

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		CLASSE <b>10.11</b>
<b>CISTERNA ANTINCENDIO E ACQUA SERVIZI</b>  <b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		STRUTTURE CISTERNA ANTINCENDIO E ACQUA SERVIZI
		N. TAVOLA <b>10.11.1.a</b>
		FORMATO <b>A4</b>
		SCALA <b>/</b>
CODIFICA ELABORATO	<b>23008-OW-C-101-RS-055-MA1-2</b>	

REV	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
02	16/12/2024	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> Settore IV e V Lavori Pubblici, Protezione Civile, Ambiente, Urbanistica, Patrimonio, Contratti e Appalti Via Mazzini 4 63900 – Fermo (FM)  DOTT. <b>Mauro Fortuna</b> RUP	 Via Resuttana 360 90142 -PALERMO  OWAC Engineering Company S.R.L ING. <b>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. DOTT. <b>Angelantonio Disabato</b> Socio  Mandante  Via Bassa di Casalmoro 3 46041 – Asola (MN)  ANAERGIA S.R.L. DOTT. <b>Andrea Parisi</b> Institore



02	A.LABBATE	16/12/2024	C.BUTTICE'	16/12/2024	R.MARTELLO	16/12/2024
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

**CISTERNA ANTINCENDIO E ACQUA  
SERVIZI RELAZIONE DI CALCOLO**

REV. 02

Pag. 3 di 52



## **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
1.3	DESCRIZIONE GENERALE DELL’OPERA .....	5
<b>2.</b>	<b>MODELLAZIONE.....</b>	<b>8</b>
2.1	ELEMENTI FINITI – SEZIONI E SPESSORI .....	8
<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.....</b>	<b>13</b>
<b>5.</b>	<b>SCHEMATIZZAZIONE DEI CASI DI CARICO .....</b>	<b>18</b>
<b>6.</b>	<b>DEFINIZIONE DELLE COMBINAZIONI .....</b>	<b>19</b>
6.1	TIPO DI ANALISI EFFETTUATE .....	20
<b>7.</b>	<b>PROGETTO E VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI.....</b>	<b>30</b>
7.1	VERIFICHE DI RESISTENZA .....	30
7.2	VERIFICA DI PUNZONAMENTO DEI NODI .....	31
7.3	VERIFICHE SLD.....	33
<b>8.</b>	<b>PRINCIPALI RISULTATI.....</b>	<b>35</b>
<b>9.</b>	<b>SINTESI DELLE VERIFICHE DI SICUREZZA.....</b>	<b>38</b>
<b>10.</b>	<b>GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI.....</b>	<b>46</b>
<b>11.</b>	<b>RELAZIONE SU ORIGINE E CARATTERISTICHE DEL CODICE DI CALCOLO.....</b>	<b>50</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

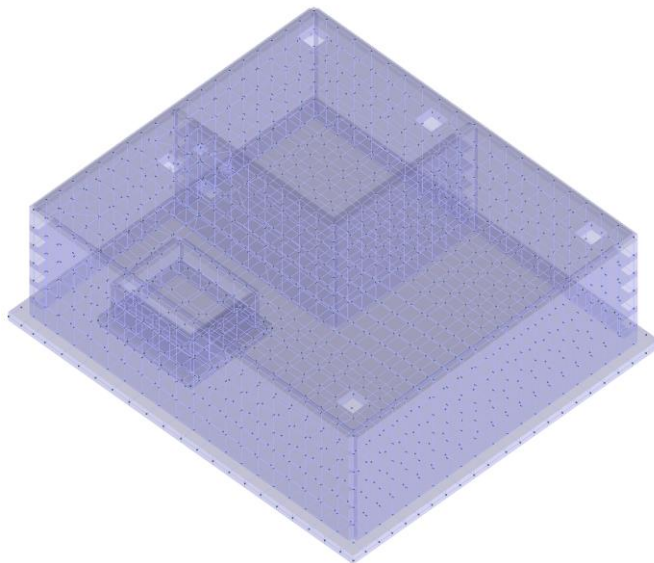
### 1.3 DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

Il presente documento è redatto ai fini della progettazione di una vasca idrica interrata compartimentata. I due volumi d'acqua contenuti servono uno al servizio dell'impianto antincendio e l'altro a servizio dell'impianto idrico-sanitario. La struttura è iscrivibile in un parallelepipedo a sezione rettangolare. La sezione di base rettangolare ha dimensioni m 12,30x10,90 con un'altezza massima di m 5,00.

La vasca è totalmente interrata. La struttura è del tipo monopiano con setti in calcestruzzo armato, fondazioni a platea ed orizzontamento una piastra in calcestruzzo armato. La classe di esposizione è XC4 con un copriferro pari a 5cm, la qualità di calcestruzzo è C32/40. Le pareti, le piastre di fondazione e quella di elevazione sono di spessore cm 30.

Il terreno sotto la vasca viene tratto con uno strato di cm150 in misto di cave e poi sotto è presente l'argilla stratificati a sabbia litotipo "b". Viene interposto tra la fondazione ed il terreno tratto a calce del magrone di spessore cm 15 e di qualità C12/15.

La struttura della vasca idrica, con due compartimenti, è stata calcolata come struttura non dissipativa.



*Figura 1 - Elementi che costituiscono la cisterna antincendio e acqua servizi*



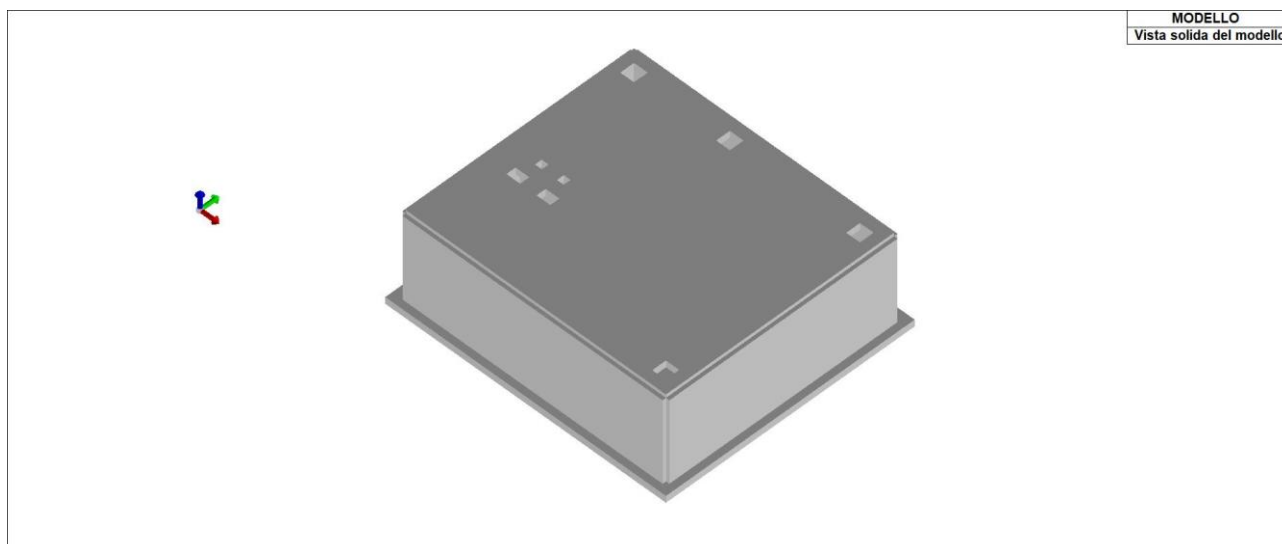
Descrizione generale dell'opera	
Opera di nuova realizzazione	SI
Fabbricato ad uso	Vasca idrica
Ubicazione	Comune di FERMO (FM) (Regione MARCHE)
	Località FERMO (FM)
	Longitudine 13.716, Latitudine 43.160 (Riferimento WGS84)
Numero di piani	Fuori terra 0
	Interrati *0
	Le dimensioni dell'opera in pianta sono racchiuse in un rettangolo di m 12,30 x 10,90
Numero vani scale	0
Numero vani ascensore	0
Tipo di fondazione	Diretta, Platea

Materiali impiegati	
Cemento Armato	SI
Acciaio	NO
Legno	NO
Muratura	NO

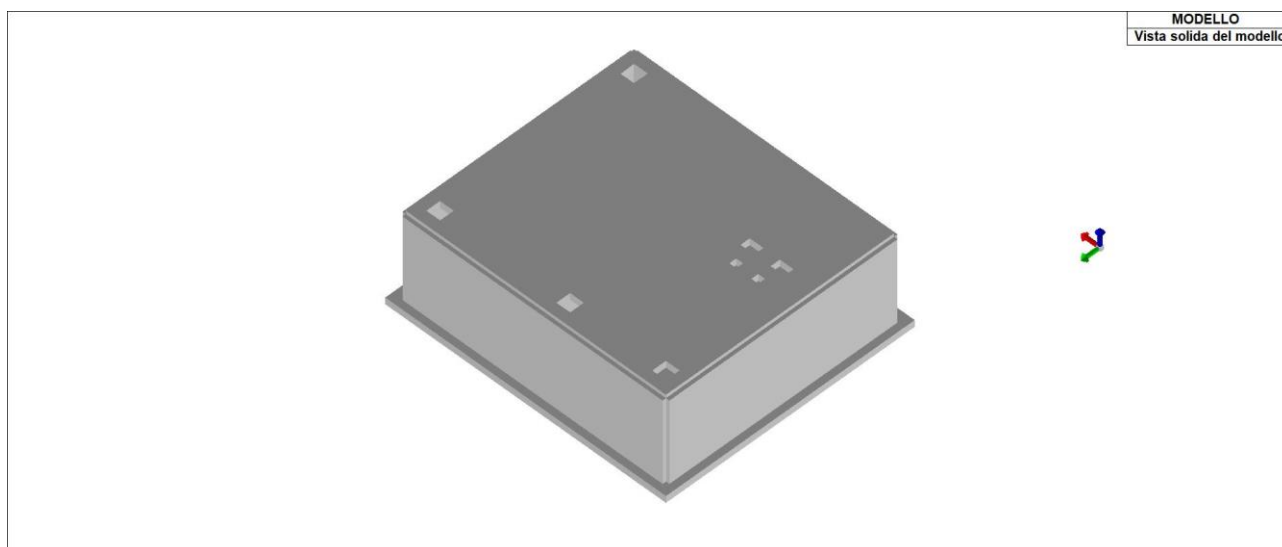
Principali caratteristiche della struttura	
Struttura regolare in pianta	SI
Struttura regolare in altezza	SI
Classe di duttilità	B media
Travi: ricalate o in spessore	0
Pilastr	0
Pilastr in falso	0
Condizioni per cui è necessario considerare la componente verticale del sisma	Nessuna
Analisi per carichi non sismici	SI
Analisi sismica	Non prevista
Verifica SLD di resistenza	NO

Parametri della struttura			
Classe d'uso	Vita Vn [anni]	Coeff. Uso	Periodo Vr [anni]
IV	100.0	2.0	200.0

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:



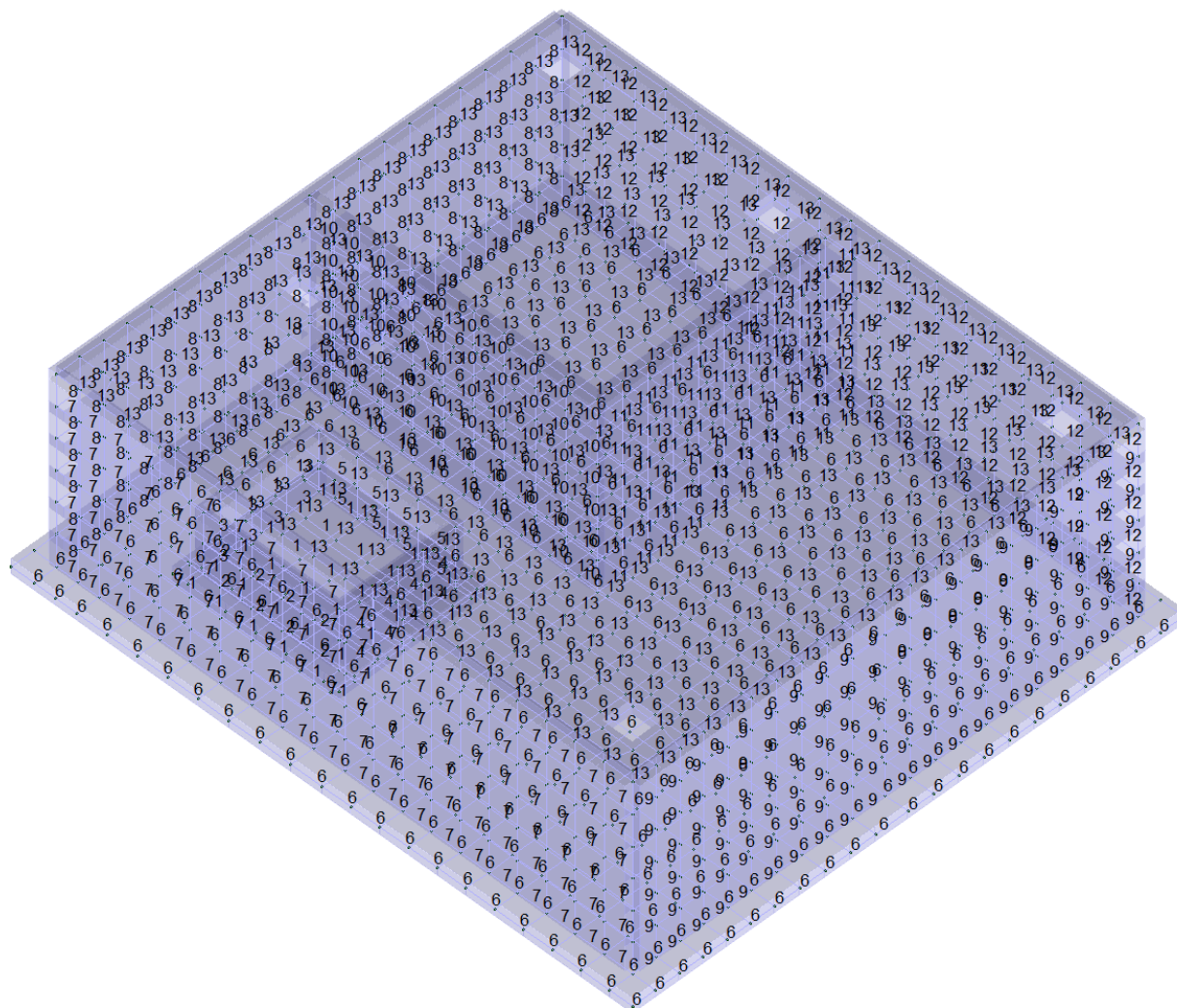


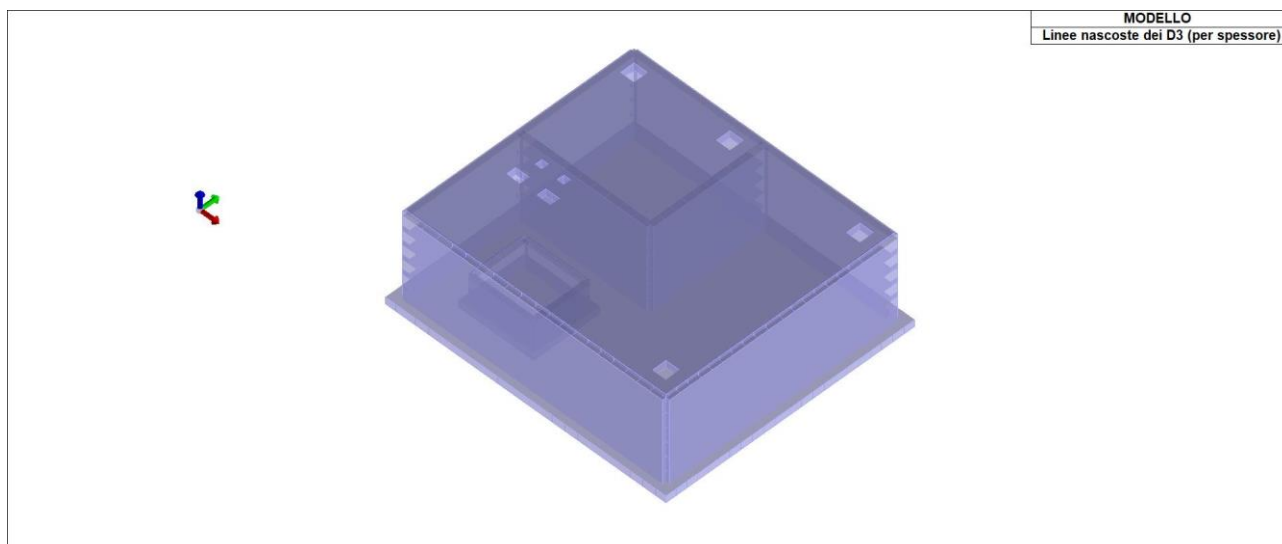
Figura 4 - Numerazione setti e piastre

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	-

Legenda

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



*Figura 5 - 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]- MATERIALE PER FONDAZIONE -				
Calcestruzzo Classe C32/40				
Id	-	-	-	u.m.
5				
		Resistenza caratteristica cubica Rck	400.0	daN/cm2
		Resistenza caratteristica cilindrica fck	332.0	daN/cm2
		Resistenza fctm	31.0	daN/cm2
		Tensione caratteristica di snervamento acciaio	4500.0	daN/cm2
		Tipo acciaio	tipo C	
		Coefficiente gamma c	1.50	
		Coefficiente gamma s	1.15	
		Rapporto Rfessurata (assiale)	1.00	
		Rapporto Rfessurata (flessione)	1.00	
		Rapporto Rfessurata (taglio)	1.00	

[5]- MATERIALE PER ELEVAZIONE -				
Calcestruzzo Classe C32/40				
Id	-	-	-	u.m.
5				
		Resistenza caratteristica cubica Rck	400.0	daN/cm2
		Resistenza caratteristica cilindrica fck	332.0	daN/cm2
		Resistenza fctm	31.0	daN/cm2
		Tensione caratteristica di snervamento acciaio	4500.0	daN/cm2
		Tipo acciaio	tipo C	
		Coefficiente gamma c	1.50	
		Coefficiente gamma s	1.15	
		Rapporto Rfessurata (assiale)	1.00	
		Rapporto Rfessurata (flessione)	1.00	
		Rapporto Rfessurata (taglio)	1.00	

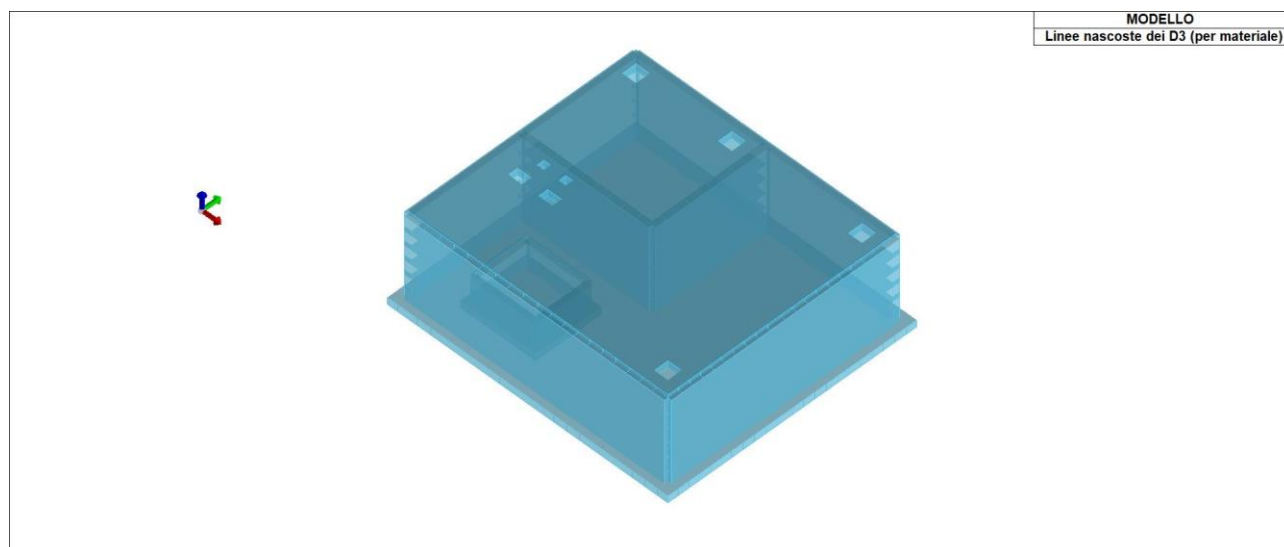


Figura 6 - Materiale assegnato ai setti e alle piastre (elementi D3 in Prosap) nella grafica Linee Nascoste



CARATTERISTICHE DEI MATERIALI		
	PIASTRA DI FONDAZIONE	PARETI
CLASSE DEL CALCESTRUZZO	C32/40	C32/40
ACCIAIO BARRE	B 450 C	B 450 C
CLASSE DI ESPOSIZIONE	XC4	XC4
MASSIMO RAPPORTO A/C	0,60	0,60
DIAMETRO MASSIMO INERTE	32 mm	32 mm
COPRIFERRO MINIMO	3.5cm	3,5 cm
COPRIFERRO ADOTTATO	5 cm	5 cm
CLASSE DI CONSISTENZA	S4	S4
CONTENUTO MINIMO DI CEMENTO	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  $A_s \geq 12\%$

**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

Si riportano di seguito l'analisi dei carichi relative ai solai presenti nella struttura in oggetto:

Carico permanente

Massetto posto sopra la piastra (1850kg/mc; spessore medio cm 7) kg/mq 129.50 -> kg/cmq 0,013

Carico locale pompe: kg/mq 600 -> kg/cmq 0,06

Spinta idrica distribuzione triangolare

pressione idrica h=3.80 .....p = 3800 kg/mq -> kg/cmq 0.38

pressione idrica h=5.00 .....p = 5000 kg/mq -> kg/cmq 0.50

Calcolo della spinta della terra, distribuzione triangolare

Terreno Argilla stratifica a sabbia litotipo "b"  $\gamma=2000\text{kg/mc}$ ;  $\varphi' = 23$ ;

Coefficiente di spinta a riposo ..... $k_0 = 1 - \sin \varphi' = 0.60$

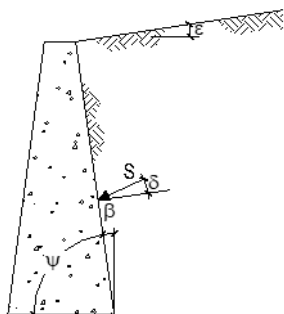
pressione terra (h = 3,80) ..... $k_0 \gamma h = 4630 \text{ kg/mq} \rightarrow 0.46 \text{ daN/cm}$

pressione terra (h = 5,00) ..... $k_0 \gamma h = 6092 \text{ kg/mq} \rightarrow 0.61 \text{ daN/cm}$

Calcolo dell'incremento di spinta della terra metodo di Mononobe-Okabe, distribuzione rettangolare

### COEFFICIENTI DI SPINTA

$\varphi' = 23,0$  (°)  
 $\varepsilon = 0,0$  (°)  
 $\delta = 0,0$  (°)  
 $\beta = 0,0$  (°)  
 $\psi = 90,0$  (°)



### SISMICO

$$\begin{aligned} \text{per } \varepsilon \leq \varphi' - \theta & \quad K_a = \frac{\sin^2(\psi + \varphi' - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta) \left[ 1 + \frac{\sin(\varphi' + \delta) \cdot \sin(\varphi' - \varepsilon - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta) \cdot \sin(\psi + \varepsilon)} \right]^2} \\ \text{per } \varepsilon > \varphi' - \theta & \quad K_a = \frac{\sin^2(\psi + \varphi' - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta)} \\ K_p & = \frac{\sin^2(\psi + \varphi' - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi + \theta) \left[ 1 - \frac{\sin \varphi' \cdot \sin(\varphi' + \varepsilon - \theta)}{\sin(\psi + \varepsilon) \cdot \sin(\psi + \theta)} \right]^2} \\ 1. \theta & = \arctan \left( \frac{K_h}{1 \pm K_v} \right) \quad 2. \theta = \arctan \left( \frac{\gamma_{sat} - \gamma_w}{\gamma_{sat} - \gamma_w} \frac{K_h}{1 \pm K_v} \right) \quad 3. \theta = \arctan \left( \frac{\gamma_d}{\gamma_{sat} - \gamma_w} \frac{K_h}{1 \pm K_v} \right) \end{aligned}$$

Parametri sismici tratti dalla risposta sismica locale

$K_v/k_h = 0,5$

	SLV	SLD
ag0/g	0,28	0,126
Ss	1,31	1,49
St	1,20	1,2
b	0,38	0,47
ka =	0,58	0,52

pressione orizzontale SLV h=3.80 .....p = 4408 kg/mq -> 0.44 daN/cm

pressione orizzontale SLV h=5.00 .....p = 5800 kg/mq -> 0.58 daN/cm

pressione orizzontale SLD h=3.80 .....p = 3952 kg/mq -> 0.40 daN/cm

pressione orizzontale SLD h=5.00 .....p = 5200 kg/mq -> 0.52 daN/cm

Carico Accidentale

Carico da manutenzione ( $\Psi_0=0$ ;  $\Psi_1=0$ ;  $\Psi_2=0$ ) .....200 kg/mq -> 0.02 daN/cm

Nel calcolo sono stato simulati due combinazioni di carico

Spint\_idric\_1 indica che i due comparti della vasca sono pieni d'acqua;

Spint\_idric\_2 indica che l'unico comparto pieno di acqua è il comportato più grande che è a servizio dell'impianto antincendio.



### Azione del vento

Le azioni del vento sono state convenzionalmente ricondotte alle azioni statiche equivalenti, definite al § 3.3. del DM 2018. Pertanto, le azioni del vento sono costituite da pressioni e depressioni agenti normalmente alle superfici, e da forze tangenti applicate nel piano delle superfici.

L'azione normale del vento è determinata con:

$$p = q_r \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d$$

in cui si è indicato con  $q_r$  la pressione cinetica di riferimento,  $C_e$  il coefficiente di esposizione,  $C_p$  il coefficiente di forma e  $C_d$  il coefficiente dinamico.

La pressione cinetica di riferimento  $q_r$  (N/mq) è data dall'espressione:

$$q_r = 1/2 \rho v_r^2$$

in cui  $v_r$  è la velocità di riferimento del vento (m/s) mentre  $\rho$  è la densità dell'aria assunta, convenzionalmente costante e pari a 1,25 kg/mc.

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

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

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

$a_0$ : altitudine base della zona (NTC - Tab. 3.3.I);

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

$a_s$ : altitudine del sito;

$T_R$ : periodo di ritorno di progetto espresso in anni;

$V_b$ : velocità di riferimento calcolata come segue:

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

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

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

Tali valori non dovranno essere minori di quelli previsti per  $a_s = 1500 \text{ m}$

$C_r$ : coefficiente di ritorno in funzione del periodo di ritorno  $T_R$

$V_r$ : velocità di riferimento riferita al periodo di ritorno  $T_R$

Zona	$V_{b,0}$	$a_0$	$k_s$	$a_s$	$T_R$	$V_b$	$C_r$	$V_r$
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,  $q_r = \rho V_r^2 / 2 = 46 \text{ daN/mq}$

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

Esposizione: Cat. II - Entroterra fino a 30 km dal mare

Da cui i parametri della tabella 3.3.II delle NTC

$K_r$	$z_0$	$z_{\min}$
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 innestate o ghiacciate, mare, laghi,..)

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

$C_p$ : coefficiente di pressione;

$C_d$ : coefficiente dinamico;

$C_t$ : coefficiente di topografia;

$C_e$ : coefficiente di esposizione (funzione di  $z$ ,  $z_0$  e  $C_t$ );

$z$ : altezza sul suolo.

$C_p$	$C_d$	$C_t$	$C_e$	$z$
1,00	1,00	1,00	2,04	6,00 m





Pressione del vento

$$p = q_r C_e C_p C_d = 93 \text{ daN/mq}$$

Pressione sulle pareti

Vento in direzione Y (perpendicolare alla parete // all'asse X; perpendicolare al colmo)

Parete parallela all'asse X (lunghezza 15,40 m)

Parete sopravento

$$C_{pe} = 0,74$$

$$C_{pi} = 0,2$$

$$C_p = 0,94$$

$$plungX = 87,42 \text{ daN/mq}$$

Parete sottovento

$$C_{pe} = -0,38$$

$$C_{pi} = -0,3$$

$$C_p = -0,68$$

$$plungX = -63,24 \text{ daN/mq}$$

Parete laterale

$$C_{pe} = -0,81$$

$$plungY = -75,33 \text{ daN/mq}$$

Falda sopravento

$$\alpha = 22$$

$$C_{pe} = 0,29$$

$$psoprav = 26,97 \text{ daN/mq}$$

Falda sottovento

$$\alpha = 22$$

$$c_{pe} = -0,53$$

$$psottov = 49,29 \text{ daN/mq}$$

Vento in direzione X (perpendicolare alla parete // all'asse Y; parallelo al colmo)

Parete parallela all'asse Y (lunghezza 10,28 m)

Parete sopravento

$$C_{pe} = 0,80$$

$$C_{pi} = 0,2$$

$$C_p = 1,00$$

$$plungY = 93 \text{ daN/mq}$$

Parete sottovento

$$C_{pe} = -0,58$$

$$C_{pi} = -0,3$$

$$C_p = -0,88$$

$$plungX = -81,84 \text{ daN/mq}$$

Parete laterale

$$C_{pe} = -0,90$$

$$plungY = -83,70 \text{ daN/mq}$$

Falda sopravento tratto 5m



$\alpha$  22  
 $C_{pe}$  0,95  
 $psoprav = 88,35 \text{ daN/mq}$

Falda sottovento dopo 5m

$\alpha$  22  
 $C_{pe}$  -0,5  
 $psottov = 46,50 \text{ daN/mq}$

### Azione della Neve

Tra le azioni variabili bisogna considerare anche il carico provocato dalla neve al §3.4 del DM 2018 in cui si indica che il carico della neve  $q_s$  sulle coperture è pari a:

$$q_s = \mu_i q_{sk} C_E C_t$$

dove si è fissato con  $\mu_i$  il coefficiente di forma della copertura, con  $q_{sk}$  il valore di riferimento del carico neve al suolo,  $C_E$  il coefficiente di esposizione e con  $C_t$  il coefficiente termico.

Il carico neve al suolo  $q_{sk}$  dipende dalle condizioni locali di clima e di esposizione, considerata la variabilità delle precipitazioni nevose da zona a zona.

Per località in esame, non essendo state condotte indagini statistiche e specifici studi locali che tengono conto sia dell'altezza del manto nevoso sia della sua densità, secondo quanto indicato al § 3.4.2 del DM 2018, i parametri utilizzati per il calcolo sono i seguenti:

Zona: macro area derivante dalla suddivisione del territorio nazionale;

$E_{sp.}$ : zona topografica di esposizione al vento;

$C_e$ : coefficiente di esposizione al vento;

$T_R$ : periodo di ritorno di progetto espresso in anni;

$a_s$ : altitudine del sito;

$q_{sk}$ : valore caratteristico del carico della neve al suolo (per  $T_r = 50$  anni);

Zona	Esposizione	$C_e$	$T_R$	$a_s$	$q_{sk}$
II	Zona normale	1,00	50 anni	200 m	100,00

Copertura a due falde:

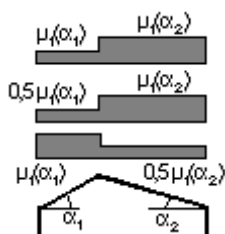
Angolo di inclinazione della falda  $\alpha_1 = 22,0^\circ$

$\mu_1(\alpha_1) = 0,80 \Rightarrow Q_1 = 80 \text{ daN/mq}$

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

$\mu_2(\alpha_2) = 0,80 \Rightarrow Q_2 = 80 \text{ daN/mq}$

Schema di carico:



### Azione termiche

Secondo quanto indicato nel § 3.5 del DM 2018, sugli elementi portanti si ha un carico dipendente dall'area geografica, poiché l'Italia è stata divisa in quattro zone. Il valore della variazione termica da considerare ha i seguenti valori

$$T_{min} = -8 - 7 a_s / 1000 \quad (\text{NTC 3.5.5})$$

$$T_{max} = 42 - 0,3 a_s / 1000 \quad (\text{NTC 3.5.6})$$





dove  $a_s$  è l'altitudine di riferimento

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

Nel nostro caso l'azione della temperatura non costituisce una azione fondamentale quindi si applica quanto riportato al § 3.5.5., comunque si è applicato un valore di temperatura esterna -9 ed interna +20.



## 5. 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. ) COPERTURA	
3	Gk	CDC=G2k (permanente generico n.c.d. ) LOC_POM	
4	Gk	CDC=G1k (permanente generico) SPIN_IDR_1	
5	Gk	CDC=G1k (permanente generico) SPIN_IDR_2	
6	Gk	CDC=G1k (permanente generico) SPIN_TER	
7	Qk	CDC=Qk (variabile generico) ACC.	
8	Etk	CDC=Etk (inc. sp. terreno) SLV dir + alfa=0.0	
9	Etk	CDC=Etk (inc. sp. terreno) SLV dir - alfa=0.0	
10	Etk	CDC=Etk (inc. sp. terreno) SLV dir + alfa=90.00	
11	Etk	CDC=Etk (inc. sp. terreno) SLV dir - alfa=90.00	
12	Etk	CDC=Etk (inc. sp. terreno) SLD dir + alfa=0.0	
13	Etk	CDC=Etk (inc. sp. terreno) SLD dir - alfa=0.0	
14	Etk	CDC=Etk (inc. sp. terreno) SLD dir + alfa=90.00	
15	Etk	CDC=Etk (inc. sp. terreno) SLD dir - alfa=90.00	

Legenda

Tipo CDC                      Indica il tipo di caso di carico



## 6. 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

## 6.1 TIPO DI ANALISI EFFETTUATE

È stata eseguita una analisi statica lineare secondo il METODO DELLE DEFORMAZIONI in presenza di carichi per cui la variazione nel tempo può essere trascurata come i carichi gravitazionali associati al peso proprio e la carico permanente, ai carichi accidentali, a quelli dovuti al vento (nella sua componente media) e alla neve.

Le sollecitazioni e le deformazioni dovute, invece, agli effetti dell'azione sismica sulla struttura in esame sono state determinate utilizzando il metodo dell'analisi dinamica lineare per sovrapposizione modale, altresì nota come ANALISI MODALE.

Il codice di calcolo utilizzato presenta dei tipi di elementi finiti:

Elemento monodimensionale D2 (beam e truss) per trave di elevazione e pilastro che unisce due nodi aventi ciascuno 6 gradi di libertà. Per maggiore precisione di calcolo, è stata tenuta in considerazione anche la deformabilità a taglio e quella assiale di questi elementi. Queste aste, inoltre, sono considerate flessibili da nodo a nodo e non hanno sulla parte iniziale e finale due tratti infinitamente rigidi formati dalla parte di trave inglobata nello spessore del pilastro; questi tratti rigidi fornirebbero al nodo una dimensione reale.

Elemento pannello, unisce tutti i nodi di un piano, infatti essi devono essere complanari, dotato di orientazione, alternanza carichi accidentali, trasmette i carichi o le sollecitazioni alle travi. Utilizzando in verticale permette anche di poter applicare il carico vento simulando la pressione del vento sui muri perimetrali, detti tompagni.

L'elemento bidimensionale D3 (membrana e shell) viene utilizzato per schematizzare setti, piastre, gusci e definito utilizzando tre o quattro nodi nello spazio. Per quanto riguarda la membrana, ogni nodo dell'elemento è dotato di tre gradi di libertà traslazionali, rispettivamente in X, Y e Z. Le rigidezze degli elementi prima citati appartengono al piano della membrana e di conseguenza sono ammissibili solo gli stati piani di sollecitazione (membranali). Per gli elementi shell il nodo è dotato di cinque gradi di libertà, tre traslazioni e due rotazioni nel piano dell'elemento. Le rigidezze degli elementi sono di due tipi: rigidezze nel piano (membranali) e fuori dal piano (flessionali). Quest'ultimo viene utilizzato anche per simulare piastre su suolo elastico, comportamenti alla Winkler.

Assemblate tutte le matrici di rigidezza dei singoli elementi in quella della struttura spaziale, la risoluzione del sistema avviene per via numerica.

Ai fini della risoluzione della struttura, si calcolano gli spostamenti X, Y, Z e le rotazioni attorno agli assi di tutti i nodi che giacciono su di un impalcato non dichiarato rigido per cui ogni elemento reagisce in funzione della propria rigidezza.

L'analisi sismica è stata svolta con il metodo dell'analisi modale; la ricerca dei modi e delle relative frequenze è stata perseguita con il metodo delle "iterazioni nel sottospazio".

Per ciascuna direzione di ingresso del sisma si sono valutate le forze modali che vengono applicate su ciascun nodo spaziale (tre forze, in direzione X, Y, Z e tre momenti).

Per la verifica della struttura si è fatto riferimento all'analisi modale, pertanto sono state calcolate prima le sollecitazioni e gli spostamenti modali e poi il loro valore efficace. Si osserva che i dati riportati nei tabulati di calcolo allegati alla presente relazione, sono proprio i suddetti valori efficaci, pertanto, l'equilibrio ai nodi perde di significato.

Infine, le componenti dell'azione sismica, sono state combinate secondo quanto indicato al § 7.3.5 del DM 2018 che, nel caso di analisi lineare, prevede che la risposta della struttura è determinata considerando l'azione sismica ciascuna delle due direzioni X ed Y.

Inoltre, i valori massimi della risposta ottenuti da ciascuna delle due azioni orizzontali applicate,



separatamente sono state combinate sommando ai massimi ottenuti per l'azione applicata in una direzione, il 30% dei massimi ottenuti per l'azione applicata nell'altra direzione.

Gli angoli delle direzioni di ingresso dei sismi sono valutati rispetto all'asse X del sistema di riferimento globale.

Le verifiche, svolte secondo il metodo degli stati limiti ultimi e di esercizio, si ottengono involupando tutte le combinazioni di carico prese in considerazione.

Gli elementi vengono verificati nei confronti della resistenza, della instabilità dell'equilibrio elastico e della deformabilità.

Le travate possono incrociarsi con angoli qualsiasi e avere dei disassamenti rispetto ai pilastri su cui appoggiano. La ripartizione dei carichi, data la natura matriciale del calcolo, tiene automaticamente conto della rigidezza relativa delle varie travate convergenti su ogni nodo.

Tipo di analisi strutturale	
Analisi per carichi non sismici	SI
Sismica statica lineare	NO
Sismica dinamica lineare	NO
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

Combinazioni dei casi di carico	
APPROCCIO PROGETTUALE	Approccio 2
SLU	SI
SLV (SLU con sisma)	NO
SLC	NO
SLD	NO
SLO	NO
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	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 5	
6	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 6	
7	SLE(f)	Comb. SLE(freq.) 7	
8	SLE(f)	Comb. SLE(freq.) 8	
9	SLE(p)	Comb. SLE(perm.) 9	
10	SLE(p)	Comb. SLE(perm.) 10	
11	SLU	Comb. SLV(dir 0+) 11	
12	SLU	Comb. SLV(dir 0+) 12	
13	SLU	Comb. SLV(dir 0+) 13	
14	SLU	Comb. SLV(dir 0+) 14	
15	SLU	Comb. SLV(dir 0-) 15	
16	SLU	Comb. SLV(dir 0-) 16	
17	SLU	Comb. SLV(dir 0-) 17	
18	SLU	Comb. SLV(dir 0-) 18	
19	SLU	Comb. SLV(dir 90+) 19	



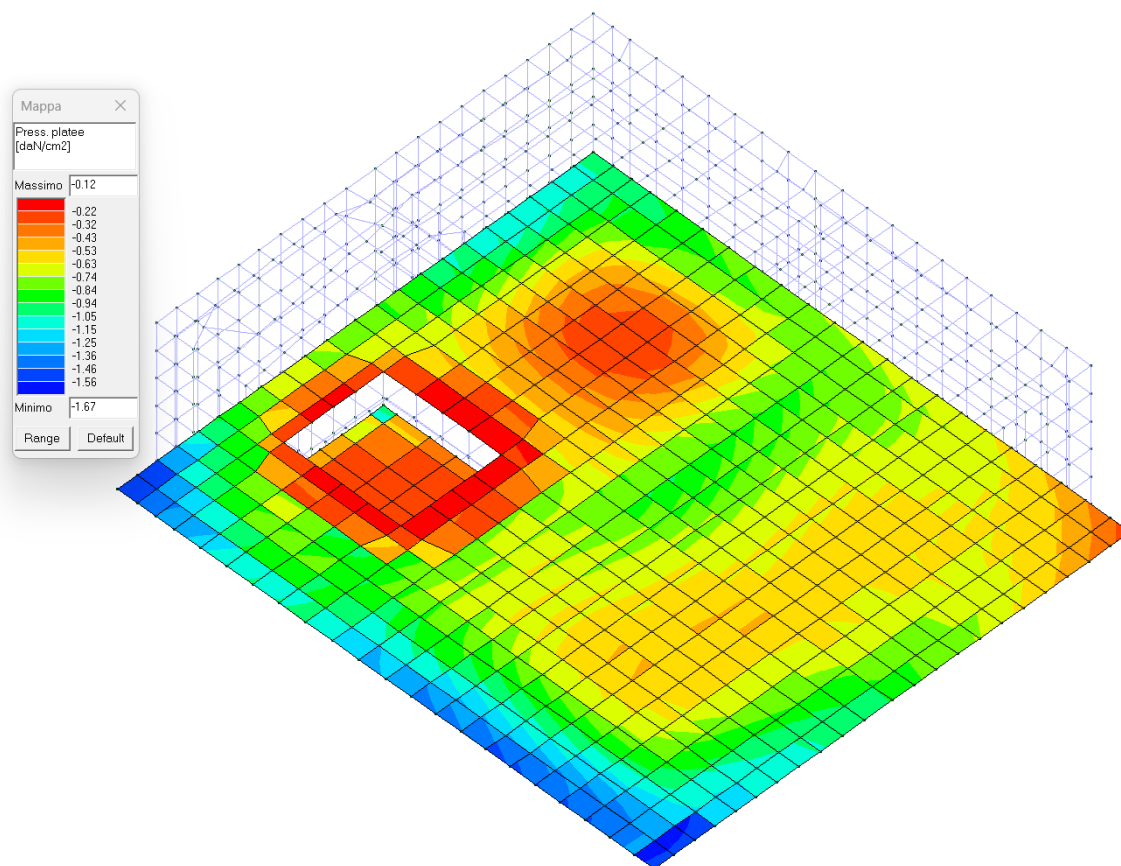
Cmb	Tipo	Sigla Id	effetto P-delta
20	SLU	Comb. SLV(dir 90+) 20	
21	SLU	Comb. SLV(dir 90+) 21	
22	SLU	Comb. SLV(dir 90+) 22	
23	SLU	Comb. SLV(dir 90-) 23	
24	SLU	Comb. SLV(dir 90-) 24	
25	SLU	Comb. SLV(dir 90-) 25	
26	SLU	Comb. SLV(dir 90-) 26	
27	SLU	Comb. SLD(dir 0+) 27	
28	SLU	Comb. SLD(dir 0+) 28	
29	SLU	Comb. SLD(dir 0+) 29	
30	SLU	Comb. SLD(dir 0+) 30	
31	SLU	Comb. SLD(dir 0-) 31	
32	SLU	Comb. SLD(dir 0-) 32	
33	SLU	Comb. SLD(dir 0-) 33	
34	SLU	Comb. SLD(dir 0-) 34	
35	SLU	Comb. SLD(dir 90+) 35	
36	SLU	Comb. SLD(dir 90+) 36	
37	SLU	Comb. SLD(dir 90+) 37	
38	SLU	Comb. SLD(dir 90+) 38	
39	SLU	Comb. SLD(dir 90-) 39	
40	SLU	Comb. SLD(dir 90-) 40	
41	SLU	Comb. SLD(dir 90-) 41	
42	SLU	Comb. SLD(dir 90-) 42	

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 involuppo associati alle combinazioni dei carichi considerate, gli schemi grafici con la rappresentazione dei carichi applicati e delle corrispondenti reazioni vincolari.

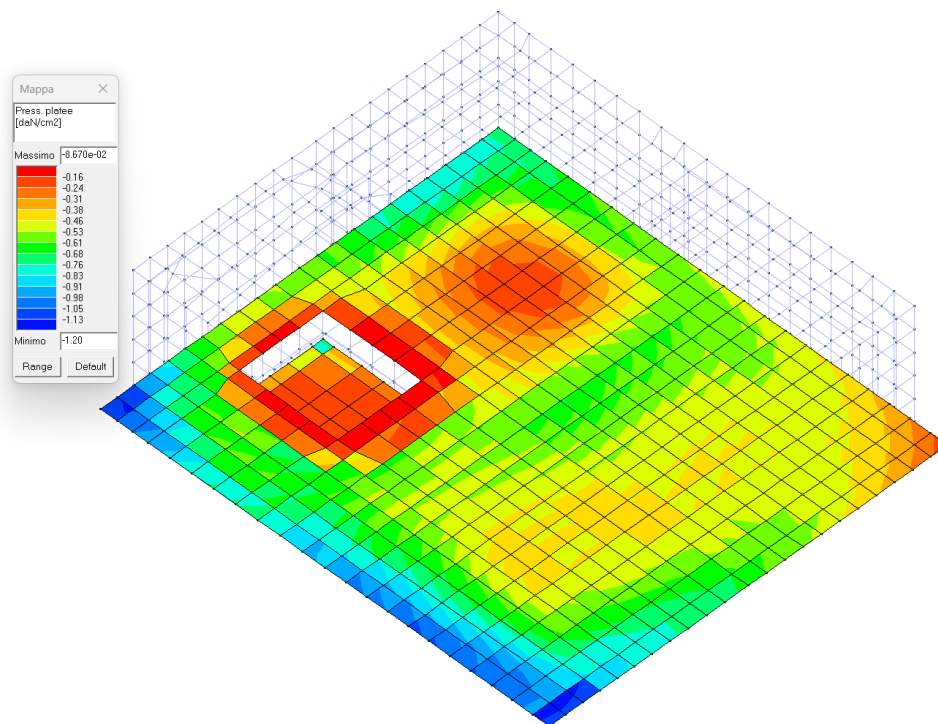


### **AZIONI SULLE FONDAZIONI (REAZIONI VINCOLARI)**

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



*Figura 7 - MAX Pressione totale per la combinazione 2) SLU A1*



*Figura 8 - MAX Pressione totale per la combinazione 6) SLE (rara)*



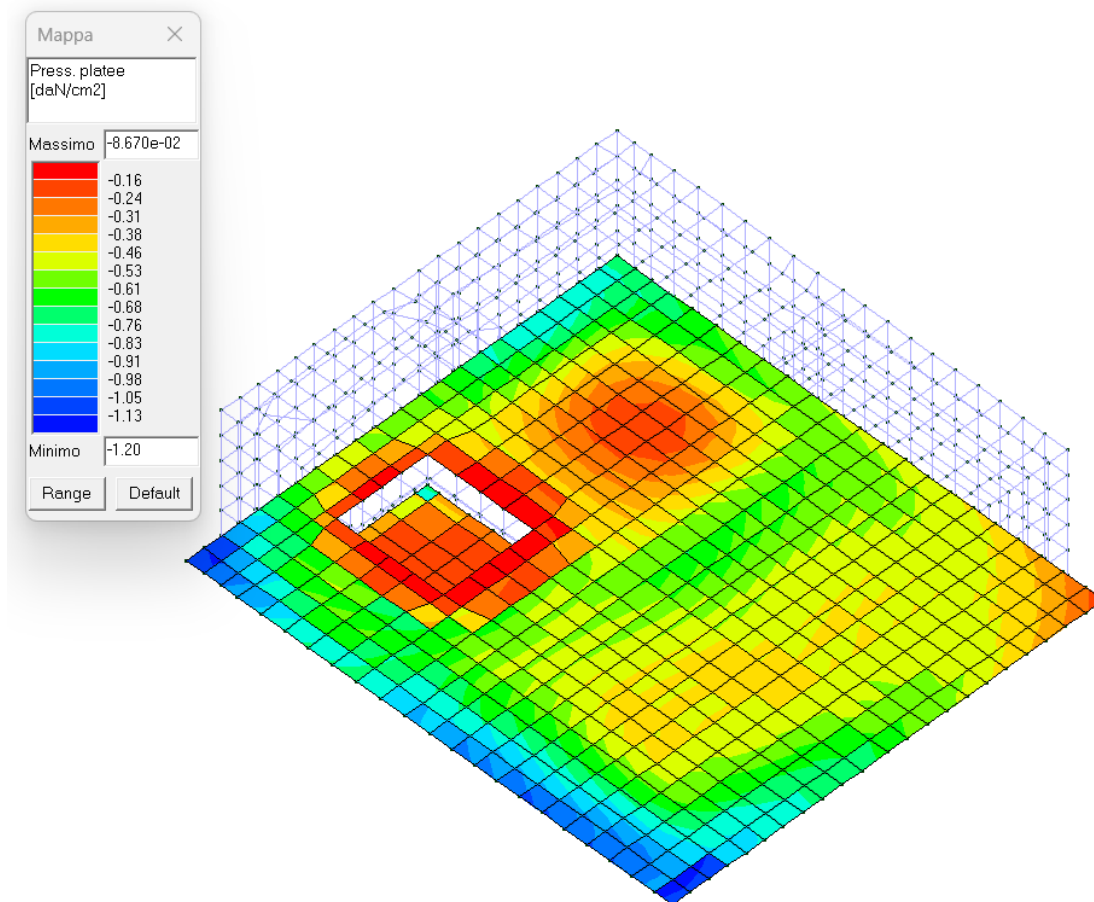


Figura 9 - MAX Pressione totale per la combinazione 8) SLE (freq.)

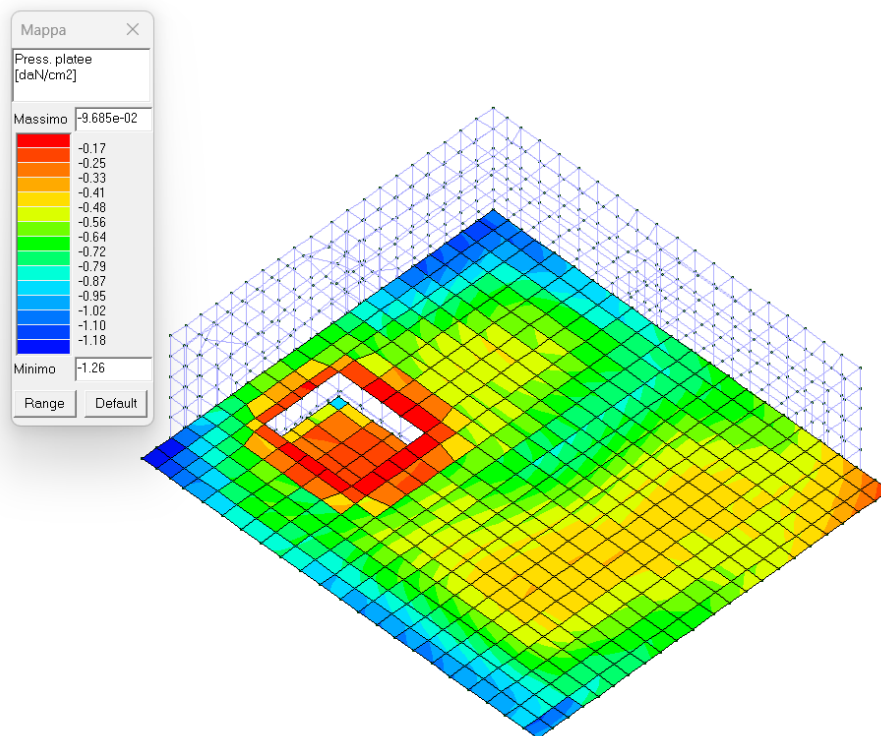


Figura 10 - MAX Pressione totale per la combinazione 9) SLE (perm..)



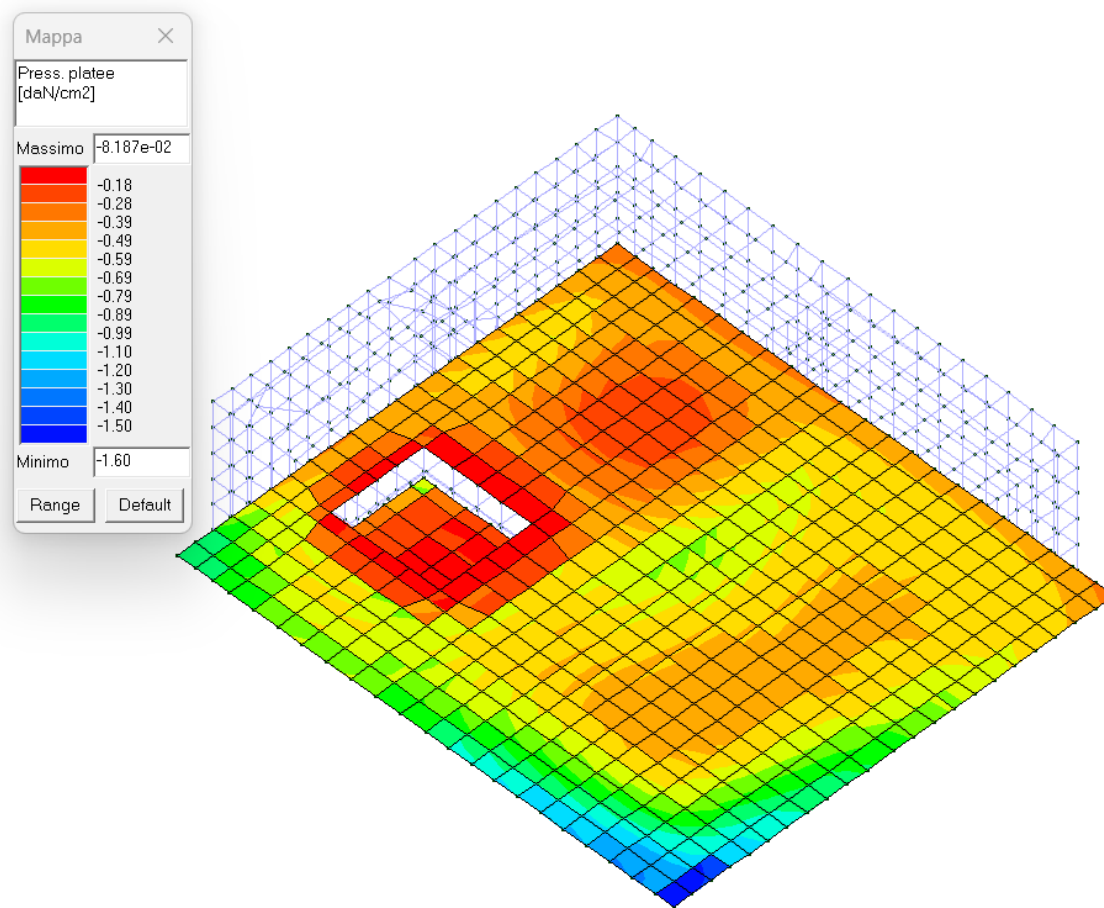


Figura 11 - MAX Pressione totale per la combinazione 14) SLV (dir 0 +)

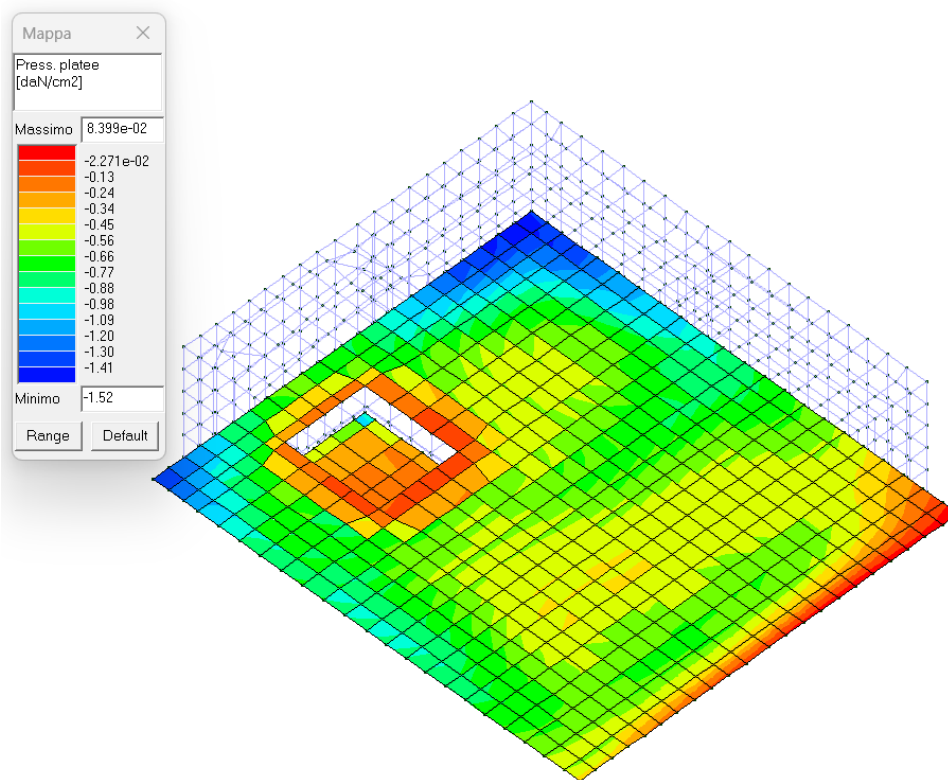


Figura 12 - MAX Pressione totale per la combinazione 15) SLV (dir 0 -)

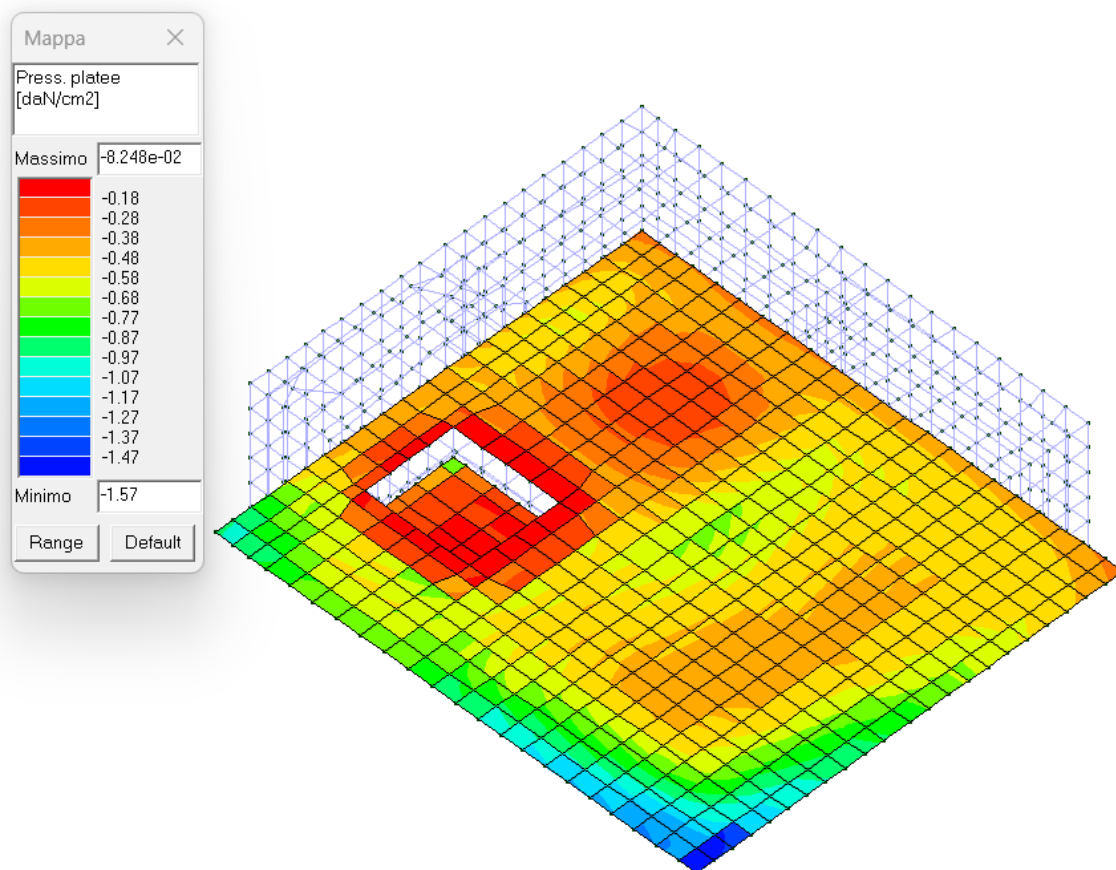


Figura 13 - MAX Pressione totale per la combinazione 30) SLD (dir 0 +)

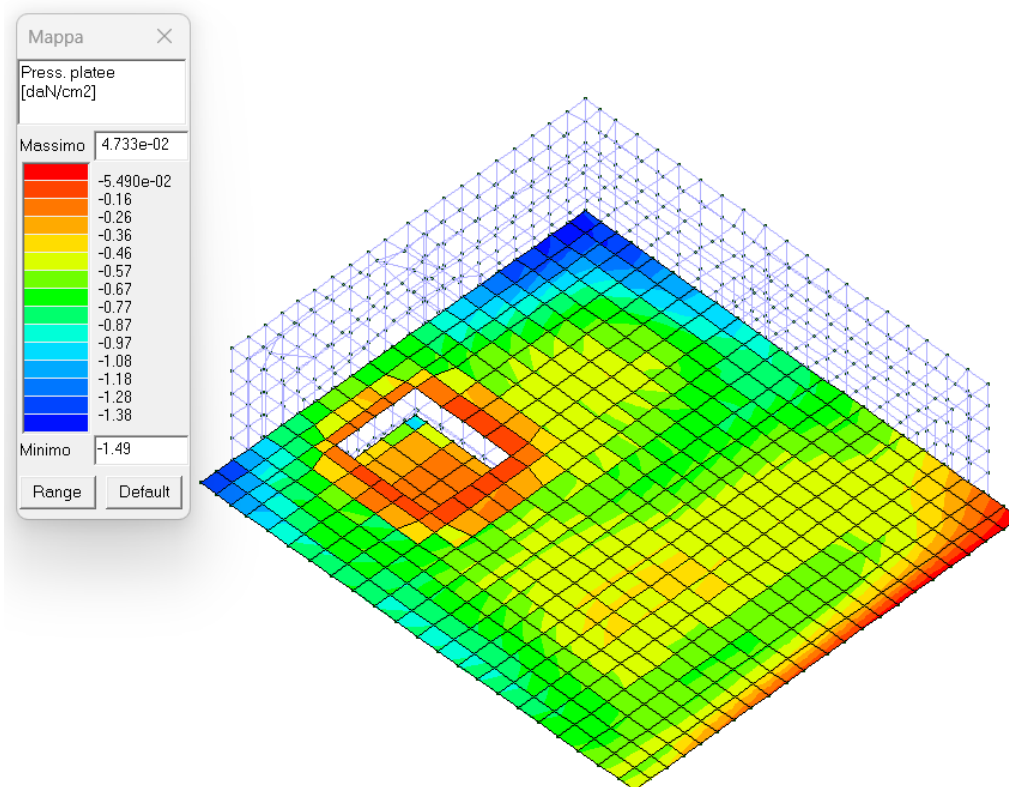


Figura 14 - MAX Pressione totale per la combinazione 31) SLD (dir 0 -)



## DEFORMATE

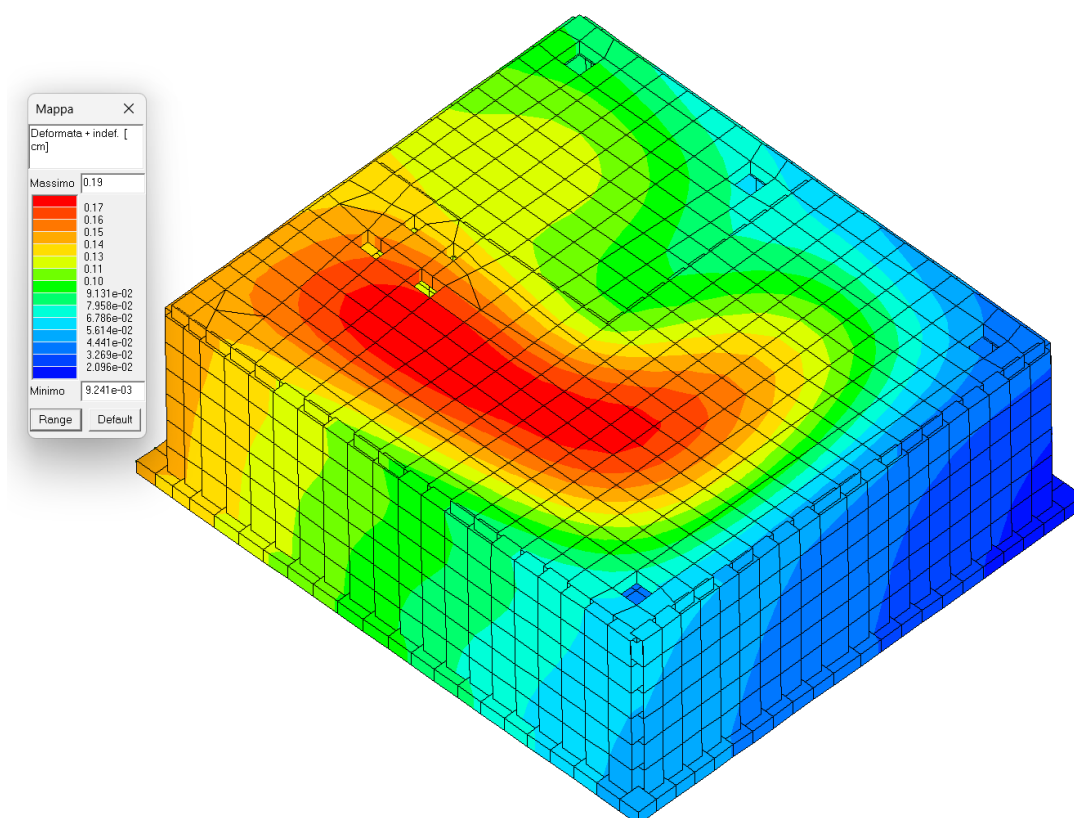


Figura 15 - MAX Deformata per la combinazione 1) SLU A1

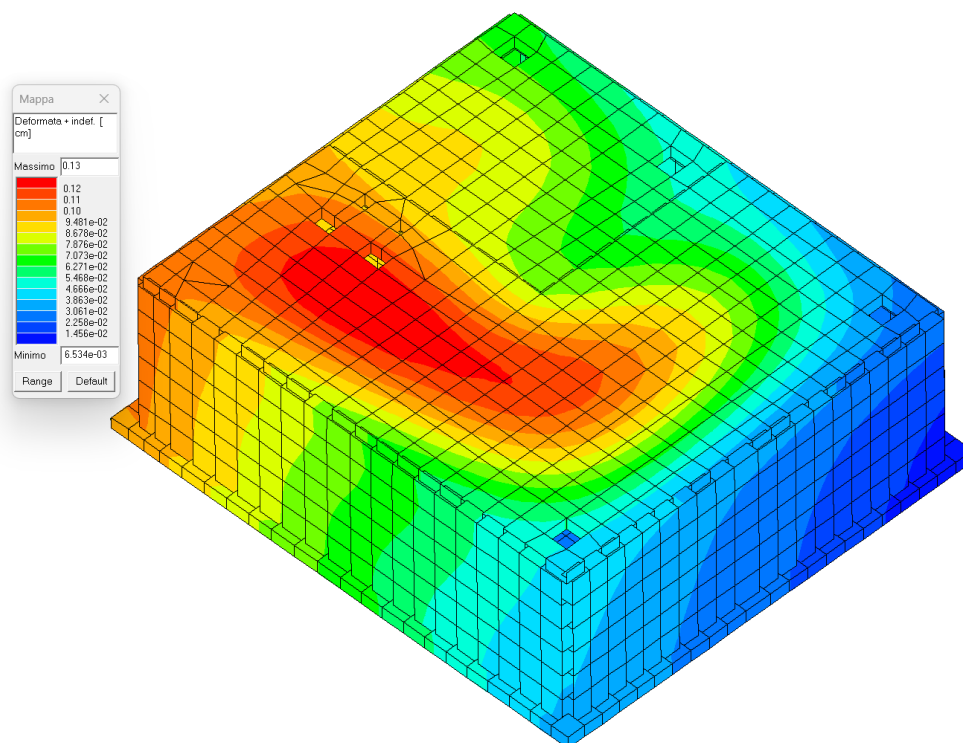


Figura 16 MAX Deformata per la combinazione 5) SLE (rara)

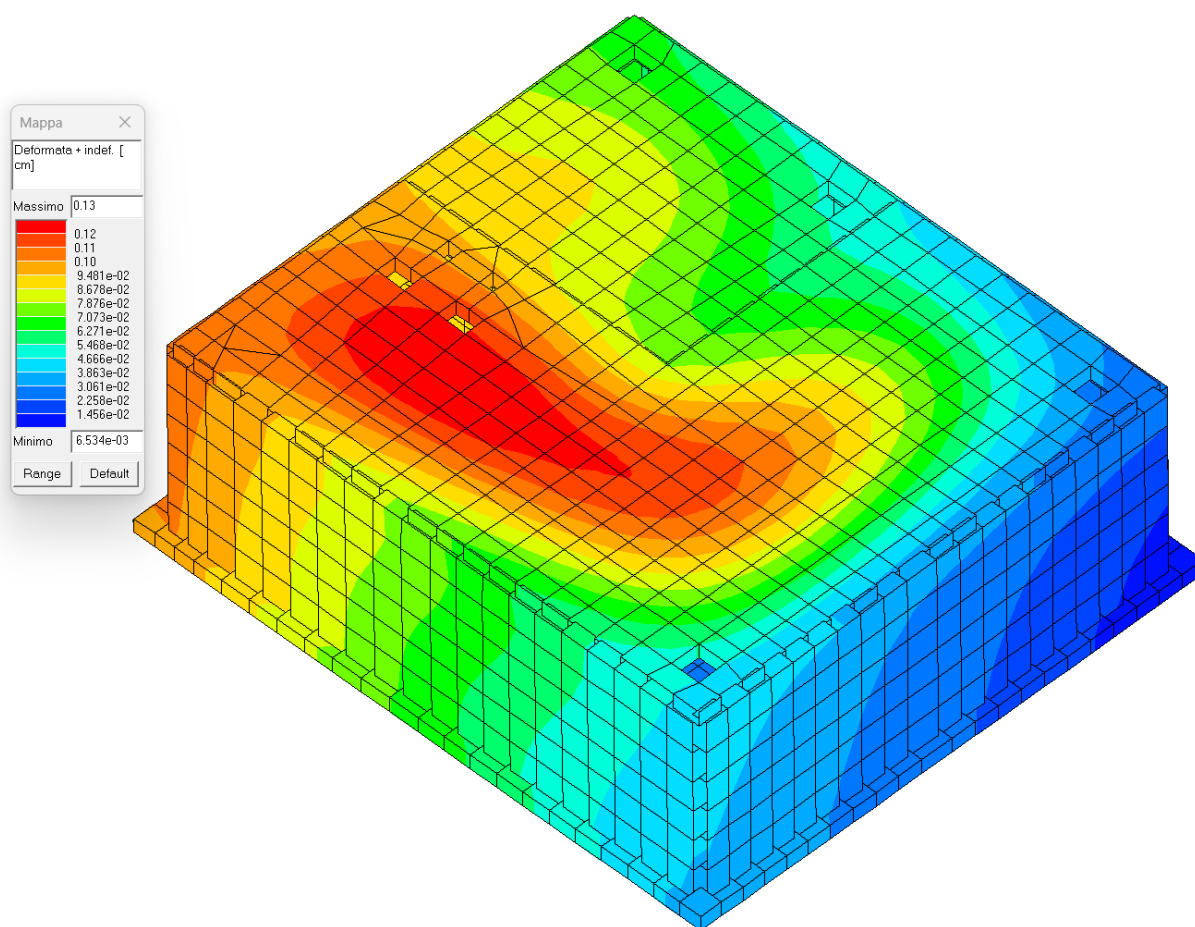


Figura 17 - MAX Deformata per la combinazione 7) SLE (freq.)

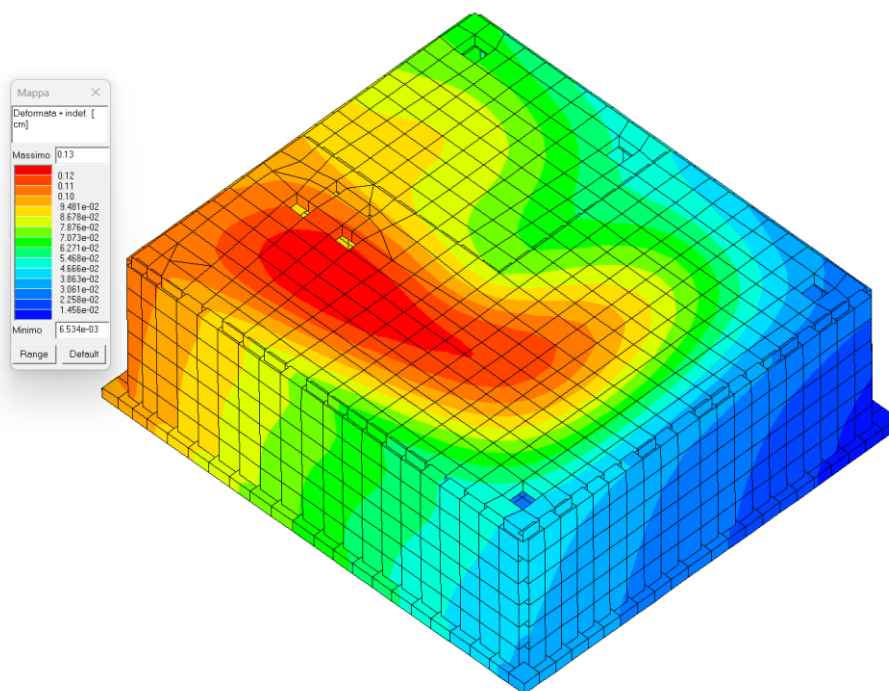


Figura 18 - MAX Deformata per la combinazione 9) SLE (perm.)



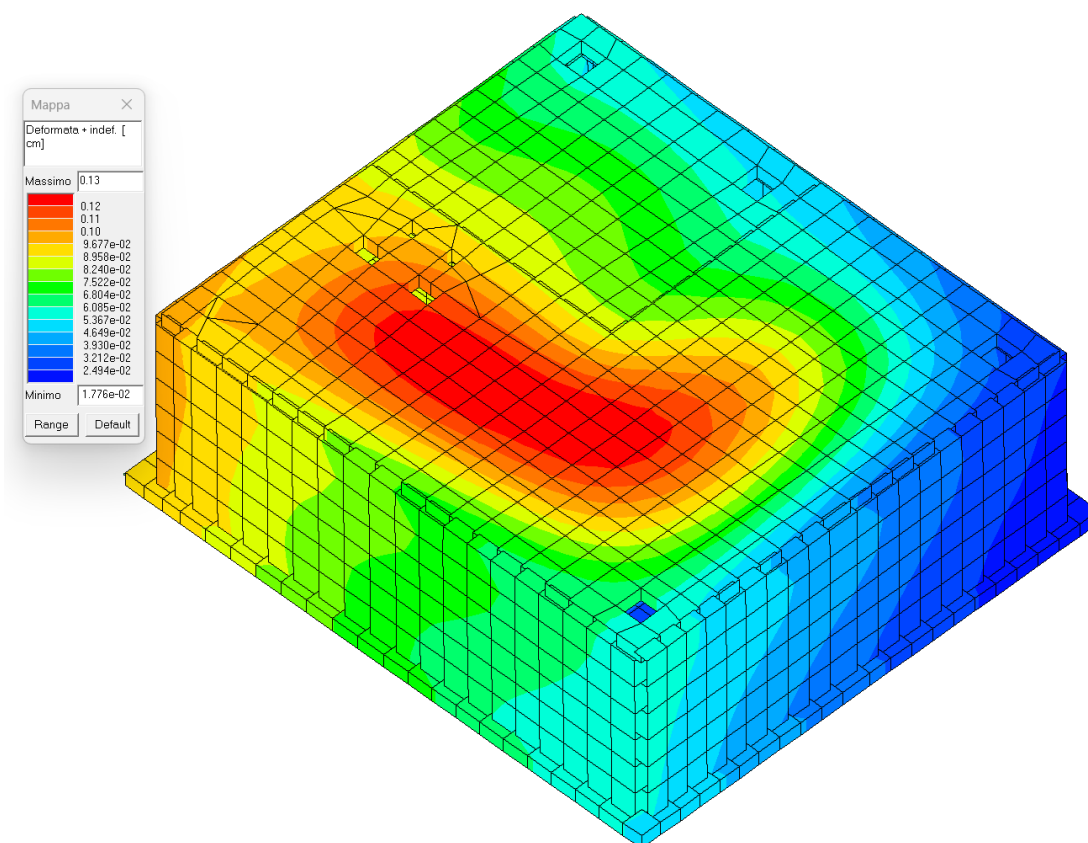


Figura 19 - MAX Deformata per la combinazione 13) SLV (dir 0+)

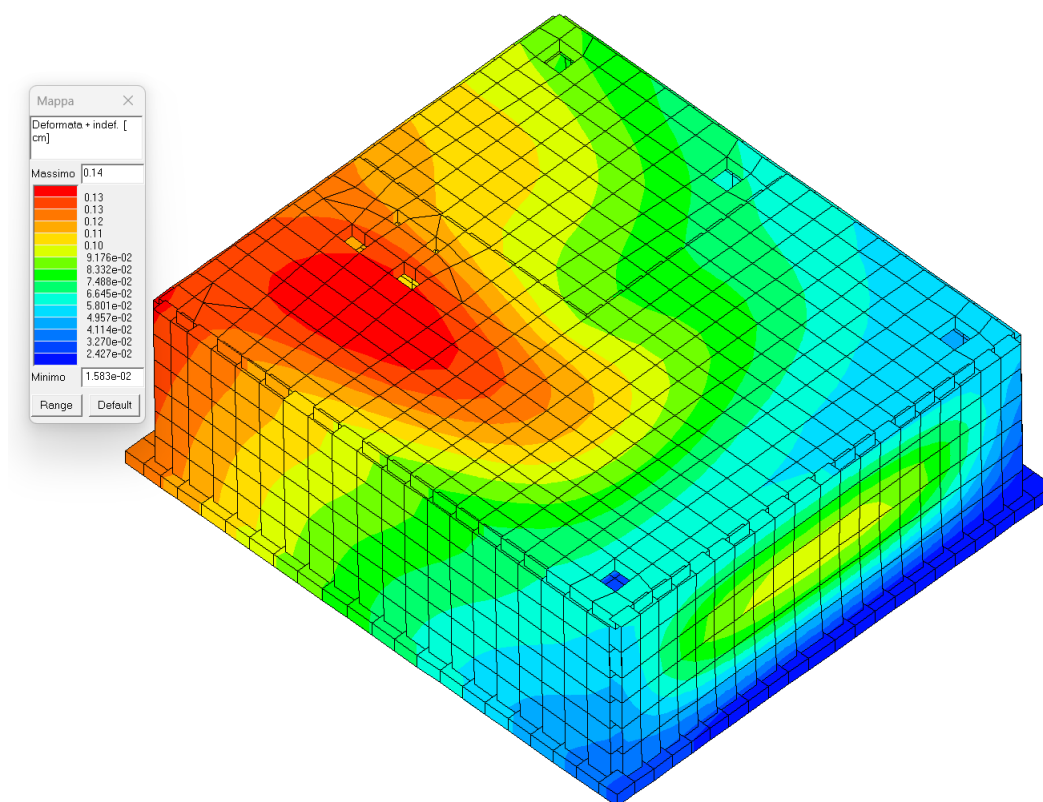


Figura 20 - MAX Deformata per la combinazione 17) SLV (dir 0-)



## 7. 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.

### 7.1 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.



## 7.2 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.

### 7.3 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:

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

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

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

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

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

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

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:

$$\begin{aligned} b_t &\geq b_{t,min} = 20 \text{ cm} && \text{[TR-LG-A]} \\ b_t &\leq b_{t,max} = \min\{b_c + h_t; b_c\} && \text{[TR-LG-B]} \\ b_t/h_t &\geq (b_t/h_t)_{min} = 0,25 && \text{[TR-LG-C]} \\ L_{zc} &= 1,5 h_t \text{ (CD-A); } L_{zc} = 1,0 h_t \text{ (CD-B)} && \text{[TR-LG-D]} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} n_{\phi l} &> n_{\phi l,min} = 2 && \text{[TR-AL-A]} \\ \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_{yk}} < \rho = \frac{A_s}{bh} < \rho_{max} = \rho_{cmp} + \frac{3,5}{f_{yk}} && \text{[TR-AL-B]} \\ \rho_{cmp} &\geq \rho_{cmp,min} && \text{[TR-AL-C]} \end{aligned}$$

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

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

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.



## 8. 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.

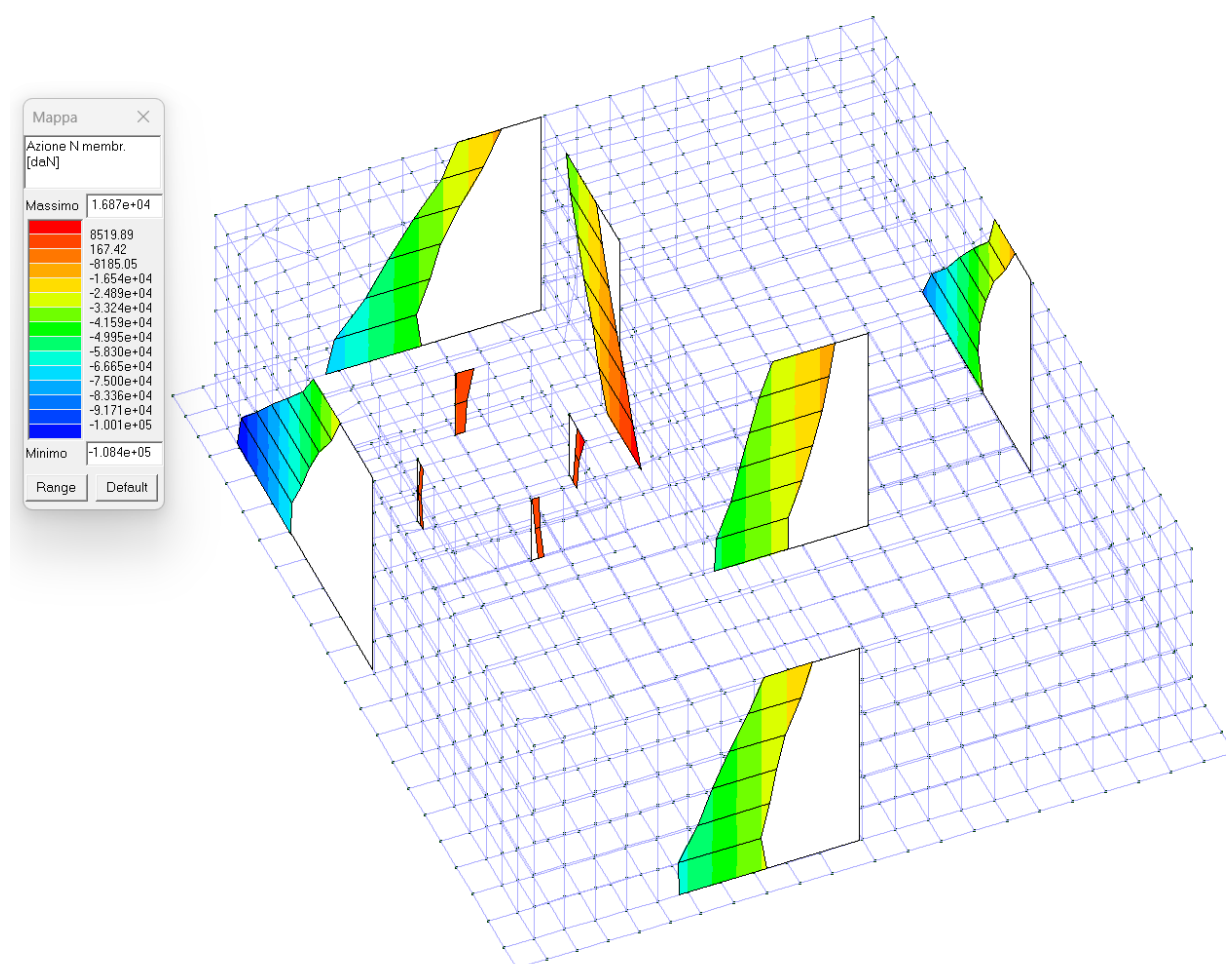
### **NOTA RELATIVA AI MACROELEMENTI**

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.

A seguire vengono riportati i diagrammi delle sollecitazioni involuppate sugli elementi strutturali:



*Figura 21 - AZIONE N MEMBR. (SFORZO NORMALE)*

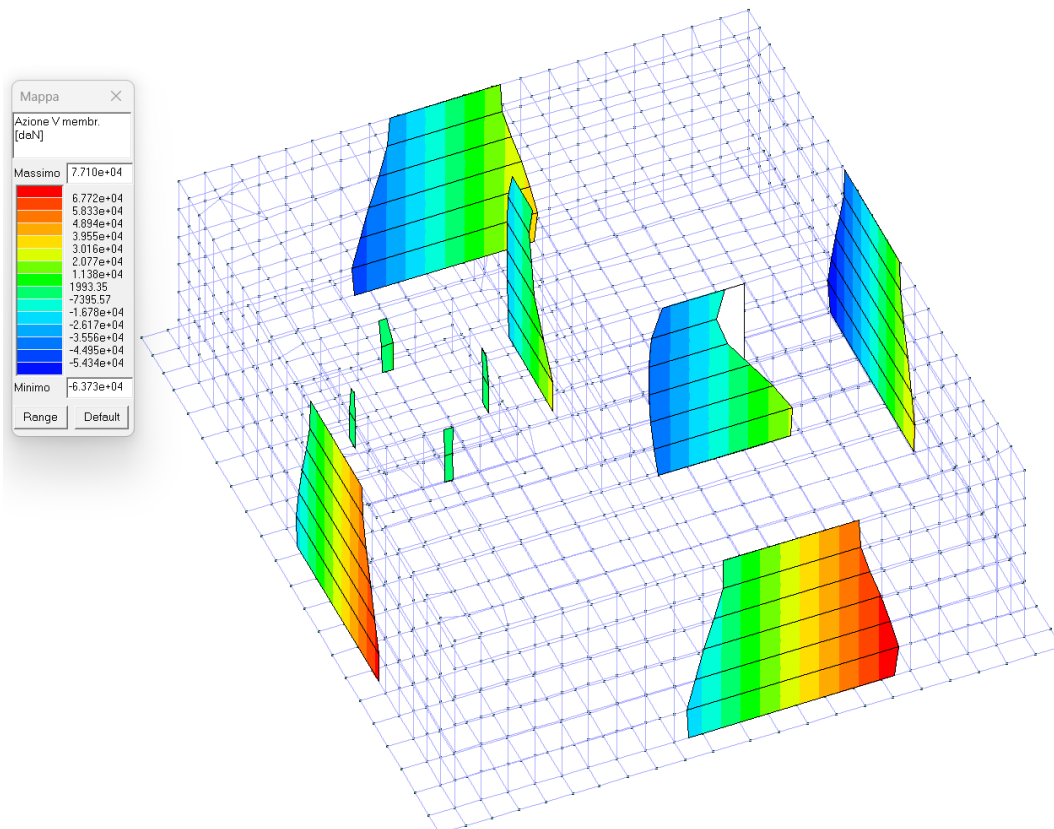


Figura 22 - AZIONE V MEMBR.(SFORZO DI TAGLIO T2)

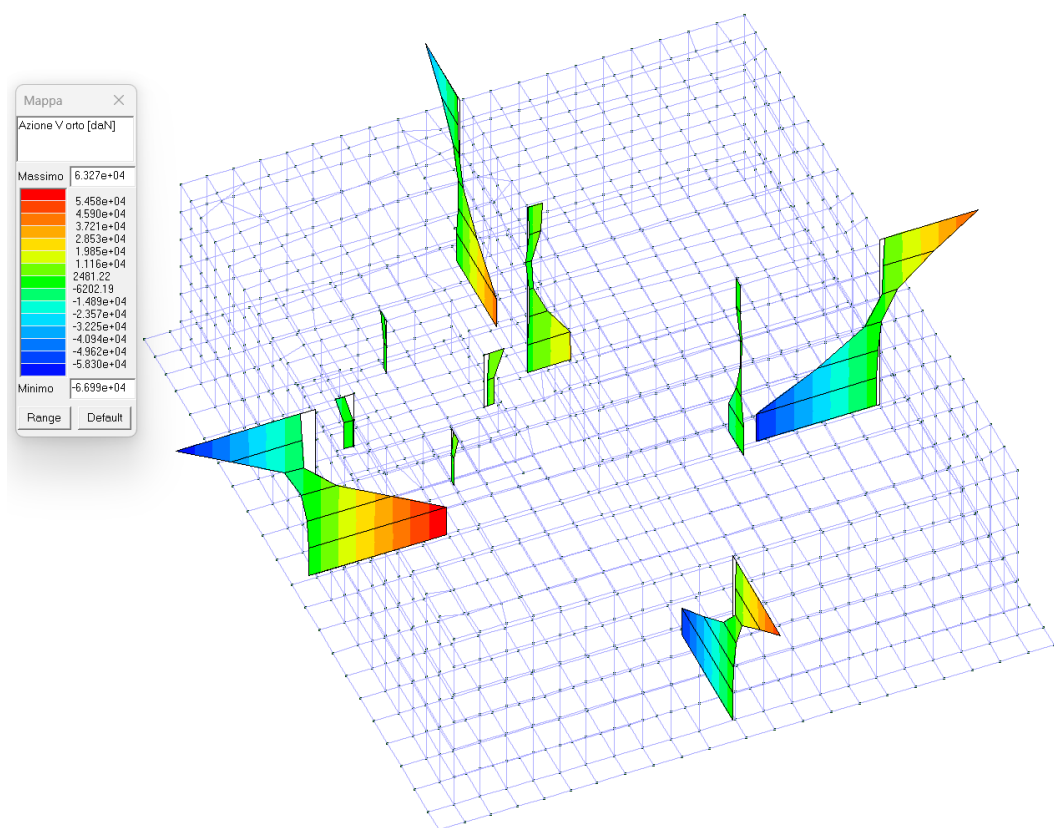


Figura 23 - AZIONE V ORTO (SFORZO DI TAGLIO T3).

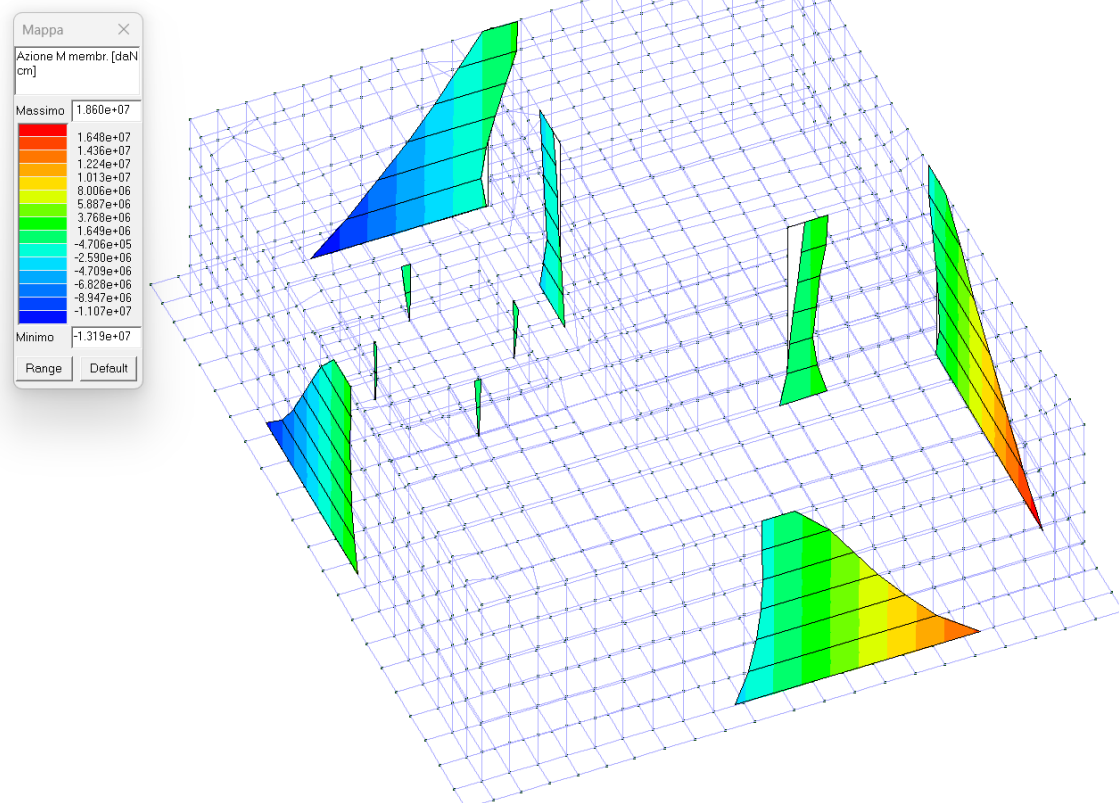


Figura 24 - AZIONE M MEMBR.( MOMENTO M 3 - 3)

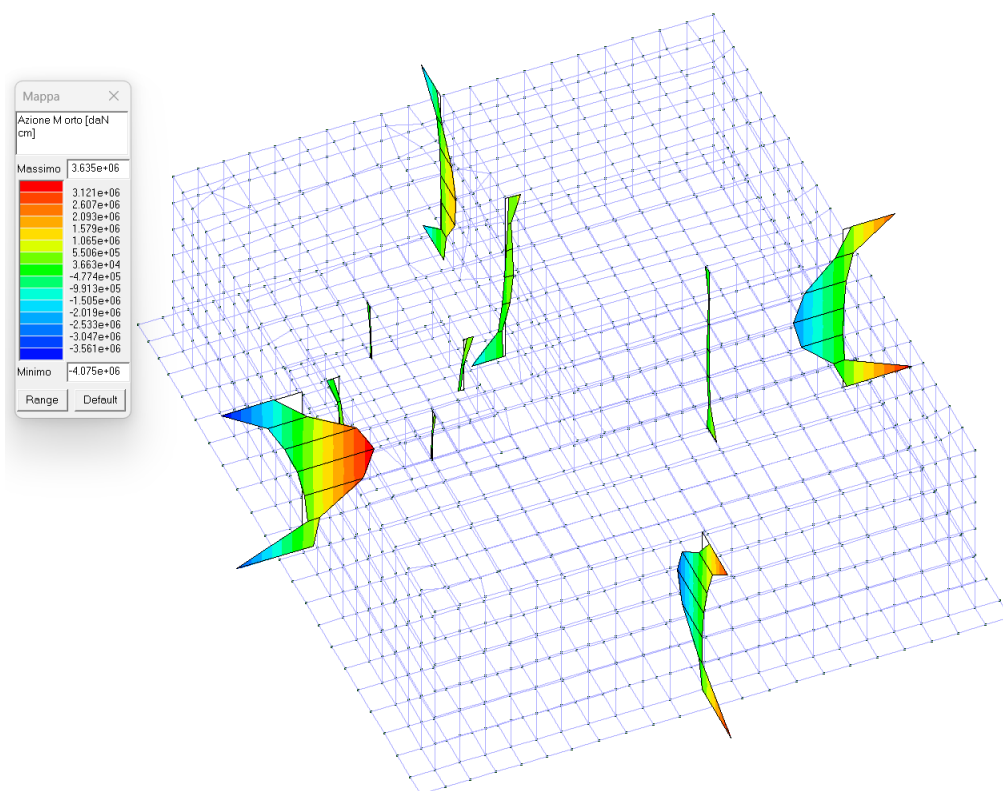


Figura 25 - AZIONE M ORTO.(MOMENTO M 2-2)





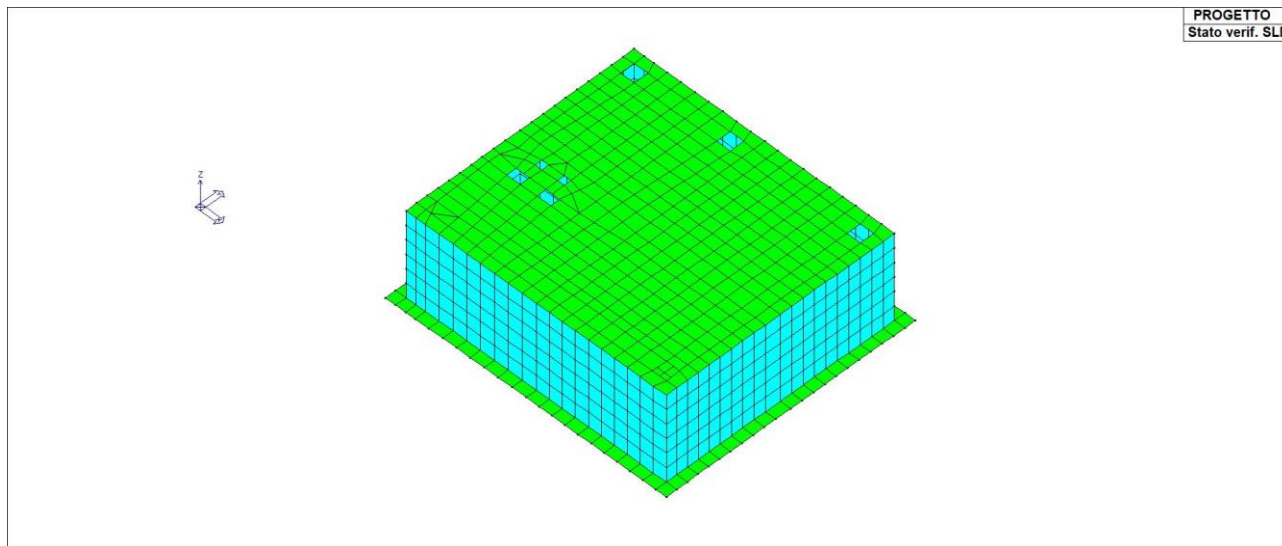
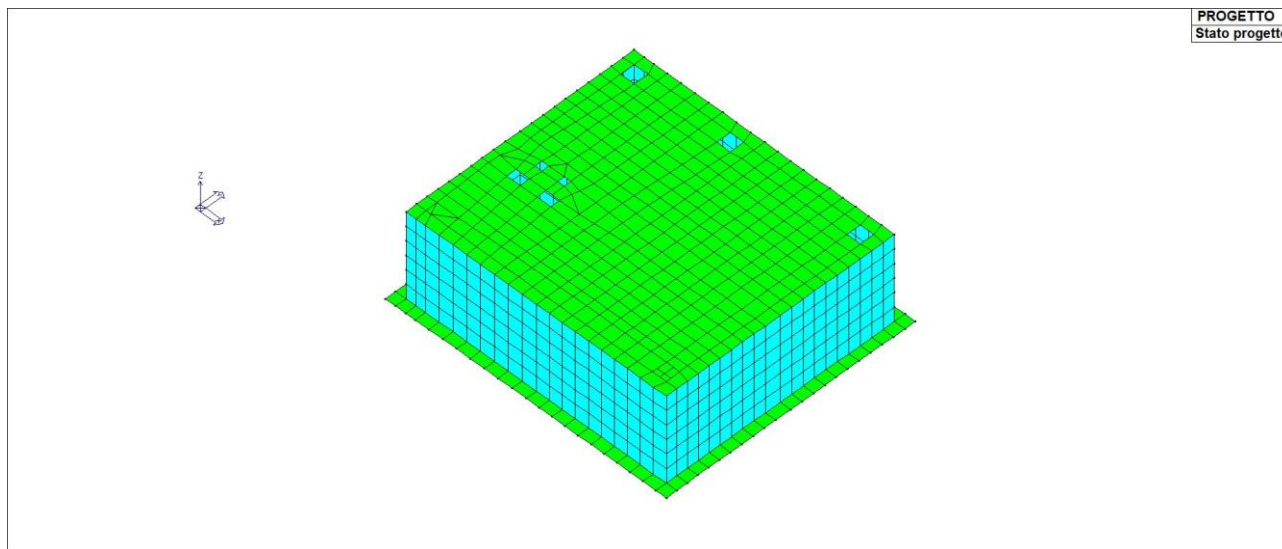
## 9. SINTESI DELLE VERIFICHE DI SICUREZZA

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.



## Parete in c.a. n. 2

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
lato +	1	Ø 12	20.0	2296.0	20.4
lato +	2	Ø 12	20.0	1884.0	16.7
lato -	1	Ø 12	20.0	2296.0	20.4
lato -	2	Ø 12	20.0	1884.0	16.7

Armatura integrativa:

Pos.	Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
1	lato +	1	Ø 12	65.0	328.0	2.9
4	lato +	2	Ø 12	100.0	166.0	1.5
2	lato -	1	Ø 12	65.0	328.0	2.9
3	lato -	2	Ø 12	100.0	166.0	1.5

## Parete in c.a. n. 3

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
lato +	1	Ø 12	20.0	1968.0	17.5
lato +	2	Ø 12	20.0	1644.0	14.6
lato -	1	Ø 12	20.0	1968.0	17.5
lato -	2	Ø 12	20.0	1644.0	14.6

Armatura integrativa:

Pos.	Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
1	lato +	1	Ø 12	100.0	164.0	1.5
2	lato -	1	Ø 12	100.0	164.0	1.5
3	lato -	2	Ø 12	100.0	153.0	1.4

## Parete in c.a. n. 4

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
lato +	1	Ø 12	20.0	1968.0	17.5
lato +	2	Ø 12	20.0	1644.0	14.6
lato -	1	Ø 12	20.0	1968.0	17.5
lato -	2	Ø 12	20.0	1644.0	14.6

Armatura integrativa:

Pos.	Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
1	lato +	1	Ø 12	55.0	328.0	2.9
2	lato +	2	Ø 12	100.0	154.0	1.4
3	lato -	1	Ø 12	55.0	328.0	2.9
4	lato -	2	Ø 12	100.0	154.0	1.4

## Parete in c.a. n. 7

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
lato +	1	Ø 12	20.0	24168.0	214.6
lato +	2	Ø 12	20.0	27208.0	241.6
lato -	1	Ø 12	20.0	24168.0	214.6
lato -	2	Ø 12	20.0	27208.0	241.6



## Parete in c.a. n. 8

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
lato +	1	Ø 12	20.0	21200.0	188.2
lato +	2	Ø 12	20.0	22192.0	197.0
lato -	1	Ø 12	20.0	21200.0	188.2
lato -	2	Ø 12	20.0	22192.0	197.0

## Parete in c.a. n. 9

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
lato +	1	Ø 12	20.0	21200.0	188.2
lato +	2	Ø 12	20.0	22192.0	197.0
lato -	1	Ø 12	20.0	21200.0	188.2
lato -	2	Ø 12	20.0	22192.0	197.0

## Parete in c.a. n. 10

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
lato +	1	Ø 12	20.0	12296.0	109.2
lato +	2	Ø 12	20.0	11229.0	99.7
lato -	1	Ø 12	20.0	12296.0	109.2
lato -	2	Ø 12	20.0	11229.0	99.7

## Parete in c.a. n. 11

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
lato +	1	Ø 12	20.0	10600.0	94.1
lato +	2	Ø 12	20.0	10336.0	91.8
lato -	1	Ø 12	20.0	10600.0	94.1
lato -	2	Ø 12	20.0	10336.0	91.8

## Parete in c.a. n. 12

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
lato +	1	Ø 12	20.0	24168.0	214.6
lato +	2	Ø 12	20.0	27208.0	241.6
lato -	1	Ø 12	20.0	24168.0	214.6
lato -	2	Ø 12	20.0	27208.0	241.6

## Soletta in c.a. n. 1

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
sup.	1	Ø 12	20.0	5520.0	49.0
sup.	2	Ø 12	20.0	5576.0	49.5
inf.	1	Ø 12	20.0	5520.0	49.0
inf.	2	Ø 12	20.0	5576.0	49.5

Distanziatori Ø12, L = 110.0 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 12	20.0	79108.0	702.3
sup.	2	Ø 12	20.0	80888.0	718.1
inf.	1	Ø 12	20.0	79108.0	702.3
inf.	2	Ø 12	20.0	80888.0	718.1

Distanziatori Ø12, L = 110.0 cm  
1/50 dir.1, 1/50 dir.2

### Soletta in c.a. n. 8

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
sup.	1	Ø 12	20.0	74586.0	662.2
sup.	2	Ø 12	20.0	75888.0	673.7
inf.	1	Ø 12	20.0	74586.0	662.2
inf.	2	Ø 12	20.0	75888.0	673.7

Distanziatori Ø12, L = 114.0 cm  
1/50 dir.1, 1/50 dir.2

### Soletta in c.a. n. 13

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
sup.	1	Ø 12	20.0	74586.0	662.2
sup.	2	Ø 12	20.0	75888.0	673.7
inf.	1	Ø 12	20.0	74586.0	662.2
inf.	2	Ø 12	20.0	75888.0	673.7

Armatura integrativa:

Pos.	Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot. (cm)	Peso (kg)
1	sup.	1	Ø 12	100	840.0	7.5
2	sup.	2	Ø 12	100	765.0	6.8
3	inf.	1	Ø 12	100	840.0	7.5
4	inf.	2	Ø 12	100	765.0	6.8

Distanziatori Ø12, L = 114.0 cm  
1/50 dir.1, 1/50 dir.2



Si riportano le verifiche del macro setto n° 7, che è quello più sollecitato.

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
90	ok	0.08	0.2	6.09e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-273.1	-22.9	-54.8	1613.4	32.0	76.6
91	ok	0.08	0.3	2.05e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-21.6	17.2	37.2	1593.4	197.3	-93.1
92	ok	0.08	0.3	2.77e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-20.9	-17.1	88.3	1656.0	300.4	-147.8
93	ok	0.08	0.3	2.81e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-60.6	-52.8	22.2	1031.3	256.8	-57.2
94	ok	0.08	0.4	2.80e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-50.6	-70.6	21.8	1112.8	282.4	-11.9
95	ok	0.08	0.4	2.95e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-43.9	-83.9	24.8	1181.1	303.0	46.9
96	ok	0.08	0.4	3.21e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-46.5	-104.5	68.9	1148.0	295.5	119.6
97	ok	0.08	0.5	3.53e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-54.7	-114.6	74.2	976.5	251.0	170.8
98	ok	0.08	0.5	3.94e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-48.5	-108.9	48.9	759.4	187.6	200.5
99	ok	0.08	0.6	4.22e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-67.0	-133.1	91.3	441.1	111.1	197.4
100	ok	0.08	0.6	4.35e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-73.7	-135.5	93.8	164.8	45.0	164.9
101	ok	0.08	0.6	4.45e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-81.9	-135.7	95.5	-34.8	-0.3	128.6
102	ok	0.08	0.6	4.47e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-87.0	-133.6	96.1	-200.0	-38.1	87.8
103	ok	0.08	0.6	4.45e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-90.7	-129.5	95.7	-327.4	-66.3	46.2
104	ok	0.08	0.6	4.45e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-95.0	-124.0	95.1	-429.8	-88.6	8.0
105	ok	0.08	0.6	4.43e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-94.1	-90.0	44.9	-535.9	-114.8	-19.4
106	ok	0.08	0.6	4.40e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-101.5	-82.4	39.6	-631.8	-138.5	-62.4
107	ok	0.08	0.5	4.28e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-108.3	-72.1	31.0	-639.6	-142.6	-111.4
108	ok	0.08	0.4	3.93e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-103.7	-55.6	16.3	-472.1	-103.1	-150.6
109	ok	0.08	0.2	3.19e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-23.7	-31.9	-4.1	-11.6	58.0	-118.9
110	ok	0.08	0.2	5.04e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-188.1	-59.9	91.4	1020.7	51.1	-140.9
586	ok	0.08	0.4	4.27e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-132.9	-79.3	89.7	-420.9	-1718.4	370.3
587	ok	0.08	0.3	3.09e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-53.4	-69.4	58.0	162.2	-602.2	370.0
588	ok	0.08	0.4	2.91e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-23.9	-67.4	55.9	504.4	-58.7	-92.8
589	ok	0.08	0.4	2.76e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-15.0	-65.5	69.8	815.4	241.4	-122.8
590	ok	0.08	0.3	2.71e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-49.0	-61.4	67.1	835.3	284.6	61.1
591	ok	0.08	0.3	2.80e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-48.0	-69.5	66.8	880.7	297.0	115.2
592	ok	0.08	0.2	3.00e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-27.9	-77.4	67.3	970.7	325.6	69.1
593	ok	0.08	0.2	3.26e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-44.5	-89.6	82.1	857.7	256.9	159.7
594	ok	0.08	0.2	3.47e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-56.2	-93.0	85.5	689.3	179.5	181.0
595	ok	0.08	0.2	3.59e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-65.6	-95.7	86.0	503.3	102.8	173.9
596	ok	0.08	0.1	3.70e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-73.8	-97.0	86.6	324.8	42.0	143.4
597	ok	0.08	0.1	3.73e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-79.0	-96.8	85.2	183.0	-3.2	102.4
598	ok	0.08	9.33e-02	3.73e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-73.9	-80.8	74.8	108.6	-33.1	32.1
599	ok	0.08	8.93e-02	3.71e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-83.4	-78.7	51.8	-22.0	-57.5	-3.0
600	ok	0.08	9.74e-02	3.67e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-83.2	-73.7	68.5	-66.2	-75.6	-48.4
601	ok	0.08	0.1	3.59e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-91.5	-63.2	49.9	-122.9	-81.0	-93.8
602	ok	0.08	0.2	3.47e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-96.3	-54.3	43.0	-138.0	-80.3	-135.3
603	ok	0.08	0.2	3.24e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-98.4	-42.9	32.6	-108.6	-53.9	-153.3
604	ok	0.08	0.3	2.82e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-91.8	-32.2	18.6	-38.3	10.5	-128.5
605	ok	0.08	0.3	3.06e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-32.0	-54.2	-52.5	15.5	-330.8	-320.1
606	ok	0.08	0.3	2.82e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-70.1	-35.3	-26.8	-207.2	-1245.0	-469.9
685	ok	0.08	0.5	3.87e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-99.0	-84.8	88.9	-592.1	-2675.7	251.5
686	ok	0.08	0.2	2.95e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-56.1	-84.0	54.5	-375.4	-1327.9	464.1
687	ok	0.08	0.3	2.69e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-29.9	-83.3	56.0	-176.7	-481.1	180.3
688	ok	0.08	0.4	2.53e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-9.8	-74.0	60.8	150.0	80.6	61.6
689	ok	0.08	0.5	2.45e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-12.8	-66.4	61.7	369.6	265.5	39.8
690	ok	0.08	0.5	2.48e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-19.4	-62.7	63.4	482.4	298.7	45.5
691	ok	0.08	0.6	2.60e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-27.5	-61.5	66.9	507.3	264.0	48.2
692	ok	0.08	0.6	2.76e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-36.7	-61.1	70.6	467.4	195.4	41.7
693	ok	0.08	0.6	2.89e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-45.9	-60.9	72.9	385.9	115.7	29.3
694	ok	0.08	0.5	3.00e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-58.3	-60.2	72.0	285.4	40.8	15.9
695	ok	0.08	0.5	3.05e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-60.1	-60.2	71.2	181.9	-21.8	-1.0
696	ok	0.08	0.5	3.05e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-61.6	-56.2	78.5	135.2	-49.5	-18.6
697	ok	0.08	0.5	3.01e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-65.9	-54.5	74.9	65.3	-79.9	-37.1
698	ok	0.08	0.5	2.94e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-69.8	-51.7	70.5	16.1	-99.2	-58.4
699	ok	0.08	0.5	2.84e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-73.6	-47.4	65.3	-10.5	-107.1	-81.1
700	ok	0.08	0.5	2.71e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-77.2	-41.6	58.9	-14.7	-100.7	-101.4
701	ok	0.08	0.4	2.54e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-84.8	-37.0	52.6	2.7	-72.5	-111.8
702	ok	0.08	0.4	2.29e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-82.9	-26.6	35.2	24.5	-11.9	-109.6
703	ok	0.08	0.3	2.29e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-25.2	-61.4	-56.0	-243.3	-238.0	-58.9
704	ok	0.08	0.2	2.47e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-36.6	-69.0	-47.5	-384.3	-862.4	-331.3
705	ok	0.08	0.4	2.98e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-64.3	-70.7	-40.4	-506.4	-2185.1	-342.8
784	ok	0.08	0.6	3.54e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-65.9	-82.9	59.0	-641.3	-2690.9	72.8
785	ok	0.08	0.2	2.68e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-40.7	-80.0	53.7	-534.4	-1520.2	259.8
786	ok	0.08	0.2	2.35e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-22.9	-75.2	51.0	-475.3	-690.8	247.7
787	ok	0.08	0.4	2.13e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-13.0	-64.9	54.8	-288.8	-98.3	202.2



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
788	ok	0.08	0.5	2.07e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-15.8	-54.7	53.5	-137.7	130.8	149.8
789	ok	0.08	0.6	2.14e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-23.8	-47.0	58.8	-50.1	165.7	99.8
790	ok	0.08	0.6	2.28e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-32.2	-42.2	64.2	-26.3	127.8	53.2
791	ok	0.08	0.7	2.45e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-37.0	-40.3	71.1	-14.5	73.4	4.9
792	ok	0.08	0.7	2.59e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-44.3	-38.4	79.9	-61.0	4.8	-26.4
793	ok	0.08	0.7	2.68e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-50.1	-36.6	81.4	-116.6	-54.8	-46.6
794	ok	0.08	0.6	2.69e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-54.5	-34.7	75.5	-169.7	-102.1	-58.0
795	ok	0.08	0.6	2.65e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-58.0	-33.5	77.2	-208.8	-132.2	-63.2
796	ok	0.08	0.6	2.57e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-61.0	-31.4	72.7	-231.3	-154.6	-66.3
797	ok	0.08	0.6	2.47e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-63.9	-28.5	67.2	-233.9	-166.7	-69.8
798	ok	0.08	0.6	2.35e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-66.7	-24.9	60.7	-214.3	-166.0	-74.2
799	ok	0.08	0.6	2.20e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-63.9	-19.3	52.9	-172.7	-147.3	-79.6
800	ok	0.08	0.5	2.01e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-58.1	-19.1	46.7	950.3	332.3	-58.1
801	ok	0.08	0.4	1.80e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-60.2	-16.4	40.0	822.2	402.5	-50.7
802	ok	0.08	0.3	1.89e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-20.2	-60.9	-43.1	-443.3	-353.5	-103.7
803	ok	0.08	0.2	2.26e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-29.5	-73.7	-39.0	-520.3	-1089.8	-152.6
804	ok	0.08	0.5	2.96e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-60.2	-80.6	-39.3	-595.3	-2466.1	-73.8
883	ok	0.08	0.5	2.88e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-40.3	-67.1	80.0	-543.8	-2039.0	-169.6
884	ok	0.08	0.2	2.06e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-20.9	-59.6	52.4	-539.7	-1207.5	28.2
885	ok	0.08	0.3	1.71e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-12.0	-52.0	40.4	-550.2	-632.5	184.6
886	ok	0.08	0.4	1.52e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-10.5	-40.6	38.1	-541.1	-178.6	241.0
887	ok	0.08	0.4	1.58e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-29.8	11.0	55.0	-500.7	-88.0	141.5
888	ok	0.08	0.4	1.79e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-25.8	-43.7	39.0	457.4	364.9	185.2
889	ok	0.08	0.5	2.02e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-33.0	-40.2	49.2	502.2	294.6	79.3
890	ok	0.08	0.5	2.21e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-41.0	23.2	62.6	-752.7	-181.1	-20.0
891	ok	0.08	0.5	2.33e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-43.8	26.0	58.6	-806.6	-213.3	-48.8
892	ok	0.08	0.5	2.38e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-45.7	28.2	61.7	-841.4	-239.1	-63.1
893	ok	0.08	0.5	2.36e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-47.1	29.4	53.3	-856.8	-257.4	-65.2
894	ok	0.08	0.5	2.29e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-48.0	30.0	48.0	-851.6	-267.1	-58.9
895	ok	0.08	0.5	2.19e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-49.1	30.2	45.1	-827.6	-274.1	-47.6
896	ok	0.08	0.5	2.07e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-50.5	30.0	37.1	-781.4	-274.8	-35.6
897	ok	0.08	0.5	1.96e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-51.7	29.3	24.0	-710.2	-264.3	-25.6
898	ok	0.08	0.5	1.83e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-72.1	16.4	27.3	-907.7	-355.4	5.2
899	ok	0.08	0.4	1.68e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-68.6	16.4	14.6	-727.2	-281.0	4.1
900	ok	0.08	0.4	1.48e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-47.3	-8.7	36.4	482.9	289.5	-174.1
901	ok	0.08	0.3	1.27e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-40.9	-18.3	20.9	1615.2	997.1	-724.7
902	ok	0.08	0.2	1.69e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-11.0	-59.1	-34.4	-472.8	-922.0	92.3
903	ok	0.08	0.4	2.55e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-50.6	-69.2	-58.6	-509.4	-2038.0	228.6
982	ok	0.08	0.3	1.80e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-8.9	-29.4	64.0	-316.5	-924.9	-294.2
983	ok	0.08	0.3	1.10e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	6.4	-23.8	38.9	-359.8	-614.0	-336.3
984	ok	0.08	0.3	1.04e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-11.2	21.2	43.5	-492.8	-212.9	-11.6
985	ok	0.08	0.2	1.26e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-32.8	39.6	33.7	-813.6	-222.6	-1.8
986	ok	0.08	0.2	1.44e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-37.6	46.5	38.6	-1085.1	-280.1	-34.8
987	ok	0.08	0.3	1.61e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-33.1	48.0	48.9	-1269.4	-303.3	-73.0
988	ok	0.08	0.3	1.86e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-36.0	52.8	52.6	-1426.6	-337.3	-92.1
989	ok	0.08	0.3	2.03e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-37.9	57.5	55.0	-1530.7	-363.1	-99.1
990	ok	0.08	0.3	2.11e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-38.9	62.1	56.0	-1584.5	-379.2	-95.0
991	ok	0.08	0.3	2.13e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-39.0	66.0	55.4	-1597.8	-385.5	-81.0
992	ok	0.08	0.3	2.08e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-38.0	68.2	52.6	-1580.4	-384.2	-57.7
993	ok	0.08	0.3	1.99e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-41.4	68.7	51.8	-1539.1	-382.7	-32.5
994	ok	0.08	0.3	1.89e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-36.3	69.1	45.4	-1491.8	-375.1	8.7
995	ok	0.08	0.3	1.78e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-36.8	67.3	38.5	-1420.1	-368.3	48.1
996	ok	0.08	0.3	1.68e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-37.3	63.8	30.7	-1321.4	-353.2	92.1
997	ok	0.08	0.3	1.56e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-37.3	58.9	22.2	-1186.4	-323.9	138.0
998	ok	0.08	0.2	1.43e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-36.2	54.1	13.9	-1006.6	-279.1	183.5
999	ok	0.08	0.2	1.23e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-45.2	26.0	16.3	-1106.4	-311.9	222.2
1000	ok	0.08	0.3	9.90e-03	5.7	5.7	5.7	5.7	-33.3	-18.0	19.1	359.6	507.7	-1080.9
1001	ok	0.08	0.3	9.10e-03	5.7	5.7	5.7	5.7	-33.3	-15.4	15.9	191.6	156.9	-1285.8
1002	ok	0.08	0.3	1.71e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-26.8	-46.7	-19.4	-308.6	-1385.8	249.9
1081	ok	0.08	6.28e-02	3.64e-03	5.7	5.7	5.7	5.7	7.5	33.0	28.0	62.6	-51.1	-102.9
1082	ok	0.08	0.2	5.50e-03	5.7	5.7	5.7	5.7	13.5	62.4	24.4	180.8	-189.0	-167.6
1083	ok	0.08	0.3	8.53e-03	5.7	5.7	5.7	5.7	-12.3	60.9	32.8	-704.7	-242.3	-196.6
1084	ok	0.08	0.5	1.22e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-24.9	69.0	39.1	-1271.4	-333.2	-196.2
1085	ok	0.08	0.6	1.49e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-33.1	72.7	44.9	-1754.2	-414.4	-173.7
1086	ok	0.08	0.7	1.73e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-37.2	77.6	49.1	-2098.4	-474.8	-147.1
1087	ok	0.08	0.7	1.90e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-39.0	83.7	52.5	-2313.9	-513.0	-119.5
1088	ok	0.08	0.7	1.97e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-39.7	90.6	54.7	-2432.8	-534.2	-92.8
1089	ok	0.08	0.7	1.98e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-39.6	97.5	56.0	-2471.3	-540.3	-65.1
1090	ok	0.08	0.7	1.94e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-38.7	104.0	56.3	-2442.9	-533.0	-37.1
1091	ok	0.08	0.7	1.82e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-35.5	109.6	54.4	-2368.4	-516.2	-12.0
1092	ok	0.08	0.7	1.69e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-31.1	112.7	45.8	-2292.3	-499.8	19.1



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
1093	ok	0.08	0.7	1.60e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-30.5	112.3	42.5	-2217.4	-484.6	40.3
1094	ok	0.08	0.7	1.53e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-30.2	108.5	38.4	-2140.9	-469.3	70.4
1095	ok	0.08	0.7	1.46e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-29.7	101.3	33.5	-2038.1	-447.6	110.1
1096	ok	0.08	0.6	1.38e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-28.7	90.6	27.6	-1886.6	-413.1	157.3
1097	ok	0.08	0.6	1.26e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-26.7	76.9	20.2	-1668.2	-362.9	209.6
1098	ok	0.08	0.5	1.02e-02	5.7	5.7	5.7	5.7	-20.9	68.1	16.0	-1374.6	-338.2	272.8
1099	ok	0.08	0.4	9.46e-03	5.7	5.7	5.7	5.7	-7.1	68.9	8.7	-914.0	-307.6	272.4
1100	ok	0.08	0.2	8.26e-03	5.7	5.7	5.7	5.7	22.1	64.3	5.7	464.0	-110.3	115.9
1101	ok	0.08	6.64e-02	3.88e-03	5.7	5.7	5.7	5.7	-2.9	35.0	-19.6	165.3	-53.0	112.1
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
									-273.13	-135.71	-58.62	-2471.28	-2690.88	-1285.79
		0.08	0.72	0.06	5.65	5.65	5.65	5.65	22.14	112.74	96.08	1656.01	997.10	464.06

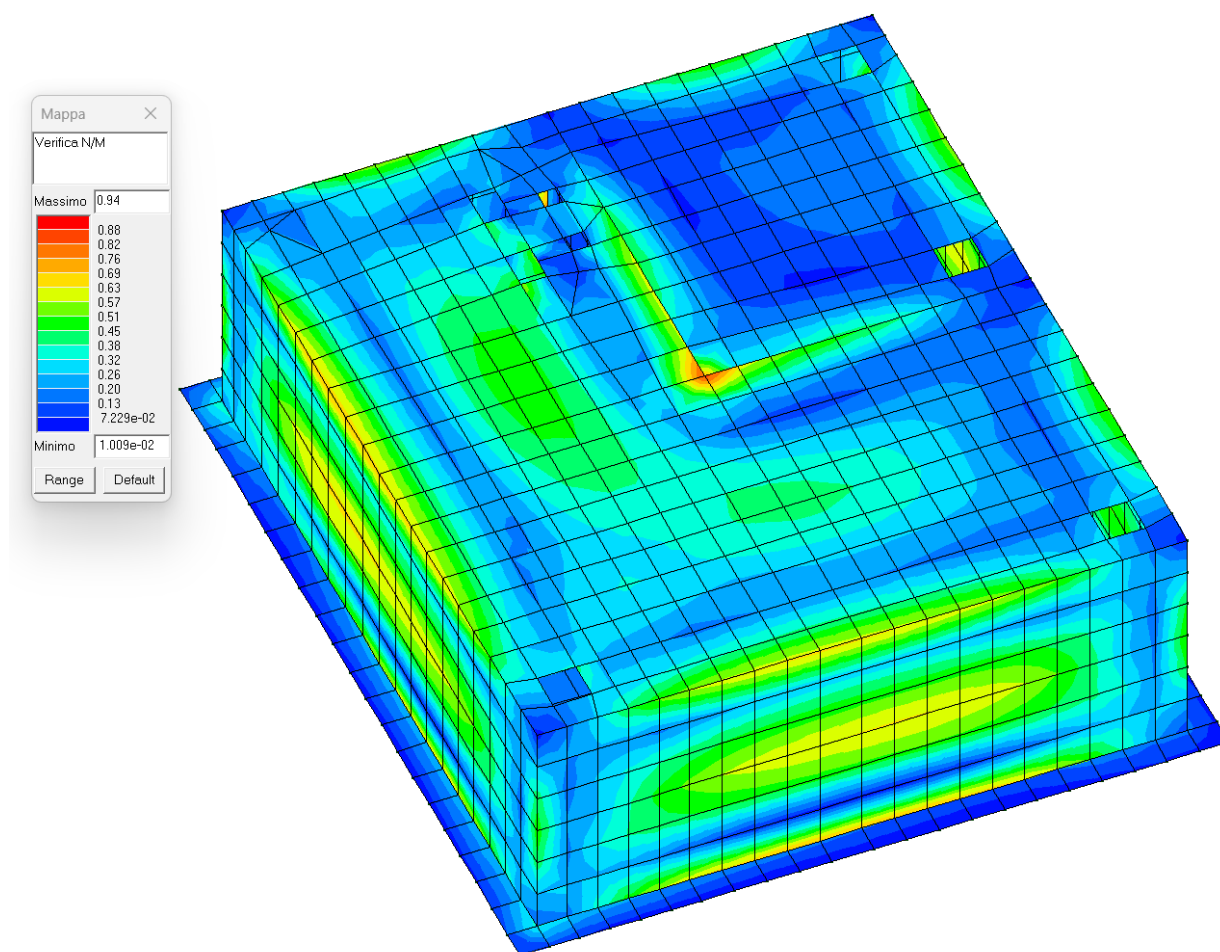


Figura 26 - SLU Verifica a pressoflessione rapporto  $E_d/R_d$ : valore minore o uguale a 1 per verifica positiva

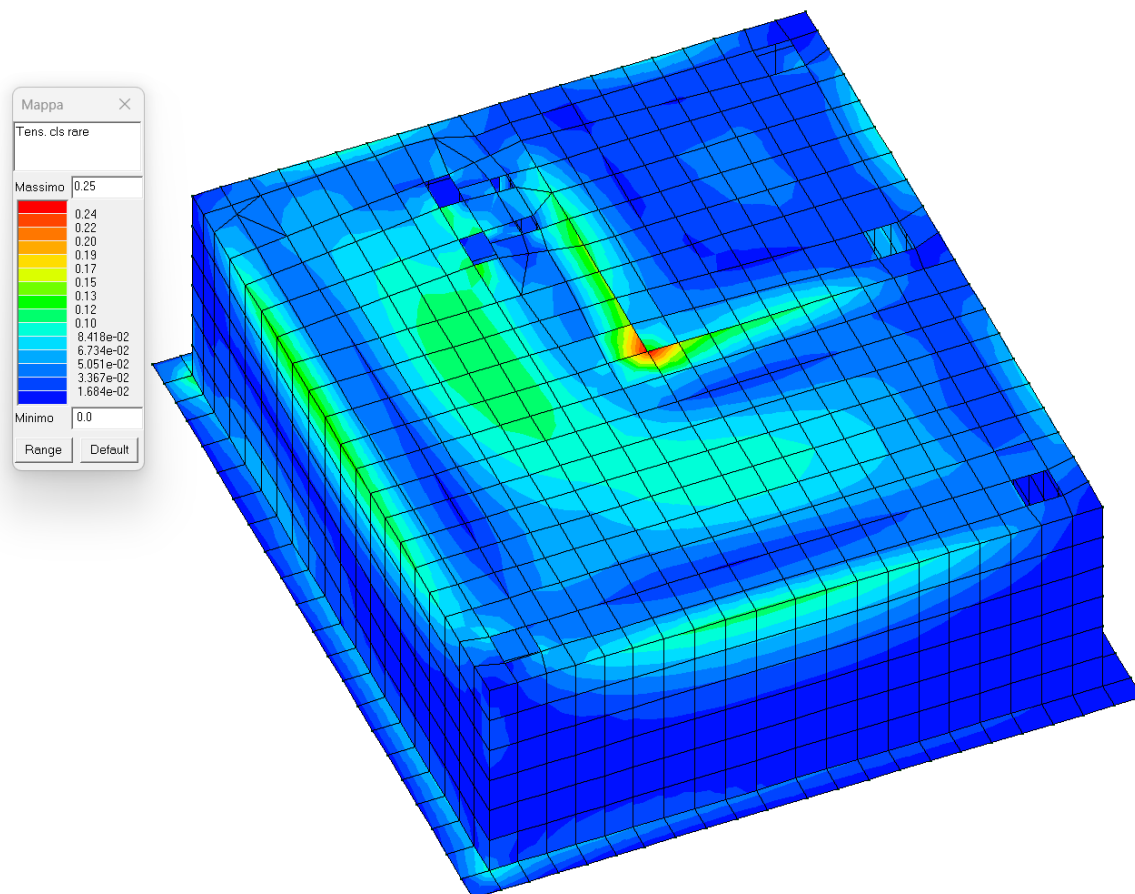


Figura 27 - SLE Tensione cls Comb. Rare: valore minore o uguale a 1 per verifica positiva

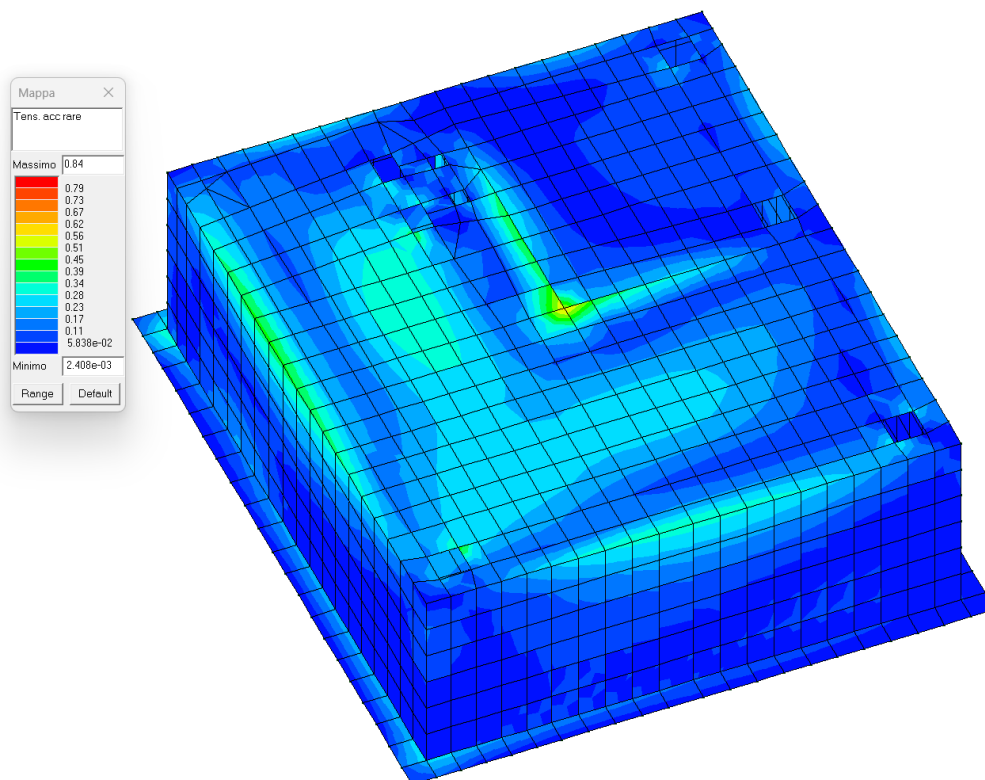


Figura 28 - SLE tens. acciaio Comb. Rare: valore minore o uguale a 1 per verifica positiva





## 10. 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

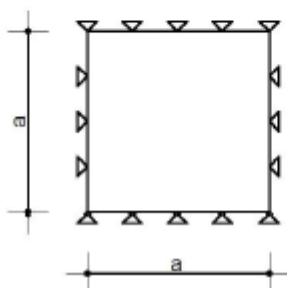
Revisione: 02  
 Data: 25/07/2019  
 Programma: PRO\_SAP  
 Versione: 2006-09-138; 2019-07-185  
 Files: Mod00 T010\_orto\_piastra\_ALGOR.PSP; Mod00 T010\_orto\_piastra.PSP

- 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  $p$ .



$p=0.1 \text{ daN/cm}^2$   
 $a=500 \text{ cm}$   
 $t=10 \text{ cm}$   
 $E_1=312200 \text{ daN/cm}^2$   
 $E_2=31220 \text{ daN/cm}^2$   
 $G=139380 \text{ daN/cm}^2$   
 $\nu_{12}=0.12$   
 $\nu_{21}=\nu_{12} \cdot E_2/E_1=0.012$

- 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.





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

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

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

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

CALCOLO MANUALE FINO A CONVERGENZA DELLA  
 SOLUZIONE



## Test 25 TENSIONI DI ELEMENTI PLATE

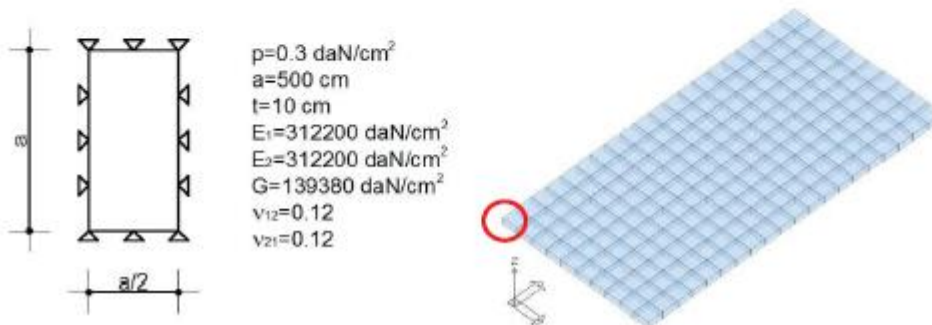
Revisione: 02  
Data: 19/01/2011  
Programma: PRO\_SAP  
Versione: 2006-09-138; 2010-05-151;  
Files: Mod00\_T025\_tensioniD3\_ALGOR.PSP; 2 Mod00\_T025\_tensioniD3.PSP

- **Scopo:**

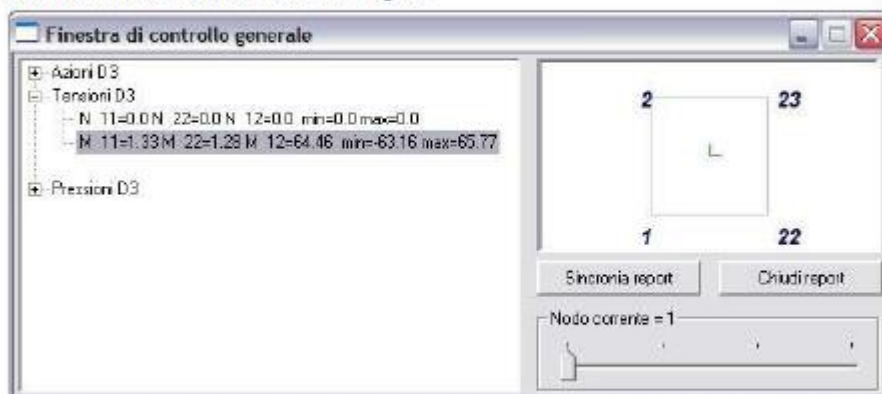
Validazione dell'utilizzo delle tensioni ottenute con elementi D3 (R).

- **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%.

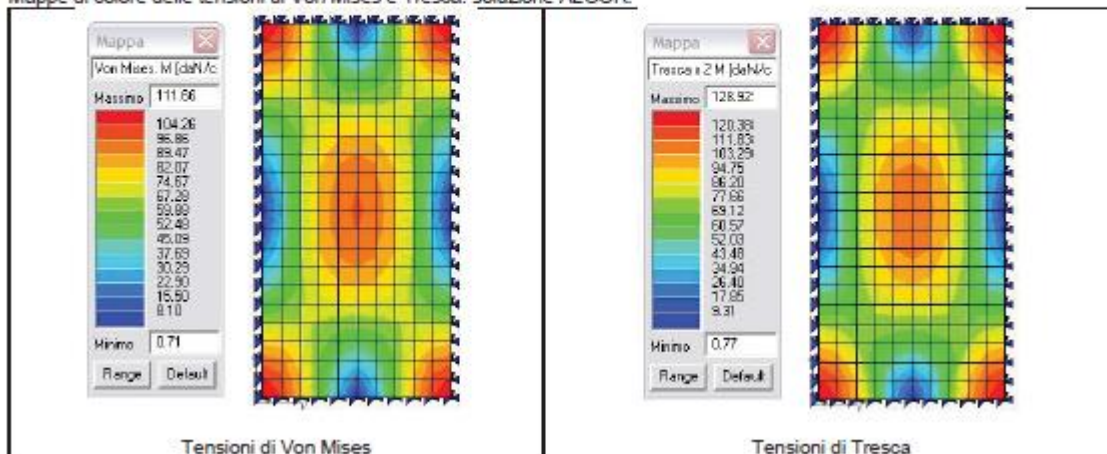
(\*) risultati relativi alla versione corrente di e\_SAP.

• **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.





## 11. 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/>