
COMUNE DI LUCCA

PROVINCIA DI LUCCA

LAVORI DI RESTAURO E RISANAMENTO
CONSERVATIVO DELLE SERRE ORTO BOTANICO –
LUCCA PT. 13/2024 – CUP PROGETTAZIONE
J61E24000200004

≡ **VERIFICA TECNICA**

Relazione vulnerabilità sismica
Serre Nuove

A3/A8

25-016

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	01/12/2025	Prima stesura	001S	001M	001S

COMMITTENTE:
Comune di Lucca

TEAM DI PROGETTAZIONE
Studio INTRE

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



INTRE TM

INDICE

1	PREMESSA.....	4
2	DESCRIZIONE DELLE OPERE IN OGGETTO	4
3	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	6
4	VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO	6
5	AZIONI DI CALCOLO	7
5.1	COEFFICIENTI PARZIALI DI SICUREZZA	7
5.2	AZIONE SISMICA	7
5.3	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONE TOPOGRAFICA.....	7
5.4	PESI PROPRI STRUTTURALI E ANALISI DEI CARICHI.....	7
5.5	SOVRACCARICO VARIABILE	8
5.6	AZIONE DELLA NEVE E DEL VENTO.....	9
5.7	AZIONE TERMICA.....	13
5.8	COMBINAZIONI DELLE AZIONI	13
6	ANALISI SVILUPPATA.....	13
6.1	RELAZIONE STORICO ARTISTICA	13
6.2	ESTRATTI VOLI AEREI	18
6.3	DATAZIONE DELLE OPERE.....	22
6.4	RILIEVO GEOMETRICO E DOCUMENTI ORIGINARI DI PROGETTO	22
6.5	ELEMENTI SECONDARI.....	28
6.6	VERIFICA REGOLARITA'.....	29
6.7	CAMPAGNA DI SAGGI	29
6.8	LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA	29
6.8.1	LIVELLO DI CONOSCENZA DA RAGGIUNGERE LC2.....	29
6.8.2	MATERIALI DICHIARATI NEI DOCUMENTI DI PROGETTO.....	30
6.8.3	PARERI CTS IN MERITO AI SAGGI.....	30
6.8.4	PARERI CTS IN MERITO ALLE VERIFICHE DEL SISTEMA FONDALE.....	30
6.8.5	DEFINIZIONE DI ELEMENTI STRUTTURALI PRIMARI.....	31
6.8.6	INDAGINI DA ESEGUIRE AL FINE DI CONSEGUIRE LC2.....	32
6.8.7	PROVE DA ESEGUIRE AL FINE DI CONSEGUIRE LC2.....	32
6.8.8	LIVELLO DI CONOSCENZA RAGGIUNTO.....	32
6.8.9	FATTORE DI CONFIDENZA ADOTTATO	32
6.9	CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI.....	32
6.9.1	ACCIAIO.....	32
6.10	TIPO DI ANALISI SISMICA CONDOTTA.....	33
6.11	FATTORE DI COMPORTAMENTO PER ANALISI LINEARI	33
6.12	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO	34
7	PRINCIPALI RISULTATI.....	34
7.1	PRINCIPALI RISULTATI IN TERMINI DI RESISTENZA	34
7.1.1	ANALISI SOLO CARICHI PERMANENTI	34
7.1.2	ANALISI SOLO CARICHI GRAVITAZIONALI	36
7.1.3	ANALISI SOLO CARICHI TERMICI.....	38
7.1.4	ANALISI SOLO AZIONE VENTO	40
7.1.5	ANALISI SOLO AZIONE SISMICA.....	42
7.1.6	ANALISI COMPLETA	44
7.2	PRINCIPALI RISULTATI IN TERMINI DI DEFORMATE	46
7.2.1	DEFORMATA PER PESO PROPRIO.....	46
7.2.2	DEFORMATA PER CARICHI PERMANENTI TIPO G1.....	47
7.2.3	DEFORMATA PER CARICHI PERMANENTI TIPO G2.....	48
7.2.4	DEFORMATA PER CARICHI ACCIDENTALI	49
7.2.5	DEFORMATA PER CARICO NEVE.....	50
7.2.6	DEFORMATA PER AZIONE SISMICA.....	51
7.2.7	DEFORMATA PER CARICO TERMICO.....	55
7.2.8	DEFORMATA PER AZIONE VENTO.....	56
7.2.9	DEFORMATA MASSIMA IN COMBINAZIONE STATICA	60
7.2.10	DEFORMATA MASSIMA IN COMBINAZIONE SISMICA	61
7.3	COMMENTI AI RISULTATI OTTENUTI	62
8	VALUTAZIONE DI VULNERABILITA' SISMICA	63

9 TIPO DI INTERVENTO PROPOSTO	63
9.1 OBIETTIVI E CRITERI	63
9.2 MISURA GESTIONALE IMMEDIATA – PASSERELLA	63
9.3 INTERVENTO STRUTTURALE PRINCIPALE – RADDOPPIO DEL SISTEMA VERTICALE	64

1 PREMESSA

La presente relazione tecnica si riferisce alla verifica di vulnerabilità sismica delle opere denominate "Nuove serre" per i lavori di restauro e risanamento conservativo delle serre orto botanico di Lucca.

Tale zona, secondo la L.R. 58/R, è ricadente in zona sismica di terza categoria fascia B ($0.125g < a_g = 0.128g < 0.15g$).

2 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN OGGETTO

Si riporta di seguito la descrizione delle opere fornita dal progettista nel Capitolato Speciale d'Appalto.

La serra in oggetto avrà struttura metallica e partizioni in vetro.

Struttura portante formata da profili in acciaio Fe430 e sarà così distinta:

- colonne in tubolare 150x100x4/5 e 200x100x4/5 mm.*
- travi-puntone in tubolare 250x100x5 mm.*
- arcarecci in tubolare 120x80x4 mm.*

Completano la struttura profili di colmo in tubolare 150x100x4 mm., profili in gronda "U" 150x60x4 mm., controventature di falda a croce di S.Andrea, catene ed elementi rompitratta dei profili portavetro verticali.

La copertura costituita da falde con pendenza 40% e tamponamento perimetrale sono realizzate in vetro trasparente visarm in lastre di larghezza mt.1,00 sp.mm.6/7 con lunghezze mt.2,00.

Il vetro sarà sostenuto da portavetri in alluminio completi di guarnizioni in dutral (colore nero) e mollette fermavetro in acciaio inox, oltre a copertina continua in alluminio verniciato con smalto per esterni con colore RAL 1013 "Perlweiss" a coprire la guarnizione e collegato al profilo retrostante mediante viti in acciaio autofilettante.

Per il posizionamento del vetro sarà necessaria l'applicazione di una serie di profili pressopiegati che consentono la realizzazione degli sportelli, le canale per la raccolta delle acque piovane e degli altri profili necessari. Tutta la finitura portante con i relativi profili pressopiegati saranno realizzati in acciaio, e saranno zincati a caldo e verniciati con smalto per esterni con colore RAL 1013 "Perlweiss".

Saranno realizzati n.6 sportelli di colmo da mt.1,00 continui. Ognuno degli sportelli sarà dotato di motoriduttore per azionamento a distanza. Compreso quadro elettrico di comando con interruttori, pulsanti, lampade di segnalazione e fusibili di protezione, ed interruttori automatici di fine corsa.

Linee elettriche di collegamento dal quadro ai motori. Comando automatico modulante degli sportelli per mezzo di termostato a due punti con zona neutra e temporizzatore. All'interno della serra vi sarà realizzato un divisorio longitudinale sotto il canale di gronda, anch'esso tamponato in vetro visarm supportato da portavetri in alluminio. Compreso inoltre la fornitura e posa in opera di n.3 portoni scorrevoli da mt.2,78 x mt.4,00 di altezza, i quali saranno realizzati a due ante con profili di alluminio estruso verniciato con colore a scelta della D.L. completi di binari, guide, meccanismi per lo scorrimento e ferramenta. Nel divisorio è compresa la fornitura e posa in opera di n.1 porta da mt.1,80x h.3,00 incernierata. Tutte le porte saranno tamponate in vetro visarm.

Sul tamponamento vetrato sud saranno realizzati n.12 pannelli scorrevoli internamente realizzati con profili in alluminio estruso verniciati e tamponatura in vetro visarm. I pannelli a quota + 0,20 saranno delle dimensioni di 102x193, mentre quelli a quota + 2,20 delle dimensioni di 102x189. Tutti i bulloni saranno provvisti di copribullone in ottone. Il tutto come evidenziato negli elaborati grafici.

La serra sarà completata da una struttura esterna staticamente collegata alla struttura della serra con interposta una passerella in quota. Tale struttura sarà in acciaio con travature in c.a. gettato in opera. Le colonne metalliche saranno rivestite in muratura di mattoni pieni. La muratura e l'architravatura in c.a. verranno intonacate con intonaco civile addittivato e con ultima mano di intonaco colorata in pasta. La struttura metallica esterna sarà così composta:

La struttura in carpenteria metallica in acciaio Fe430 della passerella sarà formata da colonne in profilati HE180A, travature in tubolari 200x100x4mm. e tubolari 150x100x4mm. disposti come da disegni esecutivi. Compresa controventature orizzontali e collegamenti saldati in officina e bullonati in opera. Compreso zincatura, sabbiatura e verniciatura con smalto per esterni con colore RAL 1013 "Perlweiss" e quant'altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte.

Sono previste n.2 scale di accesso alla passerella sopraelevata, realizzate con scalini a sbalzo 1/2 HE 300A e cosciale in profilato tubolare 250x150x5mm. Il tutto in acciaio Fe430. Compresi collegamenti saldati eseguiti in officina e bullonati in opera. Compresa zincatura, sabbiatura e successiva verniciatura con smalto per esterni con colore RAL 1013 "Perlweiss"; compresa la fornitura e la messa in opera di nastri antisdrucchiolo da applicare alle pedate delle scale e quant'altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte. Il tutto come evidenziato negli elaborati grafici.

Le ringhiere delle scale saranno realizzate in ferro con montanti di ferro piatto 40x4mm. e corrimano ferro piatto 60x6mm. zincate e verniciate con smalto per esterni con colore RAL 1013 "Perlweiss". E' compresa la realizzazione dei collegamenti bullonati ai gradini come evidenziato dai disegni.

Le ringhiere della passerella in ferro, compreso i colonnini metallici, saranno come da disegni allegati e subiranno trattamenti di zincatura e verniciatura con smalto per esterni con colore RAL 1013 "Perlweiss".

Il piano di calpestio della passerella in quota sarà realizzato in grigliato antitacco elettrofuso zincato a caldo, portata 300kg/mq. completo di collegamenti alla struttura sottostante di appoggio e di bordi perimetrali di rifinitura.

Sul perimetro della serra, esternamente alle partizioni vetrate, saranno collocati dei pannelli in ferro ornamentali con disegno come da elaborati grafici allegati. Anche questi saranno zincati e verniciati con smalto per esterni con colore RAL 1013 "Perlweiss".

La struttura muraria sarà completata da un architrave a quota +.4,00 m. e da colonnini facenti parte del parapetto della passerella. Saranno eseguite le cornici a quota +4,50m. come da disegni riportati negli elaborati grafici allegati.

Il pavimento all'interno delle nuove Serre sarà di tipo industriale, realizzato in cls additivato con fluidificante ed inclusa rete elettrosaldata; verranno eseguiti lo spolvero superficiale al quarzo grigio, fratazzatura, giunti di indebolimento realizzati mediante taglio in quadri 3,00m. X 3,00m. e successivo inserimento di giunto in pvc. Il pavimento verrà realizzato su impianto di riscaldamento a pavimento in tubi di polietilene precedentemente realizzato.

La Direzione Lavori potrà in qualsiasi momento apportare modifiche a secondo delle necessità alle specifiche di cui sopra.

Per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in c.a. normale e precompresso e per le strutture metalliche di cui alla legge 5 novembre 1971 n. 1086 si applicano le norme tecniche predisposte dal Servizio tecnico centrale ed allegate al d.m. 14 febbraio 1992, modificate ed integrate dalla circolare n. 37406/S.T.C. del 24 giugno 1993 "Legge 5 novembre 1971, n. 1086. Istruzioni relative alle norme tecniche per l'esecuzione delle opere in c.a. normale e precompresso di cui al d.m. 14 febbraio 1992". Le "Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in c.a. normale e precompresso e per le strutture metalliche" sono contenute nella circolare del 15 ottobre 1996 n. 252 AA.GG./S.T.C. di cui al d.m. 9 gennaio 1996, parte I. Tutte le opere in cemento armato facenti parte dell'opera appaltata saranno eseguite in base ai calcoli di stabilità accompagnati da disegni esecutivi e da una relazione, che dovranno essere redatti e firmati da un tecnico abilitato iscritto all'Albo professionale, e che l'impresa dovrà presentare alla Direzione dei Lavori entro il termine che le verrà prescritto, attenendosi agli schemi e disegni facenti parte del progetto ed allegati al contratto o alle norme che le verranno impartite, a sua richiesta, all'atto della consegna dei lavori. L'esame e verifica da parte della Direzione dei Lavori dei progetti delle varie strutture in cemento armato non esonera in alcun modo l'Impresa dalle responsabilità ad essa derivanti per legge e per le precise pattuizioni del contratto, restando contrattualmente stabilito che, malgrado i controlli di ogni genere eseguiti dalla Direzione dei Lavori nell'esclusivo interesse dell'Amministrazione, l'Impresa stessa rimane unica e completa responsabile delle opere, sia per quanto ha rapporto con la loro progettazione e calcolo, che per la qualità dei materiali e la loro

esecuzione; di conseguenza essa dovrà rispondere degli inconvenienti che avessero a verificarsi, di qualunque natura, importanza e conseguenze essi potessero risultare.

Le norme riguardanti le costruzioni di acciaio relative ad opere di ingegneria civile, eccettuate quelle per le quali vige una regolamentazione apposita a carattere particolare, sono contenute nella circolare n. 252 AA.GG./S.T.C. del 15 ottobre 1996 "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in c.a., normale e precompresso e per le strutture metalliche" di cui al d.m. 9 gennaio 1996", parte II.

3 RIFERIMENTI NORMATIVI

Nel seguito sono riportate le normative e le istruzioni considerate nello sviluppo della progettazione e nelle verifiche degli elementi strutturali:

- Legge 05/11/1971 n. 1086 - "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica".
- Legge 02/02/74 n. 64 - Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.P.R. 06/06/2001 n. 380 - "Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia".
- L.R. 10/11/2014 n°65 - Norme per il governo del territorio.
- D.M. 17/01/2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».
- Circolare 21/01/2019 n. 7 - Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018.
- Norme UNI riportate nei capitoli delle prescrizioni dei materiali.
- Del. GRT n° 421 del 26/05/2014 di approvazione della classificazione sismica della Regione Toscana.

4 VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

L'opera in oggetto è una serra metallica destinata alle piante che al tempo stesso fa parte anche del percorso di visita dell'orto botanico e talvolta è sede di eventi.

L'opera in oggetto pertanto presenta le seguenti caratteristiche:

Tipo di Costruzione = 2; Classe d'uso = III

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di VN (in anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

	NTC	BENI CULTURALI
Classe I	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.	Uso saltuario o non utilizzato
Classe II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.	Uso frequente con normali affollamenti
Classe III	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.	Uso molto frequente e/o con affollamenti significativi

Classe IV	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.	Edificio strategico e uso molto frequente e/o con affollamenti significativi
-----------	---	--

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C _U	0,7	1,0	1,5	2,0

$$V_R = V_N * C_U = 50 * 1.5 = 75 \text{ Periodo di riferimento}$$

5 AZIONI DI CALCOLO

Le azioni di calcolo considerate comprendono: pesi propri degli elementi costituenti le strutture, carichi permanenti portati, azione sismica e sovraccarichi variabili per gli edifici.

Le azioni agenti sulla struttura sono state cumulate secondo condizioni di carico tali da risultare più sfavorevoli ai fini delle singole verifiche (si è considerato il loro inviluppo).

5.1 COEFFICIENTI PARZIALI DI SICUREZZA

Per i carichi permanenti verranno adottati i coefficienti parziali γ previsti dalla normativa effettuando una riduzione dei valori di resistenza dei materiali dovuta alla tipologia degli stessi (§ 2.3 NTC).

Essendo l'opera già realizzata ed avendo determinato con precisione le stratigrafie degli elementi per i carichi permanenti vengono adottati coefficienti parziali ridotti modificati (§ 8.5.5 NTC).

5.2 AZIONE SISMICA

L'azione sismica è stata determinata nel rispetto delle prescrizioni normative dettate dal D.M. 17 01 2018 "Norme tecniche per le costruzioni", seguendo la classificazione sismica del sito in modo automatico dal software di calcolo strutturale PROSAP professional.

5.3 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONE TOPOGRAFICA

Facendo riferimento alla relazione geologica ed alla modellazione geotecnica in essa contenuta, si riporta di seguito la categoria di sottosuolo e le condizioni topografiche utilizzate per i calcoli svolti.

- Categoria di sottosuolo: C.
- Condizioni topografiche: T1.

5.4 PESI PROPRI STRUTTURALI E ANALISI DEI CARICHI

Si riportano di seguito le analisi dei pesi degli elementi e dei carichi agenti sui solai e sulle strutture in genere.

SOLAI DI CALPESTIO RAMPE DELLE SCALE

G1: peso proprio e perm. def...	150.0 [daN/ m2]
G2: permanenti NON definiti	0.0 [daN/ m2]
Sovraccarico variabile	500.0 [daN/ m2]
Coefficiente psi0	0.7
Coefficiente psi1	0.7
Coefficiente psi2	0.6

SOLAI DI CALPESTIO PASSERELLA

G1:peso proprio e perm. def...	35.0 [daN/ m2]
G2:permanenti NON definiti	0.0 [daN/ m2]
Sovraccarico variabile	500.0 [daN/ m2]
Coefficiente psi0	0.7
Coefficiente psi1	0.7
Coefficiente psi2	0.6

SOLAI DI COPERTURA FALDA SENZA ACCUMULO

G1:peso proprio e perm. def...	5.0 [daN/ m2]
G2:permanenti NON definiti	25.0 [daN/ m2]
Sovraccarico neve	80.0 [daN/ m2]
Coefficiente psi0 neve	0.5
Coefficiente psi1 neve	0.2
Coefficiente psi2 neve	0.0
Sovraccarico variabile	0.0 [daN/ m2]
Coefficiente psi0	0.0
Coefficiente psi1	0.0
Coefficiente psi2	0.0

SOLAI DI COPERTURA FALDA CON ACCUMULO

G1:peso proprio e perm. def...	5.0 [daN/ m2]
G2:permanenti NON definiti	25.0 [daN/ m2]
Sovraccarico neve	139.0 [daN/ m2]
Coefficiente psi0 neve	0.5
Coefficiente psi1 neve	0.2
Coefficiente psi2 neve	0.0
Sovraccarico variabile	0.0 [daN/ m2]
Coefficiente psi0	0.0
Coefficiente psi1	0.0
Coefficiente psi2	0.0

5.5 SOVRACCARICO VARIABILE

Si sono considerati i seguenti sovraccarichi variabili:

(ambienti suscettibili di affollamento cat. C3) qk	500	daN/m ²
(ambienti suscettibili di affollamento cat. C3) Qk	500	daN
(ambienti suscettibili di affollamento cat. C3) Hk	300	daN/m

Questa categoria per i sovraccarichi viene considerata per le porzioni interne del fabbricato e quindi sono direttamente applicati a terra.

(scale comuni, balconi, ballatoi cat. C) qk	400	daN/m ²
(scale comuni, balconi, ballatoi cat. C) Qk	400	daN
(scale comuni, balconi, ballatoi cat. C) Hk	200	daN/m

Questa categoria per i sovraccarichi viene considerata per le porzioni esterne del fabbricato che sono costituite dalle scale e dal ballatoio; suddette aree sia per la loro posizione (esterna), sia per il loro accesso diretto dagli spazi esterni del giardino dell'orto botanico che infine per la loro conformazione (grigliato metallico di larghezza circa 130cm) non sono idonee ad ospitare spazi museali espositivi ed anche una folla tale da giustificare un sovraccarico maggiore; infatti la larghezza ridotta non permette l'installazione di nessuna opera in sicurezza.

I sovraccarichi verticali concentrati formano oggetto di verifiche locali distinte e non sono sovrapposti ai corrispondenti ripartiti; essi sono applicati su un'impronta di 50 x 50 mm.

I sovraccarichi orizzontali lineari sono applicati a pareti (alla quota di 1.20 m dal rispettivo piano di calpestio) ed ai parapetti o mancorrente (alla quota del bordo superiore). Essi sono considerati sui singoli elementi ma non sull'edificio nel suo insieme.

5.6 AZIONE DELLA NEVE E DEL VENTO

Il valore del carico neve è stato determinato mediante l'utilizzo del software free CARICHI del gruppo PROSAP e di seguito se ne riporta la schermata che ne identifica il valore e i dati di input.

LOCALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO

Ubicazione:

Località	LUCCA
Provincia	LUCCA
Regione	TOSCANA
Latitudine	43,84300 N
Longitudine	10,50500 E
Altitudine s.l.m.	19,0 m

CALCOLO DELLE AZIONI DELLA NEVE E DEL VENTO

Normativa di riferimento:

D.M. 17 gennaio 2018 - NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

Cap. 3 - AZIONI SULLE COSTRUZIONI - Par. 3.3 e 3.4

Circolare n.7 - 21 gennaio 2019 C.S.LL.PP.

NEVE

Il carico della neve sulle coperture è calcolato in relazione ai seguenti parametri:

Zona: macro area derivante dalla suddivisione del territorio nazionale;

Esp.: zona topografica di esposizione al vento;

Ce: coefficiente di esposizione al vento;

TR: periodo di ritorno di progetto espresso in anni;

as: altitudine del sito;

qsk: valore caratteristico del carico della neve al suolo (per $T_r = 50$ anni);

Zona	Esposizione	Ce	TR	as	qsk
II	Zona normale	1,00	50 anni	19 m	100,00

Copertura a più falde:

Angolo di inclinazione della falda $\alpha_1 = 22,0^\circ$

$m_1(\alpha_1) = 0,80 \Rightarrow Q_1 = 80 \text{ daN/mq}$

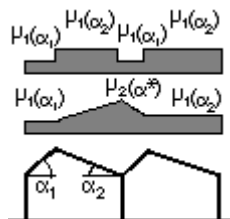
Angolo di inclinazione della falda $\alpha_2 = 22,0^\circ$

$m_1(\alpha_2) = 0,80 \Rightarrow Q_2 = 80 \text{ daN/mq}$

$\alpha^* = (\alpha_1 + \alpha_2) / 2 = 22,0^\circ$

$m_2(\alpha^*) = 1,39 \Rightarrow Q_2^* = 139 \text{ daN/mq}$

Schema di carico:



VENTO

La velocità del vento è calcolata in relazione ai seguenti parametri:

Zona: macro area derivante dalla suddivisione del territorio nazionale (NTC - Tab. 3.3.I);

V_{b,0}: velocità base della zona (NTC - Tab. 3.3.I);

a₀: altitudine base della zona (NTC - Tab. 3.3.I);

k_s: parametro in funzione della zona in cui sorge la costruzione (NTC - Tab. 3.3.I);

as: altitudine del sito;

TR: periodo di ritorno di progetto espresso in anni;

V_b: velocità di riferimento calcolata come segue:

$$V_b = V_{b,0} \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$V_b = V_{b,0} (1 + k_s ((a_s / a_0) - 1)) \quad \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

per $a_s > 1500 \text{ m}$ vanno ricavati da opportuna documentazione o da indagini comprovate

Tali valori non dovranno essere minori di quelli previsti per $a_s = 1500$ m

Cr: coefficiente di ritorno in funzione del periodo di ritorno TR

Vr: velocità di riferimento riferita al periodo di ritorno TR

Zona	Vb,0	a0	ks	as	TR	Vb	Cr	Vr
3	27 m/s	500 m	0,37	19 m	50 anni	27,00 m/s	1,000	27,00 m/s

Pressione cinetica di riferimento, $q_r = r V_r^2 / 2 = 46$ daN/mq

dove: r è la densità dell'aria (assunta convenzionalmente costante = 1,25 kg/mc)

Esposizione: Cat. IV – Entroterra tra 10 e 40 km dalla costa

Da cui i parametri della tabella 3.3.II delle NTC

Kr	z0	z min
0,22	0,30 m	8 m

Classe di rugosità del terreno: A (NTC – Tab. 3.3.III)

Aree urbane con almeno il 15% della superficie coperta da edifici la cui altezza media superi 15 m

L'azione del vento sulle costruzioni è determinata dai seguenti parametri:

Cp: coefficiente di pressione;

Cd: coefficiente dinamico;

Ct: coefficiente di topografia;

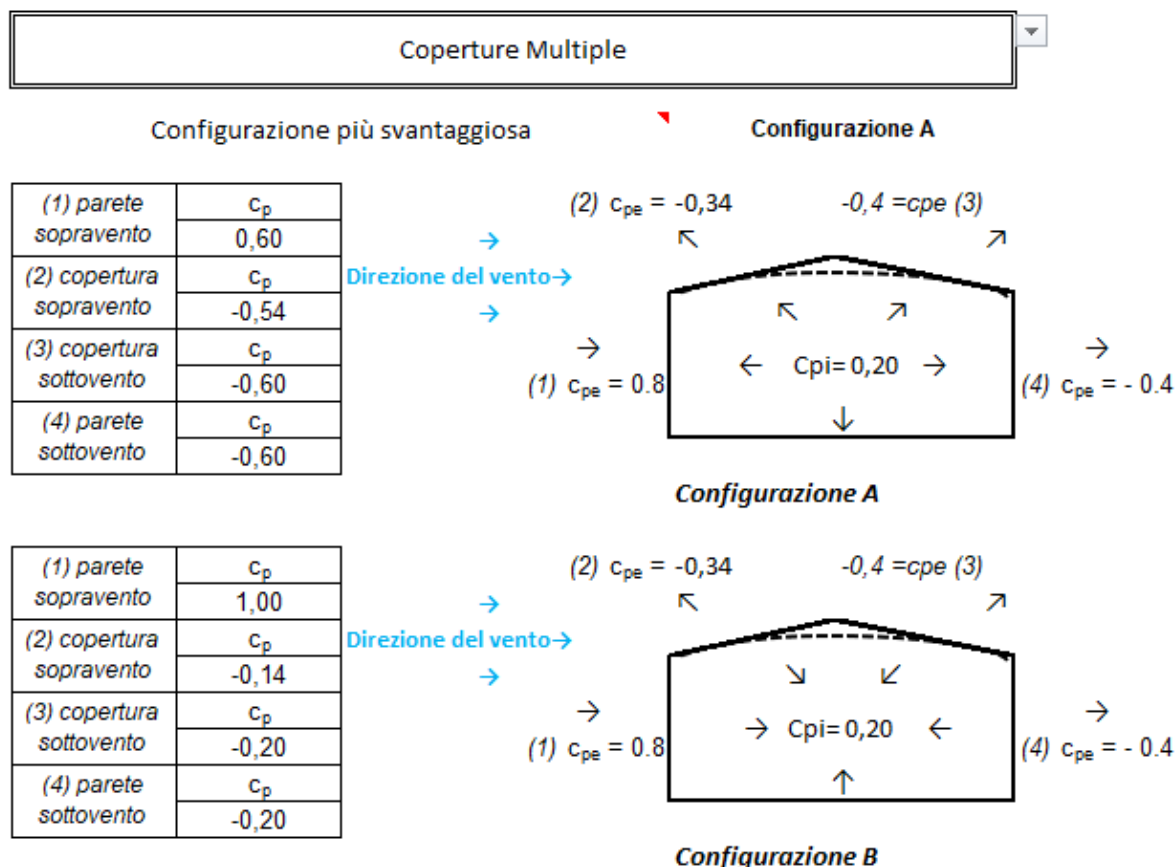
Ce: coefficiente di esposizione (funzione di z, z0 e Ct);

z: altezza sul suolo.

Cp	Cd	Ct	Ce	z
1,00	1,00	1,00	1,63	6,53 m

Pressione del vento

$p = q_r C_e C_p C_d = 74$ daN/mq



Per la prima copertura investita dal vento valgono i coefficienti ricavati sopra, per la seconda copertura si applica una riduzione del 25% per lo spiovente sopravvento mentre per l'altro sottovento si lascia il valore ricavato sopra; per le altre coperture ad entrambi gli spioventi si applica una riduzione del 25%; Oppure si applicano al primo e all'ultimo spiovente le pressioni valutate come sopra e sulla superficie proiettata in piano di tutte le parti del tetto, un'azione superficiale di tipo tangenziale il cui valore unitario è assunto convenzionalmente pari a $q_{tan}=0,10 \text{ qref ce}$

$q_{tan}= 74,57 \text{ [N/m}^2\text{]}$

Pertanto si ottiene:

	CONFIGURAZIONE A								CONFIGURAZIONE B							
	DIREZIONE X								DIREZIONE X							
	parete sopravvento	prima falda	seconda falda	terza falda	quarta falda	quinta falda	sesta falda	parete sottovento	parete sopravvento	prima falda	seconda falda	terza falda	quarta falda	quinta falda	sesta falda	parete sottovento
interasse profili [m]	2,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	2,07	2,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	2,07
Cpe	0,6	0,54	0,6	0,41	0,6	0,41	0,45	0,6	1	0,14	0,2	0,11	0,2	0,11	0,15	0,2
carico lineare inclinato [daN/m]		43	48	32	48	32	36			11	16	8	16	8	12	
carico lineare verticale [daN/m]		40	44	30	44	30	33			10	15	8	15	8	11	
carico lineare orizzontale [daN/m]	92	16	18	12	18	12	13	92	153	4	6	3	6	3	4	31
	CONFIGURAZIONE A								CONFIGURAZIONE B							
	DIREZIONE Y								DIREZIONE Y							
	parete sopravvento	falda tutte						parete sottovento	parete sopravvento	falda tutte						parete sottovento
interasse profili [m]	2,07	1,07						2,07	2,07	1,07						2,07
Cpe	0,6	1,147						0,6	1	0,747						0,2
carico lineare inclinato [daN/m]		91								59						
carico lineare verticale [daN/m]		84								55						
carico lineare orizzontale [daN/m]	92	34						92	153	22						31

Data la geometria dell'opera simile ad un triangolo, le suddette azioni vengono imposte nel modello di calcolo soltanto nella direzione positiva che impatta sui lati ortogonali di maggior sviluppo.

Le azioni tangenziali del vento risultano del tutto trascurabili considerando anche la superficie vetrata.

5.7 AZIONE TERMICA

TEMPERATURA DELL'ARIA ESTERNA

Le temperature esterne, $T_{\max}$ (massima estiva) e $T_{\min}$ (minima invernale), sono calcolate secondo le seguenti espressioni riferite alla zona climatica:

$$T_{\min} = -8 - 6 \text{ as} / 1000 \quad (\text{NTC 3.5.3})$$

$$T_{\max} = 42 - 2 \text{ as} / 1000 \quad (\text{NTC 3.5.4})$$

dove as è l'altitudine di riferimento

Zona	as	$T_{\min}$	$T_{\max}$
II	19 m	-8,11 °C	41,96 °C

Nel caso in cui la temperatura non costituisca azione fondamentale per la sicurezza o per la efficienza funzionale della struttura è consentito tener conto, per gli edifici, della sola componente ΔT_u , ricavandola direttamente dalla Tab. 3.5.II del §3.5.5 del DM 17/01/2018.

Tab. 3.5.II – Valori di ΔT_u per gli edifici

Tipo di struttura	ΔT_u
Strutture in c.a. e c.a.p. esposte	± 15 °C
Strutture in c.a. e c.a.p. protette	± 10 °C
Strutture in acciaio esposte	± 25 °C
Strutture in acciaio protette	± 15 °C

In questo caso, essendo la struttura realizzata principalmente in acciaio esposto il Δt_u vale ± 25 .

5.8 COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Nel rispetto delle indicazioni contenute nella Circolare al DM 17/01/2018, le combinazioni di carico sono elencate nel fascicolo di calcolo del modello agli elementi finiti, per quanto riguarda la parte calcolata con il software di calcolo, e direttamente nella relazione di calcolo, per quanto riguarda le verifiche condotte con l'ausilio di semplici fogli di lavoro.

Si precisa che, essendo l'opera esistente ed in classe d'uso non IV, vengono prese in considerazione soltanto le verifiche SLU come indicato al §8.3 delle NTC18.

6 ANALISI SVILUPPATA

Nell'eseguire l'analisi è stata rispettata la procedura prevista della normativa per gli edifici esistenti.

6.1 RELAZIONE STORICO ARTISTICA

Si riporta di seguito quanto riportato nella relazione storica di vincolo eseguita per l'orto botanico protocollata SR-TOS 14/03/2022 CO.RE.PA.CU. DECRETO 45.

DESCRIZIONE MORFOLOGICA

L'Orto botanico di Lucca si estende per circa due ettari nel settore sud-orientale della città di Lucca, tra il complesso di San Michele e i giardini dei palazzi costruiti in epoca napoleonica sulla via Elisa (Palazzo Froussard) a nord, le mura urbane a sud-est, la via di San Michele e la Scesa del Baluardo San Regolo a ovest, formando una sorta di cuneo con apice a oriente. Il muro settentrionale al confine

con il complesso di San Micheletto è costituito da ampi resti delle mura trecentesche della città erette per difendere i borghi a est di Lucca esclusi dal circuito difensivo del XIII secolo.

Fondato nel 1820 in località la Piaggia Romana, un terreno incolto, dove nel XVII secolo vi si praticava il gioco del pallone, oggi presenta una topografia in gran parte pianeggiante (circa 16 m s.l.m.), frutto di riempiimenti e risistemazioni effettuate nel corso dei primi lavori di costruzione del giardino. In origine il terreno presentava sinuosità e impaludamenti, come descritto in alcuni documenti afferenti al fondo Liceo Reale e Pubblica Istruzione conservato all'Archivio di Stato di Lucca.

Interamente confinato da muri realizzati nell'epoca della fondazione (1820-1823) con il materiale di risulta della distruzione della chiesa di San Giorgio alle Carceri, vi si accede tramite due importanti cancelli. Quello ottocentesco è posto in Via San Micheletto, porta in alto uno stemma ovale troncato della città ed è corredato in alto da una pergamena con la scritta Giardino Botanico. I due pilastri quadrati in pietra arenaria sono sormontati da leoni novecenteschi in terracotta. Internamente portano bassorilievi originali, anch'essi in terracotta, che raffigurano un tirso con edera. L'altro ingresso, più recente e attualmente utilizzato per l'accesso dei visitatori all'Orto, è stato realizzato nel 1923 lungo la Scesa del Baluardo San Regolo.

Mantiene gran parte dell'assetto planimetrico del periodo ottocentesco quando erano già delineati la montagnola presso la casermetta, il laghetto al vertice orientale e quei riquadri un tempo dedicati alle collezioni sistematiche (4 parterre dedicati scuola botanica, ovvero a quelle collezioni ordinate secondo i Botanici Sistemi), trasformati, ampliati e destinati all'arboreto nel corso del XX sec. Oggi come allora si distinguono chiaramente due principali settori a diversa destinazione.

La porzione meridionale è occupata dall'arboreto e si suddivide in grandi riquadri erbosi percorsi da vialetti in ghiaia. L'arboreto ospita più di duecento specie tra alberi e arbusti. Alcuni di essi, messi a dimora nel XIX sec., sono davvero ragguardevoli per età e dimensioni, tanto che ne è stato recentemente richiesto il riconoscimento della monumentalità. Merita ricordare il monumentale cedro del Libano (introdotto nel 1820), che sorge nel primo prato a nord del cancello antico, le sequoie che sveltano oltre 35 metri, antiche magnolie sempreverdi, un possente pino strobo, il pino laricio e un grande abete del Caucaso. La presenza delle conifere è molto marcata anche da introduzioni più recenti. A confine con le Mura, si delinea una lunga aiuola destinata alla collezione di rododendri e camelie, raccolta realizzata a partire dagli anni 80 del secolo scorso.

Il viale principale, che stacca dal cancello ottocentesco a ovest, divide simmetricamente l'arboreto e conduce al laghetto popolato di ninfee e contraddistinto da due significativi alberi propri delle paludi americane: i tassodi o cipressi calvi. Presente fin dalle origini come idrofitorio, si presentava al tempo come un ampliamento di un antico fossato, successivamente tombato. Più recentemente è stato affiancato da un minuscolo specchio d'acqua dove è stata ricreata una torbiera destinata a ospitare le specie igrofile rare e a rischio di estinzione presenti nelle zone umide della Toscana settentrionale.

La montagnola, ombreggiata da annosi lecci, sovrasta l'arboreto a sud-ovest. È un piccolo rilievo percorso da un sentiero elicoidale, un tempo in terra, è stata poi ampliata con grossi massi in pietra funzionali a ricreare gli ambienti rupestri delle vicine montagne.

Il settore settentrionale, un ampio spazio trapezoidale, dedicato fin dai primi anni a vivaio per la coltivazione e vendita delle piante, è oggi chiamato Scuola botanica. Si separa dall'arboreto attraverso una cancellata in lamiera stirata realizzata nel 1923 e vi si accede attraverso due varchi di cui si sono perduti i cancelli originali. Qui si affacciano le serre antiche mentre quelle moderne ne segnano il confine orientale e vi radicano alberi imponenti e vetusti come il Ginkgo biloba, il falso canforo, il tiglio pendulo e annose Cycas revoluta.

Oltre all'esposizione estiva delle numerose piante tropicali e subtropicali in vaso, ricoverate in inverno nelle serre, la scuola botanica ospita una collezione permanente di specie medicinali indicata spesso come Hortus sanitatis. La raccolta occupa grandi spazi circoscritti da cordoli in pietra scalpellata, suddivisi recentemente in numerose parcelle ciascuna dedicata all'ostensione di una delle oltre 300 piante scelte.

Le prime architetture all'interno del giardino sono le cosiddette "serre antiche": un fabbricato a pianta rettangolare allungato da est a ovest e addossato al muro settentrionale di confine con il complesso monastico. Trattasi di un edificio in muratura della superficie di circa 350 mq e altezza media di 5 m

con ampie facciate in vetro che verso sud si affacciano sul giardino. Furono realizzate nel 1826 grazie ai proventi derivanti dall'attività vivaistica. Il prospetto è caratterizzato da una trabeazione nella parte superiore e da una serie di paraste in laterizio poste a distanza regolare con basi e capitelli in pietra di forma semplice. I padiglioni più orientali sono adibiti all'ostensione, come in origine, della collezione di piante succulente.

Dai locali più occidentali, Cesare Bicchi, alla guida dell'orto dal 1860 al 1906, ricavò alcune stanze per la biblioteca, per il gabinetto del direttore, per l'erbario. Questi spazi, seppur rivisti, oggi sono dedicati alla sezione museale dell'Orto chiamata Museo botanico 'Cesare Bicchi'. Si affacciano sul giardino attraverso quattro grandi porte-finestre ad arco a tutto sesto, sorretti da lesene poco sporgenti realizzate con materiale lapideo locale (pietra di Guamo, pietra di Matraia). Il Museo custodisce importanti collezioni di exsiccati del XIX e XVIII sec. (Erbari di B. Puccinelli, Erbario particolare di Cesare Bicchi, Erbario Nicolai, ecc.), un fondo bibliotecario antico, una xiloteca, una raccolta ottocentesca di modelli carpologici appartenuta a Carlo Ludovico di Borbone e altro ancora.

Alla fine degli anni 90, a persecuzione delle antiche serre viene realizzato un nuovo edificio lineare con intelaiatura metallica e vetro anch'esso a confine con il Complesso di San Micheletto. Nei primi anni del XXI sec., sono invece completate le serre moderne più ampie e trapezoidali (circa 300 mq) che rompono la linearità delle precedenti. Interamente realizzate in ferro e vetro riprendono lo stile del corpo più antico attraverso l'involucro in muratura che avvolge i prospetti secondari dove pilastri con basi e capitelli di forma semplice sostengono una trabeazione simile a quella preesistente. Mediante una scala che gira intorno ad un prospetto laterale è possibile salire sulla passerella metallica che consente consentendo una vista insolita del giardino e con le Mura a sud. Su tre lati, l'edificio è schermato da un loggiato aperto scandito da alti pilastri che dialogano con le serre ottocentesche e al tempo stesso sorreggono un camminamento sopraelevato. Le serre sono funzionali al ricovero invernale di numerose piante tropicali e subtropicali coltivate in vaso traslocate ogni primavera all'esterno: grandi esemplari di Ficus, palme, aracee e numerose apocinacee, di cui si ricorda una cospicua raccolta di frangipani (Plumeria sp.pl.). Presenti anche numerose piante esotiche da frutto di cui un avocado, un mango, un tamarindo, un banano, una papaya e una carambola trovano fissa dimora in 6 aiuole quadrangolari interne.

Fin dall'origine, sono pertinenze del giardino la Casermetta San Regolo, il sottostante sotterraneo e le relative cannoniere, facenti parte del complesso monumentale delle Mura urbane. Proprio in prossimità dell'ingresso al sotterraneo, nel corso del 1900 viene pensato un nuovo accesso all'Orto che si aprirà nel 1923 lungo il muro di recinzione sulla scesa del Baluardo S. Regolo (detta "di Piaggia") con lo scopo di favorire il pubblico passeggio delle Mura anche nel giardino. Il parco, già legato fisicamente e funzionalmente alla passeggiata soprastante, diventa un vero e proprio continuum della stessa. Negli ultimi anni sono stati effettuati interventi di restauro della Casermetta e per migliorare l'accessibilità ai diversamente abili (percorso sensoriale per ipovedenti e camminamento in legno dall'ingresso alla zona del laghetto, ascensore).

DESCRIZIONE STORICA

Nato come Orto accademico, oggi è un istituto culturale e museale del Comune di Lucca, rivolto alla salvaguardia del patrimonio storico, scientifico e naturalistico presente, alla diffusione della conoscenza delle piante, alla conservazione della diversità vegetale. Accanto alle collezioni viventi o Hortus vivus, esistono raccolte scientifiche e reperti naturalistici che fanno capo al piccolo ma prezioso Museo botanico 'Cesare Bicchi'. Gli erbari (Horti sicci) ottocenteschi, ne rappresentano la parte più consistente. La sua storia affonda le radici nel XIX secolo, quando Lucca, che era stata a lungo una repubblica indipendente, nel 1805 entra a far parte del Principato di Lucca e Piombino, creato e assegnato da Napoleone alla sorella Elisa e al marito Felice Baciocchi, per divenire Ducato ridisegnato dal Congresso di Vienna (1815) per i Borbone-Parma. Si inizia a parlare di stabilire un Orto botanico cittadino durante il Principato Baciocchi, quando tra il 1813-1814, il Comitato di incoraggiamento dell'agricoltura, arti e commercio e la Facoltà Medica avanzano la proposta di realizzare un giardino dove coltivare le tante erbe botaniche di cui è fertile la Lucchesia e che sono di un grande uso nella medicina. Il progetto approvato da S.A.I. Elisa Baciocchi nel febbraio 1814, rimane sospeso: la sovrana, con la sconfitta di Napoleone a Lipsia e l'arrivo delle truppe inglesi, fugge per sempre dai suoi domini nel marzo successivo. A Elisa, che governò in nome del marito con tenacia e modernità, si devono importanti interventi urbanistici, che tengono per la prima volta conto di ciò che oggi chiamiamo verde pubblico urbano. Dimostrò grande interesse per l'innovazione e la

sperimentazione in agricoltura e a lei si deve l'arrivo, dai giardini della Reggia di Caserta e di Capodimonte, di numerose specie esotiche, ornamentali, rare e poco conosciute che trasformarono il giardino geometrico della Villa Reale di Marlia, sulle colline a nord della città, in un suggestivo parco di paesaggio.

Maria Luisa di Borbone, Infanta di Spagna, si insediò in città nel 1817 e resse in nome del figlio Carlo Ludovico fino al 1824, quando morì. Convinta che lo Stato dovesse investire nell'istruzione e nella formazione dei propri giovani, nel luglio del 1819, fondò il Liceo Reale, la gloriosa università lucchese che per un trentennio formò autorevoli personalità. Il Real Liceo dedicato alla Legge, alla Medicina e alla Chirurgia, alla Matematica e alla Fisica, fu presto dotato di un Gabinetto di Fisica, un Teatro Anatomico e un Gabinetto di Storia naturale. L'Osservatorio astronomico La Specola all'interno del parco della Villa Reale rimase incompiuto, ma si fondò un vero e proprio Orto botanico. Il giovane lucchese Paolino Volpi, laureatosi poco prima in Medicina a Pisa fu nominato per la cattedra di Botanica. Il Volpi è un personaggio chiave nella nascita dell'Orto, prima dell'inizio dei corsi previsti a novembre del 1819, è coinvolto dal Conte Orsetti - Direttore d'Ateneo - nella progettazione di una Scuola botanica dove, dalla primavera di ogni anno, si dovevano tenere lezioni pratiche sulle piante. La fondazione dell'Orto si fa risalire al 1820, quando il 23 maggio Maria Luisa accordò all'Ateneo, la Piaggia Romana, un vasto appezzamento a prato dalla forma irregolare, al tempo in affitto alla Fabbrica della Lana, compreso tra le mura urbane a sud-est e il Monastero di San Micheletto a nord, e la via omonima a ovest. Con la retrocessione del contratto di locazione, il 13 giugno 1820, il terreno fu consegnato al Liceo Reale affinché potesse realizzarvi un Orto botanico.

I lavori non iniziarono subito, bensì nel 1822, questo per evidenti problemi economici perché il Liceo non aveva un budget tale da potersi permettere di realizzare un nuovo stabilimento. Si delineano così i settori e le principali destinazioni: nel settore meridionale, oggi occupato dall'Arboreto, si realizzano quattro grandi parterre circondanti da siepi destinati ai Botanici Sistemi, i viali in ghiaia, una serie di aiuole più irregolari popolate da alberi. Nel cuneo orientale, dove all'epoca scorreva un fossato da ponente a oriente (in seguito tombato), c'è uno specchio d'acqua destinato a idrofitorio, che nel tempo sarà ingrandito.

*Presso la Casermetta San Regolo, viene realizzata una montagnola con un percorso elicoidale. Tutta l'area viene circondata da muri, e l'ingresso principale con un ampio cancello, si apre sulla Via San Micheletto. L'Archivio di stato di Lucca, nel fondo del Liceo Reale e Pubblica Istruzione conserva alcune carte e bozze progettuali legate alla fondazione dell'Orto. Per le prime collezioni, la Sovrana autorizzò il prelievo di piante e arbusti che si trovavano nei pubblici vivai e nel parco di Villa Reale realizzato per volere di Elisa Bonaparte. Da qui provennero oltre 100 specie come il liriodendro (*Liriodendron tulipifera*), la magnolia sempreverde (*Magnolia grandiflora*), la catalpa (*Catalpa bignonioides*), il liquidambar (*Liquidambar styraciflua*), diversi ibischi (*Hibiscus*), rododendri (*Rhododendron maximum*) e le camelie (*Camellia japonica*). Piante e semi arrivarono dall'Orto botanico di Pisa e dai vivai Burdin di Chambéry (Savoia). Al 1822, risale l'introduzione del Cedro del Libano (*Cedrus libani*) che oggi con la sua maestosità domina il giardino, forse l'unico sopravvissuto dei tanti alberelli seminati, tra il 1814 e il 1818, dal prof. Gaetano Savi, tutti figli del Cedro dell'Orto botanico di Pisa, qui introdotto nel 1787 e morto nel 1935.*

I lavori più impegnativi si conclusero nel 1823 e all'Orto furono annesse strutture e edifici della cinta muraria: il sotterraneo del Baluardo San Regolo, le due cannoniere laterali per la pipiniera, la Casermetta San Regolo come aula. Da quell'anno ebbero finalmente inizio le esercitazioni del Prof. Volpi, seguite con grande entusiasmo dagli studenti del Liceo. La Casermetta resterà a servizio delle lezioni di Botanica fino al 1867.

Per ragioni economiche, la parte settentrionale del giardino, oggi occupata dall' Hortus sanitatis, e dall'esposizione estiva delle piante tropicali, fu presto destinata a vivaio, dove coltivare e vendere piante al pubblico: vi si potevano acquistare alberi, arbusti, erbacee, varietà ornamentali e fruttifere fino allora sconosciuti a livello locale. Grazie ai notevoli introiti, nel 1826 si realizzò la prima serra riscaldata che ancor oggi, si affaccia nel settore nord del giardino a confine con il Complesso di San Micheletto.

Nel 1833, al Volpi, succede l'allievo e neolaureato in Medicina, Benedetto Puccinelli che si dedicò con passione e metodo all'insegnamento, alla direzione dell'Orto, alla ricerca di campo, all'erborizzazione. Ci lascia un'importante opera edita sulla flora della Lucchesia a cui corrisponde una ricca collezione

d'erbario perfettamente conservata. Tra i suoi manoscritti, quello sui funghi indigeni, corredato di raffinate tavole iconografiche, oggi conservate tra i materiali della biblioteca, è stato pubblicato postumo solo nel XXI sec.

Dell'assetto planimetrico dell'epoca, si ha una buona rappresentazione nella Tavola Sesta della Mappa del Quinto circondario risalente al 1838, conservata all'Archivio di Stato di Lucca nel fondo Catasto Nuovo.

Nel 1843, l'Orto fu sede dell'adunanza dei Botanici Italiani convenuti a Lucca per la V Unione degli Scienziati Italiani, come ricorda una maiolica ovale apposta sul facciata interna della Casermetta San Regolo.

La reversione del Ducato di Lucca al Granducato di Toscana, nel 1847, segna l'inizio dello smantellamento dell'Ateneo lucchese fino alla sua totale trasformazione nel Liceo classico 'Machiavelli' dopo l'Unità d'Italia. Anche le sorti dell'Orto vacillano, inoltre le entrate del vivaio si sono assai ridotte.

Puccinelli muore nel 1850 e diviene prefetto Attilio Tassi, naturalista pisano, che consolida i rapporti e gli scambi con molti orti italiani e esteri. Chiamato nel 1860 all'Ateneo di Siena, la direzione dell'Orto passa a Cesare Bicchi, medico e botanico, allievo prediletto del Puccinelli. Professore, prima di Botanica alla Scuola di Farmacia dismessa intorno al 1870 poi di Storia naturale al Liceo e Ginnasio, rimarrà alla guida dell'Orto per oltre 40 anni, assistendo al graduale e completo affrancamento dell'istituto da qualsiasi organismo scolastico. L'Orto, ormai di proprietà demaniale, dal 1868, è sostenuto finanziariamente dal Comune di Lucca, che ne acquisisce il possesso solo nel 1903.

Al Bicchi si deve gran parte dell'assetto attuale con l'ampliamento del laghetto e dell'arboreto e si attribuisce l'introduzione di alberi ora maestosi come il Ginkgo biloba, i cipressi calvi di palude e altre gimnosperme. Con l'accrescimento delle collezioni scientifiche, trasformò alcuni locali adiacenti alle Serre destinandoli a Biblioteca, l'Erbario, la Scuola e il Gabinetto del Direttore. Bicchi rivestì importanti ruoli istituzionali, tra questi merita ricordare quello di "deputato del pubblico passaggio delle mura" occupandosi direttamente della progettazione delle alberature e dell'introduzione specie e varietà arboree.

Con la sua morte nel 1906, inizia un lungo periodo di incertezza e depauperamento delle collezioni, esacerbato dalle due guerre. A periodi alterni, quello che era l'Orto vero e proprio diviene parco aperto annesso al pubblico passeggio della Mura, luogo di svago e diletto. Per favorire la promenade, nel 1923 viene aperta una nuova entrata che si affaccia sulla Scesa del Baluardo San Regolo e realizzata una rampa per accedere all'Orto. Contemporaneamente, tramite una cancellata in lamiera stirata, il settore meridionale adibito al pubblico passeggio è separato da quello settentrionale, adibito a vivaio. Mentre le attività scientifiche e didattiche scemano, prendono il sopravvento l'attività vivaistica e la floricoltura. Così negli anni 30 viene installata una serra in metallo e vetri, sostituita successivamente con manufatti più efficienti, sempre per scopi produttivi.

Solo dagli anni 70 prende avvio una vera e propria riconsiderazione dell'origine, del ruolo, della missione dell'Orto botanico lucchese. L'amministrazione comunale non rimane indifferente ai solleciti e alle proposte scientifiche dell'Istituto di Botanica dell'Università di Pisa e nel maggio del 1974 è qui organizzata la Riunione del Gruppo di Floristica della Società Botanica Italiana.

Una svolta sostanziale si ha intorno al 1980 con l'avvio di vere e proprie attività di curatela. Con il supporto dell'Ateneo pisano, si ripristinano e realizzano ex-novo le collezioni, si riavvia l'attività dell'Index Seminum, si intensificano gli scambi con altre istituzioni e si portano avanti importanti azioni di conservazione ex-situ. Si riprendono le attività e le ricerche in campo micologico come tracciate dal Puccinelli oltre 130 anni prima.

L'Orto botanico nel 1999, passa dal settore Parchi e Giardini all'Opera delle Mura, istituzione strumentale del Comune di Lucca, finalizzata alla gestione, tutela e valorizzazione del complesso monumentale delle mura rinascimentali. A tale gestione sono riferibili la ricostruzione delle serre moderne adibite alla conservazione ostensione di piante tropicali, la ristrutturazione della Casermetta San Regolo, il riordino e restauro della biblioteca e degli erbari, nonché l'avvio di importanti progetti per implementare e valorizzare la vocazione scientifica e didattica dell'istituzione.

Nel 2019, alle soglie del Bicentenario, l'Orto rientra sotto il controllo diretto dell'amministrazione comunale, che lo affida all'ambito operativo culturale.

6.2 ESTRATTI VOLI AEREI



Volo 1954



Volo 1965



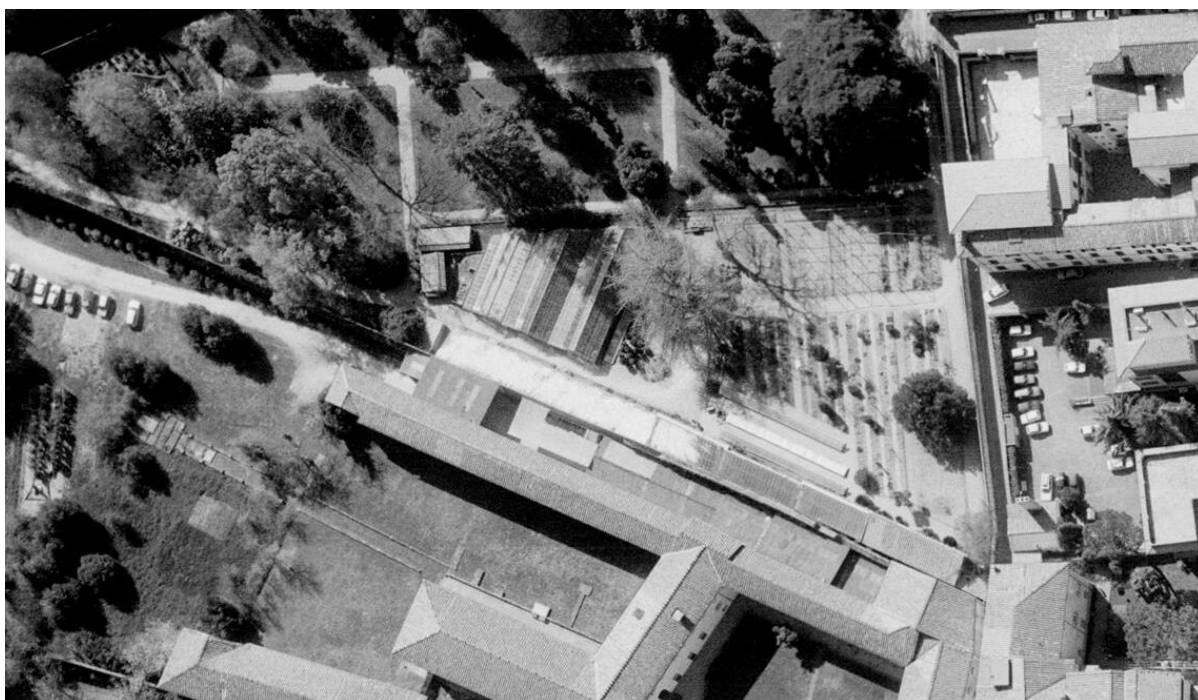
Volo 1975



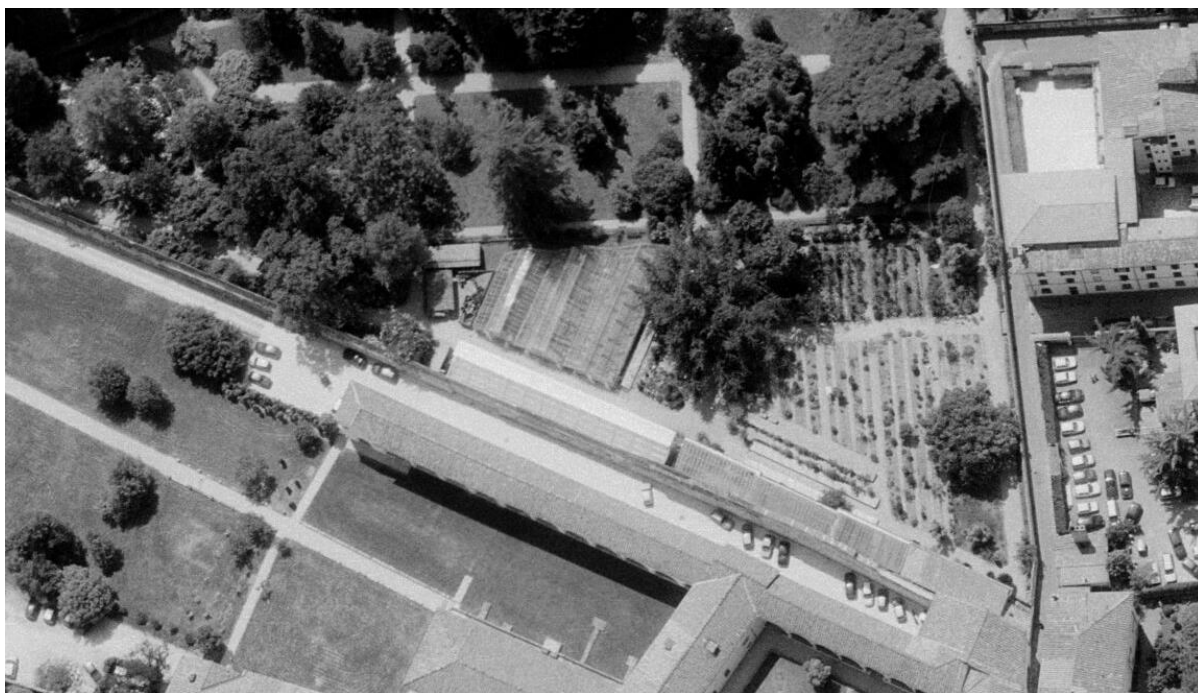
Volo 1980



Volo 1985



Volo 1994



Volo 2000



Volo 2010



Volo 2021

6.3 DATAZIONE DELLE OPERE

La volumetria delle serre moderne appare tra il 1965 e il 1975, dato verificabile tramite le foto aeree, tuttavia nei primi anni del XXI secolo, sono state demolite le ormai fatiscenti serre esistenti e sostituite con le serre moderne più ampie e trapezoidali. Interamente realizzate in ferro e vetro, riprendono lo stile del corpo più antico attraverso l'involucro in muratura che avvolge i prospetti secondari, dove pilastri con basi e capitelli di forma semplice sostengono una trabeazione simile a quella preesistente. Mediante una scala che gira intorno ad un prospetto laterale è possibile salire sulla passerella metallica che consente una vista insolita del giardino e delle Mura a sud.

Su tre lati, l'edificio è schermato da un loggiato aperto scandito da alti pilastri che dialogano con le serre ottocentesche e al tempo stesso sorreggono un camminamento sopraelevato.

Le strutture delle opere in oggetto chiamate "Nuove serre" sono opere recenti realizzate con progetto datato Febbraio 2003 dello studio associato di ingegneria e architettura Lombardi & Raimondi.

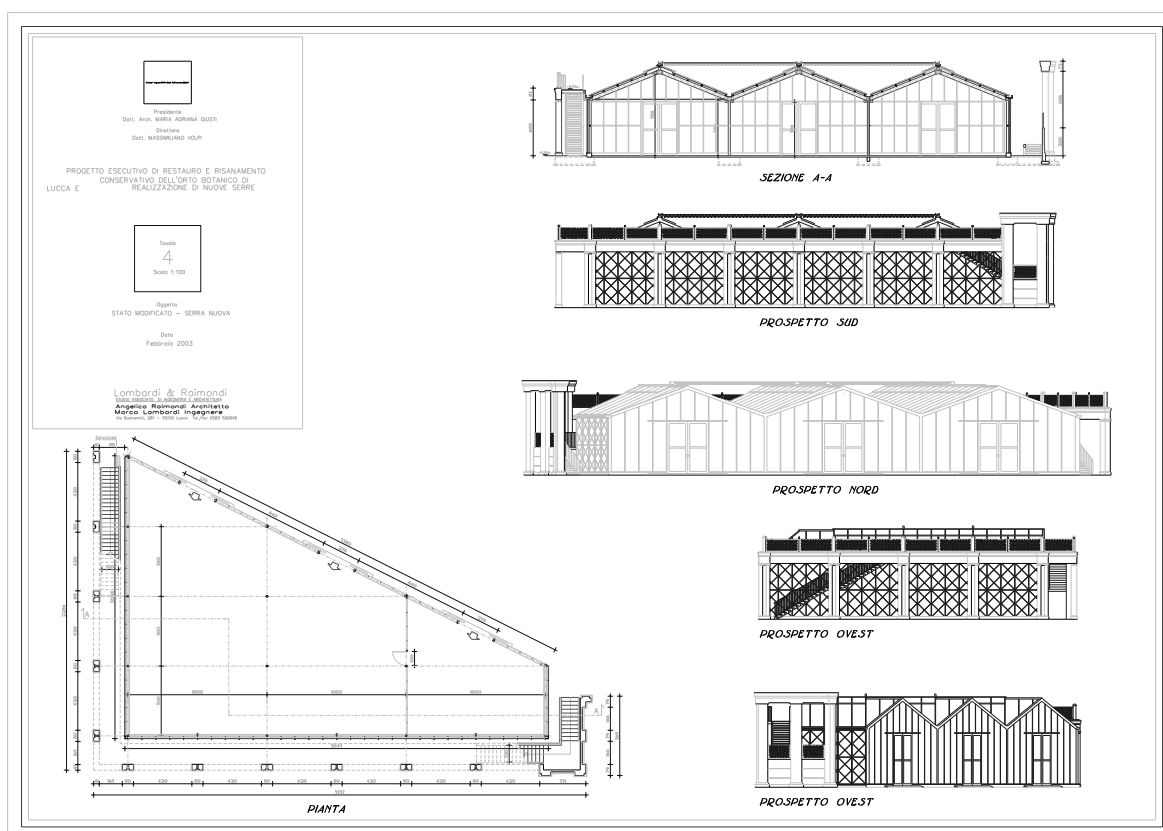
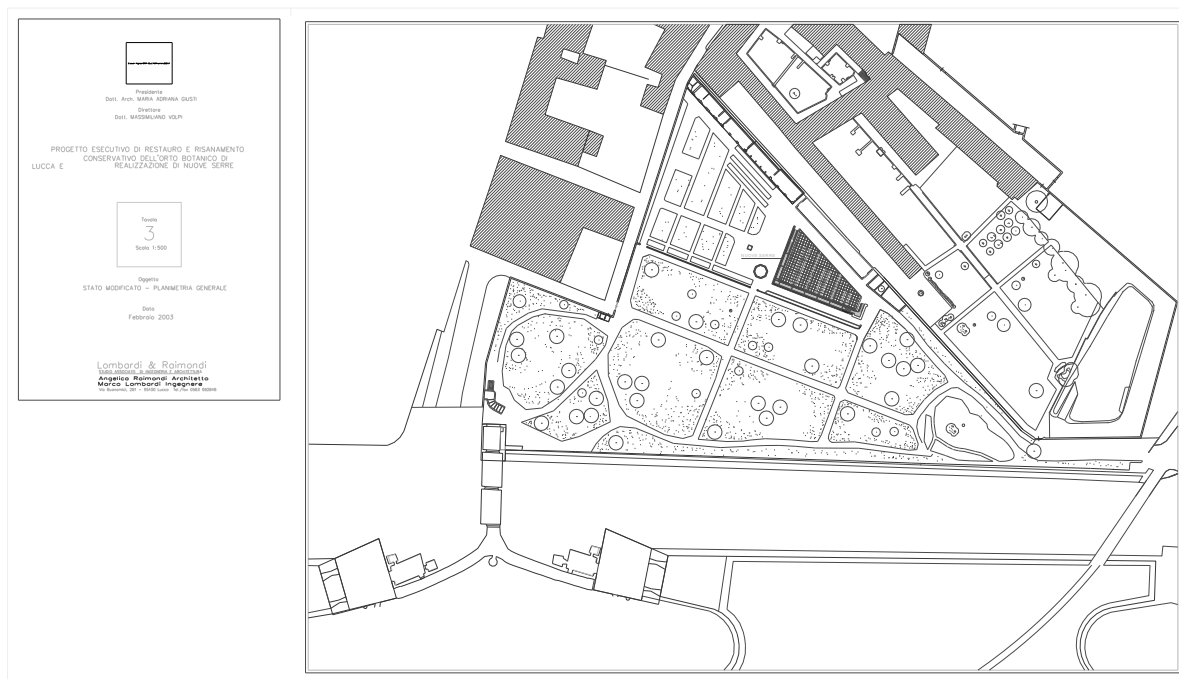
Da allora le strutture non hanno subito modifiche.

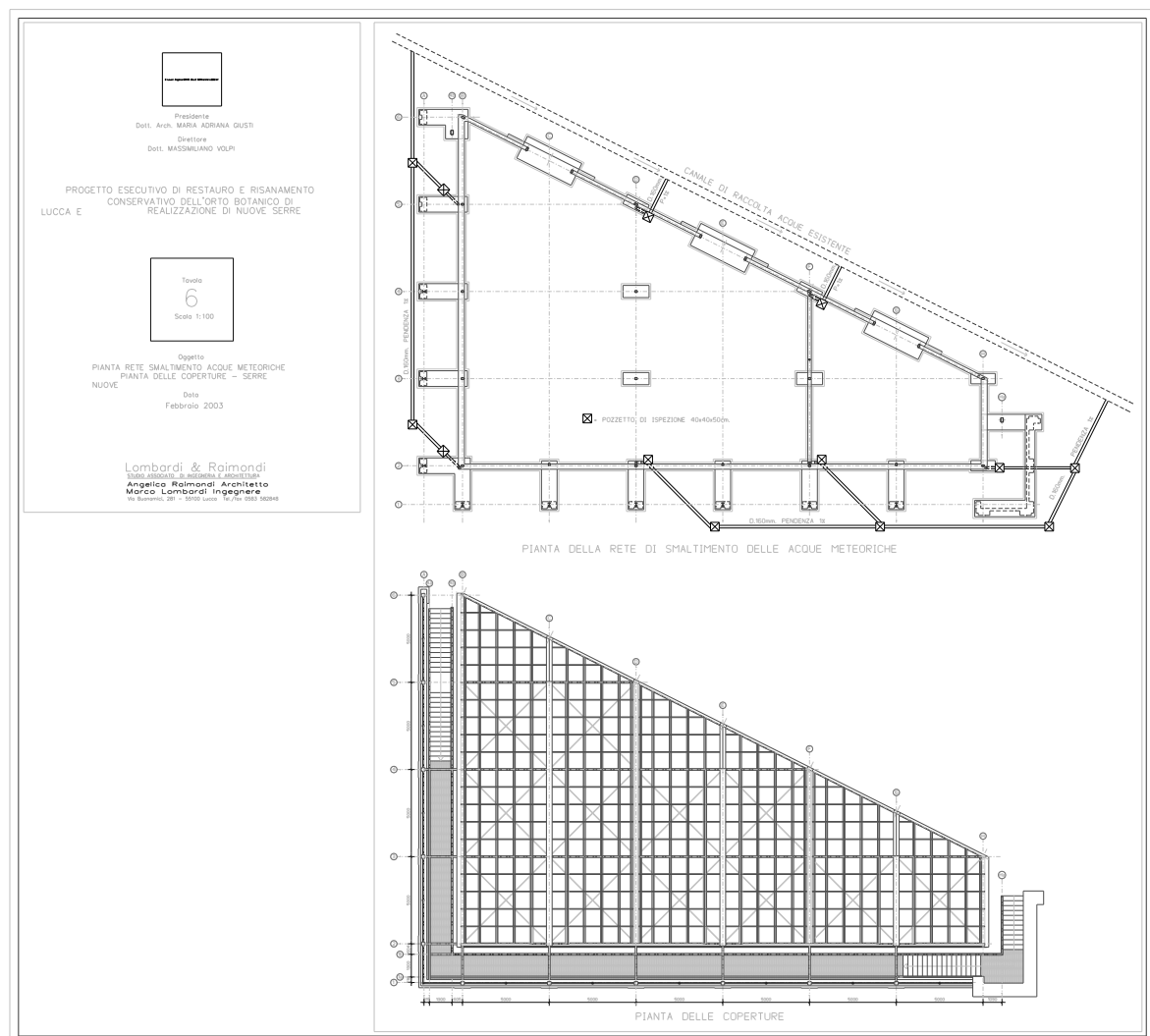
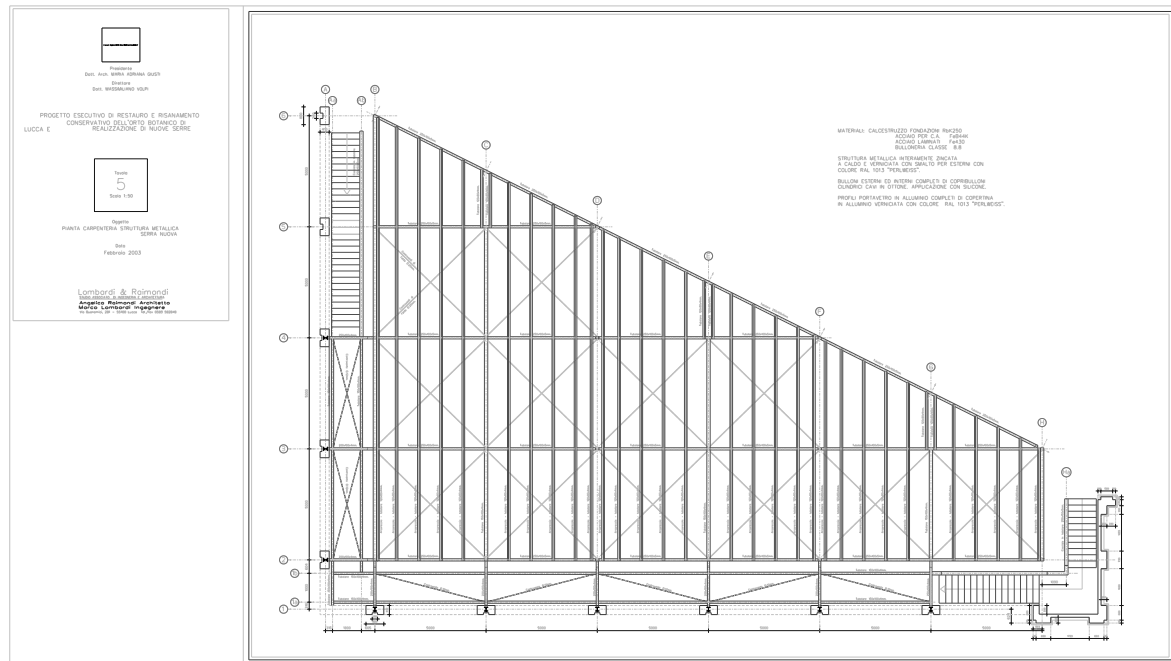
6.4 RILIEVO GEOMETRICO E DOCUMENTI ORIGINARI DI PROGETTO

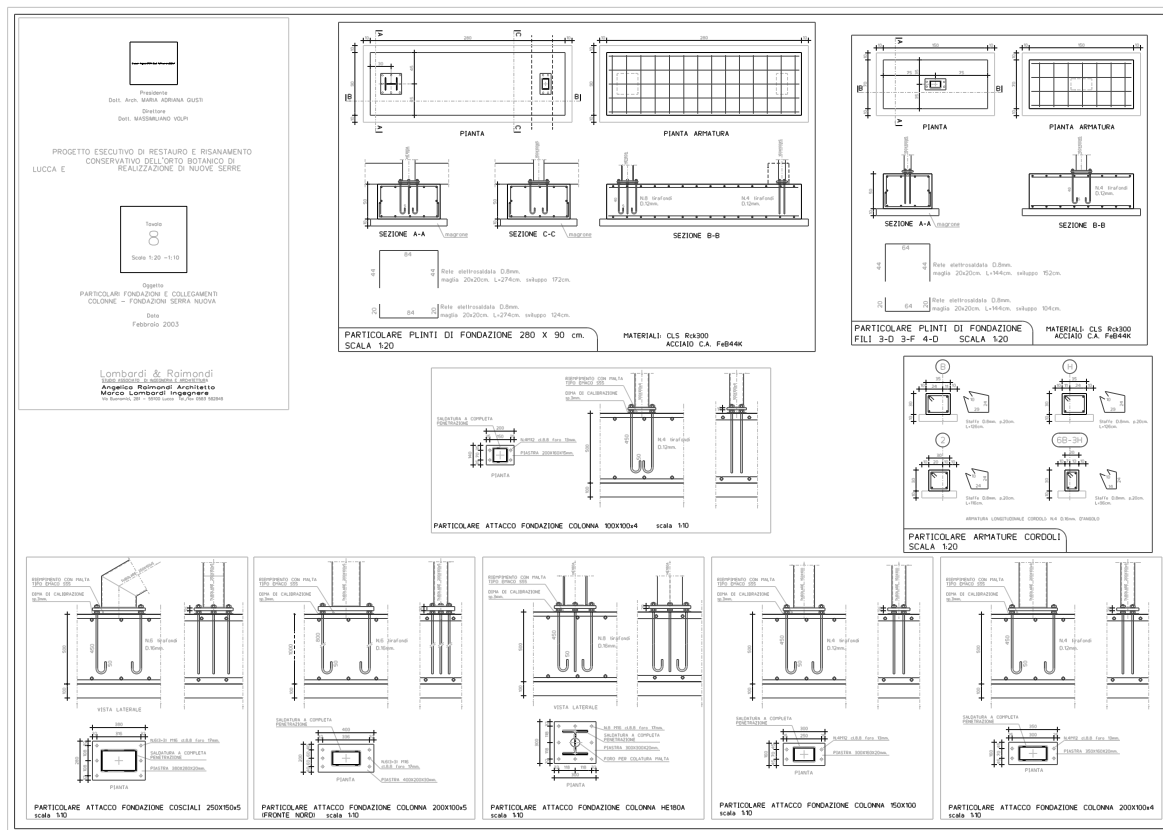
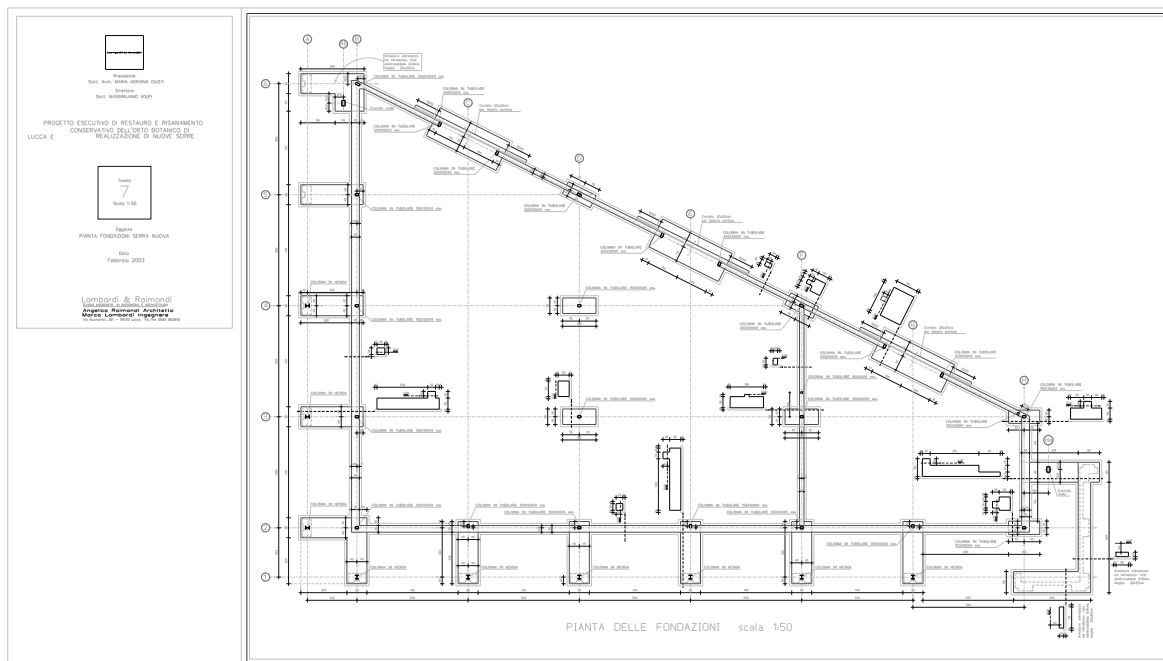
Lo sviluppo plano-altimetrico dell'opera è stato ricavato dai disegni originali completi dell'opera dove sono rappresentati e specificati tutti gli elementi costituenti le strutture. Il progetto è depositato presso l'ufficio del Genio Civile al numero 1262 del 18/07/2003.

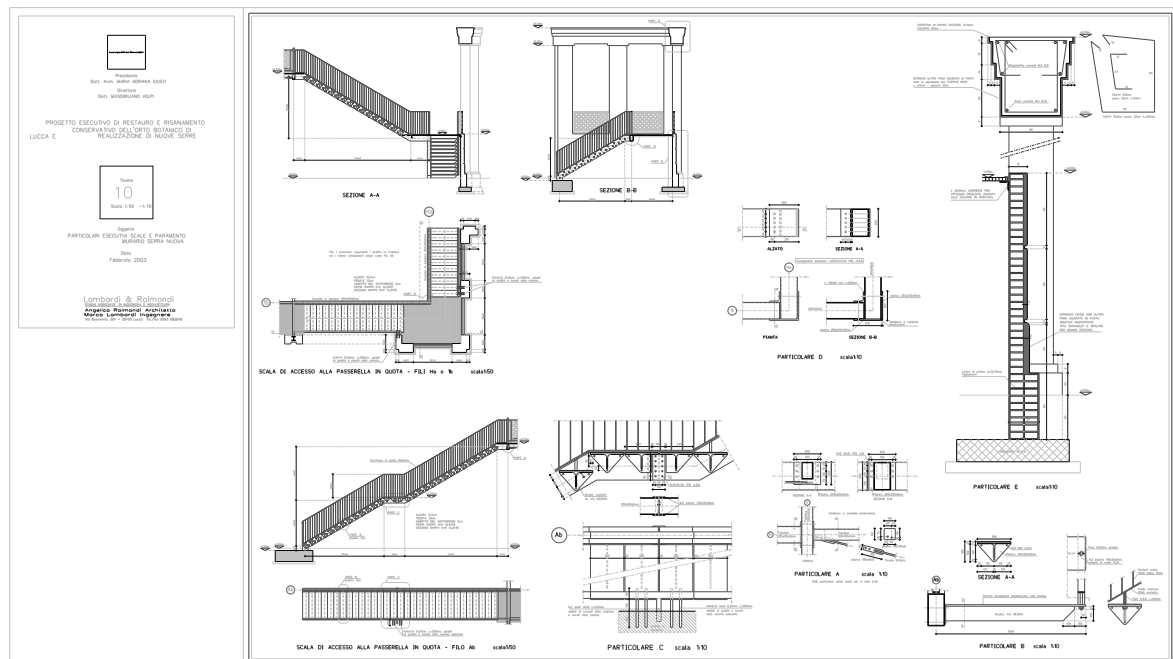
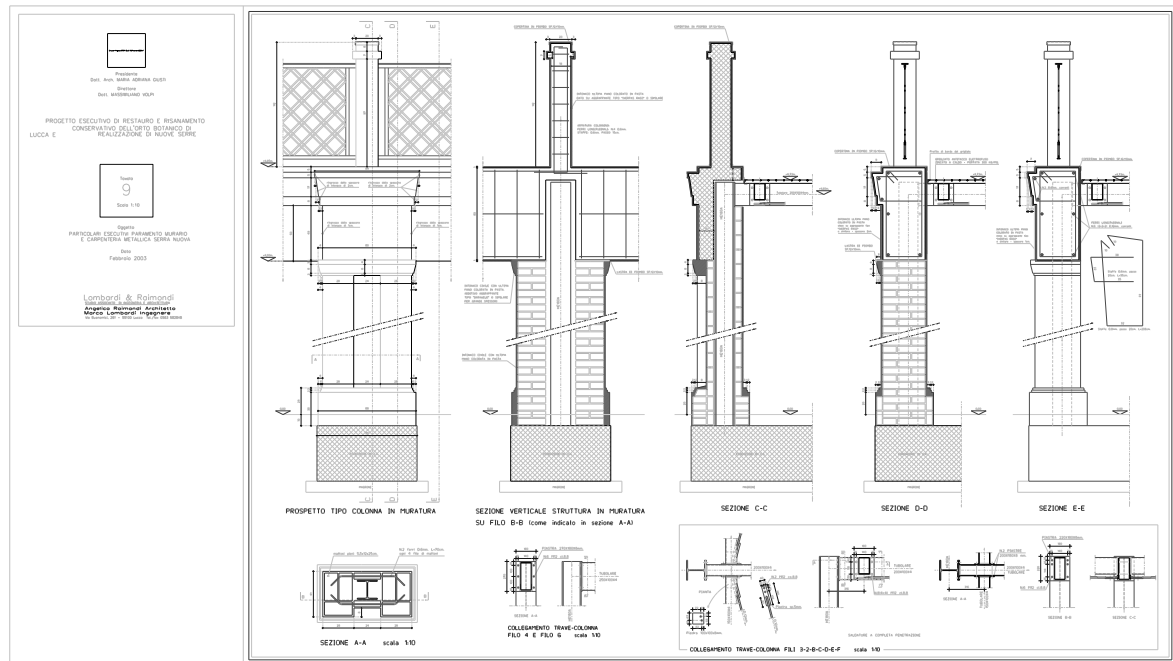
Le opere rappresentate nei disegni progettuali originali sono state riscontrate in opera.

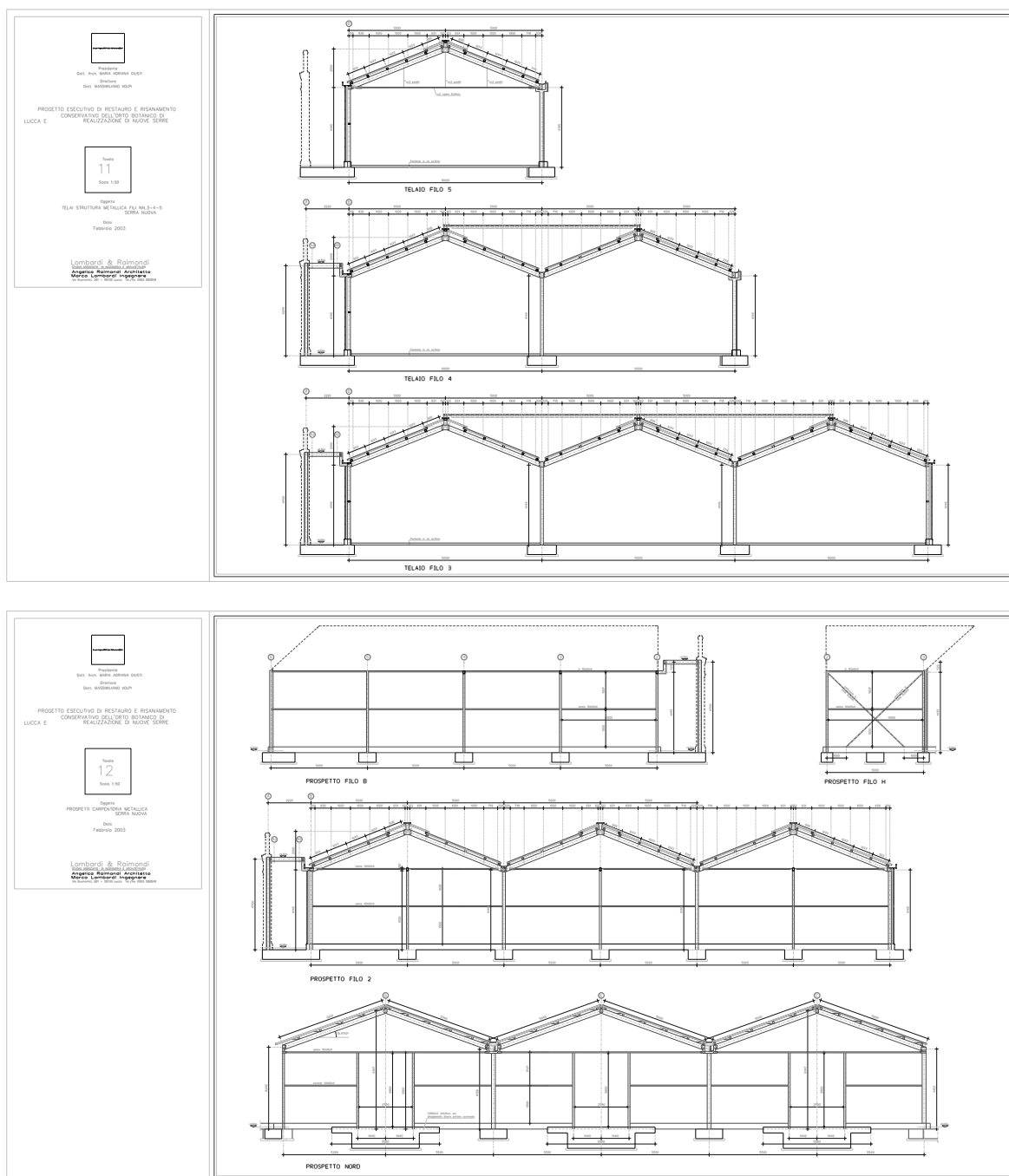
Si riportano di seguito alcune immagini del progetto originario.

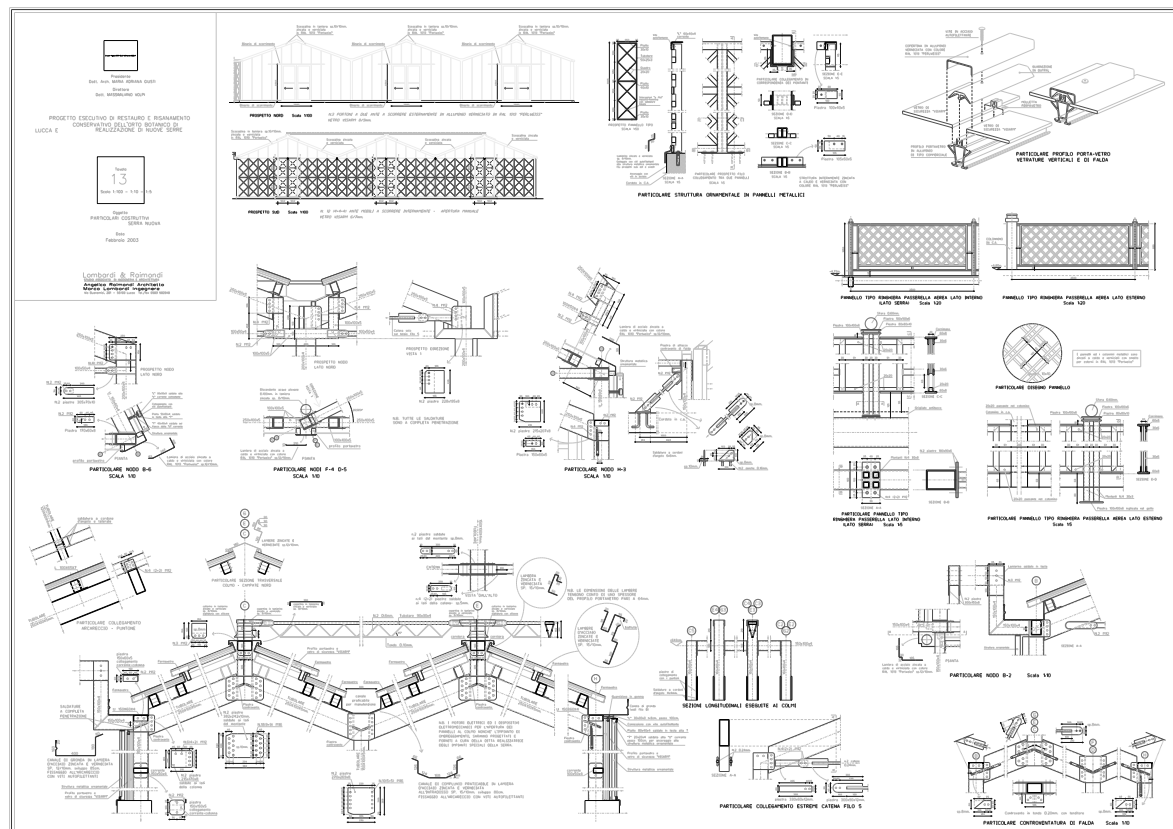












Quanto rappresentato è stato riscontrato a campione sul posto.

6.5 ELEMENTI SECONDARI

Secondo quanto riportato al par. 7.2.3 non sono presenti elementi secondari, pertanto la loro eventuale distribuzione non influenza il calcolo con incrementi delle eccentricità accidentali.

6.6 VERIFICA REGOLARITA'

REGOLARITA' DELLA SRUTTURA IN PIANTA	
la distribuzione di masse e rigidità è approssimativamente simmetrica rispetto a due direzioni ortogonali e la forma in pianta è compatta, ossia il contorno di ogni orizzontamento è convesso; il requisito può ritenersi soddisfatto, anche in presenza di rientranze in pianta, quando esse non influenzano significativamente la rigidità nel piano dell'orizzontamento e, per ogni rientranza, l'area compresa tra il perimetro dell'orizzontamento e la linea convessa circoscritta all'orizzontamento non supera il 5% dell'area dell'orizzontamento	NO
Il rapporto tra i lati di un rettangolo in cui la costruzione risulta inscritta e inferiore a 4	SI
Ciascun orizzontamento ha una rigidità nel proprio piano tanto maggiore della corrispondente rigidità degli elementi strutturali verticali da potersi assumere che la sua deformazione in pianta influenzi in modo trascurabile la distribuzione delle azioni sismiche tra questi ultimi e ha resistenza sufficiente a garantire l'efficacia di tale distribuzione	NO

REGOLARITA' DELLA SRUTTURA IN ELEVATO	
Tutti i sistemi resistenti alle azioni orizzontali si estendono per tutta l'altezza della costruzione o, se sono presenti parti aventi differenti altezze, fino alla sommità della rispettiva parte dell'edificio	SI
Massa e rigidità rimangono costanti o variano gradualmente, senza bruschi cambiamenti, dalla base alla sommità della costruzione (le variazioni di massa da un orizzontamento all'altro non superano il 25%, la rigidità non si riduce da un orizzontamento a quello sovrastante più del 30% e non aumenta più del 10%); ai fini della rigidità si possono considerare regolari in altezza strutture dotate di pareti o nuclei in c.a. o di pareti e nuclei in muratura di sezione costante sull'altezza o di telai controventati in acciaio, ai quali sia affidato almeno il 50% dell'azione sismica alla base	SI
Il rapporto tra la capacità e la domanda allo SLV non è significativamente diverso, in termini di resistenza, per orizzontamenti successivi (tale rapporto, calcolato per un generico orizzontamento, non deve differire più del 30% dall'analogo rapporto calcolato per l'orizzontamento adiacente); può fare eccezione l'ultimo orizzontamento di strutture intelaiate di almeno tre orizzontamenti	SI
Eventuali restringimenti della sezione orizzontale della costruzione avvengano con continuità da un orizzontamento al successivo; oppure avvengano in modo che il rientro di un orizzontamento non superi il 10% della dimensione corrispondente all'orizzontamento immediatamente sottostante, né il 30% della dimensione corrispondente al primo orizzontamento. Fa eccezione l'ultimo orizzontamento di costruzioni di almeno quattro orizzontamenti, per il quale non sono previste limitazioni di restringimento	SI

6.7 CAMPAGNA DI SAGGI

Per il dettaglio della campagna dei saggi eseguita si rimanda al relativo rapporto di prove e certificati.

6.8 LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA

6.8.1 LIVELLO DI CONOSCENZA DA RAGGIUNGERE LC2

- §C8.5.2.2 Indagini estese (c.a. e acciaio): si effettuano quando non sono disponibili gli elaborati progettuali originali, o come alternativa al progetto simulato seguito da indagini limitate, oppure quando gli elaborati progettuali originali risultano incompleti.
- §C8.5.3.2 Prove estese (c.a. e acciaio): prevedono prove in-situ o su campioni più numerose di quelle del caso precedente e finalizzate a fornire informazioni in assenza sia dei disegni costruttivi, sia dei certificati originali di prova o quando i valori ottenuti con le prove limitate risultino inferiori a quelli riportati nei disegni o sui certificati originali.
- §C8.5.3.2 Acciaio: la misura delle caratteristiche meccaniche si ottiene, in generale, mediante estrazione di campioni ed esecuzione di prove a trazione fino a rottura con determinazione della tensione di snervamento, della resistenza a rottura e dell'allungamento, salvo nel caso in cui siano disponibili certificati di prova conformi a quanto richiesto per le nuove costruzioni nella normativa dell'epoca di costruzione.
- §C8.5.3.2 Unioni di elementi d'acciaio: la misura delle caratteristiche meccaniche si ottiene, ove possibile, mediante estrazione di campioni ed esecuzione di prove a trazione fino a rottura

con determinazione delle caratteristiche meccaniche rilevanti, quali la tensione di snervamento, della resistenza a rottura e dell'allungamento. Sono ammessi metodi di indagine non distruttiva di documentata affidabilità, ad integrazione di quelli sopra descritti, purché i risultati siano tarati su quelli ottenuti con prove distruttive.

- §C.8.5.4 LC2: si intende raggiunto quando siano stati effettuati, come minimo, l'analisi storico-critica commisurata al livello considerato, con riferimento al § C8.5.1, il rilievo geometrico completo e indagini estese sui dettagli costruttivi, con riferimento al § C8.5.2, prove estese sulle caratteristiche meccaniche dei materiali, con riferimento al § C8.5.3; il corrispondente fattore di confidenza è $FC=1,2$ (nel caso di costruzioni di acciaio, se il livello di conoscenza non è LC3 solo a causa di una non esaustiva conoscenza sulle proprietà dei materiali, il fattore di confidenza può essere ridotto, giustificandolo con opportune considerazioni anche sulla base dell'epoca di costruzione).

6.8.2 MATERIALI DICHIARATI NEI DOCUMENTI DI PROGETTO

Si riportano di seguito i materiali che sono riportati all'interno dei documenti progettuali depositati:

- Collegamenti metallici: Bulloni Cl. 8.8.A.R.
- Acciaio armature fondazioni: FeB44K
- Calcestruzzo fondazioni: Rck300
- Acciaio carpenterie: Fe430

6.8.3 PARERI CTS IN MERITO AI SAGGI

- Parere 83 => Nel caso di elementi strutturali in acciaio non identificabili si ritiene comunque necessario effettuare almeno un prelievo in situ al fine di classificarlo tramite analisi ed eventualmente sottoporlo a prova per determinarne le caratteristiche meccaniche.
- Parere 109 => In merito alle caratteristiche meccaniche dei materiali delle strutture di fondazione si può ritenere sufficiente l'utilizzo di dati cautelativi minimi (ad es. i minimi previsti dalla normativa dell'epoca di realizzazione, o quelli derivanti da un progetto simulato) senza l'esecuzione di specifiche indagini, che viceversa si ritengono necessarie se sono utilizzati valori più elevati delle caratteristiche meccaniche dei materiali. Analogamente il terreno dovrà essere sufficientemente indagato al fine di fornire una valutazione circa eventuali problematiche di natura geotecnica.

6.8.4 PARERI CTS IN MERITO ALLE VERIFICHE DEL SISTEMA FONDALE

Parere 4/2023:

- MIGLIORAMENTO: la verifica del sistema di fondazione per gli interventi di miglioramento può non essere necessaria se gli esiti della verifica sommaria di idoneità del sistema di fondazione esistente sono favorevoli, se non sono previste modifiche della geometria o della tipologia della fondazione esistente, se non sono apportate modifiche sostanziali alle azioni trasmesse al sistema di fondazione, se non sussistono condizioni che possono dare luogo a fenomeni di instabilità globale e se non sussiste nessuna tra le condizioni di cui al cap. 8.3:
 - nella costruzione siano presenti importanti dissesti attribuibili a cedimenti delle fondazioni o dissesti della stessa natura si siano prodotti nel passato;
 - siano possibili fenomeni di ribaltamento e/o scorrimento della costruzione per effetto di condizioni morfologiche sfavorevoli, di modificazioni apportate al profilo del terreno in prossimità delle fondazioni, delle azioni sismiche di progetto;
 - siano possibili fenomeni di liquefazione del terreno di fondazione dovuti alle azioni sismiche di progetto.
- ADEGUAMENTO: Nel caso di adeguamento si ritiene che il progettista debba effettuare le attività di rilievo, calcolo e verifica anche del sistema fondale al fine di raggiungere i livelli di sicurezza richiesti per gli edifici di nuova costruzione (vds. Par. C8.4.3) – tale asserzione evidentemente si riferisce alle metodologie di verifica adottate dalle attuali NTC (verifiche STR

e GEO). Appare evidente la necessità di acquisire tutte le informazioni necessarie del sistema fondale e dell'intorno (rilievo fondale e caratterizzazione geologica, geotecnica, sismica).

6.8.5 DEFINIZIONE DI ELEMENTI STRUTTURALI PRIMARI

Gli elementi primari sono quelli la cui resistenza e capacità deformativa condizionano in modo decisivo la stabilità e la sicurezza della costruzione, in particolare nei confronti dell'azione sismica.

Secondo NTC 2018 (Cap. 7.2.3 e seguenti):

- In un edificio in cemento armato: travi, pilastri, pareti portanti, nuclei di controvento, diaframmi orizzontali.
- In strutture in acciaio: colonne, travi portanti del sistema resistente, controventi, giunzioni.
- In muratura: pareti portanti, setti, archi e volte con funzione di stabilità.
- In legno: telai portanti, travi principali, colonne, controventi.

Gli elementi strutturali primari risultano essere i pilastri e le travi principali dei portali metallici delle serre.

§C8.5.4.2: A titolo esclusivamente orientativo, nelle tabelle C8.5.V e C8.5.VI si lega il livello (limitato, esteso, esaustivo) delle indagini alla quantità di rilievi dei dettagli costruttivi e di prove per la valutazione delle caratteristiche meccaniche dei materiali. Rimane inteso che il piano delle indagini deve essere opportunamente calibrato in funzione dell'analisi preliminare (v. § C8.5.2.2 e C8.5.3.2) e quindi, in relazione al livello di conoscenza da raggiungere, orientato agli approfondimenti necessari nelle zone della costruzione ove risulti opportuno, sia in relazione all'impegno statico delle diverse membrature e al loro ruolo riguardo alla sicurezza della struttura, sia in relazione al grado di omogeneità dei risultati delle prove preliminari e al loro accordo con quanto previsto dai documenti originari.

Tabella C8.5.V – Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prova per edifici di c.a.

Livello di Indagini e Prove	Rilievo (dei dettagli costruttivi) ^(a)	Prove (sui materiali) ^{(b)(c)(d)}
	Per ogni elemento "primario" (trave, pilastro)	
<i>limitato</i>	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 15% degli elementi	1 provino di cls. per 300 m ² di piano dell'edificio, 1 campione di armatura per piano dell'edificio
<i>esteso</i>	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 35% degli elementi	2 provini di cls. per 300 m ² di piano dell'edificio, 2 campioni di armatura per piano dell'edificio
<i>esaustivo</i>	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 50% degli elementi	3 provini di cls. per 300 m ² di piano dell'edificio, 3 campioni di armatura per piano dell'edificio

Tabella C8.5.VI – Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prova per edifici di acciaio

Livello di Indagini e Prove	Rilievo (dei collegamenti) ^(a)	Prove (sui materiali) ^{(b)(c)(d)}
	Per ogni elemento "primario" (trave, pilastro...)	
<i>limitato</i>	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 15% degli elementi	1 provino di acciaio per piano dell'edificio, 1 campione di bullone o chiodo per piano dell'edificio
<i>esteso</i>	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 35% degli elementi	2 provini di acciaio per piano dell'edificio, 2 campioni di bullone o chiodo per piano dell'edificio
<i>esaustivo</i>	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 50% degli elementi	3 provini di acciaio per piano dell'edificio, 3 campioni di bullone o chiodo per piano dell'edificio

NOTE ESPLICATIVE ALLE TABELLE C8.5.V E C8.5.VI Le percentuali di elementi da indagare ed il numero di provini da estrarre e sottoporre a prove di resistenza riportati nelle Tabelle C8.5.V e C8.5.VI hanno valore indicativo e vanno adattati ai singoli casi, tenendo conto dei seguenti aspetti:

- Nel controllo del raggiungimento delle percentuali di elementi indagati ai fini del rilievo dei dettagli costruttivi si tiene conto delle eventuali situazioni ripetitive, che consentano di estendere ad una più ampia percentuale i controlli effettuati su alcuni elementi strutturali facenti parte di una serie con evidenti caratteristiche di ripetibilità, per geometria e ruolo uguali nello schema strutturale.
- Le prove sugli acciai sono finalizzate all'identificazione della classe dell'acciaio utilizzata con riferimento alla normativa vigente all'epoca di costruzione. Ai fini del raggiungimento del numero di prove sull'acciaio necessario per acquisire il livello di conoscenza desiderato è opportuno tener conto dei diametri (nelle strutture in c.a.) o dei profili (nelle strutture in acciaio) di più diffuso impiego negli elementi principali, con esclusione delle staffe.

- c) Ai fini delle prove sui materiali è consentito sostituire alcune prove distruttive, non più del 50%, con almeno il triplo di prove non distruttive, singole o combinate, tarate su quelle distruttive.
- d) Il numero di provini riportato nelle tabelle C8.5.V e C8.5.VI può esser variato, in aumento o in diminuzione, in relazione alle caratteristiche di omogeneità del materiale. Nel caso del calcestruzzo in opera, tali caratteristiche sono spesso legate alle modalità costruttive tipiche dell'epoca di costruzione e del tipo di manufatto, di cui occorrerà tener conto nel pianificare l'indagine. Sarà opportuno, in tal senso, prevedere l'effettuazione di una seconda campagna di prove integrative, nel caso in cui i risultati della prima risultino fortemente disomogenei.

6.8.6 INDAGINI DA ESEGUIRE AL FINE DI CONSEGUIRE LC2

- FONDAZIONI ed ELEVATO: Indagini estese automaticamente soddisfatte, senza ulteriori rilievi, per la presenza dei disegni costruttivi completi e dettagliati riscontrati in sito per la parte in elevato e totalmente corrispondenti.

6.8.7 PROVE DA ESEGUIRE AL FINE DI CONSEGUIRE LC2

- FONDAZIONE IN C.A. Prove estese: PARERE 109 => NO prove fondazioni coi valori minimi normativi corrispondenti ai materiali dichiarati nei documenti di progetto e certificati con la fine lavori e il collaudo.
- ELEVATO IN ACCIAIO: Prove estese: vista la presenza dei certificati dei materiali all'interno nella fine lavori e collaudo depositati presso il Genio Civile, non vengono eseguiti prelievi in sito ma soltanto riscontrata la qualità dell'acciaio mediante prova diretta in sito non distruttiva, una per ciascun elemento primario tipologico rappresentativo (un pilastro e una trave principale delle serre).

6.8.8 LIVELLO DI CONOSCENZA RAGGIUNTO

Sulla base di:

- La numerosità, completezza e attendibilità dei dati progettuali di partenza;
- la tipologia della struttura a telai metallici che si ripetono in modulo;
- l'impegno strutturale degli elementi omogeneamente distribuito;
- l'ordinarietà dei materiali utilizzati in funzione dell'epoca costruttiva;
- l'estensione in pianta ed in elevato della struttura (monopiano),

gli elementi strutturali primari indagati sono del tutto rappresentativi degli apparati sismo resistenti.

Per tutto quanto sopra il livello raggiunto è LC2.

6.8.9 FATTORE DI CONFIDENZA ADOTTATO

Il fattore di confidenza corrispondente al livello di conoscenza raggiunto è secondo §8.5.4 NTC18 $FC=1.2$.

Essendo la struttura in esame di tipo metallico non vengono prese in considerazione le Linee Guida Beni Culturali (DPCM 09/02/2011) che riguardano le strutture in muratura.

6.9 CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI

6.9.1 ACCIAIO

Caratterizzazione del materiale – prove indirette di durezza su profilati tubolari

Nel corso delle indagini sui profilati metallici (tubi rettangolari 150×100×5 mm) costituenti i piedritti delle strutture delle Serre Moderne, sono state eseguite prove di durezza portatili con stima della

durezza Brinell equivalente (HB), al fine di integrare la caratterizzazione meccanica già documentata in fase di costruzione.

Le misurazioni hanno restituito valori compresi tra HB = 121–127, corrispondenti a una resistenza a trazione stimata $f_t \approx 417\text{--}438\text{ MPa}$, secondo le correlazioni empiriche riportate nelle norme EN ISO 18265 e ASTM A370.

I valori ottenuti risultano in linea con il campo di resistenza dell'acciaio S275 ($f_{u,k} \geq 410\text{ MPa}$). Si ribadisce tuttavia che le prove di durezza in situ devono essere considerate meramente indicative, in quanto soggette a influenze geometriche e operative tipiche della misura su elementi tubolari a parete sottile, quali:

- spessore ridotto (5 mm) e massa insufficiente a garantire un accoppiamento rigido, con conseguente assorbimento elastico dell'urto e possibile alterazione della misura;
- superfici curve e non perfettamente piane, in particolare sulle anime del profilo, che riducono l'efficacia del contatto della sonda;
- assenza di supporto massivo retrostante, in contrasto con le prescrizioni delle norme EN ISO 16859 (metodo Leeb) e ASTM A1038 (metodo UCI);
- condizioni superficiali (vernici, ossidi, irregolarità) potenzialmente influenti sul valore di durezza.

La documentazione progettuale e le prove dirette a trazione eseguite su campioni prelevati in officina e provati in laboratorio confermano la piena conformità del materiale alla classe S275, secondo le norme EN 10025 ed EN 10219.

Pertanto, le prove di durezza eseguite in situ vengono assunte esclusivamente a fini qualitativi, ai soli scopi di verificarne l'omogeneità e l'assenza di eventuali zone localmente deteriorate, senza alcuna valenza ai fini della riclassificazione del materiale.

Ai sensi delle NTC 2018 (§8.5.3) e della Circolare n. 7/2019 (§C8.5.3.1), la classe di acciaio di riferimento per le verifiche strutturali dell'esistente rimane S275, riconoscendo che le condizioni di prova e la geometria degli elementi giustificano eventuali dispersioni o lievi scostamenti nei valori misurati.

6.10 TIPO DI ANALISI SISMICA CONDOTTA

Livello di conoscenza	Geometrie (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC (*)
LC1	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione; in alternativa rilievo completo ex-novo	Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>indagini limitate</i> in situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>prove limitate</i> in situ	Analisi lineare statica o dinamica	1,35
LC2		Elaborati progettuali incompleti con <i>indagini limitate</i> in situ; in alternativa <i>indagini estese</i> in situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali, con <i>prove limitate</i> in situ; in alternativa da <i>prove estese</i> in situ	Tutti	1,20
LC3		Elaborati progettuali completi con <i>indagini limitate</i> in situ; in alternativa <i>indagini esaustive</i> in situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto, con <i>prove estese</i> in situ; in alternativa da <i>prove esaustive</i> in situ	Tutti	1,00

La struttura è stata preliminarmente analizzata con analisi dinamica lineare (modale); tuttavia, nonostante l'elevato numero di modi considerati, la massa modale partecipante cumulata non ha raggiunto l'85% contemporaneamente per entrambe le direzioni e, quindi, tale metodo è stato scartato. Pertanto è stata fatta la seguente tipologia di analisi sismica:

Strutture in acciaio regolare in altezza e non regolare in pianta

Analisi lineare statica in quanto $T_1 < 2.5 \cdot T_c$ e $T_1 < T_D$

$\lambda = 1.00$ perché $T_1 > 2T_c$ o costruzione con meno di 3 orizzontamenti §7.3.3.2

6.11 FATTORE DI COMPORTAMENTO PER ANALISI LINEARI

Calcolo del Fattore di struttura q per edificio esistente in c.a. o acciaio §C.8.7.2.4

$q = 1.5\text{--}3.0$ = per gli elementi duttili

$q = 1.5$ = per gli elementi fragili

Data la tipologia di struttura e la classificazione delle sezioni che la compongono in predominanza in classe IV, viene ritenuto più idoneo un fattore di struttura che rispecchi la sua poca capacità dissipativa e quindi viene scelto un fattore di struttura pari a $q = 1.5$.

6.12 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

Per la descrizione completa del modello di calcolo si rimanda al fascicolo dei calcoli allegato.

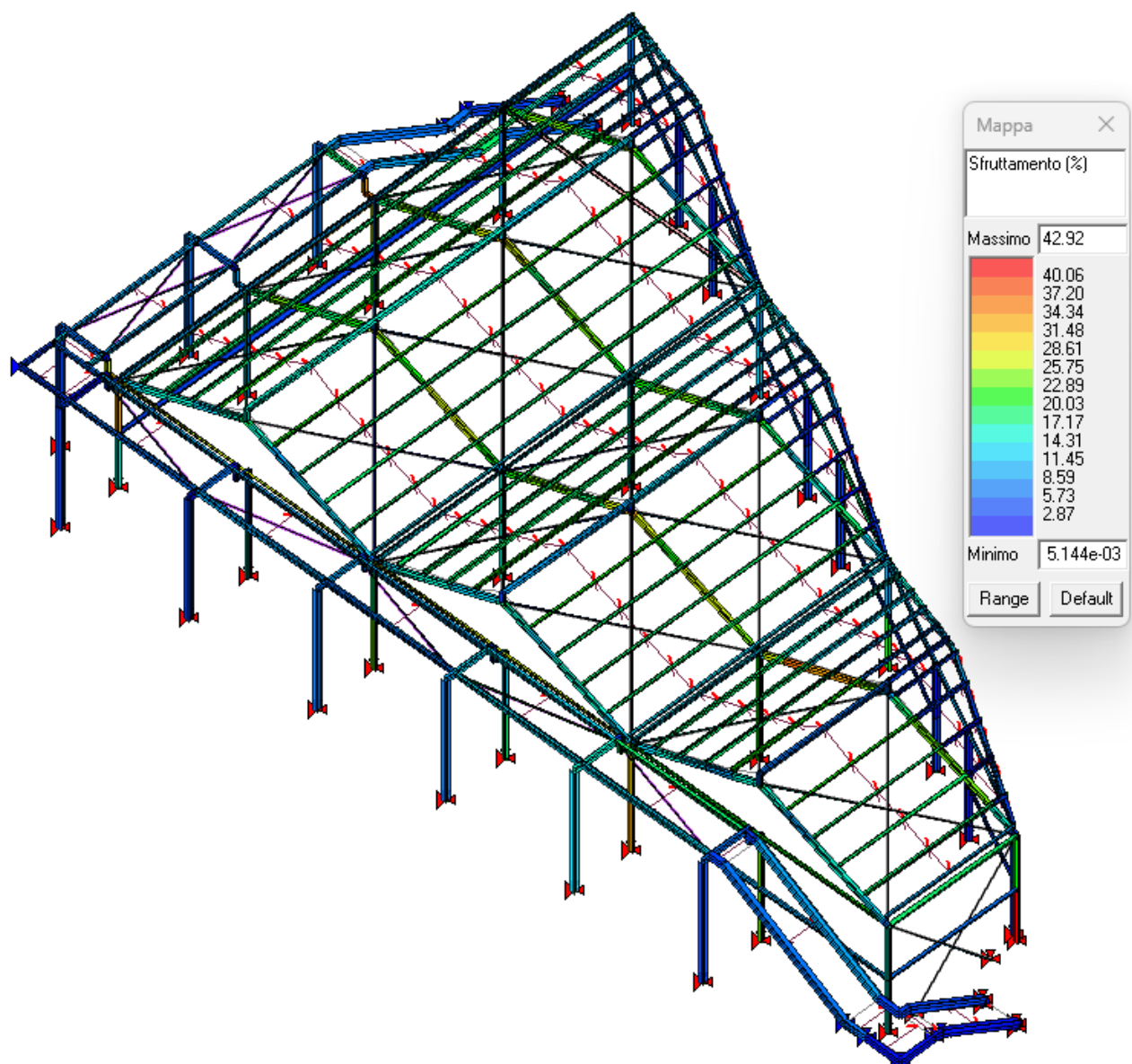
Preme precisare che il modello agli elementi finiti sviluppato è stato opportunamente tarato mediante un processo di back-analisi, finalizzato alla corretta schematizzazione di tutti i collegamenti strutturali presenti, garantendo risultati coerenti e rappresentativi rispetto alle ipotesi assunte dal progettista originario delle opere.

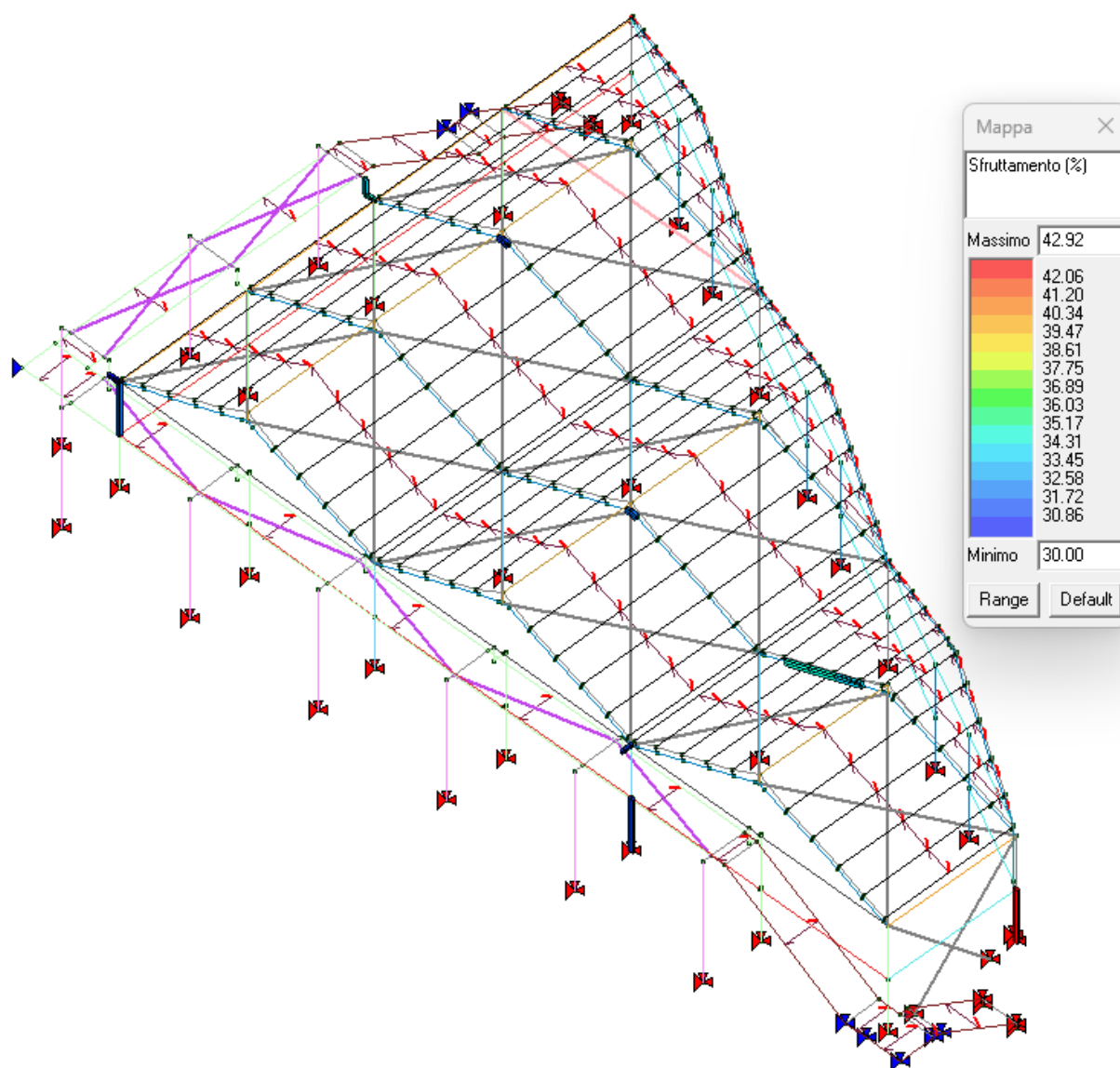
7 PRINCIPALI RISULTATI

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

7.1 PRINCIPALI RISULTATI IN TERMINI DI RESISTENZA

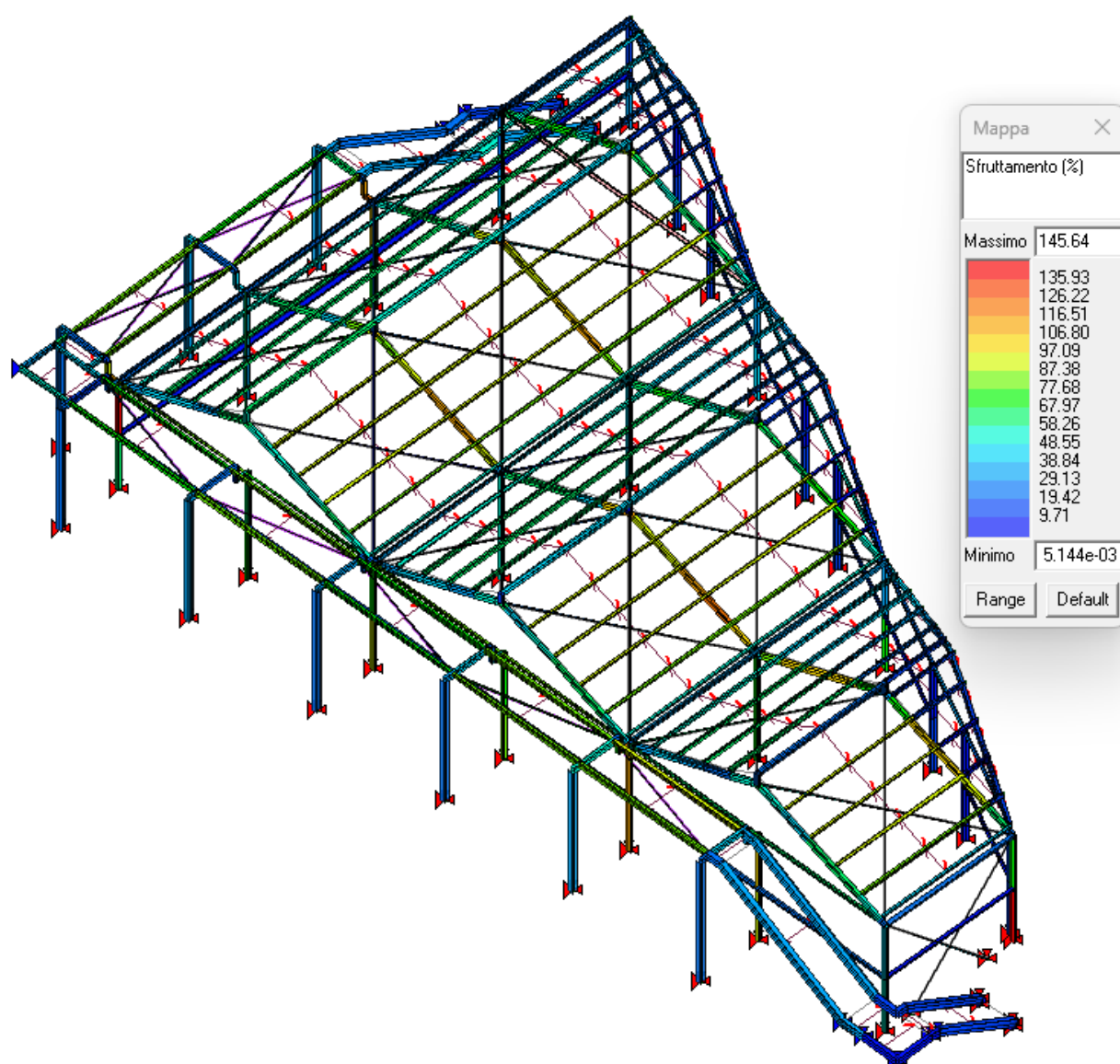
7.1.1 ANALISI SOLO CARICHI PERMANENTI

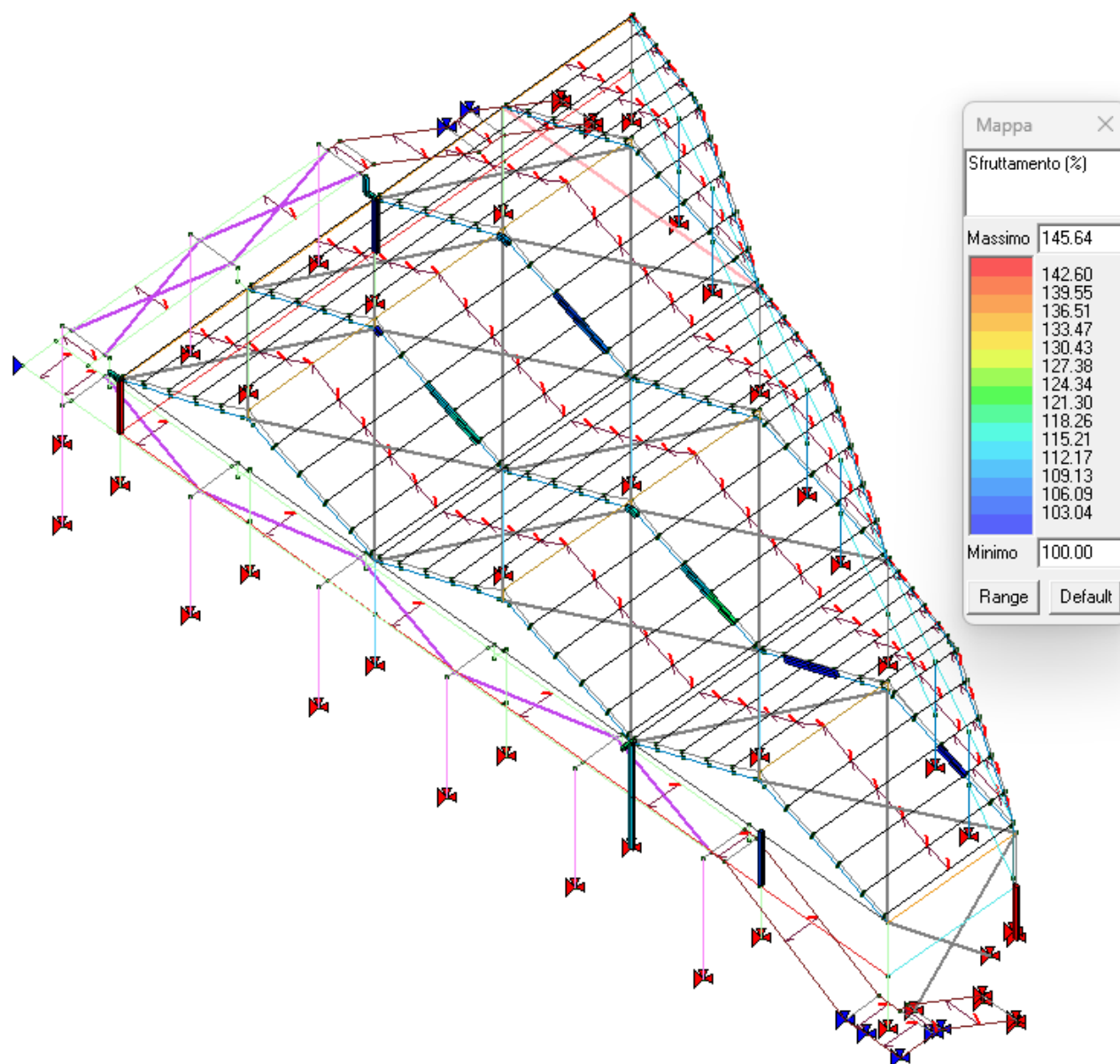




Dettaglio degli elementi maggiormente sollecitati.

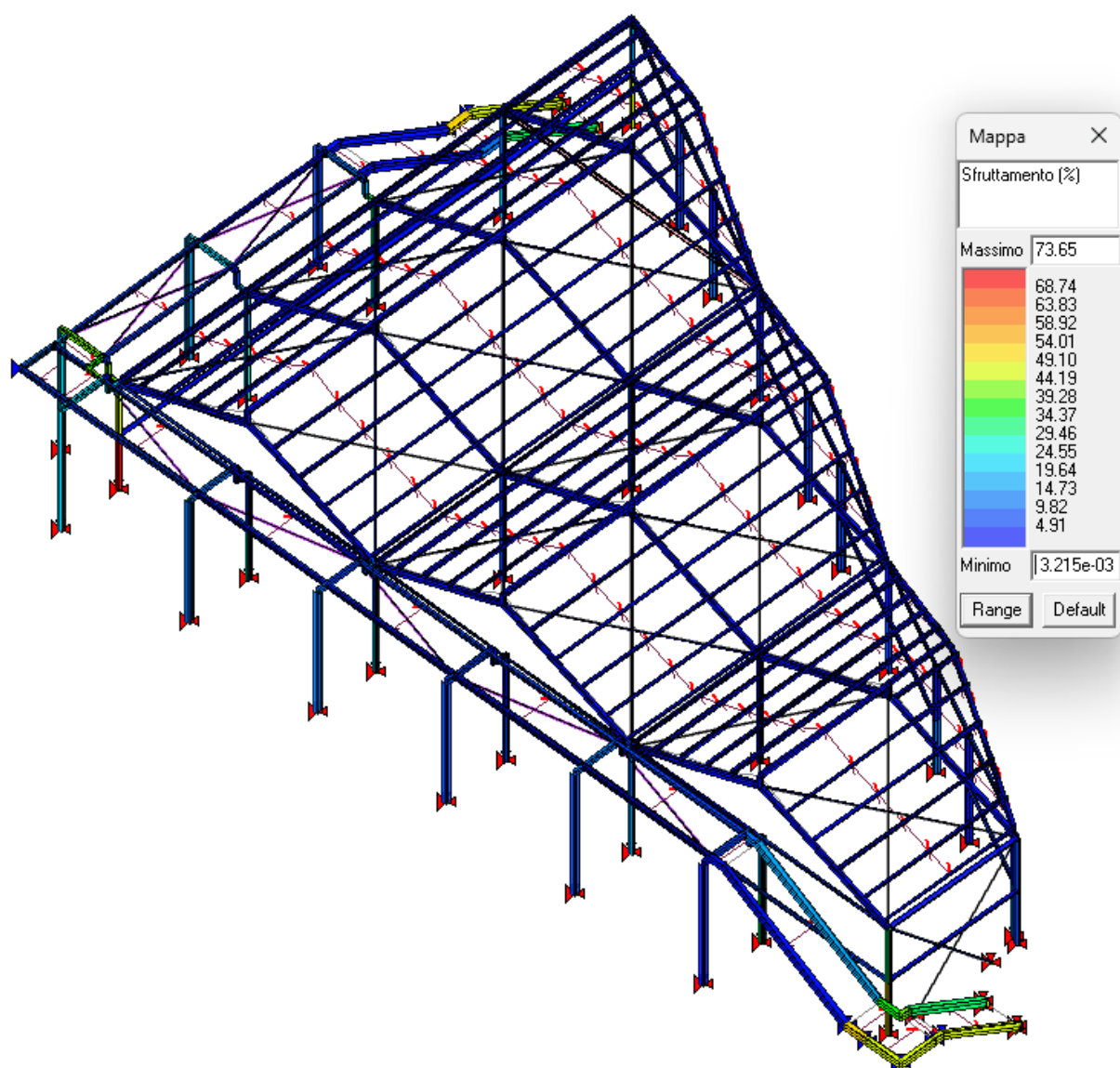
7.1.2 ANALISI SOLO CARICHI GRAVITAZIONALI

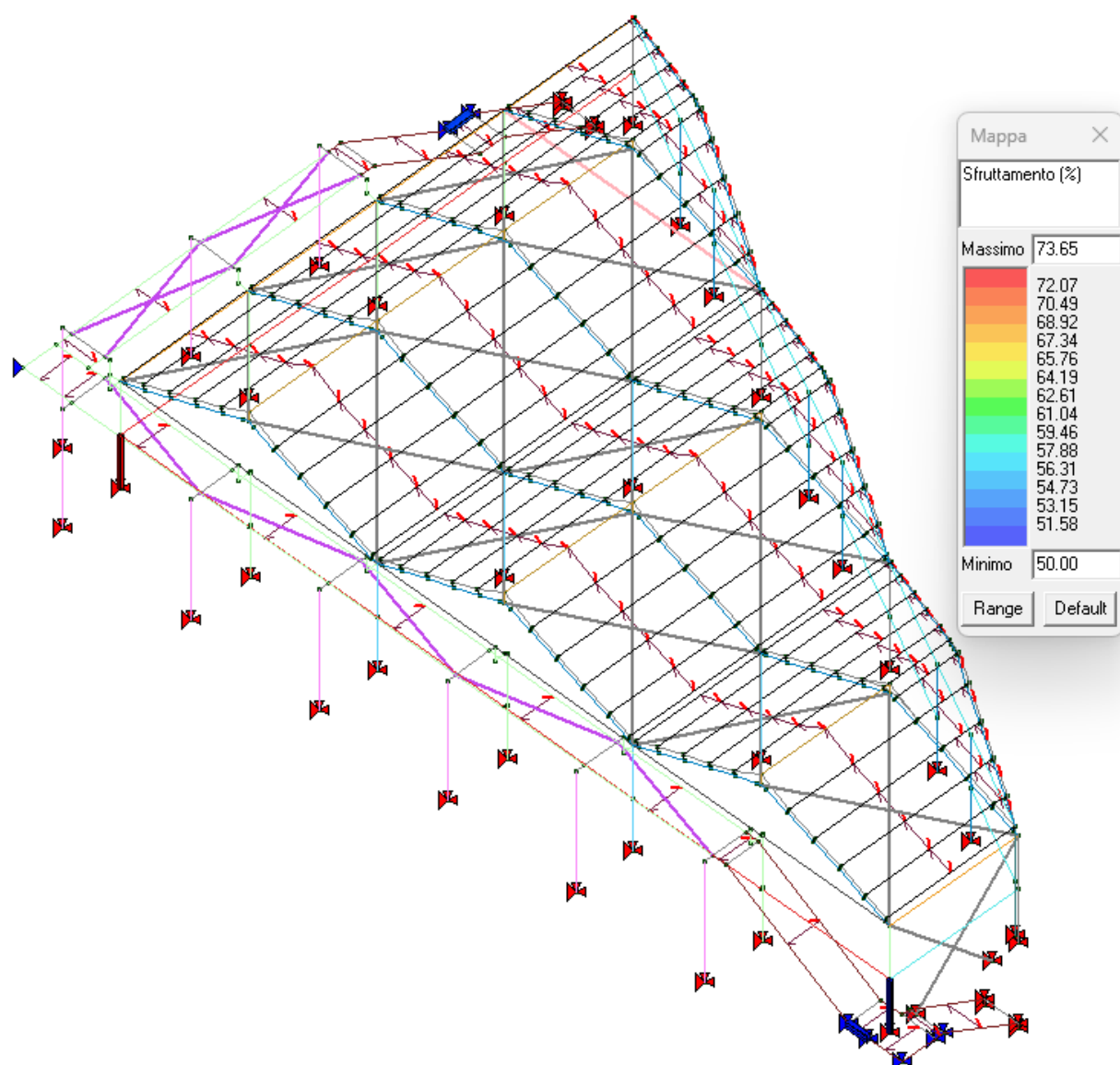




Dettaglio degli elementi maggiormente sollecitati.

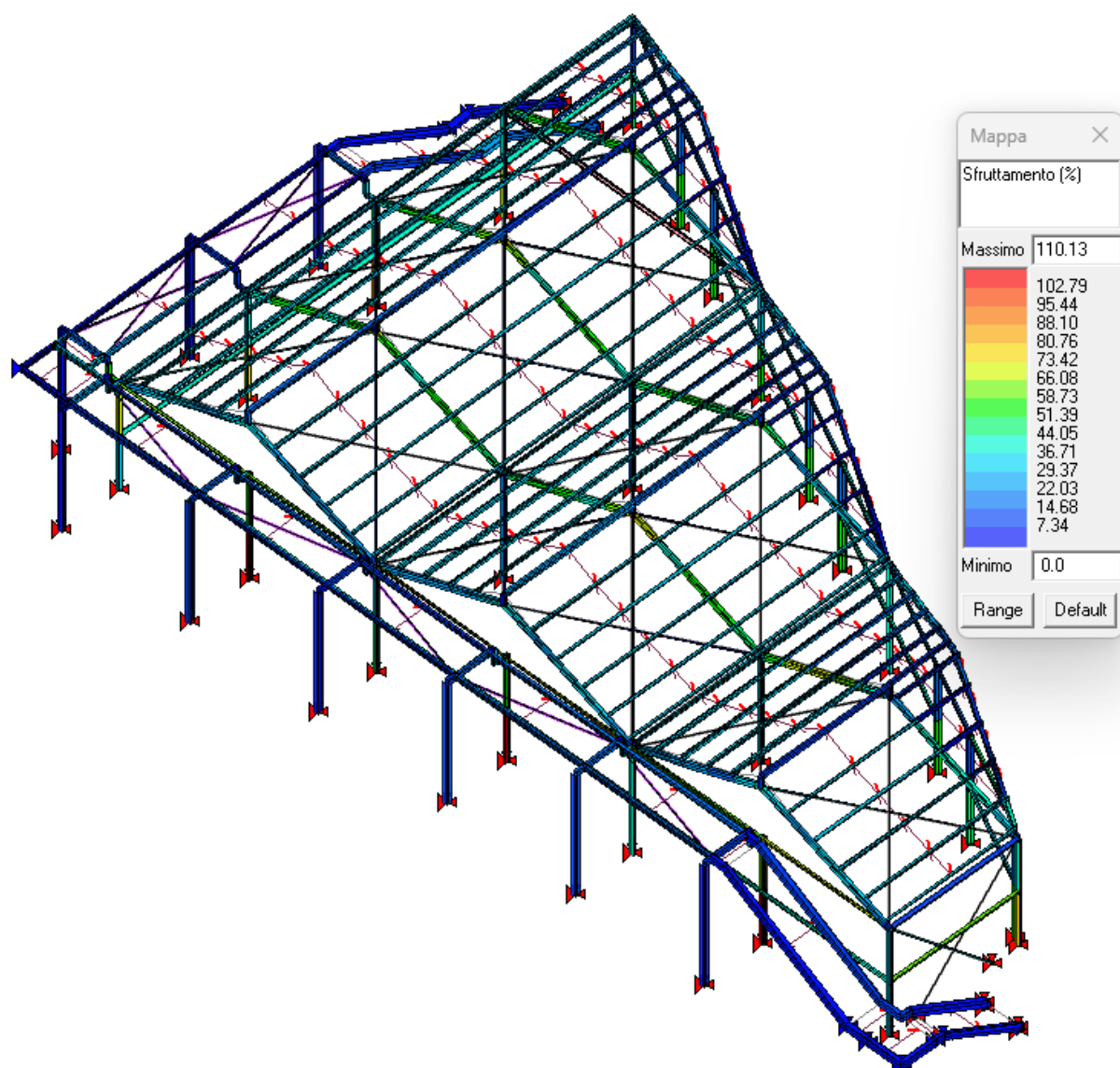
7.1.3 ANALISI SOLO CARICHI TERMICI

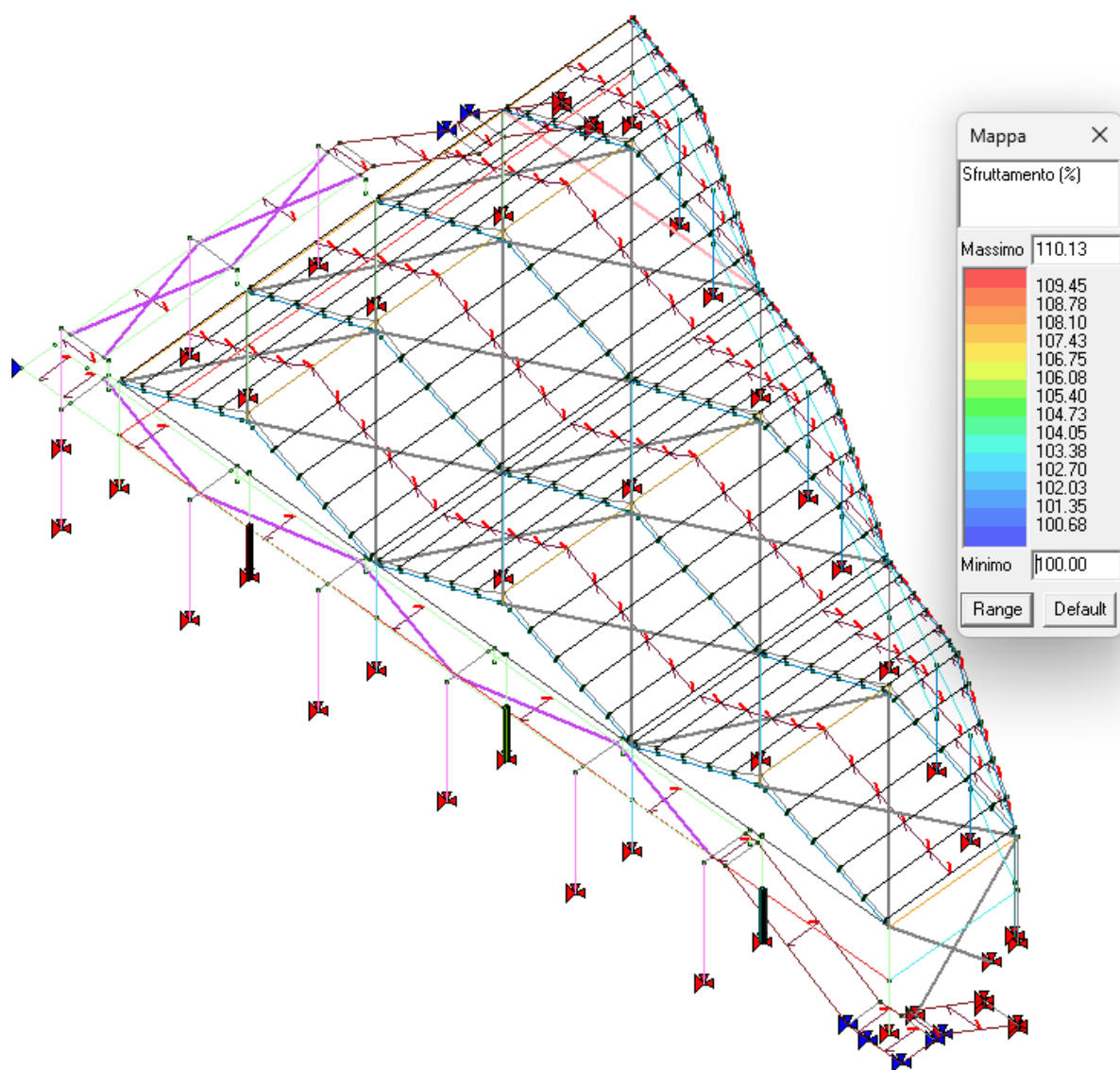




Dettaglio degli elementi maggiormente sollecitati.

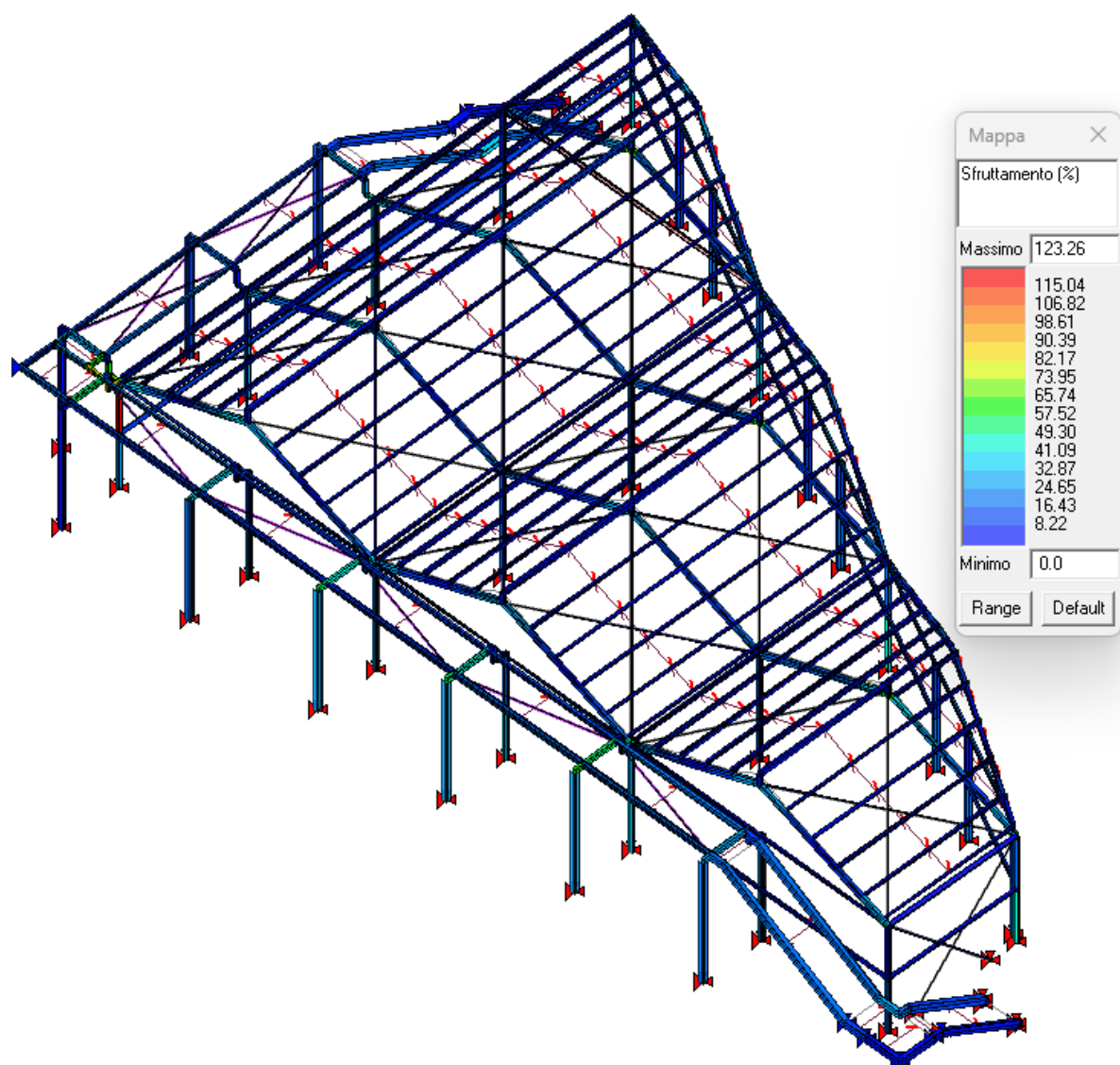
7.1.4 ANALISI SOLO AZIONE VENTO

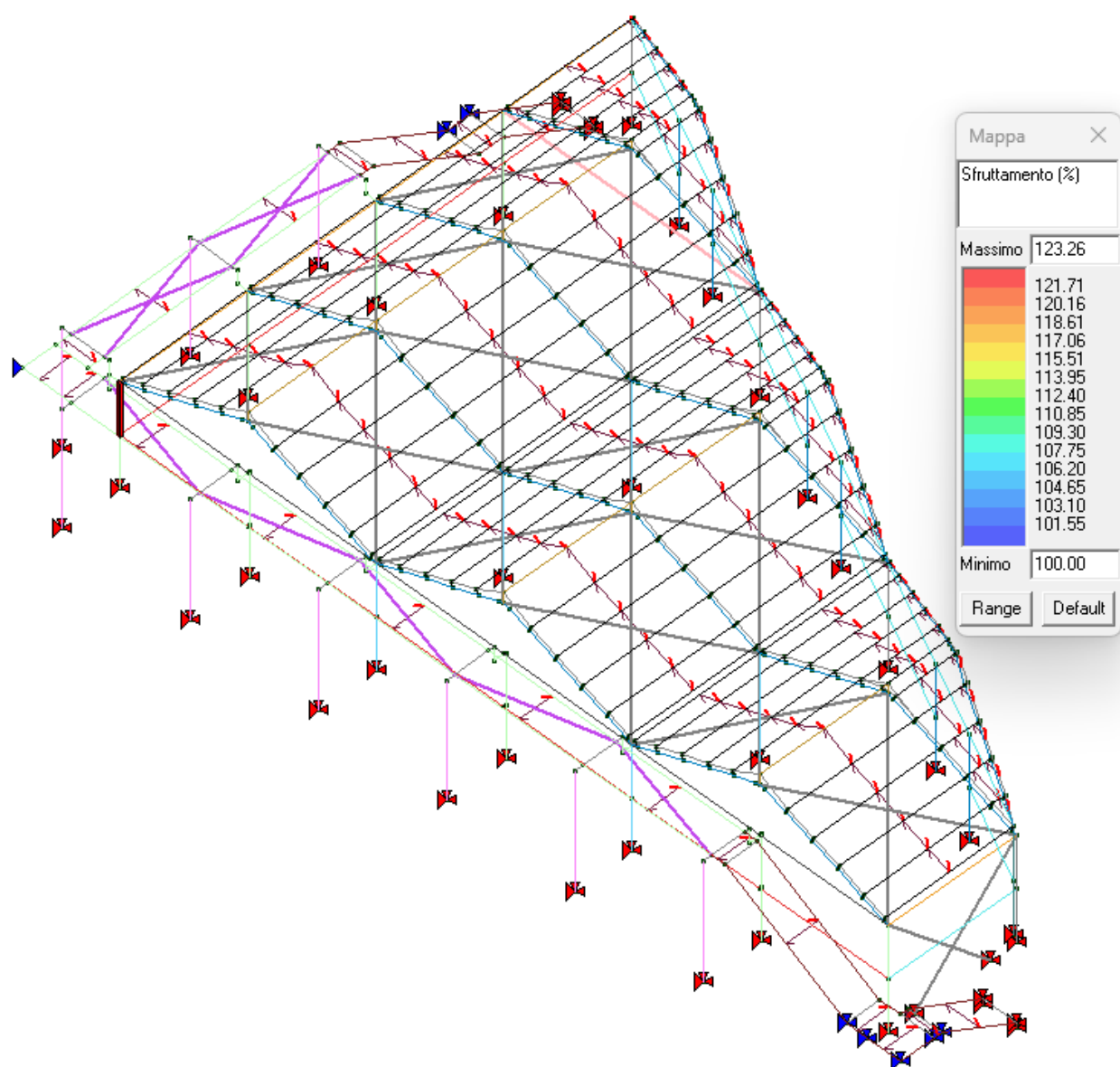




Dettaglio degli elementi maggiormente sollecitati.

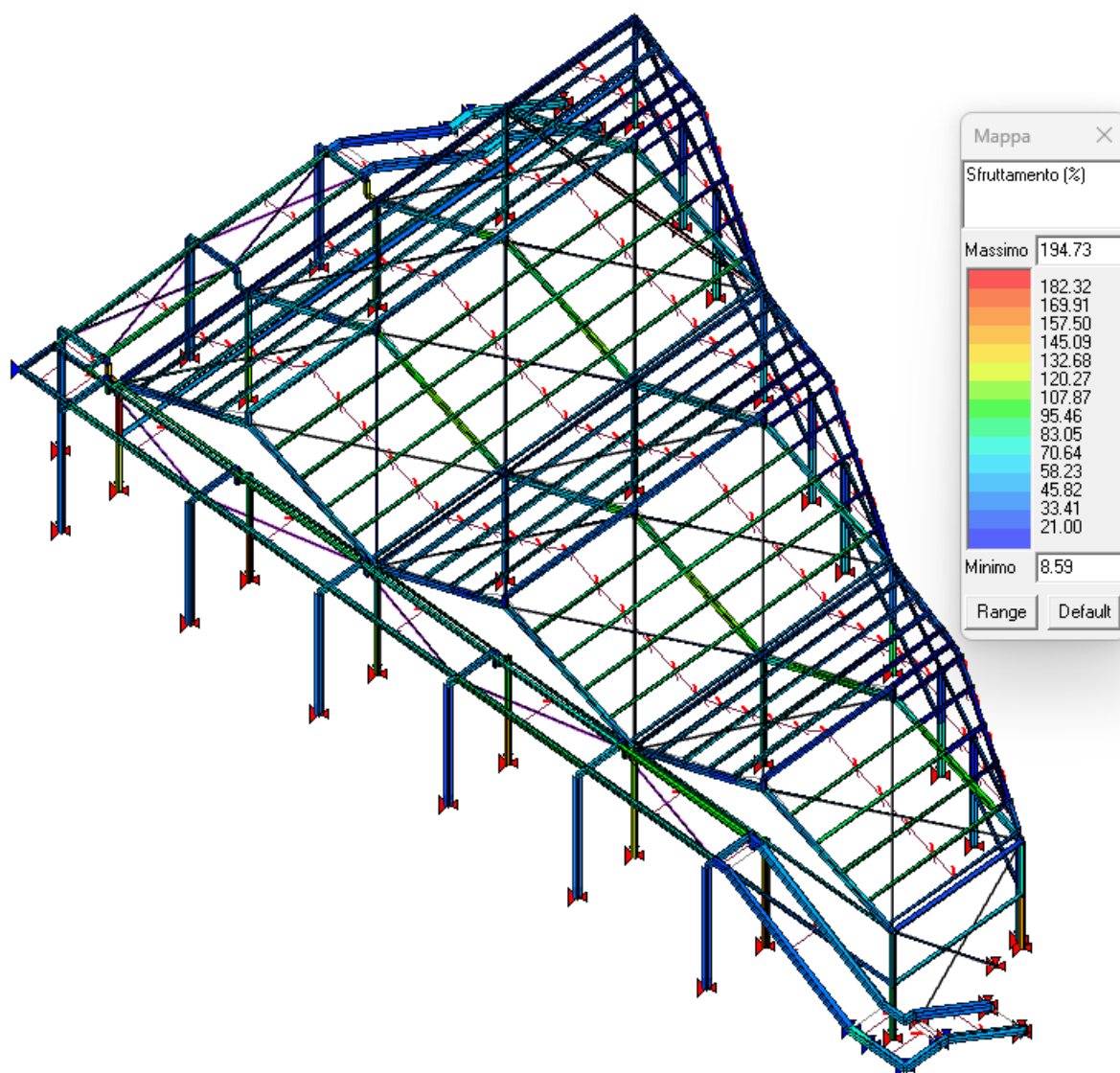
7.1.5 ANALISI SOLO AZIONE SISMICA

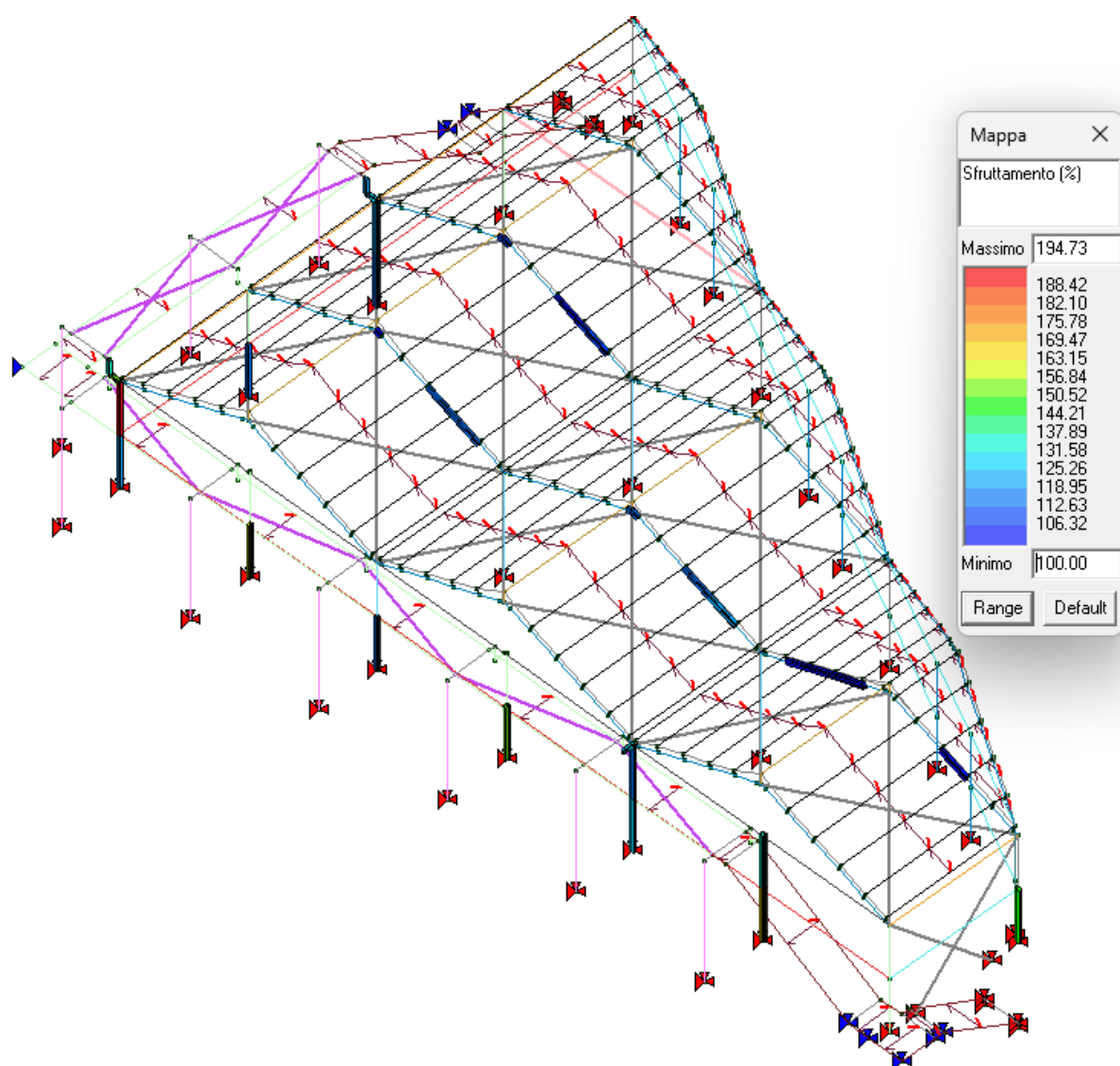




Dettaglio degli elementi maggiormente sollecitati.

7.1.6 ANALISI COMPLETA

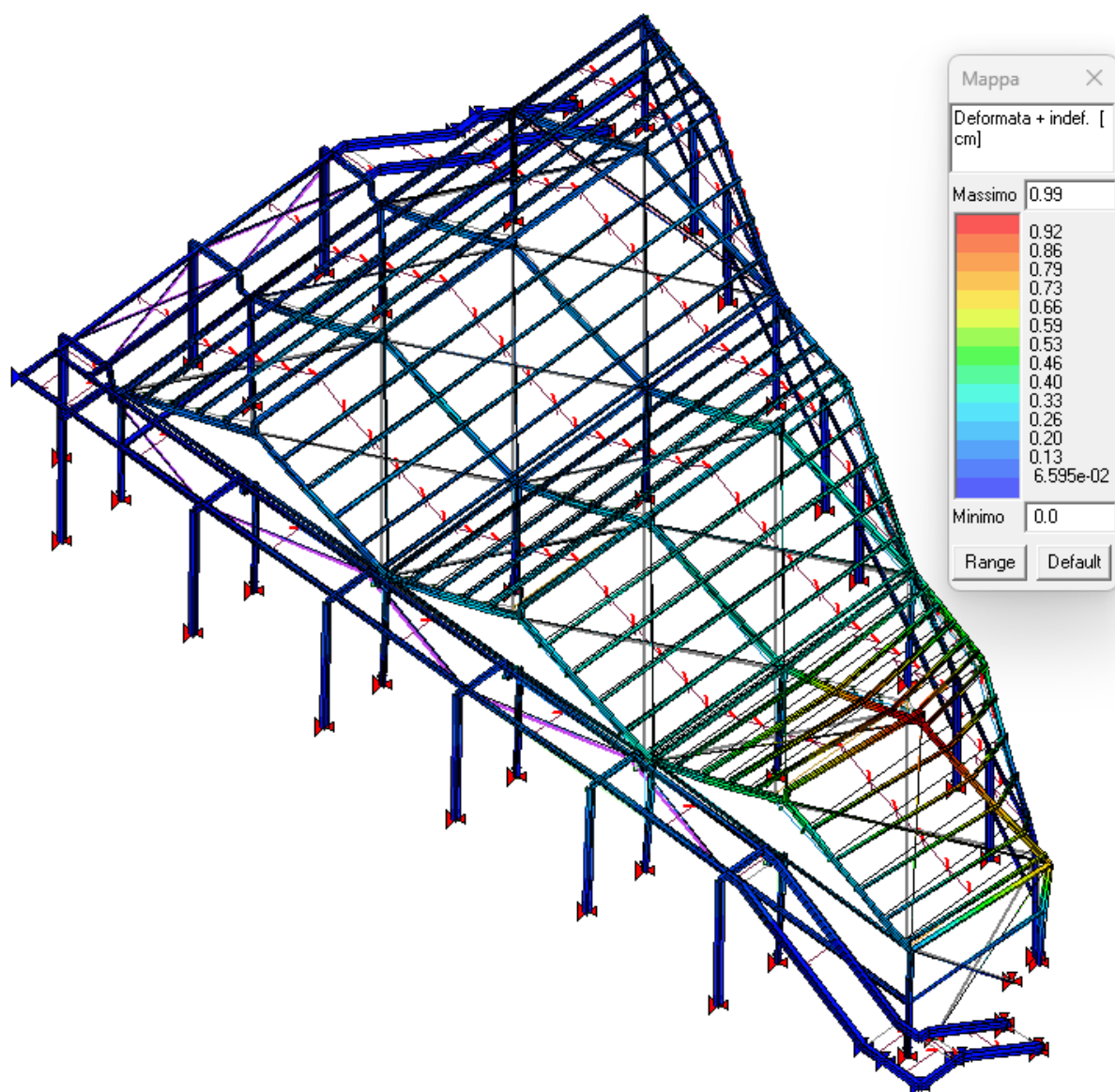




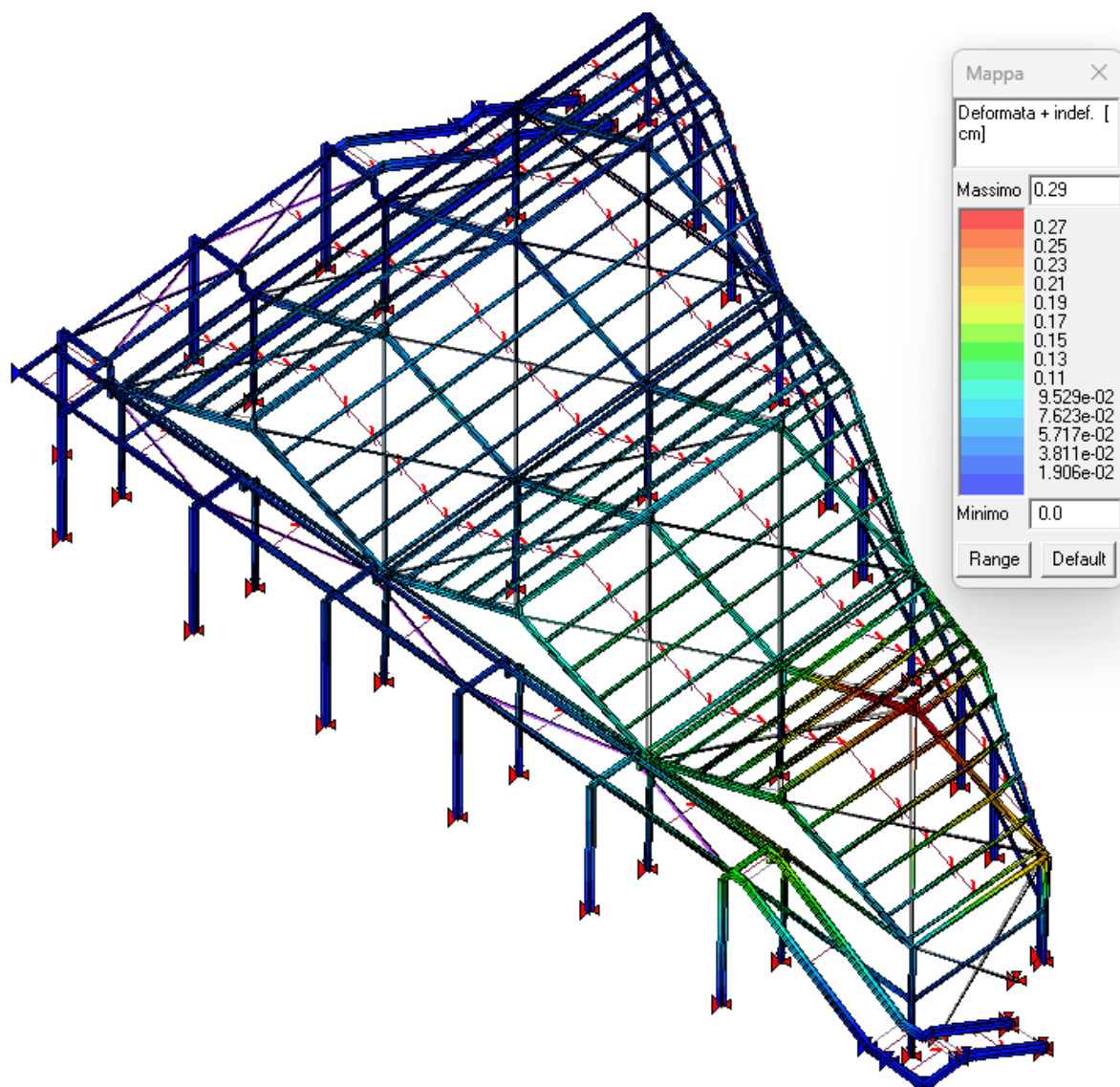
Dettaglio degli elementi maggiormente sollecitati.

7.2 PRINCIPALI RISULTATI IN TERMINI DI DEFORMATE

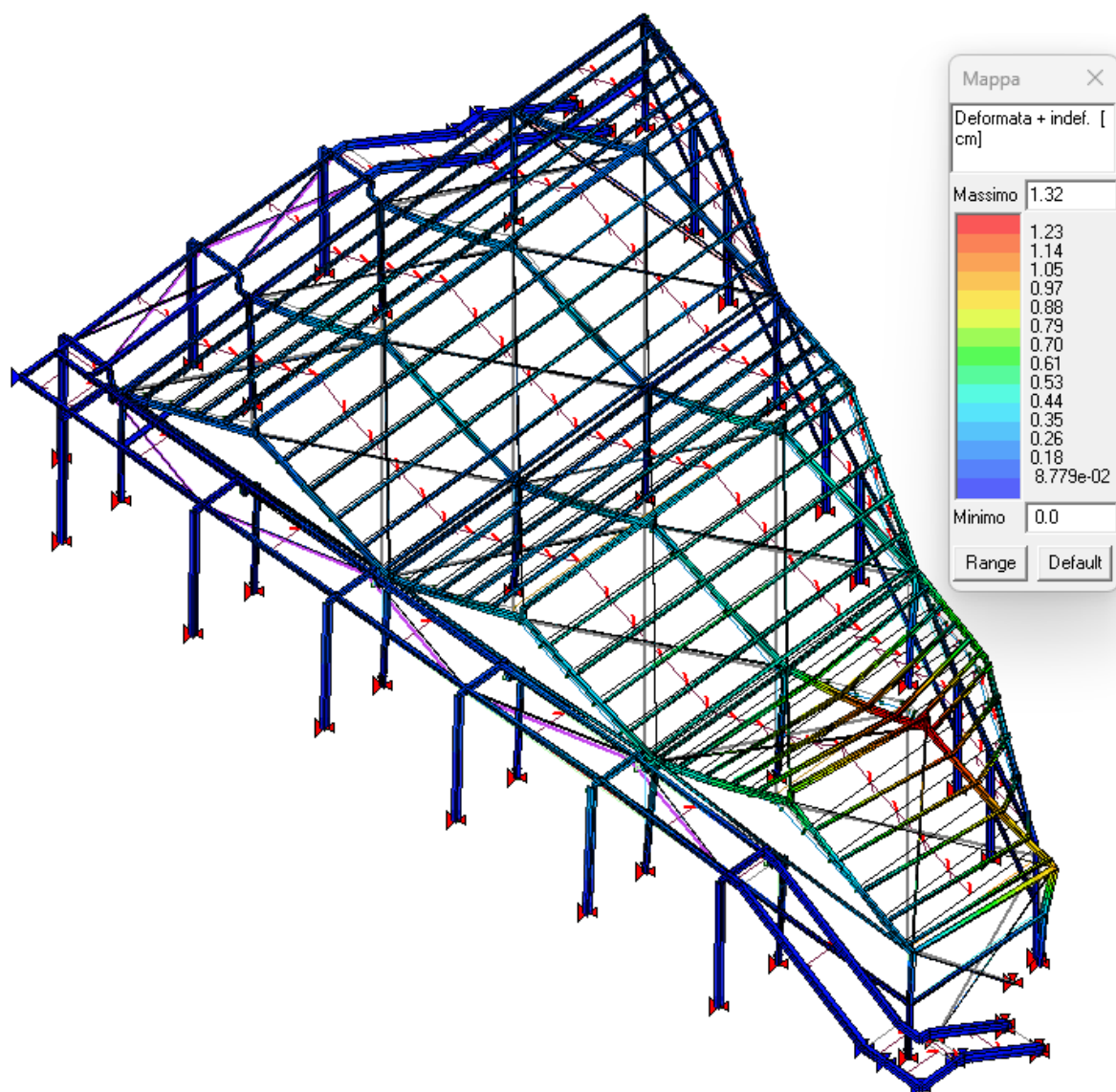
7.2.1 DEFORMATA PER PESO PROPRIO



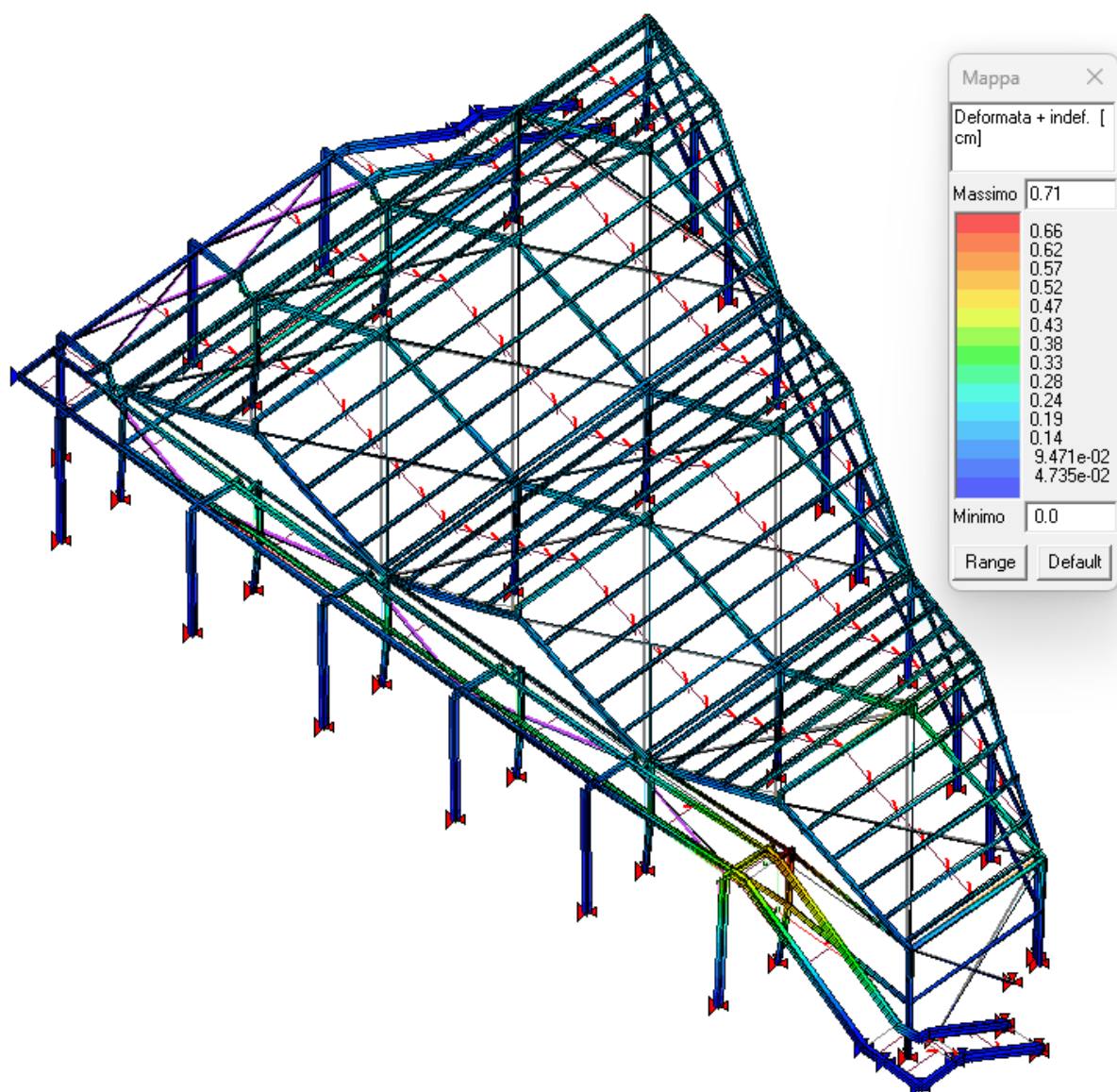
7.2.2 DEFORMATA PER CARICHI PERMANENTI TIPO G1



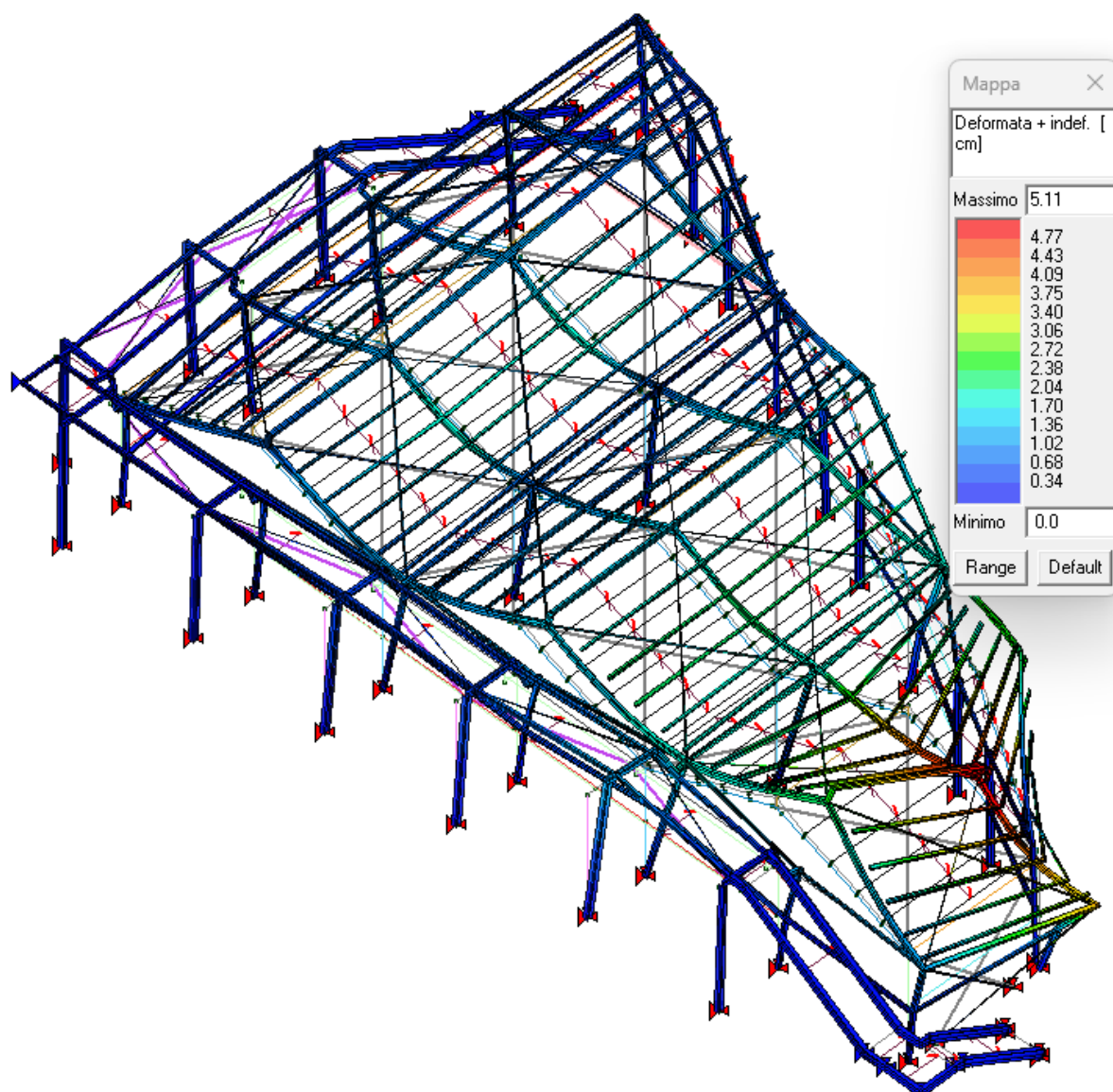
7.2.3 DEFORMATA PER CARICHI PERMANENTI TIPO G2



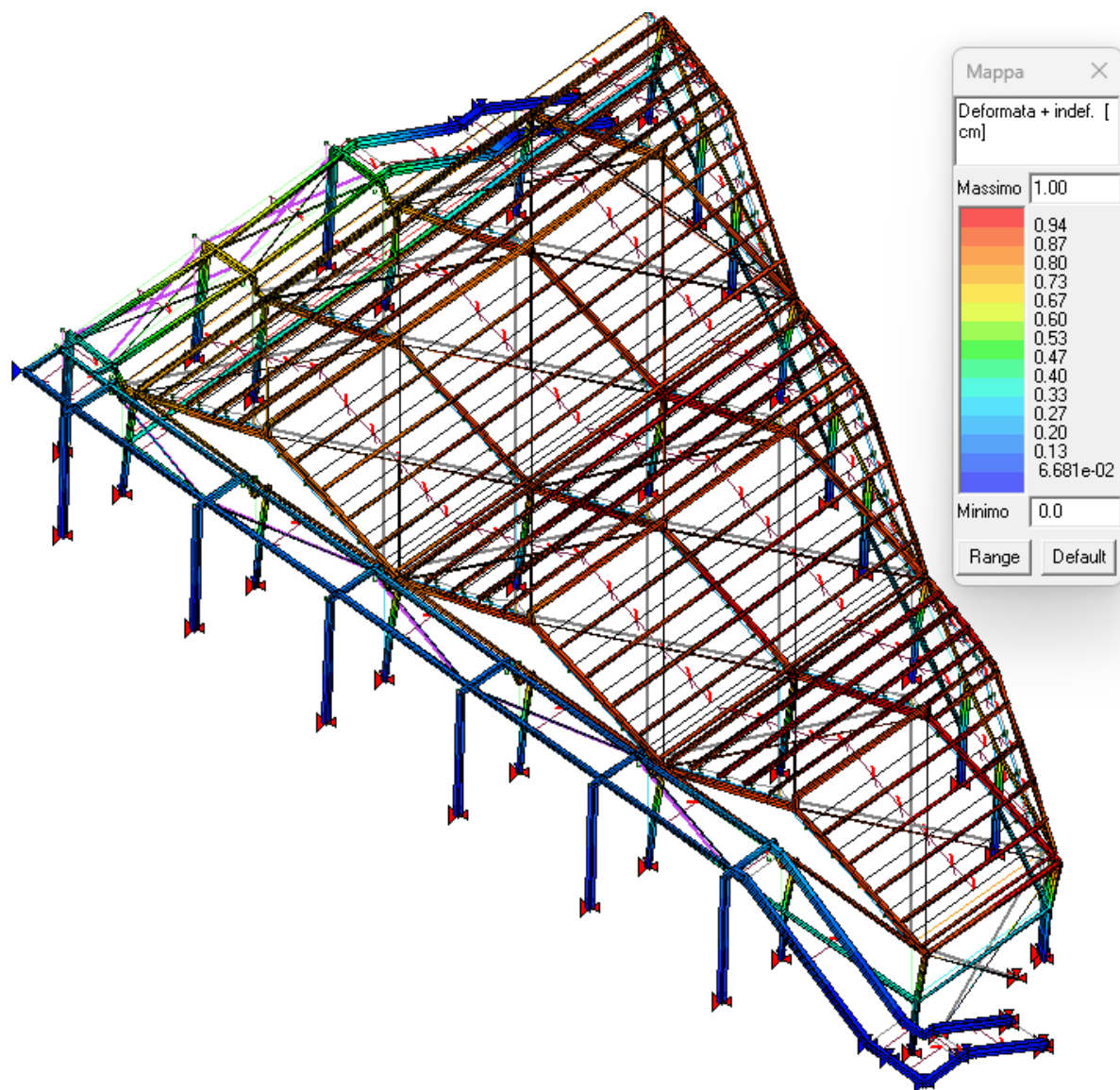
7.2.4 DEFORMATA PER CARICHI ACCIDENTALI



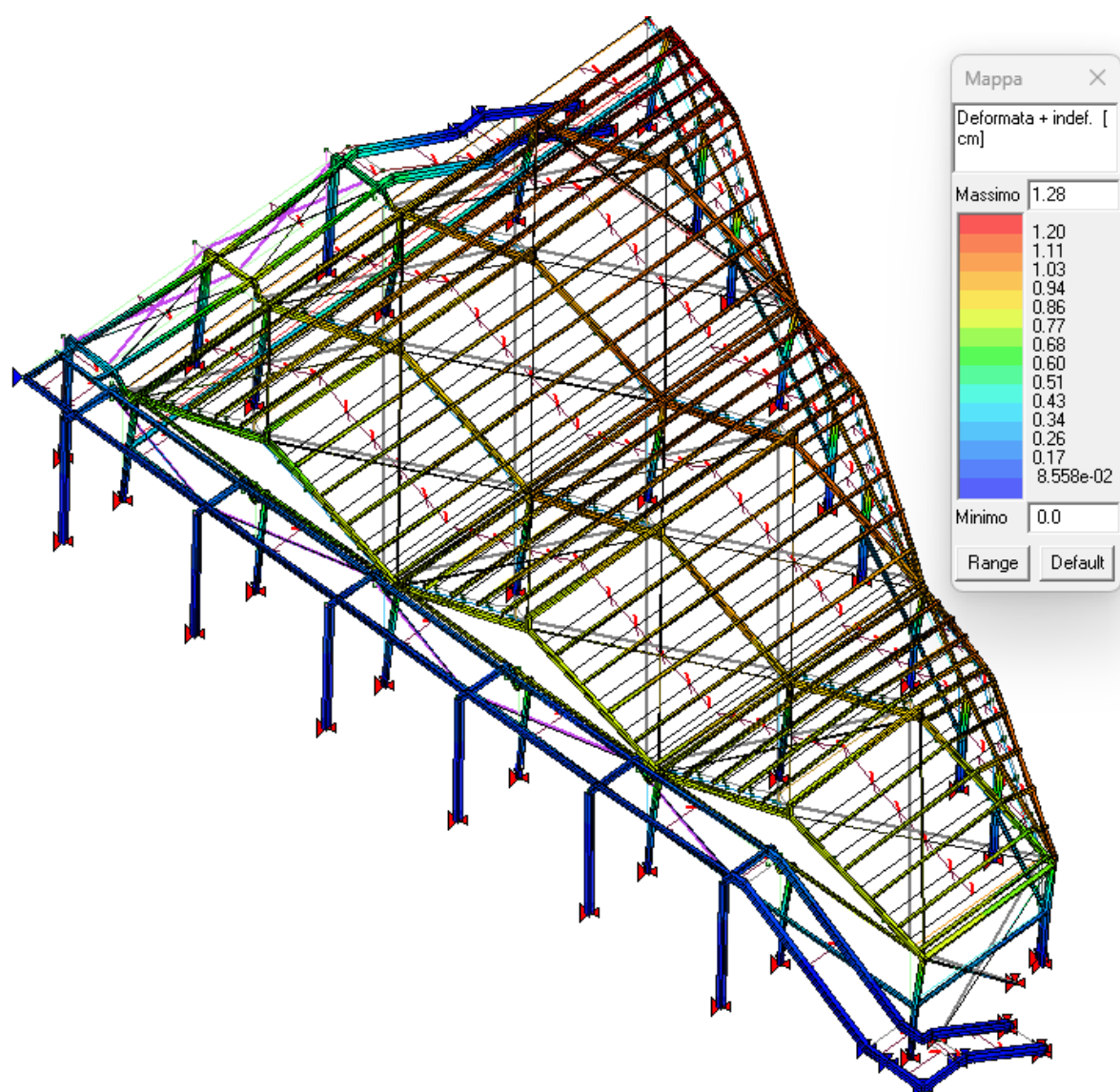
7.2.5 DEFORMATA PER CARICO NEVE



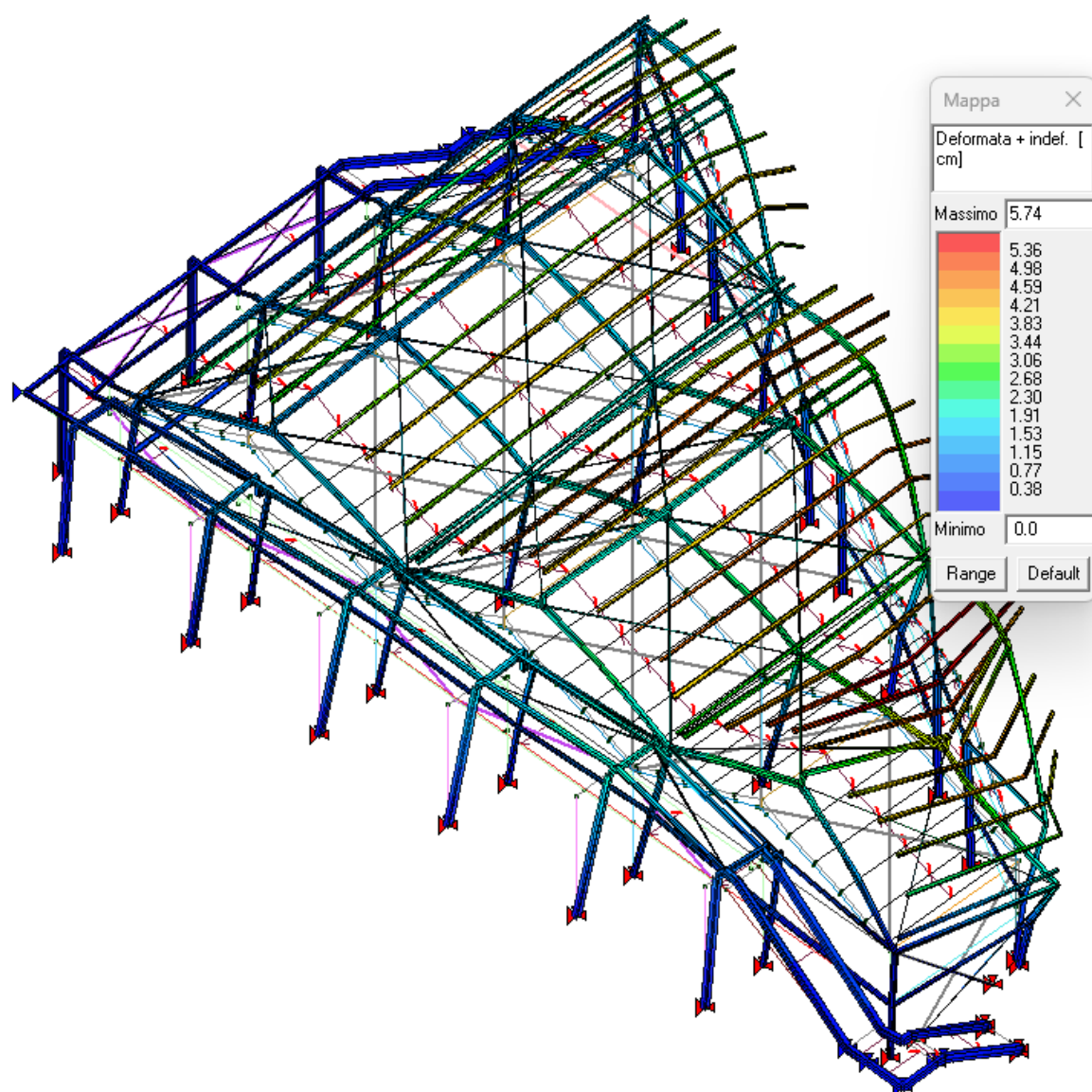
7.2.6 DEFORMATA PER AZIONE SISMICA



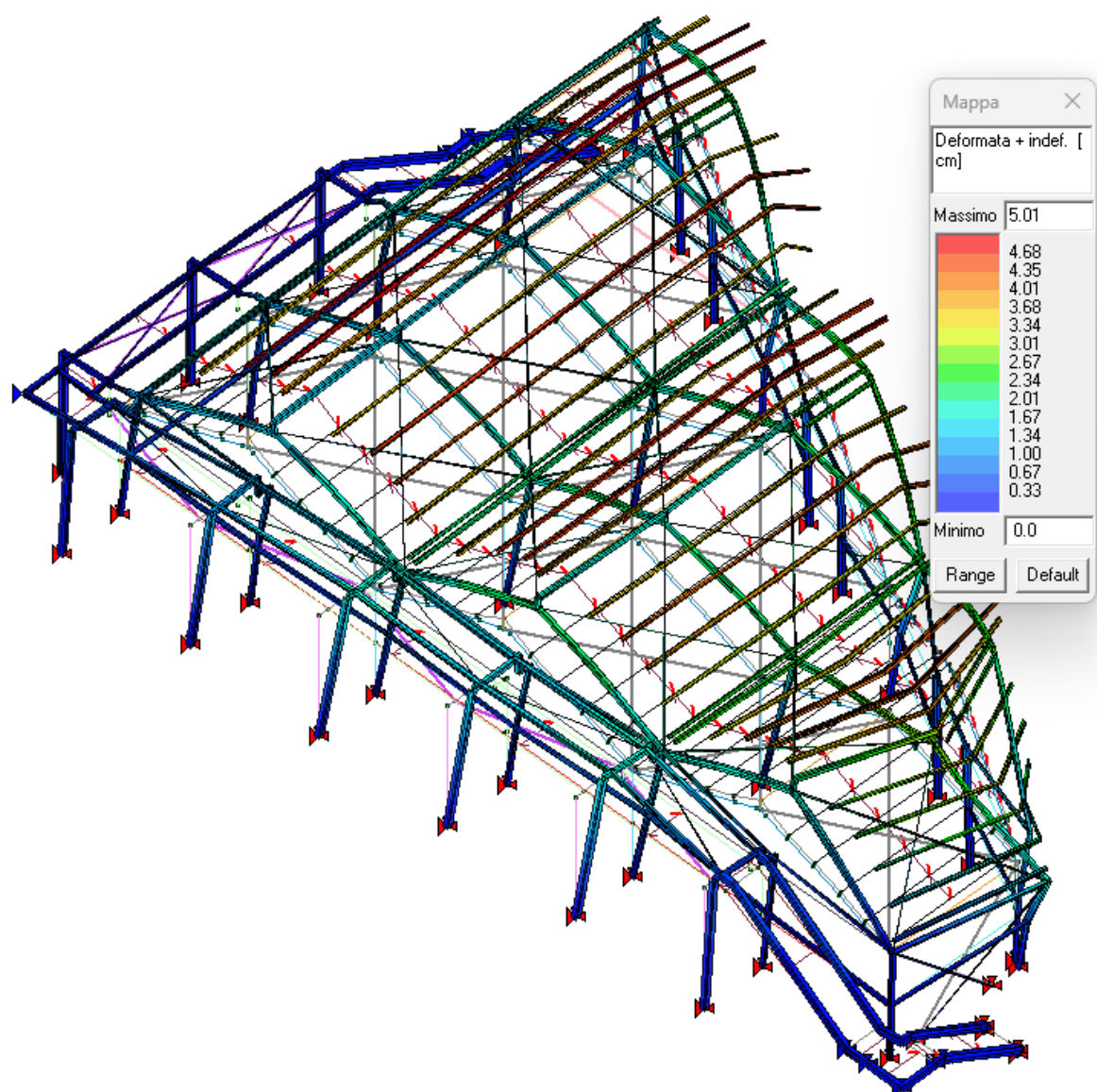
Alfa=0.0 (eccentricità positiva)



Alfa=0.0 (eccentricità negativa)

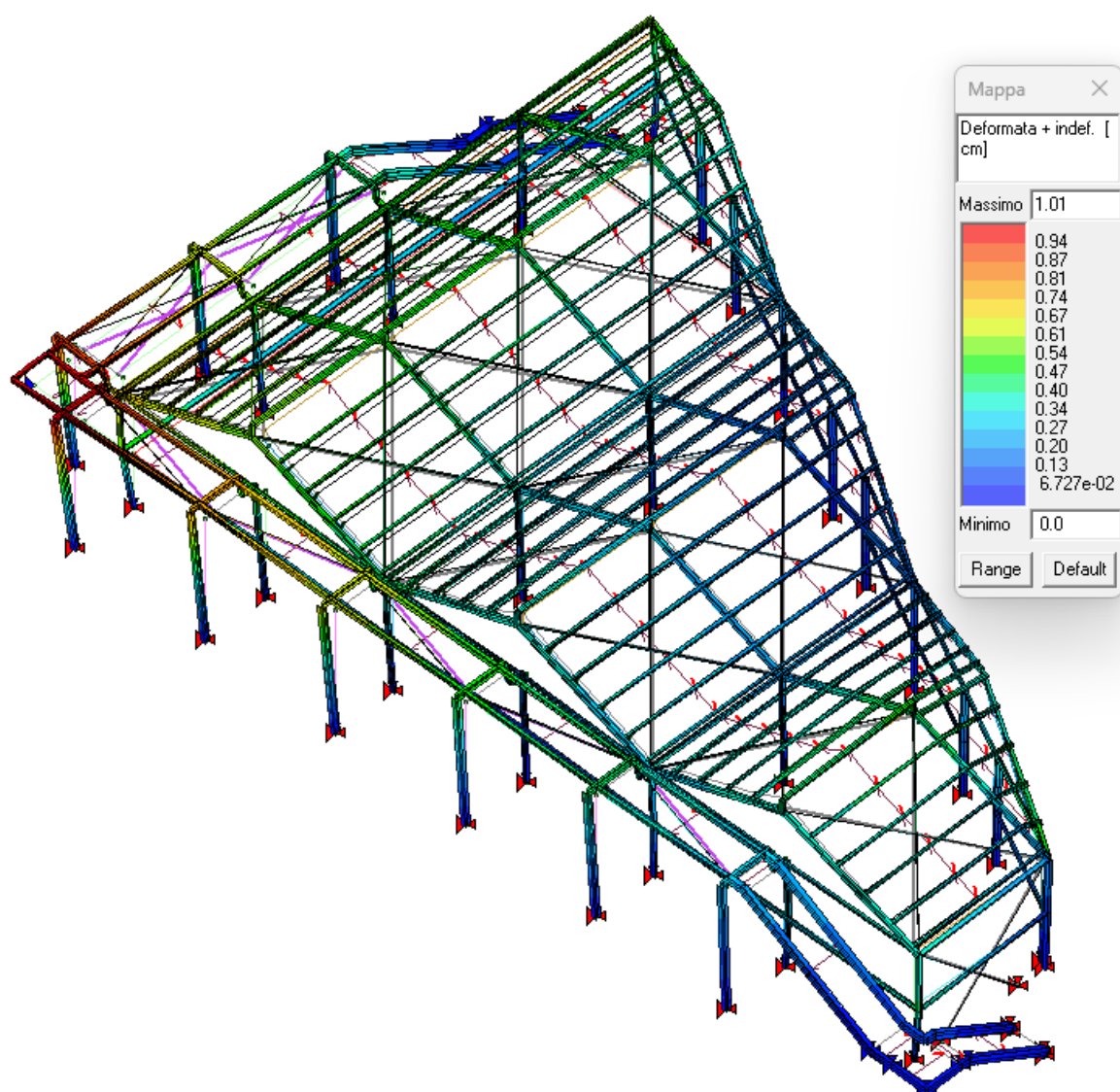


Alfa=90.0 (eccentricità positiva)

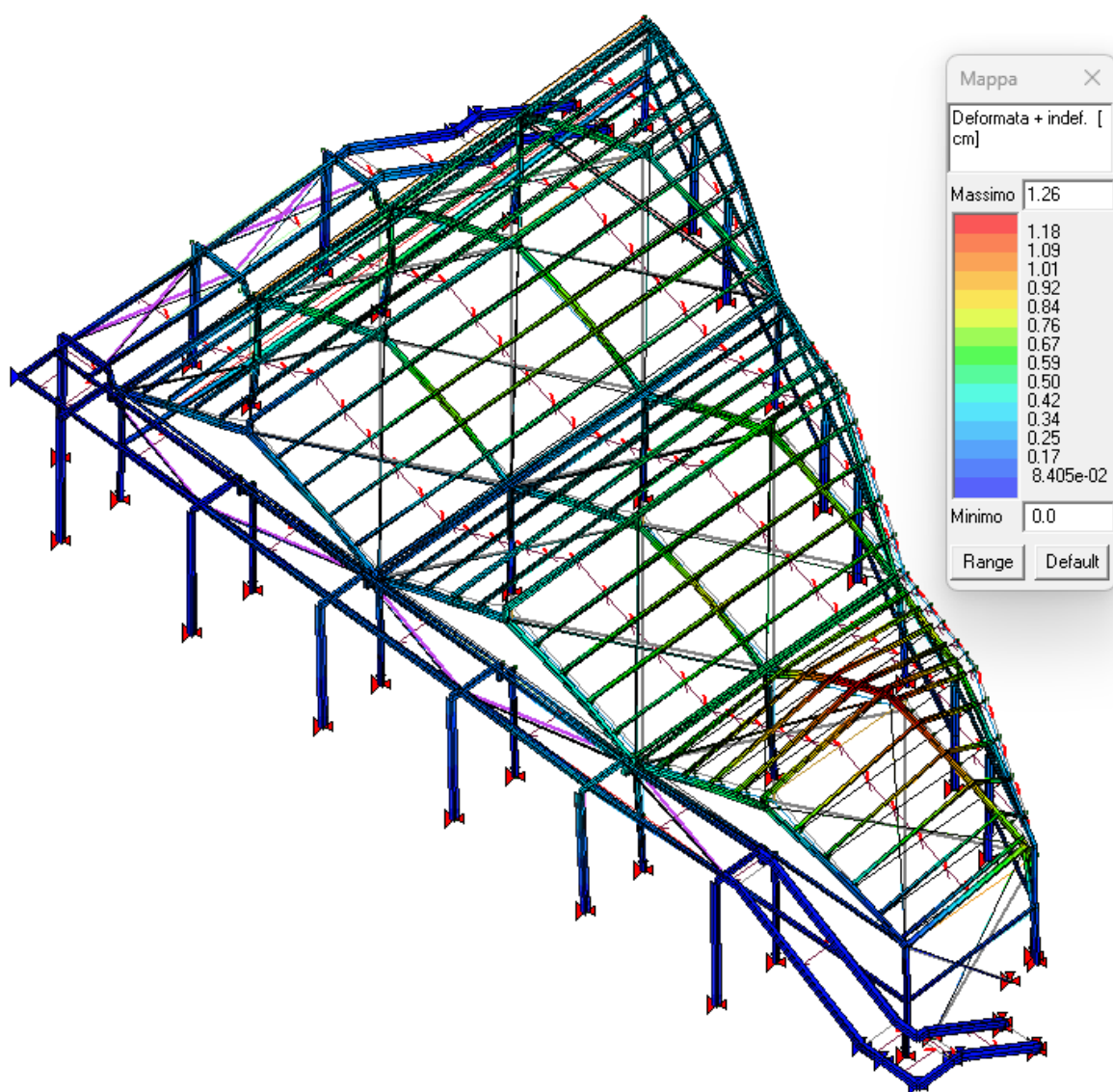


Alfa=90.0 (eccentricità negativa)

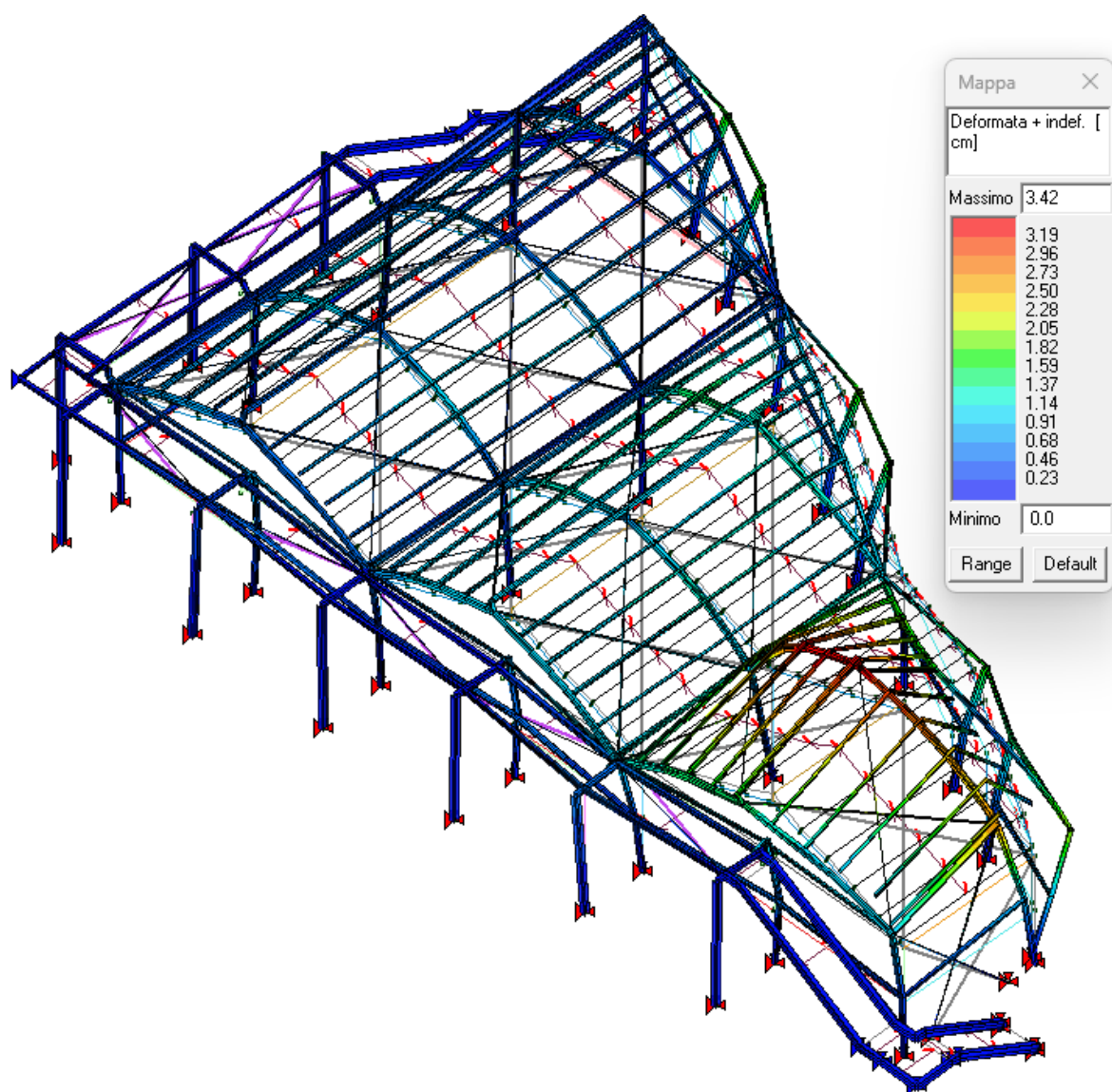
7.2.7 DEFORMATA PER CARICO TERMICO



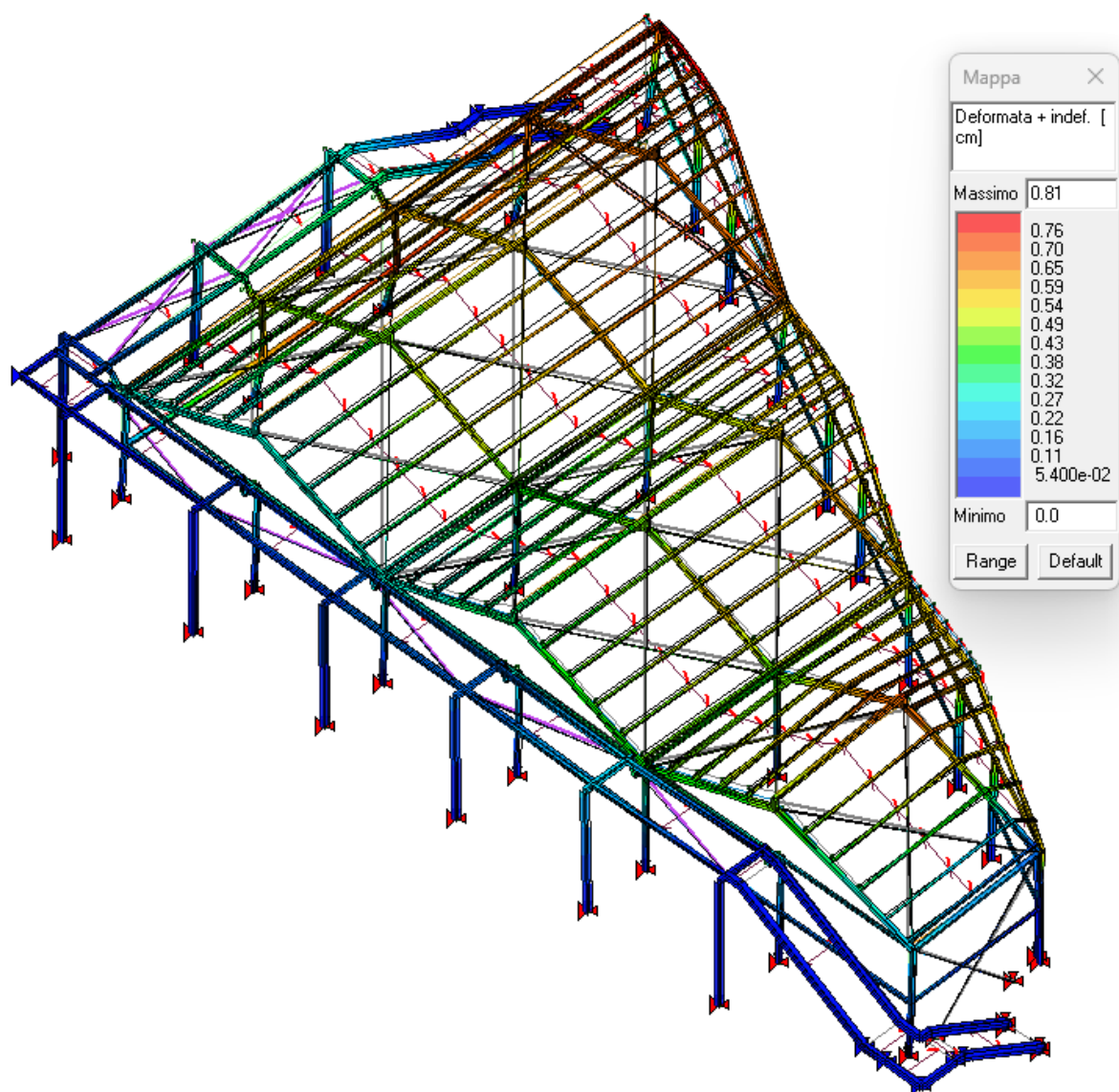
7.2.8 DEFORMATA PER AZIONE VENTO



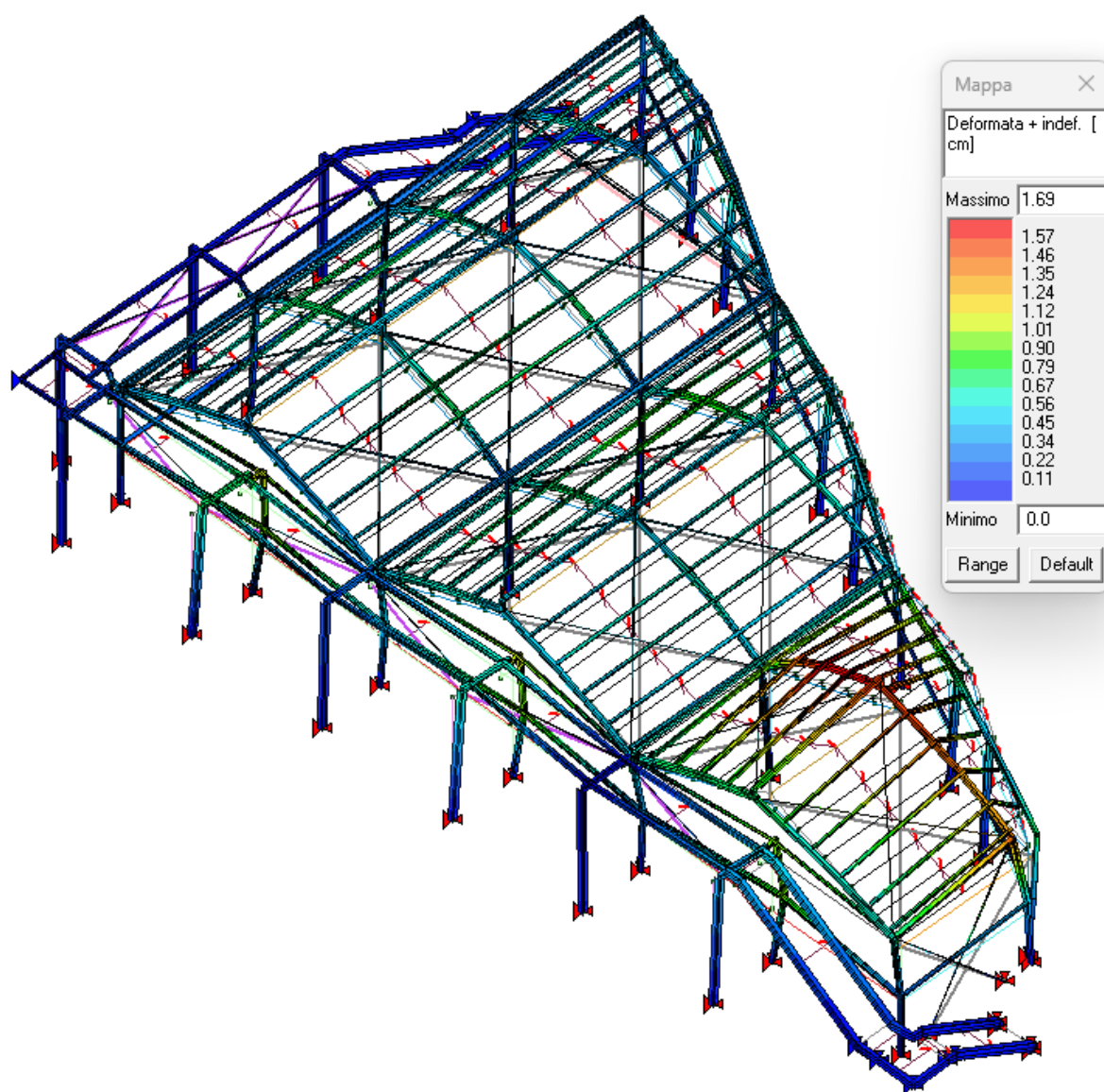
Condizione A direzione X+



Condizione A direzione Y+

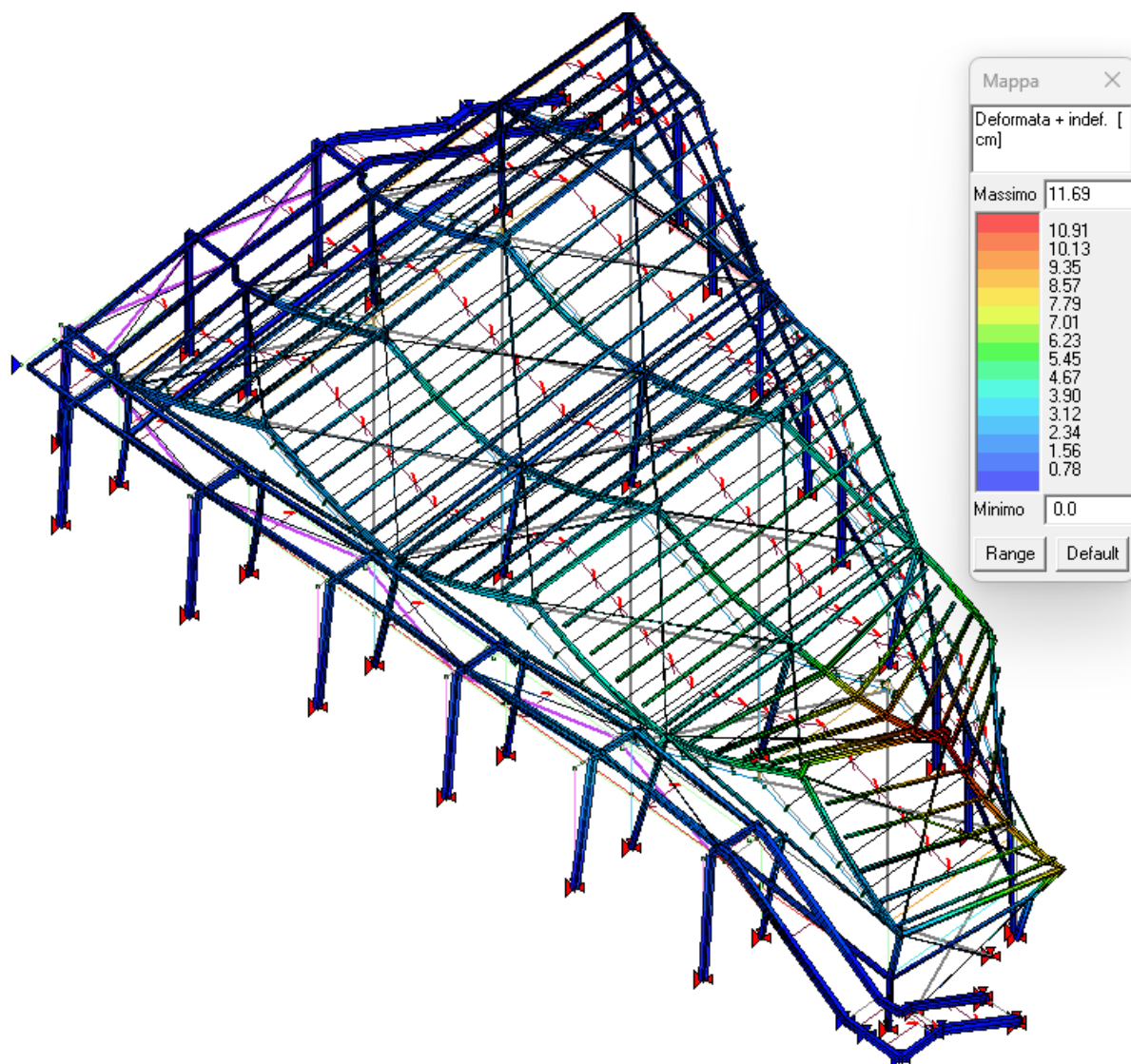


Condizione B direzione X+

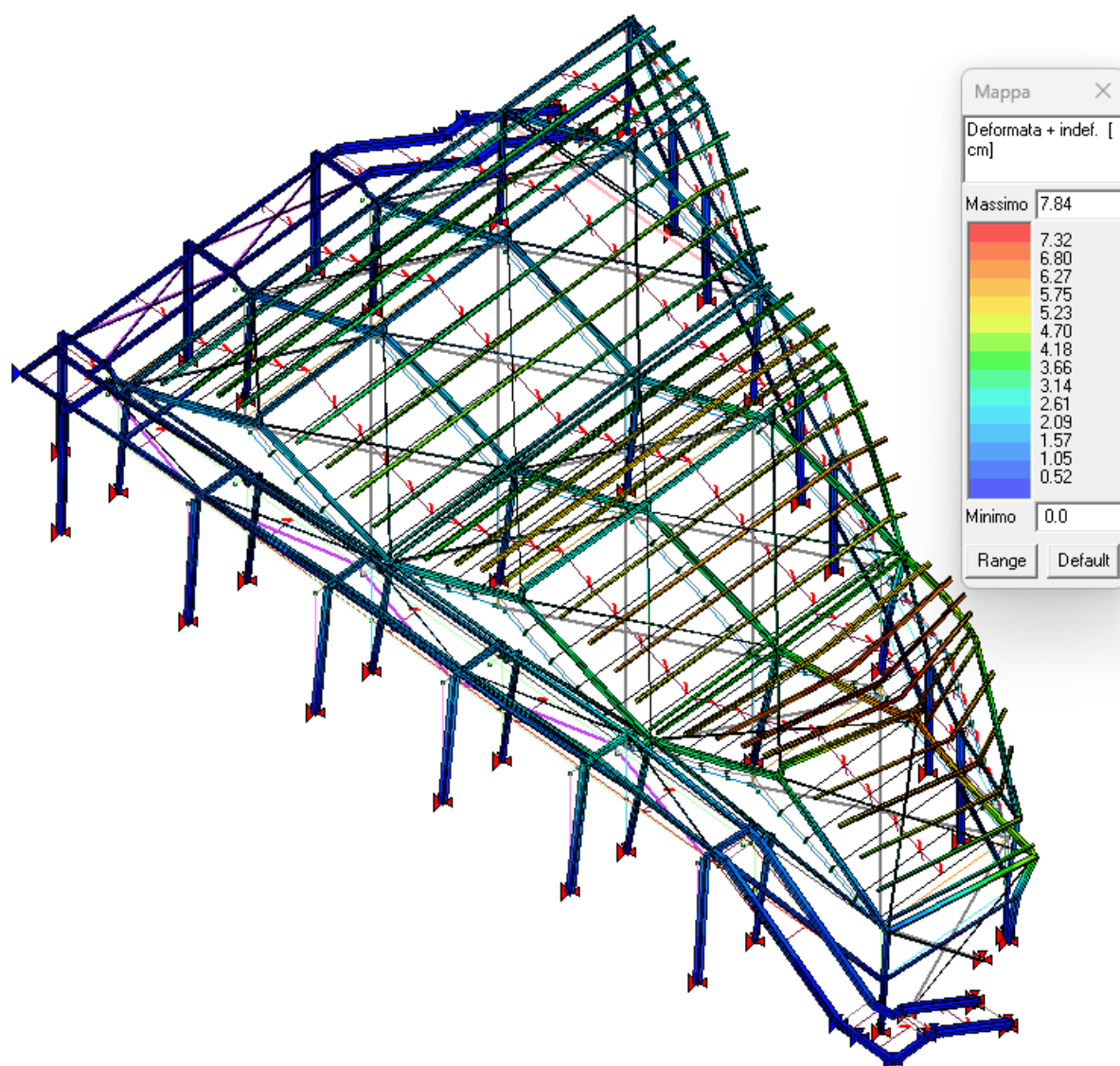


Condizione B direzione Y+

7.2.9 DEFORMATA MASSIMA IN COMBINAZIONE STATICA



7.2.10 DEFORMATA MASSIMA IN COMBINAZIONE SISMICA



7.3 COMMENTI AI RISULTATI OTTENUTI

Dall'analisi dei risultati sopra riportati si evince quanto segue:

1. La struttura per i soli carichi permanenti soddisfa le verifiche anche nel caso del coefficiente $FC = 1.20$;
2. La struttura per i soli carichi gravitazionali, compreso neve e folla, non soddisfa le verifiche di resistenza; anche non applicando il $FC = 1.20$ le verifiche risulterebbero non soddisfatte per circa un ulteriore 25%; è però da notare che soltanto pochi elementi risultano non verificati (gli elementi in questione sono facenti parte della passerella perimetrale);
3. La struttura per i soli carichi termici soddisfa le verifiche;
4. La struttura per la sola azione del vento non soddisfa le verifiche; è però da notare che soltanto pochi elementi risultano non verificati (gli elementi in questione sono facenti parte della passerella perimetrale); non applicando il $FC = 1.20$ le verifiche risulterebbero però soddisfatte;
5. La struttura per la sola azione del sisma non soddisfa le verifiche; è però da notare che soltanto un elemento d'angolo risulta non verificato; anche non applicando il $FC = 1.20$ le verifiche risulterebbero non soddisfatte per circa un ulteriore 3%; gli elementi non verificati risultano essere pochi; le verifiche sismiche risultano soddisfatte per un $\zeta_e = 0.50$.
6. Dalla combinazione di tutte le precedenti azioni la struttura risulta non verificata arrivando ad avere alcuni elementi non verificati di cui soltanto pochi risultano molto lontani dal soddisfacimento della verifica (gli elementi in questione sono facenti parte della passerella perimetrale);
7. Sotto i carichi gravitazionali la struttura mostra una deformata accentuata nella parte stretta per assenza di elementi di controspinta della copertura (la struttura risulta scollegata nell'angolo);
8. Sotto l'azione del vento, nelle diverse combinazioni, la deformata massima si localizza sempre nella parte stretta per assenza di elementi di controspinta della copertura (la struttura risulta scollegata nell'angolo).

I risultati sopra ottenuti sono già stati ottimizzati facendo una stima dei carichi reali molto accurata e l'analisi della corretta schematizzazione dei vincoli tra gli elementi.

Operando una riduzione del sovraccarico folla da 400daN/mq a 200daN/mq, plausibile date le ridotte dimensioni della passerella in larghezza, molte delle suddette verifiche risulterebbero soddisfatte lasciando comunque le criticità principali concentrate nella lunga trave delle scale rettilinee di accesso alla passerella e nei pilastri frontali intermedi che si oppongono all'azione del vento.

Riducendo ulteriormente il carico della folla fino a scendere al livello di 100daN/mq le verifiche statiche per i carichi gravitazionali risultano soddisfatte, lasciando residue solo le criticità per i pilastri frontali che si oppongono all'azione del vento.

Da quanto sopra riportato, facendo riferimento anche al parere del CTS n°39 della Regione Toscana, è possibile concludere che la verifica statica del fabbricato in esame non risulta soddisfatta, ma questo non significa necessariamente che ci sia un pericolo grave o che l'edificio sia inutilizzabile. Questo accade perché i parametri di verifica statica delle normative sono particolarmente restrittivi per gli edifici esistenti. Nel caso in esame la struttura svolge la propria funzione da oltre 20 anni senza mostrare segni di cedimento o lesioni e questo suggerisce che esista un margine di sicurezza all'interno dei parametri utilizzati nel processo di verifica; è quindi probabile che i materiali stiano lavorando con un coefficiente di sicurezza inferiore a quello richiesto per le nuove costruzioni.

Inoltre, la struttura attiva ulteriori riserve di resistenza per effetto della ridistribuzione delle sollecitazioni fra gli elementi, resa possibile dai nodi che, sebbene modellati come cerniere in ragione della loro conformazione geometrica, mantengono una capacità di rotazione non nulla, quantomeno in campo plastico.

8 VALUTAZIONE DI VULNERABILITA' SISMICA

Benché sia stata eseguita la valutazione sismica del fabbricato, si precisa che, allo stato attuale, la fase statica connessa all'azione del vento e al carico folla sulla passerella non risulta verificata. Considerato che la struttura è in esercizio da oltre vent'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.

Preme però precisare che le analisi svolte e sopra riportate e commentate sono state fatte con una azione sismica pari al 100% di quella per gli edifici di nuova costruzione. Risulta pertanto che risolte le criticità statiche puntuali dovute al carico folla e al carico vento, la struttura si presta ad essere adeguata sismicamente con pochi interventi mirati. Allo stato attuale la struttura ha un grado sismico pari a $\zeta_e = 0.50$.

Dalle precedenti analisi sono escluse le fondazioni in quanto non sussistono condizioni che possono dare luogo a fenomeni di instabilità globale e non sussiste nessuna tra le condizioni di cui al cap. 8.3:

- nella costruzione siano presenti importanti dissesti attribuibili a cedimenti delle fondazioni o dissesti della stessa natura si siano prodotti nel passato;
- siano possibili fenomeni di ribaltamento e/o scorrimento della costruzione per effetto: di condizioni morfologiche sfavorevoli, di modificazioni apportate al profilo del terreno in prossimità delle fondazioni, delle azioni sismiche di progetto;
- siano possibili fenomeni di liquefazione del terreno di fondazione dovuti alle azioni sismiche di progetto.

9 TIPO DI INTERVENTO PROPOSTO

Dall'analisi di tutti i risultati sopra riportati ne consegue la necessità di intervenire sul fabbricato per risolvere le criticità statiche.

9.1 OBIETTIVI E CRITERI

- Sicurezza strutturale: ricondurre il fabbricato ai requisiti del Cap. 8 NTC 2018 e Circolare 2019 (verifiche SLU; proporzionalità e manutenibilità dell'intervento).
- Minima invasività: preferenza per soluzioni esterne, compatibili con le funzioni e con la manutenzione, nel rispetto degli elementi vetrati attuali.
- Comportamento globale: favorire la redistribuzione delle sollecitazioni; i nodi, sebbene modellati come cerniere per geometria, dispongono di capacità rotazionale almeno in campo plastico, attivando riserve di duttilità e mitigando le concentrazioni di domanda.
- Coerenza sismica: evitare irrigidimenti localizzati non governati; rispetto della gerarchia delle resistenze e controllo degli spostamenti (NTC Cap. 7-8).

9.2 MISURA GESTIONALE IMMEDIATA – PASSERELLA

- Prescrizione d'uso: limitazione del carico folla a 100 daN/m² (1,00 kN/m²).
- Attuazione pratica:
 - segnaletica permanente con indicazioni di carico/affollamento;
 - contingentamento accessi e divieto di carichi concentrati non previsti;
 - eventuale controllo operativo (barriere/contapersone).
- Effetto atteso: riduzione della domanda su elementi e collegamenti della passerella e sugli appoggi, con miglioramento del margine di sicurezza fino all'esecuzione dell'intervento strutturale.

9.3 INTERVENTO STRUTTURALE PRINCIPALE – RADDOPPIO DEL SISTEMA VERTICALE

Concept: inserimento di pilastri perimetrali esterni, in corrispondenza degli esistenti, ancorati alle fondazioni esistenti per ripartire i carichi e incrementare robustezza e stabilità.

Criteri essenziali di progetto (NTC Cap. 4, 7, 8):

- Raddoppio/accoppiamento: posizionamento in asse o con modesta eccentricità; eventuali traversi/saette tra nuovi ed esistenti per comportamento solidale e limitazione di torsioni parassite.
- Fondazioni e ancoraggi: verifica di capacità portante, punzonamento e trazione.
- Collegamento all'esistente: aggancio efficace a Pilastri/travi di bordo per trasferire azioni orizzontali e limitare meccanismi locali.
- Stabilità globale/locali: controllo snellezze e rischio di buckling; se richiesto, controventi perimetrali o riduzione delle lunghezze d'inflessione.
- Compatibilità sismica: taratura della rigidezza per evitare concentrazioni di domanda; rispetto della gerarchia delle resistenze nei collegamenti.
- Durabilità (ambiente serra): zincatura a caldo per elementi esposti; protezioni di piastre e ancoraggi; dettagli che evitino ristagni e corrosione.

Lucca, GG/MM/AAAA

Il Progettista