

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>10.9</b>
BIOFILTRO B		BIOFILTRO B
RELAZIONE DI CALCOLO		N. TAVOLA <b>10.9.1.a</b>
CODIFICA ELABORATO		FORMATO <b>A4</b>
23008-OW-C-101-RS-051-MA1-2		SCALA <b>/</b>

02	31/12/2024	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
REV	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO

Committente	Progettista indicato	Mandataria
 <p><b>CITTÀ 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</p>	 <p>OWAC ENGINEERING COMPANY Via Resuttana 360 90142 -PALERMO</p> <p>OWAC Engineering Company S.R.L. <b>ING. Rocco Martello</b> Direttore Tecnico</p> <p>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</p>	 <p>Via del Cardoncello 22 70022 – Altamura (BA)</p> <p>EDILALTA S.R.L. <b>DOTT. Angelantonio Disabato</b> Socio</p> <p><b>Mandante</b></p>  <p>Fueling a Sustainable World™ Via Bassa di Casalmoro 3 46041 – Asola (MN)</p> <p>ANAERGIA S.R.L. <b>DOTT. Andrea Parisi</b> Institore</p>



REV	ESEGUITO	DATA	VERIFICATO	DATA	APPROVATO	DATA
02	A.LABBATE	31/12/2024	C.BUTTICE'	31/12/2024	R.MARTELLO	31/12/2024
01	B.BARONE	10/10/2024	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



**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: F62F180000070004**

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

MANDATARIA



MANDANTE



PROGETTISTA INDICATO



**BIOFILTRO B RELAZIONE DI  
CALCOLO**

REV. 02

Pag. 3 di 86



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**

## INDICE

1.	<b>RELAZIONE TECNICA (10.1 DM17/01/18).....</b>	<b>5</b>
1.1	PREMESSA.....	5
1.2	QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO ADOTTATO .....	5
1.3	DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA .....	5
2.	<b>MODELLAZIONE.....</b>	<b>9</b>
2.1	ELEMENTI FINITI – SEZIONI E SPESSORI .....	9
3.	<b>CARATTERISTICHE MATERIALI UTILIZZATI.....</b>	<b>14</b>
3.1	ELENCO DEI MATERIALI IMPIEGATI.....	14
4.	<b>ANALISI DEI CARICHI DEI SOLAI .....</b>	<b>17</b>
5.	<b>AZIONE SISMICA.....</b>	<b>21</b>
5.1	CALCOLO FATTORE DI COMPORTAMENTO .....	23
6.	<b>SCHEMATIZZAZIONE DEI CASI DI CARICO .....</b>	<b>28</b>
7.	<b>DEFINIZIONE DELLE COMBINAZIONI .....</b>	<b>29</b>
7.1	TIPO DI ANALISI EFFETTUATE .....	30
7.2	COMBINAZIONI E/O PERCORSI DI CARICO .....	32
8.	<b>PROGETTO E VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI.....</b>	<b>47</b>
8.1	VERIFICHE DI RESISTENZA .....	47
8.2	VERIFICA DI PUNZONAMENTO DEI NODI .....	48
8.3	VERIFICHE SLD.....	51
9.	<b>PRINCIPALI RISULTATI.....</b>	<b>55</b>
10.	<b>SINTESI DELLE VERIFICHE DI SICUREZZA.....</b>	<b>62</b>
	<b>VERIFICHE PALI .....</b>	<b>73</b>
	<b>VERIFICHE VERIFICHE STATO LIMITE ULTIMO: .....</b>	<b>73</b>
	<b>VERIFICHE STATO LIMITE DI ESERCIZIO: .....</b>	<b>75</b>
11.	<b>GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI .....</b>	<b>80</b>
12.	<b>RELAZIONE SU ORIGINE E CARATTERISTICHE DEL CODICE DI CALCOLO .....</b>	<b>84</b>

MANDATARIA



MANDANTE



PROGETTISTA INDICATO



**BIOFILTRO B RELAZIONE DI  
CALCOLO**

REV. 02

Pag. 4 di 86



## 1. RELAZIONE TECNICA (10.1 DM17/01/18)

### 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.

<b>Progetto-verifica degli elementi</b>	
Progetto cemento armato	D.M. 17-01-2018
Progetto acciaio	D.M. 17-01-2018
Progetto legno	D.M. 17-01-2018
Progetto muratura	D.M. 17-01-2018
<b>Azione sismica</b>	
Norma applicata per l' azione sismica	D.M. 17-01-2018

### 1.3 DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

La struttura del biofiltro è una vasca che contiene della legna da cui passa aria insufflata dal basso. Gli elementi portanti sono pareti in calcestruzzo armato, una piastra di fondazione, la qualità del calcestruzzo è C32/40, la classe di esposizione è XC4 copriferro 5cm. I pali di fondazione sorreggono la struttura del biofiltro e sono di diametro cm60. La qualità di calcestruzzo è C25/30 e la classe di esposizione è XC 2 copriferro 5cm. Sulla piastra vengono realizzati dei muretti in calcestruzzo armato, atti a sorreggere i pannelli forati da cui fuoriesce aria.

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]	
<i>Tabella dei Moduli di Winkler secondo POZZATI</i>		<i>Rif.: FONDAZIONI Joseph E. BOWLES</i>	
Natura del terreno	$K_v$ [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Natura del terreno	$K_h$ [Kg/cm <sup>2</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	qu < 2 daN/cm <sup>2</sup>	1.22 ~ 2.45
terra molto umida	2.0 ~ 3.5	qu < 4 daN/cm <sup>2</sup>	2.45 ~ 4.89
terra poco umida	3.0 ~ 6.0	qu > 4 daN/cm <sup>2</sup>	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 30cm, la piastra di fondazione ha uno spessore cm 70.

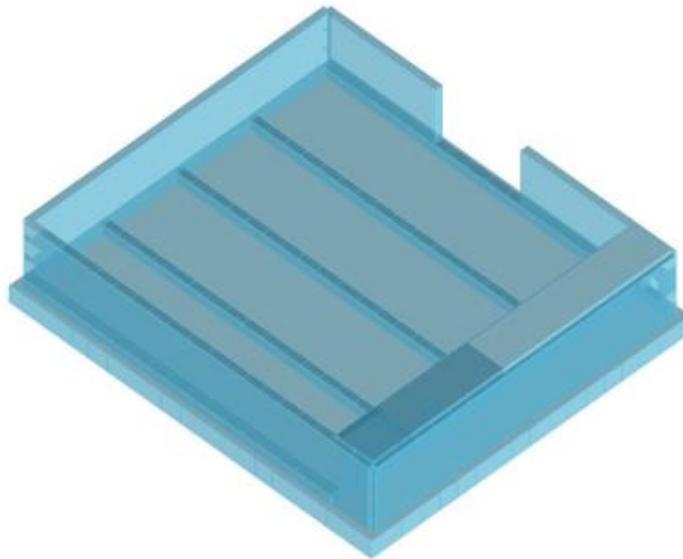


Figura 1- Elementi che costituiscono il Biofiltro

<b>Descrizione generale dell'opera</b>	
Opera di nuova realizzazione	SI
Fabbricato ad uso	A servizio dei processi industriali
Ubicazione	Comune di FERMO (FM) (Regione MARCHE) Località FERMO (FM) Longitudine 13.716, 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 13.05x 14.80
Numero vani scale	0
Numero vani ascensore	0
Tipo di fondazione	Fondazioni profonde pali, platea di fondazione spessore 70 cm

<b>Materiali impiegati</b>	
Cemento Armato	SI
Acciaio	NO
Legno	NO
Muratura	NO



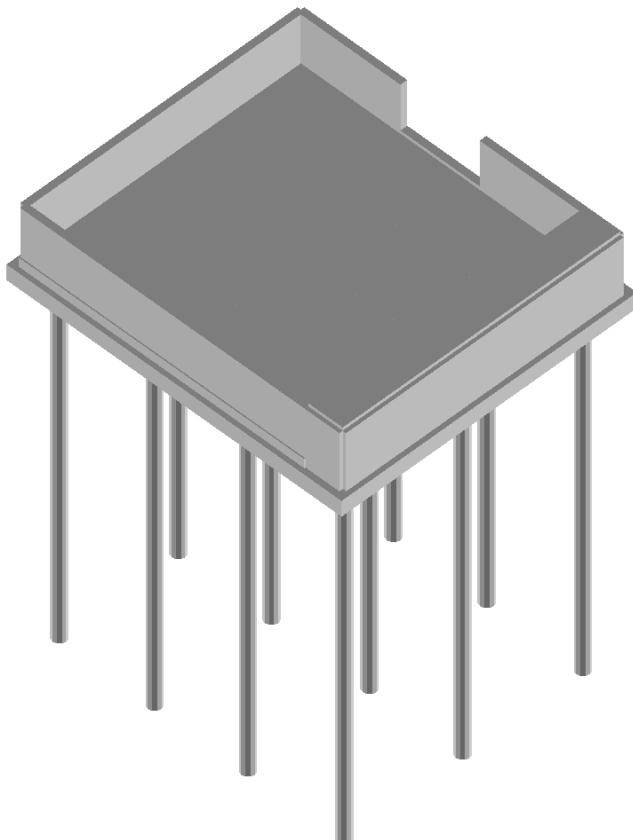
**Principali caratteristiche della struttura**

Struttura regolare in pianta	SI
Struttura regolare in altezza	SI
Classe di duttilità	ND struttura non dissipativa
Travi ricalcate o in spessore	0
Pilastri	0
Pilastri 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	NO

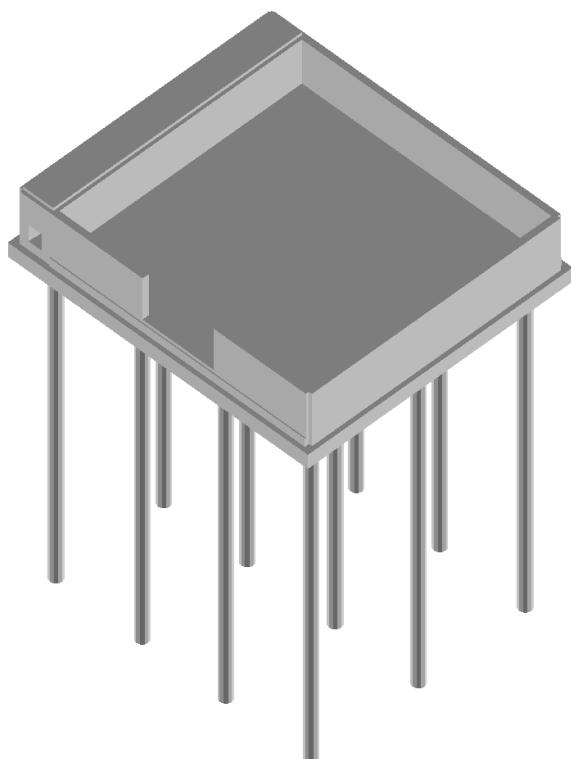
**Parametri della struttura**

Classe d'uso	Vita Vn [anni]	Coeff. Uso	Periodo Vr [anni]
I	50.0	0.7	35.0

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 (nello 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:

$$\mathbf{K} * \mathbf{u} = \mathbf{F}$$
 dove  $\mathbf{K}$  = matrice di rigidezza  
 $\mathbf{u}$  = vettore spostamenti nodali  
 $\mathbf{F}$  = vettore forze nodali

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:

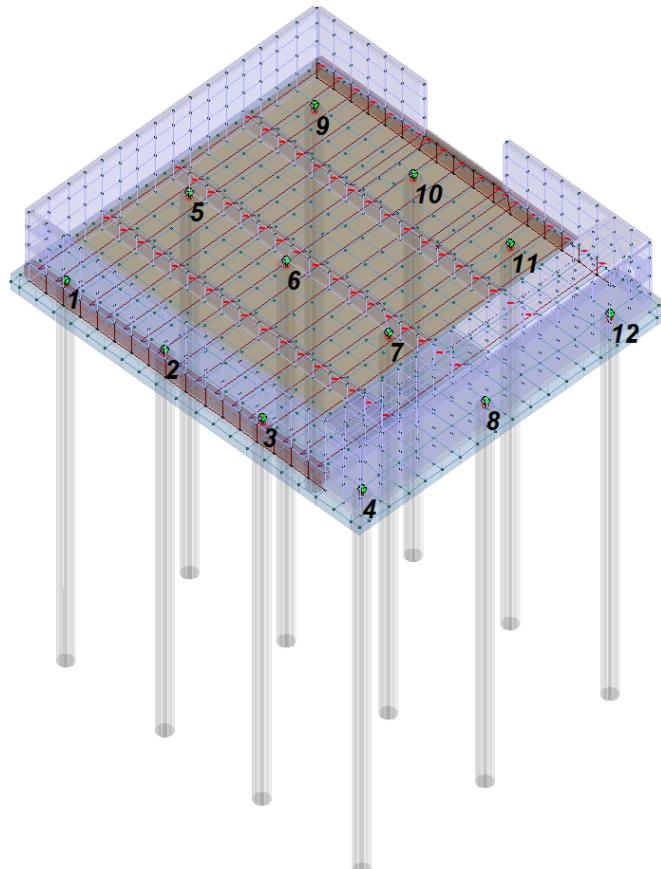


Figura 4 - Numerazione Pali di Fondazione

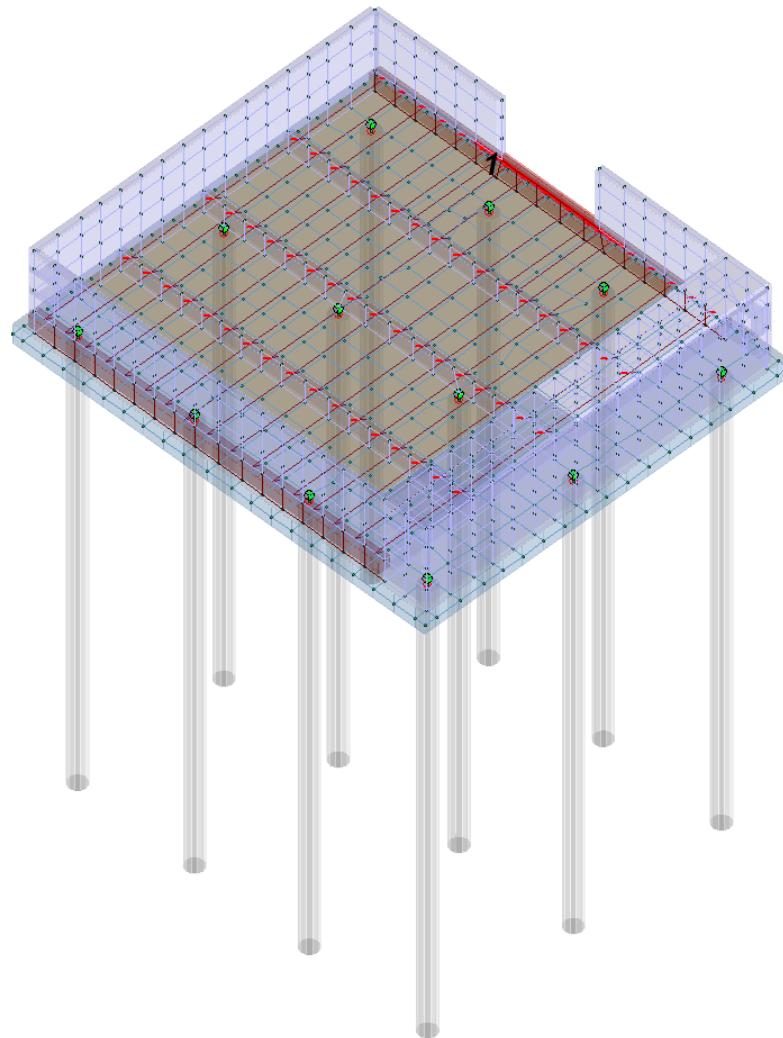


Figura 5 - Numerazione della trave (Elemento in rosso)

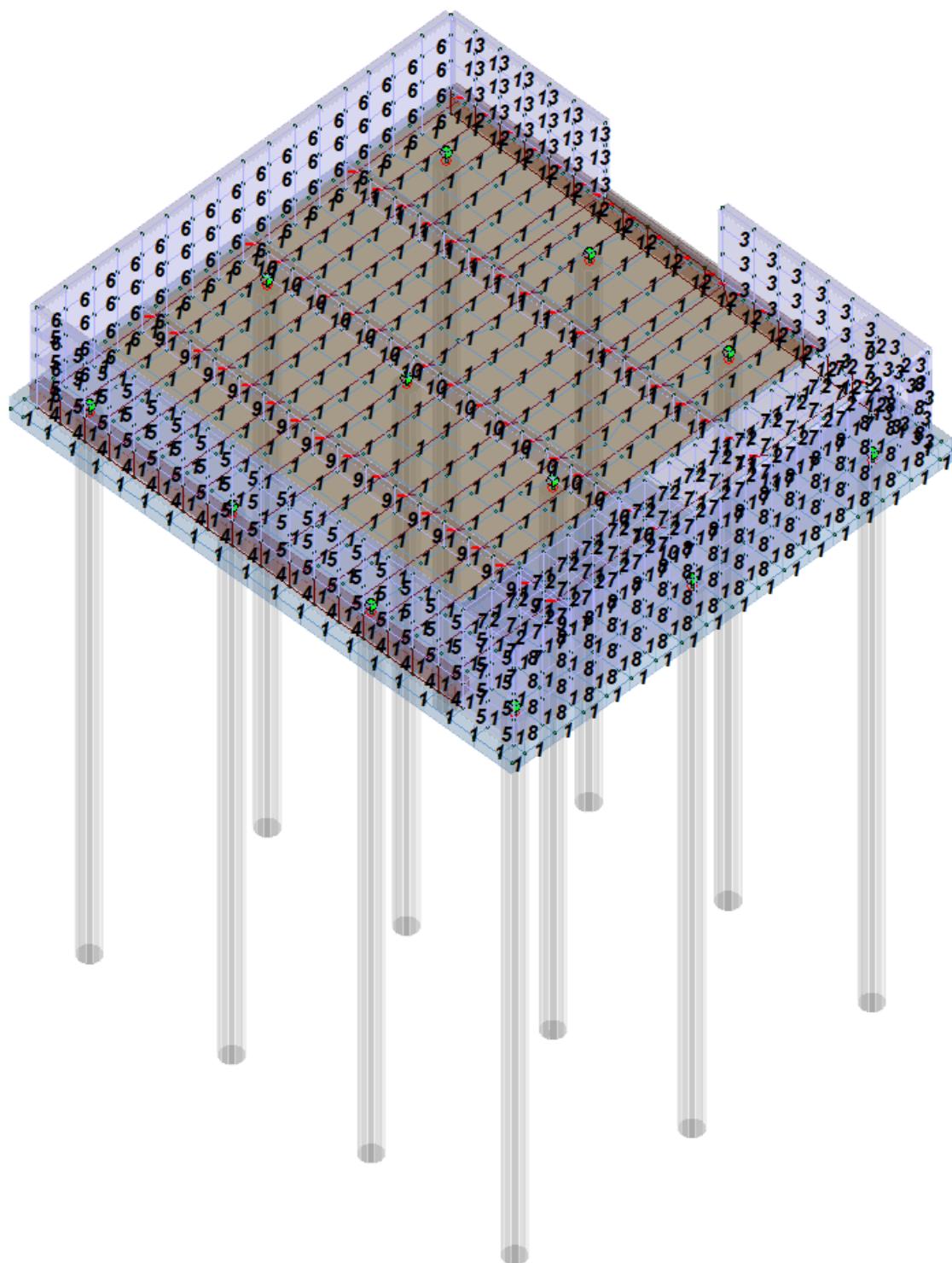


Figura 6 - Numerazione setti e piastre

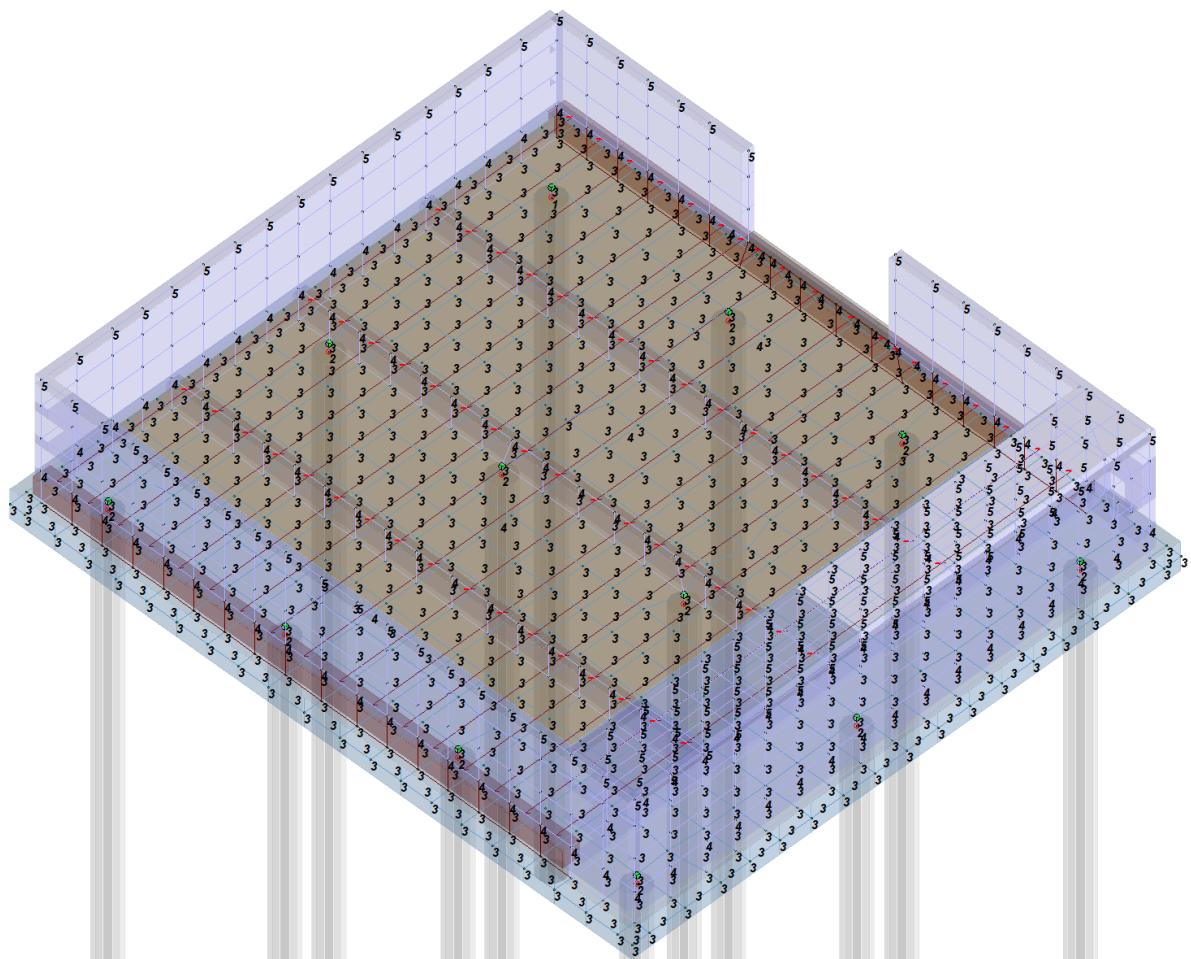


Figura 7 - Numerazione impalcati

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

TABELLA\_SEZIONI

Id	Tipo SEZ	Area	A V2	A V3	Jt	J 2-2	J 3-3	W 2-2	W 3-3	Wp 2-2	Wp 3-3
-	-	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>
1	Rettangolare: b=30.00 h =30.00	900.00	750.00	750.00	1.139e+05	6.750e+04	6.750e+04	4500.00	4500.00	6750.00	6750.00
15	link - Circolare: r=30	2827.43	2385.62	2385.62	1.272e+06	6.362e+05	6.362e+05	2.121e+04	2.121e+04	3.600e+04	3.600e+04

Legenda

Tipo SEZ	Indica il nome identificativo e la tipologia di sezione
Area	Area della sezione
A V2	Area della sezione/Fattore di taglio (direzione 2)
A V3	Area della sezione/Fattore di taglio (direzione 3)
Jt	Momento di inerzia torsionale della sezione
J 2-2	Momento di inerzia della sezione riferito all'Asse 2
J 3-3	Momento di inerzia della sezione riferito all'Asse 3
W 2-2	Modulo di resistenza della sezione riferito all'Asse 2
W 3-3	Modulo di resistenza della sezione riferito all'Asse 3
Wp 2-2	Modulo di resistenza plastico della sezione riferito all'Asse 2
Wp 3-3	Modulo di resistenza plastico della sezione riferito all'Asse 3



TABELLA_SPESSORI			
<b>Id</b>	<b>Spessore Gusci</b>	<b>Spessore Setti</b>	<b>Sp. solai piano rigido</b>
-	cm	cm	cm
1	30.00	30.00	-
2	-	40.00	-
3	70.00	-	-

Legenda

Spessore Gusci

Spessore Setti

Spessore degli elementi shell con sviluppo orizzontale

Spessore degli elementi shell con sviluppo verticale

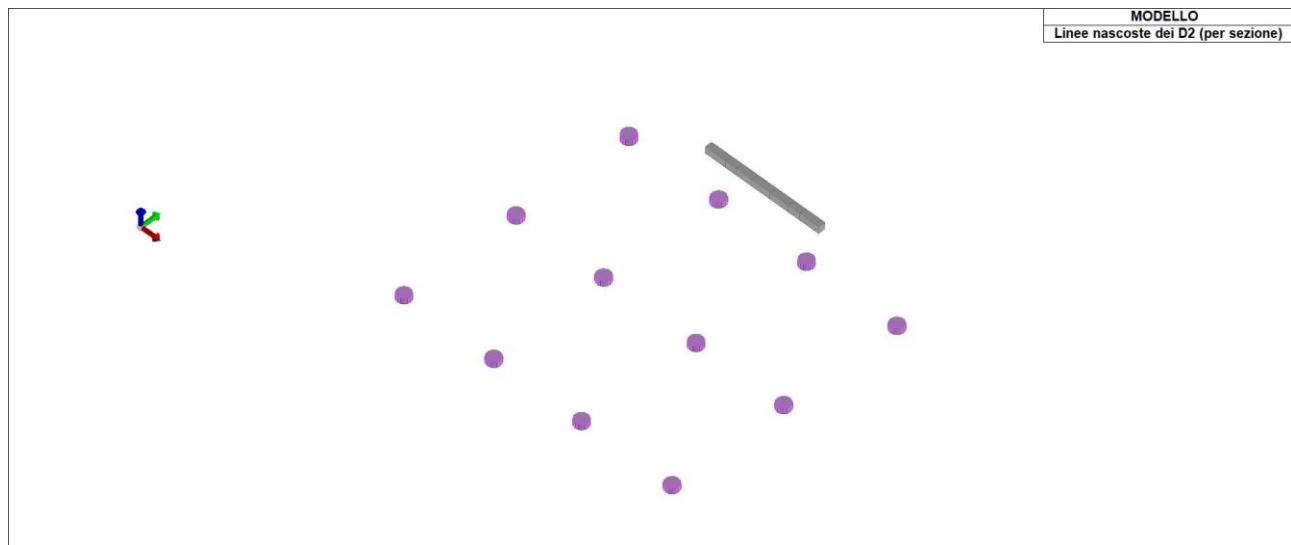


Figura 8 - Rappresentazione della trave e dei pali (elementi D2 in Prosap) nella Grafica linee nascoste.

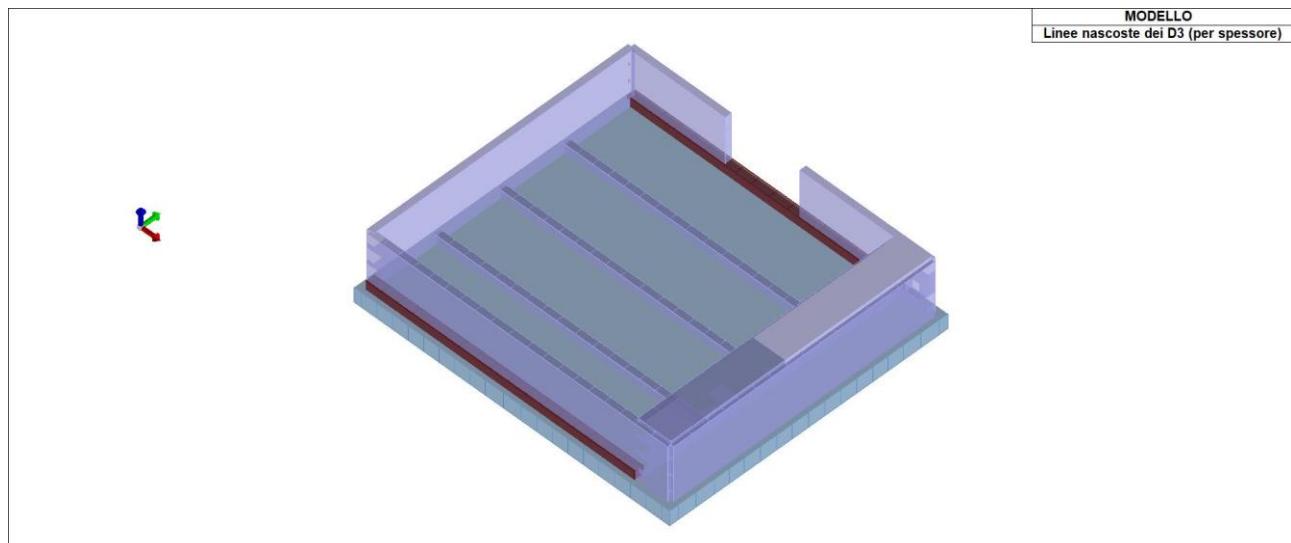


Figura 9 - Rappresentazione dei setti e piastre (elementi D3 in Prosap) nella Grafica linee nascoste.



### 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 -

		<b>Calcestruzzo Classe C32/40</b>		
<b>Id</b>	<b>-</b>			<b>u.m.</b>
5				
		Resistenza caratteristica cubica Rck	400.0	daN/cm <sup>2</sup>
		Resistenza caratteristica cilindrica fck	332.0	daN/cm <sup>2</sup>
		Resistenza fctm	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 Rfessurata (assiale)	1.00	
		Rapporto Rfessurata (flessione)	1.00	
		Rapporto Rfessurata (taglio)	1.00	

##### [1]- PALI DI FONDAZIONE -

		<b>Calcestruzzo Classe C25/30</b>		
<b>Id</b>	<b>-</b>			<b>u.m.</b>
1				
		Resistenza caratteristica cubica Rck	300.0	daN/cm <sup>2</sup>
		Resistenza caratteristica cilindrica fck	249.0	daN/cm <sup>2</sup>
		Resistenza fctm	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 Rfessurata (assiale)	1.00	
		Rapporto Rfessurata (flessione)	1.00	
		Rapporto Rfessurata (taglio)	1.00	

##### [5]- MATERIALE PER ELEVAZIONE -

		<b>Calcestruzzo Classe C32/40</b>		
<b>Id</b>	<b>-</b>			<b>u.m.</b>
5				
		Resistenza caratteristica cubica Rck	400.0	daN/cm <sup>2</sup>
		Resistenza caratteristica cilindrica fck	332.0	daN/cm <sup>2</sup>
		Resistenza fctm	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 Rfessurata (assiale)	1.00	
		Rapporto Rfessurata (flessione)	1.00	
		Rapporto Rfessurata (taglio)	1.00	

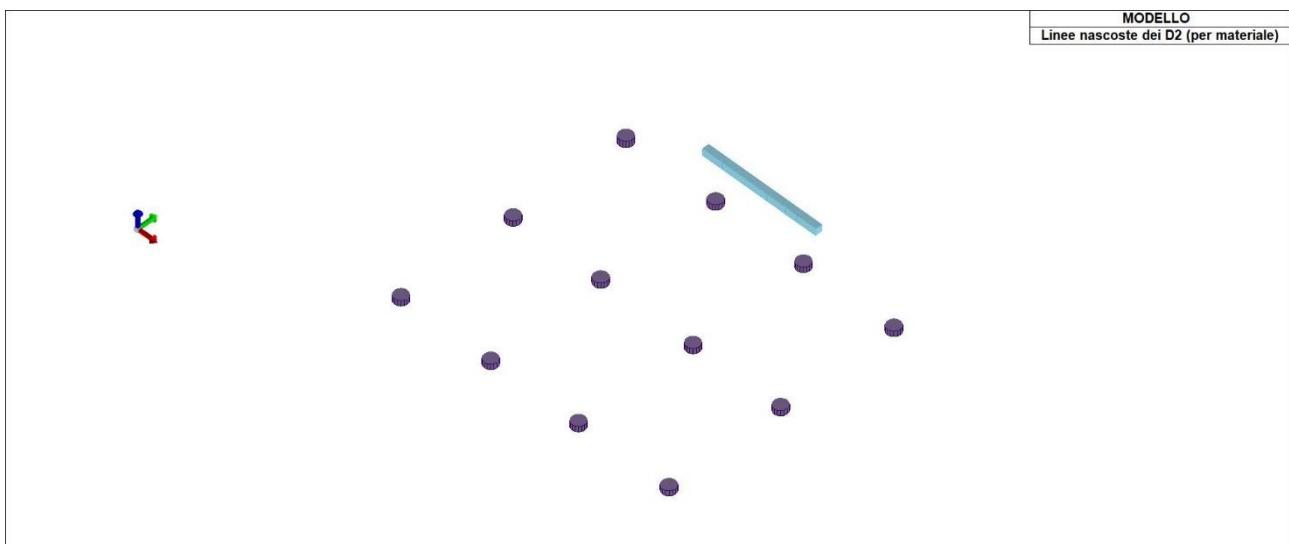


Figura 10 - Materiale assegnato alla trave e ai pali (elementi D2 in Prosap) nella grafica Linee Nascoste

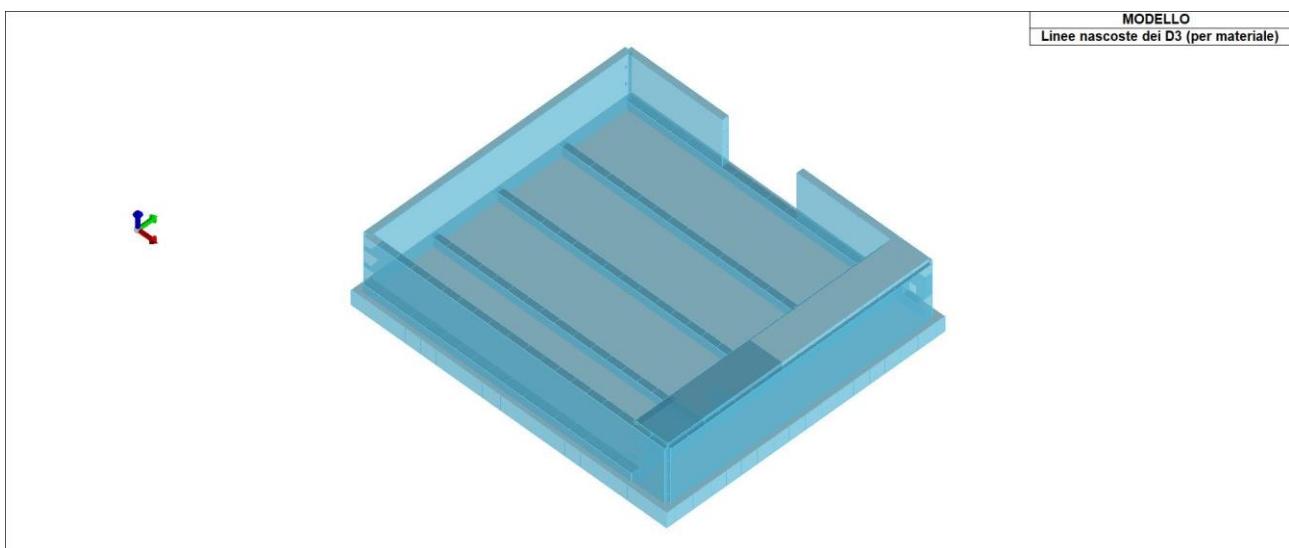


Figura 11 - Materiale assegnato ai setti e alle piastre (elementi D3 in Prosap) nella grafica Linee Nascoste



CARATTERISTICHE DEI MATERIALI			
	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
(ft/fy)k	$\geq 1,15$		10.0
	$< 1,35$		
$(f_y/f_{y \text{ nom}})k$		$\leq 1,25$	10.0
Allungamento	$(Agt)k$	$\geq 7,5\%$	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

Solaio massiccio in calcestruzzo armato, dello spessore di 18 cm da gettarsi in opera.

### Carichi permanenti strutturali [daN/mq]

- soletta piena (h = 18.0 cm)	450.0
<b>Totale carichi G1</b>	<b>450.0</b>

### Carichi permanenti portati [daN/mq]

- carico legna	1350.0
<b>Totale carichi G2</b>	<b>1350.0</b>

### Carichi variabili [daN/mq]

<b>Sovraccarico neve</b>	<b>80.0</b>
<b>Sovraccarico variabile Q</b>	<b>50.0</b>

Per la piastra si adottano i seguenti carichi in daN/mq:

Permanente G1	Permanente G2	Variabile Q	Neve
450.0	1350.0	50.0	80.0

Categoria carichi

Coefficienti di combinazione carichi variabili:  $\psi_0 = 0.70$ ,  $\psi_1 = 0.50$ ,  $\psi_2 = 0.30$

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

### 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:

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



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

Cr: coefficiente di ritorno in funzione del periodo di ritorno  $T_R$   
 Vr: 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,  $qr = \rho Vr^2 / 2 = 46$  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 innevate 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

MANDATORIA



MANDANTE



PROGETTISTA INDICATO



**BIOFILTRO B RELAZIONE DI  
 CALCOLO**

REV. 02

Pag. 18 di 86



$\alpha$  22

$c_{pe}$  0,29

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

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

$c_{pe} = 0,95$

$psoprv = 88,35 \text{ daN/mq}$

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;



- Ce: coefficiente di esposizione al vento;  
 Tr: periodo di ritorno di progetto espresso in anni;  
 as: altitudine del sito;  
 qsk: valore caratteristico del carico della neve al suolo (per  $T_r = 50$  anni);

Zona	Esposizione	C <sub>e</sub>	T <sub>r</sub>	a <sub>s</sub>	q <sub>sk</sub>
II	Zona normale	1,00	50 anni	200 m	100,00

Copertura a due falde:

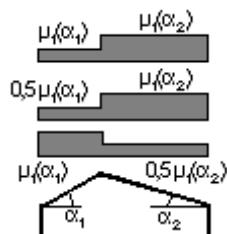
Angolo di inclinazione della falda  $\alpha_1 = 22,0^\circ$

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

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 <sub>s</sub>	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. 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,  $S_s$ , 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:



$$0 \leq T < T_B \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

$$0 \leq T < T_B \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

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 13.716, Latitudine 43.160 (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):

ag: accelerazione orizzontale massima del terreno;

Fo: 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 Vn	Coeff. Uso	Periodo Vr	Tipo di suolo	Categoria topografica	Quota relativa
	[anni]		[anni]			[%]
III	50.0	0.7	35.0	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	<b>RSL - SLV</b>
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	<b>RSL - SLD</b>
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	<b>RSL - SLO</b>
TR	45
ag0	0,097
F0	2,502
T*C	0,472
Vn	2
Classe d'uso	III
St	1,2
Ss	1,554

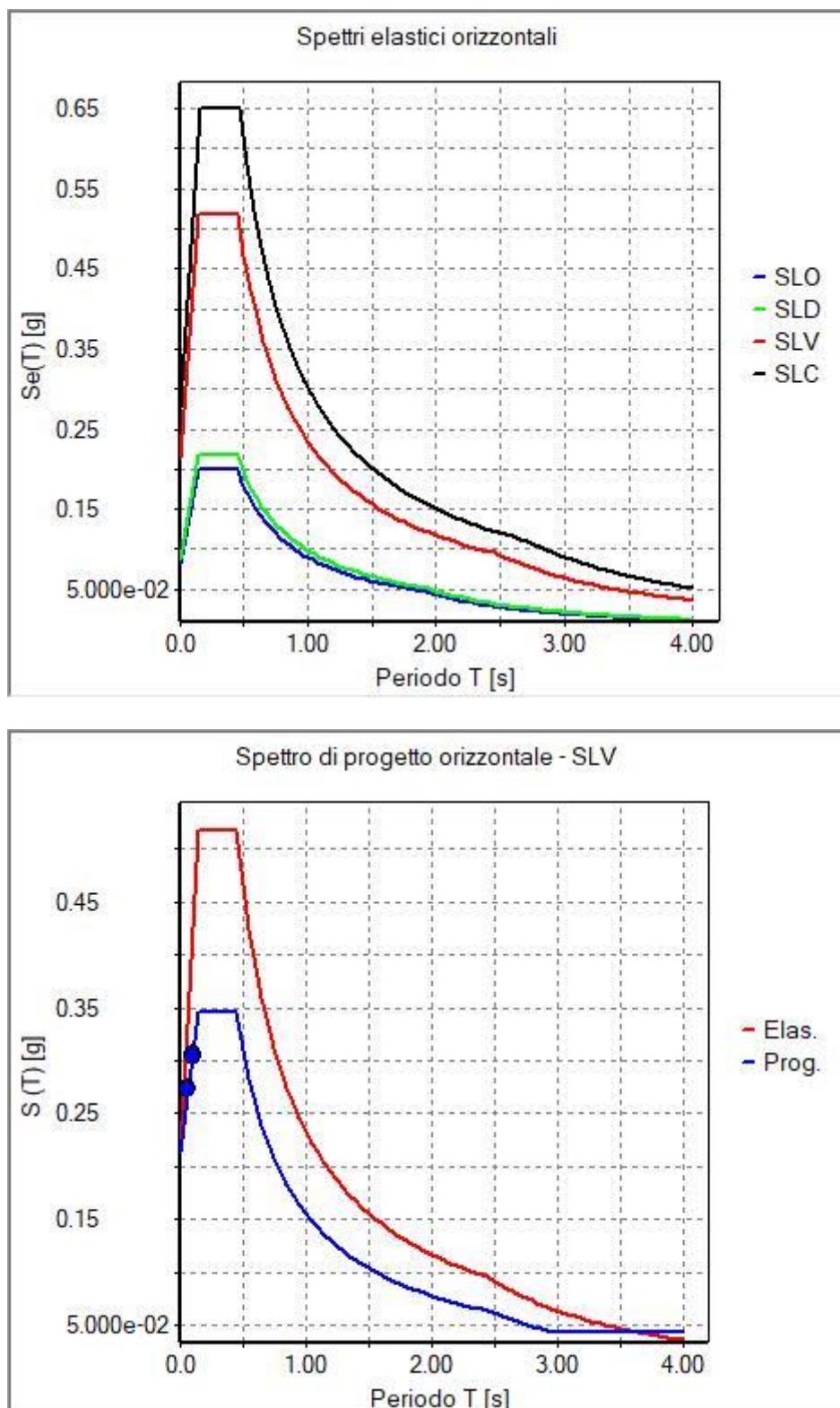
## 5.1 CALCOLO FATTORE DI COMPORTAMENTO

<b>Principali caratteristiche della struttura</b>	
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	NO

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

<b>Fattori di comportamento utilizzati SLD</b>	
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 SPETTRI di input sismico e le caratteristiche dinamiche proprie della struttura, pertanto in assenza di eccentricità aggiuntive:





ANALISI_MODALA_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 cm <sup>2</sup>	-
1	9.28	0.11	4.2	0	4.131e+05	96	1.0	0	1.165e+06	6
2	9.39	0.11	4.160e+05	96	3.1	0	9.78e-06	0	289.4	0
3	9.77	0.10	21.6	0	481.0	0	7.30e-05	0	1.596e+07	92
4	14.25	0.07	22.3	0	52.8	0	4.275e+05	99	115.3	0
5	14.66	0.07	265.7	0	1.558e+04	3	1228.4	0	1.725e+04	0
6	14.75	0.07	1.307e+04	3	284.8	0	525.8	0	95.5	0

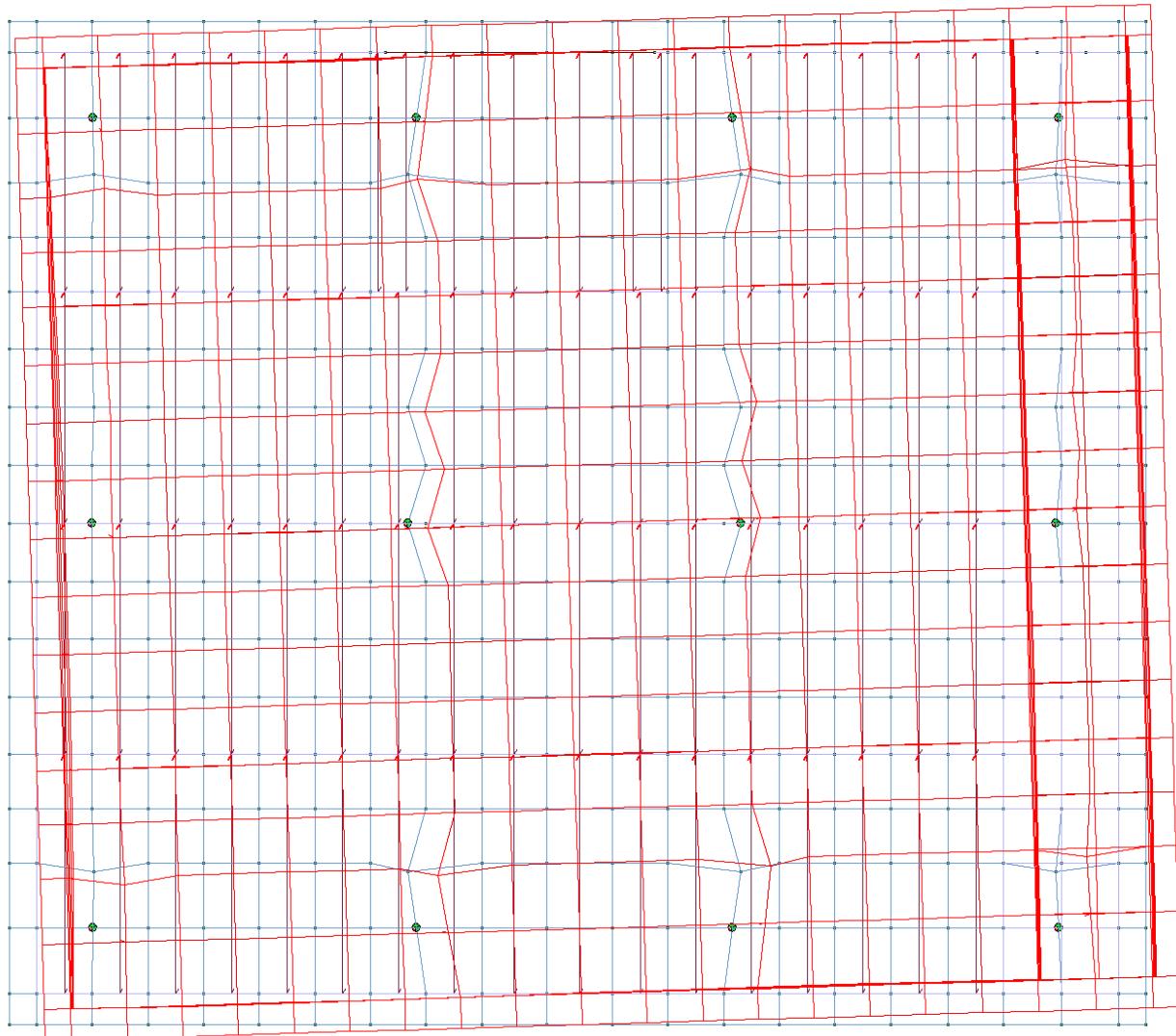


Figura 12 - 1° periodo proprio (Prevalentemente traslazione lungo l'asse x)

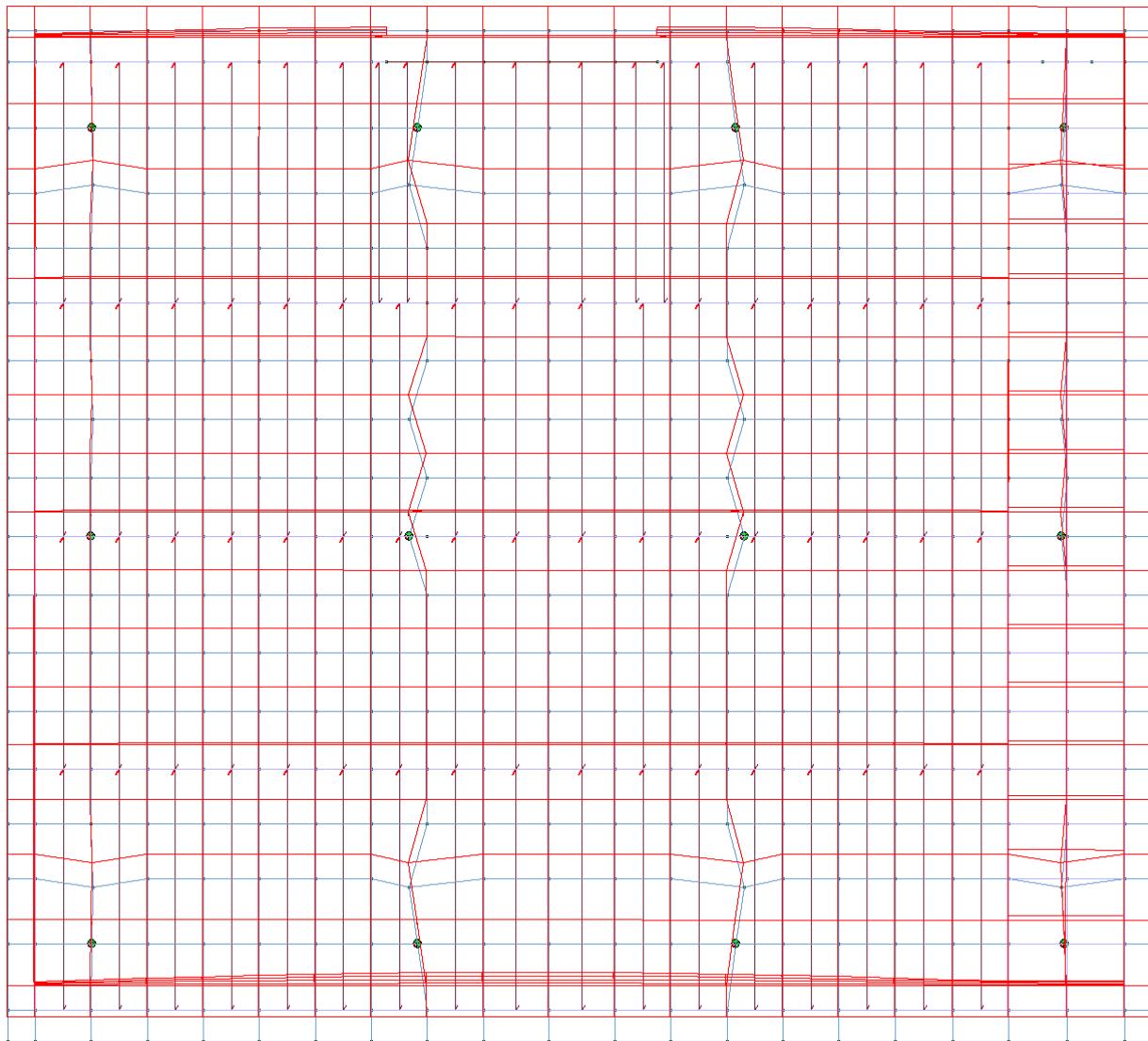


Figura 13 - II° periodo proprio (Prevalentemente traslazione lungo l'asse y)

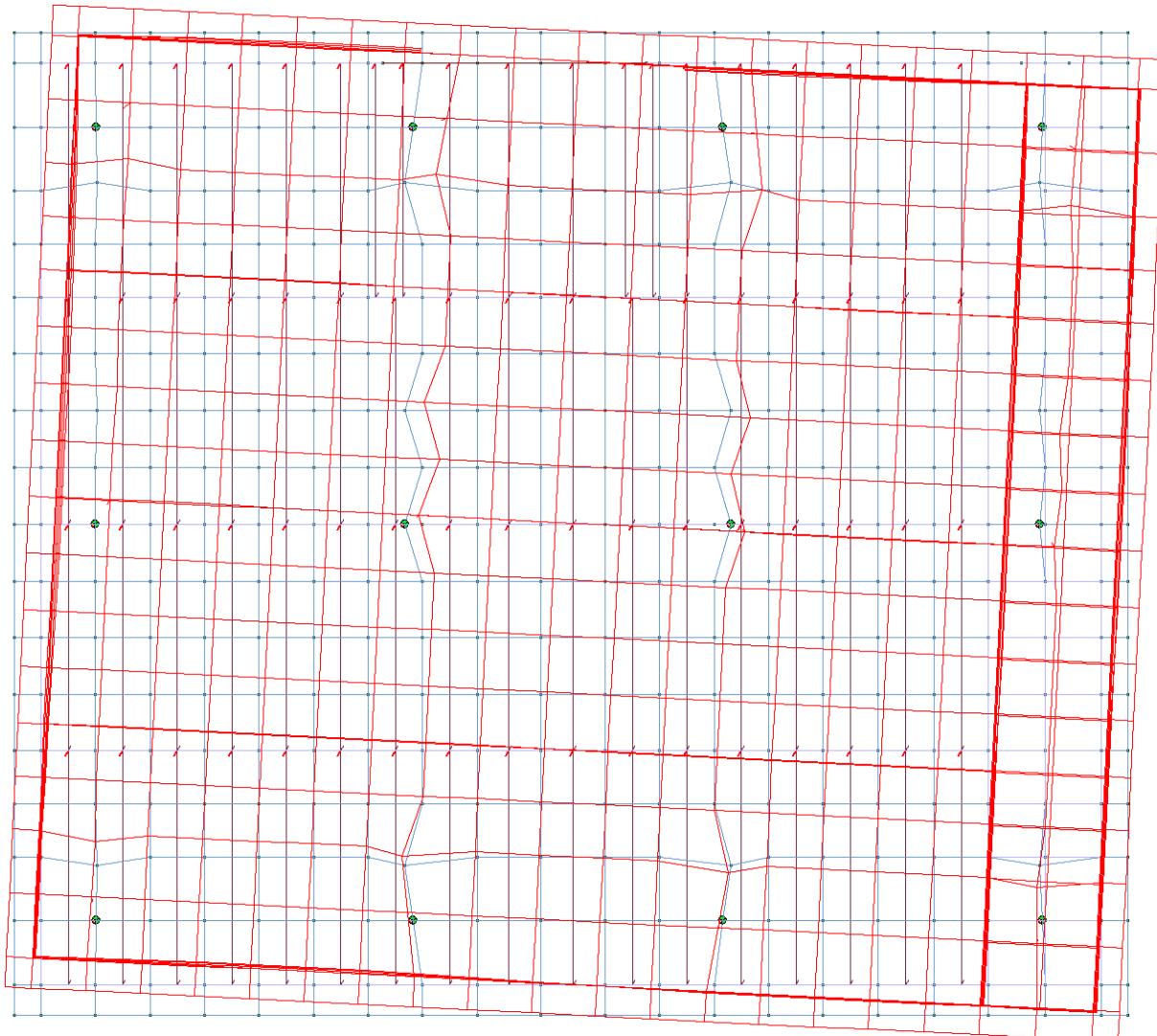


Figura 14 - III<sup>o</sup> periodo proprio (Prevalentemente torsione)



## 6. SCHEMATIZZAZIONE DEI CASI DI CARICO

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

<b>Numero</b>	<b>Nome</b>	<b>Descrizione</b>
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	Gsk	CDC=G1sk (permanente solai-coperture)	
3	Gsk	CDC=G2sk (permanente solai-coperture n.c.d.)	
4	Qsk	CDC=Qsk (variabile solai)	
5	Qnk	CDC=Qnk (carico da neve)	
6	Qtk	CDC=Qtk (carico termico) dT= -10.00	variazione termica:-10.00
7	Qk	CDC=Qk (variabile generico) dT=+42	
8	Qk	CDC=Qk (variabile generico) neve	
9	Gk	CDC=G1k (permanente generico) Pann_rim_pann	
10	Edk	CDC=Ed (dinamico SLU) alfa=0.0 (ecc. +)	
11	Edk	CDC=Ed (dinamico SLU) alfa=0.0 (ecc. -)	
12	Edk	CDC=Ed (dinamico SLU) alfa=90.00 (ecc. +)	
13	Edk	CDC=Ed (dinamico SLU) alfa=90.00 (ecc. -)	
14	Edk	CDC=Ed (dinamico SLD) alfa=0.0 (ecc. +)	
15	Edk	CDC=Ed (dinamico SLD) alfa=0.0 (ecc. -)	
16	Edk	CDC=Ed (dinamico SLD) alfa=90.00 (ecc. +)	
17	Edk	CDC=Ed (dinamico SLD) alfa=90.00 (ecc. -)	
18	Qvk	CDC=Qvk (carico da vento) dir X +	
19	Qvk	CDC=Qvk (carico da vento) dir X -	
20	Qvk	CDC=Qvk (carico da vento) dir Y +	
21	Qvk	CDC=Qvk (carico da vento) dir Y -	

## Legenda

**Tipo CDC** Indica il tipo di caso di carico



## 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**

$$\gamma G_1 \cdot G_1 + \gamma G_2 \cdot G_2 + \gamma P \cdot P + \gamma Q_1 \cdot Qk_1 + \gamma Q_2 \cdot \psi Q_2 \cdot Qk_2 + \gamma Q_3 \cdot \psi Q_3 \cdot Qk_3 + \dots$$

**Combinazione caratteristica (rara) SLE**

$$G_1 + G_2 + P + Qk_1 + \psi Q_2 \cdot Qk_2 + \psi Q_3 \cdot Qk_3 + \dots$$

**Combinazione frequente SLE**

$$G_1 + G_2 + P + \psi Q_1 \cdot Qk_1 + \psi Q_2 \cdot Qk_2 + \psi Q_3 \cdot Qk_3 + \dots$$

**Combinazione quasi permanente SLE**

$$G_1 + G_2 + P + \psi Q_1 \cdot Qk_1 + \psi Q_2 \cdot Qk_2 + \psi Q_3 \cdot Qk_3 + \dots$$

**Combinazione sismica**, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E  
 $E + G_1 + G_2 + P + \psi Q_1 \cdot Qk_1 + \psi Q_2 \cdot Qk_2 + \psi Q_3 \cdot Qk_3 + \dots$

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

$$A_d + G_1 + G_2 + P + \psi Q_1 \cdot Qk_1 + \psi Q_2 \cdot Qk_2 + \psi Q_3 \cdot Qk_3 + \dots$$

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 $\leq 30kN$ )	0,70	0,70	0,60
Categoria G Rimesse e parcheggi (autoveicoli $> 30kN$ )	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

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.

Per lo svolgimento del calcolo si è accettata l'ipotesi di sollecitazione ed è stato adottato il metodo degli elementi finiti (F.E.M.).

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

1. 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.
2. 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.
3. 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 inviluppando tutte le combinazioni di carico prese in considerazione.

Inoltre, si riferisce sempre in generale che per quanto riguarda le aste in acciaio o in legno le verifiche vengono eseguite in modo a prescindere di trave o pilastro della stessa. 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.

<b>Tipo di analisi strutturale</b>	
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	SI
SLD	SI
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

TABELLA\_COMBINAZIONI

Tipo CMB	Da	Da	A	A
			Id	Nome
-	Id	Nome	Id	Nome
SLU	1	Comb. SLU A1 1	16	Comb. SLU A1 16
SLV	17	Comb. SLU A1 17	104	Comb. SLU A1 104
SLE rara	105	Comb. SLE(rara) 105	156	Comb. SLE(rara) 156
SLE frequente	157	Comb. SLE(freq.) 157	163	Comb. SLE(freq.) 163
SLE quasi permanente	164	Comb. SLE(perm.) 164		
SLC	165	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 165	196	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 196
SLD	197	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 197	228	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 228

### Legenda

Tipo CMB Indica la categoria di combinazione

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	



<b>Cmb</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sigla Id</b>	<b>effetto P-delta</b>
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	
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	



Cmb	Tipo	Sigla Id	effetto P-delta
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	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 105	
106	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 106	
107	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 107	
108	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 108	
109	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 109	
110	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 110	
111	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 111	
112	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 112	
113	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 113	
114	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 114	
115	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 115	
116	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 116	
117	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 117	
118	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 118	
119	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 119	
120	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 120	
121	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 121	
122	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 122	
123	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 123	
124	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 124	
125	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 125	
126	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 126	
127	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 127	
128	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 128	
129	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 129	
130	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 130	
131	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 131	
132	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 132	
133	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 133	
134	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 134	
135	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 135	
136	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 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(f)	Comb. SLE(freq.) 157	
158	SLE(f)	Comb. SLE(freq.) 158	
159	SLE(f)	Comb. SLE(freq.) 159	
160	SLE(f)	Comb. SLE(freq.) 160	
161	SLE(f)	Comb. SLE(freq.) 161	

**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**

<b>Cmb</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sigla Id</b>	<b>effetto P-delta</b>
162	SLE(f)	Comb. SLE(freq.) 162	
163	SLE(f)	Comb. SLE(freq.) 163	
164	SLE(p)	Comb. SLE(perm.) 164	
165	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 165	
166	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 166	
167	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 167	
168	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 168	
169	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 169	
170	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 170	
171	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 171	
172	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 172	
173	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 173	
174	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 174	
175	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 175	
176	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 176	
177	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 177	
178	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 178	
179	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 179	
180	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 180	
181	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 181	
182	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 182	
183	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 183	
184	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 184	
185	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 185	
186	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 186	
187	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 187	
188	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 188	
189	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 189	
190	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 190	
191	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 191	
192	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 192	
193	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 193	
194	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 194	
195	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 195	
196	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 196	
197	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 197	
198	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 198	
199	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 199	
200	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 200	
201	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 201	
202	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 202	
203	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 203	
204	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 204	
205	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 205	
206	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 206	
207	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 207	
208	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 208	
209	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 209	
210	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 210	
211	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 211	
212	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 212	
213	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 213	
214	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 214	
215	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 215	
216	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 216	
217	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 217	

MANDATARIA

MANDANTE

PROGETTISTA INDICATO

**EdilAlta****Anaergia**  
Fueling a Sustainable World**OWAC**  
ENGINEERING COMPANY**BIOFILTRO B RELAZIONE DI  
CALCOLO**

REV. 02

Pag. 35 di 86



<b>Cmb</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sigla Id</b>	<b>effetto P-delta</b>
218	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 218	
219	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 219	
220	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 220	
221	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 221	
222	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 222	
223	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 223	
224	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 224	
225	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 225	
226	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 226	
227	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 227	
228	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 228	

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 inviluppo 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>

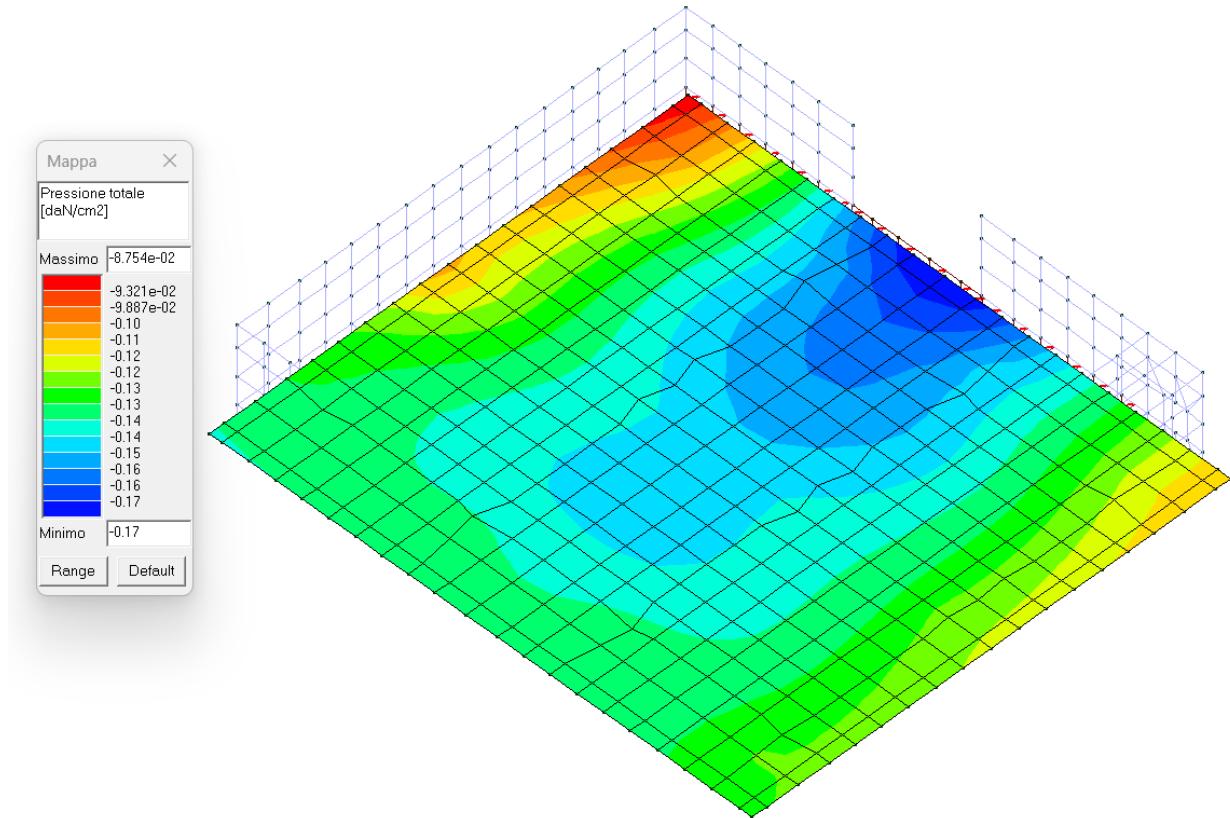


Figura 15 - MAX Pressione totale per la combinazione 16) SLU A1

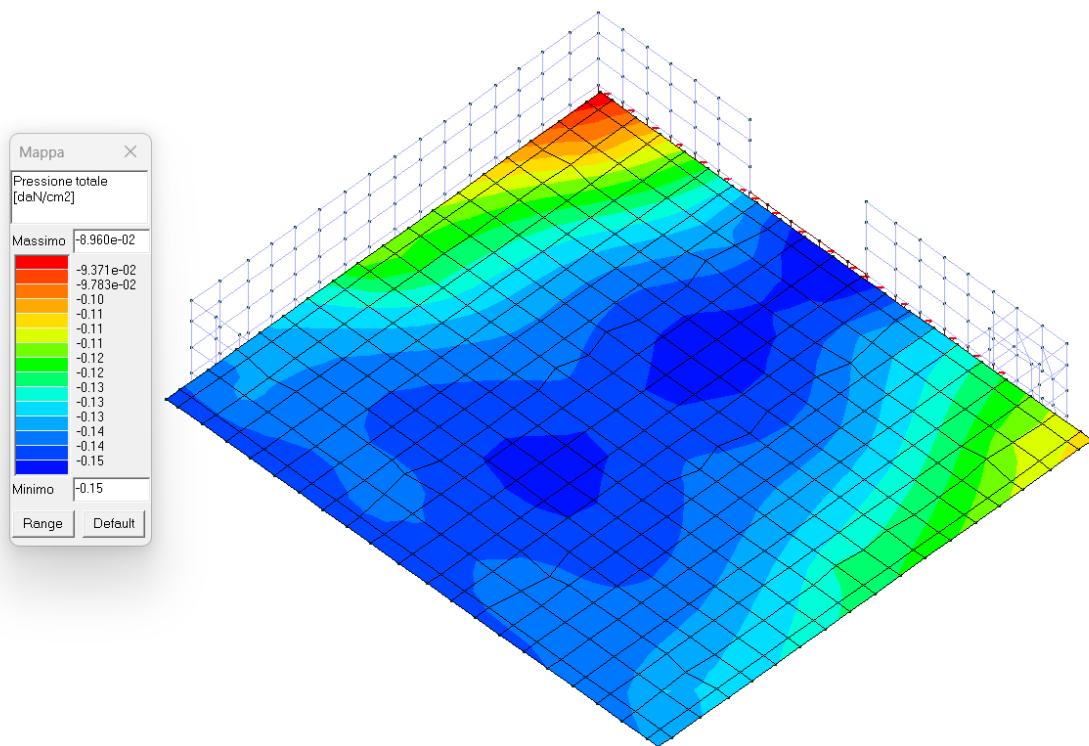


Figura 16 - MAX Pressione totale per la combinazione 155) SLE(rara)

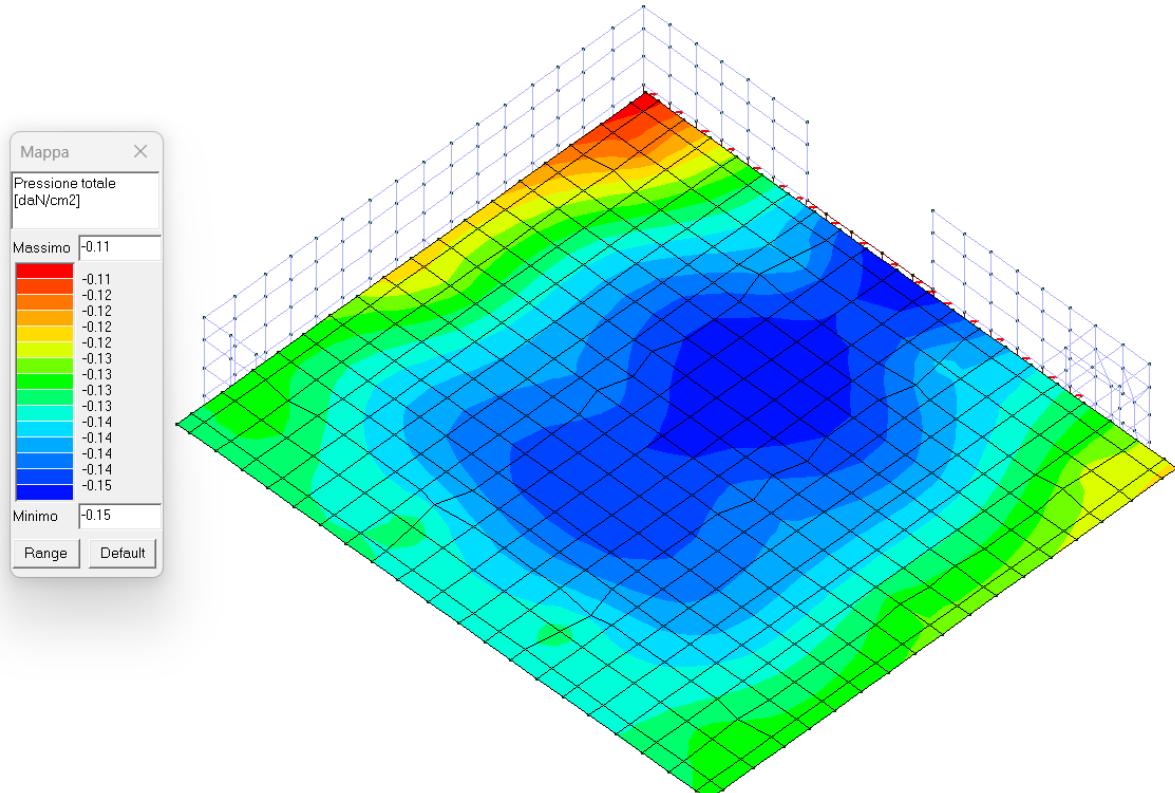


Figura 17 - MAX Pressione totale per la combinazione 159) SLE(freq.)

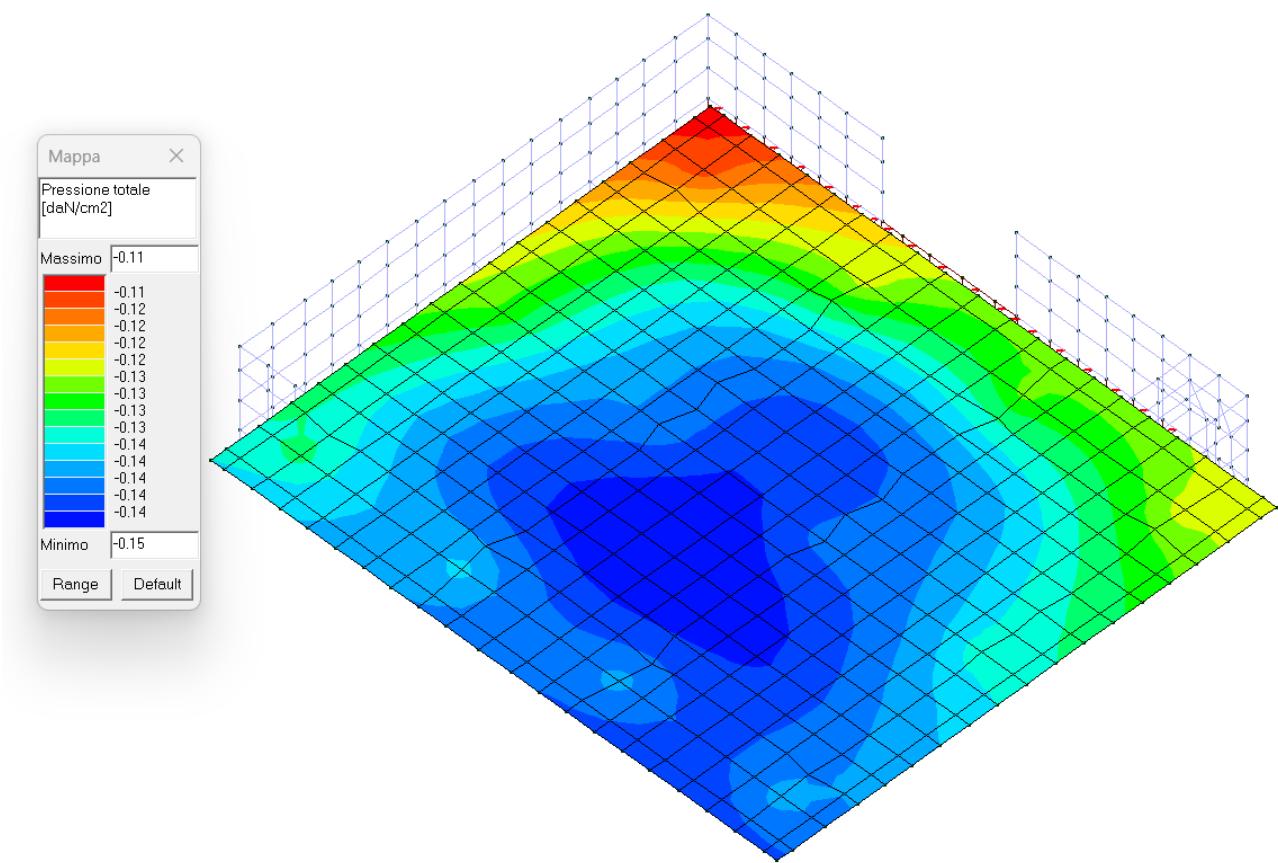


Figura 18 - MAX Pressione totale per la combinazione 194) SLU A1 (SLV sism.)

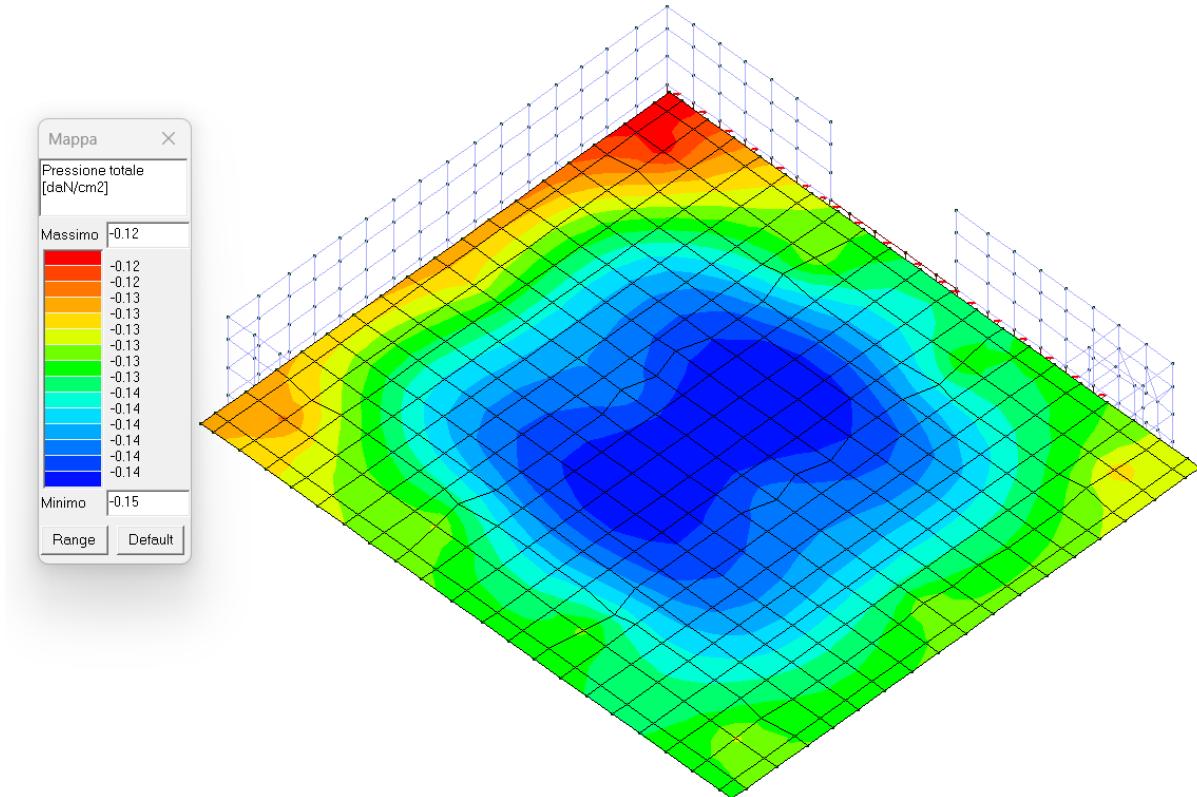


Figura 19 - MAX Pressione totale per la combinazione 204) SLE (SLD Danno sism.)

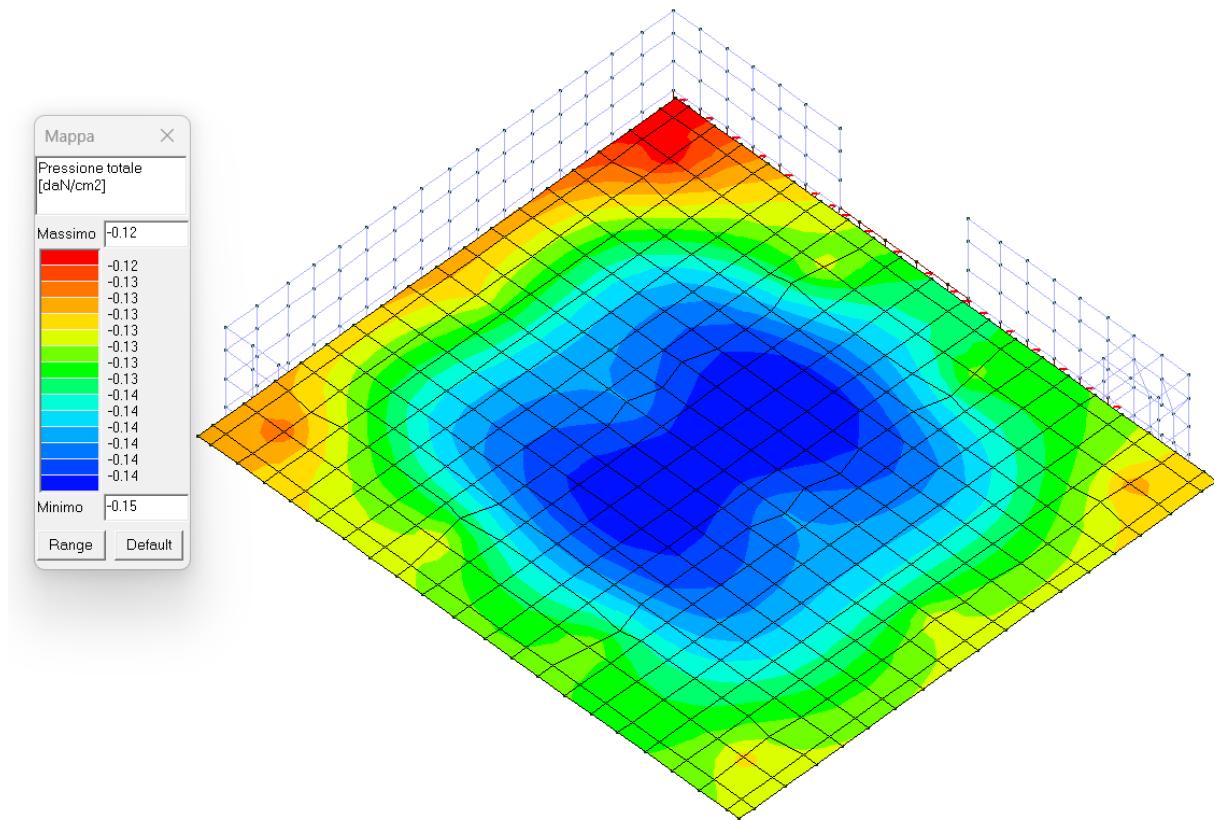


Figura 20 - Pressione totale per la combinazione 164) Comb. SLE (perm.)

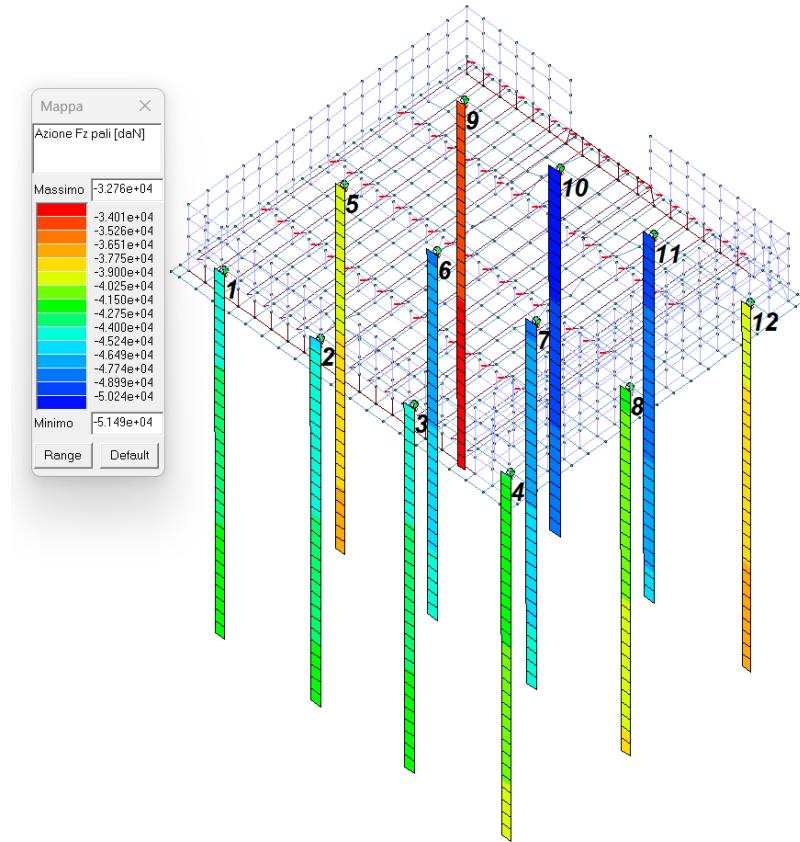


Figura 21 - MAX Azione Fz pali [daN] per la combinazione 16) SLU A1

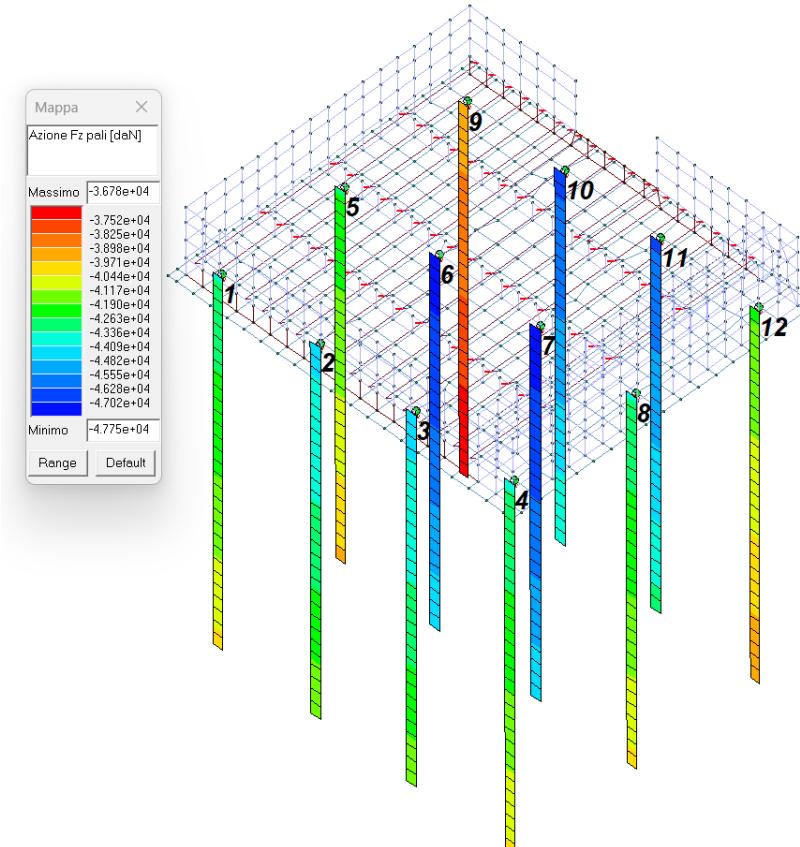


Figura 22 - MAX Azione Fz pali [daN] per la combinazione 159) SLE(freq.)

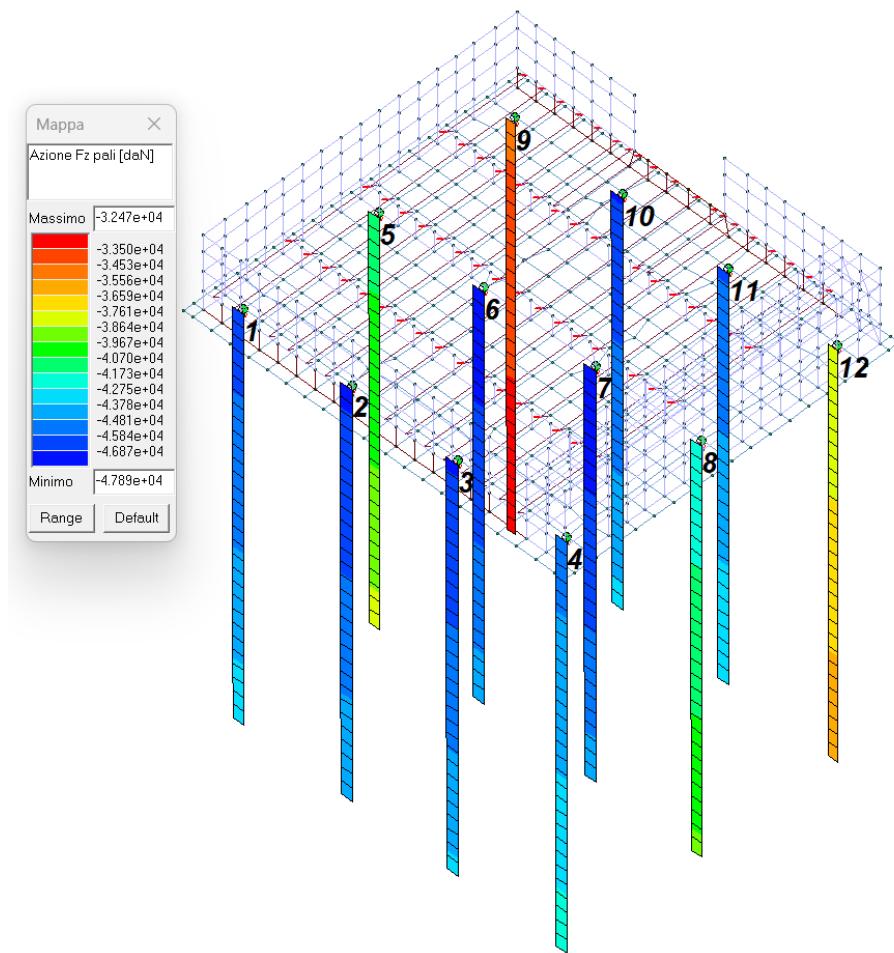


Figura 23 - MAX Azione  $F_z$  pali [daN] per la combinazione 155) SLE(rara)

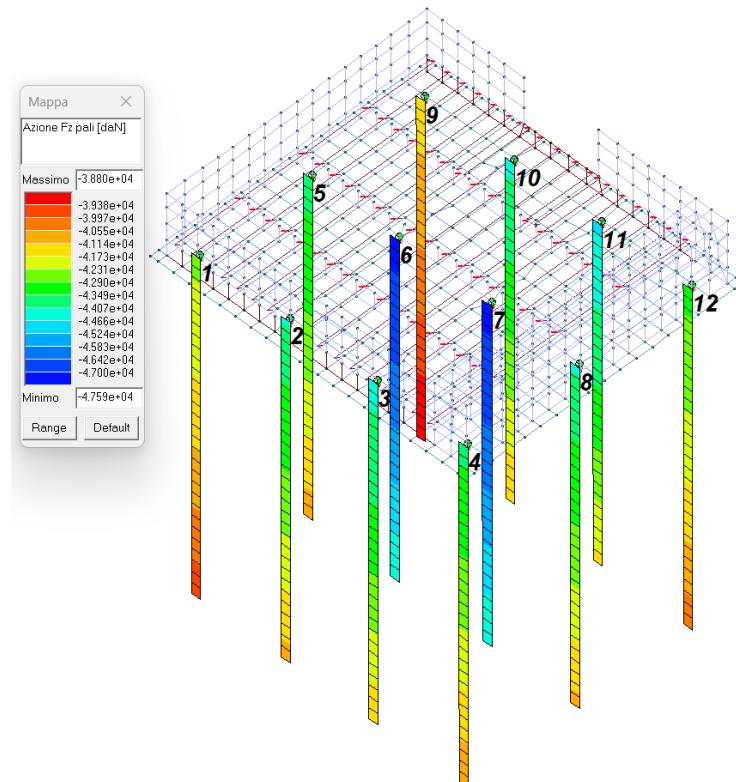


Figura 24 - MAX Azione  $F_z$  pali [daN] per la combinazione 164) SLE (perm.)

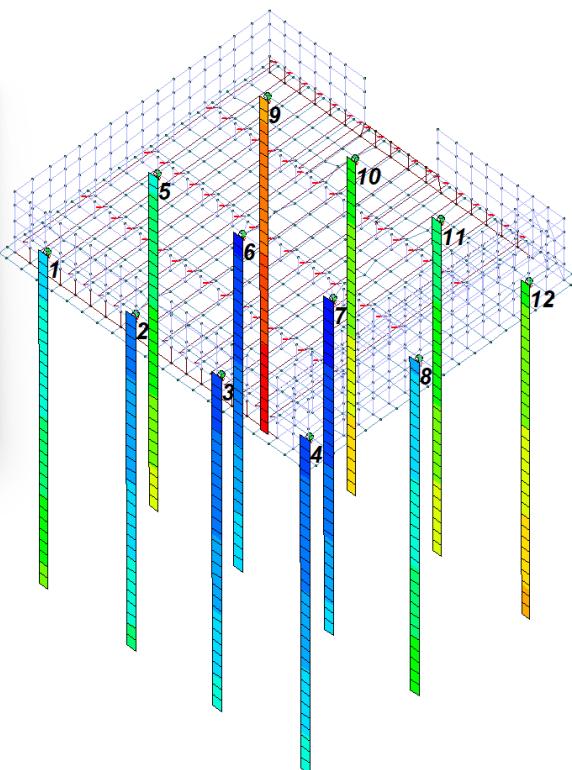
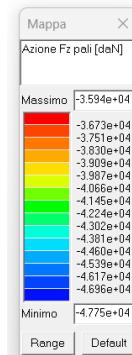


Figura 25 - MAX Azione Fz pali [daN] per la combinazione 194) SLU (SLV sism.)

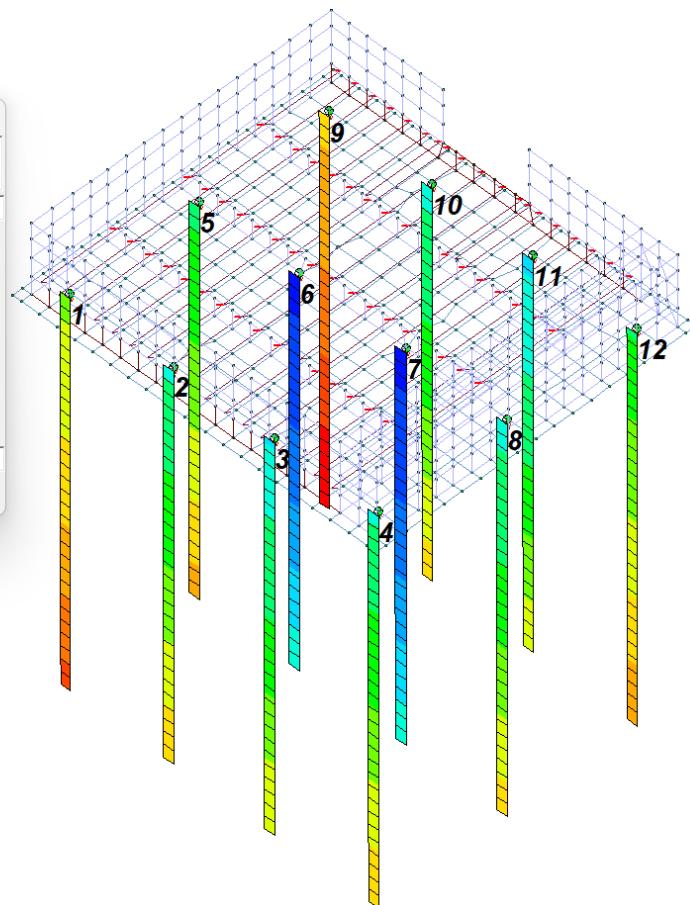
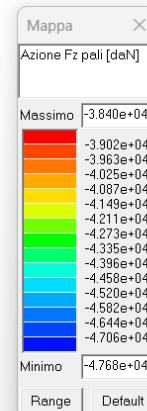


Figura 26 - MAX Azione Fz pali [daN] per la combinazione 204) SLE (SLD Danno sism.)



## DEFORMATE

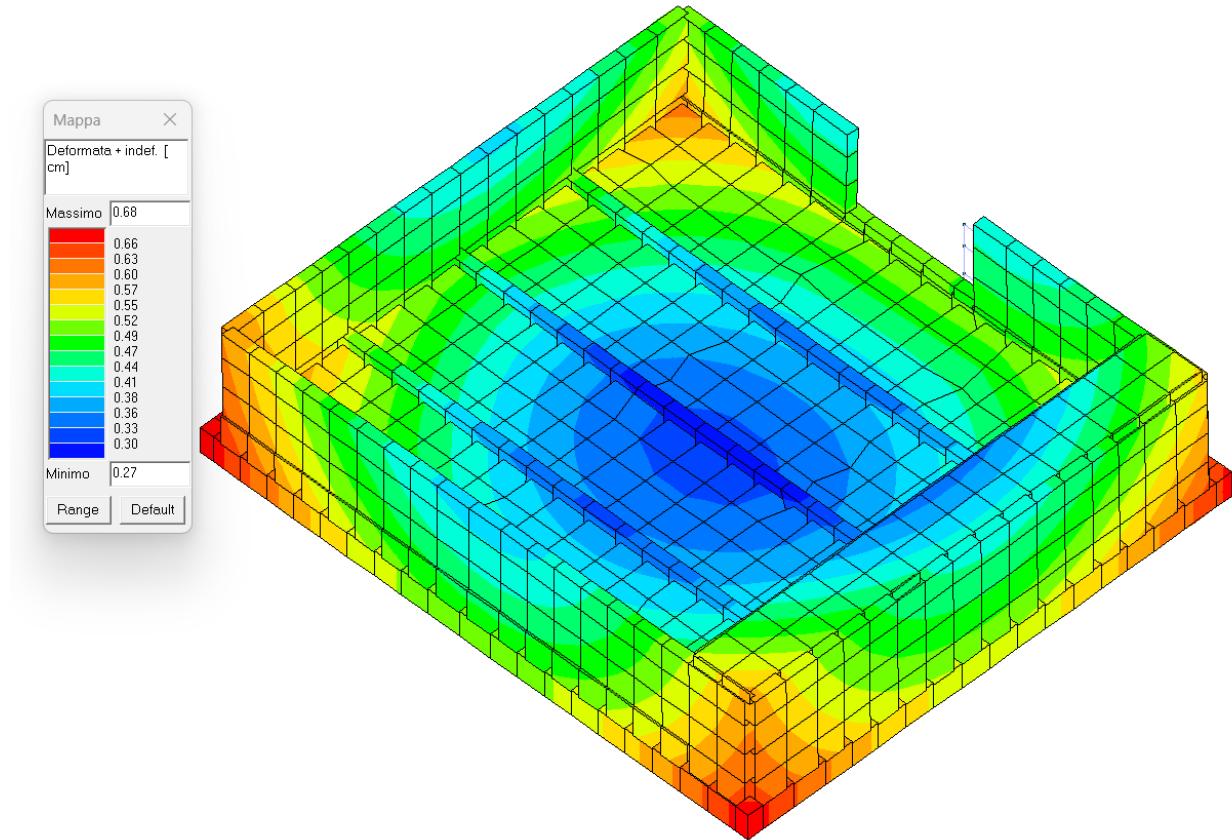


Figura 27 - MAX Deformata per la combinazione 15) SLU A1

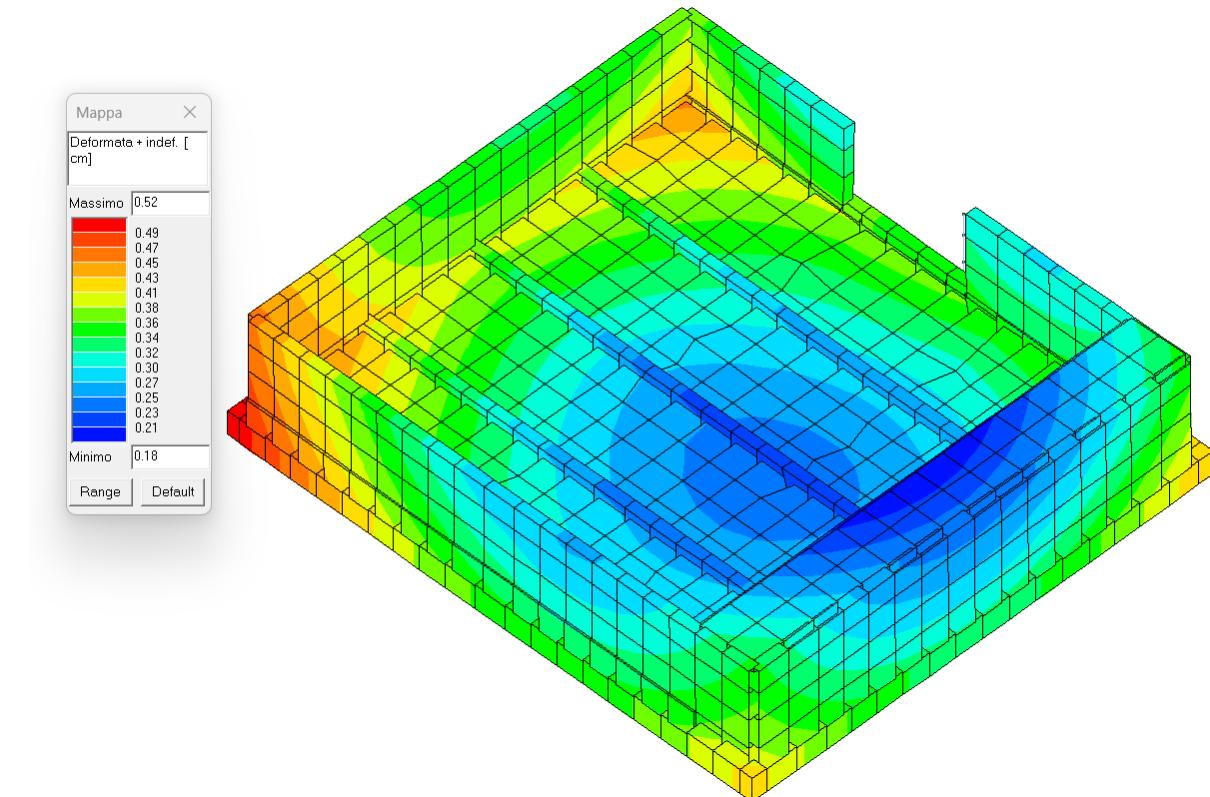


Figura 28 - MAX Deformata per la combinazione 133) SLE (rara)

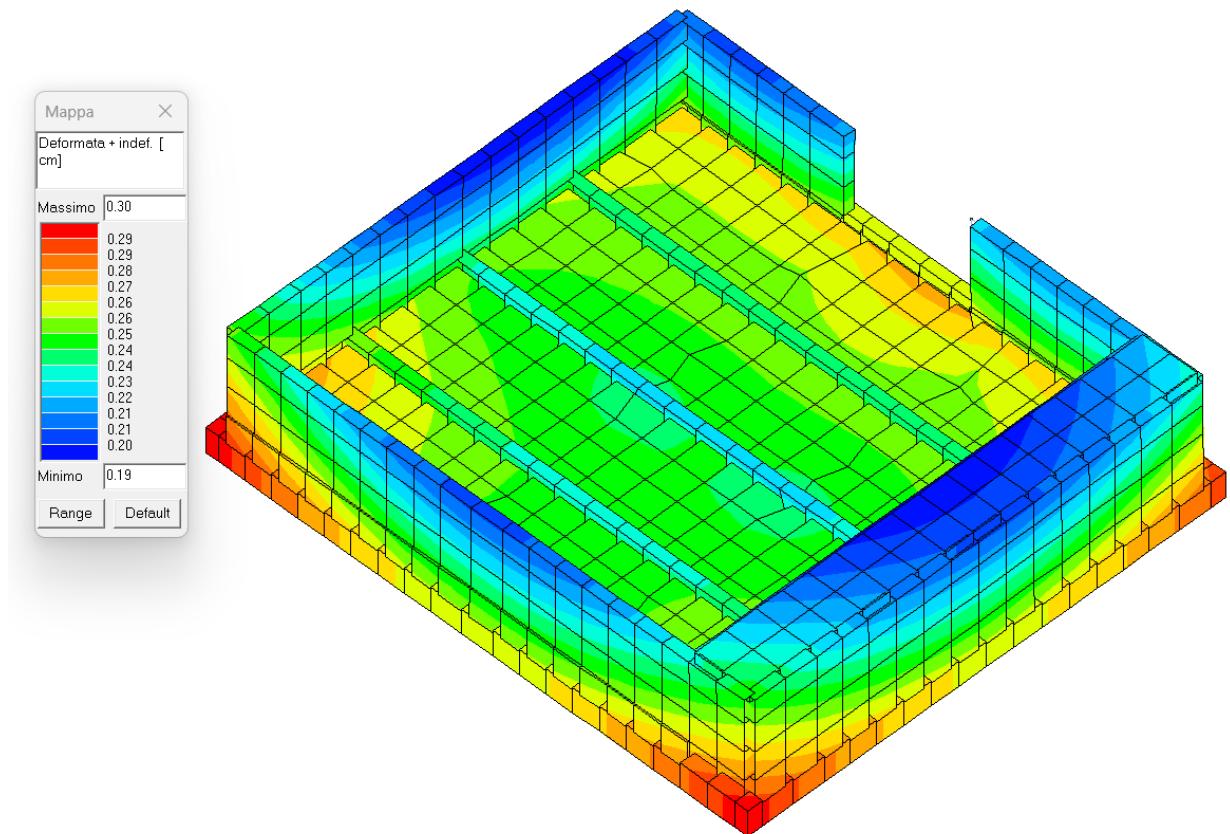


Figura 29 - MAX Deformata per la combinazione 159) SLE (freq)

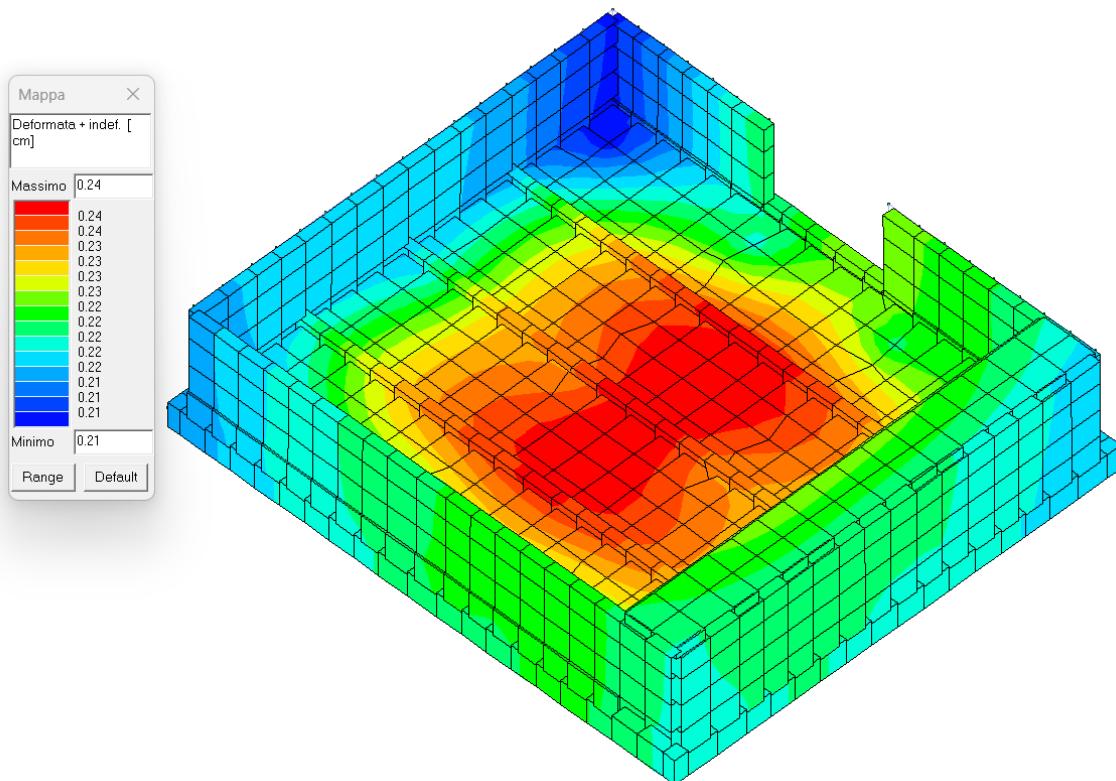


Figura 30 - MAX Deformata per la combinazione 164) SLE (perm.)

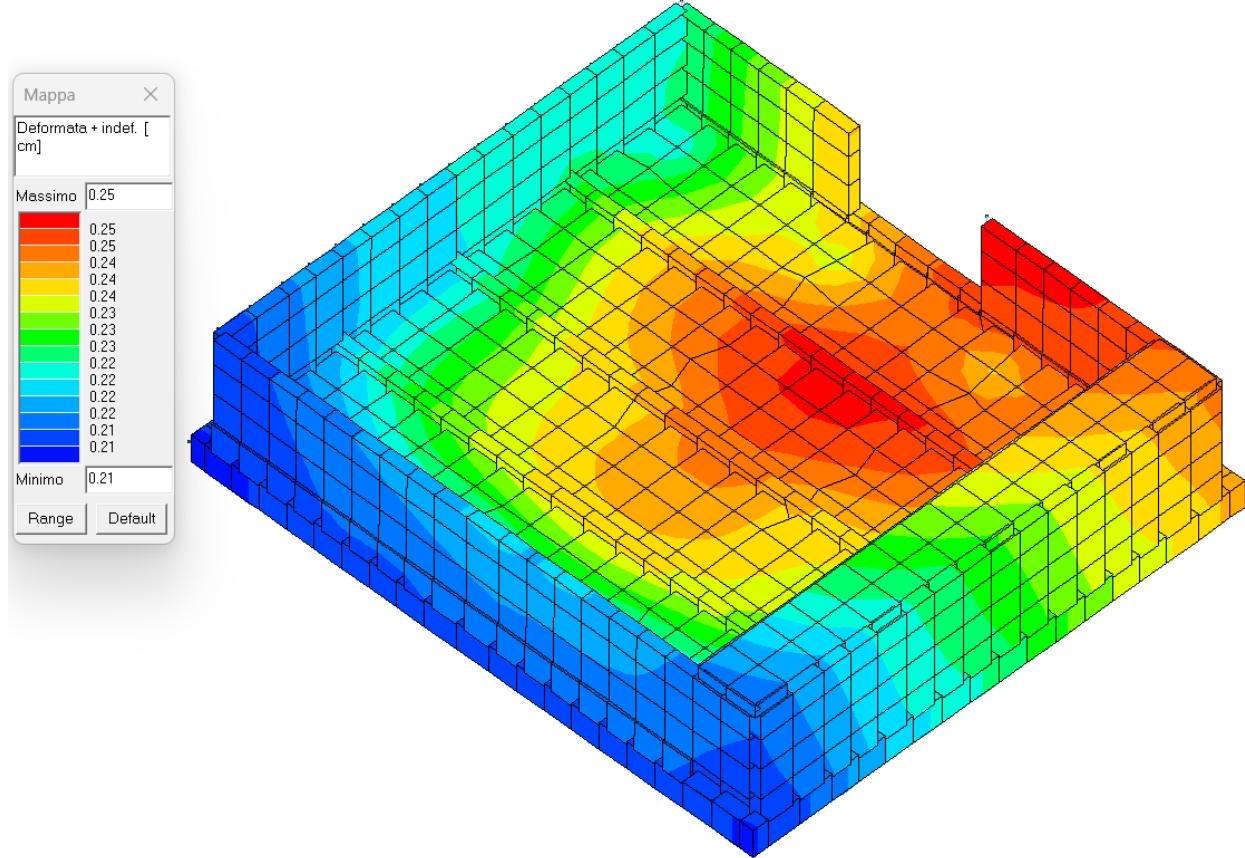


Figura 31 - MAX Deformata per la combinazione 187) SLU A1 (SLV sism.)

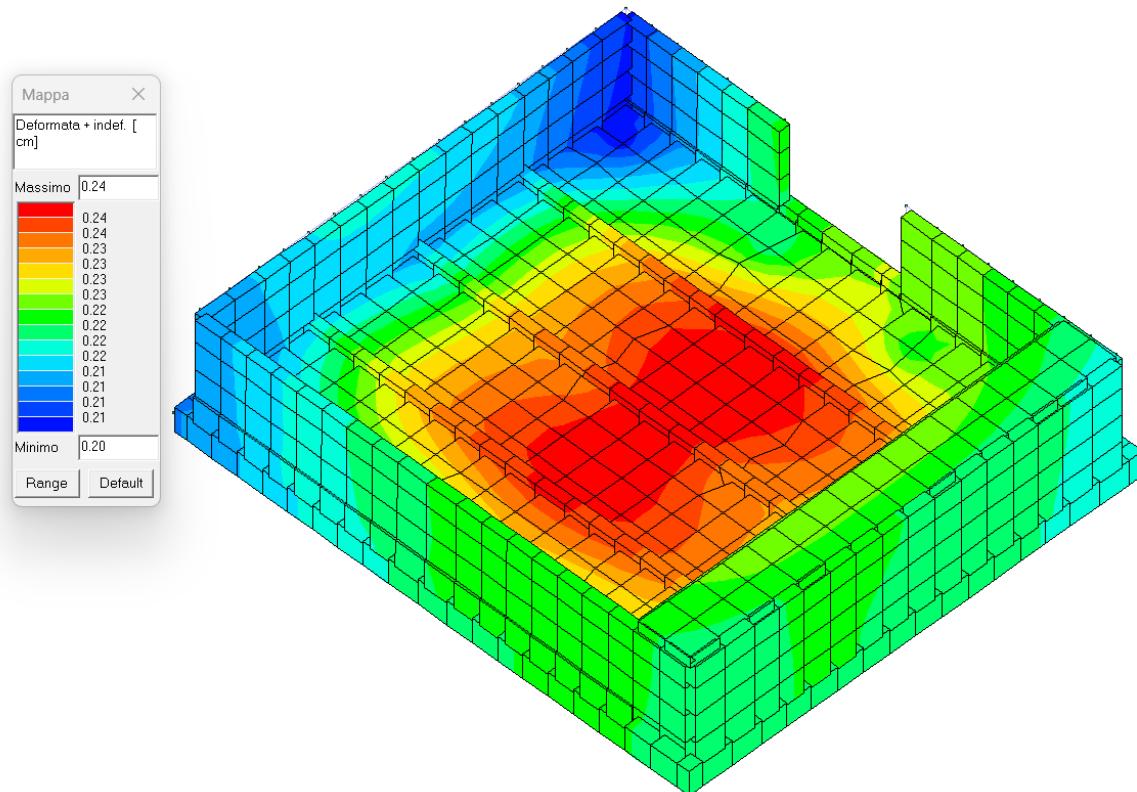


Figura 32 - MAX Deformata per la combinazione 200) SLE (SLD danno sism.)



## 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
$u_0 = 2(c_1 + c_2)$	$u_0 = c_2 + 3d \leq c_2 + 2c_1$	$u_0 = 3d \leq c_1 + c_2$

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  $y$ ;
- $d_z = h - c - \frac{\Phi_z}{2}$  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):

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

dove:

- $C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c}$ ;
- $k = \min \left[ 1 + \sqrt{\frac{200}{d \text{ [mm]}}}, 2 \right]$ ;
- $\rho_l = \sqrt{\rho_{ly} \cdot \rho_{lz}} \leq 0,02$ ;
- $\rho_{ly} = \frac{A_{sly}}{(c_1 + 6d)d}$  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;
- $k_l = 0,1$
- $\sigma_{cp} = \frac{\sigma_{cy} + \sigma_{cz}}{2}$  è la tensione normale media nelle direzioni  $y$  e  $z$  del piano della soletta (per esempio dovute alla precompressione);
- $\sigma_{cy} = \frac{N_{Ed,y}}{A_{cy}}$     $\sigma_{cz} = \frac{N_{Ed,z}}{A_{cz}}$ ;
- $v_{\min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \text{ [MPa]}$ .

### 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:

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

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, oltretutto 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:

$$\begin{aligned} A_s \geq A_{s,\min} &= \max \left\{ 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t d; 0,0013 b_t d \right\} & [\text{TR-C4-A}] \\ \max \{A_s; A'_s\} &\leq A_{s,\max} = 0,04 A_c & [\text{TR-C4-B}] \\ A_{st} \geq A_{st,\min} &= 1,5 b \text{ mm}^2 / m & [\text{TR-C4-C}] \\ p_{st} \geq p_{st,\min} &= \min \{33,3 \text{ cm}; 0,8 d\} & [\text{TR-C4-D}] \\ A_{st} \geq 0,5 A_{sw} & & [\text{TR-C4-E}] \\ p_{st} \geq 15\Phi & & [\text{TR-C4-F}] \end{aligned}$$

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



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

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

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

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,  $b \times h$ );
- $\rho_{\text{cmp}}$  è il rapporto geometrico relativo all’armatura compressa;
- $\rho_{\text{cmp}, \min} = 0,25 \rho$  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

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

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

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.

#### Pilastri in c.a.

Le armature degli elementi pilastri 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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:

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

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

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

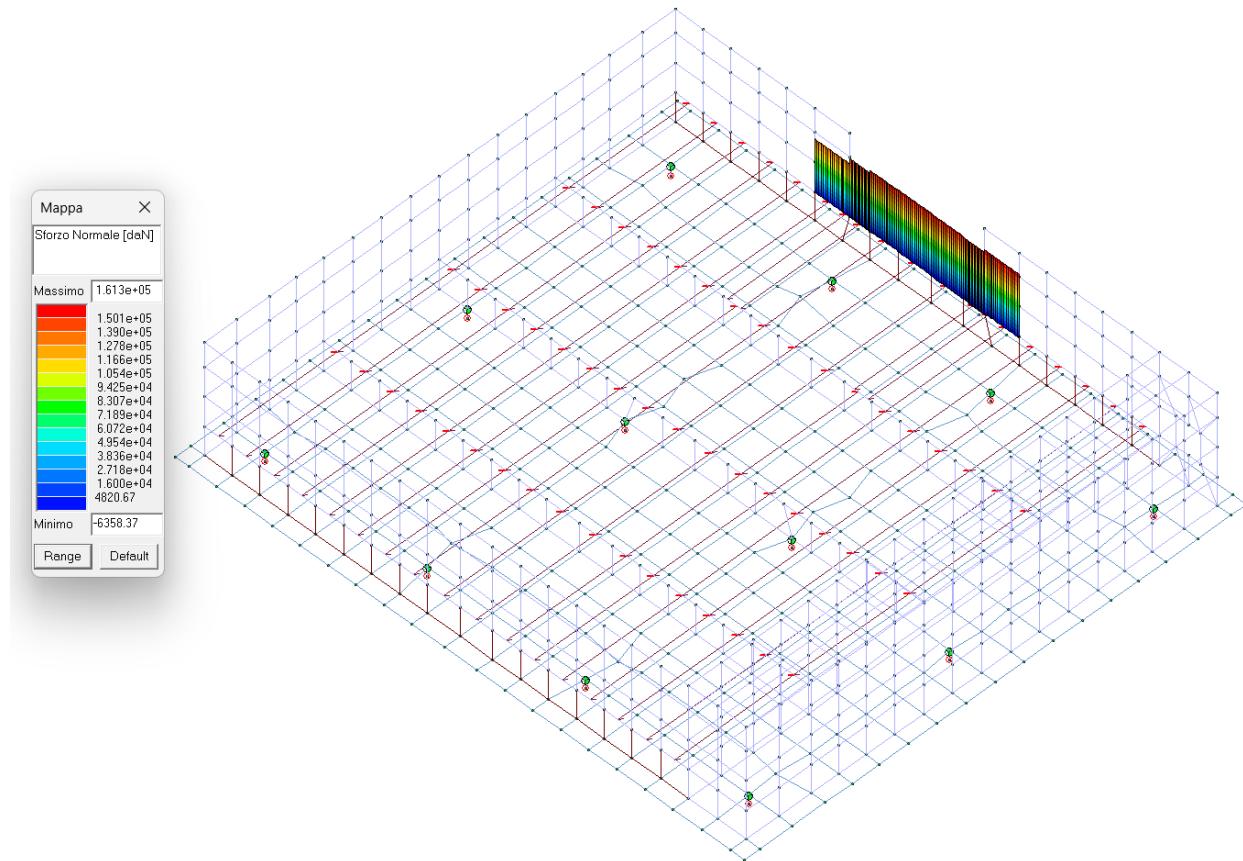


Figura 33 - SFORZO NORMALE N SULLA TRAVE

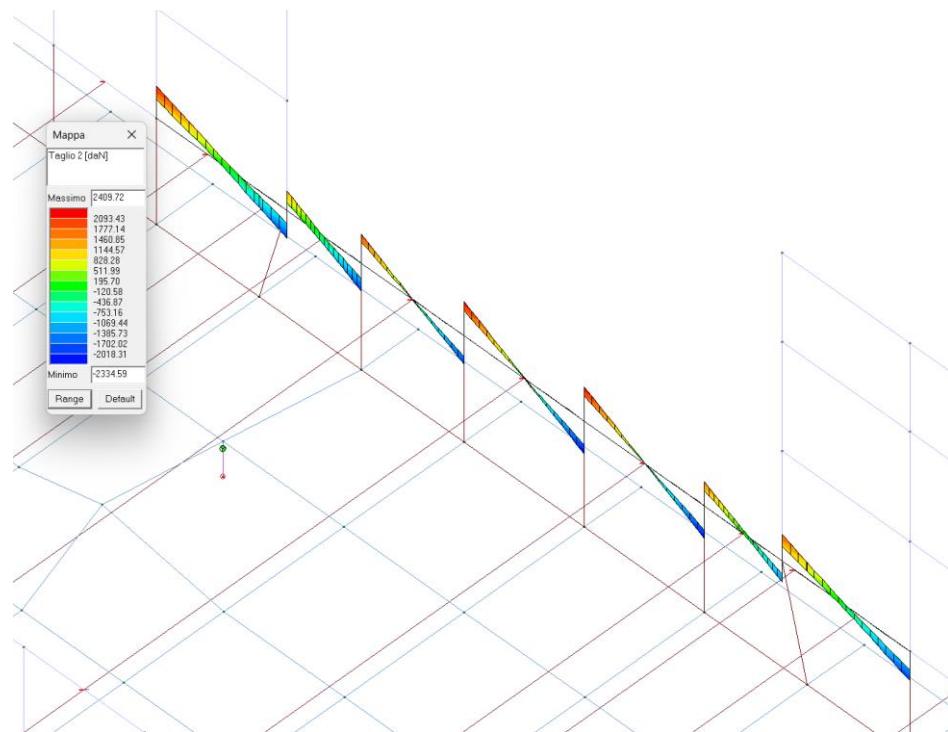


Figura 34 - SFORZO DI TAGLIO T2 SULLA TRAVE

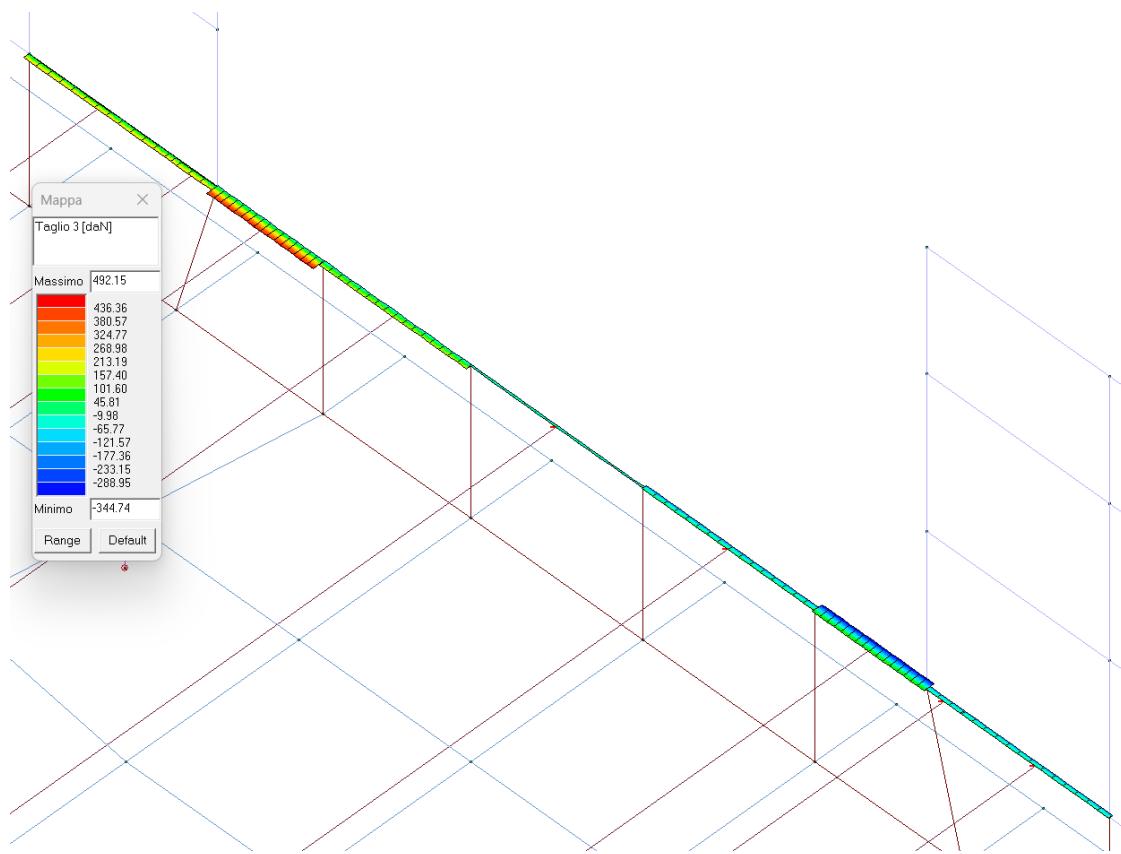


Figura 35 - SFORZO DI TAGLIO T3 SULLA TRAVE

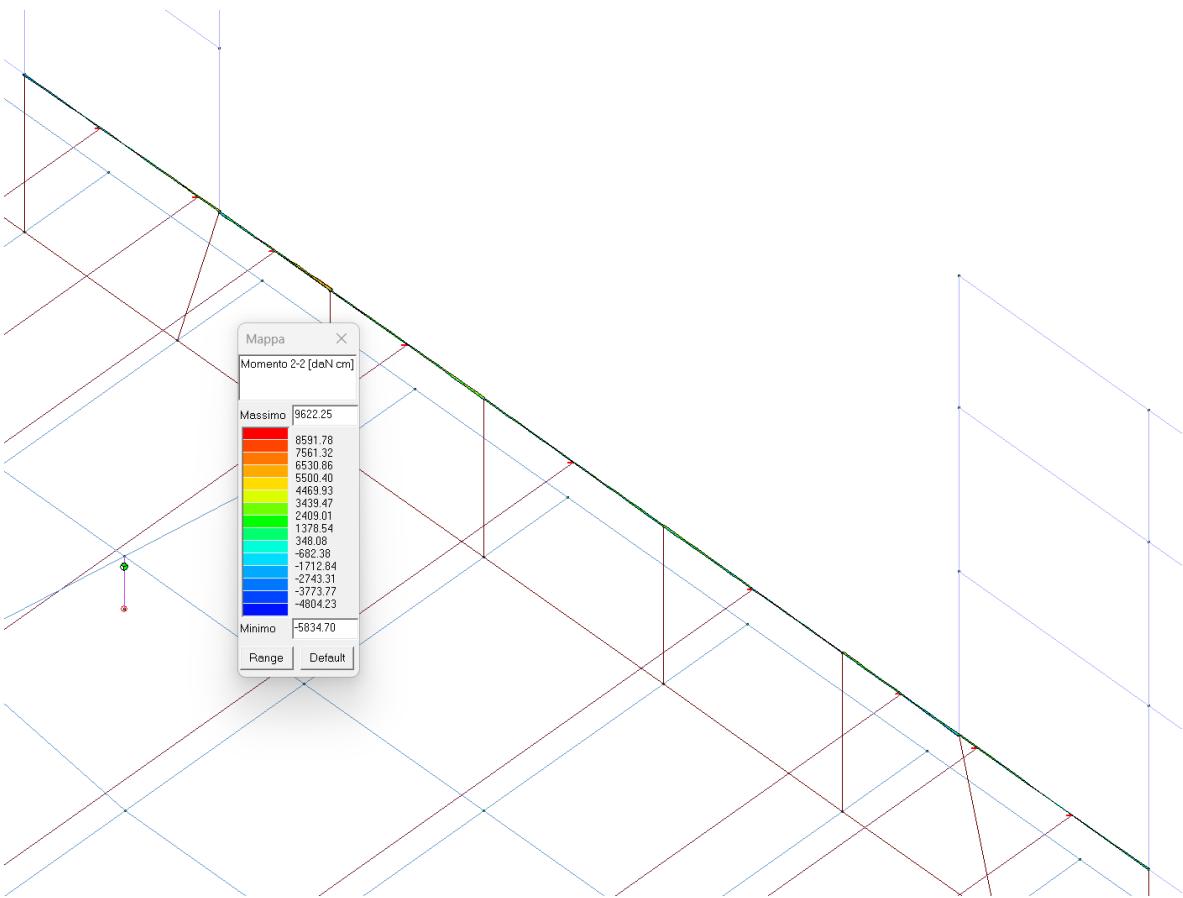


Figura 36 - MOMENTO M 2-2 SULLA TRAVE

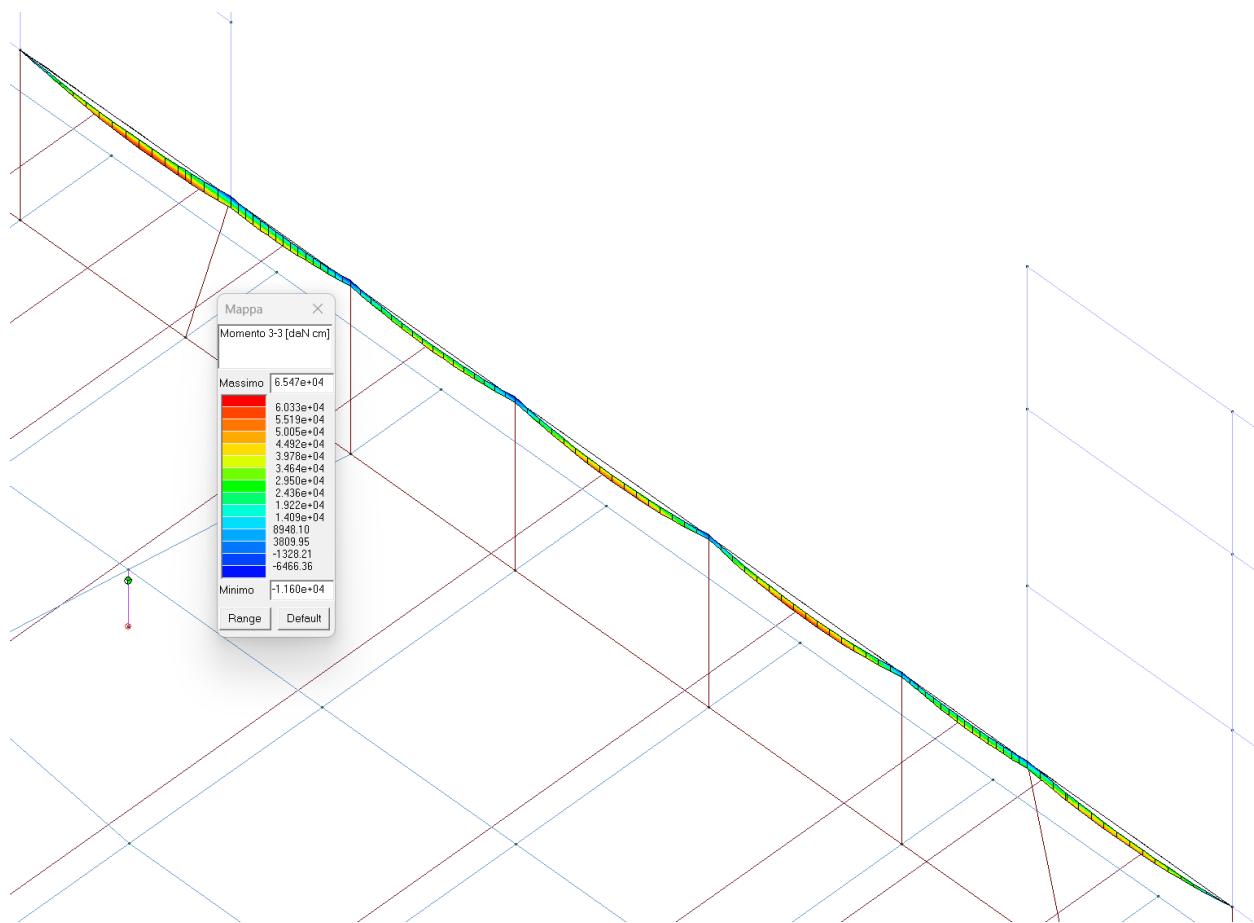


Figura 37 - MOMENTO M3-3 SULLA TRAVE



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 inviluppi, 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'inviluppo viene riportato lungo una linea d'asse che rappresenta la parete o la piastra.

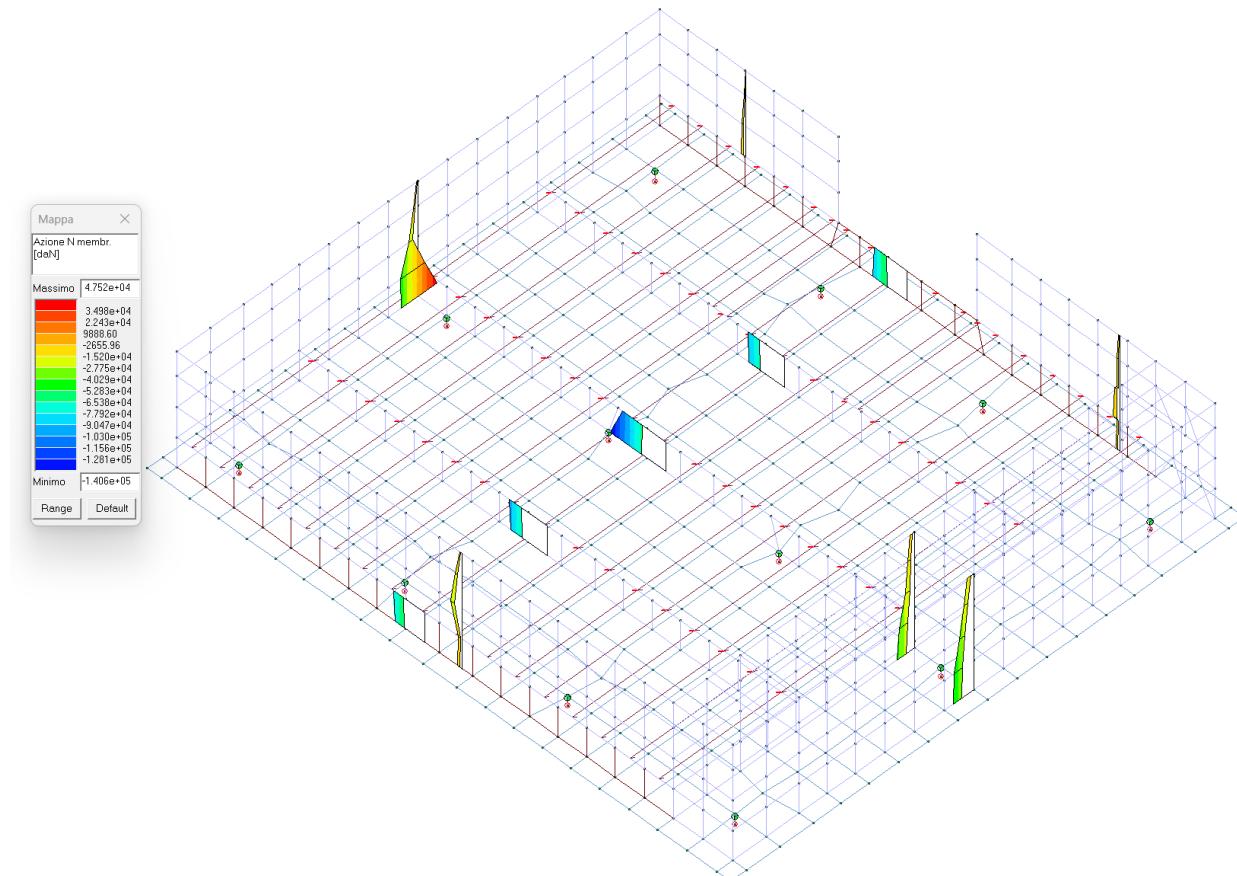


Figura 38 - AZIONE N MEMBR. Tale azione è quella complessiva agente sul macroelemento.

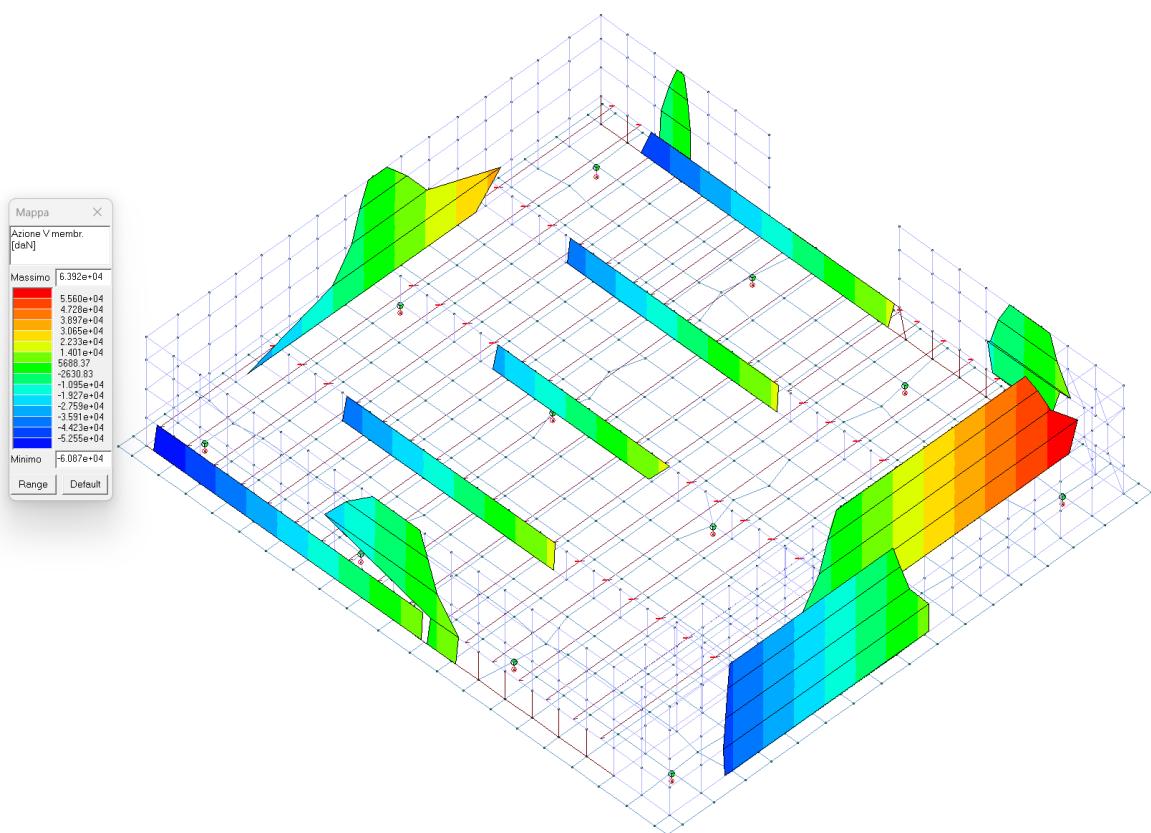


Figura 39 - AZIONE V MEMBR. Tale azione è quella complessiva agente sul macroelemento.

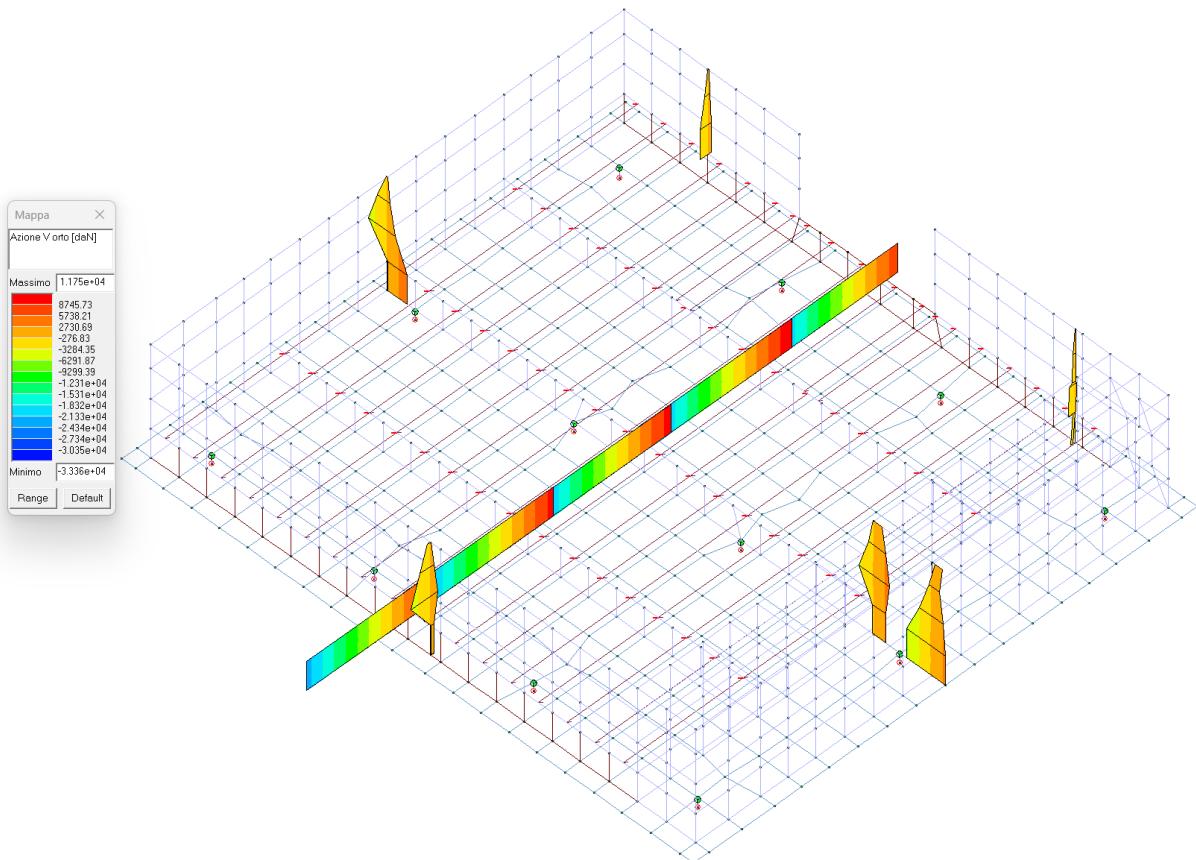


Figura 40 - AZIONE V ORTO Tale azione è quella complessiva agente sul macroelemento.

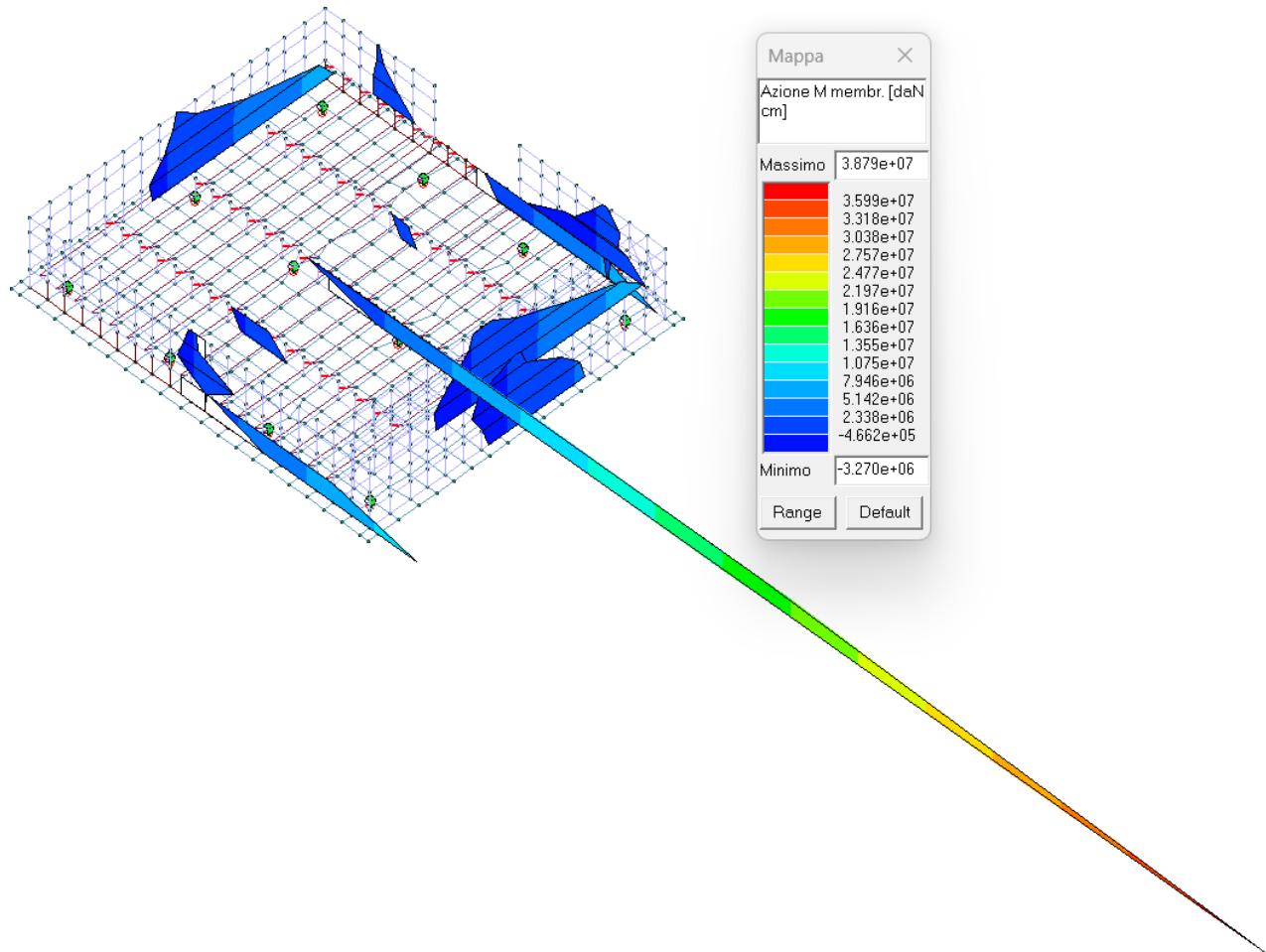


Figura 41 - AZIONE M MEMBR. Tale azione è quella complessiva agente sul macroelemento.

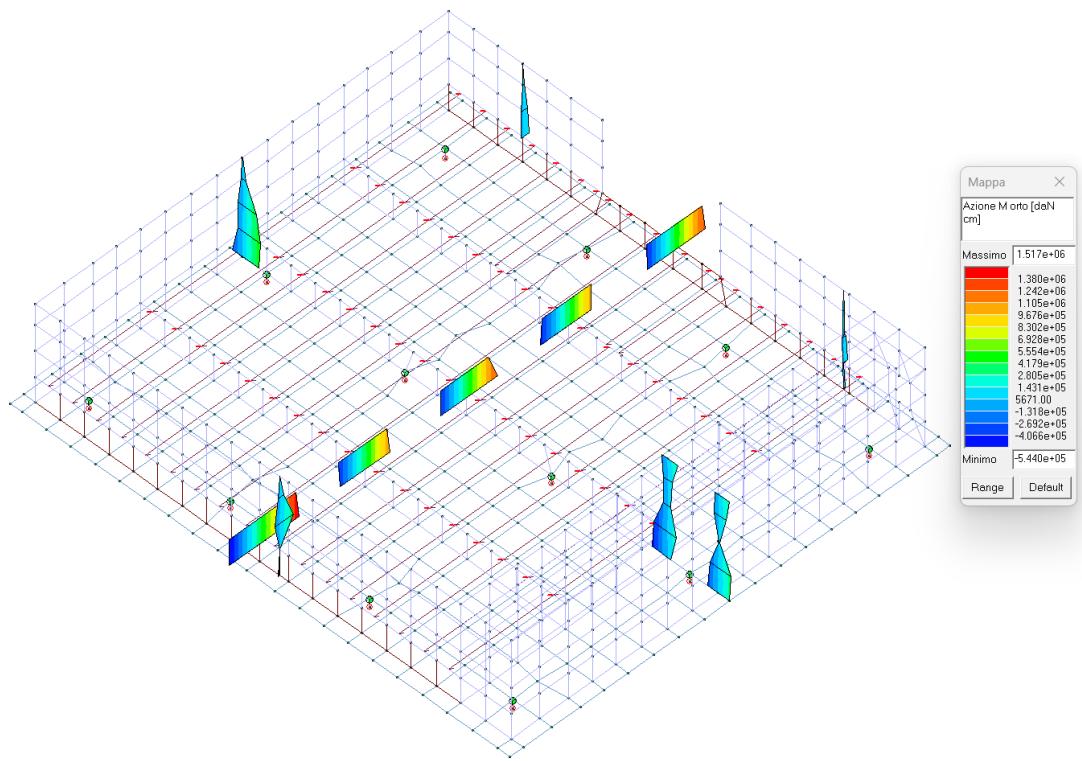


Figura 42 - AZIONE M ORTO Tale azione è quella complessiva agente sul macroelemento.



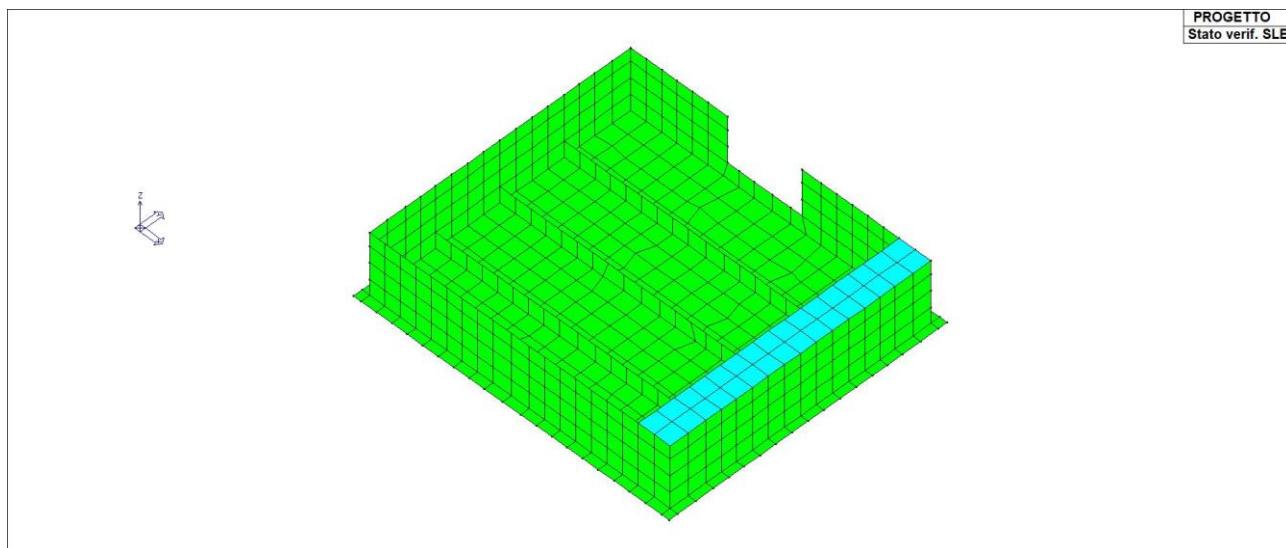
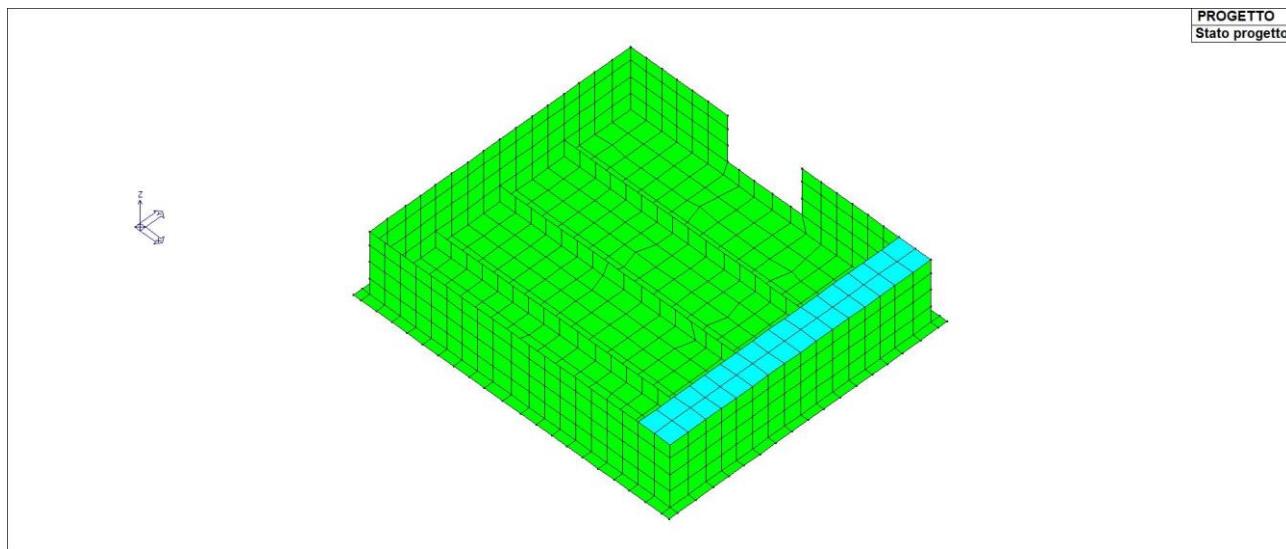
## 10. SINTESI DELLE VERIFICHE DI SICUREZZA

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.





### Parete in c.a. n. 3

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
lato +	1	Ø 12	25.0	6627.0	58.8
lato +	2	Ø 12	25.0	6963.0	61.8
lato -	1	Ø 12	25.0	6627.0	58.8
lato -	2	Ø 12	25.0	6963.0	61.8

Armatura integrativa:

Pos.	Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
1	lato +	1	Ø 12	9.0	2960.0	26.3
2	lato +	1	Ø 12	50.0	2048.0	18.2
3	lato +	1	Ø 12	50.0	1005.0	8.9
4	lato +	2	Ø 12	5.0	4826.0	42.8
5	lato +	2	Ø 12	80.0	586.0	5.2
6	lato +	2	Ø 12	80.0	433.0	3.8
7	lato -	1	Ø 12	50.0	2048.0	18.2
8	lato -	1	Ø 12	50.0	1005.0	8.9
9	lato -	1	Ø 12	9.5	3160.0	28.1
10	lato -	2	Ø 12	5.0	4674.0	41.5
11	lato -	2	Ø 12	80.0	1066.0	9.5
12	lato -	2	Ø 12	80.0	428.0	3.8

Peso totale dei ferri = 456.5 kg

Volume calcestruzzo = 4.1 mc

Incidenza = 110.5 kg/mc

### Parete in c.a. n. 4

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
lato +	1	Ø 10	20.0	8757.0	54.0
lato +	2	Ø 10	20.0	6128.0	37.8
lato -	1	Ø 10	20.0	8757.0	54.0
lato -	2	Ø 10	20.0	6128.0	37.8

Armatura integrativa:

Pos.	Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
1	lato +	1	Ø 10	100.0	1807.0	11.1
2	lato +	2	Ø 10	100.0	1532.0	9.4
3	lato -	1	Ø 10	100.0	1807.0	11.1
4	lato -	2	Ø 10	100.0	1532.0	9.4

Peso totale dei ferri = 224.7 kg

Volume calcestruzzo = 3.8 mc

Incidenza = 59.4 kg/mc



## Parete in c.a. n. 5

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
lato +	1	Ø 12	25.0	15378.0	136.5
lato +	2	Ø 12	25.0	15900.0	141.2
lato -	1	Ø 12	25.0	15378.0	136.5
lato -	2	Ø 12	25.0	15900.0	141.2

Armatura integrativa:

Pos.	Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
1	lato +	1	Ø 12	80.0	4864.0	43.2
2	lato +	2	Ø 12	80.0	3424.0	30.4
3	lato -	1	Ø 12	80.0	4796.0	42.6
4	lato -	2	Ø 12	80.0	3416.0	30.3

Peso totale dei ferri = 701.9 kg

Volume calcestruzzo = 9.5 mc

Incidenza = 73.6 kg/mc

## Parete in c.a. n. 6

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
lato +	1	Ø 12	20.0	20496.0	182.0
lato +	2	Ø 12	20.0	22755.0	202.0
lato -	1	Ø 12	20.0	20496.0	182.0
lato -	2	Ø 12	20.0	22755.0	202.0

Armatura integrativa:

Pos.	Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
1	lato +	1	Ø 24	5.0	11232.0	398.9
2	lato +	2	Ø 24	4.5	10920.0	387.8
3	lato -	1	Ø 24	5.0	11232.0	398.9
4	lato -	2	Ø 24	4.5	12285.0	436.3

Peso totale dei ferri = 2389.8 kg

Volume calcestruzzo = 10.7 mc

Incidenza = 222.3 kg/mc

## Parete in c.a. n. 7

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
lato +	1	Ø 12	25.0	16464.0	146.2
lato +	2	Ø 12	25.0	18204.0	161.6
lato -	1	Ø 12	25.0	16464.0	146.2
lato -	2	Ø 12	25.0	18204.0	161.6

Peso totale dei ferri = 615.6 kg

Volume calcestruzzo = 10.7 mc

Incidenza = 57.3 kg/mc



## Parete in c.a. n. 8

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
lato +	1	Ø 12	25.0	16464.0	146.2
lato +	2	Ø 12	25.0	18204.0	161.6
lato -	1	Ø 12	25.0	16464.0	146.2
lato -	2	Ø 12	25.0	18204.0	161.6

Peso totale dei ferri = 615.6 kg

Volume calcestruzzo = 10.7 mc

Incidenza = 57.3 kg/mc

## Parete in c.a. n. 9

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
lato +	1	Ø 10	20.0	7497.0	46.2
lato +	2	Ø 10	20.0	6048.0	37.3
lato -	1	Ø 10	20.0	7497.0	46.2
lato -	2	Ø 10	20.0	6048.0	37.3

Peso totale dei ferri = 167.0 kg

Volume calcestruzzo = 2.8 mc

Incidenza = 58.9 kg/mc

## Parete in c.a. n. 10

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
lato +	1	Ø 10	20.0	7497.0	46.2
lato +	2	Ø 10	20.0	6048.0	37.3
lato -	1	Ø 10	20.0	7497.0	46.2
lato -	2	Ø 10	20.0	6048.0	37.3

Armatura integrativa:

Pos.	Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
1	lato +	1	Ø 10	4.5	4760.0	29.3
2	lato +	2	Ø 10	4.5	3200.0	19.7
3	lato -	1	Ø 10	6.5	3213.0	19.8
4	lato -	2	Ø 10	7.0	2200.0	13.6

Peso totale dei ferri = 249.5 kg

Volume calcestruzzo = 2.8 mc

Incidenza = 88.0 kg/mc

## Parete in c.a. n. 11

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
lato +	1	Ø 10	20.0	7497.0	46.2
lato +	2	Ø 10	20.0	6048.0	37.3
lato -	1	Ø 10	20.0	7497.0	46.2
lato -	2	Ø 10	20.0	6048.0	37.3

Peso totale dei ferri = 167.0 kg

Volume calcestruzzo = 2.8 mc

Incidenza = 58.9 kg/mc



## Parete in c.a. n. 12

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
lato +	1	Ø 10	20.0	8757.0	54.0
lato +	2	Ø 10	20.0	6128.0	37.8
lato -	1	Ø 10	20.0	8757.0	54.0
lato -	2	Ø 10	20.0	6128.0	37.8

Armatura integrativa:

Pos.	Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
1	lato +	1	Ø 14	5.0	5004.0	60.5
2	lato +	1	Ø 14	5.0	5004.0	60.5
3	lato +	1	Ø 10	100.0	417.0	2.6
4	lato +	1	Ø 10	100.0	556.0	3.4
5	lato +	1	Ø 10	100.0	417.0	2.6
6	lato +	2	Ø 14	4.0	5490.0	66.3
7	lato +	2	Ø 14	4.0	5400.0	65.3
8	lato +	2	Ø 10	100.0	338.0	2.1
9	lato +	2	Ø 10	100.0	350.0	2.2
10	lato +	2	Ø 10	100.0	352.0	2.2
11	lato -	1	Ø 14	6.0	4726.0	57.1
12	lato -	1	Ø 14	6.0	3892.0	47.0
13	lato -	1	Ø 10	100.0	417.0	2.6
14	lato -	1	Ø 10	100.0	417.0	2.6
15	lato -	1	Ø 10	100.0	417.0	2.6
16	lato -	2	Ø 14	4.0	5940.0	71.8
17	lato -	2	Ø 14	4.0	5580.0	67.4
18	lato -	2	Ø 10	100.0	320.0	2.0
19	lato -	2	Ø 10	100.0	340.0	2.1
20	lato -	2	Ø 10	100.0	308.0	1.9

Peso totale dei ferri = 708.1 kg

Volume calcestruzzo = 3.8 mc

Incidenza = 187.3 kg/mc

## Parete in c.a. n. 13

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
lato +	1	Ø 12	20.0	6026.0	53.5
lato +	2	Ø 12	20.0	5489.0	48.7
lato -	1	Ø 12	20.0	6026.0	53.5
lato -	2	Ø 12	20.0	5489.0	48.7

Armatura integrativa:

Pos.	Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
1	lato +	1	Ø 12	10.0	2916.0	25.9
2	lato +	2	Ø 12	5.5	3500.0	31.1
3	lato -	1	Ø 12	11.0	2528.0	22.4
4	lato -	2	Ø 12	6.0	3690.0	32.8

Peso totale dei ferri = 316.6 kg

Volume calcestruzzo = 3.0 mc

Incidenza = 106.6 kg/mc



## Soletta in c.a. n. 1

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
sup.	1	Ø 16	20.0	143220.0	2260.5
sup.	2	Ø 16	20.0	151710.0	2394.5
inf.	1	Ø 16	20.0	143220.0	2260.5
inf.	2	Ø 16	20.0	151710.0	2394.5

Armatura integrativa:

Pos.	Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot. (cm)	Peso (kg)
1	sup.	1	Ø 16	15	2795.0	44.1
2	sup.	1	Ø 16	100	864.0	13.6
3	sup.	2	Ø 16	15	3360.0	53.0
4	sup.	2	Ø 16	100	636.0	10.0
5	inf.	1	Ø 16	20	2150.0	33.9
6	inf.	1	Ø 16	100	864.0	13.6
7	inf.	2	Ø 16	20	2352.0	37.1
8	inf.	2	Ø 16	100	636.0	10.0

Armatura a taglio:

Pos.	Num.pioli	Diam.(mm)	Passo (cm)	Peso (kg)
9	153	Ø 12	25 x 25	89.7

Distanziatori Ø12, L = 192.0 cm

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

Superficie soletta = 205.4 mq

Peso totale distanziatori = 1400.3 kg

Peso totale dei ferri = 11015.5 kg

Volume calcestruzzo = 143.8 mc

Incidenza = 76.6 kg/mc

## Soletta in c.a. n. 2

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
sup.	1	Ø 12	25.0	9506.0	84.4
sup.	2	Ø 12	25.0	9102.0	80.8
inf.	1	Ø 12	25.0	9506.0	84.4
inf.	2	Ø 12	25.0	9102.0	80.8

Distanziatori Ø12, L = 114.0 cm

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

Superficie soletta = 18.4 mq

Peso totale distanziatori = 74.4 kg

Peso totale dei ferri = 404.8 kg

Volume calcestruzzo = 5.5 mc

Incidenza = 73.4 kg/mc



## Soletta in c.a. n. 13

Armatura diffusa:

Lato	Dir.	Diam.(mm)	Passo (cm)	L.tot.(cm)	Peso (kg)
sup.	1	Ø 12	25.0	9506.0	84.4
sup.	2	Ø 12	25.0	9102.0	80.8
inf.	1	Ø 12	25.0	9506.0	84.4
inf.	2	Ø 12	25.0	9102.0	80.8

Distanziatori Ø12, L = 114.0 cm

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

Superficie soletta = 18.4 mq

Peso totale distanziatori = 74.4 kg

Peso totale dei ferri = 404.8 kg

Volume calcestruzzo = 5.5 mc

Incidenza = 73.4 kg/mc

## PALO 1

Pos.	Num.	Diam.(mm)	L. (cm)	Peso (kg)
1	1	8	32665	128,9
2	10	20	1200+635	452,5

Peso acciaio pali = 581,4 kg

Volume calcestruzzo pali = 4,5 mc

Incidenza = 128,6 kg/mc

## PALO 2

Pos.	Num.	Diam.(mm)	L. (cm)	Peso (kg)
1	1	8	32665	128,9
2	10	20	1200+615	447,6

Peso acciaio pali = 576,5 kg

Volume calcestruzzo pali = 4,5 mc

Incidenza = 127,5 kg/mc

## PALO 3

Pos.	Num.	Diam.(mm)	L. (cm)	Peso (kg)
1	1	8	22165	87,5
2	10	20	1200+635	452,5

Peso acciaio pali = 540,0 kg

Volume calcestruzzo pali = 4,5 mc

Incidenza = 119,4 kg/mc

## PALO 4

Pos.	Num.	Diam.(mm)	L. (cm)	Peso (kg)
1	1	8	22165	87,5
2	10	20	1200+615	447,6

Peso acciaio pali = 535,1 kg

Volume calcestruzzo pali = 4,5 mc

Incidenza = 118,3 kg/mc



## PALO 5

Pos.	Num.	Diam.(mm)	L. (cm)	Peso (kg)
1	1	8	32665	128,9
2	10	20	1200+615	447,6

Peso acciaio pali = 576,5 kg  
Volume calcestruzzo pali = 4,5 mc  
Incidenza = 127,5 kg/mc

## PALO 6

Pos.	Num.	Diam.(mm)	L. (cm)	Peso (kg)
1	1	8	22165	87,5
2	10	20	1200+615	447,6

Peso acciaio pali = 535,1 kg  
Volume calcestruzzo pali = 4,5 mc  
Incidenza = 118,3 kg/mc

## PALO 7

Pos.	Num.	Diam.(mm)	L. (cm)	Peso (kg)
1	1	8	22165	87,5
2	10	20	1200+615	447,6

Peso acciaio pali = 535,1 kg  
Volume calcestruzzo pali = 4,5 mc  
Incidenza = 118,3 kg/mc

## PALO 8

Pos.	Num.	Diam.(mm)	L. (cm)	Peso (kg)
1	1	8	22165	87,5
2	10	20	1200+615	447,6

Peso acciaio pali = 535,1 kg  
Volume calcestruzzo pali = 4,5 mc  
Incidenza = 118,3 kg/mc

## PALO 9

Pos.	Num.	Diam.(mm)	L. (cm)	Peso (kg)
1	1	8	22165	87,5
2	10	20	1200+615	447,6

Peso acciaio pali = 535,1 kg  
Volume calcestruzzo pali = 4,5 mc  
Incidenza = 118,3 kg/mc

## PALO 10

Pos.	Num.	Diam.(mm)	L. (cm)	Peso (kg)
1	1	8	22165	87,5
2	10	20	1200+615	447,6

Peso acciaio pali = 535,1 kg  
Volume calcestruzzo pali = 4,5 mc  
Incidenza = 118,3 kg/mc



## PALO 11

Pos.	Num.	Diam.(mm)	L. (cm)	Peso (kg)
1	1	8	22165	87,5
2	10	20	1200+615	447,6

Peso acciaio pali = 535,1 kg  
 Volume calcestruzzo pali = 4,5 mc  
 Incidenza = 118,3 kg/mc

## PALO 12

Pos.	Num.	Diam.(mm)	L. (cm)	Peso (kg)
1	1	8	32665	128,9
2	10	20	1200+615	447,6

Peso acciaio pali = 576,5 kg  
 Volume calcestruzzo pali = 4,5 mc  
 Incidenza = 127,5 kg/mc

## VERIFICHE DEL PALI

Si riportano le verifiche del palo 6, che essendo ubicato nella zona centrale, ha un'area di influenza maggiore e in presenza di carichi verticali risulta maggiormente sollecitato. (Vedere pag. 34, 35 e 36)

### Sollecitazioni alla base del pilastro

Cmb	Plin.	Tipo	Vx	Vy	N	Mx	My	T
			daN	daN	daN	daN cm	daN cm	daN cm
1	6	SLU STR.	-42,8	3,0	-57630	-76,0	-1069,8	-13,0
2	6	SLU STR.	-33,3	2,4	-44490	-59,3	-833,0	-10,2
3	6	SLU STR.	-41,1	2,9	-56910	-72,1	-1026,2	-12,4
4	6	SLU STR.	-31,6	2,2	-43780	-55,5	-789,4	-9,5
5	6	SLU STR.	5093,3	-5,5	-58030	138,4	127300	-14,7
6	6	SLU STR.	5102,8	-6,2	-44890	155,0	127600	-11,9
7	6	SLU STR.	8518,6	-11,4	-57770	284,2	213000	-15,4
8	6	SLU STR.	8528,1	-12,0	-44640	300,8	213200	-12,5
9	6	SLU STR.	5095,0	-5,7	-57310	142,3	127400	-14,1
10	6	SLU STR.	5104,5	-6,4	-44180	158,9	127600	-11,2
11	6	SLU STR.	-21430	110,5	-65540	-2761,8	-535700	-364,6
12	6	SLU STR.	-21420	109,8	-52410	-2745,1	-535400	-361,7
13	6	SLU STR.	-21430	110,3	-64830	-2757,9	-535600	-363,9
14	6	SLU STR.	-21420	109,7	-51690	-2741,3	-535400	-361,1
15	6	SLU STR.	-35680	181,9	-70100	-4548,5	-892100	-598,3
16	6	SLU STR.	-35670	181,3	-56970	-4531,8	-891800	-595,5
17	6	SLU STR.	320,4	-8,0	-57440	199,5	8010,4	16,4
18	6	SLU STR.	329,9	-8,6	-44310	216,1	8247,2	19,3
19	6	SLU STR.	322,2	-8,1	-56730	203,3	8054,0	17,0
20	6	SLU STR.	331,6	-8,8	-43600	219,9	8290,9	19,9
21	6	SLU STR.	564,3	-15,5	-56610	386,9	14110	36,6
22	6	SLU STR.	573,8	-16,1	-43470	403,5	14340	39,5
23	6	SLU STR.	5456,5	-16,6	-57840	413,8	136400	14,7
24	6	SLU STR.	5466,0	-17,2	-44710	430,4	136600	17,5
25	6	SLU STR.	8881,9	-22,4	-57590	559,6	222000	14,0
26	6	SLU STR.	8891,3	-23,1	-44450	576,2	222300	16,9
27	6	SLU STR.	5458,3	-16,7	-57130	417,7	136500	15,3
28	6	SLU STR.	5467,7	-17,4	-44000	434,3	136700	18,2
29	6	SLU STR.	5700,4	-24,1	-57010	601,3	142500	34,9
30	6	SLU STR.	5709,9	-24,7	-43870	617,9	142700	37,8
31	6	SLU STR.	-21060	99,5	-65360	-2486,4	-526600	-335,2
32	6	SLU STR.	-21050	98,8	-52220	-2469,7	-526400	-332,3



33	6	SLU STR.	-21060	99,3	-64640	-2482,5	-526600	-334,5
34	6	SLU STR.	-21050	98,6	-51510	-2465,9	-526300	-331,7
35	6	SLU STR.	-35320	170,9	-69920	-4273,1	-883000	-568,9
36	6	SLU STR.	-35310	170,3	-56780	-4256,4	-882700	-566,1
37	6	SLU STR.	-20820	92,0	-64520	-2298,9	-520500	-314,9
38	6	SLU STR.	-20810	91,3	-51390	-2282,3	-520300	-312,1
39	6	SLU STR.	-439,0	8,1	-57760	-203,5	-10970	-27,2
40	6	SLU STR.	-429,5	7,5	-44620	-186,8	-10740	-24,3
41	6	SLU STR.	-437,2	8,0	-57040	-199,6	-10930	-26,5
42	6	SLU STR.	-427,7	7,3	-43910	-183,0	-10690	-23,7
43	6	SLU STR.	-701,3	11,4	-57130	-284,6	-17530	-36,0
44	6	SLU STR.	-691,8	10,7	-43990	-268,0	-17300	-33,1
45	6	SLU STR.	4697,1	-0,4	-58160	10,9	117400	-28,9
46	6	SLU STR.	4706,6	-1,1	-45020	27,5	117700	-26,0
47	6	SLU STR.	8122,5	-6,3	-57900	156,7	203100	-29,6
48	6	SLU STR.	8132,0	-6,9	-44770	173,3	203300	-26,7
49	6	SLU STR.	4698,9	-0,6	-57440	14,8	117500	-28,3
50	6	SLU STR.	4708,4	-1,3	-44310	31,4	117700	-25,4
51	6	SLU STR.	4434,8	2,8	-57530	-70,2	110900	-37,7
52	6	SLU STR.	4444,2	2,1	-44400	-53,6	111100	-34,8
53	6	SLU STR.	-21820	115,6	-65670	-2889,3	-545600	-378,8
54	6	SLU STR.	-21810	114,9	-52540	-2872,6	-545400	-375,9
55	6	SLU STR.	-21820	115,4	-64960	-2885,4	-545500	-378,1
56	6	SLU STR.	-21810	114,8	-51820	-2868,8	-545300	-375,3
57	6	SLU STR.	-36080	187,0	-70230	-4676,0	-902000	-612,5
58	6	SLU STR.	-36070	186,4	-57100	-4659,3	-901700	-609,6
59	6	SLU STR.	-22090	118,8	-65040	-2970,4	-552100	-387,6
60	6	SLU STR.	-22080	118,2	-51910	-2953,8	-551900	-384,7
61	6	SLU STR.	-44,3	480,8	-57650	-12020	-1107,7	4
62	6	SLU STR.	-34,8	480,2	-44520	-12000	-870,9	6,9
63	6	SLU STR.	-42,6	480,7	-56940	-12020	-1064,1	4,6
64	6	SLU STR.	-33,1	480,0	-43800	-12000	-827,3	7,5
65	6	SLU STR.	-43,6	799,2	-56950	-19980	-1089,4	16,0
66	6	SLU STR.	-34,1	798,6	-43820	-19960	-852,6	18,8
67	6	SLU STR.	5091,8	472,3	-58050	-11810	127300	2,3
68	6	SLU STR.	5101,3	471,6	-44920	-11790	127500	5,1
69	6	SLU STR.	8517,1	466,4	-57790	-11660	212900	1,6
70	6	SLU STR.	8526,6	465,8	-44660	-11640	213200	4,5
71	6	SLU STR.	5093,5	472,1	-57340	-11800	127300	2,9
72	6	SLU STR.	5103,0	471,5	-44200	-11790	127600	5,8
73	6	SLU STR.	5092,5	790,6	-57350	-19770	127300	14,3
74	6	SLU STR.	5102,0	790,0	-44220	-19750	127500	17,1
75	6	SLU STR.	-21430	588,3	-65560	-14710	-535700	-347,6
76	6	SLU STR.	-21420	587,6	-52430	-14690	-535500	-344,7
77	6	SLU STR.	-21430	588,1	-64850	-14700	-535700	-346,9
78	6	SLU STR.	-21420	587,5	-51720	-14690	-535400	-344,1
79	6	SLU STR.	-35680	659,7	-70120	-16490	-892100	-581,3
80	6	SLU STR.	-35670	659,1	-56990	-16480	-891900	-578,5
81	6	SLU STR.	-21430	906,7	-64860	-22670	-535700	-335,6
82	6	SLU STR.	-21420	906,0	-51730	-22650	-535500	-332,7
83	6	SLU STR.	-43,1	-439,6	-57630	10990	-1077,0	-35,4
84	6	SLU STR.	-33,6	-440,3	-44500	11010	-840,1	-32,6
85	6	SLU STR.	-41,3	-439,8	-56920	10990	-1033,3	-34,8
86	6	SLU STR.	-31,9	-440,5	-43790	11010	-796,5	-31,9
87	6	SLU STR.	-41,5	-734,9	-56920	18370	-1038,1	-49,7
88	6	SLU STR.	-32,1	-735,6	-43790	18390	-801,3	-46,8
89	6	SLU STR.	5093,0	-448,2	-58030	11210	127300	-37,1
90	6	SLU STR.	5102,5	-448,9	-44900	11220	127600	-34,3
91	6	SLU STR.	8518,4	-454,1	-57780	11350	213000	-37,8
92	6	SLU STR.	8527,8	-454,7	-44640	11370	213200	-34,9
93	6	SLU STR.	5094,8	-448,4	-57320	11210	127400	-36,5



94	6	SLU STR.	5104,2	-449,0	-44190	11230	127600	-33,6
95	6	SLU STR.	5094,6	-743,5	-57320	18590	127400	-51,4
96	6	SLU STR.	5104,0	-744,2	-44190	18600	127600	-48,6
97	6	SLU STR.	-21430	-332,2	-65550	8305,3	-535700	-387,0
98	6	SLU STR.	-21420	-332,9	-52410	8322,0	-535500	-384,1
99	6	SLU STR.	-21430	-332,4	-64830	8309,2	-535600	-386,3
100	6	SLU STR.	-21420	-333,0	-51700	8325,8	-535400	-383,5
101	6	SLU STR.	-35680	-260,7	-70110	6518,6	-892100	-620,7
102	6	SLU STR.	-35670	-261,4	-56970	6535,3	-891800	-617,9
103	6	SLU STR.	-21430	-627,5	-64840	15690	-535700	-401,3
104	6	SLU STR.	-21420	-628,2	-51700	15700	-535400	-398,4
105	6	SLE Rare	-32,7	2,3	-44260	-58,0	-818,4	-10,0
106	6	SLE Rare	-31,6	2,2	-43780	-55,5	-789,4	-9,5
107	6	SLE Rare	3391,3	-3,4	-44520	84,9	84780	-11,1
108	6	SLE Rare	5674,9	-7,3	-44350	182,1	141900	-11,5
109	6	SLE Rare	3392,5	-3,5	-44050	87,5	84810	-10,7
110	6	SLE Rare	-14290	73,9	-49530	-1848,6	-357200	-244,3
111	6	SLE Rare	-14290	73,8	-49050	-1846	-357200	-243,9
112	6	SLE Rare	-23790	121,6	-52570	-3039,7	-594800	-400,2
113	6	SLE Rare	209,4	-5,0	-44130	125,6	5235,0	9,7
114	6	SLE Rare	210,6	-5,1	-43660	128,1	5264,1	10,1
115	6	SLE Rare	372,0	-10,0	-43570	250,5	9299,8	23,2
116	6	SLE Rare	3633,5	-10,7	-44400	268,5	90840	8,5
117	6	SLE Rare	5917,0	-14,6	-44230	365,7	147900	8,1
118	6	SLE Rare	3634,6	-10,8	-43920	271,0	90870	9,0
119	6	SLE Rare	3796,1	-15,7	-43840	393,4	94900	22,0
120	6	SLE Rare	-14050	66,6	-49410	-1665,0	-351200	-224,7
121	6	SLE Rare	-14050	66,5	-48930	-1662,4	-351100	-224,3
122	6	SLE Rare	-23550	114,2	-52450	-2856,1	-588800	-380,5
123	6	SLE Rare	-13880	61,6	-48850	-1540,0	-347100	-211,2
124	6	SLE Rare	-296,8	5,7	-44340	-143,0	-7421,1	-19,4
125	6	SLE Rare	-295,7	5,6	-43870	-140,5	-7392,1	-19,0
126	6	SLE Rare	-471,8	7,9	-43920	-197,1	-11790	-25,3
127	6	SLE Rare	3127,2	0,0	-44610	-0,1	78180	-20,5
128	6	SLE Rare	5410,8	-3,9	-44440	97,1	135300	-21,0
129	6	SLE Rare	3128,4	-0,1	-44130	2,5	78210	-20,1
130	6	SLE Rare	2952,3	2,2	-44190	-54,2	73810	-26,4
131	6	SLE Rare	-14550	77,3	-49620	-1933,6	-363800	-253,8
132	6	SLE Rare	-14550	77,2	-49140	-1931	-363800	-253,3
133	6	SLE Rare	-24060	125,0	-52660	-3124,7	-601400	-409,6
134	6	SLE Rare	-14730	79,5	-49200	-1987,7	-368200	-259,6
135	6	SLE Rare	-33,8	320,9	-44270	-8021,4	-843,7	1,4
136	6	SLE Rare	-32,6	320,8	-43790	-8018,8	-814,7	1,8
137	6	SLE Rare	-33,3	533,1	-43800	-13330	-831,5	9,4
138	6	SLE Rare	3390,3	315,1	-44540	-7878,5	84760	0,3
139	6	SLE Rare	5673,9	311,3	-44370	-7781,3	141800	-0,2
140	6	SLE Rare	3391,5	315,0	-44060	-7875,9	84790	0,7
141	6	SLE Rare	3390,8	527,4	-44070	-13180	84770	8,2
142	6	SLE Rare	-14290	392,5	-49550	-9811,9	-357300	-233,0
143	6	SLE Rare	-14290	392,4	-49070	-9809,4	-357200	-232,6
144	6	SLE Rare	-23790	440,1	-52590	-11000	-594800	-388,8
145	6	SLE Rare	-14290	604,7	-49080	-15120	-357200	-225,0
146	6	SLE Rare	-32,9	-292,8	-44260	7320,0	-823,2	-24,9
147	6	SLE Rare	-31,8	-292,9	-43780	7322,6	-794,2	-24,5
148	6	SLE Rare	-31,9	-489,7	-43790	12240	-797,3	-34,4
149	6	SLE Rare	3391,1	-298,5	-44530	7462,9	84780	-26,0
150	6	SLE Rare	5674,7	-302,4	-44350	7560,1	141900	-26,5
151	6	SLE Rare	3392,3	-298,6	-44050	7465,5	84810	-25,6
152	6	SLE Rare	3392,2	-495,4	-44050	12380	84800	-35,5
153	6	SLE Rare	-14290	-221,2	-49540	5529,5	-357200	-259,3
154	6	SLE Rare	-14290	-221,3	-49060	5532,1	-357200	-258,8



155	6	SLE Rare	-23790	-173,5	-52580	4338,4	-594800	-415,1
156	6	SLE Rare	-14290	-418,0	-49060	10450	-357200	-268,8
157	6	SLE Freq.	-31,6	2,2	-43780	-55,5	-789,4	-9,5
158	6	SLE Freq.	2822,2	-2,6	-43840	64,5	70560	-10,3
159	6	SLE Freq.	-11910	61,9	-48180	-1547,6	-297800	-204,8
160	6	SLE Freq.	49,1	-0,2	-43740	5,8	1228,5	-3,0
161	6	SLE Freq.	-119,6	3,4	-43810	-83,8	-2990,3	-12,7
162	6	SLE Freq.	-31,9	108,4	-43780	-2709,9	-797,8	-5,7
163	6	SLE Freq.	-31,6	-96,2	-43780	2403,9	-791,0	-14,5
164	6	SLE Quasi P.	-31,6	2,2	-43780	-55,5	-789,4	-9,5
165	6	SLU A1 sism.	6311,7	-2044,8	-40190	51120	157800	10060
166	6	SLU A1 sism.	6324,3	-5092,5	-40160	127300	158100	4800,6
167	6	SLU A1 sism.	-6387,4	5097,0	-47400	-127400	-159700	-4819,7
168	6	SLU A1 sism.	-6374,8	2049,2	-47360	-51230	-159400	-10080
169	6	SLU A1 sism.	6325,0	-960,7	-40200	24020	158100	5173,9
170	6	SLU A1 sism.	6311,0	-6176,6	-40150	154400	157800	9688,8
171	6	SLU A1 sism.	-6374,1	6181,0	-47410	-154500	-159400	-9707,8
172	6	SLU A1 sism.	-6388,1	965,2	-47350	-24130	-159700	-5192,9
173	6	SLU A1 sism.	6303,4	5129,9	-40160	-128200	157600	-4887,9
174	6	SLU A1 sism.	6315,9	2082,2	-40130	-52050	157900	-10150
175	6	SLU A1 sism.	-6379,1	-2077,7	-47430	51940	-159500	10130
176	6	SLU A1 sism.	-6366,5	-5125,5	-47390	128100	-159200	4868,9
177	6	SLU A1 sism.	6316,7	6213,9	-40170	-155300	157900	-9776,1
178	6	SLU A1 sism.	6302,6	998,1	-40120	-24950	157600	-5261,2
179	6	SLU A1 sism.	-6365,8	-993,7	-47440	24840	-159100	5242,2
180	6	SLU A1 sism.	-6379,8	-6209,5	-47380	155200	-159500	9757,0
181	6	SLU A1 sism.	1852,3	4010,5	-42750	-100300	46310	10990
182	6	SLU A1 sism.	1894,3	-6148,6	-42640	153700	47360	-6546,3
183	6	SLU A1 sism.	-1957,4	6153,1	-44910	-153800	-48940	6527,2
184	6	SLU A1 sism.	-1915,5	-4006,1	-44800	100200	-47890	-11010
185	6	SLU A1 sism.	1849,8	6162,9	-42740	-154100	46250	6506,8
186	6	SLU A1 sism.	1891,8	-3996,2	-42630	99910	47290	-11030
187	6	SLU A1 sism.	-1954,9	4000,6	-44920	-100000	-48870	11010
188	6	SLU A1 sism.	-1913,0	-6158,5	-44810	154000	-47820	-6525,8
189	6	SLU A1 sism.	1896,7	7624,0	-42790	-190600	47420	-5302,0
190	6	SLU A1 sism.	1849,9	-9762,1	-42610	244100	46250	9747,5
191	6	SLU A1 sism.	-1913,1	9766,5	-44950	-244200	-47830	-9766,5
192	6	SLU A1 sism.	-1959,8	-7619,6	-44770	190500	-49000	5283,0
193	6	SLU A1 sism.	1894,2	9776,4	-42780	-244400	47350	-9787
194	6	SLU A1 sism.	1847,4	-7609,7	-42600	190200	46190	5262,5
195	6	SLU A1 sism.	-1910,6	7614,1	-44960	-190400	-47760	-5281,5
196	6	SLU A1 sism.	-1957,3	-9772,0	-44780	244300	-48930	9768,0

#### VERIFICHE PALI

Diametro palo = 60,0 cm

Armatura corrente: 10 Ø 20 = 31,4 cmq

Armatura a taglio - st. circolari:

tratto sup. ( 600 cm) Ø8 / 10, tratto inf. (1000 cm) Ø8 / 15

#### VERIFICHE VERIFICHE STATO LIMITE ULTIMO:

Ver. N/M = rapporto Sd/Su con sollecitazioni ultime proporzionali

Ver. (25)= rapporto Nd/Nu, dove Nu viene ottenuto con riduzione del 25% di fcd

Ver.V = verifica a taglio, rapporto Vd/Vrd

(Verifica positiva per valori inferiori a 1)

Cmb.	Palo	Quota	N	V	M	Ver. N/M	Ver.(25)	Ver.V	Stato
		cm	daN	daN	daN cm				
58	6	0	-57097,7	36069,3	901732,7	0,264	0,239	0,948	Ok
57	6	0	-70231,3	36078,7	901969,6	0,253	0,293	0,948	Ok
58	6	-53,3	-56769,2	3262,9	2082949	0,611	0,237	0,086	Ok

MANDATORIA

MANDANTE

PROGETTISTA INDICATO

**EdilAlta**

**Anaergia**  
 Fueling a Sustainable World

**OWAC**  
 ENGINEERING COMPANY

**BIOFILTRO B RELAZIONE DI  
 CALCOLO**

REV. 02

Pag. 73 di 86



57	6	-53,3	-69827,2	3263,8	2083496	0,585	0,292	0,086	Ok
58	6	-106,7	-56543,5	6360,1	2256971	0,663	0,236	0,167	Ok
57	6	-106,7	-69549,6	6361,7	2257564	0,634	0,291	0,167	Ok
58	6	-160	-56362,5	7524,7	1917767	0,564	0,235	0,198	Ok
57	6	-160	-69327,0	7526,7	1918270	0,539	0,290	0,198	Ok
58	6	-213,3	-56275,6	6626,5	1516448	0,446	0,235	0,174	Ok
57	6	-213,3	-69220,1	6628,3	1516846	0,427	0,289	0,174	Ok
58	6	-266,7	-56225,4	6207,1	1163032	0,342	0,235	0,163	Ok
57	6	-266,7	-69158,4	6208,7	1163338	0,327	0,289	0,163	Ok
58	6	-320	-56156,4	5286,5	831986,5	0,245	0,235	0,139	Ok
57	6	-320	-69073,6	5287,9	832205,1	0,234	0,289	0,139	Ok
58	6	-373,3	-56075,0	4218,3	550039,7	0,162	0,234	0,111	Ok
57	6	-373,3	-68973,4	4219,4	550184,2	0,155	0,288	0,111	Ok
58	6	-426,7	-55987,4	3200,2	325065,2	0,096	0,234	0,084	Ok
57	6	-426,7	-68865,7	3201,1	325150,6	0,092	0,288	0,084	Ok
58	6	-480	-55893,8	2293,1	154387	0,045	0,234	0,060	Ok
57	6	-480	-68750,5	2293,7	154427,6	0,043	0,287	0,060	Ok
58	6	-533,3	-55794,4	1528,1	32090,0	0,009	0,233	0,040	Ok
57	6	-533,3	-68628,2	1528,5	32098,5	0,009	0,287	0,040	Ok
58	6	-586,7	-55689,3	914,6	49408,9	0,015	0,233	0,024	Ok
57	6	-586,7	-68498,9	914,9	49421,9	0,014	0,286	0,024	Ok
58	6	-640	-55578,8	447,0	98190,0	0,029	0,232	0,012	Ok
57	6	-640	-68363,0	447,1	98215,8	0,028	0,286	0,012	Ok
58	6	-693,3	-55463,0	110,1	122029,5	0,036	0,232	0,003	Ok
57	6	-693,3	-68220,6	110,2	122061,5	0,034	0,285	0,003	Ok
58	6	-746,7	-55342,1	115,8	127902,9	0,038	0,231	0,003	Ok
57	6	-746,7	-68071,9	115,9	127936,5	0,036	0,284	0,003	Ok
58	6	-800	-55216,4	252,4	121724,7	0,036	0,231	0,007	Ok
57	6	-800	-67917,3	252,5	121756,7	0,034	0,284	0,007	Ok
58	6	-853,3	-55085,9	320,5	108262,2	0,032	0,230	0,008	Ok
57	6	-853,3	-67756,8	320,6	108290,6	0,031	0,283	0,008	Ok
58	6	-906,7	-54951,0	338,8	91169,9	0,027	0,230	0,009	Ok
57	6	-906,7	-67590,8	338,9	91193,8	0,026	0,282	0,009	Ok
58	6	-960	-54811,7	323,5	73099,1	0,022	0,229	0,008	Ok
57	6	-960	-67419,5	323,6	73118,3	0,021	0,282	0,009	Ok
58	6	-1013,3	-54668,2	287,4	55846,6	0,017	0,228	0,008	Ok
57	6	-1013,3	-67243	287,5	55861,2	0,016	0,281	0,008	Ok
58	6	-1066,7	-54520,8	240,6	40517,6	0,012	0,228	0,006	Ok
57	6	-1066,7	-67061,7	240,7	40528,2	0,011	0,280	0,006	Ok
58	6	-1120	-54369,6	190,4	27684,4	0,008	0,227	0,005	Ok
57	6	-1120	-66875,7	190,5	27691,6	0,008	0,279	0,005	Ok
58	6	-1173,3	-54214,8	141,8	17528,9	0,005	0,226	0,004	Ok
57	6	-1173,3	-66685,2	141,9	17533,5	0,005	0,279	0,004	Ok
58	6	-1226,7	-54056,5	98,2	9963,9	0,003	0,226	0,003	Ok
57	6	-1226,7	-66490,6	98,2	9966,5	0,003	0,278	0,003	Ok
58	6	-1280	-53895,0	61,2	4729,2	0,001	0,225	0,002	Ok
57	6	-1280	-66291,9	61,2	4730,4	0,001	0,277	0,002	Ok
58	6	-1333,3	-53730,4	32,0	1464,1	0,000	0,224	0,001	Ok
57	6	-1333,3	-66089,5	32,0	1464,4	0,000	0,276	0,001	Ok
58	6	-1386,7	-53562,9	10,8	241,5	0,000	0,224	0,000	Ok
57	6	-1386,7	-65883,5	10,8	241,6	0,000	0,275	0,000	Ok
58	6	-1440	-53392,7	2,4	815,5	0,000	0,223	0,000	Ok
57	6	-1440	-65674,1	2,4	815,7	0,000	0,274	0,000	Ok
58	6	-1493,3	-53219,9	7,7	685,9	0,000	0,222	0,000	Ok
57	6	-1493,3	-65461,6	7,7	686,0	0,000	0,273	0,000	Ok
58	6	-1546,7	-53044,8	5,2	275,1	0,000	0,222	0,000	Ok
57	6	-1546,7	-65246,2	5,2	275,2	0,000	0,273	0,000	Ok
178	6	-1600	-37273,0	0,9	0	0	0,156	0,000	Ok
57	6	-1600	-65246,2	5,2	0	0	0,273	0,000	Ok

Sezioni maggiormente sollecitate:



PL.	Cmb.	Palo	Quota	N	V	M	Ver. N/M	Ver.(25)	Ver.V
			cm	daN	daN	daN cm			
6	58	6	-106,7	-56543,5	6360,1	2256971	0,663	0,236	0,167
6	57	6	0	-70231,3	36078,7	901969,6	0,253	0,293	0,948

S/Su massime:

Ver. N/M = 0,663 < 1 Ok

Ver. (25) = 0,293 < 1 Ok

Ver. V = 0,948 < 1 Ok

#### VERIFICHE STATO LIMITE DI ESERCIZIO:

Combinazioni di tipo: **SLE condizioni rare.**

Tensione lim. CLS = 149,4 daN/cm<sup>2</sup>

Tensione lim. acciaio = 3600 daN/cm<sup>2</sup>

Cmb.	Palo	Quota	N	M	Tens. A	Tens. C	Stato
		cm	daN	daN cm	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	
133	6	0	-52658,0	601418,4	-517,1	-40,4	Ok
133	6	-53,3	-52355,1	1389241	1120,4	-92,7	Ok
133	6	-106,7	-52146,9	1505306	1333,4	-101,2	Ok
133	6	-160	-51980,0	1279071	-970,4	-84,7	Ok
133	6	-213,3	-51899,8	1011408	-780,4	-65,6	Ok
133	6	-266,7	-51853,6	775694,4	-619,6	-50,0	Ok
133	6	-320	-51790,0	554900,5	-488,8	-38,0	Ok
133	6	-373,3	-51714,9	366853,7	-399,2	-30,0	Ok
133	6	-426,7	-51634,1	216805	-332,0	-24,2	Ok
133	6	-480	-51547,8	102969,7	-280,9	-19,7	Ok
133	6	-533,3	-51456,1	21402,7	-244,1	-16,5	Ok
133	6	-586,7	-51359,1	32953,7	-248,8	-16,9	Ok
133	6	-640	-51257,2	65488,7	-262,8	-18,1	Ok
133	6	-693,3	-51150,4	81388,6	-269,4	-18,7	Ok
133	6	-746,7	-51039,0	85306,0	-270,7	-18,8	Ok
133	6	-800	-50923	81185,3	-268,3	-18,6	Ok
133	6	-853,3	-50802,7	72206,4	-263,8	-18,3	Ok
133	6	-906,7	-50678,2	60806,5	-258,1	-17,8	Ok
133	6	-960	-50549,8	48754,1	-252,2	-17,3	Ok
133	6	-1013,3	-50417,5	37247,4	-246,4	-16,8	Ok
133	6	-1066,7	-50281,5	27023,6	-241,2	-16,3	Ok
133	6	-1120	-50142,1	18464,3	-236,8	-16,0	Ok
133	6	-1173,3	-49999,3	11691,1	-233,1	-15,7	Ok
133	6	-1226,7	-49853,3	6645,5	-230,2	-15,4	Ok
133	6	-1280	-49704,4	3154,2	-228,0	-15,2	Ok
133	6	-1333,3	-49552,6	976,5	-225,9	-15,1	Ok
133	6	-1386,7	-49398,1	161,1	-225,2	-15,0	Ok
133	6	-1440	-49241,1	543,9	-224,5	-15,0	Ok
133	6	-1493,3	-49081,8	457,4	-223,7	-14,9	Ok
133	6	-1546,7	-48920,3	183,5	-223,0	-14,9	Ok
133	6	-1600	-48920,3	0	-223,0	-14,9	Ok

Sezioni maggiormente sollecitate:

Plin.	Cmb.	Palo	Quota	N	M	Tens. A	Tens. C
			cm	daN	daN cm	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>
6	133	6	-106,7	-52146,9	1505306	1333,4	-101,2

Valori massimi SLE condizioni rare:

Ten.massima CLS = 101,2 daN/cm<sup>2</sup> < Ten. lim. CLS = 149,4 daN/cm<sup>2</sup> Ok

Ten.massima acciaio = 1333,4 daN/cm<sup>2</sup> < Ten. lim. acciaio = 3600 daN/cm<sup>2</sup> Ok

Combinazioni di tipo: **SLE condizioni frequenti.**

Fessure: Wk amm. < 0,400 mm

Cmb.	Palo	Quota	N	M	Wk	Stato
		cm	daN	daN cm	mm	
159	6	0	-48175,2	297802,5	0	Ok



159	6	-53,3	-47898,0	687906	0	Ok
159	6	-106,7	-47707,5	745377,7	0	Ok
159	6	-160	-47554,8	633353,6	0	Ok
159	6	-213,3	-47481,5	500815,7	0	Ok
159	6	-266,7	-47439,2	384098,2	0	Ok
159	6	-320	-47381,0	274768,4	0	Ok
159	6	-373,3	-47312,3	181653,8	0	Ok
159	6	-426,7	-47238,4	107354,7	0	Ok
159	6	-480	-47159,4	50987,2	0	Ok
159	6	-533,3	-47075,5	10597,9	0	Ok
159	6	-586,7	-46986,8	16317,6	0	Ok
159	6	-640	-46893,6	32427,8	0	Ok
159	6	-693,3	-46795,9	40301,0	0	Ok
159	6	-746,7	-46693,9	42240,7	0	Ok
159	6	-800	-46587,8	40200,3	0	Ok
159	6	-853,3	-46477,8	35754,2	0	Ok
159	6	-906,7	-46363,9	30109,4	0	Ok
159	6	-960	-46246,4	24141,4	0	Ok
159	6	-1013,3	-46125,3	18443,7	0	Ok
159	6	-1066,7	-46000,9	13381,2	0	Ok
159	6	-1120	-45873,4	9142,9	0	Ok
159	6	-1173,3	-45742,7	5789,0	0	Ok
159	6	-1226,7	-45609,2	3290,6	0	Ok
159	6	-1280	-45472,9	1561,8	0	Ok
159	6	-1333,3	-45334,1	483,5	0	Ok
159	6	-1386,7	-45192,8	79,8	0	Ok
159	6	-1440	-45049,1	269,3	0	Ok
159	6	-1493,3	-44903,4	226,5	0	Ok
159	6	-1546,7	-44755,6	90,9	0	Ok
159	6	-1600	-44755,6	0	0	Ok

Sezioni maggiormente sollecitate:

<b>Plin.</b>	<b>Cmb.</b>	<b>Palo</b>	<b>Quota</b>	<b>N</b>	<b>M</b>	<b>Wk</b>
			cm	daN	daN cm	mm
6	159	6	-106,7	-47707,5	745377,7	0

Valori massimi SLE condizioni frequenti:

Fessure Wk massima = 0 mm < Wk amm. = 0,400 mm Ok

Combinazioni di tipo: **SLE condizioni quasi permanenti.**

Tensione lim. CLS = 112,1 daN/cmq

Fessure: Wk amm. < 0,300 mm

<b>Cmb.</b>	<b>Palo</b>	<b>Quota</b>	<b>N</b>	<b>M</b>	<b>Tens. C</b>	<b>Wk</b>	<b>Stato</b>
		cm	daN	daN cm	daN/cmq	mm	
164	6	0	-43778,7	791,3	-13,3	0	Ok
164	6	-53,3	-43526,8	1827,9	-13,2	0	Ok
164	6	-106,7	-43353,8	1980,6	-13,2	0	Ok
164	6	-160	-43215	1682,9	-13,1	0	Ok
164	6	-213,3	-43148,4	1330,8	-13,1	0	Ok
164	6	-266,7	-43109,9	1020,6	-13,1	0	Ok
164	6	-320	-43057,0	730,1	-13,1	0	Ok
164	6	-373,3	-42994,6	482,7	-13,1	0	Ok
164	6	-426,7	-42927,4	285,3	-13,0	0	Ok
164	6	-480	-42855,7	135,5	-13,0	0	Ok
164	6	-533,3	-42779,4	28,2	-13,0	0	Ok
164	6	-586,7	-42698,8	43,4	-13,0	0	Ok
164	6	-640	-42614,1	86,2	-13,0	0	Ok
164	6	-693,3	-42525,3	107,1	-12,9	0	Ok
164	6	-746,7	-42432,7	112,2	-12,9	0	Ok
164	6	-800	-42336,3	106,8	-12,9	0	Ok
164	6	-853,3	-42236,2	95,0	-12,8	0	Ok
164	6	-906,7	-42132,8	80,0	-12,8	0	Ok



164	6	-960	-42025,9	64,1	-12,8	0	Ok
164	6	-1013,3	-41916,0	49,0	-12,7	0	Ok
164	6	-1066,7	-41802,9	35,6	-12,7	0	Ok
164	6	-1120	-41687,0	24,3	-12,7	0	Ok
164	6	-1173,3	-41568,3	15,4	-12,6	0	Ok
164	6	-1226,7	-41446,9	8,7	-12,6	0	Ok
164	6	-1280	-41323,1	4,2	-12,6	0	Ok
164	6	-1333,3	-41196,9	1,3	-12,5	0	Ok
164	6	-1386,7	-41068,5	0,2	-12,5	0	Ok
164	6	-1440	-40938,0	0,7	-12,4	0	Ok
164	6	-1493,3	-40805,5	0,6	-12,4	0	Ok
164	6	-1546,7	-40671,2	0,2	-12,4	0	Ok
164	6	-1600	-40671,2	0	-12,4	0	Ok

Sezioni maggiormente sollecitate:

<b>Plin.</b>	<b>Cmb.</b>	<b>Palo</b>	<b>Quota</b>	<b>N</b>	<b>M</b>	<b>Tens. C</b>	<b>Wk</b>
			cm	daN	daN cm	daN/cm <sup>2</sup>	mm
6	164	6	0	-43778,7	791,3	-13,3	0

Valori massimi SLE condizioni quasi permanenti:

Ten.massima CLS = 13,3 daN/cm<sup>2</sup> < Ten. lim. CLS = 112,1 daN/cm<sup>2</sup> Ok

Fessure Wk massima = 0 mm < Wk amm. = 0,300 mm Ok

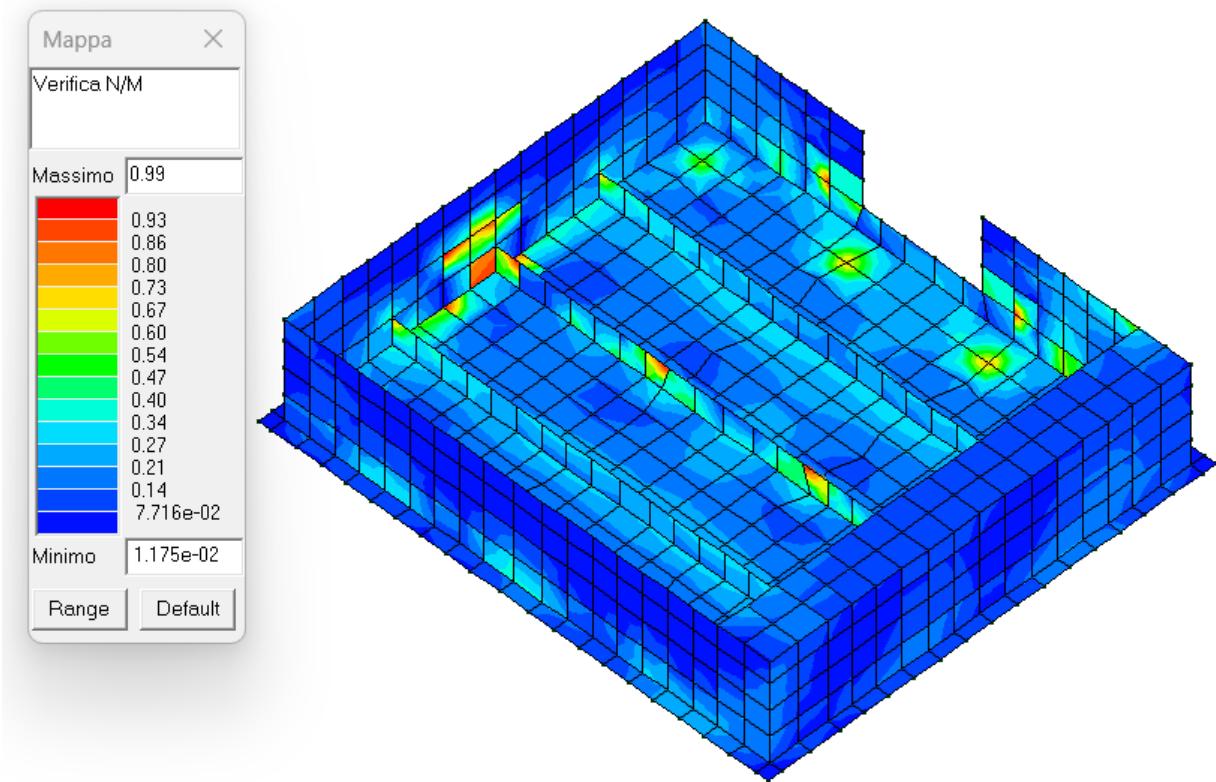


Figura 43 – SLU Verifica a pressoflessione rapporto  $Ed/Rd$ : valore minore o uguale a 1 per verifica positiva

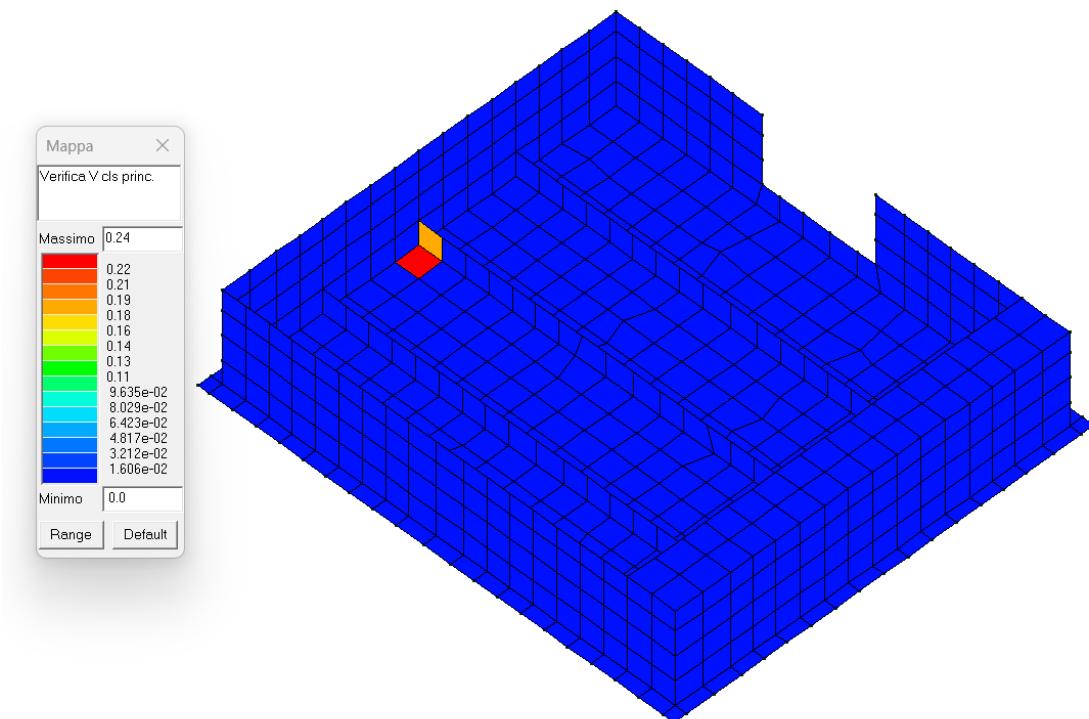


Figura 44 – SLU Verifica a taglio nella direzione principale lato calcestruzzo: valore minore o uguale a 1 per verifica positiva

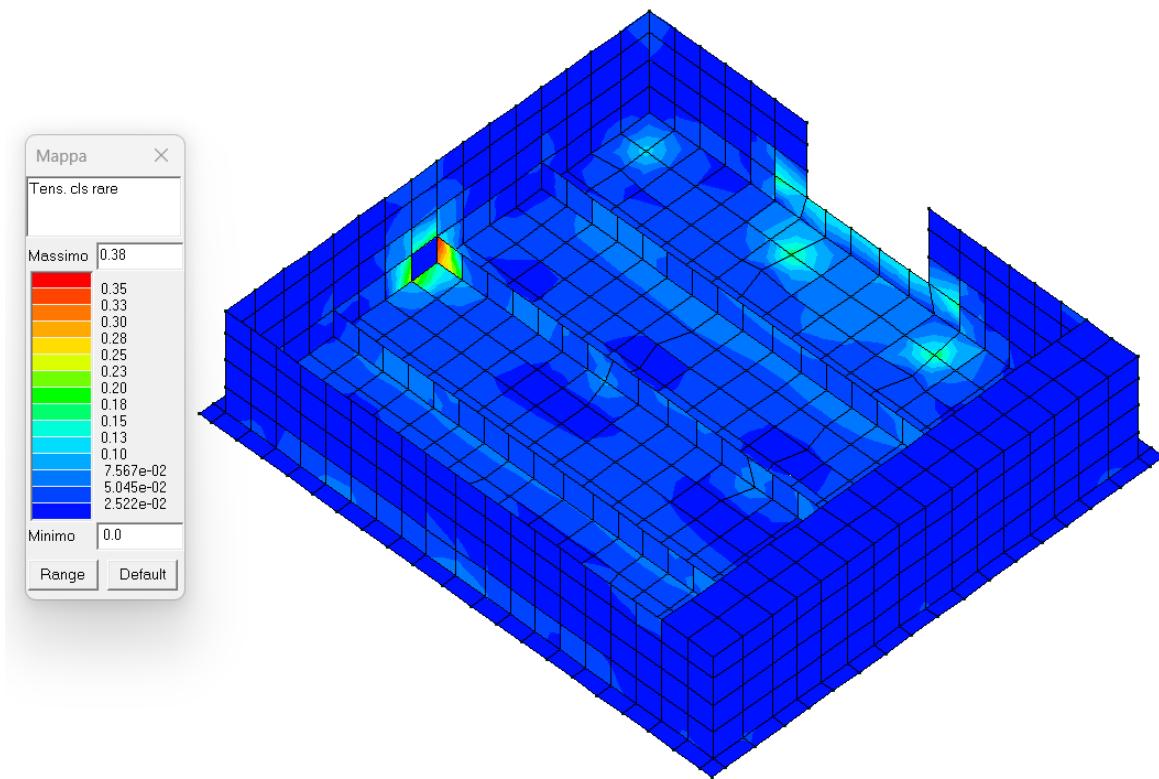


Figura 45 - SLE Tensione cls Comb. Rare: valore minore o uguale a 1 per verifica positiva

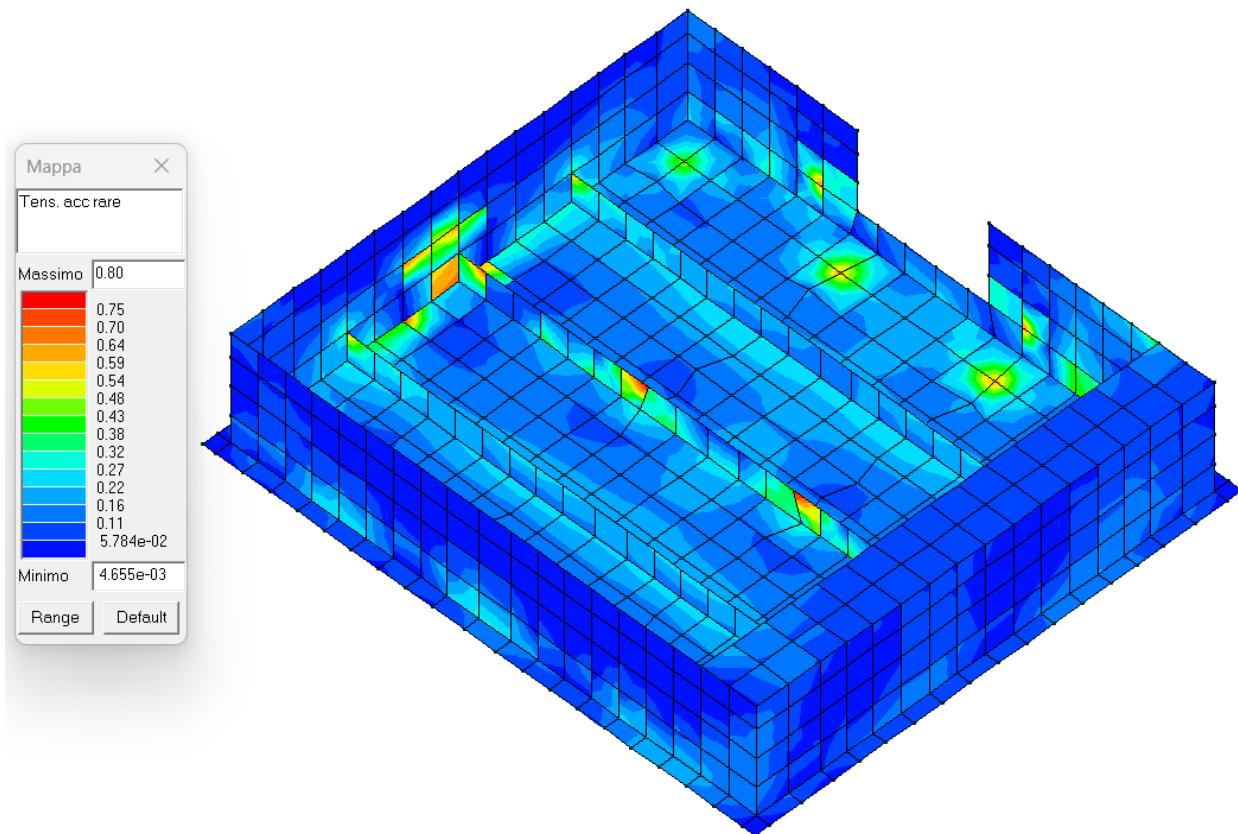


Figura 46 - SLE tens. acciaio Comb. Rare: valore minore o uguale a 1 per verifica positiva



## 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

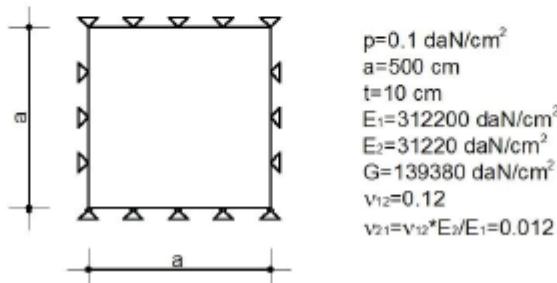
Revisione: 02  
 Data: 25/07/2019  
 Programma: PRO\_SAP  
 Versione: 2006-09-138; 2019-07-185  
 Files: Mod00\_T010\_orto\_piastra\_ALGOR.PSP; Mod00\_T010\_orto\_piastra.PSP

- 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
$\delta_{z, \text{max}} [\text{cm}]$	1.3155	1.314	0.11%	1.355	3.00%
$M_{1-1, \text{max}} [\text{daN-cm/cm}]$	1284.10	1283.66	0.03%	1301.97	1.40 %
$M_{1-2, \text{max}} [\text{daN-cm/cm}]$	-1553.60	-1548.98	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.



$$D = \frac{E_1 t^3}{12(1 - \frac{V_{21}^2}{\alpha})} ; \quad \alpha = \frac{E_2}{E_1} ; \quad \beta = \frac{G}{E_1}$$

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

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

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

CALCOLO MANUALE FINO A CONVERGENZA DELLA  
 SOLUZIONE



## Test 25 TENSIONI DI ELEMENTI PLATE

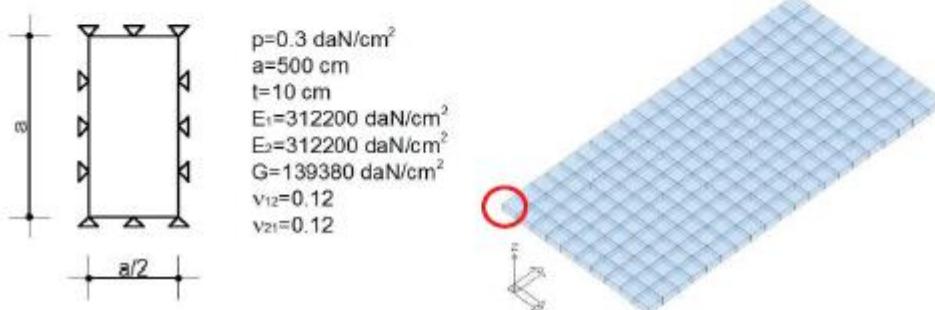
Revisione: 02  
Data: 19/01/2011  
Programma: PRO\_SAP  
Versione: 2006-09-138; 2010-05-151;  
Files: Mod00\_T025\_tensioniD3\_ALGOR.PSP; 2 Mod00\_T025\_tensioniD3.PSP

- Scopo:**

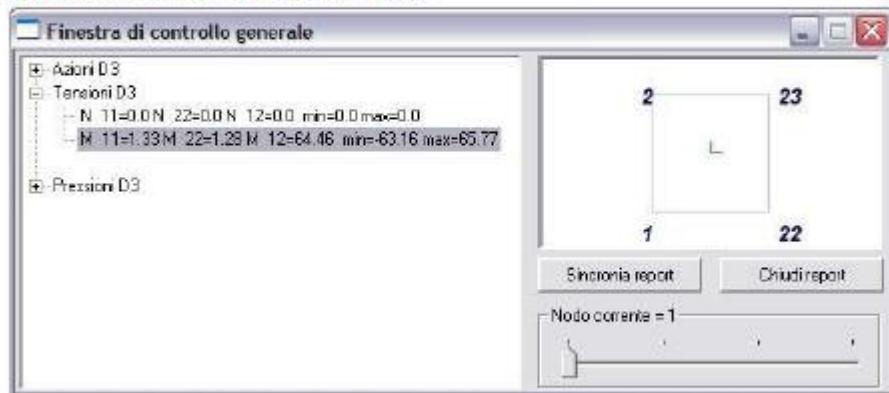
Validazione dell'utilizzo delle tensioni ottenute con elementi D3 (R).

- 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%.

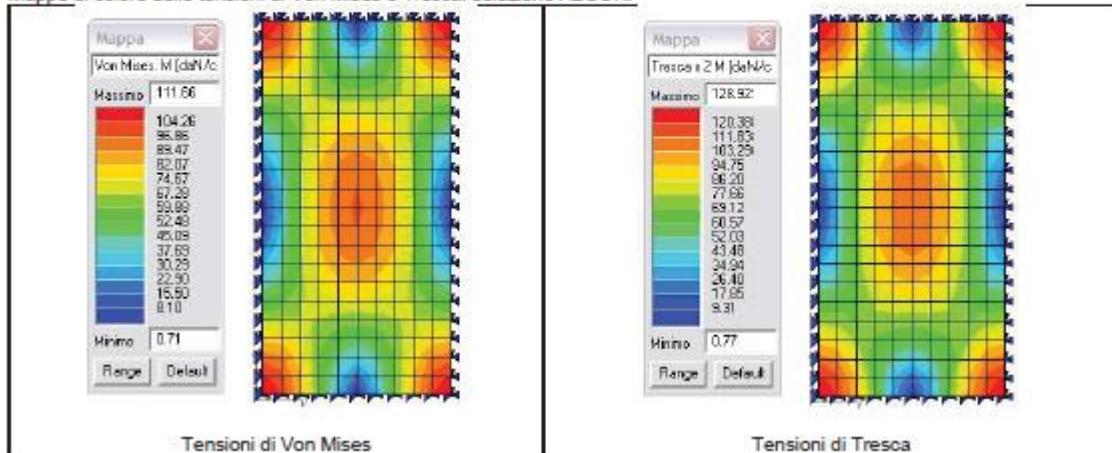
(\*) risultati relativi alla versione corrente di e\_SAP.

- **Allegati:**

Calcoli manuali.

$$\begin{aligned}
 G_{11} &= 1,33 \text{ daN/cm}^2 & G_{22} &= 1,28 \text{ daN/cm}^2 & G_{12} &= 64,46 \text{ daN/cm}^2 \\
 G_{AP} &= \frac{G_{11} + G_{22}}{2} + \sqrt{\frac{(G_{11} - G_{22})^2 + G_{12}^2}{2}} = 65,77 \text{ daN/cm}^2 \\
 G_{AP} &= \frac{G_{11} + G_{22}}{2} - \sqrt{\frac{(G_{11} - G_{22})^2 + G_{12}^2}{2}} = -63,16 \text{ daN/cm}^2 \\
 G_{VM} &= \sqrt{G_{11}^2 + G_{22}^2 - G_{11} \cdot G_{22} + 3G_{12}^2} = 111,66 \text{ daN/cm}^2 \\
 G_{TRESCA} &= |G_{AP} - G_{AP}| = 128,92 \text{ daN/cm}^2
 \end{aligned}$$

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 tensioideformativo 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 tensioideformativo 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 rigidezza)

\* 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).

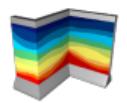
PRO\_SAM prevede una modellazione tridimensionale a macroelementi, nella quale la struttura portante, costituita da elementi ad asse verticale (pannelli in muratura ordinaria e/o armata, pilastri e/o pareti in cemento armato, elementi strutturali a sezione personalizzata, in acciaio, legno o altro materiale) 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 rigidezza 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 complesso fondazione terreno (carico limite)
- Verifica della stabilità globale (eseguita tramite il solutore PCSTABLSM - Purdue University)
- Calcolo delle sollecitazioni del muro (elevazione e fondazione), progetto delle armature e relative verifiche dei materiali.



**PRO\_SAP**



**PRO\_SAM**

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 autodiagnistica**

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.

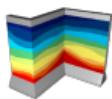
**Garanzia di qualità**

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.



**PRO\_SAP**



**PRO\_SAM**



## 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/>