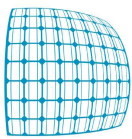




**REGIONE CAMPANIA  
PROVINCIA DI CASERTA  
COMUNE DI CANCELLO ED ARNONE**




**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO  
DENOMINATO "LA FOSSA" DELLA POTENZA DI 43.410 kWp -40.000 kVA**



**STARENERGIA**

StarEnergia srl  
sede legale Via Francesco Giordani n. 42  
800122 Napoli.IVA 05769401216 PEC: [starenergia@pec.it](mailto:starenergia@pec.it)

**Struttura Tracker  
Relazione illustrativa e di calcolo**

PROGETTISTA	PROPONENTE	SCALA
 <p><b>ING. IZZO PASQUALE</b> Via Abramo Diaz n. 58 84018 Scarafé - Salerno - Italia Email: <a href="mailto:ing.izzopasquale@gmail.com">ing.izzopasquale@gmail.com</a> PEC: <a href="mailto:pasquale.izzo@ordingna.it">pasquale.izzo@ordingna.it</a> Telefono: +39 081 3440827 - Cell.: +39 338 4804 869</p>	<p><b>Nova Energia s.r.l.</b> sede legale Via F. Giordani n. 42 800122 Napoli Tel.+39 081 060 7743 Fax +39 081 060 7876 C.F. e P.IVA 09898841219 PEC: <a href="mailto:novaenergia@pecditta.com">novaenergia@pecditta.com</a></p>	<p>varie</p>
		<b>TAVOLA</b>
		<b>RDS - 07</b>

Revisioni e coordinamento:

Rev: 00	Data: 22/03/2022	Note: Prima emissione

## Sommario

### **RELAZIONE ILLUSTRATIVA E DI CALCOLO – STRUTTURA TRACKER**

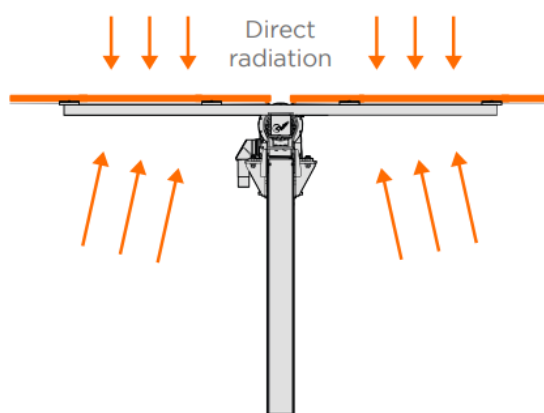
1. DESCRIZIONE .....	2
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI UTILIZZATI .....	4
4. SCHEMA GEOMETRICO E MODELLO CON ELEMENTI FINITI.....	5
5. COMBINAZIONE DEI CARICHI E CRITERI DI VERIFICA.....	5
6. ANALISI DEI CARICHI .....	7
7. ANALISI DEI CARICHI .....	22
8. VERIFICA A SFILAMENTO DEL SOSTEGNO .....	34
9. GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI.....	35
10. CONCLUSIONI .....	36

## RELAZIONE ILLUSTRATIVA E DI CALCOLO STRUTTURA TRACKER

### 1. DESCRIZIONE

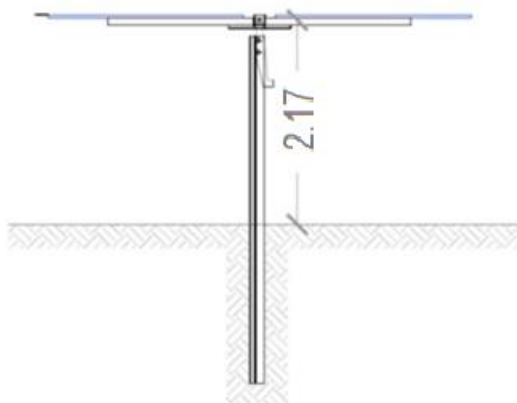
L'obiettivo della presente relazione è quello di fornire un'analisi dei carichi e delle sollecitazioni a cui sono sottoposte le strutture del generatore fotovoltaico in campo aperto, nonché effettuare delle verifiche di stabilità degli elementi portanti delle strutture di sostegno e di ancoraggio a terra.

Le strutture di supporto dei moduli fotovoltaici saranno ad inseguimento meccanico monoasse denominato "tracker", ad infissione nel terreno con macchina operatrice battipalo.

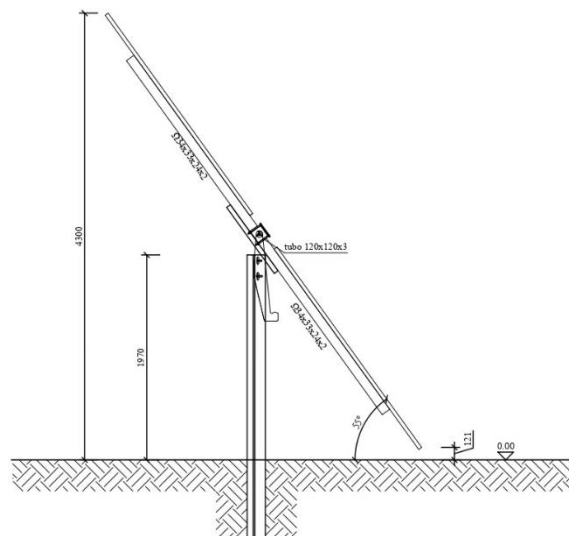


Si tratta di un sistema strutturale innovativo sviluppato in base a conoscenze scientifiche e normative: i moduli bifacciali poggiano su dei profili metallici "arcaicci" (della forma a Omega capovolta) a loro volta ancorati ad uno scatolare monoassiale "traversa" capace di ruotare ed orientare i moduli all'irraggiamento solare (strutture ad inseguimento solare).

Vista Laterale – Tilt 0°



Vista Laterale – Tilt Massimo



La struttura meccanica è costituita da elementi verticali costituiti da profili  $\Omega 101 \times 108 \times 40 \times 4$  mm infissi mediante battitura direttamente nel terreno. Detti elementi rappresentano al contempo sia i montanti verticali fuori terra che le fondazioni profonde.

Gli elementi orizzontali principali sono costituiti da tubolari  $120 \times 120 \times 3$  mm che sono ancorati ai montanti  $\Omega 101 \times 108 \times 40 \times 4$  mm mediante degli elementi pressopiegati speciali. Il tubolare  $120 \times 120 \times 3$  mm rappresenta l'asse di rotazione della struttura.

Sull'orditura principale sono ancorati i profili  $\Omega 34 \times 33 \times 24 \times 2$  mm che sorreggono i pannelli fotovoltaici mediante ancoranti meccanici.

## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

### Disciplina delle opere

- Legge n. 1086 del 5 Novembre 1971. "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica".
- Circolare del 14 febbraio 1974 n. 11951. "Istruzioni per l'applicazione delle «Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica» di cui alla Legge n. 1086 del 5 Novembre 1971".

### Azioni

- D.M. 17 Gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni".
- Eurocodice 1. "Basi della progettazione ed azioni sulle strutture".

### Strutture in acciaio e c.a.

- D.M. 17 Gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni".

- Eurocodice 2. “Progettazione delle strutture di calcestruzzo”.
- Eurocodice 3. “Progettazione delle strutture di acciaio”.

#### Zone sismiche

- Legge n. 64 del 2 febbraio 1974. “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.
- D.M. 17 Gennaio 2018 “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni”.
- Eurocodice 8. “Regole progettuali per le strutture antisismiche”.

#### Opere di fondazione

- D.M. 17 Gennaio 2018 “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni”.
- Eurocodice 7. “Progettazione geotecnica”.

### **3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI UTILIZZATI**

#### ACCIAIO S275JR

Gli elementi che sono progettati con l'acciaio S275 JR sono i seguenti

- Tubolare principale 120x120x3mm;
- profili per fissaggio pannelli  $\Omega 34 \times 33 \times 24 \times 2$ mm;
- profili per fissaggio pannelli  $Z 30 \times 24 \times 3$ mm;
- piastrame;
- Palo verticale  $\Omega 101 \times 108 \times 40 \times 4$ mm;

Caratteristiche meccaniche:

- $f_y \geq 275 \text{ N/mm}^2$  Limite di snervamento;
- $f_t \geq 430 \text{ N/mm}^2$  Limite di rottura;
- $A\% \geq 25 \%$  Allungamento minimo;
- $R \leq 27J$  Resilienza a 20°C;
- $E = 210000 \text{ N/mm}^2$  Modulo Elastico;
- $G = E/[2(1+\nu)] = 80769 \text{ N/mm}^2$  Modulo Tangenziale;
- $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}^{-1}$  Coefficiente di espansione termica lineare.

#### BULLONI

I bulloni - conformi per le caratteristiche dimensionali alle norme UNI EN ISO 4016:2002 e UNI 5592:1968 devono appartenere alle sotto indicate classi della norma UNI EN ISO 898-1:2001.

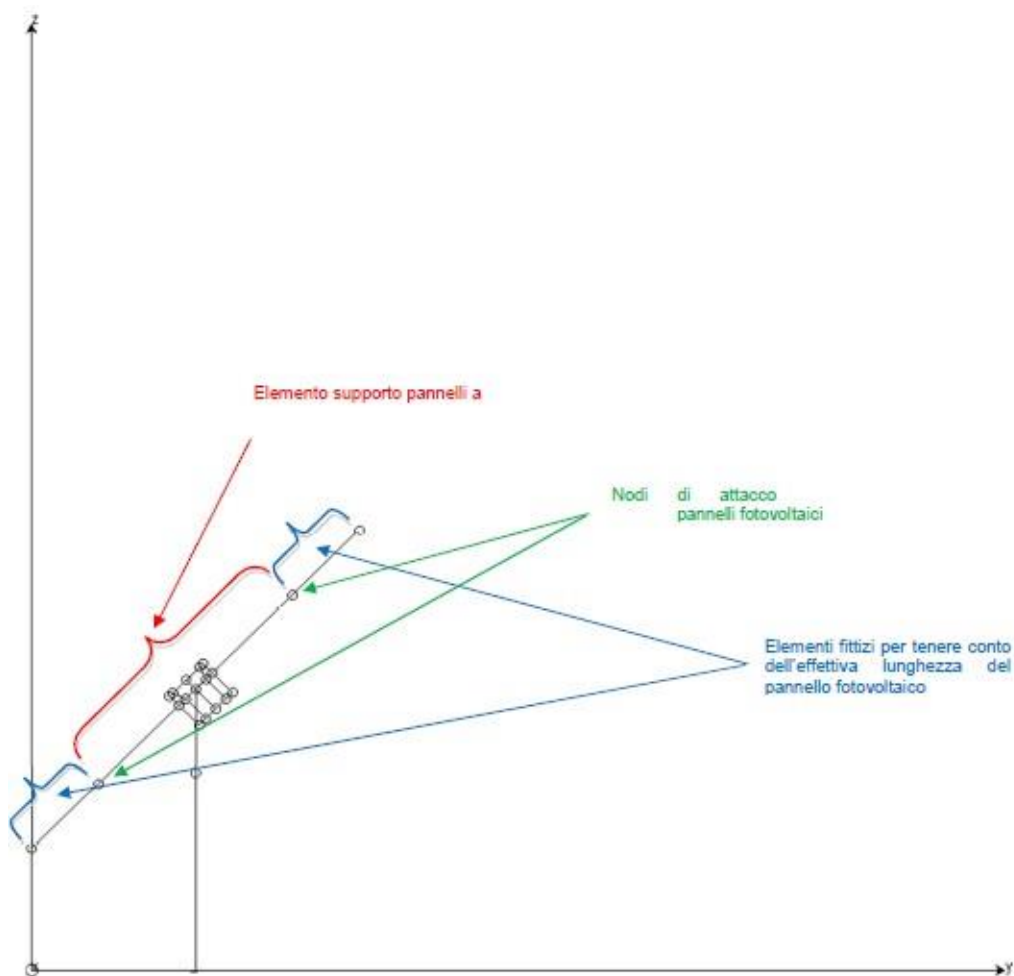
Vite <b>8.8</b> - Dado <b>8</b>	$f_{yb} = 649 \text{ N/mm}^2$	$f_{tb} = 800 \text{ N/mm}^2$
---------------------------------	-------------------------------	-------------------------------

## SALDATURE

Eventuali saldature dell'acciaio dovrà avvenire con uno dei procedimenti all'arco elettrico codificati secondo la norma UNI EN ISO 4063:2001. È ammesso l'uso di procedimenti diversi purché sostenuti da adeguata documentazione teorica e sperimentale.

## **4. SCHEMA GEOMETRICO E MODELLO CON ELEMENTI FINITI**

### Schema Sezione Strutturale



Non si prende in considerazione il calcolo per la configurazione del tracker con inclinazione dell'asse longitudinale pari a  $\pm 2^\circ$ , in quanto tale inclinazione rappresenta un valore compatibile con quello di errore di montaggio.

## **5. COMBINAZIONE DEI CARICHI E CRITERI DI VERIFICA**

La combinazione dei carichi agenti sulla struttura e la conseguente verifica strutturale viene fatta

in accordo con quanto prescritto dal DM 14/01/08. La relazione fondamentale per la verifica è data dalla seguente espressione

$$E_d \leq R_d = \frac{R_k}{\gamma_{NO}}$$

In accordo con l'Eurocodice 3 per le verifiche è stato considerato:  $R_k \rightarrow$  Valore caratteristico di Resistenza;

$\gamma_{m0}=1,05 \rightarrow$  Coefficiente parziale di resistenza di Resistenza per acciaio;

Il criterio utilizzato per la progettazione è l'Approccio 1 in accordo al cap. 02 del DM 14/01/08 che considera per le verifiche strutturali i valori dei coefficienti parziali riportati in Tabella 2.6.I colonna A1 STR, come pure per le verifiche geotecniche sono considerati i coefficienti parziali riportati in Tabella A1.2(C).

**Combinazione per le verifiche allo STATO LIMITE ULTIMO di resistenza:**

$$E_d = \sum_{j \in I_1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_Q \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \in I_1} \gamma_{Q,i} \cdot \alpha_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

**Combinazione per le verifiche per azioni dovute al SISMA:**

$$E_d = \sum_{j \in I_1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + E + \sum_{i \in I_1} \gamma_{Q,i} \cdot \alpha_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

In cui i parametri sono:

$G_{k,j} \rightarrow$  Valore caratteristico dei Carichi Permanenti;

$\gamma_G = \gamma_{G,j} = \{1,30; 1,00\} \rightarrow$  Coefficiente parziale per i Carichi Permanenti;

$Q_{k,1} \rightarrow$  Valore caratteristico del Carico Accidentale principale;

$Q_{k,i} \rightarrow$  Valore caratteristico dei Carichi Accidentali secondarie;

$E \rightarrow$  Valore caratteristico dell'azione Sismica;

$\gamma_Q = \gamma_{Q,i} = \{1,50; 0\} \rightarrow$  Coefficiente parziale per i Carichi Accidentali;

$\alpha_{0,1} = 0,6 \rightarrow$  Coefficiente parziale per il vento;

$\alpha_{1,1} = 0,2 \rightarrow$  Coefficiente parziale per il vento;

$\alpha_{2,1} = 0 \rightarrow$  Coefficiente parziale per il vento;

$\alpha_{0,2} = 0,7 \rightarrow$  Coefficiente parziale per la neve;

$\alpha_{1,2} = 0,5 \rightarrow$  Coefficiente parziale per la neve;

$\alpha_{2,2} = 0,2 \rightarrow$  Coefficiente parziale per la neve.

## 6. ANALISI DEI CARICHI

### Carichi permanenti portanti definiti – G1:

I carichi permanenti del peso proprio è inserito nella Condizione (1) ed è generato in automatico dal programma di carichi:

- |   |         |
|---|---------|
| ▪ Palo $\Omega 101 \times 108 \times 40 \times 4 \text{mm}$                                   | 114 N/m |
| ▪ Traverso Tubolare $120 \times 120 \times 3 \text{mm}$                                       | 108 N/m |
| ▪ Elementi di supporto pannelli centrali – $\Omega 34 \times 33 \times 24 \times 2 \text{mm}$ | 21 N/m  |
| ▪ Elementi di supporto pannelli laterali – $Z 30 \times 24 \times 3 \text{mm}$                | 16 N/m  |

Nel modello di calcolo i carichi sono generati in automatico tramite le caratteristiche geometriche degli elementi e la definizione del materiale acciaio.

### Carichi permanenti portati pienamente definiti – G2:

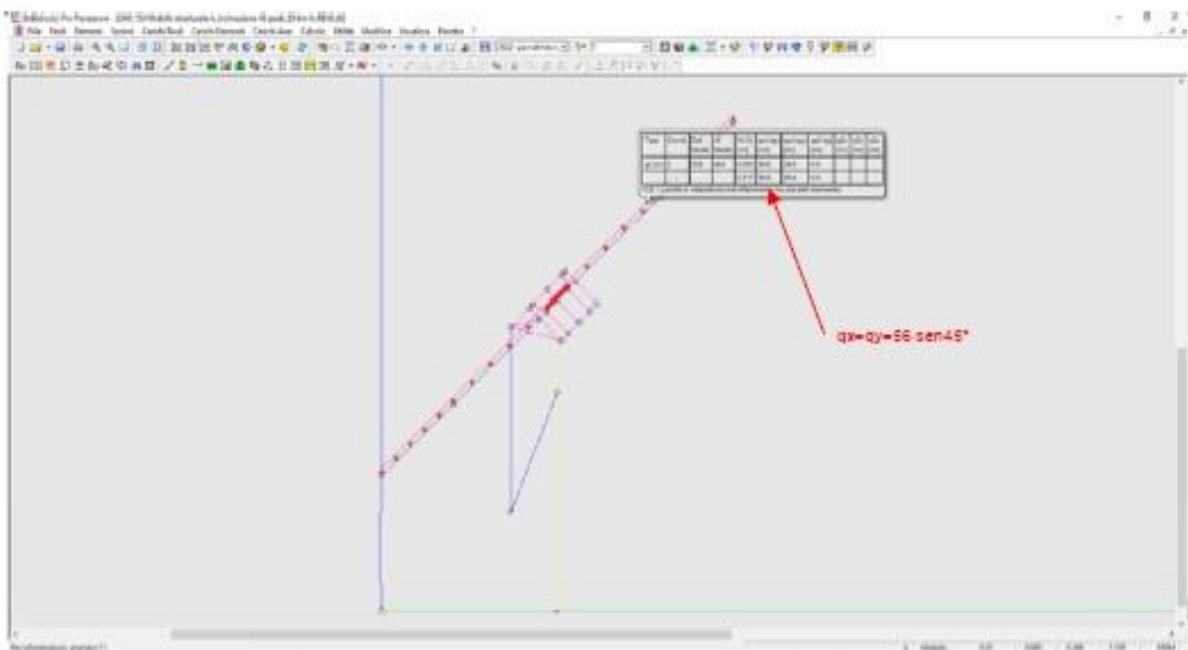
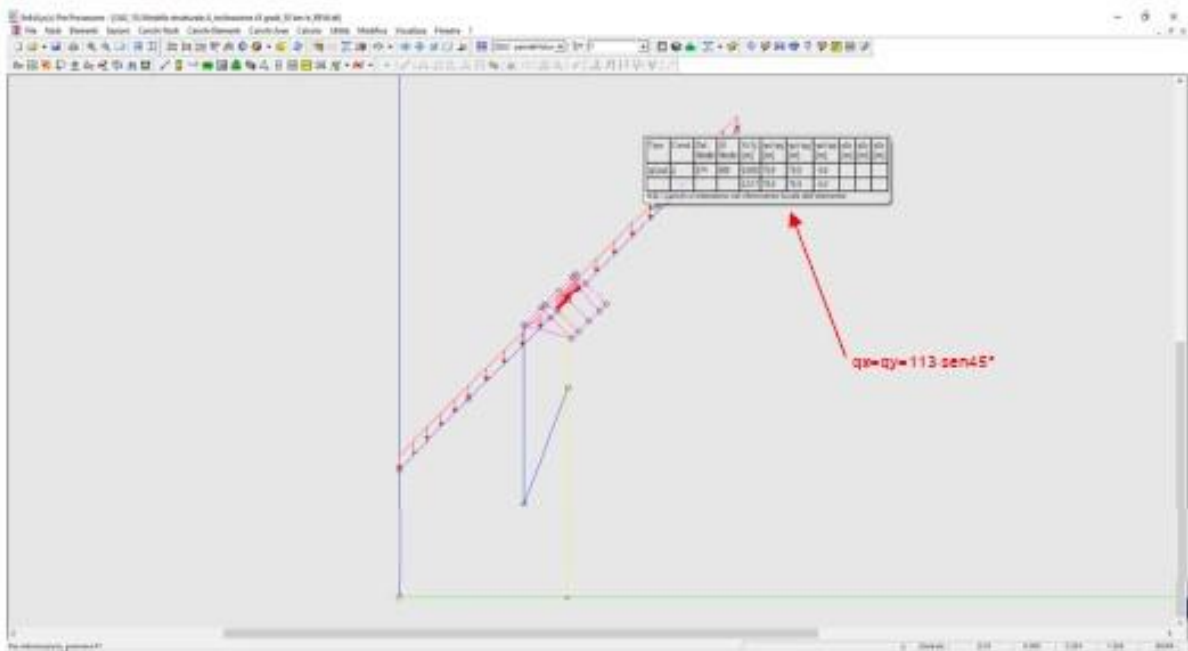
- |  |                     |
|--|---------------------|
| ▪ Pannelli fotovoltaici (dim. $1954 \times 982 \text{mm}$ ; $p=220 \text{N}$ ) ..... | $115 \text{ N/m}^2$ |
|--|---------------------|

Nel modello di calcolo i carichi sono stati applicati con carichi distribuiti linearmente coerentemente con il modello reale:

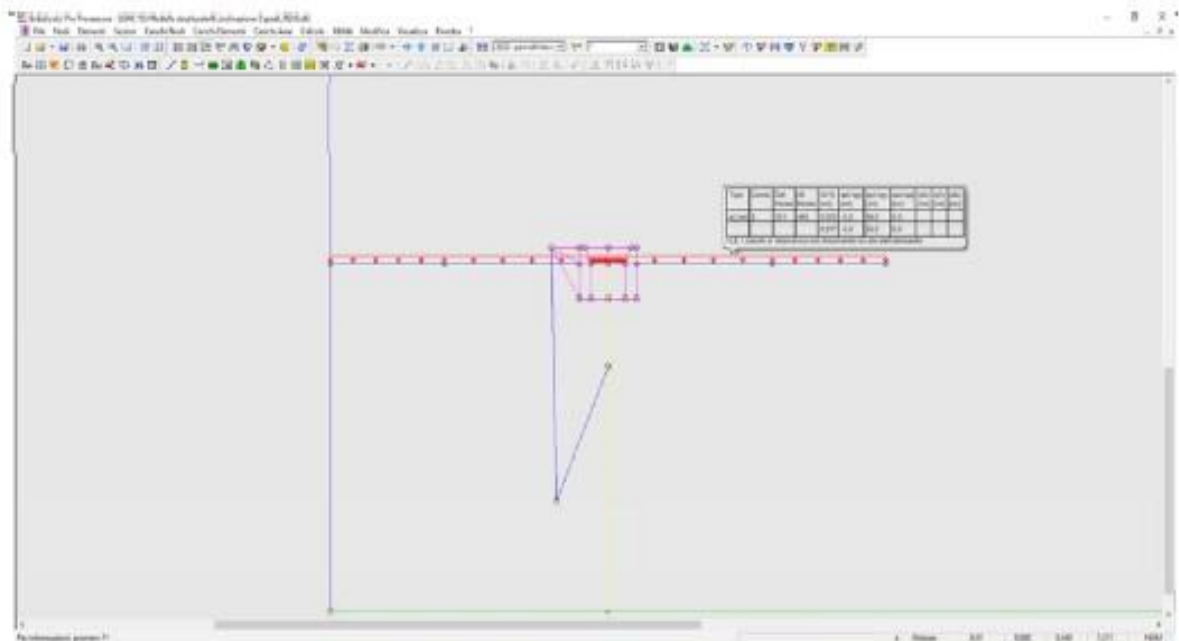
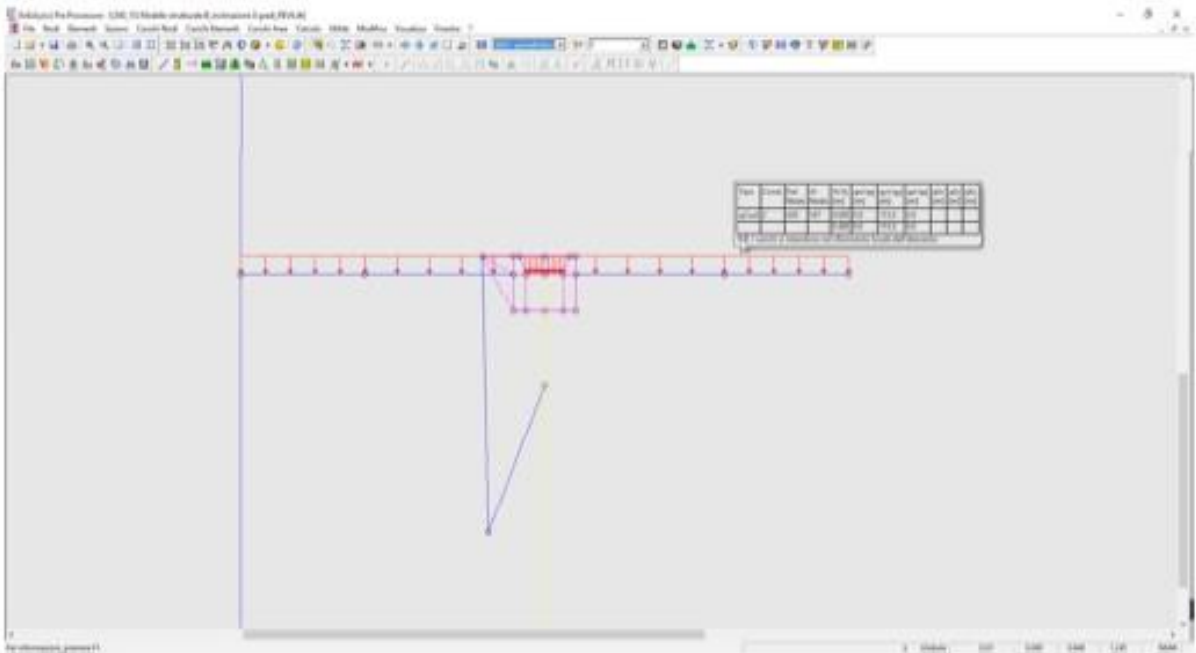
- cond.2 → G2 - pannelli fotovoltaici – elemento  $\Omega \gamma P_z = 220/1,954 = 113 \text{N/m}$
- cond.2 → G2 - pannelli fotovoltaici – elemento Z .....  $P_z = 220/1,954 \cdot 0,50 = 56 \text{N/m}$



**Modello A –  $\alpha=45^\circ$**



## Modello B – $\alpha=0^\circ$



### Carichi accidentali - vento – $Q_{kd,vento}$

La determinazione del carico accidentale vento è ricavata in base alla Normativa italiana DM 17/01/2018 e in base alle indicazioni contenuto della Circolare esplicativa n°7 del 21/01/2019.

Il carico statico equivalente dato dal vento viene determinato in base a

dove:

$$p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

- $q_b$  è la pressione cinetica di riferimento come indicata di seguito;
- $c_e$  è il coefficiente di esposizione come indicato di seguito;

- $c_p$  è il coefficiente di forma come indicato di seguito;
- $c_d$  è il coefficiente dinamico che per la struttura in esame può essere assunto pari a 1;

### Pressione cinetica - $q_b$

La pressione cinetica è calcolata con la seguente formula

$$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2$$

dove

$v_b$  è la velocità di riferimento del vento (in m/s),

$\rho$  è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a 1,25 kg/m<sup>3</sup>.

Per il calcolo di  $v_b$  si tiene conto del periodo di ritorno  $T_R=20$ anni, come richiamato al punto C3.3.2 della Circolare esplicativa n°7 del 21/01/2019, mediante la seguente espressione:

dove:

$$v_b(T_R) = \alpha_R v_b$$

$\alpha_R$  è un coefficiente che ha la seguente espressione:

$$\alpha_R = 0,75 \sqrt{1 - 0,20 \cdot \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T_R} \right) \right]} = 0,75 \sqrt{1 - 0,20 \cdot \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{20} \right) \right]} = 0,947$$

- $v_b$  è la velocità di riferimento del vento associata a un periodo di ritorno di 50 anni; La determinazione della velocità di riferimento dipende dall'ubicazione geografica e dall'altezza del sito sul livello del mare in base alla seguente tabella:

Tabella 3.3.1 - Valori dei parametri  $v_{b,0}$ ,  $a_0$ ,  $k_a$

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_a$ [1/s]
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,010
2	Emilia Romagna	25	750	0,015
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,020
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,020
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,015
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,020
7	Liguria	28	1000	0,015
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,010
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,020

con

$$v_b = v_{b,0} \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$v_b = v_{b,0} + k_a (a_s - a_0) \quad \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

Il sito ricade in zona 3 essendo nel Comune di Canello ed Arnone (CE) ad una quota di circa  $a_s=2$  m s.l.m., pertanto  $v_{b,0} = 27$  m/sec, quindi:

▪  $v_b = v_{b,0} \cdot \alpha_R = 27 \cdot 0,947 = 25,6 \text{ m/sec.}$

Pertanto la Pressione cinetica del vento è pari a:

$$q_b = \frac{1}{2} \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25,6^2 = 409 \text{ N/NQ}$$

In realtà la struttura è dotata di un anemometro che posiziona i pannelli con inclinazione di  $\alpha=0^\circ$ , una volta rilevata una velocità pari a  $v_b'=50\text{Km/h}=13,89\text{m/sec.}$ , quindi il calcolo con la massima velocità di progetto pari a  $v_b=25,6$  sarà effettuato soltanto per la configurazione che vede i pannelli perfettamente orizzontali.

### Coefficiente di esposizione - $c_e$

Il coefficiente di esposizione  $c_e$  dipende dall'altezza  $z$  sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno, e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione. In assenza di analisi specifiche che tengano in conto la direzione di provenienza del vento e l'effettiva scabrezza e topografia del terreno che circonda la costruzione, per altezze sul suolo non maggiori di  $z = 200 \text{ m}$ , esso è dato dalla formula:

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

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

Il sito è ubicato a meno di 10Km dalla costa, la classe di rugosità complessiva dell'intervento può essere considerata la A, in quanto i trackers sono molto fitti formando una schermatura tra loro molto elevata maggiore di una zona urbanizzata.

I parametri per il calcolo del  $c_e$ , per sito con categoria di esposizione IV e avendo un

ZONE	1,2,3,4,5					
		costa		500m	750m	
		mare				
		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	II	II	II	III	**
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5						
** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1						

Tabella 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 15m
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	Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,...)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinché una costruzione possa dirsi ubicata in classe A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione. Laddove sussistono dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.

coefficiente topografico pari a  $c_t=1$ , sono dati dalla seguente tabella:

**Tabella 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
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

Pertanto il calcolo del coefficiente di esposizione è pari a:

$$c_e = k_r^2 c_t \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) \left[ 7 + c_t \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) \right] = 0,22^2 \ln \left( \frac{8}{0,30} \right) \left[ 7 + \ln \left( \frac{8}{0,30} \right) \right] = 1,634$$

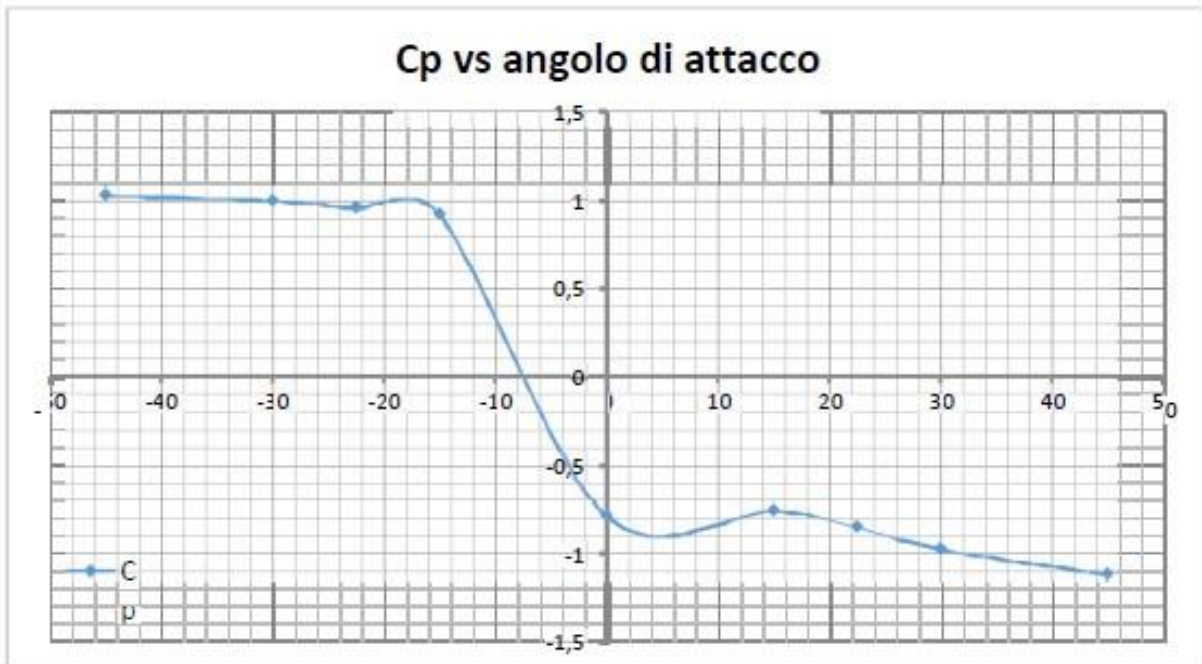
### Coefficiente di forma - $c_p$

Il coefficiente di esposizione  $c_p$  è stato determinato in via analitica con il software Fluent dell'ANSYS, come proposto al punto C.3.3.10 della Circolare esplicativa n°7 del 21/01/2019.

È stata scelta questa strada in quanto la tipologia costruttiva in esame è molto particolare e si allontana dalle costruzioni civili per le quali la norma propone i vari  $c_p$ .

Si riporta uno stralcio delle elaborazioni:

Raw data			
Output			
$\alpha$ (°)	M [N m]	Ecc [m]	$C_p$
-45	322,7	0,185	1,034
-30	456,4	0,270	1,001
-22,5	496,7	0,306	0,963
-15	568,8	0,364	0,926
0	-332,8	0,251	-0,785
15	-437,6	0,342	-0,758
22,5	-389,6	0,272	-0,849
30	-369,1	0,225	-0,974
45	-242,3	0,129	-1,115

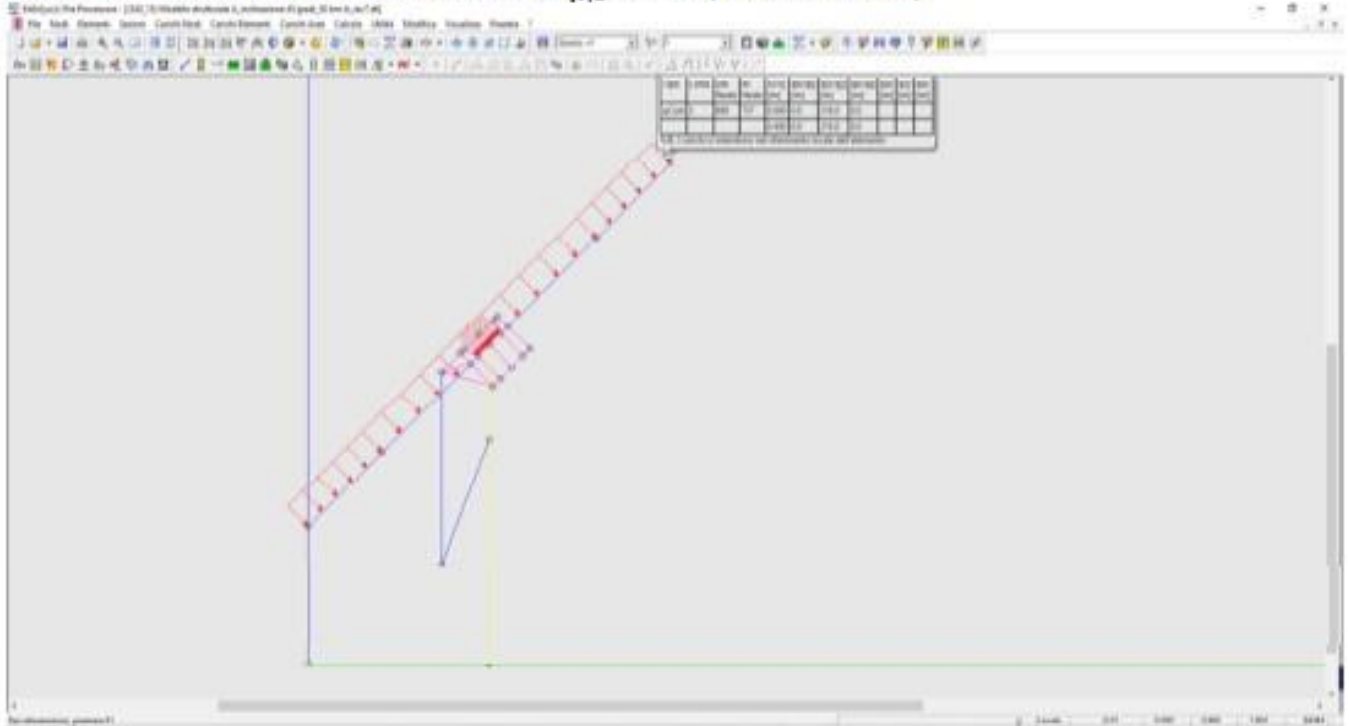


## Carichi da vento agenti sulla struttura

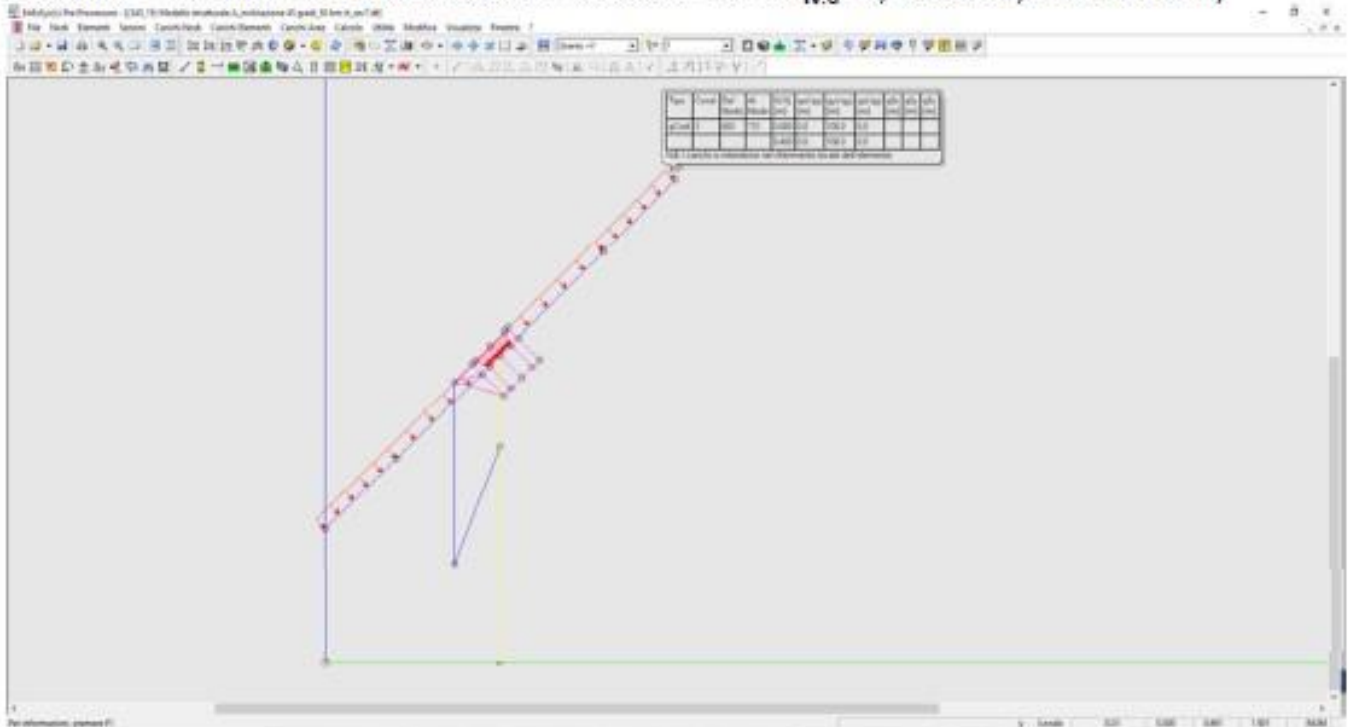
Modello A ( $\alpha=45^\circ$ ),  $v_b=13,89\text{m/sec}$

$$P_{\text{vento,A}} = q_p \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d = 1/2 \rho v_b^2 \cdot 1,634 \cdot 1,115 \cdot 1 = 1/2 \cdot 1,25 \cdot 13,89^2 \cdot 1,634 \cdot 1,115 \cdot 1 = 220 \text{ N/mq}$$

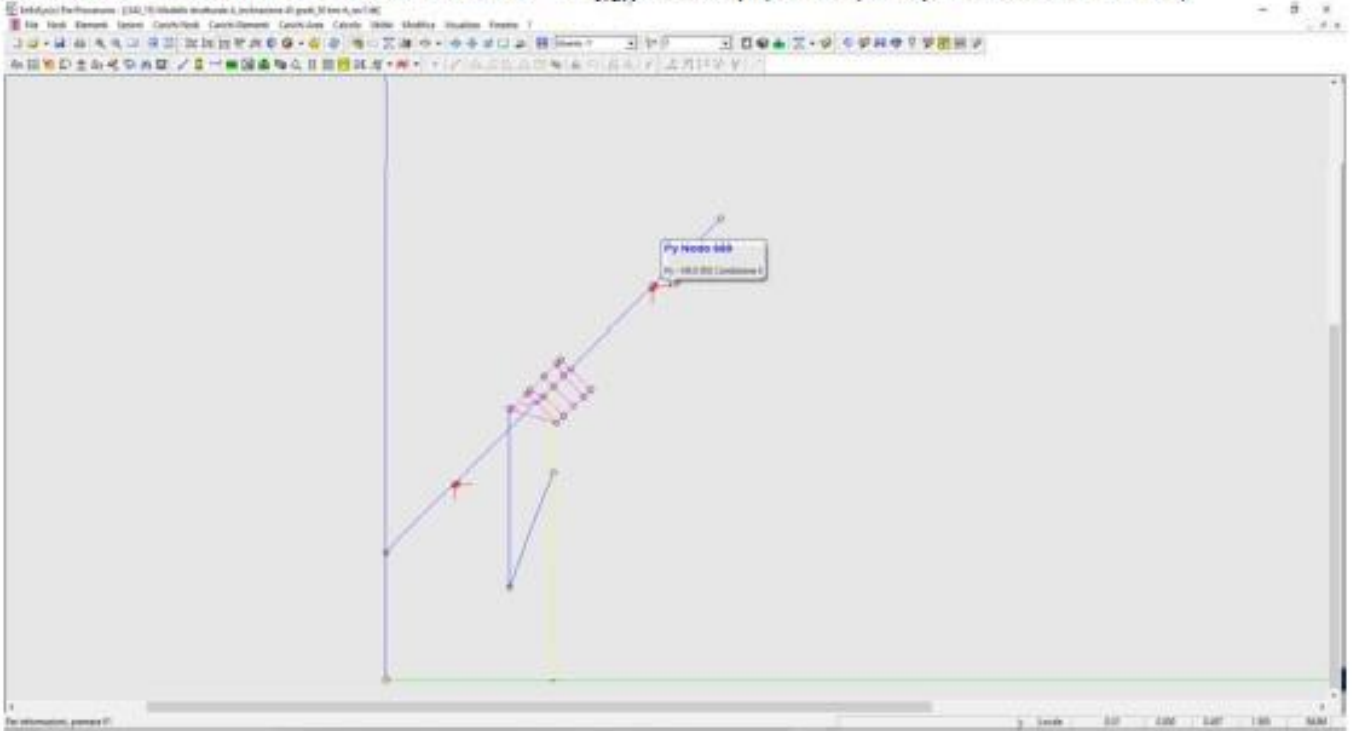
- cond.3 → Vento +Y – elemento  $\Omega$   $q_{v,d}=220 \cdot 0,982=216\text{N/m}$ ;



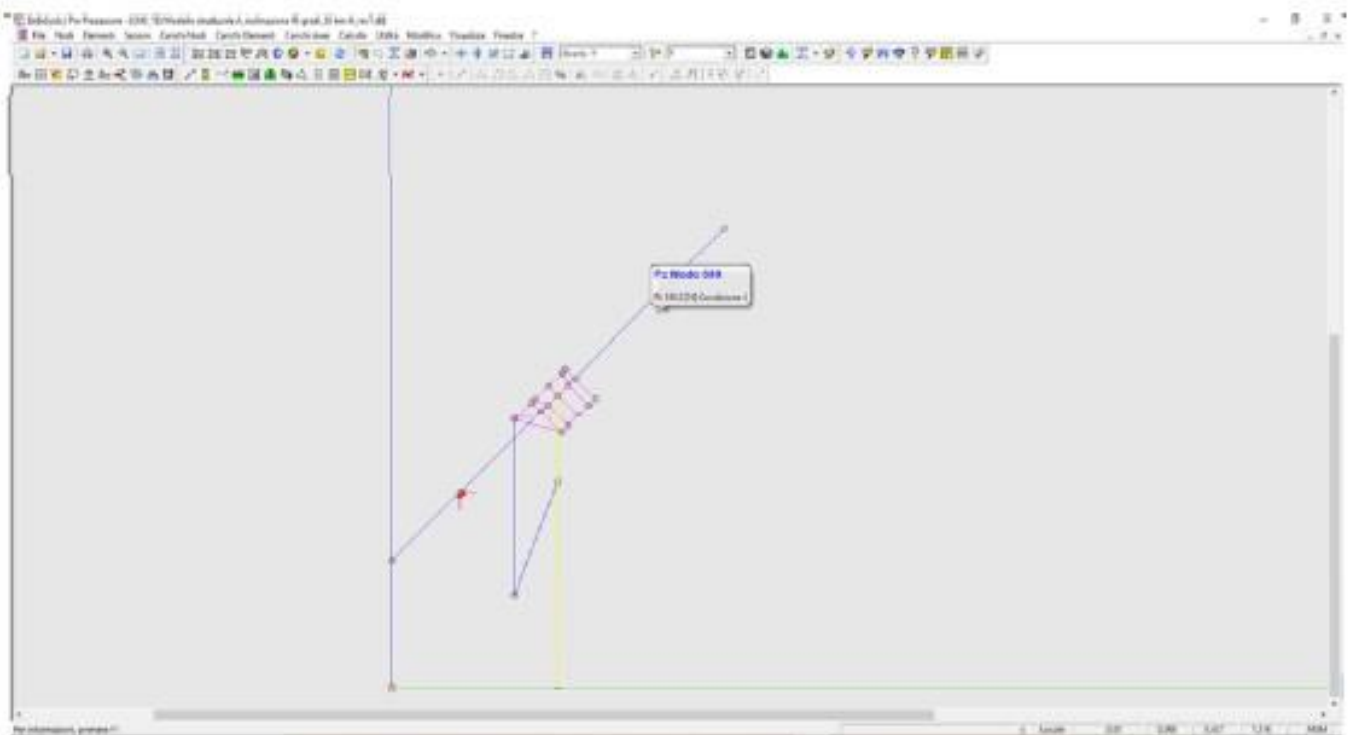
- cond.3 → Vento +Y – elemento Z.....  $q_{v,d}=0,50 \cdot 220 \cdot 0,982=108\text{N/m}$ ;



- cond.4 → Vento -Y – elemento  $\Omega$   $P_{v,d,y} = -220 \cdot (0,982 \cdot 1,954) / 2 \cdot \cos 45^\circ = -149N$ ;

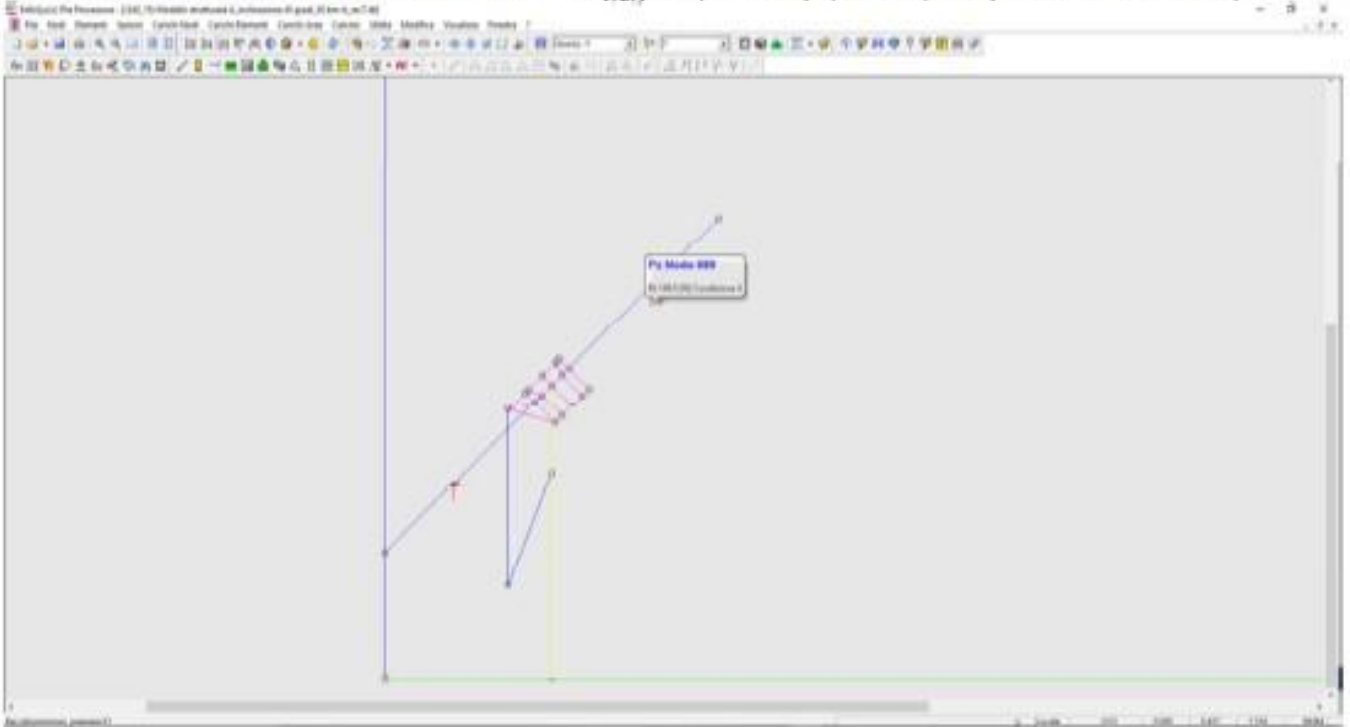


- cond.4 → Vento -Y – elemento  $\Omega$   $P_{v,d,z} = 220 \cdot (0,982 \cdot 1,954) / 2 \cdot \cos 45^\circ = 149N$ ;





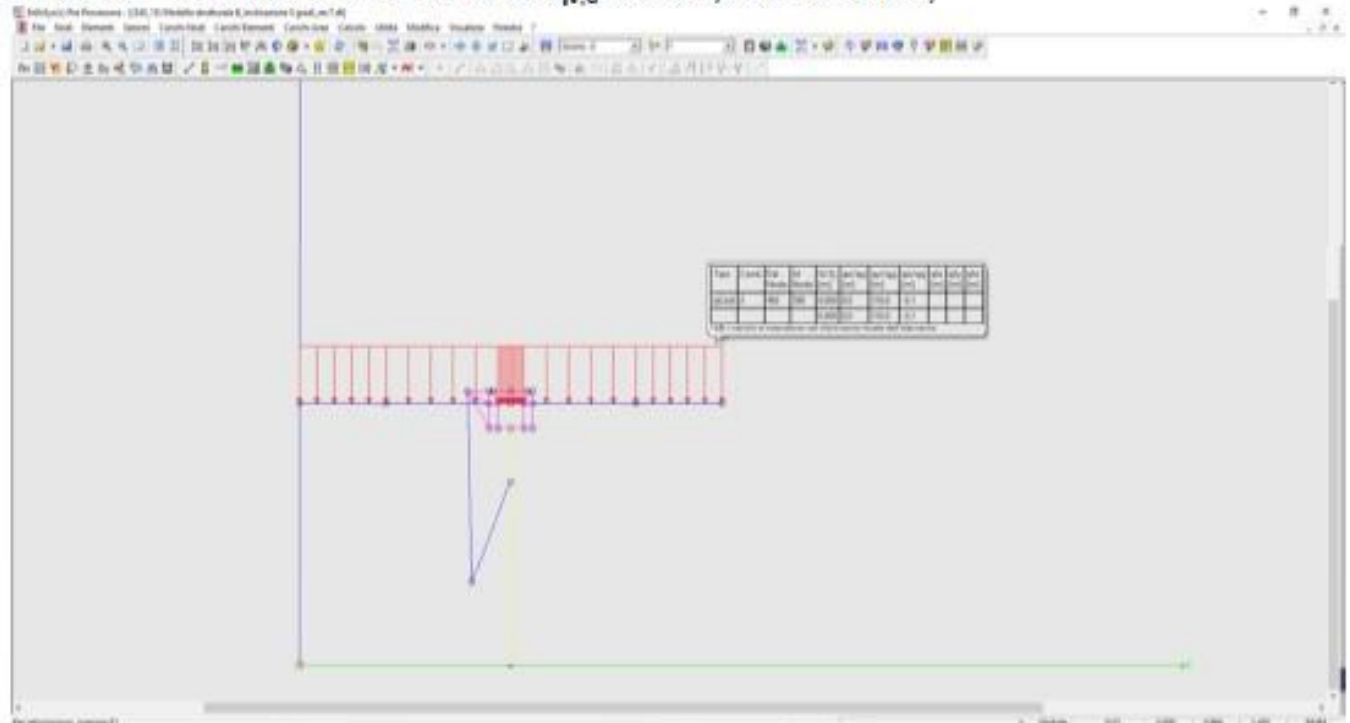
- cond.4 → Vento -Y – elemento Z  $P_{v,d,y} = -0,5 \cdot 220 \cdot (0,982 \cdot 1,954) / 2 \cdot \cos 45^\circ = -75 \text{N}$ ;

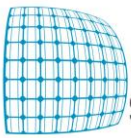


**Modello B ( $\alpha=0^\circ$ ),  $v_b=25,60 \text{m/sec}$**

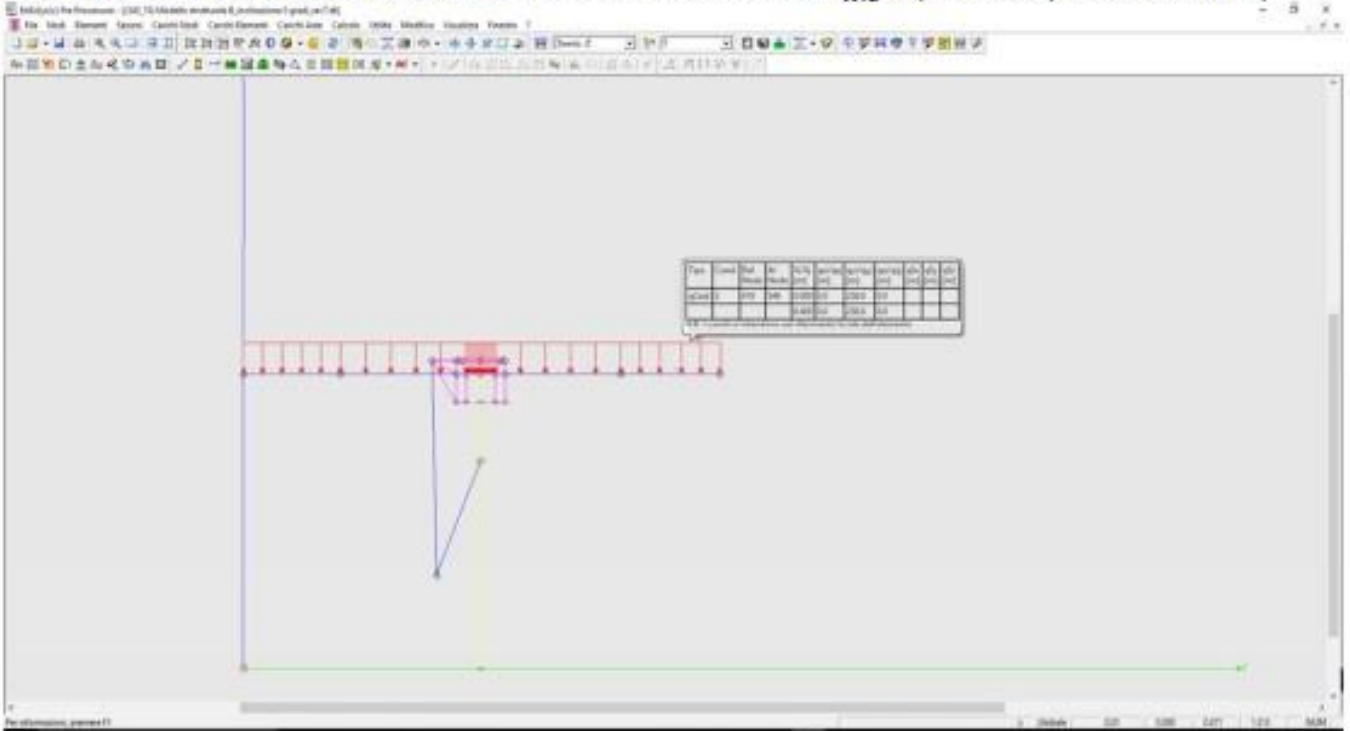
$$P_{\text{vento,A}} = q_p \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d = 1/2 \rho v_b^2 \cdot 1,634 \cdot 0,785 \cdot 1 = 1/2 \cdot 1,25 \cdot 25,60^2 \cdot 1,634 \cdot 0,785 \cdot 1 = 525 \text{ N/mq}$$

- cond.3 → Vento -Z – elemento  $\Omega$   $q_{v,d} = -525 \cdot 0,982 = -516 \text{N/m}$ ;

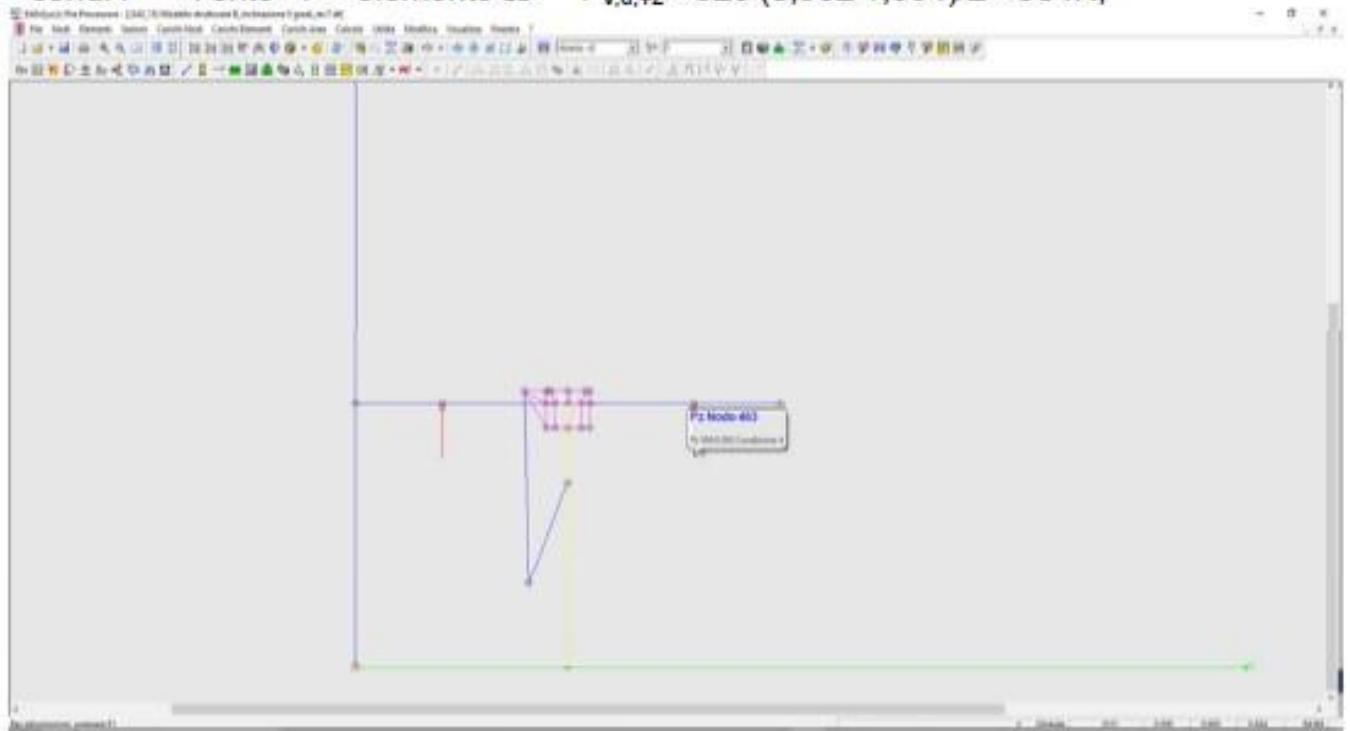




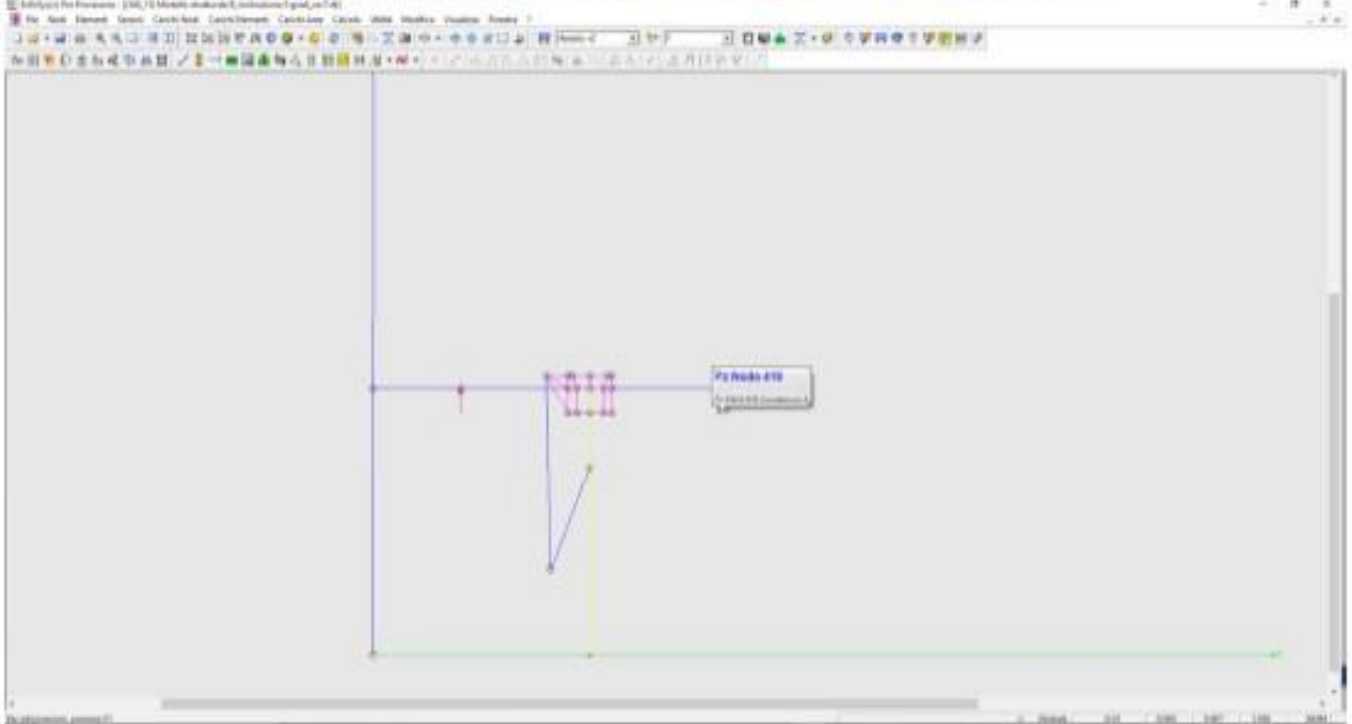
- cond.3 → Vento -Z – elemento Z.....  $q_{v,d}=0,5 \cdot 525 \cdot 0,982 = -258 \text{ N/m}$ ;



- cond.4 → Vento -Y – elemento Ω  $P_{v,d,+z} = -525 \cdot (0,982 \cdot 1,954) / 2 = -504 \text{ N}$ ;



- cond.4 → Vento -Y – elemento Z  $P_{v.d.+z} = -525 \cdot (0,982 \cdot 1,954) / 4 = -252N$ ;



### **Carichi accidentali - neve – $Q_{kd,neve}$**

La determinazione del carico accidentale neve è ricavata in base alla Normativa italiana DM 17/01/2018 e in base alle indicazioni contenuto della Circolare esplicativa n°7 del 21/01/2019.

Il carico statico viene determinato in base alla seguente espressione:

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

dove:

- $\mu_i$  è il coefficiente di forma sulla copertura;
- $q_{sk}$  è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m<sup>2</sup>], per un periodo di ritorno  $T_r$  di 50 anni;
- $C_E$  è il coefficiente di esposizione;
- $C_t$  è il coefficiente termico;

### **Coefficiente di forma - $\mu_i$**

Il coefficiente di forma viene calcolato in base alla seguente tabella:

**Tabella 3.4.II – Valori del coefficiente di forma**

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

Nel caso specifico si ha:

- per la configurazione di  $\alpha = 45^\circ$  .....  $\mu_i = 0,80 \times (60 - \alpha) / 30 = 0,80 \times (60 - 45) / 30 = 0,40$ ;
- per la configurazione di  $\alpha = 0^\circ$  .....  $\mu_i = 0,80$ .

### Valore caratteristico del carico neve - $q_{sk}$

Il valore caratteristico del carico neve è dato dalla normativa DM 14/01/08 nel cap.3.4.2 e dipende dalla zona climatica. Nel caso specifico il sito ricade nella Zona III e per un'altezza sul livello del mare pari ad  $a_s=2$  m s.l.m, pertanto si ha

$$q_{sk} = 600 \text{ N/m}^2$$

In realtà tale valore dovrebbe essere ridotto come per il vento di un coefficiente che tiene conto del reale periodo di ritorno della struttura  $T_r=20$ anni. Non si procede in tal senso soltanto perché la norma italiana non specifica, a differenza del carico vento, il fattore di riduzione con una formula specifica.

### Coefficiente di esposizione - $C_E$

Il coefficiente di esposizione  $C_E$  è utilizzato per modificare il valore del carico neve in copertura in funzione delle caratteristiche specifiche dell'area in cui sorge l'opera.

La tabella da considerare è la 3.4.I da cui risulta  $C_E=1$ .

Tabella 3.4.I – Valori di  $C_E$  per diverse classi di topografia

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

### Coefficiente di esposizione - $C_t$

Il coefficiente termico  $C_t$  può essere utilizzato per tener conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente tiene conto delle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere utilizzato  $C_t = 1$ .

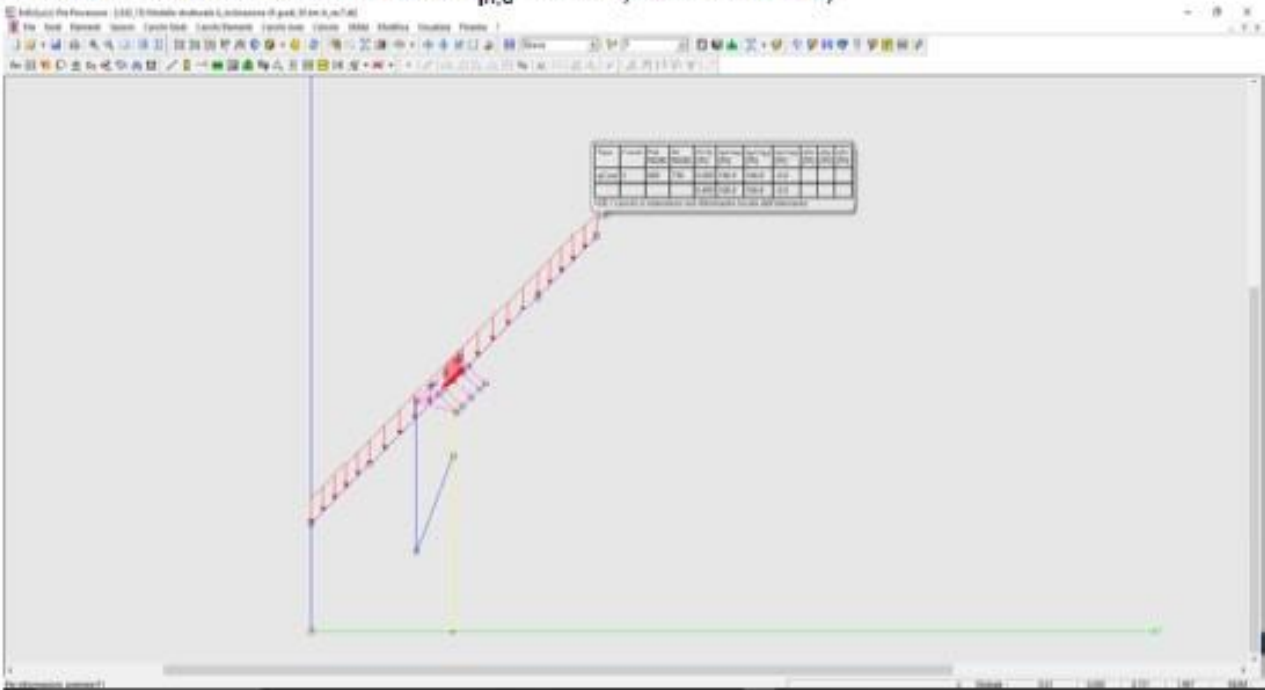
### Carichi da neve agenti sulla struttura

Per i modelli si considerano i seguenti carichi neve:

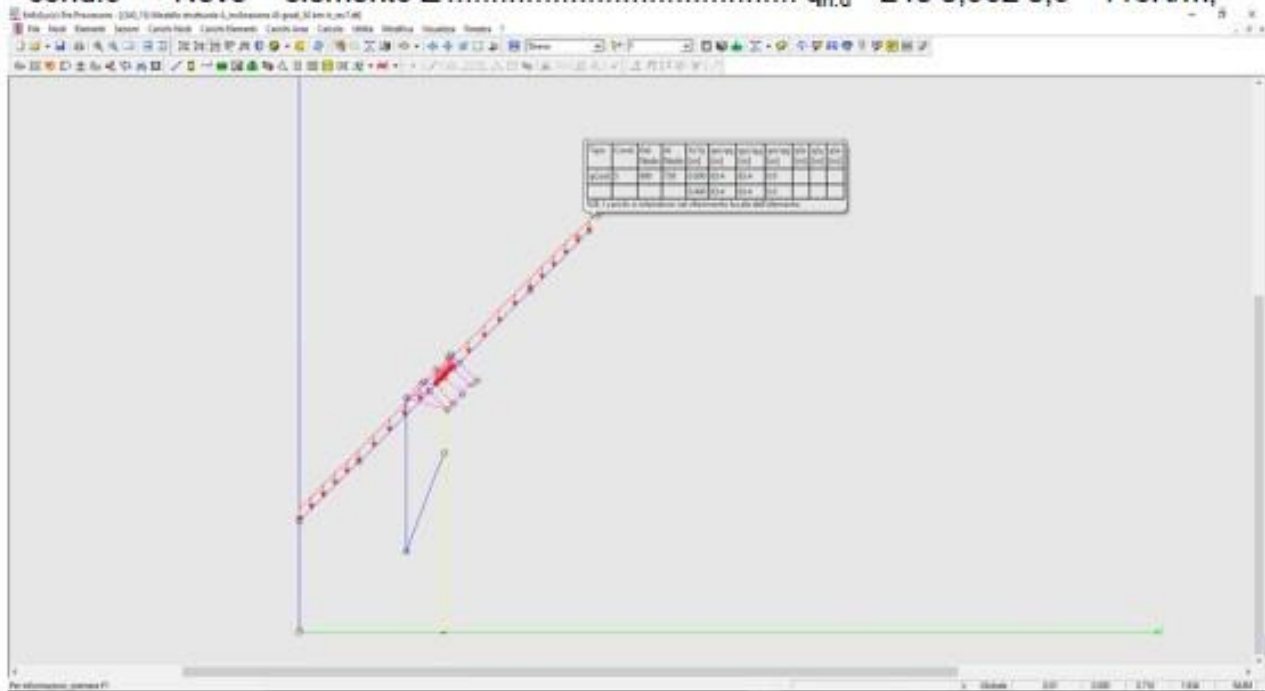
- **Modello A ( $\alpha=45^\circ$ ),  $\mu_s=0,40$ :**

$$P_{neve,A} = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t = 0,40 \cdot 600 \cdot 1,00 \cdot 1,00 = 240 \text{ N/mq}$$

- **cond.5  $\rightarrow$  Neve – elemento  $\Omega \square q_{n,d} = -240 \cdot 0,982 = -236 \text{ N/m}$ ;**



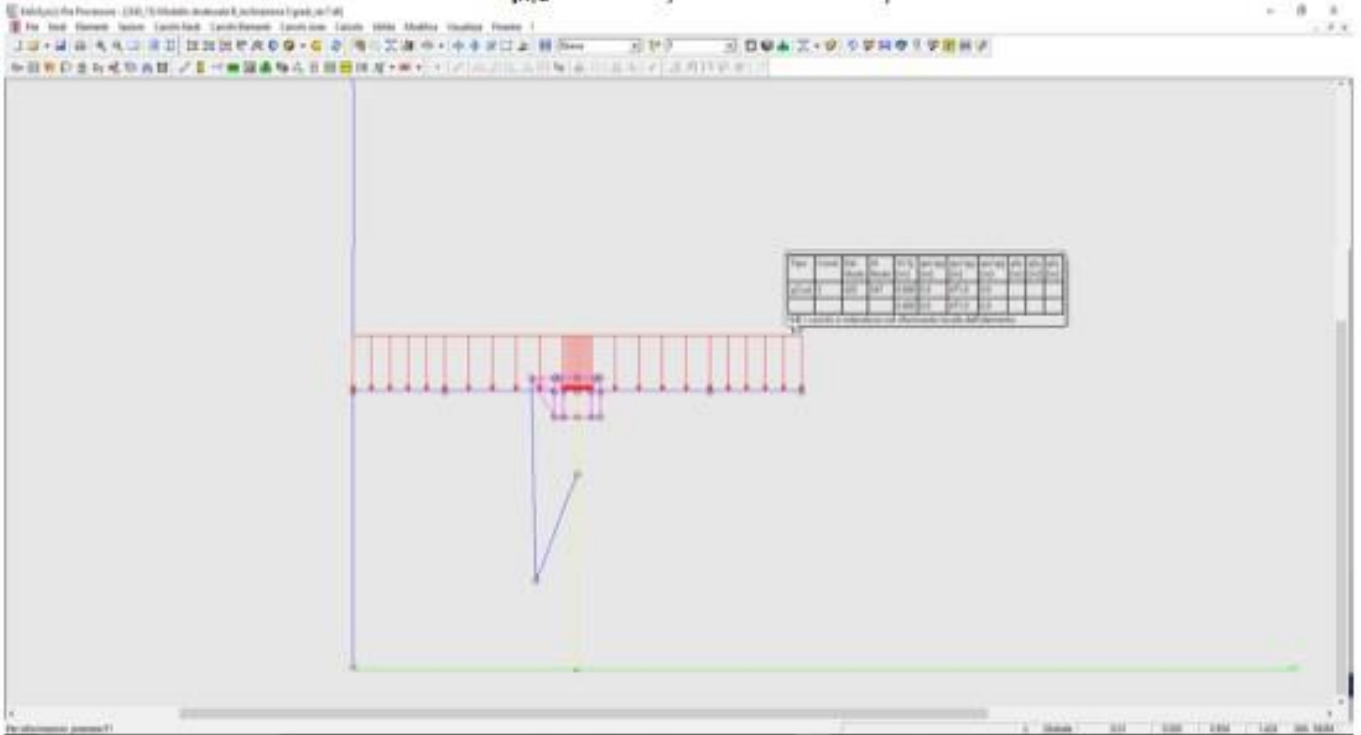
- **cond.5  $\rightarrow$  Neve – elemento Z .....  $q_{n,d} = -240 \cdot 0,982 \cdot 0,5 = -118 \text{ N/m}$ ;**



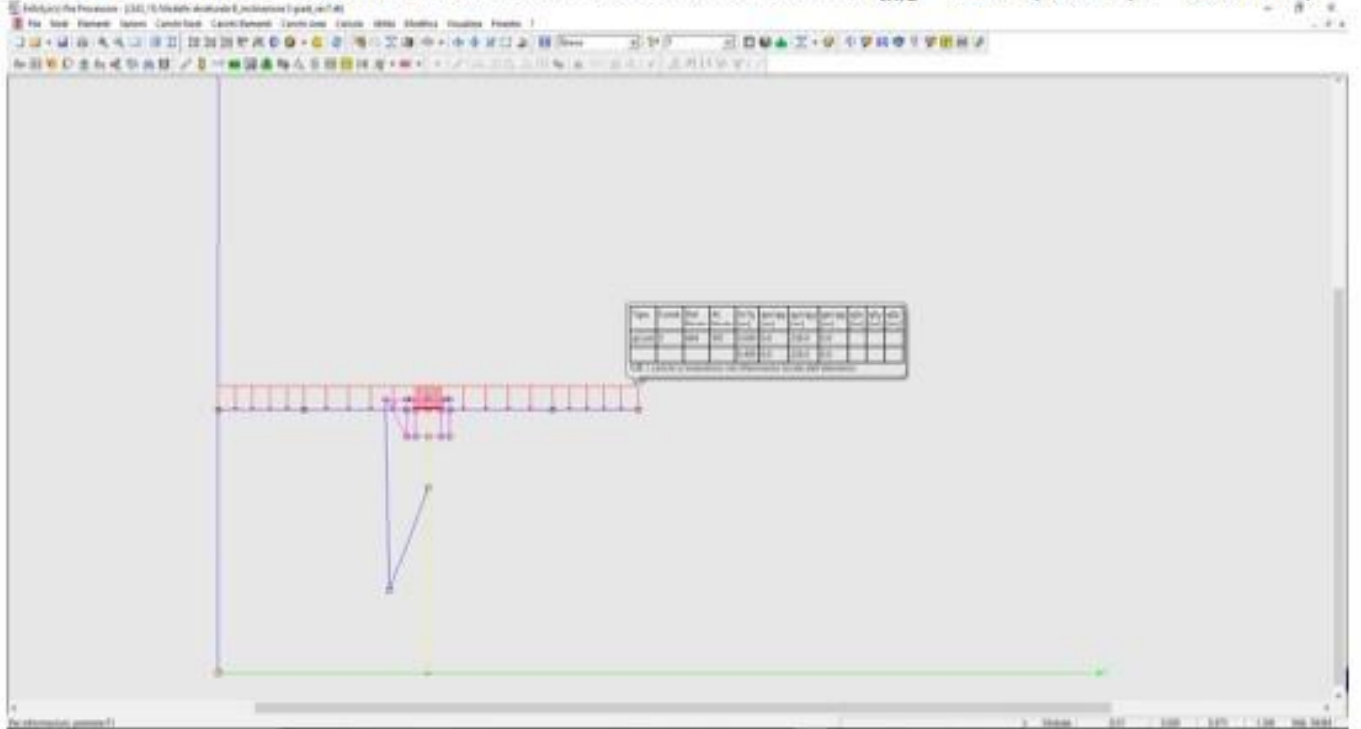
- Modello B ( $\alpha=0^\circ$ ),  $\mu_i=0,80$ ;

$$P_{neve,A} = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t = 0,80 \cdot 600 \cdot 1,00 \cdot 1,00 = 480 \text{ N/mq}$$

- cond.5  $\rightarrow$  Neve – elemento  $\Omega \square q_{n,d} = -480 \cdot 0,982 = -471 \text{ N/m}$ ;



- cond.5  $\rightarrow$  Neve – elemento Z .....  $q_{n,d} = -480 \cdot 0,982 \cdot 0,5 = -236 \text{ N/m}$ ;



## 7. ANALISI DEI CARICHI

Si riporta il documento di sintesi dei dati utilizzati nel modello di calcolo.

### Parametri di calcolo Analisi Dinamica

#### INTESTAZIONE E DATI CARATTERISTICI DELLA STRUTTURA

Tipo di struttura	Nello Spazio
Tipo di analisi	Statica e Dinamica
Tipo di soluzione	Lineare
Unita' di misura delle forze	daN
Unita' di misura delle lunghezze	cm
Normativa	NTC-2018

#### NORMATIVA

Vita nominale costruzione	50 anni
Classe d'uso costruzione	IV
Vita di riferimento	100 anni
Luogo	Santa Maria la Fossa (CE) – Grazzanise (CE)
Categoria del suolo	C
Fattore topografico	1

#### PARAMETRI SISMICI

	TR	ag/g	FO	TC*	CC	Ss	Pga (ag/g*S)
SLO	60	0.053	2.43	0.33	1.51	1.50	0.079
SLD	101	0.063	2.50	0.35	1.48	1.50	0.095
SLV	949	0.126	2.69	0.47	1.35	1.50	0.189
SLC	1950	0.150	2.78	0.51	1.31	1.45	0.217

Comportamento strutturale NON Dissipativo

#### PARAMETRI SISMICI

Angolo del sisma nel piano orizzontale	0
Sisma verticale	Assente
Combinazione dei modi	CQC
Combinazione componenti azioni sismiche	NTC - Eurocodice 8
$\lambda$	0.3
$\mu$	0.3

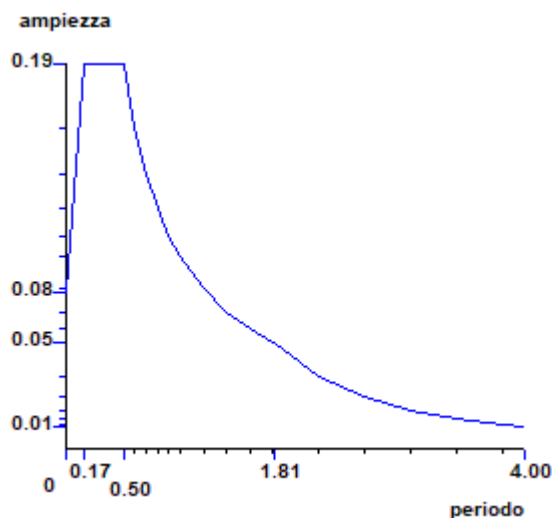


Grafico spettro SLO

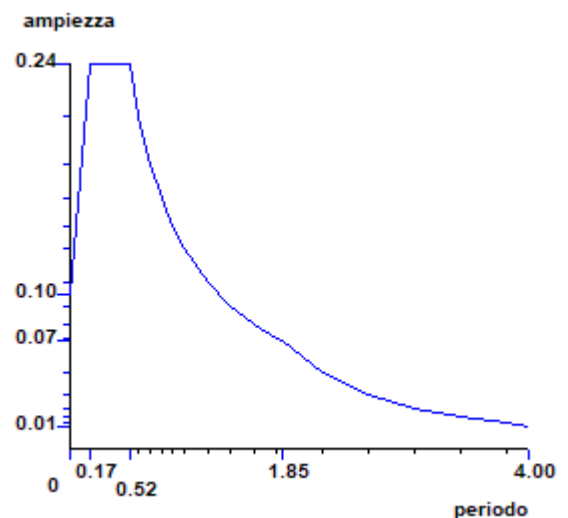


Grafico spettro SLD

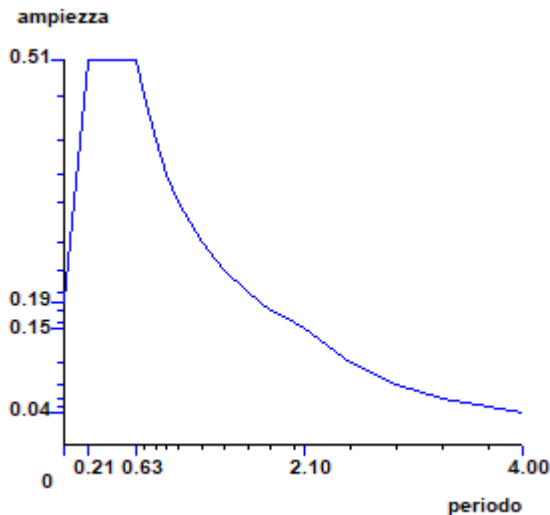


Grafico spettro SLV

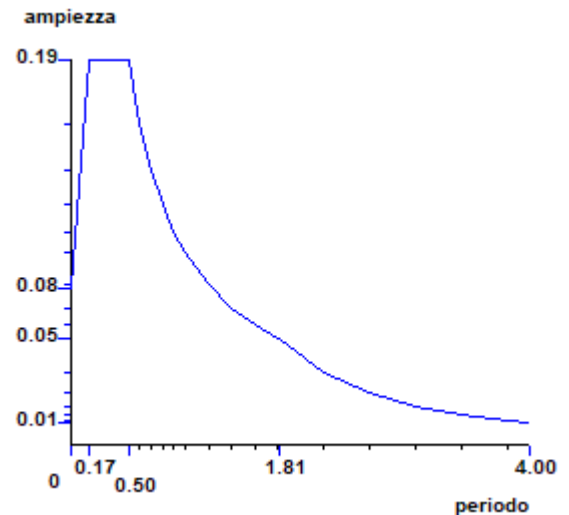


Grafico spettro SLC

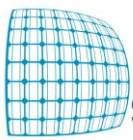
### Fattori di partecipazione per il calcolo delle masse:

Condizione	Commento	Fattore di Partecipazione
1	G1 - peso proprio	1.000000
2	G2 - pannelli fotovoltaici	1.000000
3	vento +Y	0.000000
4	vento -Y	0.000000
5	neve	0.000000

### Direzioni d'ingresso del Sisma

- SLV Direzione 1 Angolo in pianta 0.000 [rad]
- SLV Direzione 2 Angolo in pianta 1.571 [rad]
- SLV Direzione 3 Angolo in pianta 3.142 [rad]
- SLV Direzione 4 Angolo in pianta 4.712 [rad]
- SLC Direzione 5 Angolo in pianta 0.000 [rad]
- SLC Direzione 6 Angolo in pianta 1.571 [rad]
- SLC Direzione 7 Angolo in pianta 3.142 [rad]
- SLC Direzione 8 Angolo in pianta 4.712 [rad]
- SLD Direzione 9 Angolo in pianta 0.000 [rad]
- SLD Direzione 10 Angolo in pianta 1.571 [rad]
- SLD Direzione 11 Angolo in pianta 3.142 [rad]
- SLD Direzione 12 Angolo in pianta 4.712 [rad]
- SLO Direzione 13 Angolo in pianta 0.000 [rad]





- SLO Direzione 14 Angolo in pianta 1.571 [rad]
- SLO Direzione 15 Angolo in pianta 3.142 [rad]
- SLO Direzione 16 Angolo in pianta 4.712 [rad]

**RISULTATI DELL'ANALISI DINAMICA**

$I_s$	raggio d'inerzia polare di piano $I_s = \sqrt{J_p / m}$
$X_g, Y_g, Z_g$	coordinate centro di massa Modale
$D_x, D_y$	eccentricità centro di massa-centro delle rigidezze
$K_{r_{zz}}, K_{t_{min}}, K_{t_{max}}$	rigidezze traslanti e torcenti
$r_1, r_2$	raggi giratori d'inerzia ( $r_1 = (K_{r_{zz}}/K_{t_{min}})^{1/2}$ , $r_2 = (K_{r_{zz}}/K_{t_{max}})^{1/2}$ )
$\Delta K_x, \Delta K_y, \Delta K_{\theta z}$	incrementi percentuali di rigidezze ( $\Delta K = (K_i - K_{i-1})/K_{i-1}$ )
$K_{x_i}, K_{y_i}, K_{\theta z_i}$	rigidezze traslanti e torsionali del piano i-esimo rispetto agli assi globali
R	ordinata dello spettro
Coeff.di Part.	coefficienti di partecipazione (in letteratura $g_{ij}$ )
$ L_i / L_1 $	rapporto percentuale fra i fattori di partecipazione del modo i-esimo e del primo modo
$M_{mi}/M_{mtot}$	percentuale massa modale efficace dell'i-esimo modo
Sum $M_{mi}/M_{mtot}$	percentuale cumulativa delle masse modali efficaci
$\varphi_{i,Ux}, \varphi_{i,Uy}, \varphi_{i,\theta z}$	spostamenti modali del nodo master

Sintesi dei risultati per direzione d'ingresso del sisma.

**SLV**

Direzione d'ingresso	Modo Principale	Periodo [s]	% Massa Modale Modo Principale	% Massa Modale Totale
0.000 [rad]	5	0.08	81	98
1.571 [rad]	9	0.21	38	97
3.142 [rad]	17	0.08	81	98
4.712 [rad]	21	0.21	38	97

**SLC**

Direzione d'ingresso	Modo Principale	Periodo [s]	% Massa Modale Modo Principale	% Massa Modale Totale
0.000 [rad]	29	0.08	81	98
1.571 [rad]	33	0.21	38	97
3.142 [rad]	41	0.08	81	98
4.712 [rad]	45	0.21	38	97

**SLD**

Direzione d'ingresso	Modo Principale	Periodo [s]	% Massa Modale Modo Principale	% Massa Modale Totale
0.000 [rad]	53	0.08	81	98
1.571 [rad]	57	0.21	38	97
3.142 [rad]	65	0.08	81	98
4.712 [rad]	69	0.21	38	97

**SLO**

Direzione d'ingresso	Modo Principale	Periodo [s]	% Massa Modale Modo Principale	% Massa Modale Totale
0.000 [rad]	77	0.08	81	98
1.571 [rad]	81	0.21	38	97
3.142 [rad]	89	0.08	81	98
4.712 [rad]	93	0.21	38	97

**Autovalori e Periodi**

Analisi Modale via Vettori di Ritz

**Direzione d'ingresso 1 angolo 0.000 [rad] SLV**

Modo	Autovalore [rad/s]^2	Pulsazione [rad/s]	Periodo [s]	R
1	207.1105	14.391	0.44	0.3866
2	233.6340	15.285	0.41	0.3866
3	854.8961	29.239	0.21	0.3866
4	2844.2849	53.332	0.12	0.3245
5	6290.3394	79.312	0.08	0.2646
6	20584.7617	143.474	0.04	0.2096

**Direzione d'ingresso 2 angolo 1.571 [rad] SLV**

Modo	Autovalore [rad/s]^2	Pulsazione [rad/s]	Periodo [s]	R
7	207.1168	14.392	0.44	0.3866
8	234.0438	15.298	0.41	0.3866
9	875.9941	29.597	0.21	0.3866
10	1413.0552	37.591	0.17	0.3866
11	1970.1119	44.386	0.14	0.3613
12	9313.0020	96.504	0.07	0.2427

**Direzione d'ingresso 3 angolo 3.142 [rad] SLV**

Modo	Autovalore [rad/s]^2	Pulsazione [rad/s]	Periodo [s]	R
------	-------------------------	-----------------------	----------------	---

13	207.1105	14.391	0.44	0.3866
14	233.6340	15.285	0.41	0.3866
15	854.8962	29.239	0.21	0.3866
16	2844.2544	53.332	0.12	0.3245
17	6290.3384	79.312	0.08	0.2646
18	20584.7246	143.474	0.04	0.2096

**Direzione d'ingresso 4 angolo 4.712 [rad] SLV**

Modo	Autovalore [rad/s]^2	Pulsazione [rad/s]	Periodo [s]	R
------	-------------------------	-----------------------	----------------	---

19	207.1168	14.392	0.44	0.3866
20	234.0438	15.298	0.41	0.3866
21	875.9941	29.597	0.21	0.3866
22	1413.0552	37.591	0.17	0.3866
23	1970.1119	44.386	0.14	0.3613
24	9313.0020	96.504	0.07	0.2427

**Direzione d'ingresso 5 angolo 0.000 [rad] SLC**

Modo	Autovalore [rad/s]^2	Pulsazione [rad/s]	Periodo [s]	R
------	-------------------------	-----------------------	----------------	---

25	207.1105	14.391	0.44	0.3866
26	233.6340	15.285	0.41	0.3866
27	854.8961	29.239	0.21	0.3866
28	2844.2849	53.332	0.12	0.3245
29	6290.3394	79.312	0.08	0.2646
30	20584.7617	143.474	0.04	0.2096

**Direzione d'ingresso 6 angolo 1.571 [rad] SLC**

Modo	Autovalore [rad/s]^2	Pulsazione [rad/s]	Periodo [s]	R
31	207.1168	14.392	0.44	0.3866
32	234.0438	15.298	0.41	0.3866
33	875.9941	29.597	0.21	0.3866
34	1413.0552	37.591	0.17	0.3866
35	1970.1119	44.386	0.14	0.3613
36	9313.0020	96.504	0.07	0.2427

**Direzione d'ingresso 7 angolo 3.142 [rad] SLC**

Modo	Autovalore [rad/s]^2	Pulsazione [rad/s]	Periodo [s]	R
37	207.1105	14.391	0.44	0.3866
38	233.6340	15.285	0.41	0.3866
39	854.8962	29.239	0.21	0.3866
40	2844.2544	53.332	0.12	0.3245
41	6290.3384	79.312	0.08	0.2646
42	20584.7246	143.474	0.04	0.2096

**Direzione d'ingresso 8 angolo 4.712 [rad] SLC**

Modo	Autovalore [rad/s]^2	Pulsazione [rad/s]	Periodo [s]	R
43	207.1168	14.392	0.44	0.3866
44	234.0438	15.298	0.41	0.3866
45	875.9941	29.597	0.21	0.3866
46	1413.0552	37.591	0.17	0.3866
47	1970.1119	44.386	0.14	0.3613
48	9313.0020	96.504	0.07	0.2427

**Direzione d'ingresso 9 angolo 0.000 [rad] SLD**

Modo	Autovalore [rad/s]^2	Pulsazione [rad/s]	Periodo [s]	R
49	207.1105	14.391	0.44	0.3866
50	233.6340	15.285	0.41	0.3866
51	854.8961	29.239	0.21	0.3866
52	2844.2849	53.332	0.12	0.3245
53	6290.3394	79.312	0.08	0.2646
54	20584.7617	143.474	0.04	0.2096

**Direzione d'ingresso 10 angolo 1.571 [rad] SLD**

Modo	Autovalore [rad/s]^2	Pulsazione [rad/s]	Periodo [s]	R
------	-------------------------	-----------------------	----------------	---

55	207.1168	14.392	0.44	0.3866
56	234.0438	15.298	0.41	0.3866
57	875.9941	29.597	0.21	0.3866
58	1413.0552	37.591	0.17	0.3866

59	1970.1119	44.386	0.14	0.3613
60	9313.0020	96.504	0.07	0.2427

**Direzione d'ingresso 11 angolo 3.142 [rad] SLD**

Modo	Autovalore [rad/s]^2	Pulsazione [rad/s]	Periodo [s]	R
------	-------------------------	-----------------------	----------------	---

61	207.1105	14.391	0.44	0.3866
62	233.6340	15.285	0.41	0.3866
63	854.8962	29.239	0.21	0.3866
64	2844.2544	53.332	0.12	0.3245
65	6290.3384	79.312	0.08	0.2646
66	20584.7246	143.474	0.04	0.2096

**Direzione d'ingresso 12 angolo 4.712 [rad] SLD**

Modo	Autovalore [rad/s]^2	Pulsazione [rad/s]	Periodo [s]	R
------	-------------------------	-----------------------	----------------	---

67	207.1168	14.392	0.44	0.3866
68	234.0438	15.298	0.41	0.3866
69	875.9941	29.597	0.21	0.3866
70	1413.0552	37.591	0.17	0.3866
71	1970.1119	44.386	0.14	0.3613
72	9313.0020	96.504	0.07	0.2427

**Direzione d'ingresso 13 angolo 0.000 [rad] SLO**

Modo	Autovalore [rad/s]^2	Pulsazione [rad/s]	Periodo [s]	R
------	-------------------------	-----------------------	----------------	---

73	207.1105	14.391	0.44	0.3866
74	233.6340	15.285	0.41	0.3866
75	854.8961	29.239	0.21	0.3866
76	2844.2849	53.332	0.12	0.3245
77	6290.3394	79.312	0.08	0.2646
78	20584.7617	143.474	0.04	0.2096

**Direzione d'ingresso 14 angolo 1.571 [rad] SLO**

Modo	Autovalore [rad/s]^2	Pulsazione [rad/s]	Periodo [s]	R
------	-------------------------	-----------------------	----------------	---

79	207.1168	14.392	0.44	0.3866
80	234.0438	15.298	0.41	0.3866
81	875.9941	29.597	0.21	0.3866
82	1413.0552	37.591	0.17	0.3866
83	1970.1119	44.386	0.14	0.3613
84	9313.0020	96.504	0.07	0.2427

**Direzione d'ingresso 15 angolo 3.142 [rad] SLO**

Modo	Autovalore [rad/s]^2	Pulsazione [rad/s]	Periodo [s]	R
------	-------------------------	-----------------------	----------------	---

85	207.1105	14.391	0.44	0.3866
86	233.6340	15.285	0.41	0.3866
87	854.8962	29.239	0.21	0.3866
88	2844.2544	53.332	0.12	0.3245
89	6290.3384	79.312	0.08	0.2646

90	20584.7246	143.474	0.04	0.2096
----	------------	---------	------	--------

**Direzione d'ingresso 16 angolo 4.712 [rad] SLO**

Modo	Autovalore [rad/s]^2	Pulsazione [rad/s]	Periodo [s]	R
------	-------------------------	-----------------------	----------------	---

91	207.1168	14.392	0.44	0.3866
92	234.0438	15.298	0.41	0.3866
93	875.9941	29.597	0.21	0.3866
94	1413.0552	37.591	0.17	0.3866
95	1970.1119	44.386	0.14	0.3613
96	9313.0020	96.504	0.07	0.2427

**Risultati angolo di ingresso del sisma: 0.000 [rad] SLV**

Modo	Periodo [s]	Coeff.di Part.	Li / L1	MassaModale	Mmi/Mmtot	Sum Mmi/Mmtot	R
------	-------------	----------------	---------	-------------	-----------	---------------	---

5	0.08	-1.14616e+001	100	1.3e+003	81	81	0.2646
6	0.04	5.21711e+000	46	2.7e+002	17	98	0.2096
4	0.12	-3.74933e-001	3	1.4e+000	0	98	0.3245
3	0.21	1.45671e-001	1	2.1e-001	0	98	0.3866
2	0.41	9.05344e-002	1	8.2e-002	0	98	0.3866
1	0.44	2.77320e-002	0	7.7e-003	0	98	0.3866

**Risultati angolo di ingresso del sisma: 1.571 [rad] SLV**

Modo	Periodo [s]	Coeff.di Part.	Li / L1	MassaModale	Mmi/Mmtot	Sum Mmi/Mmtot	R
------	-------------	----------------	---------	-------------	-----------	---------------	---

9	0.21	7.84644e+000	100	6.2e+002	38	38	0.3866
10	0.17	-6.30120e+000	80	4.0e+002	25	63	0.3866
11	0.14	5.91216e+000	75	3.5e+002	22	84	0.3613
12	0.07	4.50576e+000	57	2.0e+002	13	97	0.2427
7	0.44	9.06603e-002	1	8.2e-002	0	97	0.3866
8	0.41	-2.57969e-002	0	6.7e-003	0	97	0.3866

**Risultati angolo di ingresso del sisma: 3.142 [rad] SLV**

Modo	Periodo [s]	Coeff.di Part.	Li / L1	MassaModale	Mmi/Mmtot	Sum Mmi/Mmtot	R
------	-------------	----------------	---------	-------------	-----------	---------------	---

17	0.08	-1.14616e+001	100	1.3e+003	81	81	0.2646
18	0.04	5.21712e+000	46	2.7e+002	17	98	0.2096
16	0.12	-3.74924e-001	3	1.4e+000	0	98	0.3245
15	0.21	1.45671e-001	1	2.1e-001	0	98	0.3866
14	0.41	9.05344e-002	1	8.2e-002	0	98	0.3866
13	0.44	2.77319e-002	0	7.7e-003	0	98	0.3866

**Risultati angolo di ingresso del sisma: 4.712 [rad] SLV**

Modo	Periodo [s]	Coeff.di Part.	Li / L1	MassaModale	Mmi/Mmtot	Sum Mmi/Mmtot	R
------	-------------	----------------	---------	-------------	-----------	---------------	---

21	0.21	7.84644e+000	100	6.2e+002	38	38	0.3866
22	0.17	-6.30120e+000	80	4.0e+002	25	63	0.3866
23	0.14	5.91216e+000	75	3.5e+002	22	84	0.3613
24	0.07	4.50576e+000	57	2.0e+002	13	97	0.2427
19	0.44	9.06603e-002	1	8.2e-002	0	97	0.3866
20	0.41	-2.57969e-002	0	6.7e-003	0	97	0.3866

**Risultati angolo di ingresso del sisma: 0.000 [rad] SLC**

Modo	Periodo [s]	Coeff.di Part.	Li / L1	MassaModale	Mmi/Mmtot	Sum Mmi/Mmtot	R
------	-------------	----------------	---------	-------------	-----------	---------------	---

29	0.08	-1.14616e+001	100	1.3e+003	81	81	0.3186
30	0.04	5.21711e+000	46	2.7e+002	17	98	0.2520
28	0.12	-3.74933e-001	3	1.4e+000	0	98	0.3911
27	0.21	1.45671e-001	1	2.1e-001	0	98	0.4714
26	0.41	9.05344e-002	1	8.2e-002	0	98	0.4714
25	0.44	2.77320e-002	0	7.7e-003	0	98	0.4714

**Risultati angolo di ingresso del sisma: 1.571 [rad] SLC**

Modo	Periodo [s]	Coeff.di Part.	Li / L1	MassaModale	Mmi/Mmtot	Sum Mmi/Mmtot	R
------	-------------	----------------	---------	-------------	-----------	---------------	---

33	0.21	7.84644e+000	100	6.2e+002	38	38	0.4714
34	0.17	-6.30120e+000	80	4.0e+002	25	63	0.4714
35	0.14	5.91216e+000	75	3.5e+002	22	84	0.4357
36	0.07	4.50576e+000	57	2.0e+002	13	97	0.2921
31	0.44	9.06603e-002	1	8.2e-002	0	97	0.4714
32	0.41	-2.57969e-002	0	6.7e-003	0	97	0.4714



**Risultati angolo di ingresso del sisma: 3.142 [rad] SLC**

Modo	Periodo [s]	Coeff.di Part.	Li / L1	MassaModale	Mmi/Mmtot	Sum Mmi/Mmtot	R
------	-------------	----------------	---------	-------------	-----------	---------------	---

41	0.08	-1.14616e+001	100	1.3e+003	81	81	0.3186
42	0.04	5.21712e+000	46	2.7e+002	17	98	0.2520
40	0.12	-3.74924e-001	3	1.4e+000	0	98	0.3911
39	0.21	1.45671e-001	1	2.1e-001	0	98	0.4714
38	0.41	9.05344e-002	1	8.2e-002	0	98	0.4714
37	0.44	2.77319e-002	0	7.7e-003	0	98	0.4714

**Risultati angolo di ingresso del sisma: 4.712 [rad] SLC**

Modo	Periodo [s]	Coeff.di Part.	Li / L1	MassaModale	Mmi/Mmtot	Sum Mmi/Mmtot	R
------	-------------	----------------	---------	-------------	-----------	---------------	---

45	0.21	7.84644e+000	100	6.2e+002	38	38	0.4714
46	0.17	-6.30120e+000	80	4.0e+002	25	63	0.4714
47	0.14	5.91216e+000	75	3.5e+002	22	84	0.4357
48	0.07	4.50576e+000	57	2.0e+002	13	97	0.2921
43	0.44	9.06603e-002	1	8.2e-002	0	97	0.4714
44	0.41	-2.57969e-002	0	6.7e-003	0	97	0.4714

**Risultati angolo di ingresso del sisma: 0.000 [rad] SLD**

Modo	Periodo [s]	Coeff.di Part.	Li / L1	MassaModale	Mmi/Mmtot	Sum Mmi/Mmtot	R
------	-------------	----------------	---------	-------------	-----------	---------------	---

53	0.08	-1.14616e+001	100	1.3e+003	81	81	0.1403
54	0.04	5.21711e+000	46	2.7e+002	17	98	0.1108
52	0.12	-3.74933e-001	3	1.4e+000	0	98	0.1725
51	0.21	1.45671e-001	1	2.1e-001	0	98	0.1932
50	0.41	9.05344e-002	1	8.2e-002	0	98	0.1932
49	0.44	2.77320e-002	0	7.7e-003	0	98	0.1892

**Risultati angolo di ingresso del sisma: 1.571 [rad] SLD**

Modo	Periodo [s]	Coeff.di Part.	Li / L1	MassaModale	Mmi/Mmtot	Sum Mmi/Mmtot	R
------	-------------	----------------	---------	-------------	-----------	---------------	---

57	0.21	7.84644e+000	100	6.2e+002	38	38	0.1932
58	0.17	-6.30120e+000	80	4.0e+002	25	63	0.1932
59	0.14	5.91216e+000	75	3.5e+002	22	84	0.1924
60	0.07	4.50576e+000	57	2.0e+002	13	97	0.1286
55	0.44	9.06603e-002	1	8.2e-002	0	97	0.1892
56	0.41	-2.57969e-002	0	6.7e-003	0	97	0.1932

**Risultati angolo di ingresso del sisma: 3.142 [rad] SLD**
**Modo Periodo [s] Coeff.di Part. |Li|/|L1| MassaModale Mmi/Mmtot Sum Mmi/Mmtot R**

Modo	Periodo [s]	Coeff.di Part.	Li / L1	MassaModale	Mmi/Mmtot	Sum Mmi/Mmtot	R
65	0.08	-1.14616e+001	100	1.3e+003	81	81	0.1403
66	0.04	5.21712e+000	46	2.7e+002	17	98	0.1108
64	0.12	-3.74924e-001	3	1.4e+000	0	98	0.1725
63	0.21	1.45671e-001	1	2.1e-001	0	98	0.1932
62	0.41	9.05344e-002	1	8.2e-002	0	98	0.1932
61	0.44	2.77319e-002	0	7.7e-003	0	98	0.1892

**Risultati angolo di ingresso del sisma: 4.712 [rad] SLD**
**Modo Periodo [s] Coeff.di Part. |Li|/|L1| MassaModale Mmi/Mmtot Sum Mmi/Mmtot R**

Modo	Periodo [s]	Coeff.di Part.	Li / L1	MassaModale	Mmi/Mmtot	Sum Mmi/Mmtot	R
69	0.21	7.84644e+000	100	6.2e+002	38	38	0.1932
70	0.17	-6.30120e+000	80	4.0e+002	25	63	0.1932
71	0.14	5.91216e+000	75	3.5e+002	22	84	0.1924
72	0.07	4.50576e+000	57	2.0e+002	13	97	0.1286
67	0.44	9.06603e-002	1	8.2e-002	0	97	0.1892
68	0.41	-2.57969e-002	0	6.7e-003	0	97	0.1932

**Risultati angolo di ingresso del sisma: 0.000 [rad] SLO**
**Modo Periodo [s] Coeff.di Part. |Li|/|L1| MassaModale Mmi/Mmtot Sum Mmi/Mmtot R**

Modo	Periodo [s]	Coeff.di Part.	Li / L1	MassaModale	Mmi/Mmtot	Sum Mmi/Mmtot	R
77	0.08	-1.14616e+001	100	1.3e+003	81	81	0.1188
78	0.04	5.21711e+000	46	2.7e+002	17	98	0.0933
76	0.12	-3.74933e-001	3	1.4e+000	0	98	0.1465
75	0.21	1.45671e-001	1	2.1e-001	0	98	0.1606
74	0.41	9.05344e-002	1	8.2e-002	0	98	0.1606
73	0.44	2.77320e-002	0	7.7e-003	0	98	0.1517

**Risultati angolo di ingresso del sisma: 1.571 [rad] SLO**
**Modo Periodo [s] Coeff.di Part. |Li|/|L1| MassaModale Mmi/Mmtot Sum Mmi/Mmtot R**

Modo	Periodo [s]	Coeff.di Part.	Li / L1	MassaModale	Mmi/Mmtot	Sum Mmi/Mmtot	R
81	0.21	7.84644e+000	100	6.2e+002	38	38	0.1606
82	0.17	-6.30120e+000	80	4.0e+002	25	63	0.1606
83	0.14	5.91216e+000	75	3.5e+002	22	84	0.1606
84	0.07	4.50576e+000	57	2.0e+002	13	97	0.1086
79	0.44	9.06603e-002	1	8.2e-002	0	97	0.1517
80	0.41	-2.57969e-002	0	6.7e-003	0	97	0.1606

**Risultati angolo di ingresso del sisma: 3.142 [rad] SLO**

Modo	Periodo [s]	Coeff.di Part.	Li / L1	MassaModale	Mmi/Mmtot	Sum Mmi/Mmtot	R
------	-------------	----------------	---------	-------------	-----------	---------------	---

89	0.08	-1.14616e+001	100	1.3e+003	81	81	0.1188
90	0.04	5.21712e+000	46	2.7e+002	17	98	0.0933
88	0.12	-3.74924e-001	3	1.4e+000	0	98	0.1465
87	0.21	1.45671e-001	1	2.1e-001	0	98	0.1606
86	0.41	9.05344e-002	1	8.2e-002	0	98	0.1606
85	0.44	2.77319e-002	0	7.7e-003	0	98	0.1517

**Risultati angolo di ingresso del sisma: 4.712 [rad] SLO**

Modo	Periodo [s]	Coeff.di Part.	Li / L1	MassaModale	Mmi/Mmtot	Sum Mmi/Mmtot	R
------	-------------	----------------	---------	-------------	-----------	---------------	---

93	0.21	7.84644e+000	100	6.2e+002	38	38	0.1606
94	0.17	-6.30120e+000	80	4.0e+002	25	63	0.1606
95	0.14	5.91216e+000	75	3.5e+002	22	84	0.1606
96	0.07	4.50576e+000	57	2.0e+002	13	97	0.1086
91	0.44	9.06603e-002	1	8.2e-002	0	97	0.1517
92	0.41	-2.57969e-002	0	6.7e-003	0	97	0.1606

## 8. VERIFICA A SFILAMENTO DEL SOSTEGNO

Nota la stratigrafia del terreno della relazione geologica, si confrontano la forza dovuta al vento che potrebbe causare lo sfilamento del montante e la forza reagente dovuta all'attrito tra terreno e metallo valutata col metodo Das e Seeley (1982).

Nel caso di pali soggetti a sforzi di trazione (dovuti principalmente all'azione del vento), il calcolo della resistenza allo sfilamento può essere valutata con il metodo proposto da Das e Seeley (1982).

L'equazione da utilizzare è la seguente:

$$T_u = T_l + T_b + W$$

dove:

- $T_u$ = resistenza ultima allo sfilamento del palo;
- $T_l$ = resistenza allo sfilamento lungo il fusto;
- $T_b$ = resistenza allo sfilamento dovuto all'eventuale svasamento della base;
- $W$ = peso del palo.

La componente della resistenza allo sfilamento dovuta all'attrito e all'adesione lungo il fusto si può calcolare con le seguenti relazioni per i **terreni coesivi** (i terreni che, nel sito analizzato,

presentano i peggiori parametri geotecnici):

$$Tl = Al \alpha C_u$$

dove:

- $Al$  = area laterale del fusto;
- $\alpha$  = fattore di adesione (uguale a  $\alpha=0,9-0,0625 C_u$ , se  $C_u < 0,8 \text{ kg/cm}^2$  e a  $\alpha=0,4$  se  $C_u \geq 0,8 \text{ kg/cm}^2$ );
- $C_u$  = coesione non drenata del terreno.

Quindi:

- $Al$ : Area laterale del montante ( $\text{cm}^2$ ) =  $92,4 \cdot 200 = 18480 \text{ cm}^2$ .
- $\alpha$ : Fattore di adesione, uguale a  $\alpha = 0,9 - 0,0625 \cdot C_u$  se  $C_u < 0,8 \text{ daN/cm}^2 = 0,881$ .
- $C_u$ : Coesione non drenata del terreno =  $0,33 \text{ daN/cm}^2$  (media dei primi 2,5 metri)

$$Tl = 4884 \text{ daN}$$

$$Tb = 0$$

$W$  = peso del palo =  $26,2 \text{ daN/m} \cdot 4,08 \text{ m} = 106,9 \text{ daN}$ .

$$W = 106,9 \text{ daN}$$

$$Tu = Tl + Tb + W = 4991,2 \text{ daN}$$

Lo sforzo massimo di trazione a cui sono sollecitati i sostegni è pari a  $F = 4238 \text{ daN}$

$$Tu > F \rightarrow \text{Verifica soddisfatta}$$

Nella verifica, a vantaggio di sicurezza, si sono trascurati i pesi propri della struttura sovrastante. Si consiglia, tuttavia, di verificare la forza di sfilamento del sostegno in situ, mediante idonea prova.

## 9. GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli che ne comprovano l'attendibilità. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali e adottati, anche in fase di primo proporzionamento della struttura. Inoltre, sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni. Si allega al termine della presente relazione elenco sintetico dei controlli svolti (verifiche di equilibrio tra reazioni vincolari e carichi applicati, comparazioni tra i risultati delle analisi e quelli di valutazioni semplificate, etc.).

In base a quanto detto, si può asserire che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico,

pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

## 10. CONCLUSIONI

La struttura in tutte le sue componenti è idonea a sostenere le sollecitazioni trasmesse dai carichi e dall'effetto sismico.

Sono state rispettate le "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. Infrastrutture 17 Gennaio 2018, nonché la Circolare 21 Gennaio 2019 n. 7 del Consiglio Superiore dei LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui D.M. Infrastrutture 17 Gennaio 2018".

Lì, 22/03/2022

Il Tecnico

Dott. Ing. Pasquale IZZO

