



Oggetto:

**REALIZZAZIONE DI IMPIANTO FOTOVOLTAICO DA 996 kWp  
SULLA COPERTURA DEFINITIVA DEI BACINI 9÷12  
DELLA DISCARICA CONTROLLATA PER RIFIUTI NON  
PERICOLOSI DI NOVELLARA**

Titolo:

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE  
STRUTTURA FOTOVOLTAICA A PANNELLI STATICI**

Tav. n°

Progettazione:

**Studio Associato di Ingegneria Gasparini**

Via E. Petrolini , 14 - 42122 Reggio Emilia

Tel.:0522-557508; Fax: 0522-557556

E-mail: ambiente@gaspariniassociati.it

**ing. Stefano Teneggi**

Timbro:

n°:

Revisione:

Data:

Data:

Novembre 2010

Scala:

Collaboratori: ing. iunior Daniela Morisi, ing. Sara Ganapini, ing. Michele Rosi

# INDICE DEGLI ELABORATI

<b>1 – DOCUMENTI DI SINTESI</b>	<b>2</b>
1.1 – Sintesi del percorso progettuale	2
1.2 – Condizioni d'uso della costruzione	2
<b>2 – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE</b>	<b>5</b>
2.1 – Premessa	5
2.3 – Descrizione generale dell'opera e criteri generali di progettazione, analisi e verifica	5
2.4 – Quadro normativo di riferimento adottato	5
2.4.1 – Norme di riferimento cogenti	5
2.4.2 – Altre norme e documenti tecnici integrativi	6
2.6 – Azioni di progetto delle costruzioni	6
2.7 – Modello/i numerico/i	7
2.7.1 – Metodologia di modellazione ed analisi	7
2.7.2 – informazioni sul codice di calcolo	7
2.7.3 – Modellazione della geometria e delle proprietà meccaniche	7
2.7.4 – Modellazione dei vincoli interni ed esterni	10
2.7.5 – Modellazione delle azioni	10
2.7.6 – Combinazioni e/o percorsi di carico	11
2.8 – Principali risultati	14
2.8.1 – Risultati dell'analisi modale	14
2.8.2 – Deformate e sollecitazioni per condizioni di carico	15
2.8.3 – Involuppo delle sollecitazioni maggiormente significative	16
2.8.4 – Reazioni vincolari	18
2.8.5 – Altri risultati significativi	19
2.9 – Giudizio motivato di accettabilità dei risultati	19
2.10 – Verifiche agli stati limiti ultimi	19
2.11 – Verifiche agli stati limite di esercizio	24
<b>3 – RELAZIONE SUI MATERIALI</b>	<b>25</b>
3.1 – Elenco dei materiali impiegati e loro modalità di posa in opera	25
3.2 – Valori di calcolo	25
<b>4 – ELABORATI GRAFICI ESECUTIVI E PARTICOLARI COSTRUTTIVI</b>	<b>27</b>
4.4 – Elaborati grafici generali	27
4.5 – Particolari costruttivi	27
<b>5 – PIANO DI MANUTENZIONE DELLA PARTE STRUTTURALE DELL'OPERA</b>	<b>28</b>
<b>6 – RELAZIONE SUI RISULTATI SPERIMENTALI – INDAGINI SPECIALISTICI</b>	<b>29</b>
6.1 – Relazione geologica: indagini, caratterizzazione e modellazione geologica del sito	29
6.2 – Relazione geotecnica: indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno	29

## 1 – DOCUMENTI DI SINTESI

### 1.1 – Sintesi del percorso progettuale

Il presente progetto riguarda la realizzazione di nuovi manufatti da realizzare in serie per la realizzazione di nuovo impianto fotovoltaico; in particolare si tratta di manufatti posti in semplice appoggio sulla copertura definitiva della discarica per rifiuti non pericolosi di Novellara (RE).

Trattandosi di un manufatti posti in semplici appoggio e aventi quale unica vera forza sollecitante l'azione del vento, oltre alla verifica dei singoli elementi, si è proceduto anche a una verifica della stabilità della struttura fondale per meglio studiare fenomeni di cedimenti o scivolamenti sul piano di campagna.

La dimensione dei moduli è risultata fortemente legata alla quantità e dimensione dei pannelli che avrebbero dovuto ospitare.

### 1.2 – Condizioni d'uso e livelli di sicurezza della costruzione

Preso atto dell'intenzione di eseguire il dimensionamento strutturale in conformità a quanto previsto dalle nuove "Norme tecniche per le costruzioni", in accordo con la Committenza si è ritenuto opportuno definire le seguenti ipotesi di progetto:

- Tipo di opera: Opera ordinaria
- Vita nominale VN : 50 anni
- Classe d'uso: classe II (affollamenti normali)
- Classe di duttilità: classe B (edificio a bassa duttilità)
- Zona sismica: zona 3
- Sito di costruzione: LONG. 10.664159 - LAT. 44.834939
- Categoria del suolo di fondazione: C Vs=386m/s
- Fattore di struttura q: 3,3
- Periodo  $T_c^*$  0.287
- Categoria topografica: T1 – (Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ )
- Coeff. amplificazione topografica St: 1.00

Si è optato per una vita nominale ordinaria in quanto si è deciso di prevedere una protezione degli elementi da eventi di straordinaria entità.

In relazione alle caratteristiche sismiche del terreno in cui sorgerà tale costruzione si riportano i seguenti i valori caratteristici restituiti dal file del Ministero "Spettri-NTCver.1.0.3.xls".

#### **Valori dei parametri $a_g$ , $F_o$ , $T_c^*$ per i periodi di ritorno $T_R$ di riferimento**

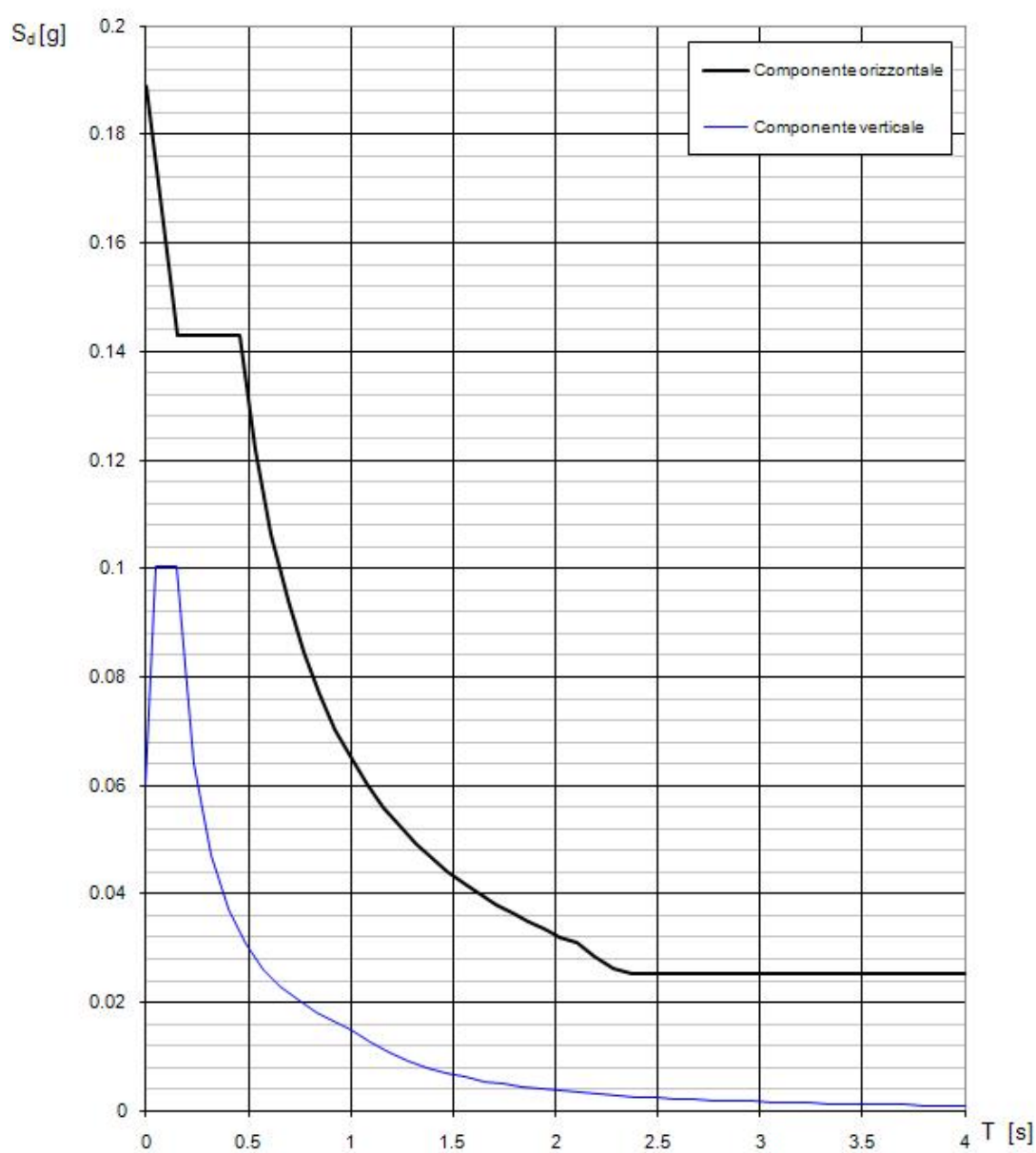
$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
30	0.040	2.557	0.241
50	0.049	2.525	0.261
72	0.057	2.545	0.274
101	0.065	2.539	0.282
140	0.073	2.540	0.287
201	0.087	2.485	0.291
475	0.126	2.500	0.287
975	0.167	2.539	0.286
2475	0.235	2.493	0.292

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

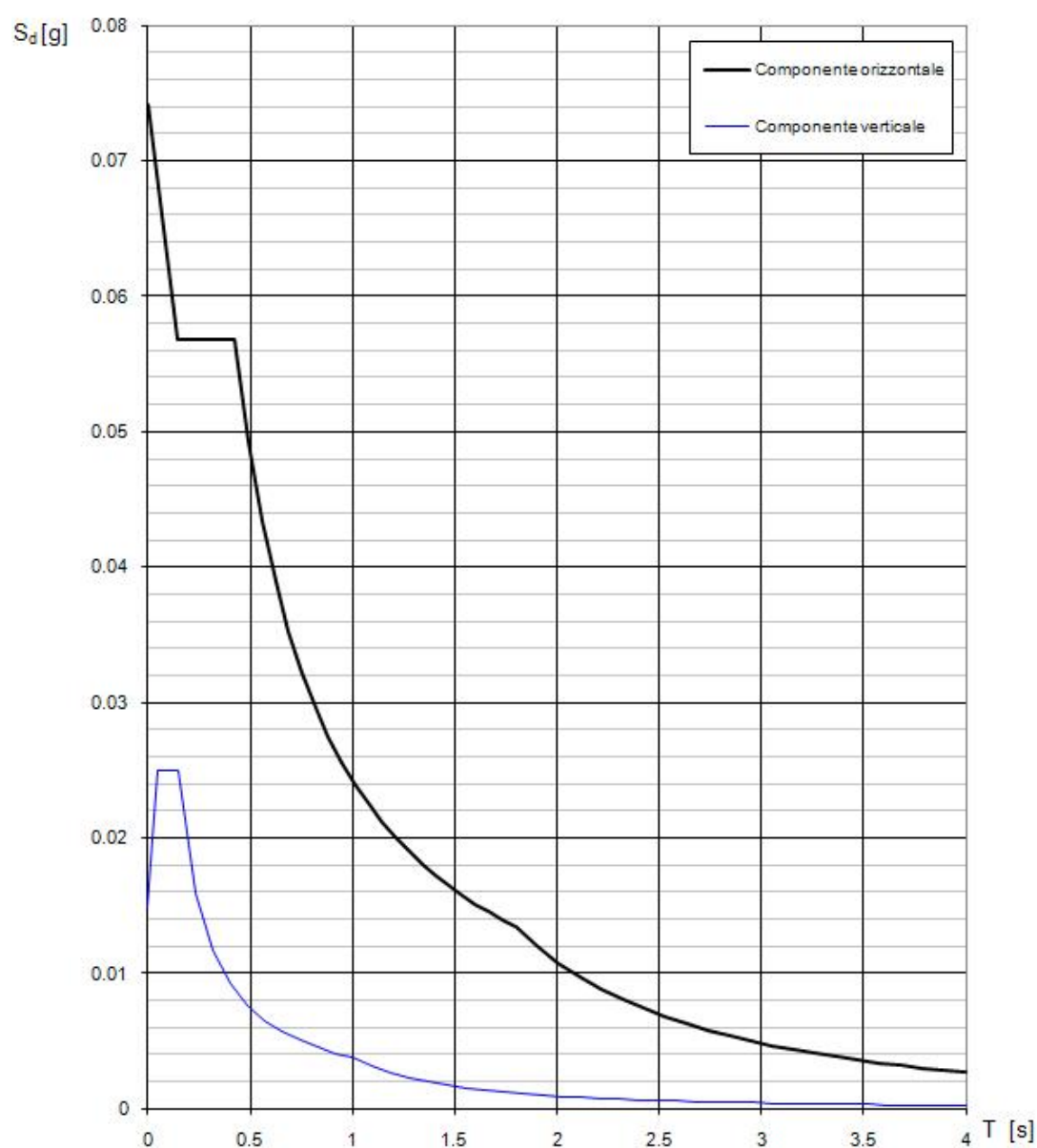
## Valori dei parametri $a_g$ , $F_o$ , $T_C^*$ per i periodi di ritorno $T_R$

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	30	0.040	2.557	0.241
SLD	50	0.049	2.525	0.261
SLV	475	0.126	2.500	0.287
SLC	975	0.167	2.539	0.286

## Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



### Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLD



## **2 – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE**

### 2.1 – Premessa

I manufatti oggetto di questa relazione consistono in un telaio metallico saldamente ancorato a un elemento prefabbricato in c.a. di fondazione che ne evita il ribaltamento o lo scorrimento sul piano di appoggio, ovvero la copertura definitiva della discarica per rifiuti non pericolosi di Novellara(RE); tali nuovi oggetti risultano essere dei moduli da ripetere più volte per l'intera copertura.

### 2.3 – Descrizione generale dell'opera e criteri generali di progettazione, analisi e verifica

Il traliccio risulta essere composta principalmente da montanti e traversi realizzati in tubolari rettangolari assemblati in modo tale da realizzare un piano inclinato su cui posare i pannelli fotovoltaici; nel piano trasversale il traliccio, risultano essere presenti cavi di controvento disposti a croce.

Il collegamento con l'elemento di fondazione verrà realizzato tramite elementi di carpenteria metallica solidarizzati con la struttura in c.a.

In particolare, la struttura di fondazione sarà realizzata a forma di vasca in modo tale poter riempire il so interno attraverso del terreno in modo tale da aumentare la zavorra necessaria per evitare i fenomeni di scorrimento o ribaltamento che la presenza di importanti folate di vento potrebbero causare.

Infatti si è valutato che la condizione sollecitante più gravosa per questo tipo di manufatto, risulta essere quello della presenza di vento; infatti, la particolare conformazione dello stesso lo rende naturalmente soggetto ad effetti tipo vela.

Problematica accentuata dal fatto che la struttura fondale non può essere saldamente solidarizzata al terreno sottostante in quanto trattasi di discarica per rifiuti non pericolosi, e il deterioramento dello strato di copertura risulterebbe pericolo in quanto porterebbe alla fuoriuscita di rifiuti nell'ambiente circostante.

### 2.4 – Quadro normativo di riferimento

#### 2.4.1 – Norme di riferimento cogenti

- **Legge n. 64 del 2/2/1974**

*“Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.*

- **Legge n. 1086 del 5/11/1971**

*“Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”.*

- **DM del 14/02/92**

*“Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche”.*

- **Bollettino Ufficiale C.N.R.-U.N.I. 10011 / 1988**

*“Costruzioni di acciaio: Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione”.*

- **Bollettino Ufficiale C.N.R.-U.N.I. 10022 / 1984**

*“Profilati in acciaio formati a freddo: Istruzioni per l'impiego nelle costruzioni”.*

- **DM Min. LL. PP. 20 Novembre 1987**

*“Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento”*

- **CNR UNI 10033-74 Sistemi di unità di misura.**

- **CNR UNI 10024-86**

*Analisi delle strutture mediante elaboratore: impostazione e redazione delle relazioni di calcolo.*

- **Circolare n. 21745 del 30/7/1981 - Legge n. 219 del 14/5/1981 - Art. 10 –**

*Istruzioni relative al rafforzamento degli edifici in muratura danneggiati dal sisma.*

- **Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia - Legge Regionale n. 30 del 20/6/1977 -**

*Documentazione tecnica per la progettazione e direzione delle opere di riparazione degli edifici - Documento Tecnico n. 2 - Raccomandazioni per la riparazione strutturale degli edifici in muratura.*

- **Norme Tecniche C.N.R. n. 10025-84 del 14/12/1984 - Istruzioni per il progetto,**

*l'esecuzione ed il controllo delle strutture prefabbricate in conglomerato cementizio e per le strutture costruite con sistemi industrializzati di acciaio - Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione.*

- **D.M. del 14/1/2008 - Norme tecniche per le costruzioni.**

• **Circ. Min. LL. PP. 02 febbraio 2009 n. 617 – Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni”.**

#### 2.4.2 – Altre norme e documenti tecnici integrativi

- **L.R. Emilia Romagna n.304 del 30/10/2008**

*“Norme per la riduzione del rischio sismico”.*

- **Circolare illustrativa ER N.PG/10/114855 del 24/04/2010**

*“Disciplina delle varianti in corso d'opera ai fini della riduzione del rischio sismico”.*

- **D.G.R. Emilia Romagna n.1661 del 02/11/2009**

*“Approvazione elenco categorie di edifici di interesse strategico e opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile ed elenco categorie di edifici e opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso”.*

- **D.G.R. Emilia Romagna n.121 del 01/02/2010**

*“Atto di indirizzo recante individuazione degli interventi privi di rilevanza per la pubblica incolumità ai fini sismici e delle varianti, riguardanti parti strutturali, che non rivestono carattere sostanziale e definizione della documentazione attinente alla riduzione del rischio sismico necessaria per il rilascio del permesso di costruire e per la denuncia di inizio attività, ai sensi degli articoli 9, comma 4, e 10, comma 3, della L.R. n. 19 del 2008”.*

- **Atto di indirizzo della Regione Emilia Romagna del 26/07/2010**

*“Individuazione dei contenuti cogenti del progetto esecutivo riguardante le strutture”.*

#### 2.6 – Azioni di progetto sulla costruzione

In relazione a quanto in progetto, si sono andate a definire le azioni sollecitanti agenti sul manufatto in relazione a quanto riportato nelle NTC-08.

In particolare si individuano, oltre ai pesi propri e ai pesi portati, due differenti tipologie di carichi accidentali.

Trattandosi di manufatti adibiti al solo scopo di ospitare componenti impiantistiche, essi saranno soggetti alle sole azioni derivanti dagli agenti esterni tipici di tutte le aree, vento e neve.

I due carichi di tipo accidentale individuato risultano essere quindi nello specifico:

- Neve – l'esposizione agli agenti atmosferici esterni comporta una possibile formazione di accumuli di neve sopra i pannelli – 1,20kN/mq
- Vento – l'esposizione agli agenti atmosferici esterni comporta una possibile sollecitazione laterale dovuta alla forte resistenza che la morfologia dei manufatti crea in condizioni di vento – 0,87kN/mq

## 2.7 – Modello/i numerico/i

Di seguito si riportano tutti i parametri necessari per la riproducibilità del modello di calcolo utilizzato per la redazione di questo progetto.

### 2.7.1 – Metodologia di modellazione ed analisi

Vista la tipologia di fabbricato in oggetto, si è scelto di procedere con analisi di tipo dinamica modale lineare in quanto non contemplandosi la mai la presenza contemporanea di sisma, neve e vento, si riesce a studiare facilmente l'intera struttura per tutti i possibili stati di sollecitazione.

Infatti la realizzazione non comporta particolari problemi o esigenze tali da considerare differenti fasi o tipologie di sollecitazioni in cui il manufatto stesso potrebbe trovarsi durante la propria vita utile.

Relativamente alle analisi sismiche, si è valutato che non sussistevano le caratteristiche per procedere con analisi non lineari, quindi si è proceduto con una analisi dinamica modale e combinazione degli effetti per sismi ortogonali; non si è considerato alcun tipo di spostamento accidentale dell'applicazione delle forze rispetto al piano di riferimento, in quanto la particolare tipologia del manufatto non comporta alcun tipo di impalcato e di conseguenza nessun tipo di possibile sfasamento accidentale della distribuzione dei carichi accidentali.

### 2.7.2 – Informazioni su codice di calcolo

Il codice di calcolo agli elementi finiti utilizzato è il programma CMP 24,00 (002) e post processore Xfinest 8,2.

La validità di tale programma e il relativo post-procesore risulta dimostrata attraverso la documentazione fornita ai singoli possessori di licenze, dalle stesse ditte produttrici all'interno di tale documentazione, che qui non si riporta per non aumentare il livello di complessità della relazione, si riscontrano tutti i casi studio che forniscono un'adeguata affidabilità dei risultati forniti dagli stessi.

### 2.7.3 – Modellazione della geometria e delle proprietà meccaniche

Di seguito si riportano tutti i dati relativi alla riproducibilità del modello agli elementi finiti calcolato.

#### Coordinate nodali

Nodo	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Vincoli	n.Master	Piano	Fase
1	0.00000	0.00000	0.00000	1 1 0 0 0 1			
2	0.00000	17.0000	0.00000	1 1 0 0 0 1			
3	0.00000	233.000	0.00000	1 1 0 0 0 1			
4	0.00000	250.000	0.00000	1 1 0 0 0 1			
5	200.000	0.00000	0.00000	1 1 0 0 0 1			
6	200.000	17.0000	0.00000	1 1 0 0 0 1			
7	200.000	233.000	0.00000	1 1 0 0 0 1			
8	200.000	250.000	0.00000	1 1 0 0 0 1			
9	400.000	0.00000	0.00000	1 1 0 0 0 1			
10	400.000	17.0000	0.00000	1 1 0 0 0 1			
11	400.000	233.000	0.00000	1 1 0 0 0 1			
12	400.000	250.000	0.00000	1 1 0 0 0 1			
13	0.00000	17.0000	40.0000				
14	0.00000	233.000	40.0000				
15	200.000	17.0000	40.0000				
16	200.000	233.000	40.0000				
17	400.000	17.0000	40.0000				
18	400.000	233.000	40.0000				
19	400.000	17.0000	114.000				
20	200.000	17.0000	114.000				



21	0.00000	17.0000	114.000	
22	400.000	233.000	240.000	
23	200.000	233.000	240.000	
24	0.00000	233.000	240.000	
25	400.000	-21.000	92.0000	
26	200.000	-21.000	92.0000	
27	0.00000	-21.000	92.0000	
28	400.000	271.000	262.000	
29	200.000	271.000	262.000	
30	0.00000	271.000	262.000	
31	400.000	125.000	177.000	
32	200.000	125.000	177.000	
33	0.00000	125.000	177.000	
34	200.000	17.0000	0.00000	1 1 0 0 0 1
35	200.000	0.00000	0.00000	1 1 0 0 0 1
36	100.000	17.0000	0.00000	1 1 0 0 0 1
37	100.000	0.00000	0.00000	1 1 0 0 0 1
38	0.00000	17.0000	0.00000	1 1 0 0 0 1
39	0.00000	0.00000	0.00000	1 1 0 0 0 1
40	400.000	17.0000	0.00000	1 1 0 0 0 1
41	400.000	0.00000	0.00000	1 1 0 0 0 1
42	300.000	17.0000	0.00000	1 1 0 0 0 1
43	300.000	0.00000	0.00000	1 1 0 0 0 1
44	200.000	17.0000	0.00000	1 1 0 0 0 1
45	200.000	0.00000	0.00000	1 1 0 0 0 1
46	200.000	233.000	0.00000	1 1 0 0 0 1
47	200.000	125.000	0.00000	1 1 0 0 0 1
48	200.000	17.0000	0.00000	1 1 0 0 0 1
49	100.000	233.000	0.00000	1 1 0 0 0 1
50	100.000	125.000	0.00000	1 1 0 0 0 1
51	100.000	17.0000	0.00000	1 1 0 0 0 1
52	0.00000	233.000	0.00000	1 1 0 0 0 1
53	0.00000	125.000	0.00000	1 1 0 0 0 1
54	0.00000	17.0000	0.00000	1 1 0 0 0 1
55	400.000	233.000	0.00000	1 1 0 0 0 1
56	400.000	125.000	0.00000	1 1 0 0 0 1
57	400.000	17.0000	0.00000	1 1 0 0 0 1
58	300.000	233.000	0.00000	1 1 0 0 0 1
59	300.000	125.000	0.00000	1 1 0 0 0 1
60	300.000	17.0000	0.00000	1 1 0 0 0 1
61	200.000	233.000	0.00000	1 1 0 0 0 1
62	200.000	125.000	0.00000	1 1 0 0 0 1
63	200.000	17.0000	0.00000	1 1 0 0 0 1
64	200.000	250.000	0.00000	1 1 0 0 0 1
65	200.000	233.000	0.00000	1 1 0 0 0 1
66	100.000	250.000	0.00000	1 1 0 0 0 1
67	100.000	233.000	0.00000	1 1 0 0 0 1
68	0.00000	250.000	0.00000	1 1 0 0 0 1
69	0.00000	233.000	0.00000	1 1 0 0 0 1
70	400.000	250.000	0.00000	1 1 0 0 0 1
71	400.000	233.000	0.00000	1 1 0 0 0 1
72	300.000	250.000	0.00000	1 1 0 0 0 1
73	300.000	233.000	0.00000	1 1 0 0 0 1
74	200.000	250.000	0.00000	1 1 0 0 0 1
75	200.000	233.000	0.00000	1 1 0 0 0 1
76	200.000	17.0000	40.0000	
77	200.000	17.0000	0.00000	1 1 0 0 0 1
78	100.000	17.0000	40.0000	
79	100.000	17.0000	0.00000	1 1 0 0 0 1
80	0.00000	17.0000	40.0000	
81	0.00000	17.0000	0.00000	1 1 0 0 0 1
82	400.000	17.0000	40.0000	
83	400.000	17.0000	0.00000	1 1 0 0 0 1
84	300.000	17.0000	40.0000	
85	300.000	17.0000	0.00000	1 1 0 0 0 1
86	200.000	17.0000	40.0000	
87	200.000	17.0000	0.00000	1 1 0 0 0 1
88	200.000	233.000	40.0000	
89	200.000	233.000	0.00000	1 1 0 0 0 1
90	100.000	233.000	40.0000	
91	100.000	233.000	0.00000	1 1 0 0 0 1
92	0.00000	233.000	40.0000	
93	0.00000	233.000	0.00000	1 1 0 0 0 1
94	400.000	233.000	40.0000	
95	400.000	233.000	0.00000	1 1 0 0 0 1
96	300.000	233.000	40.0000	
97	300.000	233.000	0.00000	1 1 0 0 0 1
98	200.000	233.000	40.0000	
99	200.000	233.000	0.00000	1 1 0 0 0 1

## Estremi e dati degli elementi

### Elementi tipo Beam

Beam	N1	N2	Direzione asse 2 ( n1 n2 )	Ang (°)
1	17	19	Asse +X 0	0 Sez.: tubolare [5x5 cm s=0.3 cm]
2	15	20	Asse +X 0	0 Sez.: tubolare [5x5 cm s=0.3 cm]
3	13	21	Asse +X 0	0 Sez.: tubolare [5x5 cm s=0.3 cm]
4	18	22	Asse +X 0	0 Sez.: tubolare [5x5 cm s=0.3 cm]
5	16	23	Asse +X 0	0 Sez.: tubolare [5x5 cm s=0.3 cm]
6	14	24	Asse +X 0	0 Sez.: tubolare [5x5 cm s=0.3 cm]
7	27	21	Asse -X 0	0 Sez.: tubolare [5x5 cm s=0.3 cm]
8	21	33	Asse -X 0	0 Sez.: tubolare [5x5 cm s=0.3 cm]
9	33	24	Asse -X 0	0 Sez.: tubolare [5x5 cm s=0.3 cm]
10	24	30	Asse -X 0	0 Sez.: tubolare [5x5 cm s=0.3 cm]
11	26	20	Asse -X 0	0 Sez.: tubolare [5x5 cm s=0.3 cm]
12	20	32	Asse -X 0	0 Sez.: tubolare [5x5 cm s=0.3 cm]
13	32	23	Asse -X 0	0 Sez.: tubolare [5x5 cm s=0.3 cm]
14	23	29	Asse -X 0	0 Sez.: tubolare [5x5 cm s=0.3 cm]
15	25	19	Asse -X 0	0 Sez.: tubolare [5x5 cm s=0.3 cm]
16	19	31	Asse -X 0	0 Sez.: tubolare [5x5 cm s=0.3 cm]
17	31	22	Asse -X 0	0 Sez.: tubolare [5x5 cm s=0.3 cm]
18	22	28	Asse -X 0	0 Sez.: tubolare [5x5 cm s=0.3 cm]
19	27	26	Asse +Y 0	0 Sez.: tubolare [5x5 cm s=0.3 cm]
20	26	25	Asse +Y 0	0 Sez.: tubolare [5x5 cm s=0.3 cm]
21	33	32	Asse +Y 0	0 Sez.: tubolare [5x5 cm s=0.3 cm]
22	32	31	Asse +Y 0	0 Sez.: tubolare [5x5 cm s=0.3 cm]
23	30	29	Asse +Y 0	0 Sez.: tubolare [5x5 cm s=0.3 cm]
24	29	28	Asse +Y 0	0 Sez.: tubolare [5x5 cm s=0.3 cm]

### Elementi tipo Asta

Truss	N1	N2	Direzione asse 2 ( n1 n2 )	Ang (°)
1	17	22	Asse -X 0	0 Sez.: cavo [Ø1 cm]
25	18	19	Asse -X 0	0 Sez.: cavo [Ø1 cm]
26	15	23	Asse -X 0	0 Sez.: cavo [Ø1 cm]
27	16	20	Asse -X 0	0 Sez.: cavo [Ø1 cm]
28	13	24	Asse -X 0	0 Sez.: cavo [Ø1 cm]
29	14	21	Asse -X 0	0 Sez.: cavo [Ø1 cm]

### Elementi tipo Shell

Shell	Tipo	N1	N2	N3	N4 (cm)	Materiale (cm)	Sm	Sf	Fase
11	S.Std+Drill	37	35	34	36	ClS C25/30	12	0	
12	S.Std+Drill	39	37	36	38	ClS C25/30	12	0	
13	S.Std+Drill	43	41	40	42	ClS C25/30	12	0	
14	S.Std+Drill	45	43	42	44	ClS C25/30	12	0	
15	S.Std+Drill	50	47	46	49	ClS C25/30	12	0	
16	S.Std+Drill	51	48	47	50	ClS C25/30	12	0	
17	S.Std+Drill	53	50	49	52	ClS C25/30	12	0	
18	S.Std+Drill	54	51	50	53	ClS C25/30	12	0	
19	S.Std+Drill	59	56	55	58	ClS C25/30	12	0	
20	S.Std+Drill	60	57	56	59	ClS C25/30	12	0	
21	S.Std+Drill	62	59	58	61	ClS C25/30	12	0	
22	S.Std+Drill	63	60	59	62	ClS C25/30	12	0	
23	S.Std+Drill	67	65	64	66	ClS C25/30	12	0	
24	S.Std+Drill	69	67	66	68	ClS C25/30	12	0	
25	S.Std+Drill	73	71	70	72	ClS C25/30	12	0	
26	S.Std+Drill	75	73	72	74	ClS C25/30	12	0	
27	S.Std+Drill	79	77	76	78	ClS C25/30	14	0	
28	S.Std+Drill	81	79	78	80	ClS C25/30	14	0	
29	S.Std+Drill	85	83	82	84	ClS C25/30	14	0	
30	S.Std+Drill	87	85	84	86	ClS C25/30	14	0	
31	S.Std+Drill	91	89	88	90	ClS C25/30	14	0	
32	S.Std+Drill	93	91	90	92	ClS C25/30	14	0	
33	S.Std+Drill	97	95	94	96	ClS C25/30	14	0	
34	S.Std+Drill	99	97	96	98	ClS C25/30	14	0	

### Elementi tipo piastra alla Winkler

Shell	Kw (N/mm²)	mpK	Fase
11	0.050000	1	
12	0.050000	1	
13	0.050000	1	
14	0.050000	1	
15	0.050000	1	
16	0.050000	1	

17	0.050000	1
18	0.050000	1
19	0.050000	1
20	0.050000	1
21	0.050000	1
22	0.050000	1
23	0.050000	1
24	0.050000	1
25	0.050000	1
26	0.050000	1

### Caratteristiche geometriche elementi strutturali

	A (cm <sup>2</sup> )	I 22* (cm <sup>4</sup> )	I 33* (cm <sup>4</sup> )	I 23* (cm <sup>4</sup> )	I 44 (cm <sup>4</sup> )	I 55 (cm <sup>4</sup> )	$\theta$ (°)	i 22* (cm)
	i 33* (cm)	i 44 (cm)	i 55 (cm)	J T (cm <sup>4</sup> )	AT2 (cm <sup>2</sup> )	AT3 (cm <sup>2</sup> )	qp (KN/m)	
<b>Nome Sezione: cavo [Ø1 cm]</b>								
	0.50265482	0.020106221	0.020106221	0.000000000	0.020106221	0.020106221	90.00000000	0.200000139
	0.200000138	0.200000138	0.200000139	0.040212330	0.000000000	0.000000000	0.0039458	
<b>Nome Sezione: tubolare [5x5 cm s=0.3 cm]</b>								
	5.64000000	20.84920000	20.84920000	0.000000000	20.84920000	20.84920000	0.000000000	1.922671752
	1.922671752	1.922671752	1.922671752	38.02438120	0.000000000	0.000000000	0.0442740	

#### **Sezione: cavo [Ø1 cm] - Sezione Base**

Poligonale n°1

Caratteristiche poligonale: chiusa, strutturale, piena

Coefficiente di Omog.: 1

Materiale Poligonale: S 275

#### **Sezione: tubolare [5x5 cm s=0.3 cm] - Sezione Base**

Poligonale n°1

Caratteristiche poligonale: chiusa, strutturale, piena

Coefficiente di Omog.: 1

Materiale Poligonale: S 275

### 2.7.4 – Modellazione dei vincoli interni ed esterni

Relativamente ai vincolamenti interni ed esterni adottati per il calcolo della struttura, vista la particolare conformazione della stessa, non si è considerato alcun tipo di vincolamento interno; mentre esternamente si è proceduto con l'inserimento di vincoli legati alla modellazione della tipologia di terreno fondale.

In particolare, si è considerato di porre il corpo di fabbrica su un terreno tipo alla Winkler avente un modulo di elasticità pari a  $K = 0.05 \text{ kN/cm}^2$ ; assunzioni fatte in conformità a quanto riportato all'interno della relazione geologica e geotecnica.

Inoltre, tutti i nodi posti in fondazione sono stati ulteriormente vincolati esternamente tramite l'inserimento di limitazione di spostamenti sono le direzioni X e Y oltre all'impedimento di ruotare attorno all'asse Z verticale.

### 2.7.5 – Modellazioni delle azioni

I carichi vengono descritti da una o più successioni di punti notevoli, tra i quali viene effettuata una interpolazione lineare.

Beam = Numero dell'Elemento Beam

CdC = Condizione di Carico Elementare a cui appartiene il Carico

Dist = distanza dal primo nodo Beam del punto di definizione carico

Tipo = Può assumere i seguenti valori:

-Inizio indica l'inizio della serie di punti

-Fine indica la fine della serie di punti

Per punti intermedi non viene data nessuna indicazione

qX = valore del carico distribuito in direzione globale X

qY = valore del carico distribuito in direzione globale Y

qZ = valore del carico distribuito in direzione globale Z

Beam	Tipo	Dist (m)	qX (KN/m)	qY (KN/m)	qZ (KN/m)
19	CdC n° 1				
	Inizio	0	0.	0.	-0.42235
	Fine	2	0.	0.	-0.42235
20	CdC n° 1				
	Inizio	0	0.	0.	-0.42235
	Fine	2	0.	0.	-0.42235
21	CdC n° 1				
	Inizio	0	0.	0.	-0.84470
	Fine	2	0.	0.	-0.84470
22	CdC n° 1				
	Inizio	0	0.	0.	-0.84470
	Fine	2	0.	0.	-0.84470
23	CdC n° 1				
	Inizio	0	0.	0.	-0.42235
	Fine	2	0.	0.	-0.42235
24	CdC n° 1				
	Inizio	0	0.	0.	-0.42235
	Fine	2	0.	0.	-0.42235
19	CdC n° 3				
	Inizio	0	0.	0.369750	0.
	Fine	2	0.	0.369750	0.
20	CdC n° 3				
	Inizio	0	0.	0.369750	0.
	Fine	2	0.	0.369750	0.
21	CdC n° 3				
	Inizio	0	0.	0.739500	0.
	Fine	2	0.	0.739500	0.
22	CdC n° 3				
	Inizio	0	0.	0.739500	0.
	Fine	2	0.	0.739500	0.
23	CdC n° 3				
	Inizio	0	0.	0.369750	0.
	Fine	2	0.	0.369750	0.
24	CdC n° 3				
	Inizio	0	0.	0.369750	0.
	Fine	2	0.	0.369750	0.

## 2.7.6 – Combinazioni e/o percorsi di carico

Per ciascuna Condizione di Carico di Involuppo vengono riportate le reazioni vincolari involuppate nei nodi vincolati

N = Numero del Nodo

CdC = Condizione di Carico di Involuppo

Rx = Forza in direzione X

Ry = Forza in direzione Y

Rz = Forza in direzione Z

Mx = Momento attorno all'asse X

My = Momento attorno all'asse Y

Mz = Momento attorno all'asse Z

Tipologia delle condizioni di carico:

**-Permanente:** la CdC elementare è sempre presente nell'involuppo.

**-Variabile:** le sollecitazioni della CdC elementare sono sommate solo se la componente considerata (Rx, Ry, Rz, ...) è a sfavore, diminuendo il valore finale se si cerca il minimo, aumentando il valore finale se si cerca il massimo.

**-Variabile non Contemporanea:** analoga alla Variabile ma vengono sommate le sollecitazioni della CdC più gravosa, per la componente in esame, fra tutte quelle che appartengono allo stesso gruppo (colonna grp).

**-Permanente non Contemporanea:** analoga alle var. non contemporanea con la differenza che le sollecitazioni di almeno una CdC dello stesso gruppo vengono sommate indipendentemente se più o meno gravose per la componente in esame

**-Variabile Contemporanea:** le sollecitazioni della CdC elementare sono sommate insieme a tutte quelle Variabili Contemporanee che appartengono allo stesso gruppo (colonna grp) solo se applicandole tutte assieme vanno a sfavore diminuendo il valore finale se si cerca il minimo, aumentando il valore finale se si cerca il massimo.

Sono di seguito elencati i risultati dei seguenti involuppi:

- ~SL08 GEO
- ~SL08 SLE caratt.
- ~SL08 SLE freq.
- ~SL08 SLE q.perm.
- ~SL08 STR SLV

## DESCRIZIONE INVILUPPO “~SL08 GEO”

Agisce su tutte le entità del modello.

Condizioni di involuppo automatiche

n°CdC o Involuppo	Nome CdC o Involuppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Max	Molt.Min
Involuppo	~SL08 GEO_1	Perm.non Contemp.	1	1	1
Involuppo	~SL08 GEO_2	Perm.non Contemp.	1	1	1
Involuppo	~SL08 SLU Sism. Orizz._1	Perm.non Contemp.	1	1	1
Involuppo	~SL08 SLU Sism. Orizz._2	Perm.non Contemp.	1	1	1

Descrizione degli involuppi contenuti nell'involuppo “~SL08 GEO”

Descrizione involuppo “~SL08 GEO\_1”:

n°CdC o Involuppo	Nome CdC o Involuppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Max	Molt.Min
CdC elem. 1St	permanente	Permanente		1	1
CdC elem. 2St	neve	Variabile		1.3	0
CdC elem. 3St	Vento +y	Var.non Contemp.	1	0.78	0
CdC elem. 4St	Vento -y	Var.non Contemp.	1	0.78	0

Descrizione involuppo “~SL08 GEO\_2”:

n°CdC o Involuppo	Nome CdC o Involuppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Max	Molt.Min
CdC elem. 1St	permanente	Permanente		1	1
CdC elem. 2St	neve	Variabile		0.65	0
CdC elem. 3St	Vento +y	Var.non Contemp.	1	1.3	0
CdC elem. 4St	Vento -y	Var.non Contemp.	1	1.3	0

Descrizione involuppo “~SL08 SLU Sism. Orizz.\_1”:

n°CdC o Involuppo	Nome CdC o Involuppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Max	Molt.Min
CdC elem. 1St	permanente	Permanente		1	1
CdC elem. 2St	neve	Variabile		0	0
CdC elem. 5Dy	Sisma SLV X Dx	Var.non Contemp.	2	1	-1
CdC elem. 6Dy	Sisma SLV X Sx	Var.non Contemp.	2	1	-1
CdC elem. 7Dy	Sisma SLV Y Dx	Var.non Contemp.	3	0.3	-0.3
CdC elem. 8Dy	Sisma SLV Y Sx	Var.non Contemp.	3	0.3	-0.3

Descrizione involuppo “~SL08 SLU Sism. Orizz.\_2”:

n°CdC o Involuppo	Nome CdC o Involuppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Max	Molt.Min
CdC elem. 1St	permanente	Permanente		1	1
CdC elem. 2St	neve	Variabile		0	0
CdC elem. 5Dy	Sisma SLV X Dx	Var.non Contemp.	2	0.3	-0.3
CdC elem. 6Dy	Sisma SLV X Sx	Var.non Contemp.	2	0.3	-0.3
CdC elem. 7Dy	Sisma SLV Y Dx	Var.non Contemp.	3	1	-1
CdC elem. 8Dy	Sisma SLV Y Sx	Var.non Contemp.	3	1	-1

## DESCRIZIONE INVILUPPO “~SL08 SLE CARATT.”

Agisce su tutte le entità del modello.

Condizioni di involuppo automatiche

n°CdC o Involuppo	Nome CdC o Involuppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Max	Molt.Min
Involuppo	~SL08 SLE caratt._1	Perm.non Contemp.	1	1	1
Involuppo	~SL08 SLE caratt._2	Perm.non Contemp.	1	1	1

Descrizione degli involuipi contenuti nell'involuppo “~SL08 SLE caratt.”

Descrizione involuppo “~SL08 SLE caratt.\_1”:

n°CdC o Involuppo	Nome CdC o Involuppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Max	Molt.Min
CdC elem. 1St	permanente	Permanente		1	1
CdC elem. 2St	neve	Variabile		1	1
CdC elem. 3St	Vento +y	Var.non Contemp.	1	0.6	0.6
CdC elem. 4St	Vento -y	Var.non Contemp.	1	0.6	0.6

Descrizione involuppo “~SL08 SLE caratt.\_2”:

n°CdC o Involuppo	Nome CdC o Involuppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Max	Molt.Min
CdC elem. 1St	permanente	Permanente		1	1
CdC elem. 2St	neve	Variabile		0.5	0.5
CdC elem. 3St	Vento +y	Var.non Contemp.	1	1	1
CdC elem. 4St	Vento -y	Var.non Contemp.	1	1	1

#### DESCRIZIONE INVILUPPO “~SL08 SLE FREQ.”

Agisce su tutte le entità del modello.

Condizioni di involuppo automatiche

n°CdC o Involuppo	Nome CdC o Involuppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Max	Molt.Min
Involuppo	~SL08 SLE freq._1	Perm.non Contemp.	1	1	1
Involuppo	~SL08 SLE freq._2	Perm.non Contemp.	1	1	1

Descrizione degli involuipi contenuti nell'involuppo “~SL08 SLE freq.”

Descrizione involuppo “~SL08 SLE freq.\_1”:

n°CdC o Involuppo	Nome CdC o Involuppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Max	Molt.Min
CdC elem. 1St	permanente	Permanente		1	1
CdC elem. 2St	neve	Variabile		0.2	0.2
CdC elem. 3St	Vento +y	Var.non Contemp.	1	0	0
CdC elem. 4St	Vento -y	Var.non Contemp.	1	0	0

Descrizione involuppo “~SL08 SLE freq.\_2”:

n°CdC o Involuppo	Nome CdC o Involuppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Max	Molt.Min
CdC elem. 1St	permanente	Permanente		1	1
CdC elem. 2St	neve	Variabile		0	0
CdC elem. 3St	Vento +y	Var.non Contemp.	1	0.2	0.2
CdC elem. 4St	Vento -y	Var.non Contemp.	1	0.2	0.2

#### DESCRIZIONE INVILUPPO “~SL08 SLE Q.PERM.”

Agisce su tutte le entità del modello.

Condizioni di involuppo automatiche

n°CdC o Involuppo	Nome CdC o Involuppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Max	Molt.Min
CdC elem. 1St	permanente	Permanente		1	1
CdC elem. 2St	neve	Variabile		0	0
CdC elem. 3St	Vento +y	Var.non Contemp.	1	0	0
CdC elem. 4St	Vento -y	Var.non Contemp.	1	0	0

#### DESCRIZIONE INVILUPPO “~SL08 STR SLV”

Agisce su tutte le entità del modello.

Condizioni di involuppo automatiche

n°CdC o Involuppo	Nome CdC o Involuppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Max	Molt.Min
Involuppo	~SL08 STR SLV_1	Perm.non Contemp.	1	1	1
Involuppo	~SL08 STR SLV_2	Perm.non Contemp.	1	1	1
Involuppo	~SL08 SLU Sism. Orizz._1	Perm.non Contemp.	1	1	1
Involuppo	~SL08 SLU Sism. Orizz._2	Perm.non Contemp.	1	1	1

Descrizione degli involuipi contenuti nell'involuppo “~SL08 STR SLV”

Descrizione inviluppo “~SL08 STR SLV\_1”:

n°CdC o Inviluppo	Nome CdC o Inviluppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Max	Molt.Min
CdC elem. 1St	permanente	Permanente		1.3	1
CdC elem. 2St	neve	Variabile		1.5	0
CdC elem. 3St	Vento +y	Var.non Contemp.	1	0.9	0
CdC elem. 4St	Vento -y	Var.non Contemp.	1	0.9	0

Descrizione inviluppo “~SL08 STR SLV\_2”:

n°CdC o Inviluppo	Nome CdC o Inviluppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Max	Molt.Min
CdC elem. 1St	permanente	Permanente		1.3	1
CdC elem. 2St	neve	Variabile		0.75	0
CdC elem. 3St	Vento +y	Var.non Contemp.	1	1.5	0
CdC elem. 4St	Vento -y	Var.non Contemp.	1	1.5	0

Descrizione inviluppo “~SL08 SLU Sism. Orizz.\_1”:

n°CdC o Inviluppo	Nome CdC o Inviluppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Max	Molt.Min
CdC elem. 1St	permanente	Permanente		1	1
CdC elem. 2St	neve	Variabile		0	0
CdC elem. 5Dy	Sisma SLV X Dx	Var.non Contemp.	2	1	-1
CdC elem. 6Dy	Sisma SLV X Sx	Var.non Contemp.	2	1	-1
CdC elem. 7Dy	Sisma SLV Y Dx	Var.non Contemp.	3	0.3	-0.3
CdC elem. 8Dy	Sisma SLV Y Sx	Var.non Contemp.	3	0.3	-0.3

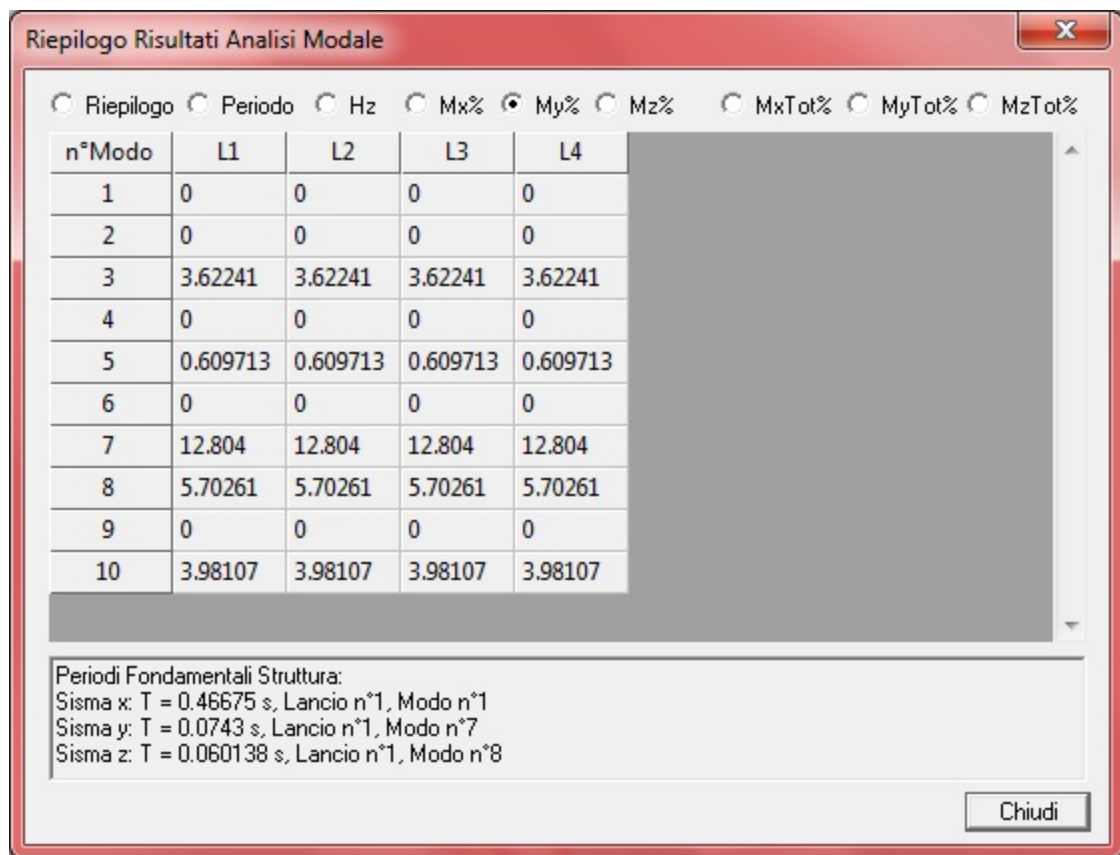
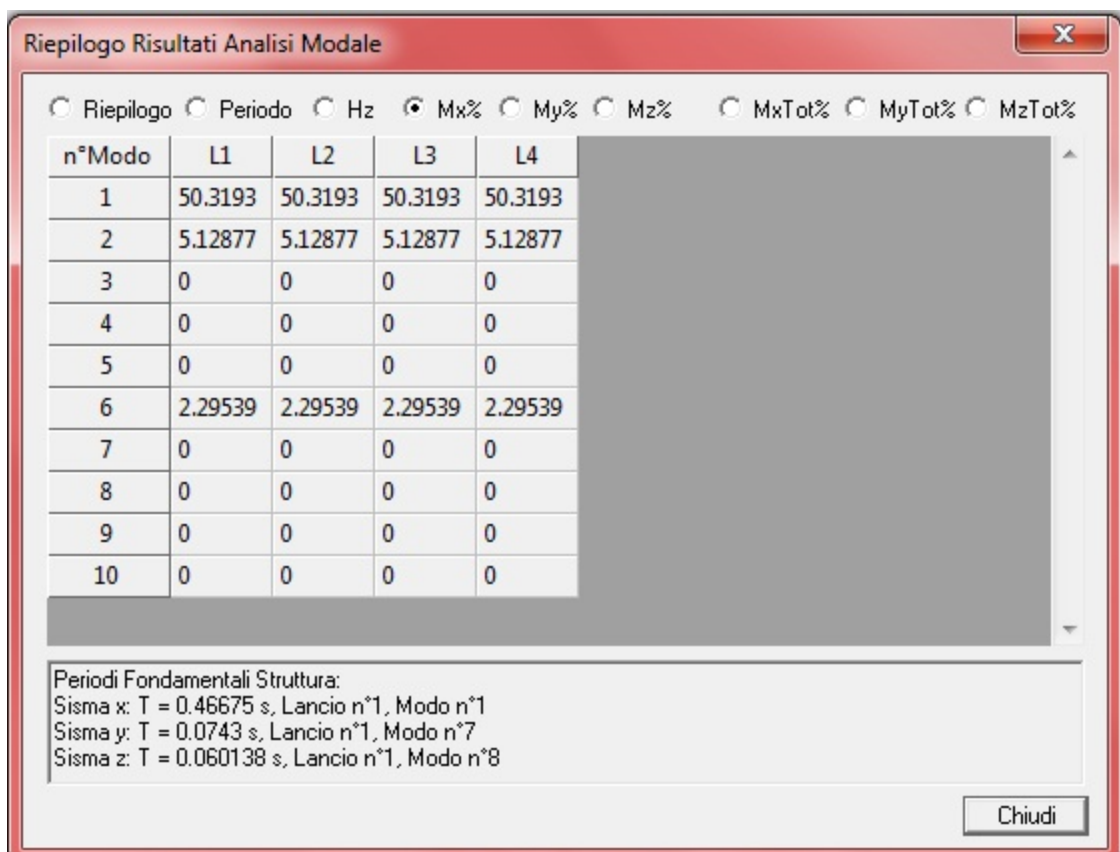
Descrizione inviluppo “~SL08 SLU Sism. Orizz.\_2”:

n°CdC o Inviluppo	Nome CdC o Inviluppo	Tipologia	Gruppo	Molt.Max	Molt.Min
CdC elem. 1St	permanente	Permanente		1	1
CdC elem. 2St	neve	Variabile		0	0
CdC elem. 5Dy	Sisma SLV X Dx	Var.non Contemp.	2	0.3	-0.3
CdC elem. 6Dy	Sisma SLV X Sx	Var.non Contemp.	2	0.3	-0.3
CdC elem. 7Dy	Sisma SLV Y Dx	Var.non Contemp.	3	1	-1
CdC elem. 8Dy	Sisma SLV Y Sx	Var.non Contemp.	3	1	-1

## 2.8 – Principali risultati

### 2.8.1 – Risultati dell'analisi modale

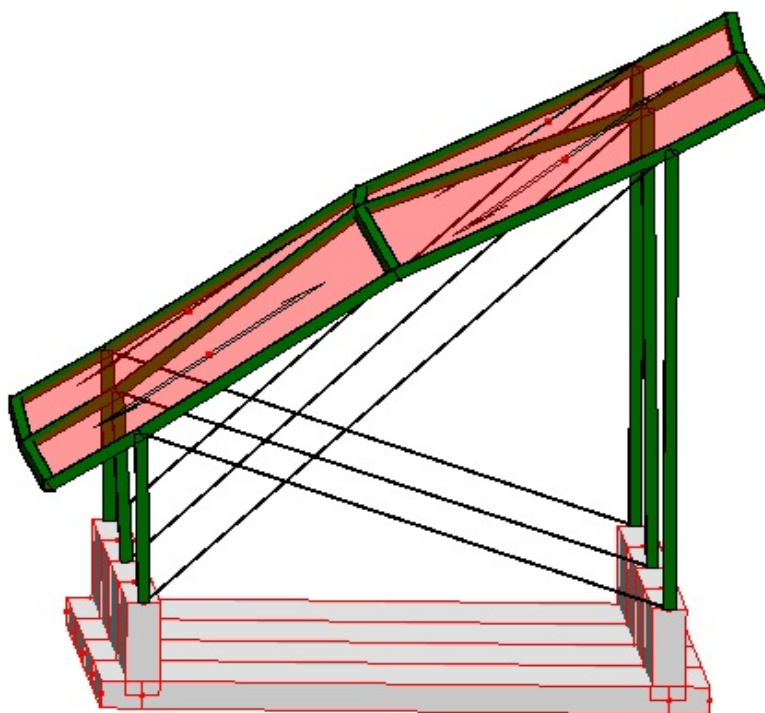
Di seguito vengono riportate i risultati dell'analisi modale eseguita e in particolare la percentuale di masse movimentate per ogni modo di vibrare considerato in ogni direzione principale



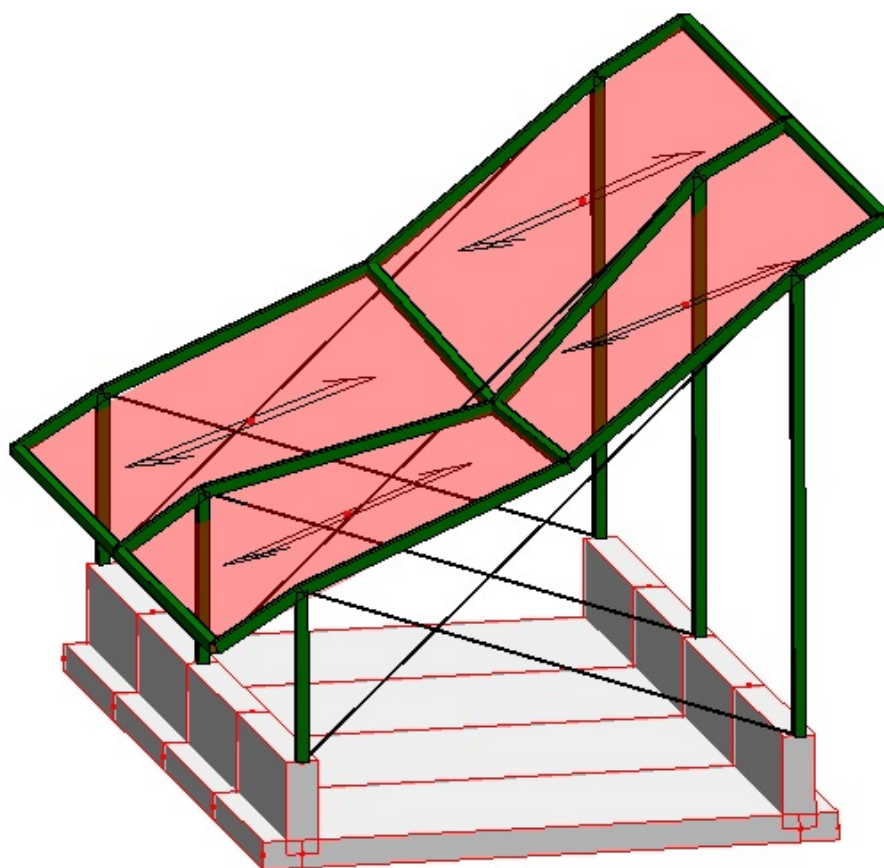
Non si è deciso di procedere con l'indagine di ulteriori modi di vibrare in quanto oltre ai pesi propri e portati, risultano come unica forza sollecitante variabile la sola azione del vento e neve e quindi non influenti ai fini sismici.



### 2.8.2 – Deformate e sollecitazioni per condizioni di carico



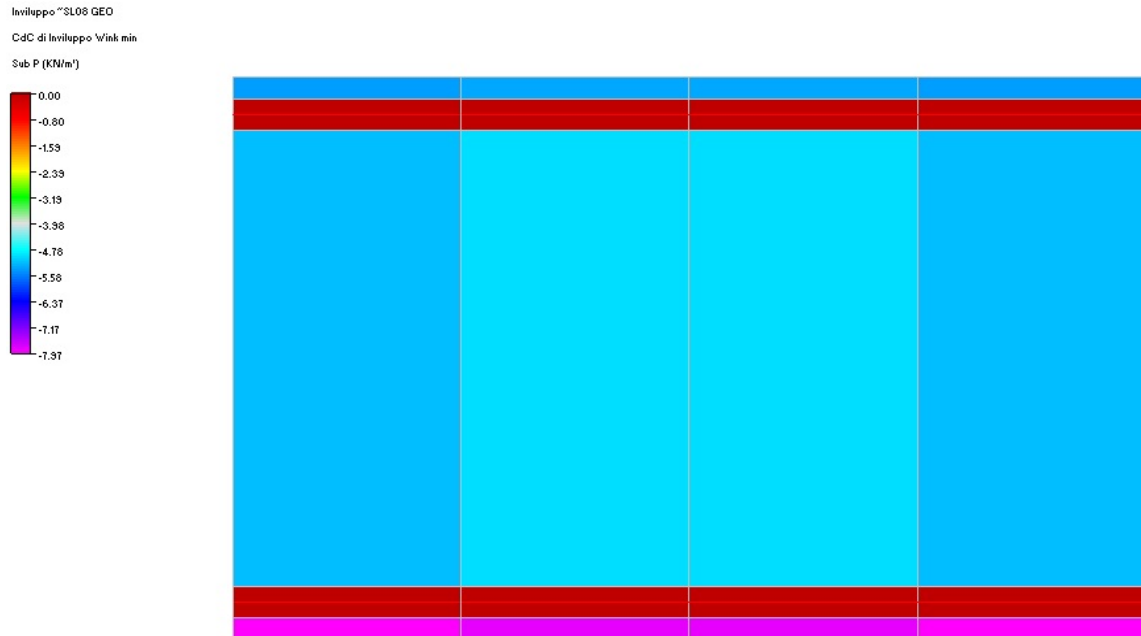
Vista della deformazione, amplificata, attesa sotto l'azione del vento posto in direzione -y



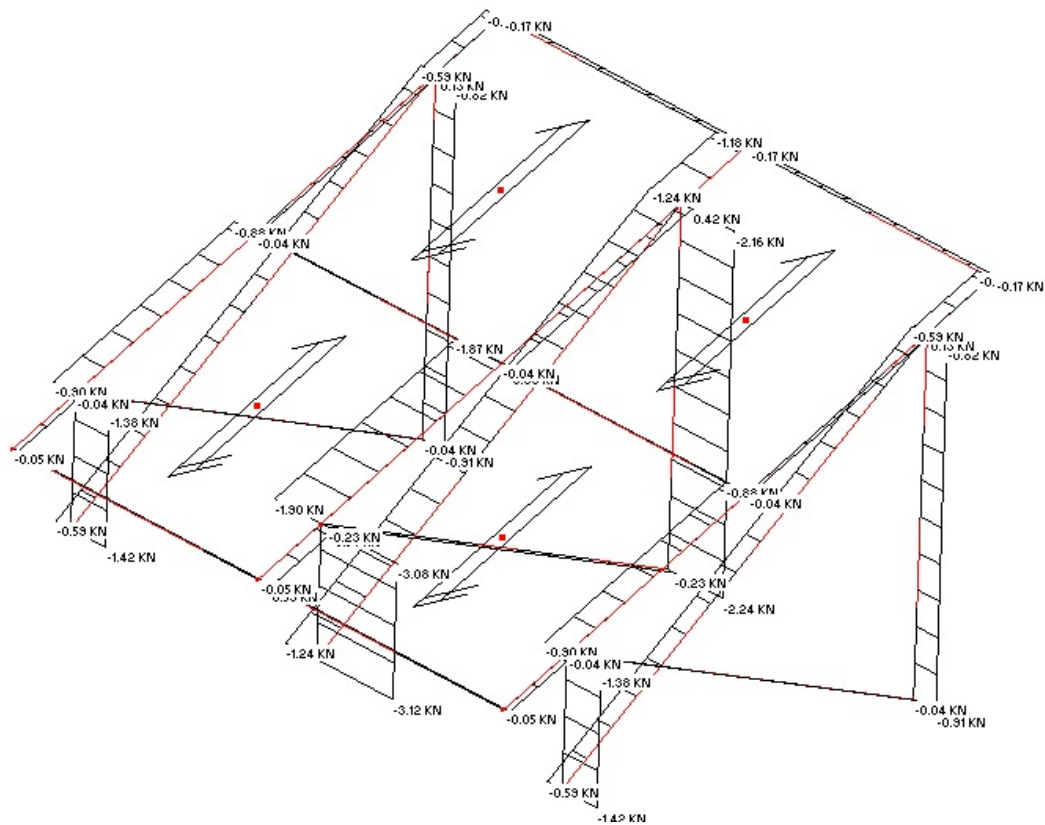
Vista della deformazione, amplificata, attesa sotto l'azione dei pesi propri e portati

Per semplicità si preferisce riportare una visualizzazione delle sollecitazioni direttamente nel paragrafo successivo

### 2.8.3 – Involuppo delle sollecitazioni maggiormente significative



Visualizzazione delle pressioni massime al suolo nella condizione geotecnica combinazione 2



Visualizzazione degli sforzi massimi di compressione nelle aste agli SLE



Mz max 11 -0.23581 0.871051 0.000000 0.000000 0.000000 0.120900

Delle precedenti tabelle, si prendono le due condizioni peggiori e si va a valutare in modo autonomo il coefficiente allo scorrimento della struttura in condizioni di vento

### 2.8.5– Altri risultati significativi

Di seguito si riporta il calcolo della base fondale in relazione alla possibilità di scorrimento della struttura fondale sul piano di posa della stessa; fenomeno che potrebbe verificarsi in quanto le strutture progettate risultano semplicemente appoggiate e non rese solidali con il terreno sottostante.

In relazione a quanto riportato nel precedente paragrafo 2.8.4, la somma totale di tutte le forze orizzontali risulta di 6,22kN nella condizione geotecnica e .7,71kN agli SLV.

Considerando un peso totale dovuto dalla presenza dei pannelli fotovoltaici e delle strutture metalliche pari a 7kN, un peso dovuto dalla struttura di fondazione pari a 38,95kN; considerando di eseguire un riempimento di terreno all'interno della vasca della struttura di fondazione per un'altezza pari a 24cm, si avrà un'ulteriore carico stabilizzante pari a 38,26kN, il carico verticale totale risulta pari a  $7+38,95+38,26 = 84,21$  kN.

Considerando un coefficiente di attrito terreno-fondazione pari 0,1, la verifica allo scorrimento risulta essere:

$(84,21 \cdot 0,1) / 6,22 = 1,35$ , quindi verificata.

Si considera solo la verifica rispetto alla condizione geotecnica in quanto non si sono fattorizzati i valori dei pesi verticali agenti; tale assunzione risulta plausibile in relazione anche in relazione al valore del coefficiente di scorrimento ottenuto

## 2.9 – Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

In relazione a quanto precedentemente riportato, si ritiene che i valori restituiti dal programma di calcolo accettabili e coerenti con quanto atteso in fase di progettazione preliminare.

Infatti si sono riscontrate deformazioni e sollecitazioni coerenti per ordine di grandezza e direzione alle azioni sollecitanti assegnate.

Non si è quindi voluto procedere a una verifica puntuale di quanto restituito, ma si è scelto di procedere direttamente alla verifica dei singoli elementi.

## 2.10 – Verifiche agli stati limite ultimi

Di seguito si riportano in modo tabellare il gruppo di sollecitazioni agenti sulle aste agli SLV, per ogni combinazione di carico.

### Tubolare in acciaio 50x50x2,9

Valori massimi di sollecitazione rilevati per l'involuppo Beam\Truss ~SL08 STR SLV

Tipo n°Asta	Tipo Asta	X (cm)	N ( KN)	T12 ( KN)	T13 ( KN)	MT ( KNm)	M12 ( KNm)	M13 ( KNm)	
N min	2	Beam	0.00	-4.24	0.00	0.54	0.00	0.00	-0.24
N max	11	Beam	43.91	1.69	0.00	-0.61	0.00	0.00	-0.24
T12 min	21	Beam	200.00	-0.01	-1.15	-0.95	-0.00	-0.39	-0.33
T12 max	22	Beam	0.00	-0.01	1.15	0.95	0.00	-0.39	-0.33
T13 min	21	Beam	200.00	-0.05	0.02	-1.26	-0.00	-0.02	-0.40
T13 max	14	Beam	0.00	-0.66	0.00	1.29	0.00	0.00	-0.53
Mt min	7	Beam	0.00	0.31	0.12	-0.44	-0.15	0.17	-0.01
Mt max	15	Beam	0.00	0.31	-0.12	-0.44	0.15	-0.17	-0.01
M12 min	21	Beam	200.00	-0.02	-1.14	-1.24	-0.00	-0.40	-0.42
M12 max	3	Beam	74.00	-1.19	0.37	0.13	0.05	0.28	0.07
M13 min	12	Beam	0.00	-0.77	0.00	1.18	0.00	0.00	-0.70

M13 max 12 Beam 125.03 -0.73 0.00 1.11 0.00 0.00 0.74

---- Combinazioni di Carico ----

N min Comb: 1.3;0;0;1.5;

N max Comb: 1.3;0;0;1.5;

T12 min Comb: 1;0;0;1.5;

T12 max Comb: 1;0;0;1.5;

T13 min Comb: 1.3;

T13 max Comb: 1.3;

Mt min Comb: 1;0;0;0;0;0;0;-1;0;0.3;

Mt max Comb: 1;0;0;0;0;0;0;1;0;0.3;

M12 min Comb: 1.3;0;0;1.5;

M12 max Comb: 1;0;0;0;0;0;0;-1;0;0.3;

M13 min Comb: 1.3;

M13 max Comb: 1.3;

Da cui si nota che le combinazioni di sollecitazioni maggiormente significative risultano essere quelle Nmin e M12min

Relativamente alla combinazione Nmin

Compressione			
Ned	Azione di calcolo	424	Ned
NcRd	Azione caratteristica	14771,43	
			NtRd
			0,03 ok se<1
		A	Area lorda
		5,64	
		$\gamma_{MO}$	1,05
		$f_{yk}$	2750

Flessione retta			
Med	Azione di calcolo	2400	
McRd	Azione caratteristica	21842,86	
			Med 0,11 ok se <1
			McRd
Classe 1 e 2			
McRd	$\frac{W_{pl} \cdot f_{yk}}{\gamma_{MO}}$	21842,86	
			Wpl resistenza plastica 8,34
			Wel,min resistenza elastico 8,34
			$\gamma_{MO}$ 1,05
			f <sub>yk</sub> 2750
Classe 3			
McRd	$\frac{W_{el,min} \cdot f_{yk}}{\gamma_{MO}}$	21842,86	
In presenza di bulloni verificare che			
	$\frac{0.9 \cdot A_{f,net} \cdot f_{tk}}{\gamma_{M2}}$	18023,14	
			1,22 ok se >1
	$\frac{A_f \cdot f_{yk}}{\gamma_{MO}}$	14771,43	
			A <sub>f</sub> Area lorda 5,64
			A <sub>f,net</sub> Area netta 4,89
			$\gamma_{MO}$ 1,05
			$\gamma_{M2}$ 1,05
			f <sub>yk</sub> 2750
			f <sub>tk</sub> 4300

Taglio			
Ved	Azione di calcolo	54	
VcRd	Azione caratteristica	4264,14	
			Ved 0,01 ok se <1
			VcRd
In assenza di Torsione			
VcRd	$\frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{MO}}$	4264,14	
			b larghezza ali e base 5
			h altezza rettangolo 5
			t <sub>f</sub> spessore ali 0,29
			t <sub>w</sub> spessore anima 0,29
			h <sub>w</sub> altezza anima 0
			r raggio raccordo 0
			A area lorda 5,64
			$\gamma_{MO}$ 1,05
			f <sub>yk</sub> 2750
Profilati rettangolari cavi carico nel piano altezza			
A <sub>v</sub>	$\frac{A \cdot h}{b+h}$	2,82	

Da cui si evince che la verifica a compressione risulta ampiamente verificata e che le sollecitazioni a taglio e momento risultano poco significative

Relativamente alla combinazione M12min

Compressione

Ned	Azione di calcolo	2	Ned	0 ok se<1
NcRd	Azione caratteristica	14771,43	NtRd	

A	Area lorda	5,64
$\gamma_{MO}$		1,05
$f_{yk}$		2750

Flessione retta

Med	Azione di calcolo	4200
McRd	Azione caratteristica	21842,86

Med	0,19 ok se<1
McRd	

Classe 1 e 2

McRd	$\frac{W_{pl} \cdot f_{yk}}{\gamma_{MO}}$	21842,86
------	---	----------

Wpl	resistenza plastica	8,34
Wel,min	resistenza elastico	8,34
$\gamma_{MO}$		1,05
$f_{yk}$		2750

Classe 3

McRd	$\frac{W_{el,min} \cdot f_{yk}}{\gamma_{MO}}$	21842,86
------	---	----------

In presenza di bulloni verificare che

$\frac{0.9 \cdot A_{f,net} \cdot f_{tk}}{\gamma_{M2}}$	18023,14
	1,22 ok se>1
$\frac{A_f \cdot f_{yk}}{\gamma_{MO}}$	14771,43

Af	Area lorda	5,64
Af,net	Area netta	4,89
$\gamma_{MO}$		1,05
$\gamma_{M2}$		1,05
$f_{yk}$		2750
$f_{tk}$		4300

Taglio

Ved	Azione di calcolo	238
VcRd	Azione caratteristica	4264,14

In assenza di Torsione

VcRd	$\frac{A_w \cdot f_{yk}}{\alpha_{\text{radq}}(3) \cdot \gamma_{MO}}$	4264,14
------	--	---------

Profilati rettangolari cavi carico nel piano altezza

Av	$\frac{A \cdot h}{b+h}$	2,82
----	-------------------------	------

Ved	0,06 ok se<1
VcRd	

b	larghezza ali e base	5
h	altezza rettangolo	5
tf	spessore ali	0,29
tw	spessore anima	0,29
hw	altezza anima	0
r	raggio raccordo	0
A	area lorda	5,64
$\gamma_{MO}$		1,05
f <sub>yk</sub>		2750

<b>Presso/tenso -flessione biassiale</b>					
Ned	Azione di calcolo	2			
NtRd	Azione con sezione indebolita	14771,43			
Med,z	Azione di calcolo dirz	4200			
MN,Rcd,z	Azione caratteristica dirz	21842,86			
Med,y	Azione di calcolo diry	4000			
MN,Rcd,y	Azione caratteristica diry	21842,86			
			se n<0.2		
n =	$\frac{Ned}{NtRd}$	0	$\frac{Med,y}{MN,Rcd,y}$	+	$\frac{Med,z}{MN,Rcd,z}$
					0,38 ok se<1

Anche in condizioni di flessione biassiale il tubolare risulta ampiamente verificato.

### Cavo di controvento Ø10

Valori massimi di sollecitazione rilevati per l'involuppo Beam\Truss ~SL08 STR SLV

Tipo	n°Asta	Tipo Asta	X (cm)	N (KN)	T12 (KN)	T13 (KN)	MT (KNm)	M12 (KNm)	M13 (KNm)
N min	26	Truss	0.00	-1.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
N max	27	Truss	0.00	2.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

---- Combinazioni di Carico ----

N min Comb: 1;0;0;1.5;

N max Comb: 1;0;0;1.5;

Relativamente alla combinazione Nmax



Trazione			
Ned	Azione di calcolo	289	
NtRd	Azione con sezione indebolita	2055,95	
Ned			0,14 ok se <1
NtRd			
Minimo tra			
NplRd	$\frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$	2055,95	
NuRd	$\frac{0.9 \cdot A_{net} \cdot f_{tk}}{\gamma_{M2}}$	2893,29	
$\frac{NplRd}{NuRd}$		0,71 ok se <1	
A	Area lorda	0,79	
A <sub>net</sub>	Area netta	0,79	
$\gamma_{M0}$		1,05	
$\gamma_{M2}$		1,05	
f <sub>yk</sub>		2750	
f <sub>tk</sub>		4300	

## 2.11 – Verifiche agli stati limite di esercizio

Relativamente alle strutture in progetto, le uniche verifiche plausibili per gli stati limite di esercizio, risultano quelle sulla deformabilità degli elementi.

In relazione a quanto già riportato ai paragrafi precedenti attraverso tabelle e visualizzazioni grafiche, le deformazioni delle strutture ipotizzate risultano influenti.

### 3 – RELAZIONE SUI MATERIALI

#### 3.1 – Elenco dei materiali impiegati e loro modalità di posa in opera

Nel presente progetto si utilizzano principalmente tre tipologie di materiale:

- calcestruzzo CIs C25/30 per la struttura di fondazione
- acciaio in barre B450C per l'armatura della struttura di fondazione
- acciaio S275 per tutte le strutture in carpenteria metallica

#### 3.2 – Valori di calcolo

Di seguito si riportano in modo esemplificativo e tabellare le caratteristiche dei materiali.

ID = numero identificativo del materiale

E = Modulo di Elasticità

$\nu$  = Coefficiente di Poisson

G = Modulo di Elasticità Tangenziale

Ps = Peso specifico

$\alpha$  = Coefficiente di Dilatazione Termica

$f_{yk}$  = Tensione caratteristica di snervamento

$f_u$  = Resistenza ultima a trazione

$R_{ck}$  = Resistenza caratteristica cubica di compressione del calcestruzzo

$f_{ck}$  = Resistenza caratteristica cilindrica di compressione del calcestruzzo

$f_{ctk}$  = Resistenza caratteristica di trazione del calcestruzzo

$f_{ctm}$  = Resistenza media di trazione del calcestruzzo

$f_{te,eff}$  = Resistenza media di trazione efficace del calcestruzzo al momento in cui si suppone insorgere le primarie fessure

$\gamma_{m,c}$  = Coeff.parziale materiale per resistenza a SLU per compressione

$\gamma_{m,t}$  = Coeff.parziale materiale per resistenza a SLU per trazione

$\gamma_{m,ecc}$  = Coeff.parziale materiale per resistenza a SLU per situazioni eccezionali

$\gamma_c$  = Coeff.parziale materiale per resistenza a SLU per compressione del calcestruzzo

$f_y$  = Tensione di snervamento acciaio per spessori minori o uguali a 40mm

$f_{y1}$  = tensione di snervamento acciaio per spessori maggiori di 40mm

$\gamma_{M0,c}$  = Coeff.parziale materiale per resistenza a SLU per compressione per acciaio da carpenteria (per il DM 14/09/2005 corrisponde a  $\gamma_M$ )

$\gamma_{M0,t}$  = Coeff.parziale materiale per resistenza a SLU per trazione per acciaio da carpenteria

$\gamma_{M1}$  = Coeff.parziale materiale per resistenza a SLU per acciaio da carpenteria per verifiche di instabilità (per il DM 14/09/2005 corrisponde a  $\gamma_M$ )

Coeff.riduz.addiz = coefficiente di riduzione addizionale ( $\times f_{cd}$ )

GrpEsig = è gruppo di esigenza (livello di aggressività dell'ambiente) per le verifiche SLE; par.4.3.1.6 del DM 9/1/1996 (a = condizioni ambiente poco aggressivo, b = moderatamente aggressivo, c = molto aggressivo) oppure par.5.1.2.2.6.5 del DM 14/09/2005 o par.4.1.2.2.4.3 DM 14/01/2008 (a = condizioni ambientali ordinarie, b = aggressive, c = molto aggressive). Per l'Eurocodice corrisponde alla classe di esposizione, prospetto 7.1N EN 1992-1-1:2005 (a = X0, XC1, b = XC2, XC3, XC4, c = XD1, XD2, XS1, XS2, XS3)

#### **Nome Materiale: CIs C25/30**

*Tipologia del Materiale: Calcestruzzo*

ID = 18

E = 31476 (N/mm<sup>2</sup>)

$\nu$  = 0.200

G = 13115 (N/mm<sup>2</sup>)

Ps = 25 (KN/m<sup>3</sup>)

$\alpha$  = 1e-005 (1/°C)

$\gamma_{m,c}$  = 1.5

$\gamma_{m,t}$  = 1.5

$\gamma_{m,ecc}$  = 1

$R_{ck}$  = 30 (N/mm<sup>2</sup>)

$f_{ck}$  = 25 (N/mm<sup>2</sup>)

$f_{ctk}$  = 1.7955 (N/mm<sup>2</sup>)

$f_{ctm}$  = 2.565 (N/mm<sup>2</sup>)

Coeff.riduz.addiz = 1  $\times f_{cd}$

GrpEsig = a

**Parametri per verifiche di fessurazione:**

Per le verifiche di formazione delle fessure il moltiplicatore di  $f_{ctm}$  è: 1/0;

Per le verifiche di apertura delle fessure i valori ammissibili delle aperture delle fessure sono:  
per le armature sensibili:

Combinazione Rara	Combinazione Quasi Permanente	Combinazione Frequente
0 mm	0.2 mm	0.3 mm

per le armature poco sensibili:

Combinazione Rara	Combinazione Quasi Permanente	Combinazione Frequente
0 mm	0.3 mm	0.4 mm

**Parametri verifiche a taglio (par.4.1.2.1.2, par.4.1.2.1.3 DM 14/01/2008):**

$CR_{d,c} = 0.18/\gamma_c$ ,  $v_{min} = 0.175 * k^{3/2}$ ,  $k_1 = 0.15$ ,  $f_{cd}/f_{cd} = 0.5$

Per il significato dei parametri si veda anche par.6.2.2 EC2

**Parametri verifiche a punzonamento (par.6.4.4, EN 1992-1-1:2005):**

Sono i medesimi valori per il taglio di cui sopra

**Nome Materiale: S 275**

*Tipologia del Materiale: Acciaio da Carpenteria*

ID = 29

$E = 2.1e+005$  (N/mm<sup>2</sup>)

$\nu = 0.300$

$G = 80769$  (N/mm<sup>2</sup>)

$P_s = 78.5$  (KN/m<sup>3</sup>)

$\alpha = 1.2e-005$  (1/°C)

$f_y = 275$  (N/mm<sup>2</sup>)

$f_{y1} = 255$  (N/mm<sup>2</sup>)

$\gamma_{M0,c} = 1.05$

$\gamma_{M0,t} = 1.05$

$\gamma_{M1} = 1.05$

$\gamma_{m,ecc} = 1$

$f_u = 430$  (N/mm<sup>2</sup>)

**Nome Materiale: B450C**

*Tipologia del Materiale: Acciaio per Armature*

ID = 26

$E = 2e+005$  (N/mm<sup>2</sup>)

$\nu = 0.300$

$G = 76923$  (N/mm<sup>2</sup>)

$P_s = 78.5$  (KN/m<sup>3</sup>)

$\alpha = 1.2e-005$  (1/°C)

$f_{yk} = 450$  (N/mm<sup>2</sup>)

$\gamma_{m,c} = 1.15$

$\gamma_{m,t} = 1.15$

$\gamma_{m,ecc} = 1$

$f_u = 540$  (N/mm<sup>2</sup>)

Aderenza Migliorata = Si

Tipo Armatura = armatura poco sensibile

## **4 – ELABORATI GRAFICI ESECUTIVI E PARTICOLARI COSTRUTTIVI**

### 4.4 – Elaborati grafici generali e particolari costruttivi

Di seguito si riporta l'elenco delle tavole che meglio descrivono le strutture oggetto di questo progetto esecutivo:

Tav. 09 : PARTICOLARE ESECUTIVO DELLA STRUTTURA DI SOSTEGNO DEI PANNELLI  
FOTOVOLTAICI STATICI TIPOLOGIA A - LUNGHEZZA 3.00 m

Tav. 10 : PARTICOLARE ESECUTIVO DELLA STRUTTURA DI SOSTEGNO DEI PANNELLI  
FOTOVOLTAICI STATICI TIPOLOGIA B - LUNGHEZZA 4.00 m

***“elaborati grafici generali del progetto esecutivo riguardante le strutture tenendo in considerazione quanto riportato al punto 3.1 e 3.2 del paragrafo C10.1 della Circolare Ministeriale.”***

## **5 – PIANO MANUTENZIONE DELLA PARTE STRUTTURALE**

In merito alla particolare tipologia di struttura progettata, si predispone apposito piano di manutenzione delle strutture da eseguire durante la vita utile delle stesse.

Trattandosi di strutture in carpenteria metallica esposte direttamente agli agenti atmosferici, si prescrive un controllo visivo semestrale per il controllo generale dello stato di conservazione delle strutture metalliche e i relativi collegamenti; con tale controllo si dovrà inoltre verificare che la struttura in oggetto non abbia subito forti deformazioni o anomale distorsioni dovute principalmente dal verificarsi di possibile cedimenti differenziali.

Inoltre si prescrive un controllo con scadenza annuale mirato all'esame accurato di tutti i collegamenti bullonati e saldati delle strutture metalliche, per verificarne l'integrità e l'efficacia.

In caso si riscontrasse una sopraggiunta anomalia, procedere con il ripristino delle condizioni iniziali di messa in opera, anche attraverso alla consultazione di tecnici qualificati alla valutazione strutturale delle opere.