



REGIONE SICILIA
COMUNI DI MAZARA DEL VALLO E MARSALA (TP)

PROGETTO

Impianto Agrivoltaico integrato innovativo denominato "Grillo" avente potenza d'impianto di 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità di accumulo e relative opere connesse nei Comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

TITOLO

Rel. 15 - Relazione Preliminare sulle Strutture

PROPONENTE



ENGIE GRILLO S.r.l.

Sede legale e Amministrativa:

Via Chiese 72
20126 Milano (MI)
PEC: engiegrillo@legalmail.it

PROGETTISTA



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

Dott. Ing. Daniele Cavallo



Scala	Formato Stampa A4	Cod.Elaborato REL15	Rev. 00	Nome File REL15-Relazione Preliminare sulle Strutture	Foglio 1 di 99
-------	----------------------	------------------------	------------	--	-------------------

Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato
00	15/02/2023	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	Errore. Il segnalibro non è definito.
2.4	DATI CATASTALI	4
2.5	CONNESSIONE.....	5
3	LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO	7
3.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E TERRITORIALE	7
4	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	9
5	STRUTTURE PORTANTI MODULI FOTOVOLTAICI - TRACKERS MONOASSIALI	10
5.1	DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA	10
5.2	Modellazione della struttura – caratteristiche generali	12
5.3	CARICHI DI PROGETTO	16
5.3.1	Pesi propri strutturali	16
5.3.2	Sovraccarichi permanenti	16
5.3.3	Vento.....	16
6	TRACKER MONOASSIALE 1X60	22
6.1	Generazione del modello.....	22
6.2	Casi di carico	23
6.3	RISULTATI NUMERICI.....	27
6.3.1	Spostamenti.....	27
6.3.2	Sollecitazioni.....	29
7	TRACKER MONOASSIALE 1X30	32
7.1	GENERAZIONE DEL MODELLO.....	32
7.2	CASI DI CARICO	33
7.3	RISULTATI NUMERICI.....	36
7.3.1	Spostamenti.....	37
7.3.2	Sollecitazioni.....	39
8	TRACKER MONOASSIALE 1X15	41
8.1	GENERAZIONE DEL MODELLO.....	41
8.2	CASI DI CARICO	42
8.3	RISULTATI NUMERICI.....	45
8.3.1	Spostamenti.....	46
8.3.2	Sollecitazioni.....	48

9	VERIFICHE DI RESISTENZA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI	50
10	VERIFICHE GEOTECNICHE	53
11	FONDAZIONI CABINE PREFABBRICATE ITS "POWER STATION"	54
11.1	DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA	54
11.2	MODELLO NUMERICO	56
11.1.1	Risultati delle analisi svolte.....	59
11.3	VERIFICHE DELLE SEZIONI DEGLI ELEMENTI SHELL IN C.A.	62
12	STAZIONE UTENTE 220/30 kV	63
12.1	LAYOUT.....	63
12.2	FONDAZIONE TRASFORMATORE DI POTENZA	64
12.2.1	Descrizione	64
12.2.2	Materiali e durabilità	65
12.2.3	Ipotesi assunte nella modellazione.....	67
12.2.4	Tipo di analisi strutturale.....	68
12.2.5	Combinazioni e/o percorsi di carico.....	69
12.2.6	Verifiche agli stati limite ultimi.....	70
12.2.7	Verifiche agli stati limite di esercizio.....	70
12.2.8	Modellazione delle sezioni	70
12.2.9	Modellazione struttura	71
12.2.10	Modellazione delle azioni	74
12.2.11	Verifiche elementi parete e/o guscio in c.a.	80
12.3	CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	85
12.3.1	Reticolo di riferimento	85
12.3.2	Parametri di riferimento	85
12.3.3	Categoria Topografica	86
12.3.4	Categoria del suolo di fondazione.....	86
12.3.5	Combinazione dei carichi	87
12.4	VERIFICHE GEOTECNICHE	88
12.4.1	Caratterizzazione dell'area di sedime	88
12.4.2	Verifiche di capacità portante	88
12.5	EDIFICIO DI COMANDO	91
12.5.1	Descrizione	91
12.5.2	Generazione del modello.....	92
12.5.3	Calcolo delle sollecitazioni e deformazioni.....	93
12.5.4	Azione sismica.....	95
12.5.5	Combinazione dei carichi	97
13	CONCLUSIONI.....	99

1 INTRODUZIONE

Il progetto prevede la realizzazione di un impianto agro fotovoltaico integrato innovativo, mediante tecnologia fotovoltaica con tracker monoassiale, che la Società Engie Grillo S.r.l. (di seguito "la Società") intende realizzare nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP).

L'impianto avrà una potenza installata di 53970 kWp per una potenza di 45000 kW in immissione, e l'energia prodotta verrà immessa sulla rete RTN in alta tensione.

L'impianto sarà inoltre dotato di un sistema di accumulo della potenza nominale di 10000 kW e con capacità di accumulo di 80000 kWh.

2 DATI GENERALI

2.1 DATI DEL PROPONENTE

Di seguito i dati anagrafici del soggetto proponente:

SOCIETA' PROPONENTE	
Denominazione	ENGIE GRILLO S.R.L.
Indirizzo sede legale	Via Chiese 72 – 20126 Milano (MI)
Codice Fiscale/Partita IVA	12112930966
Capitale Sociale	10.000,00
PEC	engiegrillo@legalmail.it

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 MT saranno realizzati nei comuni di Mazara del Vallo (TP) e Marsala (TP).

Il sistema di accumulo e le opere di connessione saranno invece realizzati nel comune di Marsala (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 dei comuni di Mazara del Vallo (TP) e Marsala (TP), sono:

- FG 9 particelle 21, 22, 25, 33, 36 e 38 (Mazara del Vallo)
- FG 188 particella 96 (Marsala)

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



L'area della stazione utente interesserà invece i seguenti terreni, così come individuati da catasto del comune di Marsala (TP):

- FG 189 particella 494 (Marsala)

Infine, l'area del sistema di accumulo interesserà invece i seguenti terreni, così come individuati da catasto del comune di Marsala (TP):

- FG 137 particella 31 (Marsala)

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	Comuni di Mazara del Vallo (TP) e Marsala (TP)	
Potenza di Picco (kWp)	53970 kWp	
Potenza Nominale (kW)	53970 kWp	
Potenza massima in immissione	45000 kW	
Informazioni generali del sito	Sito pianeggiante ben raggiungibile da strade statali/provinciali/comunali	
Tipo di strutture di sostegno	Inseguitore monoassiale	
Coordinate area impianto	Latitudine	37°48'0.32"N
	Longitudine	12°39'49.35"E
Coordinate Stazione Utente 220 kV	Latitudine	37°49'1.30"N
	Longitudine	12°40'13.71"E

Tabella 2-2 – Dati catastali

2.5 CONNESSIONE

La Società Engie Sole S.r.l ha presentato a Terna S.p.A. ("il Gestore") la richiesta di connessione alla RTN per una potenza in immissione di 55 MW. Alla richiesta è stato assegnato Codice Pratica 202101714.

In data 24 Novembre 2021, il gestore ha trasmesso la soluzione tecnica minima generale per la connessione (STMG), accettata in data 10 Gennaio 2022. La STMG è poi stata volturata alla Società proponente, con accettazione formale di Terna in data 26 Gennaio 2022.

Lo schema di allacciamento alla RTN prevede che l'impianto venga collegato in antenna a 220 kV con la nuova stazione elettrica di smistamento (SE) a 220 kV della RTN, da inserire in entrata - esce sulla linea RTN a 220 kV "Fulgatore - Partanna", denominata "Partanna 2", 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 della suddetta stazione con la stazione 220/150 kV di Fulgatore, previo ampliamento della stessa;
- realizzazione di un nuovo elettrodotto RTN a 220 kV di collegamento della suddetta stazione a 220kV con la stazione 220 kV di Partanna, previo ampliamento della stessa.

Al fine di razionalizzare l'utilizzo delle strutture di rete, il Gestore ha proposto inoltre di

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "*Grillo*" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



condividere lo stallo RTN 220 kV nella stazione SE Partanna 2 con le iniziative FW Turna S.r.l. C.P. 201700201, Orchidea Blu Sol S.r.l. C.P. 201800035, Wood Eolico S.r.l. C.P. 201800085, di cui all'accordo di condivisione tra le medesime Società.

La stazione utente di impianto e il nuovo elettrodotto in antenna a 220 kV per il collegamento della stessa alla SE Partanna 2 costituiscono impianto di utenza per la connessione, mentre lo stallo arrivo produttore a 220 kV nella suddetta stazione costituisce impianto di rete per la connessione.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

3 LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO

3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E TERRITORIALE

L'area presa in considerazione nel presente progetto ricade amministrativamente all'interno del Comune di Mazara del Vallo (TP) in contrada Carcitella su due lotti di terreno adiacenti per un'area complessiva recintata di circa 80 ettari.

Dal punto di vista Cartografico il sito ricade all'interno della Tavoleta Foglio n°257, Quadrante III, Orientazione N.E. "Baglio Chitarra" della Carta Ufficiale d'Italia edita dall' I.G.M.I. in scala 1:25.000 e in corrispondenza dell'intersezione tra le sezioni 605160 e 617040 (l'impianto agrivoltaico e parte del cavidotto) e nella sezione 606130 le opere di utenza e gran parte del cavidotto.

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:

- Lat. 37.798862°; Long. 12.656184°;
- Altimetria media risulta essere circa 140 m s.l.m..

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

- Lat. 37.817335°; Long. 12.670648°;
- Altimetria media risulta essere circa 194 m s.l.m..

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

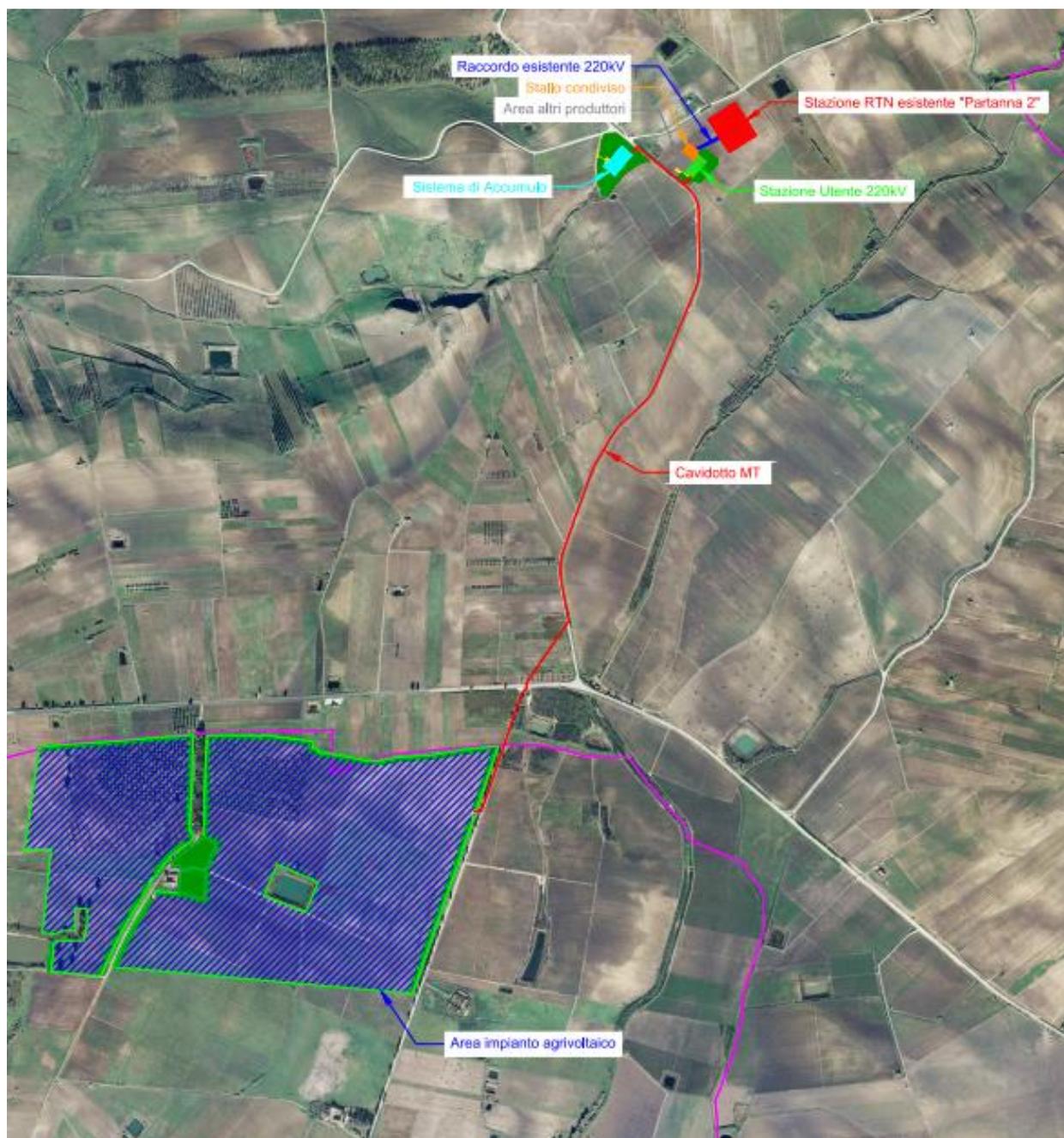


Figura 3-2 – Area impianto su ortofoto

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

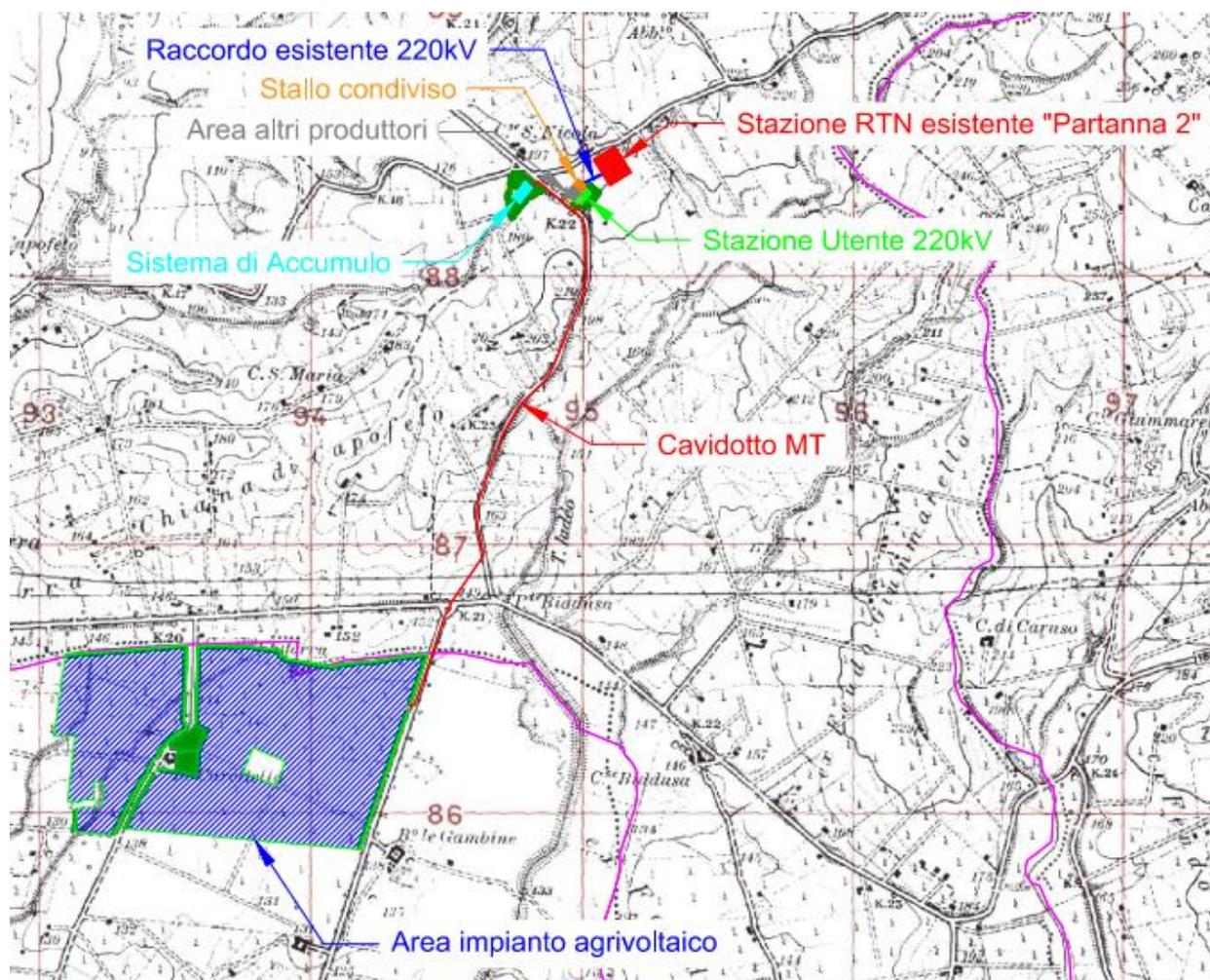


Figura 3-3 – Area impianto su IGM 1:25000

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 oggetto è prevista l'installazione di tre tipologie di vela – 1x15 moduli 1x30 moduli e 1x60 moduli - in configurazione 1V (in totale, rispettivamente 15, 30 e 60 moduli per vela disposti in verticale su unica fila);

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



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

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

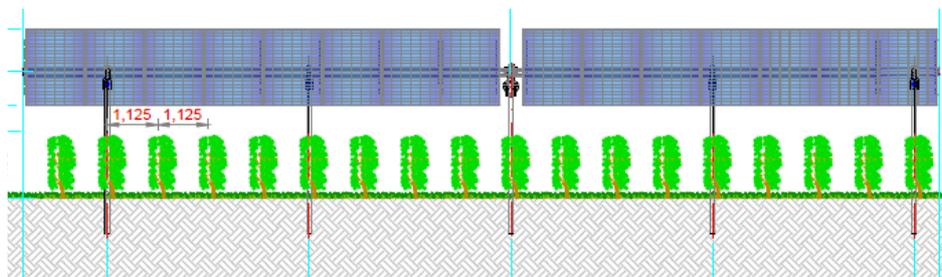


Figura 5-2 – Vela fotovoltaica 1x15 moduli

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

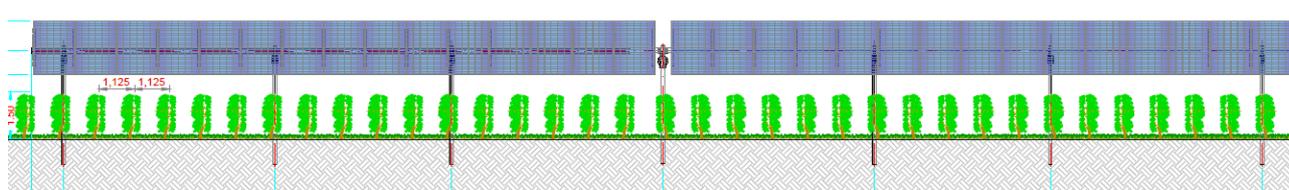


Figura 5-3 – Vela fotovoltaica 1x30 moduli

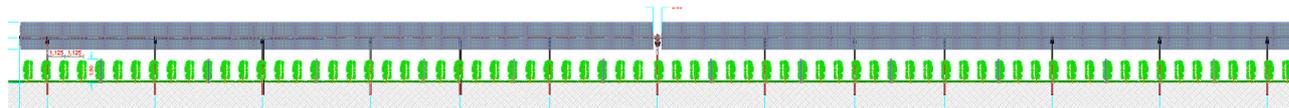


Figura 5-4 – Vela fotovoltaica 1x60 moduli

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

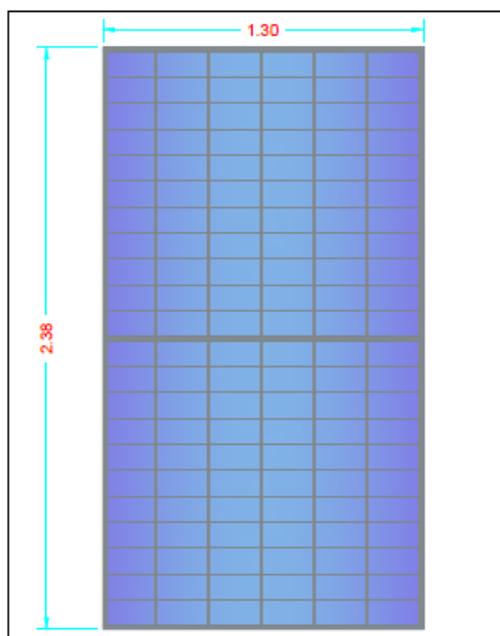


Figura 5-5 – Dimensione modulo di progetto

Per tutte e tre le tipologie di trackers è prevista:

- altezza al mozzo pari a circa 3,00 m da p.c.,
- profondità di infissione pari a 2,00 m

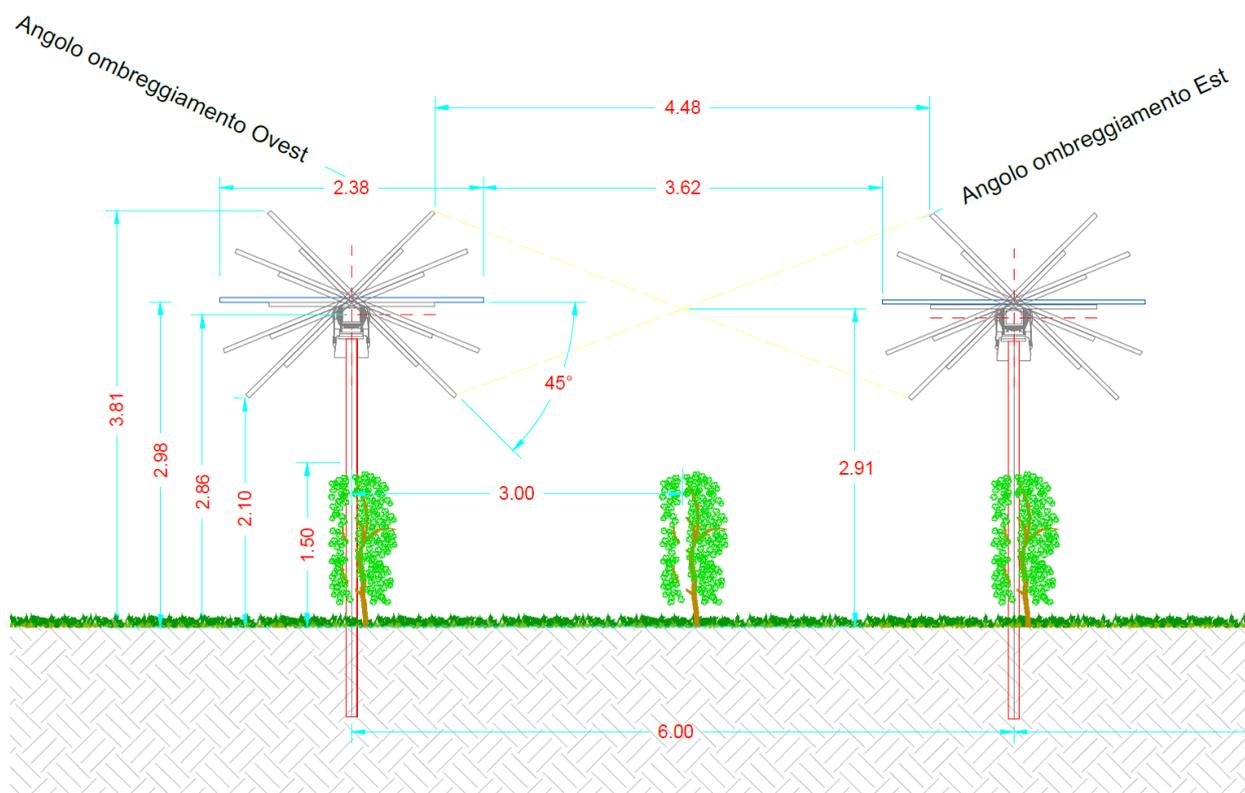


Figura 5-6 – Sezione trasversale strutture su supporto

5.2 Modellazione della struttura – caratteristiche generali

Il tracker viene modellato come 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 mediante un sistema di molle orizzontali, a rigidità 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	

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



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 ₁ [mm]	r ₂ [mm]	r ₃ [mm]	A _x [mm ²]	A _y [mm ²]
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

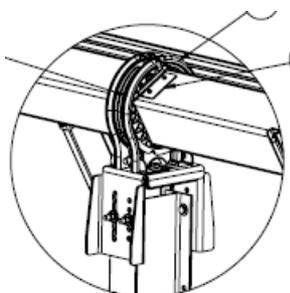
Materiali

	Nome	Tipo	E _x [N/mm ²]	v	α _T [1/°C]	ρ [kg/m ³]	P ₁
1	S 275	Acciaio	210000	0,30	1,2E-5	7850	f _y [N/mm ²] = 275,00
3	S 350 GD	Acciaio	210000	0,30	1,2E-5	7850	f _y [N/mm ²] = 350,00

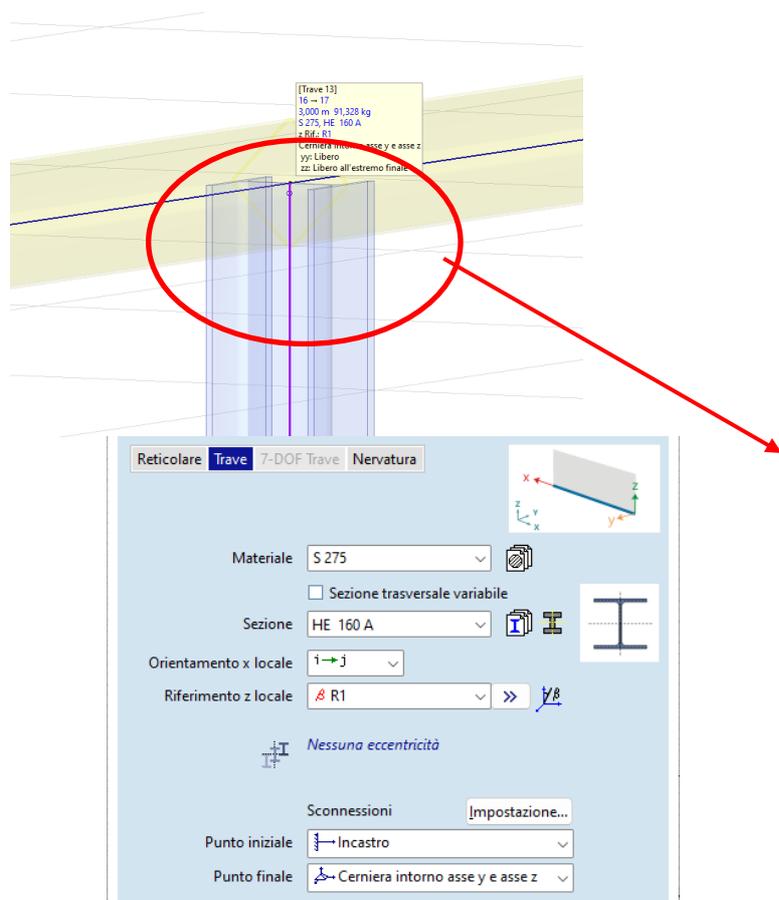
Non sono oggetto della presente relazione gli elementi secondari (arcarecci portamoduli) in quanto la loro trattazione è aspetto peculiare del progetto esecutivo.

Sconnessioni e vincoli

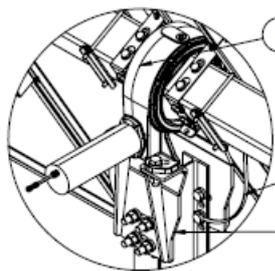
Il grado di vincolo dell'asse di rotazione ai montanti verticali tipo simple support viene simulato con un certo numero di rilasci rotazionali che ne simulano un vincolo tipo cerniera



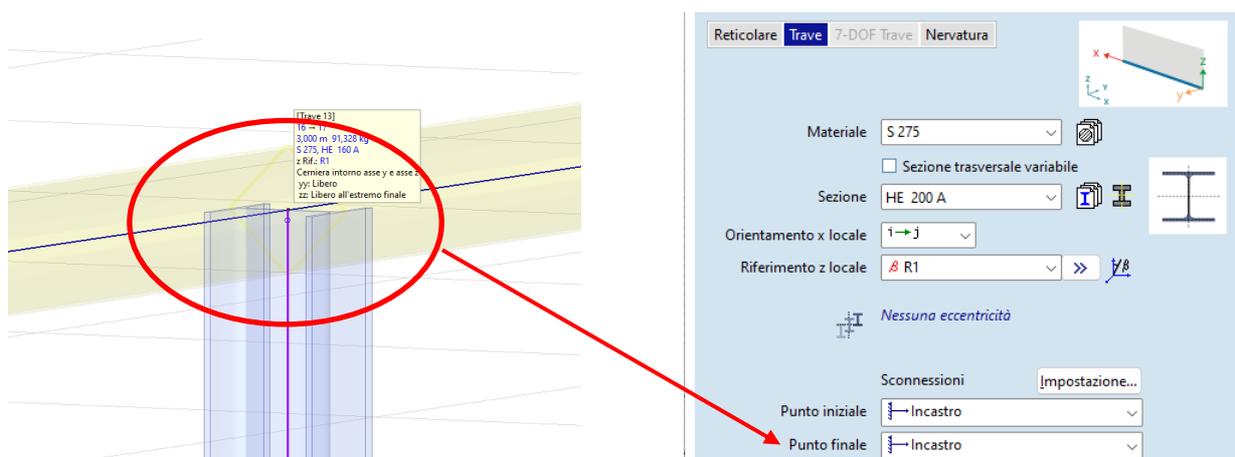
Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



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



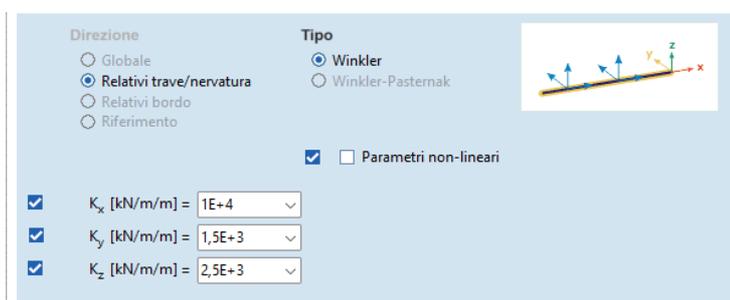
Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



Vincolo al suolo

Il vincolo derivante dall'infissione nel terreno per i pali verticali, infissi, viene modellato per mezzo di un letto di molle orizzontali possedenti 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)



La rigidezza delle molle è uno degli aspetti che deve essere approfondito nel successivo step di progettazione (esecutiva), mediante prove sperimentali in sito (prove di pull out e a carico laterale).

Per il momento viene assegnata una rigidezza desunta da letteratura, presso altri siti possedenti analoghe caratteristiche geologiche.

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.

I pannelli di carico vengono utilizzati per trasferire carichi nodali, linee distribuite e carichi superficiali agli elementi strutturali; non hanno ruolo strutturale, l'unica funzione di un pannello di carico è quella di distribuire i carichi su domini, elementi di travi e nervature. I carichi possono

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



essere distribuiti automaticamente su tutti i domini, le nervature e le travi, che si trovano nel piano del pannello.

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

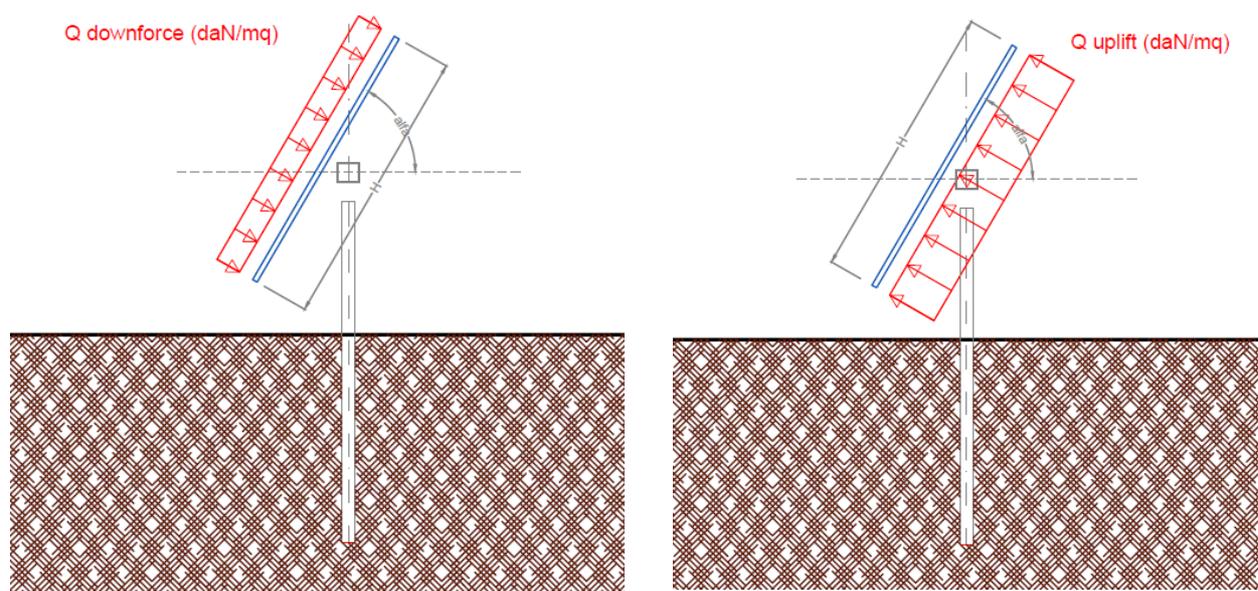
5.3.2 Sovraccarichi permanenti

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 esplicita 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):

$$Q = q_r \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

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 $v_r = v_{b,0} \cdot c_a$

ρ 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: 5 – *Sardegna (a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)*

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



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 $v_r = v_{b,0} * c_a = 28 \text{ m/s}$

e la pressione cinetica di riferimento $q_r = \frac{1}{2} * \rho * v_r^2 = 0,5 * 1,25 * (28)^2 = 490,0$ (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 -

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



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					
	costa	10 km	30 km	500m	750m	
A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	II	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_r	z_0 [m]	z_{\min} [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

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

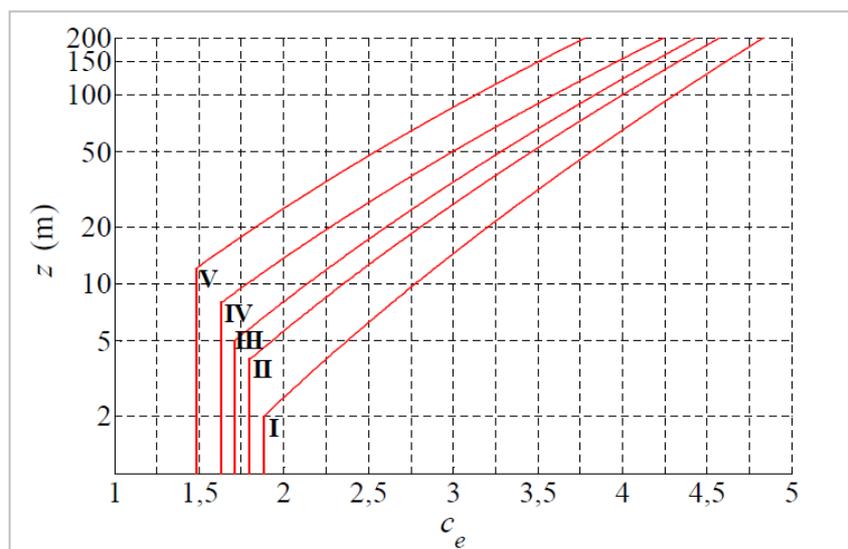
$z \geq z_{\min}$ il coefficiente di esposizione si calcola mediante la formula:

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

$z < z_{\min}$ 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:

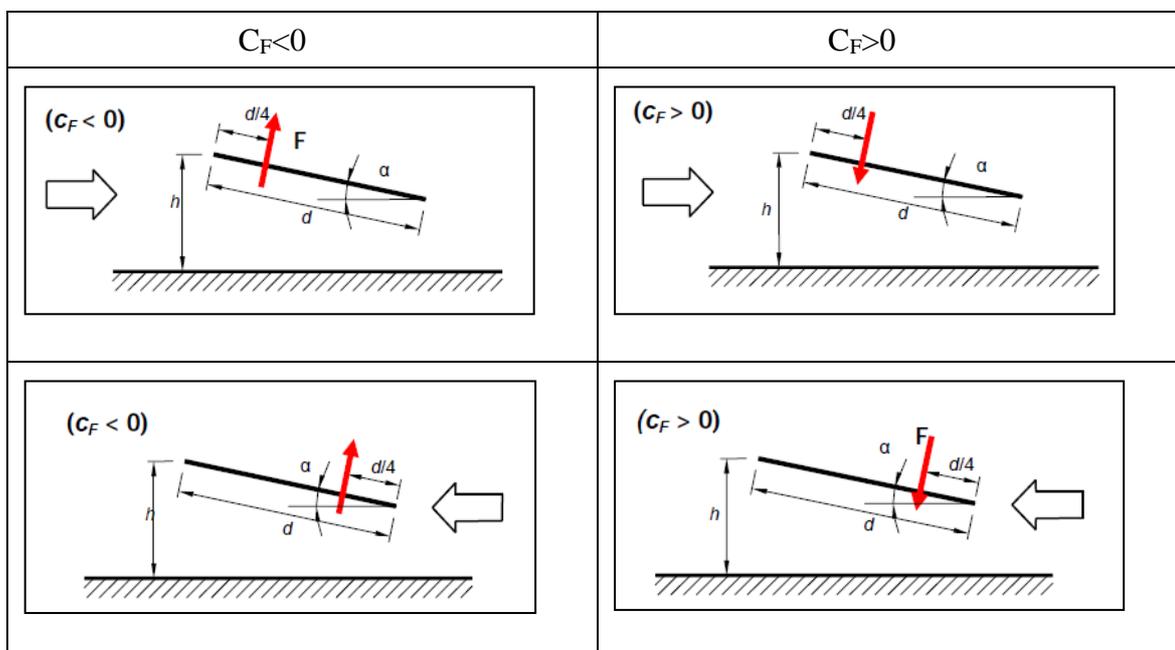
Per valori positivi $C_F = +0,2 + \alpha/30$

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 α (°)	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 $d/4$



Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



6 TRACKER MONOASSIALE 1X60

6.1 Generazione del modello

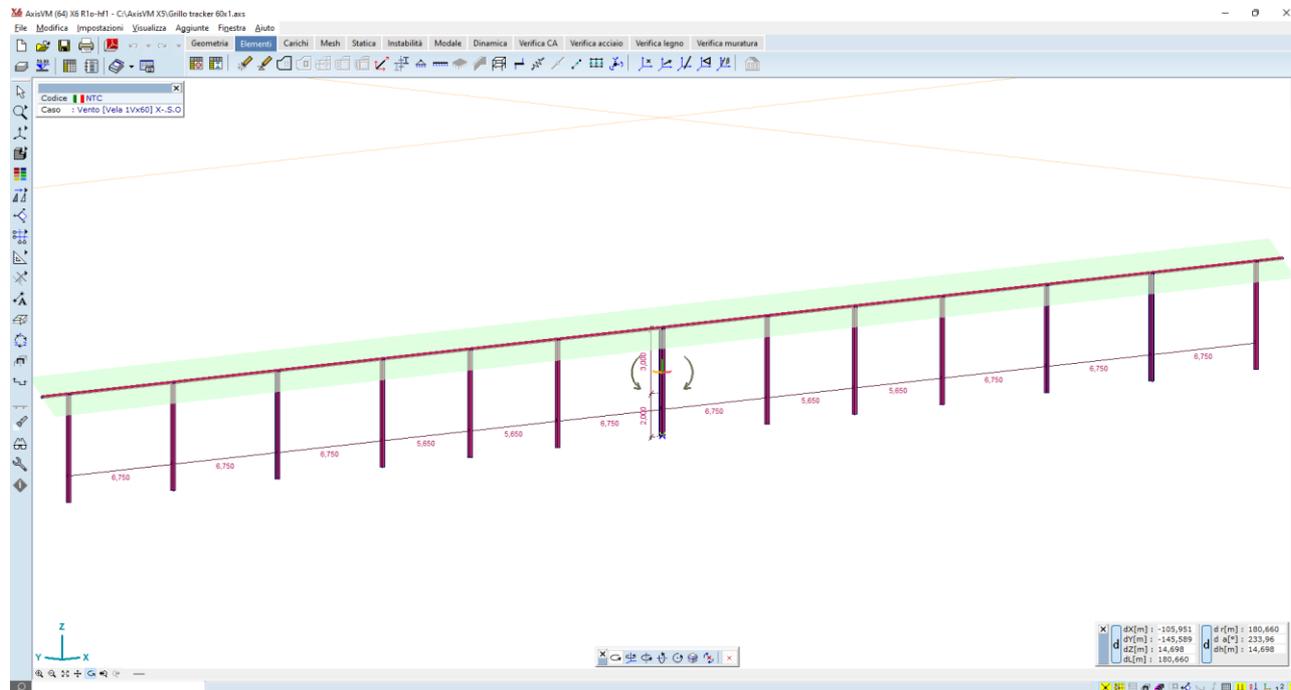


Figura 6-1 – modello ad elementi finiti – vista frontale

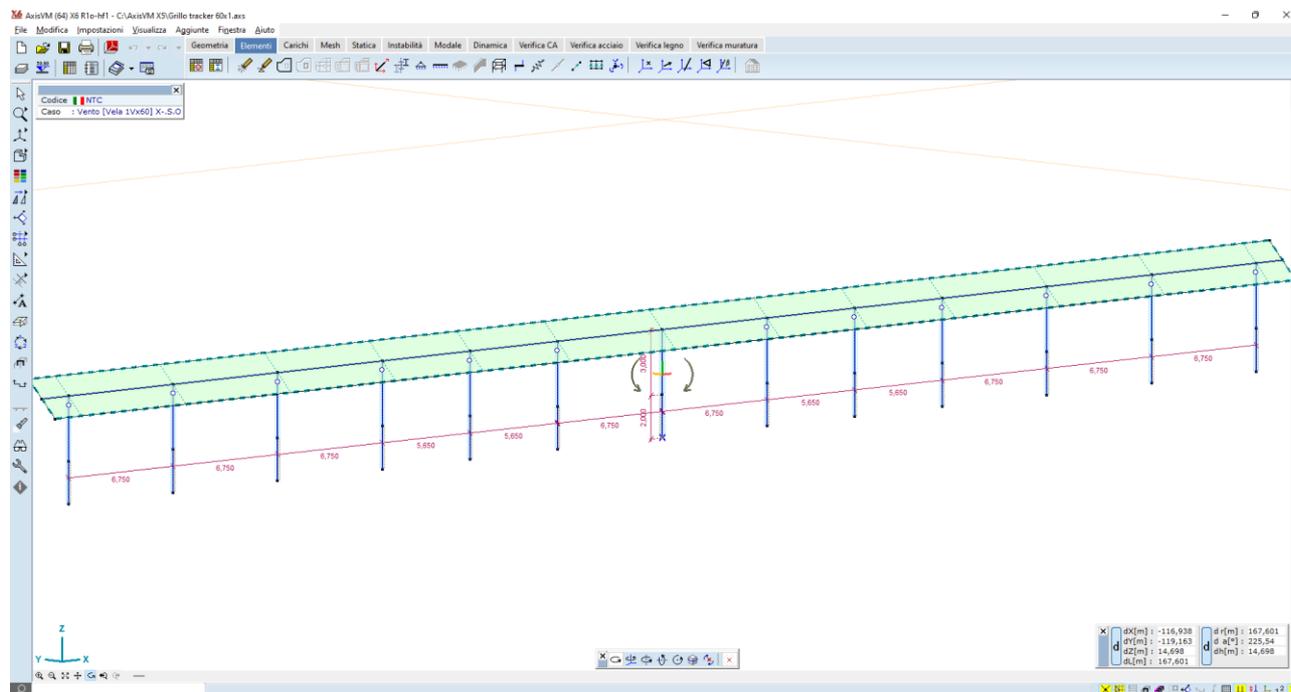


Figura 6-2 – modello ad elementi finiti – vista 3D

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



6.2 Casi di carico

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

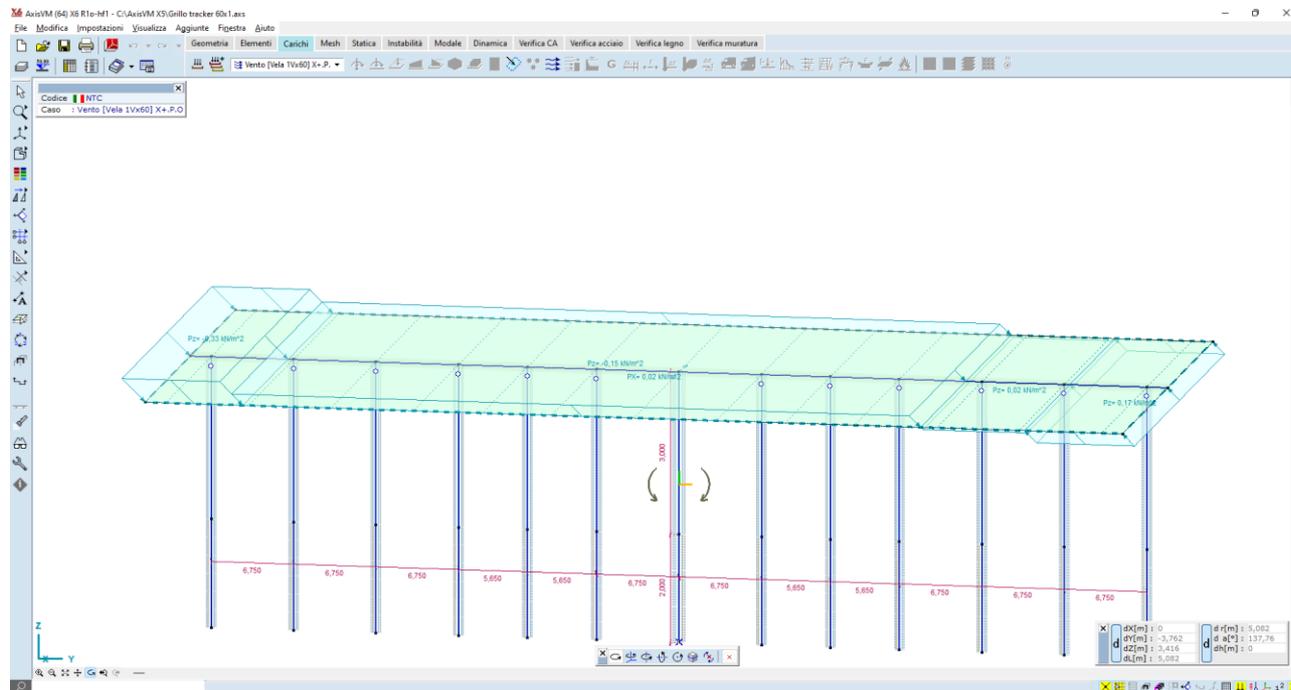


Figura 6-3 – carico vento X+P.O.

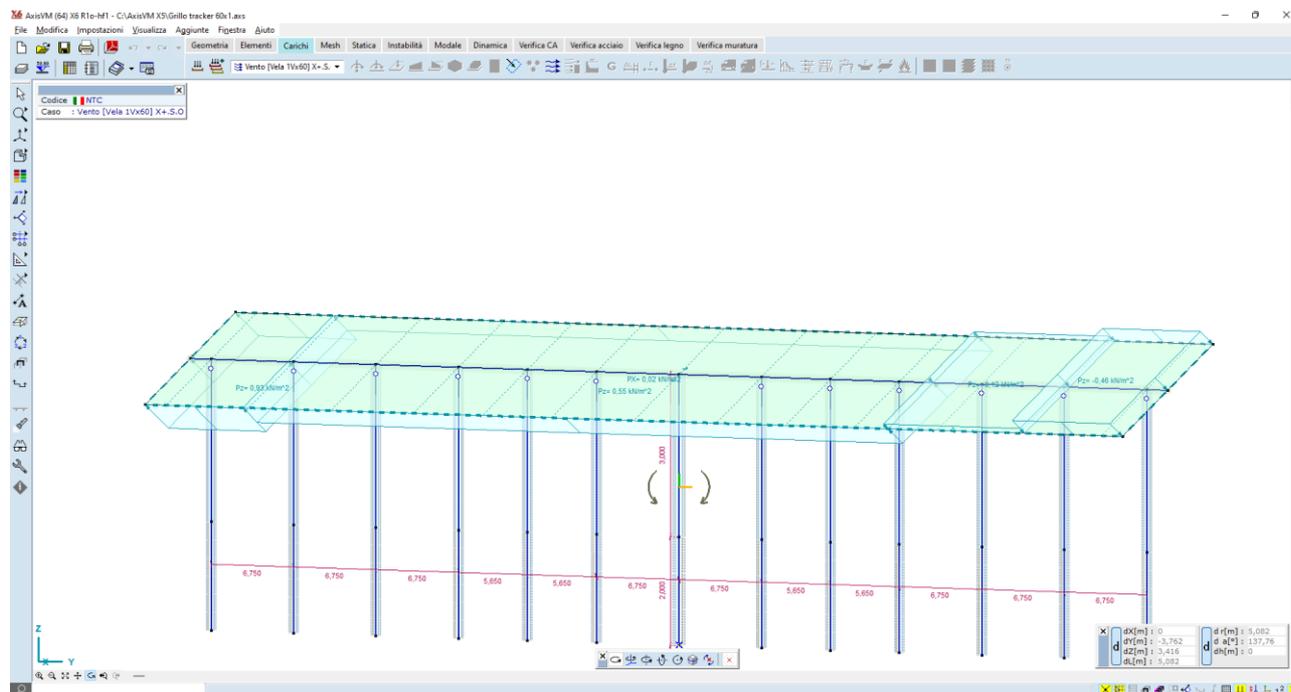


Figura 6-4 – carico vento X+S.O.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

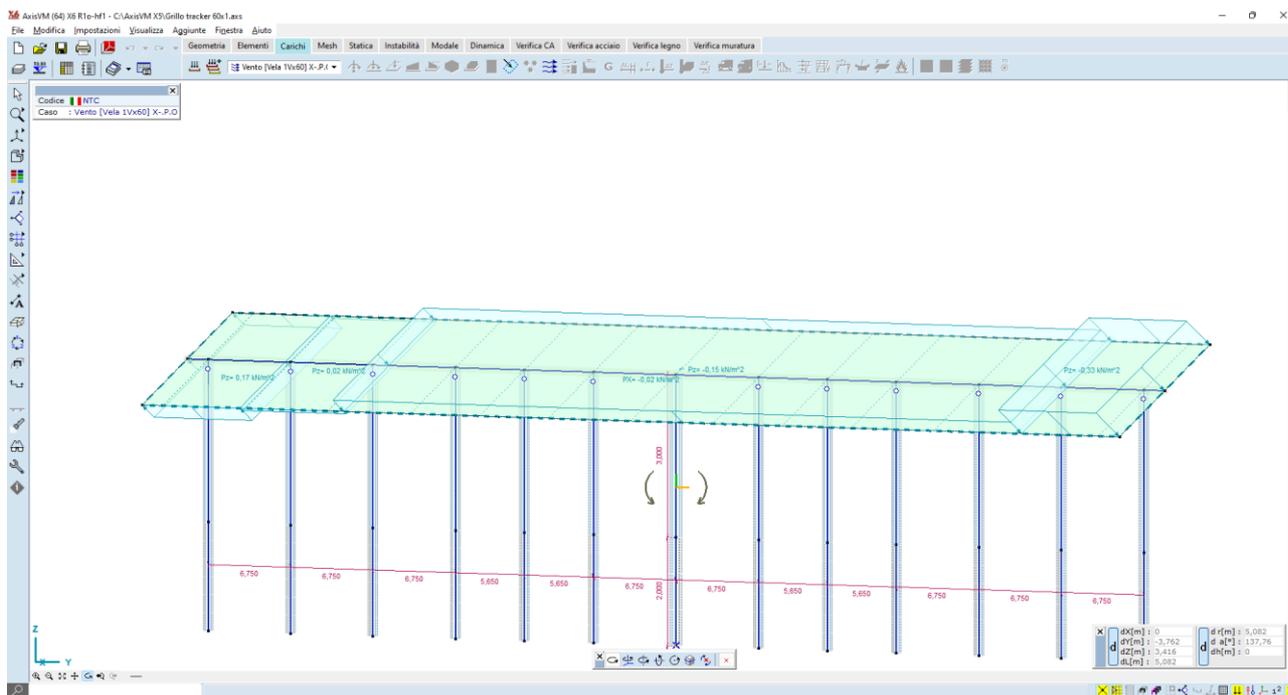


Figura 6-5 – carico vento X-P.O.

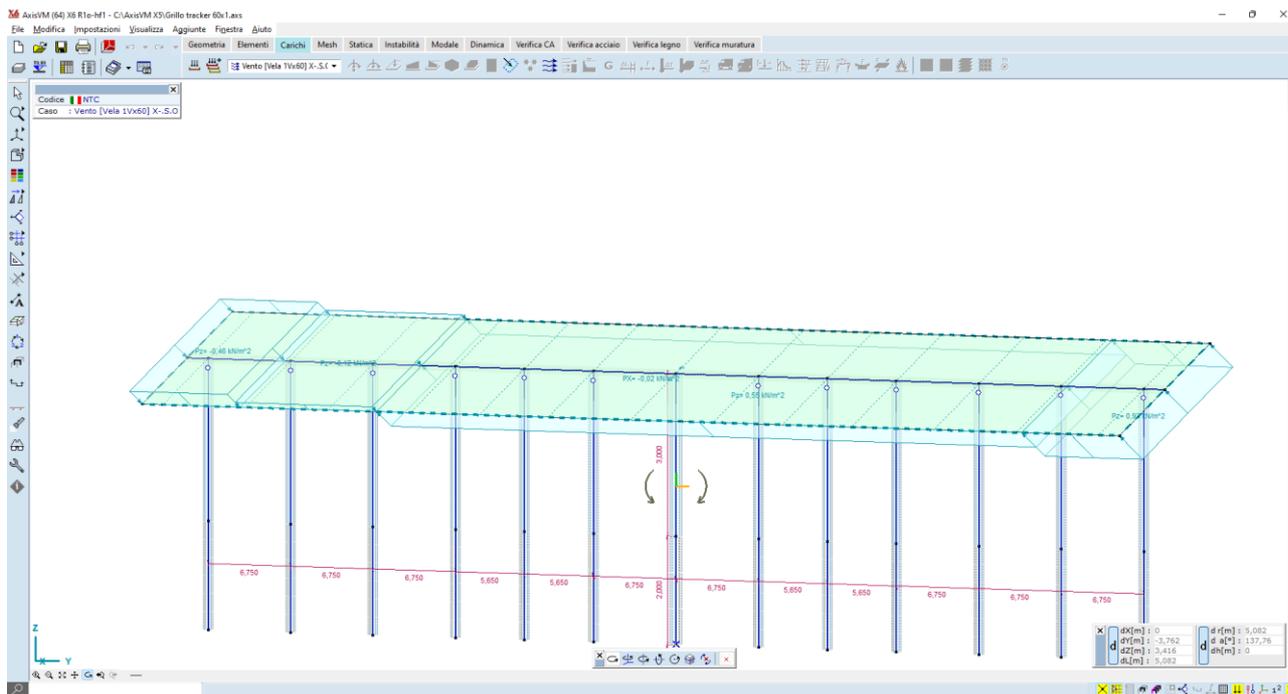


Figura 6-6 – carico vento X-S.O.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

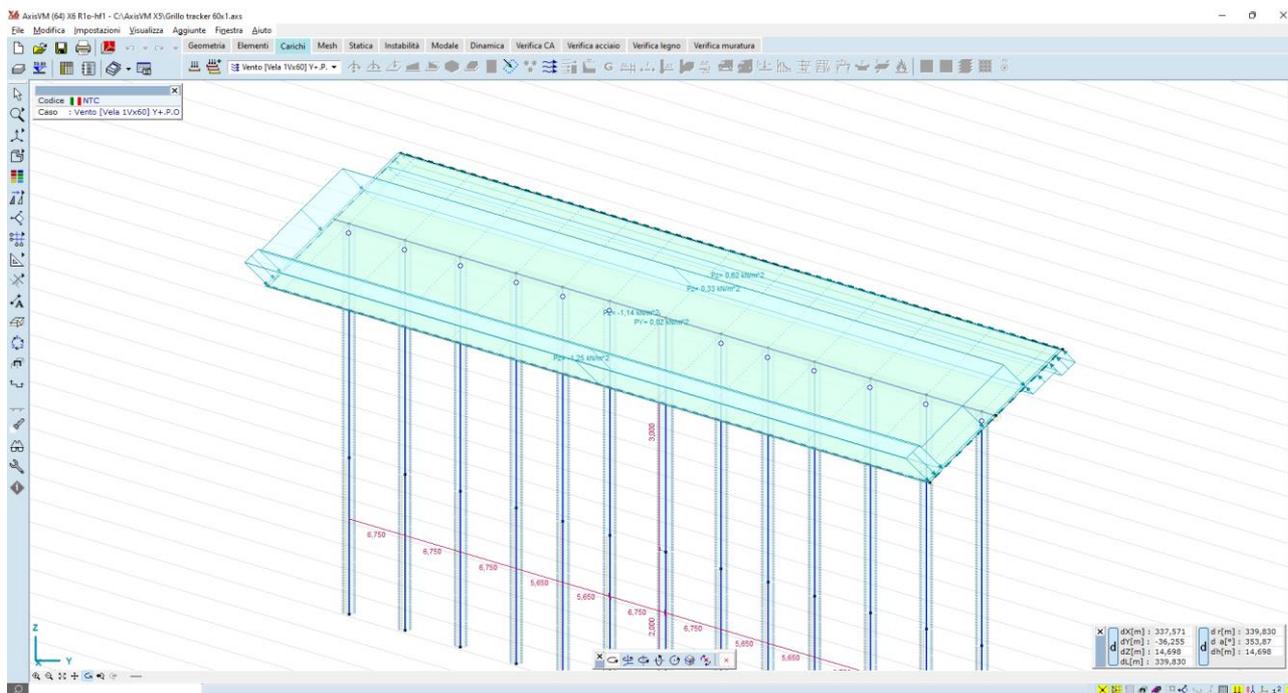


Figura 6-7 – Y+P.O.

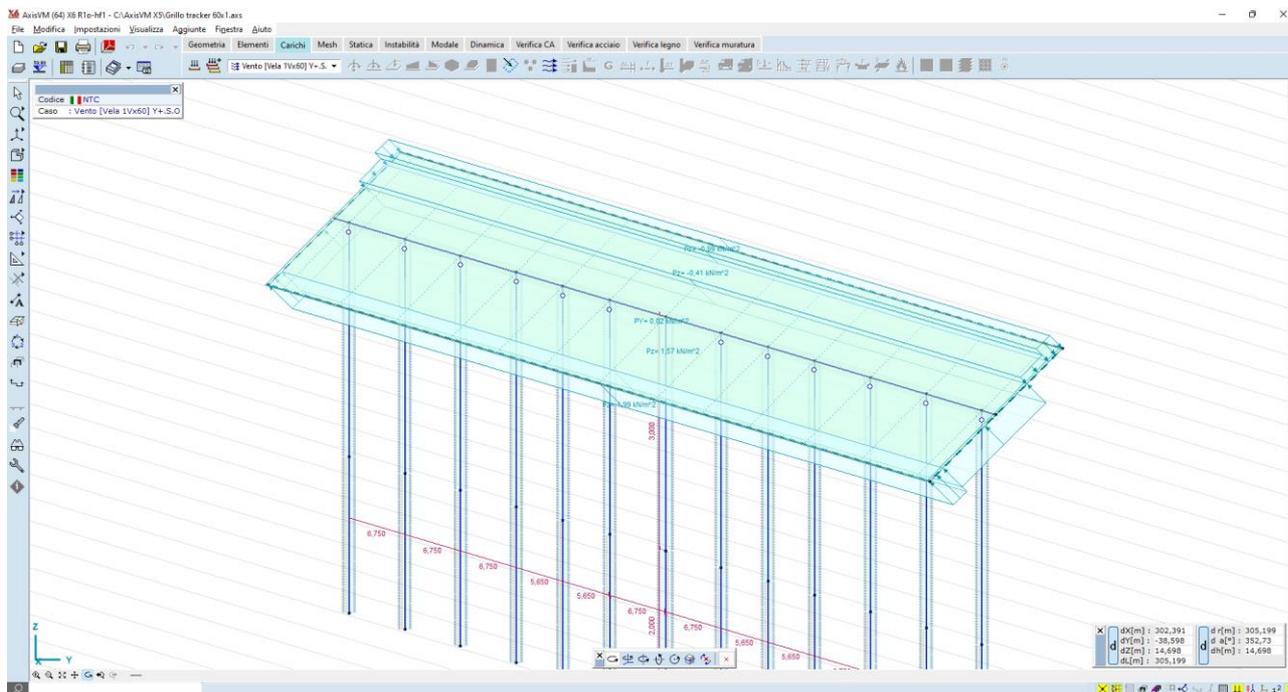


Figura 6-8 – Y+S.O.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

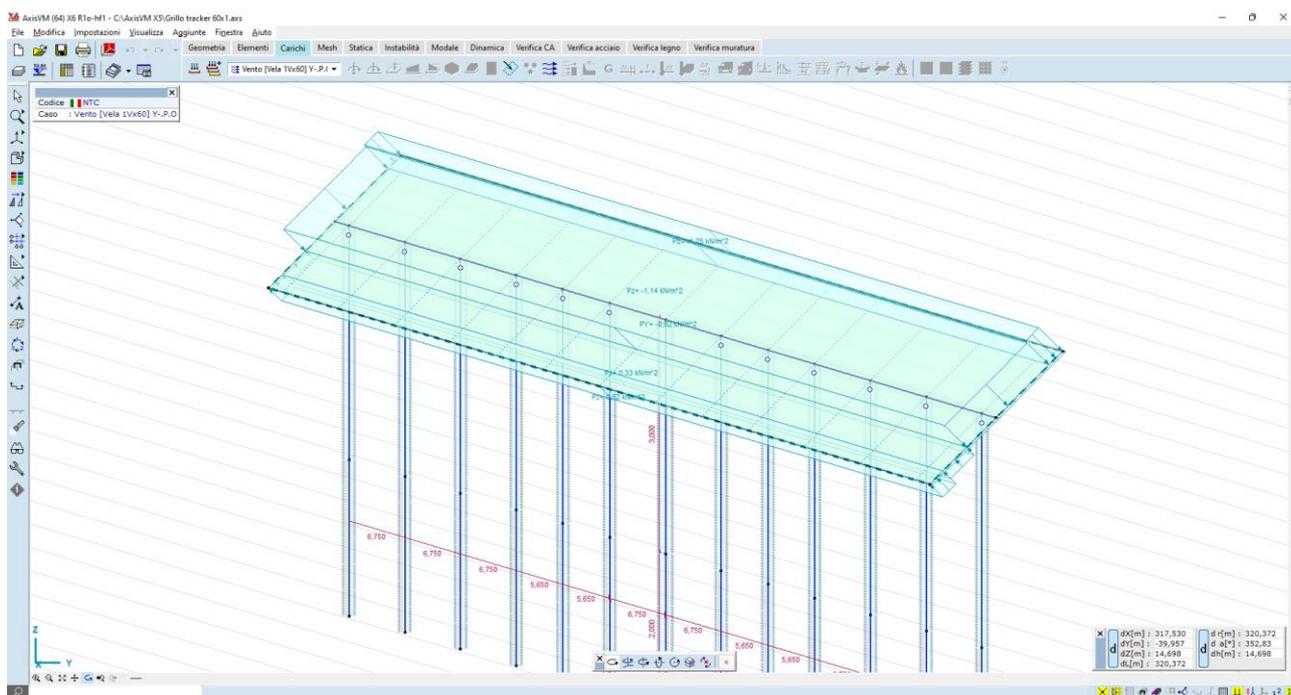


Figura 6-9 – Y-P.O.

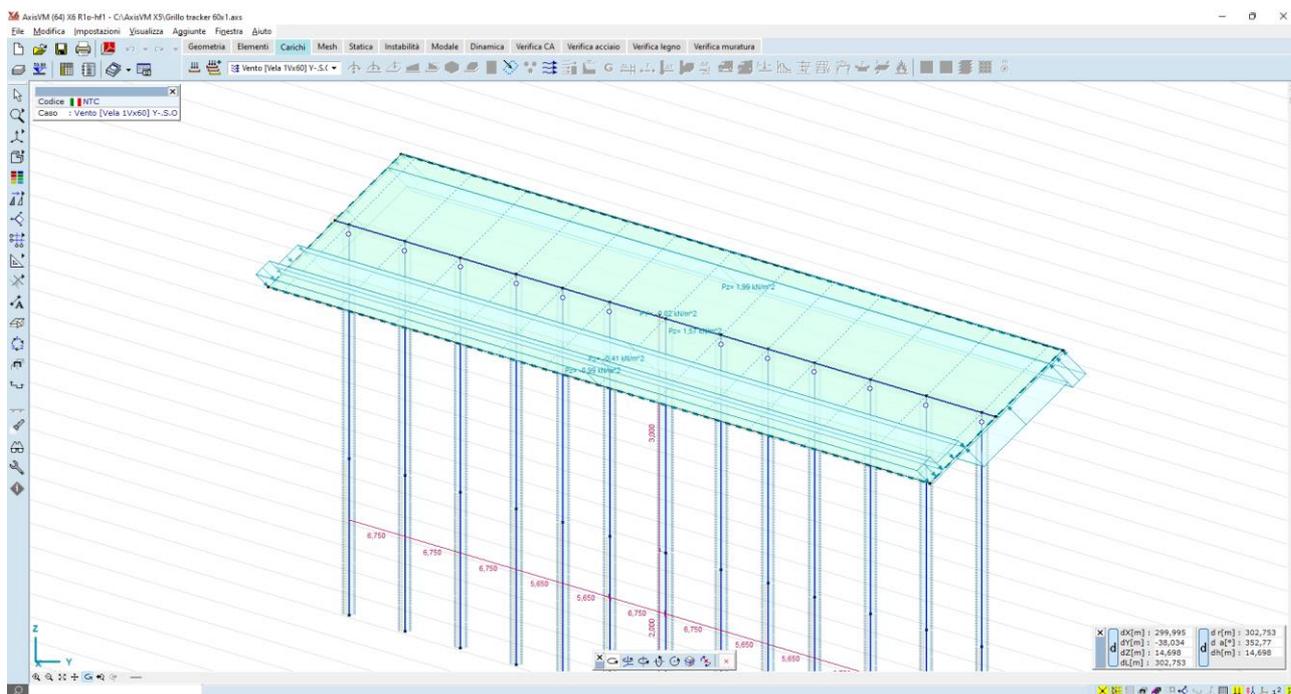


Figura 6-10 – Y-S.O.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



6.3 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.

6.3.1 Spostamenti

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

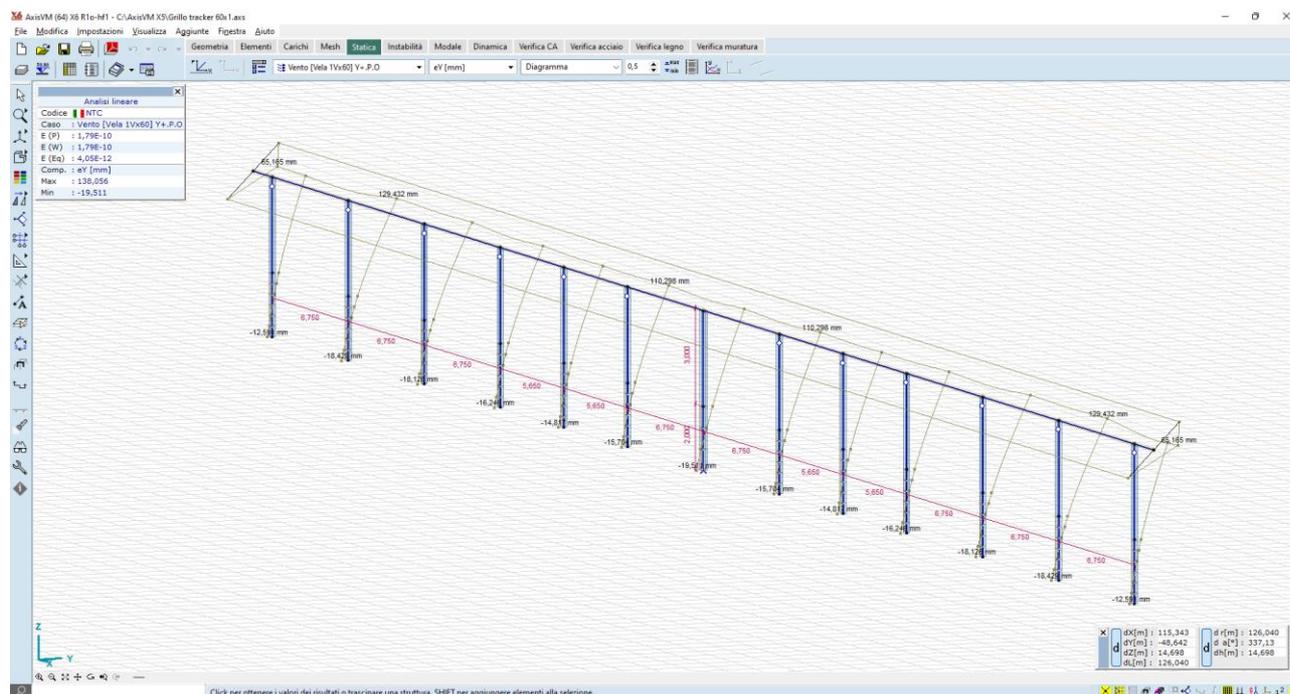


Figura 6-11 – spostamenti attesi sotto carico vento - condizione Y+P.O.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

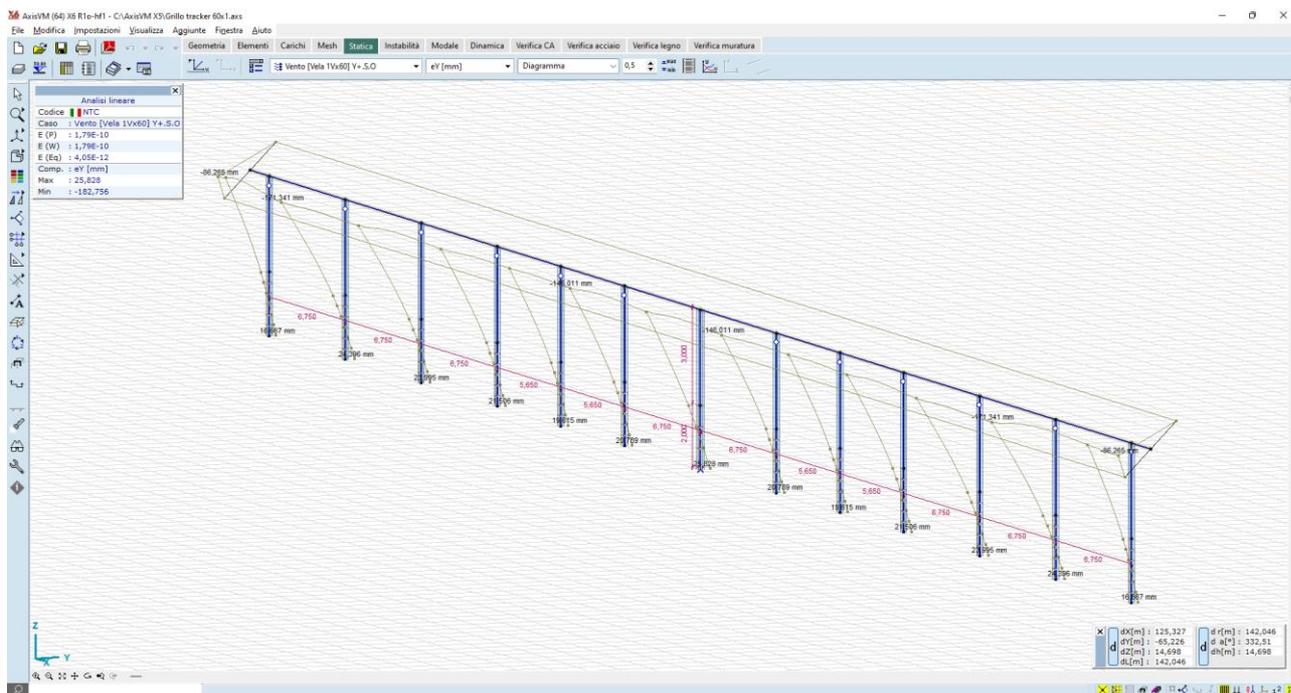


Figura 6-12 – spostamenti attesi sotto carico vento - condizione Y+S.O.

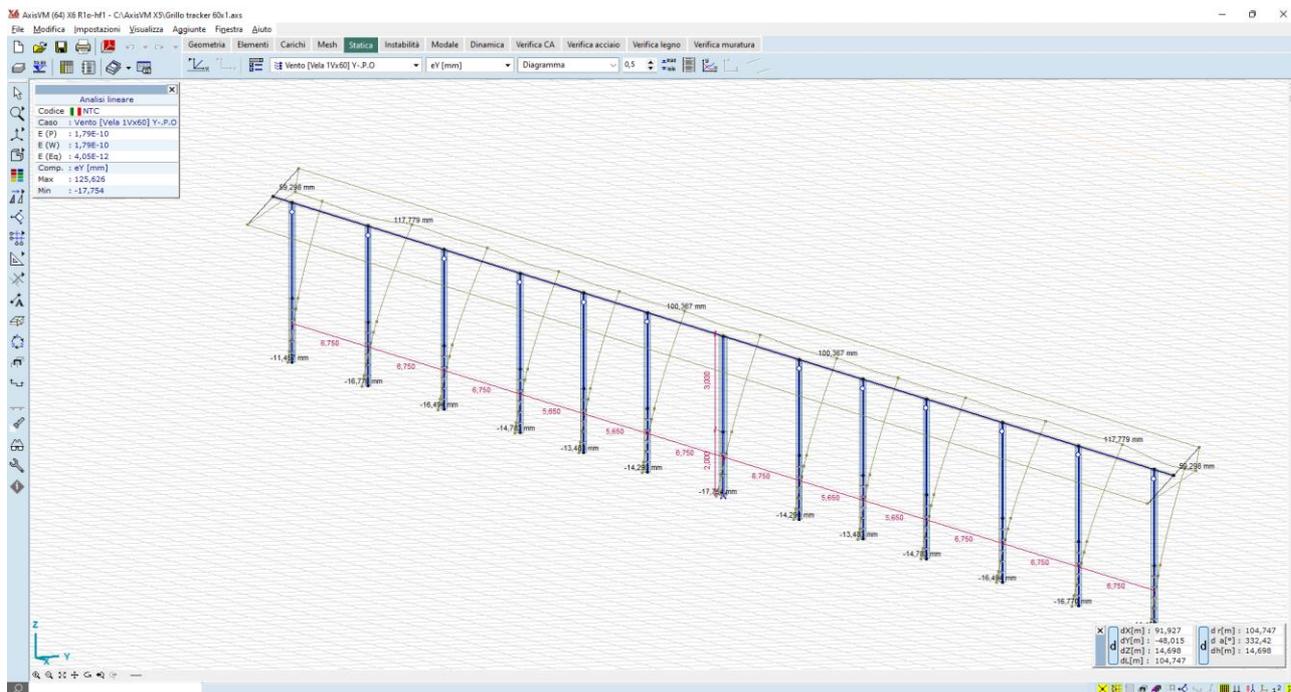


Figura 6-13 – spostamenti attesi sotto carico vento - condizione Y-P.O.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

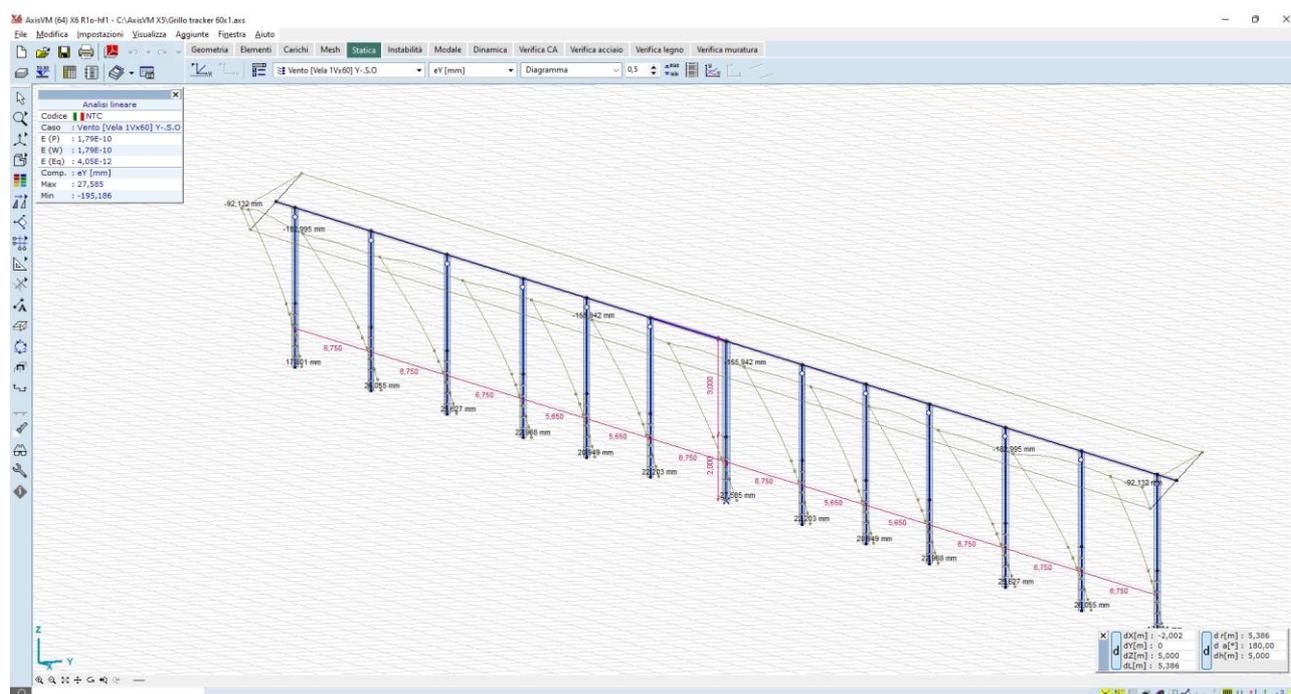


Figura 6-14 – spostamenti attesi sotto carico vento - condizione Y-S.O.

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 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

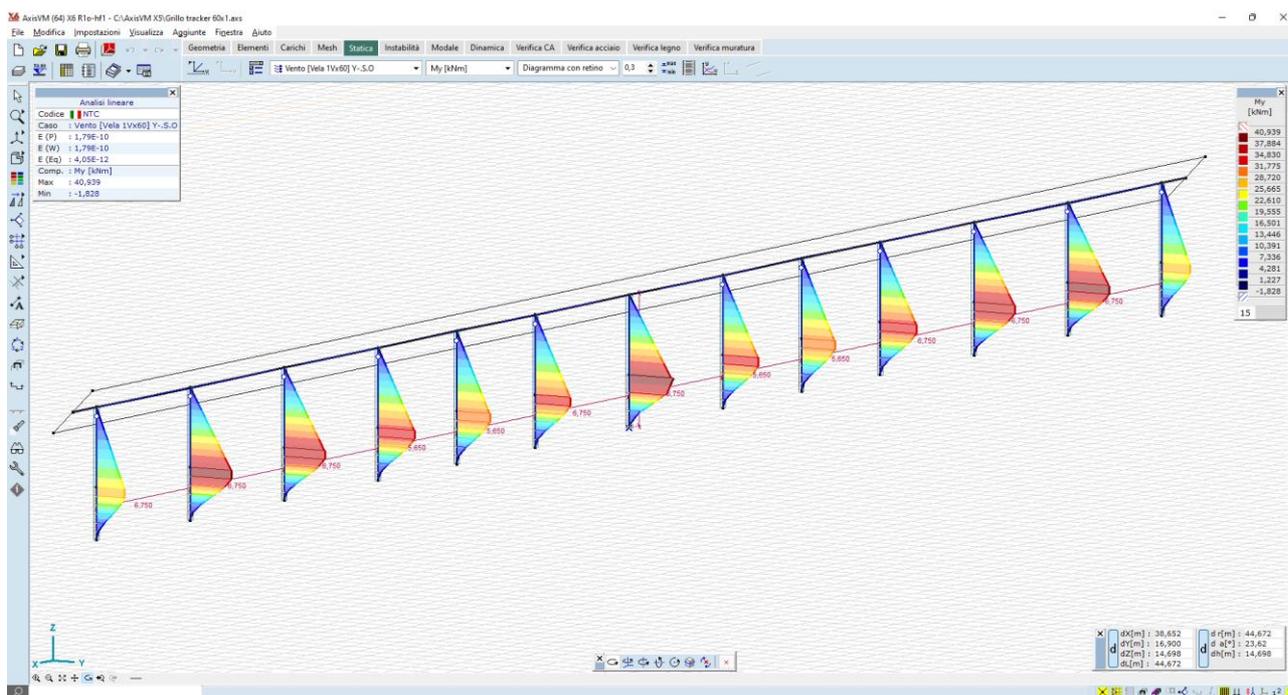


Figura 6-15 – momento flettente M_y – montanti - valori massimi dell'ordine dei 37 $kN*m$ – combinazione Y-S.O.

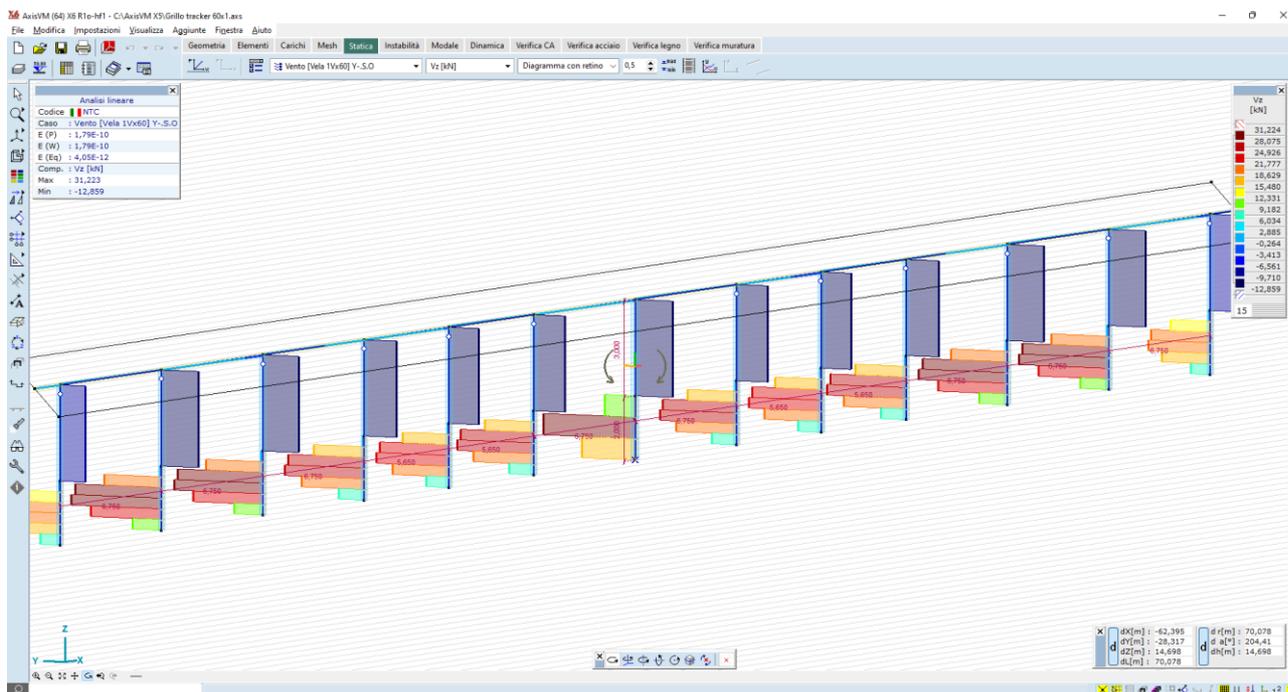


Figura 6-16 – taglio V_z – montanti - valori massimi dell'ordine dei 28 kN – combinazione Y-S.O.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

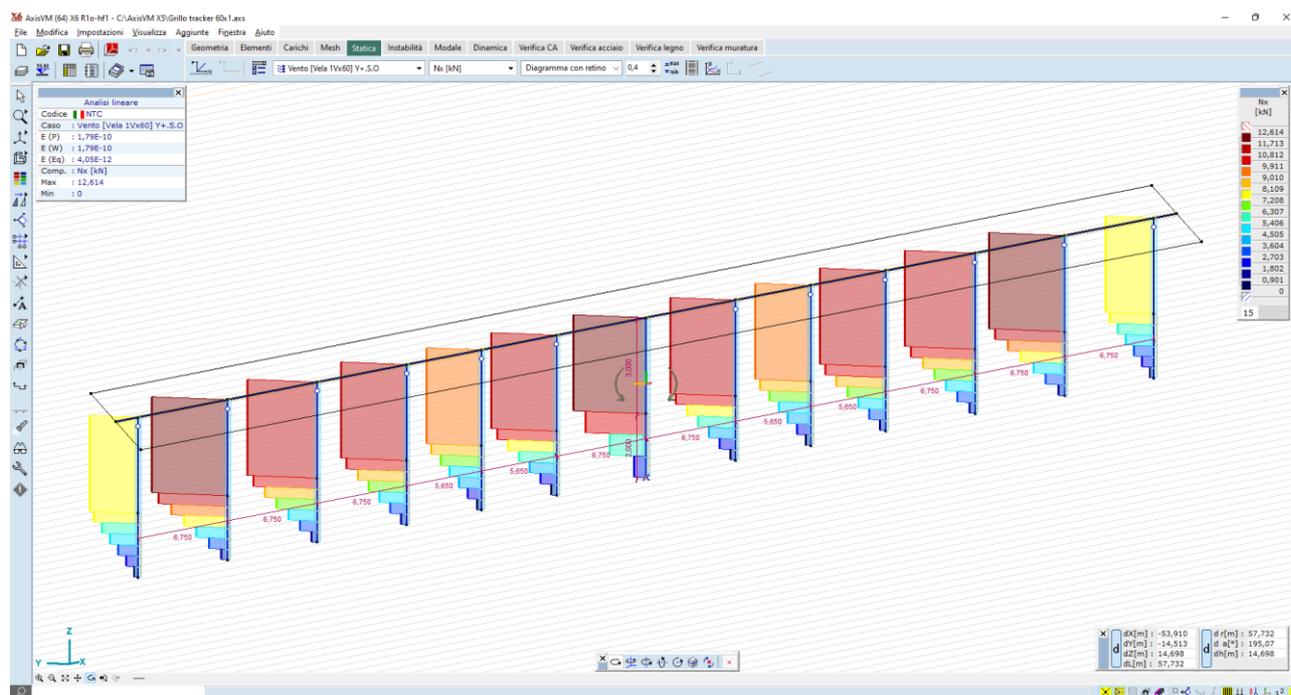


Figura 6-17 – carico uplift N_x – montanti – valori massimi dell'ordine dei 10 kN – combinazione Y-S.O.

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

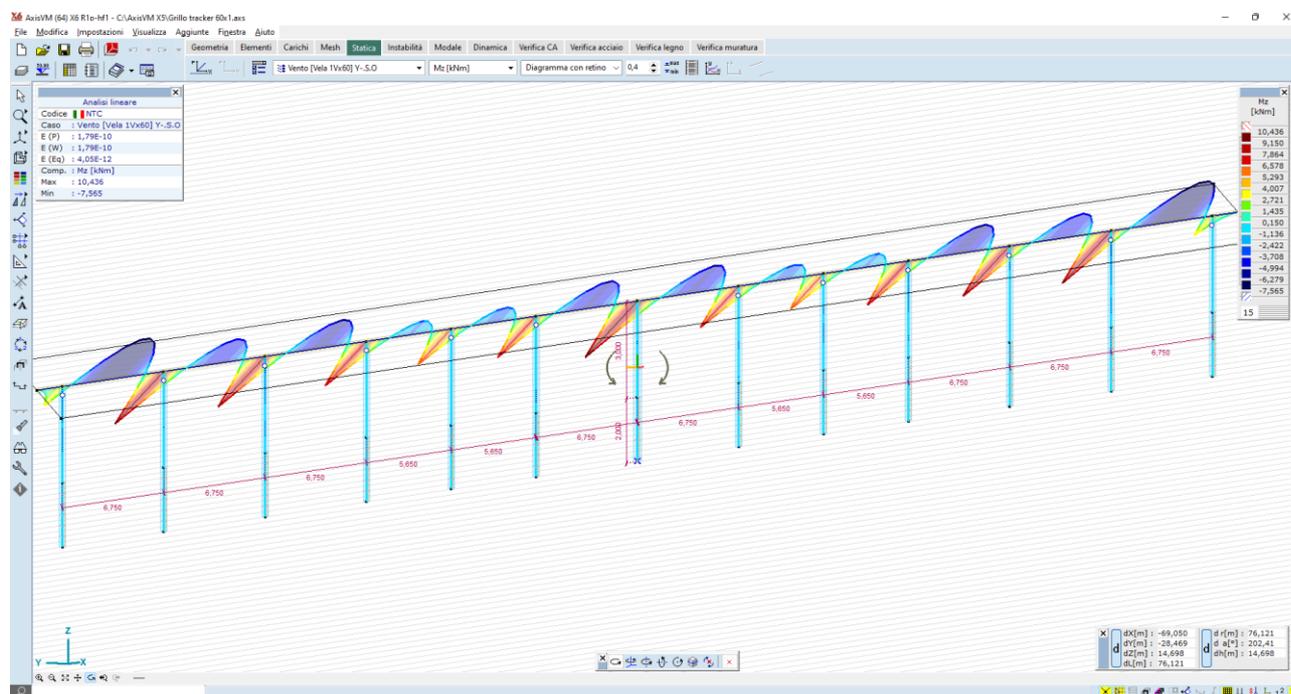


Figura 6-18 – momento flettente M_z – asse di rotazione - valori massimi dell'ordine dei 9 $kN*m$ – combinazione Y-S.O.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



7 TRACKER MONOASSIALE 1X30

7.1 GENERAZIONE DEL MODELLO

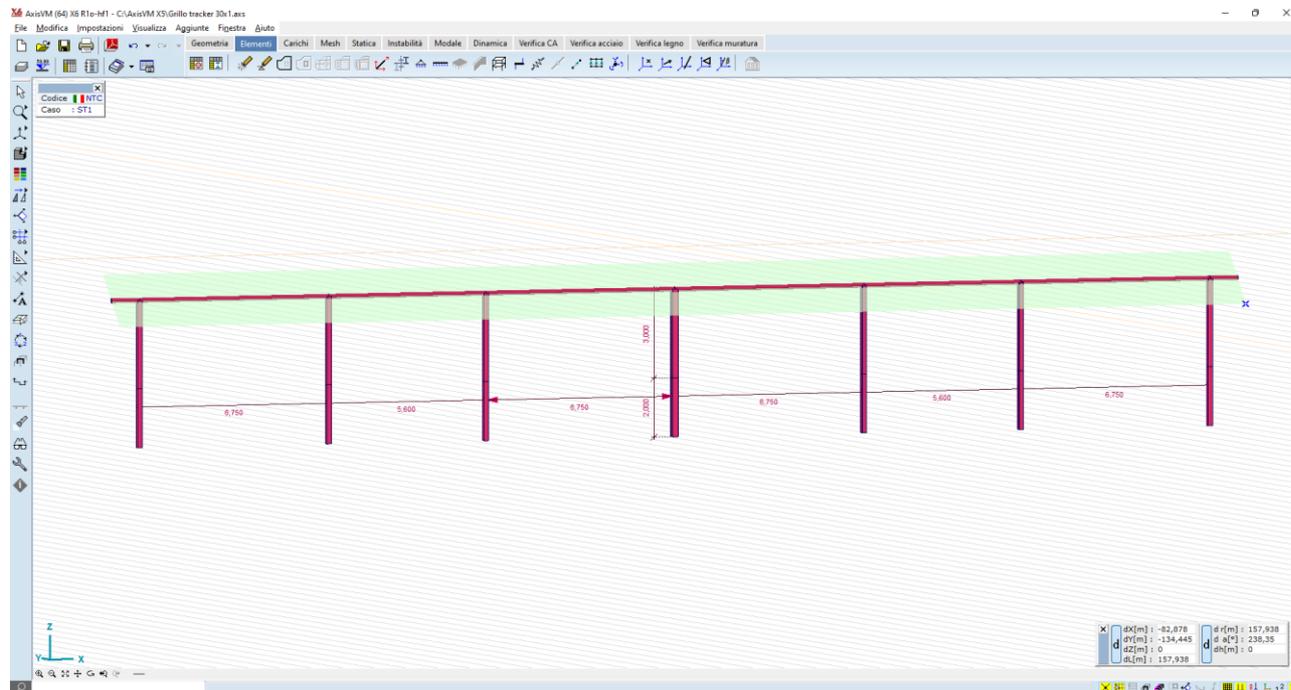


Figura 7-1 – modello ad elementi finiti – vista frontale

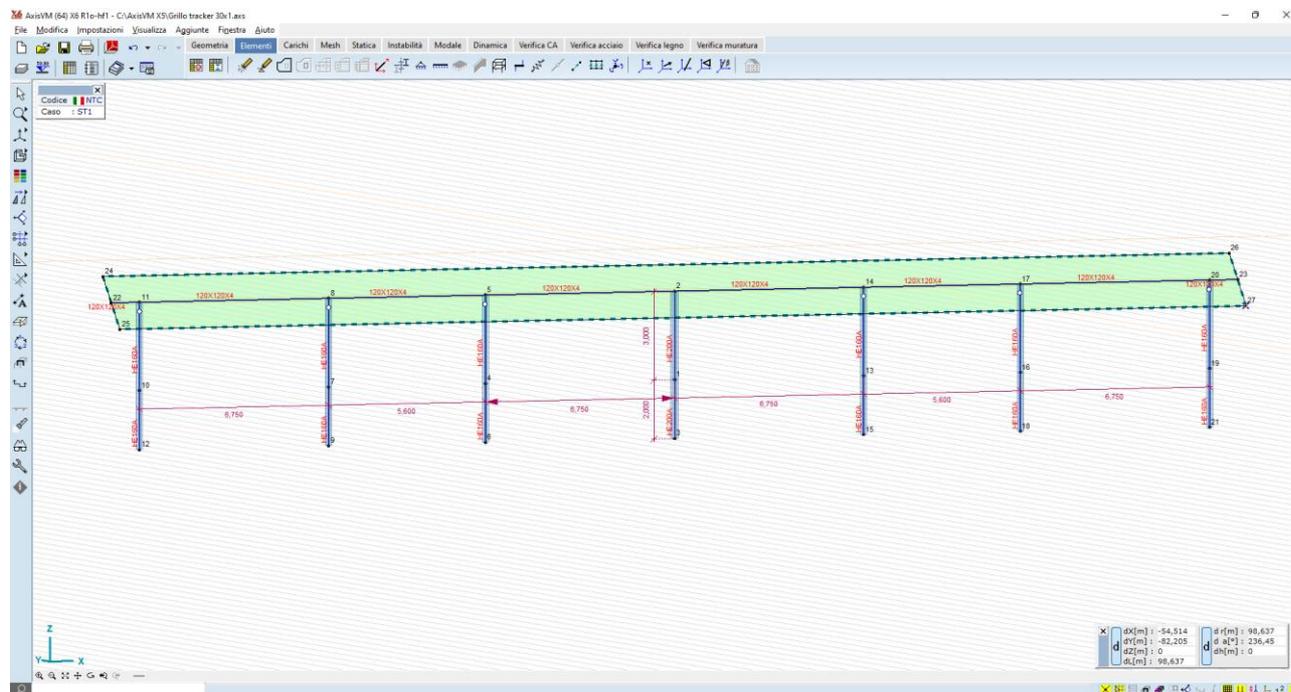


Figura 7-2 – modello ad elementi finiti – vista 3D

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



7.2 CASI DI CARICO

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

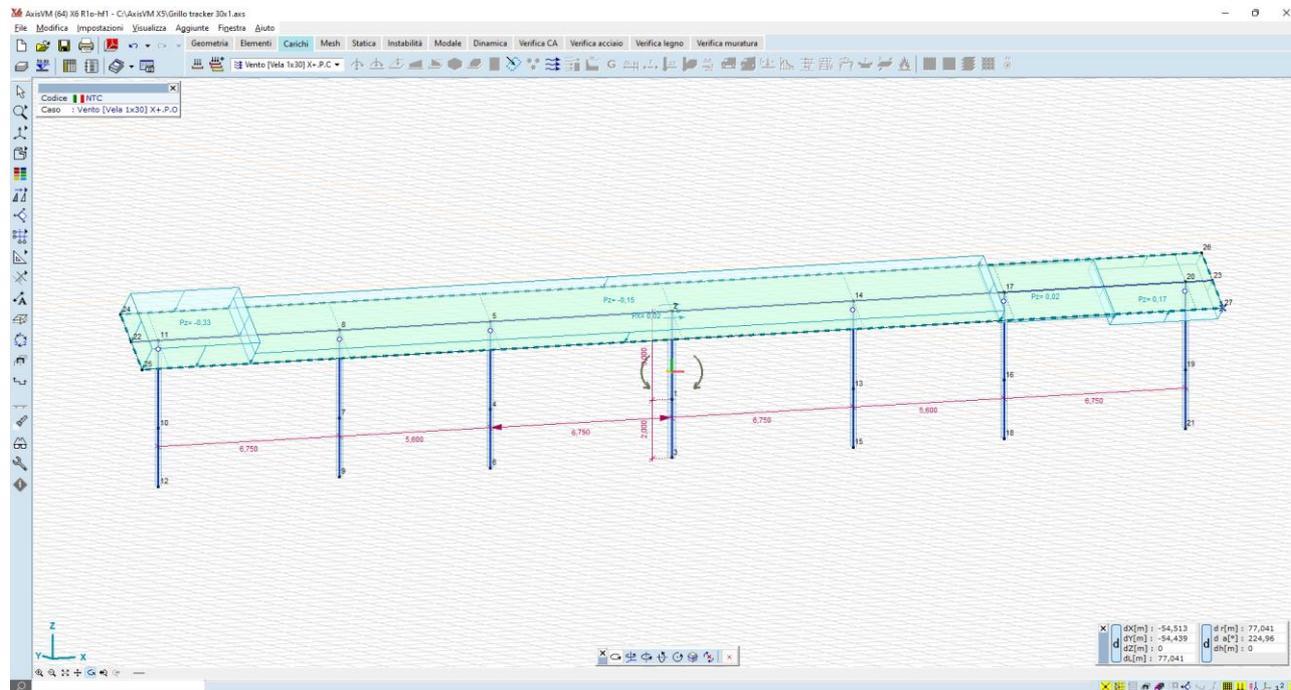


Figura 7-3 – carico vento X+P.O.

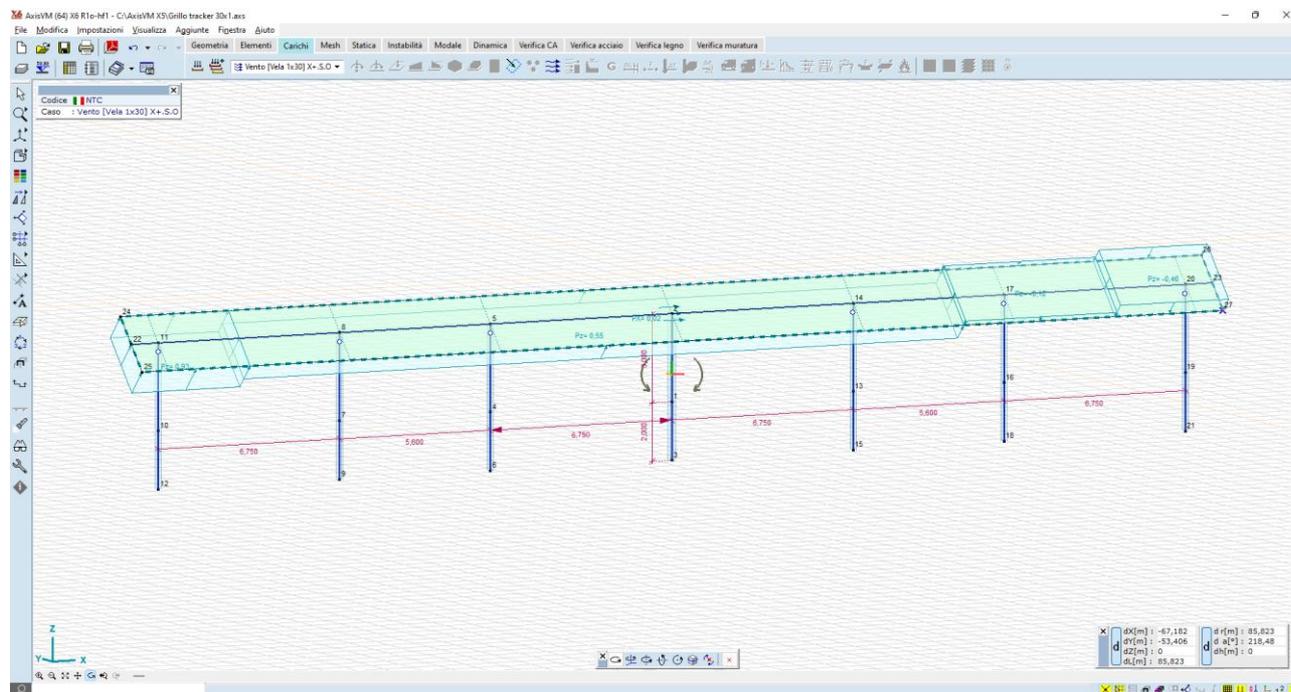


Figura 7-4 – carico vento X+S.O.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

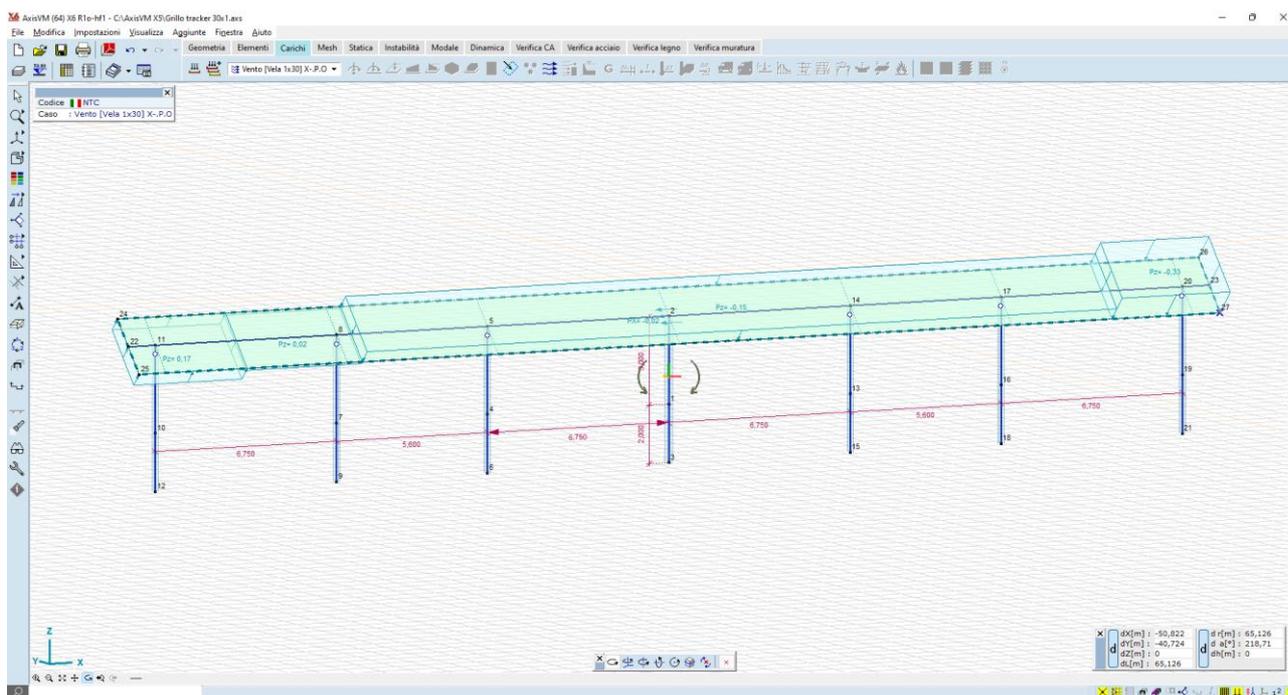


Figura 7-5 – carico vento X-P.O.

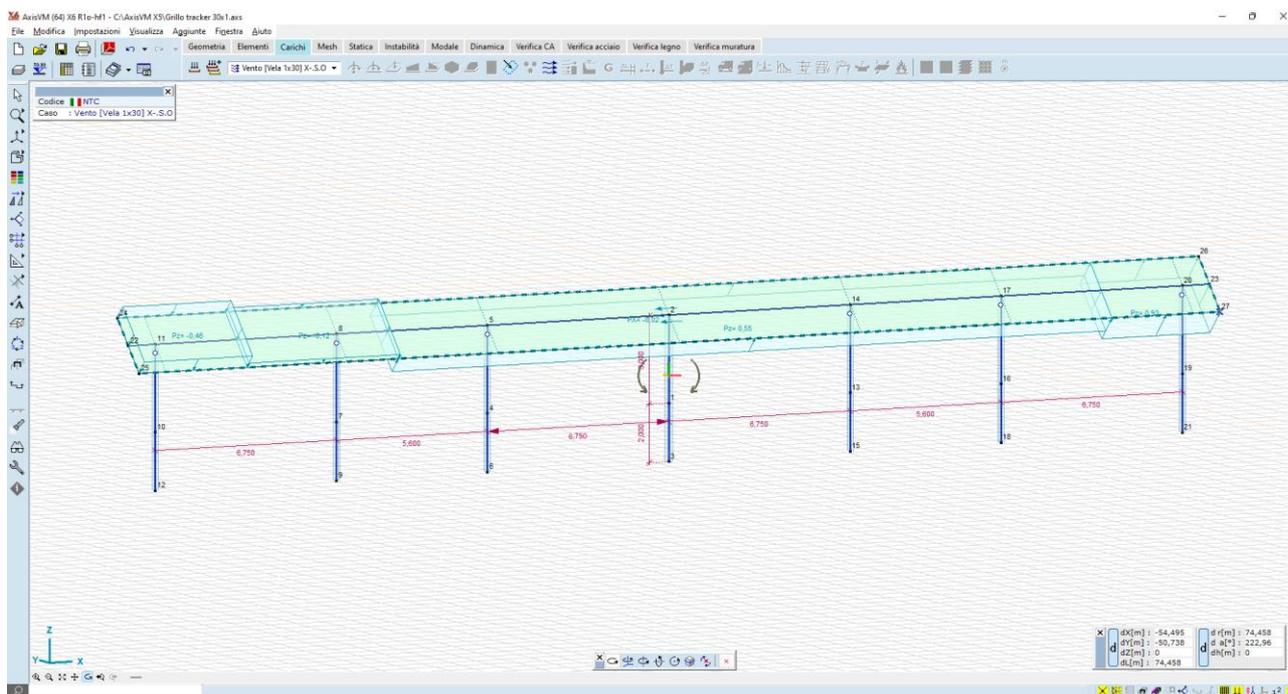


Figura 7-6 – carico vento X-S.O.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

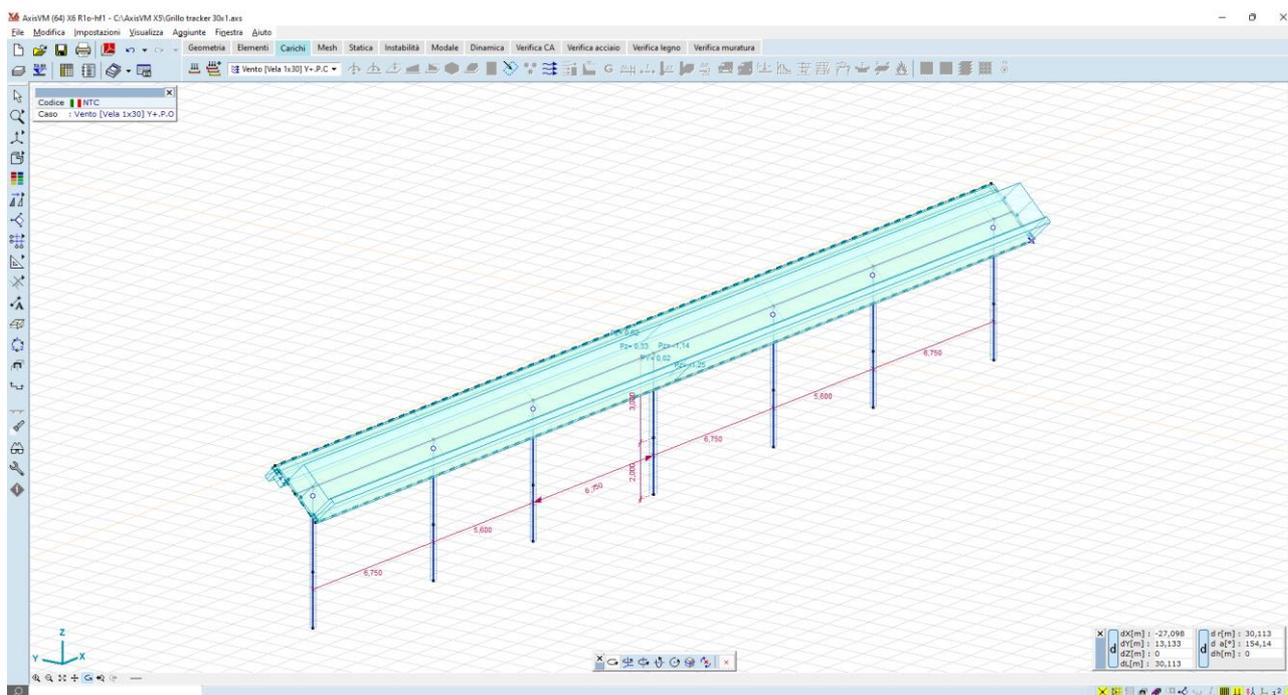


Figura 7-7 – Y+P.O.

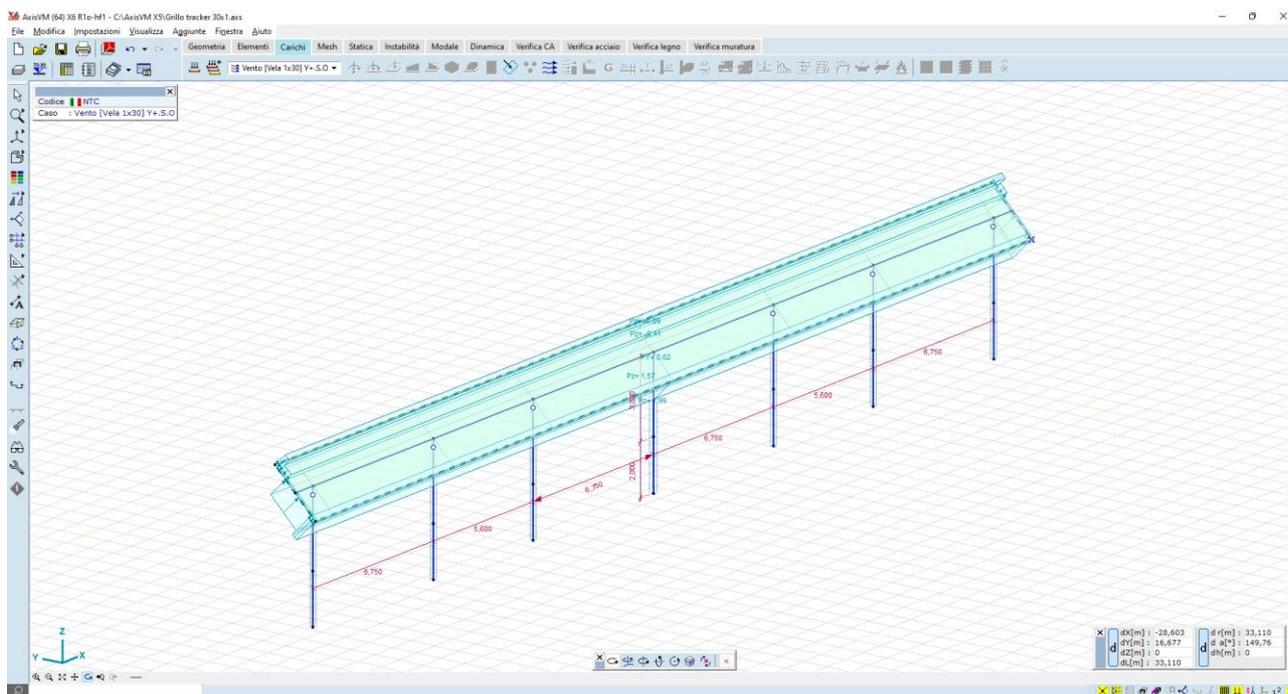


Figura 7-8 – Y+S.O.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

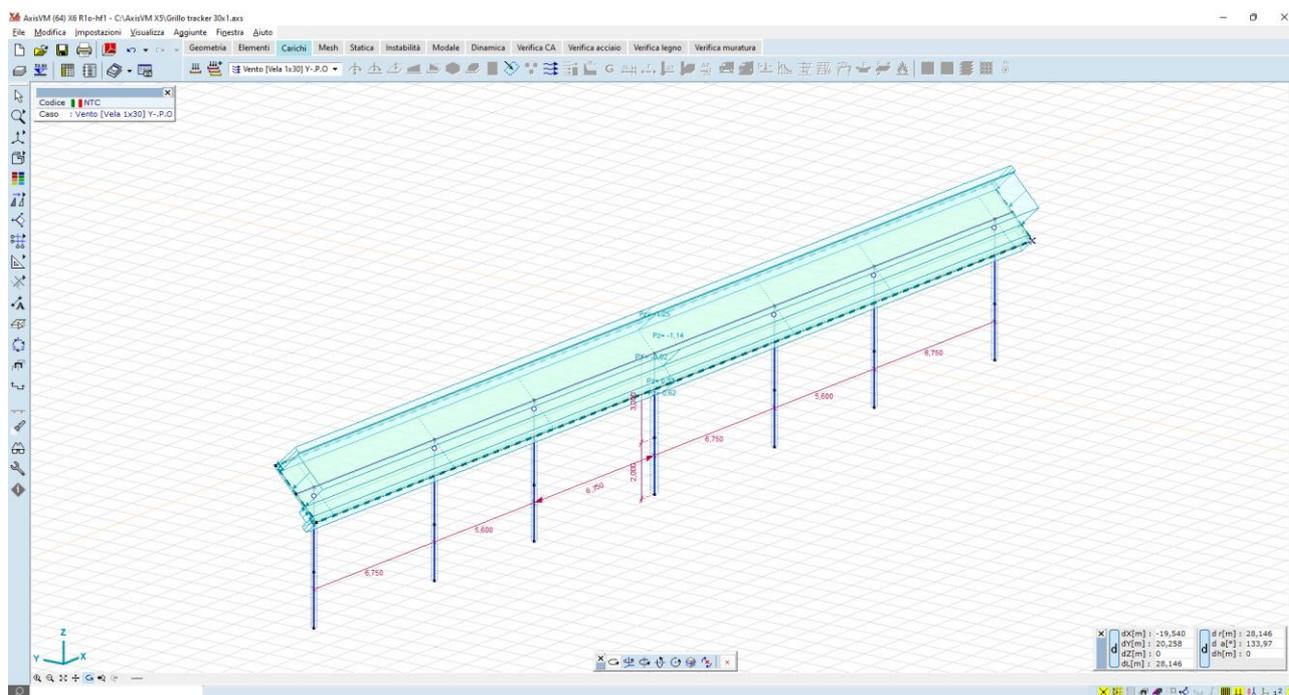


Figura 7-9 – Y-P.O.

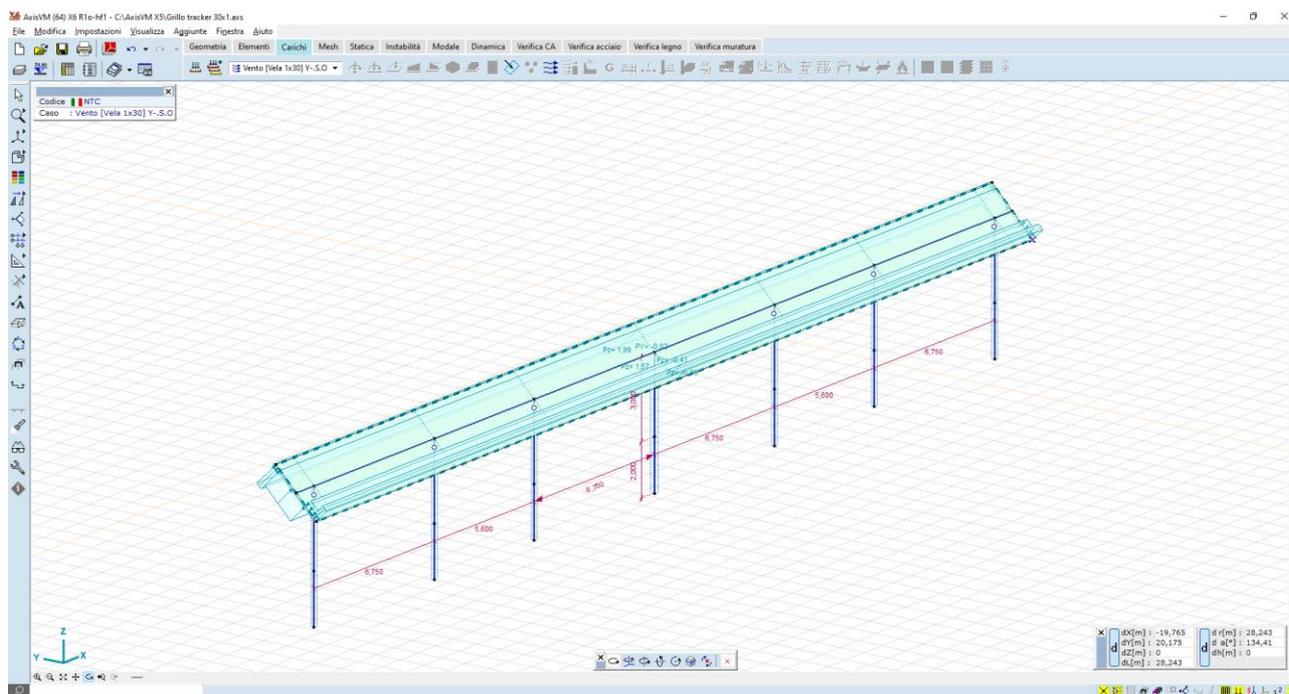


Figura 7-10 – Y-S.O.

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.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



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.

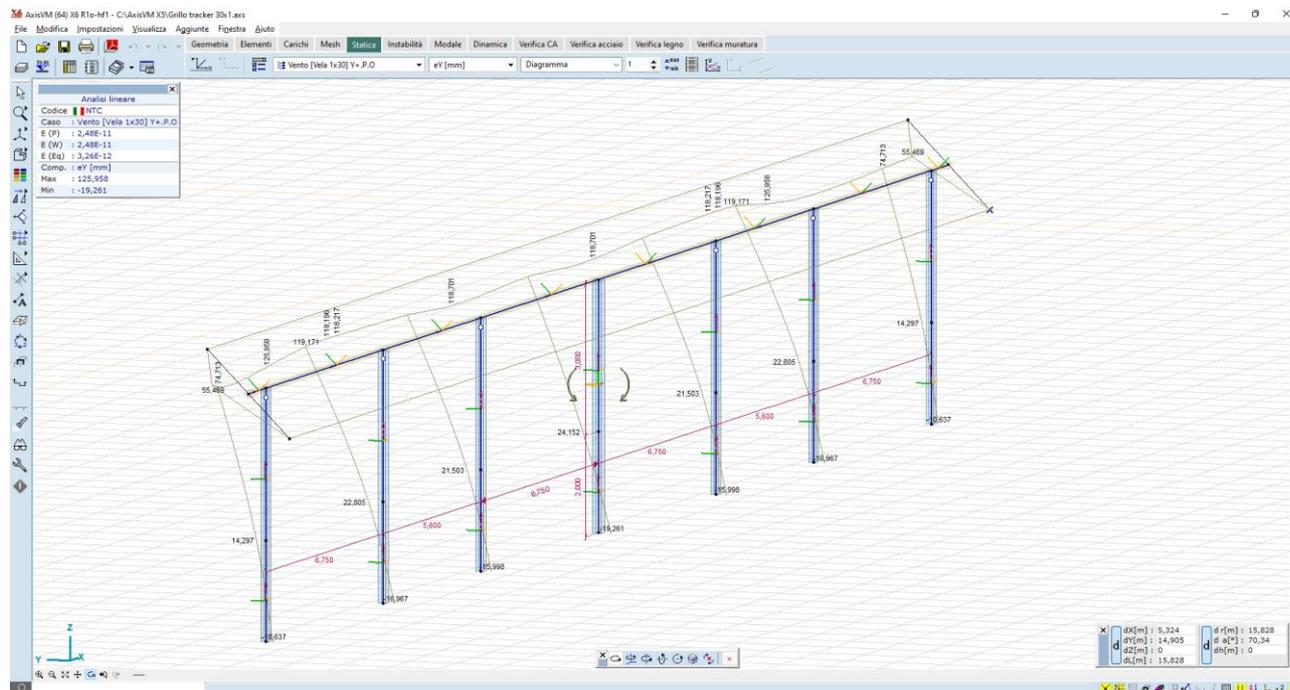


Figura 7-11 – spostamenti attesi sotto carico vento - condizione Y+P.O.

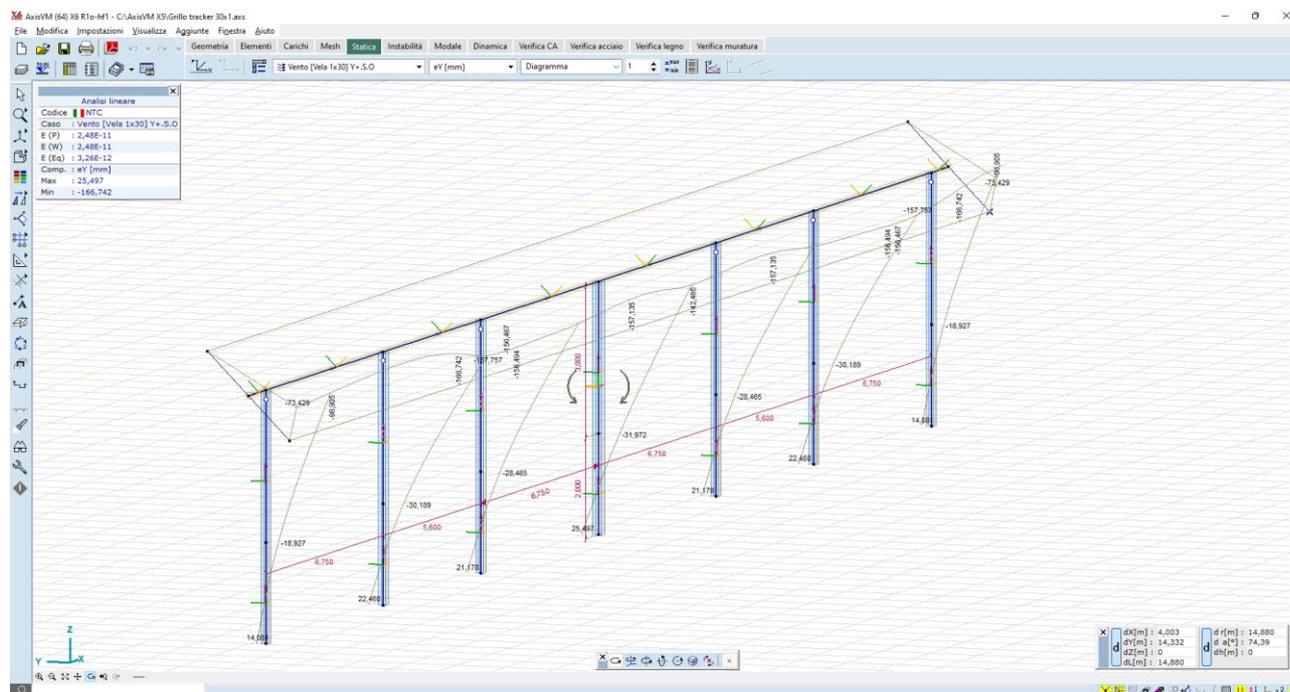


Figura 7-12 – spostamenti attesi sotto carico vento - condizione Y+S.O.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

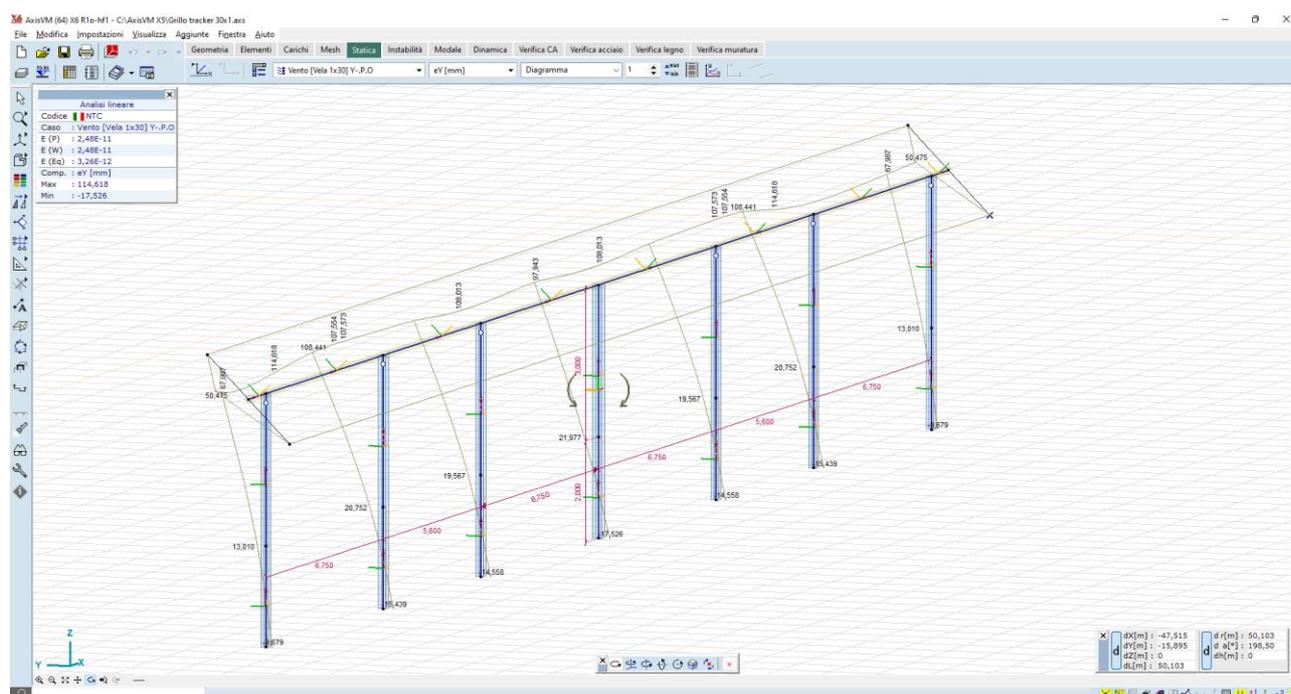


Figura 7-13 – spostamenti attesi sotto carico vento - condizione Y-P.O.

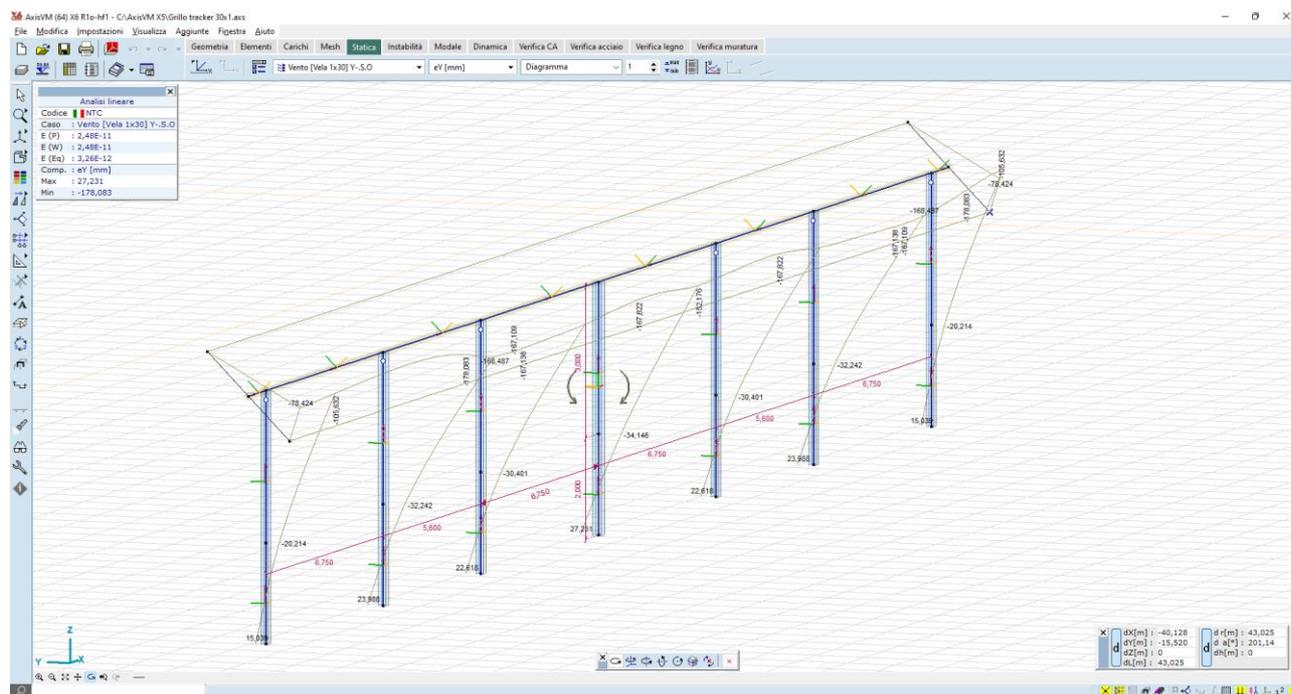


Figura 7-14 – spostamenti attesi sotto carico vento - condizione Y-S.O.

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.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



7.3.2 Sollecitazioni

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

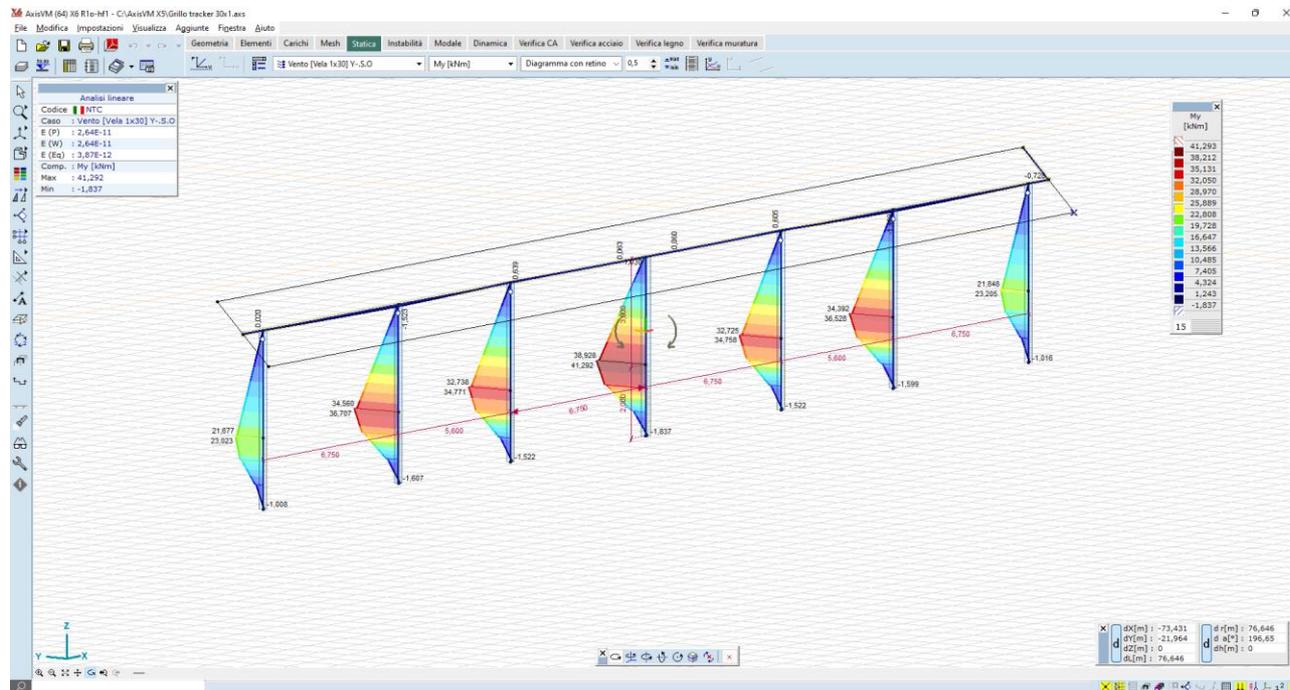


Figura 7-15 – momento flettente M_y – montanti - valori massimi dell'ordine dei 38 $kN*m$ – combinazione Y-S.O.

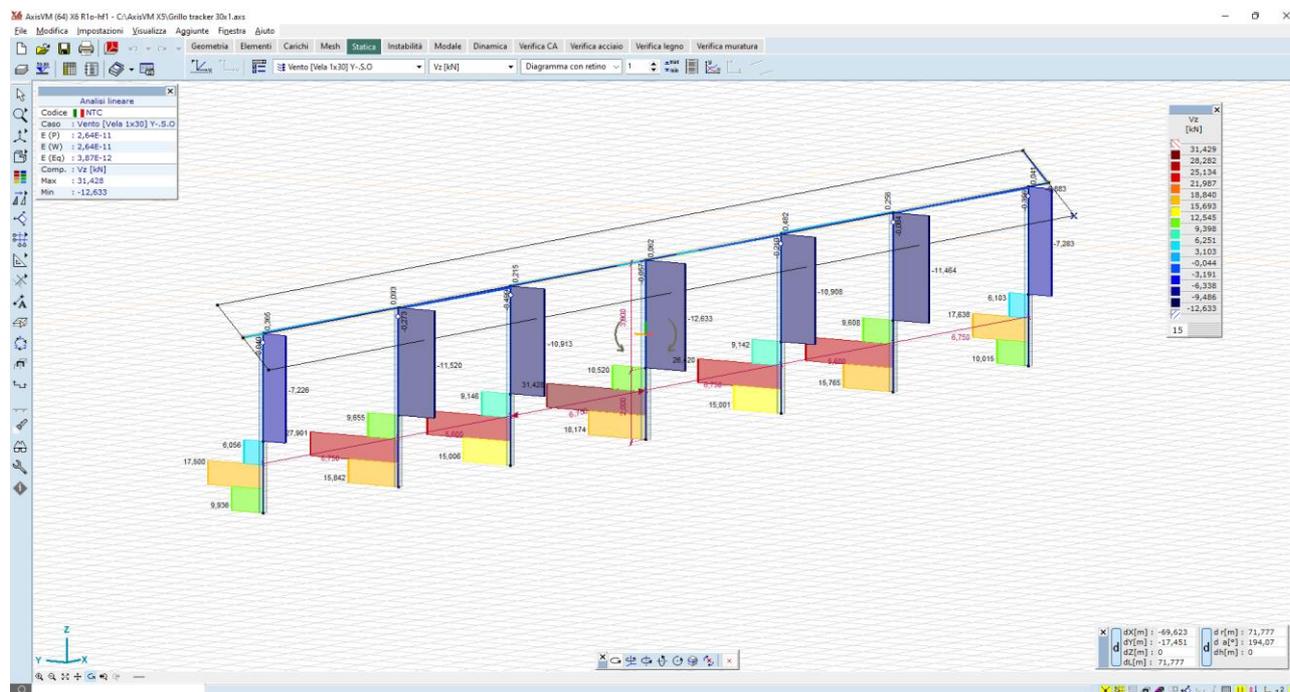


Figura 7-16 – taglio V_z – montanti - valori massimi dell'ordine dei 28 kN – combinazione Y-S.O.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

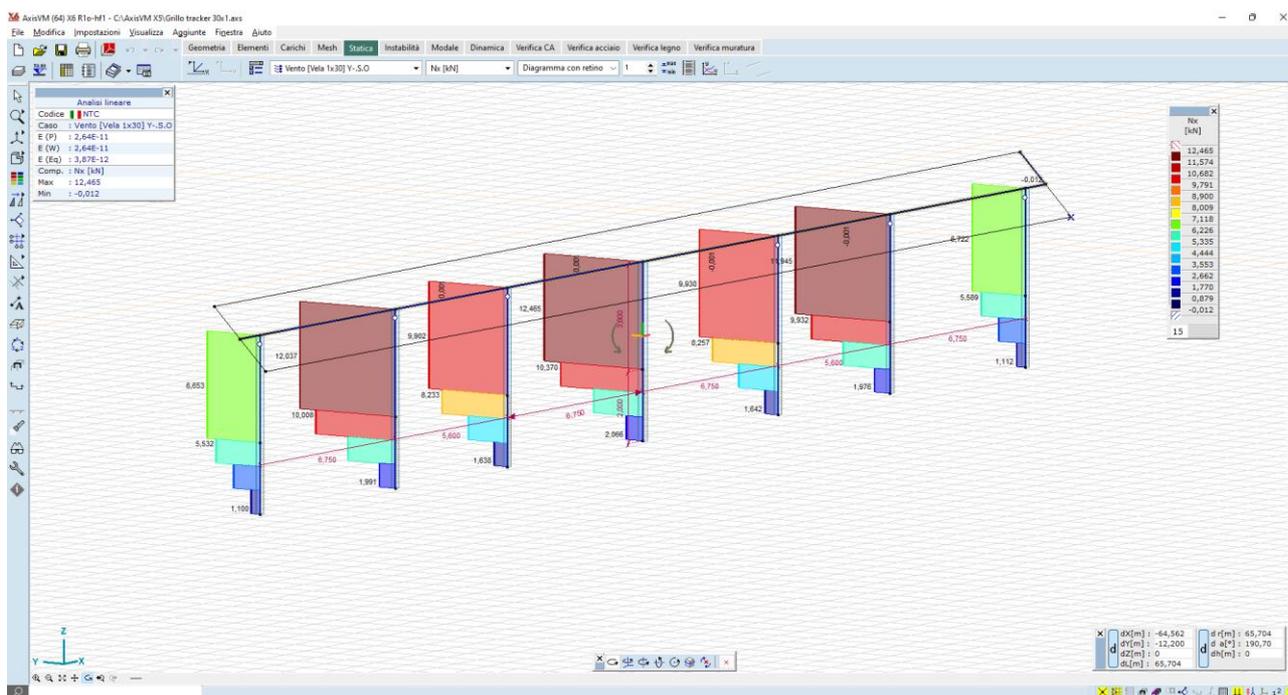


Figura 7-17 – carico uplift N_x – montanti – valori massimi dell'ordine dei 10 kN – combinazione Y-S.O.

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

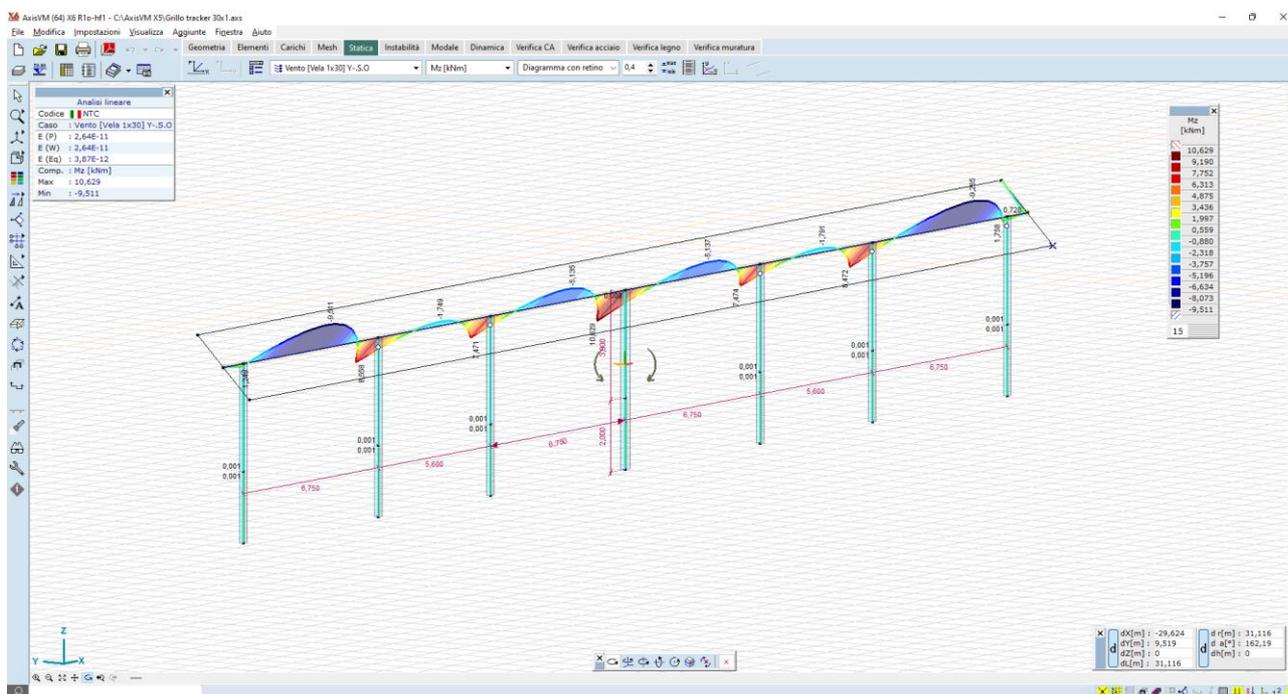


Figura 7-18 – momento flettente M_z – asse di rotazione - valori massimi dell'ordine dei 9 kN*m – combinazione Y-S.O.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



8 TRACKER MONOASSIALE 1X15

8.1 GENERAZIONE DEL MODELLO

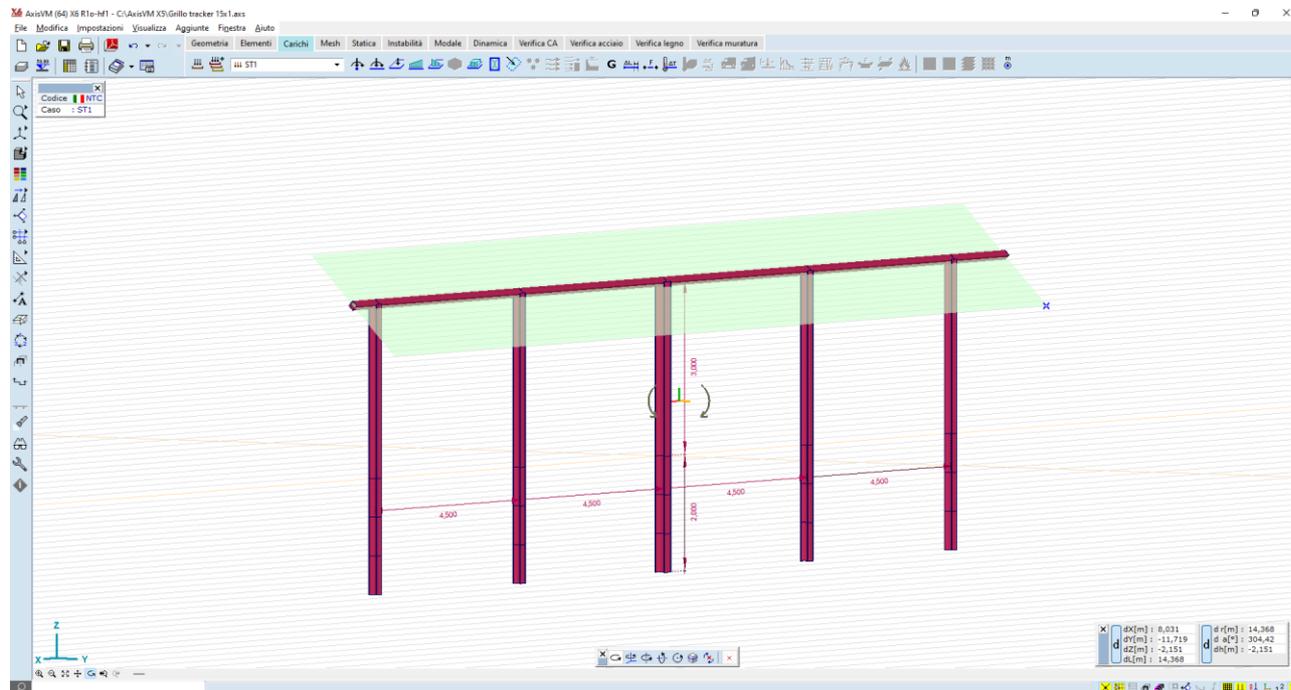


Figura 8-1 – modello ad elementi finiti – vista frontale

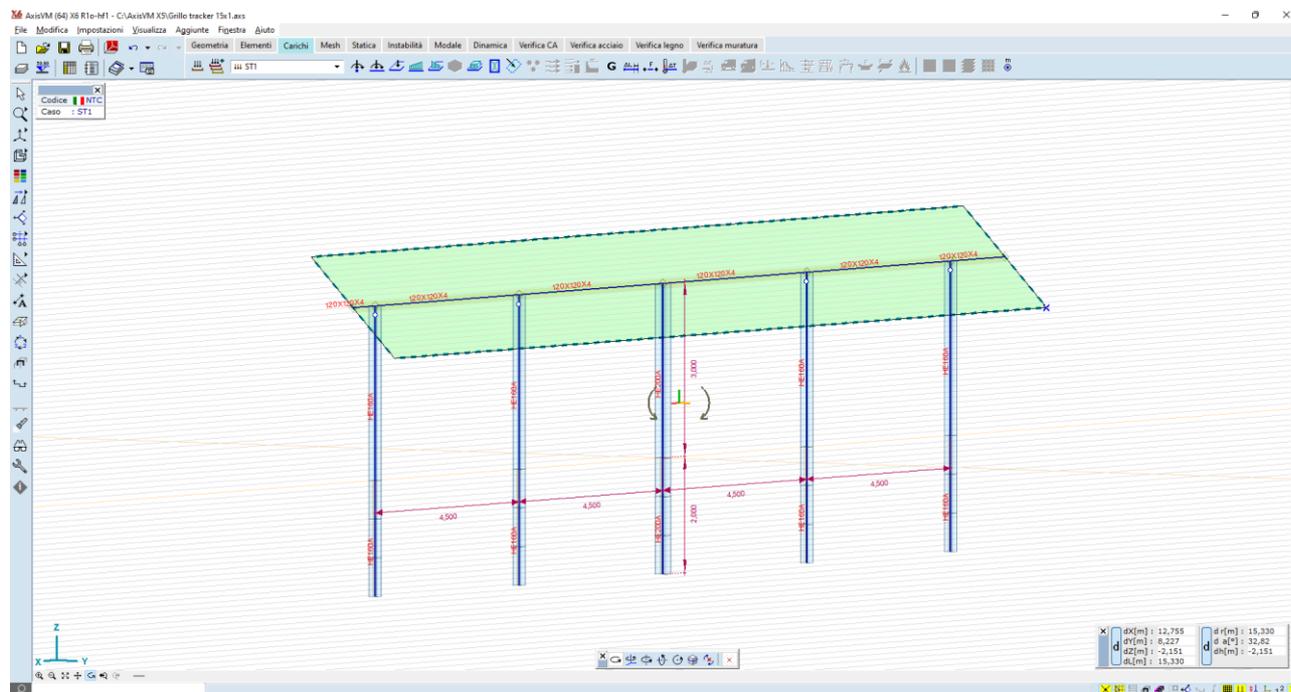


Figura 8-2 – modello a elementi finiti – vista 3D

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



8.2 CASI DI CARICO

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

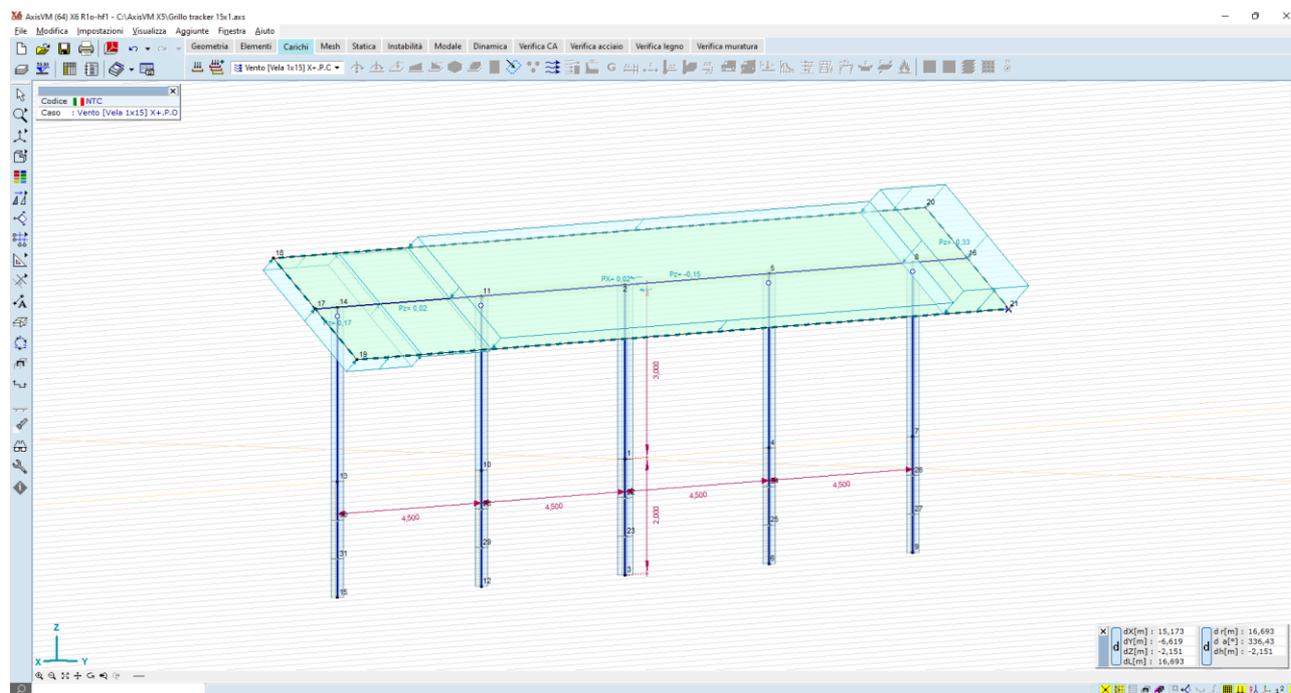


Figura 8-3 – carico vento X+P.O.

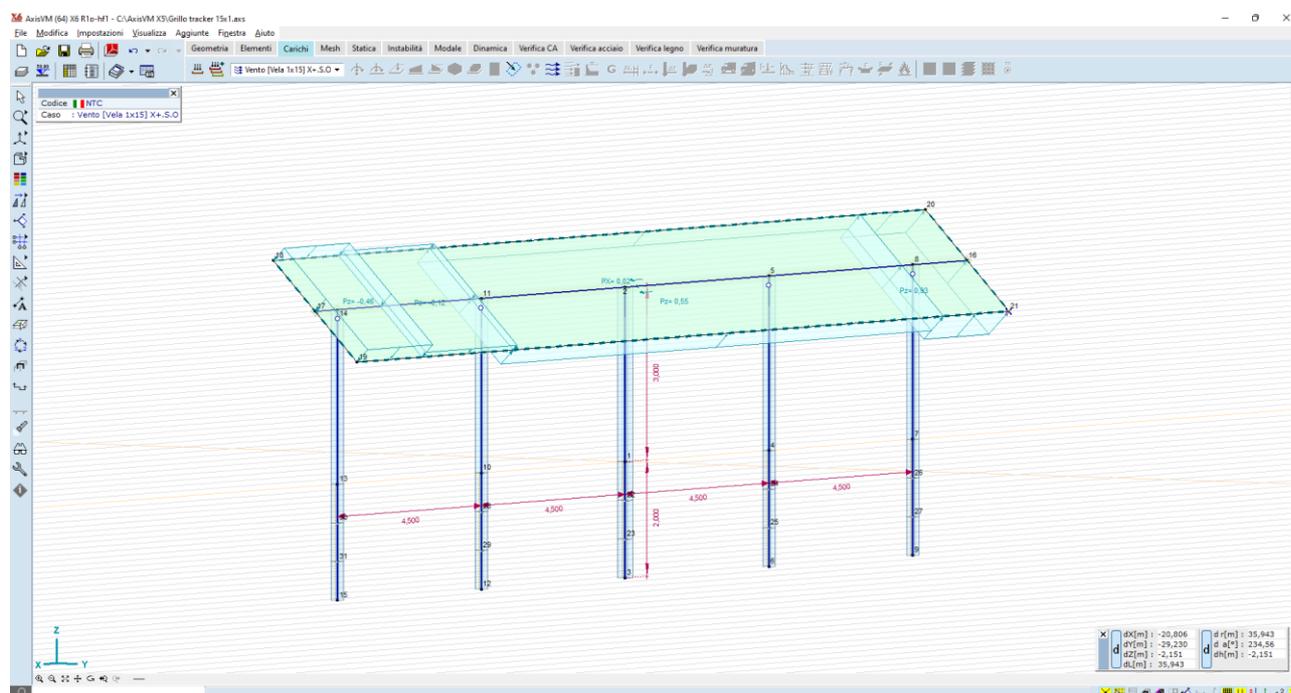


Figura 8-4 – carico vento X+S.O.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

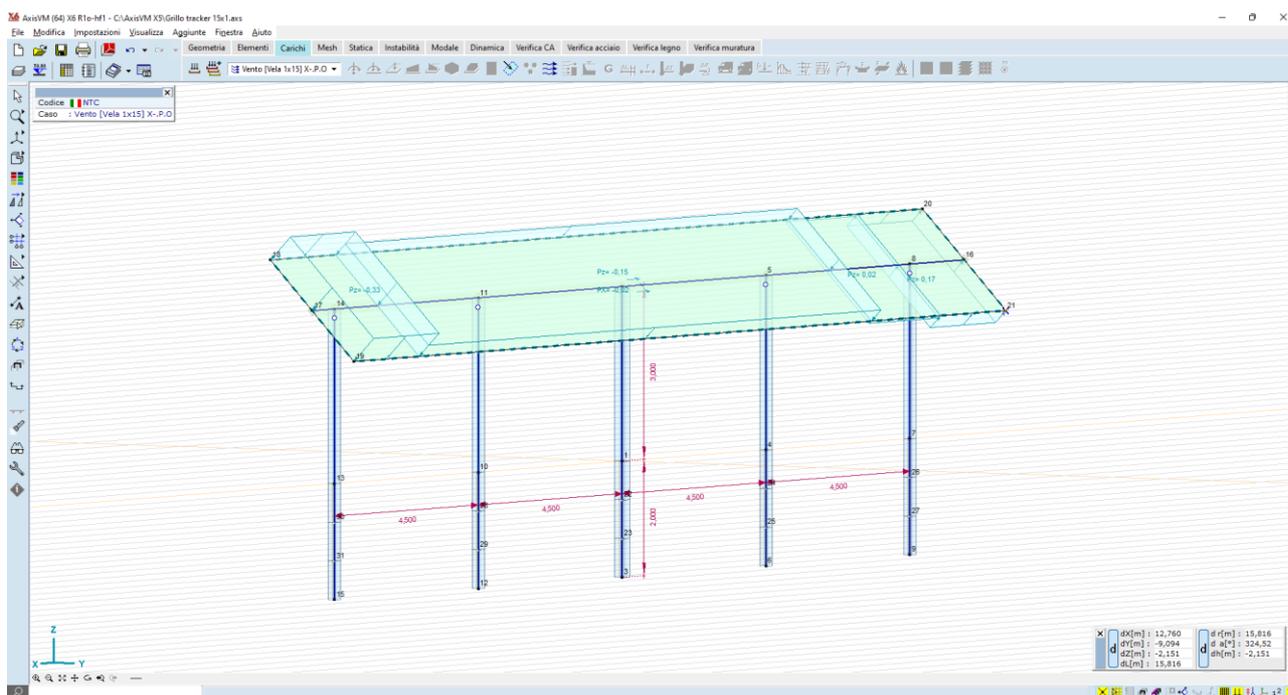


Figura 8-5 – carico vento X-P.O.

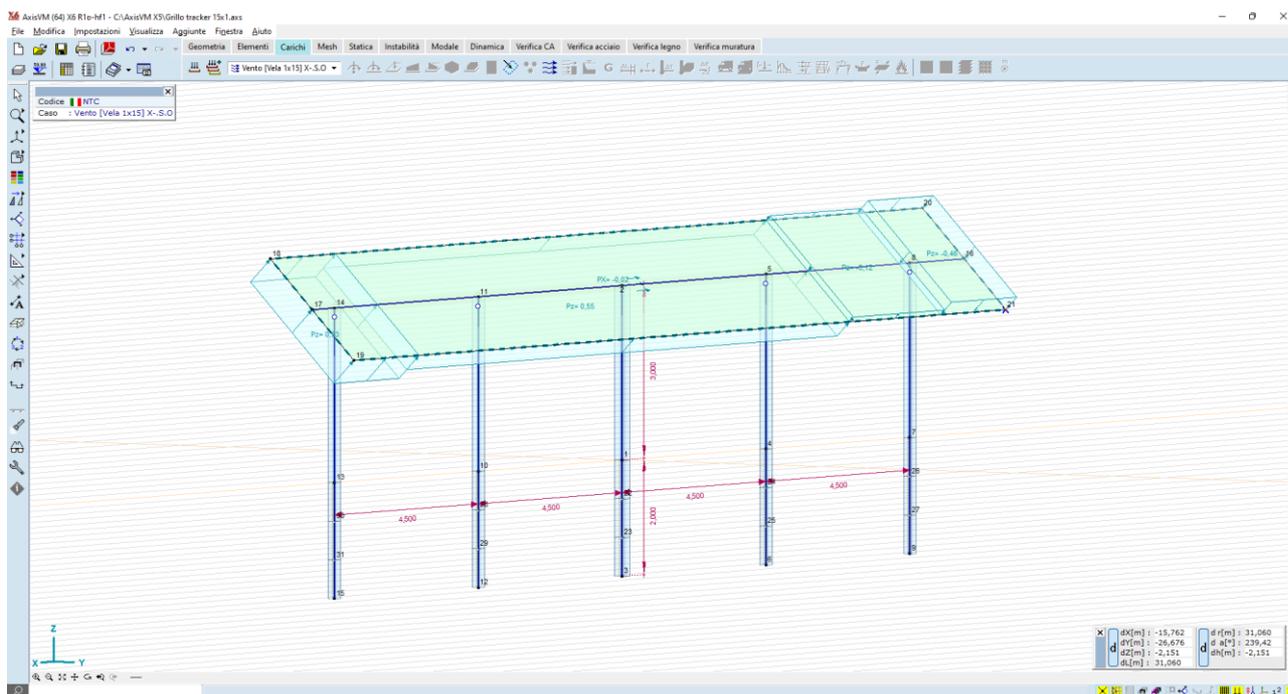


Figura 8-6 – carico vento X-S.O.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

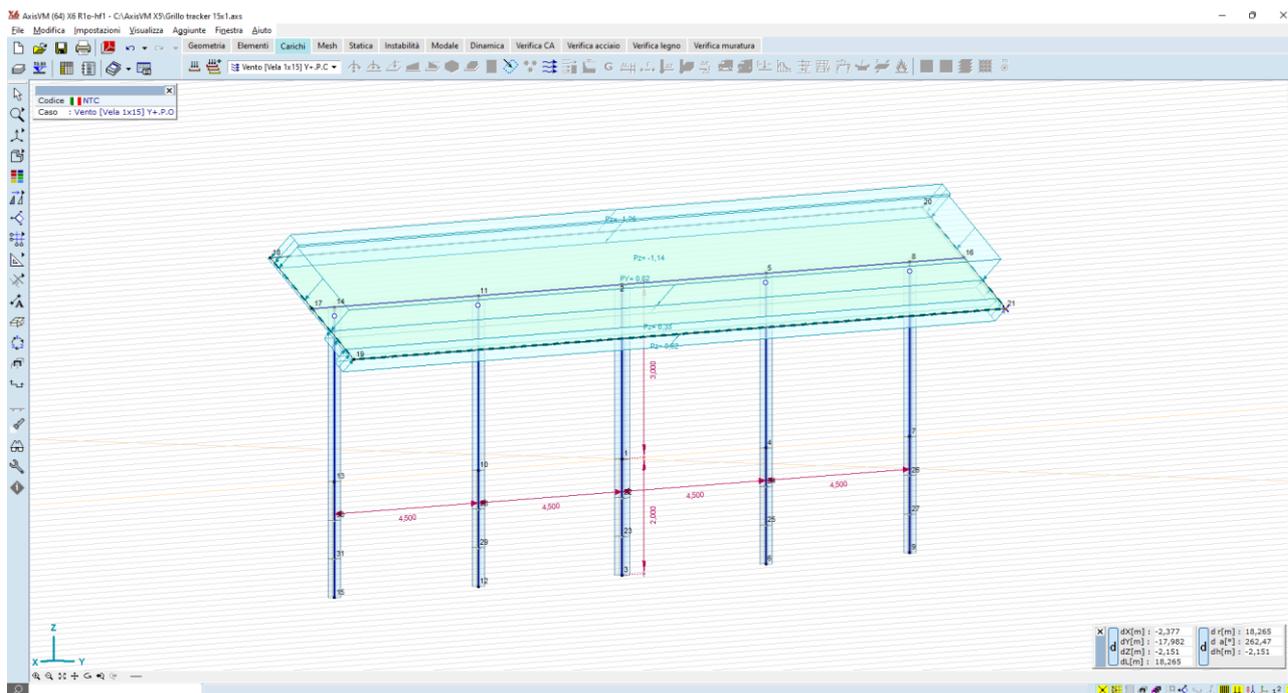


Figura 8-7 – Y+P.O.

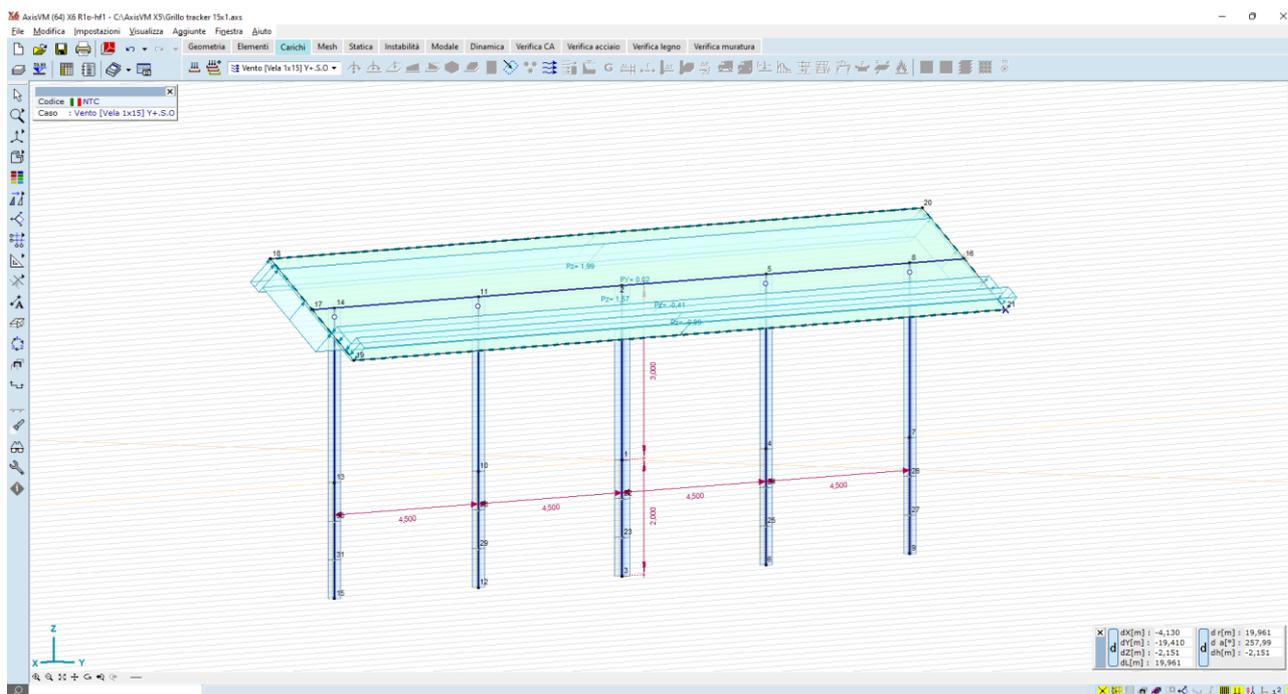


Figura 8-8 – Y+S.O.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

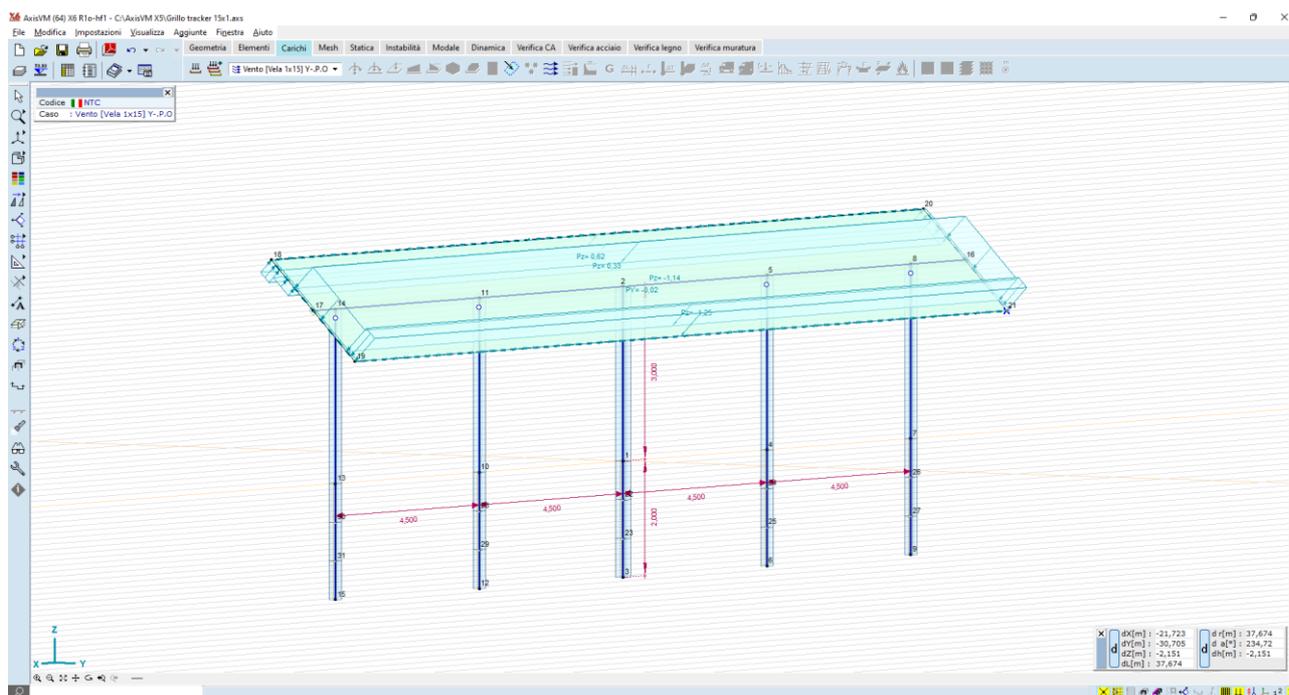


Figura 8-9 – Y-P.O.

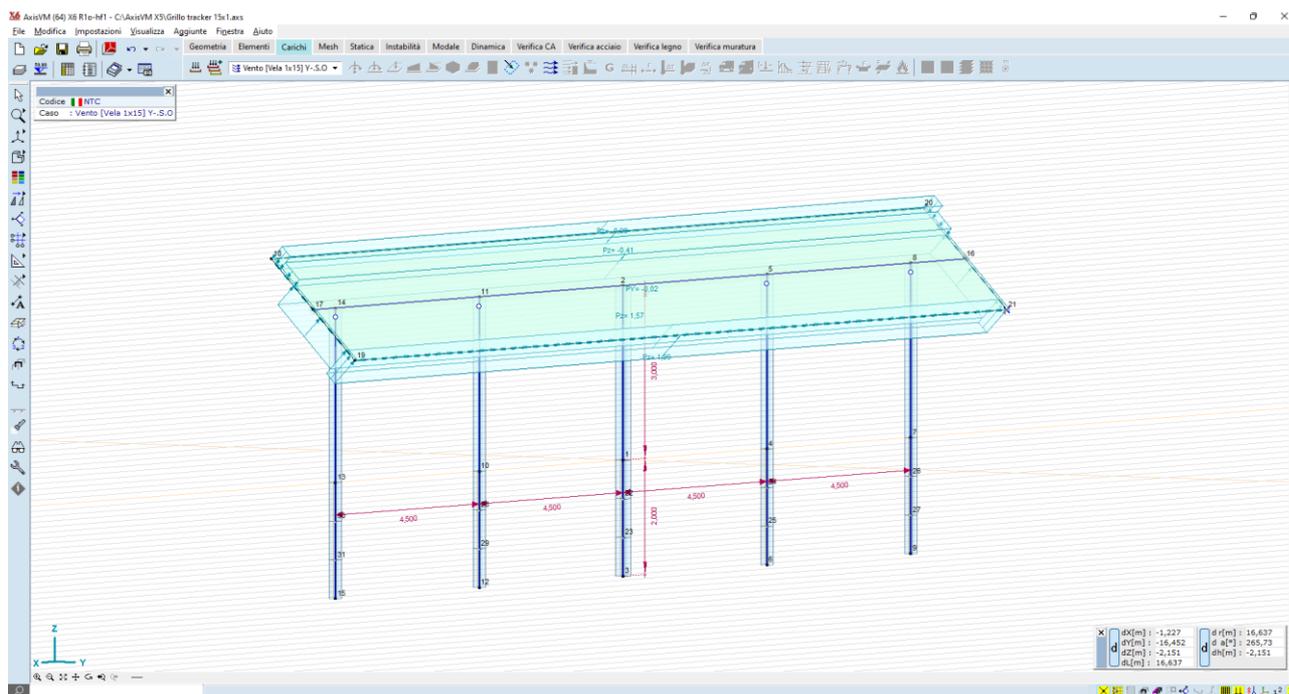


Figura 8-10 – Y-S.O.

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.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



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.

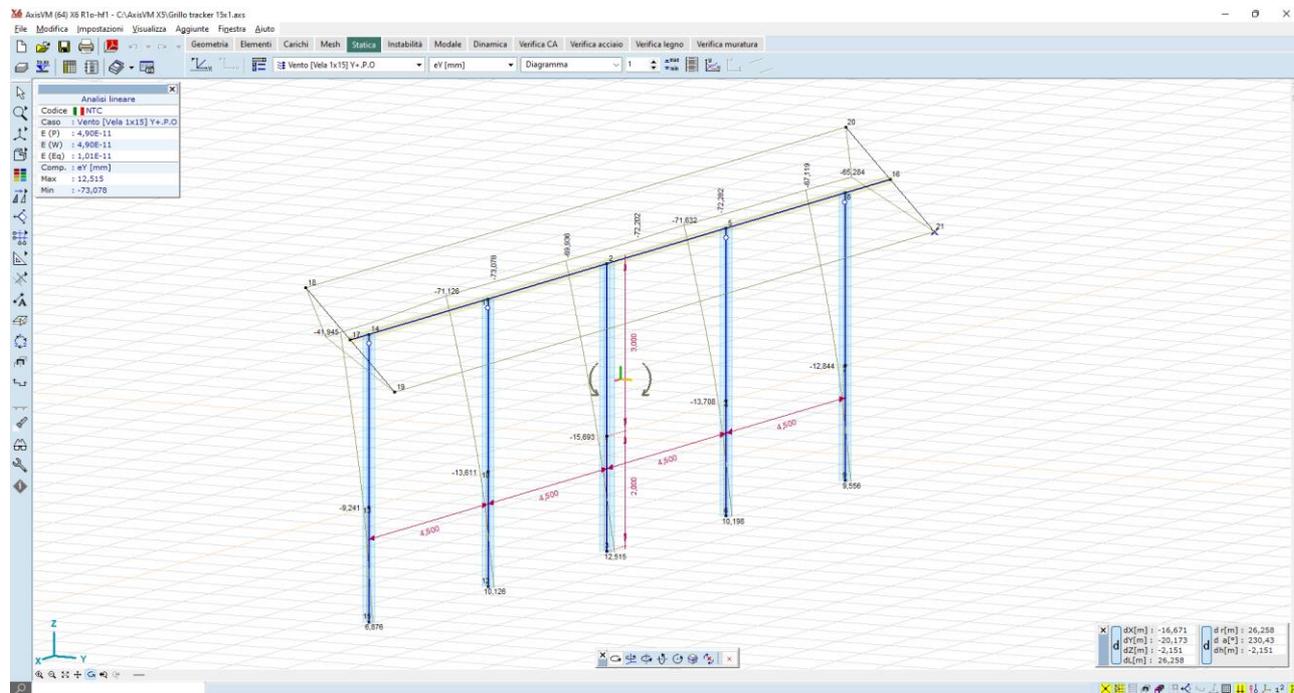


Figura 8-11 – spostamenti attesi sotto carico vento - condizione Y+P.O.

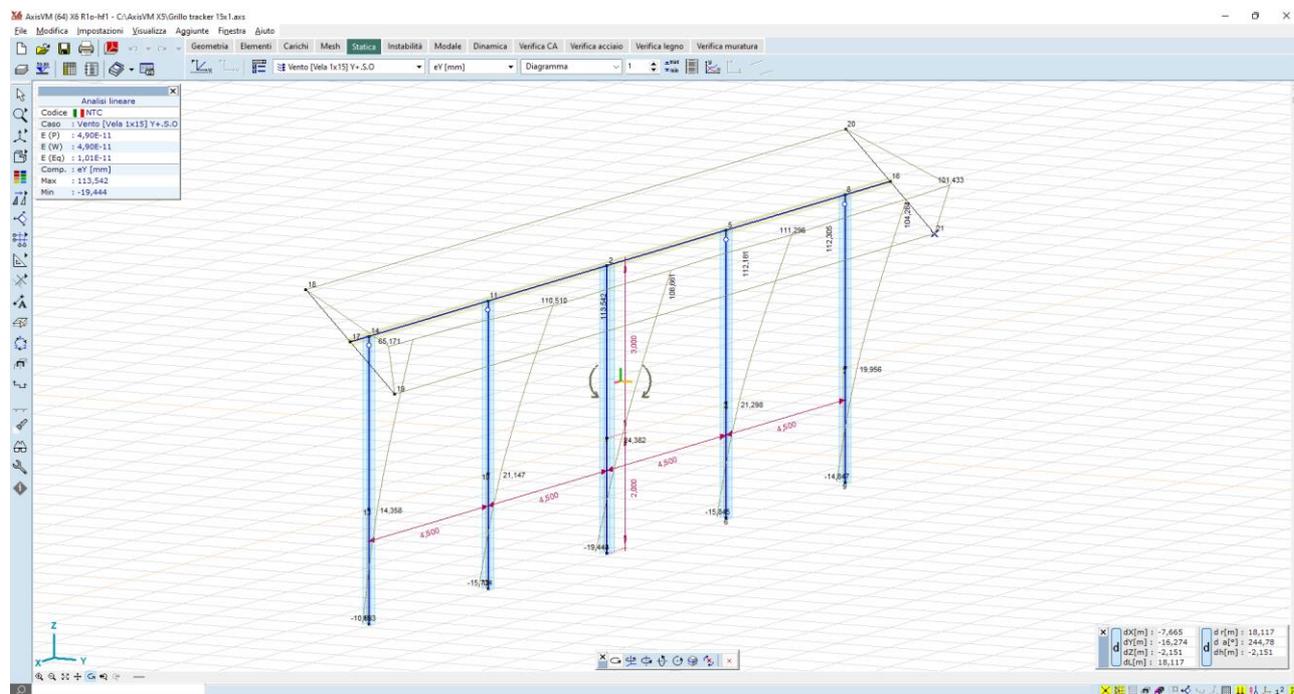


Figura 8-12 – spostamenti attesi sotto carico vento - condizione Y+S.O.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

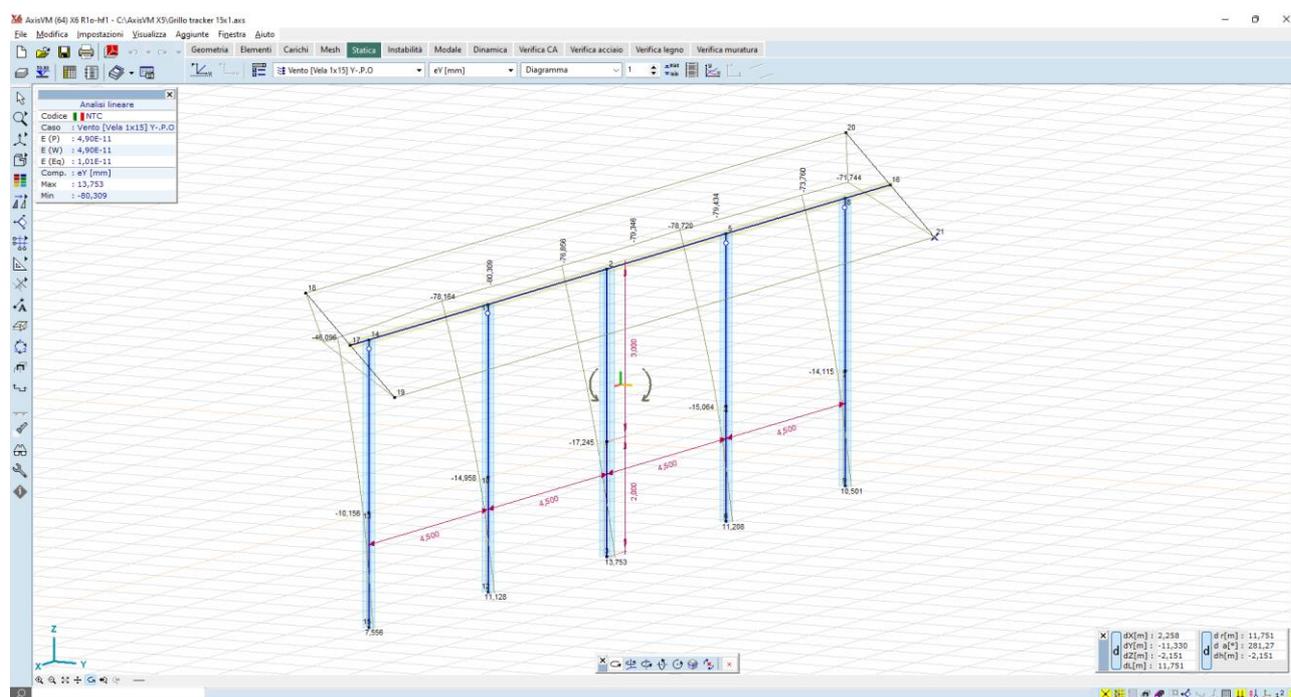


Figura 8-13 – spostamenti attesi sotto carico vento - condizione Y-P.O.

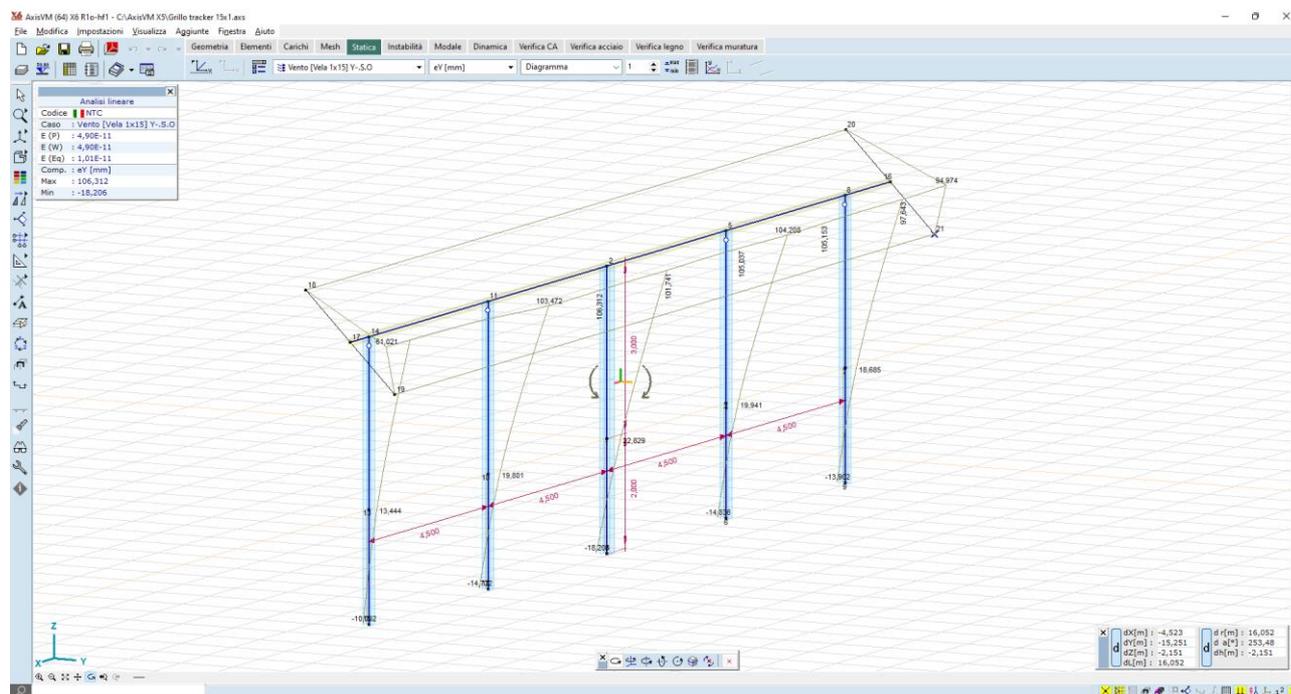


Figura 8-14 – spostamenti attesi sotto carico vento - condizione Y-S.O.

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.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



8.3.2 Sollecitazioni

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

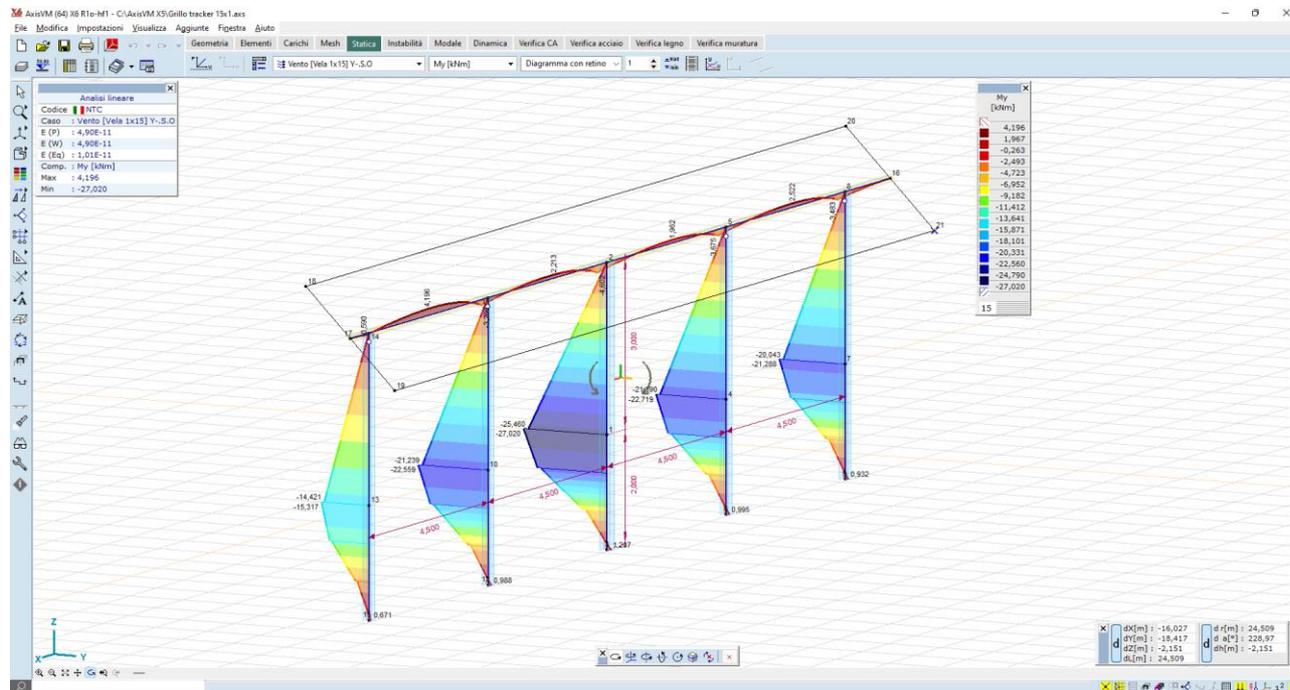


Figura 8-15 – momento flettente M_y – montanti - valori massimi dell'ordine dei 24 $kN*m$ – combinazione Y-S.O.

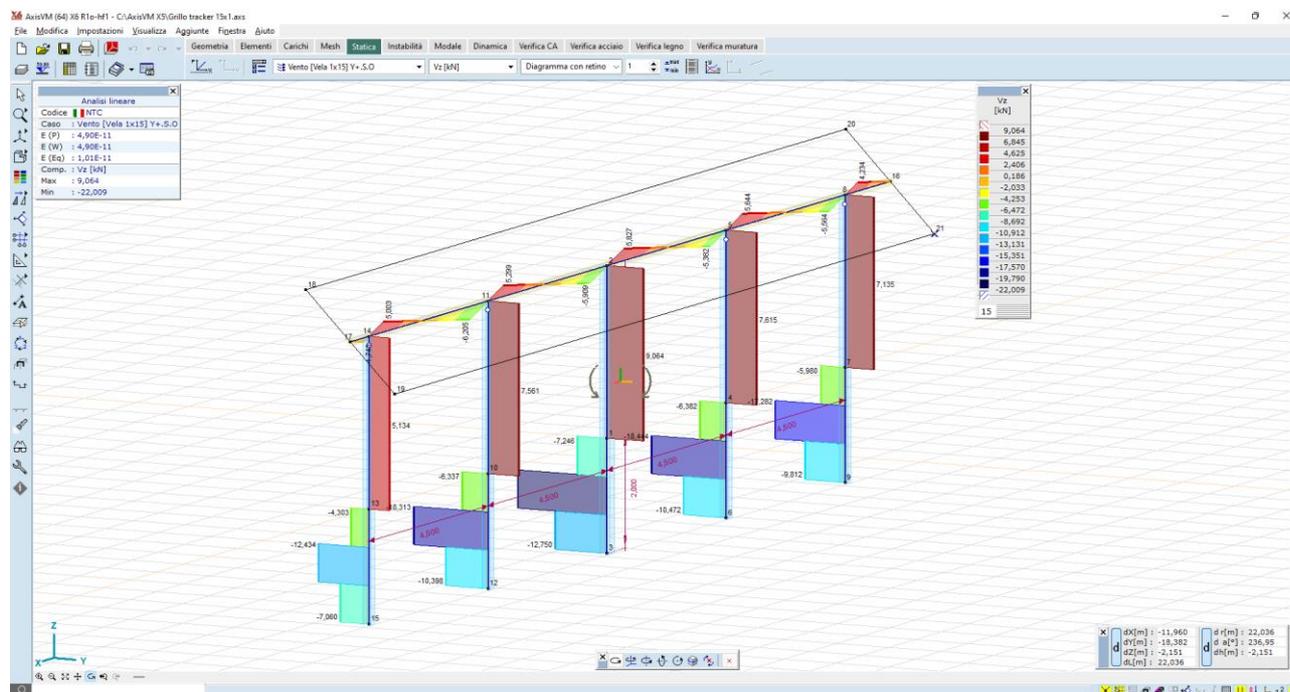


Figura 8-16 – taglio V_z – montanti - valori massimi dell'ordine dei 22 kN – combinazione Y+S.O.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

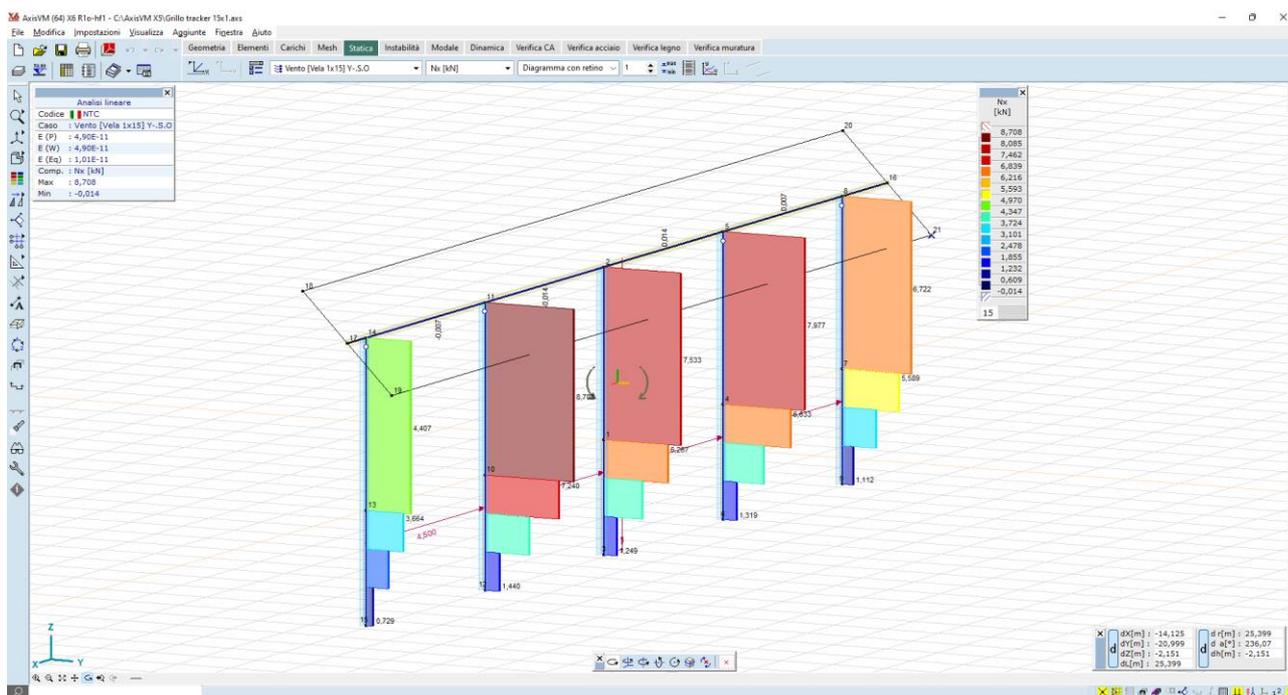


Figura 8-17 – carico uplift N_x – montanti – valori massimi dell'ordine dei 8 kN – combinazione Y-S.O.

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

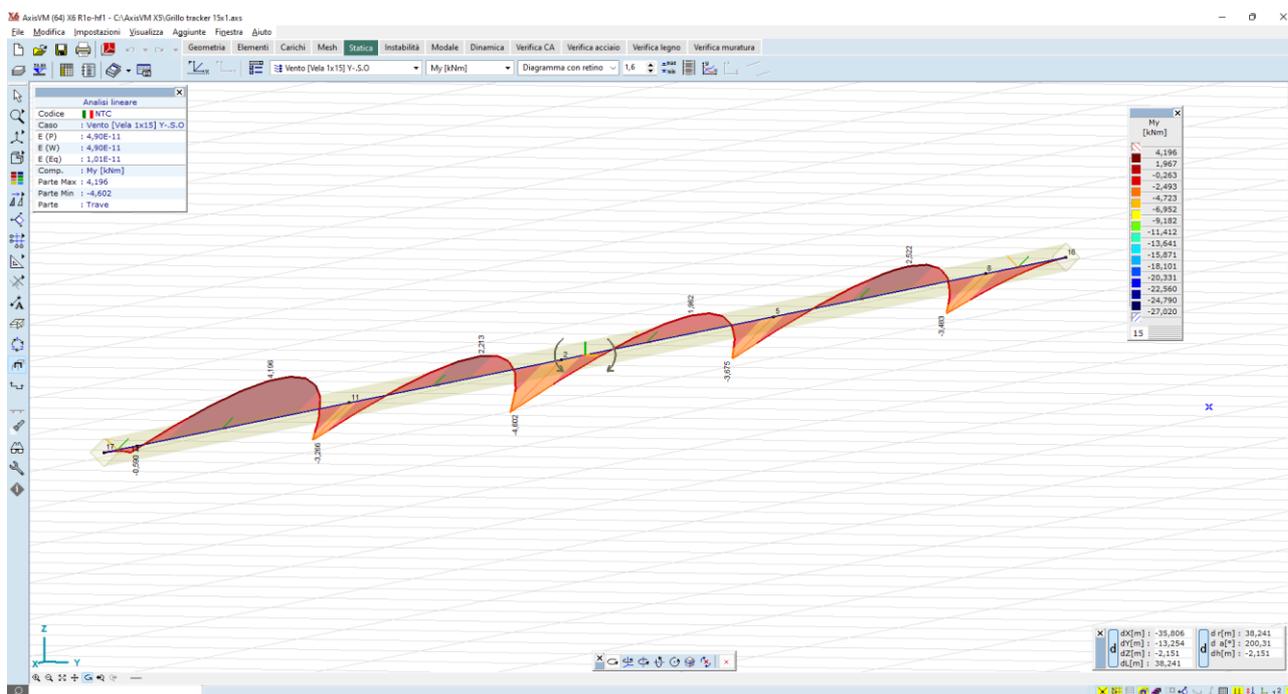


Figura 8-18 – momento flettente M_z – asse di rotazione - valori massimi dell'ordine dei 4,5 kN*m – combinazione Y-S.O.

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/cm²

+960 daN/cm²

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



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

- 1340 daN/cm²
- + 1340 daN/cm²

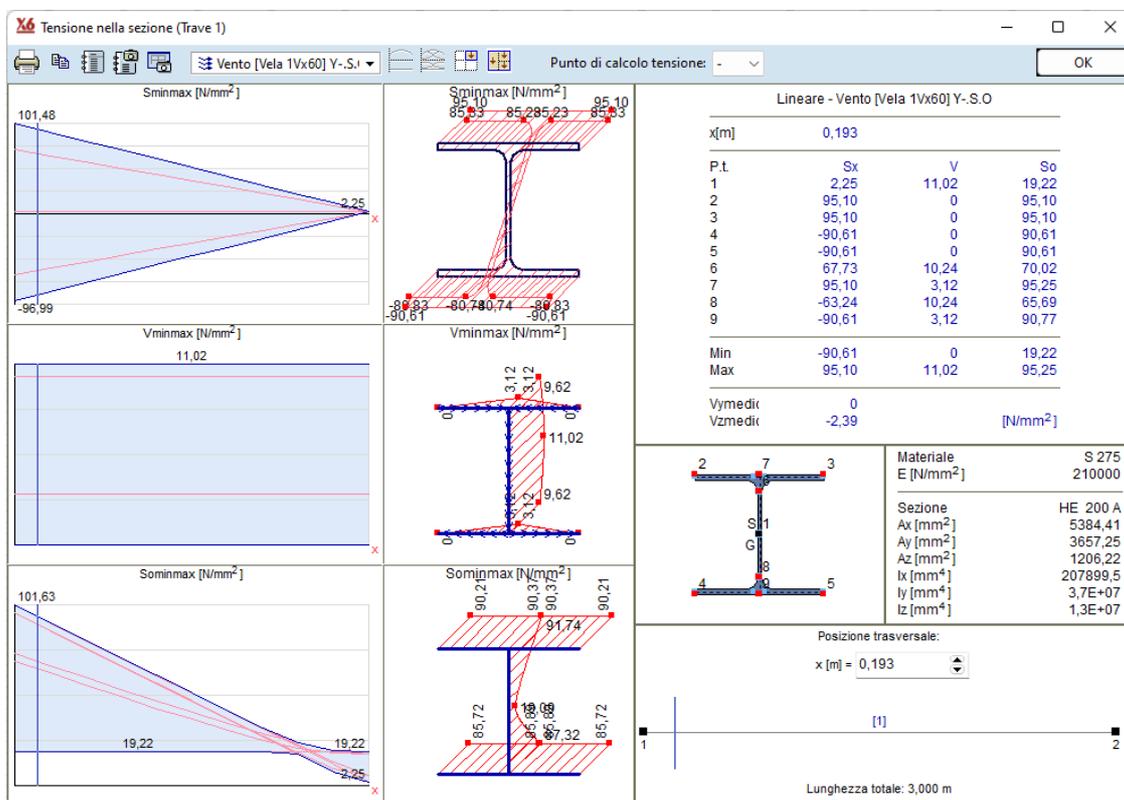


Figura 9-1 – calcolo delle tensioni negli elementi strutturali – montanti

10 VERIFICHE GEOTECNICHE

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'area 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

Le strutture fondali di seguito dimensionate dovranno sostenere i carichi provenienti dalla Power Station, della quale si fornisce una immagine qualitativa.



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

Le tolleranze dimensionali della Power Station vengono fornite dal produttore; di seguito alcune immagini illustrative:

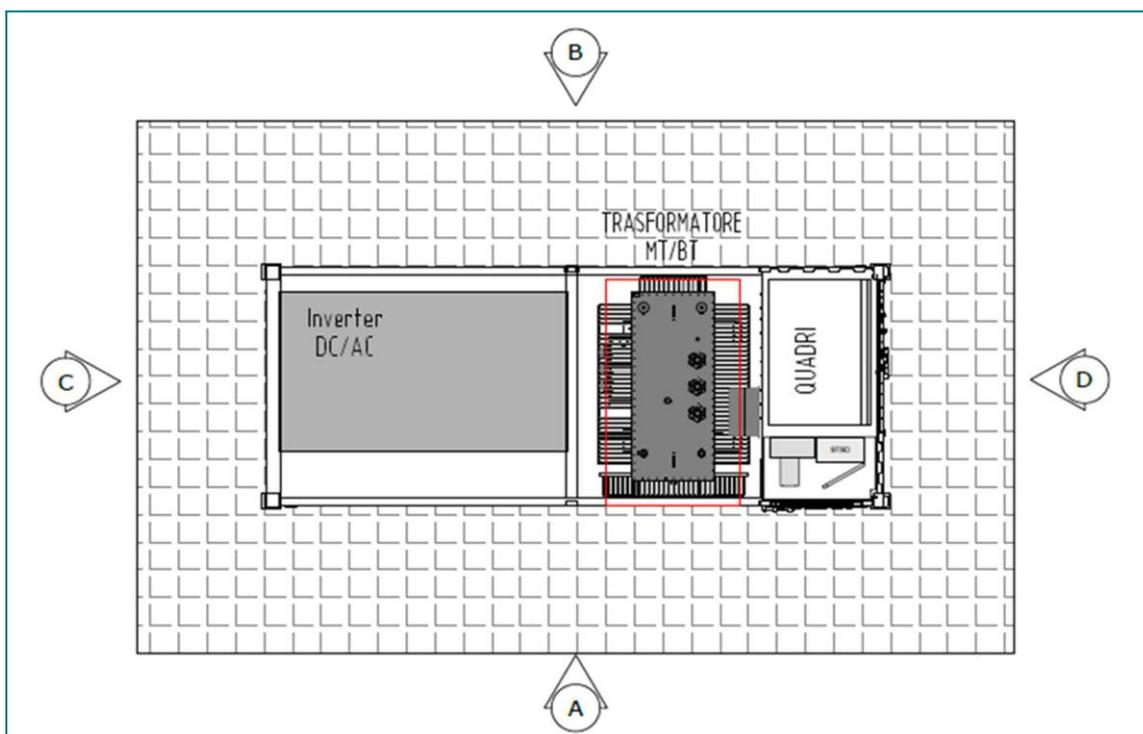


Figura 11-2 – Pianta MV Power station

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

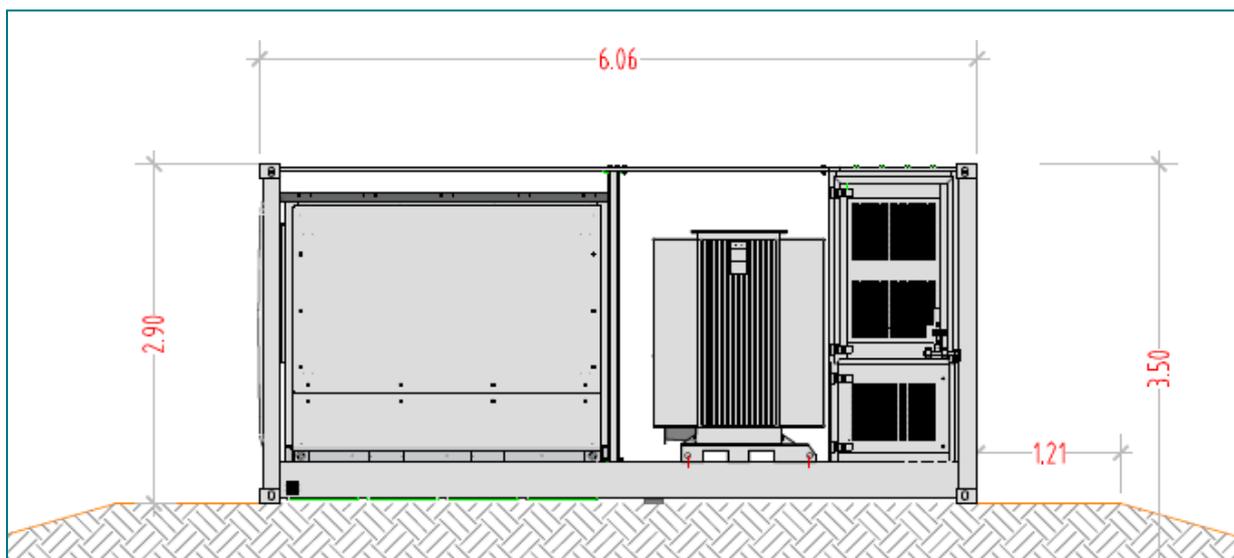


Figura 11-3 – Vista A

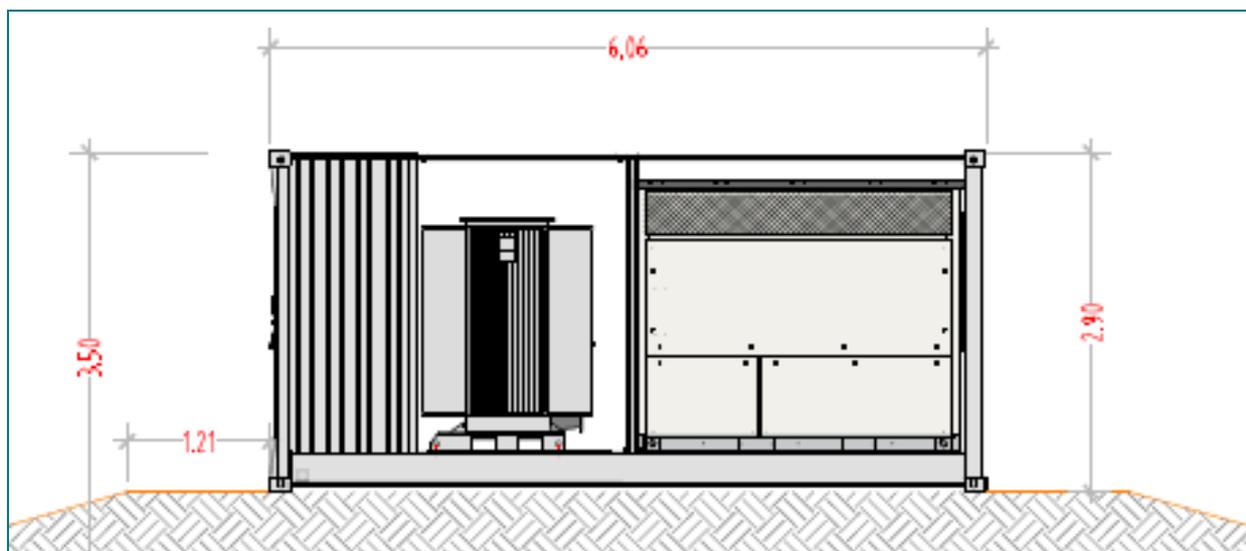


Figura 11-4 – Vista B

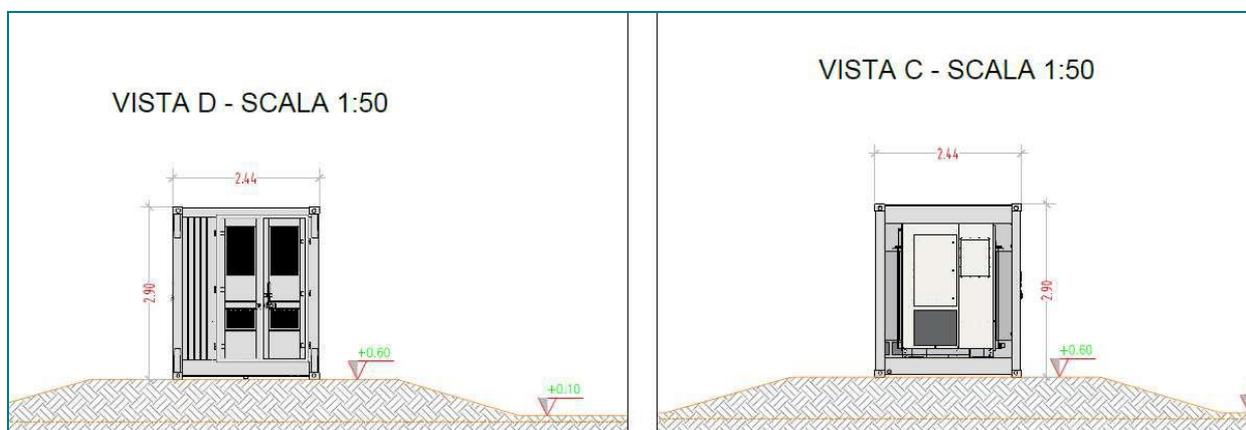


Figura 11-5 – Viste C e D

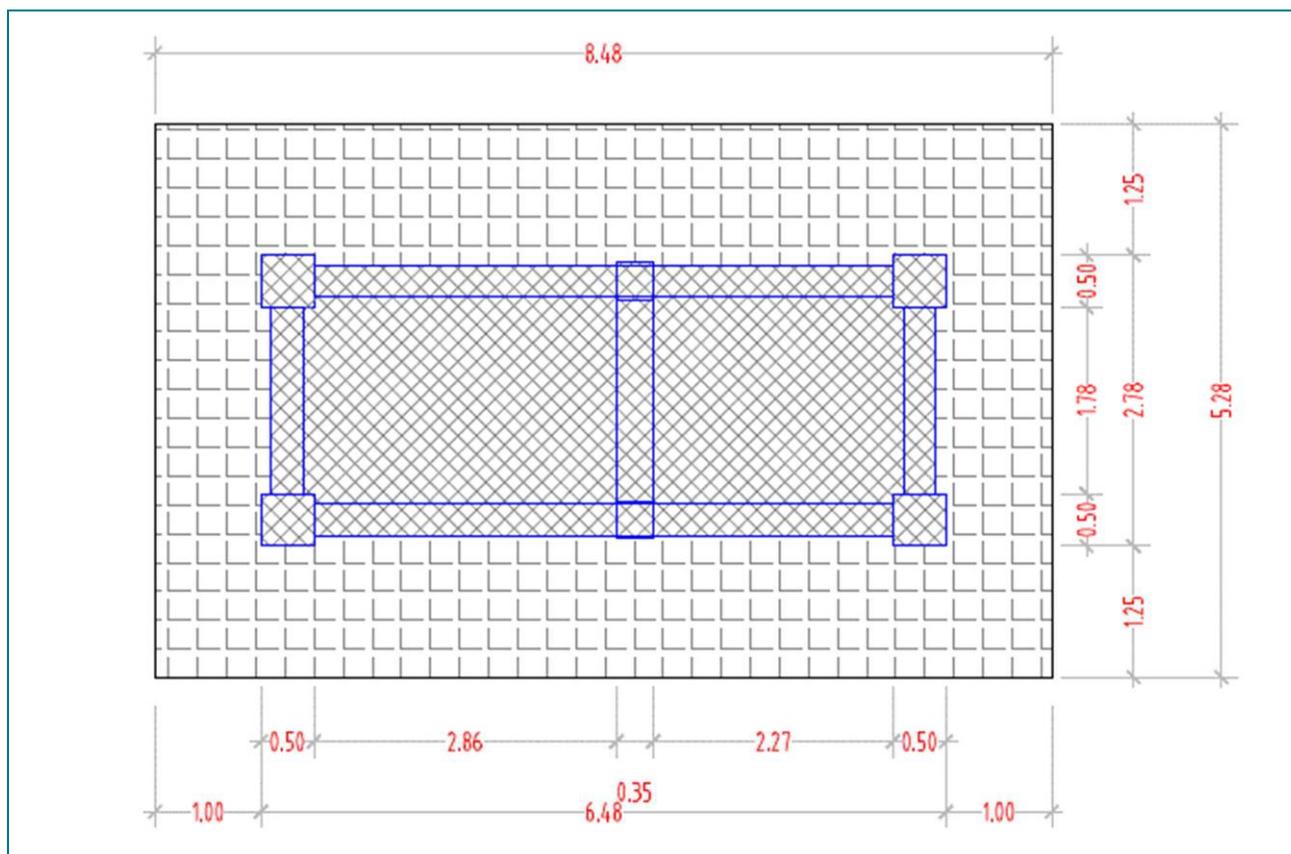


Figura 11-6 – Pianta fondazioni

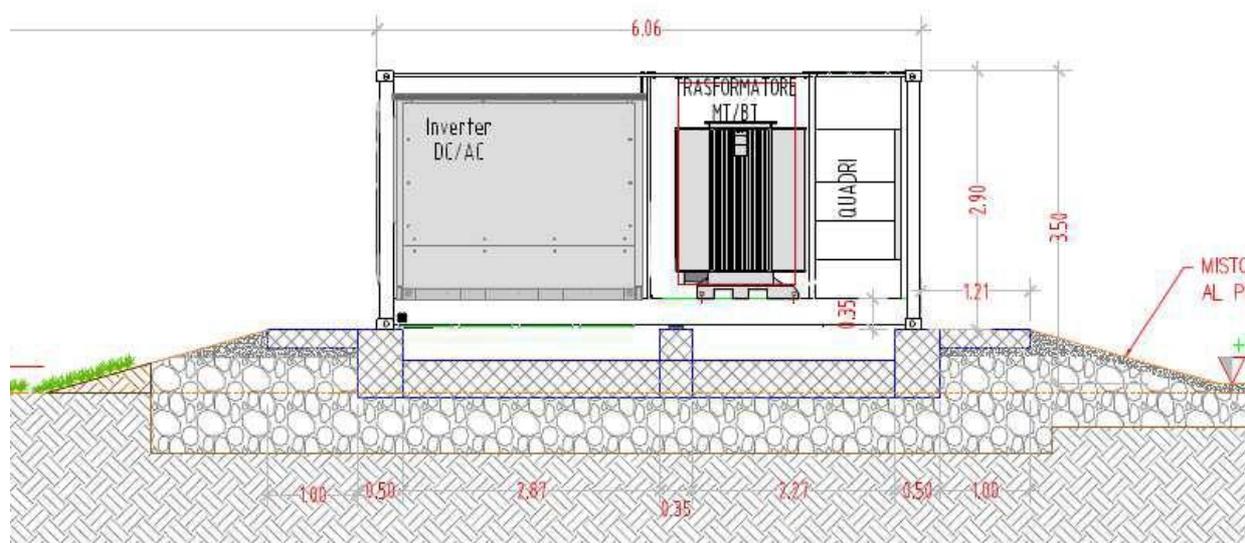


Figura 11-7 – Sezione fondazione

11.2 MODELLO NUMERICO

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 25 cm, che viene modellata come piastra su suolo elastico alla Winkler, aventi le dimensioni rappresentate di seguito:

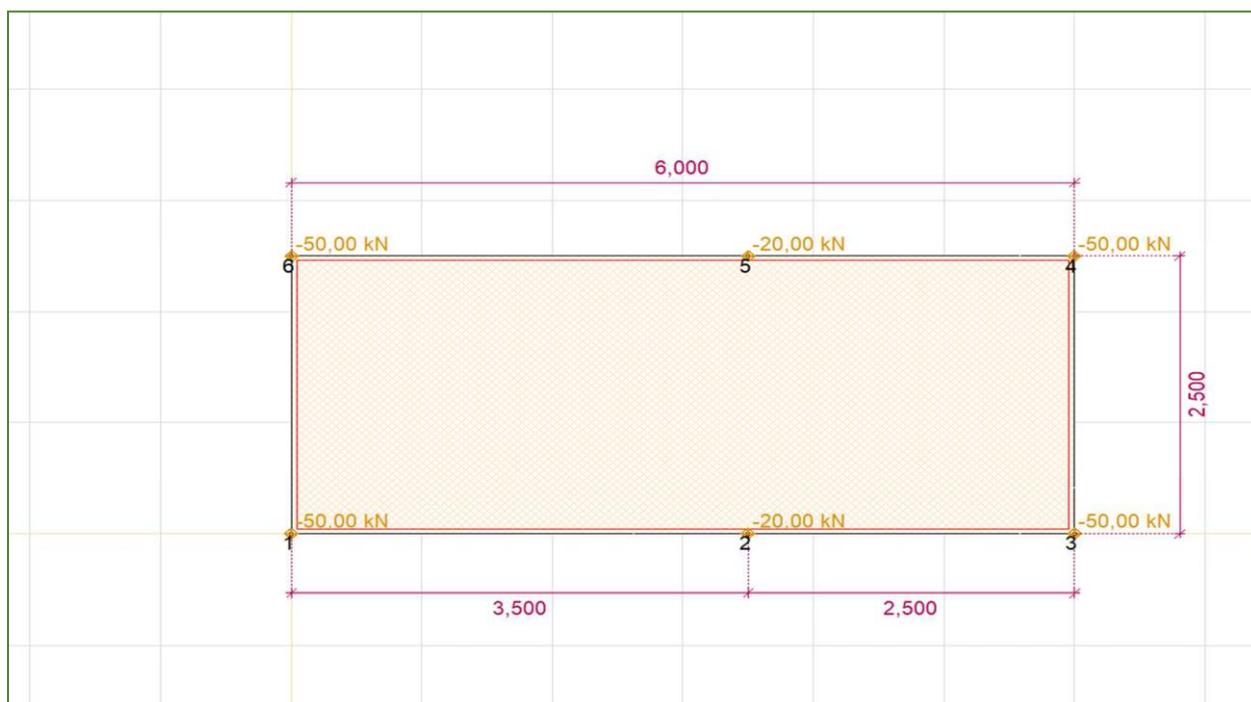


Figura 11-8 –Modello 2D in pianta

Nodi

	X [m]	Y [m]	Z [m]	eX	eY	eZ	□X	□Y	□Z
1	0,0	0,0	0,0	f	f	f	f	f	f
2	3,5	0,0	0,0	f	f	f	f	f	f
3	6,0	0,0	0,0	f	f	f	f	f	f
4	6,0	2,5	0,0	f	f	f	f	f	f
5	3,5	2,5	0,0	f	f	f	f	f	f
6	0,0	2,5	0,0	f	f	f	f	f	f

Elemento 2D

Tipo elemento	Materiale	Spessore [mm]	k,flessione []	k,torsione []	k,taglio []	Area [m ²]
Piastra	C25/30	250	1,000	1,000	1,000	15,000

Appoggi elastici

Tipo	Area [m ²]	Rx [kN/m/m ²]	Ry [kN/m/m ²]	Rz [kN/m/m ²]
Piastra	15,00			1E+4

Materiali

Nome	Tipo	Normativa nazionale	Codice materiale	Modello	E _x [N/mm ²]	E _y [N/mm ²]
C25/30	Calcestruzzo	NTC (Italiane)	UNI EN 206 (CLS)	Lineare	31475	31475

Carico concentrato su piastra

Elemento	Direzione	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]	X [m]	Y [m]	Z [m]
Piastra	Globale	0	0	-50,00	0	0	0	6,0	0,0	0,0
Piastra	Globale	0	0	-20,00	0	0	0	3,5	0,0	0,0
Piastra	Globale	0	0	-20,00	0	0	0	3,5	2,5	0,0
Piastra	Globale	0	0	-50,00	0	0	0	0,0	0,0	0,0
Piastra	Globale	0	0	-50,00	0	0	0	0,0	2,5	0,0
Piastra	Globale	0	0	-50,00	0	0	0	6,0	2,5	0,0

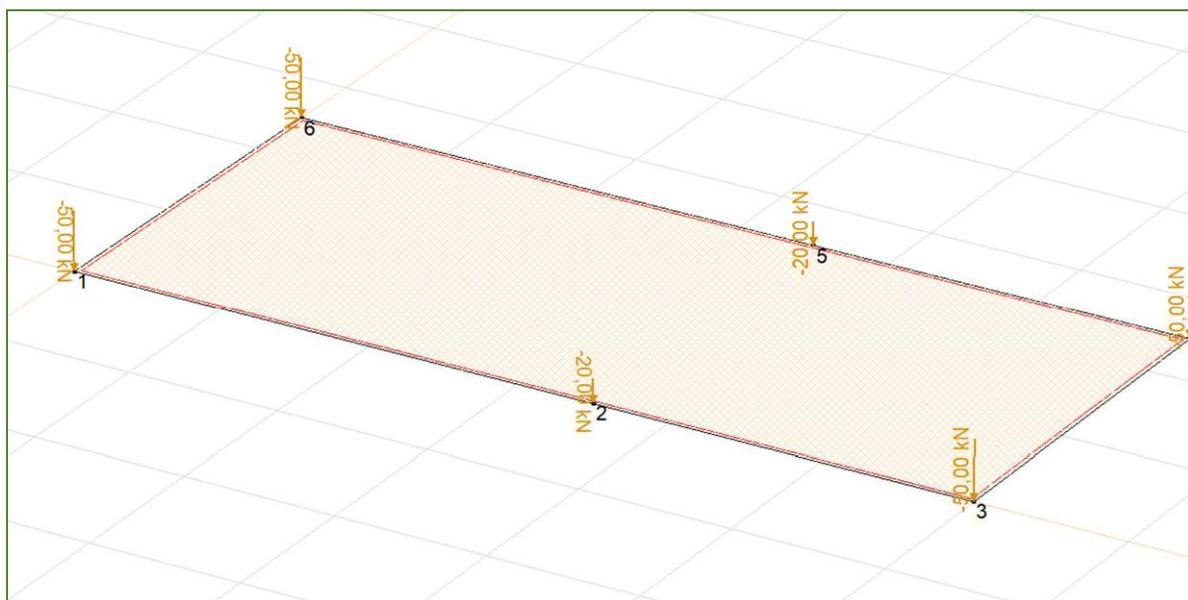


Figura 11-9 – Carichi nodali

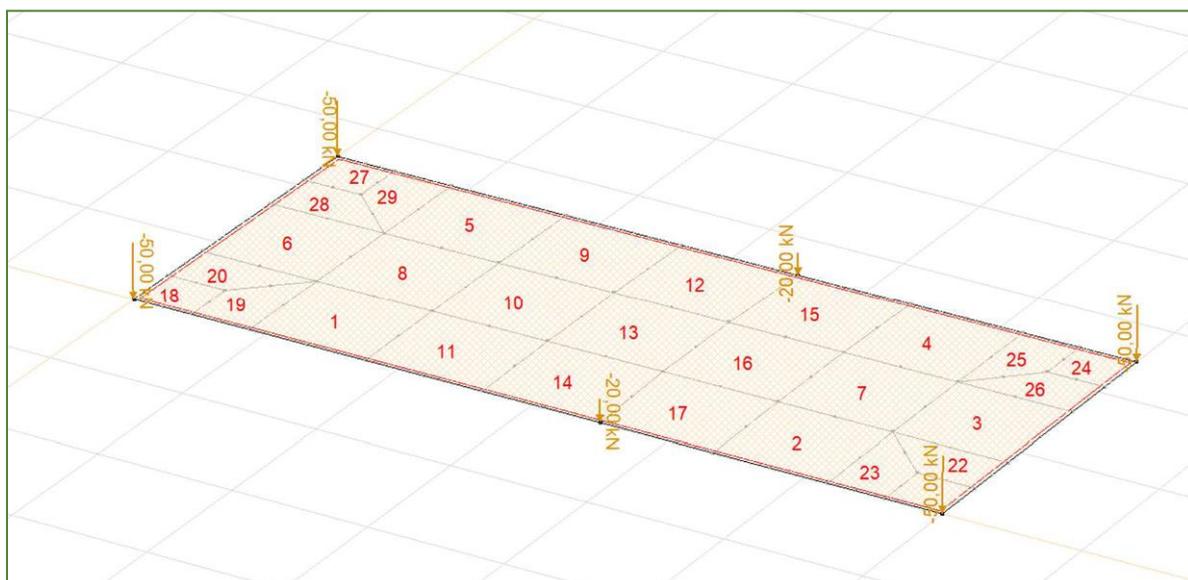


Figura 11-10 – Meshatura dell'elemento piastra

1.1. 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 ed i carichi sismici, ritenuti di entità modesta per la struttura in esame. Le verifiche delle sezioni vengono condotte allo Stato Limite di Esercizio, in termini di tensioni ammissibili.

Spostamenti nodali

	C	min. max.	Caso	eX [mm]	eY [mm]	eZ [mm]	eR [mm]	fX [rad]	fY [rad]	fZ [rad]	fR [rad]
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	eZ	min	ST1	0	0	-4,575	4,575	0,00060	0,00196	0	0,00205
4		min	ST1	0	0	-4,575	4,575	-0,00060	0,00196	0	0,00205
9		max	ST1	0	0	-1,193	1,193	-0,00007	-0,00017	0	0,00018
16		max	ST1	0	0	-1,193	1,193	0,00007	-0,00017	0	0,00018

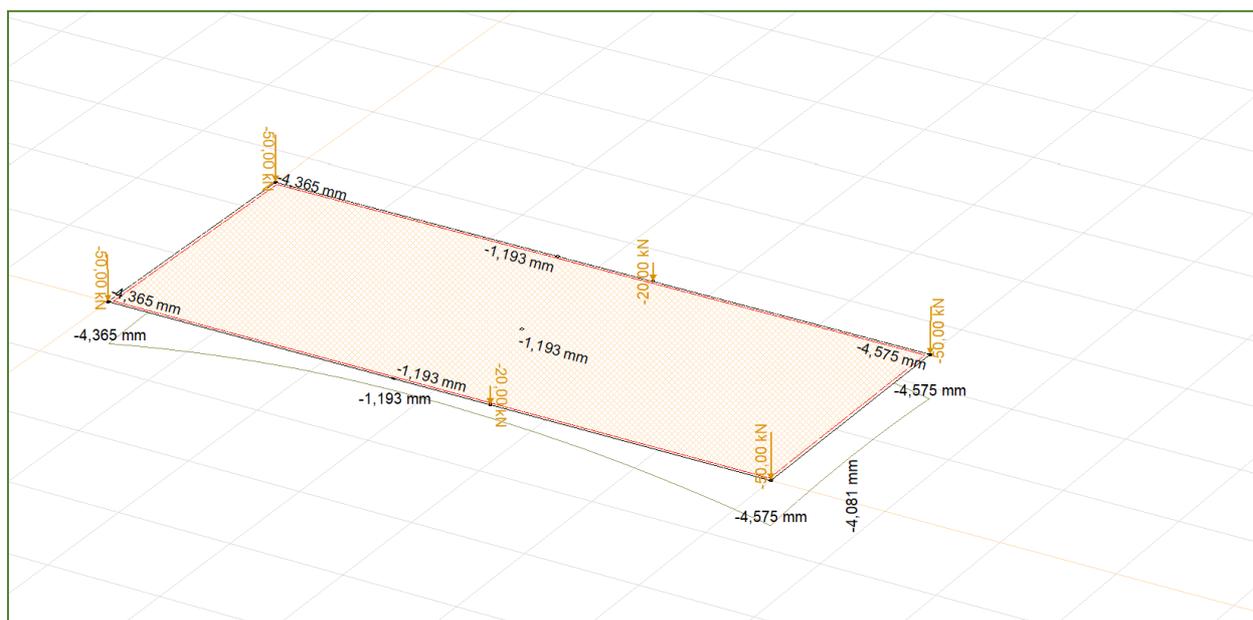


Figura 11-11 – diagramma delle deformazioni – ez – valore max 4,57mm

Reazioni vincoli superficiali

Nodo	Superficie	Rx [kN/m ²]	Ry [kN/m ²]	Rz [kN/m ²]
3	Lam 21	0	0	-45,749
4	Lam 24	0	0	-45,749
9	Lam 11	0	0	-11,934
16	Lam 9	0	0	-11,934

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

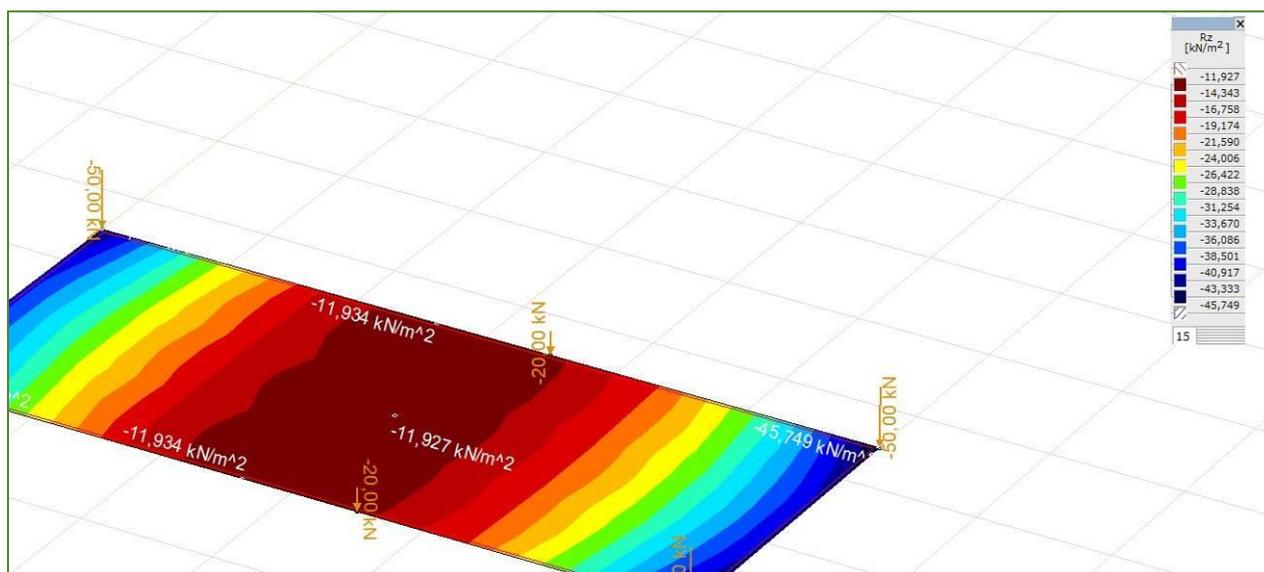


Figura 11-12 – andamento delle tensioni al suolo R_z – valori max 0,457 daN/mq

Sollecitazioni superficiali

Nodo	C	min. max.	Superficie	mx [kNm/m]	my [kNm/m]	mxy [kNm/m]	vxz [kN/m]	vyz [kN/m]	vRz [kN/m]	avRz [°]
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
34	mx	min	Lam 18	-2,006	16,330	11,438	-49,689	131,564	140,634	-69,31
41		min	Lam 27	-2,006	16,330	-11,438	-49,689	-131,564	140,634	69,31
8		max	Lam 1	33,405	-0,706	2,145	17,664	1,638	17,740	5,30
17		max	Lam 5	33,405	-0,706	-2,145	17,664	-1,638	17,740	-5,30
36	my	min	Lam 21	18,594	-1,514	-11,846	-146,562	-47,402	154,037	17,92
39		min	Lam 24	18,594	-1,514	11,846	-146,562	47,402	154,037	-17,92
12		max	Lam 3	-0,300	24,648	-4,703	-12,584	38,516	40,520	-71,91
13		max	Lam 3	-0,300	24,648	4,703	-12,584	-38,516	40,520	71,91
22	vRz	min	Lam 2	21,485	13,988	-5,188	-2,314	0,744	2,431	-17,83
23		min	Lam 3	21,485	13,988	5,188	-2,314	-0,744	2,431	17,83
3		max	Lam 21	14,463	13,938	-9,956	-340,891	334,582	477,653	-44,46
4		max	Lam 24	14,463	13,938	9,956	-340,891	-334,582	477,653	44,46

Nodo	C	min. max.	Superficie	myR+ [kNm/m]	myR- [kNm/m]	am1 [°]	am2 [°]	am [°]	mxR+ [kNm/m]	mxR- [kNm/m]
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
34	mx	min	Lam 18	27,768	0	64,36	154,36	64,36	9,432	-13,443
41		min	Lam 27	27,768	0	-64,36	25,64	-64,36	9,432	-13,443
8		max	Lam 1	1,439	-2,851	3,58	93,58	3,58	35,550	0
17		max	Lam 5	1,439	-2,851	-3,58	86,42	-3,58	35,550	0
36	my	min	Lam 21	10,332	-13,359	-24,84	65,16	-24,84	30,440	0
39		min	Lam 24	10,332	-13,359	24,84	114,84	24,84	30,440	0

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



12	max	Lam 3	29,351	0	-79,67	10,33	-79,67	4,403	-5,003	
13	max	Lam 3	29,351	0	79,67	169,67	79,67	4,403	-5,003	
22	vRz	min	Lam 2	19,176	0	-27,08	62,92	-27,08	26,673	0
23	min	Lam 3	19,176	0	27,08	117,08	27,08	26,673	0	
3	max	Lam 21	23,894	0	-44,24	45,76	-44,24	24,419	0	
4	max	Lam 24	23,894	0	44,24	134,24	44,24	24,419	0	

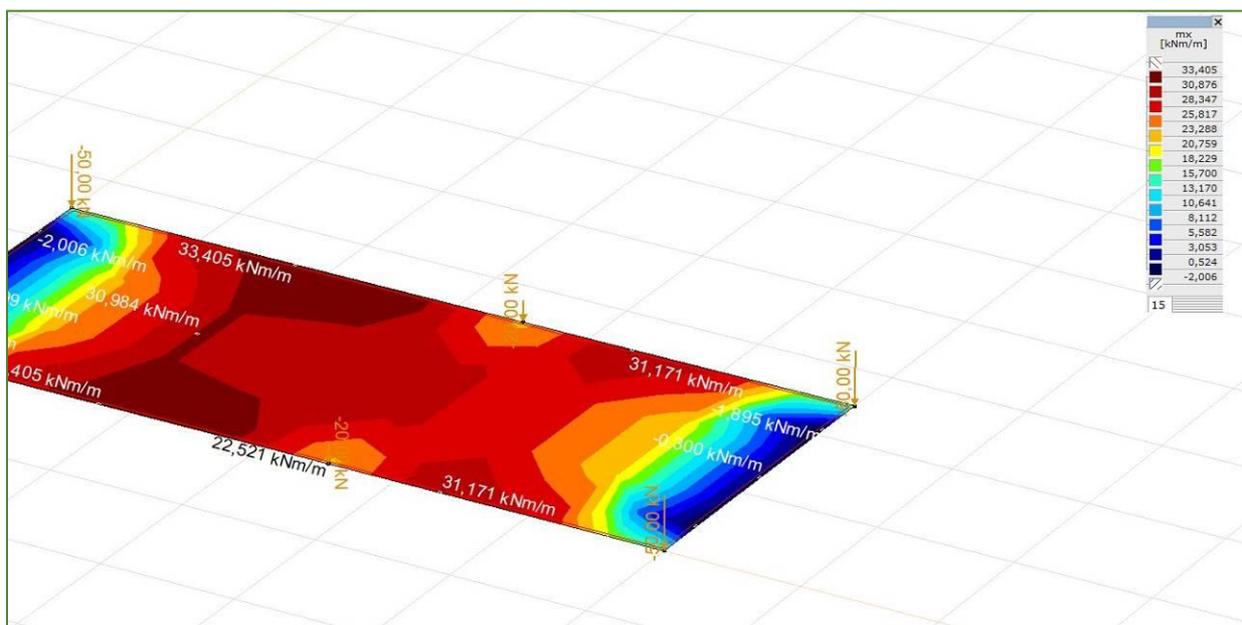


Figura 11-13 – andamento delle sollecitazioni mx – valori max 3000daN*m/m

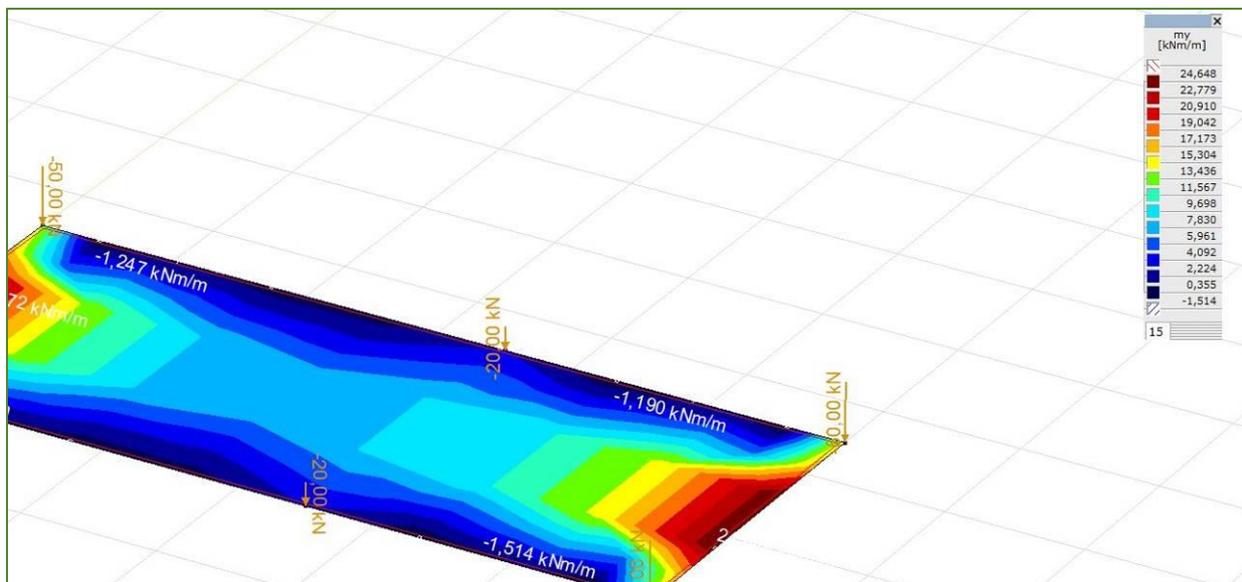


Figura 11-14 – andamento delle sollecitazioni my – valori max 2400daN*m/m

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



11.3 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).

Gusci c.a.						
Armatura						
Angolo Ax-Ay [gradi]	90.00					
Copriferro [cm]	3.00					
Maglia x						
diametro	16					
passo	20					
Maglia y						
diametro	16					
passo	20					
Stati limite ultimi						
Tensione fy [daN/cm ²]	4500.00					
Tipo acciaio	tipo C					
Coefficiente gamma s	1.15					
Coefficiente gamma c	1.50					
Fattore di confidenza FC	0.0					
Verifiche con N costante	Si					
Tensioni ammissibili						
Tensione amm. cls [daN/cm ²]	97.50					
Tensione amm. acciaio [daN/cm ²]	2600.00					
Rapporto omogeneizzazione N	15.00					
Massimo rapporto area compressa/tesa	1.00					

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

12 STAZIONE UTENTE 220/30 kV

12.1 LAYOUT

La stazione utente ha la funzione di connettere l'impianto agro-fotovoltaico alla rete elettrica nazionale, elevando la tensione dell'impianto dalla media tensione (in arrivo dall'impianto di produzione) all'alta tensione (individuata dall'operatore per la connessione dell'impianto).

La suddetta trasformazione MT/AT è consentita per mezzo di una serie di apparecchiature elettromeccaniche site all'interno della stazione utente 220/30 kV, il cui layout è riportato nella seguente figura:

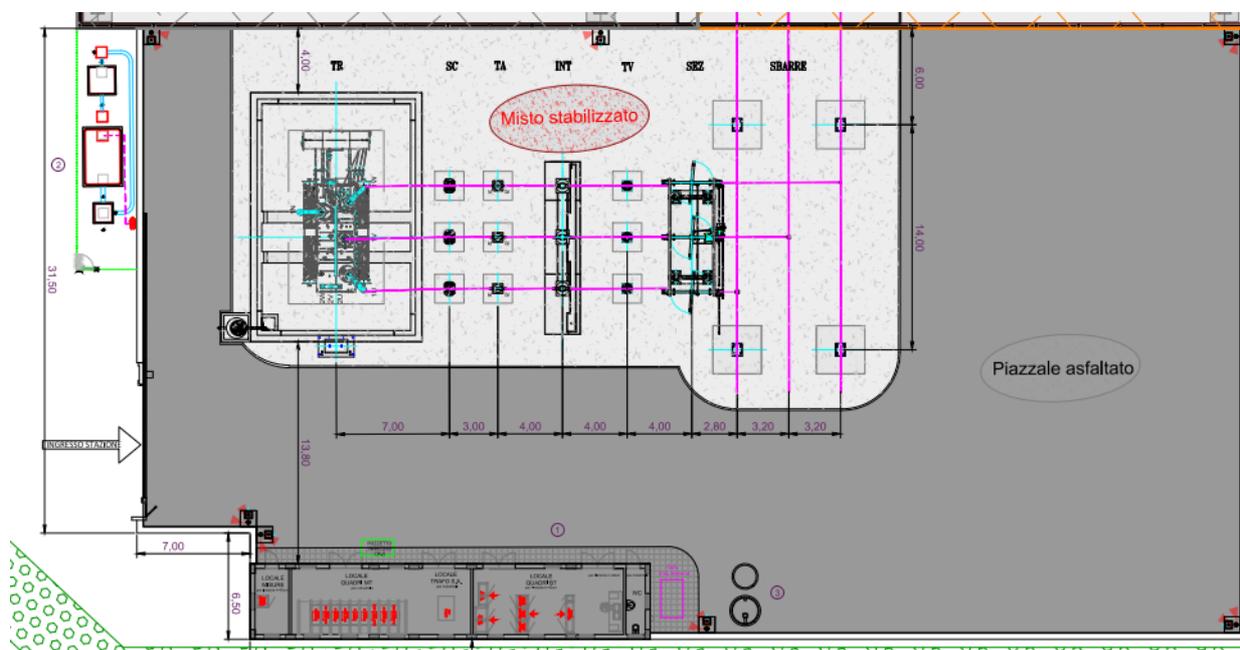


Figura 12-1 – Layout stazione Utente

Le strutture oggetto di dimensionamento, all'interno della stazione Utente, sono le seguenti:

- Lo Stallo AT 220 kV per l'allacciamento alle sbarre dello stallo condiviso
- La fondazione del Trasformatore elevatore 220/30 kV
- L'edificio di comando

12.2 FONDAZIONE TRASFORMATORE DI POTENZA

12.2.1 Descrizione

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

La fondazione è di tipo diretto. L'interno della vasca presenta 2 setti intermedi che fungono da appoggio per il trasformatore. La parte superiore della vasca è delimitata da una soletta a spessore variabile, con fori coperti da chiusini prefabbricati.

L'appoggio del trasformatore è su rotaie in acciaio fissate con bulloni alla sommità dei due setti.

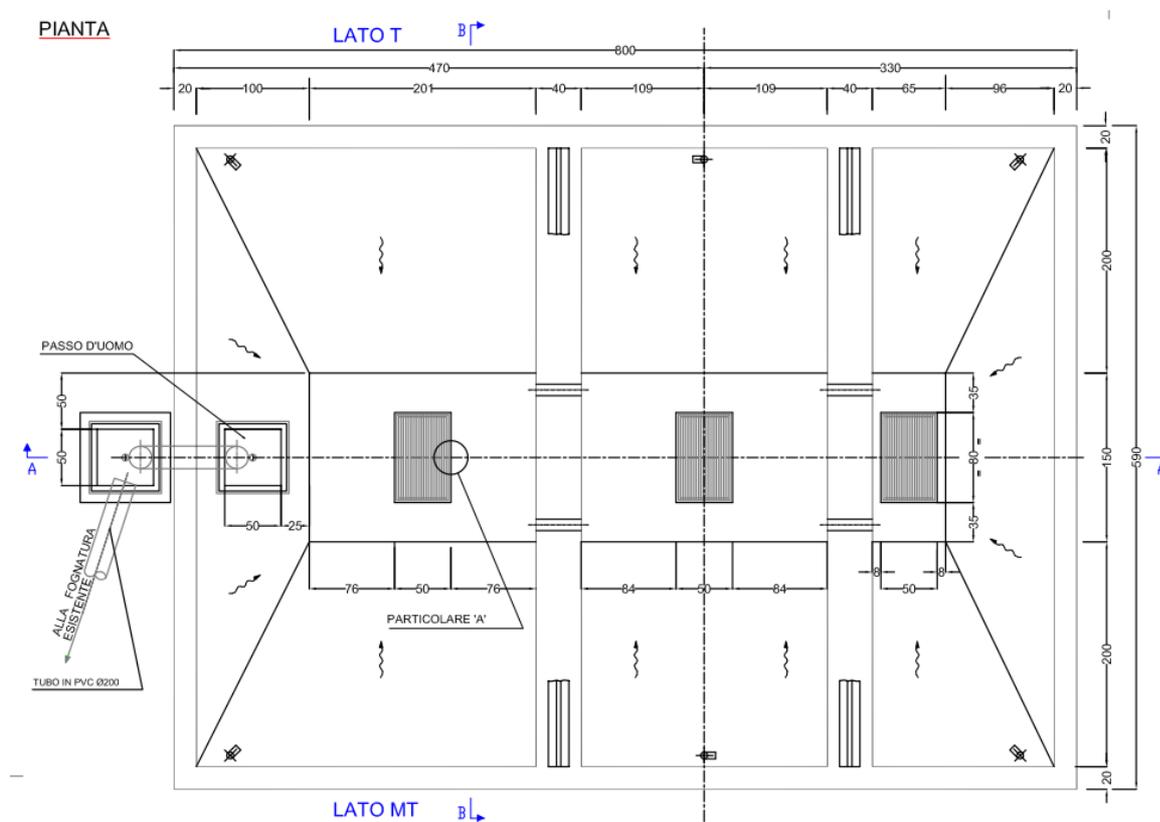


Figura 12-2 – Pianta fondazione trasformatore

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

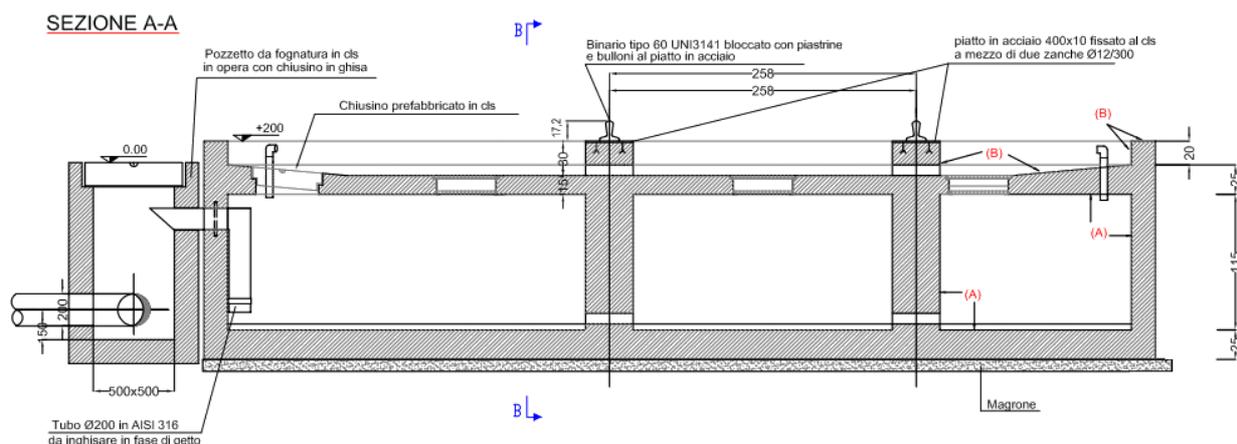


Figura 12-3 – Sezione fondazione trasformatore

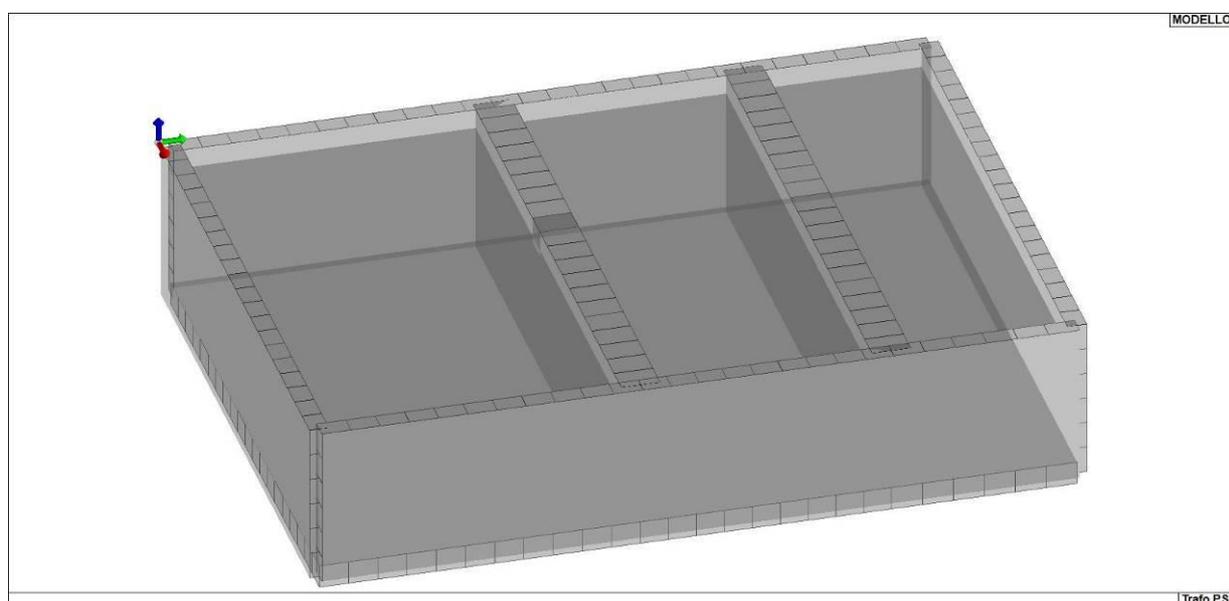


Figura 12-4 – Modello FEM (senza soletta di copertura) – Vista 3D

12.2.2 Materiali e durabilità

I materiali strutturali adoperati sono i seguenti. Ai fini della durabilità si assume una classe di esposizione XC2.

Id	Tipo / Note	V. caratt.	V. medio	Young	Poisson	G	Gamma	Alfa	Altri
		N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²		N/mm ²	N/mm ³		
1	Calcestruzzo Classe C25/30			3.145e+04	0.20	1.310e+05	2.50e-04	1.00e-05	
	Resistenza Rc	30.0							
	Resistenza fctm		2.6						
	Rapporto Rfessurata								1.00
	Coefficiente ksb								0.85

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



Id	Tipo / Note	V. caratt.	V. medio	Young	Poisson	G	Gamma	Alfa	Altri
	Rapporto HRDb								1.00e-05
	Rapporto HRDv								1.00e-05
75	Materiale inf. rigido no peso			1.000e+11	0.0	5.000e+11	0.0	1.20e-05	
	Rapporto HRDb								1.00e-05
	Rapporto HRDv								1.00e-05

Pareti c.a.	1/7/..	2/8/..	3/9/..	4/10/..	5/11/..	6/12/..
Generalità						
Progetto armatura	Singolo elemento NON DISSIPATIVO					
Armatura						
Inclinazione Av [gradi]	90.00					
Angolo Av-Ao [gradi]	90.00					
Minima tesa	0.20					
Massima tesa	4.00					
Maglia unica centrale	No					
Unico strato verticale	No					
Unico strato orizzontale	No					
Copriferro [cm]	4.00					
Maglia V						
diámetro	16					
passo	25					
diámetro aggiuntivi	16					
Maglia O						
diámetro	16					
passo	25					
diámetro aggiuntivi	16					
Stati limite ultimi						
Tensione fy [N/mm ²]	450.00					
Tipo acciaio	tipo C					
Coefficiente gamma s	1.15					
Coefficiente gamma c	1.50					
Verifiche con N costante	Si					
Tensioni ammissibili						
Tensione amm. cls [N/mm ²]	9.75					
Tensione amm. acciaio [N/mm ²]	260.00					
Rapporto omogeneizzazione N	15.00					
Massimo rapporto area compressa/tesa	1.00					
Parete estesa debolmente armata						
Fattore amplificazione taglio V	0.0					
Hcrit. par. 7.4.4.5.1 [cm]	0.0					
Hcrit. par. 7.4.6.1.4 [cm]	0.0					
Diagramma involuppo taglio	No					
Vincolo lati	nessun lato					
Verifica come fascia	No					
Diámetro di estremità	0					
Zona confinata						
Minima tesa	1.00					
Massima tesa	4.00					

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



Pareti c.a.	1/7/..	2/8/..	3/9/..	4/10/..	5/11/..	6/12/..
Distanza barre [cm]	2.00					
Interferro	2					
Armatura inclinata						
Area barre [cm ²]	0.0					
Angolo orizzontale [gradi]	0.0					
Distanza di base [cm]	0.0					
Resistenza al fuoco						
3- intradosso	No					
3+ estradosso	No					
Tempo di esposizione R	15					

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

12.2.3 Ipotesi assunte nella modellazione

La vasca è modellata con elementi shell (guscio) reagenti sia nel piano che fuori dal piano. I

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

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

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

12.2.4 Tipo di analisi strutturale

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

$$K * u = F$$

dove:

K = matrice di rigidità

u = vettore spostamenti nodali

F = vettore forze nodali

Dagli spostamenti ottenuti con la risoluzione del sistema vengono quindi dedotte le sollecitazioni e/o le tensioni di ogni elemento, riferite generalmente ad una terna locale all'elemento stesso.

Il sistema di riferimento utilizzato è costituito da una terna cartesiana destrorsa XYZ. Si assume l'asse Z verticale ed orientato verso l'alto.

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

- Elemento tipo TRUSS (biella-D2)
- Elemento tipo BEAM (trave-D2)
- Elemento tipo MEMBRANE (membrana-D3)
- Elemento tipo PLATE (piastra-guscio-D3)
- Elemento tipo BOUNDARY (molla)
- Elemento tipo STIFFNESS (matrice di rigidità)

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



- Elemento tipo BRICK (elemento solido)
- Elemento tipo SOLAIO (macro elemento composto da più membrane)

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

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

12.2.5 Combinazioni e/o percorsi di carico

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

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



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

12.2.6 Verifiche agli stati limite ultimi

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

12.2.7 Verifiche agli stati limite di esercizio

Nel capitolo relativo alla progettazione degli elementi strutturali agli SLU vengono indicate, con riferimento alla normativa adottata, le modalità seguite per valutare l'affidabilità della struttura nei confronti delle possibili situazioni di perdita di funzionalità (per eccessive deformazioni, fessurazioni, vibrazioni, etc.) ed i risultati delle valutazioni svolte.

12.2.8 Modellazione delle sezioni

Le sezioni utilizzate nella modellazione sono

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

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

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

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



W3-3	modulo di resistenza della sezione riferito all'asse 3
Wp2-2	modulo di resistenza plastico della sezione riferito all'asse 2
Wp3-3	modulo di resistenza plastico della sezione riferito all'asse 3

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

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

12.2.9 Modellazione struttura

12.2.9.1 Nodi

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

Nodo	numero del nodo.
X	valore della coordinata X
Y	valore della coordinata Y
Z	valore della coordinata Z

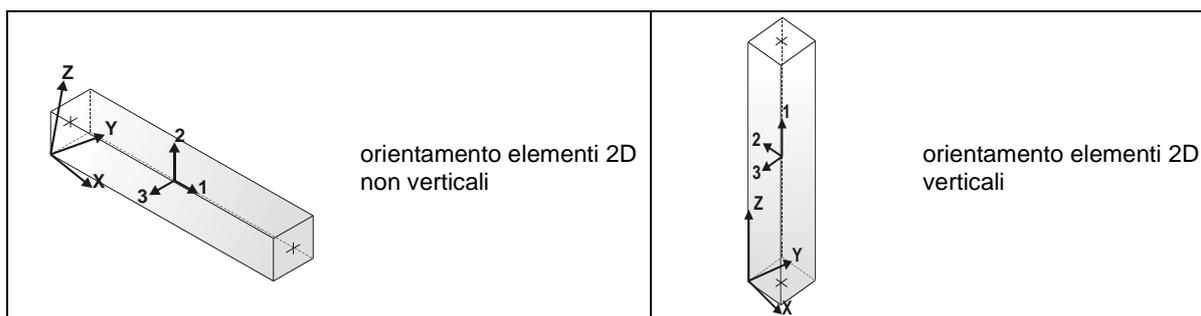
indicato in tabella:

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

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

12.2.9.2 Elementi trave

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



Per ogni elemento viene indicato in tabella:

Elem.	numero dell'elemento
Note	codice di comportamento: trave, trave di fondazione, pilastro, asta, asta tesa, asta compressa,
Nodo I (J)	numero del nodo iniziale (finale)
Mat.	codice del materiale assegnato all'elemento
Sez.	codice della sezione assegnata all'elemento
Rotaz.	valore della rotazione dell'elemento, attorno al proprio asse, nel caso in cui l'orientamento di default non sia adottabile; l'orientamento di default prevede per gli elementi non verticali l'asse 2 contenuto nel piano verticale e l'asse 3 orizzontale, per gli elementi verticali l'asse 2 diretto secondo X negativo e l'asse 3 diretto secondo Y negativo
Svincolo I (J)	codici di svincolo per le azioni interne; i primi sei codici si riferiscono al nodo iniziale, i restanti sei al nodo finale (il valore 1 indica che la relativa azione interna non è attiva)
Wink V	costante di sottofondo (coefficiente di Winkler) per la modellazione della trave su suolo elastico
Wink O	costante di sottofondo (coefficiente di Winkler) per la modellazione del suolo elastico orizzontale

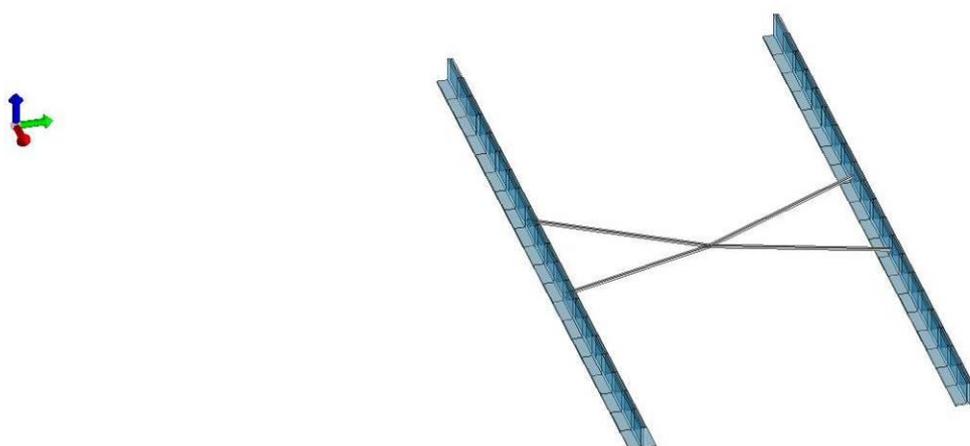


Figura 12-5 – Modello FEM – Vista dei soli elementi trave

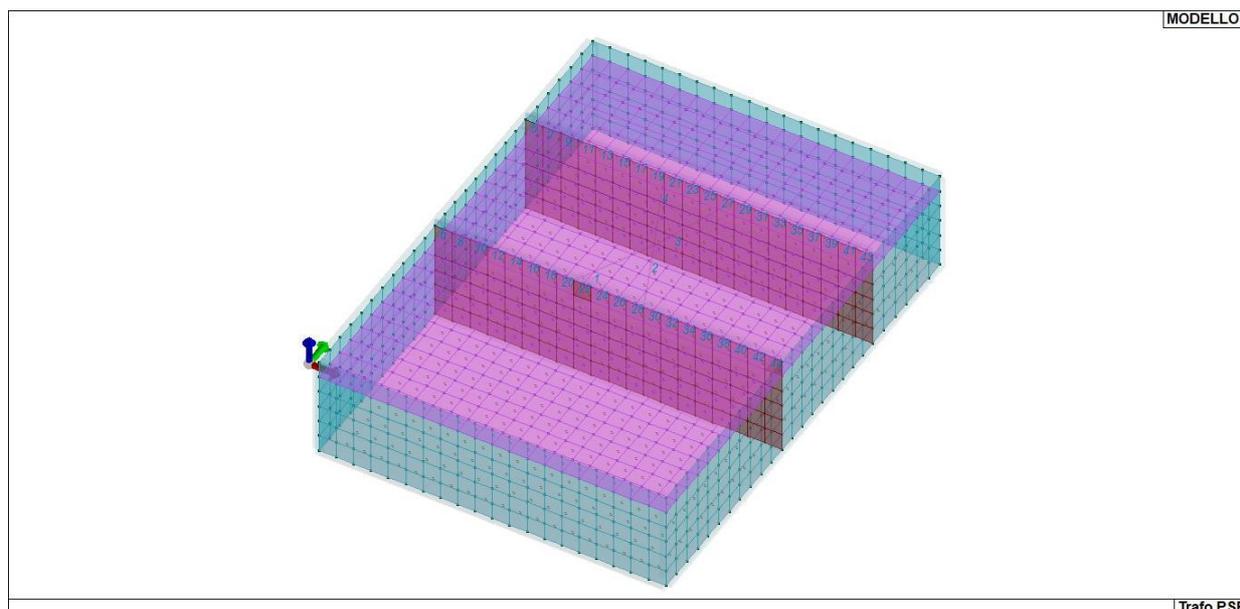
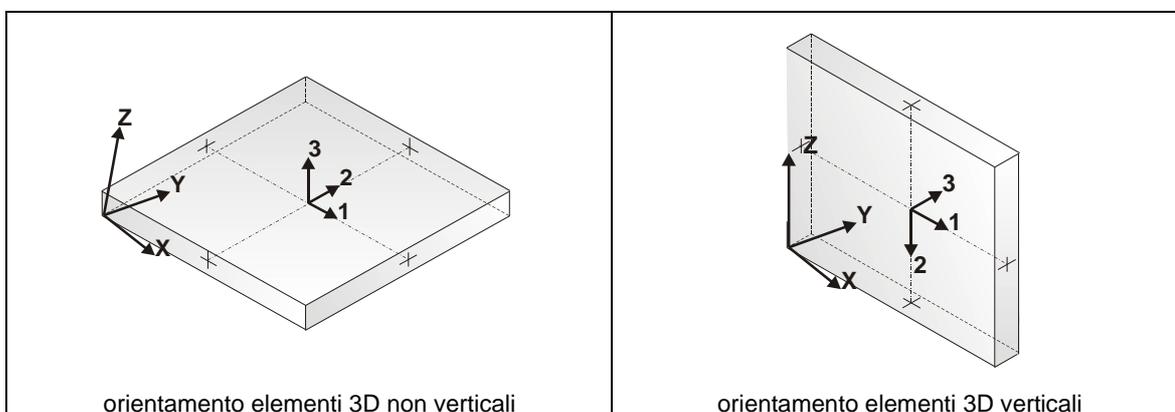


Figura 12-6 – MOD_NUMERAZIONE_D2

12.2.9.3 Elementi shell

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

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



Per ogni elemento viene indicato in tabella:

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

Wink V	costante di sottofondo (coefficiente di Winkler) per la modellazione del suolo elastico verticale
Wink O	costante di sottofondo (coefficiente di Winkler) per la modellazione del suolo elastico orizzontale

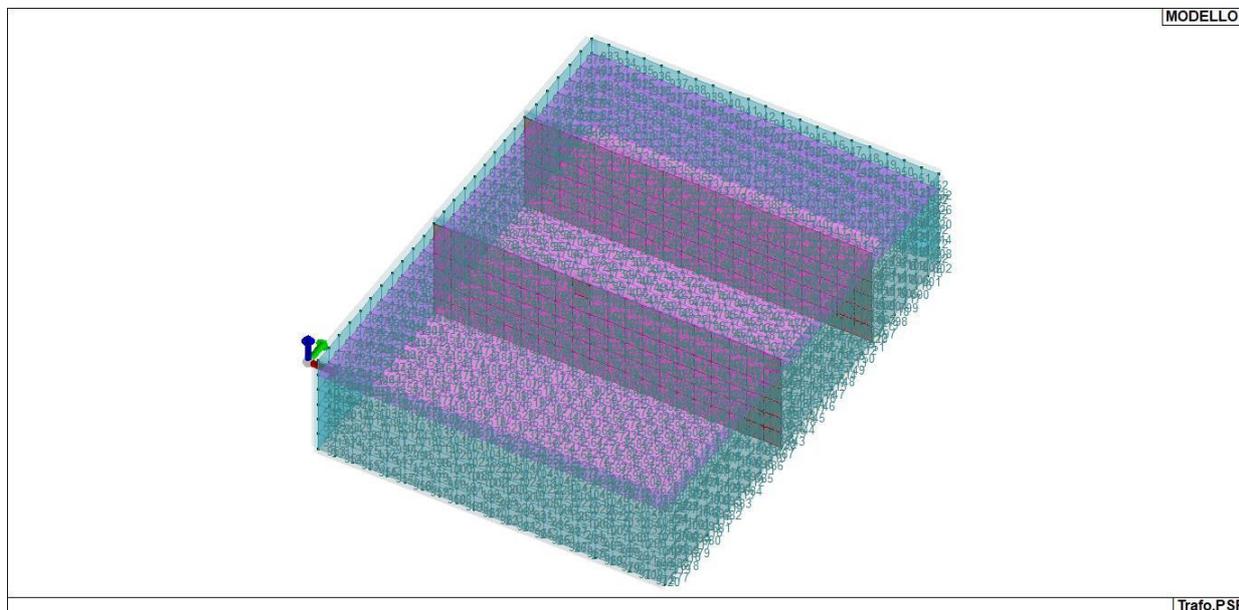


Figura 12-7 – MOD_NUMERAZIONE_D3

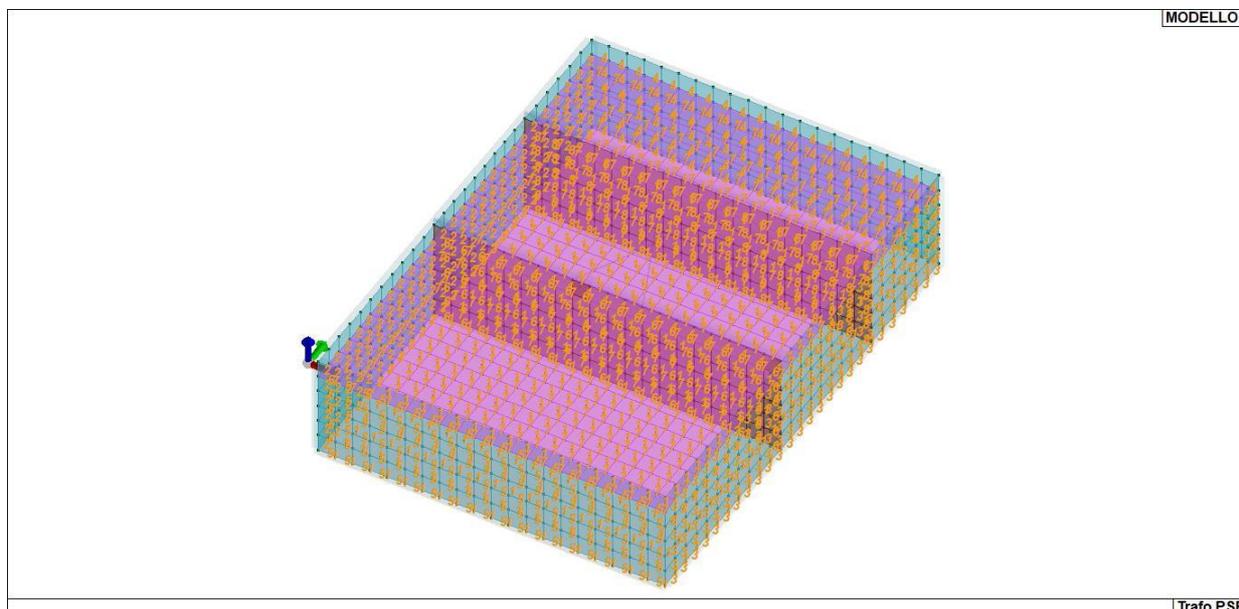


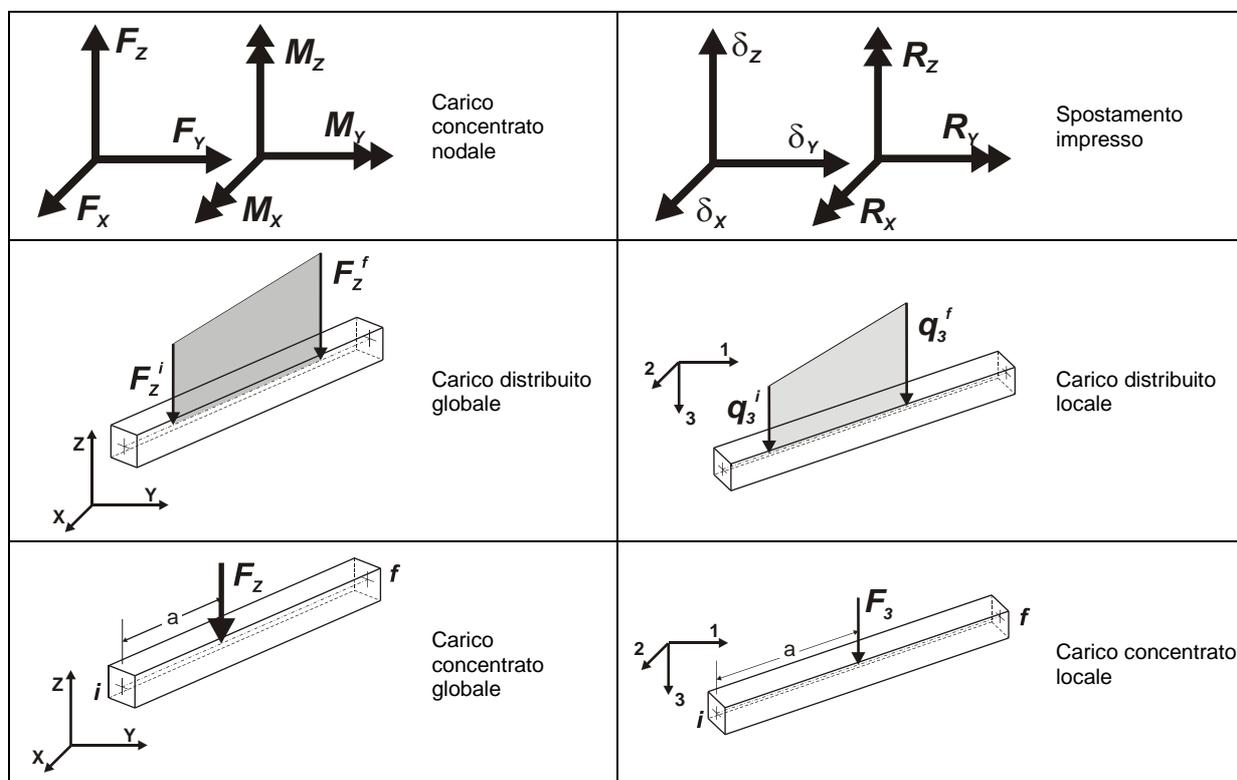
Figura 12-8 – MOD_NUMERAZIONE_D3_PARETI

12.2.10 Modellazione delle azioni

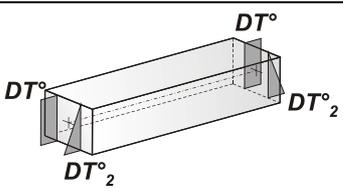
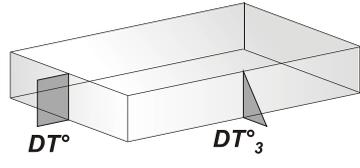
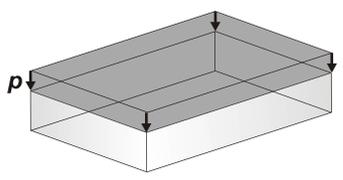
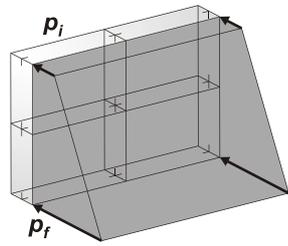
Le tabelle successive dettagliano i valori caratteristici di ogni azione in relazione al tipo.

1	carico concentrato nodale 6 dati (forza Fx, Fy, Fz, momento Mx, My, Mz)
2	spostamento nodale impresso

	6 dati (spostamento T_x, T_y, T_z , rotazione R_x, R_y, R_z)
3	carico distribuito globale su elemento tipo trave 7 dati ($f_x, f_y, f_z, m_x, m_y, m_z$, ascissa di inizio carico) 7 dati ($f_x, f_y, f_z, m_x, m_y, m_z$, ascissa di fine carico)
4	carico distribuito locale su elemento tipo trave 7 dati ($f_1, f_2, f_3, m_1, m_2, m_3$, ascissa di inizio carico) 7 dati ($f_1, f_2, f_3, m_1, m_2, m_3$, ascissa di fine carico)
5	carico concentrato globale su elemento tipo trave 7 dati ($F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z$, ascissa di carico)
6	carico concentrato locale su elemento tipo trave 7 dati ($F_1, F_2, F_3, M_1, M_2, M_3$, ascissa di carico)
7	variazione termica applicata ad elemento tipo trave 7 dati (variazioni termiche: uniforme, media e differenza in altezza e larghezza al nodo iniziale e finale)
8	carico di pressione uniforme su elemento tipo piastra 1 dato (pressione)
9	carico di pressione variabile su elemento tipo piastra 4 dati (pressione, quota, pressione, quota)
10	variazione termica applicata ad elemento tipo piastra 2 dati (variazioni termiche: media e differenza nello spessore)
11	carico variabile generale su elementi tipo trave e piastra 1 dato descrizione della tipologia 4 dati per segmento (posizione, valore, posizione, valore) la tipologia precisa l'ascissa di definizione, la direzione del carico, la modalità di carico e la larghezza d'influenza per gli elementi tipo trave
12	gruppo di carichi con impronta su piastra 9 dati (numero di ripetizioni in direzione X e Y, valore di ciascun carico, posizione centrale del primo, dimensioni dell'impronta, interasse tra i carichi)



Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

 <p>Carico termico 2D</p>	 <p>Carico termico 3D</p>
 <p>Carico pressione uniforme</p>	 <p>Carico pressione variabile</p>

Tipo carico concentrato nodale

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

Tipo carico di pressione uniforme su piastra

Id	Tipo	pressione
		kN/ m2
5	Sovraccarico Piastra-P3;p= 1.000e-02	1.00
9	Incremento dinamico Spinta X-P3;p= 5.000e-02	5.00
10	Incremento dinamico Spinta Y-P3;p= 5.000e-02	5.00

Tipo carico di pressione variabile su piastra

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

Sono previsti i seguenti 11 tipi di casi di carico:

	Sigla	Tipo	Descrizione
1	Ggk	A	caso di carico comprensivo del peso proprio struttura
2	Gk	NA	caso di carico con azioni permanenti
3	Qk	NA	caso di carico con azioni variabili
4	Gsk	A	caso di carico comprensivo dei carichi permanenti sui solai e sulle coperture

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



5	Qsk	A	caso di carico comprensivo dei carichi variabili sui solai
6	Qnk	A	caso di carico comprensivo dei carichi di neve sulle coperture
7	Qtk	SA	caso di carico comprensivo di una variazione termica agente sulla struttura
8	Qvk	NA	caso di carico comprensivo di azioni da vento sulla struttura
9	Esk	SA	caso di carico sismico con analisi statica equivalente
10	Edk	SA	caso di carico sismico con analisi dinamica
11	Etk	NA	caso di carico comprensivo di azioni derivanti dall' incremento di spinta delle terre in condizione sismica
12	Pk	NA	caso di carico comprensivo di azioni derivanti da coazioni, cedimenti e precompressioni

CDC	Tipo	Sigla Id	Note
1	Ggk	CDC=Ggk (peso proprio della struttura)	
2	Gk	CDC=G1k (Peso Trafo)	Nodo: 1785 Azione : Peso Proprio-CN:Fz=-4.415e+04
3	Qk	CDC=Qk (vento)	Nodo: 1785 Azione : Vento-CN:Fx=1001.20 Fy=760.90 Mx=1.370e+05 My= 1.802e+05
4	Gk	CDC=G1k (Spinta Statica Terreno)	D3 :da 521 a 1072 Azione : Spinta --PL3:pi=-5.000e-02 qi=0.0 pf=-0.19 qf=-172.50
5	Esk	CDC=Es (statico SLU) alfa=0.0 (ecc. 0)	partecipazione:1.00 per 1 CDC=Ggk (peso proprio della struttura) partecipazione:1.00 per 2 CDC=G1k (Peso Trafo) partecipazione:0.80 per 3 CDC=Qk (vento) partecipazione:1.00 per 4 CDC=G1k (Spinta Statica Terreno) partecipazione:1.00 per 7 CDC=G1k (Morsetti) partecipazione:1.00 per 8 CDC=G1k (Sisma x) partecipazione:1.00 per 9 CDC=G1k (Sisma y) partecipazione:0.80 per 10 CDC=Qk (Sovraccarico Piastra)
6	Esk	CDC=Es (statico SLU) alfa=90.00 (ecc. 0)	come precedente CDC sismico
7	Gk	CDC=G1k (Morsetti)	Nodo: 1785 Azione : Carico Morsetti-CN:Fx=80.00 Fy=80.00 Fz=-80.00 Mx=4240.00 My=4240.00
8	Gk	CDC=G1k (Sisma x)	Nodo: 1785 Azione : Sisma x-CN:Fx= 2.098e+04 Fz=-1.154e+04 My= 3.776e+06 D3 :da 521 a 832 Azione : Incremento dinamico Spinta X-P3:p=5.000e-02
9	Gk	CDC=G1k (Sisma y)	Nodo: 1785 Azione : Sisma y-CN:Fy= 2.098e+04 Fz=-1.154e+04 Mx= 3.776e+06 D3 :da 833 a 1072 Azione : Incremento dinamico Spinta Y-P3:p=5.000e-02
10	Qk	CDC=Qk (Sovraccarico Piastra)	D3 : 1181 Azione : Sovraccarico Piastra-P3:p= 1.000e-02 D3 :da 1313 a 1831 Azione : Sovraccarico Piastra-P3:p= 1.000e-02

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

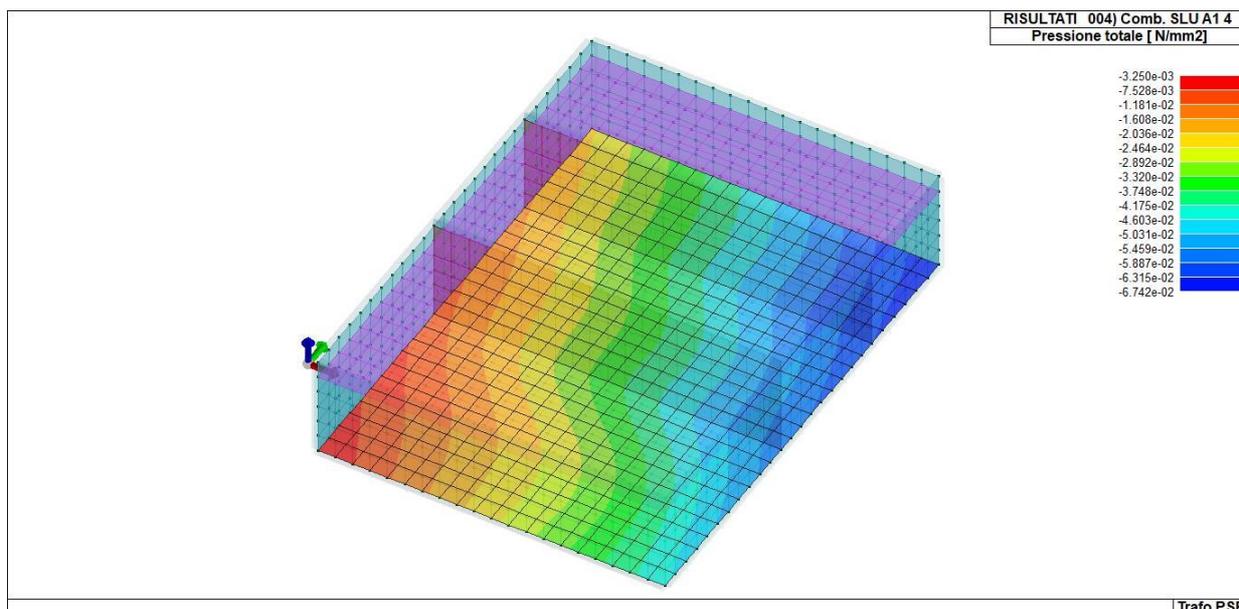


Figura 12-9 – RIS_PRESSIONI_004_Comb. SLU A1 4

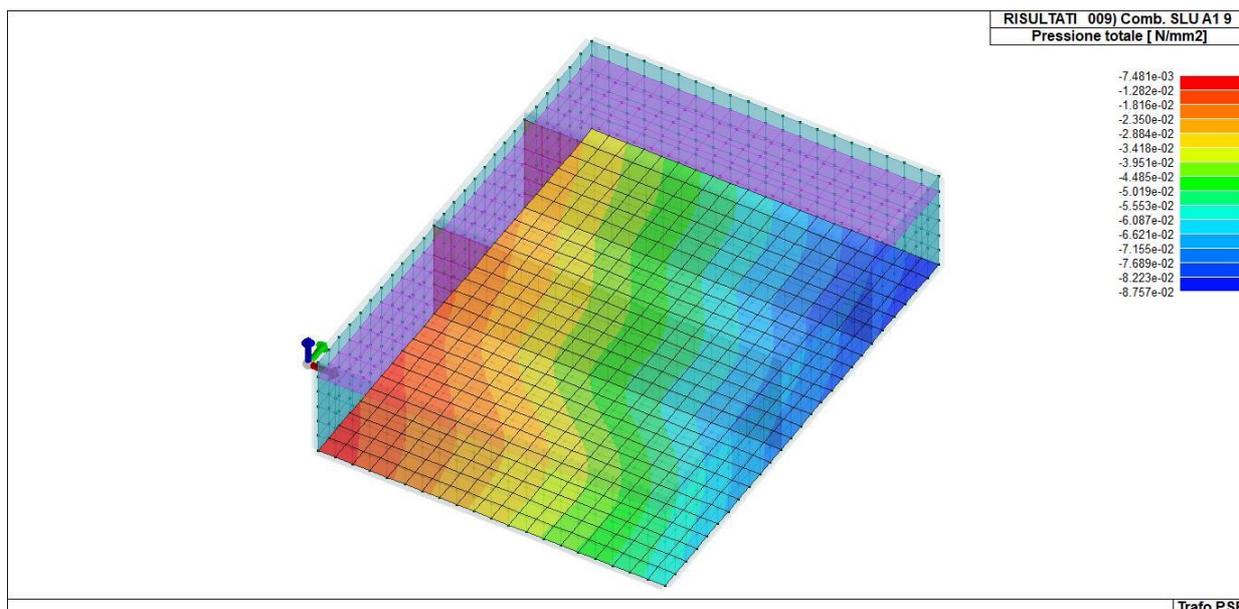


Figura 12-10 – RIS_PRESSIONI_009_Comb. SLU A1 9

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

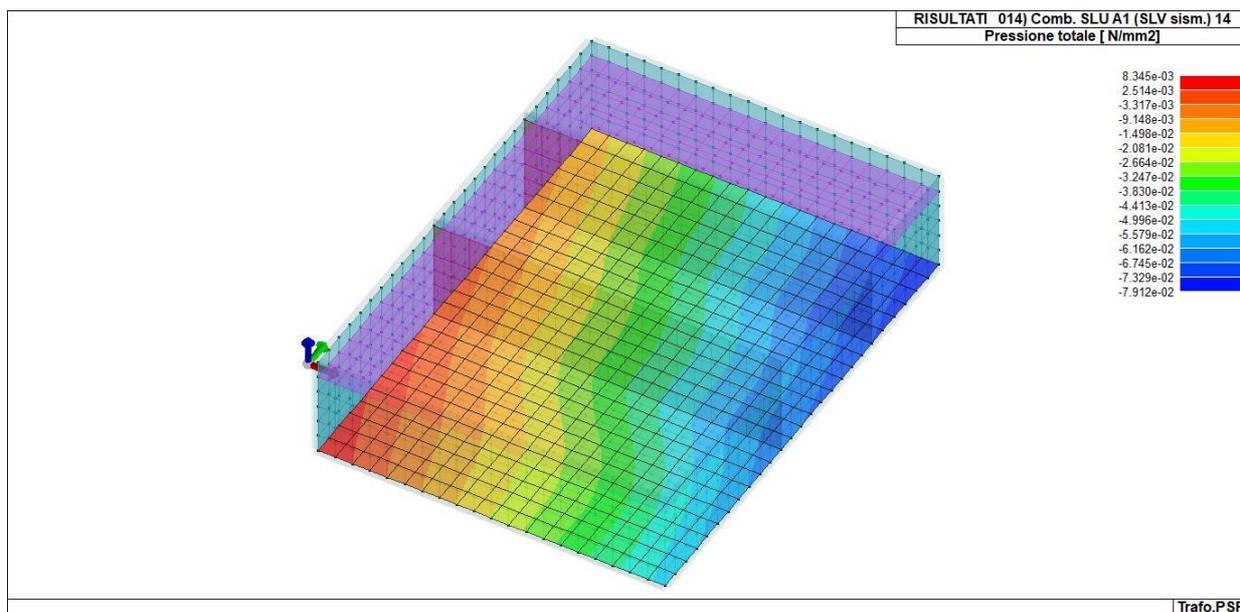


Figura 12-11 – RIS_PRESSIONI_014_Comb. SLU A1 (SLV sism.) 14

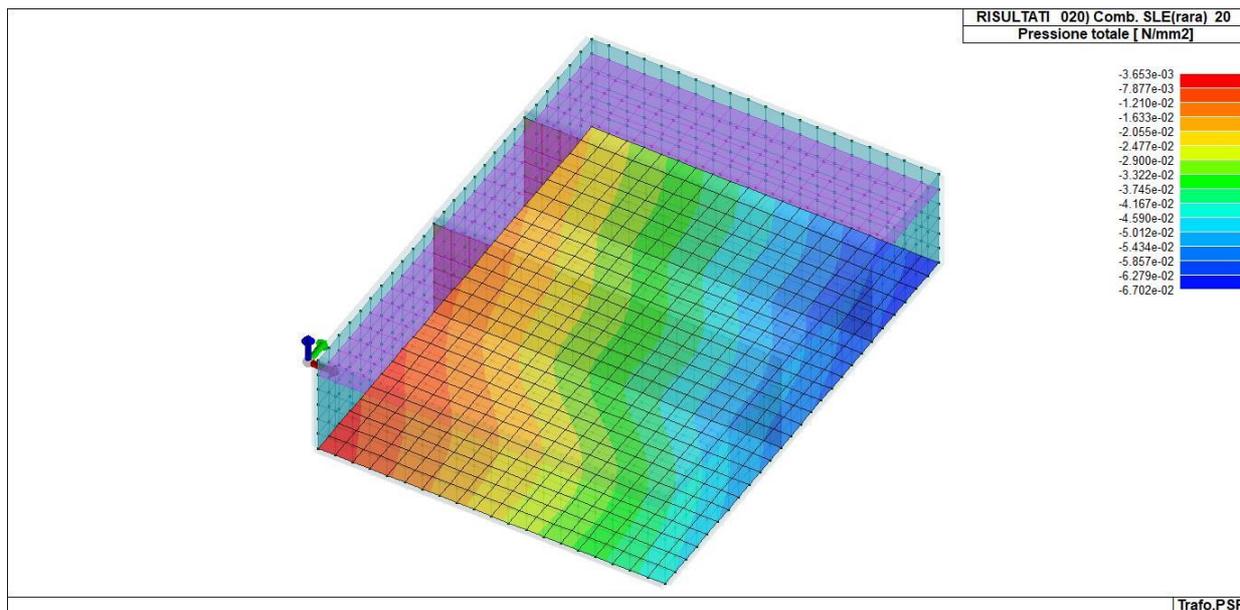


Figura 12-12 – RIS_PRESSIONI_020_Comb. SLE(rara) 20

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

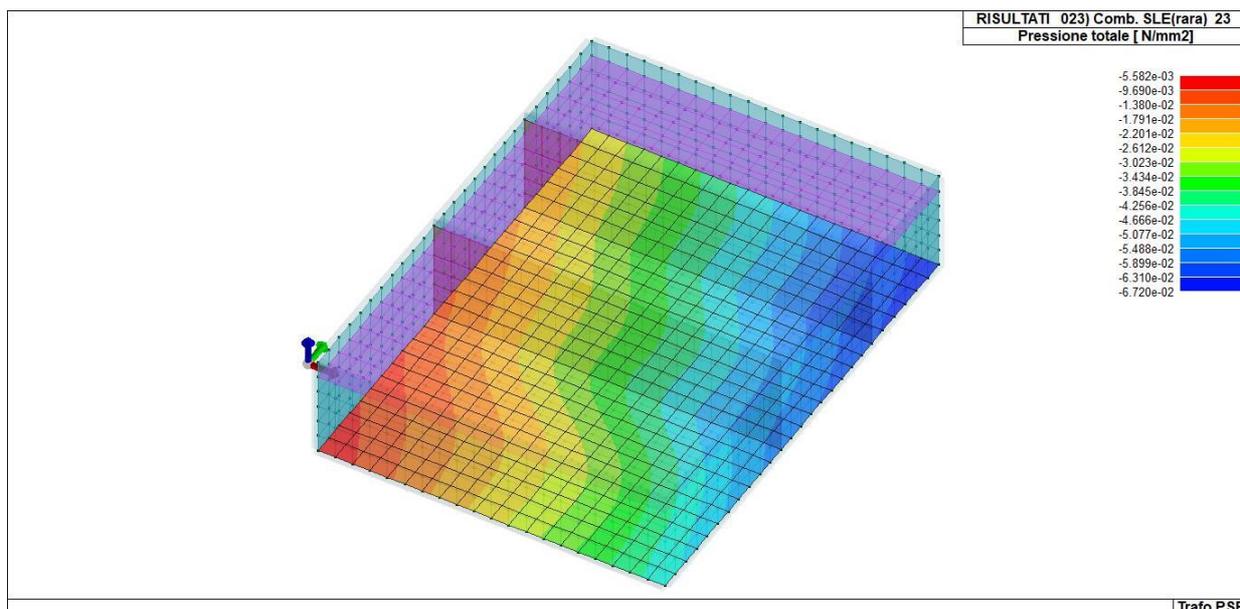


Figura 12-13 – RIS_PRESSIONI_023_Comb. SLE(rara) 23

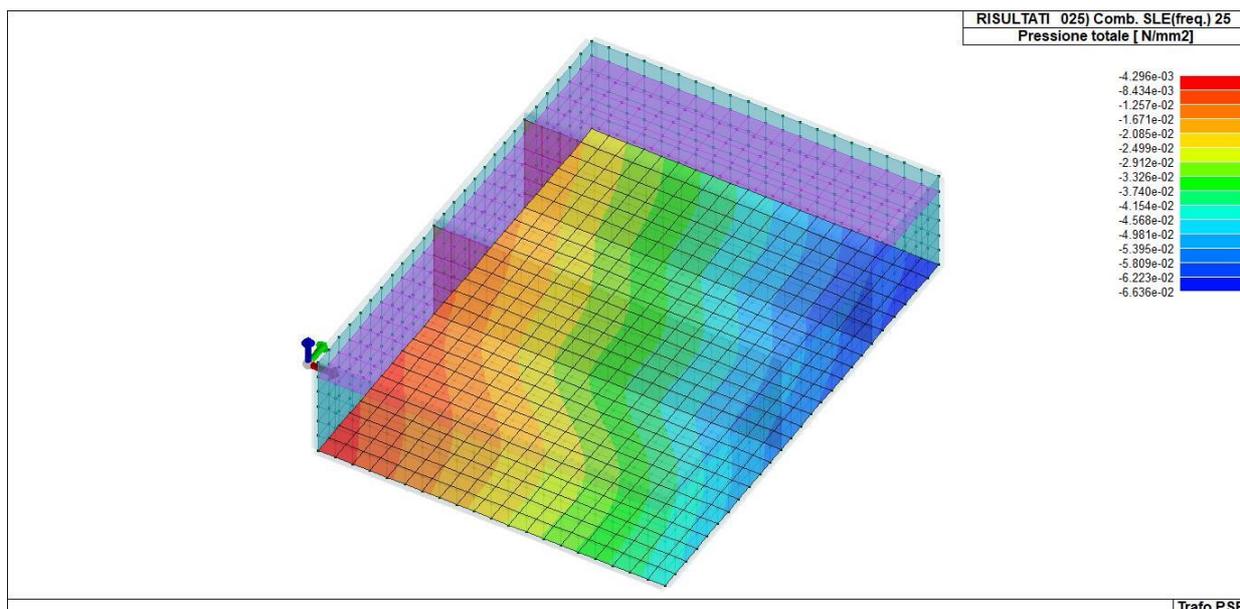


Figura 12-14 – RIS_PRESSIONI_025_Comb. SLE(freq.) 25

12.2.11 Verifiche elementi parete e/o guscio in c.a.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Parete	Numero della PARETE SISMICA
Parete PDA	Numero della PARETE DEBOLMENTE ARMATA
H totale	Altezza complessiva della parete

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



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

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

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

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

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

Quota	Ascissa verticale di riferimento
Af conf.	Numero e diametro armatura presente in una zona confinata
Af std	Diametro e passo armatura in zona non confinata (doppia maglia)
Af estremi	Diametro dei ferri di estremità del pannello; se posto uguale 0, viene utilizzato il diametro standard
Af V (ori)	Diametro e passo armatura orizzontale (doppia maglia)

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



Ver. N	Rapporto tra azione di calcolo e resistenza a compressione (normalizzato a 1 in quanto da confrontare con 40% in CDB e 35 % in CDA)
Ver. N/M	Rapporto tra azione di calcolo e resistenza a pressoflessione
Ver. V acc(7)	Rapporto tra azione di calcolo e resistenza a taglio-trazione per alfa _S minore di 2 secondo paragrafo 7.4.4.5.1
Ver. V cls	Rapporto tra azione di calcolo e resistenza a taglio-compressione
Ver. V acc	Rapporto tra azione di calcolo e resistenza a taglio-trazione
Ver. V scorr.	Rapporto tra azione di calcolo e resistenza a taglio scorrimento
N add	Sforzo assiale di cui al punto 7.4.4.5.1 da sommare e sottrarre nelle verifiche quando q supera 2
N invil M invil	Involuppo del Momento e Sforzo Normale come al punto 7.4.4.5.1 (informativo) (solo in Parete Sismica)

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

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

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

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

Nodo	numero del nodo
Stato	codice di verifica dell'elemento ok o NV
V. 6.47	Fattore di sicurezza per la verifica per piastre prive di armature a taglio lungo il perimetro resistente U1
V. 6.53	Fattore di sicurezza per la verifica per piastre prive di armature a taglio lungo il perimetro del pilastro U0
Beta	Fattore di incremento dovuto ai momenti flettenti
f. a fon	fattore di amplificazione per le fondazioni (solo per gusci di fondazione)

f. Uout	fattore di amplificazione dell'altezza utile per individuare il perimetro di verifica lungo il quale l'armatura a taglio non è richiesta
Aw tot	Quantitativo di armatura per la verifica di piastre munite di armatura (formula 6.52 dell'EC2)
Asw,min	Quantitativo minimo di armatura previsto dai dettagli costruttivi (formula 9.11 dell'EC2)
n. x serie	Numero di serie di armature
n.ser 0(R)	Numero di braccia delle armatura in direzione 0 (o numero di braccia radiale)
n.ser 90	Numero di braccia delle armatura in direzione 90 (solo se armatura cruciforme)
Rif. cmb	Riferimento combinazioni da cui si generano le verifiche più gravose

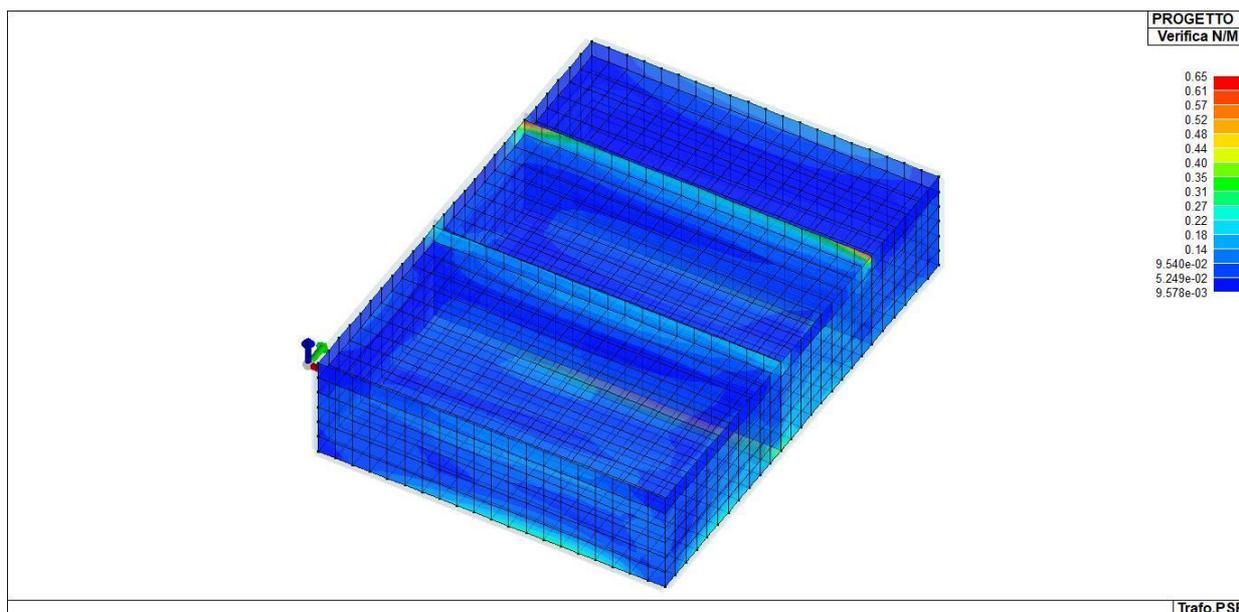


Figura 12-15 – Verifiche elementi shell N/M

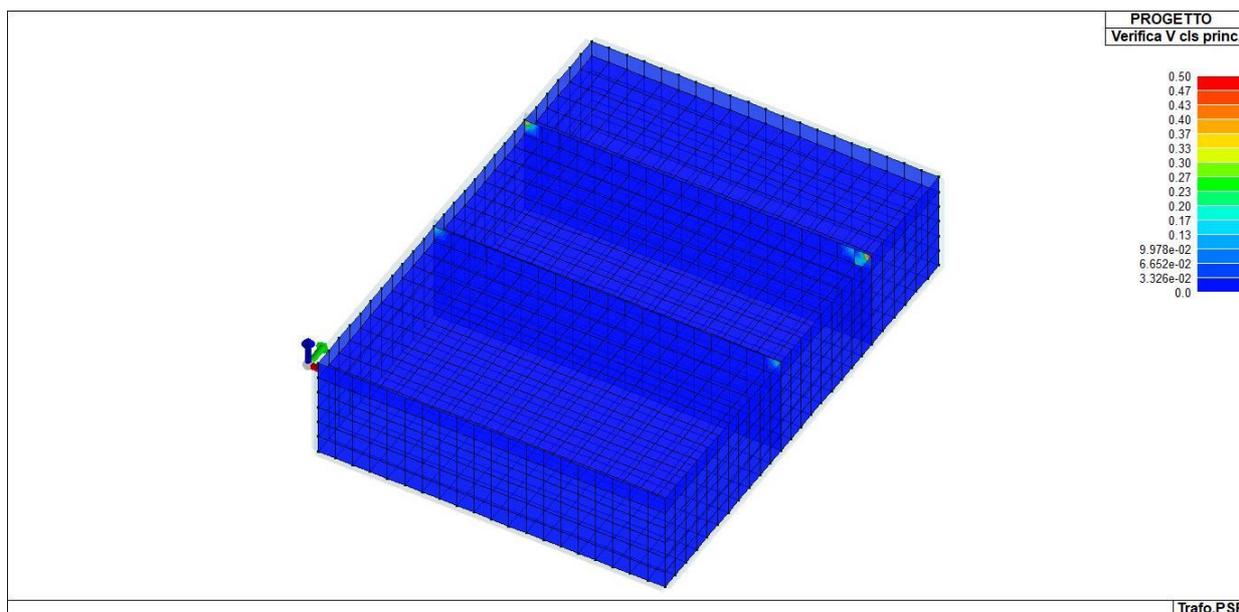


Figura 12-16 – Verifiche elementi shell cls princ

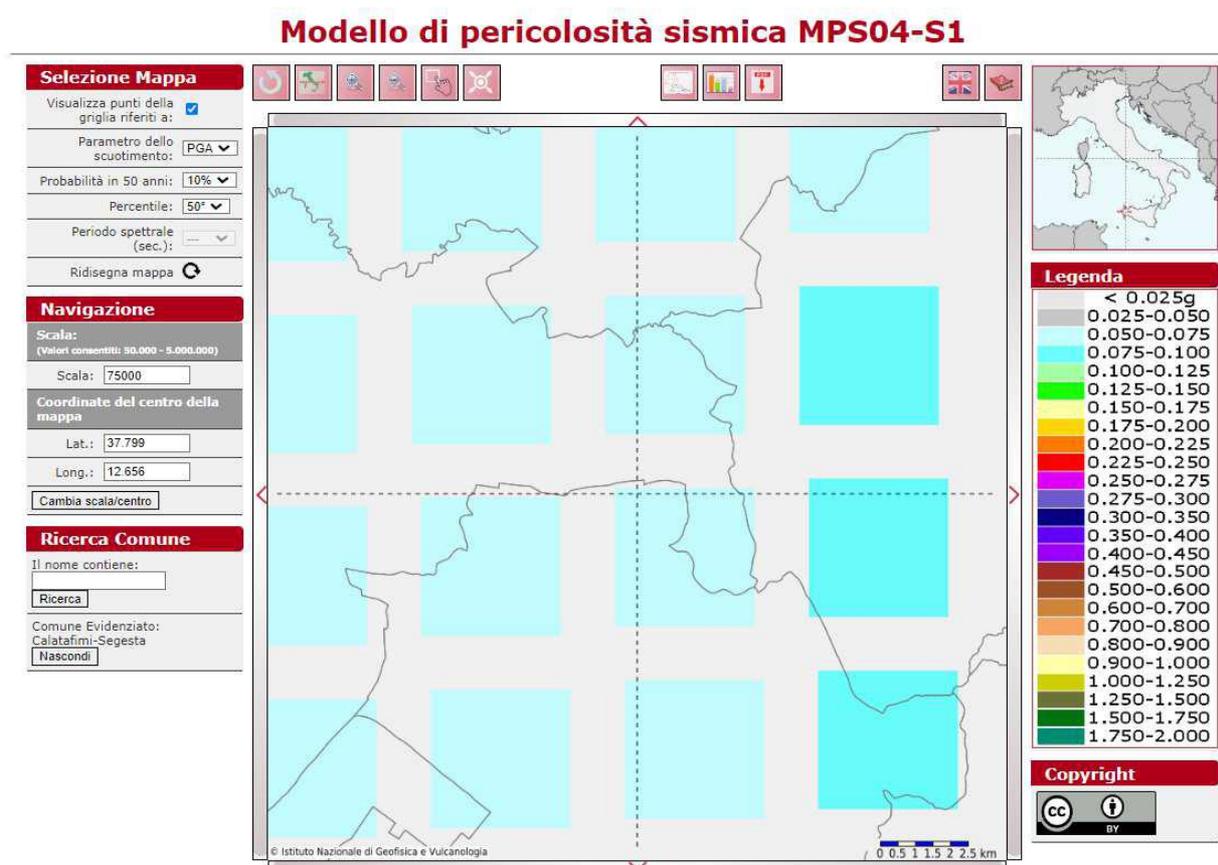
Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

12.3 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Ai fini del calcolo dell'azione sismica, si considerano i seguenti parametri:

12.3.1 Reticolo di riferimento

La pericolosità sismica su reticolo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/>. Per punti non coincidenti con il reticolo di riferimento e periodi di ritorno non contemplati direttamente si opera come indicato nell'allegato alle NTC (rispettivamente media



12.3.2 Parametri di riferimento

L'azione sismica viene definita in relazione ad un periodo di riferimento V_r che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale per il coefficiente d'uso (vedi tabella Parametri della struttura). Fissato il periodo di riferimento V_r e la probabilità di superamento P_{ver} associata a ciascuno degli stati limite considerati, si ottiene il periodo di ritorno T_r e i relativi parametri di pericolosità sismica (vedi tabella successiva):

ag: accelerazione orizzontale massima del terreno;

Fo: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T*c: periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

Parametri della struttura					
Classe d'uso	Vita Vn [anni]	Coeff. Uso	Periodo Vr [anni]	Tipo di suolo	Categoria topografica
I	50.0	1.0	50.0	C	T1

Individuati su reticolo di riferimento i parametri di pericolosità sismica si valutano i parametri spettrali riportati in tabella:

- S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente $S = S_s * S_t$
- Fo è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale
- Fv è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima verticale, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno ag su sito di riferimento rigido orizzontale
- Tb è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante.
- Tc è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a velocità costante.
- Td è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a spostamento costante.

Lo spettro di progetto va modificato in presenza di condizioni locali che si discostano significativamente da quelle standard di terreno piano rigido.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VS,eq (in m/s).

12.3.3 Categoria Topografica

Nel nostro caso si considera la categoria topografica T1 "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ "; pertanto $S_t=1,0$

12.3.4 Categoria del suolo di fondazione

Il suolo di fondazione è stato desunto dalle indagini in situ effettuate, correlate da indicazioni stratigrafiche e sismiche bibliografiche.

Nello specifico all'interno dell'area di progetto sono state condotte analisi sismiche MASW.

Dalle risultanze delle analisi sismiche eseguite con la metodologia precedentemente descritta, si desume che per l'intera area di progetto il suolo rientra nella categoria C "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s"

Calcolo dell'azione sismica

Per la descrizione del moto sismico in un punto della superficie del suolo ci si basa su un modello di riferimento costituito dallo Spettro di risposta elastico o, per applicazioni particolari, su

accelerogrammi.

I valori che possono essere restituiti sono quelli relativi al fattore S che tiene conto del profilo stratigrafico del suolo di fondazione ed ai fattori TB, TC, TD che rappresentano i periodi che separano i diversi rami dello spettro e dipendono anch'essi dal profilo stratigrafico del suolo di fondazione.

SL	Tr (anni)	Ag (g)	Fo	T*c (sec)
SLO	30.0	0.165	2.371	0.160
SLD	50.0	0.219	2.367	0.237
SLV	475.0	0.485	2.648	0.439
SLC	975.0	0.571	2.817	0.457

SL	S	Tb (sec)	Tc (sec)	Td (sec)
SLO	1.500	0.094	0.281	1.666
SLD	1.500	0.111	0.333	1.691
SLV	1.500	0.160	0.479	1.838
SLC	1.500	0.167	0.500	1.908

Ai sensi del cap. 7.0 della NTC2018, per le costruzioni caratterizzate, allo SLV, dalla condizione:

$$ag \cdot S < 0.075g$$

12.3.5 Combinazione dei carichi

Sono previsti i seguenti casi di carico:

ID	Sigla	Descrizione
1	Ggk	peso proprio degli elementi strutturali
4	Gsk	carichi permanenti sui solai di copertura
5	Qsk	carichi variabili sui solai di copertura
8	Qvk	carico sismico

I diversi tipi di casi di carico (CDC) vengono combinati secondo le regole previste dalla normativa vigente.

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni:

Combinazione fondamentale SLU

$$\gamma G1 \cdot G1 + \gamma G2 \cdot G2 + \gamma P \cdot P + \gamma Q1 \cdot Qk1 + \gamma Q2 \cdot \psi 02 \cdot Qk2 + \gamma Q3 \cdot \psi 03 \cdot Qk3 + \dots$$

Combinazione caratteristica (rara) SLE

$$G1 + G2 + P + Qk1 + \psi 02 \cdot Qk2 + \psi 03 \cdot Qk3 + \dots$$

Combinazione frequente SLE

$$G1 + G2 + P + \psi 11 \cdot Qk1 + \psi 22 \cdot Qk2 + \psi 23 \cdot Qk3 + \dots$$

Combinazione quasi permanente SLE

$$G1 + G2 + P + \psi 21 \cdot Qk1 + \psi 22 \cdot Qk2 + \psi 23 \cdot Qk3 + \dots$$

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



sismica E

$$E + G1 + G2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

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

$$G1 + G2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

Ai sensi del cap. 7.0 delle NTC 2018 per azioni sismiche si richiede la sola verifica nei confronti dello SLV

12.4 VERIFICHE GEOTECNICHE

12.4.1 Caratterizzazione dell'area di sedime

Il substrato sul quale verrà fondata la struttura è stato caratterizzato geologicamente e geotecnicamente; si riportano i parametri meccanici significativi:

Livello Geotecnico (2): Depositi alluvionali costituiti da limi, limi sabbiosi, sabbie, sabbie limose e ghiaie con giacitura sub orizzontale ed assetto lenticolare embriciato

I parametri geotecnici caratteristici sono:

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

Comportamento Strato: Granulare sciolto

Stato di addensamento: da med. addensato a semicoerente.

12.4.2 Verifiche di capacità portante

L'andamento delle tensioni che la struttura trasmette al suolo è rappresentato nell'immagine seguente

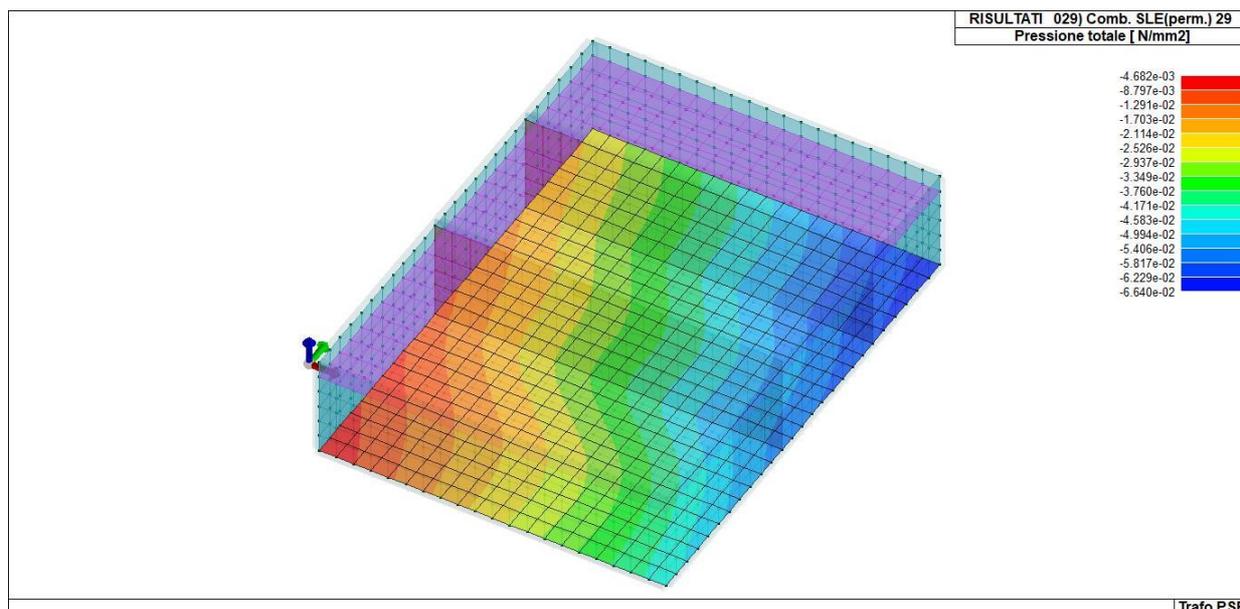
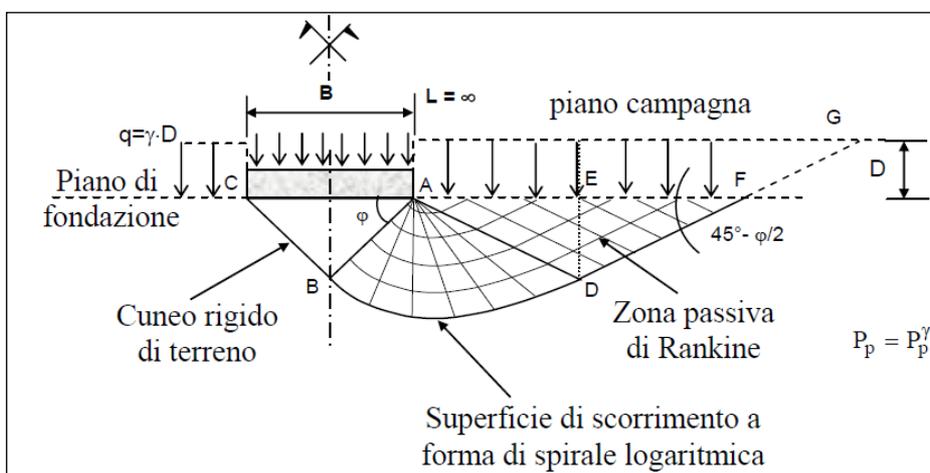


Figura 12-17 – ANDAMENTO DEI CARICHI AL SUOLO

Il valore medio dei carichi al suolo è pari a circa 0.80 daN/cm², ch  è lontano dai valori di carico limite del sedime in esame, come di seguito dimostrato:

Ai fini della verifica della capacit  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   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 pi  generale  :

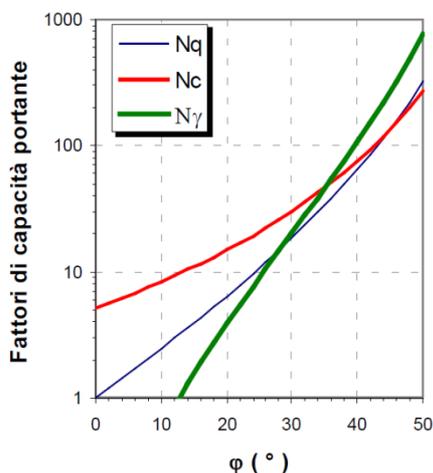
$$q_{lim} = [q N_q] + [c N_c] + [1/2 * \gamma B' N_\gamma]$$

in cui:

- q :   la tensione verticale geostatica, valutata in corrispondenza del piano di posa della fondazione, alla quale possono aggiungersi carichi esterni se esistenti;
- c   la coesione del volume di terreno al di sotto della fondazione.

- $1/2 \cdot \gamma \cdot B$ rappresenta la tensione geostatica a profondità pari a $B/2$ dal piano di posa (γ e B sono rispettivamente il peso dell'unità di volume la larghezza della fondazione)

I termini N_q , N_c , N_γ 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_γ) che modificano la formula come di seguito:

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

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_γ
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	1,80	m
insert profondità falda "d"	d	assente	m
Insert "peso volume"	γ_1	1500	daN/mc
Insert "peso volume"	γ_2	2000	daN/mc
Insert "coesione"	c	0,04	daN/cm ²
Insert "angolo di resist a taglio"	ϕ	30	°

Fattori di capacità portante	N_γ	22,40
	N_q	18,40
	N_c	30,14

Fattori di forma	S_γ	0,93
	S_q	1,10

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

Sc

1,11

Risultati

Carico limite Q lim

25,79

 daN/cm²
 Carico ammissibile Q lim/3

8,60

 daN/cm²

Esito verifiche

Carico esercizio Q es

18,00

 kN/m²
 Carico ammissibile Q adm

859,00

 kN/m²
 Fattore sicurezza Fs

47,00

 OK

12.5 EDIFICIO DI COMANDO

12.5.1 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.

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

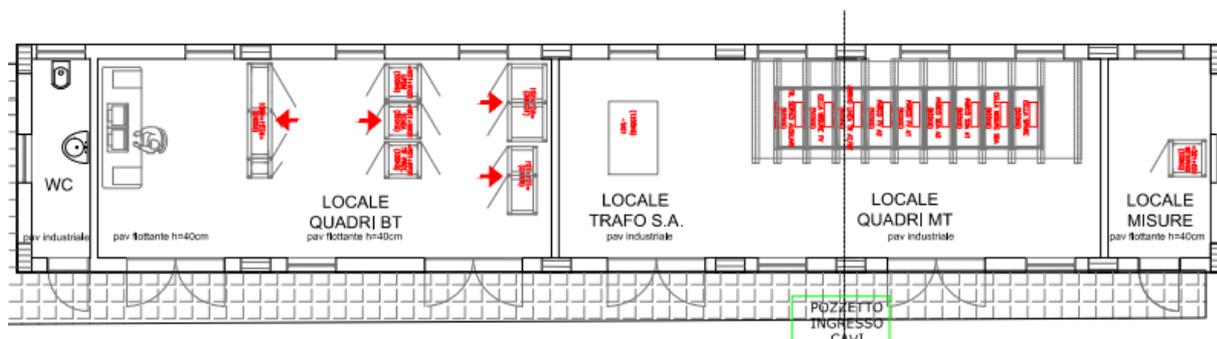


Figura 12-18 – Pianta edificio di comando

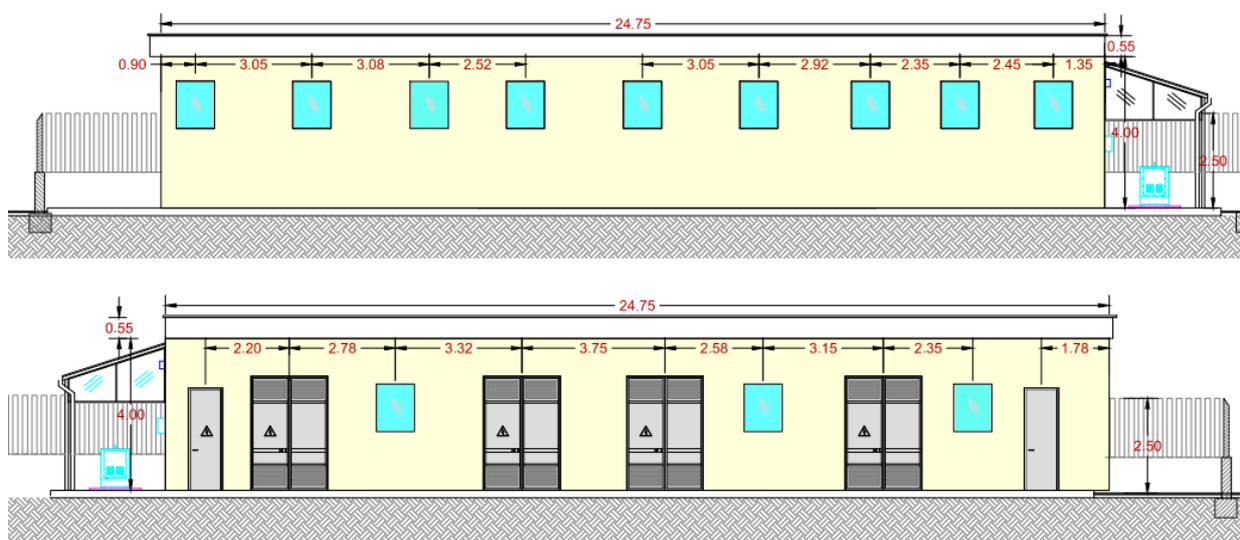


Figura 12-19 – Prospetti edificio di comando

12.5.2 Generazione del modello

Il progetto si articola partendo dalla disposizione in pianta delle strutture verticali – sono stati previsti n.12 pilastri sezione 30x30.

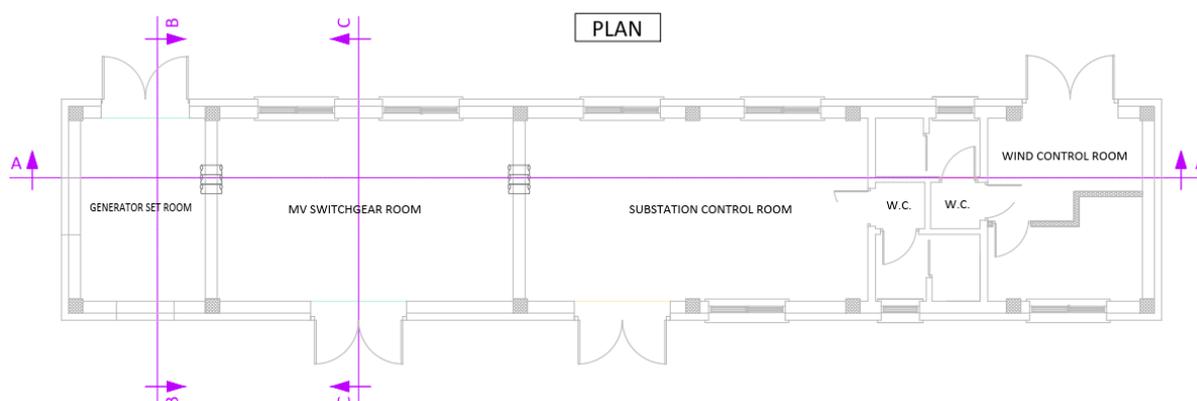


Figura 12-20 – Distribuzione delle strutture verticali

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

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 30x60, 30x45 e 45x25 sono stati modellati per mezzo di elementi asta
- i setti verticali 20x130 sono stati modellati per mezzo di elementi guscio bidimensionale
- la piastra spessore 25cm è stata modellata per mezzo di elemento guscio bidimensionale
- i pilastri e i setti sono stati vincolati al suolo con molle ad alta rigidezza, che simula un incastro al piede
- i solai sono stati considerati come piani rigidi, che trasferiscono alle travi di bordo i carichi permanenti ed accidentali.

I carichi trasferiti dai solai sono:

- peso proprio strutturale solaio sp 20+5 360 daN/mq
- carichi accidentali (cop. 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 410 daN/mq.

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

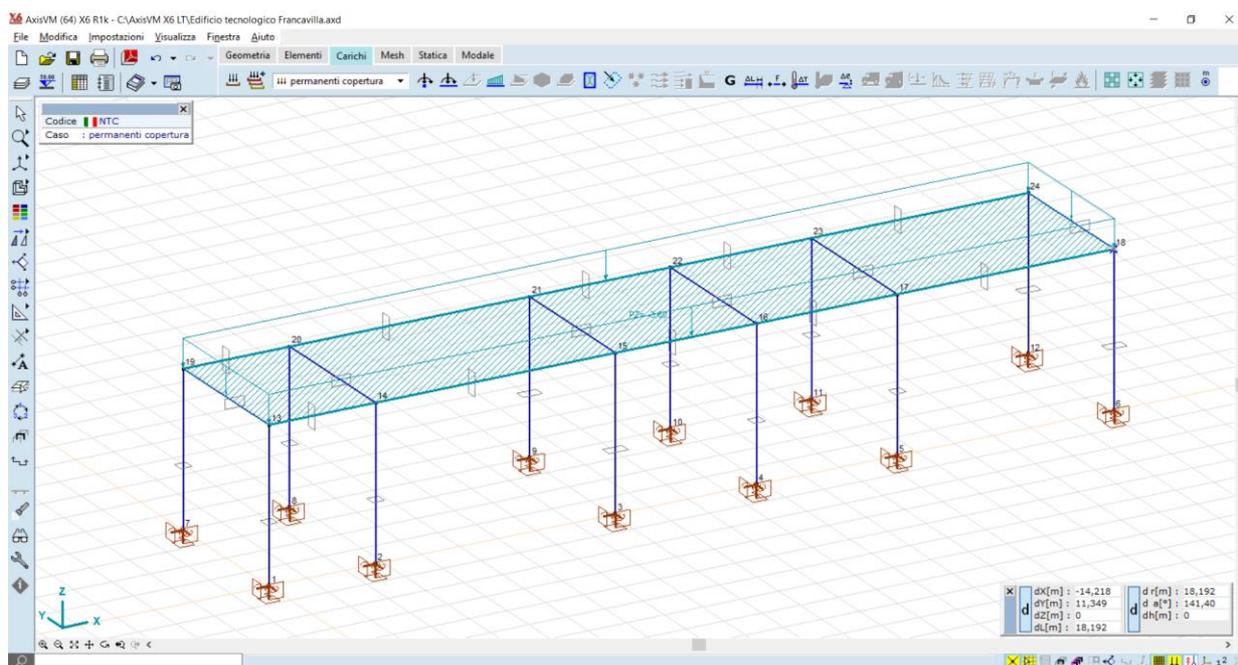


Figura 12-21 – Vista del modello a elementi finiti – carichi distribuiti

12.5.3 Calcolo delle sollecitazioni e deformazioni

Il solutore restituisce la soluzione del sistema, in termini di sollecitazioni e deformazioni

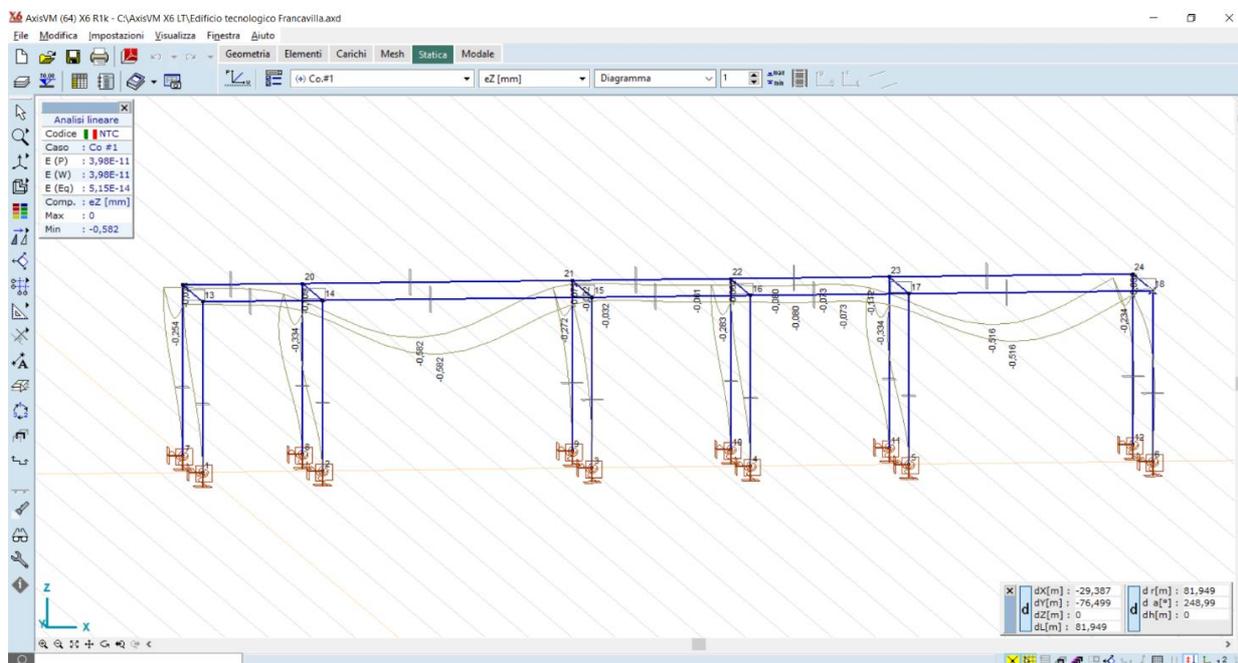


Figura 12-22 – diagramma delle deformazioni - Valori massimi 0.6 mm

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

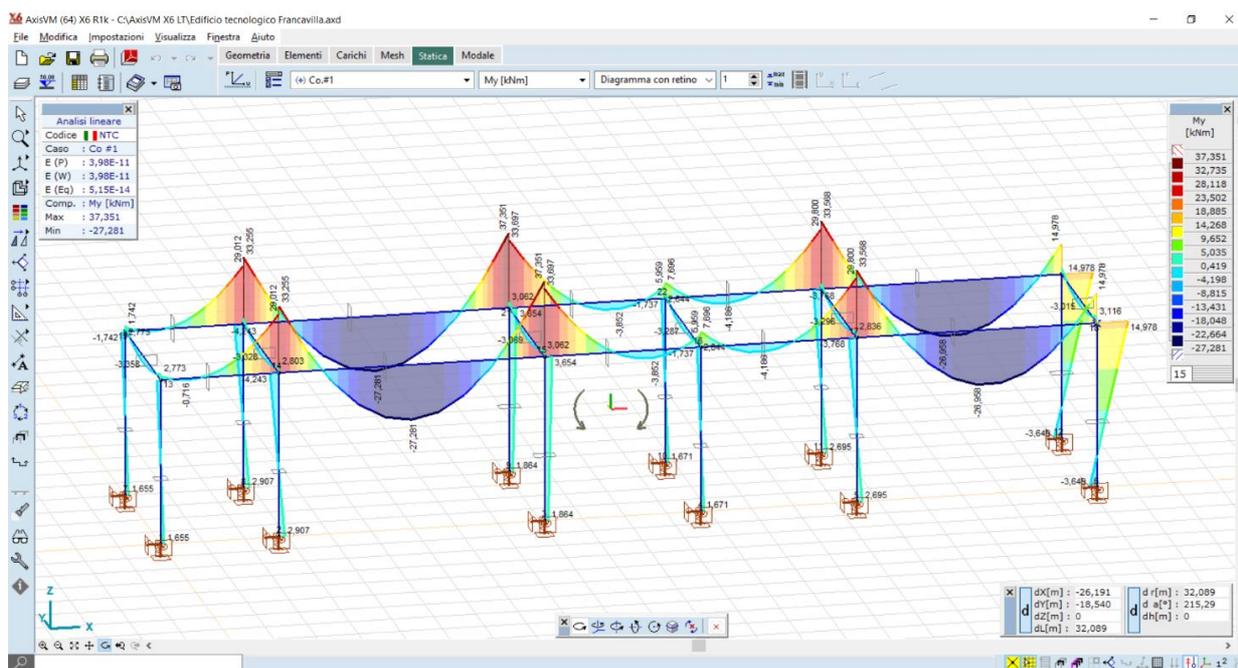


Figura 12-23 – Distribuzione delle strutture verticali

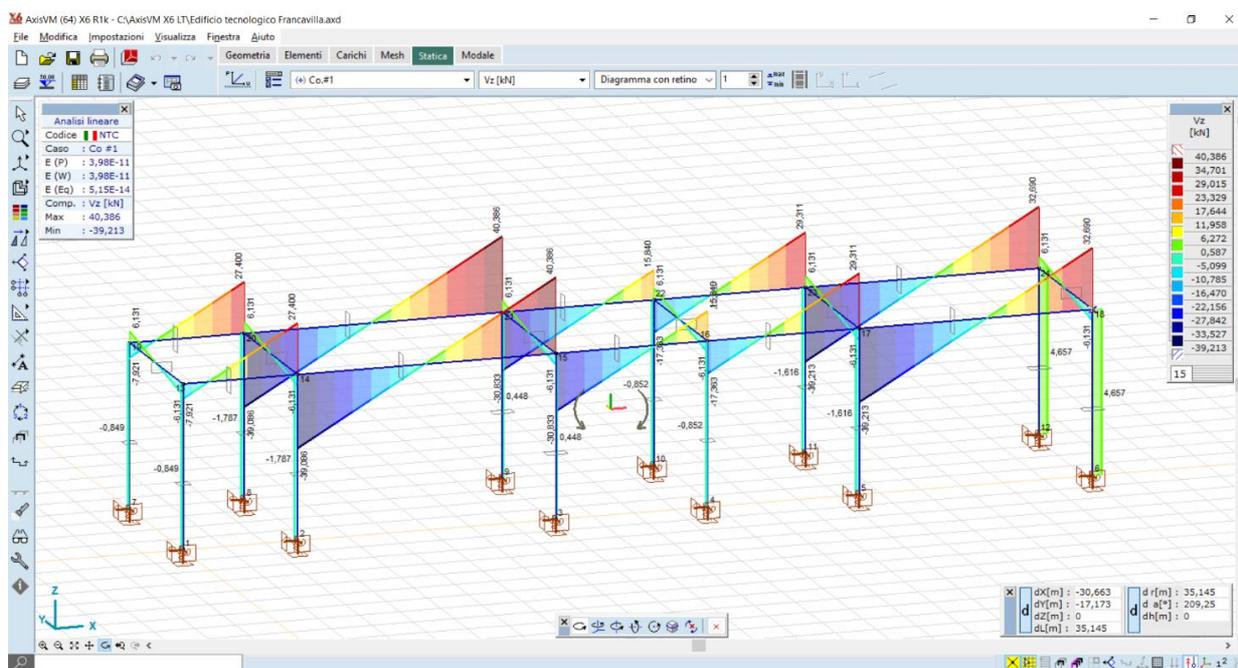


Figura 12-24 – Taglio Vz: Valori massimi 38 kN

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

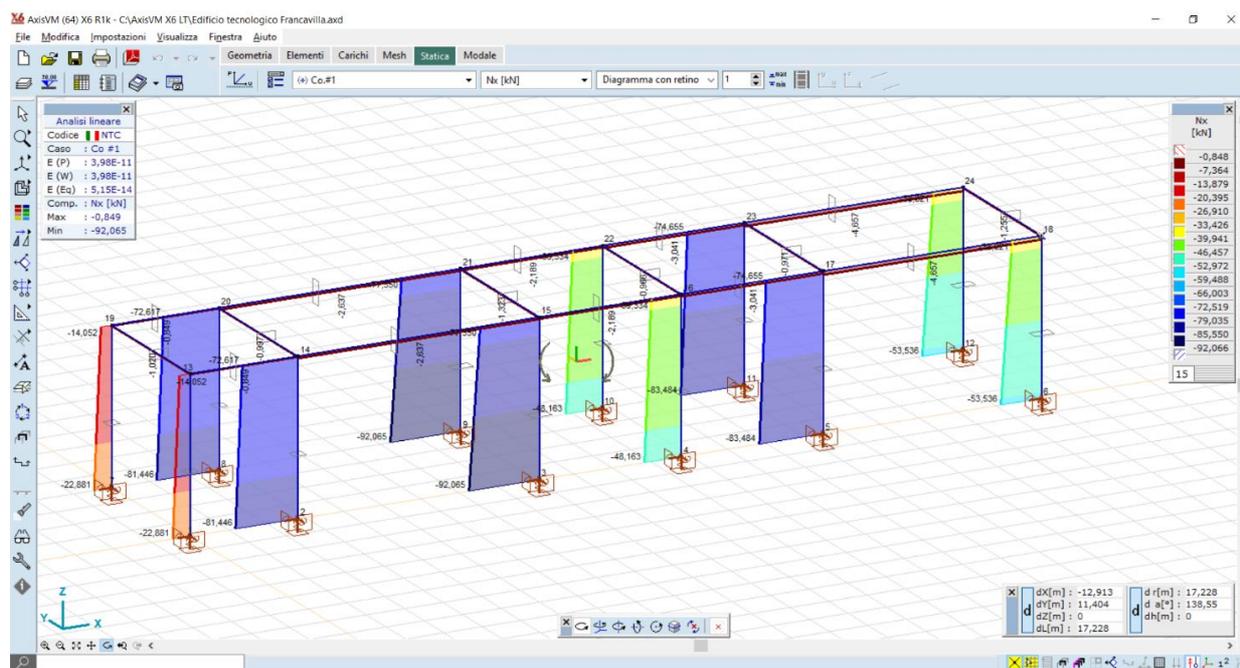


Figura 12-25 – Scarichi al piede Nx Valori massimi 92 kN

12.5.4 Azione sismica

Massa sismica solaio	400 daN/mq
Superficie solaio	100 mq
Massa sismica complessiva	40.000 daN
Tagliante di piano	5% (40.000) = 2.000 daN
Ripartizione su n.12 pilastri	2.000/12 = 170 daN/pil

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

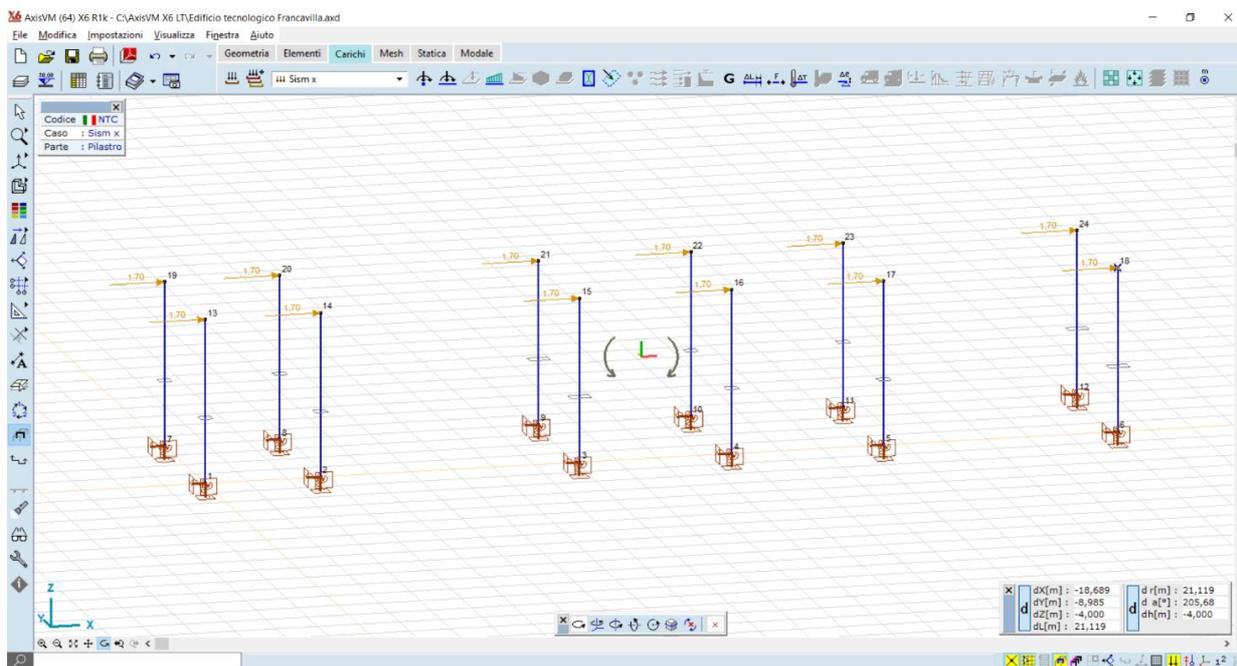


Figura 12-26 – Carico sismico dir X (sism X)

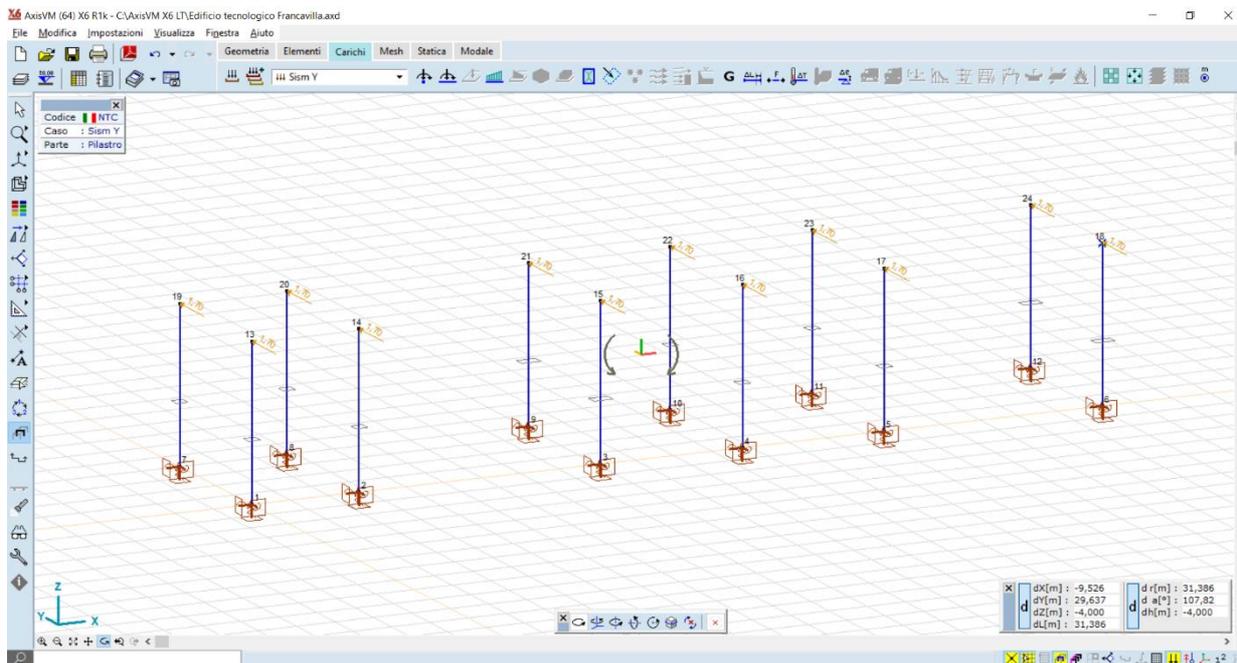


Figura 12-27 – Carico sismico dir Y (sism Y)

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



12.5.5 Combinazione dei carichi

	Nome	permanenti copertura	accidentali copertura n.a.	PP	Sism x	Sism Y	Commento
1	Co #1	1,00	1,00	1,00	0	0	Carichi statici
2	Co #2	1,00	1,00	1,00	1,00	0	sism X
3	Co #3	1,00	1,00	1,00	0	1,00	sism Y

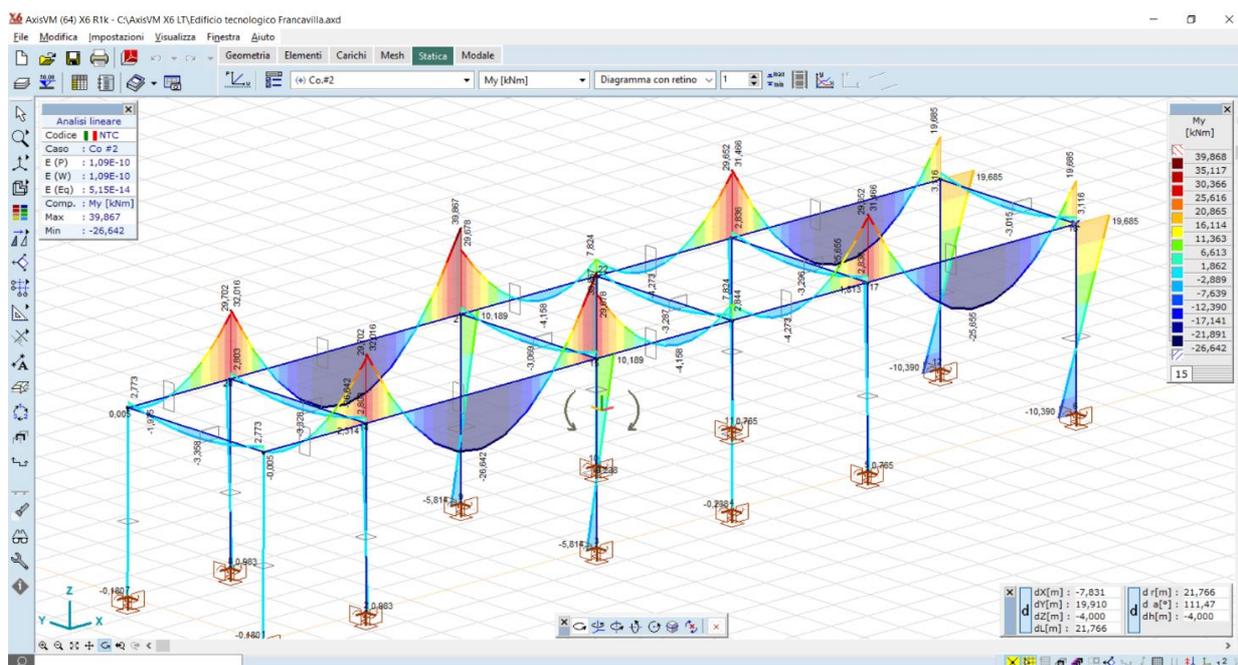


Figura 12-28 – sollecitazioni flessionali nelle travi - valori max 39 kN*m

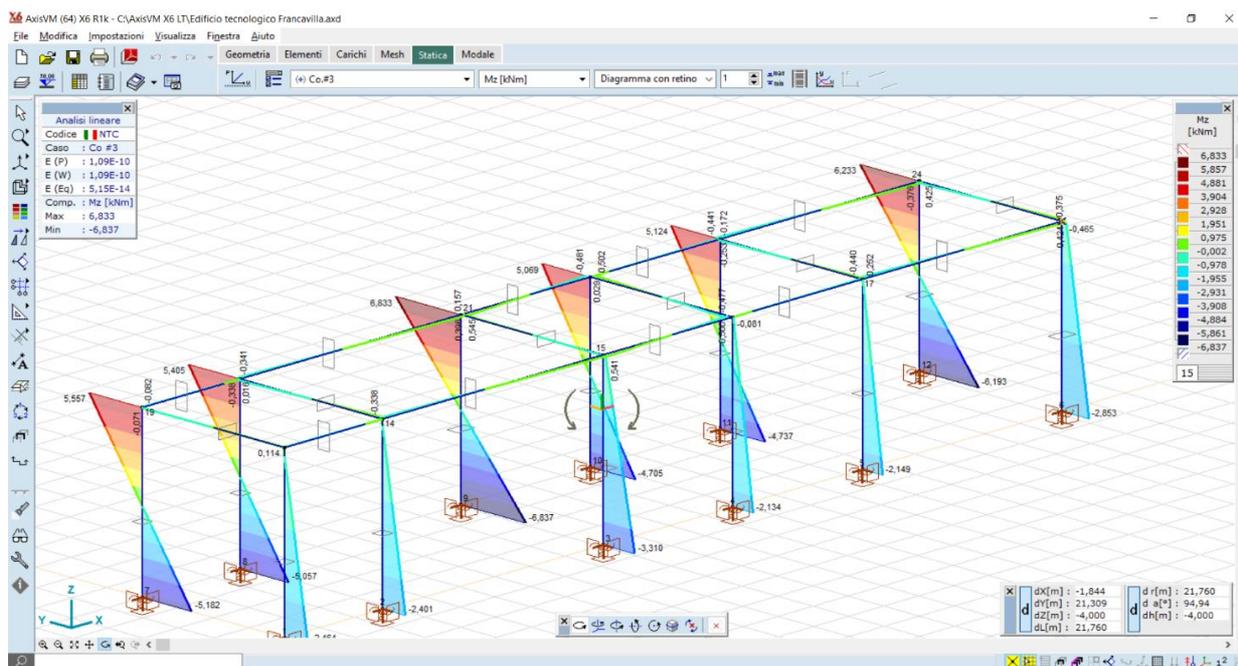


Figura 12-29 – sollecitazioni taglienti nelle travi Vz – valori max 40 kN

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "Grillo" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)

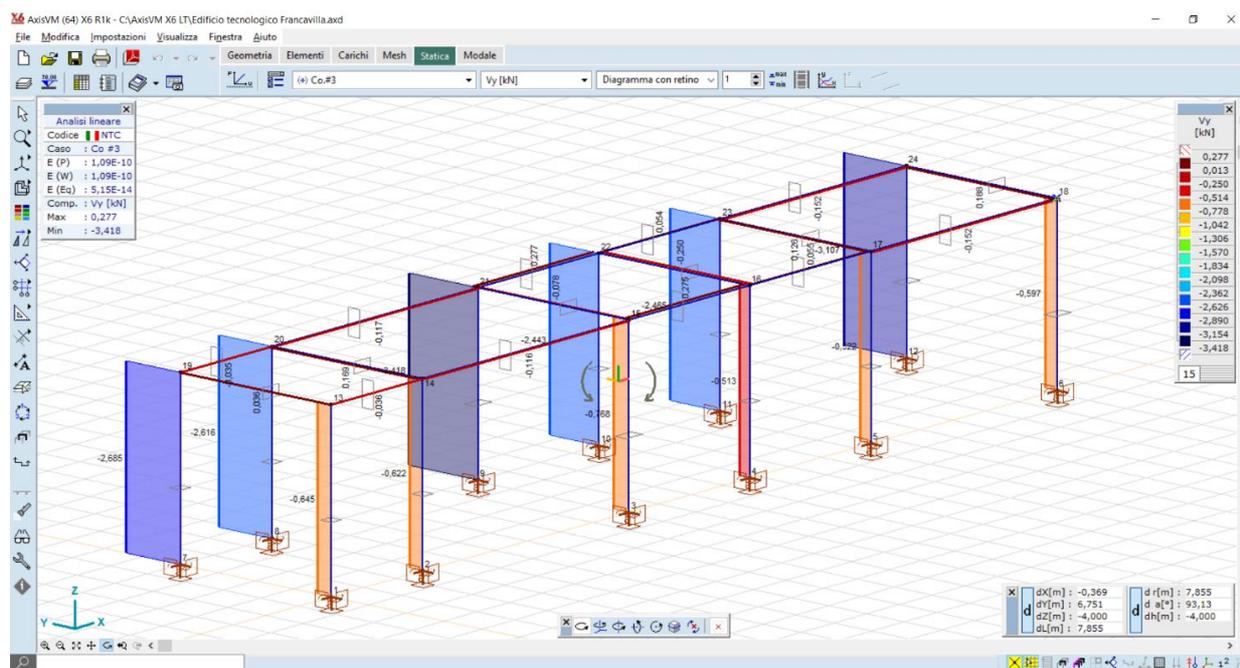


Figura 12-30 – sollecitazioni taglianti nei pilastri Vy – valori max 3,5 kN

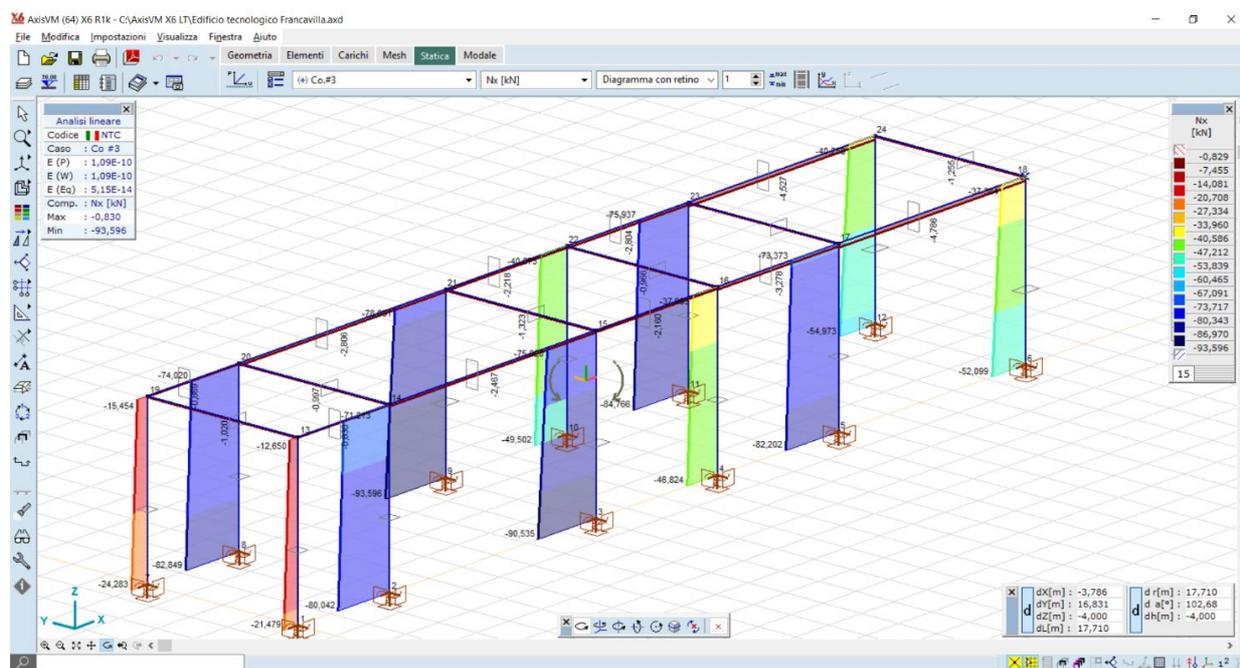


Figura 12-31 – azioni normali sui pilastri – valori max 92 kN

Impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 53,97 MW (45 MW in immissione) con annesso SdA della potenza di 10 MW e 80 MWh di capacità e opere connesse, denominato "*Grillo*" da realizzarsi nei comuni di Mazara del Vallo e Marsala (TP)



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.