

Regione Puglia



Provincia di Brindisi



Comune di Brindisi

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO  
E OPERE CONNESSE  
(Potenza Impianto Fotovoltaico 25MW)**

**BR\_AS\_AUR 5 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE**

<b>Committente:</b>		<b>Engineering:</b>	
ACEA SOLAR s.r.l. Piazzale Ostiense n.2 00154 Roma (RM)		 ACEA SOLAR SRL	
			
<b>Il Tecnico</b>		Revisioni	DATA
			
			Protocollo Iter Autorizzativo
Descrizione	<b>Relazione di calcolo preliminare</b>		
Commessa	<b>BR-AGRIAIA</b>		

## Indice

1. OGGETTO E SCOPO .....	4
2. LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO .....	4
2.1 Inquadramento Geografico e Territoriale.....	4
2.2 Inquadramento Geologico.....	7
3. STRUTTURE DI SUPPORTO MODULI .....	10
3.1 Geometria.....	10
3.2 Descrizione del modello.....	11
3.3 Carichi agenti.....	15
3.3.1 Vento.....	15
3.3.2 neve .....	23
3.4 Schematizzazione dei casi di carico e delle combinazioni.....	25
3.5 Calcolo delle sollecitazioni e degli spostamenti.....	26
3.6 Verifiche.....	31
3.6.1 Verifica delle tensioni di esercizio delle aste in acciaio .....	31
3.6.2 Verifica nei riguardi dello sfilamento .....	32
4. FONDAZIONI CABINE CONVERSIONE .....	33
4.1 Modello numerico .....	34
4.2 Caratteristiche dei materiali utilizzati .....	35
4.3 Azioni agenti sulla struttura .....	36
4.4 Risultati grafici opere di fondazione .....	37
4.5 Verifiche elementi guscio in C.A. ....	38
5. FONDAZIONE TRASFORMATORE DI POTENZA.....	41
5.1 Descrizione generale .....	41
5.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	42
5.3 MATERIALI E DURABILITÀ.....	43
5.4 MODELLO NUMERICO.....	46
5.5 TIPO DI ANALISI STRUTTURALE .....	46
5.6 COMBINAZIONI E/O PERCORSI DI CARICO.....	48
5.7 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI.....	48
5.8 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO.....	48
5.9 MODELLAZIONE DELLE SEZIONI .....	49
5.9.1 LEGENDA TABELLA DATI SEZIONI .....	49
5.10 MODELLAZIONE STRUTTURA .....	50
5.10.1 NODI.....	50
5.10.2 ELEMENTI TRAVE .....	50
5.10.3 ELEMENTI SHELL.....	52
5.11 MODELLAZIONE DELLE AZIONI.....	54

5.12	VERIFICHE ELEMENTI PARETE E/O GUSCIO IN C.A. ....	61
5.13	RELAZIONE GEOTECNICA E DELLE FONDAZIONI.....	66

## 1. OGGETTO E SCOPO

Il presente documento descrive i criteri di progetto adottati per il dimensionamento preliminare delle opere strutturali da realizzarsi nell'impianto agrivoltaico di 25,00 MWp in Località Masseria Restinco nel Comune di Brindisi.

Le opere strutturali in questione riguardano:

- Strutture di supporto moduli fotovoltaici
- Fondazione cabine di conversione
- Fondazione trasformatore di elevazione in stazione utente

## 2. LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO

### 2.1 Inquadramento Geografico e Territoriale

L'area d'intervento ricade in agro di Brindisi - Località Masseria Restinco; è posizionata ad una distanza di circa 4,5 km Ovest rispetto al nucleo urbano di Brindisi, a nord della Strada Statale n. 7, ad ovest rispetto alla Strada Provinciale n.43 e ad una distanza di ca. 5,7 Km dalla Stazione Elettrica RTN 150/380 kV di Brindisi.

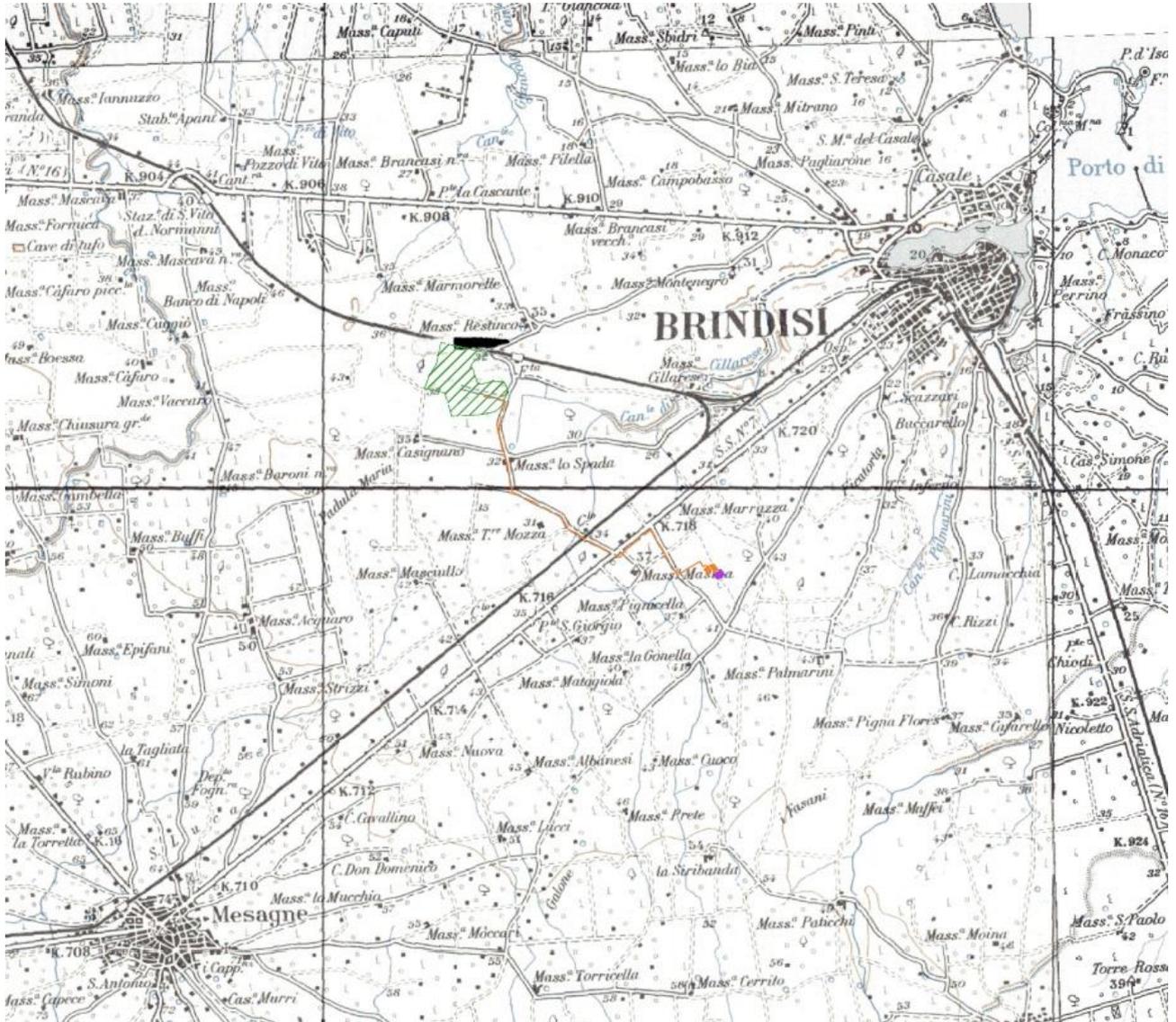
Coordinate Sito impianto FV:

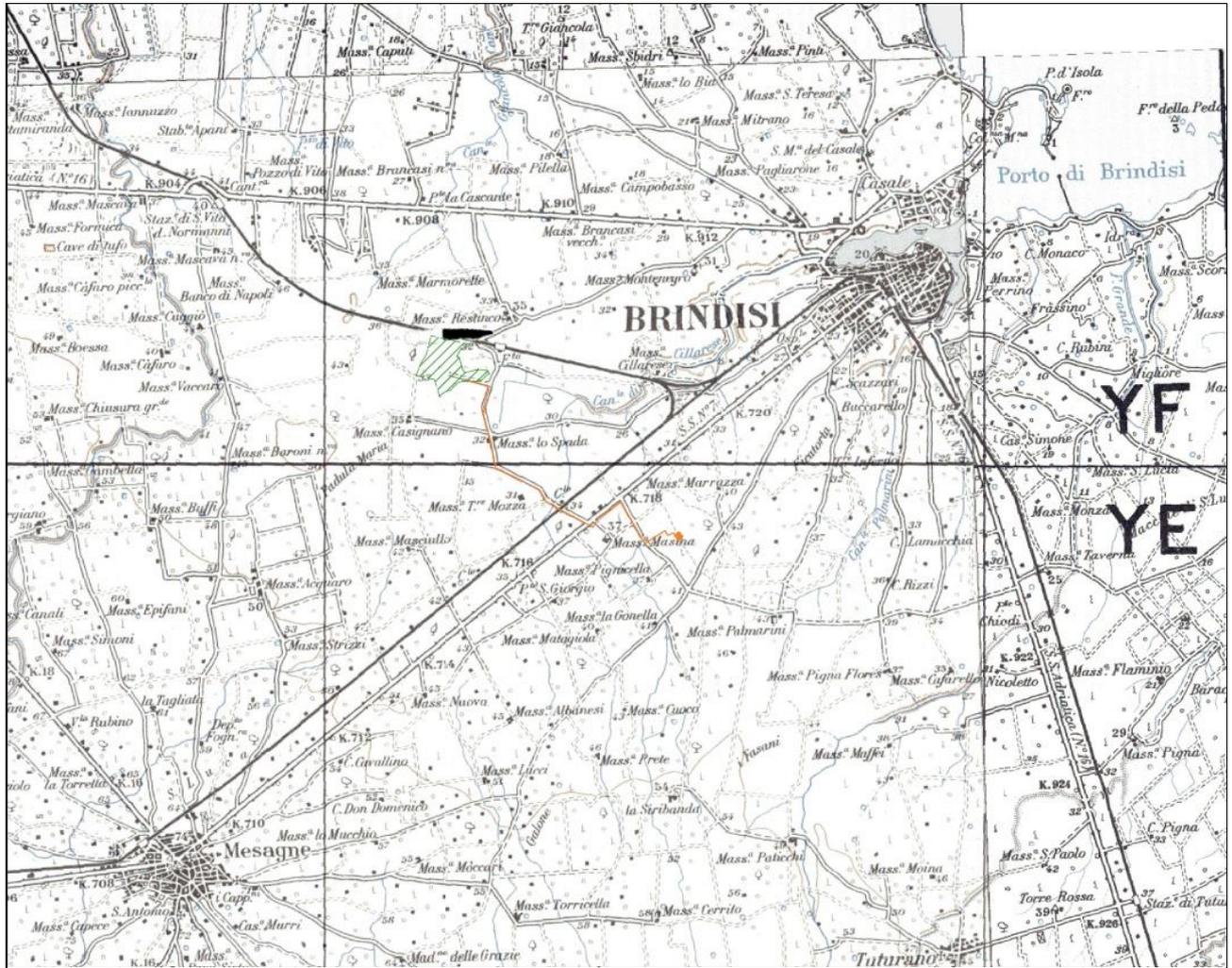
Lat. 40,626042 - Long. 17,859954



LEGENDA	
AREE INTERESSATE DAL PARCO AGRIVOLTAICO	
INTERCONNESSIONI ELETTRICHE INTERRATE E OPERE DI CONNESSIONE	
STAZIONE ELETTRICA UTENTE / CONDOMINIO TERNA AMPLIAMENTO STAZIONE ELETTRICA DI TRASFORMAZIONE DELLA RTN 380/ 150 KV DI BRINDISI	

Stralcio Ortofoto



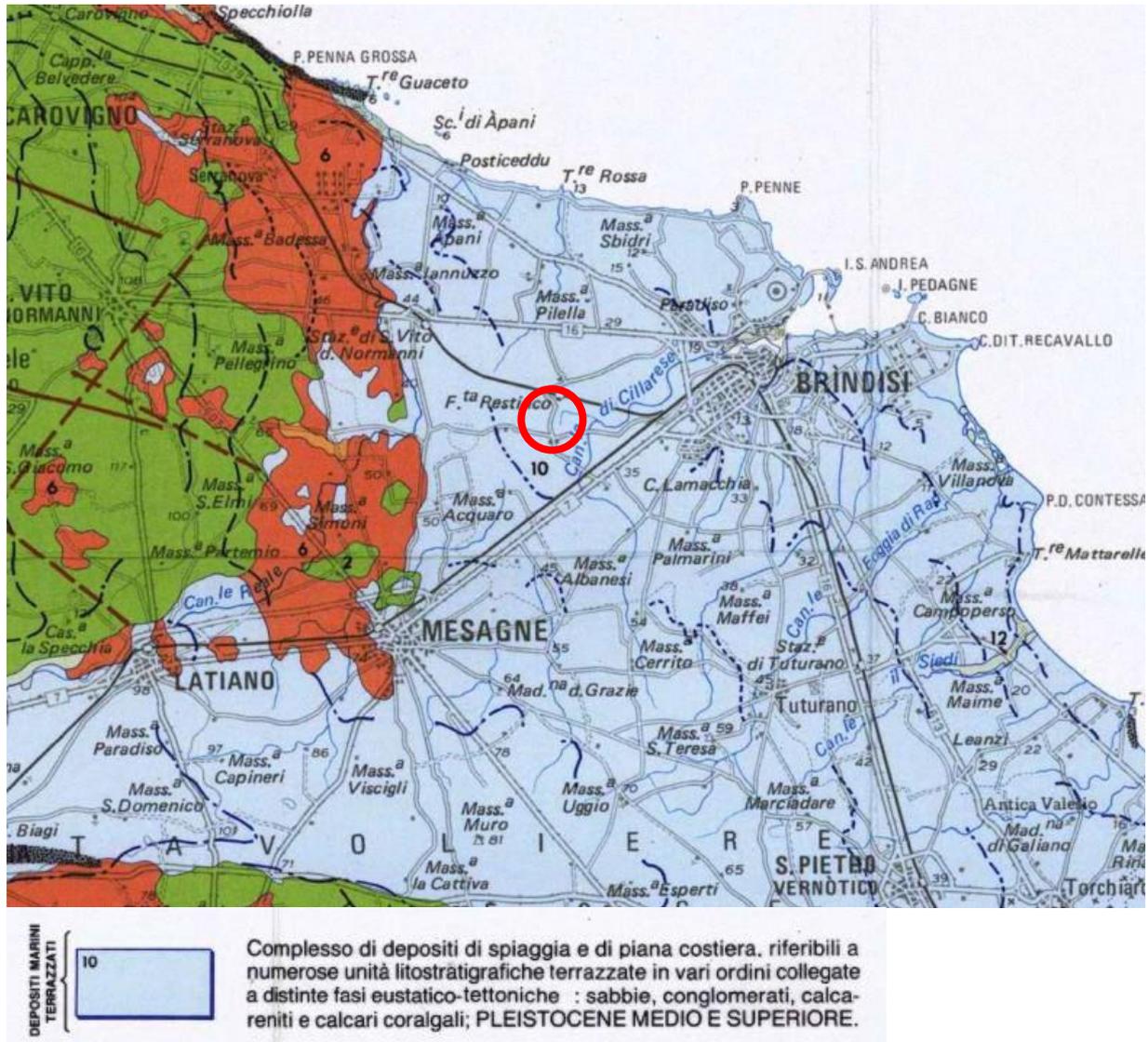


LEGENDA	
AREE INTERESSATE DAL PARCO AGRIVOLTAICO	
INTERCONNESSIONI ELETTRICHE INTERRATE E OPERE DI CONNESSIONE	

Inquadramento area di Intervento su IGM

## 2.2 Inquadramento Geologico

L'area d'intervento ricade all'interno di un bacino di sedimentazione costituito dai cosiddetti depositi marini terrazzati, comprendenti sia calcareniti che sabbie fini calcaree più o meno argillose, affioranti diffusamente tra Francavilla F. e Brindisi.



Carta geologica delle murge e del Salento

La campagna di indagini geognostiche, pianificata per il presente progetto, è consistita in:

- n. 1 indagini sismiche a rifrazione in onde P;
- n. 5 prove penetrometriche dinamiche (DPSH);
- n. 1 Indagine Sismica MASW.

Le prove hanno evidenziato, al di sotto dello strato di terreno vegetale (che si rinviene sino ad una profondità massima di 0,60 m dal p.c.), la presenza di un banco limo-sabbioso dello spessore di circa 1,50 m, moderatamente consistente, al di sotto del quale

è stato rinvenuto un banco sabbioso-calcarenitico piuttosto cementato, che ha portato a rifiuto tutte le prove eseguite.

In generale si rileva la presenza di un primo strato di sabbie limose, seguito da un banco di sabbie grossolane alternate a livelli arenitici cementati (figure 27 e 28); tale assetto è evidenziato da un aumento repentino nel numero dei colpi e da un conseguente miglioramento delle caratteristiche geotecniche.

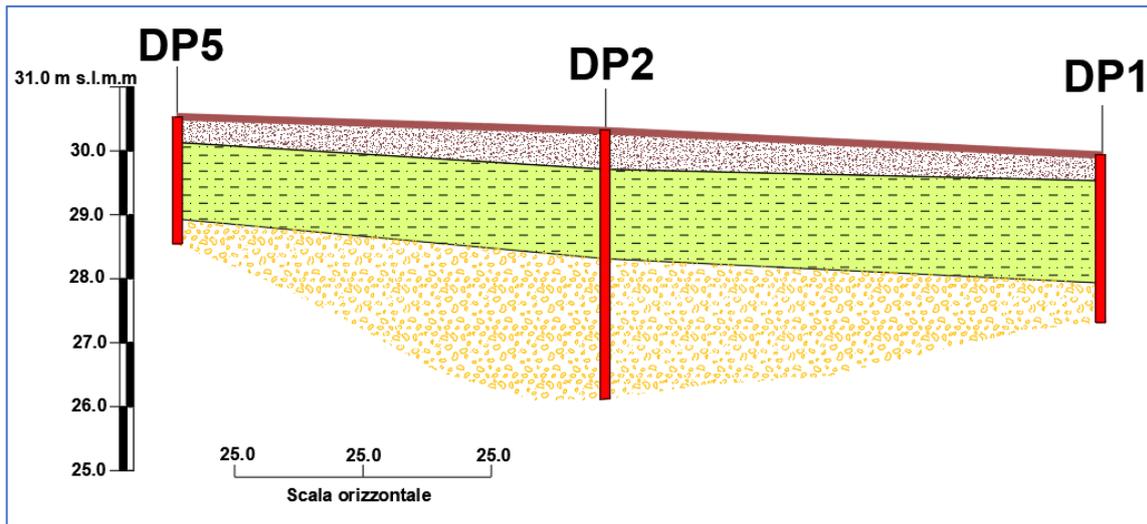


Figura 1: Sezione stratigrafica interpretativa desunta dalle prove DPSH.

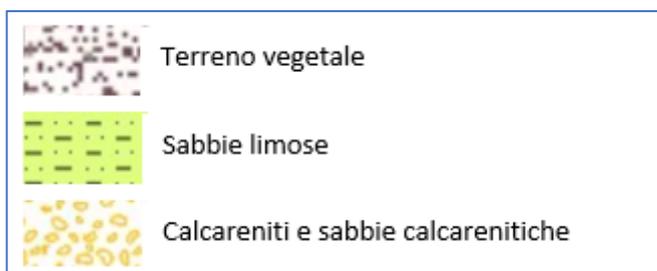
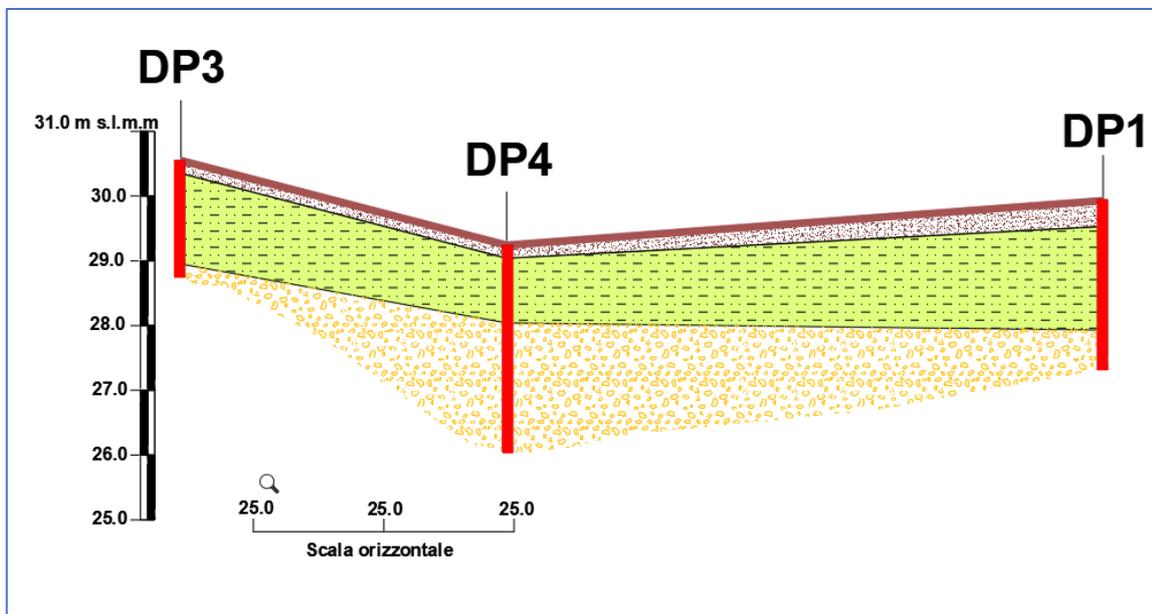


Figura 2: Sezione stratigrafica interpretativa desunta dalle prove DPSH.

Il modello geologico di riferimento viene nel seguito sintetizzato:

**Orizzonte A – DEPOSITI DI COPERTURA ATTUALI**

da 0.00 m a 0.60 m Terreno vegetale.

**Orizzonte B – DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI**

da 0.60 m a 1.50/2.00 m Sabbie limose con abbondanti concrezioni calcaree di precipitazione secondaria prive di consistenza di colore prevalentemente giallo-avana.

**Orizzonte C – DEPOSITI DI TERRAZZO**

da 1.50/2.00 a ..... Sabbioni calcarenitici concrezionati costituiti da alternanze di livelli sabbiosi e livelli di arenarie organogene dello spessore variabile di colore prevalentemente giallo-ocra. Il deposito si presenta da mediamente a molto addensato.

La falda idrica superficiale si attesta ad una quota di circa 4,50 m dal p.c. e circola all'interno del deposito sabbioso-calcarenitico.

In accordo con il modello geologico, è stato elaborato il modello geotecnico dell'area in studio, il quale è formato dai seguenti livelli:

<b>Livello Geotecnico</b>	<b>Descrizione</b>
LIVELLO 1)	TERRENO VEGETALE
LIVELLO 2)	LIMI SABBIOSI
LIVELLO 3)	SABBIE CALCARENITICHE E CALCARENITI

Dal punto di vista geotecnico i terreni che costituiscono il sedime di fondazione delle opere di futura progettazione, sono da assimilare a materiali misti granulari per il livello 3), ed a materiali granulari/coesivi per il livello 2).

I parametri geotecnici sono sintetizzati in Tabella 1 e Tabella 2.

<b>ID Strato</b>	<b>Tipo</b>	<b>Classificazione AGI</b>	<b>Peso di Volume (t/m³)</b>	<b>Peso di Volume Saturo (t/m³)</b>	<b>Coesione non Drenata (kPa)</b>	<b>Modulo Edometrico (Kg/cm2)</b>
Limi Argillosi	Coesivo	Moderatamente Consistente	1.77-1.93	1.90-2.12	30-60	30-90

Tabella 1: Sintesi dei parametri geotecnici ricavati dalle prove DPSH per gli strati coesivi.

<b>ID Strato</b>	<b>Tipo</b>	<b>Classificazione AGI</b>	<b>Peso di Volume (t/m³)</b>	<b>Peso di Volume Saturo (t/m³)</b>	<b>Densità relativa (%)</b>	<b>Angolo di attrito (°)</b>	<b>Modulo Edometrico (Kg/cm2)</b>
Sabbie calcarenitiche	Granulare	Addensato – Molto Addensato	1.80 – 1.90	1.90-2.20	60-100	35-40	400-1000

Tabella 2: Sintesi dei parametri geotecnici ricavati dalle prove DPSH per gli strati granulari.

Le opere di progetto andranno ad interessare essenzialmente i livelli geotecnici 2) e 3).

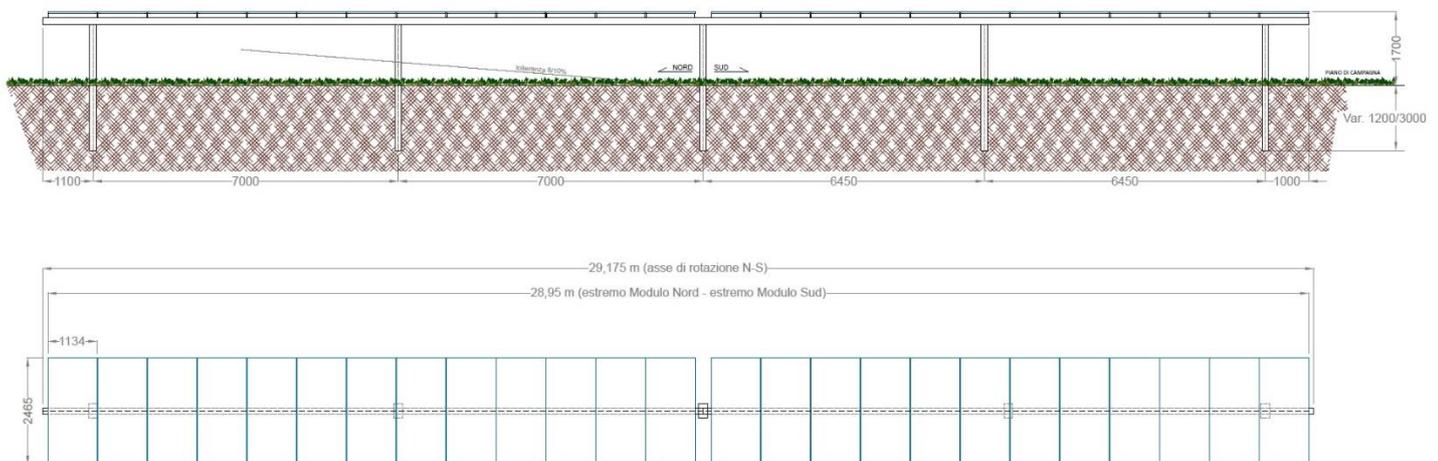
Maggiori dettagli relativi alle litologie ed alle stratigrafie sono riportate nella relazione Geologica allegata al progetto.

### 3. STRUTTURE DI SUPPORTO MODULI

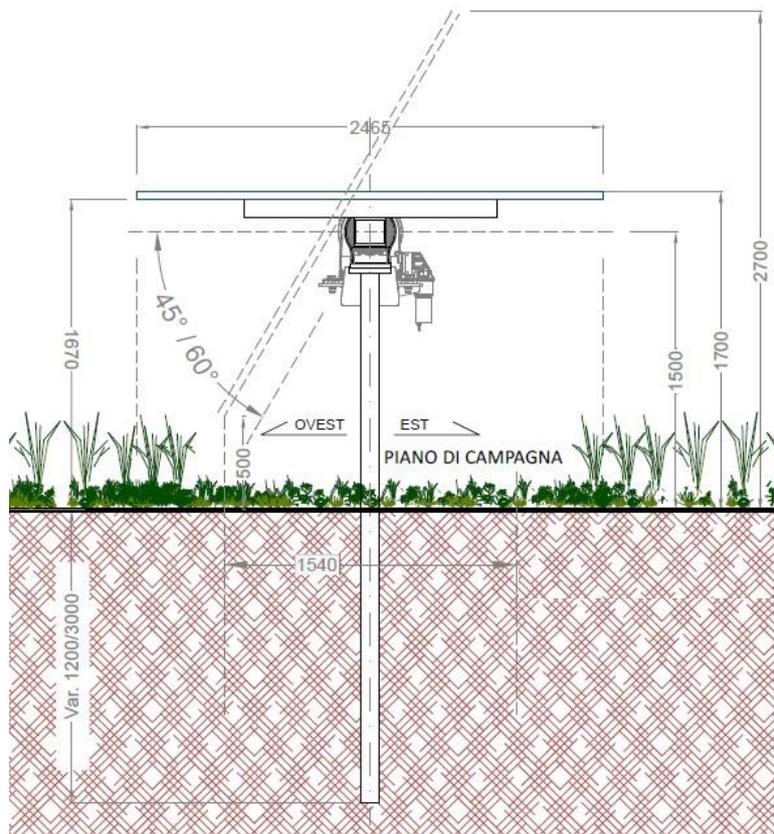
#### 3.1 Geometria

Le strutture di supporto dei moduli appartengono alla tipologia Tracker mono-assiale, con asse di rotazione in sviluppo longitudinale lungo l'asse Nord-Sud con esposizione dei moduli fotovoltaici variabile da Est ad Ovest. L'inclinazione delle vele varia durante l'arco della giornata, da 0° a 60° rispetto all'orizzontale, in funzione dell'orbita solare.

L'ancoraggio al terreno della struttura di supporto dei pannelli fotovoltaici sarà affidato ad un sistema di pali in acciaio zincato infissi nel terreno tramite battitura o trivellazione, a profondità variabili in funzione delle considerazioni geomorfologiche e geotecniche.



Vista frontale ed in pianta struttura Tracker (1x25 moduli)



Sezione trasversale tipologica struttura Tracker

### 3.2 Descrizione del modello

La struttura viene modellata partendo dalle specifiche tecniche fornite dal produttore.

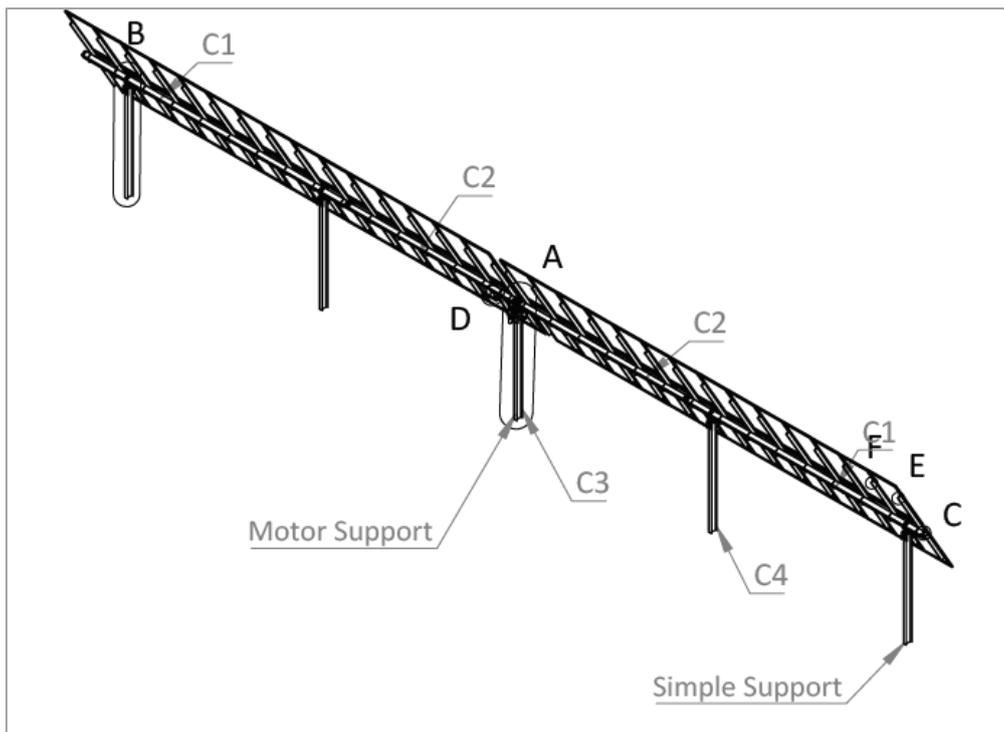
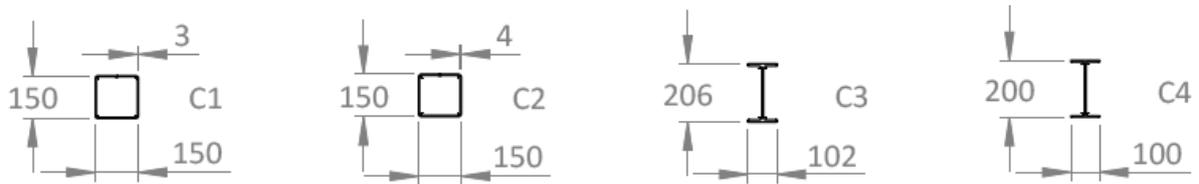
Nel presente campo agrivoltaico è previsto che il “modulo standard” è costituito da una struttura in elevazione in acciaio TIPO TRACKER DI SUPPORTO MODULI FOTOVOLTAICI TILT +/-60A ANCORAGGIO CON VITI DI PROFONDITA' infissa nel terreno per circa 2 - 2,5 mt, come in figura, collegati superiormente da un Tubo Quadro 150\*150\*3 sul quale poggiano attraverso elementi in OMEGA 65x30x25 i moduli fotovoltaici. L'angolo d'inclinazione è variabile. Per maggiore chiarezza si rimanda alle tavole grafiche allegate.

Le strutture di supporto dei moduli vengono modellate come elementi asta, mentre i montanti verticali vengono modellati come aste vincolate alla base con molle di rigidità tale da simulare quella del terreno in cui sono infisse.

Viste le caratteristiche dei terreni, la possibilità di utilizzare pali infissi per il supporto delle strutture fotovoltaiche, risulta in parte limitata dalla presenza di una bancata calcarenitica, la quale si rinviene in maniera continua su tutta l'area del parco in progetto, ad una profondità media di circa 2 m dal p.c.. A tal proposito bisognerà prevedere un pre-foro per l'allocazione dei pali di sostegno delle strutture e successiva cementazione dello stesso, oppure prevedere l'utilizzo di strutture tipo viti.

Le sezioni costituenti i singoli elementi strutturali sono le seguenti:

Id	Tipo	Area	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>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	Profilo IPE 200 C4	28.50	7.00	142.00	1943.00	28.50	194.30	44.60	220.60
2	profilo IPE206 C3	29.28	5.61	151.12	2120.68	29.63	205.89	46.46	233.63
3	profilo Q150x4.0 C2	22.76	1267.70	797.32	797.32	106.31	106.31	123.46	123.46
4	profilo Q150x3.0 C1	17.04	961.25	602.84	602.84	80.38	80.38	92.82	92.82



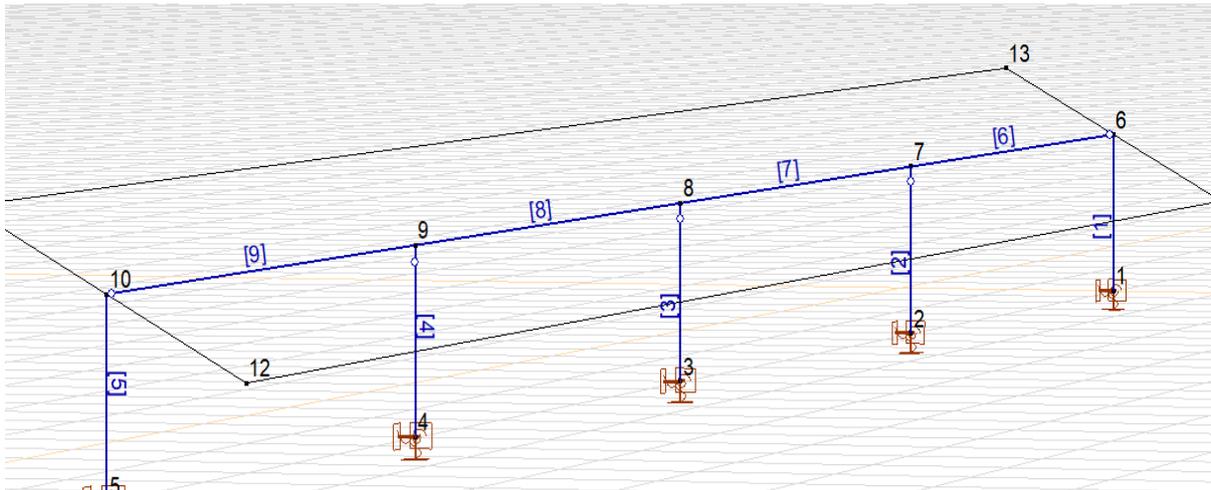
Vista ad elementi 3D del modello

Le caratteristiche dei materiali sono le seguenti:

Nome	Tipo	Normativa nazionale	Codice materiale	Modello	E <sub>x</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	E <sub>y</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
1 S 355	Acciaio	NTC (Italiane)	UNI EN 10025-2 (Acciaio)	Lineare	210000	210000
2 S 235	Acciaio	NTC (Italiane)	UNI EN 10025-2 (Acciaio)	Lineare	210000	210000

Nome	v	α <sub>T</sub> [1/°C]	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>

	Nome	$\nu$	$\alpha_T [1/^\circ\text{C}]$	$\rho [\text{kg/m}^3]$	$P_1$	$P_2$
1	S 355	0,30	1,2E-5	7850	$f_y[\text{N/mm}^2] = 355,00$	$f_u[\text{N/mm}^2] = 510,00$
2	S 235	0,30	1,2E-5	7850	$f_y[\text{N/mm}^2] = 235,00$	$f_u[\text{N/mm}^2] = 360,00$



### Nodi

	X [m]	Y [m]	Z [m]	$e_x$	$e_y$	$e_z$	$\vartheta_x$	$\vartheta_y$	$\vartheta_z$
1	-0,018	1,969	0	f	f	f	f	f	f
2	6,982	1,969	0	f	f	f	f	f	f
3	13,982	1,969	0	f	f	f	f	f	f
4	20,982	1,969	0	f	f	f	f	f	f
5	27,982	1,969	0	f	f	f	f	f	f
6	-0,018	1,969	1,200	f	f	f	f	f	f
7	6,982	1,969	1,200	f	f	f	f	f	f
8	13,982	1,969	1,200	f	f	f	f	f	f
9	20,982	1,969	1,200	f	f	f	f	f	f
10	27,982	1,969	1,200	f	f	f	f	f	f
11	27,982	0,969	1,700	f	f	f	f	f	f
12	27,982	2,969	0,700	f	f	f	f	f	f
13	-0,018	0,969	1,700	f	f	f	f	f	f
14	-0,018	2,969	0,700	f	f	f	f	f	f

### Travi

	Nodo i	Nodo j	Lunghezza	x Locale	Materiale	Start sezione	End sezione	Ref <sub>z</sub>	Ri <sub>p</sub>	Ri <sub>F</sub>
1	1	6	1,200	i - j	S 355	3	3	R1	.	.
2	2	7	1,200	i - j	S 355	3	3	R1	.	Crd-yz
3	3	8	1,200	i - j	S 355	3	3	R1	.	Crd-yz
4	4	9	1,200	i - j	S 355	3	3	R1	.	Crd-yz

	Nodo i	Nodo j	Lunghezza	x Locale	Materiale	Start sezione	End sezione	Ref <sub>z</sub>	Ri <sub>p</sub>	Ri <sub>F</sub>
5	5	10	1,200	i - j	S 355	3	3	R1	.	.
6	6	7	7,000	i - j	S 235	2	2	Auto	Crd-yz	.
7	7	8	7,000	i - j	S 235	2	2	Auto	.	.
8	8	9	7,000	i - j	S 235	2	2	Auto	.	.
9	9	10	7,000	i - j	S 235	2	2	Auto	.	Crd-yz

### 3.3 Carichi agenti

I carichi più sfavorevoli che agiscono sulle strutture di supporto dei moduli fotovoltaici sono quelli dovuti al vento, che in casi eccezionali possono portare anche allo sfilamento dei montanti verticali. In questi tipi di strutture i carichi vento sono di gran lunga più gravosi rispetto ai quelli sismici, che per tal motivo non vengono presi in considerazione.

Per quanto riguarda i carichi da vento si utilizzano gli schemi riportati al DM 17/01/2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni) – Cap. 3 AZIONI SULLE COSTRUZIONI

#### 3.3.1 Vento

L'azione del vento, sebbene di tipo dinamico, viene ricondotta ad un'azione statica equivalente, costituita da pressioni e depressioni agenti normalmente alle superfici delle vele fotovoltaiche.

La pressione del vento  $p$  è data dall'espressione (par.3.3.4):

$$p=q_r*c_e*c_p*c_d$$

dove

- $q_r$  pressione cinetica di riferimento
- $c_e$  coefficiente di esposizione,
- $c_p$  coefficiente di pressione (ex coefficiente di forma),
- $c_d$  coefficiente dinamico;

I metodi di calcolo dei valori dei coefficienti  $c_e$   $c_p$   $c_d$  sono riportati nella Circolare Applicativa (paragrafi C.3.3.7-C.3.3.9).

#### **Pressione cinetica di riferimento $q_r$**

La pressione cinetica di riferimento si calcola mediante la formula (par. 3.3.6)

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

dove

$v_r$  è la velocità di riferimento  $v_r = v_{b,0} * C_a$

$\rho$  è la densità dell'aria, espressa convenzionalmente in 1,25 daN/mc

La pressione cinetica di riferimento si calcola a partire dalla zona di vento e dall'altezza del sito slm, secondo la procedura seguente:

Nota la Zona di vento: 3

Tab. 3.3.I - Valori dei parametri  $v_{b,0}$ ,  $a_0$ ,  $k_s$

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

Si ricavano i valori di  $v_{b,0}$ ,  $a_0$ ,  $k_s$ :

$$v_{b,0} = 27 \text{ m/s};$$

$$a_0 = 500 \text{ m};$$

$$k_s = 0,37$$

Nota l'altezza del sito slm ( $a_s$ ), e confrontata questa con il valore di  $a_0$ , si determina il coeff. altitudine  $c_a$

$$c_a = 1 \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$c_a = 1 + k_s \left( \frac{a_s}{a_0} - 1 \right) \quad \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

nel nostro caso  $a_s = 50 \text{ m} < a_0 = 500 \text{ m}$ ; pertanto  $c_a = 1$

si calcola la velocità di riferimento  $v_r = v_{b,0} * c_a = 27 \text{ m/s}$

e la pressione cinetica di riferimento  $q_r = \frac{1}{2} * \rho * v_r^2 = 0,5 * 1,25 * 27^2 = 455,625$  (espressa in N/mq), ossia 45,56 daN/mq

#### Coefficiente di esposizione $c_e$

Il coefficiente di esposizione  $c_e$  è tabellato in funzione della quota in cui sorge l'edificio, della topografia del terreno e della categoria di esposizione del sito (3.3.7);

Partendo dalla Classe di rugosità del terreno: D -

Tab. 3.3.III - *Classi di rugosità del terreno*

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	a) Mare e relativa fascia costiera (entro 2 km dalla costa); b) Lago (con larghezza massima pari ad almeno 1 km) e relativa fascia costiera (entro 1 km dalla costa) c) Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, ....)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Si può assumere che il sito appartenga alla Classe A o B, purché la costruzione si trovi nell'area relativa per non meno di 1 km e comunque per non meno di 20 volte l'altezza della costruzione, per tutti i settori di provenienza del vento ampi almeno 30°. Si deve assumere che il sito appartenga alla Classe D, qualora la costruzione sorga nelle aree indicate con le lettere a) o b), oppure entro un raggio di 1 km da essa vi sia un settore ampio 30°, dove il 90% del terreno sia del tipo indicato con la lettera c). Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, si deve assegnare la classe più sfavorevole (l'azione del vento è in genere minima in Classe A e massima in Classe D).

nota la Distanza del sito dalla costa: 10km,

si possono incrociare i dati relativi alla zona di vento e la classe di rugosità per risalire alla categoria di esposizione:

ZONE 1,2,3,4,5						
		costa				
		mare			500m	750m
		2 km	10 km	30 km		
A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	<b>II</b>	II	II	III	**

Si ottiene la Categoria esposizione: II

Tab. 3.3.II - *Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione*

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

Dalla categoria di esposizione ricaviamo i valori

$$k_r = 0,19;$$

$$z_0 = 0,05 \text{ m};$$

$$z_{\min} = 4 \text{ m}$$

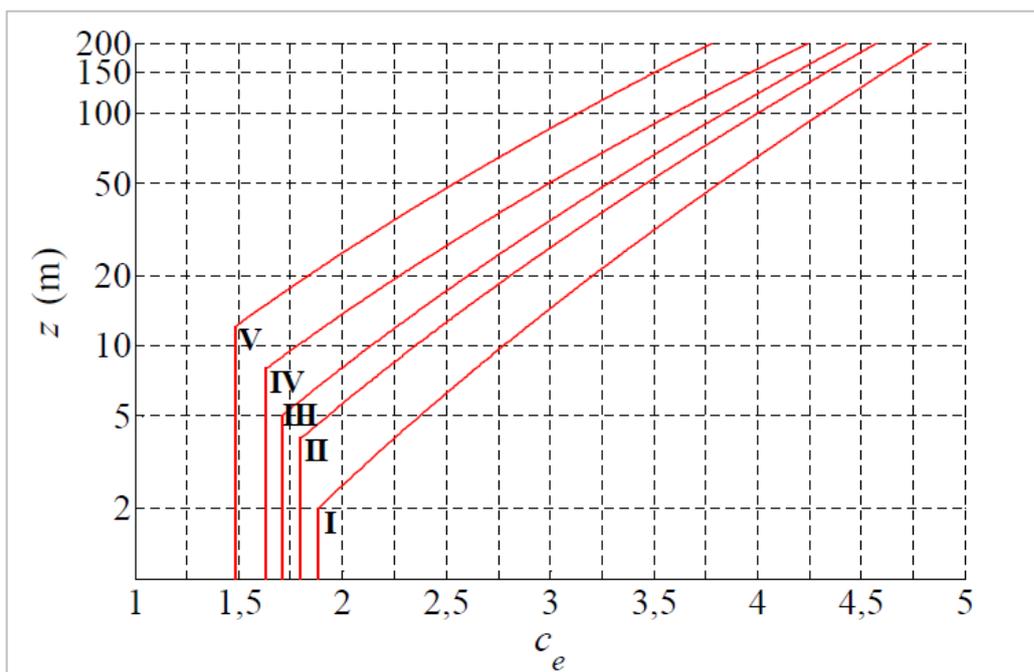
Nota l'altezza della costruzione (z) la si confrontata col valore di  $z_{\min}$  (4mt), si calcola il coefficiente di esposizione, mediante la formula:

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

Oppure, nel caso in cui

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

con il grafico seguente



Nel nostro caso,  $z=2,5\text{mt} \leq z_{\min} (4\text{mt})$ , per la categoria di esposizione tipo II,

$$c_e=1,8$$

### Coefficiente dinamico $c_d$

Il coefficiente dinamico  $c_d$  è il coefficiente con cui si tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali (3.3.9).

Esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di comprovata affidabilità.

### Coefficiente di pressione $c_p$

Il coefficiente aerodinamico (o di pressione)  $c_p$  dipende dalla tipologia della costruzione, dalla sua geometria e dal suo orientamento rispetto alla direzione del vento.

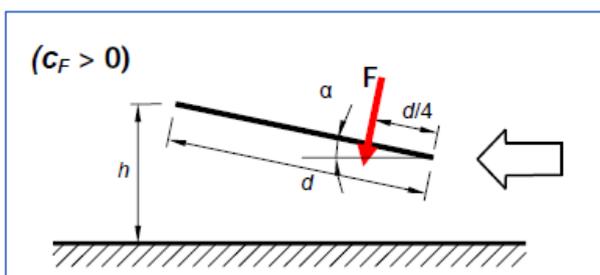
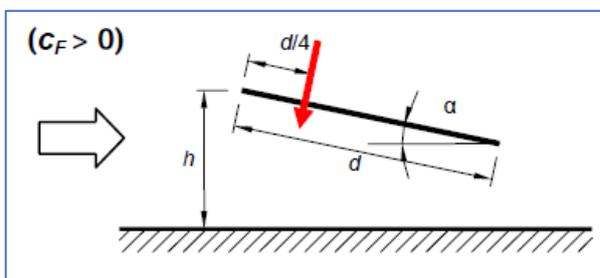
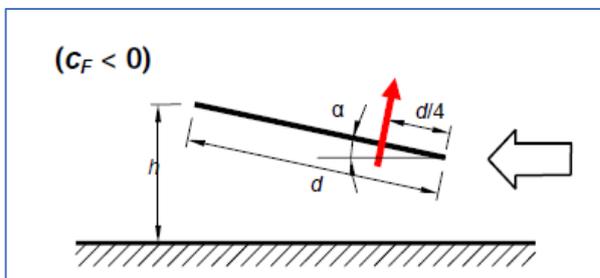
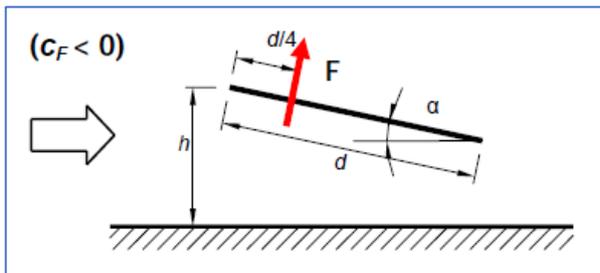
Le strutture fotovoltaiche sono trattate come tettoie a singola falda, con assenza di ostruzioni al di sotto di esse (coefficiente di bloccaggio  $\Phi=0$ )

Al punto C3.3.8.2 della Circolare, che fornisce i criteri per la valutazione dell'azione del vento sulle strutture tipo tettoia, si introduce il coefficiente di forza  $c_F$ , così definito:

Per valori positivi  $c_F = +0,2 + \alpha/30$

Per valori negativi  $c_F = -0,5 + 1,3 * \alpha/30$

L'azione del vento sulle tettoie è schematizzata attraverso 4 schemi di carico in cui le forze  $F$ , risultanti dal campo di pressioni sulla superficie della falda della tettoia, sono dirette ortogonalmente ad essa:



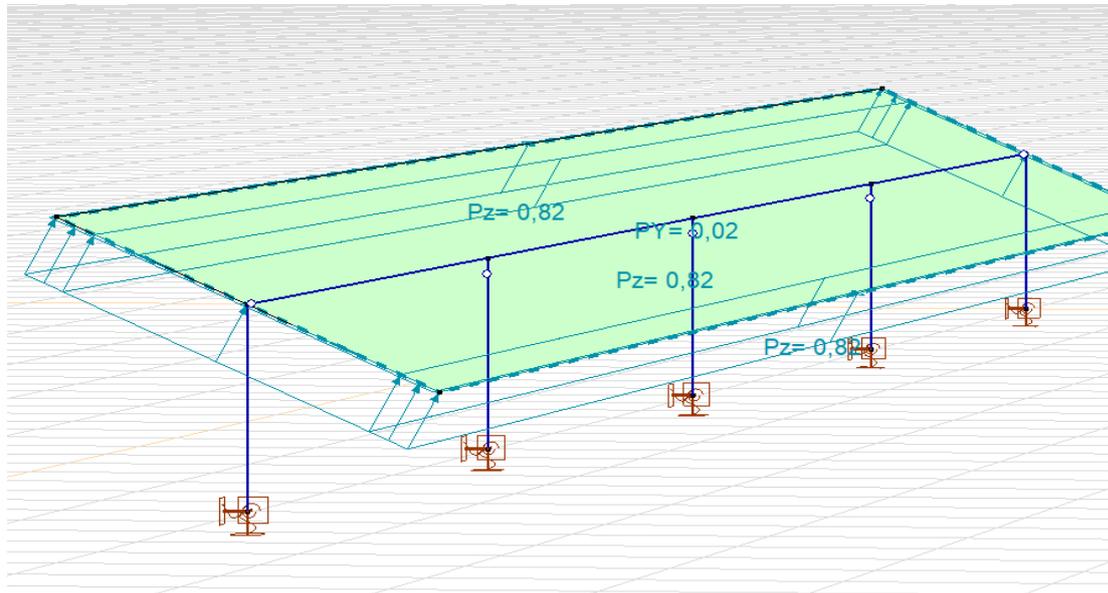
I valori di  $c_f$  variano a seconda dell'angolo di inclinazione dei moduli:

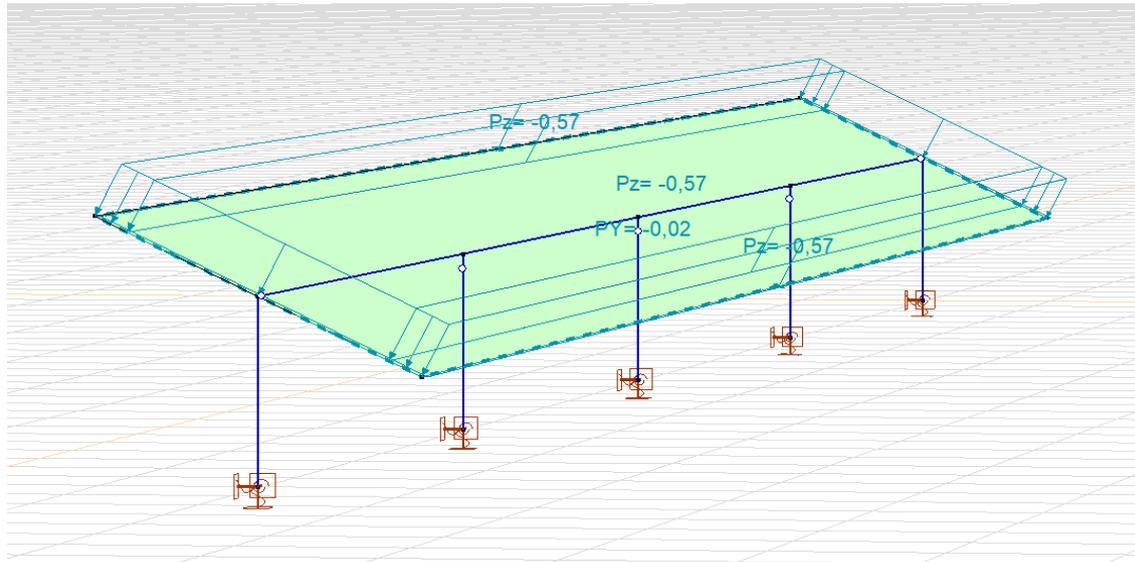
ang	$c_f > 0$	$c_f < 0$
0	0,20	0,50
15	0,70	1,15
30	1,20	1,80
45	1,70	2,45
60	2,20	3,10

### Calcolo della pressione del vento

Le pressioni del vento variano di conseguenza

ang	$c_f > 0$	$p+$ (daN/mq)	$c_f < 0$	$p-$ (daN/mq)
0	0,20	16,40	0,50	41,00
15	0,70	57,40	1,15	94,31
30	1,20	98,41	1,80	147,62
45	1,70	139,42	2,45	200,93
60	2,20	180,42	3,10	254,23





### Calcolo della forza agente sulla struttura

L'area della vela fotovoltaica è pari a:

$$A = 2,10\text{mt} \times 30,20\text{mt} = 116,20\text{mq}$$

La vela fotovoltaica, complesso definito da moduli + arcarecci, trasmette alla trave orizzontale, che funge da asse di rotazione dei trackers, un carico di tipo lineare, pari a:

$$q = p \cdot 2,1$$

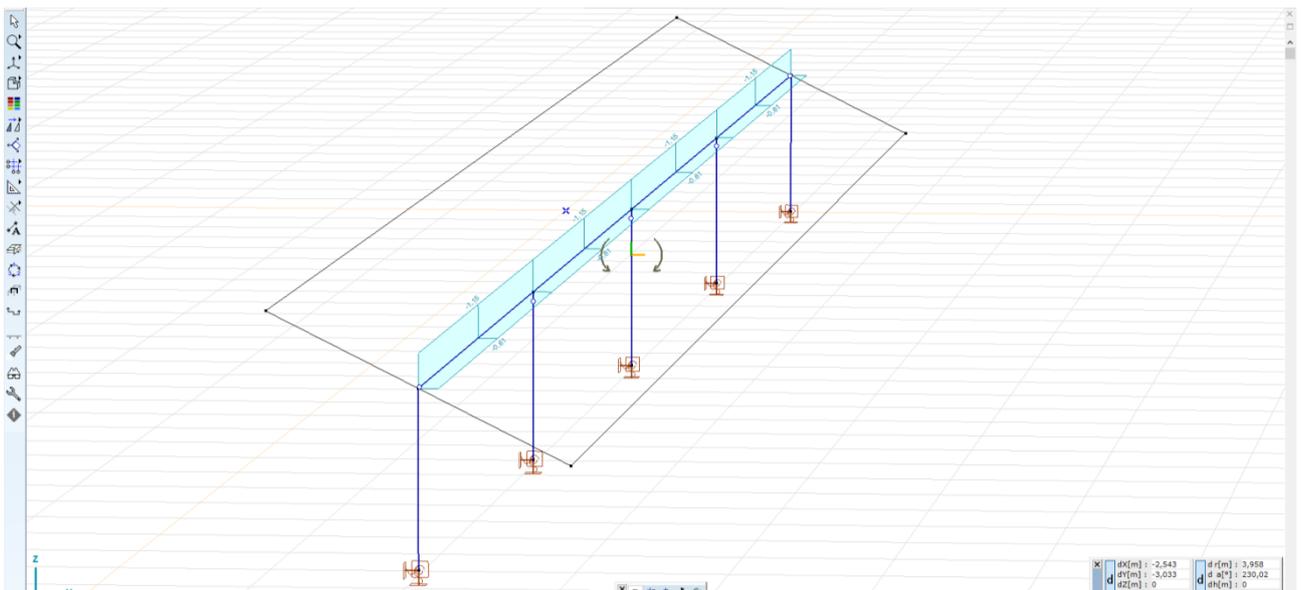
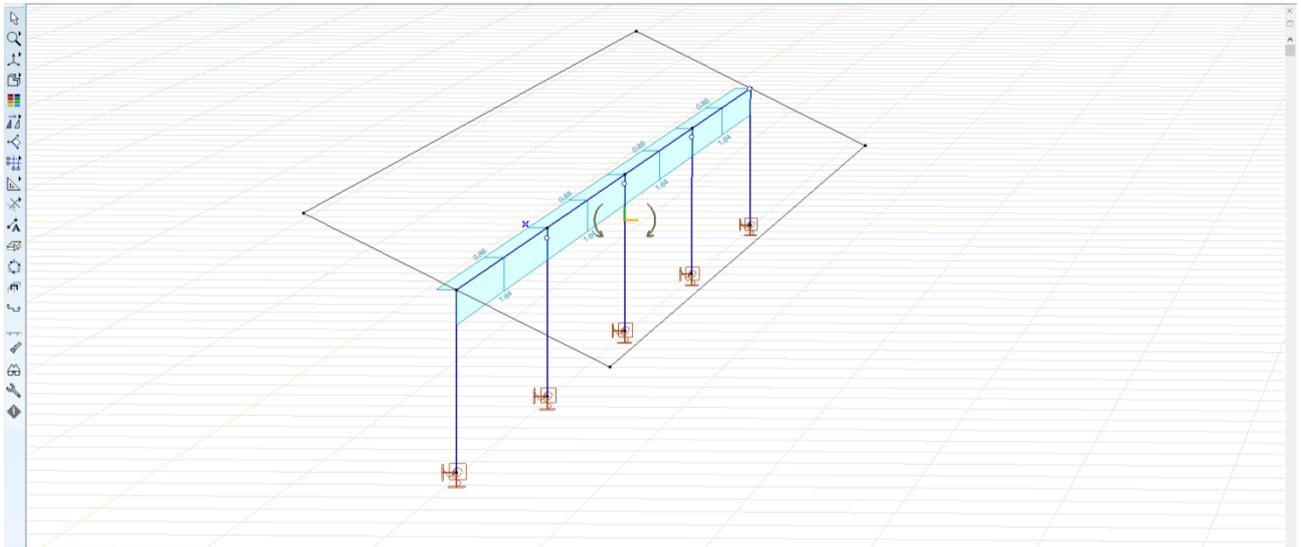
anch'esso funzione dell'angolo di inclinazione.

I valori dei suddetti carichi agenti sulla trave – asse di rotazione sono dunque:

ang	cf>0	F+ (daN/m)	cf<0	F- /daN/m)
0	0,20	34,4	0,50	86,1
15	0,70	120,6	1,15	198,1
30	1,20	206,7	1,80	310,0
45	1,70	292,8	2,45	422,0
60	2,20	378,9	3,10	533,9

Le forze si scompongono lungo gli assi x e y come segue:

ang	cf>0	cf<0	Fx+ (daN/m)	Fy+ (daN/m)	Fx- (daN/m)	Fy- (daN/m)
0	0,20	0,50	0,0	34,4	0,0	-86,1
15	0,70	1,15	31,2	116,5	-51,3	-191,3
30	1,20	1,80	103,3	179,0	-155,0	-268,5
45	1,70	2,45	207,0	<b>207,0</b>	-298,4	<b>-298,4</b>
60	2,20	3,10	<b>328,1</b>	189,4	<b>-462,4</b>	-267,0



### 3.3.2 neve

Ai sensi del cap. 3.4.1 il carico provocato dalla neve sulle coperture sarà valutato mediante la seguente espressione:

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

dove:

$q_{sk}$  è il valore di riferimento del carico della neve al suolo, di cui al § 3.4.2;

$\mu_i$  è il coefficiente di forma della copertura, di cui al § 3.4.3;

$C_E$  è il coefficiente di esposizione di cui al § 3.4.4;

$C_t$  è il coefficiente termico di cui al § 3.4.5.

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

Zona Neve: III

Altezza slm ( $a_s$ ): 360m

$$q_{sk} = 0,51 * [1 + (a_s/481)^2] \text{ kN/m}^2 \text{ (valida per } a_s > 200 \text{ m)} = 0,8 \text{ kN/m}^2 = 80 \text{ daN/m}^2$$

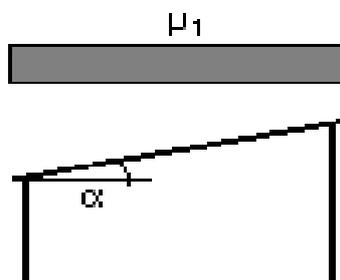
Tab. 3.4.II – Valori del coefficiente di forma

Coefficiente di forma	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1$	0,8	$0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$	0,0

Il coefficiente di forma che massimizza il carico neve corrisponde alla configurazione del tracker sub orizzontale ( $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ ), per la quale

$$\mu_1 = 0.8$$

Nel caso delle coperture ad una falda, si deve considerare la condizione di carico riportata sotto:



$$C_e \text{ (coeff. di esposizione al vento)} = 0,90$$

**Tab. 3.4.I** – Valori di  $C_E$  per diverse classi di esposizione

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

Il coefficiente termico tiene conto della riduzione del carico della neve, a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente dipende dalle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura.

In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere posto  $C_t = 1$ .

Il carico neve vale pertanto:

$$q_s = 80 * 0,8 * 0,9 * 1,0 \text{ daN/mq} = 57,6 \text{ daN/mq}$$

che sull'asse di rotazione, diventa

$$q = 57,6 \text{ daN/mq} * 2,1 \text{ m} = 120,96 \text{ daN/m}, \text{ pertanto inferiori ai carichi vento}$$

### 3.4 Schematizzazione dei casi di carico e delle combinazioni

Sono previsti i seguenti casi di carico:

	Nome	Gruppo	Tipo gruppo
1	ST1	PERM1	Permanente
2	Vento [copertura] X+.P.O	Vento	Vento
3	Vento [copertura] X+.S.O	Vento	Vento
4	Vento [copertura] X-.P.O	Vento	Vento
5	Vento [copertura] X-.S.O	Vento	Vento
6	Vento [copertura] Y+.P.O	Vento	Vento
7	Vento [copertura] Y+.S.O	Vento	Vento
8	Vento [copertura] Y+.Pp.O	Vento	Vento
9	Vento [copertura] Y+.Ps.O	Vento	Vento
10	Vento [copertura] Y+.Sp.O	Vento	Vento
11	Vento [copertura] Y+.Ss.O	Vento	Vento
12	Vento [copertura] Y-.P.O	Vento	Vento
13	Vento [copertura] Y-.S.O	Vento	Vento
14	Vento [copertura] Y-.Pp.O	Vento	Vento
15	Vento [copertura] Y-.Ps.O	Vento	Vento
16	Vento [copertura] Y-.Sp.O	Vento	Vento
17	Vento [copertura] Y-.Ss.O	Vento	Vento

a cui corrispondono i seguenti gruppi di carico

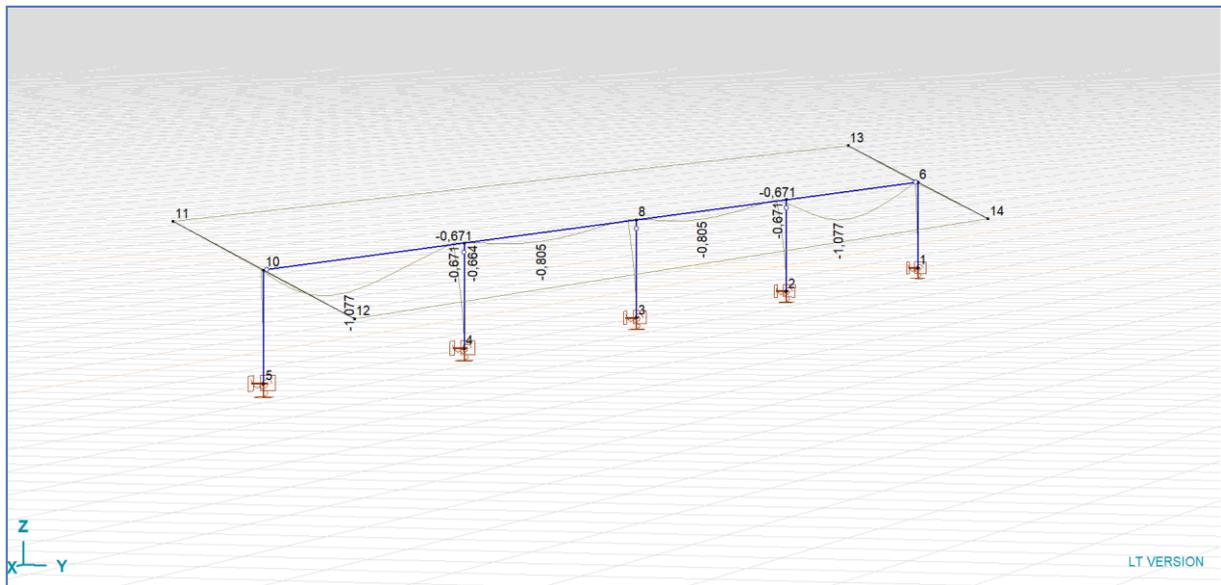
	Gruppo	Tipo	$\gamma_{G,sup}$	$\gamma_{G,inf}$	$\xi$	$\gamma$	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$	Additivo
1	PERM1	Permanente	1,300	1,000						1
2	VAR1	accidentale				1,500	0,600	0,200	0	0
3	Vento	Vento				1,500	0,600	0,200	0	

I diversi casi di carico (CDC) vengono combinati secondo le regole previste dalla normativa vigente. Le combinazioni previste sono destinate al controllo di sicurezza della struttura ed alla verifica degli spostamenti e delle sollecitazioni.

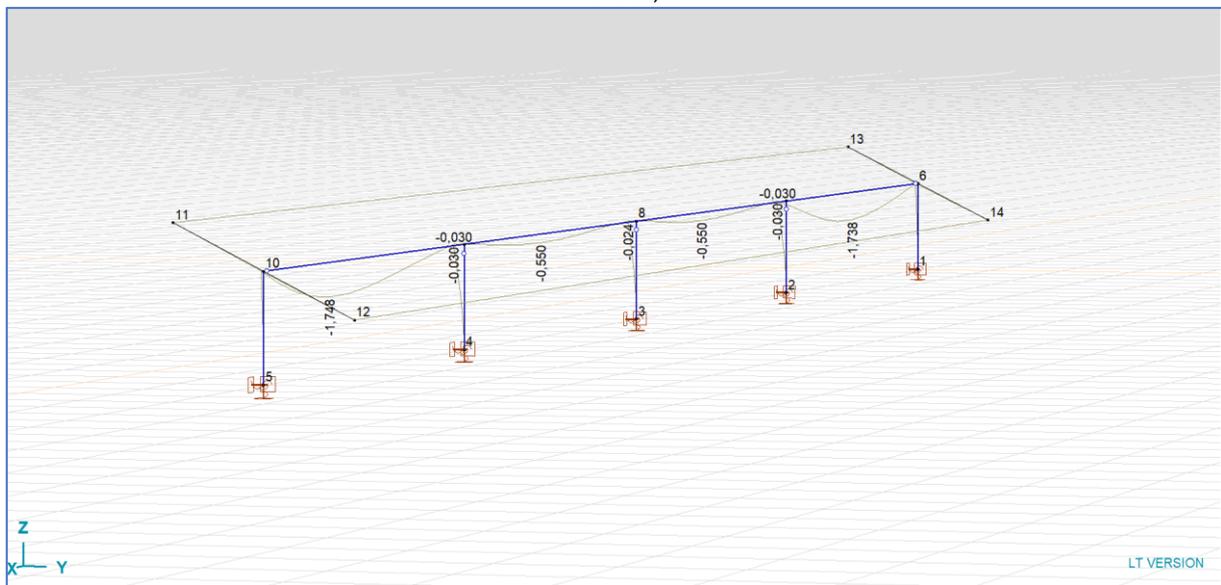
La prima tabella delle combinazioni riportata di seguito comprende le seguenti informazioni: *Numero, Tipo, Sigla identificativa*. Una seconda tabella riporta il peso nella combinazione assunto per ogni caso di carico.

### 3.5 Calcolo delle sollecitazioni e degli spostamenti

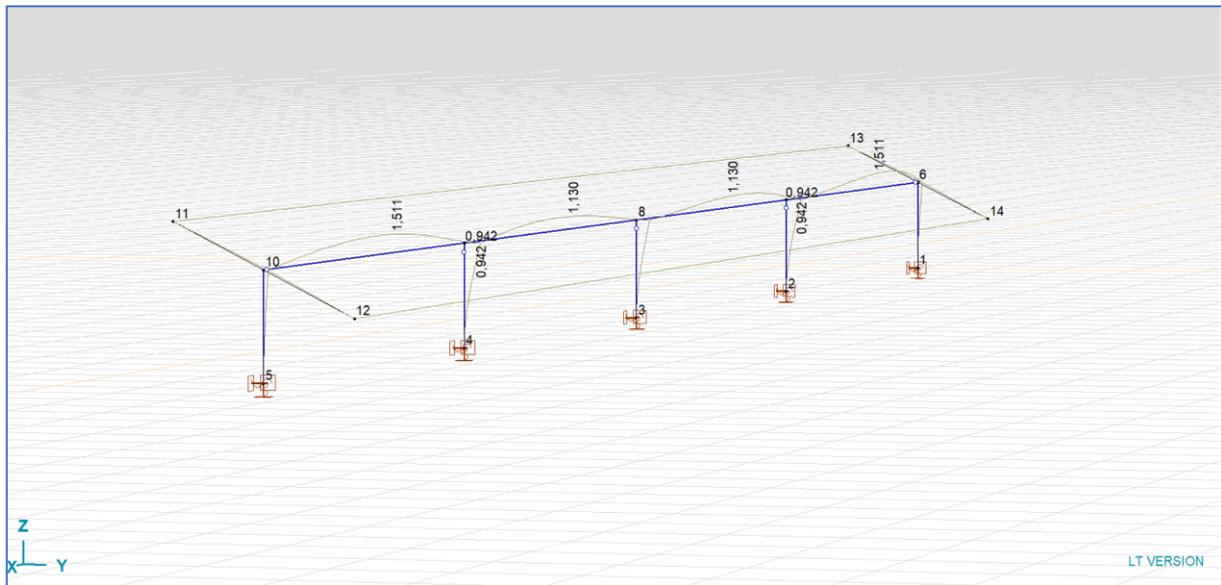
Diagrammi degli spostamenti – inviluppi valori massimi e minimi x combinaz critica



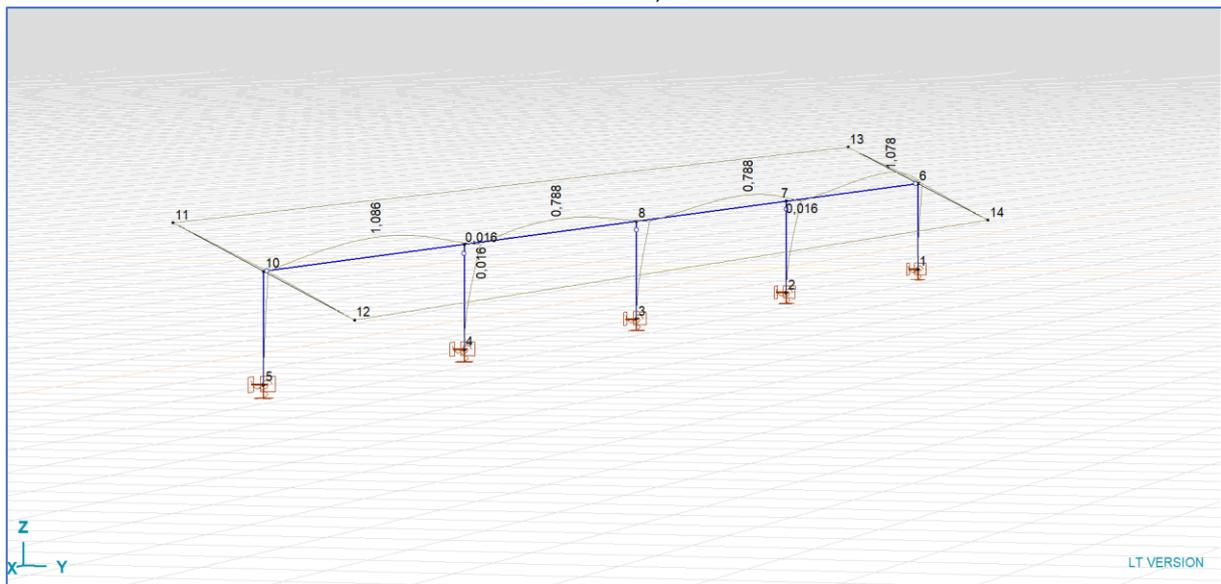
Min. Critico, eY



Min. Critico, eZ



Max. Critico, eY



Max. Critico, eZ

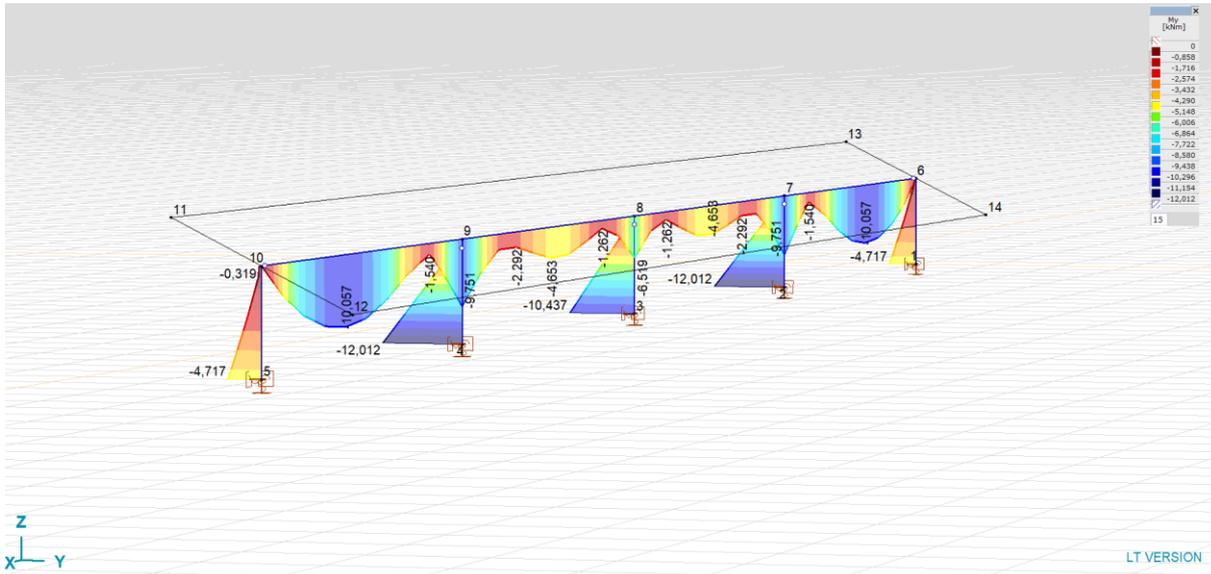
### Valori degli spostamenti

	Se.	Nome sezione	C	min. max.	Loc. [m]	Nodo	ey [mm]	ez [mm]
—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	2	10X10X5/16	ex	min	5,600		0,039	-0,020
7	2	10X10X5/16		min	4,200		-0,342	-0,510
8	2	10X10X5/16		min	2,800		-0,237	-0,159
9	2	10X10X5/16		min	1,400		-0,381	-0,519
6	2	10X10X5/16		max	5,600		-0,381	-0,516
7	2	10X10X5/16		max	4,200		-0,237	-0,159
8	2	10X10X5/16		max	2,800		-0,342	-0,510
9	2	10X10X5/16		max	1,400		0,039	-0,020

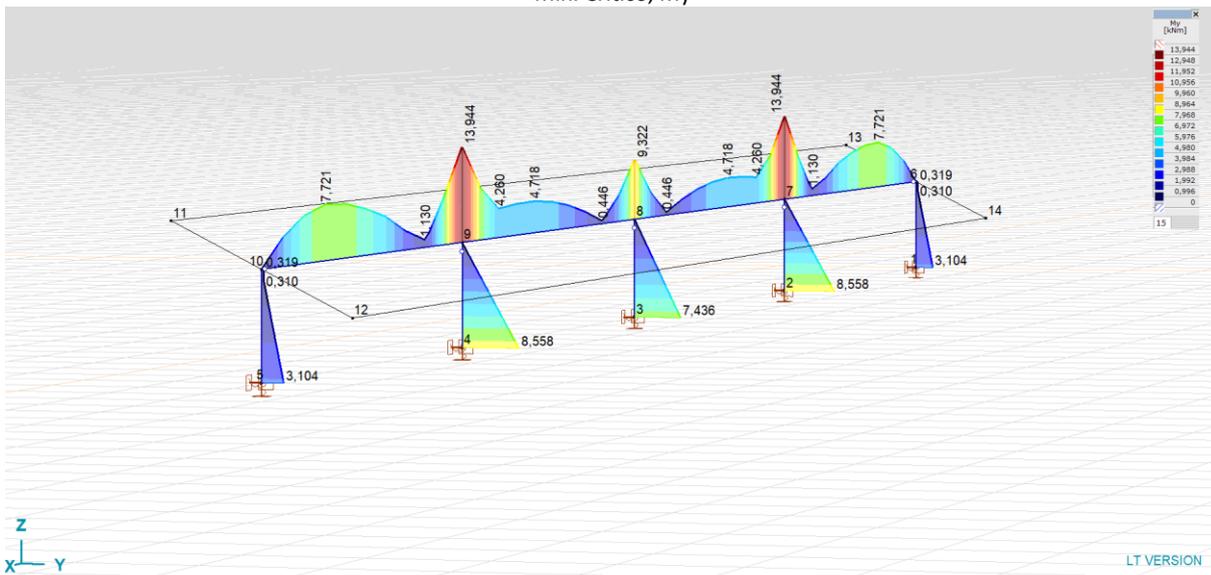
	Se.	Nome sezione	C	min. max.	Loc. [m]	Nodo	ey [mm]	ez [mm]
6	2	10X10X5/16	ey	min	3,500		<b>-1,077</b>	-1,624
9	2	10X10X5/16		min	3,500		<b>-1,077</b>	-1,633
6	2	10X10X5/16		max	3,500		<b>1,511</b>	0,964
9	2	10X10X5/16		max	3,500		<b>1,511</b>	0,969
9	2	10X10X5/16	ez	min	4,200		-0,997	<b>-1,748</b>
9	2	10X10X5/16		max	4,200		1,316	<b>1,086</b>
1	3	IPE 200	eR	min	1,200	(6)	0	-0,235
5	3	IPE 200		min	1,200	(10)	0	-0,235
6	2	10X10X5/16		min	0	(6)	-0,235	-0,010
9	2	10X10X5/16		max	4,200		-0,997	-1,748
6	2	10X10X5/16	fx	min	0	(6)	0,357	0,007
9	2	10X10X5/16		min	7,000	(10)	0,357	0,021
6	2	10X10X5/16		max	0	(6)	-0,243	-0,010
7	2	10X10X5/16		max	0	(7)	-0,671	-0,028
8	2	10X10X5/16		max	0	(8)	-0,583	-0,023
9	2	10X10X5/16		max	0	(9)	-0,671	-0,028
2	3	IPE 200	fy	min	1,200	(7)	0	0,942
4	3	IPE 200		min	1,200	(9)	0	0,942
6	2	10X10X5/16		max	0	(6)	-0,235	-0,010
9	2	10X10X5/16	fz	min	7,000	(10)	0,342	0,015
6	2	10X10X5/16		max	0	(6)	0,342	0,005
7	2	10X10X5/16	fR	min	3,500		-0,349	-0,550
8	2	10X10X5/16		min	3,500		-0,349	-0,550
2	3	IPE 200		max	1,200	(7)	0	0,942
4	3	IPE 200		max	1,200	(9)	0	0,942

### Valori delle Sollecitazioni elementi trave – involuppi valori min e max

	Nome sezione	C	min. max.	Loc. [m]	Nodo	Nx [kN]	My [kNm]
—	—	—	—	—	—	—	—
2	IPE 200	Nx	min	0	(2)	<b>-21,610</b>	8,248
4	IPE 200		min	0	(4)	<b>-21,610</b>	8,248
2	IPE 200		max	1,200	(7)	<b>14,875</b>	0
4	IPE 200		max	1,200	(9)	<b>14,875</b>	0
2	IPE 200	My	min	0	(2)	13,089	<b>-12,012</b>
4	IPE 200		min	0	(4)	13,089	<b>-12,012</b>
6	10X10X5/16		max	7,000	(7)	0	<b>13,944</b>
7	10X10X5/16		max	0	(7)	0	<b>13,944</b>
8	10X10X5/16		max	7,000	(9)	0	<b>13,944</b>
9	10X10X5/16		max	0	(9)	0	<b>13,944</b>



Min. Critico, My



Max. Critico, My



### 3.6 Verifiche

#### 3.6.1 Verifica delle tensioni di esercizio delle aste in acciaio

Viene eseguita la verifica dei seguenti tipi di elementi:

- verifica a pressoflessione dei montanti verticali
- verifica a flessione della trave orizzontale

Per quel che riguarda i montanti verticali, come visto al paragrafo precedente, il valore del momento sollecitante massimo, è pari a:

$$M_{\max} = 12,01 \text{ kN*m}$$

Il valore del momento di snervamento è pari a:

$$M_y = W_x * \sigma_y = 194,3 \text{ cm}^3 * 3550 \text{ daN/cm}^2 = 68,97 \text{ kN*m}$$

dal rapporto tra momento di snervamento e momento sollecitante si ottiene:

$$M_y/M_{\max} = 5.74$$

il quale può essere considerato un coeff di sicurezza accettabile

Per quel che riguarda la trave di supporto, come visto al paragrafo precedente, il valore del momento sollecitante massimo, è pari a:

$$M_{\max} = 13,94 \text{ kN*m}$$

Il valore del momento di snervamento è pari a

$$M_y = W_x * \sigma_y = 621,4 \text{ cm}^3 * 2350 \text{ daN/cm}^2 = 68,97 \text{ kN*m}$$

dal rapporto tra momento di snervamento momento sollecitante si ottiene:

$$M_y/M_{\max} = 10.47$$

il quale può essere considerato un coeff di sicurezza accettabile

L'esito delle verifiche è dunque positivo in termini di tensioni di lavoro

### 3.6.2 Verifica nei riguardi dello sfilamento

La condizione di carico più sfavorevole è quella corrispondente all'angolo di inclinazione pari a 45°, che esercita un'azione di sollevamento sul singolo montante pari a

$$T = 298,4 \text{ daN/mt} * 30,2 \text{ mt} / 5 = 1800 \text{ daN}$$

L'azione di sfilamento a trazione viene contrastata dalla resistenza laterale per attrito nell'intorno del montante.

Nel caso di montante in profilato di acciaio, infisso nel terreno per battitura, la tensione laterale vale:

$$s = a + \mu * \sigma_h$$

dove:

- a = adesione – termine di tipo coesivo, che in condizioni drenate viene assunto pari a 0
- $\mu$  = coeff attrito palo-terreno, che per pali battuti in tubolari di acciaio vale 0,36 (cfr Viggiani, Fondazioni)
- $\sigma_h$  = tensione orizzontale =  $k * \sigma_v$ , con  $\sigma_v$  che corrisponde alla tensione litostatica verticale alla generica profondità z, mentre k, per pali battuti in tubolari di acciaio, vale 0,85 (cfr Viggiani, Fondazioni)

pertanto in prima approssimazione si può ricavare la relazione

$$s = 0,3 * \sigma_v$$

La resistenza laterale nasce dall'integrazione delle tensioni orizzontali tra la profondità 0 ed H

$$S = \pi * d * 0,3 \int (\gamma * z) dz$$

ossia

$$S = \pi * d * 0,3 * \gamma * H^2 / 2$$

funzione della sola variabile H

La profondità di infissione viene pertanto determinata ponendo la condizione che

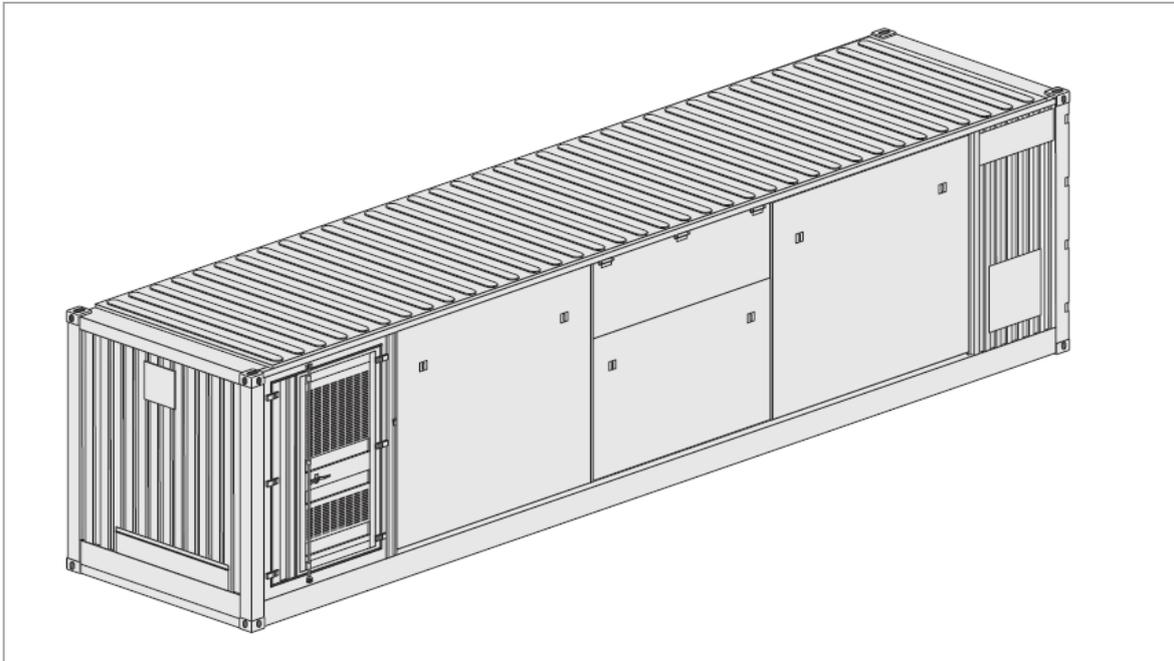
$$S/T > 1.5$$

dove T è l'azione di sfilamento precedentemente calcolata.

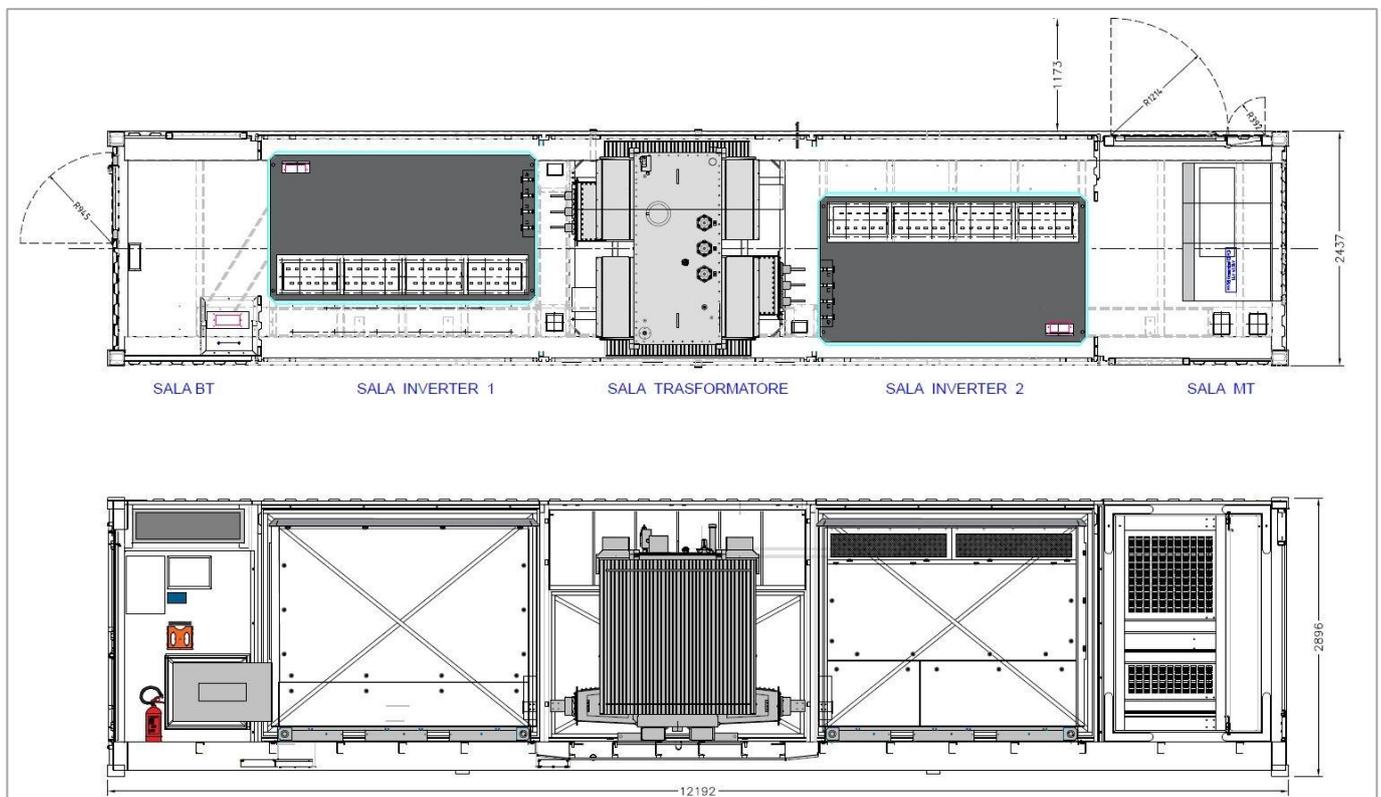
Si raccomanda ad ogni modo per questi tipi di strutture una attenta valutazione delle prestazioni attese confrontando le massime sollecitazioni di sfilamento teoriche con quelle determinate da prove di estrazione in situ (pull out tests).

#### 4. FONDAZIONI CABINE CONVERSIONE

Le cabine di conversione Inverter (Power Station) saranno della tipologia a container con impronta in pianta di circa 12x3mt, da posarsi su fondazione in calcestruzzo armato.



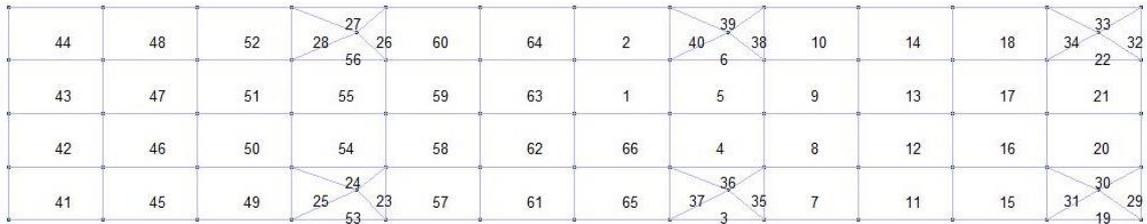
vista 3D del tipico



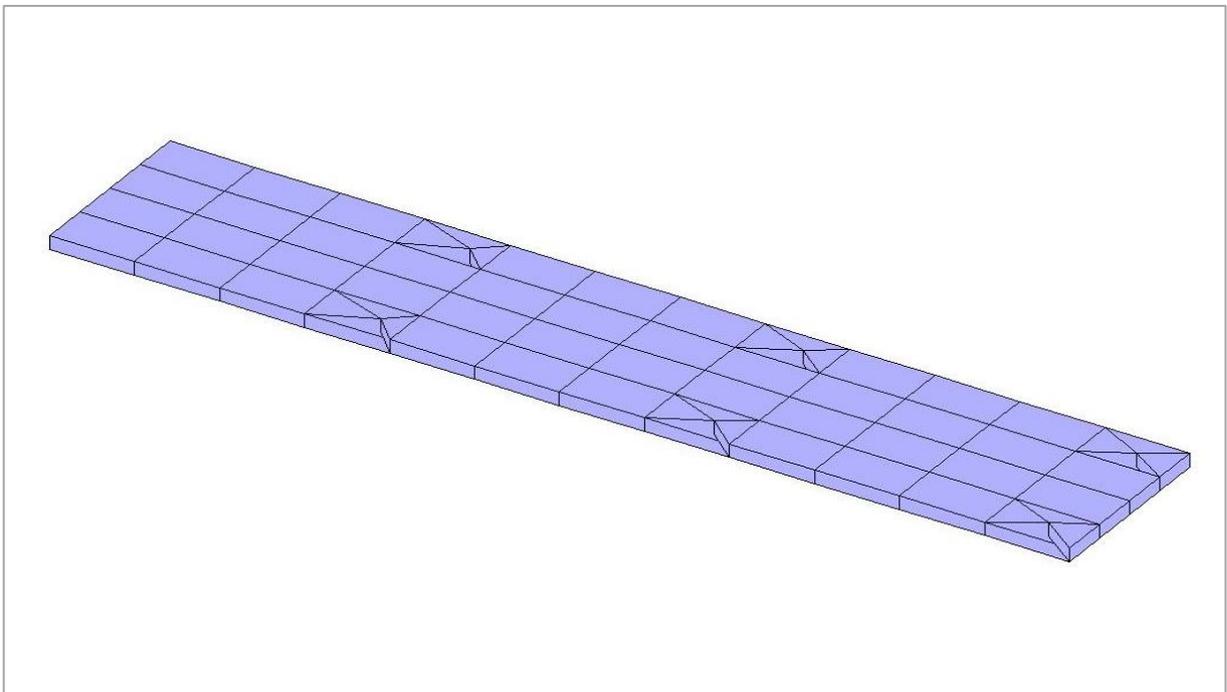
Layout tipico

#### 4.1 Modello numerico

La fondazione è stata modellata mediante platea su suolo elastico alla Winkler; con molle di rigidità tale da simulare il terreno sottostante



Vista 2D del modello



Vista 3D del modello

## 4.2 Caratteristiche dei materiali utilizzati

La platea è in calcestruzzo armato, le caratteristiche meccaniche dei materiali sono le seguenti:

<b>Id</b>	<b>Tipo / Note</b>		<b>Young</b>	<b>Poisson</b>	<b>G</b>	<b>Gamma</b>	<b>Alfa</b>
		daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>		daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>3</sup>	
1	Calcestruzzo Classe C25/30		3.145e+05	0.20	1.310e+05	2.50e-03	1.00e-05
	Rck	300.0					
	fctm	25.6					

Le caratteristiche della sezione e delle armature sono riportate nella tabella seguente:

<b>Gusci c.a.</b>	
<b>Armatura</b>	
Inclinazione Ax [gradi]	0.0
Angolo Ax-Ay [gradi]	90.00
Minima tesa	0.31
Massima tesa	0.78
Maglia unica centrale	No
Copriferro [cm]	3.00
<b>Maglia x</b>	
diámetro	16
passo	20
diámetro aggiuntivi	16
<b>Maglia y</b>	
diámetro	16
passo	20
diámetro aggiuntivi	16
<b>Stati limite ultimi</b>	
Tensione fy [daN/cm <sup>2</sup> ]	4500.00
Tipo acciaio	tipo C
Coefficiente gamma s	1.15
Coefficiente gamma c	1.50
Fattore di confidenza FC	0.0
Verifiche con N costante	Si
Applica SLU da DIN	No
<b>Tensioni ammissibili</b>	
Tensione amm. cls [daN/cm <sup>2</sup> ]	97.50
Tensione amm. acciaio [daN/cm <sup>2</sup> ]	2600.00
Rapporto omogeneizzazione N	15.00
Massimo rapporto area compressa/tesa	1.00

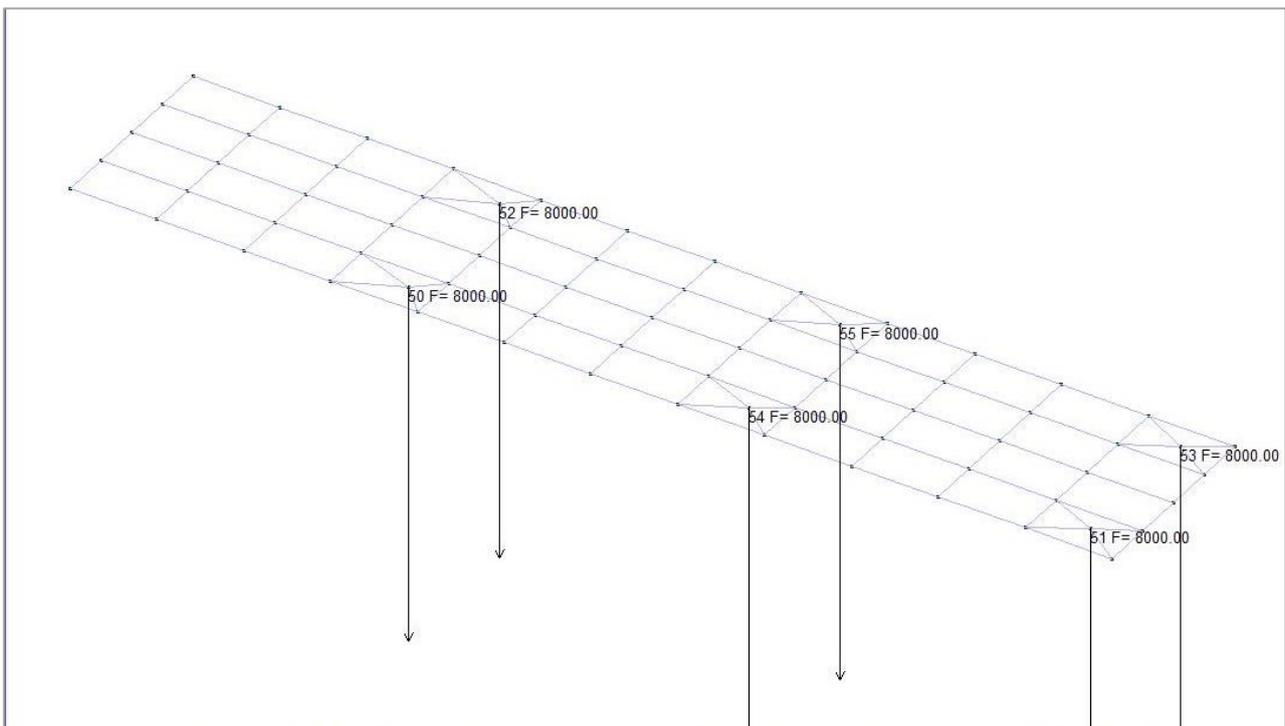
### 4.3 Azioni agenti sulla struttura

La struttura fondale è sollecitata dai carichi permanenti dovuti agli scarichi al piede del container; i valori dei carichi vengono forniti dal produttore dei manufatti.

I valori caratteristici delle azioni sono riportate di seguito:

<b>1</b>	<b>carico concentrato nodale</b> 6 dati (forza Fx, Fy, Fz, momento Mx, My, Mz)
----------	---

carico concentrato nodale								
Tipo	Id	Tipo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
			daN	daN	daN	daN cm	daN cm	daN cm
	1	CN:Fz=-8000.00	0.0	0.0	-8000.00	0.0	0.0	0.0



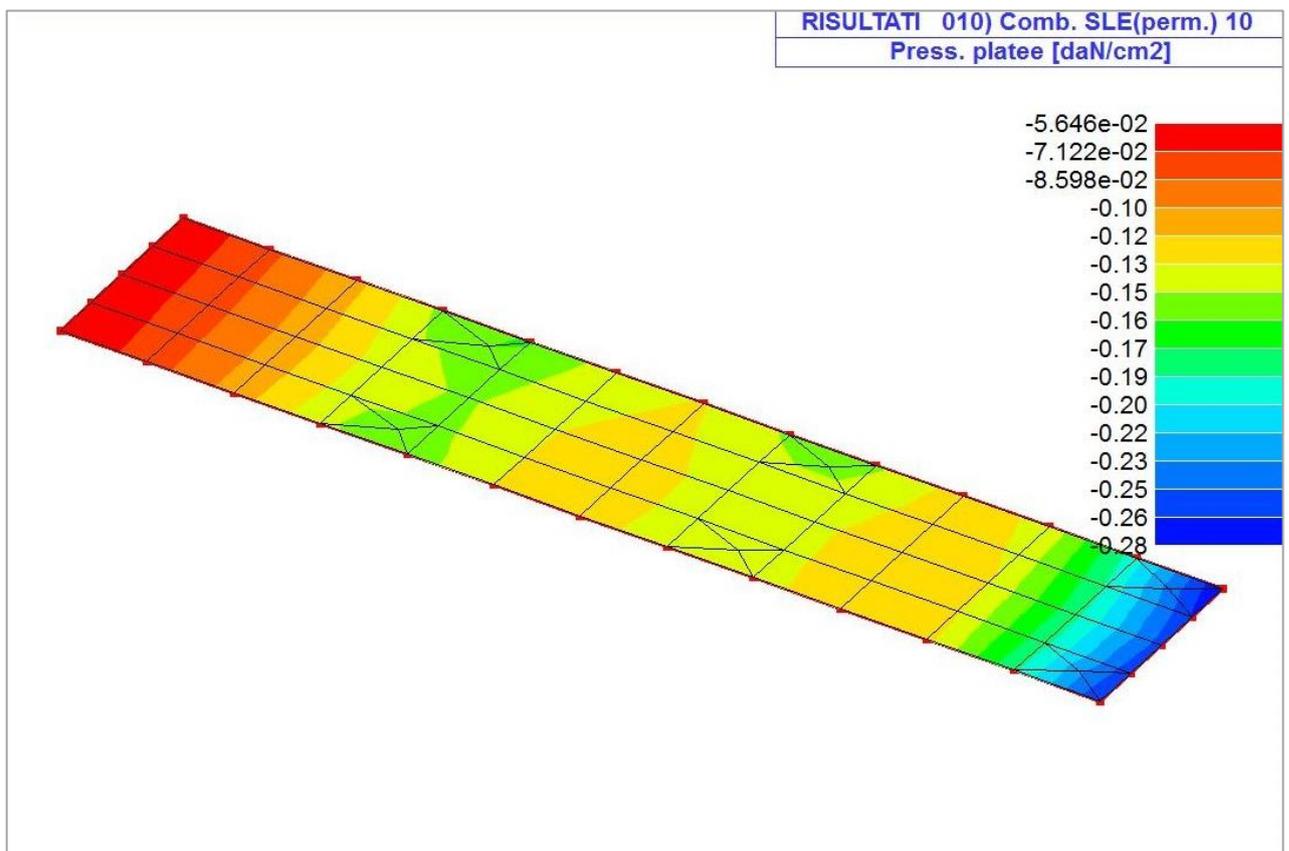
Nella tabella successiva vengono riportati i casi di carico agenti sulla struttura, con l'indicazione dei dati relativi al caso di carico stesso: Numero, Tipo, Sigla identificativa, Valore di riferimento del caso di carico (se previsto).

CDC	Tipo	Sigla Id	Note
1	Ggk	CDC=Ggk (peso proprio della struttura)	
2	Qk	CDC=Qk (variabile generico)	Nodo:da 50 a 55 Azione : CN:Fz=-8000.00

#### 4.4 Risultati grafici opere di fondazione

Il controllo dei risultati delle analisi condotte, per quanto concerne le opere di fondazione, è possibile in relazione alle tabelle sotto riportate. La tabella è riferita alle fondazioni tipo platea su suolo elastico.

Per questo tipo di fondazione vengono riportate le pressioni in ogni vertice (nodo) degli elementi costituenti la platea.



#### 4.5 Verifiche elementi guscio in C.A.

Nel caso specifico si produce una tabella nella quale vengono riportati per ogni macroelemento il numero dello stesso ed il codice di verifica.

Per la progettazione con il metodo degli stati limite vengono riportati il rapporto  $x/d$ , la verifica per sollecitazioni ultime e la verifica per compressione media con l'indicazione delle due combinazioni in cui si sono attinti i rispettivi valori. Per ogni elemento viene riportata inoltre la maglia di armatura necessaria in relazione alle risultanze della progettazione dei nodi dell'elemento stesso (diametri in mm, passi in cm).

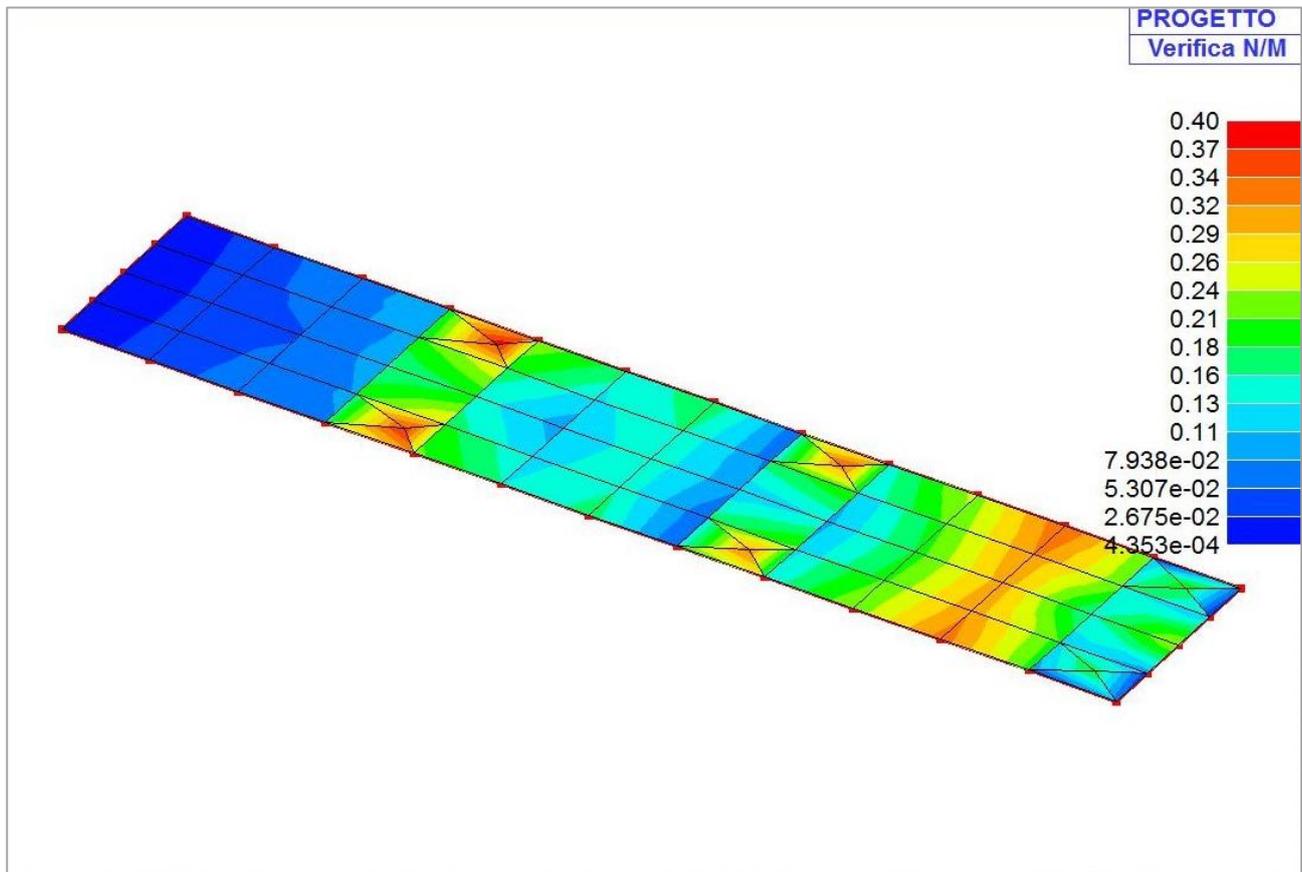
In particolare i simboli utilizzati assumono il seguente significato:

<b>M_S</b>	macroelemento di tipo setto (elementi verticali contigui ed analoghi per proprietà)	
<b>M_G</b>	macroelemento di tipo guscio (elementi non verticali contigui ed analoghi per proprietà)	
<b>Stato</b>	codice di verifica dell'elemento	
<b>Nodo</b>	numero del nodo	
<b>x/d</b>	rapporto tra posizione dell'asse neutro e altezza utile alla rottura della sezione (per sola flessione)	
<b>verif.</b>	rapporto $S_d/S_u$ con sollecitazioni ultime <del>proporzionali</del> : valore minore o uguale a 1 per verifica positiva	
<b>Ver.rid</b>	rapporto $N_d/N_u$ ( $N_u$ ottenuto con riduzione del 25% di $f_{cd}$ ): valore minore o uguale a 1 per verifica positiva	
<b>Rete pr</b>	maglia di armatura (diametro/passaggio) in direzione principale inferiore e superiore	
<b>Rete sec</b>	maglia di armatura (diametro/passaggio) in direzione secondaria inferiore e superiore	
<b>Aggiuntivi</b>	relativa armatura aggiuntiva (diametro/passaggio) inferiore (i) e superiore (s) eventualmente differenziate	
<b>sc max</b>	massima tensione di compressione del calcestruzzo	
<b>sc med</b>	massima tensione media di compressione del calcestruzzo	
<b>sf max</b>	massima tensione dell'acciaio	
<b>Rif. cmb</b>	combinazioni di carico in cui si verificano i valori riportati	
<b>Af pr-</b>	quantità di armatura richiesta in direzione principale relativa alla faccia negativa (intradosso piastre) (valore derivante da calcolo o minimo normativo)	
<b>Af pr+</b>	quantità di armatura richiesta in direzione principale relativa alla faccia positiva (estradosso piastre) (valore derivante da calcolo o minimo normativo)	
<b>Af sec-</b>	<b>Af sec+</b>	valori analoghi a quelli soprariportati ma relativi alla armatura secondaria
<b>N</b>	<b>M</b>	azioni membranali e flessionali (in direzione dell'armatura principale e secondaria) estratte, poiché rappresentative, tra quelle utilizzate per il progetto e la verifica

Nr	Nodo	x/d	verif.	ver. rid	Af pr-	Af pr+	Af sec-	Af sec+	N x	N y	N xy	M x	M y	M xy
									daN/cm	daN/cm	daN/cm	daN	daN	daN
1	ok 1	0.14	7.58e-02	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	688.6	-118.9	210.9
1	ok 2	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	-1802.3	235.7	-931.2
1	ok 3	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	-2141.4	363.3	131.7
1	ok 4	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	-1506.2	959.2	58.3
1	ok 5	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	-1831.6	450.5	962.6
1	ok 6	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	-2202.5	399.7	-98.6
1	ok 7	0.14	0.3	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	-2650.7	499.9	645.6
1	ok 8	0.14	0.3	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	-3091.7	203.9	-101.7
1	ok 9	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	-1862.6	1278.9	40.7
1	ok 10	0.14	0.3	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	-2570.2	711.0	-575.2
1	ok 11	0.14	0.3	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	-3303.4	244.6	145.4

Nr	Nodo	x/d	verif.	ver. rid	Af pr-	Af pr+	Af sec-	Af sec+	N x	N y	N xy	M x	M y	M xy
1	ok 12	0.14	0.1	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	1184.5	512.8	276.0
1	ok 13	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	1448.8	35.4	410.8
1	ok 14	0.14	0.1	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	1087.3	572.0	-12.5
1	ok 15	0.14	0.1	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	1189.4	492.4	-312.2
1	ok 16	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	1560.2	65.8	-450.5
1	ok 17	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	1513.7	431.0	-122.1
1	ok 18	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	1683.9	-128.1	-145.2
1	ok 19	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	1438.0	521.4	14.8
1	ok 20	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	1560.1	449.1	154.8
1	ok 21	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	1751.8	-139.7	173.7
1	ok 22	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	-1507.1	268.2	-996.6
1	ok 23	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	-1904.7	326.2	195.5
1	ok 24	0.14	0.1	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	-1072.1	1069.9	-48.9
1	ok 25	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	-1498.1	515.9	985.9
1	ok 26	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	-1989.0	363.3	-199.3
1	ok 27	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	-2080.3	436.4	839.9
1	ok 28	0.14	0.3	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	-2540.5	247.8	-149.1
1	ok 29	0.14	0.1	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	-1337.5	1220.0	53.4
1	ok 30	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	-2003.3	660.1	-766.0
1	ok 31	0.14	0.3	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	-2718.0	294.1	203.1
1	ok 32	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	2029.6	488.8	298.3
1	ok 33	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	2251.9	13.6	381.1
1	ok 34	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	1938.6	553.5	2.8
1	ok 35	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	2064.1	484.7	-310.3
1	ok 36	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	2364.4	30.0	-401.2
1	ok 37	0.14	0.3	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	3062.9	510.6	-124.6
1	ok 38	0.14	0.3	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	3251.5	-77.7	-128.9
1	ok 39	0.14	0.3	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	2972.0	682.2	29.6
1	ok 40	0.14	0.3	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	3119.1	523.1	196.9
1	ok 41	0.14	0.3	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	3349.2	-79.4	184.7
1	ok 42	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	1773.7	634.1	-601.2
1	ok 43	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	1867.9	-99.9	-457.4
1	ok 44	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	1507.9	1340.0	72.3
1	ok 45	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	1771.4	796.5	715.5
1	ok 46	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	1930.6	-100.7	621.9
1	ok 47	0.14	0.1	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	-888.7	950.6	259.5
1	ok 48	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	-735.7	2332.6	87.0
1	ok 49	0.14	0.1	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	-830.3	1253.9	-111.1
1	ok 50	0.14	0.4	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	-3599.5	-1685.5	133.8
1	ok 51	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	-1555.2	-1309.6	-438.4
1	ok 52	0.14	0.4	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	-3852.1	-1665.5	-114.1
1	ok 53	0.14	0.2	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	-1714.7	-1302.2	587.5
1	ok 54	0.14	0.3	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	-3273.3	-1535.4	120.6
1	ok 55	0.14	0.4	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	-3461.0	-1594.3	-105.3
1	ok 56	0.14	0.1	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	-1072.4	300.4	403.4
1	ok 57	0.14	6.28e-03	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	3.0	36.3	38.2
1	ok 58	0.14	0.1	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	-936.5	229.8	-316.7
1	ok 59	0.14	2.16e-03	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	4.35e-02	-9.5	15.7

Nr	Nodo	x/d	verif.	ver. rid	Af pr-	Af pr+	Af sec-	Af sec+	N x	N y	N xy	M x	M y	M xy
1	ok 60	0.14	3.85e-02	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	371.1	74.9	-17.4
1	ok 61	0.14	4.03e-02	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	389.1	-25.2	-10.0
1	ok 62	0.14	1.72e-03	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	2.5	-1.8	16.3
1	ok 63	0.14	3.82e-02	0.0	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.0	0.0	362.1	110.4	18.0
M_G		x/d	verif.	ver. rid	Af pr-	Af pr+	Af sec-	Af sec+	N x	N y	N xy	M x	M y	M xy
									0.0	0.0	0.0	-3852.12	-1685.50	-996.59
		0.14	0.40	0.0	10.05	10.05	10.05	10.05	0.0	0.0	0.0	3349.23	2332.59	985.86



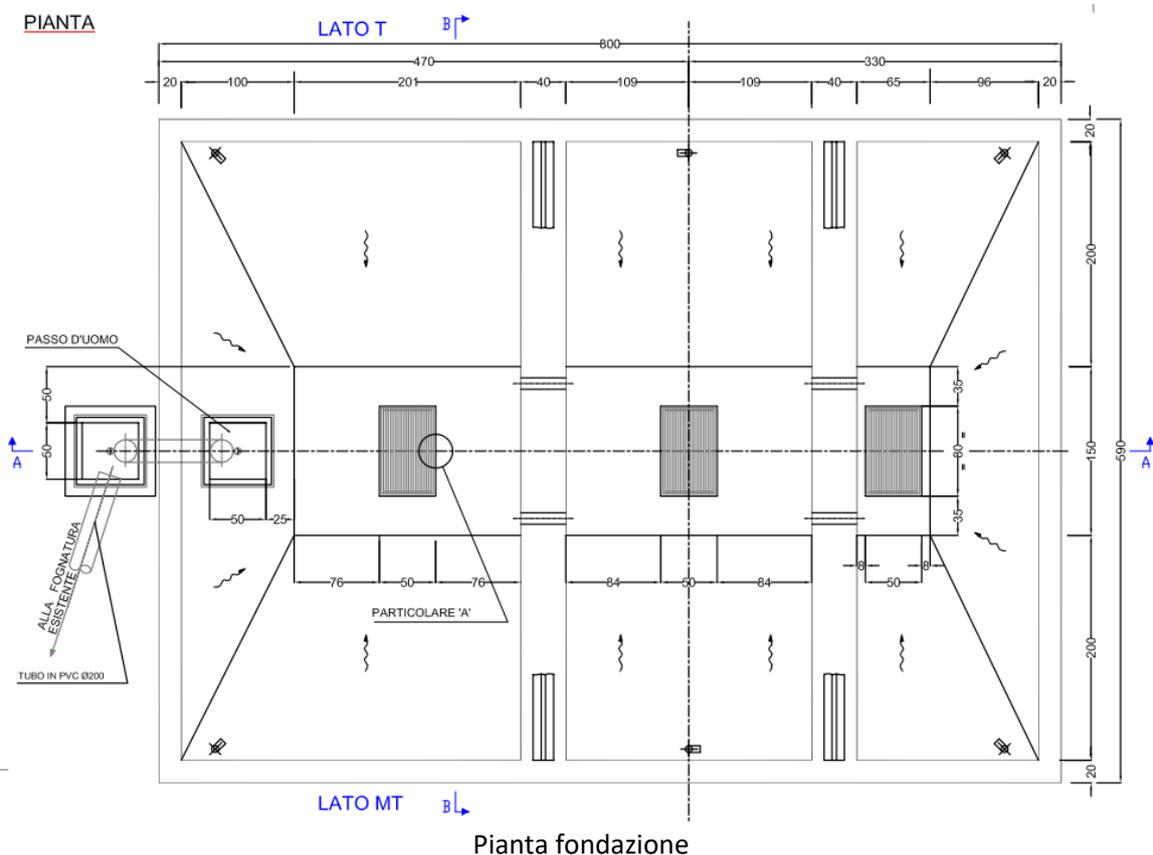
## 5. FONDAZIONE TRASFORMATORE DI POTENZA

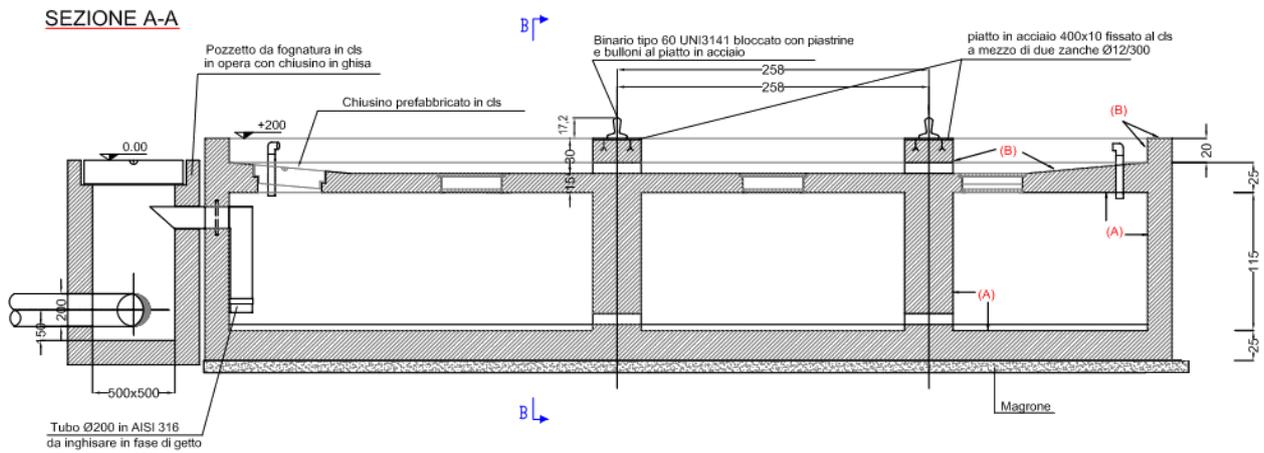
### 5.1 Descrizione generale

L'opera in oggetto è una vasca interrata in c.a. adibita a supporto di un trasformatore. La vasca presenta una pianta rettangolare di dimensioni  $b_1 = 8,00$  m ,  $b_2 = 5,90$  m ed un'altezza  $h = 1,85$  m.

L'interno della vasca presenta 2 setti intermedi che fungono da appoggio per il trasformatore. Tale appoggio è reso solidale per vie delle rotaie in acciaio fissate con bulloni alla sommità dei due setti.

La parte superiore della vasca è delimitata da una soletta a spessore variabile, con fori coperti da chiusini prefabbricati.

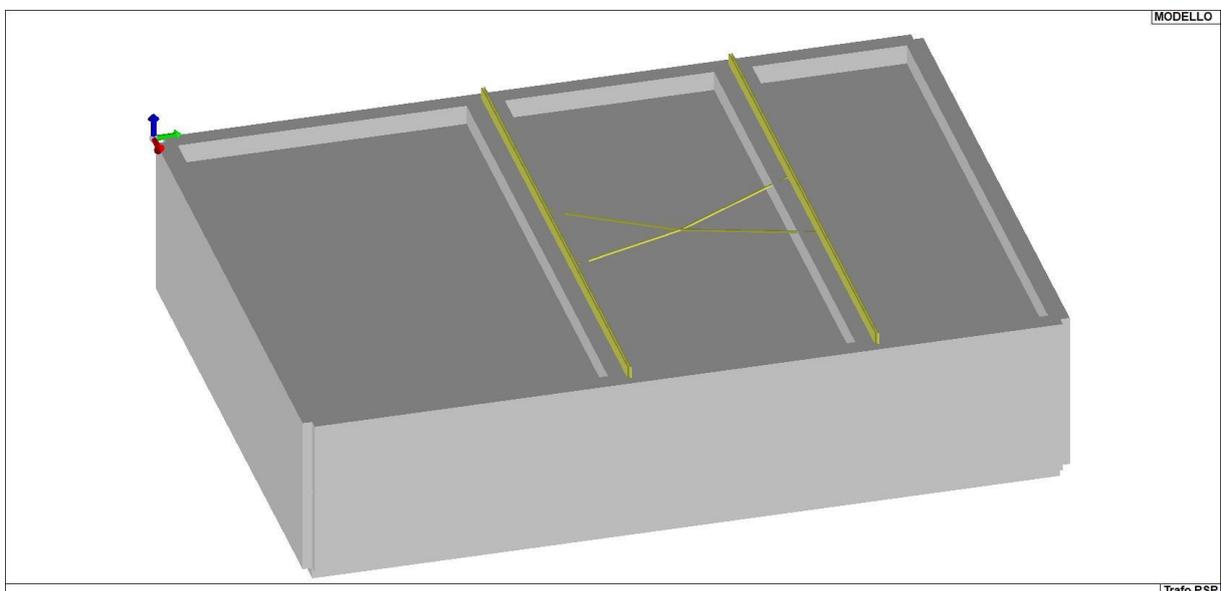




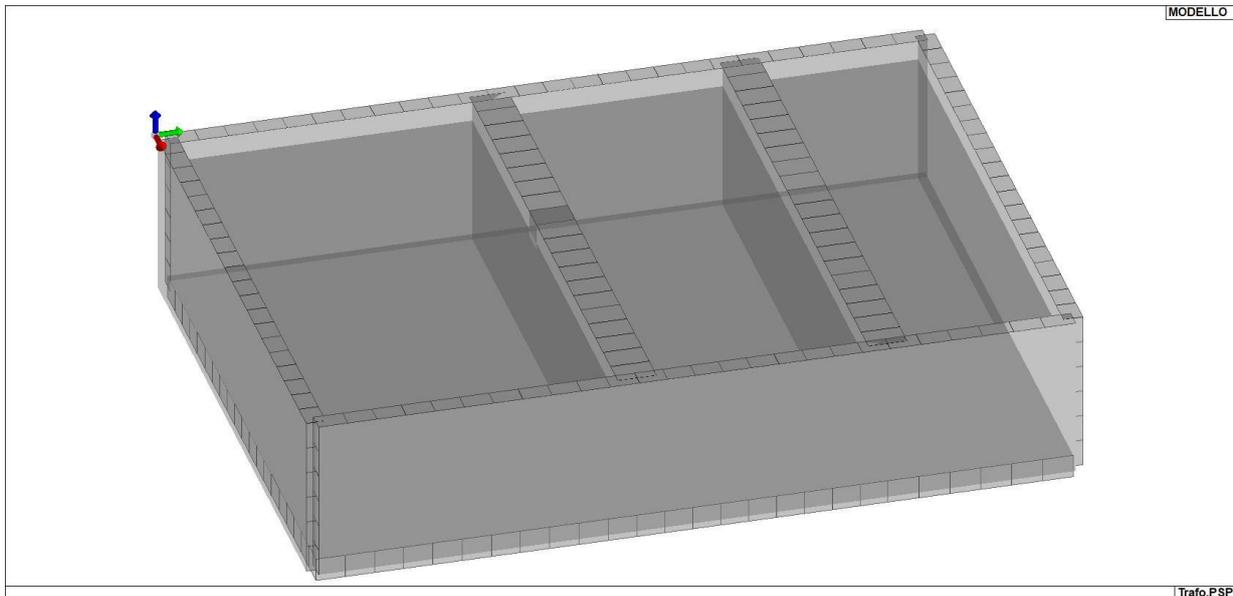
Sezione fondazione

## 5.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

1. D.M. Infrastrutture 17 Gennaio 2018 "Norme tecniche per le costruzioni".
2. Circolare 21/01/19, n. 7 C.S.LL.PP "Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle Norme Tecniche delle Costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018"



Modello architettonico – Vista 3D



Modello FEM– Vista 3D

### 5.3 MATERIALI E DURABILITÀ

Ai fini della durabilità si assume una classe di esposizione XC2.

I materiali strutturali adoperati sono i seguenti.

Id	Tipo / Note	V. caratt.	V. medio	Young	Poisson	G	Gamma	Alfa	Altri
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>3</sup>		
1	Calcestruzzo Classe C25/30			3.145e+04	0.20	1.310e+05	2.50e-04	1.00e-05	
	Resistenza Rc	30.0							
	Resistenza fctm		2.6						
	Rapporto Rfessurata								1.00
	Coefficiente ksb								0.85
	Rapporto HRDb								1.00e-05
	Rapporto HRDv								1.00e-05
75	Materiale inf. rigido no peso			1.000e+11	0.0	5.000e+11	0.0	1.20e-05	
	Rapporto HRDb								1.00e-05
	Rapporto HRDv								1.00e-05

Pareti c.a.	1/7/..	2/8/..	3/9/..	4/10/..	5/11/..	6/12/..
<b>Generalità</b>						
Progetto armatura	Singolo elemento NON DISSIPATIVO					
<b>Armatura</b>						
Inclinazione Av [ gradi ]	90.00					
Angolo Av-Ao [ gradi ]	90.00					
Minima tesa	0.20					
Massima tesa	4.00					

Pareti c.a.	1/7/..	2/8/..	3/9/..	4/10/..	5/11/..	6/12/..
Maglia unica centrale	No					
Unico strato verticale	No					
Unico strato orizzontale	No					
Copriferro [ cm ]	4.00					
<b>Maglia V</b>						
diámetro	16					
passo	25					
diámetro aggiuntivi	16					
<b>Maglia O</b>						
diámetro	16					
passo	25					
diámetro aggiuntivi	16					
<b>Stati limite ultimi</b>						
Tensione fy [ N/mm <sup>2</sup> ]	450.00					
Tipo acciaio	tipo C					
Coefficiente gamma s	1.15					
Coefficiente gamma c	1.50					
Verifiche con N costante	Si					
<b>Tensioni ammissibili</b>						
Tensione amm. cls [ N/mm <sup>2</sup> ]	9.75					
Tensione amm. acciaio [ N/mm <sup>2</sup> ]	260.00					
Rapporto omogeneizzazione N	15.00					
Massimo rapporto area compressa/tesa	1.00					
<b>Parete estesa debolmente armata</b>						
Fattore amplificazione taglio V	0.0					
Hcrit. par. 7.4.4.5.1 [ cm ]	0.0					
Hcrit. par. 7.4.6.1.4 [ cm ]	0.0					
Diagramma involuppo taglio	No					
Vincolo lati	nessun lato					
Verifica come fascia	No					
Diámetro di estremità	0					
<b>Zona confinata</b>						
Minima tesa	1.00					
Massima tesa	4.00					
Distanza barre [ cm ]	2.00					
Interferro	2					
<b>Armatura inclinata</b>						
Area barre [ cm <sup>2</sup> ]	0.0					
Angolo orizzontale [ gradi ]	0.0					
Distanza di base [ cm ]	0.0					
<b>Resistenza al fuoco</b>						

<b>Pareti c.a.</b>	<b>1/7/..</b>	<b>2/8/..</b>	<b>3/9/..</b>	<b>4/10/..</b>	<b>5/11/..</b>	<b>6/12/..</b>
3- intradosso	No					
3+ estradosso	No					
Tempo di esposizione R	15					

<b>Gusci c.a.</b>	<b>1/7/..</b>	<b>2/8/..</b>	<b>3/9/..</b>	<b>4/10/..</b>	<b>5/11/..</b>	<b>6/12/..</b>
<b>Armatura</b>						
Inclinazione Ax [ gradi ]	0.0					
Angolo Ax-Ay [ gradi ]	90.00					
Minima tesa	0.25					
Massima tesa	0.78					
Maglia unica centrale	No					
Copriferro [ cm ]	4.00					
<b>Maglia x</b>						
diámetro	16					
passo	25					
diámetro aggiuntivi	16					
<b>Maglia y</b>						
diámetro	16					
passo	25					
diámetro aggiuntivi	16					
<b>Stati limite ultimi</b>						
Tensione fy [ N/mm <sup>2</sup> ]	450.00					
Tipo acciaio	tipo C					
Coefficiente gamma s	1.15					
Coefficiente gamma c	1.50					
Verifiche con N costante	Si					
Applica SLU da DIN	No					
<b>Tensioni ammissibili</b>						
Tensione amm. cls [ N/mm <sup>2</sup> ]	9.75					
Tensione amm. acciaio [ N/mm <sup>2</sup> ]	260.00					
Rapporto omogeneizzazione N	15.00					
Massimo rapporto area compressa/tesa	1.00					
<b>Resistenza al fuoco</b>						
3- intradosso	No					
3+ estradosso	No					
Tempo di esposizione R	15					

## 5.4 MODELLO NUMERICO

La vasca è modellata con elementi shell (guscio) reagenti sia nel piano che fuori dal piano. I carichi provenienti dal trasformatore sono applicati al centro dell'estradosso della soletta superiore. Più precisamente, il punto di applicazione è situato planimetricamente al centro della sagoma della vasca, e altimetricamente a 0,1 m al di sopra del piano del terreno di stazione teorico. Questo nodo risulta collegato rigidamente alla vasca attraverso 4 bracci (elementi frame a rigidezza elevatissima con connessione rigida su ambo le estremità).

Nel prosieguo si indicano tipo di analisi strutturale condotta (statico, dinamico, lineare o non lineare) e il metodo adottato per la risoluzione del problema strutturale nonché le metodologie seguite per la verifica o per il progetto-verifica delle sezioni. Si riportano le combinazioni di carico adottate e, nel caso di calcoli non lineari, i percorsi di carico seguiti; le configurazioni studiate per la struttura in esame sono risultate effettivamente esaustive per la progettazione-verifica.

La verifica della sicurezza degli elementi strutturali avviene con i metodi della scienza delle costruzioni. L'analisi strutturale è condotta con il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato tensodeformativo 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 tensodeformativo indotto da carichi dinamici (tra cui quelli di tipo sismico).

## 5.5 TIPO DI ANALISI STRUTTURALE

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

$$\mathbf{K} * \mathbf{u} = \mathbf{F}$$

dove

**K** = matrice di rigidezza

**u** = vettore spostamenti nodali

**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 ad 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.

Gli elementi utilizzati per la modellazione dello schema statico della struttura sono i seguenti:

Elemento tipo <b>TRUSS</b>	(biella-D2)
Elemento tipo <b>BEAM</b>	(trave-D2)
Elemento tipo <b>MEMBRANE</b>	(membrana-D3)
Elemento tipo <b>PLATE</b>	(piastra-guscio-D3)
Elemento tipo <b>BOUNDARY</b>	(molla)
Elemento tipo <b>STIFFNESS</b>	(matrice di rigidezza)
Elemento tipo <b>BRICK</b>	(elemento solido)

<b>Modellazione della geometria e proprietà meccaniche:</b>	
nodi	1785
elementi D2 (per aste, travi, pilastri...)	44
elementi D3 (per pareti, platee, gusci...)	1832
elementi solaio	0
elementi solidi	0
<b>Dimensione del modello strutturale [cm]:</b>	
X min =	10.00
Xmax =	580.00
Ymin =	10.00
Ymax =	790.00
Zmin =	-172.50
Zmax =	0.00
<b>Strutture verticali:</b>	
Elementi di tipo asta	NO
Pilastri	NO
Pareti	SI
Setti (a comportamento membranale)	NO
<b>Strutture non verticali:</b>	
Elementi di tipo asta	NO
Travi	SI
Gusci	SI
Membrane	NO
<b>Orizzontamenti:</b>	
Solai con la proprietà piano rigido	NO
Solai senza la proprietà piano rigido	NO

Tipo di vincoli:	
Nodi vincolati rigidamente	NO
Nodi vincolati elasticamente	NO
Nodi con isolatori sismici	NO
Fondazioni puntuali (plinti/plinti su palo)	NO
Fondazioni di tipo trave	NO
Fondazioni di tipo platea	SI
Fondazioni con elementi solidi	NO

L'analisi strutturale è di tipo statica lineare, anche per quanto riguarda la valutazione dell'azione sismica.

## 5.6 COMBINAZIONI E/O PERCORSI DI CARICO

Si veda il capitolo "Definizione delle combinazioni" in cui sono indicate le combinazioni di carico adottate e, nel caso di calcoli non lineari, i percorsi di carico seguiti.

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

## 5.7 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI

Nel capitolo relativo alla progettazione degli elementi strutturali agli SLU vengono indicate, con riferimento alla normativa adottata, le modalità ed i criteri seguiti per valutare la sicurezza della struttura nei confronti delle possibili situazioni di crisi ed i risultati delle valutazioni svolte. In via generale, oltre alle verifiche di resistenza e di spostamento, devono essere prese in considerazione verifiche nei confronti dei fenomeni di instabilità, locale e globale, di fatica, di duttilità, di degrado.

## 5.8 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Nel capitolo relativo alla progettazione degli elementi strutturali agli SLU vengono indicate, con riferimento alla normativa adottata, le modalità seguite per valutare

l'affidabilità della struttura nei confronti delle possibili situazioni di perdita di funzionalità (per eccessive deformazioni, fessurazioni, vibrazioni, etc.) ed i risultati delle valutazioni svolte.

## 5.9 MODELLAZIONE DELLE SEZIONI

### 5.9.1 LEGENDA TABELLA DATI SEZIONI

Le sezioni utilizzate nella modellazione sono

- sezione di tipo generico
- profilati semplici
- profilati accoppiati e speciali

queste vengono individuate da una sigla identificativa ed un codice numerico (gli elementi strutturali richiamano quest'ultimo nella propria descrizione). Per ogni sezione vengono riportati in tabella i seguenti dati:

<b>Area</b>	area della sezione
<b>A V2</b>	area della sezione/fattore di taglio (per il taglio in direzione 2)
<b>A V3</b>	area della sezione/fattore di taglio (per il taglio in direzione 3)
<b>Jt</b>	fattore torsionale di rigidezza
<b>J2-2</b>	momento d'inerzia della sezione riferito all'asse 2
<b>J3-3</b>	momento d'inerzia della sezione riferito all'asse 3
<b>W2-2</b>	modulo di resistenza della sezione riferito all'asse 2
<b>W3-3</b>	modulo di resistenza della sezione riferito all'asse 3
<b>Wp2-2</b>	modulo di resistenza plastico della sezione riferito all'asse 2
<b>Wp3-3</b>	modulo di resistenza plastico della sezione riferito all'asse 3

I dati sopra riportati vengono utilizzati per la determinazione dei carichi inerziali e per la definizione delle rigidezze degli elementi strutturali; qualora il valore di Area V2 (e/o Area V3) sia nullo la deformabilità per taglio V2 (e/o V3) è trascurata. La valutazione delle caratteristiche inerziali delle sezioni è condotta nel riferimento 2-3 dell'elemento.

Id	Tipo	Area	A V2	A V3	Jt	J 2-2	J 3-3	W 2-2	W 3-3	Wp 2-2	Wp 3-3
		cm2	cm2	cm2	cm4	cm4	cm4	cm3	cm3	cm3	cm3
1	Rettangolare: b=2 h=2	4.00	3.33	3.33	2.25	1.33	1.33	1.33	1.33	2.00	2.00
2	2 LD 200x100x15 affiancati lato lungo a dist.= 10.00	86.00	0.0	0.0	64.12	1234.50	3520.00	117.57	274.00	233.96	494.60

## 5.10 MODELLAZIONE STRUTTURA

### 5.10.1 NODI

Ogni nodo strutturale è individuato dalle coordinate cartesiane nel sistema di riferimento globale (X Y Z). Ad ogni nodo è eventualmente associato un codice di vincolamento rigido, un codice di fondazione speciale, ed un set di sei molle (tre per le traslazioni, tre per le rotazioni). Le tabelle sottoriportate riflettono le succitate possibilità. In particolare per ogni nodo viene indicato in tabella:

<b>Nodo</b>	numero del nodo.
<b>X</b>	valore della coordinata X
<b>Y</b>	valore della coordinata Y
<b>Z</b>	valore della coordinata Z

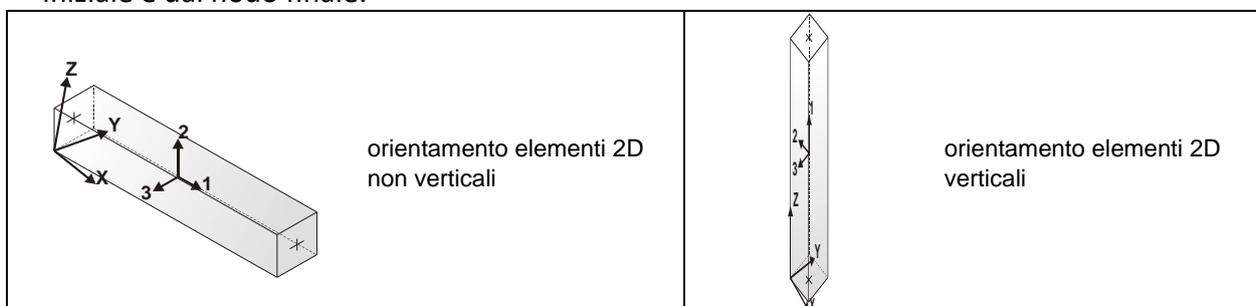
Per i nodi ai quali sia associato un codice di vincolamento rigido, un codice di fondazione speciale o un set di molle viene indicato in tabella:

<b>Nodo</b>	numero del nodo.
<b>X</b>	valore della coordinata X
<b>Y</b>	valore della coordinata Y
<b>Z</b>	valore della coordinata Z
<b>Note</b>	eventuale codice di vincolo (es. v=110010 sei valori relativi ai sei gradi di libertà previsti per il nodo TxTyTzRxRyRz, il valore 1 indica che lo spostamento o rotazione relativo è impedito, il valore 0 indica che lo spostamento o rotazione relativo è libero).
<b>Note</b>	(FS = 1, 2,...) eventuale codice del tipo di fondazione speciale (1, 2,... fanno riferimento alle tipologie: plinto, palo, plinto su pali,...) che è collegato al nodo. (ISO = "id SIGLA") indice e sigla identificativa dell' eventuale isolatore sismico assegnato al nodo
<b>Rig. TX</b>	valore della rigidità dei vincoli elastici eventualmente applicati al nodo, nello specifico TX (idem per TY, TZ, RX, RY, RZ).

Per strutture sismicamente isolate viene inoltre inserita la tabella delle caratteristiche per gli isolatori utilizzati; le caratteristiche sono indicate in conformità al cap. 7.10 del D.M. 17/01/18

### 5.10.2 ELEMENTI TRAVE

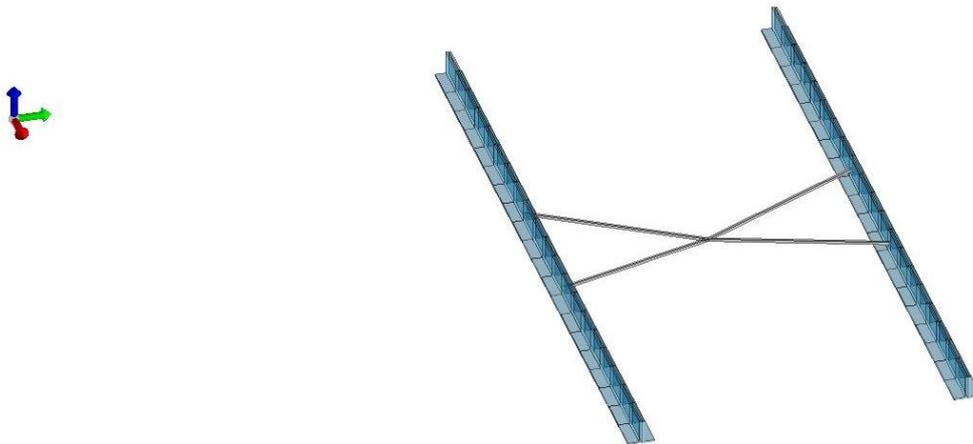
Sono introdotti nella modellazione elementi monodimensionali travi, individuati dal nodo iniziale e dal nodo finale.



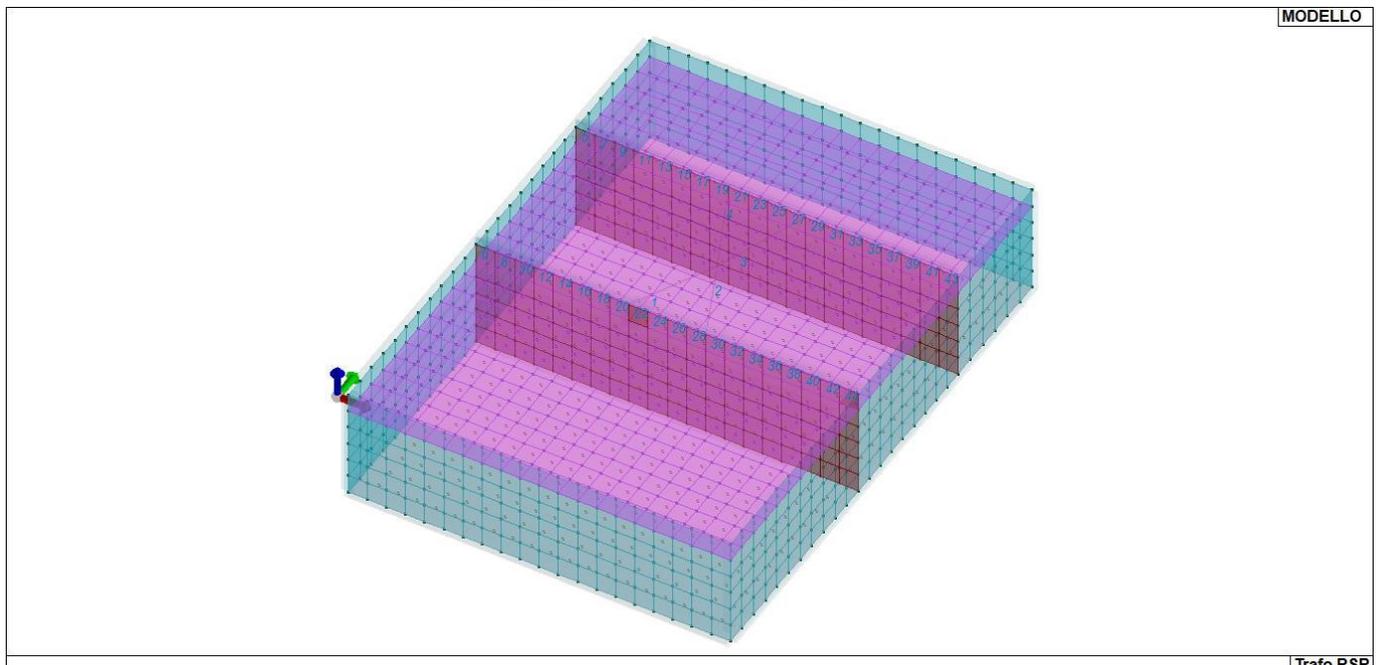
In particolare per ogni elemento viene indicato in tabella:

<b>Elem.</b>	numero dell'elemento
<b>Note</b>	codice di comportamento: trave, trave di fondazione, pilastro, asta, asta tesa, asta compressa,
<b>Nodo I (J)</b>	numero del nodo iniziale (finale)
<b>Mat.</b>	codice del materiale assegnato all'elemento
<b>Sez.</b>	codice della sezione assegnata all'elemento

<b>Rotaz.</b>	valore della rotazione dell'elemento, attorno al proprio asse, nel caso in cui l'orientamento di default non sia adottabile; l'orientamento di default prevede per gli elementi non verticali l'asse 2 contenuto nel piano verticale e l'asse 3 orizzontale, per gli elementi verticali l'asse 2 diretto secondo X negativo e l'asse 3 diretto secondo Y negativo
<b>Svincolo I (J)</b>	codici di svincolo per le azioni interne; i primi sei codici si riferiscono al nodo iniziale, i restanti sei al nodo finale (il valore 1 indica che la relativa azione interna non è attiva)
<b>Wink V</b>	costante di sottofondo (coefficiente di Winkler) per la modellazione della trave su suolo elastico
<b>Wink O</b>	costante di sottofondo (coefficiente di Winkler) per la modellazione del suolo elastico orizzontale



Modello FEM – Vista dei soli elementi trave

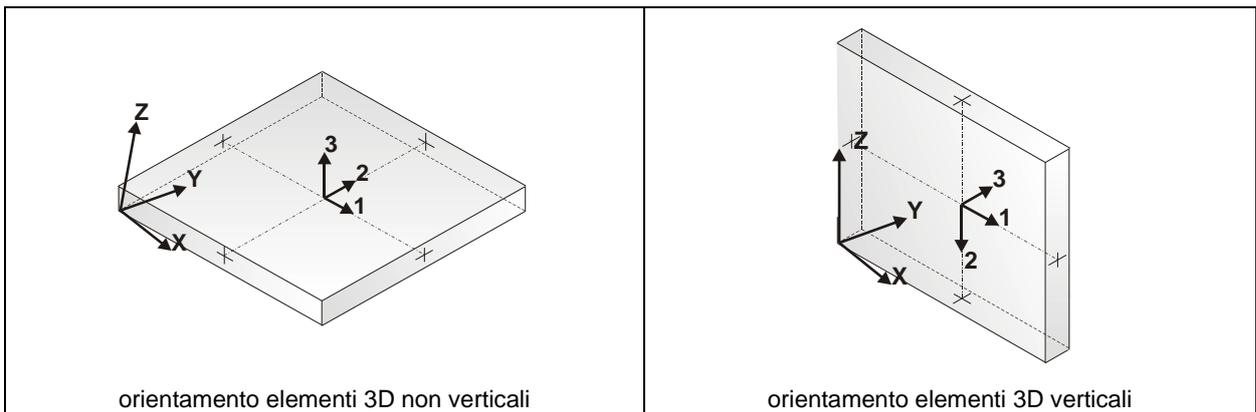


MOD\_NUMERAZIONE\_D2

### 5.10.3 ELEMENTI SHELL

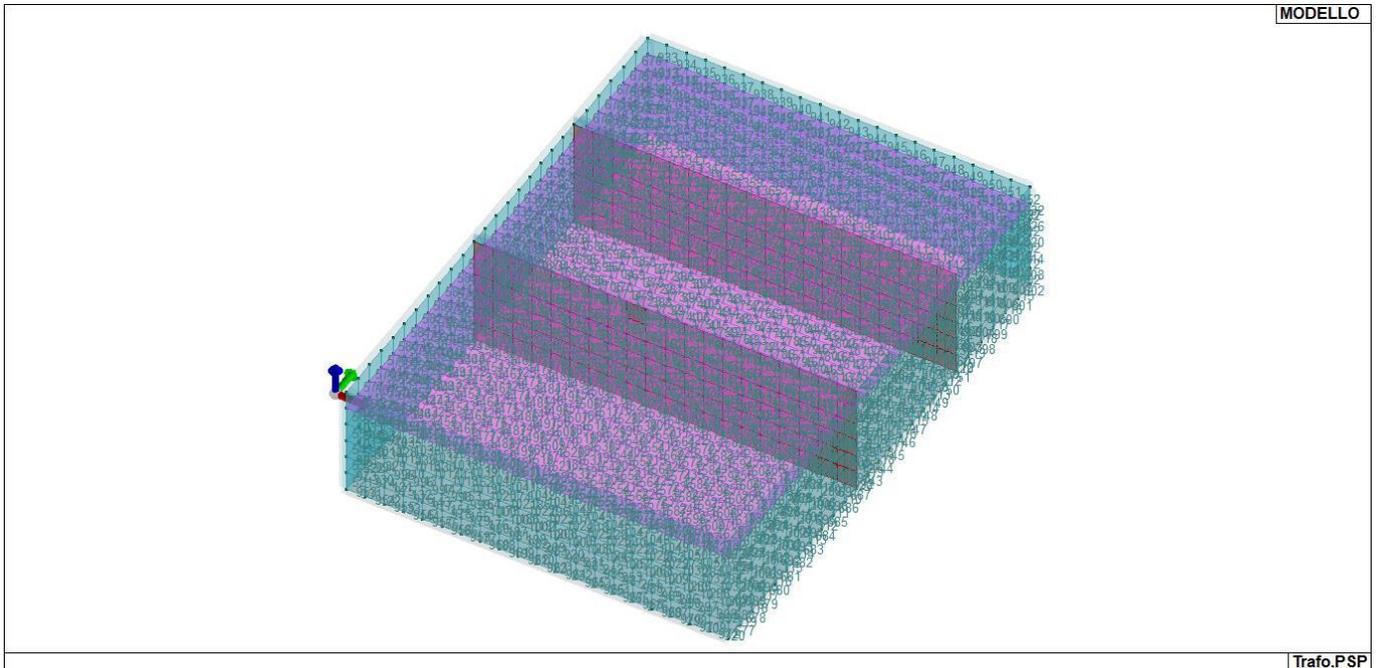
Sono introdotti nella modellazione elementi bidimensionali shell, individuati dai quattro nodi I, J, K, L

Ogni elemento è caratterizzato da un insieme di proprietà riportate in tabella che ne completano la modellazione.



In particolare per ogni elemento viene indicato in tabella:

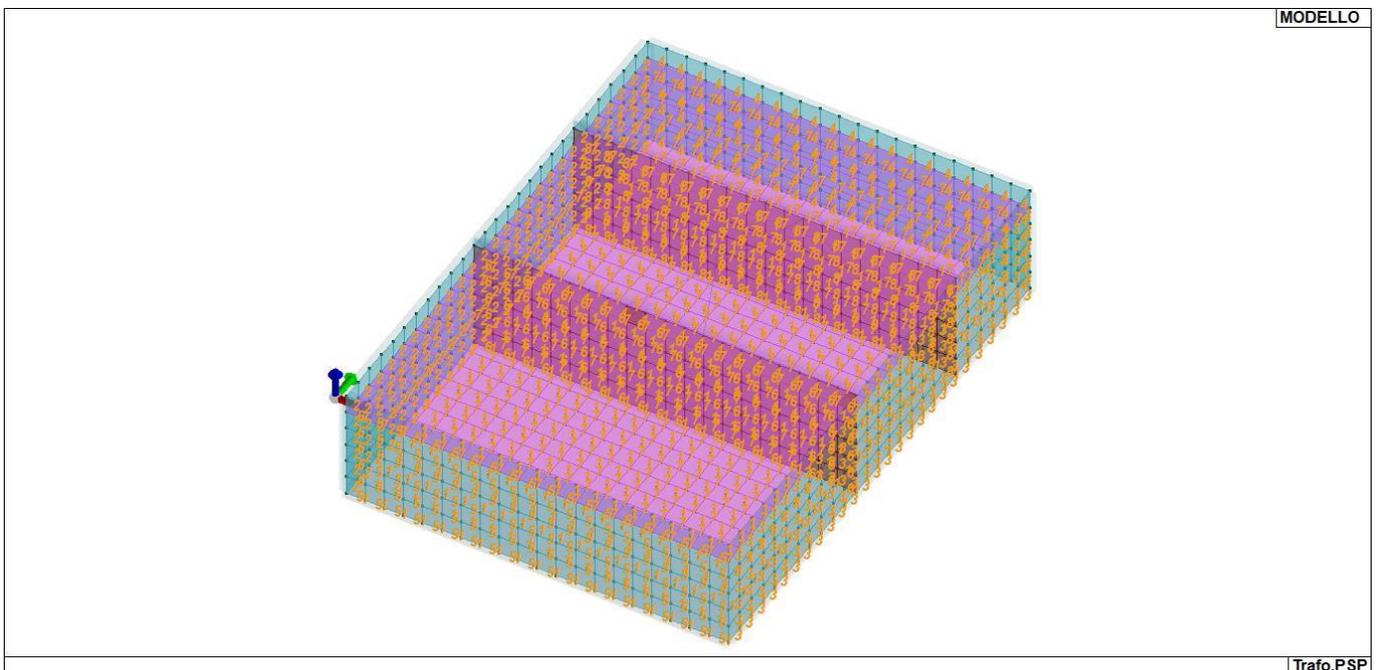
<b>Elem.</b>	numero dell'elemento
<b>Note</b>	codice di comportamento: <i>Guscio</i> (elemento guscio in elevazione non verticale) <i>Guscio fond.</i> (elemento guscio su suolo elastico) <i>Setto</i> (elemento guscio in elevazione verticale) <i>Membrana</i> (elemento guscio con comportamento membranale)
<b>Nodo I (J, K, L)</b>	numero del nodo I (J, K, L)
<b>Mat.</b>	codice del materiale assegnato all'elemento
<b>Spessore</b>	spessore dell'elemento (costante)
<b>Wink V</b>	costante di sottofondo (coefficiente di Winkler) per la modellazione del suolo elastico verticale
<b>Wink O</b>	costante di sottofondo (coefficiente di Winkler) per la modellazione del suolo elastico orizzontale



MODELLO

MOD\_NUMERAZIONE\_D3

Trafo.PSP



MODELLO

MOD\_NUMERAZIONE\_D3\_PARETI

Trafo.PSP

## 5.11 MODELLAZIONE DELLE AZIONI

La struttura di fondazione dovrà sostenere i carichi di esercizio dovuti a:

- peso a pieno carico del Trafo
- peso della soletta di copertura
- il carico orizzontale dovuto alla spinta del terreno circostante

Il Trafo preso in considerazione per le valutazioni numeriche è uno standard 45 MVA - 231/11,5 kV ONAN, il cui peso a pieno carico è pari a 79,5tonn, che pertanto scarica circa 20tonn per piede

La soletta di copertura ha spessore medio 25cm, pertanto esercita un carico distribuito pari a 2500daN/mc \* 0,25mt = 625,0daN/mq

Il carico triangolare dovuto al terreno circostante vale, per metro lineare:

$$F = \frac{1}{2} * \gamma * k * H^2$$

Le tabelle successive dettagliano i valori caratteristici di ogni azione in relazione al tipo.

<b>1</b>	<b>carico concentrato nodale</b> 6 dati (forza Fx, Fy, Fz, momento Mx, My, Mz)
<b>2</b>	<b>spostamento nodale impresso</b> 6 dati (spostamento Tx,Ty,Tz, rotazione Rx,Ry,Rz)
<b>3</b>	<b>carico distribuito globale su elemento tipo trave</b> 7 dati (fx,fy,fz,mx,my,mz,ascissa di inizio carico) 7 dati (fx,fy,fz,mx,my,mz,ascissa di fine carico)
<b>4</b>	<b>carico distribuito locale su elemento tipo trave</b> 7 dati (f1,f2,f3,m1,m2,m3,ascissa di inizio carico) 7 dati (f1,f2,f3,m1,m2,m3,ascissa di fine carico)
<b>5</b>	<b>carico concentrato globale su elemento tipo trave</b> 7 dati (Fx,Fy,Fz,Mx,My,Mz,ascissa di carico)
<b>6</b>	<b>carico concentrato locale su elemento tipo trave</b> 7 dati (F1, F2, F3, M1, M2, M3, ascissa di carico)
<b>7</b>	<b>variazione termica applicata ad elemento tipo trave</b> 7 dati (variazioni termiche: uniforme, media e differenza in altezza e larghezza al nodo iniziale e finale)
<b>8</b>	<b>carico di pressione uniforme su elemento tipo piastra</b> 1 dato (pressione)
<b>9</b>	<b>carico di pressione variabile su elemento tipo piastra</b> 4 dati (pressione, quota, pressione, quota)
<b>10</b>	<b>variazione termica applicata ad elemento tipo piastra</b> 2 dati (variazioni termiche: media e differenza nello spessore)
<b>11</b>	<b>carico variabile generale su elementi tipo trave e piastra</b> 1 dato descrizione della tipologia 4 dati per segmento (posizione, valore, posizione, valore) la tipologia precisa l'ascissa di definizione, la direzione del carico, la modalità di carico e la larghezza d'influenza per gli elementi tipo trave
<b>12</b>	<b>gruppo di carichi con impronta su piastra</b> 9 dati (numero di ripetizioni in direzione X e Y, valore di ciascun carico, posizione centrale del primo, dimensioni dell' impronta, interasse tra i carichi)

Tipo		carico concentrato nodale					
Id	Tipo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
		kN	kN	kN	kN m	kN m	kN m
2	Peso Proprio-CN:Fz=-4.415e+04	0.0	0.0	-441.45	0.0	0.0	0.0
3	Carico Morsetti-CN:Fx=80.00 Fy=80.00 Fz=-80.00 Mx=4240.00 My=4240.00	0.80	0.80	-0.80	0.42	0.42	0.0
4	Vento-CN:Fx=1001.20 Fy=760.90 Mx= 1.370e+05 My= 1.802e+05	10.01	7.61	0.0	13.70	18.02	0.0
6	Sisma y-CN:Fy= 2.098e+04 Fz=-1.154e+04 Mx= 3.776e+06	0.0	209.78	-115.35	377.60	0.0	0.0
7	Sisma x-CN:Fx= 2.098e+04 Fz=-1.154e+04 My= 3.776e+06	209.78	0.0	-115.35	0.0	377.60	0.0

Tipo		carico di pressione uniforme su piastra	
Id	Tipo	pressione	
		kN/ m2	
5	Sovraccarico Piastra-P3:p= 1.000e-02	1.00	
9	Incremento dinamico Spinta X-P3:p= 5.000e-02	5.00	
10	Incremento dinamico Spinta Y-P3:p= 5.000e-02	5.00	

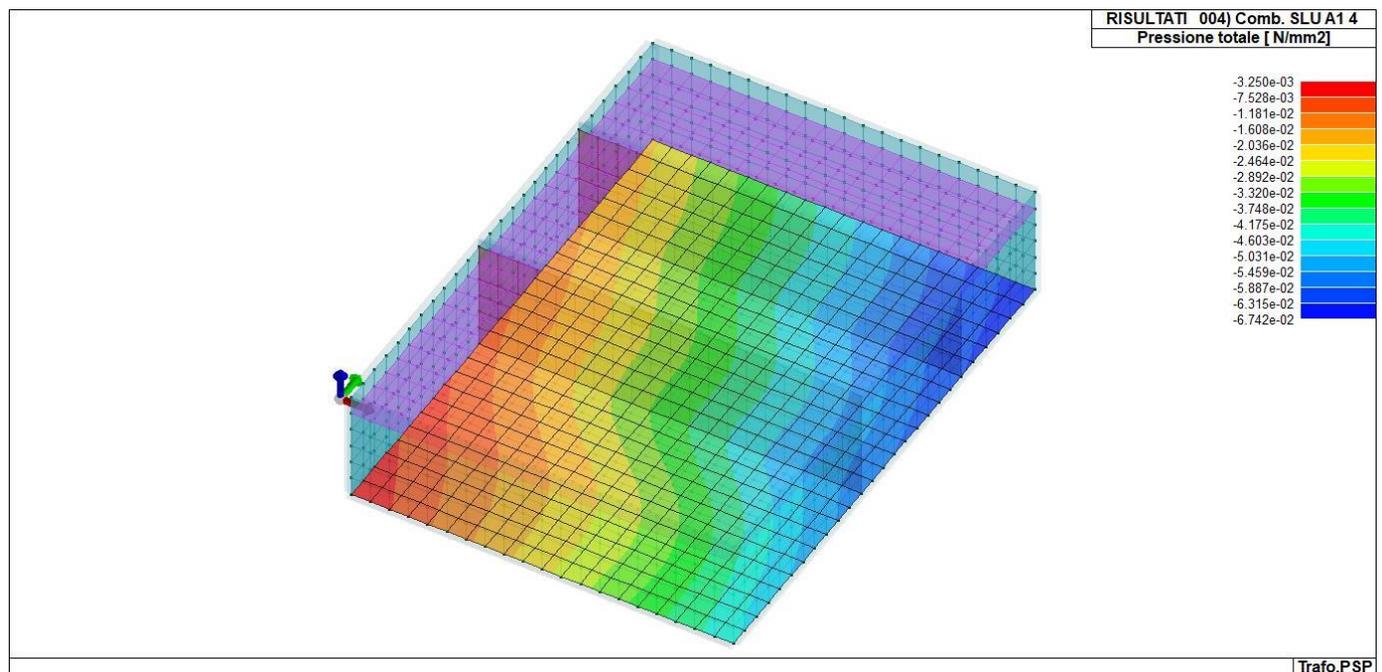
Tipo		carico di pressione variabile su piastra			
Id	Tipo	pressione	quota	pressione	quota
		kN/ m2	m	kN/ m2	m
8	Spinta --PL3:pi=-5.000e-02 qi=0.0 pf=-0.19 qf=-172.50	-5.00	0.0	-19.40	-1.73

Sono previsti i seguenti 11 tipi di casi di carico:

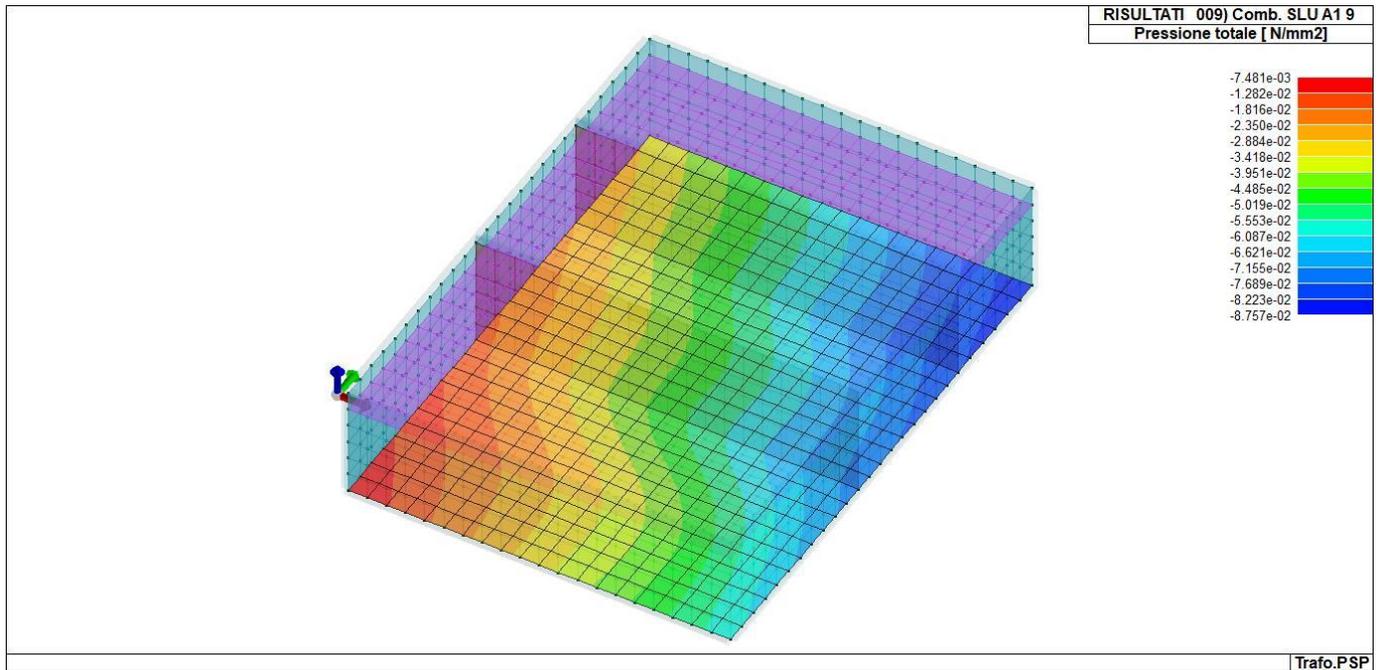
	Sigla	Tipo	Descrizione
1	Ggk	A	caso di carico comprensivo del peso proprio struttura
2	Gk	NA	caso di carico con azioni permanenti
3	Qk	NA	caso di carico con azioni variabili
4	Gsk	A	caso di carico comprensivo dei carichi permanenti sui solai e sulle coperture
5	Qsk	A	caso di carico comprensivo dei carichi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

CDC	Tipo	Sigla Id	Note
1	Ggk	CDC=Ggk (peso proprio della struttura)	
2	Gk	CDC=G1k (Peso Trafo)	Nodo: 1785 Azione : Peso Proprio-CN:Fz=-4.415e+04
3	Qk	CDC=Qk (vento)	Nodo: 1785 Azione : Vento-CN:Fx=1001.20 Fy=760.90 Mx= 1.370e+05 My= 1.802e+05
4	Gk	CDC=G1k (Spinta Statica Terreno)	D3 :da 521 a 1072 Azione : Spinta --PL3:pi=-5.000e-02 qi=0.0 pf=-0.19 qf=-172.50
5	Esk	CDC=Es (statico SLU) alfa=0.0 (ecc. 0)	partecipazione:1.00 per 1 CDC=Ggk (peso proprio della struttura) partecipazione:1.00 per 2 CDC=G1k (Peso Trafo) partecipazione:0.80 per 3 CDC=Qk (vento) partecipazione:1.00 per 4 CDC=G1k (Spinta Statica Terreno) partecipazione:1.00 per 7 CDC=G1k (Morsetti) partecipazione:1.00 per 8 CDC=G1k (Sisma x) partecipazione:1.00 per 9 CDC=G1k (Sisma y) partecipazione:0.80 per 10 CDC=Qk (Sovraccarico Piastra)
6	Esk	CDC=Es (statico SLU) alfa=90.00 (ecc. 0)	come precedente CDC sismico

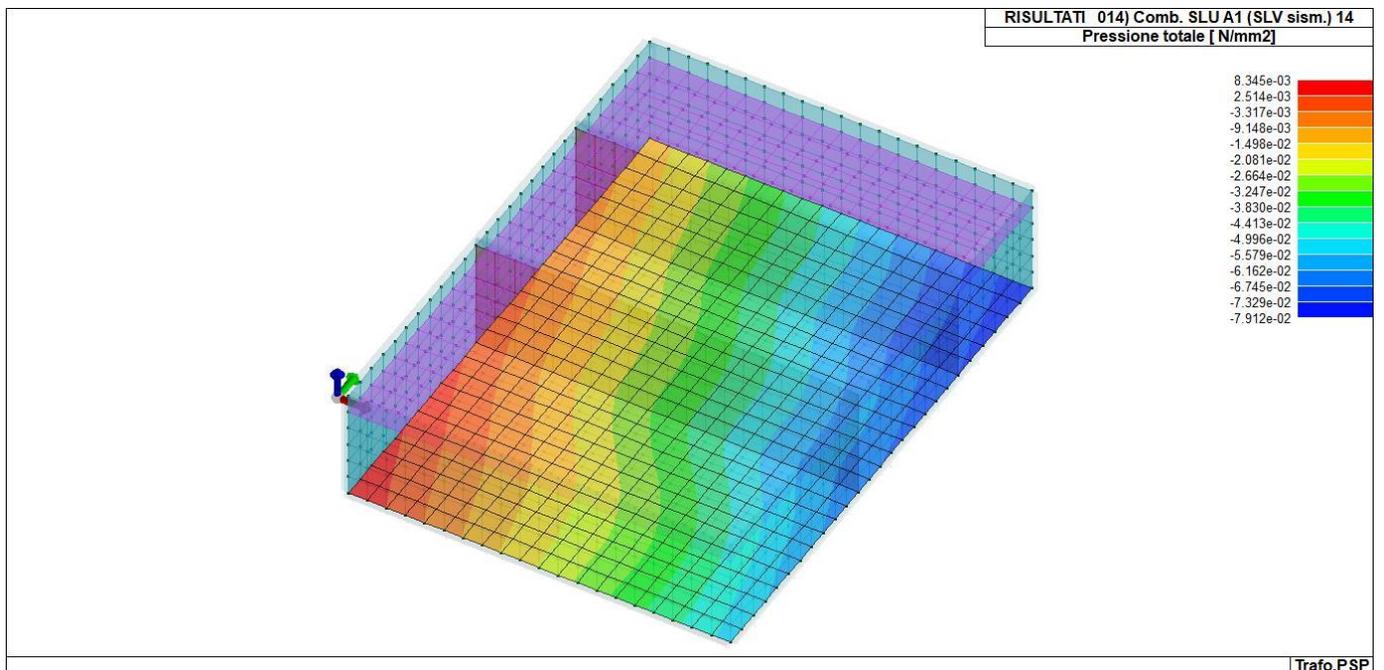
CDC	Tipo	Sigla Id	Note
7	Gk	CDC=G1k (Morsetti)	Nodo: 1785 Azione : Carico Morsetti-CN:Fx=80.00 Fy=80.00 Fz=-80.00 Mx=4240.00 My=4240.00
8	Gk	CDC=G1k (Sisma x)	Nodo: 1785 Azione : Sisma x-CN:Fx= 2.098e+04 Fz=-1.154e+04 My= 3.776e+06 D3 :da 521 a 832 Azione : Incremento dinamico Spinta X-P3:p= 5.000e-02
9	Gk	CDC=G1k (Sisma y)	Nodo: 1785 Azione : Sisma y-CN:Fy= 2.098e+04 Fz=-1.154e+04 Mx= 3.776e+06 D3 :da 833 a 1072 Azione : Incremento dinamico Spinta Y-P3:p= 5.000e-02
10	Qk	CDC=Qk (Sovraccarico Piastra)	D3 : 1181 Azione : Sovraccarico Piastra-P3:p= 1.000e-02 D3 :da 1313 a 1831 Azione : Sovraccarico Piastra-P3:p= 1.000e-02



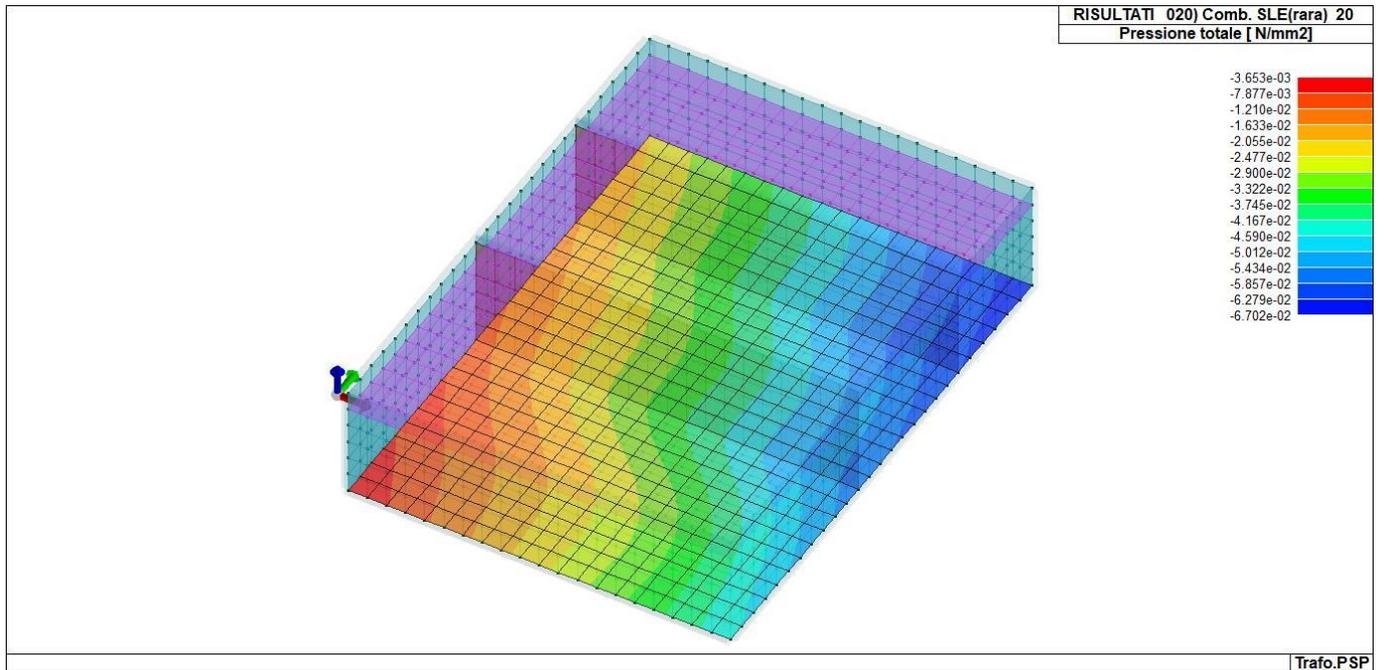
**Figura 1** RIS\_PRESSIONI\_004\_Comb. SLU A1 4



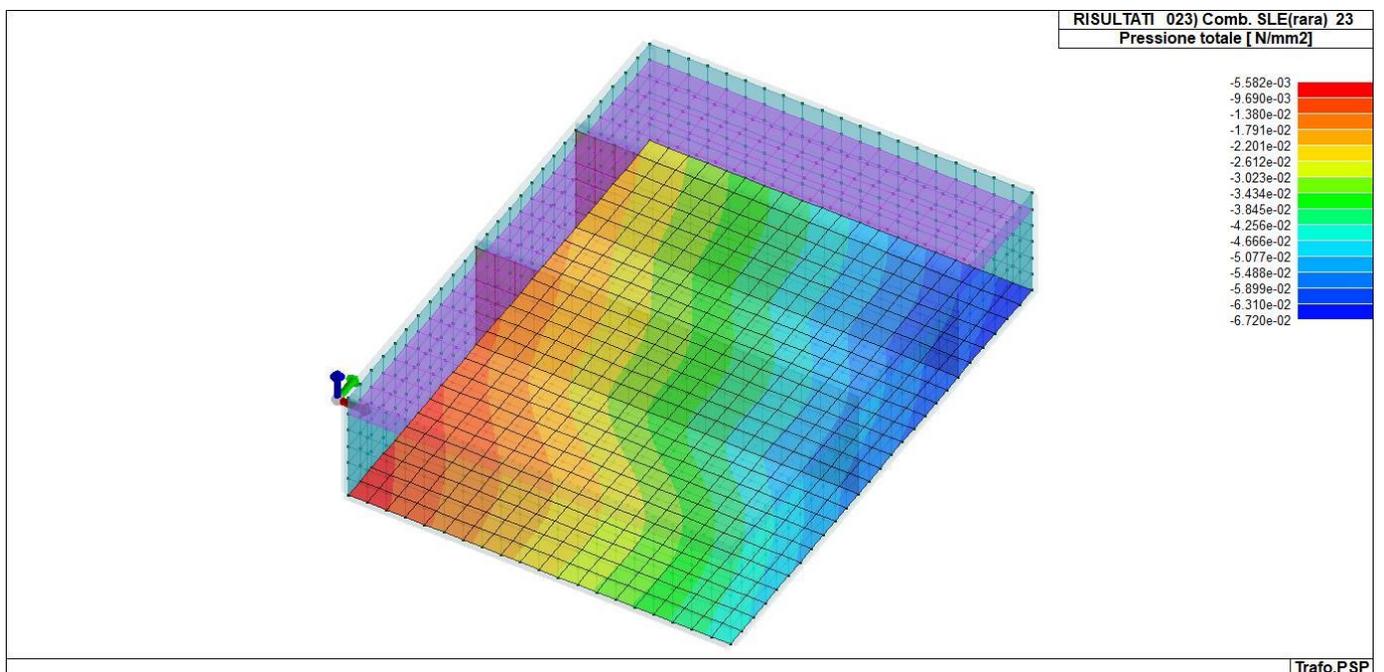
**Figura 2** RIS\_PRESSIONI\_009\_Comb. SLU A1 9



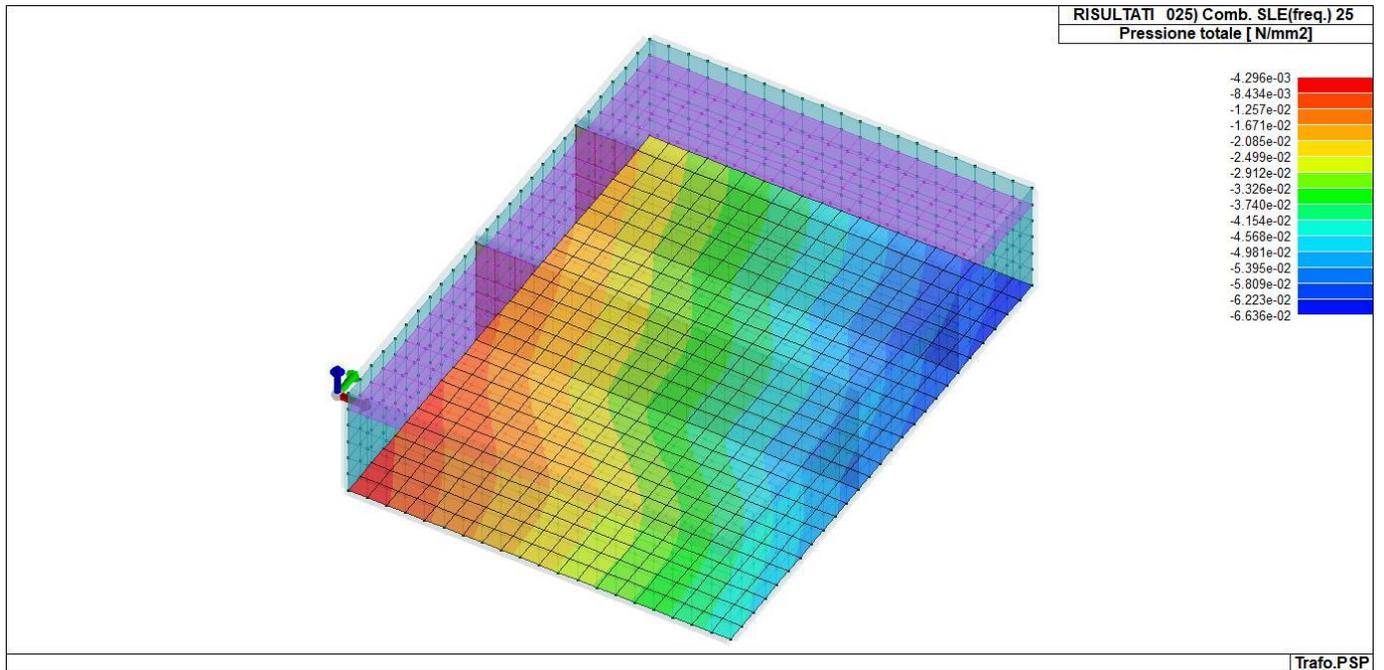
**Figura 3** RIS\_PRESSIONI\_014\_Comb. SLU A1 (SLV sism.) 14



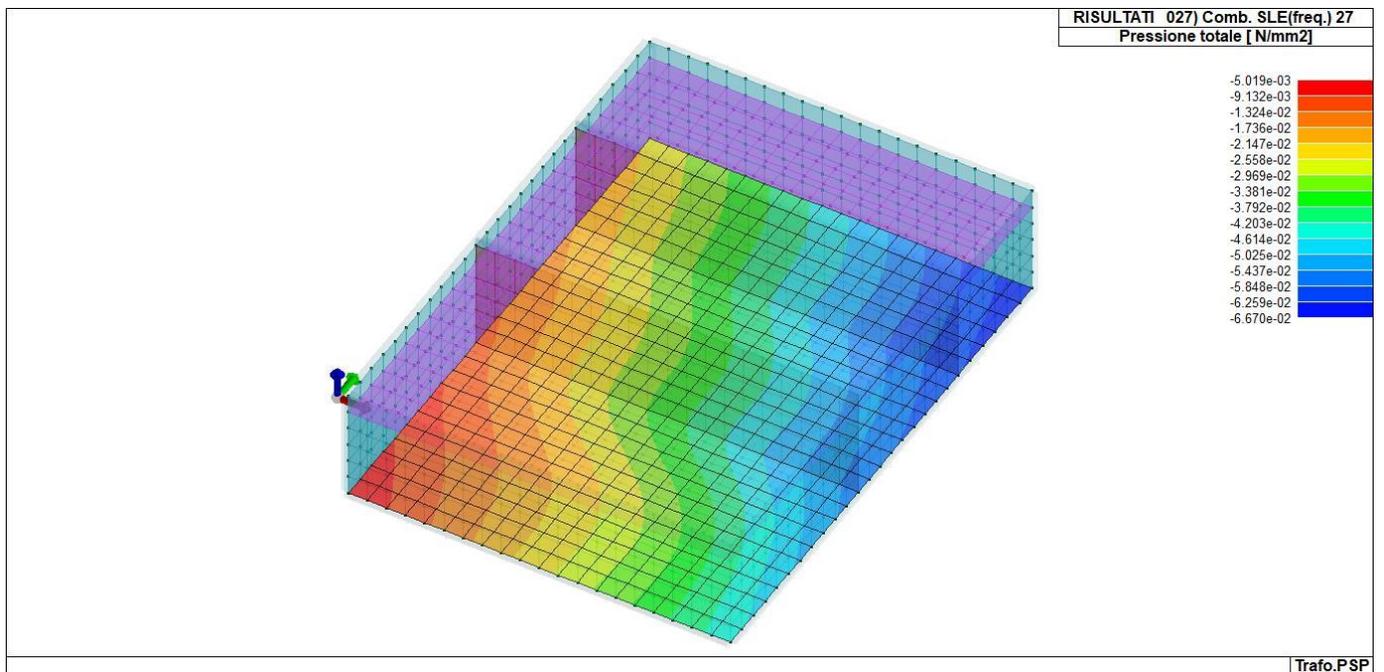
**Figura 4** RIS\_PRESSIONI\_020\_Comb. SLE(rara) 20



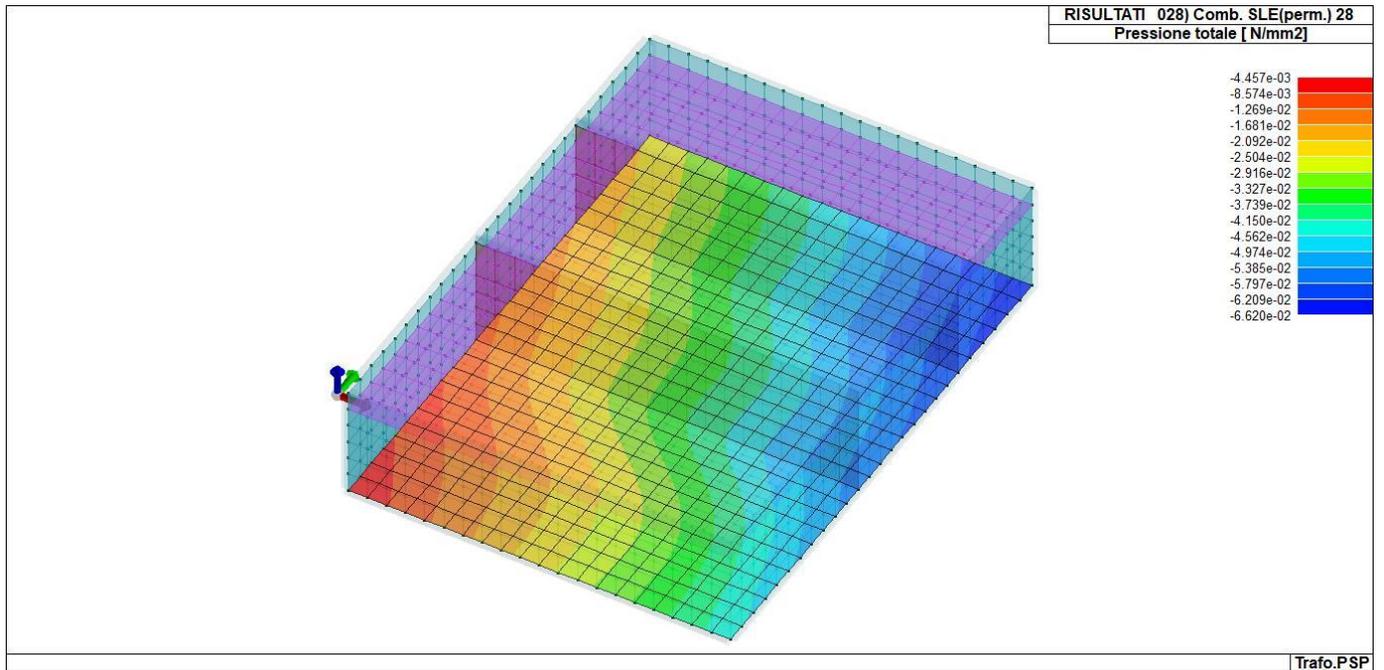
**Figura 5** RIS\_PRESSIONI\_023\_Comb. SLE(rara) 23



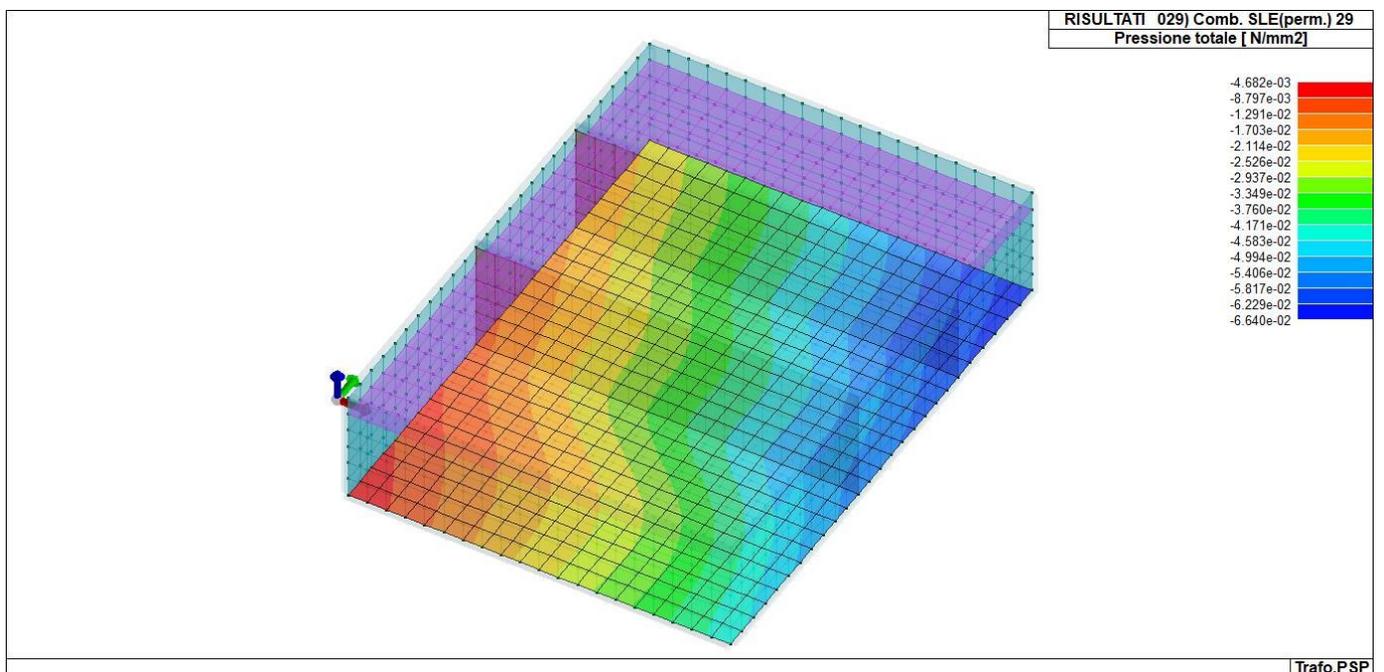
**Figura 6** RIS\_PRESSIONI\_025\_Comb. SLE(freq.) 25



**Figura 7** RIS\_PRESSIONI\_027\_Comb. SLE(freq.) 27



**Figura 8** RIS\_PRESSIONI\_028\_Comb. SLE(perm.) 28



**Figura 9** RIS\_PRESSIONI\_029\_Comb. SLE(perm.) 29

## 5.12 VERIFICHE ELEMENTI PARETE E/O GUSCIO IN C.A.

Per le pareti in c.a., in ottemperanza al cap. 7 del DM 17-01-18, viene effettuata una doppia progettazione: sia come Singolo Elemento sia come Parete Sismica o Parete Debolmente Armata.

Per la progettazione come Singolo Elemento di ogni elemento vengono riportati il codice dello stato di verifica con le sigle Ok e NV, il rapporto  $x/d$ , la verifica per sollecitazioni ultime (verifica a compressione media gli sforzi membranali, verifica a presso-flessionale e verifica a sollecitazioni taglianti), gli sforzi membranali e flessionali, il quantitativo di armatura nella direzione principale e secondaria sia inferiore che superiore e il quantitativo di armatura a taglio.

Per la progettazione come Parete Sismica o Parete Debolmente Armata vengono riportate invece le caratteristiche geometriche della parete e delle zone dissipative (quest'ultime solo nel caso di parete sismica), i coefficienti di verifica a compressione assiale, pressoflessione e sollecitazioni taglianti.

Inoltre vengono riportate per ogni quota significativa l'armatura principale e secondaria, l'armatura in zona confinata (solo per parete sismica) e non confinata, l'armatura concentrata all'estremità (per pareti debolmente armate), lo sforzo assiale aggiuntivo per  $q$  superiore a 2 e i valori di involuppo di taglio e momento. Per le pareti debolmente armate viene riportato anche lo stato di verifica relativo alla snellezza.

Le azioni derivate dall'analisi, in ogni combinazione di calcolo, sono elaborate come previsto al punto 7.4.4.5.1: traslazione del momento, incremento e variazione diagramma taglio, incremento e decremento sforzo assiale

La progettazione nel caso dei gusci viene effettuata una progettazione come Singolo Elemento, riportando in tabella il rapporto  $x/d$ , la verifica per sollecitazioni ultime, (verifica a compressione media gli sforzi membranali, verifica a presso-flessionale e verifica a sollecitazioni taglianti) di ogni elemento.

Per ogni elemento, viene riportata inoltre la maglia di armatura necessaria in relazione alle risultanze della progettazione dei nodi dell'elemento stesso. Le quantità di armature necessarie sono armature (disposte rispettivamente in direzione principale e secondaria, inferiore e superiore) distribuite nell'elemento ed espresse in centimetri quadri per sviluppo lineare pari ad un metro.

Nel caso dei gusci viene effettuata, inoltre, la verifica a punzonamento, riportando in tabella il codice dello stato di verifica, il coefficiente di verifica per piastre prive di armature a taglio lungo il perimetro resistente e lungo il perimetro del pilastro, coefficiente di incremento dovuto ai momenti flettenti, fattore di amplificazione per le fondazioni, il fattore di amplificazione dell'altezza utile per individuare il perimetro di verifica lungo il quale l'armatura a taglio non è richiesta, il quantitativo di armatura a punzonamento, il numero di serie di armature, il numero di braccia di armatura ed il riferimento alla combinazione più gravosa.

Per gli elementi con progettazione “Singolo Elemento ...” è presente una tabella con i simboli di seguito descritti:

Macro Guscio	Numero del macroelemento di tipo guscio (elementi non verticali contigui ed analoghi per proprietà)
Macro Setto	Numero del macroelemento di tipo setto (elementi verticali contigui ed analoghi per proprietà)
Spessore	Spessore della parete
Id Materiale	Codice del materiale assegnato all'elemento
Id Criterio	Codice del criterio di progetto assegnato all'elemento
Progettazione	Sigla tipo di Elemento: - Singolo Elemento; - Singolo Elemento FONDAZIONE; - Singolo Elemento NON DISSIPATIVO

Per gli elementi con progettazione “Parete Sismica o Parete Debolmente Armata” è presente una tabella con i simboli di seguito descritti:

Parete	Numero della PARETE SISMICA
Parete PDA	Numero della PARETE DEBOLMENTE ARMATA
H totale	Altezza complessiva della parete
Spessore	Spessore della parete
H critica	Altezza come da punto 7.4.4.5.1 per traslazione momento (solo in Parete Sismica)
H critica V	Altezza della zona dissipativa (solo in Parete Sismica)
L totale	Larghezza di base della parete
L confinata	Lunghezza della zona dissipativa (solo in Parete Sismica)
Verif. N	Verifica di cui al punto 7.4.4.5.1 compressione semplice
Verif. N-M	Verifica di cui al punto 7.4.4.5.1 pressoflessione
Fattore V	Fattore di amplificazione del taglio di cui al punto 7.4.4.5.1
Diagramma V	Diagramma elaborato per effetto modi superiori come da fig. 7.4.4
Verif. V	Verifica di cui al punto 7.4.4.5.1 taglio (compressione cls, trazione acciaio, scorrimento in zona critica) (solo in Parete Sismica)
Verifica Snellezza	Verifica di cui al punto 7.4.4.5.1 limitazione compressione per prevenire l'instabilità (solo in Parete Debolmente Armata)
Prog. composta	Sigla per la progettazione composta

Per le verifiche degli elementi con progettazione “Singolo Elemento ...” e Progettazione Composta è presente una tabella con i simboli di seguito descritti:

Nodo	numero del nodo
Stato	codice di verifica dell'elemento <b>ok</b> o <b>NV</b>
x/d	rapporto tra posizione dell'asse neutro e altezza utile alla rottura della sezione (per sola flessione)
V N/M	Verifica delle sollecitazioni Normali (momento e sforzo normale)
Ver. rid	Rapporto Nd/Nu (Nu ottenuto con riduzione del 25% di fcd)
Af pr+	quantità di armatura richiesta in direzione principale relativa alla faccia positiva (estradosso piastre) (valore derivante da calcolo o minimo normativo)
Af pr-	quantità di armatura richiesta in direzione principale relativa alla faccia negativa (intradosso piastre) (valore derivante da calcolo o minimo normativo)
Af sec+	quantità di armatura richiesta in direzione secondaria relativa alla faccia positiva (estradosso piastre) (valore derivante da calcolo o minimo normativo)
Af sec-	quantità di armatura richiesta in direzione secondaria relativa alla faccia negativa (intradosso piastre) (valore derivante da calcolo o minimo normativo)
Nz No Nzo	Sforzi membranali per pareti e\o setti verticali
Mz Mo Mzo	Sforzi flessionali per pareti e\o setti verticali
Nx Ny Nxy	Sforzi membranali per gusci orizzontali
Mx Mx Mxy	Sforzi flessionali per gusci orizzontali

Nodo	numero del nodo
Stato	codice di verifica dell'elemento <b>ok</b> o <b>NV</b>
Max tau	Tensione tangenziale Massima
Ver V pr	Verifica a taglio nella direzione principale lato calcestruzzo
Ver V sec	Verifica a taglio nella direzione secondaria lato calcestruzzo
Af V pr	Armatura nella direzione principale
V pr-	Verifica dell'armatura nella direzione principale
Af V sec	Armatura nella direzione secondaria
V sec-	Verifica dell'armatura nella direzione secondaria

Per le verifiche degli elementi con progettazione “*Parete Sismica o Parete Debolmente Armata*”, oltre alla tabella con le verifiche per gli elementi con progettazione “*Singolo Elemento ...*”, è presente una tabella con i simboli di seguito descritti:

Quota	Ascissa verticale di riferimento
Af conf.	Numero e diametro armatura presente in una zona confinata
Af std	Diametro e passo armatura in zona non confinata (doppia maglia)
Af estremi	Diametro dei ferri di estremità del pannello; se posto uguale 0, viene utilizzato il diametro standard
Af V (ori)	Diametro e passo armatura orizzontale (doppia maglia)
Ver. N	Rapporto tra azione di calcolo e resistenza a compressione (normalizzato a 1 in quanto da confrontare con 40% in CDB e 35 % in CDA)
Ver. N/M	Rapporto tra azione di calcolo e resistenza a pressoflessione
Ver. V acc(7)	Rapporto tra azione di calcolo e resistenza a taglio-trazione per alfaS minore di 2 secondo paragrafo 7.4.4.5.1
Ver. V cls	Rapporto tra azione di calcolo e resistenza a taglio-compressione
Ver. V acc	Rapporto tra azione di calcolo e resistenza a taglio-trazione
Ver. V scorr.	Rapporto tra azione di calcolo e resistenza a taglio scorrimento
N add	Sforzo assiale di cui al punto 7.4.4.5.1 da sommare e sottrarre nelle verifiche quando q supera 2
N invil M invil	Involuppo del Momento e Sforzo Normale come al punto 7.4.4.5.1 (informativo) (solo in Parete Sismica)

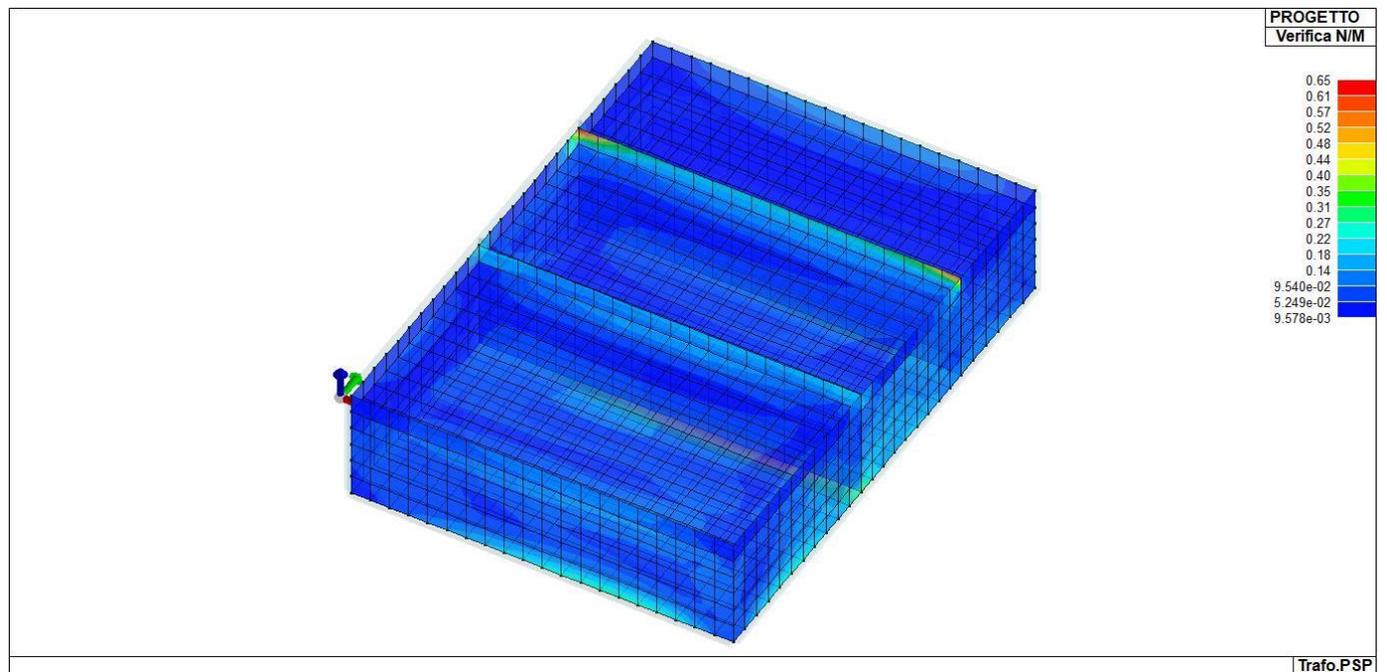
Quota	Ascissa verticale di riferimento
N v.N	Valore dello sforzo assiale per cui Ver. N attinge il massimo valore
N v.M/N, M v.M/N	Valore dello sforzo assiale e momento per cui Ver. N/M attinge il massimo valore
N v.M/N, M v.M/N Mo v.M/N	Valore dello sforzo assiale e dei momenti per cui Ver. N/M attinge il massimo valore (per le pareti estese debolmente armate)
N v.Vcls, V v.Vcls,	Valore dello sforzo assiale e taglio per cui Ver. V. cls attinge il massimo valore
N v.Vacc, M v.Vacc, V v.Vacc,	Valore dello sforzo assiale, momento e taglio per cui Ver. V. acc attinge il massimo valore
N v.Vscorr, M v.Vscorr, V v.Vscorr,	Valore dello sforzo assiale, momento e taglio per cui Ver. V. scorr.e
N v.N	Valore dello sforzo assiale per cui Ver. N attinge il massimo valore
N v.M/N, M v.M/N	Valore dello sforzo assiale e momento per cui Ver. N/M attinge il massimo valore
N v.M/N, M v.M/N Mo v.M/N	Valore dello sforzo assiale e dei momenti per cui Ver. N/M attinge il massimo valore (per le pareti estese debolmente armate)
N v.Vcls, V v.Vcls,	Valore dello sforzo assiale e taglio per cui Ver. V. cls attinge il massimo valore

Quota	Ascissa verticale di riferimento
CtgT Vcls	Valore di ctg(teta) adottato nella verifica V compressione cls
Vrsd Vcls	Valore della resistenza a taglio trazione (armatura di calcolo)
Vrcd Vcls	Valore della resistenza a taglio compressione
CtgT Vacc	Valore di ctg(teta) adottato nella verifica V trazione armatura
Vrsd Vacc	Valore della resistenza a taglio trazione (armatura presente)
Vrcd Vacc	Valore della resistenza a taglio compressione
Vdd	Valore del contributo alla resistenza allo scorrimento come da [7.4.20]
Vid	Valore del contributo alla resistenza allo scorrimento come da [7.4.21]
A s.i.	Somma delle aree di armature
Incli.	Angolo di inclinazione delle armature
Dist.	Distanza alla base tra le armature inclinate

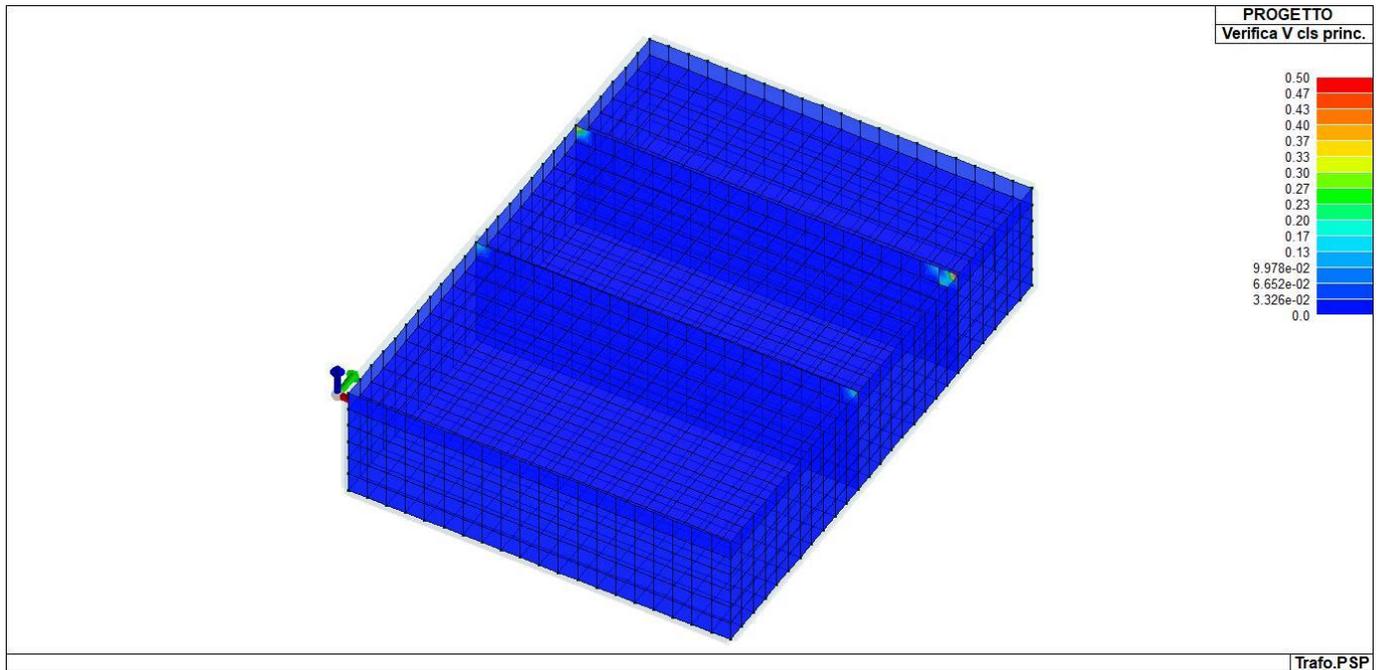
Quota	Ascissa verticale di riferimento
V[7.4.16]	Verifica a taglio-trazione dell'armatura dell'anima (7.4.16)
N M V	Sollecitazioni di calcolo della condizione più gravosa
Alfas	Rapporto di Taglio
Vrd,c	Resistenza a taglio degli elementi non armati
VRd,s	Resistenza a taglio nei confronti dello scorrimento
V[7.4.17]	Verifica a taglio-trazione dell'armatura dell'anima (7.4.17)
roH	Rapporto tra l'armatura orizzontale e l'area della sezione relativa di calcestruzzo
roV	Rapporto tra l'armatura verticale e l'area della sezione relativa di calcestruzzo
roN	Sforzo normale adimensionalizzato Ned/(bw fyd)

Per la verifica a *Punzonamento* è presente una tabella con i simboli di seguito descritti:

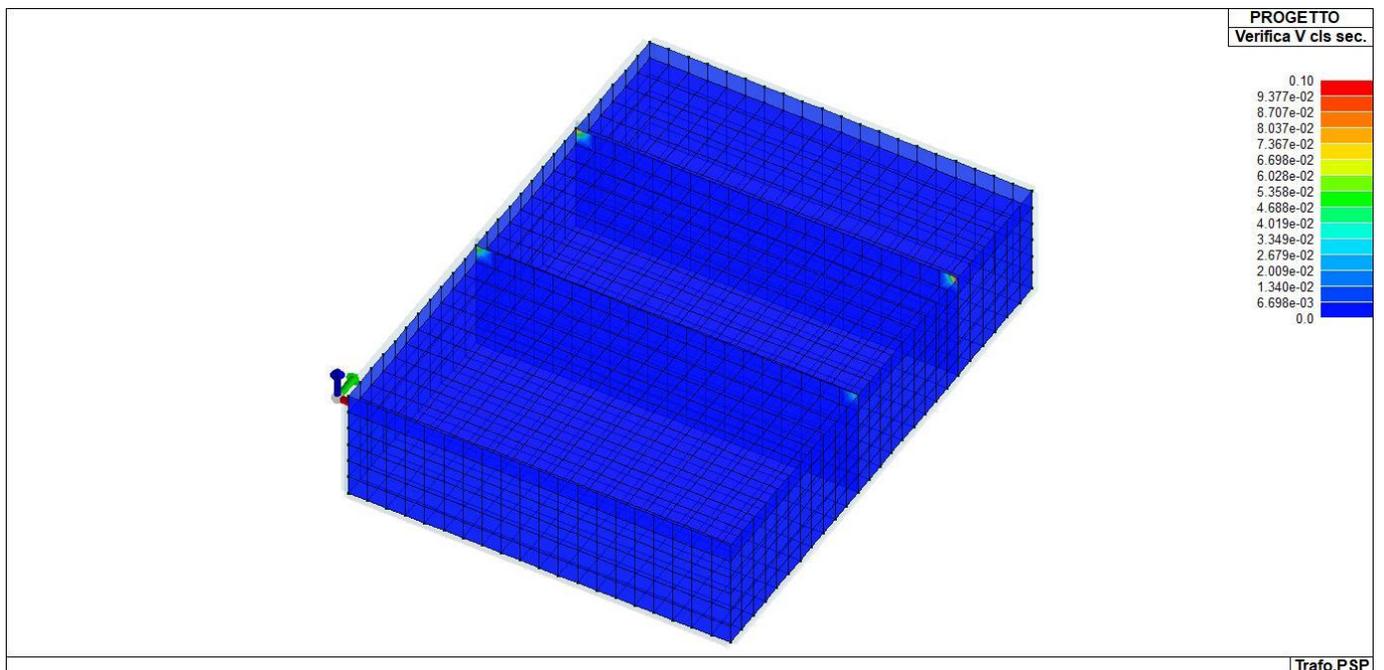
Nodo	numero del nodo
Stato	codice di verifica dell'elemento <b>ok</b> o <b>NV</b>
V. 6.47	Fattore di sicurezza per la verifica per piastre prive di armature a taglio lungo il perimetro resistente U1
V. 6.53	Fattore di sicurezza per la verifica per piastre prive di armature a taglio lungo il perimetro del pilastro U0
Beta	Fattore di incremento dovuto ai momenti flettenti
f. a fon	fattore di amplificazione per le fondazioni (solo per gusci di fondazione)
f. Uout	fattore di amplificazione dell'altezza utile per individuare il perimetro di verifica lungo il quale l'armatura a taglio non è richiesta
Aw tot	Quantitativo di armatura per la verifica di piastre munite di armatura (formula 6.52 dell'EC2)
Asw,min	Quantitativo minimo di armatura previsto dai dettagli costruttivi (formula 9.11 dell'EC2)
n. x serie	Numero di serie di armature
n.ser 0(R)	Numero di braccia delle armature in direzione 0 (o numero di braccia radiale)
n.ser 90	Numero di braccia delle armature in direzione 90 (solo se armatura cruciforme)
Rif. cmb	Riferimento combinazioni da cui si generano le verifiche più gravose



Verifiche elementi shell N/M



Verifiche elementi shell cls princ



Verifiche elementi shell cls sec

## 5.13 RELAZIONE GEOTECNICA E DELLE FONDAZIONI

### INDAGINI IN SITO E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

La finalità della presente relazione è quella di definire il comportamento meccanico del volume di terreno (volume significativo) influenzato dalla costruzione del manufatto. A partire dalle risultanze delle indagini geologiche eseguite, e note le caratteristiche della fondazione, si definisce il modello da utilizzare per le elaborazioni relative alla interazione fondazione-terreno.

### SIMBOLOGIA ADOTTATA NEI TABULATI DI CALCOLO

Per maggior chiarezza nella lettura dei tabulati di calcolo viene riportata la descrizione dei simboli principali utilizzati nella stesura degli stessi.

#### Dati geometrici degli elementi costituenti le fondazioni superficiali

*per tipologia platea:*

- Indice Strat.     indice della stratigrafia associata all'elemento
- Prof. Fon.        profondità del piano di posa dell'elemento dal piano campagna
- Dia. Eq.         diametro del cerchio equivalente alla superficie dell'elemento
- Spessore         spessore dell'elemento
- Superficie       superficie dell'elemento
- Vert. Elem.      Numero dei vertici che costituiscono l'elemento
- Macro            nel caso l'elemento appartenga ad un macroelemento, rappresenta il numero del macroelemento

#### Dati di carico degli elementi costituenti le fondazioni superficiali

*per tipologia platea:*

- Cmb              numero della combinazione di carico
- Tipologia        tipologia della combinazione di carico
- Sismica         flag per l'applicazione della riduzione sismica alle caratteristiche meccaniche del terreno di fondazione per la combinazione di carico in esame
- Press. N1        tensione di contatto tra terreno e fondazione nel vertice n° 1 dell'elemento
- Press. N2        tensione di contatto tra terreno e fondazione nel vertice n° 2 dell'elemento
- Press. N3        tensione di contatto tra terreno e fondazione nel vertice n° 3 dell'elemento
- Press. N4        tensione di contatto tra terreno e fondazione nel vertice n° 4 dell'elemento
- S.Taglio X      sforzo di taglio agente sul piano di fondazione in direzione parallela all'asse X del riferimento globale
- S.Taglio Y      sforzo di taglio agente sul piano di fondazione in direzione parallela all'asse Y del riferimento globale

#### Valori di calcolo della portanza per fondazioni superficiali

- Cmb              numero della combinazione di carico
- Qlim             capacità portante totale data dalla somma di Qlim q, Qlim g, Qlim c e di Qres P (nel caso in cui si operi alle tensioni ammissibili corrisponde alla portanza ammissibile)
- Qlim q           termine relativo al sovraccarico della formula trinomia per il calcolo della capacità portante (nel caso in cui si operi alle tensioni ammissibili corrisponde alla relativa parte della portanza ammissibile)

- $Q_{lim\ g}$  termine relativo alla larghezza della base di fondazione della formula trinomia per il calcolo della capacità portante (nel caso in cui si operi alle tensioni ammissibili corrisponde alla relativa parte della portanza ammissibile)
- $Q_{lim\ c}$  termine relativo alla coesione della formula trinomia per il calcolo della capacità portante (nel caso in cui si operi alle tensioni ammissibili corrisponde alla relativa parte della portanza ammissibile)
- $Q_{res\ P}$  termine relativo alla resistenza al punzonamento del terreno sovrastante lo strato di rottura. Diverso da zero solo nel caso di terreni stratificati dove lo strato di rottura è diverso dal primo (nel caso in cui si operi alle tensioni ammissibili corrisponde alla relativa parte della portanza ammissibile)
- $Q_{max} / Q_{lim}$  rapporto tra il massimo valore della distribuzione tensionale di contatto tra terreno ed elemento fondale ed il valore della capacità portante (verifica positiva se il rapporto è  $< 1.0$ ).
- $T_{Blim}$  valore limite della resistenza a scorrimento in direzione parallela alla sezione trasversale dell'elemento
- $T_B / T_{Blim}$  rapporto tra lo sforzo di taglio agente ed il valore limite della resistenza a scorrimento in direzione parallela alla sezione trasversale dell'elemento (verifica positiva se il rapporto è  $< 1.0$ )
- $T_{Llim}$  valore limite della resistenza a scorrimento in direzione parallela allo sviluppo longitudinale dell'elemento
- $T_L / T_{Llim}$  rapporto tra lo sforzo di taglio agente ed il valore limite della resistenza a scorrimento in direzione parallela allo sviluppo longitudinale dell'elemento (verifica positiva se il rapporto è  $< 1.0$ )
- $S_{gm. Lt.}$  tensione litostatica agente alla quota del piano di posa dell'elemento fondale

#### ***Valori di calcolo dei cedimenti per fondazioni superficiali***

- $C_{mb}$  numero della combinazione di carico e tipologia
- **Nodo** vertice dell'elemento in cui viene calcolato il cedimento
- **Car. Netto** valore del carico netto applicato sulla superficie del terreno
- **Cedimento/i** valore del cedimento (nel caso di calcolo di cedimenti elastici i valori riportati sono due, il primo corrisponde al cedimento  $w_{imp.}$ , mentre il secondo al cedimento  $w_{Lib.}$ )

## PARAMETRI DI CALCOLO

### Metodi di calcolo della portanza per fondazioni superficiali:

- Per terreni sciolti: Vesic
- Per terreni lapidei: Terzaghi

### Fattori utilizzati per il calcolo della portanza per fondazioni superficiali :

- Riduzione dimensioni per eccentricità: si
- Fattori di forma della fondazione: si
- Fattori di profondità del piano di posa: si
- Fattori di inclinazione del carico: si
- Fattori di punzonamento (Vesic): si
- Fattore riduzione effetto piastra (Bowles): si
- Fattore di riduzione dimensione Base equivalente platea: 20,0 %
- Fattore di riduzione dimensione Lunghezza equivalente platea: 20,0 %

### Coefficienti parziali di sicurezza per Tensioni Ammissibili, SLE nel calcolo della portanza per fondazioni superficiali:

- Coeff. parziale di sicurezza  $F_c$  (statico): 2,50
- Coeff. parziale di sicurezza  $F_q$  (statico): 2,50
- Coeff. parziale di sicurezza  $F_g$  (statico): 2,50
- Coeff. parziale di sicurezza  $F_c$  (sismico): 3,00
- Coeff. parziale di sicurezza  $F_q$  (sismico): 3,00
- Coeff. parziale di sicurezza  $F_g$  (sismico): 3,00

### Combinazioni di carico:

#### APPROCCIO PROGETTUALE TIPO 2 - Comb. (A1+M1+R3)

Coefficienti parziali di sicurezza per SLU nel calcolo della portanza per fondazioni superficiali :

I coeff. A1 risultano combinati secondo lo schema presente nella relazione di calcolo della struttura.

- Coeff. M1 per  $\tan \varphi$  (statico): 1
- Coeff. M1 per  $c'$  (statico): 1
- Coeff. M1 per  $C_u$  (statico): 1
- Coeff. M1 per  $\tan \varphi$  (sismico): 1
- Coeff. M1 per  $c'$  (sismico): 1
- Coeff. M1 per  $C_u$  sismico): 1
- Coeff. R3 capacità portante (statico e sismico): 2,30
- Coeff. R3 scorrimento (statico e sismico): 1,10

### Parametri per la verifica a scorrimento delle fondazioni superficiali:

- Fattore per l'adesione ( $6 < Ca < 10$ ): 8
- Fattore per attrito terreno-fondazione ( $5 < Delta < 10$ ): 7
- Frazione di spinta passiva  $f_{Sp}$ : 50,00 %
- Coeff. resistenza sulle sup. laterali: 1,30

### Metodi e parametri per il calcolo dei cedimenti delle fondazioni superficiali:

- Metodo di calcolo tensioni superficiali: Boussinesq
- Modalità d'interferenza dei bulbi tensionali: Boussinesq
- Metodo di calcolo dei cedimenti del terreno: cedimenti edometrici

### ARCHIVIO STRATIGRAFIE

Indice / Descrizione: 001 / Nuova stratigrafia n. 1

Numero strati: 2

Profondità falda: assente

Strato n.	Quota di riferimento	Spessore	Indice / Descrizione terreno	Attrito Neg.
1	da 0,0 a -750,0 cm	750,0 cm	001 / Terreno di sedime	Assente
2	da -750,0 a -10750,0 cm	10000,0 cm	002 / Terreno di sedime 2	Assente

### ARCHIVIO TERRENI

Indice / Descrizione terreno: **001 / Terreno di sedime**

Comportamento del terreno: condizione drenata

Peso Spec.	P. Spec. Sat.	Angolo Res.	Coesione	Mod.Elast.	Mod.Edom.	Dens.Rel.	Poisson	C. Ades.
daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	Gradi°	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	%	%	
1,750 E-3	1,800 E-3	20,000	0,200	100,000	150,000	40,0	0,300	0,43

Indice / Descrizione terreno: **002 / Terreno di sedime 2**

Comportamento del terreno: condizione drenata

Peso Spec.	P. Spec. Sat.	Angolo Res.	Coesione	Mod.Elast.	Mod.Edom.	Dens.Rel.	Poisson	C. Ades.
daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	Gradi°	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	%	%	
1,910 E-3	1,910 E-3	25,500	0,220	137,000	222,000	49,0	0,363	0,78

### DATI GEOMETRICI DEGLI ELEMENTI COSTITUENTI LE FONDAZIONI SUPERFICIALI

Elemento	Tipologia	Id.Strat.	Prof. Fon.	Dia. Eq.	Spessore	Superficie	Vertici
Platea n. 520	Platea	001	1850.00	322.53	250.00	81699.97	4

Elemento n.	Tipologia	Id.Strat.	Prof. Fon.	Base Eq.	Spessore	Lung. Eq.	Lung. Travata Eq.
			mm	mm	mm	mm	mm
Macro n. 1	Macro-Platea	001	1850.00	4560.00	250.00	6240.00	6240.00

### VALORI DI CALCOLO DELLA PORTANZA PER FONDAZIONI SUPERFICIALI

I coeff. A1 risultano combinati secondo lo schema presente nella relazione di calcolo della struttura. Le azioni trasmesse in fondazione, relative alle combinazioni di tipo sismico, non saranno amplificate in quanto determinate ipotizzando un comportamento non dissipativo.

La verifica nei confronti dello Stato Limite di Danno viene eseguita determinando il carico limite della fondazione per le corrispondenti azioni di SLD, impiegando i coefficienti parziali gammaR di cui alla tabella 7.11.II.

N.B. La relazione è redatta in forma sintetica. Verranno riportati solo i casi maggiormente gravosi per ogni tipo di combinazione e le relative verifiche.

#### Macro platea: 1

Risultati più gravosi per cmb. di tipo **SLU STR**:

Sgm. Lt (tens. litostatica) = -0.00003238 kN/mm<sup>2</sup>

Qlim = Qlim c + Qlim q + Qlim g + Qres P = 0.00393659 + 0.00037004 + 0.00015832 + 0.00000000

Qmax / Qlim = 0.00008687 / 0.00446496 = 0,019 Ok (Cmb. n. 003)

TB / TBlim = 463.682 / 3886.915 = 0,119 Ok (Cmb. n. 003)

TL / TLim = 412.986 / 3753.397 = 0,110 Ok (Cmb. n. 003)

Sollecitazioni:

Cmb n.	Tipo	Sism.	Ecc. B mm	Ecc. L mm	S. Taglio B kN	S. Taglio L kN	S. Normale kN	T.T. min kN/mm <sup>2</sup>	T.T. max kN/mm <sup>2</sup>
003	SLU STR	No	565.94	423.49	463.682	412.986	-2011.199	-0.00000400	-0.00008687

Risultati più gravosi per cmb. di tipo **SLV A1 sism.**:

Sgm. Lt (tens. litostatica) = -0.00003238 kN/mm<sup>2</sup>

Q<sub>lim</sub> = Q<sub>lim c</sub> + Q<sub>lim q</sub> + Q<sub>lim g</sub> + Q<sub>res P</sub> = 0.00361909 + 0.00034200 + 0.00011822 + 0.00000000

Q<sub>max</sub> / Q<sub>lim</sub> = 0.00007869 / 0.00407931 = 0,019 Ok (Cmb. n. 014)

TB / TBlim = 636.695 / 3132.371 = 0,203 Ok (Cmb. n. 014)

TL / TLim = 600.471 / 3140.095 = 0,191 Ok (Cmb. n. 018)

Sollecitazioni:

Cmb n.	Tipo	Sism.	Ecc. B mm	Ecc. L mm	S. Taglio B kN	S. Taglio L kN	S. Normale kN	T.T. min kN/mm <sup>2</sup>	T.T. max kN/mm <sup>2</sup>
014	SLV A1	Si	824.19	509.66	636.695	396.373	-1547.075	0.00000875	-0.00007869
018	SLV A1	Si	625.52	708.38	432.597	600.471	-1547.075	0.00000691	-0.00007680

## VALORI DI CALCOLO DEI CEDIMENTI PER FONDAZIONI SUPERFICIALI

Elemento: Platea n. 1

Sollecitazioni:

Cmb n.	Tipo	Sism.	Ecc. B mm	Ecc. L mm	S. Taglio B kN	S. Taglio L kN	S. Normale kN	T.T. min kN/mm <sup>2</sup>	T.T. max kN/mm <sup>2</sup>
021	SLE rare	No	553.67	423.97	351.134	313.467	-1547.075	-0.00000351	-0.00006639
023	SLE rare	No	525.28	412.63	345.126	308.902	-1591.536	-0.00000502	-0.00006691

Cedimento massimo = -0.25 mm in Cmb n. 023

Cedimento minimo = 0.00 mm in Cmb n. 021