COMUNE DI LUCCA
PROVINCIA DI LUCCA

INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DELLE SERRE ORTO BOTANICO, LUCCA, SERRE ANNI '90 - CUP J62F26000250004

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA

Relazione di calcolo delle strutture

PFTE_3STR_090_RS_SP_030_00

25-016

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

COMMITTENTE:
Comune di Lucca
RUP Ing. Stefano Angelini

TEAM DI PROGETTAZIONE
Studio INTRE
RED STUDIO

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

INDICE

1. PREMESSA STRUTTURE ESISTENTI 3
2. VERIFICA DELLA COPERTURA 4
2.1. VERIFICA DELLE ORDITURE SECONDARIE 4
2.2. VERIFICA DEL POLICARBONATO 5
3. VERIFICA DEL FABBRICATO 6
3.1. PRINCIPALI RISULTATI ANALISI STATICA (VENTO) 6
3.1.1. PILASTRI IN ACCIAIO ESISTENTI 6
3.1.2. PILASTRI IN ACCIAIO RINFORZATI 7
3.1.3. TRAVI IN ACCIAIO DI COPERTURA 8
3.1.4. TRAVI IN ACCIAIO DI FACCIATA ESISTENTI 9
3.1.5. TRAVI IN ACCIAIO DI FACCIATA RINFORZATE 10
3.1.6. CONTROVENTI 11
3.1.7. DEFORMATE 12
3.2. PRINCIPALI RISULTATI ANALISI SISMICA PUSH-OVER 13
3.3. PRINCIPALI RISULTATI ANALISI SISMICA LOCALE 14
4. VERIFICA DEL MIGLIORAMENTO SISMICO 16
5. GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITA' DEI RISULTATI 17

1. PREMESSA STRUTTURE ESISTENTI

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

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

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

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

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

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

2. VERIFICA DELLA COPERTURA

2.1. VERIFICA DELLE ORDITURE SECONDARIE

Dalla relazione sui saggi eseguiti si ricava che il correntino secondario è costituito da un tubolare 50*100mm in acciaio S235.

VERIFICA CORRENTI SECONDARI				
g1		7	daN/m	peso della trave
g2		0	daN/m	carico permanente sulla trave
G1		5	daN/mq	carico permanente sul solaio
G2		25	daN/mq	carico permanente sul solaio
Q		80	daN/mq	carico accidentale sul solaio
α		0	°	angolo inclinazione solaio
β		16,5	°	angolo rotazione trave
QSLU	1,3*G1+1,5*G2+1.5*Q	164	daN/mq	carico SLU sul solaio
QSLErare	G1+G2+0,7*Q	86	daN/mq	carico SLE rare sul solaio
QSLEfreq	G1+G2+0,7*Q	86	daN/mq	carico SLE frequente sul solaio
QSLEqperm	G1+G2+0,6*Q	78	daN/mq	carico SLE quasi permanente sul solaio
Ln		3,00	m	luce netta
Lc	1.0*Ln*cos α	3,00	m	luce di calcolo
i		1,2	m	interasse massimo dei profili
		no		trave d'angolo
ic	i	1,20	m	interasse di calcolo dei profili
qslu	QSLU*ic+1,3*g1+1,5*g2	206	daN/m	carico slu sulla trave
qsle rare	QSLErare*ic+g1+g2	110	daN/m	carico slerare sulla trave
qsle freq	QSLEfreq*ic+g1+g2	110	daN/m	carico slefreq sulla trave
qsle qperm	QSLEqperm*ic+g1+g2	101	daN/m	carico sleqperm sulla trave
Mxslu	qslu*Lc^2/8*cos β	222	daNm	Mx flettente max SLU
Mxslerare	qslerare*Lc^2/8*cos β	119	daNm	Mx flettente max SLE rare
Mxslefreq	qslefreqc*Lc^2/8*cos β	119	daNm	Mx flettente max SLE frequente
Mxsleqperm	qsleqperm*Lc^2/8*cos β	109	daNm	Mx flettente max SLE quasi perm
Txslu	qslu*Lc/2*cos β	296	daN	Tx max SLU
Myslu	qslu*Lc^2/8*sen β	66	daNm	My flettente max SLU
Myslerare	qslerare*Lc^2/8*sen β	35	daNm	My flettente max SLE rare
Myslefreq	qslefreqc*Lc^2/8*sen β	38	daNm	My flettente max SLE frequente
Mysleqperm	qsleqperm*Lc^2/8*sen β	32	daNm	My flettente max SLE quasi perm
Tyslu	qslu*Lc/2*sen β	88	daN	Ty max SLU
f_{yk}		2350	daN/cmq	tensione caratteristica snervamento
γ_{M0}		1,05		coefficiente sicurezza
FC		1,2		fattore di confidenza
f_{yd}	$f_{yk}/(\gamma_{M0}*FC)$	1865	daN/cmq	tensione limite
Wx		21,9	cmc	modulo di resistenza X
Wy		14,7	cmc	modulo di resistenza Y
	(Mx/(Wx*fyd))+(My/(Wy*fyd))	78,36		percentuale sfruttamento
			verifica soddisfatta	

2.2. VERIFICA DEL POLICARBONATO

Standard di produzione

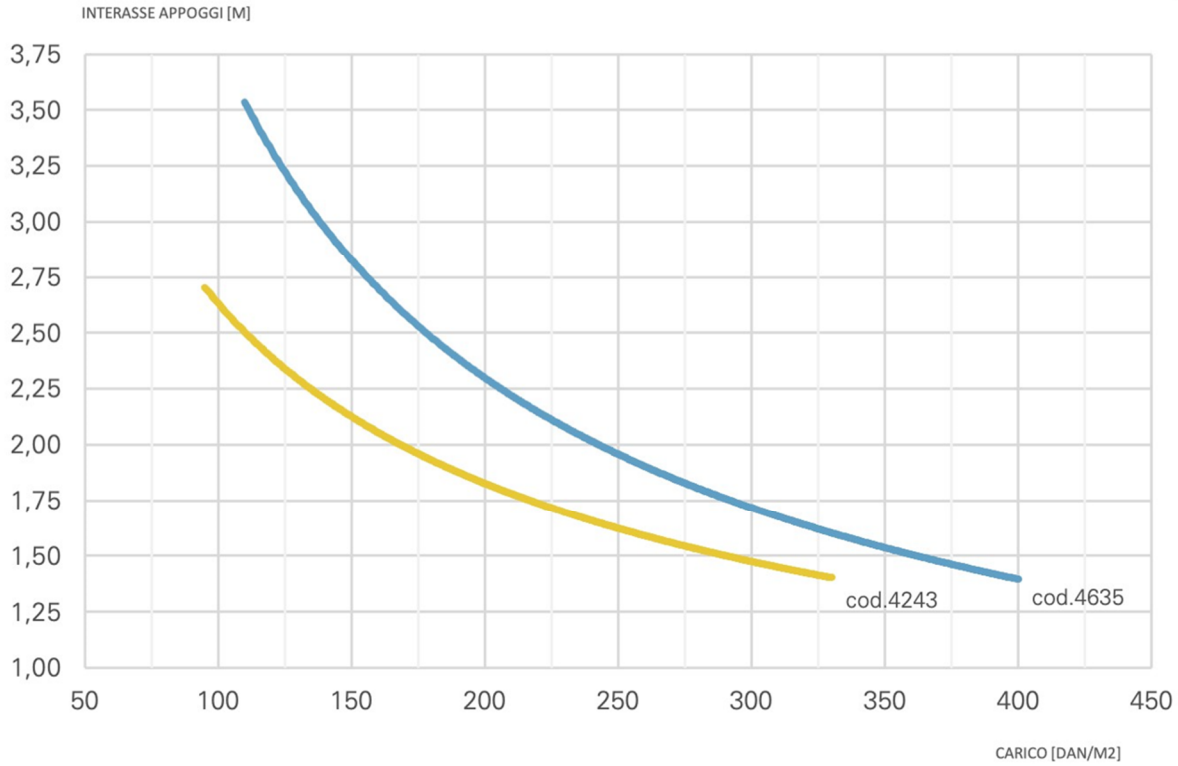
Lunghezza pannello	Senza limiti
Trasmittanza termica U	1,7 W/m^{2}K
Colori disponibili	Standard + Caleido + RTG
Spessore	20mm
Larghezza utile modulo	600mm
Struttura	6 pareti
Isolamento acustico Rw (ISO 717-1)	20dB
Colori Speciali	a richiesta

Caratteristiche

Dilatazione lineare	0,065mm/m°C
Temperatura d'impegno	-40°C +120 °C
Reazione al fuoco EN 13501-1	EuroClass B-s1,d0
Protezione ai raggi U.V.	Coestrusione
Pendenza MIN	5%
Raggio curvatura MIN	4,0m
Trasmissione Luminosa (τv)	Cristallo 58%

Punti di forza

- ✓ Autoportanza
- ✓ Facilità ed economia di posa
- ✓ Isolamento termico
- ✓ Trasmissione della luce
- ✓ Resistenza ai raggi U.V. ed alla grandine



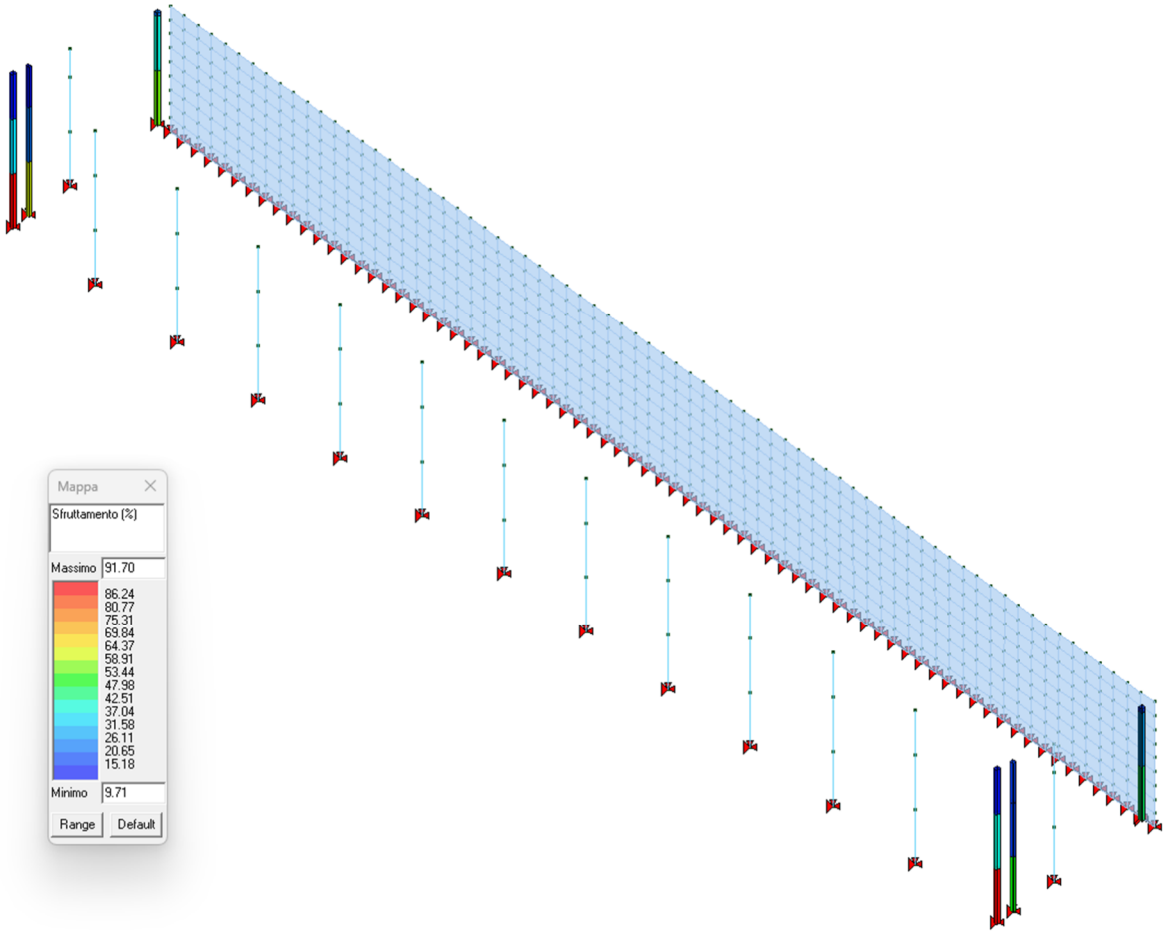
L'interasse tra i profili porta copertura è di 120cm per cui la verifica è soddisfatta.

3. VERIFICA DEL FABBRICATO

Si riportano di seguito molto brevemente i principali risultati delle verifiche condotte.

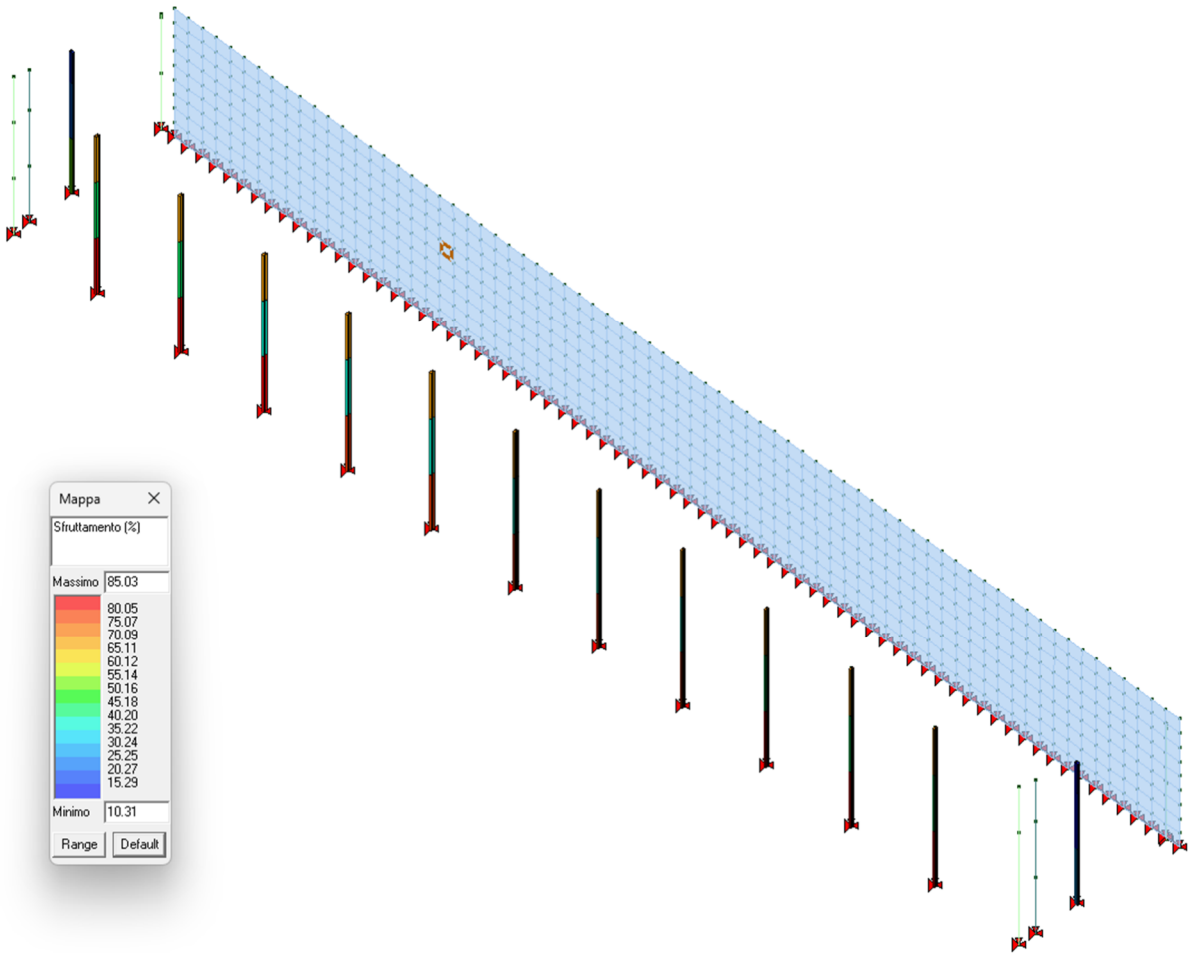
3.1. PRINCIPALI RISULTATI ANALISI STATICA (VENTO)

3.1.1. PILASTRI IN ACCIAIO ESISTENTI



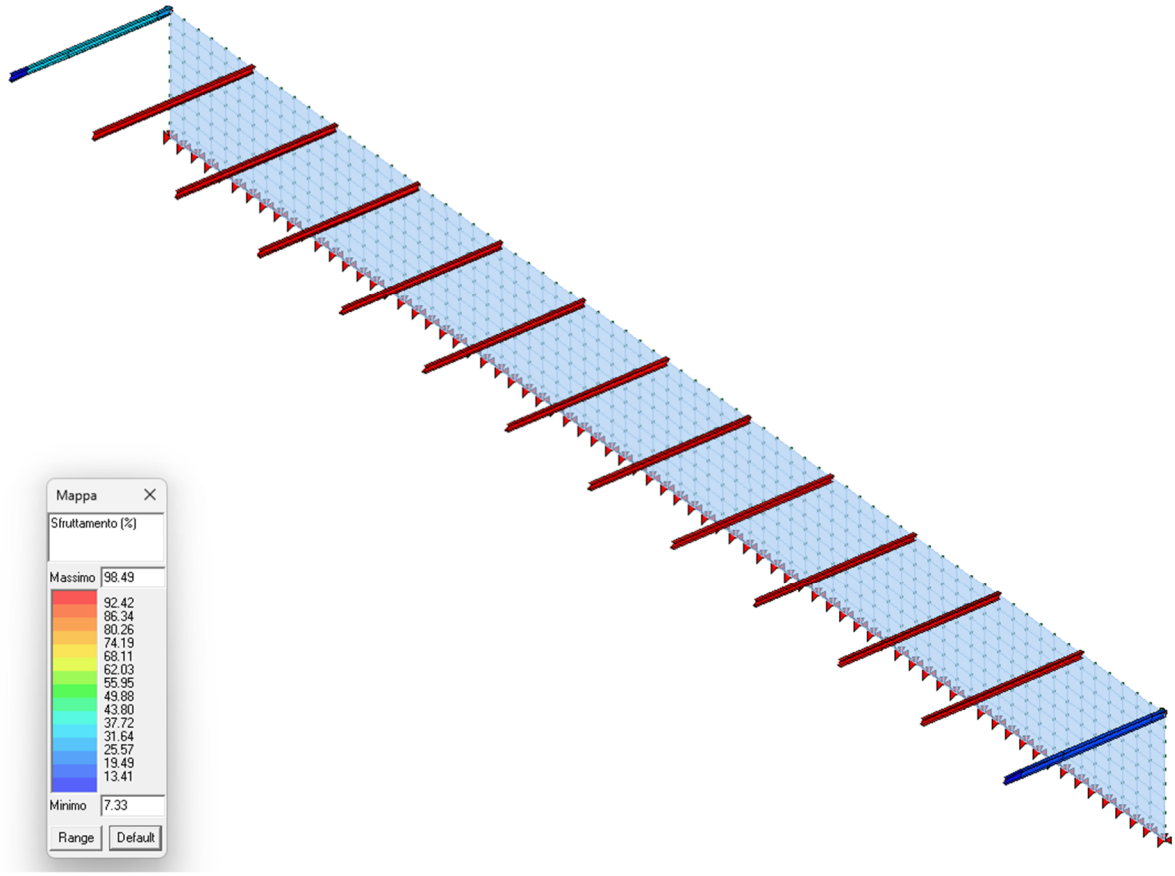
Sfruttamento % Permette la visualizzazione mediante mappa dei valori di sfruttamento degli elementi strutturali espressi, in percentuale, come il maggiore dei tre rapporti tra le tensioni massime (resistenza, stabilità, svergolamento) e quelle limite di progetto.

3.1.2. PILASTRI IN ACCIAIO RINFORZATI



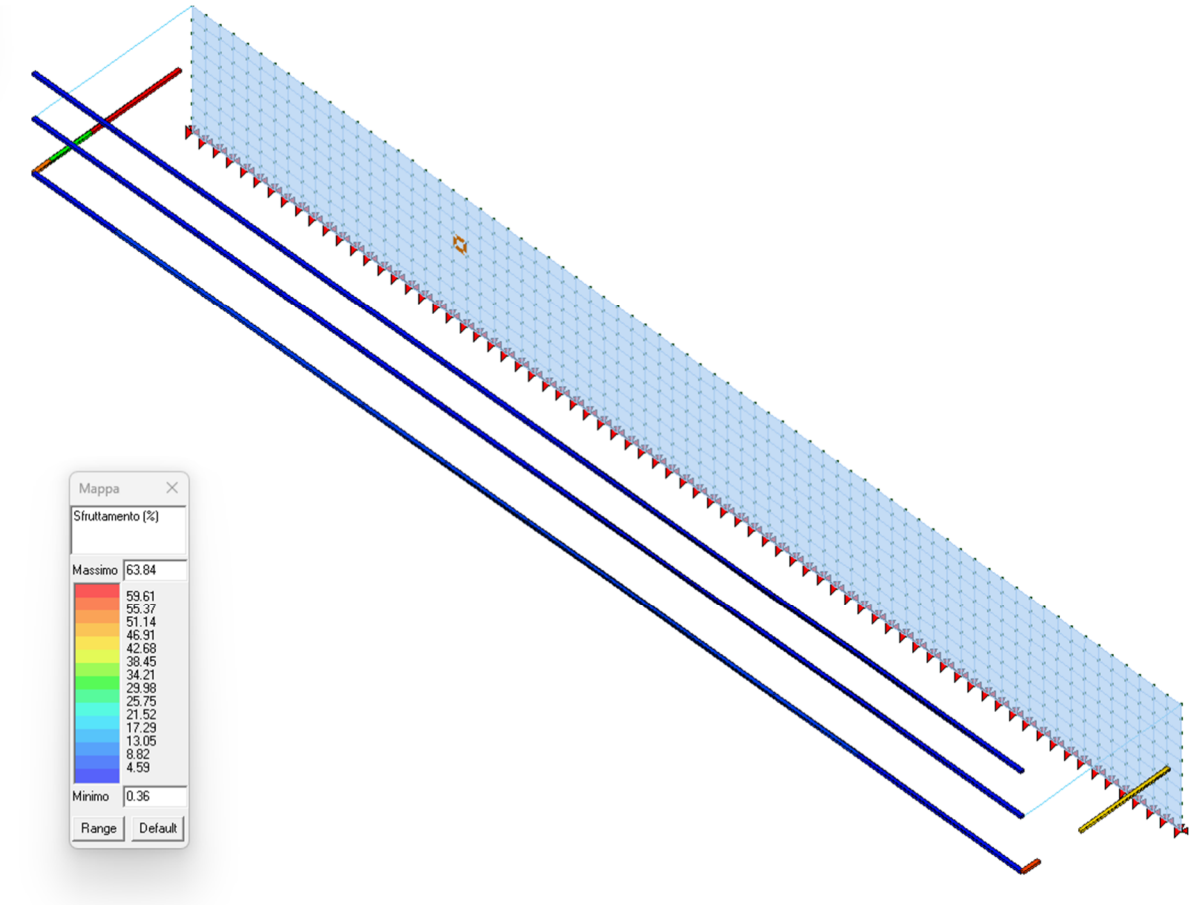
Sfruttamento % Permette la visualizzazione mediante mappa dei valori di sfruttamento degli elementi strutturali espressi, in percentuale, come il maggiore dei tre rapporti tra le tensioni massime (resistenza, stabilità, svergolamento) e quelle limite di progetto.

3.1.3. TRAVI IN ACCIAIO DI COPERTURA



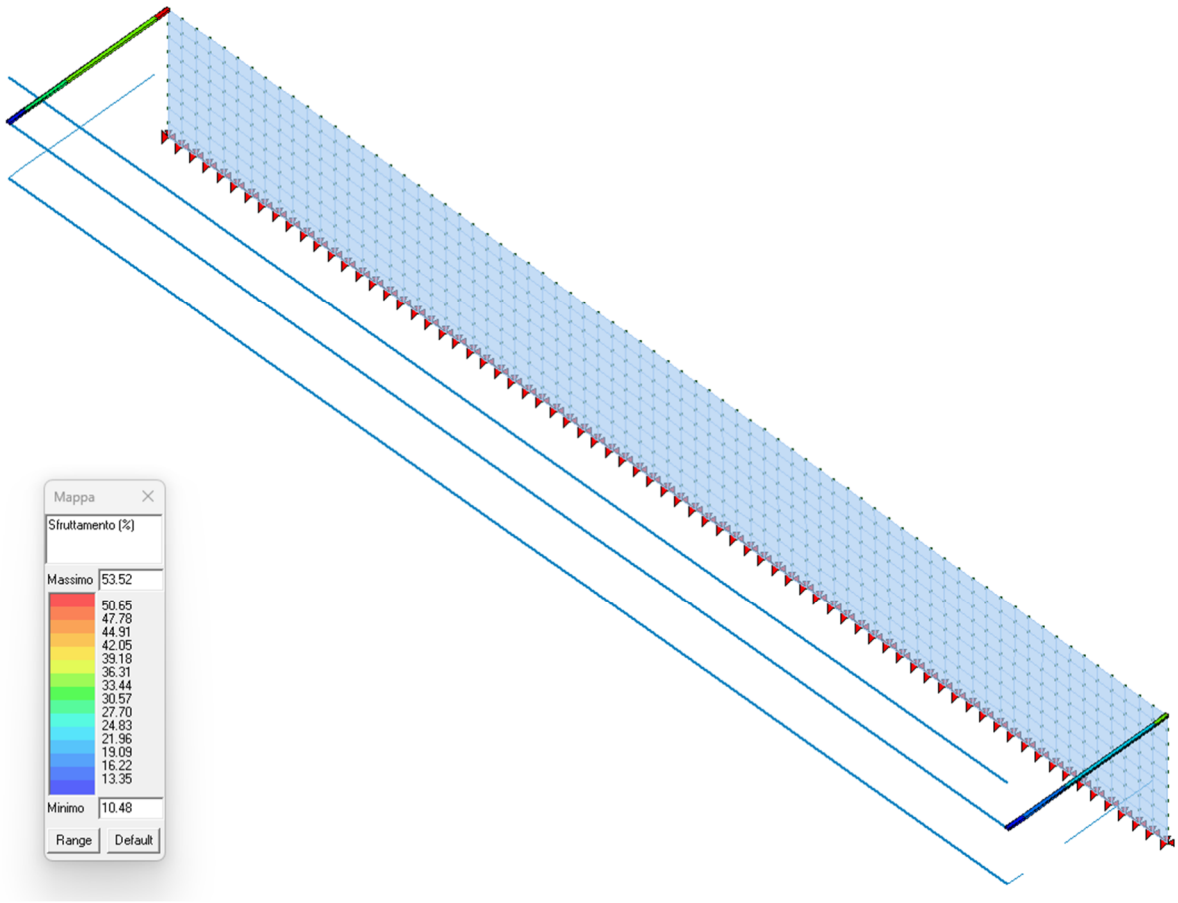
Sfruttamento % Permette la visualizzazione mediante mappa dei valori di sfruttamento degli elementi strutturali espressi, in percentuale, come il maggiore dei tre rapporti tra le tensioni massime (resistenza, stabilità, svergolamento) e quelle limite di progetto.

3.1.4. TRAVI IN ACCIAIO DI FACCIATA ESISTENTI



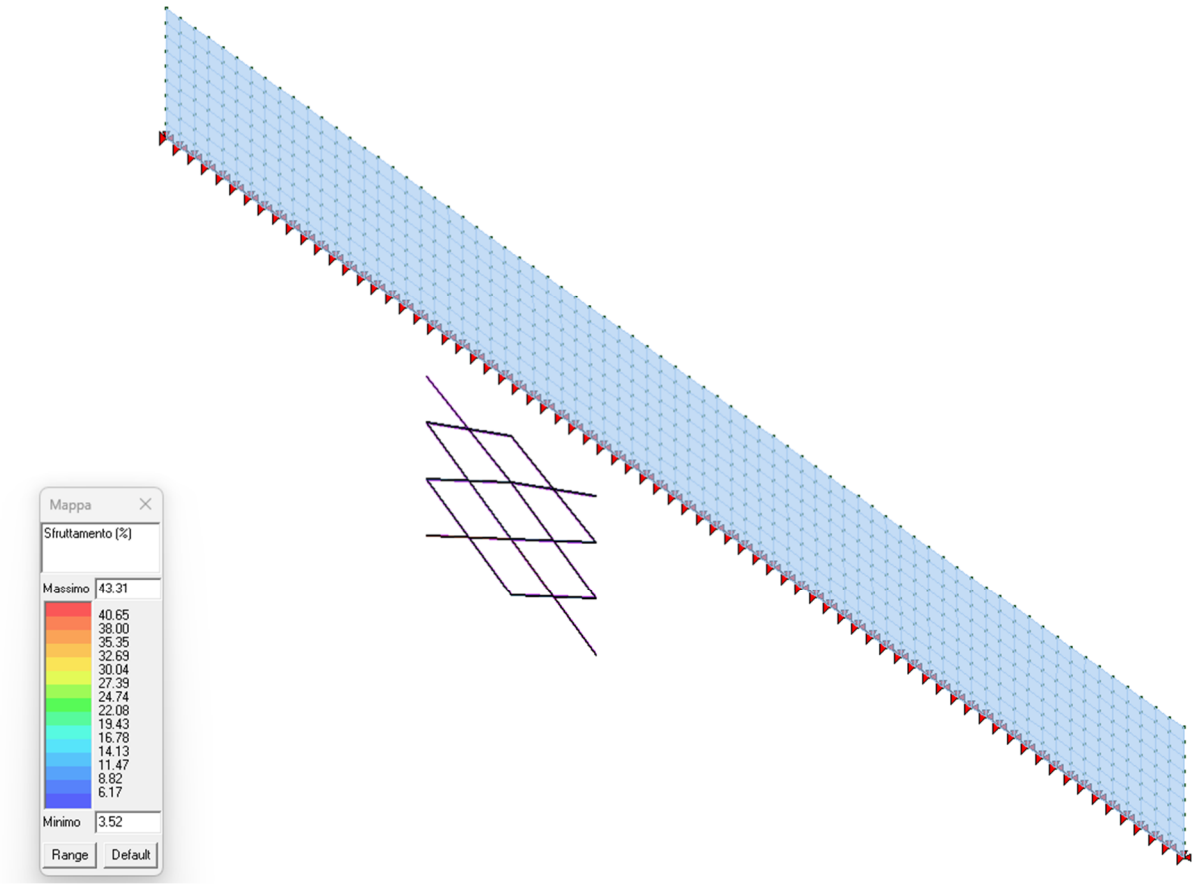
Sfruttamento % Permette la visualizzazione mediante mappa dei valori di sfruttamento degli elementi strutturali espressi, in percentuale, come il maggiore dei tre rapporti tra le tensioni massime (resistenza, stabilità, svergolamento) e quelle limite di progetto.

3.1.5. TRAVI IN ACCIAIO DI FACCIATA RINFORZATE



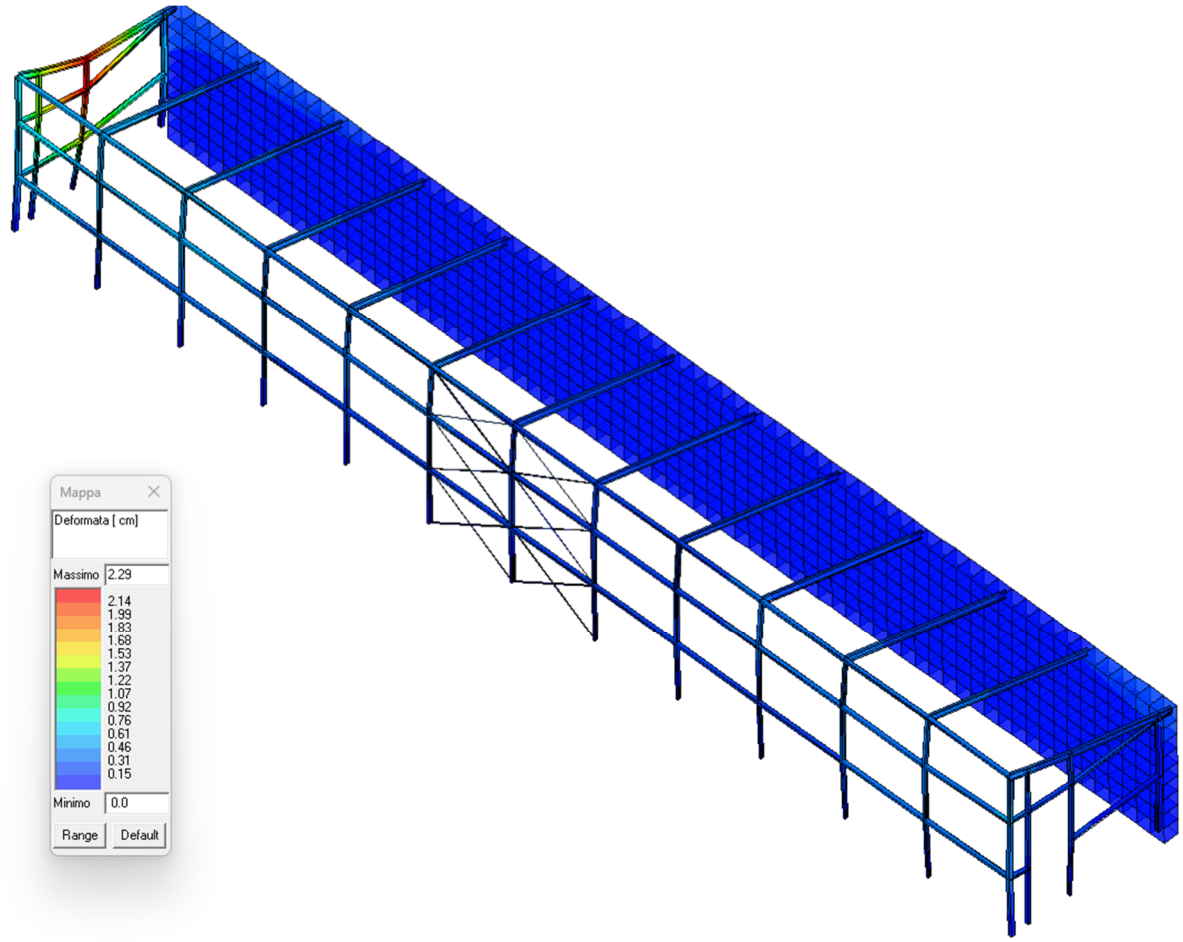
Sfruttamento % Permette la visualizzazione mediante mappa dei valori di sfruttamento degli elementi strutturali espressi, in percentuale, come il maggiore dei tre rapporti tra le tensioni massime (resistenza, stabilità, svergolamento) e quelle limite di progetto.

3.1.6. CONTROVENTI



Sfruttamento % Permette la visualizzazione mediante mappa dei valori di sfruttamento degli elementi strutturali espressi, in percentuale, come il maggiore dei tre rapporti tra le tensioni massime (resistenza, stabilità, svergolamento) e quelle limite di progetto.

3.1.7. DEFORMATE

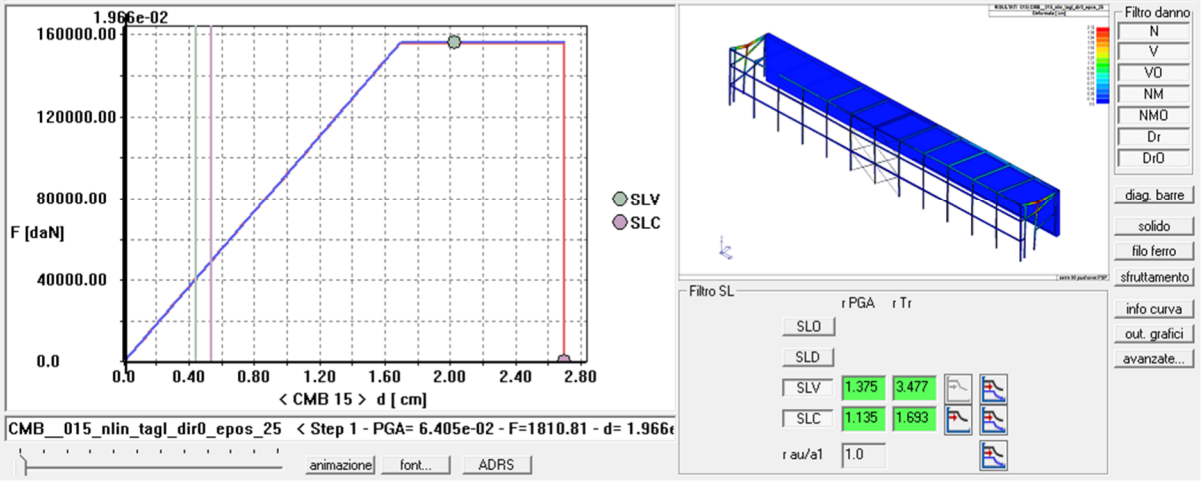


Massima deformata SLU

3.2. PRINCIPALI RISULTATI ANALISI SISMICA PUSH-OVER

Si riporta di seguito il riassunto delle verifiche delle combinazioni sismiche.

CMB	m* x g ...	K* [da...	T* [s]	Gamma	dy [cm]	Fy [daN]	au/a1	d SLV (...	d SLV (...	a PGA V	a Tr V	q* SLV	d SLC (...	d SLC (...	a PGA C	a Tr C	q* SLC
CMB 15	8.628...	9.209...	0.19	0.91	1.69	1.559...	1.00	0.44	2.02	1.37	3.48	0.26	0.54	2.70	1.14	1.69	0.32
CMB 16	8.628...	9.015...	0.20	0.91	1.73	1.562...	1.00	0.45	2.07	1.37	3.48	0.26	0.55	2.76	1.14	1.69	0.32
CMB 17	8.628...	9.209...	0.19	0.91	1.69	1.559...	1.00	0.44	2.02	1.37	3.48	0.26	0.54	2.70	1.14	1.69	0.32
CMB 18	8.628...	9.015...	0.20	0.91	1.73	1.562...	77.69	0.45	2.07	1.37	3.48	0.26	0.55	2.76	1.14	1.69	0.32
CMB 19	8.806...	394.11	3.00	1.01	52.15	2.055...	8.69	13.16	39.11	1.37	3.48	0.25	17.49	52.15	1.14	1.69	0.34
CMB 20	8.806...	392.54	3.00	1.01	52.07	2.044...	1.00	13.16	39.05	1.37	3.48	0.25	17.49	52.07	1.14	1.69	0.34
CMB 21	8.806...	409.93	2.94	1.01	52.73	2.162...	1.00	13.16	39.55	1.37	3.48	0.25	17.49	52.73	1.14	1.69	0.33
CMB 22	8.806...	407.75	2.95	1.01	52.48	2.140...	1.00	13.16	39.36	1.37	3.48	0.25	17.49	52.48	1.14	1.69	0.33
CMB 23	8.628...	2.153...	0.13	0.91	0.67	1.434...	1.00	0.17	1.035...	1.37	3.48	0.25	0.20	1.380...	1.14	1.69	0.31
CMB 24	8.628...	2.070...	0.13	0.91	0.69	1.434...	1.00	0.18	1.035...	1.37	3.48	0.26	0.21	1.380...	1.14	1.69	0.31
CMB 25	8.628...	2.153...	0.13	0.91	0.66	1.430...	1.00	0.17	1.035...	1.37	3.48	0.26	0.20	1.380...	1.14	1.69	0.31
CMB 26	8.628...	2.070...	0.13	0.91	0.69	1.430...	71.39	0.18	1.035...	1.37	3.48	0.26	0.21	1.380...	1.14	1.69	0.31
CMB 27	8.806...	405.23	2.96	1.01	52.05	2.109...	1.00	13.16	39.03	1.37	3.48	0.25	17.49	52.05	1.14	1.69	0.34
CMB 28	8.806...	396.23	2.99	1.01	52.52	2.081...	1.00	13.16	39.39	1.37	3.48	0.25	17.49	52.52	1.14	1.69	0.33
CMB 29	8.806...	413.73	2.93	1.01	52.69	2.180...	1.00	13.16	39.52	1.37	3.48	0.25	17.49	52.69	1.14	1.69	0.33
CMB 30	8.806...	414.86	2.92	1.01	52.43	2.175...	1.00	13.16	39.32	1.37	3.48	0.25	17.49	52.43	1.14	1.69	0.33



Analisi pushover - quadro complessivo per la combinazione

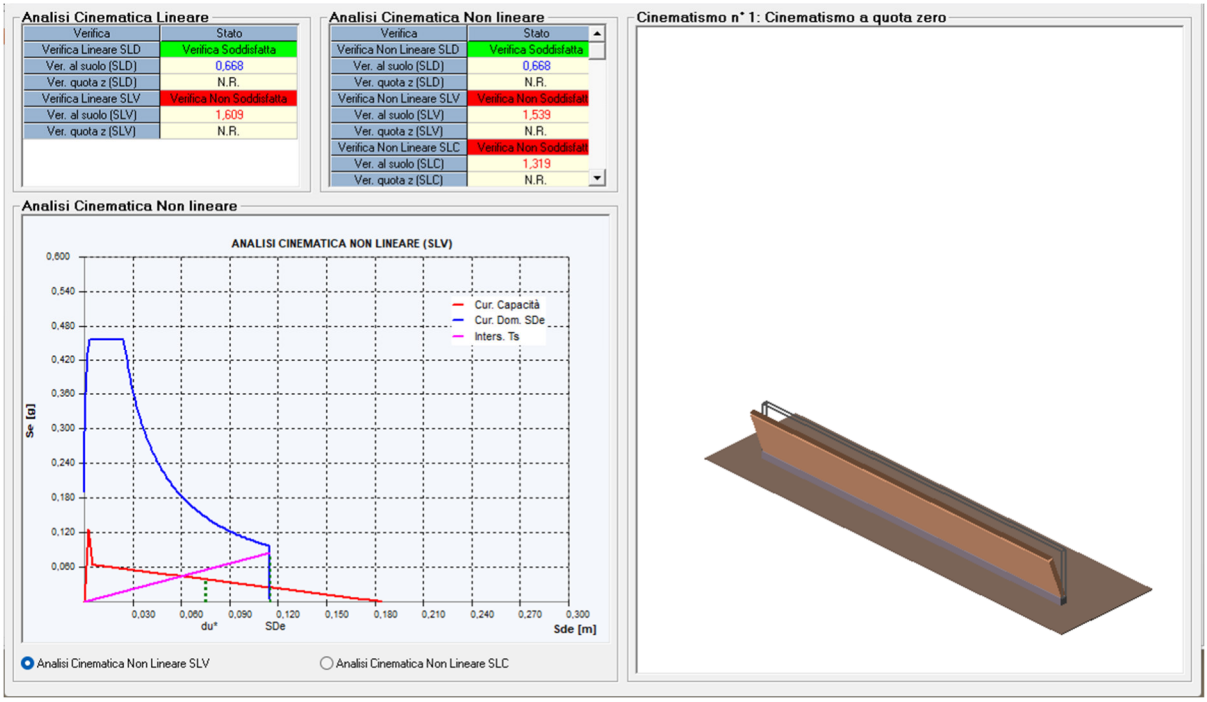
Sito struttura

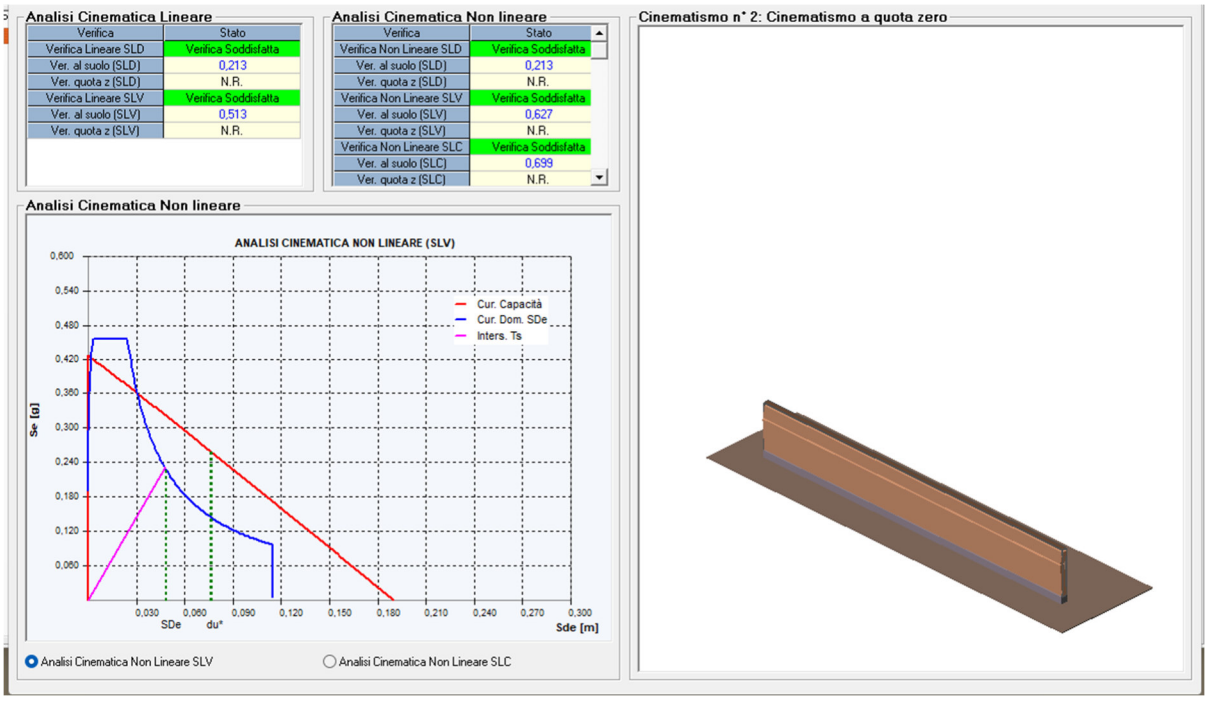
	Domanda d [cm]	Capacità d [cm]	Domanda PGA [g]	Capacità PGA [g]	Domanda Tr [anni]	Capacità Tr [anni]	Domanda Pr [%]	Capacità Pr [%]	Rapporto C/D PGA	Rapporto C/D Tr
SLO	0.164	0.848	0.076	0.301	45.16	2475.0	81.0	2.985	3.979	54.805
SLD	0.199	1.271	0.091	0.301	75.43	2475.0	63.0	2.985	3.309	32.812
SLV	0.441	2.024	0.219	0.301	711.84	2475.0	10.0	2.985	1.375	3.477
SLC	0.537	2.698	0.265	0.301	1462.18	2475.0	5.0	2.985	1.135	1.693

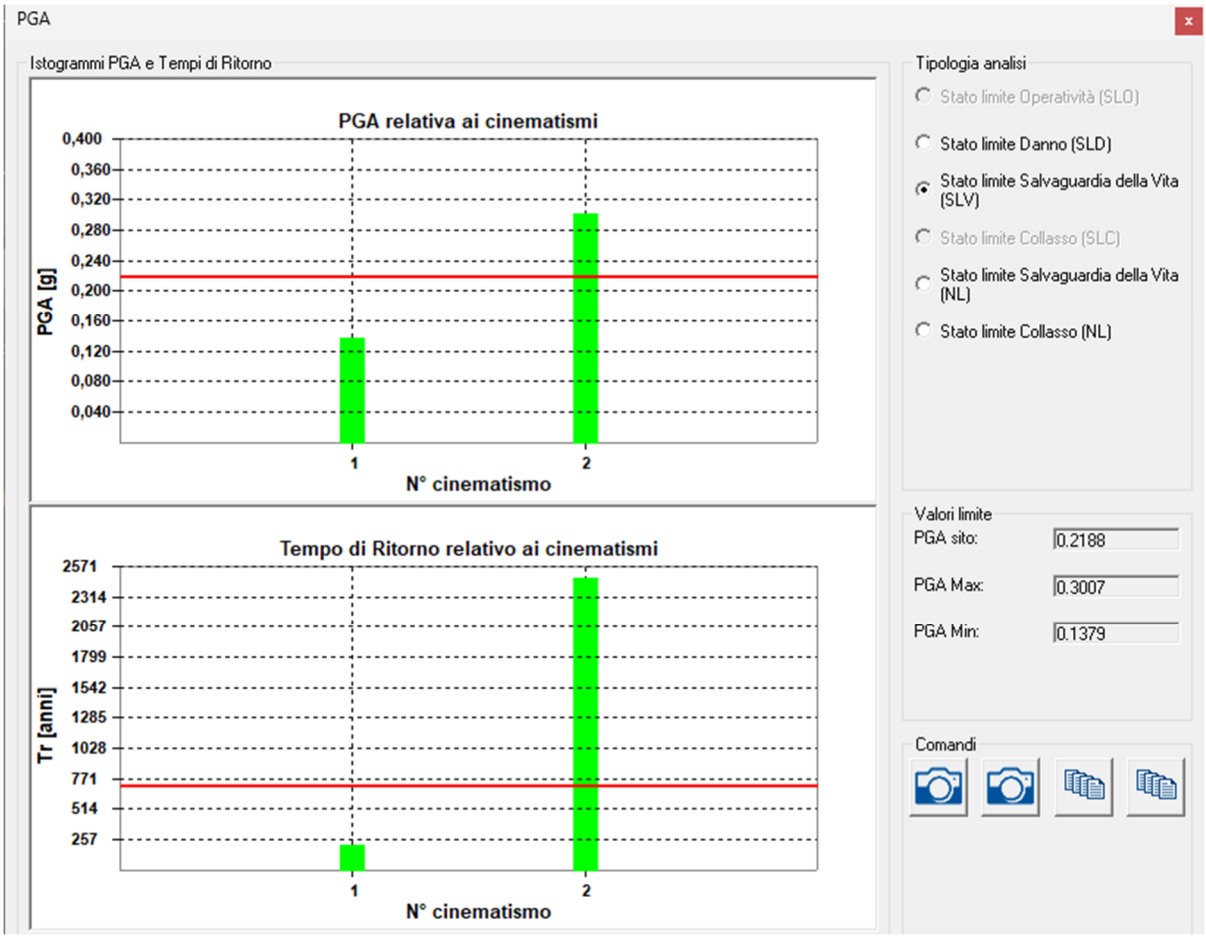
Terreno tipo A

	Domanda d [cm]	Capacità d [cm]	Domanda PGA [g]	Capacità PGA [g]	Domanda Tr [anni]	Capacità Tr [anni]	Domanda Pr [%]	Capacità Pr [%]	Rapporto C/D PGA	Rapporto C/D Tr
SLO	0.109	0.848	0.05	0.217	45.16	2475.0	81.0	2.985	4.3	54.805
SLD	0.133	1.271	0.061	0.217	75.43	2475.0	63.0	2.985	3.576	32.812
SLV	0.296	2.024	0.147	0.217	711.84	2475.0	10.0	2.985	1.476	3.477
SLC	0.374	2.698	0.185	0.217	1462.18	2475.0	5.0	2.985	1.174	1.693

3.3. PRINCIPALI RISULTATI ANALISI SISMICA LOCALE







Per i cinematismi locali il livello di sicurezza sismico, corrispondente al rapporto tra la massima azione sismica sopportabile dalla struttura e l'azione sismica massima che si utilizzarebbe nel progetto di una nuova costruzione, è pari a ζ_e = 0.63.

4. VERIFICA DEL MIGLIORAMENTO SISMICO

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

- Benché sia stata eseguita la valutazione sismica del fabbricato, si precisa che, allo stato attuale, la fase statica connessa all'azione del vento non risulta verificata. L'unica criticità statica individuata riguarda infatti l'azione del vento, mentre le verifiche nei confronti delle azioni gravitazionali e dei carichi antropici risultano pienamente soddisfatte. Considerato che la struttura è in esercizio da oltre trent'anni senza manifestare cedimenti, rotture, deformazioni anomale o altri indicatori di vulnerabilità, si può ragionevolmente ritenere che il comportamento globale sia coerente con il livello di azione realmente agente nel sito.
- È pertanto necessario intervenire preliminarmente sulle carenze statiche locali legate ai carichi da vento, prima di considerare pienamente rappresentativo il livello di sicurezza globale dell'edificio. Le analisi sismiche svolte, condotte assumendo un'azione sismica pari al 100% di quella prevista per le nuove costruzioni, indicano che, una volta risolte tali criticità, la struttura è caratterizzata da un livello di sicurezza sismica pari ad almeno ζe = 0.18. tale valore è ottenuto con l'analisi statica lineare a cui si è dovuti ricorrere a causa della bassa percentuale di massa sismica eccitata dall'analisi push-over per carenza di un piano rigido di copertura; la suddetta analisi push-over fornisce un risultato ζe = 0.63. Tale valore, superiore alla soglia ζe = 0.60 comunemente adottata come obiettivo minimo per gli interventi di miglioramento sismico su edifici esistenti non strategici, può essere considerato pienamente soddisfacente. Inoltre, poiché l'inadeguatezza riscontrata riguarda un'azione ambientale non controllata dall'uomo (vento) e non un'azione statica antropica, le NTC 2018 (§8.3) e la relativa Circolare precisano che, in tali circostanze, non si rendono di norma necessarie prescrizioni d'uso o limitazioni operative.

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

- le carenze statiche vengono risolte;
- le modifiche introdotte permettono di rendere valida l'analisi di push-over;
- i cinematismi locali risultano quelli più vincolanti;
- il livello della PGA viene elevato a $\zeta_E = 0.63$.

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

5. GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITA' DEI RISULTATI

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Lucca, 18/02/2026

Il Progettista