30	—	Tempo di resistenza al fuoco richiesto	R30 / R45 / R60 / R90	
Tempo di esposizione t	30	min	Usare 60 per R60	≥ 0	OK
Base iniziale b	80	mm	Dimensione orizzontale iniziale della trave	> 0	OK
Altezza iniziale h	80	mm	Dimensione verticale iniziale della trave	> 0	OK
Lati esposti sulla base	1	n.	0, 1 o 2 lati laterali esposti al fuoco	0 – 2	OK
Lati esposti sull'altezza	2	n.	0, 1 o 2 lati orizzontali esposti al fuoco	0 – 2	OK
Velocità carbonizzazione β _n	0,65	mm/min	Valore per legno massiccio/lamellare; cfr. EN 1995-1-2	0.65–0.80 tipico	OK
Strato a resistenza nulla d ₀	7	mm	Strato di danneggiamento termico — metodo sezione efficace	tipico 7 mm	OK
Coeff. k ₀	1,0	—	1.0 per t ≥ 20 min (verifica preliminare)	0 – 1	OK
SEZIONE 2 — AZIONI IN SITUAZIONE D'INCENDIO					
Momento flettente di progetto M _{0,d,fi}	0,38	kNm	Azione in situazione di incendio — input di progetto	input progetto	OK
Taglio di progetto V _{0,d,fi}	0,85	kN	Azione in situazione di incendio — input di progetto	input progetto	OK
SEZIONE 3 — PROPRIETÀ DEL MATERIALE					
Resistenza caratteristica a flessione f _{m,k}	24,0	N/mm ²	Es. GL24h: verificare classe del materiale	input progetto	OK
Resistenza caratteristica a taglio f _{v,k}	4,0	N/mm ²	Verificare classe del materiale	input progetto	OK
Fattore k _{fi}	1,25	—	Fattore di amplificazione proprietà in incendio; cfr. EN 1995-1-2	input norma	OK
Coeff. parziale γ _{M,fi}	1,00	—	Coefficiente parziale in situazione di incendio	input norma	OK
Fattore utilizzazione max ammissibile	1,00	—	Rapporto domanda/capacità ammissibile	≤ 1.00	OK
SEZIONE 4 — PROTEZIONE INTUMESCENTE (opzionale)					
Protezione attiva	SI	—	Selezionare SI per attivare la protezione intumescente nel calcolo. Usare NO per calcolo su sezione nuda (default).	SI / NO	OK
Metodo di calcolo	Riduzione t	—	RIDUZIONE t: il produttore fornisce t _p [min] = ritardo inizio carbonizzazione → t _{eff} = t – t _p (es. 60–20=40 min). SPESSORE EQUIV.: il produttore fornisce h _{prot} [mm] = riduzione diretta di d _{char} .	Riduzione t / Spessore equiv.	OK
Prodotto / Certificazione	es. Ciclo Intumex W-60 — ETA-21/0234 — t _p = 20 min su GL24h	—	Riferimento al rapporto di classificazione del prodotto (es. ETA-21/0234, rapporto EN 13501-2 emesso da laboratorio notificato). Non usare schede tecniche generiche.	es. ETA / rapporto EN 13501-2	
Ritardo inizio carbonizzazione t _p	15	min	SOLO Metodo 'Riduzione t'. Minuti di protezione garantiti dal ciclo certificato per il legno specifico. Valori tipici: ciclo leggero ~10-15 min · ciclo medio ~15-25 min · ciclo pesante ~25-35 min.	es. 15÷30 min (da certificato)	OK
Spessore equivalente h _{prot}	14,0	mm	SOLO Metodo 'Spessore equiv.'. Riduzione di d _{char,n} garantita dal ciclo certificato. Valori tipici: ciclo leggero ~5-10 mm · ciclo medio ~10-18 mm · ciclo pesante ~18-28 mm.	es. 10÷20 mm (da certificato)	OK
Lati con protezione attiva	3	n.	Lati su cui la vernice è applicata continuamente (senza interruzioni ad appoggi e connettori). Trave di solaio a vista = 3 lati (intradosso + 2 fianchi). Trave isolata = 4 lati.	0 – 4	OK

Grandezza	Risultato	Unità	Formula / Nota
CALCOLO SEZIONE EFFICACE			
Tempo efficace di esposizione t_{eff}	15,0	min	$t_{eff} = t - tp$ se Protezione=SI e Metodo="Riduzione t"; altrimenti $t_{eff} = t$
Profondità carbonizzata $d_{ehaj,n}$	9,8	mm	$\beta n \times t_{eff}$ (o ridotto di h_{prot} se Metodo="Spessore equiv.")
Profondità efficace $d_{e,f}$	16,8	mm	$d_{char,n} + k_0 \times d_0$
Base residua efficace $b_{e,f}$	63,3	mm	$b - n_{lati_b} \times def$ (MIN = 0)
Altezza residua efficace $h_{e,f}$	46,5	mm	$h - n_{lati_h} \times def$ (MIN = 0)
Area residua $A_{e,f}$	2.941	mm ²	$b_{e,f} \times h_{e,f}$
Modulo resistente $W_{e,f}$	22.794	mm ³	$b_{e,f} \times h_{e,f}^2 / 6$ (flessione su asse forte)
RESISTENZE DI PROGETTO IN INCENDIO			
Resistenza a flessione $f_{d,fi}$	30,00	N/mm ²	$f_{m,k} \times k_{fi} / \gamma_{M,fi}$
Resistenza a taglio $f_{v,d,fi}$	5,00	N/mm ²	$f_{v,k} \times k_{fi} / \gamma_{M,fi}$
VERIFICHE DI RESISTENZA			
Tensione flessione $\sigma_{m,Ed,fi}$	16,80	N/mm ²	$M_{Ed,fi} / W_{e,f}$
Tensione taglio $\tau_{Ed,fi}$	0,43	N/mm ²	$1.5 \times V_{Ed,fi} / A_{e,f}$ (distribuzione parabolica sezione rettangolare)
Utilizzazione flessione η_m	0,560	—	$\sigma_{m,Ed,fi} / f_{d,fi} \leq 1.00$
Utilizzazione taglio η_v	0,087	—	$\tau_{Ed,fi} / f_{v,d,fi} \leq 1.00$
Utilizzazione massima η_{max}	0,560	—	MAX(η_m ; η_v)
ESITO PRELIMINARE			
Verifica flessione	VERIFICATO ✓	—	$\eta_m \leq \eta_{max}$ ammissibile
Verifica taglio	VERIFICATO ✓	—	$\eta_v \leq \eta_{max}$ ammissibile
ESITO COMPLESSIVO	VERIFICATO ✓	—	

6.1.2. VERIFICA SOLAIO DI CALPESTIO

La verifica del solaio viene condotta nell'ipotesi che in caso di incendio le travi metalliche non protette vengano meno e la sola parte resistente è costituita dal solaio ligneo esistente che viene interamente protetto da vernice intumescente stratificata a più mani che garantisce un ritardo di inizio carbonizzazione pari a 15 minuti. Per i restanti 15 minuti viene applicata la riduzione della sezione.

I carichi agenti sul solaio sono:

$G_1 = 165 \text{ daN/mq}$ peso proprio del solaio

$G_2 = 200 \text{ daN/mq}$ carico permanente portato

$Q = 500 \text{ daN/mq}$ carico accidentale

$L = 1.42 \text{ m}$ luce netta del travicello

$i = 0.3 \text{ m}$ interasse travicelli

Il coefficiente ψ_2 del carico accidentale è 0.60 e pertanto si ottiene:

$M = (165+200+0.60*500)*0.3*1.42^2/8 = 50.3 \text{ daNm}$ momento massimo flettente nel travicello

$T = (165+200+0.60*500)*0.3*1.42/2 = 142 \text{ daN}$ taglio massimo nel travicello

SEZIONE 1 — PARAMETRI GENERALI					
Parametro	Valore	Unità	Descrizione / Note	Limite / Opzione	Esito
Classe richiesta	R30	—	Tempo di resistenza al fuoco richiesto	R30 / R45 / R60 / R90	
Tempo di esposizione t	30	min	Usare 60 per R60	≥ 0	OK
Base iniziale b	80	mm	Dimensione orizzontale iniziale della trave	> 0	OK
Altezza iniziale h	80	mm	Dimensione verticale iniziale della trave	> 0	OK
Lati esposti sulla base	1	n.	0, 1 o 2 lati laterali esposti al fuoco	0 – 2	OK
Lati esposti sull'altezza	2	n.	0, 1 o 2 lati orizzontali esposti al fuoco	0 – 2	OK
Velocità carbonizzazione βn	0,80	mm/min	Valore per legno massiccio/lamellare; cfr. EN 1995-1-2	0.65–0.80 tipico	OK
Strato a resistenza nulla d ₀	7	mm	Strato di danneggiamento termico — metodo sezione efficace	tipico 7 mm	OK
Coeff. k ₀	1,0	—	1.0 per t ≥ 20 min (verifica preliminare)	0 – 1	OK
SEZIONE 2 — AZIONI IN SITUAZIONE D'INCENDIO					
Momento flettente di progetto M _{0,d,fi}	0,50	kNm	Azione in situazione di incendio — input di progetto	input progetto	OK
Taglio di progetto V _{0,d,fi}	1,42	kN	Azione in situazione di incendio — input di progetto	input progetto	OK
SEZIONE 3 — PROPRIETÀ DEL MATERIALE					
Resistenza caratteristica a flessione f _{m,k}	24,0	N/mm ²	Es. GL24h: verificare classe del materiale	input progetto	OK
Resistenza caratteristica a taglio f _{v,k}	4,0	N/mm ²	Verificare classe del materiale	input progetto	OK
Fattore k _{fi}	1,25	—	Fattore di amplificazione proprietà in incendio; cfr. EN 1995-1-2	input norma	OK
Coeff. parziale γ _{M,fi}	1,00	—	Coefficiente parziale in situazione di incendio	input norma	OK
Fattore utilizzazione max ammissibile	1,00	—	Rapporto domanda/capacità ammissibile	≤ 1.00	OK
SEZIONE 4 — PROTEZIONE INTUMESCENTE (opzionale)					
Protezione attiva	SI	—	Selezionare SI per attivare la protezione intumescente nel calcolo. Usare NO per calcolo su sezione nuda (default).	SI / NO	OK
Metodo di calcolo	Riduzione t	—	RIDUZIONE t: il produttore fornisce t _p [min] = ritardo inizio carbonizzazione → t _{eff} = t – t _p (es. 60–20=40 min). SPESSORE EQUIV.: il produttore fornisce h _{prot} [mm] = riduzione diretta di dchar.	Riduzione t / Spessore equiv.	OK
Prodotto / Certificazione	es. Ciclo Intumex W-60 — ETA-21/0234 — t _p = 20 min su GL24h	—	Riferimento al rapporto di classificazione del prodotto (es. ETA-21/0234, rapporto EN 13501-2 emesso da laboratorio notificato). Non usare schede tecniche generiche.	es. ETA / rapporto EN 13501-2	
Ritardo inizio carbonizzazione t _p	15	min	SOLO Metodo 'Riduzione t'. Minuti di protezione garantiti dal ciclo certificato per il legno specifico. Valori tipici: ciclo leggero ~10-15 min · ciclo medio ~15-25 min · ciclo pesante ~25-35 min.	es. 15÷30 min (da certificato)	OK
Spessore equivalente h _{prot}	14,0	mm	SOLO Metodo 'Spessore equiv.'. Riduzione di dchar, n garantita dal ciclo certificato. Valori tipici: ciclo leggero ~5-10 mm · ciclo medio ~10-18 mm · ciclo pesante ~18-28 mm.	es. 10÷20 mm (da certificato)	OK
Lati con protezione attiva	3	n.	Lati su cui la vernice è applicata continuamente (senza interruzioni ad appoggi e connettori). Trave di solaio a vista = 3 lati (intradosso + 2 fianchi). Trave isolata = 4 lati.	0 – 4	OK

Grandezza	Risultato	Unità	Formula / Nota
CALCOLO SEZIONE EFFICACE			
Tempo efficace di esposizione t_{eff}	15,0	min	$t_{eff} = t - tp$ se Protezione=SI e Metodo="Riduzione t"; altrimenti $t_{eff} = t$
Profondità carbonizzata $d_{ehaj,n}$	12,0	mm	$\beta_n \times t_{eff}$ (o ridotto di h_{prot} se Metodo="Spessore equiv.")
Profondità efficace d_{ef}	19,0	mm	$d_{char,n} + k_0 \times d_0$
Base residua efficace b_{ef}	61,0	mm	$b - n_{lati_b} \times def$ (MIN = 0)
Altezza residua efficace h_{ef}	42,0	mm	$h - n_{lati_h} \times def$ (MIN = 0)
Area residua A_{ef}	2.562	mm ²	$b_{ef} \times h_{ef}$
Modulo resistente W_{ef}	17.934	mm ³	$b_{ef} \times h_{ef}^2 / 6$ (flessione su asse forte)
RESISTENZE DI PROGETTO IN INCENDIO			
Resistenza a flessione $f_{d,fi}$	30,00	N/mm ²	$f_{m,k} \times k_{fi} / \gamma_M,fi$
Resistenza a taglio $f_{v,d,fi}$	5,00	N/mm ²	$f_{v,k} \times k_{fi} / \gamma_M,fi$
VERIFICHE DI RESISTENZA			
Tensione flessione $\sigma_{m,Ed,fi}$	28,05	N/mm ²	$M_{Ed,fi} / W_{ef}$
Tensione taglio $\tau_{Ed,fi}$	0,83	N/mm ²	$1.5 \times V_{Ed,fi} / A_{ef}$ (distribuzione parabolica sezione rettangolare)
Utilizzazione flessione η_m	0,935	—	$\sigma_{m,Ed,fi} / f_{d,fi} \leq 1.00$
Utilizzazione taglio η_v	0,166	—	$\tau_{Ed,fi} / f_{v,d,fi} \leq 1.00$
Utilizzazione massima η_{max}	0,935	—	MAX(η_m ; η_v)
ESITO PRELIMINARE			
Verifica flessione	VERIFICATO ✓	—	$\eta_m \leq \eta_{max}$ ammissibile
Verifica taglio	VERIFICATO ✓	—	$\eta_v \leq \eta_{max}$ ammissibile
ESITO COMPLESSIVO	VERIFICATO ✓	—	

I carichi agenti sul solaio sono:

$G1 = 165 \text{ daN/mq}$ peso proprio del solaio

$G2 = 200 \text{ daN/mq}$ carico permanente portato

$Q = 500 \text{ daN/mq}$ carico accidentale

$L = 7.38 \text{ m}$ luce netta della trave

$i = 1.78 \text{ m}$ interasse travi

Il coefficiente ψ_2 del carico accidentale è 0.60 e pertanto si ottiene:

$M = (165+200+0.60*500)*1.78*7.38^2/8 = 8059 \text{ daNm}$ momento massimo flettente nella trave

$T = (165+200+0.60*500)*1.78*7.38 / 2 = 4368 \text{ daN}$ taglio massimo nella trave

SEZIONE 1 — PARAMETRI GENERALI					
Parametro	Valore	Unità	Descrizione / Note	Limite / Opzione	Esito
Classe richiesta	R30	—	Tempo di resistenza al fuoco richiesto	R30 / R45 / R60 / R90	
Tempo di esposizione t	30	min	Usare 60 per R60	≥ 0	OK
Base iniziale b	380	mm	Dimensione orizzontale iniziale della trave	> 0	OK
Altezza iniziale h	385	mm	Dimensione verticale iniziale della trave	> 0	OK
Lati esposti sulla base	1	n.	0, 1 o 2 lati laterali esposti al fuoco	0 – 2	OK
Lati esposti sull'altezza	2	n.	0, 1 o 2 lati orizzontali esposti al fuoco	0 – 2	OK
Velocità carbonizzazione βn	0,80	mm/min	Valore per legno massiccio/lamellare; cfr. EN 1995-1-2	0.65–0.80 tipico	OK
Strato a resistenza nulla d ₀	7	mm	Strato di danneggiamento termico — metodo sezione efficace	tipico 7 mm	OK
Coeff. k ₀	1,0	—	1.0 per t ≥ 20 min (verifica preliminare)	0 – 1	OK
SEZIONE 2 — AZIONI IN SITUAZIONE D'INCENDIO					
Momento flettente di progetto M _{0,d,fi}	80,59	kNm	Azione in situazione di incendio — input di progetto	input progetto	OK
Taglio di progetto V _{0,d,fi}	43,68	kN	Azione in situazione di incendio — input di progetto	input progetto	OK
SEZIONE 3 — PROPRIETÀ DEL MATERIALE					
Resistenza caratteristica a flessione f _{m,k}	24,0	N/mm ²	Es. GL24h: verificare classe del materiale	input progetto	OK
Resistenza caratteristica a taglio f _{v,k}	4,0	N/mm ²	Verificare classe del materiale	input progetto	OK
Fattore k _{fi}	1,25	—	Fattore di amplificazione proprietà in incendio; cfr. EN 1995-1-2	input norma	OK
Coeff. parziale γ _{M,fi}	1,00	—	Coefficiente parziale in situazione di incendio	input norma	OK
Fattore utilizzazione max ammissibile	1,00	—	Rapporto domanda/capacità ammissibile	≤ 1.00	OK
SEZIONE 4 — PROTEZIONE INTUMESCENTE (opzionale)					
Protezione attiva	SI	—	Selezionare SI per attivare la protezione intumescente nel calcolo. Usare NO per calcolo su sezione nuda (default).	SI / NO	OK
Metodo di calcolo	Riduzione t	—	RIDUZIONE t: il produttore fornisce t _p [min] = ritardo inizio carbonizzazione → t _{eff} = t – t _p (es. 60–20=40 min). SPESSORE EQUIV.: il produttore fornisce h _{prot} [mm] = riduzione diretta di d _{char} .	Riduzione t / Spessore equiv.	OK
Prodotto / Certificazione	es. Ciclo Intumex W-60 — ETA-21/0234 — t _p = 20 min su GL24h	—	Riferimento al rapporto di classificazione del prodotto (es. ETA-21/0234, rapporto EN 13501-2 emesso da laboratorio notificato). Non usare schede tecniche generiche.	es. ETA / rapporto EN 13501-2	
Ritardo inizio carbonizzazione t _p	0	min	SOLO Metodo 'Riduzione t'. Minuti di protezione garantiti dal ciclo certificato per il legno specifico. Valori tipici: ciclo leggero ~10-15 min · ciclo medio ~15-25 min · ciclo pesante ~25-35 min.	es. 15÷30 min (da certificato)	OK
Spessore equivalente h _{prot}	14,0	mm	SOLO Metodo 'Spessore equiv.'. Riduzione di d _{char,n} garantita dal ciclo certificato. Valori tipici: ciclo leggero ~5-10 mm · ciclo medio ~10-18 mm · ciclo pesante ~18-28 mm.	es. 10÷20 mm (da certificato)	OK
Lati con protezione attiva	3	n.	Lati su cui la vernice è applicata continuamente (senza interruzioni ad appoggi e connettori). Trave di solaio a vista = 3 lati (intradosso + 2 fianchi). Trave isolata = 4 lati.	0 – 4	OK

Grandezza	Risultato	Unità	Formula / Nota
CALCOLO SEZIONE EFFICACE			
Tempo efficace di esposizione t_{eff}	30,0	min	$t_{eff} = t - t_p$ se Protezione=SI e Metodo="Riduzione t"; altrimenti $t_{eff} = t$
Profondità carbonizzata $d_{ehaj,n}$	24,0	mm	$\beta n \times t_{eff}$ (o ridotto di h_{prot} se Metodo="Spessore equiv.")
Profondità efficace d_{ef}	31,0	mm	$d_{char,n} + k_0 \times d_0$
Base residua efficace b_{ef}	349,0	mm	$b - n_{lati_b} \times def$ (MIN = 0)
Altezza residua efficace h_{ef}	323,0	mm	$h - n_{lati_h} \times def$ (MIN = 0)
Area residua A_{ef}	112.727	mm ²	$b_{ef} \times h_{ef}$
Modulo resistente W_{ef}	6.068.470	mm ³	$b_{ef} \times h_{ef}^2 / 6$ (flessione su asse forte)
RESISTENZE DI PROGETTO IN INCENDIO			
Resistenza a flessione $f_{d,fi}$	30,00	N/mm ²	$f_{m,k} \times k_{fi} / \gamma_{M,fi}$
Resistenza a taglio $f_{v,d,fi}$	5,00	N/mm ²	$f_{v,k} \times k_{fi} / \gamma_{M,fi}$
VERIFICHE DI RESISTENZA			
Tensione flessione $\sigma_{m,Ed,fi}$	13,28	N/mm ²	$M_{Ed,fi} / W_{ef}$
Tensione taglio $\tau_{Ed,fi}$	0,58	N/mm ²	$1.5 \times V_{Ed,fi} / A_{ef}$ (distribuzione parabolica sezione rettangolare)
Utilizzazione flessione η_m	0,443	—	$\sigma_{m,Ed,fi} / f_{d,fi} \leq 1.00$
Utilizzazione taglio η_v	0,116	—	$\tau_{Ed,fi} / f_{v,d,fi} \leq 1.00$
Utilizzazione massima η_{max}	0,443	—	MAX(η_m ; η_v)
ESITO PRELIMINARE			
Verifica flessione	VERIFICATO ✓	—	$\eta_m \leq \eta_{max}$ ammissibile
Verifica taglio	VERIFICATO ✓	—	$\eta_v \leq \eta_{max}$ ammissibile
ESITO COMPLESSIVO	VERIFICATO ✓	—	

6.2. STRUTTURE IN MURATURA

Per le strutture verticali portanti in muratura tradizionale di pietra e laterizio, la verifica analitica di resistenza al fuoco per classe R 60 è ritenuta non necessaria, in quanto trattasi di elementi non combustibili, di elevata massa e inerzia termica, privi di contributo al carico d'incendio e normalmente caratterizzati da prestazioni di resistenza al fuoco ampiamente compatibili con il requisito richiesto.

La verifica si intende pertanto limitata al riscontro dello stato di conservazione, della continuità e dello spessore delle murature, senza necessità di ulteriore modellazione o calcolo specifico per incendio.

6.3. STRUTTURE IN ACCIAIO

Le uniche strutture metalliche che sono presenti nel fabbricato che risultano attive in caso di incendio sono le

7. VERIFICA DEL MIGLIORAMENTO SISMICO

Dalla relazione dell'analisi di vulnerabilità sismica si evince che:

- Nonostante sia stata eseguita la valutazione sismica del fabbricato, si precisa che risulta preliminarmente necessario intervenire sulle carenze statiche dei solai, in quanto tali elementi non risultano allo stato attuale verificati. Solo a seguito del loro risanamento è possibile considerare pienamente rappresentativo il livello di sicurezza sismica complessivo dell'organismo strutturale.
- L'analisi globale statica evidenzia che le murature portanti risultano idonee e già in grado di soddisfare i requisiti richiesti, una volta risolte le criticità statiche degli orizzontamenti.
- L'analisi sismica globale di tipo push-over ha messo in evidenza che non viene coinvolta sufficiente massa sismica per rendere attendibile tale metodo di analisi; tale circostanza è derivata dal fatto che non tutti i solai sono rigidi nel piano e capaci di ridistribuire le azioni tra tutti gli elementi.
- L'analisi globale sismica di tipo lineare ha messo in evidenza una capacità complessiva di resistenza pari a $\zeta_e = 0.39$.
- L'analisi sismica locale ha invece messo in evidenza la presenza di meccanismi di ribaltamento di porzioni murarie, per i quali il livello di sicurezza sismica, espresso come rapporto tra la massima accelerazione sopportabile e quella richiesta per una nuova costruzione, risulta pari a $\zeta_e = 0.25$.

Per quanto riguarda l'intervento in progetto è possibile concludere che:

- le carenze statiche vengono risolte;
- i cinematismi locali vengono impediti;
- il livello della PGA viene elevato a $\zeta_E = 1.097$.

Pertanto il valore ζ_E (rapporto tra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura e l'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione), a seguito dell'intervento è stato incrementato di un valore maggiore di 0.1, come prescritto al §8.4.2 del DM 17/01/2018.

8. GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITA' DEI RISULTATI

Per la validazione del codice di calcolo e dei risultati ottenuti dalle modellazioni si fa riferimento a quanto riportato nel test di valutazione del software reperibile sul sito (<http://www.2si.it/Software/Affidabilità.htm>).

Per il controllo della modellazione delle strutture si ritiene sufficiente controllarne alcune parti con calcoli sommari. Le analisi agli elementi finiti (FEM) condotte nella presente relazione sono ricavate direttamente dai modelli originari elaborati per la valutazione della vulnerabilità sismica del complesso strutturale. Dal confronto critico dei risultati attuali con quelli ottenuti nella precedente fase di vulnerabilità, si evince una chiara congruenza e coerenza dei parametri di risposta strutturale, confermando la bontà della modellazione adottata.

Oltre a quanto riportato sopra, il programma esegue i seguenti check automatici:

- Check dati struttura: individua gli errori macroscopici di modellazione (elementi sovrapposti, elementi con nodi intermedi, elementi labili);
- Analisi: individua errori di modellazione quali eccesso di svincoli o mancanza di vincoli.

Oltre a quanto sopra riportato, sono stati operati controlli manuali e diagnostici dei risultati; dal confronto con calcoli di larga massima è stato possibile individuare elementi collegati impropriamente o con proprietà errate, risolvendo preventivamente ogni criticità. Nello specifico, i risultati sono conformi alle aspettative tecniche in virtù dei seguenti controlli:

- Controllo sulla deformata: non si riscontrano elementi con deformazioni eccessive o non coerenti con gli elementi strutturali limitrofi;
- Controllo sulle sollecitazioni (SLU e SLE): l'andamento delle sollecitazioni risulta omogeneo, privo di picchi localizzati ingiustificati, in crescita coerente ai vari piani e proporzionale ai carichi immessi;
- Controllo sugli stati tensionali (SLU e SLE): le tensioni negli elementi si mantengono omogenee e coerenti con la rigidità dei componenti e la distribuzione delle masse;
- Controllo sulle percentuali di sfruttamento: i coefficienti di utilizzo degli elementi mostrano valori regolari, senza picchi concentrati che possano indicare errori di input o crisi locali impreviste;
- Controllo delle reazioni vincolari: i valori risultano pienamente coerenti con il totale dei carichi inseriti e la geometria globale del sistema;
- Controllo pressioni sugli elementi di fondazione: i carichi risultano distribuiti in modo omogeneo tra i vari elementi fondali, garantendo il rispetto delle capacità portanti del terreno.

In conclusione, alla luce dei confronti effettuati con i modelli di vulnerabilità preesistenti e delle verifiche di coerenza interna, i risultati ottenuti sono da ritenersi validi e pienamente accettabili per la progettazione in oggetto.

Le verifiche delle altre parti sono già condotte attraverso semplici calcoli manuali o software di normale utilizzo e risultano pertanto già confermate.

Tutto ciò premesso si ritiene accettabile il risultato delle analisi prodotte con il software di calcolo.

Lucca, 18/02/2026

Il Progettista