PROPONENTE

Repower Renewable Spa
Via Lavaredo, 44
30174 Mestre (VE)

PROJECT MANAGER : Dott.Giuseppe Caricato

REPOWER
L'energia che ti serve.

PROGETTAZIONE

TENPROJECT

Tenproject Srl -via De Gasperi 61
82018 S.Giorgio del Sannio (BN)
t +39 0824 337144 - f +39 0824 49315
tenproject.it - info@tenproject.it

N° COMMESSA

1478

NUOVO PARCO EOLICO CASAMASSIMA "LOC. PARCO SAN NICOLA" e "VILLA ABBADO"
PROVINCIA DI BARI
COMUNI DI CASAMASSIMA - RUTIGLIANO - TURI

PROGETTO DEFINITIVO PER AUTORIZZAZIONE

RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE

CODICE ELABORATO

10.1

NOME FILE
1478-PD_A_10.1_REL_r00

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICA	APPROVAZIONE
00	12/2021	PRIMA EMISSIONE	SC	NF	NF

COPYRIGHT - TUTTI I DIRITTI SONO RISERVATI A NORMA DI LEGGE

INDICE

1 PREMESSA 2

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO 3

3 DESCRIZIONE OPERE 4

3.1 PLINTO DI FONDAZIONE 4
3.2 SOTTOSTAZIONE DI TRASFORMAZIONE 30/150 KV 5
3.2.1 FONDAZIONE TRASFORMATORE DI POTENZA 30/150 KV 6
3.2.2 FONDAZIONE E SOSTEGNO SCARICATORE DI SOVRATENSIONE 6
3.2.3 FONDAZIONE E SOSTEGNO TRASFORMATORE DI TENSIONE CAPACITIVO (TVC) 7
3.2.4 FONDAZIONE E SOSTEGNO TRASFORMATORE DI TENSIONE INDUTTIVO (TVI) 7
3.2.5 FONDAZIONE E SOSTEGNO TRASFORMATORE DI CORRENTE (TA) 8
3.2.6 FONDAZIONE E SOSTEGNO TERMINALE CAVI AT + SCARICATORI AT 8
3.2.7 FONDAZIONE E SOSTEGNO M.A.T. NEUTRO 9
3.2.8 FONDAZIONE E SOSTEGNO SEZIONATORE TRIPOLARE 9
3.2.9 FONDAZIONE INTERRUTTORE 10
3.2.10 FONDAZIONE ARRIVO CAVI MT 10
3.2.11 EDIFICIO UTENTE 11

4 MATERIALI IMPIEGATI 12

5 ANALISI DEI CARICHI 14

6 AZIONI SULLE STRUTTURE 14

6.1 CARICHI TORRE 14
6.2 CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI 15
6.3 CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI 15
6.4 CARICHI ACCIDENTALI 15
6.5 AZIONE DEL VENTO 15
6.6 AZIONE DELLA NEVE 16
6.7 AZIONE SISMICA 18

7 DEFINIZIONE DELLE COMBINAZIONI 19

8 MODELLO AGLI ELEMENTI FINITI 20

9 CODICE DI CALCOLO IMPIEGATO 24

10 PROGETTO E VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI 26

10.1 VERIFICHE STRUTTURALI ELEMENTI IN ACCIAIO. 26

10.2 VERIFICHE STRUTTURALI ELEMENTI IN C.A. 40

11 CALCOLO DELLE FONDAZIONI SUPERFICIALI 63

11.1 CARICO LIMITE FONDAZIONI SUPERFICIALI 63

12 VERIFICHE GEOTECNICHE 65

13 CONCLUSIONI 70

1 PREMESSA

Il progetto descritto nella presente relazione riguarda la realizzazione di un impianto eolico costituito da 7 aerogeneratori della potenza di 6 MW ciascuno, per una potenza di 42 MW, integrato con un sistema di accumulo con batterie agli ioni da 15,2 MW, per una potenza complessiva in immissione di 57,2 MW, da installare nei comuni di Rutigliano, Turi e Casamassima, in Provincia di Bari in località "Parco San Nicola" e "Villa Abbado", con opere di connessione alla rete di trasmissione nazionale ricadenti nel comune di Casamassima in località "Patalino".

Proponente dell'iniziativa è la società Repower Renewable SpA (anche solo Repower nel prosieguo).

Il sito di installazione degli aerogeneratori è ubicato tra i centri abitati di Casamassima, Rutigliano e Turi, dai quali gli aerogeneratori più prossimi distano rispettivamente 2,6 km, 4,2 km e 9 km.

Gli aerogeneratori sono collegati tra di loro mediante un cavidotto in media tensione interrato (detto "cavidotto interno") che sarà posato sempre al di sotto di viabilità esistente.

Dall'aerogeneratore denominato A06 parte il tracciato del cavidotto in media tensione (detto "cavidotto esterno") che percorre anch'esso viabilità esistente fino a raggiungere la stazione elettrica di trasformazione 30/150 kV di progetto (in breve SE di utenza). Il tracciato del cavidotto esterno è lungo poco meno di 10 km.

La SE di utenza, infine, è collegata in antenna a 150 kV alla sezione 150 kV della prevista stazione elettrica di trasformazione della RTN 380/150 kV di proprietà di Terna SpA (in breve SE Terna), da inserire in entra-esce alla linea 380 kV "Andria – Brindisi Sud ST" tramite raccordi aerei di lunghezza inferiore a 500 m.

La futura SE Terna in progetto sarà a servizio anche di altri impianti di produzione di energia elettrica, sia da fonte eolica che da fonte fotovoltaica, e costituirà un vero e proprio hub per la connessione degli impianti di produzione da fonte rinnovabile nell'area vasta di riferimento.

All'interno della stazione utente è prevista l'installazione di un sistema di accumulo di energia denominato BESS - Battery Energy Storage System, basato su tecnologia elettrochimica a ioni di litio, comprendente gli elementi di accumulo, il sistema di conversione DC/AC e il sistema di elevazione con trasformatore e quadro di interfaccia.

La presente relazione descrive le opere strutturali previste per il progetto dell'impianto eolico.

Le opere previste per la realizzazione del suddetto impianto consistono in:

- Fondazioni degli aerogeneratori;
- Opere previste per la sottostazione di trasformazione 30/150 kV;

Nei paragrafi successivi la descrizione delle opere.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le fasi di analisi e verifica della struttura sono state condotte in accordo alle seguenti disposizioni normative:

NORMATIVA NAZIONALE

Legge 5 novembre 1971 n. 1086 (G. U. 21 dicembre 1971 n. 321)
"*Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica*".

Legge 2 febbraio 1974 n. 64 (G. U. 21 marzo 1974 n. 76)
"*Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche*".
Indicazioni progettive per le nuove costruzioni in zone sismiche a cura del Ministero per la Ricerca scientifica - Roma 1981.

D. M. Infrastrutture Trasporti 17/01/2018 (G.U. 20/02/2018 n. 42 - Suppl. Ord. n. 8)
"Aggiornamento delle *Norme tecniche per le Costruzioni*".

Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, ad integrazione della norma precedente e per quanto con esse non in contrasto, sono state utilizzate le indicazioni contenute nelle seguenti norme:

Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (G.U. 11 febbraio 2019 n. 35 – Suppl. Ord.)
"*Istruzioni per l'applicazione delle 'Norme Tecniche delle Costruzioni' di cui al D.M. 17 gennaio 2018*".

NORMATIVA INTERNAZIONALE

UNI 9858 "Concrete. Performance, production, placing and compliance criteria.
UNI ENV 1992-1-1 del 31-01-1993 Eurocodice 2. Progettazione delle strutture di calcestruzzo.

3 DESCRIZIONE OPERE

3.1 Plinto di fondazione

Per ciascuno degli aerogeneratori, denominati con le sigle A01, A02, A03, A04, A05, A06, A07 si prevedono plinti di forma geometrica divisibile in tre solidi di cui il primo è un cilindro (corpo 1) con un diametro di **25.00m** e un'altezza di **0.75m**, il secondo (corpo 2) è un tronco di cono con diametro di base pari a **25.00m**, diametro superiore di **7.20m** e un'altezza pari a **1.75m**; il terzo corpo (corpo 3) è un cilindro con un diametro di **7.20m** e un'altezza di **1.00m;** infine nella parte centrale del plinto, in corrispondenza della gabbia tirafondi, si individua un tronco di cono con diametro di base pari a **6.60m,** diametro superiore pari a **6.00m** e altezza pari a **0.30m.**

Viste le caratteristiche geologiche del terreno ad ora disponibili e gli enti sollecitanti, le fondazioni degli aerogeneratori sono del tipo diretto**.**

Di seguito le sezioni delle fondazioni con le tabelle con le caratteristiche dimensionali.

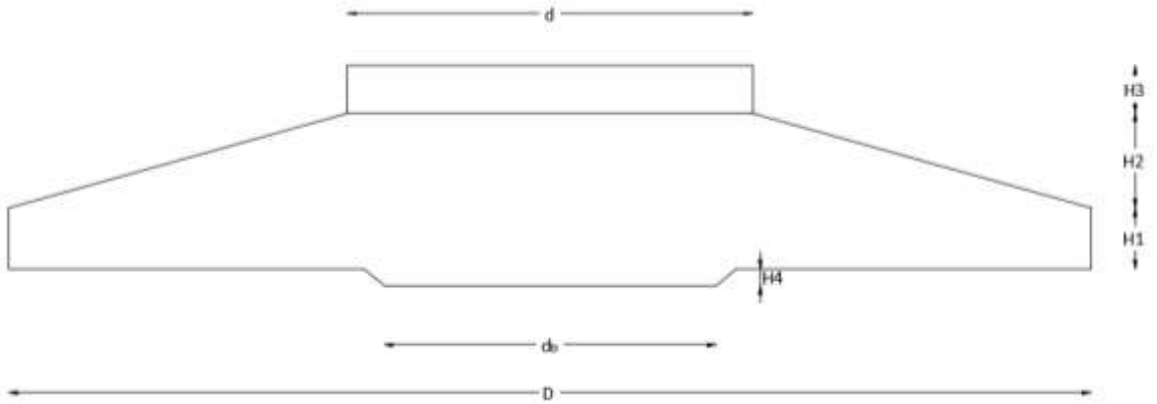

Figura 1 - geometria plinto diretto

SIMBOLO	DIM	U.M.
D	25,00	m
d	7,20	m
d_b	6,00	m
H1	0,75	m
H2	1,75	m
H3	1,00	m
H4	0,30	m
H_{tot}	3,50	m
Volume plinto	809,00	m^3

Si rimanda in ogni caso al progetto esecutivo per maggiori dettagli sulla geometria, le dimensioni del plinto.

3.2 Sottostazione di trasformazione 30/150 kV

Il progetto prevede la realizzazione di una sottostazione di trasformazione 30/150 kV di progetto.

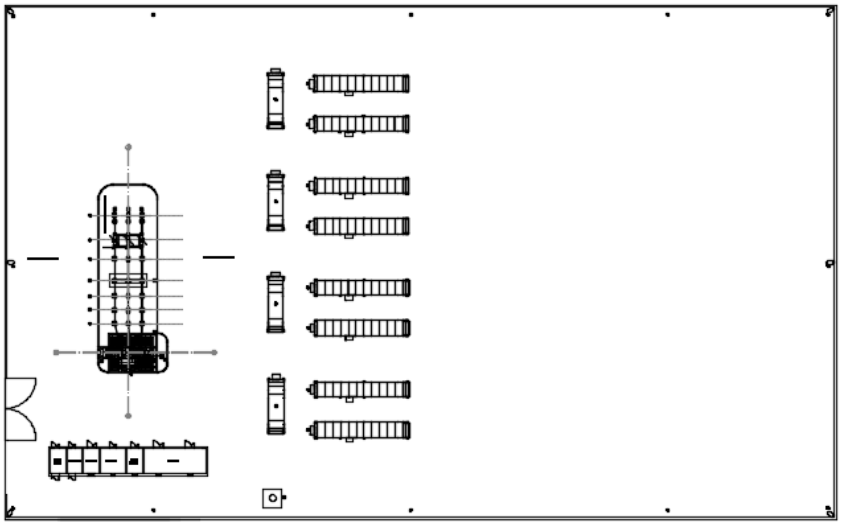

Figura 2 - vista planimetrica della stazione

Le opere previste per la realizzazione della suddetta stazione consistono in:

- Fondazione trasformatore di potenza 30/150 kV;
- Fondazione e sostegno scaricatore di sovratensione;
- Fondazione e sostegno trasformatore di tensione capacitivo (TVC);
- Fondazione e sostegno trasformatore di tensione induttivo (TVI);
- Fondazione e sostegno trasformatore di corrente (TA);
- Fondazione e sostegno terminale cavi AT + scaricatori AT;
- Fondazione e sostegno M.A.T. neutro;
- Fondazione e sostegno sezionatore tripolare;
- Fondazione interruttore;
- Fondazione e sostegno arrivo cavi MT;
- Fondazione arrivo cavi;
- Edificio Utente.

3.2.1 Fondazione trasformatore di potenza 30/150 kV

La vasca ha dimensioni in pianta 8.00 m x 6.00 m ed un'altezza pari a 2.50 m. la platea ha uno spessore di 30 cm, su quest'ultima si innestano le pareti perimetrali che hanno spessore pari a 30 cm per il primo 1.80 m e pari a 20 cm per i restanti 40 cm; i setti centrali porta trasformatore hanno spessore 70 cm per il primo 1.80 m e pari a 50 cm per i restanti 40 cm

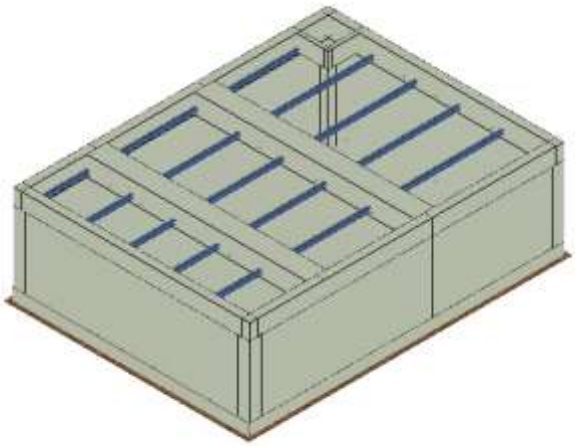

Figura 3 - vista

3.2.2 Fondazione e sostegno scaricatore di sovratensione

Per lo scaricatore è stata considerata come struttura di supporto un profilato tubolare cavo a sezione circolare di diametro 219.1 mm, spessore 4.0 mm ed altezza 4.55 m. I collegamenti sono di tipo flangiato. Si è adottata un tipo di fondazione a plinto isolato di forma quadrata di dimensioni 1.40 m x 1.40 m ed altezza di 60 cm e con un colletto superiore di dimensione 0.60 m x 0.60 m e spessore 45 cm. L'interconnessione tra il plinto e il supporto dell'apparecchiatura elettromeccanica è assicurata da n°4 tirafondi in acciaio zincato a caldo.

Figura 4 - vista

3.2.3 Fondazione e sostegno trasformatore di tensione capacitivo (TVC)

Per l'apparecchiatura trasformatore di tensione capacitivo è stata considerata come struttura di supporto un profilato tubolare cavo a sezione circolare di diametro 168.3 mm, spessore 6.3 mm ed altezza 2.60 m. I collegamenti sono di tipo flangiato. Il collegamento con la fondazione è effettuato tramite 4 tirafondi ad uncino, annegati in un plinto di fondazione a base quadrata di dimensioni 1.4 x 1.4 m ed altezza ed altezza di 0.60 m e con un colletto superiore di dimensione 0.60 m x 0.60 m e spessore 0.45 m.

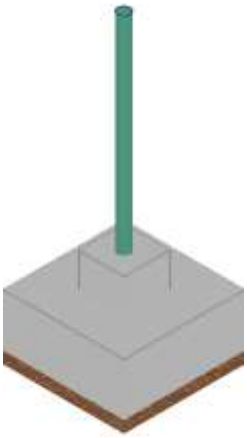

Figura 5 - Vista

3.2.4 Fondazione e sostegno trasformatore di tensione induttivo (TVI)

Per l'apparecchiatura trasformatore di tensione induttivo è stata considerata come struttura di supporto un profilato tubolare cavo a sezione circolare di diametro 168.3 mm, spessore 6.3 mm ed altezza 3.63 m. I collegamenti sono di tipo flangiato. Il collegamento con la fondazione è effettuato tramite 4 tirafondi ad uncino, annegati in un plinto di fondazione a base quadrata di dimensioni 1.4 x 1.4 m ed altezza ed altezza di 0.60 m e con un colletto superiore di dimensione 0.60 m x 0.60 m e spessore 0.45 m.

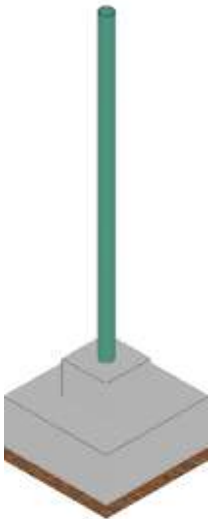

Figura 6 - vista

3.2.5 Fondazione e sostegno trasformatore di corrente (TA)

Per l'apparecchiatura trasformatore di corrente è stata considerata come struttura di supporto un profilato tubolare cavo a sezione circolare di diametro 168.3 mm, spessore 6.3 mm ed altezza 4.32 m. I collegamenti sono di tipo flangiato. Il collegamento con la fondazione è effettuato tramite 4 tirafondi ad uncino, annegati in un plinto di fondazione a base quadrata di dimensioni 1.4 x 1.4 m ed altezza ed altezza di 0.60 m e con un colletto superiore di dimensione 0.60 m x 0.60 m e spessore 0.45 m.

Figura 7 - vista

3.2.6 Fondazione e sostegno terminale cavi AT + scaricatori AT

Per l'apparecchiatura terminale cavi è stata considerata come struttura di supporto un profilato tubolare cavo a sezione circolare di diametro 168.3 mm, spessore 6.3 mm ed altezza 2.5 m. I collegamenti sono di tipo flangiato, sia tra pilastro e profili tipo UPN 100 sia in fondazione. In quest'ultimo caso il collegamento è effettuato tramite 4 tirafondi ad uncino, annegati in un plinto di fondazione a base quadrata di dimensioni 1.4 x1.4 m ed altezza ed altezza di 0.60 m e con un colletto superiore di dimensione 0.60 m x 0.60 m e spessore 0.45 m.

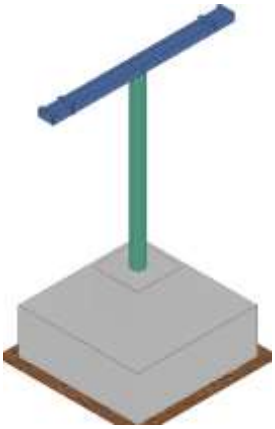

Figura 8 - vista

3.2.7 Fondazione e sostegno M.A.T. neutro

Per il MAT neutro è stata considerata come struttura di supporto un profilato tubolare cavo a sezione circolare di diametro 114.3 mm, spessore 4.5 mm ed altezza 5.6 m. Si è adottata un tipo di fondazione a plinto isolato di forma quadrata di dimensioni 1.40 m x 1.40 m ed altezza di 60 cm e con un colletto superiore di dimensione 0.60 m x 0.60 m e spessore 45 cm. L'interconnessione tra il plinto e il supporto dell'apparecchiatura elettromeccanica è assicurata da n°4 tirafondi in acciaio zincato a caldo.

Figura 9 – Vista

3.2.8 Fondazione e sostegno sezionatore tripolare

Per il Sezionatore è stata considerata come struttura di supporto due profilati tubolari cavi a sezione circolare di diametro 168.3 mm, spessore 6.3 mm ed altezza 2.54 m, sulla quale si innestano travi UPN100. La fondazione a platea di forma rettangolare di dimensioni 1.60 m x 6.00 m e spessore 75 cm. L'interconnessione tra la platea e il supporto dell'apparecchiatura elettromeccanica è assicurata da n°12 tirafondi in acciaio zincato a caldo.

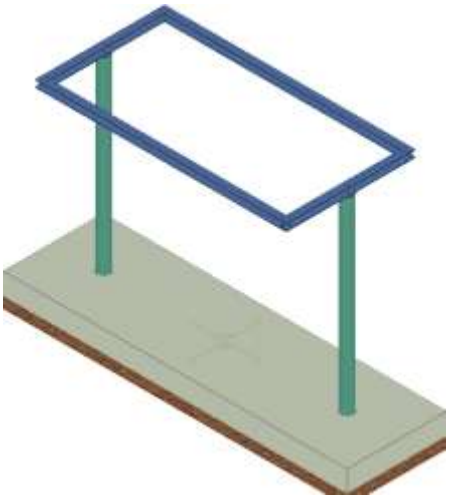

Figura 10 - Vista

3.2.9 Fondazione Interruttore

Per l'interruttore è prevista una platea di fondazione di forma rettangolare di dimensioni 1.70 m x 6.00 m e spessore 75 cm. L'interconnessione tra la platea e il supporto dell'apparecchiatura elettromeccanica è assicurata da n°8 tirafondi in acciaio zincato a caldo.

Figura 11 - vista

3.2.10 Fondazione arrivo cavi MT

Per il castelletto cavi MT è stata considerata come struttura di supporto 2 profili tubolari cavi a sezione circolare di diametro 168.3 mm, spessore 4.0 mm ed altezza 3.75 m, sui quali si innestano travi tipo UPN100. I collegamenti sono di tipo flangiati. L'elemento di fondazione è un plinto di dimensioni 1.60 m x 0.60 m x 0.80 m.

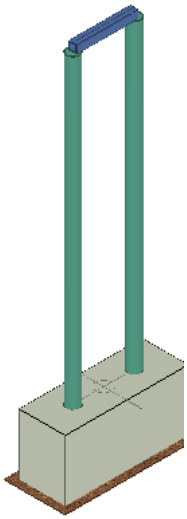

Figura 12 – Vista

3.2.11 Edificio Utente

L'edificio si sviluppa su un livello interrati ed uno fuori terra; la struttura sarà realizzata in c.a. con travi, pilastri e pareti, la fondazione sarà a platea e la copertura sarà realizzata con travetti precompressi e pignatte. L'edificio ha dimensioni in pianta pari a 25.60 x 4.60 ed un'altezza fuori terra di 3.50 m.

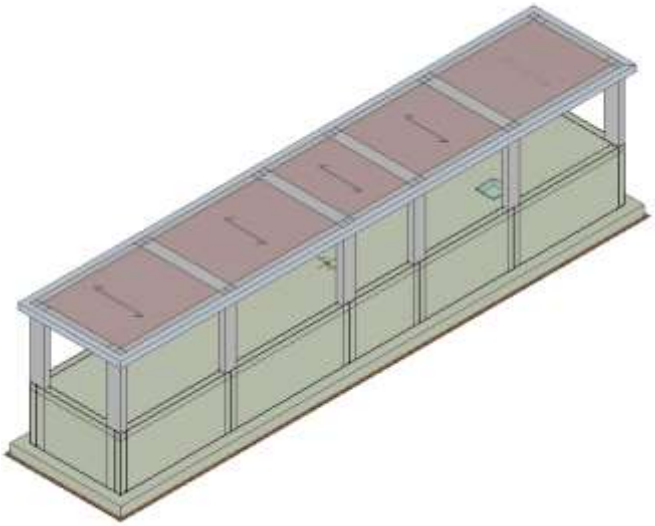

Figura 13 – vista

4 MATERIALI IMPIEGATI

Le prestazioni della struttura e le condizioni per la sua sicurezza sono state individuate comunemente dal progettista e dal committente, particolare attenzione è stata posta per garantire la durabilità della struttura, con la consapevolezza che tutte le prestazioni attese potranno essere adeguatamente realizzate solo mediante opportune procedure da seguire non solo in fase di progettazione, ma anche di costruzione, manutenzione e gestione dell'opera.

Per quanto riguarda la durabilità si sono presi tutti gli accorgimenti utili alla conservazione delle caratteristiche fisiche e dinamiche dei materiali e delle strutture, in considerazione dell'ambiente in cui l'opera dovrà vivere e dei cicli di carico a cui sarà sottoposta. La qualità dei materiali e le dimensioni degli elementi sono coerenti con tali obiettivi.

Tutti i materiali strutturali impiegati devono essere muniti di marcatura "CE", ed essere conformi alle prescrizioni del "REGOLAMENTO (UE) N. 305/2011 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 9 marzo 2011", in merito ai prodotti da costruzione.

Per la realizzazione dell'opera in oggetto saranno impiegati i seguenti materiali:

Tabella 1 - Caratteristiche calcestruzzo armato

N_{id}	γ_k	$\alpha_{T,i}$	E	G	C_{Erid}	Stz	R_{ck}	R_{cm}	$\%R_{ck}$	γ_c	f_{cd}	f_{ctd}	f_{cfm}	n	n Ac
	[N/m³]	[1/°C]	[N/mm²]	[N/mm²]	[%]		[N/mm²]	[N/mm²]			[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]		
Cls C32/40															
002	25,000	0.000010	33,346	13,894	60	P	40.00	-	0.85	1.50	18.81	1.41	3.63	15	003
Cls C45/55															
003	25,000	0.000010	36,283	15,118	60	P	55.00	-	0.85	1.50	25.87	1.65	4.44	15	003
Cls C25/30															
004	25,000	0.000010	31,447	13,103	60	P	30.00	-	0.85	1.50	14.11	1.19	3.07	15	003

LEGENDA:

N_{id}	Numero identificativo del materiale, nella relativa tabella dei materiali.
γ_k	Peso specifico.
$\alpha_{T,i}$	Coefficiente di dilatazione termica.
E	Modulo elastico normale.
G	Modulo elastico tangenziale.
C_{Erid}	Coefficiente di riduzione del Modulo elastico normale per Analisi Sismica [$E_{sisma} = E \cdot c_{Erid}$].
Stz	Tipo di situazione: [F] = di Fatto (Esistente); [P] = di Progetto (Nuovo).
R_{ck}	Resistenza caratteristica cubica.
R_{cm}	Resistenza media cubica.
$\%R_{ck}$	Percentuale di riduzione della R_{ck}
γ_c	Coefficiente parziale di sicurezza del materiale.
f_{cd}	Resistenza di calcolo a compressione.
f_{ctd}	Resistenza di calcolo a trazione.
f_{cfm}	Resistenza media a trazione per flessione.
n Ac	Identificativo, nella relativa tabella materiali, dell'acciaio utilizzato: [-] = parametro NON significativo per il materiale.

Tabella 2 - Caratteristiche acciaio

N_{id}	γ_k	$\alpha_{T,i}$	E	G	Stz	$f_{yk,1}$/ $f_{yk,2}$	$f_{tk,1}$/ $f_{tk,2}$	$f_{yd,1}$/ $f_{yd,2}$	f_{td}	γ_s	γ_{M1}	γ_{M2}	$\gamma_{M3,SLV}$	$\gamma_{M3,SLE}$	γ_{M7} NCnt	γ_{M7} Cnt
	[N/m³]	[1/°C]	[N/mm²]	[N/mm²]		[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]							
S275																
003	78 500	0,000012	210.00	80 769	P	275,00 255,00	430 410	261,90 242,86	-	1,05	1,05	1,25	-	-	-	-
S355																
004	78 500	0,000012	210.00	80 769	P	355,00 335,00	510 470	338,10 319,05	-	1,05	1,05	1,25	-	-	-	-
Acciaio B450C - (B450C)																
005	78 500	0,000010	210.00	80 769	P	450,00	-	391,30	-	1,15	-	-	-	-	-	-

LEGENDA:

N_{id}	Numero identificativo del materiale, nella relativa tabella dei materiali.
γ_k	Peso specifico.
$\alpha_{T,i}$	Coefficiente di dilatazione termica.
E	Modulo elastico normale.
G	Modulo elastico tangenziale.
Stz	Tipo di situazione: [F] = di Fatto (Esistente); [P] = di Progetto (Nuovo).
$f_{tk,1}$	Resistenza caratteristica a Rottura (per profili con t ≤ 40 mm).
$f_{tk,2}$	Resistenza caratteristica a Rottura (per profili con 40 mm < t ≤ 80 mm).
f_{td}	Resistenza di calcolo a Rottura (Bulloni).
γ_s	Coefficiente parziale di sicurezza allo SLV del materiale.
γ_{M1}	Coefficiente parziale di sicurezza per instabilità.
γ_{M2}	Coefficiente parziale di sicurezza per sezioni tese indebolite.
$\gamma_{M3,SLV}$	Coefficiente parziale di sicurezza per scorrimento allo SLV (Bulloni).
$\gamma_{M3,SLE}$	Coefficiente parziale di sicurezza per scorrimento allo SLE (Bulloni).
γ_{M7}	Coefficiente parziale di sicurezza precarico di bulloni ad alta resistenza (Bulloni - NCnt = con serraggio NON controllato; Cnt = con serraggio controllato). [-] = parametro NON significativo per il materiale.
$f_{yk,1}$	Resistenza caratteristica allo snervamento (per profili con t <= 40 mm).
$f_{yk,2}$	Resistenza caratteristica allo snervamento (per profili con 40 mm < t ≤ 80 mm).
$f_{yd,1}$	Resistenza di calcolo (per profili con t ≤ 40 mm).
$f_{yd,2}$	Resistenza di calcolo (per profili con 40 mm < t ≤ 80 mm).
NOTE	[-] = Parametro non significativo per il materiale.

I diagrammi costitutivi degli elementi in calcestruzzo sono stati adottati in conformità alle indicazioni riportate al §4.1.2.1.2.1 del D.M. 2018:

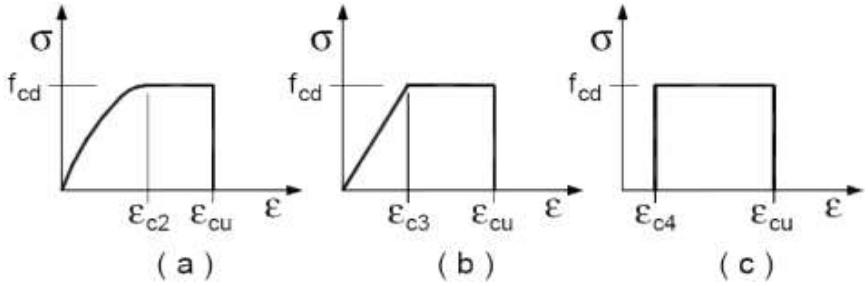

Figura 14 - Diagrammi di calcolo tensione/deformazione del calcestruzzo

I valori di deformazione assunti sono:

e_{c2} = 0,0020; e_{cu2} = 0,0035.

I diagrammi costitutivi dell'acciaio sono stati adottati in conformità alle indicazioni riportate al §4.1.2.1.2.2 del D.M. 2018; in particolare è adottato il modello elastico perfettamente plastico rappresentato in figura sottostante.

La resistenza di calcolo è data da f_{yk}/γ_f. Il coefficiente di sicurezza γ_f si assume pari a 1,15.

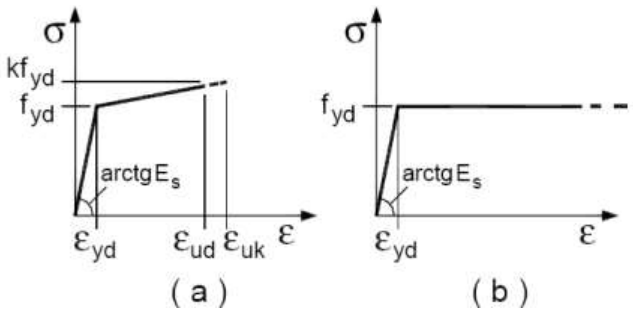

Figura 15 - Diagrammi di calcolo tensione/deformazione acciaio

5 ANALISI DEI CARICHI

La valutazione dei carichi è stata effettuata in accordo con le disposizioni del punto 3.1 del D.M. 2018. In particolare, è stato fatto utile riferimento alle Tabelle 3.1.I del D.M. 2018, per i pesi propri dei materiali.
La valutazione dei carichi permanenti è effettuata sulle dimensioni definitive.

6 AZIONI SULLE STRUTTURE

Le azioni sulla struttura in esame sono valutate in accordo al capitolo 3 del D.M. 2018. In particolare sono presenti:

- Carichi torre;
- Carichi permanenti strutturali e non strutturali;
- Carichi accidentali;
- Azione del vento;
- Azione della neve;
- Azione sismica;

Le azioni così ottenute sono opportunamente combinate tra loro in base alle combinazioni di carico indicate dalla norma di riferimento e riportate in dettaglio al §9 della presente. Da queste si ottengono i valori di progetto delle sollecitazioni da impiegare successivamente nelle verifiche. I calcoli e le verifiche sono condotti con il metodo semiprobabilistico degli stati limite secondo le indicazioni del D.M. 2018.

6.1 Carichi torre

I carichi standard agenti sul plinto dovuti alla sovrastruttura:

Tabella 3 - Characteristic Snow Loads. No partial safety factors are applied. PLF must be applied acc. to D.M. 17-01-2018

Snow Loads					
Fx [kN]	**Fy** [kN]	**Fz** [kN]	**Mx** [kNm]	**My** [kNm]	**Mz** [kNm]
0	0	-319,43	0	0	0

Tabella 4 - Resulting Characteristic Extreme Wind Loads. No partial safety factors are applied. PLF must be applied acc. to D.M. 17-01-2018

Characteristic Extreme Wind Loads			
Mres	**Mz**	**Fres**	**Fz**
[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]
154553	4903	1585	-6622

Tabella 5 - S.L.O. Characteristic Seismic Loads. PLF must be applied acc. to D.M. 17-01-2018

S.L.O. Seismic Loads					
Fx [kN]	**Fy** [kN]	**Fz** [kN]	**Mx** [kNm]	**My** [kNm]	**Mz** [kNm]
23,17	77,24	-6825,07	-8283,57	2485,07	2,55

Tabella 6 - S.L.D. Characteristic Seismic Loads. PLF must be applied acc. to D.M. 17-01-2018

S.L.D. Seismic Loads					
Fx [kN]	**Fy** [kN]	**Fz** [kN]	**Mx** [kNm]	**My** [kNm]	**Mz** [kNm]
32,24	107,45	-6825,07	-11522,99	3456,90	3,55

Tabella 7 - S.L.V. Characteristic Seismic Loads. PLF must be applied acc. to D.M. 17-01-2018

S.L.V. Seismic Loads					
Fx [kN]	**Fy** [kN]	**Fz** [kN]	**Mx** [kNm]	**My** [kNm]	**Mz** [kNm]
76,54	255,13	-6825,07	-27360,09	8208,03	8,43

Tabella 8 - S.L.C. Characteristic Seismic Loads. PLF must be applied acc. to D.M. 17-01-2018

S.L.C. Seismic Loads					
Fx [kN]	**Fy** [kN]	**Fz** [kN]	**Mx** [kNm]	**My** [kNm]	**Mz** [kNm]
86,39	287,95	-6825,07	-30879,39	9263,82	9,51

Tabella 9 - Characteristic Extreme Loads. PLF must be applied acc. to D.M. 17-01-2018

Characteristic Extreme					
LC/Family	**PLF**	**Mbt**	**Mzt**	**FndFr**	**Fzt**
[-]	[-]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]
62E50b05000(fam344)	1,10	**149300**	3378	1297	-6622
98NTM1800(fam352)	1,35	**157600**	4903	1284	-6791

6.2 Carichi permanenti strutturali

Il peso proprio degli elementi strutturali in acciaio e in c.a. è stato portato in considerazione automaticamente dal programma di calcolo nella modellazione geometrica della struttura, le azioni permanenti gravitazionali associate ai pesi propri dei materiali strutturali sono derivate dalle dimensioni geometriche e dai pesi dell'unità di volume dei materiali con cui sono realizzate le parti strutturali della costruzione.

6.3 Carichi permanenti non strutturali

I carichi permanenti non strutturali, ovvero i pesi delle apparecchiature sovrastante i supporti, è stato fornito in base alla tipologia. Tali carichi sono stati modellati come azioni concentrate e applicate in sommità alla struttura di sostegno.

La fondazione dell'interruttore è stata dimensionata per un carico di **30000 N.**

Per il trasformatore di potenza si è assunto un carico di **620 kN.**

6.4 Carichi Accidentali

Per le opere fondali si è assunto un carico accidentale pari a **6000 N/m²** (cat. E – aree ad uso industriale, tab. 3.1.II del D.M. 2018).

6.5 Azione del vento

La pressione del vento è data dall'espressione:

$p = q_r \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$ (relazione 3.3.4 - D.M. 2018);

dove

q_r: la pressione cinetica di riferimento data dall'espressione:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_r^2$$ (relazione 3.3.6 - D.M. 2018);

con:

ρ: densità dell'aria (assunta pari a 1,25 kg/m³);

v_r: velocità di riferimento del vento (in m/s), data da (Eq. 3.3.2 - D.M. 2018):

$v_r = v_b \cdot c_r$, con:

α_R: coefficiente dato dalla seguente relazione:

$$c_r = 0{,}75 \cdot \sqrt{1 - 0{,}2 \cdot \ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T_R}\right)\right]}$$ (relazione 3.3.3 - D.M. 2018);

v_b: velocità di riferimento del vento associata ad un periodo di ritorno di 50 anni, data da: $v_b = v_{b,0} \cdot c_a$

dove:

c_a è il coefficiente di altitudine fornito dalla relazione:

$c_a = 1$ per $a_s \leq a_{0a} = 1 + k_s\,(a_s/a_0 - 1)$ per $a_0 < a_s \leq 1500$ m

$v_{b,0}$, a_0, k_a: parametri forniti dalla Tab. 3.3.I del §3.3.2 D.M. 2018 a_s: altitudine sul livello del mare (m.s.l.m) del sito ove sorge la costruzione;

T_R: periodo di ritorno espresso in anni.

C_e: coefficiente di esposizione, che per altezza sul suolo (z) non maggiori di 200 m è dato dalla formula:

$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) \cdot [7 + c_t \cdot \ln \cdot (z/z_0)]$ per $z \geq z_{min}$
$c_e(z) = c_e(z_{min})$ per $z < z_{min}$ (relazione 3.3.7 - D.M. 2018);

dove:

k_r, z_0, z_{min}: parametri forniti dalla Tab. 3.3.II del par. 3.3.7 D.M. 2018 (*funzione della categoria di esposizione del sito e della classe di rugosità del terreno*);

c_t: coefficiente di topografia (assunto pari ad 1).

c_p: coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento (cfr. § 3.3.8 - D.M. 2018).

c_d: coefficiente dinamico (assunto pari ad 1; par. 3.3.9 - D.M. 2018).

6.6 Azione della neve

Il carico da neve è stato calcolato seguendo le prescrizioni del §3.4 del D.M. 2018 e le integrazioni della Circolare 2019 n. 7. Il carico da neve, calcolato come di seguito riportato, è stato combinato con le altre azioni variabili definite al §2.5.3, ed utilizzando i coefficienti di combinazione della Tabella 2.5.I del D.M. 2018. Il carico da neve superficiale da applicare sulle coperture è stato stimato utilizzando la relazione [cfr. §3.4.1 D.M. 2018]:

$$q_s = q_{sk} \cdot \mu_i \cdot C_E \cdot C_t$$

dove:

- q_{sk} è il valore di riferimento del carico della neve al suolo, in [kN/m^2]. Tale valore è calcolato in base alla posizione ed all'altitudine (a_s) secondo quanto indicato alla seguente tabella;

Tabella 10 - Valori di riferimento del carico della neve al suolo, qsk (cfr. §3.4.2 D.M. 2018)

Zona	$a_s \leq 200$ m	$a_s > 200$ m
I – Alpina	q_{sk} = 1,50 kN/m^2	q_{sk} = 1,39 [1+(as/728) ^{2}] kN/m^2
I – Mediterranea	q_{sk} = 1,50 kN/m^2	q_{sk} = 1,35 [1+(as/602) ^{2}] kN/m^2
II	q_{sk} = 1,00 kN/m^2	q_{sk} = 0,85 [1+(as/481) ^{2}] kN/m^2
III	q_{sk} = 0,60 kN/m^2	q_{sk} = 0,51 [1+(as/481) ^{2}] kN/m^2

Mappa delle zone di carico della neve [cfr. Fig. 3.4.1 D.M. 2018].

Zone di carico della neve

I - Alpina: Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbano-Cusio-Ossola, Vercelli, Vicenza

I - Mediterranea: Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Monza Brianza, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese

II: Arezzo, Ascoli Piceno, Avellino, Bari, Barletta-Andria-Trani, Benevento, Campobasso, Chieti, Fermo, Ferrara, Firenze, Foggia, Frosinone, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, L'Aquila, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rieti, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona

III: Agrigento, Brindisi, Cagliari, Caltanissetta, Carbonia-Iglesias, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotone, Enna, Grosseto, Latina, Lecce, Livorno, Matera, Medio Campidano, Messina, Napoli, Nuoro, Ogliastra, Olbia-Tempio, Oristano, Palermo, Pisa, Potenza, Ragusa, Reggio Calabria, Roma, Salerno, Sassari, Siena, Siracusa, Taranto, Terni, Trapani, Vibo Valentia, Viterbo

- μ_i è il coefficiente di forma della copertura, funzione dell'inclinazione della falda (α) e della sua morfologia (vedi tabelle seguenti);

Tabella 11 - Valori dei coefficienti di forma per falde piane (cfr. Tab. 3.4.II D.M. 2018 e Tab. C3.4.I Circolare 2019 n. 7)

Coefficiente di forma	$0° \le \alpha \le 30°$	$30° < \alpha < 60°$	$\alpha \ge 60°$
μ_1	0,8	$0{,}8 \cdot (60-\alpha) / 30$	0,0
μ_2	$0{,}8 + 0{,}8 \cdot \alpha / 30$	1,6	-

Tabella 12 - Valori dei coefficienti di forma per coperture cilindriche (cfr. §C3.4.3.3.1 Circolare 2019 n. 7)

Angolo di tangenza delle coperture cilindriche, β	Coefficiente di forma, μ_3
per $\beta > 60°$	$\mu_3 = 0$
per $\beta \le 60°$	$\mu_3 = 0.2 + 10\ h / b \le 2.0$

- C_E è il coefficiente di esposizione, funzione della topografia del sito (si veda la seguente tabella);

Tabella 13 - Valori di CE per diverse classi di esposizione (cfr. Tab. 3.4.I D.M. 2018)

Topografia	Descrizione	C_E
Battuta dai venti	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti	0,9
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi	1,0
Riparata	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti	1,1

- C_t è il coefficiente termico, cautelativamente posto pari ad 1 (cfr. §3.4.4 D.M. 2018).

6.7 Azione sismica

L'azione sismica è stata valutata in conformità alle indicazioni riportate al §3.2 del D.M. 2018 "Norme tecniche per le Costruzioni".

Le opere in oggetto sono state progettate per una **Vita Nominale** pari a **100** e per **Classe d'Uso** pari a **4**.

In base alle indagini geognostiche effettuate si è classificato il suolo di fondazione di categoria **A** per l'area parco e stazione, ad eccezione della turbina A07 per la quale le indagini sismiche, forniscono una categoria di sottosuolo di tipo **B**.

Si è inoltre assunto il **Coefficiente di Amplificazione Topografica** (S_T) pari a **1.00.**

Si riportano di seguito i dati di pericolosità come da normativa:

Tabella 14 - Parametri pericolosità area stazione

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	120	0,043	2,524	0,359
SLD	201	0,050	2,573	0,419
SLV	1898	0,089	2,775	0,557
SLC	2475	0,106	2,816	0,562

Tabella 15 - Parametri pericolosità area stazione

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	120	0,046	2,530	0,359
SLD	201	0,054	2,598	0,416
SLV	1898	0,109	2,765	0,555
SLC	2475	0,118	2,778	0,564

7 DEFINIZIONE DELLE COMBINAZIONI

Le azioni sulla costruzione sono state combinate secondo le regole previste dalla normativa vigente. Le combinazioni previste sono destinate al controllo di sicurezza della struttura ed alla verifica degli spostamenti e delle sollecitazioni.

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

Combinazione fondamentale SLU

$$\gamma_{G1}\cdot G_1 + \gamma_{G2}\cdot G_2 + \gamma_P\cdot P + \gamma_{Q1}\cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2}\cdot\psi_{02}\cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3}\cdot\psi_{03}\cdot Q_{k3} + \ldots$$

Combinazione caratteristica (rara) SLE

$$G_{1k} + G_{2k} + P + Q_{k1} + \psi_{02}\cdot Q_{k2} + \psi_{03}\cdot Q_{k3} + \ldots$$

Combinazione frequente SLE

$$G_{1k} + G_{2k} + P + \psi_{11}\cdot Q_{k1} + \psi_{22}\cdot Q_{k2} + \psi_{23}\cdot Q_{k3} + \ldots$$

Combinazione quasi permanente SLE

$$G_{1k} + G_{2k} + P + \psi_{21}\cdot Q_{k1} + \psi_{22}\cdot Q_{k2} + \psi_{23}\cdot Q_{k3} + \ldots$$

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

$$E + G_{1k} + G_{2k} + P + \psi_{21}\cdot Q_{k1} + \psi_{22}\cdot Q_{k2} + \ldots$$

Le verifiche strutturali e geotecniche sono state effettuate in conformità agli approcci previsti dal D.M.2018 applicando gli opportuni coefficienti richiesti dalle specifiche verifiche.

8 MODELLO AGLI ELEMENTI FINITI

Per il progetto e la verifica dei plinti si è utilizzato un programma di calcolo agli elementi finiti. Il plinto di fondazione è stato modellato utilizzando elementi shell.

Il modello è caratterizzato dai seguenti parametri:

Sistema di riferimento	Cilindrico
Coordinate sistema di riferimento	Centro geometrico del plinto
Materiale utilizzato	Conc (calcestruzzo)
Carichi applicati	puntuale (Forze e Momenti)
	superficiale (Peso terreno di ricoprimento)
	di volume (Peso proprio plinto)

Si riporta di seguito una schematizzazione in conci del plinto.

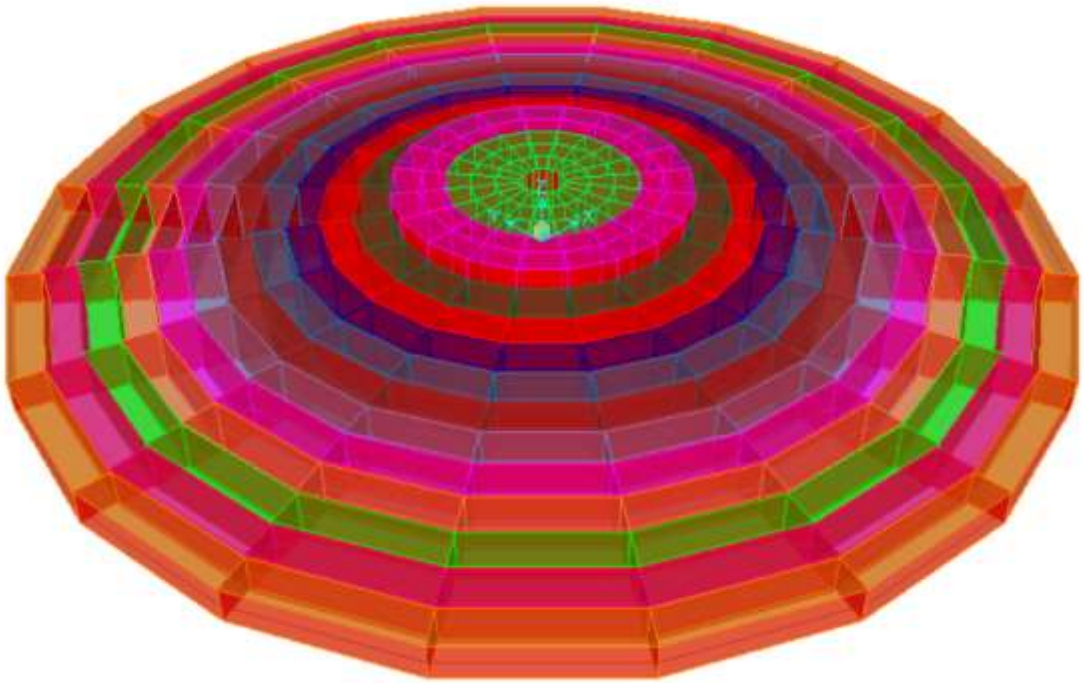

Figura 16 - schematizzazione plinto

Si riporta di seguito una schematizzazione delle opere di stazione.

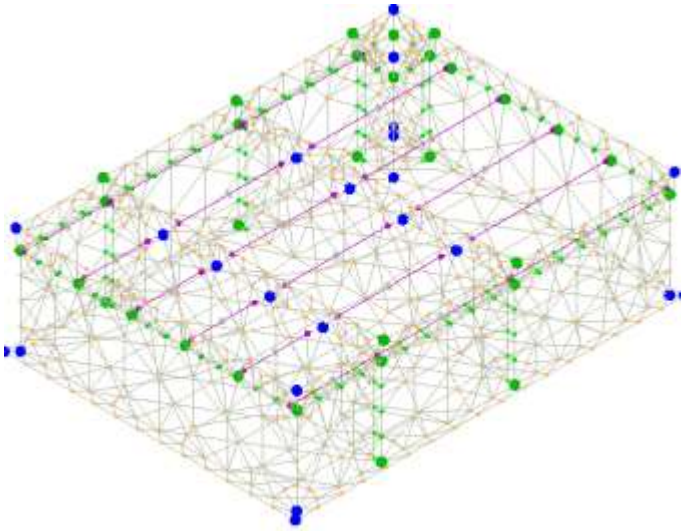

Figura 17 - vista mesh trasformatore di potenza

Figura 18 - vista mesh TVC, TVI, TA, mat neutro, scaricatore

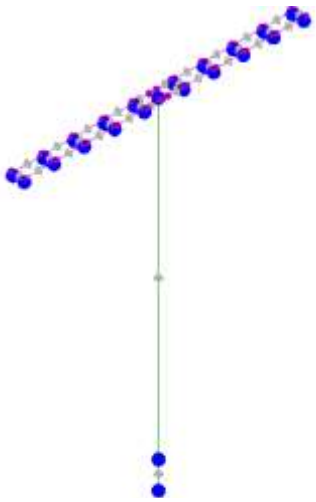

Figura 19 - vista mesh, terminale cavo AT

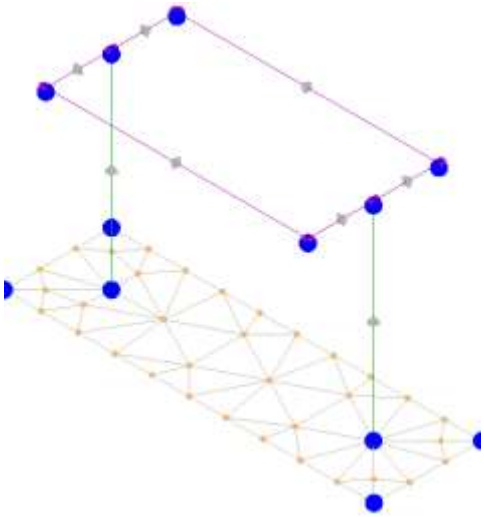

Figura 20 - vista mesh sezionatore

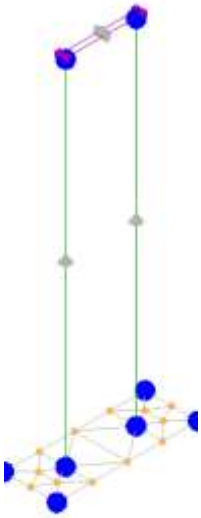

Figura 21 - vista mesh castelletto MT

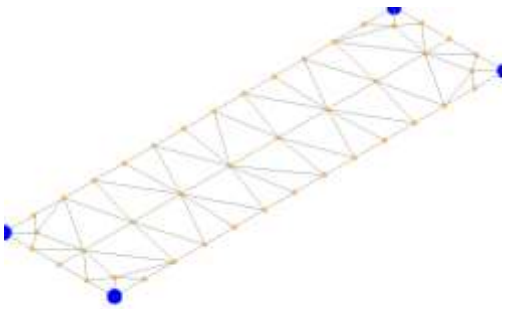

Figura 22 - vista mesh fondazione interruttore

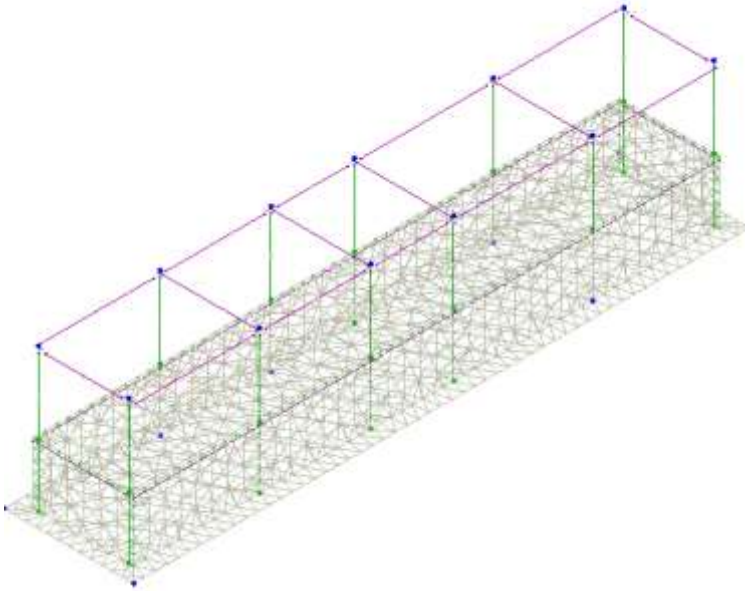

Figura 23 - vista mesh edificio

i modelli strutturali delle opere di stazione sono costituiti nella fattispecie da elementi beam che rappresentano la sovrastruttura, sui quali sono applicati i carichi definiti nei paragrafi precedenti. Il modello della struttura viene creato automaticamente dal codice di calcolo, individuando i vari elementi strutturali e fornendo le loro caratteristiche geometriche e meccaniche. Alla sovrastruttura è collegata la fondazione modellata tramite elementi plinto o platea su di un letto di molle alla Winkler.

La modellazione del materiale degli elementi in c.a. segue la classica teoria dell'elasticità lineare; per cui il materiale è caratterizzato oltre che dal peso specifico, da un modulo elastico (E) e un modulo tagliante (G).

La possibile fessurazione degli elementi in c.a. è stata tenuta in conto nel modello considerando un opportuno decremento del modulo di elasticità e del modulo di taglio, nei limiti di quanto previsto dalla normativa vigente per ciascuno stato limite. Gli elementi di **fondazione** sono modellati assumendo un comportamento elastico-lineare sia a trazione che a compressione.

9 CODICE DI CALCOLO IMPIEGATO

Oggetto del presente paragrafo è sia la verifica dell'affidabilità del codice di calcolo utilizzato che l'attendibilità dei risultati ottenuti ai sensi del Cap 10 par 10.2 D.M. 17/01/2018.

Tipo di Analisi svolta ed Origine e Caratteristiche del Codice di calcolo

Il software consente di modellare la struttura, di effettuare il dimensionamento e le verifiche di tutti gli elementi strutturali.

È una procedura integrata dotata di tutte le funzionalità necessarie per consentire il calcolo completo di una struttura mediante il metodo degli elementi finiti (FEM); la modellazione della struttura è realizzata tramite elementi Beam (travi e pilastri) e Shell (platee, pareti, solette).

L'utente non può modificare il codice ma soltanto eseguire delle scelte come:

- definire i vincoli di estremità per ciascuna asta (vincoli interni) e gli eventuali vincoli nei nodi (vincoli esterni);
- modificare i parametri necessari alla definizione dell'azione sismica;
- definire condizioni di carico;
- definire gli impalcati come rigidi o meno.

Il sistema di riferimento globale, rispetto al quale va riferita l'intera struttura, è costituito da una terna di assi cartesiani levogira OXYZ (X, Y e Z sono disposti e orientati rispettivamente secondo il pollice, l'indice ed il medio della mano destra, una volta posizionati questi ultimi a 90° tra loro).

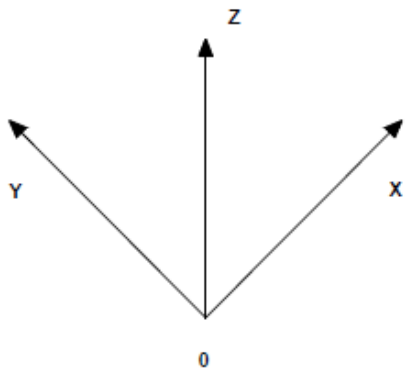

Figura 24 - sistema di riferimento

Un elemento Shell è caratterizzato da un sistema di riferimento locale 1-2-3 da cui derivano le sollecitazioni così come individuato nelle figure seguenti:

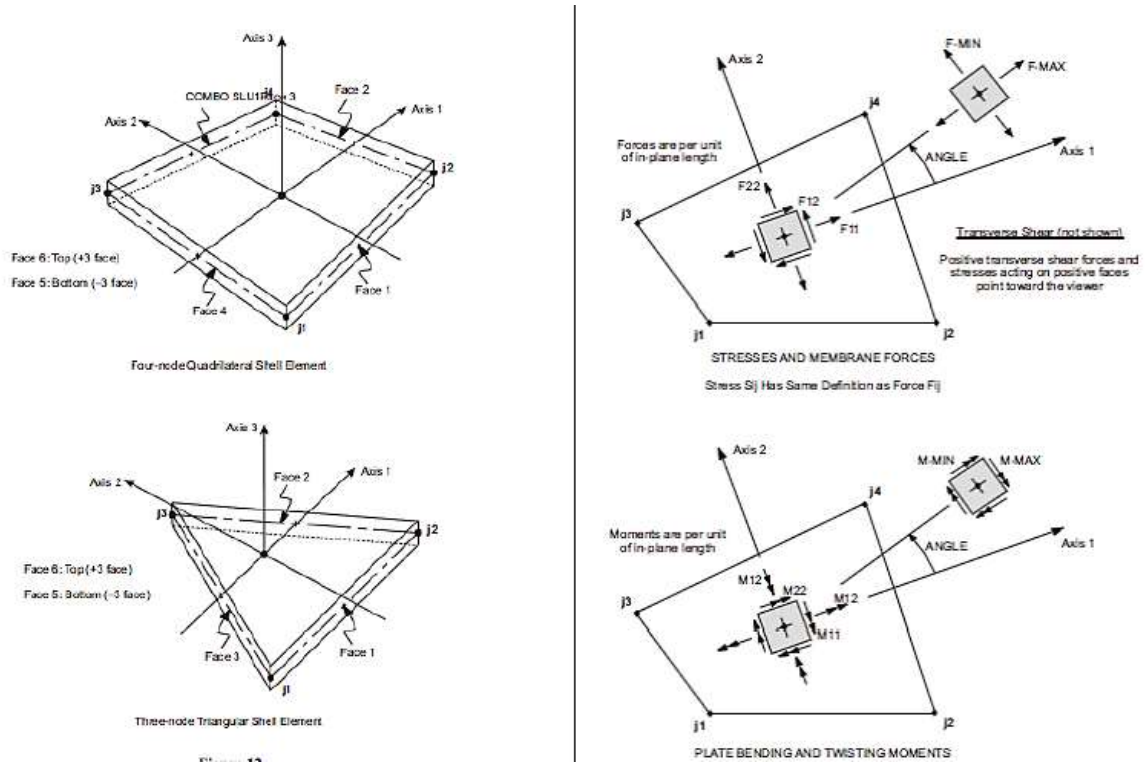

Figura 25 - Sistema di riferimento elemento shell e sollecitazioni elemento shell

Affidabilità dei Codici utilizzati e Validazione dei codici

L'affidabilità del codice utilizzato è stato validato dall'analisi della documentazione fornita dal produttore che, oltre a contenere una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, include l'individuazione dei campi d'impiego nonché casi prova interamente risolti e commentati.

Modalità di presentazione dei risultati

La quantità di informazioni che usualmente accompagna l'utilizzo di procedure di calcolo automatico richiede un'attenzione particolare alle modalità di presentazione dei risultati, in modo che questi riassumano, in una sintesi completa ed efficace, il comportamento della struttura per la tipologia di analisi sviluppata già menzionata in precedenza.

I software licenziati sono il SAP2000 **versione 23 con numero di licenza 17134 intestata a Ten Project srl,** ed **Edilus** della casa **Acca software**

Nome del Software	**EdiLus**
Versione	BIM 3(b)
Caratteristiche del Software	Software per il calcolo di strutture agli elementi finiti per Windows
Numero di serie	17100434
Intestatario Licenza	TEN PROJECT s.r.l.
Produzione e Distribuzione	**ACCA software S.p.A.** Contrada Rosole 13 83043 BAGNOLI IRPINO (AV) - Italy Tel. 0827/69504 r.a. - Fax 0827/601235 e-mail: info@acca.it - Internet: www.acca.it

10 PROGETTO E VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

La verifica degli elementi allo SLU – SLV avviene col seguente procedimento:

- si costruiscono le combinazioni non sismiche in base al D.M. 2018, ottenendo un insieme di sollecitazioni;
- si costruiscono le combinazioni sismiche in base al D.M. 2018 secondo quanto indicato nel §2.5.3, relazione (2.5.5) del D.M. 2018, ottenendo un ulteriore insieme di sollecitazioni;
- per sollecitazioni semplici (flessione retta, taglio, etc.) si individuano i valori minimo e massimo, tra tutte le combinazioni, con cui progettare o verificare l'elemento considerato; per sollecitazioni composte (pressoflessione retta/deviata) vengono eseguite le verifiche per tutte le possibili combinazioni e solo a seguito di ciò si individua quella che ha originato il minimo coefficiente di sicurezza.

10.1 Verifiche strutturali elementi in acciaio.

La progettazione delle membrature è avvenuta in modo da soddisfare le verifiche richieste per gli SLU (statici e sismici) e per gli SLE (statici e sismici) mediante l'ausilio del codice di calcolo. Le verifiche condotte sulle sezioni sono sotto riportate:

Verifiche SLU - SLV

- Flessione: in accordo con § 4.2.4.1.2 del D.M. 17/01/2018;
- Taglio: in accordo con § 4.2.4.1.2 del D.M. 17/01/2018;
- Instabilità: in accordo con § 4.2.4.1.2 del D.M. 17/01/2018;

Di seguito una rappresentazione grafica dei risultati maggiormente significativi:

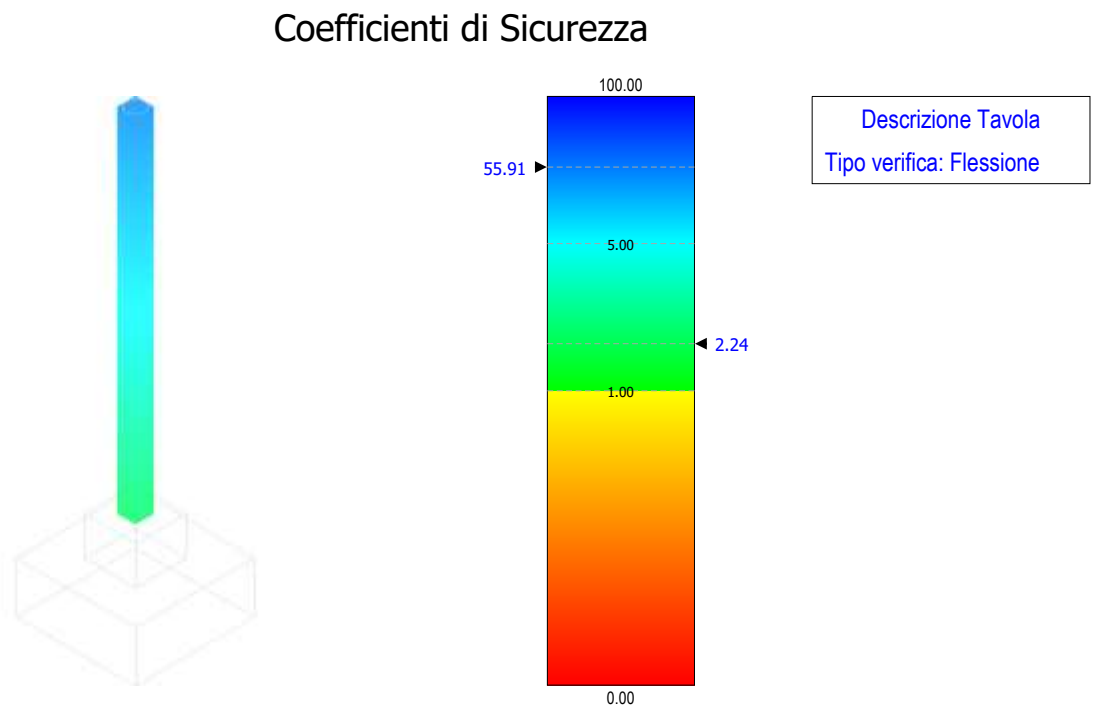

Figura 26 - verifica a flessione – scaricatore

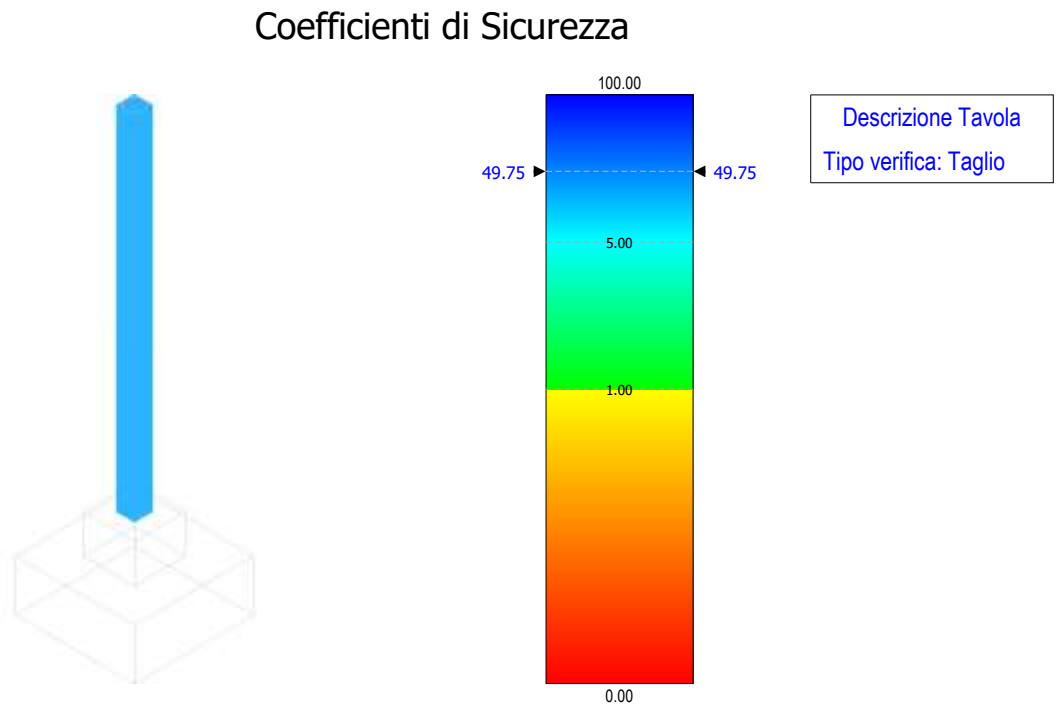

Figura 27 - verifica a taglio – scaricatore

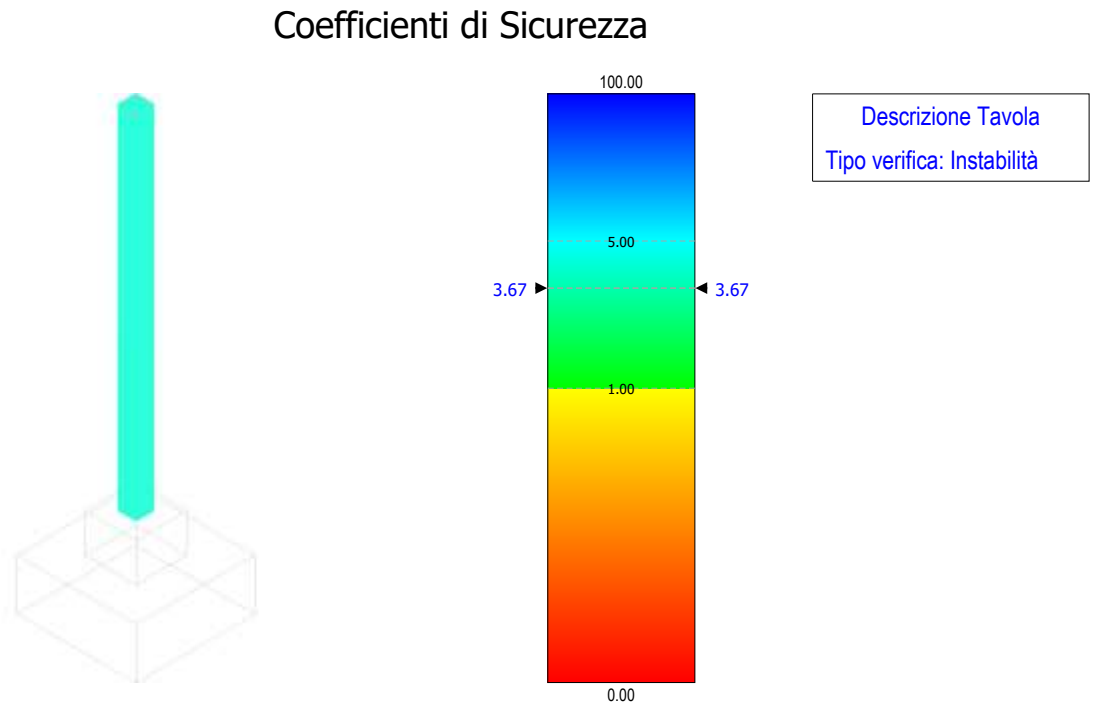

Figura 28 - verifica a instabilità – scaricatore

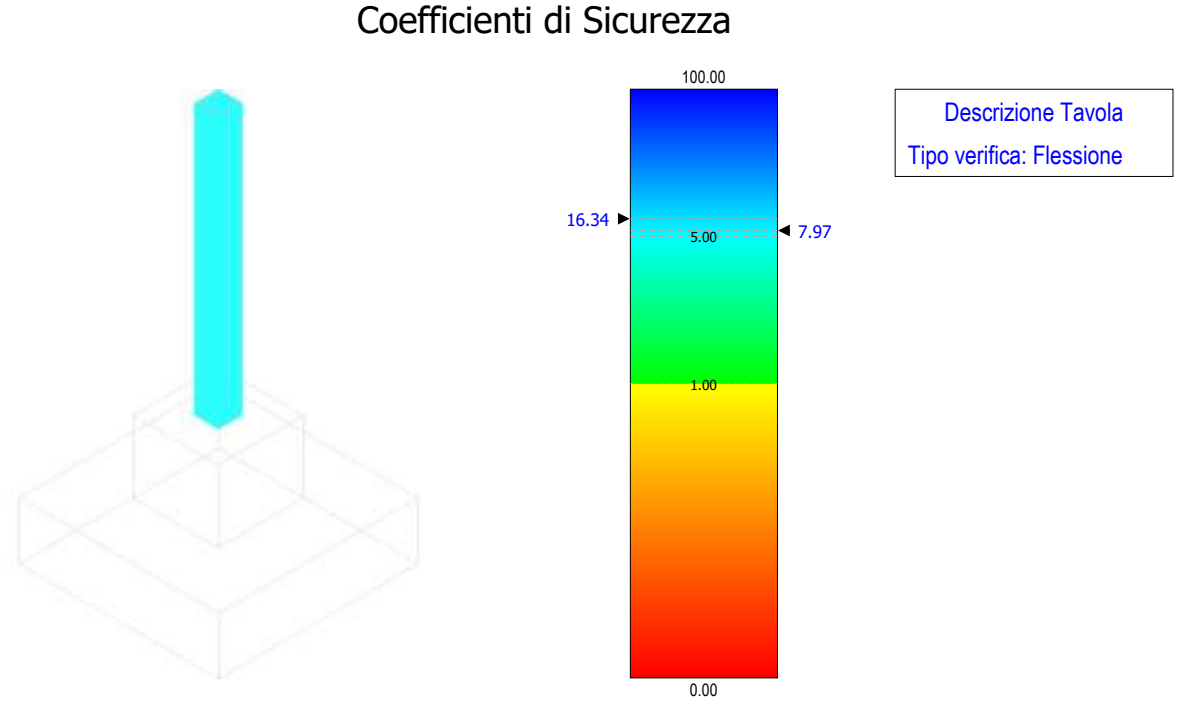

Figura 29 - verifica a flessione – TVC

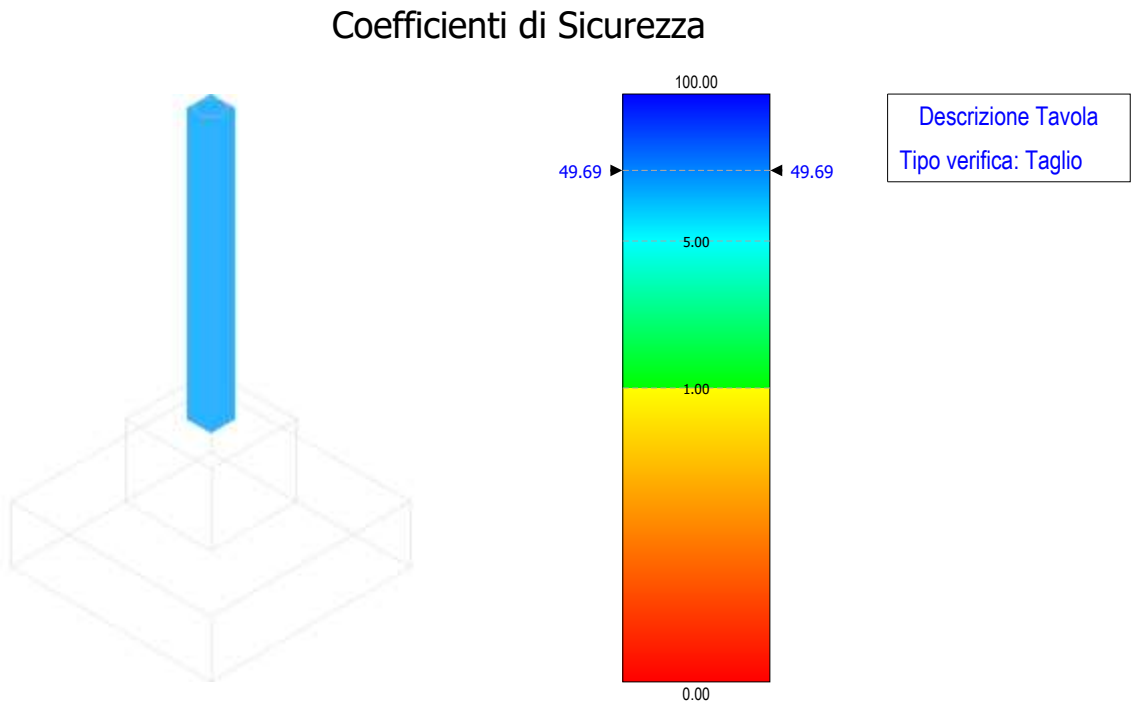

Figura 30 - verifica a taglio – TVC

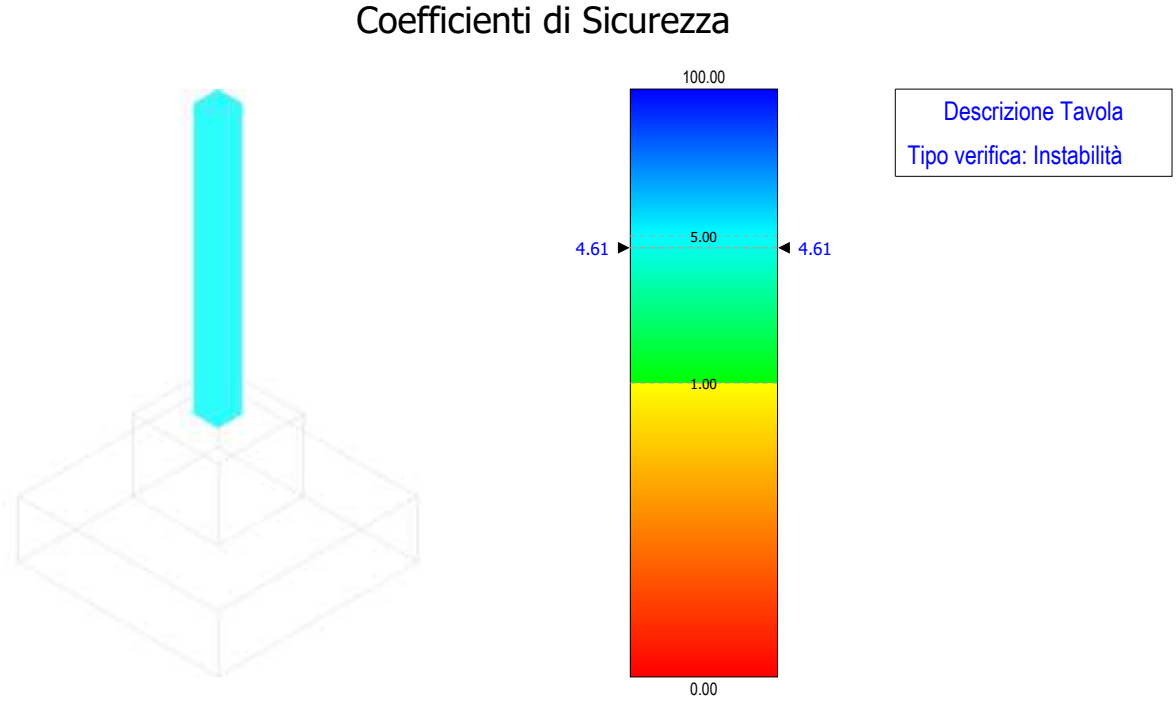

Figura 31 - verifica instabilità – TVC

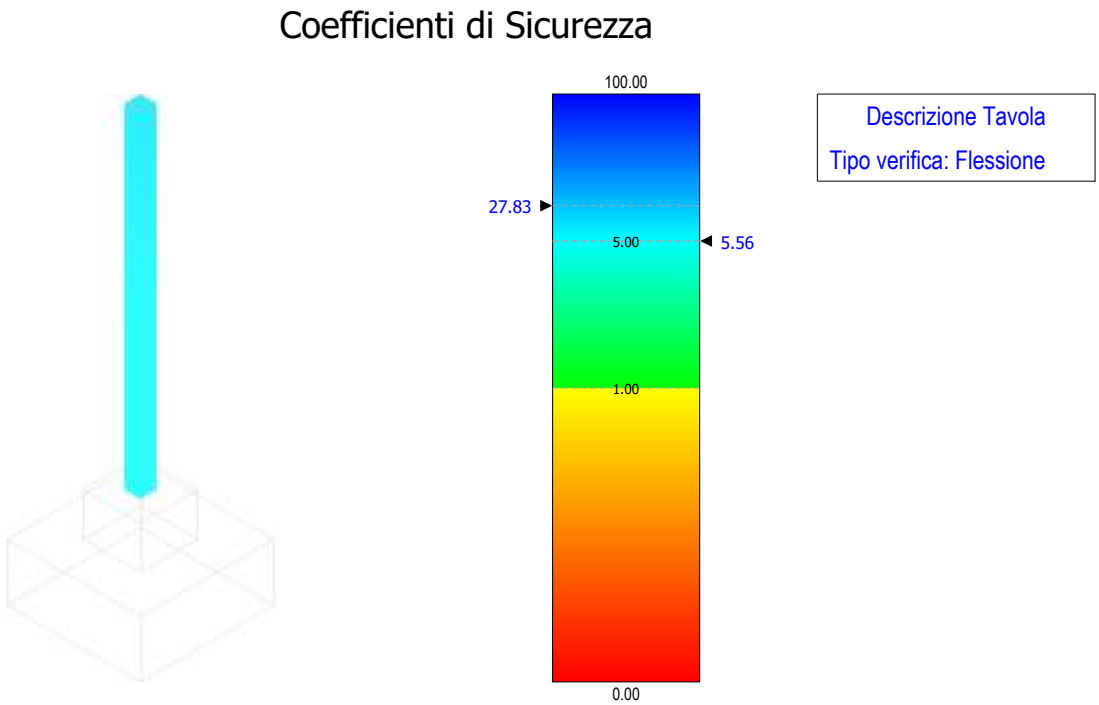

Figura 32 - verifica a flessione – TVI

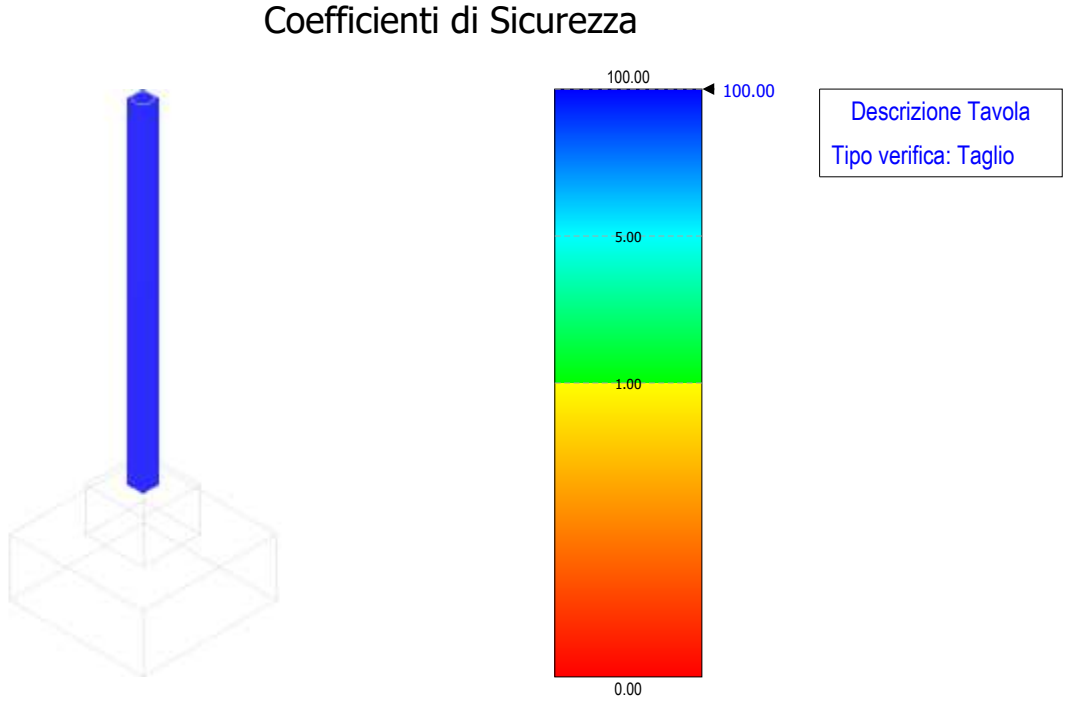

Figura 33 - verifica a taglio – TVI

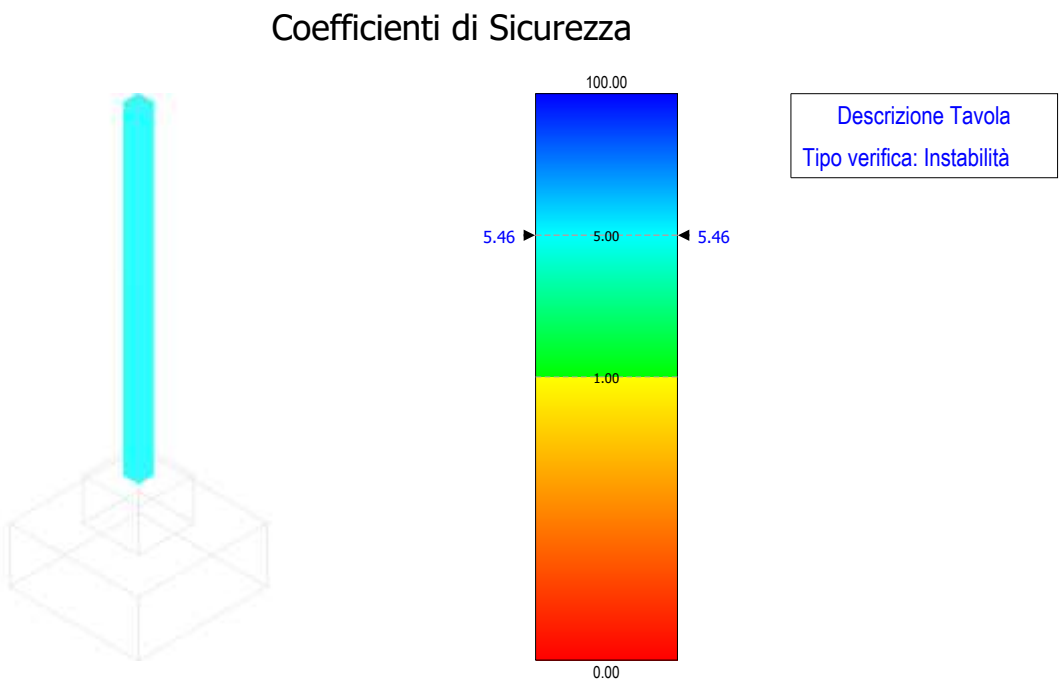

Figura 34 - verifica instabilità – TVI

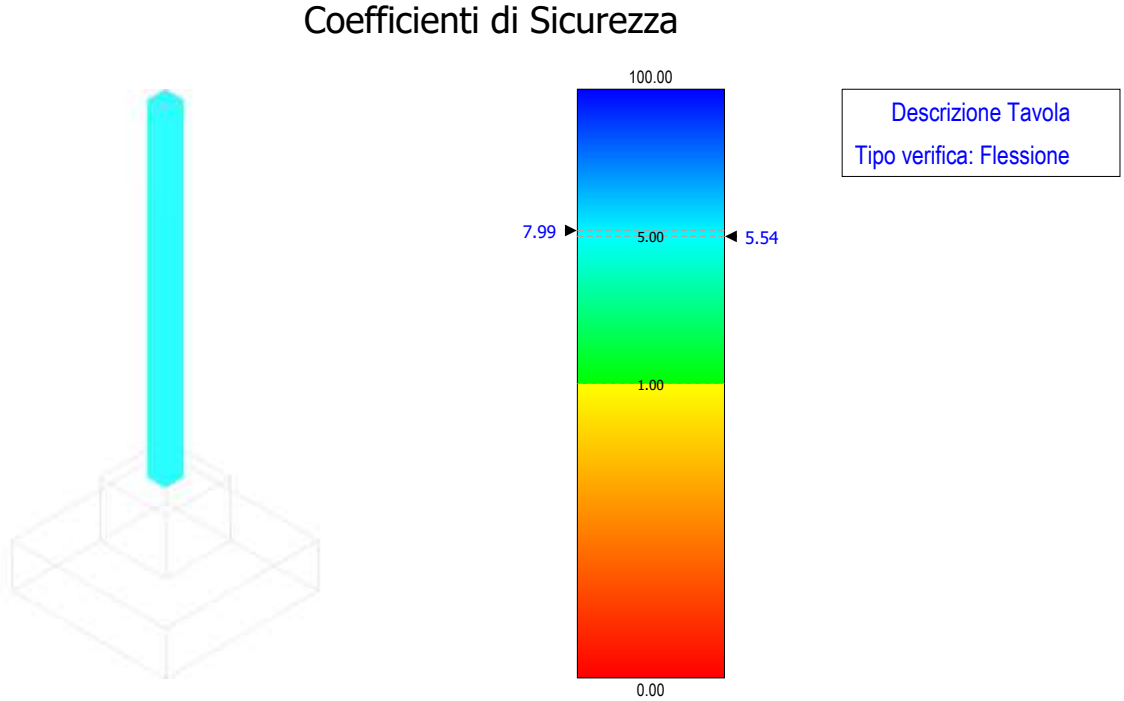

Figura 35 - verifica a flessione – TA

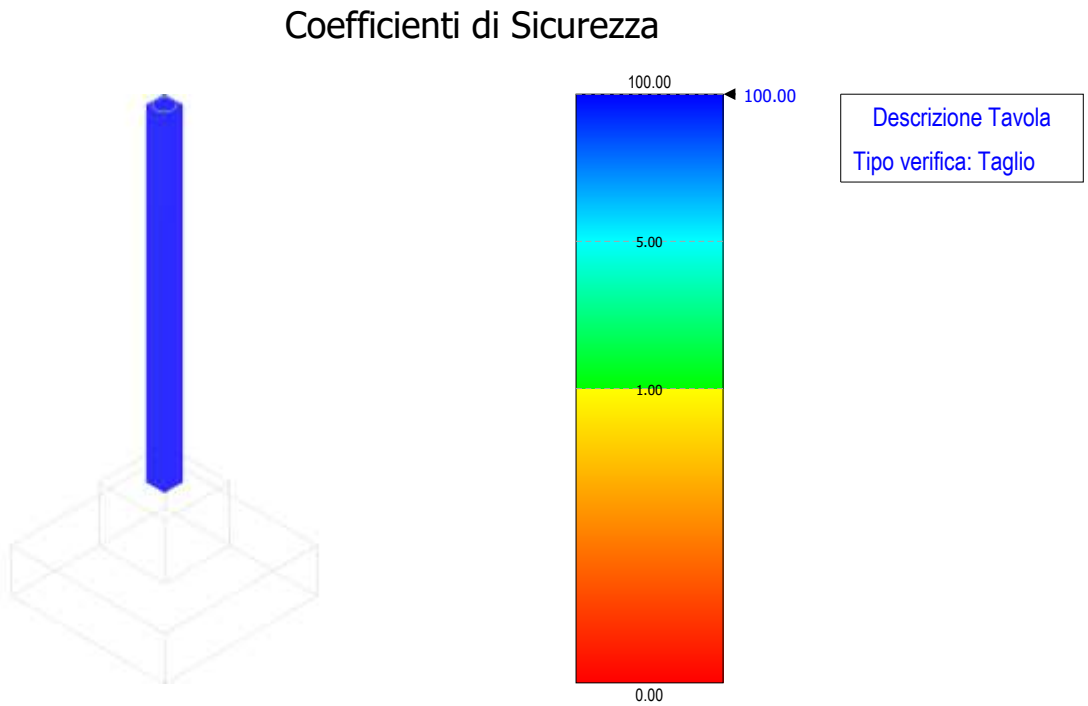

Figura 36 - verifica a taglio – TA

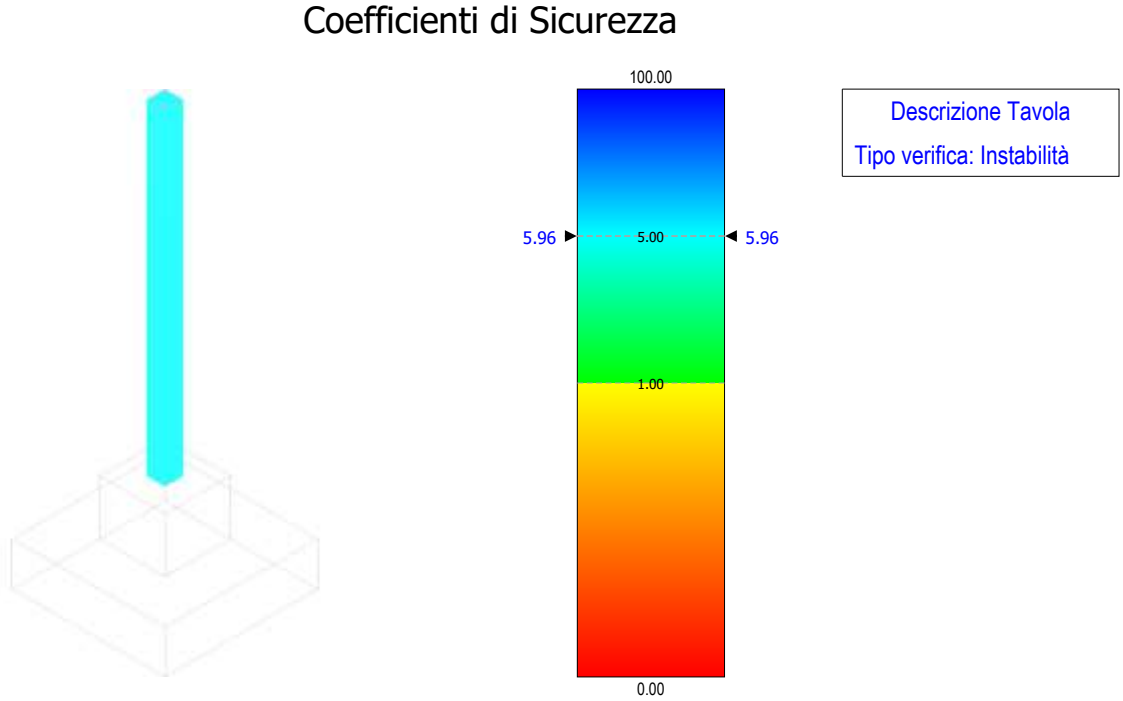

Figura 37 - verifica instabilità – TA

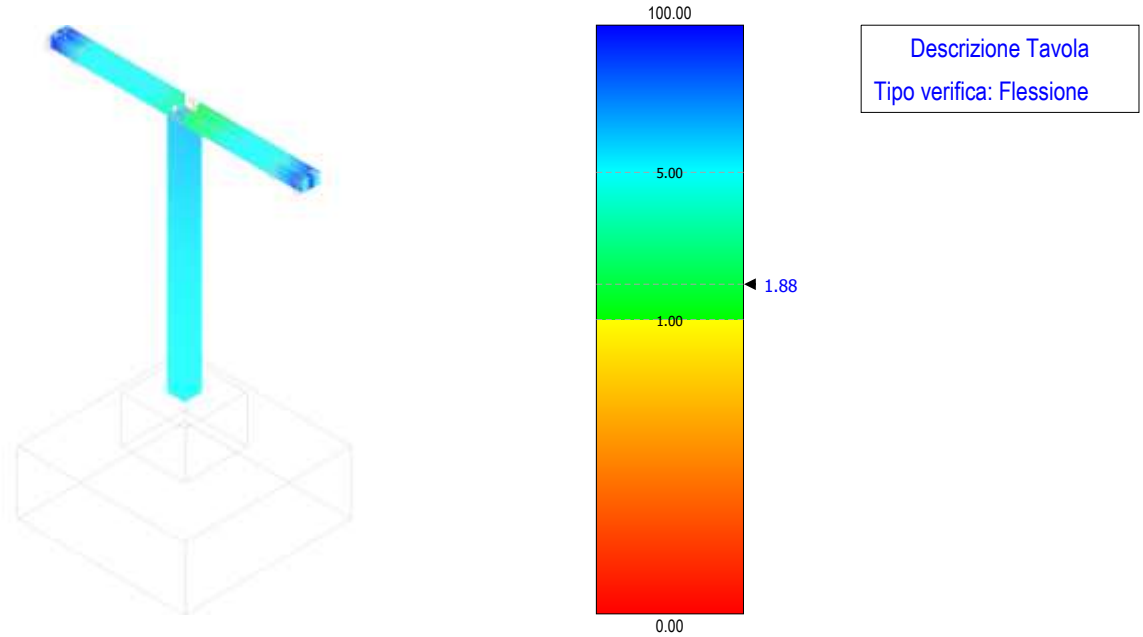

Figura 38 - verifica a flessione – terminale cavo AT

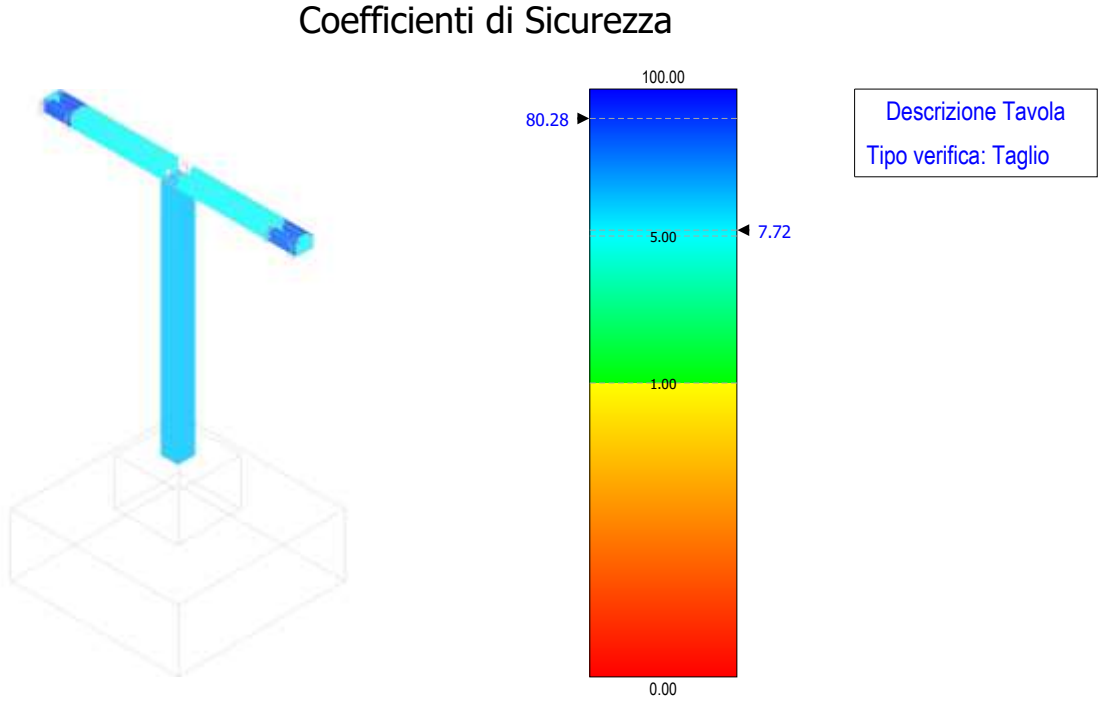

Figura 39 - verifica a taglio – terminale cavo AT

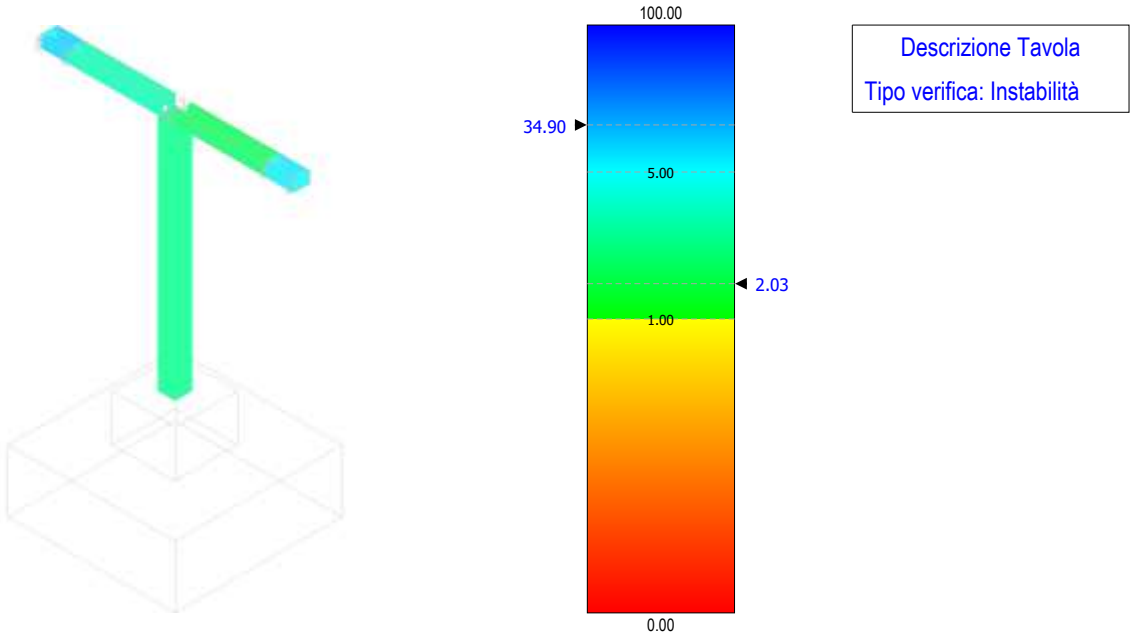

Figura 40 - verifica instabilità – terminale cavo AT

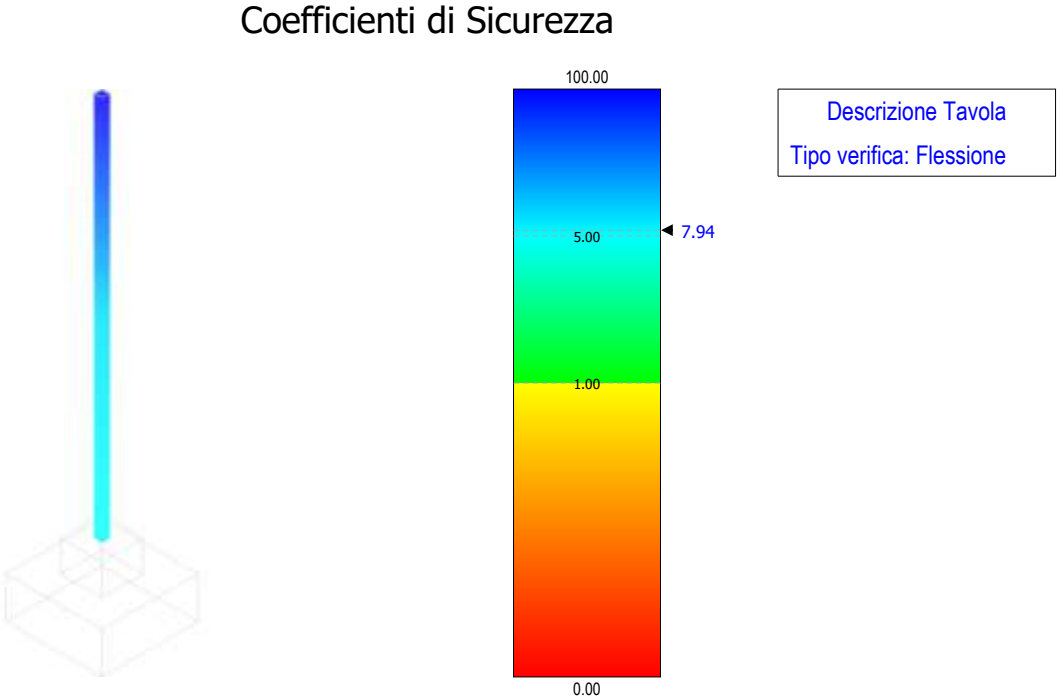

Figura 41 - verifica a flessione – M.A.T. neutro

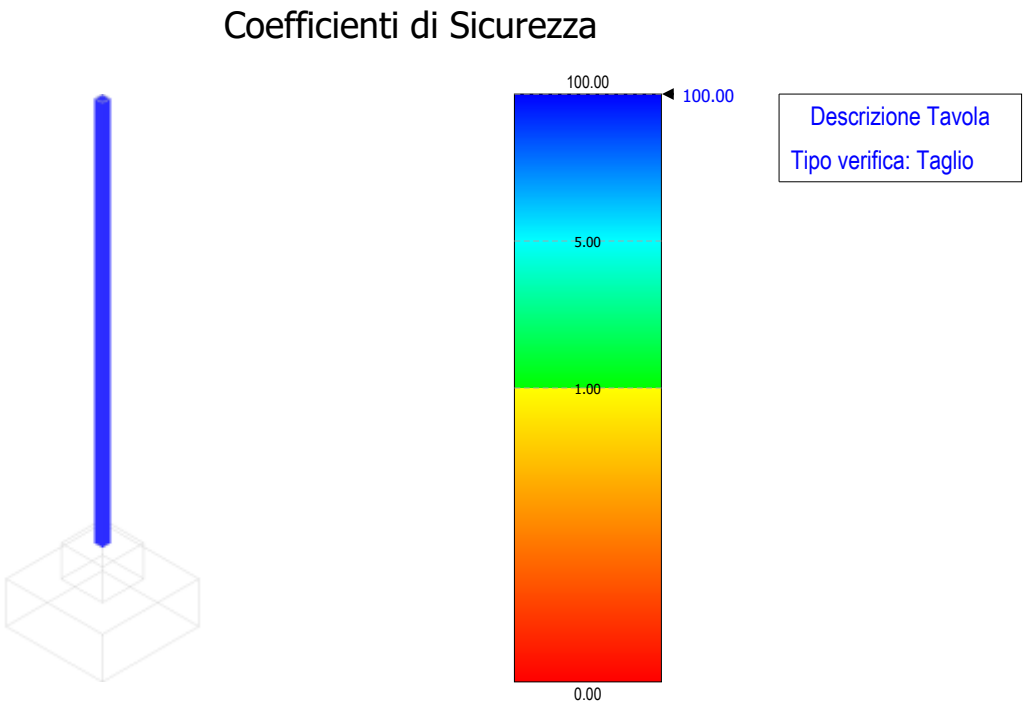

Figura 42 - verifica a taglio – M.A.T. neutro

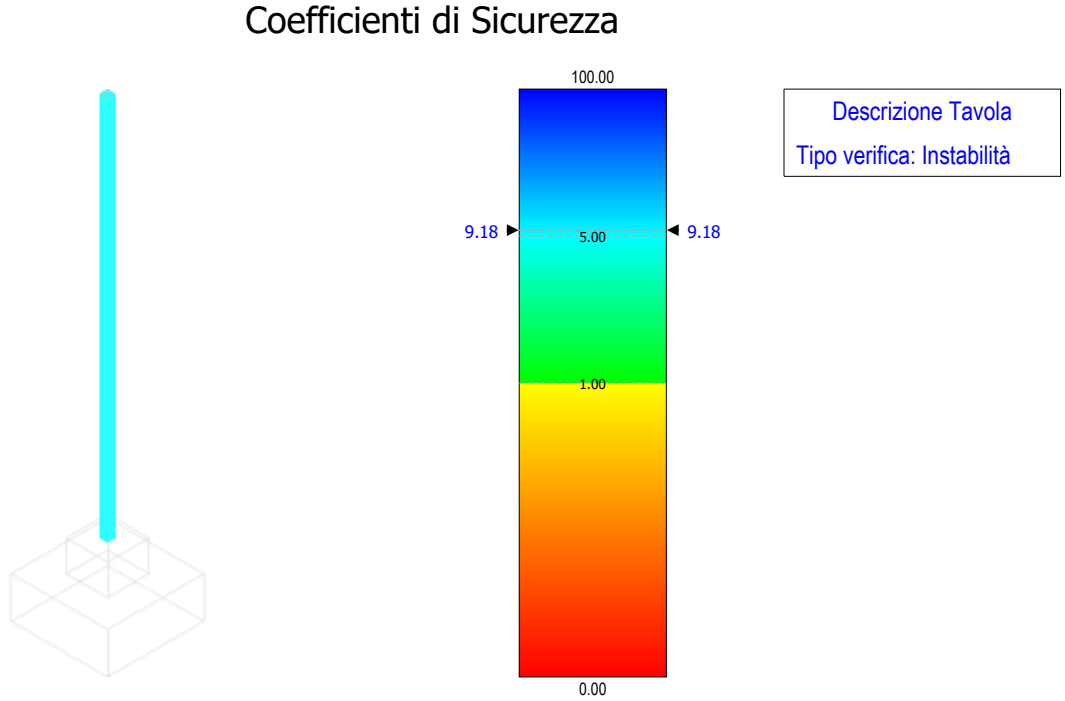

Figura 43 - verifica instabilità – M.A.T. neutro

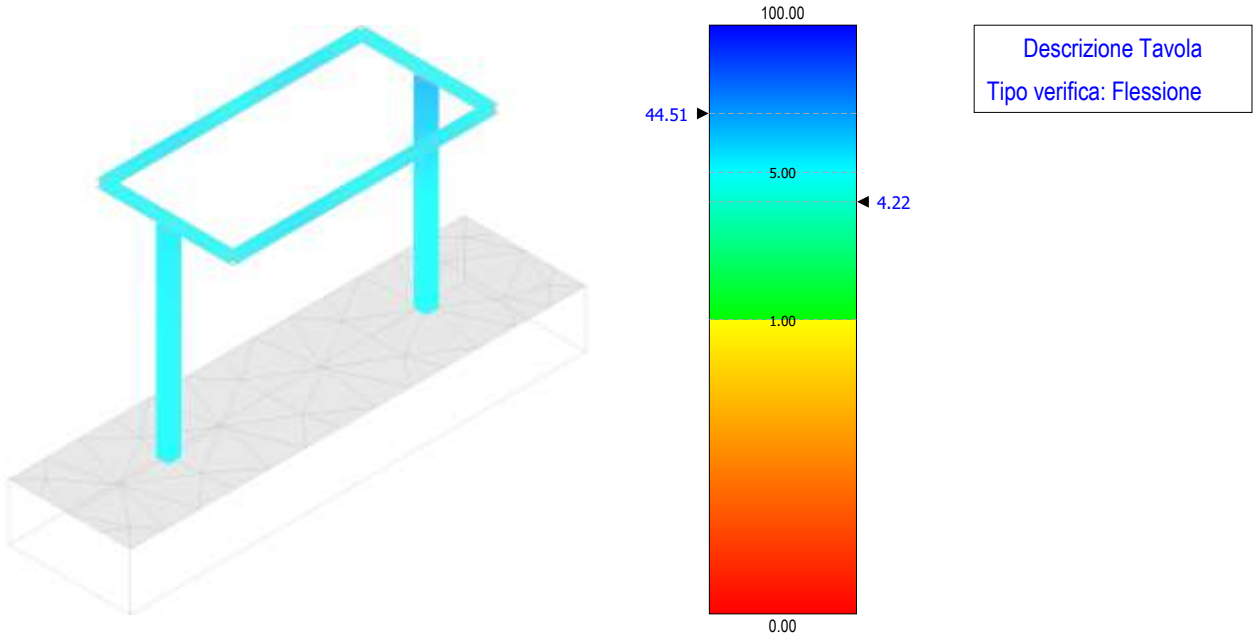

Figura 44 - verifica a flessione – sezionatore

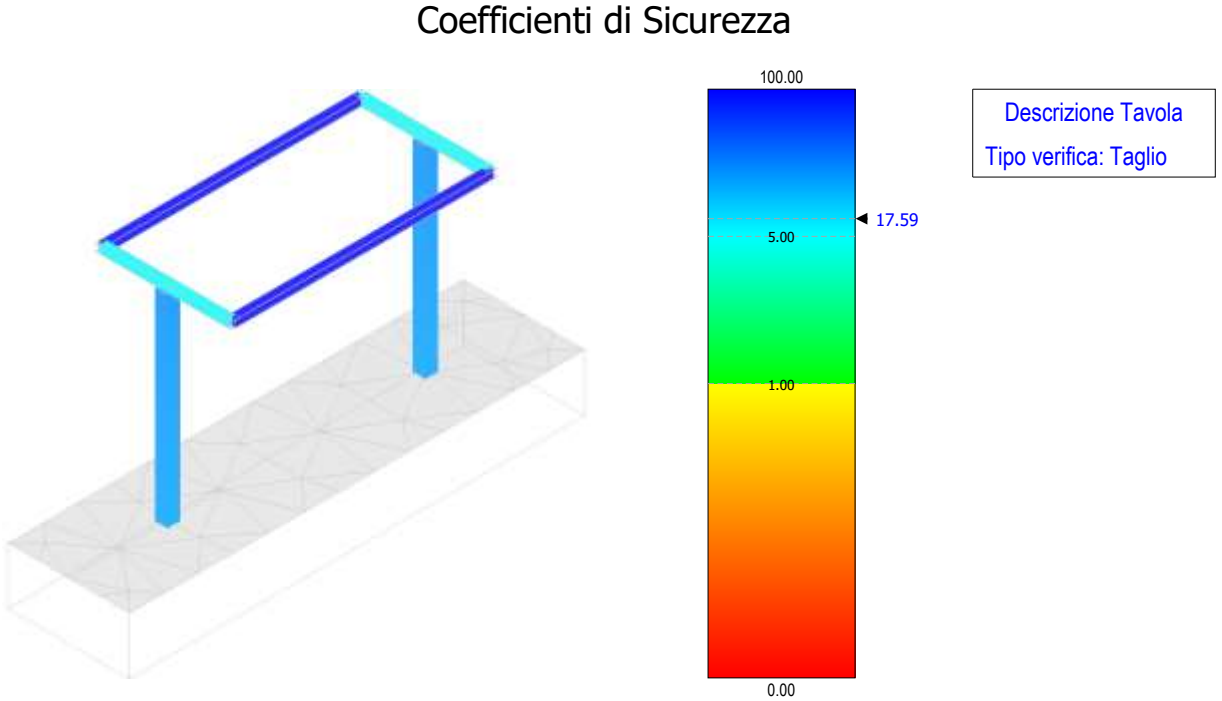

Figura 45 - verifica a taglio – sezionatore

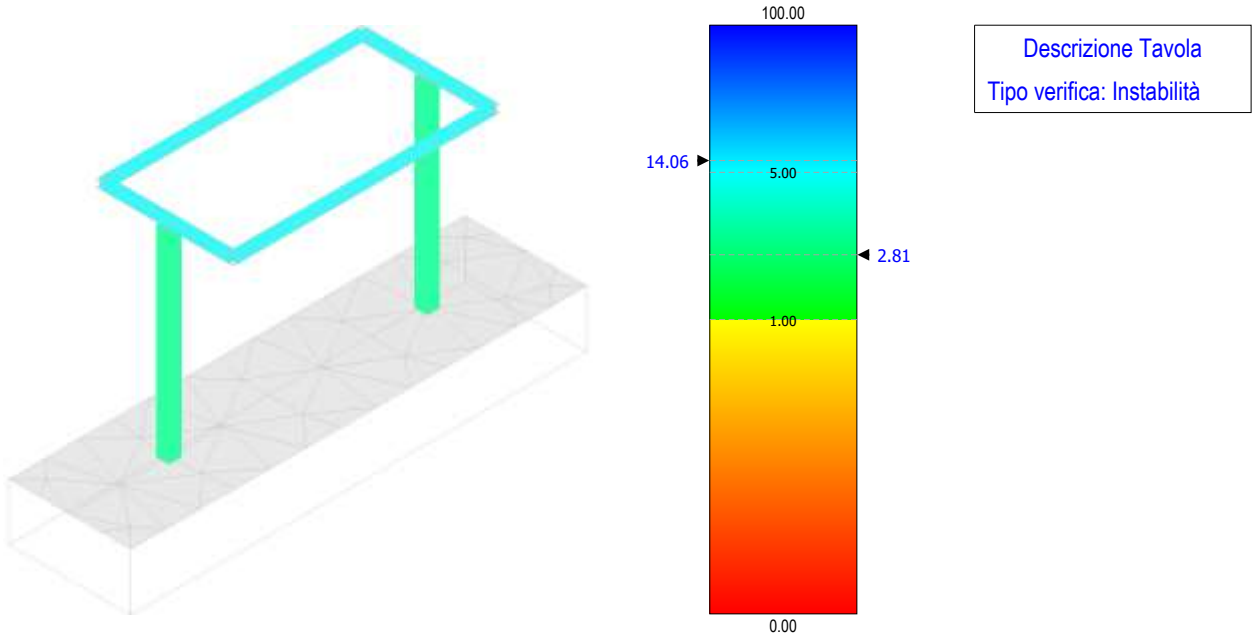

Figura 46 - verifica instabilità – sezionatore

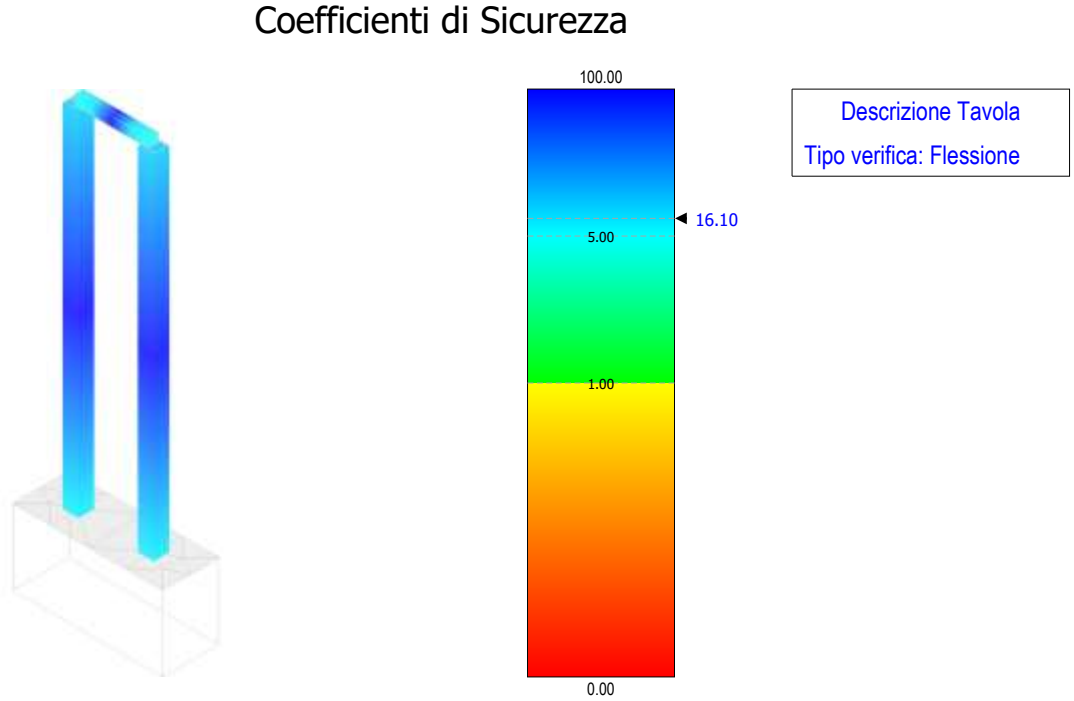

Figura 47 - verifica a flessione – arrivo cavi MT

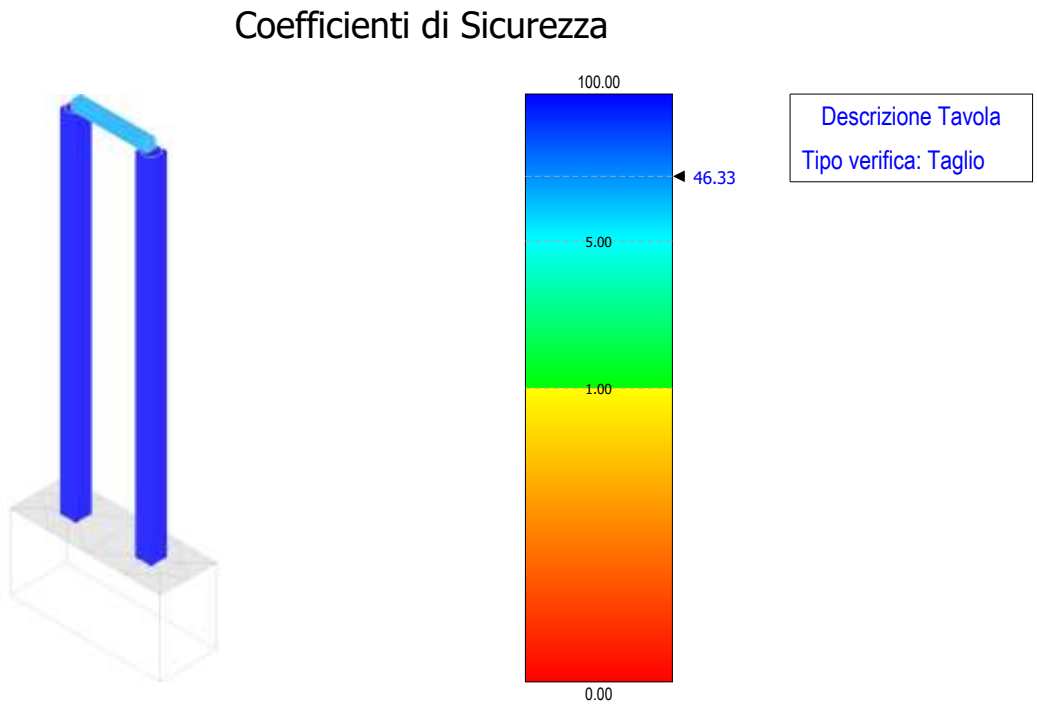

Figura 48 - verifica a taglio – arrivo cavi MT

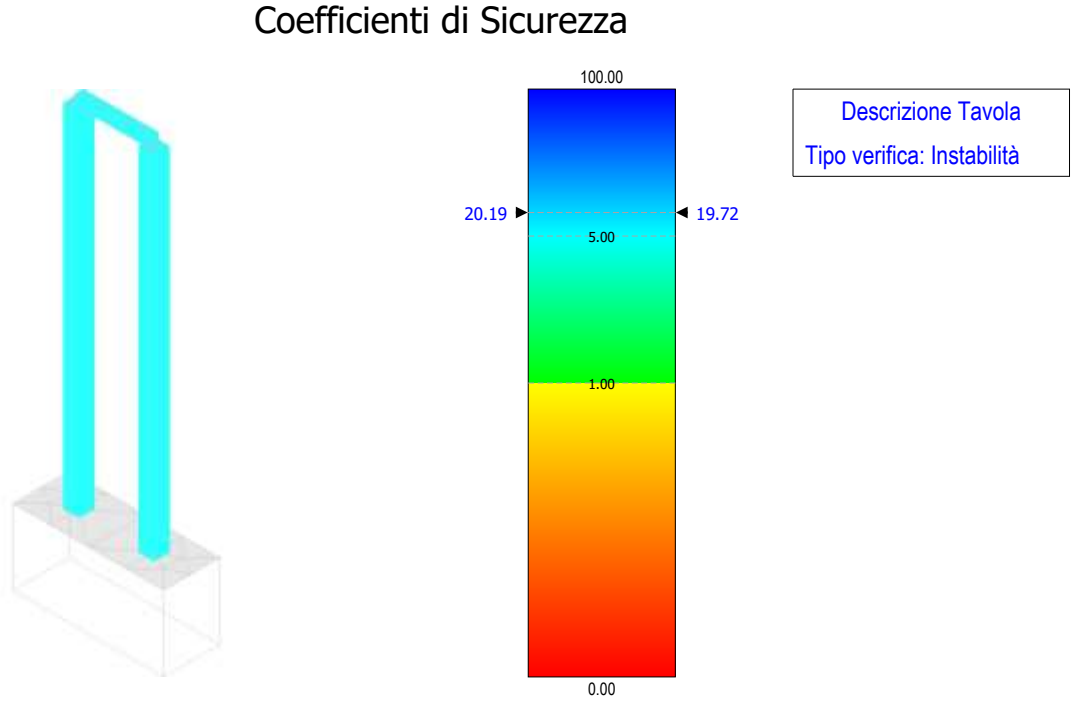

Figura 49 - verifica instabilità – arrivo cavi MT

Verifiche SLE - SLD

- Deformabilità: in accordo con §4.2.4.2 del D.M. 17/01/2018

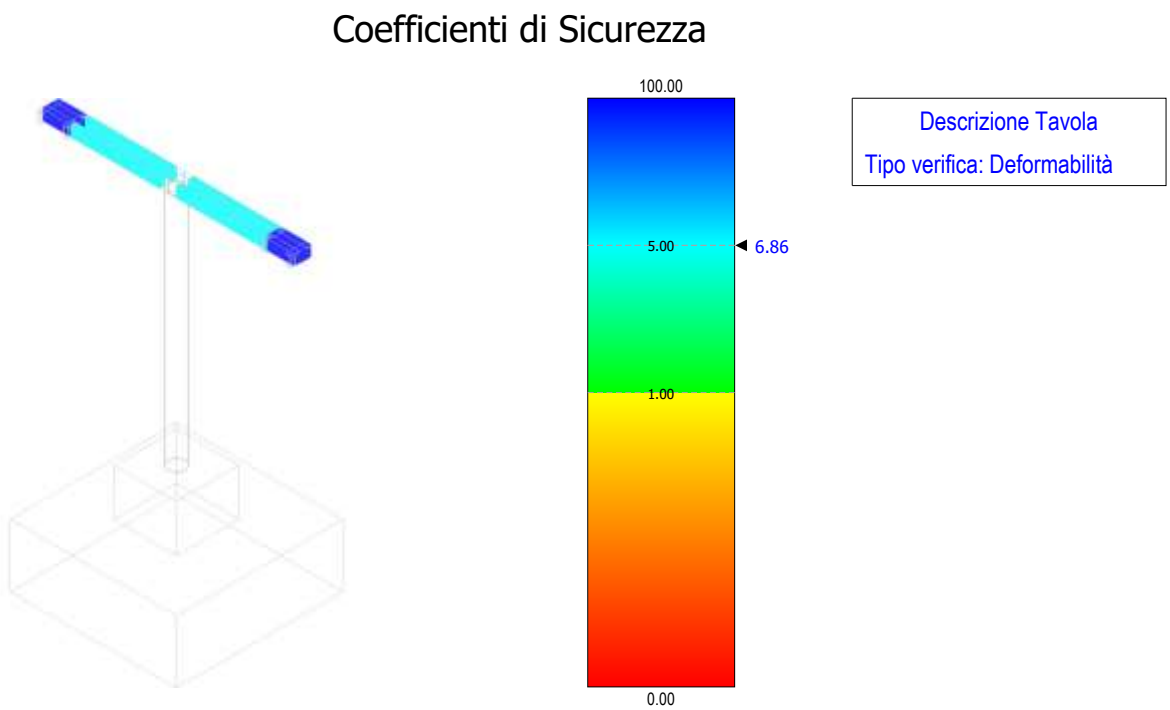

Figura 50 - verifica deformabilità – terminale cavo AT

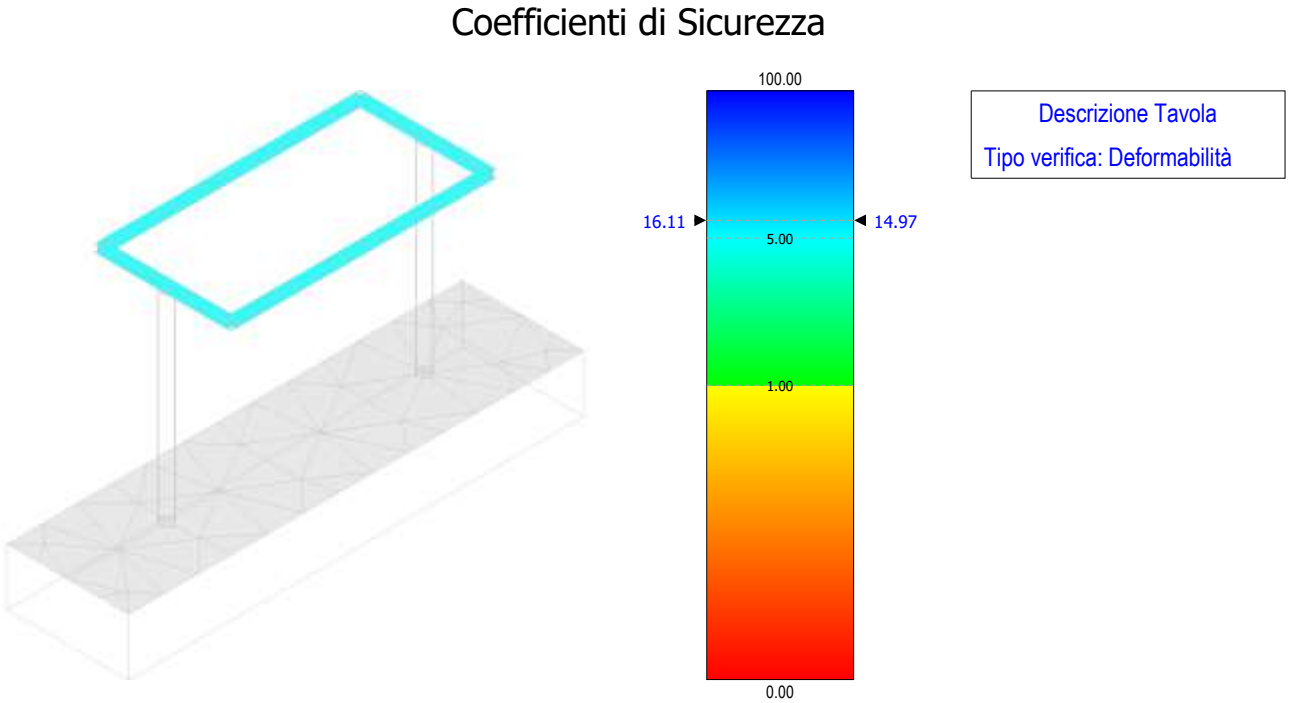

Figura 51 - verifica deformabilità – sezionatore

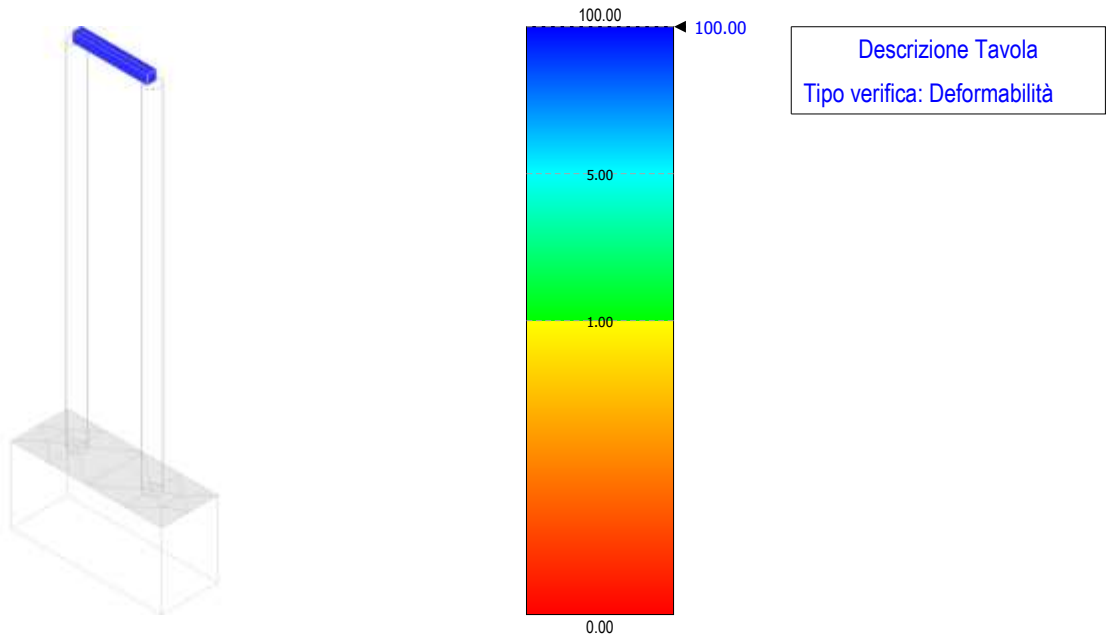

Figura 52 - verifica deformabilità – arrivo cavi MT

10.2 Verifiche strutturali elementi in C.A.

La progettazione delle strutture è avvenuta in modo da soddisfare le verifiche richieste per gli SLU (statici e sismici) e per gli SLE (statici e sismici) mediante l'ausilio del codice di calcolo. Le verifiche condotte sulle sezioni sono sotto riportate:

Verifiche SLU - SLV

- Flessione: in accordo con § 4.1.2.3.4.2 del D.M. 17/01/2018
- Verifica a taglio: in accordo con § 4.1.2.3.5 del D.M. 17/01/2018

Di seguito una rappresentazione grafica dei risultati maggiormente significativi:

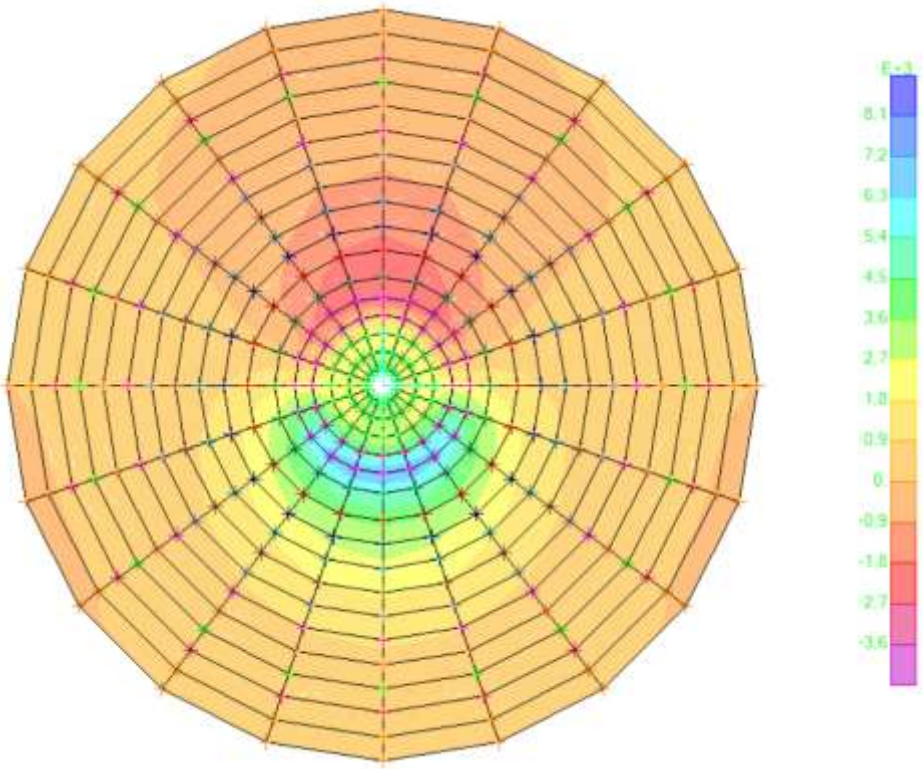

Figura 53 – sollecitazione – flessione M11 radiali

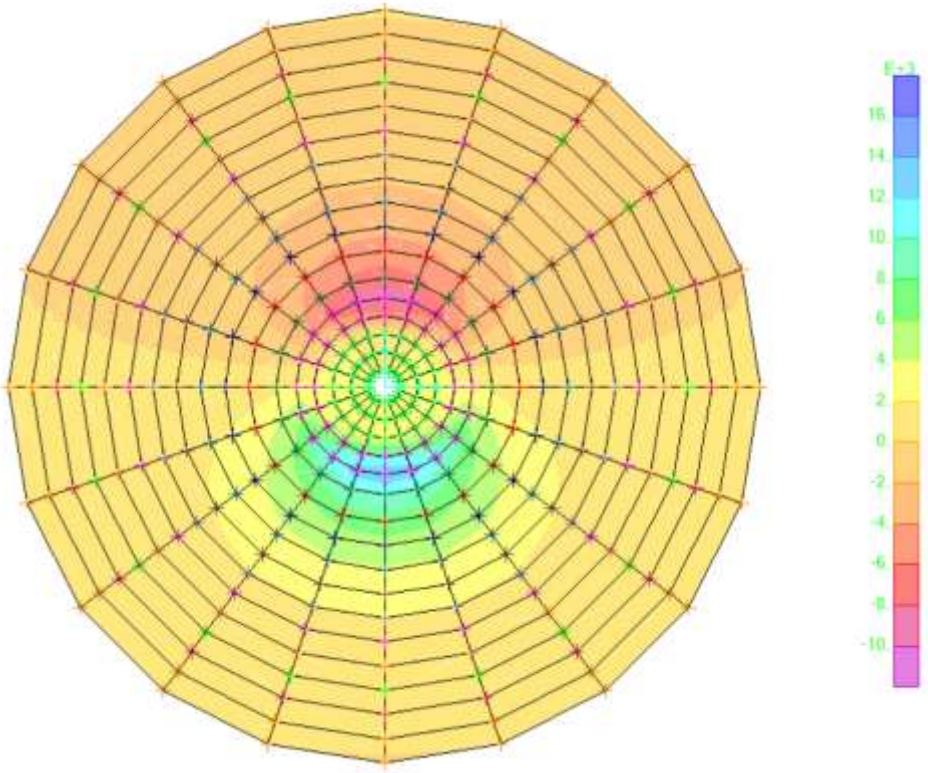

Figura 54 – sollecitazione – flessione M22 anulari

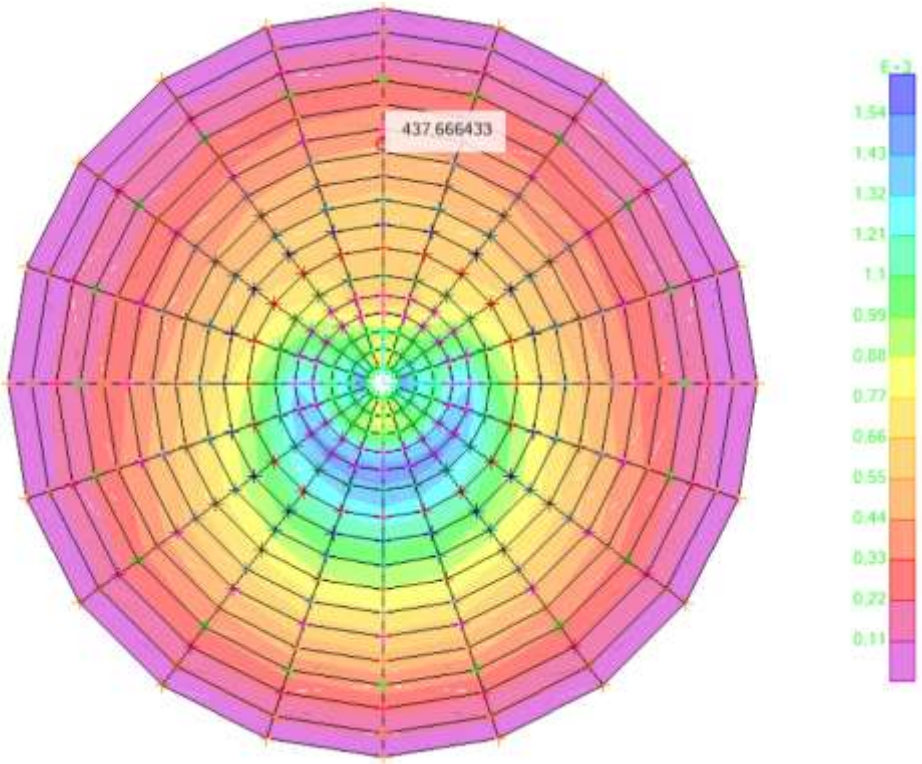

Figura 55 – sollecitazione – taglio massimo

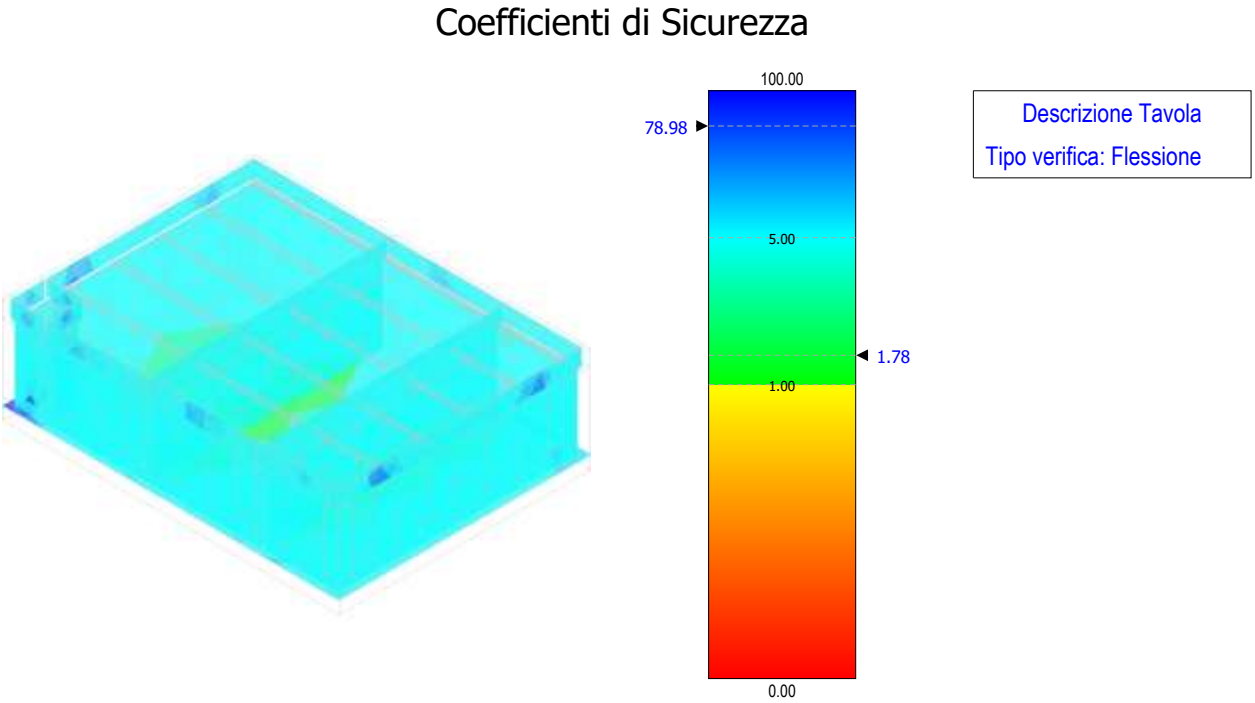

Figura 56 – verifica a flessione – fondazione trasformatore

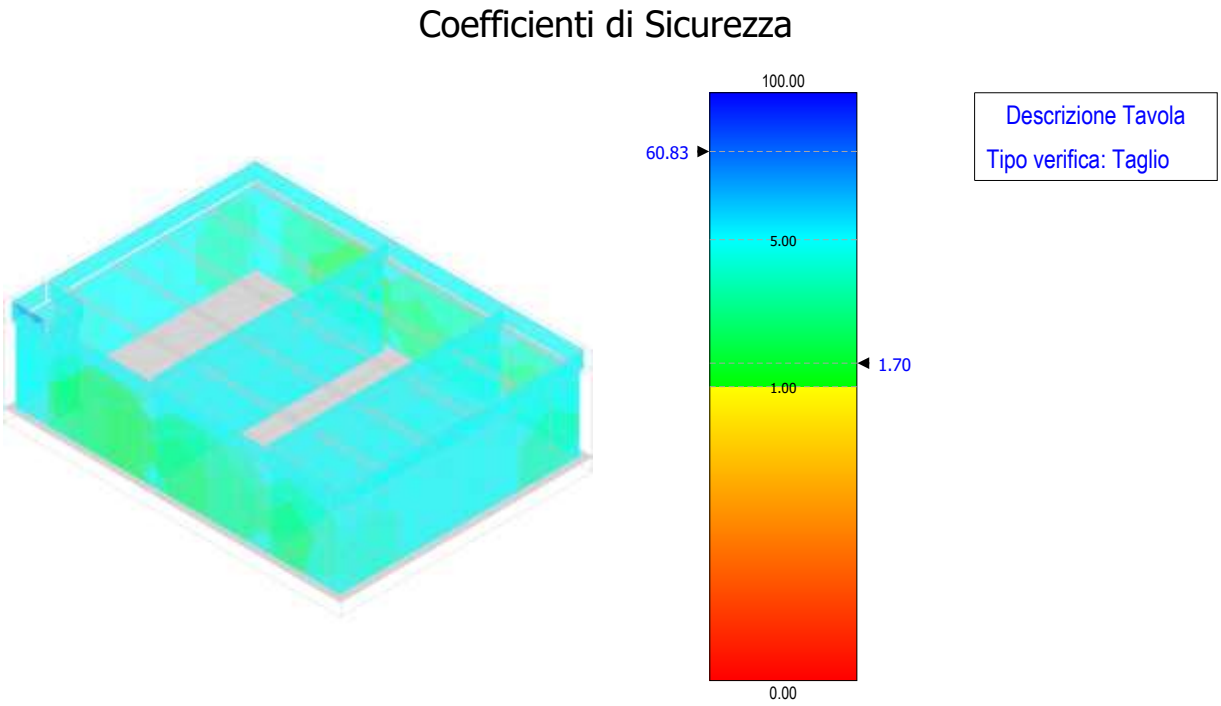

Figura 57 – verifica a taglio – fondazione trasformatore

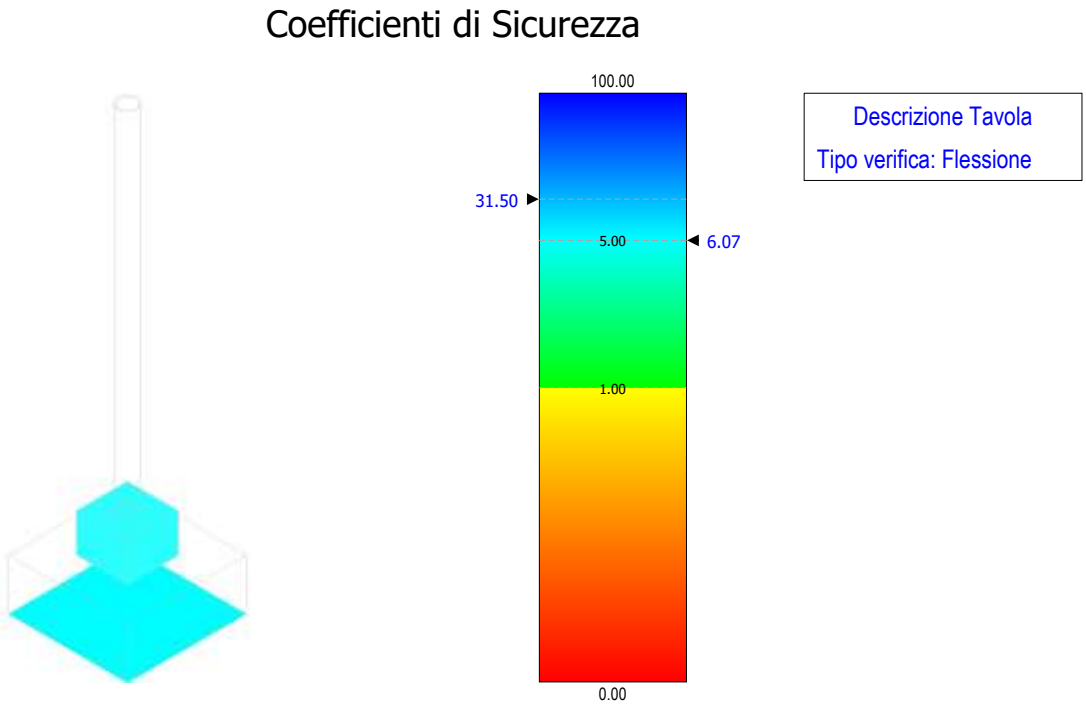

Figura 58 - verifica a flessione – fondazione scaricatore

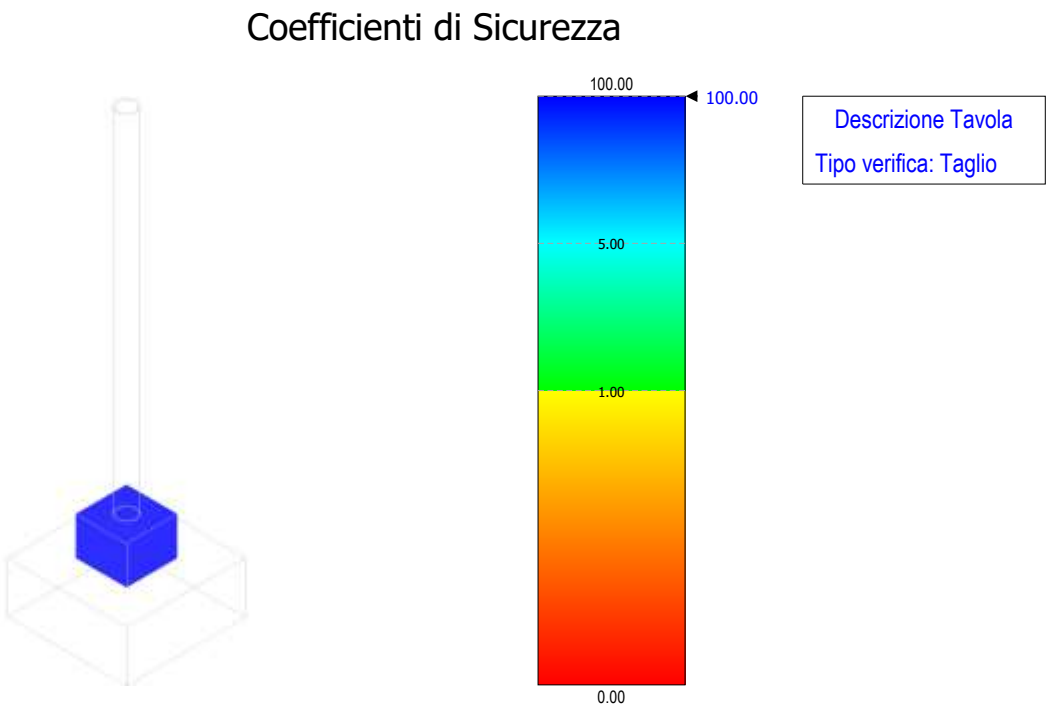

Figura 59 - verifica a taglio – fondazione scaricatore

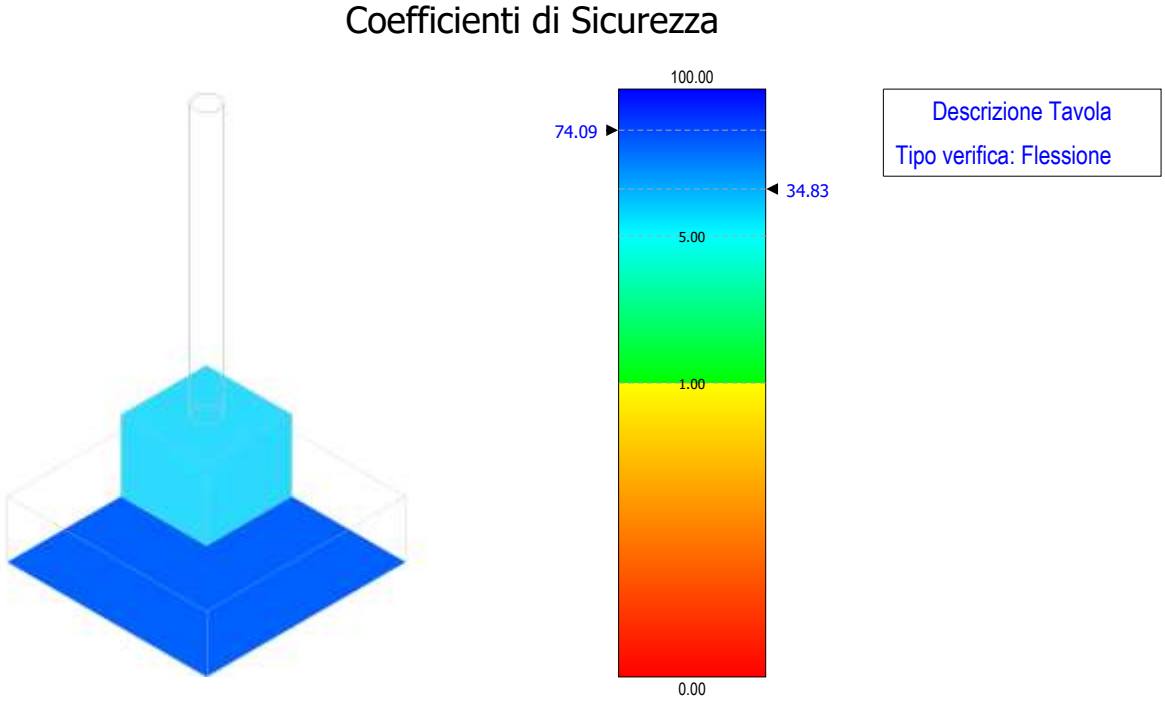

Figura 60 - verifica a flessione – fondazione TVC

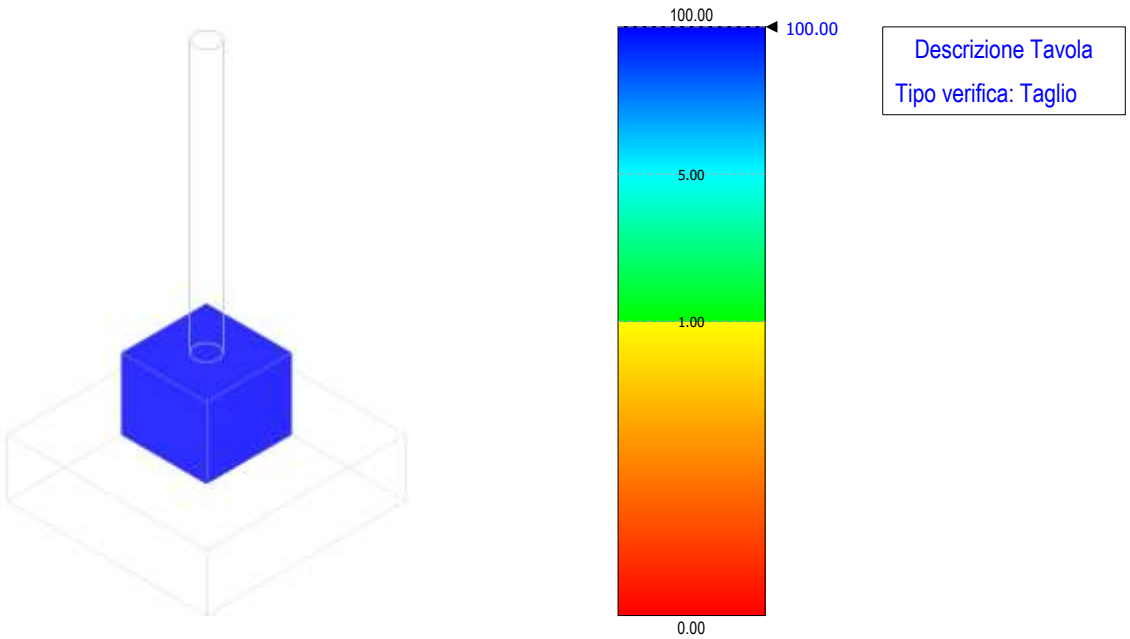

Figura 61 - verifica a taglio – fondazione TVC

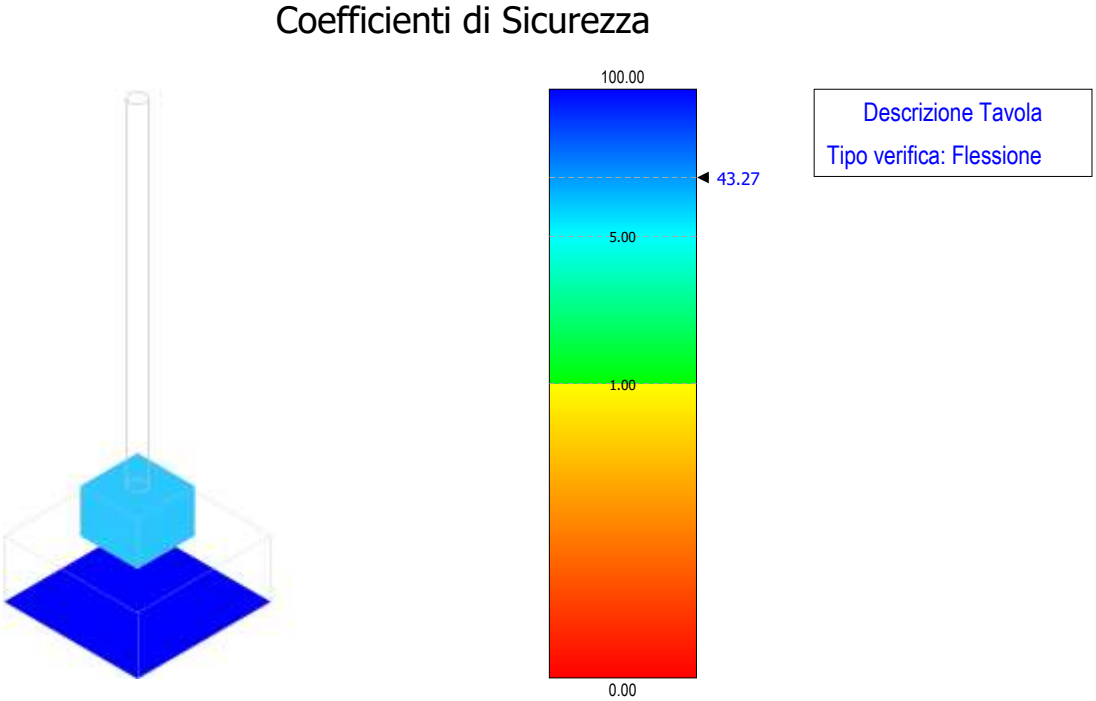

Figura 62 - verifica a flessione – fondazione TVI

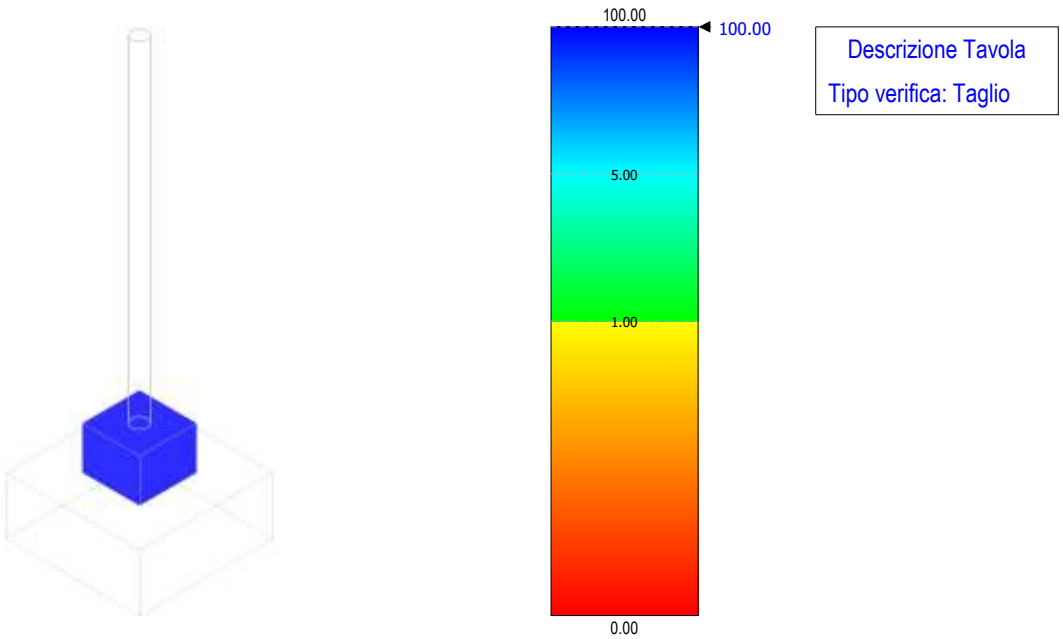

Figura 63 - verifica a taglio – fondazione TVI

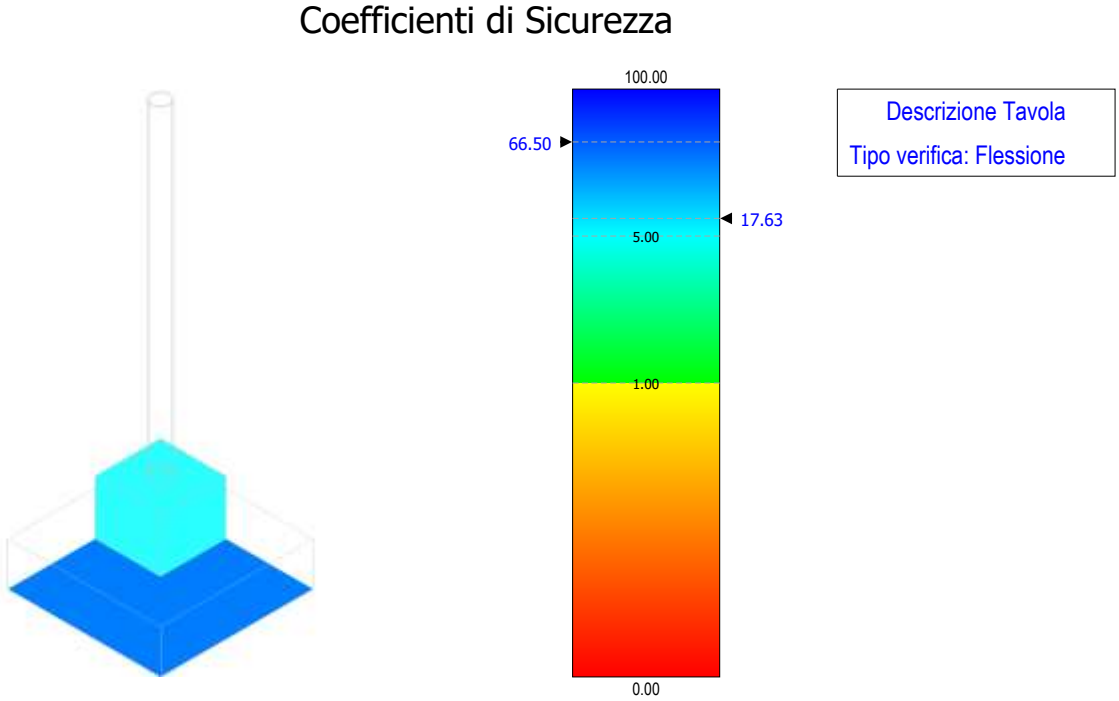

Figura 64 - verifica a flessione – fondazione TA

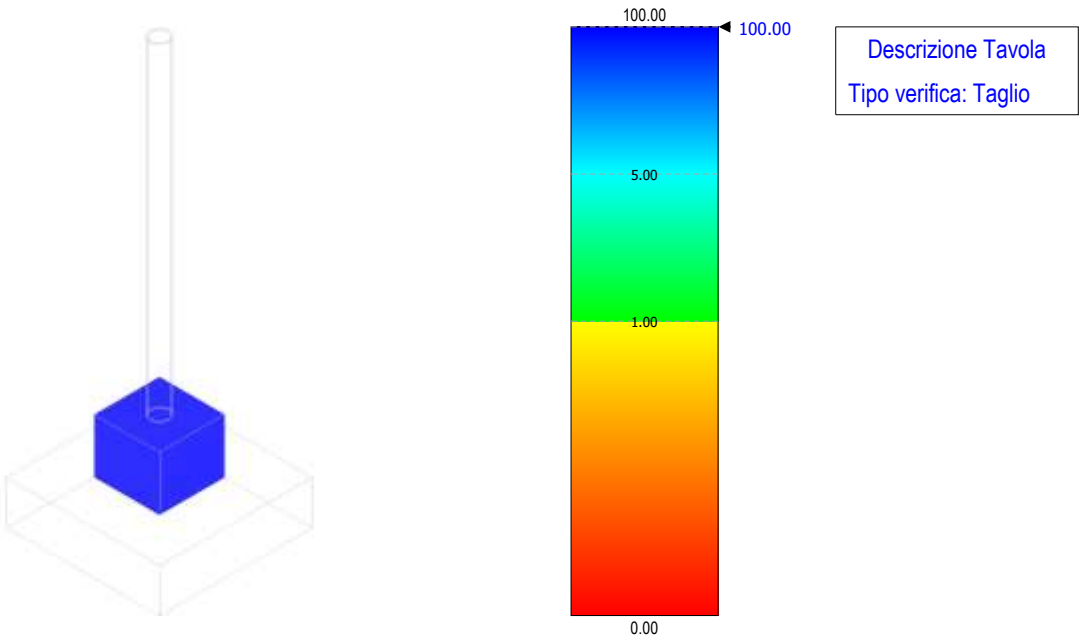

Figura 65 - verifica a taglio – fondazione TA

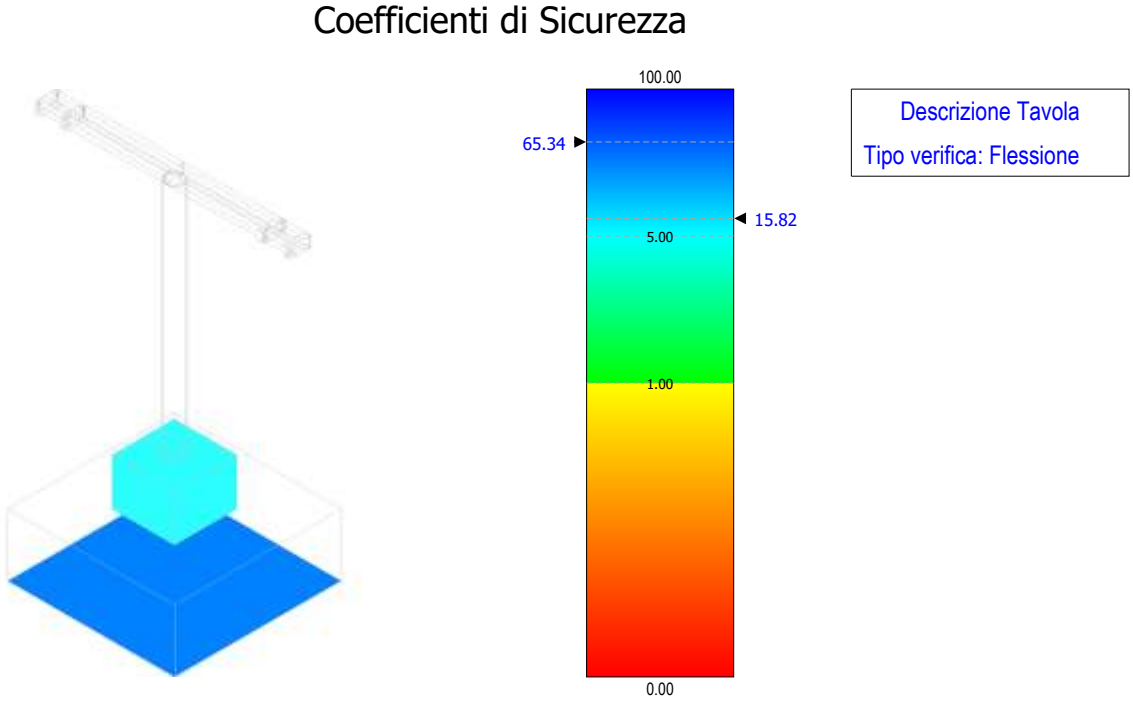

Figura 66 - verifica a flessione – fondazione terminale cavo AT

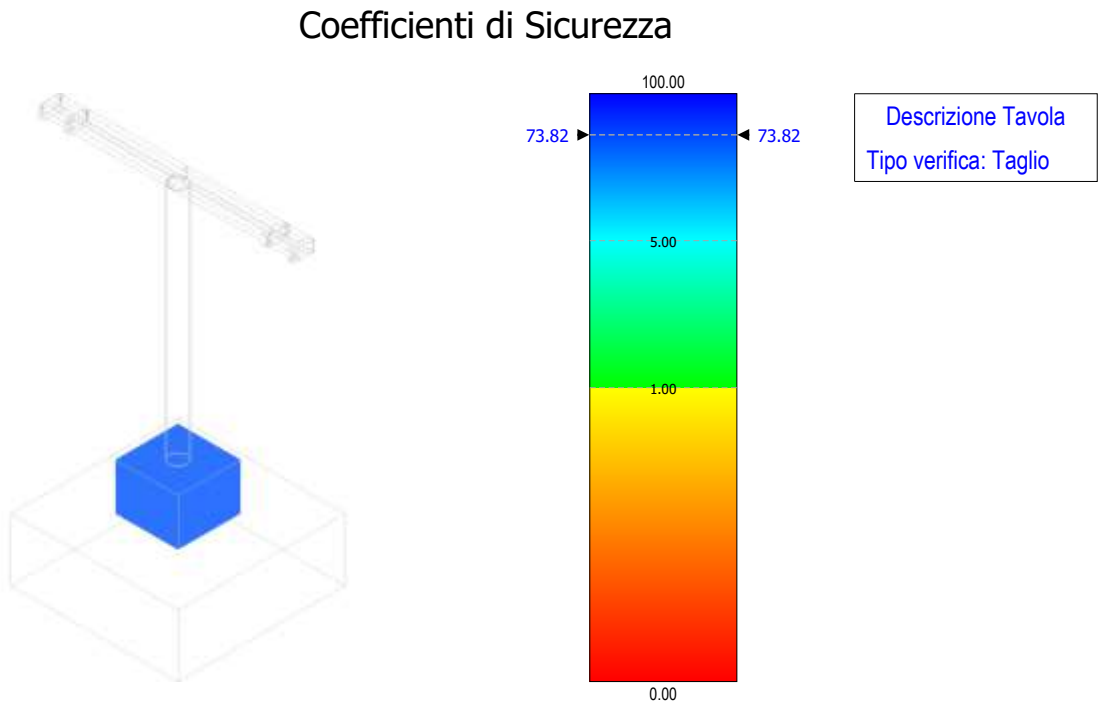

Figura 67 - verifica a taglio – fondazione terminale cavo AT

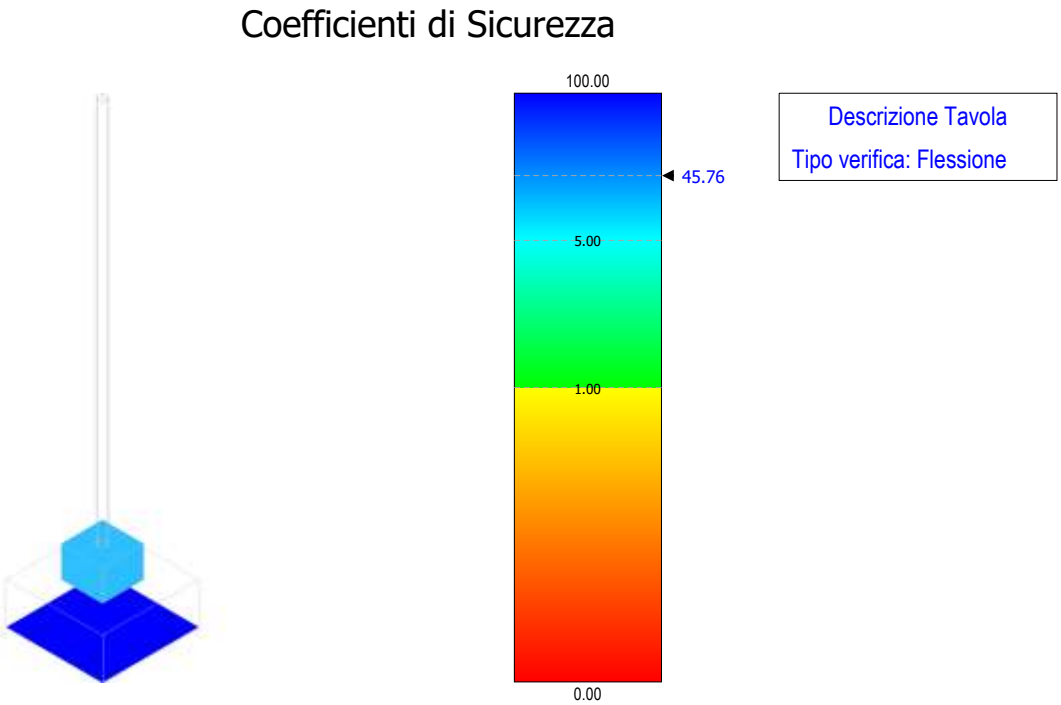

Figura 68 - verifica a flessione – fondazione M.A.T. neutro

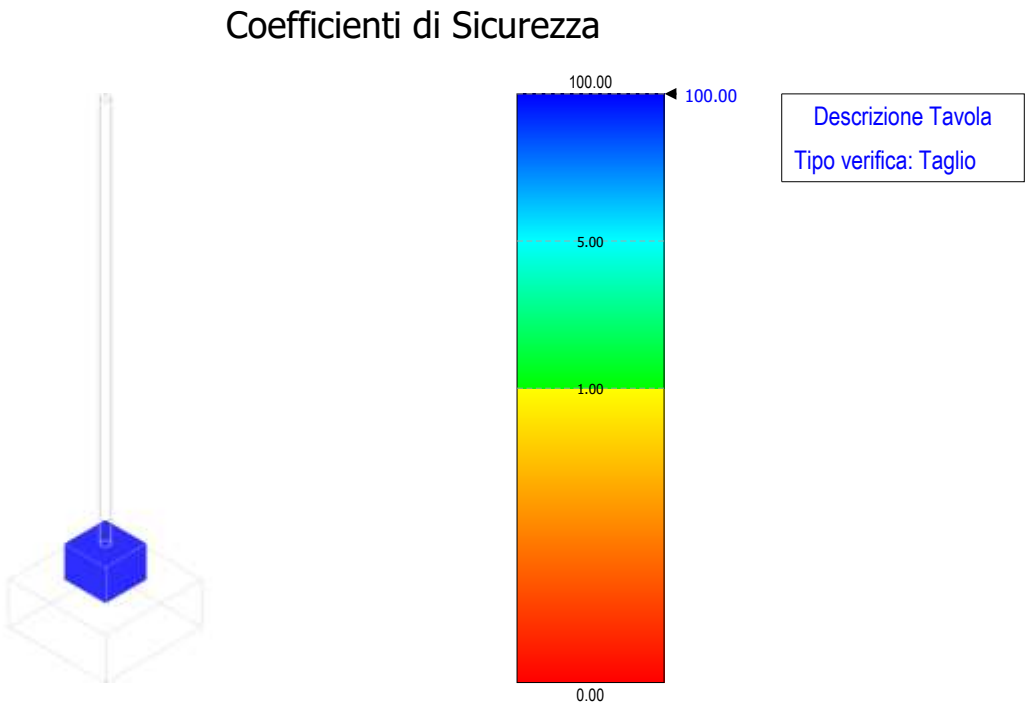

Figura 69 - verifica a taglio – fondazione M.A.T. neutro

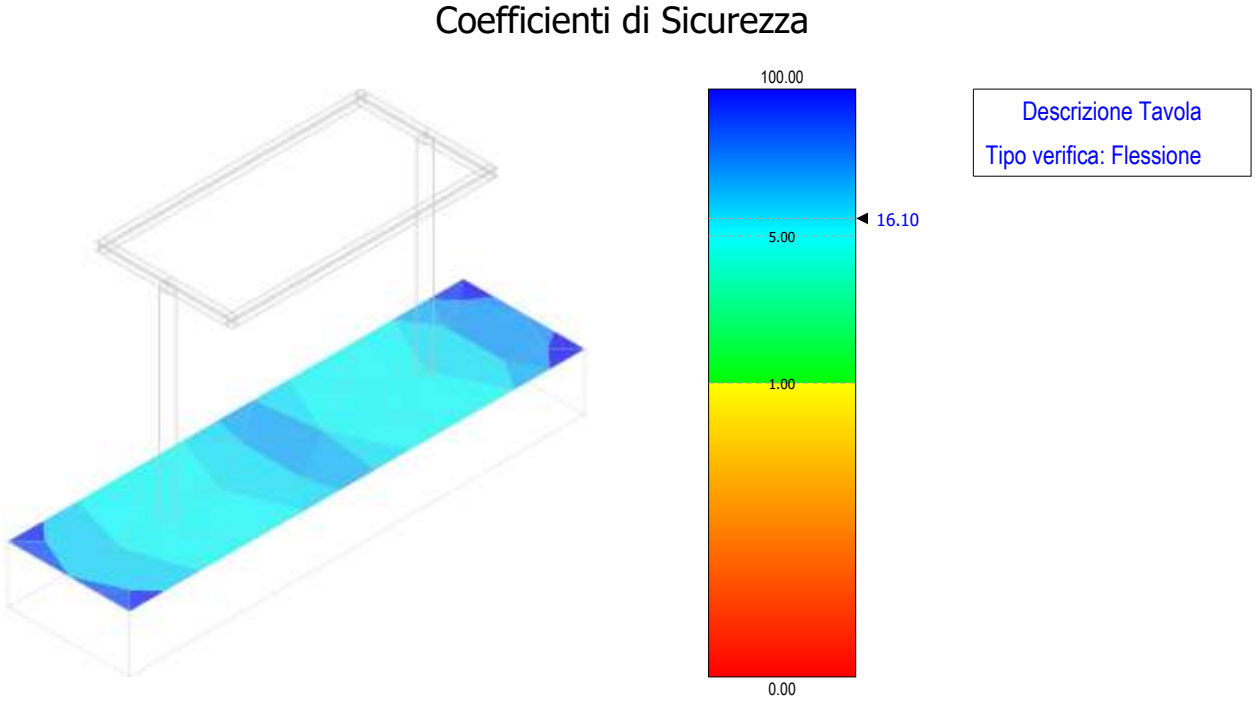

Figura 70 - verifica a flessione – fondazione sezionatore

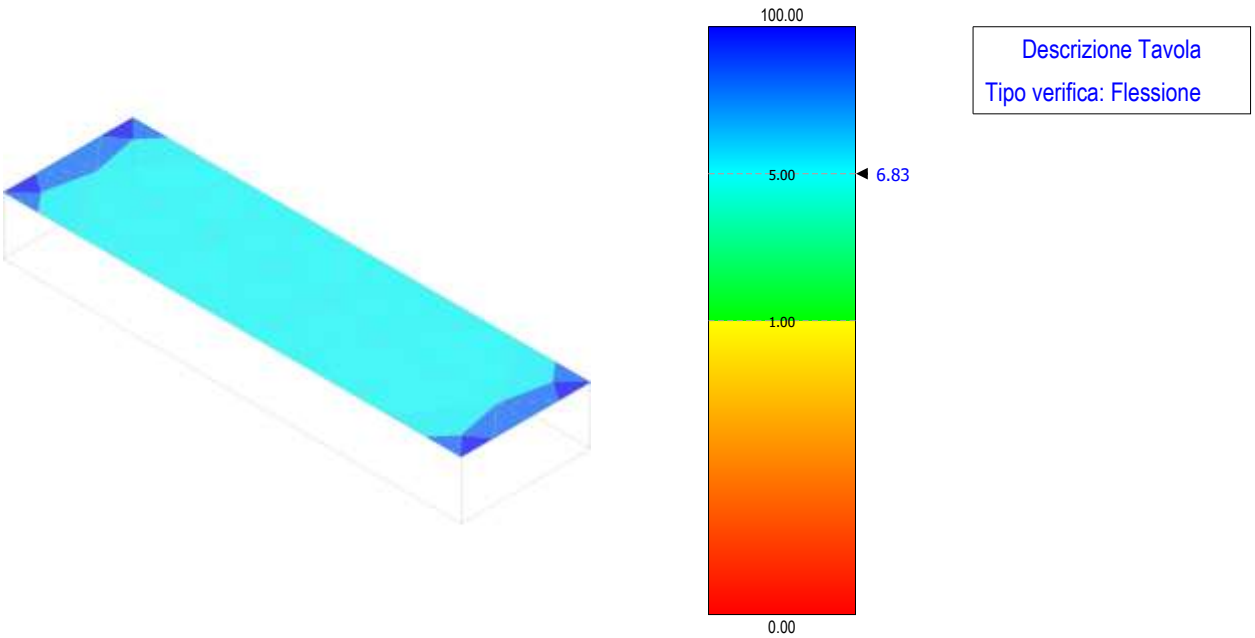

Figura 71 - verifica a flessione – fondazione interruttore

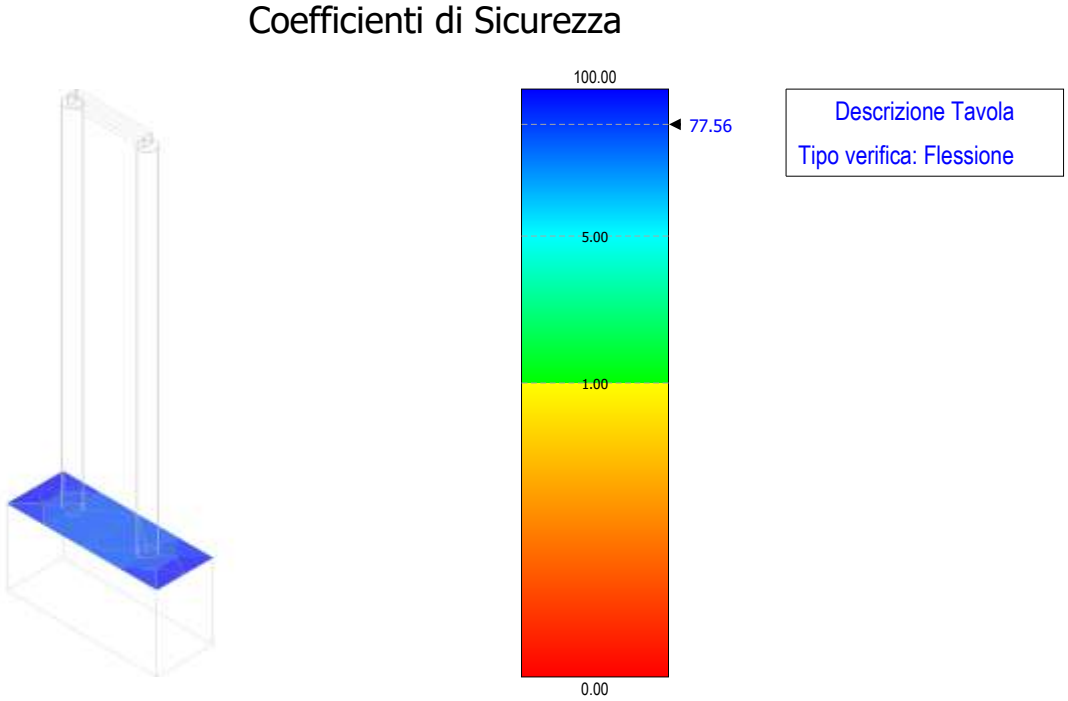

Figura 72 - verifica a flessione – fondazione arrivo cavi MT

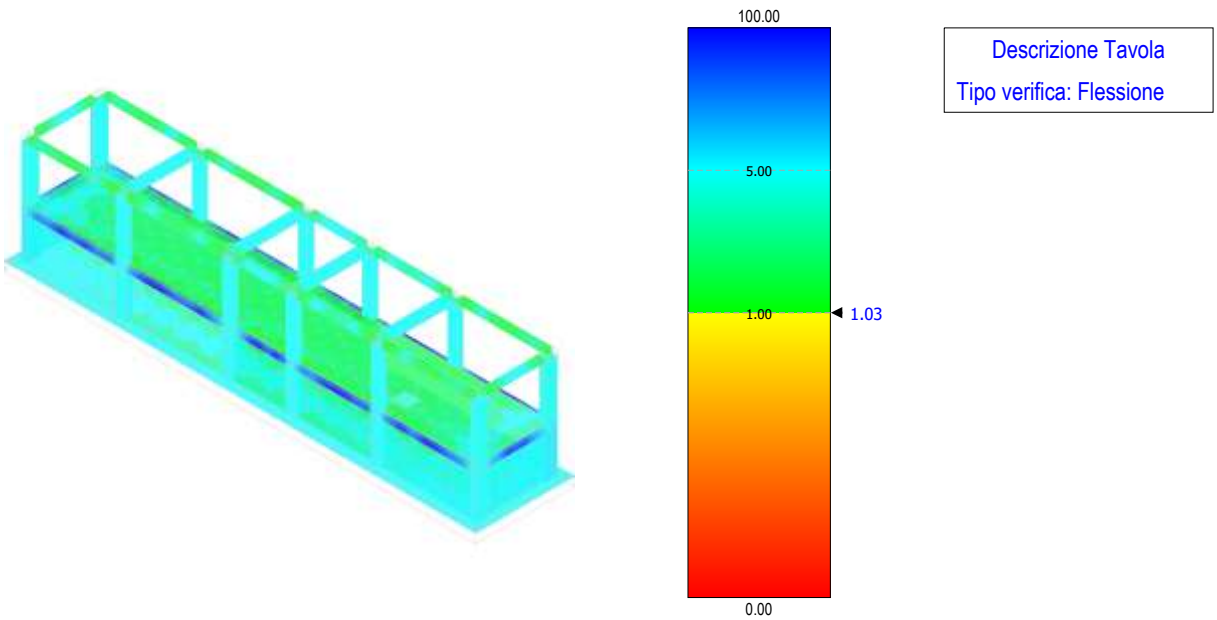

Figura 73 - verifica a flessione – edificio

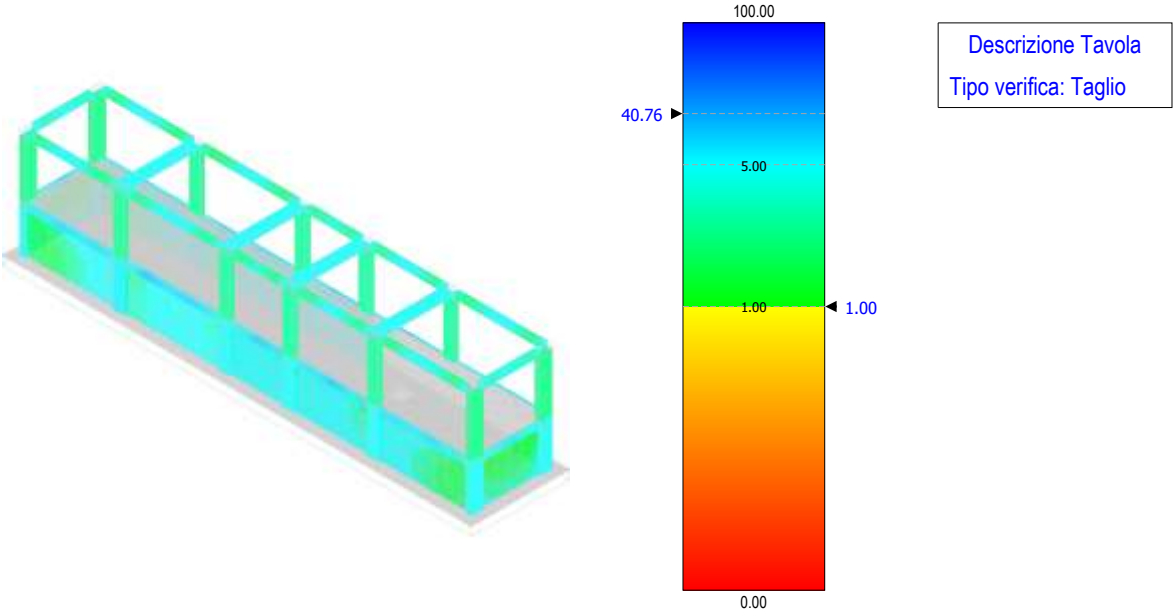

Figura 74 - verifica a taglio – edificio

Verifiche SLE - SLD

- Fessurazione: in accordo con §4.1.2.2.4 del D.M. 17/01/2018
- Limitazione delle tensioni: in accordo con §4.1.2.2.5 del D.M. 17/01/2018

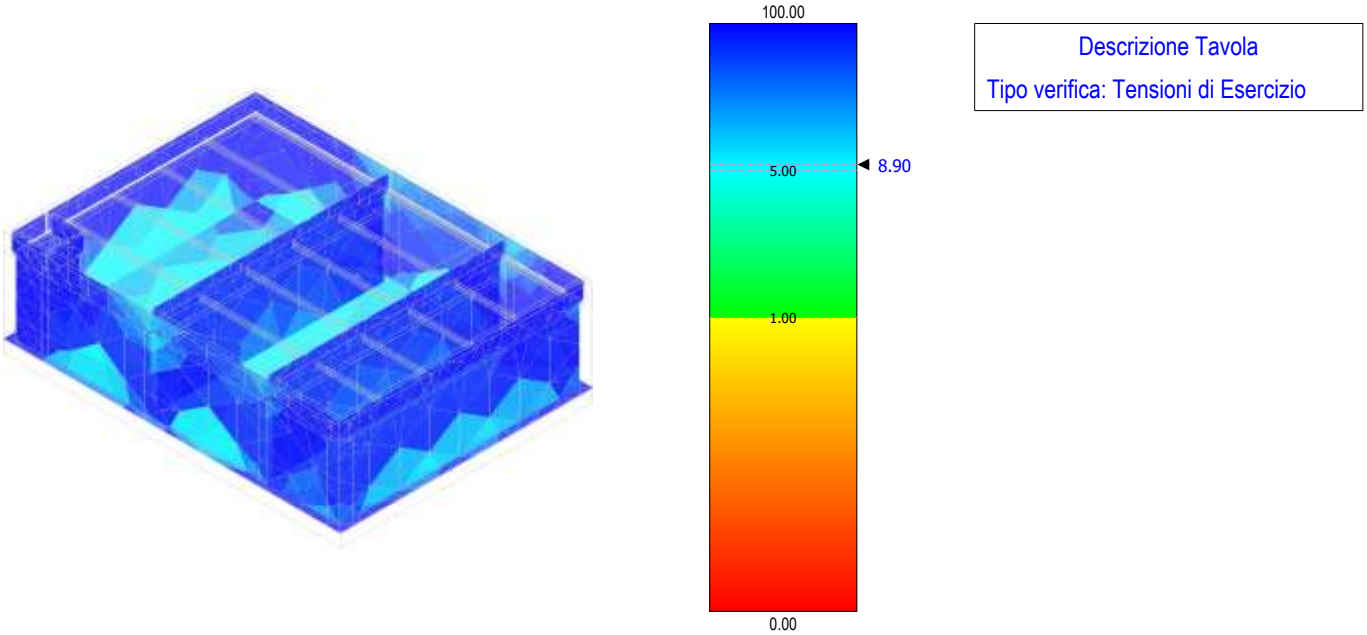

Figura 75 – tensioni di esercizio – fondazione trasformatore

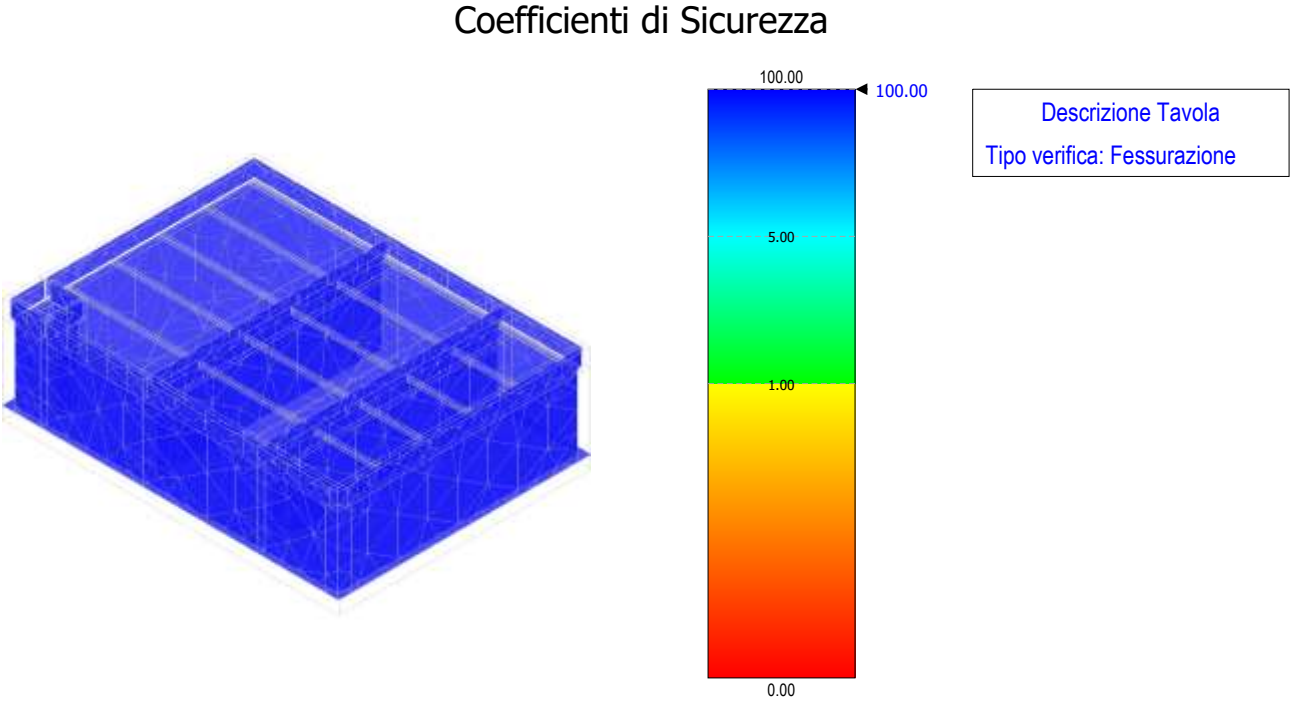

Figura 76 – verifica a fessurazione – fondazione trasformatore

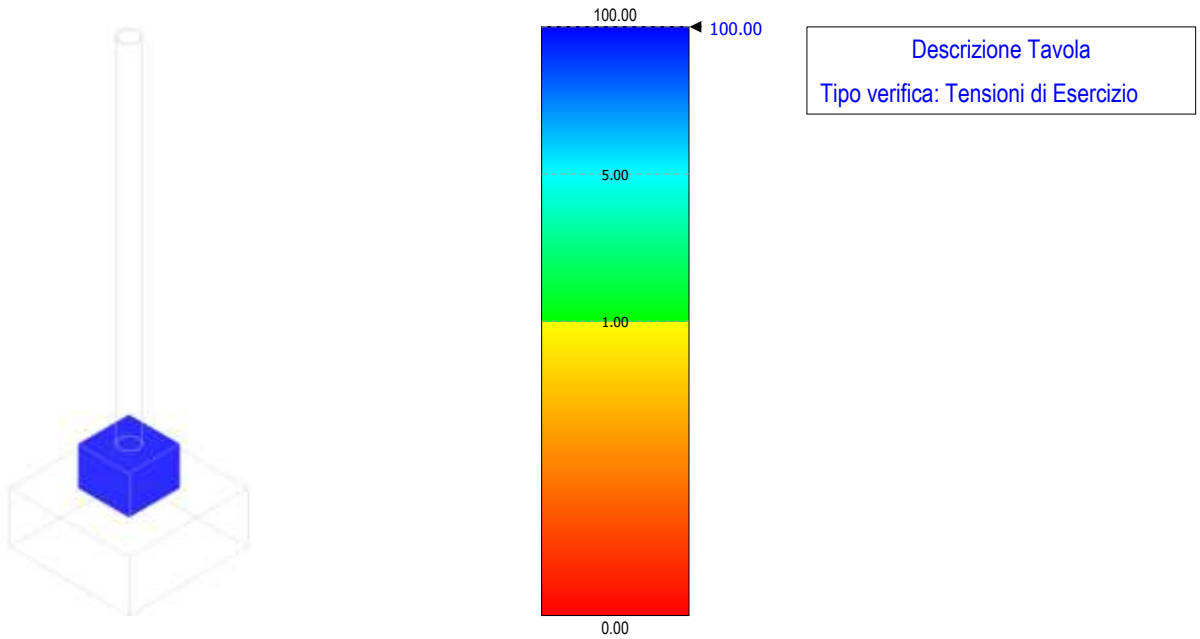

Figura 77 – tensioni di esercizio – fondazione scaricatore

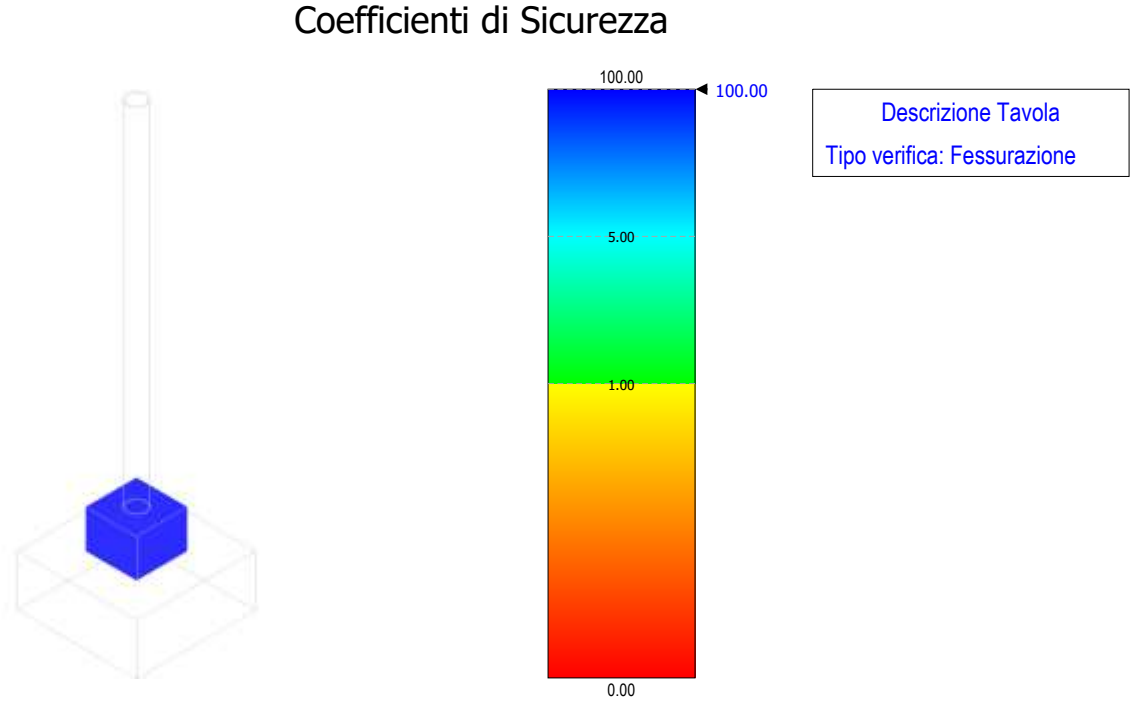

Figura 78 – verifica a fessurazione – fondazione scaricatore

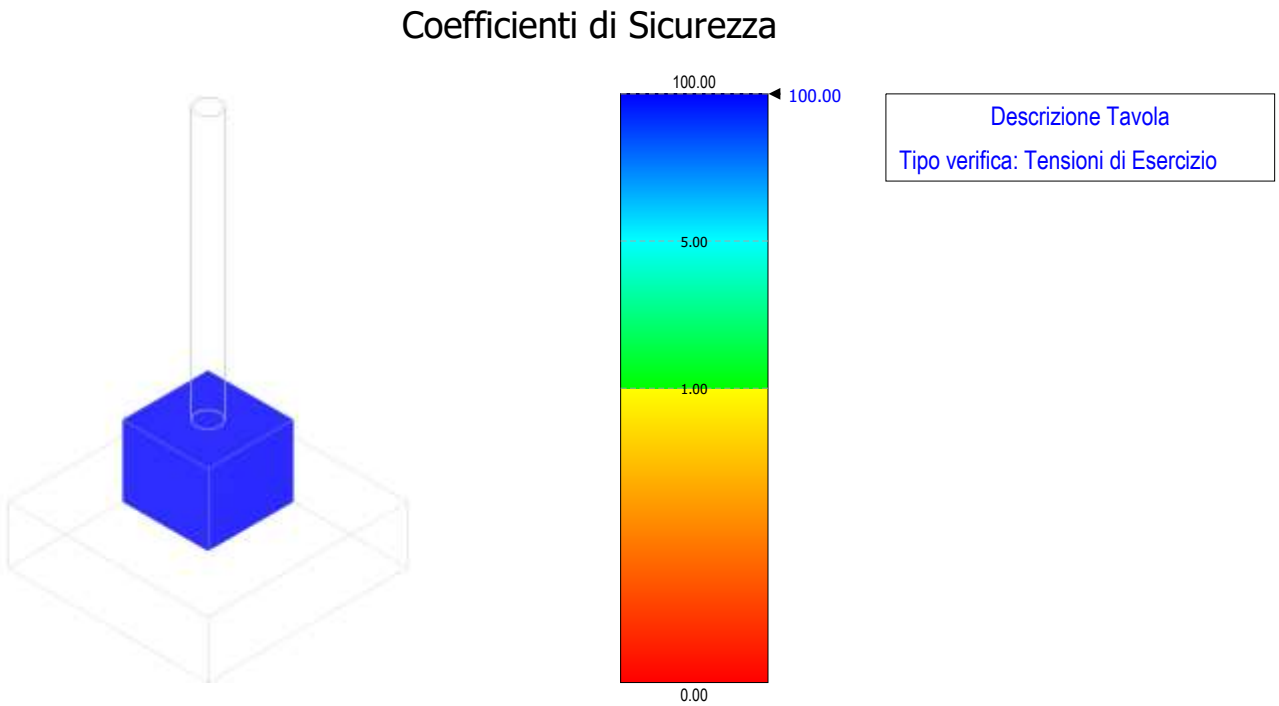

Figura 79 – tensioni di esercizio – fondazione TVC

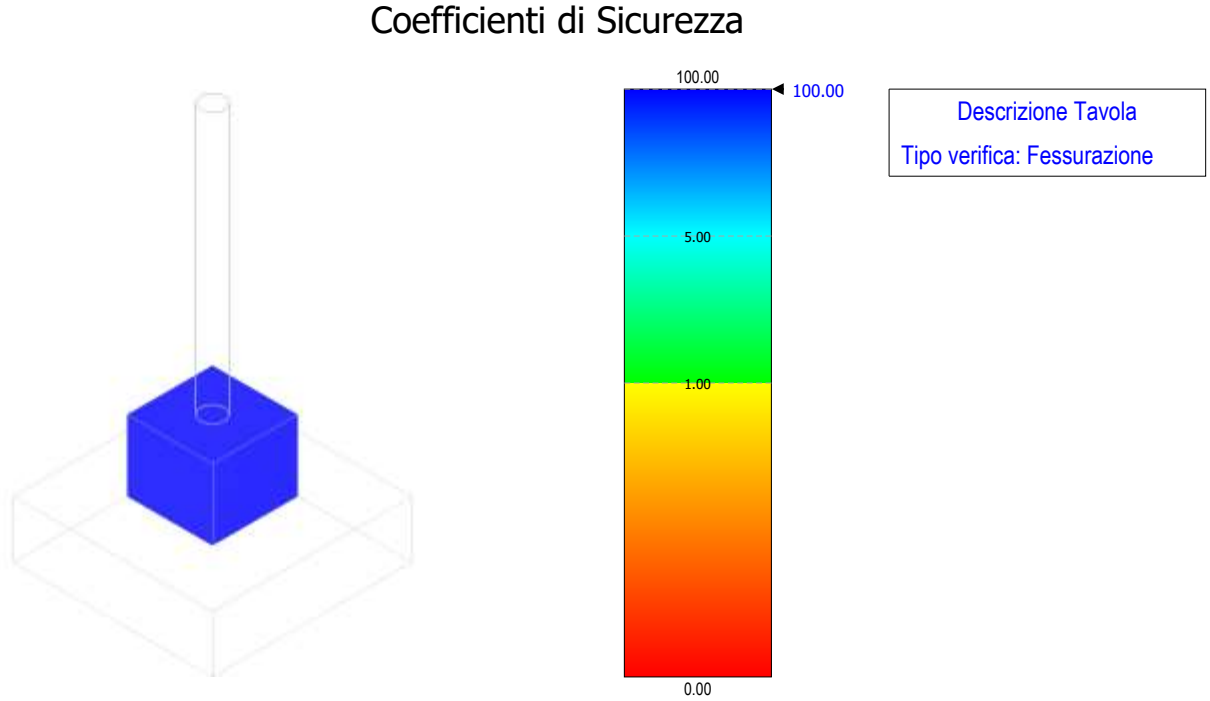

Figura 80 – verifica a fessurazione – fondazione TVC

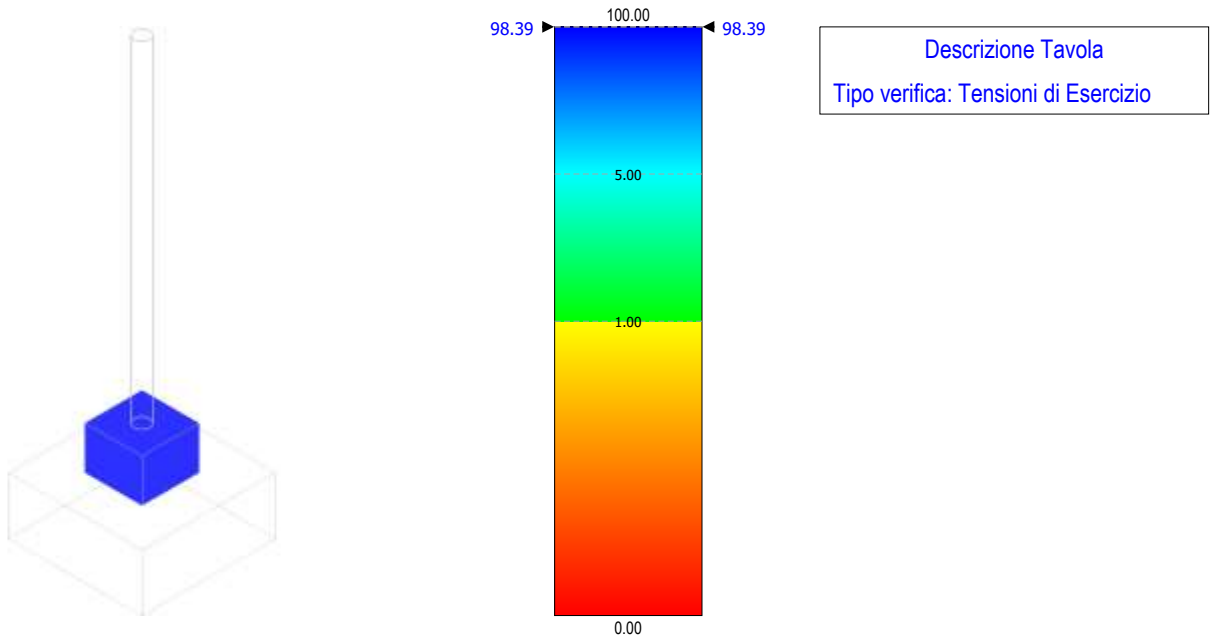

Figura 81 – tensioni di esercizio – fondazione TVI

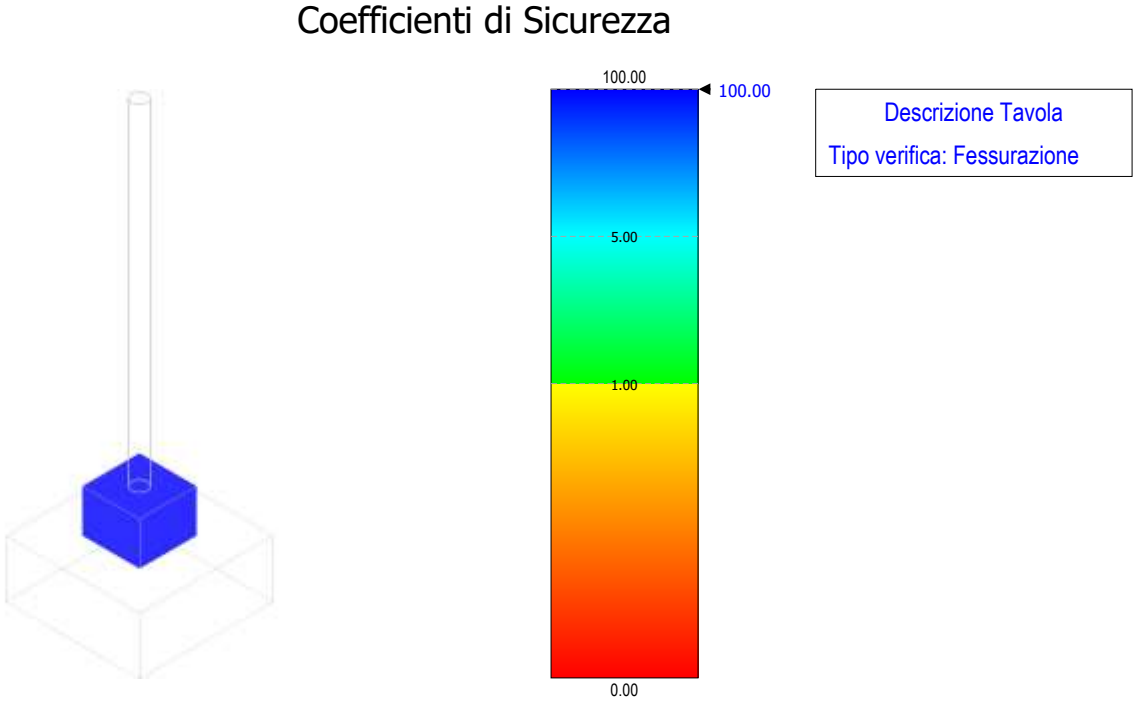

Figura 82 – verifica a fessurazione – fondazione TVI

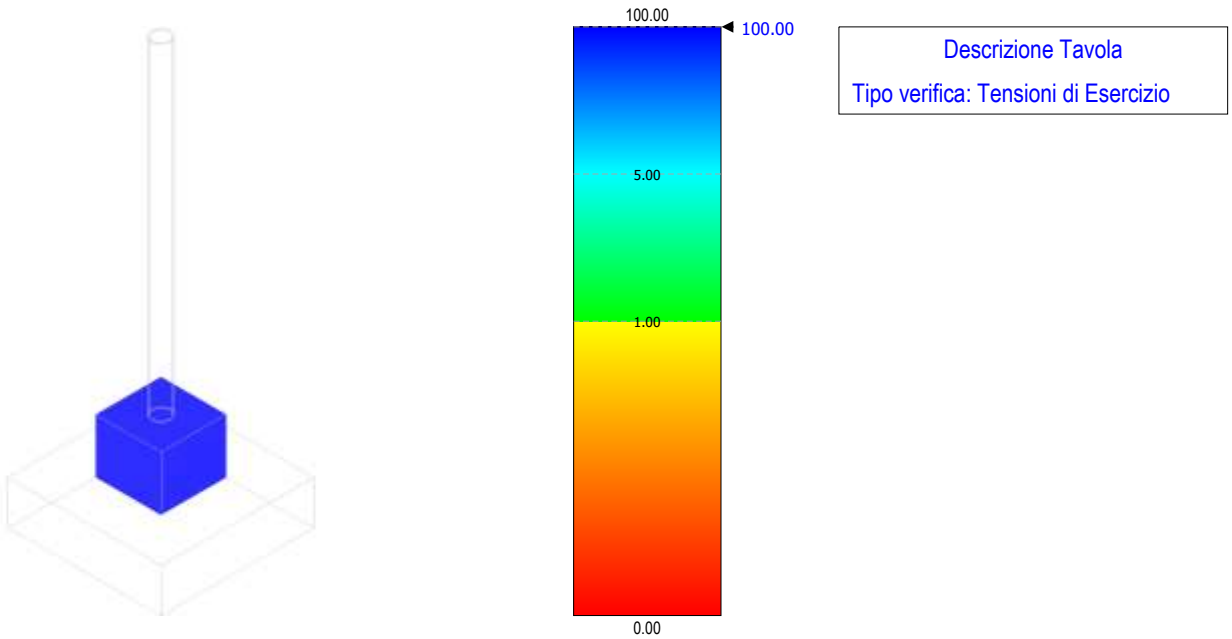

Figura 83 – tensioni di esercizio – fondazione TA

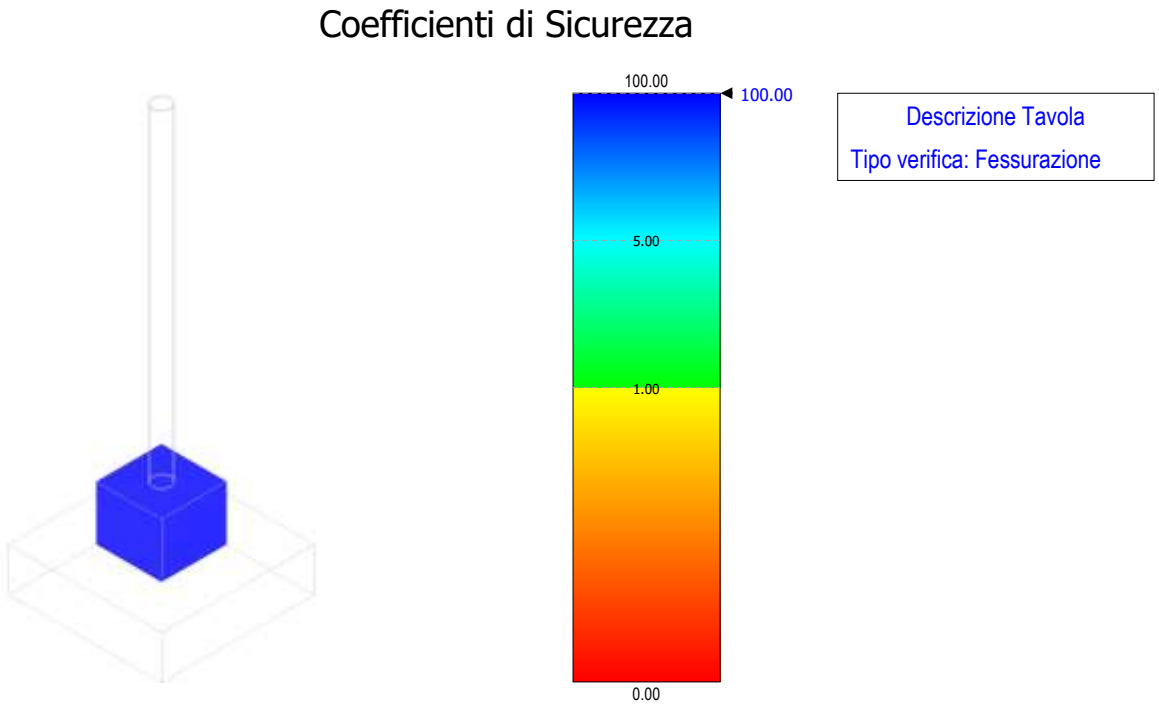

Figura 84 – verifica a fessurazione – fondazione TA

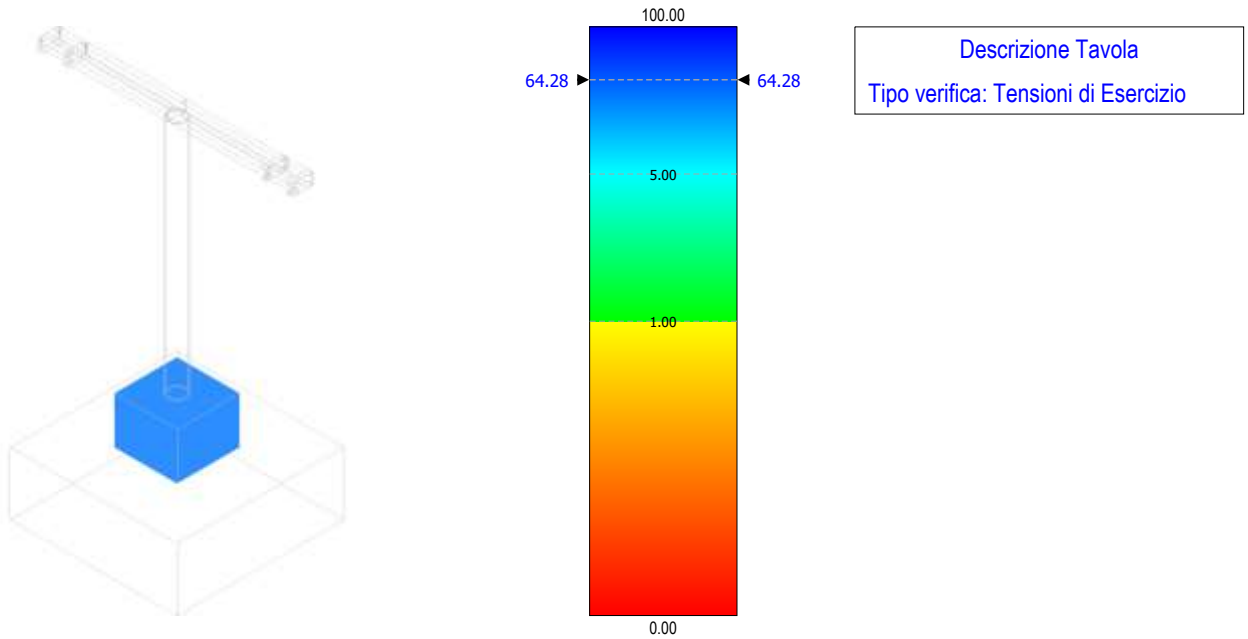

Figura 85 – tensioni di esercizio – fondazione terminale cavo AT

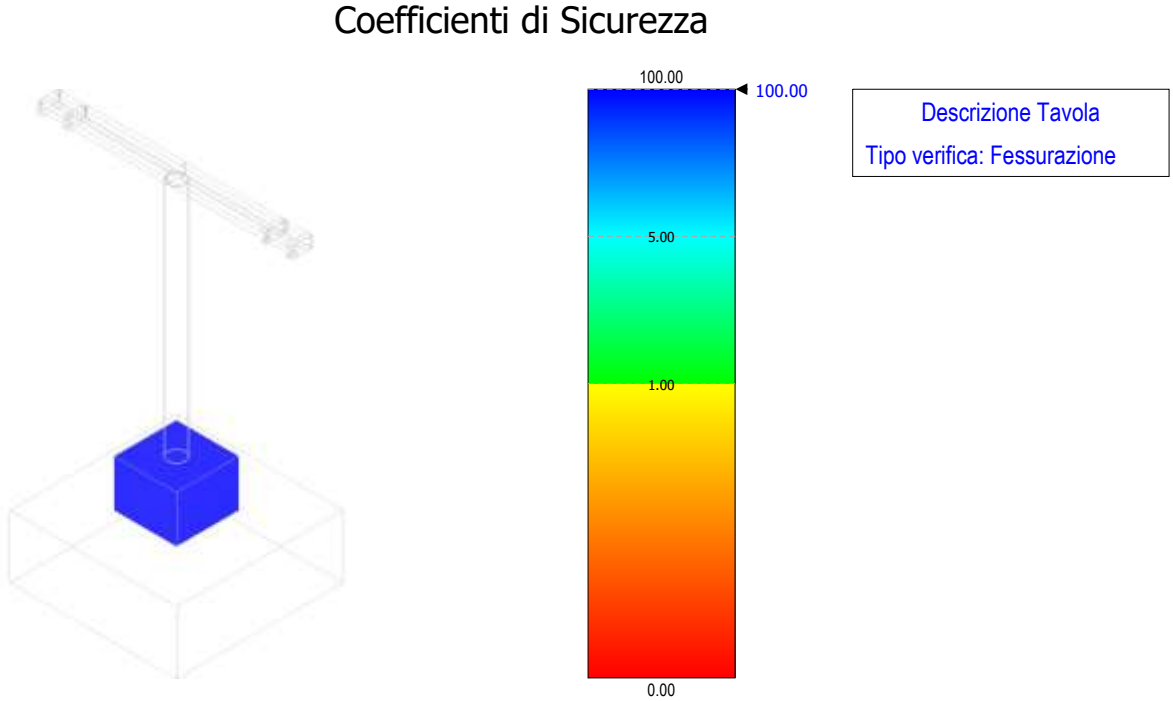

Figura 86 – verifica a fessurazione – fondazione terminale cavo AT

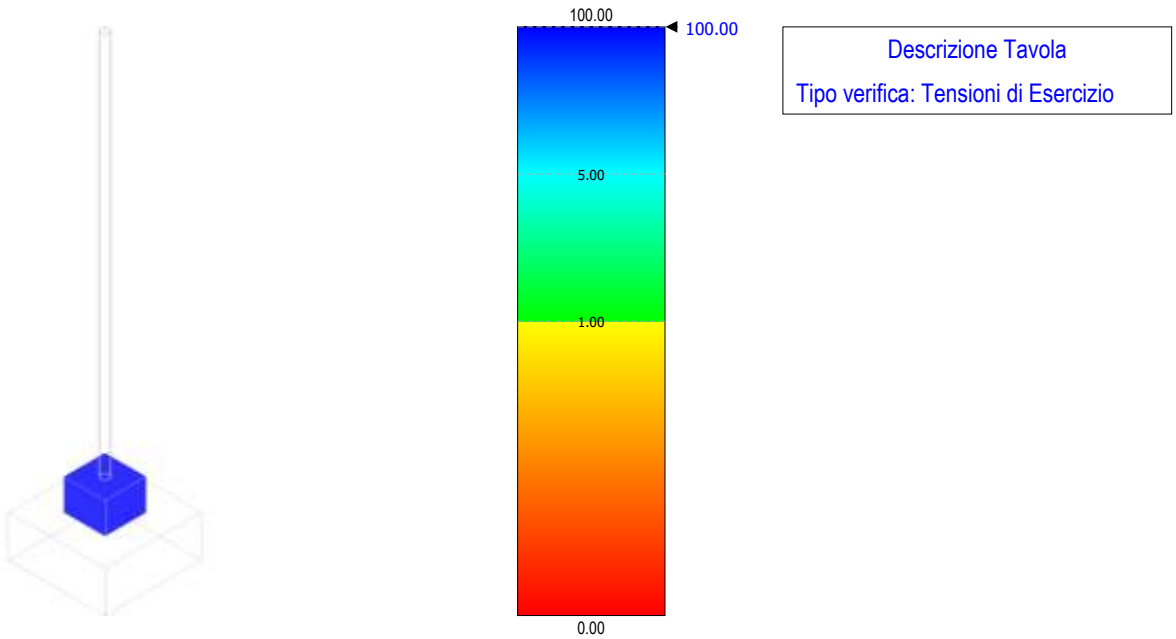

Figura 87 – tensioni di esercizio – fondazione M.A.T. neutro

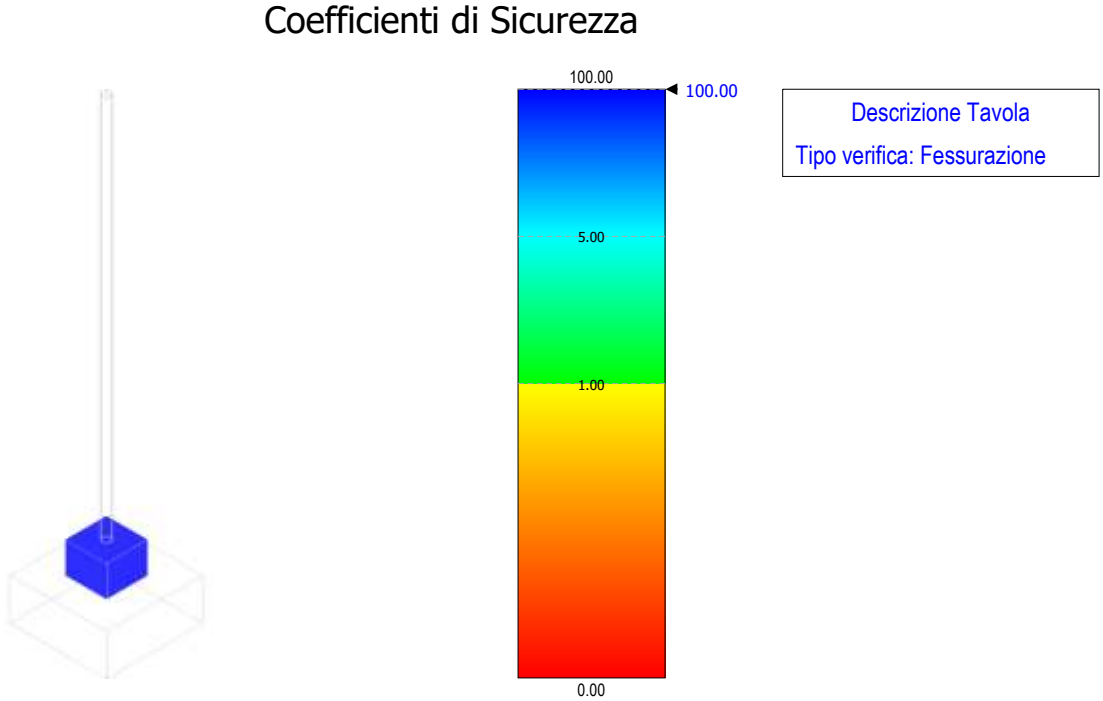

Figura 88 – verifica a fessurazione – fondazione M.A.T. neutro

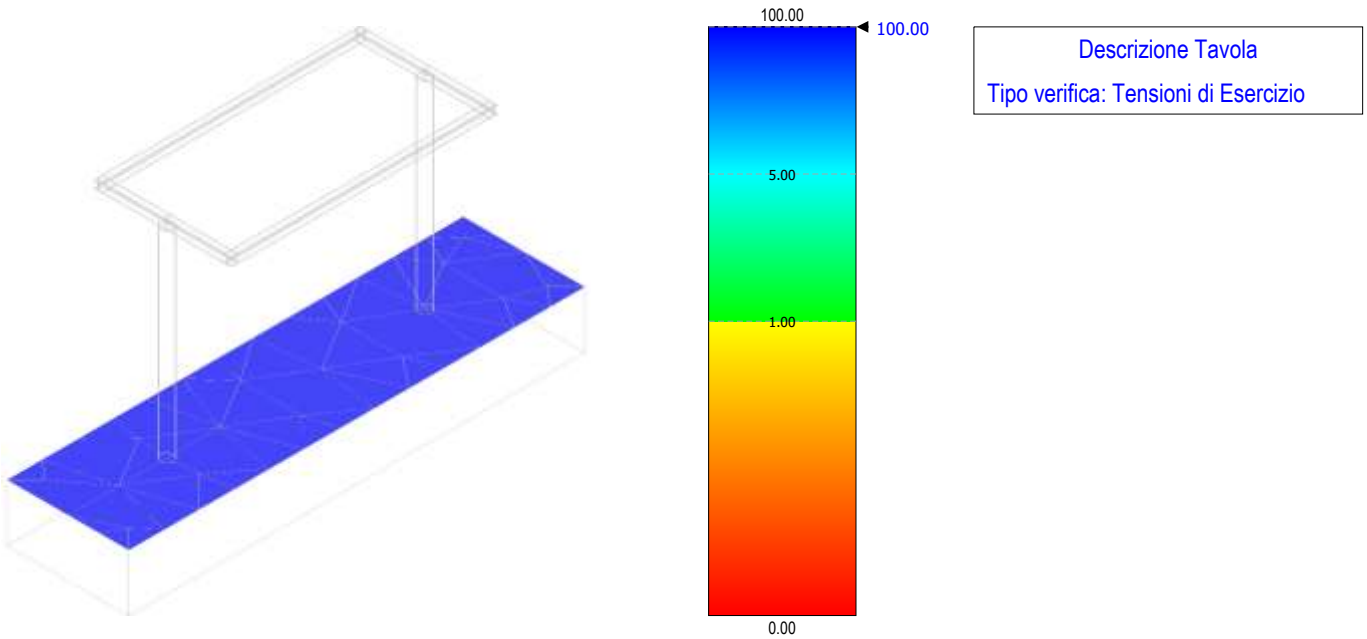

Figura 89 – tensioni di esercizio – fondazione sezionatore

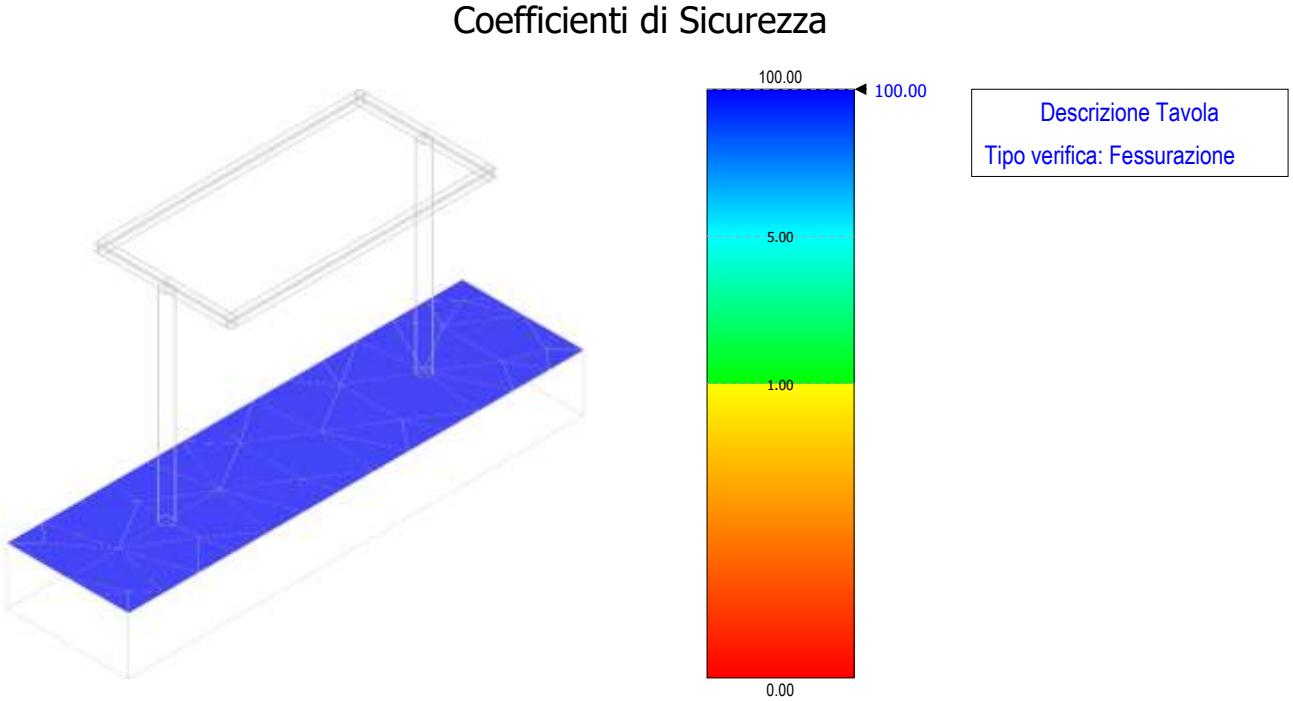

Figura 90 – verifica a fessurazione – fondazione sezionatore

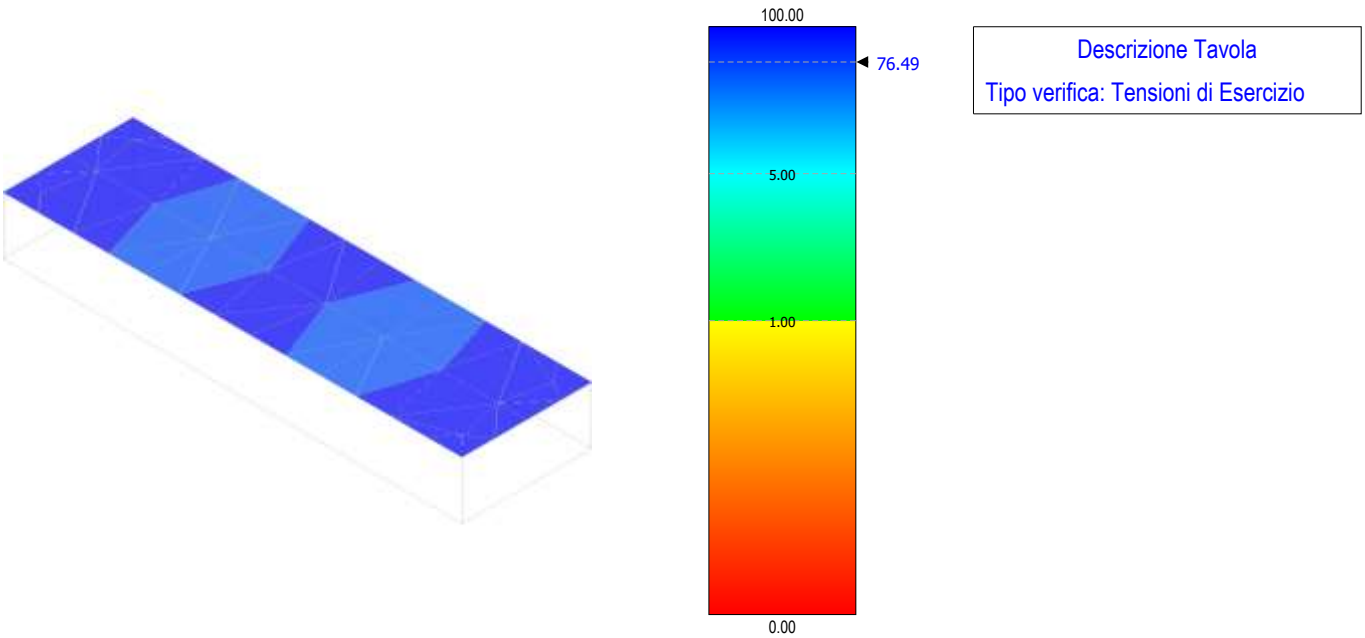

Figura 91 – tensioni di esercizio – fondazione interruttore

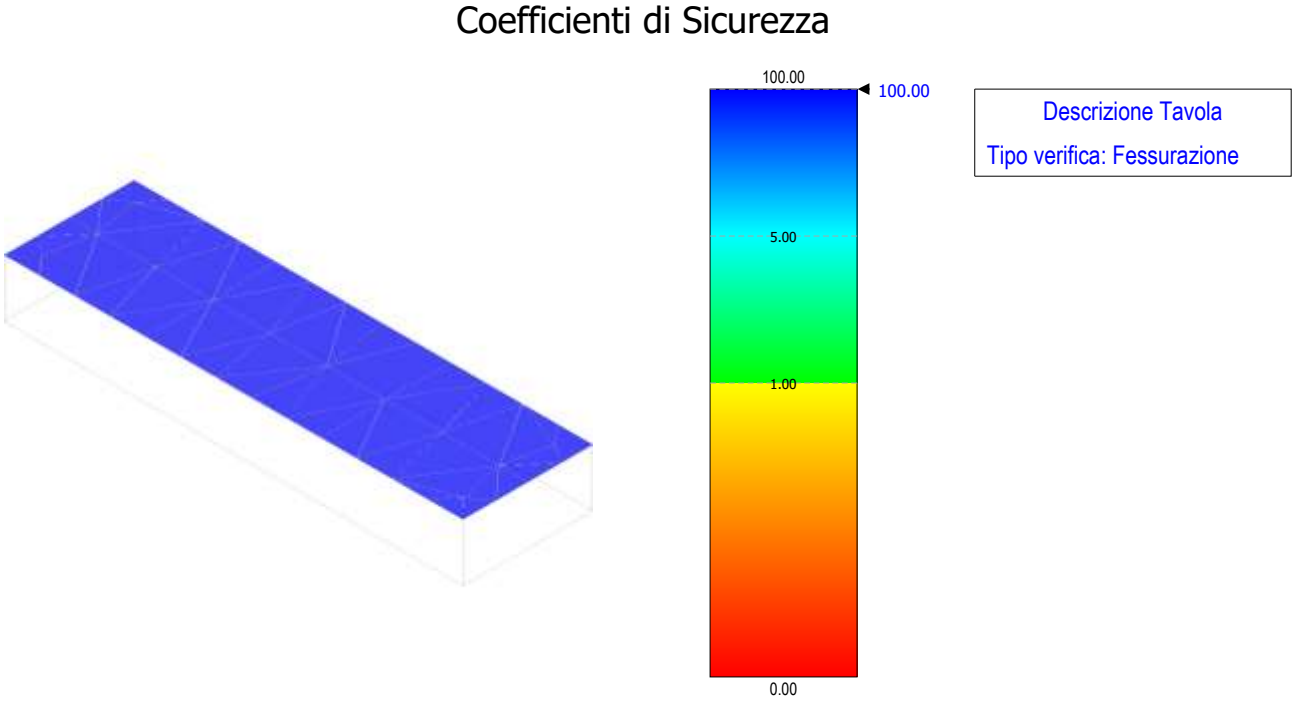

Figura 92 – verifica a fessurazione – fondazione interruttore

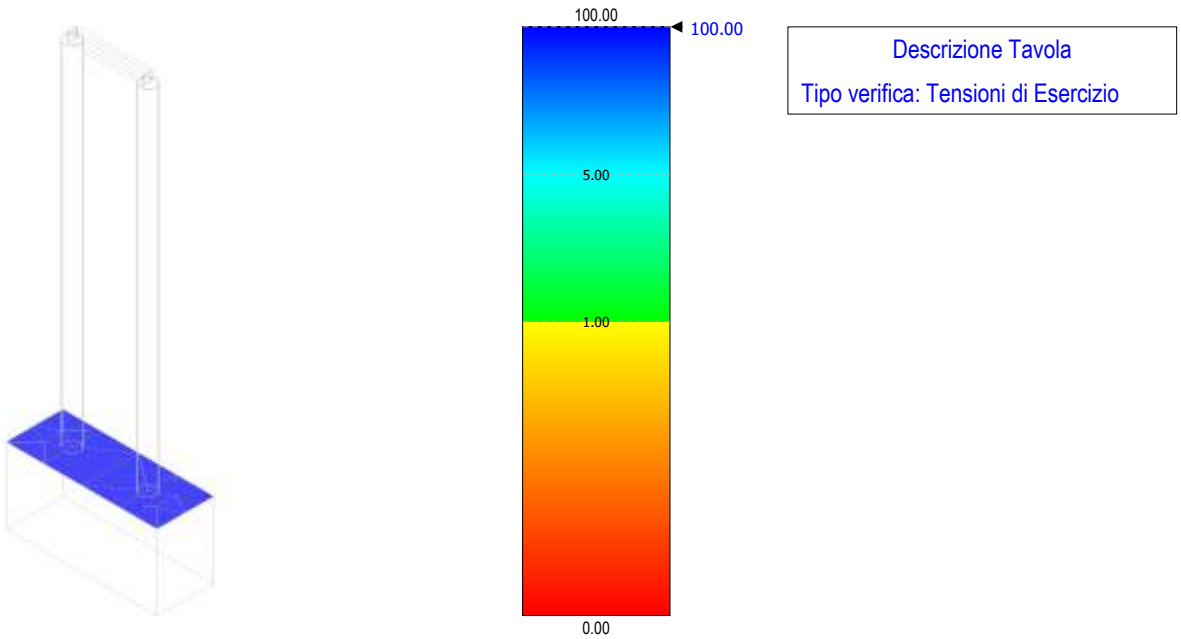

Figura 93 – tensioni di esercizio – fondazione arrivo cavi MT

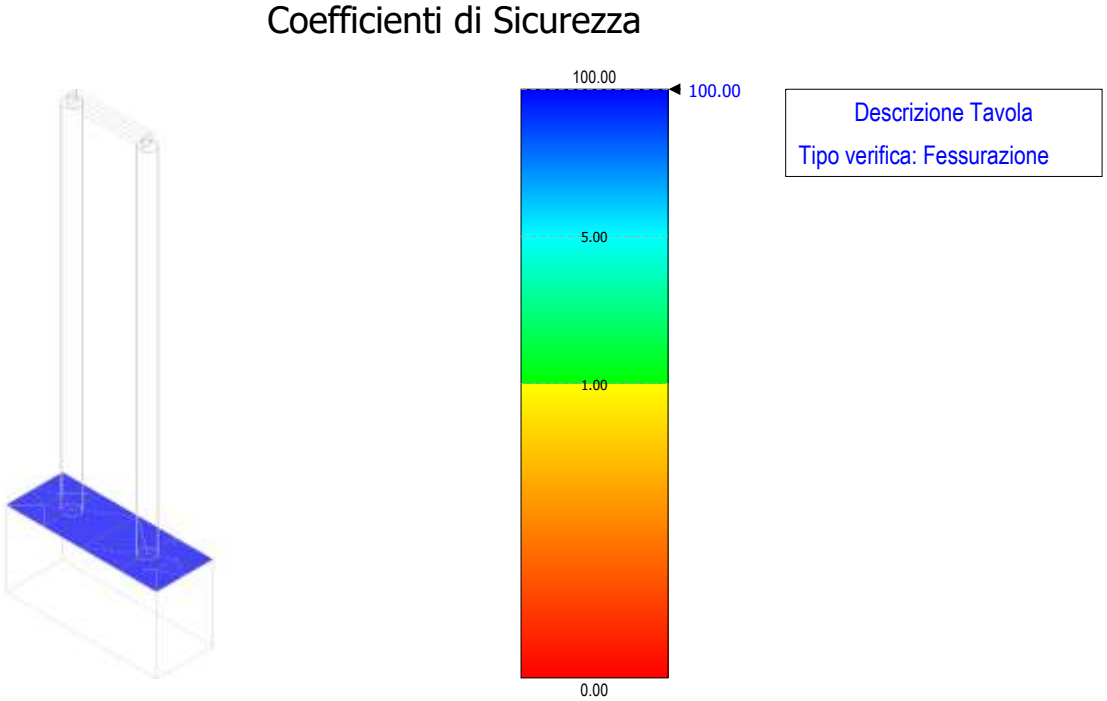

Figura 94 – verifica a fessurazione – fondazione arrivo cavi MT

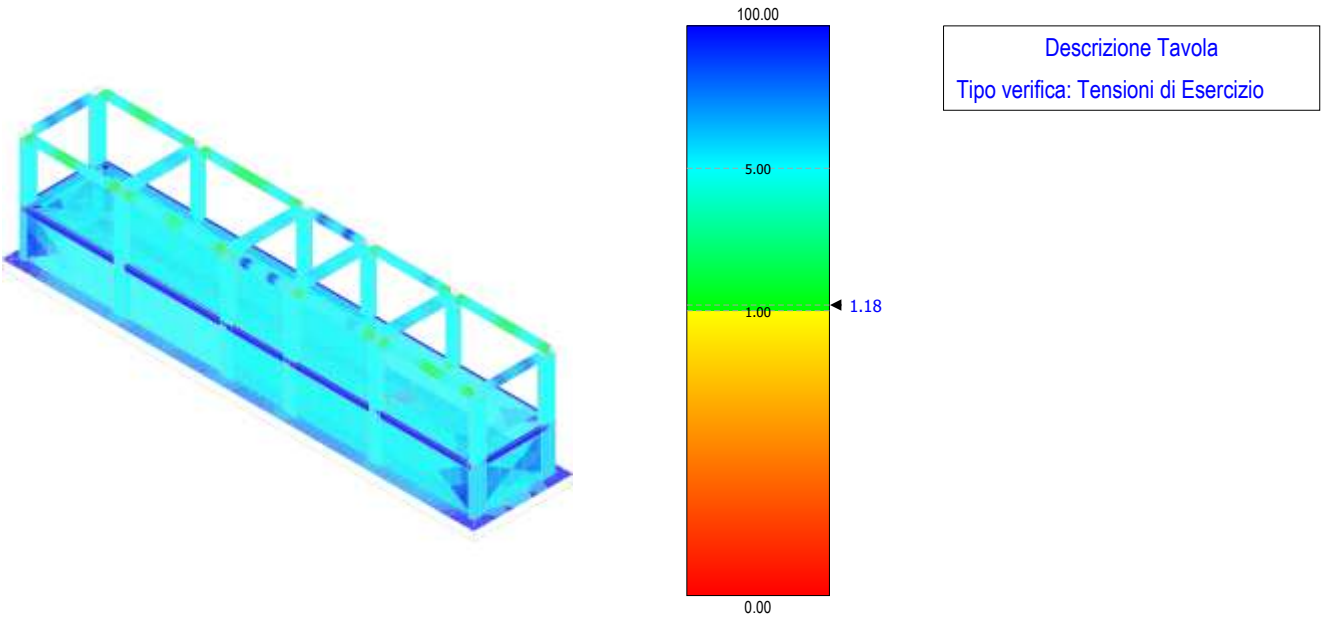

Figura 95 – tensioni di esercizio – edificio

Coefficienti di Sicurezza

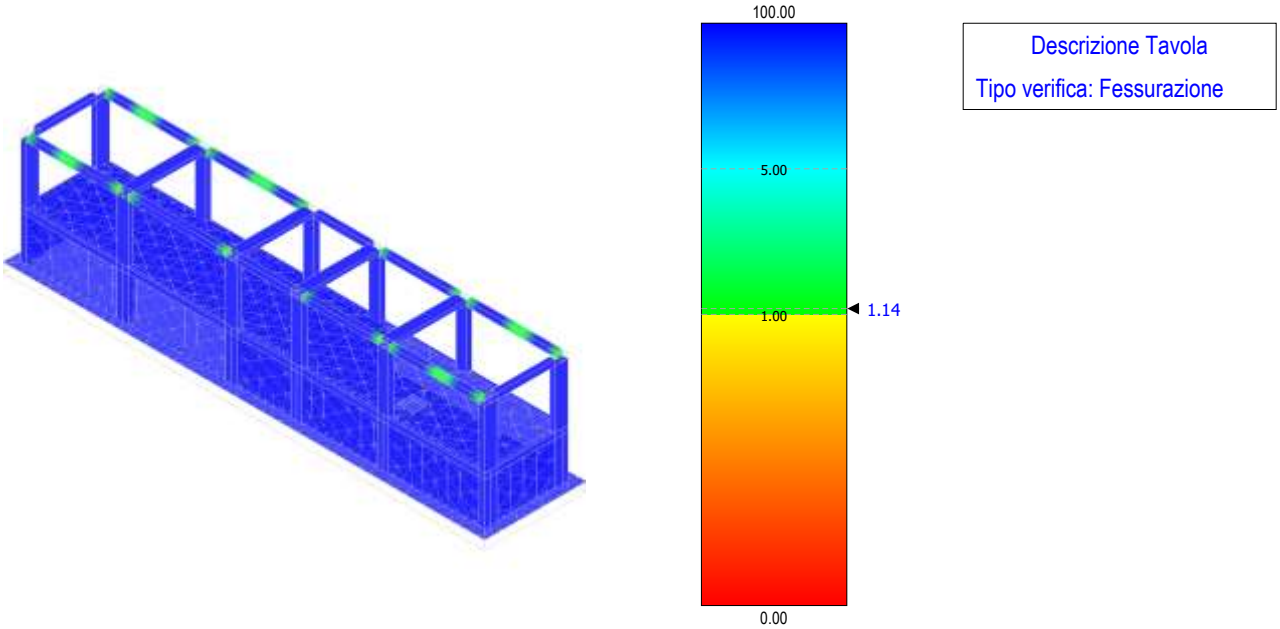

Figura 96 – verifica a fessurazione – edificio

11 CALCOLO DELLE FONDAZIONI SUPERFICIALI

Le verifiche geotecniche delle fondazioni, sono state sviluppate con l'**Approccio 2** come definito al §2.6.1 del D.M. 2018, attraverso la combinazione **A1+M1+R3**. Le azioni sono state amplificate tramite i coefficienti della colonna A1 (STR) definiti nella tabella 6.2.I del D.M. 2018.

Tabella 16 - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni - Tabella 6.2.I del D.M. 2018

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale γ_F (o γ_E)	A1 (STR)	A2 (GEO)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	1,00	1,00
	Sfavorevole		1,30	1,00
Carichi permanenti G_2	Favorevole	γ_{G2}	0,80	0,80
	Sfavorevole		1,50	1,30
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qi}	0,00	0,00
	Sfavorevole		1,50	1,30

I valori di resistenza del terreno sono stati ridotti tramite i coefficienti della colonna M1 definiti nella tabella 6.2.II del D.M. 2018.

Tabella 17 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno - Tabella 6.2.II del D.M. 2018

PARAMETRO GEOTECNICO	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	M1	M2
Tangente dell'angolo di resistenza a taglio	$\tan\varphi_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,00	1,40
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,00	1,00

I valori calcolati delle resistenze totali dell'elemento strutturale sono stati divisi per i coefficienti R3 della tabella 6.4.I del D.M. 2018 per le fondazioni superficiali.

Tabella 18 - Coefficienti parziali γR per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali - Tabella 6.4.I del D.M. 2018

Verifica	Coefficiente Parziale
	(R3)
Carico limite	γ_R = 2,3
Scorrimento	γ_R = 1,1

Per le varie tipologie di fondazioni sono di seguito elencate le metodologie ed i modelli usati per il calcolo del carico limite ed i risultati di tale calcolo.

11.1 Carico limite fondazioni superficiali

La formula del carico limite esprime l'equilibrio fra il carico applicato alla fondazione e la resistenza limite del terreno. Il carico limite è dato dalla seguente espressione:

$$q_{lim} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c \cdot \Psi_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q \cdot \Psi_q + \frac{B'}{2} \cdot \gamma_f \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot g_\gamma \cdot b_\gamma \cdot \Psi_\gamma \cdot r_\gamma$$

in cui:

c = coesione del terreno al disotto del piano di posa della fondazione;

q = $\gamma \cdot D$ = pressione geostatica in corrispondenza del piano di posa della fondazione;

γ = peso unità di volume del terreno al di sopra del piano di posa della fondazione;

D = profondità del piano di posa della fondazione;

B' = larghezza ridotta della suola di fondazione;

L = lunghezza della fondazione;

γ_f = peso unità di volume del terreno al disotto del piano di posa della fondazione;

N_c, N_q, N_γ = fattori di capacità portante;

s, d, i, g, b, ψ, r = coefficienti correttivi.

Se la risultante dei carichi verticali è eccentrica, B e L saranno ridotte rispettivamente di:

$B' = B - 2 \cdot e_B$ e_B = eccentricità parallela al lato di dimensione B;

$L' = L - 2 \cdot e_L$ e_L = eccentricità parallela al lato di dimensione L;

con $B' \leq L'$.

12 VERIFICHE GEOTECNICHE

Per le varie tipologie di fondazioni sono di seguito riportati i risultati sotto forma di grafici sintetici o tabelle.

Di seguito i risultati maggiormente significativi:

Tabella 19 - carico limite A01-A02-A03-A04-A05-A06

Ic	N	Np	Qu	Qup	Qd	Nt	FS
	[kN]	*[kN]*	*[kN]*	*[kN]*	*[kN]*	*[kN]*	
2	60101,14	0,00	30368499,39	0,00	13203695,39	60101,14	219.691 (2)

Simbologia adottata
Ic Indice combinazione
N Carico verticale trasmesso al terreno, espresso in [kN]
Np Carico verticale trasmesso ai pali, espresso in [kN]
Qu Portanza ultima terreno, espressa in [kN]
Qup Portanza ultima pali, espressa in [kN]. Solo per fondazione mista
Qd Portanza di progetto ((Pu+Pup)/η), espressa in [kN]
Nt Carico verticale trasmesso al terreno (N+Np), espresso in [kN]
FS Fattore di sicurezza a carico limite (Pd/Nt). Tra parentesi viene riportato l'indice della combinazione con fattore di sicurezza minimo.

Tabella 20 - carico limite A07

Ic	N	Np	Qu	Qup	Qd	Nt	FS
	[kN]	*[kN]*	*[kN]*	*[kN]*	*[kN]*	*[kN]*	
2	53622,31	0,00	800589,45	0,00	348082,37	53622,31	6.491 (2)

Simbologia adottata
Ic Indice combinazione
N Carico verticale trasmesso al terreno, espresso in [kN]
Np Carico verticale trasmesso ai pali, espresso in [kN]
Qu Portanza ultima terreno, espressa in [kN]
Qup Portanza ultima pali, espressa in [kN]. Solo per fondazione mista
Qd Portanza di progetto ((Pu+Pup)/η), espressa in [kN]
Nt Carico verticale trasmesso al terreno (N+Np), espresso in [kN]
FS Fattore di sicurezza a carico limite (Pd/Nt). Tra parentesi viene riportato l'indice della combinazione con fattore di sicurezza minimo.

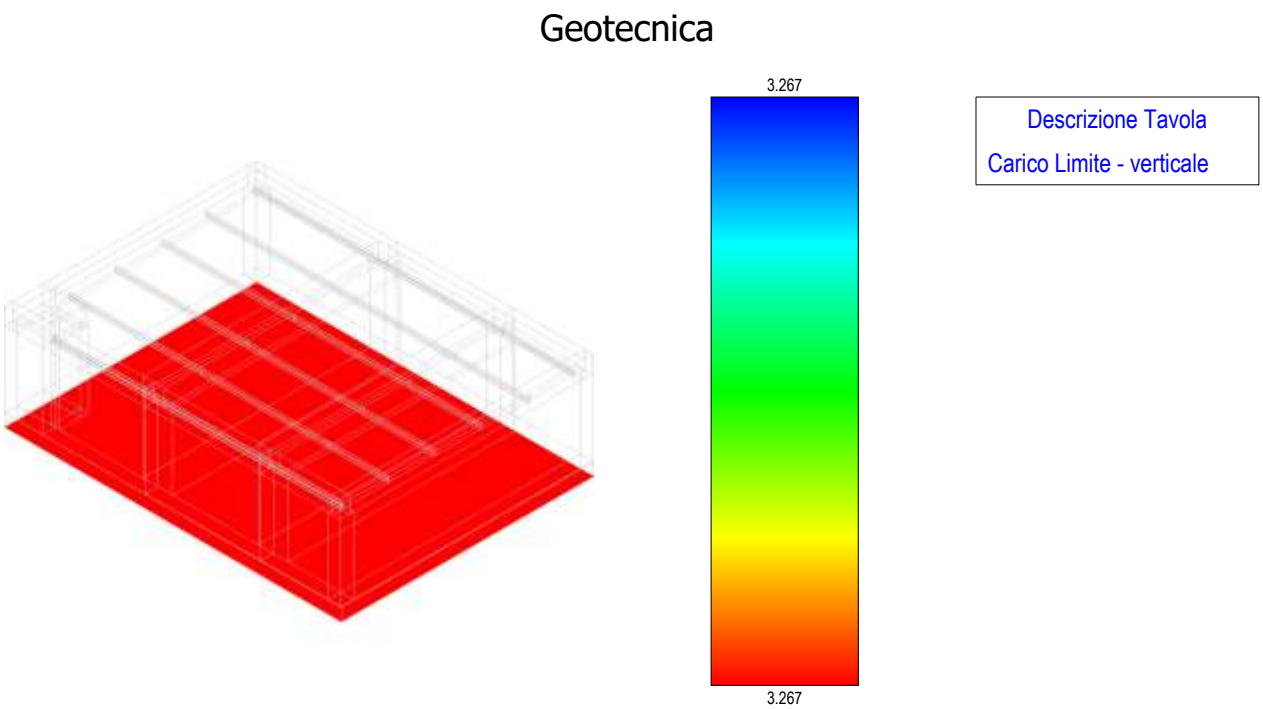

Figura 97 - carico limite – fondazione trasformatore

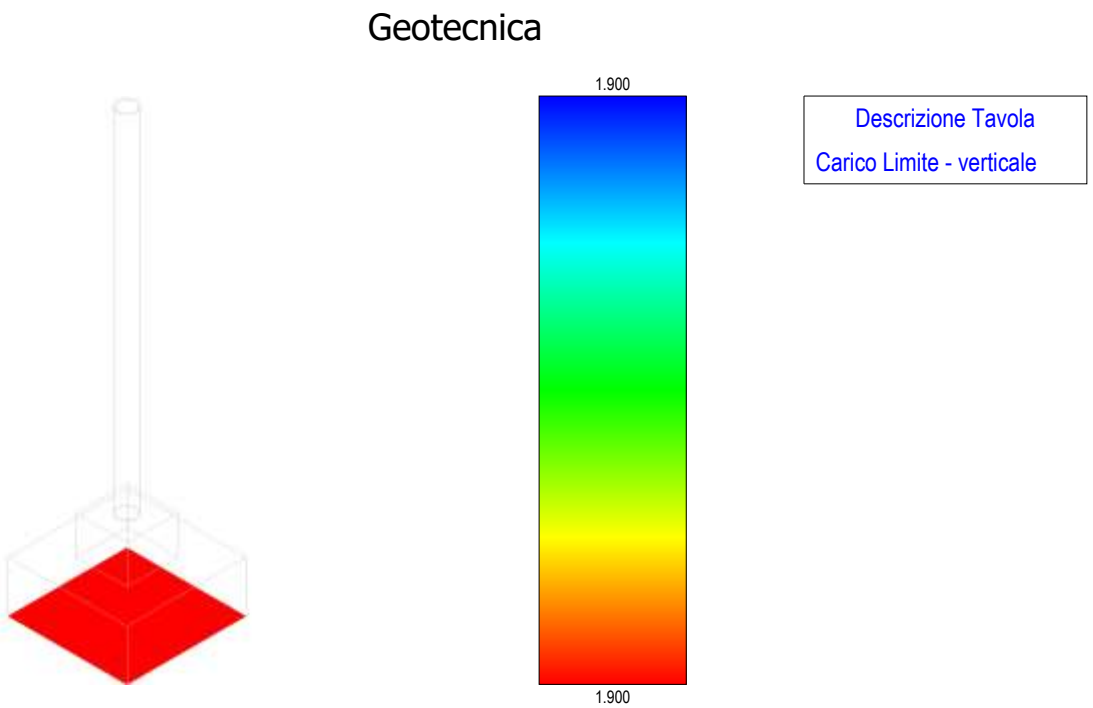

Figura 98 - carico limite – fondazione scaricatore

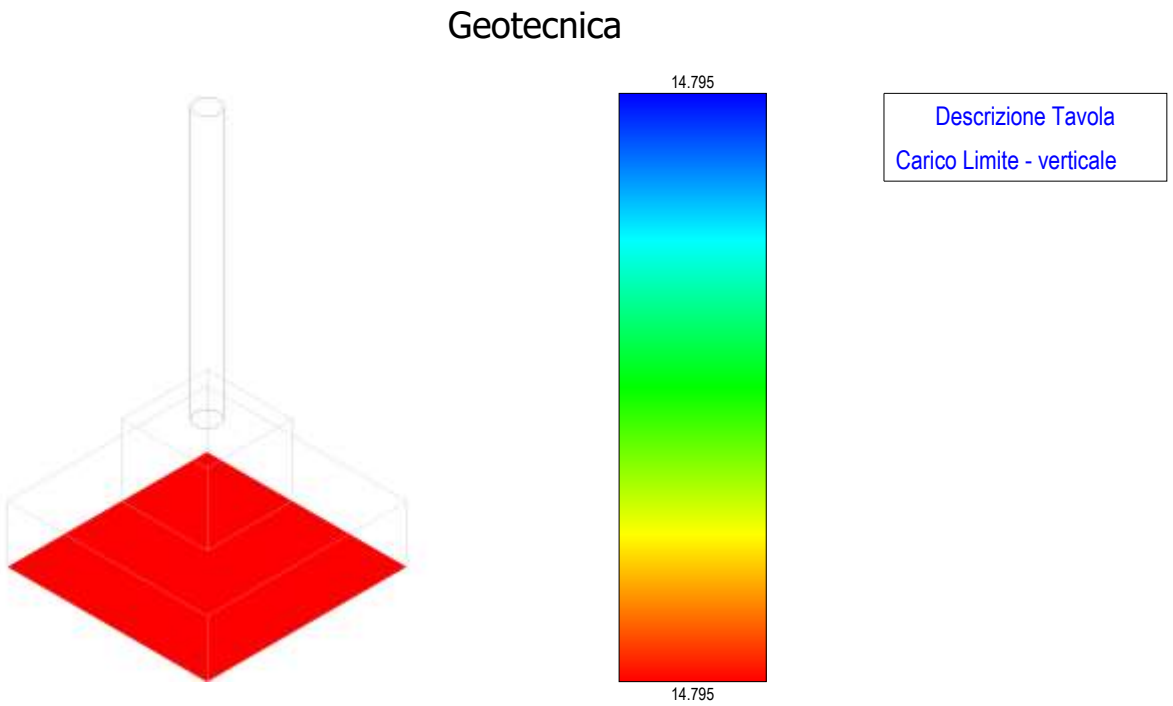

Figura 99 - carico limite – fondazione TVC

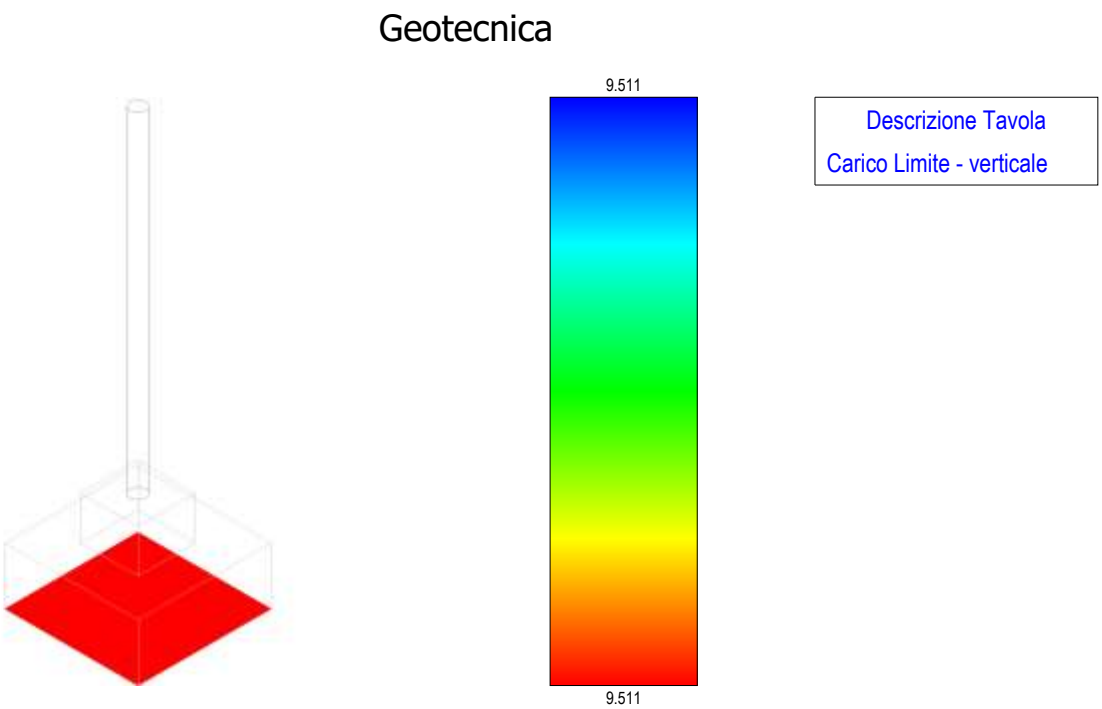

Figura 100 - carico limite – fondazione TVI

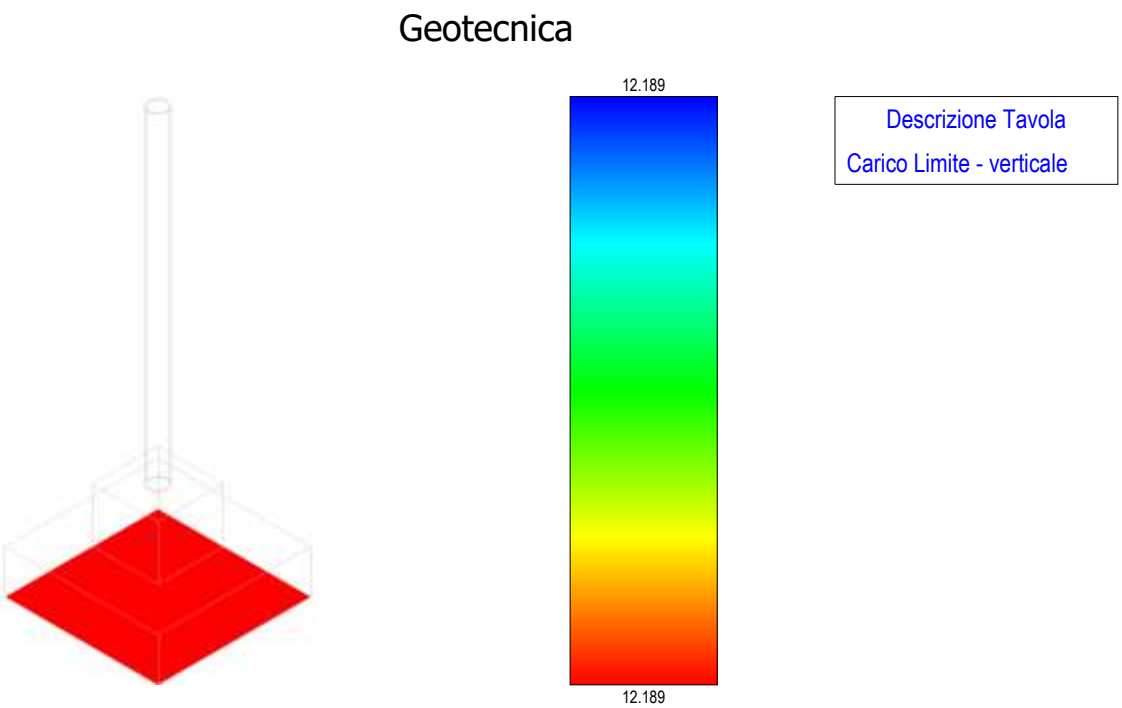

Figura 101 - carico limite – fondazione TA

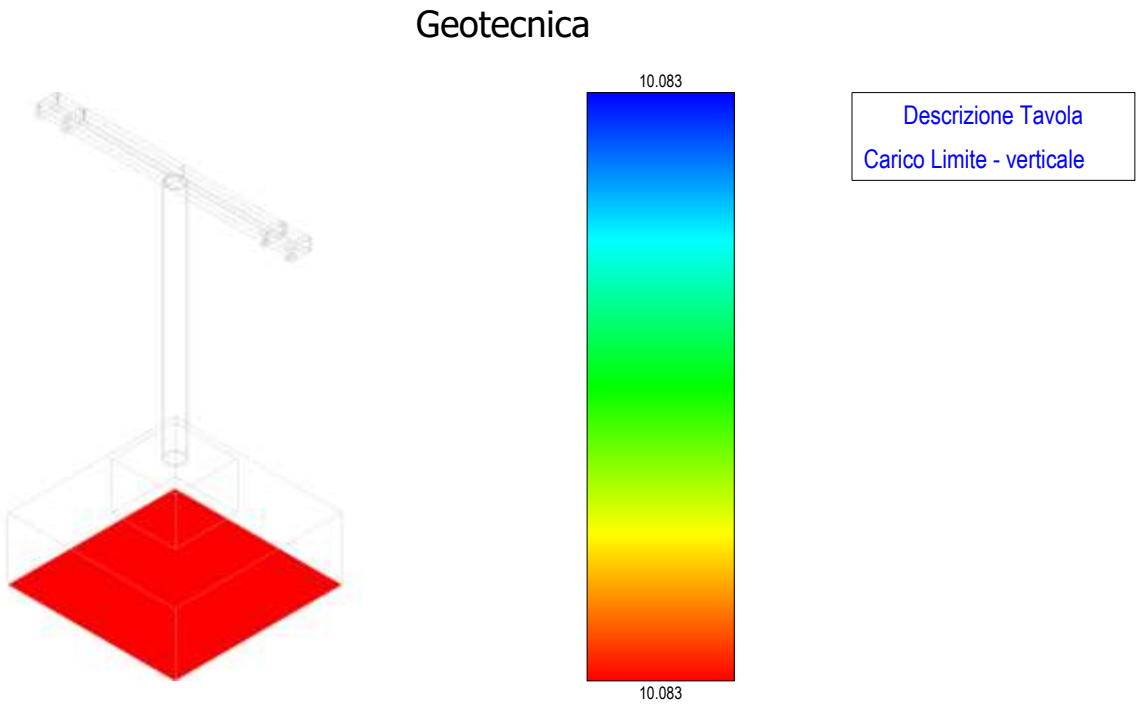

Figura 102 - carico limite – fondazione terminale cavo AT

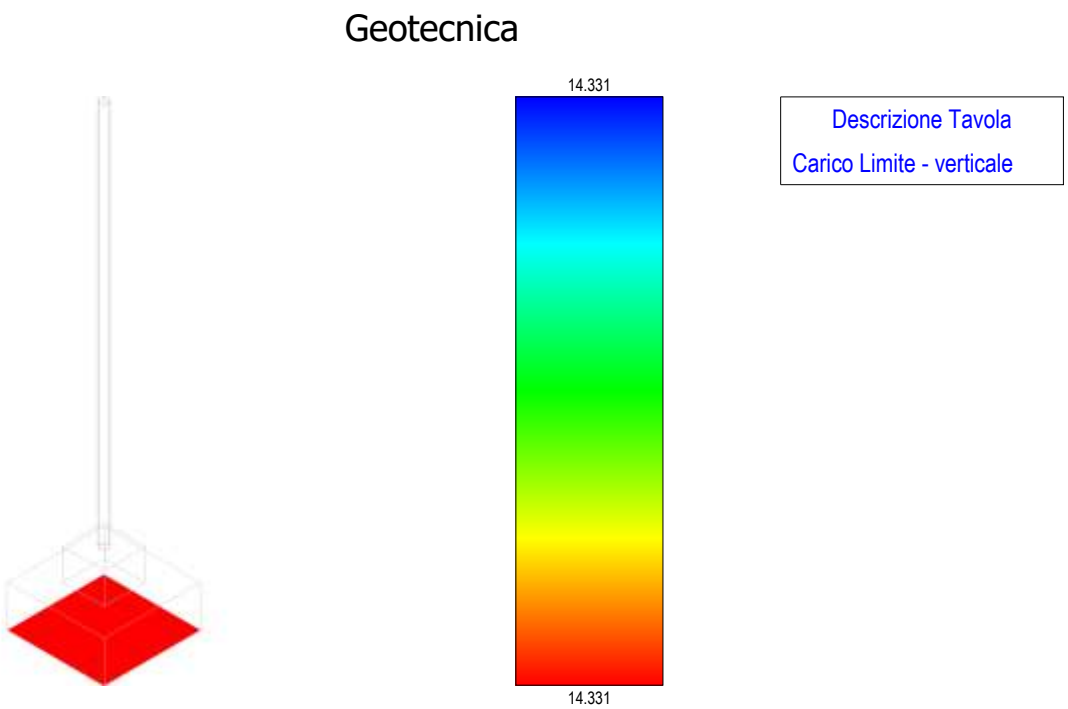

Figura 103 - carico limite – fondazione M.A.T. neutro

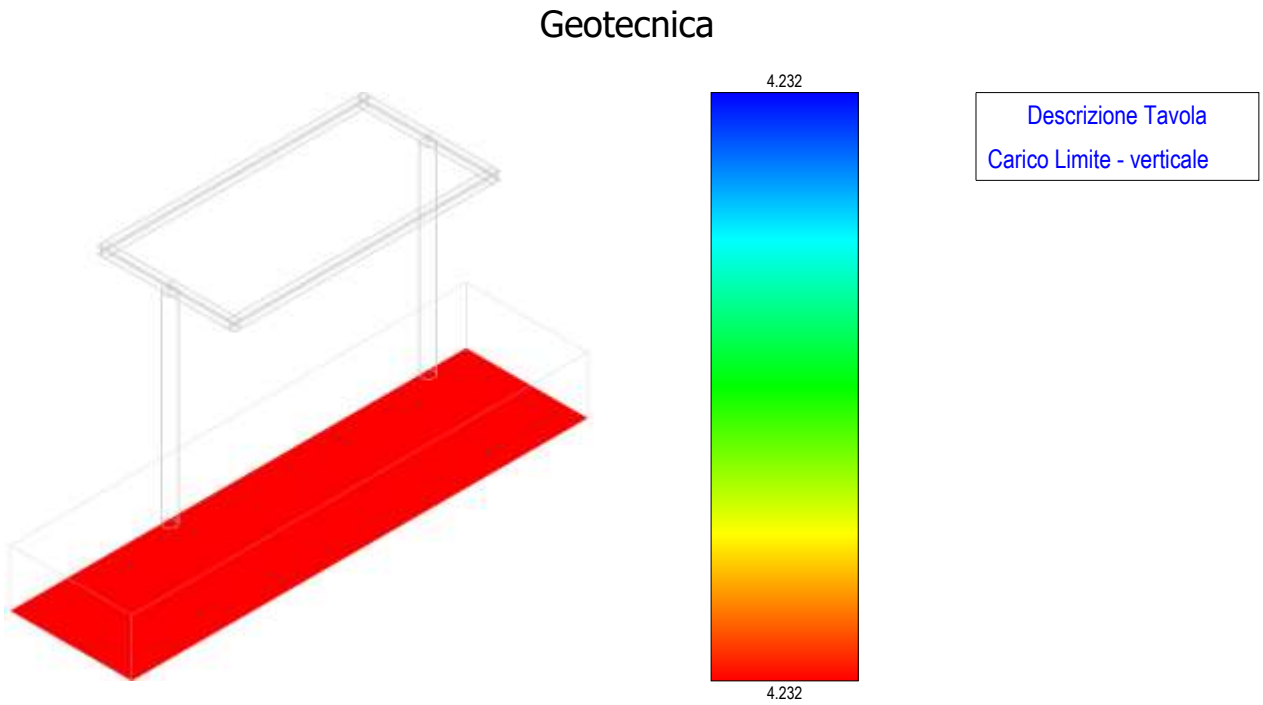

Figura 104 - carico limite – fondazione sezionatore

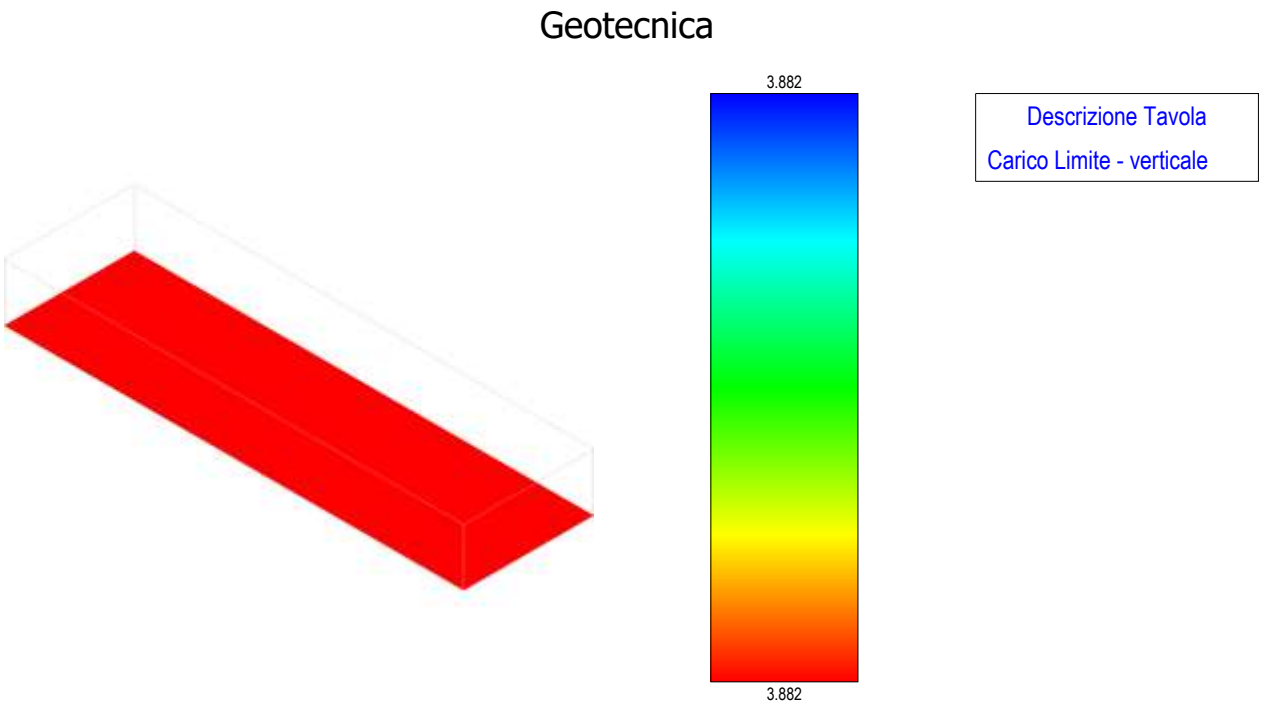

Figura 105 - carico limite – fondazione interruttore

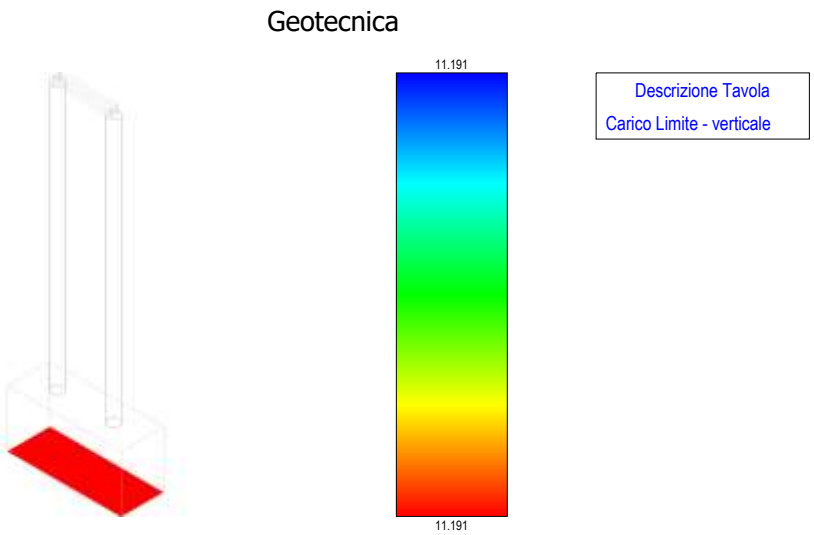

Figura 106 - carico limite – fondazione arrivo cavi MT

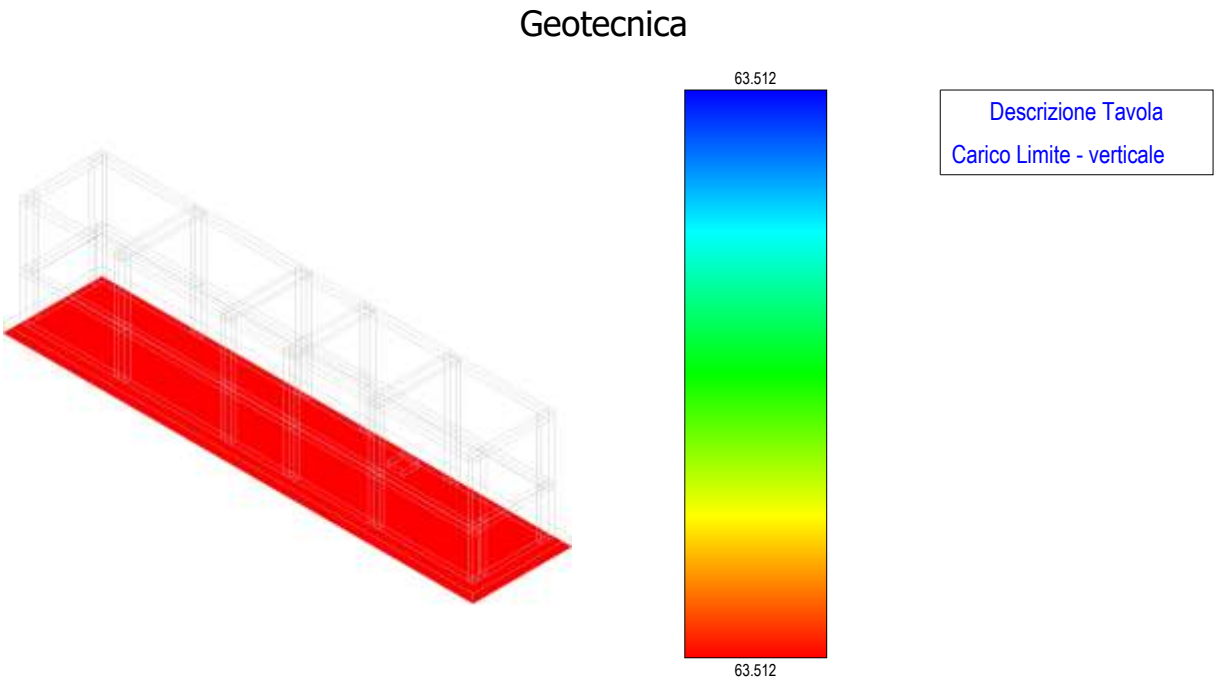

Figura 107 - carico limite – fondazione edificio

13 CONCLUSIONI

Le opere sopra descritte sono conformi ai requisiti prestazionali richiesti dalle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. del 17/01/2018. **Ulteriori indicazioni e aspetti saranno analizzati nella fase esecutiva del progetto e comunque prima dell'inizio dei lavori in sede di acquisizione di autorizzazione in zona sismica ai sensi dell'articolo 94 del D.P.R.380/2001.**