



RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

**COMPLESSO SCOLASTICO DI PIEVE SAN GIACOMO
EDIFICIO ADIBITO A REFETTORIO – SALA POLIFUNZIONALE**

Pieve San Giacomo
Cremona CR

Indice

1. Premessa
2. Descrizione opera
3. Dati generali relativi alla struttura
4. Riferimenti normativi
5. Materiali
6. Analisi e combinazioni dei carichi
7. Azione sismica
8. Caratteristiche dell'Analisi e del Codice di Calcolo (cfr. NTC - § 10.2)
9. Principali risultati
10. Conclusioni
11. Allegato A - Progetto e verifica di pilastro in c.a..
12. Allegato B - Progetto e verifica di copertura lignea
13. Allegato C - Progetto e verifica di platea di fondazione in c.a.

1. Premessa

Il presente elaborato costituisce la relazione di calcolo strutturale, comprensiva di una descrizione generale dell'opera e dei criteri generali di analisi e verifica, in accordo con le prescrizioni contenute nel paragrafo 10.1 delle "Norme Tecniche" per le Costruzioni. Relativamente al progetto in oggetto il documento descrive in particolare le modalità operative di applicazione della normativa vigente. Le fasi di progetto, analisi, calcolo e verifica sono state svolte a "regola d'arte" dal progettista, secondo i dettami della scienza e tecnica delle costruzioni. Per verificare gli elementi strutturali e le sezioni sollecitate dalle azioni di modello ed al fine di garantire la sicurezza della costruzione è stato utilizzato il metodo agli stati limite, rispettando le prescrizioni previste dalle normative di riferimento elencate nel documento. Si riporta di seguito in proposito l'insieme delle verifiche strutturali, atte a garantire la resistenza ed il comportamento della struttura sia in condizioni di esercizio che sotto l'azione di eventi di carico straordinari. Secondo le indicazioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni la relazione di calcolo riporta infine una sezione relativa alle analisi svolte con l'ausilio di codici di calcolo automatico, al fine di facilitare l'interpretazione e la verifica dei calcoli svolti e di consentire elaborazioni indipendenti da parte di soggetti diversi dal redattore del documento.

2. Descrizione dell'opera

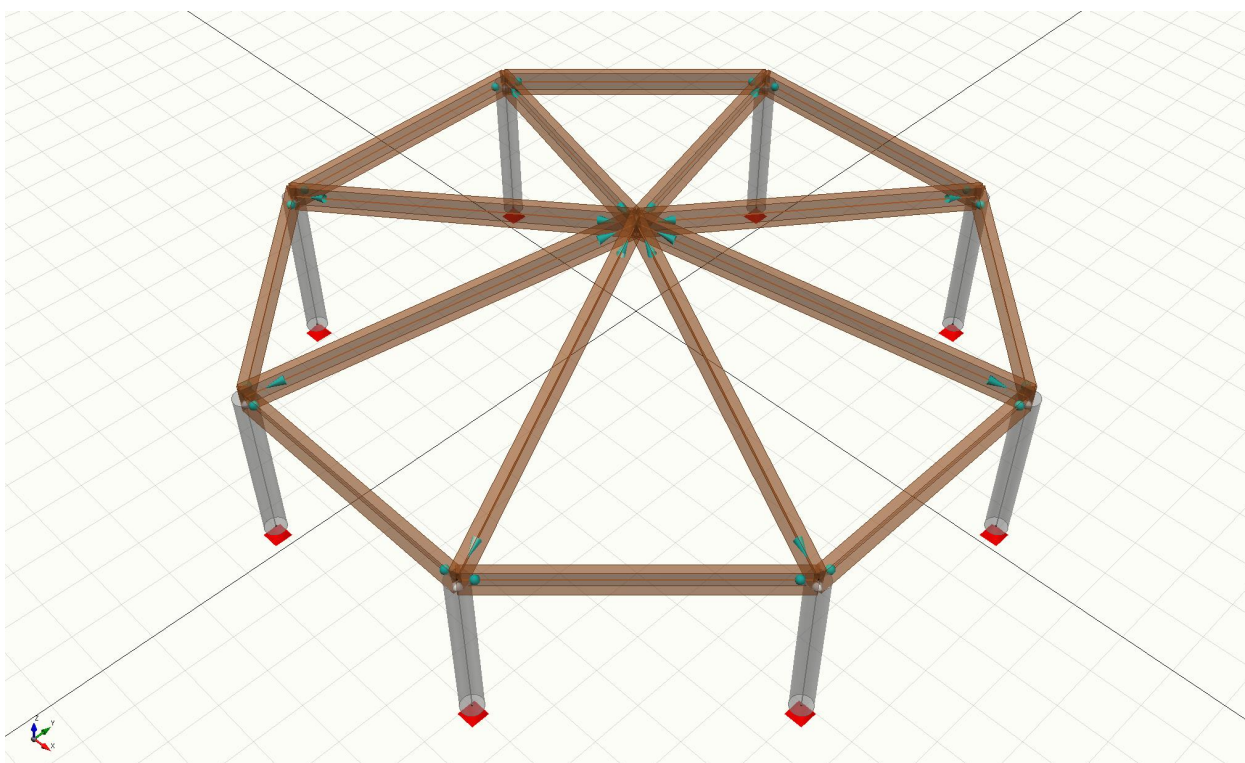
2.1 Caratteristiche dell'edificio

Oggetto di questa analisi è una struttura di un fabbricato di un piano fuori terra destinato ad uso refettorio a servizio del complesso scolastico di Pieve San Giacomo, sito in via Patrioti 25 a Pieve San Giacomo, in provincia di Cremona.

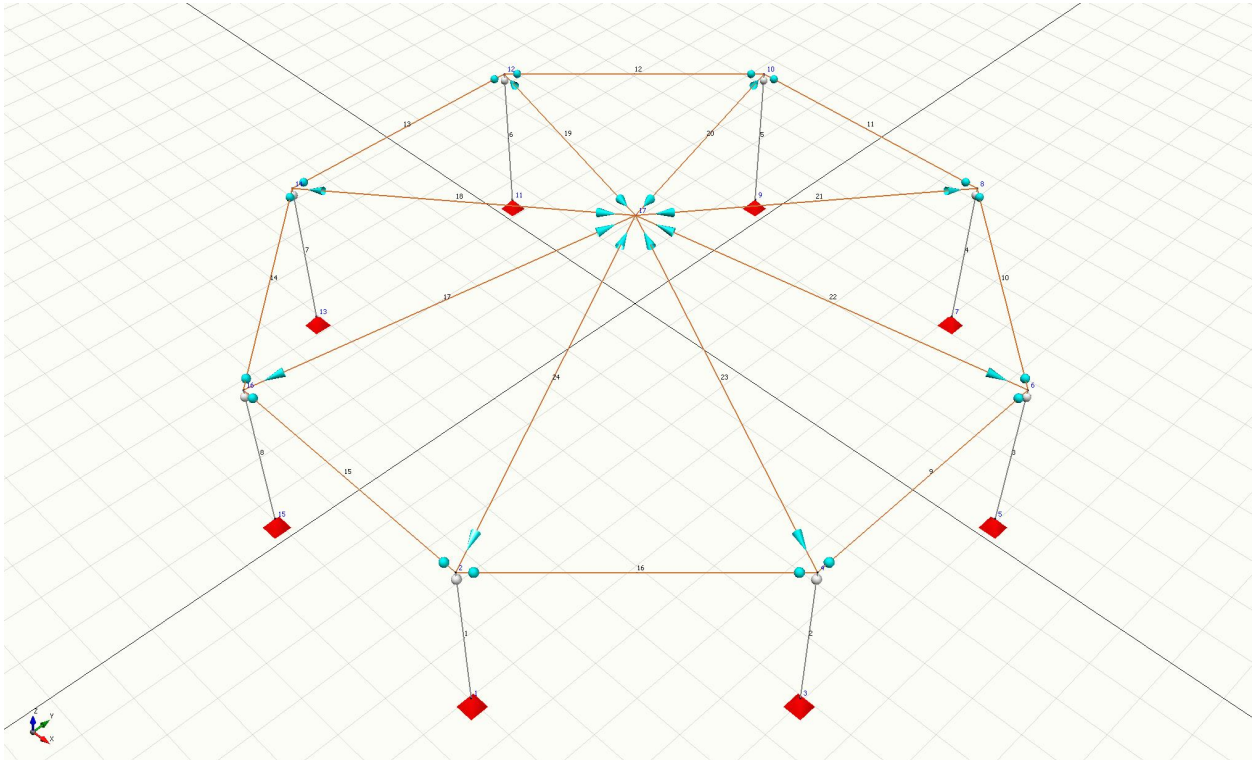
L'edificio ha una impronta ottagonale iscrivibile a una circonferenza di diametro 16,65 m e prevede una struttura composta da 8 pilastri in c.a. a sezione circolare di diametro 0,50 m, posti ad interasse di 6,40 m. Il calcolo e la verifica delle strutture verticali, ovvero dei pilastri in c.a. è oggetto dell'Allegato A.

La copertura è in legno e si compone di una orditura principale costituita da travi di banchina e puntoni diagonali, orditura secondaria rappresentata da arcarecci, doppio assito per uno spessore complessivo di cm 7,5 e pacchetto copertura realizzato con isolamento in lana minerale, guaine impermeabilizzanti e traspiranti, assito e manto di copertura. Il calcolo e la verifica delle strutture in legno di copertura è oggetto dell'Allegato B.

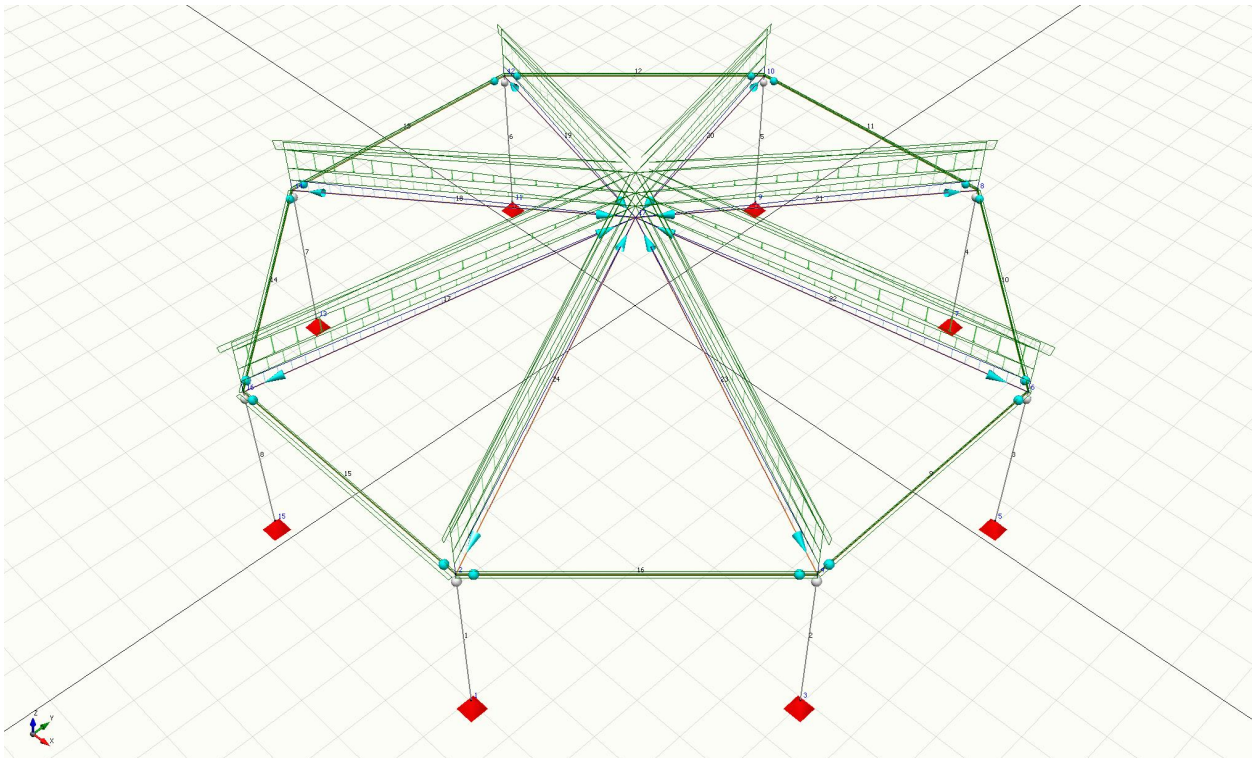
Il calcolo e la verifica delle strutture di fondazione è oggetto dell'Allegato C.



Rappresentazione geometrica del modello 3D



Rappresentazione wire-frame del modello 3D



Rappresentazione wire-frame del modello 3D con carichi applicati

2.2 Criteri di modellazione

Le strutture sono state progettate adottando una modellazione tridimensionale dell'edificio. La struttura portante verticale è stata modellata mediante aste incastrate alla base e incernierate alla sommità, e sono schematizzate in un telaio equivalente costituito da elementi monodimensionali verticali posti in corrispondenza dell'asse baricentrico del corrispondente elemento strutturale.

Al fine di modellare correttamente il collegamento a cerniera tra la copertura lignea ed i pilastri in c.a. sono stati applicati degli svincoli alle aste confluenti nel nodo di collegamento: i tiranti orizzontali sono stati svincolati alla rotazione nelle due direzioni principali, alla sommità del pilastro è stato posto un vincolo a cerniera mentre i puntoni sono stati modellati con un incastro fittizio (incastro all'1%).

La copertura lignea, seppur realizzata in modo da garantire una elevata rigidezza e capacità distributiva, è considerata ai fini del calcolo un elemento secondario, in accordo al §7.2.3. delle NTC2018.

Per determinare i carichi verticali agenti su pilastri sono stati riportati i carichi della copertura sui puntoni diagonali ed il carico dei tamponamenti sulla trave di banchina sia per il calcolo allo stato limite ultimo, sia per il calcolo sismico.

3 Dati generali

In questo paragrafo si riportano le caratteristiche generali relative all'opera, alla località di ubicazione ed i dati anagrafici dei soggetti coinvolti nell'intervento.

3.1 Caratteristiche

Nome Progetto:	Progetto esecutivo strutture		
Tipologia opera:	Edificio scolastico	Tipologia di intervento:	Nuova costruzione
Normativa di riferimento:	Norme Tecniche 2018		
Tipo di analisi:	Analisi agli Stati Limite	Classe d'uso dell'edificio:	IV

3.2 Località

Descrizione area:	Area pianeggiante con ostacoli diffusi		
Comune:	Pieve San Giacomo	Provincia:	CR
Longitudine:	10,187886 °	Latitudine:	45,129763 °
Altitudine:	39	Indirizzo:	Via dei Patrioti, 25

3.3 Dati per analisi sismica

Vita nominale della struttura: 50 anni

Zona Sismica: -3

4. Riferimenti normativi

I calcoli della presente relazione fanno riferimento alla normativa vigente ed in particolare:

Normativa nazionale

- *Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018*
"Norme Tecniche per le Costruzioni 2018"
- *Circolare 21 Gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.*
"Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018"
- *Ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri 20 Marzo 2003, n. 3274.*
"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"
- *CNR-DT 207 R1/2018*
"Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni"

5. Materiali

I materiali ed i prodotti ad uso strutturale, utilizzati nelle opere oggetto della presente relazione, rispondono ai requisiti indicati dal capitolo 11 delle "Norme Tecniche per le Costruzioni". Questi sono stati identificati univocamente dal produttore, qualificati sotto la sua responsabilità ed accettati dal direttore dei lavori mediante acquisizione e verifica della documentazione di qualificazione, nonché mediante eventuali prove sperimentali di accettazione.

Sulla base delle verifiche effettuate in sito ed in conformità alle disposizioni normative vigenti si prevede per la realizzazione del progetto in analisi l'adozione dei materiali di seguito descritti.

Calcestruzzo C25/30

Densità ρ : 2.500,00 kg/m ³	Resistenza caratteristica cubica a compressione R_{ck} : 300,00 daN/cm ²
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione f_{ck} : 249,00 daN/cm ²	Resistenza cilindrica media f_{cm} : 329,03 daN/cm ²
Resistenza media a trazione semplice f_{ctm} : 25,58 daN/cm ²	Resistenza media a flessione f_{ctm} : 30,70 daN/cm ²
Resistenza caratt. trazione semplice, frattile 5% $f_{ctk,5}$: 17,91 daN/cm ²	Resistenza caratt. trazione semplice, frattile 95% $f_{ctk,95}$: 33,26 daN/cm ²
Modulo Elastico E_{cm} : 314.471,60 daN/cm ²	Coefficiente di Poisson ν : 0,20
Coefficiente di dilatazione termica lineare α_t : 1E-05	Coefficiente correttivo per la resistenza a compressione α_{cc} : 0,85
Coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo γ_c : 1,5	Resistenza a compressione di progetto f_{cd} : 141,10 daN/cm ²
Resistenza a trazione di progetto, frattile 5% $f_{ctd,5}$: 11,94 daN/cm ²	Resistenza a trazione di progetto, frattile 95% $f_{ctd,95}$: 22,17 daN/cm ²

Acciaio per cemento armato

Nome: B450 C	Tipologia del materiale: Acciaio ad aderenza migliorata
Tensione caratteristica di snervamento f_{yk} : 450,0 N/mm ²	Coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio γ_s : 1,15
Modulo elastico E_s : 206.000,0 N/mm ²	Densità ρ : 2.500 kg/m ³
Allungamento sotto carico massimo A_{gt} : 67,5 %	Tensione ammissibile σ_s : 260,0 N/mm ²
Coefficiente di omogeneizzazione n : 15	

Legno lamellare GL24H (Abete)

Massa volumica caratteristica $\rho_{g,k}$:	380 kg/m ³	Res caratt. a flessione $f_{m,g,k}$:	24,00 N/mm ²
Massa volumica sfavorevole $\rho_{g,k1}$:	600 kg/m ³	Res caratt. trazione // fibratura $f_{t,0,g,k}$:	16,50 N/mm ²
Modulo elastico medio // fibre $E_{0,g,m}$:	116'000 N/mm ²	Res caratt. trazione \perp fibratura $f_{t,90,g,k}$:	00,40 N/mm ²
Modulo elastico caratt. // fibre $E_{0,g,k}$:	94'000 N/mm ²	Res caratt. a compressione // fibratura $f_{c,0,g,k}$:	24,50 N/mm ²
Modulo elastico caratt. \perp fibre $E_{0,g,k}$:	390 N/mm ²	Res caratt. a compressione \perp fibratura $f_{c,90,g,k}$:	2,70 N/mm ²
Modulo di taglio medio G :	720 N/mm ²	Res caratt. a taglio $f_{v,g,k}$:	2,70 N/mm ²

6. Analisi e combinazioni dei carichi

6.1 Analisi dei carichi

La struttura è soggetta oltre che ai pesi propri anche a carichi esterni dovuti alla presenza di elementi non strutturali ed alla distribuzione di carichi permanenti e variabili legati alla funzione stessa dell'opera. Tra i carichi variabili inoltre vengono considerate le azioni del vento e della neve. Di seguito, in dettaglio la composizione delle azioni e la loro applicazione sulla struttura in esame.

PILASTRI IN C.A.				TOTALE	
G1	Pilastro in c.a. Sez. circolare d = 0,50 m; h = 3,90 m	2'500,00	[daN/m ³]	1'915,00	[daN]

COPERTURA LIGNEA				TOTALE	
G1	Orditura principale Puntoni e Trave di Banchina sez. 20 x 60 cm	380,00	[daN/m ²]	56,00	[daN/m]
	Orditura secondaria Arcarecci sez. 20 x 24 cm	600,00	[daN/m ³]	20,00	[daN/m ²]
	Assito sp. tot. 7,5 cm	600,00	[daN/m ³]	45,00	[daN/m ²]
G2	Assito sp. tot. 2,5 cm	15,00	[daN/m ²]	80,00	[daN/m ²]
	Lana minerale sp. tot. 20 cm	25,00	[daN/m ²]		
	Pannelli fotovoltaici	20,00	[daN/m ²]		
	Manto di copertura tipo BRoof	15,00	[daN/m ²]		
Q	Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione	50,00	[daN/m ²]	50,00	[daN/m ²]

COPERTURA LIGNEA GRONDA L = 1,30 m				TOTALE	
G1	Orditura principale Puntoni e Trave di Banchina sez. 20 x 60 cm	380,00	[daN/m ²]	60,00	[daN]
	Orditura secondaria Arcarecci sez. 20 x 24 cm	600,00	[daN/m ³]	90,00	[daN/m]
	Assito sp. tot. 7,5 cm	600,00	[daN/m ³]		
G2	Assito sp. tot. 2,5 cm	15,00	[daN/m ²]	110,00	[daN/m]
	Lana minerale sp. tot. 20 cm	25,00	[daN/m ²]		
	Pannelli fotovoltaici	20,00	[daN/m ²]		
	Manto di copertura tipo BRoof	15,00	[daN/m ²]		
Q	Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione	50,00	[daN/m ²]	65,00	[daN/m]

TAMPONAMENTO OPACO				TOTALE	
G2	Veletta in legno	60,00	[daN/m]	240,00	[daN/m]
	Parete in cartongesso h = 300 cm	60,00	[daN/m ²]		

TAMPONAMENTO VETRATO				TOTALE	
G2	Veletta in legno	60,00	[daN/m]	180,00	[daN/m]
	Serramento in alluminio h = 300 cm	40,00	[daN/m ²]		

Il carico della veletta e di metà del tamponamento, opaco o vetrato a seconda del caso, sono modellati come carichi distribuiti sulle travi di banchina in modo da poter considerare la massa dei tamponamenti come massa sismica. La porzione di parete inferiore sarà invece direttamente scaricata in fondazione.

PAVIMENTO CONTROTERRA				TOTALE	
G1	Travi in c.a. Sez. rettangolare l = 250 cm; h = 50 cm	2500,00	[daN/m ³]	3'125,00	[daN/m]
G2	Pavimento in Linoleum	4,00	[daN/m ²]	1'000,00	[daN/m ²]
	Sottofondo per impianti sp.10 cm	2500,00	[daN/m ³]		
	Massetto sp. 10 cm	2500,00	[daN/m ³]		
	Isolamento 7+7 cm	40,00	[daN/m ³]		
	Soletta collaborante di collegamento sp. 20 cm	2500,00	[daN/m ³]		
Q	Categoria C5 – Ambienti soggetti ad affollamento	500,00	[daN/m ²]	500,00	[daN/m ²]

6.2 Carichi variabili da vento

Vengono qui di seguito riportati i parametri utilizzati per la valutazione della pressione del vento in conformità a quanto descritto nel paragrafo 3.3 delle NTC:

$$p = q_r C_e C_p C_d$$

con

$$q_r = \frac{1}{2} \rho \cdot v_r^2$$

pressione cinetica di riferimento

$$v_r = v_b C_r$$

velocità di riferimento

$$v_b$$

velocità base di riferimento

$$C_r = 0,75 \{1 - 0,2 \ln[-\ln(1-1/Tr)]\}^{1/2}$$

coefficiente di ritorno

$$C_e$$

coefficiente di esposizione

$$C_p$$

coefficiente di forma

$$C_d$$

coefficiente dinamico

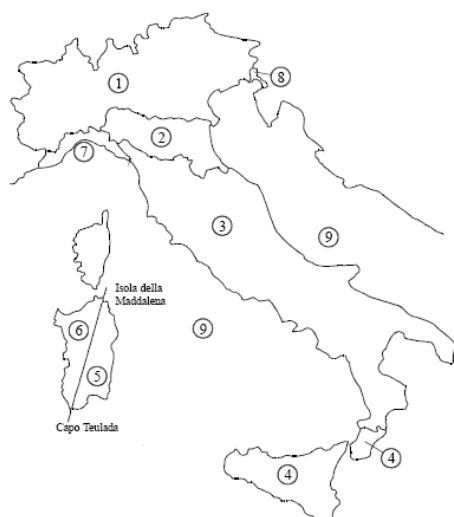
Per il sito e la struttura in esame si individuano i seguenti requisiti

Altitudine s.l.m. a_s

39 m

Zona di vento

1



Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_s
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,40
2	Emilia Romagna	25	750	0,45
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,37
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,36
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,40
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,36
7	Liguria	28	1000	0,54
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,50
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,32

Mapa delle zone in cui è suddiviso il territorio italiano e valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0 , k_s

Essendo:

$$v_b = v_{b0} C_a$$

$$C_a = 1$$

per $a_s \leq a_0$

$$C_a = 1 + k_s (a_s/a_0 - 1)$$

per $a_0 < a_s \leq 1500$ m

velocità di riferimento

v_b 25 m/s

pressione cinetica di riferimento

q_b 390,63 N/m²

ZONE 1,2,3,4,5						
	costa mare	2 km	10 km	30 km	500m	750m
A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5						
** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1						

Definizione delle categorie di esposizione

classe di rugosità del terreno C
 categoria di esposizione del sito III
 altezza dal suolo di calcolo z 6,15 m

Categoria di esposizione del sito	K_r	z_0 [m]	z_{min} [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

essendo poi

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) \cdot [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{min}) \quad \text{per } z < z_{min}$$

coefficiente di esposizione c_e 1,83

Data la particolare forma planimetrica della costruzione in esame si fa riferimento al capitolo G.3. Costruzioni a pianta circolare della CNR DT 207 e smi per il calcolo dei coefficienti di pressione complessivi su ciascuna "faccia" della costruzione, mentre ci si riferisce alla copertura a padiglione (§G.2.3.4) per il calcolo dei coefficienti di pressione per le "facce" della copertura.

Di seguito si riportano i valori dei coefficienti ottenuti e il valore della pressione (positiva o negativa) del vento calcolato.

Carichi variabili da vento su tamponamenti

Faccia sopravvento		Faccia sopravvento laterale	
Coefficiente di pressione C_{pe}	Pressione del vento	Coefficiente di pressione C_{pe}	Pressione del vento
1,00	715,62 N/mq	-0,64	-455,33 N/mq

Faccia laterale		Faccia sottovento	
Coefficiente di pressione C_{pe}	Pressione del vento	Coefficiente di pressione C_{pe}	Pressione del vento
-1,04	-742,62 N/mq	-0,53	-381,66 N/mq

Carichi variabili da vento su falde copertura

Falda sopravvento		Falde laterali e sottovento	
Coefficiente di pressione C_{pe}	Pressione del vento	Coefficiente di pressione C_{pe}	Pressione del vento
-0,50	-357,81 N/mq	-0,80	-572,50 N/mq

6.3 Carichi variabili da neve

Vengono qui di seguito riportati i parametri utilizzati per la valutazione della pressione della neve in conformità a quanto descritto nel paragrafo 3.4 delle NTC:

$$q_s = q_{sk} \mu_i c_E c_t$$

con

q_{sk}	carico neve sulla copertura
μ_i	coefficiente di forma della copertura
q_{sk}	valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo per un periodo di ritorno di 50 anni
c_E	coefficiente di esposizione
c_t	coefficiente termico

Si ipotizza che il carico agisca in direzione verticale e lo si riferisce alla proiezione orizzontale della superficie della copertura.

Per il sito e la struttura in esame si individuano i seguenti requisiti

Altitudine s.l.m. a_s 39 m

Zona 1

Valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo q_{sk} 1,50 kN/m²

Topografia	Descrizione	C_E
Battuta dai venti	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti.	0,9
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi.	1,0
Riparata	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti	1,1

Valori di C_E per diverse classi di topografia

Coefficiente di esposizione c_E 1

Coefficiente termico c_t 1

Angolo della falda α 15°

Coefficiente di forma	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_i	0,8	$0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$	0,0

Valori del coefficiente di forma

Coefficiente di forma della copertura μ_i 0,80

Pressione della neve p 1,20 kN/m²

6.4 Combinazioni di carichi

Con riferimento al paragrafo 2.5.1.3 delle NTC, le azioni che investono la struttura sono classificate in relazione alla durata della loro presenza nell'arco della vita di progetto come:

- *permanenti* (G): azioni con sufficiente approssimazione costanti nel tempo, tra le quali:
 - peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno);
 - peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
 - spostamenti e deformazioni imposti, previsti dal progetto e realizzati all'atto della costruzione;
- *variabili* (Q): azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo:
 - di lunga durata: agisce con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura;
 - di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura;
- *eccezionali* (A): azioni che si verificano eccezionalmente:
 - incendi
 - esplosioni
 - urti ed impatti
- *sismiche* (E): azioni derivanti dai terremoti.

L'effetto delle azioni viene valutato ai fini delle verifiche con l'approccio semiprobabilistico agli stati limite, secondo diverse combinazioni:

- **Combinazione fondamentale** dei carichi, impiegata per gli stati limite ultimi (nei risultati SLU statica)

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- **Combinazione caratteristica rara**, impiegata per gli stati limite di esercizio irreversibili (nei risultati SLE rara)

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- **Combinazione frequente**, impiegata per gli stati limite di esercizio reversibili (nei risultati SLE frequente)

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- **Combinazione quasi permanente**, impiegata per gli effetti a lungo termine (nei risultati SLE quasi permanente)

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- **Combinazione eccezionale**, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

- **Combinazione sismica**, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (nei risultati SLU sisma)

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

Verifiche agli stati limite

Nella verifica allo stato limite ultimo si distinguono le combinazioni **EQU**, **STR** e **GEO** (cfr NTC § 2.6.1), rispettivamente definite come: stato limite di equilibrio EQU, che considera la struttura ed il terreno come corpi rigidi; stato limite di resistenza della struttura STR, da riferimento per tutti gli elementi strutturali, e stato limite di resistenza del terreno GEO.

Nelle verifiche STR, per la progettazione di elementi strutturali, si adottano i coefficienti della colonna A1. Nelle verifiche STR e GEO che coinvolgono azioni di tipo geotecnico possono essere adottati in alternativa, due diversi approcci progettuali. Per l'approccio 1 si considerano due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti di sicurezza parziali per le azioni, per i materiali e per la resistenza complessiva, nell'approccio 2 si definisce un'unica combinazione per le azioni, per la resistenza dei materiali e per la resistenza globale.

Approccio 1, combinazione 1: si utilizzano per le azioni i coefficienti della colonna A1

Approccio 1, combinazione 2: si utilizzano per le azioni i coefficienti della colonna A2

Approccio 2: si utilizzano per le azioni i coefficienti della colonna A1

Coefficienti parziali per le azioni [cfr. NTC 2018 Tabella 2.6.I]

		Coefficiente γ_f	EQU	A1	A2
Carichi permanenti	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	Favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

Le Norme Tecniche prescrivono i valori dei coefficienti ψ in dipendenza dalle caratteristiche della funzione di ripartizione di ciascuna azione: si ammette infatti che, assieme alle azioni permanenti, esistano combinazioni di azioni in cui una sola azione è presente al valore caratteristico mentre le altre hanno intensità ridotte $\psi_0 Q_k$.

Le categorie di azioni variabili ed i rispettivi coefficienti di combinazione utilizzati nell'applicazione dei carichi al modello sono riportati nella tabella seguente:

Destinazione d'uso/azione	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Permanenti	1,00	1,00	1,00
Permanenti non strutturali	1,00	1,00	1,00
Categoria A - Residenziale	0,70	0,50	0,30
Categoria B - Uffici	0,70	0,50	0,30
Categoria C - Ambienti affollati	0,70	0,70	0,60
Categoria D - Aree commerciali	0,70	0,70	0,60
Categoria E - Aree di accumulo o aree industriali	1,00	0,90	0,80
Categoria F - Veicoli con peso $\leq 30\text{kN}$	0,70	0,70	0,60
Categoria G - Veicoli con peso $> 30\text{kN}$	0,70	0,50	0,30
Categoria H - Coperture non praticabili	0,00	0,00	0,00
Categoria I - Coperture praticabili	0,00	0,00	0,00
Categoria K - Coperture per usi speciali	0,00	0,00	0,00
Vento	0,60	0,20	0,00
Neve (a quota $\leq 1000\text{ m s.l.m.}$)	0,50	0,20	0,00
Neve (a quota $> 1000\text{ m s.l.m.}$)	0,70	0,50	0,20
Variazioni termiche	0,60	0,50	0,00

Dettagli per le combinazioni di calcolo.

Per il progetto e la verifica degli elementi strutturali vengono distinti i risultati dell'analisi in condizione statica da quelli dell'analisi sismica.

Progetto e verifica in condizione statica

La verifica degli elementi è condotta considerando i risultati di ciascuna combinazione delle azioni di calcolo in condizione statica, ovvero vengono considerati ed involuppati i risultati massimi e minimi delle seguenti combinazioni:

- Combinazione fondamentale SLU
- Combinazione SLE caratteristica rara
- Combinazione SLE frequente
- Combinazione SLE quasi permanente

Per ciascuna combinazione elencata vengono valutate le distinte configurazioni di carico distinguendo i diversi gruppi di carico e considerando tutte le possibili varianti secondo i metodi del calcolo combinatorio ottenendo così $2^n + 1$ combinazioni, dove 'n' coincide con il numero di carichi accidentali considerati nell'analisi, qui di seguito un esempio esplicativo.

Carico permanente	P
Carico accidentale residenziale	A

Le combinazioni dedotte sono:

P	solo carico permanente
P A	carico permanente + carico accidentale A

Inoltre per le combinazioni SLU e SLE caratteristica vengono individuate in aggiunta le permutazioni di tali configurazioni aventi di volta in volta un carico accidentale principale differente fra quelli considerati, qui di seguito un esempio esplicativo.

Carico permanente	P
Carico accidentale residenziale	A1
Carico accidentale tipo neve	A2
Carico accidentale tipo vento	A3

Le combinazioni dedotte sono:

P	solo carico permanente
P A1	carico permanente + carico accidentale A1
P A2	carico permanente + carico accidentale A2
P A3	carico permanente + carico accidentale A3
P A1 A2	carico permanente + carico accidentale A1 (principale) + carico accidentale A2
P A2 A1	carico permanente + carico accidentale A1 + carico accidentale A2 (principale)
P A1 A3	carico permanente + carico accidentale A1 (principale) + carico accidentale A3
P A3 A1	carico permanente + carico accidentale A1 + carico accidentale A3 (principale)
P A2 A3	carico permanente + carico accidentale A2 (principale) + carico accidentale A3
P A3 A2	carico permanente + carico accidentale A2 + carico accidentale A3 (principale)
P A1 A2 A3	carico permanente + carico accidentale A1 (principale) + carico accidentale A2 + carico accidentale A3
P A2 A1 A3	carico permanente + carico accidentale A1 + carico accidentale A2 (principale) + carico accidentale A3
P A3 A1 A2	carico permanente + carico accidentale A1 + carico accidentale A2 + carico accidentale A3 (principale)

Le effettive combinazioni generate per i diversi stati limite sono riportate nei paragrafi seguenti.

Per gli elementi trave e pilastro, e in generale gli elementi 'asta, vengono involuppati i risultati di ciascuna combinazione e vengono individuati i valori massimi e minimi dando luogo alle seguenti sollecitazioni:

- massima e minima per l'azione assiale N ,
- massima e minima per le azioni di flessione attorno agli assi principali di inerzia di ciascun elemento M_z e M_y ,
- massima e minima per le azioni taglianti lungo gli assi principali d'inerzia T_z e T_y .

Nella verifica di travi e pilastri, e in generale gli elementi 'asta, queste 6 sollecitazioni (N^+ , N^- , M_z^+ , M_z^- , M_y^+ , M_y^-) vengono considerate in condizione di pressoflessione deviata e vengono ulteriormente combinate tra di loro in modo da garantire la copertura delle condizioni più gravose, dando luogo alle seguenti 8 combinazioni:

- N^+ , M_z^+ , M_y^+
- N^+ , M_z^+ , M_y^-
- N^+ , M_z^- , M_y^+
- N^+ , M_z^- , M_y^-
- N^- , M_z^+ , M_y^+
- N^- , M_z^+ , M_y^-
- N^- , M_z^- , M_y^+
- N^- , M_z^- , M_y^-

Per la verifica delle sezioni a taglio vengono individuati i valori massimi in modulo per ciascuna direzione principale scegliendo tra i valori involuppati di progetto (T_z^+ , T_z^- , T_y^+ , T_y^-).

Per gli elementi shell vengono individuati i seguenti valori di verifica:

- massimi e minimi per le tensioni membranali σ_x e σ_y ,
- massimi e minimi per le tensioni membranali τ_{xy} ,
- massimi e minimi per le azioni flessionali M_x , M_y e M_{xy} ,
- massimi e minimi per le azioni taglianti T_{zx} e T_{zy} .

La verifica degli elementi shell di tipo piastra è condotta valutando i valori massimi e minimi delle azioni involupate di flessione M_x , M_y e M_{xy} . Gli elementi bidimensionali a comportamento membranale vengono progettati combinando le sollecitazioni involupate in un calcolo sezionale indipendente.

Dettagli per la combinazione sismica

La valutazione dell'azione sismica E è condotta secondo le specifiche del capitolo 3.2 e in accordo con le prescrizioni del capitolo 7.3.3 delle NTC per i tipi di analisi sismica lineare sia dinamica che statica.

I risultati così ottenuti per ciascuna direzione, X e Y (eventualmente anche Z), vengono poi combinati secondo le indicazioni del capitolo 7.3.5 delle NTC, ovvero vengono sommati i contributi secondo il seguente criterio:

$$E_1 = 1,00 \times E_x + 0,30 \times E_y + 0,30 \times E_z$$

$$E_2 = 0,30 \times E_x + 1,00 \times E_y + 0,30 \times E_z$$

$$E_3 = 0,30 \times E_x + 0,30 \times E_y + 1,00 \times E_z$$

la rotazione dei coefficienti moltiplicativi permette l'individuazione degli effetti più gravosi, la direzione Z è opzionale in virtù delle prescrizioni al paragrafo 7.2.2 delle NTC.

Progetto e verifica in condizione sismica

Le verifiche effettuate in condizione statica vengono integrate con i risultati della combinazione sismica (anche SLU sisma) e secondo le specifiche delle Norme Tecniche per le Costruzioni.

I risultati dell'azione sismica E danno luogo a sollecitazioni involupate e prive di segno in accordo con la combinazione quadratica completa (CQC, § C7.3.3 della Circolare Ministeriale 617 del 2009) necessarie per considerare le correlazioni tra i massimi contributi modali. La combinazione dei risultati nelle diverse direzioni, attraverso gli opportuni coefficienti di interazione, dà luogo alla combinazione sismica più gravosa (E_1 , E_2 , E_3).

Per la verifica di travi e pilastri, e in generale degli elementi 'asta', la componente E della combinazione sismica individuata viene considerata positiva e negativa; la combinazione sismica dà luogo quindi alle sollecitazioni di progetto le quali vengono considerate in condizione di pressoflessione deviata (NE^+ , NE^- , ME_1^+ , ME_1^- , ME_2^+ , ME_2^-) e vengono ulteriormente combinate tra di loro in modo da garantire la copertura delle condizioni più gravose, dando luogo alle seguenti 8 combinazioni:

- NE^+ , ME_z^+ , ME_y^+
- NE^+ , ME_z^+ , ME_y^-
- NE^+ , ME_z^- , ME_y^+
- NE^+ , ME_z^- , ME_y^-
- NE^- , ME_z^+ , ME_y^+
- NE^- , ME_z^+ , ME_y^-
- NE^- , ME_z^- , ME_y^+
- NE^- , ME_z^- , ME_y^-

Per la verifica delle sezioni a taglio vengono individuati i valori massimi in modulo per ciascuna direzione principale scegliendo tra i valori involupati di progetto (TE_z^+ , TE_z^- , TE_y^+ , TE_y^-).

Per gli elementi shell vengono individuati i seguenti valori di verifica:

- massimi e minimi per le tensioni membranali σ_x e σ_y ,
- massimi e minimi per le tensioni membranali τ_{xy} ,
- massimi e minimi per le azioni flessionali M_x , M_y e M_{xy} ,
- massimi e minimi per le azioni taglianti T_{zx} e T_{zy} .

La verifica degli elementi shell di tipo piastra è condotta valutando i valori massimi e minimi delle azioni involupate di flessione M_x , M_y e M_{xy} . Gli elementi bidimensionali a comportamento membranale vengono progettati combinando le sollecitazioni involupate in un calcolo sezionale indipendente.

7. Azione sismica

Nei seguenti paragrafi vengono riportati i parametri utilizzati per la valutazione dell'azione sismica sulla struttura in esame, in accordo alle specifiche definite al capitolo 3.2 e 7.3 delle Norme Tecniche per le Costruzioni. In particolare gli spettri elastici considerati si basano sui dati e le correlazioni definite per il reticolo di riferimento così come definito nell'allegato alle Norme Tecniche per le Costruzioni.

7.1 Caratteristiche del sito

Comune: Pieve San Giacomo

Provincia: CR

Longitudine: 10,187886 °

Latitudine: 45,129763 °

Categoria di sottosuolo: C

Amplificazione topografica: T1

7.2 Caratteristiche dell'edificio

Vita nominale V_N : 50 anni

Classe d'uso: IV

Coefficiente d'uso C_U : 2

Periodo di riferimento V_R : 100,00 anni

	PVR [%]	T_R [anni]	a_g [m / s ²]	F_0	T_C^* [s]
Stato Limite di Operatività	81 %	60	0,42	2,57	0,25
Stato Limite di Danno	63 %	101	0,50	2,57	0,27
Stato Limite di Salvaguardia della Vita	10 %	949	0,97	2,67	0,33
Stato Limite di Prevenzione del Collasso	5 %	1.950	1,21	2,67	0,33

7.3 Parametri sismici

Componente orizzontale

Coefficiente di amplificazione topografica S_T : 1

Fattore di utilizzazione dello spettro elastico η : 1

	S_S	S	C_C	T_B	T_C	T_D
Stato Limite di Operatività	1,50	1,50	1,66	0,14	0,42	1,77
Stato Limite di Danno	1,50	1,50	1,62	0,15	0,44	1,80
Stato Limite di Salvaguardia della Vita	1,50	1,50	1,52	0,16	0,49	1,98
Stato Limite di Prevenzione del Collasso	1,50	1,50	1,51	0,16	0,49	2,08

con S_S coefficiente di amplificazione stratigrafica

S coefficiente di amplificazione topografica e stratigrafica

F_0 fattore di amplificazione spettrale massima su sito rigido orizzontale

F_V fattore di amplificazione spettrale massima

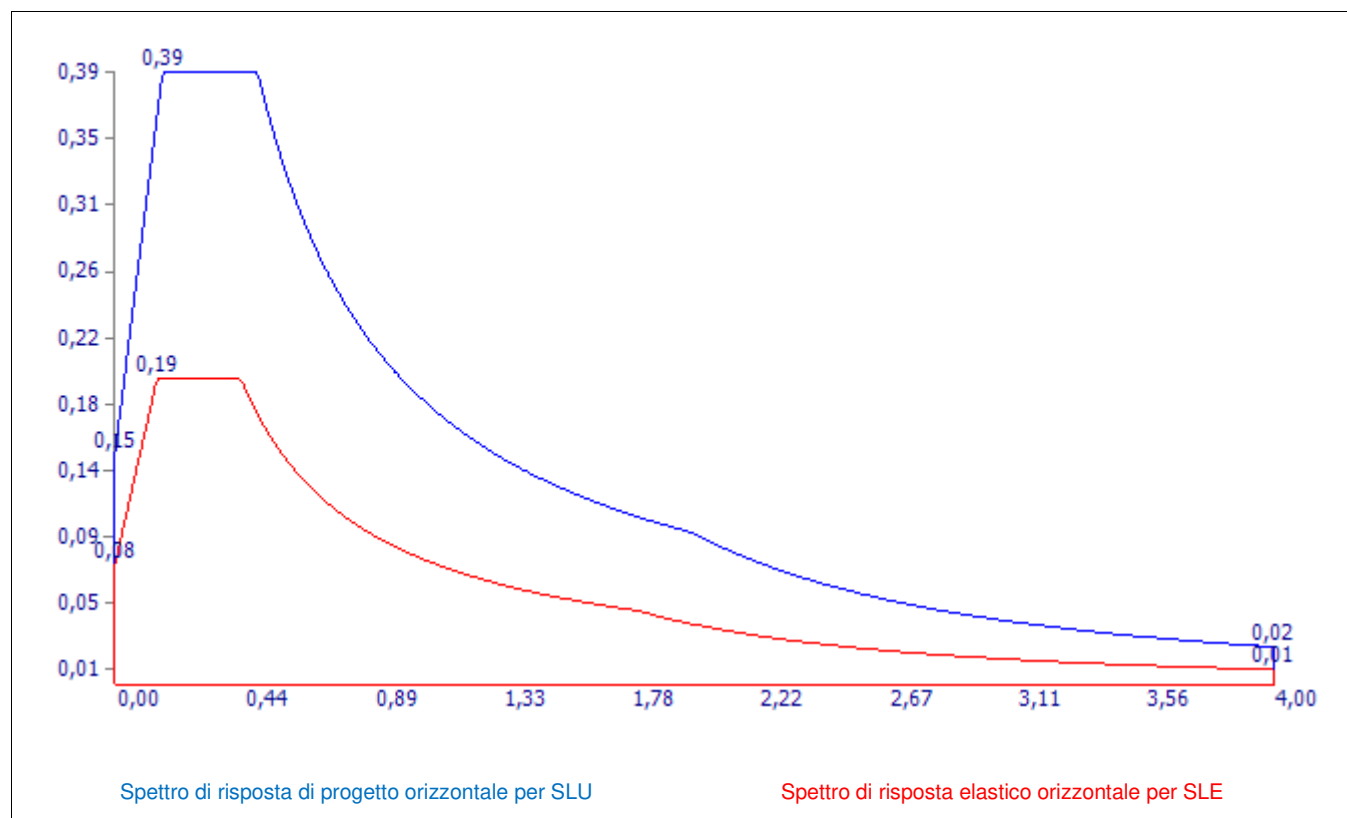
T_C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro, in [s]

T_B periodo di inizio del tratto ad accelerazione costante dello spettro, in [s]

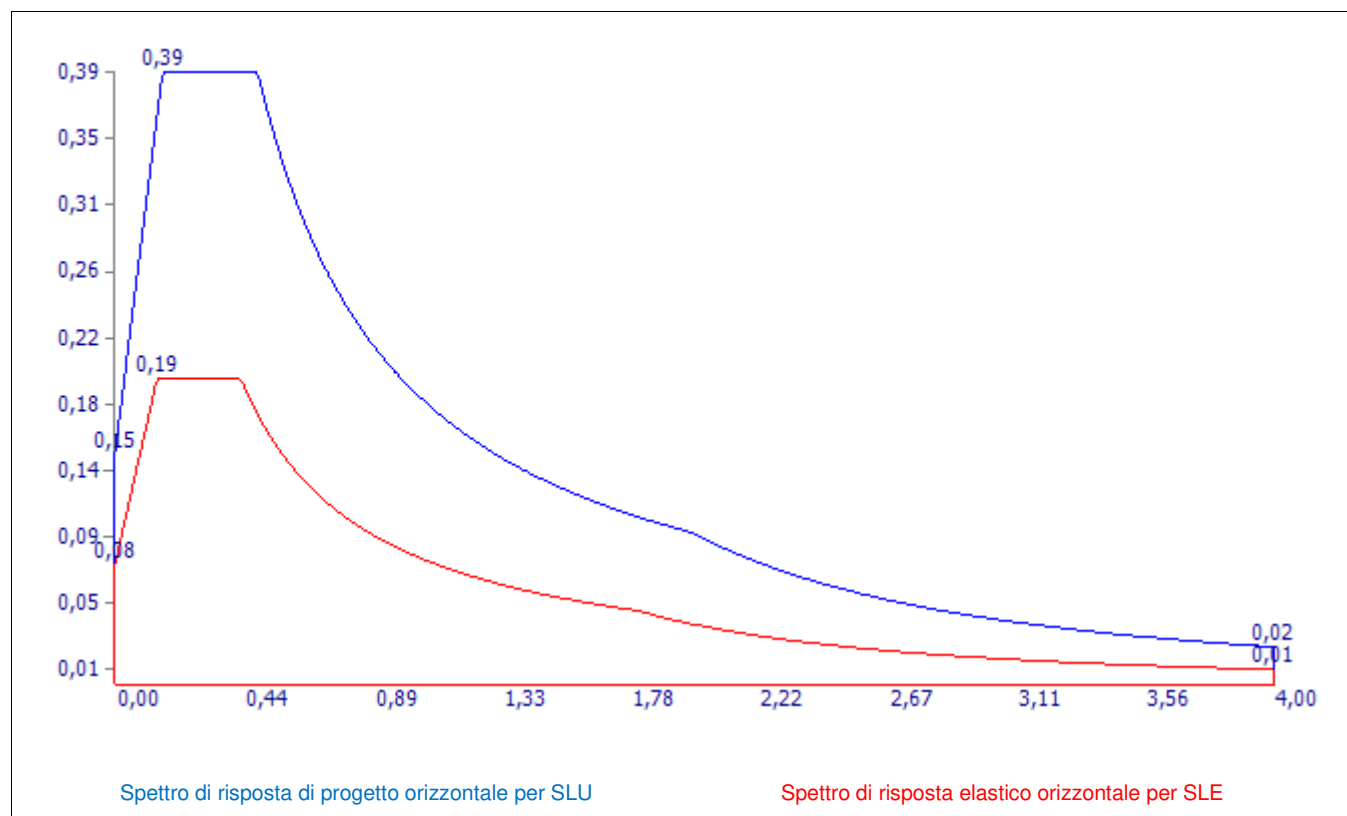
T_D periodo di inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, in [s]

7.4 Spettri di risposta

Direzione X



Direzione Y



7.5 Fattore di comportamento

Qui di seguito vengono riportati i parametri utilizzati per stimare il valore del fattore di struttura 'q' adottato nel calcolo.

Tale parametro è espressione della presenza di sistemi strutturali dissipativi e dalla loro valutazione agli stati limite ultimi per ciascuna direzione dell'azione sismica, in funzione della tipologia strutturale, del grado di iperstaticità e dai criteri di progettazione adottati e prende in conto le non linearità del materiale.

L'espressione più generica per il calcolo del fattore di struttura è:

$$q = q_0 K_R K_W$$

Parametri di calcolo

Classe di duttilità: Non dissipativa

Regolarità in pianta: Regolare

Tipologia di modello strutturale: Edificio c.a.

Rapporto di sovra resistenza α_U/α_1 : 1,1

Tipologia strutturale: Struttura a pendolo inverso

Fattore di comportamento massimo q_0 : 1,00

Regolarità in altezza: Edifici regolari

Fattore riduttivo K_R : 1

Rapporto tra altezza a larghezza delle pareti α_0 : 2

Fattore correttivo k_W : 1

Fattore di comportamento

Fattore di comportamento q_x – componente orizzontale in direzione X: 1,00

Fattore di comportamento q_y – componente orizzontale in direzione Y: 1,00

Coefficiente di amplificazione

Coefficiente di amplificazione dell'azione sismica in direzione X: 1

Coefficiente di amplificazione dell'azione sismica in direzione Y: 1

8. Caratteristiche dell'Analisi e del Codice di Calcolo (cfr. NTC - § 10.2)

L'analisi strutturale del progetto e le relative verifiche effettuate sono state condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. In conformità con quanto richiesto dalle NTC § 10.2 si riportano di seguito le caratteristiche riguardanti la tipologia di analisi svolta ed il codice di calcolo utilizzato.

8.1 Analisi svolta

L'analisi condotta per la valutazione dell'azione sismica è di tipo lineare, in particolare è stata eseguita un'analisi dinamica modale.

8.2 Metodo di verifica

Le verifiche condotte si basano sul metodo degli Stati Limite sia per le condizioni ultime che di esercizio della struttura, così come definito al capitolo 4 e 7 delle Norme Tecniche per le Costruzioni.

8.3 Origine e Caratteristiche del Codice di Calcolo

Software	TRAVILOG TITANIUM 7 versione 9 2021
Autore, produttore e distributore	Logical Soft s.r.l – via Garibaldi 253, 20832 Desio (MB)
Metodo numerico adottato	Metodo di calcolo agli elementi finiti
Solutore ad elementi finiti adottato	Xfinest di Harpaceas

La licenza di utilizzo del codice di calcolo è concessa da Logical Soft s.r.l a:
STUDIO ASSOC.DI ING. E ARCH. CERIOLI, Codice Cliente: 2894
VIALE TRENTO E TRIESTE 106, 26100, CREMONA - CR

8.4 Caratteristiche dell'Elaboratore

Sistema Operativo	Sistema Operativo Nome: Microsoft Windows 10 Pro Versione: 6.2.9200.0 RAM: 32559 MByte
Processore	Processore computer Tipo CPU: Intel(R) Core(TM) i9-10920X CPU @ 3.50GHz Intel64 Family 6 Model 85 Stepping 7 Velocità CPU: 3504 MHz
Scheda Video	Scheda grafica Descrizione: NVIDIA Quadro P2200 Versione Driver: 27.21.14.5148 Modalità video: 2560 x 1440 x 4294967296 colori Processore video: Quadro P2200 Accelerazione: sconosciuta RAM: 4.095 MByte

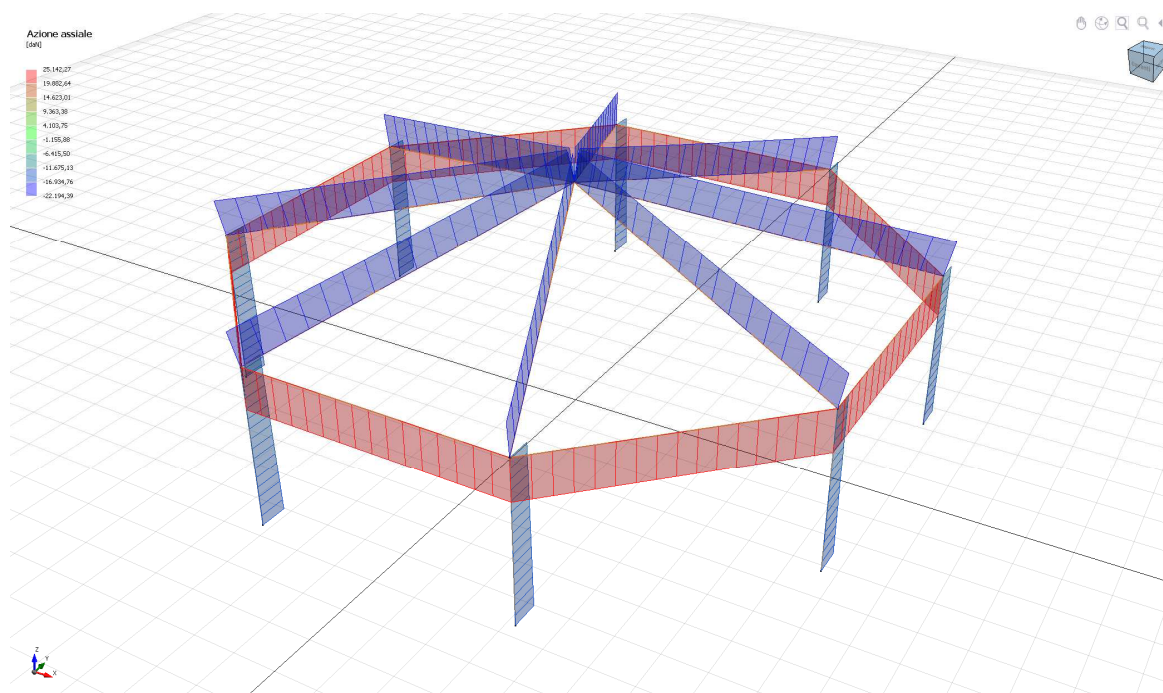
9. Principali risultati

Si riportano di seguito i diagrammi delle azioni sollecitanti principali tratte dalla modellazione 3D.

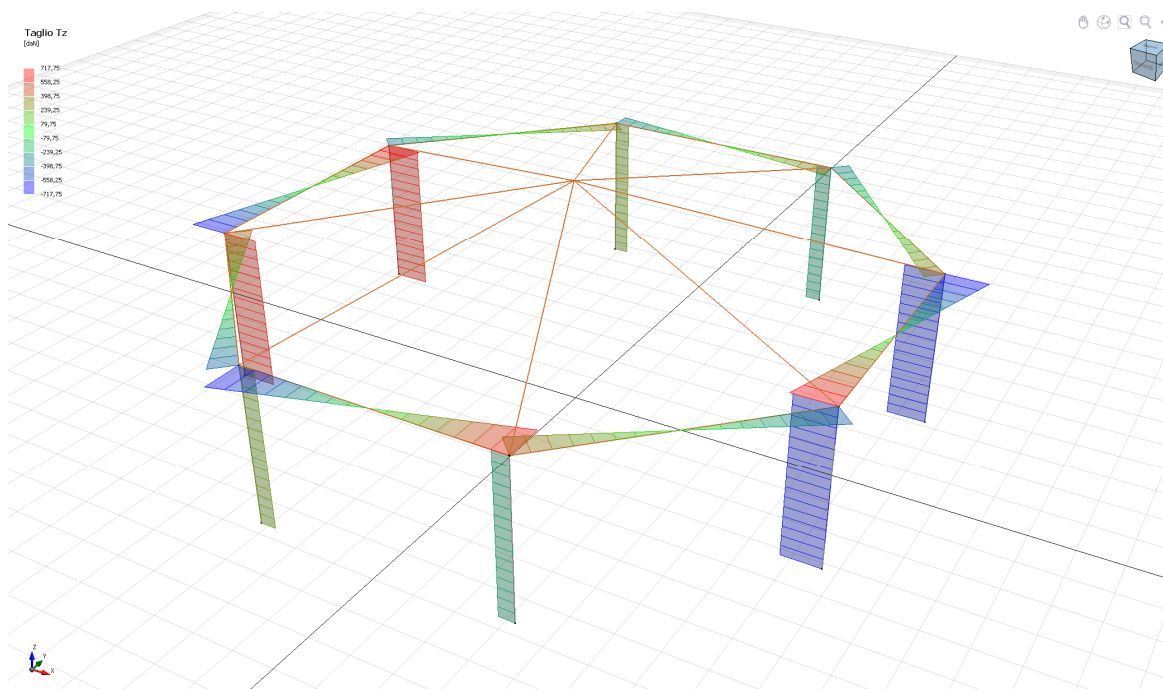
Dai grafici riportati si evince come la condizione sismica sia dimensionante per le strutture in c.a. mentre la struttura in legno di copertura sarà dimensionata sulle sollecitazioni ottenute allo Stato Limite Ultimo.

9.1 Sollecitazioni Stato Limite Ultimo

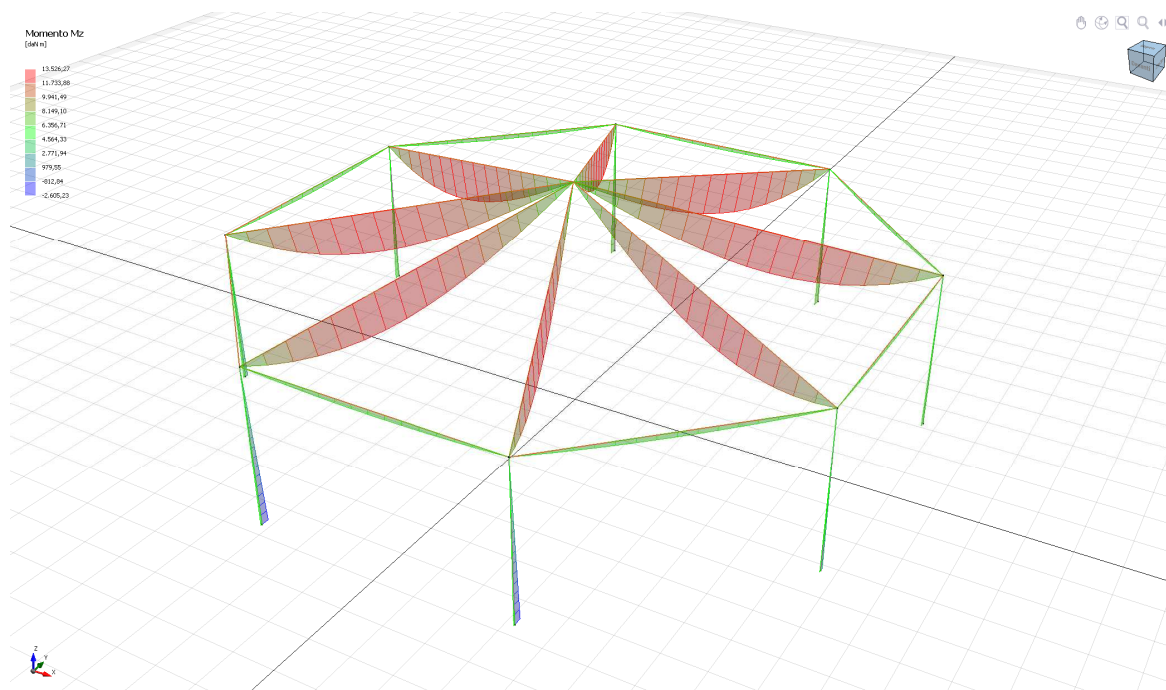
Azione Assiale N



Azione Tagliante V



Azione Flettente Mz

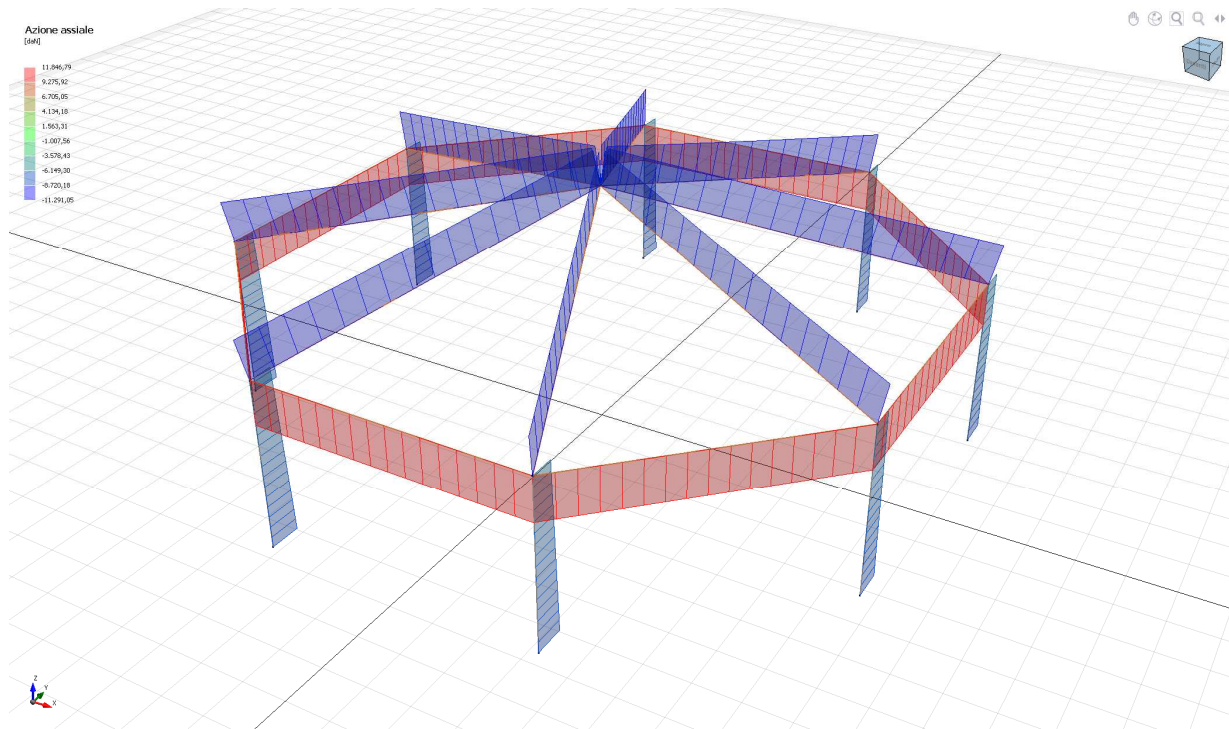


Riepilogo SLU

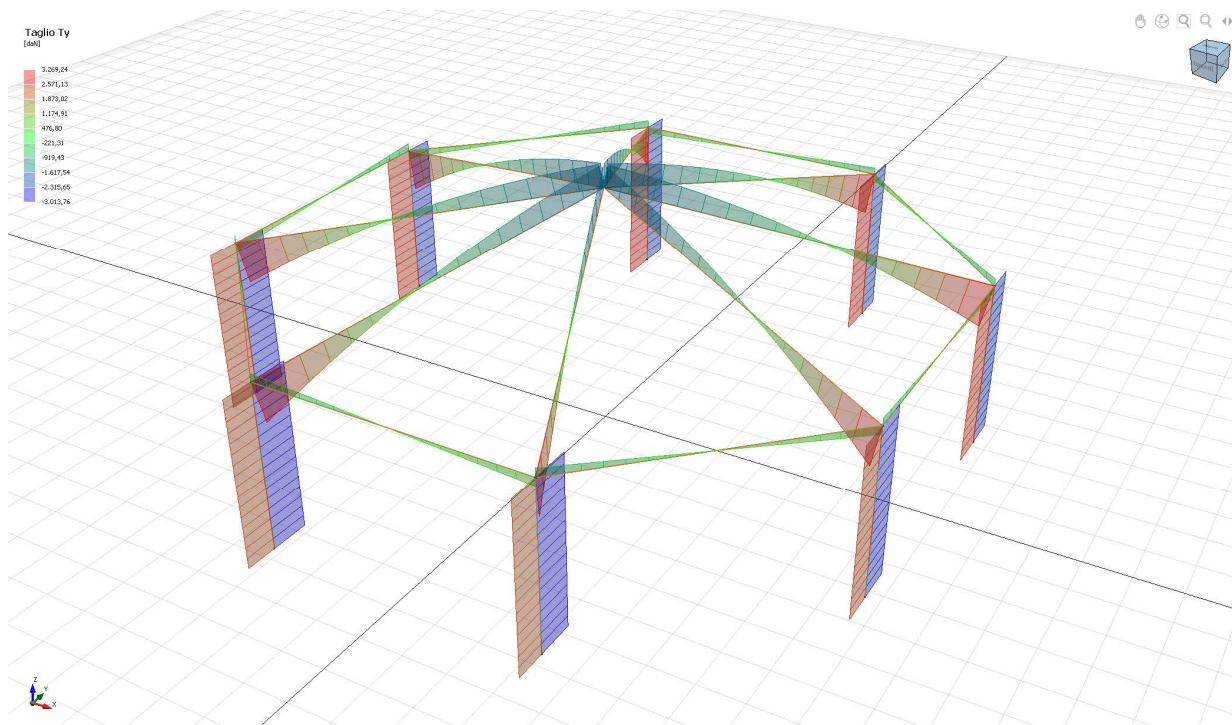
	Azione Assiale N	Azione Tagliante V	Azione Flettente Mz
Pilastro in c.a.	17'000 daN	670 daN	2'610 daN m
Trave Puntone in legno	22'200 daN	8'200 daN	13'600 daN m
Trave Banchina in legno	25'150 daN	905 daN	1'450 daN m

9.2 Sollecitazioni Stato Limite Salvaguardia della Vita

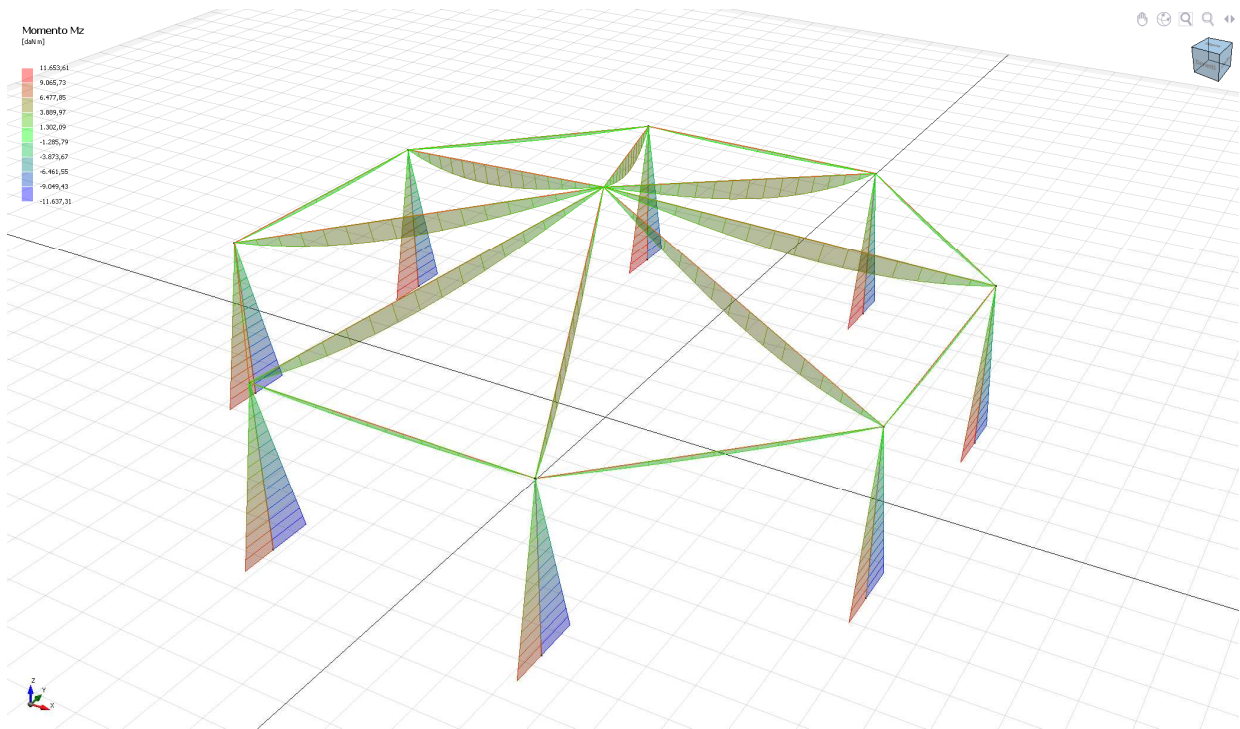
Azione Assiale N



Azione Tagliante V



Azione Flettente Mz



Riepilogo SLV

	Azione Assiale N	Azione Tagliante V	Azione Flettente Mz
Pilastro in c.a.	8'700 daN	3'000 daN	11'600 daN m
Trave Puntone in legno	11'300 daN	3'300 daN	5'500 daN m
Trave Banchina in legno	11'900 daN	650 daN	1'000 daN m

9.3 Verifica delle non linearità geometriche - Stato Limite Salvaguardia della Vita

Le non linearità geometriche sono prese in conto attraverso il fattore Θ di seguito definito. In particolare, per le costruzioni civili ed industriali esse possono essere trascurate nel caso in cui ad ogni orizzontamento risulti:

$$\Theta = P \, dr / (V \, h) < 0,1$$

dove

P è il carico verticale totale della parte di struttura sovrastante l'orizzontamento in esame

Dr è la differenza tra lo spostamento orizzontale dell'orizzontamento considerato e lo spostamento dell'orizzontamento sottostante;

μd è il fattore di correzione degli spostamenti ottenuti dall'analisi lineare

V è la forza orizzontale totale in corrispondenza dell'orizzontamento in esame;

h è la distanza tra l'orizzontamento in esame e quello immediatamente sottostante.

Piano	P [daN]	h [cm]	d_{rx} [cm]	V_x [daN]	d_{ry} [cm]	V_y [daN]	θ_x	θ_y	Verifica
Piano 1	51'100	390,00	0,6	11'260,00	0,6	11'260,00	0,007	0,007	Verificato

9.4 Verifica del drift di piano - Stato Limite Danno

Drift ammissibile $d/dh = 0,01$ - §7.3.6 Rispetto dei requisiti nei confronti degli stati limite

Nodo	h [m]	dx [cm]	dy [cm]	dz [cm]	drift x [cm]	drift x/dh	drift y [cm]	drift y/dh	drift l [cm]	drift l/dh	Sfruttamento	Verifica
1	0,00	0,000	0,000	0,000							0,00	SI
2	3,90	0,306	0,337	0,005	0,306	0,0008	0,337	0,0009	0,455	0,0012	0,17	SI

10. Conclusione

Nel rispetto di quanto richiesto nel capitolo 10 dalle Norme Tecniche per le Costruzioni ed al fine di fornire un giudizio motivato di accettabilità dei valori raggiunti, alla luce delle verifiche e dei calcoli effettuati, di cui è data spiegazione nel presente documento, il progettista strutturale ritiene che i risultati ottenuti relativamente al progetto in oggetto siano conformi a quanto previsto dai regolamenti e dalle leggi vigenti in materia. A supporto di tale affermazione il progettista dichiara di aver controllato accuratamente i tabulati ottenuti mediante codice di calcolo, di aver preliminarmente esaminato il software di calcolo, ritenendolo affidabile ed idoneo alla struttura in oggetto, di aver confrontato i risultati ottenuti da analisi computazionale con semplici calcoli di massima svolti dallo stesso progettista e di aver infine esaminato gli stati tensionali e deformativi, ritenendoli consistenti e coerenti con la modellazione della struttura analizzata.