

REGIONE MARCHE  
PROVINCIA DI FERMO  
COMUNE DI FERMO





IMPIANTO DI TRATTAMENTO ANAEROBICO DELLA FRAZIONE ORGANICA DEI  
RIFIUTI SOLIDI URBANI PER LA PRODUZIONE DI BIOMETANO

CIG: 9880245C18 – CUP: F62F18000070004

PROGETTO ESECUTIVO

NOME ELABORATO  <b>BOX CARRI BOMBOLAI RELAZIONE DI CALCOLO</b>		CLASSE	<b>10.12</b>
		STRUTTURE BOX CARRI BOMBOLAI	
		N. TAVOLA	<b>10.12.1.a</b>
		FORMATO	<b>A4</b>
		SCALA	<b>/</b>
CODIFICA ELABORATO	<b>23008-OW-C-101-RS-060-MA1-2</b>		

REV	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
02	03/01/2025	TERZA EMISSIONE	A.LABBATE	C. BUTTICE'	R. MARTELLO
01	11/10/2024	SECONDA EMISSIONE	B.BARONE	C. BUTTICE'	R. MARTELLO
00	28/06/2024	PRIMA EMISSIONE	B.BARONE	C. BUTTICE'	R. MARTELLO

Committente	Progettista indicato	Mandataria
 <b>CITTA' DI FERMO</b> <b>Settore IV e V</b> <b>Lavori Pubblici, Protezione Civile,</b> <b>Ambiente, Urbanistica, Patrimonio,</b> <b>Contratti e Appalti</b> Via Mazzini 4 63900 – Fermo (FM)  <b>DOTT. Mauro Fortuna</b> RUP	 Via Resuttana 360 90142 -PALERMO  OWAC Engineering Company S.R.L <b>ING. Rocco Martello</b> Direttore Tecnico  <small>UNI EN ISO 9001:2015 N. 30233/14/S UNI EN ISO 45001:2018 N. OHS-4849 UNI EN ISO 14001:2015 N. EMS-9477/S UNI/PDR 74 :2019 N. SGBIM-01/23 UNI/PdR 74:2019 N. 21042BIM</small>	 Via del Cardoncello 22 70022 – Altamura (BA)  EDILALTA S.R.L. <b>DOTT. Angelantonio Disabato</b> Socio  Mandante  Via Bassa di Casalmoro 3 46041 – Asola (MN)  ANAERGIA S.R.L. <b>DOTT. Andrea Parisi</b> Institore



02	A.LABBATE	03/01/2024	C.BUTTICE'	03/01/2024	R.MARTELLO	03/01/2024
01	B.BARONE	11/10/2024	C.BUTTICE'	11/10/2024	R.MARTELLO	11/10/2024
00	B.BARONE	28/06/2024	C.BUTTICE'	28/06/2024	R.MARTELLO	28/06/2024
<b>REV</b>	<b>ESEGUITO</b>	<b>DATA</b>	<b>VERIFICATO</b>	<b>DATA</b>	<b>APPROVATO</b>	<b>DATA</b>



**Città di Fermo**  
**Settore IV e V**

Lavori Pubblici, Protezione  
Civile, Ambiente, Urbanistica,  
Patrimonio, Contratti e Appalti

PROGETTAZIONE ESECUTIVA "IMPIANTO DI TRATTAMENTO ANAEROBICO  
DELLA FRAZIONE ORGANICA DEI RIFIUTI SOLIDI URBANI PER LA  
PRODUZIONE DI BIOMETANO"

**CIG: 9880245C18 CUP: F62F18000070004**

## RELAZIONE DI CALCOLO AI SENSI 10.1 E 10.2 DM 17/01/18

MANDATARIA

**EdilAlta**

MANDANTE

**Anaergia**  
Fueling a Sustainable World

PROGETTISTA INDICATO

**OWAC**  
ENGINEERING COMPANY

**BOX CARRI BOMBOLAI RELAZIONE  
DI CALCOLO**

REV. 02

Pag. 3 di 67



## **INDICE**

<b>1.</b>	<b>RELAZIONE TECNICA (10.1 DM 17/01/18).....</b>	<b>5</b>
1.1	PREMESSA.....	5
1.2	QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO ADOTTATO .....	5
	DESCRIZIONE GENERALE DELL’OPERA .....	5
<b>2.</b>	<b>MODELLAZIONE.....</b>	<b>9</b>
2.1	ELEMENTI FINITI – SEZIONI E SPESSORI .....	9
<b>3.</b>	<b>CARATTERISTICHE MATERIALI UTILIZZATI.....</b>	<b>11</b>
3.1	ELENCO DEI MATERIALI IMPIEGATI.....	11
<b>4.</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI DEI SOLAI .....</b>	<b>13</b>
<b>5.</b>	<b>AZIONE SISMICA.....</b>	<b>15</b>
5.1	CALCOLO FATTORE DI COMPORTAMENTO .....	17
<b>6.</b>	<b>SCHEMATIZZAZIONE DEI CASI DI CARICO .....</b>	<b>21</b>
<b>7.</b>	<b>DEFINIZIONE DELLE COMBINAZIONI .....</b>	<b>22</b>
7.1	TIPO DI ANALISI EFFETTUATE .....	23
7.2	COMBINAZIONI E/O PERCORSI DI CARICO .....	23
<b>8.</b>	<b>PROGETTO E VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI .....</b>	<b>40</b>
8.1	VERIFICHE DI RESISTENZA .....	40
8.2	VERIFICA DI PUNZONAMENTO DEI NODI .....	41
8.3	VERIFICHE SLD.....	44
<b>9.</b>	<b>PRINCIPALI RISULTATI.....</b>	<b>48</b>
<b>10.</b>	<b>SINTESI DELLE VERIFICHE DI SICUREZZA.....</b>	<b>51</b>
<b>11.</b>	<b>GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI.....</b>	<b>61</b>
<b>12.</b>	<b>RELAZIONE SU ORIGINE E CARATTERISTICHE DEL CODICE DI CALCOLO .....</b>	<b>65</b>



## 1. RELAZIONE TECNICA (10.1 DM 17/01/18)

### 1.1 PREMESSA

Nella presente introduzione sono riportati i principali elementi di inquadramento del progetto esecutivo strutturale, che tiene conto anche degli strumenti urbanistici, del progetto architettonico, del progetto delle componenti tecnologiche in generale e delle prestazioni attese dalla struttura.

### 1.2 QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO ADOTTATO

Le Norme e i documenti assunti a riferimento per la progettazione strutturale vengono indicati di seguito.

Progetto-verifica degli elementi	
Progetto cemento armato	D.M. 17-01-2018; Circolare 21 Gennaio 2019 n.7 del 21/01/2019
Progetto acciaio	D.M. 17-01-2018; Circolare 21 Gennaio 2019 n.7 del 21/01/2019
Progetto legno	D.M. 17-01-2018; Circolare 21 Gennaio 2019 n.7 del 21/01/2019
Progetto muratura	D.M. 17-01-2018; Circolare 21 Gennaio 2019 n.7 del 21/01/2019
Azione sismica	
Norma applicata per l'azione sismica	D.M. 17-01-2018; Circolare 21 Gennaio 2019 n.7 del 21/01/2019

### DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

Il box di carimento dei carri bombolai è una struttura del tipo a pareti in calcestruzzo armato. la tipologia di calcestruzzo è C32/40, la classe di esposizione è XC 4 ed il copriferro è cm 5.

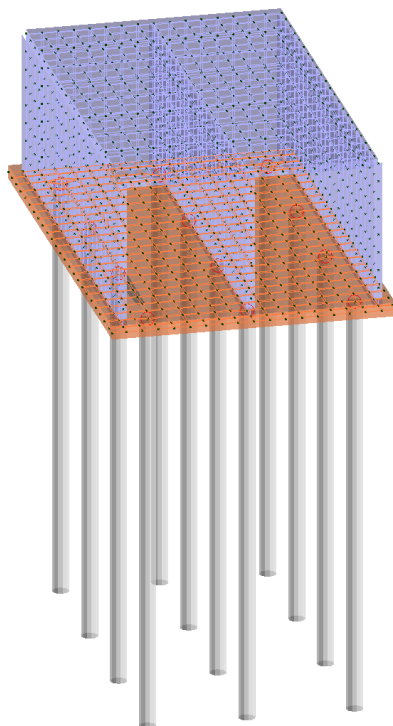
I pali di fondazione sorreggono la struttura del box carro bombolaio e sono di diametro cm60, profondità m 15. La qualità di calcestruzzo è C25/30 e la classe di esposizione è XC 2 copriferro 5cm.

Con riferimento ai §§6.4.3.3, 7.11.5.3.2, C7.11.5.3.2, nell'ambito dell'interazione terreno-struttura, per la fondazione è stato considerato un comportamento di tipo misto: ai pali viene affidata la capacità portante verticale e la funzione di contenere i cedimenti, la piastra ha il compito di assorbire lo scorrimento orizzontale. Alla piastra vengono di conseguenza assegnati valori cautelativi della costante di Winkler, ricavati dalla letteratura: per la costante verticale si assume  $k_v = 0.6 \text{ daN/cm}^2$ , per la costante orizzontale si assume  $k_h = 0.3 \text{ daN/cm}^2$ . Si veda la tabella che segue

MODULO DI REAZIONE "VERTICALE" DEL TERRENO [WINKLER]		MODULO DI REAZIONE "ORIZZONTALE" DEL TERRENO [per paratie]	
Tabella dei Moduli di Winkler secondo POZZATI		Rif.: FONDAZIONI Joseph E. BOWLES	
Natura del terreno	K [Kg/cm <sup>3</sup> ]	Natura del terreno	Ks [Kg/cm <sup>3</sup> ]
torba leggera	0.6 ~ 1.2	Terreno Sabbioso:	
torba pesante	1.2 ~ 1.8	Sciolto	0.49 ~ 1.63
terra vegetale	1.0 ~ 1.5	Mediamente compatto	0.98 ~ 8.16
depositi recenti	1.0 ~ 2.0	Compatto	6.53 ~ 13.50
sabbia di mare, fina	1.5 ~ 2.0	Terreno Argilloso:	
sabbia poco coerente	2.0 ~ 4.0	$q_u < 2 \text{ daN/cm}^2$	1.22 ~ 2.45
terra molto umida	2.0 ~ 3.5	$q_u < 4 \text{ daN/cm}^2$	2.45 ~ 4.89
terra poco umida	3.0 ~ 6.0	$q_u > 4 \text{ daN/cm}^2$	4.98 ~ 48.95
terra secca	5.0 ~ 10.0	Sabbia argillosa mediamente compatta	3.26 ~ 8.16
argilla con sabbia	8.0 ~ 10.0	Sabbia limosa mediamente compatta	2.45 ~ 4.89
argilla grassa	10.0 ~ 12.0		
sabbia compatta	8.0 ~ 15.0		
ghiaia con sabbia	10.0 ~ 25.0		
ghiaia compatta	20.0 ~ 30.0		



Per i pali le costanti vengono calcolate in funzione agli strati. Nel calcolo della portanza dei pali si è posto pari a zero il calore della portanza laterale dei limi ai fini di un vantaggio di sicurezza.  
Lo spessore delle pareti è 30 cm e del solaio di copertura è di cm 30, la piastra di fondazione ha uno spessore cm 50.



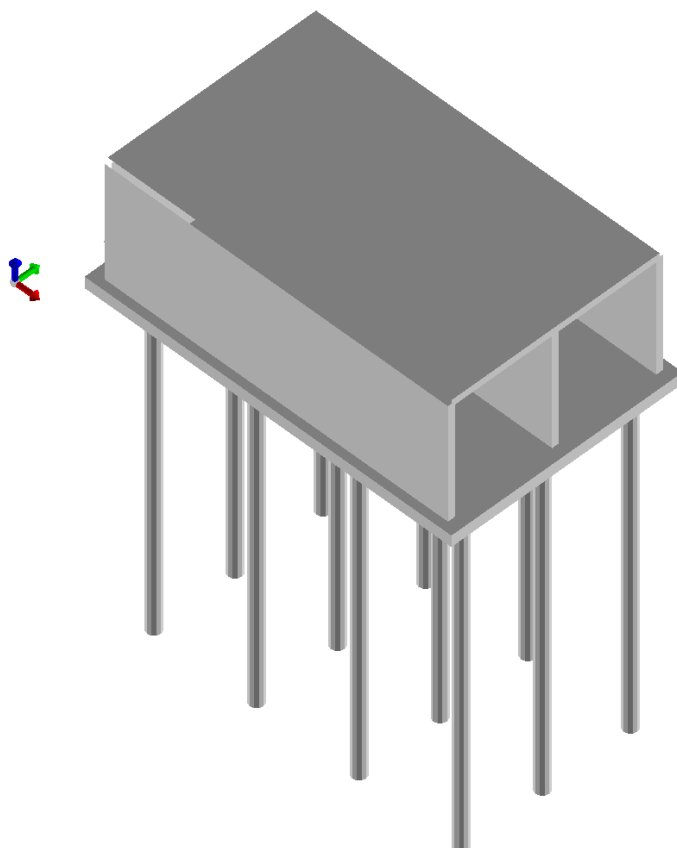
*Figura 1- Elementi che costituiscono il box carri bombolai*

Descrizione generale dell'opera	
Opera di nuova realizzazione	SI
Fabbricato ad uso	A servizio dei processi industriali
Ubicazione	Comune di FERMO (FM) (Regione MARCHE)
	Località FERMO (FM)
	Longitudine 13.677, Latitudine 43.122 (Riferimento WGS84)
Numero di piani	Fuori terra *0
	Interrati *0
	Le dimensioni dell'opera in pianta sono racchiuse in un rettangolo di m 10,00 x 15,85
Numero vani scale	0
Numero vani ascensore	*0
Tipo di fondazione	Mista. Indiretta su pali, e plate per assorbire gli scorimenti.

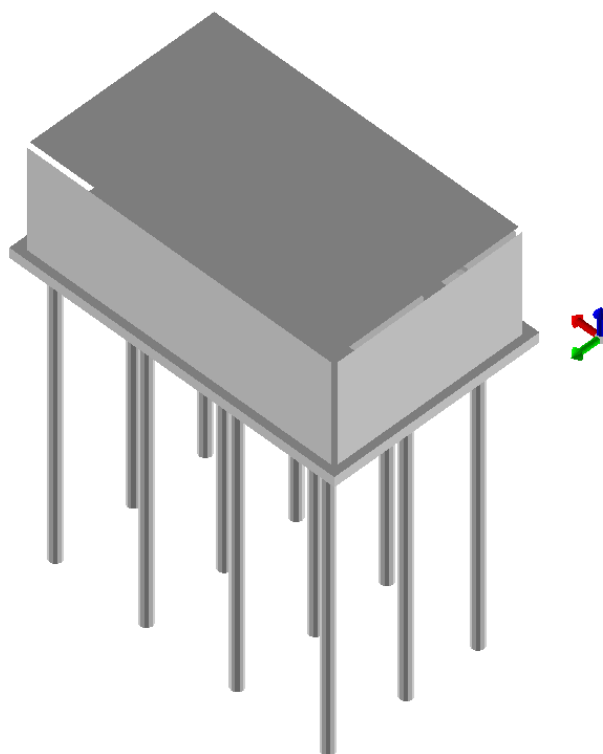


Materiali impiegati			
Cemento Armato	SI		
Acciaio	NO		
Legno	NO		
Muratura	NO		
Principali caratteristiche della struttura			
Struttura regolare in pianta	SI		
Struttura regolare in altezza	SI		
Classe di duttilità	ND struttura non dissipativa		
Travi: ricalate o in spessore	0		
Pilastrini	0		
Pilastrini in falso	0		
Condizioni per cui è necessario considerare la componente verticale del sisma	Nessuna		
Analisi per carichi non sismici	SI		
Analisi sismica	Dinamica lineare		
Verifica SLD di resistenza	SI		
Parametri della struttura			
Classe d'uso	Vita Vn [anni]	Coeff. Uso	Periodo Vr [anni]
III	50.0	1.5	75.0

Di seguito si riportano le immagini del modello strutturale:



*Figura 2 - Vista anteriore solida del modello*



*Figura 3 - Vista posteriore solida del modello*





## 2. MODELLAZIONE

L'analisi strutturale è condotta con il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato tenso-deformativo indotto da carichi statici. L'analisi strutturale è condotta con il metodo dell'analisi modale e dello spettro di risposta in termini di accelerazione per la valutazione dello stato tenso-deformativo indotto da carichi dinamici (tra cui quelli di tipo sismico).

L'analisi strutturale viene effettuata con il metodo degli elementi finiti. Il metodo sopraindicato si basa sulla schematizzazione della struttura in elementi connessi solo in corrispondenza di un numero prefissato di punti denominati nodi. I nodi sono definiti dalle tre coordinate cartesiane in un sistema di riferimento globale. Le incognite del problema (nell'ambito del metodo degli spostamenti) sono le componenti di spostamento dei nodi riferite al sistema di riferimento globale (traslazioni secondo X, Y, Z, rotazioni attorno X, Y, Z). La soluzione del problema si ottiene con un sistema di equazioni algebriche lineari i cui termini noti sono costituiti dai carichi agenti sulla struttura opportunamente concentrati ai nodi:

$$\mathbf{K} \cdot \mathbf{u} = \mathbf{F} \quad \text{dove} \quad \begin{array}{l} \mathbf{K} = \text{matrice di rigidezza} \\ \mathbf{u} = \text{vettore spostamenti nodali} \\ \mathbf{F} = \text{vettore forze nodali} \end{array}$$

Dagli spostamenti ottenuti con la risoluzione del sistema vengono quindi dedotte le sollecitazioni e/o le tensioni di ogni elemento, riferite generalmente a una terna locale all'elemento stesso.

Il sistema di riferimento utilizzato è costituito da una terna cartesiana destrorsa XYZ. Si assume l'asse Z verticale ed orientato verso l'alto.

### 2.1 ELEMENTI FINITI – SEZIONI E SPESSORI

A seguire si riportano le immagini relative alle numerazioni di interesse:

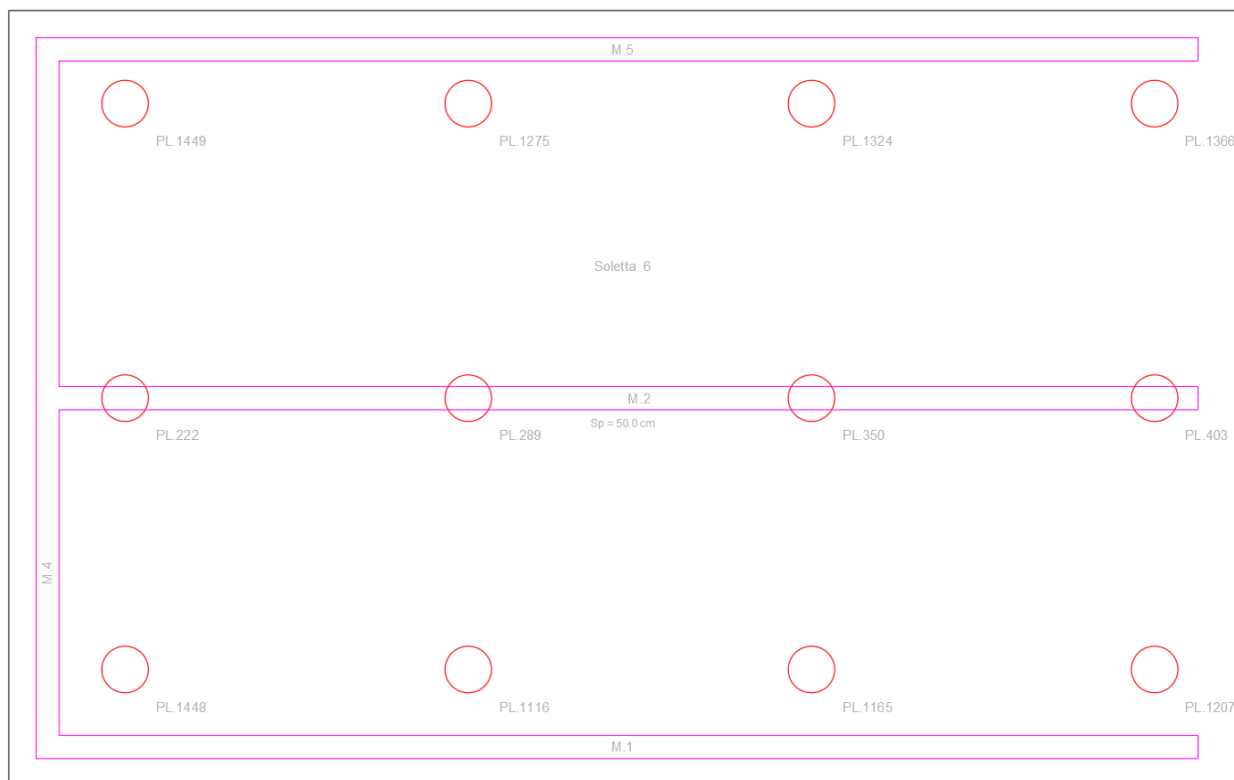


Figura 4 - Numerazione Pali di Fondazione

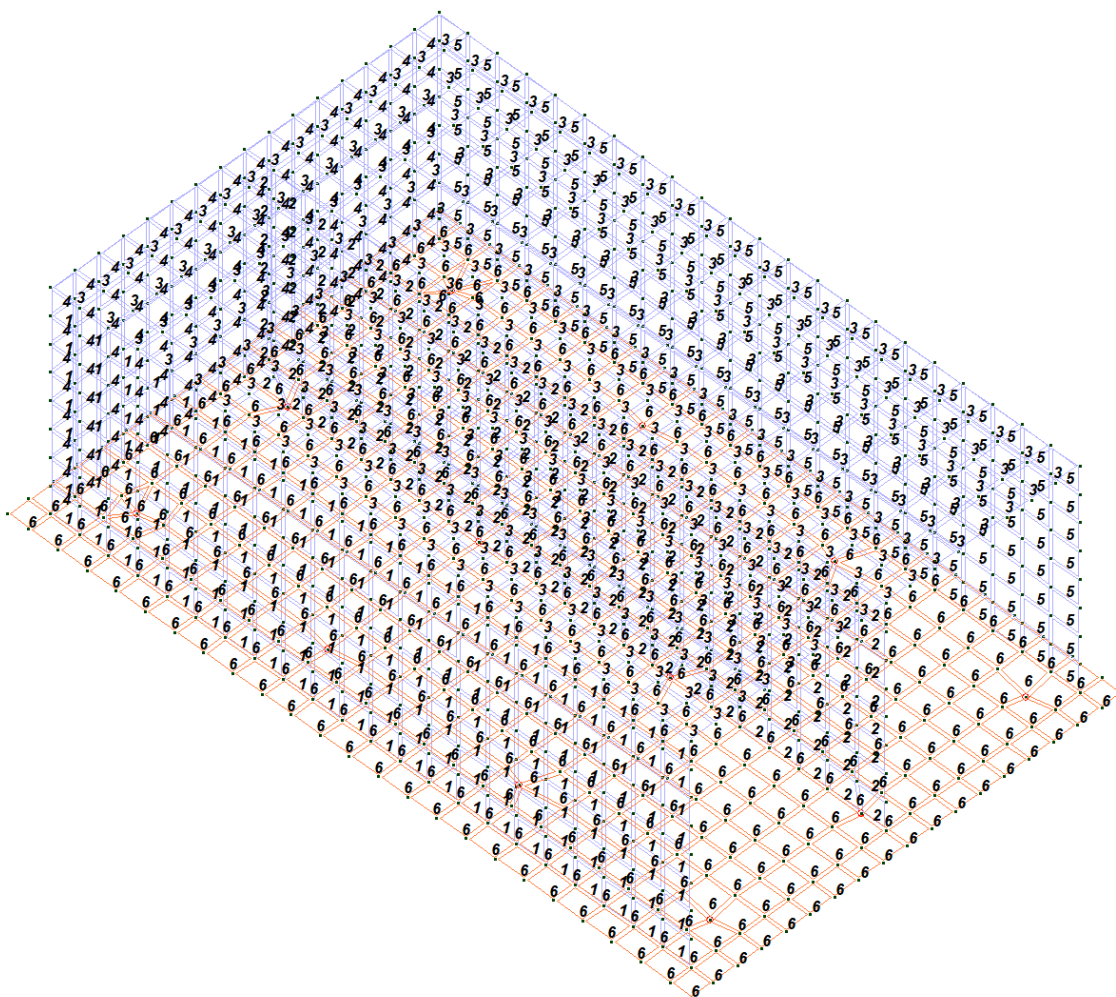


Figura 5 - Numerazione setti e piastre

Si riportano di seguito le caratteristiche di sezioni e spessori degli elementi strutturali, in formato tabellare e immagini:

TABELLA_SPESSORI				
Id		Spessore Gusci	Spessore Setti	Sp. solai piano rigido
-	-	cm	cm	cm
1		30.00	30.00	-
2		50.00	-	-

Legenda

Spessore Gusci      Spessore degli elementi shell con sviluppo orizzontale  
Spessore Setti      Spessore degli elementi shell con sviluppo verticale

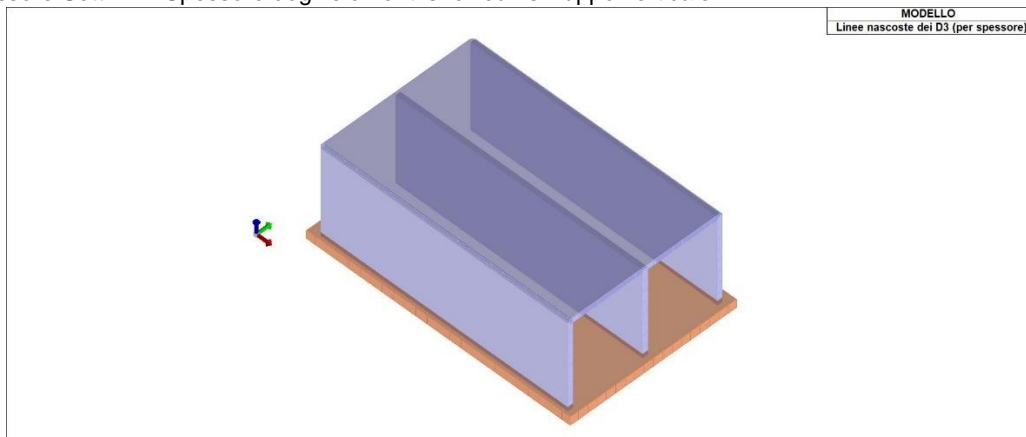


Figura 6 - Rappresentazione dei setti e piastre (elementi D3 in Prosap) nella Grafica linee nascoste.



### 3. CARATTERISTICHE MATERIALI UTILIZZATI

Nell'esecuzione delle opere oggetto della presente relazione è previsto l'utilizzo dei seguenti materiali con le relative caratteristiche:

#### 3.1 ELENCO DEI MATERIALI IMPIEGATI

[5]- PIASTRA DI FONDAZIONE -			
Calcestruzzo Classe C32/40			
Id	-	-	u.m.
5			
		Resistenza caratteristica cubica R <sub>ck</sub>	400.0 daN/cm <sup>2</sup>
		Resistenza caratteristica cilindrica f <sub>ck</sub>	332.0 daN/cm <sup>2</sup>
		Resistenza f <sub>ctm</sub>	31.0 daN/cm <sup>2</sup>
		Tensione caratteristica di snervamento acciaio	4500.0 daN/cm <sup>2</sup>
		Tipo acciaio	tipo C
		Coefficiente gamma c	1.50
		Coefficiente gamma s	1.15
		Rapporto R <sub>fessurata</sub> (assiale)	1.00
		Rapporto R <sub>fessurata</sub> (flessione)	1.00
		Rapporto R <sub>fessurata</sub> (taglio)	1.00
[5]- MATERIALE PER PARETI -			
Calcestruzzo Classe C32/40			
Id	-	-	u.m.
5			
		Resistenza caratteristica cubica R <sub>ck</sub>	400.0 daN/cm <sup>2</sup>
		Resistenza caratteristica cilindrica f <sub>ck</sub>	332.0 daN/cm <sup>2</sup>
		Resistenza f <sub>ctm</sub>	31.0 daN/cm <sup>2</sup>
		Tensione caratteristica di snervamento acciaio	4500.0 daN/cm <sup>2</sup>
		Tipo acciaio	tipo C
		Coefficiente gamma c	1.50
		Coefficiente gamma s	1.15
		Rapporto R <sub>fessurata</sub> (assiale)	1.00
		Rapporto R <sub>fessurata</sub> (flessione)	1.00
		Rapporto R <sub>fessurata</sub> (taglio)	1.00
[1]- PALI DI FONDAZIONE -			
Calcestruzzo Classe C25/30			
Id	-	-	u.m.
1			
		Resistenza caratteristica cubica R <sub>ck</sub>	300.0 daN/cm <sup>2</sup>
		Resistenza caratteristica cilindrica f <sub>ck</sub>	249.0 daN/cm <sup>2</sup>
		Resistenza f <sub>ctm</sub>	25.6 daN/cm <sup>2</sup>
		Tensione caratteristica di snervamento acciaio	4500.0 daN/cm <sup>2</sup>
		Tipo acciaio	tipo C
		Coefficiente gamma c	1.50
		Coefficiente gamma s	1.15
		Rapporto R <sub>fessurata</sub> (assiale)	1.00
		Rapporto R <sub>fessurata</sub> (flessione)	1.00
		Rapporto R <sub>fessurata</sub> (taglio)	1.00

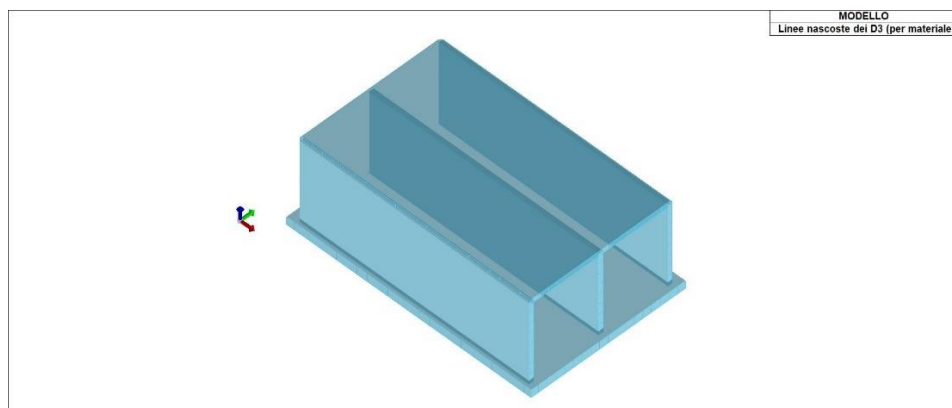


Figura 7 - Materiale assegnato ai setti e alle piastre (elementi D3 in Prosap) nella grafica Linee Nascoste



CARATTERISTICHE DEI MATERIALI			
	PALI DI FONDAZIONE	PIASTRA DI FONDAZIONE	PARETI
CLASSE DEL CALCESTRUZZO	C25/30	C32/40	C32/40
ACCIAIO BARRE	B 450 C	B 450 C	B 450 C
CLASSE DI ESPOSIZIONE	XC2	XC4	XC4
MASSIMO RAPPORTO A/C	0,60	0,60	0,60
DIAMETRO MASSIMO INERTE	32 mm	32 mm	32 mm
COPRIFERRO MINIMO	3.5cm	3.5cm	3,5 cm
COPRIFERRO ADOTTATO	5 cm	5 cm	5 cm
CLASSE DI CONSISTENZA	S4	S4	S4
CONTENUTO MINIMO DI CEMENTO	300 kg/m <sup>3</sup>	300 kg/m <sup>3</sup>	300 kg/m <sup>3</sup>
UNITA' DI MISURA CARPENTERIA IN "m" FERRI D'ARMATURA IN "cm"			

**ACCIAIO IN BARRE PER CALCESTRUZZO ARMATO:**

- B450C saldabile (par.11.3.2.1 NTC2018)
- Tensione caratteristica di snervamento:  $f_{yk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$
- Tensione caratteristica di rottura :  $f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$
- Allungamento As  $\geq 12\%$

**ACCIAIO IN RETI ELETTROSALDATE PER CALCESTRUZZO ARMATO:**  
 come da prescrizioni della normativa vigente.

CARATTERISTICHE		Requisiti	Frattile %
Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk}$		$\geq f_{y \text{ nom}}$	5.0
Tensione caratteristica a carico massimo $f_{tk}$		$\geq f_{t \text{ nom}}$	5.0
$(f_t/f_y)_k$		$\geq 1,15$	10.0
		$< 1,35$	
$(f_y/f_{y \text{ nom}})_k$		$\leq 1,25$	10.0
Allungamento	$(A_{gt})_k$	$\geq 7,5\%$	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche:	$\phi < 12 \text{ mm}$	4 $\phi$	
	$12 \leq \phi \leq 16 \text{ mm}$	5 $\phi$	
	$16 \leq \phi \leq 25 \text{ mm}$	8 $\phi$	
	$25 \leq \phi \leq 40 \text{ mm}$	10 $\phi$	



## 4. ANALISI DEI CARICHI DEI SOLAI

### Descrizione:

Solaio a travetti in C.A.: b = 12.0, h = 30.0 cm

#### **Carichi permanenti strutturali** [daN/mq]

- travetti e soletta c.a. h=30+0	750
<b>Totale carichi G1</b>	<b>750</b>

#### **Carichi permanenti portati** [daN/mq]

- impermeabilizzazione	30.0
- formazione pendenza massetto sabbia e cemento	80.0
- impianti	80.0
<b>Totale carichi G2</b>	<b>190.0</b>

#### **Carichi variabili** [daN/mq]

<b>Sovraccarico variabile Q</b>	<b>100.0</b>
<b>Sovraccarico neve Qneve</b>	<b>80.0</b>

Per il solaio si adottano i seguenti carichi in daN/mq:

<b>Permanente G1</b>	<b>Permanente G2</b>	<b>Variabile Q</b>	<b>Neve</b>
750	190.0	100.0	100.0

Categoria carichi variabili: H / I / K - Coperture.

Coefficienti di combinazione:  $\psi_0 = 0.00$ ,  $\psi_1 = 0.00$ ,  $\psi_2 = 0.00$

Categoria carichi: Neve (alt. s.l.m.  $\leq 1000$  m).

Coefficienti di combinazione:  $\psi_0 = 0.50$ ,  $\psi_1 = 0.20$ ,  $\psi_2 = 0.00$

### NEVE

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

Zona: macro area derivante dalla suddivisione del territorio nazionale;

Esp.: zona topografica di esposizione al vento;

Ce: coefficiente di esposizione al vento;

TR: periodo di ritorno di progetto espresso in anni;

as: altitudine del sito;

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

<b>Zona</b>	<b>Esposizione</b>	<b>Ce</b>	<b>TR</b>	<b>as</b>	<b>qsk</b>
II	Zona normale	1,00	50 anni	200 m	100,00

Copertura ad una falda:

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

- Copertura piana W = 13.0 m, L = 19.0 m  $\Rightarrow$  Lc = 17.1, Cef = 1.000

$\psi_1 = 0,80 \Rightarrow Q_1 = 80$  daN/mq  $\rightarrow$  è stato scelto 100daN/mq

### VENTO

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

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

Vb,0: velocità base della zona (NTC - Tab. 3.3.I);

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

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

as: altitudine del sito;

TR: periodo di ritorno di progetto espresso in anni;

Vb: velocità di riferimento calcolata come segue:

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

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

per  $a_s > 1500$  m vanno ricavati da opportuna documentazione o da indagini comprovate



Tali valori non dovranno essere minori di quelli previsti per  $as = 1500$  m  
 Cr: coefficiente di ritorno in funzione del periodo di ritorno TR  
 Vr: velocità di riferimento riferita al periodo di ritorno TR

Zona	Vb,0	a0	ks	as	TR	Vb	Cr	Vr
3	27 m/s	500 m	0,37	200 m	50 anni	27,00 m/s	1,000	27,00 m/s

Pressione cinetica di riferimento,  $qr = \frac{1}{2} \rho Vr^2 = 46$  daN/mq  
 dove:  $\rho$  è la densità dell'aria (assunta convenzionalmente costante = 1,25 kg/mc)  
 Esposizione: Cat. II - Zona costiera entro 10 km dal mare  
 Da cui i parametri della tabella 3.3.II delle NTC

Kr	z0	z min
0,19	0,05 m	4 m

Classe di rugosità del terreno: D (NTC - Tab. 3.3.III)  
 Aree prive di ostacoli o con al di più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,..)

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

Cp: coefficiente di pressione;  
 Cd: coefficiente dinamico;  
 Ct: coefficiente di topografia;  
 Ce: coefficiente di esposizione (funzione di z, z0 e Ct);  
 z: altezza sul suolo.

Cp	Cd	Ct	Ce	z
1,00	1,00	1,00	1,80	3,00 m

#### Pressione del vento

$$p = qr Ce Cp Cd = 82 \text{ daN/mq}$$

### TEMPERATURA DELL'ARIA ESTERNA

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

$T_{min} = -8 - 7 as / 1000$  (NTC 3.5.5)  
 $T_{max} = 42 - 0,3 as / 1000$  (NTC 3.5.6)  
 dove as è l'altitudine di riferimento

Zona	as	T min	T max
III	200 m	-9,40 °C	41,94 °C

La struttura è non dissipativa





## 5. AZIONE SISMICA

L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire dalla "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente orizzontale del moto sismico,  $S_e$ , è definito dalle seguenti espressioni:

Dove per sottosuolo di categoria **A** i coefficienti  $S_s$  e  $C_c$  valgono 1; mentre per le categorie di sottosuolo **B, C, D, E** i coefficienti  $S_s$  e  $C_c$  vengono calcolati mediante le espressioni riportate nella seguente Tabella

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
<b>A</b>	1,00	1,00
<b>B</b>	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
<b>C</b>	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
<b>D</b>	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
<b>E</b>	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
<b>A</b>	1,00	1,00
<b>B</b>	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
<b>C</b>	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
<b>D</b>	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
<b>E</b>	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Per tenere conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati nella seguente Tabella

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale del moto sismico,  $S_{ve}$ , è definito dalle espressioni:



$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \\
 T_C \leq T < T_D & S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right) \\
 0 \leq T < T_B & S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \\
 T_C \leq T < T_D & S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}$$

I valori di  $S_s$ ,  $T_B$ ,  $T_C$  e  $T_D$ , sono riportati nella seguente Tabella

Categoria di sottosuolo	$S_s$	$T_B$	$T_C$	$T_D$
A, B, C, D, E	1,0	0,05 s	0,15 s	1,0 s

Categoria di sottosuolo	$S_s$	$T_B$	$T_C$	$T_D$
A, B, C, D, E	1,0	0,05 s	0,15 s	1,0 s

La struttura è localizzata in:

Localizzazione
Località FERMO (FM)
Comune di FERMO (FM)
Regione MARCHE
Longitudine 13.677, Latitudine 43.122 (Riferimento WGS84)

L'azione sismica viene definita in relazione a un periodo di riferimento  $V_r$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale per il coefficiente d'uso (vedi tabella Parametri della struttura). Fissato il periodo di riferimento  $V_r$  e la probabilità di superamento  $P_{ver}$  associata a ciascuno degli stati limite considerati, si ottiene il periodo di ritorno  $T_r$  e i relativi parametri di pericolosità sismica (vedi tabella successiva):

$a_g$ : accelerazione orizzontale massima del terreno;

$F_o$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T^*c$ : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

Parametri della struttura						
Classe d'uso	Vita $V_n$	Coeff. Uso	Periodo $V_r$	Tipo di suolo	Categoria topografica	Quota relativa
	[anni]		[anni]			[%]
III	50.0	1.5	75.0	C	T2	100.0

Per la risposta sismica locale (RSL) vedasi studio allegato "2.1.3-23008-OW-C-21-RT-012-BA4-0-**RELAZIONE SISMICA.pdf**", di seguito sono riportati le RSL per i vari stati limiti.





Spettro	RSL - SLV
TR	712
ag0	0,280
F0	2,314
T*C	0,463
Vn	2
Classe d'uso	III
St	1,2
Ss	1,311

Spettro	RSL - SLD
TR	75
ag0	0,126
F0	2,658
T*C	0,435
Vn	2
Classe d'uso	III
St	1,2
Ss	1,499

Spettro	RSL - SLO
TR	45
ag0	0,097
F0	2,502
T*C	0,472
Vn	2
Classe d'uso	III
St	1,2
Ss	1,554

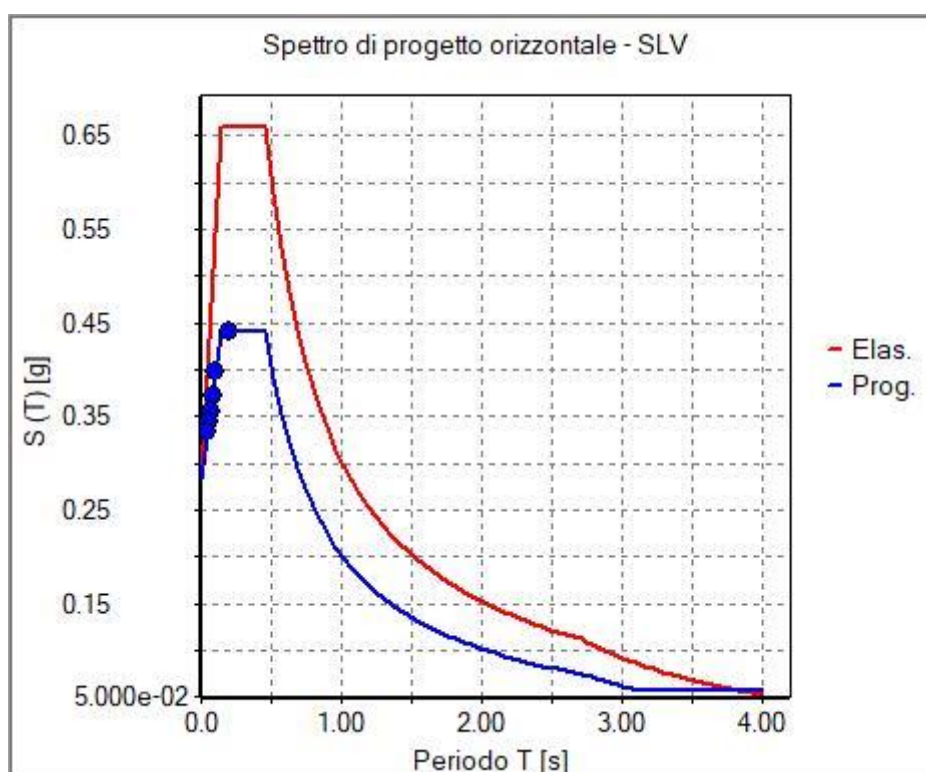
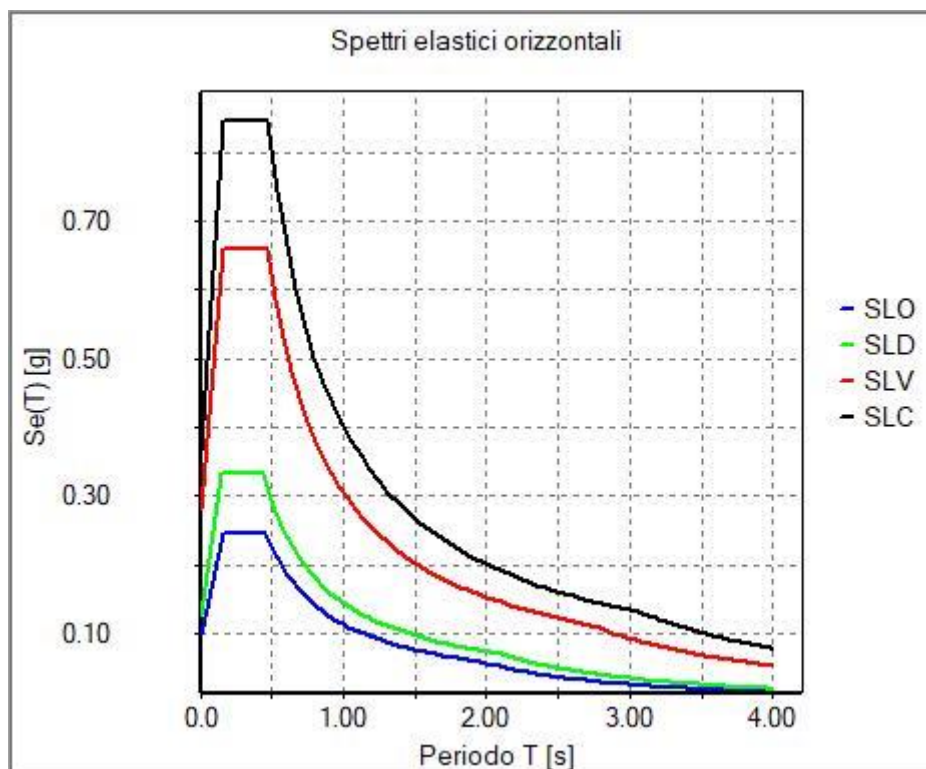
## 5.1 CALCOLO FATTORE DI COMPORTAMENTO

Principali caratteristiche della struttura	
Opera di nuova realizzazione	SI
Struttura regolare in pianta	SI
Struttura regolare in altezza	SI
Classe di duttilità	ND struttura non dissipativa
Analisi per carichi non sismici	SI
Analisi sismica	Dinamica lineare
Verifica SLD di resistenza	SI

Fattori di comportamento utilizzati SLU			
	Dissipativi	Verifiche fragili	Non Dissipativi
q SLU x	1.50	1.00	1.50
q SLU y	1.50	1.00	1.50
q SLU z	1.50	-	-

Fattori di comportamento utilizzati SLD	
q SLD x	1.00
q SLD y	1.00
q SLD z	1.00
Eta SLO	1.00

Si riportano di seguito, per completezza, le videate delle opzioni così come impostate nel programma:  
 Si riportano di seguito gli SPETTTRI di input sismico e le caratteristiche dinamiche proprie della struttura,  
 pertanto in assenza di eccentricità aggiuntive:





Si riportano in tabella i primi sei modi di vibrare della struttura con le deformate dei primi tre periodi propri.

ANALISI_MODALE_NO_ECCENTRICITA											
Modo	Frequenza	Periodo	X M efficace x g	%	Y M efficace x g	%	Z M efficace x g	%	RZ M efficace x g	%	
-	Hz	sec	daN	-	daN	-	daN	-	daN cm2	-	
1	4.76	0.21	4.7	0	2.792e+05	79	23.7	0	1.721e+07	64	
2	8.82	0.11	2.563e+05	73	35.2	0	5488.0	1	1096.2	0	
3	11.32	0.09	97.3	0	9811.2	2	520.9	0	5.402e+06	20	
4	13.91	0.07	7093.9	2	291.7	0	3.365e+05	96	5366.3	0	
5	16.24	0.06	270.7	0	1.266e+04	3	1735.1	0	1.635e+05	0	
6	20.08	0.05	8.427e+04	24	36.6	0	1264.8	0	23.9	0	

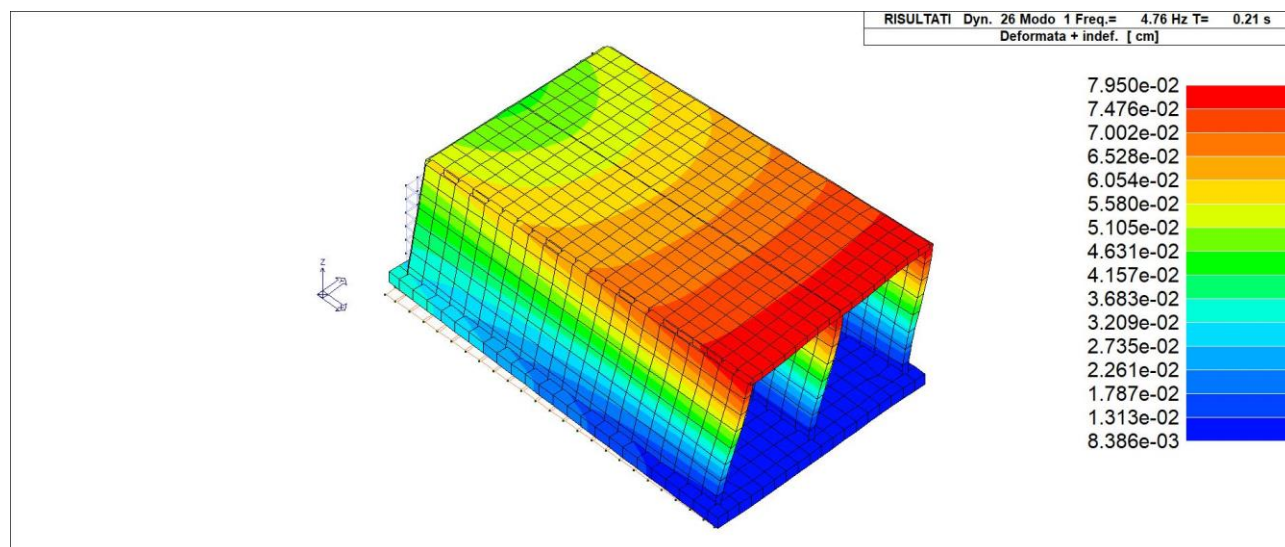


Figura 8- Deformata del primo modo di vibrare (Prevalentemente traslazione lungo l'asse x)

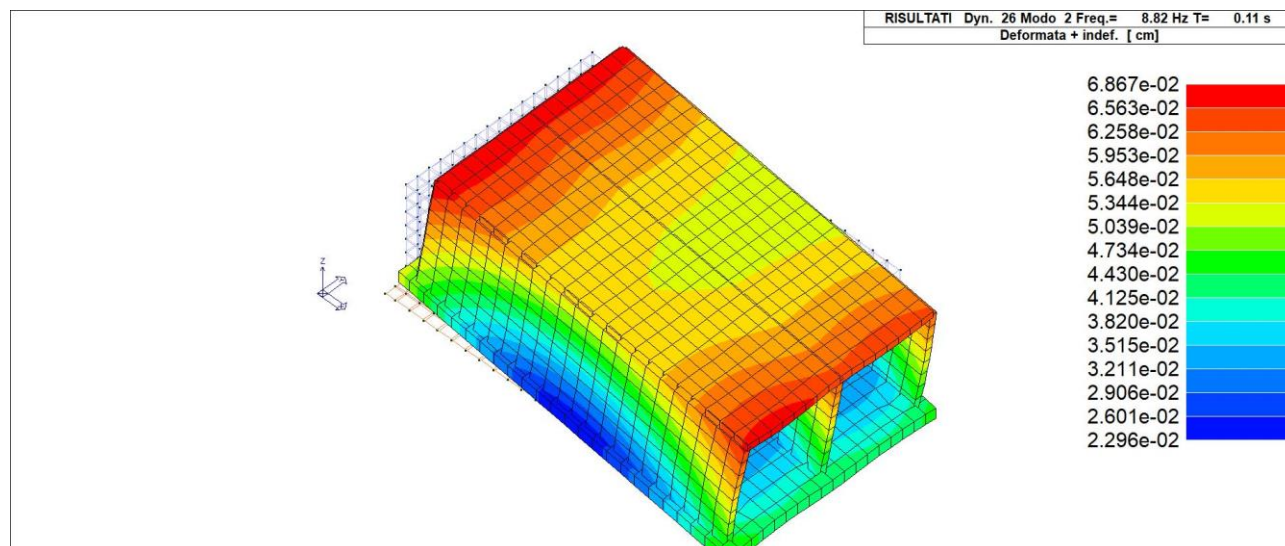
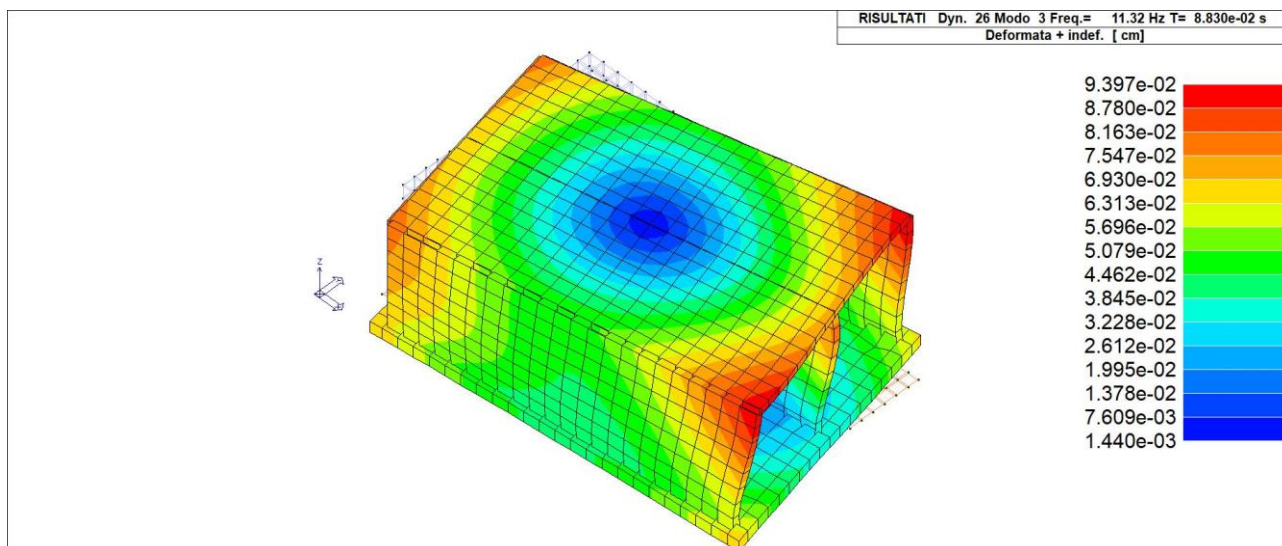


Figura 9- Deformata del secondo modo di vibrare (Prevalentemente traslazione lungo l'asse y)



*Figura 10- Deformata del terzo modo di vibrare (Prevalentemente torsione)*



## 6. SCHEMATIZZAZIONE DEI CASI DI CARICO

E' possibile definire i casi di carico scegliendo fra le dodici tipologie elencate nella tabella seguente:

	Tipo CDC	Descrizione
1	Ggk	caso di carico comprensivo del peso proprio struttura
2	Gk	caso di carico con azioni permanenti
3	Qk	caso di carico con azioni variabili
4	Gsk	caso di carico comprensivo dei carichi permanenti sui solai e sulle coperture
5	Qsk	caso di carico comprensivo dei carichi variabili sui solai
6	Qnk	caso di carico comprensivo dei carichi di neve sulle coperture
7	Qtk	caso di carico comprensivo di una variazione termica agente sulla struttura
8	Qvk	caso di carico comprensivo di azioni da vento sulla struttura
9	Esk	caso di carico sismico con analisi statica equivalente
10	Edk	caso di carico sismico con analisi dinamica
11	Etk	caso di carico comprensivo di azioni derivanti dall' incremento di spinta delle terre in condizione sismica
12	Pk	caso di carico comprensivo di azioni derivanti da coazioni, cedimenti e precompressioni

I casi di carico utilizzati nella modellazione oggetto della presente relazione sono i seguenti:

TABELLA_CASI_DI_CARICO			
CDC	Tipo CDC	Sigla Id	Note
1	Ggk	CDC=Ggk (peso proprio della struttura)	
2	Gk	CDC=G2k (permanente generico n.c.d. ) PAV	
3	Gk	CDC=G2k (permanente generico n.c.d. ) SOL	
4	Qk	CDC=Qk (variabile generico) MANU	
5	Qk	CDC=Qk (variabile generico) NEVE	
6	Qk	CDC=Qk (variabile generico) STALLO_1	
7	Qk	CDC=Qk (variabile generico) STALLO_2	
8	Qk	CDC=Qk (variabile generico) TERMICO DT-10	
9	Qk	CDC=Qk (variabile generico) TERMICO DT+42	
10	Qvk	CDC=Qvk (carico da vento) dir X +	
11	Qvk	CDC=Qvk (carico da vento) dir X -	
12	Qvk	CDC=Qvk (carico da vento) dir Y +	
13	Qvk	CDC=Qvk (carico da vento) dir Y -	
14	Edk	CDC=Ed (dinamico SLU) alfa=0.0 (ecc. +)	
15	Edk	CDC=Ed (dinamico SLU) alfa=0.0 (ecc. -)	
16	Edk	CDC=Ed (dinamico SLU) alfa=90.00 (ecc. +)	
17	Edk	CDC=Ed (dinamico SLU) alfa=90.00 (ecc. -)	
18	Edk	CDC=Ed (dinamico SLD) alfa=0.0 (ecc. +)	
19	Edk	CDC=Ed (dinamico SLD) alfa=0.0 (ecc. -)	
20	Edk	CDC=Ed (dinamico SLD) alfa=90.00 (ecc. +)	
21	Edk	CDC=Ed (dinamico SLD) alfa=90.00 (ecc. -)	
22	Edk	CDC=Ed (dinamico SLO) alfa=0.0 (ecc. +)	
23	Edk	CDC=Ed (dinamico SLO) alfa=0.0 (ecc. -)	
24	Edk	CDC=Ed (dinamico SLO) alfa=90.00 (ecc. +)	
25	Edk	CDC=Ed (dinamico SLO) alfa=90.00 (ecc. -)	

### Legenda

Tipo CDC Indica il tipo di caso di carico

A seguire alcune immagini sulle deformate cn i carichi più significativi:





## 7. DEFINIZIONE DELLE COMBINAZIONI

Le combinazioni previste per i diversi casi di carico (CDC) seguono le regole previste dalla Normativa vigente e sono destinate al controllo di sicurezza della struttura e alla verifica degli spostamenti e delle sollecitazioni.

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni:

**Combinazione fondamentale SLU**

$$\gamma G_1 \cdot G_1 + \gamma G_2 \cdot G_2 + \gamma P \cdot P + \gamma Q_1 \cdot Q_{k1} + \gamma Q_2 \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma Q_3 \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

**Combinazione caratteristica (rara) SLE**

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

**Combinazione frequente SLE**

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

**Combinazione quasi permanente SLE**

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

**Combinazione sismica**, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E  
 $E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$

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

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

Dove:

NTC 2018 Tabella 2.5.I

Destinazione d'uso/azione	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Categoria A residenziali	0,70	0,50	0,30
Categoria B uffici	0,70	0,50	0,30
Categoria C ambienti suscettibili di affollamento	0,70	0,70	0,60
Categoria D ambienti ad uso commerciale	0,70	0,70	0,60
Categoria E biblioteche, archivi, magazzini,...	1,00	0,90	0,80
Categoria F Rimesse e parcheggi (autoveicoli $\leq 30$ kN)	0,70	0,70	0,60
Categoria G Rimesse e parcheggi (autoveicoli $> 30$ kN)	0,70	0,50	0,30
Categoria H Coperture	0,00	0,00	0,00
Vento	0,60	0,20	0,00
Neve a quota $\leq 1000$ m	0,50	0,20	0,00
Neve a quota $> 1000$ m	0,70	0,50	0,20
Variazioni Termiche	0,60	0,50	0,00

Nelle verifiche possono essere adottati in alternativa due diversi approcci progettuali:

- per l'approccio 1 si considerano due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti di sicurezza parziali per le azioni, per i materiali e per la resistenza globale (combinazione 1 con coefficienti A1 e combinazione 2 con coefficienti A2),
- per l'approccio 2 si definisce un'unica combinazione per le azioni, per la resistenza dei materiali e per la resistenza globale (con coefficienti A1).

NTC 2018 Tabella 2.6.I



		Coefficiente $\gamma_F$	EQU	A1	A2
Carichi permanenti	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali (Non compiutamente definiti)	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	Favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

## 7.1 TIPO DI ANALISI EFFETTUATE

Tipo di analisi strutturale	
Analisi per carichi non sismici	SI
Sismica statica lineare	NO
Sismica dinamica lineare	SI
Sismica statica non lineare (triangolare; G1 – a §7.3.3.2)	NO
Sismica statica non lineare (prop. modo; G1 – b §7.3.4.2)	NO
Sismica statica non lineare (prop. tagli di piano; G1 – c §7.3.4.2)	NO
Sismica statica non lineare (prop. masse; G2 – a §7.3.4.2)	NO
Sismica statica non lineare (multimod; G2 – c §7.3.4.2)	NO
Non linearità geometriche (fattore P delta)	NO

## 7.2 COMBINAZIONI E/O PERCORSI DI CARICO

Combinazioni dei casi di carico	
APPROCCIO PROGETTUALE	Approccio 2
SLU	SI
SLV (SLU con sisma)	SI
SLC	NO
SLD	SI
SLO	SI
SLU GEO A2 (per approccio 1)	NO
SLU EQU	NO
Combinazione caratteristica (rara)	SI
Combinazione frequente	SI
Combinazione quasi permanente (SLE)	SI
SLA (accidentale quale incendio)	NO



Cmb	Tipo	Sigla Id	effetto P-delta
1	SLU	Comb. SLU A1 1	
2	SLU	Comb. SLU A1 2	
3	SLU	Comb. SLU A1 3	
4	SLU	Comb. SLU A1 4	
5	SLU	Comb. SLU A1 5	
6	SLU	Comb. SLU A1 6	
7	SLU	Comb. SLU A1 7	
8	SLU	Comb. SLU A1 8	
9	SLU	Comb. SLU A1 9	
10	SLU	Comb. SLU A1 10	
11	SLU	Comb. SLU A1 11	
12	SLU	Comb. SLU A1 12	
13	SLU	Comb. SLU A1 13	
14	SLU	Comb. SLU A1 14	
15	SLU	Comb. SLU A1 15	
16	SLU	Comb. SLU A1 16	
17	SLU	Comb. SLU A1 17	
18	SLU	Comb. SLU A1 18	
19	SLU	Comb. SLU A1 19	
20	SLU	Comb. SLU A1 20	
21	SLU	Comb. SLU A1 21	
22	SLU	Comb. SLU A1 22	
23	SLU	Comb. SLU A1 23	
24	SLU	Comb. SLU A1 24	
25	SLU	Comb. SLU A1 25	
26	SLU	Comb. SLU A1 26	
27	SLU	Comb. SLU A1 27	
28	SLU	Comb. SLU A1 28	
29	SLU	Comb. SLU A1 29	
30	SLU	Comb. SLU A1 30	
31	SLU	Comb. SLU A1 31	
32	SLU	Comb. SLU A1 32	
33	SLU	Comb. SLU A1 33	
34	SLU	Comb. SLU A1 34	
35	SLU	Comb. SLU A1 35	
36	SLU	Comb. SLU A1 36	
37	SLU	Comb. SLU A1 37	
38	SLU	Comb. SLU A1 38	
39	SLU	Comb. SLU A1 39	
40	SLU	Comb. SLU A1 40	
41	SLU	Comb. SLU A1 41	
42	SLU	Comb. SLU A1 42	
43	SLU	Comb. SLU A1 43	
44	SLU	Comb. SLU A1 44	
45	SLU	Comb. SLU A1 45	
46	SLU	Comb. SLU A1 46	
47	SLU	Comb. SLU A1 47	
48	SLU	Comb. SLU A1 48	
49	SLU	Comb. SLU A1 49	
50	SLU	Comb. SLU A1 50	
51	SLU	Comb. SLU A1 51	
52	SLU	Comb. SLU A1 52	
53	SLU	Comb. SLU A1 53	
54	SLU	Comb. SLU A1 54	
55	SLU	Comb. SLU A1 55	
56	SLU	Comb. SLU A1 56	
57	SLU	Comb. SLU A1 57	
58	SLU	Comb. SLU A1 58	
59	SLU	Comb. SLU A1 59	
60	SLU	Comb. SLU A1 60	
61	SLU	Comb. SLU A1 61	
62	SLU	Comb. SLU A1 62	
63	SLU	Comb. SLU A1 63	
64	SLU	Comb. SLU A1 64	
65	SLU	Comb. SLU A1 65	
66	SLU	Comb. SLU A1 66	





Cmb	Tipo	Sigla Id	effetto P-delta
67	SLU	Comb. SLU A1 67	
68	SLU	Comb. SLU A1 68	
69	SLU	Comb. SLU A1 69	
70	SLU	Comb. SLU A1 70	
71	SLU	Comb. SLU A1 71	
72	SLU	Comb. SLU A1 72	
73	SLU	Comb. SLU A1 73	
74	SLU	Comb. SLU A1 74	
75	SLU	Comb. SLU A1 75	
76	SLU	Comb. SLU A1 76	
77	SLU	Comb. SLU A1 77	
78	SLU	Comb. SLU A1 78	
79	SLU	Comb. SLU A1 79	
80	SLU	Comb. SLU A1 80	
81	SLU	Comb. SLU A1 81	
82	SLU	Comb. SLU A1 82	
83	SLU	Comb. SLU A1 83	
84	SLU	Comb. SLU A1 84	
85	SLU	Comb. SLU A1 85	
86	SLU	Comb. SLU A1 86	
87	SLU	Comb. SLU A1 87	
88	SLU	Comb. SLU A1 88	
89	SLU	Comb. SLU A1 89	
90	SLU	Comb. SLU A1 90	
91	SLU	Comb. SLU A1 91	
92	SLU	Comb. SLU A1 92	
93	SLU	Comb. SLU A1 93	
94	SLU	Comb. SLU A1 94	
95	SLU	Comb. SLU A1 95	
96	SLU	Comb. SLU A1 96	
97	SLU	Comb. SLU A1 97	
98	SLU	Comb. SLU A1 98	
99	SLU	Comb. SLU A1 99	
100	SLU	Comb. SLU A1 100	
101	SLU	Comb. SLU A1 101	
102	SLU	Comb. SLU A1 102	
103	SLU	Comb. SLU A1 103	
104	SLU	Comb. SLU A1 104	
105	SLU	Comb. SLU A1 105	
106	SLU	Comb. SLU A1 106	
107	SLU	Comb. SLU A1 107	
108	SLU	Comb. SLU A1 108	
109	SLU	Comb. SLU A1 109	
110	SLU	Comb. SLU A1 110	
111	SLU	Comb. SLU A1 111	
112	SLU	Comb. SLU A1 112	
113	SLU	Comb. SLU A1 113	
114	SLU	Comb. SLU A1 114	
115	SLU	Comb. SLU A1 115	
116	SLU	Comb. SLU A1 116	
117	SLU	Comb. SLU A1 117	
118	SLU	Comb. SLU A1 118	
119	SLU	Comb. SLU A1 119	
120	SLU	Comb. SLU A1 120	
121	SLU	Comb. SLU A1 121	
122	SLU	Comb. SLU A1 122	
123	SLU	Comb. SLU A1 123	
124	SLU	Comb. SLU A1 124	
125	SLU	Comb. SLU A1 125	
126	SLU	Comb. SLU A1 126	
127	SLU	Comb. SLU A1 127	
128	SLU	Comb. SLU A1 128	
129	SLU	Comb. SLU A1 129	
130	SLU	Comb. SLU A1 130	
131	SLU	Comb. SLU A1 131	
132	SLU	Comb. SLU A1 132	



Cmb	Tipo	Sigla Id	effetto P-delta
133	SLU	Comb. SLU A1 133	
134	SLU	Comb. SLU A1 134	
135	SLU	Comb. SLU A1 135	
136	SLU	Comb. SLU A1 136	
137	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 137	
138	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 138	
139	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 139	
140	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 140	
141	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 141	
142	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 142	
143	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 143	
144	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 144	
145	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 145	
146	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 146	
147	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 147	
148	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 148	
149	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 149	
150	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 150	
151	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 151	
152	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 152	
153	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 153	
154	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 154	
155	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 155	
156	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 156	
157	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 157	
158	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 158	
159	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 159	
160	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 160	
161	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 161	
162	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 162	
163	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 163	
164	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 164	
165	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 165	
166	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 166	
167	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 167	
168	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 168	
169	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 169	
170	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 170	
171	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 171	
172	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 172	
173	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 173	
174	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 174	
175	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 175	
176	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 176	
177	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 177	
178	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 178	
179	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 179	
180	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 180	
181	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 181	
182	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 182	
183	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 183	
184	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 184	
185	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 185	
186	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 186	
187	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 187	
188	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 188	
189	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 189	
190	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 190	
191	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 191	
192	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 192	
193	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 193	
194	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 194	
195	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 195	
196	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 196	
197	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 197	
198	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 198	



Cmb	Tipo	Sigla Id	effetto P-delta
199	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 199	
200	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 200	
201	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 201	
202	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 202	
203	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 203	
204	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 204	
205	SLE(f)	Comb. SLE(freq.) 205	
206	SLE(f)	Comb. SLE(freq.) 206	
207	SLE(f)	Comb. SLE(freq.) 207	
208	SLE(f)	Comb. SLE(freq.) 208	
209	SLE(f)	Comb. SLE(freq.) 209	
210	SLE(f)	Comb. SLE(freq.) 210	
211	SLE(f)	Comb. SLE(freq.) 211	
212	SLE(f)	Comb. SLE(freq.) 212	
213	SLE(f)	Comb. SLE(freq.) 213	
214	SLE(f)	Comb. SLE(freq.) 214	
215	SLE(p)	Comb. SLE(perm.) 215	
216	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 216	
217	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 217	
218	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 218	
219	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 219	
220	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 220	
221	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 221	
222	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 222	
223	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 223	
224	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 224	
225	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 225	
226	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 226	
227	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 227	
228	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 228	
229	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 229	
230	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 230	
231	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 231	
232	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 232	
233	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 233	
234	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 234	
235	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 235	
236	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 236	
237	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 237	
238	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 238	
239	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 239	
240	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 240	
241	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 241	
242	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 242	
243	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 243	
244	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 244	
245	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 245	
246	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 246	
247	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 247	
248	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 248	
249	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 249	
250	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 250	
251	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 251	
252	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 252	
253	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 253	
254	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 254	
255	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 255	
256	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 256	
257	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 257	
258	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 258	
259	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 259	
260	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 260	
261	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 261	
262	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 262	
263	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 263	
264	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 264	



Cmb	Tipo	Sigla Id	effetto P-delta
265	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 265	
266	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 266	
267	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 267	
268	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 268	
269	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 269	
270	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 270	
271	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 271	
272	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 272	
273	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 273	
274	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 274	
275	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 275	
276	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 276	
277	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 277	
278	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 278	
279	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 279	
280	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 280	
281	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 281	
282	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 282	
283	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 283	
284	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 284	
285	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 285	
286	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 286	
287	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 287	
288	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 288	
289	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 289	
290	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 290	
291	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 291	
292	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 292	
293	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 293	
294	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 294	
295	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 295	
296	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 296	
297	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 297	
298	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 298	
299	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 299	
300	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 300	
301	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 301	
302	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 302	
303	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 303	
304	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 304	
305	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 305	



Cmb	Tipo	Sigla Id	effetto P-delta
306	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 306	
307	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 307	
308	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 308	
309	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 309	
310	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 310	
311	SLE(sis)	Comb. SLE (SLO Operativo sism.) 311	

Si riportano di seguito, gli schemi grafici contenenti, per le parti più sollecitate della struttura, le configurazioni deformate, la rappresentazione grafica delle principali caratteristiche di sollecitazione o delle componenti degli sforzi, i diagrammi di involucro associati alle combinazioni dei carichi considerate, gli schemi grafici con la rappresentazione dei carichi applicati e delle corrispondenti reazioni vincolari.



## AZIONI SULLE FONDAZIONI (REAZIONI VINCOLARI)

Valori negativi indicano tensioni di compressione che nella legenda sono espresse in daN/cm<sup>2</sup>

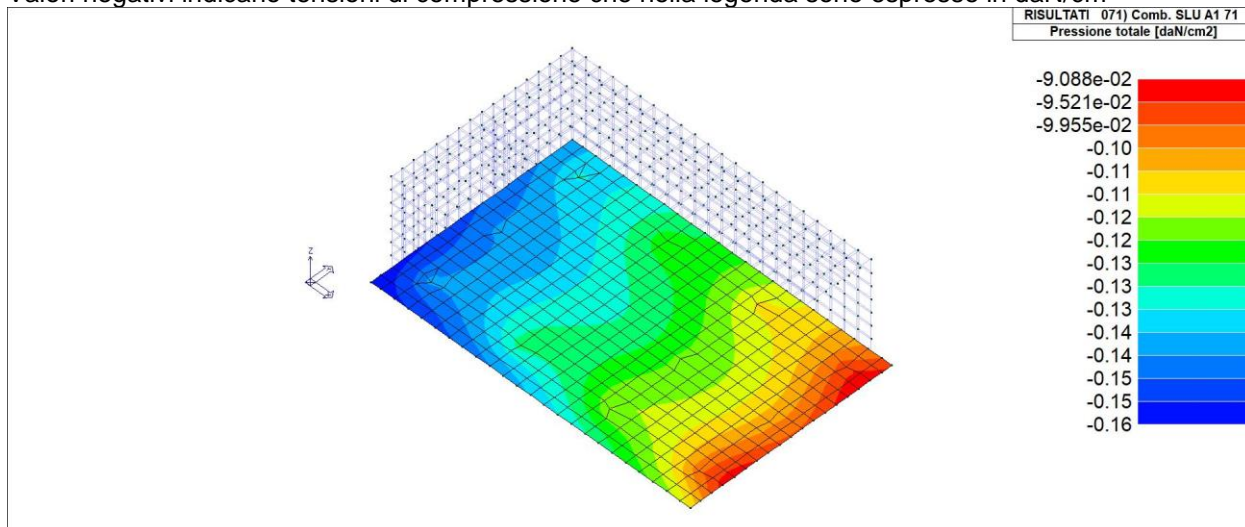


Figura 11 - MAX Pressione totale per la combinazione 71) SLU A1

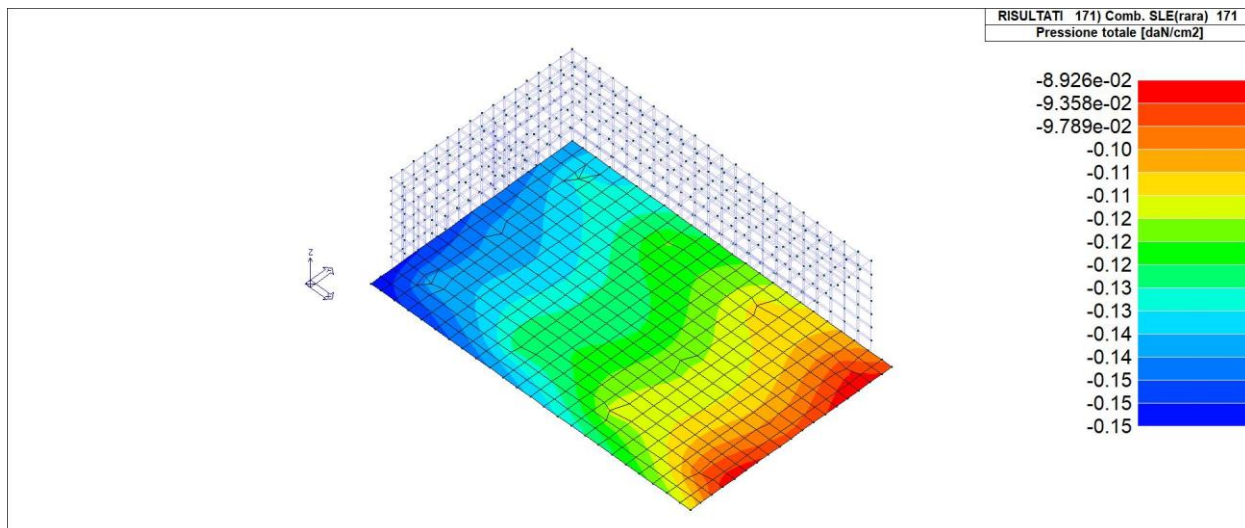


Figura 12 - MAX Pressione totale per la combinazione 171) SLE(rara)

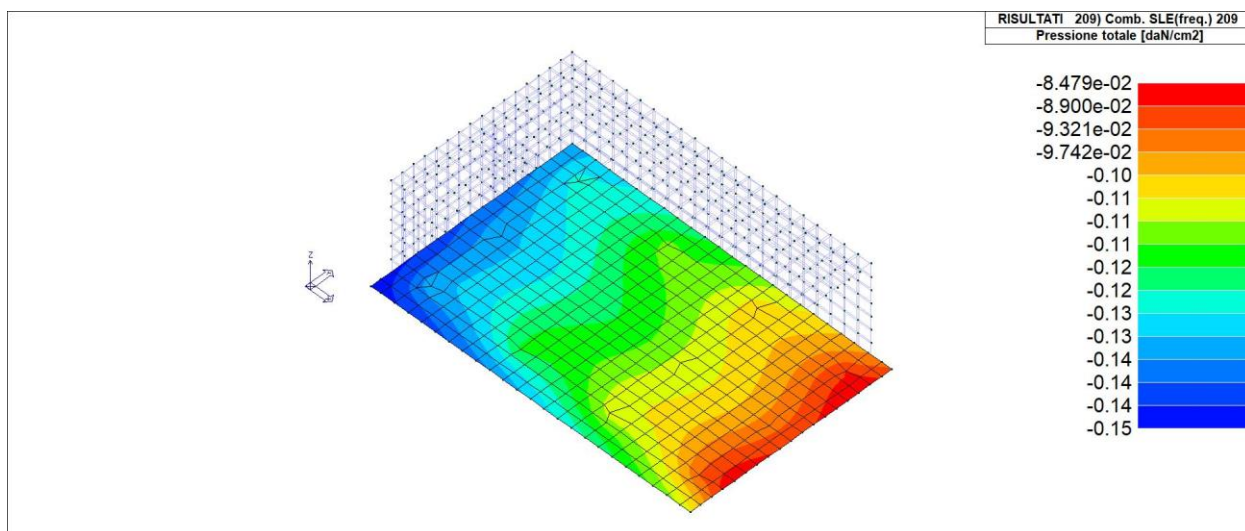


Figura 13 - MAX Pressione totale per la combinazione 209) SLE(freq.)



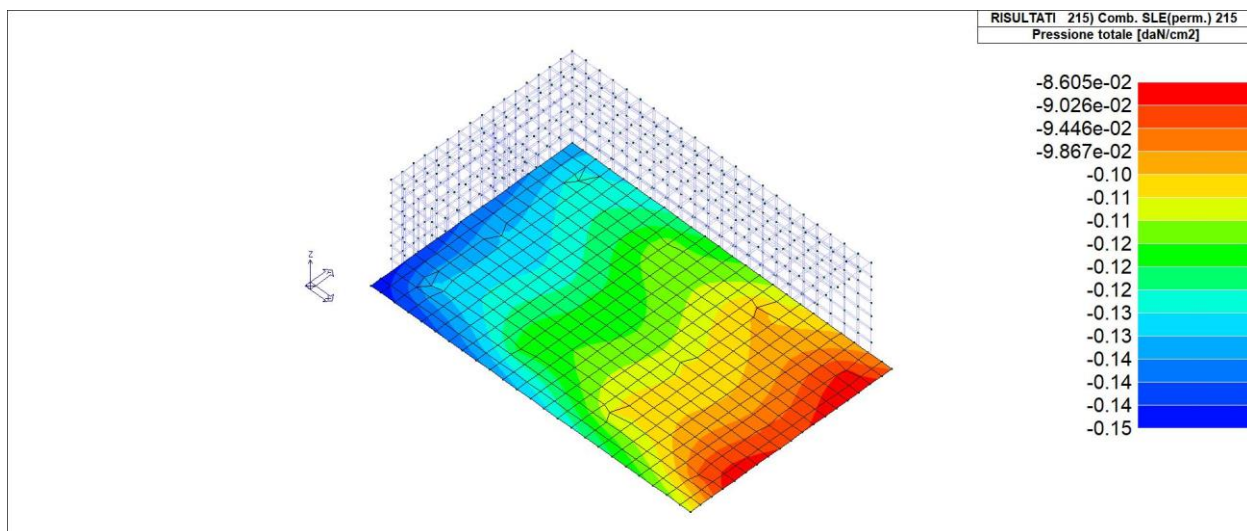


Figura 14 – MAX Pressione per la combinazione 215) SLE (perm.)

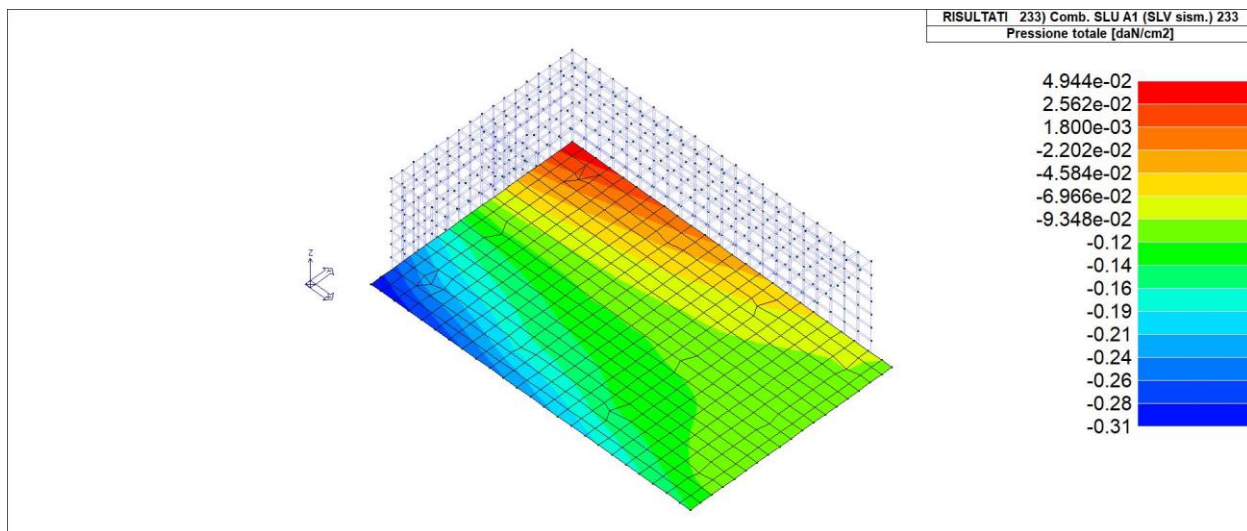


Figura 15- MAX Pressione totale per la combinazione 233) SLU A1 (SLV sism.)

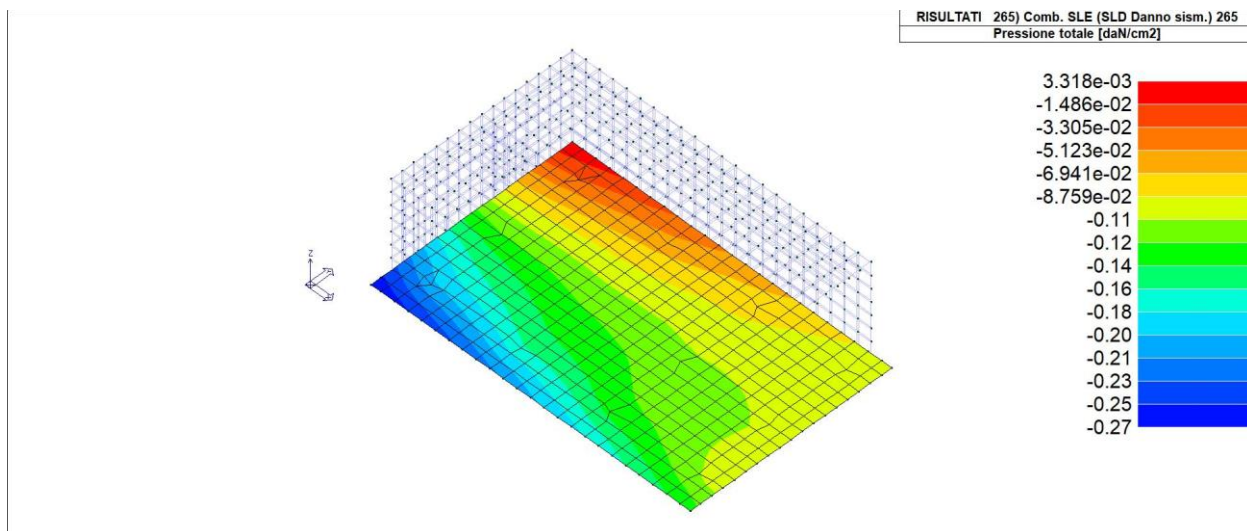


Figura 16 - MAX Pressione totale per la combinazione 265) SLE (SLD Danno sism.)

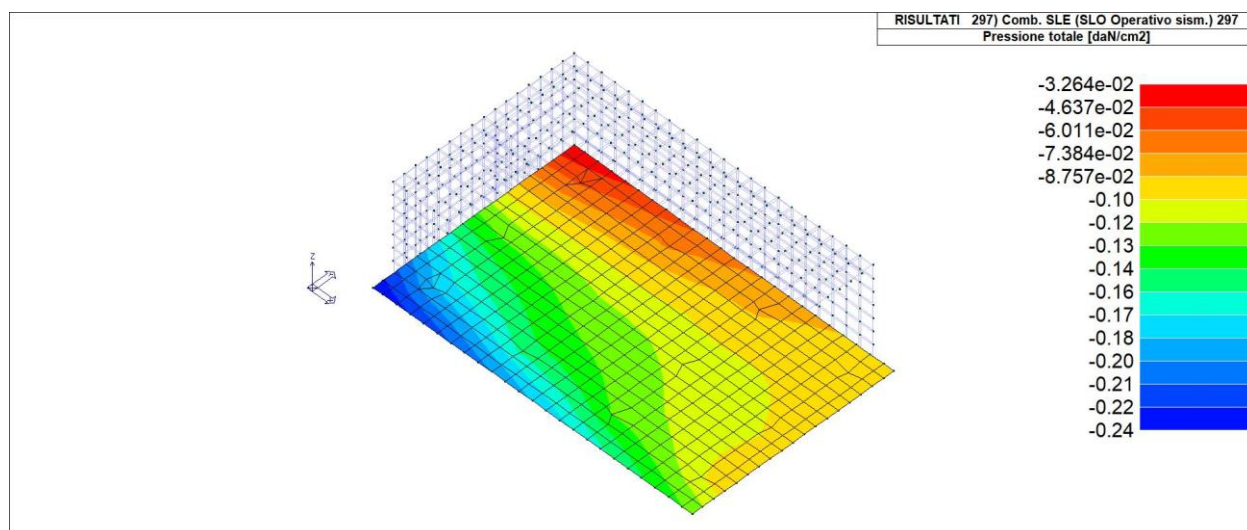


Figura 17 - MAX Pressione totale per la combinazione 297) SLE (SLO Operativo sism.)

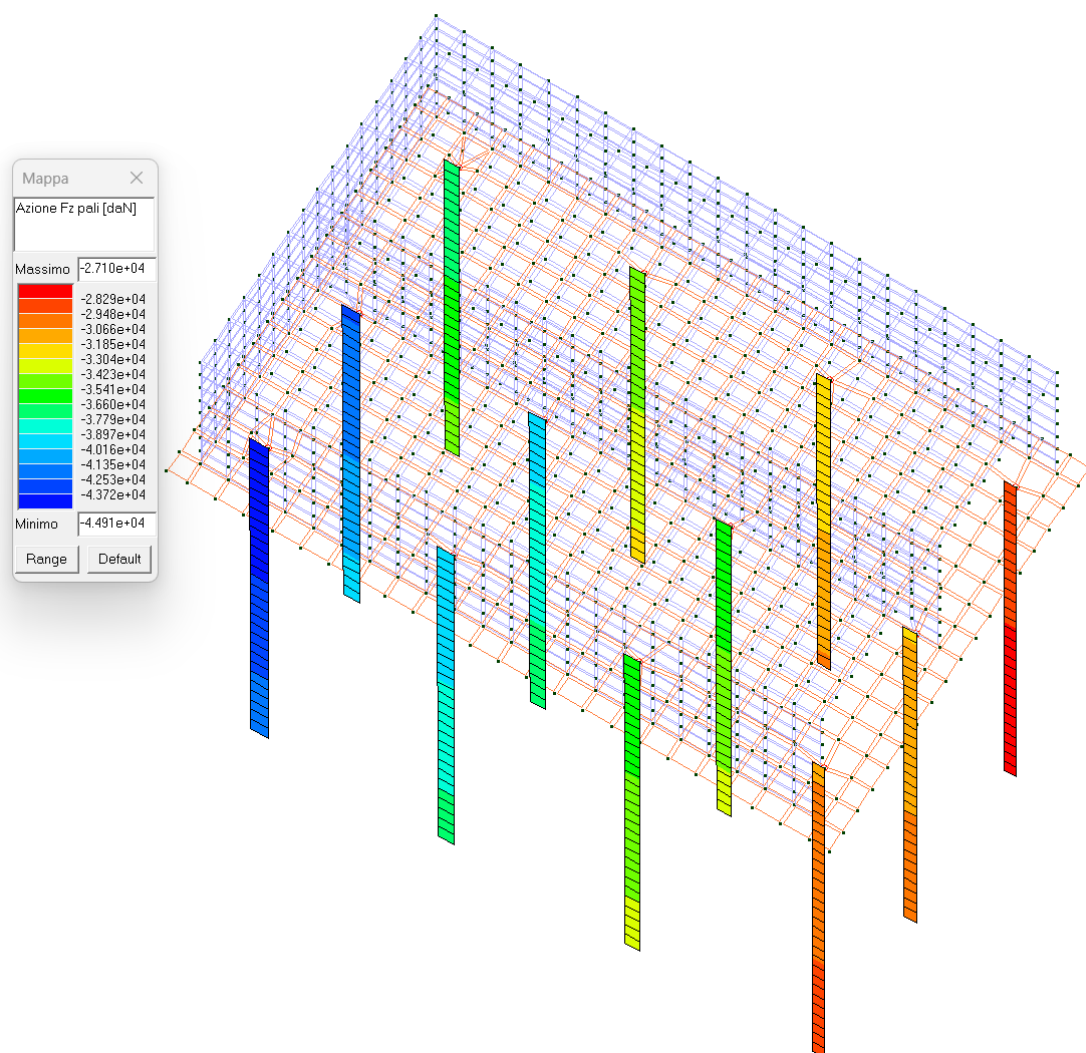


Figura 18 - MAX Azione Fz pali [daN] per la combinazione 127) SLU A1



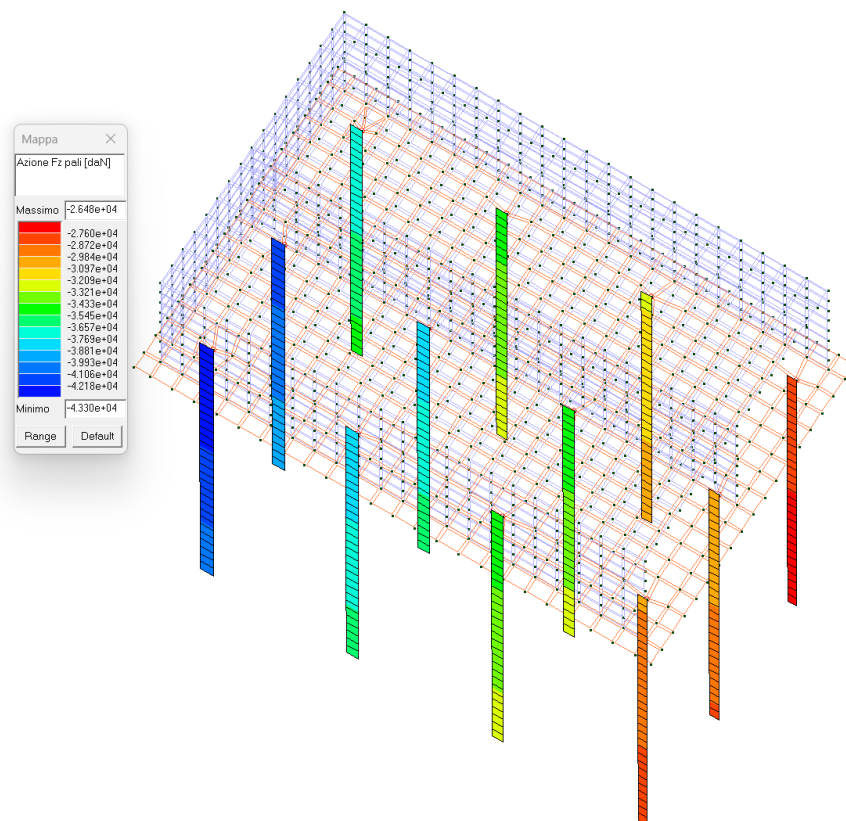


Figura 19 - MAX Azione Fz pali [daN] per la combinazione 199) SLE(rara)

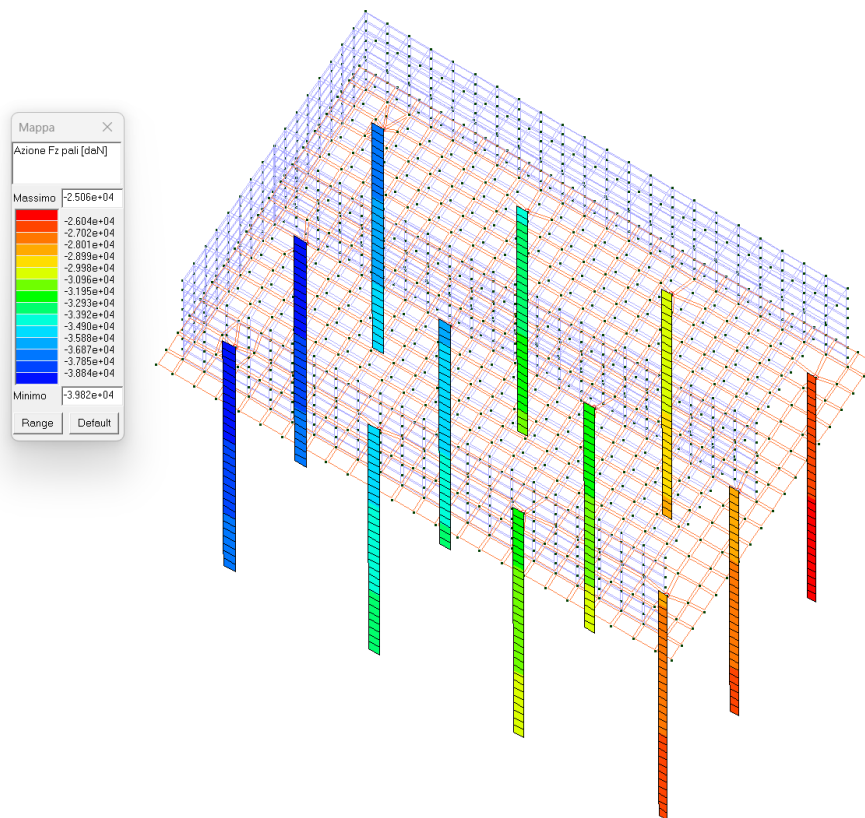


Figura 20 - MAX Azione Fz pali [daN] per la combinazione 209) SLE(freq.)

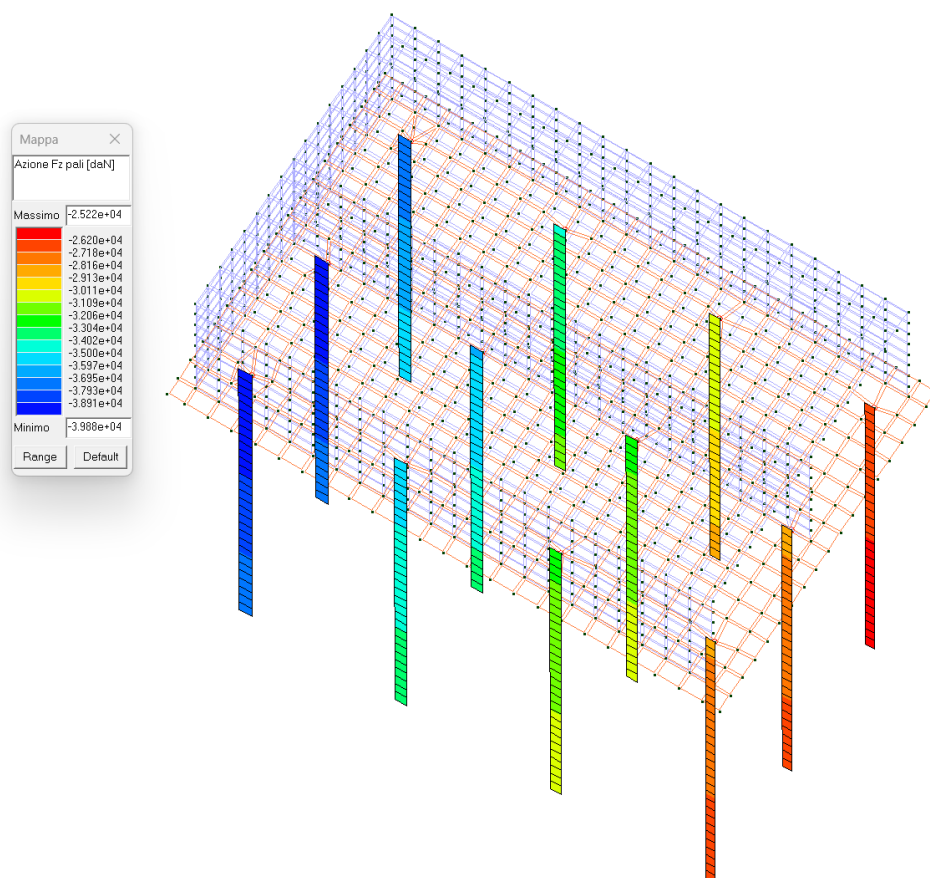


Figura 21 - MAX Azione Fz pali [daN] per la combinazione 215) SLE (perm.)

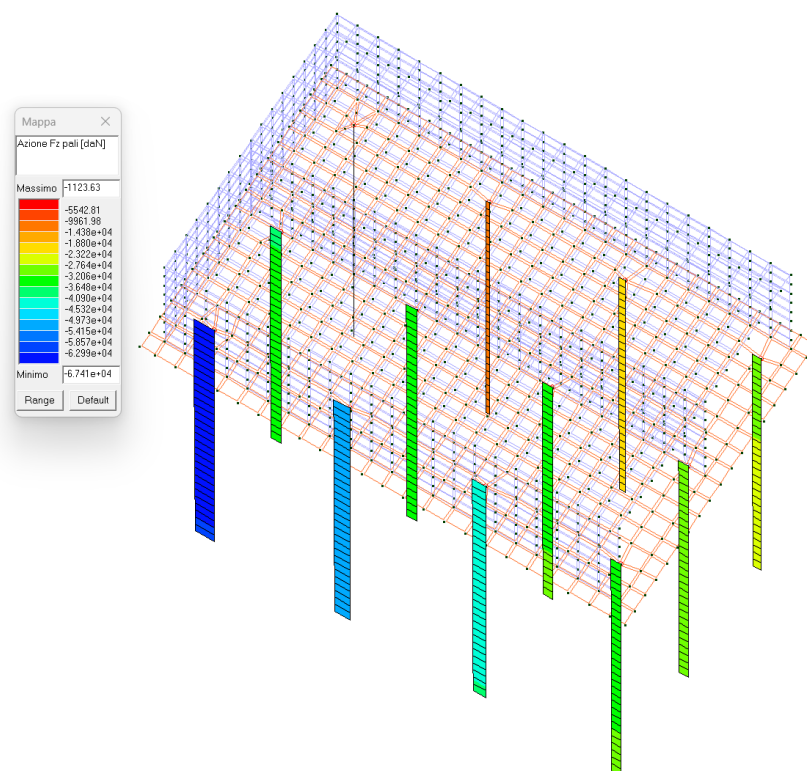


Figura 22 MAX Azione Fz pali [daN] per la combinazione 233) SLU (SLV sism.)

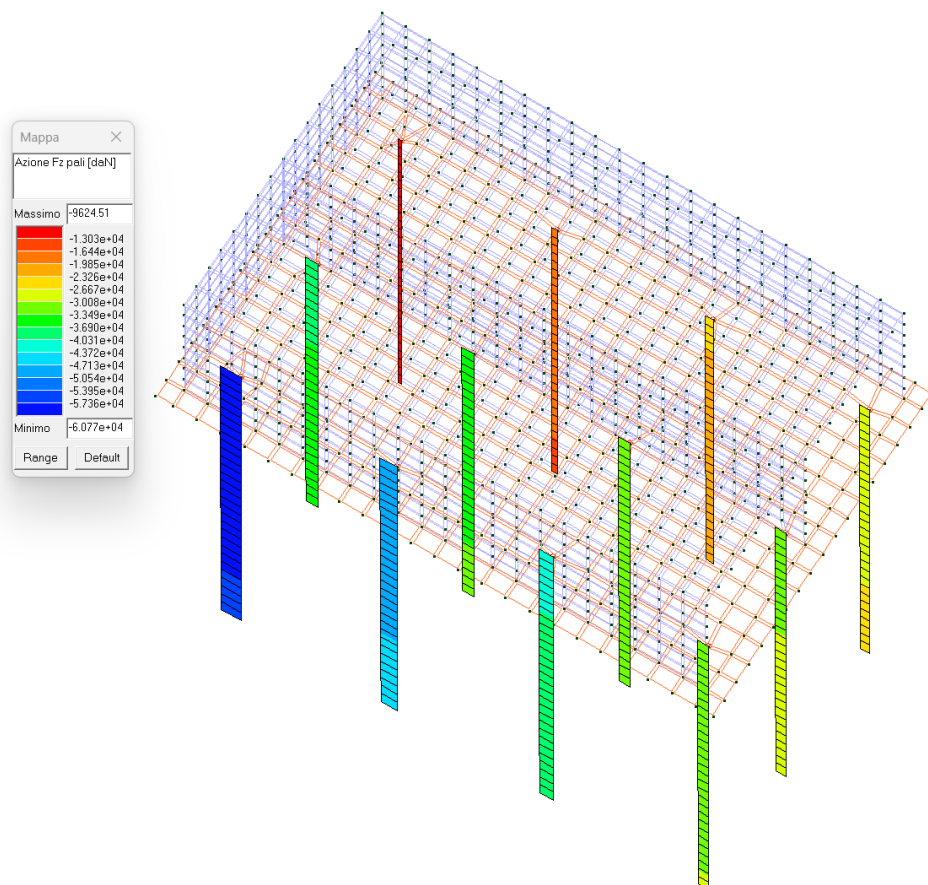


Figura 23 - MAX Azione Fz pali [daN] per la combinazione 265) SLE (SLD Danno sism.)

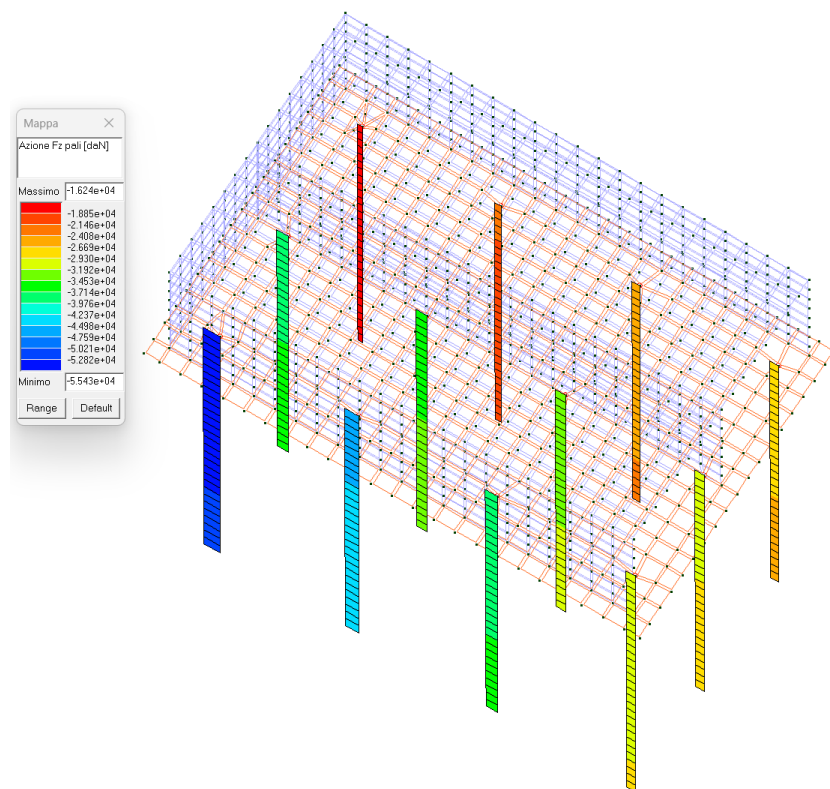


Figura 24 - MAX Azione Fz pali [daN] per la combinazione 297) SLE (SLO Operativo sism.)



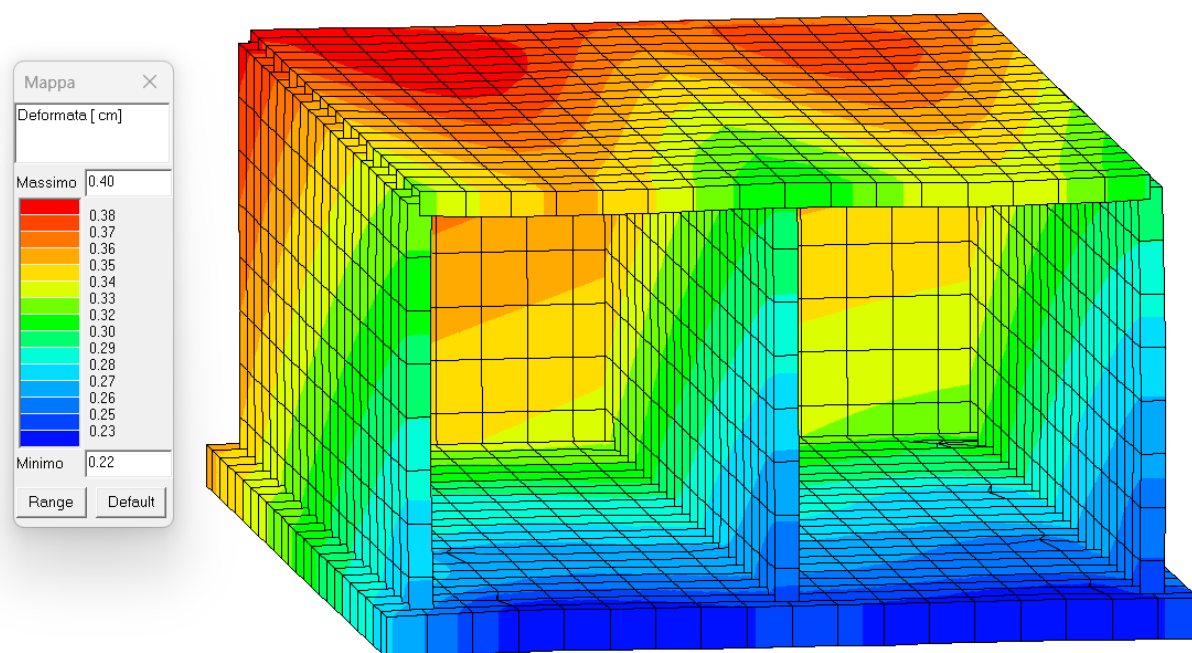


Figura 25 - MAX Deformata per la combinazione 126) SLU A1

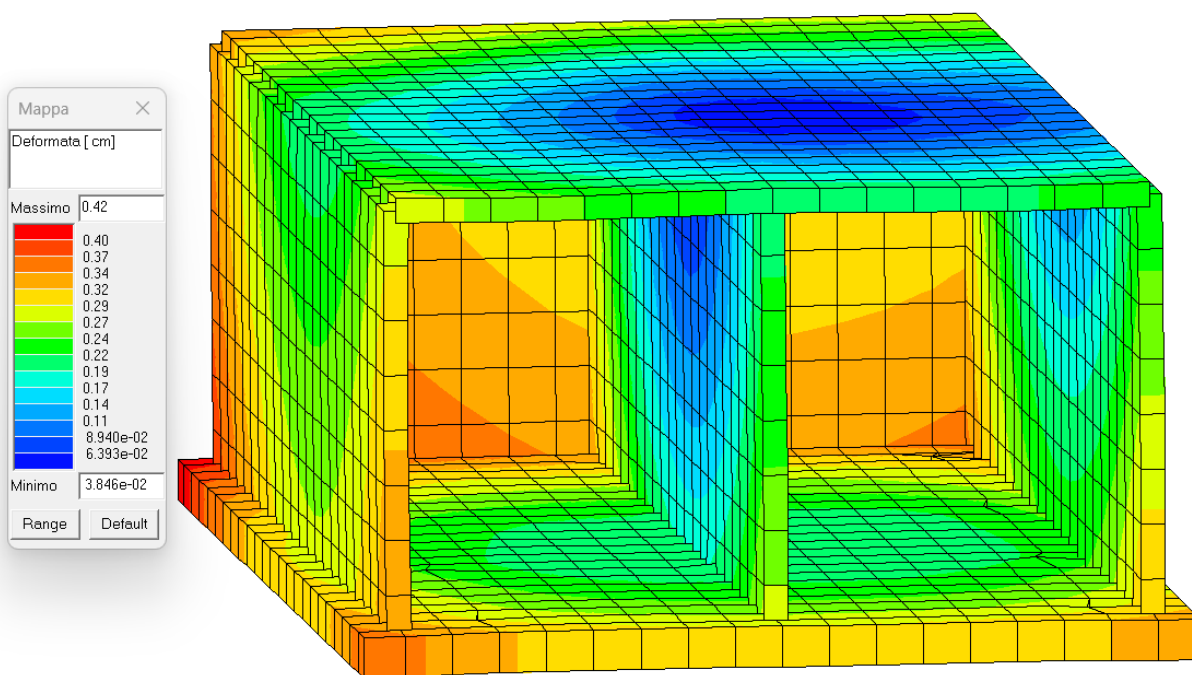


Figura 26 - MAX Deformata per la combinazione 200) SLE (rara)

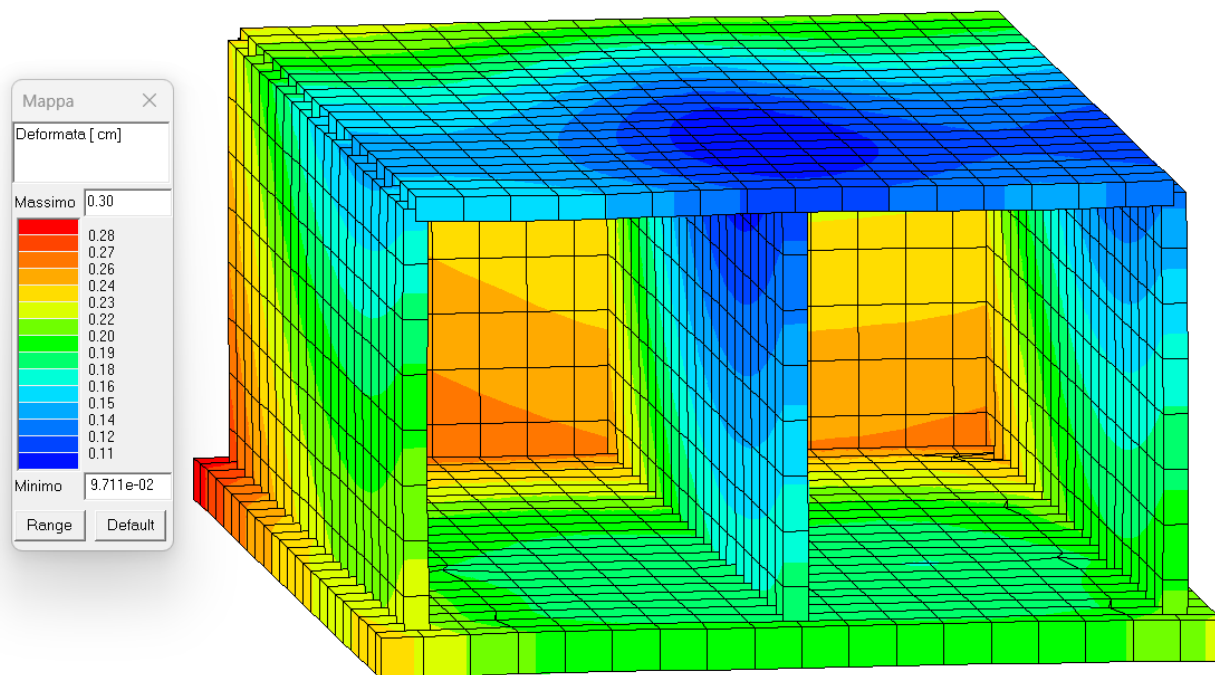


Figura 27 - MAX Deformata per la combinazione 210) SLE (freq)

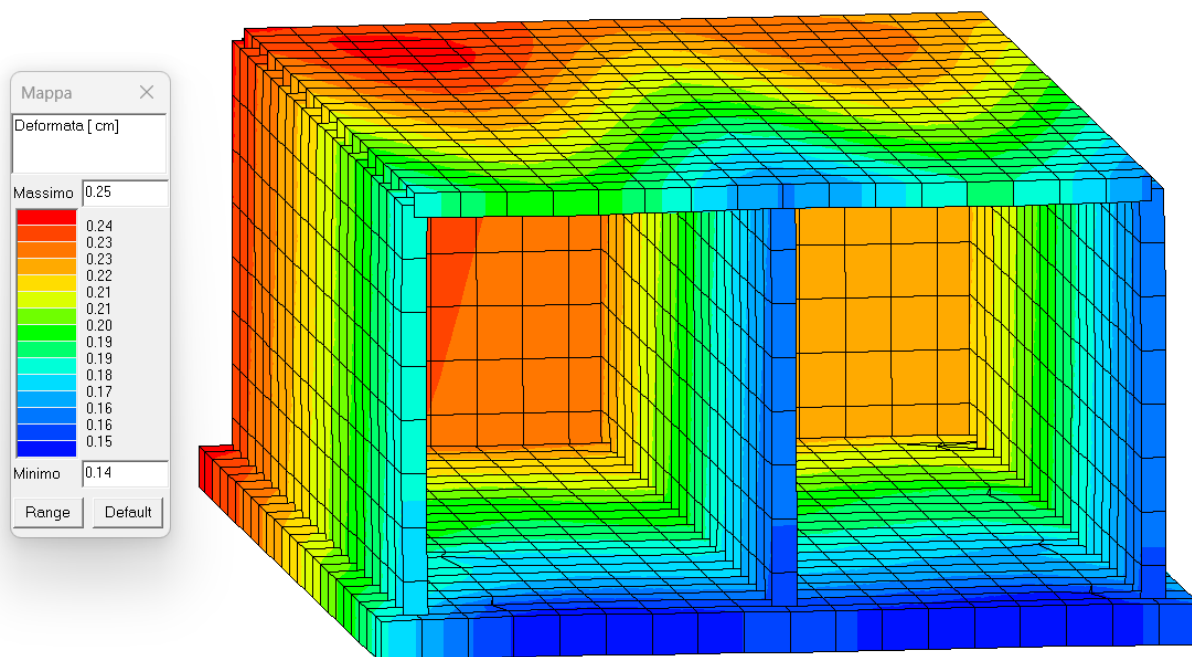


Figura 28 - MAX Deformata per la combinazione 215) SLE (perm.)

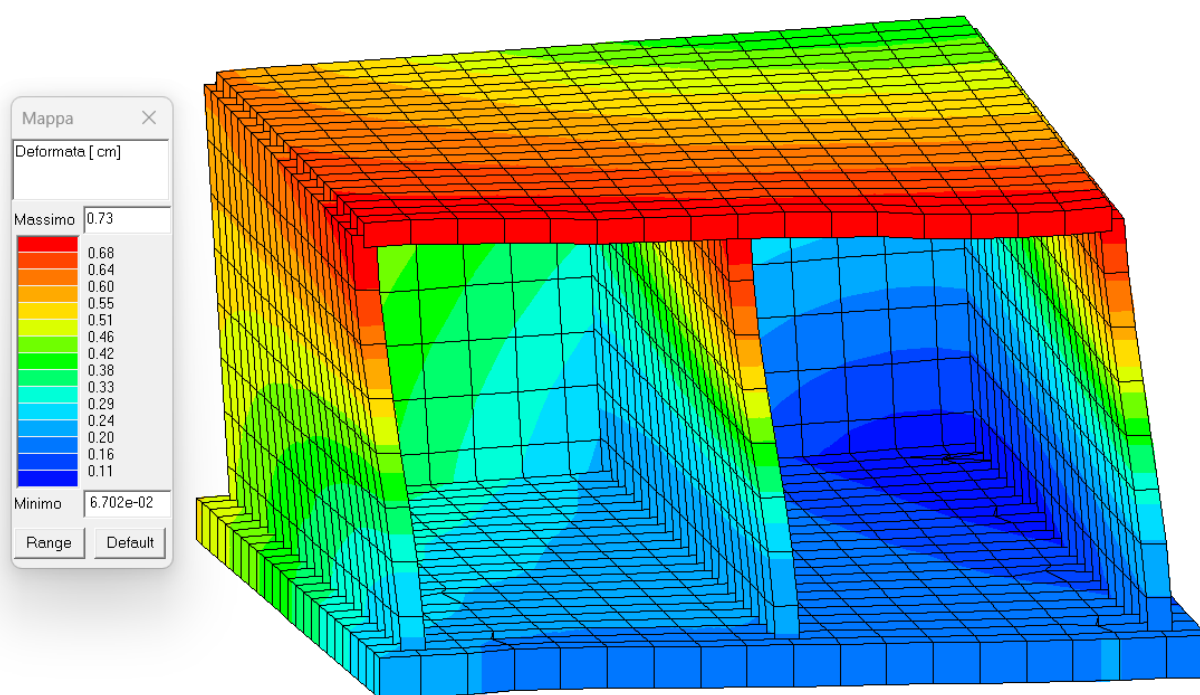


Figura 29 - MAX Deformata per la combinazione 237) SLU A1 (SLV sism.)

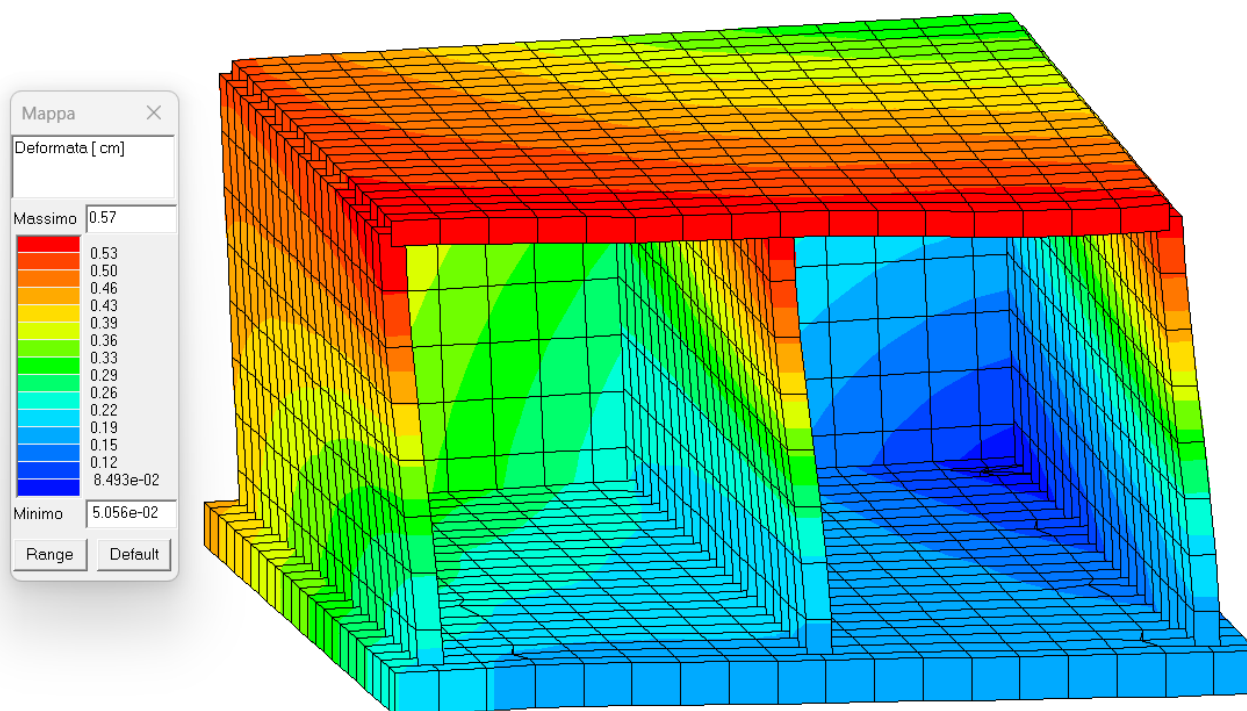
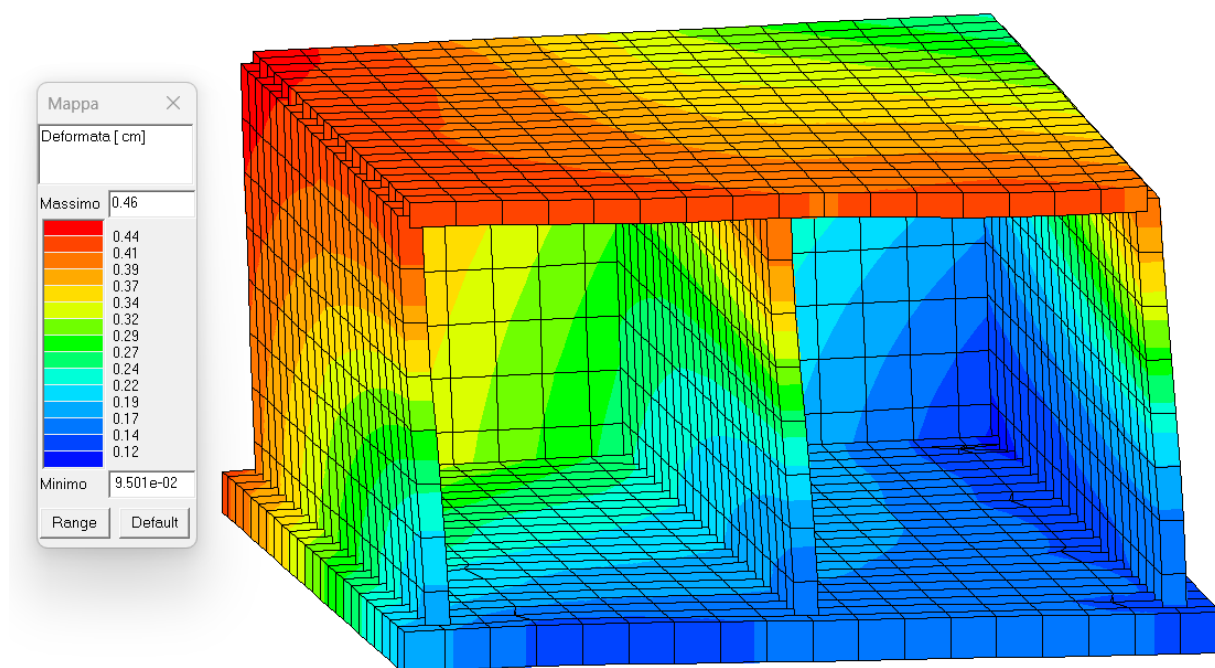


Figura 30 - MAX Deformata per la combinazione 269) SLE (SLD danno sism.)



*Figura 31 - MAX Deformata per la combinazione 303) SLE (SLO Operativo sism.)*



## 8. PROGETTO E VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

La verifica degli elementi allo SLU avviene col seguente procedimento:

- si costruiscono le combinazioni non sismiche in base al D.M. 2018, ottenendo un insieme di sollecitazioni;
- si combinano tali sollecitazioni con quelle dovute all'azione del sisma secondo quanto indicato nel §2.5.3, relazione (2.5.5) del D.M. 2018;
- per sollecitazioni semplici (flessione retta, taglio, etc.) si individuano i valori minimo e massimo con cui progettare o verificare l'elemento considerato; per sollecitazioni composte (pressoflessione retta/deviata) vengono eseguite le verifiche per tutte le possibili combinazioni e solo a seguito di ciò si individua quella che ha originato il minimo coefficiente di sicurezza.

### 8.1 Verifiche di Resistenza Elementi in C.A.

Illustriamo, in dettaglio, il procedimento seguito in presenza di pressoflessione deviata (pilastri e trave di sezione generica):

- per tutte le terne  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $N$ , individuate secondo la modalità precedentemente illustrata, si calcola il coefficiente di sicurezza in base alla formula 4.1.19 del D.M. 2018, effettuando due verifiche a pressoflessione retta con la seguente formula:

$$\left( \frac{M_{Ex}}{M_{Rx}} \right)^\alpha + \left( \frac{M_{Ey}}{M_{Ry}} \right)^\alpha \leq 1$$

dove:

$M_{Ex}$ ,  $M_{Ey}$  sono i valori di calcolo delle due componenti di flessione retta dell'azione attorno agli assi di flessione X ed Y del sistema di riferimento locale;

$M_{Rx}$ ,  $M_{Ry}$  sono i valori di calcolo dei momenti resistenti di pressoflessione retta corrispondenti allo sforzo assiale  $N_{Ed}$  valutati separatamente attorno agli assi di flessione.

L'esponente  $\alpha$  può dedursi in funzione della geometria della sezione, della percentuale meccanica dell'armatura e della sollecitazione di sforzo normale agente.

- se per almeno una di queste terne la relazione 4.1.19 non è rispettata, si incrementa l'armatura variando il diametro delle barre utilizzate e/o il numero delle stesse in maniera iterativa fino a quando la suddetta relazione è rispettata per tutte le terne considerate.

Sempre quanto concerne il progetto degli elementi in c.a. illustriamo in dettaglio il procedimento seguito per le travi verificate/semiprogettate a pressoflessione retta:

- per tutte le coppie  $M_x$ ,  $N$ , individuate secondo la modalità precedentemente illustrata, si calcola il coefficiente di sicurezza in base all'armatura adottata;
- se per almeno una di queste coppie esso è inferiore all'unità, si incrementa l'armatura variando il diametro delle barre utilizzate e/o il numero delle stesse in maniera iterativa fino a quando il coefficiente di sicurezza risulta maggiore o al più uguale all'unità per tutte le coppie considerate.

Per le strutture, o parti di strutture, progettate con comportamento strutturale **non dissipativo**, come il caso in esame, la capacità delle membrature soggette a flessione o pressoflessione è stato calcolato, a livello di sezione, al raggiungimento della curvatura  $\phi_{yd}$  di cui al § 4.1.2.3.4.2 del DM 2018, a cui corrisponde il momento resistente massimo della sezione in campo sostanzialmente elastico.

Nei "Tabulati di calcolo", per brevità, non potendo riportare una così grossa mole di dati, si riporta la terna  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $N$ , o la coppia  $M_x$ ,  $N$  che ha dato luogo al minimo coefficiente di sicurezza.

Una volta semiprogettate le armature allo SLU, si procede alla verifica delle sezioni allo Stato Limite di Esercizio con le sollecitazioni derivanti dalle combinazioni rare, frequenti e quasi permanenti; se necessario, le armature vengono integrate per far rientrare le tensioni entro i massimi valori previsti. Successivamente si procede alle verifiche alla deformazione, quando richiesto, ed alla fessurazione che, come è noto, sono tese ad assicurare la durabilità dell'opera nel tempo.





## 8.2 Verifica di punzonamento dei nodi

I nodi in c.a. sono stati verificati a punzonamento ai sensi dei §§ 6.4 e 9.4.3 dell'Eurocodice 2 (UNI EN 1992-1-1:2015). La verifica è stata eseguita nel modo illustrato nel seguito.

### STEP 1: verifica dell'idoneità geometrica

In primo luogo è stato verificato che l'elemento punzonante e quello punzonato siano dimensionati correttamente. Per effettuare questo controllo viene individuato un perimetro di verifica (detto  $u_0$ ) pari al perimetro utile dell'elemento punzonante (es. perimetro del pilastro) in funzione della posizione (interna, di bordo o d'angolo). Nella figura che segue vengono illustrati alcuni casi tipici.

interno	di bordo	d'angolo
$u_0 = 2 (c_1 + c_2)$	$u_0 = c_2 + 3d \leq c_2 + 2 c_1$	$u_0 = 3d \leq c_1 + c_2$

Si noti che, nella tabella precedente,  $d$  rappresenta l'altezza utile dell'elemento punzonato, pari alla media delle altezze utili nelle due direzioni armate ( $d_y$  e  $d_z$ ):

$$d = \frac{d_y + d_z}{2};$$

dove:

- $d_y = h - c - \frac{\Phi_y}{2}$  è l'altezza utile lungo  $y$ ;
- $d_z = h - c - \Phi_y - \frac{\Phi_z}{2}$  è l'altezza utile lungo  $z$ ;
- $c$  è il copriferro, ovvero il ricoprimento delle armature;
- $\Phi_y$  e  $\Phi_z$  sono i diametri delle barre delle armature longitudinali della soletta nelle direzioni principale e secondaria. La verifica lungo il perimetro caricato consiste nel controllare che (eq. (6.53) UNI EN 1992-1-1:2015):

$$V_{Ed,0} = \beta \cdot V_{Ed} / (u_0 \cdot d) \leq V_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd};$$

dove:

- $\beta$  è un coefficiente che dipende dall'eccentricità (rapporto tra momento flettente e sforzo normale) del carico applicato all'elemento punzonante. In via semplificata, questo fattore può essere stimato in relazione alla posizione in pianta del pilastro (si veda la seguente Fig. 6.21N della UNI EN 1992-1-1:2015 e la relativa tabella);
- $V_{Ed}$  è lo sforzo di punzonamento di progetto allo SLU;
- $v = 0,6 (1 - f_{ck}/250)$ .

posizione elemento punzonante	$\beta$
interna	1,15
di bordo	1,4
d'angolo	1,5

### STEP 2: Verifica lungo il perimetro critico in assenza di armature

La verifica di punzonamento si esegue normalmente in corrispondenza del perimetro critico (indicato con  $u_1$ ) lungo il quale si assume che possa verificarsi, allo stato limite ultimo, la rottura a punzonamento. Il perimetro critico di pilastri in elevazione, ai sensi della UNI EN 1992-1-1:2015, è ad una distanza  $2d$  dal



perimetro convesso dell'elemento punzonante, eventualmente escludendo i limiti della soletta (per pilastri di bordo e d'angolo, cfr. Figg. 6.13 e 6.15 UNI EN 1992-1-1:2015):

<b>pilastro Interno</b>	<b>pilastro di Bordo</b>	<b>pilastro d'Angolo</b>
$u_1 = 2 \cdot (c_1 + c_2) + 4 \cdot \pi \cdot d$	$u_1 = c_2 + 2 \cdot c_1 + 2 \cdot \pi \cdot d$	$u_1 = c_1 + c_2 + \pi \cdot d$

Nel caso di elementi di fondazione, invece, il perimetro critico è da individuarsi in modo iterativo tra tutti quelli con il minore coefficiente di sicurezza, fino ad una distanza di  $2d$  dal pilastro. Similmente a quanto avviene per gli elementi non armati a taglio con una specifica armatura trasversale (si pensi ai solai), è possibile assumere una resistenza intrinseca dell'elemento punzonato anche in assenza di armature (trattandosi di un meccanismo a taglio):

$$v_{Ed,1} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_1 d} \leq v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp} \geq (v_{\min} + k_1 \sigma_{cp})$$

dove:

- $C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c}$ ;
- $k = \min \left[ 1 + \sqrt{\frac{200}{d [mm]}}; 2 \right]$ ;
- $\rho_l = \sqrt{\rho_{ly} \cdot \rho_{lz}} \leq 0,02$ ;
- $\rho_{ly} = \frac{A_{sly}}{(c_1 + 6d)d}$  e  $\rho_{lz} = \frac{A_{slz}}{(c_2 + 6d)d}$  sono le armature longitudinali nelle due direzioni che

attraversano la dimensione colonna ( $c_1$  o  $c_2$ ) maggiorata di  $3d$  su ciascun lato;

- $k_1 = 0,1$
- $\sigma_{cp} = \frac{\sigma_{cy} + \sigma_{cz}}{2}$  è la tensione normale media nelle direzioni  $y$  e  $z$  del piano della soletta (per esempio dovute alla precompressione);
- $\sigma_{cy} = \frac{N_{Ed,y}}{A_{cy}}$   $\sigma_{cz} = \frac{N_{Ed,z}}{A_{cz}}$ ;
- $v_{\min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} [MPa]$ .

### STEP 3: Progetto delle armature a punzonamento

Qualora non sia possibile, con il solo contributo del calcestruzzo, assorbire la totalità dello sforzo punzonante, vengono disposte delle armature a punzonamento di area totale, lungo il perimetro critico, pari ad  $A_{sw}$ . Siccome non è nota a priori la reale posizione della superficie critica di rottura a punzonamento, la norma prevede di "replicare" queste armature in modo concentrico rispettando i limiti dimensionali indicati nel prosieguo. Vengono, quindi, disposte un certo numero di "file", tutte di area totale  $A_{sw}$  e concentriche al pilastro e via via più distanti da questo. L'armatura totale a punzonamento di una fila ( $A_{sw}$ ) deve essere scelta in modo tale che sia soddisfatta la seguente verifica:

$$v_{Ed,1} \leq v_{Rd,cs} = 0,75 \cdot v_{Rd,c} + 1,5 \cdot (d/s_r) A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \sin \alpha / (u_1 \cdot d);$$

dove:

- $s_r$  è l'interasse radiale dell'armatura a punzonamento (ovvero la distanza tra due file di armature concentriche);
- $f_{ywd,ef}$  è la tensione di snervamento di progetto efficace delle armature a punzonamento:  
 $f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 \cdot d \leq f_{ywd}$ ;
- $\alpha$  è l'angolo di inclinazione dell'armatura a punzonamento con l'orizzontale.

È possibile scegliere tra due possibili tipologie di armature a punzonamento:

- 1) *cuciture verticali* (pioli o perni tipo "stud"): in questo caso, trattandosi di armature verticali, sarà possibile assumere  $\alpha = 90^\circ$ ;



2) *ferri piegati*: in questo caso, la piegatura potrà avvenire con un angolo  $\alpha$  compreso tra  $30^\circ$  e  $45^\circ$  e si potrà assumere, nel caso di un'unica fila di armature:

$$(d/s_r) = 0,67.$$

#### STEP 4: Dettagli esecutivi

La disposizione delle armature a punzonamento deve essere fatta seguendo i dettagli esecutivi indicati nel § 9.4.3 della UNI EN 1992-1-1:2015. In primo luogo occorrerà calcolare il perimetro  $u_{out}$  oltre il quale non sono più richieste armature. Quest'ultimo è pari a:

$$u_{out,ef} = \beta \cdot V_{Ed} / (V_{Rd,c} \cdot d).$$

I dettagli esecutivi possono essere così riassunti (cfr. Fig. 9.10 UNI EN 1992-1-1:2015):

- 1) *per cuciture verticali*: la prima fila deve partire ad una distanza compresa tra  $0,3$  e  $0,5$   $d$  dalla faccia del pilastro; le file devono essere distanziate tra loro di una quantità  $\leq$  di  $0,75$   $d$ ; l'ultima fila deve essere disposta ad una distanza  $\leq$  di  $1,5$   $d$  dal perimetro  $u_{out}$ ;
- 2) *per ferri piegati*: la prima fila deve partire ad una distanza minore di  $0,5$   $d$  dalla faccia del pilastro; le barre possono essere disposte in pianta ad una distanza dalle facce del pilastro minore o uguale a  $0,25$   $d$ ; le file devono essere distanziate tra loro di una quantità minore o uguale a  $0,75$   $d$ ; l'ultima fila deve essere disposta ad una distanza minore o uguale a  $1,5$   $d$  dal perimetro  $u_{out}$ .

Infine, l'area minima della singola armatura a punzonamento deve risultare:

$$A_{sw,l} \geq A_{sw,min} = \frac{0,08 \sqrt{f_{ck}} / f_{yk}}{(1,5 \sin \alpha + \cos \alpha) (s_r, s_t)};$$

dove  $s_t$  è la distanza tangenziale massima tra le armature lungo una stessa fila, pari ad almeno  $1,5$   $d$  per file interne al perimetro  $u_1$  e  $2$   $d$  per file esterne al perimetro  $u_1$ .

#### Fondazioni superficiali

Le metodologie, i modelli usati ed i risultati del calcolo del **carico limite** sono esposti nella relazione GEOTECNICA.

#### Pali di fondazione

Le metodologie, i modelli usati ed i risultati del calcolo del **carico limite** sono esposti nella relazione GEOTECNICA.



### 8.3 VERIFICHE SLD

Essendo la struttura di **Classe 3** sono state condotte le Verifiche allo Stato Limite di Danno come indicato al par. 7.3.6.1 del D.M. 2018, assumendo fattori parziali dei materiali  $\gamma_m$  pari a 1.

#### DETTAGLI STRUTTURALI

Il progetto delle strutture è stato condotto rispettando i dettagli strutturali previsti dal D.M. 2018, nel seguito illustrati. Il rispetto dei dettagli può essere evinto, oltreché dagli elaborati grafici, anche dalle verifiche riportate nei tabulati allegati alla presente relazione.

#### Travi in c.a.

Le armature degli elementi trave sono state dimensionati seguendo i dettagli strutturali previsti al punto 4.1.6.1.1 del D.M. 2018:

$$A_s \geq A_{s,\min} = \max \left\{ 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t d; 0,0013 b_t d \right\} \quad [\text{TR-C4-A}]$$

$$\max \{A_s; A'_s\} \leq A_{s,\max} = 0,04 A_c \quad [\text{TR-C4-B}]$$

$$A_{st} \geq A_{st,\min} = 1,5 b \text{ mm}^2 / m \quad [\text{TR-C4-C}]$$

$$p_{st} \geq p_{st,\min} = \min \{33,3 \text{ cm}; 0,8 d\} \quad [\text{TR-C4-D}]$$

$$A_{st} \geq 0,5 A_{sw} \quad [\text{TR-C4-E}]$$

$$p_{st} \geq 15 \Phi \quad [\text{TR-C4-F}]$$

dove:

- $A_s$  e  $A'_s$  sono le aree di armature tese e compresse;
- $f_{ctm}$  è la resistenza a trazione media del cls;
- $f_{yk}$  è la resistenza caratteristica allo snervamento;
- $b_t$  è la larghezza media della zona tesa della trave (pari alla larghezza della trave o dell'anima nel caso di sezioni a T);
- $d$  è l'altezza utile della trave;
- $b$  è lo spessore minimo dell'anima in mm;
- $p_{st}$  è il passo delle staffe;
- $A_c$  è l'area della sezione di cls;
- $A_{st}$  è l'area delle staffe;
- $A_{sw}$  è l'area totale delle armature a taglio (area delle staffe più area dei ferri piegati);
- dove  $\Phi$  è il diametro delle armature longitudinali compresse.

Ai fini di un buon comportamento sismico, sono rispettate le seguenti limitazioni geometriche, ai sensi del § 7.4.6.1.1 del D.M. 2018:

$$b_t \geq b_{t,\min} = 20 \text{ cm} \quad [\text{TR-LG-A}]$$

$$b_t \leq b_{t,\max} = \min \{b_c + h_t; b_c\} \quad [\text{TR-LG-B}]$$

$$b_t/h_t \geq (b_t/h_t)_{\min} = 0,25 \quad [\text{TR-LG-C}]$$

$$L_{zc} = 1,5 h_t \text{ (CD-A)}; L_{zc} = 1,0 h_t \text{ (CD-B)} \quad [\text{TR-LG-D}]$$

dove:

- $b_t$  e  $h_t$  sono la base e l'altezza delle travi, rispettivamente;
- $b_c$  è la larghezza della colonna;
- $L_{zc}$  è la larghezza della zona dissipativa.

Inoltre, per il dimensionamento delle armature, vengono rispettate le prescrizioni del § 7.4.6.2.1 del D.M. 2018, illustrate nel seguito.

#### Armature longitudinali

$$n_{\phi l} > n_{\phi l,\min} = 2 \quad [\text{TR-AL-A}]$$



$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_{yk}} < \rho = \frac{A_s}{b h} < \rho_{\max} = \rho_{cmp} + \frac{3,5}{f_{yk}} \quad [\text{TR-AL-B}]$$

$$\rho_{cmp} \geq \rho_{cmp,\min} \quad [\text{TR-AL-C}]$$

dove:

- $n_{\Phi l}$  è il numero di barre al lembo inferiore o superiore, di diametro almeno pari a 14 mm;
- $n_{\Phi l,\min}$  è il minimo numero possibile di barre al lembo inferiore o superiore, di diametro almeno pari a 14 mm;
- $\rho$  è il rapporto geometrico relativo all'armatura tesa (rapporto tra le aree delle armature,  $A_s$ , e l'area della sezione rettangolare,  $b \times h$ );
- $\rho_{cmp}$  è il rapporto geometrico relativo all'armatura compressa;
- $\rho_{cmp,\min} = 0,25 \rho$  per zone non dissipative, oppure  $1/2 \rho$  per zone dissipative.
- $f_{yk}$  è la resistenza di snervamento caratteristica dell'acciaio in MPa.

### Armature trasversali

$$p_{st} \leq p_{st,\max} = \min \left\{ \begin{array}{l} \left[ \frac{d}{4}; 175 \text{ mm}; 6\Phi_l; 24\Phi_{st} \right] \quad (CD-A) \\ \left[ \frac{d}{4}; 225 \text{ mm}; 8\Phi_l; 24\Phi_{st} \right] \quad (CD-B) \end{array} \right. \quad [\text{TR-AT-A}]$$

$$\Phi_{st} \geq \Phi_{st,\min} = 6 \text{ mm} \quad [\text{TR-AT-B}]$$

dove:

- $d$  è l'altezza utile della sezione;
- $\Phi_l$  è il diametro più piccolo delle barre longitudinali utilizzate;
- $\Phi_{st}$  è il diametro più piccolo delle armature trasversali utilizzate;
- $\Phi_{st,\min}$  è il minimo diametro delle staffe da normativa.

### Pilastrini in c.a.

Le armature degli elementi pilastrini sono state dimensionati seguendo i dettagli strutturali previsti al punto 4.1.6.1.2 del D.M. 2018, nel seguito indicati:

$$\Phi_l \geq \Phi_{l,\min} = 12 \text{ mm} \quad [\text{PL-C4-A}]$$

$$i \leq i_{\max} = 300 \text{ mm} \quad [\text{PL-C4-B}]$$

$$A_{sl} \geq A_{sl,\min} = \max \left\{ 0,10 \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}; 0,003 A_c \right\} \quad [\text{PL-C4-C}]$$

$$p_{st} \leq p_{st,\max} = \min \{ 12\Phi_l, 250 \text{ mm} \} \quad [\text{PL-C4-D}]$$

$$\Phi_{st} \geq \Phi_{st,\min} = \max \left\{ 6 \text{ mm}; \frac{\Phi_{l,\max}}{4} \right\} \quad [\text{PL-C4-E}]$$

$$A_{sl} \leq A_{sl,\max} = 0,04 A_c \quad [\text{PL-C4-F}]$$

dove:

- $\Phi_l$  e  $\Phi_{l,\min}$  sono, rispettivamente, il diametro più piccolo utilizzato ed il diametro minimo da norma delle barre longitudinali;
- $i$  e  $i_{\max}$  sono, rispettivamente, l'interasse massimo utilizzato e l'interasse massimo consentito da norma delle barre longitudinali;
- $A_{sl}$  è l'area totale delle armature longitudinali;
- $N_{Ed}$  è la forza di compressione di progetto;
- $f_{yd}$  è la tensione di calcolo dell'acciaio;
- $A_c$  è l'area di cls;
- $p_{st}$  e  $p_{st,\max}$  sono, rispettivamente, il passo massimo utilizzato ed il passo massimo consentito da norma per le staffe;
- $\Phi_{st}$  e  $\Phi_{st,\min}$  sono, rispettivamente, il diametro minimo utilizzato ed il diametro minimo consentito da norma delle staffe;
- $\Phi_{l,\max}$  è il diametro massimo delle armature longitudinali utilizzate;



- $A_{sl,max}$  è l'area massima da norma dei ferri longitudinali;
- $A_c$  è l'area di cls.

Ai fini di un buon comportamento sismico, sono rispettate le seguenti limitazioni geometriche, ai sensi del § 7.4.6.1.2 del D.M. 2018:

$$b_c \geq b_{c,min} = 25 \text{ cm} \quad [PL-LG-A]$$

$$L_{zc} \geq L_{zc,min} = \max\{h_c, 1/6 L_l, 45 \text{ cm}\} \text{ se } L_l \geq 3 h_c \quad [PL-LG-B]$$

$$L_{zc} \geq L_{zc,min} = \max\{h_c, L_l, 45 \text{ cm}\} \text{ se } L_l < 3 h_c$$

dove:

- $b_c$  è la dimensione minima della sezione trasversale del pilastro;
- $b_{c,min}$  è la dimensione minima consentita della sezione trasversale del pilastro;
- $L_{zc}$  è la lunghezza della zona critica;
- $L_{zc,min}$  è la lunghezza minima consentita della zona critica;
- $h_c$  è l'altezza del pilastro;
- $L_l$  è la luce libera del pilastro.

Inoltre, per il dimensionamento delle armature, vengono rispettate le prescrizioni del § 7.4.6.2.2 del D.M. 2018:

#### Armature longitudinali

$$i \leq i_{max} = 25 \text{ cm} \quad [PL-AL-A]$$

$$\rho_{min} = 1\% \leq \rho \leq \rho_{max} = 4\% \quad [PL-AL-B]$$

dove:

- $i$  e  $i_{max}$  sono, rispettivamente, l'interasse massimo utilizzato e l'interasse massimo consentito da norma delle barre longitudinali;
- $\rho$  è il rapporto tra l'area totale di armatura longitudinale e l'area della sezione retta.

#### Armature trasversali

$$\Phi_{st} > \Phi_{st,min} = \begin{cases} \max \left[ 6mm; \left( 0,4\Phi_{l,max} \sqrt{\frac{f_{yd,l}}{f_{yd,st}}} \right) \right] & \text{CD - A} \\ 6mm & \text{CD - B} \end{cases} \quad [PL-AT-A]$$

$$p_{st} \leq p_{st,max} = \min \begin{cases} \left[ 1/3b_{c,min}; 12,5cm; 6d_{bl,min} \right] & \text{CD - A} \\ \left[ 1/2b_{c,min}; 17,5cm; 8d_{bl,min} \right] & \text{CD - B} \end{cases} \quad [PL-AT-B]$$

dove:

- $\Phi_{st}$  è il più piccolo diametro delle staffe utilizzato;
- $\Phi_{st,min}$  è il minimo diametro delle staffe utilizzabile;
- $\Phi_{l,max}$  è il diametro massimo delle barre longitudinali utilizzate;
- $f_{yd,l}$  e  $f_{yd,st}$  sono le tensioni di snervamento di progetto delle barre longitudinali e delle staffe.
- $p_{st}$  e  $p_{st,max}$  sono, rispettivamente, il passo massimo utilizzato ed il passo massimo consentito da norma per le staffe;
- $b_{c,min}$  è la dimensione minore del pilastro;
- $d_{bl,min}$  è il diametro minimo delle armature longitudinali.

Inoltre, è stato effettuato il seguente controllo sulla duttilità minima dei pilastri:

$$\omega_{wd} = \frac{V_{st}}{V_{nc}} \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \geq \omega_{wd,min} = 0,08 \quad [PL-AT-C]$$

dove:

- $V_{st} = A_{st} L_{st}$  è il volume delle staffe di contenimento;
- $V_{nc}$  è il volume del nucleo confinato (=  $b_0 h_0$  s per sezioni rettangolari; =  $\pi(D_0/2)^2$  nel caso di sezioni circolari);
- $A_{st}$  è l'area delle staffe;
- $L_{st}$  è il perimetro delle staffe;





- $b_0$  e  $h_0$  sono le dimensioni del nucleo confinato, misurate con riferimento agli assi delle staffe;
- $D_0$  è il diametro del nucleo confinato misurato rispetto all'asse delle staffe;
- $s$  è il passo delle staffe;
- $f_{yd}$  è la tensione di snervamento di progetto delle staffe;
- $f_{cd}$  è la tensione di progetto a compressione del cls.

#### Nodi in c.a.

Il dimensionamento degli elementi trave e pilastro confluenti nel nodo è stato effettuato assicurando che le eccentricità delle travi rispetto ai pilastri siano inferiori ad 1/4 della larghezza del pilastro, per la direzione considerata (§ 7.4.6.1.3 D.M. 2018).

Le staffe progettate nel nodo sono almeno pari alle staffe presenti nelle zone adiacenti al nodo del pilastro inferiore e superiore. Nel caso di nodi interamente confinati il passo minimo delle staffe nel nodo è pari al doppio di quello nelle zone adiacenti al nodo del pilastro inferiore e superiore, fino ad un massimo di 15 cm.



## 9. PRINCIPALI RISULTATI

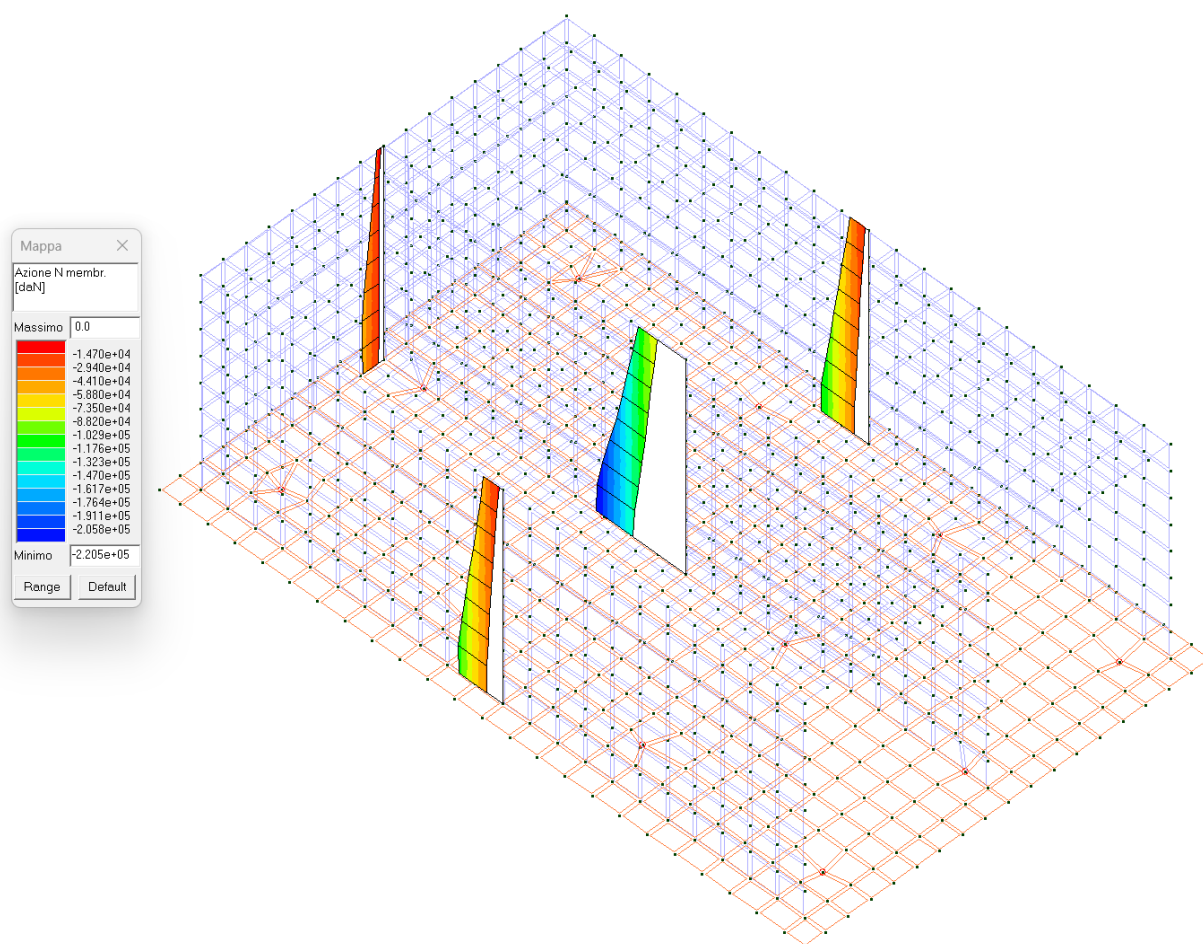
Le verifiche per le pareti sono quelle previste dal § 7.4.4.5.1 del D.M.2018. La progettazione viene eseguita sulla base delle azioni ottenute dall'analisi della struttura come indicato al § 7.4.4.5.1 del D.M.2018.

### **NOTA RELATIVA AI MACROELEMENTI**

Al termine dell'introduzione dei dati, nella generazione del modello, Pro\_Sap esegue la scansione della struttura assegnando la numerazione degli elementi, raggruppandoli in macroelementi (quali travate, piastre e pareti di caratteristiche omogenee) e cercando eventuali errori di modellazione.

La generazione del macroelemento nelle piastre e nelle pareti consente di visualizzare gli involuppi, che vengono riportati nella relazione per le sollecitazioni più significative ai fini delle verifiche; le sollecitazioni indicate sono quelle complessive agenti su tutto il macroelemento.

L'involuppo viene riportato lungo una linea d'asse che rappresenta la parete o la piastra. Tale azione è quella complessiva agente sul macroelemento.



*Figura 32 - AZIONE N MEMBR. (SFORZO NORMALE)*

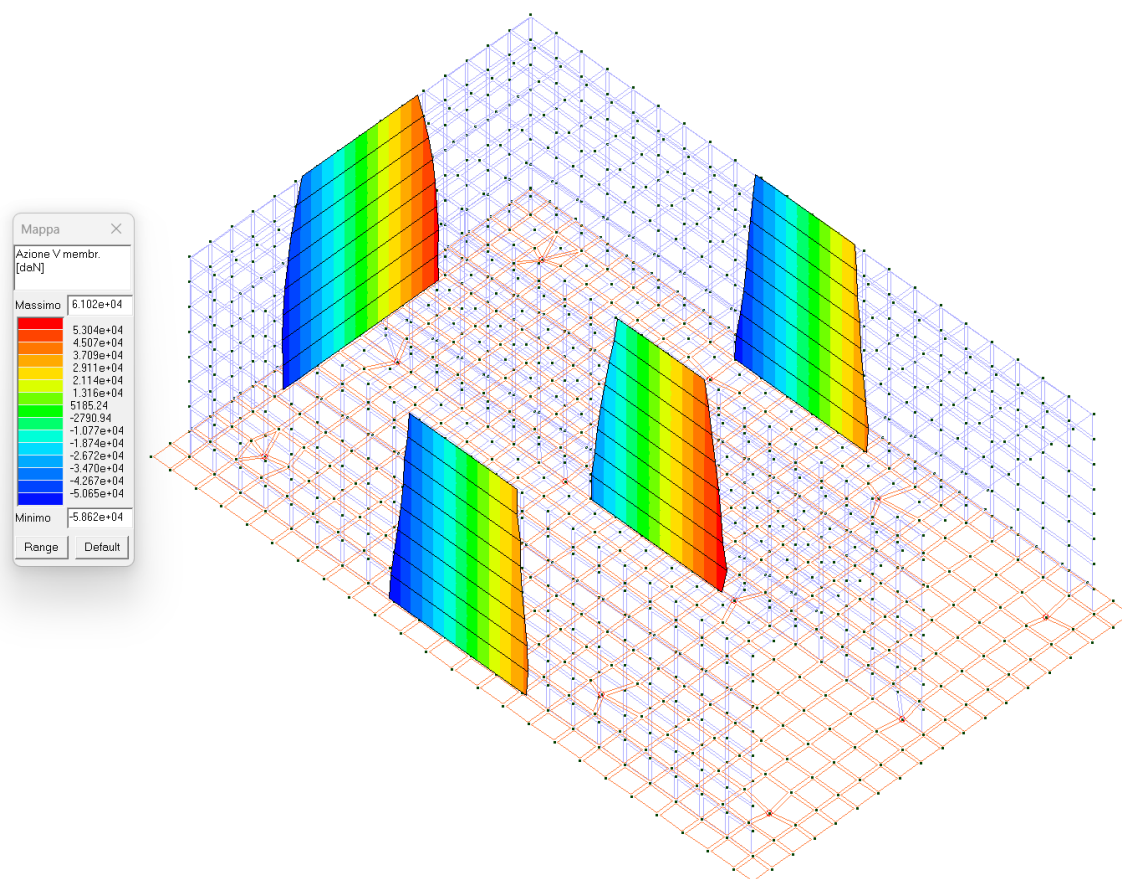


Figura 33 - AZIONE V MEMBR. (SFORZO DI TAGLIO T2)

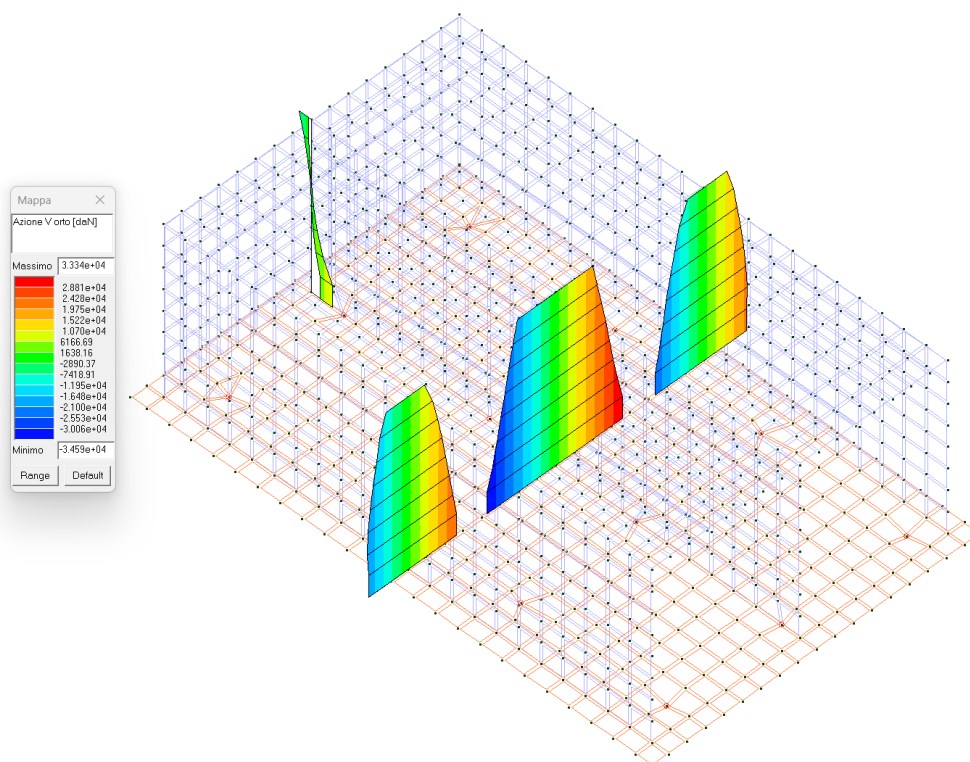


Figura 34 AZIONE V ORTO (SFORZO DI TAGLIO T3).



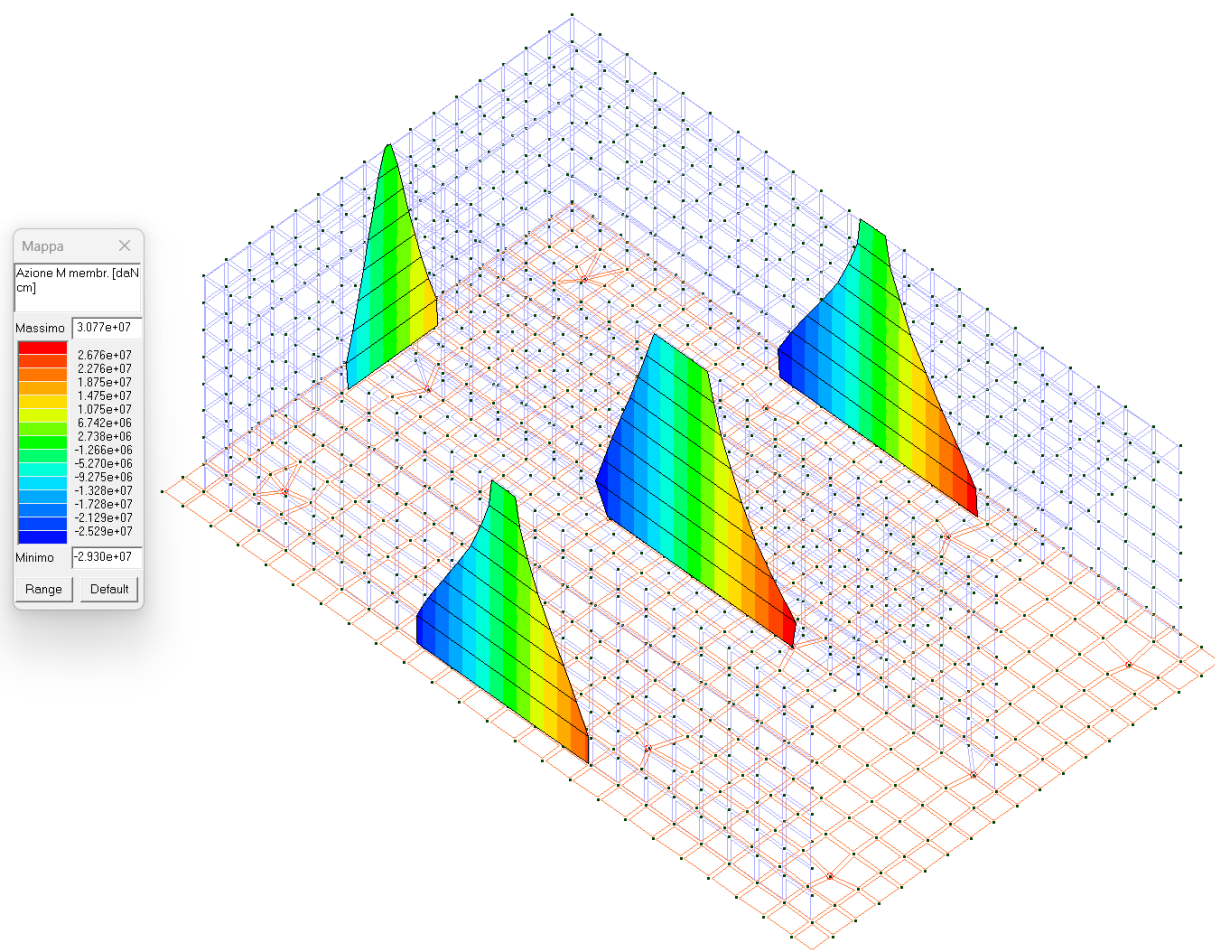


Figura 35 - AZIONE M MEMBR.( MOMENTO M 3 - 3)

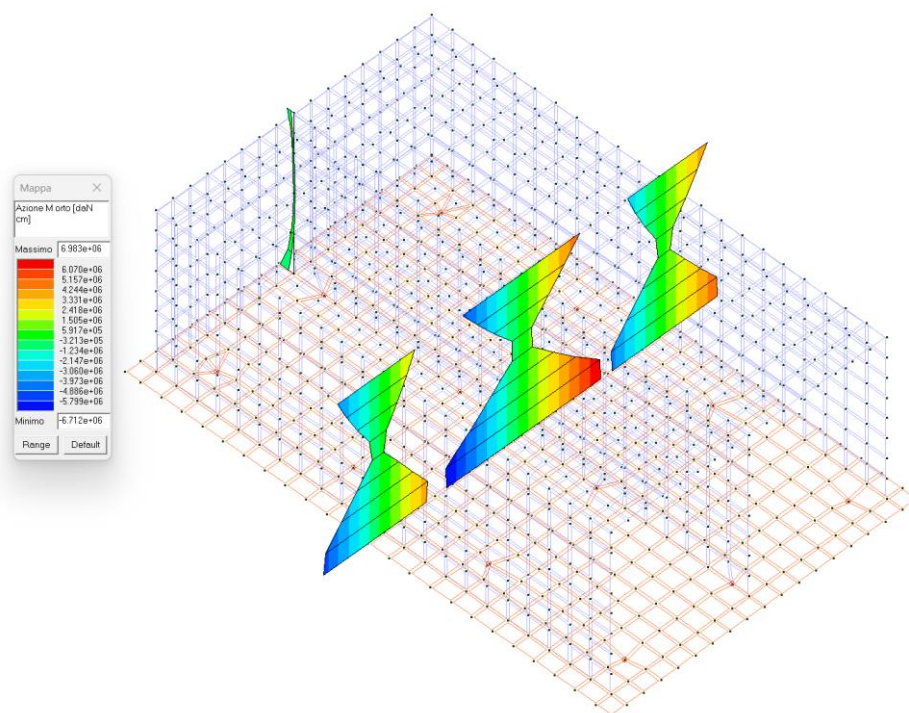


Figura 36 - AZIONE M ORTO.(MOMENTO M 2-2)



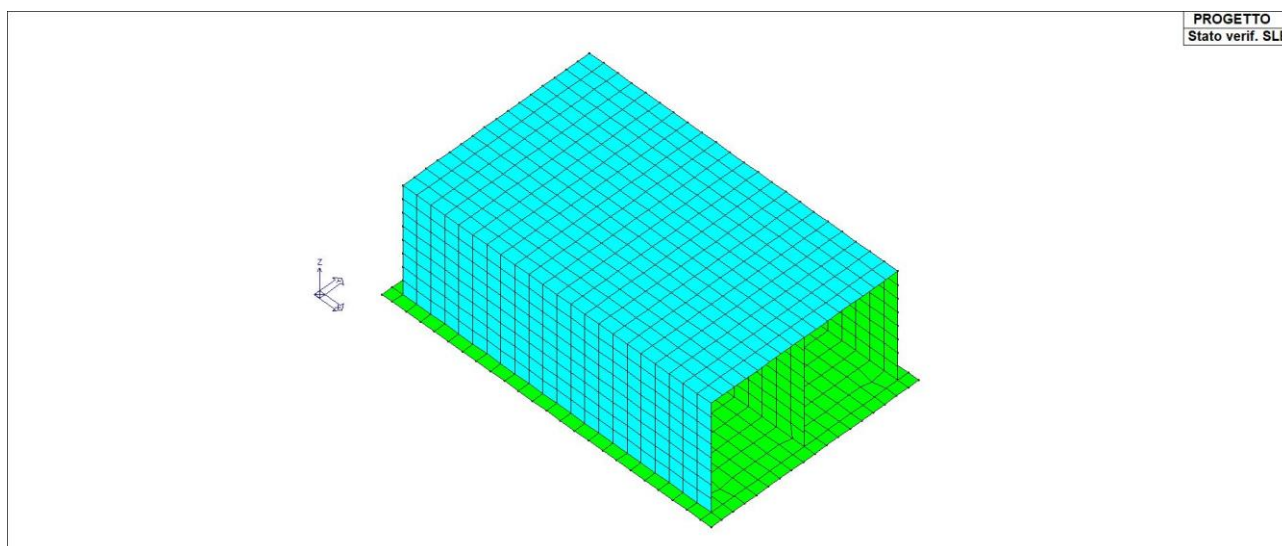
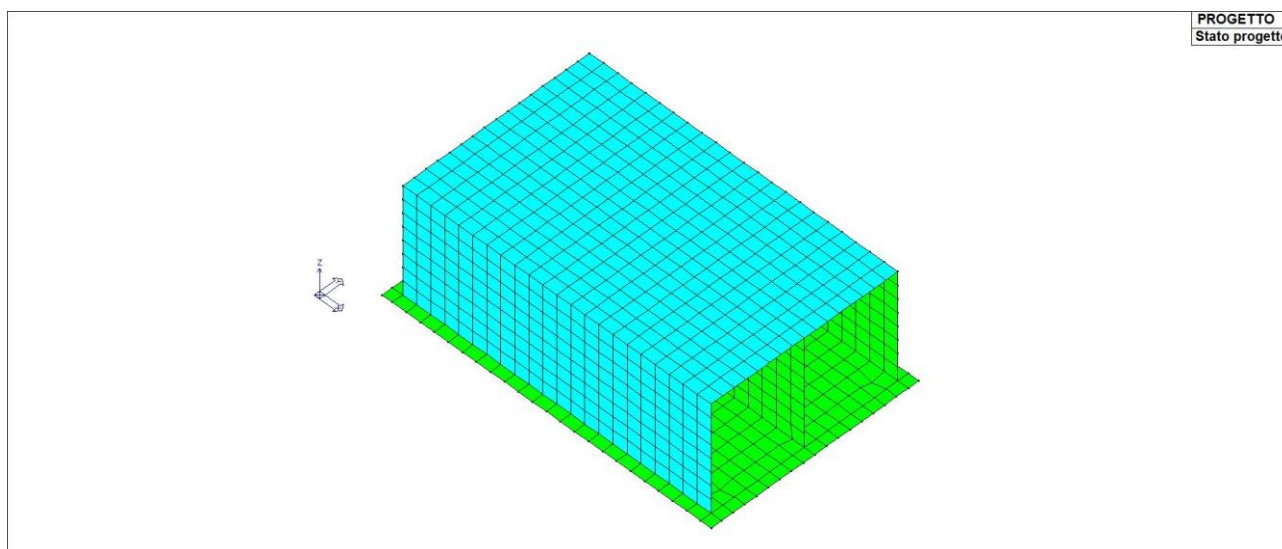
## 10. SINTESI DELLE VERIFICHE DI SICUREZZA

Si riportano a seguire i risultati della progettazione e delle verifiche effettuate.

Gli stati di progetto *ciano* o *verde* indicano che le verifiche svolte sono interamente soddisfatte, gli stati di progetto *rossi*, al contrario, indicano che le verifiche non sono soddisfatte.

Laddove possibile le verifiche sono state normalizzate. Significa che se i valori indicati in mappa sono inferiori all'unità, la verifica può ritenersi soddisfatta.

Per tutte le altre verifiche i valori riportati vanno confrontati con i valori limite indicati da Normativa.



Per il numero identificativo di ogni elemento si rimanda a pag 9 della stessa relazione.



**PALO 222 ( palo )**

Pos.	Num.	Diam.(mm)	L. (cm)	Peso (kg)
1	1	8	31500	124,3
2	17	20	1200+535	727,4

**PALO 289 ( palo )**

Pos.	Num.	Diam.(mm)	L. (cm)	Peso (kg)
1	1	8	21000	82,9
2	10	20	1200+535	427,9

**PALO 350 ( palo )**

Pos.	Num.	Diam.(mm)	L. (cm)	Peso (kg)
1	1	8	21000	82,9
2	10	20	1200+535	427,9

**PALO 403 ( palo )**

Pos.	Num.	Diam.(mm)	L. (cm)	Peso (kg)
1	1	8	31500	124,3
2	17	20	1200+535	727,4

**PALO 1116 ( palo )**

Pos.	Num.	Diam.(mm)	L. (cm)	Peso (kg)
1	1	8	21000	82,9
2	10	20	1200+535	427,9

**PALO 1165 ( palo )**

Pos.	Num.	Diam.(mm)	L. (cm)	Peso (kg)
1	1	8	21000	82,9
2	10	20	1200+535	427,9

**PALO 1207 ( palo )**

Pos.	Num.	Diam.(mm)	L. (cm)	Peso (kg)
1	1	8	31500	124,3
2	17	20	1200+535	727,4

**PALO 1275 ( palo )**

Pos.	Num.	Diam.(mm)	L. (cm)	Peso (kg)
1	1	8	21000	82,9
2	10	20	1200+535	427,9

**PALO 1324 ( palo )**

Pos.	Num.	Diam.(mm)	L. (cm)	Peso (kg)
1	1	8	21000	82,9
2	10	20	1200+535	427,9





### **PALO 1366 ( palo )**

Pos.	Num.	Diam.(mm)	L. (cm)	Peso (kg)
1	1	8	31500	124,3
2	17	20	1200+535	727,4

### **PALO 1448 ( palo )**

Pos.	Num.	Diam.(mm)	L. (cm)	Peso (kg)
1	1	8	31500	124,3
2	17	20	1200+535	727,4

### **PALO 1449 ( palo )**

Pos.	Num.	Diam.(mm)	L. (cm)	Peso (kg)
1	1	8	31500	124,3
2	17	20	1200+535	727,4

### **Parete in c.a. n. 1**

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
lato +	1	Ø 14	20.0	40626.0	490.9
lato +	2	Ø 14	20.0	46800.0	565.5
lato -	1	Ø 14	20.0	40626.0	490.9
lato -	2	Ø 14	20.0	46800.0	565.5

### **Parete in c.a. n. 2**

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
lato +	1	Ø 14	20.0	40626.0	490.9
lato +	2	Ø 14	20.0	46800.0	565.5
lato -	1	Ø 14	20.0	40626.0	490.9
lato -	2	Ø 14	20.0	46800.0	565.5

Armatura integrativa:

Pos.	Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
1	lato +	1	Ø 14	65.0	552.0	6.7
2	lato +	1	Ø 14	35.0	1233.0	14.9
3	lato +	1	Ø 14	100.0	363.0	4.4
4	lato +	2	Ø 14	65.0	352.0	4.3
5	lato +	2	Ø 14	100.0	220.0	2.7
6	lato +	2	Ø 14	100.0	366.0	4.4
7	lato -	1	Ø 14	35.0	1233.0	14.9
8	lato -	1	Ø 14	65.0	552.0	6.7
9	lato -	1	Ø 14	100.0	363.0	4.4
10	lato -	2	Ø 14	100.0	220.0	2.7
11	lato -	2	Ø 14	65.0	352.0	4.3
12	lato -	2	Ø 14	100.0	366.0	4.4



## Parete in c.a. n. 4

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
lato +	1	Ø 14	20.0	24705.0	298.5
lato +	2	Ø 14	20.0	27820.0	336.2
lato -	1	Ø 14	20.0	24705.0	298.5
lato -	2	Ø 14	20.0	27820.0	336.2

## Parete in c.a. n. 5

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
lato +	1	Ø 14	20.0	40626.0	490.9
lato +	2	Ø 14	20.0	46800.0	565.5
lato -	1	Ø 14	20.0	40626.0	490.9
lato -	2	Ø 14	20.0	46800.0	565.5

Armatura integrativa:

Pos.	Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
1	lato +	1	Ø 14	50.0	252.0	3.0
2	lato +	2	Ø 14	100.0	134.0	1.6
3	lato -	1	Ø 14	100.0	125.0	1.5
4	lato -	2	Ø 14	100.0	134.0	1.6

## Soletta in c.a. n. 3

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
sup.	1	Ø 14	20.0	90206.0	1090.1
sup.	2	Ø 14	20.0	82500.0	996.9
inf.	1	Ø 14	20.0	90206.0	1090.1
inf.	2	Ø 14	20.0	82500.0	996.9

Distanziatori Ø12, L = 100.0 cm

1/50 dir.1, 1/50 dir.2

## Soletta in c.a. n. 6

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
sup.	1	Ø 20	20.0	113550.0	2800.3
sup.	2	Ø 20	20.0	116762.0	2879.5
inf.	1	Ø 20	20.0	113550.0	2800.3
inf.	2	Ø 20	20.0	116762.0	2879.5

Armatura integrativa:

Pos.	Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot. (cm)	Peso (kg)
1	sup.	1	Ø 26	5.5	11979.0	499.3
2	sup.	1	Ø 20	5.5	7225.0	178.2
3	sup.	1	Ø 20	13	3091.0	76.2
4	sup.	1	Ø 20	20	1960.0	48.3
5	sup.	1	Ø 20	13	3520.0	86.8
6	sup.	1	Ø 26	12	3480.0	145.0
7	sup.	1	Ø 20	15	2670.0	65.8
8	sup.	1	Ø 20	11	3920.0	96.7
9	sup.	1	Ø 20	25	1980.0	48.8
10	sup.	1	Ø 20	40	1600.0	39.5
11	sup.	2	Ø 26	4	14491.0	604.0
12	sup.	2	Ø 20	15	2850.0	70.3
13	sup.	2	Ø 20	6	6279.0	154.8
14	sup.	2	Ø 20	14	3600.0	88.8
15	sup.	2	Ø 20	20	2313.0	57.0



16	sup.	2	Ø 20	11	4617.0	113.9
17	sup.	2	Ø 20	9	5565.0	137.2
18	sup.	2	Ø 20	30	2170.0	53.5
19	sup.	2	Ø 20	20	3100.0	76.5
20	sup.	2	Ø 20	30	2065.0	50.9
21	inf.	1	Ø 26	4	18669.0	778.1
22	inf.	1	Ø 20	13	3069.0	75.7
23	inf.	1	Ø 26	10	8424.0	351.1
24	inf.	1	Ø 20	20	1960.0	48.3
25	inf.	1	Ø 20	13	3520.0	86.8
26	inf.	1	Ø 26	12	3456.0	144.0
27	inf.	1	Ø 20	8	5016.0	123.7
28	inf.	1	Ø 26	30	2576.0	107.4
29	inf.	1	Ø 20	25	1980.0	48.8
30	inf.	1	Ø 26	5	9472.0	394.8
31	inf.	2	Ø 26	6.5	11970.0	498.9
32	inf.	2	Ø 20	20	2030.0	50.1
33	inf.	2	Ø 20	8	5263.0	129.8
34	inf.	2	Ø 20	7	6370.0	157.1
35	inf.	2	Ø 26	9	7370.0	307.2
36	inf.	2	Ø 20	10	5292.0	130.5
37	inf.	2	Ø 20	20	3000.0	74.0
38	inf.	2	Ø 20	40	1470.0	36.3
39	inf.	2	Ø 20	25	2277.0	56.2
40	inf.	2	Ø 20	55	1734.0	42.8

**Armatura a taglio:**

Pos.	Num.pioli	Diam.(mm)	Passo (cm)	Peso (kg)
41	143	Ø 12	14 x 14	50.8
42	168	Ø 12	13 x 13	59.7
43	42	Ø 12	30 x 30	14.9
44	48	Ø 12	30 x 30	17.0
45	42	Ø 12	30 x 30	14.9
46	25	Ø 12	30 x 30	8.9
47	45	Ø 12	30 x 30	16.0
48	36	Ø 12	30 x 30	12.8

Distanziatori Ø12, L = 138.0 cm  
 1/50 dir.1, 1/50 dir.2



Si riportano le verifiche del macro setto n° 4, che è quello più sollecitato. (Per il numero identificativo di ogni elemento si rimanda a pag 9 della stessa relazione.)

Nodo	Stato	x/d	V N/M	ver. rid	Af pr-	Af pr+	Af sec-	Af sec+	N z	N o	N zo	M z	M o	M zo
									daN/cm	daN/cm	daN/cm	daN	daN	daN
1	ok	0.15	0.4	5.05e-03	7.7	7.7	7.7	7.7	167.0	41.4	-52.0	-1016.4	310.3	-144.7
2	ok	0.15	0.2	3.07e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-24.6	-109.0	46.5	-1620.8	95.7	383.5
7	ok	0.15	5.47e-02	3.17e-03	7.7	7.7	7.7	7.7	4.7	-5.3	13.9	-17.1	143.1	119.8
8	ok	0.15	0.2	6.09e-03	7.7	7.7	7.7	7.7	25.1	196.4	-19.1	244.9	-224.8	-31.4
13	ok	0.15	0.2	7.37e-03	7.7	7.7	7.7	7.7	279.0	19.9	-36.6	-581.6	213.5	32.8
16	ok	0.15	0.2	1.63e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	150.3	14.7	-31.6	-5.6	756.2	40.7
18	ok	0.15	0.2	1.64e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	74.3	8.5	-31.7	98.6	762.8	-4.0
20	ok	0.15	0.2	1.35e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-59.2	11.2	17.2	160.3	648.0	270.8
22	ok	0.15	0.2	1.03e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-58.8	10.2	18.7	160.2	675.3	237.7
24	ok	0.15	0.2	7.61e-03	7.7	7.7	7.7	7.7	-40.6	11.7	19.4	154.6	679.4	172.5
26	ok	0.15	0.1	4.47e-03	7.7	7.7	7.7	7.7	-17.3	13.6	19.0	104.2	542.5	120.1
220	ok	0.15	0.2	2.17e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	77.2	-64.2	-4.4	397.3	670.7	-139.5
223	ok	0.15	0.2	2.09e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	18.6	-56.6	-62.5	-43.7	426.3	-0.3
225	ok	0.15	0.2	1.96e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-29.4	-1.8	-81.3	9.1	100.8	-267.0
227	ok	0.15	0.2	1.76e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-30.4	5.7	-76.6	53.8	295.9	-266.7
229	ok	0.15	0.2	1.52e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-22.8	9.0	-71.3	57.7	335.3	-257.9
231	ok	0.15	0.2	1.26e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-13.1	7.9	-68.7	59.5	409.7	-233.0
233	ok	0.15	0.2	1.00e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	17.3	55.7	51.5	-103.4	-27.9	43.6
420	ok	0.15	8.55e-02	6.60e-03	7.7	7.7	7.7	7.7	-16.1	-5.9	23.9	-304.8	4.9	324.4
422	ok	0.15	0.1	8.57e-03	7.7	7.7	7.7	7.7	-25.9	4.85e-02	-21.7	-740.2	-165.8	145.9
424	ok	0.15	0.1	9.99e-03	7.7	7.7	7.7	7.7	-29.5	10.9	-12.8	-856.4	-200.3	46.8
426	ok	0.15	0.1	1.08e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-28.6	24.9	-15.7	-804.9	-185.6	-68.6
428	ok	0.15	0.1	1.08e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-23.9	44.5	-14.6	-597.5	-131.8	-149.9
430	ok	0.15	0.1	1.00e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-14.0	72.6	-13.0	-255.2	-43.6	-189.9
432	ok	0.15	0.2	8.15e-03	7.7	7.7	7.7	7.7	8.3	116.8	-22.6	171.4	105.3	-145.3
581	ok	0.15	0.3	2.94e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-3.3	-18.2	-55.7	-659.0	48.1	-257.9
582	ok	0.15	0.2	4.66e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-30.8	-175.3	98.5	-1256.2	-90.7	-349.6
583	ok	0.15	0.2	2.02e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-123.7	36.2	-6.7	-141.8	31.2	283.1
584	ok	0.15	0.2	1.55e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-76.1	24.6	11.2	102.4	232.6	332.0
585	ok	0.15	0.1	1.28e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-60.6	13.7	20.4	188.0	454.5	266.0
586	ok	0.15	0.1	1.10e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-60.4	12.8	24.4	182.7	486.3	215.0
587	ok	0.15	0.1	9.22e-03	7.7	7.7	7.7	7.7	-46.6	15.0	26.4	152.5	452.9	163.1
588	ok	0.15	0.1	7.30e-03	7.7	7.7	7.7	7.7	-32.2	16.0	25.5	29.0	286.9	181.9
589	ok	0.15	0.3	3.83e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-186.8	32.5	42.7	-795.1	-468.6	51.7
590	ok	0.15	0.2	7.78e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-128.6	-362.1	59.4	-1691.7	48.2	-255.8
591	ok	0.15	0.2	2.64e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-157.7	37.0	32.9	-416.3	-357.4	150.5
592	ok	0.15	0.2	1.89e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-88.9	31.3	25.7	48.9	-130.6	247.8
593	ok	0.15	0.2	1.47e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-65.6	21.4	23.9	146.6	130.2	275.6
594	ok	0.15	0.1	1.21e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-49.8	18.7	29.3	176.7	190.3	238.4
595	ok	0.15	0.1	1.03e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-50.8	16.4	31.9	95.9	149.7	233.7
596	ok	0.15	9.75e-02	8.86e-03	7.7	7.7	7.7	7.7	-22.5	16.7	27.1	-182.8	31.7	295.3
597	ok	0.15	0.2	3.86e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-173.8	19.3	69.3	-889.6	-485.2	72.4
598	ok	0.15	0.2	8.54e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-142.1	-320.0	-19.3	-1753.5	-68.2	113.8
599	ok	0.15	0.2	2.79e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-158.4	31.8	53.1	-546.5	-445.9	123.1
600	ok	0.15	0.2	2.04e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-107.6	22.4	52.2	-118.5	-317.7	165.2
601	ok	0.15	0.2	1.58e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-65.6	23.6	38.4	76.0	-212.6	208.7
602	ok	0.15	0.1	1.36e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-64.3	18.8	38.4	61.2	-171.2	222.9
603	ok	0.15	0.1	1.18e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-52.9	19.4	34.5	-24.0	-91.5	259.3
604	ok	0.15	9.80e-02	1.02e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-27.2	28.4	-29.1	-390.0	-197.7	71.0
605	ok	0.15	0.2	3.23e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-106.1	-114.1	25.5	-890.9	-323.0	141.4
606	ok	0.15	0.2	5.24e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-102.6	-238.7	-42.0	-1649.5	-437.4	154.2
607	ok	0.15	0.2	2.65e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-104.7	18.7	70.3	-320.7	-385.3	123.4
608	ok	0.15	0.2	2.07e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-103.0	20.5	61.0	-163.2	-345.4	145.5
609	ok	0.15	0.2	1.61e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-64.0	22.8	44.3	39.1	-253.2	184.2
610	ok	0.15	0.1	1.40e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-49.3	22.6	39.8	14.3	-214.8	216.4
611	ok	0.15	0.1	1.25e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-30.9	37.1	-40.0	-154.8	-218.3	11.6
612	ok	0.15	0.1	1.07e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-33.9	36.7	-31.0	-386.7	-215.5	0.3
613	ok	0.15	0.2	2.36e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-48.0	-103.8	12.5	-757.7	-335.9	174.9
614	ok	0.15	0.2	2.79e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-45.7	-110.9	-34.4	-1381.7	-495.4	193.1
615	ok	0.15	0.2	2.23e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-63.5	-7.7	77.9	-445.9	-254.0	213.5
616	ok	0.15	0.2	1.92e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-80.3	11.1	70.3	-150.0	-296.8	142.6
617	ok	0.15	0.2	1.59e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-68.5	14.9	58.2	-17.7	-246.1	151.5
618	ok	0.15	0.2	1.32e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-55.8	17.2	50.1	-6.0	-210.1	178.9
619	ok	0.15	0.1	1.24e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-31.7	38.4	-41.8	-144.4	-171.9	-13.6



Nodo	Stato	x/d	V N/M	ver. rid	Af pr-	Af pr+	Af sec-	Af sec+	N z	N o	N zo	M z	M o	M zo
620	ok	0.15	0.1	1.17e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-28.7	48.2	-33.9	-313.3	-159.0	-49.4
621	ok	0.15	0.2	1.92e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-10.3	-85.2	-25.0	-592.4	-260.0	108.4
622	ok	0.15	0.2	1.95e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-6.7	-77.2	-37.2	-1038.3	-349.9	132.2
623	ok	0.15	0.2	1.78e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-55.4	-7.0	75.3	-280.5	-166.0	244.2
624	ok	0.15	0.2	1.68e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-59.0	3.2	69.6	-75.5	-146.0	147.9
625	ok	0.15	0.2	1.49e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-44.4	10.9	56.6	-9.3	-134.6	147.1
626	ok	0.15	0.2	1.39e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-45.5	13.7	54.6	-22.0	-130.9	166.3
627	ok	0.15	0.2	1.30e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-12.4	38.2	-53.8	-91.2	-46.3	-45.6
628	ok	0.15	0.2	1.18e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-11.2	62.3	-44.1	-182.5	-41.4	-121.1
629	ok	0.15	0.2	2.43e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-6.5	-86.8	-58.6	-536.3	-215.7	-27.8
630	ok	0.15	0.1	1.78e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	32.3	-73.6	-29.5	-1009.2	-213.5	72.2
631	ok	0.15	0.2	1.66e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-19.3	-5.4	-85.8	-109.3	-304.7	-222.7
632	ok	0.15	0.2	1.64e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-22.8	-1.5	-81.6	-25.4	-45.0	-230.0
633	ok	0.15	0.2	1.52e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-26.2	3.0	-80.9	46.8	189.7	-225.4
634	ok	0.15	0.2	1.39e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-16.3	8.6	-76.4	59.2	242.0	-216.9
635	ok	0.15	0.2	1.30e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-8.9	9.5	-73.3	70.5	293.8	-214.5
636	ok	0.15	0.2	1.09e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	11.7	73.3	-55.6	-114.7	33.0	-143.4
637	ok	0.15	0.3	0.0	7.7	7.7	7.7	7.7	262.8	20.7	38.8	-784.6	0.6	93.8
641	ok	0.15	6.65e-02	3.68e-03	7.7	7.7	7.7	7.7	4.9	-6.7	-18.9	3.3	149.6	-126.3
649	ok	0.15	0.2	7.11e-03	7.7	7.7	7.7	7.7	188.1	37.3	39.5	-106.3	908.3	-89.7
652	ok	0.15	0.2	1.68e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	85.1	15.6	23.5	123.2	971.1	-28.6
654	ok	0.15	0.2	1.64e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-77.6	8.6	-37.4	124.0	504.8	-316.9
656	ok	0.15	0.2	1.51e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-66.0	10.6	-32.7	155.0	637.8	-270.0
658	ok	0.15	0.2	1.23e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-63.6	9.5	-32.8	161.3	694.8	-250.9
660	ok	0.15	0.2	9.14e-03	7.7	7.7	7.7	7.7	-42.8	11.6	-30.6	160.4	718.4	-199.0
662	ok	0.15	0.1	5.54e-03	7.7	7.7	7.7	7.7	-18.1	14.1	-27.0	110.2	579.0	-156.3
849	ok	0.15	0.2	8.83e-03	7.7	7.7	7.7	7.7	9.0	115.4	27.9	192.4	108.6	140.6
851	ok	0.15	0.2	1.04e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-13.7	67.0	17.1	-228.1	-36.2	185.8
853	ok	0.15	0.1	1.12e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-23.6	36.3	16.9	-567.9	-122.9	147.0
855	ok	0.15	0.1	1.12e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-28.4	15.8	16.0	-775.4	-176.2	67.2
857	ok	0.15	0.1	1.04e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-28.9	2.4	24.1	-820.5	-188.2	-41.2
859	ok	0.15	0.1	9.22e-03	7.7	7.7	7.7	7.7	-24.4	-11.8	-38.4	-514.3	-77.1	-349.2
861	ok	0.15	9.50e-02	7.25e-03	7.7	7.7	7.7	7.7	-15.4	-11.0	-30.0	-273.7	18.9	-327.1
1010	ok	0.15	0.2	1.97e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	1.8	-66.2	25.0	-443.6	-151.0	53.0
1011	ok	0.15	0.1	1.85e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	90.8	-73.5	-20.3	-326.3	-172.4	-341.7
1012	ok	0.15	0.2	1.94e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-18.9	-13.3	100.0	-94.9	-267.5	220.8
1013	ok	0.15	0.2	1.89e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-27.6	-6.8	99.0	-29.0	-148.1	231.1
1014	ok	0.15	0.2	1.77e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-20.9	4.5	93.9	35.4	170.6	227.6
1015	ok	0.15	0.2	1.59e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-15.3	13.2	88.2	54.2	233.4	216.4
1016	ok	0.15	0.2	1.38e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-7.1	21.2	83.4	64.0	279.5	218.4
1017	ok	0.15	0.2	1.11e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	13.5	72.3	65.1	-108.1	32.3	142.3
1018	ok	0.15	0.2	1.78e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-30.9	-9.0	-69.4	-408.8	-128.7	-343.9
1019	ok	0.15	0.2	1.56e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-9.1	-14.7	84.3	-108.6	-25.7	325.0
1020	ok	0.15	0.2	1.72e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-40.7	-4.9	-72.1	-200.4	-120.9	-246.2
1021	ok	0.15	0.2	1.67e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-45.6	-0.6	-70.0	-57.2	-115.6	-171.0
1022	ok	0.15	0.2	1.62e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-36.1	3.5	-61.4	-15.4	-117.2	-168.7
1023	ok	0.15	0.2	1.54e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-10.7	10.5	87.9	11.2	46.4	196.7
1024	ok	0.15	0.2	1.39e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-12.2	19.0	88.2	-42.8	51.2	207.3
1025	ok	0.15	0.2	1.21e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-8.4	58.7	51.6	-169.4	-37.0	117.7
1026	ok	0.15	0.2	1.92e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-51.3	-11.9	-84.7	-568.9	-196.8	-295.0
1027	ok	0.15	0.2	1.69e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-37.7	-6.1	-81.4	-611.3	-146.5	-377.4
1028	ok	0.15	0.2	1.93e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-60.9	-1.0	-82.9	-339.7	-238.2	-211.2
1029	ok	0.15	0.2	1.77e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-60.9	4.2	-74.3	-117.3	-230.6	-160.2
1030	ok	0.15	0.2	1.57e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-55.0	5.8	-66.0	-22.5	-203.9	-163.4
1031	ok	0.15	0.2	1.45e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-36.4	8.8	-54.9	-21.9	-189.3	-198.9
1032	ok	0.15	0.2	1.35e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-12.1	16.5	84.3	-126.7	-78.8	207.1
1033	ok	0.15	0.2	1.19e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-18.9	43.7	46.5	-271.7	-122.3	97.0
1034	ok	0.15	0.2	2.59e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-94.4	-6.1	-100.7	-754.7	-295.5	-212.0
1035	ok	0.15	0.2	2.45e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-50.7	-12.9	-93.2	-852.2	-202.4	-371.7
1036	ok	0.15	0.2	2.31e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-92.8	9.4	-87.1	-436.1	-322.1	-154.3
1037	ok	0.15	0.2	1.94e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-80.2	10.9	-71.8	-133.0	-269.4	-151.1
1038	ok	0.15	0.2	1.64e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-52.3	12.4	-55.5	30.5	-205.6	-185.4
1039	ok	0.15	0.2	1.40e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-38.7	8.7	-53.5	-2.0	-201.2	-205.4
1040	ok	0.15	0.2	1.25e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-46.1	10.2	-50.2	-86.4	-139.8	-234.6
1041	ok	0.15	0.1	1.17e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-15.2	15.4	71.1	-281.2	-142.6	239.1
1042	ok	0.15	0.2	3.30e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-158.1	11.4	-99.7	-1090.6	-432.8	-105.3
1043	ok	0.15	0.2	3.45e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-113.7	-36.7	-107.0	-1359.7	-308.3	-316.8
1044	ok	0.15	0.2	2.46e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-125.2	22.0	-68.8	-447.6	-349.2	-127.9
1045	ok	0.15	0.2	1.94e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-85.0	11.9	-67.5	-96.2	-247.5	-157.9
1046	ok	0.15	0.2	1.63e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-54.6	12.8	-52.7	64.6	-171.3	-196.7
1047	ok	0.15	0.2	1.39e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-46.0	12.4	-49.5	116.6	11.6	-220.8



Nodo	Stato	x/d	V N/M	ver. rid	Af pr-	Af pr+	Af sec-	Af sec+	N z	N o	N zo	M z	M o	M zo
1048	ok	0.15	0.1	1.26e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-46.8	7.4	-49.3	-45.2	-116.8	-246.0
1049	ok	0.15	0.1	1.13e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-25.4	7.8	-40.3	-262.4	-67.1	-288.3
1050	ok	0.15	0.3	3.37e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-191.2	35.2	-56.5	-1223.8	-509.7	-24.3
1051	ok	0.15	0.2	4.03e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-198.4	-61.3	-97.5	-1831.6	-438.7	-179.5
1052	ok	0.15	0.2	2.39e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-129.8	25.5	-55.8	-345.2	-290.8	-144.1
1053	ok	0.15	0.2	1.85e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-76.4	20.2	-47.5	48.0	-101.6	-226.3
1054	ok	0.15	0.2	1.56e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-61.4	14.3	-43.6	128.7	123.3	-251.6
1055	ok	0.15	0.2	1.36e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-47.5	13.1	-44.8	160.9	182.3	-228.0
1056	ok	0.15	0.1	1.23e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-49.8	11.0	-46.3	86.0	146.8	-228.3
1057	ok	0.15	0.1	1.06e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-21.4	10.8	-34.1	-168.1	41.2	-292.5
1058	ok	0.15	0.3	2.82e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-172.1	53.2	-23.8	-1032.6	-374.8	-3.6
1059	ok	0.15	0.2	3.95e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-160.9	-48.5	-19.5	-1734.4	-429.6	206.8
1060	ok	0.15	0.2	1.99e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-84.6	16.6	-28.6	42.6	183.1	-322.7
1061	ok	0.15	0.2	1.67e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-75.8	10.0	-38.1	128.7	302.7	-306.3
1062	ok	0.15	0.2	1.51e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-63.5	11.9	-37.1	153.5	480.3	-248.7
1063	ok	0.15	0.2	1.30e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-48.4	14.3	-35.6	169.9	529.2	-203.7
1064	ok	0.15	0.1	1.12e-02	7.7	7.7	7.7	7.7	-31.4	17.6	-32.2	145.5	502.8	-183.9
1065	ok	0.15	0.1	8.99e-03	7.7	7.7	7.7	7.7	-32.6	15.4	-33.6	22.9	328.7	-218.7
Nodo		x/d	V N/M	ver. rid	Af pr-	Af pr+	Af sec-	Af sec+	N z	N o	N zo	M z	M o	M zo
									-198.39	-362.11	-106.97	-1831.55	-509.68	-377.44
		0.15	0.37	0.09	7.70	7.70	7.70	7.70	278.98	196.37	100.05	397.34	971.13	383.52

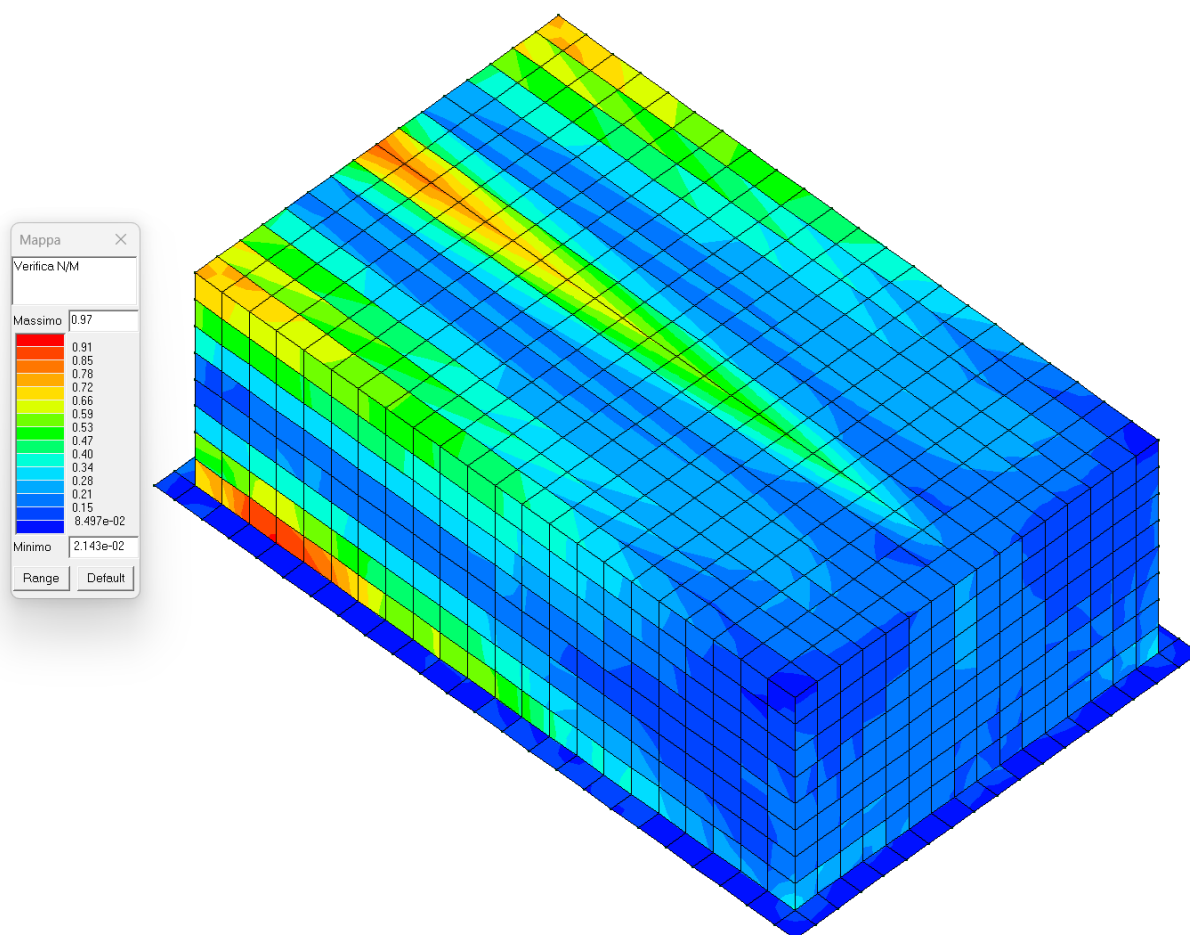


Figura 37 - SLU Verifica a pressoflessione rapporto  $E_d/R_d$ : valore minore o uguale a 1 per verifica positiva



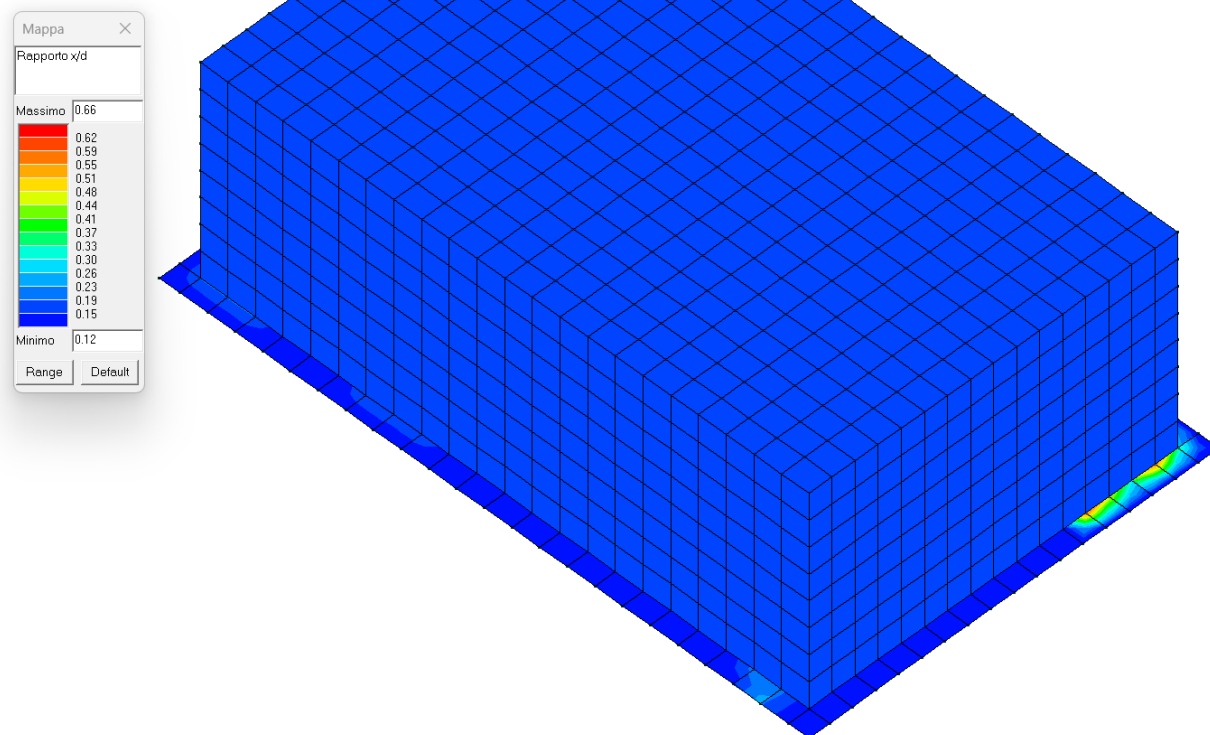


Figura 38 – SLU rapporto x/d

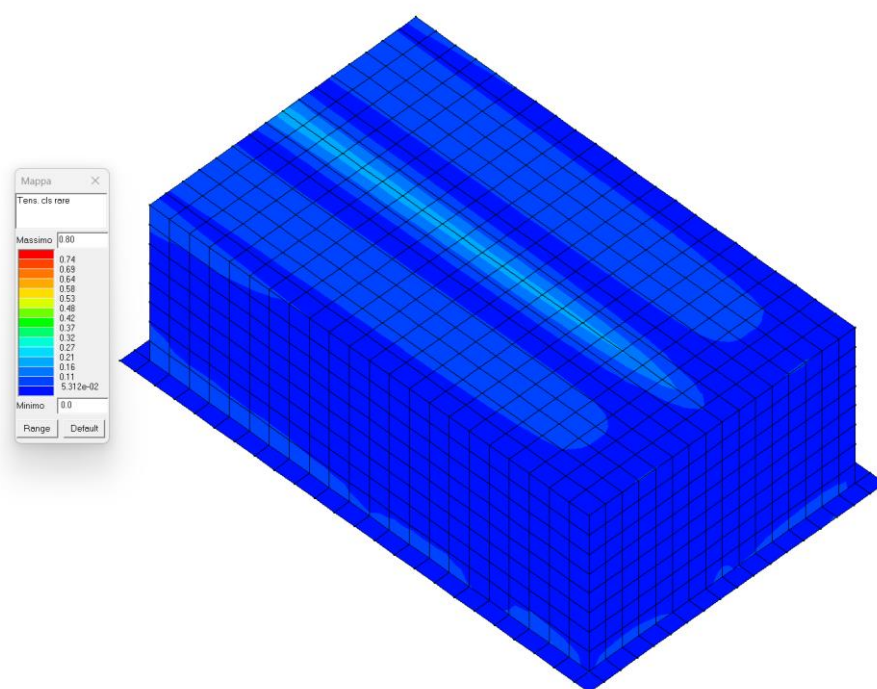


Figura 39 – SLE Tensione cls Comb. Rare: valore minore o uguale a 1 per verifica positiva

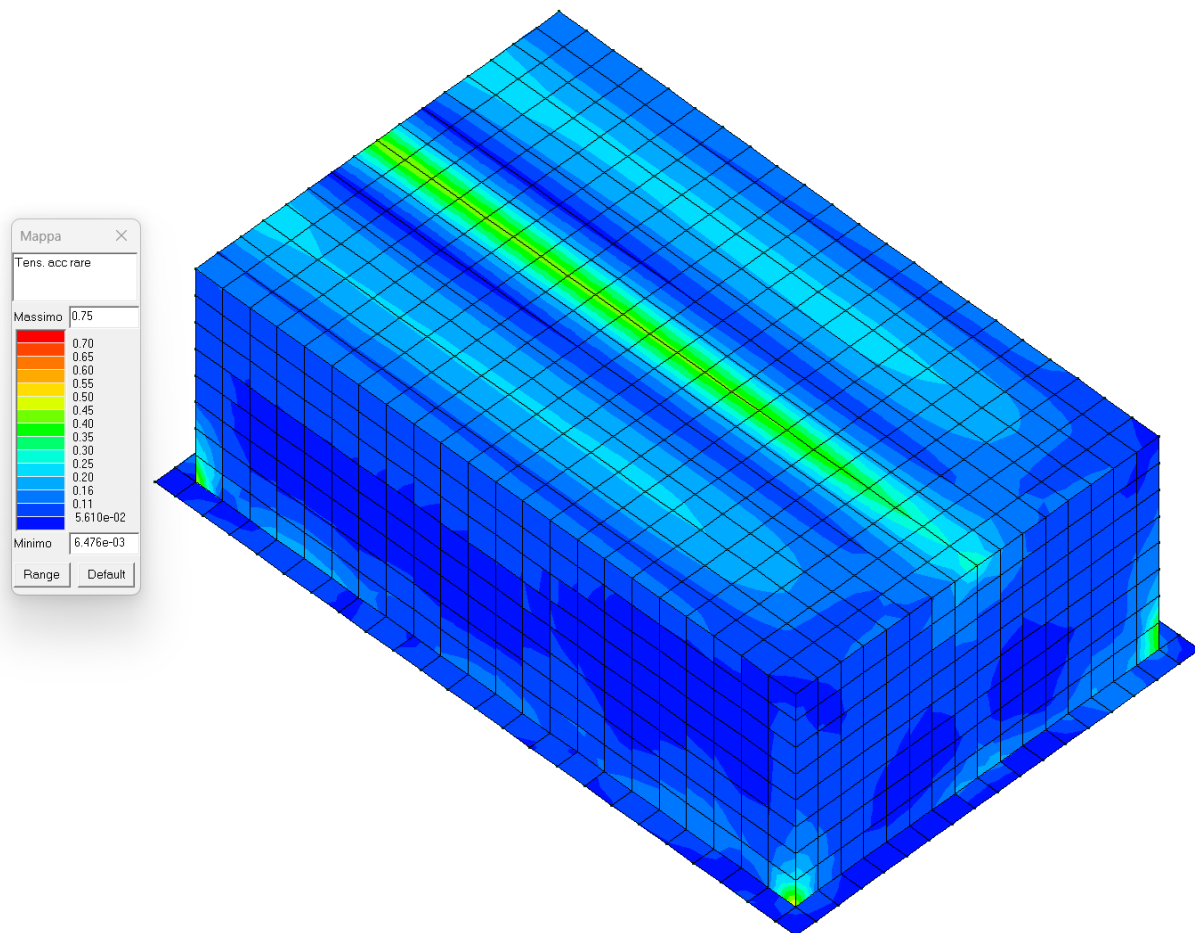


Figura 40 - SLE tens. acciaio Comb. Rare: valore minore o uguale a 1 per verifica positiva

## 11. GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI

Il programma prevede una serie di controlli automatici (check) che consentono l'individuazione di errori di modellazione. Al termine dell'analisi un controllo automatico identifica la presenza di spostamenti o rotazioni abnormi. Si può pertanto asserire che l'elaborazione sia corretta e completa. I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli che ne comprovano l'attendibilità. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali e adottati, anche in fase di primo proporzionamento della struttura. Inoltre, sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni. Si allega al termine della presente relazione elenco sintetico dei controlli svolti (verifiche di equilibrio tra reazioni vincolari e carichi applicati, comparazioni tra i risultati delle analisi e quelli di valutazioni semplificate, etc.) .

### Test 10 PIASTRA CON ELEMENTI PLATE E MATERIALE ORTOTROPO

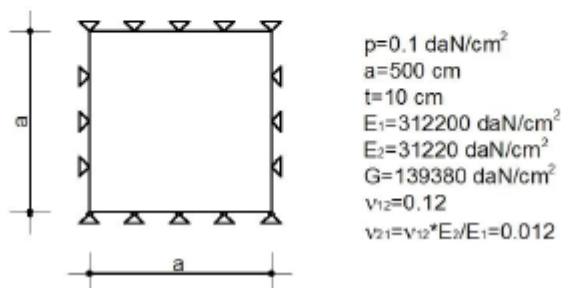
Revisione: 02  
 Data: 25/07/2019  
 Programma: PRO\_SAP  
 Versione: 2006-09-138; 2019-07-185  
 Files: Mod00 T010 orto piastra ALGOR.PSP; Mod00 T010 orto piastra.PSP

- **Scopo:**

Validazione dell'analisi di una piastra ortotropa (A).

- **Descrizione test:**

Si prende in considerazione una piastra di forma quadrata in materiale ortotropo con  $E_2=0.1 \cdot E_1$ , semplicemente appoggiata e soggetta ad una pressione uniforme  $p$ .



- **Tipo di confronto:**

A. Cecchi, G. Milani, A. Tralli, *Validation of Analytical Multiparameter Homogenization Models for Out-of-Plane Loaded Masonry Walls by Means of the Finite Element Method*, JOURNAL OF ENGINEERING MECHANICS; sviluppo analitico delle formule riportate.

#### Tabella risultati:

Parametro	Soluzione teorica	Soluzione ALGOR	Differenza	Soluzione e_SAP (*)	Differenza
$\delta_z, \max$ [cm]	1.3155	1.314	0.11%	1.355	3.00%
$M_{1-1, \max}$ [daN-cm/cm]	1284.10	1283.66	0.03%	1301.97	1.40 %
$M_{1-2, \max}$ [daN-cm/cm]	-1553.60	-1548.96	0.30%	-1662.93	7.03 %

- **Commenti:**

I risultati numerici sono in ottimo accordo con quelli teorici.

(\*) risultati relativi alla versione corrente di e\_SAP.

#### Allegati:

Calcoli manuali.



$$D = \frac{E_1 t^3}{12(1 - \nu_{21}^2)} ; \quad \alpha = \frac{E_3}{E_1} ; \quad \beta = \frac{G}{E_1}$$

$$\delta_{2, \max} = \frac{16 PL^6}{\pi^6 D} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\sin\left(n \frac{\pi}{2}\right) \sin\left(m \frac{\pi}{2}\right)}{n \cdot m \left[ n^4 + 2 \left( \nu_{21} + \frac{2\beta(\alpha - \nu_{21}^2)}{\alpha} \right) n^2 m^2 + \alpha m^4 \right]}$$

$$M_{1-1} = \frac{16 PL^2}{\pi^4} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(n^2 + \nu_{21} m^2) \sin\left(n \frac{\pi}{2}\right) \sin\left(m \frac{\pi}{2}\right)}{n \cdot m \left[ n^4 + 2 \left( \nu_{21} + \frac{2\beta(\alpha - \nu_{21}^2)}{\alpha} \right) n^2 m^2 + \alpha m^4 \right]}$$

$$M_{1-2} = \frac{-32 PL^2 \beta}{\pi^4} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(1 - \nu_{21} \frac{n^2}{m^2})}{\left[ n^4 + 2 \left( \nu_{21} + \frac{2\beta(\alpha - \nu_{21}^2)}{\alpha} \right) n^2 m^2 + \alpha m^4 \right]}$$

CALCOLO MANUALE FINO A CONVERGENZA DELLA  
 SOLUZIONE



## Test 25 TENSIONI DI ELEMENTI PLATE

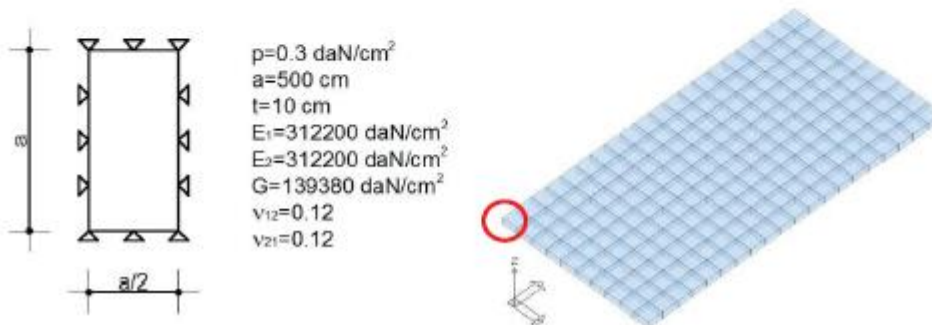
Revisione: 02  
Data: 19/01/2011  
Programma: PRO\_SAP  
Versione: 2006-09-138; 2010-05-151;  
Files: Mod00\_T025\_tensioniD3\_ALGOR.PSP; 2 Mod00\_T025\_tensioniD3.PSP

- **Scopo:**

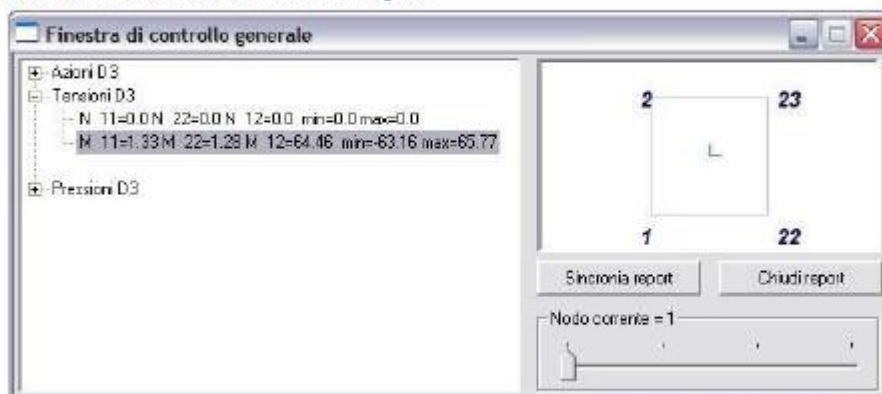
Validazione dell'utilizzo delle tensioni ottenute con elementi D3 (R).

- **Descrizione test:**

Si prende in considerazione una piastra di forma rettangolare, semplicemente appoggiata e soggetta ad una pressione uniforme  $p$ .



Sollecitazioni ottenute con ALGOR del nodo indicato in figura.



- **Tipo di confronto:**

Calcolo manuale.





• **Tabella risultati:**

Parametro	Struttura	Soluzione teorica	Soluzione ALGOR	Differenza	Soluzione e_SAP (*)	Differenza
Tensione di von Mises [daN /cm <sup>2</sup> ]	Nodo 1	111.66	111.66	0.00%	98.57	11.72%
Tensione di Tresca [daN /cm <sup>2</sup> ]	Nodo 2	128.92	128.92	0.00%	113.76	11.76%

• **Commenti:**

I risultati numerici ottenuti con ALGOR sono in perfetto accordo con quelli teorici. I risultati numerici ottenuti con e\_SAP sottostimano i valori teorici di circa il 12%.

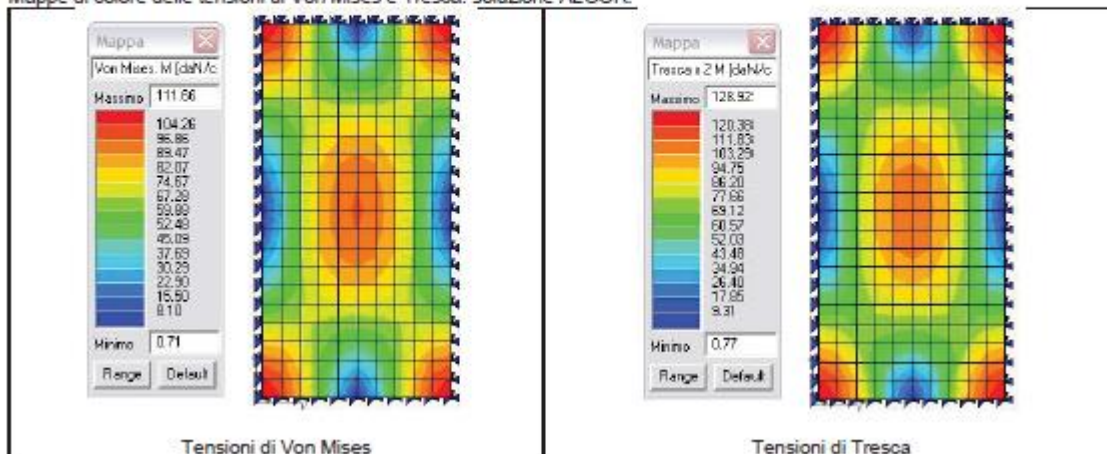
(\*) risultati relativi alla versione corrente di e\_SAP.

• **Allegati:**

Calcoli manuali.

$$\begin{aligned} G_{11} &= 1,33 \text{ daN/cm}^2 & G_{22} &= 1,28 \text{ daN/cm}^2 & G_{12} &= 64,66 \text{ daN/cm}^2 \\ G_{1P} &= \frac{G_{11} + G_{22}}{2} + \sqrt{\left(\frac{G_{11} - G_{22}}{2}\right)^2 + G_{12}^2} = 65,77 \text{ daN/cm}^2 \\ G_{2P} &= \frac{G_{11} + G_{22}}{2} - \sqrt{\left(\frac{G_{11} - G_{22}}{2}\right)^2 + G_{12}^2} = -63,16 \text{ daN/cm}^2 \\ G_{VM} &= \sqrt{G_{11}^2 + G_{22}^2 - G_{11} \cdot G_{22} + 3G_{12}^2} = 111,66 \text{ daN/cm}^2 \\ G_{Tresca} &= |G_{1P} - G_{2P}| = 128,92 \text{ daN/cm}^2 \end{aligned}$$

Mappe di colore delle tensioni di Von Mises e Tresca: soluzione ALGOR.







## 12. RELAZIONE SU ORIGINE E CARATTERISTICHE DEL CODICE DI CALCOLO

### Allegato Certificati affidabilità e test

**Dichiarazione del produttore-distributore di PRO\_SAP PROfessional SAP riguardante l'affidabilità del codice (D.M. 17/01/2018 - Paragrafo 10.2)**

#### Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

**Titolo:** PRO\_SAP PROfessional Structural Analysis Program

**Autore-Produttore:** 2S.I. Software e Servizi per l'Ingegneria s.r.l., Ferrara

#### Affidabilità dei codici

##### - Inquadramento teorico della metodologia – PRO\_SAP

L'analisi strutturale viene effettuata con il metodo degli elementi finiti. Il metodo si basa sulla schematizzazione della struttura in elementi connessi in corrispondenza di un numero prefissato di punti denominati nodi. I nodi sono definiti dalle tre coordinate cartesiane in un sistema di riferimento globale. L'analisi strutturale è condotta con il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato tensiodeformativo indotto da carichi statici.

L'analisi strutturale è condotta con il metodo dell'analisi modale e dello spettro di risposta in termini di accelerazione per la valutazione dello stato tensiodeformativo indotto da carichi dinamici (tra cui quelli di tipo sismico).

- Elemento tipo TRUSS (asta)\*
- Elemento tipo BEAM (trave)\*
- Elemento tipo MEMBRANE (membrana)\*
- Elemento tipo PLATE (piastra-guscio)\*
- Elemento tipo BRICK (solido)\*
- Elemento tipo BOUNDARY (molla)
- Elemento tipo STIFFNESS (matrice di rigidità)

\* anche non lineare

##### - Inquadramento teorico della metodologia – PRO\_SAM

Il motore di calcolo del software, denominato SAM II, è stato sviluppato presso l'Università degli Studi di Pavia e la Fondazione EUCENTRE da G. Magenes, C.F. Manzini, P. Morandi, M. Remino e D. Bolognini. SAM II è un codice di calcolo per l'analisi statica non lineare di edifici in muratura ordinaria, muratura armata, cemento armato o misti, soggetti ad azione sismica, basato su ipotesi formulate in un metodo proposto da G. Magenes e G.M. Calvi nel 1996, di cui si è mantenuto l'acronimo S.A.M. (Seismic Analysis of Masonry walls).

PRO\_SAM prevede una modellazione tridimensionale a macroelementi, nella quale la struttura portante, costituita da elementi ad asse verticale (pannelli in muratura ordinaria e/o armata, pilastri e/o pareti in cemento armato, elementi strutturali a sezione personalizzata, in acciaio, legno o altro materiale) ed elementi ad asse orizzontale (travi di accoppiamento in muratura ordinaria e/o armata, cordoli e/o travi in cemento armato, elementi strutturali a sezione personalizzata in acciaio, legno o altro materiale), viene schematizzata mediante un "telaio equivalente". Gli elementi sono posizionati spazialmente in corrispondenza dell'asse baricentrico dei corrispondenti elementi strutturali. Gli orizzontamenti possono essere gestiti come diaframmi infinitamente rigidi nel proprio piano, oppure come elementi membrana con rigidità finita oppure non rigidi.

##### Inquadramento teorico della metodologia – PRO\_MST e PRO\_STAB

L'analisi del comportamento dell'opera di sostegno e del terreno viene eseguita attraverso la definizione di un modello che comprende l'opera, il volume di terreno coinvolto e gli eventuali sovraccarichi agenti: il volume di terreno viene schematizzato utilizzando i coefficienti di spinta definiti dalle teorie di Rankine, Coulomb, Mononobe-Okabe o Wood. Vengono prese in considerazione le azioni statiche e, qualora necessario, le azioni sismiche: queste ultime sono rappresentate da forze statiche equivalenti pari al prodotto delle forze di gravità per opportuni coefficienti sismici (analisi pseudo-statica).

L'analisi viene eseguita secondo le seguenti fasi:

- Calcolo della spinta del terreno
- Verifica a ribaltamento
- Verifica a scorrimento del muro sul piano di posa
- Verifica della stabilità complessiva fondazione terreno (carico limite)
- Verifica della stabilità globale (eseguita tramite il solutore PCSTABL5M - Purdue University)
- Calcolo delle sollecitazioni del muro (elevazione e fondazione), progetto delle armature e relative verifiche dei materiali.



Form: DicAff01 rev. n° 7 del 14/10/20228



#### - Casi prova che consentano un riscontro dell'affidabilità – PRO\_SAP, PRO\_MST e PRO\_STAB

2S.I. ha verificato, in collaborazione con il DISTART dell'Università di Bologna e con il Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Ferrara, l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.  
E' possibile reperire la documentazione contenente alcuni dei più significativi casi trattati al seguente link:  
<https://www.2si.it/it/prodotti/affidabilita>

Nella produzione del solutore fem 2S.I. implementa componenti sviluppati da Computing Objects SARL spin-off dell'École Centrale Paris, France. E' disponibile la documentazione di affidabilità di tali componenti all'indirizzo web:  
[https://www.2si.it/benchmarks\\_e\\_sap.zip](https://www.2si.it/benchmarks_e_sap.zip)

#### - Casi prova che consentano un riscontro dell'affidabilità – PRO\_SAM

Il solutore SAM II è stato sottoposto ad una procedura di validazione/confronto strumenti software per l'applicazione dei metodi di verifica da norma del Progetto ReLUIS (Task 10.3 -accordo quadro con il Dipartimento della Protezione Civile 2019-2021).  
[Il documento è scaricabile qui.](#)

#### - Filtri di autodiagnostica

Il programma prevede una serie di controlli automatici (check) che consentono l'individuazione di errori di modellazione.  
Al termine dell'analisi un controllo automatico identifica la presenza di spostamenti o rotazioni abnormi.

2S.I. Software e Servizi per l'Ingegneria S.r.l.  
Ing. Paolo Nagliati  
**2 S. I.**  
software e servizi  
per l'Ingegneria s.r.l.

#### Garanzia di qualità

Dal 1 dicembre 1999 2S.I. ha prodotto un manuale di qualità in funzione dei requisiti della norma di riferimento UNI EN ISO 9001.  
Tutte le attività dell'azienda sono regolate dalla documentazione e dalle procedure in esso contenute.

In relazione alla attività di validazione dei prodotti software si dichiara inoltre quanto segue:

- la fase di progetto degli algoritmi è preceduta dalla ricerca di risultati di confronto reperibili in bibliografia o riproducibili con calcoli manuali;
- la fase di implementazione degli algoritmi è continuamente validata con strumenti automatici (tools di sviluppo) e attraverso confronti;
- il software che implementa gli algoritmi è testato, confrontato e controllato anche da tecnici qualificati che non sono intervenuti nelle precedenti fasi.





## Origine e Caratteristiche dei Codici di Calcolo

Codice di calcolo:	PRO_SAP PROfessional Structural Analysis Program
Versione:	PROFESSIONAL (build 2024-07-200)
Produttore-Distributore:	2S.I. Software e Servizi per l'Ingegneria s.r.l. Via Garibaldi, 90 44121 Ferrara FE ( Italy) Tel. +39 0532 200091 <a href="http://www.2si.it">www.2si.it</a>
Dati utente finale:	Owac Engineering Company
Codice Utente:	Owac Engineering Company
Codice Licenza:	Licenza dsi5924

In merito al punto 10.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni (*Affidabilità dei codici utilizzati*), si fa riferimento al **Documento di Affidabilità** "Test di validazione del software di calcolo PRO\_SAP e dei moduli aggiuntivi PRO\_SAP Modulo Geotecnico, PRO\_CAD nodi acciaio e PRO\_MST" disponibile per il download sul sito: <https://www.2si.it/it/prodotti/affidabilita/>