



PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR)  
MISSIONE M2 – COMPONENTE C3 – INVESTIMENTO 1.1  
Costruzione di nuove scuole mediante sostituzione di edifici

CUP F72C22000050006

IL RICHIEDENTE

IL PROGETTISTA

REV	DATA / DATE:	DESCRIZIONE / DESCRIPTION:

**Progettazione Architettonica**

cm2 Associati  
Via Castel Morrone 2, 20129, Milano  
T +39 02 29 00 30 54 | www.cm-2.it

Arch. Marco Luigi Oriani  
Arch. Francesco Adorni

**Progettazione Architettonica  
Coordinamento della Sicurezza**

Bernardi Massimo Geom.  
Via Castel Morrone 2, 20129, Milano  
T +39 02 29 00 30 54

IGeom. Bernardi Massimo

**Progettazione Acustica**

P2A DESIGN  
Via Monte Nevoso, 16, 20131, Milano

Arch. Alessandro Pasini

**Progettazione Strutturale**

Ing. Lucio Iotti  
Via Georges Bizet 3,  
42123, Reggio Emilia  
T +39 0522 301823

Ing. Lucio Iotti

COMMITTENTE / CLIENT:

Comune di Toano  
Corso Trieste n. 65 Toano (RE)

PROGETTO / PROJECT:

Scuola Primaria "M. Tori" di Cerredolo  
Comune di Toano (RE)

PROGETTISTA / DESIGNER:

Ing. Lucio Iotti - Iscritto all'Ordine degli Ingegneri di Reggio Emilia n°665

OGGETTO / OBJECT:

Progetto Esecutivo

TITOLO / DESCRIPTION:

# Relazione di Calcolo Strutturale

comprensiva di "Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale"

DISEGNATO DA:  
DRAWN BY:

CONTROLLATO DA:  
CHECKED BY:

DATA/ DATE:  
Luglio 2023

SCALA / SCALE:

DATA REV.:

FORMAT:

NOME FILE / FILE NAME:

COMMESSA / JOB:

TAVOLA / DRAWING:

REV.:

A4

ST-2.1

# 1 Indice

<b>1</b>	<b>INDICE .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE .....</b>	<b>3</b>
2.1	Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale.....	3
2.2	Descrizione generale dell'opera e dei criteri generali di analisi e verifica .....	10
2.3	Quadro normativo di riferimento adottato .....	13
2.4	Azioni di progetto sulla costruzione .....	14
2.5	Modello/i numerico/i.....	21
2.6	Combinazioni e/o percorsi di carico .....	47
2.7	Principali risultati .....	53
2.8	Verifiche a SLU .....	88
2.9	Verifiche a SLE.....	98
<b>3</b>	<b>RELAZIONE SUI MATERIALI .....</b>	<b>119</b>
3.1	Elenco dei materiali impiegati e loro modalità di posa in opera .....	119
3.2	Valori di calcolo.....	119
<b>4</b>	<b>ELABORATI GRAFICI ESECUTIVI E PARTICOLARI COSTRUTTIVI .....</b>	<b>124</b>
<b>5</b>	<b>PIANO DI MANUTENZIONE DELLA PARTE STRUTTURALE DELL'OPERA. ....</b>	<b>125</b>
5.1	Attività di manutenzione dell'intervento. ....	125
5.2	Ulteriori prescrizioni comuni a tutti i tipi di strutture.....	127
<b>6</b>	<b>RELAZIONI SPECIALISTICHE SUI RISULTATI SPERIMENTALI. ....</b>	<b>128</b>
6.1	Relazione geologica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione geologica del sito.....	128
6.2	Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno. ....	128
6.3	Relazione sulla modellazione sismica concernente la "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione.....	129
<b>7</b>	<b>ALLEGATI.....</b>	<b>132</b>
7.1	ALLEGATO A - Verifiche di capacità portante e dei cedimenti.....	132
7.2	ALLEGATO B - Verifiche dei solai a lastre di piano .....	133

<b>7.3</b>	<b>ALLEGATO C - Verifiche di strutture in legno lamellare.....</b>	<b>135</b>
<b>7.4</b>	<b>ALLEGATO D - Verifiche di Scale Metalliche e Pianerottoli .....</b>	<b>140</b>
<b>7.5</b>	<b>ALLEGATO E - Verifiche di elementi non strutturali .....</b>	<b>155</b>

## 2 Relazione di calcolo strutturale

### 2.1 Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale

- a) Descrizione del contesto edilizio e delle caratteristiche geologiche, morfologiche e idrogeologiche del sito oggetto di intervento e con l'indicazione, per entrambe le tematiche, di eventuali problematiche riscontrate e delle soluzioni ipotizzate, tenuto conto anche delle indicazioni degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica:

**vedi § 2.1 Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale.**

- Via Radici n° 26
- Località Cerredolo
- Comune di Toano
- Coordinante Geografiche (ED50)
  - Lat. Nord 44.403093° N
  - Long. Est 10.618253° E
- Altezza sul livello del mare 322 m
- 



- b) Descrizione generale della struttura sia in elevazione sia in fondazione, e della tipologia di intervento, con indicazione delle destinazioni d'uso previste per la costruzione, dettagliate per ogni livello entro e fuori terra, e dei vincoli imposti dal progetto architettonico;

**vedi § 2.2 Premessa e 2.3.1 Inquadramento generale**

La presente relazione ha come oggetto la nuova costruzione di una nuova scuola, previa demolizione dell'esistente, nella frazione denominata Cerredolo, nel comune di Toano in provincia di Reggio Emilia.

L'edificio scolastico è in posizione centrale rispetto al centro abitato, a una quota sul livello del mare di 322 m circa. L'area oggetto di intervento è identificata catastalmente al fg 22, mappali 118, 494, 573.

La struttura in oggetto, è costituita da un corpo di forma piuttosto regolare, inscrivibile in un rettangolo di dimensioni pari a 22.01 x 11.85 m circa; in elevazione invece il fabbricato si sviluppa su 3 piani per 2 impalcati di piano e 1 di copertura.

Gli impalcati di piano e di copertura sono del tipo solaio a lastra di spessore 30 cm (5 + 20 + 5 cm);

L'altezza massima della struttura è di circa 12,50 cm.

La struttura in elevazione portante per i carichi verticali e sismo resistente è mista a telaio e pareti in c.a. in opera ed è costituita da:

- Pilastri in c.a. sezione quadrata, rettangolare e a T ;
- Travi in c.a. ribassate e in spessore di solaio a sezione rettangolare
- Solai a lastra di spessore 30 cm
- Copertura in legno con doppio assito.

Le strutture di fondazione sono costituite da una platea con piano di posa a circa -1.20 m rispetto al piano campagna.

- c) Normativa tecnica e riferimenti tecnici utilizzati, tra cui le eventuali prescrizioni sismiche contenute negli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica;

**vedi § 2.3 Quadro normativo di riferimento adottato**

Legge n° 1086 del 5-11-1971 "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato e a struttura metallica";

Legge n° 64 del 2-2-1974 "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche";

D.M. Min. Infrastrutture del 17 gennaio 2018 "Approvazione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni";

Circolari Ministeriali varie sulle istruzioni delle dette norme.

- d) Definizione dei parametri di progetto che concorrono alla definizione dell'azione sismica di base del sito (vita nominale - VN, classe d'uso, periodo di riferimento - VR, categoria del sottosuolo, categoria topografica, amplificazione topografica, zona sismica del sito, coordinate geografiche del sito), delle azioni considerate sulla costruzione e degli eventuali scenari di azioni eccezionali;

**vedi §2.2.3 Caratteristiche generali della struttura e approccio di verifica utilizzato.**

#### CARATTERISTICHE GENERALI DELLA STRUTTURA

Vita nominale	V_N	50 y
Classe d'uso		III
Coefficiente d'uso	C_u	1.5
Vita di riferimento	V_R	75 y
Materiale della struttura	C.A. IN OPERA	
Classe di duttilità	STRUTTURA NON DISSIPATIVA	
Regolarità in pianta	NO	
Regolarità in elevazione	NO	
Tipologia strutturale	STRUTTURA MISTA A TELAIO E PARETI IN C.A.	
Fattore di comportamento per la componente orizzontale del sisma in direzione X a <b>Stato Limite di Salvaguardia della vita</b>	qX_slv	1.50
Fattore di comportamento per la componente orizzontale del sisma in direzione Y a <b>Stato Limite di Salvaguardia della vita</b>	qY_slv	1.50
Fattore di comportamento per la componente orizzontale del sisma a <b>Stato Limite di Danno e Stato Limite di Operatività</b>	qY_slo	1.00
Fattore di struttura per la componente verticale del sisma	q	NON CONSIDERATO

#### APPROCCIO DI VERIFICA 2

Set di coefficienti parziali A1 - M1 - R3

- e) Descrizione dei materiali e dei prodotti per uso strutturale, dei requisiti di resistenza meccanica e di durabilità considerati;

**vedi § 3 Relazione sui materiali**

MATERIALI UTILIZZATI:

- Calcestruzzo Classe C32/40 \_ Strutture di fondazione e in elevazione

- Acciaio per c.a. B450C
- Legno Lamellare GL24h
- Acciaio Laminato S235
- Bulloni Classe 8.8

Si fa riferimento all'apposito paragrafo per la determinazione dei valori di calcolo.

- f) Illustrazione dei criteri di progettazione e di modellazione: classe di duttilità, regolarità in pianta ed in alzato, tipologia strutturale, fattore di struttura - q e relativa giustificazione, stati limite indagati, giunti di separazione fra strutture contigue, criteri per la valutazione degli elementi non strutturali e degli impianti, requisiti delle fondazioni e collegamenti tra fondazioni, vincolamenti interni e/o esterni, schemi statici adottati;

**vedi § 2.2.3 Caratteristiche generali della struttura e approccio di verifica utilizzato**

La determinazione del fattore di struttura è stata eseguita in base alle seguenti considerazioni:

- La struttura (per entrambe le direzioni) è a telaio, poiché le azioni verticali e orizzontali sono affidate ai telai;
- La struttura non è deformabile torsionalmente, non essendo  $r/l_s > 1$  a tutti i piani;
- La struttura non è regolare in pianta (§7.2.2).
- La struttura non è regolare in altezza (§7.2.2).
- La struttura non è a pendolo inverso in quanto nel terzo superiore della costruzione non è presente più del 50% della massa sismica.

- g) Indicazione delle principali combinazioni delle azioni in relazione agli SLU e SLE indagati: coefficienti parziali per le azioni, coefficienti di combinazione;

**vedi § 2.6 Combinazioni e/o percorsi di carico**

Le combinazioni di carico indagate a stati limite ultimi, di danno e salvaguardia della vita sono:

- ~SL18 SLE caratt.
- ~SL18 SLE freq.
- ~SL18 SLE q.perm.
- ~SL18 STR SLV
- ~SL18 GEO -
- ~SL18 SLD Sism. Orizz.

- ~SL18 SLO Sism. Orizz.Dannegg.

Si fa riferimento al paragrafo specifico per il dettaglio della composizione di involucro.

h) Indicazione motivata del metodo di analisi seguito per l'esecuzione della stessa: analisi lineare o non lineare, analisi statica o dinamica;

**vedi §2.5.1.2 Metodologia di analisi**

Nel calcolo della struttura si utilizzano 2 modelli.

- **Modello 1** per l'analisi statica e sismica della sovrastruttura: per l'analisi dinamica modale si adotta il fattore di struttura 1,50 per entrambe le direzioni d'ingresso del sisma.
- **Modello 2** per l'analisi statica e sismica delle strutture di fondazione: per l'analisi dinamica modale si adotta il fattore di struttura  $q = 1.50$  per entrambe le direzioni d'ingresso del sisma e amplificando le sollecitazioni sismiche del fattore 1.1, progettando quindi le fondazioni in accordo con il §7.2.5 del DM 17/1/2018<sup>1</sup>.

Si riportano di seguito le principali scelte di modellazione generalmente valide per entrambi i modelli (tranne dove specificato). 2.5.1.1.1 Elementi impiegati

La struttura è stata modellata utilizzando:

- Elementi beam a 2 nodi per travi e pilastri in elevazione;
- Elementi beam a 2 nodi su suolo elastico alla Winkler per le travi di fondazione;
- Elementi shell a 4 nodi per i setti in c.a. in elevazione;
- Elementi shell a 3 nodi su suolo elastico alla Winkler per la platea di collegamento tra le travi di fondazione;

#### **Modulo di Winkler**

Per il modello di calcolo relativo alle strutture di fondazione si è considerato un modulo di Winkler pari a 0.015 N/mm<sup>3</sup> (1.5 kg/cm<sup>3</sup>).

L'utilizzo di detto valore non comporta modifiche significative in termini di taglio alla base rispetto al modello con incastri.

#### **Modellazione dei carichi**

Nel modello di calcolo sono stati applicati i carichi dovuti a:

- Pesi propri delle sezioni degli elementi strutturali (G1+G1\_PP)
- Carichi permanenti non strutturali (G2)
- Tamponamenti (G2\_TAMP)
- Carichi accidentali della categoria C (Q\_ACC\_C)

---

<sup>1</sup> [...] tali azioni risultino [...] comunque non maggiori di quelle derivanti da una analisi elastica della struttura in elevazione eseguita con un fattore di struttura  $q$  pari a 1.



- Carichi accidentali NEVE (Q\_NEVE)
  - Azioni sismiche lungo x e y a SLD e SLV (Sisma\_SLD X, Sisma\_SLD Y)
- (Sisma\_SLV X, Sisma\_SLV Y)

### **Modellazione delle masse**

Nei modelli sono state applicate le masse associate ai carichi di seguito elencati, calcolate come masse distribuite sugli elementi su cui gravano oppure (per i tamponamenti) ripartite al 50% tra la trave superiore e inferiore che chiude il tamponamento:

- Pesi propri e Carichi permanenti portati(G1\_PP, G1, G2, G2\_TAMP) ->  $\psi_2 = 1.0$
- Carichi accidentali della categoria C (Q\_ACC\_C)->  $\psi_2 = 0.6$
- Carichi accidentali NEVE (Q\_NEVE)->  $\psi_2 = 0.0$
- Carichi dovuti alla spinta del terreno (Q\_TERRENO)->  $\psi_2 = 0.0$

### **Vincoli esterni**

- Nel modello di calcolo 1 si sono vincolati i nodi in fondazione mediante il codice di vincolo = 111111 ({ux, uy, uz, rx, ry, rz} dove 1 = gdl bloccato, 0 = gdl libero)
- Nel modello di calcolo 2 si sono vincolati i nodi in fondazione mediante il codice di vincolo = 110001 ({ux, uy, uz, rx, ry, rz} dove 1 = gdl bloccato, 0 = gdl libero)

### **Vincoli interni**

- Nel modello di calcolo 1 e 2 si considerano come rigidi l'impalcato 1 e 2 e di copertura.

### **Metodologia di analisi**

L'analisi del modello di calcolo è stata condotta:

- Mediante il Metodo degli Elementi Finiti (F.E.M.)
- Nell'ipotesi di comportamento Elastico Lineare dei materiali
- Trascurando gli effetti geometrici del 2° ordine in relazione al valore del fattore  $\theta$  che comunque per ciascun impalcato è sempre minore di 0.1

### **Calcolo fattore theta**

Si verifica che per ciascun impalcato  $\theta$  risulti  $< 0.1$ .

### **Metodologia di verifica**

La verifica delle sezioni è stata condotta:

- Secondo il metodo degli Stati limite (S.L.)
- Considerando per ogni asta l'involuppo delle sollecitazioni dovuto alle combinazioni delle azioni di progetto.

Per il modello è stata eseguita un'analisi sismica:

- Per l'analisi dinamica modale (a spettro di risposta) con fattore di struttura.

- considerando un numero di modi sufficiente a movimentare una massa > 95% di quella totale, senza scartare i modi con massa inferiore al 5%.

- Considerando un'eccentricità accidentale delle masse pari a 5% nelle 2 direzioni principali della dimensione in pianta (mediante lanci multipli dell'analisi modale con distribuzione delle masse nodali variata per ottenere l'eccentricità richiesta)

i) Rappresentazione delle configurazioni deformate e delle caratteristiche di sollecitazione delle strutture più significative, così come emergenti dai risultati dell'analisi, sintesi delle verifiche di sicurezza, e giudizio motivato di accettabilità dei risultati;

**vedi § 2.7 Principali risultati**

j) Criteri di verifica agli Stati limite indagati, in presenza di azione sismica:

- Stati limite ultimi, in termini di resistenza, di duttilità e di capacità di deformazione,

**vedi § 2.8 Verifiche a SLU**

- Stati limite di esercizio, in termini di resistenza e di contenimento del danno agli elementi non strutturali

**vedi § 2.9 Verifiche a SLE**

k) Caratteristiche e affidabilità del codice di calcolo;

**vedi §2.5.2 Informazioni sul codice di calcolo.**

l) Con riferimento alle strutture geotecniche o di fondazione: fasi di realizzazione dell'opera (se pertinenti), sintesi delle massime pressioni attese, cedimenti e spostamenti assoluti/differenziali, distorsioni angolari, verifiche di stabilità terreno-fondazione eseguite, ed altri aspetti e risultati significativi della progettazione di opere particolari;

**vedi §6 Relazioni specialistiche sui risultati sperimentali.**

## **2.2 Descrizione generale dell'opera e dei criteri generali di analisi e verifica**

### **2.2.1 Inquadramento generale**

La presente relazione ha come oggetto la nuova costruzione di una nuova scuola, previa demolizione dell'esistente, nella frazione denominata Cerredolo, nel comune di Toano in provincia di Reggio Emilia.

L'edificio scolastico è in posizione centrale rispetto al centro abitato, a una quota sul livello del mare di 322 m circa. L'area oggetto di intervento è identificata catastalmente al fg 22, mappali 118, 494, 573.

La struttura in oggetto, è costituita da un corpo di forma piuttosto regolare, inscrivibile in un rettangolo di dimensioni pari a 22.01 x 11.85 m circa; in elevazione invece il fabbricato si sviluppa su 3 piani per 2 impalcati di piano e 1 di copertura.

Gli impalcati di piano e di copertura sono del tipo solaio a lastra di spessore 30 cm (5 + 20 + 5 cm);

L'altezza massima della struttura è di circa 12,50 cm.

La struttura in elevazione portante per i carichi verticali e sismo resistente è mista a telaio e pareti in c.a. in opera ed è costituita da:

- Pilastri in c.a. sezione quadrata, rettangolare e a T ;
- Travi in c.a. ribassate e in spessore di solaio a sezione rettangolare
- Solai a lastra di spessore 30 cm
- Copertura in legno con doppio assito.

Le strutture di fondazione sono costituite da una platea con piano di posa a circa -1.20 m rispetto al piano campagna.

### **2.2.2 Localizzazione dell'intervento**

- Via Radici n° 26
- Località Cerredolo
- Comune di Toano
- Coordinante Geografiche (ED50)
  - Lat. Nord 44.403093° N
  - Long. Est 10.618253° E
- Altezza sul livello del mare 322 m



Figura 1 - Individuazione del sito d'intervento.

### 2.2.3 Caratteristiche generali della struttura e approccio di verifica utilizzato

#### CARATTERISTICHE GENERALI DELLA STRUTTURA

Vita nominale	V_N	50 y
Classe d'uso		III
Coefficiente d'uso	C_u	1.5
Vita di riferimento	V_R	75 y
Materiale della struttura	C.A. IN OPERA	
Classe di duttilità	STRUTTURA NON DISSIPATIVA	
Regolarità in pianta	NO	
Regolarità in elevazione	NO	
Tipologia strutturale	STRUTTURA MISTA A TELAIO E PARETI IN C.A.	
Fattore di comportamento per la componente orizzontale del sisma in direzione X a <b>Stato Limite di Salvaguardia della vita</b>	qX_slv	1.50
Fattore di comportamento per la componente orizzontale del sisma in direzione Y a <b>Stato Limite di Salvaguardia della vita</b>	qY_slv	1.50
Fattore di comportamento per la componente orizzontale del sisma a <b>Stato Limite di Danno e Stato Limite di Operatività</b>	qY_slo	1.00
Fattore di struttura per la componente verticale del sisma	q	NON CONSIDERATO

#### APPROCCIO DI VERIFICA 2

Set di coefficienti parziali	A1 - M1 - R3
------------------------------	--------------

## 2.2.4 Determinazione del fattore di comportamento

La determinazione del fattore di struttura è stata eseguita in base alle seguenti considerazioni:

- La struttura (per entrambe le direzioni) è a telaio, poiché le azioni verticali e orizzontali sono affidate ai telai;
- La struttura non è deformabile torsionalmente, non essendo  $r/l_s > 1$  a tutti i piani;

Calcolo delle rigidezze di piano

Visualizzare in tabella:

 dettagli impalcato  
 opzioni di calcolo  
 pulsanti di visualizzazione  
 dettagli del calcolo

Avvisi / resoconti del calcolo:

- Struttura non deformabile torsionalmente;

Nome Impalcato	Verticali	Quota (cm)	Piano rigido	Nodo rif.	Shear type	Calcolo Ls	xR (cm)	yR (cm)	Is <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> )	rx / ls	ry / ls
I Impalcato	Vert1	405.0	<input checked="" type="checkbox"/>	24	<input type="checkbox"/>	Geometrico	1056.427	1071.453	474452.1	1.180	1.548
II Impalcato	Vert1	760.0	<input checked="" type="checkbox"/>	34	<input type="checkbox"/>	Geometrico	1057.938	812.055	474452.1	2.512	1.601
Copertura	Vert1	1048.0	<input checked="" type="checkbox"/>	37	<input type="checkbox"/>	Geometrico	1062.120	772.166	474452.1	2.395	1.624

- La struttura non è regolare in pianta (§7.2.2).
- La struttura non è regolare in altezza (§7.2.2).
- La struttura non è a pendolo inverso in quanto nel terzo superiore della costruzione non è presente più del 50% della massa sismica.

**Fattore di Struttura qx**

Costruzioni con Struttura in C.A. (par. 7.4.3.2) e Prefabbricate (par. 7.4.5.1)

Tipo struttura  
 In opera     Prefabbricato

$\alpha_U / \alpha_1$   
 Da analisi non lineare  
 $\alpha_1$       $\alpha_U$

$K_R$   
 Edifici non regolari in altezza  
 Edifici non regolari in pianta

Tipologia  
 Strutture a telaio, a pareti accoppia

$\alpha_U / \alpha_1$

$q_0$       $k_w$

Fattore di struttura q per stati limite ultimi e di danno  
 Imposto     $q =$      da usare:      Controllo massimo fattore di struttura SLV  
 $q_0 =$      da usare:     Fattore di struttura per SLD:

Figura 2 – Fattore di comportamento della struttura in direzione X

Fattore di Struttura  $q_y$  ✕

Costruzioni con Struttura in C.A. (par. 7.4.3.2) e Prefabbricate (par. 7.4.5.1) ▾

Tipo struttura  
 In opera    Prefabbricato

$\alpha_U / \alpha_1$   
 Da analisi non lineare  
 $\alpha_1$      $\alpha_U$

$K_R$   
 Edifici non regolari in altezza ▾  
 Edifici non regolari in pianta ▾

Da tipologia edificio  
 a) Edifici a telaio di un piano ▾

Tipologia  
 Strutture a telaio, a pareti accoppia ▾

$\alpha_U / \alpha_1$

$q_0$      $k_w$

Fattore di struttura  $q$  per stati limite ultimi e di danno  
 Imposto    $q =$     da usare:     Controllo massimo fattore di struttura SLV  
 $q_0 =$     da usare:    Fattore di struttura per SLD:

Figura 3 – Fattore di comportamento della struttura in direzione Y

## 2.3 Quadro normativo di riferimento adottato

### 2.3.1 Norme di riferimento cogenti

- Legge n° 1086 del 5-11-1971 “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato e a struttura metallica”;
- Legge n° 64 del 2-2-1974 “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”;
- D.M. Min. Infrastrutture del 17 gennaio 2018 “Approvazione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”;
- Circolari Ministeriali varie sulle istruzioni delle dette norme.

## 2.4 Azioni di progetto sulla costruzione

### 2.4.1 Azioni statiche

#### 2.4.1.1 Pesi propri dei materiali strutturali e Carichi permanenti non strutturali

##### ELEMENTI DI CLS

Peso proprio **G1\_PP 25 kN/mc**

##### TAMPONAMENTI IN MURATURA POROTON

Peso proprio **G2\_TAMP 2.00 kN/mq**

##### TAMPONAMENTI IN VETRATE

Peso proprio **G2\_TAMP 1.00 kN/mq**

SOLAIO A LASTRE 5+20+5 cm					
	h	base	interasse	$\gamma$	Carico
	cm	cm	cm	kN/mc	kN/mq
TRAVETTI	20	10	50	25	1,00
PIGNATTE	20	40	50	4	0,65
CALDANA STRUTTURALE	10			25	2,50
				G1	<b>4,15</b>
MASSETTO	7			14	0,98
CALDANA ADDITTIVATA PER PANNELLI RADIANTI	7			3	0,21
PAVIMENTO IN LINOLEUM	1			-	0,06
INCIDENZA TRAMEZZI					0,40
	45			G2	<b>1,65</b>
				G1+G2	<b>5,80</b>

SOLAIO A LASTRE 5+20+5 cm					
	h	base	interasse	$\gamma$	Carico
	cm	cm	cm	kN/mc	kN/mq
TRAVETTI	24	10	80	4,1	0,15
				G1	<b>0,15</b>
DOPPIO ASSITO	5			5	0,25
DOPPIO OSB	4			6,5	0,26
ISOLANTE XPS	11			0,4	0,04
LAMIERA	1			-	0,15
PANNELLI FOTOVOLTAICI					0,15

45

G2 0,85

G1+G2 1,00

## 2.4.2 Spinta del terreno

Si riportano i parametri significativi del terreno utilizzati per la determinazione dei parametri d'interesse per il calcolo della spinta del terreno, mediati sui diversi strati:

<u>Profondità da P.C (m)</u>	<u>Descrizione materiale</u>	<u>Parametri</u>	
<u>STRATO 1</u>  P.C- 0,8 m	Terreno vegetale e argille debolmente limose moderatamente consistenti.	<u>RD</u>	32,4 kg/cm <sup>2</sup> = 3177 kN/m <sup>2</sup>
		<u>Cu</u>	0,47 kg/cm <sup>2</sup> = 46 kN/m <sup>2</sup>
		<u>Cu<sub>v</sub></u>	0,25 kg/cm <sup>2</sup> = 24,1 kN/m <sup>2</sup>
		<u>Ang. attrito</u>	24,6°
		<u>Ang. Attrito<sub>v</sub></u>	-
		<u>C'</u>	0,05 kg/cm <sup>2</sup> = 5 kN/m <sup>2</sup>
		<u>NSPT</u>	4,8
		<u>ME</u>	59,7 Kg/cm <sup>2</sup> = 5854 kN/m <sup>2</sup>
		<u>ME<sub>v</sub></u>	34,9 Kg/cm <sup>2</sup> = 3422 kN/m <sup>2</sup>
		<u>Mod. young</u>	47,8 Kg/cm <sup>2</sup> = 4687 kN/m <sup>2</sup>
		<u>γ<sub>d</sub></u>	17 kN/m <sup>3</sup> = 1733 kg/m <sup>3</sup>
		<u>γ<sub>s</sub></u>	19 kN/m <sup>3</sup> = 1937 kg/m <sup>3</sup>
		<u>Mod. Poisson</u>	0,33
		<u>Kh</u>	1 kg/cm <sup>3</sup>
<u>Ko</u>	2 kg/cm <sup>3</sup>		
<u>STRATO 2</u>  0,8-2,2 m da P.C	Limi argillosi consistenti	<u>RD</u>	80,6 kg/cm <sup>2</sup> = 7904 kN/m <sup>2</sup>
		<u>Cu</u>	1,26 kg/cm <sup>2</sup> = 123,5 kN/m <sup>2</sup>
		<u>Cu<sub>v</sub></u>	0,78 kg/cm <sup>2</sup> = 77,2 kN/m <sup>2</sup>
		<u>Ang. attrito</u>	27,6°
		<u>Ang. Attrito<sub>v</sub></u>	23°
		<u>C'</u>	0,13 kg/cm <sup>2</sup> = 12 kN/m <sup>2</sup>
		<u>NSPT</u>	13
		<u>ME</u>	132 Kg/cm <sup>2</sup> = 12944 kN/m <sup>2</sup>
		<u>ME<sub>v</sub></u>	51,4 Kg/cm <sup>2</sup> = 5042 kN/m <sup>2</sup>
		<u>Mod. young</u>	128 Kg/cm <sup>2</sup> = 12552 kN/m <sup>2</sup>
		<u>γ<sub>d</sub></u>	20 kN/m <sup>3</sup> = 2039 kg/m <sup>3</sup>
		<u>γ<sub>s</sub></u>	22 kN/m <sup>3</sup> = 2243 kg/m <sup>3</sup>
		<u>Mod. Poisson</u>	0,30
		<u>Kh</u>	2,5 kg/cm <sup>3</sup>
<u>Ko</u>	5 kg/cm <sup>3</sup>		



<b>STRATO 3</b>  <b>2,2- 6,8 m da P.C</b>	<b>Marne argillose e intercalazioni arenacee alterate estremamente consistenti</b>	<b>RD</b>	93,8 kg/cm <sup>2</sup> = 9198 kN/m <sup>2</sup>
		<b>Cu</b>	1,8 kg/cm <sup>2</sup> = 176,5 kN/m <sup>2</sup>
		<b>Cu<sub>s</sub></b>	0,97 kg/cm <sup>2</sup> = 95,2 kN/m <sup>2</sup>
		<b>Ang. attrito</b>	30°
		<b>Ang. Attrito<sub>s</sub></b>	23°
		<b>C'</b>	0,18 kg/cm <sup>2</sup> = 17 kN/m <sup>2</sup>
		<b>NSPT</b>	18,7
		<b>ME</b>	192 Kg/cm <sup>2</sup> = 18828 kN/m <sup>2</sup>
		<b>ME<sub>s</sub></b>	57 Kg/cm <sup>2</sup> = 5590 kN/m <sup>2</sup>
		<b>Mod. young</b>	186 Kg/cm <sup>2</sup> = 18240 kN/m <sup>2</sup>
		<b>γ<sub>d</sub></b>	20 kN/m <sup>3</sup> = 2039 kg/m <sup>3</sup>
		<b>γ<sub>s</sub></b>	22 kN/m <sup>3</sup> = 2243 kg/m <sup>3</sup>
		<b>Mod. Poisson</b>	0,29
		<b>Kh</b>	5 kg/cm <sup>3</sup>
	<b>Ko</b>	9 kg/cm <sup>3</sup>	
<b>Legenda:</b>	<i>γ<sub>s</sub>, γ<sub>d</sub>- Peso specifico saturo e drenato; RD- Resistenza dinamica; Cu, C' - coesione non drenata e drenata (Shermann); Angolo d'attrito (De Mello); ME- Modulo edometrico, Kh coefficiente Winkler verticale, Ko coefficiente di Winkler orizzontale (Pazzati, Bowles); k indica il valore caratteristico del parametro dove è stato possibile calcolarlo.</i>		

Tab.5- Vengono riassunti i parametri geotecnici delle DPSH.

### 2.4.3 Azioni variabili

#### CARICO ACCIDENTALE

CATEGORIA A Q\_ACC\_C 3,00 kN/mq.

#### NEVE

Zona neve

Zona **I Mediterranea**

Altitudine sul livello del mare del sito (< 1500 m s.l.m.) as **322** m s.l.m.

Carico neve al suolo (caratteristico) qsk 1.74 kN/m<sup>2</sup>

Coefficiente di esposizione CE **1**

Coefficiente termico Ct **1**

Coefficiente di forma μi **0,8**

Carico neve copertura qs 1.39 kN/m<sup>2</sup>

#### AZIONI DEL VENTO<sup>2</sup>

Zona eolica

2

Velocità di riferimento del vento

v\_ref 25 m/s

<sup>2</sup> Nel seguito si trascureranno le azioni dovute al vento in quanto non significative per la struttura in oggetto.

	a_0	25	m
	k_a	0,015	1/s
Pressione cinetica di riferimento	q_ref	0,391	kN/mq
Classe di rugosità		C	
Categoria di esposizione		III	
	kr	0,2	
Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione	z0	0,1	
	z_min	5	m

### 2.4.4 Azioni sismiche

DM 2018

Categoria suolo fondazione:

Categoria topografica:

Percentuale smorzam. equivalente:  $\xi$   %

Fattore di strutt. base q0,x  q0,y

Fattore di struttura SLV: qx  qy  qz

Fattore di struttura SLD: qx  qy

Periodo Tc (sec.) xy SLV  z   Auto

xy SLD

**Analisi statica equivalente**

Quota di riferim fondazioni: cm

Coefficiente Lambda:  $\lambda$

Periodo fondam. T (secondi):

X  Y  Z

**Analisi dinamica**

**Analisi Pushover**

Selezione elementi con sisma verticale:

Coefficiente eccentricità accidentale centro di massa (vd. Definizione impalcati):

% per ottenere la rigidezza fessurata

Peso proprio incluso in calcolo eccentricità masse

Escludi massa propria elementi da analisi sismica

Ecc. costante

Auto Lx  Ly  cm

**Amplificazione sollecitazioni taglio aste**

Usa momento resistente asta sempre  Auto

Fase di appartenenza analisi sismica statica equivalente e dinamica modale

Figura 4 - Parametri generali azione sismica.

### 2.4.4.1 Azione sismica orizzontale – SLD e SLV

Parametri spettri di risposta automatici

Par. 3.2 DM 14/1/2008

Reticolo  
 Isole  
 Interpolaz. con media pond. (DM '08)  
 Interpolaz. con superf. rigata

Lon (°)  Lat (°)

SLE

SLO

Auto PVR =  % TR =  anni

Auto ag/g =  Fo =  Tc\* =  s

SLD

Auto PVR =  % TR =  anni

Auto ag/g =  Fo =  Tc\* =  s

SLU

SLV

Auto PVR =  % TR =  anni

Auto ag/g =  Fo =  Tc\* =  s

SLC

Auto PVR =  % TR =  anni

Auto ag/g =  Fo =  Tc\* =  s

Figura 5 - Parametri spettrali.

– Condizioni sismiche

	Nome	Tipo	Sottotipo	Spettro	ag/g	Molt X	Molt Y	Molt Z
1	Sisma SLO X	Sisma SLE x	SLO	~DM2018 SLO X	0.0662	1	0	0
2	Sisma SLO Y	Sisma SLE y	SLO	~DM 2018 SLO Y	0.0662	0	1	0
3	Sisma SLD X	Sisma SLE x	SLD	~DM 2018 SLD X	0.081	1	0	0
4	Sisma SLD Y	Sisma SLE y	SLD	~DM 2018 SLD Y	0.081	0	1	0
5	Sisma SLV X	Sisma SLU x	SLV	~DM 2018 SLV X	0.1809	1	0	0
6	Sisma SLV Y	Sisma SLU y	SLV	~DM 2018 SLV Y	0.1809	0	1	0

Figura 6 - Condizioni sismiche.

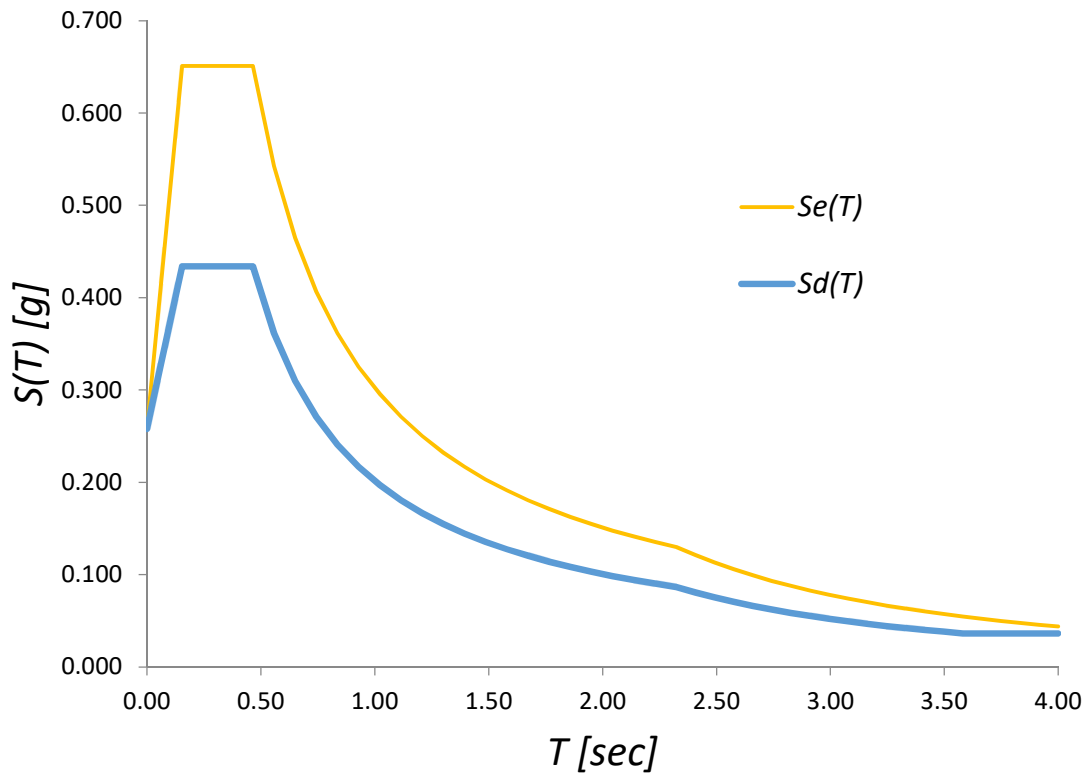


Figura 7 - Spettro SLV / SLV ELASTICO. Fattore di comportamento  $q = 1,50$ .

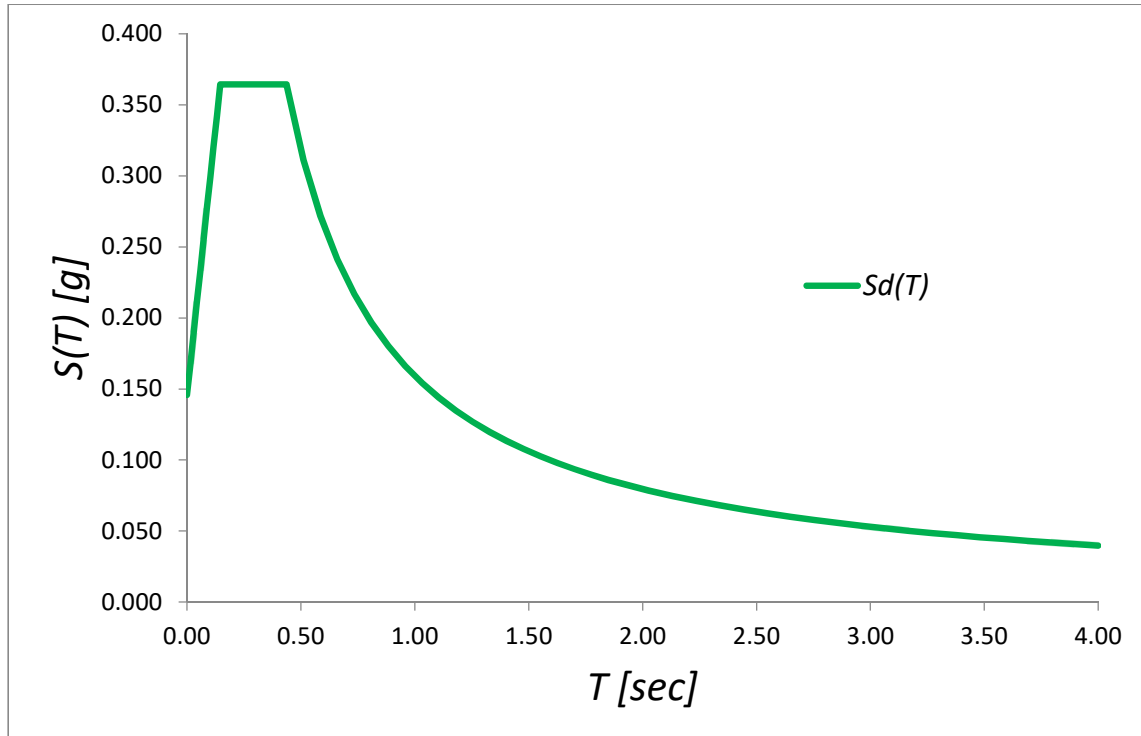


Figura 8 - Spettro SLD. Fattore di comportamento  $q = 1,00$

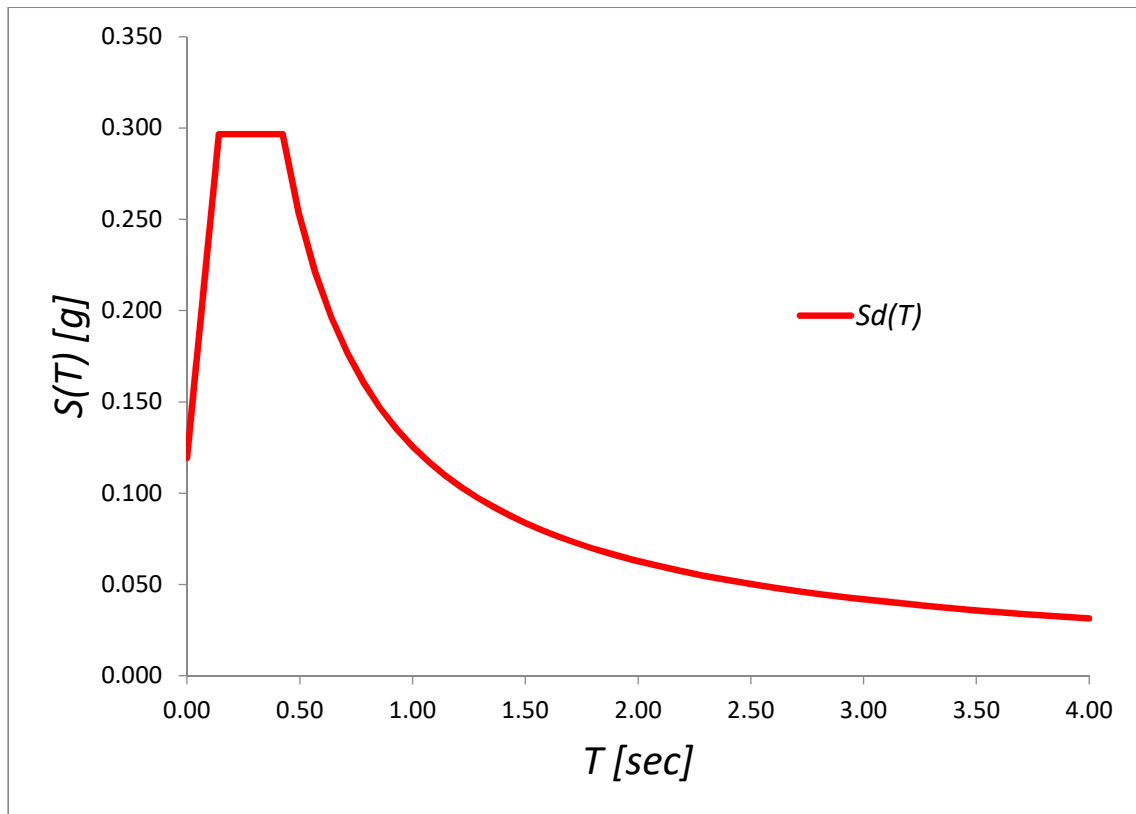


Figura 9 - Spettro SLO. Fattore di comportamento  $q = 1,00$

## 2.5 Modello/i numerico/i

Si riporta la descrizione del modello strutturale correlato con quello geotecnico ed i criteri generali di analisi e di verifica

### 2.5.1 Metodologia di modellazione ed analisi

#### 2.5.1.1 Metodologia di modellazione

Nel calcolo della struttura si utilizzano 2 modelli.

- **Modello 1** per l'analisi statica e sismica della sovrastruttura: per l'analisi dinamica modale si adotta il fattore di struttura 1,50 per entrambe le direzioni d'ingresso del sisma.
- **Modello 2** per l'analisi statica e sismica delle strutture di fondazione: per l'analisi dinamica modale si adotta il fattore di struttura  $q = 1.50$  per entrambe le direzioni d'ingresso del sisma e amplificando le sollecitazioni sismiche del fattore 1.1, progettando quindi le fondazioni in accordo con il §7.2.5 del DM 17/1/2018<sup>3</sup>.

Si riportano di seguito le principali scelte di modellazione generalmente valide per entrambi i modelli (tranne dove specificato).

##### 2.5.1.1.1 *Elementi impiegati*

La struttura è stata modellata utilizzando:

- Elementi beam a 2 nodi per travi e pilastri in elevazione;
- Elementi beam a 2 nodi su suolo elastico alla Winkler per le travi di fondazione;
- Elementi shell a 4 nodi per i setti in c.a. in elevazione;
- Elementi shell a 3 nodi su suolo elastico alla Winkler per la platea di collegamento tra le travi di fondazione;

##### 2.5.1.1.2 *Modulo di Winkler*

Per il modello di calcolo relativo alle strutture di fondazione si è considerato un modulo di Winkler pari a  $0.01 \text{ N/mm}^3$  ( $1.0 \text{ kg/cm}^3$ ).

L'utilizzo di detto valore non comporta modifiche significative in termini di taglio alla base rispetto al modello con incastri.

##### 2.5.1.1.3 *Modellazione dei carichi*

Nel modello di calcolo sono stati applicati i carichi dovuti a:

---

<sup>3</sup> [...] tali azioni risultino [...] comunque non maggiori di quelle derivanti da una analisi elastica della struttura in elevazione eseguita con un fattore di struttura  $q$  pari a 1.

- Pesì propri delle sezioni degli elementi strutturali (G1+G1\_PP)
- Carichi permanenti non strutturali (G2)
- Tamponamenti (G2\_TAMP)
- Carichi accidentali della categoria A (Q\_ACC\_C)
- Carichi accidentali NEVE (Q\_NEVE)
- Azioni sismiche lungo x e y a SLD e SLV (Sisma\_SLD X, Sisma\_SLD Y)  
(Sisma\_SLV X, Sisma\_SLV Y)

#### 2.5.1.1.4 *Modellazione delle masse*

Nei modelli sono state applicate le masse associate ai carichi di seguito elencati, calcolate come masse distribuite sugli elementi su cui gravano oppure (per i tamponamenti) **ripartite al 50% tra la trave superiore e inferiore che chiude il tamponamento:**

- Pesì propri e Carichi permanenti portati (G1\_PP, G1, G2, G2\_TAMP) ->  $\psi_2 = 1.0$
- Carichi accidentali della categoria C (Q\_ACC\_C)->  $\psi_2 = 0.6$
- Carichi accidentali NEVE (Q\_NEVE)->  $\psi_2 = 0.0$
- Carichi dovuti alla spinta del terreno (Q\_TERRENO)->  $\psi_2 = 0.0$

#### 2.5.1.1.5 *Vincoli esterni*

- Nel modello di calcolo 1 si sono vincolati i nodi in fondazione mediante il codice di vincolo = 111111 ({ux, uy, uz, rx, ry, rz} dove 1 = gdl bloccato, 0 = gdl libero)
- Nel modello di calcolo 2 si sono vincolati i nodi in fondazione mediante il codice di vincolo = 110001 ({ux, uy, uz, rx, ry, rz} dove 1 = gdl bloccato, 0 = gdl libero)

#### 2.5.1.1.6 *Vincoli interni*

- Nel modello di calcolo 1 e 2 si considerano come rigidi l'impalcato 1 e 2 e di copertura.

#### 2.5.1.2 Metodologia di analisi

L'analisi del modello di calcolo è stata condotta:

- Mediante il Metodo degli Elementi Finiti (F.E.M.)
- Nell'ipotesi di comportamento Elastico Lineare dei materiali
- Trascurando gli effetti geometrici del 2° ordine in relazione al valore del fattore  $\theta$  che comunque per ciascun impalcato è **sempre minore di 0.1**

### 2.5.1.2.1 Calcolo fattore theta<sup>4</sup>

Risultati - Calcolo del fattore theta

Verticale	Impalcato	Nodo rif.	Orig. theta (cm)	Metodo calc.	h (cm)
Vert1	I Impalcato	24	(1090.87; 498.785)	Ordinario	405
dir. Theta	Comb.	Val. Theta	P (kN)	dr (cm)	H (kN)
theta X	14	0.00055	-6186.566	0.04917	1377.0330
theta Y	7	0.00082	-6105.114	0.02480	454.02687
Verticale	Impalcato	Nodo rif.	Orig. theta (cm)	Metodo calc.	h (cm)
Vert1	II Impalcato	34	(1149.22; 511.237)	Ordinario	355
dir. Theta	Comb.	Val. Theta	P (kN)	dr (cm)	H (kN)
theta X	20	0.00443	-3487.180	0.16842	373.82697
theta Y	20	0.00121	-3487.180	-0.1173	-951.2985
Verticale	Impalcato	Nodo rif.	Orig. theta (cm)	Metodo calc.	h (cm)
Vert1	Copertura	37	(1072.45; 540.275)	Ordinario	288
dir. Theta	Comb.	Val. Theta	P (kN)	dr (cm)	H (kN)
theta X	27	0.00556	-686.4621	-0.6633	-284.3625
theta Y	19	0.00567	-684.0307	-1.2797	-535.7401

### 2.5.1.3 Metodologia di verifica

La verifica delle sezioni è stata condotta:

- Secondo il metodo degli Stati limite (S.L.)
- Considerando per ogni asta l'involuppo delle sollecitazioni dovuto alle combinazioni delle azioni di progetto.

Per il modello è stata eseguita un'analisi sismica:

- **Per l'analisi dinamica modale (a spettro di risposta) con fattore di struttura.**
- considerando un numero di modi sufficiente a movimentare una **massa > 95% di quella totale, senza scartare i modi con massa inferiore al 5%.**
- Considerando un'**eccentricità accidentale** delle masse pari a 5% nelle 2 direzioni principali della dimensione in pianta (mediante lanci multipli dell'analisi modale con distribuzione delle masse nodali variata per ottenere l'eccentricità richiesta)<sup>5</sup>

<sup>4</sup> Calcolo secondo DM'08 §7,3,1 - formula (7.3.2)

<sup>5</sup> Le CdC sismiche impostate per l'analisi dinamica e/o statica equivalente vengono automaticamente sdoppiate con l'aggiunta al nome di ogni CdC sismica di Dx (eccentricità a destra del baricentro) e Sx (eccentricità a sinistra del baricentro). Per ogni CdC sismica orizzontale vengono associate due distribuzioni di masse, rispettivamente con eccentricità a destra e sinistra rispetto al baricentro di ogni piano; ogni distribuzione di massa corrisponde ad un lancio del solutore per l'estrazione dei modi di vibrare.

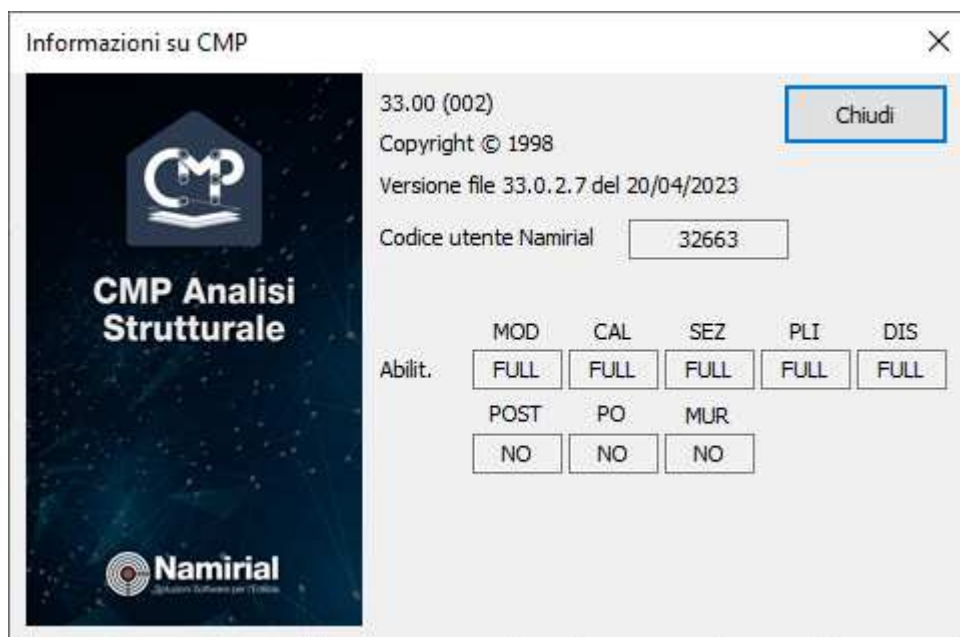


## 2.5.2 Informazioni sul codice di calcolo

### 2.5.2.1 Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Il calcolo dell'intera struttura è sviluppato mediante il software CMP versione 30 prodotto da Namirial S.p.A. abbinato al solutore XFinest di Harpaceas S.r.l.

Si allega sotto la figura con descrizione precisa della versione di CMP utilizzata:



### 2.5.2.2 Affidabilità dei codici utilizzati

Dall'esame della documentazione a corredo del software si ritiene il programma di calcolo utilizzato nell'analisi affidabile e idoneo all'utilizzo per la risoluzione e la verifica del caso specifico.

Si rimanda al sito del produttore <http://www.edilzianamirial.it/software-calcolo-strutturale.asp>, dove è reperibile la documentazione di affidabilità e di validazione.

### 2.5.2.3 Validazione dei codici

Con riferimento alla classe d'uso della struttura non si rende necessaria una validazione indipendente del calcolo strutturale.

## 2.5.3 Modellazione della geometria e delle proprietà meccaniche

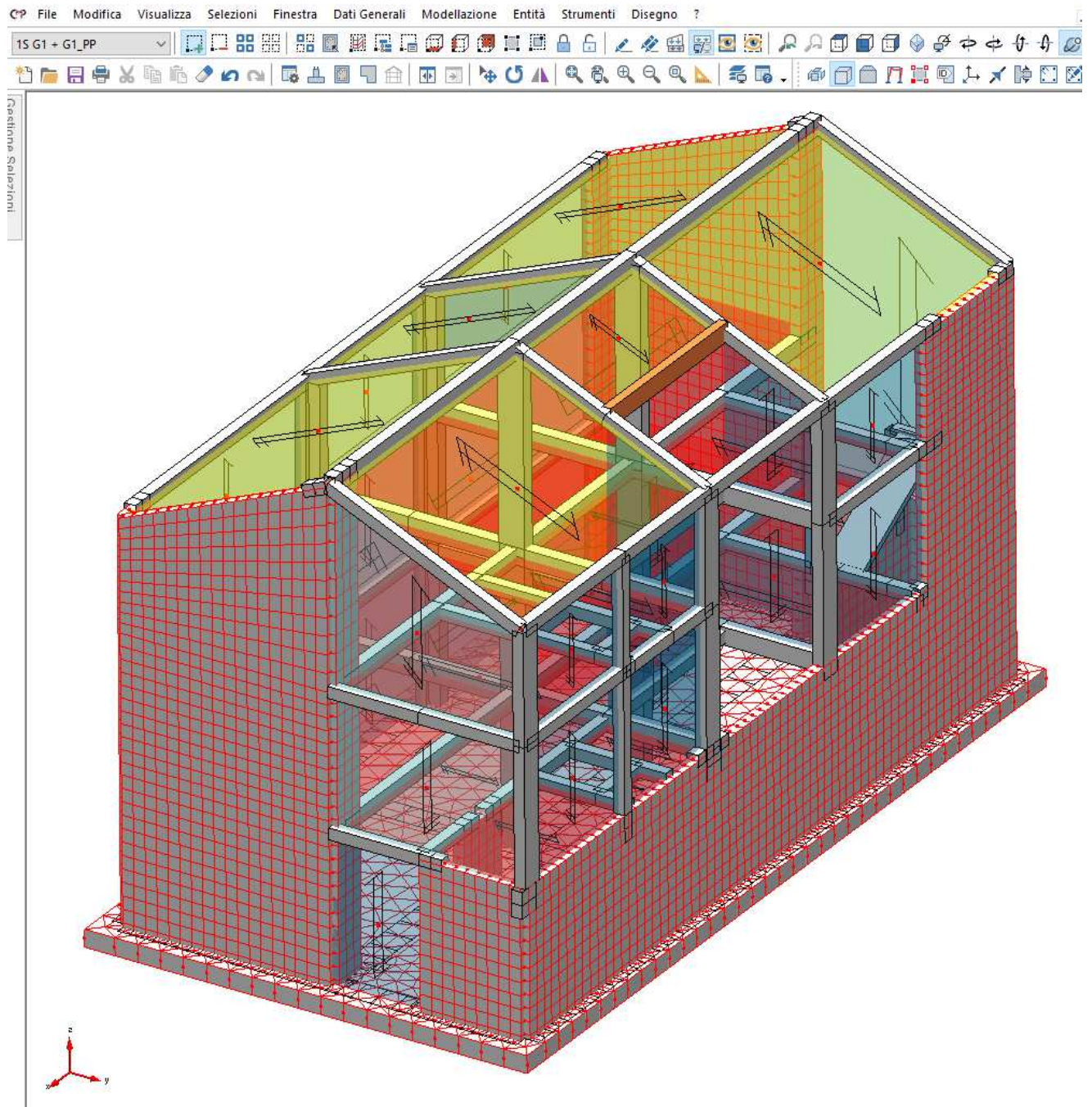
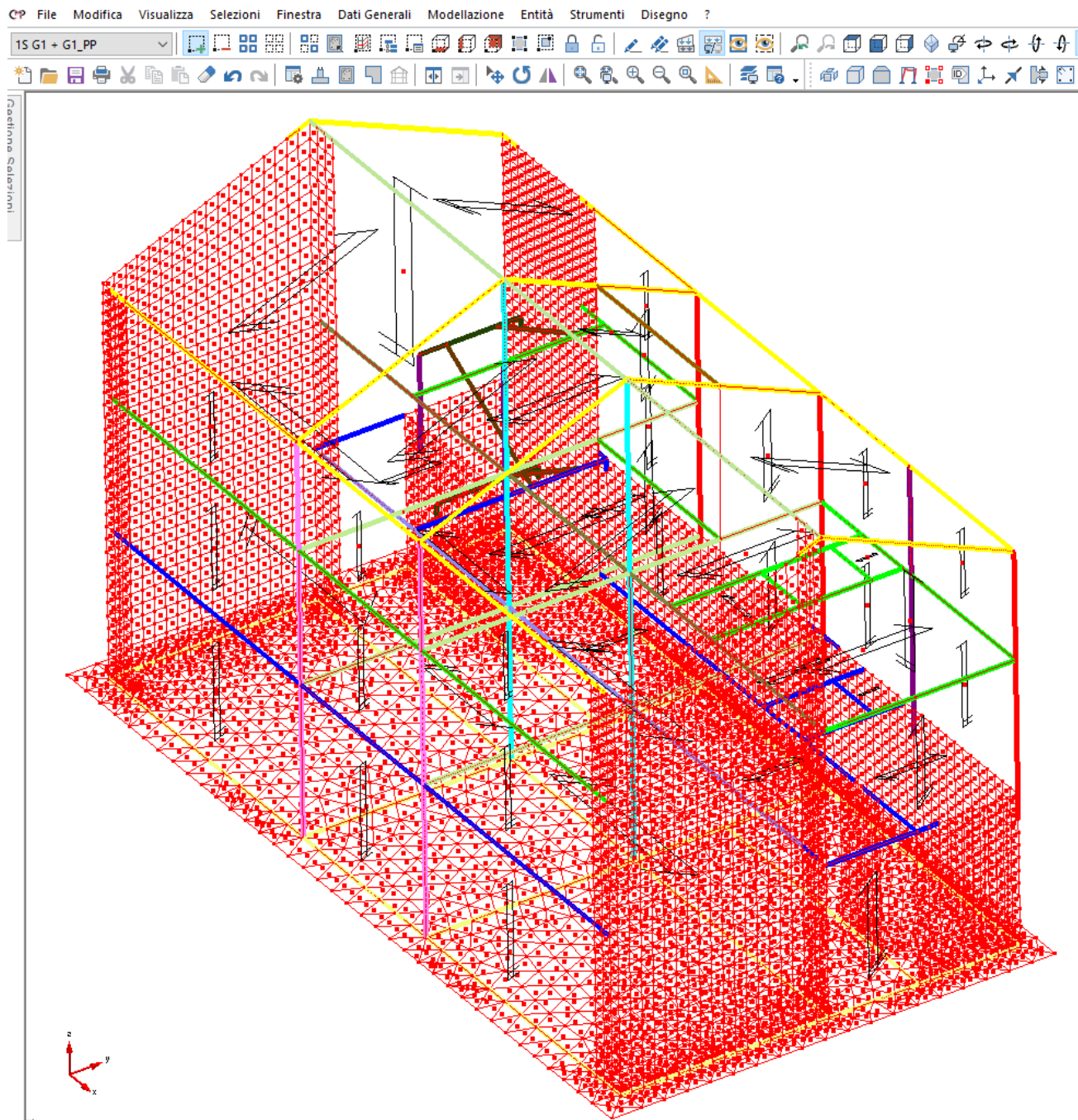


Figura 10 - Modello di calcolo 1 – Vista assometrica 3D SOLIDO.



**Figura 11 - Modello di calcolo 1 – Vista assometrica 3D WIREFRAME.**

## 2.5.4 Modellazione dei vincoli interni ed esterni

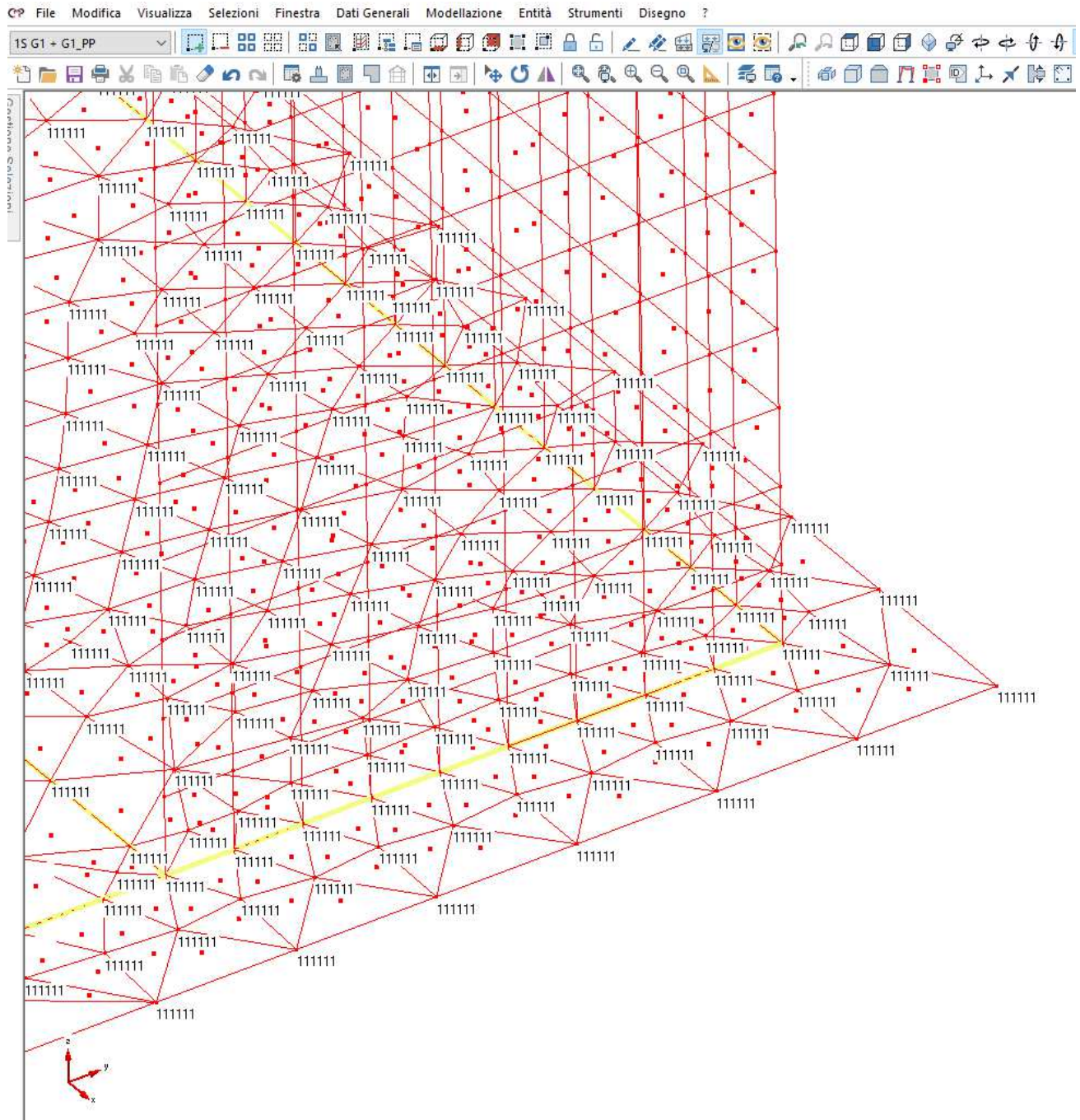


Figura 12 – Modello 1 - Vincoli esterni della struttura – Incastri alla base (dettaglio).

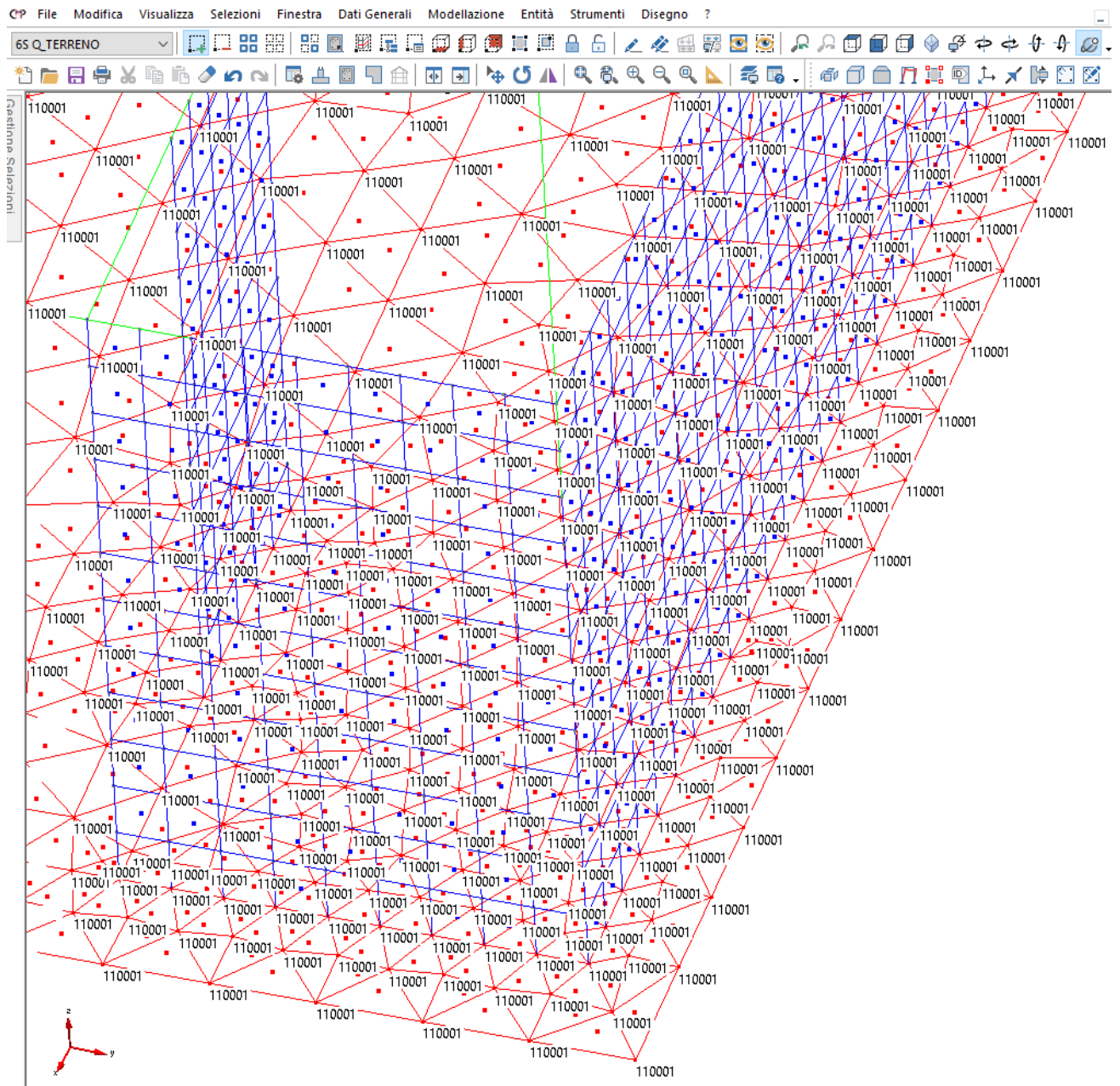


Figura 13 – Modello 2 - Vincoli esterni della struttura – Fondazioni su suolo alla Winkler.

## 2.5.5 Modellazione delle azioni

Condizioni di carico elementari statiche - Moltiplicatori gravitazionali







n°	Descrizione	x	y	z	Tipo	grp	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$	$\Psi_{23}$	$\varphi$	
1S	G1 + G1_PP	0	0	-1	Permanente		1	1	1	1	1	
2S	G2	0	0	0	Perm.Non Strutt		1	1	1	1	1	
3S	G2_TAMP	0	0	0	Perm.Non Strutt		1	1	1	1	1	
4S	Q_CAT. C	0	0	0	Uff.publ.Scuole,N...	1	0.7	0.7	0.6	0.6	1	
5S	Q_NEVE	0	0	0	Tetti e coperture co...	2	0.5	0.2	0	0	1	
6S	Q_TERRENO	0	0	0	Perm.Non Strutt		1	1	1	1	0	

Figura 14 - Tabella Condizioni di carico elementari.

### 2.5.5.1 Condizione di carico G1+G1 PP

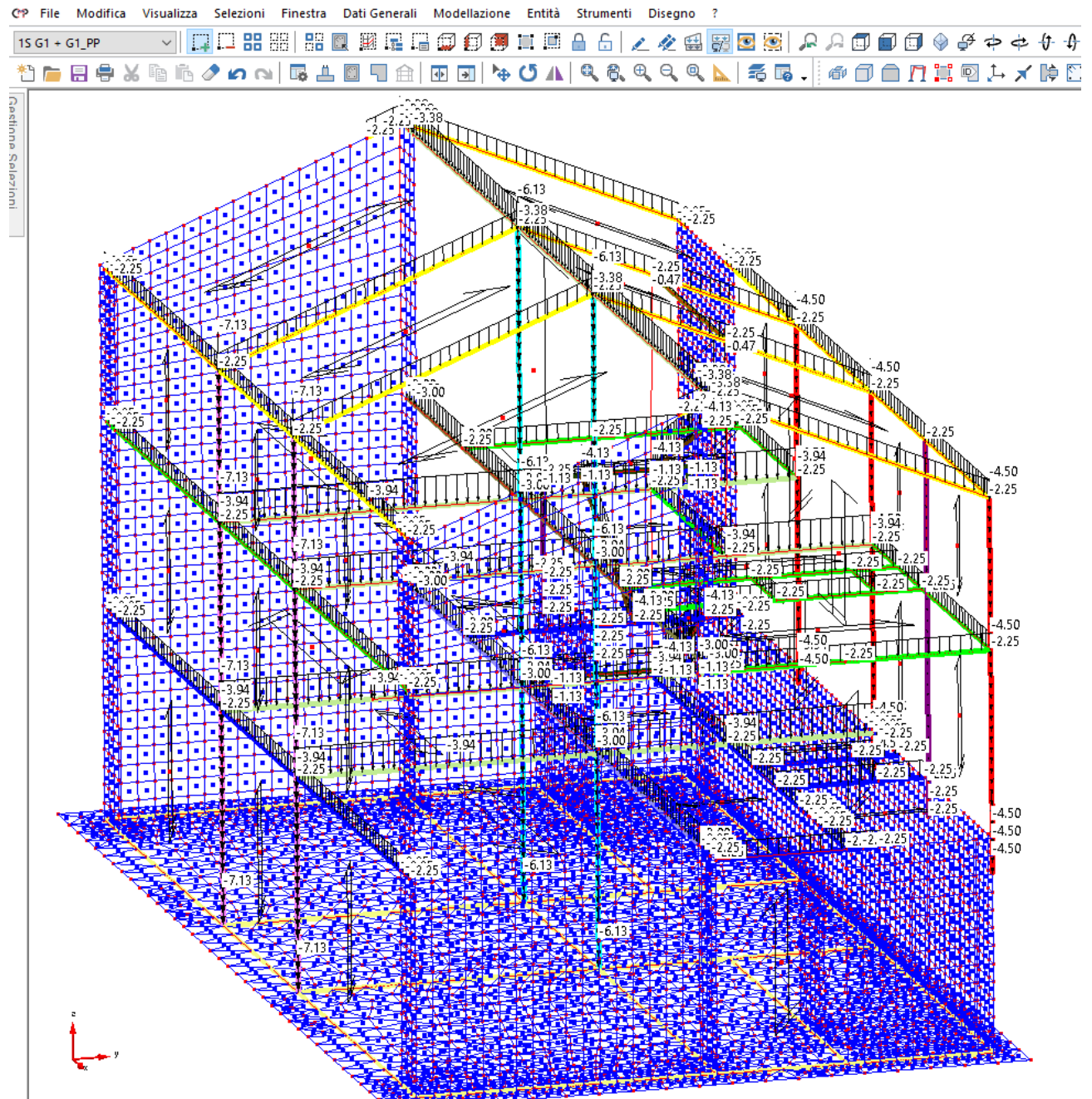
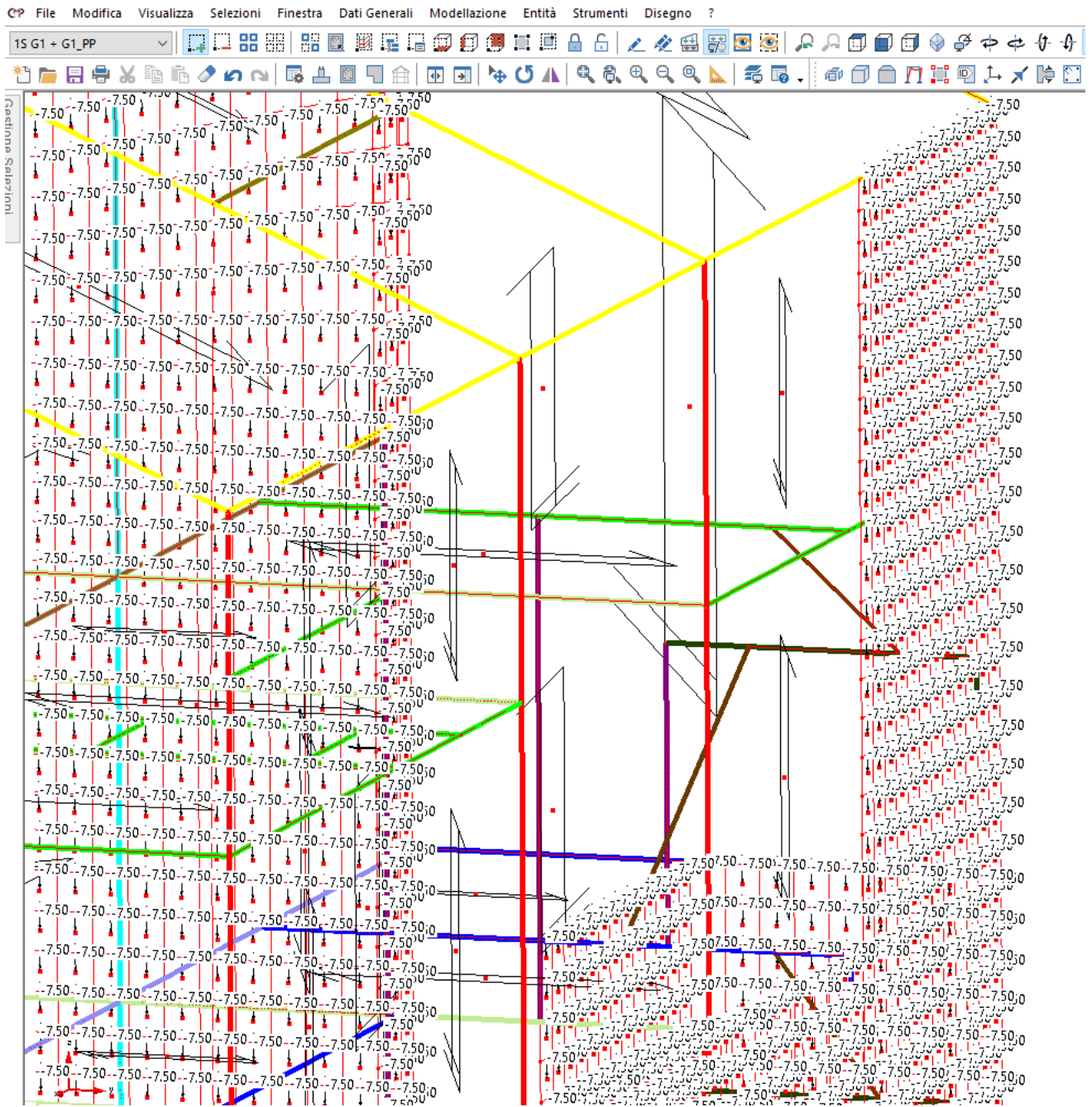


Figura 15 - Carichi distribuiti per unità di lunghezza [kN/m] – G1\_PP (Peso Proprio strutture in elevazione – Elementi Beam).



**Figura 16 - Carichi distribuiti per unità di superficie [kN/m] – G1\_PP (Peso Proprio strutture in elevazione – Elementi Shell dettaglio).**



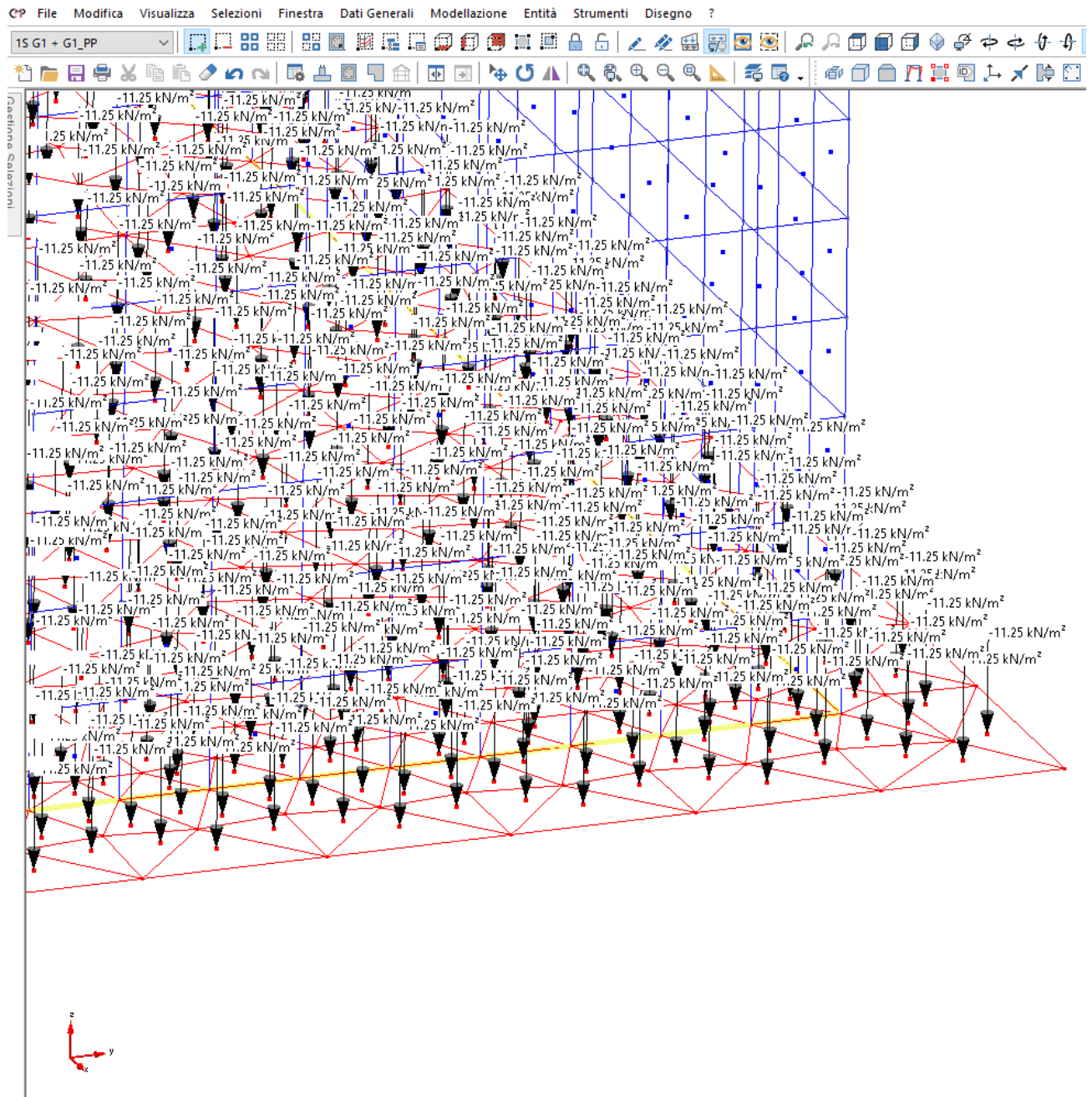


Figura 17 - Carichi distribuiti per unità di lunghezza [kN/mq] – G1\_PP (Peso Proprio fondazione \_ dettaglio)

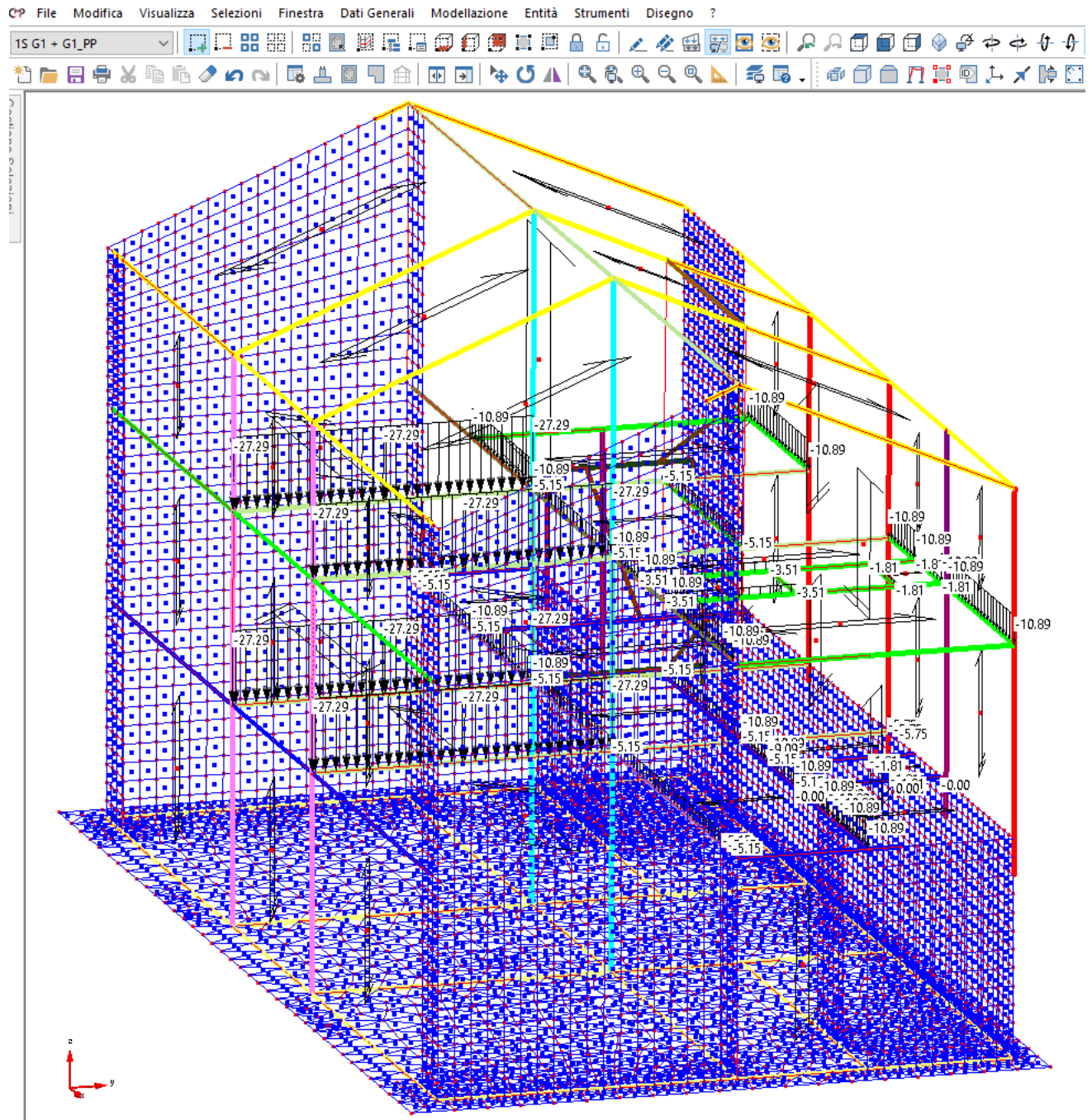


Figura 18 - Carichi distribuiti per unità di lunghezza [kN/m] -G1 (Carichi da solai).

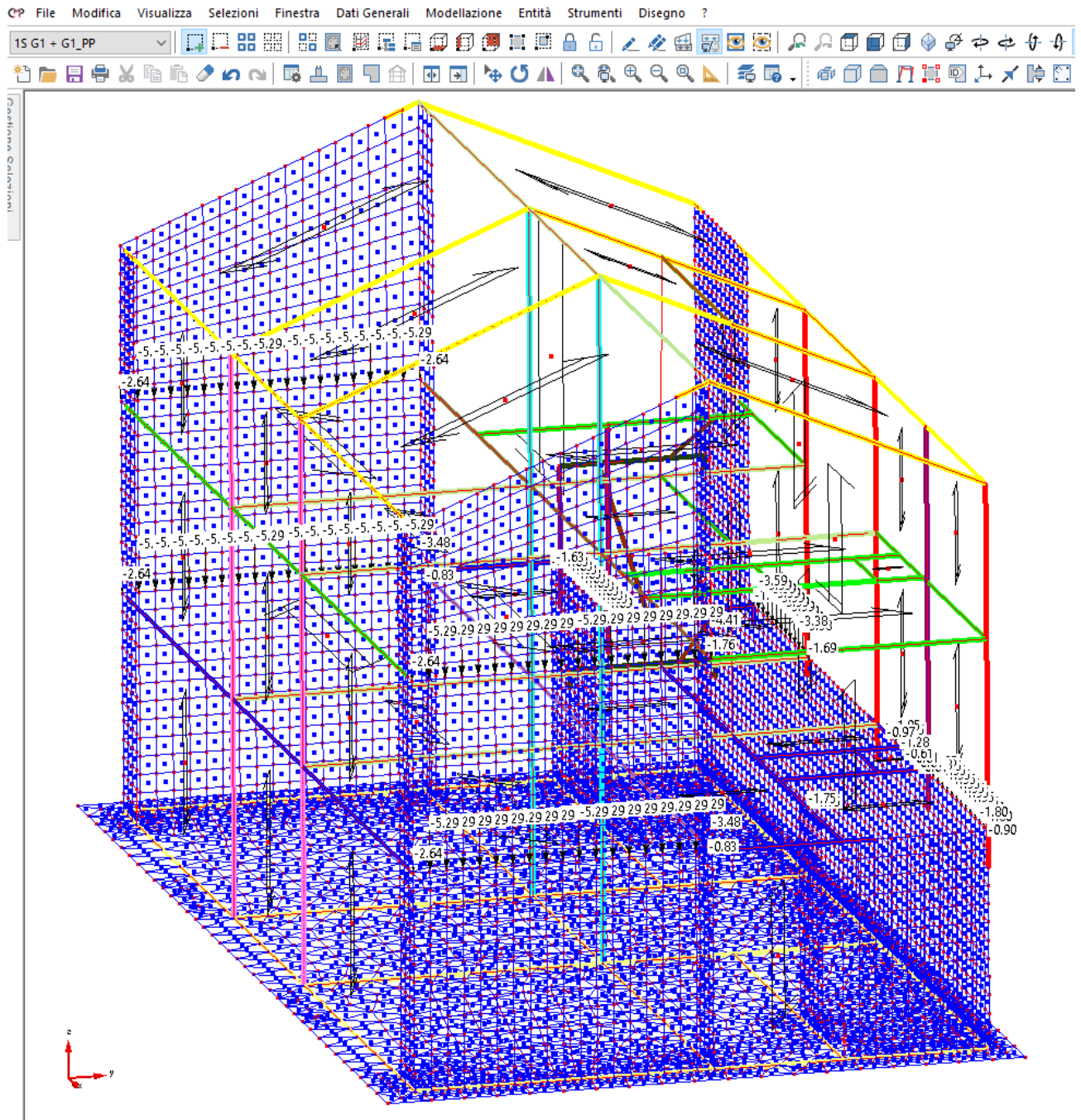


Figura 19 - Carichi concentrati [kN] –G1 (Carichi da solai).

### 2.5.5.2 Condizione di carico G2

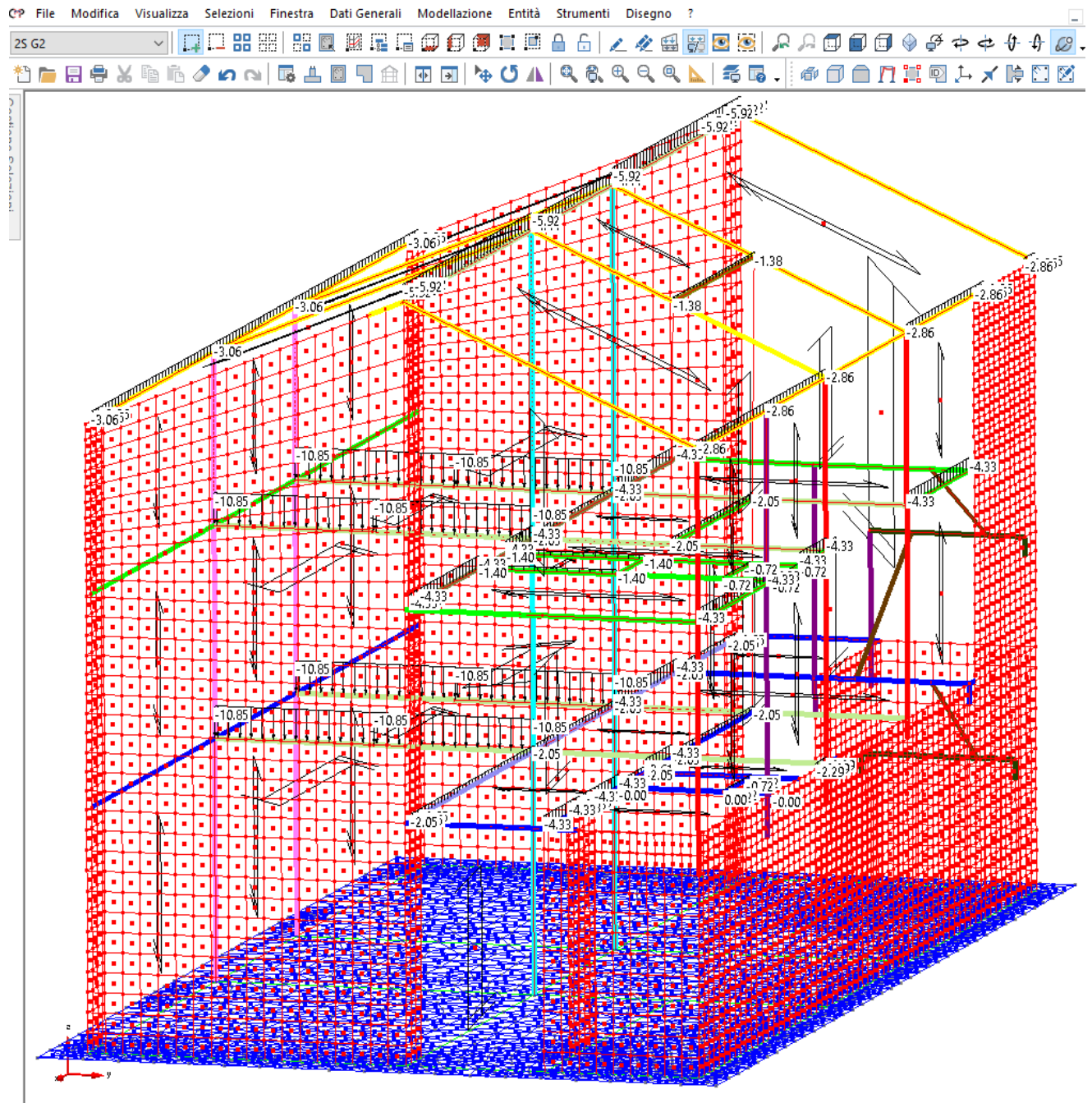


Figura 20 - Carichi distribuiti per unità di lunghezza [kN/m] -G2 (Carichi da solai) .

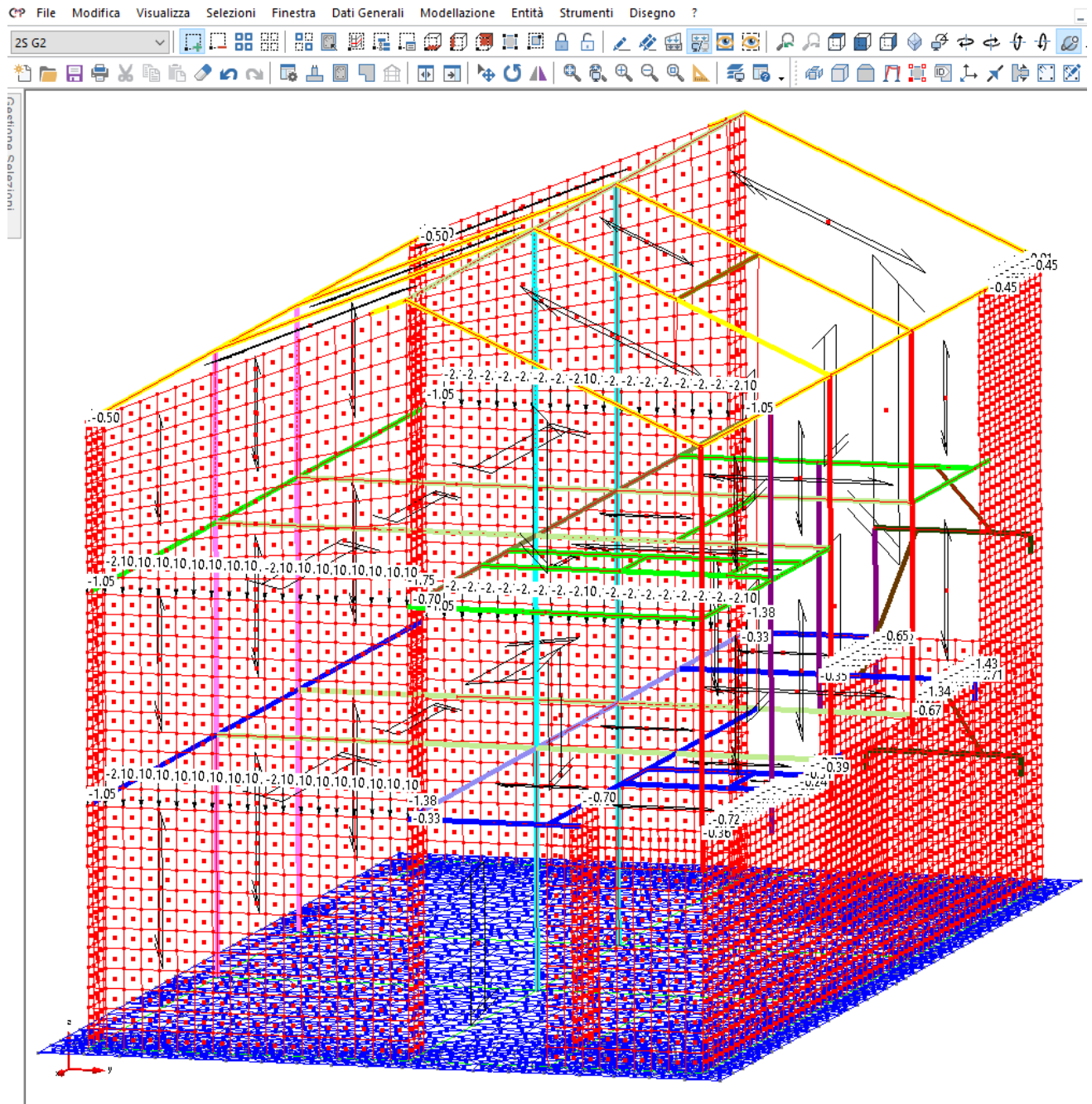


Figura 21 - Carichi concentrati [kN] –G2 (Carichi da solai).

### 2.5.5.3 Condizione di carico G2 TAMP

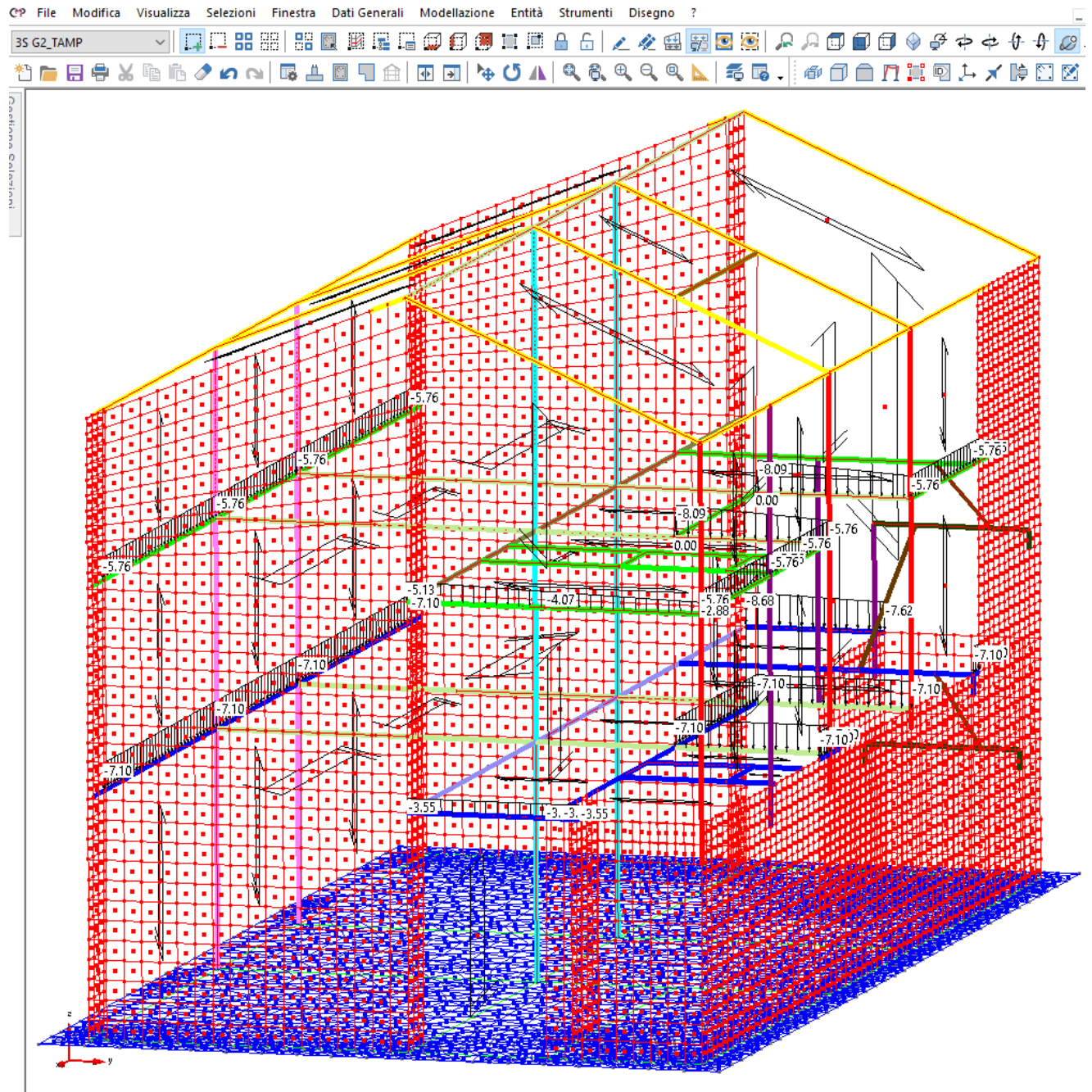


Figura 22 – Carichi verticali distribuiti per unità di lunghezza [kN/m] – G2\_TAMP

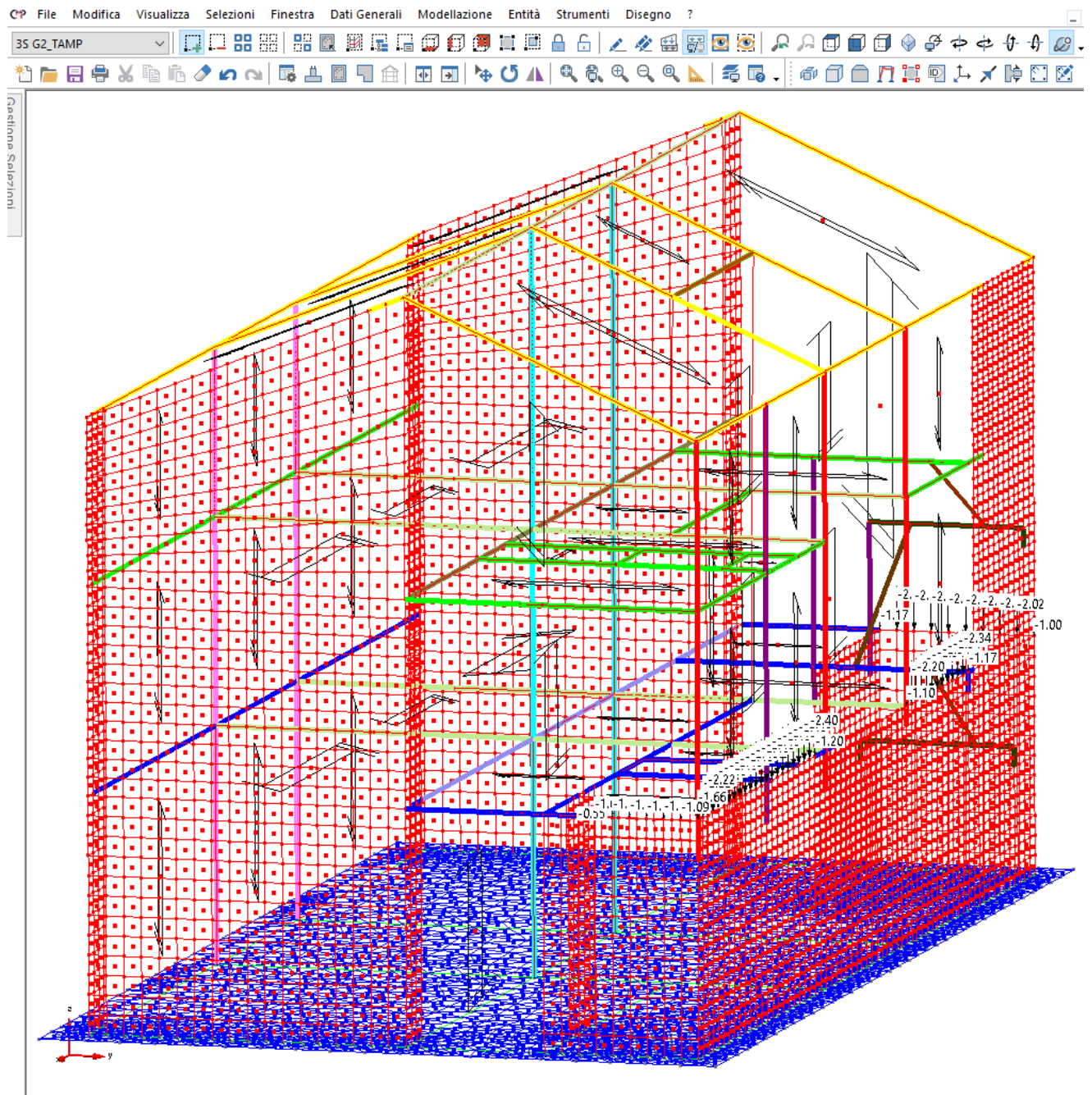


Figura 23 – Carichi verticali concentrati [kN] –G2\_TAMP (Carichi da solai).

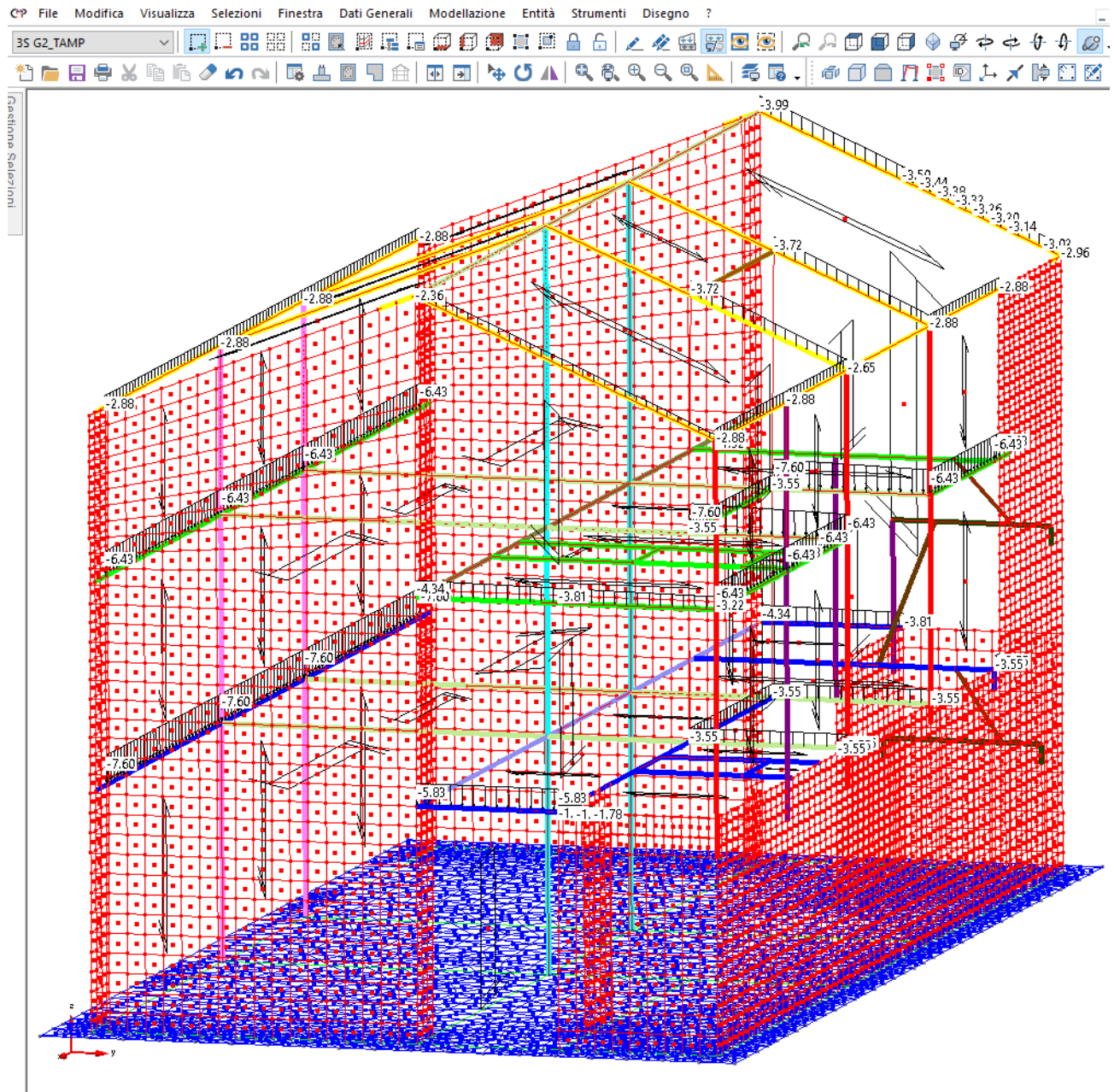


Figura 24 – Massa sismica distribuita per unità di lunghezza [kN/m] – G2\_TAMP.



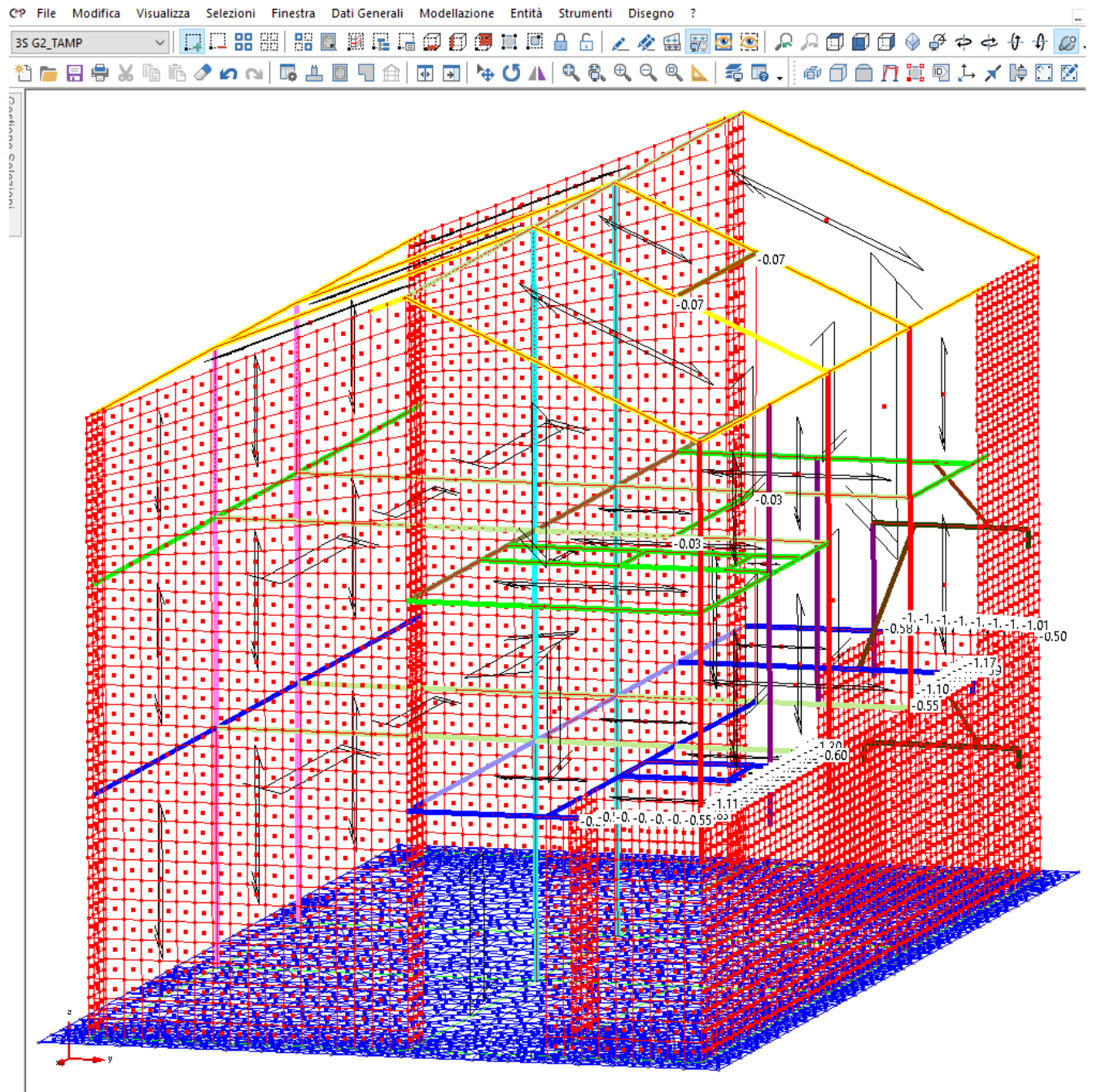


Figura 25 –Massa sismica concentrata [KN] – G2\_TAMP

### 2.5.5.4 Condizione di carico Q ACC Cat. C

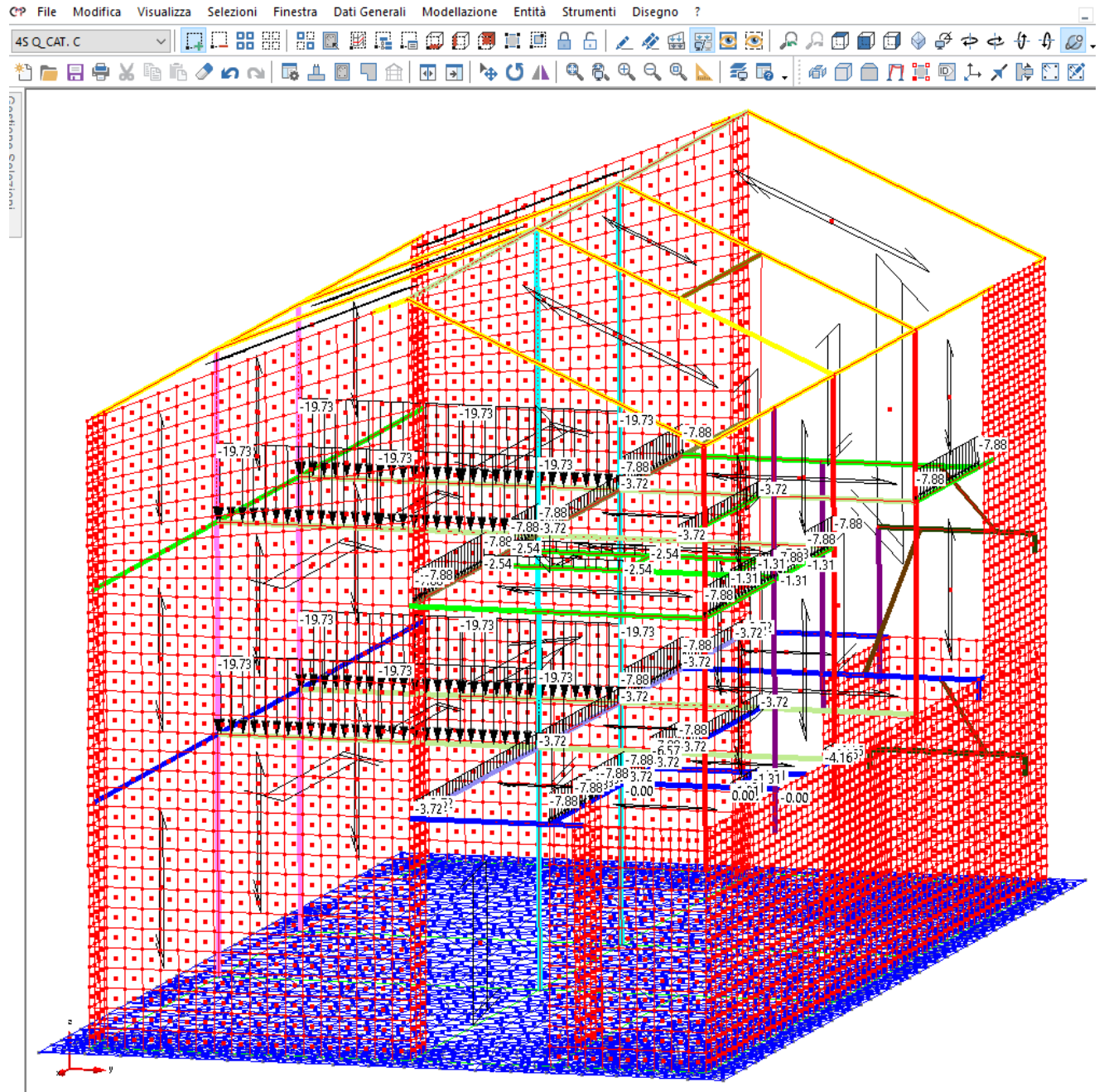


Figura 26 - Carichi distribuiti per unità di lunghezza [kN/m] -Q\_Cat. C (Carichi da solai) .

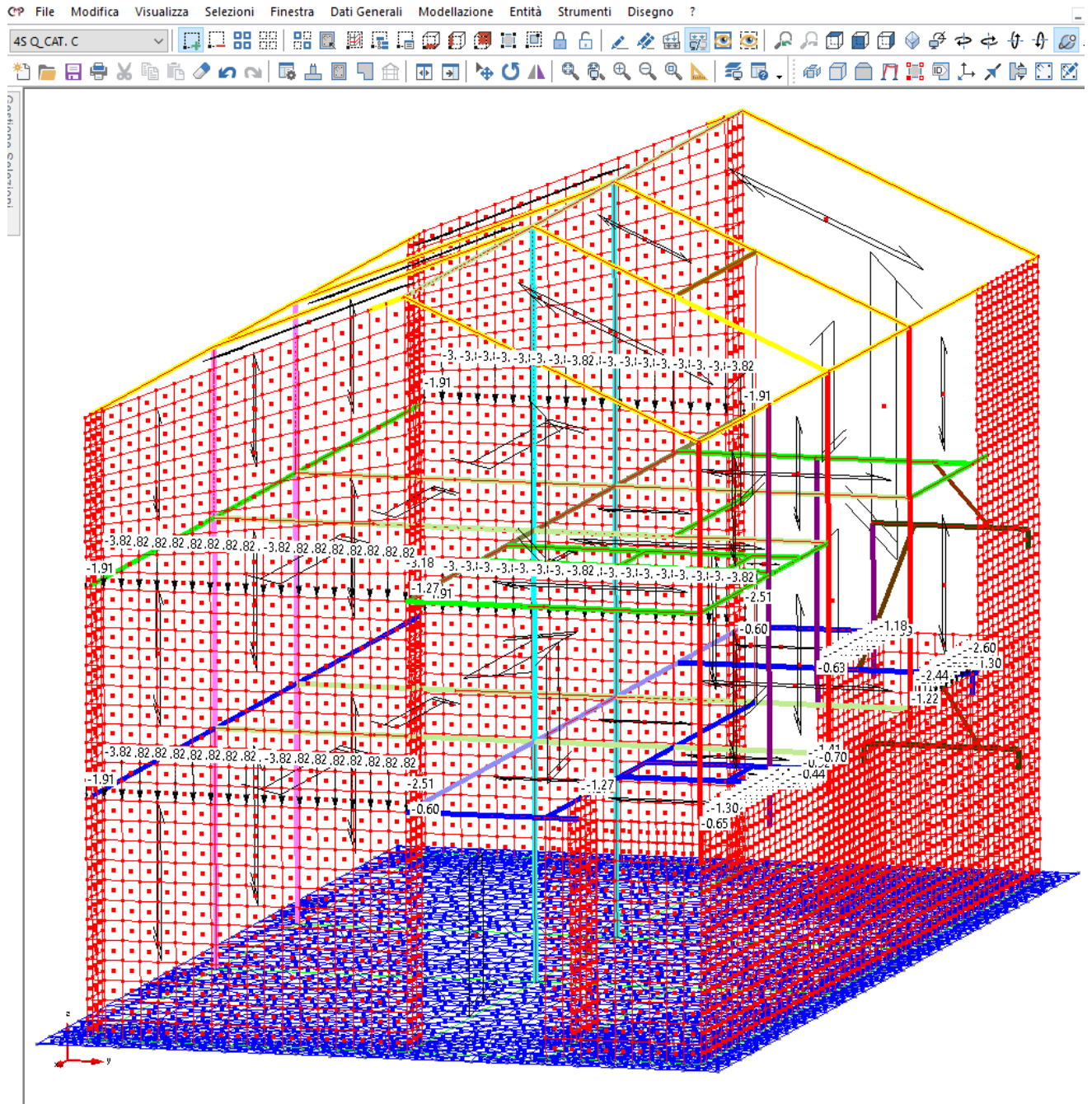


Figura 27 - Carichi concentrati[kN] –Q\_Cat. C (Carichi da solai) .

### 2.5.5.5 Condizione di carico Q NEVE

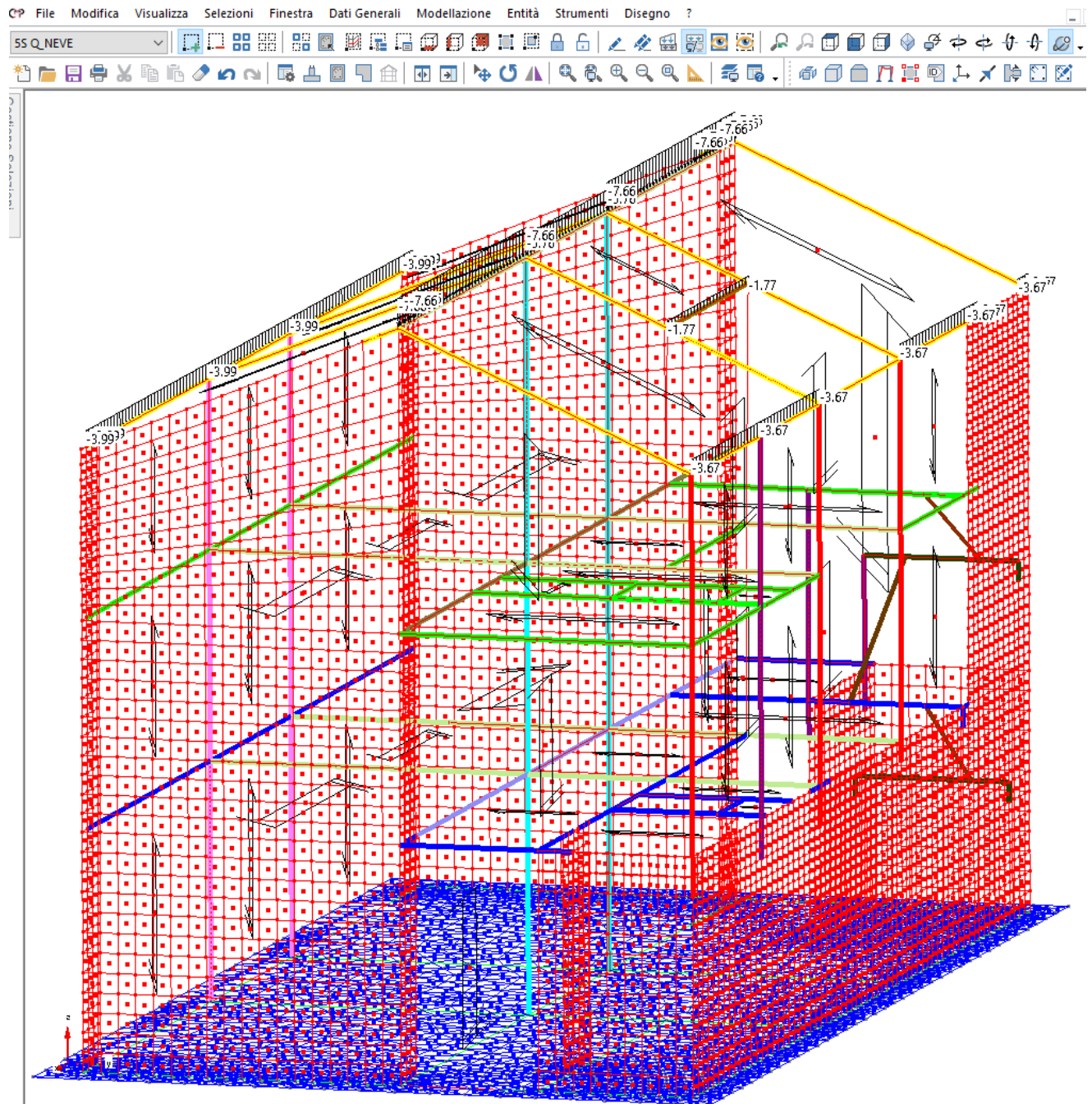


Figura 28 - Carichi distribuiti per unità di lunghezza [kN/m] –Q\_NEVE (Carichi da solai) .

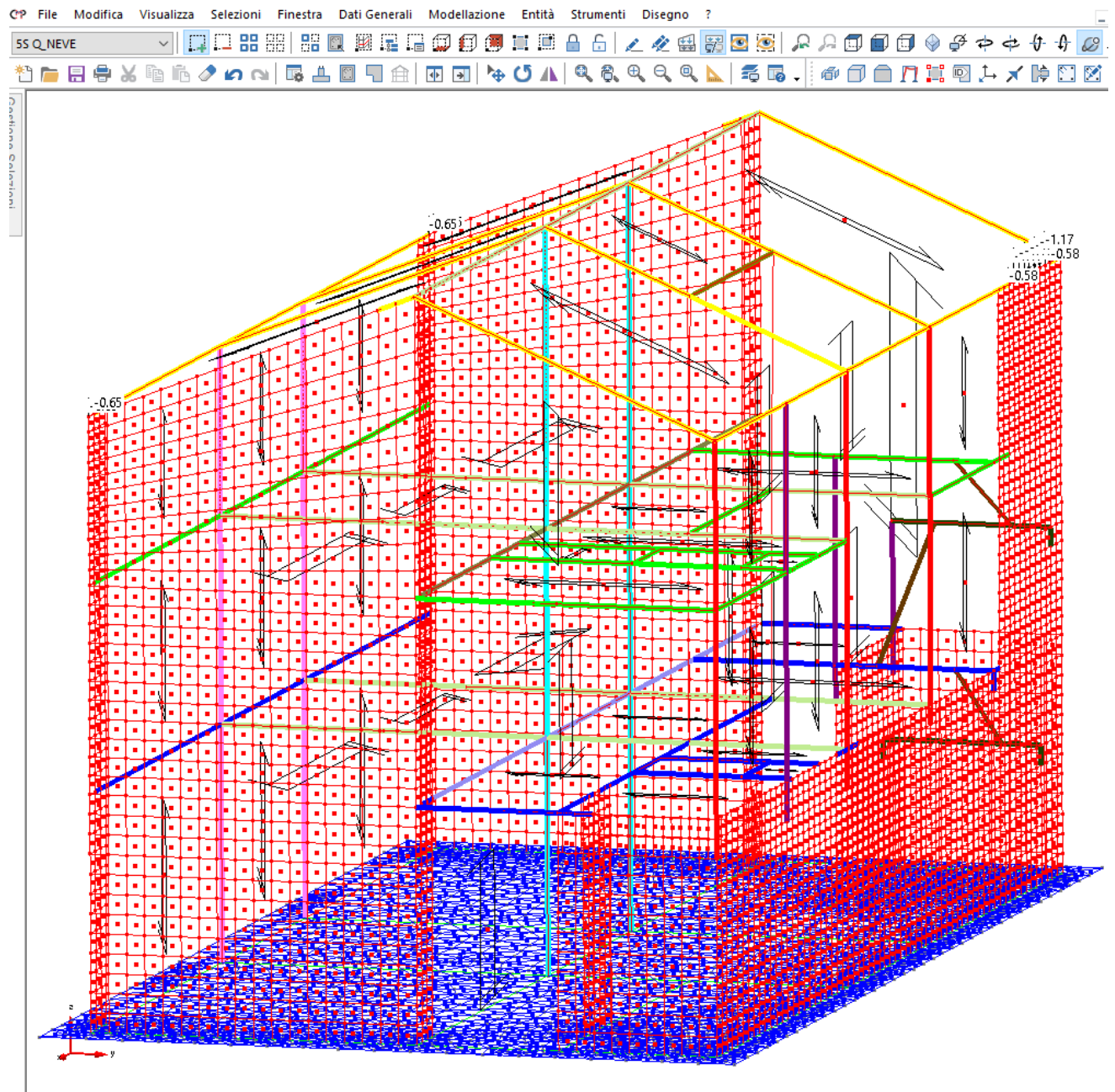


Figura 29 - Carichi concentrati[kN] -Q\_NEVE (Carichi da solai) .

### 2.5.5.6 Condizione di carico Q TERRENO

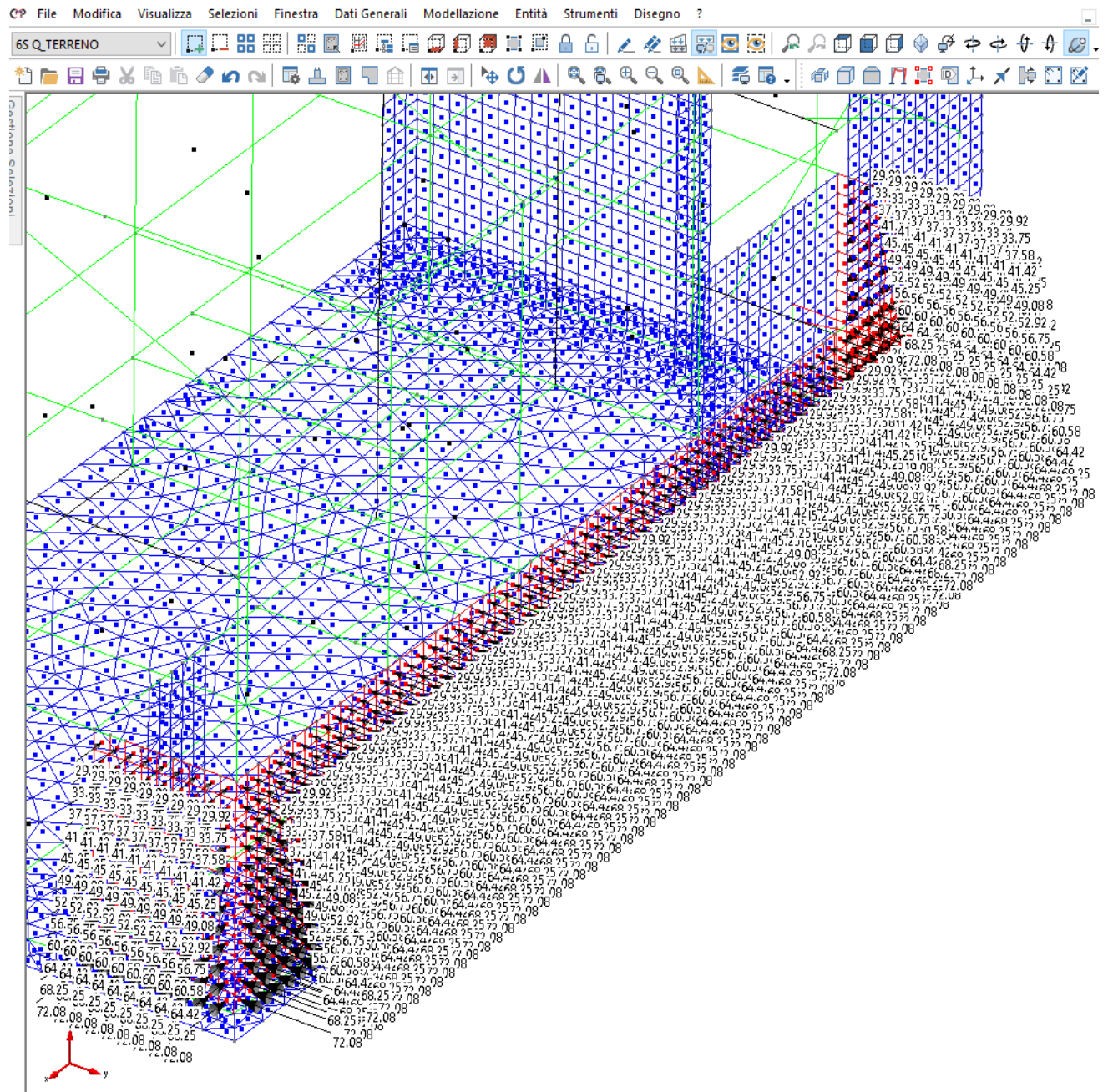


Figura 30 - Carichi concentrati[kN] –Q\_TERRENO (Carichi da solai) .

## 2.5.6 Modellazione delle masse

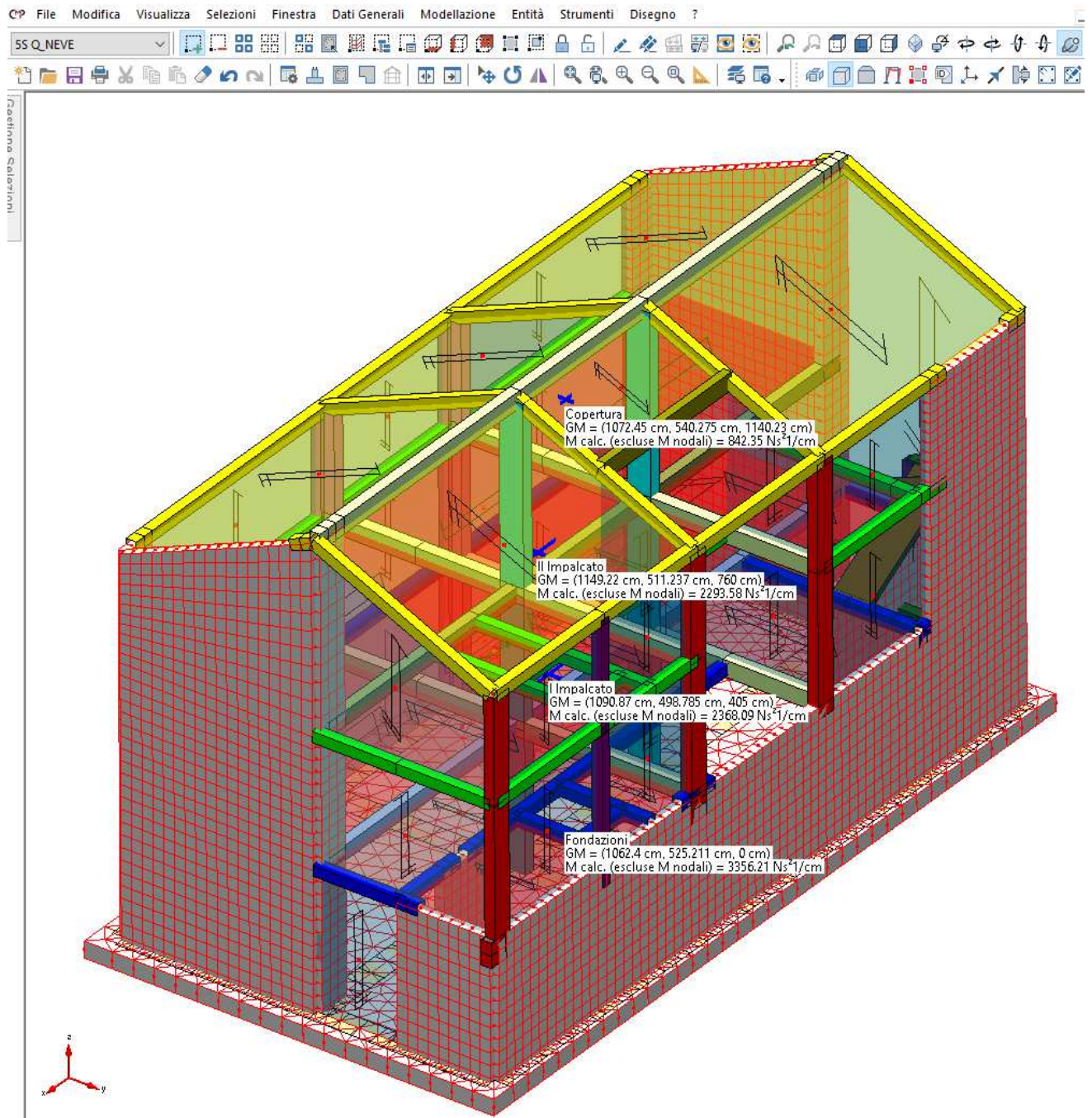


Figura 31 - Risultanti masse di piano degli impalcati.

## 2.6 Combinazioni e/o percorsi di carico

Si riportano le principali combinazioni di carico indagate tramite il programma agli elementi finiti FEM:

- ~SL18 SLE caratt.
- ~SL18 SLE freq.
- ~SL18 SLE q.perm.
- ~SL18 STR SLV
- ~SL18 GEO -
- ~SL18 SLD Sism. Orizz.
- ~SL18 SLO Sism. Orizz.Dannegg.

### 2.6.1 Stati limite ultimi

#### 2.6.1.1 Inviluppo “~SL18 GEO”

Agisce su tutte le entità del modello.

Condizioni di inviluppo automatiche

n°CdC o Inviluppo	Nome CdC o Inviluppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
Inviluppo	~SL18 GEO_1	Perm.non Contemp.	1	1	1
Inviluppo	~SL18 GEO_2	Perm.non Contemp.	1	1	1
Inviluppo	~SL18 GEO_3	Perm.non Contemp.	1	1	1
Inviluppo	~SL18 SLU Sism. Orizz._1	Perm.non Contemp.	1	1	1
Inviluppo	~SL18 SLU Sism. Orizz._2	Perm.non Contemp.	1	1	1

Descrizione degli inviluppi contenuti nell'inviluppo “~SL18 GEO”

Descrizione inviluppo “~SL18 GEO\_1”:

n°CdC o Inviluppo	Nome CdC o Inviluppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
CdC elem. 1St	G1 + G1_PP	Permanente		1	1.3
CdC elem. 2St	G2	Permanente		0.8	1.5
CdC elem. 3St	G2_TAMP	Permanente		0.8	1.5
CdC elem. 4St	Q_CAT. C	Variabile		0	1.05
CdC elem. 5St	Q_NEVE	Variabile		0	0.75
CdC elem. 6St	Q_TERRENO	Permanente		0.8	1.5

Descrizione inviluppo “~SL18 GEO\_2”:

n°CdC o Inviluppo	Nome CdC o Inviluppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
CdC elem. 1St	G1 + G1_PP	Permanente		1	1.3
CdC elem. 2St	G2	Permanente		0.8	1.5
CdC elem. 3St	G2_TAMP	Permanente		0.8	1.5
CdC elem. 4St	Q_CAT. C	Variabile		0	1.5
CdC elem. 5St	Q_NEVE	Variabile		0	0.75
CdC elem. 6St	Q_TERRENO	Permanente		0.8	1.5

Descrizione inviluppo “~SL18 GEO\_3”:



n°CdC o Involuppo	Nome CdC o Involuppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
CdC elem. 1St	G1 + G1_PP	Permanente		1	1.3
CdC elem. 2St	G2	Permanente		0.8	1.5
CdC elem. 3St	G2_TAMP	Permanente		0.8	1.5
CdC elem. 4St	Q_CAT. C	Variabile		0	1.05
CdC elem. 5St	Q_NEVE	Variabile		0	1.5
CdC elem. 6St	Q_TERRENO	Permanente		0.8	1.5

Descrizione involuppo “~SL18 SLU Sism. Orizz. \_1”:

n°CdC o Involuppo	Nome CdC o Involuppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
CdC elem. 1St	G1 + G1_PP	Permanente		1	1
CdC elem. 2St	G2	Permanente		0.8	1
CdC elem. 3St	G2_TAMP	Permanente		0.8	1
CdC elem. 4St	Q_CAT. C	Variabile		0.6	0.6
CdC elem. 5St	Q_NEVE	Variabile		0	0
CdC elem. 6St	Q_TERRENO	Permanente		0.8	1
CdC elem. 9Dy	Sisma SLV X Dx	Var.non Contemp.	1	-1	1
CdC elem. 10Dy	Sisma SLV X Sx	Var.non Contemp.	1	-1	1
CdC elem. 11Dy	Sisma SLV Y Dx	Var.non Contemp.	2	-0.3	0.3
CdC elem. 12Dy	Sisma SLV Y Sx	Var.non Contemp.	2	-0.3	0.3

Descrizione involuppo “~SL18 SLU Sism. Orizz. \_2”:

n°CdC o Involuppo	Nome CdC o Involuppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
CdC elem. 1St	G1 + G1_PP	Permanente		1	1
CdC elem. 2St	G2	Permanente		0.8	1
CdC elem. 3St	G2_TAMP	Permanente		0.8	1
CdC elem. 4St	Q_CAT. C	Variabile		0.6	0.6
CdC elem. 5St	Q_NEVE	Variabile		0	0
CdC elem. 6St	Q_TERRENO	Permanente		0.8	1
CdC elem. 9Dy	Sisma SLV X Dx	Var.non Contemp.	1	-0.3	0.3
CdC elem. 10Dy	Sisma SLV X Sx	Var.non Contemp.	1	-0.3	0.3
CdC elem. 11Dy	Sisma SLV Y Dx	Var.non Contemp.	2	-1	1
CdC elem. 12Dy	Sisma SLV Y Sx	Var.non Contemp.	2	-1	1

### 2.6.1.2 Involuppo “~SL18 STR SLV”

Agisce su tutte le entità del modello.

Condizioni di involuppo automatiche

n°CdC o Involuppo	Nome CdC o Involuppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
Involuppo	~SL18 STR SLV_1	Perm.non Contemp.	1	1	1
Involuppo	~SL18 STR SLV_2	Perm.non Contemp.	1	1	1
Involuppo	~SL18 STR SLV_3	Perm.non Contemp.	1	1	1
Involuppo	~SL18 SLU Sism. Orizz. _1	Perm.non Contemp.	1	1	1
Involuppo	~SL18 SLU Sism. Orizz. _2	Perm.non Contemp.	1	1	1

Descrizione degli involuppi contenuti nell’involuppo “~SL18 STR SLV”

Descrizione involuppo “~SL18 STR SLV\_1”:

n°CdC o Involuppo	Nome CdC o Involuppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
CdC elem. 1St	G1 + G1_PP	Permanente		1	1.3
CdC elem. 2St	G2	Permanente		0.8	1.5
CdC elem. 3St	G2_TAMP	Permanente		0.8	1.5
CdC elem. 4St	Q_CAT. C	Variabile		0	1.05
CdC elem. 5St	Q_NEVE	Variabile		0	0.75

CdC elem. 6St	Q_TERRENO	Permanente		0.8	1.5
---------------	-----------	------------	--	-----	-----

Descrizione inviluppo “~SL18 STR SLV\_2”:

n°CdC o Inviluppo	Nome CdC o Inviluppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
-------------------	----------------------	-----------	--------	----------	----------

CdC elem. 1St	G1 + G1_PP	Permanente		1	1.3
CdC elem. 2St	G2	Permanente		0.8	1.5
CdC elem. 3St	G2_TAMP	Permanente		0.8	1.5
CdC elem. 4St	Q_CAT. C	Variabile		0	1.5
CdC elem. 5St	Q_NEVE	Variabile		0	0.75
CdC elem. 6St	Q_TERRENO	Permanente		0.8	1.5

Descrizione inviluppo “~SL18 STR SLV\_3”:

n°CdC o Inviluppo	Nome CdC o Inviluppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
-------------------	----------------------	-----------	--------	----------	----------

CdC elem. 1St	G1 + G1_PP	Permanente		1	1.3
CdC elem. 2St	G2	Permanente		0.8	1.5
CdC elem. 3St	G2_TAMP	Permanente		0.8	1.5
CdC elem. 4St	Q_CAT. C	Variabile		0	1.05
CdC elem. 5St	Q_NEVE	Variabile		0	1.5
CdC elem. 6St	Q_TERRENO	Permanente		0.8	1.5

Descrizione inviluppo “~SL18 SLU Sism. Orizz. \_1”:

n°CdC o Inviluppo	Nome CdC o Inviluppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
-------------------	----------------------	-----------	--------	----------	----------

CdC elem. 1St	G1 + G1_PP	Permanente		1	1
CdC elem. 2St	G2	Permanente		0.8	1
CdC elem. 3St	G2_TAMP	Permanente		0.8	1
CdC elem. 4St	Q_CAT. C	Variabile		0.6	0.6
CdC elem. 5St	Q_NEVE	Variabile		0	0
CdC elem. 6St	Q_TERRENO	Permanente		0.8	1
CdC elem. 9Dy	Sisma SLV X Dx	Var.non Contemp.	1	-1	1
CdC elem. 10Dy	Sisma SLV X Sx	Var.non Contemp.	1	-1	1
CdC elem. 11Dy	Sisma SLV Y Dx	Var.non Contemp.	2	-0.3	0.3
CdC elem. 12Dy	Sisma SLV Y Sx	Var.non Contemp.	2	-0.3	0.3

Descrizione inviluppo “~SL18 SLU Sism. Orizz. \_2”:

n°CdC o Inviluppo	Nome CdC o Inviluppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
-------------------	----------------------	-----------	--------	----------	----------

CdC elem. 1St	G1 + G1_PP	Permanente		1	1
CdC elem. 2St	G2	Permanente		0.8	1
CdC elem. 3St	G2_TAMP	Permanente		0.8	1
CdC elem. 4St	Q_CAT. C	Variabile		0.6	0.6
CdC elem. 5St	Q_NEVE	Variabile		0	0
CdC elem. 6St	Q_TERRENO	Permanente		0.8	1
CdC elem. 9Dy	Sisma SLV X Dx	Var.non Contemp.	1	-0.3	0.3
CdC elem. 10Dy	Sisma SLV X Sx	Var.non Contemp.	1	-0.3	0.3
CdC elem. 11Dy	Sisma SLV Y Dx	Var.non Contemp.	2	-1	1
CdC elem. 12Dy	Sisma SLV Y Sx	Var.non Contemp.	2	-1	1

## 2.6.2 Stati limite d'esercizio

### 2.6.2.1 Inviluppo “~SL18 SLE caratt.”

Agisce su tutte le entità del modello.

Condizioni di inviluppo automatiche

n°CdC o Inviluppo	Nome CdC o Inviluppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
Inviluppo	~SL18 SLE caratt.Dannegg._1	Perm.non Contemp.	1	1	1
Inviluppo	~SL18 SLE caratt.Dannegg._2	Perm.non Contemp.	1	1	1
Inviluppo	~SL18 SLE caratt.Dannegg._3	Perm.non Contemp.	1	1	1

Descrizione degli inviluppi contenuti nell'inviluppo “~SL18 SLE caratt.Dannegg.”

Descrizione inviluppo “~SL18 SLE caratt.Dannegg.\_1”:

n°CdC o Inviluppo	Nome CdC o Inviluppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
CdC elem. 1St	G1 + G1_PP	Permanente		1	1
CdC elem. 2St	G2	Permanente		1	1
CdC elem. 3St	G2_TAMP	Permanente		1	1
CdC elem. 4St	Q_CAT. C	Variabile		0.7	0.7
CdC elem. 5St	Q_NEVE	Variabile		0.5	0.5
CdC elem. 6St	Q_TERRENO	Permanente		1	1

Descrizione inviluppo “~SL18 SLE caratt.Dannegg.\_2”:

n°CdC o Inviluppo	Nome CdC o Inviluppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
CdC elem. 1St	G1 + G1_PP	Permanente		1	1
CdC elem. 2St	G2	Permanente		1	1
CdC elem. 3St	G2_TAMP	Permanente		1	1
CdC elem. 4St	Q_CAT. C	Variabile		1	1
CdC elem. 5St	Q_NEVE	Variabile		0.5	0.5
CdC elem. 6St	Q_TERRENO	Permanente		1	1

Descrizione inviluppo “~SL18 SLE caratt.Dannegg.\_3”:

n°CdC o Inviluppo	Nome CdC o Inviluppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
CdC elem. 1St	G1 + G1_PP	Permanente		1	1
CdC elem. 2St	G2	Permanente		1	1
CdC elem. 3St	G2_TAMP	Permanente		1	1
CdC elem. 4St	Q_CAT. C	Variabile		0.7	0.7
CdC elem. 5St	Q_NEVE	Variabile		1	1
CdC elem. 6St	Q_TERRENO	Permanente		1	1

### 2.6.2.2 Inviluppo “~SL18 SLE freq.”

Agisce su tutte le entità del modello.

Condizioni di inviluppo automatiche

n°CdC o Inviluppo	Nome CdC o Inviluppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
Inviluppo	~SL18 SLE freq._1	Perm.non Contemp.	1	1	1
Inviluppo	~SL18 SLE freq._2	Perm.non Contemp.	1	1	1

Descrizione degli inviluppi contenuti nell'inviluppo “~SL18 SLE freq.”

Descrizione inviluppo “~SL18 SLE freq.\_1”:

n°CdC o Inviluppo	Nome CdC o Inviluppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
CdC elem. 1St	G1+G1_PP	Permanente		1	1
CdC elem. 2St	G2	Permanente		1	1

CdC elem. 3St	G2_TAMP	Permanente		1	1
CdC elem. 4St	Q_CAT. A	Variabile		0.5	0.5
CdC elem. 5St	Q_NEVE	Variabile		0	0

Descrizione involucro “~SL18 SLE freq. \_2”:

n°CdC o Involuppo	Nome CdC o Involuppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
CdC elem. 1St	G1+G1_PP	Permanente		1	1
CdC elem. 2St	G2	Permanente		1	1
CdC elem. 3St	G2_TAMP	Permanente		1	1
CdC elem. 4St	Q_CAT. A	Variabile		0.3	0.3
CdC elem. 5St	Q_NEVE	Variabile		0.2	0.2

### 2.6.2.3 Involuppo “~SL18 SLE q.perm.”

Agisce su tutte le entità del modello.

Condizioni di involucro automatiche

n°CdC o Involuppo	Nome CdC o Involuppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
CdC elem. 1St	G1 + G1_PP	Permanente		1	1
CdC elem. 2St	G2	Permanente		1	1
CdC elem. 3St	G2_TAMP	Permanente		1	1
CdC elem. 4St	Q_CAT. C	Variabile		0.6	0.6
CdC elem. 5St	Q_NEVE	Variabile		0	0
CdC elem. 6St	Q_TERRENO	Permanente		1	1

Agisce su tutte le entità del modello.

Condizioni di involucro automatiche

n°CdC o Involuppo	Nome CdC o Involuppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
CdC elem. 1St	G1+G1_PP	Permanente		1	1
CdC elem. 2St	G2	Permanente		1	1
CdC elem. 3St	G2_TAMP	Permanente		1	1
CdC elem. 4St	Q_CAT. A	Variabile		0.3	0.3
CdC elem. 5St	Q_NEVE	Variabile		0	0

### 2.6.2.4 Involuppo “~SL18 SLD SISM. ORIZZ.”

Agisce su tutte le entità del modello.

Condizioni di involucro automatiche

n°CdC o Involuppo	Nome CdC o Involuppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
Involuppo	~SL18 SLD Sism. Orizz. _1	Perm.non Contemp.	1	1	1
Involuppo	~SL18 SLD Sism. Orizz. _2	Perm.non Contemp.	1	1	1

Descrizione degli involucri contenuti nell’involuppo “~SL18 SLD Sism. Orizz.”

Descrizione involucro “~SL18 SLD Sism. Orizz. \_1”:

n°CdC o Involuppo	Nome CdC o Involuppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
CdC elem. 1St	G1 + G1_PP	Permanente		1	1
CdC elem. 2St	G2	Permanente		0.8	1
CdC elem. 3St	G2_TAMP	Permanente		0.8	1
CdC elem. 4St	Q_CAT. C	Variabile		0.6	0.6
CdC elem. 5St	Q_NEVE	Variabile		0	0
CdC elem. 6St	Q_TERRENO	Permanente		0.8	1
CdC elem. 5Dy	Sisma SLD X Dx	Var.non Contemp.	1	-1	1
CdC elem. 6Dy	Sisma SLD X Sx	Var.non Contemp.	1	-1	1

CdC elem. 7Dy	Sisma SLD Y Dx	Var.non Contemp.	2	-0.3	0.3
CdC elem. 8Dy	Sisma SLD Y Sx	Var.non Contemp.	2	-0.3	0.3

Descrizione involuppo “~SL18 SLD Sism. Orizz.\_2”:

n°CdC o Involuppo	Nome CdC o Involuppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
CdC elem. 1St	G1 + G1_PP	Permanente		1	1
CdC elem. 2St	G2	Permanente		0.8	1
CdC elem. 3St	G2_TAMP	Permanente		0.8	1
CdC elem. 4St	Q_CAT. C	Variabile		0.6	0.6
CdC elem. 5St	Q_NEVE	Variabile		0	0
CdC elem. 6St	Q_TERRENO	Permanente		0.8	1
CdC elem. 5Dy	Sisma SLD X Dx	Var.non Contemp.	1	-0.3	0.3
CdC elem. 6Dy	Sisma SLD X Sx	Var.non Contemp.	1	-0.3	0.3
CdC elem. 7Dy	Sisma SLD Y Dx	Var.non Contemp.	2	-1	1
CdC elem. 8Dy	Sisma SLD Y Sx	Var.non Contemp.	2	-1	1

### 2.6.2.5 Involuppo “~SL18 SLO SISM. ORIZZ.”

Agisce su tutte le entità del modello.

Condizioni di involuppo automatiche

n°CdC o Involuppo	Nome CdC o Involuppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
Involuppo	~SL18 SLO Sism. Orizz.Dannegg._1	Perm.non Contemp.	1	1	1
Involuppo	~SL18 SLO Sism. Orizz.Dannegg._2	Perm.non Contemp.	1	1	1

Descrizione degli involuppi contenuti nell’involuppo “~SL18 SLO Sism. Orizz.Dannegg.”

Descrizione involuppo “~SL18 SLO Sism. Orizz.Dannegg.\_1”:

n°CdC o Involuppo	Nome CdC o Involuppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
CdC elem. 1St	G1 + G1_PP	Permanente		1	1
CdC elem. 2St	G2	Permanente		0.8	1
CdC elem. 3St	G2_TAMP	Permanente		0.8	1
CdC elem. 4St	Q_CAT. C	Variabile		0.6	0.6
CdC elem. 5St	Q_NEVE	Variabile		0	0
CdC elem. 6St	Q_TERRENO	Permanente		0.8	1
CdC elem. 1Dy	Sisma SLO X Dx	Var.non Contemp.	1	-1	1
CdC elem. 2Dy	Sisma SLO X Sx	Var.non Contemp.	1	-1	1
CdC elem. 3Dy	Sisma SLO Y Dx	Var.non Contemp.	2	-0.3	0.3
CdC elem. 4Dy	Sisma SLO Y Sx	Var.non Contemp.	2	-0.3	0.3

Descrizione involuppo “~SL18 SLO Sism. Orizz.Dannegg.\_2”:

n°CdC o Involuppo	Nome CdC o Involuppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
CdC elem. 1St	G1 + G1_PP	Permanente		1	1
CdC elem. 2St	G2	Permanente		0.8	1
CdC elem. 3St	G2_TAMP	Permanente		0.8	1
CdC elem. 4St	Q_CAT. C	Variabile		0.6	0.6
CdC elem. 5St	Q_NEVE	Variabile		0	0
CdC elem. 6St	Q_TERRENO	Permanente		0.8	1
CdC elem. 1Dy	Sisma SLO X Dx	Var.non Contemp.	1	-0.3	0.3
CdC elem. 2Dy	Sisma SLO X Sx	Var.non Contemp.	1	-0.3	0.3
CdC elem. 3Dy	Sisma SLO Y Dx	Var.non Contemp.	2	-1	1
CdC elem. 4Dy	Sisma SLO Y Sx	Var.non Contemp.	2	-1	1

## 2.7 Principali risultati

### 2.7.1 Risultati dell'analisi modale

Nelle tabelle seguenti sono riportate le principali grandezze relative all'analisi dinamica modale; nelle tabelle di riepilogo i codici L1, L2 L3 e L4 si riferiscono ai lanci multipli dell'analisi modale dovuti all'eccentricità accidentale in direzione x e y, per i due versi + e -.

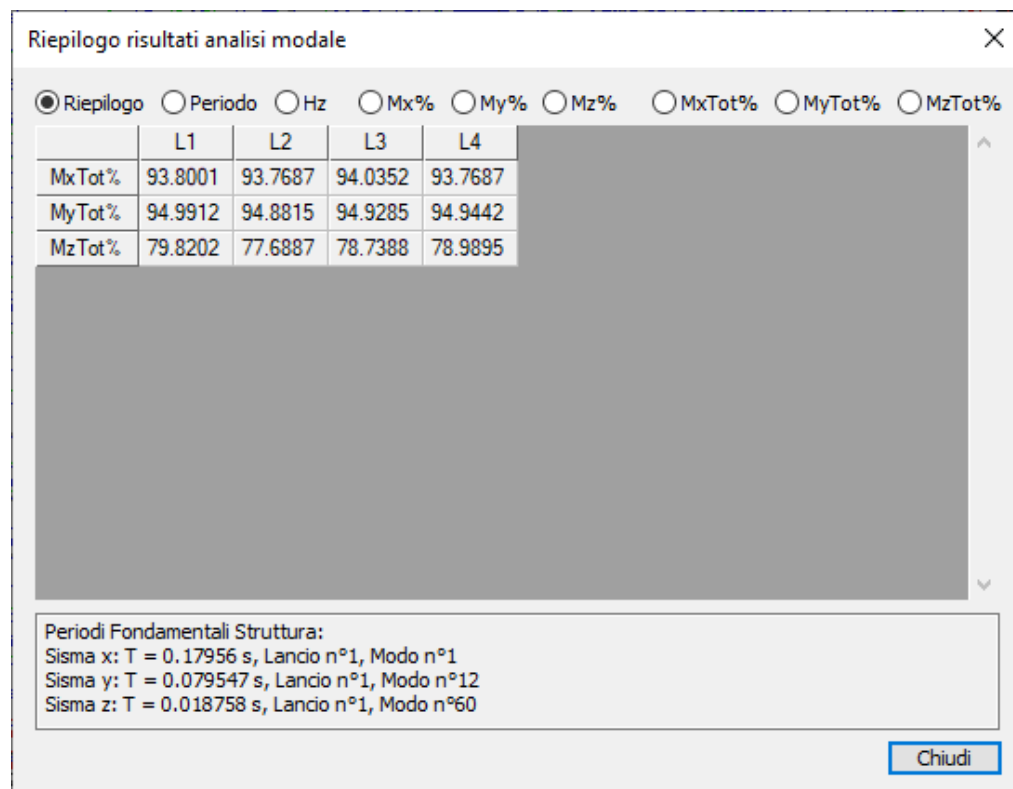


Figura 32 - Riepilogo masse partecipanti.

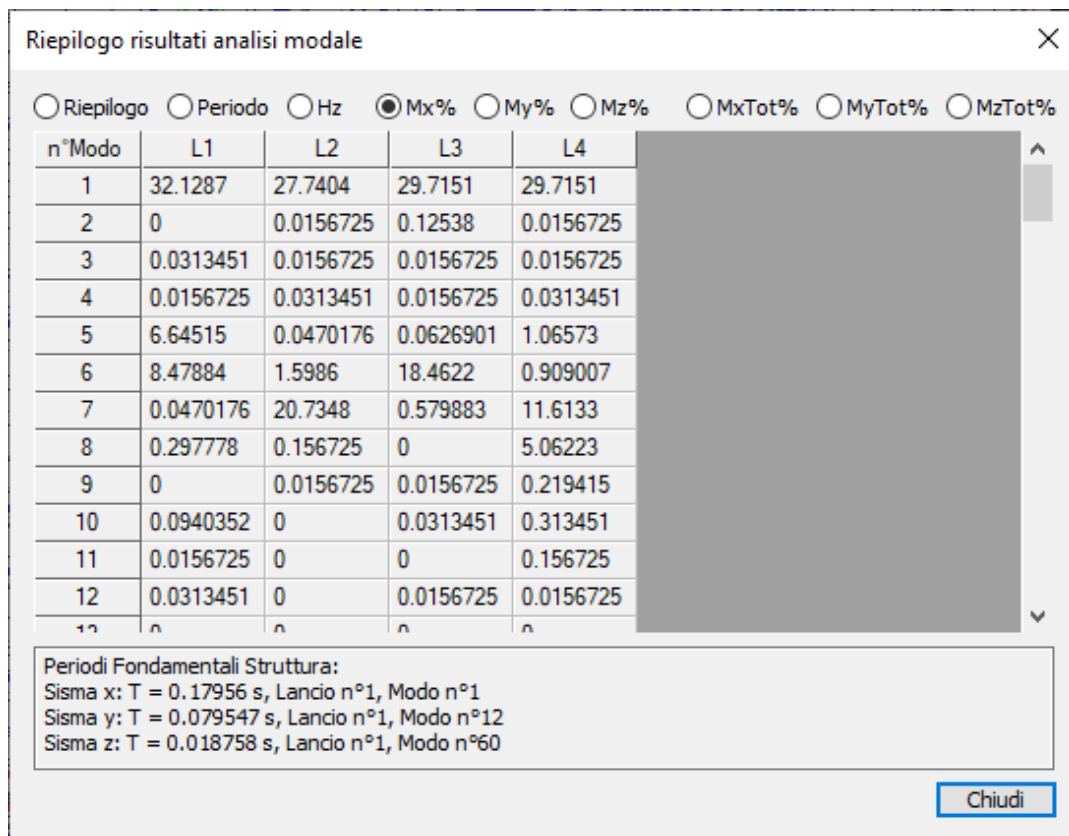


Figura 33 - Masse partecipanti x

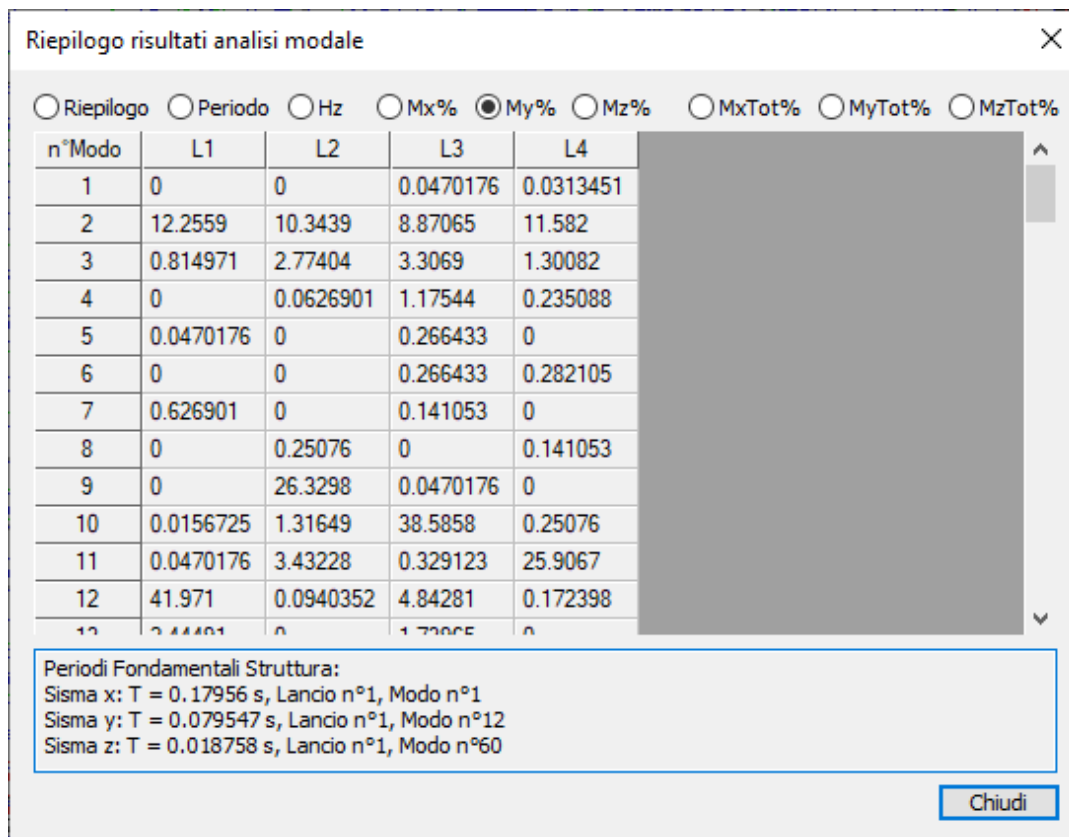


Figura 34 - Masse partecipanti y

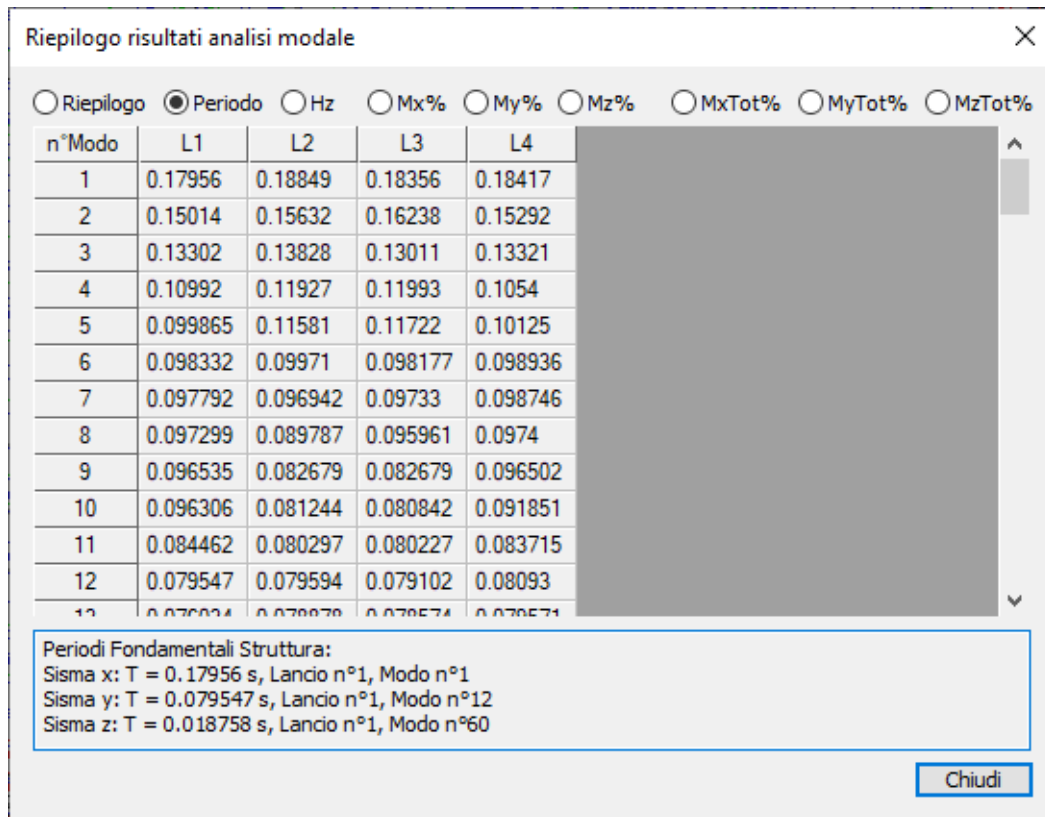


Figura 35 - Periodi propri.



### 2.7.1.1 Modo principale in X

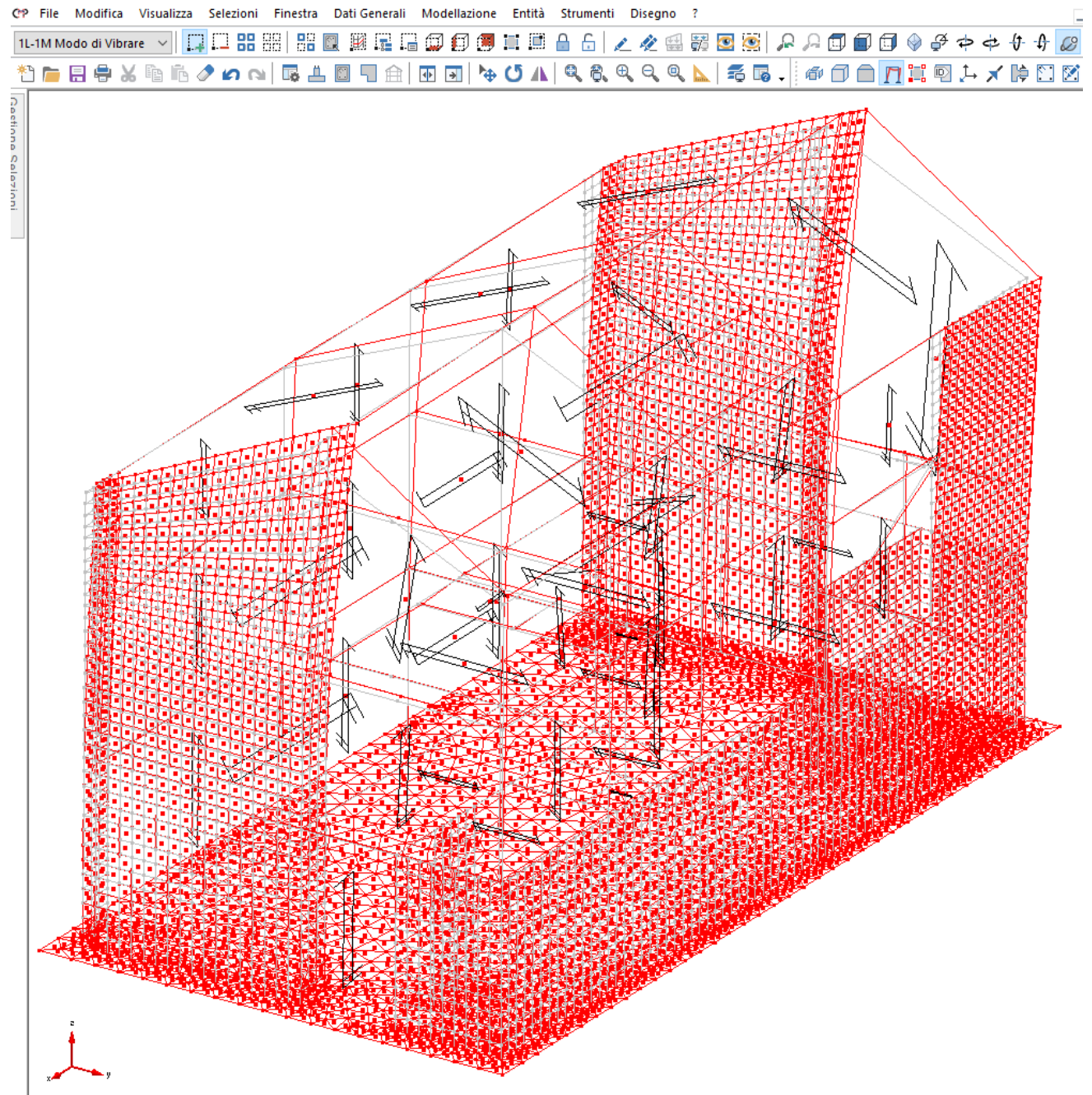


Figura 36 – Deformata modale.

### 2.7.1.2 Modo principale in Y

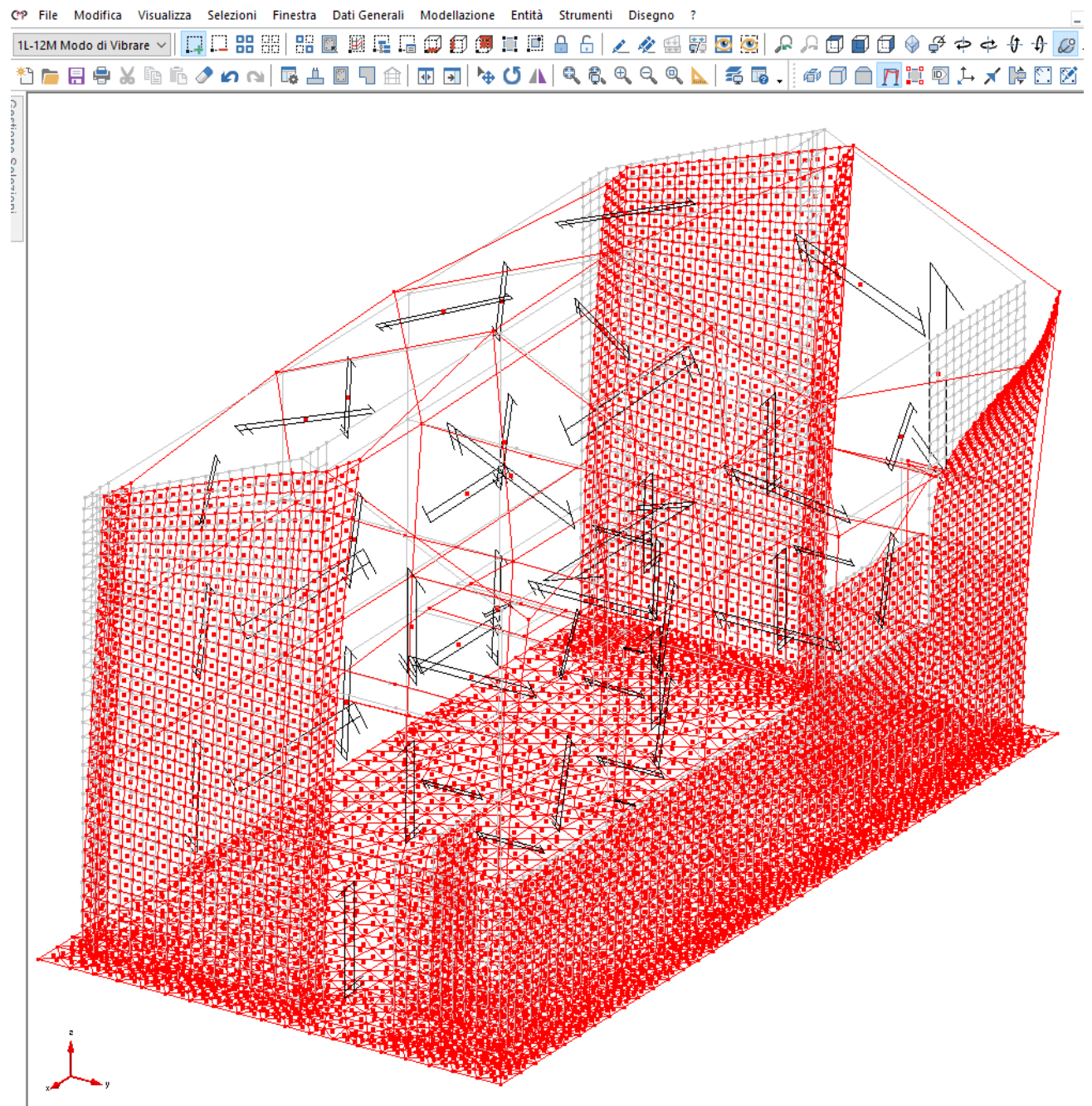


Figura 37 – Deformata modale.

## 2.7.2 Involuppo delle sollecitazioni maggiormente significative.

### 2.7.2.1 Deformate sismiche

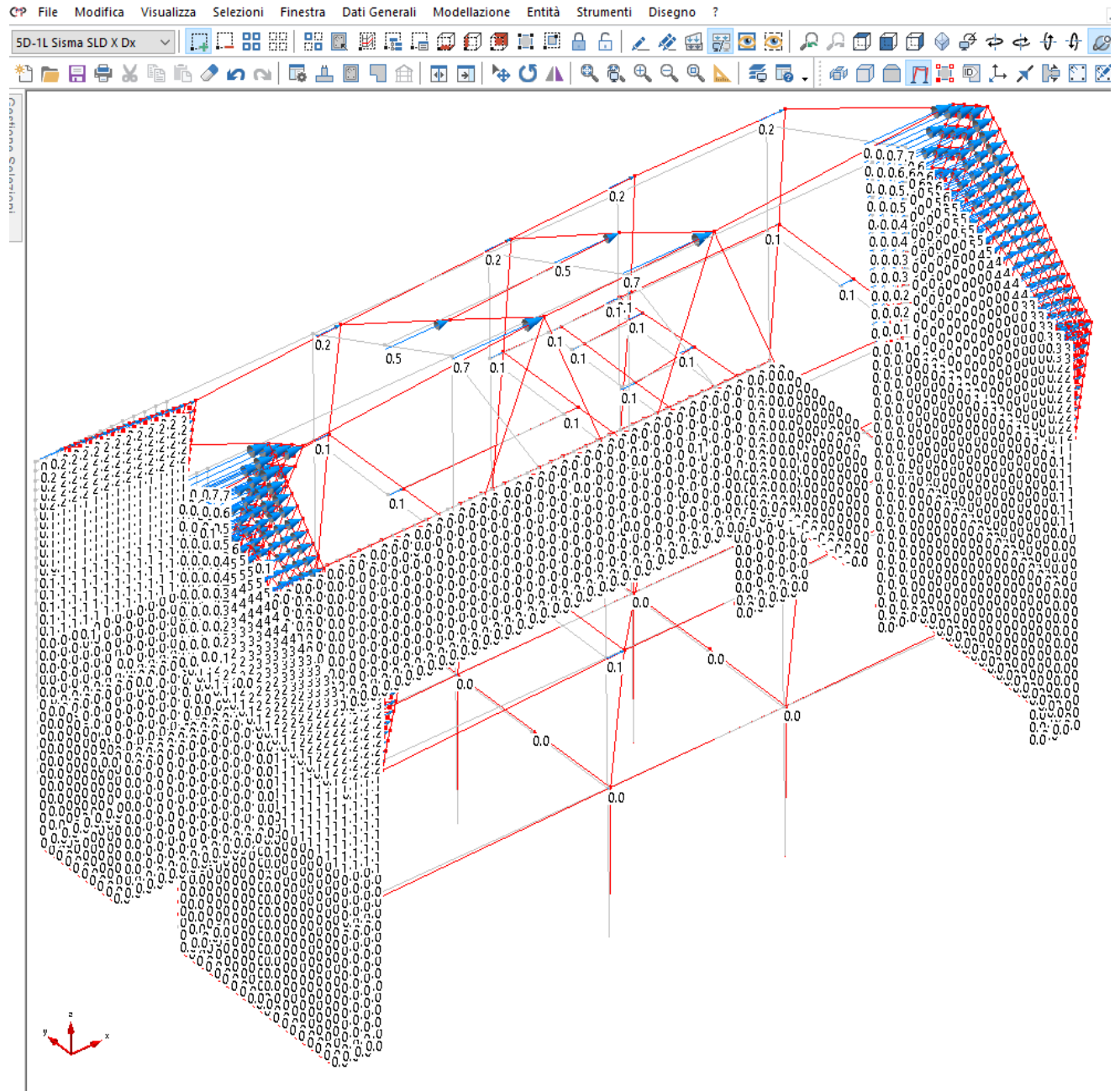


Figura 38 - Deformazioni per condizione di carico sismica – INVILUPPO SLD Direzione X [cm].

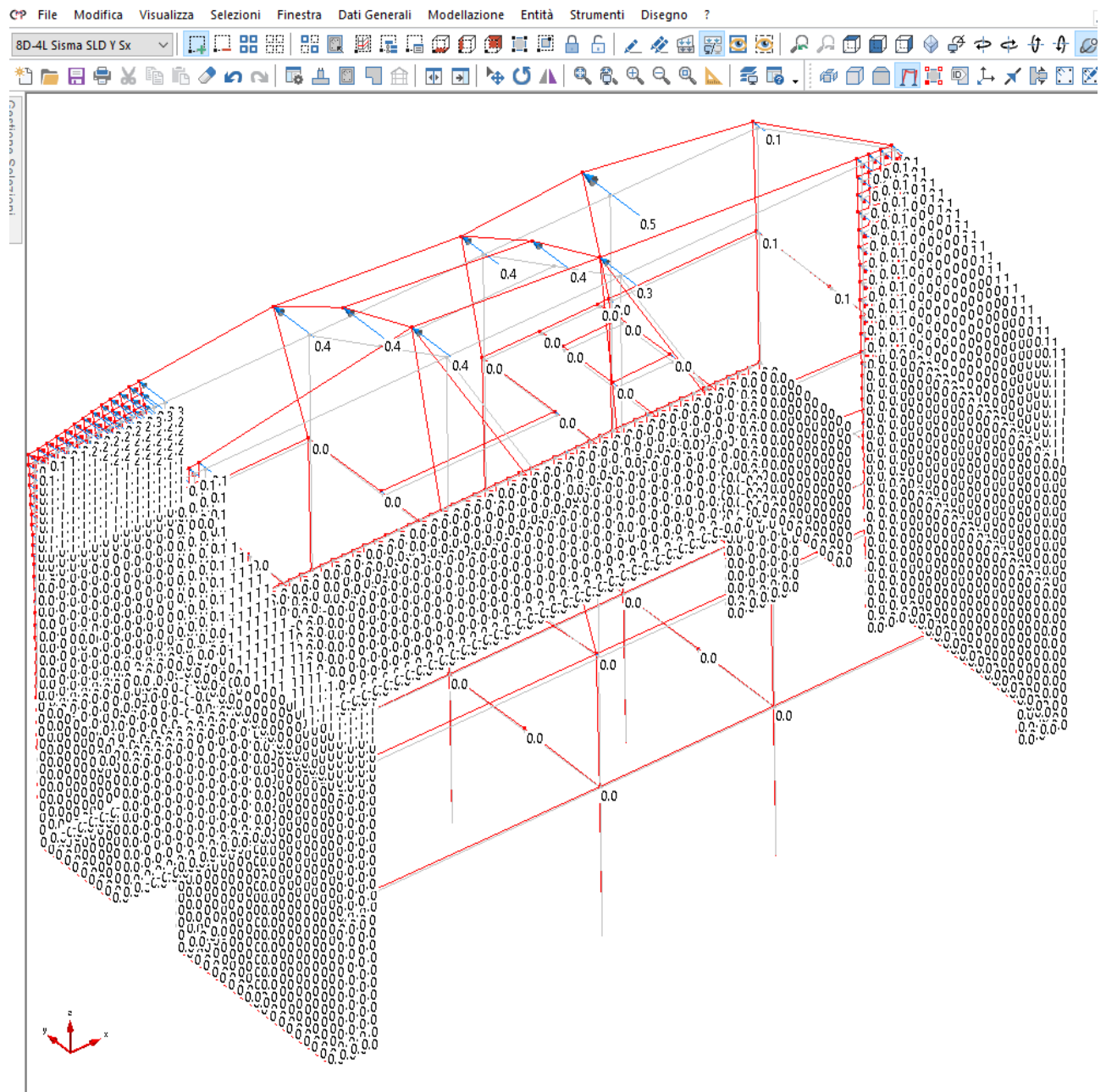


Figura 39 - Deformazioni per condizione di carico sismica – INVILUPPO SLD Direzione Y [cm].

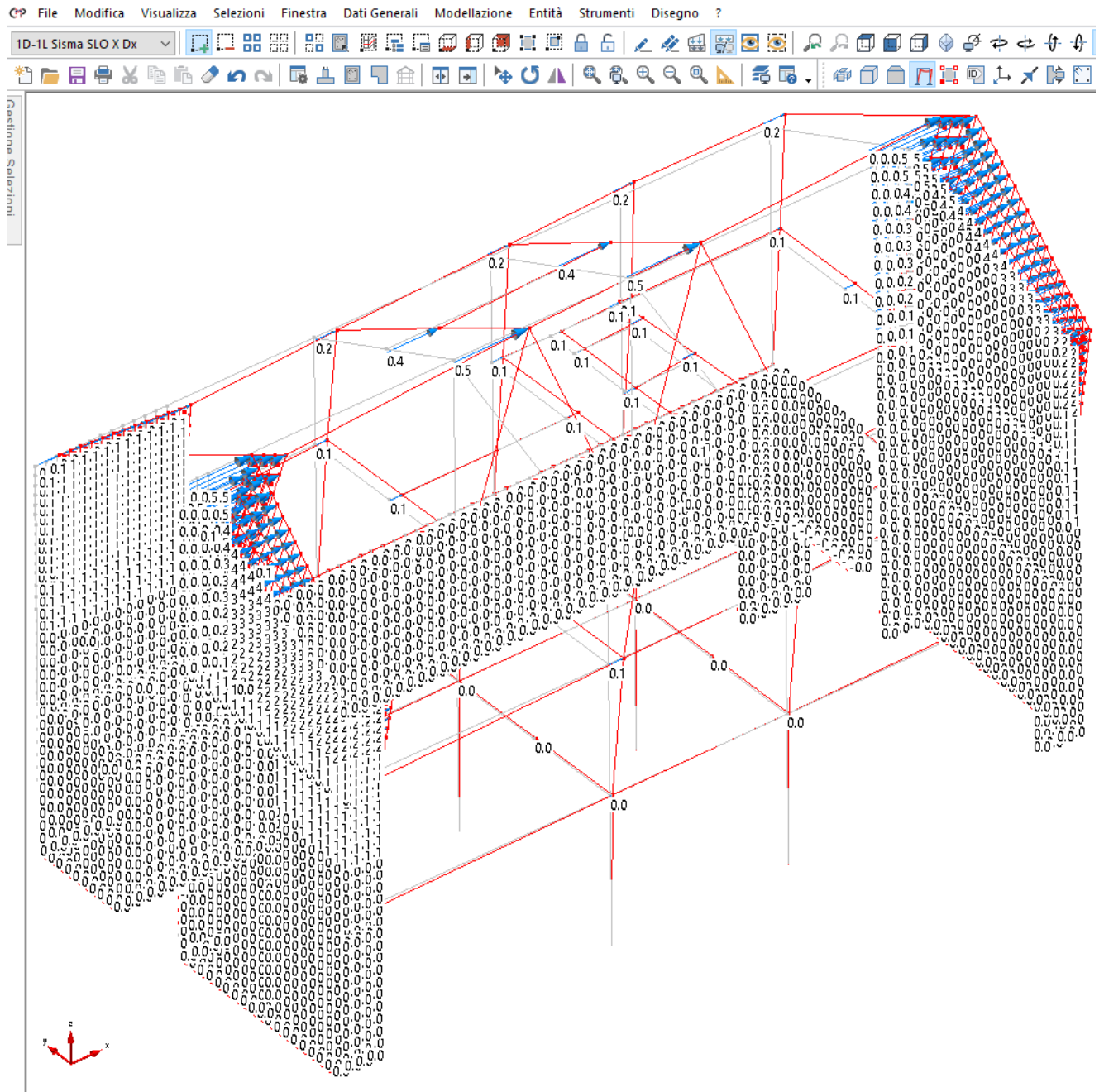


Figura 40 - Deformazioni per condizione di carico sismica – INVILUPPO SLO Direzione X [cm].

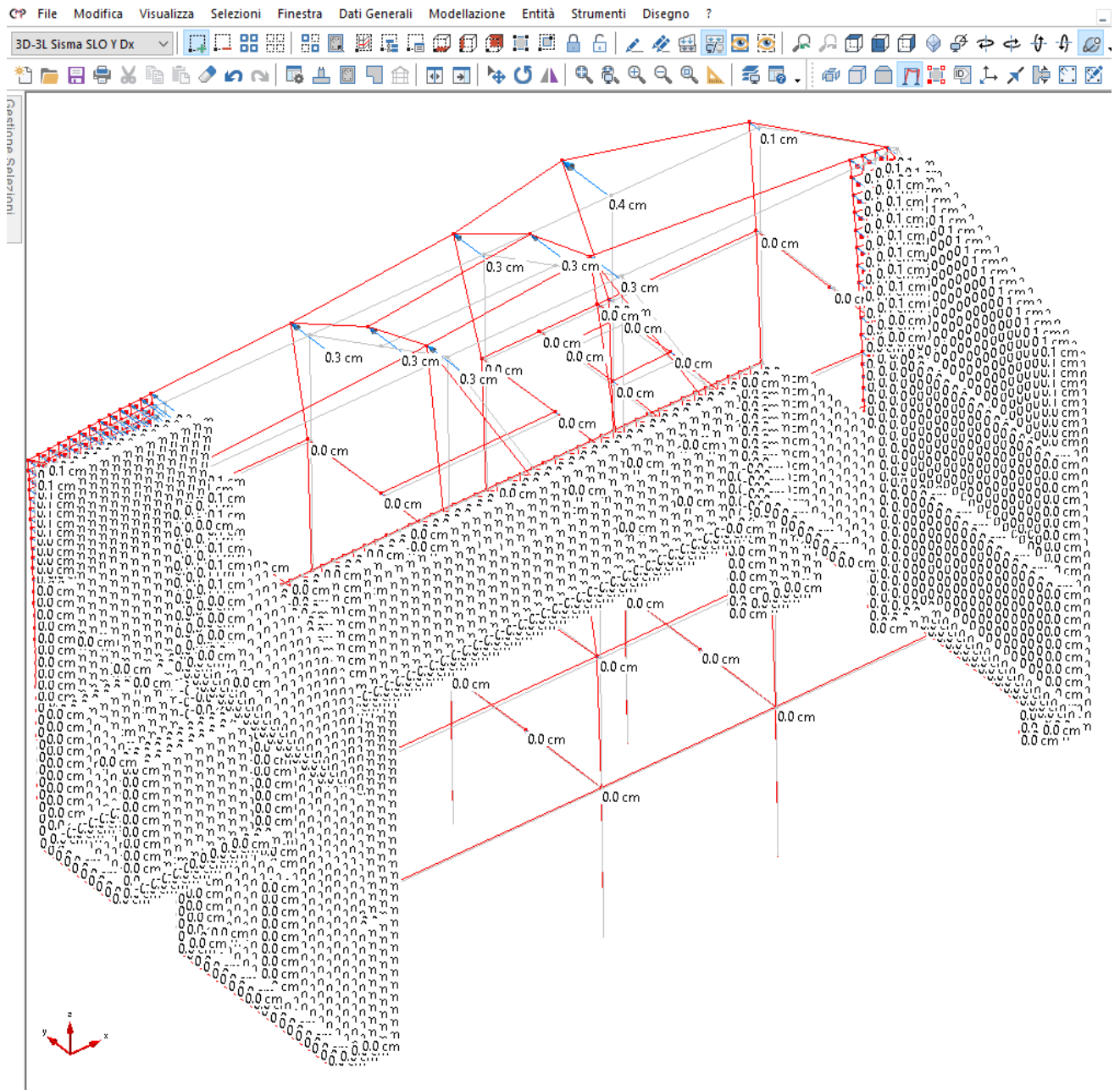


Figura 41 - Deformazioni per condizione di carico sismica – INVILUPPO SLO Direzione Y [cm].

### 2.7.2.2 Strutture in elevazione – Setti in c.a.

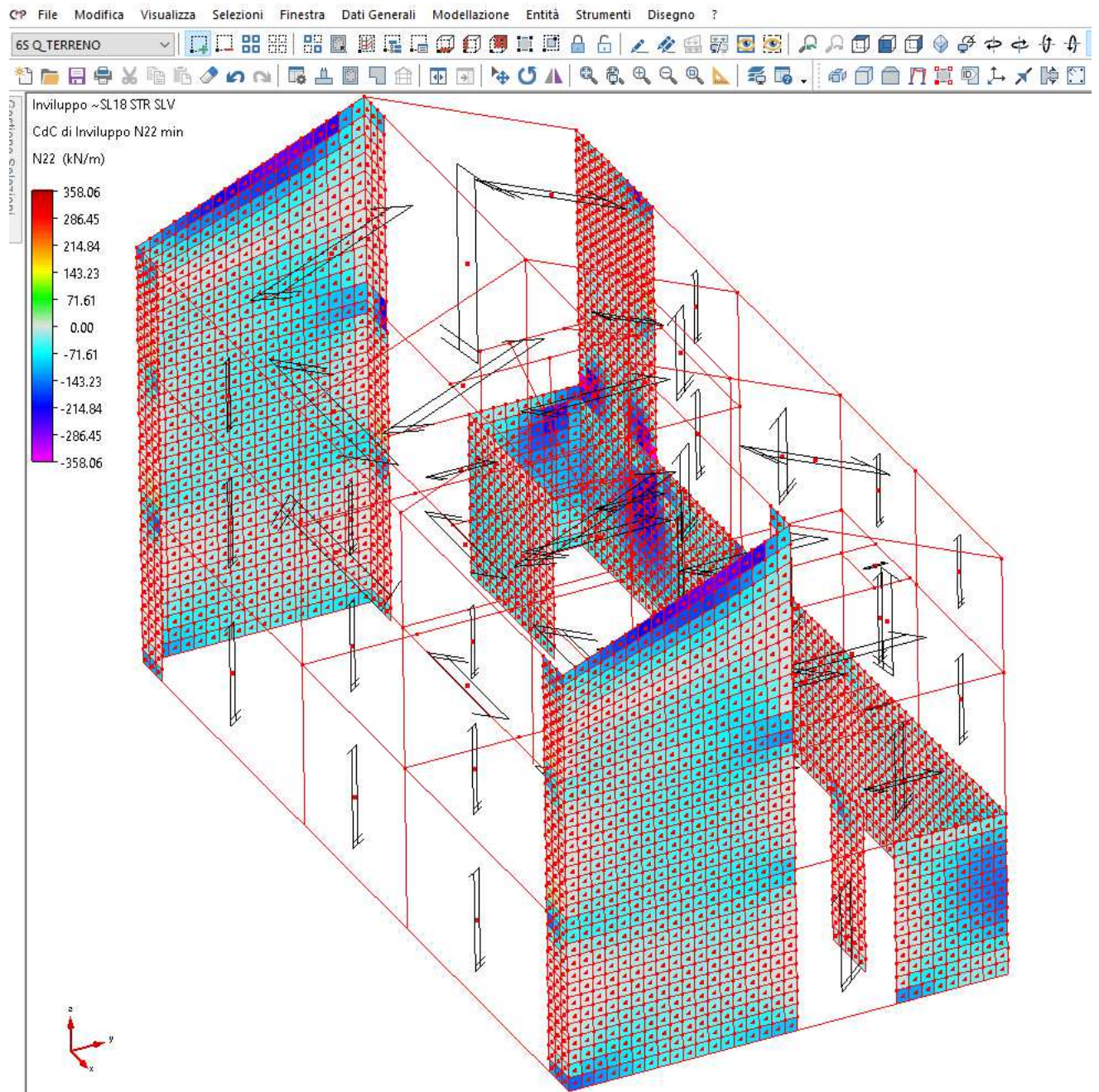
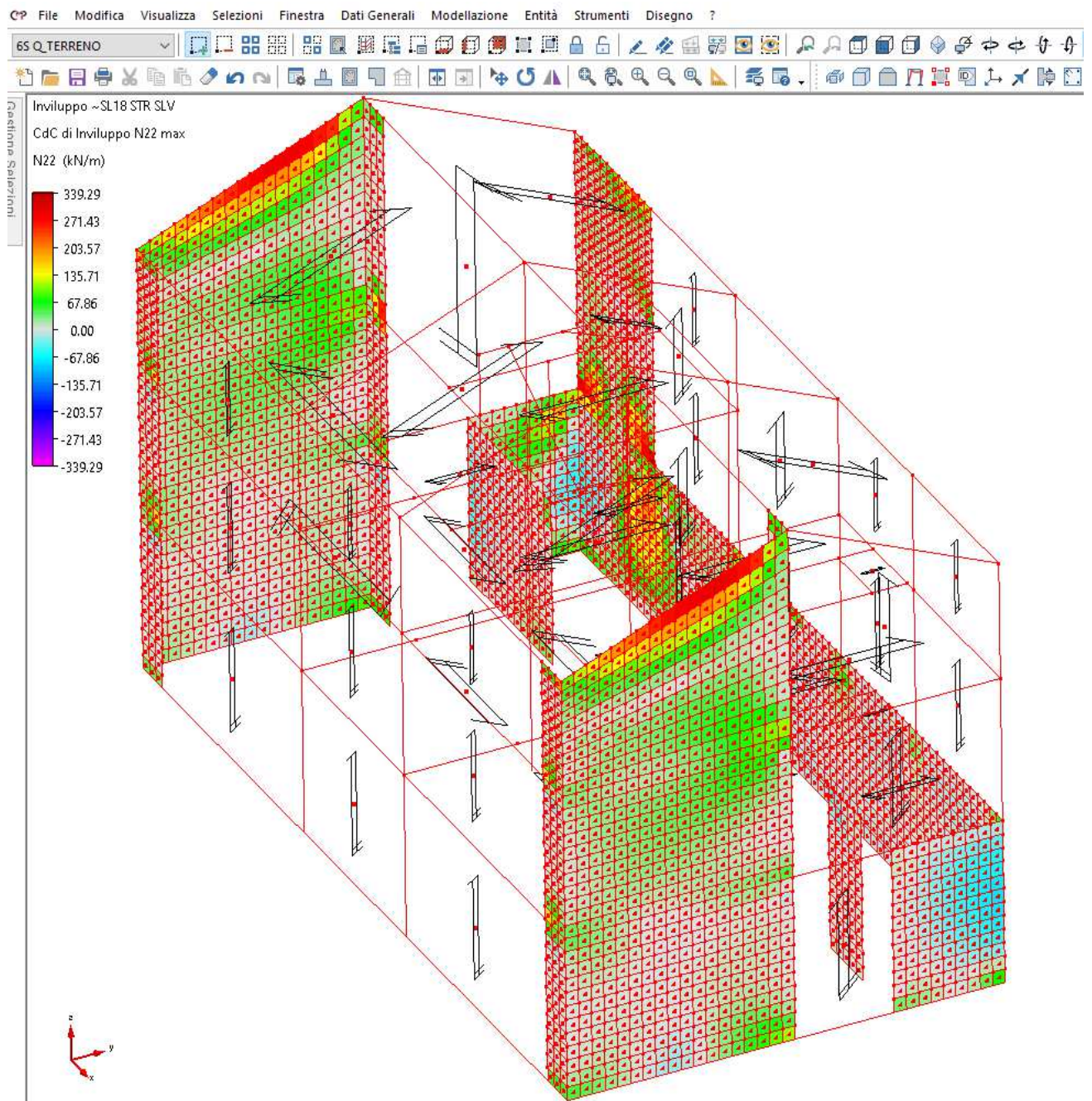
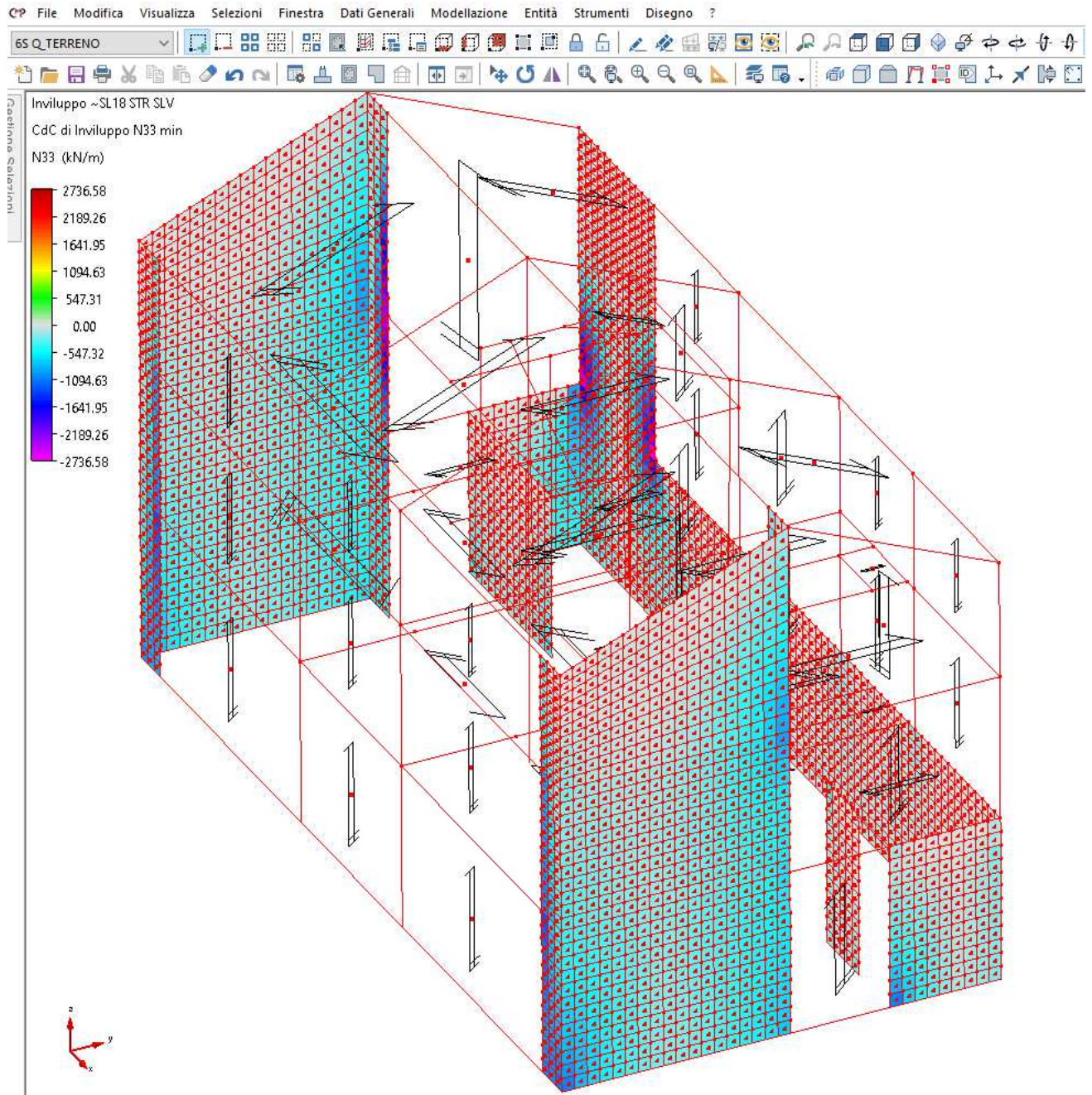


Figura 42 - Involuppo SLU – Sforzo Normale per unità di lunghezza [kN/m] – N22 - VALORI MINIMI

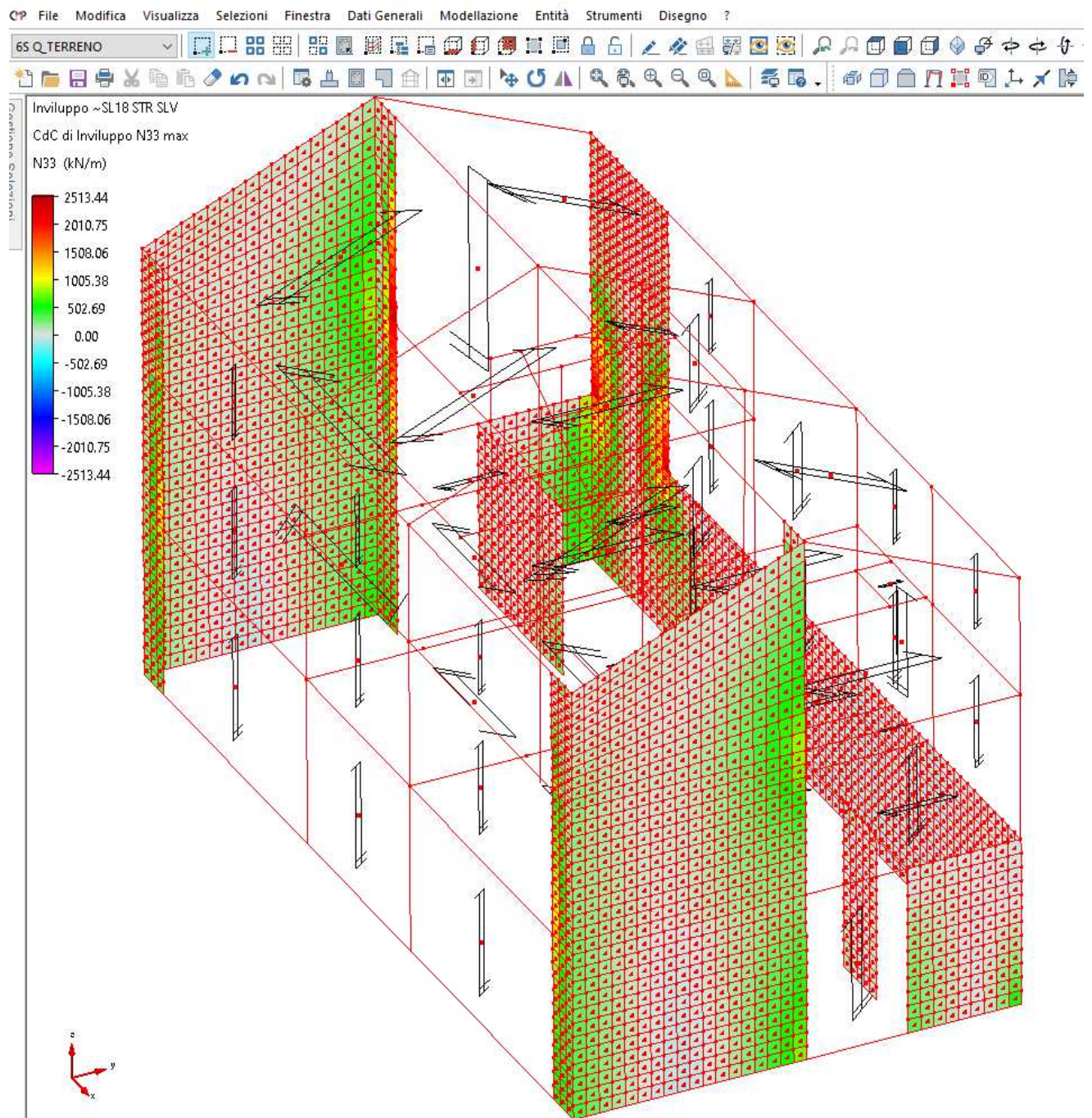


**Figura 43 - Involuppo SLU – Sforzo Normale per unità di lunghezza [kN/m] – N22 - VALORI MASSIMI**

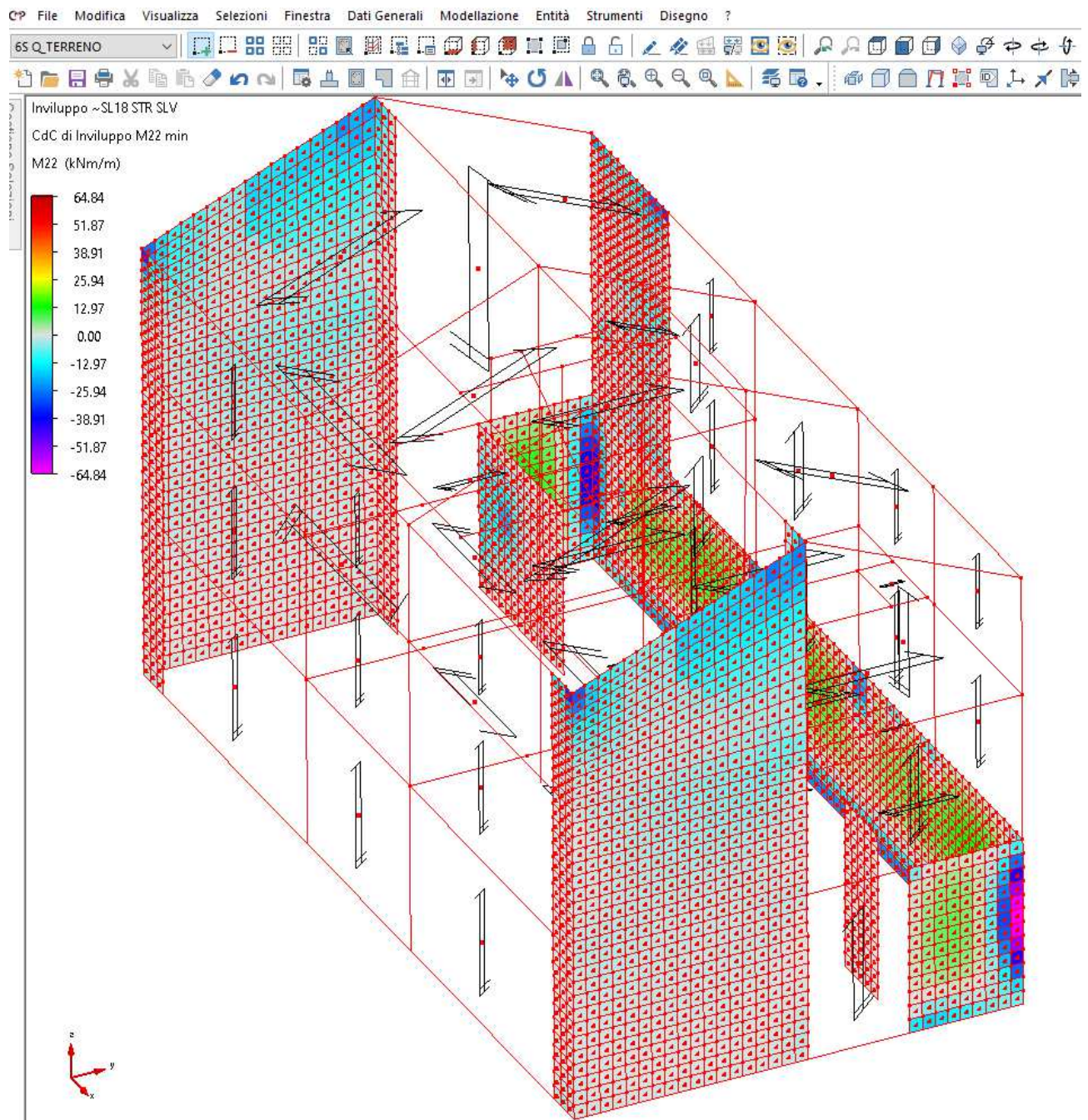




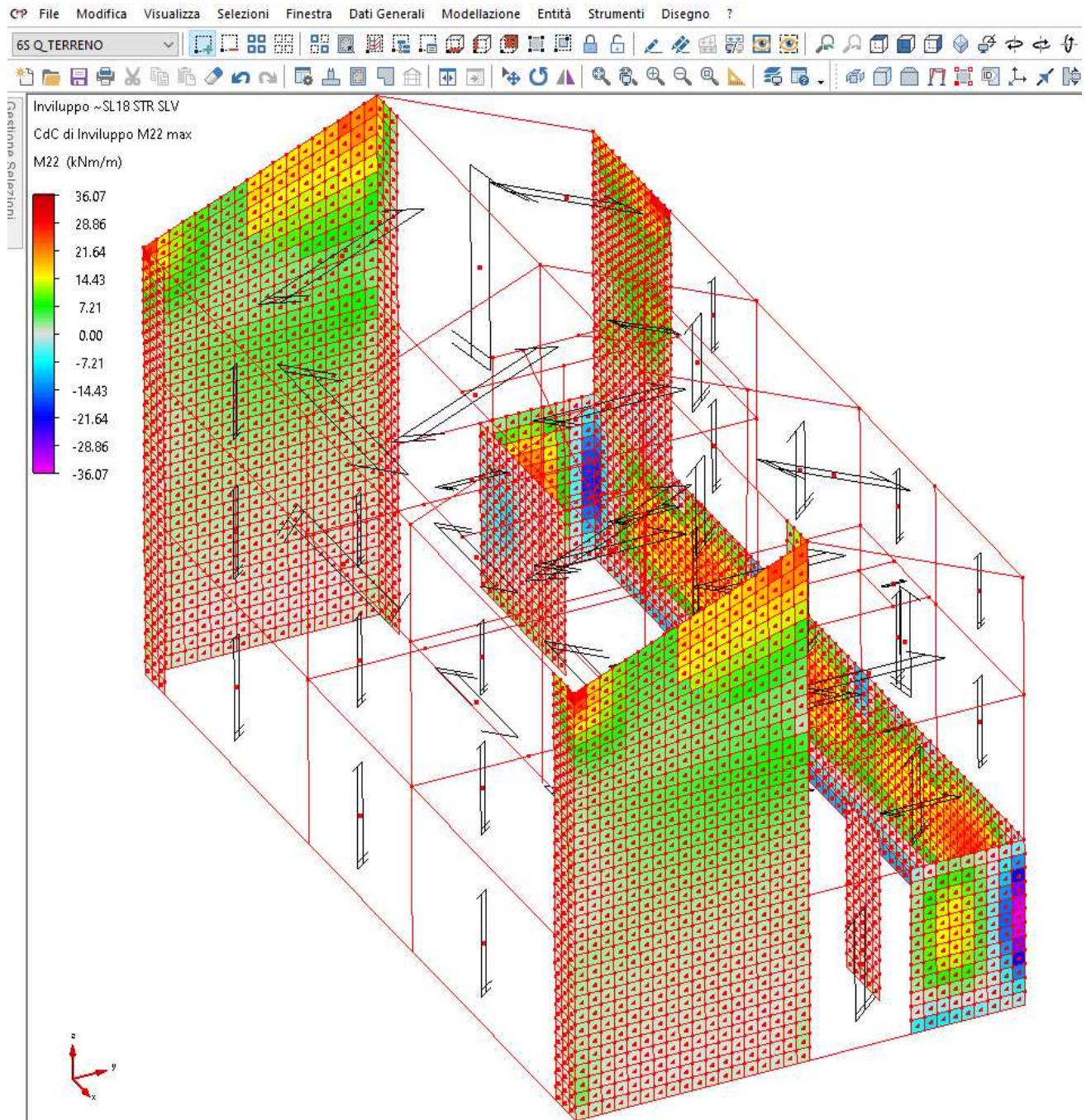
**Figura 44 - Inviluppo SLU – Sforzo Normale per unità di lunghezza [kN/m] – N33 - VALORI MINIMI**



**Figura 45 - Involuppo SLU – Sforzo Normale per unità di lunghezza [kN/m] – N33 - VALORI MASSIMI**



**Figura 46 - Involuppo SLU - Momento flettente per unità di lunghezza [kNm/m] – M22 - VALORI MINIMI**



**Figura 47 - Involuppo SLU - Momento flettente per unità di lunghezza [kNm/m] – M22 - VALORI MASSIMI**

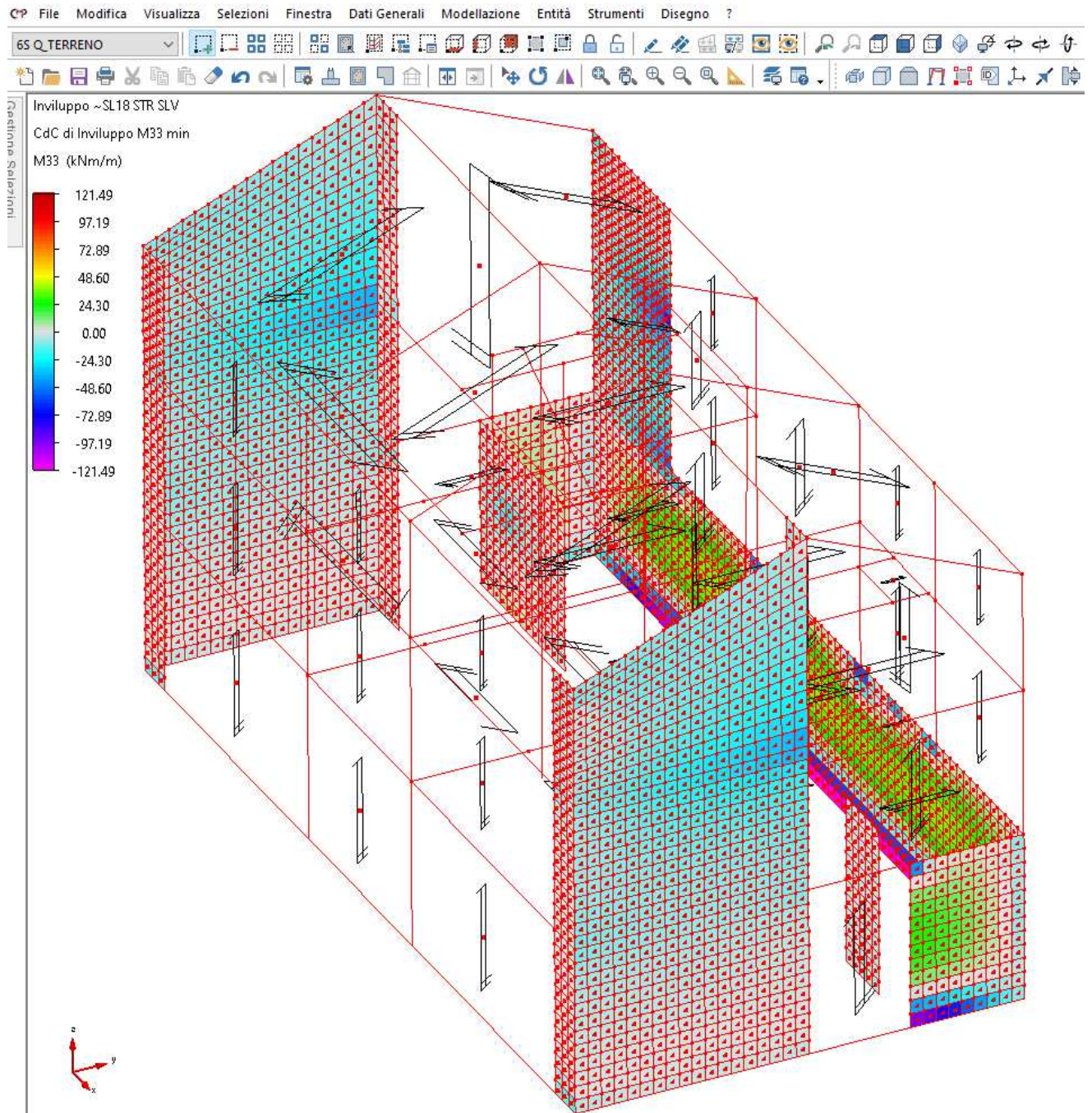
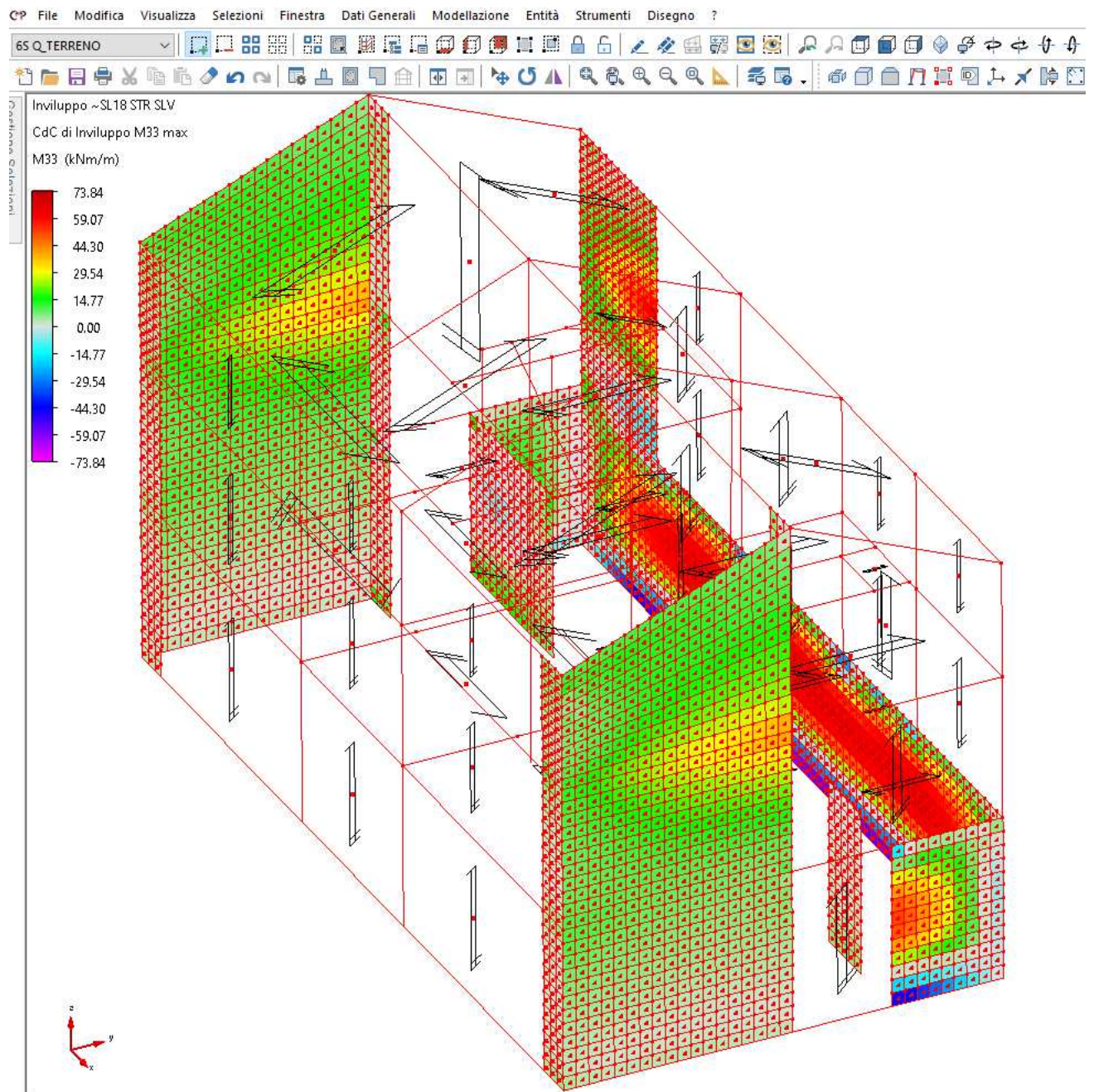


Figura 48 - Involuppo SLU - Momento flettente per unità di lunghezza [kNm/m] – M33 - VALORI MINIMI



**Figura 49 - Involuppo SLU - Momento flettente per unità di lunghezza [kNm/m] – M33 - VALORI MASSIMI**

### 2.7.2.3 Strutture in elevazione – Pilastri

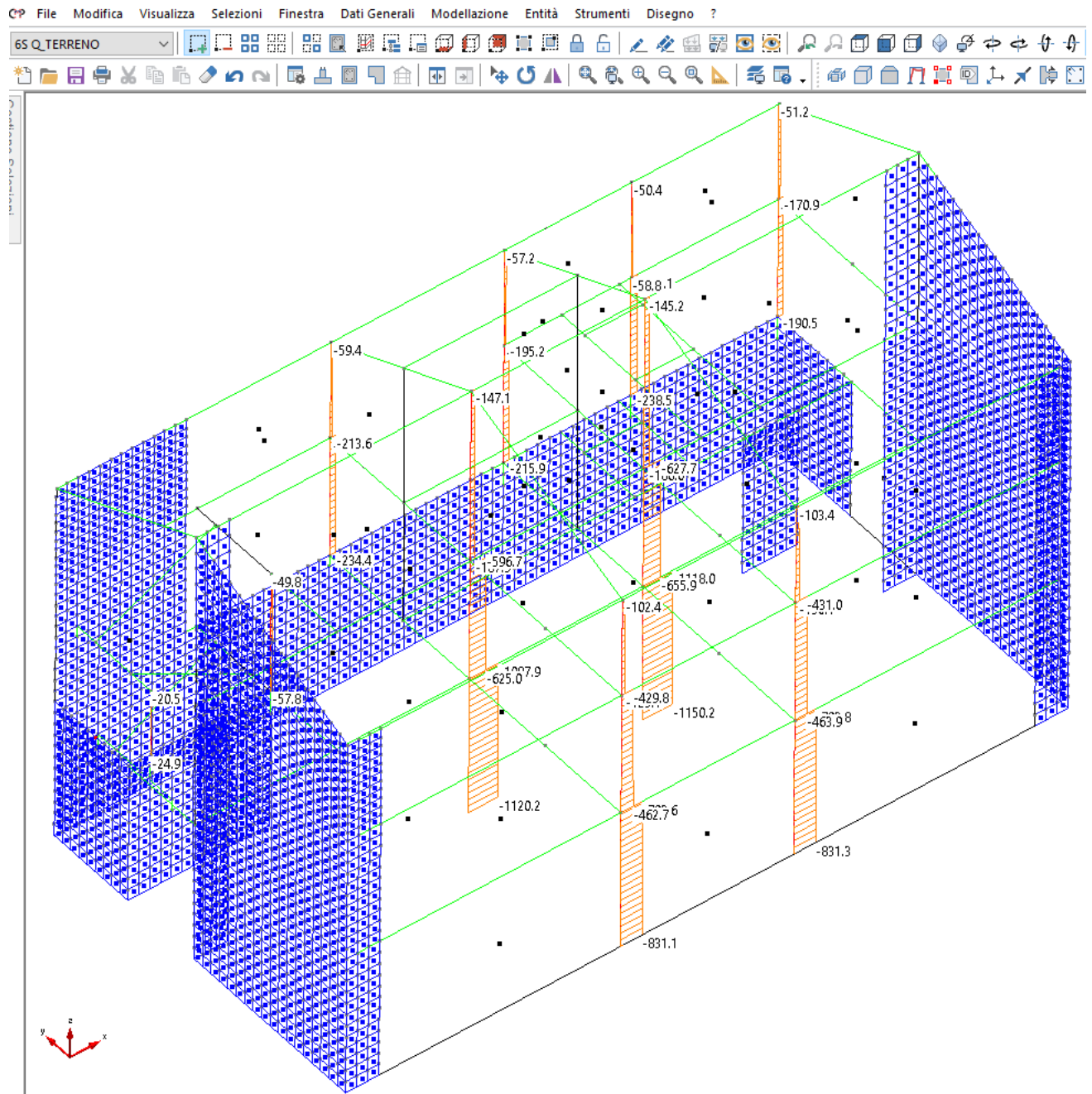
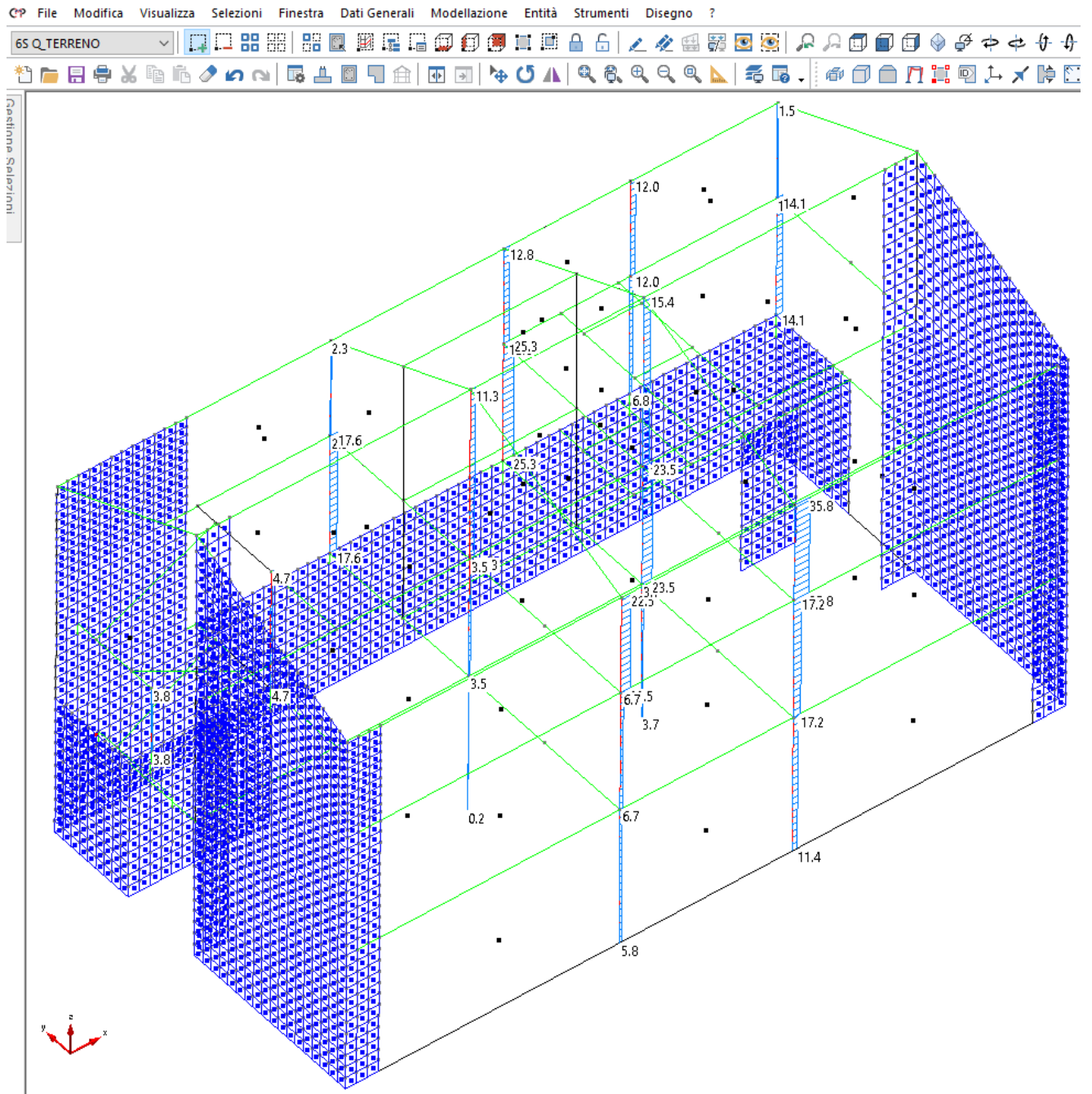


Figura 50 - Inviluppo SLU - Sforzo normale [kN]



**Figura 51 - Involuppo SLU – Taglio 1-2 [kN] – VALORI MASSIMI.**



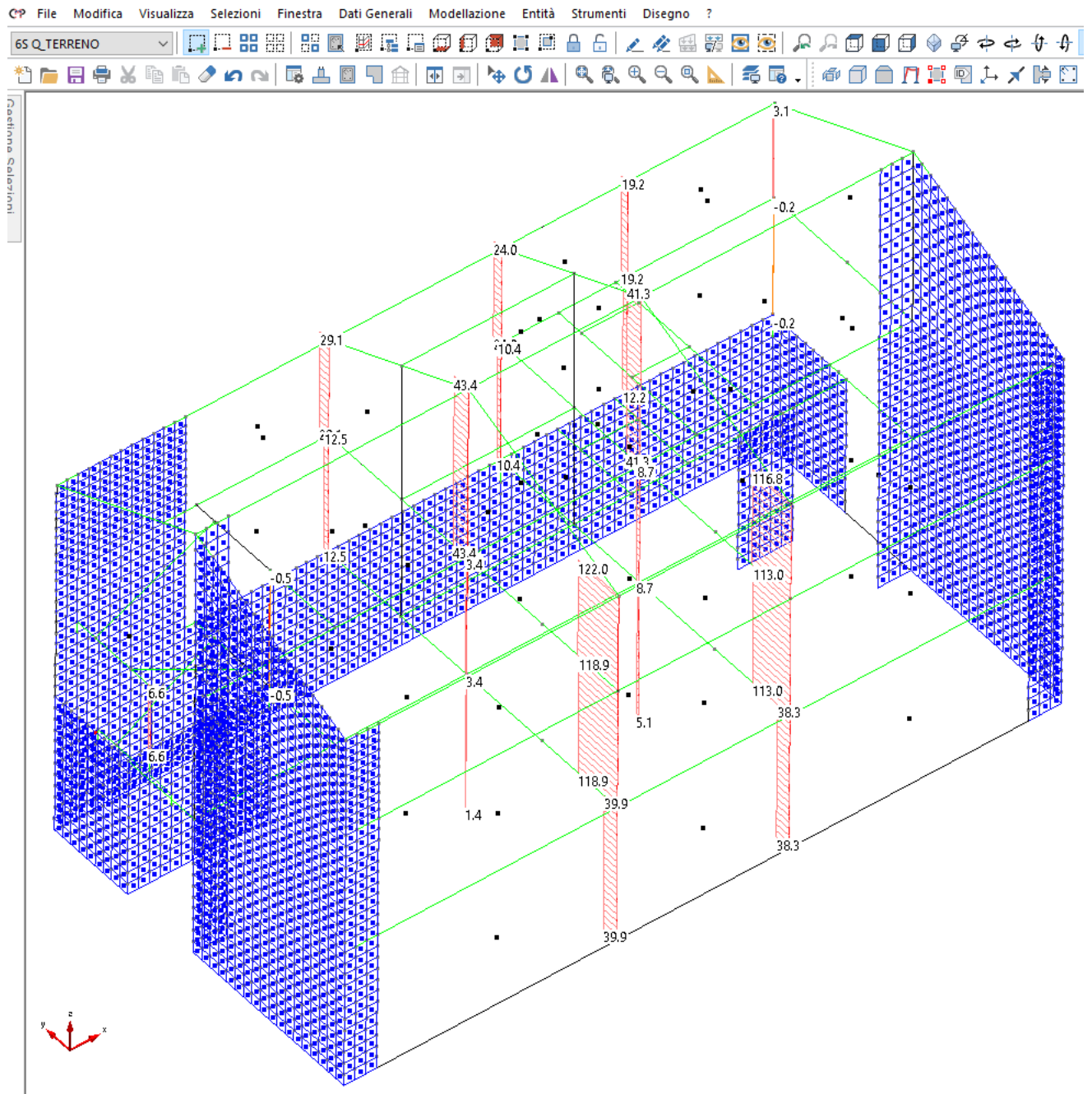


Figura 52 - Involuppo SLU – Taglio 1-3 [kN] – VALORI MASSIMI.

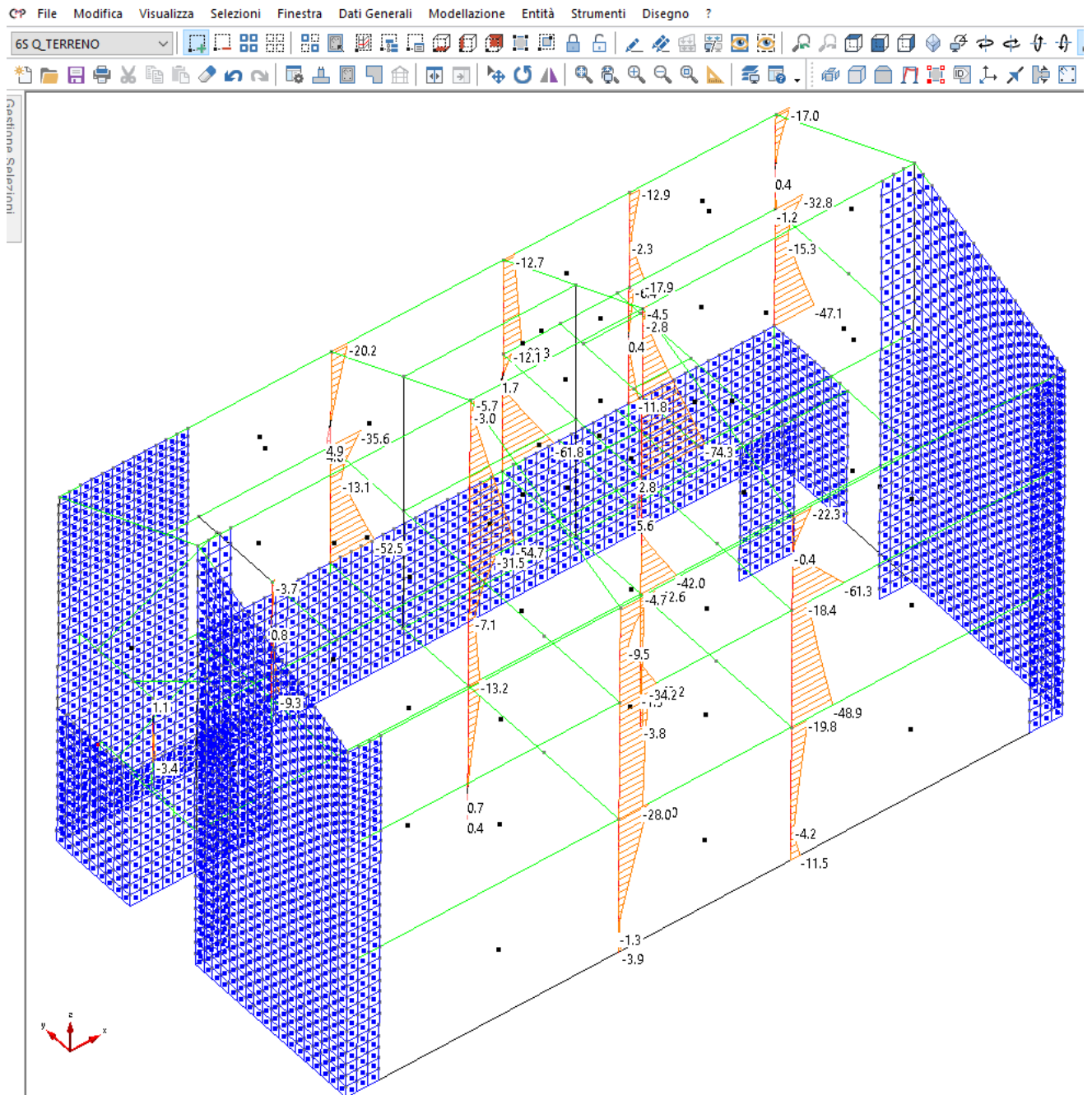


Figura 53 - Involuppo SLU – Momento flettente 1-2 [kNm] – VALORI MINIMI.

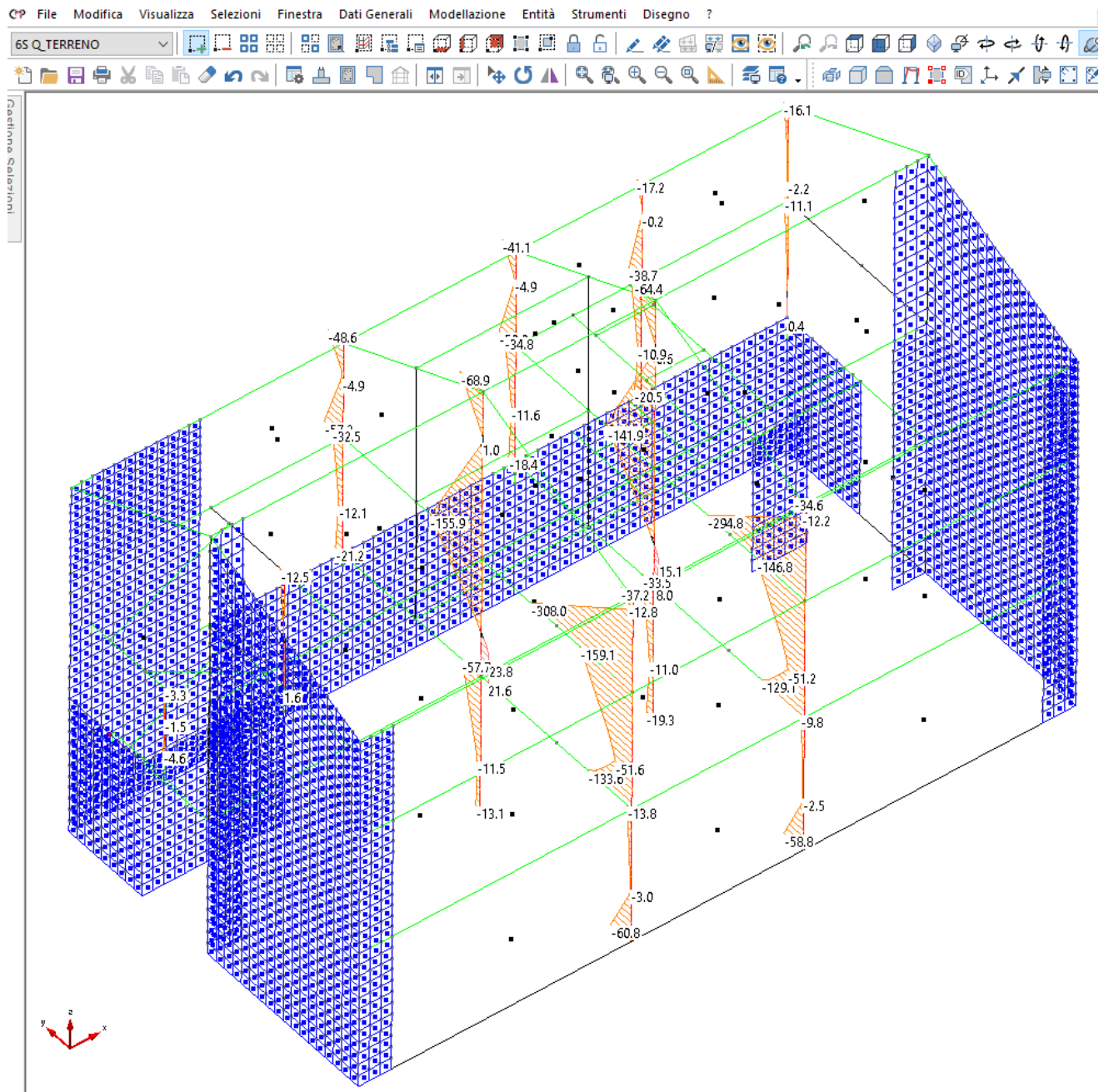


Figura 54 - Involuppo SLU – Momento flettente 1-3 [kNm] – VALORI MINIMI.

### 2.7.2.4 Strutture in elevazione – Travi in c.a I Impalcato, Il Impalcato e Copertura

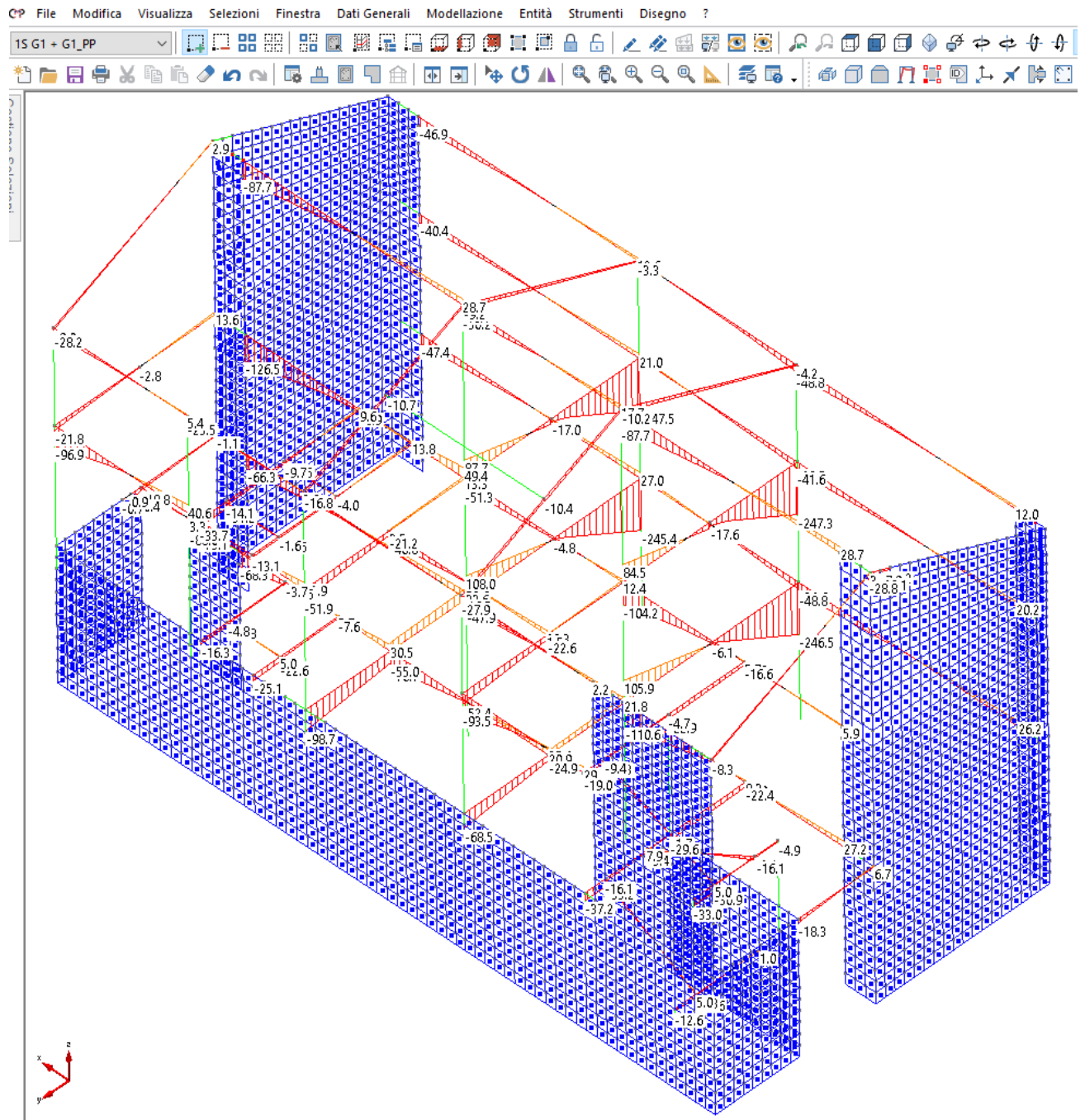
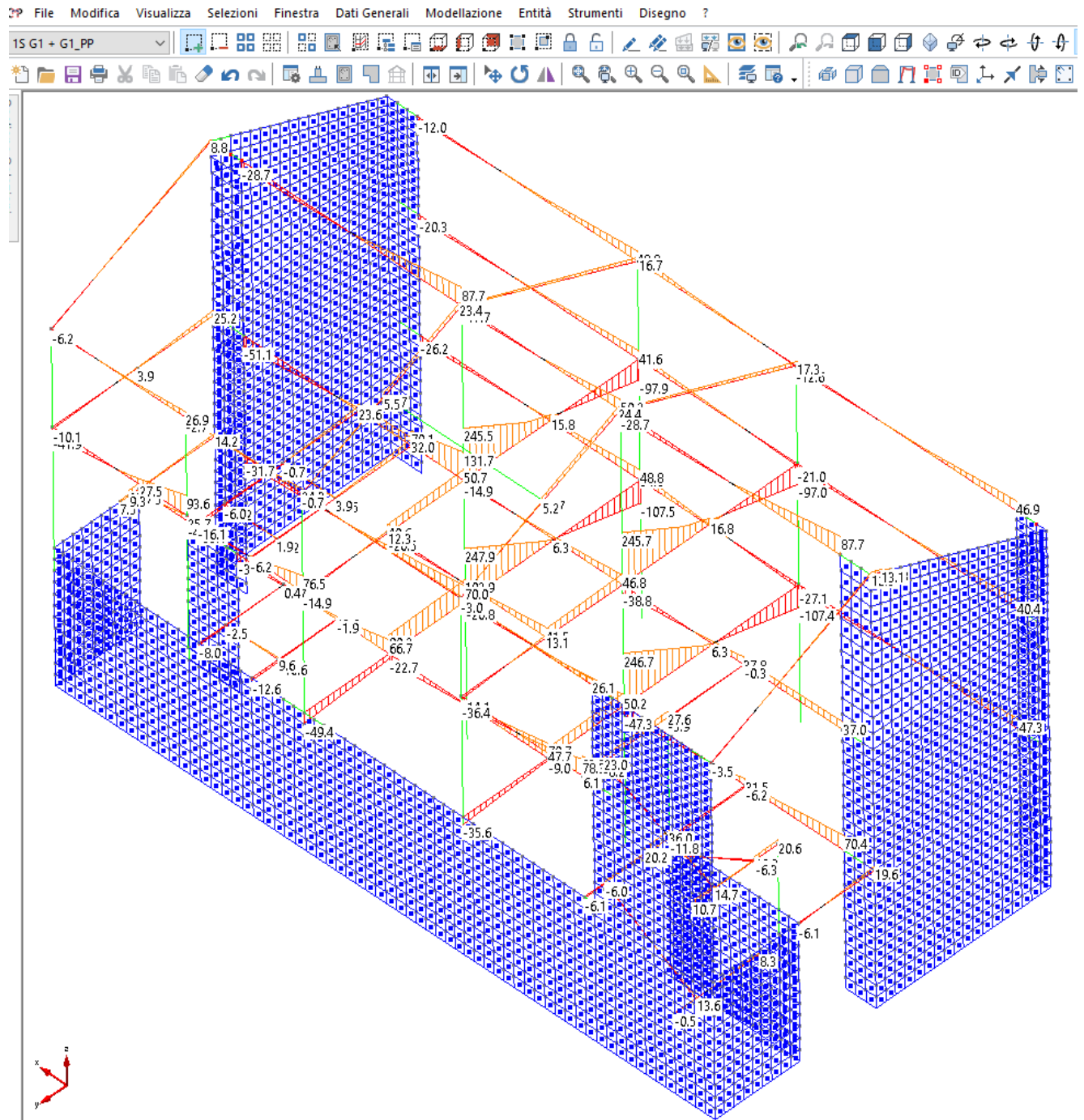
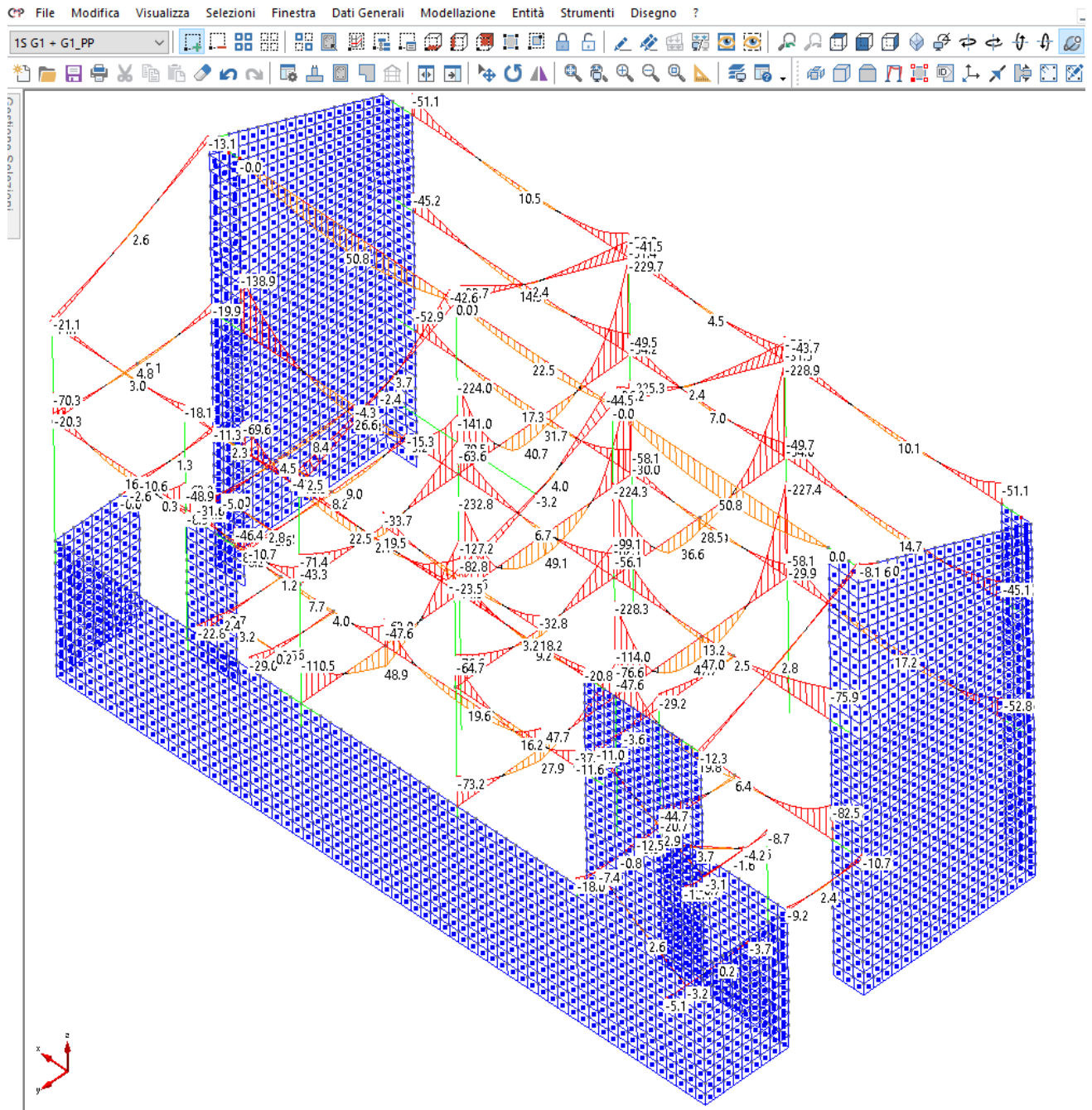


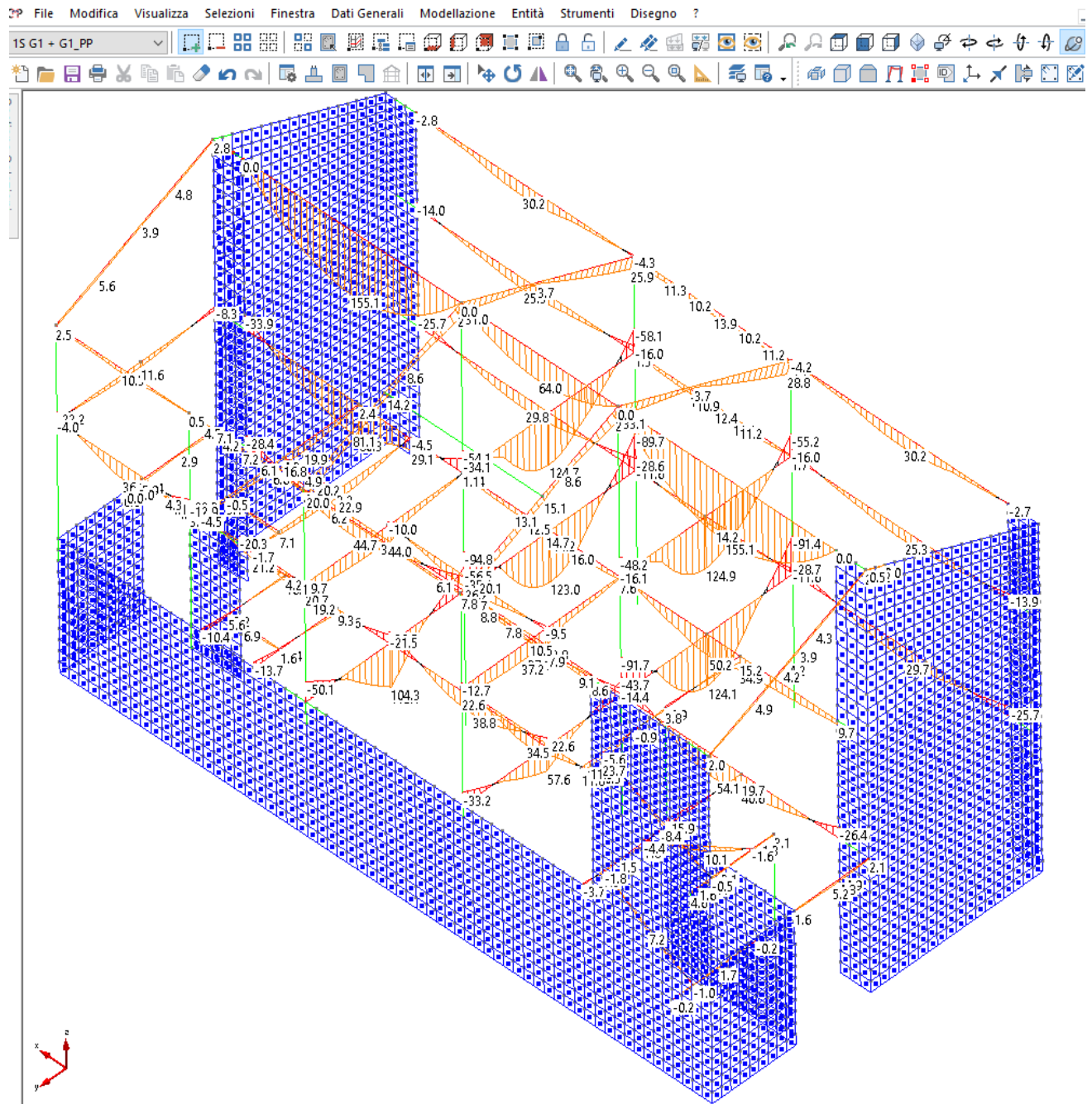
Figura 55 - Involuppo SLU – Taglio 1-3 [kN] – VALORI MINIMI.



**Figura 56 - Involuppo SLU – Taglio 1-3 [kN] – VALORI MASSIMI.**



**Figura 57 - Involuppo SLU – Momento flettente 1-3 [kNm] – VALORI MINIMI.**



**Figura 58 - Involuppo SLU – Momento flettente 1-3 [kNm] – VALORI MASSIMI.**

## 2.7.2.5 Strutture di fondazione

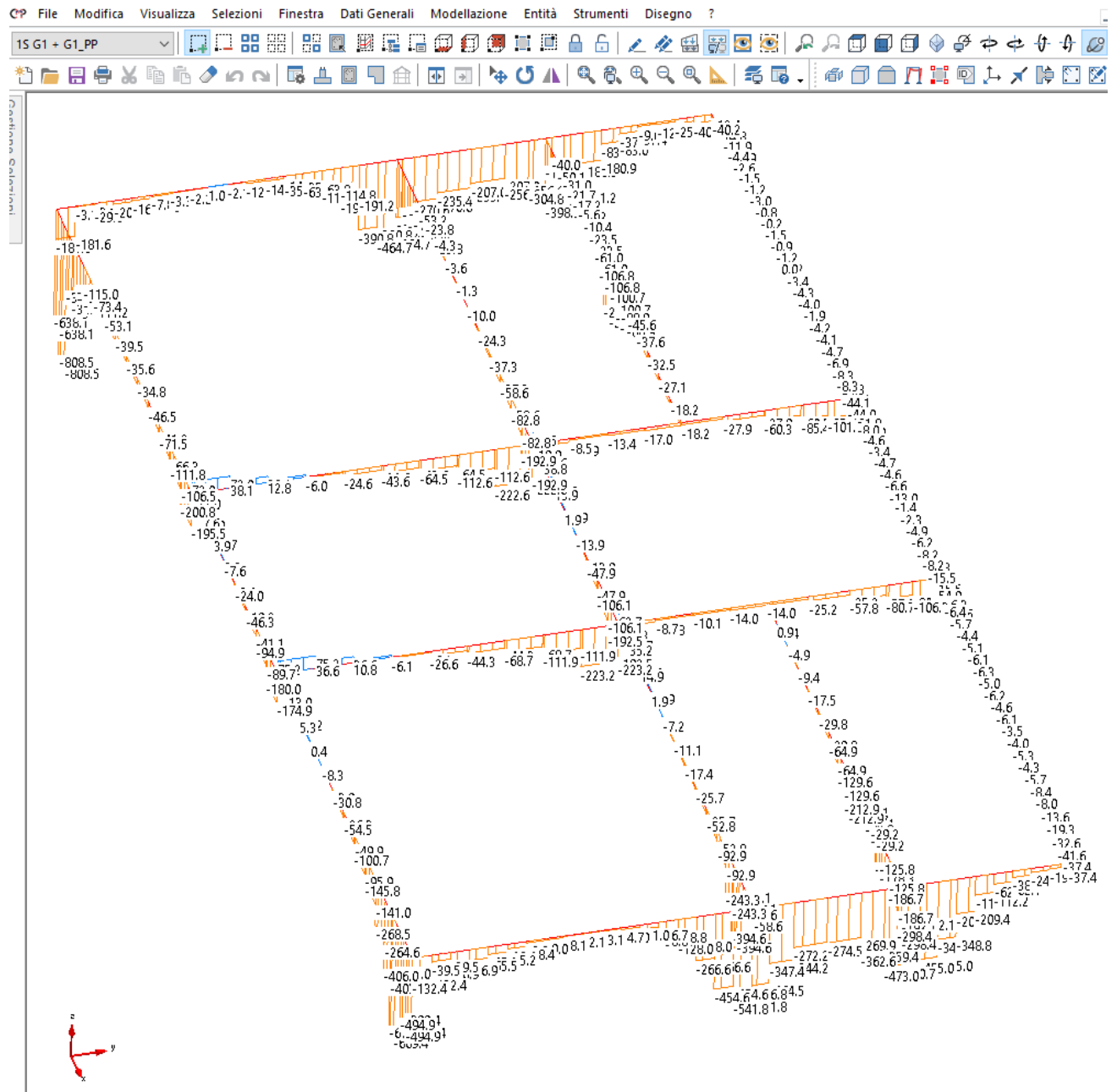


Figura 59 - Involuppo SLU – Taglio 1-3 [kN] – VALORI MINIMI.



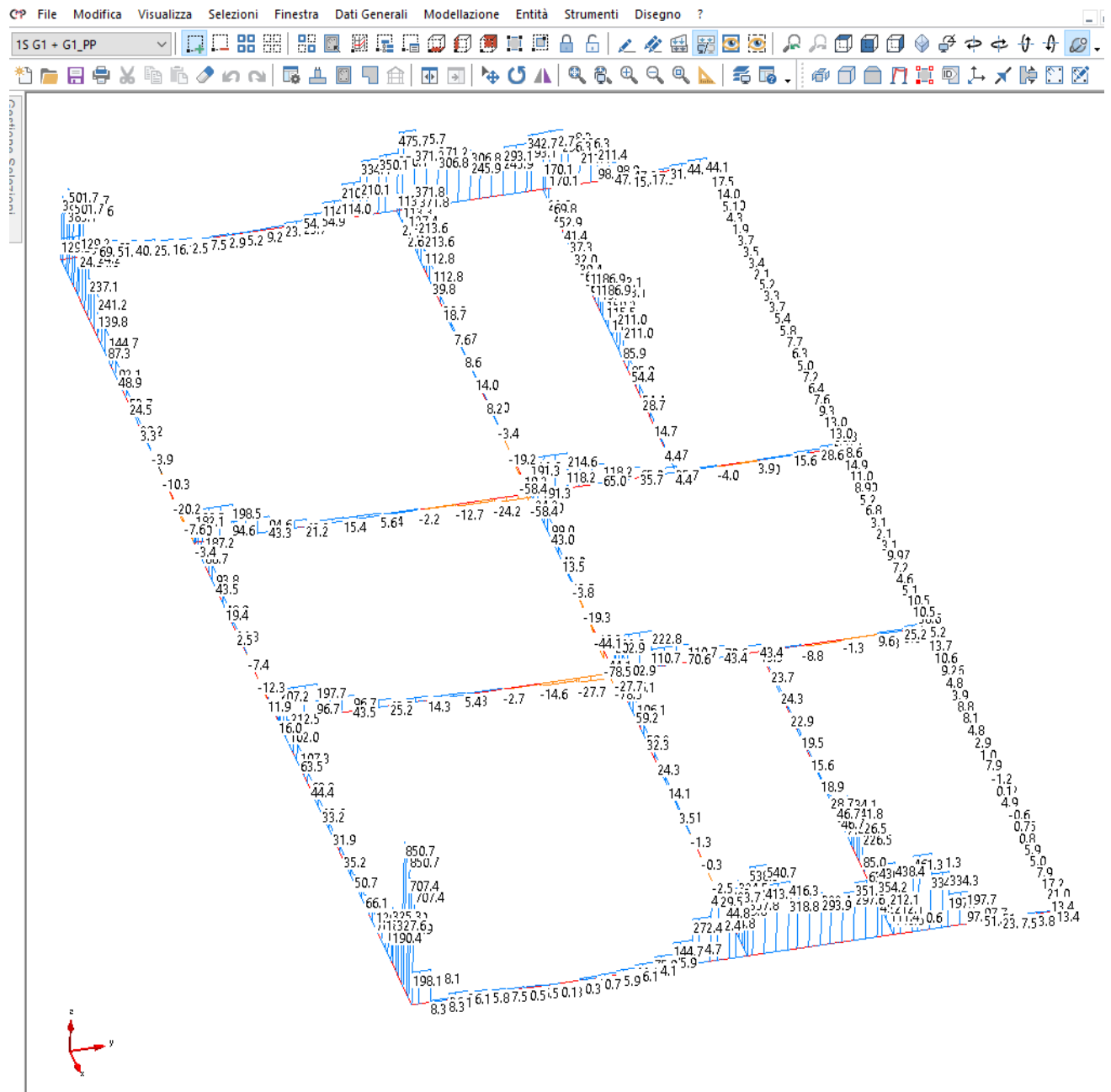


Figura 60 - Inviluppo SLU – Taglio 1-3 [kN] – VALORI MASSIMI.

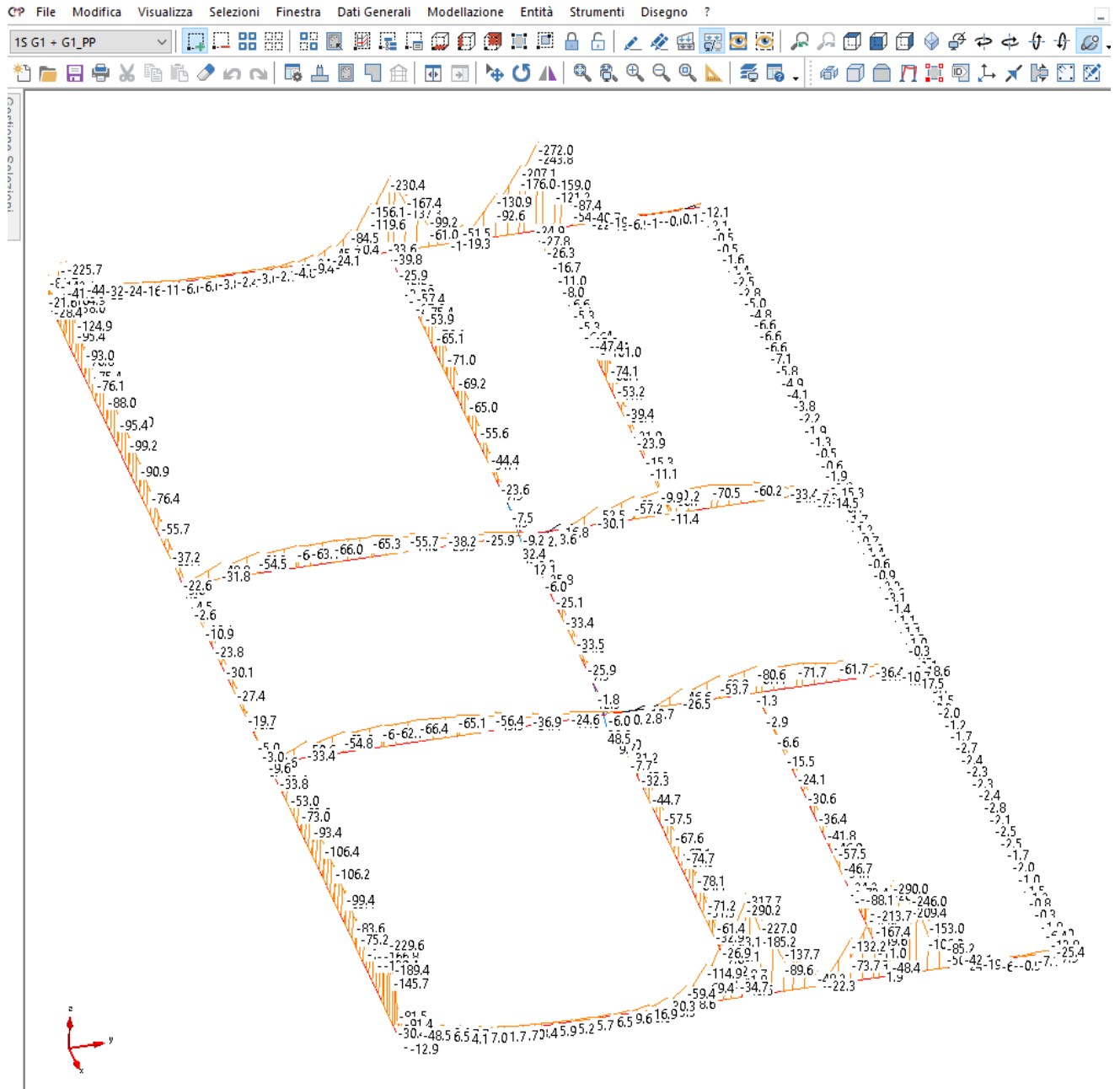


Figura 61 - Involuppo SLU – Momento flettente 1-3 [kNm] – VALORI MINIMI.

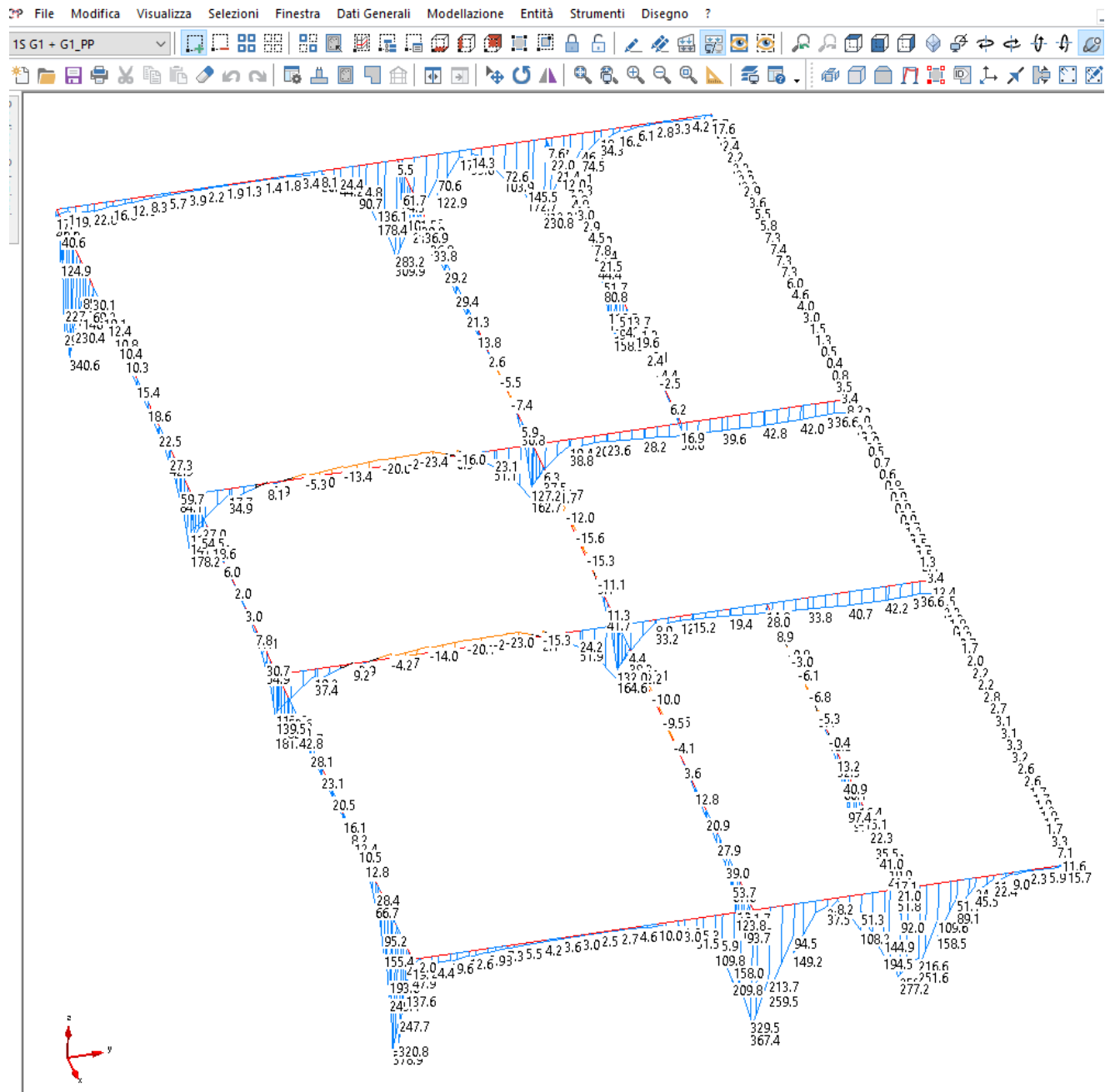


Figura 62 - Involuppo SLU – Momento flettente 1-3 [kNm] – VALORI MASSIMI.

### 2.7.2.5.1 Pressioni sul terreno.

Si riportano di seguito le pressioni massime sul terreno per

- SLU Sismica
- SLU Statica
- SLE Quasi Permanente

Utilizzate per il calcolo della capacità portante e dei cedimenti in allegato.

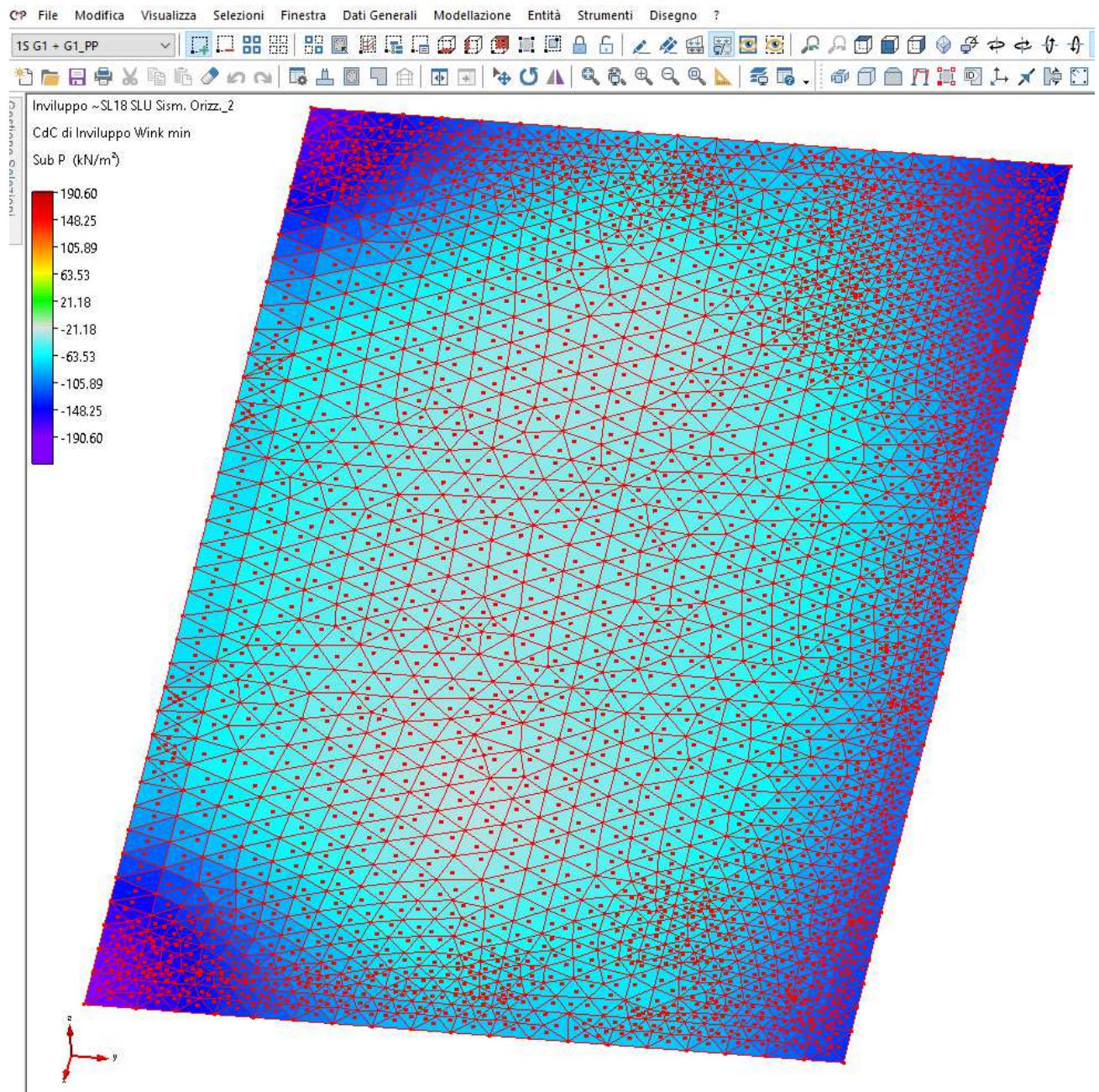


Figura 63 - Inviluppo SLU GEO SISMA – Pressioni sul terreno [kN/m<sup>2</sup>] – VALORI MASSIMI.

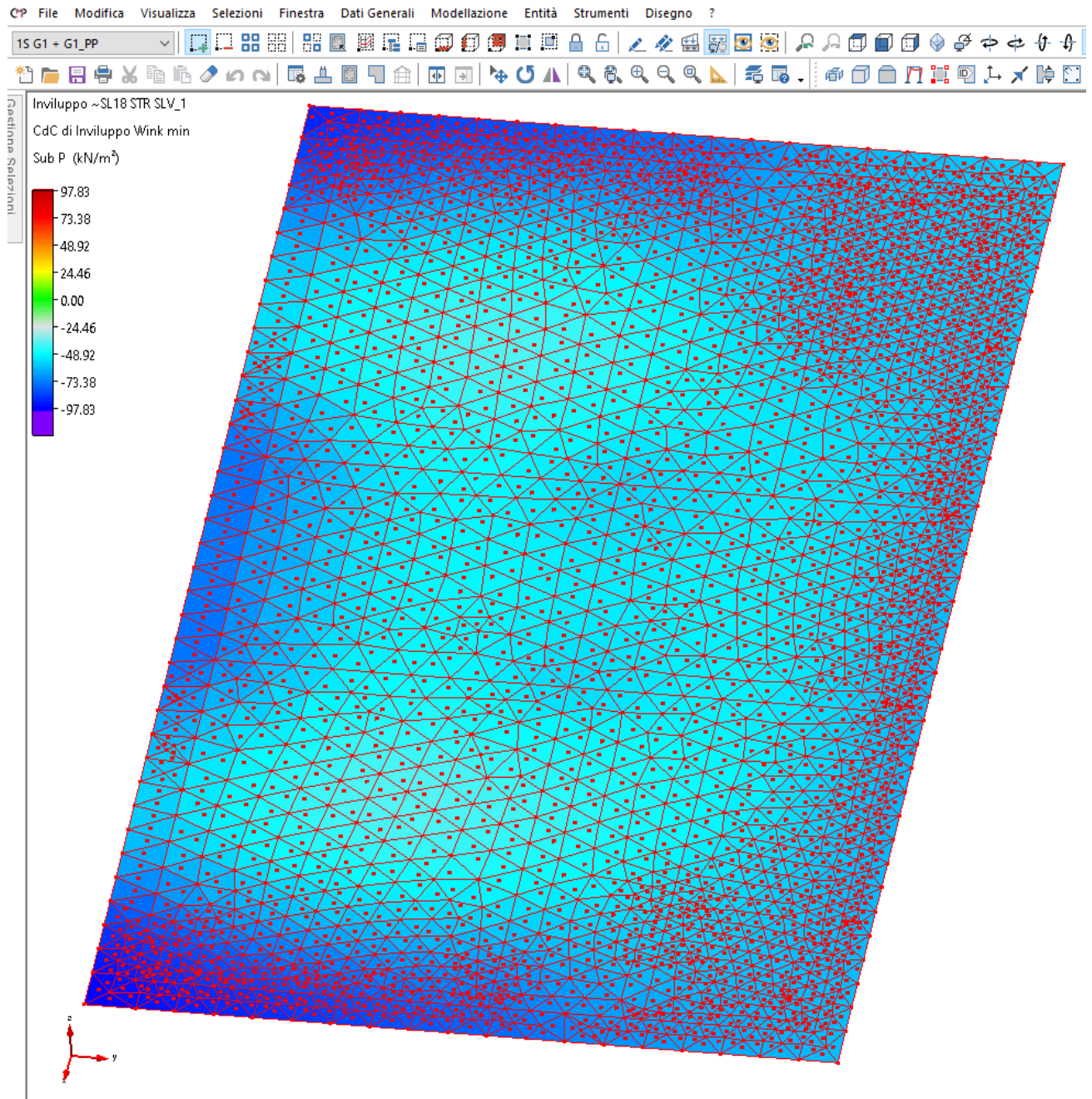


Figura 64 - Inviluppo SLU GEO NO SISMA – Pressioni sul terreno [kN/m<sup>2</sup>] – VALORI MASSIMI.

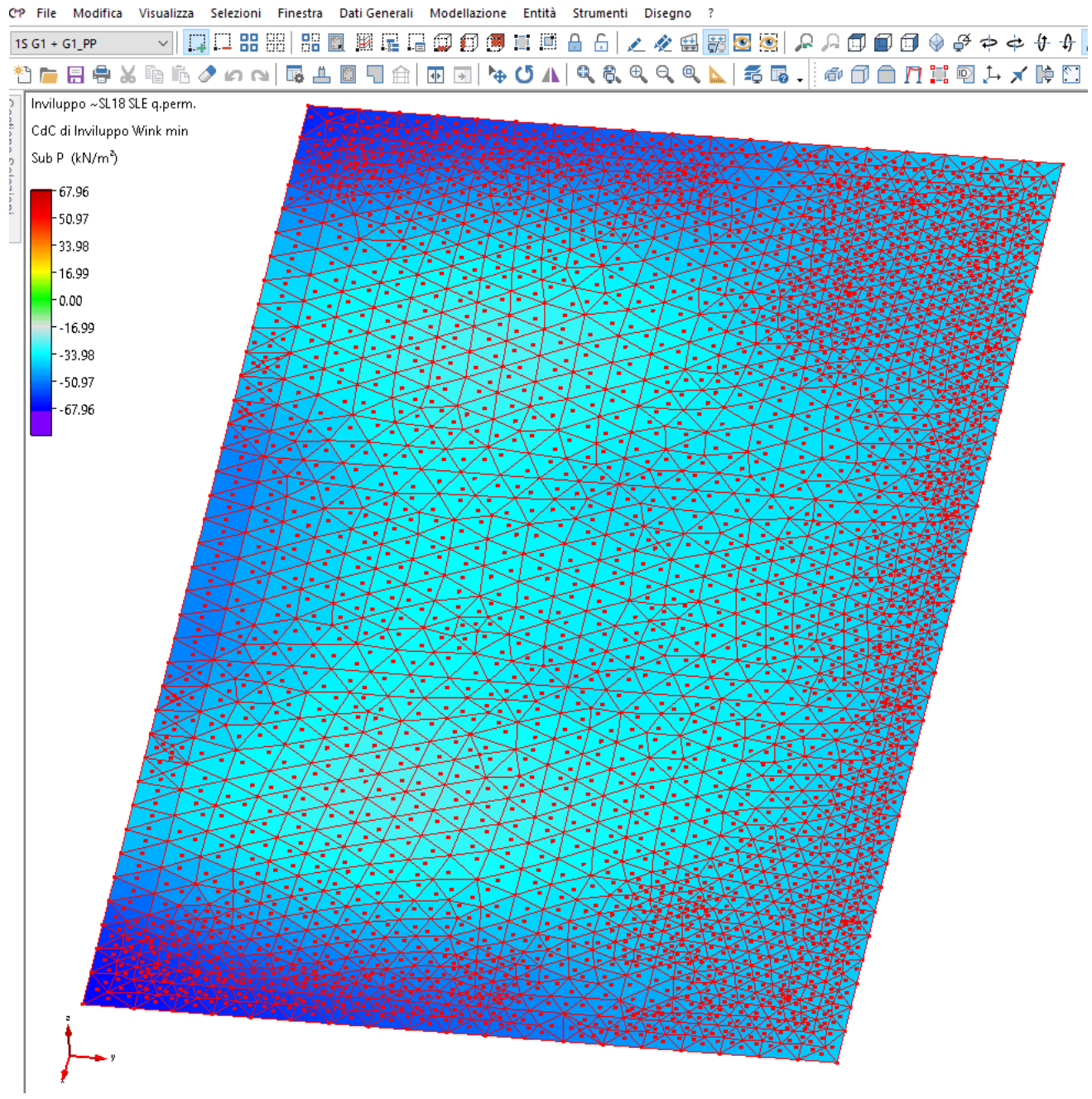


Figura 65 - Involuppo SLE QUASI PERMANENTE – Pressioni sul terreno [kN/m<sup>2</sup>] – VALORI MASSIMI.

### 2.7.3 Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati ottenuti dall'analisi strutturale, la configurazione delle deformate (statiche e dinamiche) e l'andamento dei diagrammi di sollecitazione, si ritengono compatibili con quelli desunti da verifiche sommarie.

Si confronta inoltre il taglio alla base stimato mediante calcolo manuale con quello da ottenuto dall'analisi.

#### 2.7.3.1 Stima del taglio alla base manuale

Calcolo manuale delle masse totali

- Area Impalcati e copertura = 218 mq circa

Massa areale in combinazione sismica

- Pesi permanenti G1+G2 Impalcati = 580 Kg/mq
- Pesi permanenti G1+G2 Copertura= 100 Kg/mq
- Carichi Accidentali Q\_Cat C = 300 Kg/mq
- Quota parte G1\_PP travi , G2\_TAMP setti pilastri per impalcato = 150 Kg/mq

Massa totale in combinazione sismica

- I Impalcato P.PERM. G + CAR. ACC. Q = 218 mq x (680 kg/mq + 0.6\*300 kg/mq) = 187480 kg
- II Impalcato P.PERM. G + CAR. ACC. Q = 218 mq x (830 kg/mq + 0.6\*300 kg/mq) = 187480 kg
- Copertura P.PERM. G + CAR. ACC. Q = 218 mq x (250 kg/mq)= 54500 kg
- Massa Sismica Totale = 429460 kg

Stima periodo proprio  $T1 = C1 * H^{3/4} = 0.075 * 12.50 \text{ m}^{(3/4)} = 0.499 \text{ s}^6$

Accelerazione spettrale corrispondente al periodo proprio  $S(T1) = 0.434 \text{ g}$

Tagliante alla base a SLV = (429460) kg * 0.434 g = 1828.44 kN.
---

<sup>6</sup> Il periodo proprio così calcolato risulta nella fattispecie sottostimato ma comunque tale da non inficiare il calcolo, ricadendo sul plateau dello spettro.

### 2.7.3.2 Risultati dell'analisi e loro confronto con il calcolo manuale.

In **Figura 66** si riportano i valori dell'analisi in termini di risultanti alla base: in particolare si evidenziano i valori di T12 e T13 che corrispondono ai taglianti a SLV da confrontarsi con i valori stimati manualmente.

CDC	F1(kN)	F2(kN)	F3(kN)	M1(kNm)	M2(kNm)	M3(kNm)
1S G1 + G1_PP	-5371.1	-2.34221e-07	-1.06323e-06	-0.0589112	-30896.5	56054.7
2S G2	-889.822	-3.58794e-08	-1.37041e-07	-0.0137974	-4403.35	9846.07
3S G2_TAMP	-598.685	7.71858e-08	3.50857e-08	-0.00309763	-3414.98	6772
4S Q_CAT. C	-1241.98	-2.44983e-08	-4.63297e-07	-0.0171669	-6276.99	13461.9
5S Q_NEVE	-305.575	-1.69457e-08	-2.05099e-08	-0.0023053	-1592.71	3239.11
6S Q_TERRENO	-6.9127e-06	5.64576e-07	-1547.79	-16406.1	1725.26	0.50505
1D-1L Sisma SLO X Dx	-9.77842	795.113	14.3761	-2224.66	-104.461	7086.18
2D-2L Sisma SLO X Sx	-10.1582	755.031	25.5841	-2789.52	-133.946	6786.86
3D-3L Sisma SLO Y Dx	25.6602	-62.4539	894.08	12081.3	-6311.48	-253.699
4D-4L Sisma SLO Y Sx	-7.79959	39.8089	834.68	7996.04	-6327.46	260.562
5D-1L Sisma SLD X Dx	-11.7327	973.906	17.0114	-2739.97	-124.822	8684.62
6D-2L Sisma SLD X Sx	-12.2187	922.45	30.5737	-3420.28	-160.712	8301.24
7D-3L Sisma SLD Y Dx	31.2076	-75.7452	1081.36	14611.4	-7635.24	-310.058
8D-4L Sisma SLD Y Sx	-9.47268	48.2615	1010.65	9680.36	-7668.96	315.004
9D-1L Sisma SLV X Dx	-19.2918	1417.4	29.1944	-3885.98	-206.074	12543.6
10D-2L Sisma SLV X Sx	-19.7674	1357.36	51.8114	-4964.48	-253.995	12079.8
11D-3L Sisma SLV Y Dx	48.8551	-120.211	1714.77	23054.8	-11893.8	-471.342
12D-4L Sisma SLV Y Sx	-15.45	78.6248	1602.6	15392.4	-11904.5	500.034

**Figura 66 - Risultanti da CMP su piano di taglio alla base dei pilastri.**

### 2.7.3.3 Conclusioni.

Confrontati i valori del tagliante alla base ricavati sommariamente dal calcolo manuale e quelli derivanti del calcolo automatico, le differenze sono compatibili con le approssimazioni adottate nella stima manuale delle grandezze in gioco e con le differenze di periodo proprio di vibrazione della struttura.

Accelerazione spettrale corrispondente al periodo proprio  $S(T1 = 0) = 0.258 \text{ g}$

Tagliante alla base a SLV =  $(429460) \text{ kg} * 0.258 \text{ g} = 1086.95 \text{ kN}$ .



## 2.8 Verifiche a SLU

### 2.8.1 Strutture in elevazione – Setti in c.a.

#### 2.8.1.1 Pressoflessione

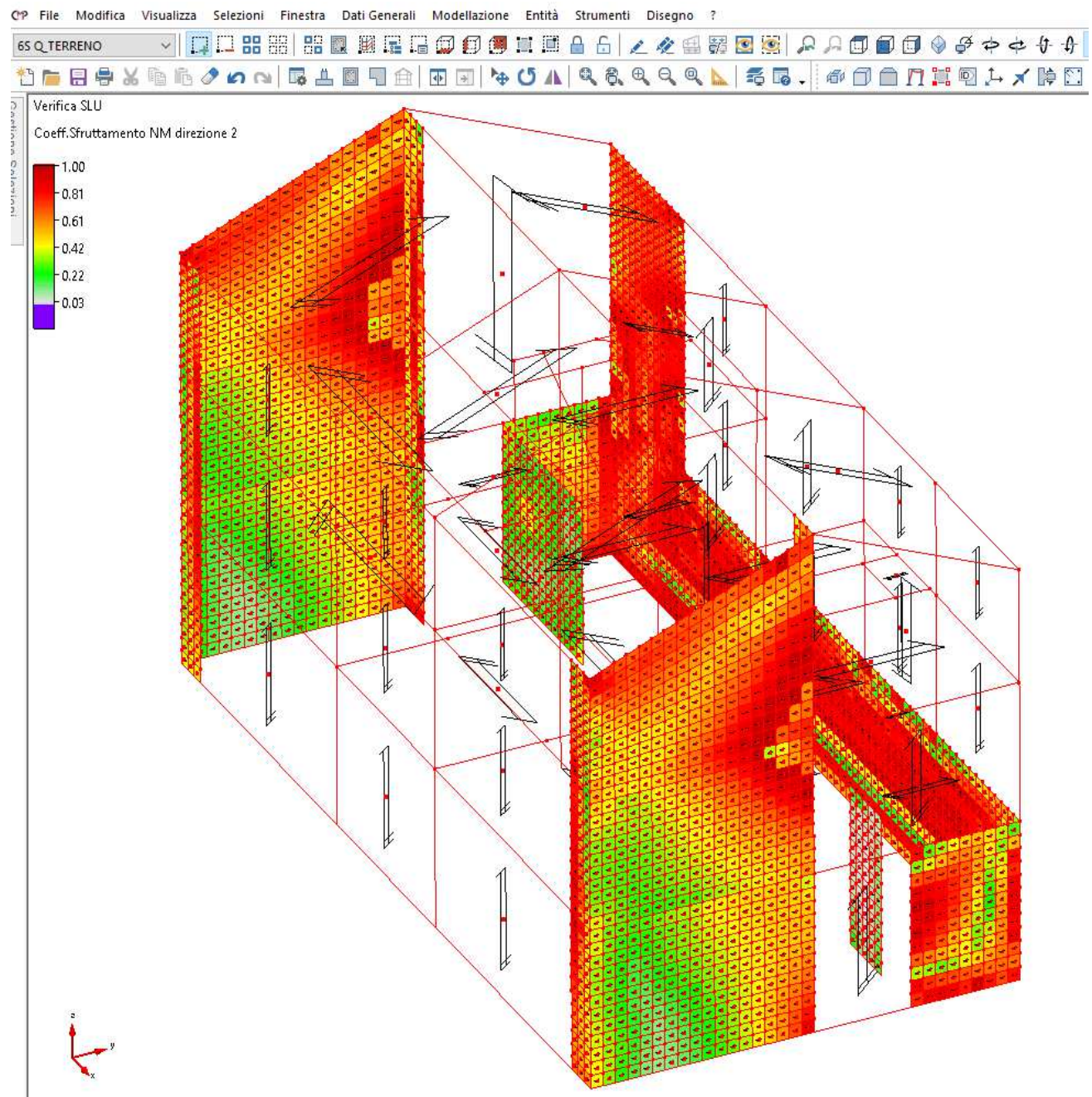
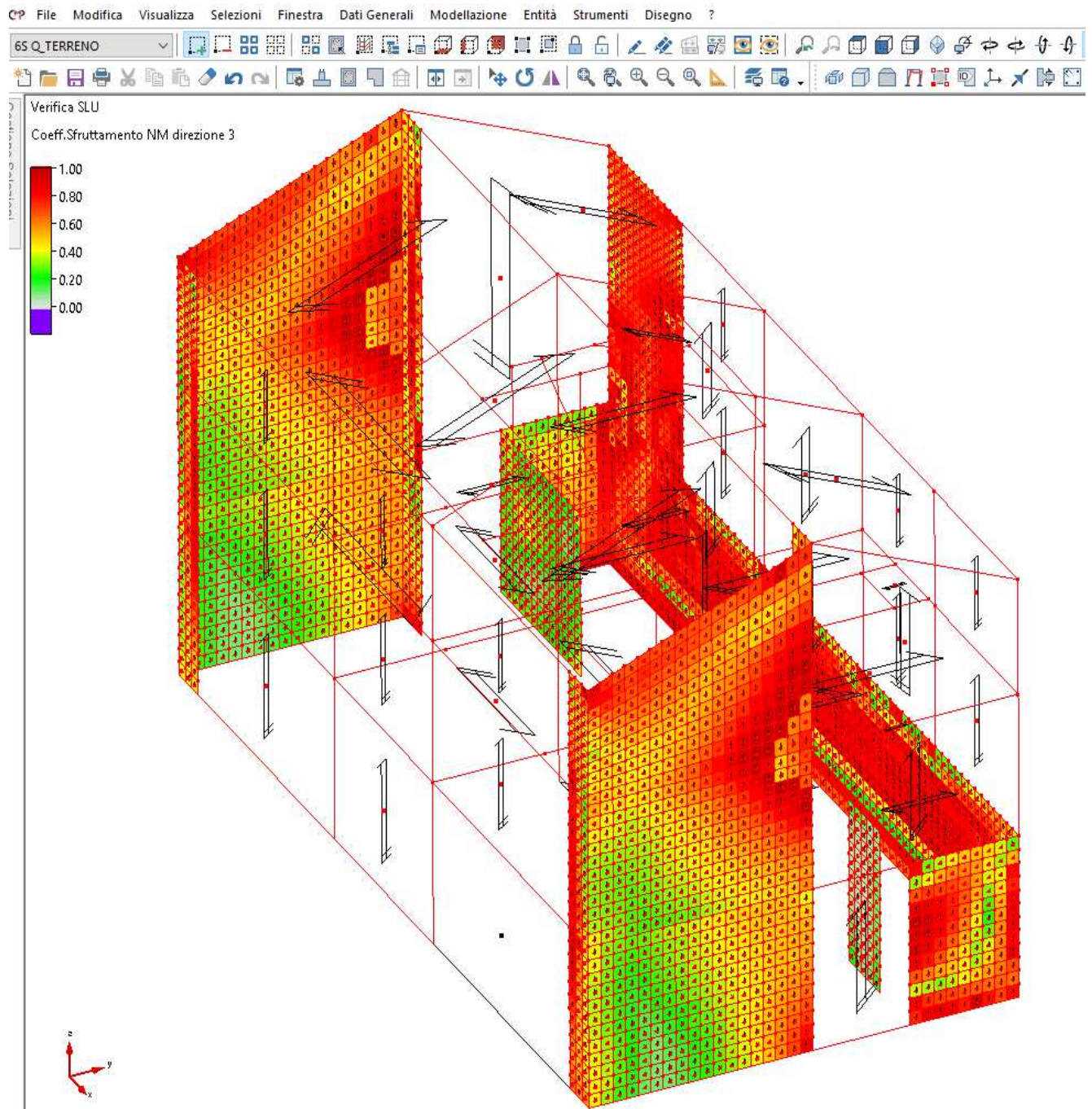


Figura 67 – Mappa delle verifiche a pressoflessione in direzione 22 – Coefficiente di sfruttamento della sezione.



**Figura 68 – Mappa delle verifiche a pressoflessione in direzione 33 – Coefficiente di sfruttamento della sezione.**

## 2.8.2 Strutture in elevazione – Pilastri in c.a.

### 2.8.2.1 *Pressoflessione deviata*

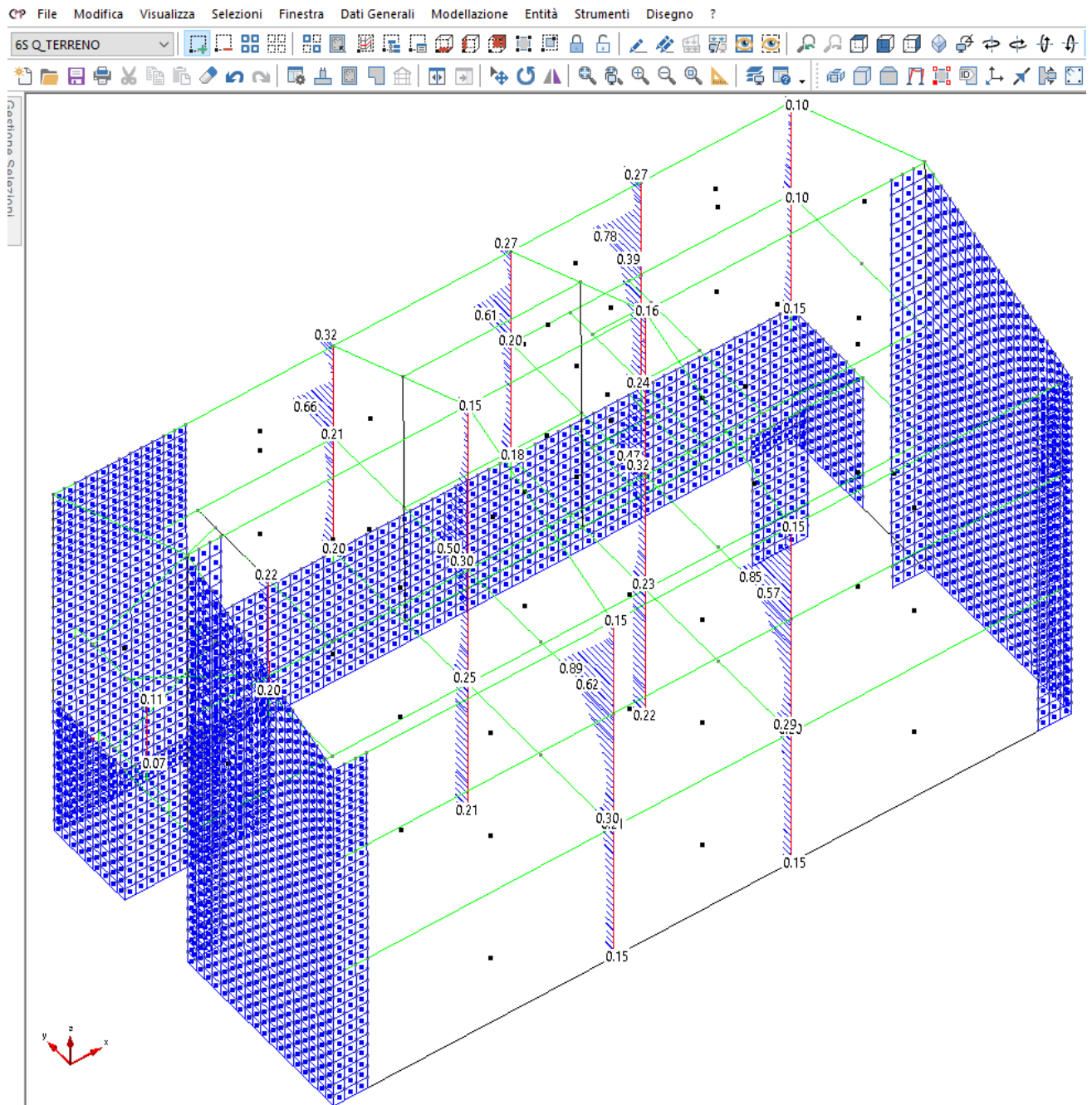


Figura 69 – Mappa delle verifiche a pressoflessione deviata – Coefficiente di sfruttamento della sezione.

### 2.8.2.2 Taglio

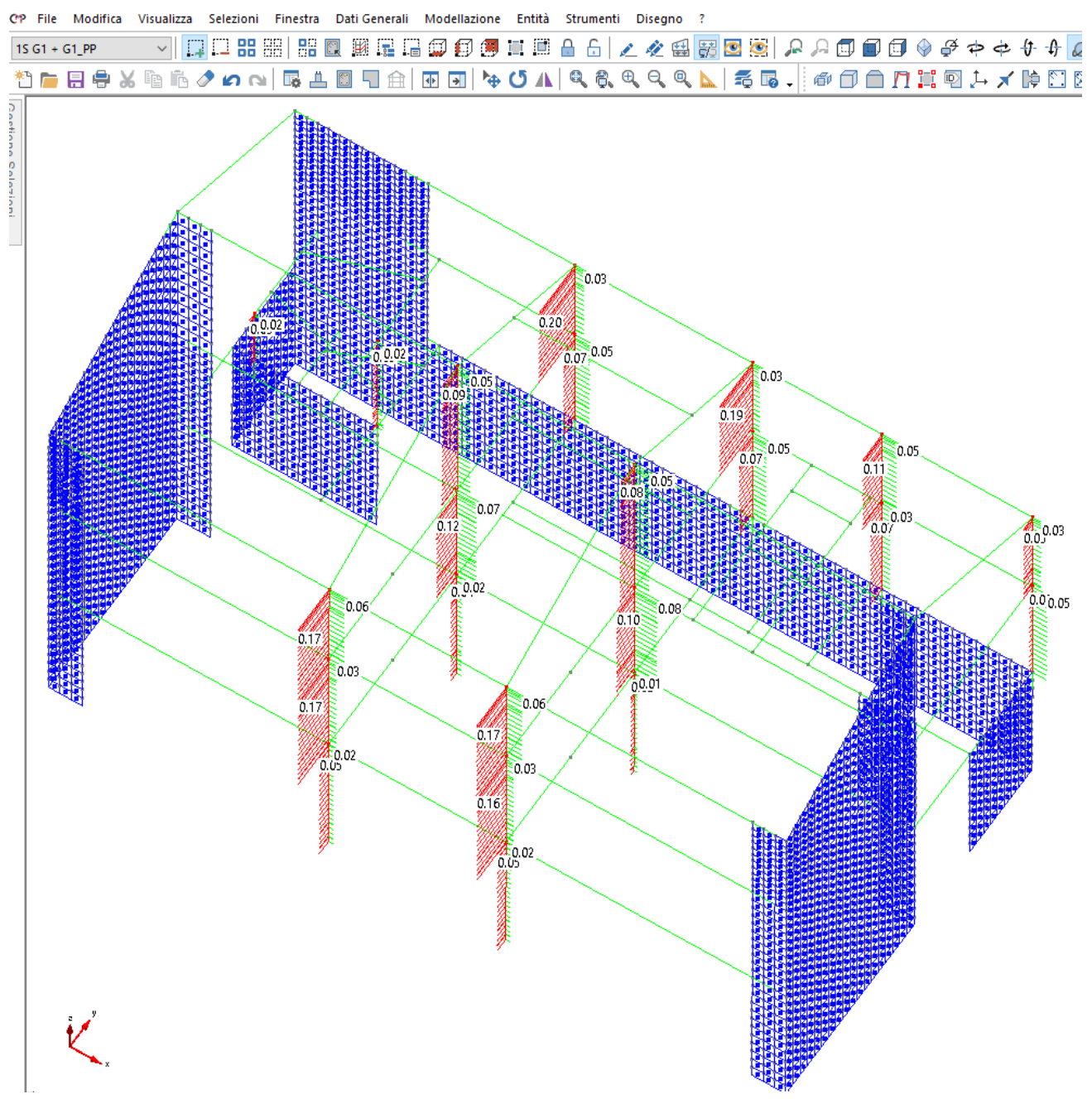


Figura 70 – Mappa delle verifiche a taglio – Coefficiente di sfruttamento della sezione.

### 2.8.2.3 Verifiche dei nodi

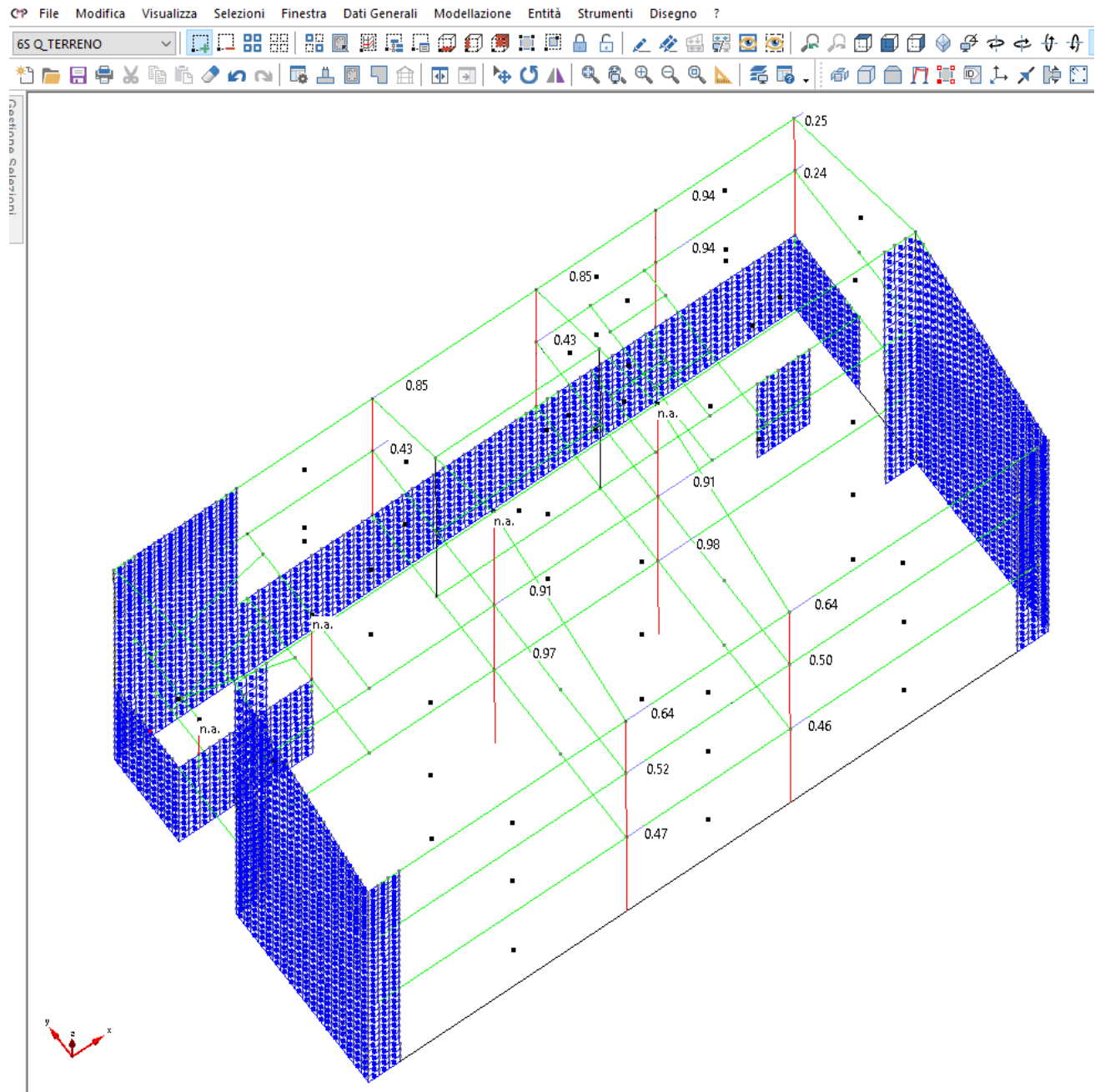


Figura 71 – Mappa delle verifiche dei nodi\_direzione 1-2 - Coefficiente di sfruttamento.

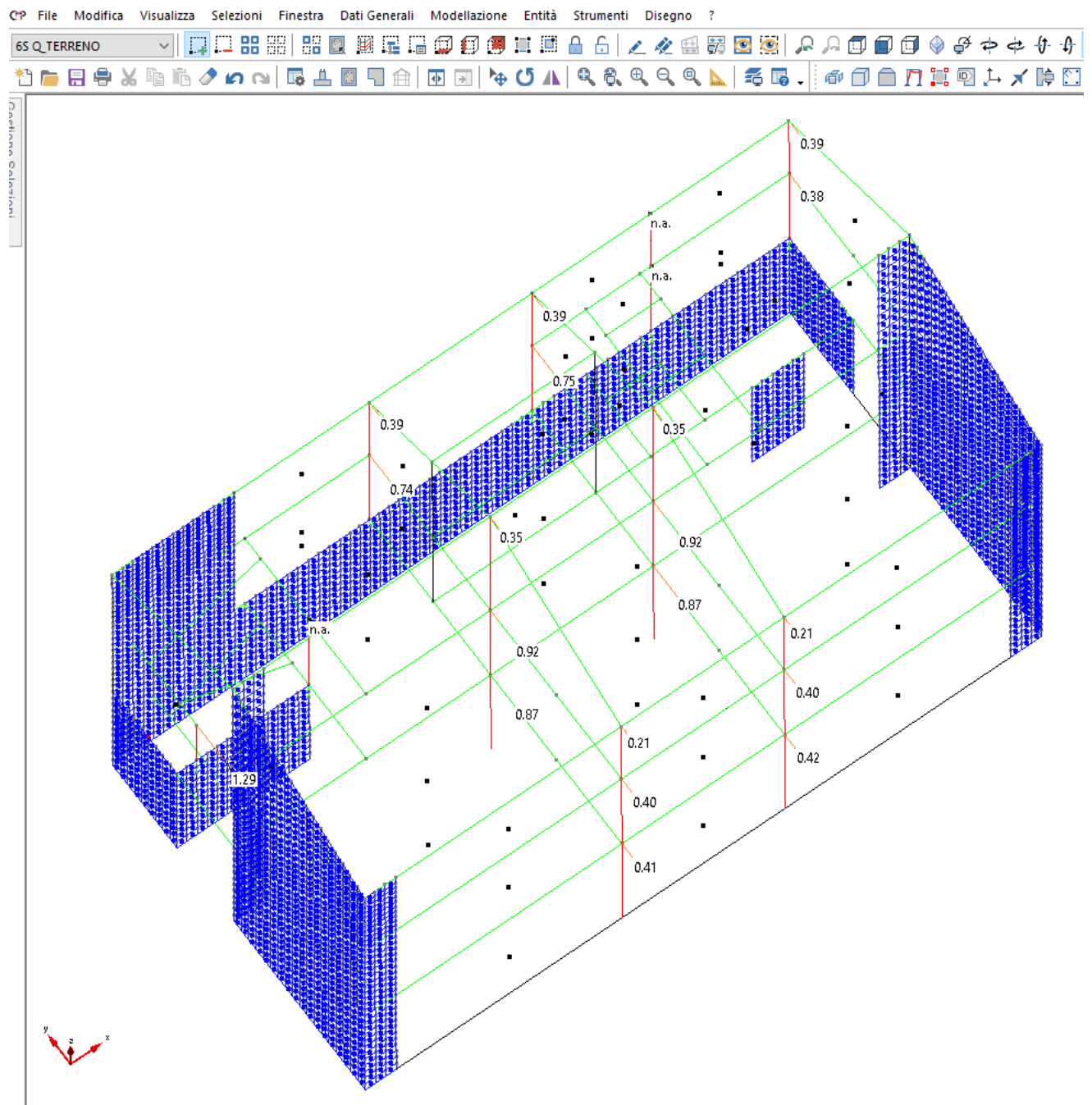


Figura 72 – Mappa delle verifiche dei nodi\_direzione 1-3 - Coefficiente di sfruttamento.

## 2.8.3 Strutture in elevazione – Travi in c.a. I Impalcato, II Impalcato, Copertura

### 2.8.3.1 Pressoflessione

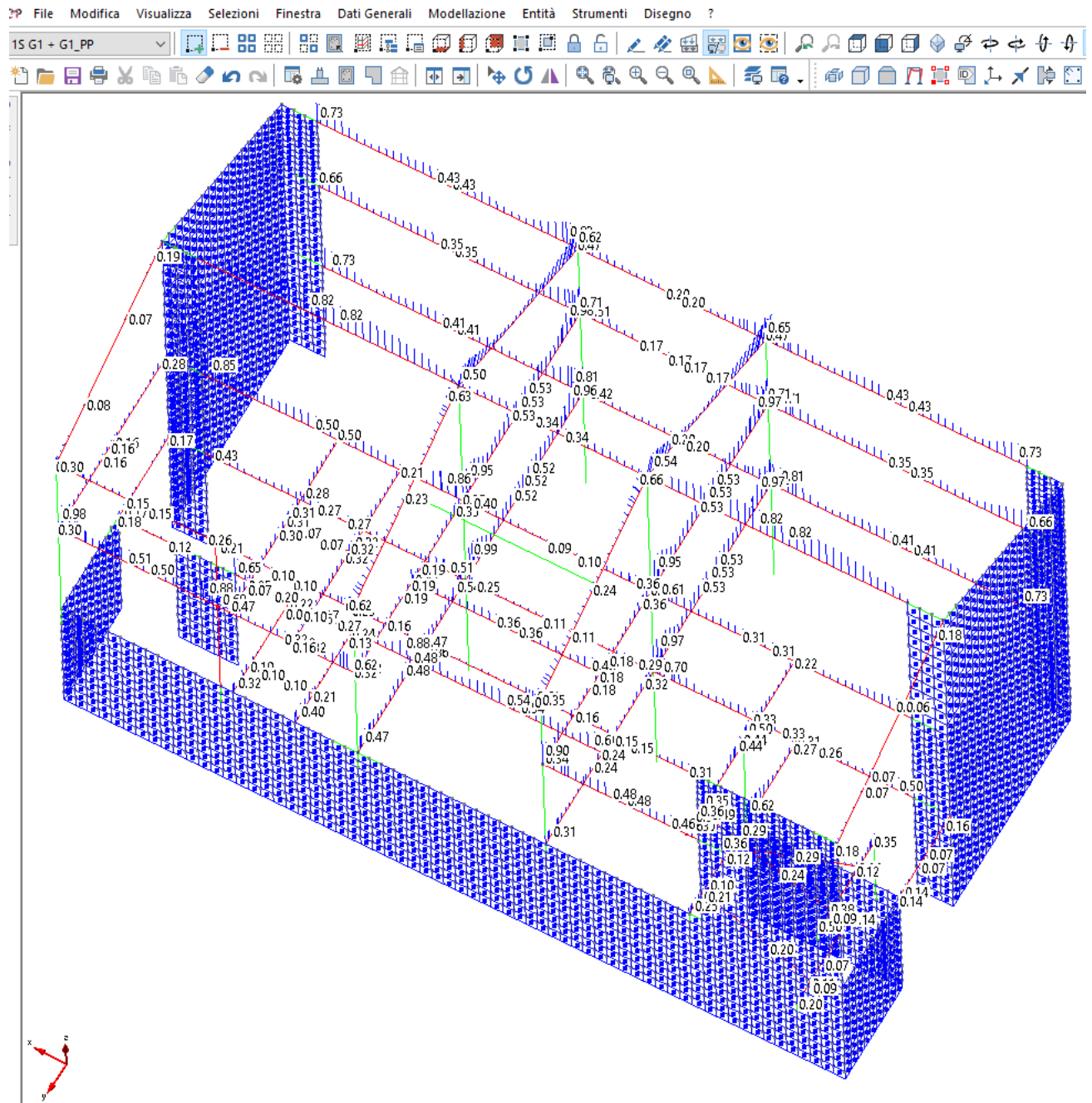


Figura 73 – Mappa delle verifiche a pressoflessione – Coefficiente di sfruttamento della sezione.

### 2.8.3.2 Taglio

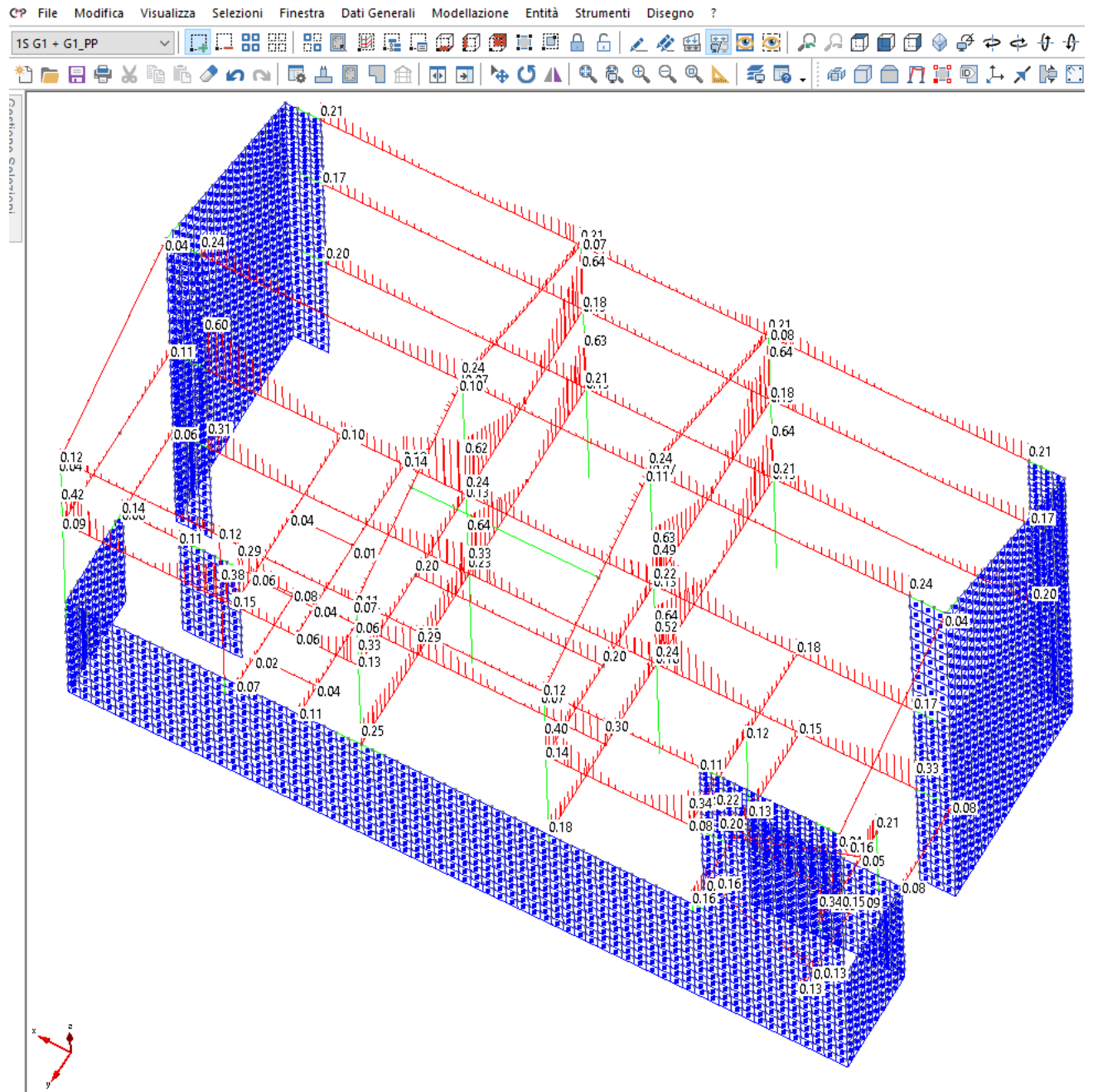


Figura 74 – Mappa delle verifiche a taglio – Coefficiente di sfruttamento della sezione.



## 2.8.4 Strutture di fondazione

### 2.8.4.1 Pressoflessione

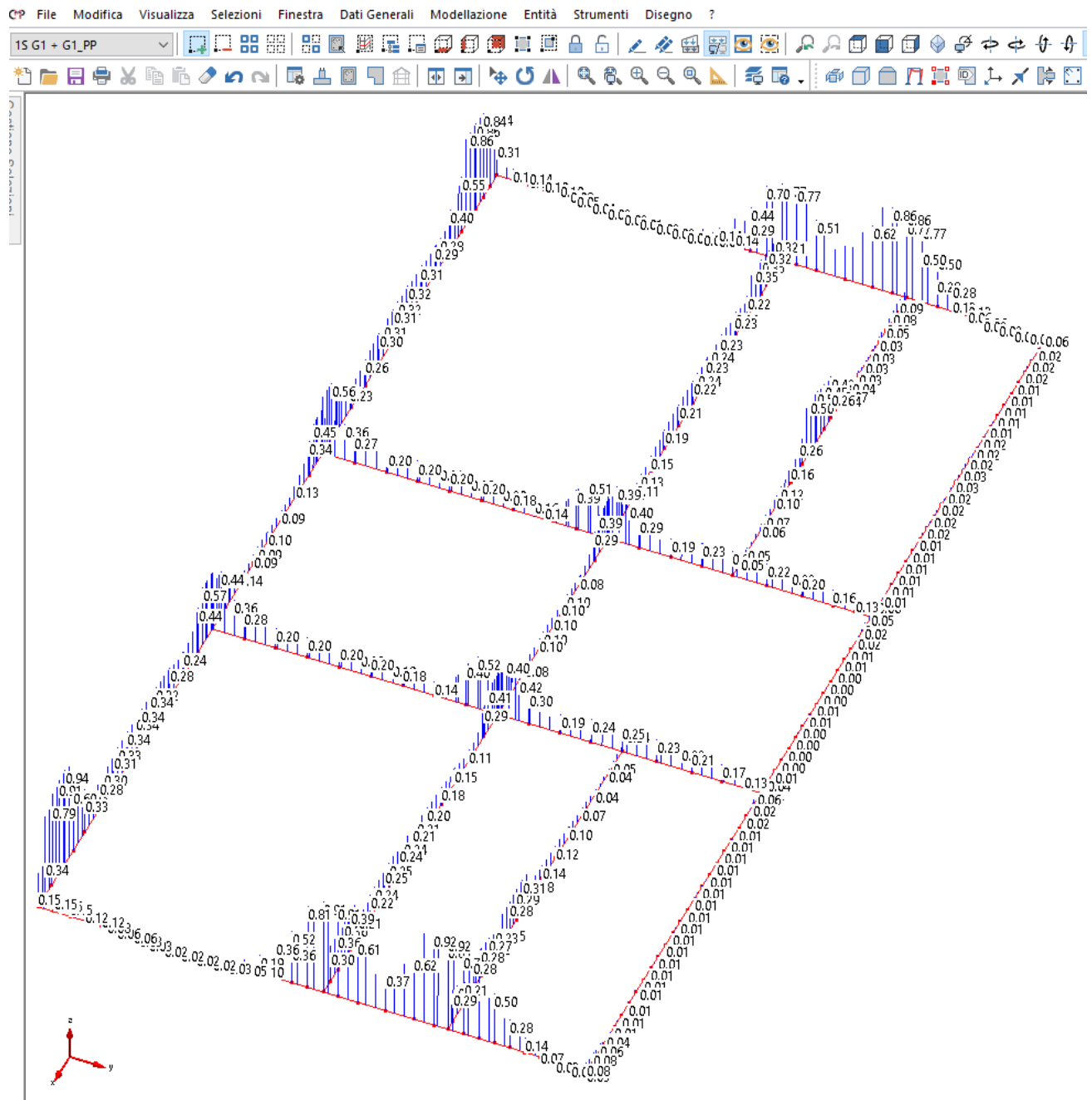


Figura 75 – Mappa delle verifiche a pressoflessione – Coefficiente di sfruttamento della sezione.

### 2.8.4.2 Taglio

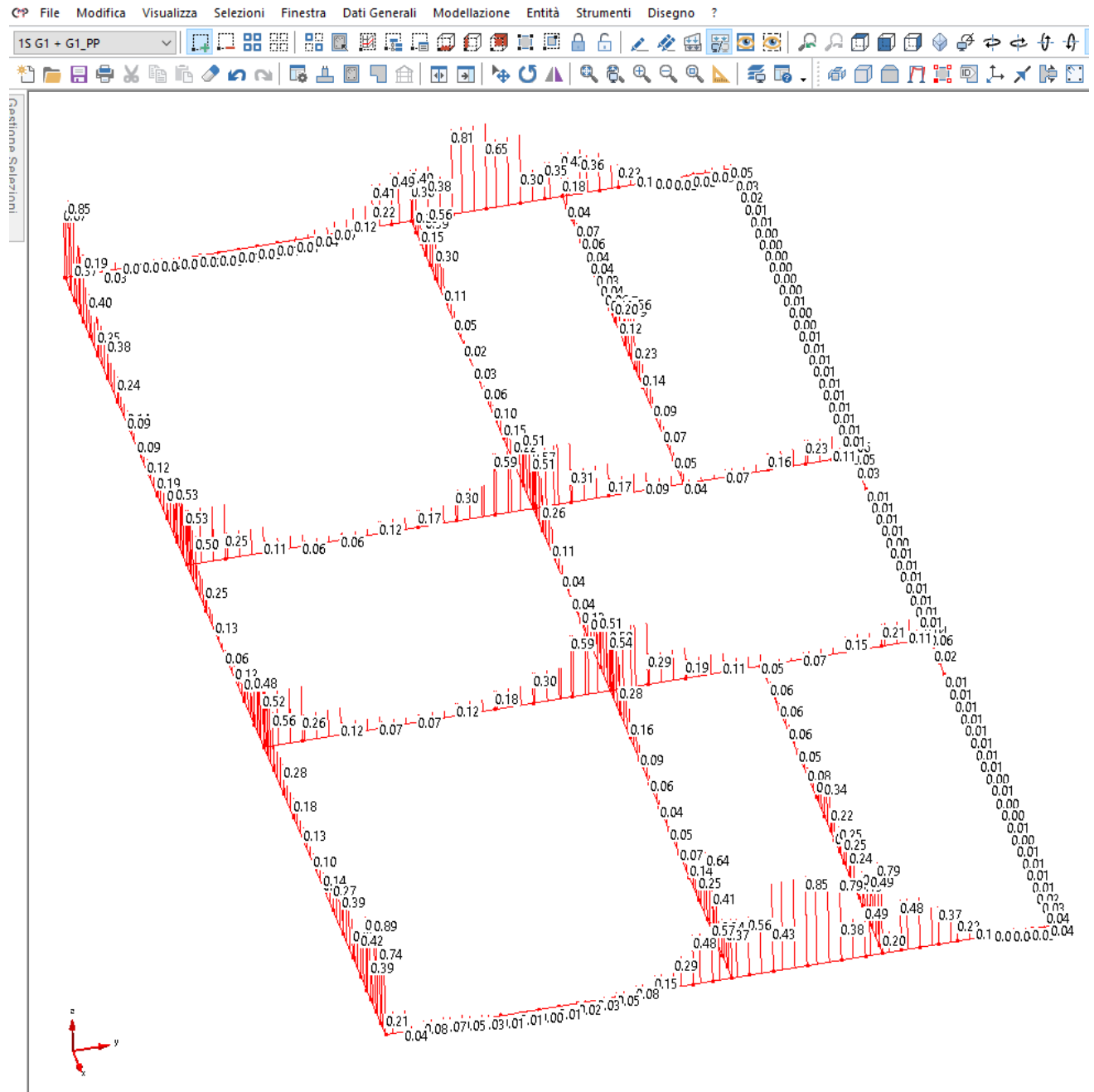


Figura 76 – Mappa delle verifiche a taglio – Coefficiente di sfruttamento della sezione.

### 2.8.4.3 Verifiche di capacità portante e dei cedimenti

Si rimanda all'allegato A per le verifiche di capacità portante e dei cedimenti.

## 2.9 Verifiche a SLE

### 2.9.1 Strutture in elevazione – Setti in c.a.

#### 2.9.1.1 Verifiche alle tensioni

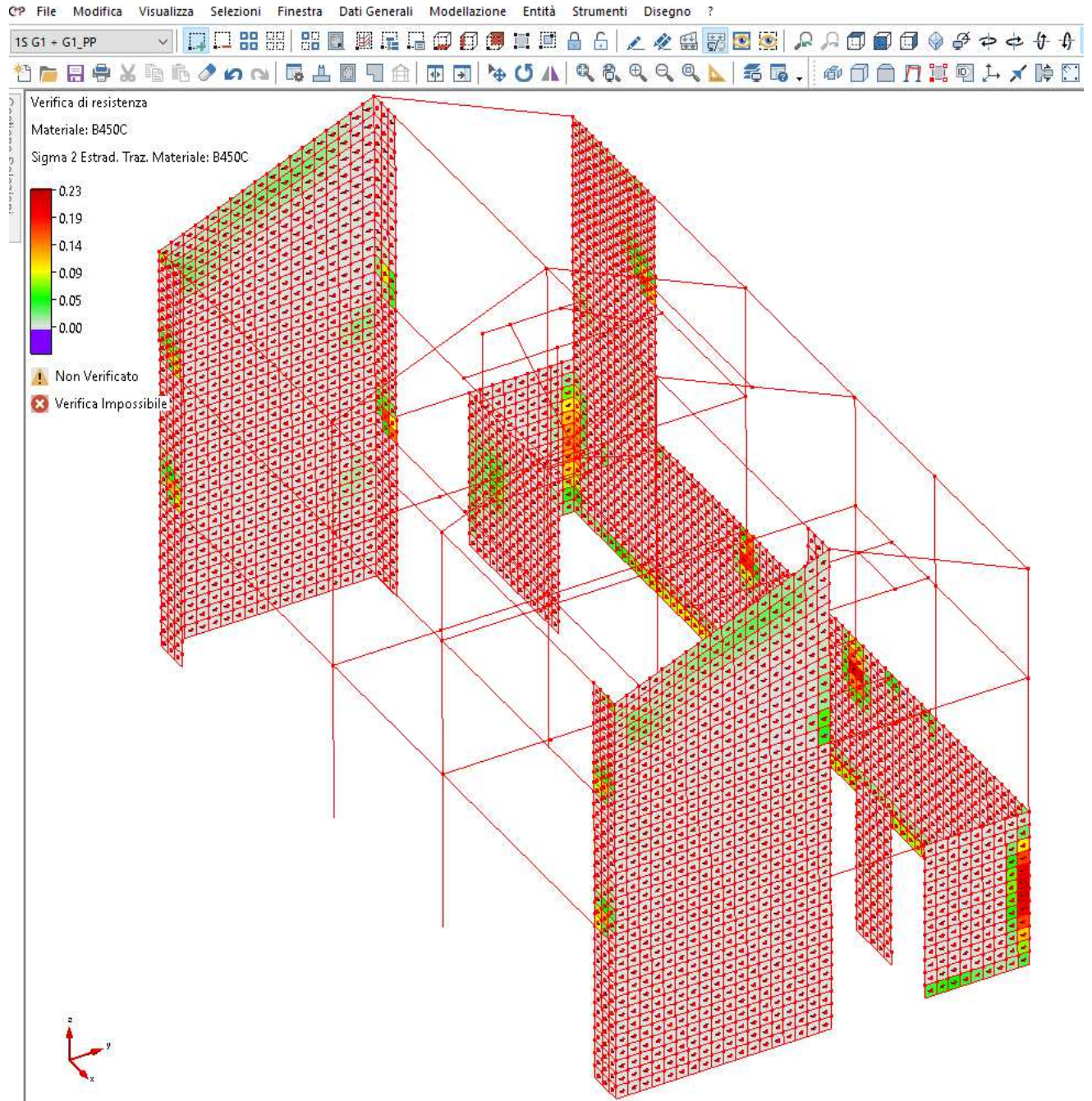
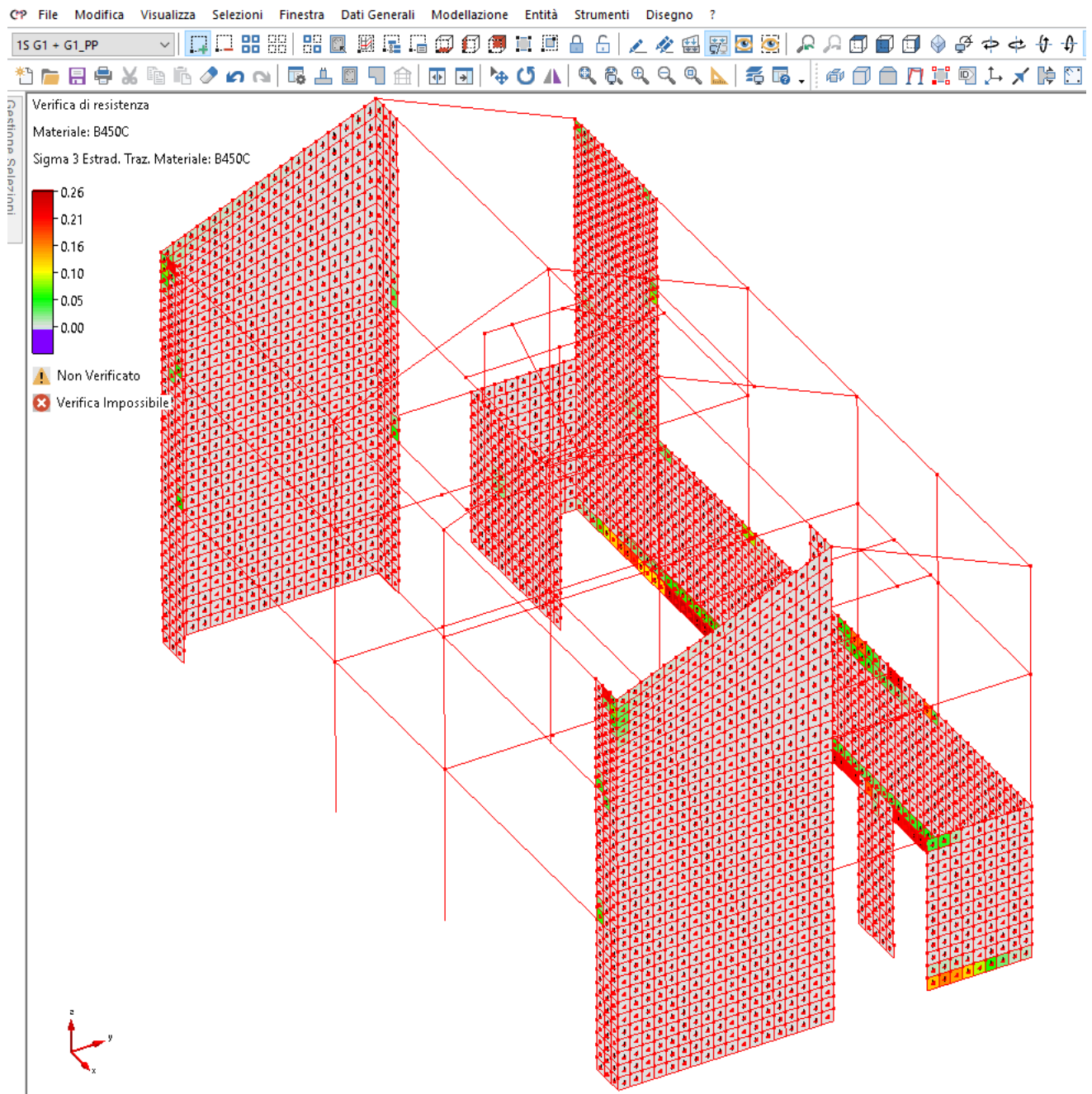
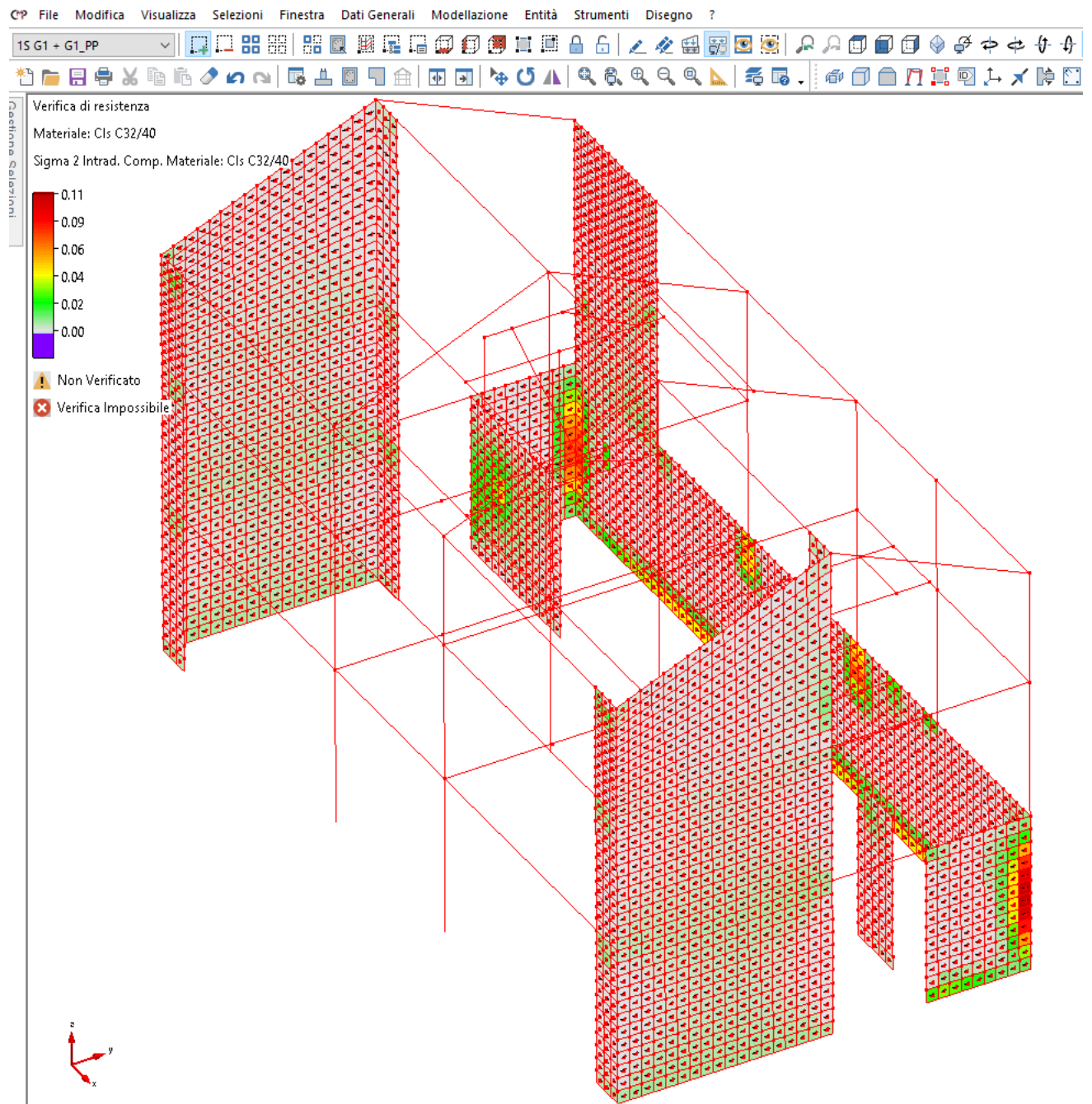


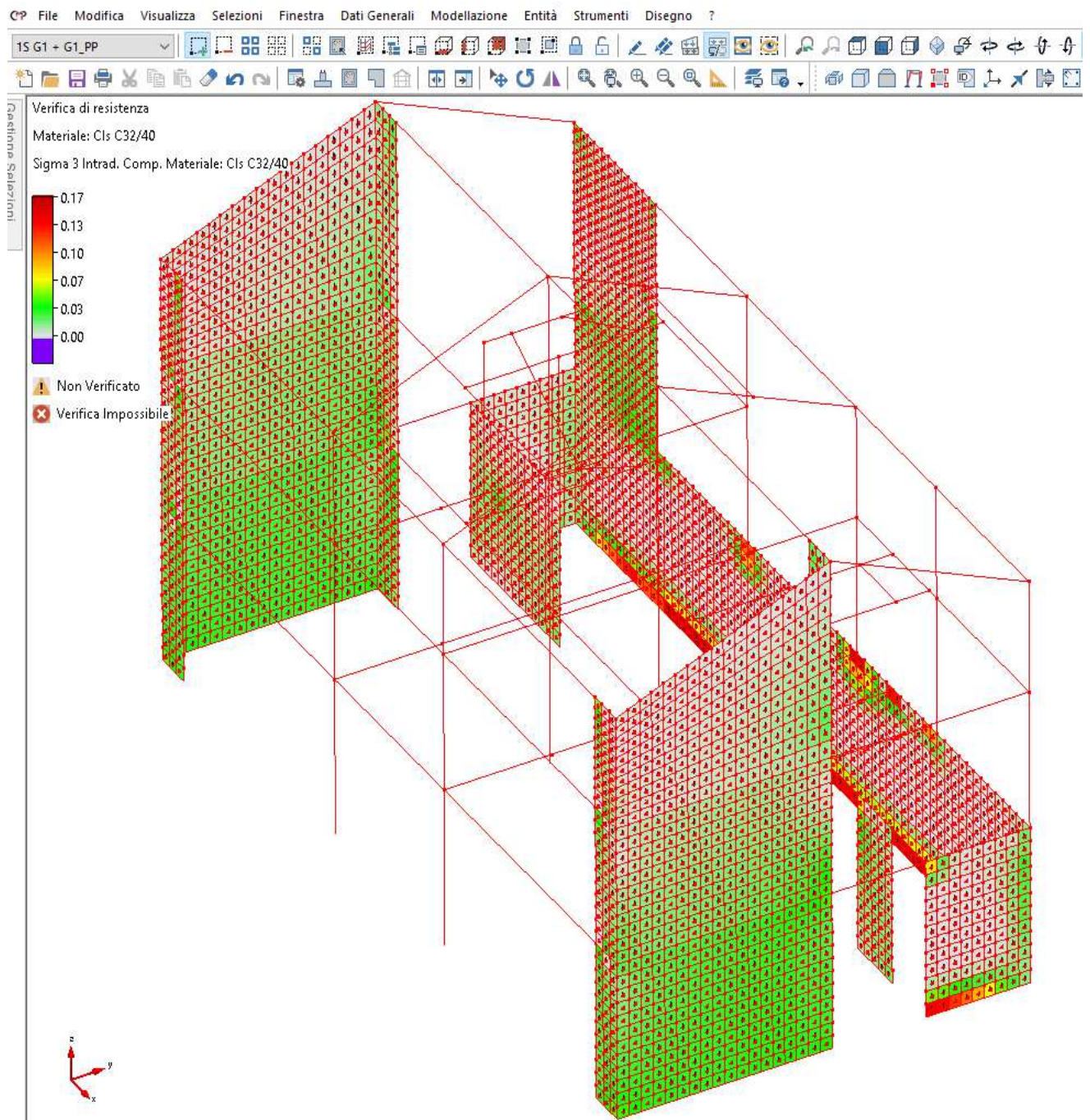
Figura 77 – SLE RARA – Tensioni acciaio- Coefficiente di sfruttamento.



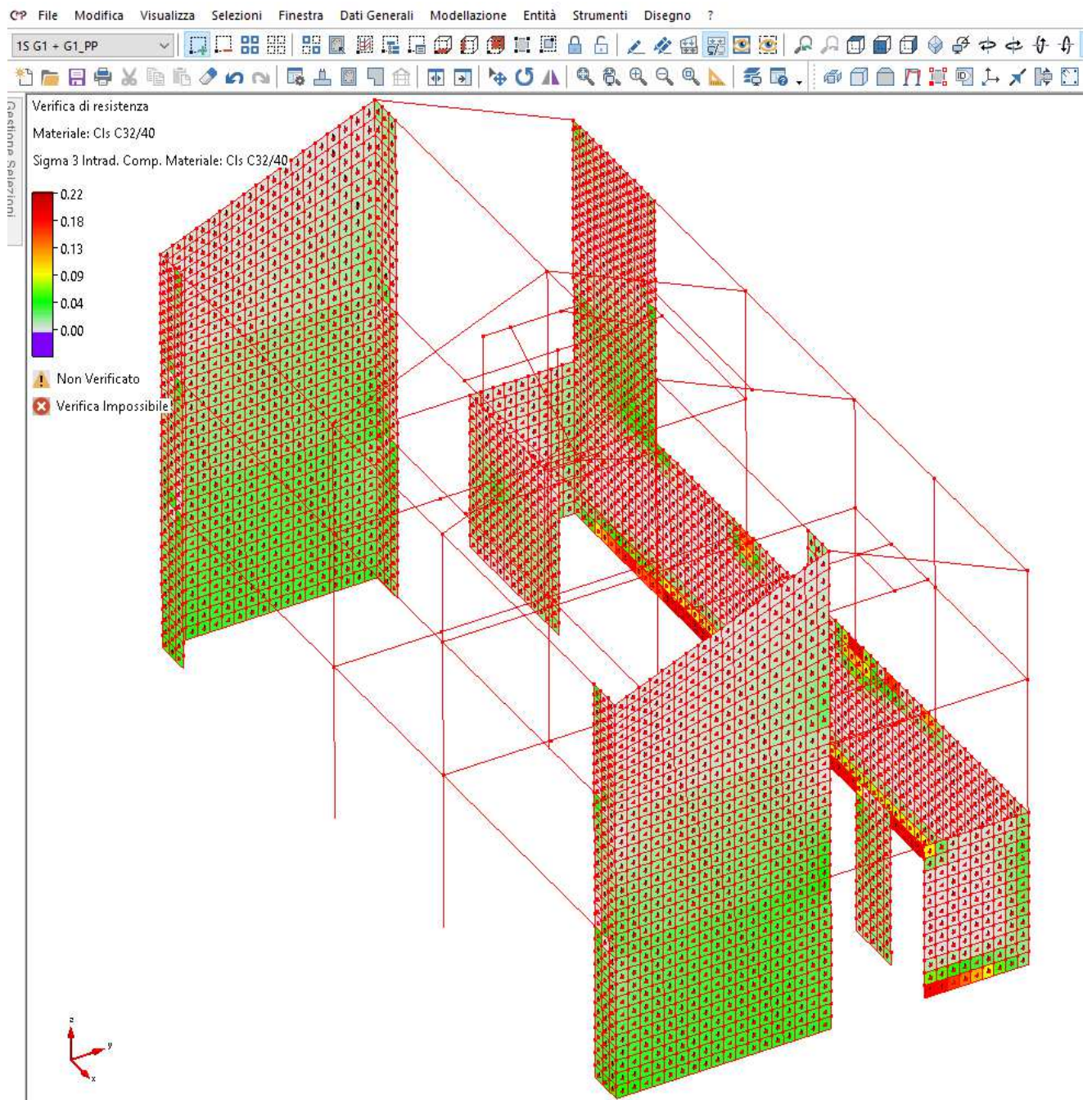
**Figura 78 – SLE RARA – Tensioni acciaio- Coefficiente di sfruttamento.**



**Figura 79 – SLE RARA – Tensioni calcestruzzo- Coefficiente di sfruttamento.**



**Figura 80 – SLE RARA – Tensioni calcestruzzo- Coefficiente di sfruttamento.**



**Figura 81 – SLE QUASI PERMANENTE – Tensioni calcestruzzo - Coefficiente di sfruttamento.**

### 2.9.1.2 Verifiche a fessurazione

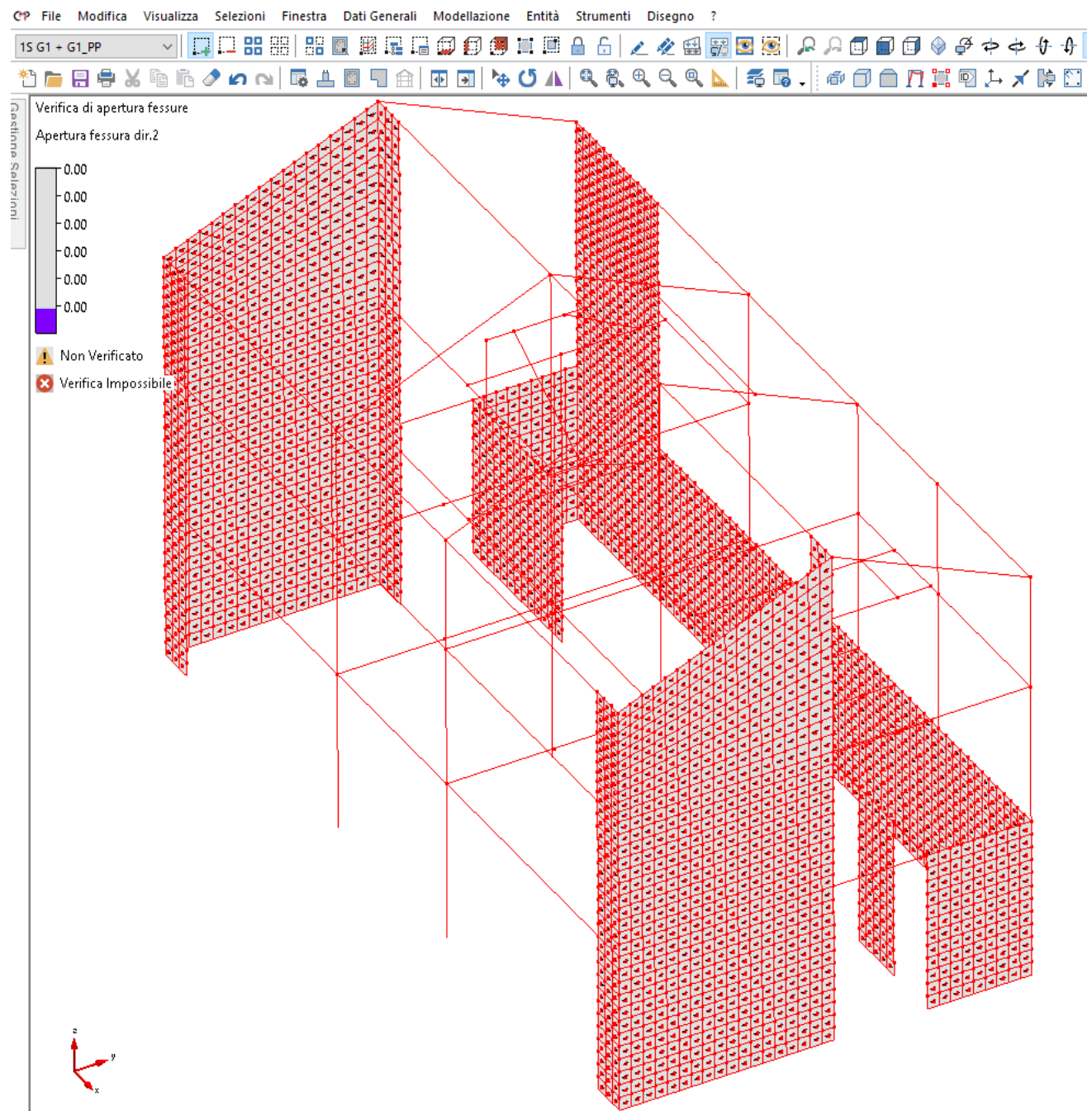
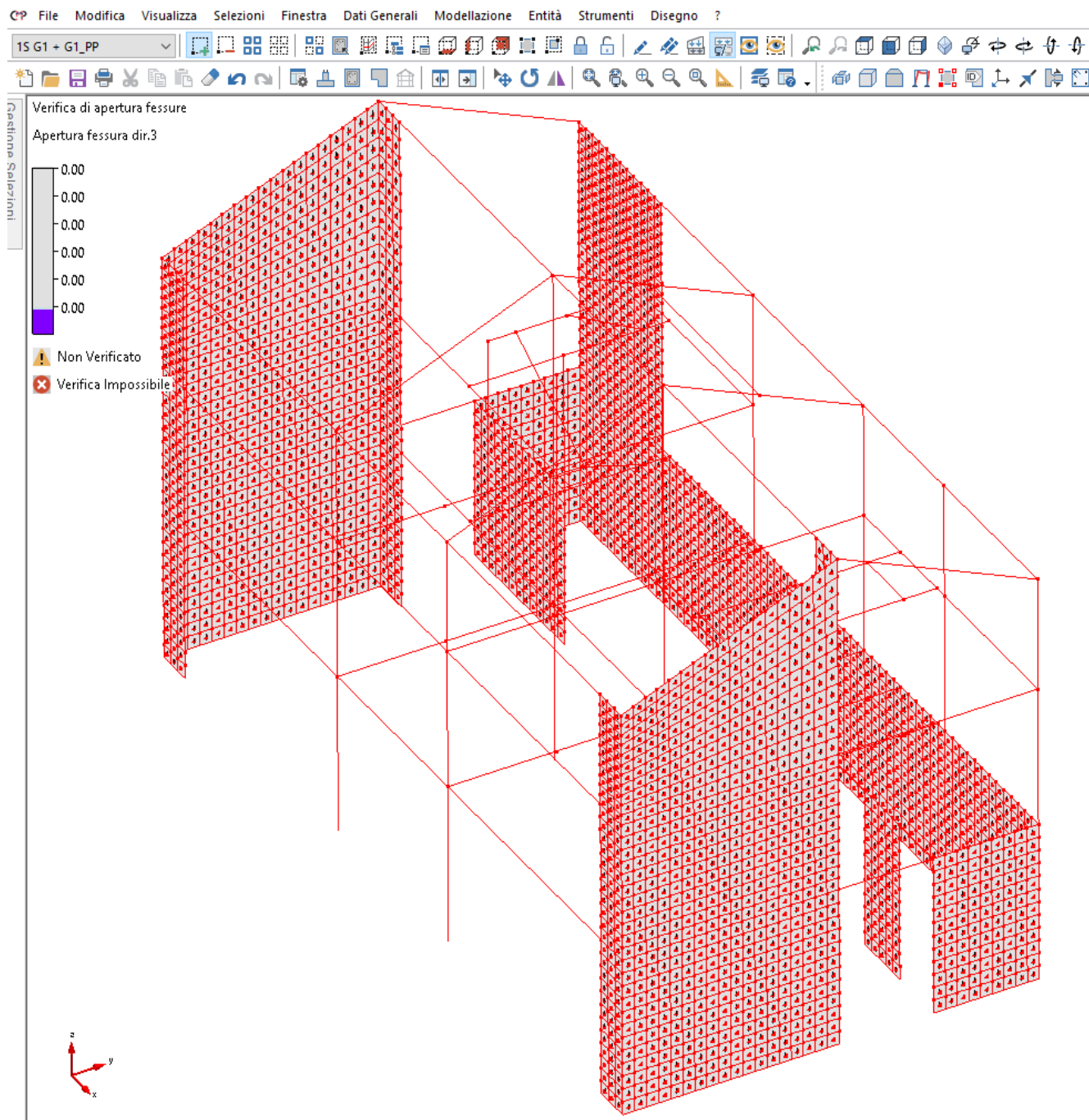


Figura 82 – SLE FREQUENTE – Apertura delle fessure - Coefficiente di sfruttamento.





**Figura 83 – SLE QUASI PERMANENTE – Apertura delle fessure - Coefficiente di sfruttamento**

## 2.9.2 Strutture in elevazione – Pilastri in c.a.

### 2.9.2.1 Verifiche alle tensioni

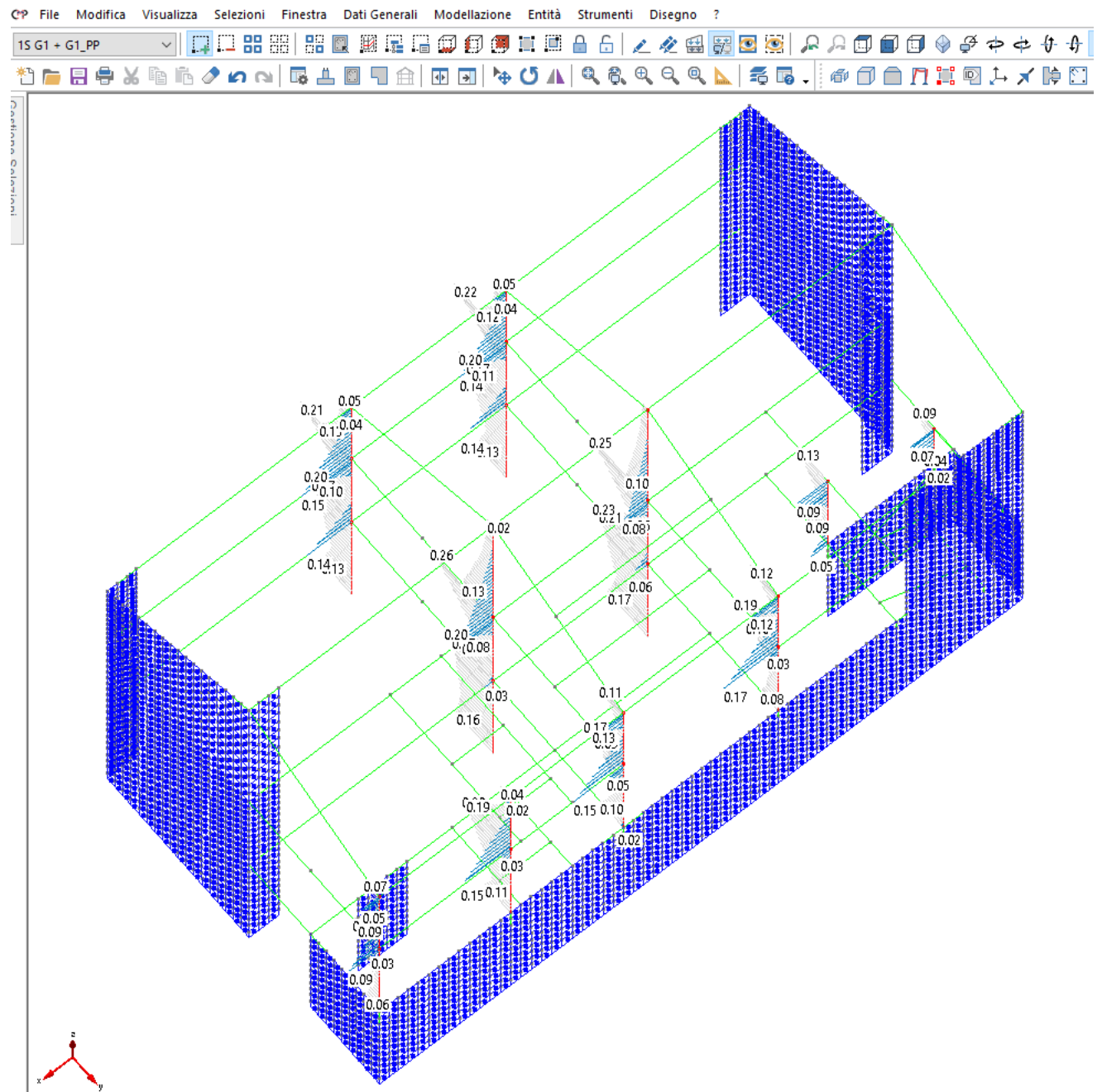


Figura 84 – SLE RARA – Tensioni calcestruzzo e acciaio- Coefficiente di sfruttamento.

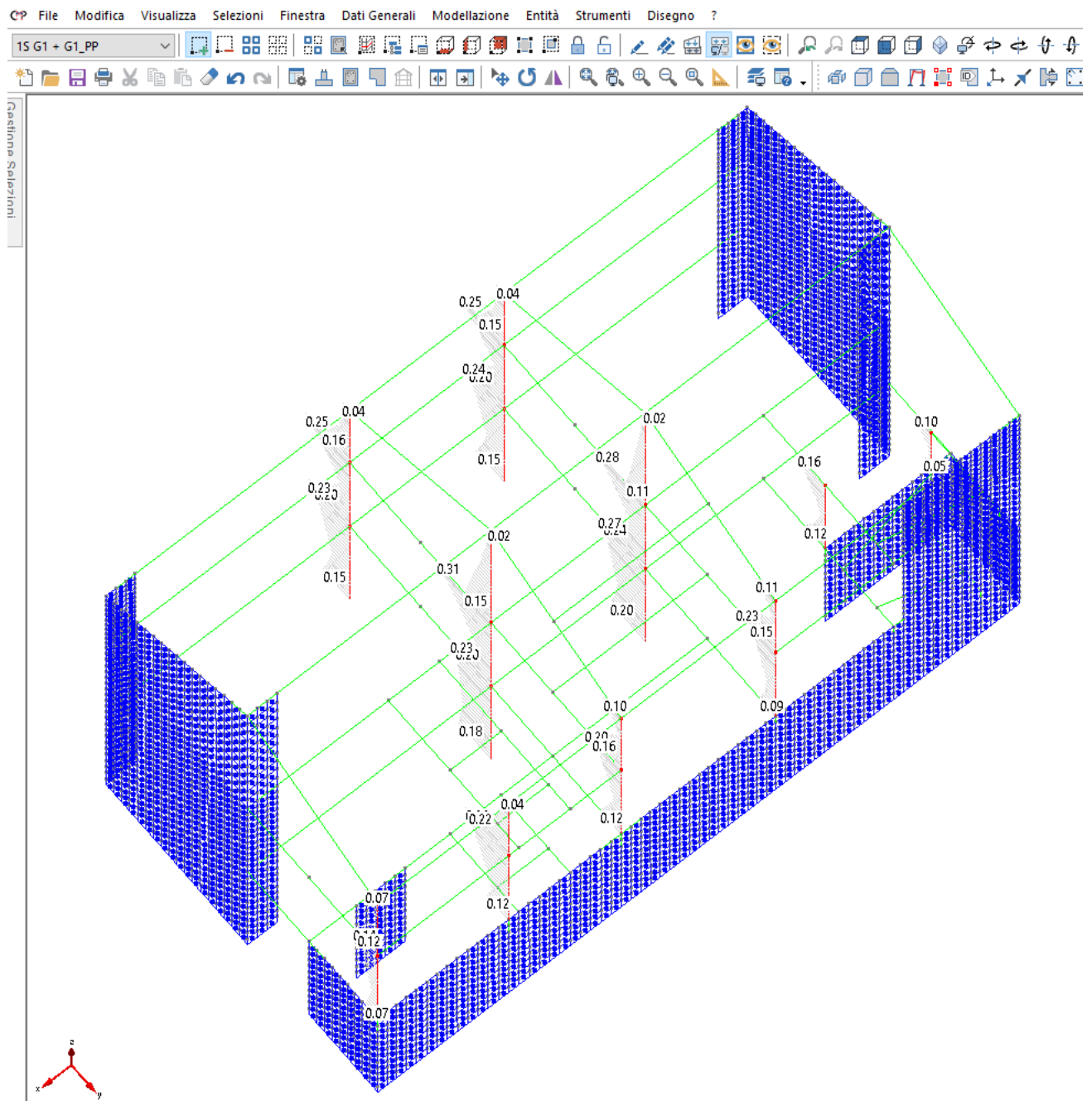


Figura 85 – SLE QUASI PERMANENTE – Tensioni calcestruzzo - Coefficiente di sfruttamento.

### 2.9.2.2 Verifiche a fessurazione

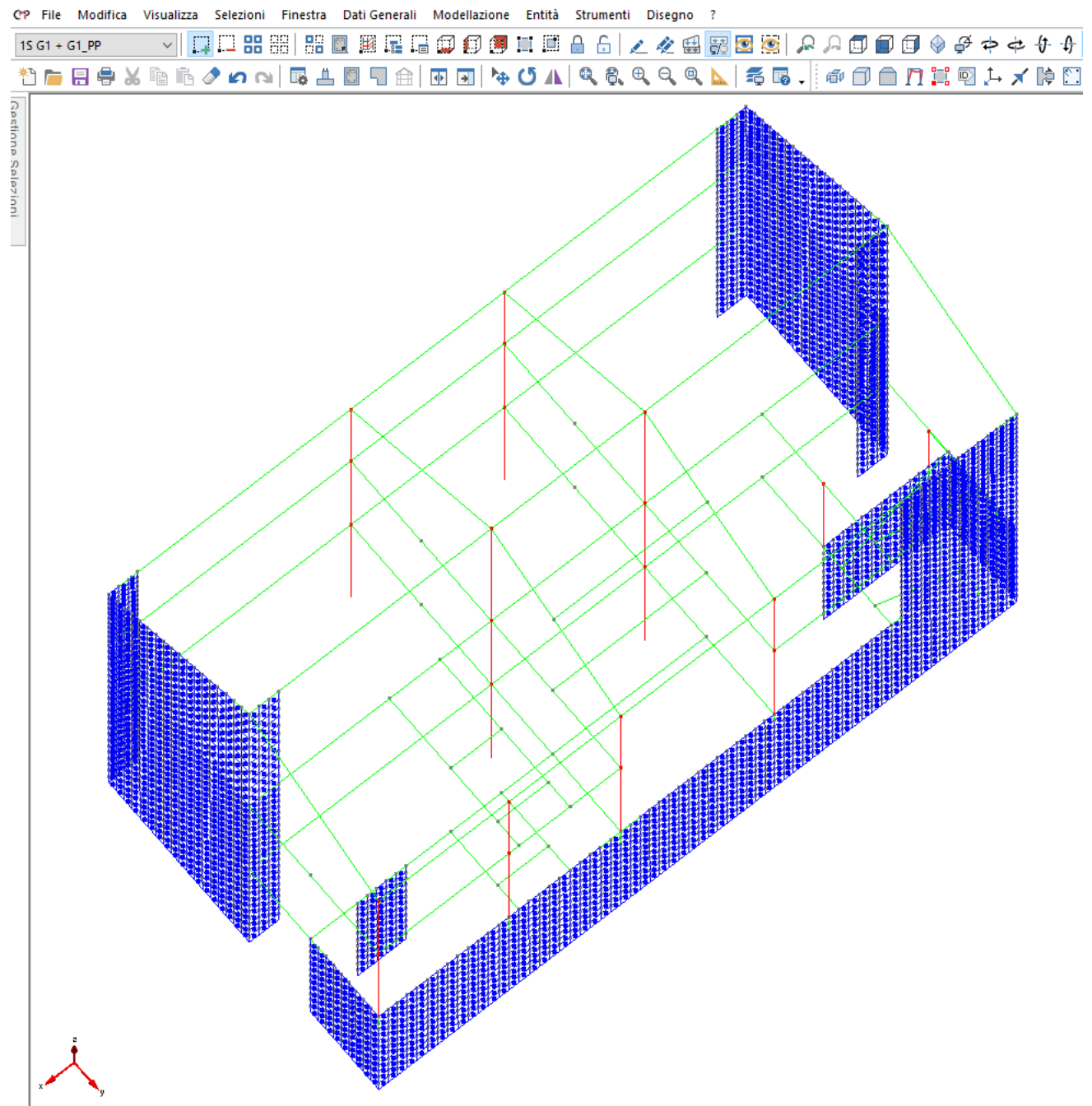
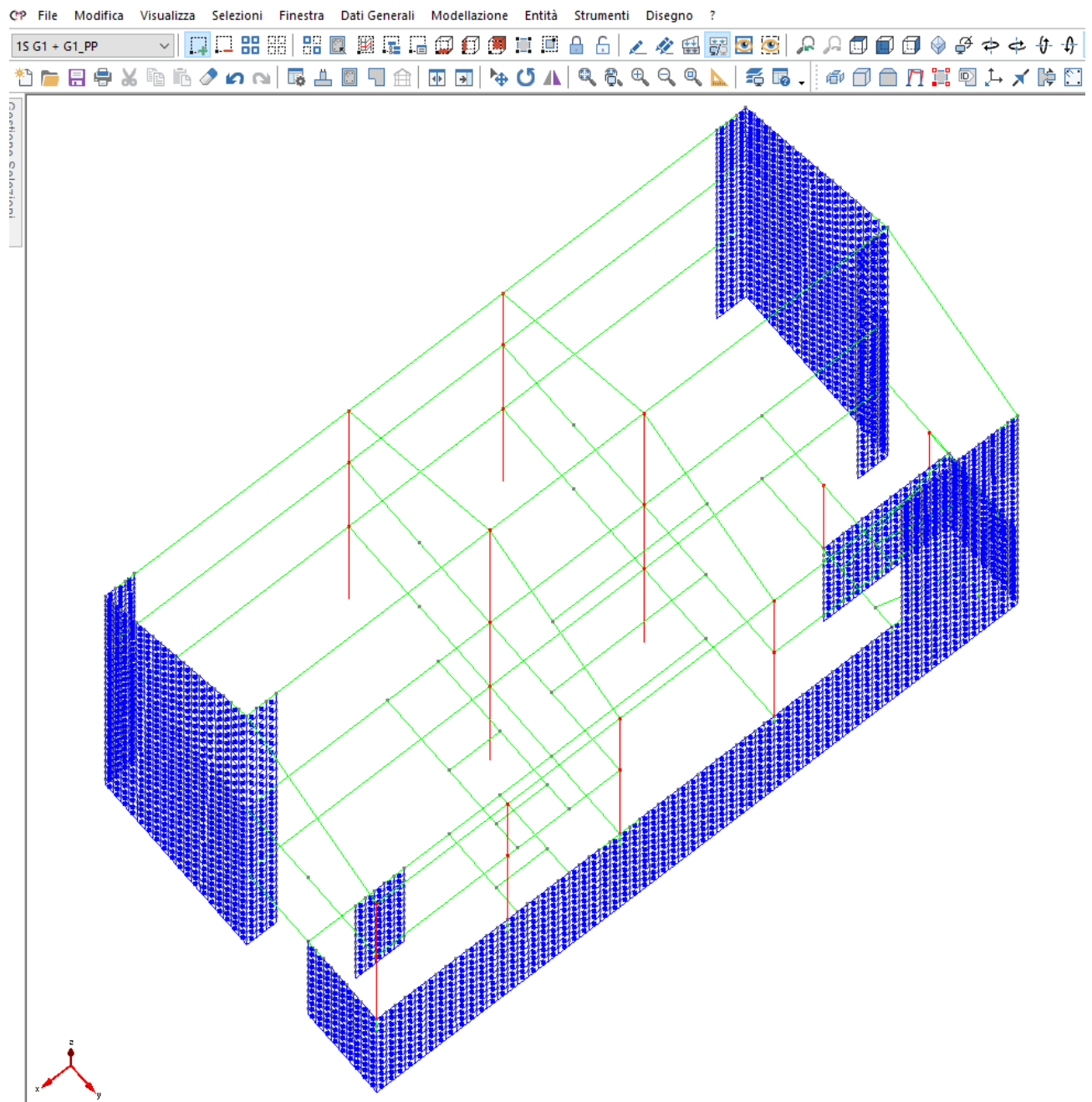


Figura 86 – SLE FREQUENTE – Apertura delle fessure - Coefficiente di sfruttamento.



**Figura 87 – SLE QP – Apertura delle fessure - Coefficiente di sfruttamento.**

### 2.9.2.3 Verifiche degli elementi strutturali in termini di contenimento del danno agli elementi non strutturali (§7.3.7.2)

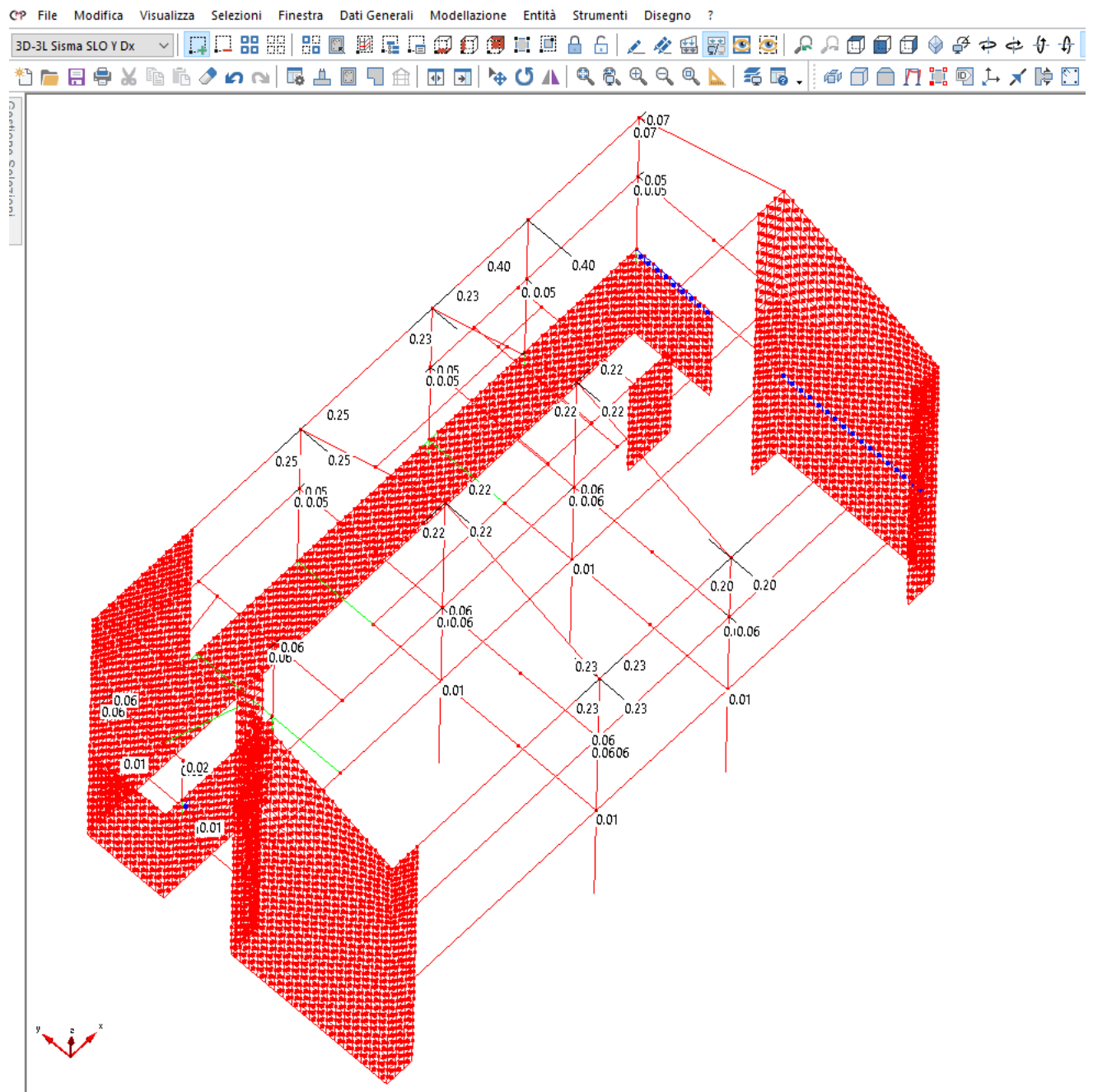


Figura 88 – Deformazioni relative a  $SLD < 0,005 h$  – Coefficiente di sfruttamento.

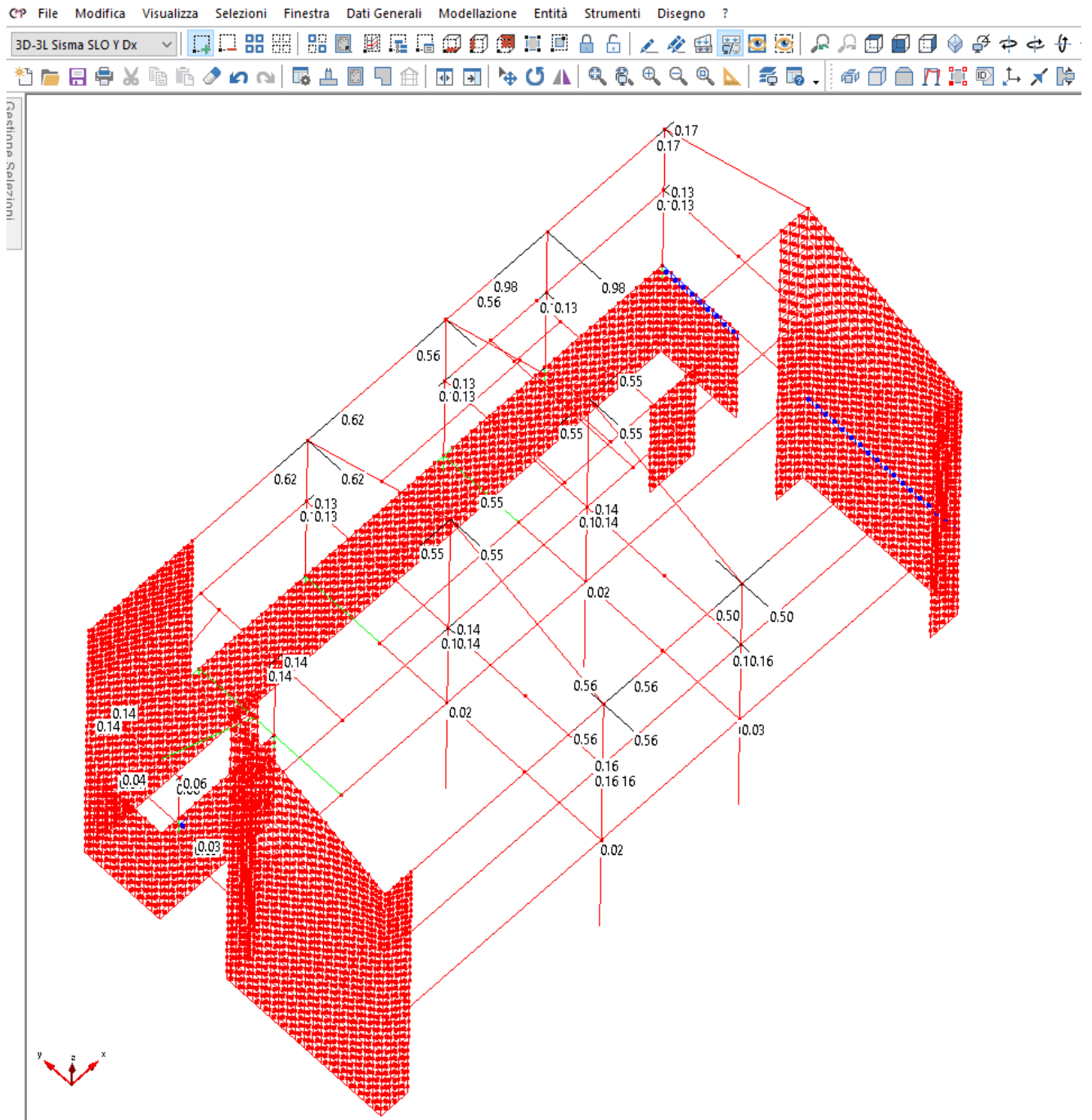


Figura 89 – Deformazioni relative a SLO < (2/3) di 0,005 h – Coefficiente di sfruttamento.

## 2.9.3 Strutture in elevazione – Travi in c.a. I Impalcato, II Impalcato, Copertura

### 2.9.3.1 Verifiche alle tensioni

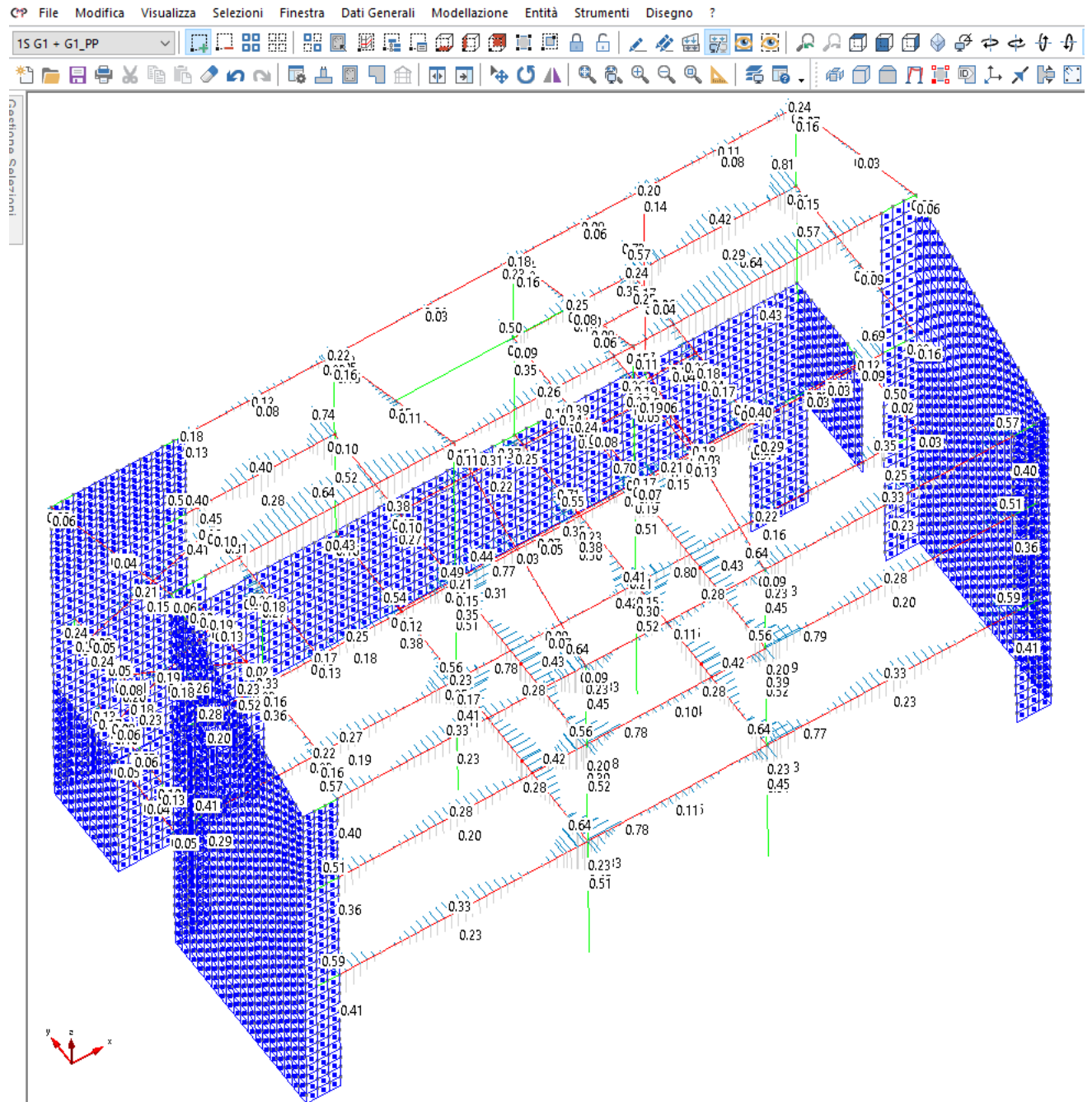
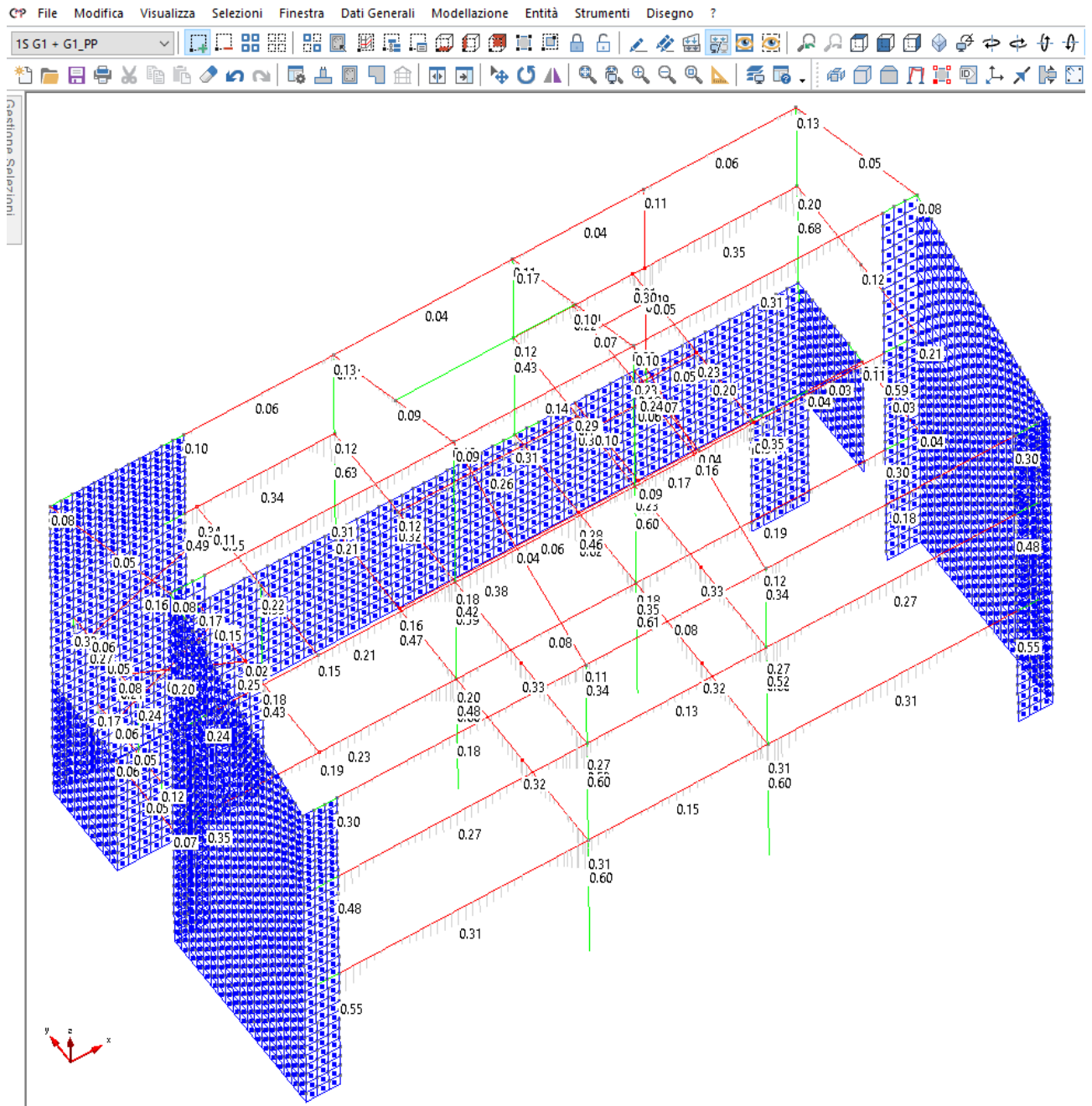


Figura 90 – SLE RARA – Tensioni calcestruzzo e acciaio- Coefficiente di sfruttamento.





**Figura 91 – SLE QUASI PERMANENTE – Tensioni calcestruzzo - Coefficiente di sfruttamento.**

### 2.9.3.2 Verifiche a fessurazione

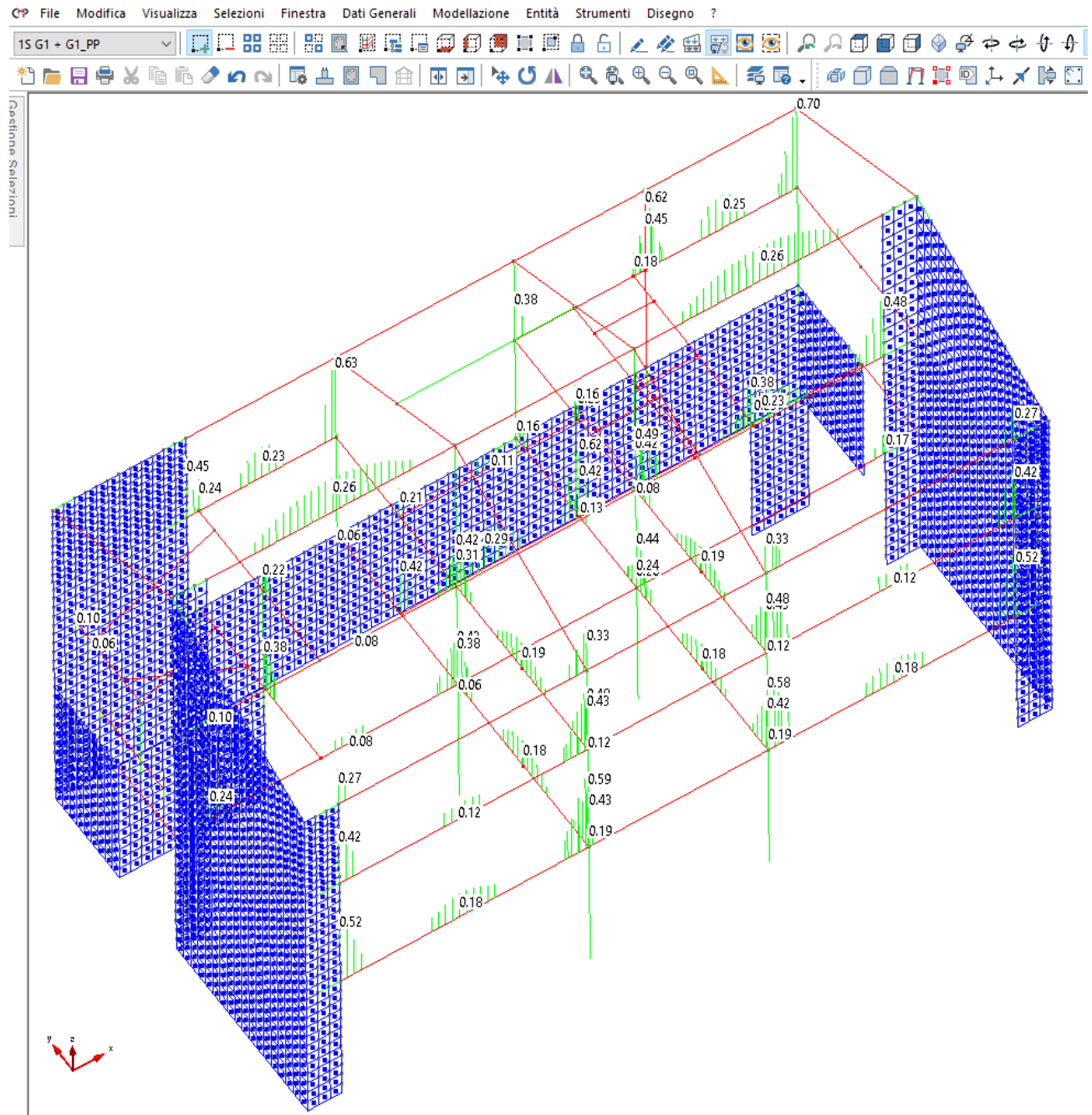
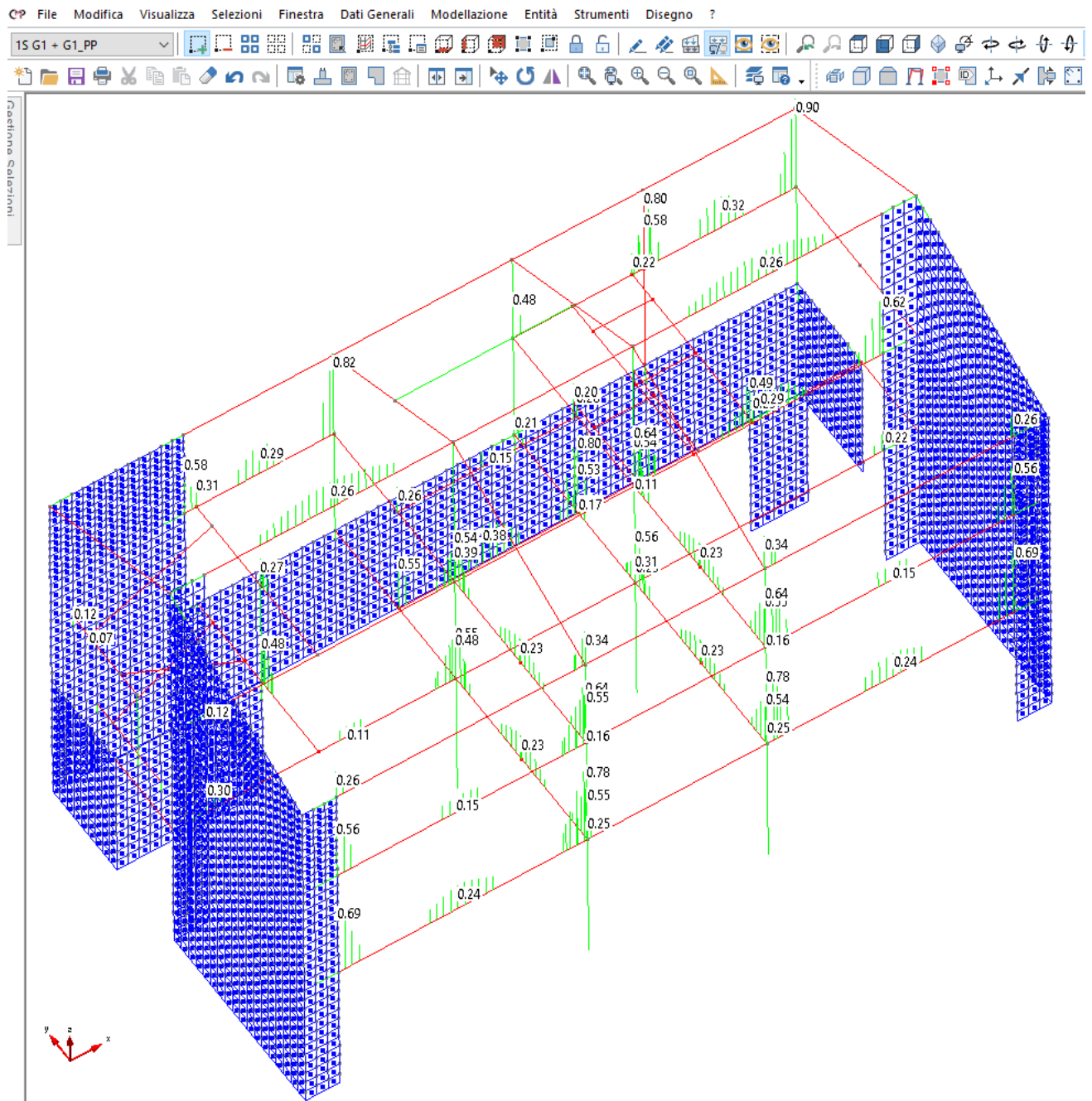


Figura 92 – SLE FREQUENTE – Apertura delle fessure - Coefficiente di sfruttamento.



**Figura 93 – SLE QUASI PERMANENTE – Apertura delle fessure - Coefficiente di sfruttamento.**

## 2.9.4 Strutture di fondazione

### 2.9.4.1 Verifiche alle tensioni

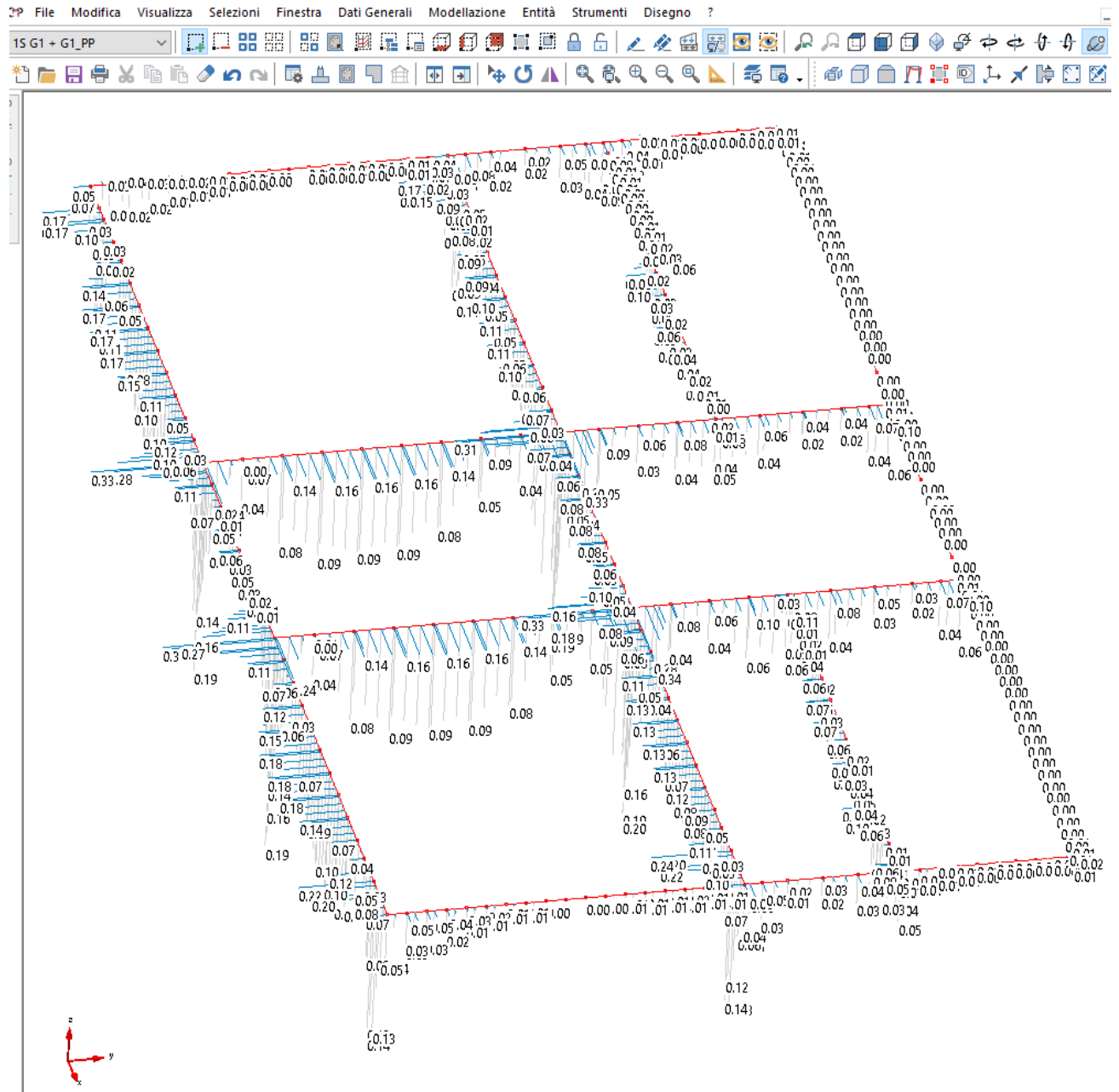


Figura 94 – SLE RARA – Tensioni calcestruzzo e acciaio- Coefficiente di sfruttamento.

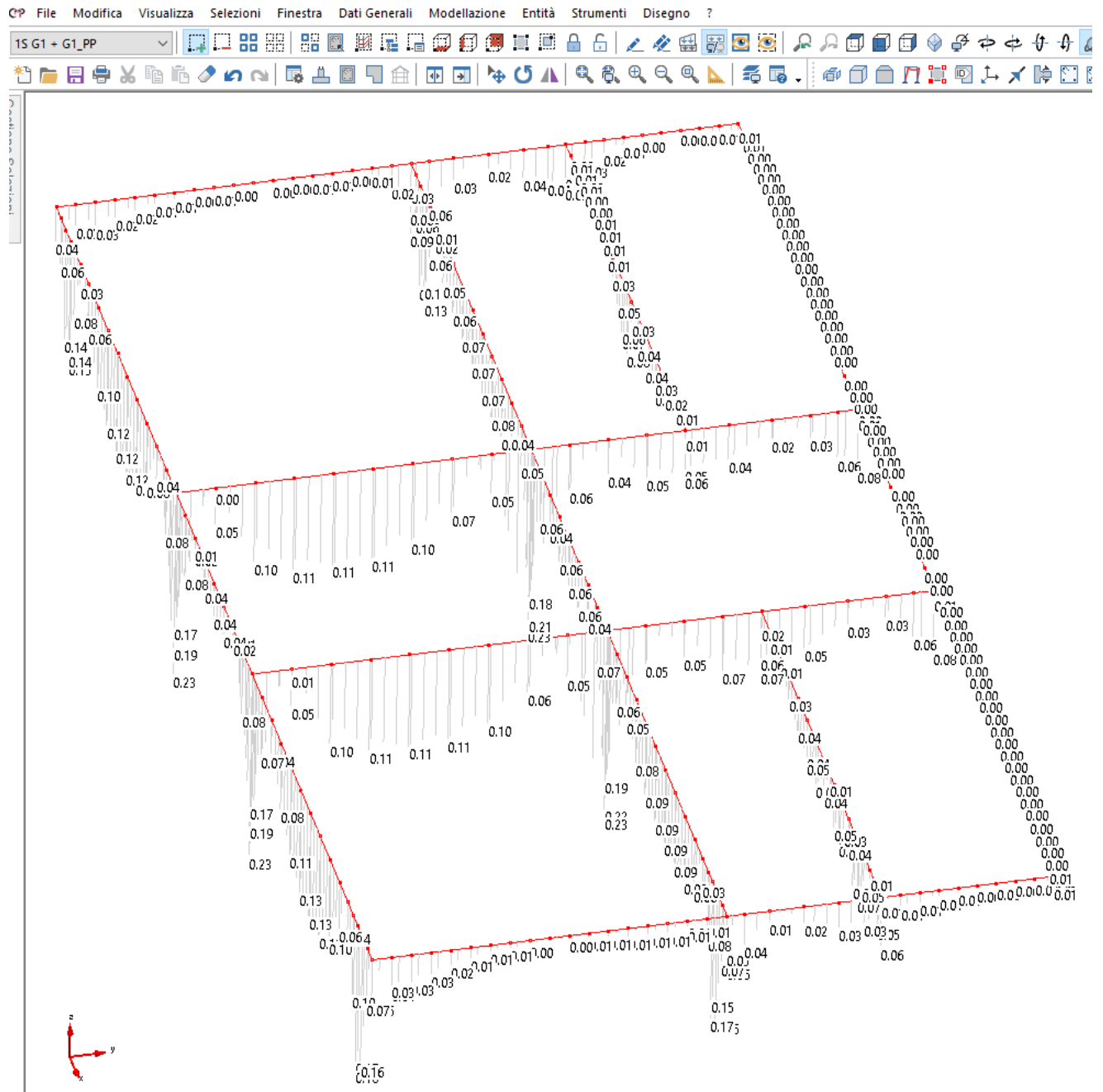


Figura 95 – SLE QUASI PERMANENTE – Tensioni calcestruzzo - Coefficiente di sfruttamento.

### 2.9.4.2 Verifiche a fessurazione

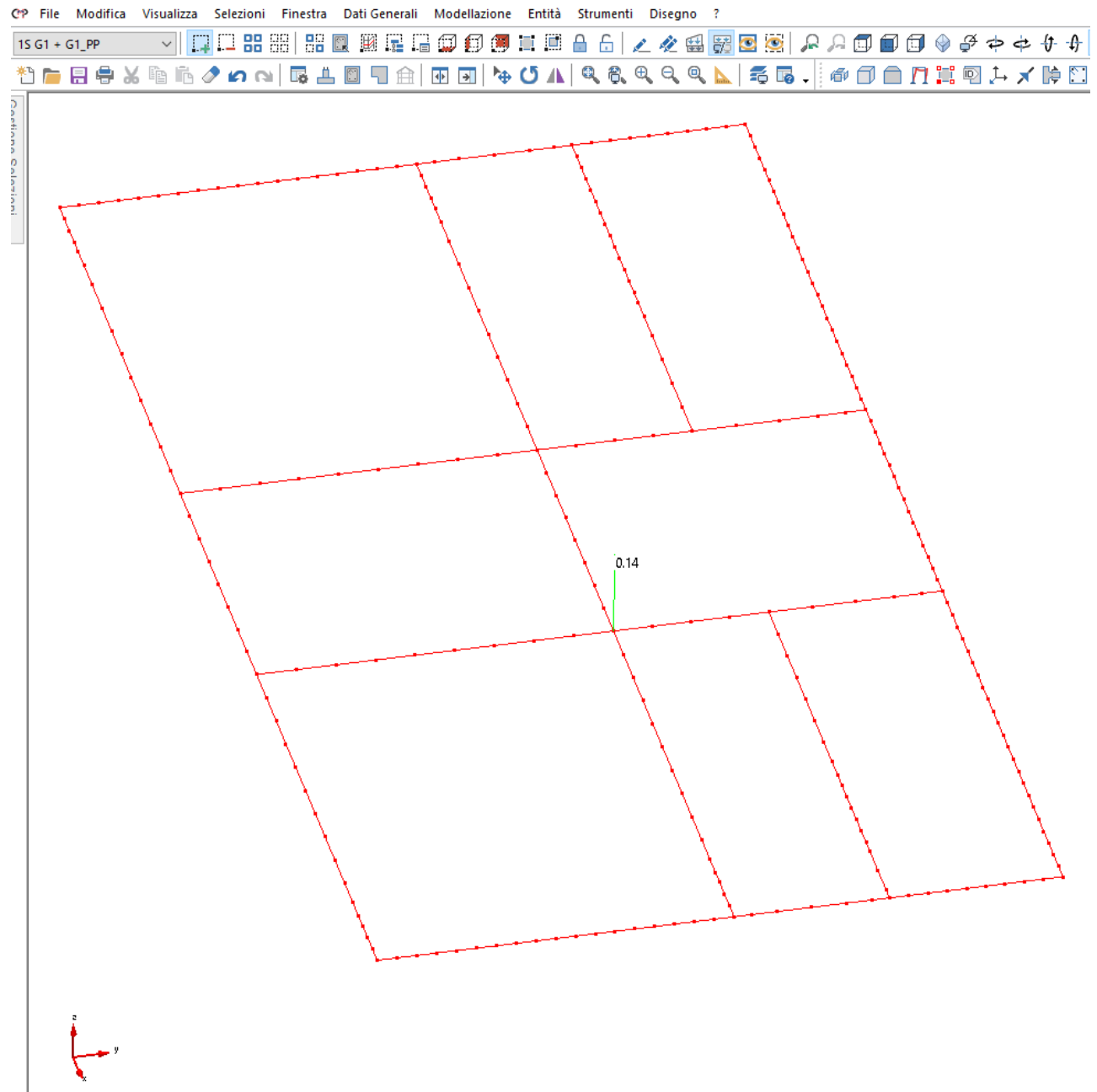
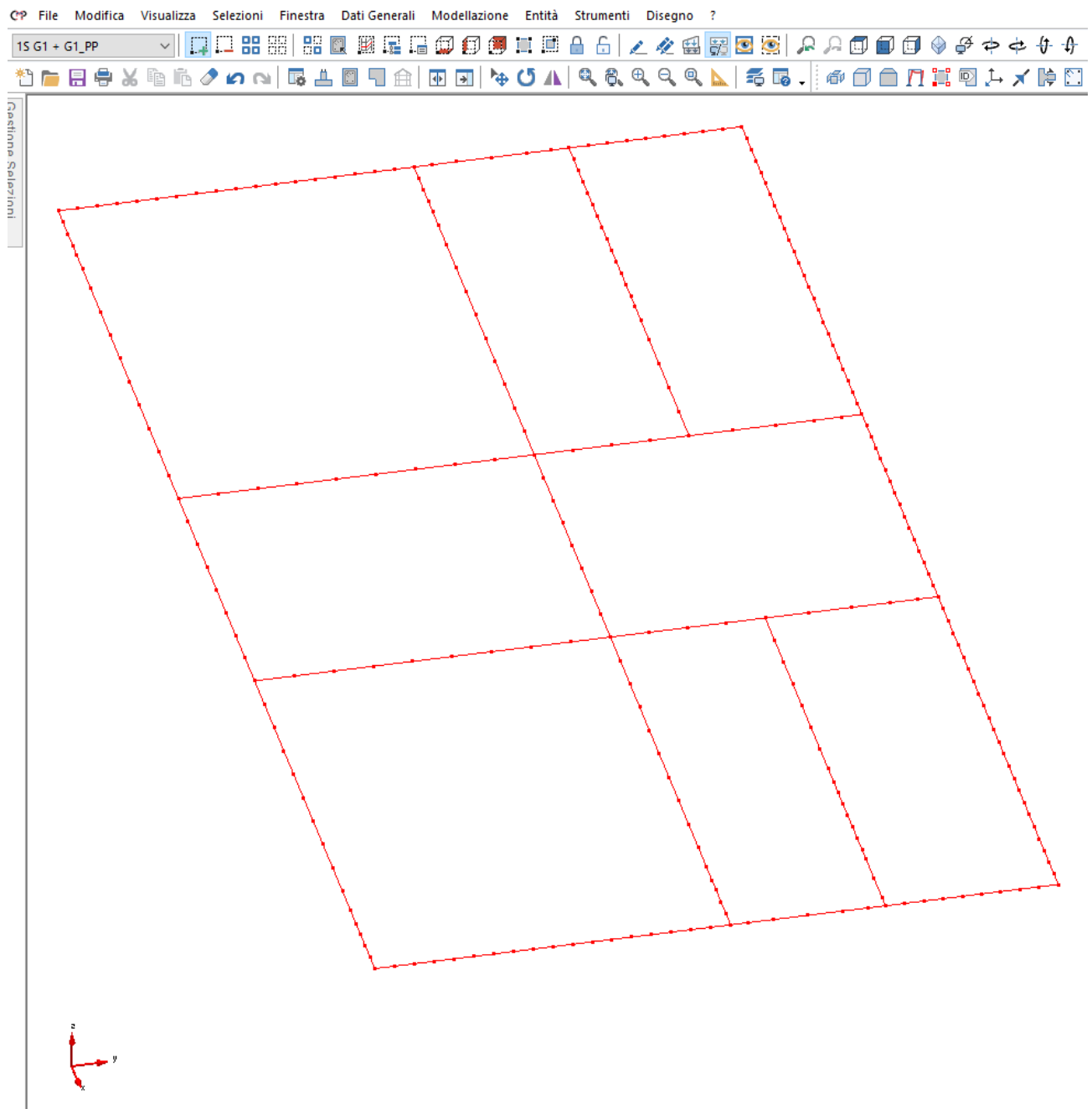


Figura 96 – SLE FREQUENTE – Apertura delle fessure - Coefficiente di sfruttamento.



**Figura 97 – SLE QUASI PERMANENTE – Apertura delle fessure - Coefficiente di sfruttamento.**

### 3 Relazione sui materiali

#### 3.1 Elenco dei materiali impiegati e loro modalità di posa in opera

##### 3.1.1 Strutture di fondazione e in elevazione

- Calcestruzzo Classe C32/40 \_ Strutture di fondazione e in elevazione
- Acciaio per c.a. B450C
- Legno Lamellare GL24h
- Acciaio laminato a caldo (di uso generale) **S235**
- Bulloni (UNI EN ISO 898-1:2001) **Ad alta resistenza Vite 8.8 – Dado 8**
- Resina di ancoraggio acciaio-clc tipo HILTI HIT-HY200 o equivalente certificata per applicazioni in zona sismica.

#### 3.2 Valori di calcolo

##### 3.2.1 Calcestruzzo \_ Strutture in fondazione e in elevazione

Materiali

Nome del Materiale: Cls C32/40

Materiale Isotropo  Materiale Ortotropo

mod. Elas	N/mm <sup>2</sup>	33345.764463
Alfa	1/°C	1e-05
v		0.2
G	N/mm <sup>2</sup>	13894.068526
Peso Specif.	kN/m <sup>3</sup>	25

Parametri secondo Normativa

Tipologia del materiale: Calcestruzzo

Database materiali... Elimina Rinomina Salva Chiudi



Tipo di materiale: CIs C32/40

Generale
  Calcestruzzo
  Acciaio da Carpenteria
  Acciaio per armature
  Legno
  XLam

Rck  N/mm<sup>2</sup>    fck  N/mm<sup>2</sup>     $\alpha_{cc}$       Materiale esistente  
 fctm  N/mm<sup>2</sup>    fctk  N/mm<sup>2</sup>     $\alpha_{ct}$

fm  N/mm<sup>2</sup>    FC

Legame costitutivo del  
 ~Parabola Rettangolo

SLU comp    SLU traz    SLU Eccezz  
 $\gamma_M$       $\gamma_M$       $\gamma_M$

Coeff.per pressofless.  x fcd

fcd  N/mm<sup>2</sup>  
 fctd  N/mm<sup>2</sup>

Modifica legame costitutivo

Resistenza a trazione per Pushover  
 Auto FT  N/mm<sup>2</sup>

Verifiche SLE

No resist. comp     No resist. traz  
 Aggiorna proprietà meccaniche

$\epsilon_{yd}$    
 $\epsilon_{ud}$

Parametri verifiche DM'18

### 3.2.2 Acciaio per c.a.

Materiali

Nome del Materiale

Materiale Isotropo     Materiale Ortotropo

mod. Elas N/mm<sup>2</sup>   
 Alfa 1/°C   
 ν   
 G N/mm<sup>2</sup>   
 Peso Specif. kN/m<sup>3</sup>

Parametri secondo Normativa

Tipologia del materiale

**Tipo di Materiali**

Generale Calcestruzzo **Acciaio da Carpenteria** Acciaio per Armature Legno XLam

fyk  N/mm<sup>2</sup> fu  N/mm<sup>2</sup>  materiale esistente

Aderenza Migliorata  $\epsilon_{ud}$   Legame Costitutivo del materiale:  
~Bilatera Acciaio

fm  N/mm<sup>2</sup> FC

Verifiche SLU

	SLU comp	SLU traz	SLU Eccez
$\gamma_M$	<input type="text" value="1.15"/>	<input type="text" value="1.15"/>	<input type="text" value="1"/>
fd Compres.	<input type="text" value="391.304347826"/> N/mm <sup>2</sup>		
fd Trazione	<input type="text" value="391.304347826"/> N/mm <sup>2</sup>		

Modifica Legame Costitutivo

Verifiche SLE

No Resist.Comp  No Resist.Traz

Aggiorna Prop.Meccaniche

### 3.2.3 Legno Lamellare

**Materiali**

Nome del Materiale

Materiale Isotropo  Materiale Ortotropo

mod. Elas N/mm<sup>2</sup>

Alfa 1/°C

$\nu$

G N/mm<sup>2</sup>

Peso Specif. kN/m<sup>3</sup>

Parametri secondo Normativa

Tipologia del materiale

Database materiali...

Elimina Rinomina Salva Chiudi

Tipo di Materiali

Generale Calcestruzzo Acciaio da Carpenteria Acciaio per Armature Legno XLam

Tipo: Lamellare incollato  $f_{m,k}$  24 N/mm<sup>2</sup>

Classe di servizio 2  $f_{t,0,k}$  19.2 N/mm<sup>2</sup>

Coeff. parziale sl<sub>u</sub> ord 1.45  $f_{t,90,k}$  0.5 N/mm<sup>2</sup>

Coeff. parziale sl<sub>u</sub> ecc 1  $f_{c,0,k}$  24 N/mm<sup>2</sup>

Coeff. di comportamento, k<sub>mod</sub>:  $f_{c,90,k}$  2.5 N/mm<sup>2</sup>

cl. durata permanente 0.6  $f_{v,k}$  3.5 N/mm<sup>2</sup>

cl. durata lunga 0.7  $f_{v,r,k}$  1.2 N/mm<sup>2</sup>

cl. durata media 0.8  $f_{v,b,k}$  3.5 N/mm<sup>2</sup>

cl. durata breve 0.9  $E_{0,k}$  9600 N/mm<sup>2</sup>

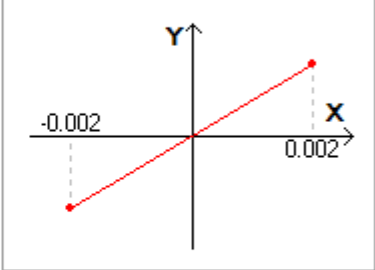
cl. durata istantanea 1.1  $E_{90,m}$  300 N/mm<sup>2</sup>

Coeff. deform. diff., k<sub>def</sub> 0.8  $\rho_{o,k}$  0.3849110 t/m<sup>3</sup>

Considera coeff. kh

Considera coeff. k<sub>cr</sub> con NTC 2008

Legame Costitutivo del materiale:  
~Lineare



Modifica Legame Costitutivo

No Resist.Comp  No Resist.Traz

Aggiorna Prop.Meccaniche

### 3.2.4 Acciaio laminato S235

- Tensione caratteristica di rottura  $f_{tk} = 360 \text{ N/mm}^2$
- Tensione caratteristica di snervamento  $f_{yk} = 235 \text{ N/mm}^2$
- Coefficiente di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità  $\gamma_{M0} = 1,05$
- Tensione di progetto di snervamento  $f_{yd} = 224 \text{ N/mm}^2$

### 3.2.5 Bulloni ad alta resistenza Vite 8.8

- Tensione caratteristica di rottura  $f_{tb} = 800 \text{ N/mm}^2$
- Tensione caratteristica di snervamento  $f_{yb} = 640 \text{ N/mm}^2$
- Coefficienti di sicurezza per la verifica delle unioni  $\gamma_{M2} = 1,25$
- Tensione di progetto di snervamento  $f_{yd} = 512 \text{ N/mm}^2$

### 3.2.6 Prescrizioni relative alla durabilità dei materiali

#### 3.2.6.1 Strutture in c.a.- Fondazione

Con riferimento al calcestruzzo per le strutture di fondazione si definiscono le specifiche di progetto atte a soddisfare i requisiti di durabilità secondo il §4.1.6.1.3 del DM 17/1/2018

- Calcestruzzo per strutture di fondazione e di elevazione
  - Classe di esposizione: XC2 (Ambiente ordinario §C4.1.IV)
  - Diametro massimo aggregato  $\Phi_{agg} = 32 \text{ mm}$
  - Classe di consistenza S4
  - Copriferro minimo  $c_{min} = 40 \text{ mm}$

### **3.2.6.2 Strutture in c.a.- Elevazione**

Con riferimento al calcestruzzo per le strutture di fondazione si definiscono le specifiche di progetto atte a soddisfare i requisiti di durabilità secondo il §4.1.6.1.3 del DM 17/1/2018

- Calcestruzzo per strutture di fondazione e di elevazione
  - Classe di esposizione: XC3 (Ambiente ordinario §C4.1.IV)
  - Diametro massimo aggregato  $\Phi_{agg} = 20 \text{ mm}$
  - Classe di consistenza S4
  - Copriferro minimo  $c_{min} = 25 \text{ mm}$

### **3.2.6.3 Strutture in acciaio**

Con riferimento alle strutture di acciaio laminato si prescrivono trattamenti protettivi tipo zincatura o equivalenti.

## **4 Elaborati grafici esecutivi e particolari costruttivi**

Vedi tavole allegate.

## 5 Piano di manutenzione della parte strutturale dell'opera.

### 5.1 Attività di manutenzione dell'intervento.

Si riportano in seguito, le attività di manutenzione al fine di mantenerne nel tempo la funzionalità, le caratteristiche di qualità, l'efficienza ed il valore economico delle opere strutturali.

#### 5.1.1 Strutture in cemento armato

Ispezioni e modalità di controllo	Interventi di manutenzione possibili	Periodicità
<ul style="list-style-type: none"><li>• Ispezionare i manufatti e controllare:</li><li>• Eventuali fenomeni di deterioramento e di degrado dei materiali;</li><li>• Eventuali fenomeni di dissesto delle strutture dovuti a cedimenti differenziali;</li><li>• Presenza di un quadro fessurativo che esuli dalle normali fessure dovute al ritiro del calcestruzzo in fase di maturazione;</li><li>• Presenza di distacchi di parte superficiale delle opere in calcestruzzo che comportino l'esposizione all'ambiente aggressivo dei ferri di armatura;</li><li>• Presenza di fenomeni di risalita dell'umidità;</li><li>• Presenza di avvallamenti della superficie di calpestio;</li><li>• Presenza di eccesso di vibrazioni o emissioni sonore delle strutture sotto carico.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Riparazioni localizzate superficiali delle parti strutturali, da effettuare anche con materiali speciali;</li><li>• Ripristino di parti strutturali in calcestruzzo armato da eseguire anche con materiali speciali;</li><li>• Protezione dei calcestruzzi da azione disgreganti (gelo, Sali solventi, ambiente aggressivo, ecc.) con eventuale applicazione di film protettivi;</li><li>• Protezione delle armature da azioni disgreganti (gelo, ambiente aggressivo, ecc.);</li><li>• Consultare un tecnico abilitato in caso di quadro fessurativo in rapida evoluzione o interventi che vadano a variare dimensioni strutturali o carichi applicati.</li></ul>	2 anni

### 5.1.2 Strutture di acciaio.

Ispezioni e modo di controllo	Interventi di manutenzione possibili	Periodicità
<ul style="list-style-type: none"><li>• Eventuali fenomeni di deterioramento e di degrado dei materiali;</li><li>• Eventuali fenomeni di dissesto delle strutture dovuti a cedimenti differenziali;</li><li>• Presenza di un quadro fessurativo e/o deformazioni permanenti;</li><li>• Presenza di fenomeni di corrosione;</li><li>• Presenza di avvallamenti della superficie di calpestio;</li><li>• Presenza di eccesso di vibrazioni o emissioni sonore delle strutture sotto carico.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Riparazioni localizzate superficiali delle parti strutturali, da effettuare anche con materiali speciali;</li><li>• Ripristino e/o sostituzione delle parti danneggiate dalla corrosione;</li><li>• Consultare un tecnico abilitato in caso di quadro fessurativo e/o deformativo in rapida evoluzione o interventi che vadano a variare dimensioni strutturali o carichi applicati.</li></ul>	<b>2 anni</b>

### 5.1.3 Strutture di legno lamellare

Ispezioni e modalità di controllo	Interventi di manutenzione possibili	Periodicità
<ul style="list-style-type: none"><li>• Ispezionare i manufatti e controllare:</li><li>• Eventuali fenomeni di deterioramento e di degrado dei materiali;</li><li>• Eventuali fenomeni di dissesto delle strutture dovuti a cedimenti differenziali;</li><li>• Presenza di un quadro fessurativo sulle travi e arcarecci di legno lamellare;</li><li>• Stato delle carpenterie di acciaio, delle passivazioni e delle eventuali pitture intumescenti;</li><li>• Presenza di eccesso di vibrazioni o emissioni sonore. delle strutture</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ripresa della passivazioni delle carpenterie in acciaio;</li><li>• Consultare ditta fornitrice opere in legno lamellare o ditta specializzata per interventi di ripristino o sostituzione di parti ammalorate</li><li>• Consultare tecnico abilitato in caso di quadro fessurativo/deformativo in rapida evoluzione o interventi che vadano a variare dimensioni strutturali o carichi applicati.</li></ul>	<b>2 anni</b>

- sotto carico;
- Presenza di eventuali infiltrazioni dalla copertura.

## **5.2 Ulteriori prescrizioni comuni a tutti i tipi di strutture.**

L'esito di ogni ispezione deve formare oggetto di uno specifico rapporto da conservare insieme alla relativa documentazione tecnica. A conclusione di ogni ispezione, inoltre, il tecnico incaricato deve, se necessario, indicare gli eventuali interventi a carattere manutentorio da eseguire ed esprimere un giudizio riassuntivo sullo stato d'opera.

**Tale verifica si dovrà fare obbligatoriamente a seguito di eventi eccezionali quali uragani, trombe d'aria, terremoti, esplosioni, urti, ecc, oppure a seguito di un cambio di destinazione d'uso qualora comporti un incremento di carico non previsto in fase di progetto.**



## 6 Relazioni specialistiche sui risultati sperimentali.

### 6.1 Relazione geologica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione geologica del sito.

Le caratteristiche geologiche del terreno adottate nella progettazione e nelle verifiche, si deducono a partire da "RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA" e successiva "INTEGRAZIONE", a firma del dott. Geol. Paolo Calicetti.

### 6.2 Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno.

Le caratteristiche geotecniche del terreno adottate nella progettazione e nelle verifiche, si deducono a partire da "RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA" e successiva "INTEGRAZIONE", a firma del dott. Geol. Paolo Calicetti..

Si riportano di seguito le caratteristiche della successione geotecnica del terreno, estrapolata da relazione geologica:

<u>Profondità da P.C (m)</u>	<u>Descrizione materiale</u>	<u>Parametri</u>	
<u>STRATO 1</u>  P.C- 0,8 m	Terreno vegetale e argille debolmente limose moderatamente consistenti.	<u>RD</u>	32,4 kg/cm <sup>3</sup> = 3177 kN/m <sup>3</sup>
		<u>Cu</u>	0,47 kg/cm <sup>3</sup> = 46 kN/m <sup>3</sup>
		<u>Cu<sub>s</sub></u>	0,25 kg/cm <sup>3</sup> = 24,1 kN/m <sup>3</sup>
		<u>Ang. attrito</u>	24,6°
		<u>Ang. Attrito<sub>s</sub></u>	-
		<u>C'</u>	0,05 kg/cm <sup>3</sup> = 5 kN/m <sup>3</sup>
		<u>NSPT</u>	4,8
		<u>ME</u>	59,7 Kg/cm <sup>2</sup> = 5854 kN/m <sup>2</sup>
		<u>ME<sub>s</sub></u>	34,9 Kg/cm <sup>2</sup> = 3422 kN/m <sup>2</sup>
		<u>Mod. young</u>	47,8 Kg/cm <sup>2</sup> = 4687 kN/m <sup>2</sup>
		<u>γ<sub>d</sub></u>	17 kN/m <sup>3</sup> = 1733 kg/m <sup>3</sup>
		<u>γ<sub>s</sub></u>	19 kN/m <sup>3</sup> = 1937 kg/m <sup>3</sup>
		<u>Mod. Poisson</u>	0,33
		<u>Kh</u>	1 kg/cm <sup>3</sup>
		<u>Ko</u>	2 kg/cm <sup>3</sup>

<b>STRATO 2</b> 0,8-2,2 m da P.C	Limi argillosi consistenti	<u>RD</u>	80,6 kg/cm <sup>2</sup> = 7904 kN/m <sup>2</sup>
		<u>Cu</u>	1,26 kg/cm <sup>2</sup> = 123,5 kN/m <sup>2</sup>
		<u>Cu<sub>s</sub></u>	0,78 kg/cm <sup>2</sup> = 77,2 kN/m <sup>2</sup>
		<u>Ang. attrito</u>	27,6°
		<u>Ang. Attrito<sub>s</sub></u>	23°
		<u>C'</u>	0,13 kg/cm <sup>2</sup> = 12 kN/m <sup>2</sup>
		<u>NSPT</u>	13
		<u>ME</u>	132 Kg/cm <sup>2</sup> = 12944 kN/m <sup>2</sup>
		<u>ME<sub>s</sub></u>	51,4 Kg/cm <sup>2</sup> = 5042 kN/m <sup>2</sup>
		<u>Mod. young</u>	128 Kg/cm <sup>2</sup> = 12552 kN/m <sup>2</sup>
		<u>γ<sub>d</sub></u>	20 kN/m <sup>3</sup> = 2039 kg/m <sup>3</sup>
		<u>γ<sub>s</sub></u>	22 kN/m <sup>3</sup> = 2243 kg/m <sup>3</sup>
		<u>Mod. Poisson</u>	0,30
		<u>Kh</u>	2,5 kg/cm <sup>3</sup>
<u>Ko</u>	5 kg/cm <sup>3</sup>		

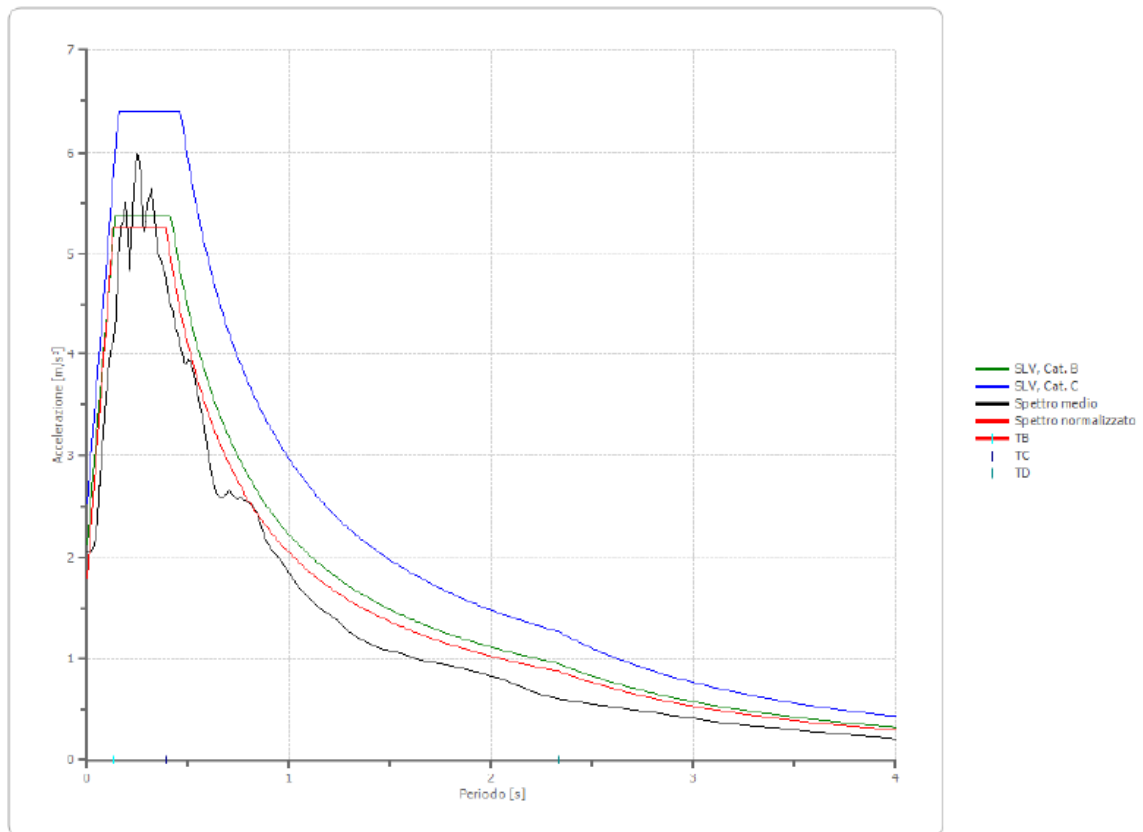
<b>STRATO 3</b> 2,2- 6,8 m da P.C	Marne argillose e intercalazioni arenacee alterate estremamente consistenti	<u>RD</u>	93,8 kg/cm <sup>2</sup> = 9198 kN/m <sup>2</sup>
		<u>Cu</u>	1,8 kg/cm <sup>2</sup> = 176,5 kN/m <sup>2</sup>
		<u>Cu<sub>s</sub></u>	0,97 kg/cm <sup>2</sup> = 95,2 kN/m <sup>2</sup>
		<u>Ang. attrito</u>	30°
		<u>Ang. Attrito<sub>s</sub></u>	23°
		<u>C'</u>	0,18 kg/cm <sup>2</sup> = 17 kN/m <sup>2</sup>
		<u>NSPT</u>	18,7
		<u>ME</u>	192 Kg/cm <sup>2</sup> = 18828 kN/m <sup>2</sup>
		<u>ME<sub>s</sub></u>	57 Kg/cm <sup>2</sup> = 5590 kN/m <sup>2</sup>
		<u>Mod. young</u>	186 Kg/cm <sup>2</sup> = 18240 kN/m <sup>2</sup>
		<u>γ<sub>d</sub></u>	20 kN/m <sup>3</sup> = 2039 kg/m <sup>3</sup>
		<u>γ<sub>s</sub></u>	22 kN/m <sup>3</sup> = 2243 kg/m <sup>3</sup>
		<u>Mod. Poisson</u>	0,29
		<u>Kh</u>	5 kg/cm <sup>3</sup>
<u>Ko</u>	9 kg/cm <sup>3</sup>		
<b>Legenda:</b>	γ <sub>s</sub> , γ <sub>d</sub> - Peso specifico saturo e drenato; RD- Resistenza dinamica; Cu, C'- coesione non drenata e drenata (Shertmann); Angolo d'attrito (De Mello); ME- Modulo edometrico, Kh coefficiente Winkler verticale, Ko coefficiente di Winkler orizzontale (Pazzati, Bowles); k indica il valore caratteristico del parametro dove è stato possibile calcolarlo.		

Tab.5- Vengono riassunti i parametri geotecnici delle DPSH.

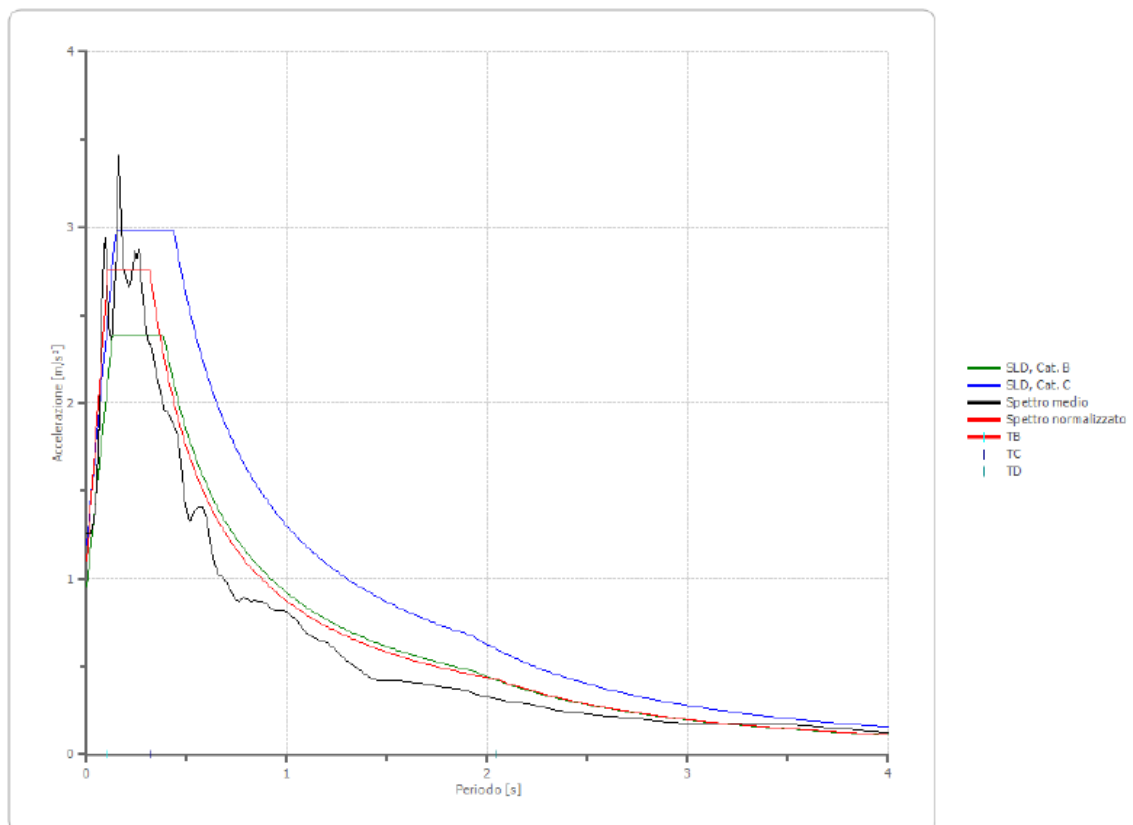
### 6.3 Relazione sulla modellazione sismica concernente la “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione.

Per la modellazione dell'azione sismica relativa al sito d'interesse, è stato valutato lo spettro di risposta calcolato con analisi di III livello relativo al sito d'intervento, come sotto indicato:

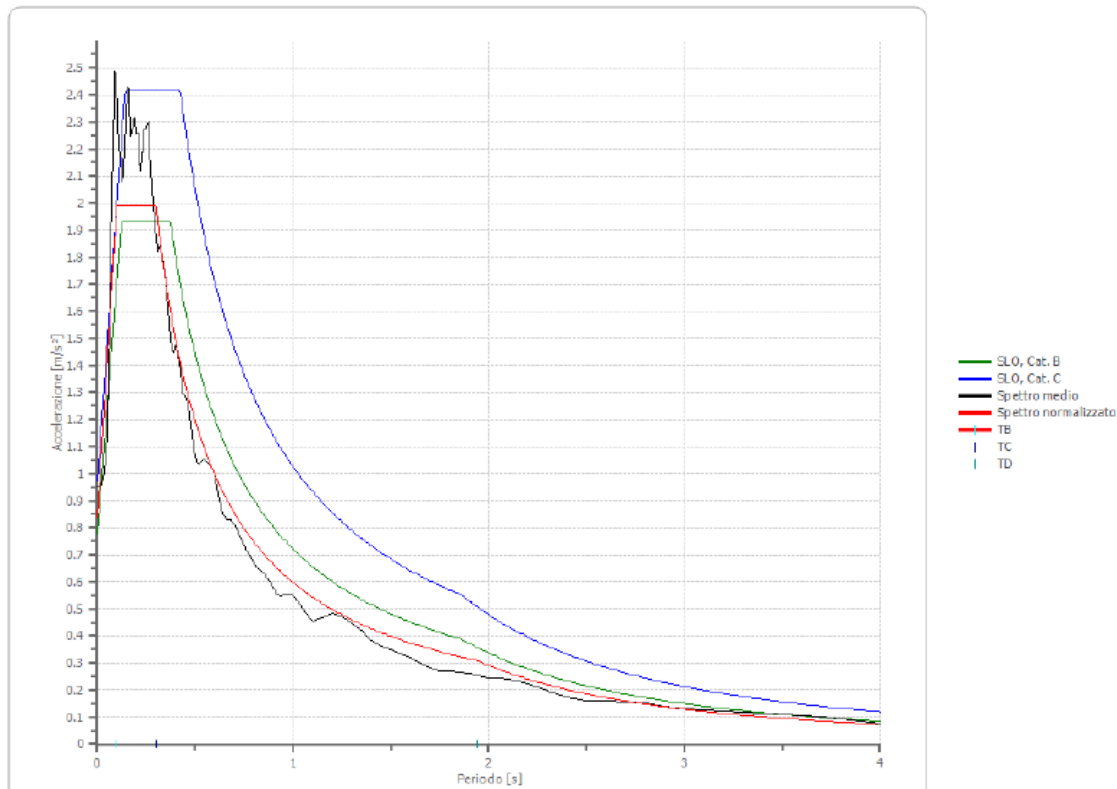
### STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA:



### STATO LIMITE DI DANNO:



## STATO LIMITE DI OPERATIVITA':



Si ritiene, vista la particolare conformazione della costruzione oggetto della presente relazione e la particolare forma degli spettri di risposta, che sia plausibile determinare con un accettabile livello di approssimazione e di sicurezza l'azione sismica con approccio semplificato; si determinano i parametri dalla classificazione del sottosuolo e con l'individuazione, mediante apposite tabelle fornite dalla normativa, del coefficiente di amplificazione stratigrafica  $SS$ , del coefficiente di amplificazione topografica  $ST$  nonché del coefficiente  $CC$  che modifica il periodo  $TC$  e di conseguenza gli altri periodi notevoli dello spettro (NTC 2018, §3.2.2-3)

In particolare sono stati considerati:

DM 2018

Categoria suolo fondazione:

C ▾

Categoria topografica

2 ▾

## **7 Allegati**

### **7.1 ALLEGATO A - Verifiche di capacità portante e dei cedimenti.**

Si fa riferimento all'appendice alla presente relazione per le verifiche in allegato.

## 7.2 ALLEGATO B - Verifiche dei solai a lastre di piano

### SOLAIO A LASTRE 5+20+5 cm

	h cm	base cm	interasse cm	$\gamma$ kN/mc	Carico kN/mq
TRAVETTI	20	10	50	25	1,00
PIGNATTE	20	40	50	4	0,65
CALDANA STRUTTURALE	10			25	2,50
				G1	4,15
MASSETTO	7			14	0,98
CALDANA ADDITTIVATA PER PANNELLI RADIANTI	7			3	0,21
PAVIMENTO IN LINOLEUM	1			-	0,06
INCIDENZA TRAMEZZI					0,40
	45			G2	1,65
				G1+G2	5,80

Si fa riferimento alla presente tabella per il dimensionamento dei solai di piano.

### SOLAIO A LASTRA TRALICCATA INTERASSE 120 cm - REI 120

VALORI DI TABELLA CALCOLATI CON:  
Calcestruzzo C25/30  
Classe di esposizione XC1

						Armatura integrativa																		
						TRALICCIO CENTRALE	TRALICCIO LATERALE	TRALICCIO CENTRALE	TRALICCIO LATERALE	TRALICCIO CENTRALE	TRALICCIO LATERALE	TRALICCIO CENTRALE	TRALICCIO LATERALE	TRALICCIO CENTRALE	TRALICCIO LATERALE	TRALICCIO CENTRALE	TRALICCIO LATERALE	TRALICCIO CENTRALE	TRALICCIO LATERALE					
						1φ6	(2*)1φ6	1φ10	(2*)1φ10	1φ12	(2*)1φ12	2φ10	(2*)1φ12	2φ12	(2*)2φ10	2φ14	(2*)2φ12	2φ16	(2*)2φ14	2φ18	(2*)2φ16	2φ20	(2*)2φ18	
Spessore lastra	Altezza polistirolo	Spessore soletta	Altezza solaio	Peso solaio	Volume cis getto in opera (lt/mq)	MOMENTI POSITIVI ULTIMI (riferiti ad una striscia di solaio larga 1,00 metro)																		
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[daN/mq]	[lt/mq]	[daNm]	[daNm]	[daNm]	[daNm]	[daNm]	[daNm]	[daNm]	[daNm]	[daNm]	[daNm]	[daNm]	[daNm]	[daNm]	[daNm]	[daNm]	[daNm]	[daNm]	[daNm]	
4	12	4	20	300	80	-	-	1379	1935	2687	3699	4627	6044	7270										
		5	21	325	90	-	-	1474	2074	2891	4003	5258	6633	8104										
5	12	4	21	325	90	-	-	1379	1935	2687	3699	4627	6044	7270										
		5	22	350	90	-	-	1474	2074	2891	4003	5258	6633	8104										
4	14	4	22	317	87	-	-	1555	2185	3039	4195	5490	6900	8343										
		5	23	342	97	-	-	1649	2324	3244	4479	5922	7490	9178										
5	14	4	23	342	97	-	-	1555	2185	3039	4195	5490	6900	8343										
		5	24	367	97	-	-	1649	2324	3244	4499	5922	7490	9178										
4	16	4	24	333	93	-	-	1731	2435	3391	4691	6154	7757	9418										
		5	25	358	103	-	-	1826	2574	3596	4995	6586	8346	10251										
5	16	4	25	358	93	-	-	1731	2435	3391	4691	6154	7757	9418										
		5	26	383	103	-	-	1826	2574	3596	4995	6586	8346	10251										
4	18	4	26	350	100	-	-	1907	2685	3744	5187	6818	8613	10491										
		5	27	375	110	-	-	2002	2824	3949	5491	7250	9203	11225										
5	18	4	27	375	100	-	-	1907	2685	3744	5187	6818	8613	10491										
		5	28	400	110	-	-	2002	2824	3949	5491	7250	9203	11225										
4	20	4	28	347	107	-	-	2083	2935	4094	5683	7481	9469	11644										
		5	29	392	117	-	-	2177	3073	4301	5987	7914	10059	12398										
5	20	4	29	392	107	-	-	2083	2935	4094	5683	7481	9469	11644										
		5	30	417	117	-	-	2177	3073	4301	5987	7914	10059	12398										
4	22	4	30	383	113	-	-	2259	3185	4449	6179	8145	10326	12638										
		5	31	408	123	-	-	2353	3323	4653	6482	8577	10916	13472										
5	22	4	31	408	113	-	-	2259	3185	4449	6179	8145	10326	12638										
		5	32	433	123	-	-	2353	3323	4653	6482	8577	10916	13472										
4	24	4	32	400	120	-	-	2435	3434	4801	6675	8809	11182	13711										
		5	33	425	130	-	-	2529	3572	5006	6979	9241	11773	14544										
5	24	4	33	425	120	-	-	2435	3434	4801	6675	8809	11182	13711										
		5	34	450	130	-	-	2529	3572	5006	6979	9241	11773	14544										
4	30	4	38	450	140	-	-	2942	4183	5859	8142	10800	13751	16932										
		5	39	475	150	-	-	3056	4321	6062	8466	11233	14342	17764										
5	30	4	39	475	140	-	-	2942	4183	5859	8142	10800	13751	16932										
		5	40	500	150	-	-	3056	4321	6062	8466	11233	14342	17764										

armatura a momento negativo di una lastra da 120 cm:									
Spessore lastra [cm]	Altezza polistirolo [cm]	Spessore soletta [cm]	Altezza soletta [cm]	Peso soletta [daN/mq]	Volume cis getto in opera [l/mq]	348		3410	
						[daN/m]	[daNm]	[daN/m]	[daNm]
4	12	4	20	300	80	878			
4	12	5	21	325	90	927			
5	12	4	21	325	80	927			
5	12	5	22	350	90	976			
4	14	4	22	317	87	976			
5	14	5	23	342	97	1025			
4	14	4	23	342	87	1025			
4	16	4	24	333	93	1074			
4	16	5	25	358	103	1123			
5	16	4	25	358	93	1123			
5	16	5	26	383	103	1172			
4	18	4	26	350	100	1172			
5	18	5	27	375	110	1221			
4	18	4	27	375	100	1221			
4	18	5	28	400	110	1270			
4	20	4	28	367	107	1270			
4	20	5	29	392	117	1319			
5	20	4	29	392	107	1319			
5	20	5	30	417	117	1368			
4	22	4	30	383	113	1368			
4	22	5	31	408	123	1417			
5	22	4	31	408	113	1417			
5	22	5	32	433	123	1466			
4	24	4	32	400	120	1466			
5	24	5	33	425	130	1515			
4	24	4	33	425	120	1515			
5	24	5	34	450	130	1564			
4	30	4	38	450	140	1761			
5	30	5	39	475	150	1810			
5	30	4	39	475	140	1810			
5	30	5	40	500	150	1859			

MOMENTI NEGATIVI ULTIMI (riferiti ad una									
3412	348 + 3410	4410	3410 + 3412	4412	3412 + 3414				
[daNm]	[daNm]	[daNm]	[daNm]	[daNm]	[daNm]				
1953	2217	2688	3256	3816	4467				
2063	2342	2841	3443	4037	4729				
2063	2342	2841	3443	4037	4729				
2174	2469	2995	3631	4258	4990				
2174	2469	2995	3631	4258	4990				
2284	2595	3149	3818	4480	5251				
2284	2595	3149	3818	4480	5251				
2394	2720	3302	4006	4701	5512				
2394	2720	3302	4006	4701	5512				
2505	2846	3456	4193	4923	5773				
2505	2846	3456	4193	4923	5773				
2616	2972	3610	4381	5143	6034				
2616	2972	3610	4381	5143	6034				
2726	3098	3763	4568	5365	6296				
2726	3098	3763	4568	5365	6296				
2837	3224	3917	4756	5586	6557				
2837	3224	3917	4756	5586	6557				
2947	3350	4071	4943	5807	6818				
2947	3350	4071	4943	5807	6818				
3058	3476	4224	5131	6029	7079				
3058	3476	4224	5131	6029	7079				
3168	3602	4378	5318	6250	7340				
3168	3602	4378	5318	6250	7340				
3278	3727	4531	5506	6471	7602				
3278	3727	4531	5506	6471	7602				
3389	3853	4685	5693	6693	7863				
3389	3853	4685	5693	6693	7863				
3499	3979	4838	5880	6913	8124				
3499	3979	4838	5880	6913	8124				
4051	4608	5605	6817	8020	9430				
4051	4608	5605	6817	8020	9430				
4162	4733	5758	7004	8241	9692				

## 7.3 ALLEGATO C - Verifiche di strutture in legno lamellare

Si riportano di seguito la verifica di travi e travetti in legno lamellare in progetto.

### VERIFICA TRAVETTI DI COPERTURA

B x H = 100 x 240 mm

Geometria della sezione			
Forma della sezione		<b> Rettangolare </b>	
Base sezione (lungo y)	b	<b> 100 </b>	mm
Numero lamelle	n_l	<b> 6 </b>	
Altezza sezione (lungo z)	h	240	mm
Lunghezza di appoggio (su cordolo o trave di colmo)	l_app	<b> 120 </b>	mm
Area	A	24,000	mm <sup>2</sup>
Momento resistente y-y	W_yy	960,000	mm <sup>3</sup>
Momento di inerzia y-y	J_yy	115,200,000	mm <sup>4</sup>
Momento resistente z-z	W_zz	400,000	mm <sup>3</sup>
Momento di inerzia z-z	J_zz	20,000,000	mm <sup>4</sup>
Raggio di inerzia y-y	ρ_yy	69	mm
Raggio di inerzia z-z	ρ_zz	29	mm
Proprietà meccaniche caratteristiche del materiale			
Tipo di legno		<b> GL24h </b>	
		<b> LAMELLARE </b>	
Classe di servizio	Classe	<b> 2 </b>	
Flessione	f_m,k	24.0	MPa
Trazione parallela	f_t,0,k	16.5	MPa
Trazione ortogonale	f_t,90,k	0.4	MPa
Compressione parallela	f_c,0,k	24.0	MPa
Compressione perpendicolare	f_c,90,k	2.7	MPa
Taglio	f_v,k	2.7	MPa
Modulo elastico parallelo medio	E_0,m	11600	MPa
Modulo elastico parallelo caratteristico	E_0,05	9400	MPa
Modulo elastico tangenziale medio	G_mean	720	MPa
Peso specifico medio (massa volumica caratteristica)	ρ_mean	3.8	kN/m <sup>3</sup>
Coefficiente correttivo §4.4.6	k_mod, PERMANENTE	0.60	
	k_mod, BREVE DURATA	0.90	
Coefficiente di redistribuzione a flessione §4.4.8.1.6	k_m	0.70	
Fattore riduttivo modulo elastico Tab. 4.4.V	k_def	0.80	
Geometria dell'elemento			
Schema statico		<b> Appoggio - Appoggio </b>	
Pendenza	p	<b> 47% </b>	
Luce sbalzo orizzontale	a_o	<b> 0.00 </b>	m
Luce sbalzo di calcolo	a_c	0.00	m
Luce appoggio orizzontale	l_o	<b> 5.50 </b>	m
Luce appoggio di calcolo	l_c	6.38	m
Luce di influenza	i	<b> 0.80 </b>	m
Angolo di rotazione rispetto alla verticale	α	<b> 0.00 </b>	°
Rapporto tra lunghezza libera di inflex. e lunghezza geometrica	β_0	<b> 1.00 </b>	
Tensione critica per flex.	σ_m,crit,y	48	MPa
	σ_m,crit,z	664	MPa
Snell. relativa di trave	λ_rel, min	0.71	
Coeff. riduttivo di tensione critica per instabilità di trave	k_crit,m	1.00	



## Analisi dei carichi

### Analisi dei carichi al mq

Permanenti non strutturali	G2	1.00	kN/mq
Variabile Neve (a quota <= 1000 m s.l.m.)	Q	1.40	kN/mq

### Analisi dei carichi al m

Peso Proprio	G1_PP	0.09	kN/m
Permanenti non strutturali	G2	0.80	kN/m
Variabile Neve (a quota <= 1000 m s.l.m.)	Q	1.01	kN/m

## Coefficienti parziali

Coefficiente parziale sul materiale	$\gamma_M$	1.45
	$\gamma_{G1}$	1.30
Coefficienti parziali a SLU	$\gamma_{G2}$	1.50
	$\gamma_Q$	1.50
Coefficiente di combinazione carichi variabili	$\psi_1$	0.20
	$\psi_2$	0.00

## Carichi di progetto

Carico per combinazione SLU_PERMANENTE	q_SLU_PERMANENTE	1.32	kN/m
Carico per combinazione SLU_BREVE DURATA	q_SLU_BREVE DURATA	2.84	kN/m
Rapporto tra i carichi SLU	r_SLU	2.15	
Rapporto tra i coefficienti k_mod	r_k_mod	1.50	
Combinazione a SLU da verificare		BREVE DURATA	
Carico per combinazione SLU di verifica	q_SLU	2.84	kN/m
Carico per combinazione SLE_FREQUENTE	q_SLE_FREQUENTE	1.09	kN/m
Carico per combinazione SLE_QP	q_SLE_QP	0.89	kN/m

## Azioni di progetto a SLU

Reazioni vincolari COLMO	R_A_Ed,z	9.06	kN
	R_A_Ed,y	0.00	kN
Reazioni vincolari SBALZO	R_B_Ed,z	9.06	kN
	R_B_Ed,y	0.00	kN
Sforzo normale	N_Ed	0.00	kN
Taglio z-z_MAX	V_Ed,z	9.06	kN
Taglio y-y_MAX	V_Ed,y	0.00	kN
Momento flettente y-y MAX	M_Ed,y	14.45	kNm
Momento flettente z-z MAX	M_Ed,z	0.00	kNm

## Verifiche a SLU

### Proprietà meccaniche di progetto a SLU

Coefficiente correttivo §11.7.1.1	k_h	1.10	
Compressione perpendicolare	f_c,90,d	1.68	MPa
Compressione parallela	f_c,0,d	14.90	MPa
Taglio	f_v,d	1.68	MPa
Flessione	f_m,d	16.33	MPa

### Verifiche a SLU sforzo normale

Sforzo normale	$\sigma_{c,0,d}$	0.00	MPa
----------------	------------------	------	-----

### Verifiche a SLU taglio §4.4.8.1.9

Taglio z-z	$\tau_{z,d}$	0.57	MPa
Taglio y-y	$\tau_{y,d}$	0.00	MPa
Verifica a taglio z-z	$\tau_{z,d}/f_{v,d}$	0.34	OK
Verifica a taglio y-y	$\tau_{y,d}/f_{v,d}$	0.00	OK

### Verifiche a SLU flessione §4.4.8.1.6

Tensione di flessione y-y	$\sigma_{m,y,d}$	15.05	MPa
Tensione di flessione z-z	$\sigma_{m,z,d}$	0.00	MPa

Verifica a pressoflex. (eq. 4.4.7a)	$(\sigma_{c,0,d}/f_{c,0,d})^2 + k_m \cdot \sigma_{m_y,d}/f_{m,d} + \sigma_{m_z,d}/f_{m,d}$	0.65	OK
Verifica a pressoflex. (eq. 4.4.7b)	$(\sigma_{c,0,d}/f_{c,0,d})^2 + \sigma_{m_y,d}/f_{m,d} + k_m \cdot \sigma_{m_z,d}/f_{m,d}$	0.92	OK
<b>Verifiche a SLU appoggio</b>			
Tensione di compressione perpendicolare	$\sigma_{c,90,d}$	0.75	MPa
Verifica a compressione perpendicolare 4.4.8.1.4	$\sigma_{c,90,d}/f_{c,90,d}$	0.45	OK
<b>Verifiche a SLE</b>			
<b>Proprietà meccaniche di progetto a SLE</b>			
Coefficiente di riduzione	$1/(1+k_{def})$	0.56	
Modulo elastico parallelo medio ridotto	$E_{0,m,rid}$	6444	MPa
<b>Verifiche a SLE - Deformabilità</b>			
Freccia istantanea per combinazione FREQUENTE	$f_0$	17.7	mm
Freccia a lungo termine per combinazione QP	$f_\infty$	25.9	mm
Denominatore freccia ammissibile istantanea	$den_{f_0,amm}$	250	
Denominatore freccia ammissibile a lungo termine	$den_{f_\infty,amm}$	200	
Freccia istantanea ammissibile	$f_{0,amm}$	25.5	mm
Freccia a lungo termine ammissibile	$f_{\infty,amm}$	31.9	mm
Verifica di deformabilità istantanea	$f_0/f_{0,amm}$	0.69	OK
Verifica di deformabilità a lungo termine	$f_\infty/f_{\infty,amm}$	0.81	OK

## TRAVE ROMPITRATTA

B x H = 200 x 400 mm

Geometria della sezione			
Forma della sezione		<b> Rettangolare </b>	
Base sezione (lungo y)	b	200	mm
Numero lamelle	n_l	10	
Altezza sezione (lungo z)	h	400	mm
Lunghezza di appoggio (su cordolo o trave di colmo)	l_app	250	mm
Area	A	80,000	mm <sup>2</sup>
Momento resistente y-y	W_yy	5,333,333	mm <sup>3</sup>
Momento di inerzia y-y	J_yy	1,066,666,667	mm <sup>4</sup>
Momento resistente z-z	W_zz	2,666,667	mm <sup>3</sup>
Momento di inerzia z-z	J_zz	266,666,667	mm <sup>4</sup>
Raggio di inerzia y-y	$\rho_{yy}$	115	mm
Raggio di inerzia z-z	$\rho_{zz}$	58	mm
Proprietà meccaniche caratteristiche del materiale			
Tipo di legno		<b> GL24h </b>	
		<b> LAMELLARE </b>	
Classe di servizio	Classe	2	
Flessione	$f_{m,k}$	24.0	MPa
Trazione parallela	$f_{t,0,k}$	16.5	MPa
Trazione ortogonale	$f_{t,90,k}$	0.4	MPa
Compressione parallela	$f_{c,0,k}$	24.0	MPa
Compressione perpendicolare	$f_{c,90,k}$	2.7	MPa
Taglio	$f_{v,k}$	2.7	MPa
Modulo elastico parallelo medio	$E_{0,m}$	11600	MPa
Modulo elastico parallelo caratteristico	$E_{0,05}$	9400	MPa
Modulo elastico tangenziale medio	$G_{mean}$	720	MPa

Peso specifico medio (massa volumica caratteristica)	$\rho_{mean}$	3.8	kN/m <sup>3</sup>
Coefficiente correttivo §4.4.6	$k_{mod}$ , PERMANENTE	0.60	
	$k_{mod}$ , BREVE DURATA	0.90	
Coefficiente di redistribuzione a flessione §4.4.8.1.6	$k_m$	0.70	
Fattore riduttivo modulo elastico Tab. 4.4.V	$k_{def}$	0.80	

### Geometria dell'elemento

Schema statico		<b>Appoggio - Appoggio</b>	
Pendenza	$p$	<b>0%</b>	
Luce sbalzo orizzontale	$a_o$	<b>0.00</b>	m
Luce sbalzo di calcolo	$a_c$	0.00	m
Luce appoggio orizzontale	$l_o$	<b>4.75</b>	m
Luce appoggio di calcolo	$l_c$	4.99	m
Luce di influenza	$i$	<b>3.55</b>	m
Angolo di rotazione rispetto alla verticale	$\alpha$	<b>0.00</b>	°
Rapporto tra lunghezza libera di inflex. e lunghezza geometrica.	$\beta_0$	<b>1.00</b>	
Tensione critica per flex.	$\sigma_{m,crit,y}$	148	MPa
	$\sigma_{m,crit,z}$	1180	MPa
Snell. relativa di trave	$\lambda_{rel, min}$	0.40	
Coeff. riduttivo di tensione critica per instabilità di trave	$k_{crit,m}$	1.00	

### Analisi dei carichi

#### Analisi dei carichi al mq

Permanenti non strutturali	G2 (escluso travetti)	<b>1.00</b>	kN/mq
Variabile Cat A	Q	<b>1.40</b>	kN/mq

#### Analisi dei carichi al m

Peso Proprio	G1_PP	0.30	kN/m
Permanenti non strutturali	G2	3.95	kN/m
Variabile Cat A	Q	4.97	kN/m

### Coefficienti parziali

Coefficiente parziale sul materiale	$\gamma_M$	1.45	
	$\gamma_{G1}$	<b>1.30</b>	
Coefficienti parziali a SLU	$\gamma_{G2}$	<b>1.50</b>	
	$\gamma_Q$	<b>1.50</b>	
Coefficiente di combinazione carichi variabili	$\psi_1$	<b>0.50</b>	
	$\psi_2$	<b>0.30</b>	

### Carichi di progetto

Carico per combinazione SLU_PERMANENTE	$q_{SLU\_PERMANENTE}$	6.33	kN/m
Carico per combinazione SLU_BREVE DURATA	$q_{SLU\_BREVE DURATA}$	13.78	kN/m
Rapporto tra i carichi SLU	$r_{SLU}$	2.18	
Rapporto tra i coefficienti $k_{mod}$	$r_{k\_mod}$	1.50	
Combinazione a SLU da verificare		<b>BREVE DURATA</b>	
Carico per combinazione SLU di verifica	$q_{SLU}$	13.78	kN/m
Carico per combinazione SLE_FREQUENTE	$q_{SLE\_FREQUENTE}$	6.74	kN/m
Carico per combinazione SLE_QP	$q_{SLE\_QP}$	5.75	kN/m

### Azioni di progetto a SLU

Reazioni vincolari COLMO	$R_{A\_Ed,z}$	34.37	kN
	$R_{A\_Ed,y}$	0.00	kN
Reazioni vincolari SBALZO	$R_{B\_Ed,z}$	34.37	kN
	$R_{B\_Ed,y}$	0.00	kN
Sforzo normale	$N_{Ed}$	<b>0.00</b>	kN
Taglio z-z _MAX	$V_{Ed,z}$	34.37	kN
Taglio y-y _MAX	$V_{Ed,y}$	0.00	kN
Momento flettente y-y MAX	$M_{Ed,y}$	42.85	kNm

Momento flettente z-z MAX	M <sub>Ed,z</sub>	0.00	kNm
<b>Verifiche a SLU</b>			
<b>Proprietà meccaniche di progetto a SLU</b>			
Coefficiente correttivo §11.7.1.1	k <sub>h</sub>	1.04	
Compressione perpendicolare	f <sub>c,90,d</sub>	1.68	MPa
Compressione parallela	f <sub>c,0,d</sub>	14.90	MPa
Taglio	f <sub>v,d</sub>	1.68	MPa
Flessione	f <sub>m,d</sub>	15.51	MPa
<b>Verifiche a SLU sforzo normale</b>			
Sforzo normale	σ <sub>c,0,d</sub>	0.00	MPa
<b>Verifiche a SLU taglio §4.4.8.1.9</b>			
Taglio z-z	τ <sub>z,d</sub>	0.64	MPa
Taglio y-y	τ <sub>y,d</sub>	0.00	MPa
Verifica a taglio z-z	τ <sub>z,d</sub> /f <sub>v,d</sub>	0.38	OK
Verifica a taglio y-y	τ <sub>y,d</sub> /f <sub>v,d</sub>	0.00	OK
<b>Verifiche a SLU flessione §4.4.8.1.6</b>			
Tensione di flessione y-y	σ <sub>m,y,d</sub>	8.04	MPa
Tensione di flessione z-z	σ <sub>m,z,d</sub>	0.00	MPa
Verifica a pressoflex. (eq. 4.4.7a)	(σ <sub>c,0,d</sub> /f <sub>c,0,d</sub> ) <sup>2</sup> + +k <sub>m</sub> *σ <sub>m,y,d</sub> /f <sub>m,d</sub> + +σ <sub>m,z,d</sub> /f <sub>m,d</sub>	0.36	OK
Verifica a pressoflex. (eq. 4.4.7b)	(σ <sub>c,0,d</sub> /f <sub>c,0,d</sub> ) <sup>2</sup> + +σ <sub>m,y,d</sub> /f <sub>m,d</sub> + +k <sub>m</sub> *σ <sub>m,z,d</sub> /f <sub>m,d</sub>	0.52	OK
<b>Verifiche a SLU appoggio</b>			
Tensione di compressione perpendicolare	σ <sub>c,90,d</sub>	0.69	MPa
Verifica a compressione perpendicolare 4.4.8.1.4	σ <sub>c,90,d</sub> /f <sub>c,90,d</sub>	0.41	OK
<b>Verifiche a SLE</b>			
<b>Proprietà meccaniche di progetto a SLE</b>			
Coefficiente di riduzione	1/(1+k <sub>def</sub> )	0.56	
Modulo elastico parallelo medio ridotto	E <sub>0,m,rid</sub>	6444	MPa
<b>Verifiche a SLE - Deformabilità</b>			
Freccia istantanea per combinazione FREQUENTE	f <sub>0</sub>	4.4	mm
Freccia a lungo termine per combinazione QP	f <sub>∞</sub>	6.7	mm
Denominatore freccia ammissibile istantanea	den_f <sub>0,amm</sub>	350	
Denominatore freccia ammissibile a lungo termine	den_f <sub>∞,amm</sub>	300	
Freccia istantanea ammissibile	f <sub>0,amm</sub>	14.3	mm
Freccia a lungo termine ammissibile	f <sub>∞,amm</sub>	16.6	mm
Verifica di deformabilità istantanea	f <sub>0</sub> /f <sub>0,amm</sub>	0.31	OK
Verifica di deformabilità a lungo termine	f <sub>∞</sub> /f <sub>∞,amm</sub>	0.41	OK

## 7.4 ALLEGATO D - Verifiche di Scale Metalliche e Pianerottoli

### 7.4.1 Carichi agenti

#### GRIGLIATO

Peso proprio **G2 1,00 kN/mq**

#### Q\_CAT. C

Carico Accidentale **Q\_Cat. C 4,00 kN/mq**

### 7.4.2 Metodologia di modellazione nuova copertura in profilati metallici

Per il calcolo delle strutture di scale e pianerottoli metallici è applicato il seguente modello:

- 1) Modello di calcolo per la sovrastruttura, cui sono applicate le azioni statiche e pseudostatiche, oltre alle azioni sismiche.

Si riportano di seguito le principali scelte di modellazione:

#### 7.4.2.1 Elementi impiegati:

La struttura è stata modellata utilizzando:

Elementi beam a 2 nodi per pilastri, travi e arcarecci.

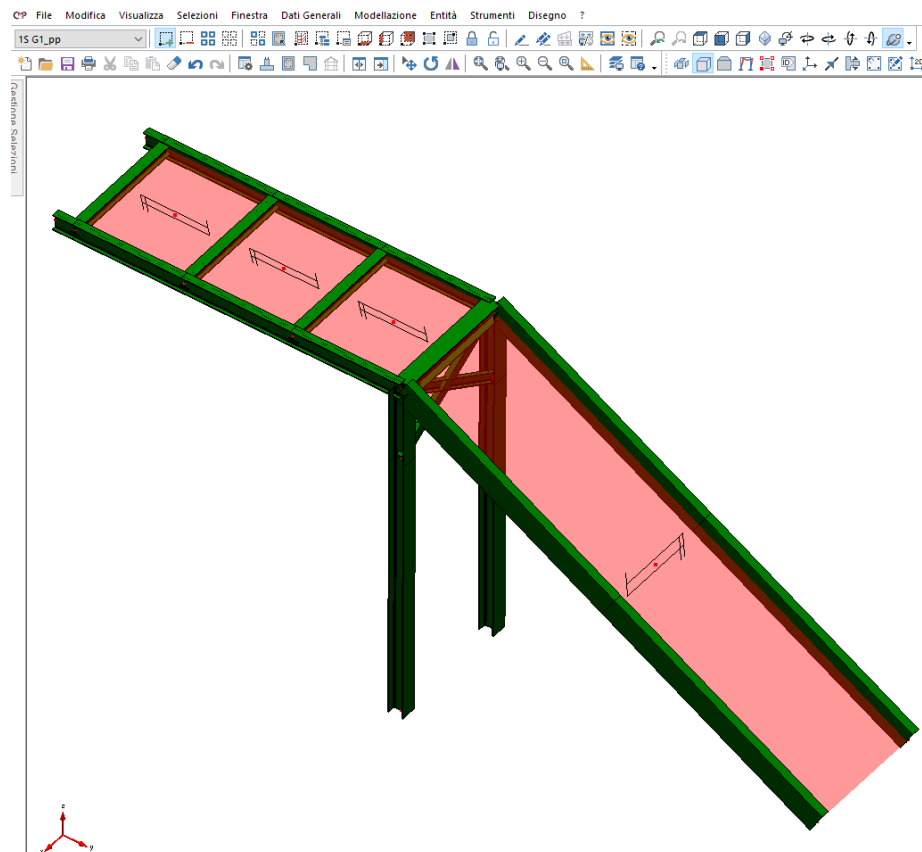


Figura 98 - Modello di calcolo – 3D SOLIDO

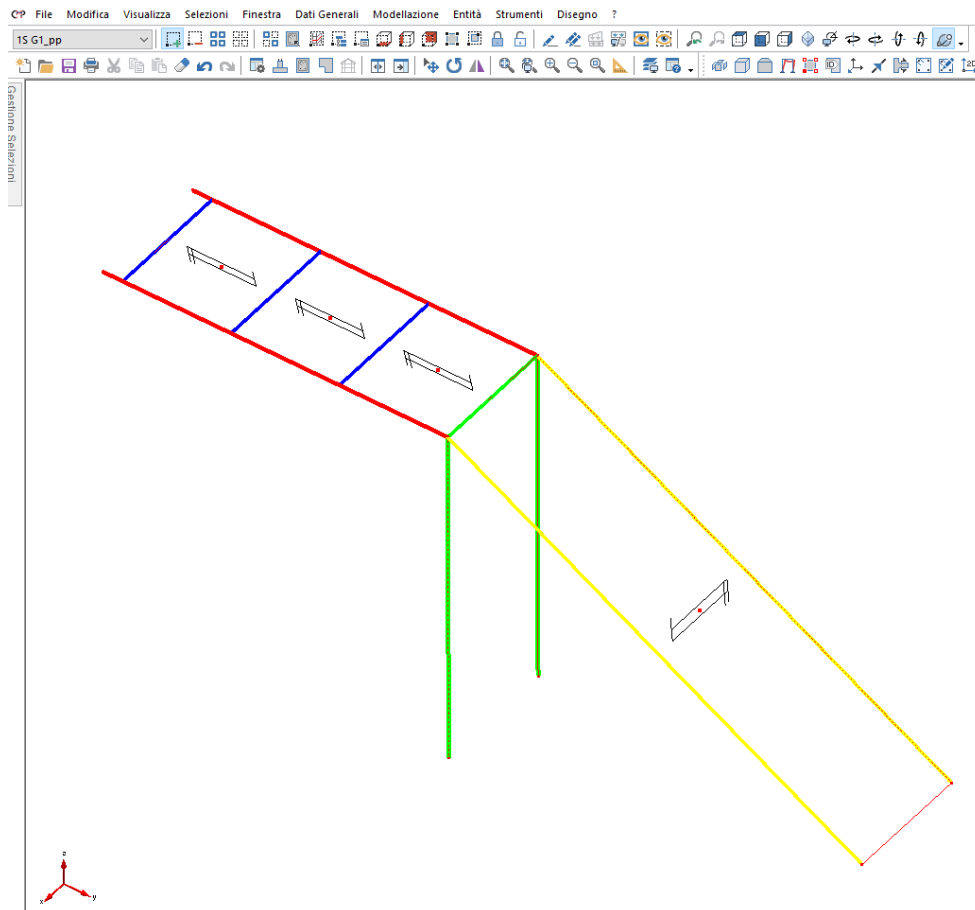


Figura 99 - Modello di calcolo – 3D WIREFRAME.

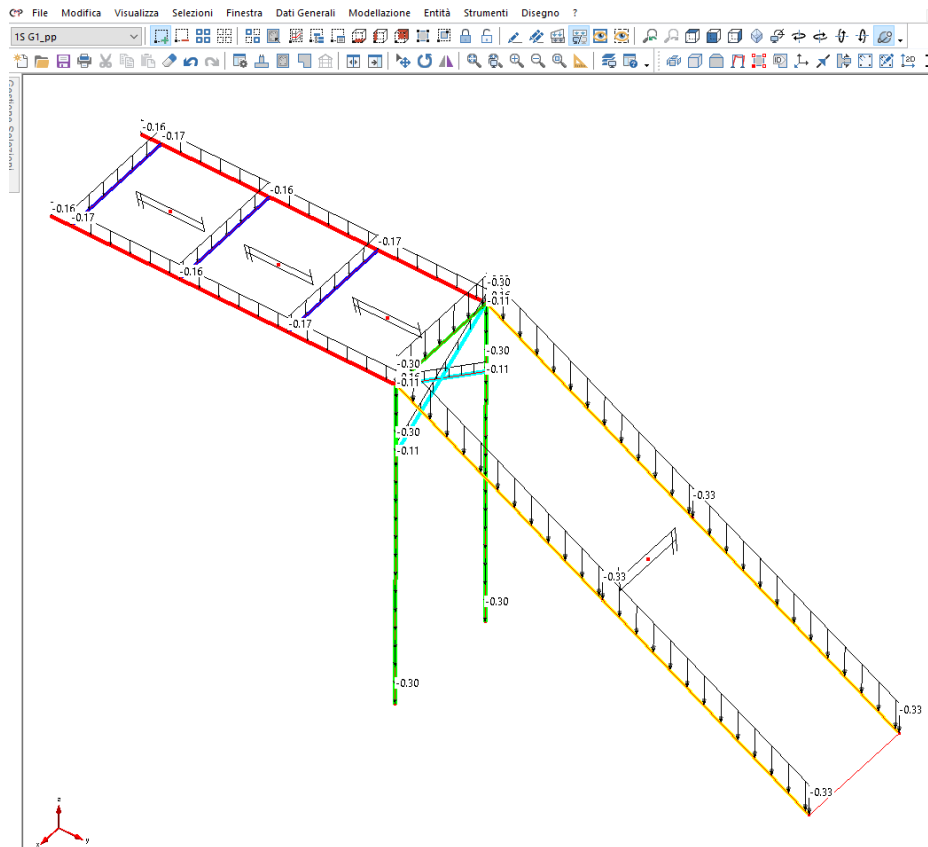
#### 7.4.2.2 Modellazione dei carichi

Condizioni di carico elementari statiche - Moltiplicatori gravitazionali

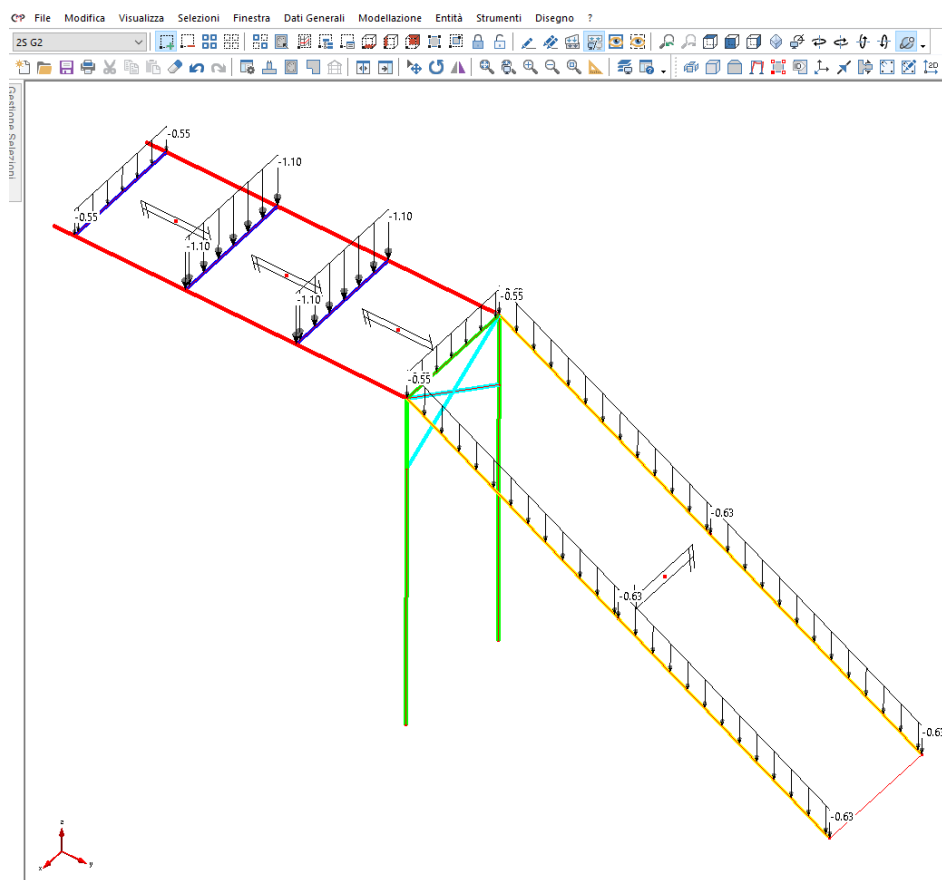
n°	Descrizione	x	y	z	Tipo	grp	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$	$\Psi_3$	$\Phi$
1S	G1_pp	0	0	-1	Permanente		1	1	1	1	1
2S	G2	0	0	0	Perm.Non Strutt		1	1	1	1	1
3S	Q_Cat. C	0	0	0	Uff.pubbl.Scuole,N...	1	0.7	0.7	0.6	0.6	1

Nel modello di calcolo sono stati applicati i carichi dovuti a:

- Pesì propri delle sezioni degli elementi strutturali
  - G1
- Carichi permanenti non strutturali
  - G2
- Carichi Accidentali di Cat.C
  - Q\_Cat. C



**Figura 100 - Carichi distribuiti per unità di lunghezza [kN/m] – G1\_PP.**



**Figura 101 - Carichi distribuiti per unità di lunghezza [kN/m] – G2.**

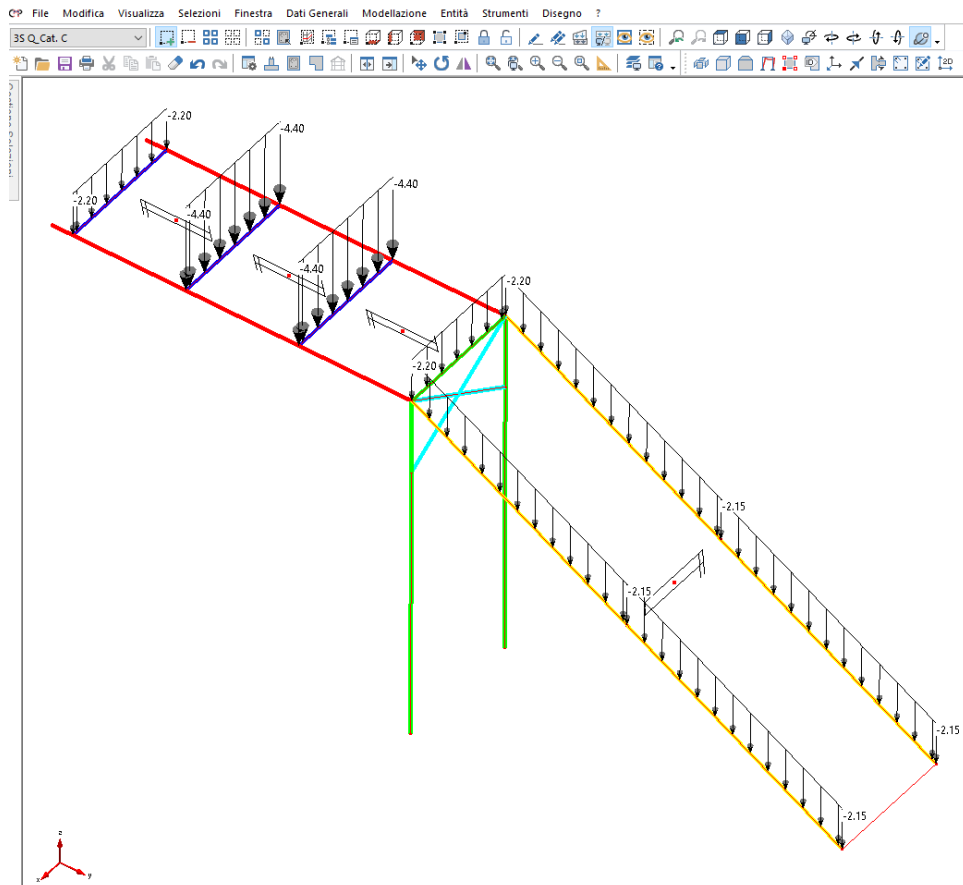


Figura 102 - Carichi distribuiti per unità di lunghezza [kN/m] – Q\_Cat. C.

#### 7.4.2.3 Combinazioni e/o percorsi di carico

##### - COMBINAZIONE FONDAMENTALE SLU: “~SL18 STR SLV”

Agisce su tutte le entità del modello.

Condizioni di inviluppo automatiche

n°CdC o Inviluppo	Nome CdC o Inviluppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
Inviluppo	~SL18 STR SLV_1	Perm.non Contemp.	1	1	1
Inviluppo	~SL18 SLU Sism. Orizz._1	Perm.non Contemp.	1	1	1
Inviluppo	~SL18 SLU Sism. Orizz._2	Perm.non Contemp.	1	1	1

Descrizione degli inviluppi contenuti nell’inviluppo “~SL18 STR SLV”

Descrizione inviluppo “~SL18 STR SLV\_1”:

n°CdC o Inviluppo	Nome CdC o Inviluppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
CdC elem. 1St	G1_pp	Permanente		1	1.3
CdC elem. 2St	G2	Permanente		0.8	1.5
CdC elem. 3St	Q_Cat. C	Variabile		0	1.5

Descrizione inviluppo “~SL18 SLU Sism. Orizz.\_1”:

n°CdC o Inviluppo	Nome CdC o Inviluppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
CdC elem. 1St	G1_pp	Permanente		1	1
CdC elem. 2St	G2	Permanente		0.8	1
CdC elem. 3St	Q_Cat. C	Variabile		0.6	0.6
CdC elem. 9Dy	Sisma SLV X Dx	Var.non Contemp.	1	-1	1
CdC elem. 10Dy	Sisma SLV X Sx	Var.non Contemp.	1	-1	1
CdC elem. 11Dy	Sisma SLV Y Dx	Var.non Contemp.	2	-0.3	0.3



CdC elem. 12Dy	Sisma SLV Y Sx	Var.non Contemp.	2	-0.3	0.3
----------------	----------------	------------------	---	------	-----

Descrizione involuppo “~SL18 SLU Sism. Orizz.\_2”:

n°CdC o Involuppo	Nome CdC o Involuppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
-------------------	----------------------	-----------	--------	----------	----------

CdC elem. 1St	G1_pp	Permanente		1	1
CdC elem. 2St	G2	Permanente		0.8	1
CdC elem. 3St	Q_Cat. C	Variabile		0.6	0.6
CdC elem. 9Dy	Sisma SLV X Dx	Var.non Contemp.	1	-0.3	0.3
CdC elem. 10Dy	Sisma SLV X Sx	Var.non Contemp.	1	-0.3	0.3
CdC elem. 11Dy	Sisma SLV Y Dx	Var.non Contemp.	2	-1	1
CdC elem. 12Dy	Sisma SLV Y Sx	Var.non Contemp.	2	-1	1

- **COMBINAZIONE SLE CARATTERISTICA: “~SL18 SLE CARATT.”**

Agisce su tutte le entità del modello.

Condizioni di involuppo automatiche

n°CdC o Involuppo	Nome CdC o Involuppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
Involuppo	~SL18 SLE caratt.Dannegg._1	Perm.non Contemp.	1	1	1

Descrizione degli involuppi contenuti nell’involuppo “~SL18 SLE caratt.Dannegg.”

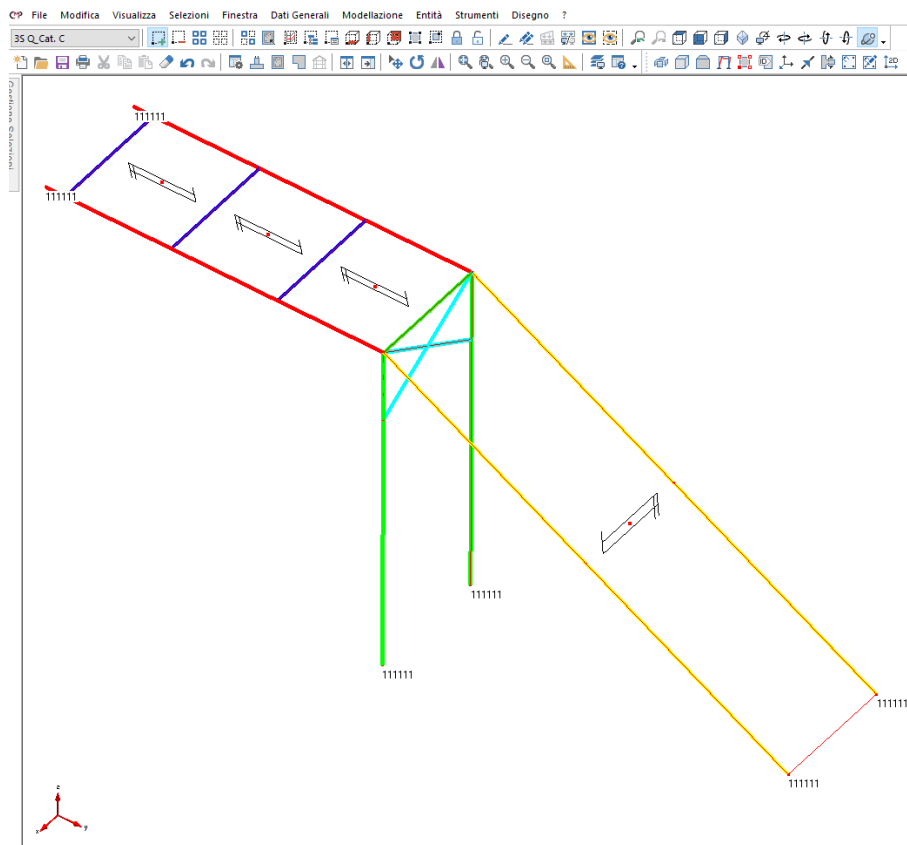
Descrizione involuppo “~SL18 SLE caratt.Dannegg.\_1”:

n°CdC o Involuppo	Nome CdC o Involuppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Min	Molt.Max
-------------------	----------------------	-----------	--------	----------	----------

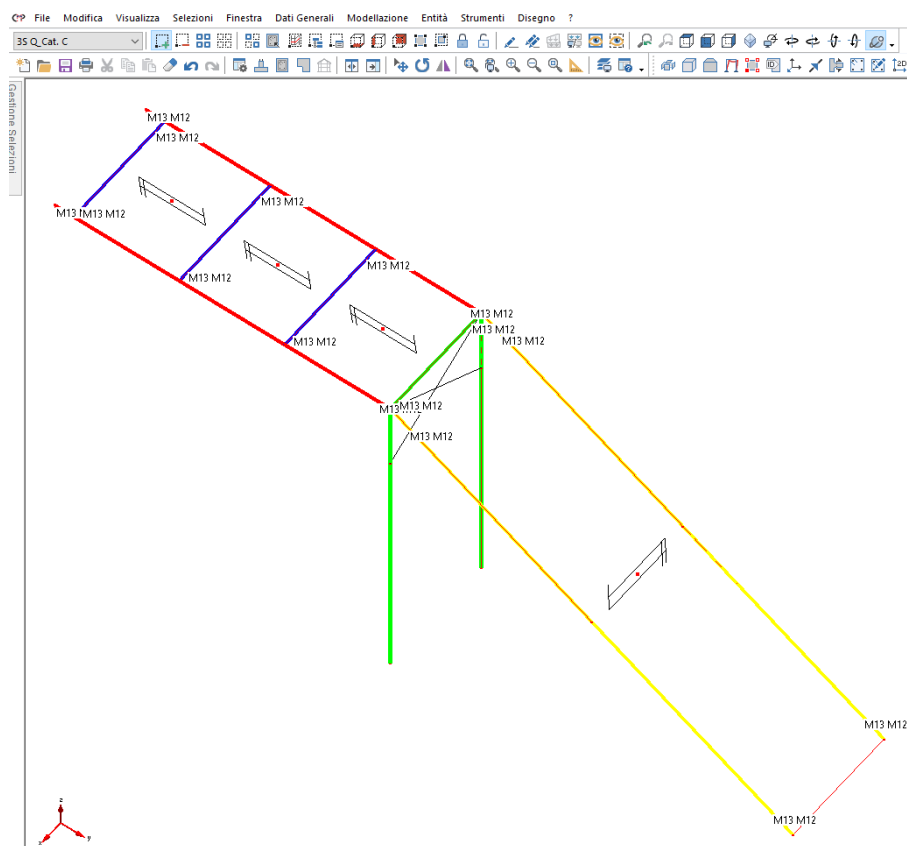
CdC elem. 1St	G1_pp	Permanente		1	1
CdC elem. 2St	G2	Permanente		1	1
CdC elem. 3St	Q_Cat. C	Variabile		1	1

7.4.2.4 Vincoli interni ed esterni

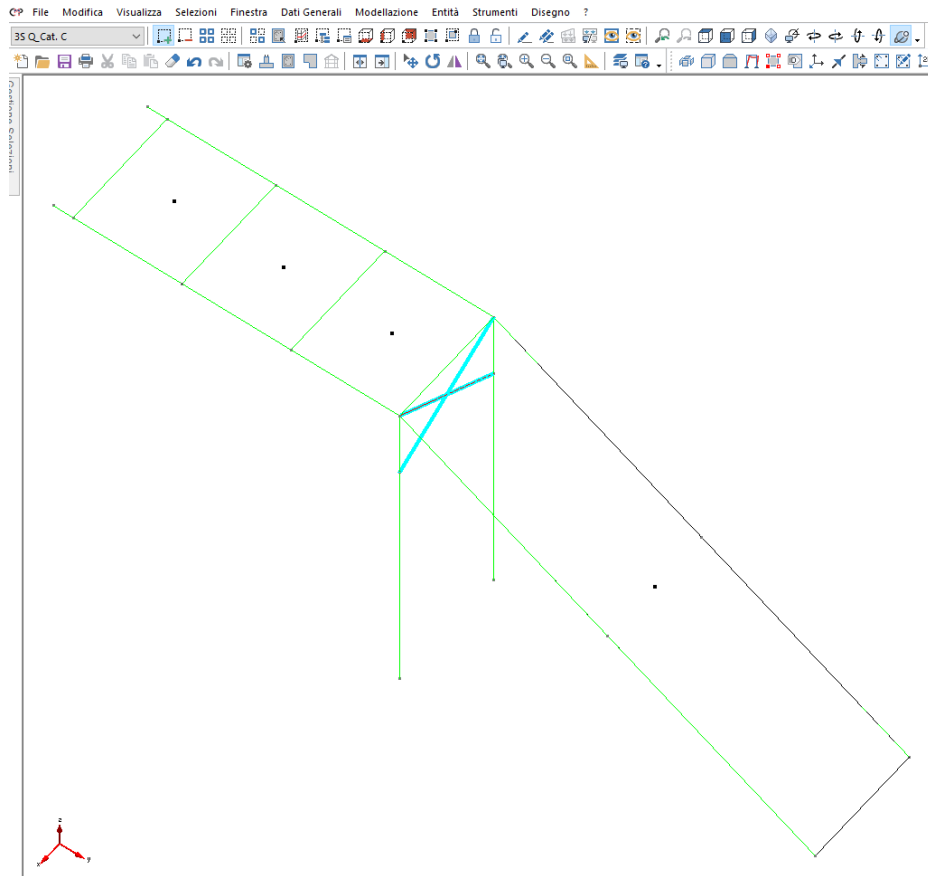
- Nel modello si sono vincolati i nodi di collegamento tra copertura e cordolo di appoggio mediante il codice di vincolo = 111111 (1 = gdl bloccato, 0 = gdl libero)
- Sono state considerate le travi, gli arcarecci e le capriate incernierate alle estremità.
- Sono stati inseriti elementi truss come controventi.



**Figura 103 - vincoli esterni della struttura – strutture metalliche incastrate a contatto con elementi in c.a..**



**Figura 104 - vincoli interni della struttura – arcarecci, travi incernierati alle estremità, pilastri incastrati alla base.**



**Figura 105 - vincoli interni della struttura – arcarecci, travi incernierati alle estremità, pilastri incastrati alla base.**

## 7.4.3 Principali risultati

### 7.4.3.1 Deformate più significative

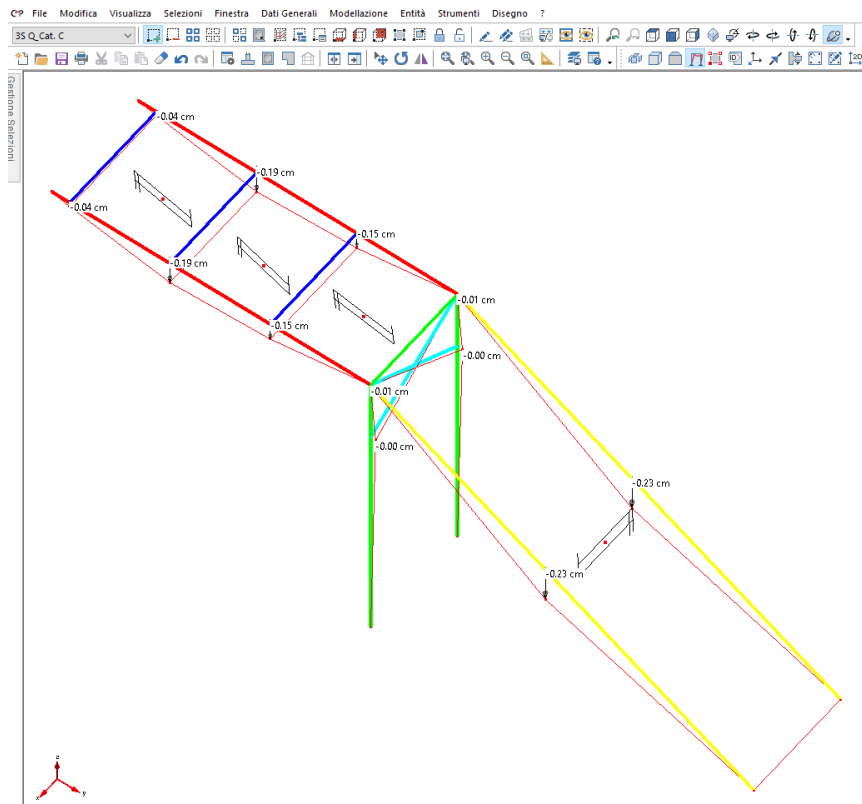


Figura 106 - Deformazioni per combinazione SLE Caratteristica [cm] - Inviluppo Z minimo.

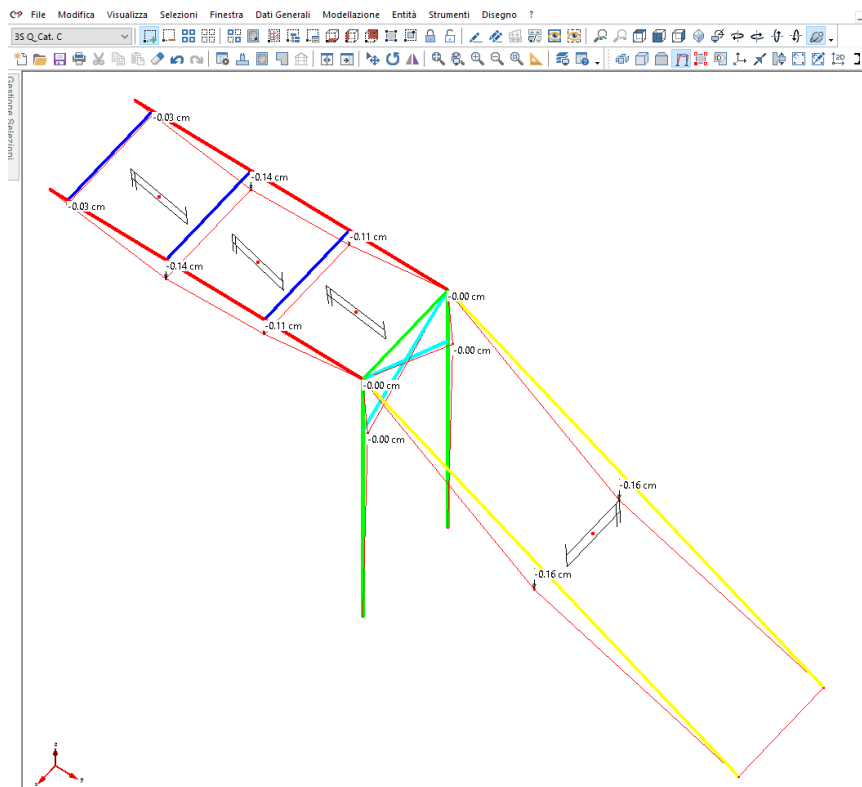


Figura 107 - Deformazioni per Cdc elementare Q\_cat. C [cm] - Inviluppo Z minimo.

### 7.4.3.2 Involuppo delle sollecitazioni maggiormente significative

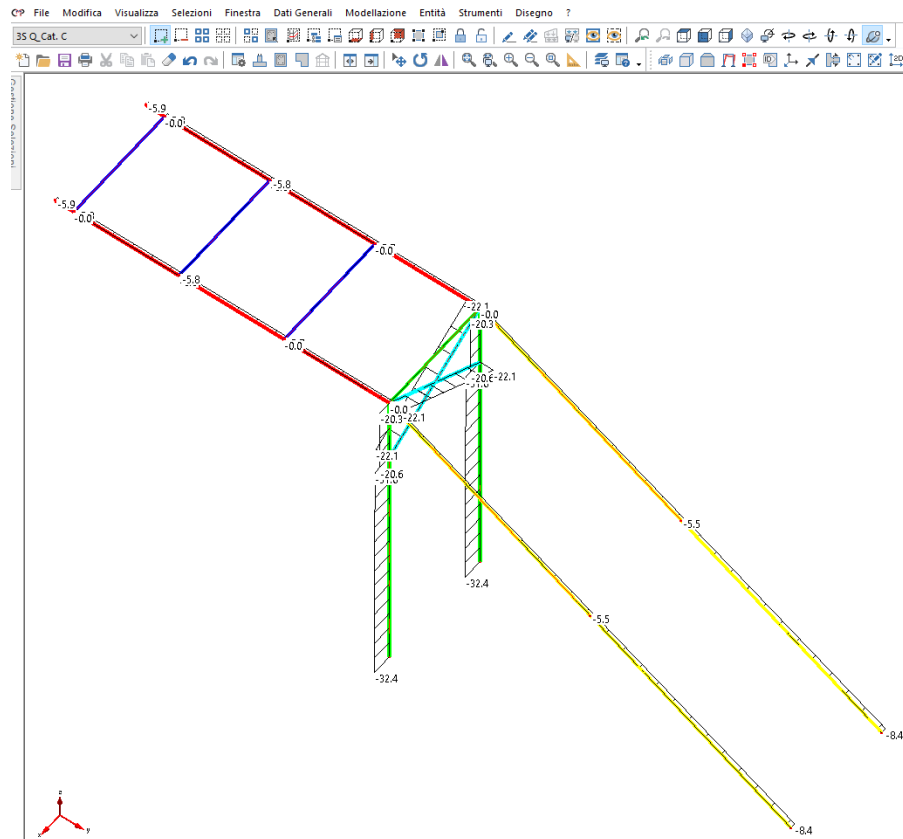


Figura 108 - Involuppo SLU - Sforzo normale [kN] – VALORI MINIMI.

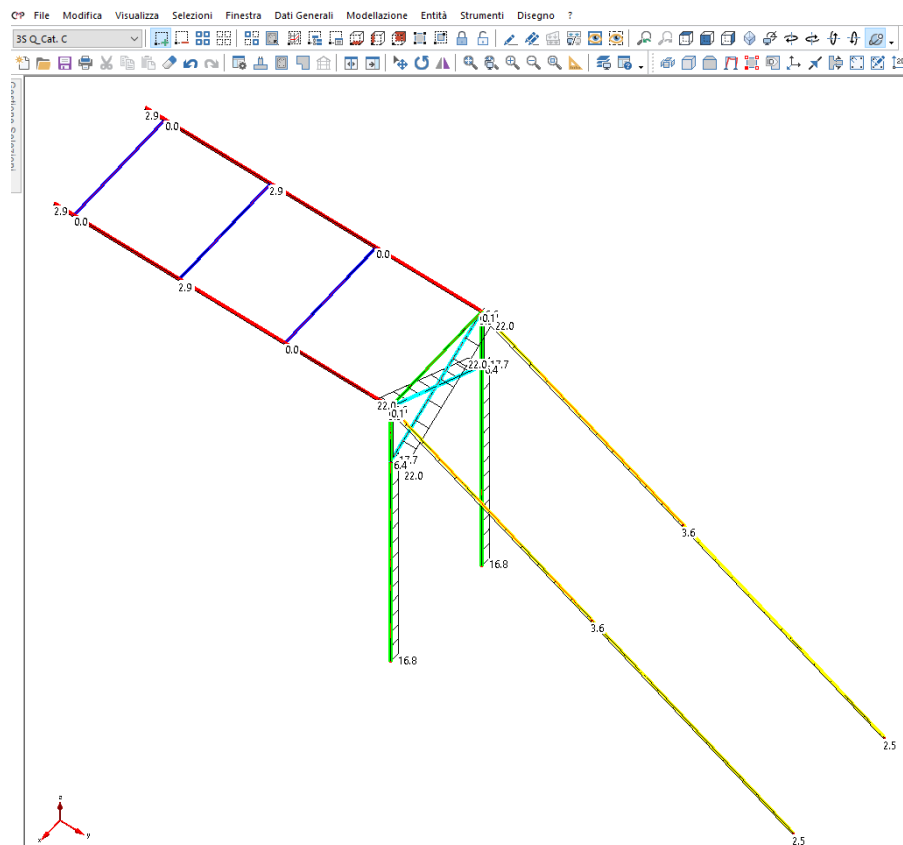
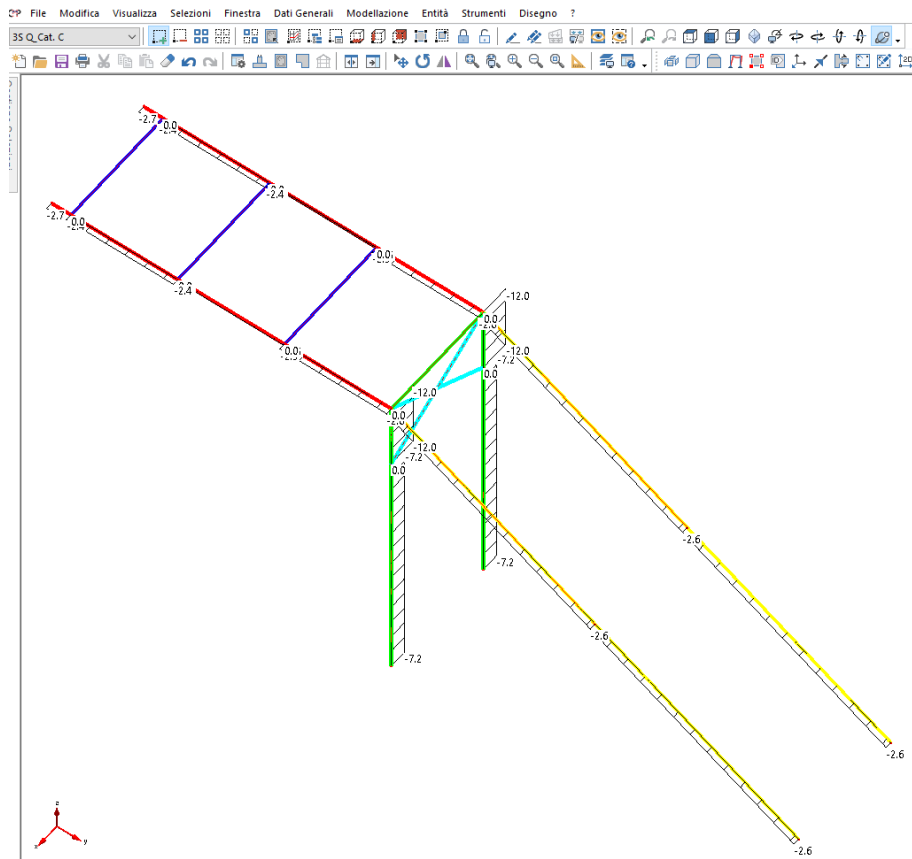
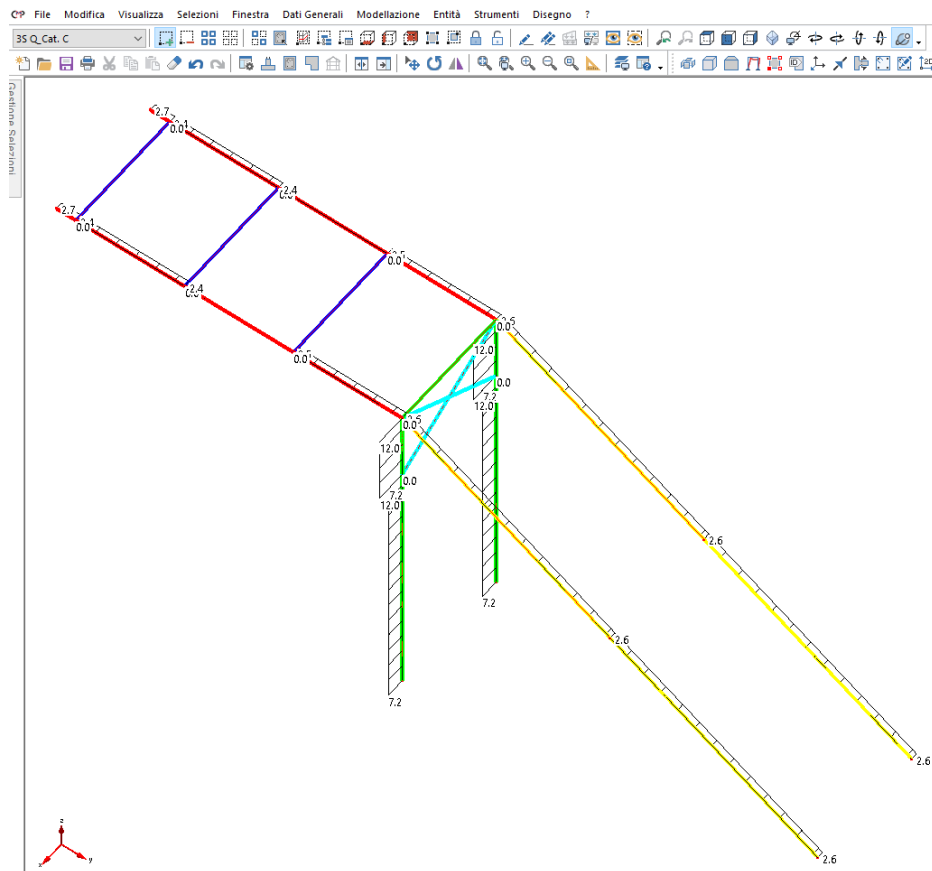


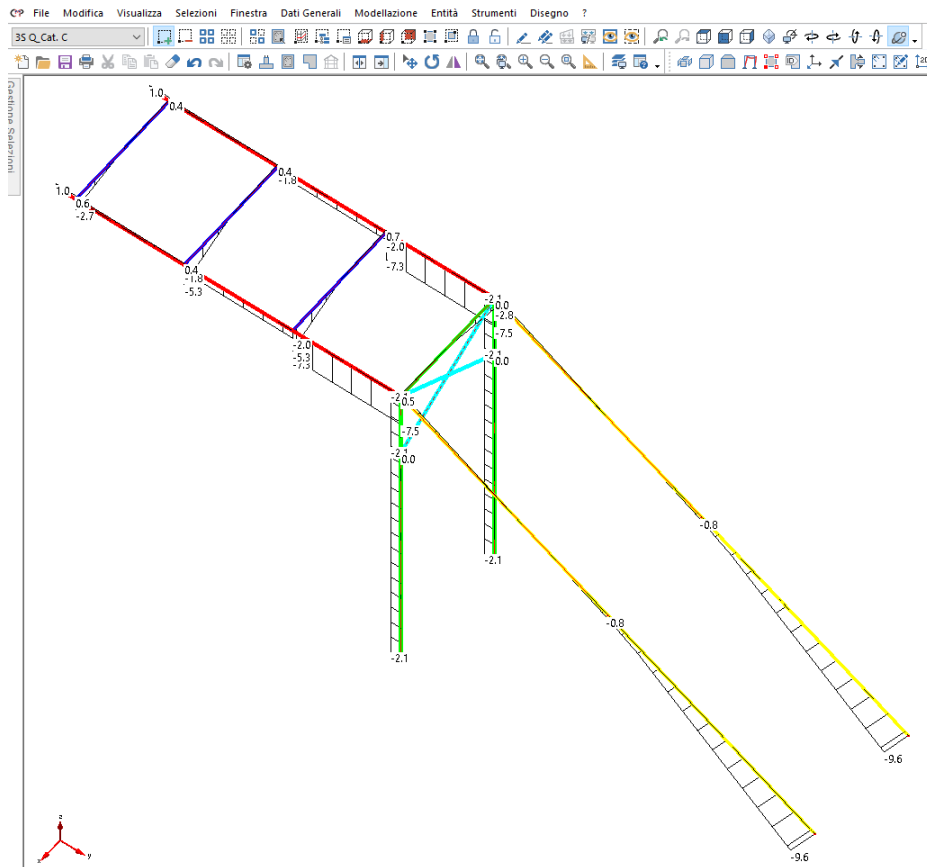
Figura 109 - Involuppo SLU - Sforzo normale [kN] – VALORI MASSIMI.



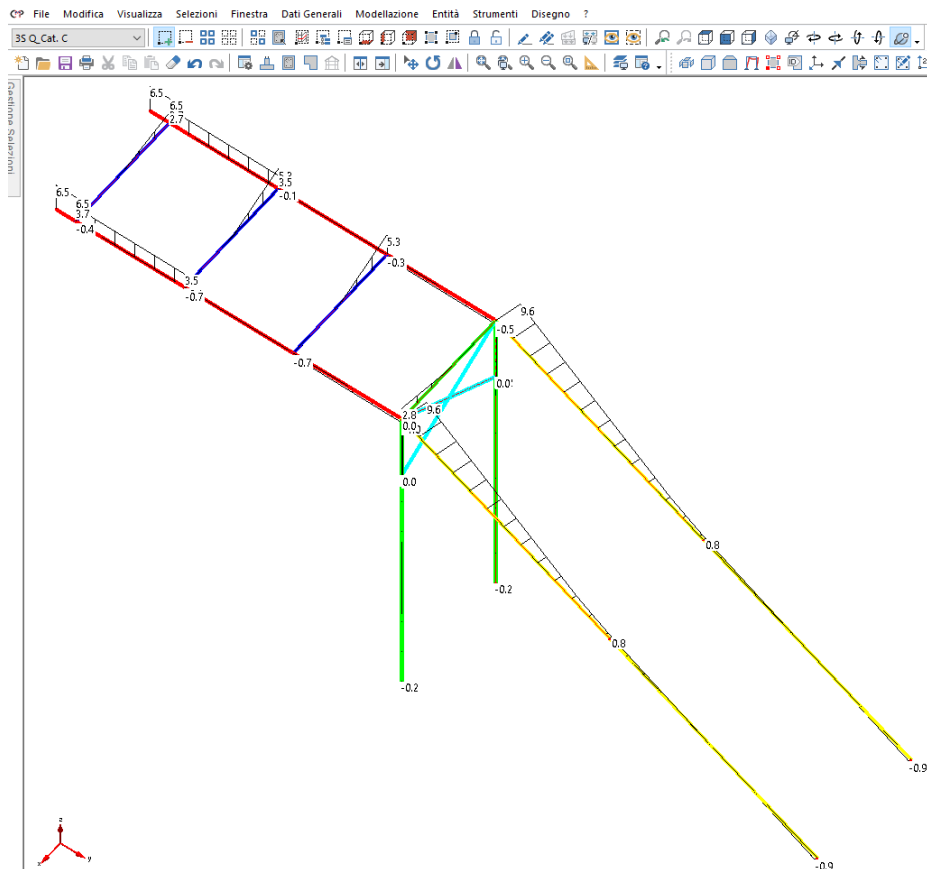
**Figura 110 - Inviluppo SLU – Taglio 1-2 [kN] – VALORI MINIMI.**



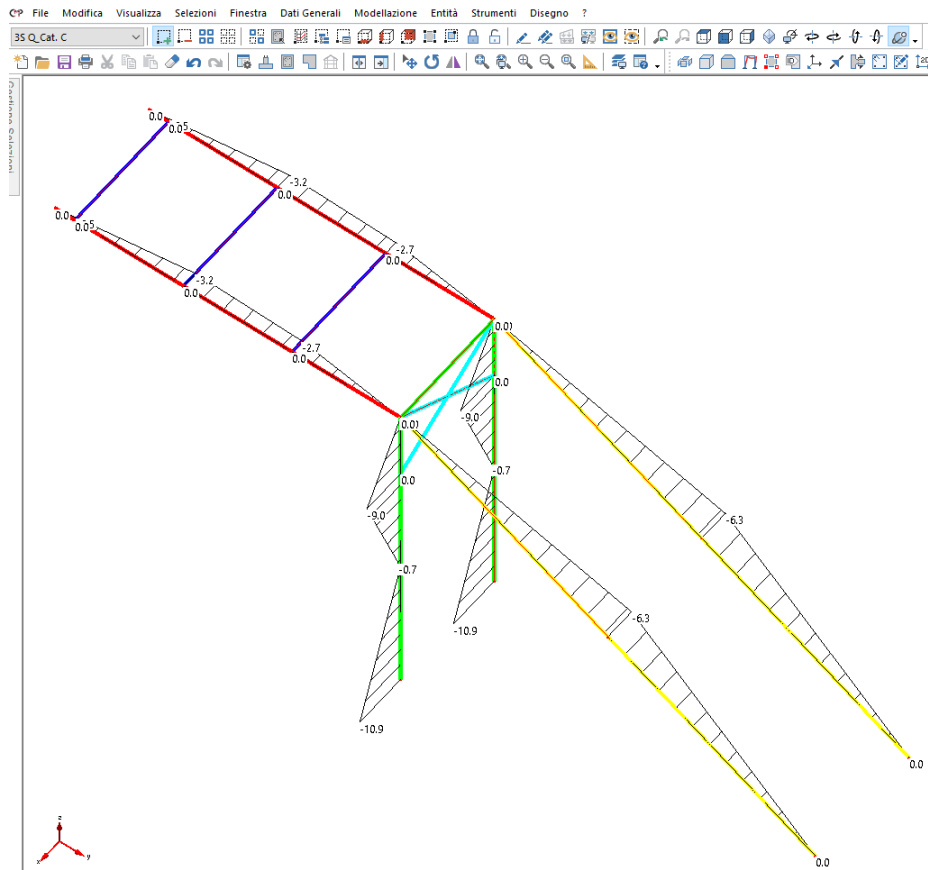
**Figura 111 - Inviluppo SLU – Taglio 1-2 [kN] – VALORI MASSIMI.**



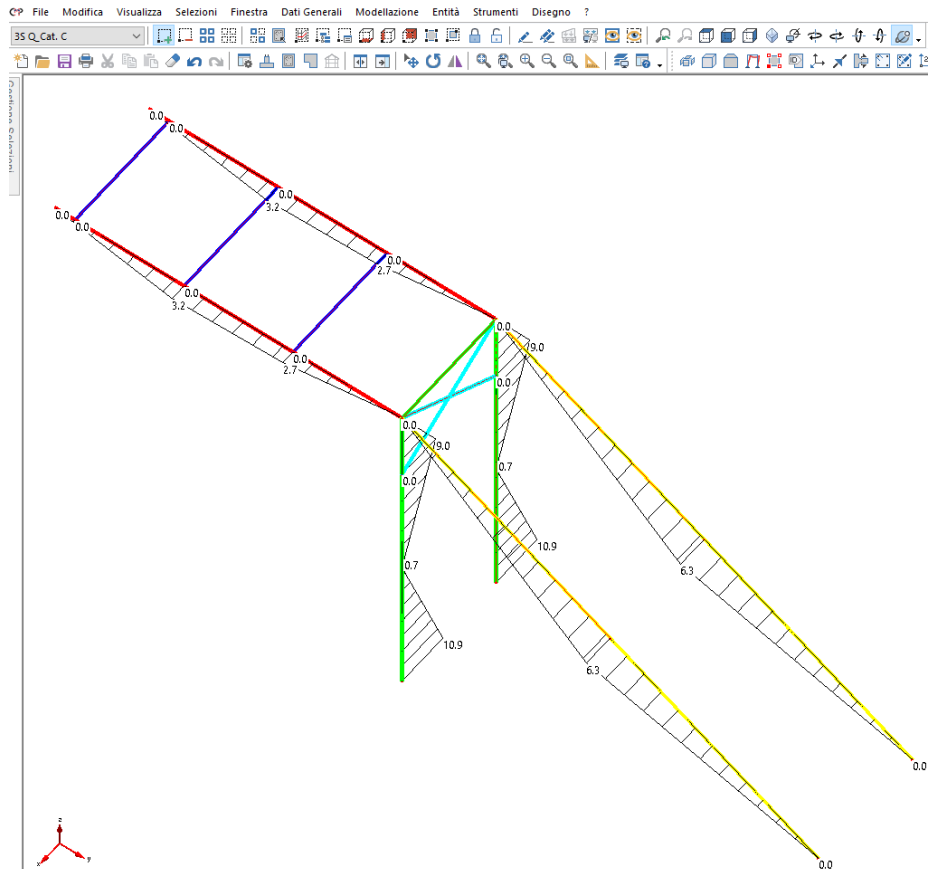
**Figura 112 - Inviluppo SLU – Taglio 1-3 [kN] – VALORI MINIMI**



**Figura 113 - Inviluppo SLU – Taglio 1-3 [kN] – VALORI MASSIMI**



**Figura 114 - Inviluppo SLU – Momento flettente 1-2 [kNm] – VALORI MINIMI.**



**Figura 115 - Inviluppo SLU – Momento flettente 1-2 [kNm] – VALORI MASSIMI.**



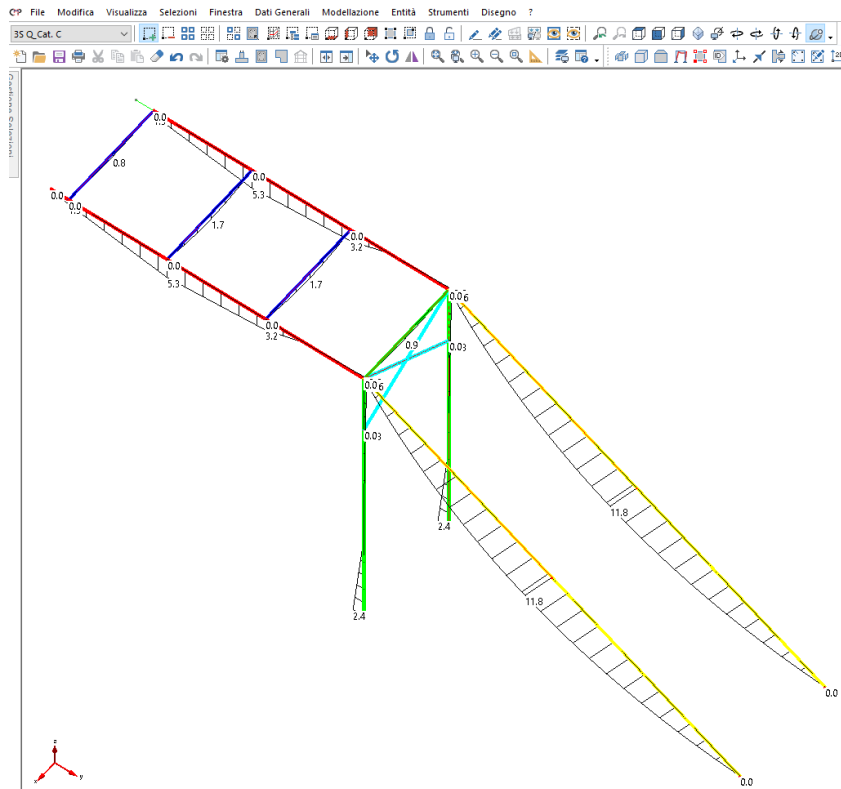


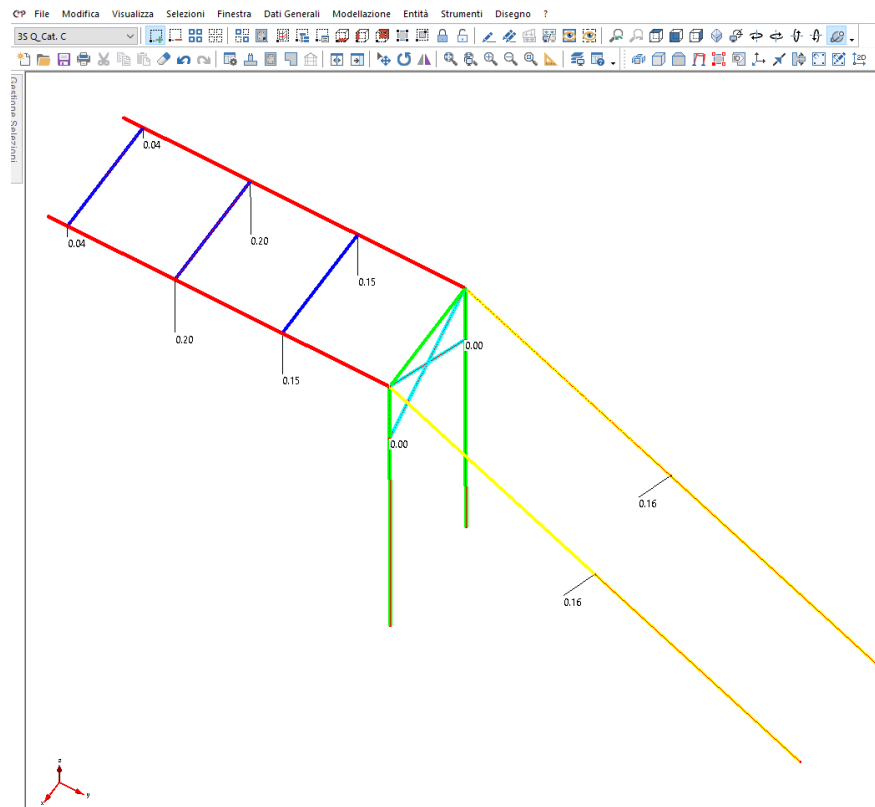
Figura 116 - Inviluppo SLU – Momento flettente 1-3 [kNm] – VALORI MASSIMI.

#### 7.4.3.3 Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

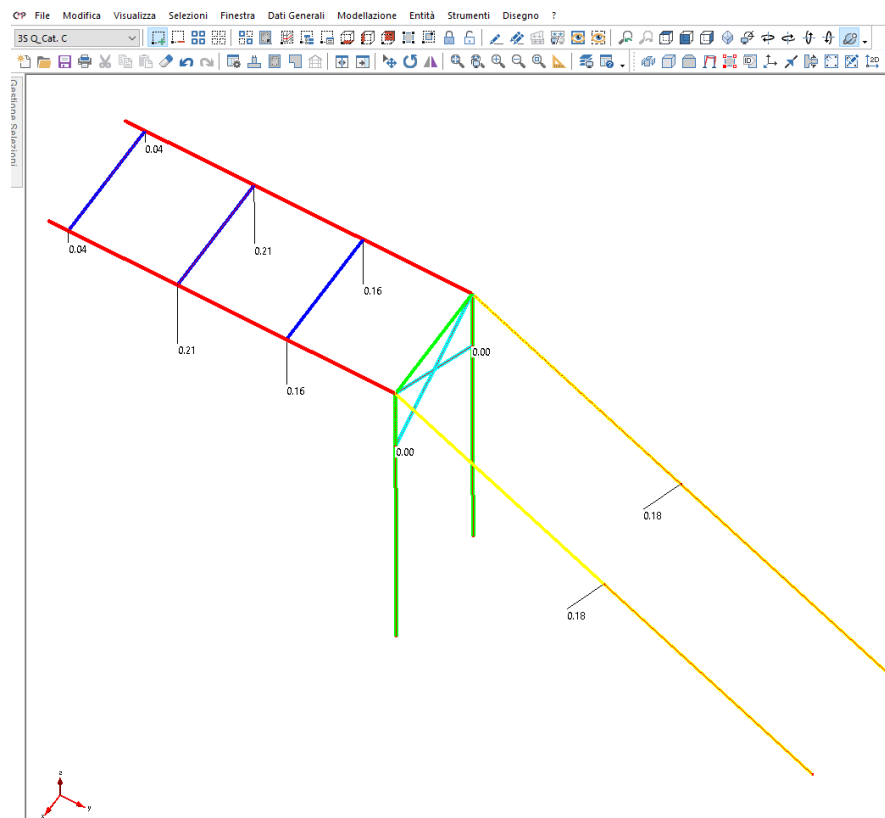
I risultati ottenuti da calcolo, si ritengono compatibili con quelli desunti da verifiche sommarie. Si accettano dunque i risultati dell'analisi e della verifica.



### 7.4.4.2 Verifiche a stati limite d'esercizio



**Figura 119 - Verifiche di deformabilità - Limite 1/500 - Freccia solo carichi variabili - Coefficiente di sfruttamento.**



**Figura 120 - Verifiche di deformabilità - Limite 1/400 - Freccia totale - Coefficiente di sfruttamento.**

## 7.5 ALLEGATO E - Verifiche di elementi non strutturali

### 7.5.1 Verifica di espulsione dei tamponamenti

Secondo il § 7.36.3 del D.M. 17/01/2018, gli elementi costruttivi senza funzione strutturale, il cui danneggiamento può provocare danni a persone, devono essere verificati secondo la tabella sotto indicata, relativamente alla loro stabilità nel telaio in cui sono inseriti:

**Tab. 7.3.III – Stati limite di elementi strutturali primari, elementi non strutturali e impianti**

STATI LIMITE		CU I	CU II			CU III e IV		
		ST	ST	NS	IM	ST	NS	IM <sup>(*)</sup>
SLE	SLO					RIG		FUN
	SLD	RIG	RIG			RES		
SLU	SLV	RES	RES	STA	STA	RES	STA	STA
	SLC		DUT <sup>(**)</sup>			DUT <sup>(**)</sup>		

<sup>(\*)</sup> Per le sole CU III e IV, nella categoria Impianti ricadono anche gli arredi fissi.

<sup>(\*\*)</sup> Nei casi esplicitamente indicati dalle presenti norme.

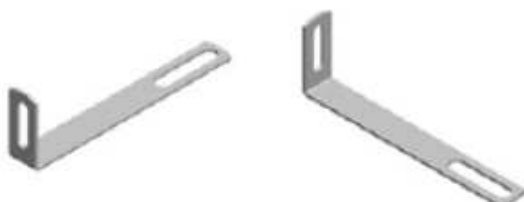
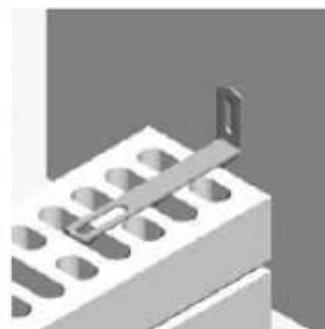
Al fine di evitare l'espulsione del tamponamento, si prescrive l'inserimento di elementi antiribaltamento nei letti di malta, a ridosso dei pilastri in c.a, come indicato nelle figure seguenti:

#### Tiranti Murfor®Anc L+ 100

I Murfor®Anc L+ 100 sono tiranti fissi piatti adatti per vincoli senza movimento.

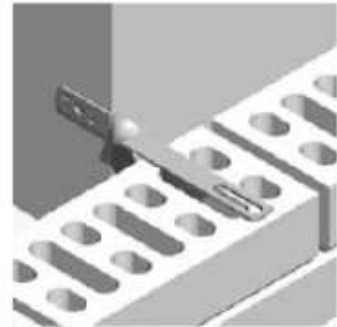
Questo tipo di ancoraggio è consigliato per vincoli tra parete e struttura circostante, soprattutto se la parete si allaccia perpendicolarmente al muro portante.

Gli ancoraggi vanno fissati alla struttura mediante un elemento che garantisca la trasmissione delle spinte.



I Murfor®Anc Twist+ 200 sono tiranti fissi piatti adatti per vincoli senza movimento.

Questo tipo di ancoraggio è consigliato per vincoli tra parete e struttura circostante, soprattutto se la parete è passante rispetto al muro portante.



## CALCOLO PORTANZA E CEDIMENTI DI FONDAZIONI SUPERFICIALI

### NORMATIVE DI RIFERIMENTO

#### Norme tecniche per le Costruzioni 2018

Aggiornamento alle Norme tecniche per le costruzioni D.M. 17 gennaio 2018.

Gli **stati limite ultimi** per sviluppo di meccanismi di collasso determinati dal raggiungimento della resistenza del terreno interagente con le fondazioni (**GEO**) riguardano:

- collasso per **carico limite** nei terreni di fondazione;
- **scorrimento** sul piano di posa.

*In tali verifiche, tutte le azioni su un elemento di fondazione possono essere ricondotte a una forza risultante applicata al piano di posa.*

Per le verifiche agli stati limite ultimi di tipo geotecnico (**GEO**) per carico limite e per scorrimento si deve fare riferimento all'**approccio 2**.

L'analisi deve essere condotta con la Combinazione (**A1+M1+R3**), nella quale i coefficienti parziali sui parametri di resistenza del terreno (**M1**) sono unitari, i coefficienti parziali sulle azioni (**A1**) sono indicati dalla tabella 6.2.I e la resistenza globale del sistema è ridotta tramite i coefficienti  $\gamma_R$  del gruppo **R3** riportati in tab. 6.4.I.

**Tab. 6.2.I** – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ ( $\sigma_{FE}$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0.9	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Carichi permanenti $G_2$ (1)	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0.8	0.8	0.8
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3

*(1) Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$*

**Tab. 6.4.I** – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

---

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2.3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1.1$

### Stati Limite di Esercizio (SLE)

La capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (SLE) deve essere verificata confrontando il valore limite di progetto associato a ciascun aspetto di funzionalità esaminato ( $C_d$ ), con il corrispondente valore di progetto dell'effetto delle azioni ( $E_d$ ), attraverso la seguente espressione formale:

$$E_d < C_d$$

Dove:

- $E_d$ , valore di progetto dell'azione o degli effetti dell'azione;
- $C_d$ , valore limite dell'effetto delle azioni (spostamenti e deformazioni che possano compromettere la funzionalità di una struttura).

I valori degli spostamenti e delle distorsioni andranno calcolati considerando le combinazioni di carico per gli SLE specificate al §2.5.3:

- Combinazione frequente;
- Combinazione quasi permanente s.l.t.

Le verifiche relative alle deformazioni (cedimenti) e agli spostamenti si effettuano adoperando i valori caratteristici dei parametri ( $f_k$ ).

Nelle analisi, devono essere impiegati i valori caratteristici delle proprietà meccaniche e pertanto i relativi coefficienti parziali di sicurezza devono sempre essere assunti unitari ( $f_k = f_d$ ): si adottano i valori caratteristici dei moduli di deformazione dei terreni ( $E'_k, E_{edk}$ ).

Sotto l'effetto **dell'azione sismica** di progetto le opere e i sistemi geotecnici devono rispettare gli stati limite ultimi e di esercizio già definiti in precedenza (§ 3.2.1 NTC), con i requisiti di sicurezza indicati nel § 7.1.

Le verifiche degli stati limite ultimi in presenza di azioni sismiche devono essere eseguite ponendo **pari a 1 i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici** e impiegando **le resistenze**

---

**di progetto**, con i coefficienti parziali  $\gamma_R$  indicati nel presente Capitolo 7 oppure con i  $\gamma_R$  indicati nel Capitolo 6 laddove non espressamente specificato

**Stato Limite Ultimo (SLV) per carico limite** (§ 7.11.5.3.1)

Le azioni derivano dall'analisi della struttura in elevazione come specificato al § 7.2.5. Le resistenze sono i corrispondenti valori limite che producono il collasso del complesso fondazione-terreno; esse sono valutabili mediante l'estensione di procedure classiche al caso di azione sismica, tenendo conto dell'effetto dell'inclinazione e dell'eccentricità delle azioni in fondazione. Il corrispondente valore di progetto si ottiene applicando il coefficiente  $\gamma_R$  di Tabella 7.11.II. Se, nel calcolo del carico limite, si considera esplicitamente l'effetto delle azioni inerziali sul volume di terreno significativo (e.g. Richards et al., Paolucci e Pecker), il coefficiente  $\gamma_R$  può essere ridotto a 1.8.

**Stato Limite Ultimo (SLV) per scorrimento sul piano di posa** (§ 7.11.5.3.1)

Per azione si intende il valore della forza agente parallelamente al piano di scorrimento, per resistenza si intende la risultante delle tensioni tangenziali limite sullo stesso piano, sommata, in casi particolari, alla risultante delle tensioni limite agenti sulle superfici laterali della fondazione.

**Specificamente, si può tener conto della resistenza lungo le superfici laterali nel caso di contatto diretto fondazione-terreno in scavi a sezione obbligata o di contatto diretto fondazione-calcestruzzo o fondazione-acciaio in scavi sostenuti da paratie o palancole.**

In tali casi, il progettista deve indicare l'aliquota della resistenza lungo le superfici laterali che intende portare in conto, da giustificare con considerazioni relative alle caratteristiche meccaniche dei terreni e ai criteri costruttivi dell'opera.

Ai fini della verifica allo scorrimento, si può considerare la resistenza passiva solo nel caso di effettiva permanenza di tale contributo, portando in conto un'aliquota non superiore al 50%.

**Stato limite di esercizio (SLE)**

A meno dell'impiego di specifiche analisi dinamiche, in grado di fornire la risposta deformativa del sistema fondazione-terreno, la verifica nei confronti dello stato limite di danno può essere ritenuta soddisfatta impiegando le azioni corrispondenti allo SLD e determinando il carico limite di progetto con il coefficiente  $\gamma_R$  riportato nella Tabella 7.11.II.

**Tab. 7.11.II** - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche degli stati limite (SLV) delle fondazioni superficiali con azioni sismiche

Verifica	Coefficiente parziale
Carico limite	2.3
Scorrimento	1.1
Resistenza sulle superfici laterali	1.3



---

## CARICO LIMITE DI FONDAZIONI SU TERRENI

Il carico limite di una fondazione superficiale può essere definito con riferimento a quel valore massimo del carico per il quale in nessun punto del sottosuolo si raggiunge la condizione di rottura (metodo di Frolich), oppure con riferimento a quel valore del carico, maggiore del precedente, per il quale il fenomeno di rottura si è esteso ad un ampio volume del suolo (metodo di Prandtl e successivi).

**Prandtl** ha studiato il problema della rottura di un semispazio elastico per effetto di un carico applicato sulla sua superficie con riferimento all'acciaio, caratterizzando la resistenza a rottura con una legge del tipo:

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan \varphi \quad \text{valida anche per i terreni.}$$

Le ipotesi e le condizioni introdotte dal Prandtl sono le seguenti:

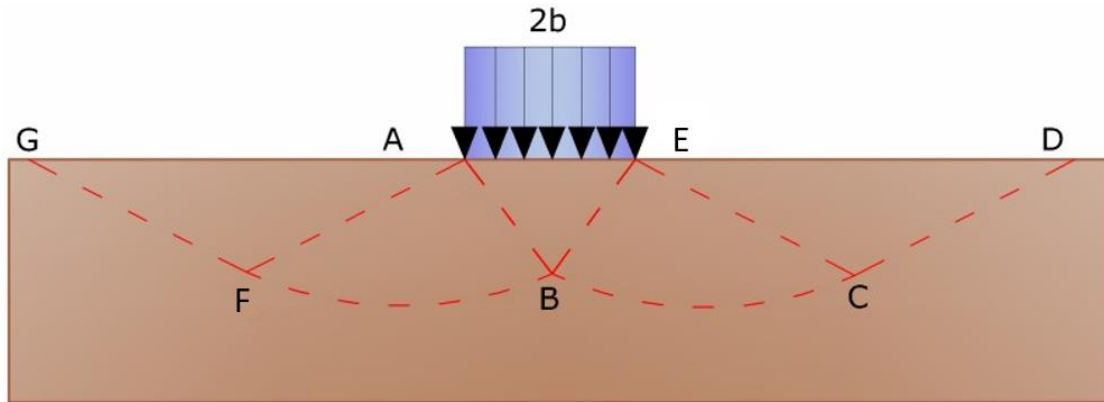
- Materiale privo di peso e quindi  $\gamma=0$
- Comportamento rigido - plastico
- Resistenza a rottura del materiale esprimibile con la relazione  $\tau = c + \sigma \cdot \tan \varphi$
- Carico uniforme, verticale ed applicato su una striscia di lunghezza infinita e di larghezza  $2b$  (stato di deformazione piana)
- Tensioni tangenziali nulle al contatto fra la striscia di carico e la superficie limite del semispazio.

All'atto della rottura si verifica la plasticizzazione del materiale racchiuso fra la superficie limite del semispazio e la superficie *GFBCD*.

Nel triangolo *AEB* la rottura avviene secondo due famiglie di segmenti rettilinei ed inclinati di  $45^\circ + \varphi/2$  rispetto all'orizzontale.

Nelle zone *ABF* e *EBC* la rottura si produce lungo due famiglie di linee, l'una costituita da segmenti rettilinei passanti rispettivamente per i punti *A* ed *E* e l'altra da archi di due famiglie di spirali logaritmiche.

I poli di queste sono i punti *A* ed *E*. Nei triangoli *AFG* e *ECD* la rottura avviene su segmenti inclinati di  $\pm (45^\circ + \varphi/2)$  rispetto alla verticale.



*Meccanismo di rottura di Prandtl*

Individuato così il volume di terreno portato a rottura dal carico limite, questo può essere calcolato scrivendo la condizione di equilibrio fra le forze agenti su qualsiasi volume di terreno delimitato in basso da una qualunque delle superfici di scorrimento.

Si arriva quindi ad una equazione  $q = B \cdot c$ , dove il coefficiente B dipende soltanto dall'angolo di attrito  $\varphi$  del terreno.

$$B = \cot \varphi \left[ e^{\pi \tan \varphi} \tan^2(45^\circ + \varphi/2) - 1 \right]$$

Per  $\varphi=0$  il coefficiente B risulta pari a 5.14, quindi  $q=5.14 \cdot c$ .

Nell'altro caso particolare di terreno privo di coesione ( $c=0$ ,  $\gamma \neq 0$ ) risulta  $q=0$ , secondo la teoria di **Prandtl**, non sarebbe dunque possibile applicare nessun carico sulla superficie limite di un terreno incoerente.

Questa teoria, anche se non applicabile praticamente, ha dato inizio a tutte le ricerche ed i metodi di calcolo successivi.

Infatti **Caquot** si pose nelle stesse condizioni di Prandtl ad eccezione del fatto che la striscia di carico non è più applicata sulla superficie limite del semispazio, ma a una profondità  $h$ , con  $h \leq 2b$ ; il terreno compreso tra la superficie e la profondità  $h$  ha le seguenti caratteristiche:  $\gamma \neq 0$ ,  $\varphi=0$ ,  $c=0$ , rappresenta un mezzo dotato di peso ma privo di resistenza.

Risolvendo le equazioni di equilibrio si arriva all'espressione:

$$q = A \cdot \gamma_1 + B \cdot c$$

che è sicuramente un passo avanti rispetto a Prandtl, ma che ancora non rispecchia la realtà.

### **Metodo di Terzaghi (1955)**

---

**Terzaghi**, proseguendo lo studio di Caquot, ha apportato alcune modifiche per tenere conto delle effettive caratteristiche dell'insieme opera di fondazione-terreno.

Sotto l'azione del carico trasmesso dalla fondazione il terreno che si trova a contatto con la fondazione stessa tende a sfuggire lateralmente, ma ne è impedito dalle resistenze tangenziali che si sviluppano fra la fondazione ed il terreno. Ciò comporta una modifica dello stato tensionale nel terreno posto direttamente al di sotto della fondazione; per tenerne conto **Terzaghi** assegna ai lati AB ed EB del cuneo di Prandtl una inclinazione  $\psi$  rispetto all'orizzontale, scegliendo il valore di  $\psi$  in funzione delle caratteristiche meccaniche del terreno al contatto terreno-opera di fondazione. L'ipotesi  $\gamma_2 = 0$  per il terreno sotto la fondazione viene così superata ammettendo che le superfici di rottura restino inalterate, l'espressione del carico limite è quindi:

$$q = A \cdot \gamma_1 \cdot h + B \cdot c + C \cdot \gamma \cdot b$$

in cui C è un coefficiente che risulta funzione dell'angolo di attrito  $\phi$  del terreno posto al di sotto del piano di posa e dell'angolo  $\phi$  prima definito; b è la semilarghezza della striscia.

Inoltre, basandosi su dati sperimentali, **Terzaghi** passa dal problema piano al problema spaziale introducendo dei fattori di forma.

Un ulteriore contributo è stato apportato da **Terzaghi** sull' effettivo comportamento del terreno.

Nel metodo di Prandtl si ipotizza un comportamento del terreno rigido-plastico, **Terzaghi** invece ammette questo comportamento nei terreni molto compatti.

In essi, infatti, la curva carichi-cedimenti presenta un primo tratto rettilineo, seguito da un breve tratto curvilineo (comportamento elasto-plastico); la rottura è istantanea ed il valore del carico limite risulta chiaramente individuato (rottura generale).

In un terreno molto sciolto invece la relazione carichi-cedimenti presenta un tratto curvilineo accentuato fin dai carichi più bassi per effetto di una rottura progressiva del terreno (rottura locale); di conseguenza l'individuazione del carico limite non è così chiara ed evidente come nel caso dei terreni compatti.

Per i terreni molto sciolti, **Terzaghi** consiglia di prendere in considerazione il carico limite il valore che si calcola con la formula precedente introducendo però dei valori ridotti delle caratteristiche meccaniche del terreno e precisamente:

$$\tan \phi_{rid} = \frac{2}{3} \tan \phi \quad e \quad c_{rid} = \frac{2}{3} c$$

Esplicitando i coefficienti della formula precedente, la formula di **Terzaghi** può essere scritta:

$$q_{ult} = c \cdot N_c \cdot s_c + \gamma \cdot D \cdot N_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma$$

---

dove:

$$N_q = \frac{a^2}{2 \cdot \cos^2(45 + \varphi/2)}$$

$$a = e^{(0.75\pi - \varphi/2) \tan \varphi}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi$$

$$N_\gamma = \frac{\tan \varphi}{2} \left( \frac{K_{p\gamma}}{\cos^2 \varphi} - 1 \right)$$

### Formula di Meyerhof (1963)

*Meyerhof* propose una formula per il calcolo del carico limite simile a quella di *Terzaghi*; le differenze consistono nell'introduzione di ulteriori coefficienti di forma.

Egli introdusse un coefficiente  $s_q$  che moltiplica il fattore  $N_q$ , fattori di profondità  $d_i$  e di pendenza  $i_i$  per il caso in cui il carico trasmesso alla fondazione è inclinato sulla verticale.

I valori dei coefficienti  $N$  furono ottenuti da Meyerhof ipotizzando vari archi di prova BD (v. meccanismo Prandtl), considerando valori approssimati del taglio che si sviluppa nel terreno al di sopra del piano di posa. I fattori di forma tratti da Meyerhof sono di seguito riportati, insieme all'espressione della formula.

#### *Carico verticale*

$$q_{ult} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c + \gamma \cdot D \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma$$

#### *Carico inclinato*

$$q_{ult} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c + \gamma \cdot D \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma$$

$$N_q = e^{(0.75\pi - \varphi/2)} \cdot \tan^2(45 + \varphi/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4 \cdot \varphi)$$

#### *fattore di forma:*

$$s_c = 1 + 0.2 \cdot k_p \cdot \frac{B}{L} \quad \text{per } \varphi > 0$$

---

$$s_q = s_\gamma = 1 + 0.1 \cdot k_p \cdot \frac{B}{L} \quad \text{per } \varphi = 0$$

*fattore di profondità:*

$$d_c = 1 + 0.2 \sqrt{k_p} \cdot \frac{D}{B}$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 \sqrt{k_p} \cdot \frac{D}{B} \quad \text{per } \varphi > 10$$

$$d_q = d_\gamma = 1 \quad \text{per } \varphi > 10$$

*inclinazione:*

$$i_c = i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta}{90}\right)^2$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta}{\varphi}\right)^2 \quad \text{per } \varphi > 0$$

$$i_\gamma = 0 \quad \text{per } \varphi = 0$$

dove:

- $k_p = \tan^2(45 + \varphi/2)$
- $\theta =$  *Inclinazione della risultante sulla verticale.*

### **Formula di Hansen (1970)**

È una ulteriore estensione della formula di *Meyerhof*; le estensioni consistono nell'introduzione di  $b_i$  che tiene conto della eventuale inclinazione sull'orizzontale del piano di posa e un fattore  $g_i$  per terreno in pendenza.

La formula di Hansen vale per qualsiasi rapporto  $D/B$ , quindi sia per fondazioni superficiali che profonde, ma lo stesso autore introdusse dei coefficienti per meglio interpretare il comportamento reale della fondazione, senza di essi, infatti, si avrebbe un aumento troppo forte del carico limite con la profondità.

Per valori di  $D/B < 1$ :

$$d_c = 1 + 0.4 \cdot \frac{D}{B}$$

---

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(1 - \sin \varphi)^2 \cdot \frac{D}{B}$$

Per valori  $D/B > 1$ :

$$d_c = 1 + 0.4 \cdot \tan^{-1} \frac{D}{B}$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(1 - \sin \varphi)^2 \cdot \tan^{-1} \frac{D}{B}$$

*Nel caso  $\varphi=0$*

$D/B$	0	1	1.1	2	5	10	20	100
$d'_c$	0	0.40	0.33	0.44	0.55	0.59	0.61	0.62

*Nei fattori seguenti le espressioni con apici (') valgono quando  $\varphi=0$ .*

*Fattore di forma:*

$$s'_c = 0.2 \frac{B}{L}$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \frac{B}{L}$$

$s_c = 1$  per fondazioni a striscia

$$s_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \varphi$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L}$$

*Fattori di inclinazione del carico:*

$$i'_c = 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - \frac{H}{A_f \cdot c_a}}$$

$$i_c = i_q - \frac{1-i_q}{N_q - 1}$$

$$i_q = \left( 1 - \frac{0.5 \cdot H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \cot \varphi} \right)^5$$

$$i_q = \left( 1 - \frac{0.7 \cdot H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \cot \varphi} \right)^5 \quad (\eta = 0)$$

$$i_q = \left( 1 - \frac{(0.7 - \eta / 450) \cdot H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \cot \varphi} \right)^5 \quad (\eta = 0)$$

*Fattori di inclinazione del terreno (fondazione su pendio):*

$$g'_c = \frac{\beta}{147}$$

$$g_c = 1 - \frac{\beta}{147}$$

$$g_q = g_\gamma = (1 - 0.5 \tan \beta)^5$$

*Fattori di inclinazione del piano di fondazione (base inclinata):*

$$b'_c = \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$$

$$b_c = 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$$

$$b_q \exp(-2\eta \cdot \tan \varphi)$$

### **Formula di Vesic (1975)**

La formula di Vesic è analoga alla formula di Hansen, con  $N_q$  ed  $N_c$  come per la formula di Meyerhof ed  $N_\gamma$  come sotto riportato:

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \varphi$$

I fattori di forma e di profondità che compaiono nelle formule del calcolo della capacità portante sono uguali a quelli proposti da Hansen; alcune differenze sono invece riportate nei fattori di inclinazione del carico, del terreno (fondazione su pendio) e del piano di fondazione (base inclinata).

---

### Formula Brich-Hansen (EC 7 – EC 8)

Affinché una fondazione possa sostenere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale, deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza per tutte le combinazioni di carico relative allo SLU (stato limite ultimo):

$$V_d \leq R_d$$

Dove  $V_d$  è il carico di progetto allo SLU, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso della fondazione stessa; mentre  $R_d$  è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici.

Nella valutazione analitica del carico limite di progetto  $R_d$ , nei terreni a grana fine, si devono considerare le situazioni a breve e a lungo termine.

Il carico limite di progetto in condizioni non drenate si calcola come:

$$\frac{R}{A'} = (2 + \pi) \cdot c_u \cdot s_c \cdot i_c + q$$

Dove:

- $A' = B' \cdot L'$  area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico;
- $c_u$  = coesione non drenata;
- $q$  = pressione litostatica totale sul piano di posa
- $s_c$  = fattore di forma;
- $s_c = 1 + 0.2 \cdot \left(\frac{B'}{L'}\right)$ , per fondazioni rettangolari
- $s_c = 1.2$ , per fondazioni quadrate o circolari
- $i_c$  = Fattore correttivo per l'inclinazione del carico dovuta ad un carico  $H$ .

$$i_c = 0.5 + 0.5 \sqrt{1 - \frac{H}{A'_f \cdot c_a}}$$



---

Per le condizioni drenate il carico limite di progetto è calcolato come segue:

$$\frac{R}{A'} = c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$

Dove:

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan \varphi'} \cdot \tan^2(45 + \varphi' / 2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi'$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \tan \varphi'$$

*Fattori di forma:*

$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi' \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_q = 1 + \sin \varphi' \quad \text{per forma quadrata o circolare}$$

$$s_\gamma = 1 - 0.3 \frac{B'}{L'} \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_\gamma = 0.7 \quad \text{per forma quadrata o circolare}$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1} \quad \text{per forma rettangolare, quadrata o circolare}$$

*Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H:*

$$i'_c = 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - \frac{H}{A_f \cdot c_a}}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

$$i_q = \left( 1 - \frac{H}{V + A' \cdot c' \cdot \cot \varphi'} \right)^m$$

---

$$i_{\gamma} = \left( 1 - \frac{H}{V + A' \cdot c' \cdot \cot \varphi'} \right)^{m+1}$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q^{-1}}{N_q^{-1}}$$

Dove:

$$m = m_B = \frac{\left[ 2 + \left( \frac{B'}{L'} \right) \right]}{\left[ 1 + \left( \frac{B'}{L'} \right) \right]} \quad \text{con } H // B'$$

$$m = m_L = \frac{\left[ 2 + \left( \frac{L'}{B'} \right) \right]}{\left[ 1 + \left( \frac{L'}{B'} \right) \right]} \quad \text{con } H // L'$$

Se H forma un angolo  $\theta$  con la direzione di  $L'$ , l'esponente "m" viene calcolato con la seguente espressione:

$$m = m_{\theta} = m_L \cdot \cos^2 \theta + m_B \cdot \sin^2 \theta$$

Oltre ai fattori correttivi di cui sopra sono considerati quelli complementari della profondità del piano di posa e dell'inclinazione del piano di posa e del piano campagna (Hansen).

#### **Meyerhof e Hanna (1978)**

Tutta l'analisi teorica sviluppata per la determinazione del carico limite è stata basata sull'ipotesi che il terreno sia isotropico ed omogeneo fino a notevole profondità.

Tale ipotesi però non rispecchia la realtà perché, in natura, il terreno presenta disomogeneità litologica per cui può essere costituito da diverse percentuali delle componenti granulometriche come ghiaia, sabbia, limo e argilla.

Le relazioni per la stima del carico limite, ricavate dall'ipotesi di terreno omogeneo risultano essere molto approssimative se il terreno è stratificato, soprattutto se le superfici di rottura interferiscono con i limiti degli strati del terreno.

Si consideri un sistema costituito da due strati di terreno distinti ed una fondazione posizionata sullo strato superiore a una profondità D dal piano campagna, le superfici di rottura a carico limite possono svilupparsi completamente sullo strato superiore oppure coinvolgere anche il secondo

strato. Può accadere che lo strato superiore sia più resistente rispetto allo strato inferiore o viceversa.

In entrambi i casi verrà presentata un'analisi generale per  $c = 0$  e si dimostrerà che sarà valida anche nel caso di terreni sabbiosi o argillosi.

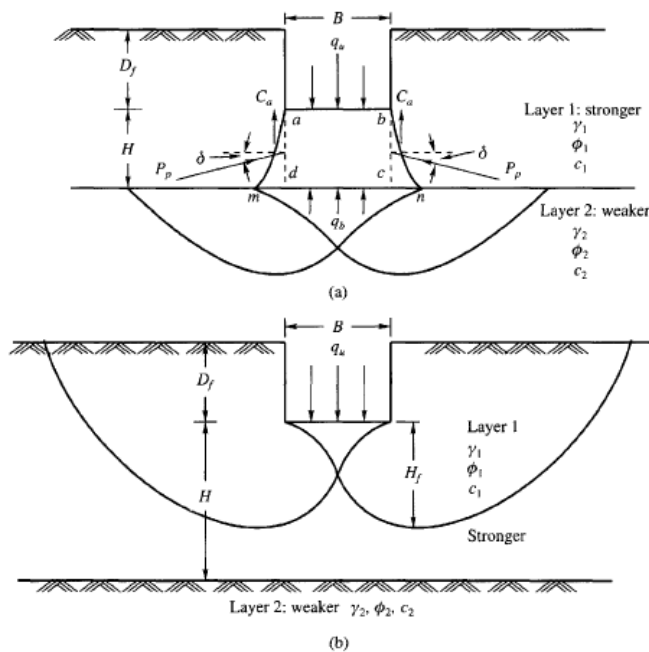
Lo studio della capacità portante di un sistema a strati è stato affrontato da diversi autori: Button (1953), Vesic (1975), Meyerhof (1974), Meyerhof e Hanna (1978)

Meyerhof (1974) ha analizzato un sistema a due strati composto da sabbia densa su argilla morbida e sabbia sciolta su argilla rigida e ha supportato il suo studio con alcuni test su modello. Successivamente Meyerhof e Hanna (1978) hanno integrato lo studio di Meyerhof (1974) includendo nelle analisi il terreno privo di coesione.

Si riporta la trattazione di Meyerhof (1974) e Meyerhof e Hanna (1978).

Nella figura 12.16 (a) è rappresentata una fondazione di larghezza  $B$  e profondità  $D$  in uno strato di terreno resistente (strato 1). Lo strato debole si trova a distanza  $H$  dal piano di posa della fondazione.

Se si verificano le condizioni per cui la distanza  $H$  non è sufficientemente ampia, oppure, si ha un carico eccezionale, una parte dello stesso carico verrà trasferito oltre il livello  $mn$ . Questa condizione indurrà il formarsi di superfici di rottura anche nello strato più debole (strato 2). Se la distanza  $H$  è relativamente grande, le superfici di rottura si svilupperanno completamente nello strato 1 come evidenziato in Figura 12.16b.



**Figure 12.16** Failure of soil below strip footing under vertical load on strong layer overlying weak deposit (after Meyerhof and Hanna, 1978)

---

Il carico limite negli strati 1 e 2 può essere espresso dalle seguenti relazioni:

**Strato 1**

$$q_1 = c_1 \cdot N_{c1} + \frac{1}{2} \gamma_1 \cdot B \cdot N_{\gamma 1}$$

**Strato 2**

$$q_2 = c_2 \cdot N_{c2} + \frac{1}{2} \gamma_2 \cdot B \cdot N_{\gamma 2}$$

Dove:

- $N_{c1}, N_{\gamma 1}$  = fattori di capacità portante dello strato 1 con angolo di resistenza a taglio  $\phi_1$
- $N_{c2}, N_{\gamma 2}$  = fattori di capacità portante dello strato 2 con angolo di resistenza a taglio  $\phi_2$

Se il piano di posa della fondazione si trova ad una distanza  $D_f$  rispetto al piano campagna e la distanza  $H$  è relativamente grande l'espressione del carico limite è la seguente:

$$q_u = q_t = c_1 \cdot N_{c1} + q'_0 \cdot N_{q1} + \frac{1}{2} \gamma_1 \cdot B \cdot N_{\gamma 1}$$

Se  $q_1$  è maggiore di  $q_2$  e se la distanza  $H$  non è sufficiente a formare una condizione di plasticizzazione completa nello strato 1, allora la rottura è legata alla spinta del terreno che si sviluppa dallo strato più debole allo strato più resistente. La formulazione per la stima del carico limite diventa:

$$q_u = q_b + \frac{2 \cdot (c_a + P_p \sin \delta)}{B} - \gamma_1 \cdot H$$

Dove:

- $q_b$  = carico limite nello strato 2;
- $P_p$  = spinta passiva;
- $C_a$  = adesione;

- $\delta$  = inclinazione della spinta passiva rispetto all'orizzontale

Con:

$$P_p = \frac{\gamma_1 \cdot H^2}{2 \cos \delta} \left( 1 + \frac{2D_f}{H} \right) \cdot K_p$$

### Metodo di Richards et al.

Richards, Helm e Budhu (1993) hanno sviluppato una procedura che consente, in condizioni sismiche, di valutare sia il carico limite sia i cedimenti indotti, e quindi di procedere alle verifiche di entrambi gli stati limite (ultimo e di danno). La valutazione del carico limite viene perseguita mediante una semplice estensione del problema del carico limite al caso della presenza di forze di inerzia nel terreno di fondazione dovute al sisma, mentre la stima dei cedimenti viene ottenuta mediante un approccio che segue il metodo di Newmark (cfr. Appendice H di “Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica” – Associazione Geotecnica Italiana). Gli autori hanno esteso la classica formula trinomia del carico limite nel seguente modo:

$$q_L = \frac{\gamma_1 \cdot H^2}{2 \cos \delta} \left( 1 + \frac{2D_f}{H} \right) \cdot K_p$$

$$q_L = N_q \cdot q + N_c \cdot c + 0.5 N_\gamma \cdot \gamma \cdot B$$

Dove i fattori di capacità portante vengono calcolati con le seguenti formule:

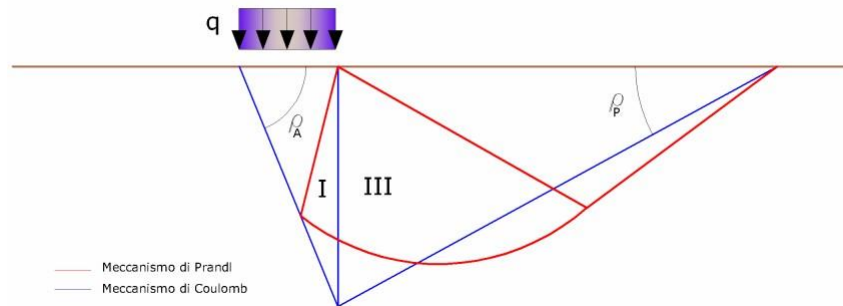
$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot(\phi)$$

$$N_q = \frac{K_{pE}}{K_{AE}}$$

$$N_\gamma = \left( \frac{K_{pE}}{K_{AE}} - 1 \right) \cdot \tan(\rho_{AE})$$

Gli autori hanno, inoltre, esaminato un meccanismo di tipo Coulomb, con un approccio che segue quello dell'equilibrio limite, considerando anche le forze di inerzia agenti sul volume di terreno

sottoposto a rottura. In campo statico, il classico meccanismo di Prandtl può essere infatti approssimato come mostrato nella figura che segue, eliminando la zona di transizione (ventaglio di Prandtl) ridotta alla sola linea AC, che viene considerata come una parete ideale in equilibrio sotto l'azione della spinta attiva e della spinta passiva che riceve dai cunei I e III:



*Schema di calcolo del carico limite ( $qL$ ).*

Gli autori hanno ricavato le espressioni degli angoli  $\rho_A$  e  $\rho_P$  che definiscono le zone di spinta attiva e passiva, e dei coefficienti di spinta attiva e passiva  $K_A$  e  $K_P$  in funzione dell'angolo di attrito interno  $\varphi$  del terreno e dell'angolo di attrito  $\delta$  terreno – parete ideale:

$$\rho_A = \varphi + \tan^{-1} \cdot \left\{ \frac{\sqrt{\tan \varphi \cdot (\tan \varphi \cdot \cot \varphi) \cdot (1 + \tan \delta \cdot \cot \varphi)} - \tan \varphi}{1 + \tan \delta \cdot (\tan \varphi + \cot \varphi)} \right\}$$

$$\rho_P = -\varphi + \tan^{-1} \cdot \left\{ \frac{\sqrt{\tan \varphi \cdot (\tan \varphi \cdot \cot \varphi) \cdot (1 + \tan \delta \cdot \cot \varphi)} + \tan \varphi}{1 + \tan \delta \cdot (\tan \varphi + \cot \varphi)} \right\}$$

$$K_A = \frac{\cos^2(\varphi)}{\cos(\delta) \left\{ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi)}{\cos(\delta)}} \right\}^2}$$

$$K_P = \frac{\cos^2(\varphi)}{\cos(\delta) \left\{ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi)}{\cos(\delta)}} \right\}^2}$$

È comunque da osservare che l'impiego delle precedenti formule assumendo  $\phi=0.5\delta$ , conduce a valori dei coefficienti di carico limite prossimi a quelli basati su un'analisi di tipo Prandtl. Richards et al. hanno quindi esteso l'applicazione del meccanismo di Coulomb al caso sismico, portando in conto le forze d'inerzia agenti sul volume di terreno a rottura. Tali forze di massa, dovute ad accelerazioni  $k_h g$  e  $k_v g$ , agenti rispettivamente in direzione orizzontale e verticale, sono a loro volta pari a  $k_h \gamma$  e  $k_v \gamma$ . Sono state così ottenute le estensioni delle espressioni di  $\rho_A$  e  $\rho_P$ , nonché di  $K_A$  e  $K_P$ , rispettivamente indicate come  $\rho_{AE}$  e  $\rho_{PE}$  e come  $K_{AE}$  e  $K_{PE}$  per denotare le condizioni sismiche:

$$\rho_{AE} = (\varphi - \theta) + \tan^{-1} \cdot \left\{ \frac{\sqrt{(1 + \tan^2(\varphi - \theta)) \cdot [1 + \tan(\delta + \theta) \cdot \cot(\varphi - \theta)]} - \tan(\varphi - \theta)}{1 + \tan(\delta + \theta) \cdot (\tan(\varphi - \theta) + \cot(\varphi - \theta))} \right\}$$

$$\rho_{PE} = -(\varphi - \theta) + \tan^{-1} \cdot \left\{ \frac{\sqrt{(1 + \tan^2(\varphi - \theta)) \cdot [1 + \tan(\delta + \theta) \cdot \cot(\varphi - \theta)]} - \tan(\varphi - \theta)}{1 + \tan(\delta + \theta) \cdot (\tan(\varphi - \theta) + \cot(\varphi - \theta))} \right\}$$

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\varphi - \theta)}{\cos(\theta) \cdot \cos(\delta + \theta) \left\{ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \theta)}{\cos(\delta + \theta)}} \right\}^2}$$

$$K_{PE} = \frac{\cos^2(\varphi - \theta)}{\cos(\theta) \cdot \cos(\delta + \theta) \left\{ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \theta)}{\cos(\delta + \theta)}} \right\}^2}$$

I valori di  $N_q$  e  $N_\gamma$  sono determinabili ancora avvalendosi delle formule precedenti, impiegando naturalmente le espressioni degli angoli  $\rho_{AE}$  e  $\rho_{PE}$  e dei coefficienti  $K_{AE}$  e  $K_{PE}$  relative al caso sismico. In tali espressioni compare l'angolo  $\theta$  definito come:

$$\tan(\theta) = \frac{k_h}{1 - k_v}$$

Nella tabella sottostante sono mostrati i fattori di capacità portante calcolati per i seguenti valori dei parametri:

$$\varphi = 30^\circ \quad \delta = 15^\circ$$

---

Per diversi valori dei coefficienti di spinta sismica:

*Tabella dei fattori di capacità portante per  $\varphi=30^\circ$*

$k_h/(1-k_v)$	$N_q$	$N_\gamma$	$N_c$
0	16.51037	23.75643	26.86476
0.087	13.11944	15.88906	20.9915
0.176	9.851541	9.465466	15.33132
0.268	7.297657	5.357472	10.90786
0.364	5.122904	2.604404	7.141079
0.466	3.216145	0.879102	3.838476
0.577	1.066982	1.103E-03	0.1160159

### **VERIFICA A CARICO LIMITE DELLE FONDAZIONE (SLU)**

La verifica a carico limite delle fondazioni secondo l'approccio SLU si esegue con la seguente disequaglianza:

$$E_d \leq \frac{R_d}{\gamma_{RV}}$$

Dove:

- $E_d$ = pressioni agenti alla base della fondazione;
- $R_d$ = capacità portante di calcolo;
- $\gamma_{RV}$ = coefficiente riduttivo della capacità portante verticale

Le pressioni agenti alla base della fondazione si calcolano con dalla seguente espressione:

$$E_d = \frac{N_d}{A_{ef}}$$

Dove:

- $N_d$ = azione normale di progetto;
- $A_{ef} = B_R \cdot L'$ = area ridotta;

### **Fondazioni quadrate o rettangolari**

L'area ridotta risulta essere:

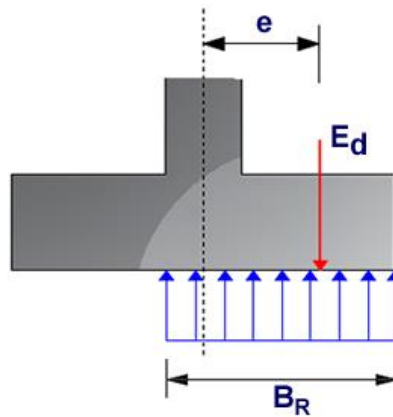


$$A_{ef}=B' \cdot L'$$

$$L'=L-2e_x; B'=B-e_y; e_x=\frac{M_x}{N}; e_y=\frac{M_y}{N}$$

Per le verifiche a carico limite allo SLU è lecito considerare la "plasticizzazione" del terreno, in tal caso si può assumere una distribuzione uniforme delle pressioni agenti sul piano di posa.

Come evidenziato nella seguente immagine, la distribuzione delle pressioni si considera estesa sulla base "ridotta"  $B_R=B-2e$ .



Dove:

- $e=N_d/M_d$ - eccentricità dei carichi

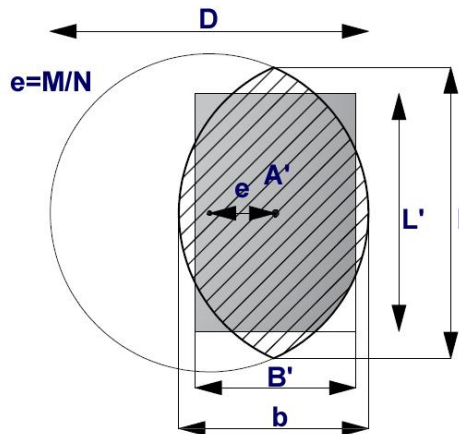
### Fondazioni circolari

Una fondazione circolare sottoposta ad un carico verticale applicato con un'eccentricità  $e = Md / Nd$  può essere considerata equivalente ad una fondazione fittizia con un carico applicato centralmente (Figura seguente), come suggerito da Meyerhof (1953) e Vesic (1973). In questo caso, l'area della fondazione fittizia,  $A'$ , può essere calcolata con questa espressione:

$$A' = \frac{D^2}{2} \left( \arccos \frac{2e}{D} - \frac{2e}{D} \sqrt{1 - \left( \frac{2e}{D} \right)^2} \right)$$

Il rapporto delle lunghezze dei lati della fondazione rettangolare equivalente può essere approssimato al rapporto tra le lunghezze  $b$  ed  $l$ , si ricava da:

$$\frac{B}{L'} = \frac{b}{l} = \sqrt{\frac{D-2e}{D+2e}}$$



*Metodo di calcolo delle dimensioni equivalenti di una fondazione circolare soggetta a carico non baricentrico.*

### VERIFICA A SLITTAMENTO

In conformità con i criteri di progetto allo SLU, la stabilità di un plinto di fondazione deve essere verificata rispetto al collasso per slittamento oltre a quello per rottura generale. Rispetto al collasso per slittamento la resistenza viene valutata come somma di componenti: una delle componenti è dovuta all'adesione, l'altra è dovuta all'attrito fondazione-terreno. La resistenza laterale derivante dalla spinta passiva del terreno può essere messa in conto secondo una percentuale indicata dall'utente.

La resistenza di calcolo per attrito ed adesione è valutata secondo l'espressione:

$$F_{Rd} = N_{sd} \cdot \tan \delta + c_a \cdot A'$$

Nella quale  $N_{sd}$  è il valore di calcolo della forza verticale,  $\delta$  è l'angolo di resistenza a taglio alla base del plinto,  $c_a$  è l'adesione plinto-terreno e  $A'$  è l'area della fondazione efficace, intesa, in caso di carichi eccentrici, come area ridotta al centro della quale è applicata la risultante.

### CARICO LIMITE DI FONDAZIONI SU ROCCIA

Per la valutazione della capacità portante ammissibile delle rocce si deve tener conto di di alcuni parametri significativi quali le caratteristiche geologiche, il tipo di roccia e la sua qualità, misurata con l'RQD. Nella capacità portante delle rocce si utilizzano normalmente fattori di sicurezza molto alti e legati in qualche modo al valore del coefficiente RQD: ad esempio, per una roccia con RQD pari al massimo a 0.75 il fattore di sicurezza varia tra 6 e 10. Per la determinazione della capacità portante di una roccia si possono usare le formule di Terzaghi, usando angolo d'attrito e coesione

---

della roccia, o quelle proposte da **Stagg e Zienkiewicz** (1968) in cui i coefficienti della formula della capacità portante valgono:

$$N_q = \tan^6(45 + \varphi / 2)$$

$$N_c = 5 \tan^4(45 + \varphi / 2)$$

$$N_\gamma = N_q + 1$$

Con tali coefficienti vanno usati i fattori di forma impiegati nella formula di Terzaghi. La capacità portante ultima calcolata è comunque funzione del coefficiente RQD secondo la seguente espressione:

$$q' = q_{ult} (RQD)^2$$

Se il carotaggio in roccia non fornisce pezzi intatti (RQD tende a 0), la roccia viene trattata come un terreno stimando al meglio i parametri c e  $\varphi$ .

#### **FATTORI CORRETTIVI SISMICI (PAOLUCCI E PECKER)**

Quando si determina  $q_{lim}$ , per tener conto degli effetti inerziali indotti dal sisma sulla determinazione del vengono introdotti i fattori correttivi z:

$$z_q = \left(1 - \frac{k_h}{\text{tg}\varphi}\right)^{0,35}$$

$$z_c = 1 - 0,32 \cdot k_h$$

$$z_\gamma = z_q$$

Dove  $k_h$  è il coefficiente sismico orizzontale.

#### **CEDIMENTI ELASTICI**

I cedimenti di una fondazione rettangolare di dimensioni B×L posta sulla superficie di un semispazio elastico si possono calcolare in base ad una equazione basata sulla teoria dell'elasticità (Timoshenko e Goodier, 1951):

$$\Delta H = q_0 B \frac{1-\mu^2}{E_s} \left( I_1 + \frac{1-2\mu}{1-\mu} I_2 \right) \cdot I_F \quad (1)$$

dove:

---

---

$q_0$  Intensità della pressione di contatto

$B'$  Minima dimensione dell'area reagente,

$E$  e  $\mu$  Parametri elastici del terreno.

$I_1$  Coefficienti di influenza dipendenti da:  $L'/B'$ , spessore dello strato  $H$ , coefficiente di Poisson  $\mu$ , profondità del piano di posa  $D$ ;

I coefficienti  $I_1$  e  $I_2$  si possono calcolare utilizzando le equazioni fornite da *Steinbrenner (1934)* (V. Bowles), in funzione del rapporto  $L'/B'$  ed  $H/B$ , utilizzando  $B'=B/2$  e  $L'=L/2$  per i coefficienti relativi al centro e  $B'=B$  e  $L'=L$  per i coefficienti relativi al bordo.

Il coefficiente di influenza  $I_F$  deriva dalle equazioni di *Fox (1948)*, che indicano il cedimento si riduce con la profondità in funzione del coefficiente di *Poisson* e del rapporto  $L/B$ .

In modo da semplificare l'equazione (1) si introduce il coefficiente  $I_S$ :

$$I_S = I_1 + \frac{1-2\mu}{1-\mu} \cdot I_2$$

Il cedimento dello strato di spessore  $H$  vale:

$$\Delta H = q_0 \cdot B \cdot \frac{1-\mu^2}{E_S} \cdot I_S \cdot I_F$$

Per meglio approssimare i cedimenti si suddivide la base di appoggio in modo che il punto si trovi in corrispondenza di uno spigolo esterno comune a più rettangoli. In pratica si moltiplica per un fattore pari a 4 per il calcolo dei cedimenti al centro e per un fattore pari a 1 per i cedimenti al bordo. Nel calcolo dei cedimenti si considera una profondità del bulbo delle tensioni pari a  $5B$ , se il substrato roccioso si trova ad una profondità maggiore. A tal proposito viene considerato substrato roccioso lo strato che ha un valore di  $E$  pari a 10 volte dello strato soprastante. Il modulo elastico per terreni stratificati viene calcolato come media pesata dei moduli elastici degli strati interessati dal cedimento immediato.

### **CEDIMENTI EDOMETRICI**

Il calcolo dei cedimenti con l'approccio edometrico consente di valutare un cedimento di consolidazione di tipo monodimensionale, prodotto dalle tensioni indotte da un carico applicato in condizioni di espansione laterale impedita. Pertanto la stima effettuata con questo metodo va considerata come empirica, piuttosto che teorica.

Tuttavia la semplicità d'uso e la facilità di controllare l'influenza dei vari parametri che intervengono nel calcolo, ne fanno un metodo molto diffuso.

---

---

L'approccio edometrico nel calcolo dei cedimenti passa essenzialmente attraverso due fasi:

- Il calcolo delle tensioni verticali indotte alle varie profondità con l'applicazione della teoria dell'elasticità;
- a) la valutazione dei parametri di compressibilità attraverso la prova edometrica.

In riferimento ai risultati della prova edometrica, il cedimento è valutato come:

$$\Delta H = H_0 \cdot RR \cdot \log \frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v}{\sigma'_{v0}}$$

se si tratta di un terreno sovraconsolidato ( $OCR > 1$ ), ossia l'incremento di tensione dovuto all'applicazione del carico non fa superare la pressione di preconsolidazione  $\sigma'_p$  ( $\sigma'_p + \Delta\sigma_v < \sigma'_p$ ). Se invece il terreno è normalconsolidato ( $\sigma'_{v0} = \sigma'_p$ ) le deformazioni avvengono nel tratto di compressione ed il cedimento è valutato come:

$$\Delta H = H_0 \cdot CR \cdot \log \frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v}{\sigma'_{v0}}$$

dove:

- b) *RR*: Rapporto di ricomprensione;
- *CR*: Rapporto di compressione;
- $H_0$ : Spessore iniziale dello strato;
- $\sigma'_{v0}$ : Tensione verticale efficace prima dell'applicazione del carico;
- $\Delta\sigma_v$ : Incremento di tensione verticale dovuto all'applicazione del carico.

In alternativa ai parametri *RR* e *CR* si fa riferimento al modulo edometrico *M*; in tal caso però occorre scegliere opportunamente il valore del modulo da utilizzare, tenendo conto dell'intervallo tensionale ( $\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v$ ) significativo per il problema in esame.

L'applicazione corretta di questo tipo di approccio richiede:

- la suddivisione degli strati compressibili in una serie di piccoli strati di modesto spessore (< 2.00 m);
- la stima del modulo edometrico nell'ambito di ciascuno strato;
- il calcolo del cedimento come somma dei contributi valutati per ogni piccolo strato in cui è stato suddiviso il banco compressibile.

---

Le espressioni sopra riportate per il calcolo del cedimento di consolidazione vengono utilizzate sia per le argille che per le sabbie di granulometria da fina a media, perché il modulo di elasticità impiegato è ricavato direttamente da prove di consolidazione. Tuttavia, per terreni a grana più grossa le dimensioni dei provini edometrici sono poco significative del comportamento globale dello strato e, per le sabbie, risulta preferibile impiegare prove penetrometriche statiche e dinamiche.

### **Cedimento secondario**

Il cedimento secondario è calcolato facendo riferimento alla relazione:

$$\Delta H_s = H_c \cdot C_\alpha \cdot \log \frac{T}{T_{100}}$$

in cui:

- $H_c$ : altezza dello strato in fase di consolidazione;
- $C_\alpha$ : coefficiente di consolidazione secondaria come pendenza nel tratto secondario della curva *cedimento-logaritmo tempo*;
- $T$ : tempo in cui si vuole il cedimento secondario;
- $T_{100}$ : tempo necessario all'esaurimento del processo di consolidazione primaria.

### **CEDIMENTI DI SCHMERTMANN**

Un metodo alternativo per il calcolo dei cedimenti è quello proposto da Schmertmann (1970) il quale ha correlato la variazione del bulbo delle tensioni alla deformazione. L'autore ha considerato nel suo modello un diagramma delle deformazioni di forma triangolare in cui la profondità alla quale si hanno deformazioni significative è assunta pari a  $4B$ , nel caso di fondazioni nastriformi, e pari a  $2B$  per fondazioni quadrate o circolari.

Secondo tale approccio il cedimento si esprime attraverso la seguente espressione:

$$w = C_1 \cdot C_2 \cdot \Delta q \cdot \sum \frac{I_z \cdot \Delta z}{E}$$

nella quale:

- $\Delta q$ : rappresenta il carico netto applicato alla fondazione;
- $I_z$ : è un fattore di deformazione il cui valore è nullo a profondità di **2B**, per fondazione circolare o quadrata, e a profondità **4B**, per fondazione nastriforme.

Il valore massimo di  $I_z$  si verifica a una profondità rispettivamente pari a:

- $B/2$ , per fondazione circolare o quadrata
- $B$ , per fondazioni nastriformi

---

e vale

$$I_{z\max} = 0.5 + 0.1 \cdot \left( \frac{\Delta q}{\sigma'_{vi}} \right)^{0.5}$$

Dove:

- $\sigma'_{vi}$ : rappresenta la tensione verticale efficace a profondità B/2 per fondazioni quadrate o circolari, e a profondità B per fondazioni nastriformi.
- $E_i$ : rappresenta il modulo di deformabilità del terreno in corrispondenza dello strato i-esimo considerato nel calcolo;
- $\Delta z_i$ : rappresenta lo spessore dello strato i-esimo;
- $C_1$  e  $C_2$  sono due coefficienti correttivi.

Il modulo E viene assunto pari a  $2.5 q_c$  per fondazioni circolari o quadrate e a  $3.5 q_c$  per fondazioni nastriformi. Nei casi intermedi, si interpola in funzione del valore di L/B.

Il termine  $q_c$  che interviene nella determinazione di E rappresenta la resistenza alla punta fornita dalla prova CPT.

Le espressioni dei due coefficienti  $C_1$  e  $C_2$  sono:

$$C_1 = 1 - 0.5 \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{\Delta q} > 0.5$$

che tiene conto della profondità del piano di posa.

$$C_2 = 1 + 0.2 \cdot \log \frac{t}{0.1}$$

che tiene conto delle deformazioni differite nel tempo per effetto secondario.

Nell'espressione  $t$  rappresenta il tempo, espresso in anni dopo il termine della costruzione, in corrispondenza del quale si calcola il cedimento.

### **CEDIMENTI DI BURLAND e BURBIDGE**

Qualora si disponga di dati ottenuti da prove penetrometriche dinamiche per il calcolo dei cedimenti è possibile fare affidamento al metodo di Burland e Burbidge (1985), nel quale viene correlato un indice di compressibilità  $I_c$  al risultato N della prova penetrometrica dinamica. L'espressione del cedimento proposta dai due autori è la seguente:

$$S = f_S \cdot f_H \cdot f_t \cdot \left[ \sigma'_{v0} \cdot B^{0.7} \cdot I_C / 3 + (q' - \sigma'_{v0}) \cdot B^{0.7} \cdot I_C \right]$$

nella quale:

- $q'$ : pressione efficace lorda;
- $\sigma'_{v0}$ : tensione verticale efficace alla quota d'imposta della fondazione;
- $B$ : larghezza della fondazione;
- $I_C$ : Indice di compressibilità;
- $f_S, f_H, f_t$ : fattori correttivi che tengono conto rispettivamente della forma, dello spessore dello strato compressibile e del tempo, per la componente viscosa.

L'indice di compressibilità  $I_C$  è legato al valore medio  $N_{AV}$  di  $N_{spt}$  all'interno di una profondità significativa  $z$ :

$$I_C = \frac{1.706}{N_{AV}^{1.4}}$$

Per quanto riguarda i valori di  $N_{spt}$  da utilizzare nel calcolo del valore medio  $N_{AV}$  va precisato che i valori vanno corretti, per sabbie con componente limosa sotto falda e  $N_{spt} > 15$ , secondo l'indicazione di Terzaghi e Peck (1948):

$$N_c = 15 + 0.5 \cdot (N_{spt} - 15)$$

dove  $N_c$  è il valore corretto da usare nei calcoli.

Per depositi ghiaiosi o sabbioso-ghiaiosi il valore corretto è pari a:

$$N_c = 1.25 \cdot N_{spt}$$

Le espressioni dei fattori correttivi  $f_S, f_H$  e  $f_t$  sono rispettivamente:

$$f_S = \left( \frac{1.25 \cdot L/B}{L/B + 0.25} \right)^2$$

$$f_H = \frac{H}{z_i} \left( 2 - \frac{H}{z_i} \right)$$

$$f_t = \left( 1 + R_3 + R \cdot \log \frac{t}{3} \right)$$



Con:

- t tempo in anni > 3;
- R<sub>3</sub> costante pari a 0.3 per carichi statici e 0.7 per carichi dinamici;
- R 0.2 nel caso di carichi statici e 0.8 per carichi dinamici.

#### DATI GENERALI

---

---

Normativa	NTC_2018
Larghezza fondazione	12.14 m
Lunghezza fondazione	22.36 m
Profondità piano di posa	0.8 m
Altezza di incastro	0.8 m

---

---

#### SISMA

---

---

Accelerazione massima (amax/g)	0.31
Effetto sismico secondo	NTC 2018

---

---

#### Coefficienti sismici [N.T.C.]

##### Dati generali

---

---

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe III
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	75.0 [anni]

##### Parametri sismici su sito di riferimento

---

---

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	45.0	0.647	2.489	0.259
S.L.D.	75.0	0.794	2.501	0.269
S.L.V.	712.0	1.775	2.522	0.295
S.L.C.	1462.0	2.197	2.547	0.305

##### Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

---

---

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
----------------------	-----------------------------	-------------	-----------	-------------

---

---

S.L.O.	1.1646	0.2	0.0238	0.0119
S.L.D.	1.4292	0.2	0.0291	0.0146
S.L.V.	3.0376	0.24	0.0743	0.0372
S.L.C.	3.5792	0.28	0.1022	0.0511

## STRATIGRAFIA TERRENO

Spessor e strato [m]	Peso unità di volume [kN/m <sup>3</sup> ]	Peso unità di volume saturato [kN/m <sup>3</sup> ]	Angolo di attrito [°]	Coesio ne [kN/m <sup>2</sup> ]	Coesio ne non drenata [kN/m <sup>2</sup> ]	Modul o Elastic o [kN/m <sup>2</sup> ]	Modul o Edomet rico [kN/m <sup>2</sup> ]	Poisson	Coeff. consoli daz. primari a [cmq/s]	Coeff. consoli dazione second aria	Descriz ione
0.8	17.0	19.0	15.0	5.0	24.0	4600.0	3400.0	0.0	0.0	0.0	
0.8	20.0	22.0	23.0	12.0	77.0	6260.0	5040.0	0.0	0.0	0.0	
0.8	20.0	22.0	23.0	12.0	77.0	6260.0	5040.0	0.0	0.0	0.0	
0.8	20.0	22.0	23.0	17.0	95.0	9120.0	5590.0	0.0	0.0	0.0	
0.8	20.0	22.0	23.0	17.0	95.0	9120.0	5590.0	0.0	0.0	0.0	
0.8	20.0	22.0	23.0	17.0	95.0	9120.0	5590.0	0.0	0.0	0.0	
0.8	20.0	22.0	23.0	17.0	95.0	9120.0	5590.0	0.0	0.0	0.0	
0.8	20.0	22.0	23.0	17.0	95.0	9120.0	5590.0	0.0	0.0	0.0	
0.8	20.0	22.0	23.0	17.0	95.0	9120.0	5590.0	0.0	0.0	0.0	
0.8	20.0	22.0	23.0	17.0	95.0	9120.0	5590.0	0.0	0.0	0.0	

## Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazi one	Pressione normale di progetto [kN/m <sup>2</sup> ]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo
1	A1+M1+ R3	98.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
2	S.L.E.	68.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio
3	A(1)+M(1 ) + R(3)	191.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto

## Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr	Correzion e Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazion e	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef. Rid. Capacità portante orizzontal e
1	No	1	1	1	1	1	2.3	1.1
2	No	1	1	1	1	1	1	1
3	Si	1	1	1	1	1	1.8	1.1

## CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3

---

Autore: Meyerhof and Hanna (1978)

Carico limite [Qult]	459.65 kN/m <sup>2</sup>
Resistenza di progetto[Rd]	199.85 kN/m <sup>2</sup>
Tensione [Ed]	98.0 kN/m <sup>2</sup>
Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed]	4.69
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler	43262.08 kN/m <sup>3</sup>
---------------------	----------------------------

### A1+M1+R3

Autore: HANSEN (1970) (Condizione drenata)

=====

#### PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

=====

Peso unità di volume	20.0 kN/m <sup>3</sup>
Peso unità di volume saturo	22.0 kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	23.0 °
Coesione	12.0 kN/m <sup>2</sup>

=====

Fattore [Nq]	8.66
Fattore [Nc]	18.05
Fattore [Ng]	4.88
Fattore forma [Sc]	1.26
Fattore profondità [Dc]	1.03
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.23
Fattore profondità [Dq]	1.02
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.78
Fattore profondità [Dg]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0
Fattore inclinazione base [Bg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

=====

Carico limite	891.74 kN/m <sup>2</sup>
---------------	--------------------------

---

---

Resistenza di progetto 387.71 kN/m<sup>2</sup>

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

---

---

Autore: TERZAGHI (1955) (Condizione drenata)

---

---

#### PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

---

---

Peso unità di volume	20.0 kN/m <sup>3</sup>
Peso unità di volume saturo	22.0 kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	23.0 °
Coesione	12.0 kN/m <sup>2</sup>

---

---

Fattore [Nq]	10.23
Fattore [Nc]	21.75
Fattore [Ng]	7.55
Fattore forma [Sc]	1.0
Fattore forma [Sg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

---

---

Carico limite	1316.97 kN/m <sup>2</sup>
Resistenza di progetto	572.6 kN/m <sup>2</sup>

---

---

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

---

---

Autore: MEYERHOF (1963) (Condizione drenata)

---

---

#### PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

---

---

Peso unità di volume	20.0 kN/m <sup>3</sup>
Peso unità di volume saturo	22.0 kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	23.0 °
Coesione	12.0 kN/m <sup>2</sup>

---

---

Fattore [Nq]	8.66
Fattore [Nc]	18.05
Fattore [Ng]	4.82
Fattore forma [Sc]	1.25
Fattore profondità [Dc]	1.02
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0

---

---

---

Fattore forma [Sq]	1.12
Fattore profondità [Dq]	1.01
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore forma [Sg]	1.12
Fattore profondità [Dg]	1.01
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

---

Carico limite	1074.19 kN/m <sup>2</sup>
Resistenza di progetto	467.04 kN/m <sup>2</sup>

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

---

Autore: VESIC (1975) (Condizione drenata)

---

#### PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

---

Peso unità di volume	20.0 kN/m <sup>3</sup>
Peso unità di volume saturo	22.0 kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	23.0 °
Coesione	12.0 kN/m <sup>2</sup>

---

Fattore [Nq]	8.66
Fattore [Nc]	18.05
Fattore [Ng]	8.2
Fattore forma [Sc]	1.26
Fattore profondità [Dc]	1.02
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.23
Fattore profondità [Dq]	1.02
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.78
Fattore profondità [Dg]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0
Fattore inclinazione base [Bg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0

---

---

Fattore correzione sismico inerziale [zc] 1.0

=====  
Carico limite 1206.84 kN/m<sup>2</sup>  
Resistenza di progetto 524.71 kN/m<sup>2</sup>

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

=====  
Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione drenata)

=====  
**PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO**

=====  
Peso unità di volume 20.0 kN/m<sup>3</sup>  
Peso unità di volume saturo 22.0 kN/m<sup>3</sup>  
Angolo di attrito 23.0 °  
Coesione 12.0 kN/m<sup>2</sup>

=====  
Fattore [Nq] 8.66  
Fattore [Nc] 18.05  
Fattore [Ng] 6.5  
Fattore forma [Sc] 1.24  
Fattore profondità [Dc] 1.02  
Fattore inclinazione carichi [Ic] 1.0  
Fattore inclinazione pendio [Gc] 1.0  
Fattore inclinazione base [Bc] 1.0  
Fattore forma [Sq] 1.21  
Fattore profondità [Dq] 1.02  
Fattore inclinazione carichi [Iq] 1.0  
Fattore inclinazione pendio [Gq] 1.0  
Fattore inclinazione base [Bq] 1.0  
Fattore forma [Sg] 0.84  
Fattore profondità [Dg] 1.0  
Fattore inclinazione carichi [Ig] 1.0  
Fattore inclinazione pendio [Gg] 1.0  
Fattore inclinazione base [Bg] 1.0  
Fattore correzione sismico inerziale [zq] 1.0  
Fattore correzione sismico inerziale [zg] 1.0  
Fattore correzione sismico inerziale [zc] 1.0

=====  
Carico limite 1081.55 kN/m<sup>2</sup>  
Resistenza di progetto 470.24 kN/m<sup>2</sup>

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

---

Autore: Meyerhof and Hanna (1978) (Condizione drenata)

=====

Strato 1 sopra, strato 2 sotto

Fattori di capacità portante strato 1

Fattore [Nq]	8.66
Fattore [Nc]	18.05
Fattore [Ng]	1.56

Fattori di capacità portante strato 2

Fattore [Nq]	1.0
Fattore [Nc]	5.14

Carico limite strato 2 (qb)	470.76 kN/m <sup>2</sup>
Carico limite strato 1 (qt)	585.7 kN/m <sup>2</sup>

Incremento carico limite strato 1	4.89 kN/m <sup>2</sup>
Coefficiente di punzonamento (ks)	2.46
Rapporto (q1/q2)	0.98

=====

Carico limite	459.65 kN/m <sup>2</sup>
Resistenza di progetto	199.85 kN/m <sup>2</sup>

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

=====

**A(1)+M(1)+R(3)**

Autore: HANSEN (1970) (Condizione drenata)

=====

#### PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

=====

Peso unità di volume	20.0 kN/m <sup>3</sup>
Peso unità di volume saturo	22.0 kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	23.0 °
Coesione	12.0 kN/m <sup>2</sup>

=====

Fattore [Nq]	8.66
Fattore [Nc]	18.05
Fattore [Ng]	4.88
Fattore forma [Sc]	1.26
Fattore profondità [Dc]	1.03
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0

---

---

Fattore forma [Sq]	1.23
Fattore profondità [Dq]	1.02
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.78
Fattore profondità [Dg]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0
Fattore inclinazione base [Bg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	0.92
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

---

Carico limite	853.29 kN/m <sup>2</sup>
Resistenza di progetto	474.05 kN/m <sup>2</sup>

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

---

Autore: TERZAGHI (1955) (Condizione drenata)

---

#### PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

---

Peso unità di volume	20.0 kN/m <sup>3</sup>
Peso unità di volume saturo	22.0 kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	23.0 °
Coesione	12.0 kN/m <sup>2</sup>

---

Fattore [Nq]	10.23
Fattore [Nc]	21.75
Fattore [Ng]	7.55
Fattore forma [Sc]	1.0
Fattore forma [Sg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	0.92
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

---

Carico limite	1240.92 kN/m <sup>2</sup>
Resistenza di progetto	689.4 kN/m <sup>2</sup>

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

---

Autore: MEYERHOF (1963) (Condizione drenata)

---



---

---

## PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

---

---

Peso unità di volume	20.0 kN/m <sup>3</sup>
Peso unità di volume saturo	22.0 kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	23.0 °
Coesione	12.0 kN/m <sup>2</sup>

---

---

Fattore [Nq]	8.66
Fattore [Nc]	18.05
Fattore [Ng]	4.82
Fattore forma [Sc]	1.25
Fattore profondità [Dc]	1.02
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.12
Fattore profondità [Dq]	1.01
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore forma [Sg]	1.12
Fattore profondità [Dg]	1.01
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	0.92
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

---

---

Carico limite	1019.05 kN/m <sup>2</sup>
Resistenza di progetto	566.14 kN/m <sup>2</sup>

---

---

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

---

---

Autore: VESIC (1975) (Condizione drenata)

---

---

## PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

---

---

Peso unità di volume	20.0 kN/m <sup>3</sup>
Peso unità di volume saturo	22.0 kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	23.0 °
Coesione	12.0 kN/m <sup>2</sup>

---

---

Fattore [Nq]	8.66
Fattore [Nc]	18.05
Fattore [Ng]	8.2
Fattore forma [Sc]	1.26
Fattore profondità [Dc]	1.02

---

---

---

Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.23
Fattore profondità [Dq]	1.02
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.78
Fattore profondità [Dg]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0
Fattore inclinazione base [Bg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	0.92
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

---

Carico limite	1142.18 kN/m <sup>2</sup>
Resistenza di progetto	634.55 kN/m <sup>2</sup>

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

---

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione drenata)

---

#### PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

---

Peso unità di volume	20.0 kN/m <sup>3</sup>
Peso unità di volume saturo	22.0 kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	23.0 °
Coesione	12.0 kN/m <sup>2</sup>

---

Fattore [Nq]	8.66
Fattore [Nc]	18.05
Fattore [Ng]	6.5
Fattore forma [Sc]	1.24
Fattore profondità [Dc]	1.02
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.21
Fattore profondità [Dq]	1.02
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0

---

---

Fattore forma [Sg]	0.84
Fattore profondità [Dg]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0
Fattore inclinazione base [Bg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	0.92
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

---



---

Carico limite	1026.73 kN/m <sup>2</sup>
Resistenza di progetto	570.4 kN/m <sup>2</sup>

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

---



---

Autore: Meyerhof and Hanna (1978) (Condizione drenata)

---



---

Strato 1 sopra, strato 2 sotto

Fattori di capacità portante strato 1

Fattore [Nq]	8.66
Fattore [Nc]	18.05
Fattore [Ng]	1.56

Fattori di capacità portante strato 2

Fattore [Nq]	1.0
Fattore [Nc]	5.14

Carico limite strato 2 (qb)	470.76 kN/m <sup>2</sup>
Carico limite strato 1 (qt)	585.7 kN/m <sup>2</sup>

Incremento carico limite strato 1	4.89 kN/m <sup>2</sup>
Coefficiente di punzonamento (ks)	2.46
Rapporto (q1/q2)	0.98

---



---

Carico limite	459.65 kN/m <sup>2</sup>
Resistenza di progetto	255.36 kN/m <sup>2</sup>

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

---



---

### **CEDIMENTI PER OGNI STRATO**

**\*Cedimento edometrico calcolato con: Metodo logaritmico di Terzaghi**

Pressione normale di progetto	68.0 kN/m <sup>2</sup>
-------------------------------	------------------------

---

---

Cedimento dopo T anni	10.0
Distanza	0.00 m
Angolo	0.00 °
Cedimento totale	8.084 cm

Z: Profondità media dello strato; Dp: Incremento di tensione; Wc: Cedimento consolidazione;  
Ws: Cedimento secondario; Wt: Cedimento totale.

Strato	Z (m)	Tensione (kN/m <sup>2</sup> )	Dp (kN/m <sup>2</sup> )	Metodo	Wc (cm)	Ws (cm)	Wt (cm)
--------	----------	----------------------------------	----------------------------	--------	------------	------------	------------

2	1.2	21.6	54.393	Edometrico	1.5149	--	1.5149
3	2	37.6	54.215	Edometrico	1.299	--	1.299
4	2.8	53.6	53.604	Edometrico	1.0618	--	1.0618
5	3.6	69.6	52.43	Edometrico	0.979	--	0.979
6	4.4	85.6	50.706	Edometrico	0.906	--	0.906
7	5.2	101.6	48.539	Edometrico	0.8377	--	0.8377
8	6	117.6	46.073	Edometrico	0.7731	--	0.7731
9	6.8	133.6	43.445	Edometrico	0.7122	--	0.7122

### Indice

DATI GENERALI	.29
Parametri sismici NTC	.29
STRATIGRAFIA TERRENO	.30
Carichi di progetto agenti sulla fondazione	.30
Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze	.31
Carico limite verticale	.31
Carico limite verticale ...A1+M1+R3	.31
HANSEN (1970) (A1+M1+R3)	.31
TERZAGHI (1955) (A1+M1+R3)	.32
MEYERHOF (1963) (A1+M1+R3)	.32
VESIC (1975) (A1+M1+R3)	.33
Brinch - Hansen 1970 (A1+M1+R3)	.34
Meyerhof and Hanna (1978) (A1+M1+R3)	.35
Carico limite verticale ...A(1)+M(1)+R(3)	.35
HANSEN (1970) (A(1)+M(1)+R(3))	.35
TERZAGHI (1955) (A(1)+M(1)+R(3))	.36
MEYERHOF (1963) (A(1)+M(1)+R(3))	.37
VESIC (1975) (A(1)+M(1)+R(3))	.37
Brinch - Hansen 1970 (A(1)+M(1)+R(3))	.38
Meyerhof and Hanna (1978) (A(1)+M(1)+R(3))	.39
CEDIMENTI PER OGNI STRATO	.40
Indice	.43