



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



MINISTERO
DELL'INTERNO



COMUNE
DI
PADOVA

PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA

MISSIONE M5C2 - COMPONENTE C2 - AMBITO INTERVENTO INVESTIMENTO 2.1
"PROGETTI DI RIGENERAZIONE URBANA"

RESTAURO DEL CASTELLO DEI CARRARESI ALA NORD

CUP: H95F21000270001

PROGETTO DEFINITIVO

DATA

DICEMBRE 2022

CODICE OPERA LLPP EDP 2021/102	NUMERO APPR46_RC
DESCRIZIONE ELABORATO RELAZIONE DI CALCOLO	
I PROGETTISTI <i>coordinamento e progettazione generale:</i> STUDIOMAS ARCHITETTI 35125 Padova via Falloppio 39 - +39 049 8764030 - www.studiomas.com - info@studiomas.com <i>progetto strutturale e modellazione BIM:</i> BIM DESIGN GROUP srl 30135 Venezia Santa Croce 466/G - +39 3472585835 - info@bdgroup.it <i>coll. progetto architettonico:</i> arch. Riccardo Bettin 35100 Padova via Fornasari 6ter - +39 3462438440 - bettinriccardo@gmail.com <i>prevenzione incendi:</i> p.ind. Enrico Boscaro 30031 Dolo (VE), Via Foscarina n. 4 - +39 3358121854 - studioboscaro@gmail.com	IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Arch. Domenico Lo Bosco IL CAPO SETTORE Ing. Matteo Banfi

SOMMARIO

1	PREMESSA	5
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
3	METODO DI CALCOLO	7
4	CONOSCENZA DEL MANUFATTO	8
4.1	DESCRIZIONE DEL FABBRICATO	8
4.2	PRINCIPALI TIPOLOGIE STRUTTURALI	8
4.2.1	<i>Pareti</i>	8
4.2.2	<i>Impalcati</i>	8
4.3	QUADRO FESSURATIVO	9
4.4	CAMPAGNA DI INDAGINI	9
5	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	10
5.1	LIVELLO DI CONOSCENZA E FATTORE DI CONFIDENZA	10
5.2	MURATURA ESISTENTE CONSOLIDATE	10
5.3	ACCIAIO DA CARPENTERIA S275JR	10
6	RICHIAMI STORICI E INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA	11
7	AZIONI SULLE STRUTTURE	13
7.1	CARICHI PERMANENTI	13
7.2	SOVRACCARICHI DISTRUBUITI	13
8	VERIFICA DEGLI INTERVENTI STRUTTURALI	14
8.1	COMBINAZIONE DELLE AZIONI	14
9	VERIFICHE STATICHE	15
9.1	CERCHIATURE METALLICHE	15
9.1.1	<i>METODOLOGIA DI VERIFICA</i>	15
9.1.2	<i>TELAIO DI CERCHIATURA DELLE APERTURE</i>	16
9.1.3	<i>MATERIALI</i>	17
9.2	CERCHIATURA 001	17
9.2.1	<i>Ante-operam</i>	17
9.2.2	<i>Post-operam</i>	18
9.2.3	<i>COMPATIBILITA' DI INTERVENTO</i>	18
9.2.4	<i>Verifiche dei telai</i>	19
9.3	CERCHIATURA 002	23
9.3.1	<i>Ante-operam</i>	23
9.3.2	<i>Post-operam</i>	24

9.3.3	COMPATIBILITA' DI INTERVENTO.....	25
9.3.4	Verifiche dei telai.....	25
9.4	CERCHIATURA 003	29
9.4.1	Ante-operam.....	29
9.4.2	Post-operam.....	30
9.4.3	COMPATIBILITA' DI INTERVENTO.....	31
9.4.4	Verifiche dei telai.....	31
9.5	CERCHIATURA 004	35
9.5.1	Ante-operam.....	35
9.5.2	Post-operam.....	36
9.5.3	COMPATIBILITA' DI INTERVENTO.....	37
9.5.4	Verifiche dei telai.....	37
9.6	NUOVO SOLAIO IN ACCIAIO E LAMIERA GRECATA – ALA NORD DEL CASTELLO	42
9.7	NUOVO SOLAIO IN ACCIAIO E LAMIERA GRECATA – LOCALE IMPIANTI	46
9.8	NUOVO CORPO SCALA.....	49
9.9	IMPALCATI METALLICI DI IRRIGIDIMENTO ALL'ULTIMO LIVELLO.....	55
9.9.1	Reticolare chiusa	58
9.9.2	Reticolare aperta singola stanza.....	62
9.9.3	Reticolare aperta doppia stanza.....	65
9.10	NUOVA COPERTURA IN ACCIAIO NEL LOCALE IMPIANTI A NORD DELL'ALA NORD DEL CASTELLO	69

1 PREMESSA

Il presente Progetto Definitivo ha come oggetto gli interventi di carattere strutturale che seguono la nuova distribuzione degli ambienti da adibire a sale museali. Attualmente il Castello Carrarese Ala Nord, oggetto principale di intervento, presenta una disposizione spaziale figlia dell'ultima distribuzione a celle del penitenziario che ospitava. Per permettere il nuovo percorso sia dei fruitori del museo che delle opere il progetto architettonico prevede un nuovo corpo scale a ovest con un montacarichi che serve tutti i livelli e delle nuove aperture nelle murature portanti. Si presentano anche problemi di carattere strutturale legati allo sfondellamento dell'ultimo impalcato non accessibile al pubblico che funge principalmente da controsoffitto per la copertura.

Vista la tipologia di intervento che non intacca gli impalcati, già consolidati negli stalci precedenti, ne la copertura, consolidata negli anni 2000, l'intervento di progetto si identifica a carattere LOCALE, andando a ripristinare le rigidezze e resistenze originali dello stato di fatto. Nello specifico, per quanto riguarda l'ultimo impalcato, il progetto prevede la demolizione del solaio in CIREX e la sostituzione con un impalcato metallico controventato, attuando una notevole riduzione di massa. Per quanto inerente l'ultima campata di solai che ospiteranno i collegamenti verticali, anche qui è previsto il rifacimento di impalcati leggeri in acciaio e lamiera grecata collaborante. Infine per quanto riguarda le nuove aperture, sono previste cerchiature metalliche che andranno a garantire una equiparazione di resistenza e una variazione sostanziale di rigidezze non inferiore al 15%.

Il progetto è stato sviluppato sulla base delle indagini strutturali, messe a disposizione dello scrivente dalla stazione appaltante, eseguite sul fabbricato nell'aprile 2014.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

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

- D.M. 17/01/2018, “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”.
- Circolare Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 617 del 21 gennaio 2019, Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove 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 sulle costruzioni D.M. 14/01/08.
- Ordinanza 3274 20 Marzo 2003 – “Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri”
- Ordinanza 3431 3 Maggio 2005 – “Ulteriori modifiche ed integrazioni all’ Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20 Marzo 2003”
- 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 - Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici.
- Eurocodice n. 2 UNI EN 1992-1-1:2005 “Progettazione delle strutture in calcestruzzo – Parte 1-1 Regole generali e regole 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. 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.

3 METODO DI CALCOLO

Tutti i codici di calcolo automatico utilizzati per il calcolo e la verifica delle strutture e la redazione della presente relazione sono di sicura ed accertata validità e sono stati impiegati conformemente alle loro caratteristiche. Si riportano in seguito i software impiegati:

ProSAP

2S.I. in collaborazione con l'Università di Ferrara e con la spin-off dell'École Centrale Paris CM2 – Computing Objects SARL ha sviluppato il solutore di ultima generazione e_SAP. Funzionalità specifiche per l'ingegneria civile alla luce delle nuove normative, quali analisi degli effetti del secondo ordine e analisi di buckling (D.M. 14/01/'08 paragrafi 4.1.1, 4.1.1.4, per costruzioni in cemento armato, 4.2.3.4, 4.2.3.5, per costruzioni in acciaio, 7.3.1 per la progettazione per azioni sismiche) sono di immediata applicazione. Il programma implementa il metodo degli elementi finiti per strutture di forma qualunque, comunque caricate e vincolate, nell'ambito del comportamento lineare delle stesse. La risoluzione delle equazioni del moto, ed in particolare l'applicazione dell'analisi dinamica prevista per il calcolo in zona sismica è condotta con il metodo dello spettro di risposta.

Sulla base di questo motore di calcolo, ProSAP Professional dell'2S.I. Software è il programma di calcolo agli elementi finiti in campo lineare e non lineare per l'analisi statica e dinamica delle strutture, con strumenti di post-processing per la progettazione esecutiva di strutture in c.a. e acciaio. Il software viene utilizzato con Licenza E-Time. E' possibile reperire la documentazione contenente alcuni dei più significativi casi trattati al seguente link: <http://www.2si.it/Software/Affidabilità.htm>

4 CONOSCENZA DEL MANUFATTO

4.1 DESCRIZIONE DEL FABBRICATO

La porzione di fabbricato oggetto di intervento è una delle tre ali del Castello dei Carraresi di Padova. Prima di proprietà della Soprintendenza dei Beni Culturali di Venezia, aveva subito diversi interventi di carattere strutturale che aveva portato la portata dei solai originali a un sovraccarico ammissibile idoneo a sale museali. La stessa copertura era stata oggetto di consolidamento e sostituzione negli anni 2000. Il ballatoio a sud dell'ala, ha subito un consolidamento in fibra di carbonio intradossale e ha visto l'inserimento di putrelle metalliche al limite esterno, dimensionate per sostenere il peso di un futuro serramento vetrato.

Ad oggi il nuovo proprietario, il Comune di Padova, recepisce tali indicazioni e rielabora il suo museo confermando le scelte progettuali figlie della progettazione eseguita dalla Soprintendenza.

Il fabbricato presenta una dimensione in pianta di 74 x 18 metri circa e si sviluppa su tre livelli più copertura. I paramenti murari sono in mattoni e un'ala presenta pilastri in cemento armato, gli impalcati sono costituiti da travi in calcestruzzo con soletta armata da 15 cm e la copertura è costituita da capriate e travi secondarie lignee.

4.2 PRINCIPALI TIPOLOGIE STRUTTURALI

4.2.1 Pareti

Le pareti della struttura sono composte da muratura in mattoni pieni e malta di calce. I paramenti murari presentano spessori variabili, compresi tra 30 e 55 cm.



4.2.2 Impalcati

Gli impalcati sono costituiti, generalmente, da strutture in travi in c.a. e soletta piena per quanto riguarda i solai di piano, strutture in laterizio armato per il corpo sottotetto mentre sono composti da doppia orditura lignea per la struttura di copertura. Gli impalcati di piano come anche quelli del ballatoio sono stati oggetto di consolidamento e rinforzo negli anni precedenti che ne hanno aumentato la capacità portante per essere compatibile con spazi ad uso museale.



4.3 QUADRO FESSURATIVO

L'edificio presenta un quadro fessurativo esteso con oggettive vulnerabilità strutturali in relazione al comportamento statico e sismico della struttura. Alcune problematiche sono intrinsecamente legate alla tipologia muraria presente e alle modalità costruttive dell'edificio. Si evidenzia la probabilità che si siano molti incroci murari con uno scarso grado di ammorsamento, il che induce a ipotizzare la possibile attivazione di meccanismi locali di danno (macroelementi che si comportano in modo distaccato dal resto della struttura). Tale comportamento si manifesta a maggior ragione nel caso in cui non ci siano idonei dispositivi di trattenimento quali tiranti o cordoli; quest'ultimi anche se presenti nell'edificio in questione risultano di difficile valutazione, in quanto l'efficacia degli stessi risulta strettamente subordinata alla loro buona realizzazione. Lesioni preoccupanti si notano nei muri portanti con fessure verticali indice di elevati carichi agenti dei solai esistenti.

4.4 CAMPAGNA DI INDAGINI

A disposizione dello scrivente è presente una relazione indagini svolte in Aprile 2014 a cura di Expin in cui sono state eseguite prove non distruttive e debolmente distruttive consistenti in:

- n. 10 **carotaggi su calcestruzzo** per la determinazione della resistenza a compressione del materiale;
- n. 26 **prove di pull out** (3 estrazioni per punto di prova) per la determinazione della resistenza media del calcestruzzo, R_{cm} , mediante l'estrazione di tassello post-inserito;
- n. 3 prove con **martinetto piatto doppio** al fine di ottenere informazioni circa le caratteristiche meccaniche della muratura indagata in termini di modulo elastico;
- n. 2 **sondaggi su muratura** per la caratterizzazione del paramento murario interno e n. 2 **fori mediante trapano** per verificare la consistenza del nucleo interno dei pilastri.

Si rimanda alla relazione specialistica di Expin per i dati specifici.

5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

5.1 LIVELLO DI CONOSCENZA E FATTORE DI CONFIDENZA

Sulla base delle campagne di indagini eseguite è stato possibile raggiungere almeno un Livello di conoscenza esteso LC2.

LC2	Resistenze: i valori medi degli intervalli riportati in Tabella C8.5.I. Moduli elastici: i valori medi degli intervalli riportati nella tabella suddetta.	1,20
-----	--	------

Tabella 1 – Costruzioni in muratura – livello di conoscenza LC2

5.2 MURATURA ESISTENTE CONSOLIDATE

Concordemente con la previsione di un Livello di conoscenza esteso, si è scelto di assumere la seguente tipologia muraria:

- *Muratura in mattoni pieni e malta di calce*

Coerentemente con il livello di conoscenza raggiunto (LC2), i valori dei parametri meccanici assunti per le verifiche, corrispondono ai valori medi indicati in tabella per quanto riguarda sia i parametri di resistenza e per le rigidezze, secondo Tabella C8.5.I della Circolare 7-2019.

TIPOLOGIA	f_m	τ_0	E	G	w
	N/cm^2	N/cm^2	N/mm^2	N/mm^2	kN/m^3
<i>Muratura in mattoni pieni e malta di calce</i>	345	9,0	1500	500	18

5.3 ACCIAIO DA CARPENTERIA S275JR

È previsto l'impiego di acciaio S275 JR con le seguenti caratteristiche:

Carico a rottura S275 JR	f_{tk}	430,0	MPa
Carico di snervamento S275 JR	f_{yk}	275,0	MPa

Si applica un coefficiente del materiale $\gamma_{M0} = 1,05$ (tabella 4.2.VII – NTC2018).

6 RICHIAMI STORICI E INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA

La sismicità storica della zona è caratterizzata da eventi di medio-bassa intensità, come risulta dal seguente elenco tratto dal sito ufficiale dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia).

3	1929 04 19 04:15	Bolognese	82	
4-5	1929 04 20 01:09	Bolognese	109	7 5.34 ±0.13
3-4	1929 04 22 08:25	Bolognese	41	
3	1929 04 28 19:39	Bolognese	20	
4	1929 04 29 18:35	Bolognese	45	
3-4	1929 05 11 19:22	Bolognese	64	
3	1930 10 30 07:13	SENIGALLIA	263	8 5.81 ±0.09
3-4	1931 12 25 11:41	TARCENTO	45	7 5.21 ±0.20
RS	1932 01 02 23:36	CROTONESE	22	5 5.43 ±0.30
3	1932 02 19 12:57	Monte Baldo	21	7-8 5.02 ±0.28
4	1934 11 30 02:58	Alto Adriatico	51	5.34 ±0.17
4	1935 06 05 11:48	Faentino	27	6 5.16 ±0.25
5	1936 10 18 03:10	BOSCO CANSIGLIO	267	9 6.12 ±0.09
NF	1945 12 15 05:27	VARZI	12	6 5.05 ±0.34
4	1951 05 15 22:54	LODIGIANO	154	6-7 5.39 ±0.14
F	1956 02 20 01:29	ARGENTA	32	5-6 4.82 ±0.18
F	1963 07 19 05:45	Mar Ligure	463	6.02 ±0.14
RS	1967 12 09 03:09	Adriatico Meridionale	22	
5	1967 12 30 04:19	BASSA PADANA	40	6 5.24 ±0.19
4-5	1971 07 15 01:33	Parmense	229	8 5.64 ±0.09
5-6	1976 05 06 20:00	Friuli	770	9-10 6.46 ±0.09
5	1976 09 11 16:35	Friuli	40	5.63 ±0.09
6	1976 09 15 09:21	Friuli	54	5.98 ±0.15
3	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09
2-3	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6 4.61 ±0.10
4	1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6 4.74 ±0.09
5	1989 09 13 21:54	PASUBIO	779	6-7 4.88 ±0.09
3-4	1996 10 15 09:56	Correggio	135	7 5.41 ±0.09
4	2003 09 14 21:42	Appennino bolognese	133	6 5.29 ±0.09
4-5	2004 11 24 22:59	Lago di Garda	176	7-8 5.06 ±0.09

Tabella 2: Eventi sismici significativi per la zona di Padova

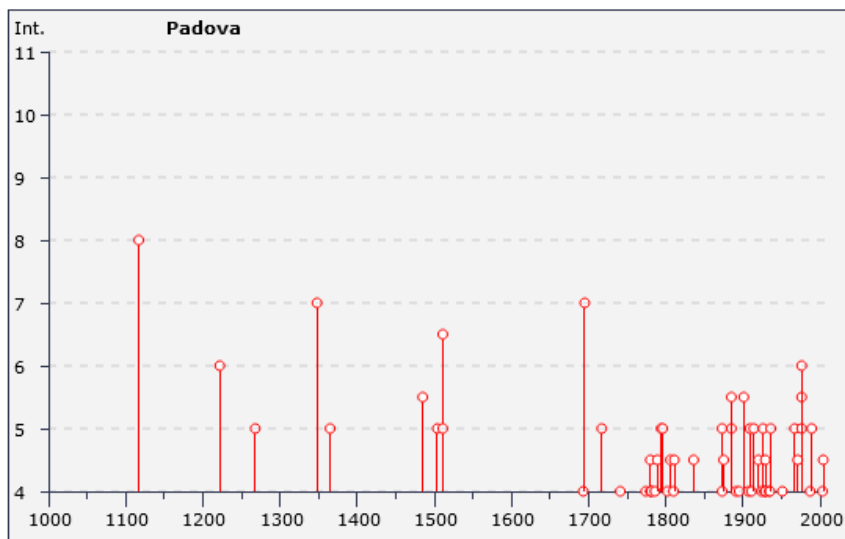


Figura 1: Storia dell'intensità sismica (Is) che ha interessato l'area di Padova (PD)

Di ciò si trova naturalmente riscontro nelle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni, come risulta dalla figura sottostante in cui è riportata la mappa della pericolosità sismica della regione Veneto con i valori di accelerazione di picco su griglia con passo 0,05°.

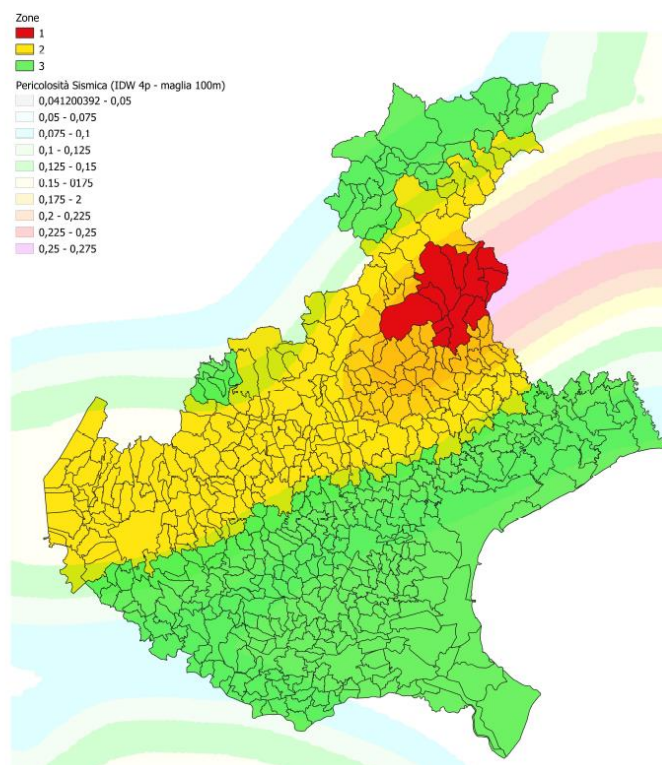


Figura 2: Mappa di pericolosità sismica della regione Veneto secondo DGR n. 244 del 09 marzo 2021 (www.ingv.it)

7 AZIONI SULLE STRUTTURE

7.1 CARICHI PERMANENTI

I carichi permanenti sono stati calcolati a partire dai seguenti pesi specifici o di superficie:

Acciaio	$\rho_{\text{acciaio}} =$	7850	daN/m ³
Acciaio inox	$\rho_{\text{acc inox}} =$	8000	daN/m ³
Massetto	$\rho_{\text{mass}} =$	1200	daN/m ³
Tavelle in cotto		50	daN/m ²
Peso listelli (8x8cm passo 60cm)		7	daN/m ²
Manto di copertura		60	daN/m ²

7.2 SOVRACCARICHI DISTRUBUITI

Per il calcolo dell'azione accidentale si sono considerati i valori dei carichi d'esercizio per le diverse categorie di edifici, riportati in tabella (Tab.3.1.II – NTC 2018).

Categoria	Ambienti	qk (kN/m ²)
C3	Ambienti suscettibili di affollamento [... quali musei, sale per esposizioni...]	5.00
D	Scale comuni, balconi e ballatoi	4.00

8 VERIFICA DEGLI INTERVENTI STRUTTURALI

8.1 COMBINAZIONE DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche degli stati limite, si sono eseguite le combinazioni delle azioni previste nel paragrafo 2.5.3. delle NTC2018.

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

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

Per lo stato limite di esercizio (SLE) sono state adottate le combinazioni caratteristica (rara):

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

frequente:

$$F_d = G_1 + G_2 + \psi_{11} Q_{k1} + \sum \psi_{2i} Q_{ki}$$

quasi-permanente:

$$F_d = G_1 + G_2 + \sum \psi_{2i} Q_{ki}$$

I valori dei coefficienti di combinazione ψ sono quelli riportati in tabella 2.5.I delle NTC2018.

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

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza γ sono riportati nella tabella 2.6.I delle NTC2018, riferiti allo stato limite di resistenza della struttura A1.

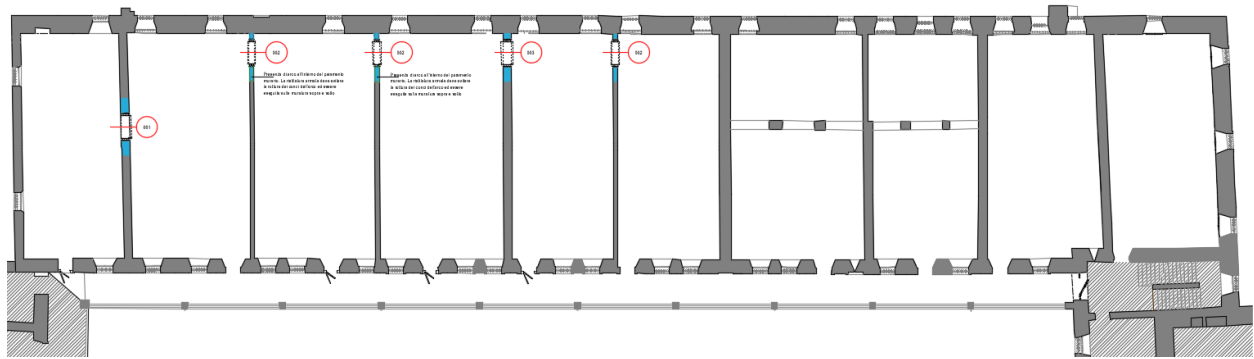
Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		γ_F			
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_{Q3}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

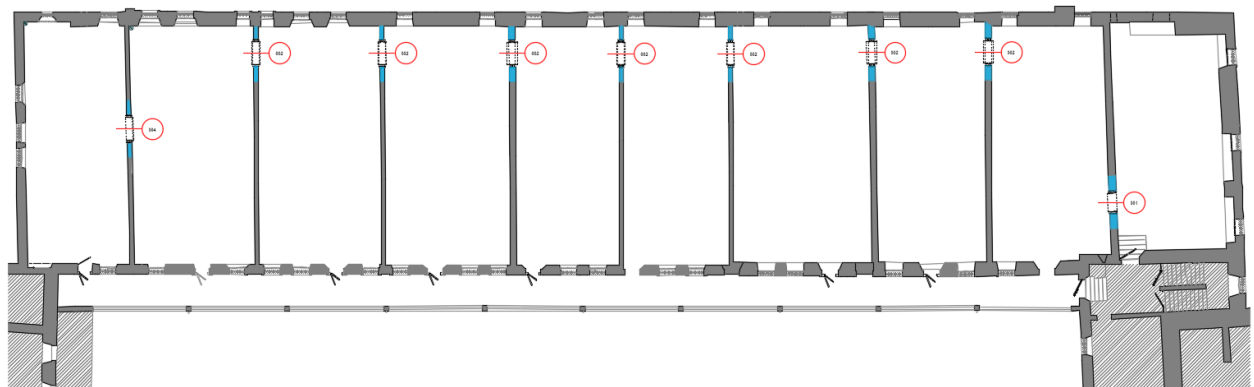
9 VERIFICHE STATICHE

9.1 CERCHIATURE METALLICHE

Per permettere il nuovo percorso espositivo all'interno delle sale del castello il progetto architettonico prevede l'apertura di varchi nei paramenti murari portanti. Tali fori prevedono necessariamente una cerchiatura metallica in grado di non modificare rigidità e resistenza in maniera sostanziale.



Pianta piano terra



Pianta piano primo

9.1.1 METODOLOGIA DI VERIFICA

L'apertura di un vano in una parete muraria accompagnata da opportuni rinforzi è previsto, come 'intervento locale', nella Circolare n.7/2019 CSLP al punto C8.4.1.

Le verifiche possono essere eseguite limitandosi a valutazioni numeriche relative alla sola parete interessata dall'intervento solo a condizione che si dimostri che la rigidità dell'elemento variato non cambi significativamente e che la resistenza non peggiori ai fini del comportamento rispetto alle azioni orizzontali.

Una variazione significativa della rigidità delle pareti muterebbe il comportamento globale della struttura e pertanto non risulterebbe sufficiente la verifica locale.

La verifica risulta positiva quando la resistenza alle forze orizzontali V post-operam risultano maggiori o uguali a quelle ante-operam, con variazioni di rigidità non sostanziali ($\pm 15.00\%$).

Nel caso di muratura non armata in cui la rottura del pannello è di tipo fragile e caratterizzata da lesioni diagonali a 45° l'azione tagliante ultima è determinabile, come specificato nella Circolare n. 7/2019 CSLP al punto C8.7.1.16, con la seguente relazione:

$$V_t = L t \frac{f_{td}}{b} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{f_{td}}}$$

dove:

- L lunghezza del pannello murario
- t spessore del pannello murario
- ftd resistenza di calcolo a trazione per fessurazione diagonale della muratura ($f_{td} = 1,5 \tau_0$)
- σ_0 tensione normale media riferita all'area totale della base del setto
- b Coeff. correttivo dipendente dalla snellezza della parete. ($b = \min[H/L; 1.5] \geq 1$)

La rigidezza del singolo pannello murario K viene valutata con la seguente relazione:

$$K = \frac{1}{\frac{H^3}{n E J} + \frac{1,2 H}{G A}}$$

dove:

- E, G moduli di elasticità normale e tangenziale della muratura
- J momento di inerzia del maschio murario ($J = t L^3 / 12$)
- n coeff. relativo al grado di vincolo offerto dal traverso superiore.
Nel caso in esame $n=3$ (senza cordolo o cordolo deformabile => schema a mensola).
- A area del maschio murario ($A = t L$)
- H altezza pannello = massima altezza del foro adiacente (fasce murarie rigide)

La rigidezza complessiva risulterà dalla sommatoria dei contributi dei singoli maschi murari che formano la parete. La resistenza ultima a taglio verrà calcolate in base alla curva caratteristica del diagramma V- δ .

9.1.2 TELAIO DI CERCHIATURA DELLE APERTURE

Definendo:

$\Delta K = K_{sa} - K_{pr}$ (carenza di rigidezza della muratura a seguito dell'intervento) il telaio, per poter sopperire a tale carenza dovrà avere una rigidezza K_t maggiore o uguale a ΔK

La rigidezza del telaio è data dalla sommatoria delle rigidezze dei singoli montanti costituenti la cerchiatura. Rigidezza del montante $K_i = n E J / H^3$ con n che dipende dal vincolo alla base (3 cerniera, 12 incastro). La rigidezza totale del telaio sarà: $K_t = \sum K_i$

La resistenza a taglio del telaio sarà data dal contributo di tutti i montanti:

dato il momento ultimo di ogni montante = $M_u = f_{yk} W / \gamma_{MO}$

$F_o = n M_u / H$ con n che dipende dallo schema (1 cerniera-incastro, 2 incastro-incastro)

La resistenza complessiva del telaio sarà: $V_t = \sum F_o$

9.1.3 MATERIALI

Muratura in mattoni pieni e malta di calce

Valori:	f_m [daN/cm ²]	τ_0 [daN/cm ²]	f_{v0} [daN/cm ²]	E [daN/cm ²]	G [daN/cm ²]
ante-operam	14.38	0.38	0.83	7500	2500
post-operam	17.25	0.45	0.99	9000	3000

(il valore post operam tiene conto del fattore migliorativo dovuto a ristilatura armata pari a 1,2)

Materiali del telaio

Acciaio	f_{yk} [daN/cm ²]	f_{tk} [daN/cm ²]	E [daN/cm ²]	G [daN/cm ²]	γ_a [kg/mc]
S 275	2750.0	4300.0	2100000.0	807692.0	7850.0

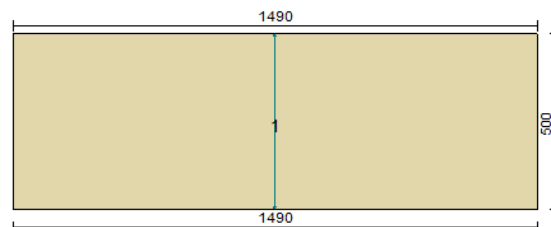
Sezioni in acciaio del telaio

Profilo	B [cm]	H [cm]	W_x [cm ³]	W_{px} [cm ³]	W_y [cm ³]	W_{py} [cm ³]	Area [cm ²]	Peso [kg/m]
HE140B	14.0	14.0	215.7	245.5	78.5	119.8	43.0	33.74
HE140M	14.6	16.0	411.5	493.9	156.8	240.5	80.6	63.26

Per la determinazione della tensione media verticale, verranno inoltre considerati i contributi dovuti al peso proprio di metà maschio murario e delle semifasce superiori gravanti sul maschio stesso.

9.2 CERCHIATURA 001

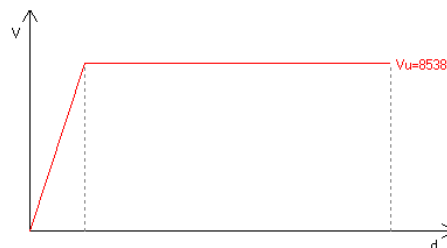
9.2.1 Ante-operam



T (sp. parete) = 50.00 cm

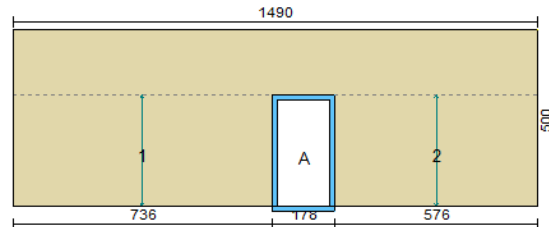
Maschio	Lungh.	H calc	Coef. b	σ_0	K_0	V_u	δ_e	δ_u
1	1490.0	314.0	1.00	1.773	471050.0	85382.8	0.181	1.193

Curva caratteristica ante-operam:



Rigidezza complessiva della parete: $K_{sa} = 471050.0$ daN/cm
 Taglio ultimo della parete: $V_{sa} = 85382.8$ daN
 Spostamento ultimo: $\delta u_{sa} = 1.193$ cm

9.2.2 Post-operam

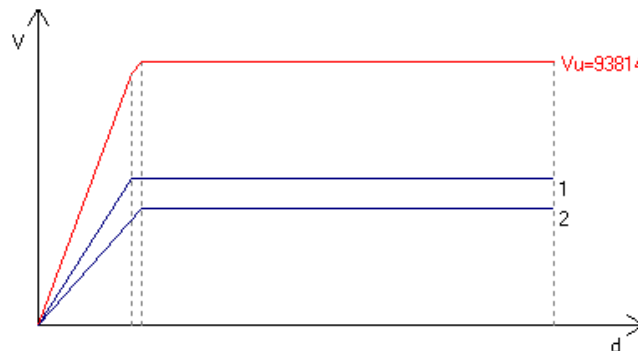


T (sp. parete) = 50.00 cm

Apertura	Stato	Architravi	Travi inf.	Montanti
A	Cerchiata	4 HE140B	4 HE140M	4HE140B+4HE140B

Maschio	Lungh.	Spess.	H calc.	Coef. b	σ_0	K_0	V_u	δe	δu
1	736.0	50.00	314.0	1.00	2.328	243707.0	52394.0	0.215	1.193
2	576.0	50.00	314.0	1.00	2.389	172380.1	41420.4	0.240	1.193

Curva caratteristica post-operam (solo murature):



Rigidezza complessiva della parete: $K_{pr} = 416087.1$ daN/cm
 Taglio ultimo della parete: $V_{pr} = 93814.4$ daN
 Spostamento ultimo: $\delta u_{pr} = 1.193$ cm

9.2.3 COMPATIBILITA' DI INTERVENTO

Rigidezza e resistenza della muratura:

$\Delta K_{mur} = K_{pr} - K_{sa} = 416087 - 471050 = -54963$ daN/cm (riduzione rigidezza = -11.7%)
 $\Delta V_{mur} = V_{pr} - V_{sa} = 93814 - 85383 = 8432$ daN (aumento resistenza = 9.9%)

La variazione percentuale di ΔK è compresa tra +/- 15.0%, limite di accettabilità per considerare l'intervento di tipo locale. La resistenza post-operam non è inferiore di quella ante-operam, quindi la parete potrà essere modificata senza richiedere opere aggiuntive di irrigidimento delle aperture.

Rigidezza e resistenza del telaio:

Note:

$K = c E J / H_i^3$, con: $c = 3$ nel caso di telaio incernierato alla base, $c = 12$ nel caso di incastro

$F_u = n (M_u / H_i)$ nel caso di telaio incernierato alla base, $F_u = n (2 M_u / H_i)$ nel caso di incastro,

con $n =$ numero dei montanti del telaio. $F_o = F_u$.

Se $\delta_e > \delta_u$, F_o sarà calcolato in relazione allo spostamento ultimo di progetto. $F_o = K \delta_{u Pr}$

Telaio	c	H _i [cm]	K [daN/cm]	M _u [daN cm]	δ _e [cm]	F _u [daN]
A	12	315.00	9736.9	4518543.0	2.95	28689.2

$$K_t = \Sigma K = 9737 \text{ daN/cm}$$

$$V_t = \Sigma F_o = 11618 \text{ daN}$$

Variazione di rigidezza e resistenza dopo l'intervento:

$$\Delta K_{tot} = K_{pr} + K_t - K_{sa} = -45226 \text{ daN/cm}$$

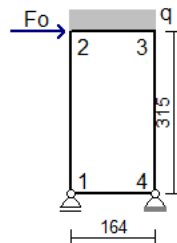
riduzione rigidezza = -9.6%; variazione percentuale di ΔK_{tot} compresa entro il 15.0% Ok

$$\Delta V_{tot} = V_{pr} + V_t - V_{sa} = 20050 \text{ daN}$$

aumento resistenza = 23.5%; $\Delta V_{tot} > 0$ Ok

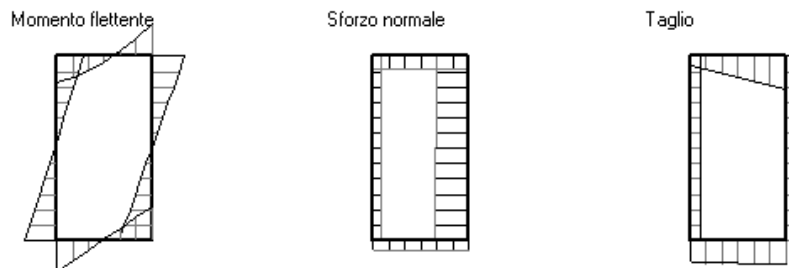
9.2.4 Verifiche dei telai.

Telaio A



$$F_o = 11618.10 \text{ daN}, \quad q = G_k + \psi_2 Q_k = 74.24 \text{ daN/cm} \quad (\psi_2 = 0.60)$$

Sollecitazioni telaio A



Sollecitazione di compressione per $N > 0$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-2

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-2	1	0.0	-925254.8	-4019.7	5444.1
	2	26.3	-782346.4	-4055.1	5444.1
	3	52.5	-639438.0	-4090.5	5444.1
	4	78.8	-496529.6	-4125.9	5444.1
	5	105.0	-353621.2	-4161.3	5444.1
	6	131.3	-210712.9	-4196.8	5444.1
	7	157.5	-67804.5	-4232.2	5444.1
	8	183.8	75103.9	-4267.6	5444.1
	9	210.0	218012.3	-4303.0	5444.1
	10	236.3	360920.6	-4338.4	5444.1
	11	262.5	503829.0	-4373.8	5444.1
	12	288.8	646737.4	-4409.3	5444.1
	13	315.0	789645.8	-4444.7	5444.1

4 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE140B	14.0	14.0	215.7	245.5	43.0	13.1	0.70	1.20	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-2

Taglio:

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Ved = 1361,0 daN

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 19792.00$ daN

Ved / Vcrd = 0.069 < 1 Ok

Tenso-flessione:

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = -231313,7 daNcm, Ned = -1004,9 daN, Ved = 1361,0 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$, $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.47$, $\psi = -1.04$

Ali in compressione: $c_f / e = 4.54 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 13.14 < 36 \varepsilon / \alpha = 70.56$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 112537.9$ daN

$n = N_{ed} / N_{rd} = -0.009$, $a = (A - 2 B e) / A = 0.218$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 642964.0$ daNcm

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 728081.3$ daNcm > $M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

Med / Mnrđ = 0.36 < 1 Ok

Verifica sezioni in acciaio del tratto 2-3

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
2-3	1	0.0	789645.8	6174.0	-4444.7
	2	27.3	639921.3	6174.0	-6510.8
	3	54.7	433723.3	6174.0	-8576.9

	4	82.0	171051.8	6174.0	-10643.0
	5	109.3	-148093.3	6174.0	-12709.1
	6	136.7	-523712.0	6174.0	-14775.2
	7	164.0	-955804.1	6174.0	-16841.3

4 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE140B	14.0	14.0	215.7	245.5	43.0	13.1	0.70	1.20	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 2-3

Taglio:

sez. 7, dist. = 164,0 cm, Ved = -4210,3 daN

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 19792.00 \text{ daN}$

$V_{ed} / V_{crd} = 0.213 < 1 \text{ Ok}$

Presso-flessione:

sez. 7, dist. = 164,0 cm, Med = -238951,0 daNcm, Ned = 1543,5 daN, Ved = -4210,3 daN

Classificazione della sezione:

$\epsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$, $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.54$, $\psi = -0.94$

Ali in compressione: $c_f / e = 4.54 < 9 \epsilon = 8.32 \text{ (cl. 1)}$

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 13.14 < 396 \epsilon / (13 \alpha - 1) = 60.34 \text{ (cl. 1)}$

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 112537.9 \text{ daN}$

$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.014$, $a = (A - 2 B e) / A = 0.218$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 642964.0 \text{ daNcm}$

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 711739.8 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$Med / M_{nrd} = 0.37 < 1 \text{ Ok}$

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = 197411,4 daNcm, Ned = 1543,5 daN, Ved = -1111,2 daN

Instabilità a compressione:

$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 1163307.0 \text{ daN}$

$N_{ed} < 0.04 N_{cr} \Rightarrow \text{Verifica non richiesta}$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 3-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
3-4	1	0.0	-955804.1	16841.3	6174.0
	2	26.3	-793737.4	16876.7	6174.0
	3	52.5	-631670.7	16912.1	6174.0
	4	78.8	-469603.9	16947.6	6174.0
	5	105.0	-307537.2	16983.0	6174.0
	6	131.3	-145470.4	17018.4	6174.0
	7	157.5	16596.3	17053.8	6174.0
	8	183.8	178663.0	17089.2	6174.0
	9	210.0	340729.8	17124.6	6174.0

	10	236.3	502796.5	17160.1	6174.0
	11	262.5	664863.3	17195.5	6174.0
	12	288.8	826930.0	17230.9	6174.0
	13	315.0	988996.8	17266.3	6174.0

4 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE140B	14.0	14.0	215.7	245.5	43.0	13.1	0.70	1.20	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 3-4

Taglio:

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Ved = 1543,5 daN

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 19792.00$ daN

$V_{ed} / V_{crd} = 0.078 < 1$ Ok

Presso-flessione:

sez. 13, dist. = 315,0 cm, Med = 247249,2 daNcm, Ned = 4316,6 daN, Ved = 1543,5 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$, $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.62$, $\psi = -0.83$

Ali in compressione: $c_f / e = 4.54 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 13.14 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 51.67$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 112537.9$ daN

$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.038$, $a = (A - 2 B e) / A = 0.218$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 642964.0$ daNcm

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 693957.8$ daNcm $> M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$M_{ed} / M_{nrd} = 0.38 < 1$ Ok

sez. 13, dist. = 315,0 cm, Med = 247249,2 daNcm, Ned = 4316,6 daN, Ved = 1543,5 daN

Instabilità a compressione:

$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 315326.9$ daN

$N_{ed} < 0.04 N_{cr} \Rightarrow$ Verifica non richiesta

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-4	1	0.0	925254.8	5444.1	-11464.8
	2	27.3	610938.1	5444.1	-11534.0
	3	54.7	294731.3	5444.1	-11603.1
	4	82.0	-23365.5	5444.1	-11672.3
	5	109.3	-343352.5	5444.1	-11741.4
	6	136.7	-665229.6	5444.1	-11810.6
	7	164.0	-988996.8	5444.1	-11879.7

4 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE140M	14.6	16.0	411.5	493.9	80.6	24.5	1.30	2.20	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-4

Taglio:

sez. 7, dist. = 164,0 cm, Ved = -2969,9 daN

Taglio resistente: Vcrd = Av f_{yk} / (γ_{M0} √3) = 37001.28 daN

Ved / Vcrd = 0.080 < 1 Ok

Presso-flessione:

sez. 7, dist. = 164,0 cm, Med = -247249,2 daNcm, Ned = 1361,0 daN, Ved = -2969,9 daN

Classificazione della sezione:

ε = √(235 / f_{yk}) = 0.92, α = 0.5 (1 + (N / (cw a f_{yk}))) = 0.52, ψ = -0.97

Ali in compressione: cf / e = 2.48 < 9 ε = 8.32 (cl. 1)

Anima a presso-flessione: cw / a = 7.08 < 396 ε / (13 α - 1) = 63.45 (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

Nrd = A f_{yk} / γ_{M0} = 211016.7 daN

n = Ned / Nrd = 0.006, a = (A - 2 B e) / A = 0.203

Mrd = Wpx f_{yk} / γ_{M0} = 1293548.0 daNcm

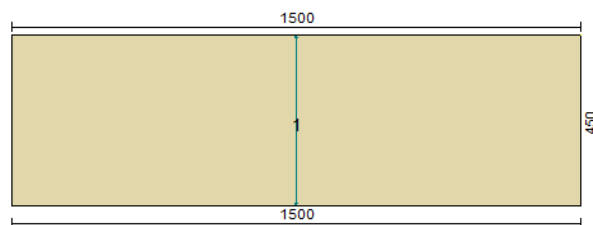
Mnrd = Mrn (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 1430135.0 daNcm > Mrd => Mnrd = Mrd

Med / Mnrd = 0.19 < 1 Ok

Nota (*): non essendo possibile collegare le travi mediante calastrelli nel lato verso la muratura, le verifiche saranno eseguite su profili semplici dividendo le sollecitazioni per il numero delle sezioni presenti nel tratto.

9.3 CERCHIATURA 002

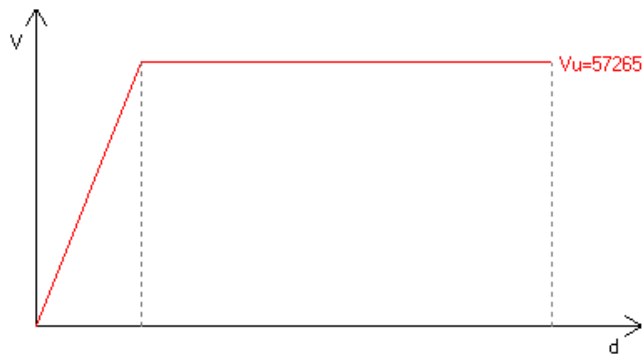
9.3.1 Ante-operam



T (sp. parete) = 26.00 cm

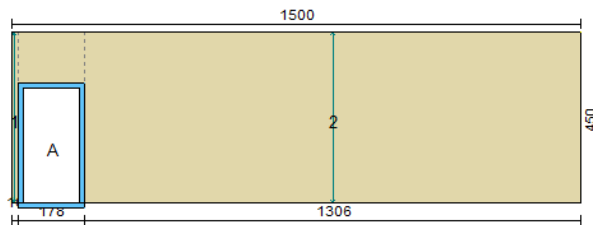
Maschio	Lungh.	H calc	Coef. b	σo	Ko	Vu	δe	δu
1	1500.0	450.0	1.00	3.270	164141.4	57264.9	0.349	1.710

Curva caratteristica ante-operam:



Rigidezza complessiva della parete: $K_{sa} = 164141.4 \text{ daN/cm}$
 Taglio ultimo della parete: $V_{sa} = 57264.9 \text{ daN}$
 Spostamento ultimo: $du_{sa} = 1.710 \text{ cm}$

9.3.2 Post-operam



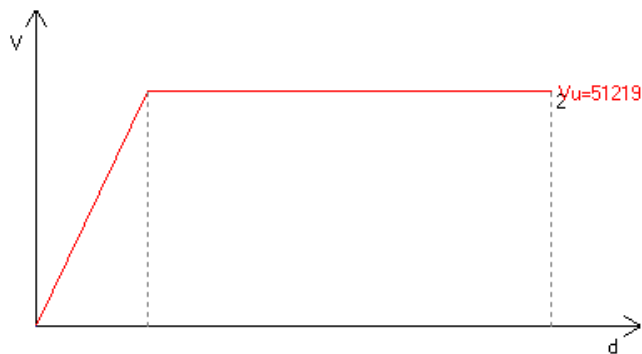
$T \text{ (sp. parete) } = 26.00 \text{ cm}$

Apertura	Stato	Architravi	Travi inf.	Montanti
A	Cerchiata	3 HE140B	3 HE140M	3HE140B+3HE140B

Maschio	Lungh.	Spess.	H calc.	Coef. b	σ_0	K_0	V_u	δ_e	δ_u
1 (*)	16.0	26.00	450.0	1.50	20.571	2.2	956.2	436.861	1.710
2	1306.0	26.00	450.0	1.00	3.482	138882.9	51218.7	0.369	1.710

I maschi (*) hanno un valore $\delta_e > 0.004 H$, non verranno pertanto considerati resistenti ai fini delle verifiche

Curva caratteristica post-operam (solo murature):



Rigidezza complessiva della parete: $K_{pr} = 138882.9 \text{ daN/cm}$
 Taglio ultimo della parete: $V_{pr} = 51218.7 \text{ daN}$
 Spostamento ultimo: $\delta_{u pr} = 1.710 \text{ cm}$

9.3.3 COMPATIBILITA' DI INTERVENTO

Rigidezza e resistenza della muratura:

$$\Delta K_{mur} = K_{pr} - K_{sa} = 138883 - 164141 = -25259 \text{ daN/cm} \quad (\text{riduzione rigidezza} = -15.4\%)$$

$$\Delta V_{mur} = V_{pr} - V_{sa} = 51219 - 57265 = -6046 \text{ daN} \quad (\text{riduzione resistenza} = -10.6\%)$$

Rigidezza e resistenza del telaio:

Note:

$K = c E J / H_i^3$, con: $c = 3$ nel caso di telaio incernierato alla base, $c = 12$ nel caso di incastro

$F_u = n (M_u / H_i)$ nel caso di telaio incernierato alla base, $F_u = n (2 M_u / H_i)$ nel caso di incastro, con $n =$ numero dei montanti del telaio. $F_o = F_u$.

Se $\delta_e > \delta_u$, F_o sarà calcolato in relazione allo spostamento ultimo di progetto. $F_o = K \delta_{u,Pr}$

Telaio	c	H _i [cm]	K [daN/cm]	M _u [daN cm]	δ _e [cm]	F _u [daN]
A	12	315.00	7302.7	3388943.0	2.95	21517.1

$$K_t = \sum K = 7303 \text{ daN/cm}$$

$$V_t = \sum F_o = 12488 \text{ daN}$$

Variazione di rigidezza e resistenza dopo l'intervento:

$$\Delta K_{tot} = K_{pr} + K_t - K_{sa} = -17956 \text{ daN/cm}$$

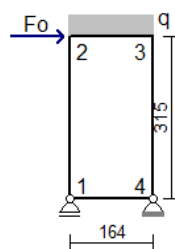
riduzione rigidezza = -10.9%; variazione percentuale di ΔK_{tot} compresa entro il 15.0% Ok

$$\Delta V_{tot} = V_{pr} + V_t - V_{sa} = 6441 \text{ daN}$$

aumento resistenza = 11.2%; $\Delta V_{tot} > 0$ Ok

9.3.4 Verifiche dei telai.

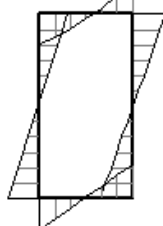
Telaio A



$$F_o = 12487.58 \text{ daN}, \quad q = G_k + \psi_2 Q_k = 63.86 \text{ daN/cm} \quad (\psi_2 = 0.60)$$

Sollecitazioni telaio A

Momento flettente



Sforzo normale



Taglio



Sollecitazione di compressione per $N > 0$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-2

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-2	1	0.0	-987210.6	-6017.6	5945.0
	2	26.3	-831154.5	-6044.2	5945.0
	3	52.5	-675098.4	-6070.7	5945.0
	4	78.8	-519042.3	-6097.3	5945.0
	5	105.0	-362986.2	-6123.8	5945.0
	6	131.3	-206930.1	-6150.4	5945.0
	7	157.5	-50874.0	-6177.0	5945.0
	8	183.8	105182.1	-6203.5	5945.0
	9	210.0	261238.2	-6230.1	5945.0
	10	236.3	417294.3	-6256.7	5945.0
	11	262.5	573350.4	-6283.2	5945.0
	12	288.8	729406.4	-6309.8	5945.0
	13	315.0	885462.6	-6336.4	5945.0

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE140B	14.0	14.0	215.7	245.5	43.0	13.1	0.70	1.20	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-2

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Ved = 1981,7 daN

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 19793.49$ daN

Ved / Vcrd = 0.100 < 1 Ok

Tenso-flessione:

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = -329070,2 daNcm, Ned = -2005,9 daN, Ved = 1981,7 daN

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.44, \quad \psi = -1.09$$

Ali in compressione: $c_f / e = 4.54 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 13.14 < 36 \varepsilon / \alpha = 75.06$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 112540.5 \text{ daN}$$

$$n = Ned / N_{rd} = -0.018, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.218$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 642976.3 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 734520.8 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$Med / M_{nrd} = 0.51 < 1 \text{ Ok}$$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 2-3

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
2-3	1	0.0	885462.6	6542.6	-6336.4
	2	27.3	688033.9	6542.6	-8109.6
	3	54.7	442135.2	6542.6	-9882.9
	4	82.0	147766.3	6542.6	-11656.2
	5	109.3	-195072.7	6542.6	-13429.5
	6	136.7	-586381.8	6542.6	-15202.8
	7	164.0	-1026161.0	6542.6	-16976.1

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE140B	14.0	14.0	215.7	245.5	43.0	13.1	0.70	1.20	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 2-3

Taglio:

sez. 7, dist. = 164,0 cm, Ved = -5658,7 daN

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 19792.00$ daN

Ved / Vcrd = 0.286 < 1 Ok

Presso-flessione:

sez. 7, dist. = 164,0 cm, Med = -342053,6 daNcm, Ned = 2180,9 daN, Ved = -5658,7 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$, $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.56$, $\psi = -0.91$

Ali in compressione: $c_f / e = 4.54 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 13.14 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 58.10$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 112537.9$ daN

$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.019$, $a = (A - 2 B e) / A = 0.218$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 642964.0$ daNcm

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 707652.8$ daNcm > $M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

Med / Mnrđ = 0.53 < 1 Ok

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = 295154,2 daNcm, Ned = 2180,9 daN, Ved = -2112,1 daN

Instabilità a compressione:

$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 1163307.0$ daN

Ned < 0.04 Ncr => Verifica non richiesta

Verifica sezioni in acciaio del tratto 3-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
3-4	1	0.0	-1026161.0	16976.1	6542.6
	2	26.3	-854418.0	17002.7	6542.6
	3	52.5	-682675.1	17029.3	6542.6
	4	78.8	-510932.3	17055.8	6542.6

	5	105.0	-339189.4	17082.4	6542.6
	6	131.3	-167446.5	17109.0	6542.6
	7	157.5	4296.4	17135.5	6542.6
	8	183.8	176039.3	17162.1	6542.6
	9	210.0	347782.2	17188.6	6542.6
	10	236.3	519525.0	17215.2	6542.6
	11	262.5	691267.9	17241.8	6542.6
	12	288.8	863010.8	17268.3	6542.6
	13	315.0	1034754.0	17294.9	6542.6

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE140B	14.0	14.0	215.7	245.5	43.0	13.1	0.70	1.20	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 3-4

Taglio:

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Ved = 2180,9 daN

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 19793.49 \text{ daN}$

$V_{ed} / V_{crd} = 0.110 < 1 \text{ Ok}$

Presso-flessione:

sez. 13, dist. = 315,0 cm, Med = 344917,9 daNcm, Ned = 5765,0 daN, Ved = 2180,9 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.66, \quad \psi = -0.78$

Ali in compressione: $c_f / e = 4.54 < 9 \varepsilon = 8.32 \text{ (cl. 1)}$

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 13.14 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 48.07 \text{ (cl. 1)}$

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 112540.5 \text{ daN}$

$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.051, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.218$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 642976.3 \text{ daNcm}$

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 684690.9 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$M_{ed} / M_{nrd} = 0.54 < 1 \text{ Ok}$

sez. 13, dist. = 315,0 cm, Med = 344917,9 daNcm, Ned = 5765,0 daN, Ved = 2180,9 daN

Instabilità a compressione:

$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 315326.0 \text{ daN}$

$N_{ed} < 0.04 N_{cr} \Rightarrow \text{Verifica non richiesta}$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-4	1	0.0	987210.6	5945.0	-12225.3
	2	27.3	652579.2	5945.0	-12259.9
	3	54.7	317002.7	5945.0	-12294.5

	4	82.0	-19518.8	5945.0	-12329.1
	5	109.3	-356985.4	5945.0	-12363.6
	6	136.7	-695397.1	5945.0	-12398.2
	7	164.0	-1034754.0	5945.0	-12432.8

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE140M	14.6	16.0	411.5	493.9	80.6	24.5	1.30	2.20	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-4

Taglio:

sez. 7, dist. = 164,0 cm, Ved = -6216,4 daN

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 37001.28 \text{ daN}$

$V_{ed} / V_{crd} = 0.168 < 1 \text{ Ok}$

Presso-flessione:

sez. 7, dist. = 164,0 cm, Med = -517376,8 daNcm, Ned = 2972,5 daN, Ved = -6216,4 daN

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c w a f_{yk}))) = 0.55, \quad \psi = -0.94$$

Ali in compressione: $c f / e = 2.48 < 9 \varepsilon = 8.32 \text{ (cl. 1)}$

Anima a presso-flessione: $c w / a = 7.08 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 60.14 \text{ (cl. 1)}$

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 211016.7 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.014, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.203$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 1293548.0 \text{ daNcm}$$

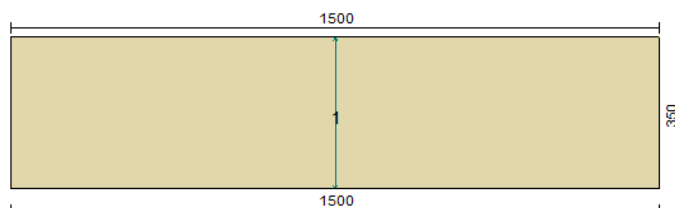
$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 1419143.0 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$M_{ed} / M_{nrd} = 0.40 < 1 \text{ Ok}$$

Nota (*): non essendo possibile collegare le travi mediante calastrelli nel lato verso la muratura, le verifiche saranno eseguite su profili semplici dividendo le sollecitazioni per il numero delle sezioni presenti nel tratto.

9.4 CERCHIATURA 003

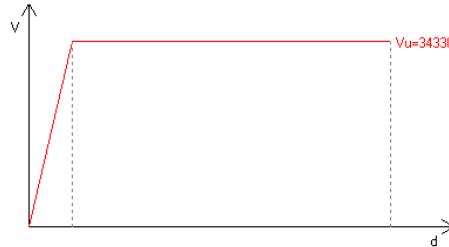
9.4.1 Ante-operam



$$T \text{ (sp. parete) } = 26.00 \text{ cm}$$

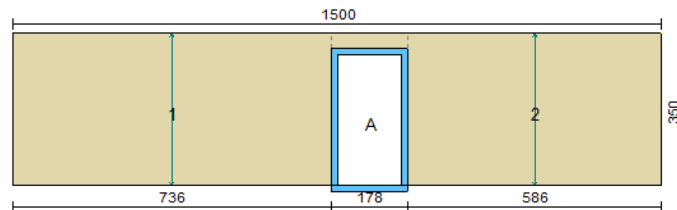
Maschio	Lungh.	H calc	Coef. b	σ_0	Ko	Vu	δ_e	δ_u
1	1500.0	350.0	1.00	0.815	218900.7	34329.8	0.157	1.330

Curva caratteristica ante-operam:



Rigidezza complessiva della parete: $K_{sa} = 218900.7 \text{ daN/cm}$
 Taglio ultimo della parete: $V_{sa} = 34329.8 \text{ daN}$
 Spostamento ultimo: $\delta_u \text{ sa} = 1.330 \text{ cm}$

9.4.2 Post-operam

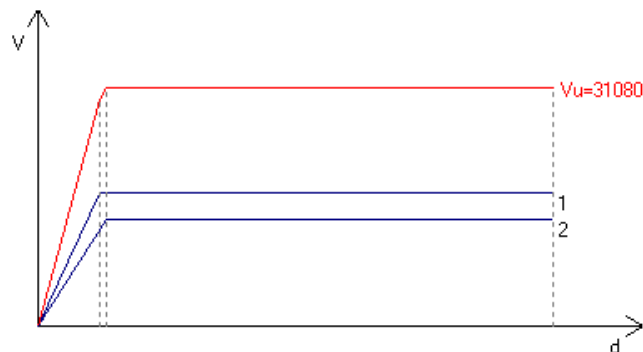


T (sp. parete) = 26.00 cm

Apertura	Stato	Architravi	Travi inf.	Montanti
A	Cerchiata	3 HE140B	3 HE140M	3HE140B+3HE140B

Maschio	Lungh.	Spess.	H calc.	Coef. b	σ_0	Ko	Vu	δ_e	δ_u
1	736.0	26.00	350.0	1.00	0.883	109237.7	17257.0	0.158	1.330
2	586.0	26.00	350.0	1.00	0.901	77936.9	13822.8	0.177	1.330

Curva caratteristica post-operam (solo murature):



Rigidezza complessiva della parete: $K_{pr} = 187174.6 \text{ daN/cm}$
 Taglio ultimo della parete: $V_{pr} = 31079.8 \text{ daN}$
 Spostamento ultimo: $\delta_u \text{ pr} = 1.330 \text{ cm}$

9.4.3 COMPATIBILITA' DI INTERVENTO

Rigidezza e resistenza della muratura:

$$\Delta K_{\text{mur}} = K_{\text{pr}} - K_{\text{sa}} = 187175 - 218901 = -31726 \text{ daN/cm} \quad (\text{riduzione rigidezza} = -14.5\%)$$

$$\Delta V_{\text{mur}} = V_{\text{pr}} - V_{\text{sa}} = 31080 - 34330 = -3250 \text{ daN} \quad (\text{riduzione resistenza} = -9.5\%)$$

Rigidezza e resistenza del telaio:

Note:

$K = c E J / H_i^3$, con: $c = 3$ nel caso di telaio incernierato alla base, $c = 12$ nel caso di incastro

$F_u = n (M_u / H_i)$ nel caso di telaio incernierato alla base, $F_u = n (2 M_u / H_i)$ nel caso di incastro, con $n =$ numero dei montanti del telaio. $F_o = F_u$.

Se $\delta_e > \delta_u$, F_o sarà calcolato in relazione allo spostamento ultimo di progetto. $F_o = K \delta_{uPr}$

Telaio	c	H _i [cm]	K [daN/cm]	M _u [daN cm]	δ _e [cm]	F _u [daN]
A	12	315.00	7302.7	3388907.0	2.95	21516.9

$$K_t = \sum K = 7303 \text{ daN/cm}$$

$$V_t = \sum F_o = 9713 \text{ daN}$$

Variazione di rigidezza e resistenza dopo l'intervento:

$$\Delta K_{\text{tot}} = K_{\text{pr}} + K_t - K_{\text{sa}} = -24423 \text{ daN/cm}$$

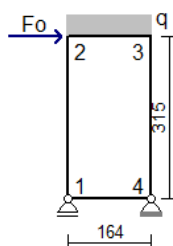
riduzione rigidezza = -11.2%; variazione percentuale di ΔK_{tot} compresa entro il 15.0% Ok

$$\Delta V_{\text{tot}} = V_{\text{pr}} + V_t - V_{\text{sa}} = 6463 \text{ daN}$$

aumento resistenza = 18.8%; $\Delta V_{\text{tot}} > 0$ Ok

9.4.4 Verifiche dei telai.

Telaio A



$$F_o = 9712.58 \text{ daN}, \quad q = G_k + \psi_2 Q_k = 14.68 \text{ daN/cm} \quad (\psi_2 = 0.60)$$

Sollecitazioni telaio A



Sollecitazione di compressione per $N > 0$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-2

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-2	1	0.0	-779796.9	-7460.1	4781.0
	2	26.3	-654296.6	-7486.7	4781.0
	3	52.5	-528796.4	-7513.2	4781.0
	4	78.8	-403296.3	-7539.8	4781.0
	5	105.0	-277796.0	-7566.3	4781.0
	6	131.3	-152295.8	-7592.9	4781.0
	7	157.5	-26795.6	-7619.5	4781.0
	8	183.8	98704.6	-7646.0	4781.0
	9	210.0	224204.8	-7672.6	4781.0
	10	236.3	349705.0	-7699.2	4781.0
	11	262.5	475205.2	-7725.7	4781.0
	12	288.8	600705.4	-7752.3	4781.0
	13	315.0	726205.6	-7778.8	4781.0

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE140B	14.0	14.0	215.7	245.5	43.0	13.1	0.70	1.20	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-2

Taglio:

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Ved = 1593,7 daN

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 19792.00$ daN

Ved / Vcrd = 0.081 < 1 Ok

Tenso-flessione:

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = -259932,3 daNcm, Ned = -2486,7 daN, Ved = 1593,7 daN

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.43, \quad \psi = -1.11$$

Ali in compressione: $c_f / e = 4.54 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 13.14 < 36 \varepsilon / \alpha = 77.43$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 112537.9$$
 daN

$$n = Ned / N_{rd} = -0.022, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.218$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 642964.0$$
 daNcm

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 737583.0$$
 daNcm > M_{rd} => M_{nrd} = M_{rd}

$$Med / M_{nrd} = 0.40 < 1$$
 Ok

Verifica sezioni in acciaio del tratto 2-3

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
2-3	1	0.0	726205.6	4931.6	-7778.8
	2	27.3	507720.2	4931.6	-8207.9
	3	54.7	277507.5	4931.6	-8636.9
	4	82.0	35567.7	4931.6	-9066.0
	5	109.3	-218099.4	4931.6	-9495.0
	6	136.7	-483493.7	4931.6	-9924.1
	7	164.0	-760615.1	4931.6	-10353.1

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE140B	14.0	14.0	215.7	245.5	43.0	13.1	0.70	1.20	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 2-3

Taglio:

sez. 7, dist. = 164,0 cm, Ved = -3451,0 daN

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 19792.00$ daN

$V_{ed} / V_{crd} = 0.174 < 1$ Ok

Presso-flessione:

sez. 7, dist. = 164,0 cm, Med = -253538,4 daNcm, Ned = 1643,9 daN, Ved = -3451,0 daN

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.55, \quad \psi = -0.93$$

Ali in compressione: $c_f / e = 4.54 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 13.14 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 59.98$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 112537.9 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.015, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.218$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 642964.0 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 711096.1 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$M_{ed} / M_{nrd} = 0.39 < 1 \text{ Ok}$$

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = 242068,5 daNcm, Ned = 1643,9 daN, Ved = -2592,9 daN

Instabilità a compressione:

$$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 1163307.0 \text{ daN}$$

$N_{ed} < 0.04 N_{cr} \Rightarrow$ Verifica non richiesta

Verifica sezioni in acciaio del tratto 3-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
3-4	1	0.0	-760615.1	10353.1	4931.6
	2	26.3	-631160.1	10379.7	4931.6
	3	52.5	-501705.0	10406.2	4931.6
	4	78.8	-372250.0	10432.8	4931.6

	5	105.0	-242795.0	10459.4	4931.6
	6	131.3	-113340.0	10485.9	4931.6
	7	157.5	16115.0	10512.5	4931.6
	8	183.8	145570.1	10539.1	4931.6
	9	210.0	275025.1	10565.6	4931.6
	10	236.3	404480.1	10592.2	4931.6
	11	262.5	533935.1	10618.7	4931.6
	12	288.8	663390.1	10645.3	4931.6
	13	315.0	792845.1	10671.9	4931.6

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE140B	14.0	14.0	215.7	245.5	43.0	13.1	0.70	1.20	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 3-4

Taglio:

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Ved = 1643,9 daN

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 19792.00$ daN

Ved / Vcrd = 0.083 < 1 Ok

Presso-flessione:

sez. 13, dist. = 315,0 cm, Med = 264281,7 daNcm, Ned = 3557,3 daN, Ved = 1643,9 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$, $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.60$, $\psi = -0.86$

Ali in compressione: $c_f / e = 4.54 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 13.14 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 53.79$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 112537.9$ daN

$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.032$, $a = (A - 2 B e) / A = 0.218$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 642964.0$ daNcm

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 698826.6$ daNcm > $M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

Med / Mnrđ = 0.41 < 1 Ok

sez. 13, dist. = 315,0 cm, Med = 264281,7 daNcm, Ned = 3557,3 daN, Ved = 1643,9 daN

Instabilità a compressione:

$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 315326.9$ daN

Ned < 0.04 Ncr => Verifica non richiesta

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-4	1	0.0	779796.9	4781.0	-9485.6
	2	27.3	520052.5	4781.0	-9520.1
	3	54.7	259363.1	4781.0	-9554.7

	4	82.0	-2271.4	4781.0	-9589.3
	5	109.3	-264850.9	4781.0	-9623.9
	6	136.7	-528375.6	4781.0	-9658.4
	7	164.0	-792845.1	4781.0	-9693.0

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE140M	14.6	16.0	411.5	493.9	80.6	24.5	1.30	2.20	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-4

Taglio:

sez. 7, dist. = 164,0 cm, Ved = -4846,5 daN

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 37001.28 \text{ daN}$

$V_{ed} / V_{crd} = 0.131 < 1 \text{ Ok}$

Presso-flessione:

sez. 7, dist. = 164,0 cm, Med = -396422,6 daNcm, Ned = 2390,5 daN, Ved = -4846,5 daN

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.54, \quad \psi = -0.95$$

Ali in compressione: $c_f / e = 2.48 < 9 \varepsilon = 8.32 \text{ (cl. 1)}$

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 7.08 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 61.29 \text{ (cl. 1)}$

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 211016.7 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.011, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.203$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 1293548.0 \text{ daNcm}$$

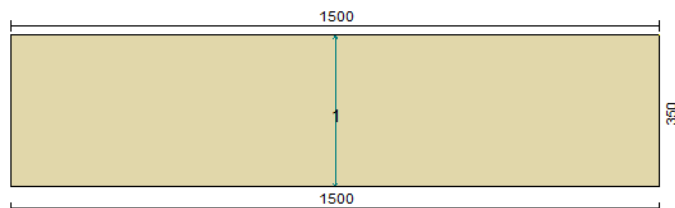
$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 1423113.0 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$M_{ed} / M_{nrd} = 0.31 < 1 \text{ Ok}$$

Nota (*): non essendo possibile collegare le travi mediante calastrelli nel lato verso la muratura, le verifiche saranno eseguite su profili semplici dividendo le sollecitazioni per il numero delle sezioni presenti nel tratto.

9.5 CERCHIATURA 004

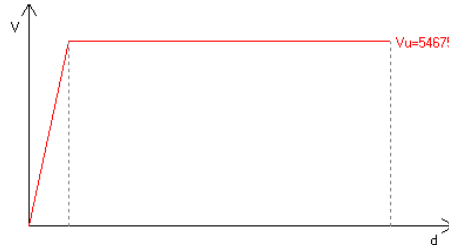
9.5.1 Ante-operam



$$T \text{ (sp. parete) } = 45.00 \text{ cm}$$

Maschio	Lungh.	H calc	Coef. b	σ_0	Ko	Vu	δ_e	δ_u
1	1500.0	350.0	1.00	0.604	378866.6	54674.7	0.144	1.330

Curva caratteristica ante-operam:

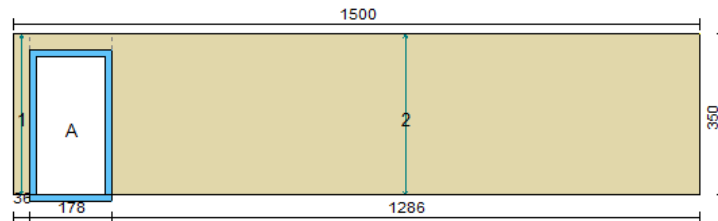


Rigidezza complessiva della parete: $K_{sa} = 378866.6 \text{ daN/cm}$

Taglio ultimo della parete: $V_{sa} = 54674.7 \text{ daN}$

Spostamento ultimo: $\delta_{u sa} = 1.330 \text{ cm}$

9.5.2 Post-operam



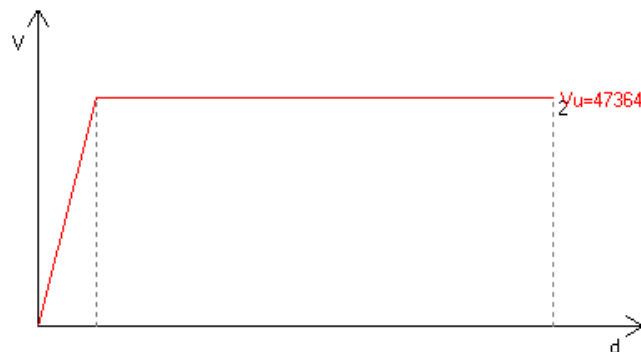
T (sp. parete) = 45.00 cm

Apertura	Stato	Architravi	Travi inf.	Montanti
A	Cerchiata	3 HE140B	3 HE140M	3HE140B+3HE140B

Maschio	Lungh.	Spess.	H calc.	Coef. b	σ_0	Ko	Vu	δ_e	δ_u
1 (*)	36.0	45.00	350.0	1.50	1.478	90.9	1157.1	12.723	1.330
2	1286.0	45.00	350.0	1.00	0.628	318269.9	47363.8	0.149	1.330

I maschi (*) hanno un valore $\delta_e > 0.004 H$, non verranno pertanto considerati resistenti ai fini delle verifiche

Curva caratteristica post-operam (solo murature):



Rigidezza complessiva della parete: $K_{pr} = 318269.9 \text{ daN/cm}$
 Taglio ultimo della parete: $V_{pr} = 47363.8 \text{ daN}$
 Spostamento ultimo: $\delta_{u pr} = 1.330 \text{ cm}$

9.5.3 COMPATIBILITA' DI INTERVENTO

Rigidezza e resistenza della muratura:

$\Delta K_{mur} = K_{pr} - K_{sa} = 318270 - 378867 = -60597 \text{ daN/cm}$ (riduzione rigidezza = -16.0%)

$\Delta V_{mur} = V_{pr} - V_{sa} = 47364 - 54675 = -7311 \text{ daN}$ (riduzione resistenza = -13.4%)

Rigidezza e resistenza del telaio:

Note:

$K = c E J / H_i^3$, con: $c = 3$ nel caso di telaio incernierato alla base, $c = 12$ nel caso di incastro

$F_u = n (M_u / H_i)$ nel caso di telaio incernierato alla base, $F_u = n (2 M_u / H_i)$ nel caso di incastro, con $n =$ numero dei montanti del telaio. $F_o = F_u$.

Se $\delta_e > \delta_u$, F_o sarà calcolato in relazione allo spostamento ultimo di progetto. $F_o = K \delta_{u pr}$

Telaio	c	H _i [cm]	K [daN/cm]	M _u [daN cm]	δ _e [cm]	F _u [daN]
A	12	315.00	7302.7	3388943.0	2.95	21517.1

$K_t = \sum K = 7303 \text{ daN/cm}$

$V_t = \sum F_o = 9713 \text{ daN}$

Variazione di rigidezza e resistenza dopo l'intervento:

$\Delta K_{tot} = K_{pr} + K_t - K_{sa} = -53294 \text{ daN/cm}$

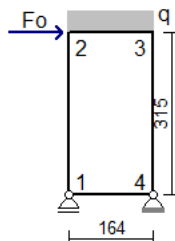
riduzione rigidezza = -14.1%; variazione percentuale di ΔK_{tot} compresa entro il 15.0% Ok

$\Delta V_{tot} = V_{pr} + V_t - V_{sa} = 2402 \text{ daN}$

aumento resistenza = 4.4%; $\Delta V_{tot} > 0$ Ok

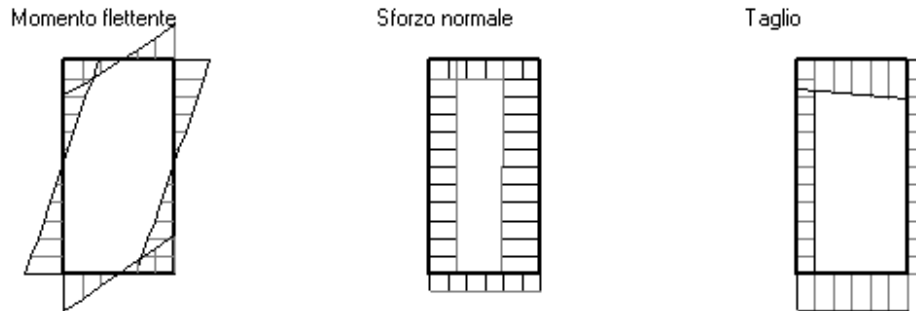
9.5.4 Verifiche dei telai.

Telaio A



$F_o = 9712.56 \text{ daN}$, $q = G_k + \psi_2 Q_k = 15.92 \text{ daN/cm}$ ($\psi_2 = 0.60$)

Sollecitazioni telaio A



Sollecitazione di compressione per $N > 0$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-2

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	N [daN] V [daN]
1-2	1	0.0	-792280.6	-7190.5	4771.9
	2	26.3	-667019.1	-7217.1	4771.9
	3	52.5	-541757.6	-7243.7	4771.9
	4	78.8	-416496.1	-7270.2	4771.9
	5	105.0	-291234.5	-7296.8	4771.9
	6	131.3	-165973.0	-7323.3	4771.9
	7	157.5	-40711.5	-7349.9	4771.9
	8	183.8	84550.1	-7376.5	4771.9
	9	210.0	209811.6	-7403.0	4771.9
	10	236.3	335073.1	-7429.6	4771.9
	11	262.5	460334.6	-7456.2	4771.9
	12	288.8	585596.2	-7482.7	4771.9
	13	315.0	710857.7	-7509.3	4771.9

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm³]	Wpx [cm³]	A [cm²]	Av [cm²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE140B	14.0	14.0	215.7	245.5	43.0	13.1	0.70	1.20	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-2

Taglio:

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Ved = 1590,6 daN

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 19793.49 \text{ daN}$

Ved / Vcrd = 0.080 < 1 Ok

Tenso-flessione:

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = -264093,5 daNcm, Ned = -2396,8 daN, Ved = 1590,6 daN

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.43, \quad \psi = -1.11$$

Ali in compressione: $c_f / e = 4.54 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 13.14 < 36 \varepsilon / \alpha = 76.98$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 112540.5 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = -0.021, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.218$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 642976.3 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 737027.9 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$M_{ed} / M_{nrd} = 0.41 < 1 \text{ Ok}$$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 2-3

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
2-3	1	0.0	710857.7	4940.7	-7509.3
	2	27.3	499280.3	4940.7	-7972.0
	3	54.7	275055.8	4940.7	-8434.7
	4	82.0	38184.3	4940.7	-8897.4
	5	109.3	-211334.3	4940.7	-9360.1
	6	136.7	-473500.0	4940.7	-9822.8
	7	164.0	-748312.6	4940.7	-10285.5

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	W _x [cm ³]	W _{px} [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE140B	14.0	14.0	215.7	245.5	43.0	13.1	0.70	1.20	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 2-3

Taglio:

$$\text{sez. 7, dist.} = 164,0 \text{ cm, } V_{ed} = -3428,5 \text{ daN}$$

$$\text{Taglio resistente: } V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 19793.49 \text{ daN}$$

$$V_{ed} / V_{crd} = 0.173 < 1 \text{ Ok}$$

Presso-flessione:

$$\text{sez. 7, dist.} = 164,0 \text{ cm, } M_{ed} = -249437,5 \text{ daNcm, } N_{ed} = 1646,9 \text{ daN, } V_{ed} = -3428,5 \text{ daN}$$

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.55, \quad \psi = -0.93$$

$$\text{Ali in compressione: } c_f / e = 4.54 < 9 \varepsilon = 8.32 \text{ (cl. 1)}$$

$$\text{Anima a presso-flessione: } c_w / a = 13.14 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 59.97 \text{ (cl. 1)}$$

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 112540.5 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.015, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.218$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 642976.3 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 711097.8 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$M_{ed} / M_{nrd} = 0.39 < 1 \text{ Ok}$$

$$\text{sez. 1, dist.} = 0,0 \text{ cm, } M_{ed} = 236952,6 \text{ daNcm, } N_{ed} = 1646,9 \text{ daN, } V_{ed} = -2503,1 \text{ daN}$$

Instabilità a compressione:

$$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 1163304.0 \text{ daN}$$

$N_{ed} < 0.04 N_{cr} \Rightarrow$ Verifica non richiesta

Verifica sezioni in acciaio del tratto 3-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
3-4	1	0.0	-748312.6	10285.5	4940.7
	2	26.3	-618619.5	10312.0	4940.7
	3	52.5	-488926.3	10338.6	4940.7
	4	78.8	-359233.2	10365.2	4940.7
	5	105.0	-229540.0	10391.7	4940.7
	6	131.3	-99846.8	10418.3	4940.7
	7	157.5	29846.3	10444.9	4940.7
	8	183.8	159539.5	10471.4	4940.7
	9	210.0	289232.7	10498.0	4940.7
	10	236.3	418925.8	10524.5	4940.7
	11	262.5	548618.9	10551.1	4940.7
	12	288.8	678312.1	10577.7	4940.7
	13	315.0	808005.3	10604.2	4940.7

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm³]	Wpx [cm³]	A [cm²]	Av [cm²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE140B	14.0	14.0	215.7	245.5	43.0	13.1	0.70	1.20	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 3-4

Taglio:

sez. 1, dist. = 0,0 cm, $V_{ed} = 1646,9 \text{ daN}$

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 19793.49 \text{ daN}$

$V_{ed} / V_{crd} = 0.083 < 1 \text{ Ok}$

Presso-flessione:

sez. 13, dist. = 315,0 cm, $M_{ed} = 269335,1 \text{ daNcm}$, $N_{ed} = 3534,7 \text{ daN}$, $V_{ed} = 1646,9 \text{ daN}$

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.60, \quad \psi = -0.86$$

Ali in compressione: $c_f / e = 4.54 < 9 \varepsilon = 8.32 \text{ (cl. 1)}$

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 13.14 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 53.85 \text{ (cl. 1)}$

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 112540.5 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.031, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.218$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 642976.3 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 698992.1 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$M_{ed} / M_{nrd} = 0.42 < 1 \text{ Ok}$$

sez. 13, dist. = 315,0 cm, $M_{ed} = 269335,1 \text{ daNcm}$, $N_{ed} = 3534,7 \text{ daN}$, $V_{ed} = 1646,9 \text{ daN}$

Instabilità a compressione:

$$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 315326.0 \text{ daN}$$

$$N_{ed} < 0.04 N_{cr} \Rightarrow \text{Verifica non richiesta}$$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-4	1	0.0	792280.6	4771.9	-9602.3
	2	27.3	529110.3	4771.9	-9654.1
	3	54.7	264522.3	4771.9	-9706.0
	4	82.0	-1483.2	4771.9	-9757.8
	5	109.3	-268906.3	4771.9	-9809.7
	6	136.7	-537747.1	4771.9	-9861.6
	7	164.0	-808005.3	4771.9	-9913.4

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE140M	14.6	16.0	411.5	493.9	80.6	24.5	1.30	2.20	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-4

Taglio:

$$\text{sez. 7, dist.} = 164,0 \text{ cm, } V_{ed} = -3304,5 \text{ daN}$$

$$\text{Taglio resistente: } V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 37001.28 \text{ daN}$$

$$V_{ed} / V_{crd} = 0.089 < 1 \quad \text{Ok}$$

Presso-flessione:

$$\text{sez. 7, dist.} = 164,0 \text{ cm, } M_{ed} = -269335,1 \text{ daNcm, } N_{ed} = 1590,6 \text{ daN, } V_{ed} = -3304,5 \text{ daN}$$

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.52, \quad \psi = -0.97$$

$$\text{Ali in compressione: } c_f / e = 2.48 < 9 \varepsilon = 8.32 \quad (\text{cl. 1})$$

$$\text{Anima a presso-flessione: } c_w / a = 7.08 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 62.96 \quad (\text{cl. 1})$$

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 211016.7 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.008, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.203$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 1293548.0 \text{ daNcm}$$

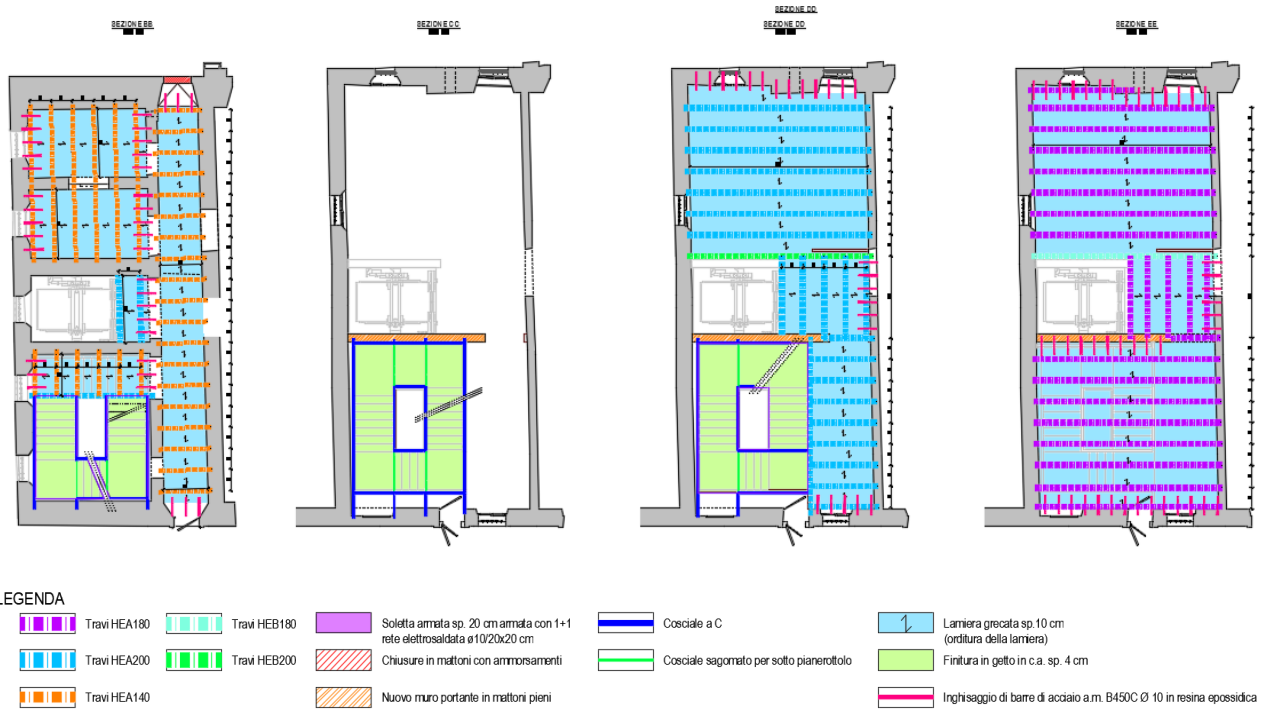
$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 1428569.0 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$M_{ed} / M_{nrd} = 0.21 < 1 \quad \text{Ok}$$

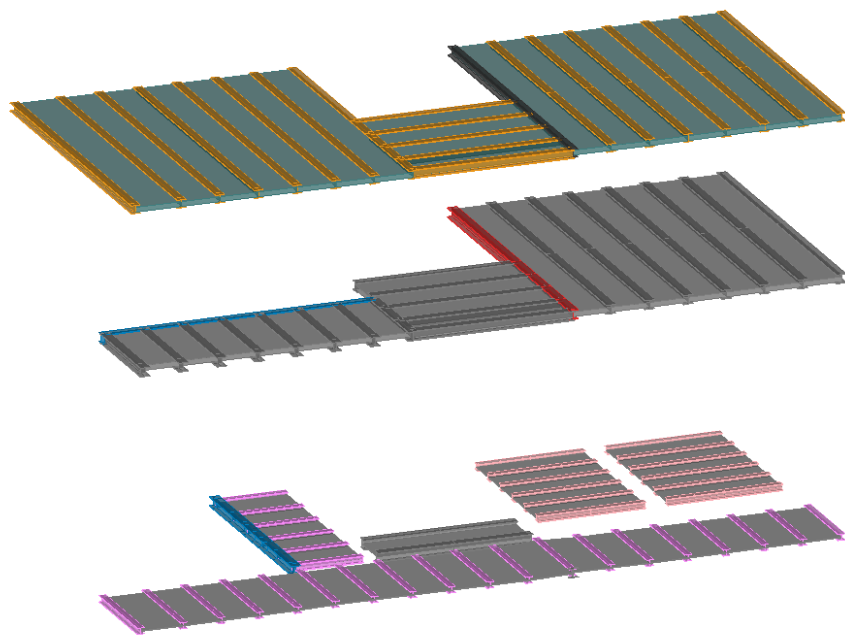
Nota (*): non essendo possibile collegare le travi mediante calastrelli nel lato verso la muratura, le verifiche saranno eseguite su profili semplici dividendo le sollecitazioni per il numero delle sezioni presenti nel tratto.

9.6 NUOVO SOLAIO IN ACCIAIO E LAMIERA GRECATA – ALA NORD DEL CASTELLO

Nel progetto del nuovo polo museale è prevista la demolizione totale del locale a nord ovest per l’inserimento di un nuovo nucleo scale e ascensore. L’impalcato sarà completamente demolito e saranno predisposte travi metalliche della tipologia HE con sezioni differenti che sorreggeranno una lamiera grecata con tetto in calcestruzzo armato. A favore di sicurezza i calcoli sono eseguiti non considerando la collaborazione.



Si riportano successivamente il modello di calcolo e le verifiche delle travi degli impalcati in oggetto.



Modello di calcolo degli impalcati con travi e lamiera grecata

Successivamente sono riportate le verifiche degli elementi principali della struttura; le verifiche sono organizzate per gruppi di elementi e per ognuno di questo sono riportati gli esiti delle verifiche agli stati limite.

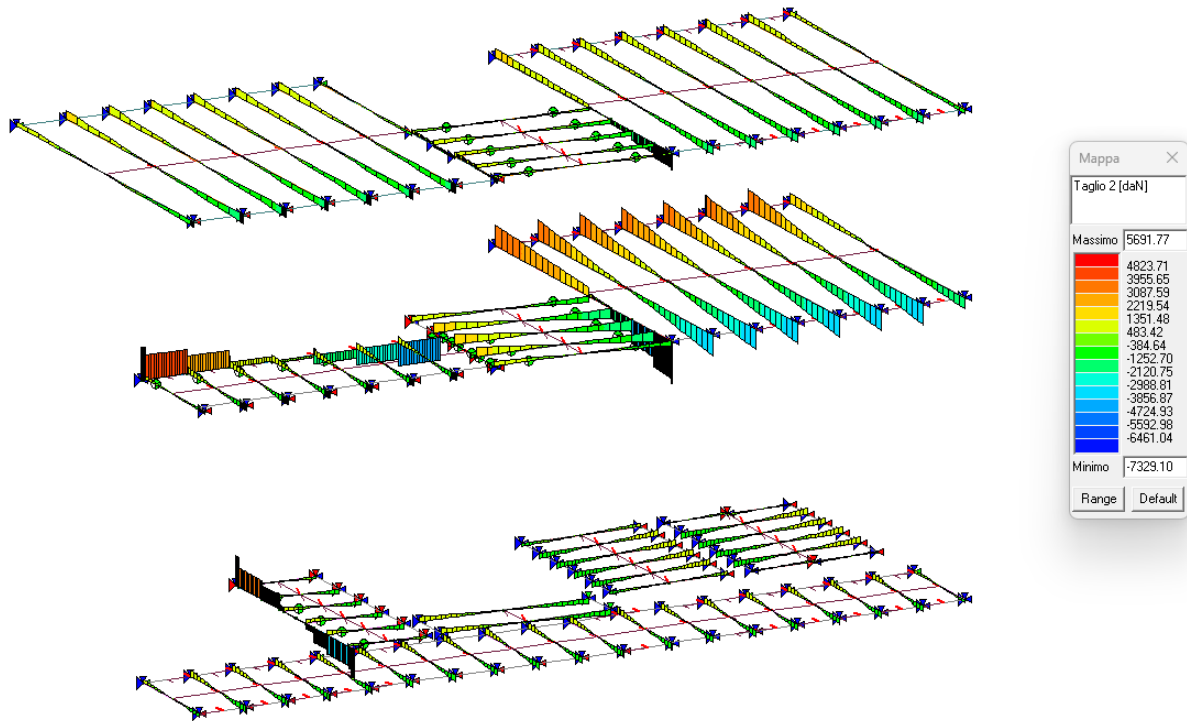


Figura 3: Diagramma del Taglio

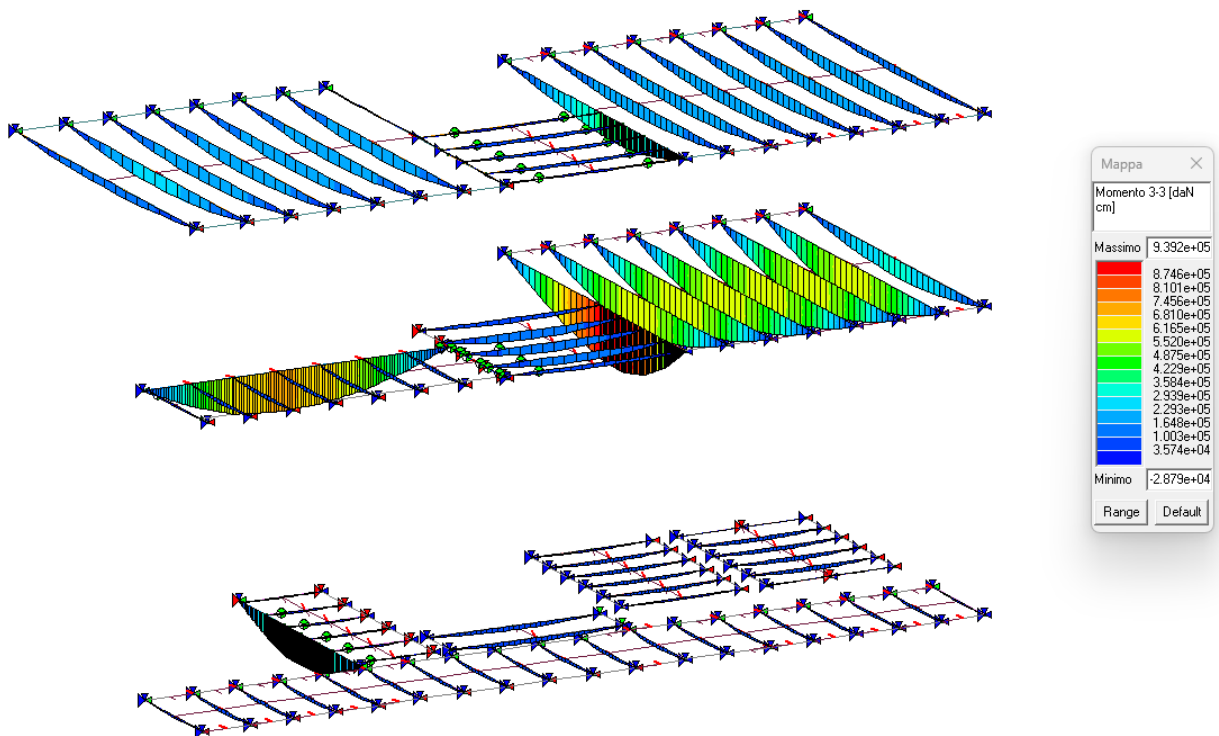
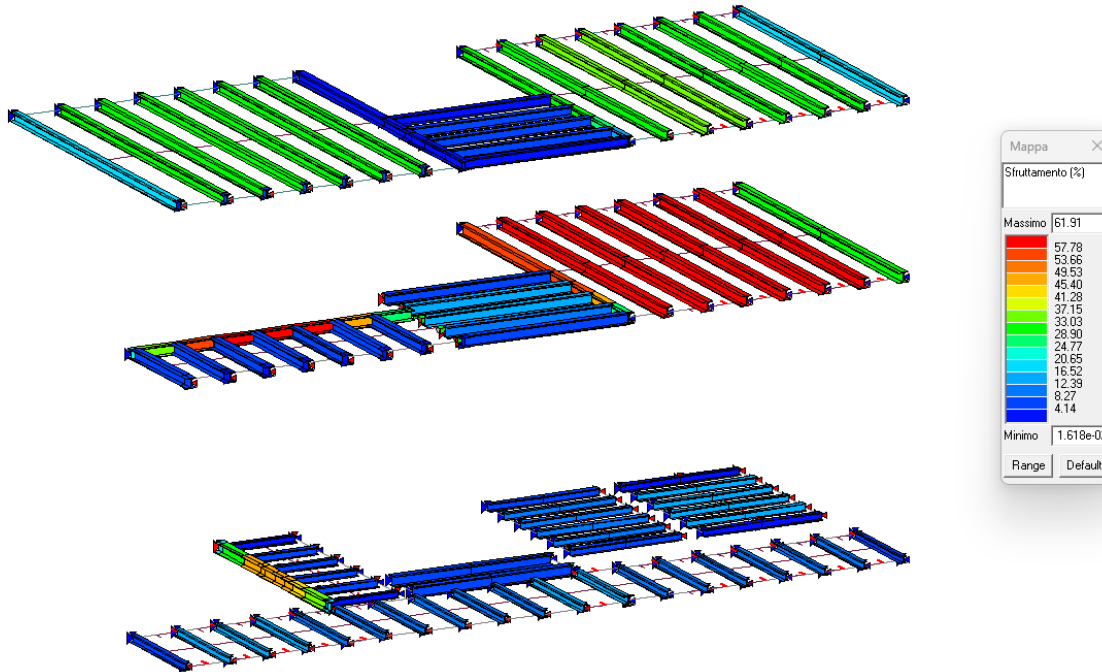
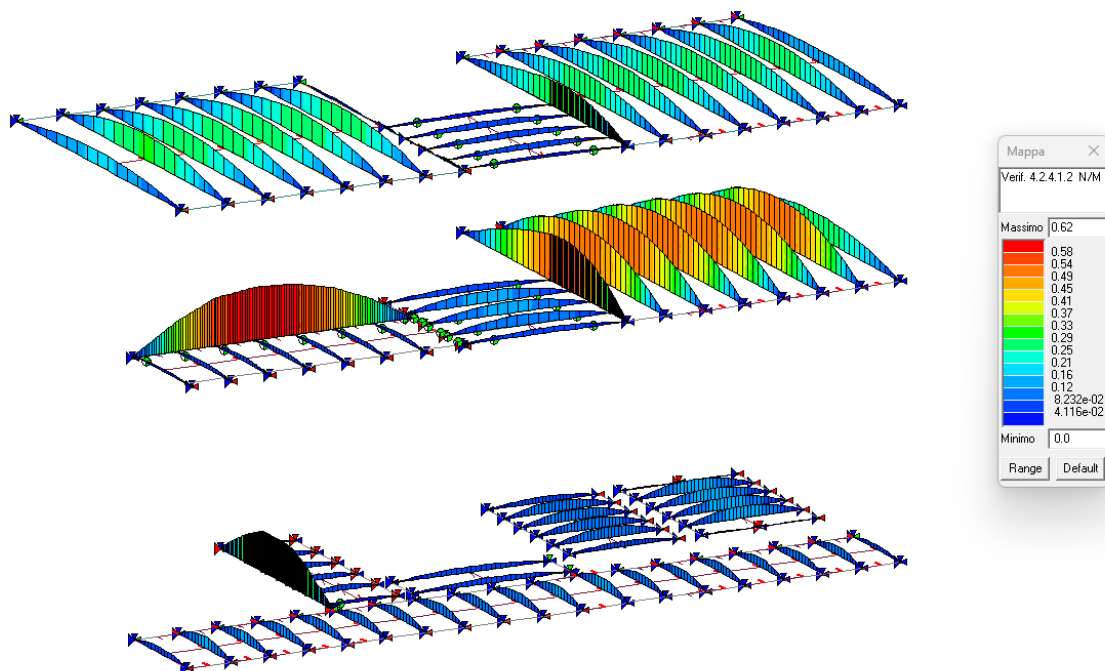


Figura 4: Diagramma dell'momento flettente

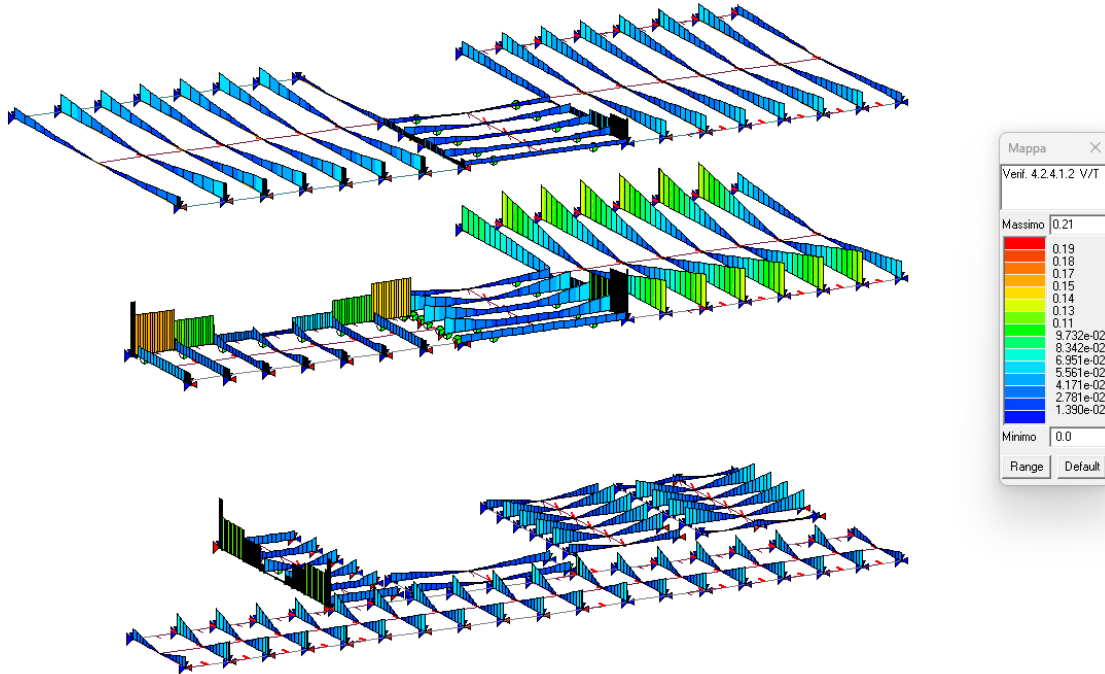
Nell'immagine seguente si riporta in via grafica la verifica eseguita dal programma di calcolo in termini di sfruttamento percentuale. Come si può osservare tutti gli elementi risultano verificati e presentano uno sfruttamento massimo del 62% nel locale con travi più lunghe e carico ammissibile massimo (museale).



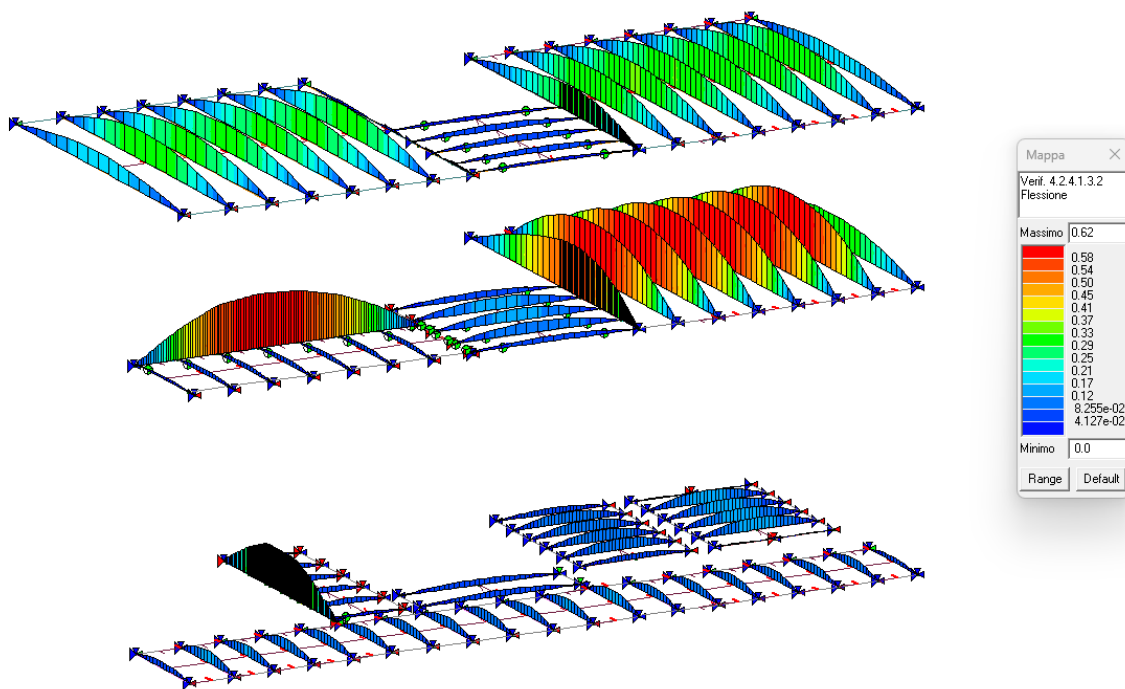
Verifica N/M Permette la visualizzazione dei risultati ottenuti dalla verifica a presso o tenso flessione degli elementi come riportato nel DM2018. La verifica tiene conto del fattore di riduzione per taglio ρ se necessario. La sezione risulta verificata in quanto si ottiene un valore N/M minore di 1.



Verifica 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 prevista per sezioni cave nel DM 2018. La verifica è da considerarsi soddisfatta in quanto il valore risulta inferiore a 1.



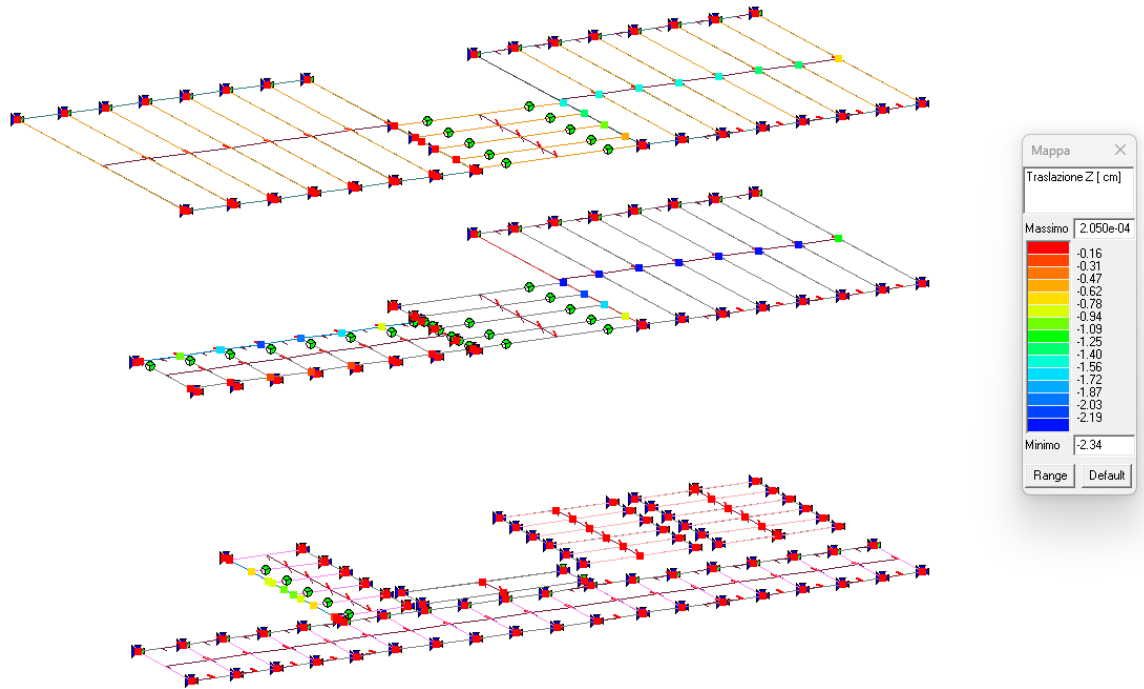
Verifica 4.2.4.1.3.2 Flessione Permette la visualizzazione dei risultati delle verifiche di stabilità eseguite secondo la formula 4.2.48. La verifica è da considerarsi soddisfatta se il valore è inferiore a 1.



Successivamente sono riportate le verifiche allo stato limite di esercizio:

Verifica SLE

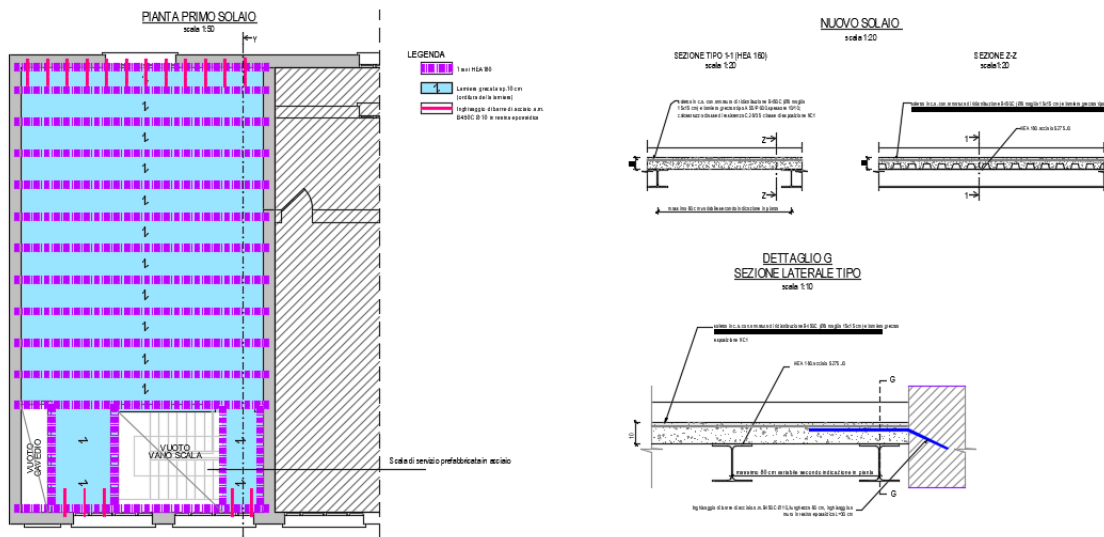
lo spostamento verticale massimo nelle condizioni di carico rara si registra in corrispondenza della mezzeria della trave più sollecitata a momento flettente, un profilo HEA200 di lunghezza pari a 650 cm. Lo spostamento verticale risulta pari a 2.34 cm < L/250 = 2.60 cm



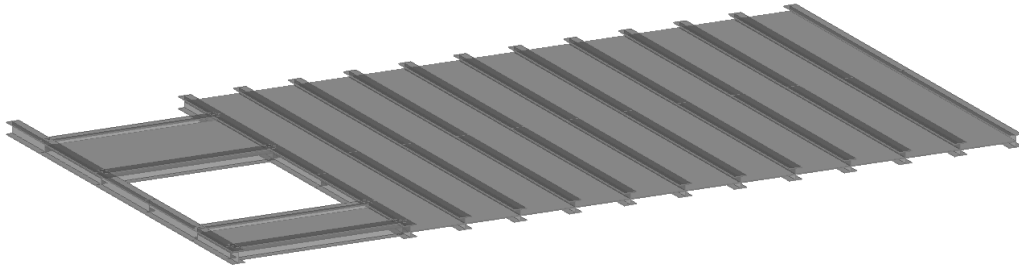
La verifica risulta soddisfatta.

9.7 NUOVO SOLAIO IN ACCIAIO E LAMIERA GRECATA – LOCALE IMPIANTI

Analogamente all'intervento proposto per il locale scala e ascensore, a nord del fabbricato principale è ubicato il nuovo locale impianti ed è previsto un solaio in travi metalliche con lamiera grecata e getto in calcestruzzo armato.



In fase di calcolo sono stati considerati dei carichi permanenti portati pari a 3 kN/mq, compatibili con le macchine che verranno posizionate in questo impalcato.



Modello di calcolo

Successivamente sono riportate le verifiche degli elementi principali della struttura; le verifiche sono organizzate per gruppi di elementi e per ognuno di questo sono riportati gli esiti delle verifiche agli stati limite.

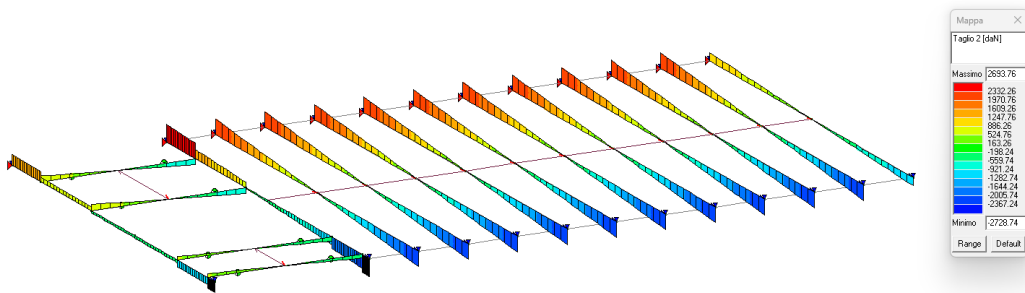


Figura 5: Diagramma del Taglio

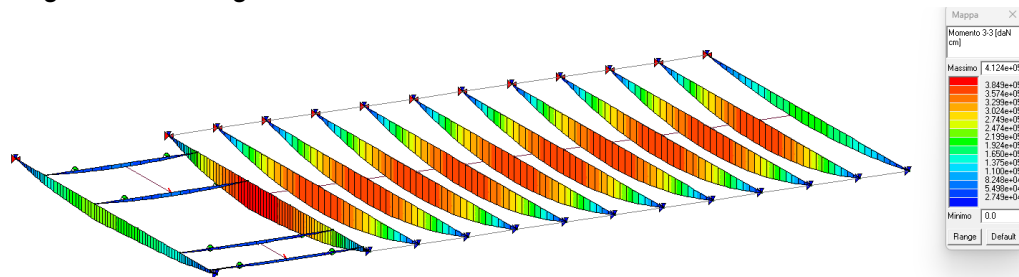
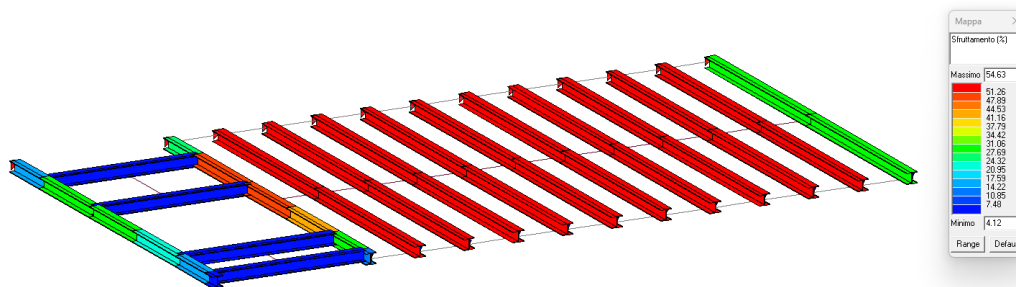
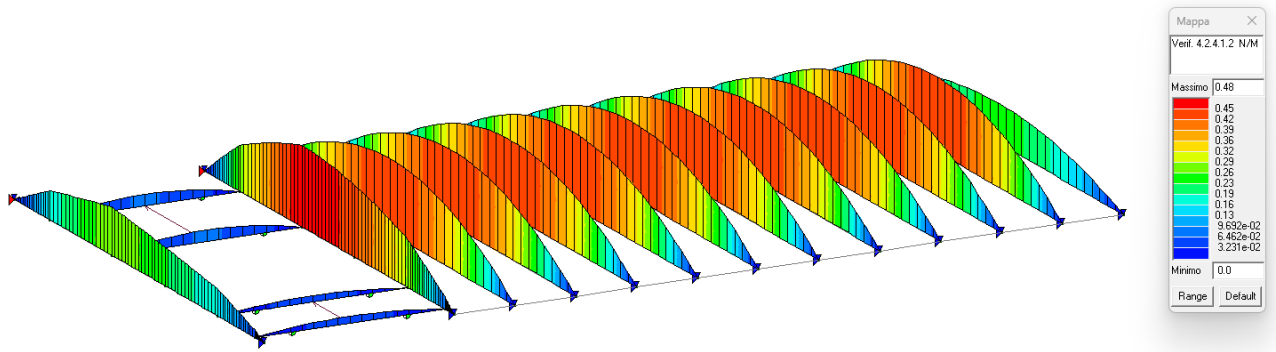


Figura 6: Diagramma dell'momento flettente

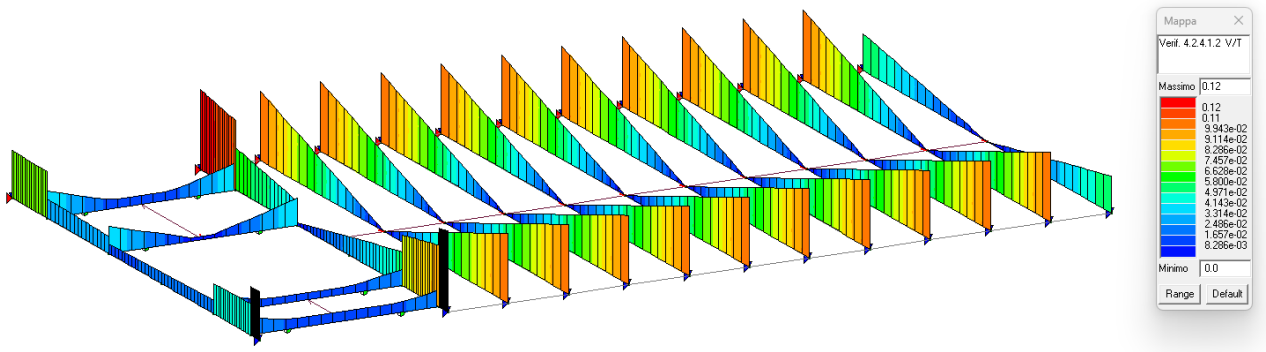
Nell'immagine seguente si riporta in via grafica la verifica eseguita dal programma di calcolo in termini di sfruttamento percentuale. Come si può osservare tutti gli elementi risultano verificati e presentano uno sfruttamento massimo del 55%.



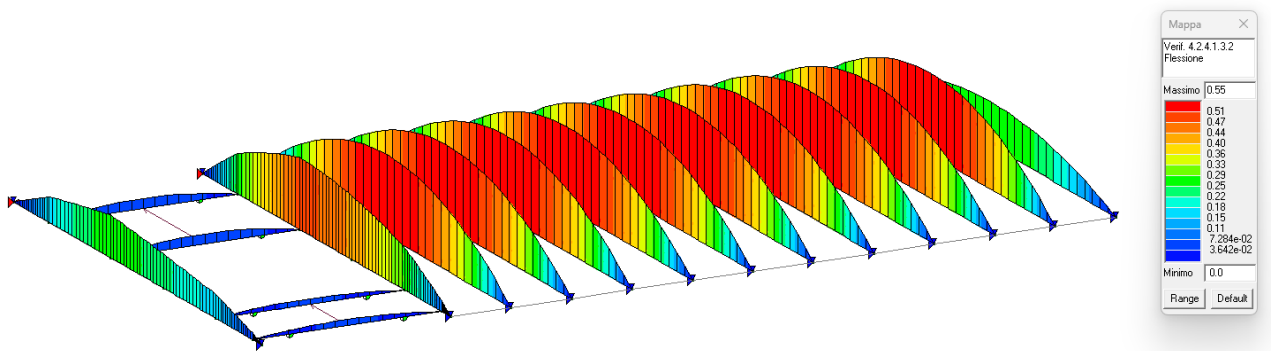
Verifica N/M Permette la visualizzazione dei risultati ottenuti dalla verifica a presso o tenso flessione degli elementi come riportato nel DM2018. La verifica tiene conto del fattore di riduzione per taglio ρ se necessario. La sezione risulta verificata in quanto si ottiene un valore N/M minore di 1.



Verifica 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 prevista per sezioni cave nel DM 2018. La verifica è da considerarsi soddisfatta in quanto il valore risulta inferiore a 1.



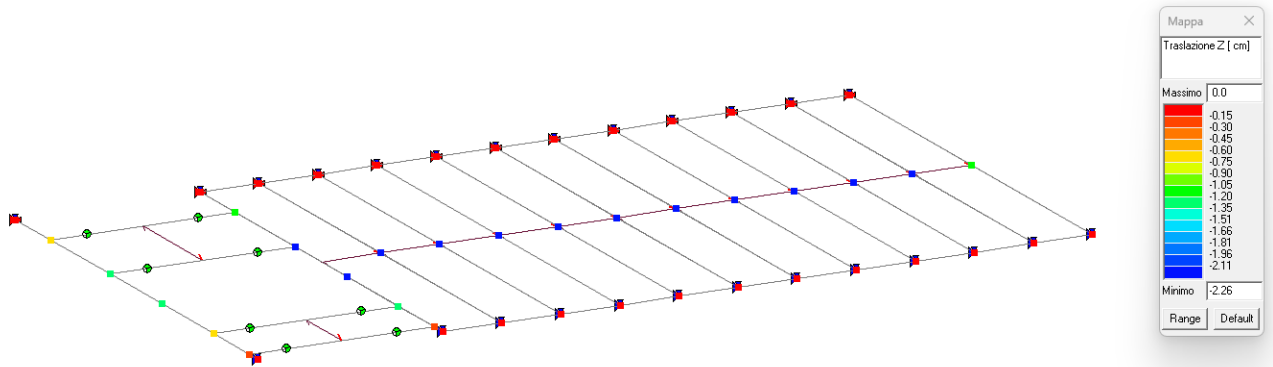
Verifica 4.2.4.1.3.2 Flessione Permette la visualizzazione dei risultati delle verifiche di stabilità eseguite secondo la formula 4.2.48. La verifica è da considerarsi soddisfatta se il valore è inferiore a 1.



Successivamente sono riportate le verifiche allo stato limite di esercizio:

Verifica SLE

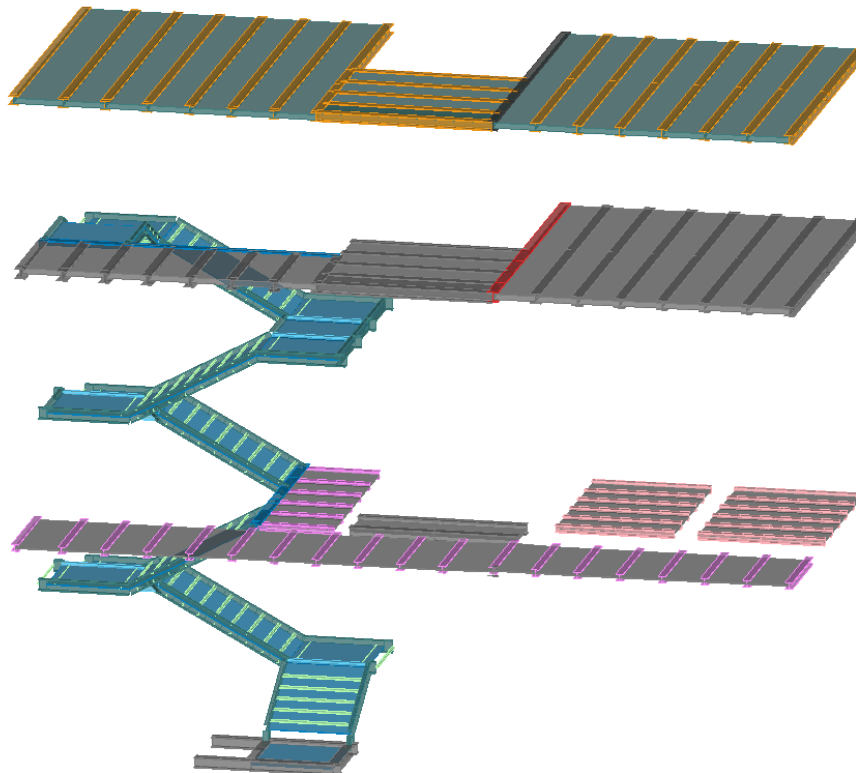
lo spostamento verticale massimo nelle condizioni di carico rara si registra in corrispondenza della mezzeria della trave più sollecitata a momento flettente, un profilo HEA180 di lunghezza pari a 650 cm. Lo spostamento verticale risulta pari a 2.26 cm < $L/250 = 2.60$ cm

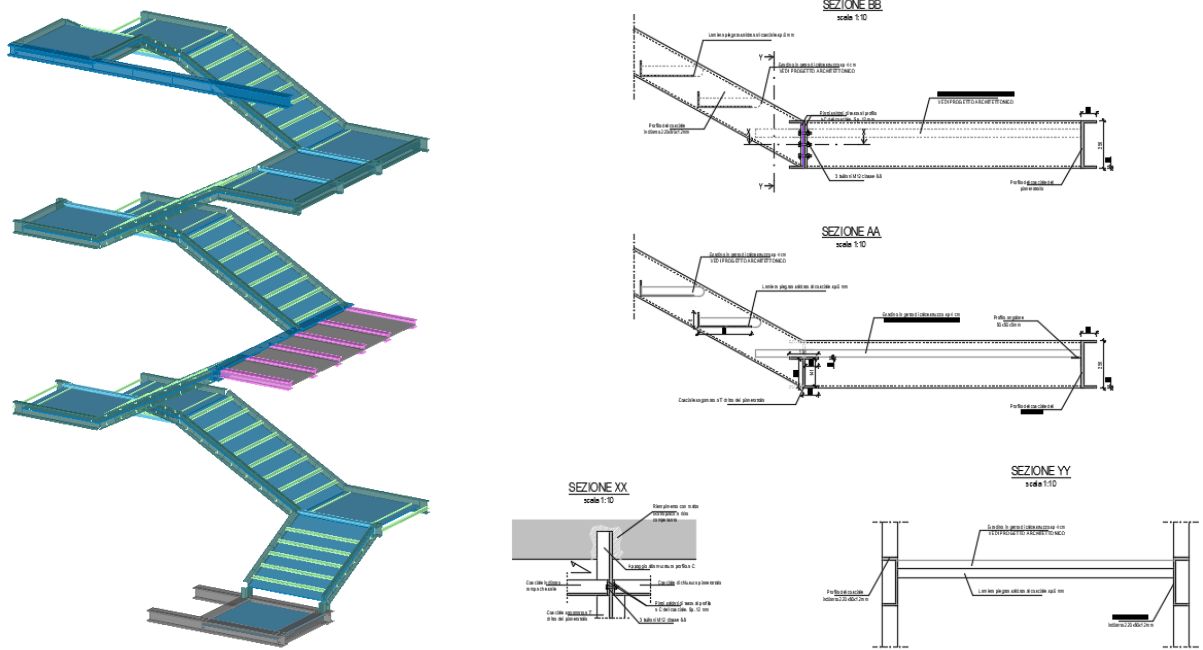


La verifica risulta soddisfatta.

9.8 NUOVO CORPO SCALA

Si riportano le verifiche del nuovo nucleo scala dell'ala principale Nord del castello, che va a posizionarsi nel locale dove gli impalcati saranno demoliti e rifatti con travi metalliche e lamiera grecata. Il modello di calcolo globale è il medesimo degli impalcati in modo da valutare eventuali effetti secondari dovuti alla struttura delle rampe ma verranno evidenziate solo le verifiche relativi alle strutture metalliche della scala.





Successivamente sono riportate le verifiche degli elementi principali della struttura; le verifiche sono organizzate per gruppi di elementi e per ognuno di questo sono riportati gli esiti delle verifiche agli stati limite.

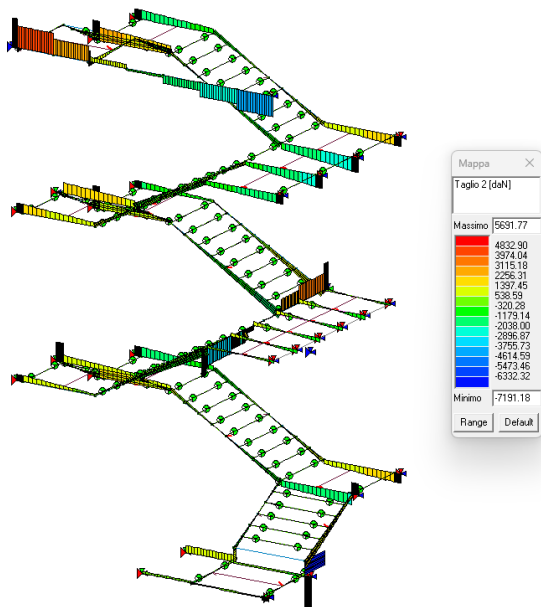


Figura 7: Diagramma del Taglio

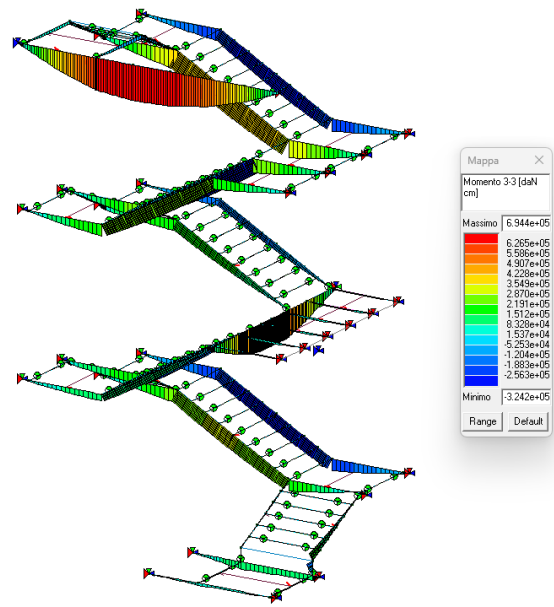


Figura 8: Diagramma dell'momento flettente

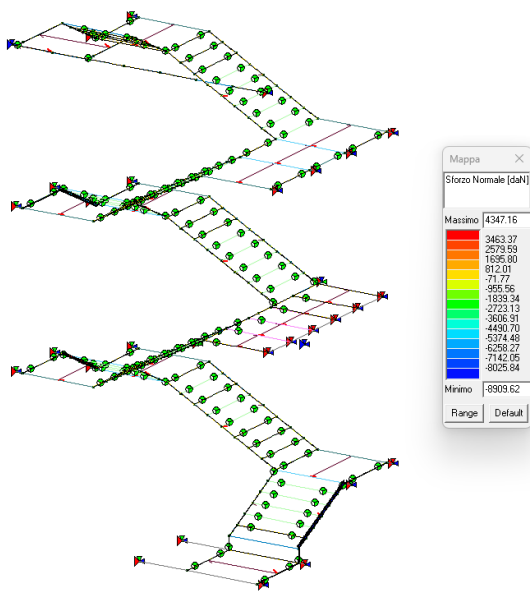


Figura 9: Diagramma dello sforzo normale

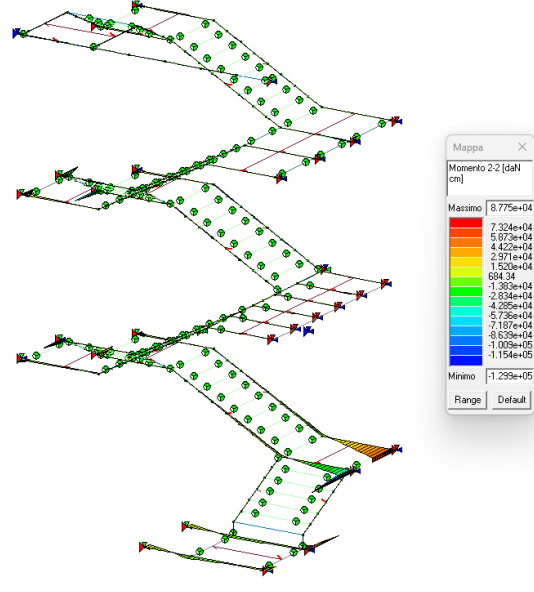
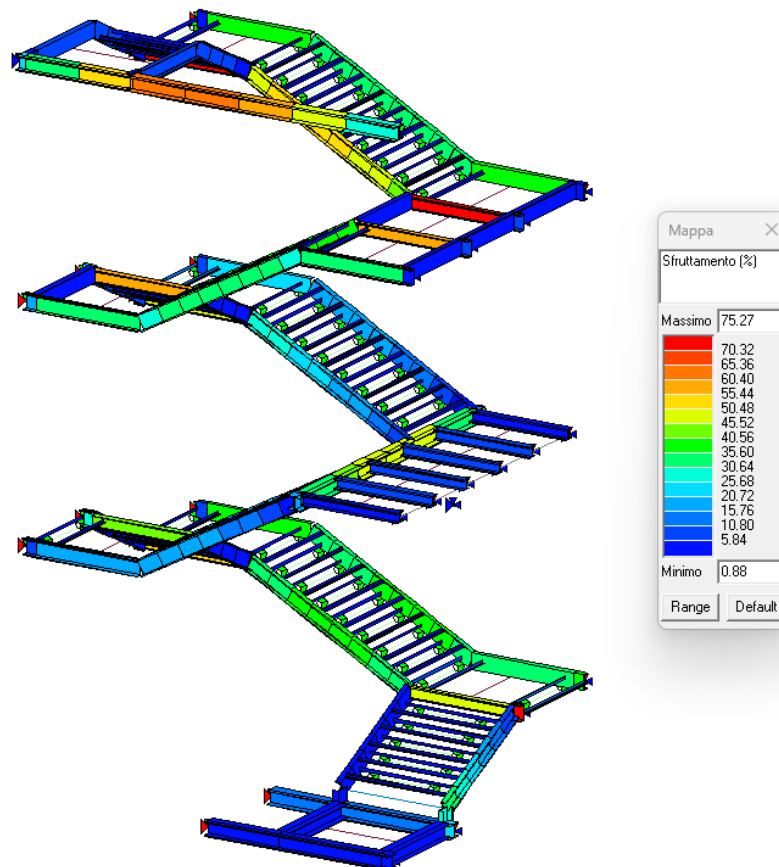
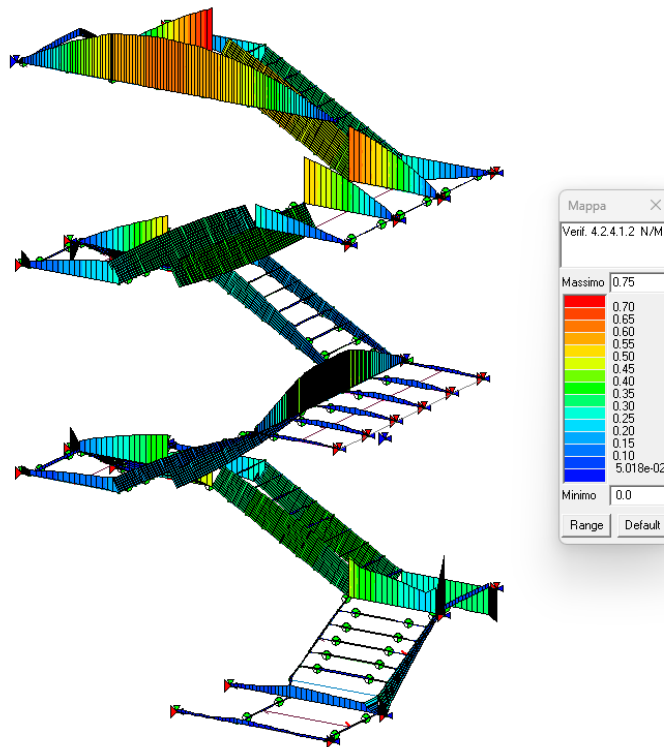


Figura 10: Diagramma del momento nel piano

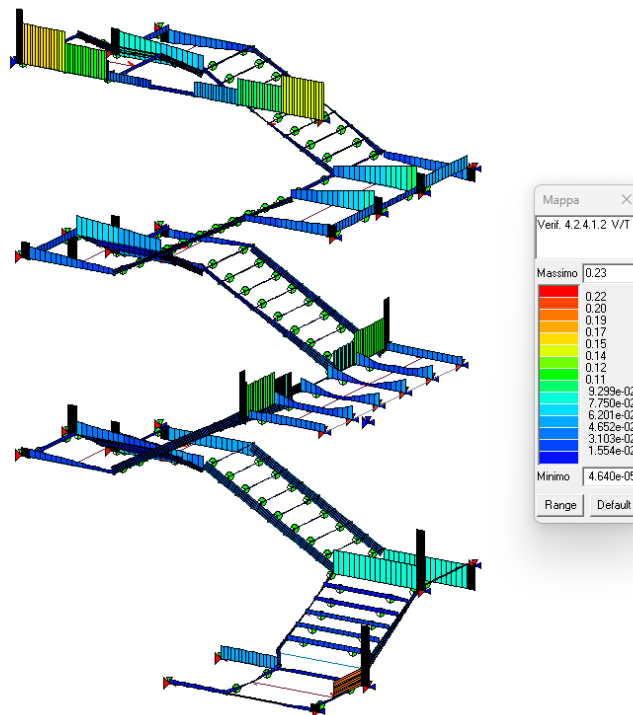
Nell'immagine seguente si riporta in via grafica la verifica eseguita dal programma di calcolo in termini di sfruttamento percentuale. Come si può osservare tutti gli elementi risultano verificati e presentano uno sfruttamento massimo del 75% nel locale con travi più lunghe e carico ammissibile massimo (museale).



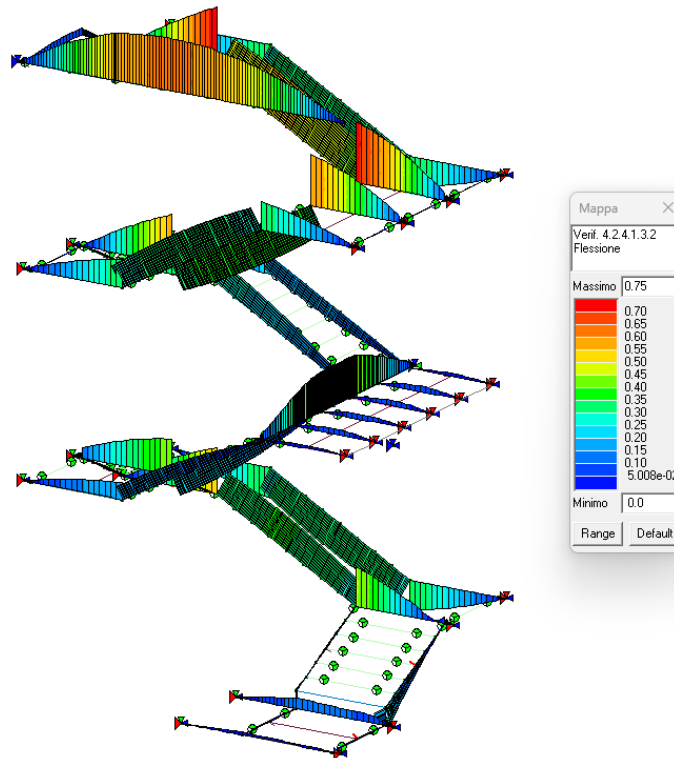
Verifica N/M Permette la visualizzazione dei risultati ottenuti dalla verifica a presso o tenso flessione degli elementi come riportato nel DM2018. La verifica tiene conto del fattore di riduzione per taglio ρ se necessario. La sezione risulta verificata in quanto si ottiene un valore N/M minore di 1.



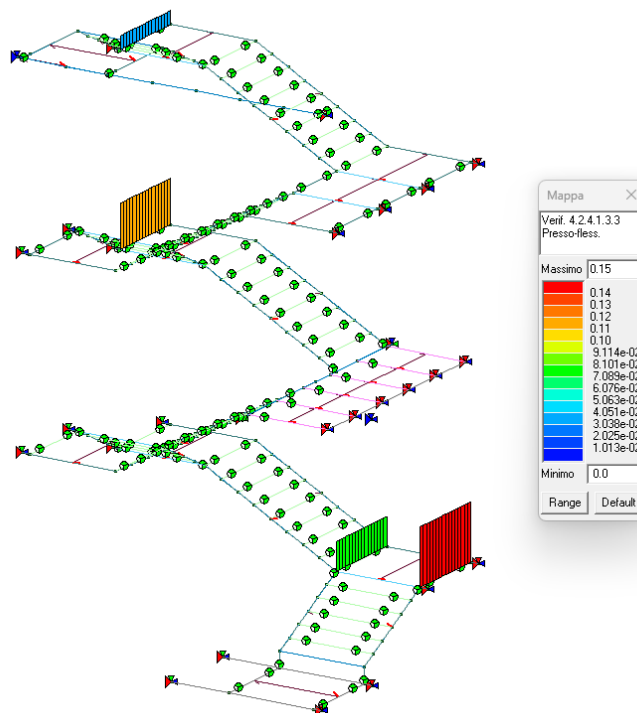
Verifica V/T Permette la visualizzazione dei risultati ottenuti dalla verifica a Taglio e torsione degli elementi espressi mediante i valori di $V_{Ed}/V_{c,Rd}$ (oppure T_{Ed}/T_{Rd} se questa dovesse risultare più restrittiva). In presenza di torsione viene applicata la formula prevista per sezioni cave nel DM 2018. La verifica è da considerarsi soddisfatta in quanto il valore risulta inferiore a 1.



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



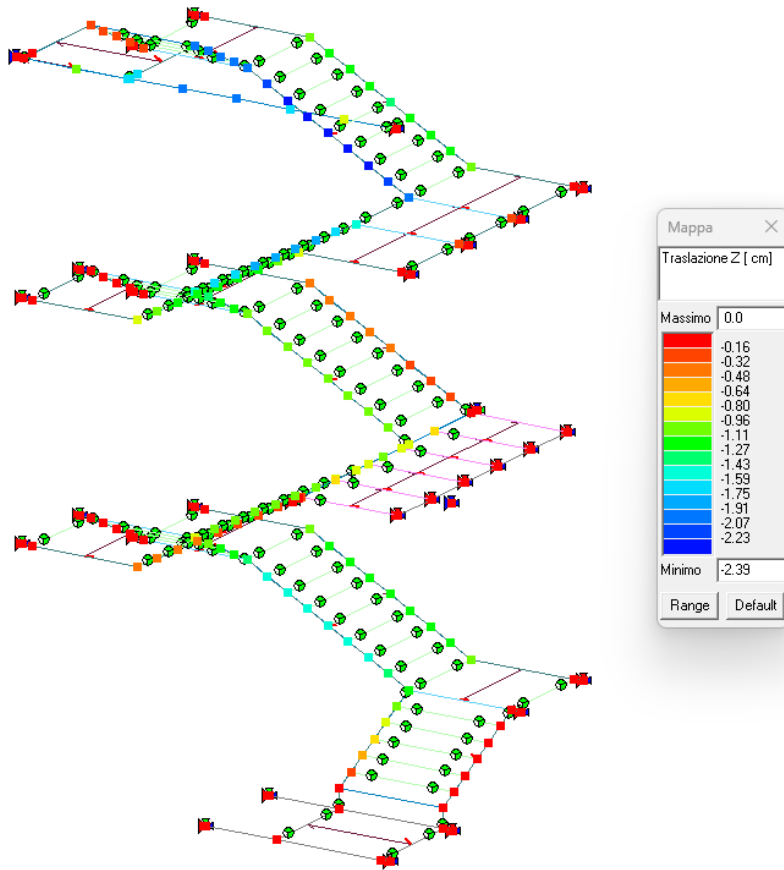
Verifica Presso-flessione Permette la visualizzazione dei risultati delle verifiche di stabilità eseguite secondo il metodo A della circolare esplicativa del DM2018. La verifica è da considerarsi soddisfatta in quanto si ottengono valore è inferiore a 1.



Successivamente sono riportate le verifiche allo stato limite di esercizio:

Verifica SLE

lo spostamento verticale massimo nelle condizioni di carico rara si registra in corrispondenza della mezzeria del cosciale dell'ultimo livello, di lunghezza pari a 620 cm. Lo spostamento verticale risulta pari a 2.39 cm < $L/250 = 2.48$ cm.



La verifica risulta soddisfatta.

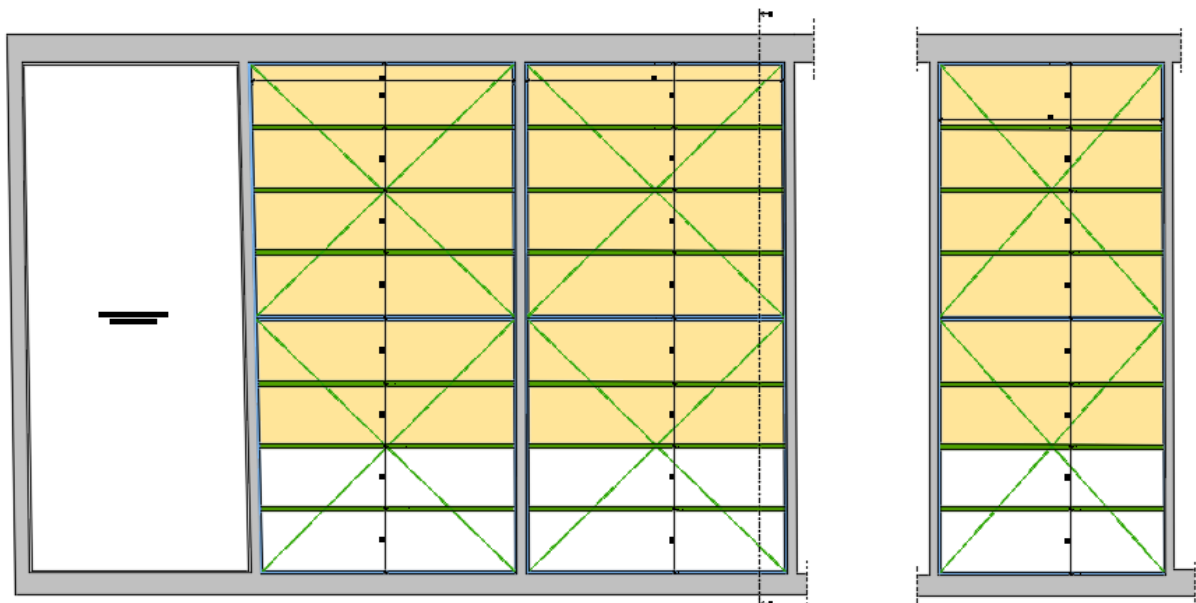
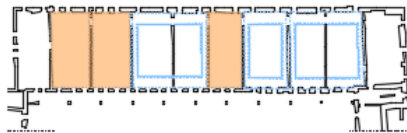
9.9 IMPALCATI METALLICI DI IRRIGIDIMENTO ALL'ULTIMO LIVELLO

Come emerge dal rilievo quadro fessurativo, i solai dell'ultimo livello presentano evidenti problemi di sfondellamento della parte intradossale delle pignatte. Il progetto prevede la demolizione dei solai di controsoffitto, attualmente in laterocemento, in modo da ridurre le masse sismiche in quota al fabbricato.

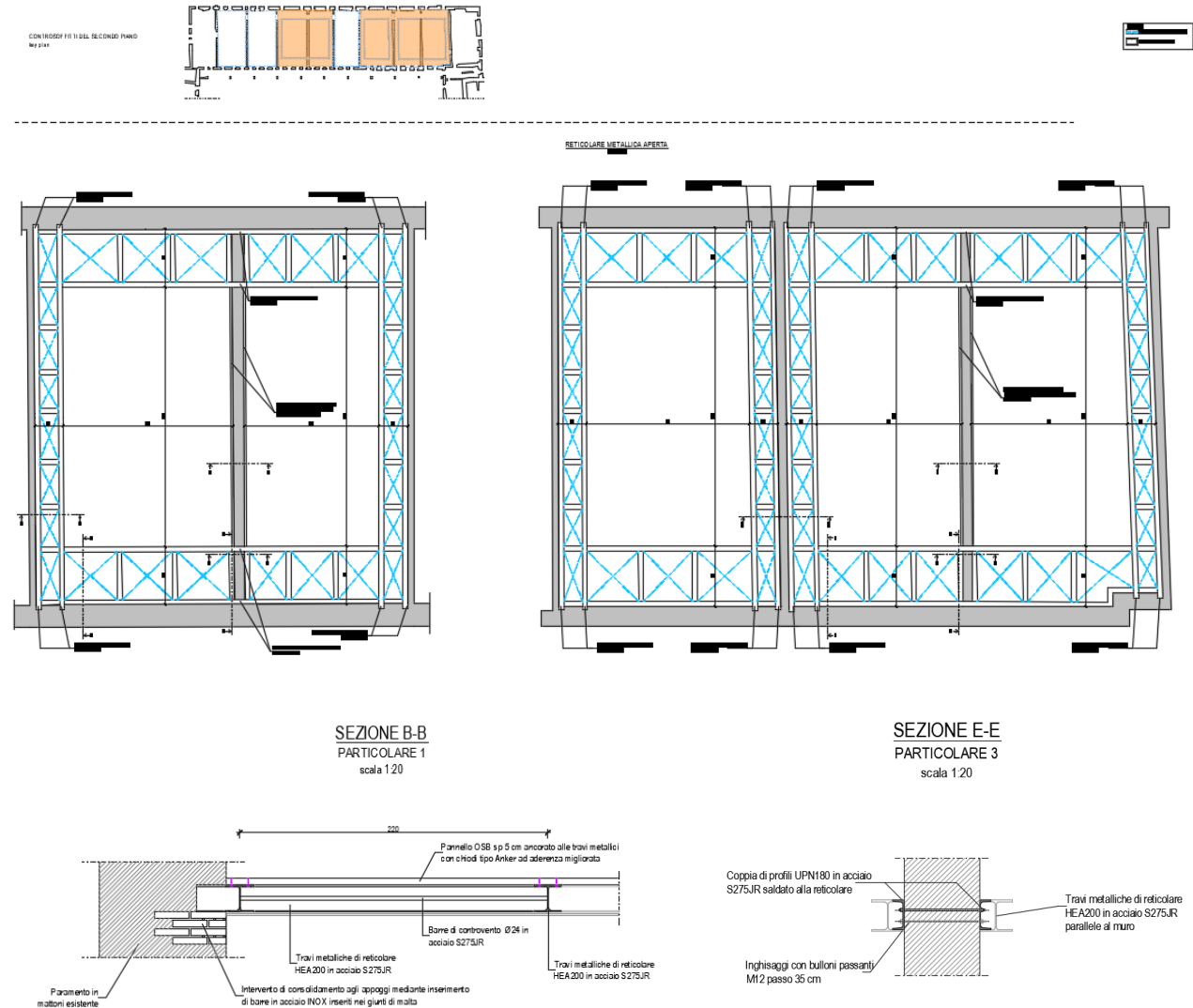


Tuttavia, essendo un impalcato rigido, nell'ottica dell'intervento locale, viene ripristinata tale rigidezza con delle reticolari metalliche di piano controventate. Sono previste due tipologie di reticolari per diverse tipologie di allestimento architettonico. Una prima struttura presenta una reticolare chiusa che verrà poi completamente controsoffittata e quindi consente una controventatura totale.

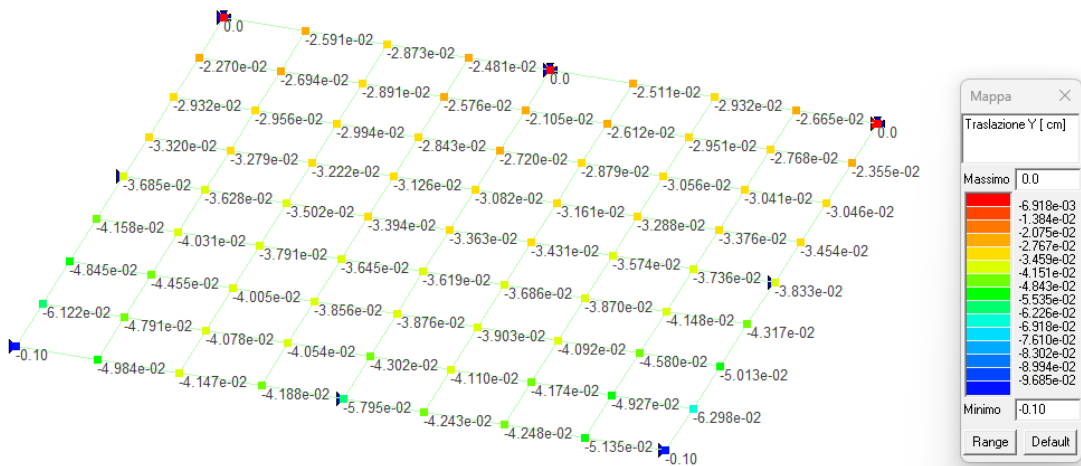
CONTROSOFFITTI DEL SECONDO PIANO
VED. 3/4



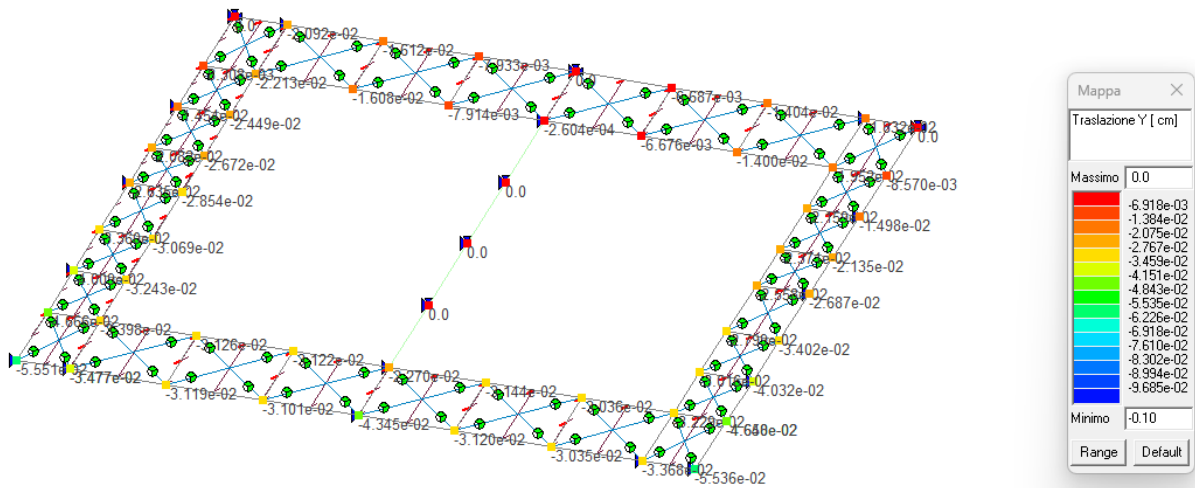
Un secondo modello prevede una reticolare perimetrale, che bypassa un muro interno, in modo da poter esporre le opere più alte. Per inibire il ribaltamento del muro centrale la struttura presenta una coppia di profili UPN200 inghisati tra loro.



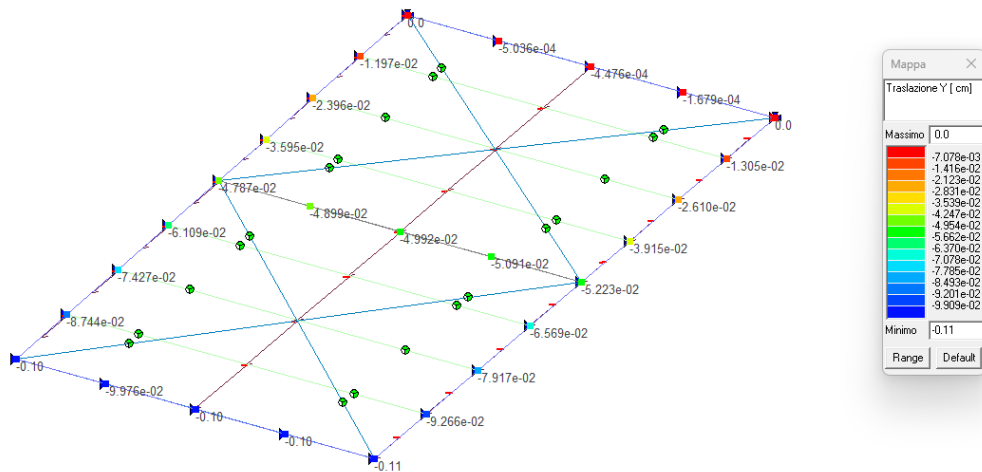
Per valutare la rigidità del nuovo impalcato e confrontarlo con lo stato di fatto è stata applicata una forza orizzontale in corrispondenza dei nodi pari alla massa in gioco moltiplicata per l'accelerazione sismica di normativa. In termini di spostamento vediamo come la struttura di progetto abbia deformazioni simili.



Spostamento del solaio nello stato di fatto



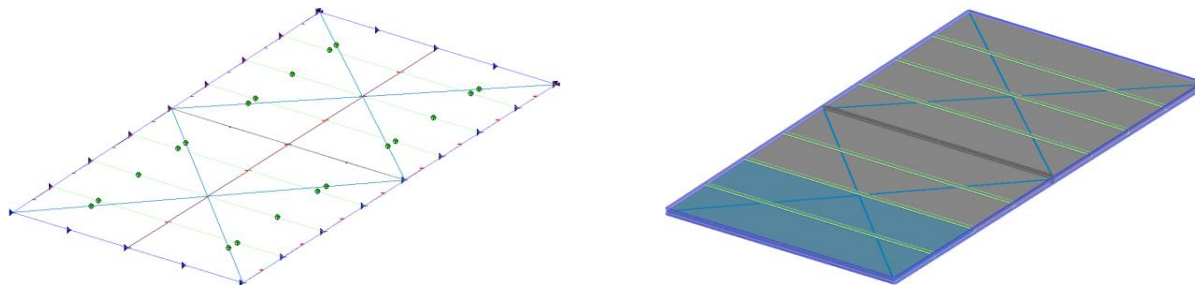
Spostamento della reticolare aperta



Spostamento della reticolare chiusa

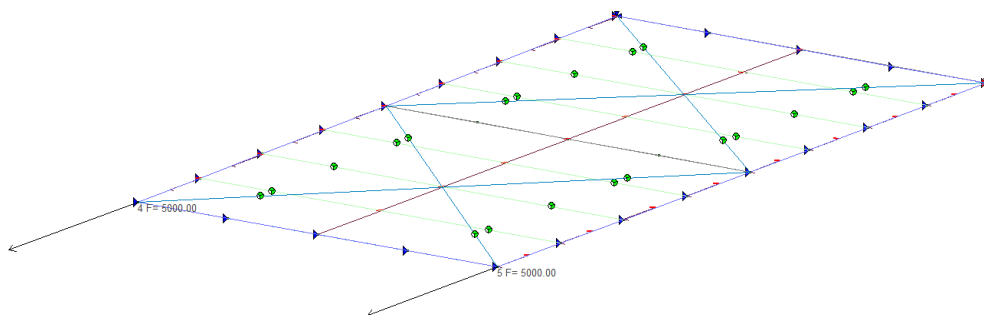
Si riportano successivamente le verifiche degli impalcati oggetti del presente paragrafo.

9.9.1 Reticolare chiusa



Modello di calcolo

Come evidenziato con colori differenti nel modello, è presente anche una porzione calpestabile (grigia) per l'alloggio delle macchine mentre una porzione (azzurra) dove è solo presente un carico dovuto al controsoffitto. Sulla base delle informazioni del progetto impiantistico è stato considerato un carico distribuito dovuto alle macchine pari a 50 daN/mq. Come carico orizzontale è stato assunta una spinta pari a 50 kN applicata agli spigoli della reticolare.



Successivamente sono riportate le verifiche degli elementi principali della struttura; le verifiche sono organizzate per gruppi di elementi e per ognuno di questo sono riportati gli esiti delle verifiche agli stati limite.

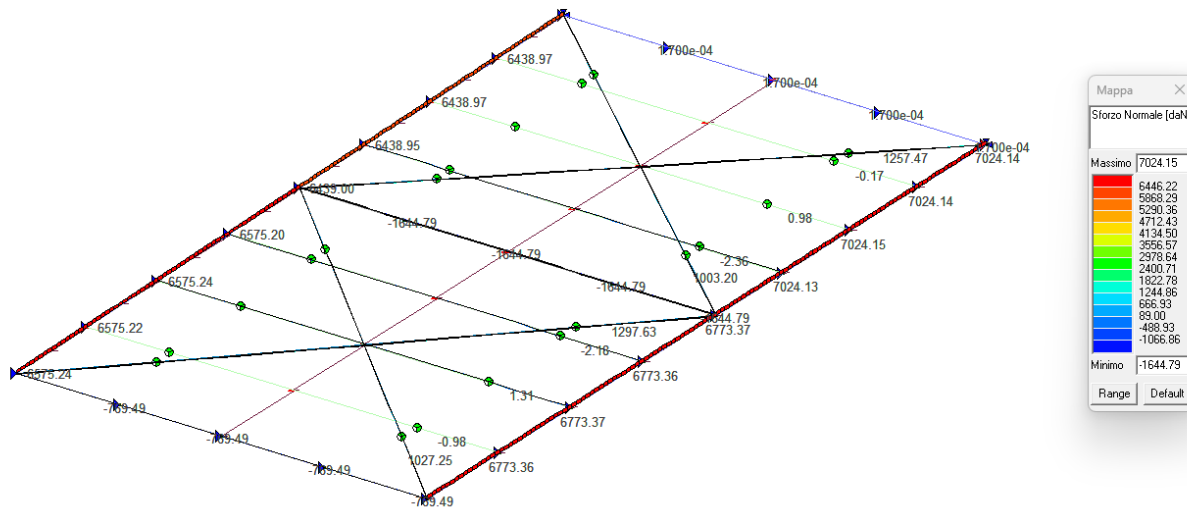


Diagramma dello sforzo normale

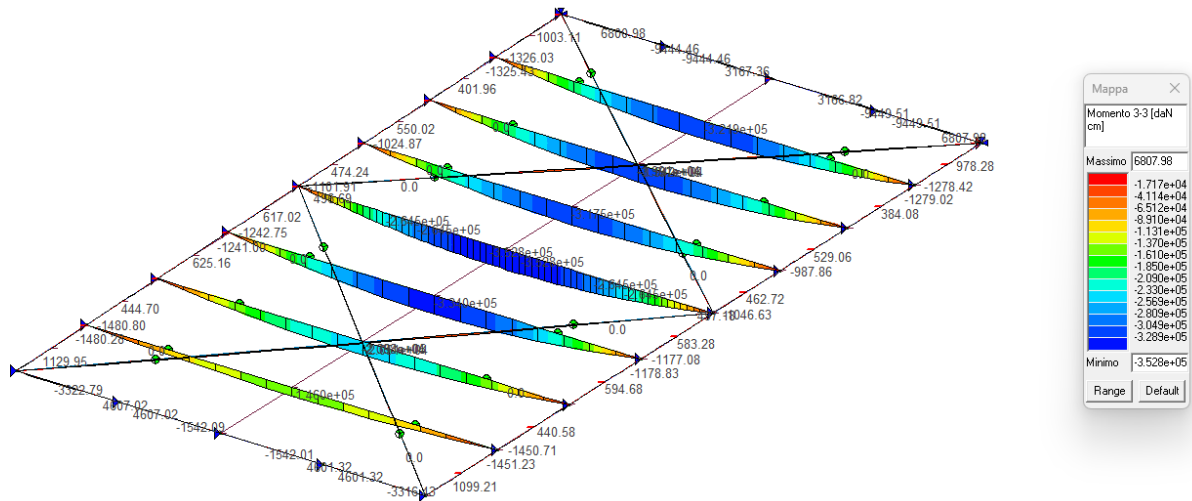


Diagramma del momento flettente

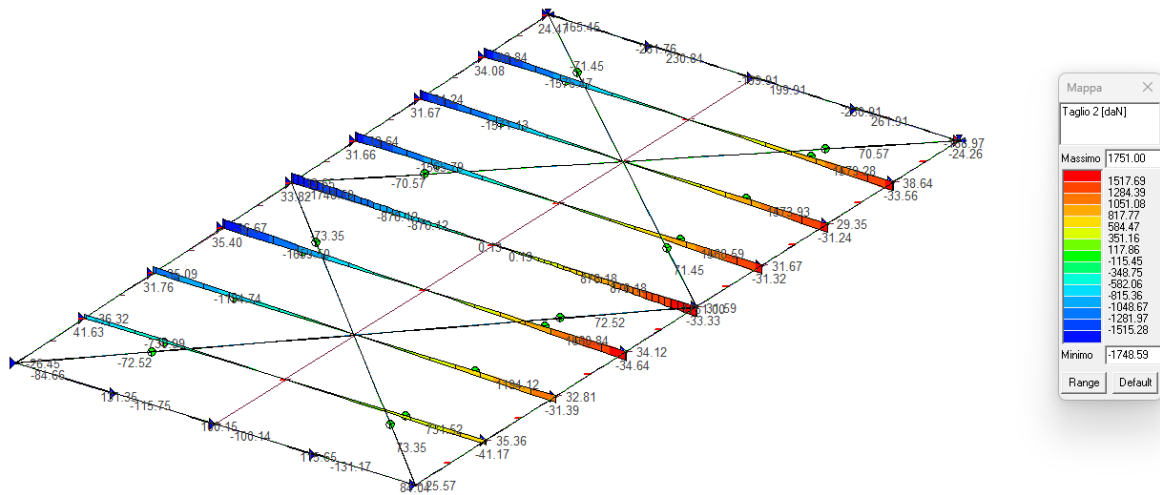
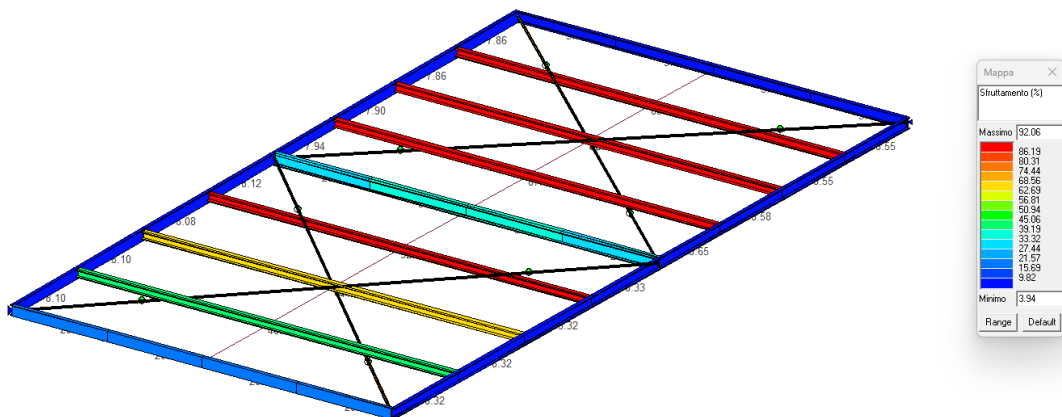
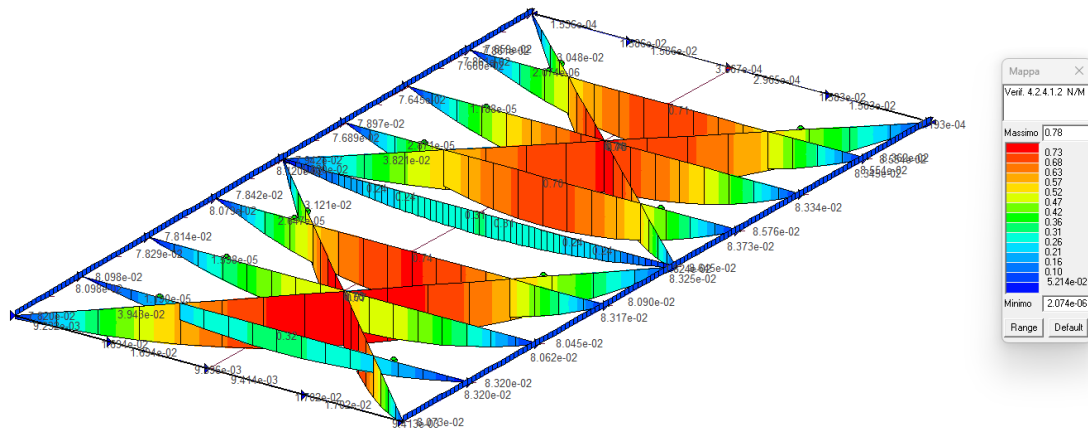


Diagramma dello sforzo di taglio

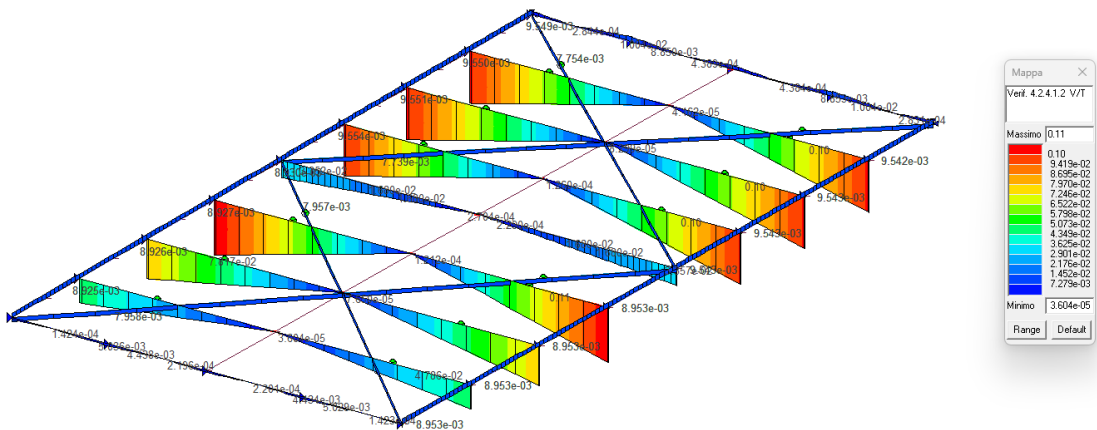
Nell'immagine seguente si riporta in via grafica la verifica eseguita dal programma di calcolo in termini di sfruttamento percentuale. Come si può osservare tutti gli elementi risultano verificati e presentano uno sfruttamento massimo del 92%.



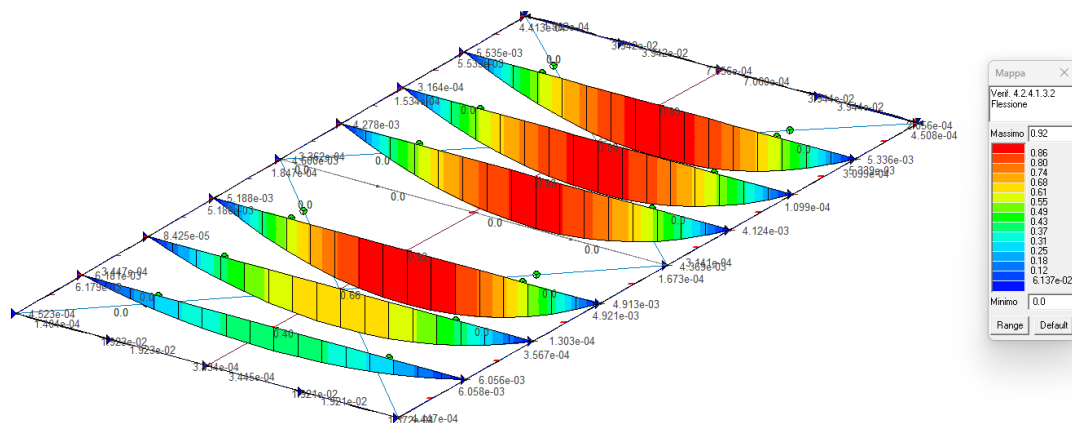
Verifica N/M Permette la visualizzazione dei risultati ottenuti dalla verifica a presso o tenso flessione degli elementi come riportato nel DM2018. La verifica tiene conto del fattore di riduzione per taglio ρ se necessario. La sezione risulta verificata in quanto si ottiene un valore N/M minore di 1.



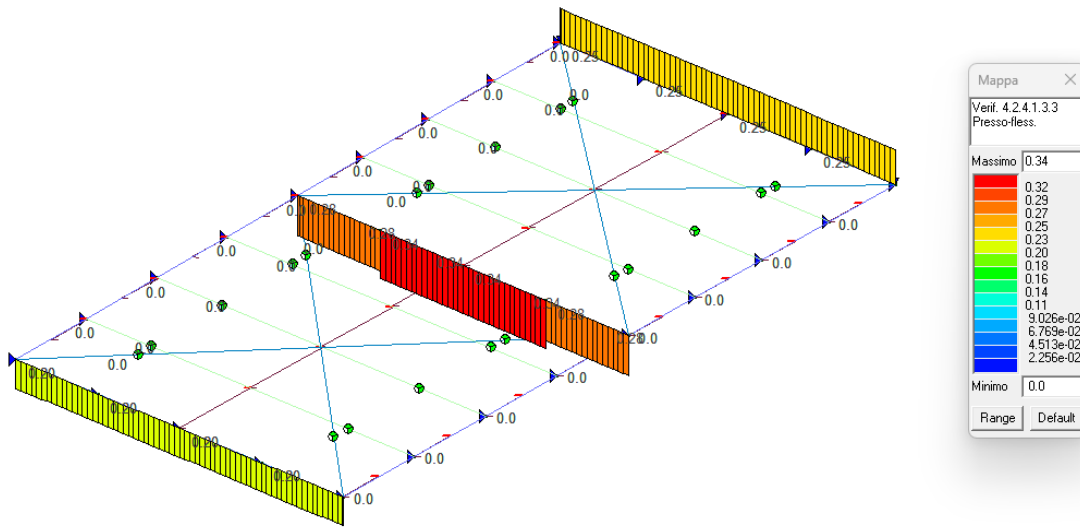
Verifica V/T Permette la visualizzazione dei risultati ottenuti dalla verifica a Taglio e torsione degli elementi espressi mediante i valori di $V_{Ed}/V_{c,Rd}$ (oppure T_{Ed}/T_{Rd} se questa dovesse risultare più restrittiva). In presenza di torsione viene applicata la formula prevista per sezioni cave nel DM 2018. La verifica è da considerarsi soddisfatta in quanto il valore risulta inferiore a 1.



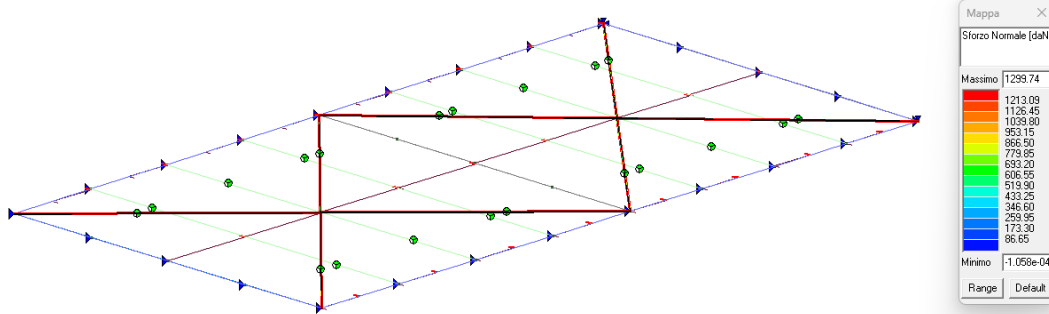
Verifica 4.2.4.1.3.2 Flessione Permette la visualizzazione dei risultati delle verifiche di stabilità eseguite secondo la formula 4.2.48. La verifica è da considerarsi soddisfatta se il valore è inferiore a 1.



Verifica Presso-flessione Permette la visualizzazione dei risultati delle verifiche di stabilità eseguite secondo il metodo A della circolare esplicativa del DM2018. La verifica è da considerarsi soddisfatta in quanto si ottengono valore è inferiore a 1.



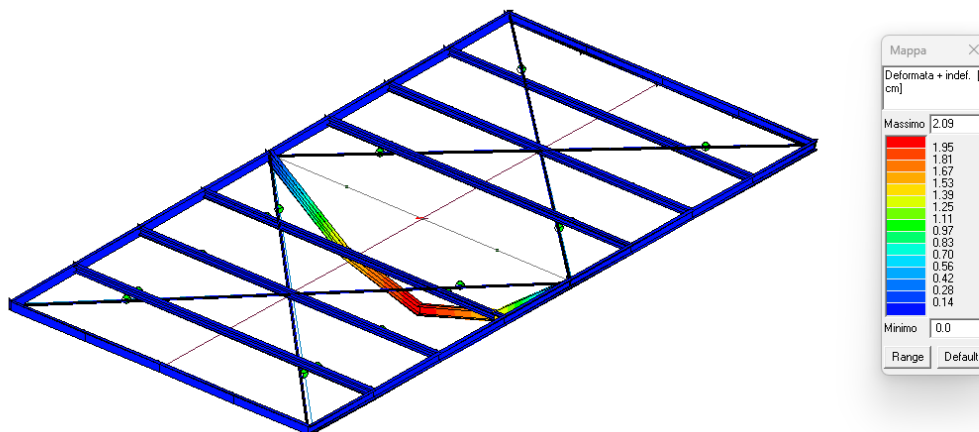
Le funi di controventamento devono essere in grado di assorbire una forza di trazione pari a circa 1300 kg l'una.



Successivamente sono riportate le verifiche allo stato limite di esercizio:

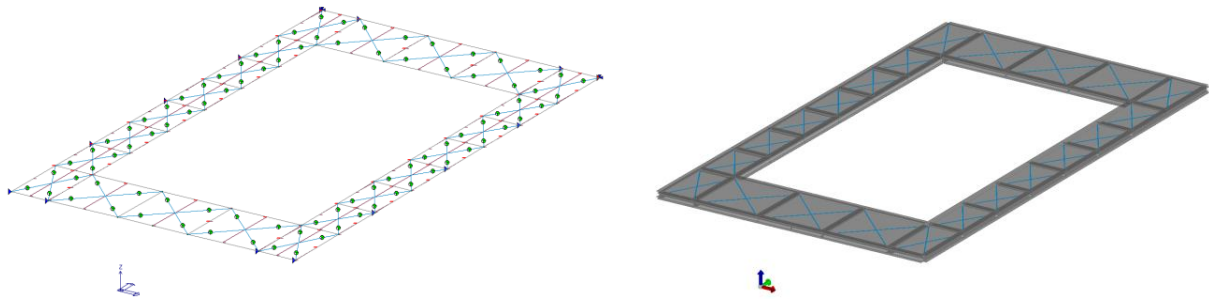
Verifica SLE

lo spostamento verticale massimo nelle condizioni di carico rara si registra in corrispondenza della mezzeria del cosciale dell'ultimo livello, di lunghezza pari a 800 cm. Lo spostamento verticale risulta pari a 2.09 cm < $L/250 = 3.20$ cm.



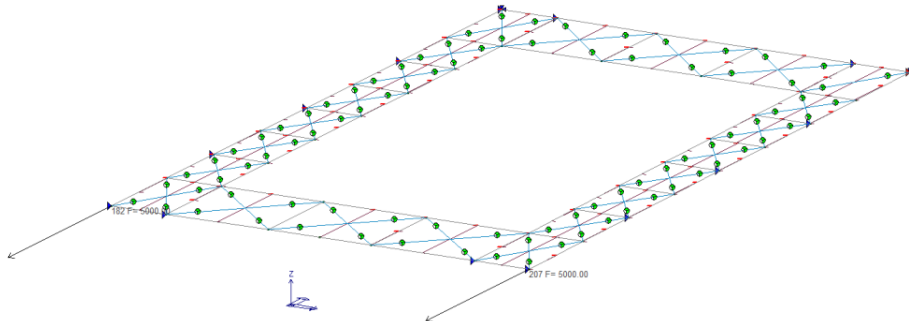
La verifica risulta soddisfatta.

9.9.2 Reticolare aperta singola stanza



Modello di calcolo

Come evidenziato nel modello, è presente anche una porzione di controsoffitto appeso (in grigio). Come carico orizzontale è stato assunto una spinta pari a 50 kN applicata agli spigoli della reticolare.



Successivamente sono riportate le verifiche degli elementi principali della struttura; le verifiche sono organizzate per gruppi di elementi e per ognuno di questo sono riportati gli esiti delle verifiche agli stati limite.

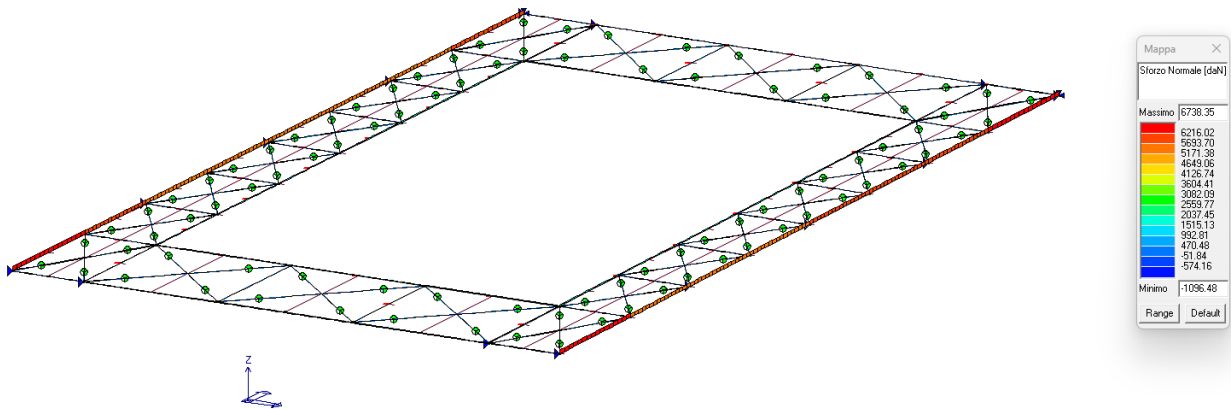


Diagramma dello sforzo normale

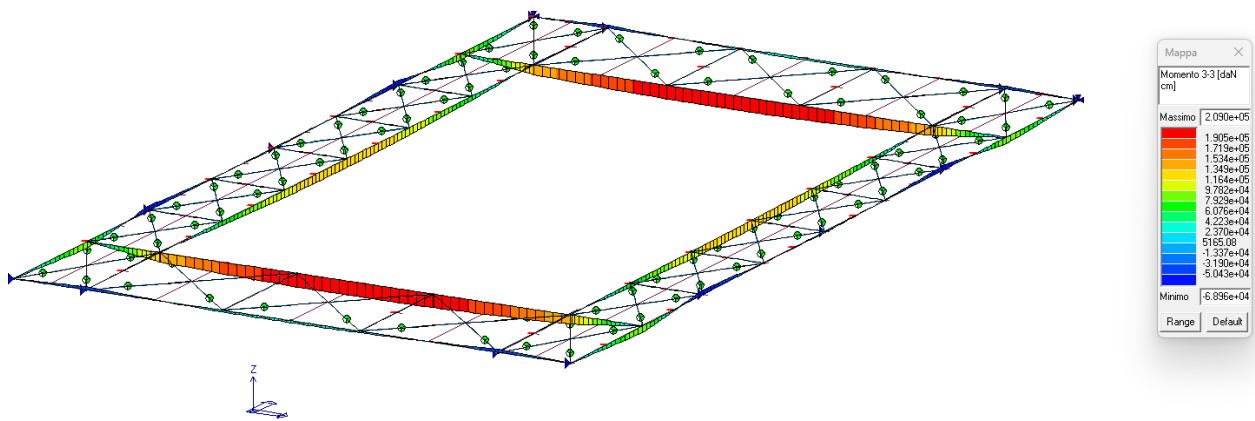


Diagramma del momento flettente

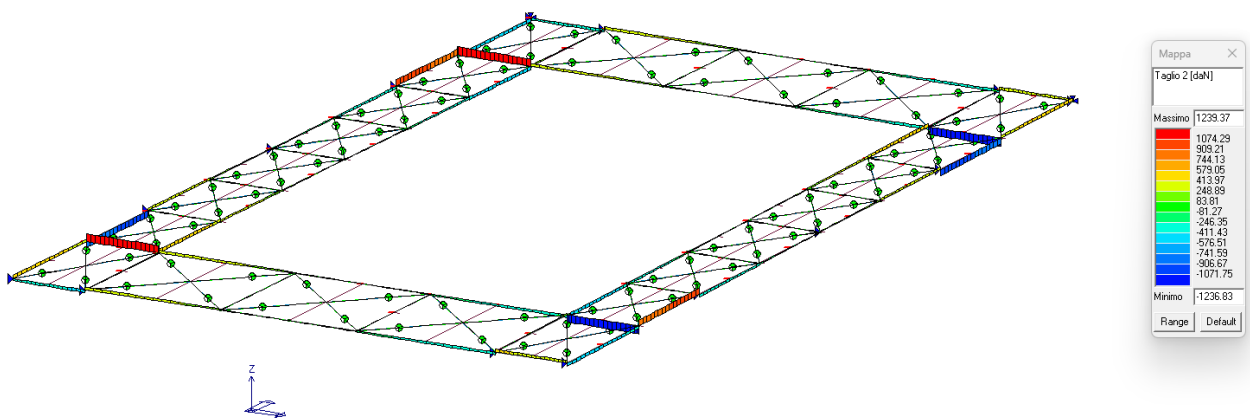
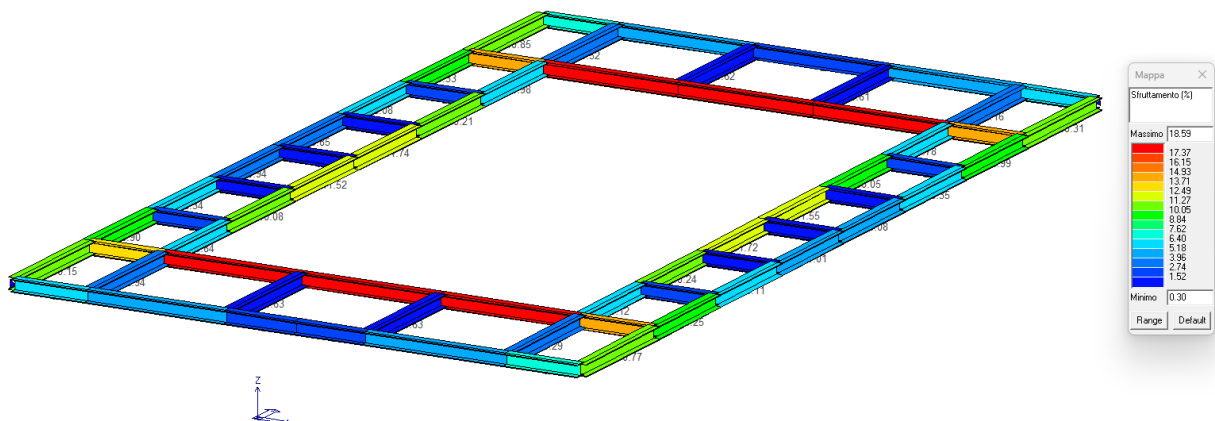
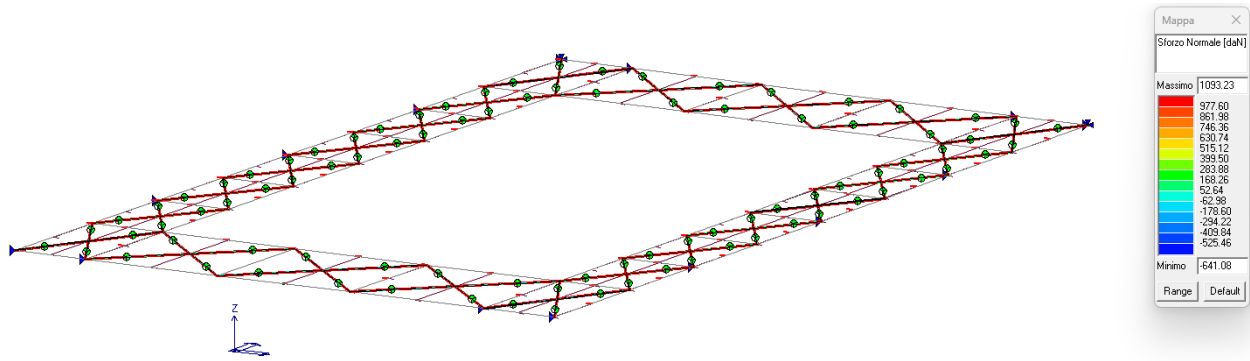


Diagramma dello sforzo di taglio

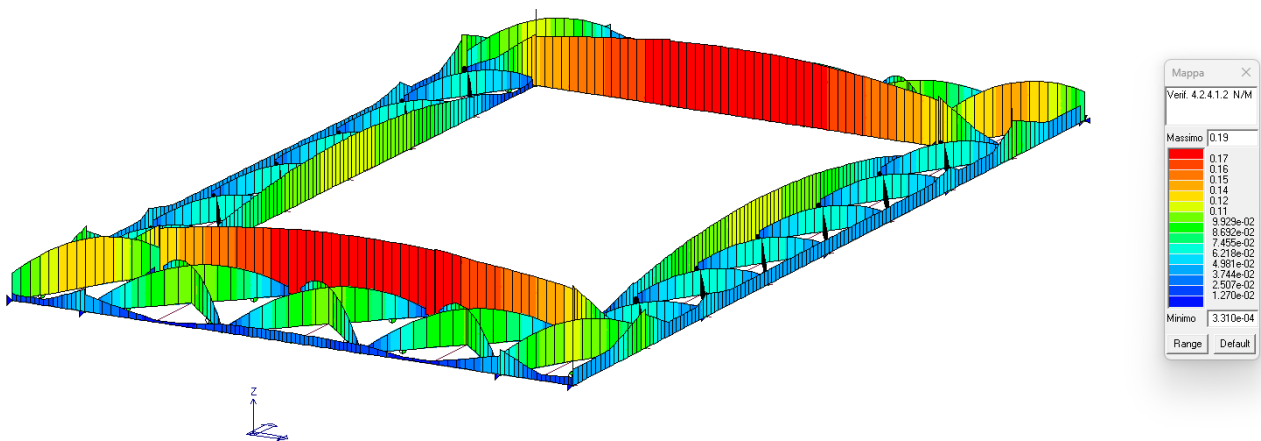
Nell'immagine seguente si riporta in via grafica la verifica eseguita dal programma di calcolo in termini di sfruttamento percentuale. Come si può osservare tutti gli elementi risultano verificati e presentano uno sfruttamento massimo del 19%.



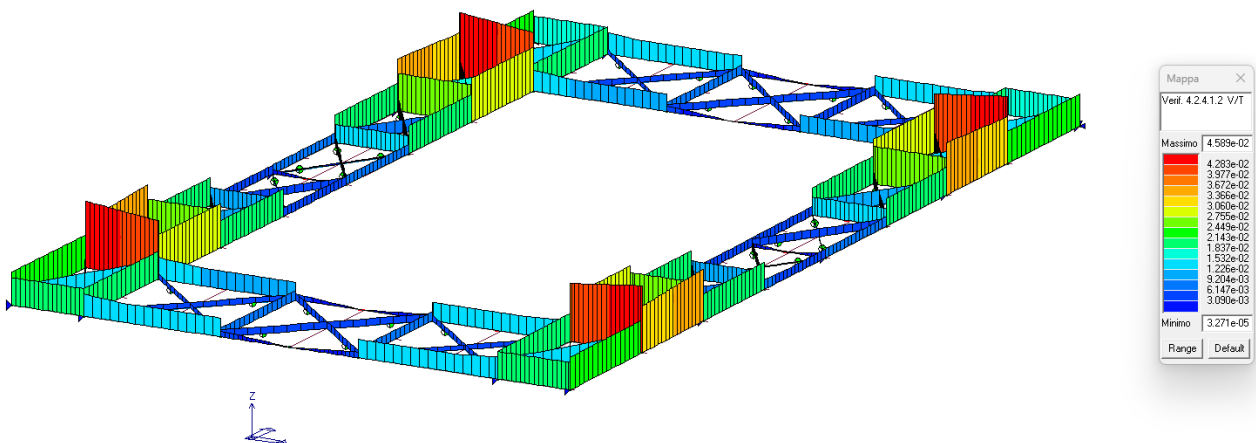
Attualmente son state modellate barre $\Phi 24$ di controventamento in grado di assorbire una forza di trazione pari a circa 1100 kg l'una.



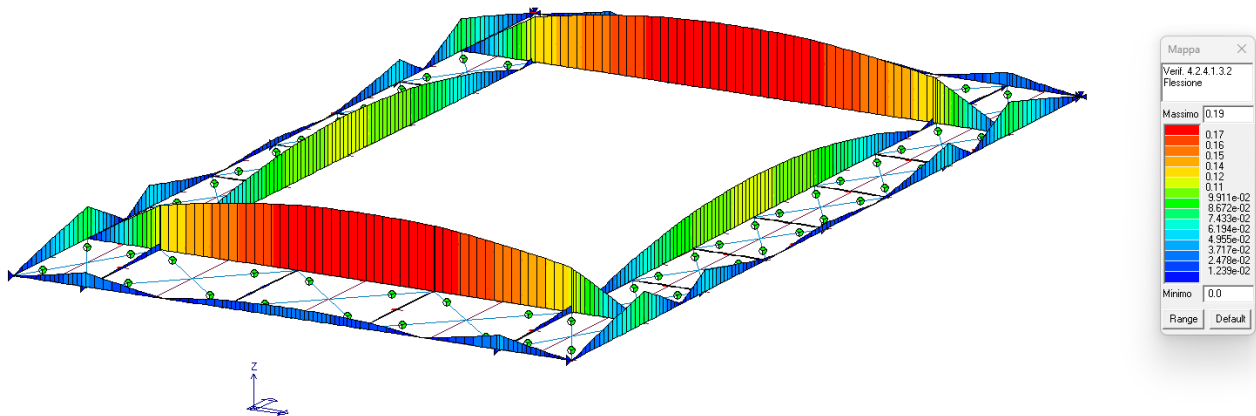
Verifica N/M Permette la visualizzazione dei risultati ottenuti dalla verifica a presso o tenso flessione degli elementi come riportato nel DM2018. La verifica tiene conto del fattore di riduzione per taglio ρ se necessario. La sezione risulta verificata in quanto si ottiene un valore N/M minore di 1.



Verifica 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 prevista per sezioni cave nel DM 2018. La verifica è da considerarsi soddisfatta in quanto il valore risulta inferiore a 1.



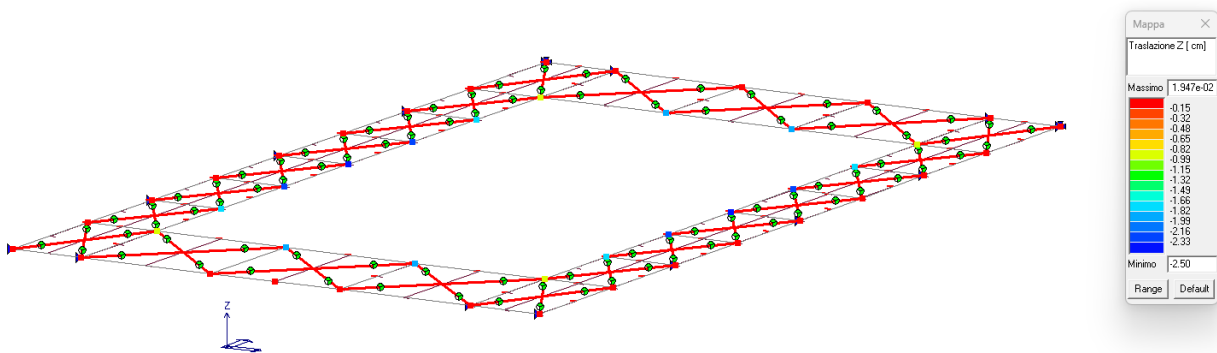
Verifica 4.2.4.1.3.2 Flessione Permette la visualizzazione dei risultati delle verifiche di stabilità eseguite secondo la formula 4.2.48. La verifica è da considerarsi soddisfatta se il valore è inferiore a 1.



Successivamente sono riportate le verifiche allo stato limite di esercizio:

Verifica SLE

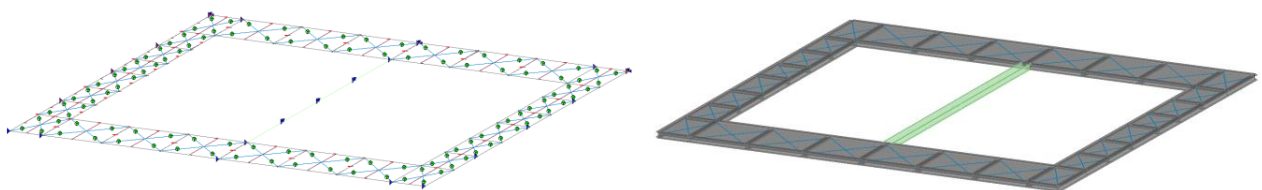
lo spostamento verticale massimo nelle condizioni di carico rara si registra in corrispondenza della mezzeria del cosciale dell'ultimo livello, di lunghezza pari a 1550 cm. Lo spostamento verticale risulta pari a 2.50 cm < $L/250 = 6.20$ cm.



La verifica risulta soddisfatta.

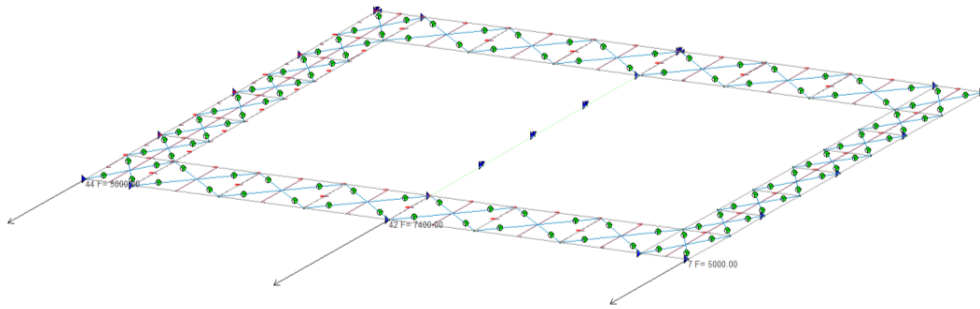
9.9.3 Reticolare aperta doppia stanza

Si riportano le verifiche svolte nella struttura reticolare della stanza doppia che prevede una anello perimetrale che avvolge due sale e una coppia di profili UPN200 centrali che ancorano il muro libero.



Modello di calcolo

Come evidenziato nel modello, è presente anche una porzione di controsoffitto appeso (in grigio). Come carico orizzontale è stata assunta una spinta pari a 50 kN applicata agli spigoli della reticolare e 75 kN nella parte centrale.



Successivamente sono riportate le verifiche degli elementi principali della struttura; le verifiche sono organizzate per gruppi di elementi e per ognuno di questo sono riportati gli esiti delle verifiche agli stati limite.

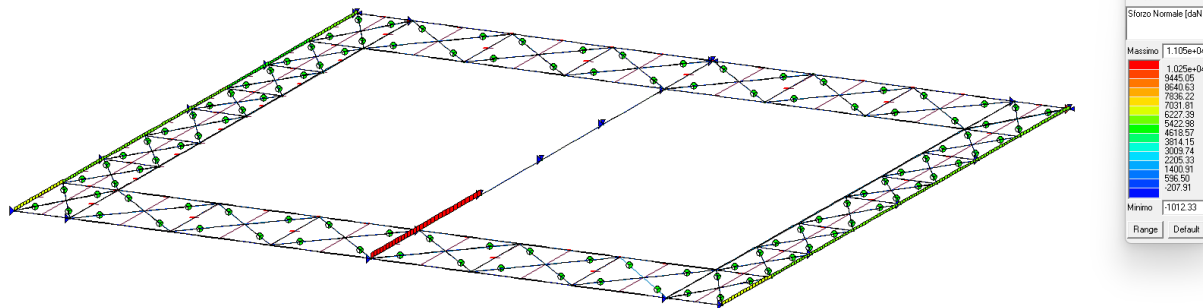


Diagramma dello sforzo normale

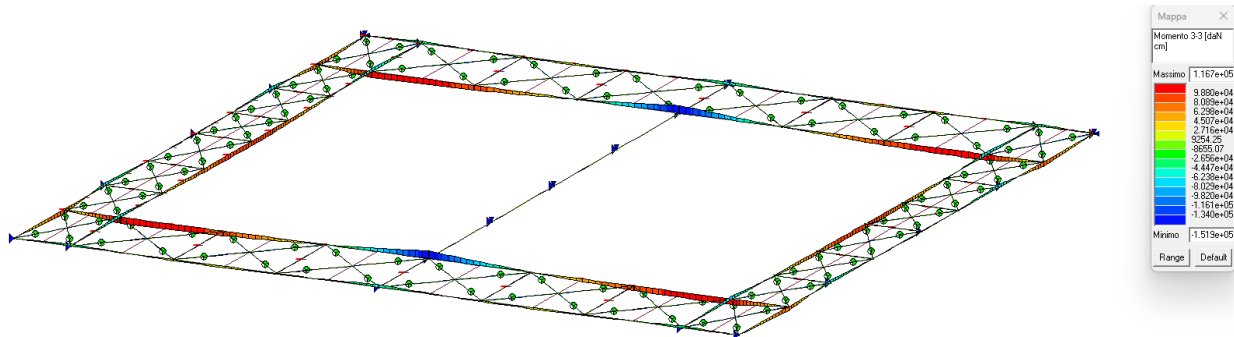


Diagramma del momento flettente

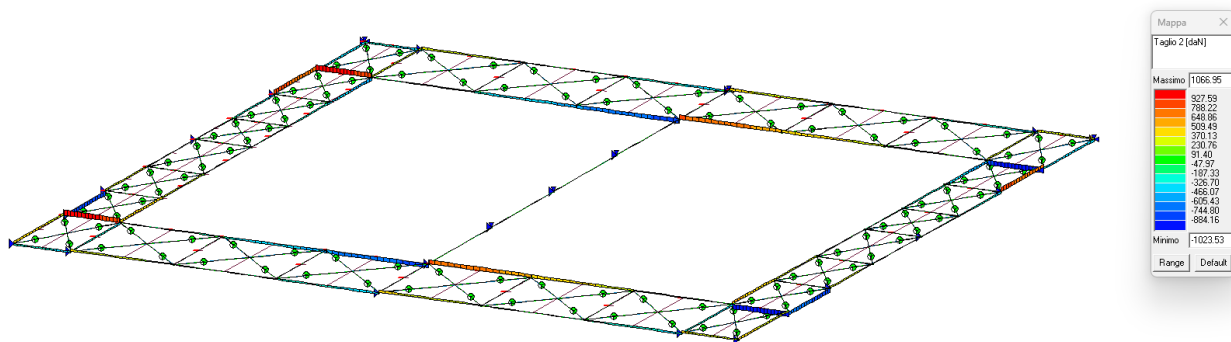
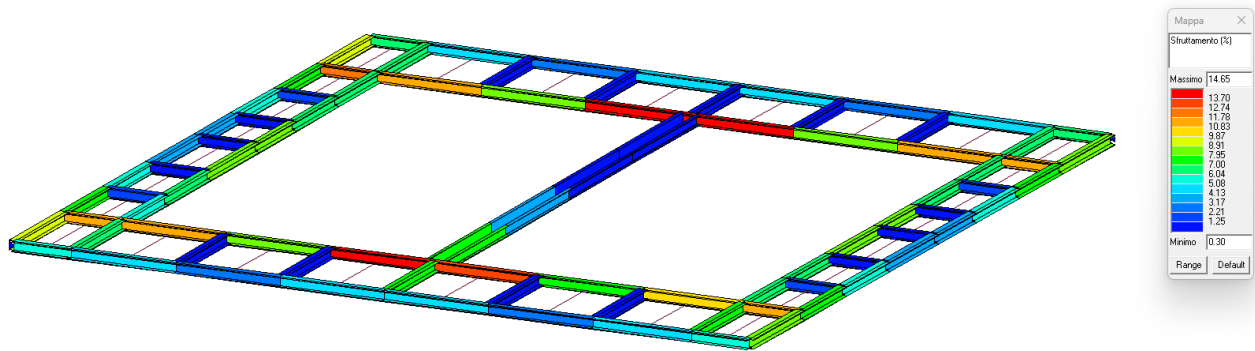
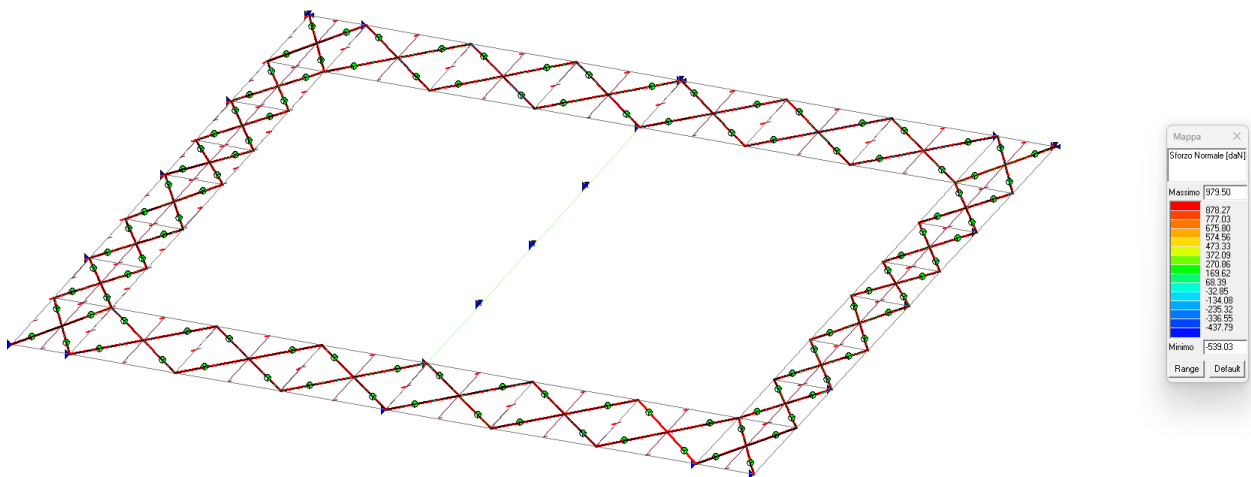


Diagramma dello sforzo di taglio

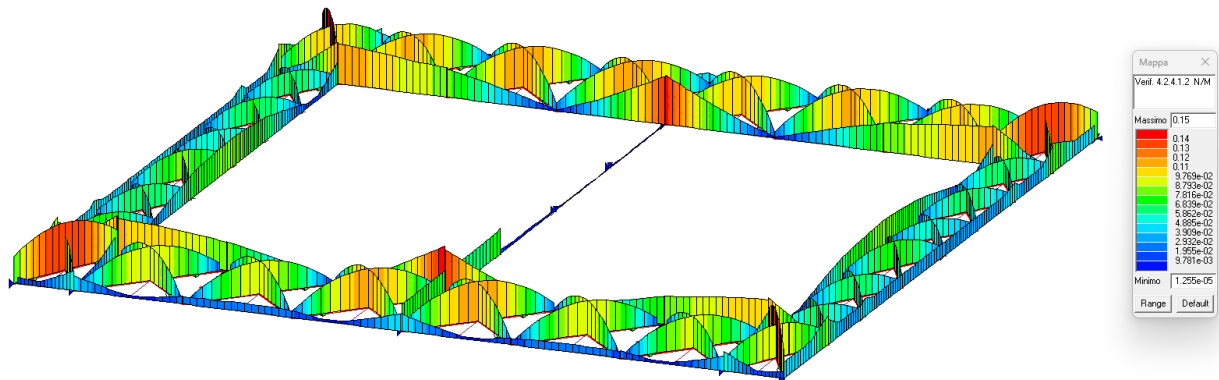
Nell'immagine seguente si riporta in via grafica la verifica eseguita dal programma di calcolo in termini di sfruttamento percentuale. Come si può osservare tutti gli elementi risultano verificati e presentano uno sfruttamento massimo del 15%.



Attualmente sono state modellate barre $\Phi 24$ di controventamento in grado di assorbire una forza di trazione pari a circa 1100 kg l'una.

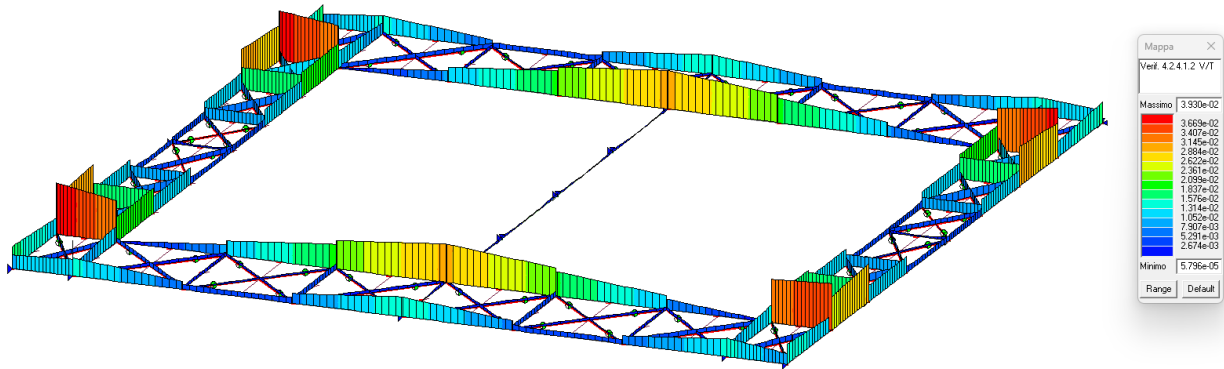


Verifica N/M Permette la visualizzazione dei risultati ottenuti dalla verifica a presso o tenso flessione degli elementi come riportato nel DM2018. La verifica tiene conto del fattore di riduzione per taglio ρ se necessario. La sezione risulta verificata in quanto si ottiene un valore N/M minore di 1.

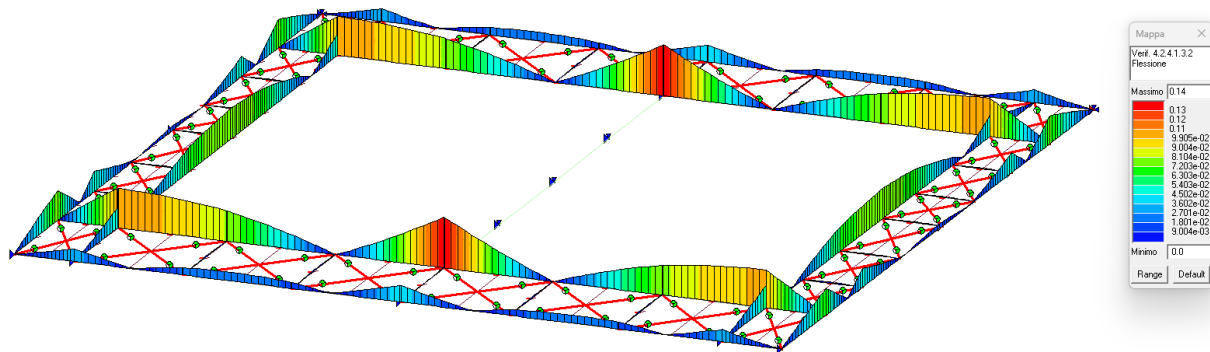


Verifica V/T Permette la visualizzazione dei risultati ottenuti dalla verifica a Taglio e torsione degli elementi espressi mediante i valori di $V_{Ed}/V_{c,Rd}$ (oppure T_{Ed}/T_{Rd} se questa dovesse risultare più restrittiva).

In presenza di torsione viene applicata la formula prevista per sezioni cave nel DM 2018. La verifica è da considerarsi soddisfatta in quanto il valore risulta inferiore a 1.



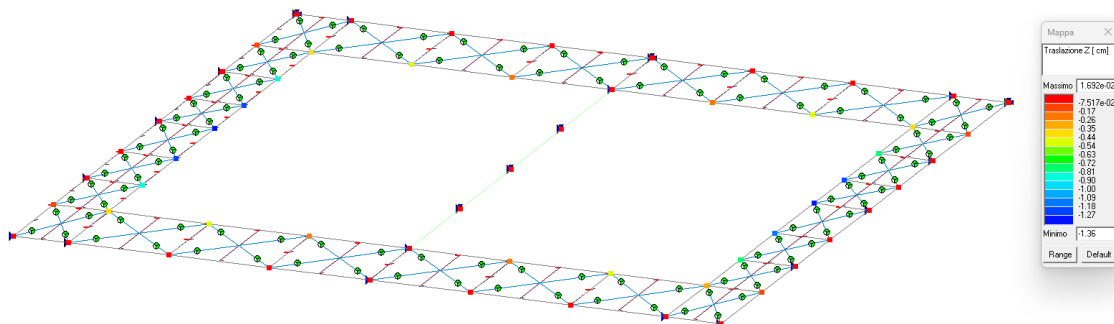
Verifica 4.2.4.1.3.2 Flessione Permette la visualizzazione dei risultati delle verifiche di stabilità eseguite secondo la formula 4.2.48. La verifica è da considerarsi soddisfatta se il valore è inferiore a 1.



Successivamente sono riportate le verifiche allo stato limite di esercizio:

Verifica SLE

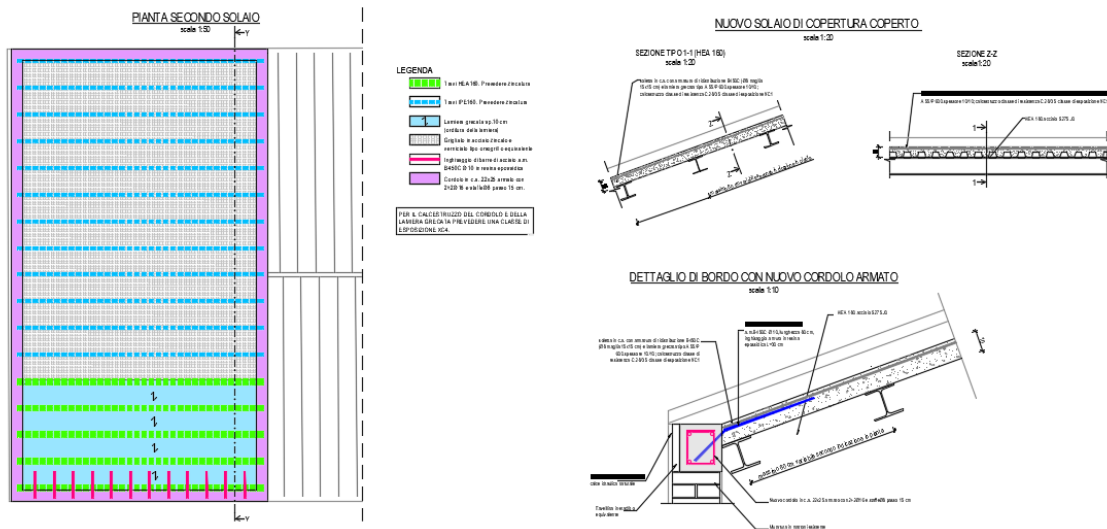
lo spostamento verticale massimo nelle condizioni di carico rara si registra in corrispondenza della mezzeria del cosciale dell'ultimo livello, di lunghezza pari a 1550 cm. Lo spostamento verticale risulta pari a 1.36 cm < $L/250 = 6.20$ cm.



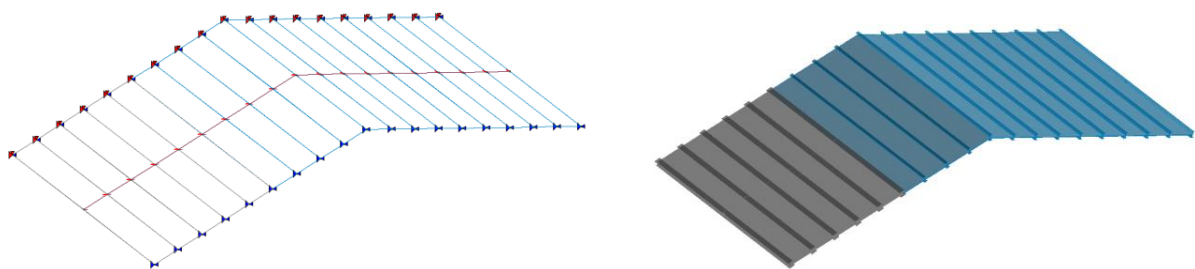
La verifica risulta soddisfatta.

9.10 NUOVA COPERTURA IN ACCIAIO NEL LOCALE IMPIANTI A NORD DELL'ALA NORD DEL CASTELLO

Questo corpo di fabbrica, indipendente dal corpo principale, ha l'esigenza di essere permeabile all'aria per cui il progetto ha previsto una serie di travi metalliche che sorreggono una griglia metallica aperta. Solo nella porzione a sud, sotto la scala di accesso, è prevista una lamiera grecata con getto in calcestruzzo per sorreggere i coppi.



Si riportano le verifiche svolte.



Modello di calcolo

Come evidenziato nel modello, è presente anche una porzione di copertura chiusa (in grigio), e una porzione con solo il carico del grigliato metallico pari a 60 daN/mq.

Successivamente sono riportate le verifiche degli elementi principali della struttura; le verifiche sono organizzate per gruppi di elementi e per ognuno di questo sono riportati gli esiti delle verifiche agli stati limite.

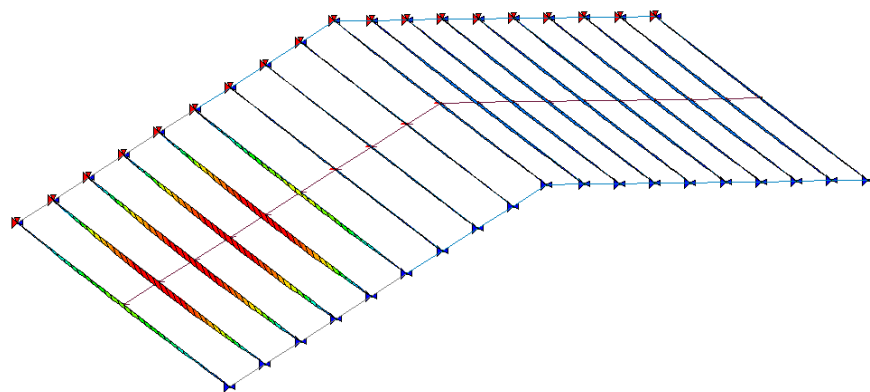


Diagramma del momento flettente perpendicolare alla falda

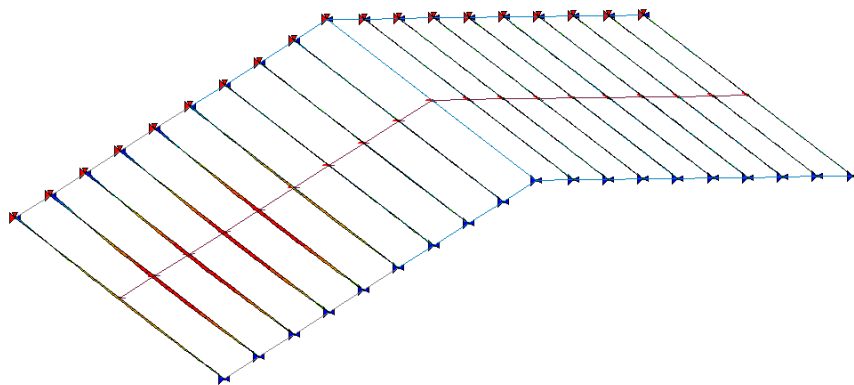


Diagramma del momento flettente parallelo alla falda

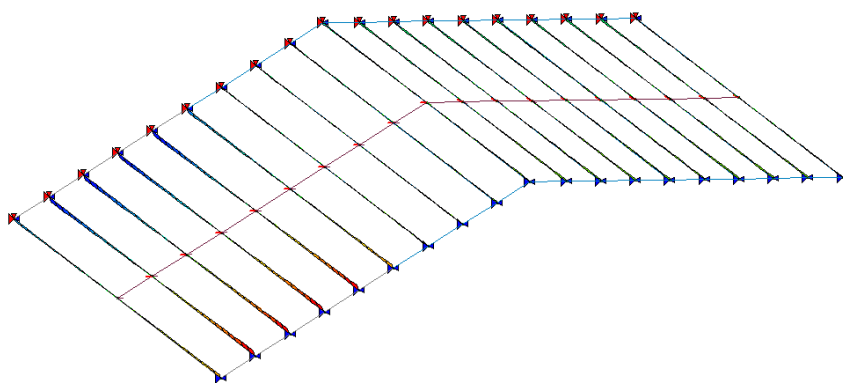


Diagramma dello sforzo di taglio perpendicolare alla falda

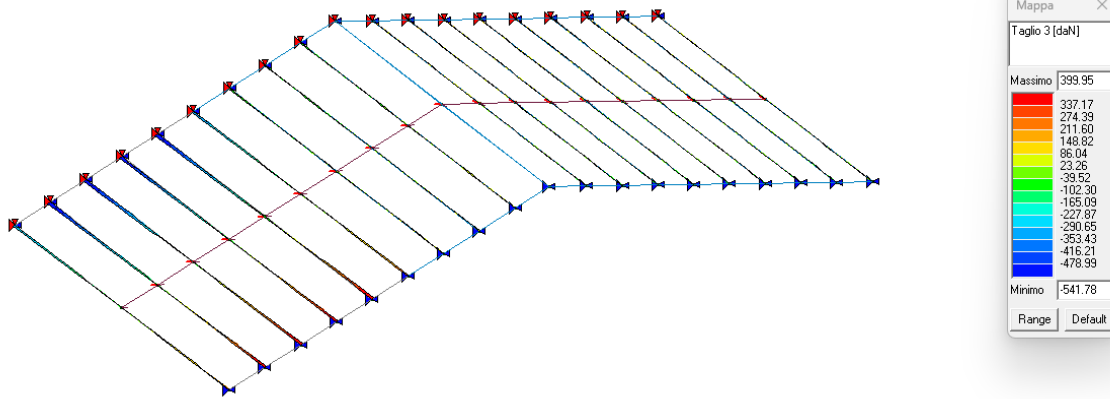
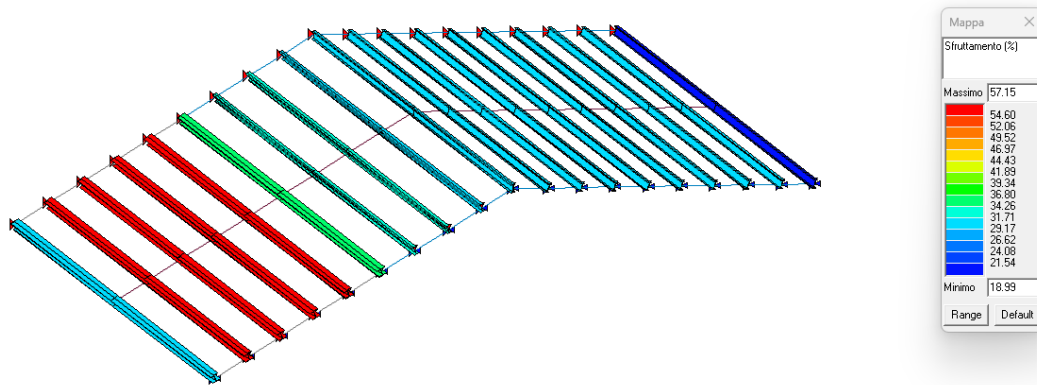
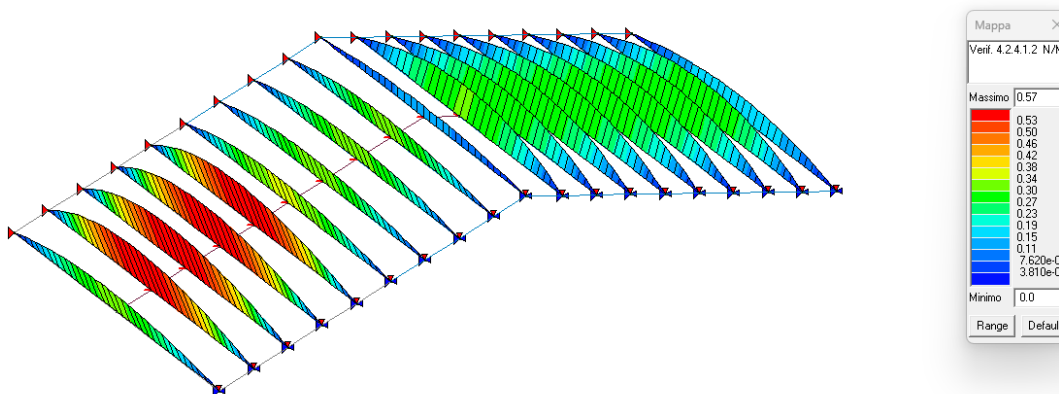


Diagramma dello sforzo di taglio parallelo alla falda

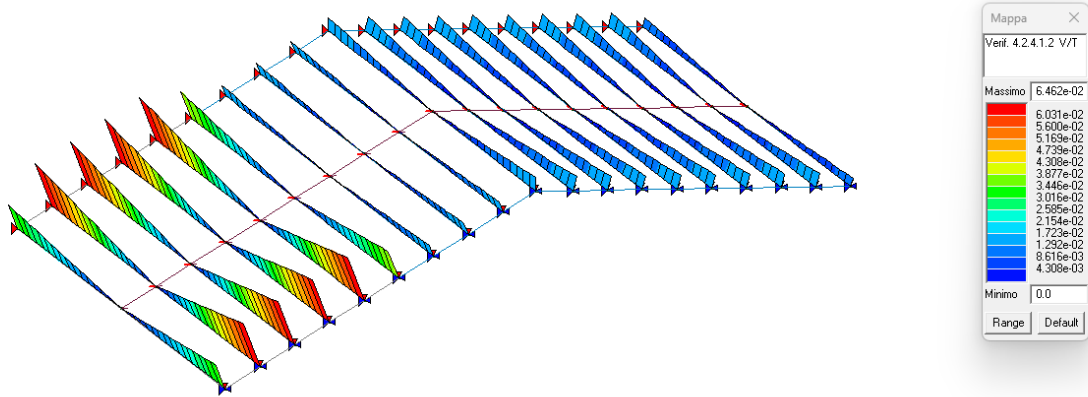
Nell'immagine seguente si riporta in via grafica la verifica eseguita dal programma di calcolo in termini di sfruttamento percentuale. Come si può osservare tutti gli elementi risultano verificati e presentano uno sfruttamento massimo del 57%.



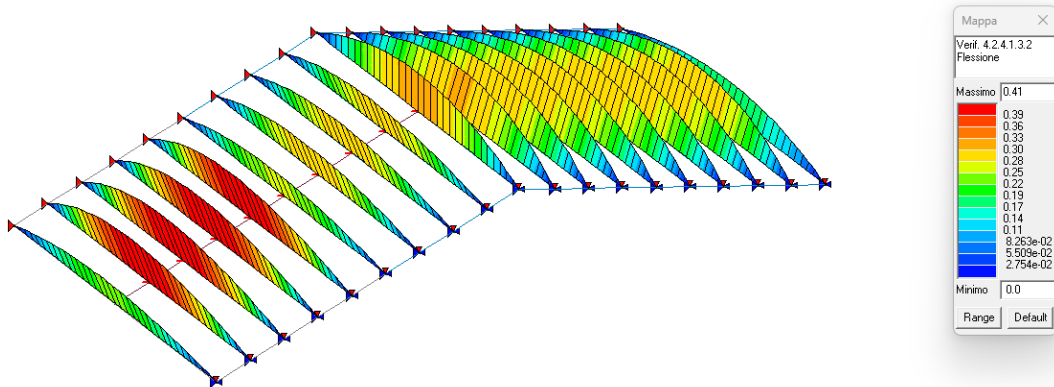
Verifica N/M Permette la visualizzazione dei risultati ottenuti dalla verifica a presso o tenso flessione degli elementi come riportato nel DM2018. La verifica tiene conto del fattore di riduzione per taglio ρ se necessario. La sezione risulta verificata in quanto si ottiene un valore N/M minore di 1.



Verifica 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 prevista per sezioni cave nel DM 2018. La verifica è da considerarsi soddisfatta in quanto il valore risulta inferiore a 1.



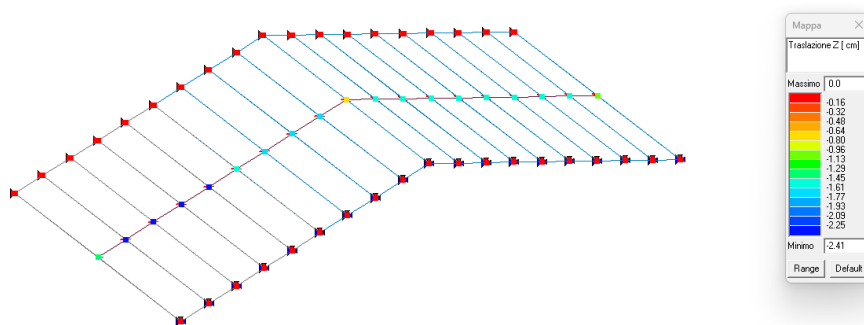
Verifica 4.2.4.1.3.2 Flessione Permette la visualizzazione dei risultati delle verifiche di stabilità eseguite secondo la formula 4.2.48. La verifica è da considerarsi soddisfatta se il valore è inferiore a 1.



Successivamente sono riportate le verifiche allo stato limite di esercizio:

Verifica SLE

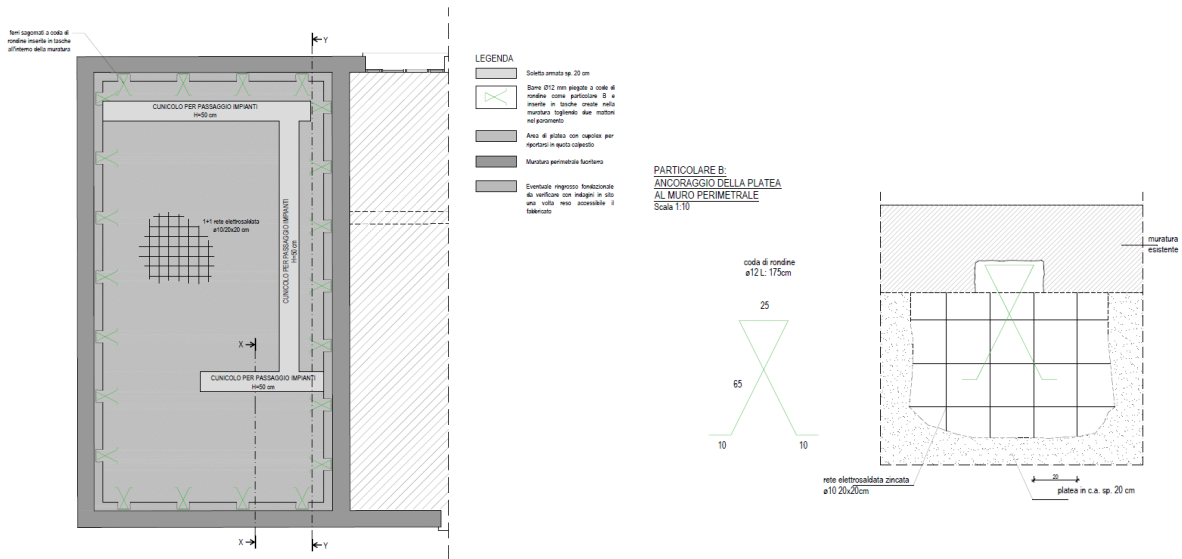
lo spostamento verticale massimo nelle condizioni di carico rara si registra in corrispondenza della mezzeria del cosciale dell'ultimo livello, di lunghezza pari a 645 cm. Lo spostamento verticale risulta pari a 2.41 cm < $L/250 = 2.58$ cm.



La verifica risulta soddisfatta.

9.11 INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO FONDAZIONI NEL LOCALE IMPIANTI A NORD DELL'ALA NORD DEL CASTELLO

L'intervento prevede la realizzazione di una soletta di collegamento dei muri perimetrali portanti del fabbricato in modo da migliorare le caratteristiche statiche e creare un vincolo rigido alla base in condizione di ribaltamento fuori piano in ambito sismico. La soletta, compatibilmente con la quota di posa dei muri esistenti, sarà ancorata alle murature mediante scassi localizzati con inserimento di idonea armatura. Tale soletta sarà poi il piano di posa dei macchinari pesanti previsti dal progetto impianti.



BIM DESIGN GROUP srl
DT - Ing. Federico Saccarola