



COMUNE DI PADOVA

Settore Lavori Pubblici

ELENCO ANNUALE ANNO 2021

PROGETTO ESECUTIVO RESTAURO DELLA TORRE DEGLI ANZIANI

IMPORTO COMPLESSIVO: Euro 1.500.000,00

N.Progetto 2021/046

Nome File
APPR_36

MAGGIO 2022

CUP H95F21001460005

EDP_2021/046

RELAZIONE DI CALCOLO INTERVENTI STRUTTURALI

Progettisti

PROGETTO
ARCHITETTONICO
Arch. Gianni Tommasi

PROGETTO OPERE
STRUTTURALI
Ing. Carlo Bettio

RUP

Arch. Domenico Lo Bosco

Capo Settore

Ing. Emanuele Nichele



INDICE

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO	4
3	METODI E CODICI DI CALCOLO	5
4	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	6
4.1	STRUTTURE ESISTENTI.....	6
4.1.1	<i>Murature esistenti</i>	6
4.1.2	<i>Strutture in legno</i>	6
4.2	STRUTTURE DI NUOVA REALIZZAZIONE.....	7
4.2.1	<i>Acciaio da carpenteria S355</i>	7
4.2.2	<i>Acciaio inossidabile ad alta resistenza</i>	7
4.2.3	<i>Acciaio inossidabile AISI 304 e AISI 304L</i>	7
5	AZIONI SULLE STRUTTURE	8
5.1	CARICHI PERMANENTI.....	8
5.1.1	<i>Copertura</i>	8
5.1.2	<i>Solaio con pavimento in legno</i>	8
5.1.3	<i>Solaio vetrato</i>	8
5.1.4	<i>Nuove scale metalliche</i>	9
5.2	CARICHI ACCIDENTALI.....	9
5.3	AZIONE DELLA NEVE.....	9
6	VERIFICA DELLE STRUTTURE	10
6.1	VERIFICA COPERTURA ESISTENTE IN LEGNO.....	11
6.1.1	<i>Stato pre-intervento</i>	13
6.1.2	<i>Stato di progetto</i>	19
6.2	NUOVE SCALE INTERNE – RAMPA TIPO.....	24





6.3	NUOVE SCALE INTERNE – RAMPA TRA LIVELLO 10 E 12.....	28
6.4	NUOVE SCALE INTERNE – RAMPA TRA LIVELLO 12 E 16.....	33
6.5	NUOVE SCALE INTERNE – RAMPA TRA LIVELLO 16 E 18.....	37
6.6	NUOVE SCALE INTERNE – PARAPETTO	41
6.7	NUOVE SCALE PALAZZO ANZIANI	43
7	CONCLUSIONI.....	46





1 PREMESSA

Nella presente relazione vengono riassunte le analisi e le verifiche eseguite per la progettazione a livello definitivo delle opere strutturali connesse all'intervento di recupero della torre con realizzazione un sistema di scale che consenta l'accesso di gruppi limitati di visitatori.

Si tratta di interventi che non modificano in modo significativo l'attuale distribuzione delle rigidzze e delle masse.

È stata recentemente eseguita una campagna di indagini strutturali da parte di Expin srl a cui si rimanda per dettagli.

[A] Expin srl "Torre Anziani – Relazione Tecnica: Indagini diagnostiche" – revisione 02 del 06/12/2021- Cod.Elaborato RT-ID / Cod. Commessa 210611_CPD.

Quanto riportato a seguire potrà essere soggetto a modifiche in base ai risultati delle successive campagne di indagini ed alle verifiche in corso d'opera quando la realizzazione dei ponteggi esterni e le fasi di pulizia e gli smontaggi permetteranno una maggior conoscenza del manufatto.

Le strutture dovranno essere adeguatamente protette (es. con vernici intumescenti) in relazioni alle eventuali richieste di resistenza al fuoco.

Si ricorda che il progetto dal punto di vista statico prevede interventi di riparazione ed interventi locali che riguardano singole parti della struttura senza cambiare significativamente il comportamento globale della costruzione.

Le verifiche ed analisi di tipo globale relative alla stabilità della torre (sia per azioni statiche che sismiche) non sono comprese nell'incarico affidato allo scrivente.

Per tali aspetti l'amministrazione comunale ha fornito allo scrivente i seguenti elaborati:

[1] prof. ing. Lamberto Briseghella – "LA TORRE DEGLI ANZIANI"; "Elaborato A: Relazione generale" ed "Elaborato B: Relazione di calcolo" del - 20 ottobre 2005.

[2] Leidy Elvira Bejarano Urrego "Methodology for Seismic Assessment applied to the Case Study of Tower Anziani in Padua (Italy)" – University of Padua - Advanced masters in structural analysis of monuments and historical constructions, 23 luglio 2014 - Supervisor(s): Phd. Francesca da Porto, Phd. Giulia Bettiol.





2 NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO

Si è fatto riferimento in generale e per quanto possibile alla normativa italiana ed alle norme ed istruzioni elencate nel seguito:

- D.M. 17/01/2018, “Norme tecniche per le costruzioni”.
- Circolare Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 7 del 21 gennaio 2019, Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018.
- Decreto P.C.M. 9 Febbraio 2011 (G.U. n.47, 26/2/11 suppl. ord. n.54) – Linee Guida per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme Tecniche per le costruzioni D.M. 14/01/08.
- UNI EN 338:2016, Classi di resistenza del Legno
- UNI 11035-2:2010, Legno strutturale - Regole per la classificazione a vista secondo la resistenza e i valori caratteristici per tipi di legname strutturale italiani
- Eurocodice UNI EN 1990:2006 “Criteri generali di progettazione strutturale”
- Eurocodice n. 1 UNI EN 1991-1-1:2004 “Azioni sulle strutture”. Parte 1-1: Azioni in generale - Pesì per unità di volume, pesì propri e sovraccarichi per gli edifici.
- Eurocodice n. 3 UNI EN 1993-1-1:2005 “Progettazione delle strutture in acciaio”. Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- Eurocodice n. 3 UNI EN 1993-1-4:2007 “Progettazione delle strutture in acciaio”. Parte 1-4: Regole generali - Regole supplementari per acciai inossidabili.
- Eurocodice n. 3 UNI EN 1993-1-8:2005 “Progettazione delle strutture in acciaio”. Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti.
- Eurocodice n. 5 UNI EN 1995-1-1:2009 “Progettazione delle strutture in legno”. Parte 1-1: Regole generali - Regole comuni e regole per gli edifici
- Eurocodice n. 6 UNI EN 1996-1-1:2006 “Progettazione delle strutture in muratura”. Parte 1-1: Regole generali per strutture di muratura armata e non armata.
- Eurocodice n. 7 UNI EN 1997-1:2005 “Progettazione geotecnica”. Parte 1: Regole generali.
- Eurocodice n. 8 UNI EN 1998-1:2005 “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica”. Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici.
- Eurocodice n. 8 UNI EN 1998-3:2005 "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica". Parte 3: Valutazione e adeguamento degli edifici.
- CNR-DT 206/2007 “Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di Legno”.





3 METODI E CODICI DI CALCOLO

Le analisi e le verifiche strutturali sono state eseguite secondo il metodo semiprobabilistico degli stati limite, seguendo le istruzioni previste nelle NTC 2018 e nella relativa circolare applicativa (Circ. 7/2019), e secondo i metodi della scienza delle costruzioni. La ricerca dei parametri di sollecitazione è stata eseguita considerando le disposizioni di carico più gravose ed avvalendosi di codici di calcolo automatico per l'analisi strutturale.

Tutti i codici di calcolo automatico utilizzati per l'analisi e la verifica delle strutture sono di sicura ed accertata validità e sono stati impiegati conformemente alle loro caratteristiche. Si riportano in seguito i software impiegati.

ProSap

Programma di calcolo strutturale agli elementi finiti della 2SI. Eseguce il calcolo di strutture spaziali composte da elementi mono- e/o bi- dimensionali anche con non linearità di materiale o con effetti dinamici.

Come previsto al punto 10.2 delle NTC 2018 l'affidabilità del codice utilizzato, PRO-SAP Professional Structural Analysis Program versione 2018, prodotto dalla 2S.I. s.r.l. Software e Servizi per l'Ingegneria s.r.l., è stata verificata 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: <http://www.2si.it/Software/Affidabilità.htm>

Microsoft Excel

Fogli Excel per l'esecuzione di calcoli semplici implementati direttamente su schemi e formule derivate dalla scienza delle costruzioni. Prima dell'utilizzo, il foglio Excel viene testato e verificato sia mediante calcolo manuale diretto, sia mediante confronto con altri programmi di calcolo.





4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

4.1 STRUTTURE ESISTENTI

4.1.1 Murature esistenti

Le murature esistenti sono state caratterizzate durante la campagna di indagine eseguita dall'Università di Padova nell'ambito delle attività del Master SAHC, i cui risultati sono riportati in [2], e durante la campagna di indagine eseguita da Expin srl nel luglio 2021, i cui risultati sono riportati in [A].

A favore di sicurezza si è comunque considerato un livello di conoscenza LC1, non avendo eseguito prove dirette di caratterizzazione meccanica delle murature.

Le caratteristiche meccaniche delle murature sono state valutate quindi sulla base delle indicazioni della tabella C8.5.I della Circolare 7/2019, considerando la tipologia muraria "mattoni pieni e malta di calce".

I valori impiegati ai fini delle analisi e verifiche risultano pertanto i seguenti:

Muratura in mattoni pieni e malta di calce

Resistenza media a compressione	$f_m = 2,60$ MPa
Resistenza media a taglio	$\tau_0 = 0,05$ MPa
Valore medio del modulo di elasticità normale	$E = 1500$ MPa
Valore medio del modulo di elasticità tangenziale	$G = 500$ MPa
Peso specifico medio	$w = 18$ kN/m ³

Nella fase di verifica è stato adottato inoltre un idoneo coefficiente parziale di sicurezza secondo normativa, corrispondente a $\gamma_m = 2.0$ per le verifiche sismiche (analisi lineari) ed a $\gamma_m = 3.0$ per le verifiche statiche.

4.1.2 Strutture in legno

Le verifiche delle strutture esistenti in legno sono state condotte considerando, a favore di sicurezza, una classe di resistenza C18. Per tale classe, le caratteristiche meccaniche sono riportate nella tabella a seguire.

Resistenza caratteristica a flessione	f_{mk}	18,0	MPa
Resistenza a trazione parallela alla fibratura	$f_{t,0,k}$	11,0	MPa
Resistenza a trazione perpendicolare alla fibratura	$f_{t,90,k}$	0,4	MPa
Resistenza caratteristica a taglio	f_{vk}	3,4	MPa
Resistenza caratteristica a compressione perpendicolare alla fibratura	$f_{c,90,k}$	2,6	MPa
Modulo elastico medio legno (parallelo alla fibratura)	$E_{0,mean}$	10500	MPa
Modulo di elasticità tangenziale	G_{mean}	660	MPa
Densità media legno	ρ	450	kg/m ³





4.2 STRUTTURE DI NUOVA REALIZZAZIONE

4.2.1 Acciaio da carpenteria S355

È previsto l'impiego di acciaio S355 J0 per gli elementi in carpenteria metallica (tabella 11.3.IX - NTC2018).

Tipo	S355J0 (Fe510C)
Resistenza caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 355$ MPa
Resistenza caratteristica a rottura	$f_{tk} \geq 510$ MPa

4.2.2 Acciaio inossidabile ad alta resistenza

È previsto l'impiego di tiranti in acciaio inossidabile ad alta resistenza tipo Geodag Geodinox QT850. Ai valori caratteristici si applicherà il coefficiente parziale di sicurezza $\gamma_M = 1,1$ (par. 5.1 – Eurocodice 3, parte 1-4).

Tensione a rottura	f_u	850,0	MPa
Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	650,0	MPa
Resistenza di calcolo AISI 304	f_{yd}	590,90	MPa

4.2.3 Acciaio inossidabile AISI 304 e AISI 304L

Per i nuovi paletti di ancoraggio è previsto l'impiego di acciaio inossidabile AISI 304L (1.4306), (tabella 2.1 – Eurocodice 3, parte 1-4). Ai valori caratteristici si applicherà il coefficiente parziale di sicurezza $\gamma_M = 1,1$ (paragrafo 5.1 – Eurocodice 3, parte 1-4).

Tensione a rottura AISI 304L	f_u	460,0	MPa
Tensione caratteristica di snervamento AISI 304L	f_{yk}	180,0	MPa
Resistenza di calcolo AISI 304L	f_{yd}	163,6	MPa





5 AZIONI SULLE STRUTTURE

I valori delle azioni considerati nei calcoli sono quelli previsti dal D.M. 17.01.2018; in particolare sono stati considerati i carichi elementari di seguito riportati:

5.1 CARICHI PERMANENTI

I carichi permanenti sono stati calcolati a partire dai seguenti pesi specifici e carichi unitari:

Calcestruzzo armato	25,00	kN/m ³
Acciaio da carpenteria	78,50	kN/m ³
Legno	6,00	kN/m ³
Vetro	25,00	kN/m ²
Parapetto con lamiera microforata	0,50	kN/m

5.1.1 Copertura

Per la copertura in legno sono stati considerati seguenti carichi permanenti.

STATO DI FATTO		
Listelli 10x10cm i=53cm	0,12	kN/m ²
Tavelloni in laterizio	0,30	kN/m ²
Guaina	0,10	kN/m ²
Coppi	0,80	kN/m ²
G1: CARICO PERMANENTE STRUTTURALE	0,12	kN/m ²
G2: CARICO PERMANENTE NON STRUTTURALE	1,20	kN/m ²

STATO DI PROGETTO		
Listelli 10x10cm i=53cm	0,12	kN/m ²
Tavolato sp. 30mm	0,18	kN/m ²
Guaina	0,10	kN/m ²
Coppi	0,80	kN/m ²
G1: CARICO PERMANENTE STRUTTURALE	0,30	kN/m ²
G2: CARICO PERMANENTE NON STRUTTURALE	0,90	kN/m ²

5.1.2 Solaio con pavimento in legno

Per i nuovi solai sono stati considerati seguenti carichi permanenti.

Tavolato sp. 50mm	0,30	kN/m ²
Cartongesso/lamiera intradossale + impianti	0,30	kN/m ²
G1: CARICO PERMANENTE STRUTTURALE	0,30	kN/m ²
G2: CARICO PERMANENTE NON STRUTTURALE	0,30	kN/m ²

5.1.3 Solaio vetrato





Per le porzioni di solaio vetrate sono stati considerati seguenti carichi permanenti.

Vetro stratificato strutturale portata minima garantita 500 kg/mq	1,25	kN/m ²
G1: CARICO PERMANENTE STRUTTURALE	1,25	kN/m ²

5.1.4 Nuove scale metalliche

Per le nuove scale metalliche sono stati considerati seguenti carichi permanenti.

Gradino in legno	0,30	kN/m ²
Cartongesso/lamiera intradossale + impianti	0,20	kN/m ²
G1: CARICO PERMANENTE STRUTTURALE	0,30	kN/m ²
G2: CARICO PERMANENTE NON STRUTTURALE	0,20	kN/m ²
Parapetto con lamiera microforata	0,50	kN/m

5.2 CARICHI ACCIDENTALI

I carichi distribuiti assunti nelle analisi sono quelli attualmente previsti per cat. C3 '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' e sono pari a:

$$q_k = 5.00 \text{ kN/mq}$$

5.3 AZIONE DELLA NEVE

Il carico provocato dalla neve sulla copertura è stato valutato secondo la seguente espressione di cui al cap. 3.4 delle NTC18:

$$q_s = \mu_i \times q_{sk} \times C_E \times C_t \quad [\text{eq. 3.3.7 NTC18}]$$

Si riportano i parametri utilizzati per il calcolo dell'azione della neve sulla copertura.

Sito	Padova		
Zona	II		
Altezza sito (sul livello del mare)	$a_s =$	12	m.s.l.m.m
Valore caratteristico di riferimento del carico	$q_{sk} =$	1,00	kN/m ²
Topografia	Normale		
Coefficiente di esposizione	$C_E =$	1	
Coefficiente termico	$C_T =$	1	
Inclinazione falda di copertura	$\alpha =$	23	°
Coefficiente di forma	$\mu_i =$	0,8	
Carico neve sulla copertura	$q_s =$	0,80	kN/m²





6 VERIFICA DELLE STRUTTURE

Si riportano a seguire le analisi ed i risultati delle verifiche condotte in accordo con le N.T.C. di cui al D.M. 17/01/2018 secondo il metodo degli stati limite.

Per lo stato limite ultimo è stata adottata la combinazione fondamentale dei carichi:

$$F_d = \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \sum \gamma_{Qi} \psi_{0i} Q_{ki}$$

essendo:

- G_{k1} il valore del peso proprio degli elementi strutturali;
- G_{k2} il valore del peso proprio degli elementi non strutturali;
- Q_{k1} il valore caratteristico dell'azione variabile considerata principale;
- $\gamma_{G1} = 1,30$ il coefficiente parziale per i pesi propri degli elementi strutturali;
- $\gamma_{G2} = 1,50$ il coefficiente parziale per le azioni permanenti non compiutamente definite (elementi non strutturali);
- $\gamma_{Q1} = 1,50$ il coefficiente parziale relativo all'azione variabile considerata principale.
- ψ_{0i} il coefficiente di combinazione relativo all'azione variabile considerata.

Con ψ_{0i} pari a 0,5 per l'azione della neve (quota < 1000m slm) e 0,7 per gli ambienti suscettibili di affollamento.

Per la valutazione degli spostamenti e delle deformazioni secondo lo stato limite di esercizio si sono adottate la combinazione rara e la combinazione quasi permanente:

combinazione rara:
$$F_d = G_1 + G_2 + Q_{k1} + \sum \psi_{0i} Q_{ki}$$

combinazione quasi permanente:
$$F_d = G_1 + G_2 + \sum \psi_{2i} Q_{ki}$$

Con, in questo caso, ψ_{2i} pari a 0,0 per l'azione della neve (quota < 1000 m slm) e 0,6 per gli ambienti suscettibili di affollamento.





6.1 VERIFICA COPERTURA ESISTENTE IN LEGNO

La verifica delle sezioni in legno è stata eseguita secondo quanto riportato nei paragrafi 4.4.7 e 4.4.8 delle NTC – D.M. 17/01/2018. Simboli utilizzati:

$\sigma_{t,0,d}$	tensione di calcolo a trazione parallela alla fibratura calcolata sulla sezione retta
$\sigma_{c,0,d}$	tensione di calcolo a compressione parallela alla fibratura
$\sigma_{m,y,d}$ e $\sigma_{m,z,d}$	tensioni di calcolo massime per flessione rispettivamente nei piani xz e xy determinate assumendo una distribuzione elastico lineare delle tensioni sulla sezione
$f_{t,0,d}$	resistenza di calcolo per trazione parallela alla fibratura
$f_{c,0,d}$	resistenza di calcolo per compressione parallela alla fibratura
$f_{v,d}$	resistenza di calcolo a taglio
$f_{m,y,d}$ e $f_{m,z,d}$	resistenze di calcolo a flessione rispettivamente nei piani xz e xy
$E_{0,05}$	modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre (al frattile 5%)

Compressione parallela alla fibratura

Deve essere soddisfatta la seguente condizione:

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

Taglio

Deve essere soddisfatta la seguente condizione:

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

Pressoflessione


Nel caso di sforzo normale di compressione accompagnato da sollecitazioni di flessione attorno ai due assi principali dell'elemento strutturale, devono essere soddisfatte entrambe le seguenti condizioni:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

In cui $k_m = 0.7$ per sezioni rettangolari.



	TORRE DEGLI ANZIANI - PROGETTAZIONE STRUTTURALE DEL SISTEMA DI SCALE INTERNE	
	PROGETTO ESECUTIVO – RELAZIONE DI CALCOLO	Pagina 12 di 48

Instabilità di elementi compressi

Nel caso di asta soggetta solo a sforzo normale deve essere soddisfatta la condizione:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{crit,c} f_{c,0,d}} \leq 1$$

$k_{crit,c}$ coefficiente riduttivo di tensione critica per instabilità di colonna valutato per il piano in cui assume il valore minimo. Il coefficiente riduttivo $k_{crit,c}$ si calcola in funzione della snellezza relativa della colonna $\lambda_{rel,c}$ che vale:

$$\lambda_{rel,c} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,d}}{E_{0,05}}}$$

con

λ snellezza dell'elemento strutturale valutata per il piano in cui essa assume il valore massimo

Quando $\lambda_{rel,c} < 0.3$ si deve porre $k_{crit,c} = 1$, altrimenti:

$$k_{crit,c} = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}}$$

Con: $k = 0.5(1 + \beta_c (\lambda_{rel,c} - 0.3) + \lambda_{rel,c}^2)$

β_c coefficiente di imperfezione, che, se gli elementi rientrano nei limiti di rettilineità, per il legno massiccio assume valore 0,2.

Deformabilità (SLE)

Considerando il comportamento reologico del legno, si devono valutare sia la deformazione istantanea sia la deformazione a lungo termine.

La freccia istantanea è calcolata a partire dalla combinazione rara:

deve risultare $f_{ist} < L/300$;

La freccia finale è calcolata, invece, a partire dalla combinazione “quasi permanente”:

deve risultare $f_{fin} = f_{quasi\ permanente} (1 + k_{def}) < L/200$

essendo L la lunghezza dell'elemento.



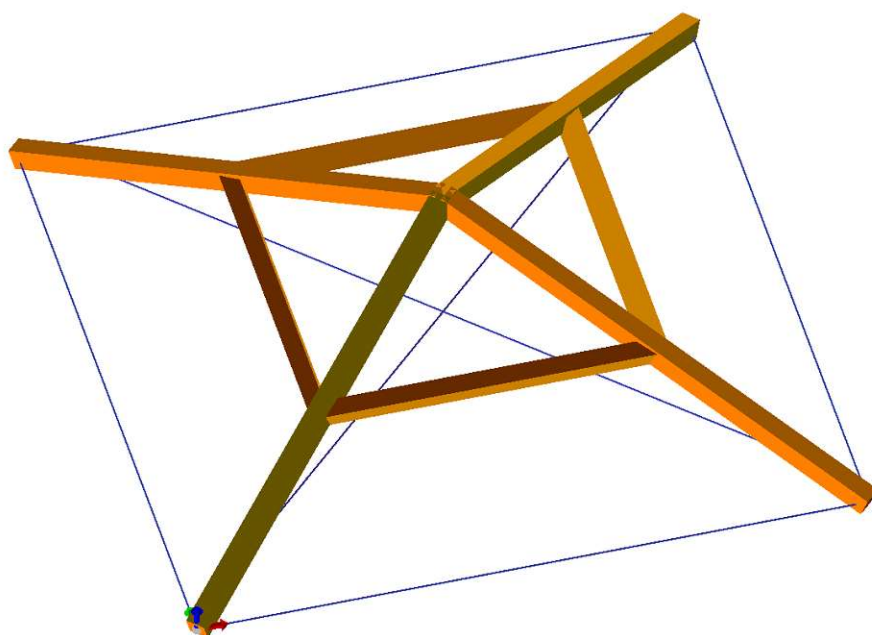


6.1.1 Stato pre-intervento

Si riportano a seguire le immagini del modello con evidenziati i carichi applicati e le verifiche eseguite secondo le indicazioni delle Norme Tecniche vigenti.



Figura 1 – Vista della copertura esistente



Diagonali:
dim. 18x21 cm
Arcarecci:
dim. 16x20 cm
Listelli:
dim. 10x10 i= 53 cm

Figura 2 – Modello della copertura in legno





Si riportano tramite immagini gli involuipi dei parametri della sollecitazione calcolati dal programma.

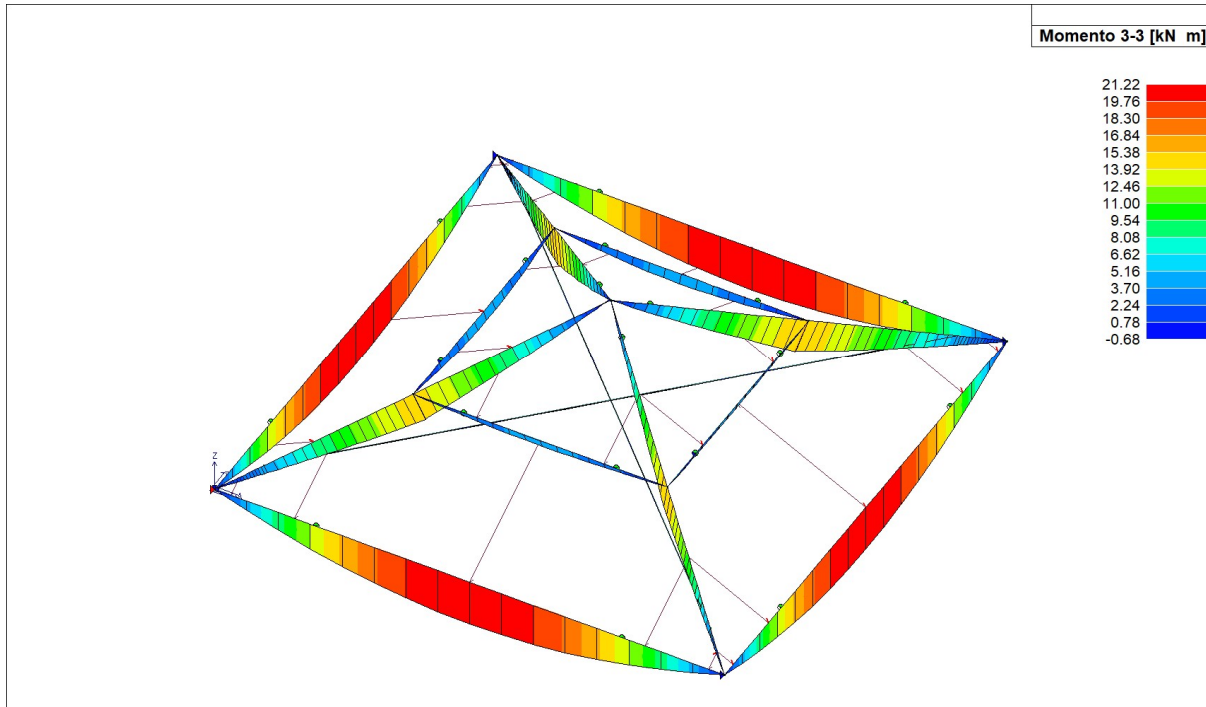


Figura 3: Momento flettente in dir. 3-3

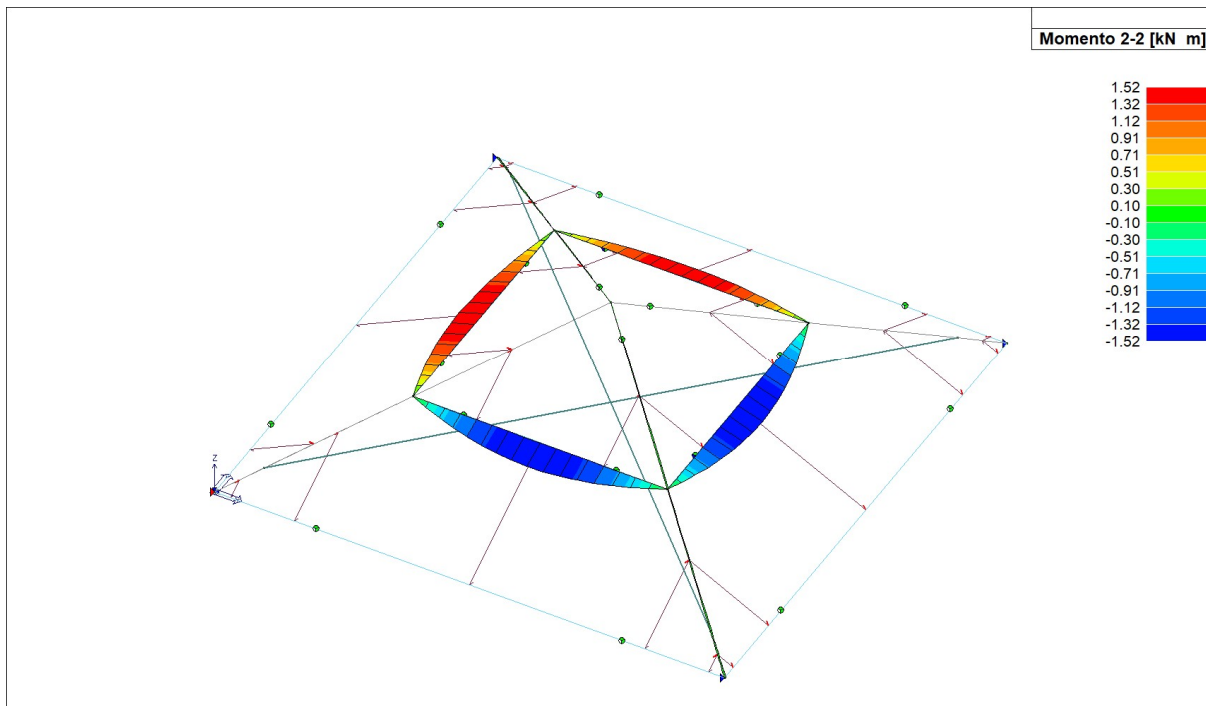


Figura 4: Momento flettente in dir. 2-2



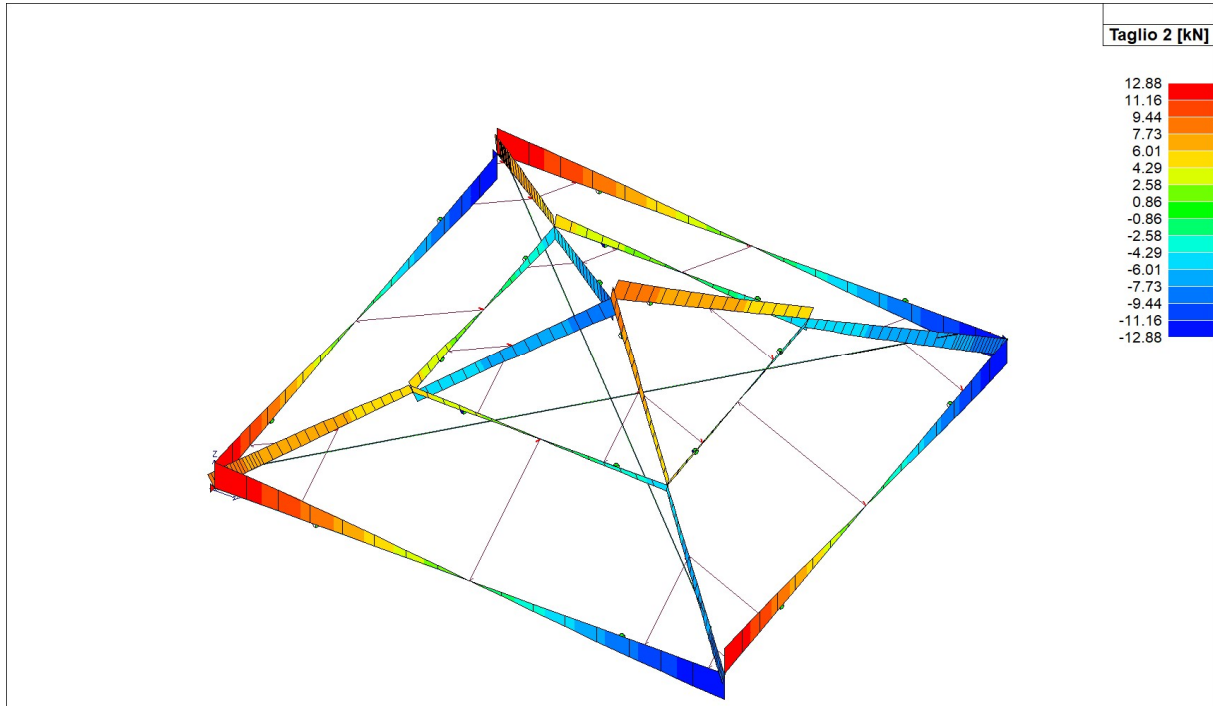


Figura 5: Taglio in dir. 2

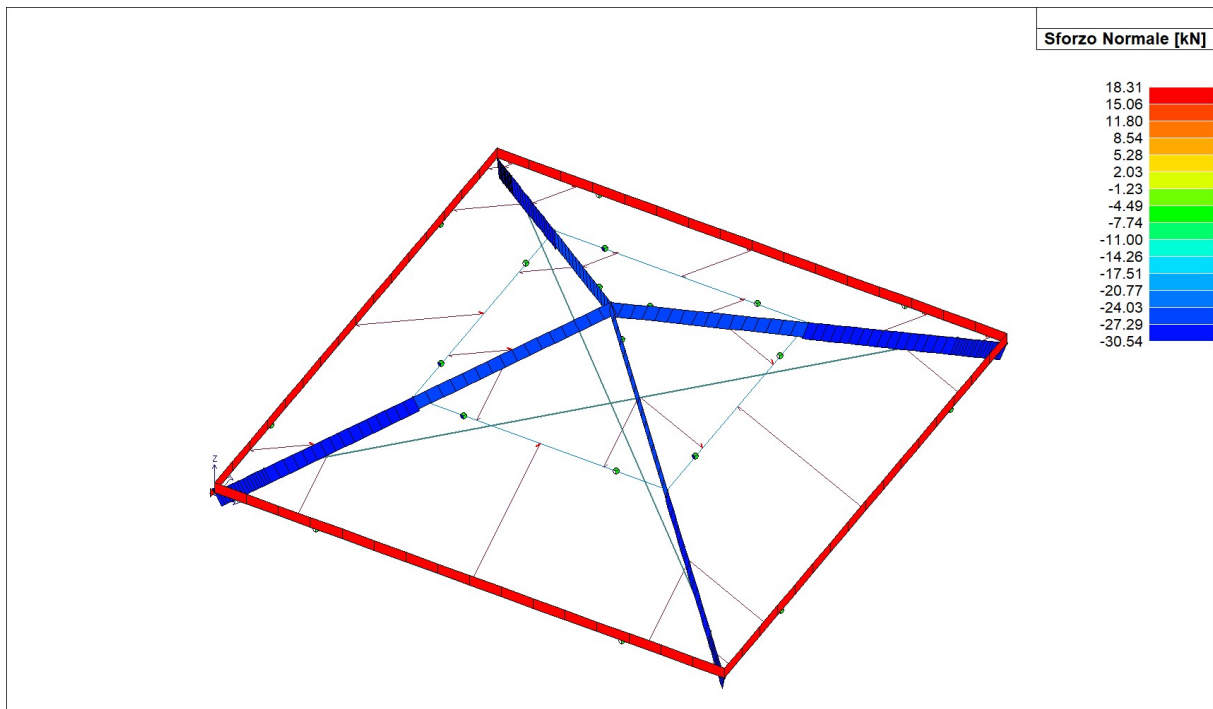


Figura 6: Sforzo Normale





Si riportano tramite immagini le verifiche effettuate dal programma per gli elementi in legno.

Il programma di calcolo restituisce gli sfruttamenti delle sezioni e le diverse verifiche previste dalla normativa; gli arcarecci risultano verificati mentre le travi diagonali risultano non verificate.

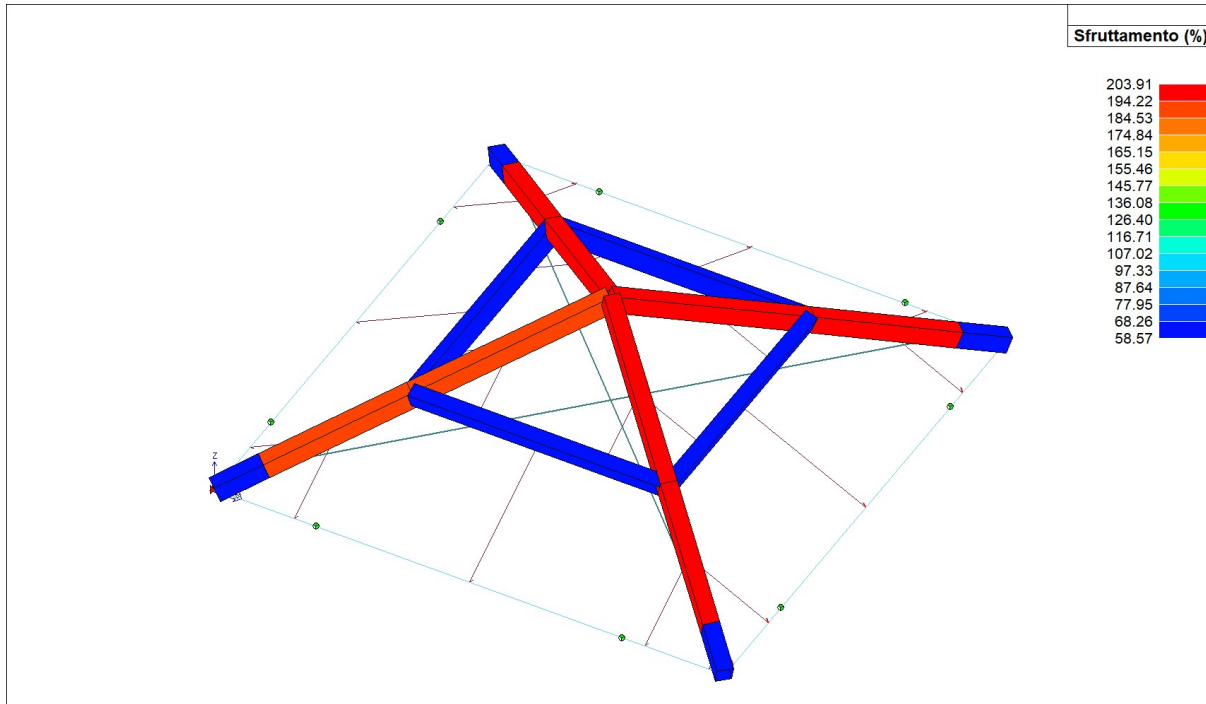


Figura 7 – Sfruttamento degli elementi della copertura in legno

Verifica N+/M a tensoflessione degli elementi: verifica come da formula 6.17 e 6.18 dell'EC5:

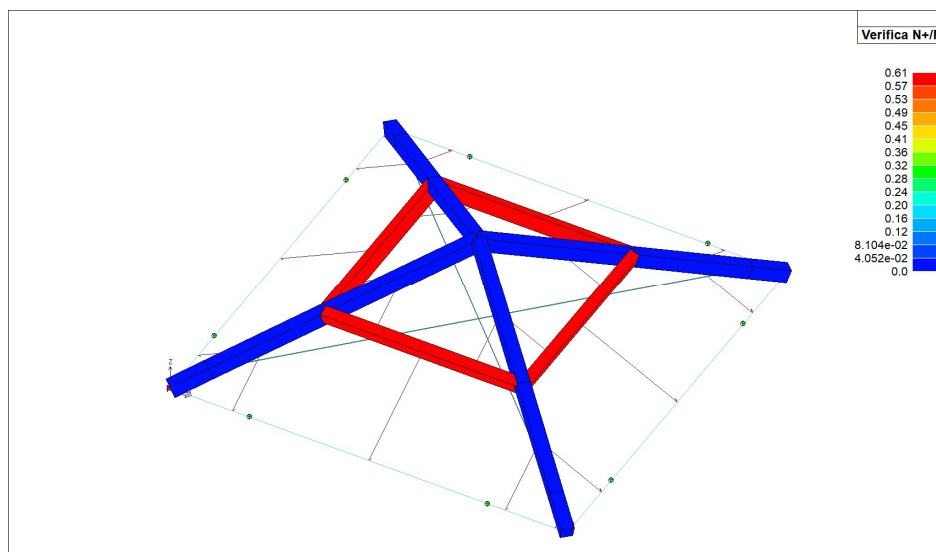


Figura 8 – Verifica N+/M





Verifica N-M a pressoflessione degli elementi: verifica come da formula 6.19 e 6.20 dell'EC5:

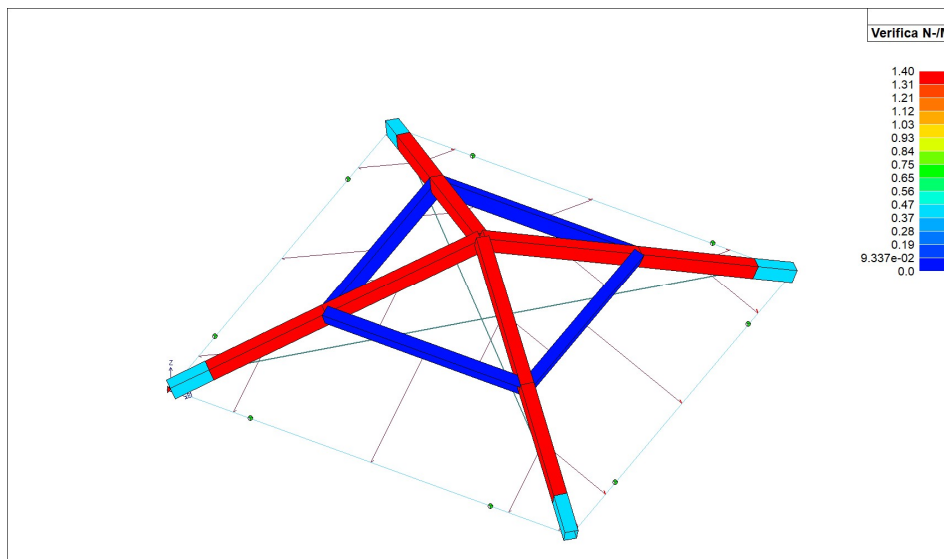


Figura 9 – Verifica N-M

Verifica a stabilità come da formula 6.23 e 6.24 per pressoflessione di elementi con snellezza relativa in un piano maggiore di 0.3:

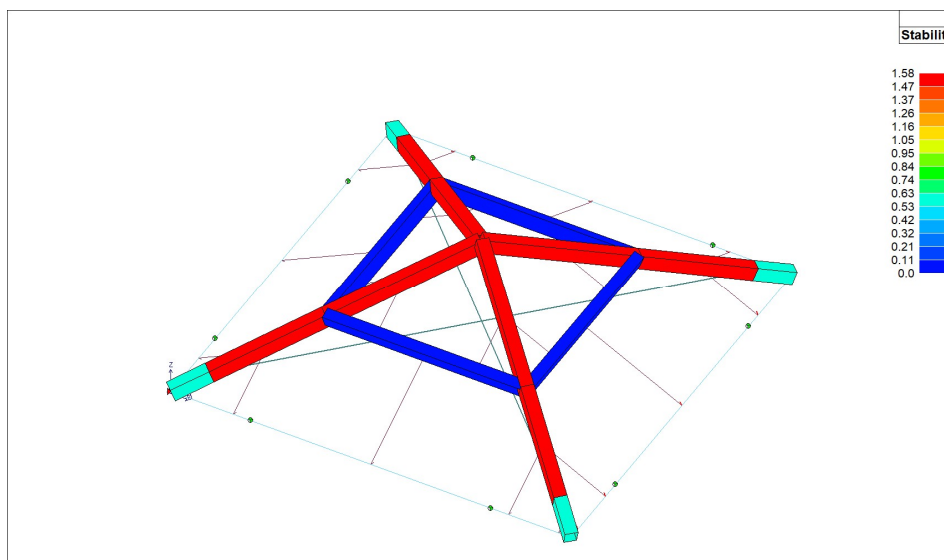


Figura 10 – Verifica stabilità





Verifica svergolamento come da formula 6.35 (effettuata in entrambi i piani principali) per instabilità laterale.

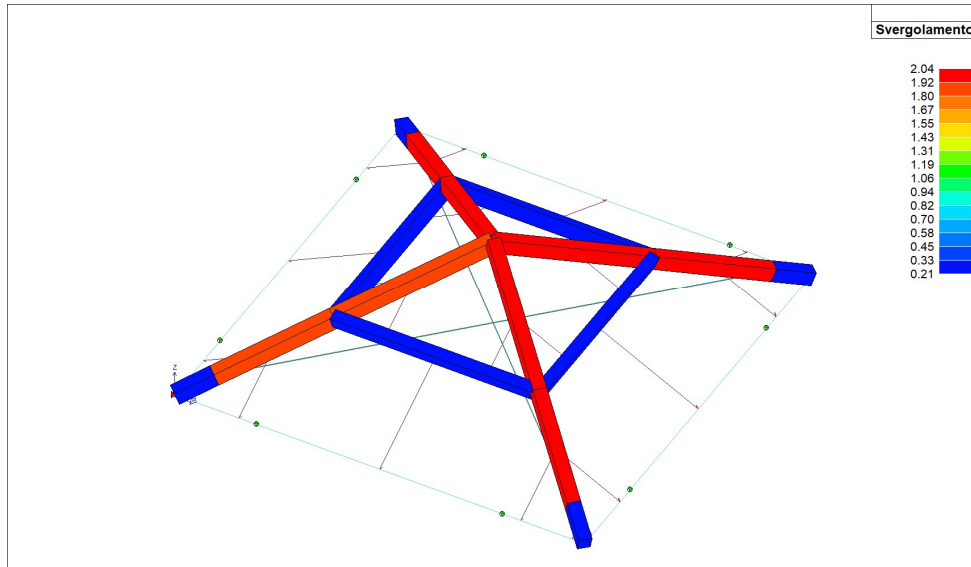


Figura 11 – Verifica svergolamento

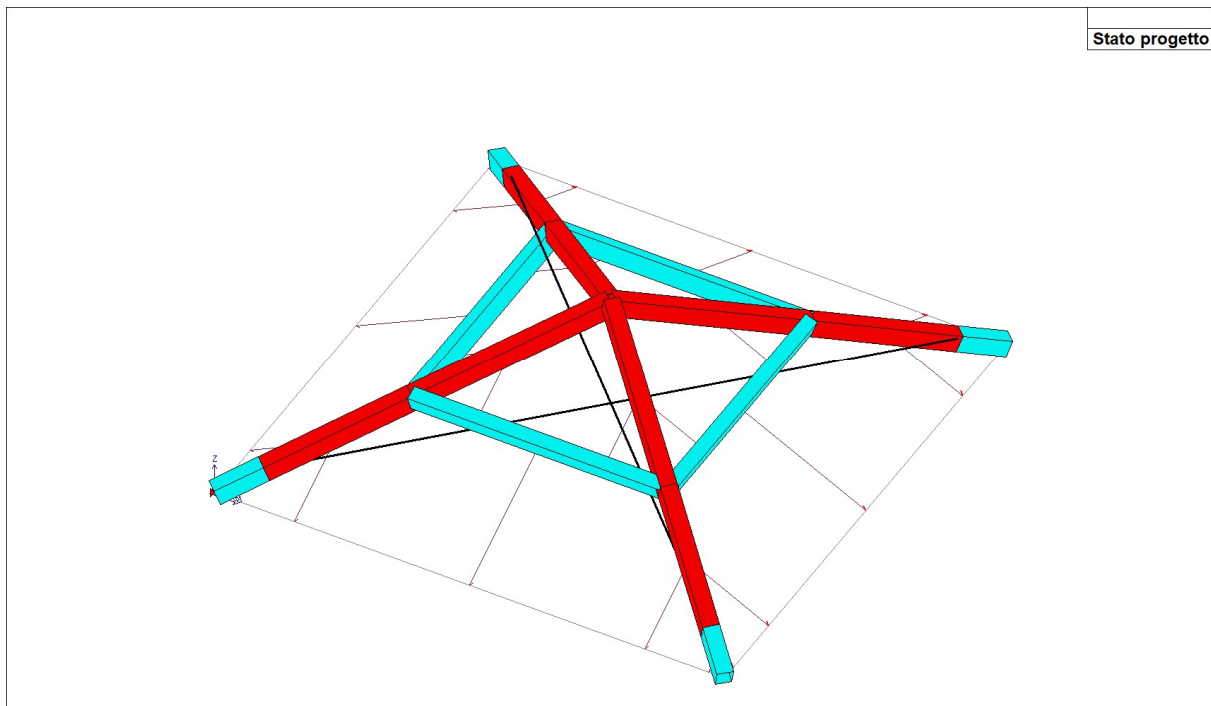


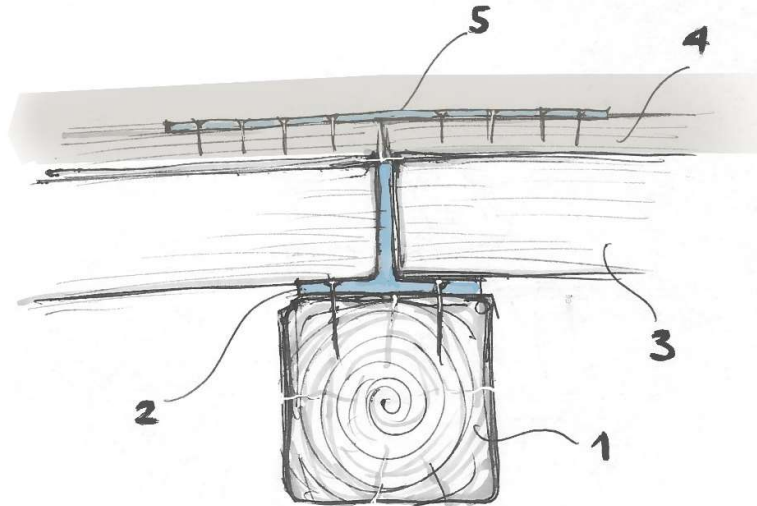
Figura 12 – in ciano gli elementi verificati, in rosso quelli non verificati





6.1.2 Stato di progetto

Si prevede il rinforzo delle travi diagonali mediante accoppiamento con profilo a T applicato all'estradosso.



Legenda: 1> travi diagonali; 2> rinforzo in acciaio (eventuale) collegato alle travi con viti e con piastrine/squadrette per fissare gli arcarecci; 3> revisione arcarecci con sostituzione degli elementi degradati; 4> tavolato; 5> nastri forati

Si considera il solo profilo a T rovescio per il contributo a resistenza:

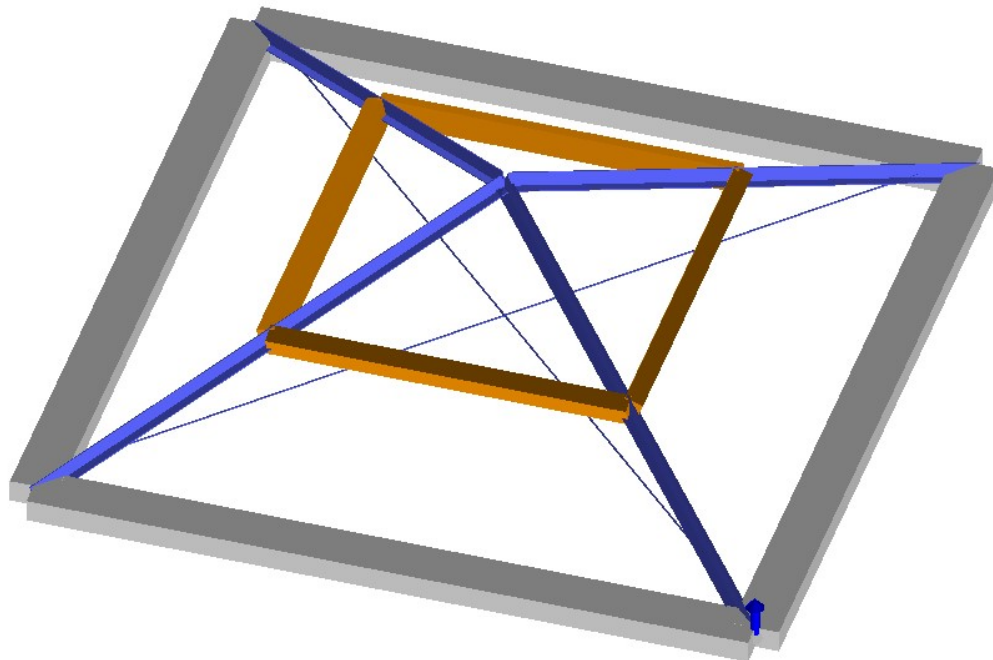


Figura 13: vista del modello allo stato di progetto





Il programma di calcolo restituisce gli sfruttamenti delle sezioni e le diverse verifiche previste dalla normativa; tutte le verifiche risultano soddisfatte.

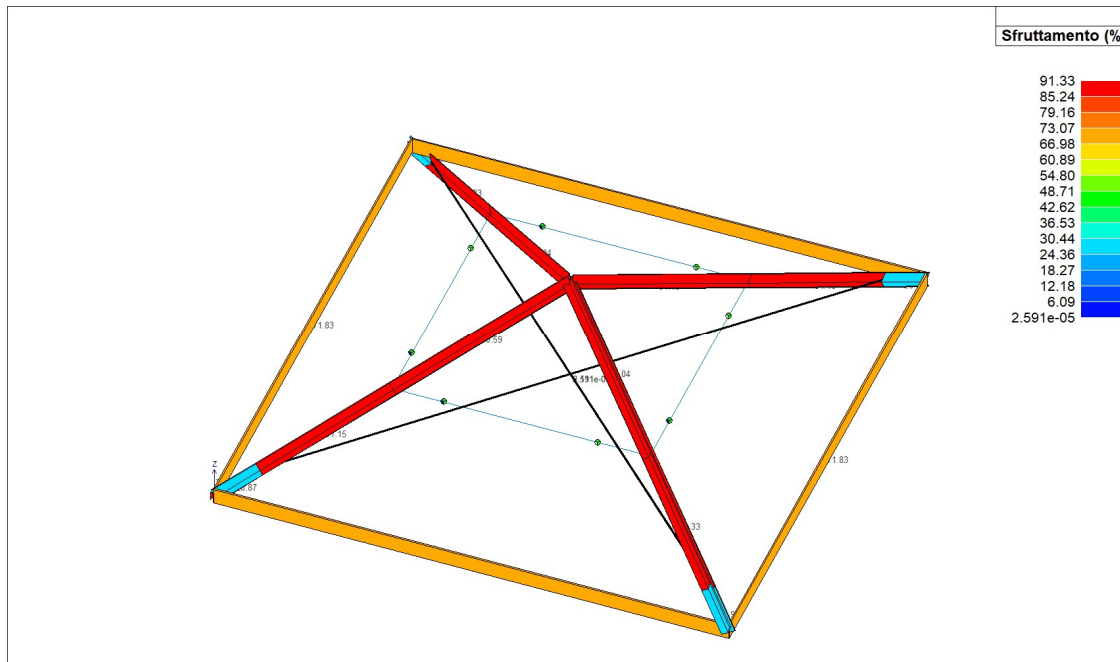


Figura 14 – Sfruttamento degli elementi in acciaio

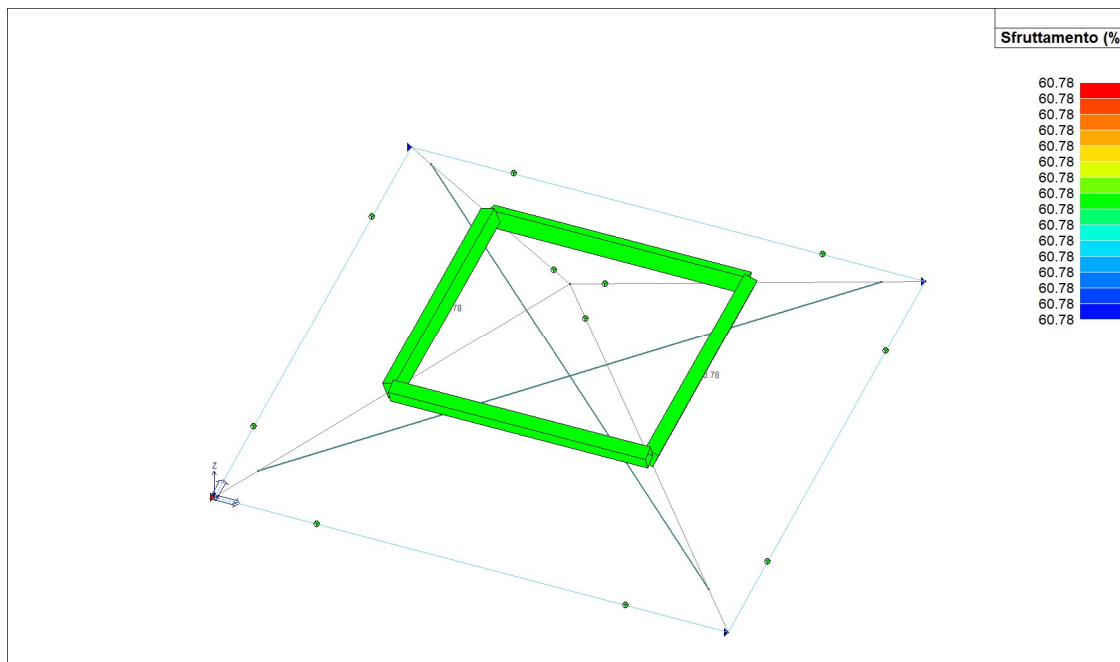


Figura 15 – Sfruttamento degli elementi in legno





Verifica 4.2.4.1.2 V/T Permette la visualizzazione dei risultati ottenuti dalla verifica a Taglio e Torsione degli elementi espressi mediante i valori di $V_{Ed}/V_{c,Rd}$ (oppure T_{Ed}/T_{Rd} se questa dovesse risultare più restrittiva). La verifica è da considerarsi soddisfatta se il valore è inferiore a 1.

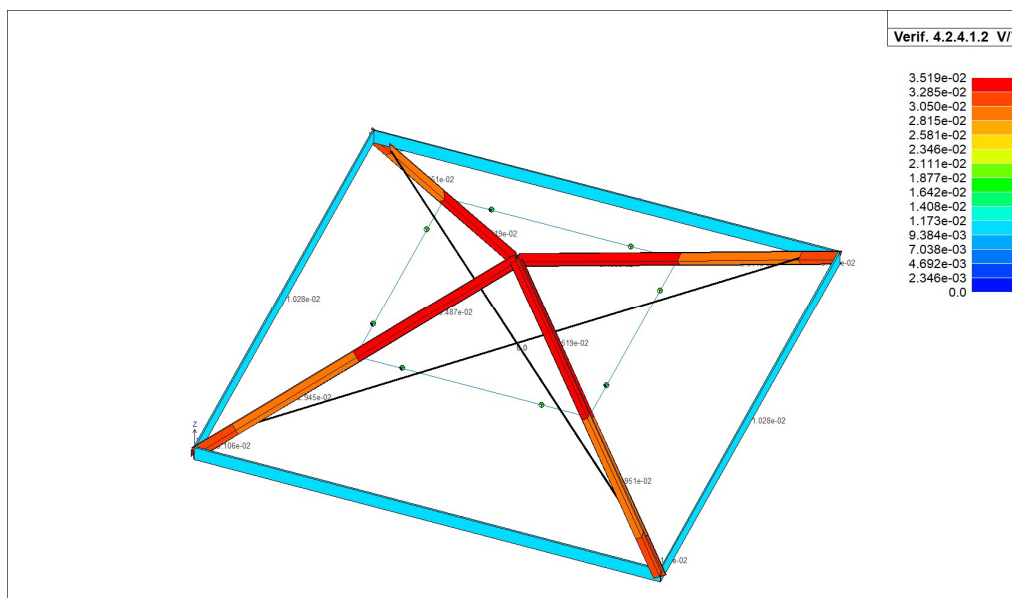


Figura 16 – Verifica a Taglio e Torsione degli elementi in acciaio

Verifica 4.2.4.1.2 N/M Permette la visualizzazione dei risultati ottenuti dalla verifica a flessione e forza assiale degli elementi. La verifica è da considerarsi soddisfatta se il valore è inferiore a 1.

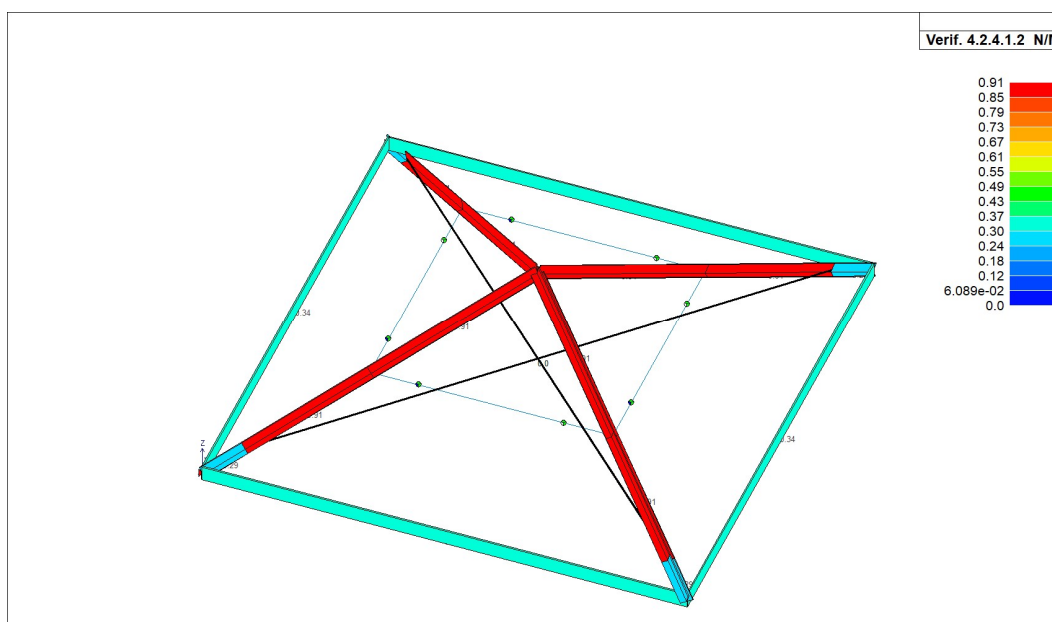


Figura 17 – Verifica a Flessione e Forza Assiale degli elementi in acciaio





Verifica 4.2.4.1.3.2 Flessione Permette la visualizzazione dei risultati delle verifiche di stabilità dell'elemento soggetto a flessione, eseguite secondo la formula 4.2.48. La verifica è da considerarsi soddisfatta se il valore è inferiore a 1.

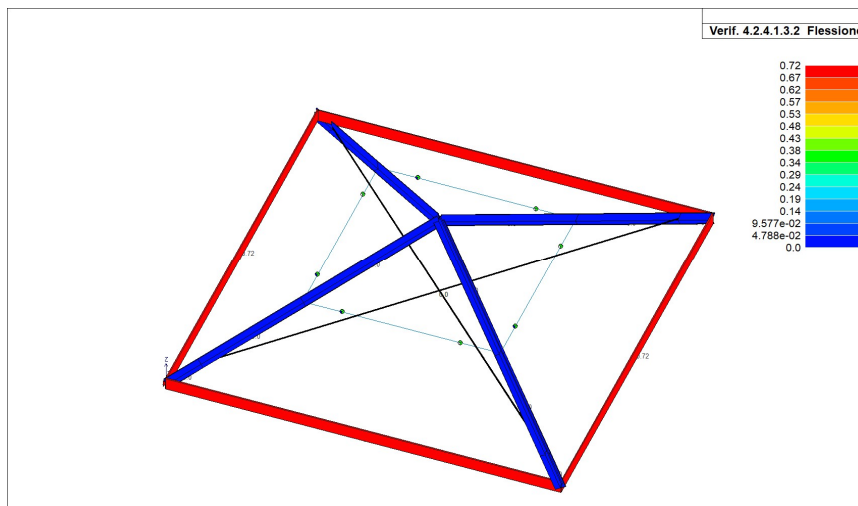


Figura 18 – Verifica di instabilità delle membrane soggette a flessione

Il cordolo perimetrale, cui spetta l'assorbimento delle spinte orizzontali del sistema di copertura, viene rinforzato con fasce in fibra di acciaio. L'azione massima agente sul cordolo è pari a 18.7 kN, inferiore alla resistenza a trazione di una fascia in fibra di acciaio tipo Kerakoll G600 di altezza 15cm, superiore a 35 kN.

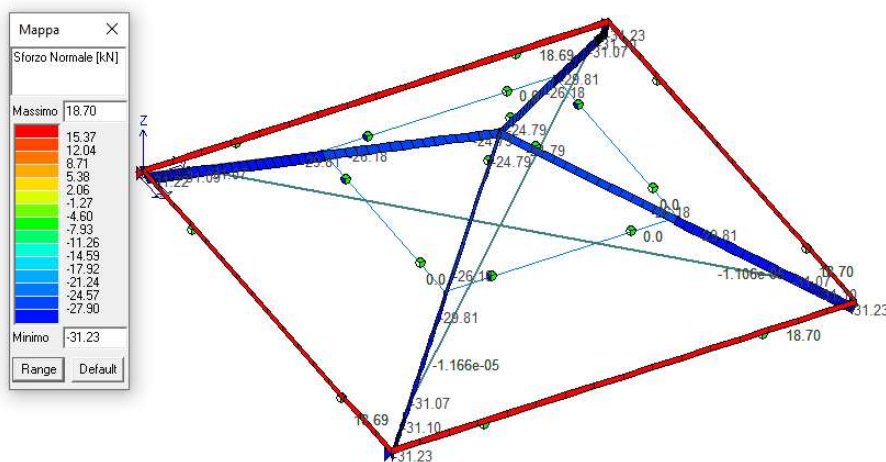


Figura 19: sforzo normale massimo

INDICAZIONI D'USO

Di seguito si riporta una tabella dove vengono elencate le resistenze di trazione di un connettore, in funzione del tipo di tessuto GeoSteel Hardwire™ e delle relative larghezze di fascia adottate:

Tessuto	Larghezza della fascia (cm)	Numero Di Trefoli*	Carico di Rottura a Trazione
GeoSteel G600	10	16	> 24 kN
GeoSteel G600	15	23	> 35 kN

*n° trefoli per cm = 1,57;
carico di rottura a trazione di un trefolo > 1500 N.





VERIFICA LISTELLI IN LEGNO ESISTENTI

Verifica travi lignee secondo N.T.C. di cui al D.M. 17/01/2018											
<u>dati sezione e materiali</u>											
denominazione trave: LISTELLI											
trave	B	H	inclinaz.	$f_{m,d}$	$f_{v,d}$	legno	classe di servizio		3		
	10	10	0°,0	84,0	15,9	C18 - massiccio	classe durata carico		breve		
	[cm]	[cm]		[kg/cm ²]	[kg/cm ²]						
<u>combinazioni e sollecitazioni</u>						<u>verifiche agli S.L.U.</u>					
luce di calcolo	L	160	cm								
	SLU	SLE rara	SLE q. p.								
distribuito	q_d	391,58	261,85	244,65	[kg/m]	$\sigma_{m,y,d}$	$\sigma_{m,z,d}$	verifica	$\tau_{y,d}$	$\tau_{z,d}$	verifica
conc. a L/2	P_d	0,00	0,00	0,00	[kg]	75,2	0,0	0,90	4,7	0,0	0,30
						[kg/cm ²]	[kg/cm ²]		[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	
<u>verifiche agli S.L.E.</u>											
						f_v [cm]	f_x [cm]	f_{TOT} [cm]			
momento flettente	$M_{Ed,v}$	12530	kgcm								
	$M_{Ed,z}$	0	kgcm								
sollecitazione di taglio	$V_{Ed,v}$	313	kg								
	$V_{Ed,z}$	0	kg								
freccia istantanea		0,0		0,0		0,3		0,3	L / 537		
freccia finale		0,0		0,0		0,9		0,9	L / 187		

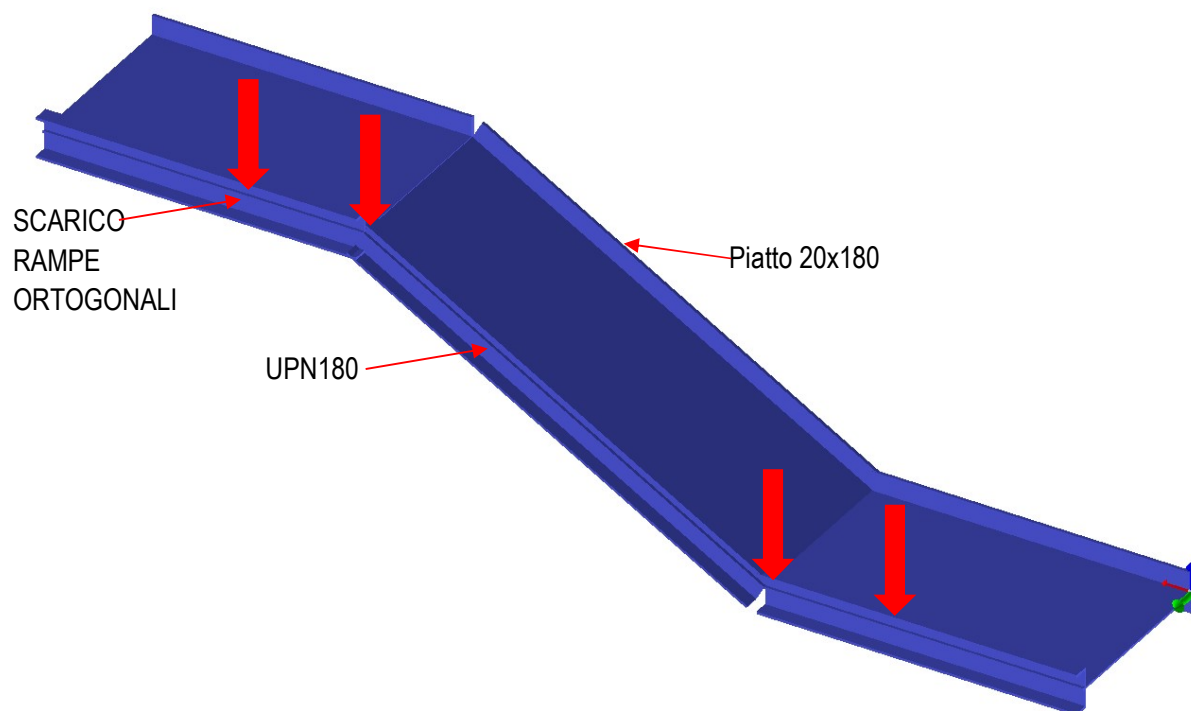
I listelli esistenti risultano verificati.





6.2 Nuove scale interne – rampa tipo

Si riporta la verifica della rampa tipologica delle nuove scale interne, costituita da un lato da cosciale UPN180 e dell'altro da cosciale piatto b20xh180mm.



Il programma di calcolo restituisce gli sfruttamenti delle sezioni e le diverse verifiche previste dalla normativa; tutte le verifiche risultano soddisfatte.

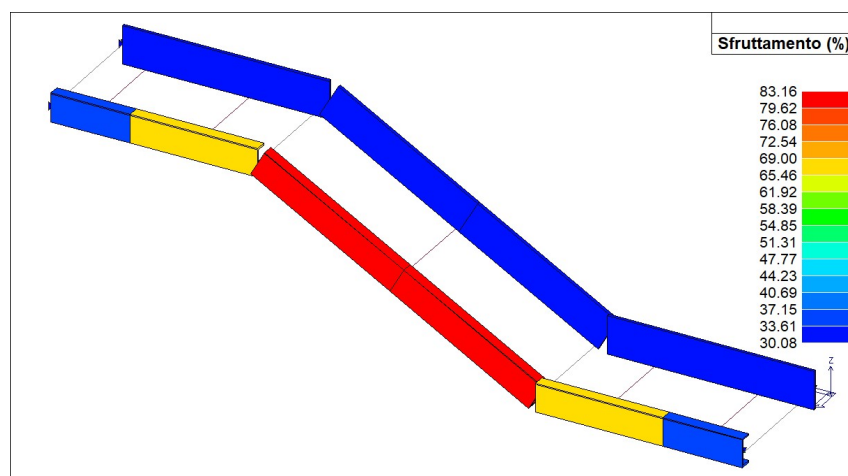


Figura 20 – Sfruttamento degli elementi in acciaio





Verifica 4.2.4.1.2 V/T Permette la visualizzazione dei risultati ottenuti dalla verifica a Taglio e Torsione degli elementi espressi mediante i valori di $V_{Ed}/V_{c,Rd}$ (oppure T_{Ed}/T_{Rd} se questa dovesse risultare più restrittiva). In presenza di torsione viene applicata la formula 4.2.24 o 4.2.25 per sezioni cave. La verifica è da considerarsi soddisfatta se il valore è inferiore a 1.

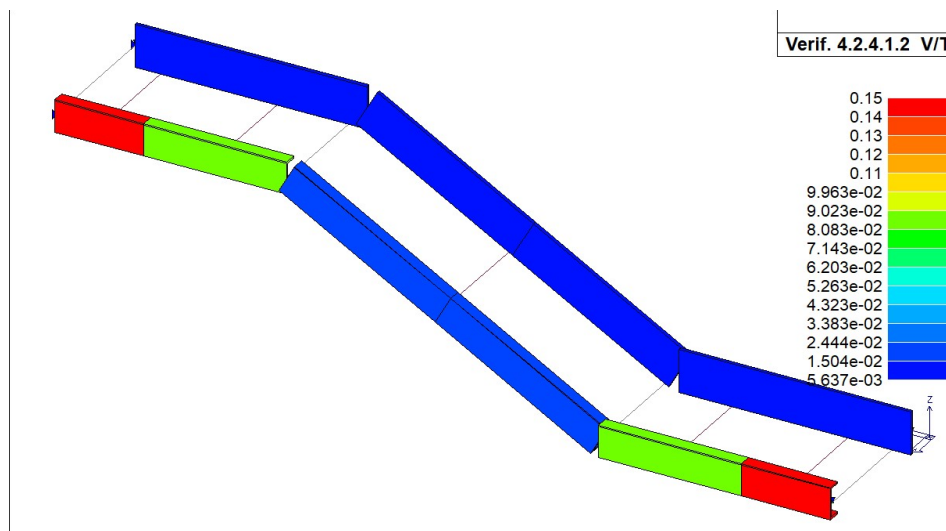


Figura 21 – Verifica a Taglio e Torsione degli elementi in acciaio

Verifica 4.2.4.1.2 N/M Permette la visualizzazione dei risultati ottenuti dalla verifica a flessione e forza assiale degli elementi. La verifica tiene conto del fattore di riduzione per taglio p (formula 4.2.40). Le formule utilizzate sono la 4.2.38 o 4.2.39, in funzione della classe della sezione. La verifica è da considerarsi soddisfatta se il valore è inferiore a 1.

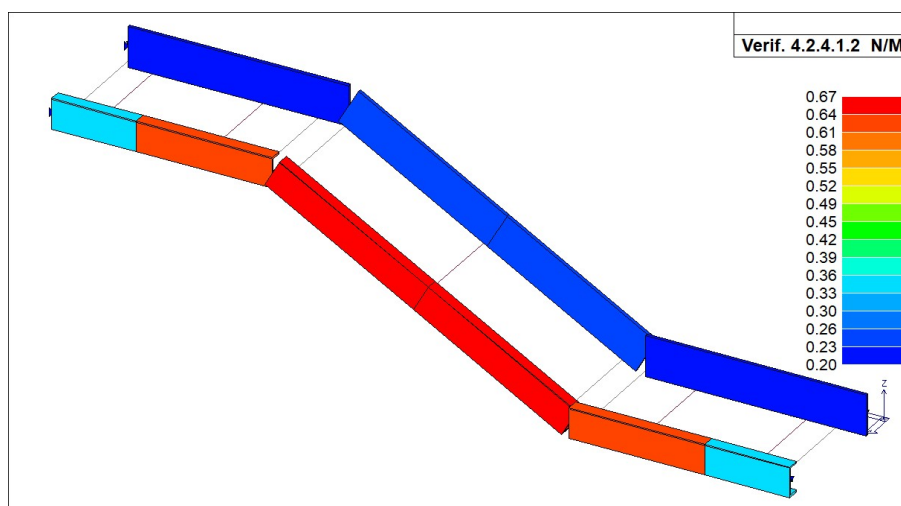


Figura 22 – Verifica a Flessione e Forza Assiale degli elementi in acciaio





Verifica 4.2.4.1.3.2 Flessione Permette la visualizzazione dei risultati delle verifiche di stabilità dell'elemento soggetto a flessione, eseguite secondo la formula 4.2.48. La verifica è da considerarsi soddisfatta se il valore è inferiore a 1.

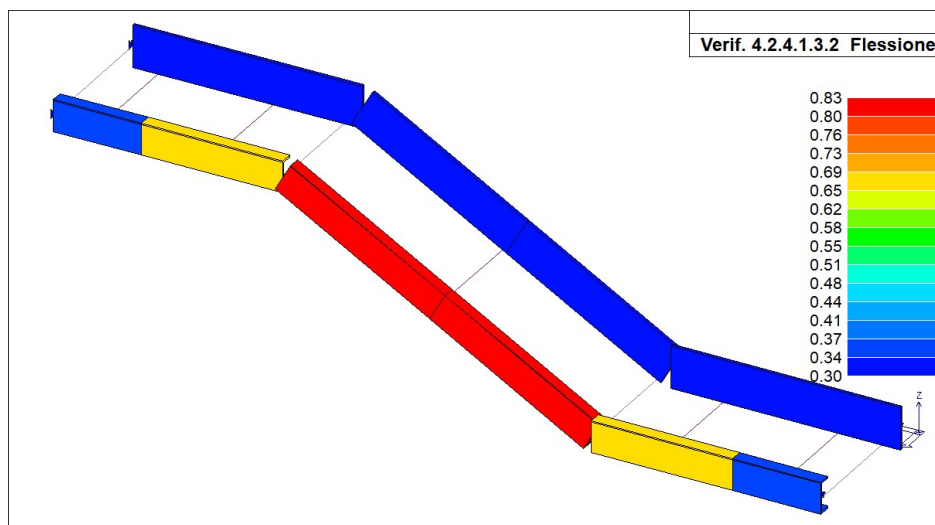


Figura 23 – Verifica di instabilità delle membrane soggette a flessione

Verifiche agli Stati Limite di Esercizio

Di seguito si riportano le verifiche agli stati limite di esercizio delle travi.

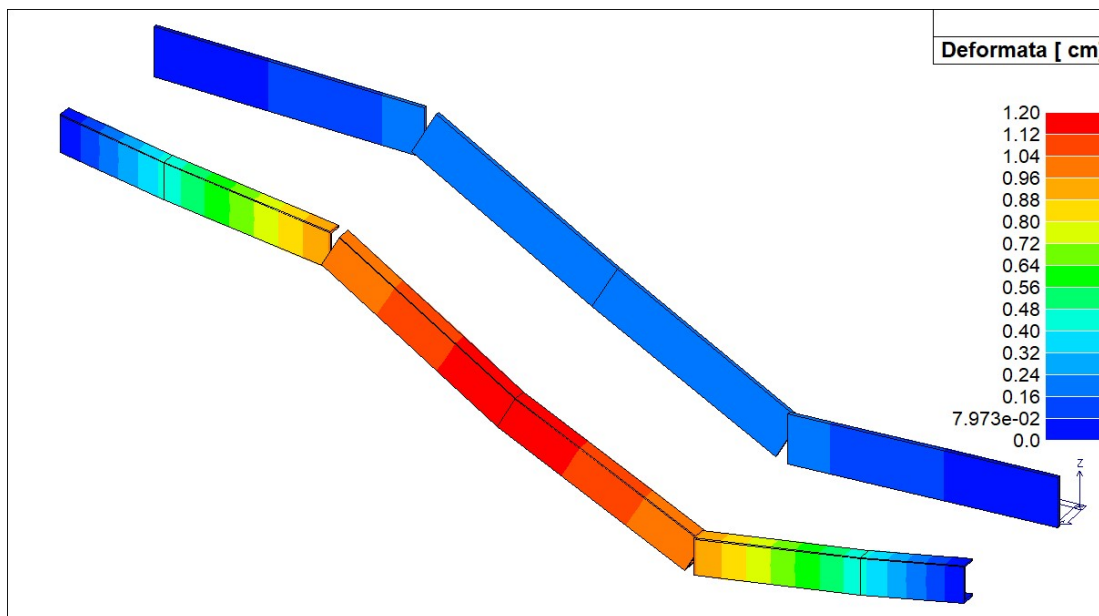


Figura 24 – Freccia, carichi variabili



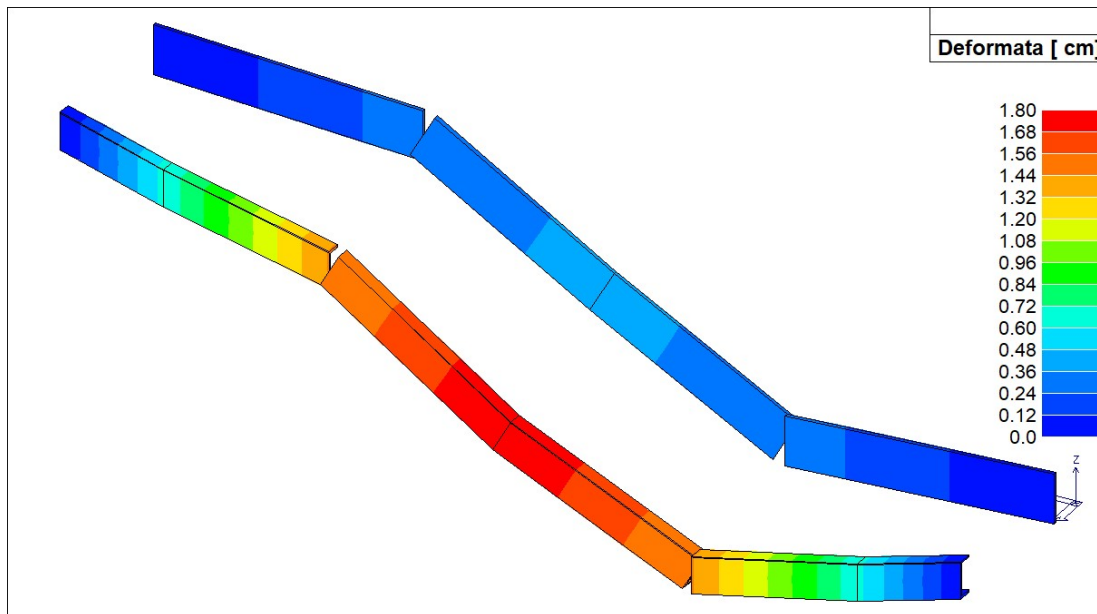


Figura 25 – Freccia, carichi totali

La verifica agli SLE consiste nel confronto tra la frecce ottenute per il solo effetto dei carichi variabili (δ_2) e quella totale (δ_{max}), con i limiti previsti da normativa.

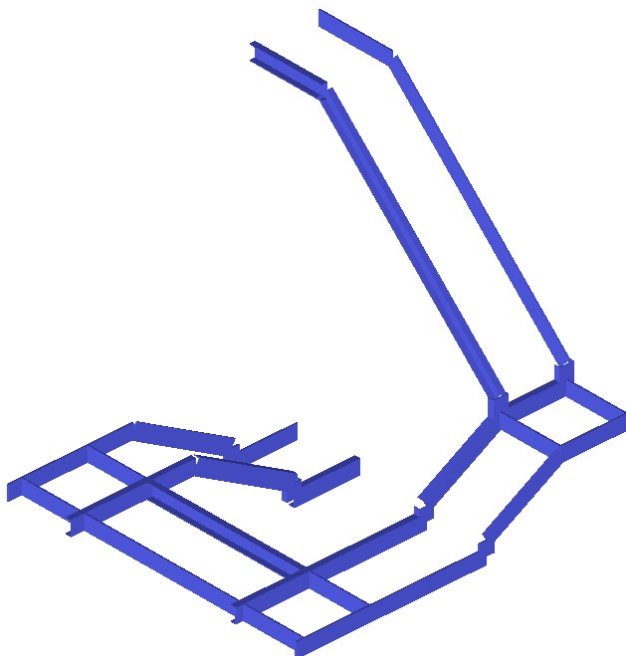
Limite da normativa		Valore di progetto	
$\delta_2=465/300=1,55$ cm	>	$\delta_2=1,20$ cm	Verificata
$\delta_{max}=465/250=1,86$ cm	>	$\delta_{max}=1,80$ cm	Verificata





6.3 Nuove scale interne – rampa tra livello 10 e 12

Si riporta la verifica della rampa tra livello 10 e 12, costituita da un lato da cosciale UPN180 e dell'altro da cosciale piatto b20xh180mm.



Il programma di calcolo restituisce gli sfruttamenti delle sezioni e le diverse verifiche previste dalla normativa; tutte le verifiche risultano soddisfatte.

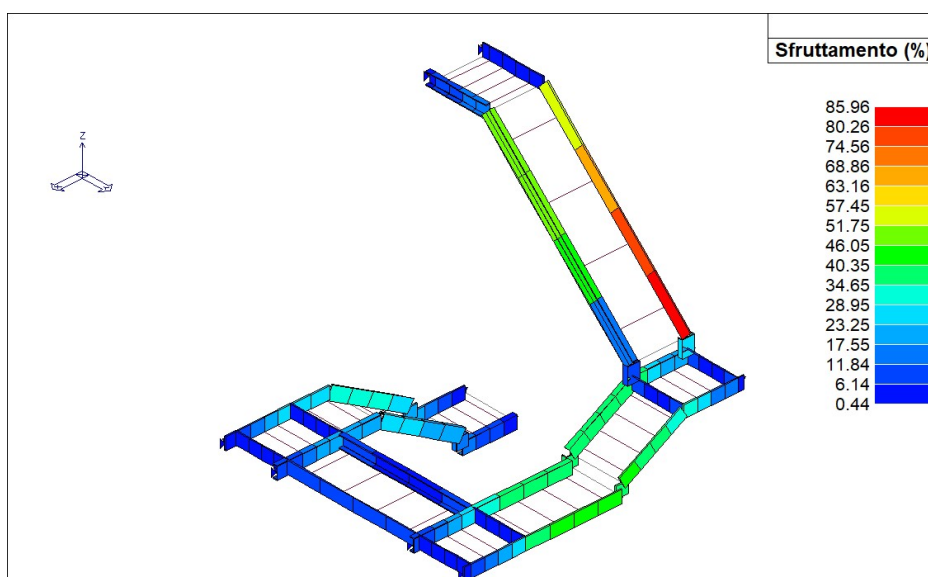


Figura 26 – Sfruttamento degli elementi in acciaio





Verifica 4.2.4.1.2 V/T Permette la visualizzazione dei risultati ottenuti dalla verifica a Taglio e Torsione degli elementi espressi mediante i valori di $V_{Ed}/V_{c,Rd}$ (oppure T_{Ed}/T_{Rd} se questa dovesse risultare più restrittiva). In presenza di torsione viene applicata la formula 4.2.24 o 4.2.25 per sezioni cave. La verifica è da considerarsi soddisfatta se il valore è inferiore a 1.

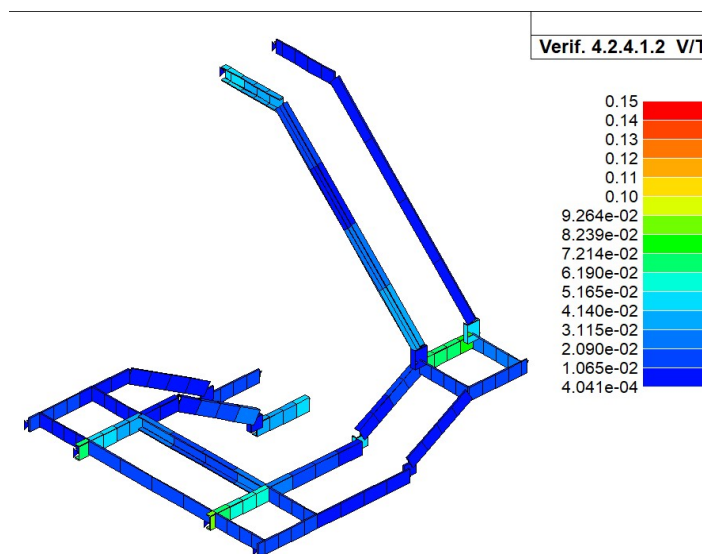


Figura 27 – Verifica a Taglio e Torsione degli elementi in acciaio

Verifica 4.2.4.1.2 N/M Permette la visualizzazione dei risultati ottenuti dalla verifica a flessione e forza assiale degli elementi. La verifica tiene conto del fattore di riduzione per taglio p (formula 4.2.40). Le formule utilizzate sono la 4.2.38 o 4.2.39, in funzione della classe della sezione. La verifica è da considerarsi soddisfatta se il valore è inferiore a 1.

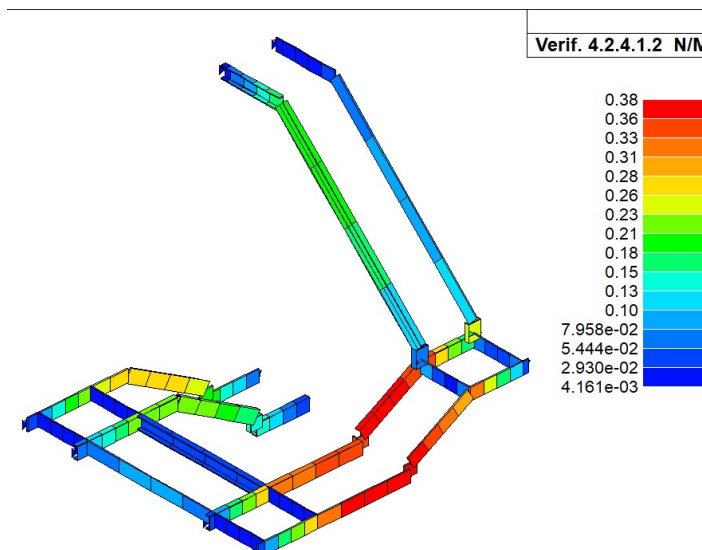


Figura 28 – Verifica a Flessione e Forza Assiale degli elementi in acciaio





Verifica 4.2.4.1.3.2 Flessione Permette la visualizzazione dei risultati delle verifiche di stabilità dell'elemento soggetto a flessione, eseguite secondo la formula 4.2.48. La verifica è da considerarsi soddisfatta se il valore è inferiore a 1.

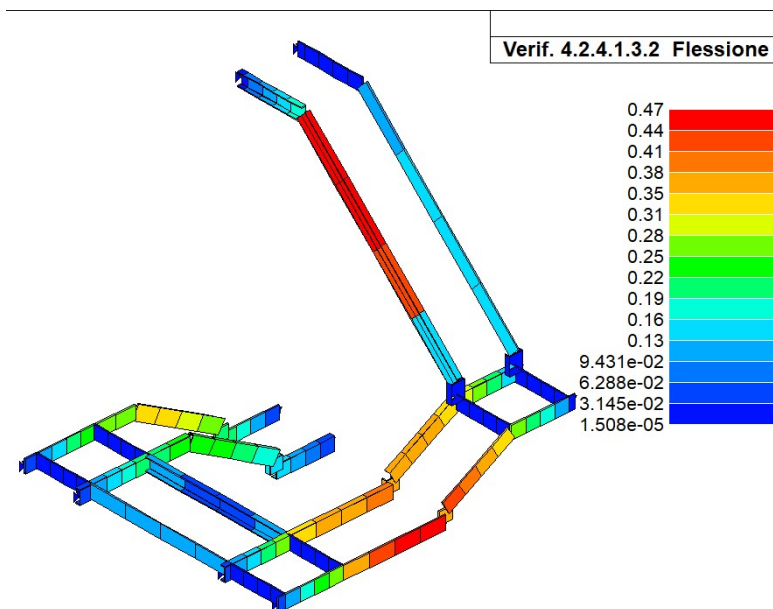


Figura 29 – Verifica di instabilità delle membrane soggette a flessione

Verifica 4.2.4.1.3.3 Presso-flessione Permette la visualizzazione dei risultati delle verifiche di stabilità dell'elemento soggetto a pressoflessione. La verifica è da considerarsi soddisfatta se il valore è inferiore a 1.

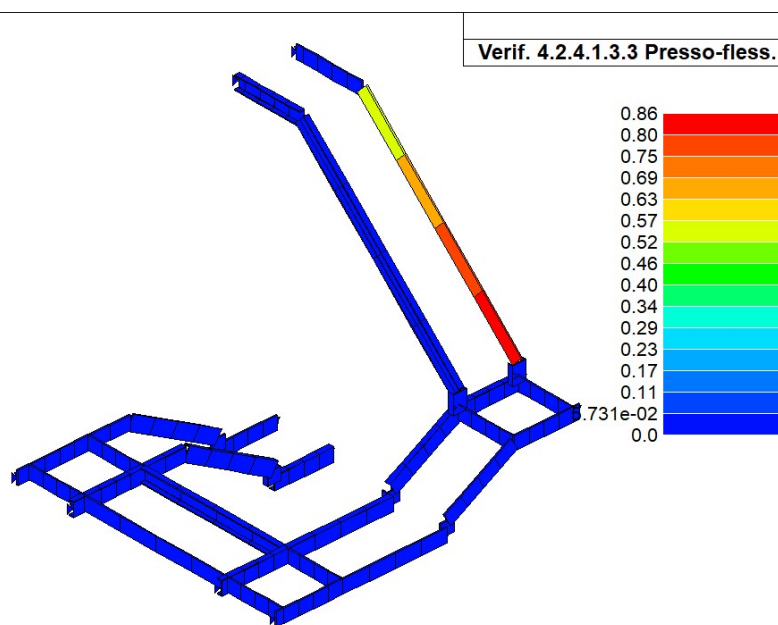


Figura 30 – Verifica di instabilità delle membrane soggette a presso-flessione





Verifiche agli Stati Limite di Esercizio

Di seguito si riportano le verifiche agli stati limite di esercizio delle travi.

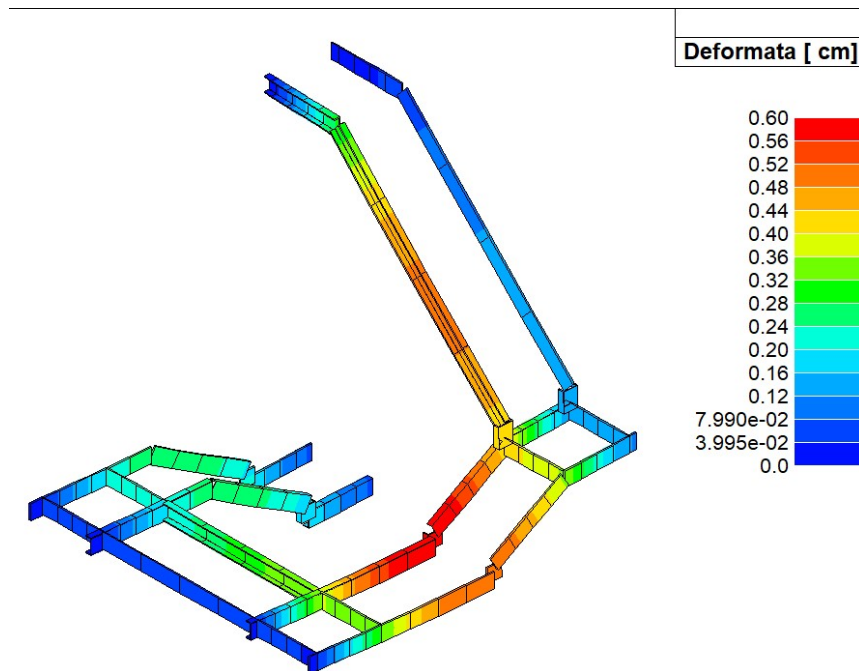


Figura 31 – Freccia, carichi variabili

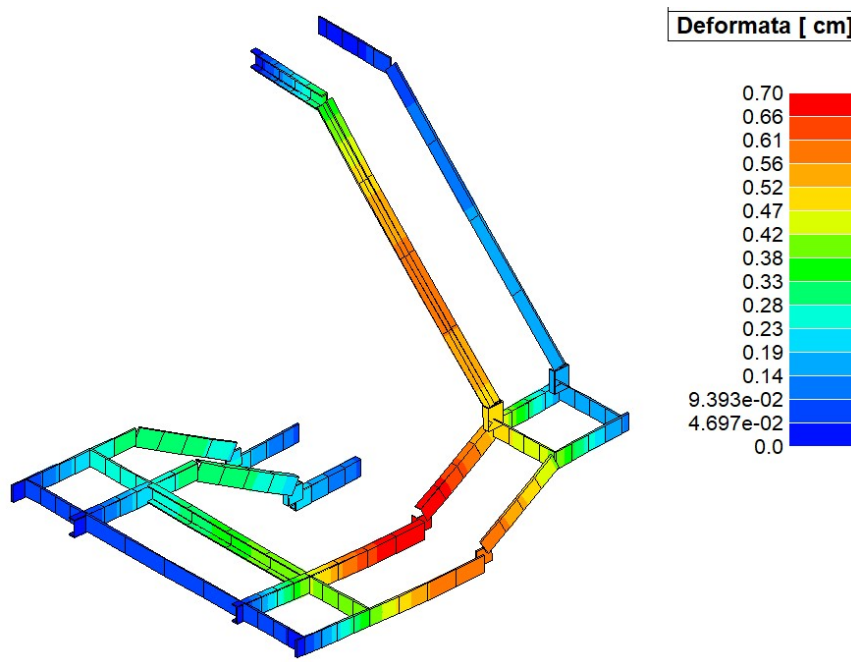


Figura 32 – Freccia, carichi totali





La verifica agli SLE consiste nel confronto tra la frecce ottenute per il solo effetto dei carichi variabili (δ_2) e quella totale (δ_{max}), con i limiti previsti da normativa.

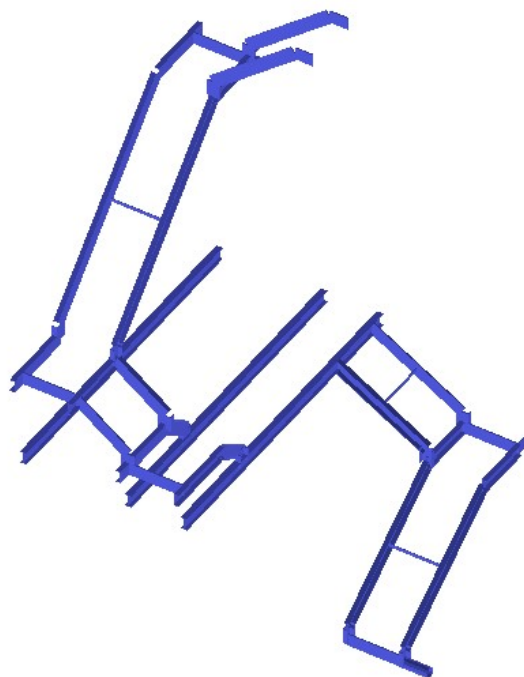
Limite da normativa		Valore di progetto	
$\delta_2=465/300=1,55$ cm	>	$\delta_2= 0,60$ cm	Verificata
$\delta_{max}=465/250=1,86$ cm	>	$\delta_{max}=0,70$ cm	Verificata





6.4 Nuove scale interne – rampa tra livello 12 e 16

Si riporta la verifica delle rampe delle scale interne tra il livello 12 e 16, comprensivo del solaio di sbarco al livello 14.



Il programma di calcolo restituisce gli sfruttamenti delle sezioni e le diverse verifiche previste dalla normativa; tutte le verifiche risultano soddisfatte.

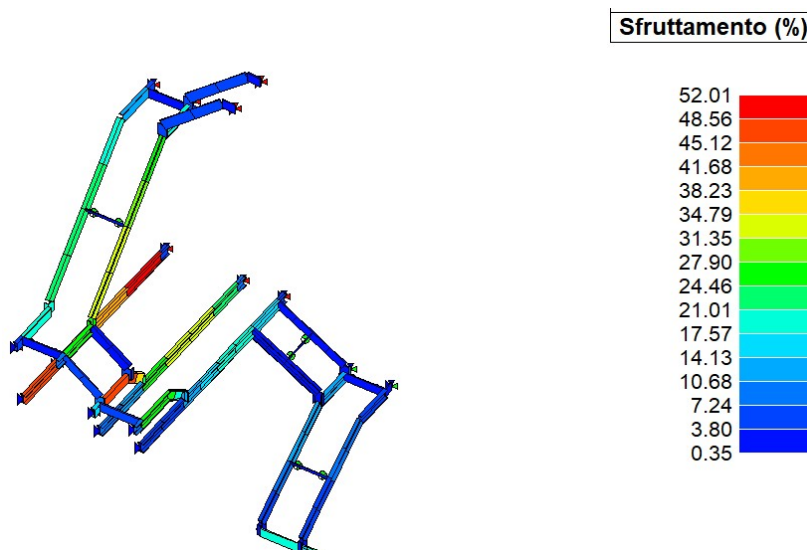


Figura 33 – Sfruttamento degli elementi in acciaio





Verifica 4.2.4.1.2 V/T Permette la visualizzazione dei risultati ottenuti dalla verifica a Taglio e Torsione degli elementi espressi mediante i valori di $V_{Ed}/V_{c,Rd}$ (oppure T_{Ed}/T_{Rd} se questa dovesse risultare più restrittiva). In presenza di torsione viene applicata la formula 4.2.24 o 4.2.25 per sezioni cave. La verifica è da considerarsi soddisfatta se il valore è inferiore a 1.

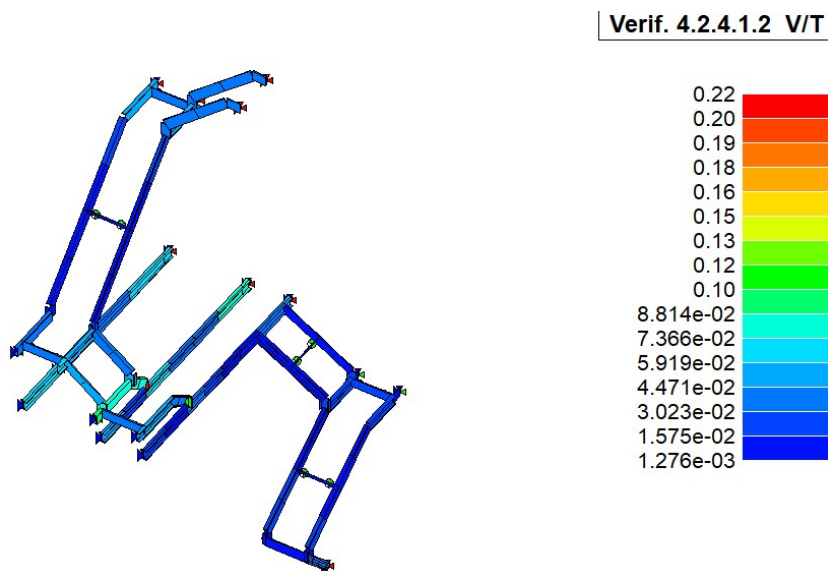


Figura 34 – Verifica a Taglio e Torsione degli elementi in acciaio

Verifica 4.2.4.1.2 N/M Permette la visualizzazione dei risultati ottenuti dalla verifica a flessione e forza assiale degli elementi. La verifica è da considerarsi soddisfatta se il valore è inferiore a 1.

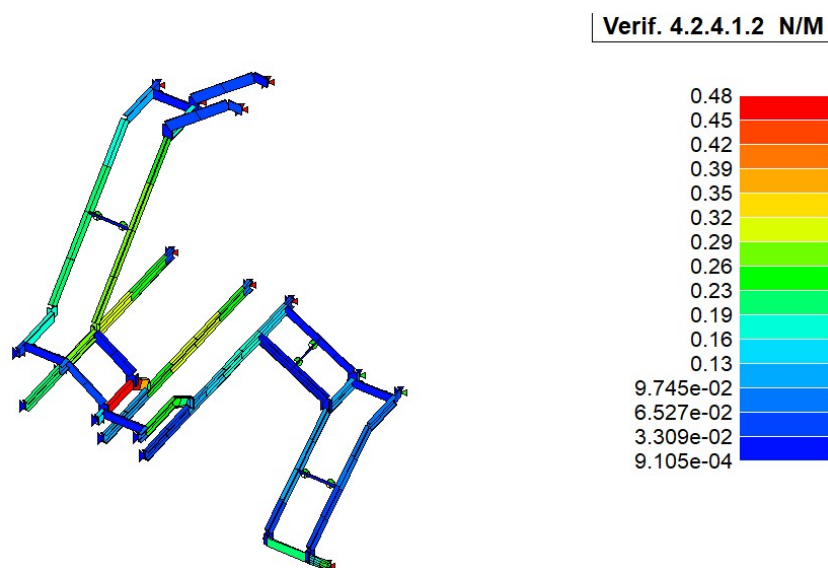


Figura 35 – Verifica a Flessione e Forza Assiale degli elementi in acciaio





Verifica 4.2.4.1.3.2 Flessione Permette la visualizzazione dei risultati delle verifiche di stabilità dell'elemento soggetto a flessione, eseguite secondo la formula 4.2.48. La verifica è da considerarsi soddisfatta se il valore è inferiore a 1.

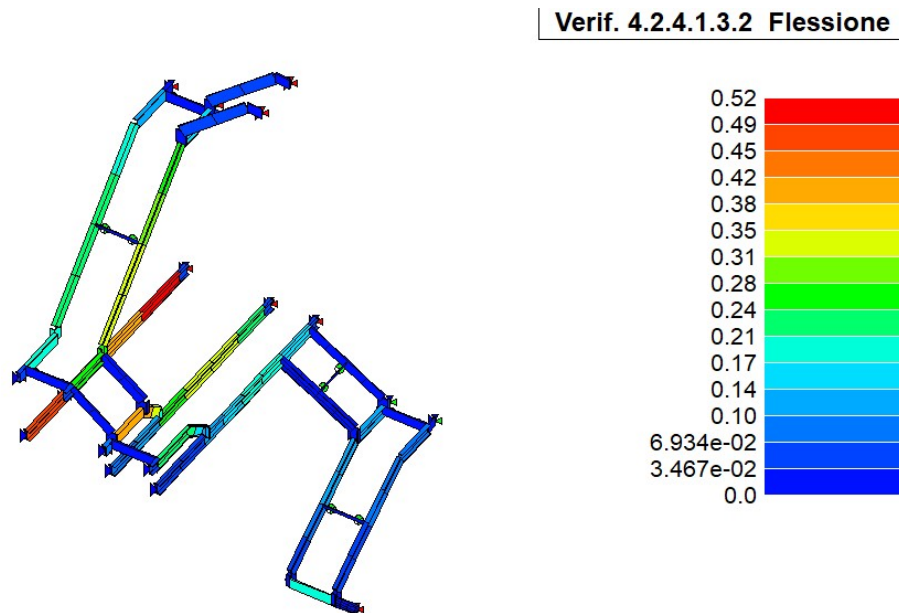


Figura 36 – Verifica di instabilità delle membrane soggette a flessione

Verifiche agli Stati Limite di Esercizio

Di seguito si riportano le verifiche agli stati limite di esercizio delle travi.

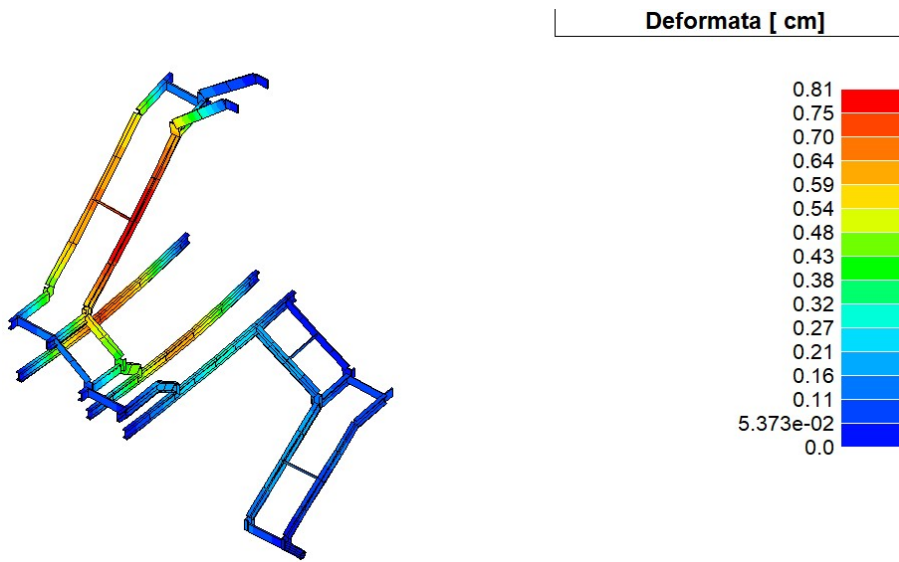


Figura 37 – Freccia, carichi variabili



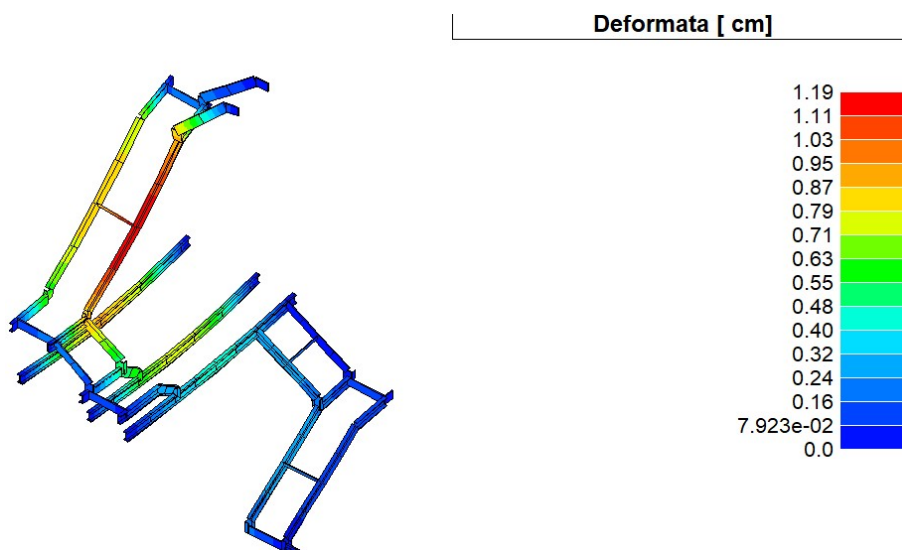


Figura 38 – Freccia, carichi totali

La verifica agli SLE consiste nel confronto tra la freccia ottenute per il solo effetto dei carichi variabili (δ_2) e quella totale (δ_{max}), con i limiti previsti da normativa.

Limite da normativa		Valore di progetto	
$\delta_2=450/300=1,50$ cm	>	$\delta_2=0,81$ cm	Verificata
$\delta_{max}=450/250=1,80$ cm	>	$\delta_{max}=1,19$ cm	Verificata





6.5 Nuove scale interne – rampa tra livello 16 e 18

Si riporta la verifica delle rampe delle scale interne tra il livello 16 e 18, comprensivo del solaio di sbarco al livello 18.

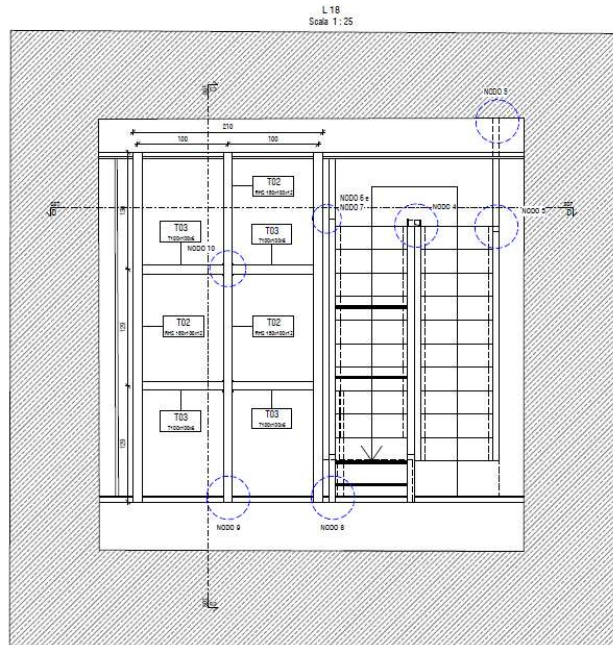


Figura 39: pianta stato di progetto

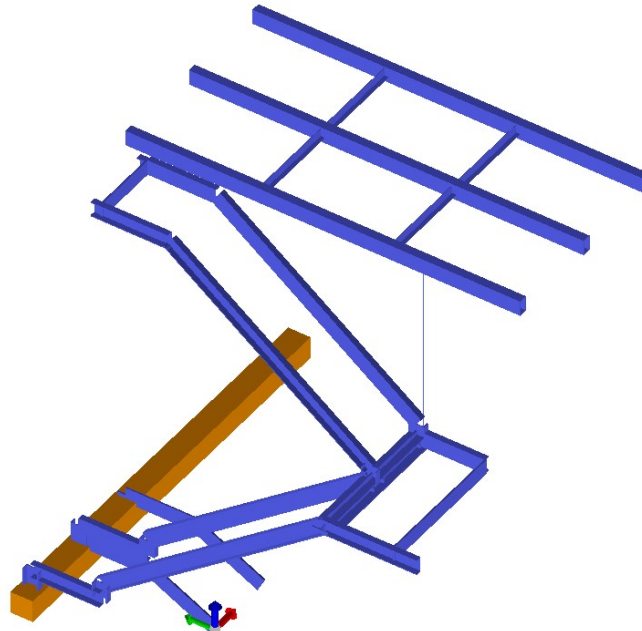


Figura 40: vista del modello strutturale





Il programma di calcolo restituisce gli sfruttamenti delle sezioni e le diverse verifiche previste dalla normativa; tutte le verifiche risultano soddisfatte.

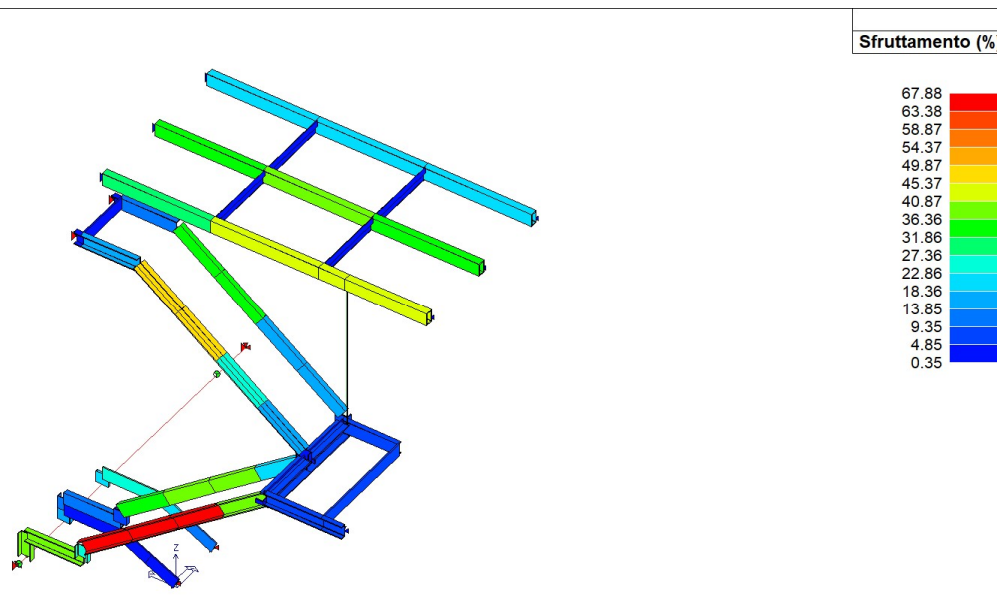


Figura 41 – Sfruttamento degli elementi in acciaio

Verifica 4.2.4.1.2 V/T Permette la visualizzazione dei risultati ottenuti dalla verifica a Taglio e Torsione degli elementi espressi mediante i valori di $V_{Ed}/V_{c,Rd}$ (oppure T_{Ed}/T_{Rd} se questa dovesse risultare più restrittiva). In presenza di torsione viene applicata la formula 4.2.24 o 4.2.25 per sezioni cave. La verifica è da considerarsi soddisfatta se il valore è inferiore a 1.

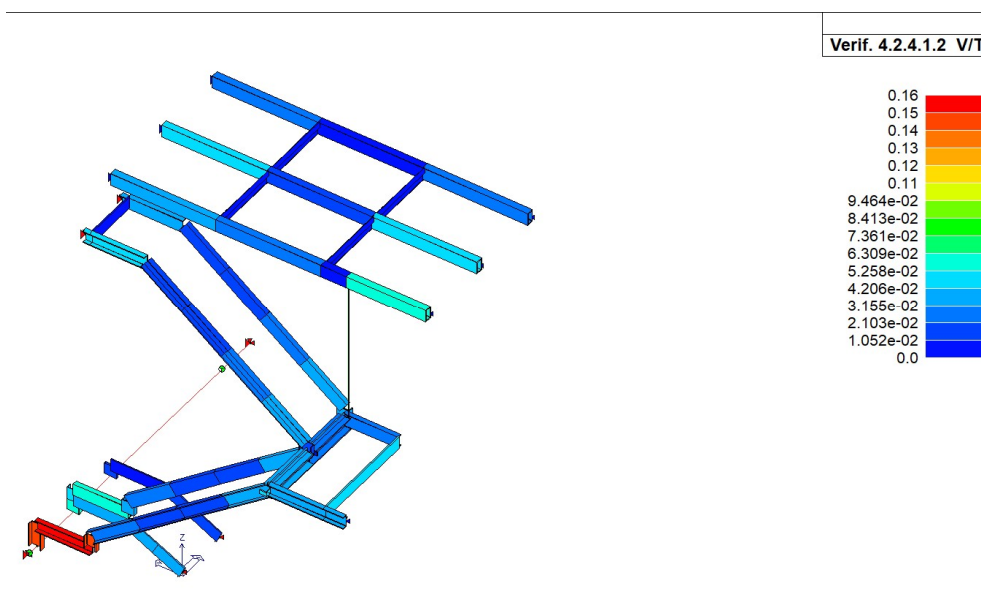


Figura 42 – Verifica a Taglio e Torsione degli elementi in acciaio





Verifica 4.2.4.1.2 N/M Permette la visualizzazione dei risultati ottenuti dalla verifica a flessione e forza assiale degli elementi. La verifica è da considerarsi soddisfatta se il valore è inferiore a 1.

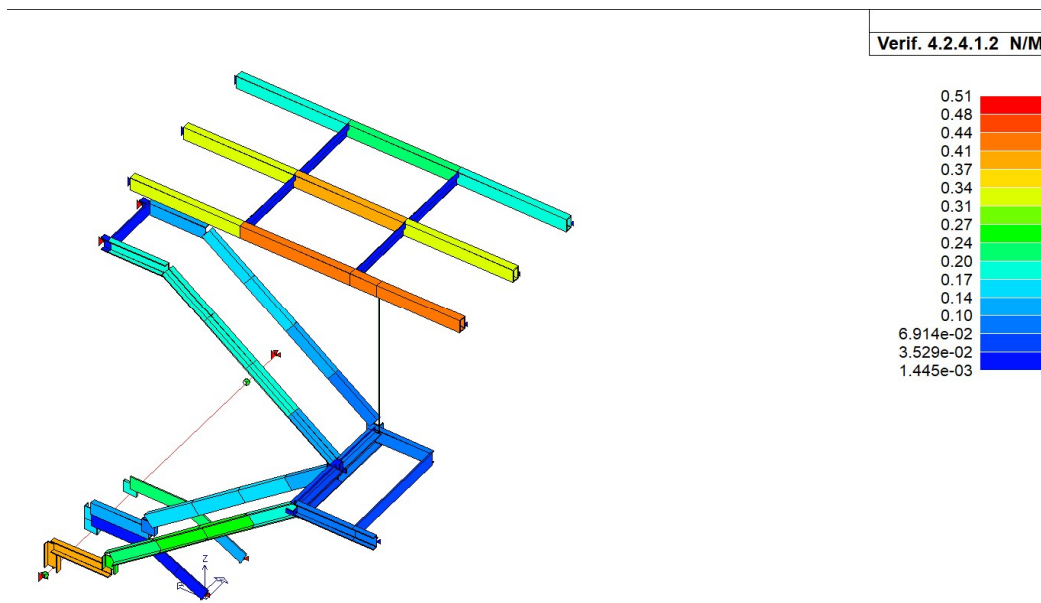


Figura 43 – Verifica a Flessione e Forza Assiale degli elementi in acciaio

Verifica 4.2.4.1.3.2 Flessione Permette la visualizzazione dei risultati delle verifiche di stabilità dell'elemento soggetto a flessione, eseguite secondo la formula 4.2.48. La verifica è da considerarsi soddisfatta se il valore è inferiore a 1.

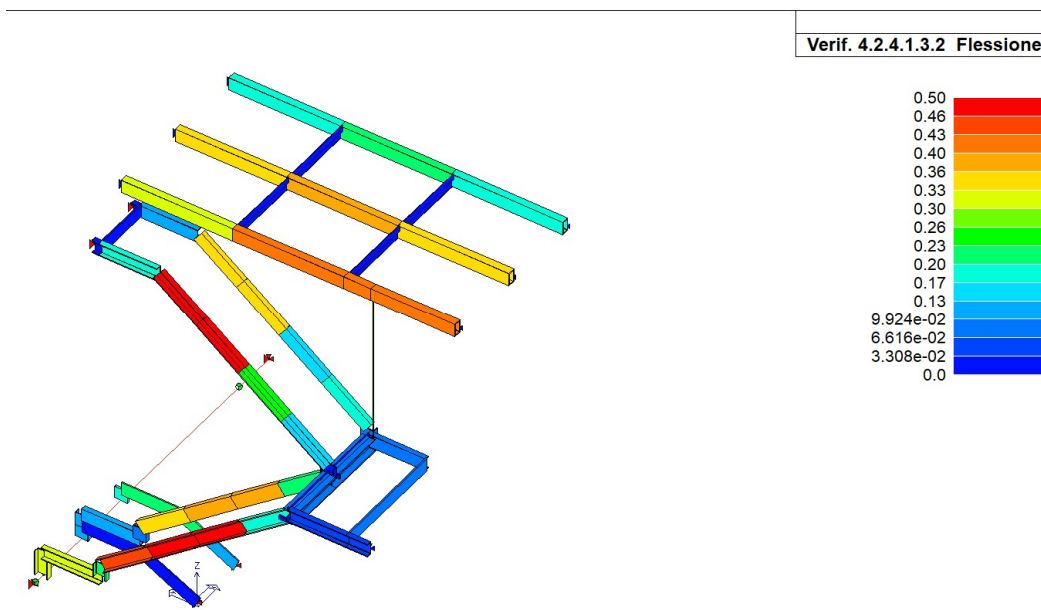


Figura 44 – Verifica di instabilità delle membrane soggette a flessione





Verifiche agli Stati Limite di Esercizio

Di seguito si riportano le verifiche agli stati limite di esercizio delle travi.

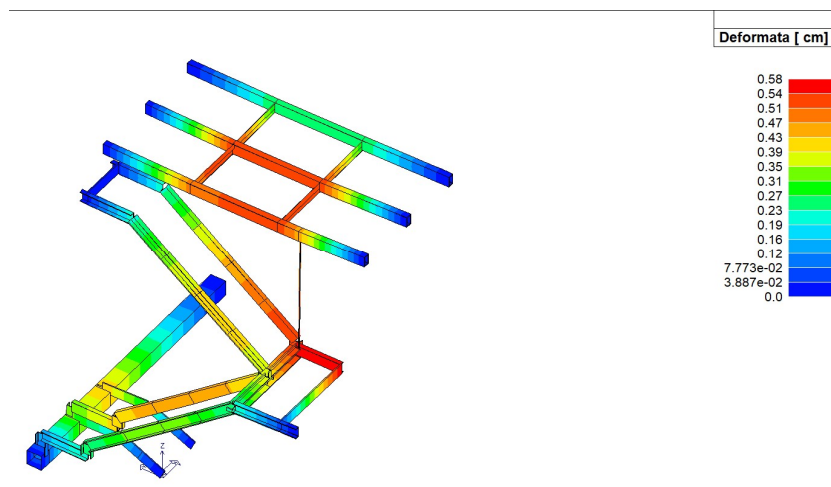


Figura 45 – Freccia, carichi variabili

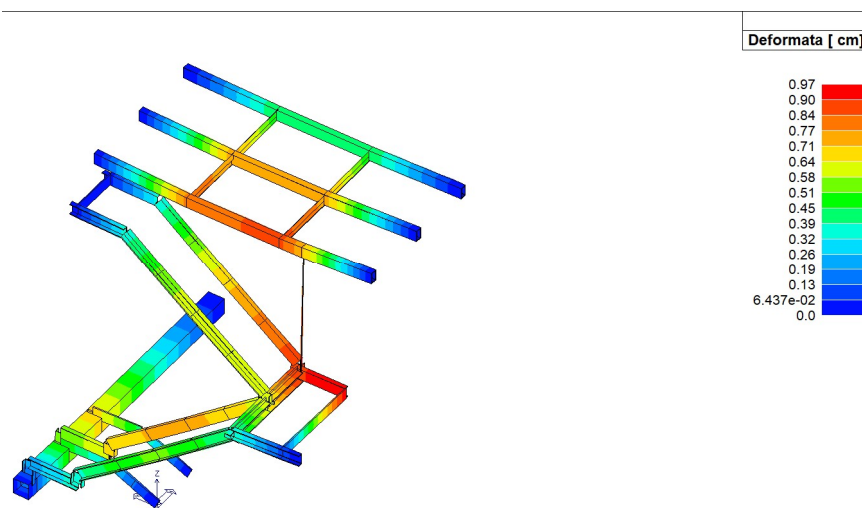


Figura 46 – Freccia, carichi totali

La verifica agli SLE consiste nel confronto tra la freccia ottenute per il solo effetto dei carichi variabili (δ_2) e quella totale (δ_{max}), con i limiti previsti da normativa. Considerata la presenza del solaio vetrato, la freccia viene limitata a $L/500$ (il fornitore del solaio vetrato dovrà preliminarmente verificare la compatibilità con le deformazioni attese).

Limite da normativa		Valore di progetto	
$\delta_2=490/500=0,9$ cm	>	$\delta_2= 0,58$ cm	Verificata
$\delta_{max}=490/500=0,98$ cm	>	$\delta_{max}= 0,97$ cm	Verificata





6.6 Nuove scale interne – parapetto

Si riporta la verifica del parapetto delle scale, costituito da elementi strutturali in piatto di acciaio dim. 70x15mm, su cui verranno fissati i pannelli di tenuta in lamiera microforata, previsti dal progetto architettonico.

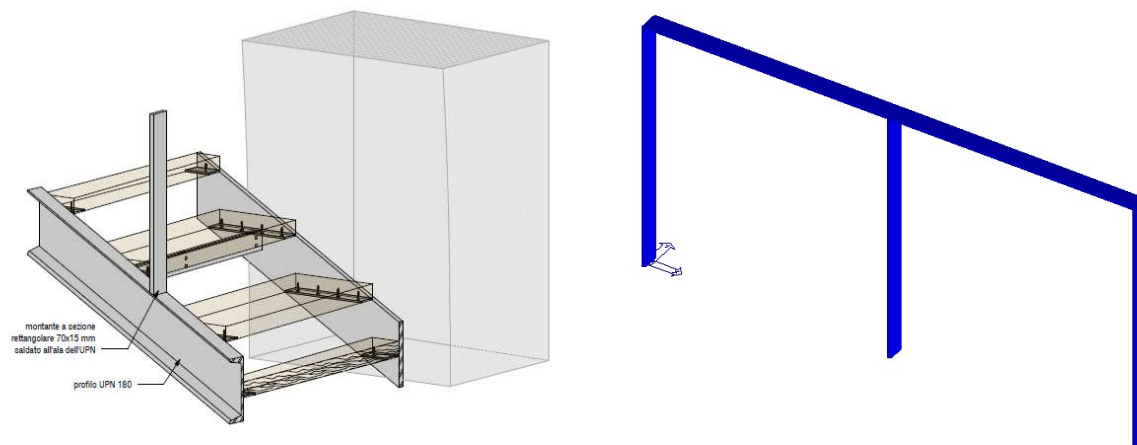


Figura 47: vista del modello strutturale

Il programma di calcolo restituisce gli sfruttamenti delle sezioni e le diverse verifiche previste dalla normativa; tutte le verifiche risultano soddisfatte.

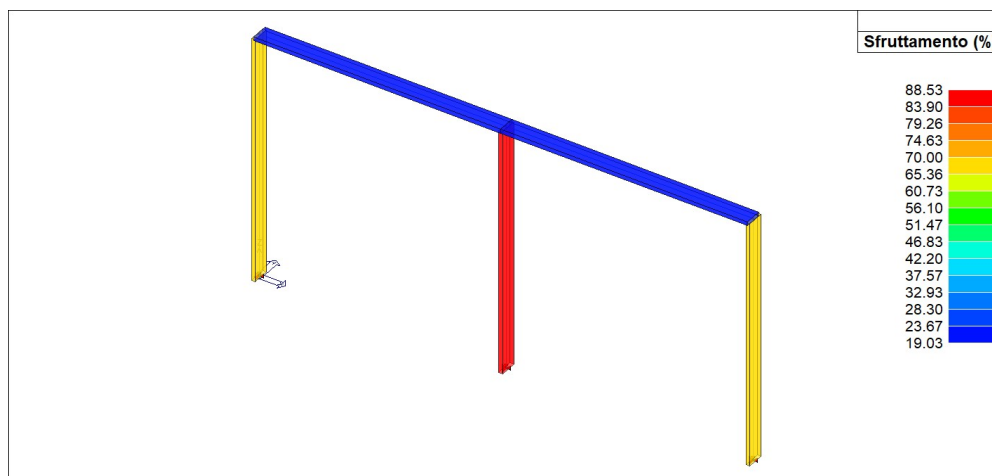


Figura 48 – Sfruttamento degli elementi in acciaio





Verifica 4.2.4.1.2 V/T Permette la visualizzazione dei risultati ottenuti dalla verifica a Taglio e Torsione degli elementi espressi mediante i valori di $V_{Ed}/V_{c,Rd}$ (oppure T_{Ed}/T_{Rd} se questa dovesse risultare più restrittiva). In presenza di torsione viene applicata la formula 4.2.24 o 4.2.25 per sezioni cave. La verifica è da considerarsi soddisfatta se il valore è inferiore a 1.

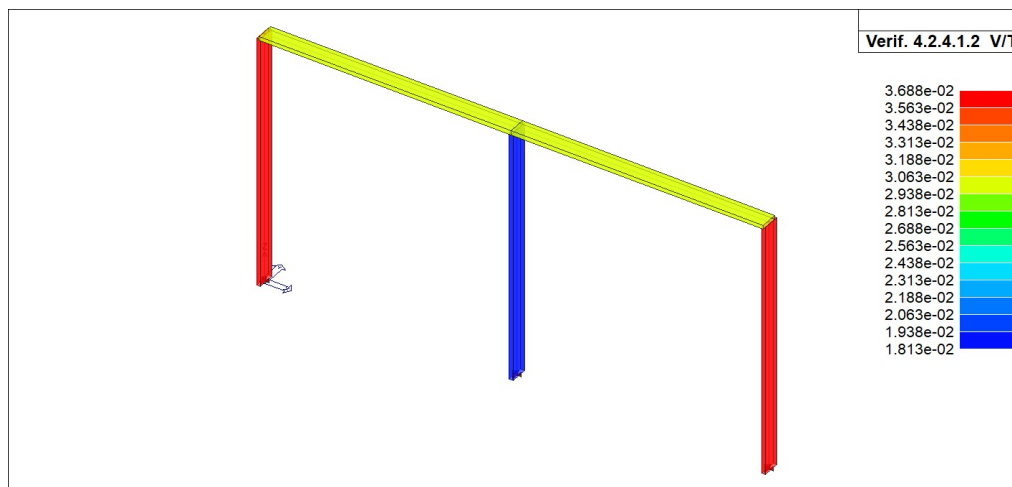


Figura 49 – Verifica a Taglio e Torsione degli elementi in acciaio

Verifica 4.2.4.1.2 N/M Permette la visualizzazione dei risultati ottenuti dalla verifica a flessione e forza assiale degli elementi. La verifica è da considerarsi soddisfatta se il valore è inferiore a 1.

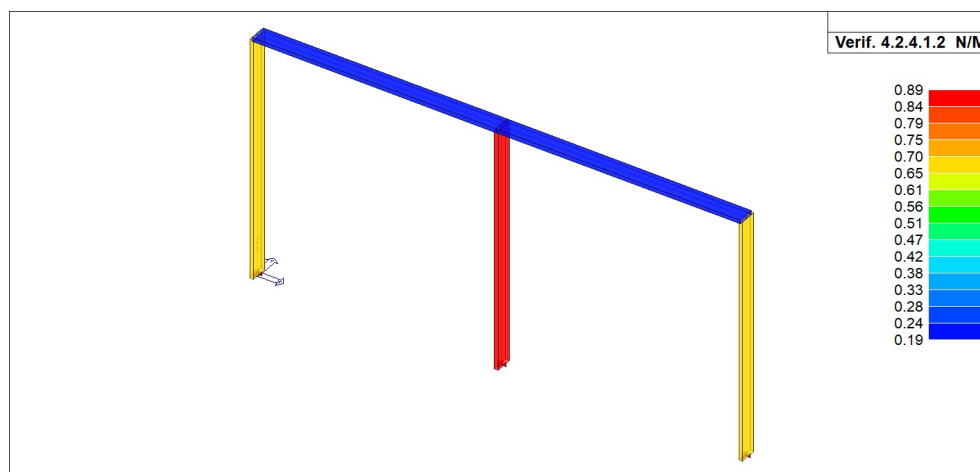


Figura 50 – Verifica a Flessione e Forza Assiale degli elementi in acciaio





6.7 Nuove scale Palazzo Anziani

Si riporta la verifica delle rampe all'interno di palazzo Anziani, che consentono di raggiungere l'interno della torre al livello +15.90m. Sono costituite da cosciali UPN200 e gradini in legno. Lo sbarco finale viene sospeso mediante tirante metallico al solaio di sottotetto; tale tirante ha la sola funzione di limitare la deformata dell'ultimo pianerottolo.

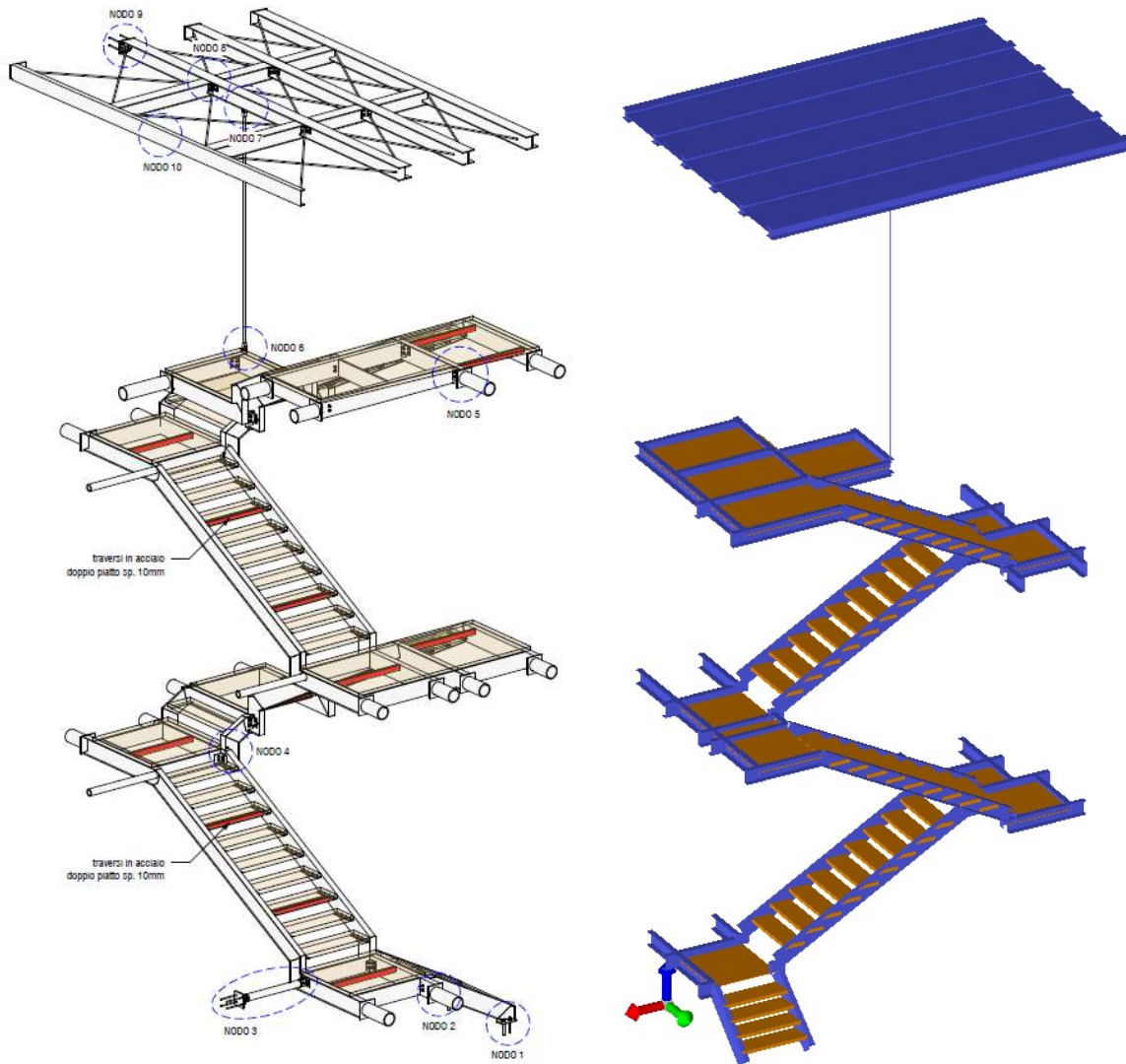


Figura 51: modello di progetto e modello di calcolo

Il programma di calcolo restituisce gli sfruttamenti delle sezioni e le diverse verifiche previste dalla normativa; tutte le verifiche risultano soddisfatte.



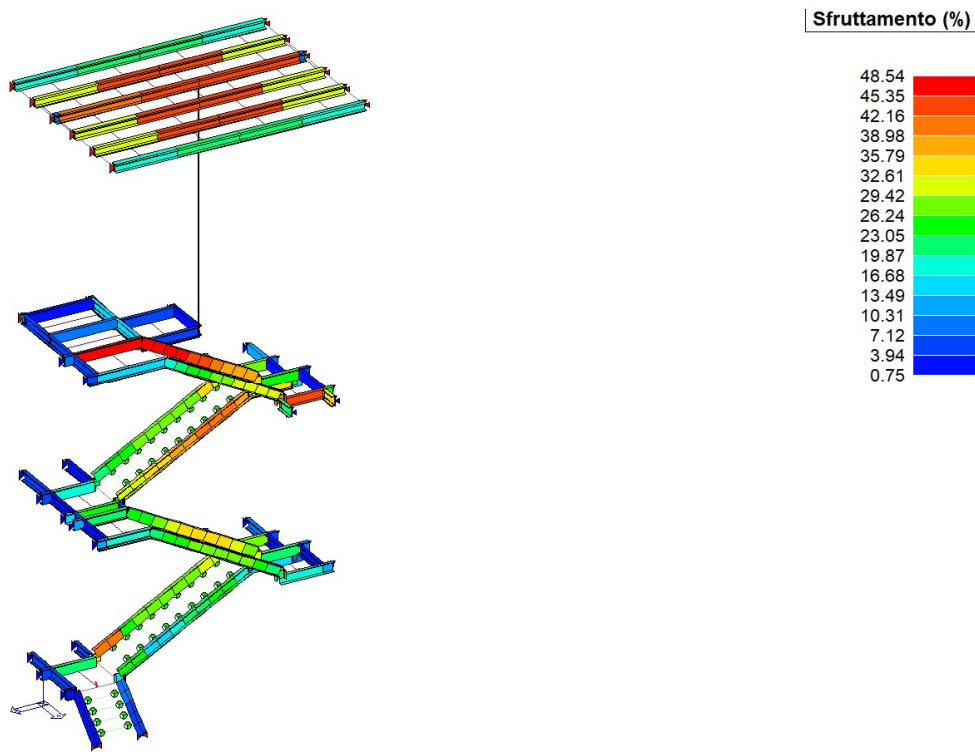


Figura 52 – Sfruttamento degli elementi in acciaio

Verifica 4.2.4.1.2 V/T Permette la visualizzazione dei risultati ottenuti dalla verifica a Taglio e Torsione degli elementi espressi mediante i valori di $V_{Ed}/V_{c,Rd}$ (oppure T_{Ed}/T_{Rd} se questa dovesse risultare più restrittiva). In presenza di torsione viene applicata la formula 4.2.24 o 4.2.25 per sezioni cave. La verifica è da considerarsi soddisfatta se il valore è inferiore a 1.

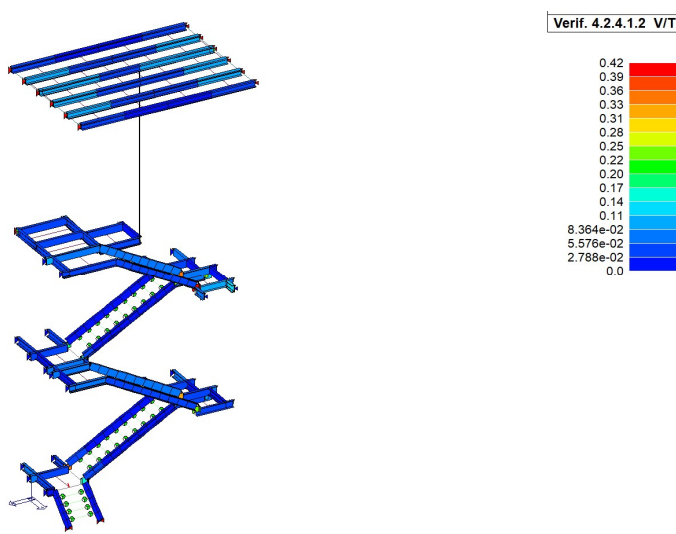


Figura 53 – Verifica a Taglio e Torsione degli elementi in acciaio





Verifica 4.2.4.1.2 N/M Permette la visualizzazione dei risultati ottenuti dalla verifica a flessione e forza assiale degli elementi. La verifica è da considerarsi soddisfatta se il valore è inferiore a 1.

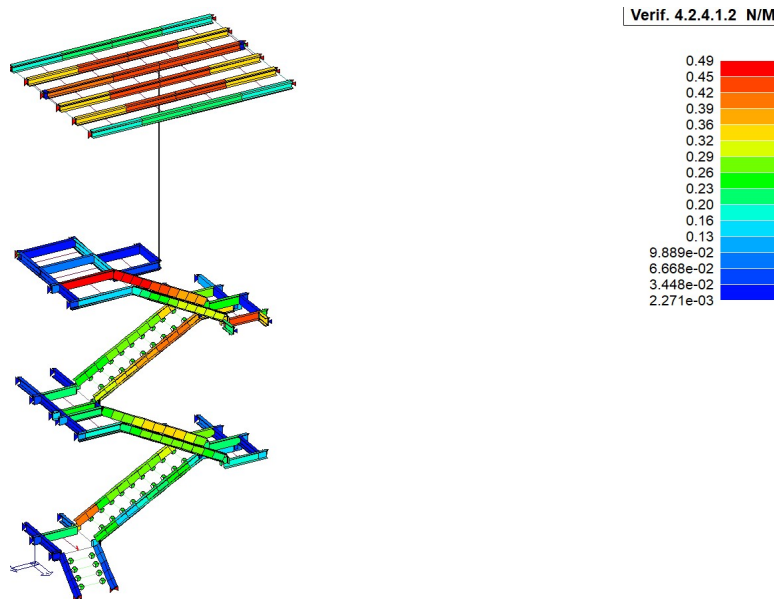


Figura 54 – Verifica a Flessione e Forza Assiale degli elementi in acciaio

Verifica 4.2.4.1.3.2 Flessione Permette la visualizzazione dei risultati delle verifiche di stabilità dell'elemento soggetto a flessione, eseguite secondo la formula 4.2.48. La verifica è da considerarsi soddisfatta se il valore è inferiore a 1.

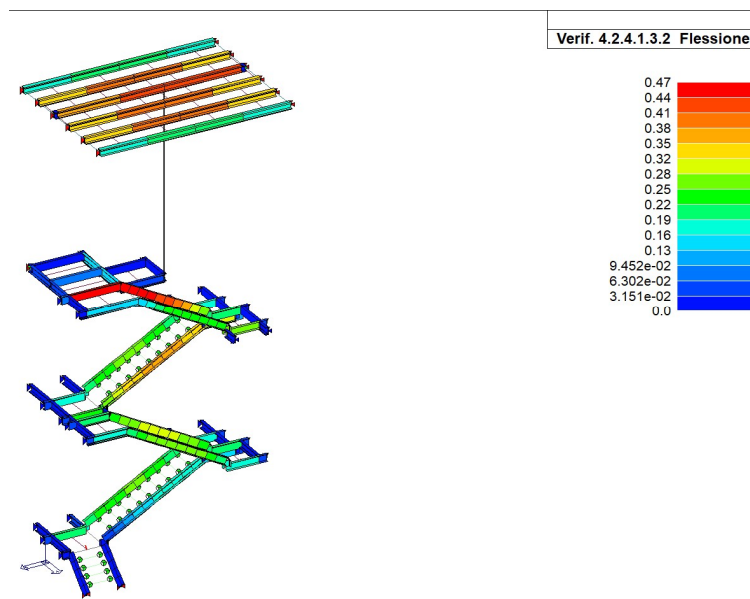


Figura 55 – Verifica di instabilità delle membrane soggette a flessione





7 CONCLUSIONI

La presente relazione ha descritto le principali verifiche strutturali eseguite per la progettazione delle nuove strutture connesse con la realizzazione del nuovo sistema di scale che consente l'accesso alla Torre Anziani a gruppi limitati di visitatori.

Si tratta di interventi che non modificano in modo significativo l'attuale distribuzione delle rigidità e delle masse e per tale motivo il progetto si configura come intervento di riparazione locale e non prevede interventi globali sulla torre. Le verifiche di tipo globale relative alla stabilità della torre (sia per azioni statiche che sismiche) non sono comprese nell'incarico affidato allo scrivente.

Si ricorda infine che le strutture dovranno essere adeguatamente protette (es. con vernici intumescenti) in relazione alle eventuali richieste di resistenza al fuoco.

Padova, maggio 2022

Il tecnico

Ing. Carlo Bettio

