



REALIZZAZIONE CENTRO INTERCOMUNALE DI PROTEZIONE CIVILE MULTIFUNZIONALE.
LOCALITÀ STAZIONE NUOVA IN AULLA (MS)

PROGETTO ESECUTIVO

REL
E.4

Relazione di calcolo

Data emissione:	CODICE ELABORATO	Anno	Comessa	Progetto	Tipologia	Elaborato n°
Novembre 2024		2023	20	E	REL	E.4
LIVELLO	Numero	Data	Stesura	Controllo	Approvazione	
Prima emissione	01	28/11/2024	MP	SN	SN	
Aggiornamento per verifica	02	05/03/2025	MP	SN	SN	

Tecnico incaricato
Dott.Ing. Stefano NADOTTI

GOPLANSTUDIO
Architetto, Ingegneria, Geologia
Via Carducci 72 - 54100 Massa
Sede operativa Via Fermi 21 - 54100 Massa
cell. 328 - 4066037
Fax 0585 - 793451
E-mail stefano.nadotti@gmail.com

Geologo incaricato
Dott. Geol. Emanuele MICHELUCCI

Gruppo di lavoro
Dott. Ing. Alessandra FRUZZETTI
Dott. Ing. Marta PACIFICO
Dott. Geol. Osvaldo TURBA

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

INDICE

1.1	PREMESSA e CONSIDERAZIONI CONOSCITIVE	3
1.2	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	3
1.3	UBICAZIONE DELLE OPERE	4
1.4	RIFERIMENTI ALLA NORMATIVA SISMICA.....	4
2	METODO DI CALCOLO.....	6
3	MATERIALI UTILIZZATI.....	6
3.1	CALCESTRUZZO.....	6
3.1.1	<i>C28/35</i>	6
3.2	ACCIAIO PER CALCESTRUZZO ARMATO	6
3.2.1	<i>Acciaio B450C</i>	7
3.3	LEGNO MASSICCIO	7
3.4	LEGNO LAMELLARE	7
3.4.1	<i>Legno GL24h</i>	8
3.5	REQUISITI E CONTROLLI.....	8
4	SICUREZZA E PRESTAZIONI ATTESE	8
4.1	VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA.....	8
4.2	VITA NOMINALE	9
4.3	CLASSE D'USO.....	9
5	VITA NOMINALE CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO	9
6	DESCRIZIONE DELLE OPERE	9
6.1	CARATTERISTICHE GENERALI DELLA STRUTTURA	9
7	ANALISI DEI CARICHI	9
7.1	PESI PROPRI (G1)	9
7.2	CARICHI PERMANENTI - SOLAIO DI COPERTURA (G2).....	9
7.3	CARICHI PERMANENTI – PARETI PERIMETRALI.....	9
7.4	AZIONE DEL VENTO	9
7.5	CARICO NEVE.....	11
7.6	CARICO VARIABILE ISPEZIONE	11
8	COMBINAZIONI DI CARICO.....	11
9	ANALISI STRUTTURALE E MODELLAZIONE.....	13
10	VERIFICHE STRUTTURALI	15
10.1	VERIFICHE DEI PANNELLI XLAM	16
10.2	VERIFICHE DELLE TRAVI IN LEGNO LAMELLARE.....	23
10.3	Verifica dei collegamenti di base	26
10.4	Verifica dei collegamenti delle travi in legno	28
11	ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO	29

11.1 TITOLO PROGRAMMA DI CALCOLO: " PROSAP VERSION 23.6.1 "	29
11.2 AFFIDABILITÀ E SCELTA DEI CODICI UTILIZZATI.....	30
11.3 INFORMAZIONI GENERALI SULL'ELABORAZIONE E VALUTAZIONE NUMERICA.....	30

1.1 PREMESSA e CONSIDERAZIONI CONOSCITIVE

A seguito dell'incarico conferito dall'Unione di Comuni Montana Lunigiana l'ing. Stefano Nadotti di Massa, ha redatto il presente progetto per "Realizzazione di Centro Intercomunale di Protezione Civile Multifunzionale" sito in località Stazione Nuova, nel Comune di Aulla (MS) che include la presente relazione di analisi delle strutture.

In relazione alla vigente normativa sismica; ai sensi del D.M. 17 Gennaio 2018, l'intervento è classificabile come nuova costruzione.

L'edificio si sviluppa su un solo piano ed è costituito da due corpi principali, disposti in modo antisimmetrico e collegati da un corpo centrale, più basso. La struttura è realizzata in legno: le pareti e il solaio di copertura sono pannelli xlam a cinque strati, di spessore rispettivamente 10 cm e 16 cm. Il collegamento tra i due corpi principali è realizzato con travi in legno lamellare gl24h di sezione con base pari a 10 cm e altezza variabile. Le fondazioni sono in cemento armato, costituite da una trave continua a T rovescia.

1.2 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Legge 05/11/1971 n. 1086

"Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica."

Legge 02/02/1974 n. 64

"Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche."

D.M. Infrastrutture. 17/01/2018

" Norme tecniche per le costruzioni 2018"

Circolare 21/01/2019 n. 7 C.S.LL.PP.

" Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni""

Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

" Linee guida sul calcestruzzo strutturale"

Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

" Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale"

Eurocodice 1

" Basi di calcolo ed azioni sulle strutture"

Eurocodice 5

" Progettazione delle strutture in legno"

CNR-DT 206/2007

“Istruzioni per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di Legno”

CNR-DT 207/2018

“Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulla costruzioni”

1.3 UBICAZIONE DELLE OPERE

Il sito delle opere da realizzare è ubicato in via Giovanni Paolo II, località Stazione Nuova nel Comune di Aulla, Provincia di Massa Carrara (MS).

1.4 RIFERIMENTI ALLA NORMATIVA SISMICA

L’area, da un punto di vista del terreno di fondazione, è inseribile cautelativamente nella “categoria di suolo di fondazione E”.

Per il calcolo dell’azione sismica è necessario attribuire anche la categoria topografica; per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale; per configurazioni superficiali semplici si può adottare la classificazione secondo la Tab. 3.2.III delle NTC, che, nel caso del sito in esame, prevede l’attribuzione ad una “categoria topografica T3”, avente fattore massimo $St = 1,2$.

Secondo quanto si evince dalla relazione geologica, considerando la morfologia della zona e in particolare analizzando il rilievo nel suo complesso, il sito di costruzione risulta essere in prossimità della base del rilievo. Il coefficiente topografico varia linearmente, da $St = 1,0$ alla base del rilievo a $St = 1,2$ in cresta, di conseguenza il valore del coefficiente da utilizzare nel caso in esame è prossimo all’unità. Stante quanto detto fin’ora, ma tenendo conto della complessità dell’area oggetto di intervento, si decide cautelativamente di procedere alla progettazione considerando $St = 1,1$.

E’ necessario inoltre stabilire la “classe d’uso” dell’infrastruttura di progetto ai sensi delle NTC (e di conseguenza del coefficiente d’uso Cu , da Tab. 2.4.II NTC), e la “vita nominale” (Tab. 2.4.I NTC).

Per le strutture di progetto è possibile attribuire una “classe d’uso” IV (Coefficiente d’uso $Cu=2.0$) e una vita nominale $Vn \geq 100$ anni.

Sulla base di questi parametri è stato possibile calcolare l’azione sismica di progetto, ricavando i coefficienti sismici per i vari Stati Limite.

Sito in esame.

latitudine:	44,221443
longitudine:	9,97724
Classe:	4
Vita nominale:	100

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 17820	Lat: 44,2314	Lon: 9,9320	Distanza: 3766,064
Sito 2	ID: 17821	Lat: 44,2334	Lon: 10,0017	Distanza: 2360,501
Sito 3	ID: 18043	Lat: 44,1835	Lon: 10,0046	Distanza: 4750,679
Sito 4	ID: 18042	Lat: 44,1814	Lon: 9,9350	Distanza: 5583,700

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	E
Categoria topografica:	T3
Periodo di riferimento:	200anni
Coefficiente cu:	2

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
 Tr: 120 [anni]
 ag: 0,102 g
 Fo: 2,423
 Tc*: 0,266 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
 Tr: 201 [anni]
 ag: 0,127 g
 Fo: 2,400
 Tc*: 0,274 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
 Tr: 1898 [anni]
 ag: 0,274 g
 Fo: 2,406
 Tc*: 0,307 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
 Tr: 2475 [anni]
 ag: 0,298 g
 Fo: 2,407
 Tc*: 0,314 [s]

Coeffienti Sismici NTC 2018

SLO:

Ss: 1,600
 Cc: 1,950
 St: 1,100

SLD:

Ss: 1,600
 Cc: 1,930
 St: 1,100

SLV:

Ss: 1,270
 Cc: 1,840
 St: 1,100

SLC:

Ss: 1,210
 Cc: 1,830

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 44.220485

longitudine: 9.976221

Metodo di calcolo

2 METODO DI CALCOLO

Per il Dimensionamento delle opere è stato adottato il metodo semiprobabilistico agli stati limite (M.S.S.L.).

Tra le azioni computate nell'analisi strutturale si è tenuto conto anche dell'eventuale azione sismica così come previsto al ¶ 3.2 del D.M 17/01/18 Norme tecniche sulle costruzioni 2018.

3 MATERIALI UTILIZZATI

3.1 CALCESTRUZZO

Dovranno adottarsi solo calcestruzzi aventi caratteristiche rispondenti a quanto prescritto al punto 11.2 del D.M. Infrastrutture 17 Gennaio 2018.

In sede di progettazione si sono assunti i seguenti valori nominali delle proprietà del materiale :

$$\text{Modulo elastico} \quad E = 32308 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Modulo di elasticità trasversale} \quad G = E / [2 * (1 + v)] \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Coefficiente di Poisson} \quad v = 0.2$$

$$\text{Densità} \quad p = 2548 \text{ Kg/m}^3$$

Inoltre, sono stati assunti, sempre in sede di progettazione, i valori nominali delle resistenze caratteristiche riportati nelle tabelle seguenti:

3.1.1 C28/35

$$R_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ck} = 29,05 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{coeff. } \gamma_M = 1,5$$

$$f_{cd} = 16,46 \text{ N/mm}^2$$

3.2 ACCIAIO PER CALCESTRUZZO ARMATO

Dovranno adottarsi solo acciai aventi caratteristiche rispondenti a quanto prescritto al punto 11.3.2 del D.M. Infrastrutture 17 Gennaio 2018.

In sede di progettazione si sono assunti i seguenti valori nominali delle proprietà del materiale :

$$\text{Modulo elastico} \quad E = 210000 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Modulo di elasticità trasversale} \quad G = E / [2 * (1 + v)] \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Coefficiente di Poisson} \quad v = 0.3$$

$$\text{Coefficiente di espansione termica lineare} \quad \alpha = 12 * 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ (per temperature fino a } 100^\circ\text{C)}$$

$$\text{Densità} \quad p = 7850 \text{ Kg/m}^3$$

Inoltre, sono stati assunti, sempre in sede di progettazione, i valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento f_{yk} e di rottura f_{tk} riportati nelle tabelle seguenti:

3.2.1 Acciaio B450C

$$f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{coeff. } \gamma_M = 1,15$$

$$f_{yd} = 391,3 \text{ N/mm}^2$$

3.3 LEGNO MASSICCIO

Gli elementi strutturali in legno massiccio Xlam sono assimilabili alla classe di resistenza C24.

In tabella sono riportati i profili prestazionali richiesti, in accordo con la norma europea UNI EN 338:

Tabella 18-1-Classi di resistenza secondo EN 338, per legno di conifere e di pioppo

Valori di resistenza modulo elastico e massa volumica	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	
Resistenze [MPa]													
flessione	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
trazione parallela alla fibratura	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
trazione perpendicolare alla fibratura	$f_{t,90,k}$	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
compressione parallela alla fibratura	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
compressione perpendicolare alla fibratura	$f_{c,90,k}$	2.0	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.1	3.2
taglio	$f_{v,k}$	1.7	1.8	2.0	2.2	2.4	2.5	2.8	3.0	3.4	3.8	3.8	3.8
Modulo elastico [GPa]													
modulo elastico medio parallelo alle fibre	$E_{0,mean}$	7	8	9	9.5	10	11	11.5	12	13	14	15	16
modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre	$E_{0,05}$	4.7	5.4	6.0	6.4	6.7	7.4	7.7	8.0	8.7	9.4	10.0	10.7
modulo elastico medio perpendicolare alle fibre	$E_{90,mean}$	0.23	0.27	0.30	0.32	0.33	0.37	0.38	0.40	0.43	0.47	0.50	0.53
modulo di taglio medio	G_{mean}	0.44	0.50	0.56	0.59	0.63	0.69	0.72	0.75	0.81	0.88	0.94	1.00
Massa volumica [kg/m³]													
massa volumica caratteristica	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
massa volumica media	ρ_m	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

3.4 LEGNO LAMELLARE

Per la realizzazione della struttura di progetto si devono utilizzare legnami conformi alle norme armonizzate dalla serie UNI EN 14080 (per legno lamellare incollato), recanti la marcatura CE.

In sede di progettazione si sono assunti i seguenti valori nominali delle proprietà del materiale:

LEGNO LAMELLARE - UNI EN 14080:2013																
CLASSI DI RESISTENZA		GL20h	GL22h	GL24h	GL26h	GL28h	GL30h	GL32h	GL20C	GL22C	GL24C	GL26C	GL28C	GL30C	GL32C	
Resistenza [MPa]																
flessione		$f_{m,k}$	20	22	24	26	28	30	32	20	22	24	26	28	30	32
trazione parallela alla fibratura		$f_{t,0,k}$	16	17.6	19.2	20.8	22.3	24	25.6	15	16	17	19	19.5	19.5	19.5
trazione perpendicolare alla fibratura		$f_{t,90,k}$	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
compressione parallela alla fibratura		$f_{c,0,k}$	20	22	24	26	28	30	32	18.5	20	21.5	23.5	24	24.5	24.5
compressione perpendicolare alla fibratura		$f_{c,90,k}$	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
taglio		$f_{v,k}$	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Modulo elastico [Gpa]																
modulo elastico medio parallelo alle fibre		$E_{0,mean}$	8.4	10.5	11.5	12.1	12.6	13.6	14.2	10.4	10.4	11	12	12.5	13	13.5
modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre		$E_{0,05}$	7	8.8	9.6	10.1	10.5	11.3	11.8	8.6	8.6	9.1	10	10.4	10.8	11.2
modulo elastico medio perpendicolare alle fibre		$E_{90,mean}$	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
modulo di taglio medio		G_{mean}	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
Massa volumetrica [kg/m³]																
massa volumetrica caratteristica		ρ_k	340	370	385	405	425	430	440	355	355	365	385	390	390	400

coefficiente di resistenza - NTC 2018						
Valori di k_{mod} per legno strutturale						
Materiale	Classe di servizio	Classe di durata del carico				
		P	L	M	B	I
Legno massiccio Legno lamellare incollato pannelli di tavole incollate a strati incrociati	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

coefficiente di deformazione - NTC 2018		
Valori di k_{def} per legno strutturale		
Materiale	Classe di servizio	
	1	2
Legno massiccio	0.60	0.80
Legno lamellare incollato	0.60	0.80
pannelli di tavole incollate a strati incrociati	0.60	0.80

coefficienti parziali dei materiali	
Stati limite ultimi	
Materiale	γ_M
legno massiccio	1.50
legno lamellare incollato	1.45
pannelli di tavole incollate a strati incrociati	1.45
unioni	1.50
combinazioni eccezionali	1.00

Inoltre, sono stati assunti, sempre in sede di progettazione, i valori nominali delle tensioni caratteristiche f_{mk} e f_{vk} .

3.4.1 Legno GL24h

$f_{mk} = 24 \text{ N/mm}^2$	Resistenza caratteristica a flessione
$f_{vk} = 3,5 \text{ N/mm}^2$	Resistenza caratteristica a taglio
$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$	Resistenza caratteristica compressione perpendicolare alla fibratura
massa volumica caratteristica	385 daN/mc

3.5 REQUISITI E CONTROLLI

Tutti i materiali impiegati dovranno rispondere ai requisiti del D.M. sopracitato, ed in corso d'opera dovranno essere effettuati i previsti controlli, con modalità e prelievi previsti dal D.M. applicativo della Legge vigente.

4 SICUREZZA E PRESTAZIONI ATTESE

4.1 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

Per la valutazione della sicurezza del seguente progetto si sono adottati criteri semiprobabilistici agli stati limite, ovvero la sicurezza strutturale è stata verificata tramite il confronto tra la resistenza e l'effetto delle azioni.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite di resistenza è stata effettuata con il metodo dei coefficienti parziali di sicurezza espresso dalla equazione formale: $R_d \geq E_d$

Dove

R_d è la resistenza di progetto valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali ed ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate

E_d è il valore di progetto dell'effetto delle azioni, valutato in base ai valori di progetto.

4.2 VITA NOMINALE

La vita nominale V_N dell'opera strutturale in esame è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purchè soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata.

La vita nominale, ripresa in tabella 2.4.I del D.M. 17 Gennaio 2018, è ≥ 100 anni

4.3 CLASSE D'USO

L'opera strutturale in oggetto è classificata nella Classe IV, secondo la suddivisione adottata dal D.M. 17 Gennaio 2018.

5 VITA NOMINALE CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

L'azioni sismiche sull'opera strutturale in oggetto è stata valutata in relazione ad un periodo di riferimento V_R , ricavato moltiplicando la Vita Nominale per il coefficiente d'uso C_U .

Il Coefficiente d'uso C_U è definito al variare della Classe d'uso, come indicato nella tabella 2.4.II del D.M. 17 Gennaio 2018.

Nel presente caso

$V_N = 100$ anni

$C_U = 2,0$

$V_R = 200$ anni

6 DESCRIZIONE DELLE OPERE

6.1 CARATTERISTICHE GENERALI DELLA STRUTTURA

Per la descrizione si rimanda a quanto affermato in premessa e agli elaborati grafici allegati.

7 ANALISI DEI CARICHI

7.1 PESI PROPRI (G1)

-	peso specifico legno lamellare	420 daN/m ³
-	peso specifico legno xlam	500 daN/m ³

7.2 CARICHI PERMANENTI - SOLAIO DI COPERTURA (G2)

In fase di progetto sono stati assunti i seguenti carichi:

-	peso pannello isolante	80 daN/m ²
-	peso impianti	40 daN/m ²

7.3 CARICHI PERMANENTI – PARETI PERIMETRALI

In fase di progetto sono stati assunti i seguenti carichi:

-	peso pannello isolante	50 daN/m ²
---	------------------------	-----------------------

7.4 AZIONE DEL VENTO

Le azioni individuate dal DM 2018 e dalla relativa circolare esplicativa prevedono:

Velocità base di riferimento

Toscana, Aulla, (Zona 3), altitudine sul livello del mare circa 70 m < 500 m s.l.m

$$V_{b,0} = 27,0 \text{ m/s} \quad a_0 = 500 \text{ m} \quad K_s = 0,37$$

$$a_s < a_0 \quad c_a = 1,00$$

$$V_b = V_{b,0} c_a = 28,00 \text{ m/s}$$

Dalla CNR-DT 2207/2018 "Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni"

(Appendice A):

Si definisce periodo di ritorno di riferimento $T_{R,0}$ il valore maggiore fra il periodo di ritorno convenzionale T_0 riportato nella Tabella A.I e la vita nominale della costruzione V_N :

$$T_{R,0} = \max \{T_0, V_N\} \quad (\text{A.1})$$

Tabella A.I – Periodo di ritorno convenzionale T_0 .

Proprietà della costruzione	T_0 (anni)
Costruzione provvisoria, in fase di realizzazione o di demolizione, purché il periodo T in cui sussiste tale stato sia:	
$T \leq 3$ mesi	5
$T \leq 1$ anno	10
Per le costruzioni provvisorie, è necessario che sia minore di T la somma di tutti i successivi periodi nei quali la costruzione è riutilizzata.	
Costruzione ordinaria	50
Costruzione di rilevante importanza	100
Costruzione di importanza strategica	200

Laddove le presenti Istruzioni non forniscano diverse indicazioni, o non sussistano specifiche norme, o non si applichino considerazioni opportunamente motivate e documentate, si raccomanda di attribuire al periodo di ritorno di progetto T_R i valori del periodo di ritorno di riferimento $T_{R,0}$ definiti dall'Eq. (A.1), quindi $T_R = T_{R,0}$.

La velocità di riferimento di progetto è valutata in funzione del periodo di ritorno, che nel caso in esame, essendo una "costruzione di importanza strategica" è pari a 200 anni.

$$V_r = V_b c_r \quad c_r = 1,125$$

$$V_r = 30,38 \text{ m/s}$$

Categoria di esposizione

Classe di rugosità D, categoria di esposizione sito II

$$K_r = 0,19 \quad z_o (\text{m}) = 0,05 \quad z_{\min} = 4 \text{ m}$$

Coefficiente di topografia

Si assume un coefficiente di topografia $C_t = 1,0$

Pressione cinetica di riferimento

$$\phi = 1,25 \text{ Kg/m}^3$$

$$q_b = 1/2 \phi V_r^2 = 576,69 \text{ N/m}^2$$

Azione del vento

$$C_e (z=5,4) = K_r^2 C_t \ln (z/z_o) (7 + C_t \ln (z/z_o)) = 1,97 \quad \text{coeff. di esposizione}$$

La distribuzione delle pressioni interne è quella di un edificio a porosità distibuita in maniera circa uniforme, la copertura è a falda singola con inclinazione di 6°. Nel seguito si riportano i coefficienti di pressione ottenuti, sia per la copertura che per le pareti. Nel caso delle pareti cautelativamente si considera il valore massimo ottenuto nelle due direzioni.

• Falda:	$C_{p_sopravento} = 0,08$	coeff. di forma
	$C_{p_sottovento} = -0,72$	coeff. di forma
• Pareti:	$C_{p_sopravento} = 0,75$	coeff. di forma
	$C_{p_sottovento} = -0,34$	coeff. di forma

$$C_d = 1,0 \quad \text{coeff. dinamico}$$

La pressione sulle pareti verticali è:

$$P_{sopravento} = q_b C_e (C_{p_sopravento}) C_d = 119,22 \text{ daN/m}^2$$

$$P_{sottovento} = q_b C_e (C_{p_sottovento}) C_d = 16,28 \text{ daN/m}^2$$

La pressione sulla falda è:

$$P_{sopravento} = q_b C_e (C_{p_sopravento}) C_d = 47,83 \text{ daN/m}^2$$

$$P_{sottovento} = q_b C_e (C_{p_sottovento}) C_d = 104,76 \text{ daN/m}^2$$

7.5 CARICO NEVE

Il carico neve è riferito alla proiezione orizzontale,

Comune di Aulla, l'altitudine è minore di 200 m s.l.m, zona II

$$q_{sk} = 100 \text{ daN/m}^2 \quad \text{riferito ad un tempo di ritorno di 50 anni}$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = 6^\circ$$

$$\text{Coefficiente di forma} \quad \mu_1 = 0,8$$

$$\text{Coefficiente di esposizione} \quad C_E = 1$$

$$\text{Coefficiente termico} \quad C_t = 1$$

$$q = \mu_1 q_{sk} C_E C_t = 0,8 \times 100 \text{ daN/m}^2 \times 1 \times 1 = 80 \text{ daN/m}^2$$

Nella zona del corpo centrale è necessario valutare l'accumulo della neve in corrispondenza delle sporgenze :

$$\mu_2 = \gamma h / q_{sk} = 3,7 \text{ con } 0,8 < \mu_2 < 2,0 \quad \text{si pone } \mu_2 = 2,0$$

In corrispondenza del corso di collegamento il carico neve è pari a $q = \mu_1 \mu_2 q_{sk} C_E C_t = 160 \text{ daN/m}^2$

7.6 CARICO VARIABILE ISPEZIONE

Il carico da considerare in alternativa alla neve è quello per coperture accessibili per sola manutenzione Cat. H 50 daN/m² molto inferiore al carico neve. E' pratica comune non combinare tale carico con il carico neve.

Nella combinazione sismica entrambi sarebbero trascurati in quanto i coeff di partecipazione Tab.2.5.I delle NTC2018 sono nulli.

8 COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni sono state definite nel rispetto del D.M. 2018, che prevede quanto segue:

– Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G1 + \gamma_{G2} \cdot G2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Qk1 + \gamma_{Q2} \cdot \Psi_{02} \cdot Qk2 + \gamma_{Q3} \cdot \Psi_{03} \cdot Qk3 + \dots$$

– Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G1 + G2 + P + Qk1 + \Psi_{02} \cdot Qk2 + \Psi_{03} \cdot Qk3 + \dots$$

– Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G1 + G2 + P + \Psi_{11} \cdot Qk1 + \Psi_{22} \cdot Qk2 + \Psi_{23} \cdot Qk3 + \dots$$

– Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G1 + G2 + P + \Psi_{21} \cdot Qk1 + \Psi_{22} \cdot Qk2 + \Psi_{23} \cdot Qk3 + \dots$$

– Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica:

$$E + G1 + G2 + P + \Psi_{21} \cdot Qk1 + \Psi_{22} \cdot Qk2 + \dots$$

Tab. 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E - Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I - Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K - Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

gG1 coefficiente parziale del peso proprio della struttura, nonché del peso proprio del terreno e dell'acqua, quando pertinenti;

gG2 coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;

gQi coefficiente parziale delle azioni variabili.

Nelle verifiche agli SLU si distinguono inoltre:

- lo stato limite di equilibrio come corpo rigido EQU
- lo stato limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione: STR
- lo stato limite di resistenza del terreno: GEO

Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente γ_F	EQU	A1	A2
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_Q	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

9 ANALISI STRUTTURALE E MODELLAZIONE

Il modello di calcolo è realizzato con il software PRO_SAP, di cui si allegano le caratteristiche, titolo, autore, licenza e quanto altro.

I pannelli Xlam che costituiscono le pareti portanti sono stati modellati tramite elementi D3. La stratigrafia effettiva del pannello è stata inserita nel software che è in grado di calcolare i moduli elastici equivalenti, necessari nell'effettuare l'analisi globale, e di considerare i vari strati e la relativa direzione delle fibre, nelle analisi di resistenza.

Strato	Materiale	Spessore	E0	G0	E90	G90	fc0 k	f0 k	fm0 k	fv0 k	fc90 k	f90 k	froll k	Peso
n. 1		2.00	110000.00	6900.00	3700.00	690.00	210.00	140.00	240.00	40.00	25.00	4.00	8.00	0.0005
n. 2		2.00	110000.00	6900.00	3700.00	690.00	210.00	140.00	240.00	40.00	25.00	4.00	8.00	0.0005
n. 3		2.00	110000.00	6900.00	3700.00	690.00	210.00	140.00	240.00	40.00	25.00	4.00	8.00	0.0005
n. 4		2.00	110000.00	6900.00	3700.00	690.00	210.00	140.00	240.00	40.00	25.00	4.00	8.00	0.0005
n. 5		2.00	110000.00	6900.00	3700.00	690.00	210.00	140.00	240.00	40.00	25.00	4.00	8.00	0.0005

Fig. Definizione della stratigrafia per pannelli Xlam uso PARETE (unità di misura: F [daN]; l [cm])

Strato	Materiale	Spessore	E0	G0	E90	G90	fc0 k	f0 k	fm0 k	fv0 k	fc90 k	f90 k	froll k	Peso
n. 1		4.00	110000.00	6900.00	3700.00	690.00	210.00	140.00	240.00	40.00	25.00	4.00	8.00	0.0005
n. 2		2.00	110000.00	6900.00	3700.00	690.00	210.00	140.00	240.00	40.00	25.00	4.00	8.00	0.0005
n. 3		4.00	110000.00	6900.00	3700.00	690.00	210.00	140.00	240.00	40.00	25.00	4.00	8.00	0.0005
n. 4		2.00	110000.00	6900.00	3700.00	690.00	210.00	140.00	240.00	40.00	25.00	4.00	8.00	0.0005
n. 5		4.00	110000.00	6900.00	3700.00	690.00	210.00	140.00	240.00	40.00	25.00	4.00	8.00	0.0005

Fig. Definizione della stratigrafia per pannelli Xlam uso SOLAIO (unità di misura: F [daN]; l [cm])

Le pareti sono vincolate al piede tramite cerniere distribuite su tutto lo sviluppo.

Il corpo di collegamento è modellato tramite elementi D2 in legno lamellare collegati alle pareti con cerniere e sormontati da un pannello in legno.

L'analisi strutturale è dinamica lineare. La struttura è progettata come non dissipativa e le verifiche di resistenza dei vari elementi strutturali vengono effettuate in campo elastico.

Nel proseguo, nei paragrafi relativi alla modellazione strutturale, si descrivono i vari elementi del modello, i carichi assegnati e quant'altro necessario per l'analisi.

All'interno del programma di calcolo sono stati eseguiti:

- Definizione del tipo di sezioni
- Assegnazione delle sezioni
- Assegnazione dei carichi alla struttura divisi in base alla tipologia definita nei casi di carico

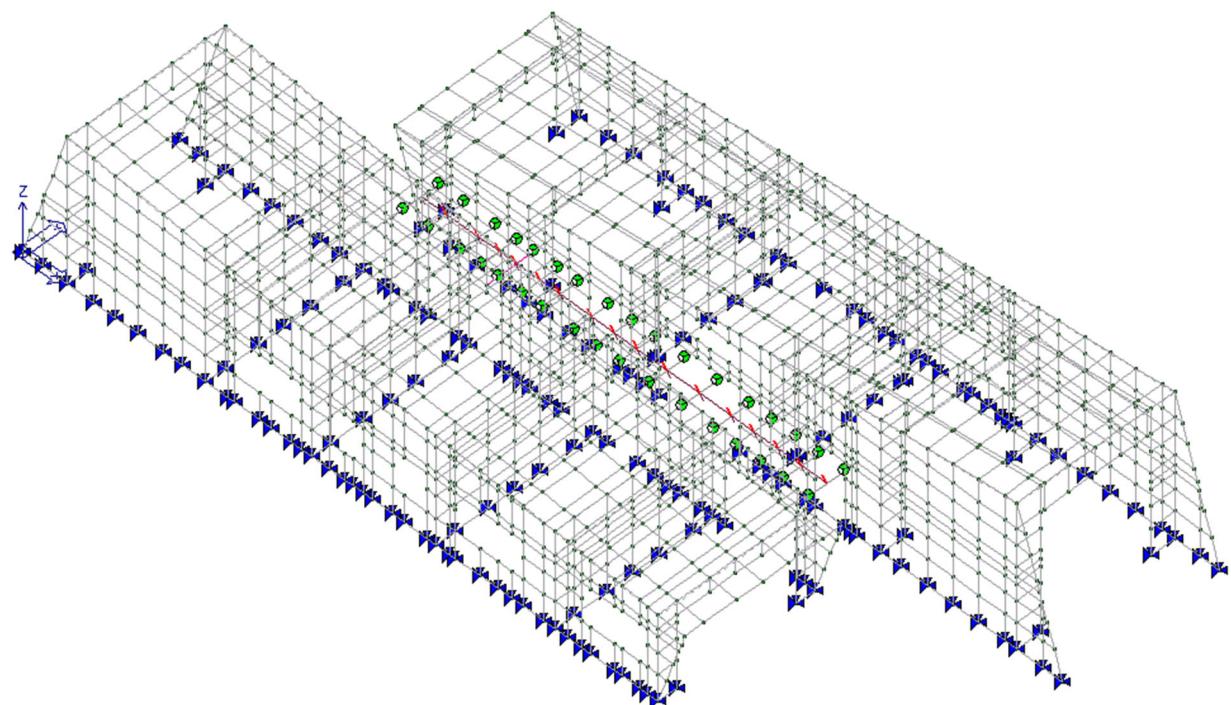


Fig. Modello di calcolo – vista filo di ferro

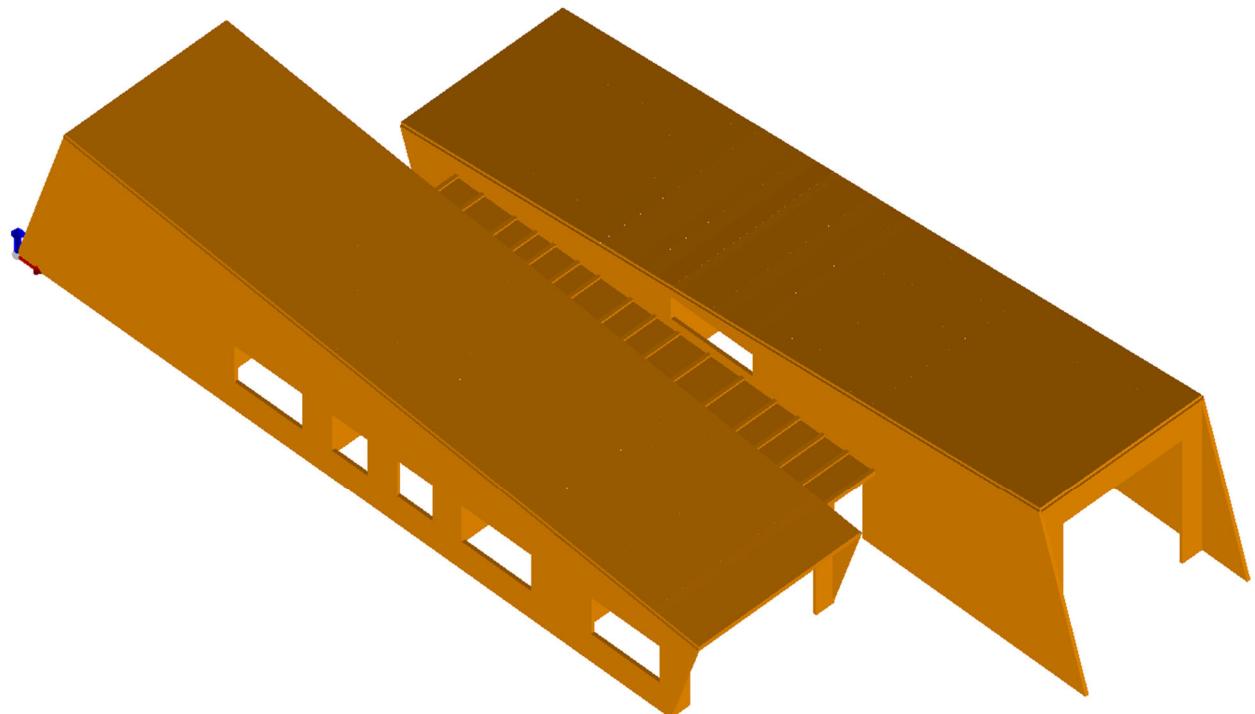


Fig. Modello di calcolo – vista solida

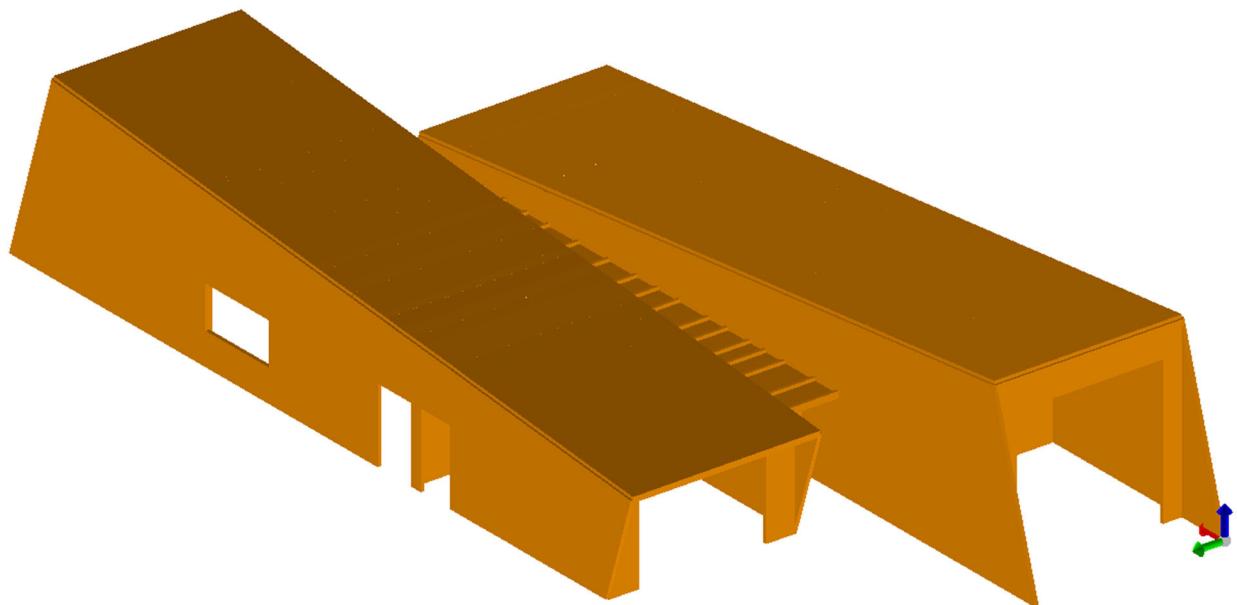


Fig. Modello di calcolo – vista solida

10 VERIFICHE STRUTTURALI

Nel seguito sono riportati sinteticamente i risultati delle verifiche allo Stato Limite Ultimo e allo Stato Limite di Esercizio. Tutte le verifiche risultano soddisfatte. Si rimanda per una disamina più esaustiva al fascicolo di calcolo.

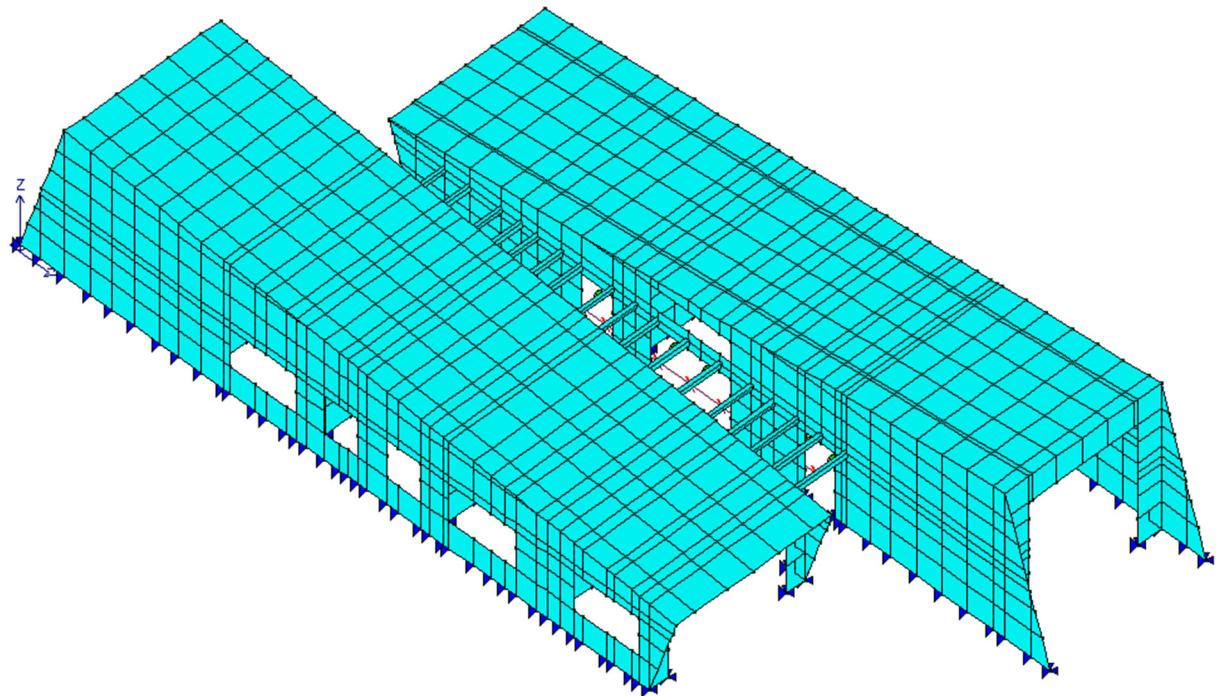


Figura: Verifica degli elementi in legno

(NOTA: elemento verificato AZZURRO

Elemento NON verificato: ROSSO

Elemento non oggetto di verifica: BLU)

10.1 VERIFICHE DEI PANNELLI XLAM

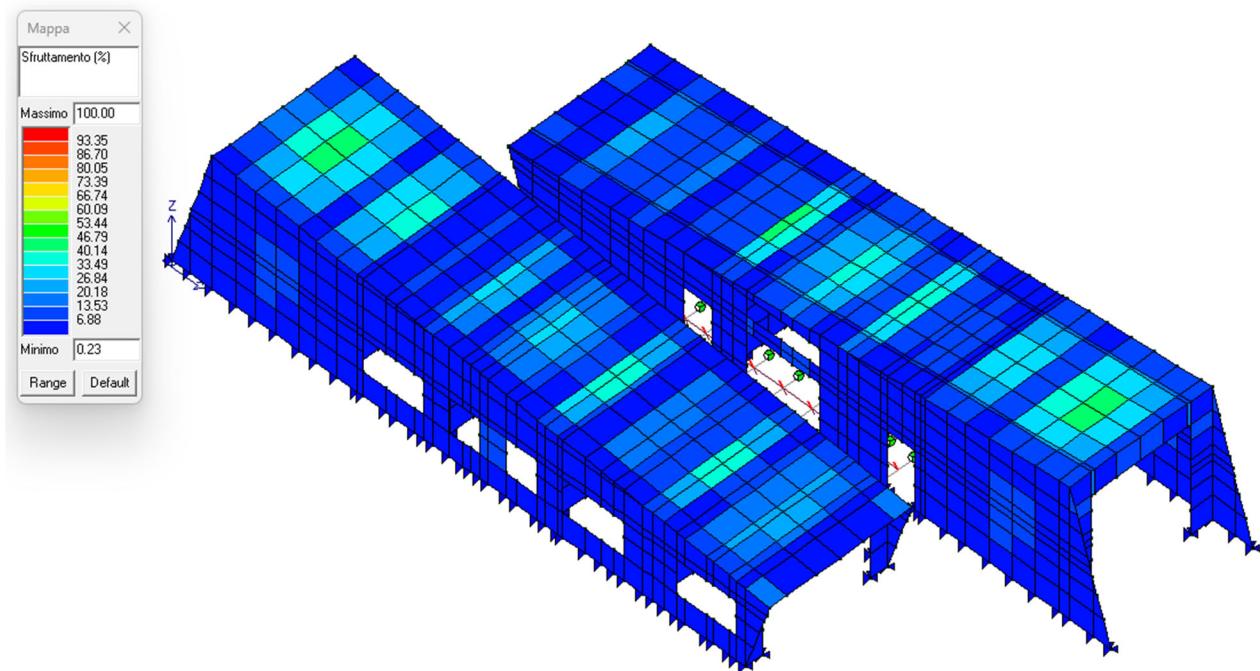


Figura: Verifica dei pannelli -Direzione principale: coeff. Di sfruttamento max 42%

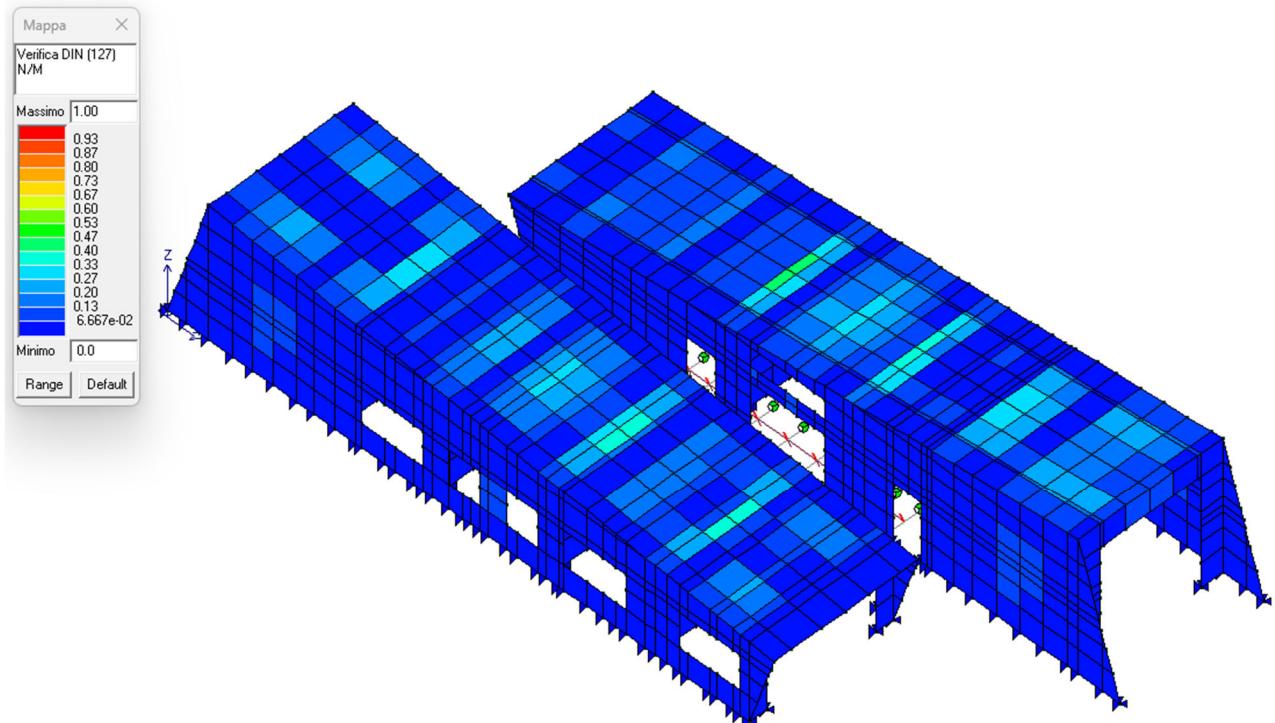


Figura: Verifica dei pannelli -Direzione principale: Verifica a pressoflessione

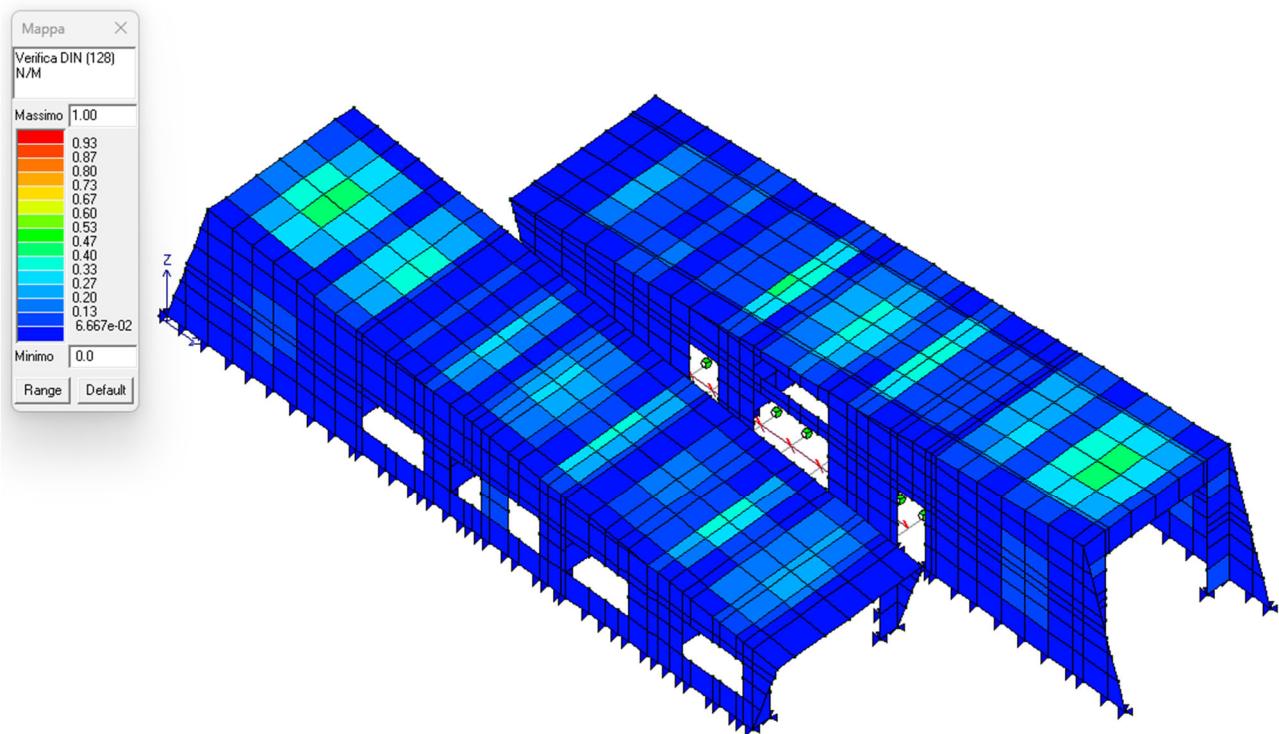


Figura: Verifica dei pannelli -Direzione principale: Verifica a tensoflessione

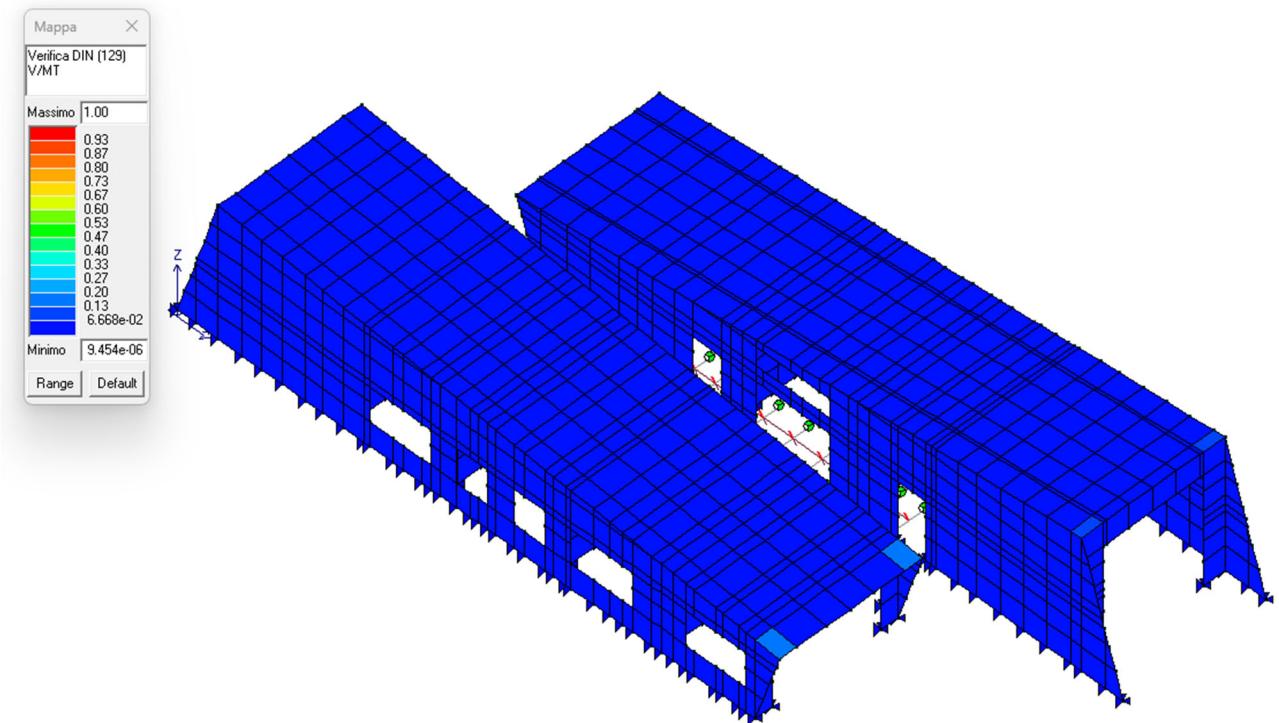


Figura: Verifica dei pannelli -Direzione principale: Verifica a taglio

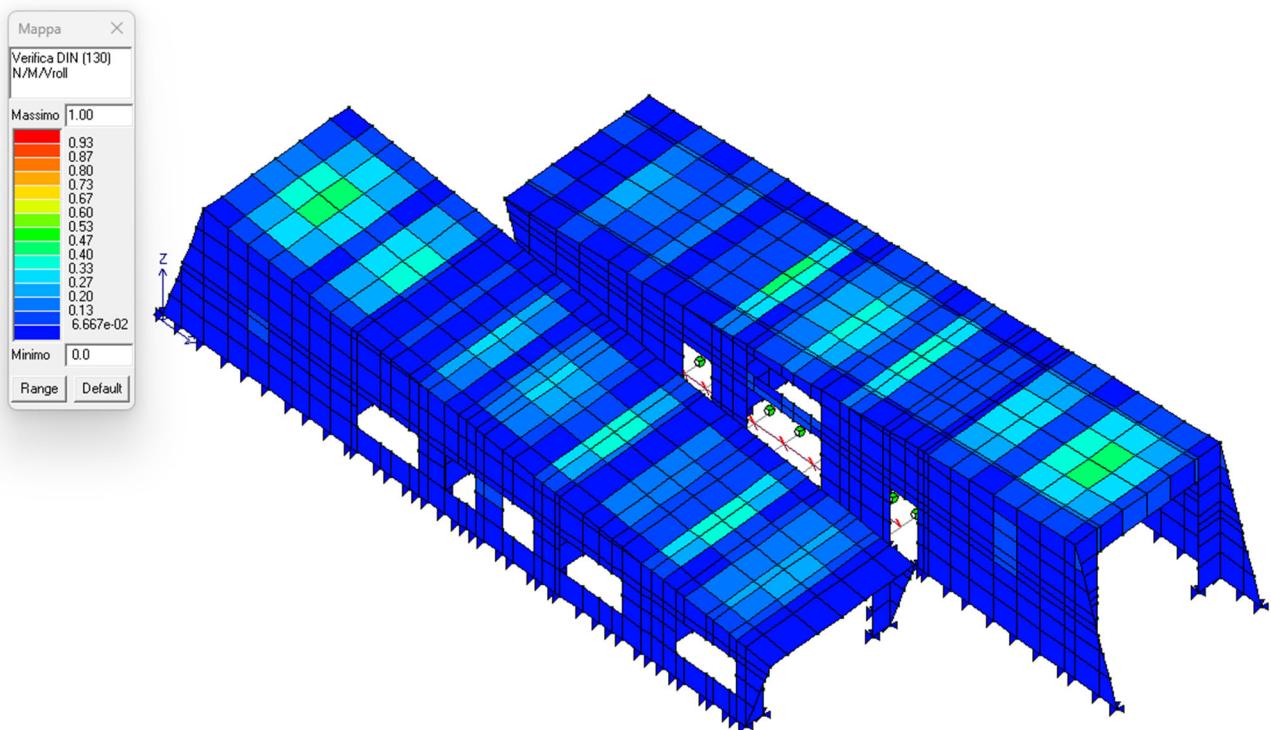


Figura: Verifica dei pannelli -Direzione principale: Verifica combinata pressoflessione – rolling shear

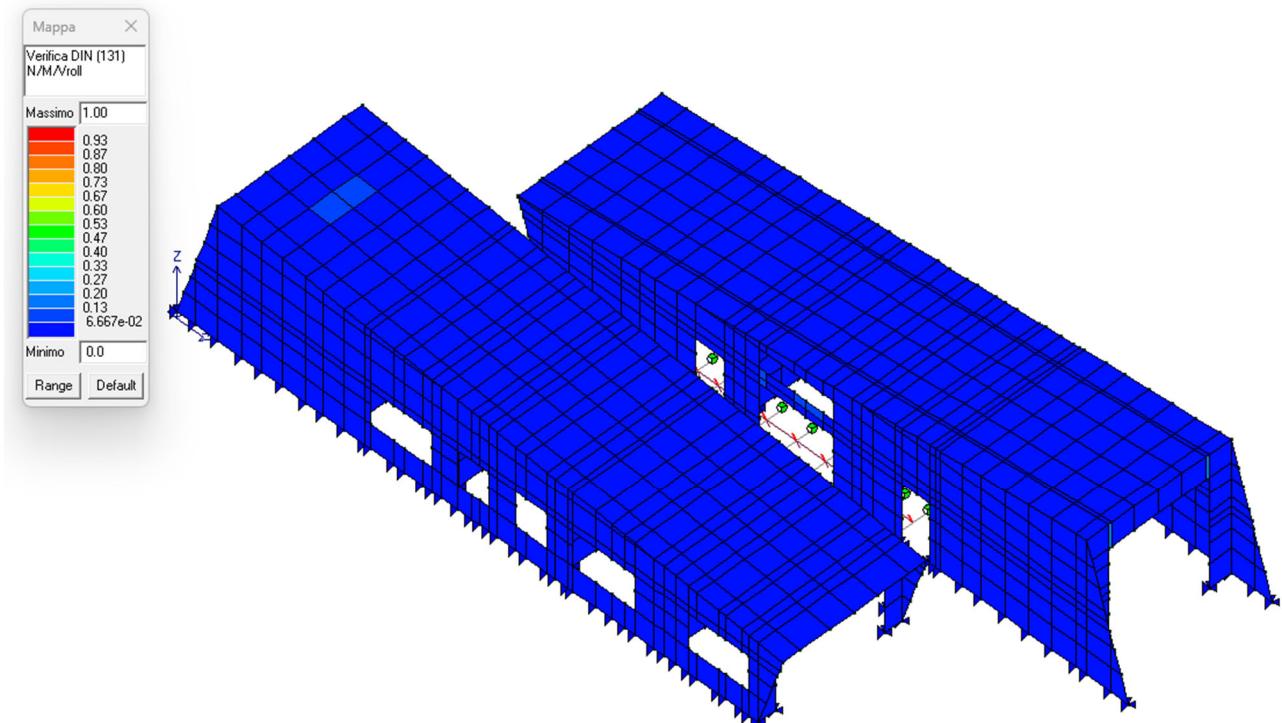


Figura: Verifica dei pannelli -Direzione principale: Verifica combinata tensoflessione – rolling shear

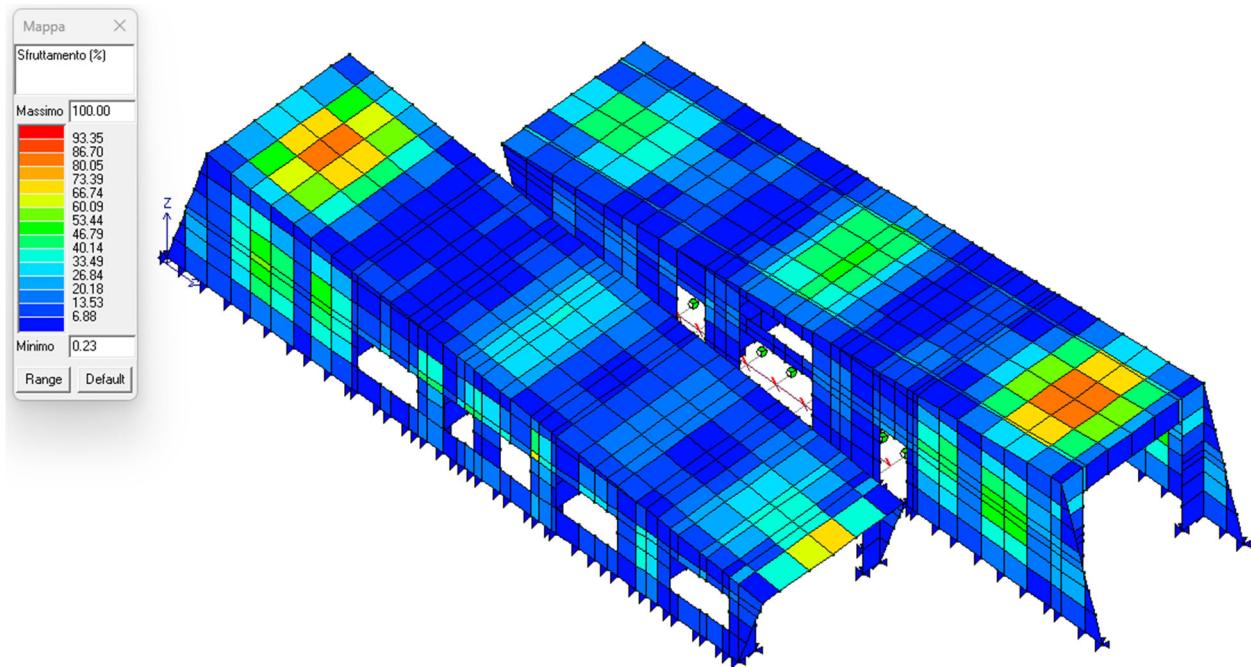


Figura: Verifica dei pannelli -Direzione secondaria: coeff. Di sfruttamento max 85,4%

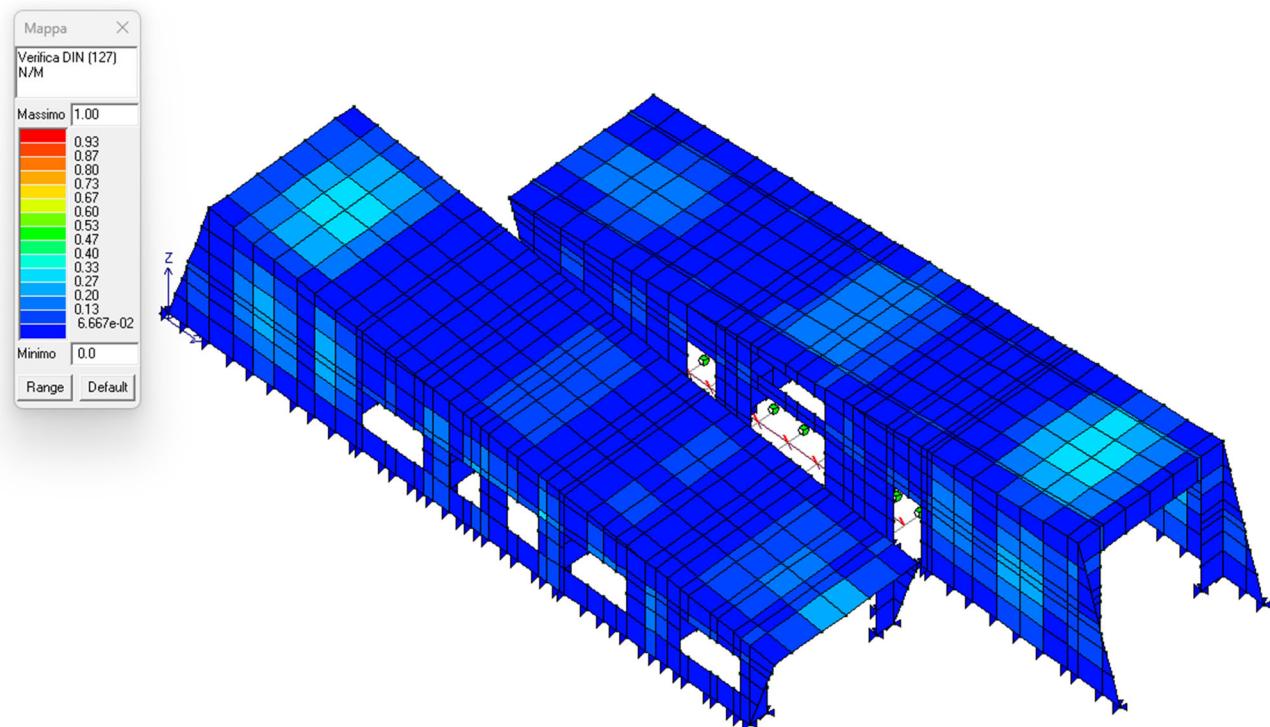


Figura: Verifica dei pannelli -Direzione secondaria: verifica a pressoflessione

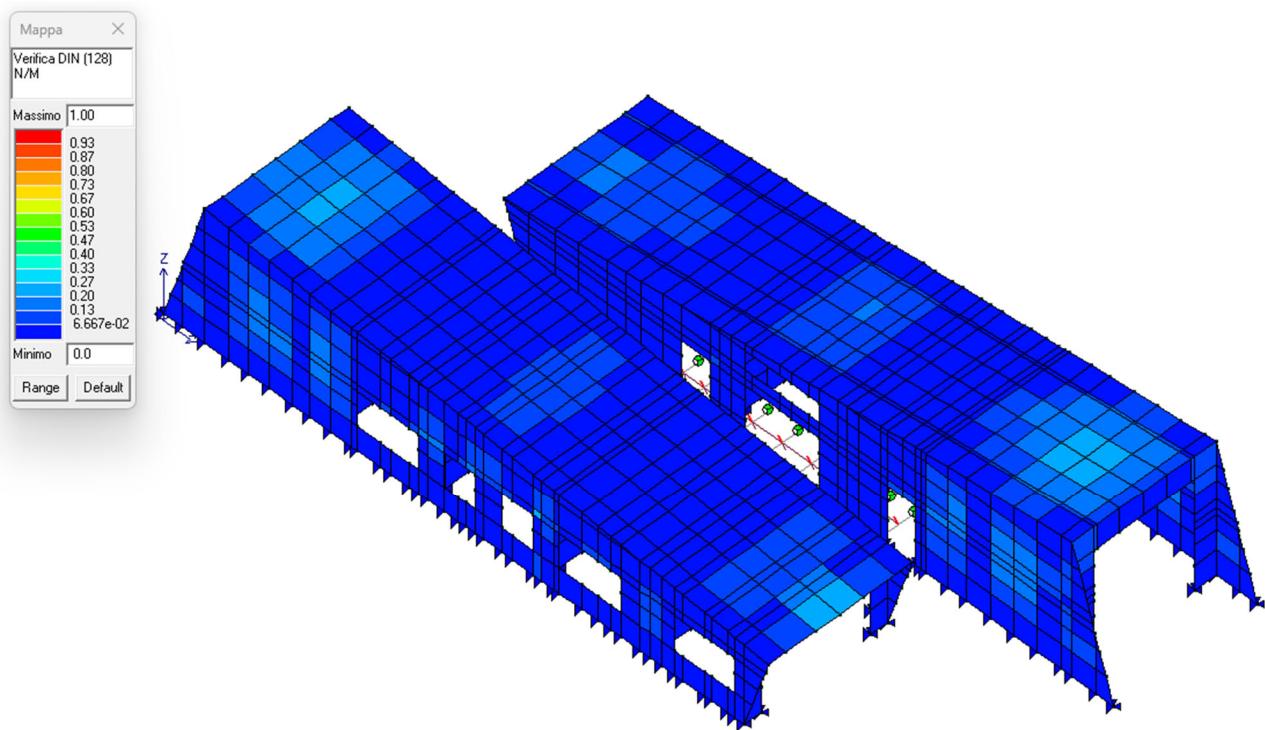


Figura: Verifica dei pannelli -Direzione secondaria: verifica a tensoflessione

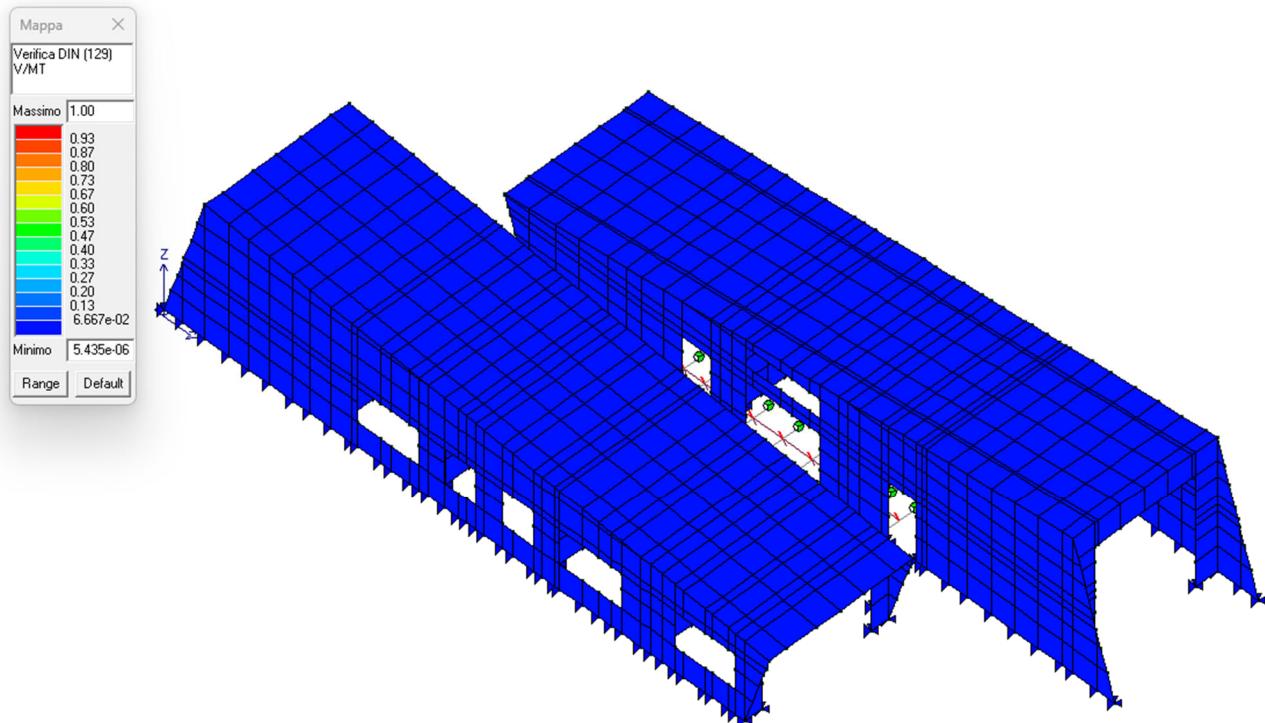


Figura: Verifica dei pannelli -Direzione secondaria: verifica a taglio

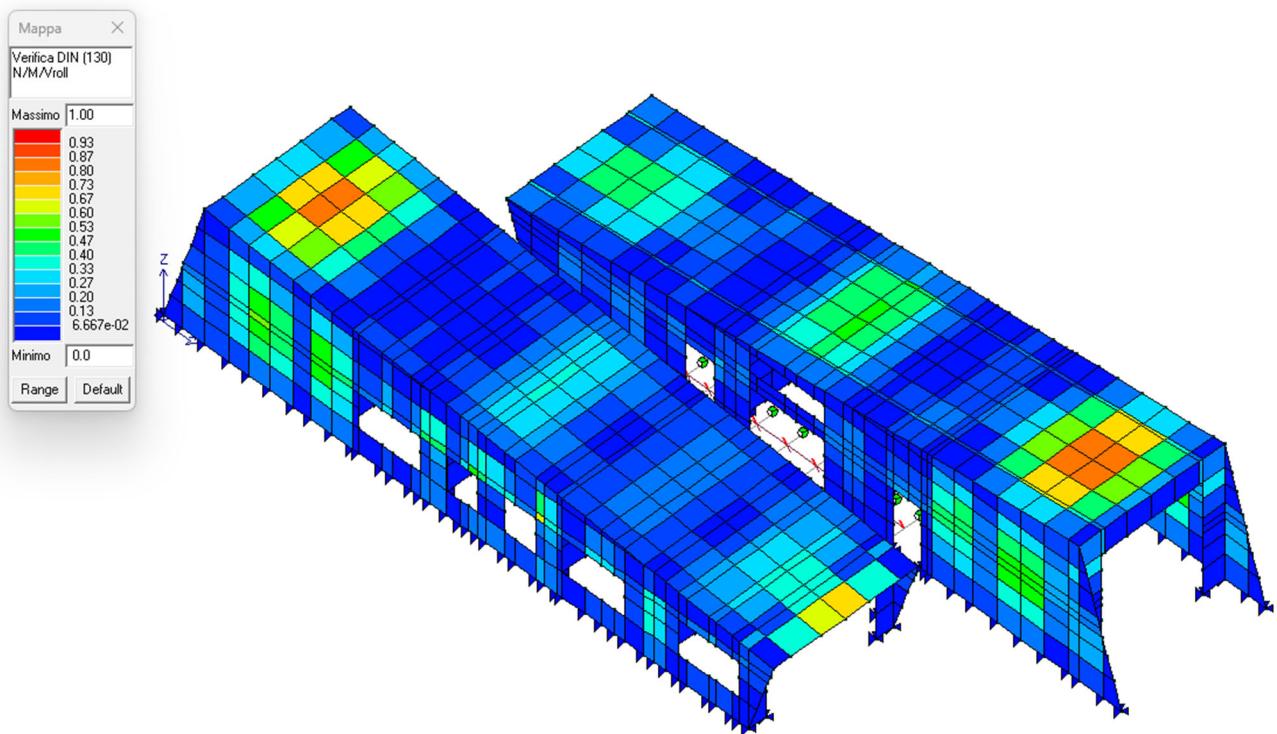


Figura: Verifica dei pannelli -Direzione secondaria: verifica combinata pressoflessione – rolling shear

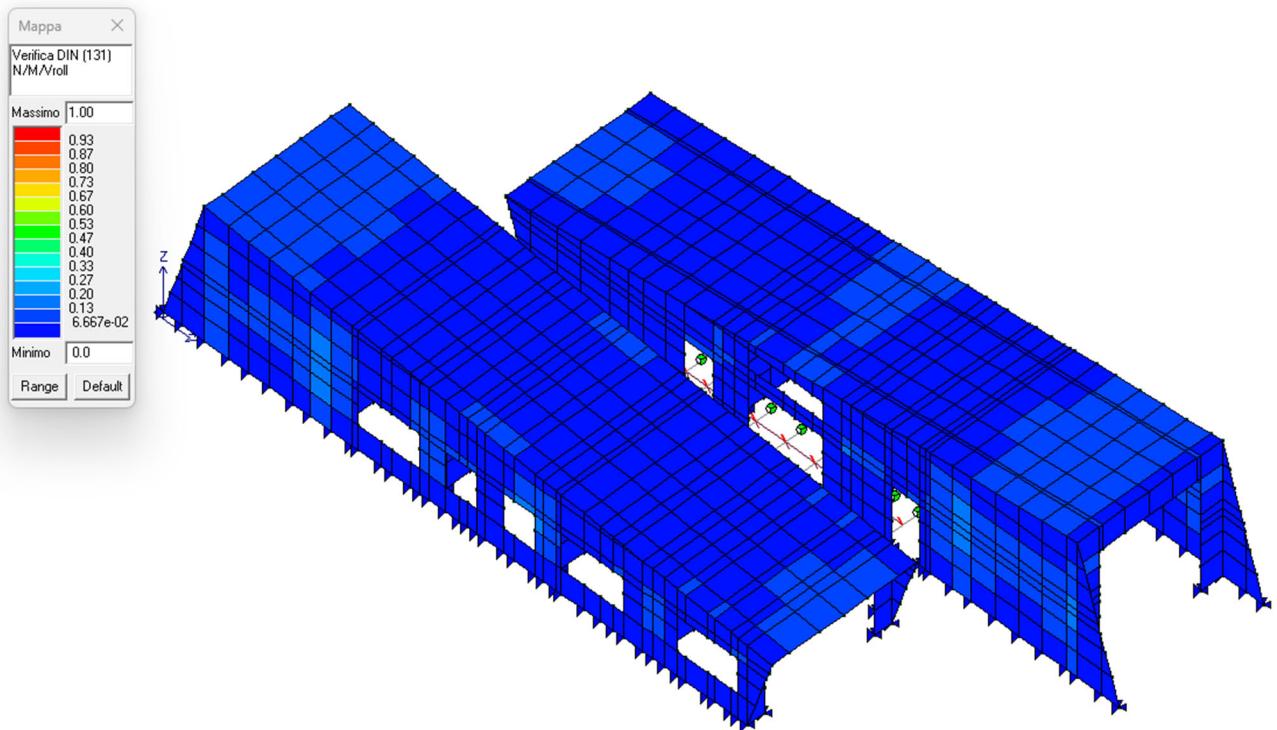


Figura: Verifica dei pannelli -Direzione secondaria: verifica combinata tensoflessione – rolling shear

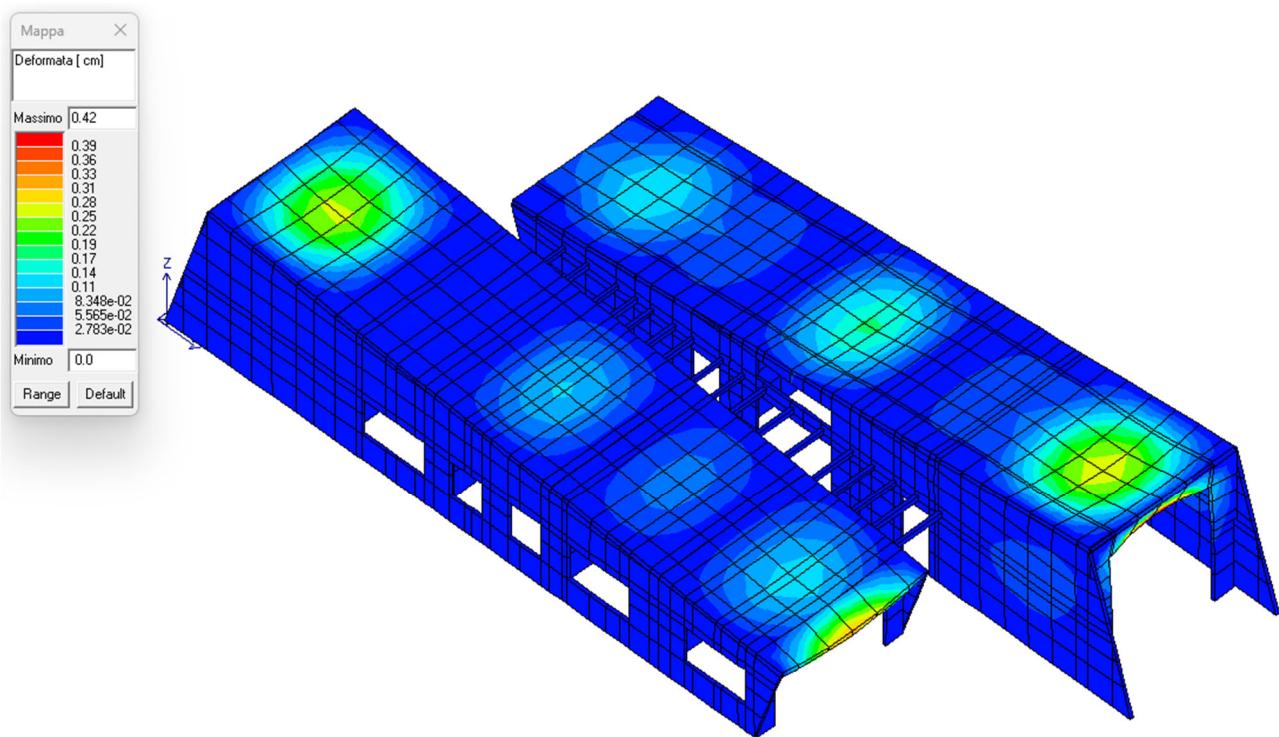


Figura: Deformata SLE (combinazione caratteristica) – spostamenti in cm

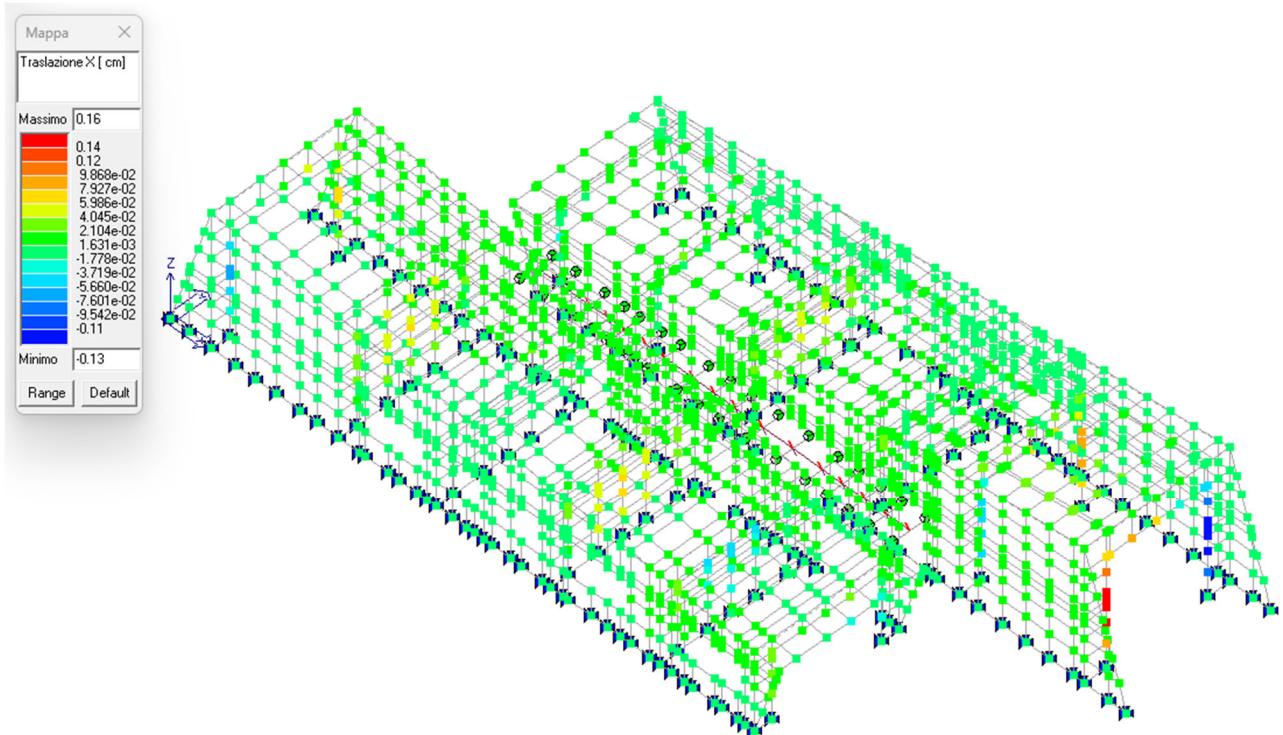


Figura: Deformata SLD – spostamenti in direzione X (cm)

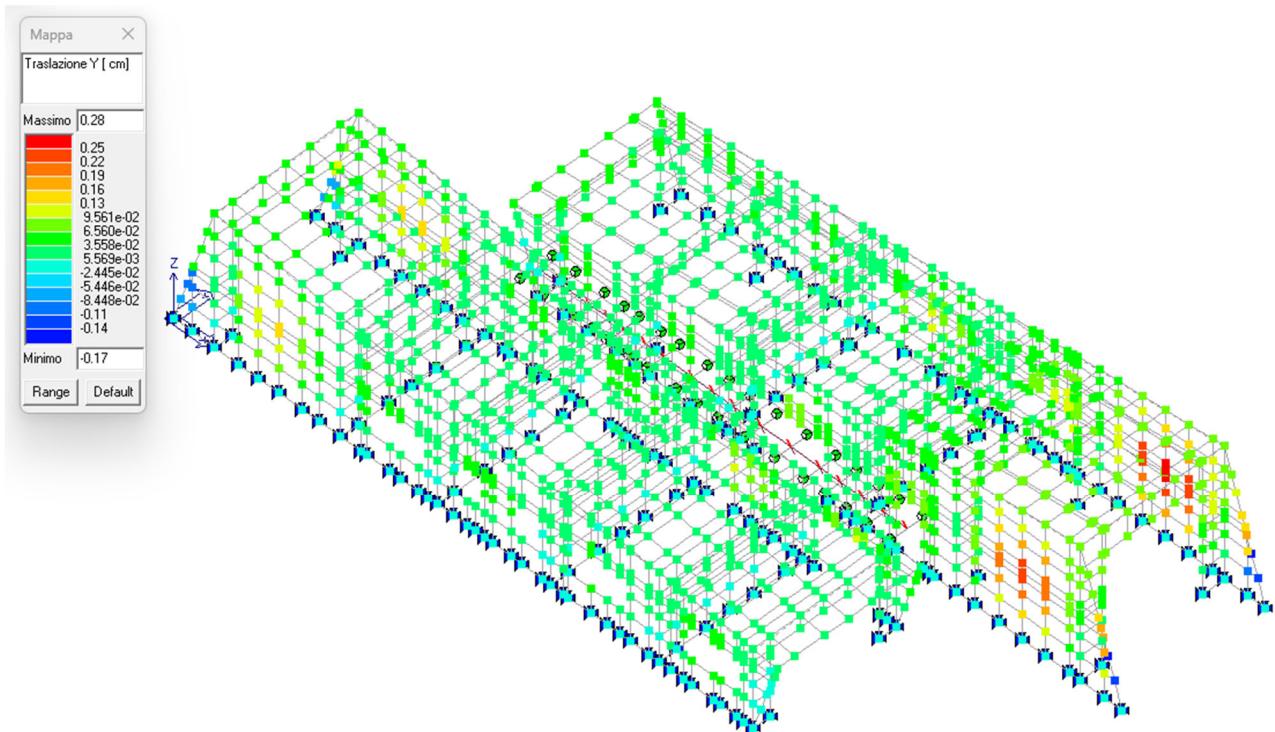


Figura: Deformata SLD – spostamenti in direzione Y (cm)

10.2 VERIFICHE DELLE TRAVI IN LEGNO LAMELLARE

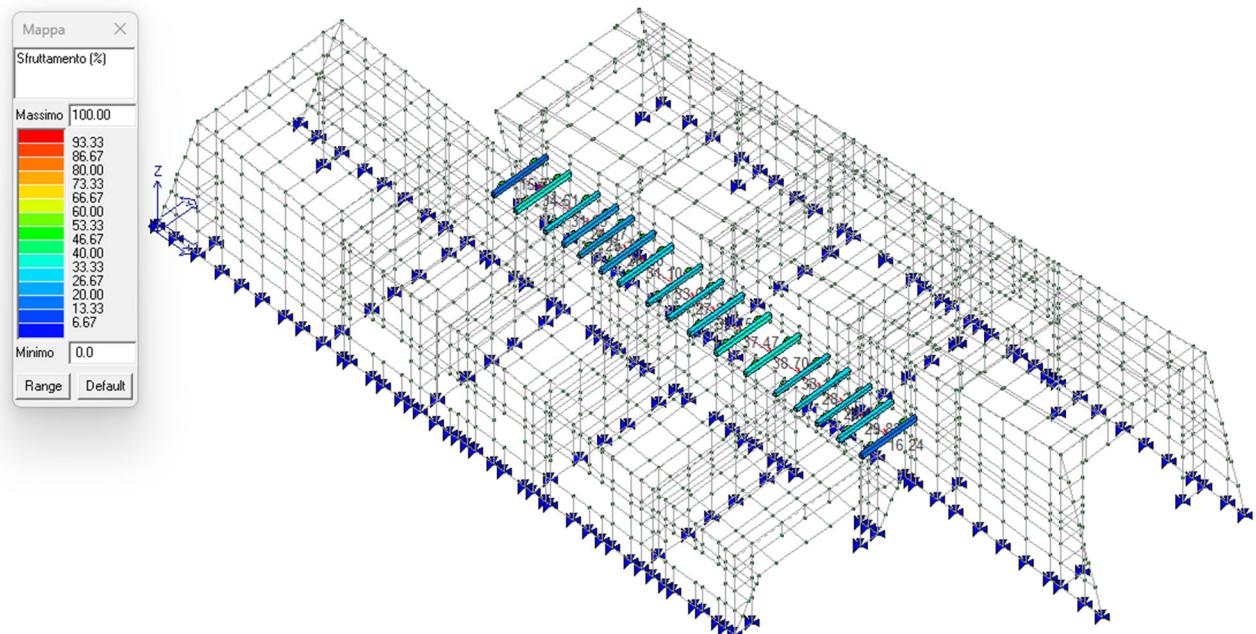


Figura: Verifica delle travi - coeff. Di sfruttamento max 38,7%

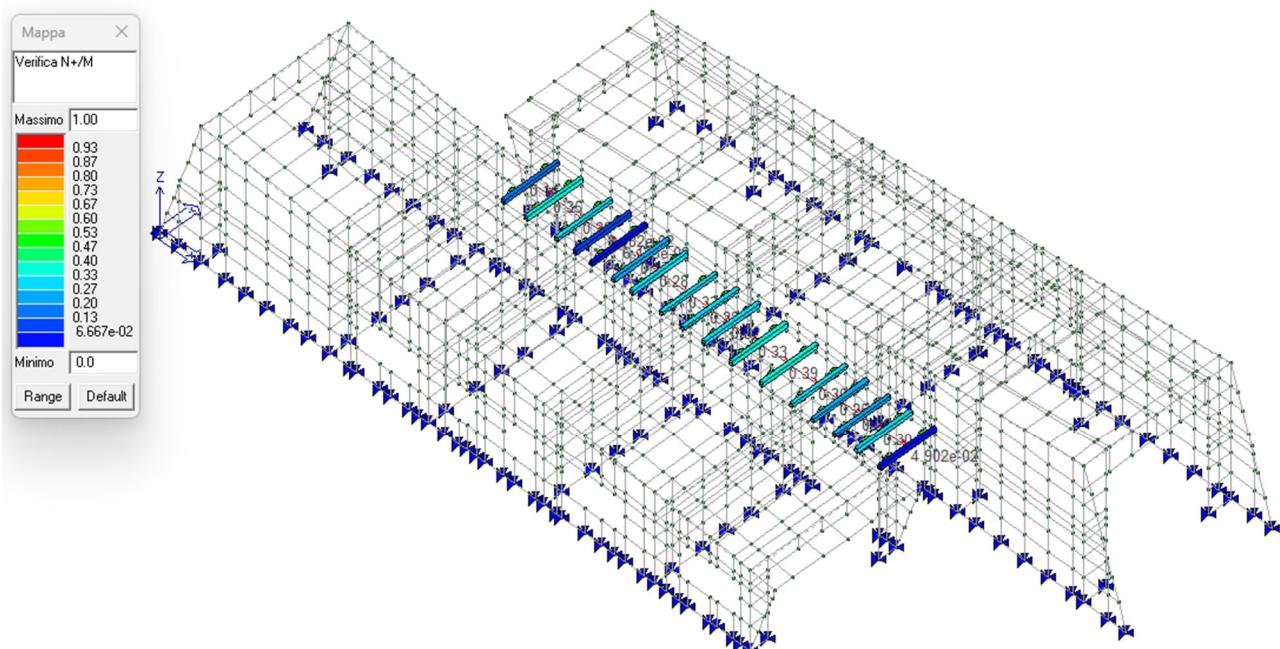


Figura: Verifica delle travi - verifica a pressoflessione

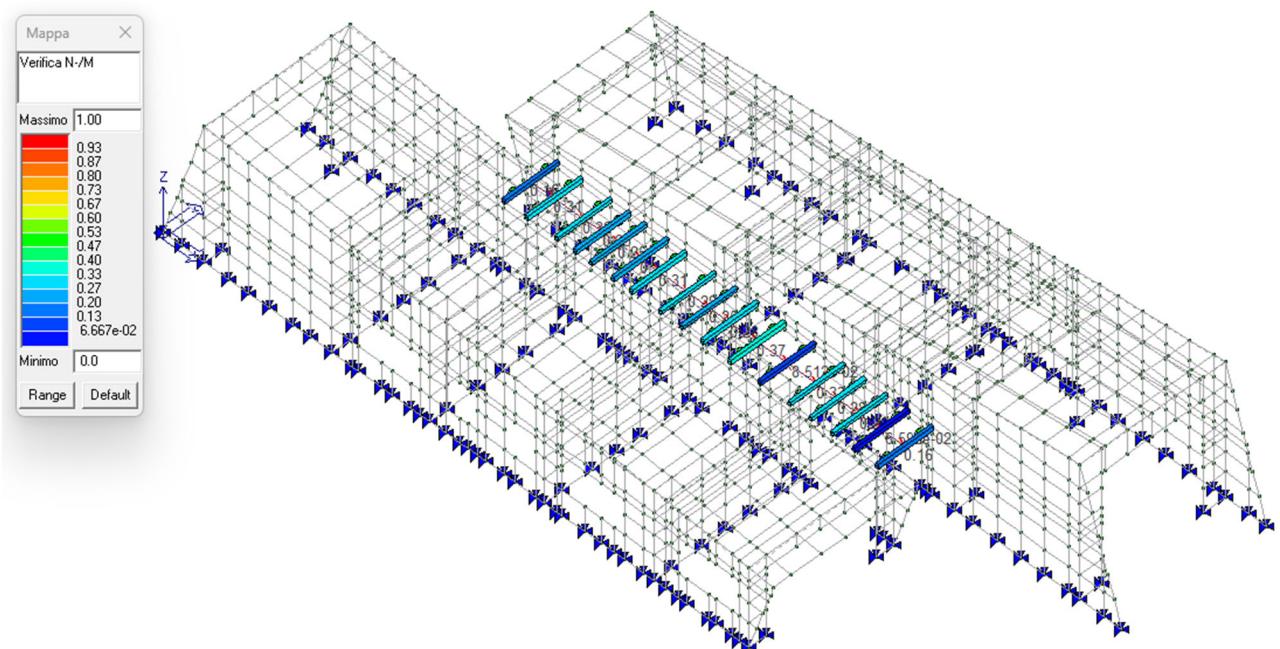
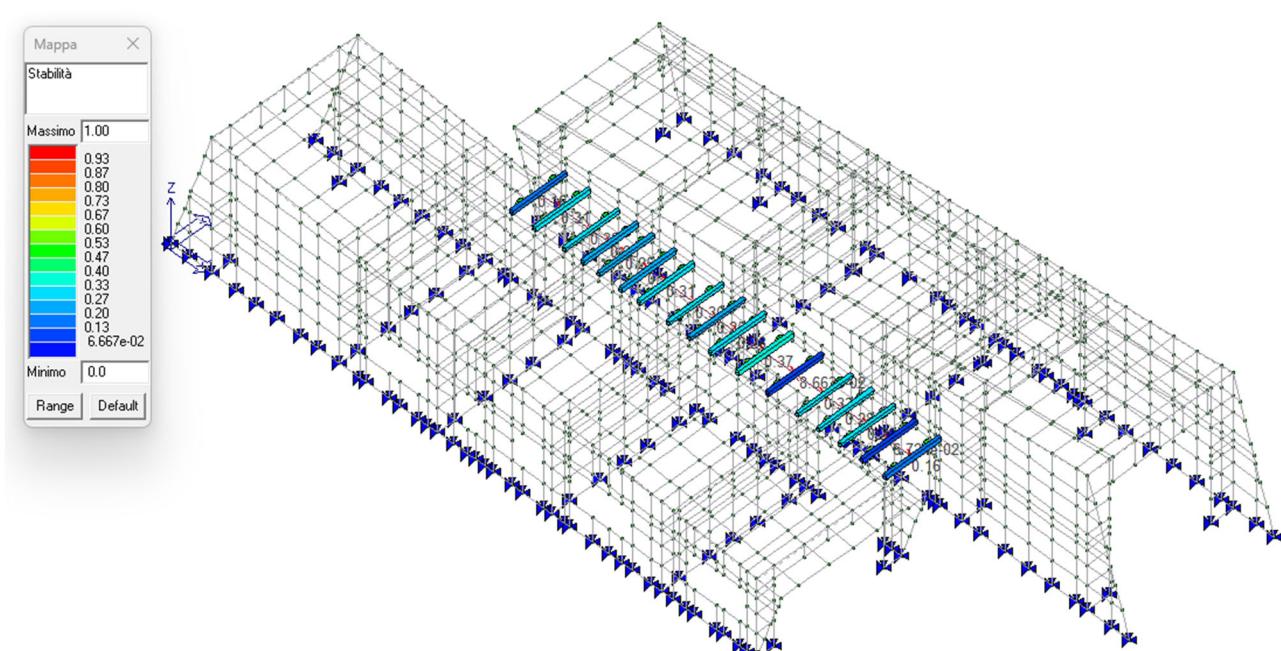
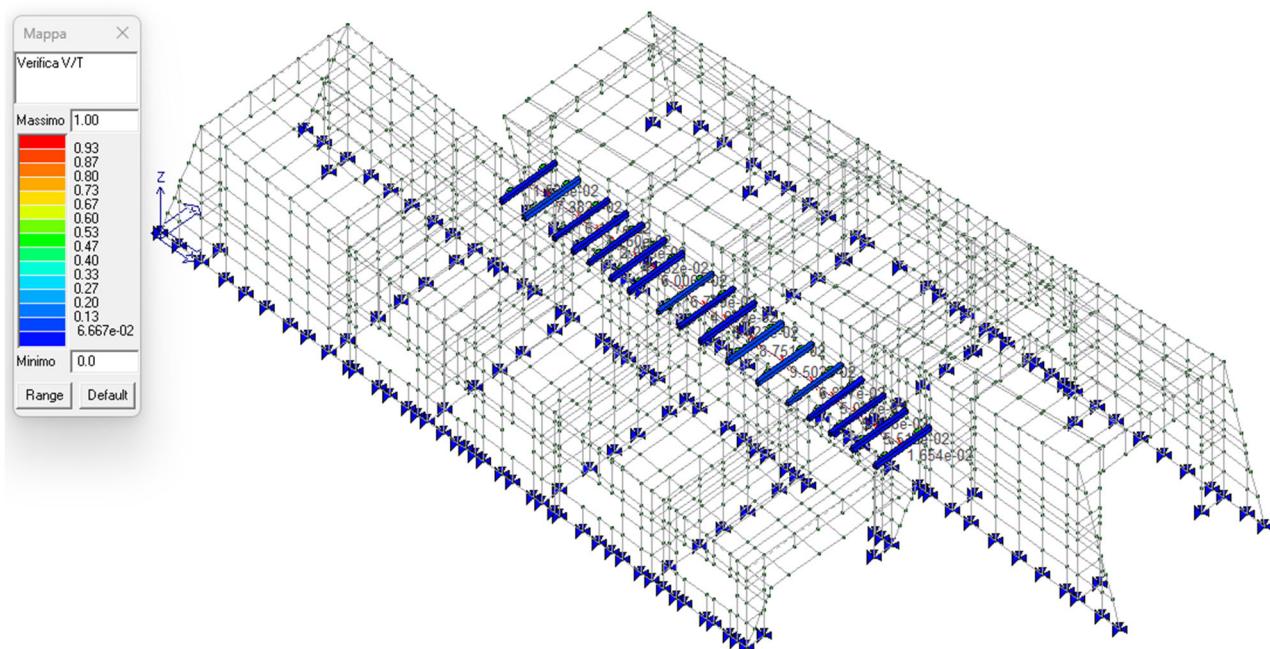


Figura: Verifica delle travi - verifica a tensoflessione



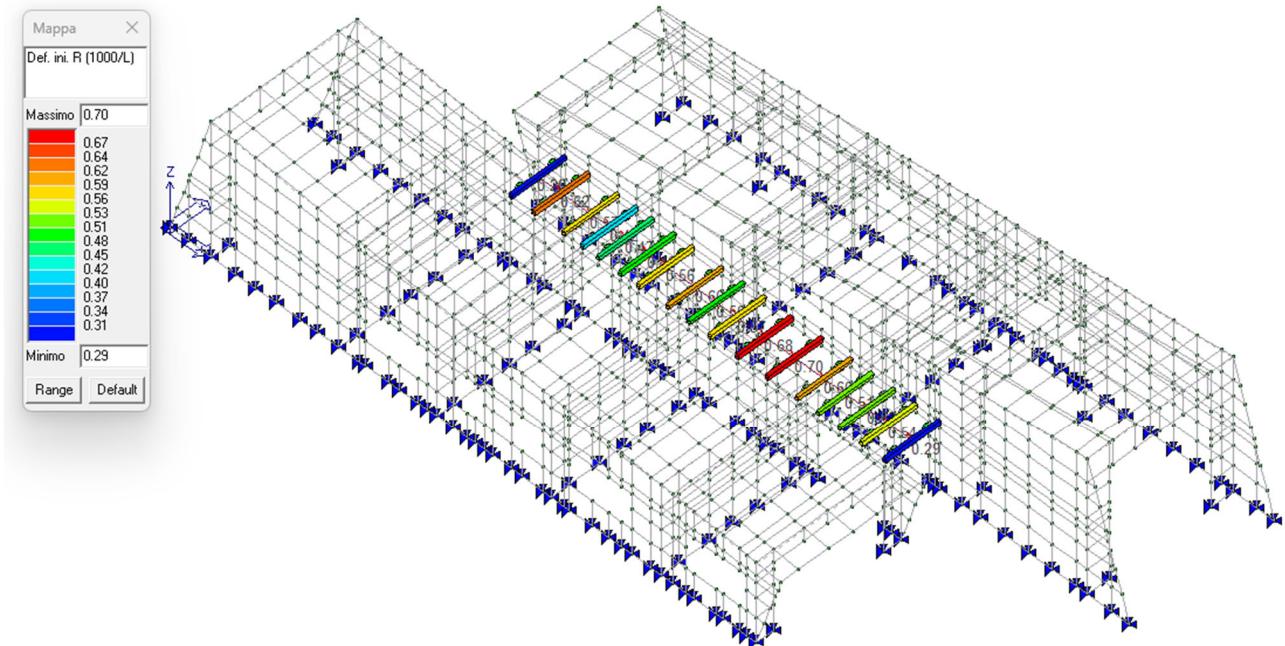


Figura: Verifica delle travi - Deformazione iniziale combinazione caratteristica

[NOTA: la freccia è riportata in funzione della luce dell'elemento. $F_{max} = 0,70 \text{ L}/1000 = \text{L}/1400$]

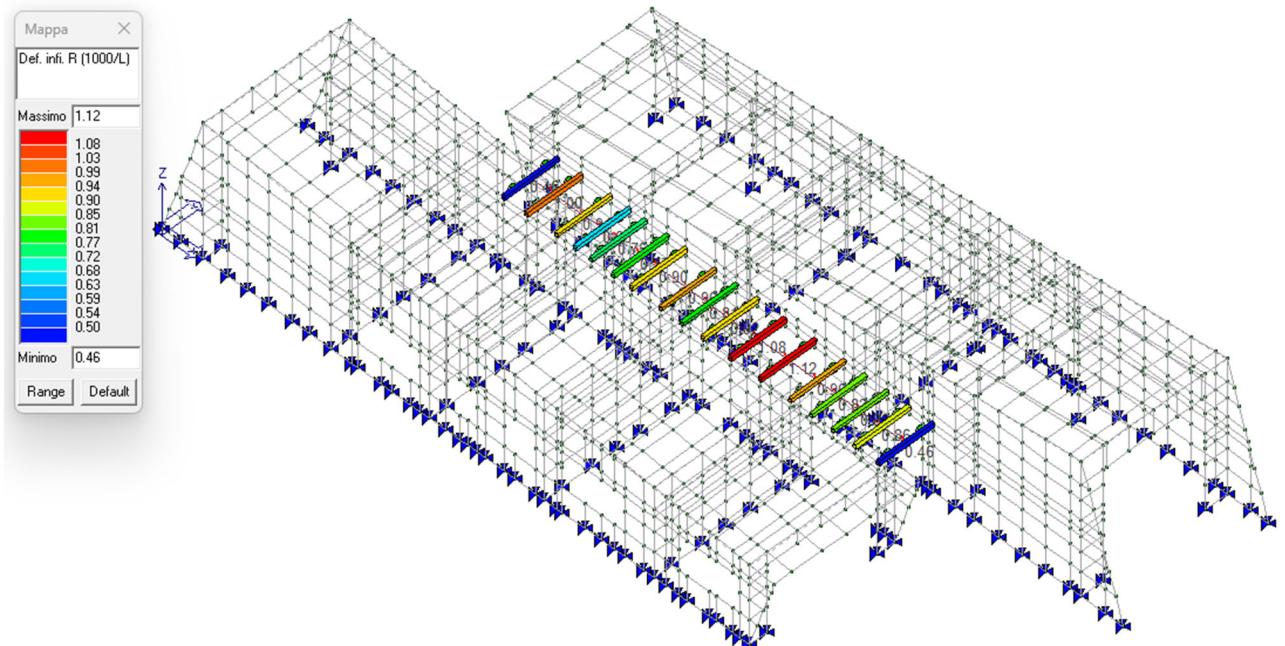


Figura: Verifica delle travi - Deformazione iniziale combinazione caratteristica

[NOTA: la freccia è riportata in funzione della luce dell'elemento. $F_{max} = 1,12 \text{ L}/1000 = \text{L}/890$]

10.3 VERIFICA DEI COLLEGAMENTI DI BASE

Il collegamento alla base della struttura è realizzato tramite un sistema in alluminio continuo: profilo ALU START Rothoblaas o similare

1 chiodo ogni 3 fori LBA 6x60 mm Rothoblaas

Inghisaggi M12 classe 8.8 resina EPO-FIX Rothoblaas passo 40cm

Nei portali esterni è inserita una piastra aggiuntiva al fine di incrementare la resistenza a trazione del collegamento (vedere elaborati grafici).

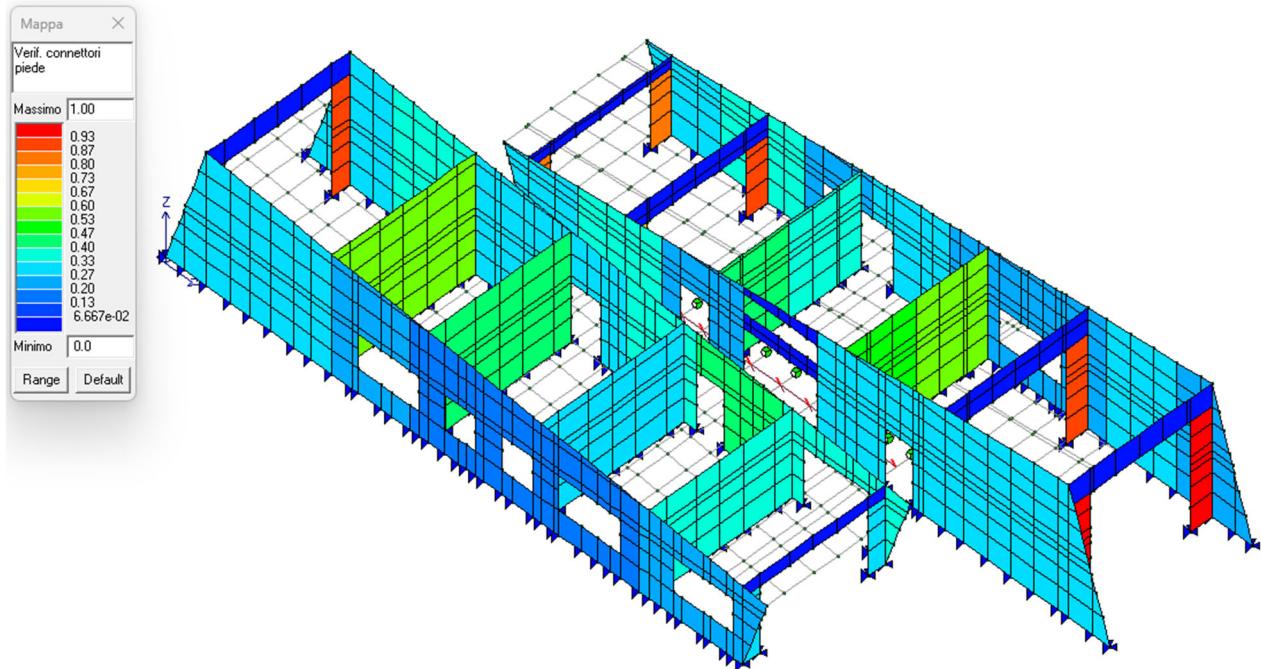


Figura: Verifica delle connessioni a TAGLIO al piede

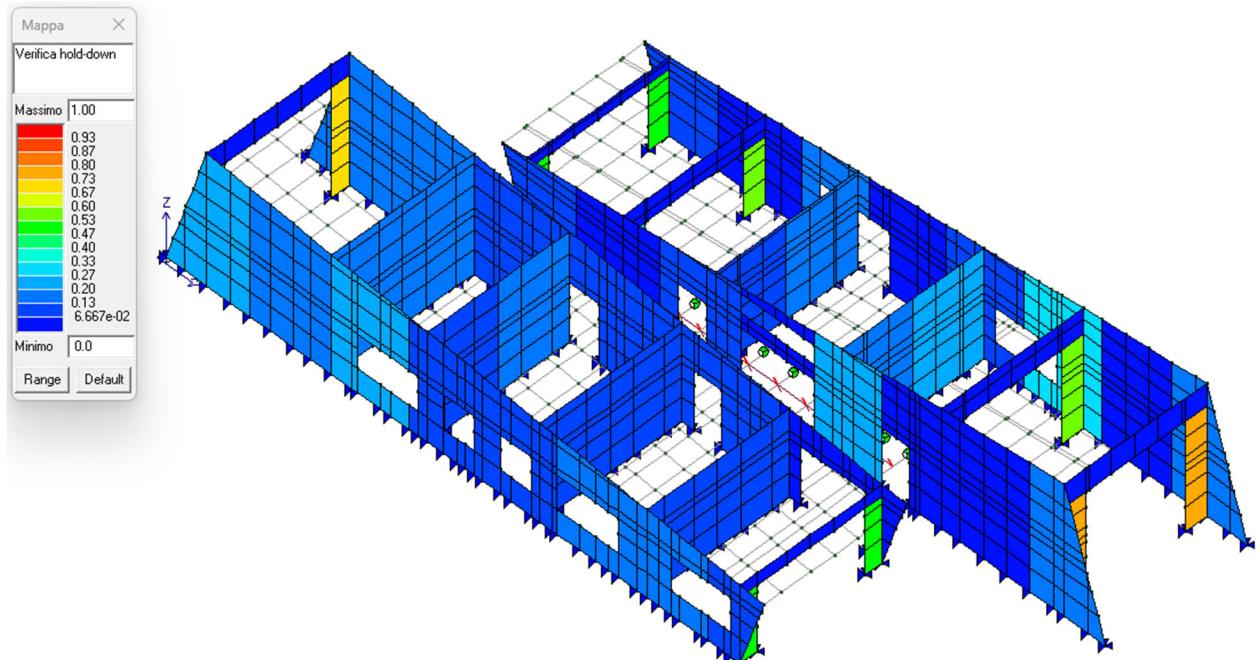
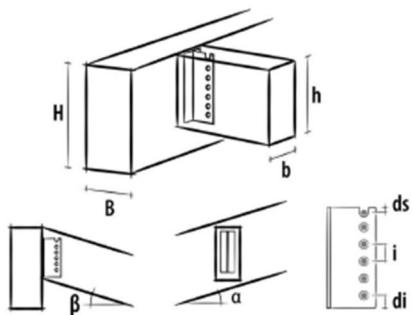


Figura: Verifica delle connessioni a TRAZIONE al piede

10.4 VERIFICA DEI COLLEGAMENTI DELLE TRAVI IN LEGNO

CONNESSIONE CON STAFFA A SCOMPARSA ALU



Staffa tipo ALU MINI 125 (cod. ALUMINI125)

Fissaggio ali con 15 HBS PLATE EVO - Vite testa troncoconica - 5x60 (cod. HBSPEVO560)

Fissaggio anima con 2 Spinotto autoforante SBD - 7,5x75 (cod. SBD7575)



Marcatura CE secondo ETA 09/0361

DATI DI CALCOLO

Azione di taglio di progetto	F _{v,d}	=	4.10 kN
Classe di servizio	c _l	=	1
Durata carico dominante	t _q	=	breve
coefficiente kmod	k _{mod}	=	0.90
coefficiente sicurezza connessione	γ _M	=	1.30
Qualità trave principale		=	Massiccio C24
Massa volumica legno principale	ρ _k	=	350 kg/m ³
Base trave principale	B	=	100 mm
Altezza trave principale	H	=	500 mm
Angolo posa trave principale	α	=	0.00°
Qualità trave secondaria		=	Lamellare GL24h (omogeneo)
Massa volumica legno secondaria	ρ _k	=	385 kg/m ³
Base trave secondaria	b	=	100 mm
Altezza trave secondaria	h	=	160 mm
Angolo posa trave secondaria	α	=	0.00°

RISULTATI CALCOLO

DATI DI INGRESSO:

Azione di taglio
Classe di servizio
Durata carico dominante
Coefficiente kmod
Coefficiente sicurezza connessione
Qualità trave principale
Massa volumica legno principale
Base trave principale
Altezza trave principale
Angolo posa trave principale
Qualità trave secondaria
Massa volumica legno secondaria
Base trave secondaria
Altezza trave secondaria
Angolo posa trave secondaria
Tipo staffa
Tipo connettori ali
Tipo connettori anima

T = 4.1 kN
cl = 1
tq = breve
kmod = 0.9
γM = 1.3
= Massiccio C24
ρk = 350 kg/m³
B = 100 mm
H = 500 mm
α = 0.00 °
= Lamellare GL24h (omogeneo)
ρk = 385 kg/m³
b = 100 mm
h = 160 mm
β = 0.00 °
= ALU MINI 125
= HBSPLATE EVO
= spinotto SBD

Viti:

Tipo vite
Diametro filetto
Lunghezza vite
Lunghezza filetto
Diametro gambo
Diametro nocciola
Diametro testa vite
Numero totale viti

d = 5.0 mm
lh = 60 mm
lf = 35 mm
dg = 3.7 mm
dn = 3.4 mm
dh = 9.7 mm
nc = 15

Spinotti autoforanti:

Resistenza ultima caratteristica
Diametro spinotto
Lunghezza spinotto
Lunghezza efficace spinotto
Numero totale spinotti
Spessore fresatura testa
Distanza efficace spinotti-testa
Distanza minima da testa-spinotto superiore
Distanza minima da testa-spinotto inferiore
Coeff. riduzione secondo EN1995:1995
Distanza efficace spinotti-bordo superiore
Distanza minima dal bordo-spinotto superiore
Distanza efficace spinotti-bordo inferiore
Distanza minima dal bordo-spinotto inferiore
Coeff. riduzione secondo EN1995:1995
Distanza minima dal bordo-spinotto superiore
Distanza minima dal bordo-spinotto inferiore
Distanza minima da testa-spinotto superiore
Distanza minima da testa-spinotto inferiore

fuk = 0 N/mm²
ds = 7.5 mm
ls = 75 mm
leff = 67 mm
ns = 2
spf = 8 mm
a3eff = 78.0 mm
a3s = 80 mm
a3i = 80 mm
k3 = 0.99
a4sup = 34.5 mm
a4s = 30 mm
a4inf = 24.5 mm
a4i = 22 mm
k4 = 1.00
a4s = 30 mm
a4i = 22 mm
a3s = 80 mm
a3i = 80 mm

RISULTATI CALCOLO CON METODO ETA:

Momento su ali
Distanza HBS PLATE EVO - Vite testa troncoconica più lontano
Resistenza caratteristica HBS PLATE EVO - Vite testa troncoconica a trazione
Resistenza caratteristica HBS PLATE EVO - Vite testa troncoconica a taglio
Resistenza caratteristica a taglio STAFFA lato HBS PLATE EVO - Vite testa troncoconica
Resistenza caratteristica Spinotti autoforanti a taglio
Resistenza caratteristica a taglio STAFFA lato Spinotti autoforanti
Resistenza caratteristica finale a taglio STAFFA
Resistenza di design finale a taglio STAFFA
Verifica globale staffa ALU

Jp = 57094 mm⁴
dmax = 105 mm
Rek,c = 2.05 kN
Rvk,c = 2.10 kN
RkALUF = 11.98 kN
Rvk,p = 7.10 kN
RkALUa = 14.20 kN
RkALU = 11.98 kN
RdALU = 8.29 kN
= 0.49 VERIFICATO

Resistenza caratteristica finale a taglio STAFFA
Resistenza di design finale a taglio STAFFA
Verifica globale staffa ALU

RkALU = 11.98 kN
RdALU = 8.29 kN
= 0.49 VERIFICATO

11 ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO

11.1 TITOLO PROGRAMMA DI CALCOLO:

"PROSAP"

VERSION 23.6.1"

Autore:

2S.I. Software e Servizi per l'Ingegneria S.r.l.

Via Garibaldi, 90 - 44121 Ferrara (FE)

P.IVA 01311970386 Tel. 0532 200091

Mail: info@2si.it.

Versione e estremi licenza uso: Professional build 2022-10-198

Soggetto intestatario licenza: Ing. Stefano Nadotti

Via Carducci 72-54100 Massa

Cell. 328-4066037

E-mail stefano.nadotti@gmail.com

Insieme al software è allegata una documentazione che illustra alcuni casi elementari, che rispecchiano le caratteristiche di quello in oggetto e dimostrano l'affidabilità del programma.

11.2 AFFIDABILITÀ E SCELTA DEI CODICI UTILIZZATI.

Il fornitore del programma di calcolo garantisce l'affidabilità dei codici utilizzati avvalendosi sui riscontri eseguiti sulle elaborazioni condotte.

Il codice di calcolo risulta basato su un modello matematico coerente con i criteri adottati per modellare la tipologia strutturale, i vincoli, le azioni ed i materiali nell'ambito del tipo di analisi svolta.

2S.I. ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

E' possibile reperire la documentazione contenente alcuni dei più significativi casi trattati al seguente link:
<https://www.2si.it/it/prodotti/affidabilita/>

11.3 INFORMAZIONI GENERALI SULL'ELABORAZIONE E VALUTAZIONE NUMERICA

Per l'elaborazione della soluzione progettuale è stato utilizzato il seguente calcolatore:

AMD Phenom™ II X6 1055T - 2.8 Ghz

RAM: 4 Gb

Windows 10

E' stata verificata la soluzione ottenuta, essa non risulta viziata da errori di tipo numerico legati all'algoritmo risolutivo ed alle caratteristiche dell'elaboratore.