



REGIONE SICILIA  
COMUNI DI MARSALA (TP) E TRAPANI (TP)

PROGETTO

Impianto Agrivoltaico integrato innovativo denominato  
"DELIA" avente potenza d'impianto di 50,561 MW e relative  
opere connesse  
Comuni di Marsala (TP) e Trapani

TITOLO

**Rel. 06 - Relazione Preliminare sulle Strutture**

PROPONENTE



ENGIE DELIA S.r.l.

Sede legale e Amministrativa:

Via Chiese 72  
20126 Milano (MI)  
PEC: [engiedelia@legalmail.it](mailto:engiedelia@legalmail.it)

PROGETTISTA



SCM ingegneria S.r.l.  
Via Carlo del Croix, 55  
Tel.: +39 0831-728955  
72022 Latiano (BR)  
Mail: [info@scmingegneria.com](mailto:info@scmingegneria.com)

Dott. Ing. Daniele Cavallo



Scala	Formato Stampa A4	Cod.Elaborato REL06	Rev. 00	Nome File REL06-Relazione Preliminare sulle Strutture	Foglio 1 di 75
-------	----------------------	------------------------	------------	--	-------------------

Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato
00	15/02/2024	Progetto definitivo impianto agrivoltaico e opere connesse	L. Maculan	D. Cavallo	D. Cavallo

## INDICE

1	INTRODUZIONE .....	4
2	DATI GENERALI .....	4
2.1	DATI DEL PROPONENTE .....	4
2.2	LOCALITÀ DI REALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO .....	4
2.3	DESTINAZIONE D'USO .....	5
2.4	DATI CATASTALI .....	5
2.5	CONNESSIONE .....	6
3	LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO .....	7
4	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	9
5	STRUTTURE PORTANTI MODULI FOTOVOLTAICI - TRACKERS MONOASSIALI .....	9
5.1	DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA .....	9
5.2	MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA – CARATTERISTICHE GENERALI .....	12
5.3	CARICHI DI PROGETTO .....	15
5.3.1	Pesi propri strutturali .....	16
5.3.2	Sovraccarichi permanenti .....	16
5.3.3	Vento.....	16
6	TRACKER MONOASSIALE 1X56 .....	21
6.1	Generazione del modello .....	21
6.2	Casi di carico .....	22
6.3	RISULTATI NUMERICI.....	26
6.3.1	Spostamenti.....	26
6.3.2	Sollecitazioni.....	28
7	TRACKER MONOASSIALE 1X28 .....	31
7.1	GENERAZIONE DEL MODELLO.....	31
7.2	CASI DI CARICO .....	32
7.3	RISULTATI NUMERICI.....	35
7.3.1	Spostamenti.....	36
7.3.2	Sollecitazioni.....	38
8	TRACKER MONOASSIALE 1X14 .....	40
8.1	GENERAZIONE DEL MODELLO.....	40
8.2	CASI DI CARICO .....	41
8.3	RISULTATI NUMERICI.....	44
8.3.1	Spostamenti.....	45
8.3.2	Sollecitazioni.....	47
9	VERIFICHE DI RESISTENZA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI .....	49

10	Considerazioni di tipo geotecnico .....	51
11	FONDAZIONI CABINE PREFABBRICATE ITS "POWER STATION" .....	52
11.1	DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA.....	52
11.2	MODELLO DI CALCOLO .....	54
11.3	Risultati delle analisi svolte.....	56
11.4	VERIFICHE DELLE SEZIONI DEGLI ELEMENTI SHELL IN C.A.....	58
12	EDIFICIO UTENTE 36 kV.....	61
12.1	LAYOUT .....	61
12.2	Descrizione dell'opera.....	62
12.2.1	Descrizione .....	62
12.3	Generazione del modello .....	63
12.4	Attribuzione dei carichi .....	64
12.4.1	Carichi statici.....	64
12.4.2	Carichi sismici.....	66
12.4.3	Calcolo delle sollecitazioni e deformazioni.....	68
12.5	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	71
12.5.1	Caratterizzazione dell'area di sedime.....	71
12.5.2	Tensioni indotte al suolo .....	71
12.5.3	Verifiche di capacità portante .....	72
13	CONCLUSIONI.....	75

## 1 INTRODUZIONE

Il progetto prevede la realizzazione di un impianto agrivoltaico integrato innovativo, mediante tecnologia fotovoltaica con tracker monoassiale, che la Società Engie Delia S.r.l. (di seguito "la Società") intende realizzare nei comuni di Marsala e Trapani (TP).

L'impianto avrà una potenza installata di 50561,28 kWp per una potenza di 45000 kW in immissione, e l'energia prodotta verrà immessa sulla rete RTN in alta tensione.

L'area interessata dal Parco Fotovoltaico ricade su una superficie catastale complessiva di circa 70 ettari, dei quali 62 recintati per l'impianto. Il territorio è caratterizzato da una morfologia pressoché pianeggiante, l'area d'impianto è posta all'incirca tra le quote 45 e 70 m s.l.m.

L'impianto sarà costituito da pannelli fotovoltaici ad alto rendimento che permetteranno di ottenere una produzione annua netta stimata di energia elettrica di circa 96,68 GWh/anno, pari al consumo medio annuo di energia elettrica di 38.700 famiglie.

Il ricorso alla produzione di energia da fonte rinnovabile, quale quella fotovoltaica, costituisce una strategia prioritaria per ridurre le emissioni di inquinanti in atmosfera provocate dalla produzione di energia elettrica mediante processi termici. Questo progetto apporterà infatti importanti benefici ambientali sia in termini di mancate emissioni di inquinanti che di risparmio di combustibile: l'impianto consentirà di evitare l'emissione di circa 43.000 t/anno di anidride carbonica. Il bilancio sull'ambiente sarà pertanto nettamente positivo.

## 2 DATI GENERALI

### 2.1 DATI DEL PROPONENTE

Di seguito i dati anagrafici del soggetto proponente:

SOCIETA' PROPONENTE	
Denominazione	ENGIE DELIA S.R.L.
Indirizzo sede legale	Via Chiese 72 – 20126 Milano (MI)
Codice Fiscale/Partita IVA	12367400962
Capitale Sociale	10.000,00
PEC	<a href="mailto:engiedelia@legalmail.it">engiedelia@legalmail.it</a>

*Tabella 2-1 – Informazioni principali della Società Proponente*

### 2.2 LOCALITÀ DI REALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO

L'impianto fotovoltaico oggetto del presente documento e il relativo cavidotto 36 kV saranno realizzati nel comune di Marsala (TP).

Le opere di connessione saranno invece realizzate nel comune di Trapani (TP).

## 2.3 DESTINAZIONE D'USO

L'area oggetto dell'intervento ha una destinazione d'uso agricolo.

## 2.4 DATI CATASTALI

I terreni interessati dall'intervento per quanto riguarda l'area di impianto, così come individuati da catasto del comune di Marsala (TP), sono:

- Area 01:
  - FG 60 particelle 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 39, 40, 100, 102, 106, 107, 108, 109, 332, 333, 334, 335, 336, 380, 444;
- Area 02:
  - FG 60 particelle 218, 219, 243, 244, 245, 246, 247, 379, 381;
- Area 03:
  - FG 60 particelle 137, 138, 139, 140, 141, 145, 147, 203, 223, 224, 225, 248, 249, 250, 251, 252, 254, 258, 453, 585, 586, 589, 590, 605;
- Area 04:
  - FG 60 particelle 133, 134, 135, 136, 143, 180, 181, 182, 221, 256, 452;
- Area 05:
  - FG 60 particelle 126, 130, 131, 204, 212, 213, 602, 603;
- Area 06:
  - FG 60 particella 6, 128.

La cabina utente a 36 kV che raccoglie la potenza di impianto per il collegamento alla rete nazionale sarà realizzata all'interno dell'Area 03 dell'impianto.

La futura stazione RTN 220/36 kV "Fulgatore 2" cui verrà collegato l'impianto agrivoltaico Delia interesserà invece i seguenti terreni, così come individuati da catasto del comune di Trapani (TP):

- FG 292 particella 4, 129, 131, 133, 141, 142, 202, 202, 211, 216

Tutti i terreni su cui saranno installati i moduli fotovoltaici e realizzate le infrastrutture necessarie, risultano di proprietà privata e corrispondono a terreni ad uso prevalentemente agricolo.

Luogo di installazione	Comune di Marsala (TP)
Potenza di Picco (kWp)	50561,28 kWp
Potenza Nominale (kW)	50561,28 kWp
Potenza massima in immissione	45000 kW
Informazioni generali del sito	Sito pianeggiante ben raggiungibile da strade comunali

Tipo di strutture di sostegno	Inseguitore monoassiale	
Coordinate impianto Area 01	Latitudine	37°51'15.06"N
	Longitudine	12°35'39.70"E
Coordinate impianto Area 02	Latitudine	37°51'23.27"N
	Longitudine	12°35'35.31"E
Coordinate impianto Area 03	Latitudine	37°51'10.67"N
	Longitudine	12°35'43.84"E
Coordinate impianto Area 04	Latitudine	37°51'31.13"N
	Longitudine	12°35'51.34"E
Coordinate impianto Area 05	Latitudine	37°51'33.47"N
	Longitudine	12°35'55.27"E
Coordinate cabina utente 36 kV	Latitudine	37°51'11.57"N
	Longitudine	12°35'44.11"E

Tabella 2-2 – Dati di impianto

## 2.5 CONNESSIONE

La Società SCM Ingegneria S.r.l ha presentato a Terna S.p.A. (“il Gestore”) la richiesta di connessione alla RTN per una potenza in immissione di 45 MW. Alla richiesta è stato assegnato Codice Pratica 202102457.

In data 26 Gennaio 2022, il gestore ha trasmesso la soluzione tecnica minima generale per la connessione (STMG), accettata in data 4 Marzo 2022. La STMG stata volturata alla Società proponente.

Lo schema di allacciamento alla RTN prevede che l’impianto venga collegato in antenna a 36 kV con la sezione a 36 kV con una nuova stazione elettrica di trasformazione (SE) a 220/36 kV della RTN, denominata “Fulgatore 2”, da inserire in entra - esce sulla linea RTN a 220 kV “Fulgatore - Partanna”, previa:

- realizzazione del nuovo elettrodotto RTN 220 kV “Fulgatore – Partinico”, di cui al Piano di Sviluppo Terna;
- realizzazione di un nuovo elettrodotto RTN a 220 kV di collegamento dalla stazione di cui sopra con la stazione 220/150 kV di Fulgatore, previo ampliamento della stessa;
- realizzazione di un nuovo elettrodotto RTN a 220 kV di collegamento dalla stazione di cui sopra con la stazione 220/150 kV di Partanna, previo ampliamento della stessa.

La cabina utente 36 kV e l’elettrodotto in antenna a 36 kV per il collegamento dell’impianto alla stazione RTN Fulgatore 2 costituiscono impianto di utenza per la connessione, mentre lo stallo arrivo produttore a 36 kV nella medesima stazione costituisce impianto di rete per la connessione.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 50,561 MW e opere connesse, denominato "DELIA" da realizzarsi nei comuni di Marsala (TP) e Trapani (TP)

### 3 LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO

L'area presa in considerazione nel presente progetto ricade amministrativamente all'interno del Comune di Marsala (TP), occupando diversi di terreno adiacenti per un'area complessiva recintata di circa 62 ettari.

Dal punto di vista Cartografico il sito ricade all'interno della Carta Ufficiale d'Italia edita dall'I.G.M.I. in scala 1:25.000 e in corrispondenza dell'intersezione tra le sezioni 605110, 605120 e 615160.

L'area interessata dal progetto è facilmente raggiungibili grazie ad una fitta rete di strade di vario ordine presenti in zona.



Figura 3-1 – Inquadramento regionale

L'impianto presenta le seguenti coordinate GPS (per maggiori dettagli si vede la precedente Tabella 2-2):

- Latitudine 37°51'11.57"N; Longitudine 12°35'44.11"E
- Altimetria media risulta essere circa 55 m s.l.m..

Per quanto riguarda invece le opere di connessione, site nel comune di Trapani (TP), le coordinate risultano essere le seguenti:

- Latitudine 37°50'45.40"; Longitudine 12°38'1.29"E
- Altimetria media risulta essere circa 110 m s.l.m..

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 50,561 MW e opere connesse, denominato "DELIA" da realizzarsi nei comuni di Marsala (TP) e Trapani (TP)



Figura 3-2 – Area impianto su ortofoto

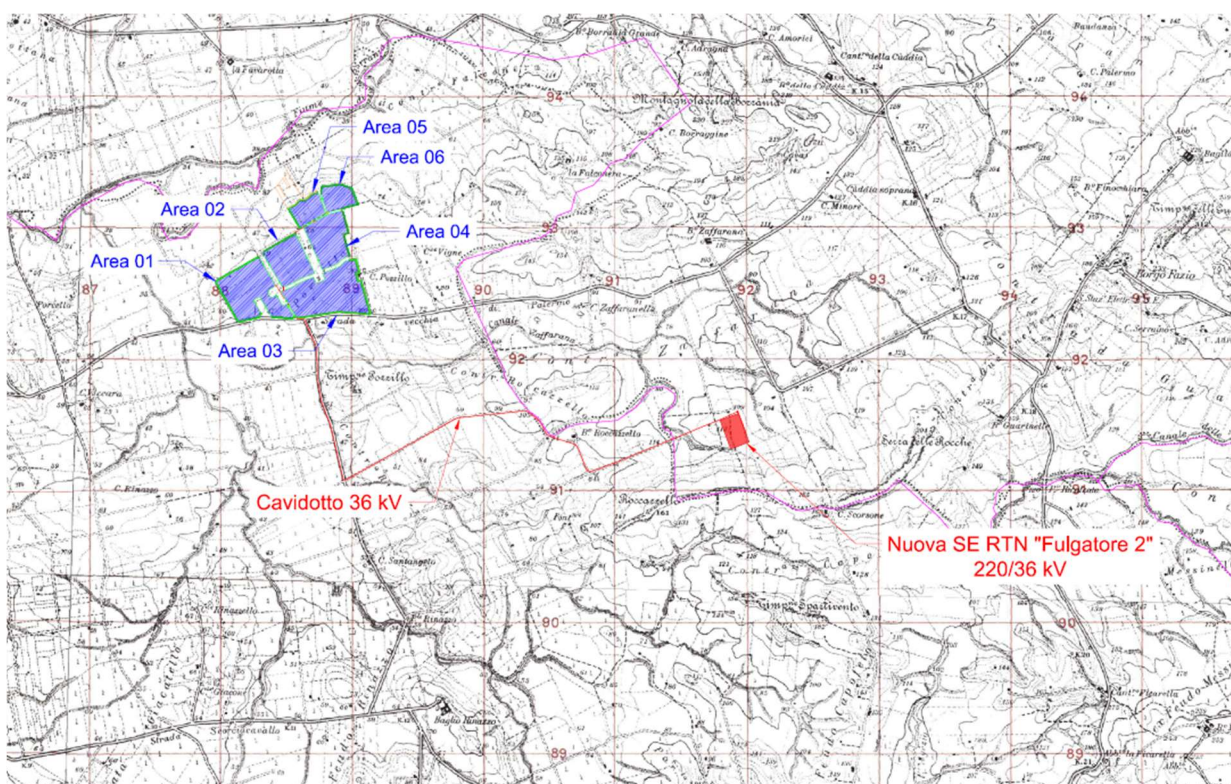


Figura 3-3 – Area impianto su IGM 1:25000



## 4 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

I criteri impiegati nei seguenti calcoli sono quelli dettati dal D.M. 17 gennaio 2018 Norme Tecniche per le costruzioni e dalla Circolare applicativa n. 7 dell'11 febbraio 2019, Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018.

Ai fini del dimensionamento preliminare sono stati utilizzati i metodi classici della scienza delle costruzioni.

## 5 STRUTTURE PORTANTI MODULI FOTOVOLTAICI - TRACKERS MONOASSIALI

### 5.1 DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

Per l'impianto in progetto è prevista l'installazione di tre tipologie di vela:

- Tipologia 1 - 1x14 moduli disposti in configurazione 1V
- Tipologia 2 - 1x28 moduli disposti in configurazione 1V
- Tipologia 3 - 1x56 moduli disposti in configurazione 1V

Le strutture di supporto delle vele sono costituite da Trackers monoassiali, con asse di rotazione disposto in direzione Nord-Sud; le vele sono pertanto esposte sulla est-ovest, con inclinazione variabile durante l'arco della giornata tra 0° e 45° rispetto all'orizzontale.

Per tutte e tre le tipologie di trackers è prevista:

- altezza al mozzo pari a 2,86 m da p.c.,
- profondità di infissione pari a 2,00 m



*Figura 5-1 – Esempio tipologico di tracker monoassiale (con vela tipo 1V)*

Il modulo di progetto ha dimensioni standard di 2,40x1,30 m:

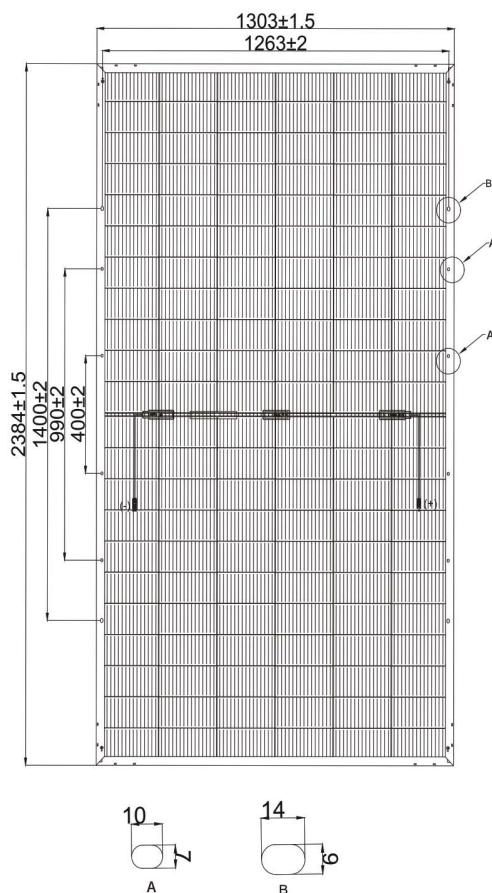


Figura 5-2 – Dimensione modulo di progetto Modulo Fotovoltaico

Di seguito le viste frontali delle tre tipologie di vela previste in progetto (con vele inclinate a 45°):

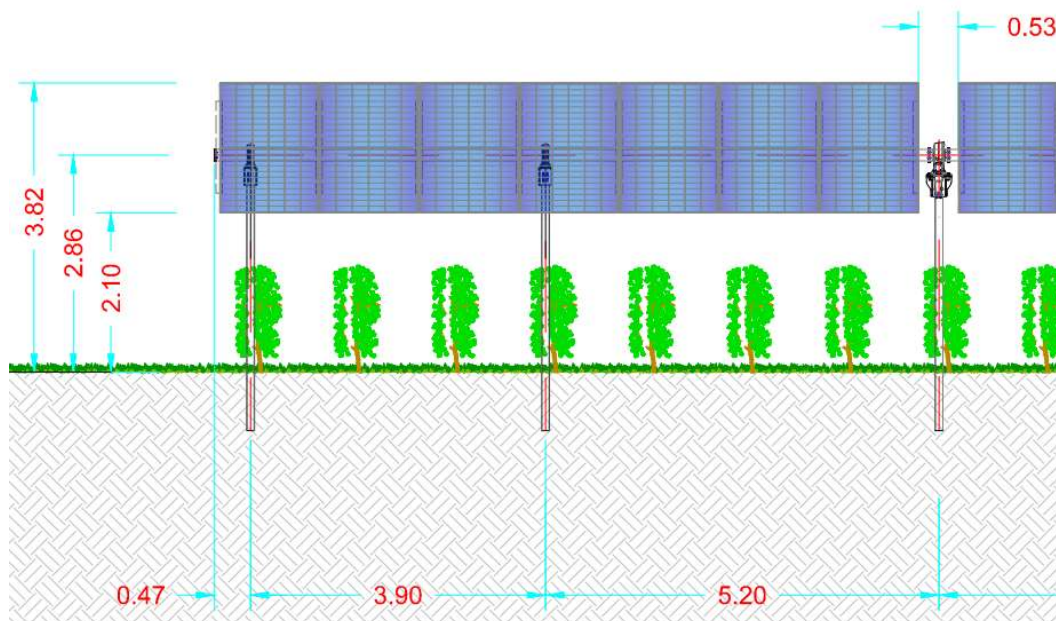


Figura 5-3 – Vela fotovoltaica 1x14 moduli

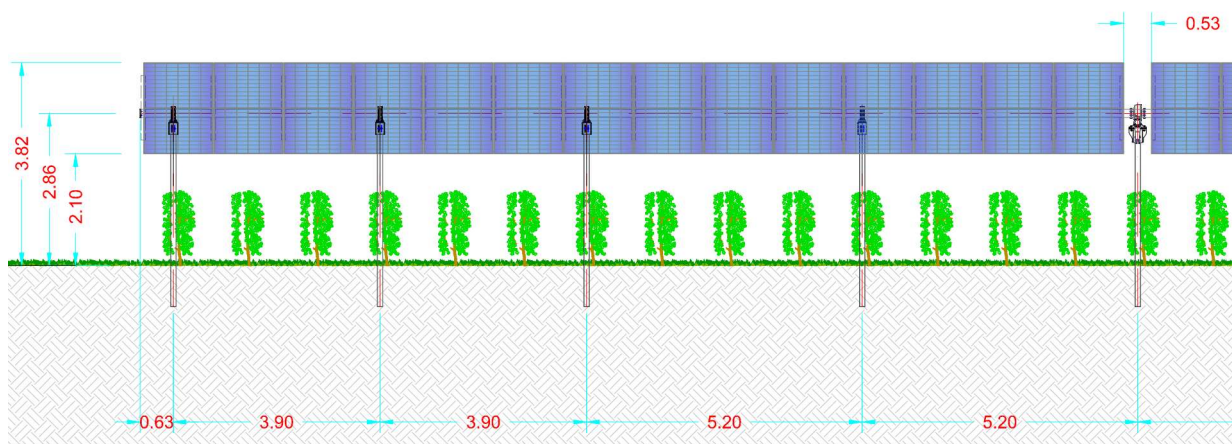


Figura 5-4 – Vela fotovoltaica 1x28 moduli

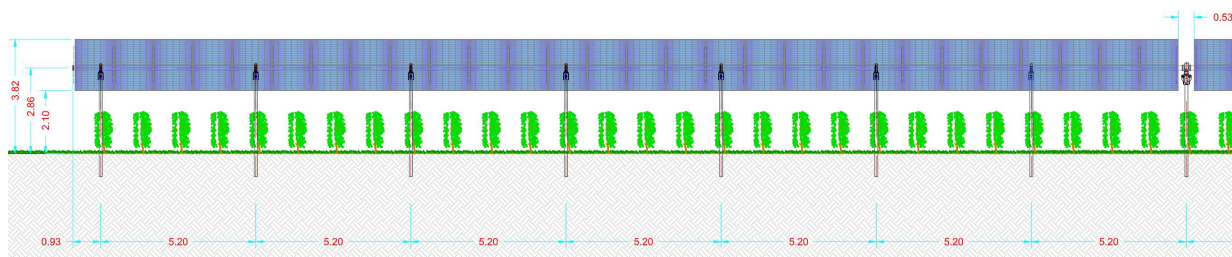
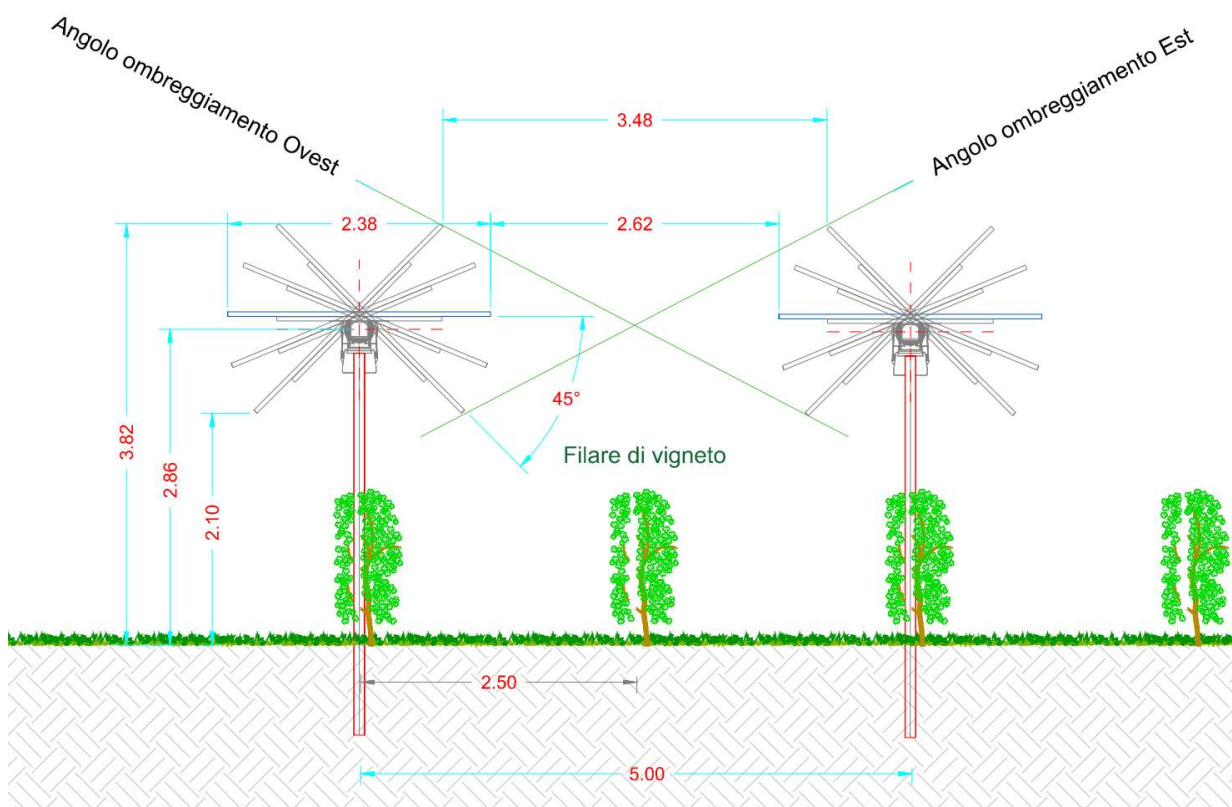


Figura 5-5 – Vela fotovoltaica 1x56 moduli



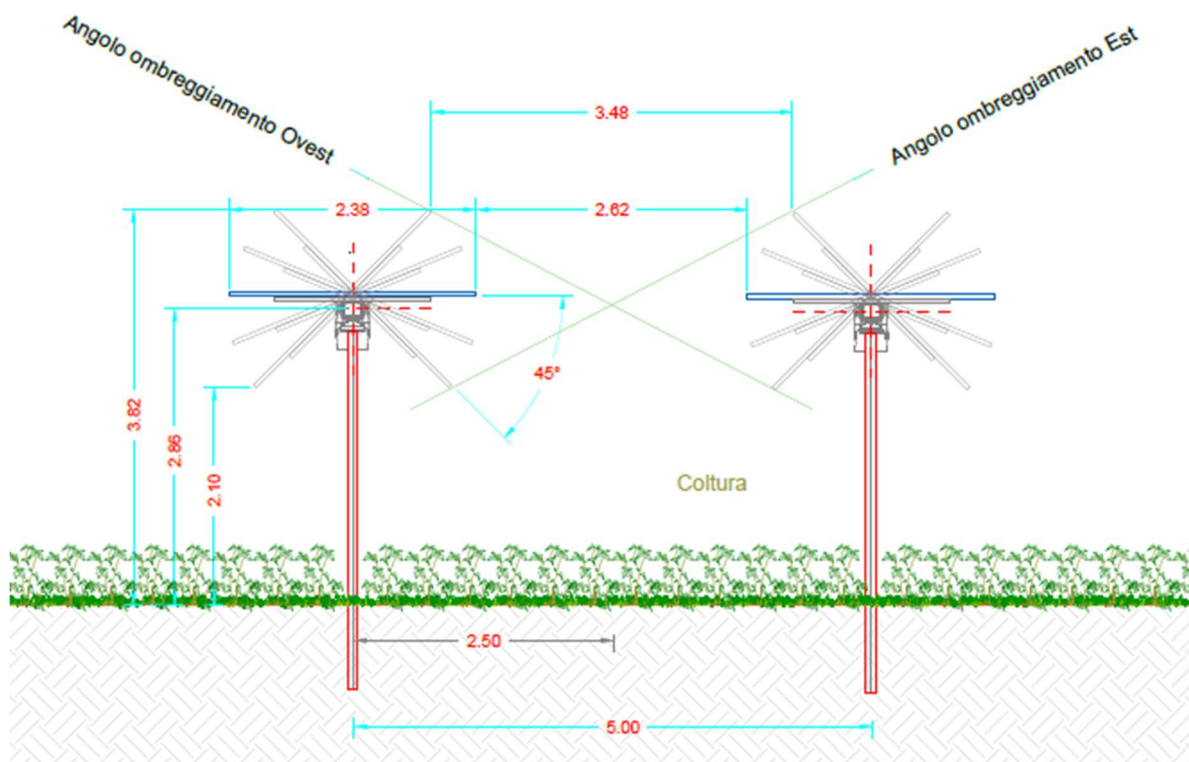


Figura 5-6 – Sezione trasversale strutture di supporto con vigneto o colture

## 5.2 MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA – CARATTERISTICHE GENERALI

Il tracker viene modellato per mezzo di un solutore a elementi finiti; viene assimilato ad un telaio 2D, nel quale sia l'asse di rotazione orizzontale che i montanti verticali sono modellati per mezzo di elementi monodimensionali tipo *asta*. Il telaio è caricato per mezzo dell'elemento *pannello di carico*, ed è vincolato al suolo mediante un sistema di molle orizzontali, a rigidezza definita dal progettista.

### Aste

Gli elementi che costituiscono la struttura tipo sono i seguenti:

Id	Tipo	Funzione	Materiale	Sezione
01	Q 120x120x4.0	asse di rotazione orizzontale	Acciaio S 350 GD	
02	HE 160 A	Montante verticale – simple support	Acciaio S 275	

Id	Tipo	Funzione	Materiale	Sezione
03	HE 200 A	Montante verticale – motor support	Acciaio S 275	

Profilati													
	Nome	Disegno	Processo	Figura	h [mm]	b [mm]	tw [mm]	tf [mm]	r <sub>1</sub> [mm]	r <sub>2</sub> [mm]	r <sub>3</sub> [mm]	A <sub>x</sub> [mm <sup>2</sup> ]	A <sub>y</sub> [mm <sup>2</sup> ]
1	HE 160 A		Arrotondato	I	152,0	160,0	6,0	9,0	15,0	0	0	3878,04	2636,55
2	120X120X 4		Formato a f.	Scatolato	120,0	120,0	4,0	4,0	8,0	0	0	1814,60	783,38
3	HE 200 A		Arrotondato		190,0	200,0	6,5	10,0	18,0	0	0	5384,41	3657,25

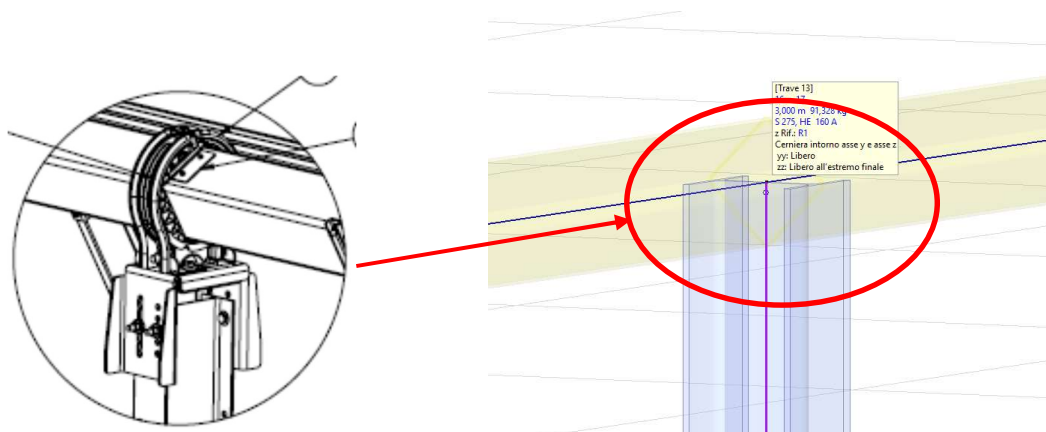
## Materiali

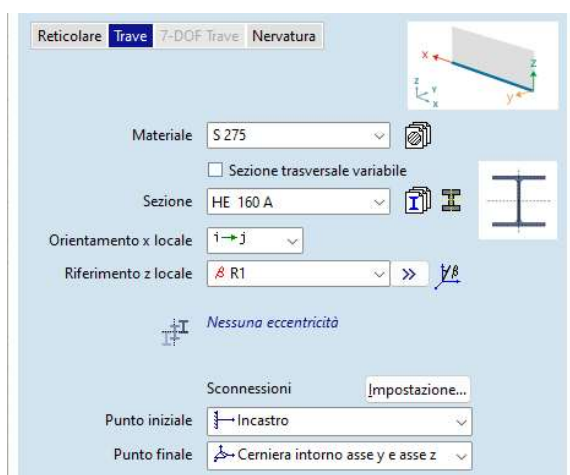
	Nome	Tipo	E <sub>x</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	ν	α <sub>T</sub> [1/°C]	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	P <sub>1</sub>
1	S 275	Acciaio	210000	0,30	1,2E-5	7850	f <sub>y</sub> [N/mm <sup>2</sup> ] = 275,00
3	S 350 GD	Acciaio	210000	0,30	1,2E-5	7850	f <sub>y</sub> [N/mm <sup>2</sup> ] = 350,00

Non sono oggetto della presente relazione gli elementi secondari (arcarecci portamoduli) in quanto la loro trattazione è aspetto peculiare del progetto esecutivo.

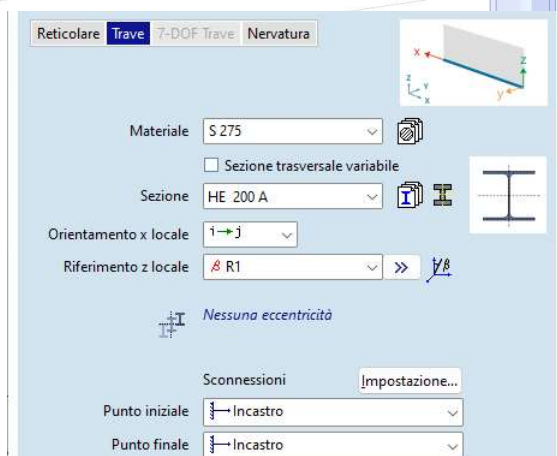
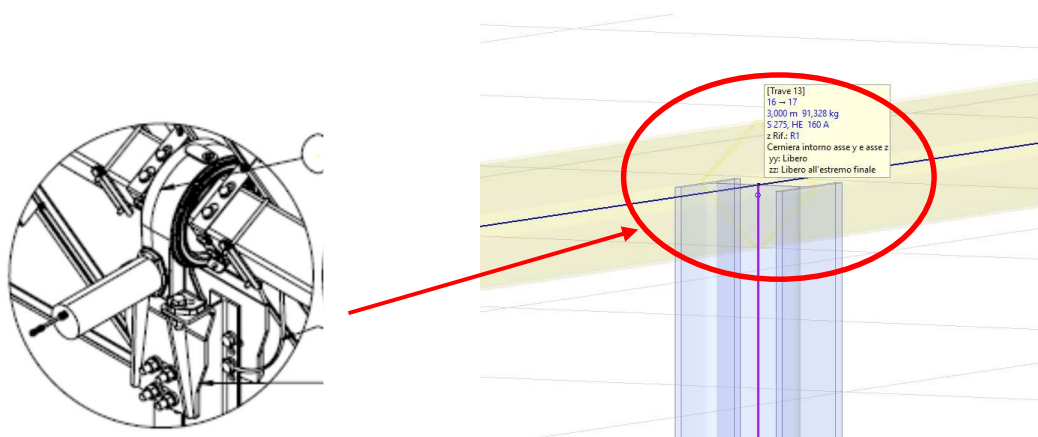
## Sconnessioni e vincoli

Il grado di vincolo dell'asse di rotazione ai montanti verticali tipo *simple support* viene simulato con un certo numero di rilasci rotazionali che ne simulano un vincolo tipo cerniera





Il grado di vincolo dell'asse di rotazione ai montanti verticali tipo *motor support* viene con un vincolo tipo incastro

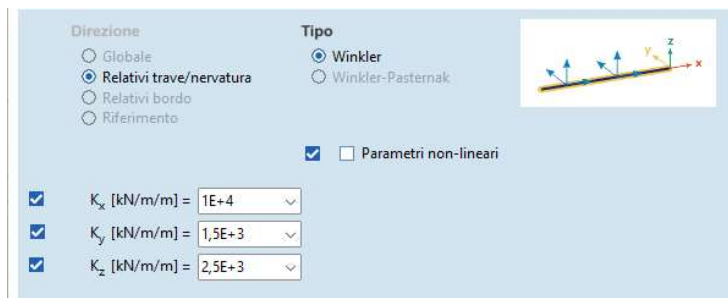


### Vincolo al suolo

Il vincolo derivante dall'infissione nel terreno dei pali verticali viene modellato per mezzo di un letto di molle orizzontali di rigidezza pari a:

- $k_x = 10.000 \text{ kN/ml}$  (rigidezza elevata nella direzione assiale del montante)

- $K_y = 1.500 \text{ kN/ml}$  (rigidezza ipotizzata nella direzione della minore inerzia del montante)
- $k_z = 2.500 \text{ kN/ml}$  (rigidezza ipotizzata nella direzione della maggiore inerzia del montante)



I valori sopra esposti sono desunti da risultanze di installazioni presso altri siti possedenti analoghe caratteristiche geologiche; è bene, tuttavia, rimarcare il fatto che il grado di interazione terreno-struttura è uno degli aspetti che deve essere approfondito nella fase di progettazione esecutiva, mediante un certo numero di test in sito - prove di pull out e a carico laterale -.

### Pannello di carico

La vela fotovoltaica viene assimilata ad un elemento pannello di carico, elemento virtuale che trasferisce i carichi di progetto (vento, neve, peso proprio, sovraccarichi, ecc...) sull'asse di rotazione. Il pannello di carico viene orientato con inclinazione rispetto all'orizzontale pari a 45%, in modo tale da presentare la massima esposizione ai carichi vento.

### Solutore FEM

La struttura così modellata viene risolta, in termini di sollecitazioni e spostamenti, per mezzo del solutore a elementi finiti:

AXIS VM release 6  
Licenza n. 7754,  
rilasciata a SCM Ingegneria srl  
da STA DATA srl di Torino

### 5.3 CARICHI DI PROGETTO

Le vele fotovoltaiche sono soggette alle azioni prevalenti dovute ai venti, che sono di gran lunga più gravosi rispetto ai carichi neve ed a quelli sismici.

In questa sezione si valuteranno le azioni caratteristiche in accordo al D.M. 17 gennaio 2018 - NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI, Cap. 3 - AZIONI SULLE COSTRUZIONI - Par. 3.3 e 3.4.

Le strutture verranno dunque dimensionate per l'effetto dei pesi propri strutturali, dei sovraccarichi permanenti, e delle azioni accidentali dovute ai venti.

Non verranno presi in esame casi sismici in quanto le azioni sismiche risultano trascurabili

rispetto ai carichi vento.

### 5.3.1 Pesì propri strutturali

Vengono attribuiti in automatico dal software in funzione dei profilati

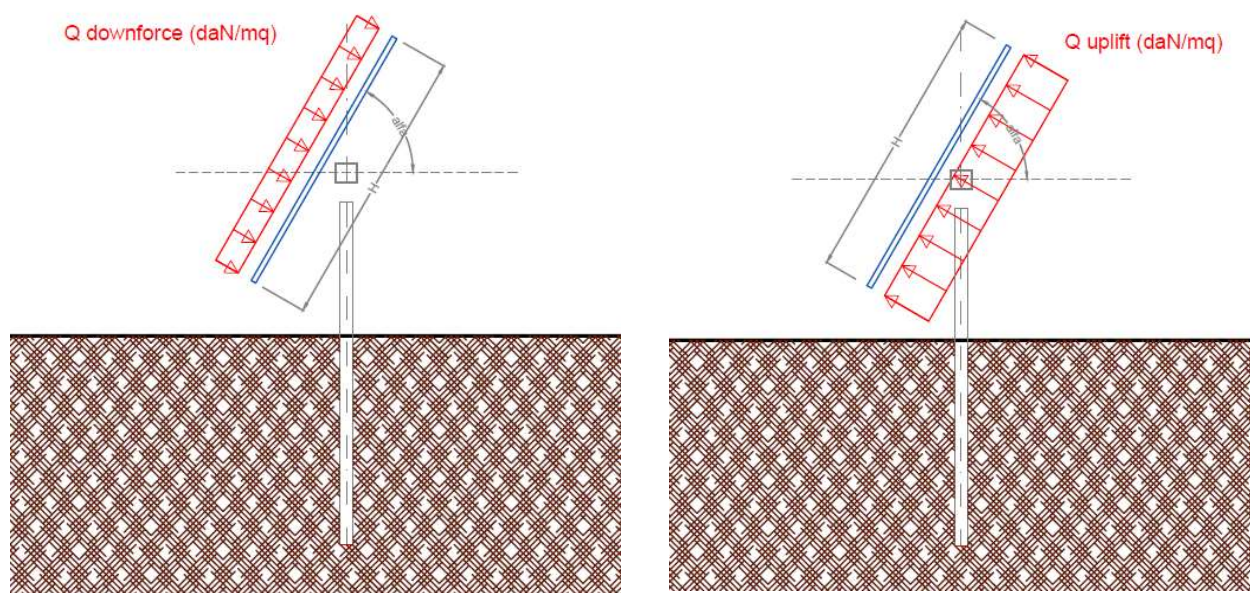
### 5.3.2 Sovraccarichi permanenti

Sono riferiti ai pesi dei moduli fotovoltaici, nell'ordine di 13,00 daN/mq

### 5.3.3 Vento

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

L'azione del vento viene esplicitata sul pannello di carico, sotto forma di carichi distribuiti che possono essere di pressione [ $Q_{downforce}$ ] o di depressione [ $Q_{uplift}$ ], variabili in funzione dell'angolo di inclinazione della vela rispetto all'orizzontale:



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

$$Q = q_r * c_e * c_p * c_d$$

dove

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

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

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

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



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

dove:

$v_r$  è la velocità di riferimento  $v_r = v_{b,0} \cdot c_a$

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

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

Nota la Zona di vento: 4 – Sicilia e Provincia di Reggio Calabria

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

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

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

$$v_{b,0} = 28 \text{ m/s};$$

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

$$k_s = 0,36$$

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

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

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

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

si calcola la velocità di riferimento  $v_r = v_{b,0} \cdot c_a = 28 \text{ m/s}$

e la pressione cinetica di riferimento  $q_r = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_r^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot (28)^2 = 490,0$  (espressa in N/mq), ossia 49,00 daN/mq

### Coefficiente di esposizione $c_e$

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

Partendo dalla Classe di rugosità del terreno: D -

Tab. 3.3.III - Classi di rugosità del terreno

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

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

nota la distanza del sito dalla costa:  $d < 30 \text{ km}$ ,

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

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

Si ottiene la Categoria esposizione: II

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

Categoria di esposizione del sito	$K_t$	$z_0$ [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

Dalla categoria di esposizione ricaviamo i valori:

$$k_r = 0,19;$$

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

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

Nota l'altezza della costruzione (z) la si confrontata col valore di  $z_{\min}$  (4mt), se

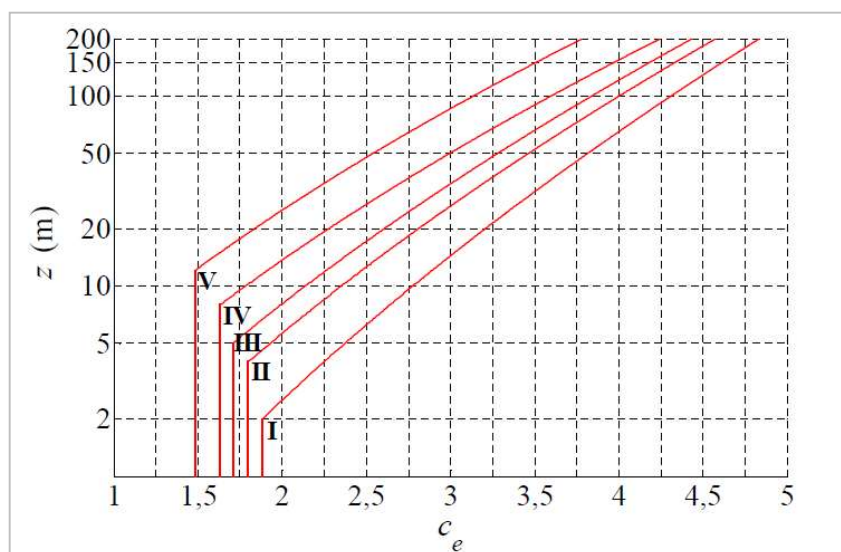
$z \geq z_{\min}$  il coefficiente di esposizione si calcola mediante la formula:

$$c_e(z) = k_r^2 c_t \ln(z/z_0) [7 + c_t \ln(z/z_0)]$$

$z < z_{\min}$  il coefficiente di esposizione si calcola con:

$$c_e(z) = c_e(z_{\min})$$

e si determina con il grafico seguente:



Nel nostro caso,

$$z = 3,0 \text{ mt} \leq z_{\min} (4\text{mt}),$$

per la categoria di esposizione tipo II,  $c_e = 1,7$

### Coefficiente dinamico $c_d$

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

Esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di comprovata affidabilità.

### Coefficiente di pressione $c_p$

Ai fini della determinazione del coefficiente di pressione  $c_p$ , si assume l'ipotesi di assimilare le strutture fotovoltaiche a tettoie a singola falda, con assenza di ostruzioni al di sotto di esse (coefficiente di bloccaggio  $\Phi=0$ ). Tale assunzione è sicuramente valida per le vele fotovoltaiche perimetrali, sottoposte all'azione di retta del vento; potrebbe invece risultare eccessivamente cautelativa per le vele interne, che invece non sono sottoposte all'azione diretta, in quanto le vele perimetrali fungono da ostruzione. La normativa, al punto C3.3.8.2

della Circolare, introduce, per le strutture tipo tettoia, il coefficiente di forza  $c_F$ , così definito:

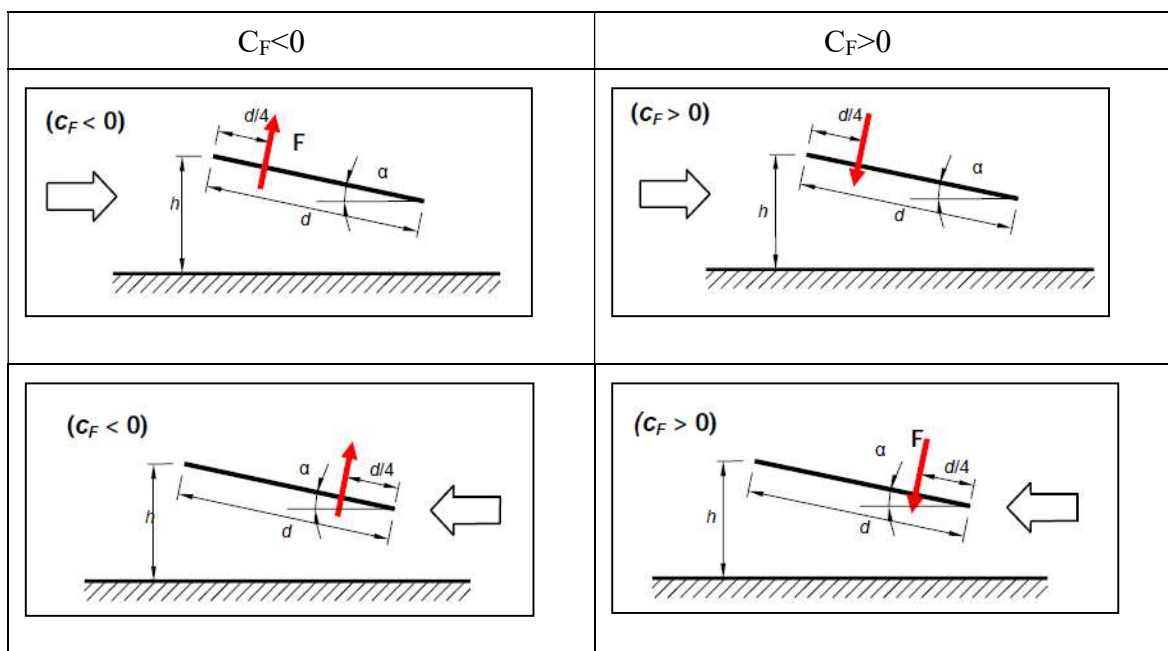
Per valori positivi  $C_F = +0,2 + \alpha/30$

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

I valori di  $c_F$  variano a seconda dell'angolo di inclinazione dei moduli, così i valori delle pressioni vento:

angolo $\alpha$ (°)	$C_f$ downforce	$C_f$ uplift	Q downforce (daN/mq)	Q uplift (daN/mq)
0	0,20	-0,50	17,65	-44,11
5	0,37	-0,72	32,35	-63,23
10	0,53	-0,93	47,05	-82,34
15	0,70	-1,15	61,76	-101,46
20	0,87	-1,37	76,46	-120,58
25	1,03	-1,58	91,17	-139,69
30	1,20	-1,80	105,87	-158,81
35	1,37	-2,02	120,58	-177,92
40	1,53	-2,23	135,28	-197,04
45	1,70	-2,45	149,98	-216,15

Per ogni angolo di inclinazione, le pressioni  $Q_{downforce}$  e  $Q_{uplift}$  vengono distribuite in modo automatico dal software in modo tale che gli effetti siano uguali a quelli derivanti dal porre la risultante a  $d/4$



## 6 TRACKER MONOASSIALE 1X56

### 6.1 Generazione del modello

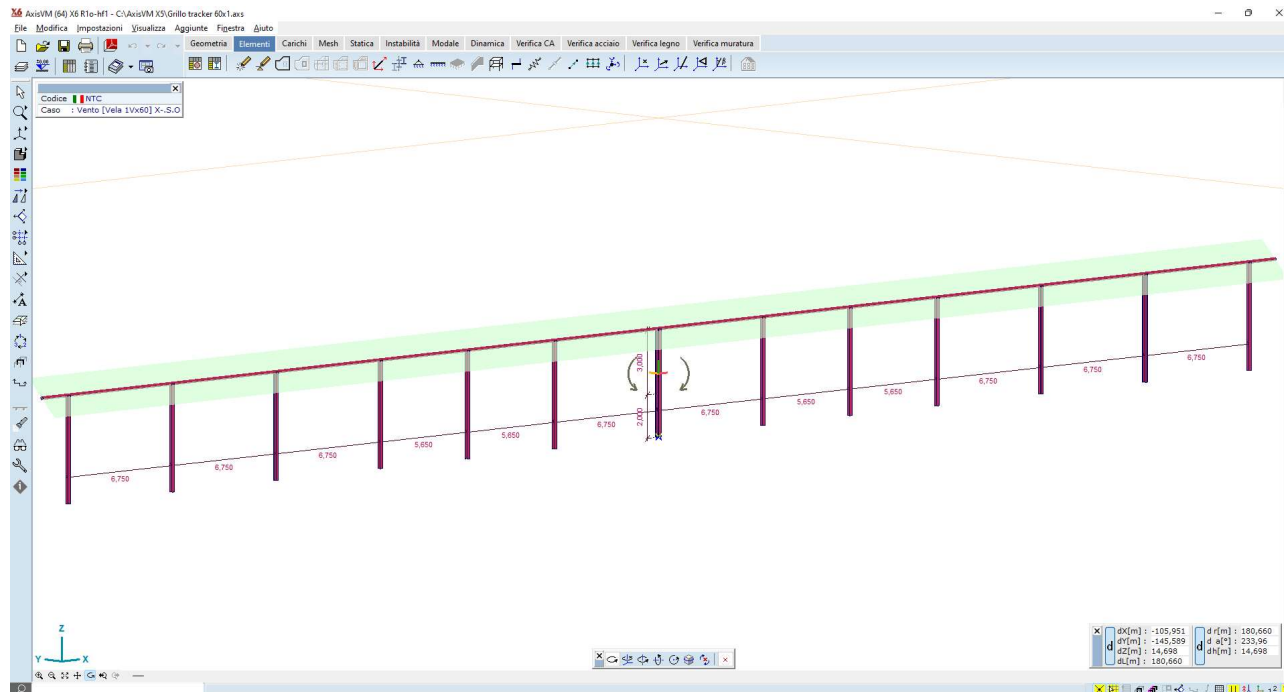


Figura 6-1 – modello ad elementi finiti – vista frontale

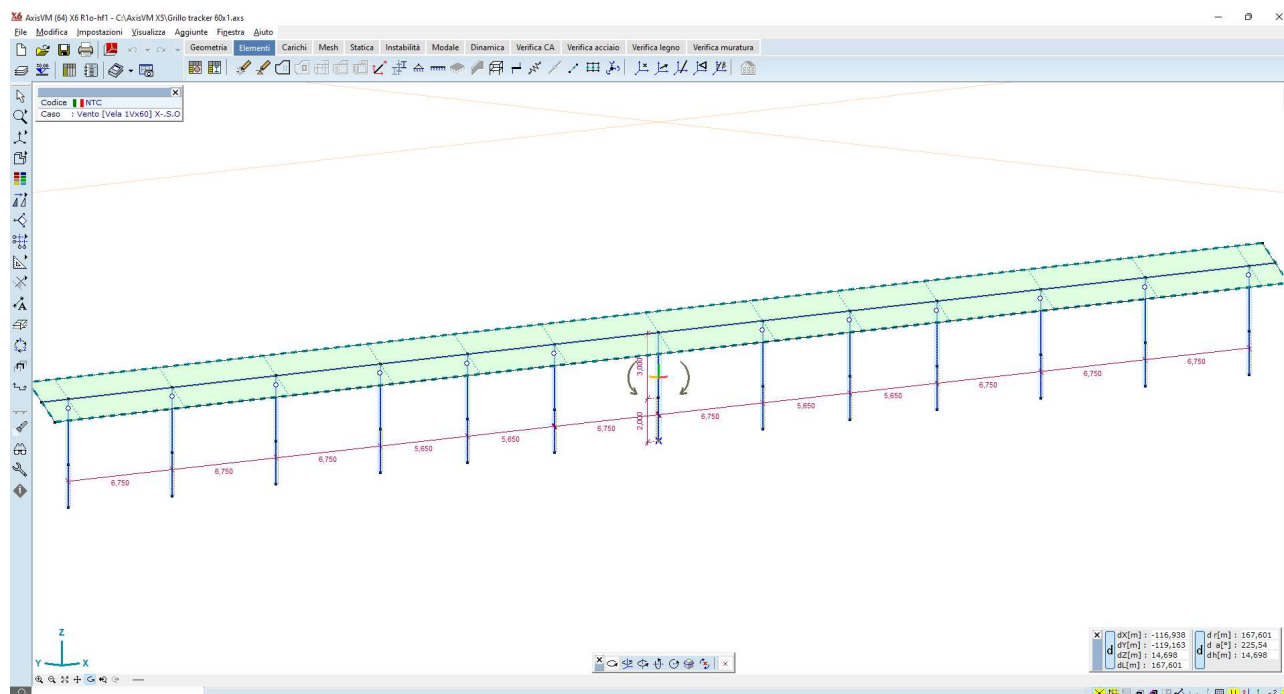


Figura 6-2 – modello ad elementi finiti – vista 3D

## 6.2 Casi di carico

Vengono generati n.8 casi di carico vento, come di seguito illustrato:

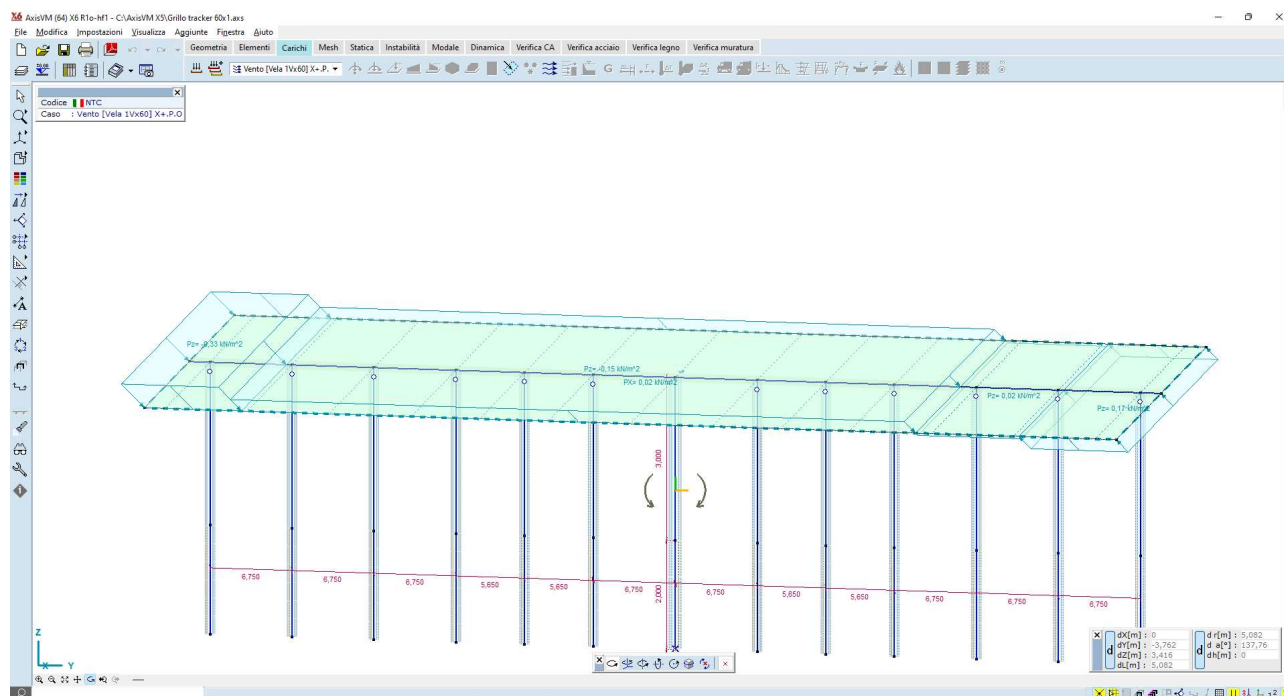


Figura 6-3 – carico vento X+P.O.

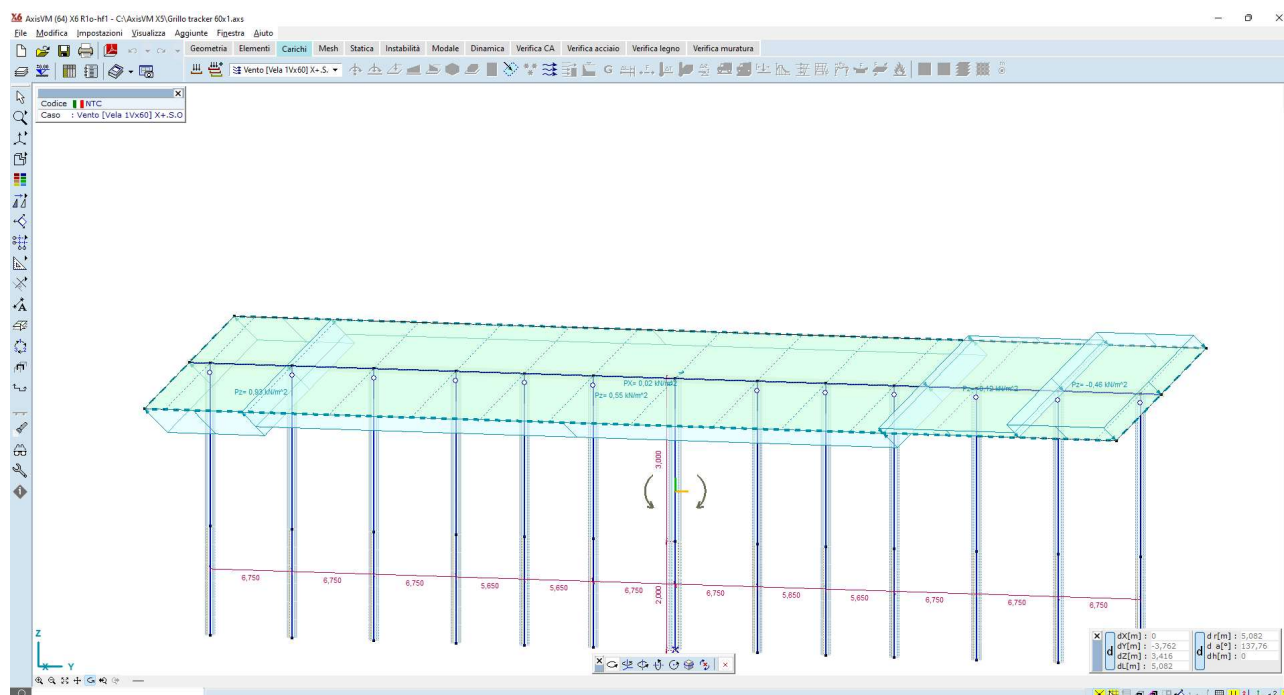


Figura 6-4 – carico vento X+S.O.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 50,561 MW e opere connesse, denominato "DELIA" da realizzarsi nei comuni di Marsala (TP) e Trapani (TP)

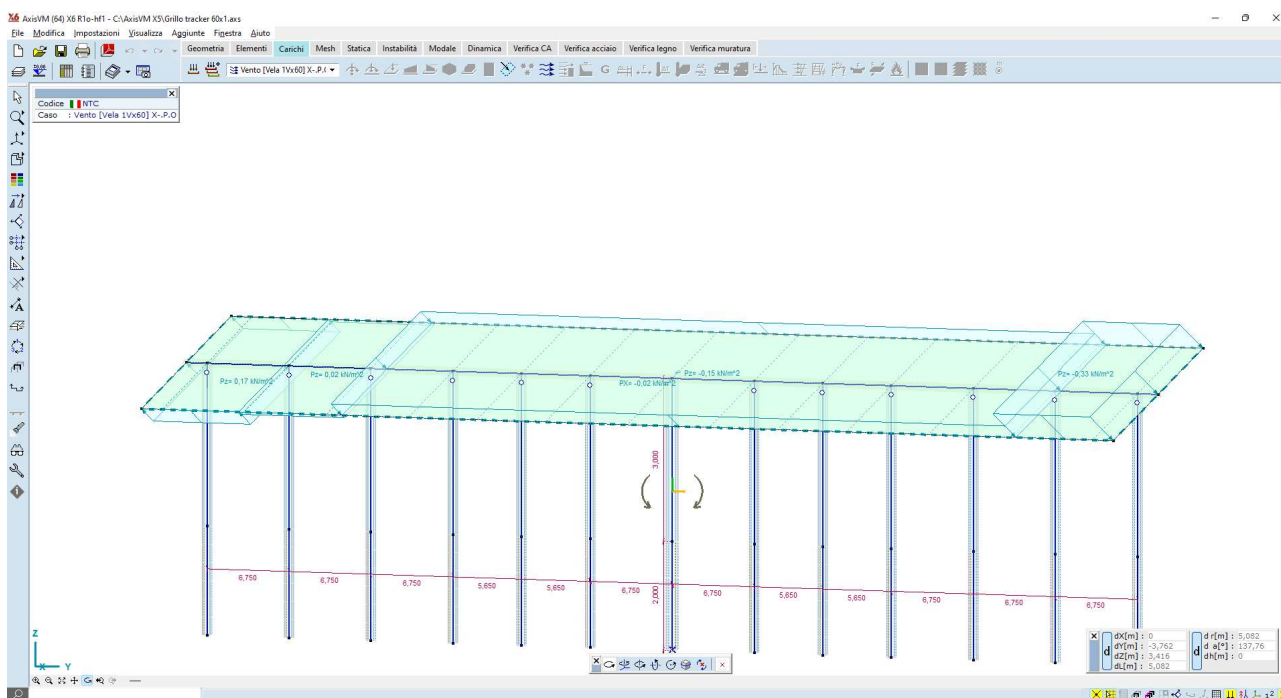


Figura 6-5 – carico vento X-P.O.

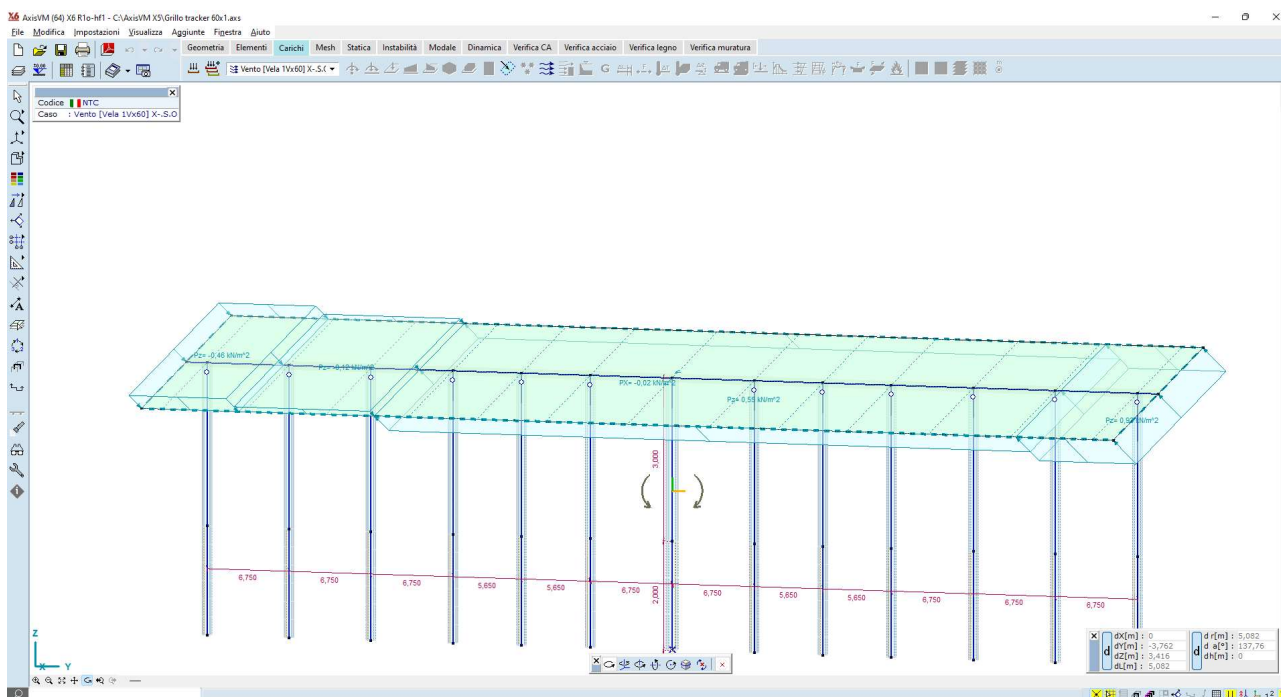


Figura 6-6 – carico vento X-S.O.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 50,561 MW e opere connesse, denominato "DELIA" da realizzarsi nei comuni di Marsala (TP) e Trapani (TP)

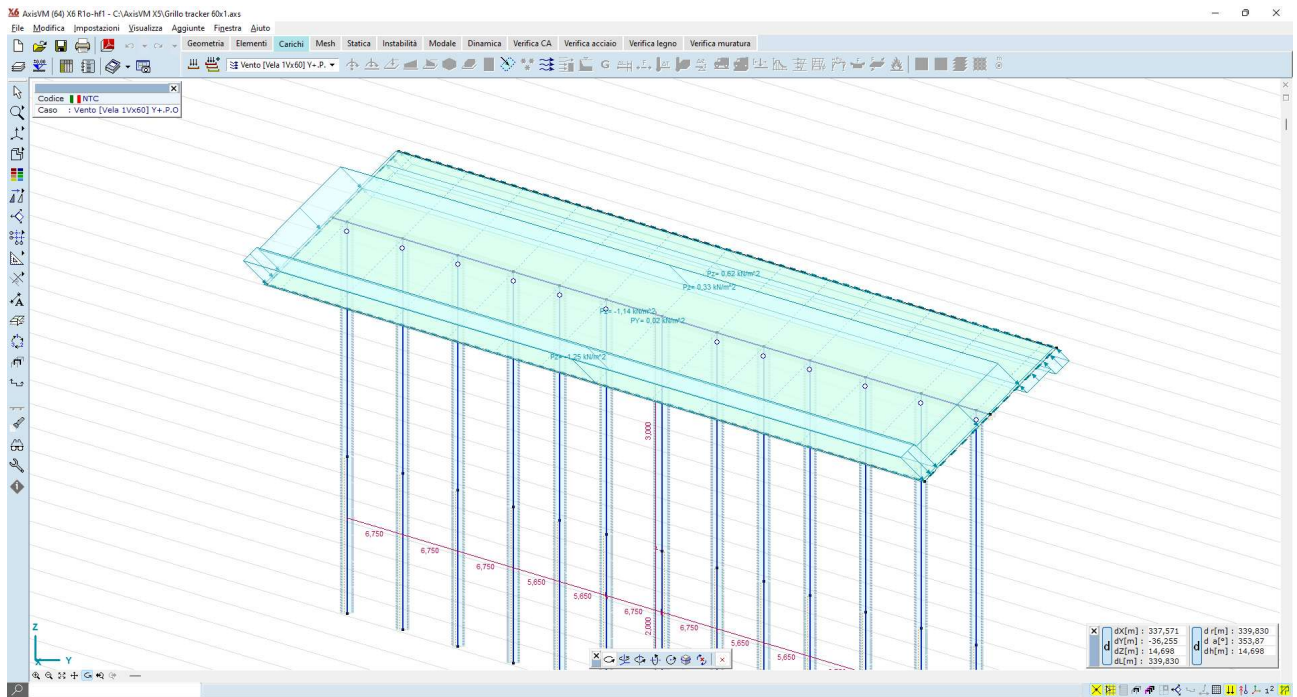


Figura 6-7 – Y+P.O.

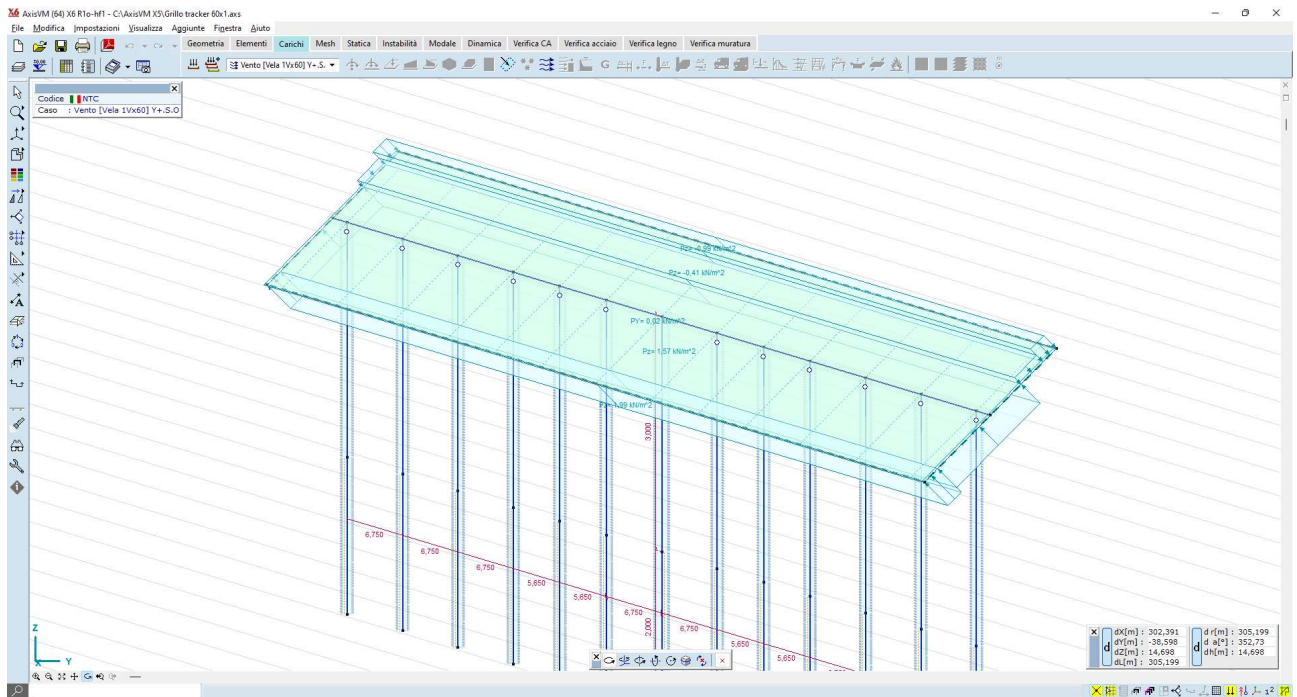


Figura 6-8 – Y+S.O.



Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 50,561 MW e opere connesse, denominato "DELIA" da realizzarsi nei comuni di Marsala (TP) e Trapani (TP)

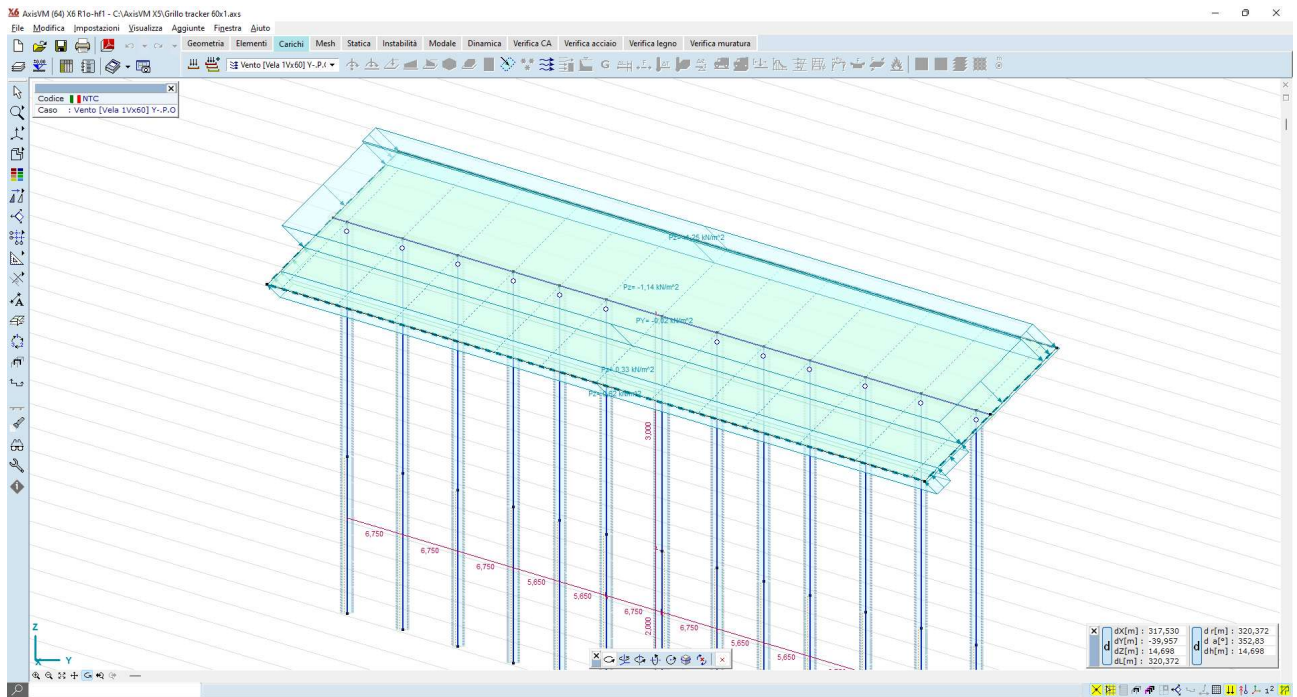


Figura 6-9 – Y-P.O.

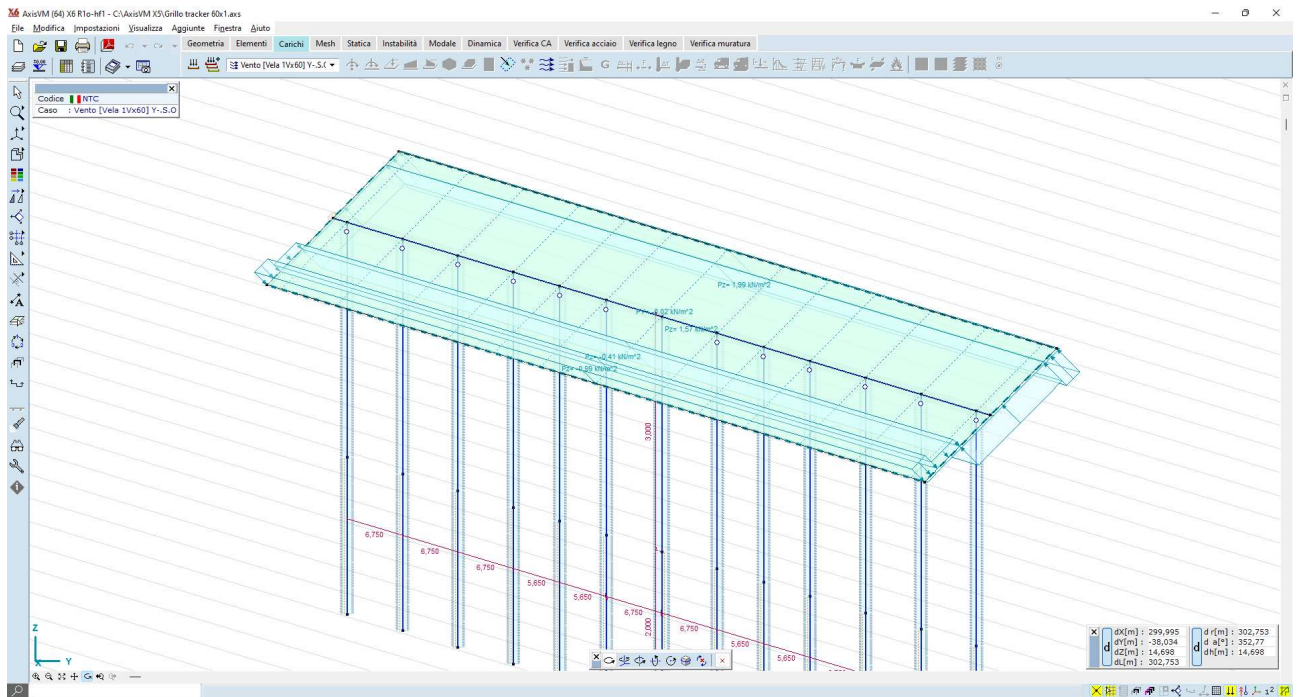


Figura 6-10 – Y-S.O.



Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 50,561 MW e opere connesse, denominato "DELIA" da realizzarsi nei comuni di Marsala (TP) e Trapani (TP)

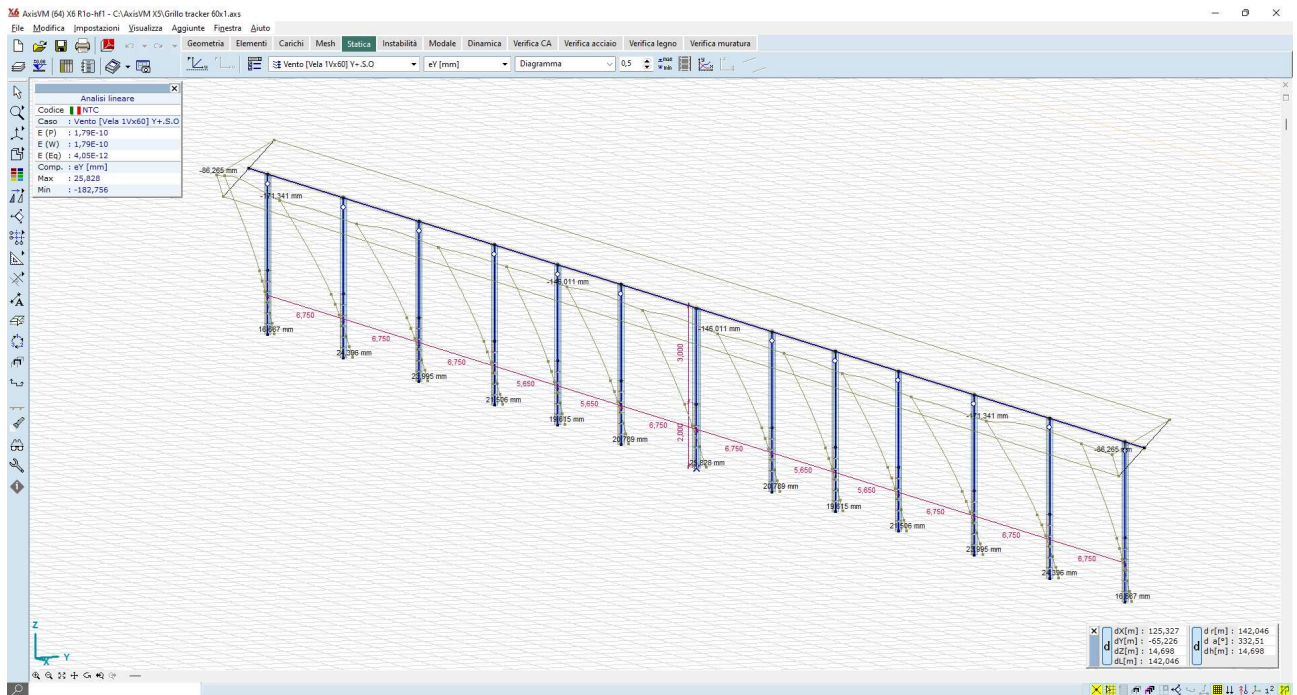


Figura 6-12 – spostamenti attesi sotto carico vento - condizione Y+S.O.

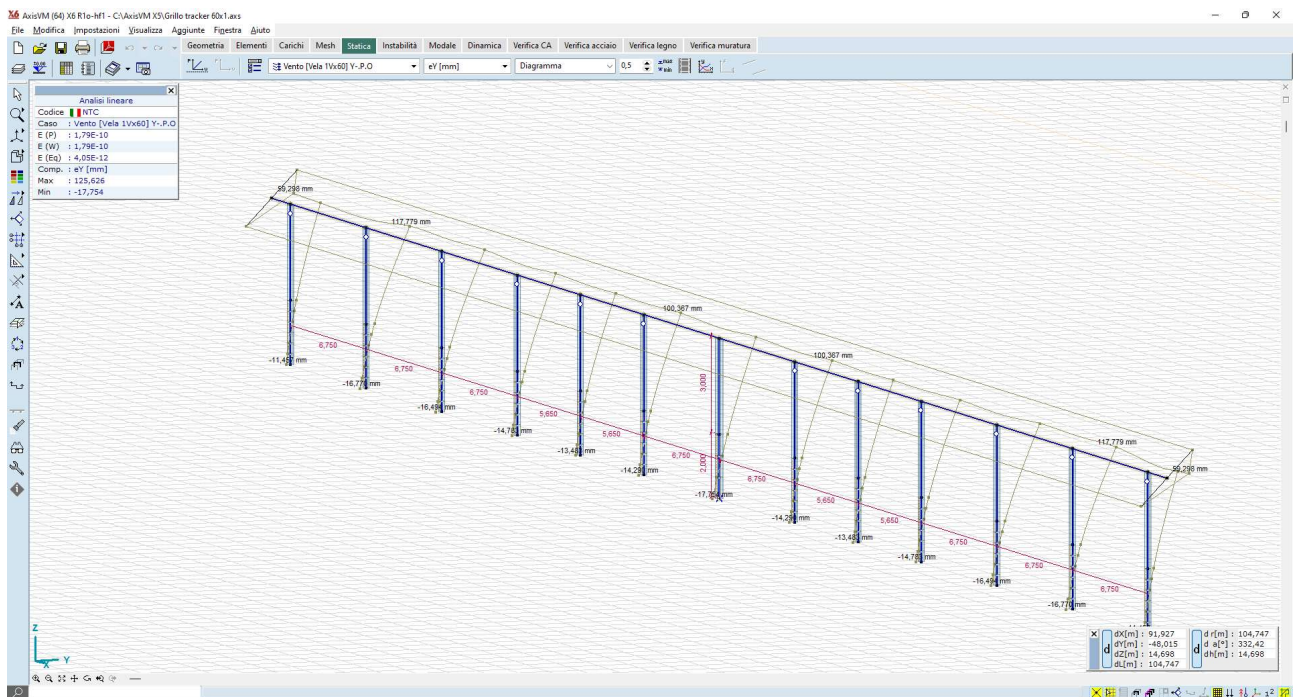


Figura 6-13 – spostamenti attesi sotto carico vento - condizione Y-P.O.

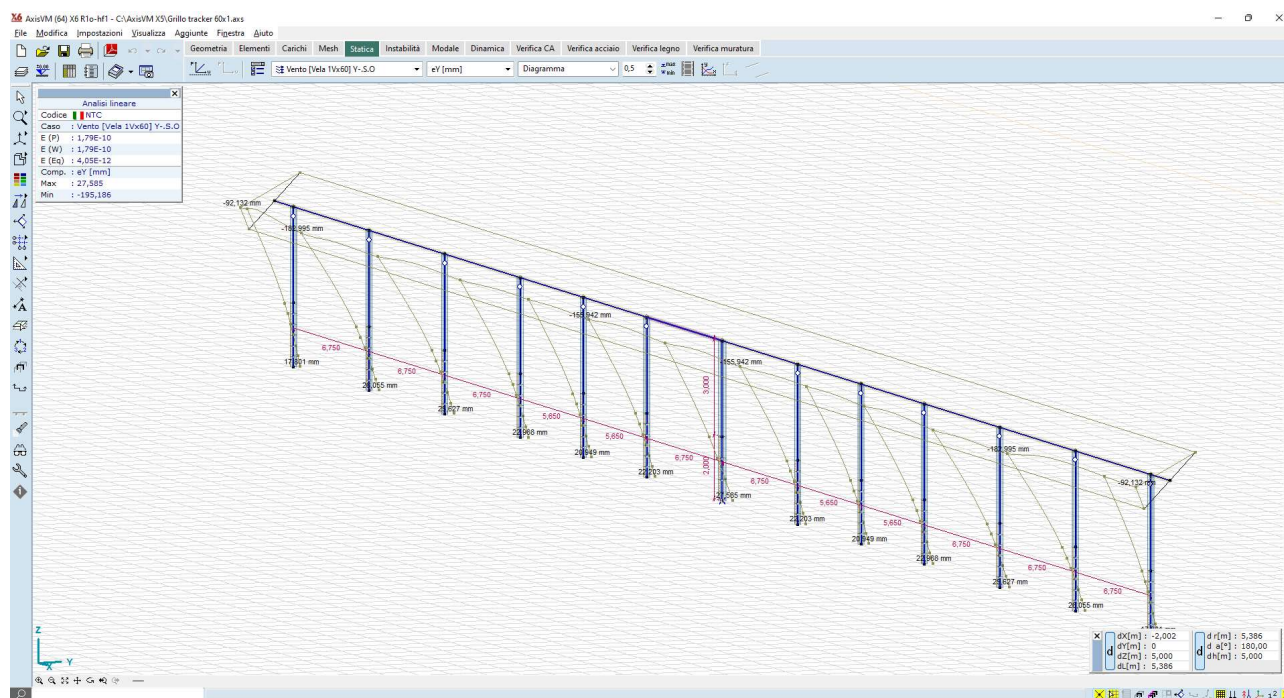


Figura 6-14 – spostamenti attesi sotto carico vento - condizione Y-S.O.

I valori di spostamenti orizzontali al mozzo, nella condizione di carico più gravosa, sono dell'ordine dei 120mm, mentre quelli al piano campagna sono dell'ordine dei 20mm; tali valori vengono ritenuti accettabili se paragonati a quelli delle installazioni ormai diffuse sul territorio nazionale. Si dovrà tuttavia, nella fase di progettazione esecutiva, mettere in atto una campagna di test in sito – pull out test e test per carico laterale – in modo tale da confrontare le stime numeriche con i valori realmente riscontrabili in campo.

### 6.3.2 Sollecitazioni

Per quel che riguarda i montanti verticali, le massime sollecitazioni sono:

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 50,561 MW e opere connesse, denominato "DELIA" da realizzarsi nei comuni di Marsala (TP) e Trapani (TP)

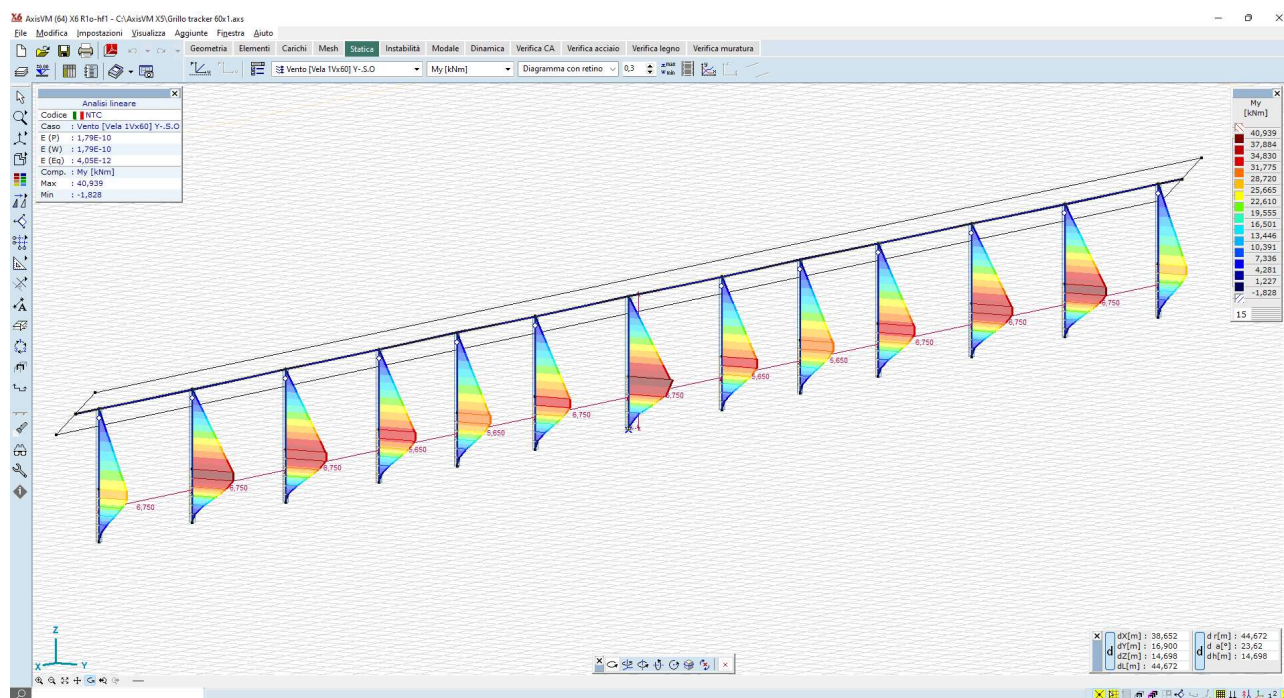


Figura 6-15 – momento flettente  $M_y$  – montanti - valori massimi dell'ordine dei 37  $kN*m$  – combinazione Y-S.O.

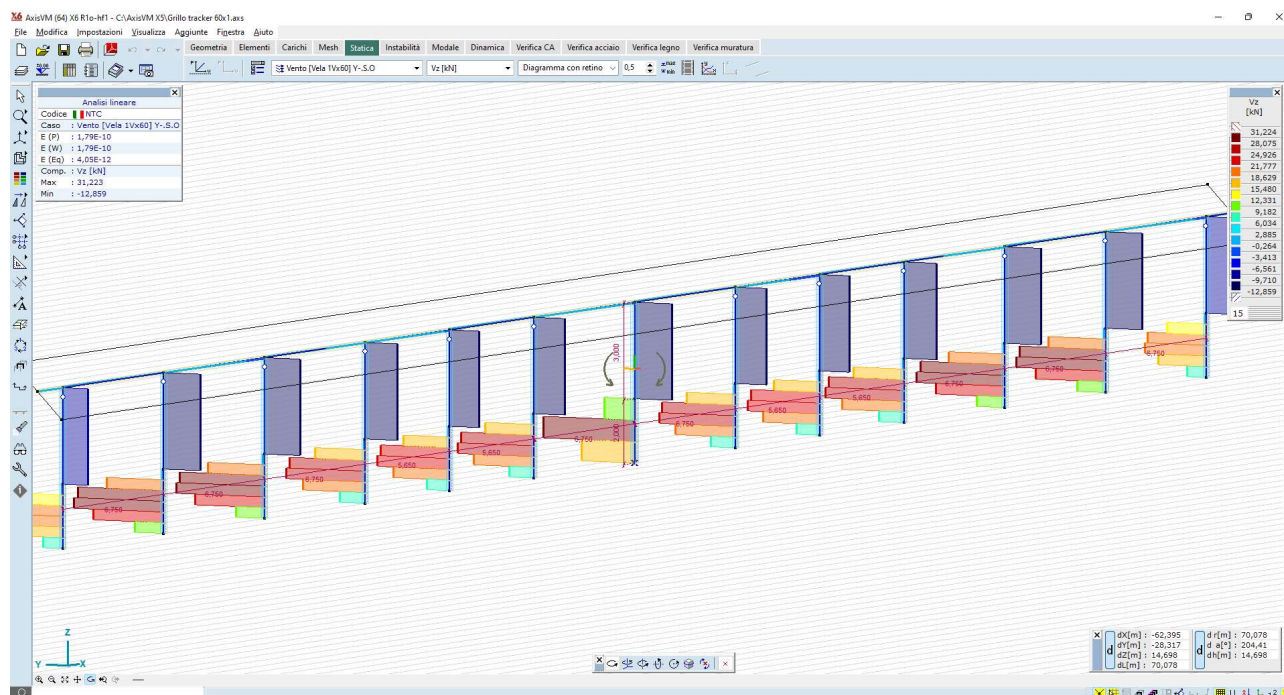


Figura 6-16 – taglio  $V_z$  – montanti - valori massimi dell'ordine dei 28  $kN$  – combinazione Y-S.O.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 50,561 MW e opere connesse, denominato "DELIA" da realizzarsi nei comuni di Marsala (TP) e Trapani (TP)

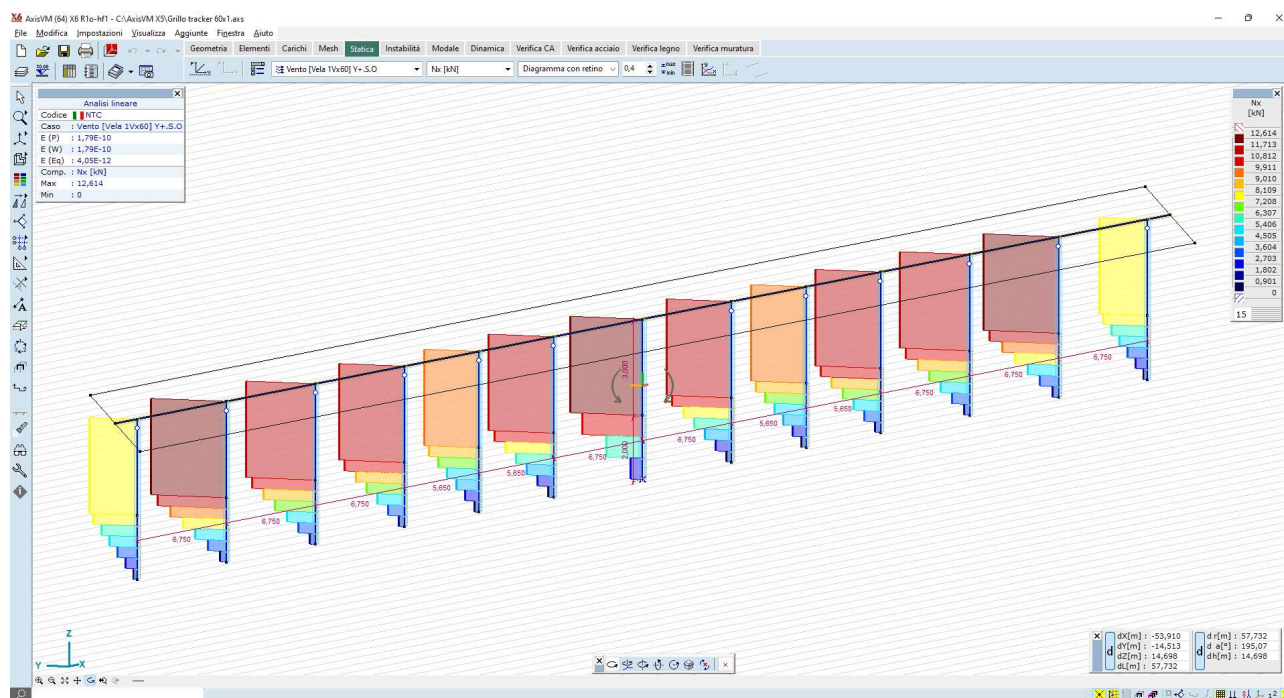


Figura 6-17 – carico uplift  $N_x$  – montanti – valori massimi dell'ordine dei 10 kN – combinazione Y-S.O.

Per quel che riguarda l'asse di rotazione, invece:

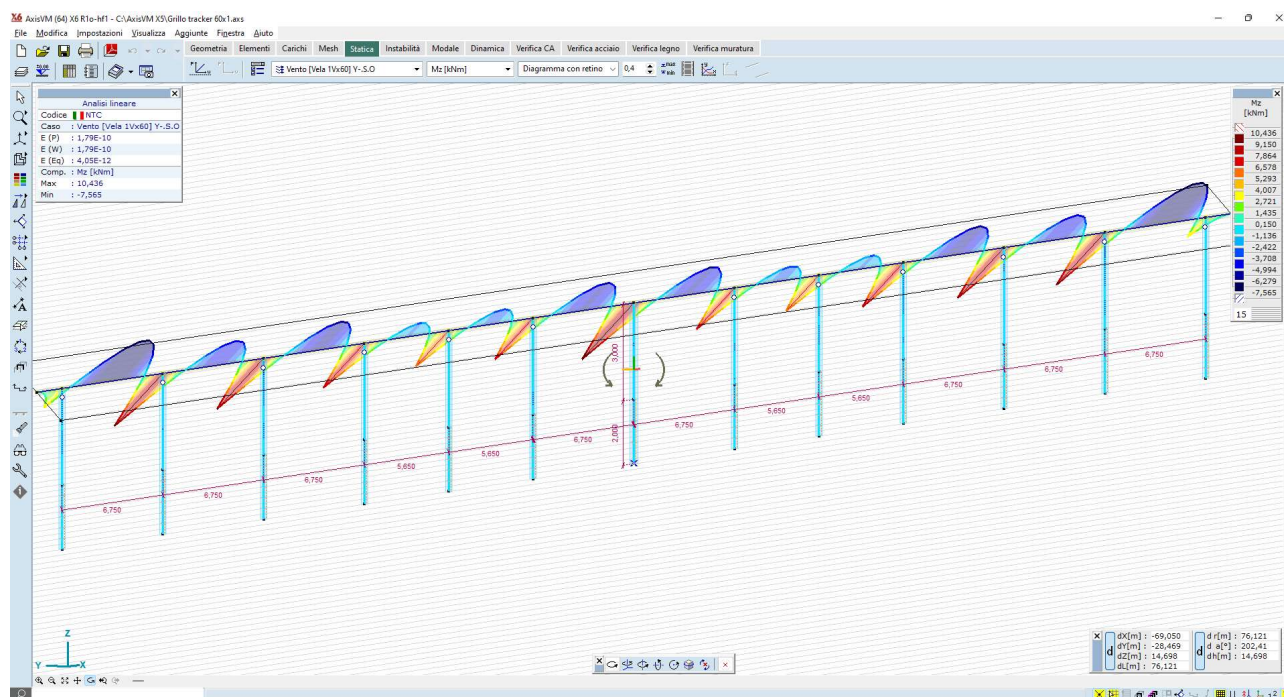


Figura 6-18 – momento flettente  $M_z$  – asse di rotazione - valori massimi dell'ordine dei 9 kN\*m – combinazione Y-S.O.

## 7 TRACKER MONOASSIALE 1X28

### 7.1 GENERAZIONE DEL MODELLO

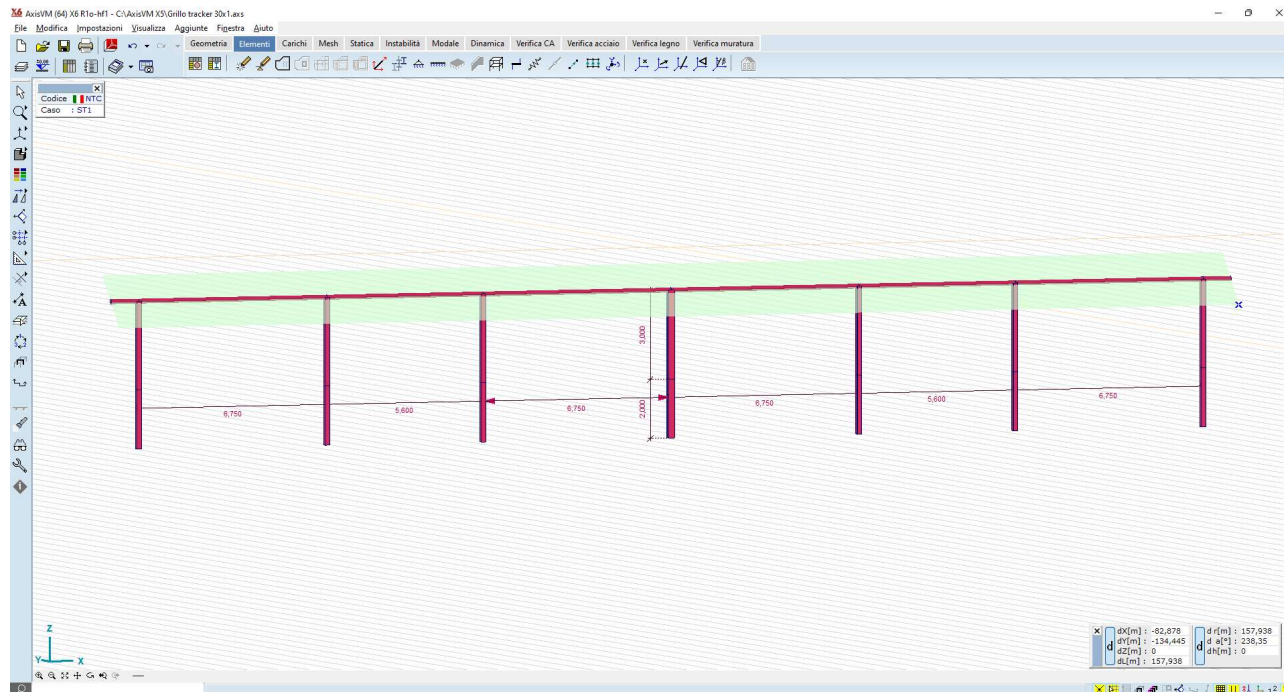


Figura 7-1 – modello ad elementi finiti – vista frontale

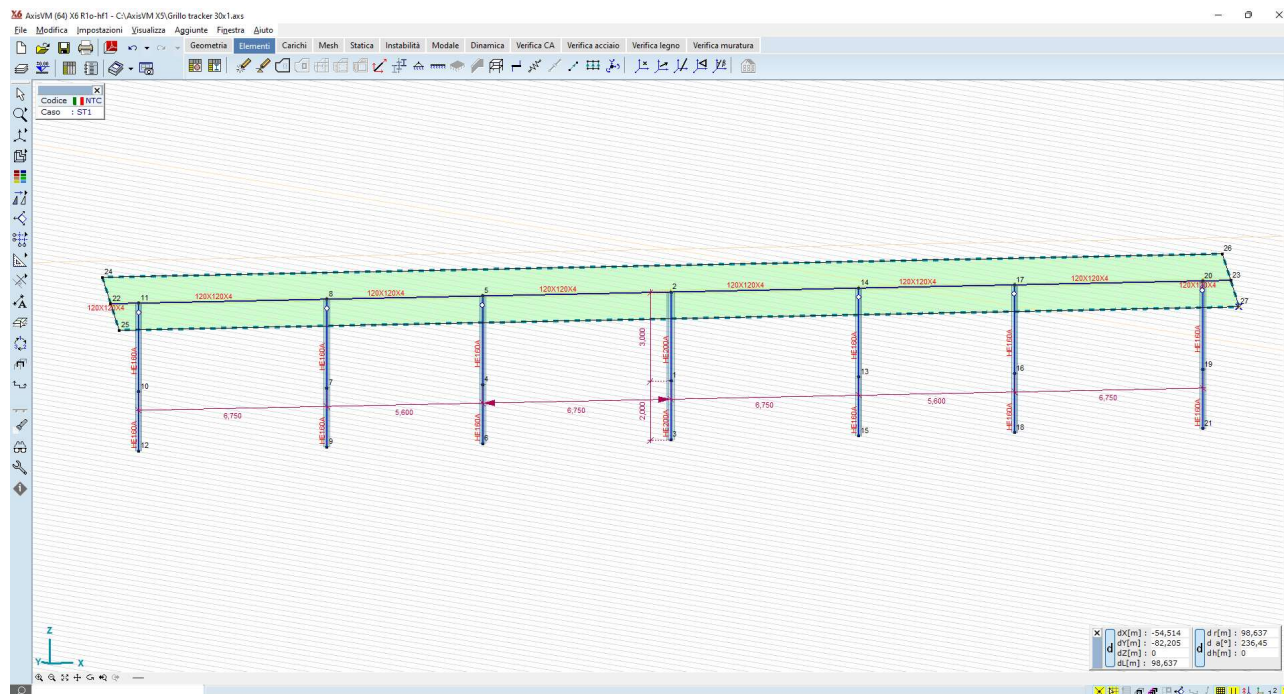


Figura 7-2 – modello ad elementi finiti – vista 3D

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 50,561 MW e opere connesse, denominato "DELIA" da realizzarsi nei comuni di Marsala (TP) e Trapani (TP)



## 7.2 CASI DI CARICO

Vengono generati n.8 casi di carico vento, come di seguito illustrato:

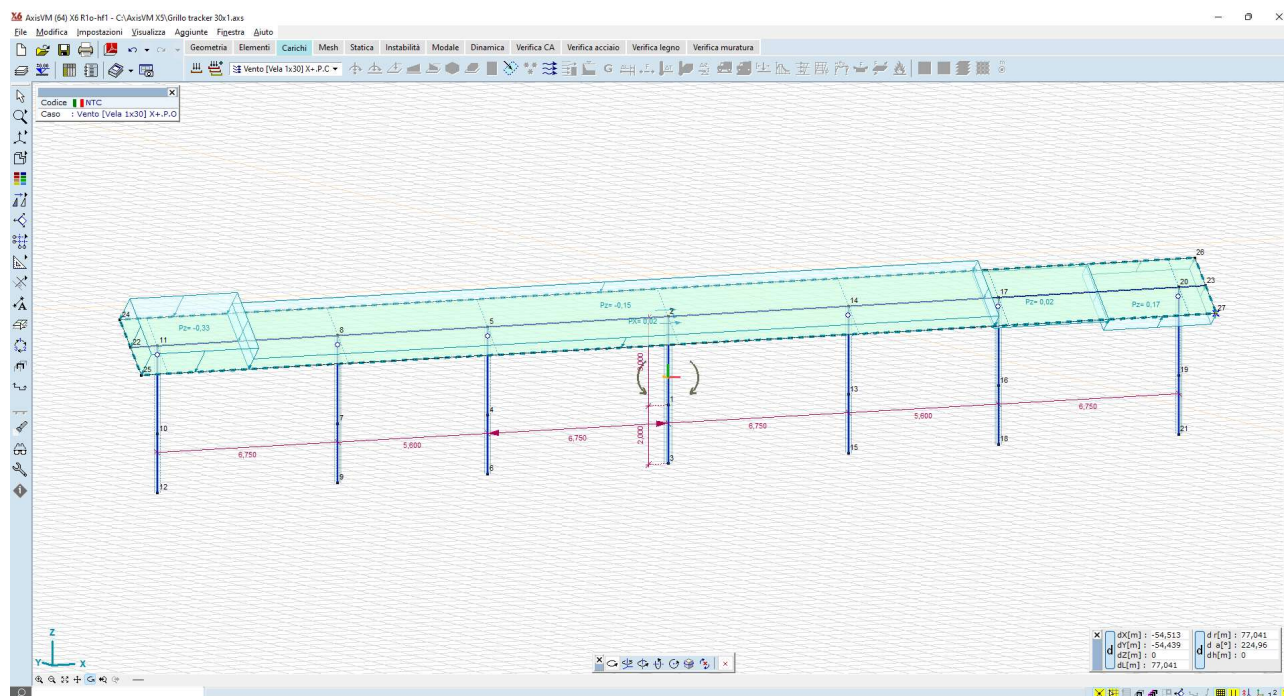


Figura 7-3 – carico vento X+P.O.

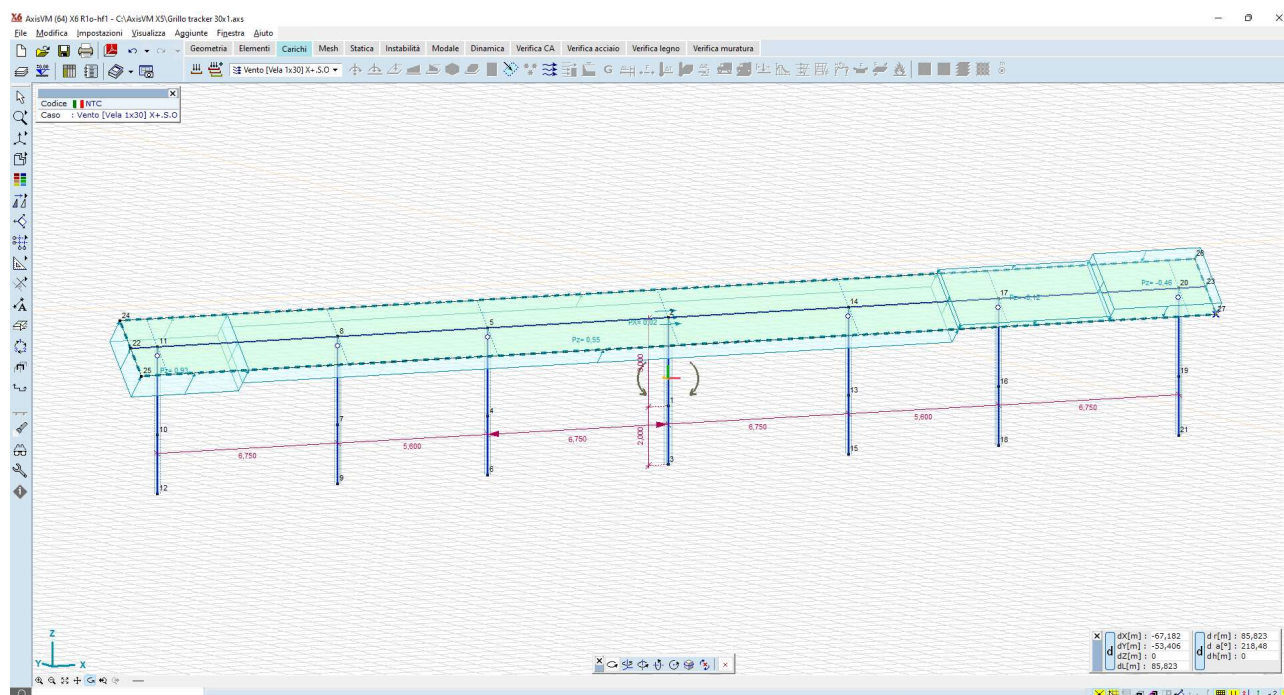


Figura 7-4 – carico vento X+S.O.



Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 50,561 MW e opere connesse, denominato "DELIA" da realizzarsi nei comuni di Marsala (TP) e Trapani (TP)

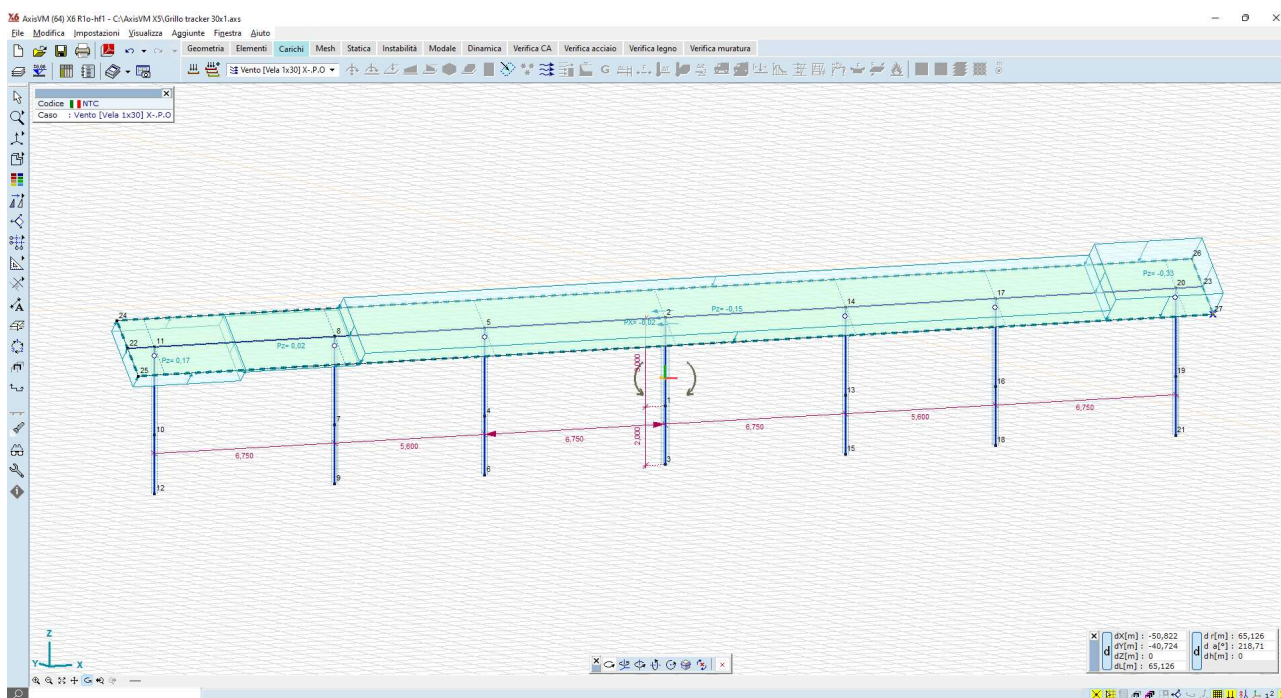


Figura 7-5 – carico vento X-P.O.

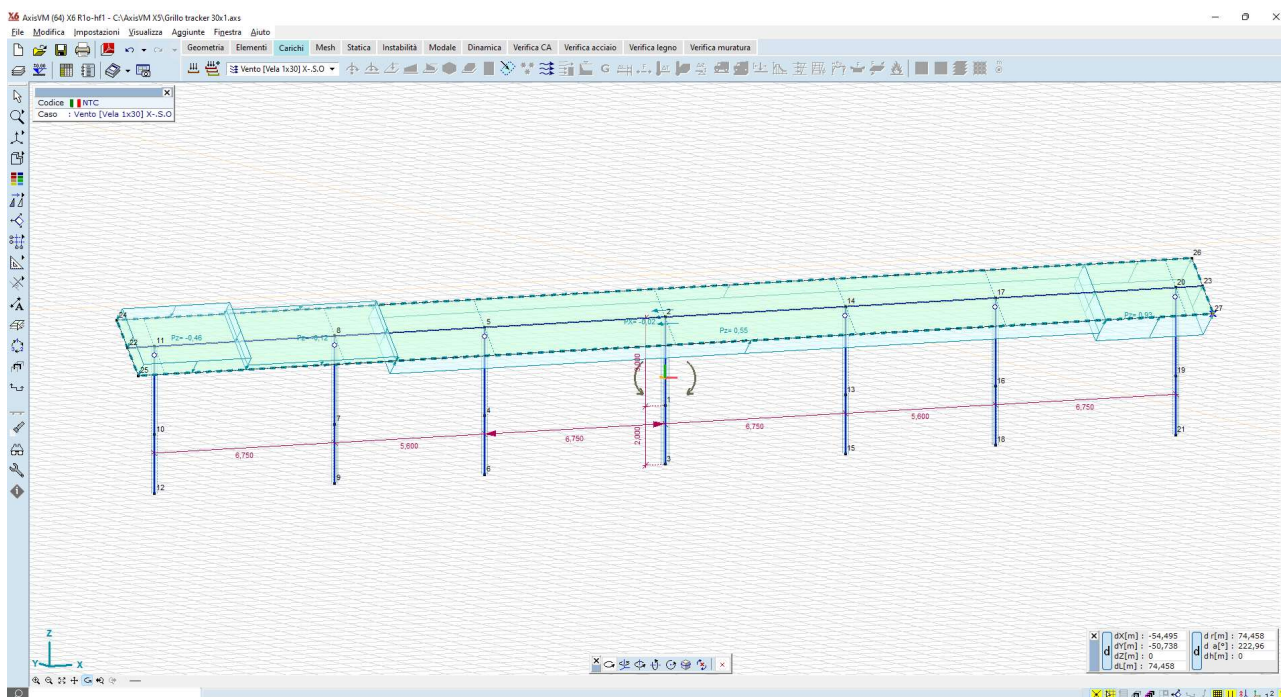


Figura 7-6 – carico vento X-S.O.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 50,561 MW e opere connesse, denominato "DELIA" da realizzarsi nei comuni di Marsala (TP) e Trapani (TP)

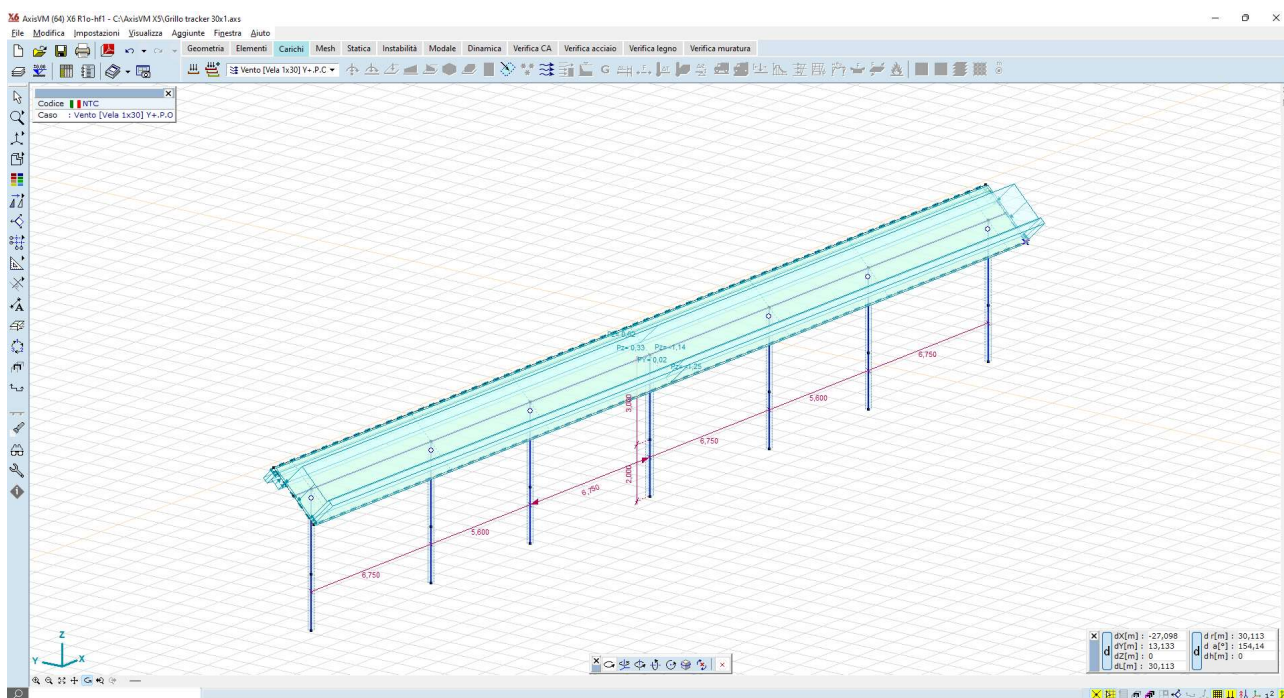


Figura 7-7 – Y+P.O.

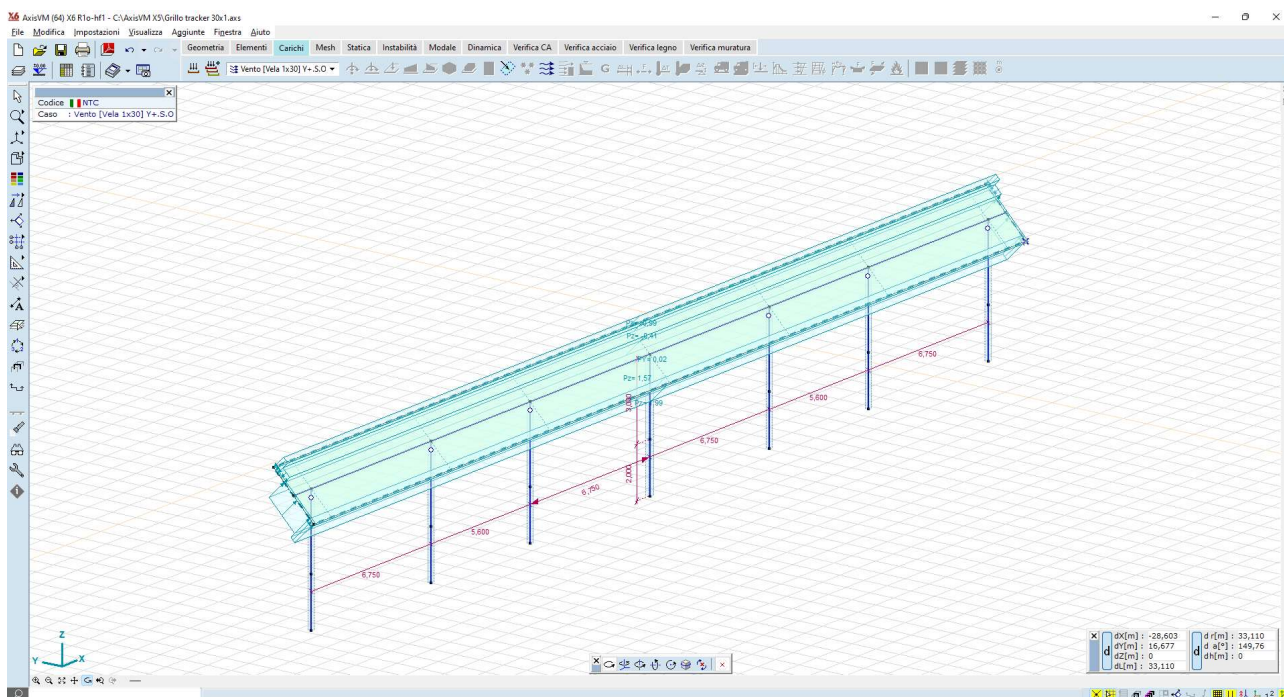


Figura 7-8 – Y+S.O.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 50,561 MW e opere connesse, denominato "DELIA" da realizzarsi nei comuni di Marsala (TP) e Trapani (TP)

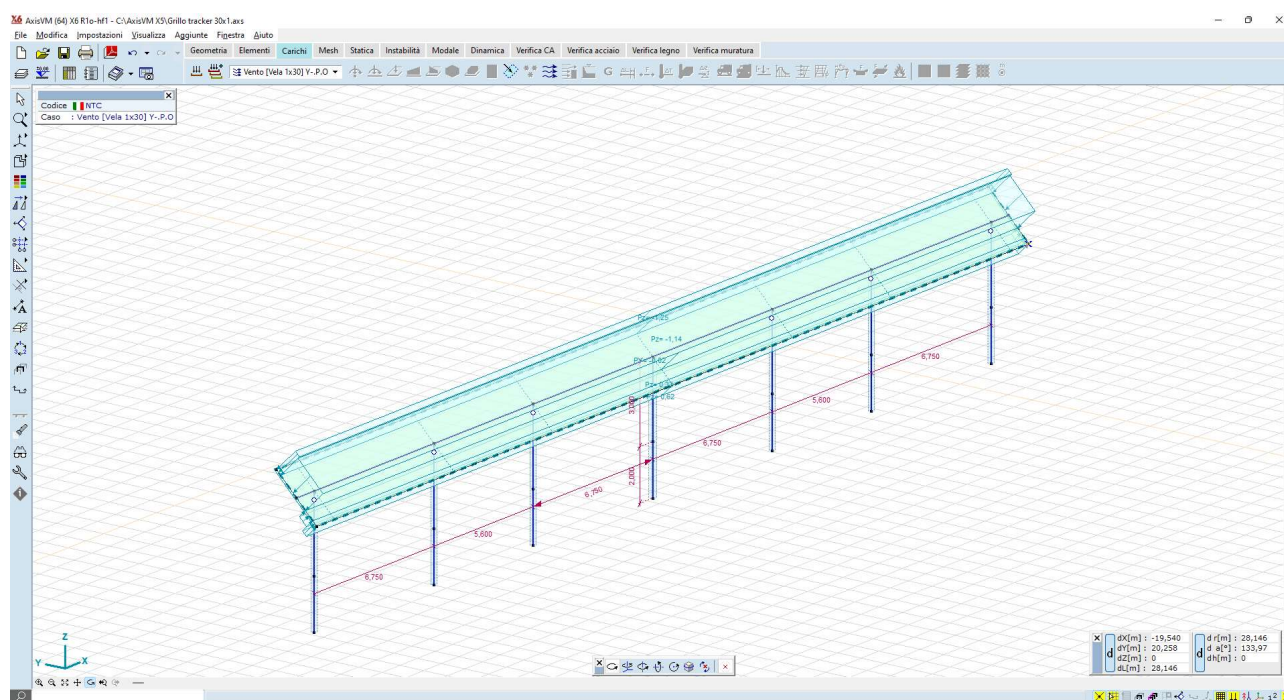


Figura 7-9 – Y-P.O.

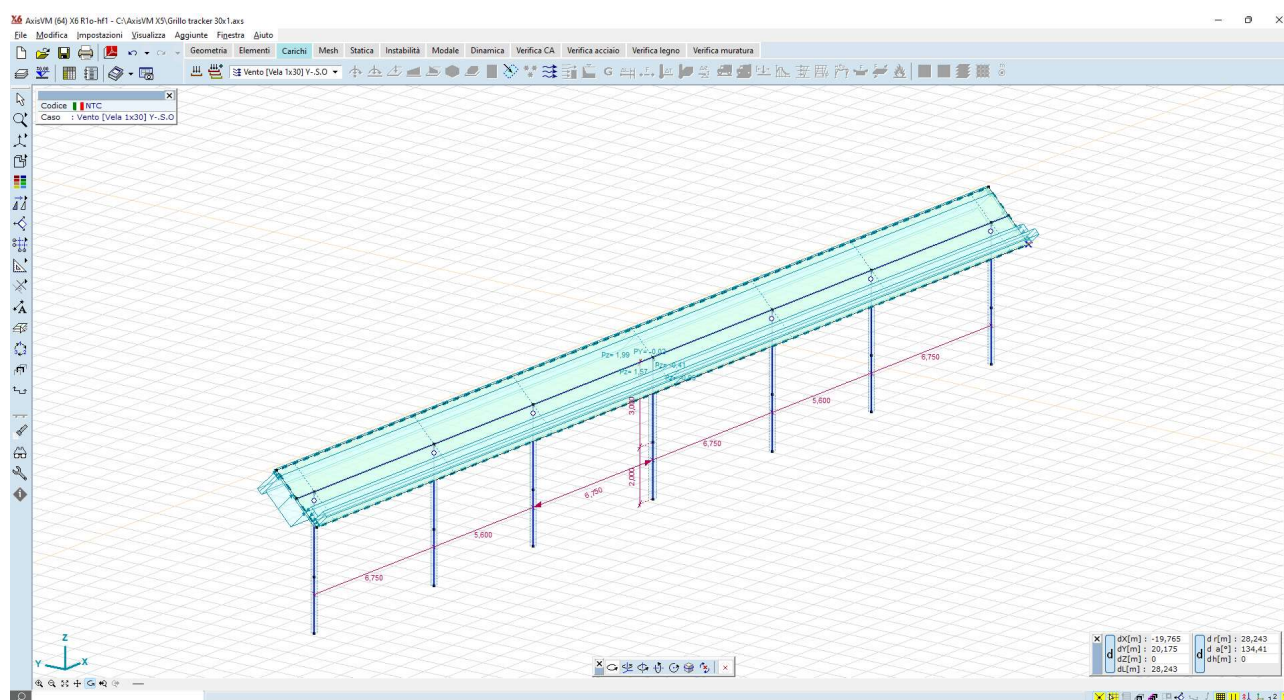


Figura 7-10 – Y-S.O.

### 7.3 RISULTATI NUMERICI

Vengono di seguito forniti i risultati del calcolo delle sollecitazioni e degli spostamenti. Si pone particolare attenzione in questa fase preliminare di progetto a quelli che sono gli spostamenti attesi della vela sotto l'azione prevalente dei carichi vento. In particolare, quelli che sono gli spostamenti dei montanti verticali.

### 7.3.1 Spostamenti

I massimi spostamenti orizzontali si registrano nelle configurazioni di carico Y+P.O., Y+S.O, Y-P.O., Y-S.O.

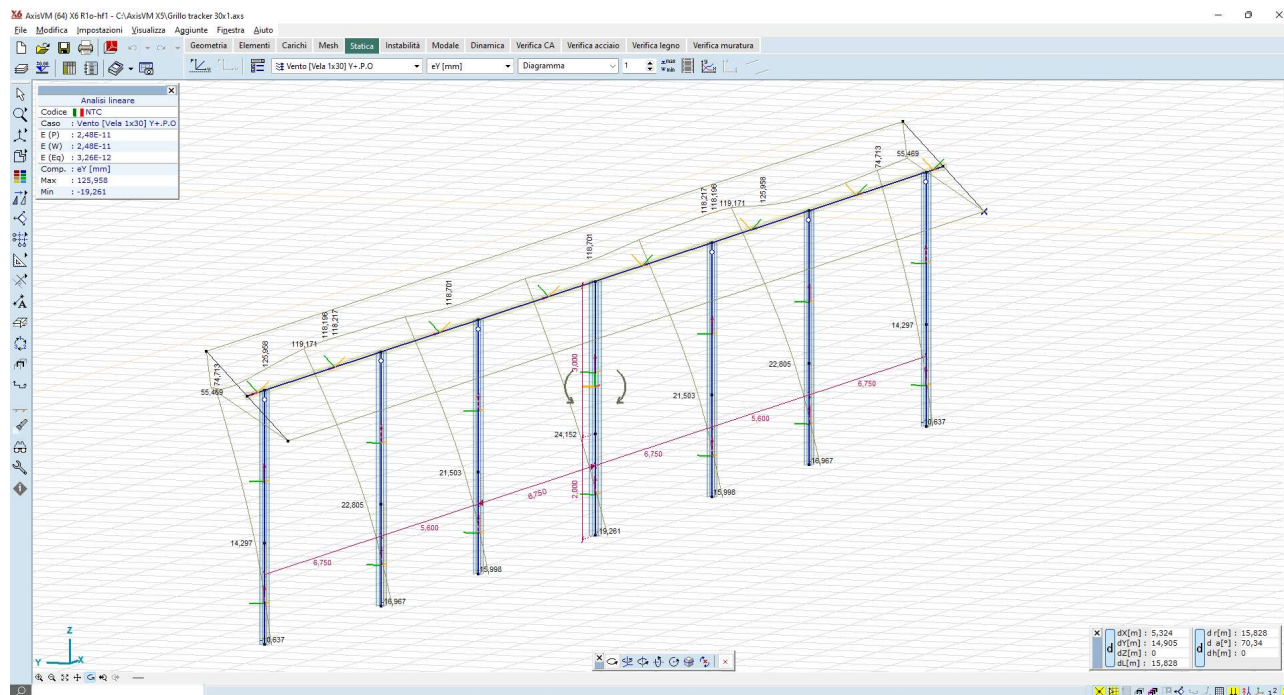


Figura 7-11 – spostamenti attesi sotto carico vento - condizione Y+P.O.

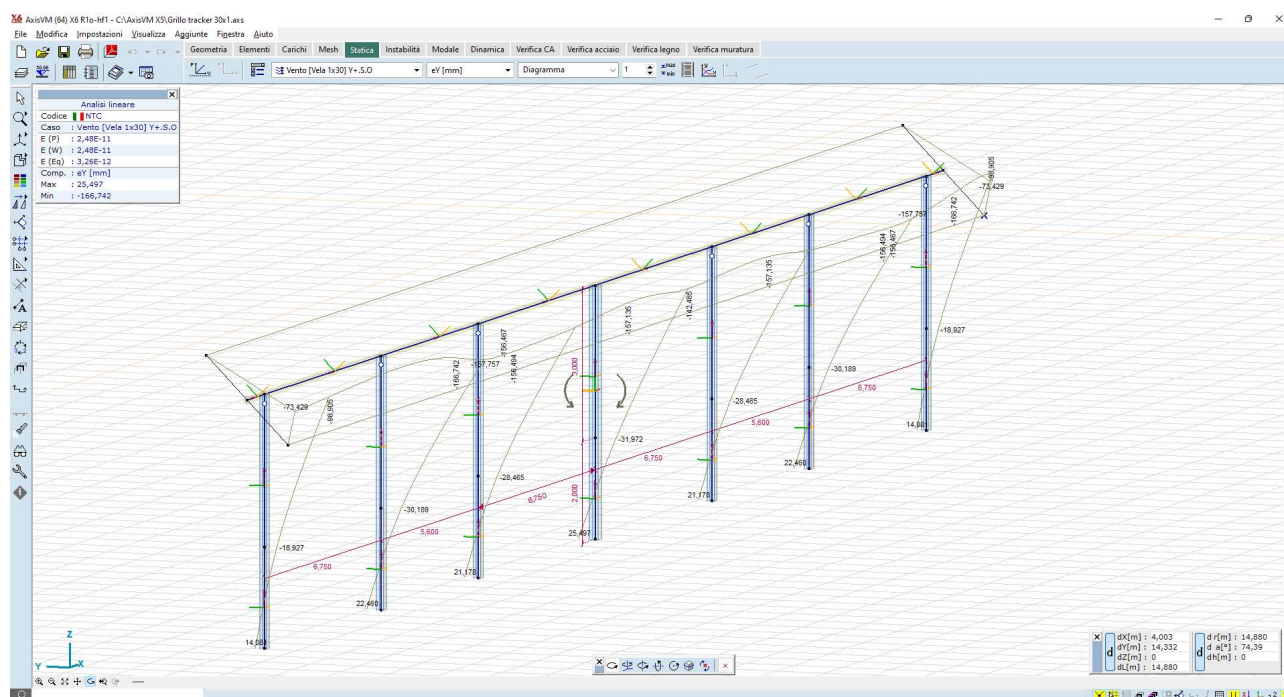


Figura 7-12 – spostamenti attesi sotto carico vento - condizione Y+S.O.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 50,561 MW e opere connesse, denominato "DELIA" da realizzarsi nei comuni di Marsala (TP) e Trapani (TP)

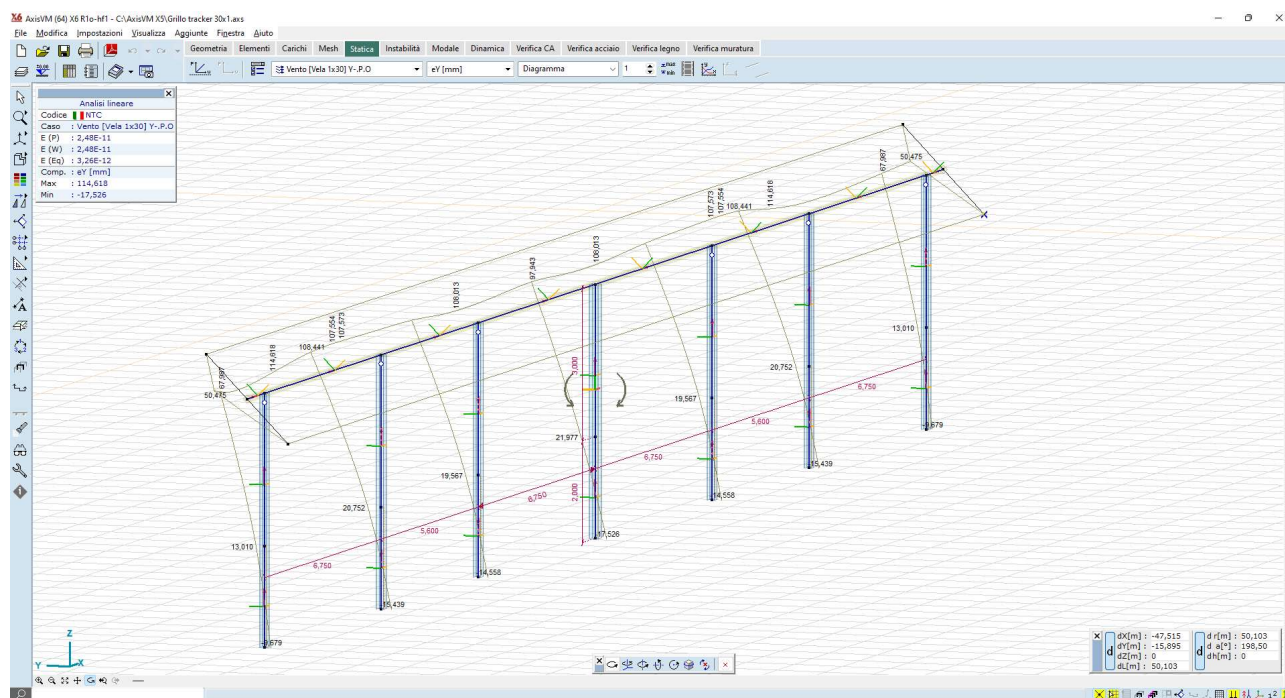


Figura 7-13 – spostamenti attesi sotto carico vento - condizione Y-P.O.

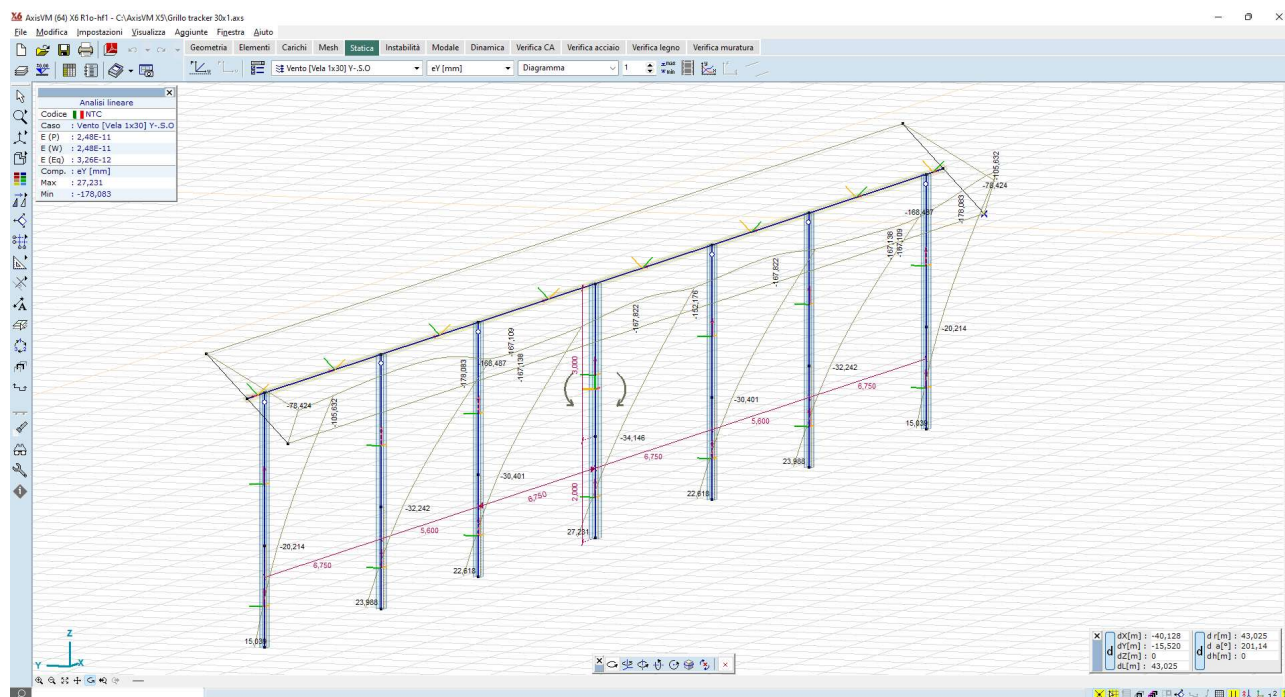


Figura 7-14 – spostamenti attesi sotto carico vento - condizione Y-S.O.

I valori di spostamenti orizzontali al mozzo, nella condizione di carico più gravosa, sono dell'ordine dei 140mm, mentre quelli al piano campagna sono dell'ordine dei 25mm; tali valori vengono ritenuti accettabili se paragonati a quelli delle installazioni ormai diffuse sul territorio nazionale. Si dovrà tuttavia, nella fase di progettazione esecutiva, mettere in atto una campagna di test in sito – pull out test e test per carico laterale – in modo tale da confrontare le stime numeriche con i valori realmente riscontrabili in campo.

### 7.3.2 Sollecitazioni

Per quel che riguarda i montanti verticali, le massime sollecitazioni sono:

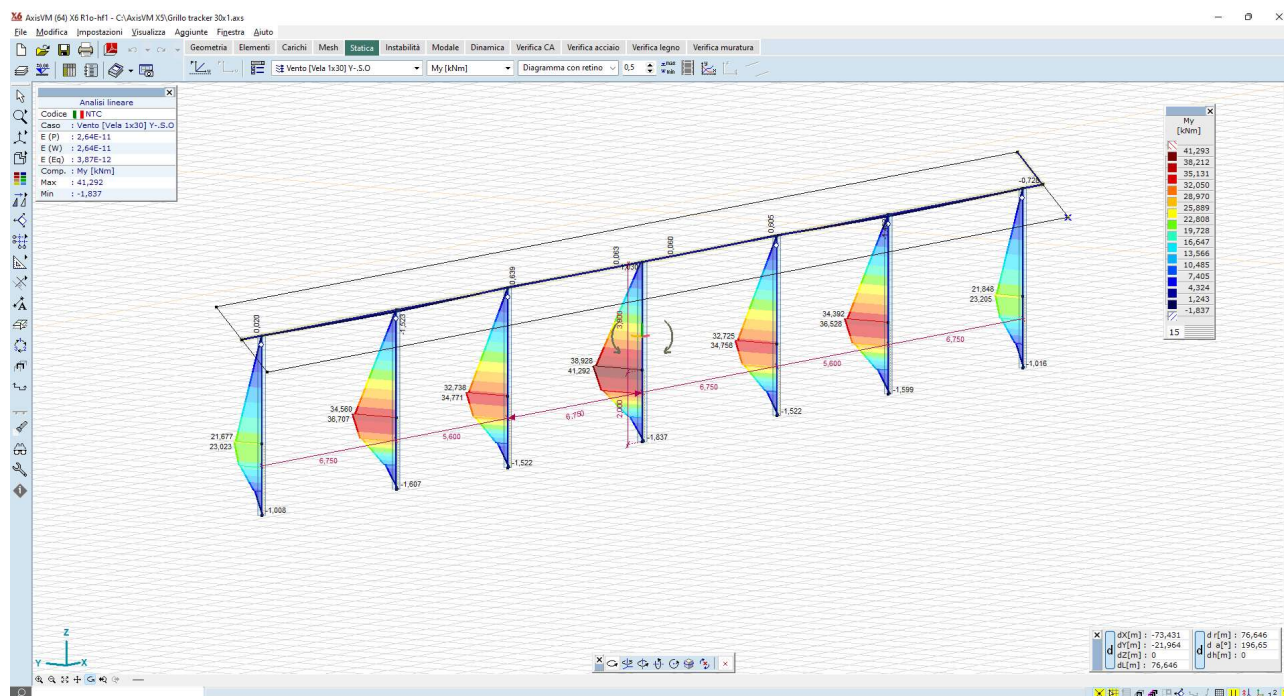


Figura 7-15 – momento flettente  $M_y$  – montanti - valori massimi dell'ordine dei 38  $kN*m$  – combinazione Y-S.O.

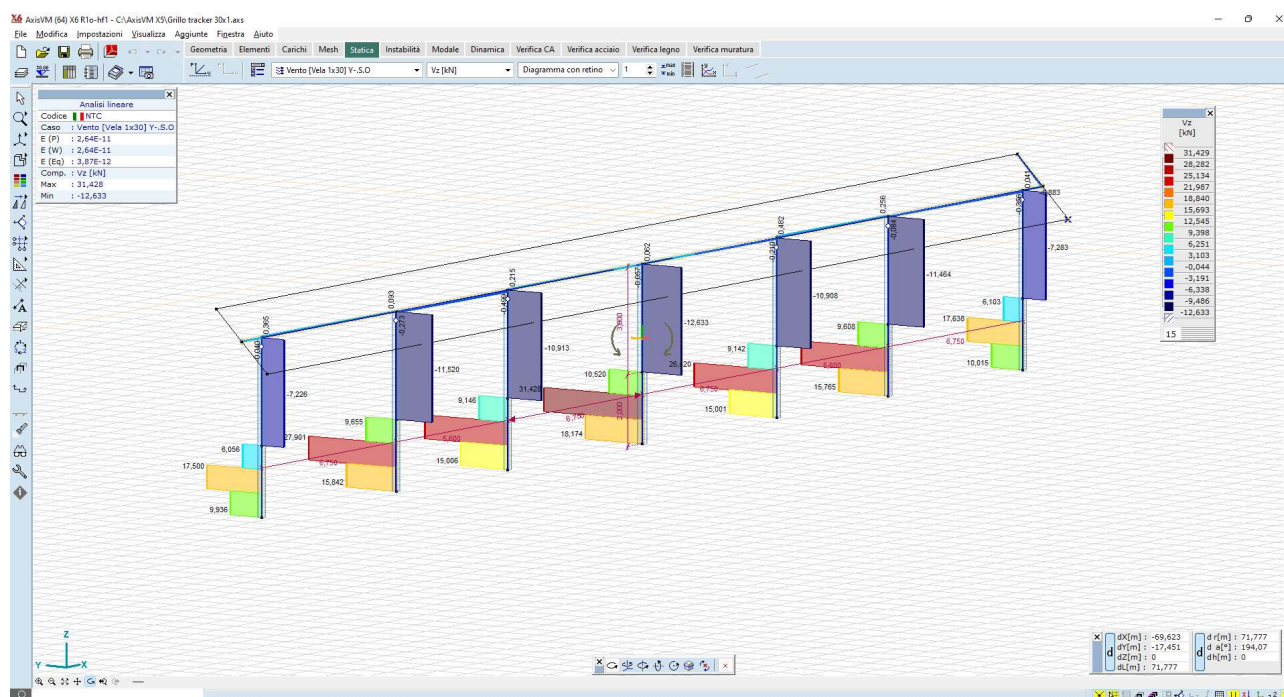


Figura 7-16 – taglio  $V_z$  – montanti - valori massimi dell'ordine dei 28  $kN$  – combinazione Y-S.O.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 50,561 MW e opere connesse, denominato "DELIA" da realizzarsi nei comuni di Marsala (TP) e Trapani (TP)

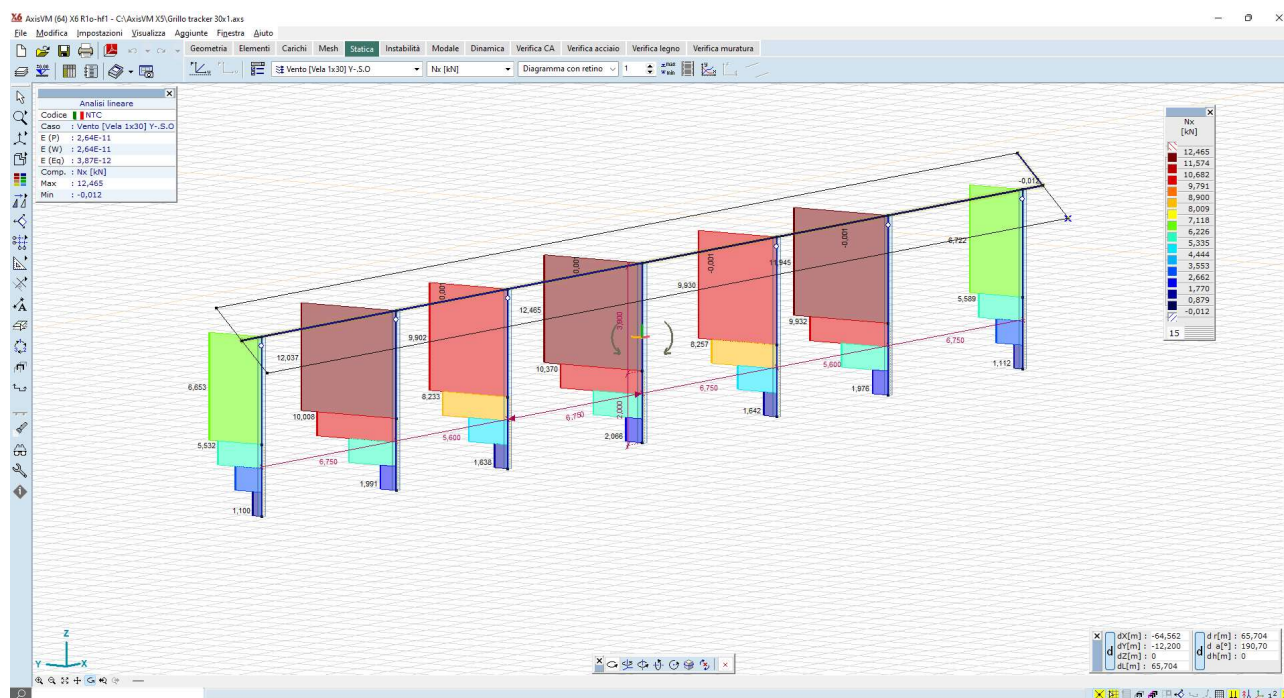


Figura 7-17 – carico uplift  $N_x$  – montanti – valori massimi dell'ordine dei 10 kN – combinazione Y-S.O.

Per quel che riguarda l'asse di rotazione, invece:

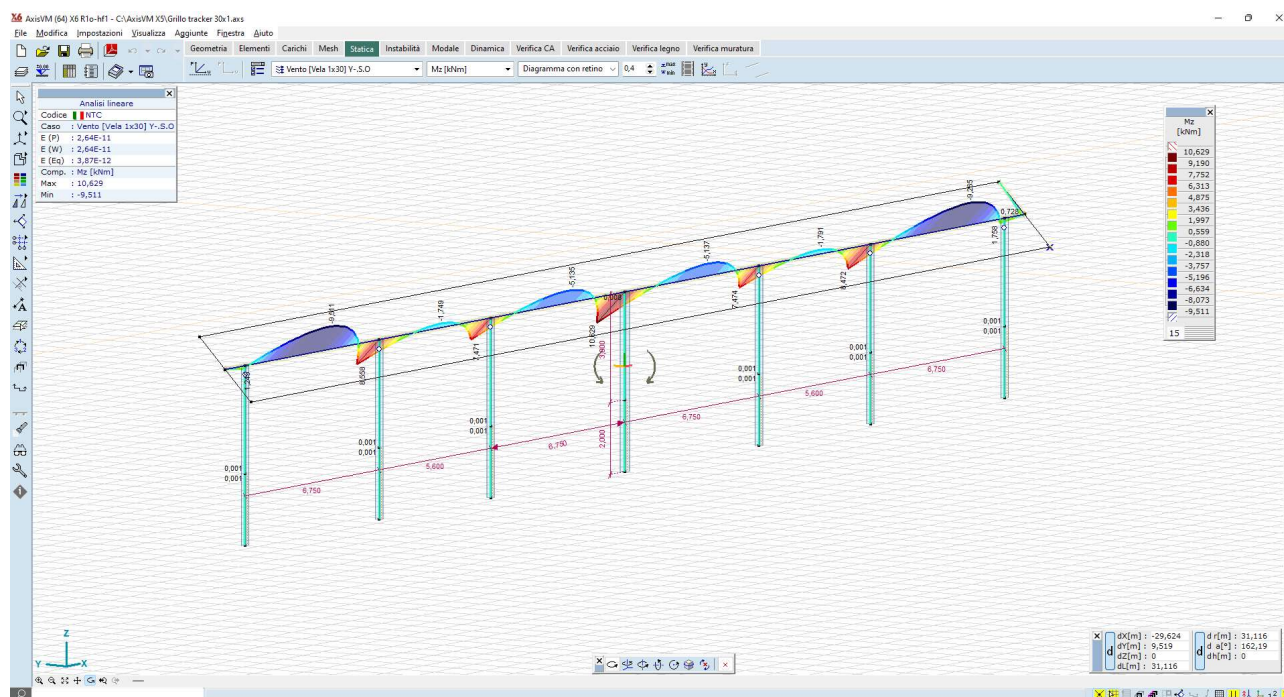


Figura 7-18 – momento flettente  $M_z$  – asse di rotazione - valori massimi dell'ordine dei 9 kN\*m – combinazione Y-S.O.

## 8 TRACKER MONOASSIALE 1X14

### 8.1 GENERAZIONE DEL MODELLO

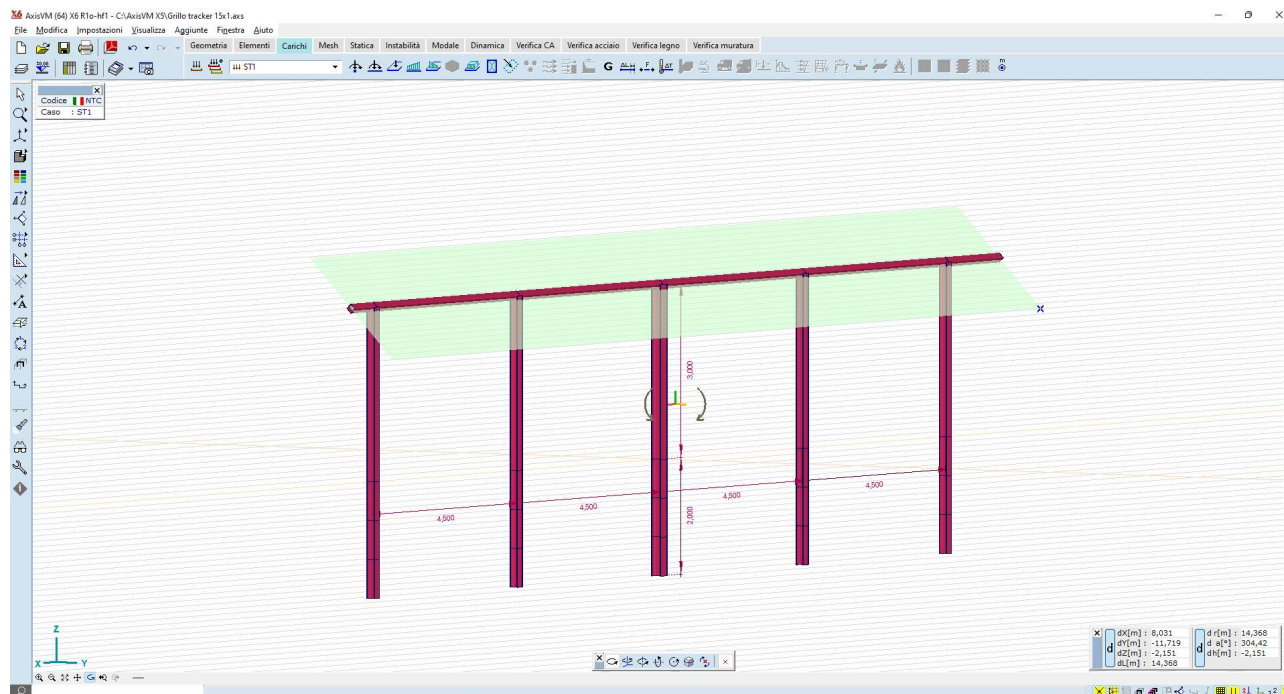


Figura 8-1 – modello ad elementi finiti – vista frontale

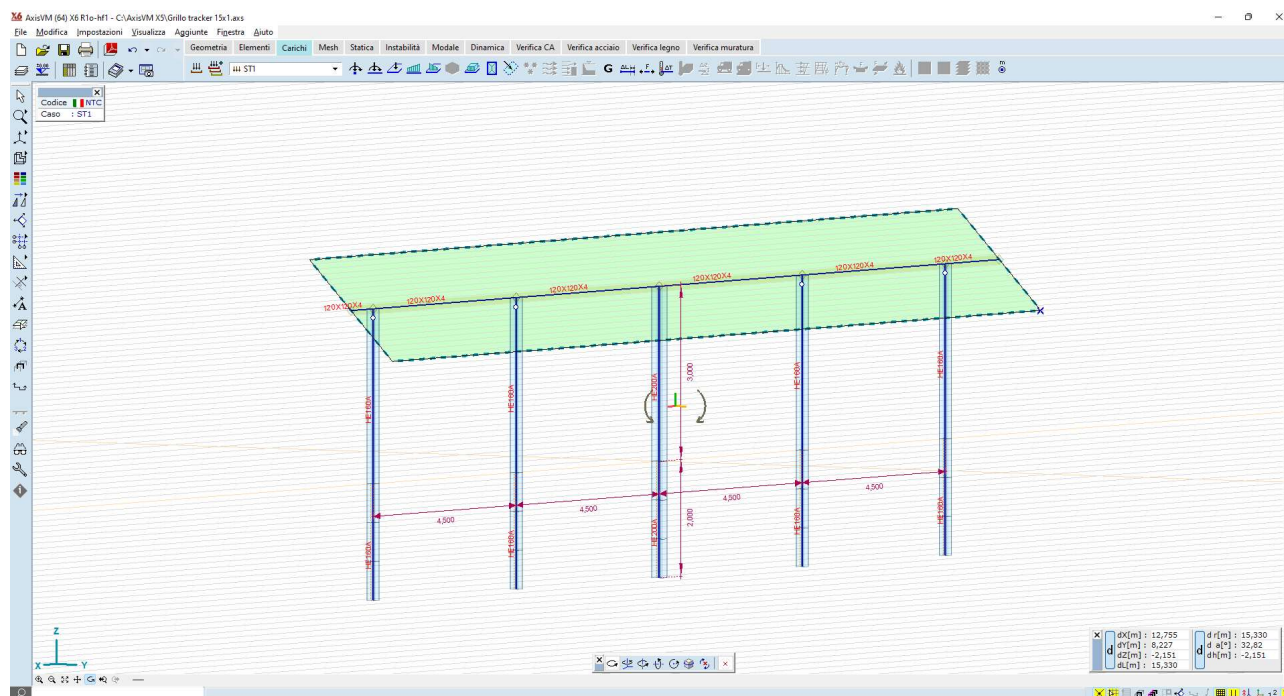


Figura 8-2 – modello a elementi finiti – vista 3D



## 8.2 CASI DI CARICO

Vengono generati n.8 casi di carico vento, come di seguito illustrato:

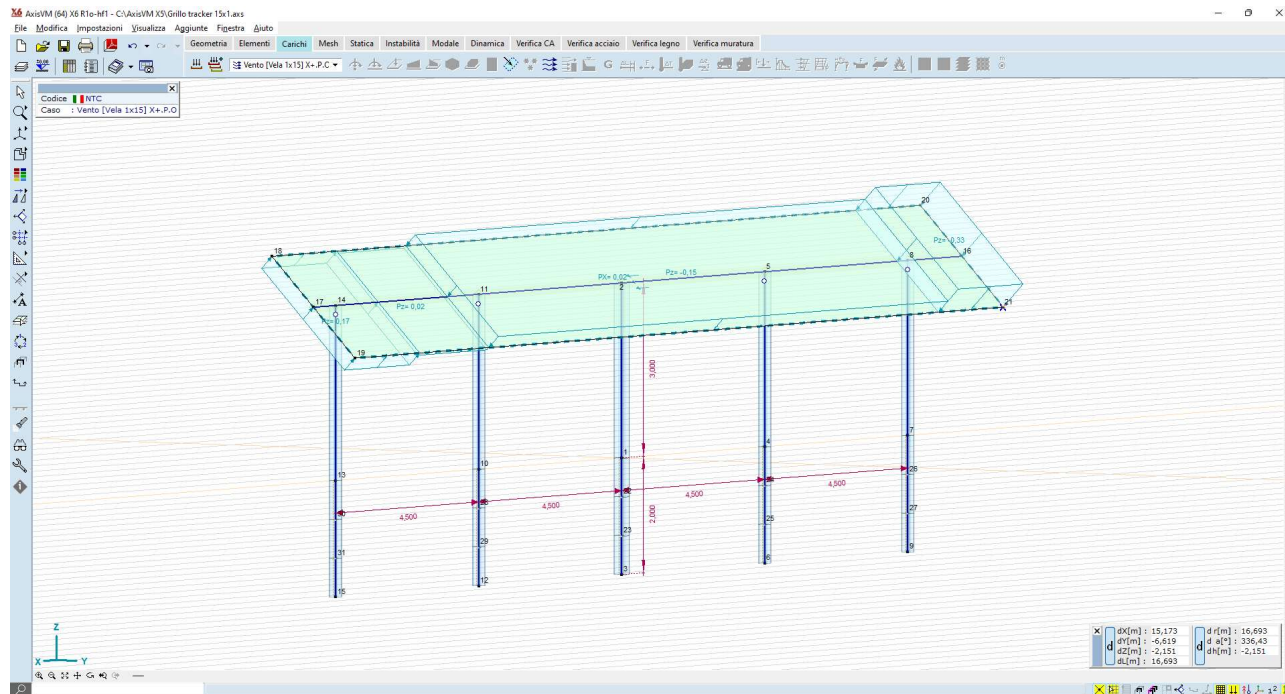


Figura 8-3 – carico vento X+P.O.

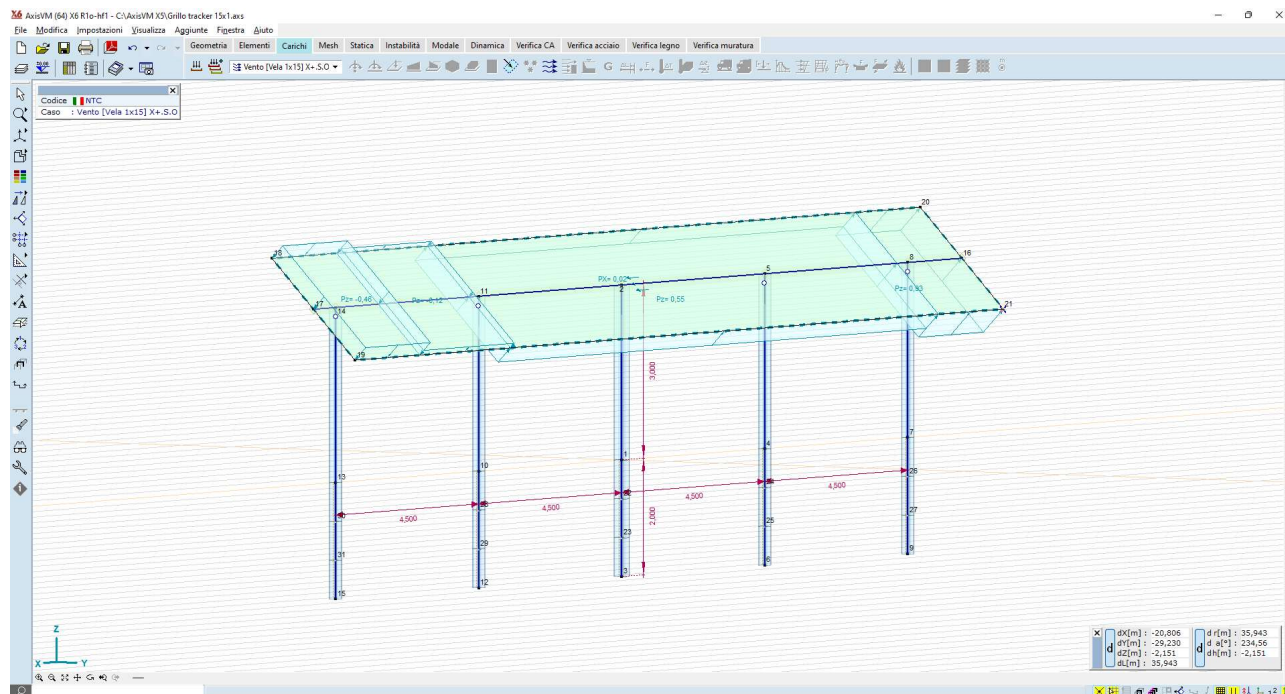


Figura 8-4 – carico vento X+S.O.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 50,561 MW e opere connesse, denominato "DELIA" da realizzarsi nei comuni di Marsala (TP) e Trapani (TP)

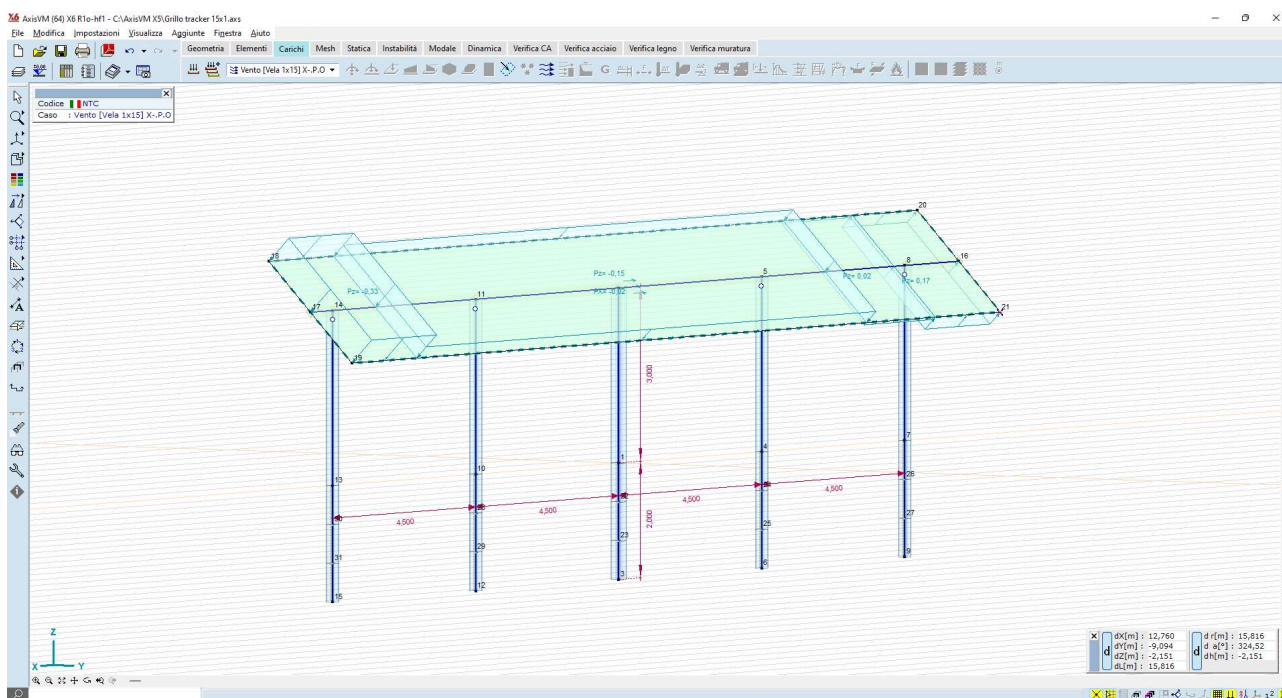


Figura 8-5 – carico vento X-P.O.

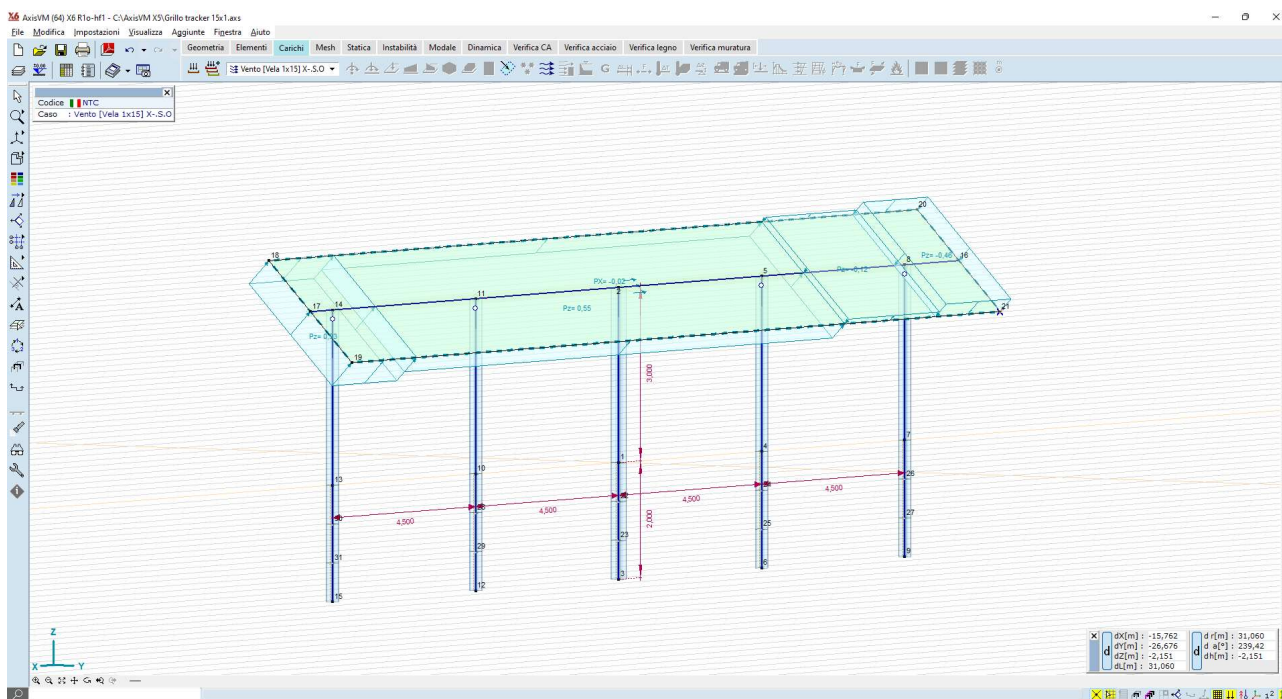


Figura 8-6 – carico vento X-S.O.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 50,561 MW e opere connesse, denominato "DELIA" da realizzarsi nei comuni di Marsala (TP) e Trapani (TP)

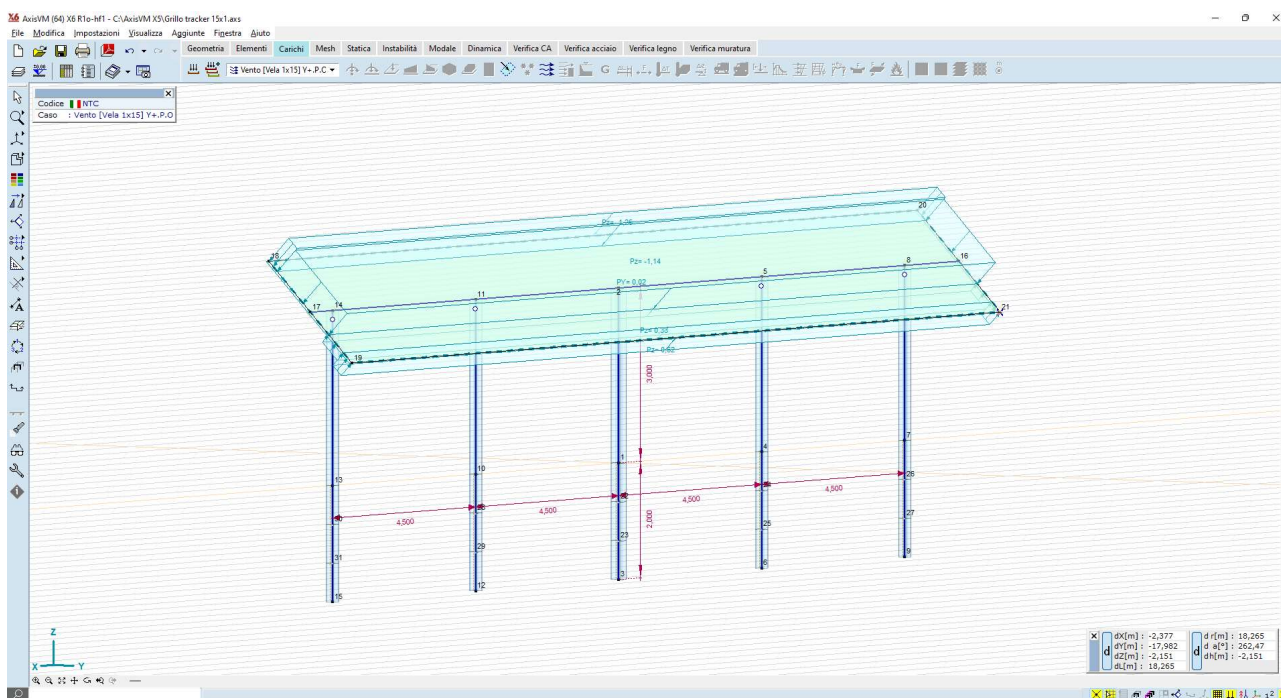


Figura 8-7 – Y+P.O.

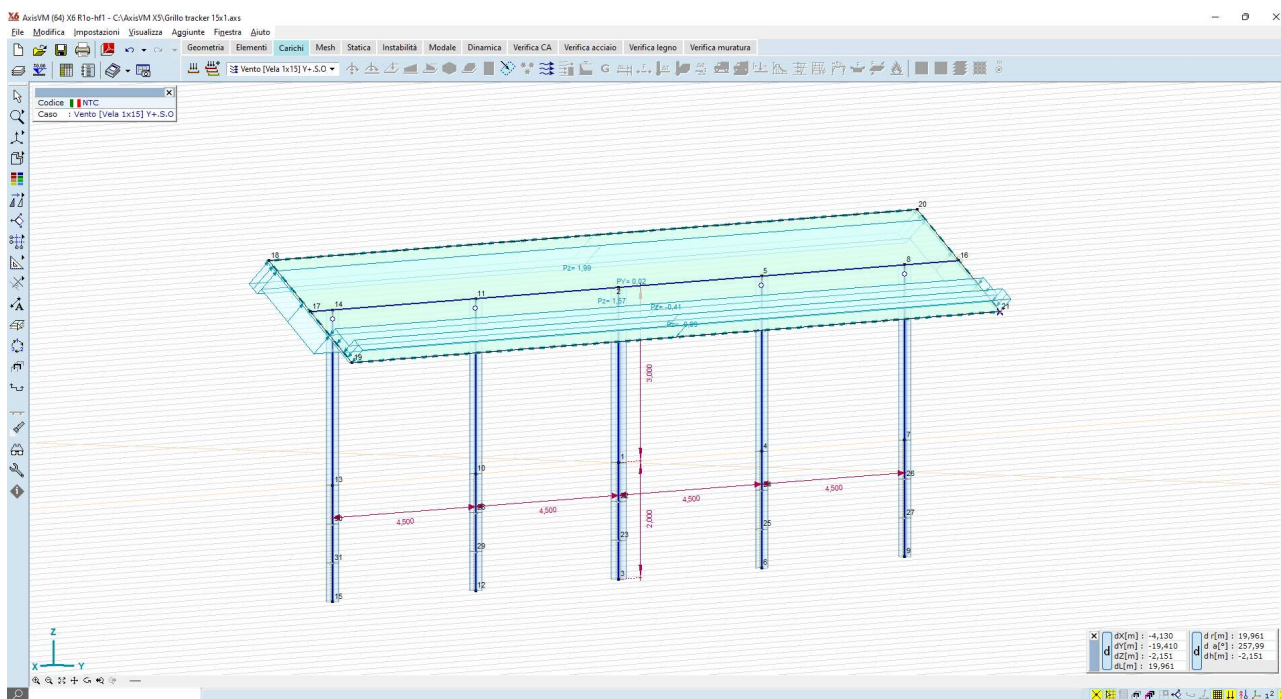


Figura 8-8 – Y+S.O.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 50,561 MW e opere connesse, denominato "DELIA" da realizzarsi nei comuni di Marsala (TP) e Trapani (TP)

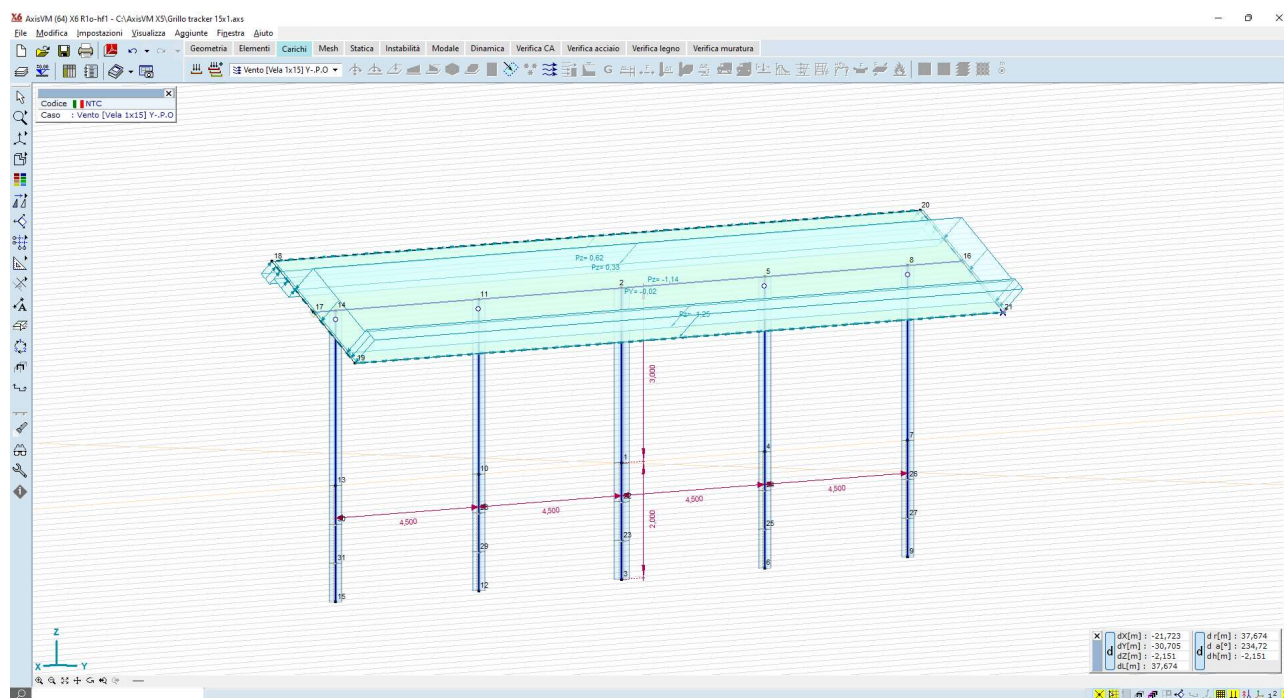


Figura 8-9 – Y-P.O.

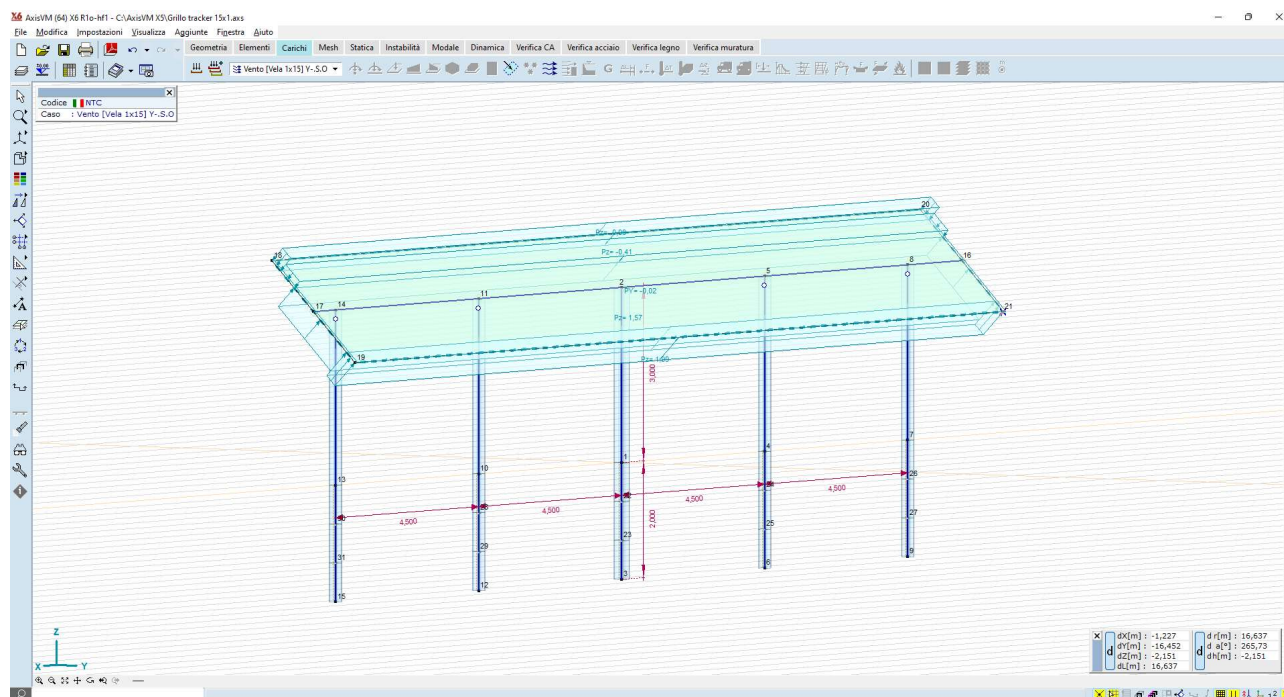


Figura 8-10 – Y-S.O.

### 8.3 RISULTATI NUMERICI

Vengono di seguito forniti i risultati del calcolo delle sollecitazioni e degli spostamenti. Si pone particolare attenzione in questa fase preliminare di progetto a quelli che sono gli spostamenti attesi della vela sotto l'azione prevalente dei carichi vento. In particolare, quelli che sono gli spostamenti dei montanti verticali.

### 8.3.1 Spostamenti

I massimi spostamenti orizzontali si registrano nelle configurazioni di carico Y+P.O., Y+S.O, Y-P.O., Y-S.O.

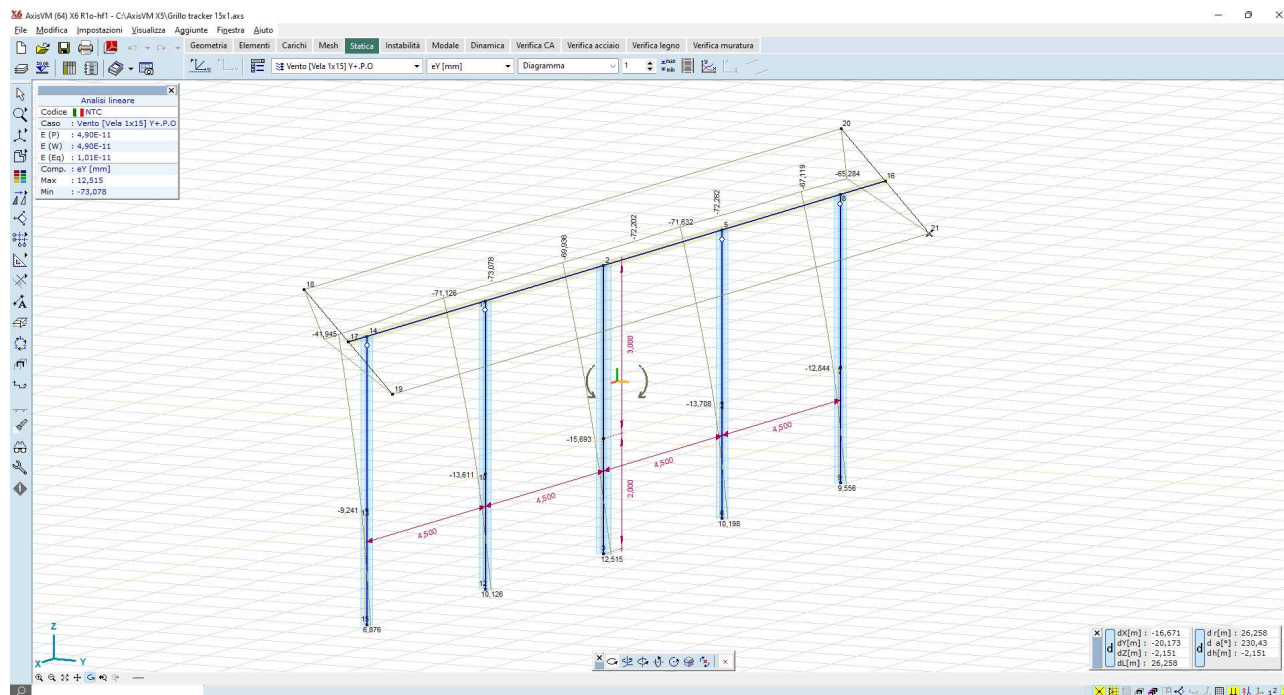


Figura 8-11 – spostamenti attesi sotto carico vento - condizione Y+P.O.

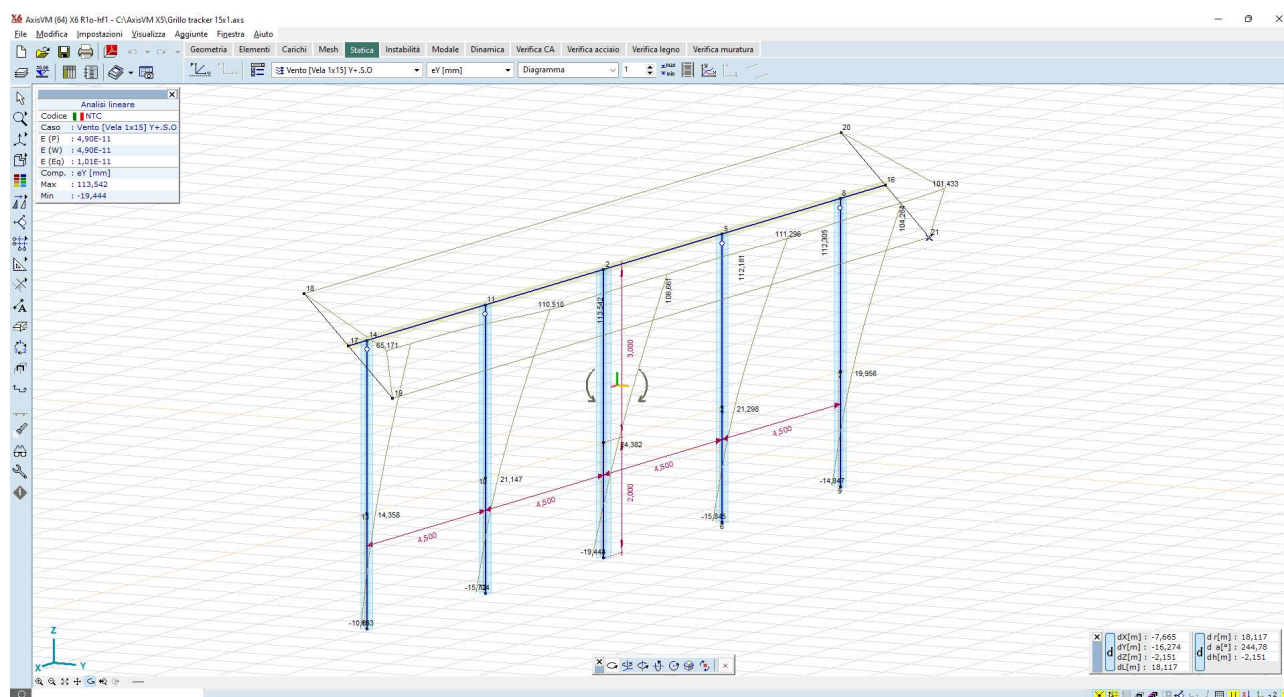


Figura 8-12 – spostamenti attesi sotto carico vento - condizione Y+S.O.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 50,561 MW e opere connesse, denominato "DELIA" da realizzarsi nei comuni di Marsala (TP) e Trapani (TP)

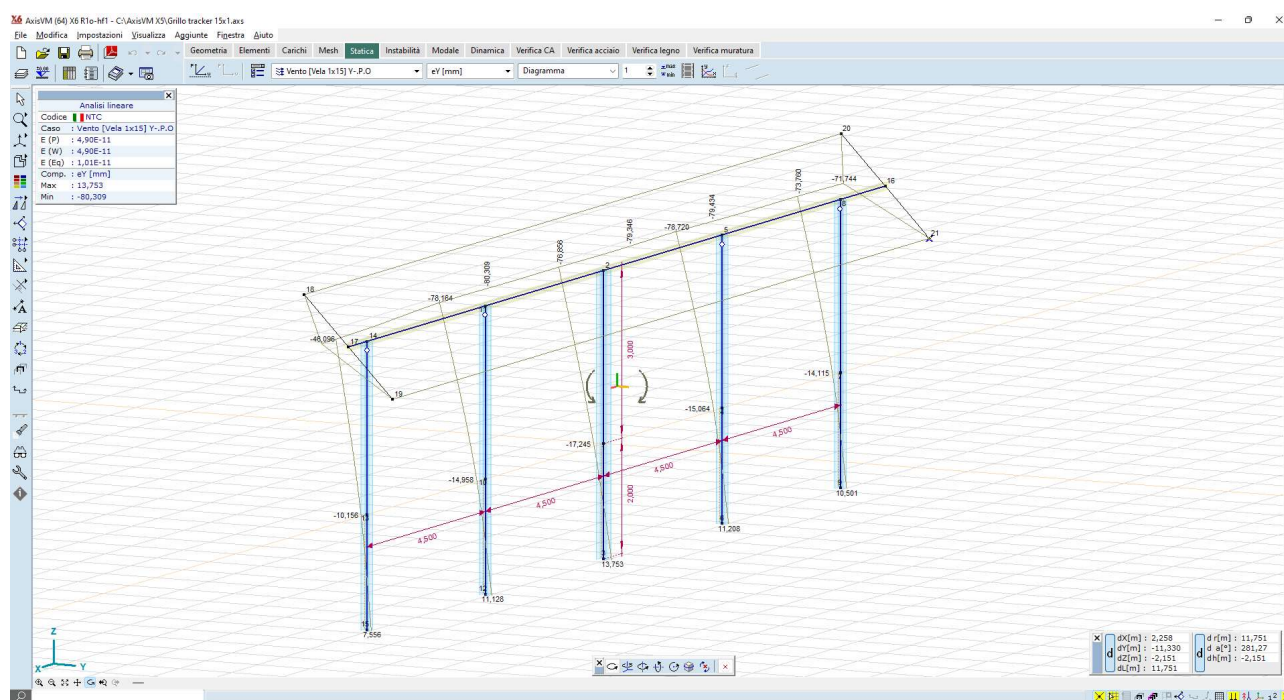


Figura 8-13 – spostamenti attesi sotto carico vento - condizione Y-P.O.

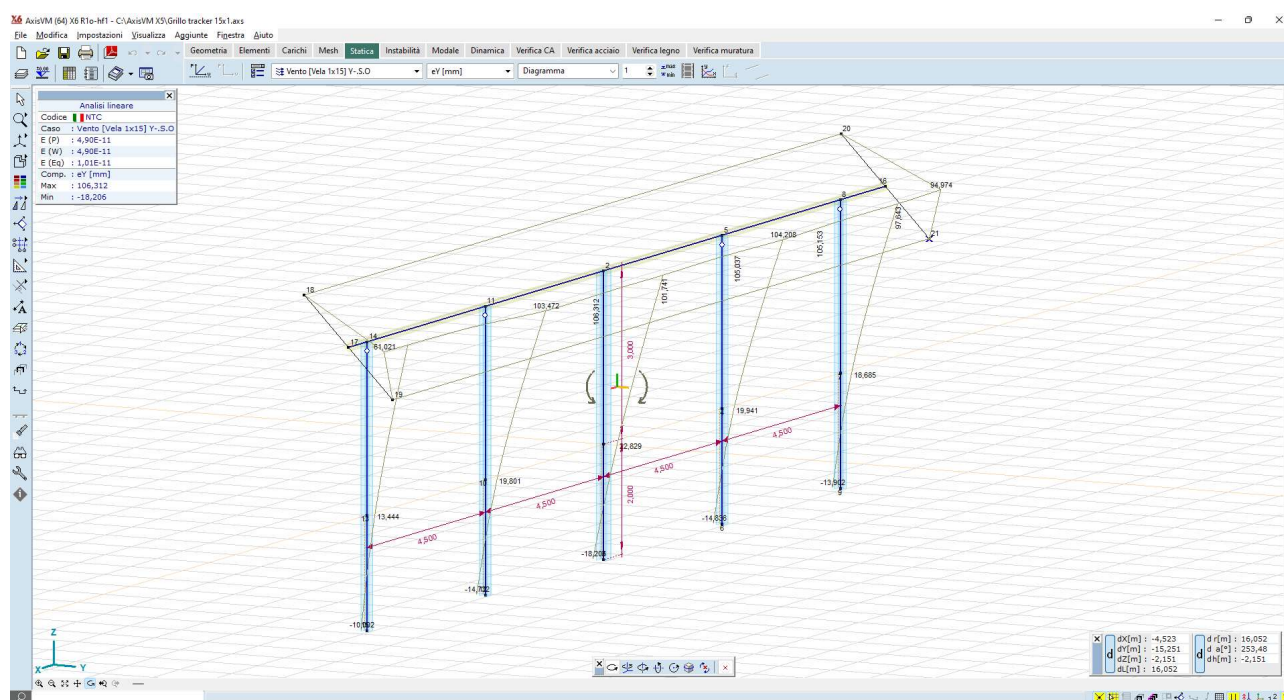


Figura 8-14 – spostamenti attesi sotto carico vento - condizione Y-S.O.

I valori di spostamenti orizzontali al mozzo, nella condizione di carico più gravosa, sono dell'ordine dei 110mm, mentre quelli al piano campagna sono dell'ordine dei 20mm; tali valori vengono ritenuti accettabili se paragonati a quelli delle installazioni ormai diffuse sul territorio nazionale. Si dovrà tuttavia, nella fase di progettazione esecutiva, mettere in atto una campagna di test in sito – pull out test e test per carico laterale – in modo tale da confrontare le stime numeriche con i valori realmente riscontrabili in campo.

### 8.3.2 Sollecitazioni

Per quel che riguarda i montanti verticali, le massime sollecitazioni sono:

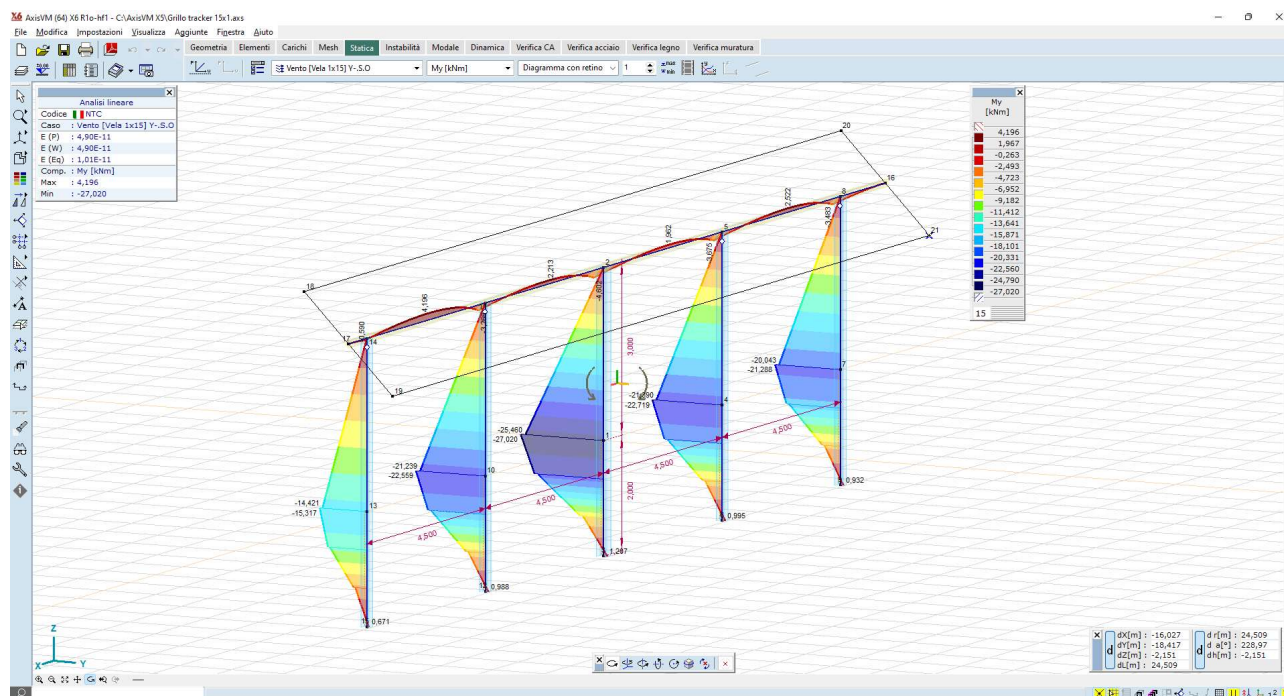


Figura 8-15 – momento flettente  $M_y$  – montanti - valori massimi dell'ordine dei 24  $kN*m$  – combinazione Y-S.O.

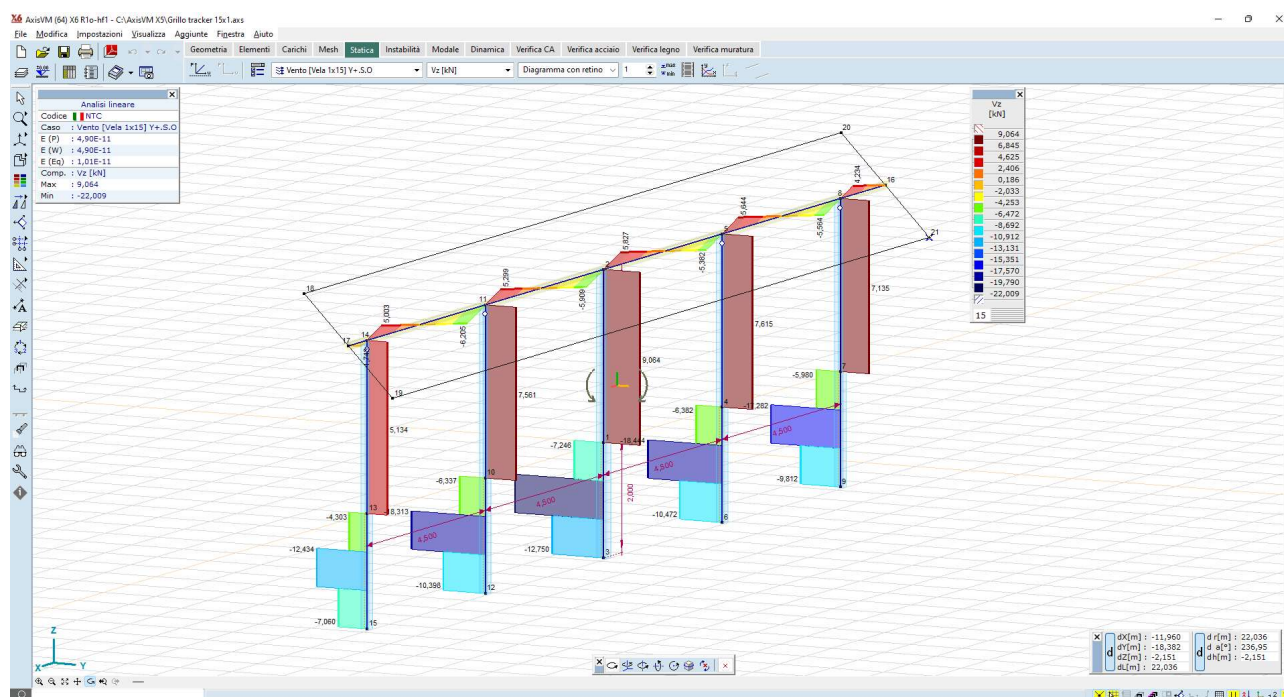


Figura 8-16 – taglio  $V_z$  – montanti - valori massimi dell'ordine dei 22  $kN$  – combinazione Y+S.O.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 50,561 MW e opere connesse, denominato "DELIA" da realizzarsi nei comuni di Marsala (TP) e Trapani (TP)

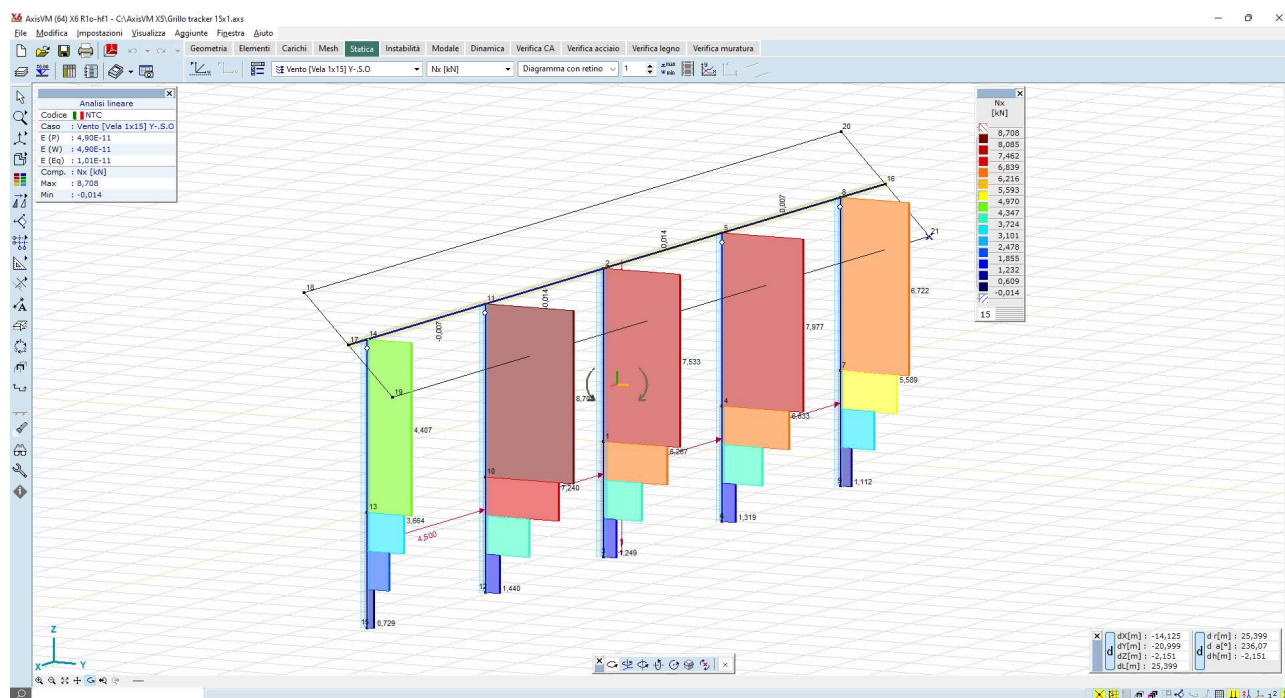


Figura 8-17 – carico uplift  $N_x$  – montanti – valori massimi dell'ordine dei 8 kN – combinazione Y-S.O.

Per quel che riguarda l'asse di rotazione, invece:

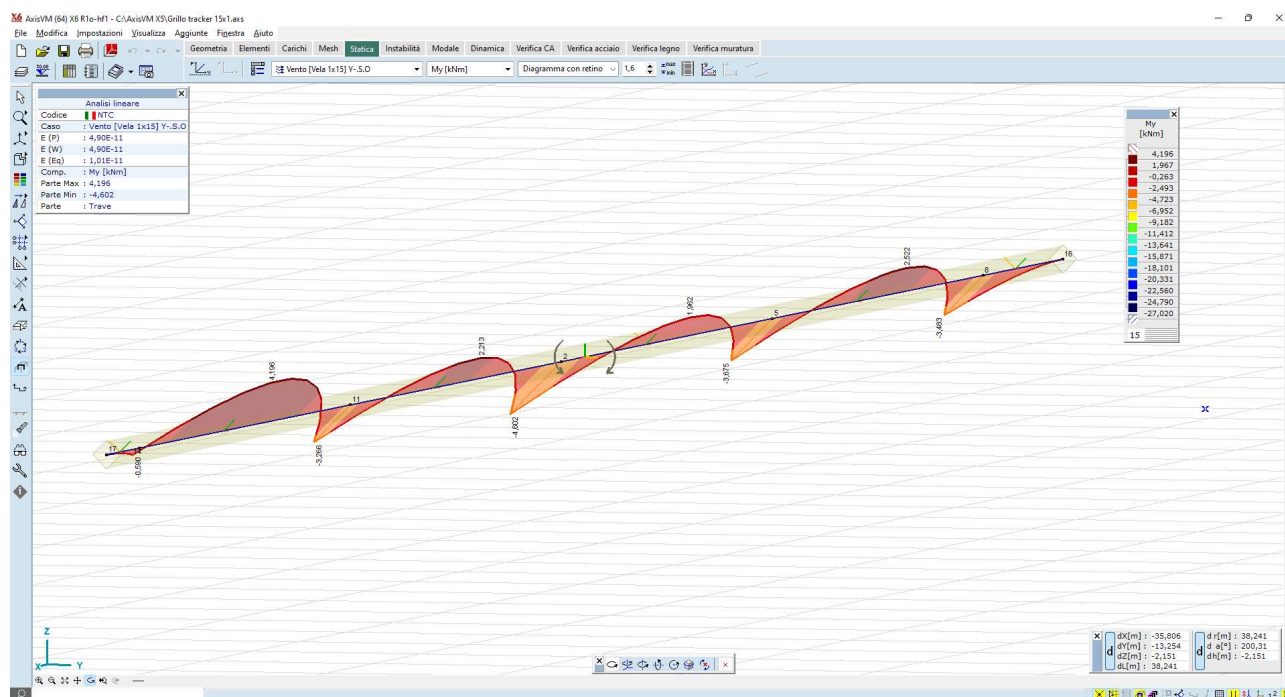


Figura 8-18 – momento flettente  $M_z$  – asse di rotazione - valori massimi dell'ordine dei 4,5 kN\*m – combinazione Y-S.O.



## 9 VERIFICHE DI RESISTENZA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Le verifiche di resistenza vengono condotte con le formule classiche della scienza delle costruzioni; si forniscono di seguito gli ordini di grandezza delle verifiche:

- a pressoflessione dei montanti verticali simple support
- a pressoflessione dei montanti verticali motor support
- a flessione della trave orizzontale asse di rotazione

Le verifiche sono espresse dal rapporto tra la capacità di snervamento e l'azione di progetto; hanno pertanto esito positivo per rapporti superiori all'unità.

Montanti verticali del tipo motor support, il valore massimo del momento sollecitante è dell'ordine di:

$$M_{\max} = 37,88 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Il valore del momento di snervamento è pari a:

$$M_y = W_x \cdot \sigma_y = 388,73 \text{ cm}^3 \cdot 2750 \text{ daN/cm}^2 = 68,97 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_y/M_{\max} = 1,82$$

il quale può essere considerato un coeff di sicurezza accettabile.

Montanti verticali del tipo *simple support*, il valore massimo del momento sollecitante è dell'ordine di:

$$M_{\max} = 37,88 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Il valore del momento di snervamento è pari a:

$$M_y = W_x \cdot \sigma_y = 220,73 \text{ cm}^3 \cdot 2750 \text{ daN/cm}^2 = 60,70 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_y/M_{\max} = 1,60$$

il quale può essere considerato un coeff di sicurezza accettabile.

Asse di rotazione orizzontale, il valore del momento sollecitante massimo è pari a:

$$M_{\max} = 9,15 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Il valore del momento di snervamento è pari a

$$M_y = W_x \cdot \sigma_y = 67,05 \text{ cm}^3 \cdot 3500 \text{ daN/cm}^2 = 23,46 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

dal rapporto tra momento di snervamento momento sollecitante si ottiene:

$$M_y/M_{\max} = 3,4$$

il quale può essere considerato un coeff di sicurezza accettabile.

Le tensioni di lavoro indotte negli elementi strutturali sono così calcolate:

Nei montanti verticali, le massime tensioni di lavoro sono comprese tra i valori:

- 1000 daN/cm<sup>2</sup>
- +960 daN/cm<sup>2</sup>

Per quel che riguarda l'asse di rotazione, invece, le massime tensioni di lavoro sono comprese tra i valori:

- 1340 daN/cm<sup>2</sup>

+ 1340 daN/cm<sup>2</sup>

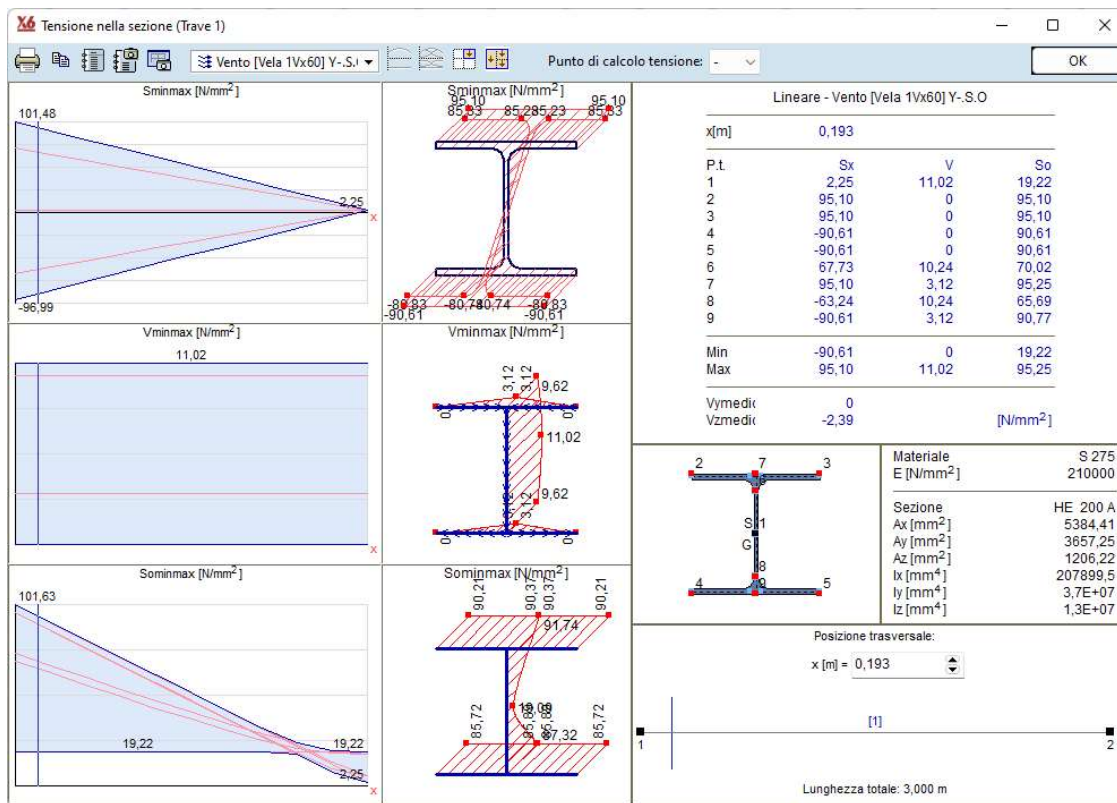


Figura 9-1 – calcolo delle tensioni negli elementi strutturali – montanti

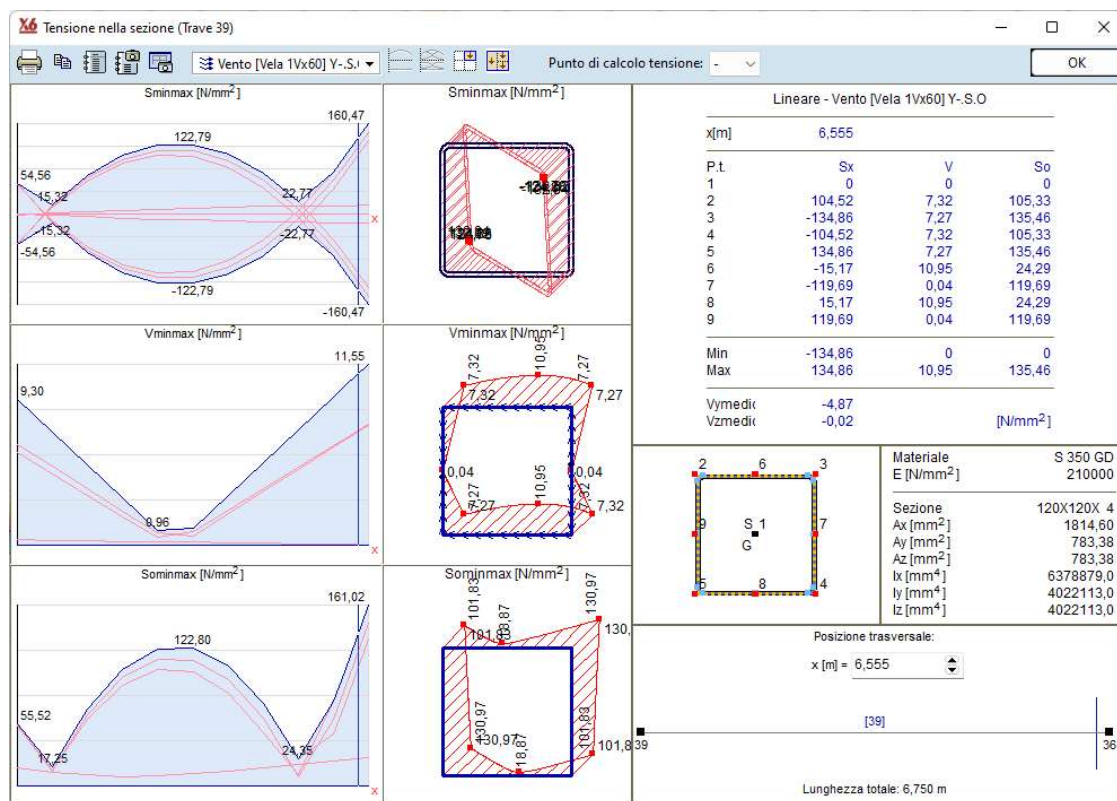


Figura 9-2 – calcolo delle tensioni negli elementi strutturali – trave

## 10 Considerazioni di tipo geotecnico

Nelle installazioni fotovoltaiche è di rilevante importanza valutare il reale meccanismo di interazione palo – terreno; le condizioni di funzionamento dei trackers, infatti, possono essere garantite solo dalla verticalità dei montanti, e quindi solo se si scongiura la condizione di rottura locale del terreno nell'intorno del montante.

L'interazione palo-terreno, tuttavia, per le strutture fotovoltaiche, non è soggetta alle classiche leggi della geotecnica, in quanto non trovano applicazione i teoremi che descrivono i meccanismi di rottura, né il calcolo dei cedimenti.

Tutte le valutazioni di tipo numerico, dunque, potrebbero non trovare riscontro nel modello reale.

È pertanto indispensabile, in fase di progettazione esecutiva, una verifica di tipo empirico della reale interazione palo-terreno, che viene solitamente effettuata mediante prove di carico in sito del tipo:

- pull out test,
- test a carico laterale
- test a compressione

I test consistono nell'infingere alcuni pali pilota alla profondità di infissione di progetto, nell'applicare alla testa dei pali i carichi di esercizio, e misurare in campo gli spostamenti (e/o le eventuali rotture).

Le prove, da eseguirsi in numero adeguato all'estensione dell'area del parco, daranno un responso circa la rispondenza del comportamento reale alle ipotesi progettuali adottate.

Nel caso in cui i risultati delle prove si discostino da quelli attesi, sarà necessario modificare le soluzioni progettuali di partenza, quali ad esempio:

- aumentare la profondità di infissione
- incrementare l'inerzia dei montanti
- ridurre il passo dei montanti
- modificare la tipologia di infissione

In questa fase progettuale si è ipotizzata una profondità di infissione pari a 2,0 mt; giustificata dal fatto che l'aerea di sedime si presenta a matrice argillosa-sabbiosa per i primi 2-3mt.

Si raccomanda, nella prossima fase di progetto (esecutivo), per questi tipi di strutture, una attenta valutazione delle prestazioni attese, confrontando le massime sollecitazioni teoriche con quelle determinate da prove di carico in situ (pull out tests e carico laterale).

## 11 FONDAZIONI CABINE PREFABBRICATE ITS "POWER STATION"

### 11.1 DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

Il gruppo di conversione (anche detto "power station") in progetto è costituito da un inverter e un trasformatore elevatore, inclusivi di compartimenti MT e BT. Le apparecchiature elettromeccaniche verranno alloggiare all'interno di un container metallico, che viene fissato sulla struttura fondale in c.a.



Figura 11-1 – Tipico power station con inverter e trasformatore elevatore

Le strutture fondali di seguito dimensionate dovranno sostenere i carichi provenienti dalla Power Station, le cui tolleranze dimensionali vengono fornite dal produttore; di seguito alcune immagini illustrative:

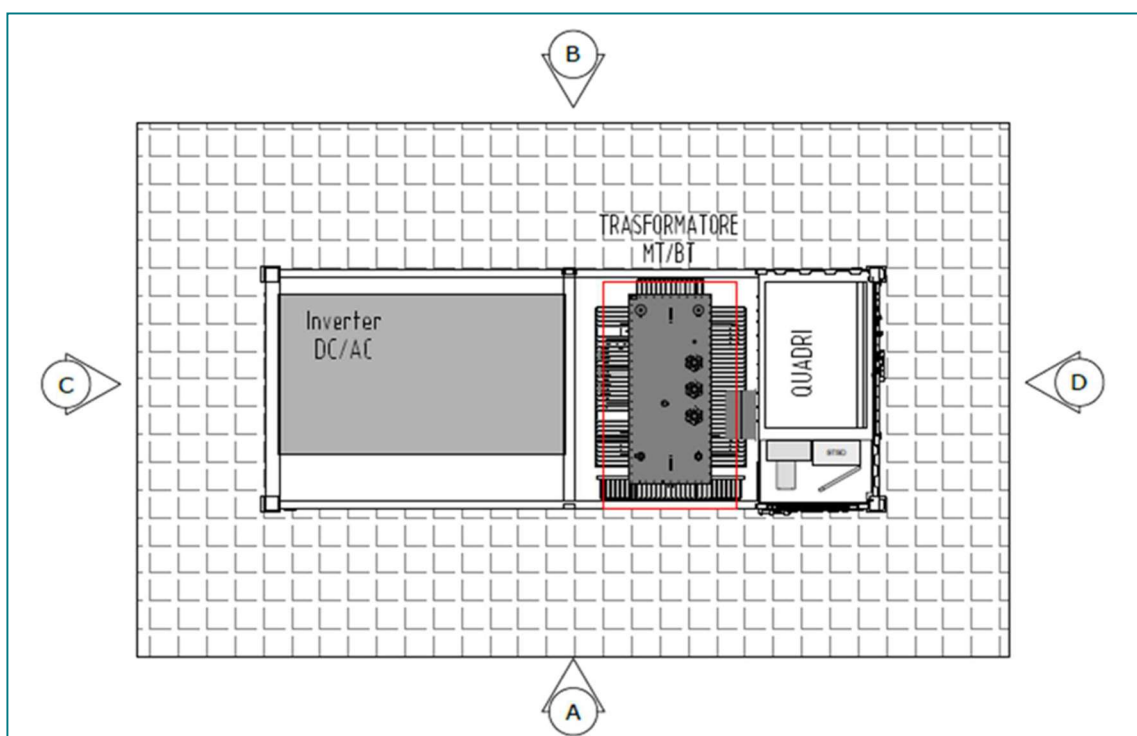


Figura 11-2 – Pianta MV Power station

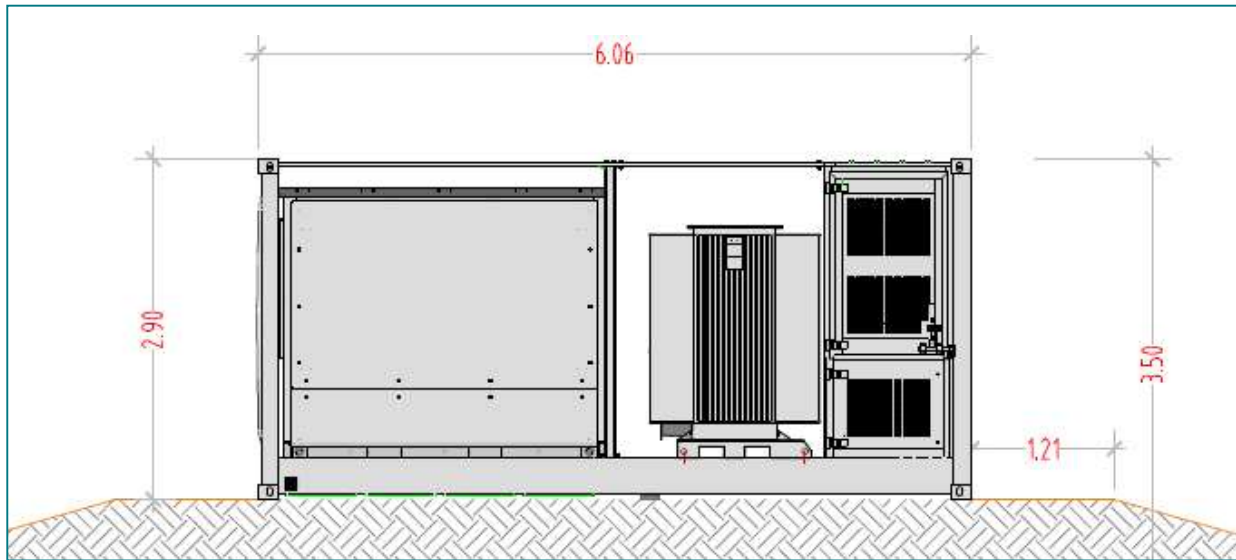


Figura 11-3 – Vista A

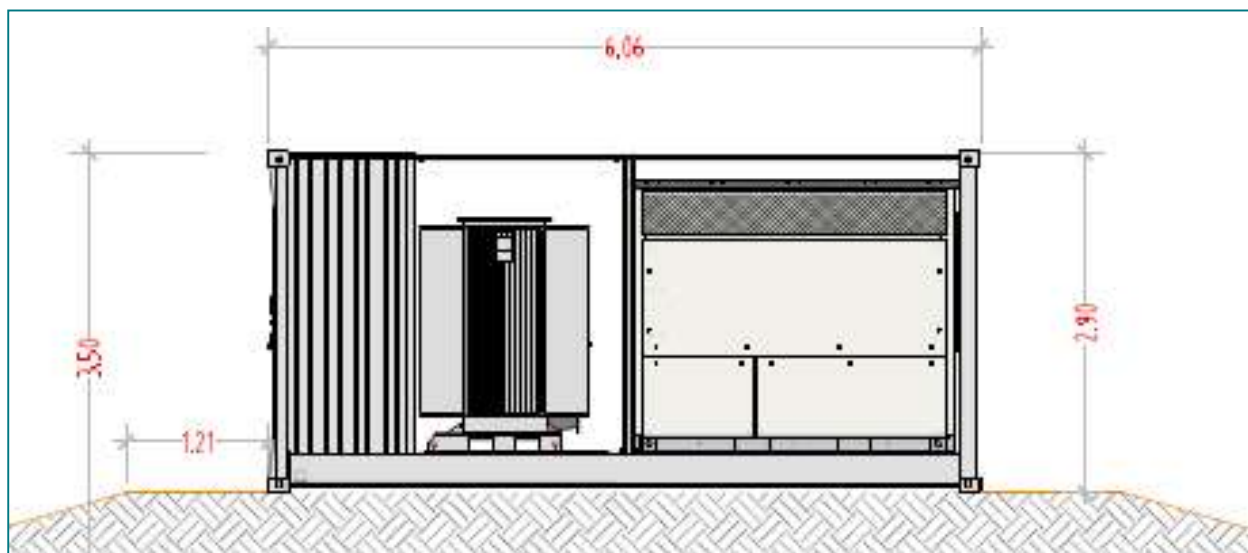


Figura 11-4 – Vista B

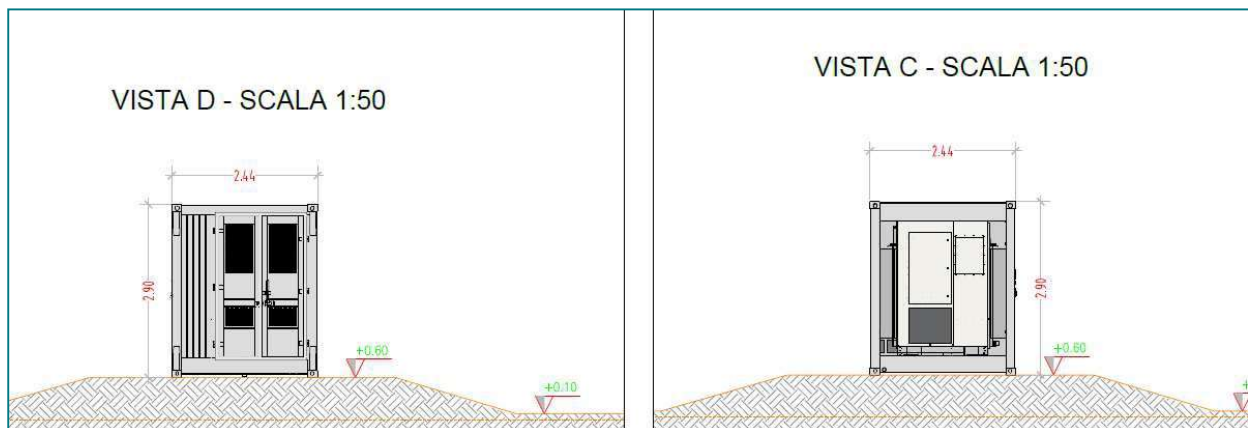


Figura 11-5 – Viste C e D

## 11.2 MODELLO DI CALCOLO

Sulla base delle dimensioni della Power Station e degli scarichi al piede viene prevista una struttura fondale del tipo platea in c.a. di spessore pari a 30 cm, che viene modellata come piastra su suolo elastico alla Winkler, aventi le dimensioni rappresentate di seguito:

Il modello utilizzato per l'analisi della struttura fondale prevede l'impiego di elementi finiti 2D, del tipo platea su suolo elastico alla Winkler dello spessore di 30cm.

Il vincolo al suolo è costituito da un letto di molle alla Winkler, avente  $k_z = 2.500$  daN/mq nella direzione z globale.

I carichi ai piedi del container vengono simulati come carichi nodali applicati nel punto di scarico del container.

I carichi sulle strutture fondali sono determinati dal peso proprio del container, comprensivo delle apparecchiature elettromeccaniche in esso installate.

I pesi delle apparecchiature, e dei manufatti metallici, vengono fornite dal produttore; in questa fase vengono riportati dei pesi standard:

Trasformatore	15,0 tonn
Inverter	3,0 tonn
Quadri + interruttori	1,2 tonn
Peso proprio container	9,0 tonn
Per un totale lordo di	32,2 tonn

Il peso lordo viene amplificato di un fattore 1,5, a vantaggio di sicurezza, pertanto il peso lordo dell'ITS vale:

$$P = 32,2 \times 1,5 = 48,3 \text{ tonn}$$

I valori dei carichi nodali vengono di seguito riportati sotto forma tabellare.

Direzione	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Qk	0	0	-25,00	0	0	0
Qk	0	0	-90,00	0	0	0
Qk	0	0	-55,00	0	0	0
Qk	0	0	-25,00	0	0	0
Qk	0	0	-90,00	0	0	0
Qk	0	0	-55,00	0	0	0

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 50,561 MW e opere connesse, denominato "DELIA" da realizzarsi nei comuni di Marsala (TP) e Trapani (TP)

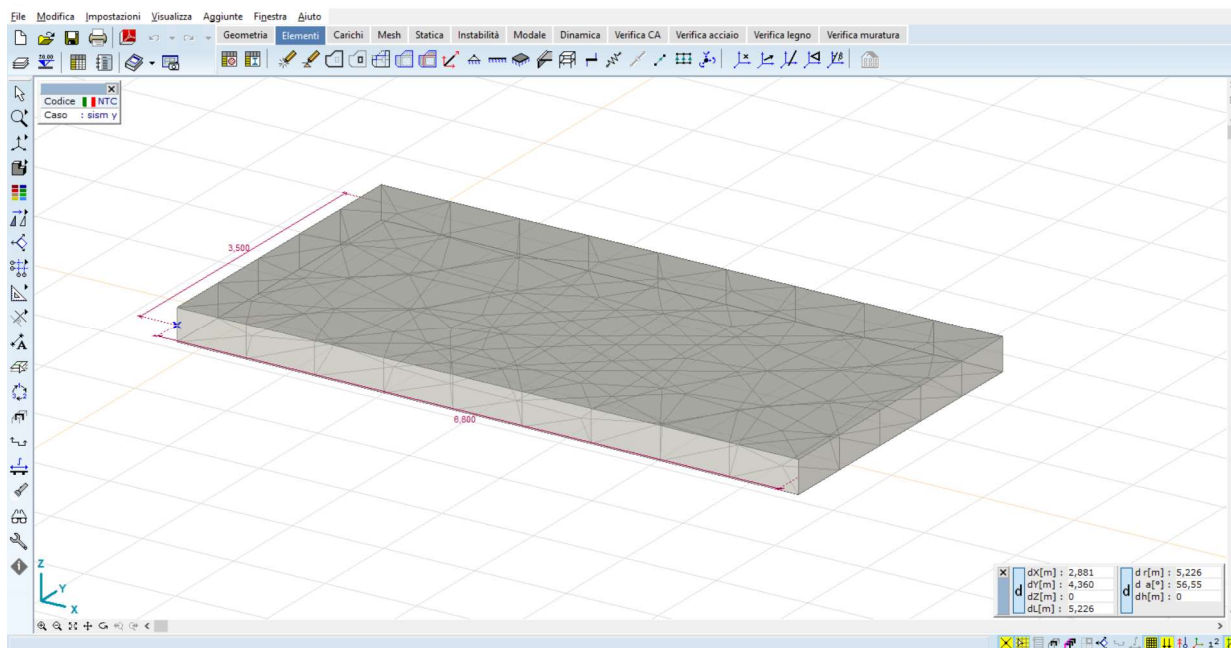


Figura 11-6 –Modello 3D in vista render

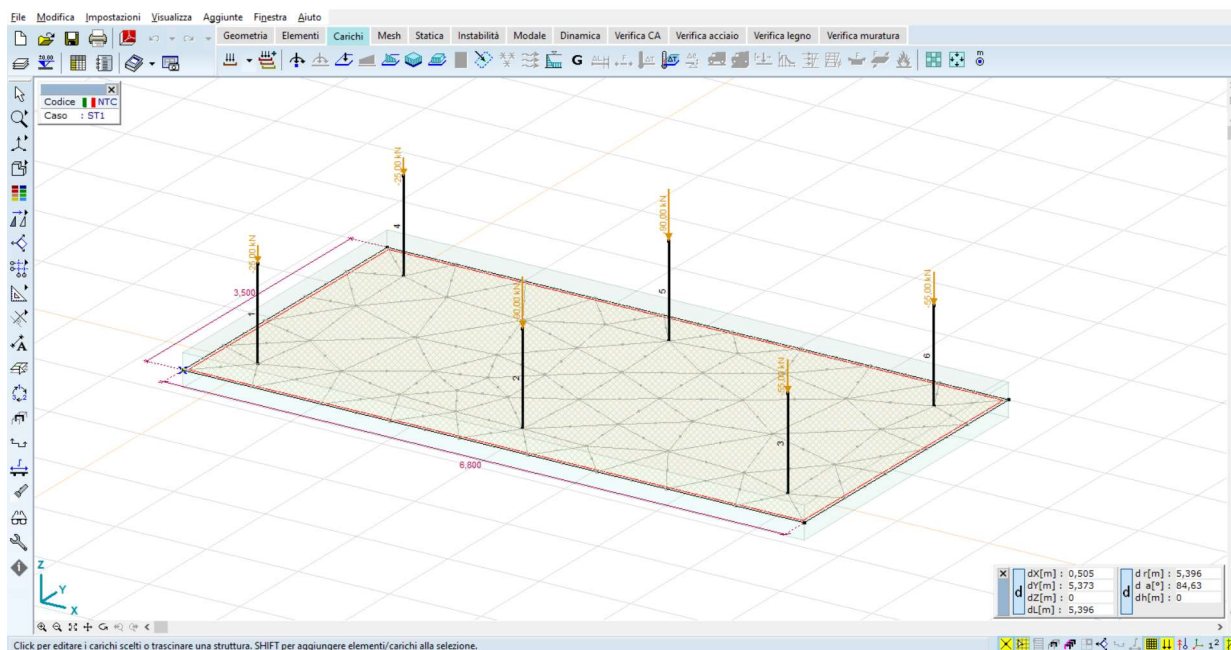


Figura 11-7 –Carichi nodali

### 11.3 Risultati delle analisi svolte

Viene condotta un'analisi di tipo statica lineare; i carichi agenti sulla struttura sono quelli permanenti pari al peso proprio della piastra ed ai carichi nodali prima descritti; non vengono presi in esame invece i carichi variabili, di entità modesta per la struttura in esame, né i carichi sismici, in quanto la struttura fondale non risente delle azioni inerziali delle accelerazioni al suolo.

I risultati delle analisi, in termini di sollecitazioni e deformazioni, sono illustrati nelle immagini seguenti:

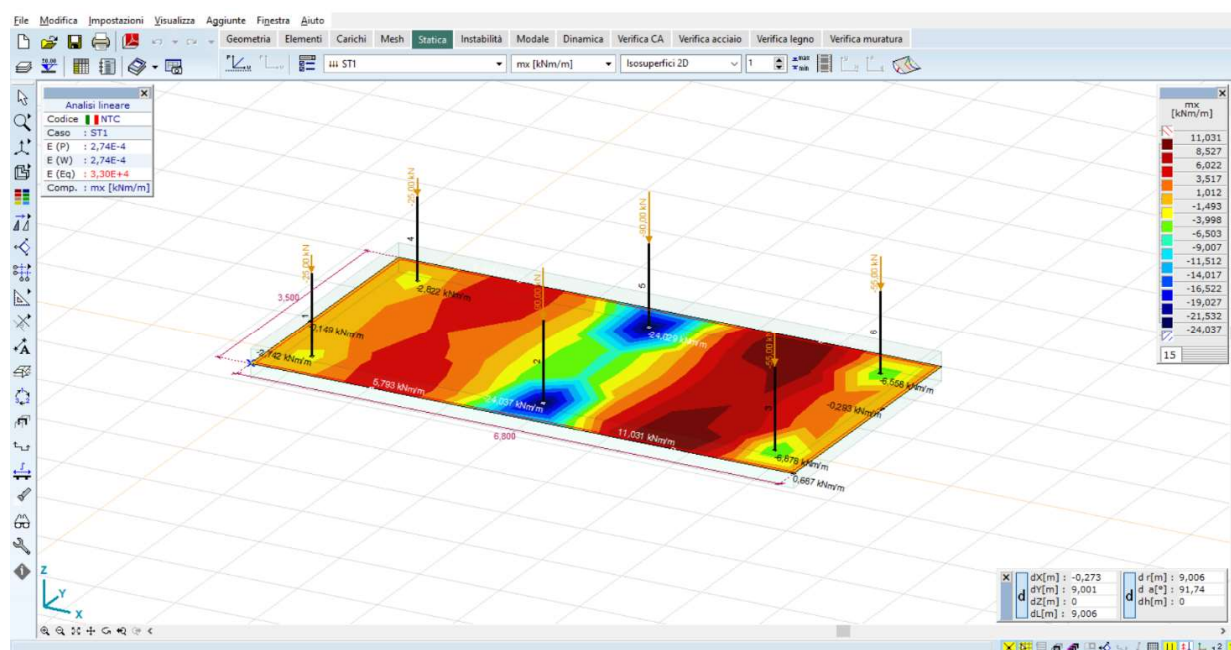


Figura 11-8 – sollecitazioni shell –  $m_x$  – valore max 24 kN\*m/m

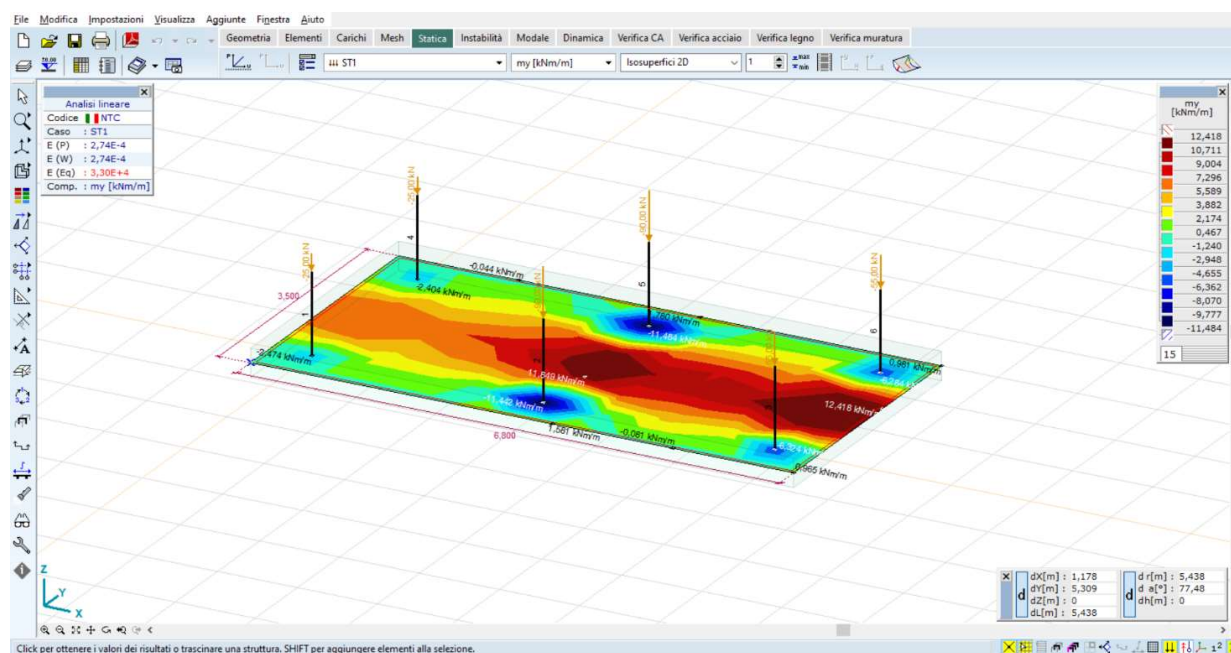


Figura 11-9 – sollecitazioni shell –  $m_y$  – valore max 10,7 kN\*m/m



Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 50,561 MW e opere connesse, denominato "DELIA" da realizzarsi nei comuni di Marsala (TP) e Trapani (TP)

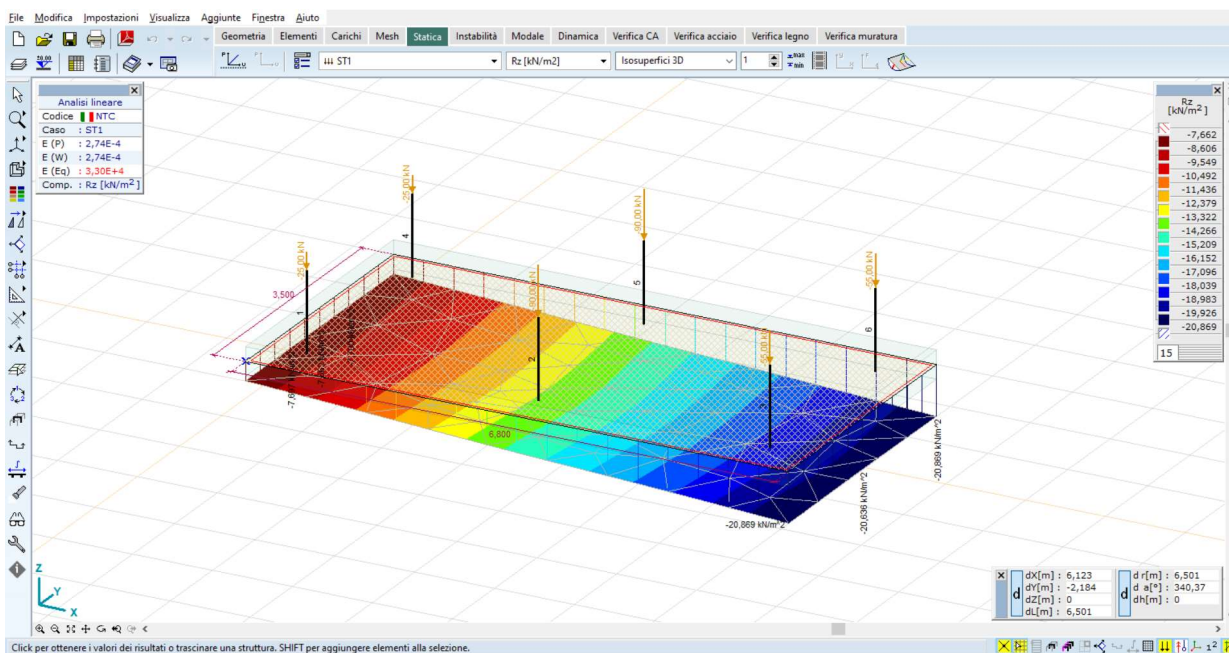


Figura 11-10 – andamento delle pressioni al suolo – Rz – valori max 20.8kN/mq

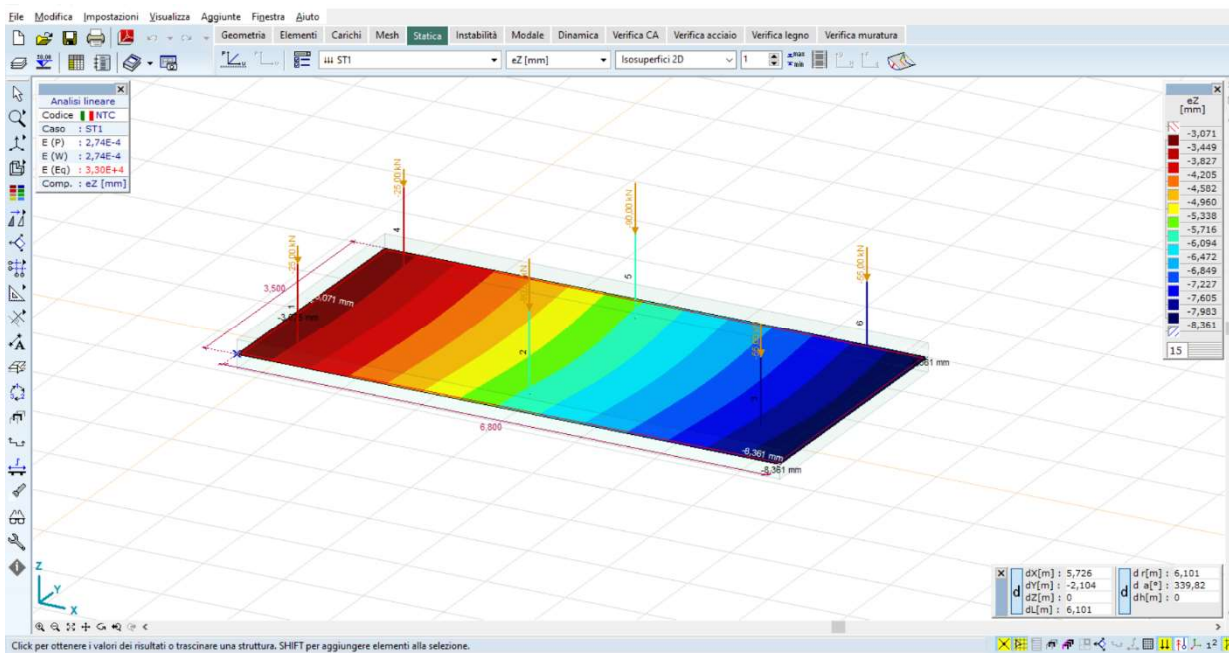


Figura 11-11 – spostamenti nodali – ez – valori max 8,3mm

## 11.4 VERIFICHE DELLE SEZIONI DEGLI ELEMENTI SHELL IN C.A.

Viene riportata la maglia di armatura necessaria in relazione alle risultanze della progettazione dei nodi dell'elemento stesso (diametri in mm, passi in cm).

Posti come criteri di progetto i seguenti parametri:

armatura superiore dir x:	Φ14 passo 20"
armatura inferiore dir x:	Φ14 passo 20"
armatura superiore dir y:	Φ14 passo 20"
armatura inferiore dir y:	Φ14 passo 20"
copristaffa	35mm
copriferro	50mm

Parametri armatura bidimensionale (NTC (Italiane))

Materiali Calcestruzzo C25/30  
Dimensione max. aggregati [mm] = 30  
Barre B450C

Classe strutturale S4

Classe di esposizione Superiore  
XC1 Asciutto o subacqueo  
XC1 Asciutto o subacqueo Inferiore

Coefficiente per le forze sismiche  $f_{se} = 1$

Analisi non-lineare  
 Prendere in considerazione la resistenza del calcestruzzo a trazio  
 $\epsilon_{cs} [\%] = 0,473$

Impostazioni predefinite

Seleziona >> OK Annulla

Parametri armatura bidimensionale (NTC (Italiane))

Calcolare con spessore effettivo  
Spessore (h) [mm] = 350  
Eccentricità sfavorevole (N > 0) = 0 \* h  
Eccentricità sfavorevole (N < 0) = 0 \* h

Copriferro Diametro (mm) Direzione  
 $c_T$  [mm] = 25  $\geq 25$   $\emptyset = 14$  x y  
 $c_T$  [mm] = 39  $\geq 39$   $\emptyset = 14$  x y

$c_B$  [mm] = 39  $\geq 39$   $\emptyset = 14$  x y  
 $c_B$  [mm] = 25  $\geq 25$   $\emptyset = 14$  x y

Applica il ricoprimento minimo

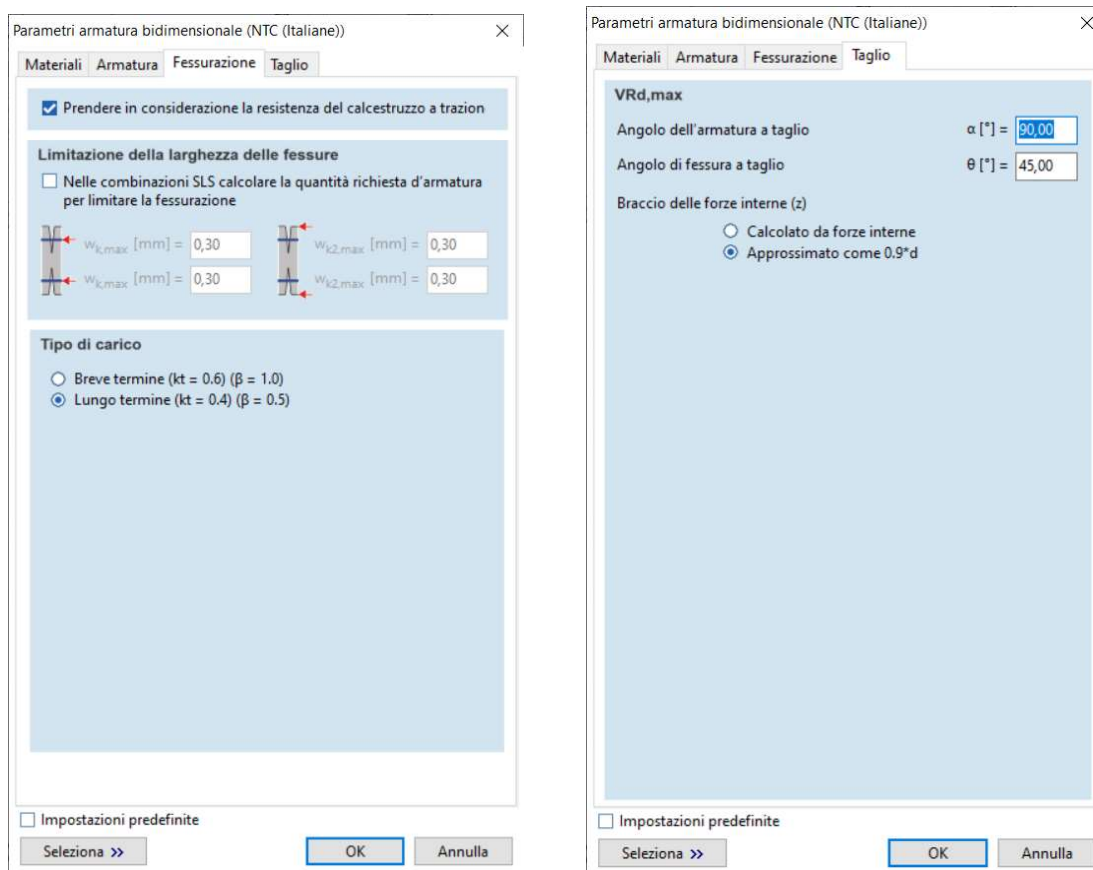
Trasferimento carico  
 Solaio bidirezionale  
 Solaio monodirezionale  
 In direzione locale x  In direzione locale y

Prendere in considerazione l'armatura minima richiesta  Armatura superiore  Armatura inferiore

Direzioni d'armatura  
 Locale x, y  Personalizzato

Impostazioni predefinite

Seleziona >> OK Annulla



Il software calcola automaticamente le quantità di armature strettamente necessarie; indicate con:

- axb Armatura inferiore necessaria in direzione x
- ayb Armatura inferiore necessaria in direzione y
- axt Armatura superiore necessaria in direzione x
- ayt Armatura superiore necessaria in direzione y
  
- xb Armatura inferiore disposta in direzione x
- yb Armatura inferiore disposta in direzione y
- xt Armatura superiore disposta in direzione x
- yt Armatura superiore disposta in direzione y

allora il software illustra graficamente le differenze tra le armature disposte e quelle necessarie:

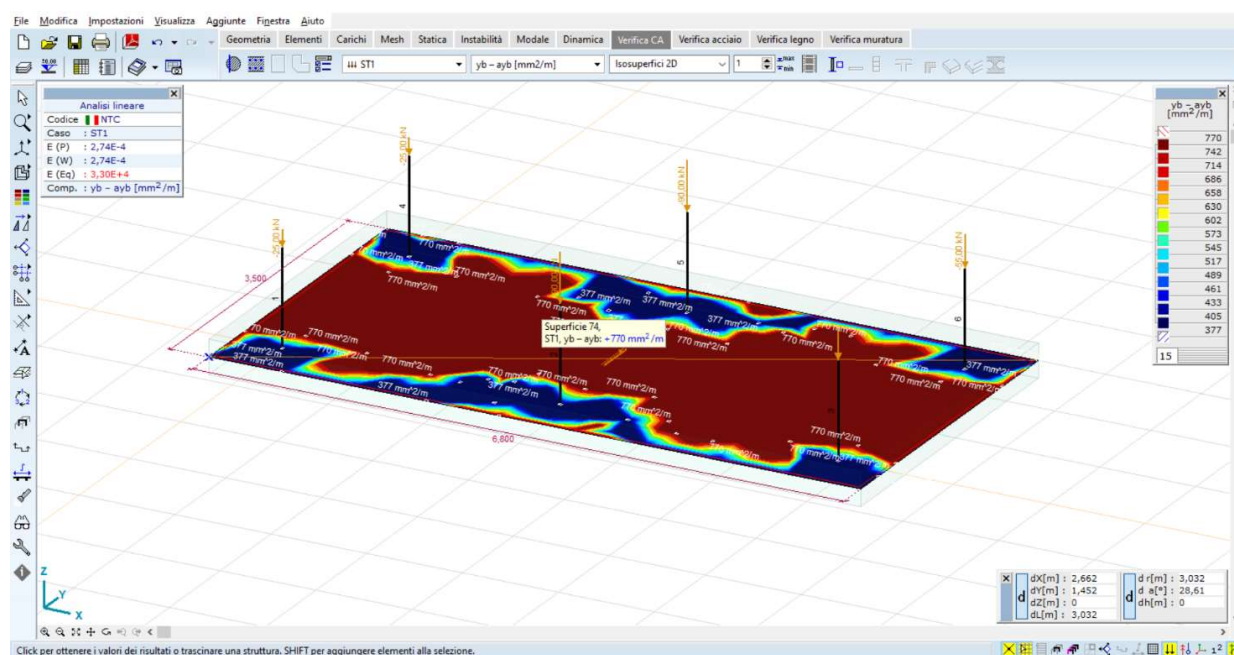


Figura 11-12 – Differenze di armatura [yb-ayb] – verifiche oK

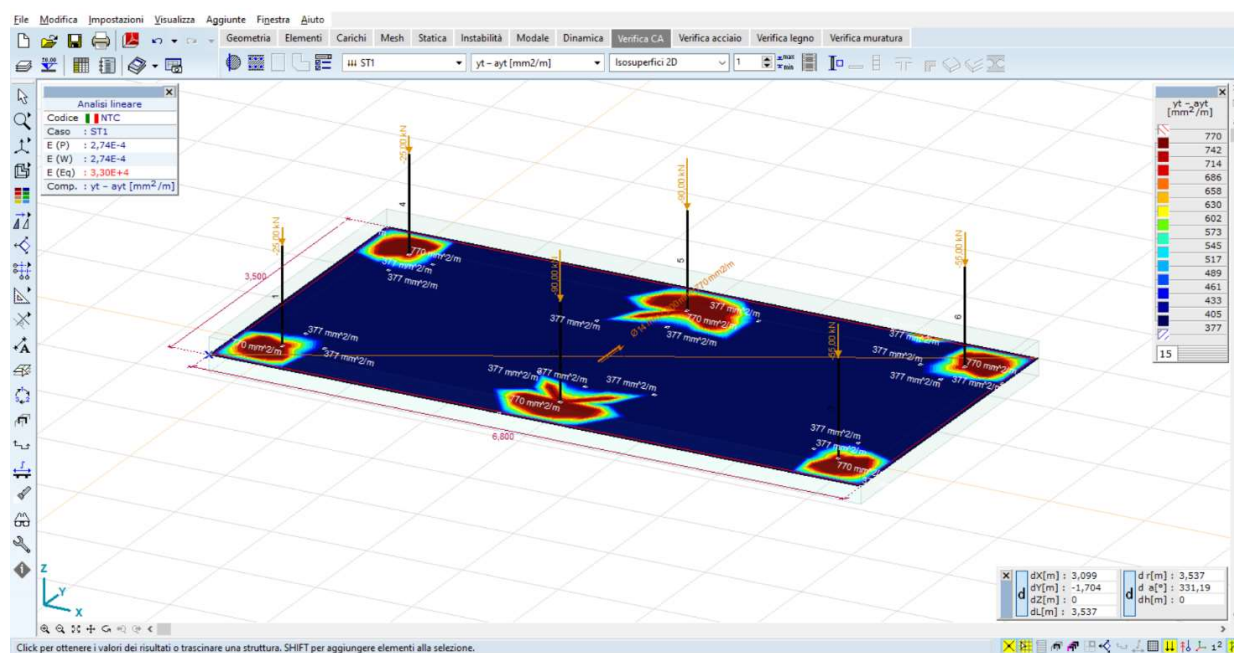


Figura 11-13 – Differenze di armatura [yb-ayb] – verifiche oK

Tale maglia assicura le verifiche di resistenza delle sezioni in ogni punto della platea.

Si può dunque concludere che:

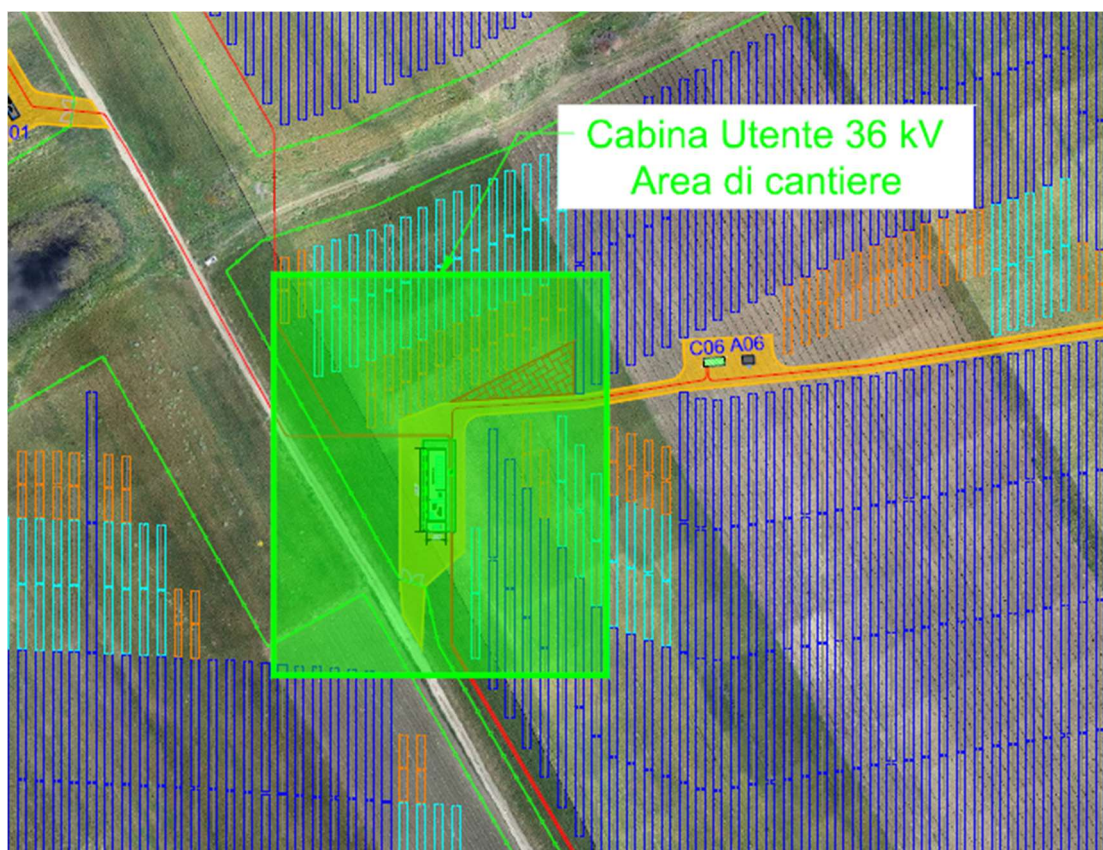
- le sollecitazioni indotte dal container sulle strutture fondali sono ampiamente sopportate dalle sezioni armate come da progetto;
- le strutture fondali, impostate a -1,4 mt da piano campagna, inducono sul terreno di sedime uno stato di sollecitazione modesto (dell'ordine dei 0,2-0,3kN/mq), pertanto le opere in oggetto presentano adeguati margini di sicurezza.

## 12 EDIFICIO UTENTE 36 kV

### 12.1 LAYOUT

Lo schema di allacciamento dell'impianto alla RTN prevede che questo venga collegato in antenna a 36 kV con una nuova stazione RTN, denominata "Fulgatore 2", da inserire in entrata - esce sulla linea RTN a 220 kV "Fulgatore - Partanna".

La cabina utente a 36 kV è ubicata all'interno del parco agri fotovoltaico, come da layout seguente:



*Figura 12-1 – Layout cabina 36kV di connessione*

La struttura oggetto di dimensionamento è dunque il solo edificio di comando.

## 12.2 Descrizione dell'opera

### 12.2.1 Descrizione

La struttura in oggetto è costituita da un reticolo di travi e pilastri in c.a. gettato in opera, con solaio piano, del tipo latero-cementizio spessore 25cm. L'ingombro in pianta è di circa 21x5,5mt, mentre l'altezza lorda è di circa 5,0mt.

Le strutture fondali sono costituite da un reticolo di travi rovesce a sezione a T, impostate a profondità -1,5mt da piano campagna, ove si attesta il substrato coerente.

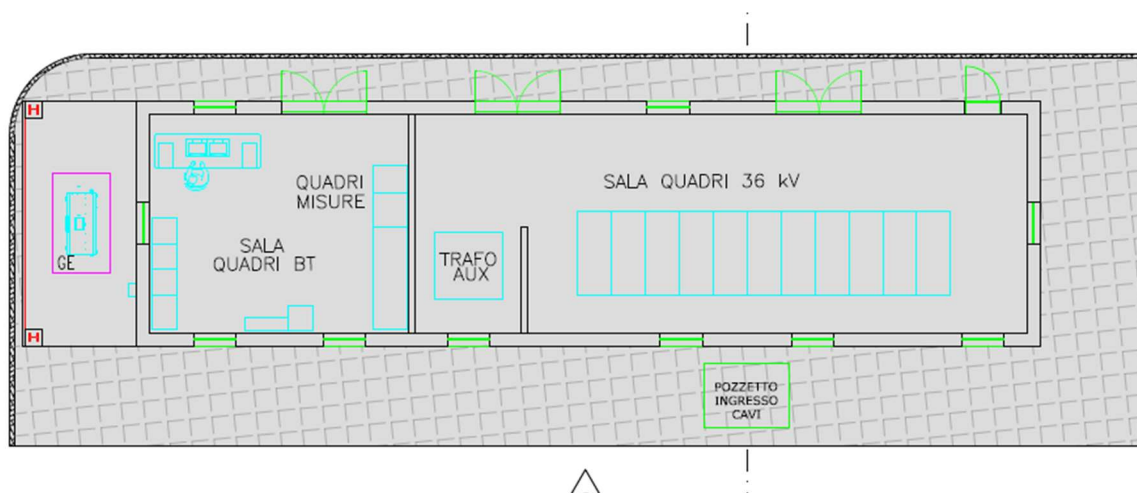


Figura 12-2 – Pianta edificio di comando

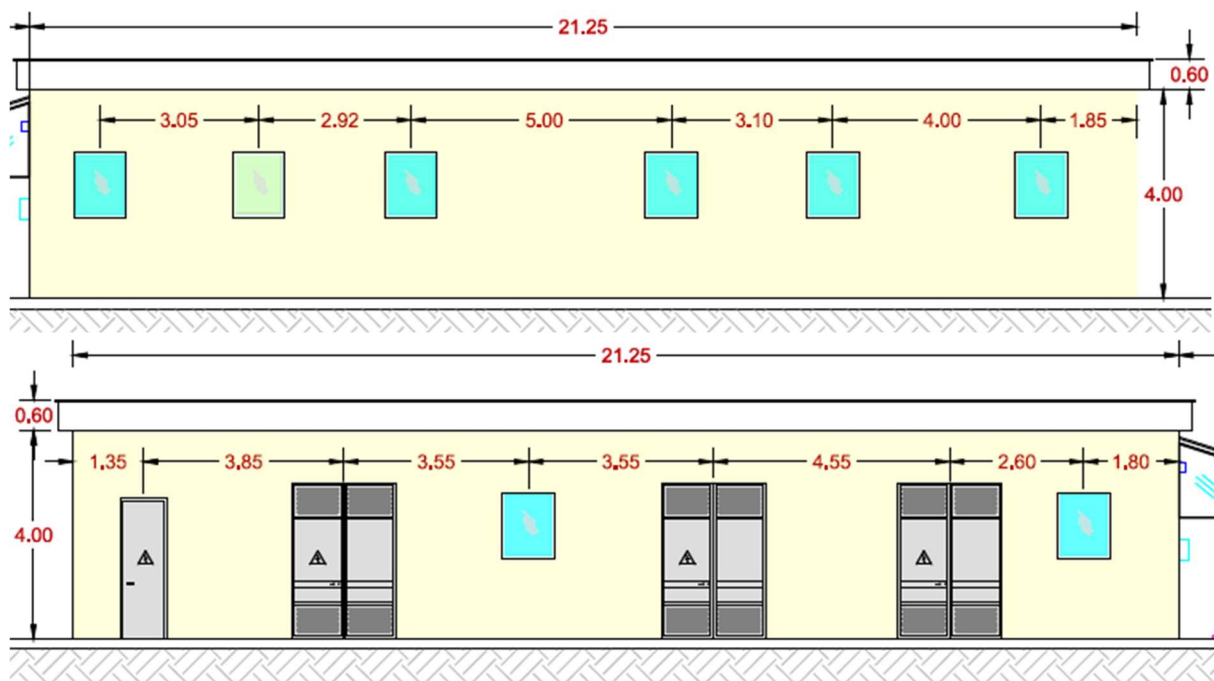


Figura 12-3 – Prospetti edificio di comando

### 12.3 Generazione del modello

Il progetto si articola partendo dalla disposizione in piante delle strutture verticali – sono stati previsti n.14 pilastri sezione 30x30.

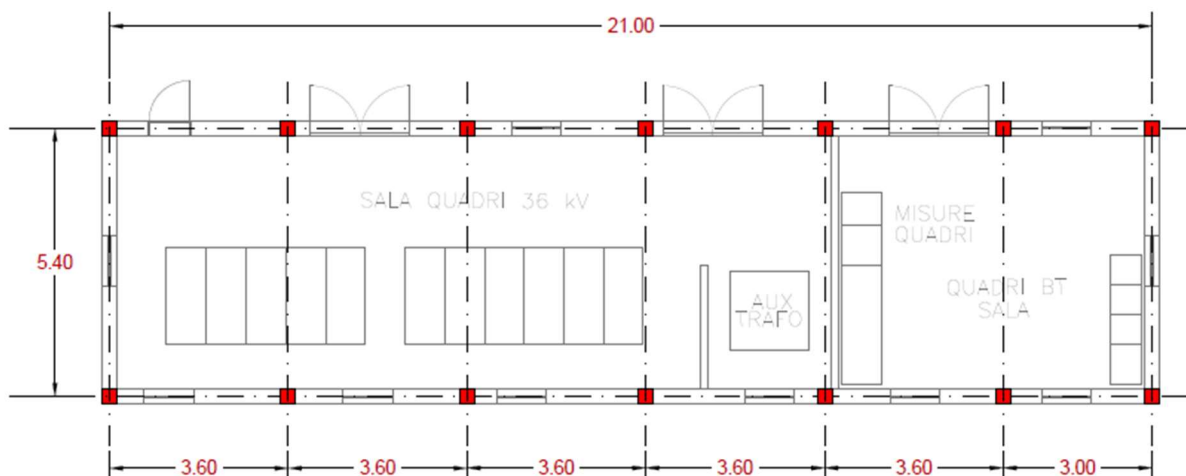
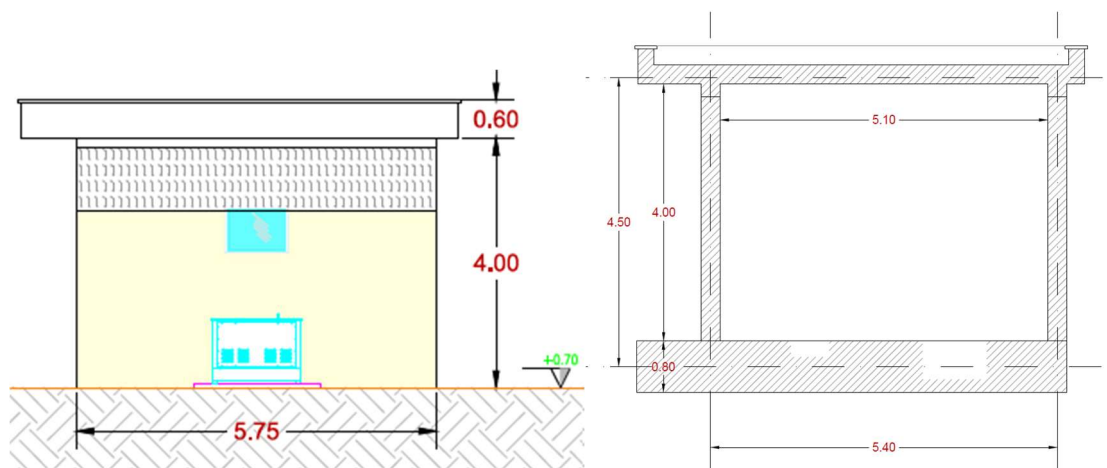


Figura 12-4 – Distribuzione delle strutture verticali

Vengono poi generati i nodi nel piano delle altezze (piano z), e generate le sezioni delle travi in elevazione, a sezione rettangolare 30x50.



Una volta ipotizzata anche la distribuzione delle travi di elevazione, si procede alla modellazione FEM del telaio strutturale.

Viene ipotizzata una struttura fondale con reticolo di travi rovesce a sezione a T, di altezza strutturale 80cm, al fine di consentire il raggiungimento del piano finito di progetto a +0,70cm.

La struttura è stata modellata con un solutore a elementi finiti – AXIS VM X6 -; gli elementi strutturali sono stati modellati come di seguito:

- i pilastri a sezione 30x30 sono stati modellati per mezzo di elementi asta
- le travi a sezione 30x50 sono state modellate per mezzo di elementi asta

- le travi a sezione T rovescia h 80cm non vengono modellate, ma prese in considerazione solo ai fini delle verifiche geotecniche preliminari; i pilastri sono stati vincolati al suolo con molle ad alta rigidezza, a simulare un incastro al piede.
- i solai sono stati considerati come piani rigidi, che trasferiscono alle travi di bordo i carichi permanenti ed accidentali.

## 12.4 Attribuzione dei carichi

### 12.4.1 Carichi statici

I carichi trasferiti dai solai sono:

- peso proprio strutturale solaio laterocem sp 20+5 360 daN/mq
- pesi permanenti portati (guaine, massetti, ecc..) 140 daN/mq
- carichi accidentali (copertura non praticabile) 50 daN/mq

in questa fase di dimensionamento preliminare, i carichi vengono combinati con coefficienti unitari, pertanto il carico complessivo è pari a 550 daN/mq.

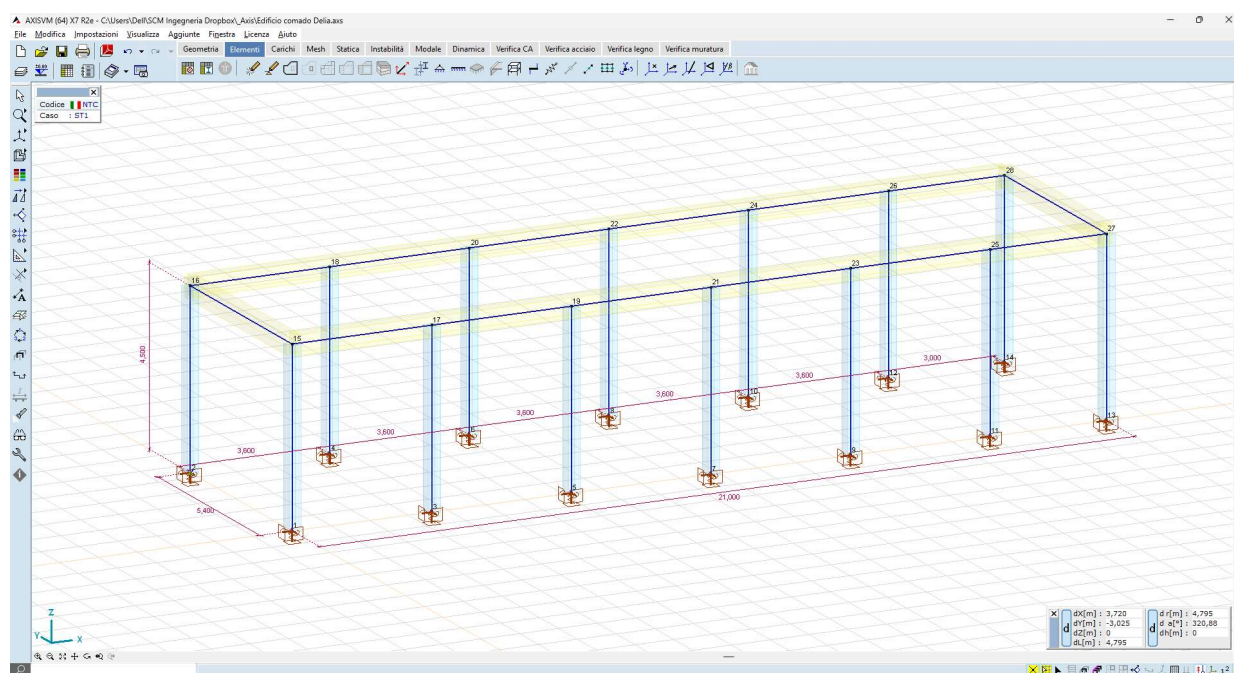


Figura 12-5 – Vista del modello a elementi finiti – elementi asta



Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 50,561 MW e opere connesse, denominato "DELIA" da realizzarsi nei comuni di Marsala (TP) e Trapani (TP)

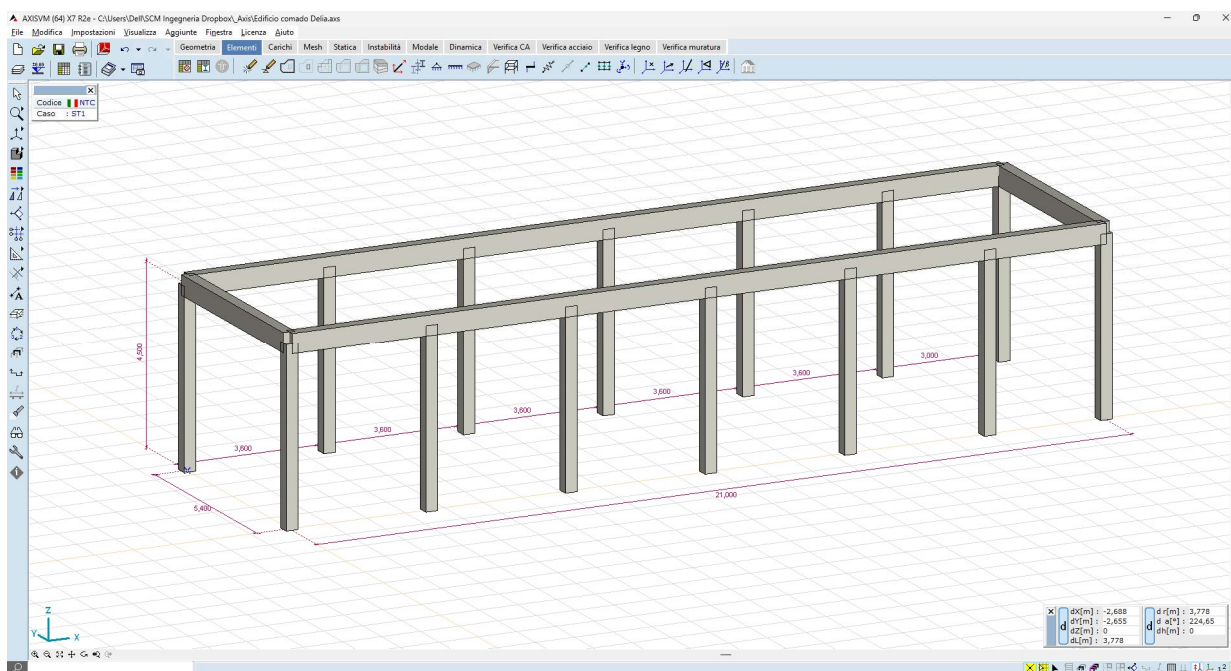


Figura 12-6 – Vista del modello a elementi finiti – render 3D

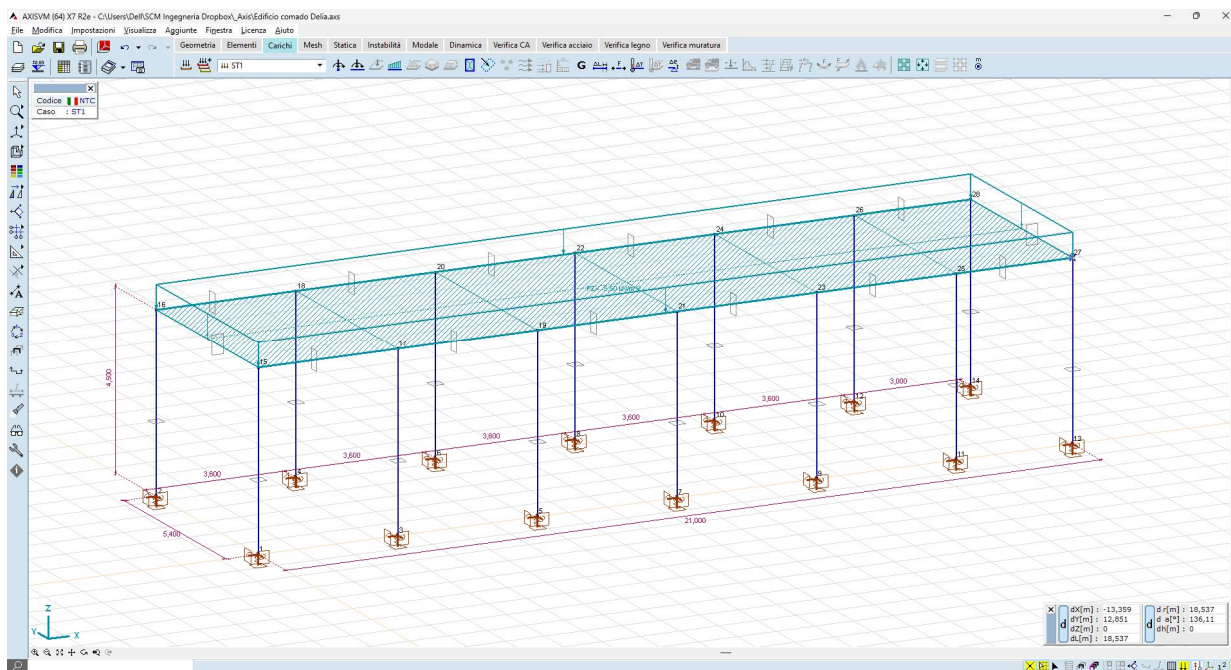


Figura 12-7 – Vista del modello a elementi finiti – carichi distribuiti

## 12.4.2 Carichi sismici

L'azione sismica viene assimilata ad una forza statica equivalente alla forza di inerzia indotta dall'accelerazione alla base, applicata al centro di massa dell'impalcato; l'intensità della forza è pari a:

$$F = C * R * I * W$$

dove

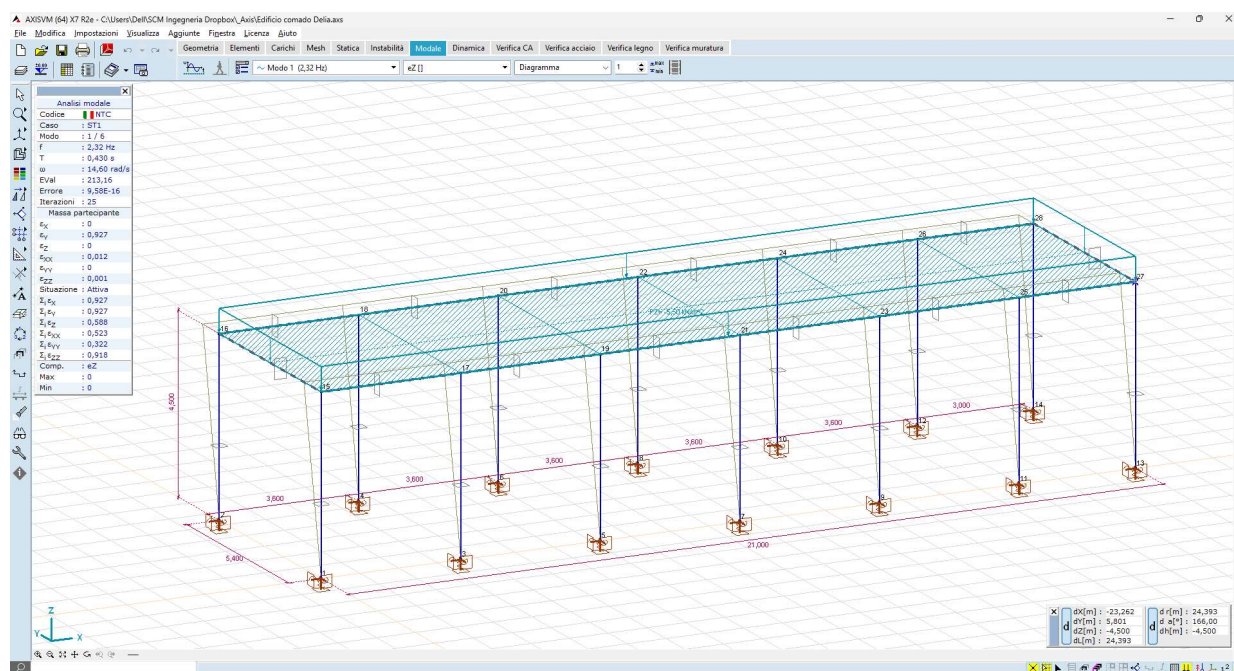
C = coeff intensità sismica  $C = (S-2)/100$ ; per la zona in esame  $S=9$

R = coeff di risposta (pari a 1.0)

I = coeff protez sismica (pari a 1.0)

W = peso sismico del solaio, dato dai pesi permanenti al 100% e gli accidentali al 33%

Tale analisi è consentita dal momento che la struttura è regolare in pianta ed in altezza; l'analisi modale, infatti, mostra come il primo modo di vibrare sia di tipo flessionale, con periodo proprio pari a  $T = 0,42$  sec e massa partecipante pari a 92,7%.



Sulla base delle assunzioni pocanzi illustrate, l'azione sismica può essere ricondotta ad un tagliante di piano di intensità pari al 7% delle masse di piano, da ripartirsi sui n.14 pilastri secondo lo schema di seguito esplicito:

Massa sismica solaio	500 daN/mq
Superficie solaio	115 mq
Massa sismica complessiva	57.500 daN
Tagliante di piano	7% (57.500) = 4.000 daN
Ripartizione su n.14 pilastri	4.000/14 = <u>285 daN/pil</u>

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 50,561 MW e opere connesse, denominato "DELIA" da realizzarsi nei comuni di Marsala (TP) e Trapani (TP)

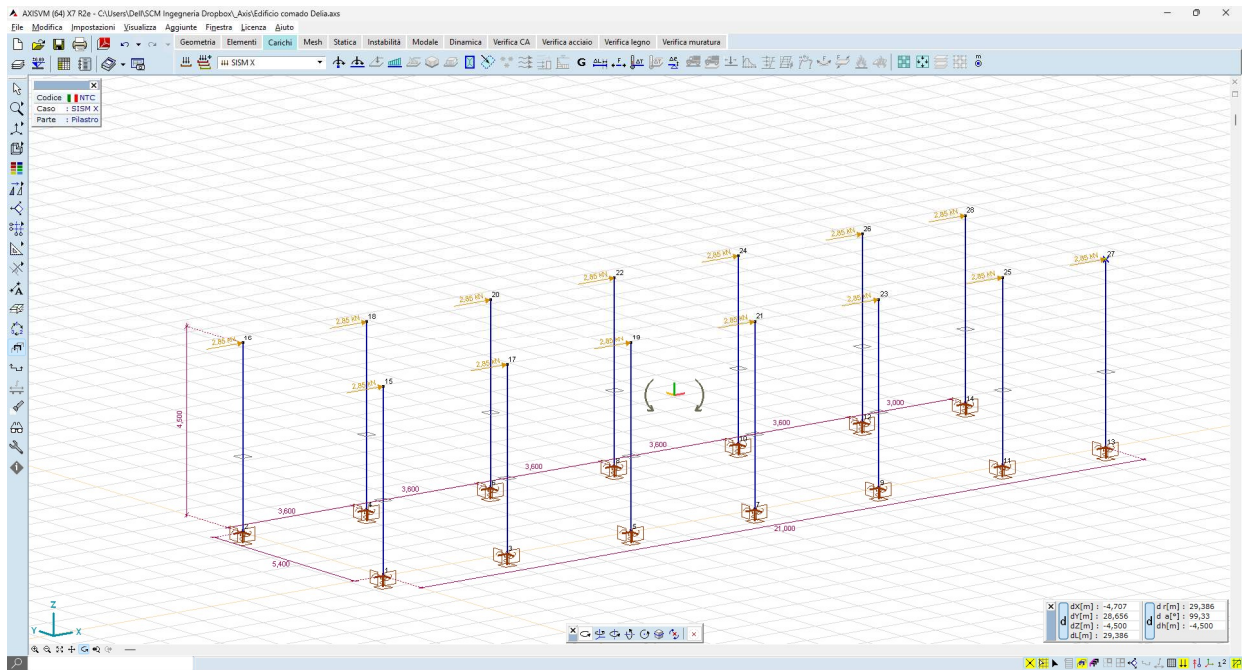


Figura 12-8 – Carico sismico dir X (sism X)

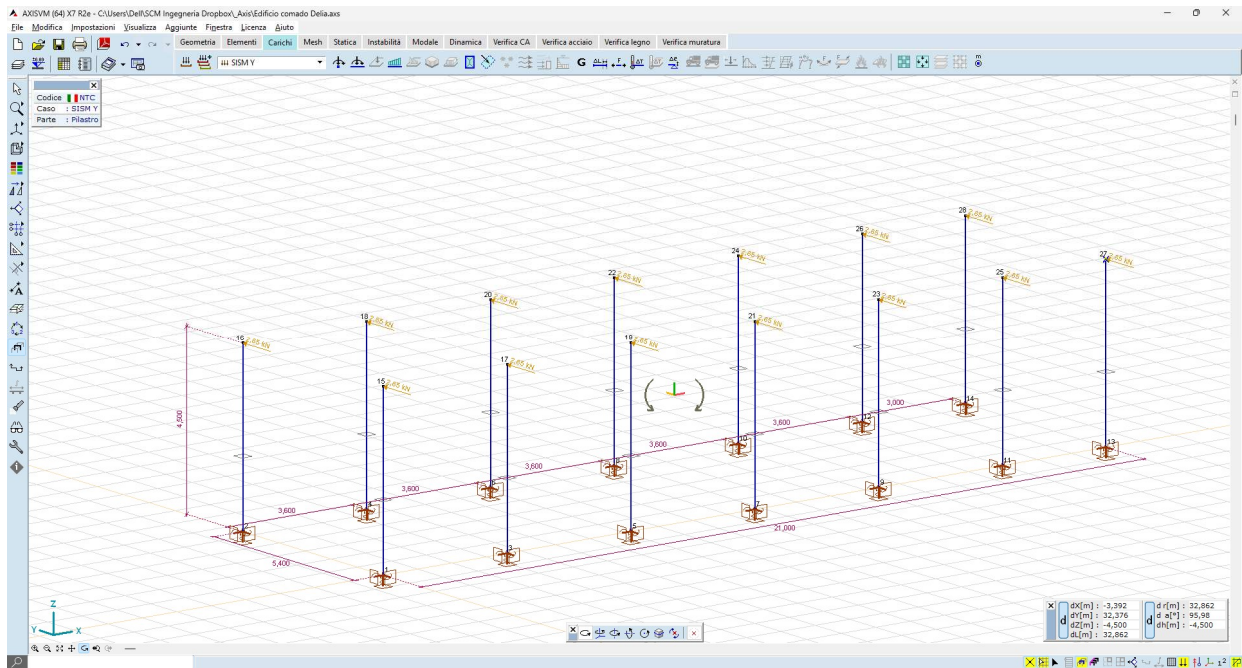


Figura 12-9 – Carico sismico dir Y (sism Y)

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 50,561 MW e opere connesse, denominato "DELIA" da realizzarsi nei comuni di Marsala (TP) e Trapani (TP)



### 12.4.3 Calcolo delle sollecitazioni e deformazioni

La soluzione della matrice di rigidezza restituisce le sollecitazioni e le deformazioni del sistema:

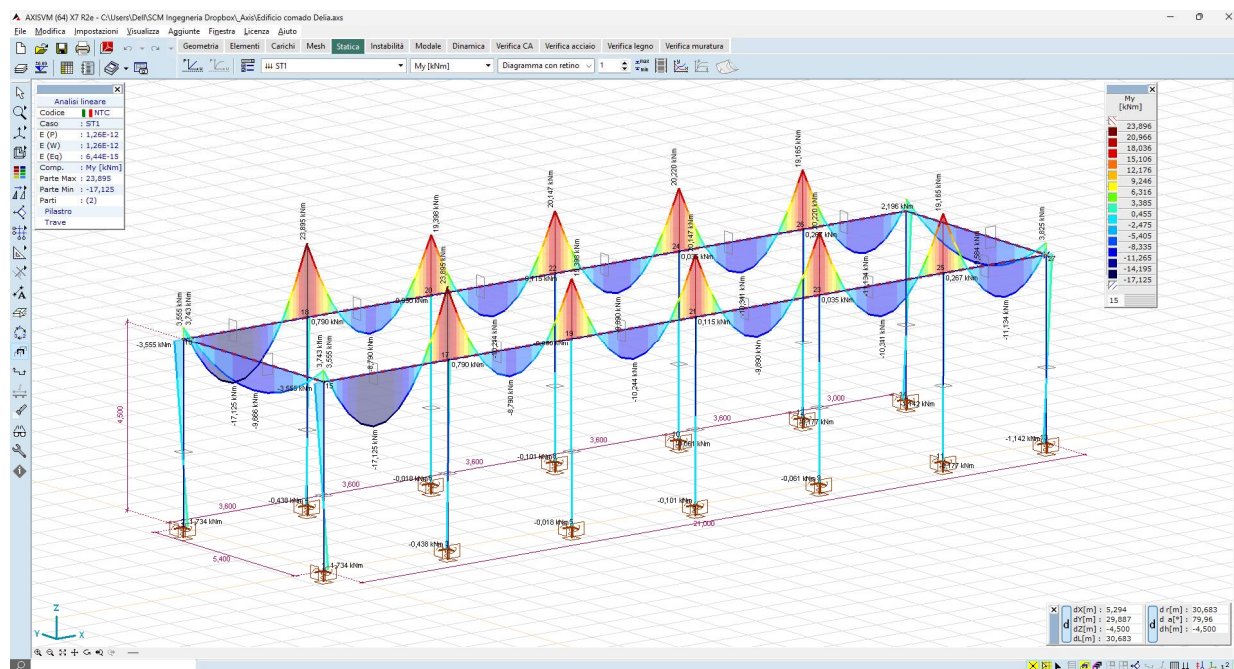


Figura 12-10 – sollecitazioni flessionali nelle travi  $M_y$  - valori max 20 kN\*m

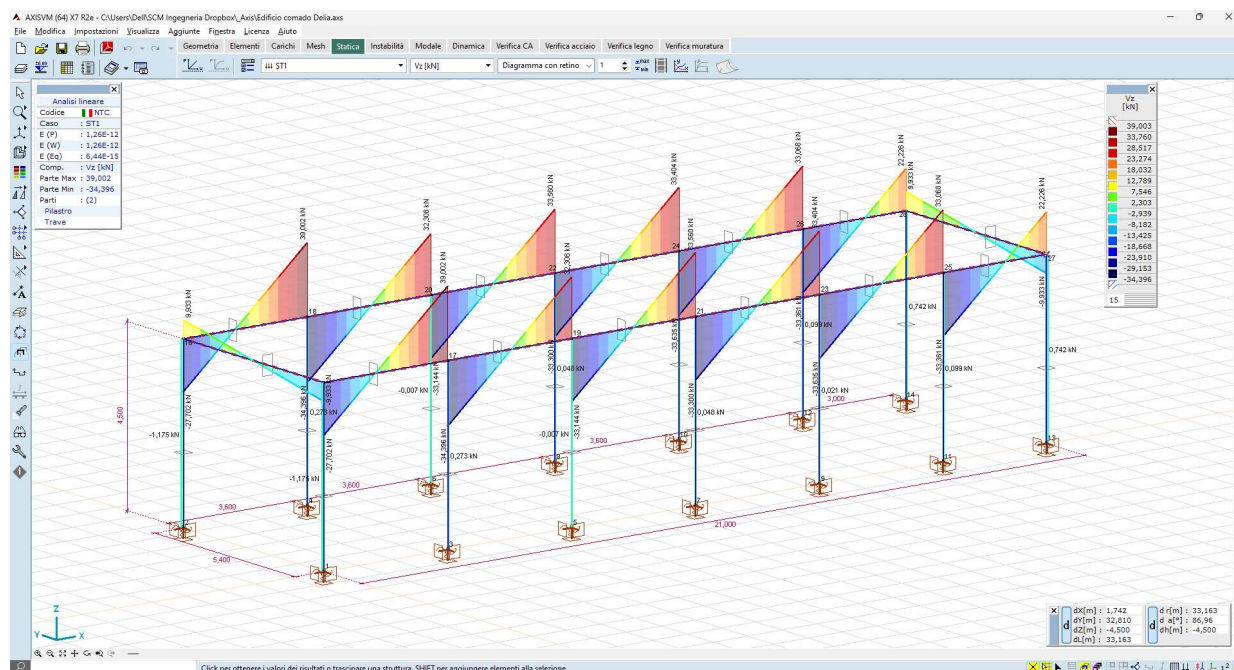


Figura 12-11 – sollecitazioni taglienti nelle travi  $V_z$  – valori max 34 kN

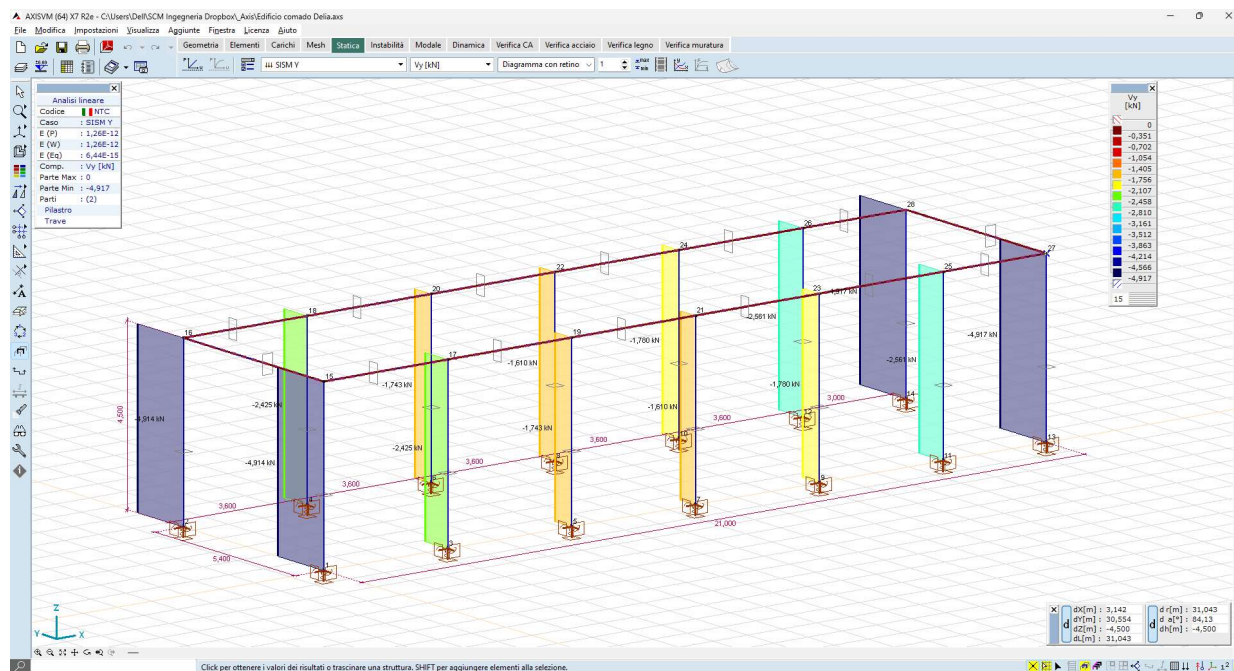


Figura 12-12 – sollecitazioni taglianti nei pilastri  $V_y$  – valori max 4,9 kN

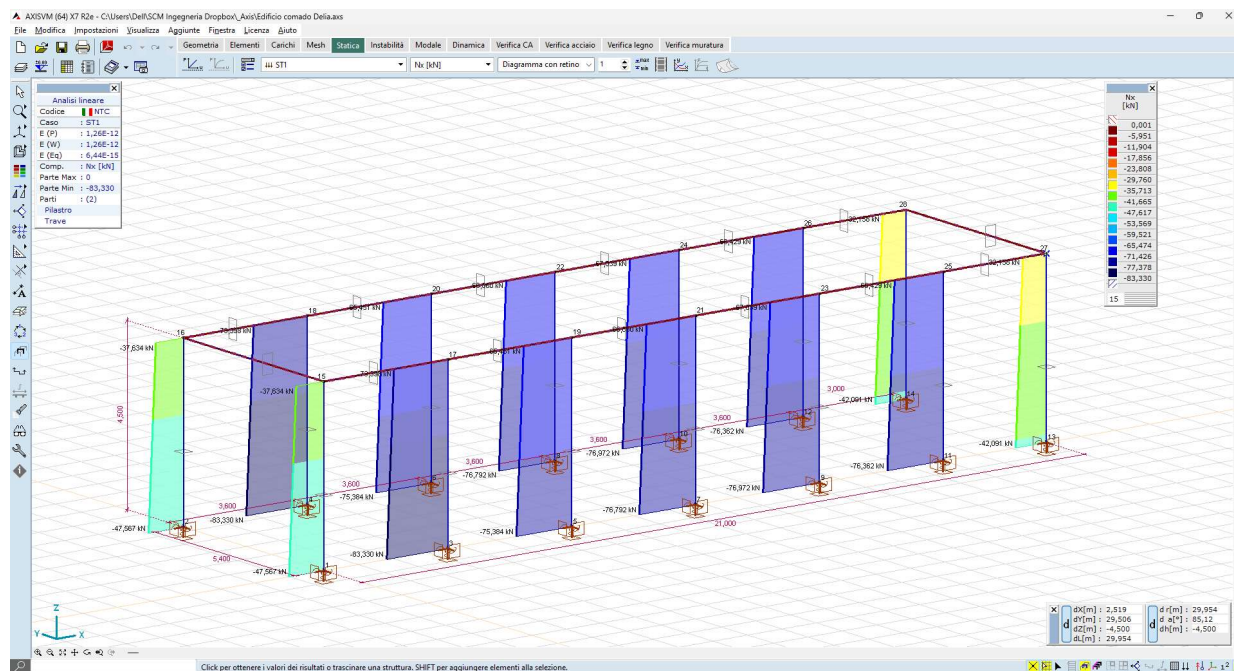


Figura 12-13 – azioni normali sui pilastri  $N_x$  – valori max 82 kN

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 50,561 MW e opere connesse, denominato "DELIA" da realizzarsi nei comuni di Marsala (TP) e Trapani (TP)

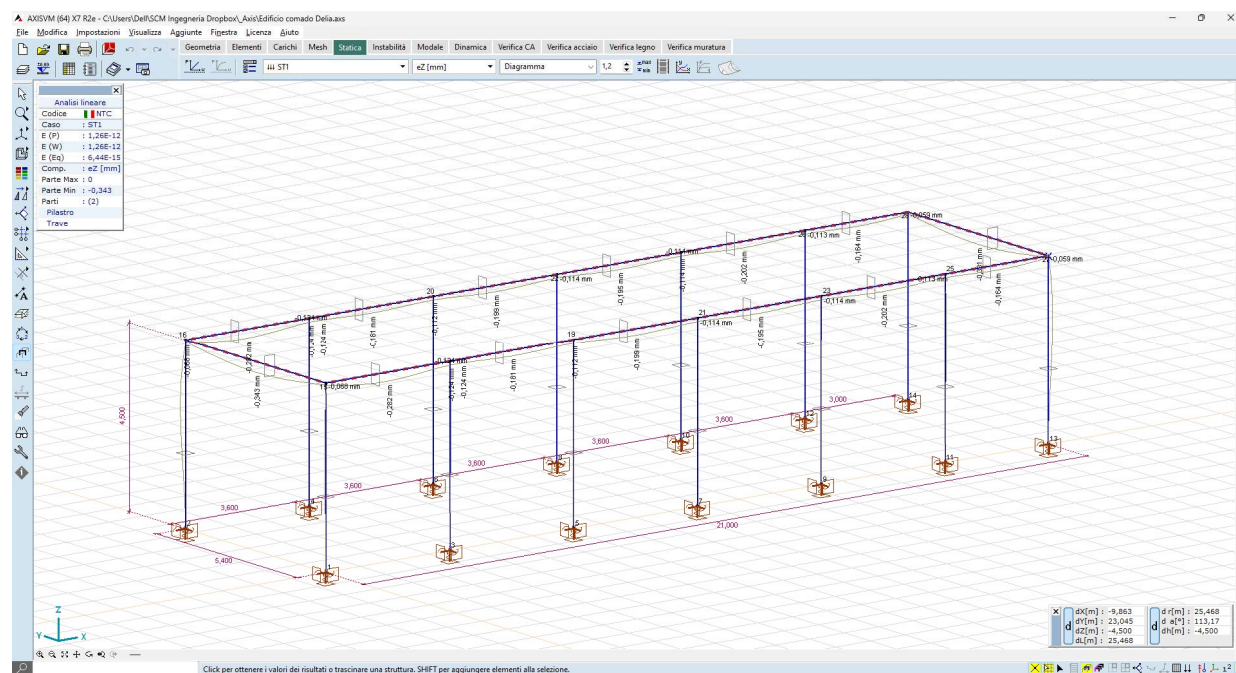


Figura 12-14 – diagramma delle deformazioni - Valori trascurabili

## 12.5 VERIFICHE GEOTECNICHE

### 12.5.1 Caratterizzazione dell'area di sedime

Il substrato sul quale si attestano le strutture fondali è caratterizzato da depositi terrigeno-arenacei con estesi affioramenti di calcari marnosi;

- ✓ substrato di natura prevalentemente pelitico-arenitica con argille-sabbiose e sabbie argillo-limose in subordine.

Si riportano i parametri geomeccanici significativi:

	MIN	MAX	BEST FIT
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume naturale	17.0	21.0	20.0
$\gamma_{sec}$ (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume secco	16.8	18.0	17.0
$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume saturo	19.5	21.8	20.5
$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> ) Peso specifico	---	---	24.0
$\phi'$ (°) Angolo di attrito di picco	31.0	35.0	33.0
$\phi'_{vc}$ (°) Angolo di attrito a volume costante	26.0	31.0	29
$c'$ (kPa) Coesione efficace	0.0	9.0	4.0

### 12.5.2 Tensioni indotte al suolo

L'andamento delle tensioni che la struttura trasmette al suolo è rappresentato di seguito:

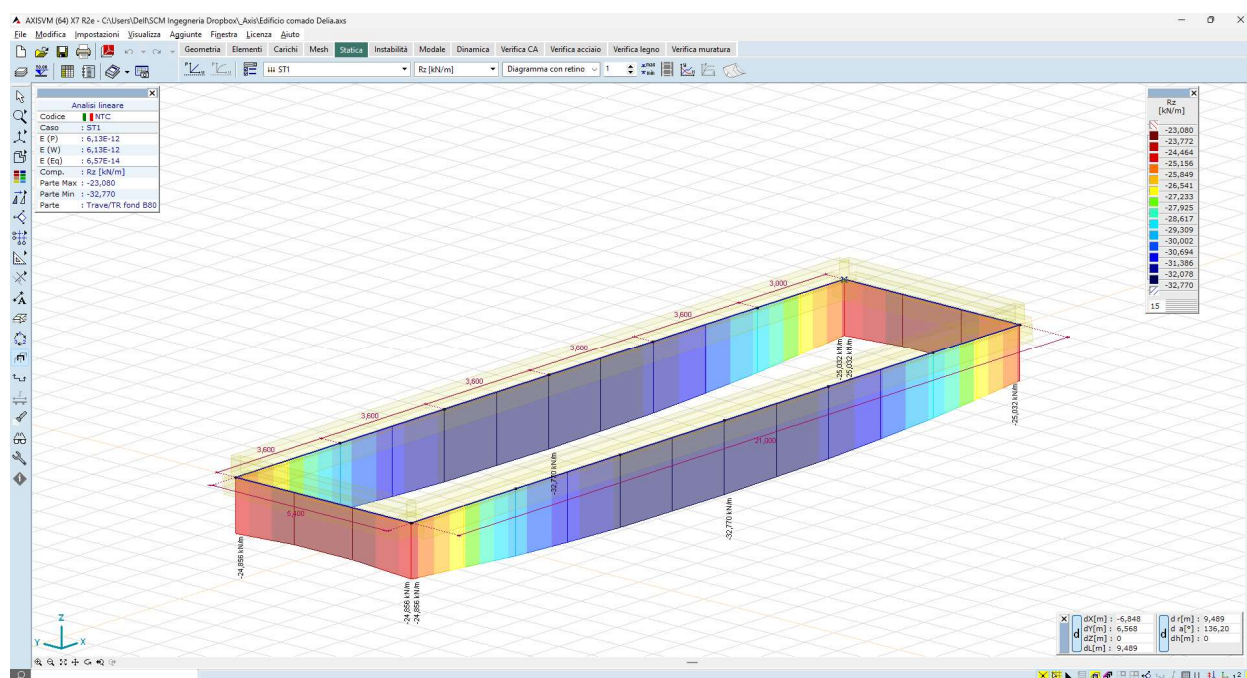


Figura 12-15 – andamento delle reazioni al suolo – valori max  $R_z = 32$  kN/m

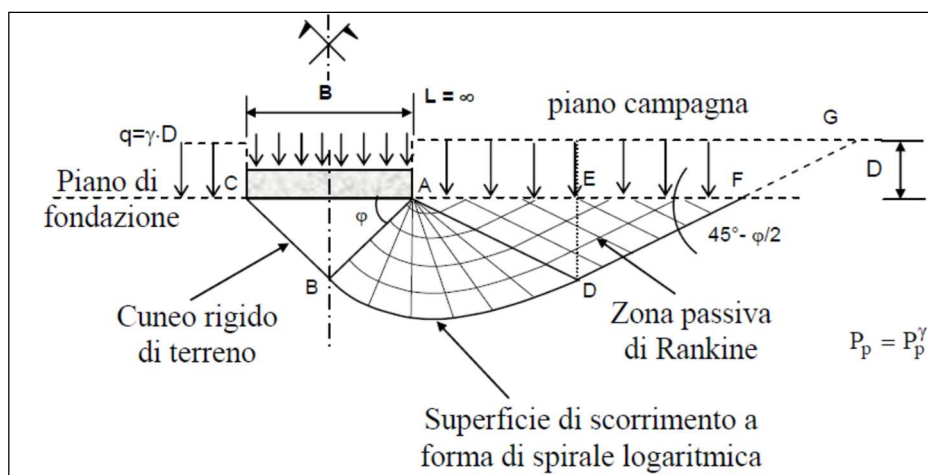
Ipotizzando la base della trave di fondazione pari a 80cm, il valore dei carichi al suolo è pari a:

$$32/0,8 = 40,0 \text{ KN/mq,}$$

valore lontano dai valori di carico limite del sedime in esame, come di seguito dimostrato:

### 12.5.3 Verifiche di capacità portante

Ai fini della verifica della capacità portante del terreno, si considera il modello di rottura generale di Terzaghi, che ipotizza un problema piano (fondazione nastriforme) utilizzando il metodo dell'equilibrio limite.



Il terreno è schematizzato come un mezzo continuo, omogeneo e isotropo, a comportamento rigido plastico e per il quale vale il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

La valutazione numerica del carico limite unitario si effettua per mezzo della formula trinomia di Terzaghi, che nel caso più generale è:

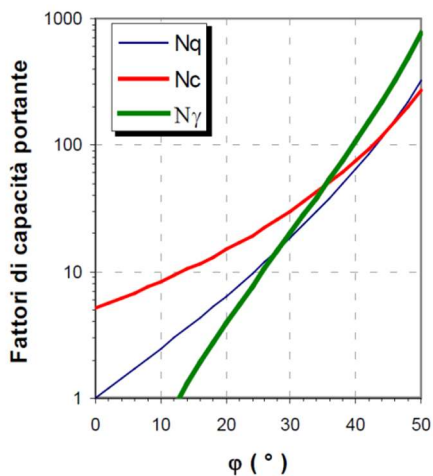
$$q_{lim} = [q N_q] + [c N_c] + [1/2 \cdot \gamma B' N_\gamma]$$

in cui:

- $q$ : è la tensione verticale geostatica, valutata in corrispondenza del piano di posa della fondazione, alla quale possono aggiungersi carichi esterni se esistenti;
- $c$  è la coesione del volume di terreno al di sotto della fondazione.
- $1/2 \cdot \gamma B'$  rappresenta la tensione geostatica a profondità pari a  $B/2$  dal piano di posa ( $\gamma$  e  $B$  sono rispettivamente il peso dell'unità di volume la larghezza della fondazione)

I termini  $N_q$ ,  $N_c$ ,  $N_\gamma$  sono i coefficienti di carico limite, funzione dell'angolo di attrito del terreno:





Nel caso specifico di fondazione a pianta rettangolare, si introducono opportuni coefficienti di forma ( $S_q$ ,  $S_c$ ,  $S_\gamma$ ) che modificano la formula come di seguito:

$$q_{lim} = [q N_q] s_q + [c N_c] s_c + [1/2 \cdot \gamma B' N_\gamma] s_\gamma$$

i coefficienti di cui sopra modificano i risultati numerici rispetto al modello generico che invece si applica alla striscia indefinita:

*Tabella 15.1: Fattori di forma (Vesic, 1975)*

Forma della fondazione	$s_c$	$s_q$	$s_\gamma$
Rettangolare	$1 + \frac{B'}{L'} \cdot \frac{N_q}{N_c}$	$1 + \frac{B'}{L'} \cdot \tan \phi$	$1 - 0,4 \cdot \frac{B'}{L'}$
Circolare o quadrata	$1 + \frac{N_q}{N_c}$	$1 + \tan \phi$	0,6

## Dati di progetto

Insert "larghezza fondazione"	B	4,50	m
Insert "profondità piano di posa"	D	0,80	m
insert profondità falda "d"	d	assente	m
Insert "peso volume"	$\gamma_1$	1500	daN/mc
Insert "peso volume"	$\gamma_2$	2000	daN/mc
Insert "coesione"	c	0,04	daN/cm <sup>2</sup>
Insert "angolo di resist a taglio"	$\phi$	30	°

Fattori di capacità portante	$N_\gamma$	22,40
	$N_q$	18,40
	$N_c$	30,14

Fattori di forma	$S_\gamma$	0,93
	$S_q$	1,10
	$S_c$	1,11

## Risultati

Carico limite	$Q_{lim}$	25,79	daN/cm <sup>2</sup>
Carico ammissibile	$Q_{lim}/3$	8,60	daN/cm <sup>2</sup>

## Esito verifiche

Carico esercizio	$Q_{es}$	18,00	kN/m <sup>2</sup>
Carico ammissibile	$Q_{adm}$	859,00	kN/m <sup>2</sup>
Fattore sicurezza	$F_s$	47,00	OK

## 13 CONCLUSIONI

I risultati numerici derivanti dall'analisi della struttura, condotta in campo lineare, attribuendo i carichi gravitazionali e sismici da normativa, hanno mostrato ampi margini di sicurezza.

Alla luce della caratterizzazione geologica del sottosuolo, si può asseverare che le strutture non influenzano significativamente il volume di sedime sul quale andrà ad insistere.

Per tali motivi si può asserire che le opere strutturali descritte nel presente documento posseggono requisiti di sicurezza tali da assicurarne la realizzabilità.