UNIONE EUROPEA

REGIONE SICILIANA

COMUNE DI CALTANISSETTA

COMUNE DI SERRADIFALCO

COMUNE DI SAN CATALDO

PROPONENTE:

RWE RENEWABLES ITALIA S.r.l.
Via Andrea Doria, 41/G, 00192 Roma
C.F. e P.I.: 06400370968

SVILUPPATORE:

ATHENA ENERGIE S.p.A.
Via Duca, 25 - 93010 Serradifalco (CL)
C.F. e P.I.: 02042980850

COORDINATORE DI PROGETTO:

Dott. Ing. STEFANO GASPAROTTO
Via Tommaso Grossi, 12 - 20900 Monza (MB)

PROGETTAZIONE:

INGEGNERIA CIVILE, ELETTRICA, AMBIENTALE E COORDINAM.:

MPOWER s.r.l.
Dott. Ing. Edoardo Boscarino
Via N. Machiavelli, 2 - 95030 Sant'Agata Li Battiati (CT)
PEC: mpower@pec.mpowersrl.it

OPERE DI RETE:

INGEGNERIA OPERE DI RETE:

3E Ingegneria srl

Dott. Ing. Giovanni Saraceno
Via G. Volpe, 92 - Pisa (PI)
email: giovanni.saraceno@3eingegneria.it
PEC: 3eingegneria@legalmail.it

TEAM DI PROGETTO:

Arch. Attilio Massarelli (Progettazione e Staff di Coord.)	Ing. Roberto Ruggeri (Aspetti Strutturali)
Ing. Giovanni Battaglia (Progettazione e Staff di Coord.)	Ing. Giovanni Chiovetta (Acustica Ambientale)
Ing. Agostino Sciacchitano (Progettazione)	Biol. Domenico Catalano (Studio di Impatto Ambient.)
Ing. Cristina Luca (Sicurezza in Cantiere e Coord.)	Geol. Stefania Serra (Studio di Impatto Ambientale)
Arch. Giuseppe Messina (Aspetti Paesaggistici)	Ing. Gianni Barletta (Impianti Elettrici)
Geol. Marco Gagliano (GIS)	Ing. Giuseppe Baiardo (Impianti Elettrici)
Geol. Francesco Buccheri (GIS)	Prof. Agr. Salvatore Puleri (Aspetti Agron.e Mitig.Amb.)
Geol. Salvatore Bannò (Aspetti Geologici)	Dott. Agr. Giuliano Di Salvo (Mitigazione Ambientale)
Geom. Alfredo Andò - ALPISCAN Srl (Topografia)	Dott. Rosario Pignatello - IBLARCHÈ Srls (VPIA)

Firmato digitalmente da
EDOARDO BOSCARINO
C = IT

OPERA:

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA DI 99,00 MW DI PICCO E 80 MVA DI IMMISSIONE, DENOMINATO "CALTANISSETTA 2", UBICATO NELLA CONTRADA "GROTTA ROSSA" DEL COMUNE DI CALTANISSETTA E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RTN, DA REALIZZARSI NELLA CONTRADA "CUSATINO" DEL MEDESIMO COMUNE

OGGETTO:

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO - ECONOMICA

RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE STRUTTURE DI SOSTEGNO E FONDAZIONI IMPIANTO AGRIVOLTAICO

IL PROPONENTE:

IL PROGETTISTA:

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI CATANIA
DOTT. ING. BOSCARINO EDOARDO
Sez. A Settori:
a) civile ed ambientale
b) industriale
c) dell'informazione
n° A 2700D

APPROVAZIONE:

REV.	DATA	OGGETTO DELLA REVISIONE	ELABORAZIONE	VERIFICA	APPROVAZIONE
00	30-07-2024	PRIMA EMISSIONE PER RICHIESTA AU E PROCEDURA VIA	RR	EB	EB

SCALA:

FORMATO:

CODICE DOCUMENTO:

COMMESSA	FASE	TAVOLA	REV.
23-29/CL2	PFTE	RS06REL0045A0	00

CODICE ELABORATO: **R.26.00**

E' vietata la riproduzione del presente documento, anche parziale, con qualsiasi mezzo, senza l'autorizzazione di MPOWER s.r.l.

PROPONENTE

RWE RENEWABLES ITALIA S.R.L.
Via Andrea Doria n. 41/G, CAP 00192 - Roma
C.F. e P.IVA 06400370968

PROGETTO

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA DI 99,00 MW_p DI PICCO E 80,00 MVA DI IMMISSIONE, DENOMINATO "*CALTANISSETTA 2*", UBICATO NELLA CONTRADA "GROTTA ROSSA" DEL COMUNE DI CALTANISSETTA E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RTN, DA REALIZZARSI NELLA CONTRADA "CUSATINO" DEL MEDESIMO COMUNE

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO – ECONOMICA

OGGETTO

RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE DELLE STRUTTURE DI SOSTEGNO

ELENCO REVISIONI

Rev.	Data	Descrizione	Redatto da	Revisionato da	Approvato da	Modifiche
0	30-07-2024	Istruttoria VIA/AU	R. Ruggeri	A. Sciacchitano	E. Boscarino	Prima emissione

Questo documento è di proprietà di RWE RENEWABLES ITALIA S.R.L. È severamente vietato riprodurre questo documento, in tutto o in parte, e fornire a terzi qualsiasi informazione relativa senza il previo consenso scritto di RWE RENEWABLES ITALIA S.R.L.

SOMMARIO

1. PREMESSA 3
1.1 BREVE DESCRIZIONE DEL PROGETTO 3
2. DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA 5
2.1 VITA NOMINALE, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO 6
3. NORMATIVE DI RIFERIMENTO 9
3.1 NORME DI CARATTERE GENERALE 9
3.2 STRUTTURE 9
3.3 TERRENI E FONDAZIONI 9
4. CODICI DI CALCOLO E SISTEMI DI RIFERIMENTO 10
5. MATERIALI 11
5.1 MATERIALE ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA 11
1.1.1 Tracker 11
6. AZIONI SULLA COSTRUZIONE 12
6.1 CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI (G1) 12
6.2 CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI (G2) 12
1.1.2 Validazione del carico nel software 12
6.3 AZIONI DA NEVE 13
6.4 AZIONE DEL VENTO 14
1.1.3 Calcolo della pressione cinetica di riferimento 14
1.1.4 Calcolo del coefficiente di esposizione 15
1.1.5 Calcolo del coefficiente dinamico 16
1.1.6 Forza del vento 16
1.1.6.1 Validazione del carico nel software 21
6.5 AZIONE SISMICA 21
1.1.7 Classificazione della struttura e inquadramento sismico 21
1.1.8 Spettri di risposta in accelerazione 23
1.1.9 Spettri di risposta di progetto e valutazione del fattore di struttura 24
6.6 COMBINAZIONE DELLE AZIONI 24
7. VERIFICHE – COLONNE IN ACCIAIO 27
7.1 SOLLECITAZIONI ALLO SLU 27
7.2 SOLLECITAZIONI ALLO SLV 28
7.3 VERIFICA V/T 31
7.4 VERIFICA N/M 31
7.5 VERIFICHE DI STABILITÀ 32
8. VERIFICHE – TRAVI IN ACCIAIO 34
8.1 SOLLECITAZIONI ALLO SLU 34
8.2 SOLLECITAZIONI ALLO SLV 35
8.3 VERIFICA V/T 36
8.4 VERIFICA N/M 36
8.5 VERIFICA DI DEFORMABILITÀ 37

1. PREMESSA

Questo documento illustra le fasi di progettazione per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza di immissione di 99,00 MW_p e 80,00 MVA, denominato "**Caltanissetta 2**", situato nella contrada "Grotta Rossa" del comune di Caltanissetta, e delle relative opere di connessione alla RTN, da realizzarsi nella contrada "Cusatino" dello stesso comune.

Il progetto è soggetto alla procedura di rilascio dell'Autorizzazione Unica ai sensi dell'art. 12, comma 3 del decreto legislativo 29 dicembre 2003, n. 387 (Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità).

L'ente competente per il rilascio del titolo autorizzativo è la Regione Siciliana – Dipartimento Regionale dell'Energia.

- ✓ Soggetto sviluppatore è la ditta **ATHENA ENERGIE**, società che ha sede in Via Duca n. 25 a Serradifalco (CL) – CAP 93010, C.F. e P.IVA 02042980850.
- ✓ Soggetto proponente è la società **RWE RENEWABLES ITALIA S.R.L.**, con sede in Via Andrea Doria n. 41/G a Roma – CAP 00192, C.F. e P.IVA 06400370968.

In accordo alle linee guida del PEARS 2030, tale impianto permetterà di incrementare la produzione di energia da fonti rinnovabili, senza emissioni nocive per l'ambiente.

Il presente progetto è stato elaborato in stretta ottemperanza alle **"Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici"** pubblicate dal MiTE (ora MASE).

Il progetto prevede la realizzazione di un impianto con strutture ad inseguimento monoassiale, composto da **159.684 moduli fotovoltaici** bifacciali.

1.1 Breve descrizione del progetto

Sarà installato su terreno agricolo sito nel Comune di Caltanissetta (CL), Contrada Grottarossa, su un'area complessiva di circa 242 ha, superficie totale netta (proiezione al suolo dei moduli fotovoltaici) pari a circa 43 ha ed una superficie totale, (proiezione al suolo di tutte le strutture costituenti l'impianto), pari a soli 43,1 ha.

All'interno dell'area di impianto saranno installati n. 159.684 moduli fotovoltaici bifacciali di ultima generazione da 620 W_p su strutture, in parte ad inseguimento monoassiale, in parte su *canopy*, 229 inverter da 350 kVA e n. 37 cabine elettriche di trasformazione e distribuzione MT/BT.

Tutto rimovibile a fine vita impianto con un tasso molto elevato di riciclo della componentistica e dei materiali impiegati. Si tratta quindi di un impianto a bassissimo impatto ambientale sul luogo di installazione, che vede la maggiore, seppur contenuta, interferenza con l'ambiente circostante durante il circoscritto periodo di cantiere.

L'energia elettrica prodotta sarà immessa nella rete di trasmissione nazionale per mezzo di un elettrodotto di collegamento a 36 kV di lunghezza pari a circa 5,85 km, tra l'impianto agrivoltaico e la sezione a 36 kV della nuova SE di Terna 150/36 kV da inserire in entra - esce sulla linea

RTN a 150 kV “Canicattì – Caltanissetta”, conformemente al preventivo di connessione elaborato da Terna (Cordice Pratica: 201901114).

Il sistema agrivoltaico integra la produzione agricola e l'energia rinnovabile, utilizzando le aree tra i moduli fotovoltaici per coltivazioni produttive, rispettando le caratteristiche e la vocazione agricola del territorio.

Questo approccio riduce l'impatto visivo e ambientale, preservando la continuità dell'attività agricola e migliorando la resa delle colture grazie alla protezione dei moduli.

Figura 1-1: Rendering di un impianto agrivoltaico tipo.

2. DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

Il progetto prevede un impianto fotovoltaico costituito da una struttura metallica a supporto di questo infissa nel terreno costituita da:

a) Colonne con sezione trasversale HEA 120;

b) Traversi costituiti da tubolari cavi quadrati 150x6.3 mm;

c) Longheroni costituiti da profilati ad omega 30x100x60x4.0 mm.

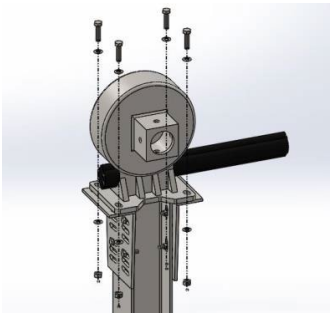
Tale struttura verrà denominata qui *Tracker*.

I montanti (colonne), infissi mediante battitura direttamente nel terreno, rappresentano sia gli elementi resistenti verticali della parte fuori terra che le fondazioni profonde. Essi presentano delle asolature per il successivo fissaggio delle teste palo. La presenza di asole consente una più accurata regolazione dell'allineamento della struttura e la compensazione di eventuali errori in fase di infissione.

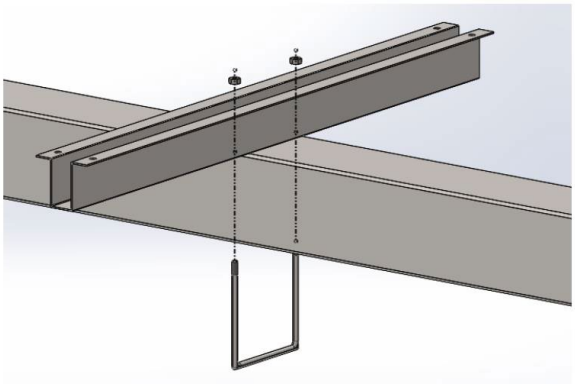
Sul palo centrale sono imbullonate due piastre ad L per l'ancoraggio del gruppo motore (definite teste motore) e su queste viene fissato il gruppo motore stesso al quale vengono successivamente accoppiate le prime due travi centrali.

Analogamente per ogni palo laterale sono presenti delle piastre a T, sulle quali sono fissati i cuscinetti per la rotazione della struttura. I cuscinetti sono realizzati in materiale plastico polimerico a matrice viscosa.

Le travi sono ancorate al motore e passanti all'interno dei cuscinetti. Attraverso opportuni giunti sono collegate in serie andando a formare un'unica struttura.



Sulle travi vengono installati i moduli fotovoltaici. Specifici longheroni vengono fissati alle travi e grazie alla presenza di fori di dimensioni compatibili con quelli presenti sui moduli, è possibile l'ancoraggio del generatore fotovoltaico all'inseguitore.



2.1 Vita nominale, classe d'uso e periodo di riferimento

La vita nominale V_N dell'opera strutturale in oggetto è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata.

L'effettiva durata della costruzione non è valutabile in sede progettuale, venendo a dipendere da eventi futuri fuori dal controllo del progettista. Di fatto, la grande maggioranza delle costruzioni ha avuto ed ha, anche attraverso successivi interventi di ripristino manutentivo, una durata effettiva molto maggiore della vita nominale quantificata nelle NTC.

La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella indicata nella Tabella 2-1 del D.M.18 di seguito riportata.

	TIPI DI COSTRUZIONI	Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Tabella 2-1: Valori minimi della Vita nominale VN di progetto per i diversi tipi di costruzioni.

Con riferimento alla tabella precedente si evidenzia che, ai sensi e per gli effetti del Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 3685 del 21 ottobre 2003 il carattere strategico di un'opera o la sua rilevanza per le conseguenze di un eventuale collasso, sono definiti dalla classe d'uso.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso, come definite nel D.M. 2018.

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Tabella 2-2: Classi d'uso - D.M. 2018.

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R

che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Tale valore riveste notevole importanza in quanto, assumendo che la legge di ricorrenza dell'azione sismica sia un processo Poissoniano, è utilizzato per valutare, fissata la probabilità di superamento P_{VR} corrispondente allo stato limite considerato (Tabella 3.2.I della NTC), il periodo di ritorno T_R dell'azione sismica cui fare riferimento per la verifica.

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tabella 2-3.

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Tabella 2-3: Valori del coefficiente d'uso CU.

Nel caso in esame si assume:

Classe d'uso	Coefficiente d'uso C_u	Vita nominale V_N	Vita di riferimento V_R
-	-	anni	anni
IV	2	50	100

3. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

La valutazione dei livelli di sicurezza statica e sismica dell'edificio è stata eseguita con riferimento alle norme tecniche italiane vigenti e secondo le direttive europee di seguito menzionate.

3.1 Norme di carattere generale

- **Legge n. 1086 del 05 Novembre 1971** – Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.

3.2 Strutture

- **Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018)** di cui al D.M. 17.01.2018;
- **Circolare Esplicativa n. 7 del 21/01/2019** – Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. del 17.01.2018;
- **Eurocodice 0** (EN 1990) – Criteri generali di progettazione strutturale;
- **Eurocodice 1** (EN 1991) – Azioni sulle strutture;
- **Eurocodice 2** (EN 1992-1-1) – Progettazione delle strutture in calcestruzzo;
- **Eurocodice 3** (EN 1993-1-1) – Progettazione delle strutture in acciaio;
- **Eurocodice 8** (EN 1998-1) – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica;
- **Classificazione di resistenza al fuoco di prodotto ed elementi costruttivi di opere da costruzione** di cui al D.M. 16/02/2007.
- **CNR-DT 207/2008** – Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni.

3.3 Terreni e Fondazioni

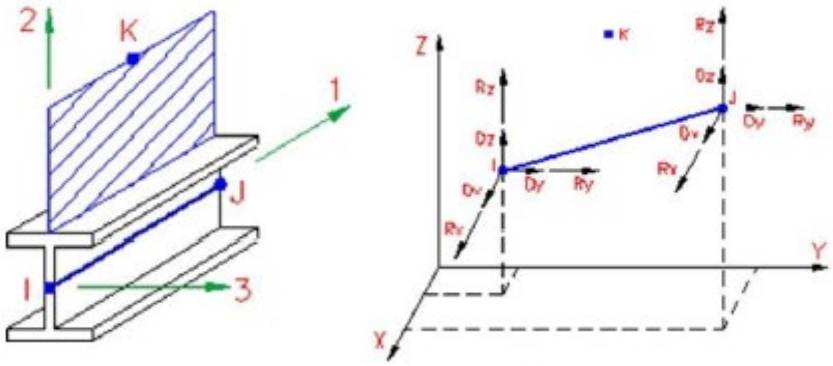
- **Decreto Ministero 11 Marzo 1988 -** Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;
- **Circolare Ministero LL.PP. n. 30483 del 24 settembre 1988 -** Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre;
- **Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018)** di cui al D.M. 17.01.2018.

4. CODICI DI CALCOLO E SISTEMI DI RIFERIMENTO

La struttura oggetto di studio caratterizzata da pilastri e travi è stata modellata avvalendosi di codice di calcolo agli elementi finiti PRO_SAP 2SI di sicura e accertata validità. In merito al punto 10.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni (Affidabilità dei codici di calcolo utilizzati) si fa riferimento al Documento di Affidabilità "Test di validazione del software di calcolo PRO_SAP e dei moduli aggiuntivi PRO_SAP disponibile per il download sul sito: https://www.2si.it/it/prodotti/affidabilita/.

Gli elementi finiti utilizzati nel modello di calcolo risultano essere:

- Elementi beam definiti tramite due nodi nello spazio ed un terzo nodo usato per gestire l'orientamento della sezione della trave nello spazio. L'elemento beam ha tre gradi di libertà traslazionali e tre gradi di libertà rotazionali. Agli estremi dell'elemento sono determinate le sei componenti di sollecitazione: tre momenti (torcente e due flettenti), sforzo assiale e due sforzi taglianti.



Il modello di calcolo realizzato risulta il seguente. Il tracker è stato modellato con vincolo di incastro al piede, Figura 4-1.

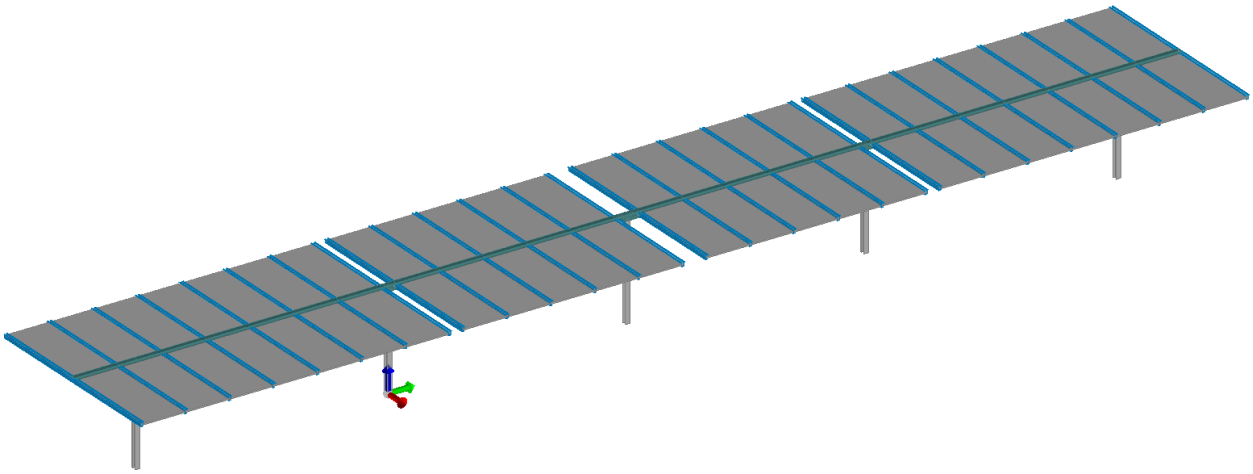


Figura 4-1: Modellazione Tracker.

5. MATERIALI

5.1 Materiale acciaio per carpenteria metallica

Gli elementi strutturali in acciaio sono stati progettati in conformità alle NTC 2018 e all'Eurocodice 3. Tutti gli acciai per carpenteria metallica e per strutture composte acciaio-calcestruzzo devono essere conformi alle norme armonizzate della serie UNI EN 10025 per quanto concerne i laminati a caldo con profili a sezione aperta, UNI EN 10210 per i laminati a caldo con profili a sezione cava (tubi senza saldatura), UNI EN 10219-1 per i laminati a caldo con profili a sezione cava (tubi saldati). Si ha qui:

1.1.1 Tracker

Acciaio S235 JR

Spessore nominale dell'elemento	$t \leq 40$ mm
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{y,k} = 235$ N/mm^2
Tensione caratteristica di rottura	$f_{t,k} = 360$ N/mm^2
Modulo elastico	$E_s = 210000$ N/mm^2
Modulo di taglio	$G = 80770$ N/mm^2
Coefficiente di Poisson	$v = 0.30$
Coefficiente di dilatazione termica lineare	$\alpha = 12*10^{-6}$ °C^{-1}
Densità	$\rho = 7850$ kg/m^3

Bulloni ad elevata resistenza

Resistenza a rottura	$f_t = 800$ MPa
Resistenza a snervamento	$f_y = 640$ MPa

6. AZIONI SULLA COSTRUZIONE

Una struttura deve essere progettata in modo tale da rimanere idonea all'uso a cui è stata destinata per un periodo di tempo pari alla sua *vita utile*. L'affidabilità di una struttura risulta quindi legata ai concetti di:

- Sicurezza (SLU) che rappresenta la capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti di qualunque tipo che possano compromettere l'incolumità delle persone, la perdita di beni e danni ambientali e sociali;
- Funzionalità (SLE) che rappresenta la capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;
- Robustezza (A) che rappresenta la capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità di cause "eccezionali" che li hanno innescati quali incendi, urti, esplosioni, ecc.
- Durabilità intensa come conservazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali identificati e qualificati come specificato nel Capitolo 11 delle NTC 2018.

6.1 Carichi permanenti strutturali (G_1)

Di seguito vengono riportate le azioni permanenti ovvero tutte le azioni che agiscono durante la vita nominale della costruzione, la cui variazione di intensità può essere considerata costante.

Peso proprio degli elementi strutturali tipici

I pesi propri degli elementi strutturali vengono calcolati automaticamente dal programma di calcolo moltiplicando l'area della sezione per il peso specifico attribuito al materiale.

6.2 Carichi permanenti non strutturali (G2)

Il peso proprio degli elementi non strutturali è rappresentato esclusivamente dai pannelli fotovoltaici.

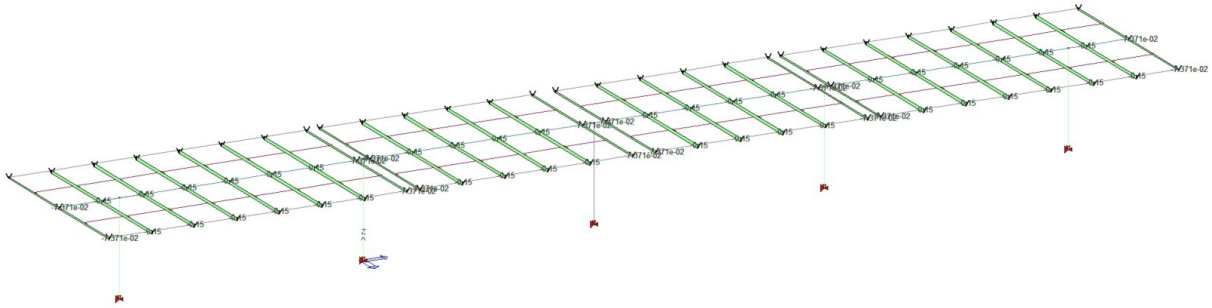
Pannelli fotovoltaici

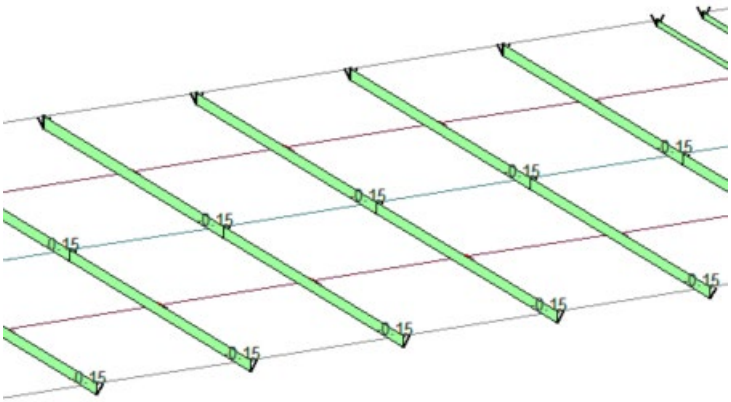
Tipo	Tiger NeoN-type 72HL4-BDV 570-590 Watt
Larghezza	1134 mm
Lunghezza	2278 mm
Peso proprio	0.35 kN

Totale g_{k2} 0.35 kN / (1.096 m x 2.465 m x 1.00 m) = 0.13 kN/m^2

1.1.2 Validazione del carico nel software

Di seguito si riporta un ingrandimento nel quale viene mostrato l'azione del carico applicata ai singoli longheroni. L'area di influenza è di 1.13 m circa, si ha quindi che: 0.13 kN/m^2 * 1.13 m = 0.15 kN/m. Tale carico risulta confermato dall'immagine che segue in cui vi è mostrato il carico agente sul singolo longherone nel software di calcolo.





6.3 Azioni da neve

L'azione della neve agisce in direzione verticale ed è riferito alla proiezione orizzontale della superficie di copertura. Essa varia principalmente in funzione delle condizioni climatiche ed altimetriche del sito ove è realizzata la costruzione, nonché della tipologia e pendenza della copertura.

Si ha quanto segue:

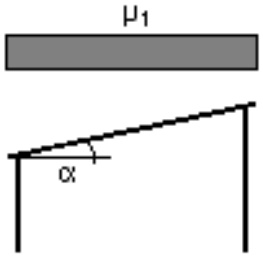
Zona Neve		III
Periodo di ritorno, Tr		50 anni
C_{tr}		1
C_e		1
Valore caratteristico del carico al suolo	$q_{sk}\ C_e\ C_{tr}$	0.60 kN/m^2

<u>Copertura ad una falda:</u>

Angolo di inclinazione della falda α	0.0°
Tipo di copertura	Copertura piana
W	5.5 m

L	28.7 m
Lc	9.9
C_{ef}	1
μ_1	0.80
Q_1	0.48 kN/m^2

Schema di carico:



dove:

- q_{sk} è il *valore di riferimento del carico da neve al suolo*;
- μ_i è il *coefficiente di forma* della copertura;
- C_E è il *coefficiente di esposizione*;
- C_t è il *coefficiente termico*.

6.4 Azione del vento

Il vento, la cui direzione si considera di regola orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo provocando, in genere, effetti dinamici. Tuttavia, secondo quanto indicato al par. 3.3 delle NTC 2018, l'azione del vento sugli edifici può essere assimilata ad una pressione statica equivalente determinata mediante la seguente relazione:

$$Q_{vk} = q_r \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

dove:

- q_r è la *pressione cinetica di riferimento*;
- c_e è il *coefficiente di esposizione*;
- c_p è il *coefficiente di pressione*;
- c_d è il *coefficiente dinamico*.

1.1.3 Calcolo della pressione cinetica di riferimento

La *pressione cinetica di riferimento* q_r (in N/m^2) è fornita dalla seguente relazione:

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

dove v_b è la *velocità di riferimento* del vento (in m/s) e ρ è la *densità dell'aria* assunta convenzionalmente costante e pari a 1.25 kg/m^3. La velocità di riferimento v_b, che rappresenta il valore massimo della velocità del vento, riferito ad un intervallo temporale di 50 anni, misurata a 10 m dal suolo su un terreno di II categoria e mediato su dieci minuti. In mancanza di adeguate indagini statistiche, v_b si determina mediante la seguente relazione:

$$v_b = v_{b,0}$$

$$v_b = v_{b,0} + k_s \cdot \left(\frac{a_s}{a_0} - 1 \right)$$

dove i parametri v_{b0}, k_s, a_0 sono legati alla regione in cui sorge la costruzione e vengono forniti dalla tabella 3.3.I delle NTC 2018, mentre a_s è l'altitudine del comune di riferimento sul livello del mare (in m).

Il sito ove sorgerà l'edificio che si sta progettando ricade nella zona di riferimento indicata in Tabella 6-1 seguente, a cui corrispondono i relativi parametri:

ZONA	DESCRIZIONE	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_s [-]
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0.36

Tabella 6-1: Zona di riferimento.

Poiché l'ubicazione dell'edificio si trova circa ad un'altitudine sul livello del mare a_s = 8 m e quindi maggiore di quella di riferimento a_0, si ha v_b = 28.08 m/s. La pressione cinetica di riferimento q_r risulta pertanto pari a 0.49 kN/m^2.

1.1.4 Calcolo del coefficiente di esposizione

Il *coefficiente di esposizione* c_e dipende dall'altezza rispetto al suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno, e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione e si ricava mediante la seguente relazione:

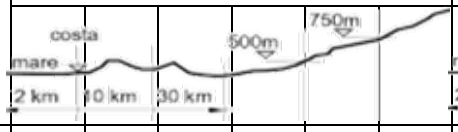
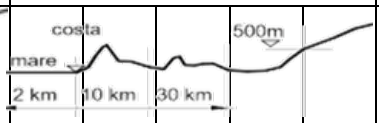
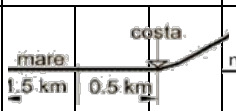
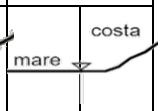
$$\begin{cases} c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \cdot \left[7 + c_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)\right] & \text{per} \quad z \geq z_{min} \\ c_e(z) = c_e(z_{min}) & \text{per} \quad z < z_{min} \end{cases}$$

dove z è l'*altezza della costruzione*, k_r, z_0 e z_{min} sono forniti dalla tabella 3.3.II delle NTC 2018 in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione e c_t è il *coefficiente di topografia*, che usualmente si pone uguale ad 1.

Per determinare la *categoria di esposizione* si definisce innanzitutto la *classe di rugosità* del terreno così come indicato in Tabella 6-2. Successivamente, si può determinare la categoria di esposizione come segue:

CLASSE DI RUGOSITÀ	DESCRIZIONE
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni, ...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D.

Tabella 6-2: Classe di rugosità.

ZONA	1, 2, 3, 4, 5						6					7, 8			9	
																
A	-	IV	IV	V	V	V	-	III	IV	V	V	-	-	IV	-	I
B	-	II	III	IV	IV	IV	-	II	III	IV	IV	-	-	IV	-	I
C	-	*	III	III	IV	IV	-	II	III	III	IV	-	-	III	-	I
D	I	II	II	II	III	**	I	I	II	II	III	I	II	***	I	I

*	Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5
**	Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1
***	Categoria II in zona 8 Categoria III in zona 7

I valori dei parametri k_r, z_0 e z_{min} pertanto risultano:

CATEGORIA DI ESPOSIZIONE	k_r [-]	z_0 [m]	z_{min} [m]
III	0.20	0.10	5

Il coefficiente di esposizione risulta quindi pari a 1.87.

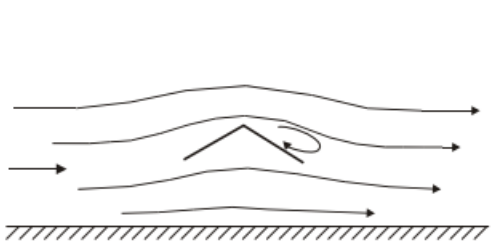
1.1.5 Calcolo del coefficiente dinamico

Con il *coefficiente dinamico* c_d, si tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali. Esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali. Verrà pertanto assunto uguale ad 1.

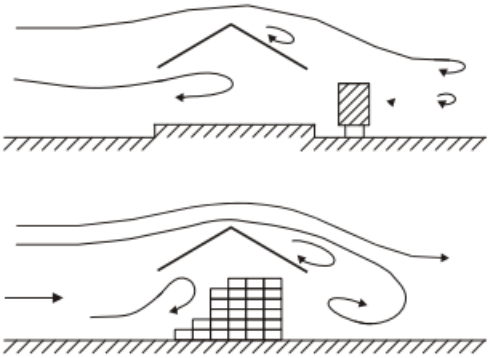
1.1.6 Forza del vento

Quanto scritto di seguito fornisce i criteri per valutare le azioni globali del vento sulle coperture che non si collocano permanentemente al di sopra di pareti verticali, ossia in cui lo spazio

sottostante non sia delimitato in maniera permanente da pareti. Si definisce grado di bloccaggio φ il rapporto tra l'area esposta al vento di un'eventuale ostruzione presente al di sotto della tettoia e l'area totale della superficie ortogonale alla direzione del vento al di sotto della tettoia.



Tettoia senza ostruzioni, φ=0



Tettoia ostruita, φ=1

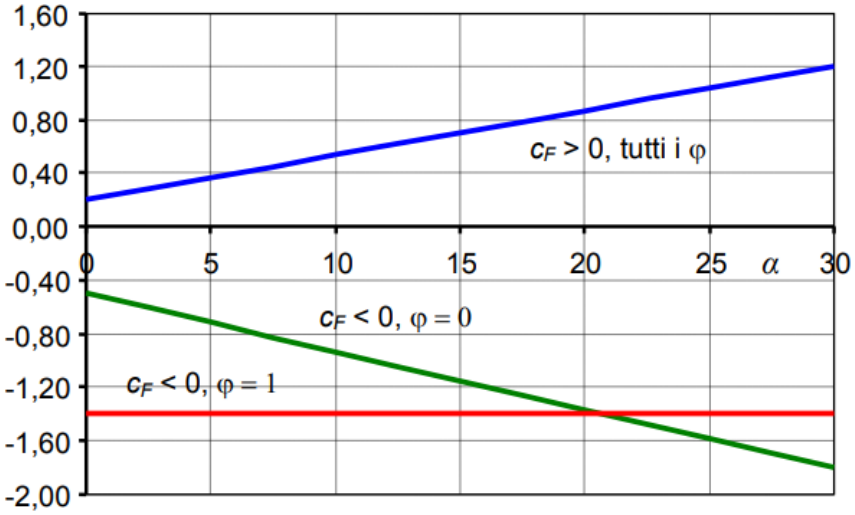
S'identificano due situazioni limite:

- $\varphi = 0$ corrisponde all'assenza di ostruzioni al di sotto della tettoia (tettoia libera);
- $\varphi = 1$ corrisponde alla situazione in cui lo spazio al di sotto della tettoia risulti completamente ostruito.

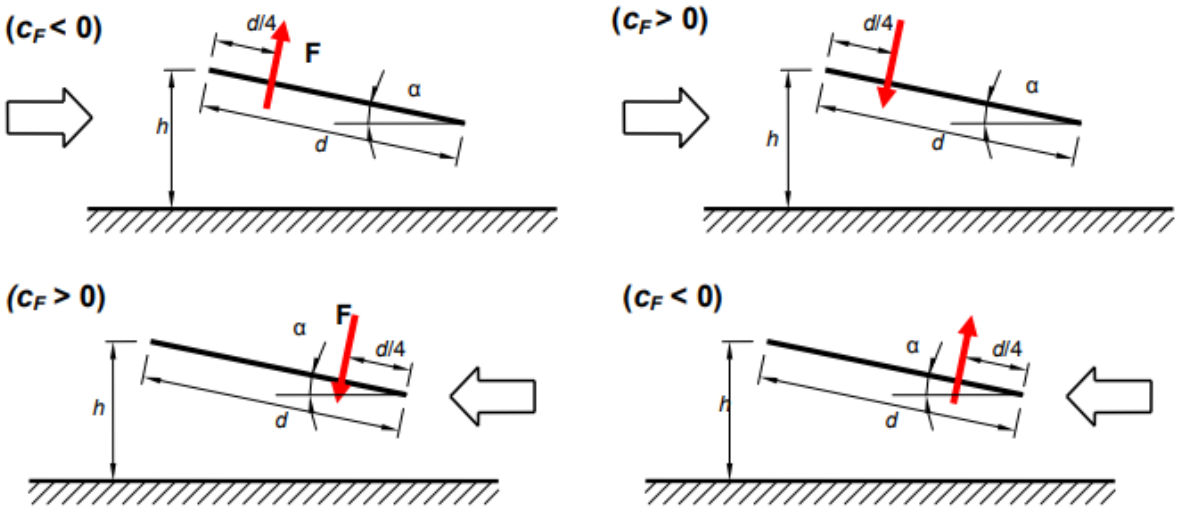
La Tabella 6-3, riportata nelle CNR-DT 207/2008 con relativo grafico, riporta i valori dei coefficienti di forza per le tettoie a semplice falda con vento agente perpendicolarmente alla linea di colmo. I valori dei coefficienti di forza sono espressi in funzione del grado di bloccaggio φ e dell'inclinazione α della falda. Per valori intermedi di φ è ammessa un'interpolazione lineare tra i valori relativi ai casi $\varphi = 0$ e $\varphi = 1$. La quota di riferimento z è pari all'altezza massima h della tettoia. L'area di riferimento L^2 ossia l'area su cui è applicata la forza risultante, è pari all'area del pannello fotovoltaico.

Valori positivi	Tutti i valori di φ	$c_F = +0{,}2 + \alpha/30$
Valori negativi	φ = 0 φ = 1	$c_F = -0{,}5 - 1{,}3 \cdot \alpha/30$ $c_F = -1{,}4$

Tabella 6-3: Coefficienti di forza per tettoie a semplice falda (α in °).



Per il calcolo della forza dovuta al vento si considerano le condizioni di carico più gravose tra le quattro indicate nella seguente figura, dove la forza risultante $F_v = q_p(z) \cdot L^2 \cdot c_f(\alpha)$ è applicata sopravento ad una distanza pari a $d/4$ dal bordo investito dal flusso, dove d è la luce dell'elemento investito dal vento.



Di seguito si evidenziano i valori di c_f al variare dell'inclinazione α dei pannelli fotovoltaici, sia in caso di pannello sopravento (c_f positivi) sia in caso di pannello sottovento (c_f negativi).

Inclinazione pannello fotovoltaico	Coefficiente di forza positivo	Coefficiente di forza negativo
α	c_f (+)	c_f (-) ; ϕ=0
[°]	[-]	[-]
0	0.20	-0.50

5	0.37	-0.72
10	0.53	-0.93
15	0.70	-1.15
20	0.87	-1.37
25	1.03	-1.58
30	1.20	-1.80
35	1.37	-2.02
40	1.53	-2.23
45	1.70	-2.45
50	1.87	-2.67
55	2.03	-2.88
60	2.20	-3.10
65	2.37	-3.32
70	2.53	-3.53
75	2.70	-3.75
80	2.87	-3.97
85	3.03	-4.18
90	3.20	-4.40

I pannelli fotovoltaici sono dotati di un anemometro; nel momento in cui la velocità rilevata supera un valore di velocità tale da compromettere la stabilità dei pannelli stessi, questi ultimi si dispongono di taglio minimizzando l'azione del vento.

Si ha che:

$$q_p(z) = q_r \cdot c_e(z)$$

Si ha quindi:

$$q_p = 0.49 \cdot 1.87 = 0.92 \text{kN/m}^2$$

Calcolo della risultante della forza da vento F in direzione X

Coefficienti di forza c_F

Valori positivi per ogni valore di φ $c_F = 0.20$ (si è assunta come piano quindi angolo di 0°)

Valori negativi per $\varphi = 0$ c_F = -0.50 (si è assunta come piano quindi angolo di 0°)

Valori negativi per $\varphi = 1$ c_F = -1.40

Ricordando che $F_v = q_p(z) \cdot L^2 \cdot c_f(\alpha)$ si calcolano le tre forze da vento F in direzione +X:

Vento + X	$c_F > 0$	Ogni valore di φ	$F = 0.92 \times 2.70 \times 0.20 = 0.50kN$
Vento + X	$c_F < 0$	$\varphi = 0$	$F = 0.92 \times 2.70 \times -0.50 = -1.24kN$
Vento + X	$c_F < 0$	$\varphi = 1$	$F = 0.92 \times 2.70 \times -1.40 = -3.48kN$

Analogamente in direzione – X si ha:

Vento - X	$c_F > 0$	Ogni valore di φ	$F = 0.92 \times 2.70 \times 0.20 = 0.50kN$
Vento - X	$c_F < 0$	$\varphi = 0$	$F = 0.92 \times 2.70 \times -0.50 = -1.24kN$
Vento - X	$c_F < 0$	$\varphi = 1$	$F = 0.92 \times 2.70 \times -1.40 = -3.48kN$

Tale forza è applicata ad una distanza pari a $d/4$ dal bordo investito dal flusso, dove d è la luce dell'elemento investito dal vento. Nel nostro caso d = 2.465 m quindi $d/4 = 0.61\text{m}$.

Poiché il carico del vento agisce sulla tettoia come un carico superficiale e non come un carico concentrato, e la posizione del suo baricentro è pari a 1/4 della lunghezza della copertura, è necessario trovare una situazione di carico appropriata che tenga conto di questo. Una tale disposizione eccentrica del carico porta a problemi di instabilità non trascurabili dei supporti centrali. Una possibile disposizione del carico sarebbe un carico superficiale a forma di parabola, perché il suo centro di gravità è situato a 1/4 della lunghezza.

Nel caso in questione, a causa dell'impossibilità di inputare nel software un carico parabolico, è stato considerato un carico rettangolare applicando dappertutto l'ordinata di carico maggiore dell'eventuale carico parabolico.

Dividendo quindi il carico per l'area di ogni singolo pannello si ottiene il carico da distribuire su ciascun longherone.

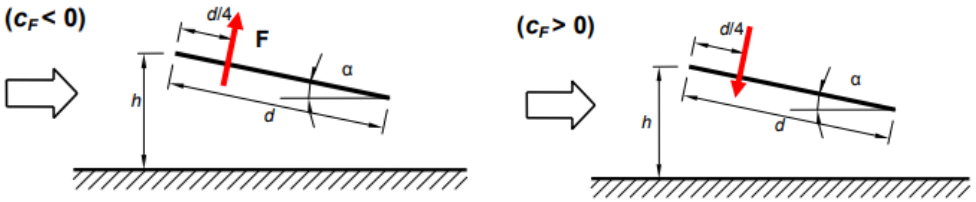
Vento + X	$c_F > 0$	Ogni valore di φ	$q = 0.50kN / (1.093 \times 2.465) = 0.19\text{kN/m}^2$
Vento + X	$c_F < 0$	$\varphi = 0$	$q = -1.24kN / (1.093 \times 2.465) = 0.46\text{kN/m}^2$
Vento + X	$c_F < 0$	$\varphi = 1$	$q = -3.48kN / (1.093 \times 2.465) = 1.29\text{kN/m}^2$

Analogamente per l'azione del vento in direzione -X.

Calcolo della risultante della forza da vento F in direzione Y

Essendo la tettoia piana, situazione analoga a quella mostrata in direzione X sarà presente nel caso in cui il vento agisca in direzione Y. Inoltre essendo il pannello disposto con lato più lungo in direzione X, il caso dell'azione del vento in direzione X risulta la più gravosa e quindi questa sarà l'unica modellata sul software riducendo le numerose combinazioni di carico che si potranno schematizzare semplicemente come:

Vento + X	$c_F > 0$	Ogni valore di φ	$q = 0.50kN / (1.093 \times 2.465) = 0.19\text{kN/m}^2$
Vento + X	$c_F < 0$	$\varphi = 1$	$q = -3.48kN / (1.093 \times 2.465) = 1.29\text{kN/m}^2$



1.1.6.1 Validazione del carico nel software

Di seguito si riporta un ingrandimento nel quale viene mostrato l'azione del carico applicata ai singoli longheroni. L'area di influenza è di 1.13 m circa, si ha quindi che: 0.86 kN/m^2 * 1.13 m = 0.97 kN/m. Tale carico risulta confermato dall'immagine che segue in cui vi è mostrato il carico agente sul singolo longherone nel software di calcolo.

6.5 Azione sismica

1.1.7 Classificazione della struttura e inquadramento sismico

Per quanto concerne la classificazione sismica, con il Decreto del Dirigente generale del DRPC Sicilia 11 marzo 2022, n. 64 è stata resa esecutiva la nuova classificazione sismica dei Comuni della Regione Siciliana.

La nuova classificazione sismica del territorio regionale della Sicilia prevede:

- 53 comuni classificati in zona 1;
- 304 comuni classificati in zona 2;
- 32 comuni classificati in zona 3;
- 2 comuni classificati in zona 4.

Il territorio in questione è parte della zona 3, come mostrato nella Figura 6-1.

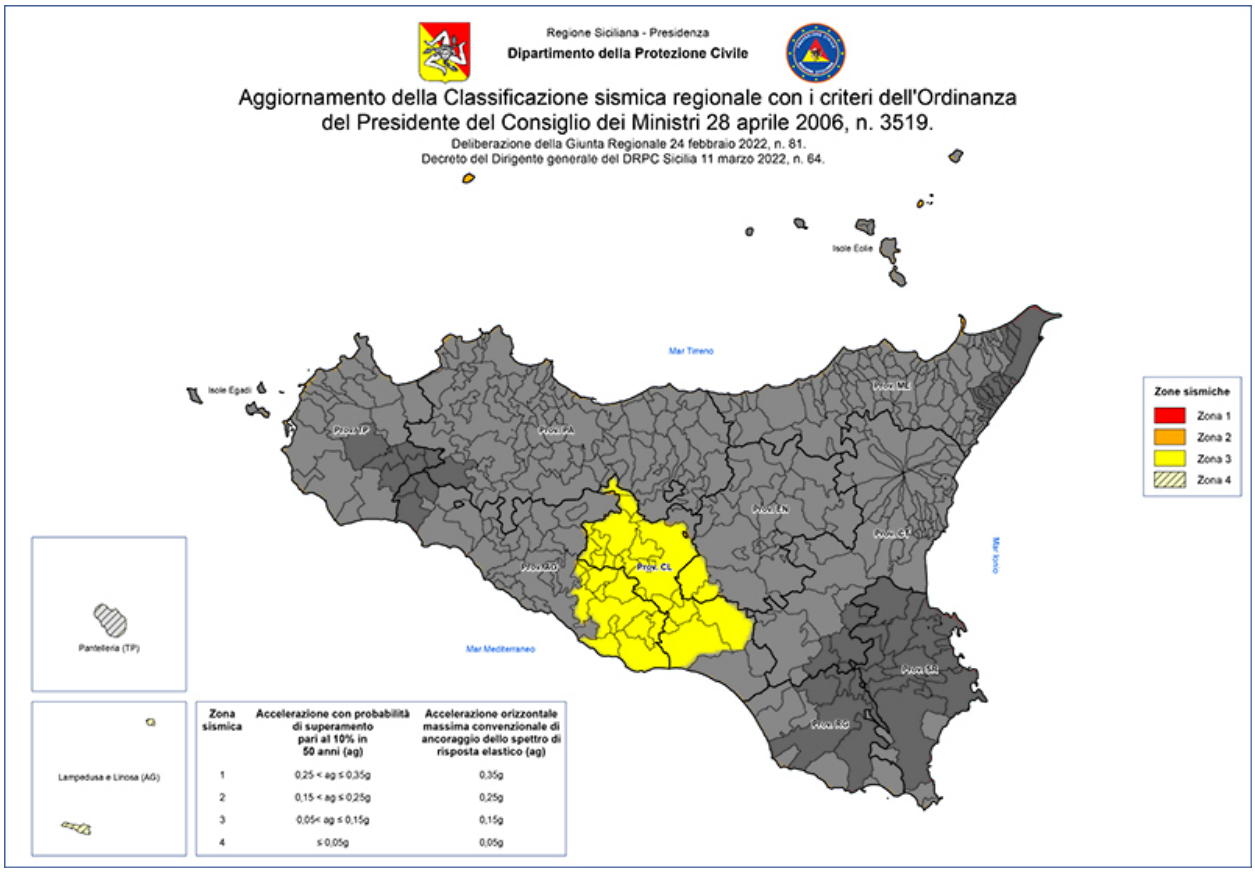


Figura 6-1: Classificazione sismica, Zona 3.

Alla luce dell'attuale classificazione sismica del territorio e delle norme tecniche vigenti, le costruzioni devono essere dotate di sistemi strutturali che garantiscano rigidezza e resistenza, oltre che nei confronti delle azioni verticali e orizzontali statiche, nei confronti di due componenti ortogonali orizzontali delle azioni sismiche.

Si deve inoltre tenere conto degli effetti torsionali che si accompagnano all'azione sismica. A tal fine gli orizzontamenti, ove presenti, devono essere dotati di rigidezza e resistenza tali da permettere loro di trasmettere le forze ai diversi sistemi resistenti a sviluppo verticale.

Le costruzioni soggette all'azione sismica, non dotate di appositi dispositivi dissipativi, come quella in questione, devono essere progettate in accordo ai seguenti comportamenti strutturali:

- Comportamento strutturale non dissipativo;
- Comportamento strutturale dissipativo;

Nel comportamento strutturale non dissipativo, gli effetti combinati delle azioni sismiche e delle altre azioni sono calcolati, indipendentemente dalla tipologia strutturale adottata, senza tenere conto delle non linearità di comportamento (materiale e geometriche) se non rilevanti.

Nel comportamento strutturale dissipativo, cui ci si riferisce quando si progetta per gli stati limite ultimi, gli effetti combinati delle azioni sismiche e delle altre azioni sono calcolati, in funzione della tipologia strutturale adottata, tenendo conto delle non linearità di comportamento.

Gli elementi strutturali delle fondazioni, che devono essere dimensionati sulla base delle sollecitazioni ad essi trasmesse dalla struttura sovrastante, devono avere comportamento non dissipativo, indipendentemente dal comportamento strutturale attribuito alla struttura su di essi gravante.

La progettazione dell'opera in questione è avvenuta adottando le seguenti ipotesi:

- Edificio con comportamento strutturale non dissipativo caratterizzato da struttura con pilastri e travi con orizzontamento infinitamente rigido.
- L'area di studio nella quale è prevista la progettazione ricade in Zona Sismica 3.

Dalle indagini geotecniche l'opera risulta appartenere ad un sottosuolo di categoria C e classe topografica T1. Per la struttura si prevede una vita nominale V_N di 100 anni e classe IV. Il periodo di ritorno T_R dell'azione sismica è quindi 101 anni per lo stato limite di danno SLD e 949 anni per lo stato limite di salvaguardia della vita SLV.

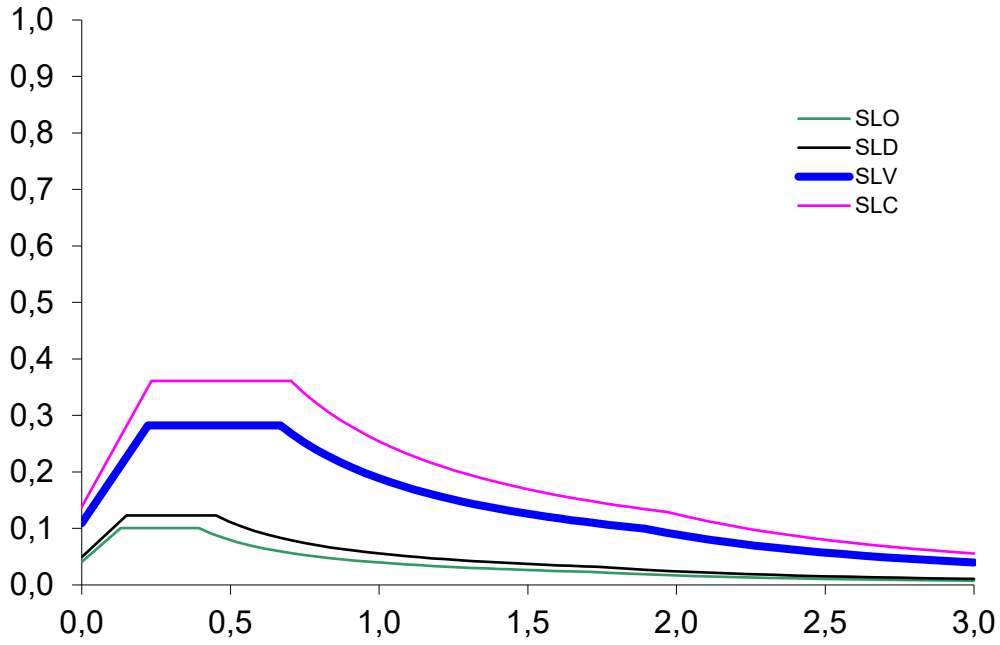
Si riportano di seguito i parametri di pericolosità sismica per il sito in esame:

Stato Limite	SLO	SLD	SLV	SLC
T_r	60	101	949	1950
a_g	0.027	0.033	0.073	0.092
F_o	2.487	2.485	2.579	2.617
T_c^*	0.231	0.284	0.510	0.550

Tabella 6-4: Parametri di pericolosità sismica.

1.1.8 Spettri di risposta in accelerazione

Si riportano gli spettri di risposta elastica per i diversi stati limite:



Seguono alcuni dei parametri principali per la creazione dello spettro.

	SLD	SLV
S a_g	0.049	0.110
T_B	0.151	0.223
T_C	0.452	0.669
$S_e(T_C)$	0.123	0.282
$S_d(T_C)$	0.123	0.282

1.1.9 Spettri di risposta di progetto e valutazione del fattore di struttura

L'analisi sismica adottata è l'analisi dinamica lineare. Si ha che "[...] le capacità dissipative delle strutture possono essere considerate attraverso una riduzione delle forze elastiche, che tenga conto in modo semplificato della capacità dissipativa anelastica della struttura, della sua sovraresistenza, dell'incremento del periodo proprio di vibrazione a seguito delle plasticizzazioni [...]". Pertanto, per valutare la domanda sismica verrà utilizzato uno spettro con le ordinate ridotte sostituendo nelle formule spettrali η con 1/q, dove q è il fattore di comportamento. Si assumerà comunque $S_d(T) \leq 0.2 \cdot a_g$.

Nel caso in questione è stato adottato un comportamento non dissipativo. Per le strutture a comportamento strutturale a non dissipativo si adotta un fattore di comportamento q_{ND} ridotto rispetto al valore minimo relativo alla CD "B" secondo l'espressione:

$$1 \leq q_{ND} = \frac{2}{3} q_{CD"B"} \leq 1.5$$

Si assume a vantaggio di sicurezza q_{ND} = 1.00.

6.6 Combinazione delle azioni

Ai fini delle verifiche agli stati limite le azioni sono combinate applicando le relazioni del par. 2.5.3 delle NTC 2018, quindi si ha:

- combinazione *fondamentale*, per le verifiche agli stati limite ultimi (SLU):

$$F_d = \gamma_{G1} \cdot G_{1k} + \gamma_{G2} \cdot G_{2k} + \gamma_{Q1} \cdot Q_{1k} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{2k} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{3k} + \ldots$$

- combinazione rara, per le verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$F_d = G_{1k} + G_{2k} + Q_{1k} + \psi_{02} \cdot Q_{2k} + \psi_{03} \cdot Q_{3k} + \ldots$$

- combinazione frequente, per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$F_d = G_{1k} + G_{2k} + \psi_{11} \cdot Q_{1k} + \psi_{22} \cdot Q_{2k} + \psi_{23} \cdot Q_{3k} + \ldots$$

- combinazione quasi permanente, per le verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) a lungo termine:

$$F_d = G_{1k} + G_{2k} + \psi_{21} \cdot Q_{1k} + \psi_{22} \cdot Q_{2k} + \psi_{23} \cdot Q_{3k} + \ldots$$

– combinazione sismica, per le verifiche agli stati limite di ultimi (SLV, SLC) e di esercizio (SLO, SLD) connessi all'azione sismica:

$$F_d = E + G_{1k} + G_{2k} + \psi_{21} \cdot Q_{1k} + \psi_{22} \cdot Q_{2k} + \psi_{23} \cdot Q_{3k} + \ldots$$

dove: G_{1k} sono i carichi permanenti strutturali, G_{2k} sono i carichi permanenti non strutturali, Q_{ik} le azioni variabili, con Q_{1k} azione dominante e Q_{2k}, Q_{3k}, … azioni variabili secondarie, ed E rappresenta l'azione sismica. Nelle formule sopra riportate il simbolo "+" vuol dire "combinato con".

I coefficienti di combinazione Ψ_{ij} sono ricavati dalla tabella 2.5.I delle NTC 2018. Invece i coefficienti γ_{G1}, γ_{G2} e γ_Q sono ricavati dalla tabella 2.6.I delle medesime norme. Entrambe le tabelle sono riportate di seguito.

CATEGORIA / AZIONE VARIABILE	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0.7	0.5	0.3
Categoria B - Uffici	0.7	0.5	0.3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0.7	0.7	0.6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0.7	0.7	0.6
Categoria E – Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale. Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1.0	0.9	0.8
Categoria F - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0.7	0.7	0.6
Categoria G – Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0.7	0.5	0.3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0.0	0.0	0.0
Categoria I – Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K – Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0.6	0.2	0.0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0.5	0.2	0.0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0.7	0.5	0.2
Variazioni termiche	0.6	0.5	0.0

Tabella 6-5

AZIONE	**EFFETTO**	**COEFFICIENTE γ_F**	**EQU**	**A1**	**A2**
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0.9	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Carichi permanenti G_2	Favorevole		0.8	0.8	0.8

	Sfavorevole	γ_{G2}	1.5	1.5	1.5
Carichi variabili Q	Favorevole	γ_{Qi}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3

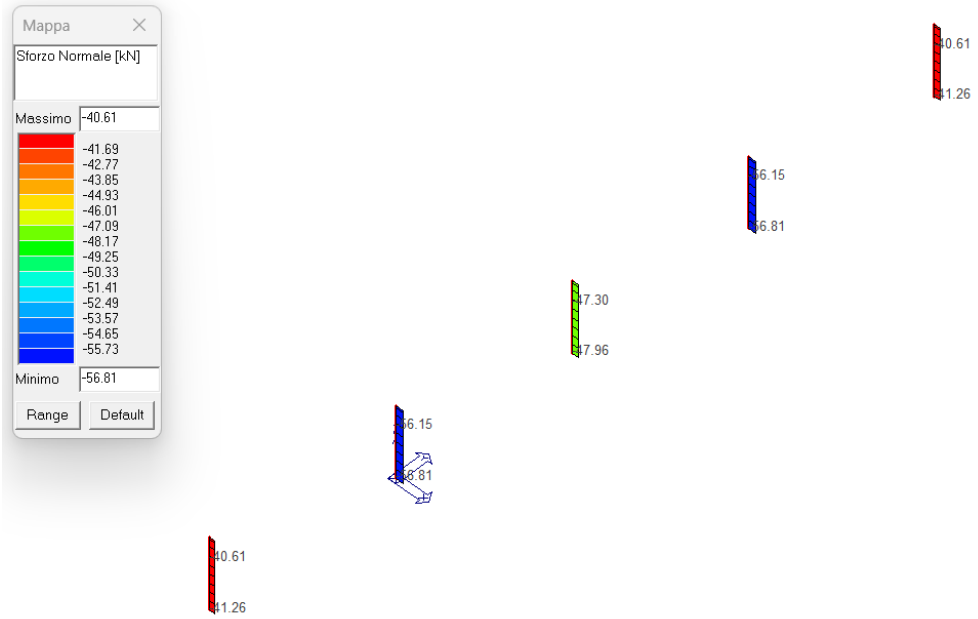
Tabella 6-6

7. VERIFICHE – COLONNE IN ACCIAIO

7.1 Sollecitazioni allo SLU

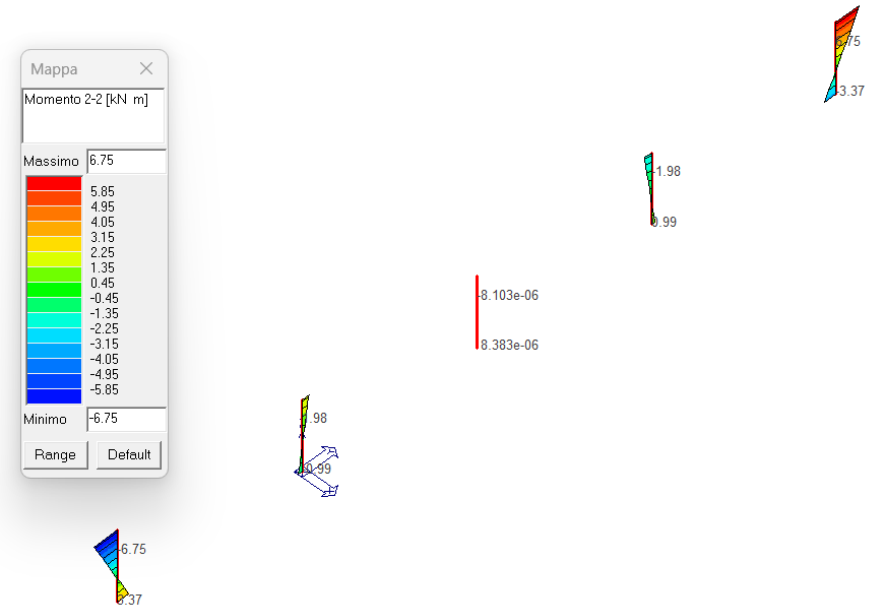
Si riportano di seguito le sollecitazioni massime (condizione più gravosa) allo SLU.

N_{max} = -56.81 kN



T_{xmax} = 4.00 kN

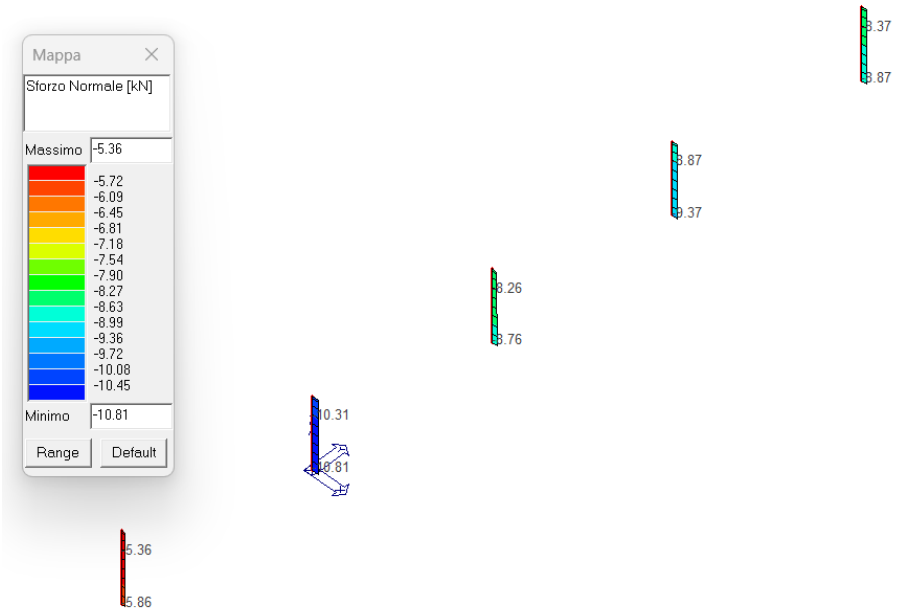
M_{xmax} = 6.75 kNm



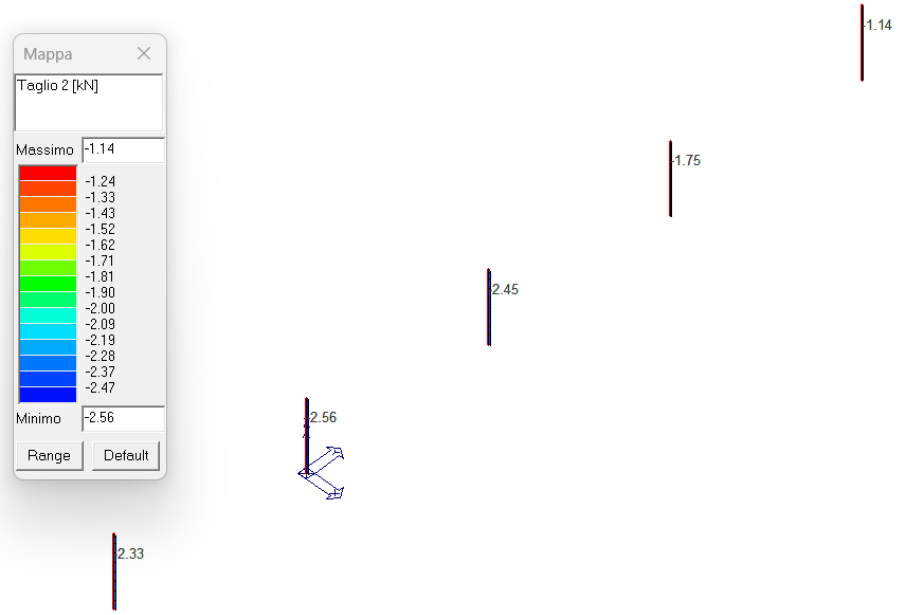
7.2 Sollecitazioni allo SLV

Si riportano di seguito le sollecitazioni massime (condizione più gravosa) allo SLV.

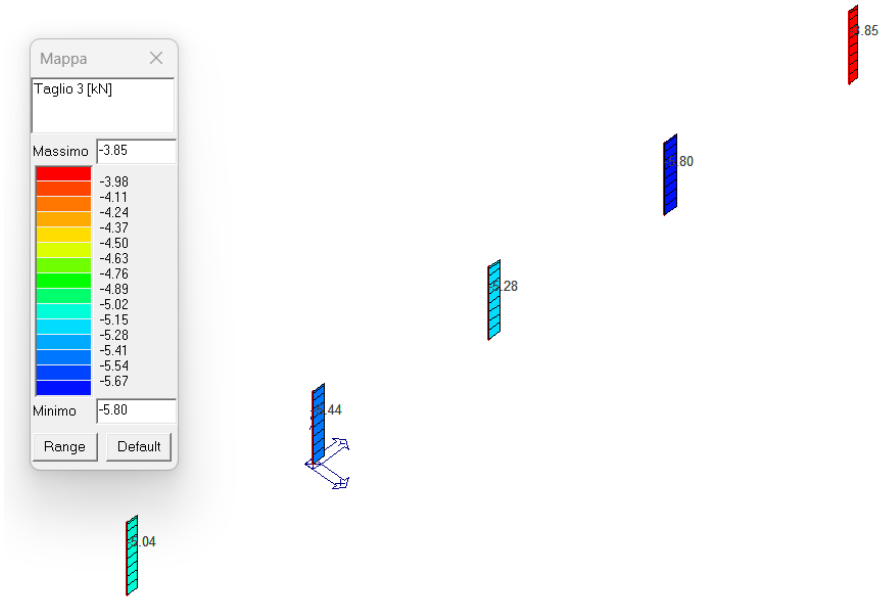
N_{max} = -10.81 kN



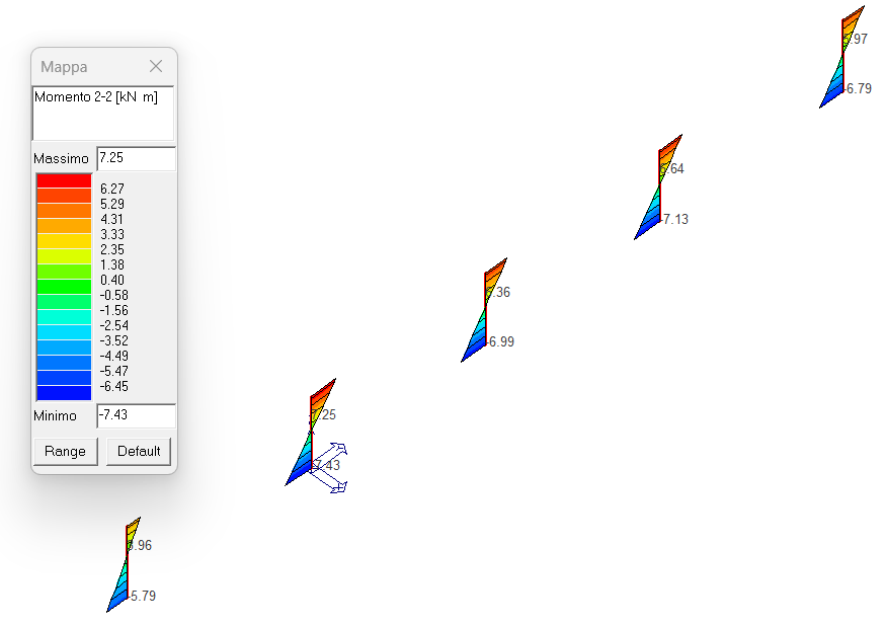
T_{xmax} =2.56 kN



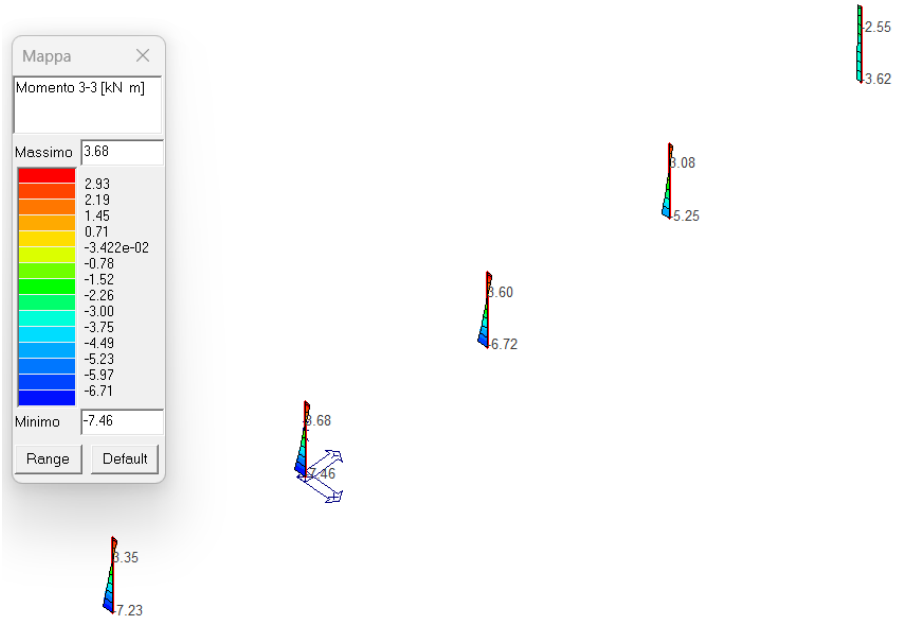
T_{ymax} =5.80 kN



M_{xmax} =7.43 kN

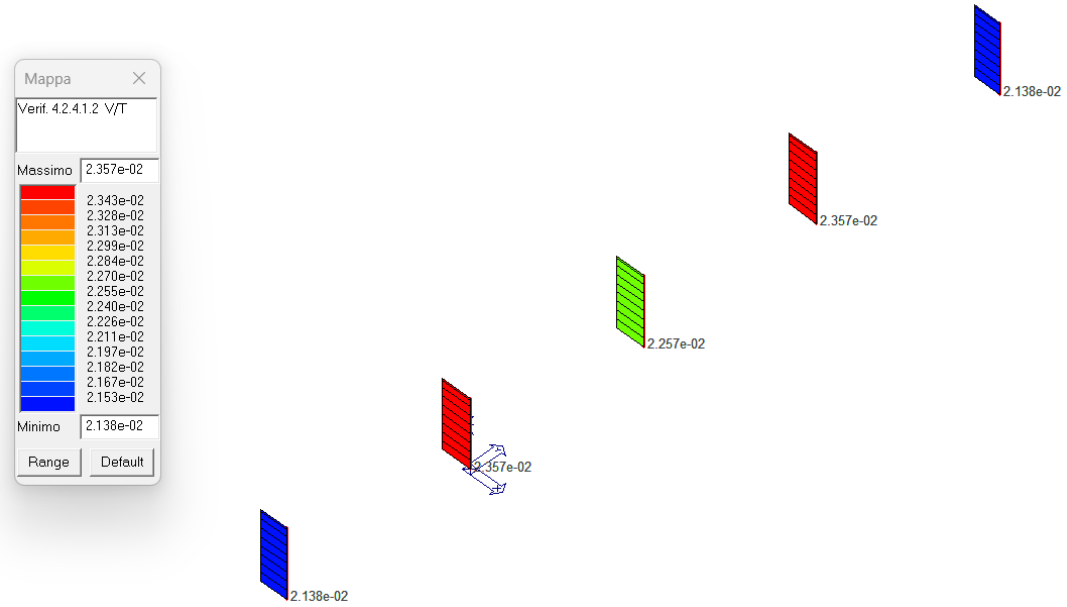

Mappa
Momento 2-2 [kN m]
Massimo 7.25
6.27
5.29
4.31
3.33
2.35
1.38
0.40
-0.58
-1.56
-2.54
-3.52
-4.49
-5.47
-6.45
Minimo -7.43
Range
Default
7.97
6.79
7.64
7.13
7.36
6.99
7.25
7.43
7.96
5.79

M_{ymax} =7.46 kN


Mappa
Momento 3-3 [kN m]
Massimo 3.68
2.93
2.19
1.45
0.71
-3.422e-02
-0.78
-1.52
-2.26
-3.00
-3.75
-4.49
-5.23
-5.97
-6.71
Minimo -7.46
Range
Default
2.55
3.62
3.08
5.25
3.60
6.72
3.68
7.46
3.35
7.23

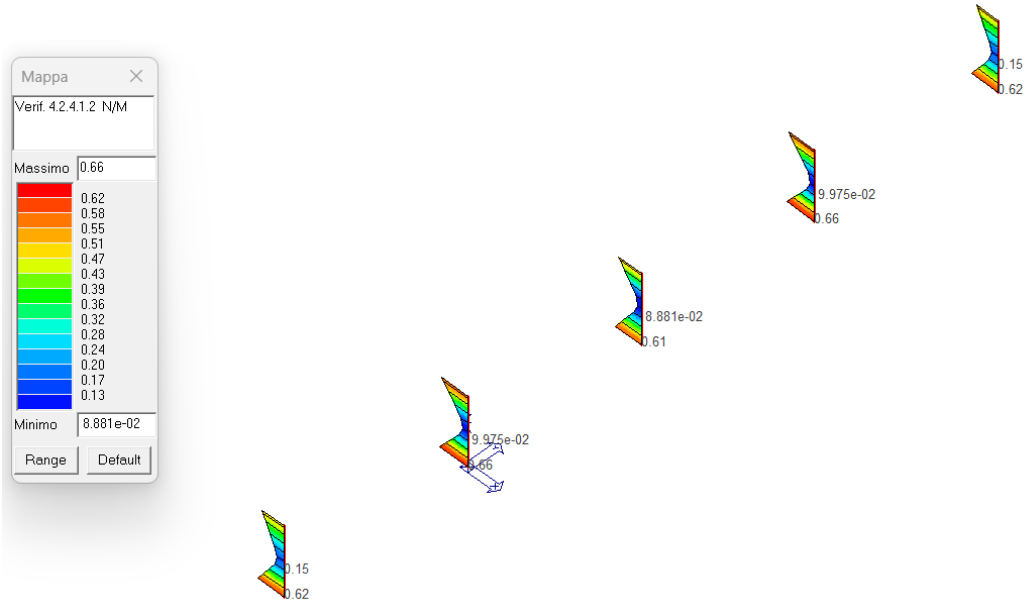
7.3 Verifica V/T

Di seguito vengono mostrati i risultati ottenuti dalla verifica a taglio e torsione (§4.2.4.1.2) degli elementi espressi mediante i valori di $V_{Ed}/V_{c,Rd}$ (oppure T_{Ed}/T_{Rd} qualora questa dovesse risultare più restrittiva). In presenza di torsione viene applicata la formula §4.2.24 per i profili ad I ed H o §4.2.25 per sezioni cave. La verifica è soddisfatta se il valore è inferiore ad 1 come mostra l'immagine di seguito.



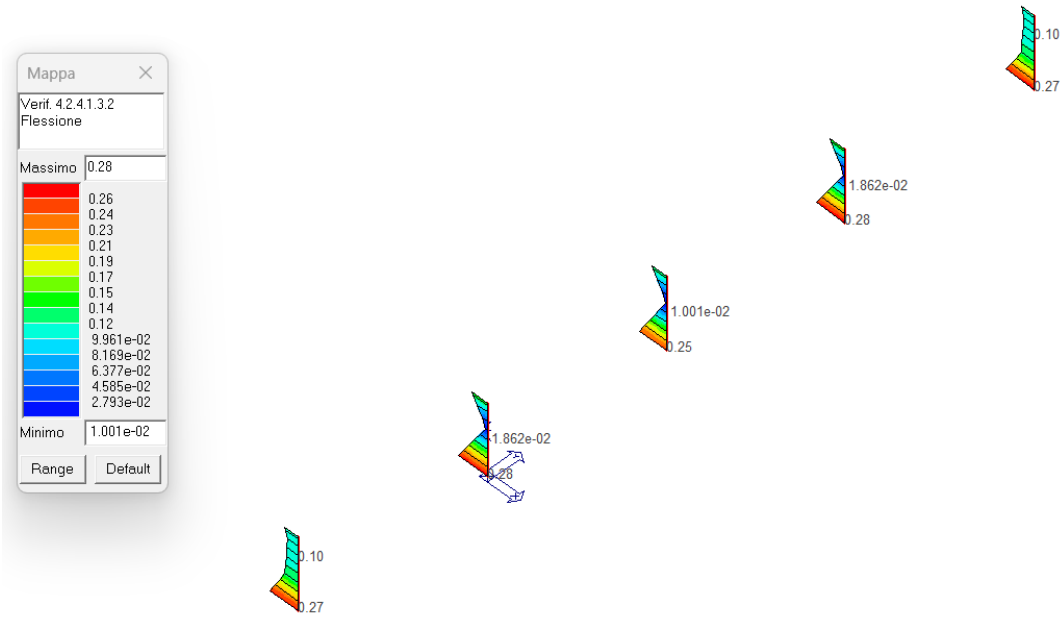
7.4 Verifica N/M

Di seguito vengono mostrati i risultati ottenuti dalla verifica a presso/tenso flessione delle colonne. La verifica tiene conto del fattore di riduzione ρ (formula §4.2.40). Le formule utilizzate sono la §4.2.38 o §4.2.39 in funzione della classe della sezione. La verifica è da considerarsi soddisfatta se il valore è inferiore ad 1 come mostra l'immagine di seguito.

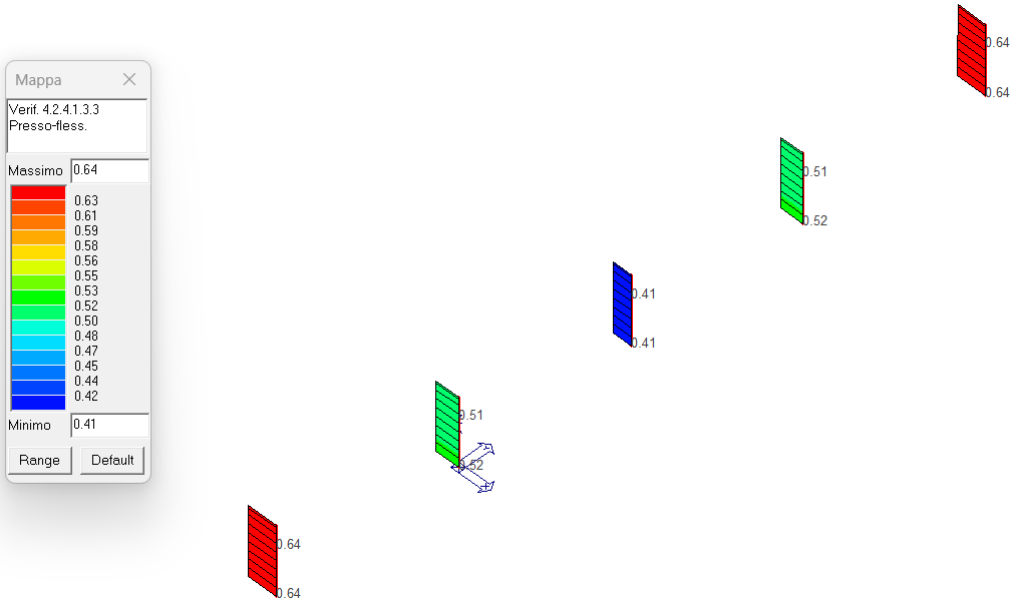


7.5 Verifiche di stabilità

Di seguito vengono mostrate le verifiche di stabilità eseguite secondo la formula 4.2.48. La verifica è da considerarsi soddisfatta se il valore è inferiore ad 1 come mostra l'immagine di seguito.



Di seguito vengono mostrate, invece, le verifiche di stabilità delle membrature presso-inflesse eseguite secondo uno dei due metodi previsti al paragrafo C.4.2.4.1.3.3 della circolare. La verifica è da considerarsi soddisfatta se il valore è inferiore ad 1 come mostra l'immagine che segue.

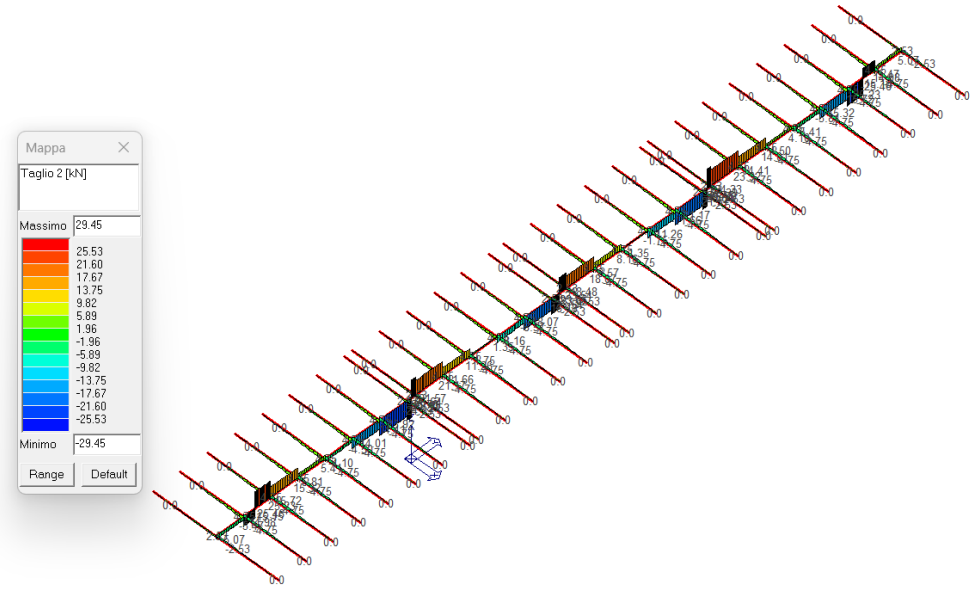

Mappa
Verif. 4.2.4.1.3.3
Presso-fless.
Massimo 0.64
0.63
0.61
0.59
0.58
0.56
0.55
0.53
0.52
0.50
0.48
0.47
0.45
0.44
0.42
Minimo 0.41
Range
Default
0.64
0.64
0.51
0.52
0.41
0.41
0.51
0.52
0.64
0.64

8. VERIFICHE – TRAVI IN ACCIAIO

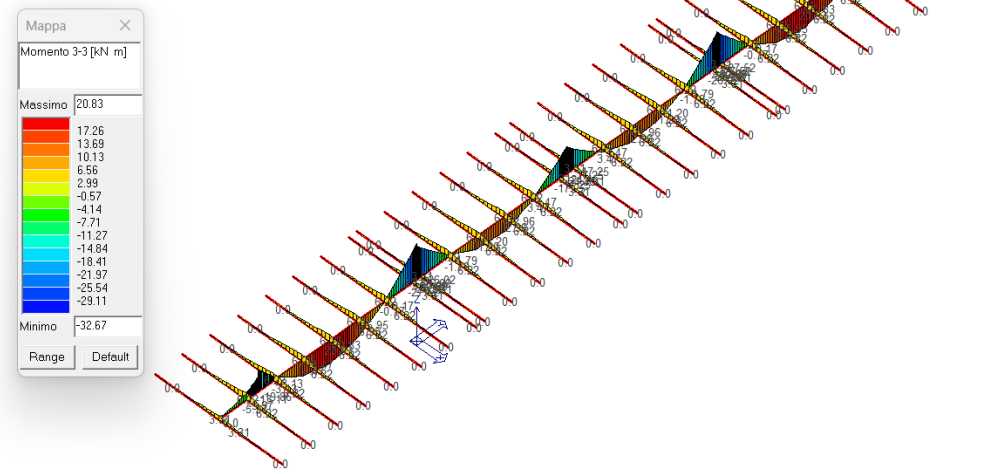
8.1 Sollecitazioni allo SLU

Si riportano di seguito le sollecitazioni massime (condizione più gravosa) allo SLU.

T_{xmax} = 29.45 kN



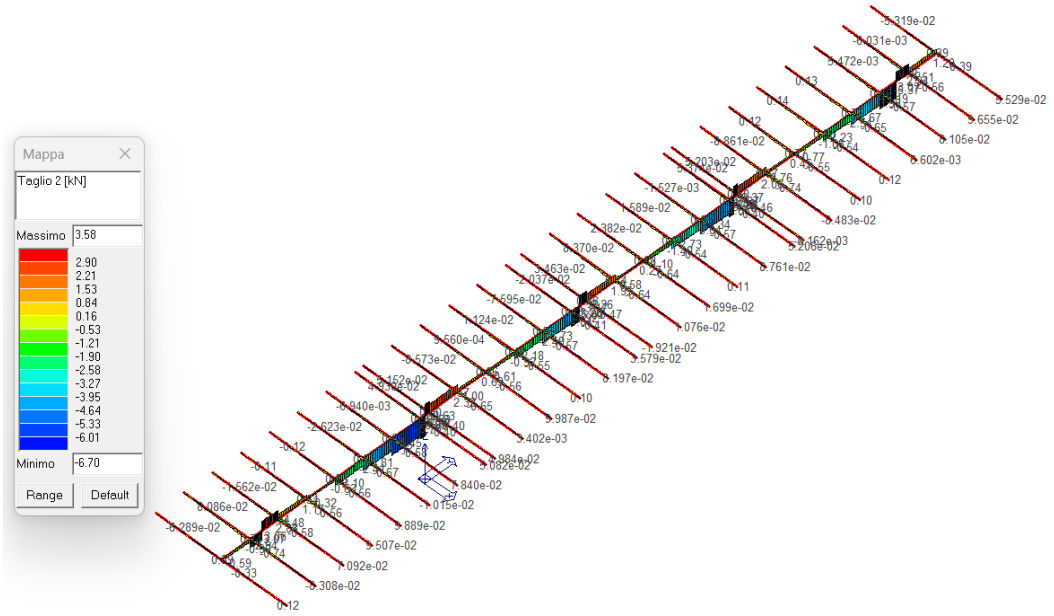
M_{xmax} = 32.67 kNm



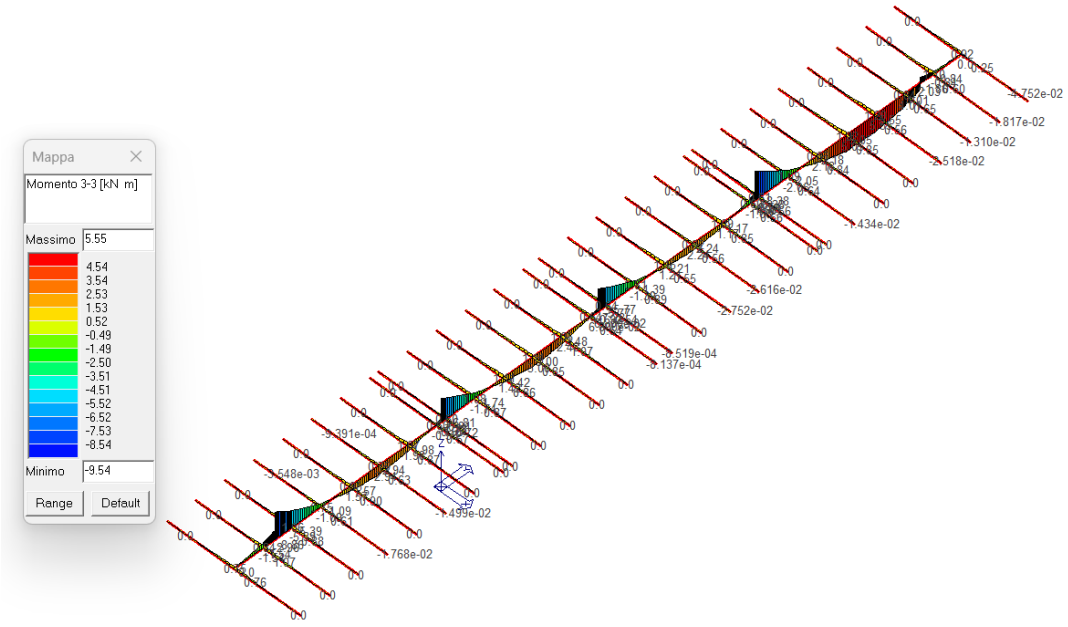
8.2 Sollecitazioni allo SLV

Si riportano di seguito le sollecitazioni massime (condizione più gravosa) allo SLV.

T_{max} = -6.70 kN

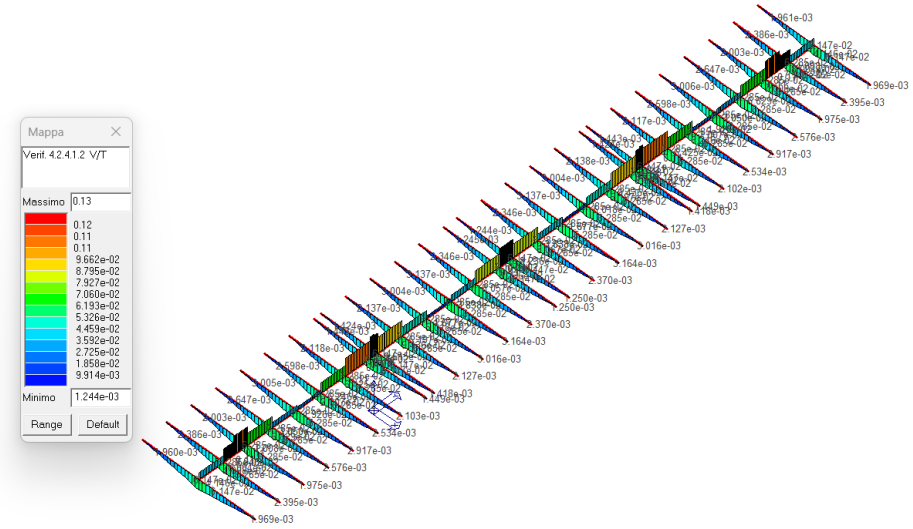


M_{xmax} =9.54 kNm



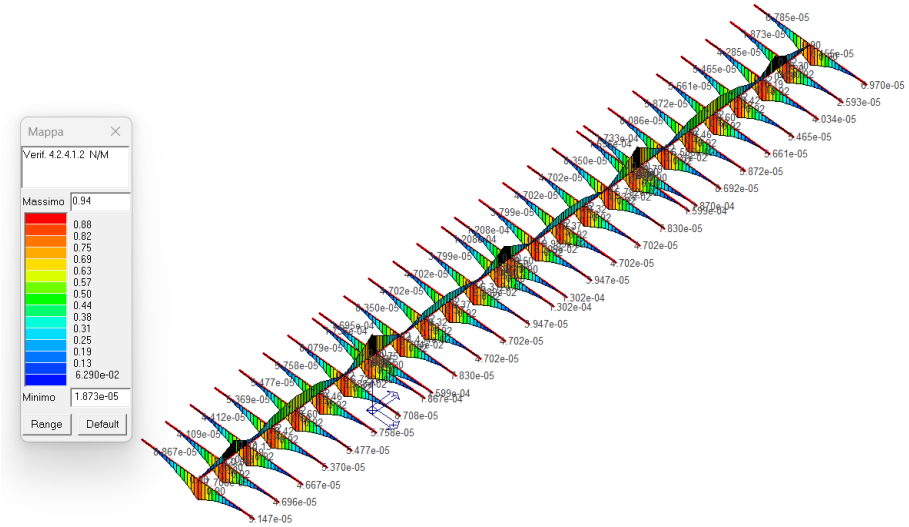
8.3 Verifica V/T

Di seguito vengono mostrati i risultati ottenuti dalla verifica a taglio e torsione (§4.2.4.1.2) degli elementi espressi mediante i valori di $V_{Ed}/V_{c,Rd}$ (oppure T_{Ed}/T_{Rd} qualora questa dovesse risultare più restrittiva). In presenza di torsione viene applicata la formula §4.2.24 per i profili ad I ed H o §4.2.25 per sezioni cave. La verifica è soddisfatta se il valore è inferiore ad 1 come mostra l'immagine di seguito.



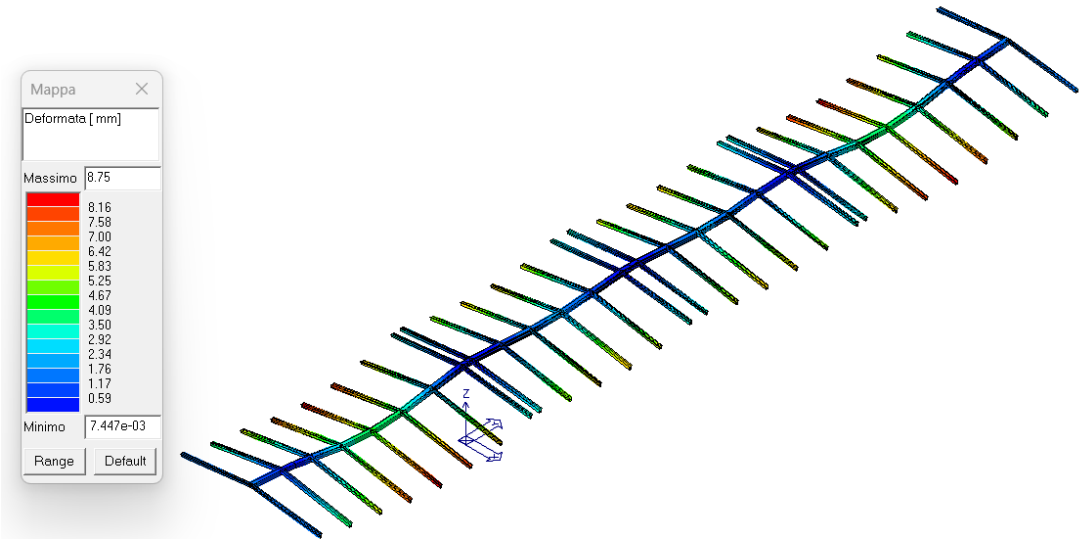
8.4 Verifica N/M

Di seguito vengono mostrati i risultati ottenuti dalla verifica a presso/tenso flessione delle colonne. La verifica tiene conto del fattore di riduzione ρ (formula §4.2.40). Le formule utilizzate sono la §4.2.38 o §4.2.39 in funzione della classe della sezione. La verifica è da considerarsi soddisfatta se il valore è inferiore ad 1 come mostra l'immagine di seguito.



8.5 Verifica di deformabilità

In condizione quasi permanente la deformata massima della struttura risulta pari a 8.75 mm.



Tale valore risulta inferiore al valore L/200 = 12.32 mm quindi tale spostamento risulta compatibile con le funzionalità dell'opera.