

Impianto agro-fotovoltaico "Polmone" Comune di Ramacca (CT)

Proponente



SORGENIA ACQUARIUS S.r.l
Via Algardi, 4 – 20148 Milano
tel. 02 671941 – fax 02 67194210
<http://www.sorgenia.it>
sorgeniaacquarius@sorgenia.it
PEC sorgenia.acquarius@legalmail.it



RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTISTA



Tiemes Srl
Via Sangiorgio 15- 20145 Milano
tel. 024983104/ fax. 0249631510
pec: info@pec.tiemes.it
www.tiemes.it

0	23/11/2022	Prima emissione				
Rev.	Data emissione	Descrizione	Preparato	Approvato		
Origine File: 21047RMC.PD.R.24.00 -REL.S05-Relazione di calcolo		CODICE				
		Commessa	Proc	Tipo doc	Num	Rev
		21047	RMC	PD	R	00
Proprietà e diritti del presente documento sono riservati – la riproduzione è vietata / Ownership and copyright are reserved – reproduction is strictly forbidden						

1. PREMESSA	1
2. ANALISI DEI CARICHI.....	1
3. AZIONE SISMICA	4
4. COMBINAZIONE DELLE AZIONI.....	6
5. CALCOLO SOLLECITAZIONI NEGLI ELEMENTI RESISTENTI.....	7
6. VALIDAZIONE DEL SOFTWARE E ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI.....	9
7. VERIFICHE ALLO S.L.U. E ALLO S.L.E. DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI.....	11
8. VERIFICA DELLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO (S.L.E.)	11
9. GERARCHIA DELLE RESISTENZE	11

1. PREMESSA

La presente relazione espone gli aspetti tecnici generali che caratterizzano dal punto di vista strutturale il "Progetto di un impianto agro-fotovoltaico su suolo grid-connected della potenza nominale pari a 18.683,52 kWp, denominato "POLMONE", da realizzare sui terreni agricoli siti in C.da Polmone s.n.c. nel comune di Ramacca (CT), censiti in Catasto Terreni al Foglio di Mappa 61 part.IIe n. 24, 50, 242 e al Foglio di Mappa 62 part.IIe n. 6, 93, 94, 95, 118, 122 e 165"

2. ANALISI DEI CARICHI

I carichi sono ottenuti considerando le caratteristiche geometriche dei profilati e le proprietà meccaniche dell'acciaio impiegato.

• Carico Permanente Strutturale (G1)

	SEZIONE TRASVERSALE [mm]	PESO [kN/m]
Pilastri	W8/18	0,266
Trave Principale	150x150x5	0,228

• Carico Permanente NON Strutturale (G2)

	DIMENSIONI [mm]	PESO [kN/m ²]
Moduli fotovoltaici	2384x1096	0,106
Cabina Ausiliari	5000x2429	11,800
Cabina Smistamento	8130x2420	7,660
Container Batterie	12192x2438	10,410
Container PCS	6058x2438	4,970
Stazione Trasformazione	8570x2100	21,210
Unità Trasformatore	5000x10000	19,000

• Carico da Vento

In accordo con il capitolo 3.3 D.M. 17/01/2018, per determinare il carico accidentale dovuto all'azione del vento, è stata utilizzata la seguente espressione:

$$p = q_b c_p c_e c_d$$

dove:

- q_b = pressione cinetica di riferimento;
- c_p = coefficiente di forma funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento;
- c_e = coefficiente di esposizione;
- c_d = coefficiente dinamico con cui si tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali.

Il sito in cui sorgerà l'opera si trova in zona 4 (Sicilia e provincia di Reggio Calabria) ad una quota di circa 60 m s.l.m., quindi la velocità base del vento è assunta pari a $v_b = 28.00$ m/s (in accordo con la Tabella 3.3.I del D.M. 17/01/2018).

La pressione cinetica di riferimento è quindi pari a:

$$q_b = \frac{1}{2} \rho (v_b \cdot c_r)^2 = \frac{1}{2} \times 1,25 \times (28,00 \cdot 1,00)^2 = 0,490 \text{ kN/m}^2$$

dove:

- ρ = densità dell'aria assunta pari a $1,25 \text{ kg/m}^3$

La classe di rugosità è la D: 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, ...) in accordo con la Tabella 3.3.III del D.M. 17/01/2018.

Poiché il sito è localizzato nell'entroterra entro 30 km dalla costa, si ricava che la categoria di esposizione del sito è la II ($k_r = 0,19$ $z_0 = 0,05$ m $z_{\min} = 4$ m).

Per il calcolo del coefficiente c_e , in accordo con il capitolo C3.8.8.3.1 della Circolare del 11/02/2019, nel caso di elementi inclinati, l'altezza di riferimento è da assumersi pari alla quota massima dell'elemento (nel caso in esame 4.20 m), si ricava attraverso l'espressione:

$$c_e = k_r^2 c_t \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \left[7 + c_t \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)\right] = 1,799$$

Si pone inoltre $c_t = 1$.

In definitiva, il carico dovuto all'azione del vento vale:

$$p = q_b c_p c_e c_d = 0,490 \times 1,00 \times 1,799 \times 1,00 = 0,88 \text{ kN/m}^2$$

Il valore ottenuto deve essere ridotto mediante i coefficienti di forma in accordo con Tab. C3.3.I, Tab. 3.3.V e Tab. C3.3.VI della Circolare Applicativa del 11/02/2019.

Il carico dovuto all'azione del vento è stato assegnato come carico uniformemente distribuito orizzontale sugli elementi "travi" in acciaio esposte al vento, in relazione all'area di influenza di pannello ad esse demandata.

L'azione del vento è stata applicata nelle due direzioni principali dei pannelli.

• Carico da Neve

In accordo con il capitolo 3.4 del D.M. 17/01/2018, per valutare il carico accidentale prodotto dalla neve si è utilizzata la seguente espressione:

$$q_s = q_{sk} \mu c_e c_t$$

dove:

- q_{sk} = valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo
- c_e = coefficiente di esposizione
- c_t = coefficiente termico
- μ = coefficiente di forma

Il sito nel quale sarà realizzata la struttura ricade in zona III (in accordo con il paragrafo 3.4.2 del D.M. 17/01/2018) e si trova a un'altitudine pari a 60 m s.l.m.; il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo q_{sk} vale:

$$q_{sk} = 0,51 \cdot [1 + (a_s/481)^2] = 1,06 \text{ kN/m}^2$$

Il coefficiente di esposizione c_e per zona "Battuta" (Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti) vale 0,90 (Tabella 3.4.I del D.M. 17/01/2018). Nel caso in esame essendo l'inclinazione del pannello variabile si è fatto riferimento al caso più gravoso nella scelta del coefficiente di forma utilizzando il valore di μ pari a 0,8 per elementi aventi inclinazione inferiore o uguale a 30°, (Tabella 3.4.II del D.M. 17/01/2018).

Il carico da neve vale:

$$q_s = q_{sk} \mu c_e c_t = 1,06 \times 0,80 \times 0,90 \times 1,00 = 0,77 \text{ kN/m}^2$$

• Carico Termico

In accordo con il capitolo 3.5 del D.M. 17/01/2018, per valutare le azioni della temperatura, trovandoci in Zona IV (Sicilia e Calabria), sono stati calcolati:

- $T_{min} = -2 - 9 \cdot a_s/1000 = +2,54 \text{ }^\circ\text{C}$ [NTC 3.5.7]
- $T_{max} = 42 - 2 \cdot a_s/1000 = +41,88 \text{ }^\circ\text{C}$ [NTC 3.5.8]

Per l'applicazione del carico si è scelto di utilizzare la componente uniforme pari a:

$$\Delta T_u = T_{max} - T_{media,annuale} = 41,88 \text{ }^\circ\text{C} - 18,62 \text{ }^\circ\text{C} = 23,26 \text{ }^\circ\text{C} < 25,00 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow \Delta T_u = 25,00 \text{ }^\circ\text{C}$$

3. AZIONE SISMICA

Per la struttura da realizzare si è scelta una classe d'uso IV (par. 2.4.2 D.M. 17/01/2018). La vita nominale è assunta pari a 100 anni, mentre il coefficiente d'uso $C_u=2,00$. La vita di riferimento è quindi pari a 200 anni (cap. 2.4.3 D.M. 17/01/2018).

La struttura sarà realizzata in c.da Polmone nel comune di Ramacca (CT).

Le caratteristiche dei terreni interessati dalle strutture in progetto sono espresse nella relazione geologica redatta dal Dott. Geol. Andrea Domenico Cannizzaro.

Dalle prove geofisiche sono stati ottenuti due valore di V_s , un valore di V_s pari a 207,95 m/s ed un valore di V_s pari a 308,59 m/s, il terreno è stato quindi classificato come terreno di categoria A C (in accordo con il D.M. 17/01/2018): *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente V_s compresi tra 180 m/s e 360 m/s”*.

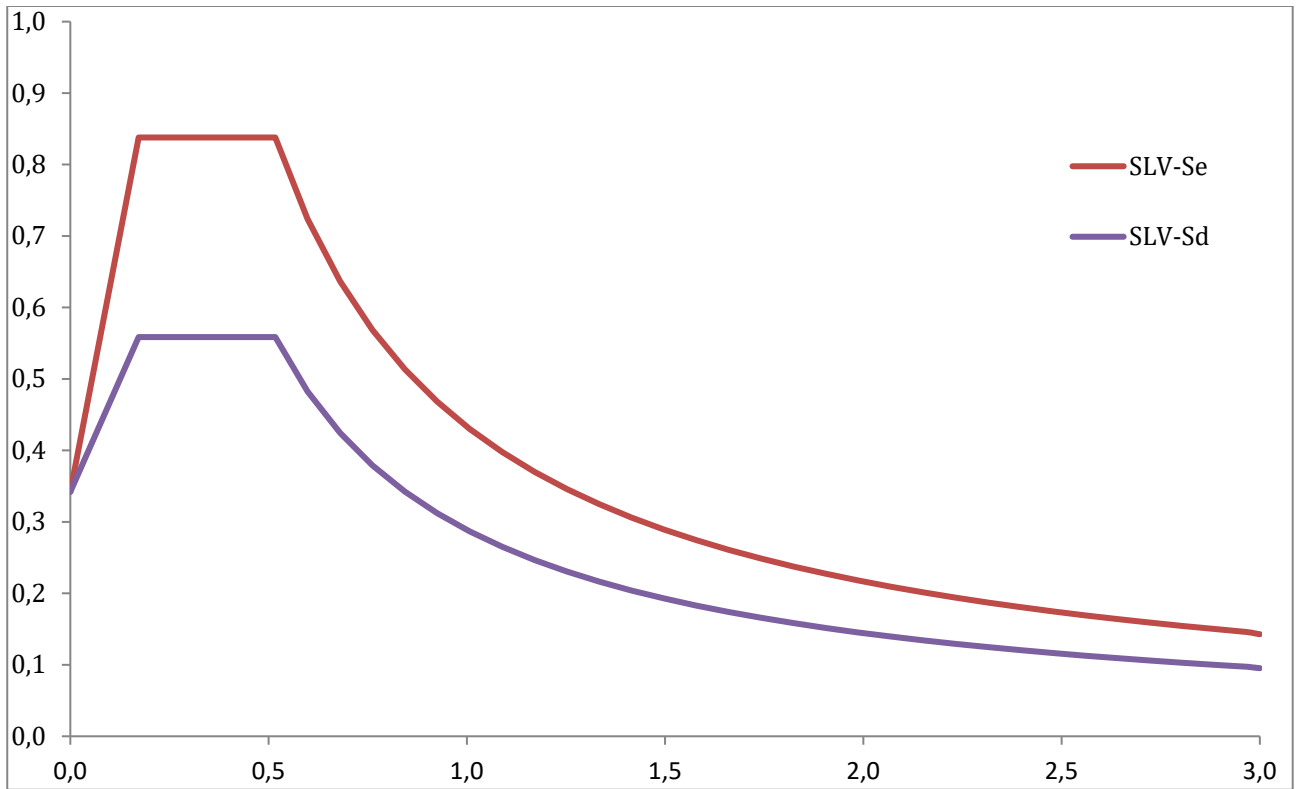
La categoria topografica è T1 in quanto superficie pianeggiante; lo smorzamento è supposto del 5%.

I parametri sismici del sito in esame sono riportati nella seguente tabella:

	Tr (anni)	ag (g)	Fo	Tc* (s)
SLO	120	0.082	2.517	0.323
SLD	201	0.111	2.421	0.352
SLV	1898	0.342	2.450	0.517
SLC	2475	0.385	2.462	0.540

Per la struttura si è fissato il fattore di comportamento $q=1,50$ in accordo al D.M. 17/01/2018 tab. 7.3.II.

Nella seguente figura vengono confrontati lo spettro elastico e lo spettro di progetto utilizzato per le analisi sismiche del fabbricato allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV).



I parametri identificativi degli spettri sono riportati nella seguente tabella:

q	S	Sa _g (g)	T _B (s)	T _C (s)	T _D (s)
1,50	1,197	0,342	0,172	0,517	1,740

4. COMBINAZIONE DELLE AZIONI

Per calcolare le sollecitazioni agenti sugli elementi strutturali si utilizza la combinazione fondamentale impiegata per gli Stati Limite Ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_p P + \gamma_{Q1}Q_{k1} + \gamma_{Q2}\Psi_{02}Q_{k2} + \dots$$

Per le combinazioni in presenza di azione sismica (S.L.V. ed S.L.D.) si utilizza la combinazione quasi permanente:

$$G_k + \Psi_{21}Q_{k1} + \Psi_{22}Q_{k2} + \dots$$

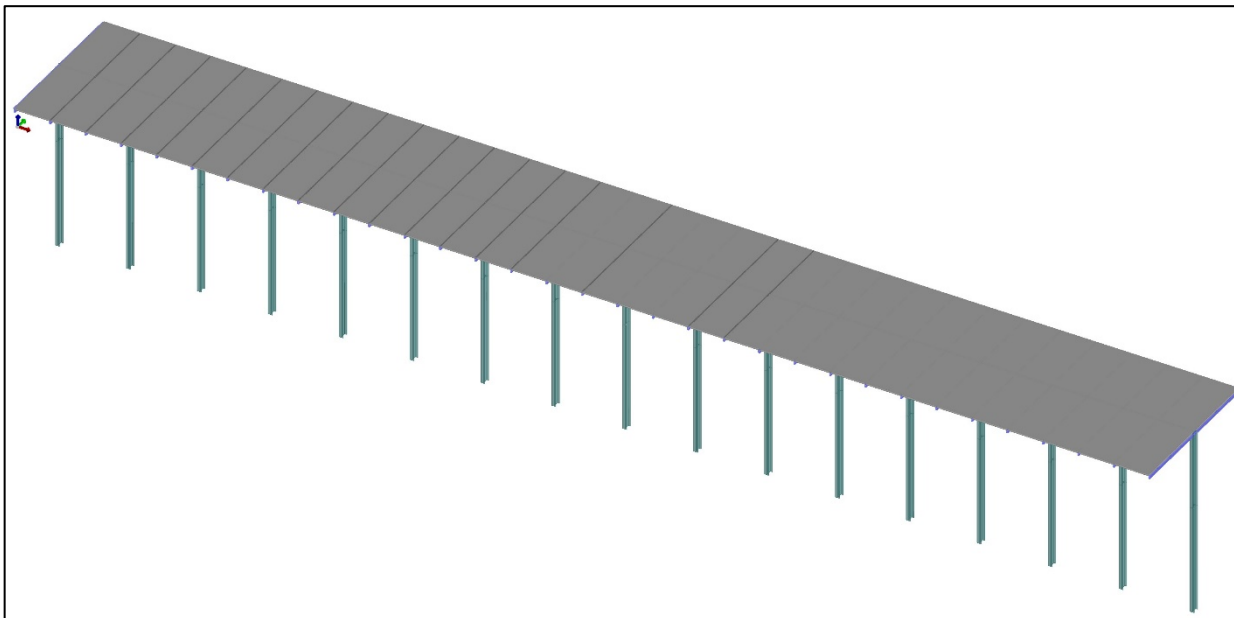
Il valore dei coefficienti parziali di sicurezza si ricava dalla tabella 2.5.I. del D.M. 17/01/2018.

Per le verifiche allo Stato Limite di Esercizio si utilizzano le combinazioni di carico frequente, rara e quasi permanente.

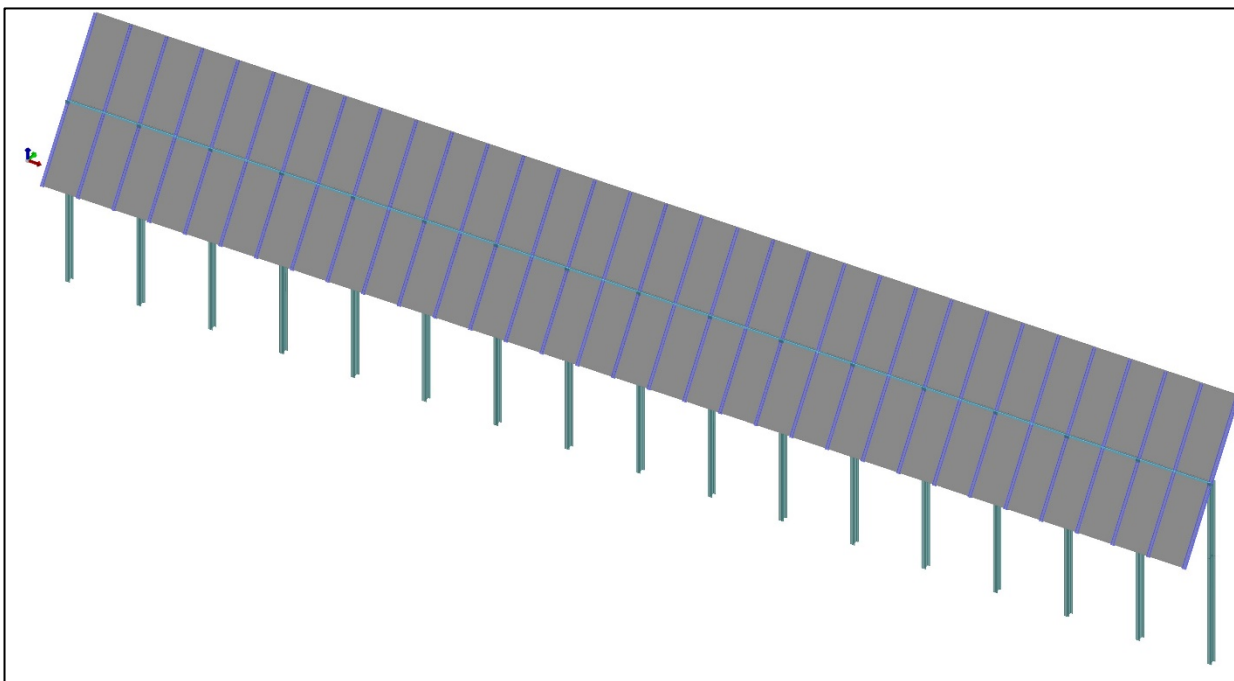
5. CALCOLO SOLLECITAZIONI NEGLI ELEMENTI RESISTENTI

Per il calcolo delle sollecitazioni agenti sugli elementi della struttura, si è utilizzato il programma commerciale *PRO_SAP* versione 22.5.0.

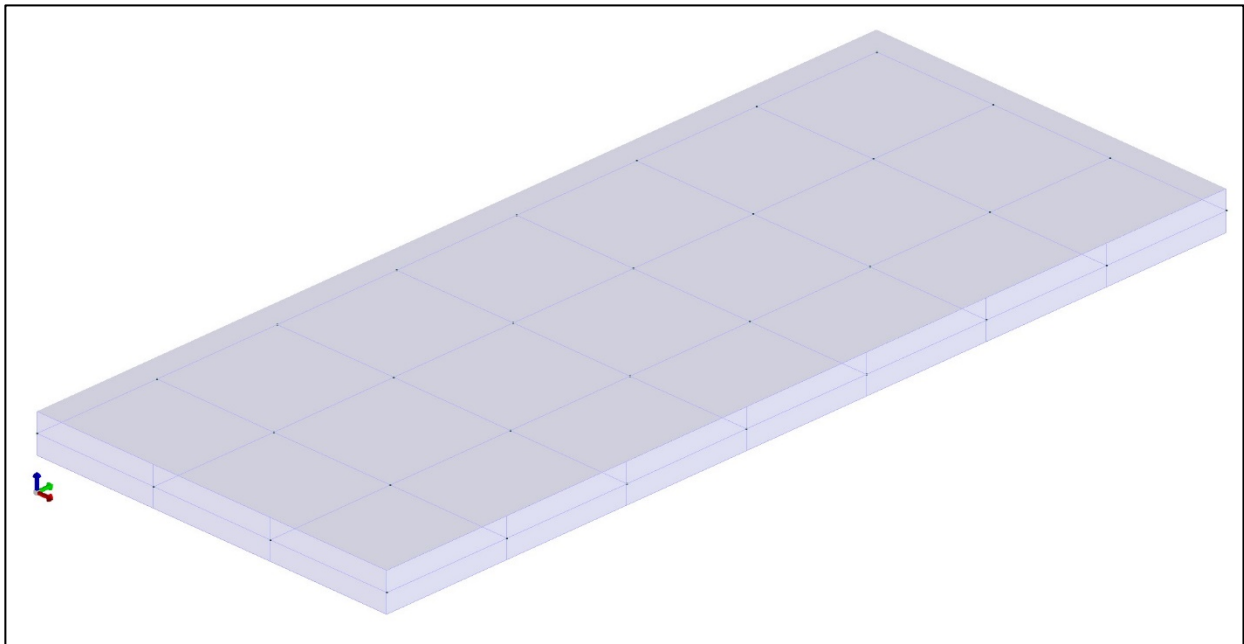
Nelle seguenti immagini sono rappresentati i modelli strutturali analizzati:



Modello 3D della struttura con $\alpha=0^\circ$



Modello 3D della struttura con $\alpha=0^\circ$



Modello 3D delle platee di fondazione

La struttura portante dei tracker è composta da travi e pilastri in acciaio; la struttura portante delle platee di fondazione delle cabine è in C.A.O. gettato in opera.

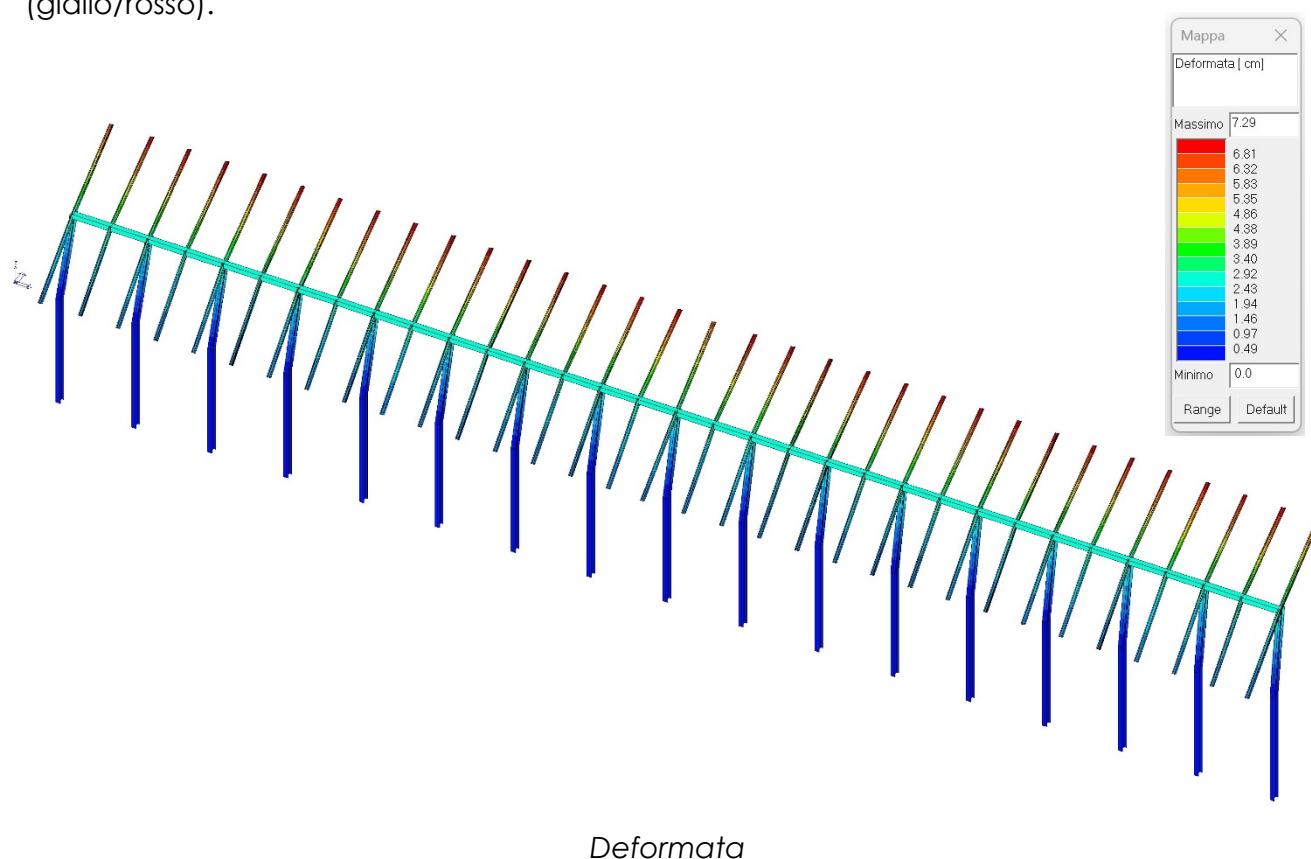
Le strutture sono state risolte utilizzando la combinazione dei carichi allo S.L.U., allo S.L.E., allo S.L.D. e allo S.L.V. tenendo conto dell'eccentricità accidentale assunta pari a $0.05 L$ essendo L la dimensione della struttura ortogonale al sisma.

Si è inoltre tenuto conto della bidirezionalità del sisma assegnando l'intensità massima del sisma in una direzione e il 30 % nella direzione ortogonale.

6. VALIDAZIONE DEL SOFTWARE E ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI

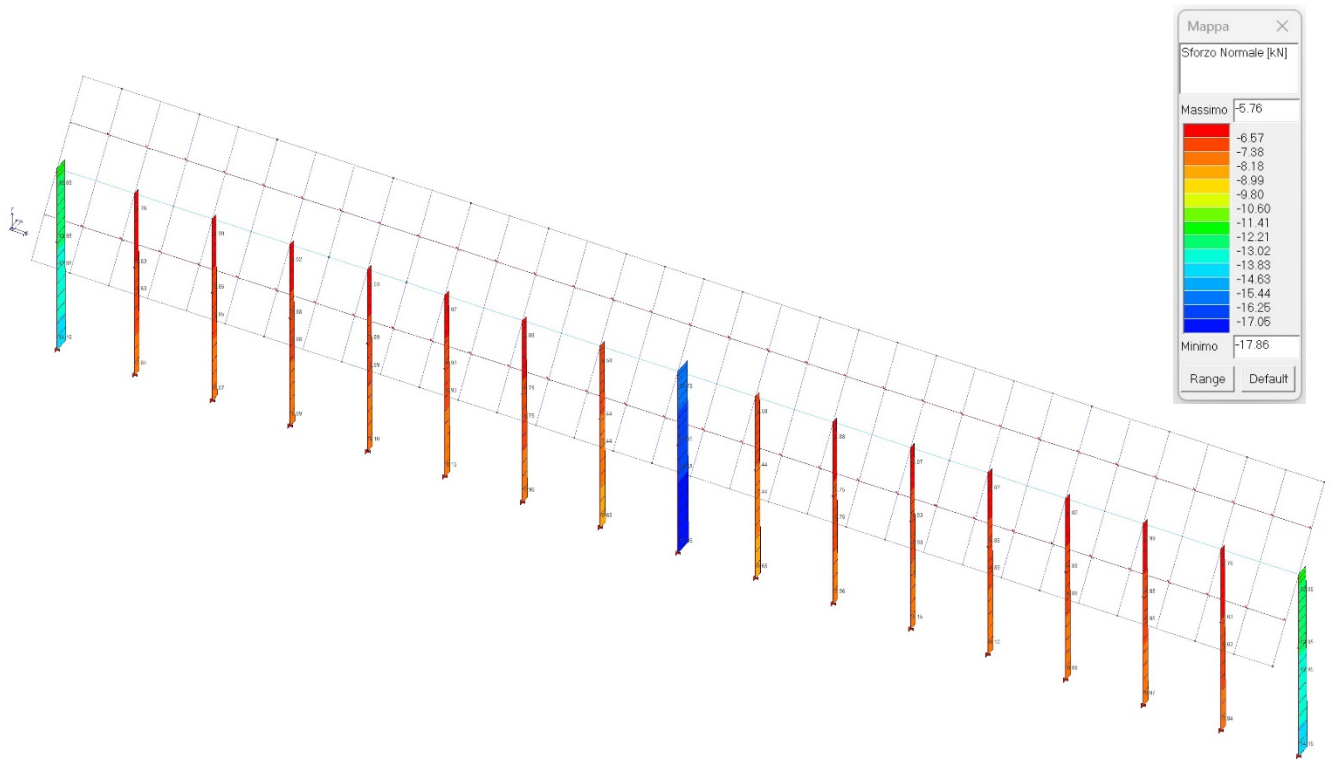
Per esprimere un giudizio motivato di accettabilità dei risultati ottenuti con il software commerciale *PRO_SAP* versione 22.5.0 si è analizzato lo stato deformativo della struttura, verificando di avere ottenuto dalle analisi svolte spostamenti nulli o trascurabili alla base della struttura e spostamenti più consistenti, tuttavia inferiori ai limiti di normativa, alla sommità dei pilastri.

Queste considerazioni vengono confermate dai risultati forniti dal *PRO_SAP* versione 22.5.0 come mostrato nelle immagini successive relative agli spostamenti assoluti della struttura ottenuti in condizioni sismiche, dalle quali tramite una mappa di colore si osserva che gli spostamenti sono praticamente nulli alla base (azzurro/blu) mentre crescono con l'altezza (giallo/rosso).



Si è inoltre analizzato lo stato tensionale di compressione sui pilastri. È lecito aspettarsi, che i pilastri, data la simmetria strutturale abbiano tutti uno sforzo normale molto simile tra loro, meno elevato per i pilastri di estremità, e costante per tutto il loro sviluppo, tale sforzo normale, dato il basso carico che grava su di esse sarà di piccola entità.

Questa considerazione viene confermata dai risultati del *PRO_SAP* versione 22.5.0 come si evince dalle immagini riportate di seguito che rappresentano il valore dello sforzo normale allo SLU dei profilati in acciaio.



Sforzo Normale dei pilastri

In definitiva, si può concludere che, poiché lo stato deformativo della struttura e lo stato tensionale dei pilastri risulta conforme a quanto è logico attendersi, si può affermare la corretta modellazione della struttura nonché l'affidabilità delle elaborazioni eseguite.

7. VERIFICHE ALLO S.L.U. E ALLO S.L.E. DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Le verifiche degli elementi strutturali dei tracker (travi, pilastri) allo Stato Limite Ultimo e allo Stato Limite di Esercizio sono riportate nella "REL.S06A-FASCICOLO DEI CALCOLI TRACKER" (vedi da pag. 84 a pag. 92 e da pag. 152 a pag. 160 del fascicolo dei calcoli); le verifiche degli elementi strutturali (platee di fondazione) allo Stato Limite Ultimo e allo Stato Limite di Esercizio sono riportate nella "REL.S06B-FASCICOLO DEI CALCOLI FONDAZIONI PLATEE" (vedi da pag. 59 a pag. 69, da pag. 108 a pag. 118, da pag. 159 a pag. 171, da pag. 211 a pag. 221, da pag. 262 a pag. 273 e da pag. 315 a pag. 327 del fascicolo dei calcoli). Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

8. VERIFICA DELLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO (S.L.E.)

La freccia massima ottenuta per lo schema più sfavorevole (angolo $\alpha=55^\circ$) a fronte di una luce netta delle travi principali di 2262 mm è pari a 1,07 mm, pertanto:

$$\delta_{max} = 1,07 \text{ mm} < \frac{L}{200} = \frac{2262 \text{ mm}}{200} = 11,31 \text{ mm}$$

Pertanto, la verifica di deformabilità delle travi principali risulta soddisfatta

9. GERARCHIA DELLE RESISTENZE

La struttura della pensilina è stata progettata con fattore di comportamento $q=1,50$ (tab. 7.3.I del D.M. 17/01/2018), si è fatto riferimento ai dettami del capitolo 4 del D.M. 17/01/2018 pertanto non sono stati applicati i criteri di duttilità e il criterio di gerarchia delle resistenze.

Per tale ragione, le tabelle contenenti le verifiche di gerarchia delle resistenze non sono presenti nel fascicolo dei calcoli.