

PROPONENTE

Repower Renewable Spa

Via Lavaredo, 44/52
30174 Mestre (VE)



PROGETTAZIONE



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

Progettista :
Ing. Nicola Forte



Ingegneria Progetti Srl - via della Libertà 97
90143 - Palermo (PA)
t +39 091 640 5229
priolo@ingegneriaprogetti.com
pupella@ingegneriaprogetti.com

Consulenti
per TENPROJECT

N° COMMESSA

1455

PARCO EOLICO "COSTIERE "
PROVINCE DI PALERMO E AGRIGENTO
COMUNI DI CONTESSA ENTELLINA - S. MARGHERITA DI BELICE - SAMBUCA DI SICILIA

PROGETTO DEFINITIVO PER AUTORIZZAZIONE

ELABORATO


RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE

CODICE ELABORATO

10.1


NOME FILE
1455-PD_A_10.1_REL_r00

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICA	APPROVAZIONE
00	Aprile 2021	PRIMA EMISSIONE	MC	GP	NF

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	15/04/2021
		Data ultima modifica	19/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	2 di 74

Sommario

1.	PREMESSA	3
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3.	DESCRIZIONE DELLE OPERE	6
3.1	Plinto di Fondazione degli aerogeneratori.....	6
3.2	Sottostazione di trasformazione 30/220 kV	7
3.3	Fondazione arrivo cavi MT.....	9
3.4	Fondazione Scaricatore.....	10
3.5	Fondazione TVI.....	11
3.6	Fondazione TVC	12
3.7	Fondazione TA	13
3.8	Fondazione Sezionatore Orizzontale	14
3.9	Fondazione Interruttore Tripolare.....	15
3.10	Fondazione TR 150/30 kV	16
3.11	Fondazione Portale sbarra	17
3.12	Fondazione Sezionatore verticale.....	18
3.13	Fondazione Isolatore	19
3.14	Edificio Utente	20
4.	MATERIALI IMPIEGATI.....	21
5.	AZIONI DI CALCOLO.....	24
5.1	Azione sismica.....	24
5.2	Azione di neve e vento.....	27
6.	COMBINAZIONI DI CARICO.....	28
7.	ORIGINE E CARATTERISTICHE DEL CODICE DI CALCOLO	30
8.	AFFIDABILITÀ DEL CODICE DI CALCOLO E GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI	31
9.	PROGETTO E VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI.....	31
9.1	Verifiche strutturali elementi in acciaio.....	31
9.2	Verifiche strutturali elementi in c.a.	44
10.	CALCOLO DELLE FONDAZIONI.....	59
10.1	Carico limite di fondazioni superficiali su terreni	59
10.2	Verifiche geotecniche	61

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	15/04/2021
		Data ultima modifica	19/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	3 di 74

1. PREMESSA

Il progetto riguarda la realizzazione di un impianto eolico proposto dalla società Repower Renewable SPA costituito da n. 7 turbine (con le sigle T01, T02, T03, T04, T05, T06 e T07) di altezza complessiva pari a 200 metri e potenza di circa 6,00 MW ciascuna, per una potenza complessiva di 42 MW, da installare in località "Costiere", nel Comune di Contessa Entellina (PA). Il modello dell'aerogeneratore previsto è una VESTAS V150 avente altezza al mozzo 125 m e diametro del rotore 150 m.

Le relative opere connesse di allacciamento alla RTN consistono nella realizzazione in un elettrodotto completamente interrato MT ed una SSE sottostazione di trasformazione che si collegherà, tramite posa di un cavidotto AT, alla futura Stazione Elettrica RTN a 220 kV denominata "Sambuca" di proprietà Terna S.p.A., ricadono in parte anche all'interno del territorio comunale di Santa Margherita di Belice e Sambuca di Sicilia (AG).

La SSE sottostazione elettrica di trasformazione, in condivisione con altri utenti, è prevista in prossimità della SE di Sambuca esistente esercita a 220 kV e si identifica catastalmente al Foglio n.54 del Comune di Santa Margherita di Belice.


La presente relazione descrive le opere strutturali previste per l'intero progetto dell'impianto eolico comprendente le opere civili e strutturali previste per:

- gli aerogeneratori;
- la sottostazione di trasformazione 30/220 kV.


2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

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


- D.Min. Infrastrutture Min. Interni e Prot. Civile 17 Gennaio 2018 e allegate "Norme tecniche per le costruzioni".
- Circolare 21/01/19, n. 7 C.S.LL.PP "Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle Norme Tecniche delle Costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018"
- D.Min. Infrastrutture e trasporti 14 Settembre 2005 e allegate "Norme tecniche per le costruzioni".
- D.M. LL.PP. 9 Gennaio 1996 "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche".

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	15/04/2021
		Data ultima modifica	19/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	4 di 74

- D.M. LL.PP. 16 Gennaio 1996 "Norme tecniche relative ai <<Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi>>".
- D.M. LL.PP. 16 Gennaio 1996 "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche".
- Circolare 4/07/96, n.156AA.GG./STC. istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative ai <<Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi>>" di cui al D.M. 16/01/96.
- Circolare 10/04/97, n.65AA.GG. istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche" di cui al D.M. 16/01/96.
- D.M. LL.PP. 20 Novembre 1987 "Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento".
- Circolare 4 Gennaio 1989 n. 30787 "Istruzioni in merito alle norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento".
- D.M. LL.PP. 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 e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
- D.M. LL.PP. 3 Dicembre 1987 "Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni prefabbricate".
- UNI 9502 - Procedimento analitico per valutare la resistenza al fuoco degli elementi costruttivi di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso - edizione maggio 2001
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e successive modificazioni e integrazioni.
- UNI EN 1990:2006 13/04/2006 Eurocodice 0 - Criteri generali di progettazione strutturale.
- UNI EN 1991-1-1:2004 01/08/2004 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-1: Azioni in generale - Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici.
- UNI EN 1991-2:2005 01/03/2005 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 2: Carichi da traffico sui ponti.
- UNI EN 1991-1-3:2004 01/10/2004 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-3: Azioni in generale - Carichi da neve.

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	15/04/2021
		Data ultima modifica	19/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	5 di 74

- UNI EN 1991-1-4:2005 01/07/2005 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento.
- UNI EN 1991-1-5:2004 01/10/2004 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-5: Azioni in generale - Azioni termiche.
- UNI EN 1992-1-1:2005 24/11/2005 Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI EN 1992-1-2:2005 01/04/2005 Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio.
- UNI EN 1993-1-1:2005 01/08/2005 Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI EN 1993-1-8:2005 01/08/2005 Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti.
- UNI EN 1994-1-1:2005 01/03/2005 Eurocodice 4 - Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI EN 1994-2:2006 12/01/2006 Eurocodice 4 - Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo - Parte 2: Regole generali e regole per i ponti.
- UNI EN 1995-1-1:2005 01/02/2005 Eurocodice 5 - Progettazione delle strutture di legno - Parte 1-1: Regole generali – Regole comuni e regole per gli edifici.
- UNI EN 1995-2:2005 01/01/2005 Eurocodice 5 - Progettazione delle strutture di legno - Parte 2: Ponti.
- UNI EN 1996-1-1:2006 26/01/2006 Eurocodice 6 - Progettazione delle strutture di muratura - Parte 1-1: Regole generali per strutture di muratura armata e non armata.
- UNI EN 1996-3:2006 09/03/2006 Eurocodice 6 - Progettazione delle strutture di muratura - Parte 3: Metodi di calcolo semplificato per strutture di muratura non armata.
- UNI EN 1997-1:2005 01/02/2005 Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali.
- UNI EN 1998-1:2005 01/03/2005 Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici.
- UNI EN 1998-3:2005 01/08/2005 Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 3: Valutazione e adeguamento degli edifici.

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	15/04/2021
		Data ultima modifica	19/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	6 di 74

- UNI EN 1998-5:2005 01/01/2005 Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

3. DESCRIZIONE DELLE OPERE

3.1 Plinto di Fondazione degli aerogeneratori

Per ciascuno degli aerogeneratori, denominati con le sigle T01, T02, T03, T04, T05, T06 e T07, si prevedono plinti di forma geometrica divisibile in tre solidi di cui il primo è un cilindro (corpo 1) con un diametro di 22.00 m e un'altezza di 0.80 m, il secondo (corpo 2) è un tronco di cono con diametro di base pari a 22.00 m, diametro superiore di 6.00 m e un'altezza pari a 1.60 m; il terzo corpo (corpo 3) è un cilindro con un diametro di 6.00 m e un'altezza di 0.70 m; infine nella parte centrale del plinto, in corrispondenza della gabbia tirafondi, si individua un tronco di cono con diametro di base pari a 5.34 m, diametro superiore pari a 6.00 m e altezza pari a 0.33 m.

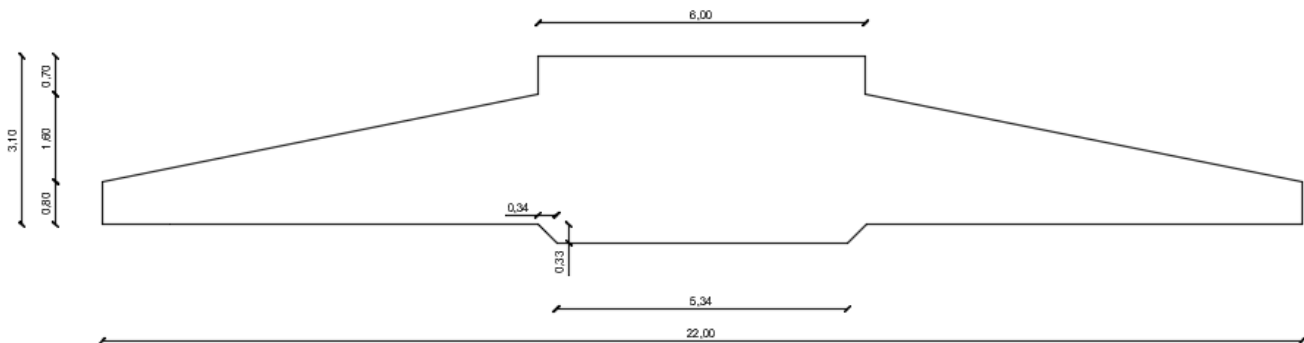



Figura 1 – Geometria plinto

Nel caso in cui le caratteristiche geologiche del terreno non siano idonee ad un tipo di fondazione superficiale, le fondazioni degli aerogeneratori potrebbero essere del tipo indiretto; in particolare modo si prevedono fondazioni del tipo indiretto su pali.

Si rimanda in ogni caso al progetto esecutivo per maggiori dettagli sulla geometria, le dimensioni del plinto e l'ottimizzazione delle caratteristiche dei pali per ogni torre.

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	15/04/2021
		Data ultima modifica	19/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	7 di 74

3.2 Sottostazione di trasformazione 30/220 kV

La SSE di Utenza sarà composta da uno stallo a 220KV, un apparato di trasformazione da 30/220KV, una cabina contenente apparecchiature e quadri elettrici in MT a 30kV ed un sistema di accumulo (BESS) di capacità complessiva pari a 15,2 MW, costituito da 6 unità di trasformazione della capacità di 2,5 MW ciascuna e da 6 unità di accumulo della capacità energetica di 2,5 MWh estensibili fino a 4,5 MWh ciascuna.

Tutte le aree d'utenza saranno recintate con recinzione in parete gettata in opera adottando un'unica soluzione progettuale con fondazione diretta e realizzata mediante una struttura portante in c.a. la cui dimensione fuori terra è limitata a 50 cm e sulla quale si innestano dei pettini in prefabbricati in c.a.v., in modo da garantire un'altezza complessiva fuori terra pari a 2.50 m.

Le Opere Civili di Stazione possono essere identificate così come segue:

- Fondazione per arrivo cavi MT;
- Fondazione per Scaricatore;
- Fondazione per trasformatore di tensione induttivo (TVI);
- Fondazione per trasformatore di tensione capacitivo (TVC);
- Fondazione per trasformatore di corrente (TA);
- Fondazione per Sezionatore orizzontale;
- Fondazione per Interruttore tripolare;
- Fondazione per TR 150/30 kV;
- Fondazione per Portale sbarra senza L.T.;
- Fondazione per Portale sbarra con L.T.;
- Fondazione per Sezionatore verticale;
- Fondazione per Isolatore;
- Edificio Utente.

* Tutte le fondazioni fuoriescono di 20 cm rispetto al piano di campagna.

Di seguito si riporta la disposizione elettromeccanica della Sottostazione Elettrica d'utenza.

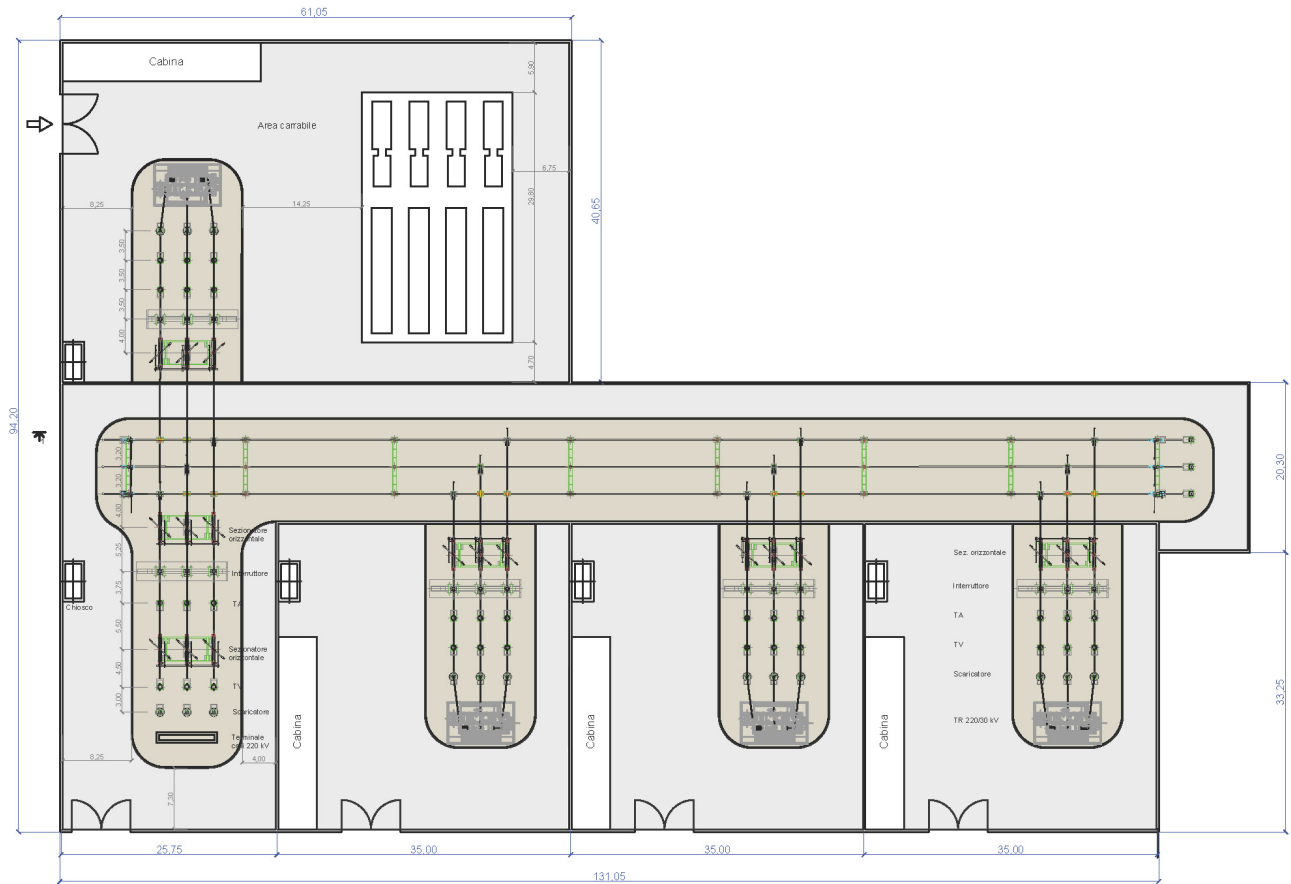


Figura 2 – Planimetria elettromeccanica della stazione.

3.3 Fondazione arrivo cavi MT

Per l'arrivo cavi MT è stata considerata una vasca di dimensioni in pianta 8.00 m x 1.40 m ed un'altezza pari a 2.30 m. La platea ha uno spessore di 30 cm e su quest'ultima si innestano le pareti perimetrali che hanno spessore pari a 30 cm. La carpenteria soprastante è costituita da 3 tralicci in acciaio di altezza pari a 3,30 m. L'interconnessione tra la vasca e i supporti dell'apparecchiatura in acciaio è assicurata da n°4 tirafondi in acciaio zincato a caldo, per ogni traliccio.

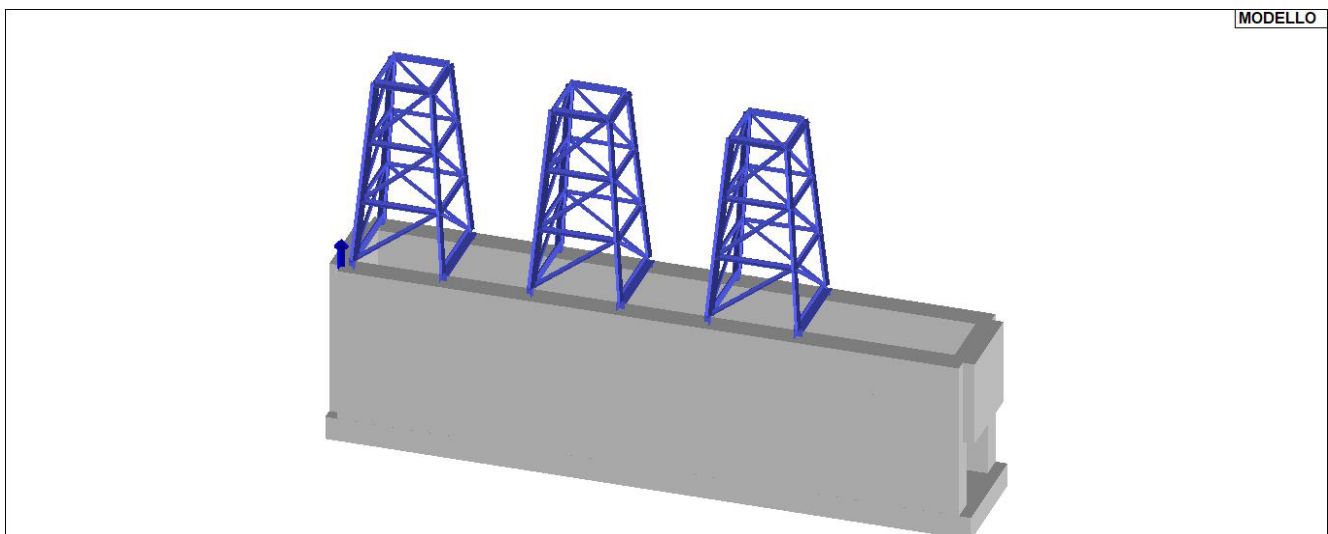



Figura 3 – Vista fondazione arrivo cavi MT.

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	15/04/2021
		Data ultima modifica	19/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	10 di 74

3.4 Fondazione Scaricatore

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 4.52 m. Si è adottata un tipo di fondazione a plinto isolato di forma quadrata di dimensioni 1.50 m x 1.50 m ed altezza di 30 cm e con un colletto superiore di dimensione 0.70 m x 0.70 m e spessore 50 cm. L'interconnessione tra il plinto e il supporto dell'apparecchiatura elettromeccanica è assicurata da n°4 tirafondi in acciaio zincato a caldo.

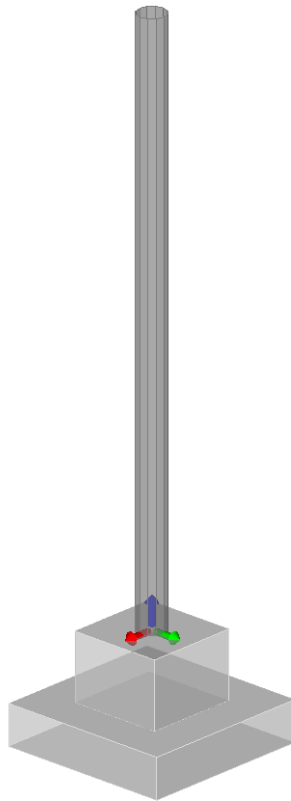


Figura 4 – Vista fondazione Scaricatore.

3.5 Fondazione TVI

Per l'apparecchiatura del trasformatore di tensione induttivo 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 3.53 m. Si è adottata un tipo di fondazione a plinto isolato di forma quadrata di dimensioni 1.50 m x 1.50 m ed altezza di 30 cm e con un colletto superiore di dimensione 0.70 m x 0.70 m e spessore 50 cm. L'interconnessione tra il plinto e il supporto dell'apparecchiatura elettromeccanica è assicurata da n°4 tirafondi in acciaio zincato a caldo.

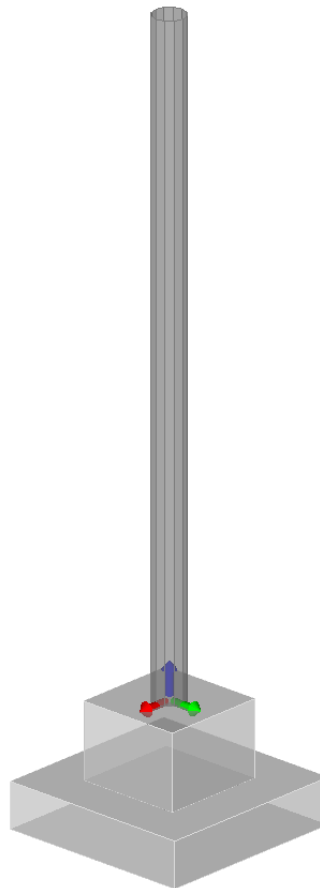



Figura 5 – Vista fondazione TVI.

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	15/04/2021
		Data ultima modifica	19/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	12 di 74

3.6 Fondazione TVC

Per l'apparecchiatura del trasformatore di tensione capacitivo 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 1.90 m. Si è adottata un tipo di fondazione a plinto isolato di forma quadrata di dimensioni 1.30 m x 1.30 m ed altezza di 30 cm e con un colletto superiore di dimensione 0.70 m x 0.70 m e spessore 50 cm. L'interconnessione tra il plinto e il supporto dell'apparecchiatura elettromeccanica è assicurata da n°4 tirafondi in acciaio zincato a caldo.

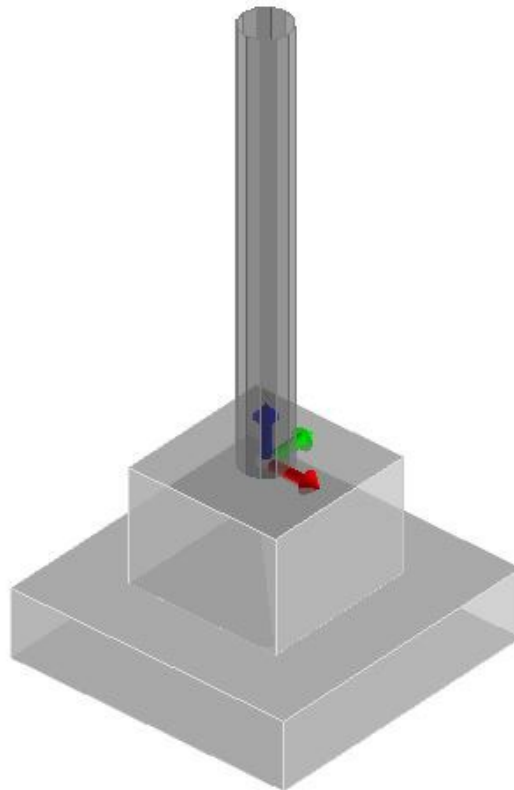



Figura 6 – Vista fondazione TVC.

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	15/04/2021
		Data ultima modifica	19/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	13 di 74

3.7 Fondazione TA

Per l'apparecchiatura del trasformatore di corrente 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 4.32 m. Si è adottata un tipo di fondazione a plinto isolato di forma quadrata di dimensioni 1.50 m x 1.50 m ed altezza di 30 cm e con un colletto superiore di dimensione 0.70 m x 0.70 m e spessore 50 cm. L'interconnessione tra il plinto e il supporto dell'apparecchiatura elettromeccanica è assicurata da n°4 tirafondi in acciaio zincato a caldo.

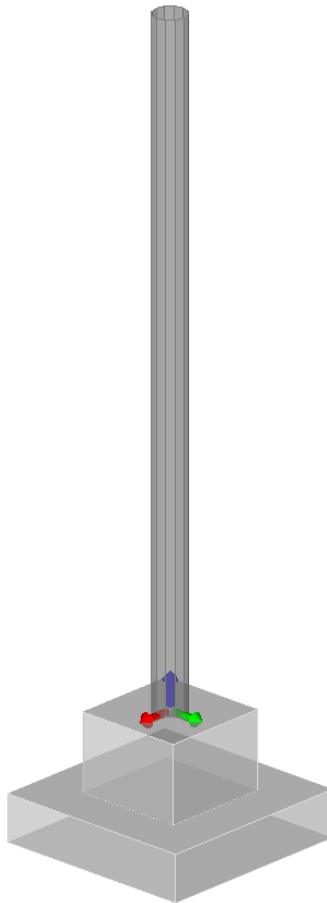



Figura 7 – Vista fondazione TA.

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	15/04/2021
		Data ultima modifica	19/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	14 di 74

3.8 Fondazione Sezionatore Orizzontale

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 2.85 m, sulla quale si innestano travi UPN100 e un profilato tubolare cavo centrale di diametro 168.3 mm, spessore 6.3 mm ed altezza 1.20 m. La fondazione a platea di forma rettangolare di dimensioni 1.50 m x 4.90 m e spessore 50 cm. I due tubolari laterali poggiano su due baggioli di dimensioni 0.70 m x 0.70 m e spessore 50 cm, il tubolare centrale su un baggiolo di dimensioni 0.70 m x 1.50 m e spessore 50 cm. L'interconnessione tra la fondazione e il supporto dell'apparecchiatura elettromeccanica è assicurata da n°12 tirafondi in acciaio zincato a caldo.

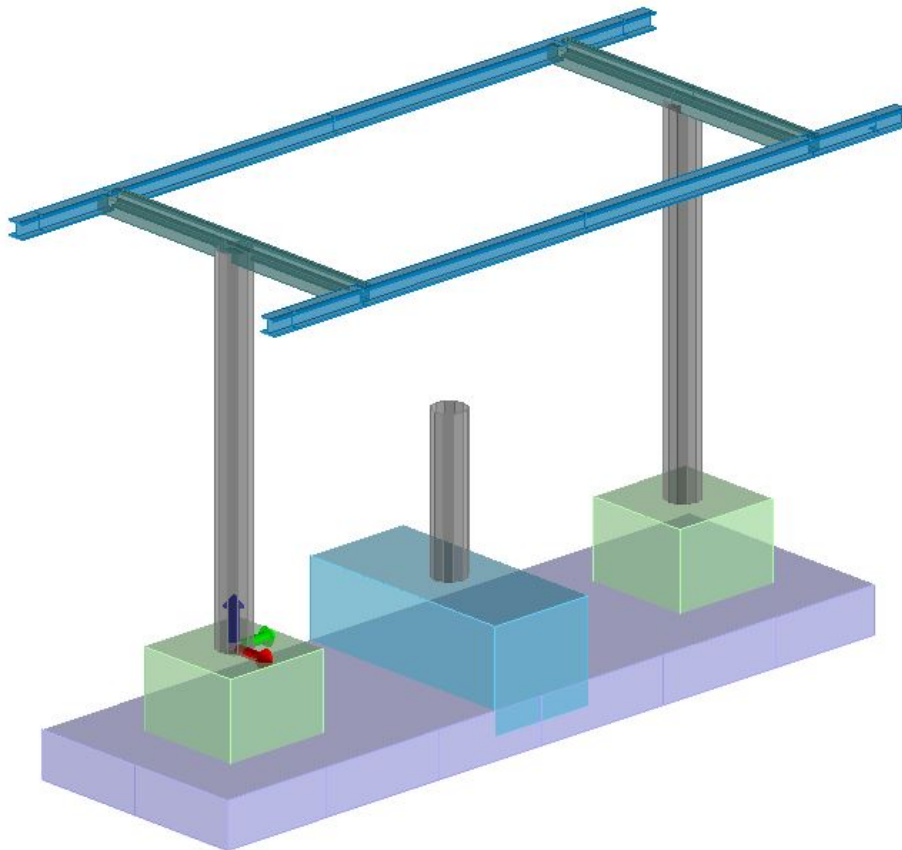



Figura 8 – Vista fondazione Sezionatore Orizzontale.

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	15/04/2021
		Data ultima modifica	19/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	15 di 74

3.9 Fondazione Interruttore Tripolare

Per l'interruttore è prevista una platea di fondazione di forma rettangolare di dimensioni 1.80 m x 6.20 m e spessore 70 cm. L'interconnessione tra la platea e il supporto dell'apparecchiatura elettromeccanica è assicurata da n°8 tirafondi in acciaio zincato a caldo.

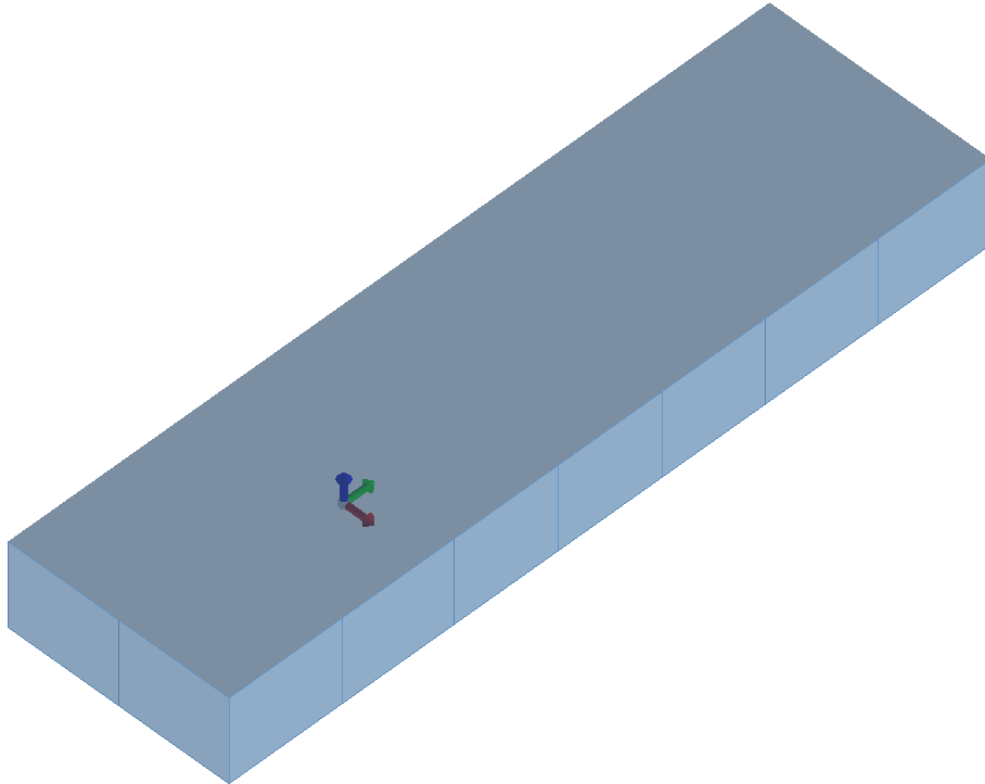


Figura 9 – Vista fondazione Interruttore tripolare.

3.10 Fondazione TR 150/30 kV

Per il TR 150/30 kV è stata considerata una vasca di dimensioni in pianta 9.00 m x 6.00 m ed un'altezza pari a 2.20 m. La platea ha uno spessore di 40 cm e su quest'ultima si innestano le pareti perimetrali che hanno spessore pari a 35 cm. Inoltre vi sono due pareti centrali di spessore pari a 80 cm e altre 3 pareti intermedie di spessore pari a 15 cm.

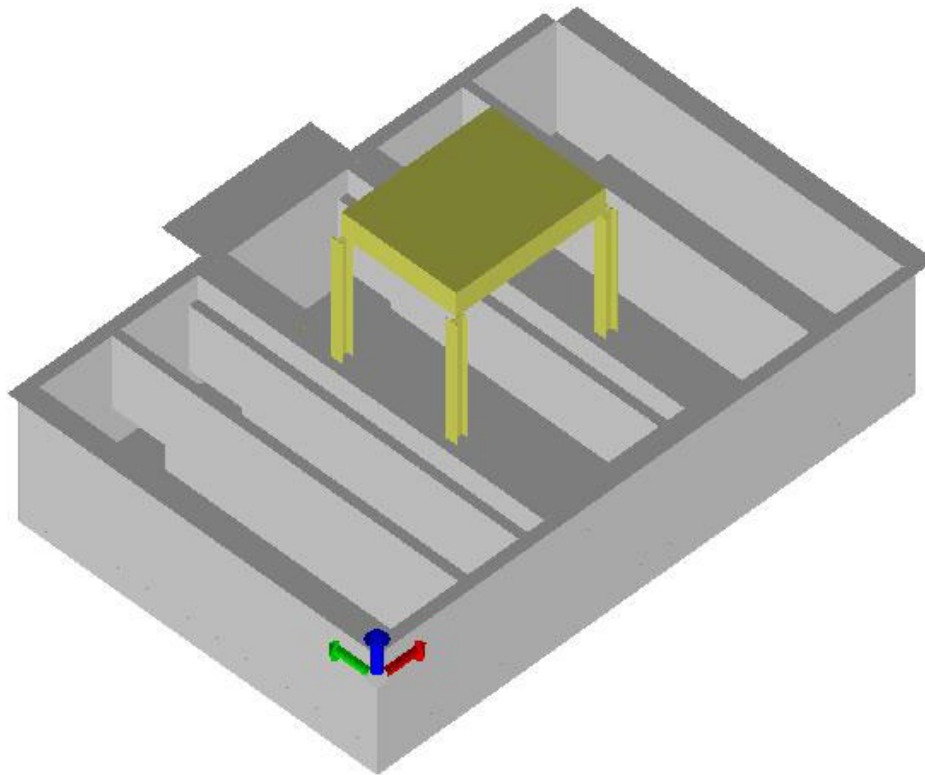


Figura 10 – Vista fondazione TR 150/30 kV.

3.11 Fondazione Portale sbarra

Per l'apparecchiatura del portale sbarra (con e senza L.T.) sono stati considerati, come struttura di supporto, due profilati tubolari cavi a sezione circolare di diametro 219.1 mm, spessore 4.0 mm ed altezza 5.78 m. Si è adottata un tipo di fondazione a plinto isolato (per ogni tubolare) di forma quadrata di dimensioni 2.00 m x 2.00 m ed altezza di 30 cm e con un colletto superiore di dimensione 0.70 m x 0.70 m e spessore 50 cm. L'interconnessione tra il plinto e il supporto dell'apparecchiatura elettromeccanica è assicurata da n°4 tirafondi in acciaio zincato a caldo. I tubolari in ogni plinto sono collegati da UPN 100 e o vari portali riportati in Figura 1 sono collegati da tubolari in alluminio. La Figura 11 sottostante mostra, a titolo di esempio, tre portali sbarra.

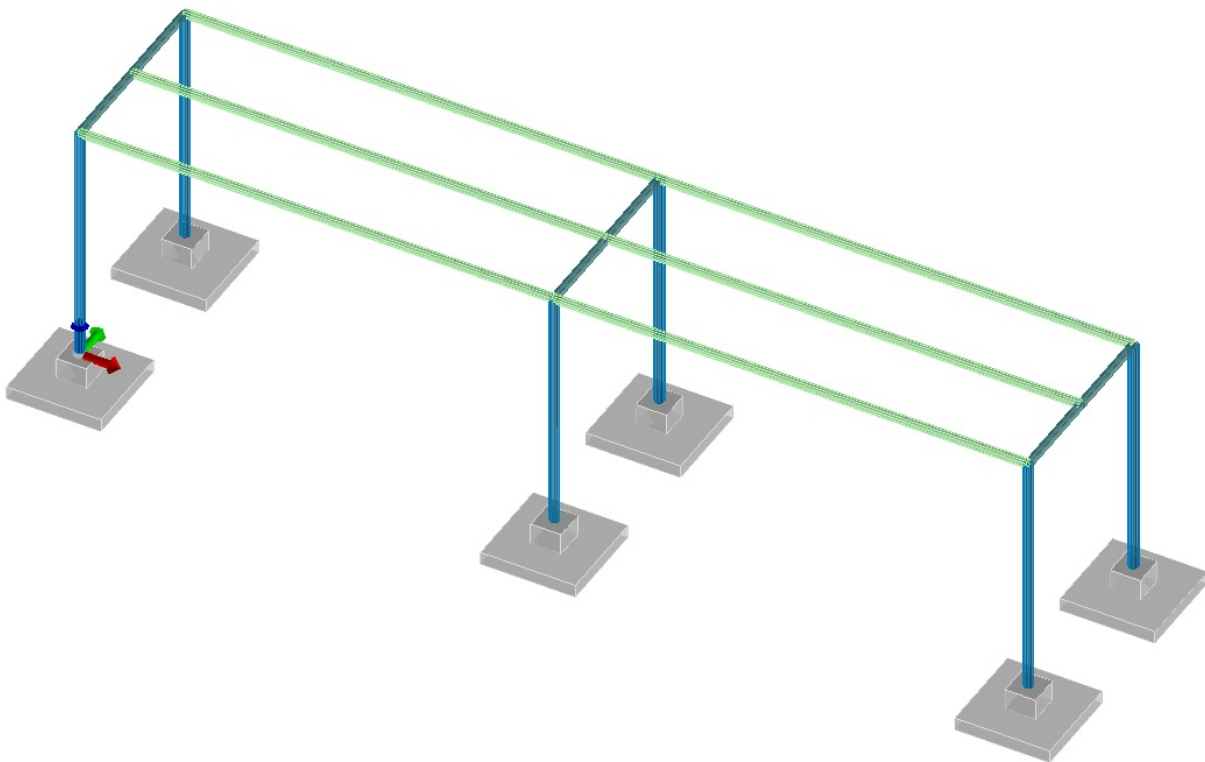


Figura 11 – Vista fondazioni per 3 portali sbarra.

3.12 Fondazione Sezionatore verticale

Per l'apparecchiatura del sezionatore verticale 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 2.80 m. Si è adottata un tipo di fondazione a plinto isolato di forma quadrata di dimensioni 2.00 m x 2.00 m ed altezza di 30 cm e con un colletto superiore di dimensione 0.70 m x 0.70 m e spessore 50 cm. L'interconnessione tra il plinto e il supporto dell'apparecchiatura elettromeccanica è assicurata da n°4 tirafondi in acciaio zincato a caldo.

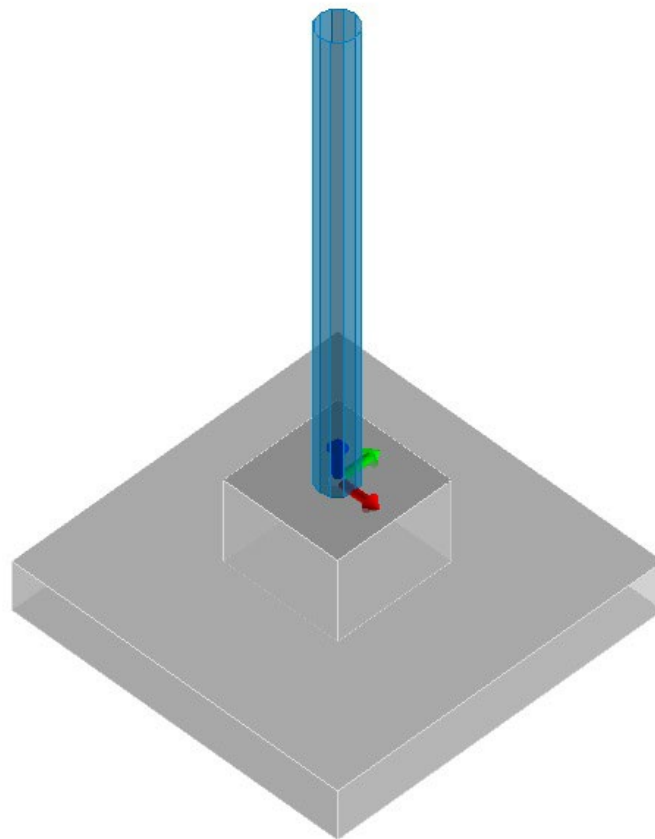


Figura 12 – Vista fondazione Sezionatore verticale.

3.13 Fondazione Isolatore

Per l'apparecchiatura dell'isolatore 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 2.80 m. Si è adottata un tipo di fondazione a plinto isolato di forma quadrata di dimensioni 1.30 m x 1.30 m ed altezza di 30 cm e con un colletto superiore di dimensione 0.70 m x 0.70 m e spessore 50 cm. L'interconnessione tra il plinto e il supporto dell'apparecchiatura elettromeccanica è assicurata da n°4 tirafondi in acciaio zincato a caldo.

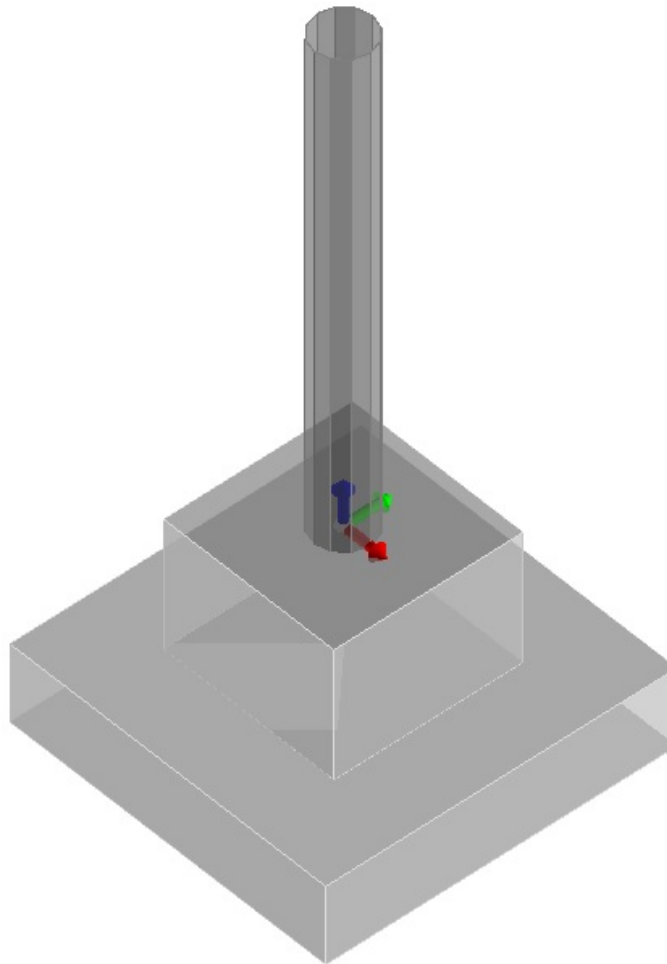


Figura 13 – Vista fondazione Isolatore.

3.14 Edificio Utente

L'edificio si sviluppa su un livello interrato ed uno fuori terra; la struttura sarà realizzata in c.a. con travi, pilastri e pareti, la fondazione sarà a platea. L'edificio ha dimensioni in pianta pari a 23.00 x 4.60 ed un'altezza fuori terra di 3.00 m; il piano interrato invece ha un'altezza complessiva di 2,45 m (compresi i 40 cm della platea).

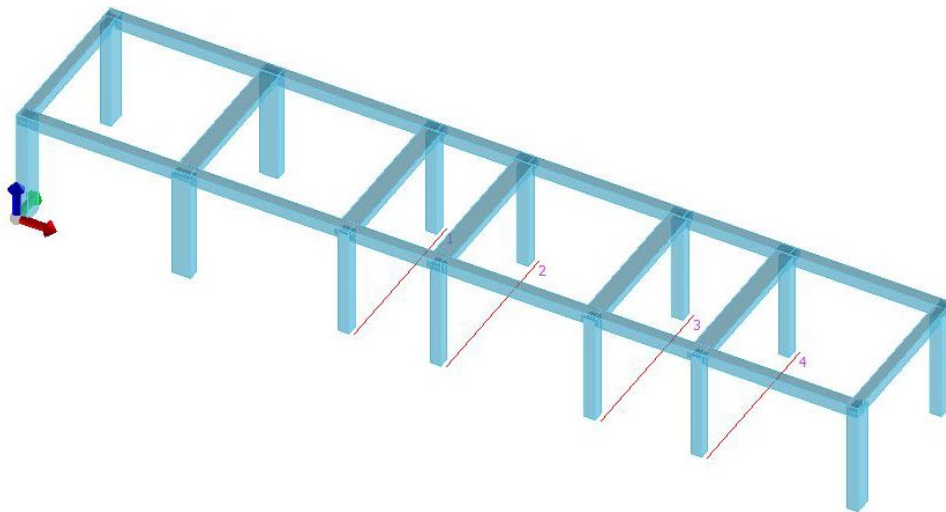


Figura 14 – Vista talaio edificio con travi e pilastri.

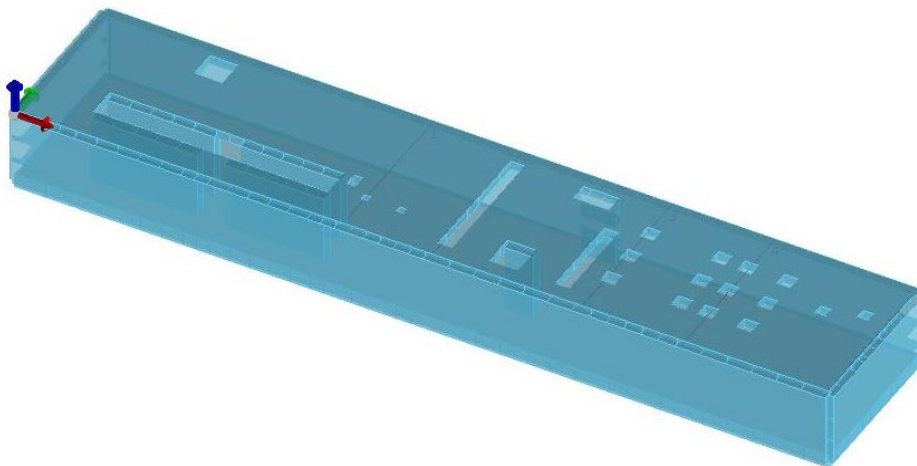



Figura 15 – Vista fondazione edificio.

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	15/04/2021
		Data ultima modifica	19/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	21 di 74

4. MATERIALI IMPIEGATI

Le prestazioni della strutture e le condizioni per la loro 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 sono stati 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 delle opere in oggetto saranno impiegati i seguenti materiali:

Il calcestruzzo strutturale è da utilizzare per le travi di fondazione date l'aggressività dei terreni, le condizioni climatiche e le indicazioni fornite dalla norma uni 11104, si prevede di impiegare:

- per il magrone, l'impiego di un calcestruzzo di classe C12/15;
- per le fondazioni e per le strutture in elevazione delle opere di stazione si prevede l'impiego del calcestruzzo con i requisiti di seguito indicati:

Resistenza caratteristica cubica a compressione	Rck =	40	Mpa
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione	fck =	32	Mpa
Resistenza di calcolo a compressione	fcd =	18,81	Mpa
Resistenza media a trazione	fctm =	3,10	Mpa
Resistenza di calcolo a trazione	fctd =	1,45	Mpa
Modulo di elasticità longitudinale	E =	33643	Mpa

Tabella 1 – Proprietà meccaniche del calcestruzzo di classe C32/40

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	15/04/2021
		Data ultima modifica	19/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	22 di 74

- per le fondazioni degli aereogeneratori si prevede l'impiego del calcestruzzo con i requisiti di seguito indicati:

Resistenza caratteristica cubica a compressione	Rck =	55	Mpa
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione	fck =	45	Mpa
Resistenza di calcolo a compressione	fcd =	25,87	Mpa
Resistenza media a trazione	fctm =	4,44	Mpa
Resistenza di calcolo a trazione	fctd =	1,65	Mpa
Modulo di elasticità longitudinale	E =	36283	Mpa


Tabella 2 – Proprietà meccaniche del calcestruzzo di classe C45/55

ACCIAIO DA C.A. ORDINARIO:

Si prevede di utilizzare esclusivamente acciai saldabili, qualificati e controllati secondo quanto dettato dal D.M. 14.01.2008. Sarà impiegato l'acciaio per cemento armato, ad aderenza migliorata, laminato a caldo denominato B450C in barre o reti elettrosaldate. L'acciaio da c.a. dovrà possedere i requisiti riportati nella tabella che segue:

Peso per unità di volume γ_c	78.5 kN/m ³
Tensione di snervamento nominale $f_{y\ nom}$	450 N/mm ²
Tensione di rottura nominale $f_{t\ nom}$	540 N/mm ²
Tensione di snervamento di calcolo f_{yd}	391 N/mm ²
Tensione di snervamento caratteristica f_{yk}	$\geq f_{y\ nom}$
Tensione di rottura nominale f_{tk}	$\geq f_{t\ nom}$
Rapporto $(f_t/f_y)_k$	$1.15 \leq (f_t/f_y)_k \leq 1.35$
Rapporto $f_{yk}/f_{y\ nom}$	$f_{yk}/f_{y\ nom} \leq 1.25$
Allungamento $(A_{gi})_k$	$\geq 7.5\%$
Modulo di elasticità longitudinale E	210000 N/mm ²
Modulo di elasticità tangenziale G	80769 N/mm ²
Tensione normale massima (comb.rara) σ	360 N/mm ²

Tabella 3 – Proprietà meccaniche dell'acciaio B450C

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	15/04/2021
		Data ultima modifica	19/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	23 di 74

ACCIAIO CARPENTERIA:


Per la realizzazione delle strutture di sostegno delle parti elettromeccaniche è previsto l'impiego dell'acciaio **S275 e S355**, avente le caratteristiche indicate in quanto segue:

Peso per unità di volume γ_c	78.5 kN/m ³
Tensione di snervamento nominale $f_{y\ nom}$	275 N/mm ²
Tensione di rottura nominale $f_{t\ nom}$	430 N/mm ²
Tensione di snervamento di calcolo f_{yd}	239.1 N/mm ²
Tensione di snervamento caratteristica f_{yk}	$\geq f_{y\ nom}$
Tensione di rottura nominale f_{tk}	$\geq f_{t\ nom}$
Rapporto $(f_t/f_y)_k$	$1.15 \leq (f_t/f_y)_k \leq 1.35$
Rapporto $f_{yk}/f_{y\ nom}$	$f_{yk}/f_{y\ nom} \leq 1.25$
Modulo di elasticità longitudinale E	210000 N/mm ²
Modulo di elasticità tangenziale G	80769 N/mm ²

Tabella 4 – Proprietà meccaniche dell'acciaio S275

Peso per unità di volume γ_c	78.5 kN/m ³
Tensione di snervamento nominale $f_{y\ nom}$	355 N/mm ²
Tensione di rottura nominale $f_{t\ nom}$	510 N/mm ²
Tensione di snervamento di calcolo f_{yd}	308.7 N/mm ²
Tensione di snervamento caratteristica f_{yk}	$\geq f_{y\ nom}$
Tensione di rottura nominale f_{tk}	$\geq f_{t\ nom}$
Rapporto $(f_t/f_y)_k$	$1.15 \leq (f_t/f_y)_k \leq 1.35$
Rapporto $f_{yk}/f_{y\ nom}$	$f_{yk}/f_{y\ nom} \leq 1.25$
Modulo di elasticità longitudinale E	210000 N/mm ²
Modulo di elasticità tangenziale G	80769 N/mm ²

Tabella 5 – Proprietà meccaniche dell'acciaio S355

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	15/04/2021
		Data ultima modifica	19/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	24 di 74

5. AZIONI DI CALCOLO

La vigente normativa tecnica prevede che siano considerate nelle analisi più scenari di calcolo ottenuti sulla base delle azioni di riferimento, consistenti nel peso proprio di elementi strutturali e portati e carichi variabili in funzione del tipo di struttura e della sua destinazione d'uso.

Classificando le azioni secondo la variazione della loro intensità nel tempo, nel caso in esame si possono distinguere:

- **azioni permanenti (G)** ovvero le azioni che agiscono durante tutta la vita della costruzione e la loro variazione di intensità nel tempo è così modesta e lenta da poterle considerare con sufficiente approssimazione costanti.

Appartengono a questo gruppo:

- i carichi permanenti strutturali (G_1);
- i carichi permanenti non strutturali (G_2);


- **azioni variabili (Q)** ovvero le azioni che agiscono sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi tra loro.

Nel caso in esame sono stati considerati i seguenti carichi variabili:

- variazioni termiche;
- azione sismica;
- azione della neve;
- azione del vento;
- corto circuito.

5.1 Azione sismica

L'azione sismica è stata valutata secondo le indicazioni delle NTC 2018. In particolare, l'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione viene definita partendo dalla "**pericolosità di base**" del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica. La pericolosità sismica è intesa come accelerazione massima orizzontale a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido ($V_{s30} > 800$ m/s), con superficie topografica orizzontale (di categoria di sottosuolo **A**), ma è definita anche in termini di ordinate dello spettro di risposta elastico in

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	15/04/2021
		Data ultima modifica	19/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	25 di 74

accelerazione ad essa corrispondente **Se(T)**, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento **PVR**, come definite nelle NTC nel periodo di riferimento **VR**.

In alternativa è consentito l'uso di accelerogrammi, purchè congruenti con la **pericolosità sismica del sito**.

La stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio **“sito dipendente”**. La stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (tabella 1 nell'Allegato B del D.M. 14 gennaio 2008). Le forme spettrali vengono definite, per ciascuna delle probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento **PVR**, partendo dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:


- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- T^*_c periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

L'azione sismica viene definita in relazione ad un periodo di riferimento V_r che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale per il coefficiente d'uso.

Fissato il periodo di riferimento V_r e la probabilità di superamento P_{ver} associata a ciascuno degli stati limite considerati, si ottiene il periodo di ritorno T_r e i relativi parametri di pericolosità sismica.

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

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

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	15/04/2021
		Data ultima modifica	19/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	26 di 74

Secondo quanto previsto dal capitolo 2 delle NTC ed ai fini della definizione dei livelli di sicurezza e delle prestazioni attese, alla costruzione sono stati attribuiti i seguenti parametri:

- Tipo di costruzione *Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica*
- Vita nominale $V_n = 100$ anni
- Classe d'uso *IV, Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti...*
- Coefficiente d'uso $C_U = 2$
- Periodo di riferimento $V_R = 200$ anni

In riferimento alle prescrizioni di cui al paragrafo 3.2 delle NTC, si definiscono i seguenti parametri:

- Categoria di sottosuolo **B**
- Categoria topografica **T1**
- Amplificazione topografica $S_T=1.00$
- Coordinate del sito **latitudine: 37.62644 [°]; longitudine: 13.023019 [°]**

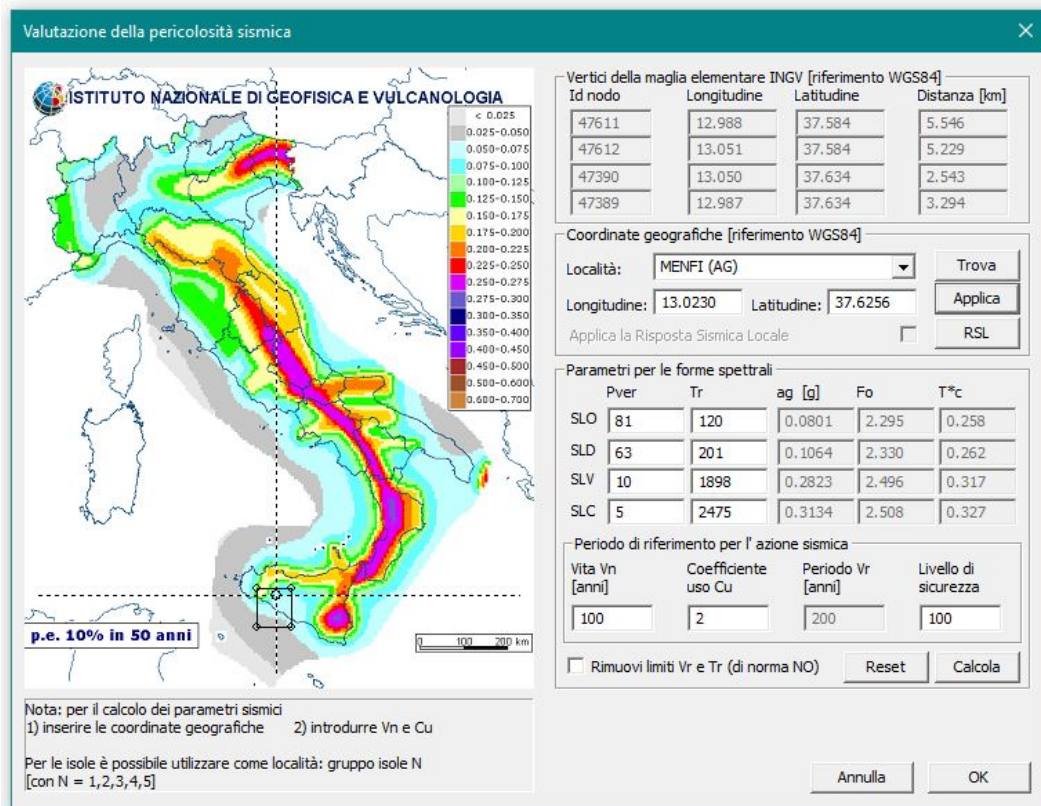


Figura 16 – Pericolosità sismica del sito in esame.



Figura 17 – Parametri spettrali.

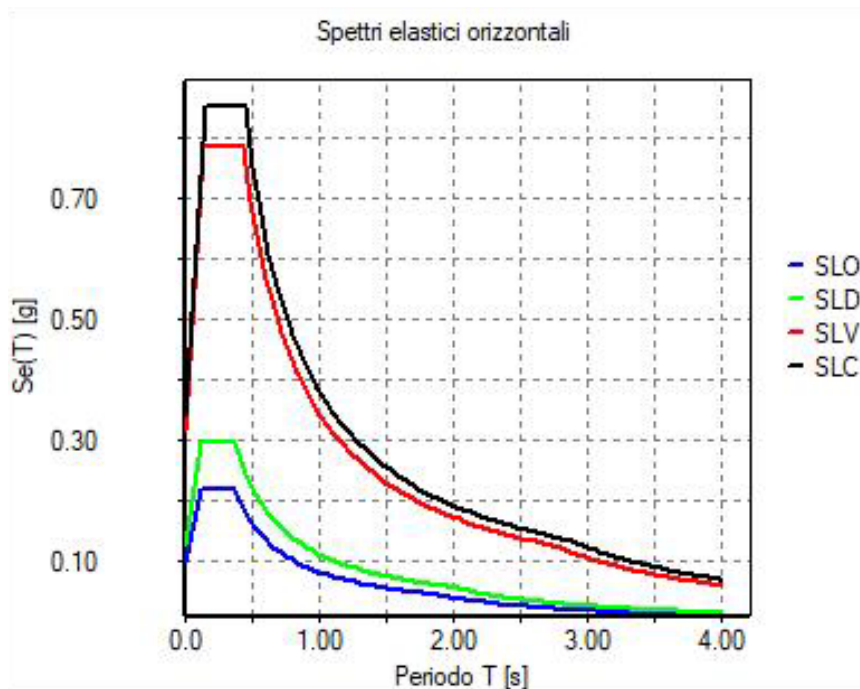



Figura 18 – Spettri di risposta del sito in esame.

5.2 Azione di neve e vento

L'azione della neve è stata valutata ai sensi della vigente normativa come segue:

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	15/04/2021
		Data ultima modifica	19/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	28 di 74

Zona Neve = III

Periodo di ritorno, $T_r = 100$ anni

$$C_{tr} = [(1 - v (6^{1/2} / \pi) \ln[-\ln(1-1/T_r) + 0.57722]) / (1 + 2.5923v)] = 1.13$$

C_e (coeff. di esposizione al vento) = 1,00

Valore caratteristico del carico al suolo = $q_{sk} C_e C_{tr} = 68$ daN/mq

Copertura ad una falda:

Angolo di inclinazione della falda $\alpha = 0,0^\circ$

- Copertura piana $W = 10.0$ m, $L = 50.0$ m $\Rightarrow L_c = 18.0$, $C_{ef} = 1.000$

$m_1 = 0,80 \Rightarrow Q_1 = 54$ daN/mq

L'azione del vento è stata valutata ai sensi della vigente normativa come segue:

Zona vento = 4

Velocità base della zona, $V_{b,o} = 28$ m/s (Tab. 3.3.I)

Altitudine base della zona, $A_o = 500$ m (Tab. 3.3.I)

Altitudine del sito, $A_s = 119$ m

Velocità di riferimento, $V_b = 28,00$ m/s ($V_b = V_{b,o}$ per $A_s \leq A_o$)

Periodo di ritorno, $T_r = 100$ anni

$C_r = 0,65 (1 - 0,138 \ln(-\ln(1-1/T_r))) = 1.063$ (CNR-DT 207 R1/2018)

Velocità riferita al periodo di ritorno di progetto, $V_r = V_b C_r = 29,75$ m/s

Classe di rugosità del terreno: B

[Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive]

Esposizione: Cat. IV - Entroterra fino a 500 m di altitudine

($K_r = 0,22$; $Z_o = 0,30$ m; $Z_{min} = 8$ m)

Pressione cinetica di riferimento, $q_b = 55$ daN/mq

Coefficiente di forma, $C_p = 1,00$

Coefficiente dinamico, $C_d = 1,00$

Coefficiente di esposizione, $C_e = 1,63$


Coefficiente di esposizione topografica, $C_t = 1,00$

Altezza dell'edificio, $h = 5,00$ m

Pressione del vento, $p = q_b C_e C_p C_d = 90$ daN/mq

6. COMBINAZIONI DI CARICO

Per la determinazione delle azioni sugli elementi strutturali, sono state prese in considerazione le combinazioni di calcolo di seguito illustrate:

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	15/04/2021
		Data ultima modifica	19/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	29 di 74

Combinazione fondamentale per gli stati limite ultimi (SLU)

Secondo quanto previsto per l'approccio 2 del D.M. 17 gennaio 2018 si ha:

$$F_d = \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i=2}^n (\psi_{0,i} \cdot \gamma_{Qi} \cdot Q_{ki})$$

dove:

- G_1 rappresenta il valore del peso proprio della struttura;
- G_2 rappresenta il valore del peso proprio della sovrastruttura;
- Q_{k1} rappresenta il valore caratteristico dell'azione variabile dominante;
- Q_{ki} rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile;
- $\gamma_{G1}, \gamma_{G2}, \gamma_{Q1}, \gamma_{Qi}$ rappresentano i coefficienti parziali di sicurezza;
- $\psi_{0,i}$ rappresenta il coefficiente di combinazione.

Combinazione eccezionale per gli stati limite ultimi (SLU)

Secondo quanto previsto per l'approccio 2 del D.M. 17 gennaio 2018 si ha:

$$F_d = \sum_{j=1}^m G_j + \sum_{i=2}^n (\psi_{2,i} \cdot Q_{ki})$$

dove:


- G_j rappresenta il valore della j-esima azione permanente;
- Q_{ki} rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile;
- $\psi_{2,i}$ è il coefficiente atto a definire i valori quasi permanenti delle azioni variabili assimilabili ai valori medi delle distribuzioni dei valori istantanei.

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

$$F_d = E + \sum_{j=1}^m G_j + \sum_{i=2}^n (\psi_{2,i} \cdot Q_{ki})$$

dove:

- E è l'azione sismica allo SLV o allo SLD;
- G_j rappresenta il valore della j-esima azione permanente;
- Q_{ki} rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile;

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	15/04/2021
		Data ultima modifica	19/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	30 di 74

$\psi_{2,i}$ è il coefficiente atto a definire i valori quasi permanenti delle azioni variabili assimilabili ai valori medi delle distribuzioni dei valori istantanei.

Combinazione caratteristica (rara) utilizzata per lo stato limite di esercizio

$$F_d = G_1 + G_2 + Q_{k1} + \sum_{i=2}^n (\psi_{0,i} \cdot \gamma_{Qi} \cdot Q_{ki})$$

Combinazione frequente utilizzata per lo stato limite di esercizio

$$F_d = G_1 + G_2 + \sum_{i=1}^n (\psi_{1,i} \cdot Q_{ki})$$

7. ORIGINE E CARATTERISTICHE DEL CODICE DI CALCOLO

L'analisi strutturale è stata condotta con l'ausilio di un codice di calcolo agli elementi finiti. È stato in particolare adottato il software PRO_SAP. Di seguito si riporta titolo, produttore e distributore, versione ed estremi della licenza d'uso dello stesso:

Titolo: PRO_SAP PROFESSIONAL Structural Analysis Program

Versione: PROFESSIONAL


Produttore-Distributore: 2S.I. Software e Servizi per l'Ingegneria s.r.l., Ferrara

Estremi della licenza: Licenza dsi3097

Si tratta di un programma di calcolo strutturale dedicato al progetto e verifica degli elementi in cemento armato, acciaio, muratura e legno di opere civili. Il programma utilizza come analizzatore e solutore del modello strutturale un proprio solutore agli elementi finiti tridimensionale fornito col pacchetto software.

L'analisi strutturale viene effettuata con il metodo degli elementi finiti. Il metodo si basa sulla schematizzazione della struttura in elementi connessi in corrispondenza di un numero prefissato di punti denominati nodi. I nodi sono definiti dalle tre coordinate cartesiane in un sistema di riferimento globale. L'analisi strutturale è condotta con il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato tensiodeformativo indotto da carichi statici.

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico. La documentazione, fornita dal produttore e distributore del software, contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	15/04/2021
		Data ultima modifica	19/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	31 di 74

dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati, corredati dei file di input necessari a riprodurre l'elaborazione. 2S.I. ha verificato, in collaborazione con il DISTART dell'Università di Bologna e con il Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Ferrara, l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche. È possibile reperire la documentazione contenente alcuni dei più significativi casi trattati al seguente link: <http://www.2si.it/affidabilita.php>.

Inoltre, il programma prevede una serie di controlli automatici (check) che consentono l'individuazione di errori di modellazione. Al termine dell'analisi un controllo automatico identifica la presenza di spostamenti o rotazioni abnormi.

8. AFFIDABILITÀ DEL CODICE DI CALCOLO E GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI

Considerata l'affidabilità del codice impiegato e la natura delle opere in progetto, non è stato necessario ricorrere ad ulteriore validazione del calcolo eseguito con un programma di calcolo diverso da quello impiegato in questa sede.

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli per verificare l'affidabilità dei risultati ottenuti dall'analisi automatica.

Tali controlli hanno riguardato sia la verifica dell'equilibrio tra le risultanti dei carichi elementari applicati e quelle delle reazioni vincolari, sia la comparazione tra i risultati dell'analisi e quelli di valutazioni con schemi statici semplificati.

Tutti i suddetti controlli hanno avuto esito positivo, pertanto è possibile affermare che i risultati ottenuti dall'analisi automatica sono pienamente accettabili.

9. PROGETTO E VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

9.1 Verifiche strutturali elementi in acciaio

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.

CARPENTERIA ARRIVO CAVI MT

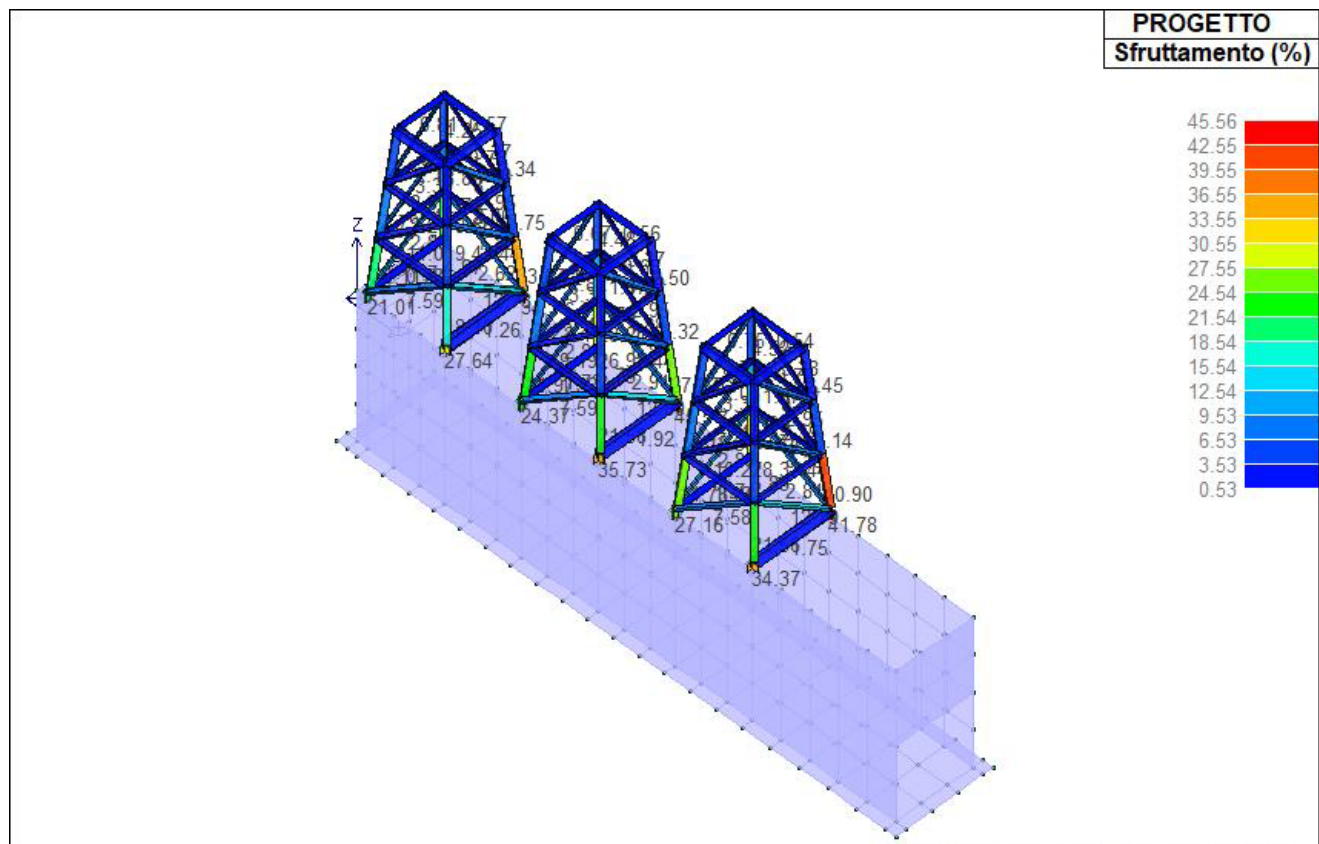


Figura 19 – Verifica sfruttamento carpenteria arrivo cavi MT.

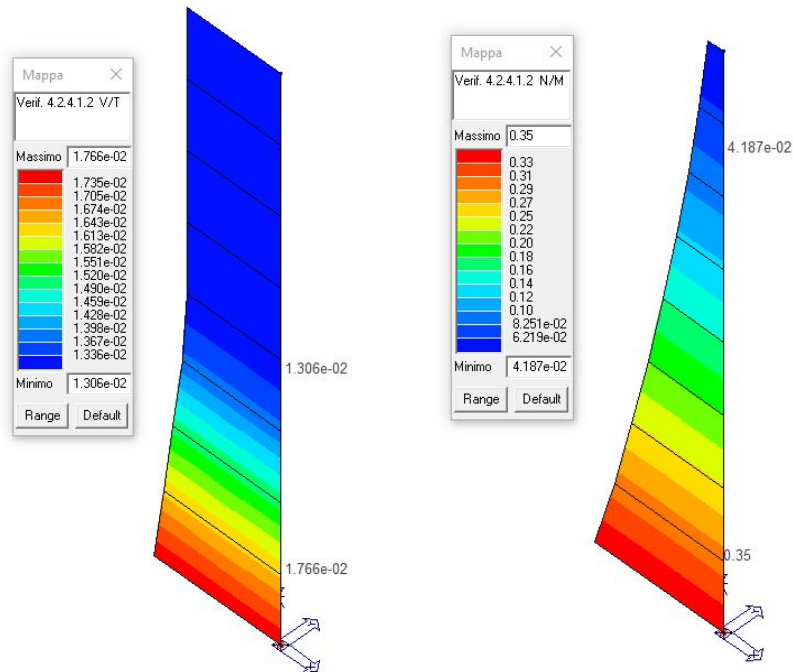
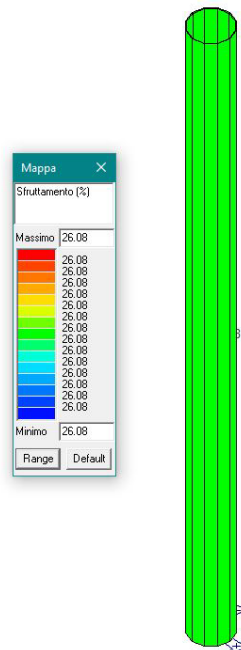


Figura 20 – Verifiche carpenteria scaricatore.

CARPENTERIA TVI



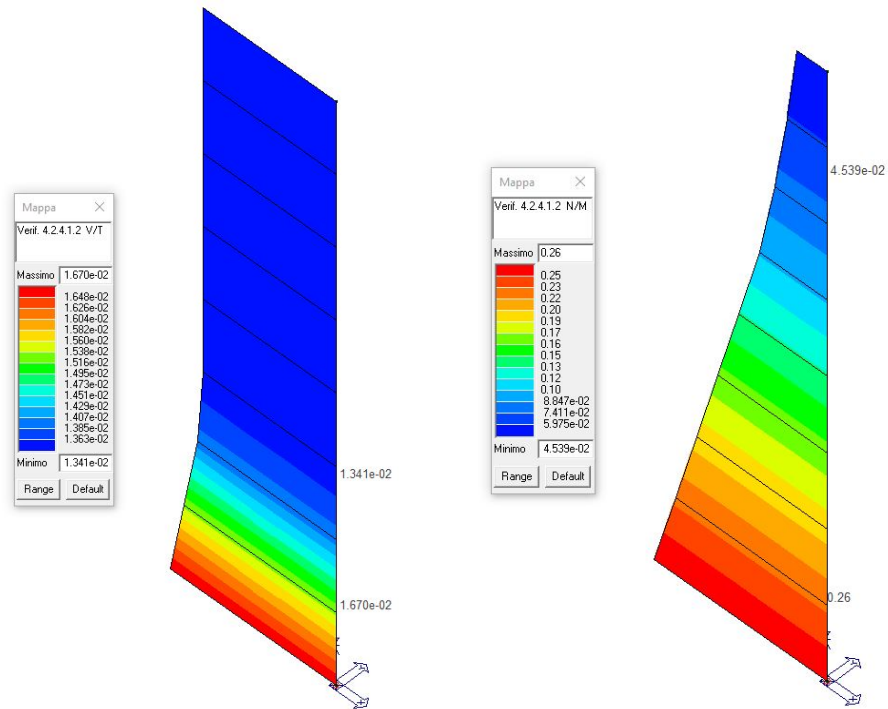


Figura 21 – Verifiche carpenteria TVC.

CARPENTERIA TVC

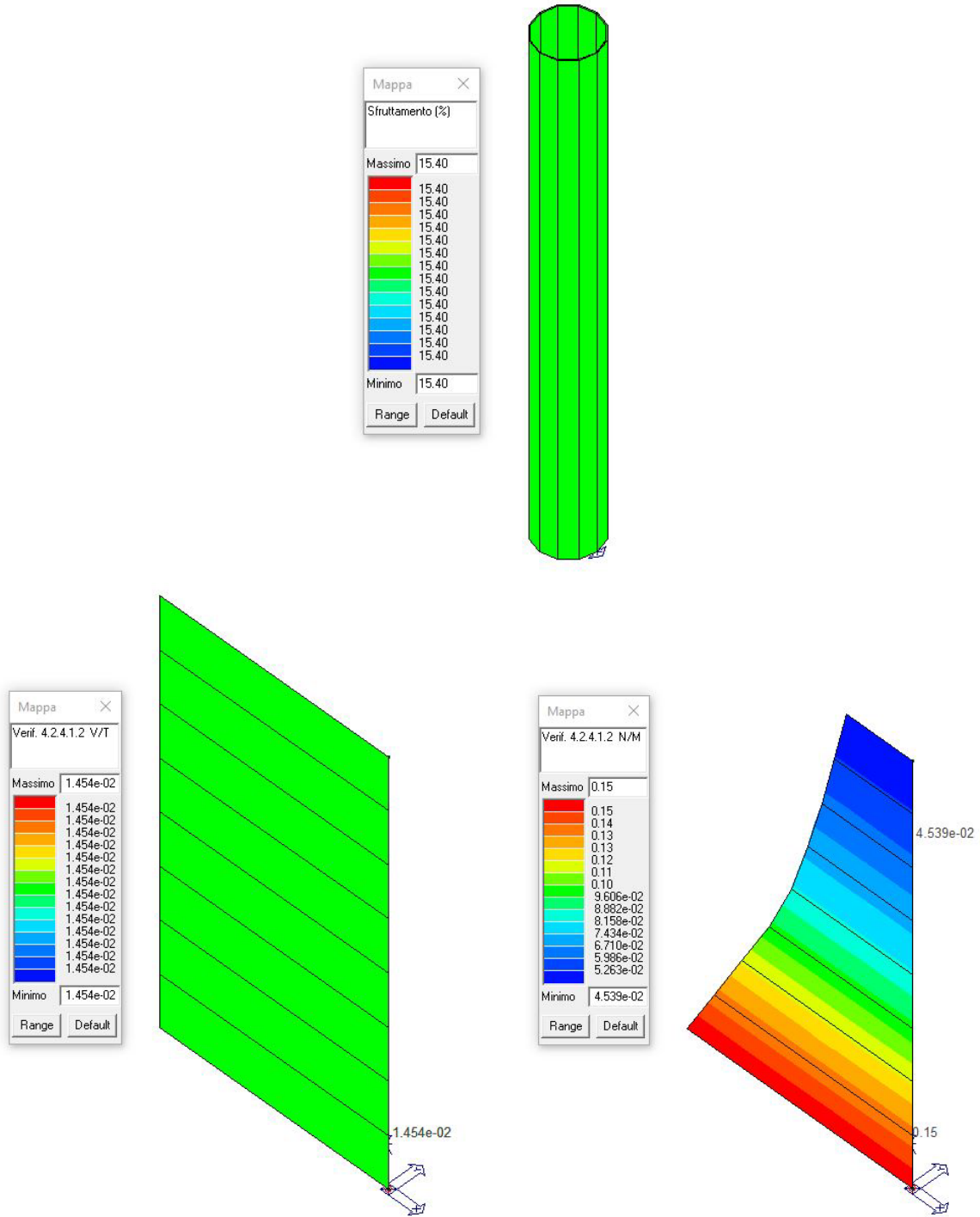


Figura 22 – Verifiche carpenteria TVI.

CARPENTERIA TA

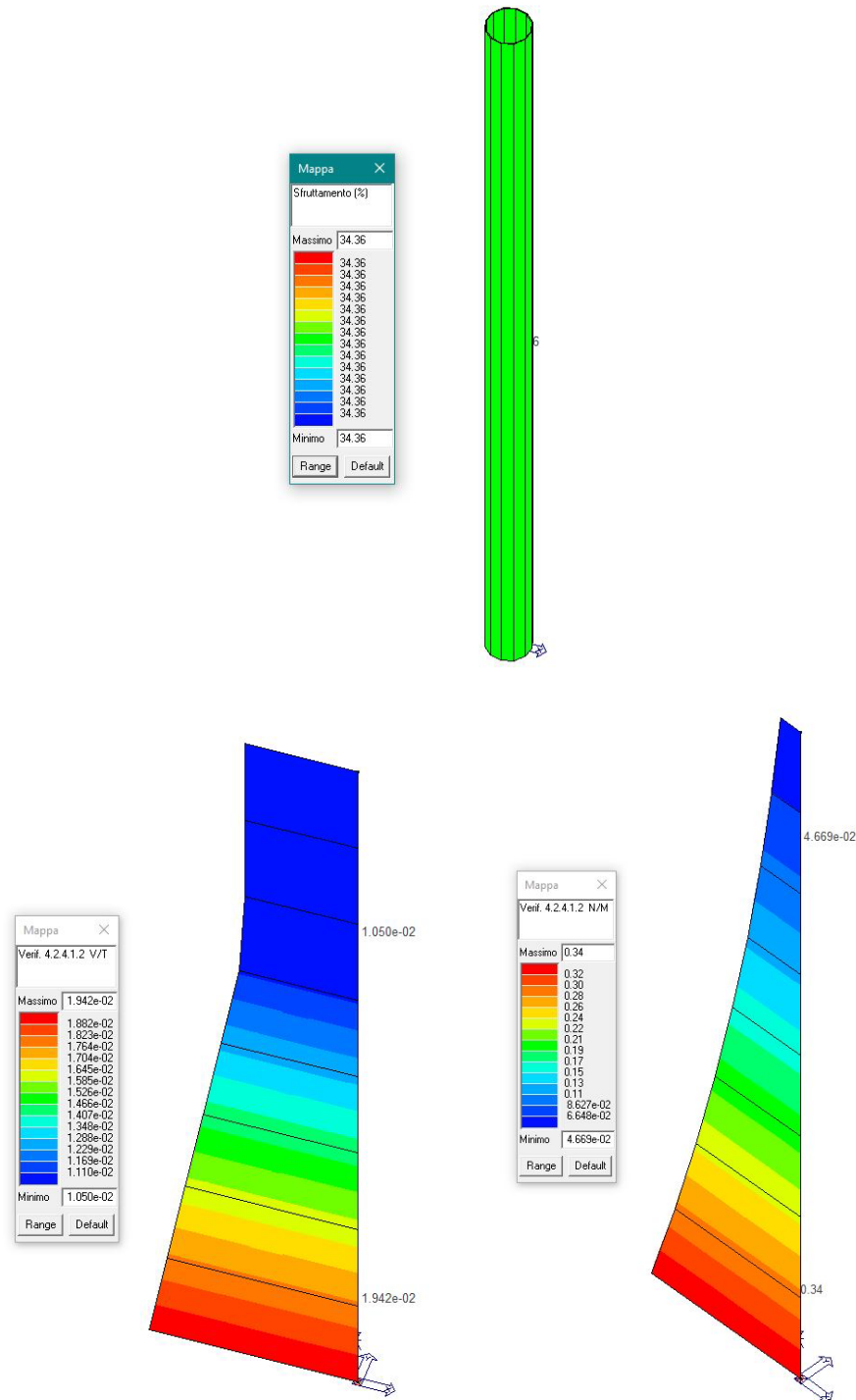


Figura 23 – Verifiche carpenteria TA.

CARPENTERIA SEZIONATORE ORIZZONTALE

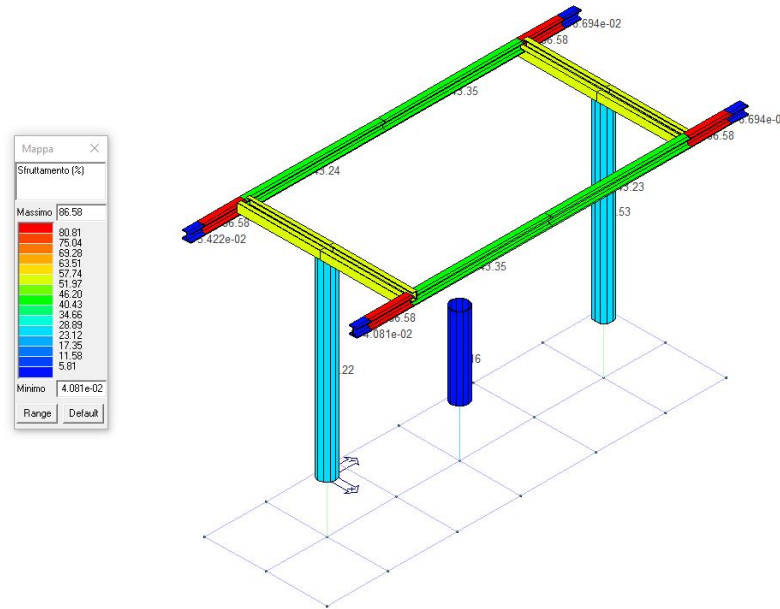


Figura 24 – Verifica sfruttamento carpenteria sezionatore orizzontale.

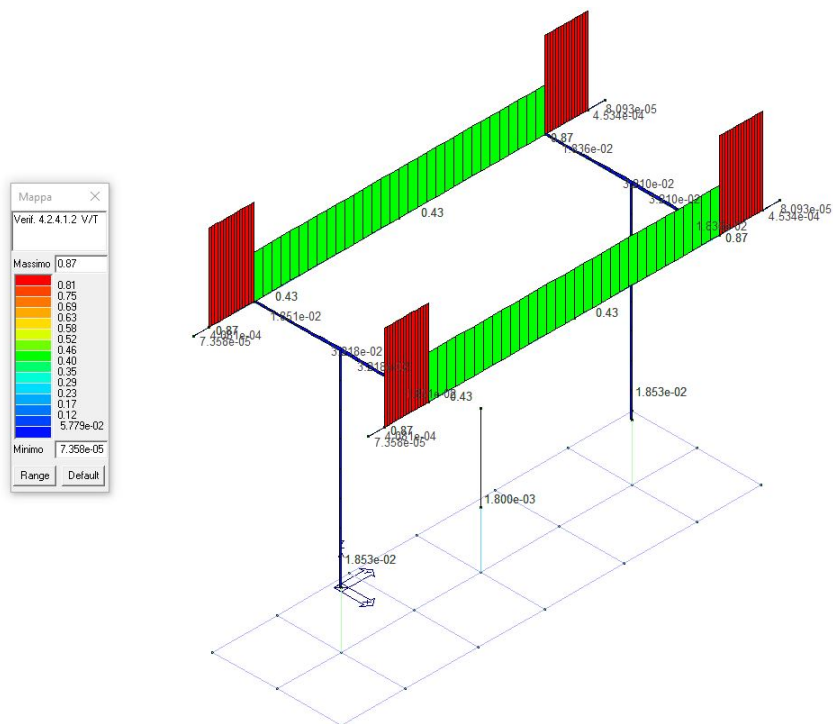


Figura 25 – Verifica V/T carpenteria sezionatore orizzontale.

CARPENTERIA PORTALE SBARRA CON E SENZA L.T.

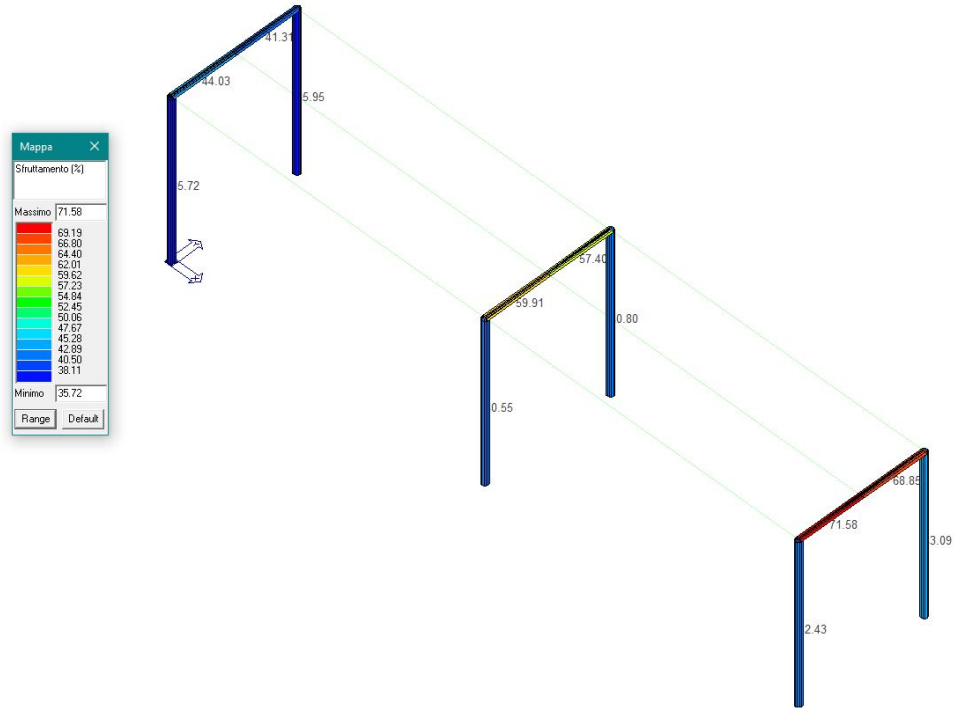


Figura 27 – Verifica sfruttamento carpenteria portale sbarra.

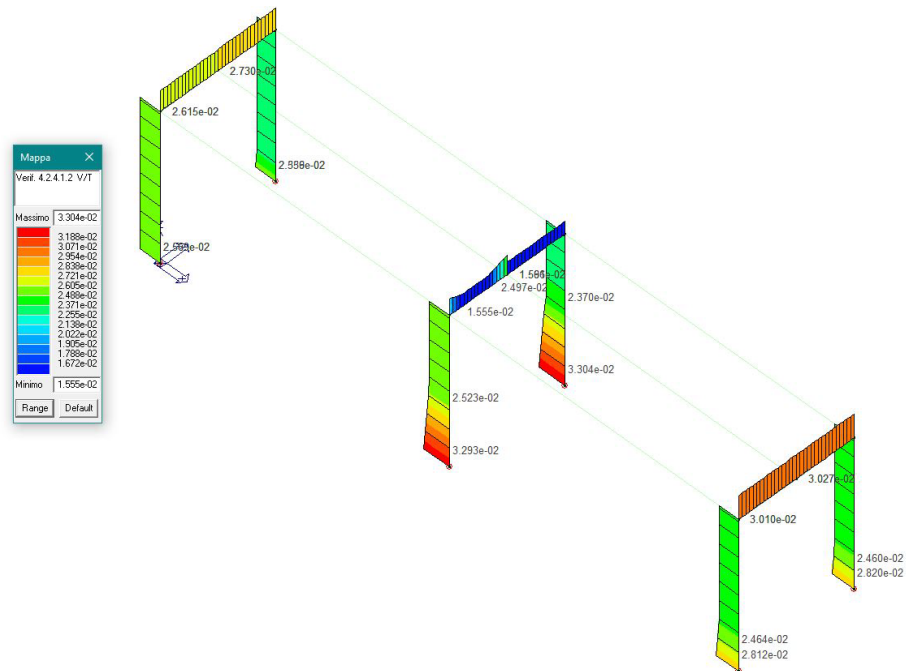


Figura 28 – Verifica V/T carpenteria portale sbarra.

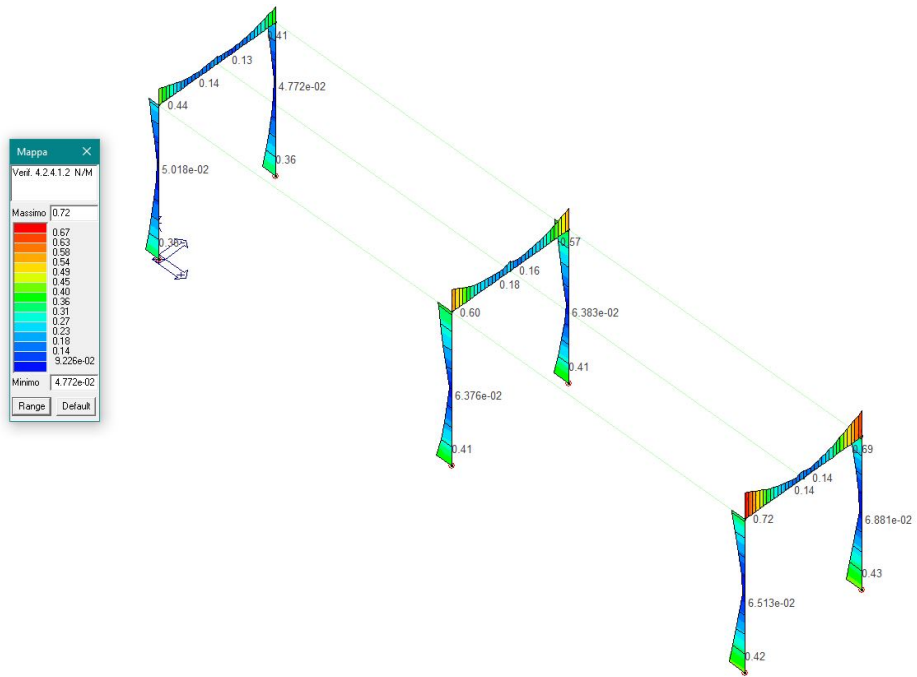


Figura 29 – Verifica N/M carpenteria portale sbarra.

CARPENTERIA SEZIONATORE VERTICALE

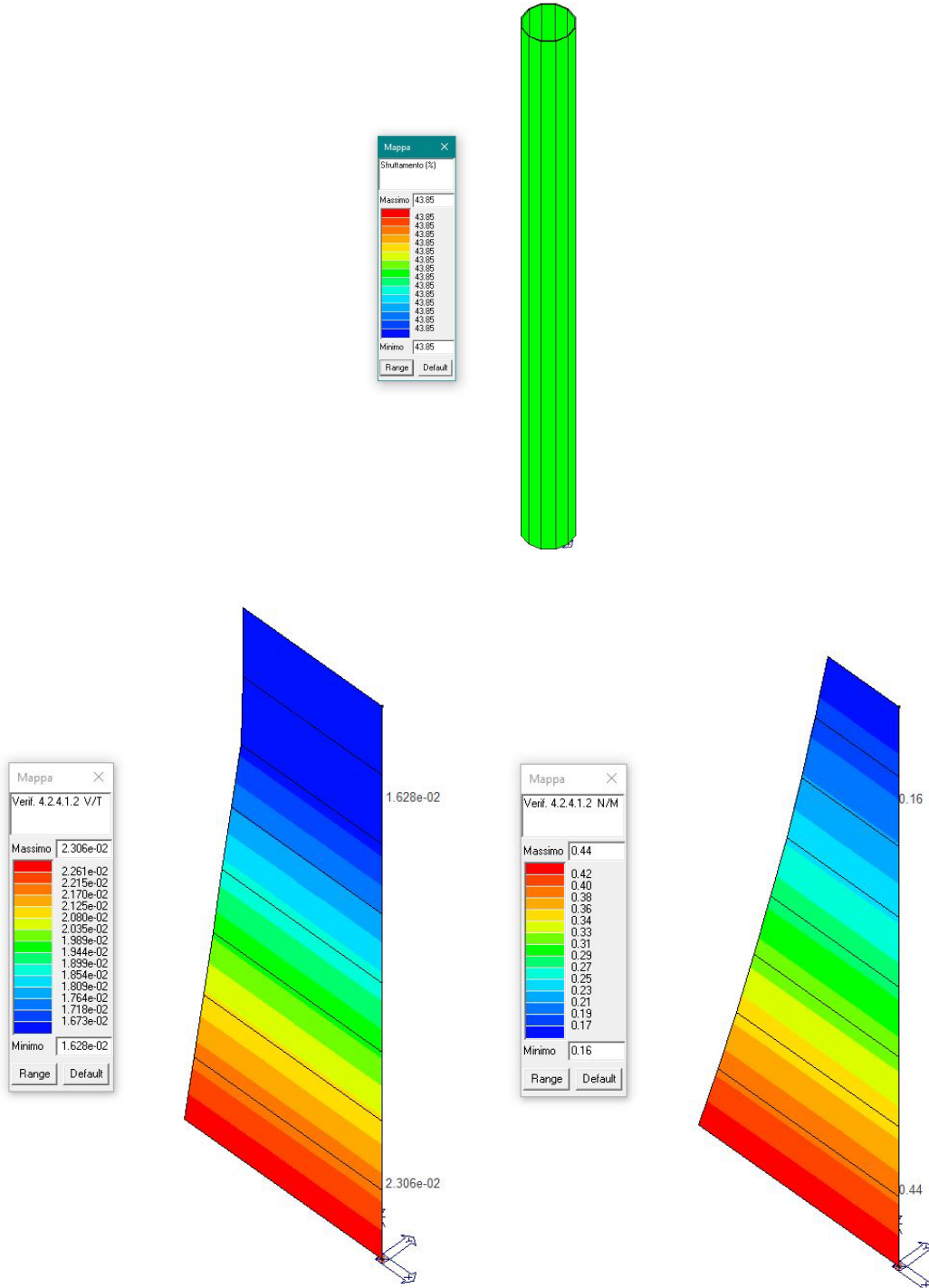


Figura 30 – Verifiche carpenteria Sezionatore verticale.

CARPENTERIA ISOLATORE

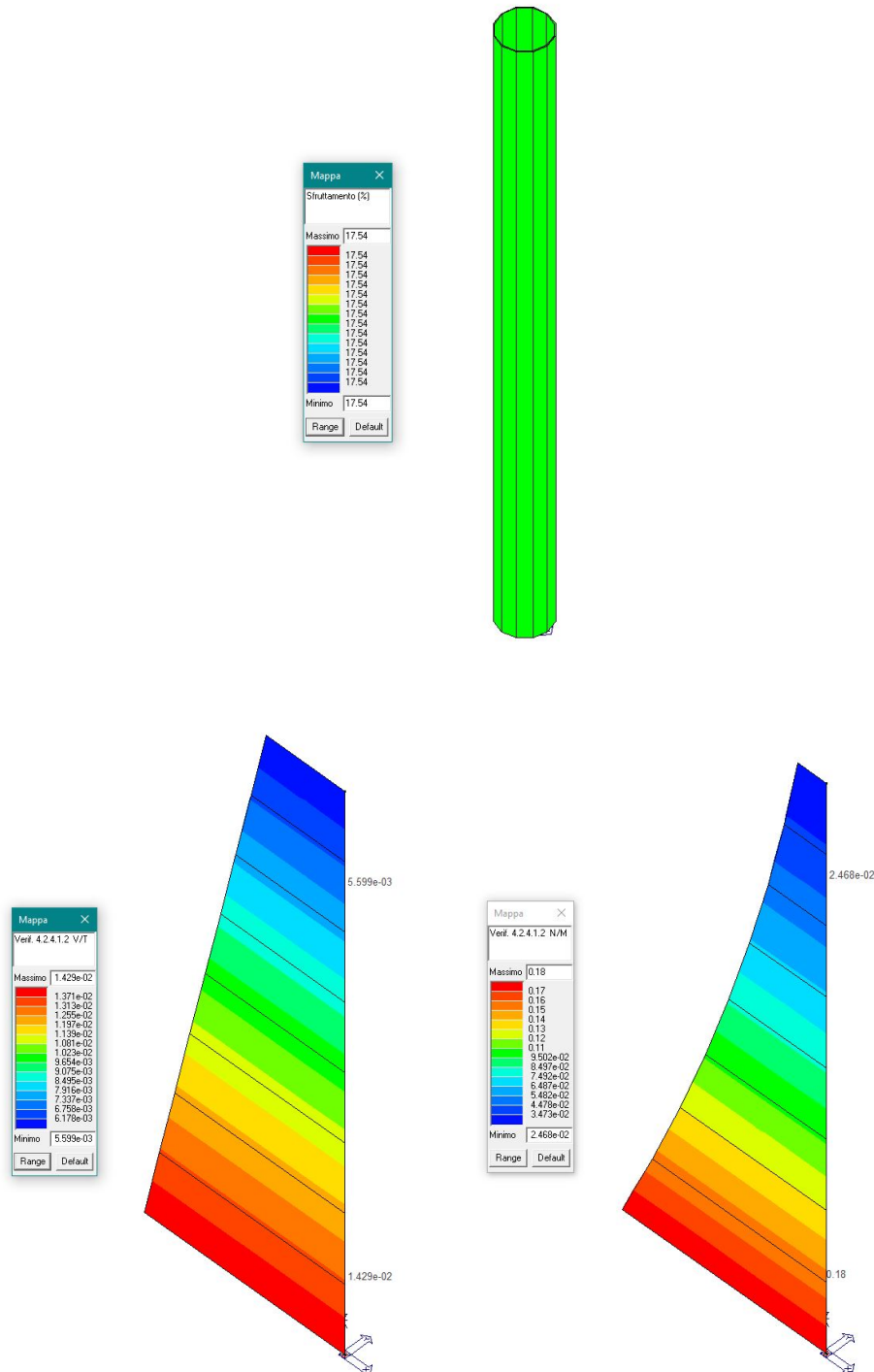


Figura 31 – Verifiche carpenteria Isolatore.

9.2 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.

PLINTO AEROGENERATORE

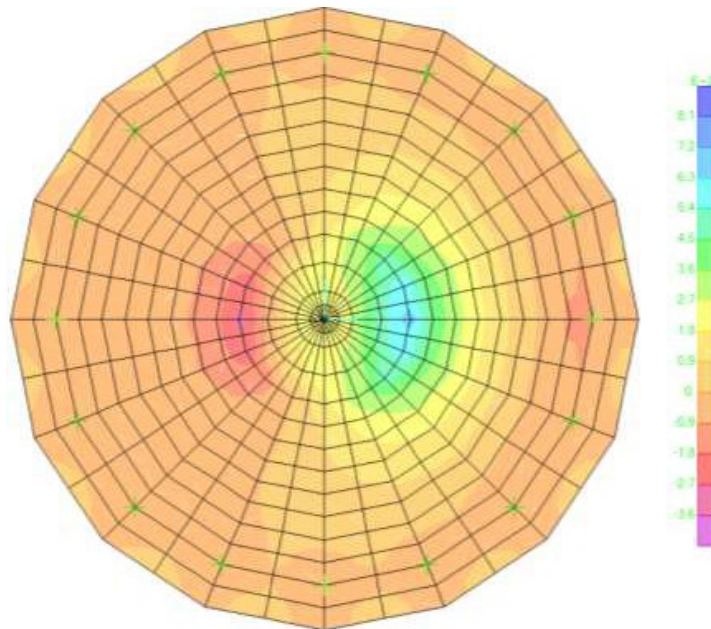


Figura 32 – Sollecitazione – flessione M11 radiali.

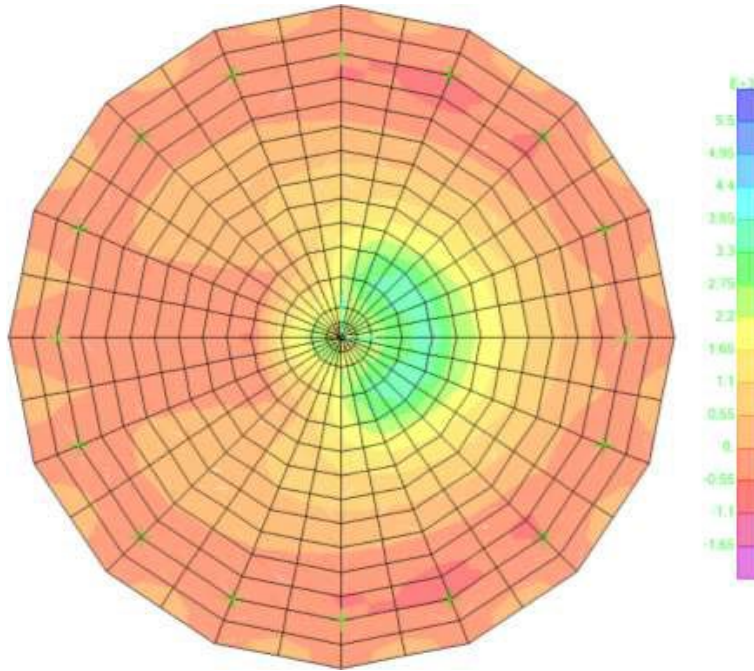


Figura 33 – Sollecitazione – flessione M22 anulari.

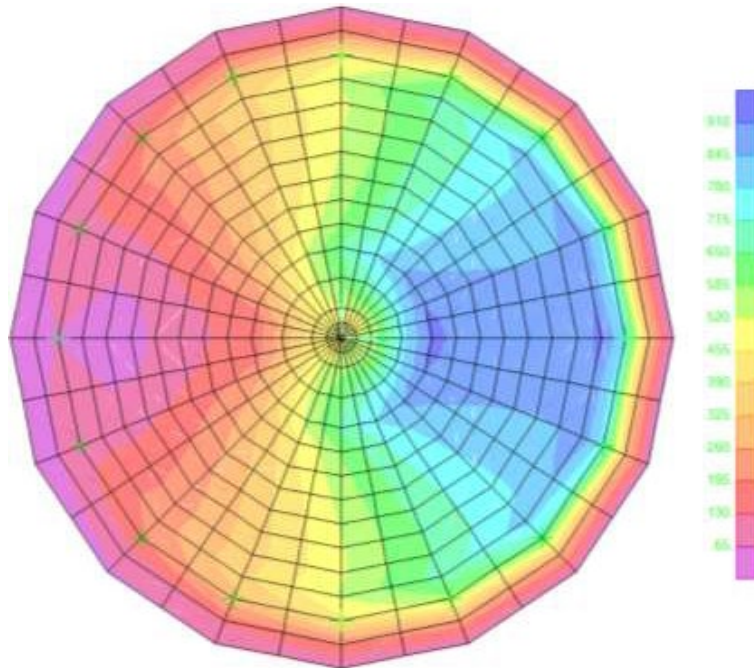


Figura 34 – Sollecitazione – taglio massimo.

FONDAZIONE ARRIVO CAVI MT

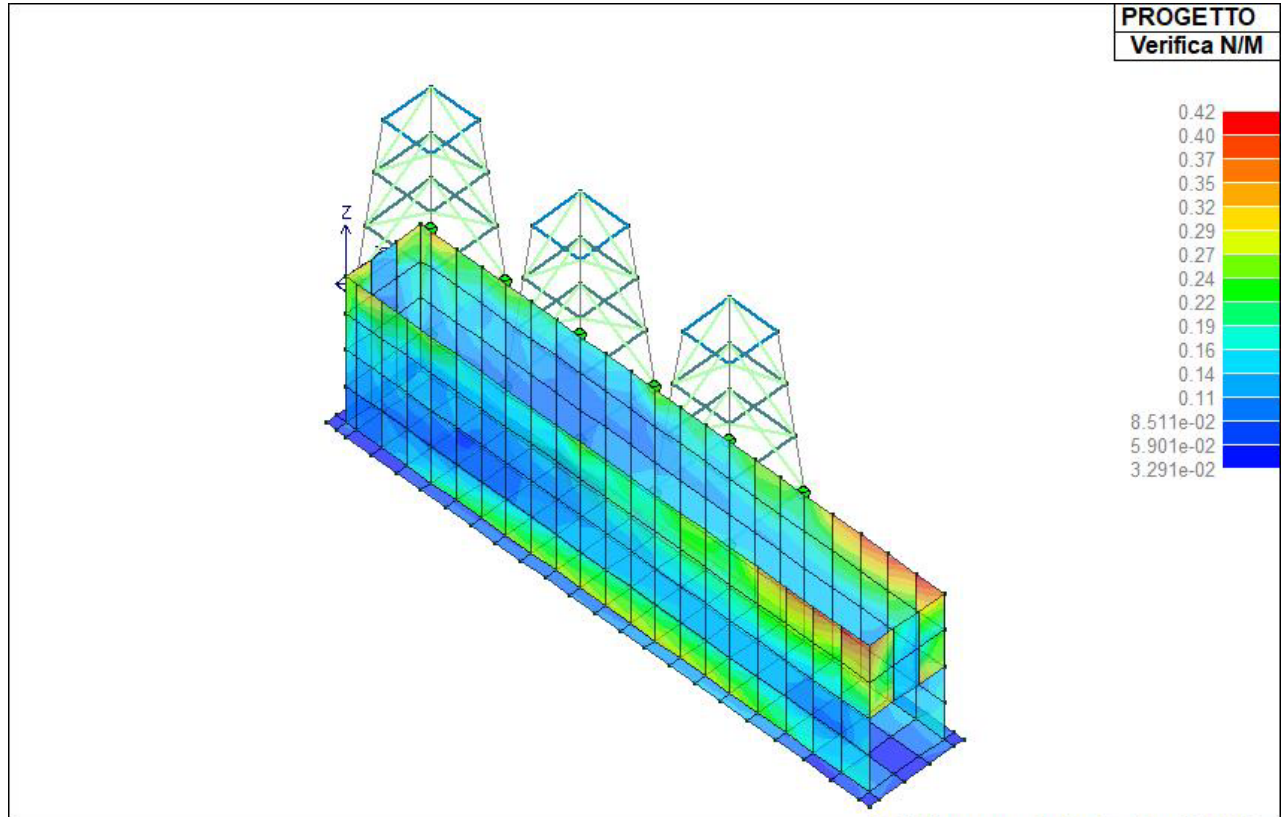


Figura 35 – Verifica M/N fondazione arrivo cavi MT.

PLINTO TVI

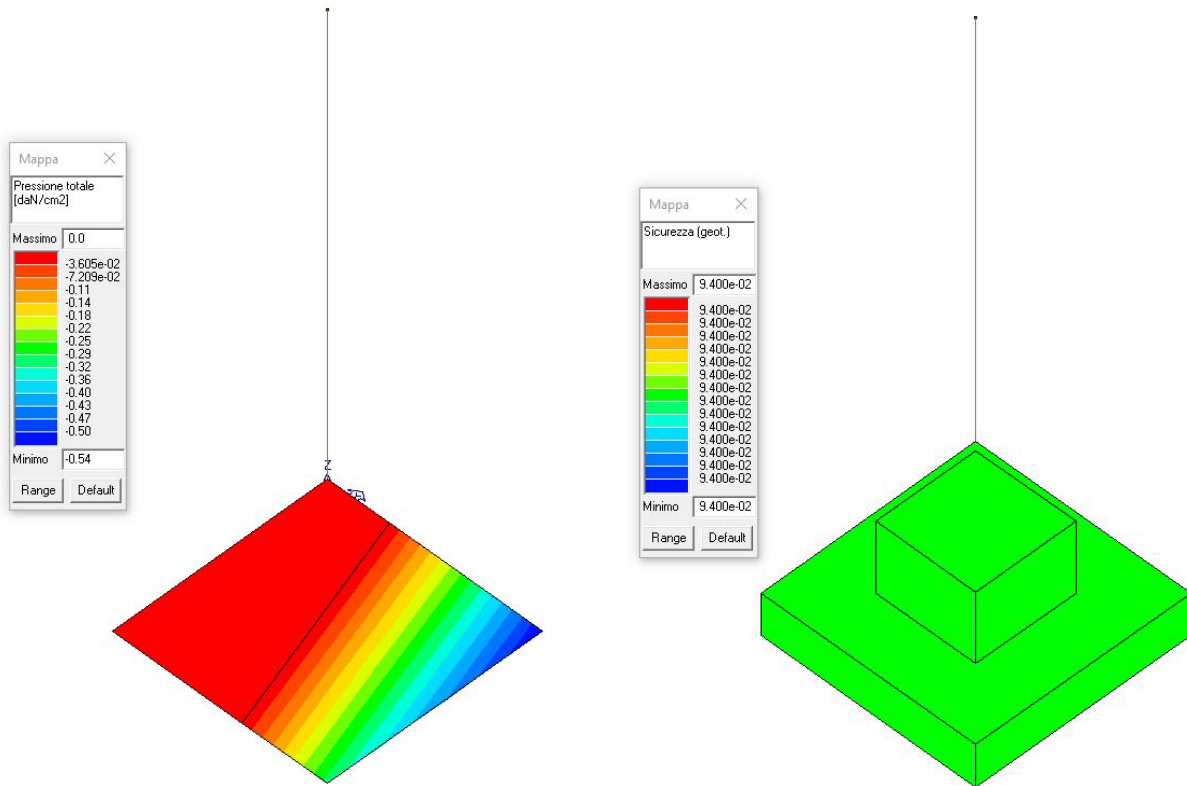


Figura 37 – Verifica plinto TVI.

PLINTO TVC

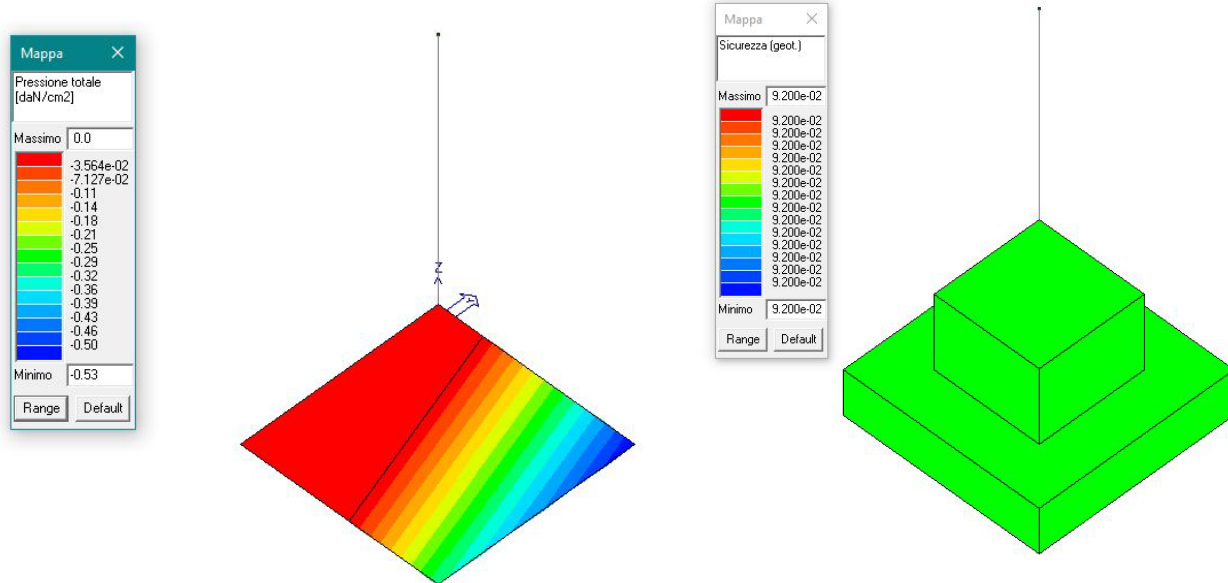


Figura 38 – Verifica plinto TVC.

PLINTO TA

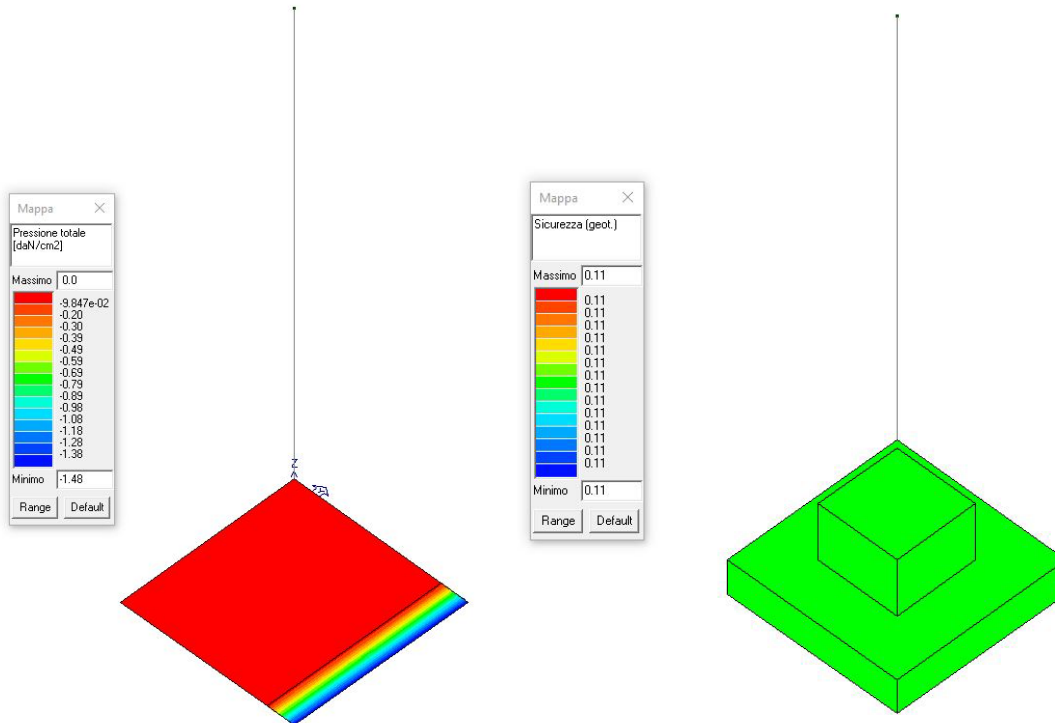


Figura 39 – Verifica plinto TA.

FONDAZIONE SEZIONATORE ORIZZONTALE

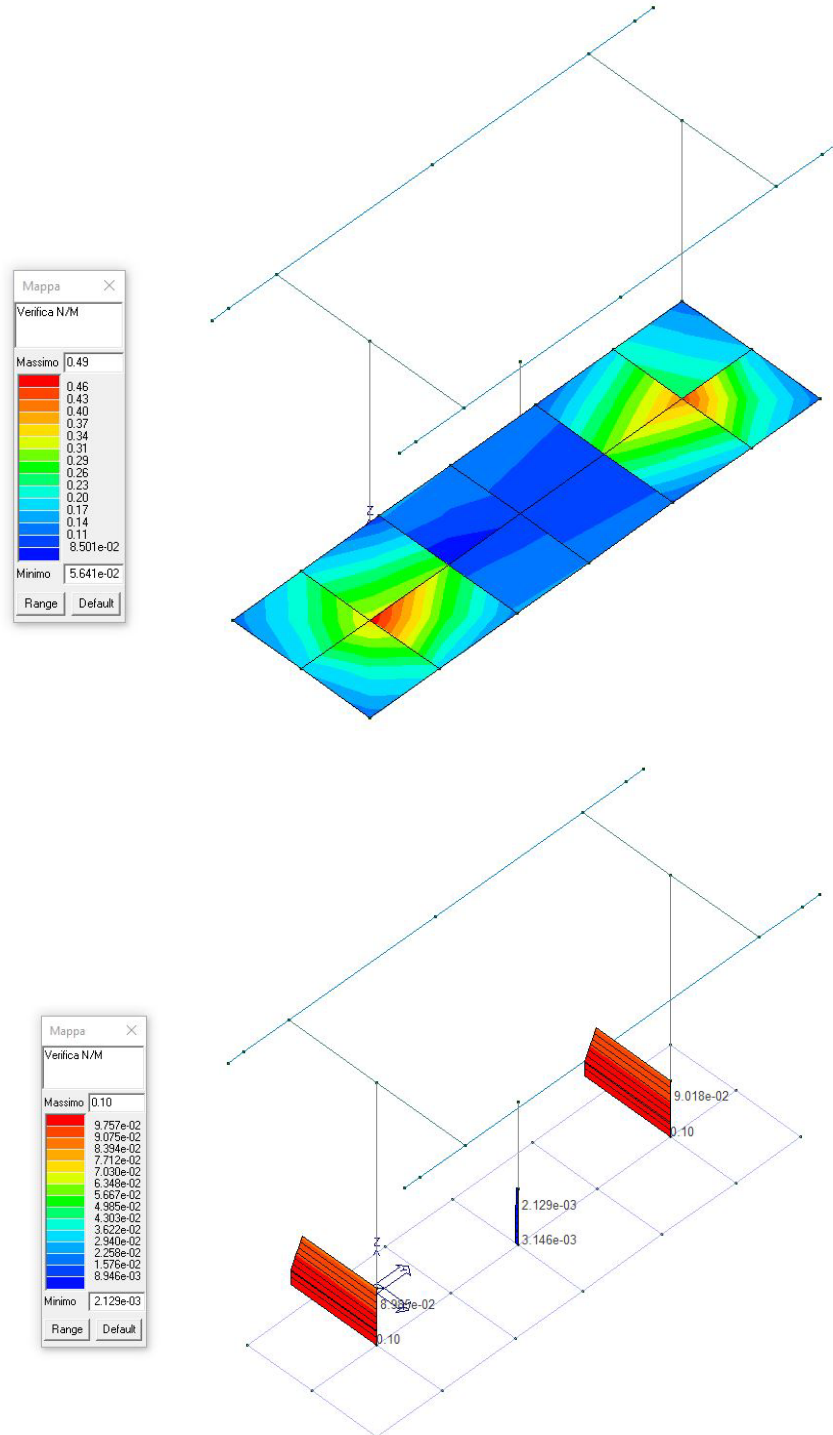


Figura 40 – Verifiche N/M sezionatore orizzontale.

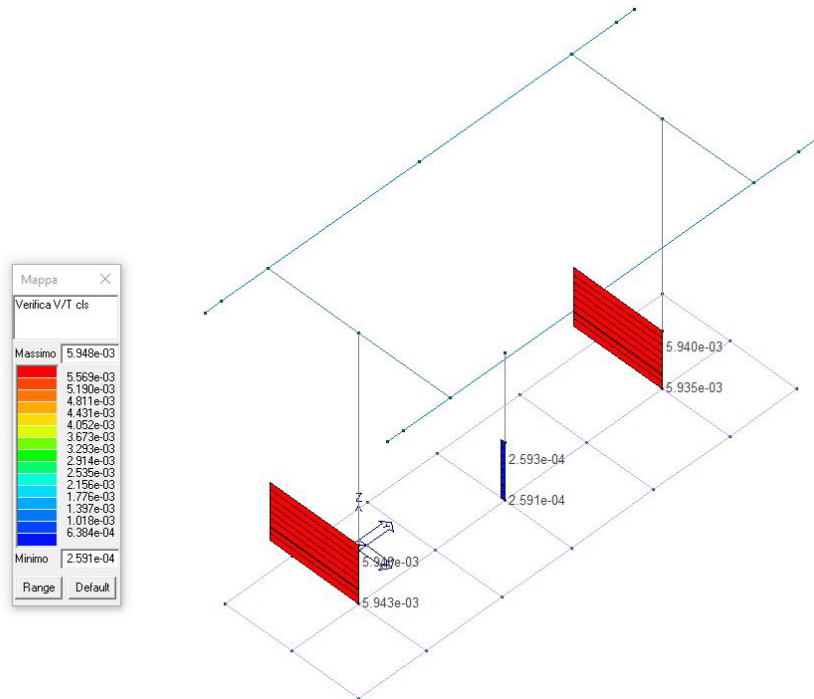


Figura 41 – Verifiche V/T sezionatore orizzontale.

FONDAZIONE INTERRUTTORE TRIPOLARE

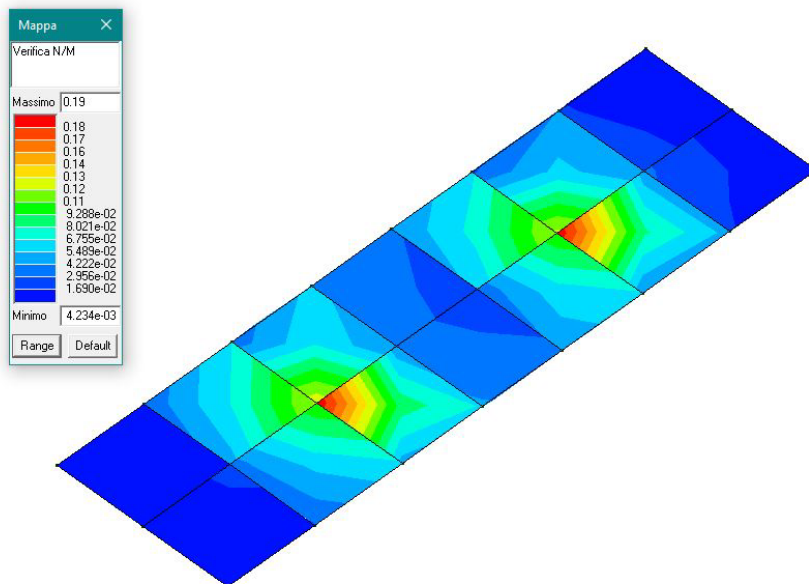


Figura 42 – Verifica N/M Interruttore tripolare.

FONDAZIONE TR

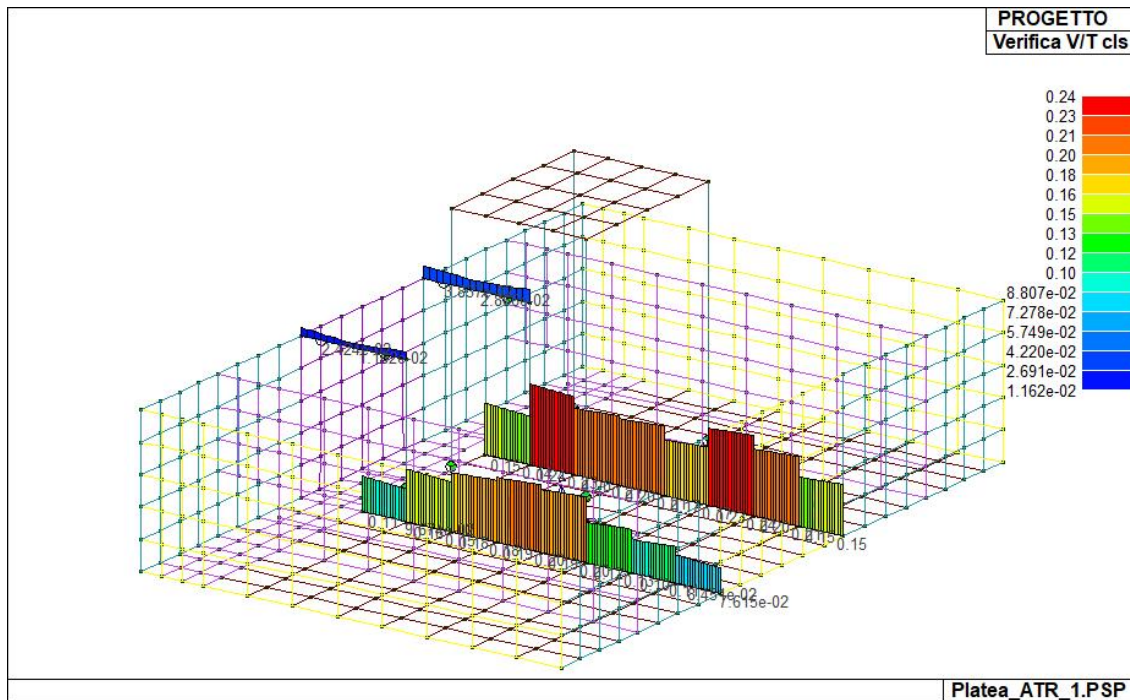
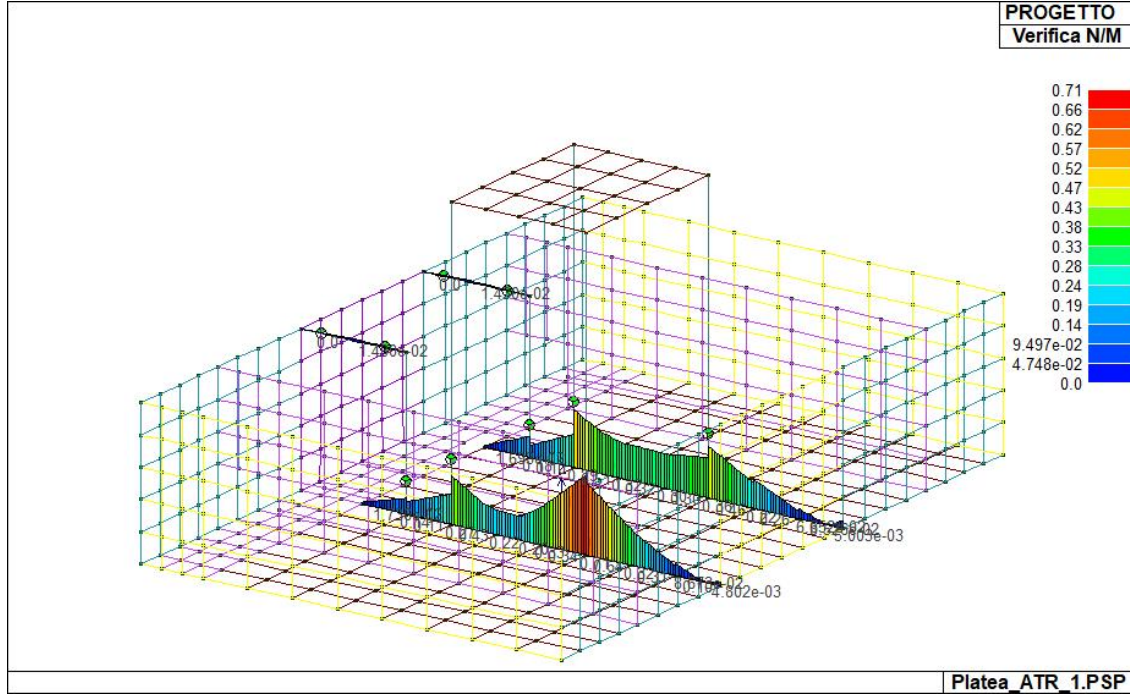


Figura 43 – Verifica N/M e V/T TR.

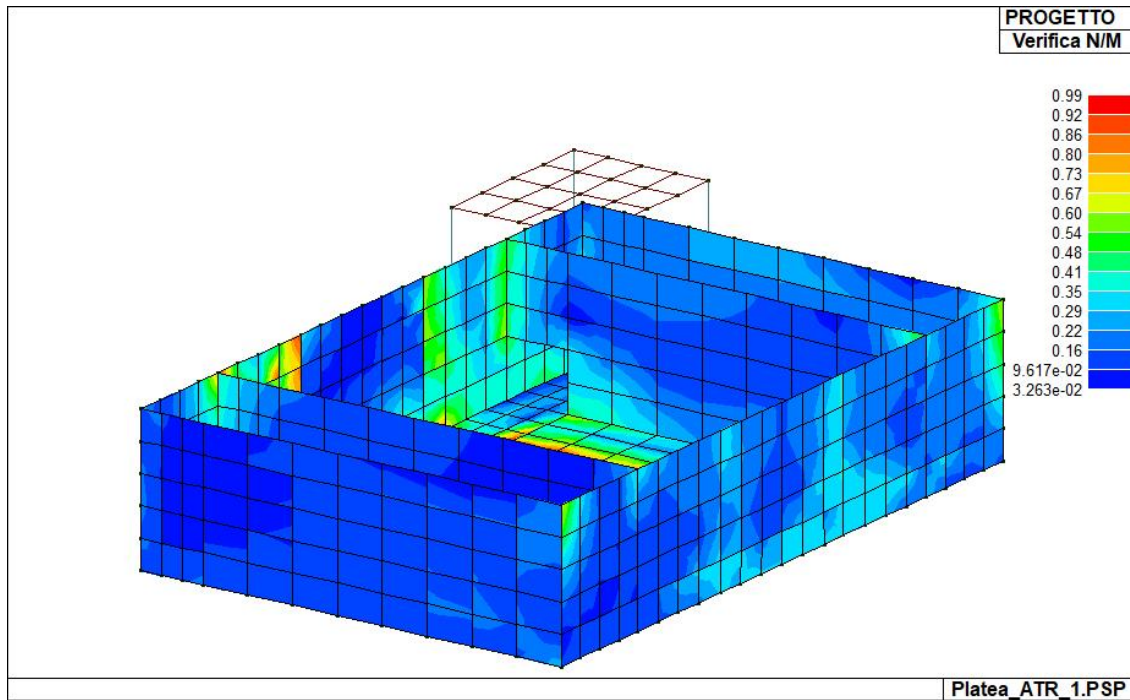


Figura 44 – Verifica N/M TR.

PLINTI PORTALE SBARRA

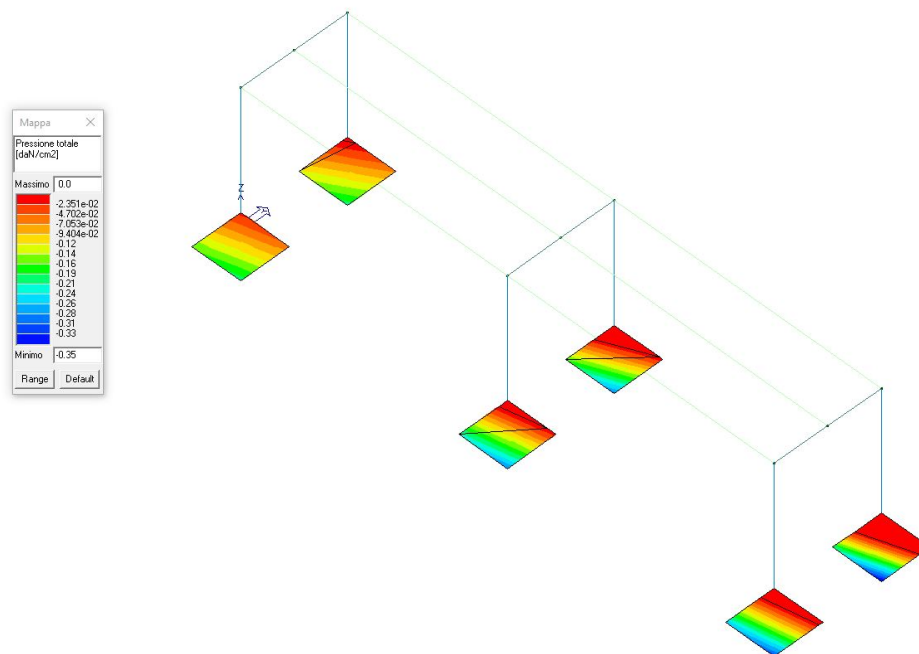


Figura 45 – Verifica Plinti Portale sbarra.

EDIFICIO UTENTE

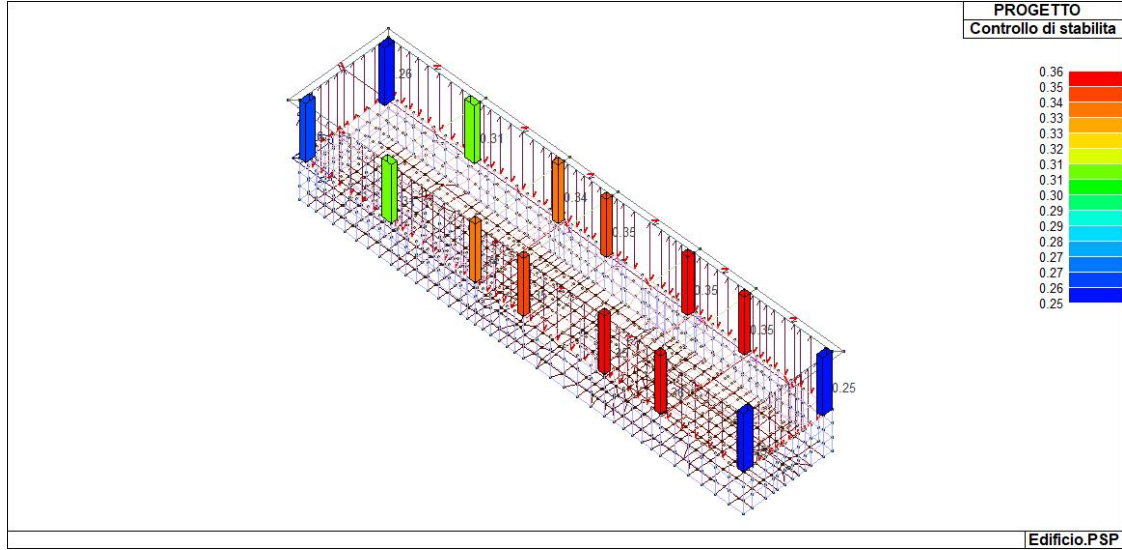


Figura 46 – Verifica di stabilità pilastri edificio utente.

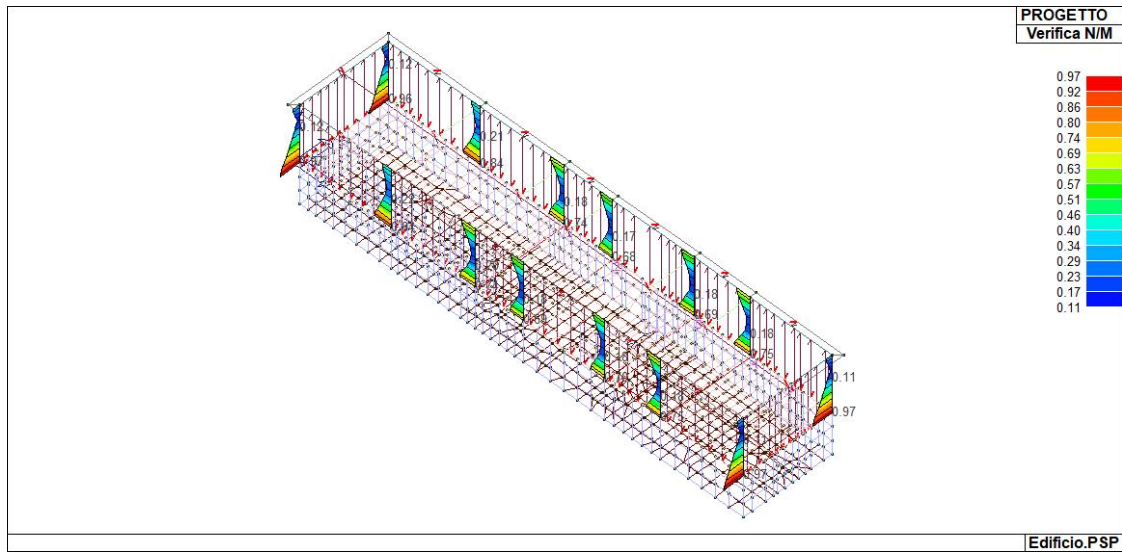


Figura 47 – Verifica N/M pilastri edificio utente.

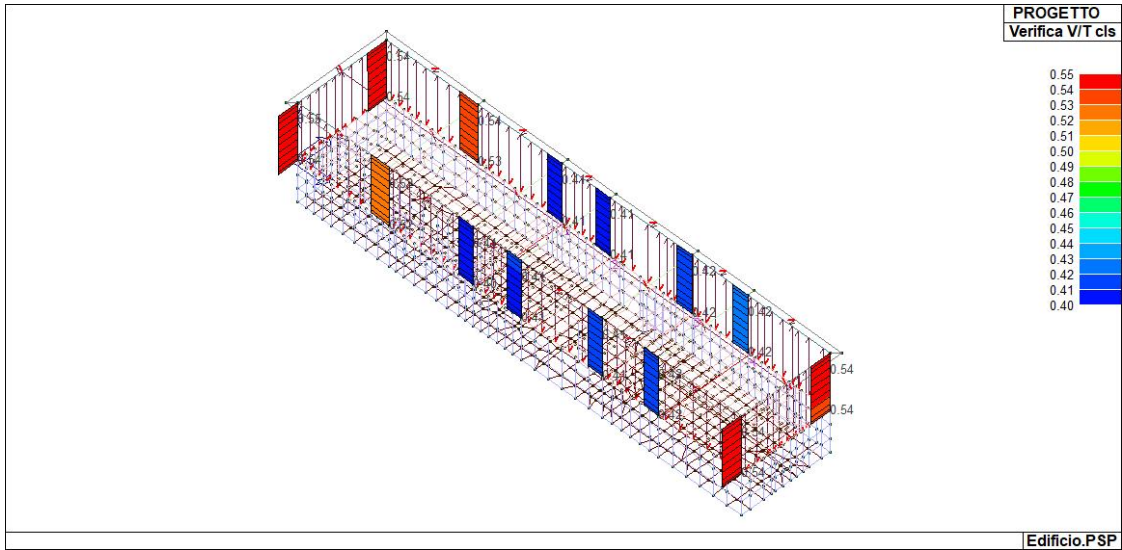


Figura 48 – Verifica V/T pilastri edificio utente.

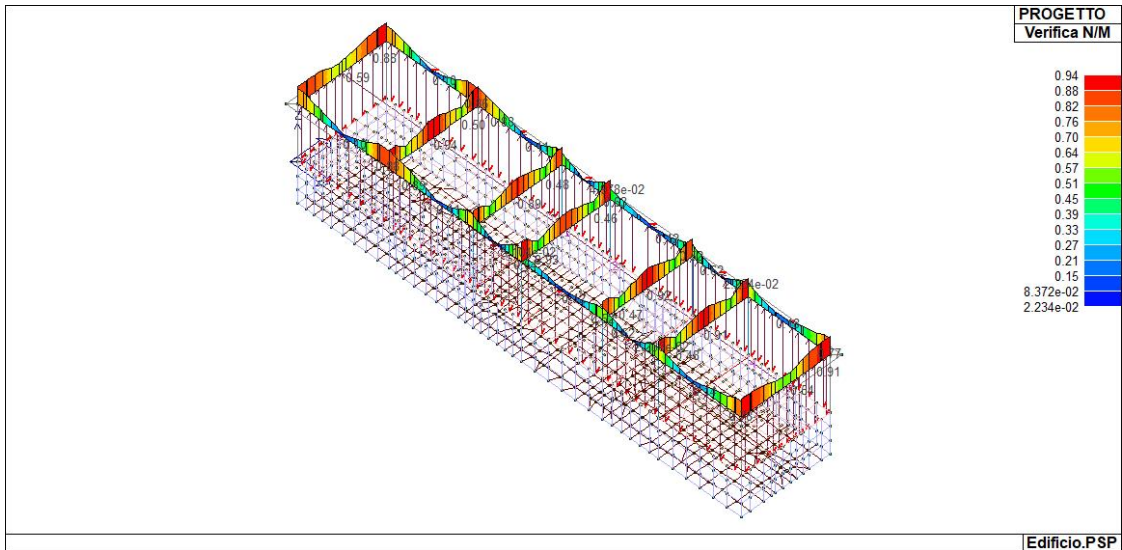


Figura 49 – Verifica N/M travi edificio utente.

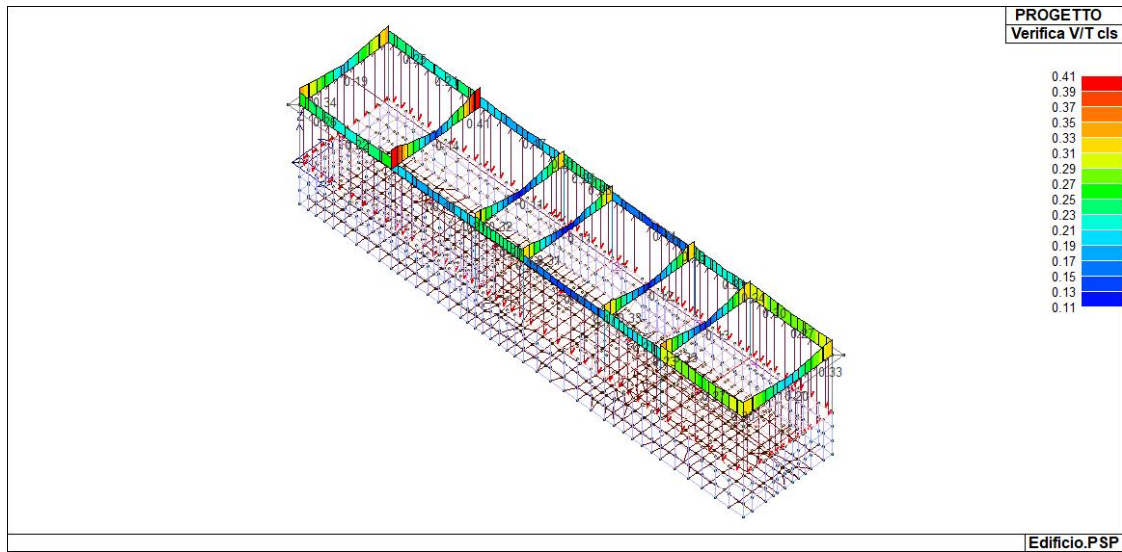


Figura 50 – Verifica V/T travi edificio utente.

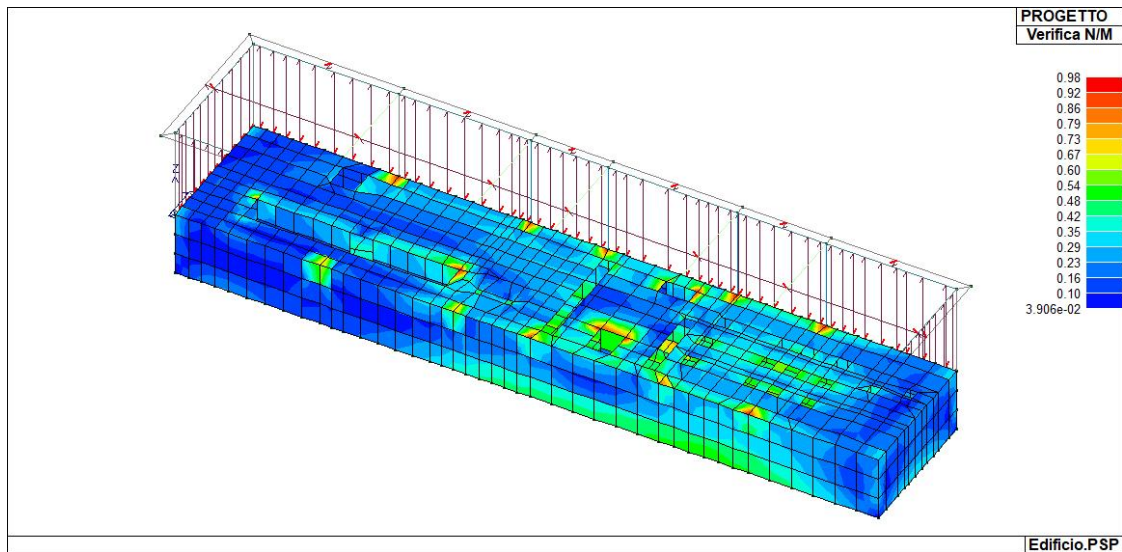


Figura 51 – Verifica N/M fondazione edificio utente.

PLINTO ISOLATORE

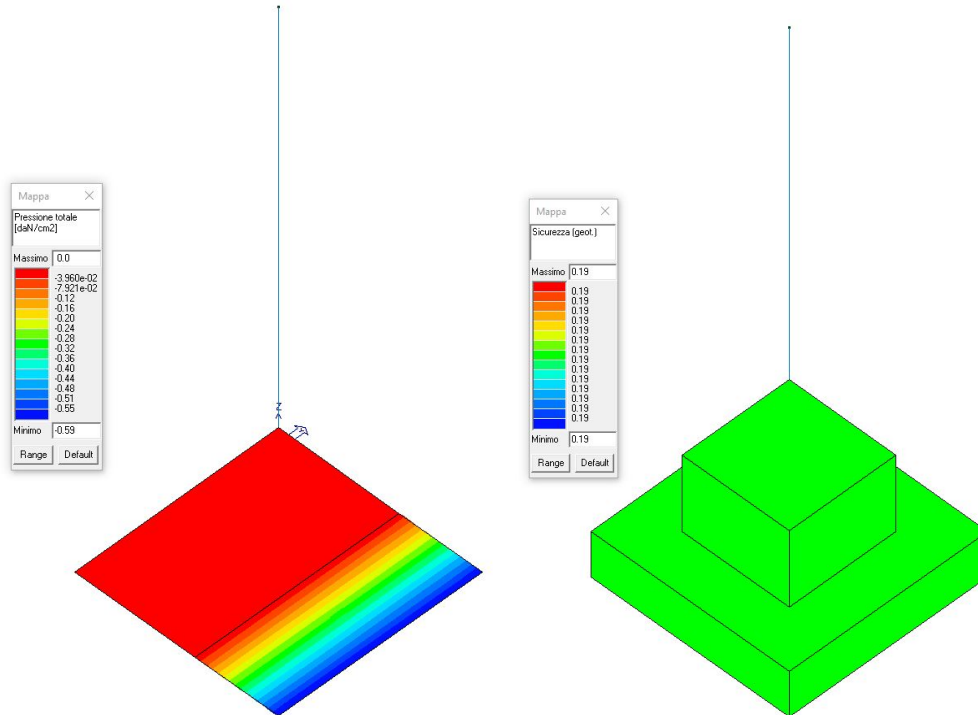



Figura 52 – Verifica Plinto Isolatore.

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	15/04/2021
		Data ultima modifica	19/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	59 di 74

10. CALCOLO DELLE FONDAZIONI

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.

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_Q	0,00	0,00
	Sfavorevole		1,50	1,30

Tabella 6 – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni - Tabella 6.2.I del D.M. 2018

10.1 Carico limite di fondazioni superficiali su terreni


Per la determinazione del carico limite del complesso terreno-fondazione (inteso come valore asintotico del diagramma carico-cedimento) si fa riferimento a due principali meccanismi di rottura: il "meccanismo generale" e quello di "punzonamento". Il primo è caratterizzato dalla formazione di una superficie di scorrimento: il terreno sottostante la fondazione rifluisce lateralmente e verso l'alto, conseguentemente il terreno circostante la fondazione è interessato da un meccanismo di sollevamento ed emersione della superficie di scorrimento. Il secondo meccanismo è caratterizzato dall'assenza di una superficie di scorrimento ben definita: il terreno sotto la fondazione si comprime ed in corrispondenza della superficie del terreno circostante la fondazione si osserva un abbassamento generalizzato. Quest'ultimo meccanismo non consente una precisa individuazione del carico limite in quanto la curva cedimenti-carico applicato non raggiunge mai un valore asintotico ma cresce indefinitamente. Vesic ha studiato il fenomeno della rottura per punzonamento assimilando il terreno ad un mezzo elasto-plastico e la rottura per carico limite all'espansione di una cavità cilindrica. In questo caso il fenomeno risulta retto da un indice di rigidezza "I_r" così definito:

$$I_r = \frac{G}{c' + \sigma' \cdot \tan(\varphi)}$$

Per la determinazione del modulo di rigidezza a taglio si utilizzeranno le seguenti relazioni:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}; \quad E = E_{ed} \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu}; \quad \nu = \frac{k_0}{1 + k_0}; \quad k_0 = 1 - \sin(\varphi).$$

L'indice di rigidezza viene confrontato con l'indice di rigidezza critico "I_{r,crit}":

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	15/04/2021
		Data ultima modifica	19/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	60 di 74

$$I_{r,crit} = \frac{e^{\left[\left(3.3 - 0.45 \frac{B}{L} \right) \cdot \text{ctg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \right]}}{2}$$

La rottura per punzonamento del terreno di fondazione avviene quando l'indice di rigidezza è minore di quello critico. Tale teoria comporta l'introduzione di coefficienti correttivi all'interno della formula trinomia del carico limite detti "coefficienti di punzonamento" i quali sono funzione dell'indice di rigidezza, dell'angolo d'attrito e della geometria dell'elemento di fondazione. La loro espressione è la seguente:

- se $I_r < I_{r,crit}$ si ha :

$$\Psi_\gamma = \Psi_q = e^{\left[\left(0.6 \frac{B}{L} - 4.4 \right) \text{tg}(\varphi) + \frac{3.07 \cdot \text{sen}(\varphi) \log_{10}(2 \cdot I_r)}{1 + \text{sen}(\varphi)} \right]} \quad \text{se } \varphi = 0 \Rightarrow \Psi_\gamma = \Psi_q = 1$$

$$\Psi_c = \Psi_q - \frac{1 - \Psi_q}{N_c \cdot \text{tg}(\varphi)} \quad \text{se } \varphi = 0 \Rightarrow \Psi_c = 0.32 + 0.12 \cdot \frac{B}{L} + 0.6 \cdot \log_{10}(I_r)$$

- se $I_r > I_{r,crit}$ si ha che $\Psi_\gamma = \Psi_q = \Psi_c = 1$.

Il significato dei simboli adottati nelle equazioni sopra riportate è il seguente:

- E_{ed} modulo edometrico del terreno sottostante la fondazione
- ν coefficiente di Poisson del terreno sottostante la fondazione
- k_0 coefficiente di spinta a riposo del terreno sottostante la fondazione
- φ angolo d'attrito efficace del terreno sottostante il piano di posa
- c' coesione (espressa in termini di tensioni efficaci)
- σ' tensione litostatica effettiva a profondità $D+B/2$
- L luce delle singole travi di fondazione
- D profondità del piano di posa della fondazione a partire dal piano campagna
- B larghezza della trave di fondazione


Definito il meccanismo di rottura, il calcolo del carico limite viene eseguito modellando il terreno come un mezzo rigido perfettamente plastico con la seguente espressione:

$$q_{ult} = \gamma_1 \cdot D \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot \Psi_q + c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot \Psi_c + \gamma_2 \cdot \frac{B}{2} \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot \Psi_\gamma \cdot r_\gamma$$

Il significato dei termini presenti nella relazione trinomia sopra riportata è il seguente:

- N_q, N_c, N_γ , fattori adimensionali di portanza funzione dell'angolo d'attrito interno φ del terreno
- s_q, s_c, s_γ , coefficienti che rappresentano il fattore di forma
- d_q, d_c, d_γ , coefficienti che rappresentano il fattore dell'approfondimento
- i_q, i_c, i_γ , coefficienti che rappresentano il fattore di inclinazione del carico
- γ_1 peso per unità di volume del terreno sovrastante il piano di posa
- γ_2 peso per unità di volume del terreno sottostante il piano di posa

Per fondazioni aventi larghezza modesta si dimostra che il terzo termine non aumenta indefinitamente e per

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	15/04/2021
		Data ultima modifica	19/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	61 di 74

valori elevati di "B", sia secondo Vesic che secondo de Beer, il valore limite è prossimo a quello di una fondazione profonda. Bowles per fondazioni di larghezza maggiore di 2.00 metri propone il seguente fattore riduttivo:

$$r_\gamma = 1 - 0.25 \cdot \log_{10} \left(\frac{B}{2} \right) \quad \text{dove "B" va espresso in metri.}$$

Questa relazione risulta particolarmente utile per fondazioni larghe con rapporto D/B basso (platee e simili), caso nel quale il terzo termine dell'equazione trinomia è predominante.

Nel caso di carico eccentrico Meyerhof consiglia di ridurre le dimensioni della superficie di contatto (Af) tra fondazione e terreno (B, L) in tutte le formule del calcolo del carico limite. Tale riduzione è espressa dalle seguenti relazioni:

$$B_{rid} = B - 2 \cdot e_B \quad L_{rid} = L - 2 \cdot e_L \quad \text{dove } e_B, e_L \text{ sono le eccentricità relative alle dimensioni in esame.}$$

10.2 Verifiche geotecniche

Per le varie tipologie di fondazioni sono di seguito riportati i risultati sotto forma di grafici sintetici. Di seguito i risultati maggiormente significativi.

FONDAZIONI PROFONDE: PALI PER AEROGENERATORE

Come esplicitato al paragrafo 3.1, nel caso in cui le caratteristiche geologiche del terreno non siano idonee ad un tipo di fondazione superficiale, le fondazioni degli aerogeneratori potrebbero essere del tipo indiretto su pali. A titolo di esempio si riportano i risultati derivanti da una simulazione su un palo di fondazione di diametro 1,20 m e di lunghezza di 24 m, per uno dei 7 aerogeneratori.

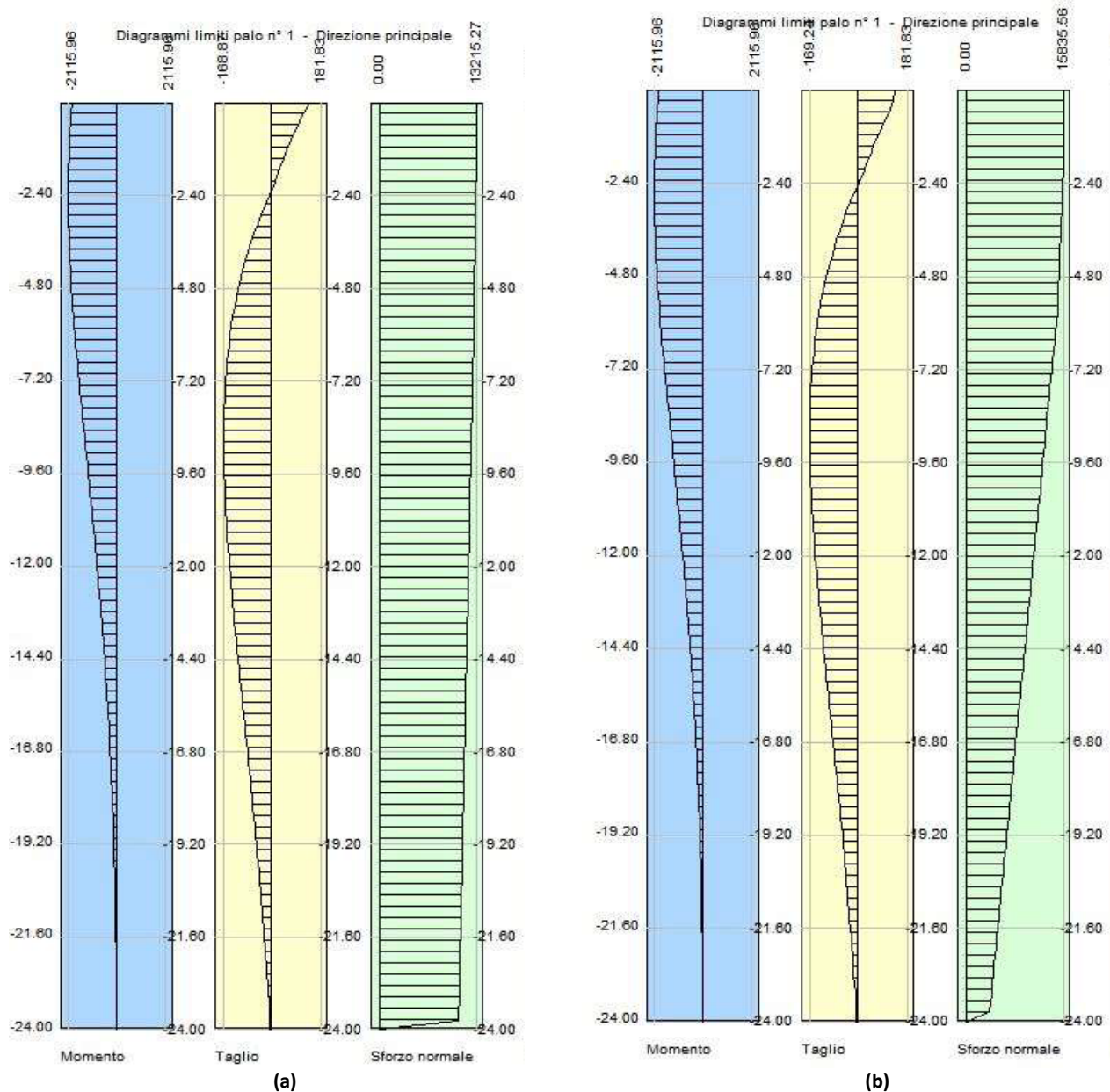



Figura 53 – Sollecitazioni massime per palo aerogeneratore (a) condizioni drenate e (b) condizioni non drenate.

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	15/04/2021
		Data ultima modifica	19/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	63 di 74

FONDAZIONE ARRIVO CAVI MT

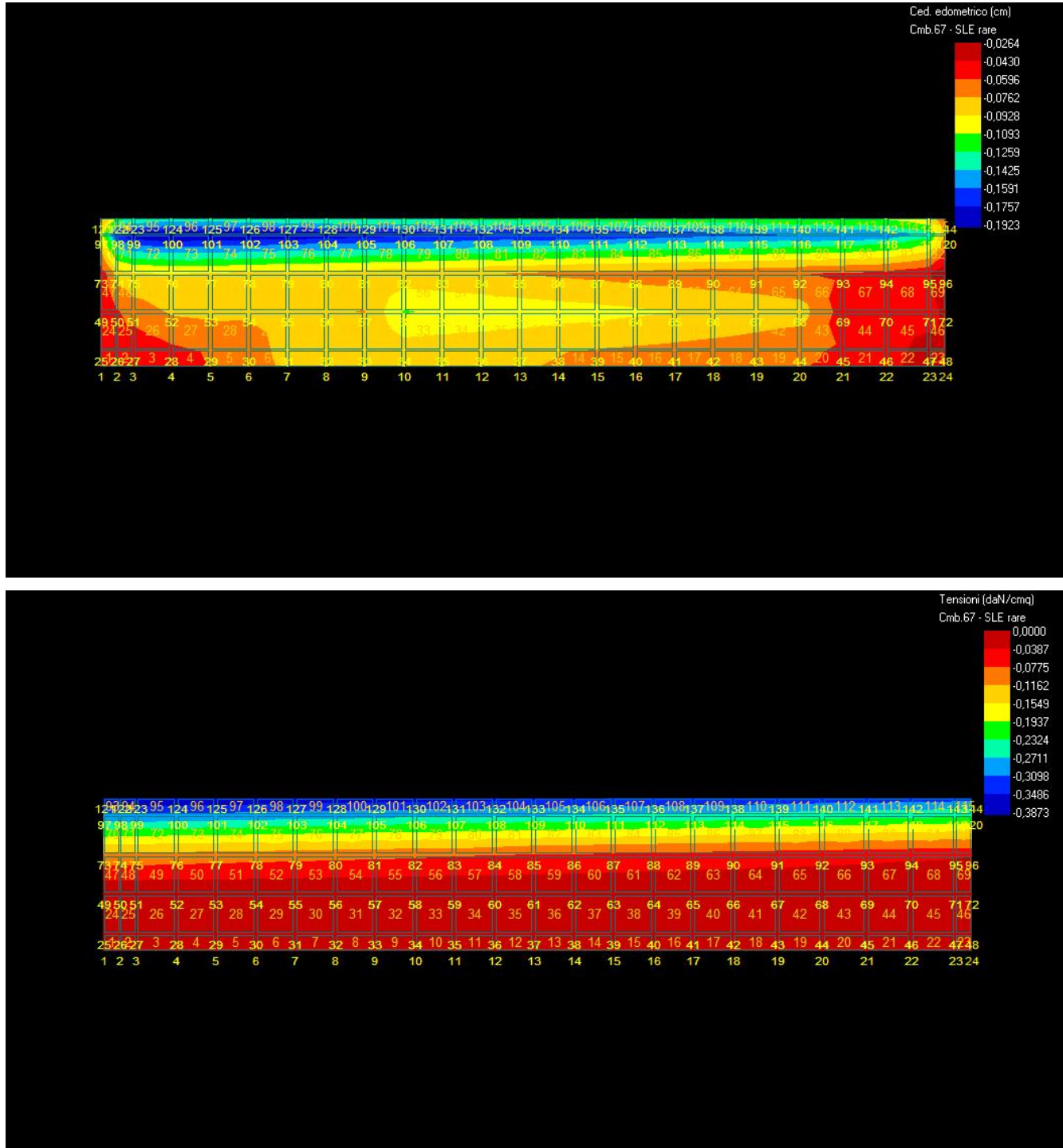



Figura 54 – Verifiche geotecniche fondazione arrivo cavi MT.

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	15/04/2021
		Data ultima modifica	19/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	64 di 74

PLINTO SCARICATORE

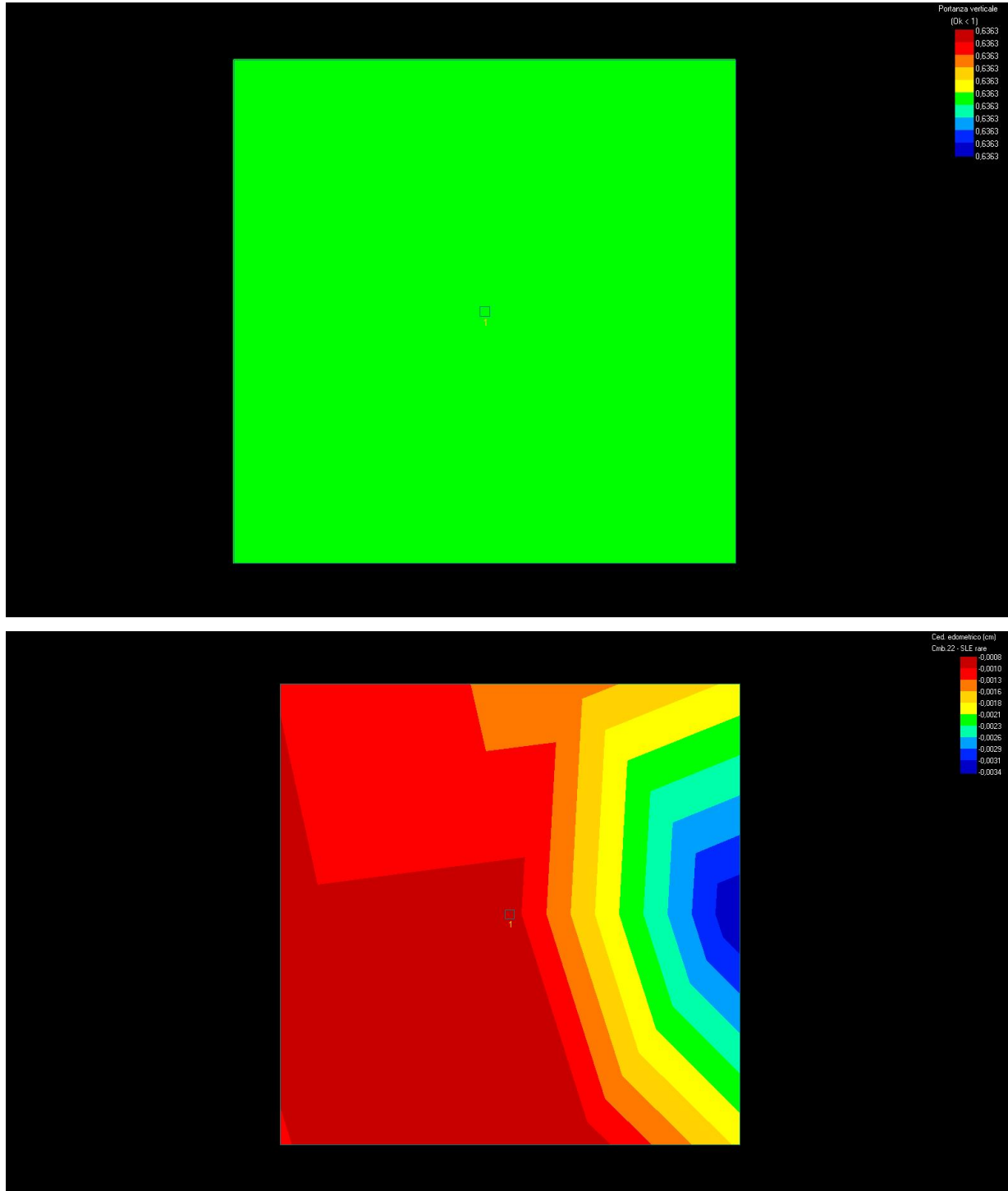


Figura 55 – Verifiche geotecniche plinto Scaricatore.

PLINTO TVI

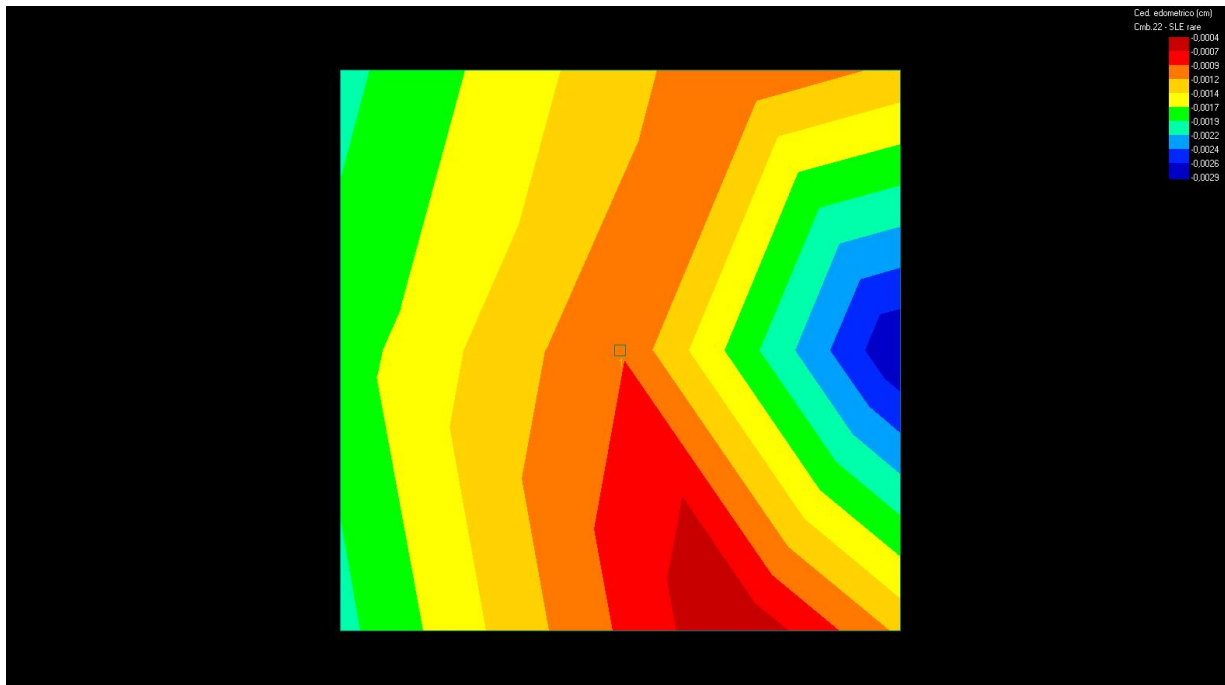
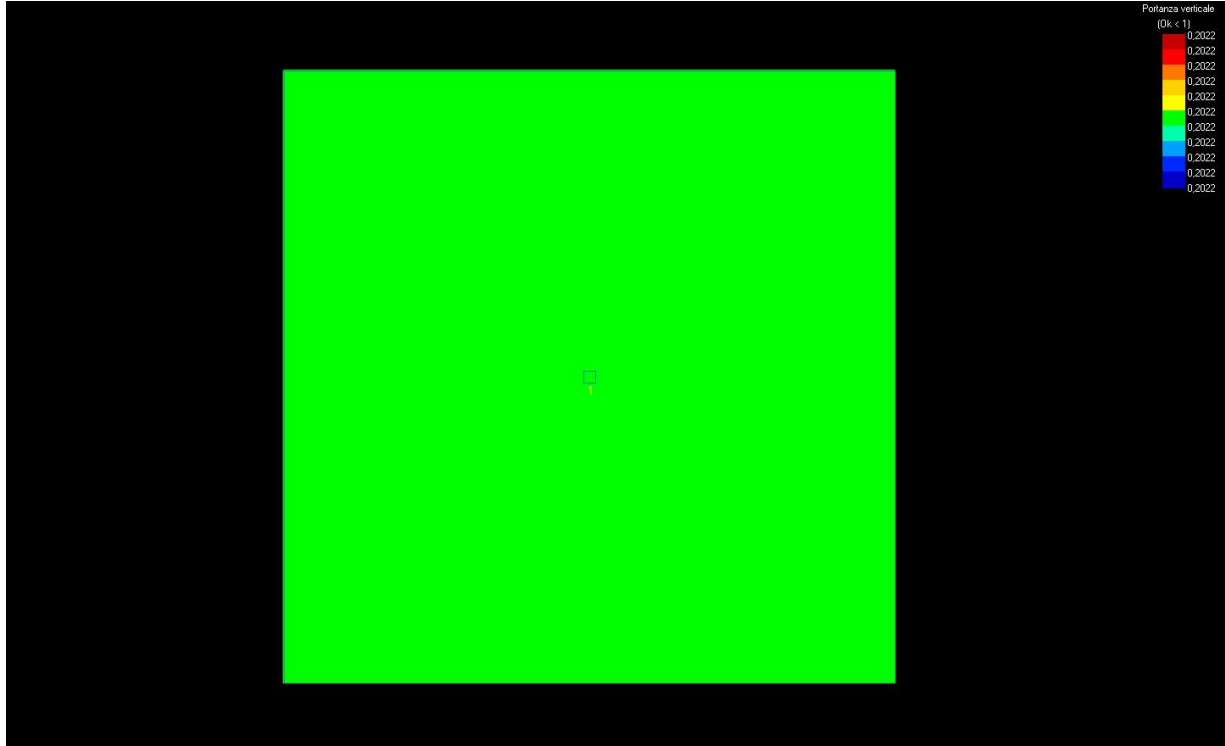


Figura 56 – Verifiche geotecniche plinto TVI.

PLINTO TVC

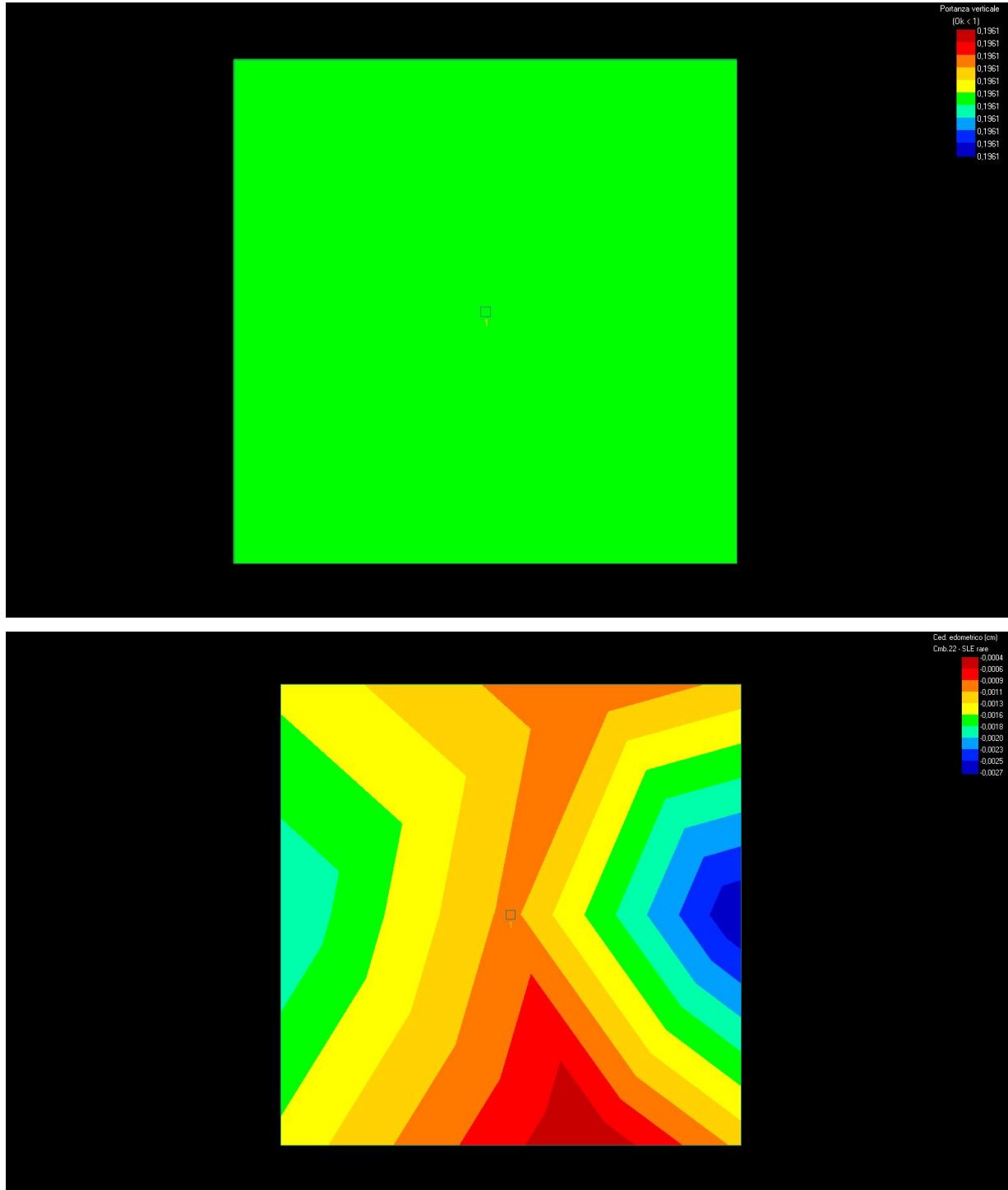


Figura 57 – Verifiche geotecniche plinto TVC.

PLINTO TA

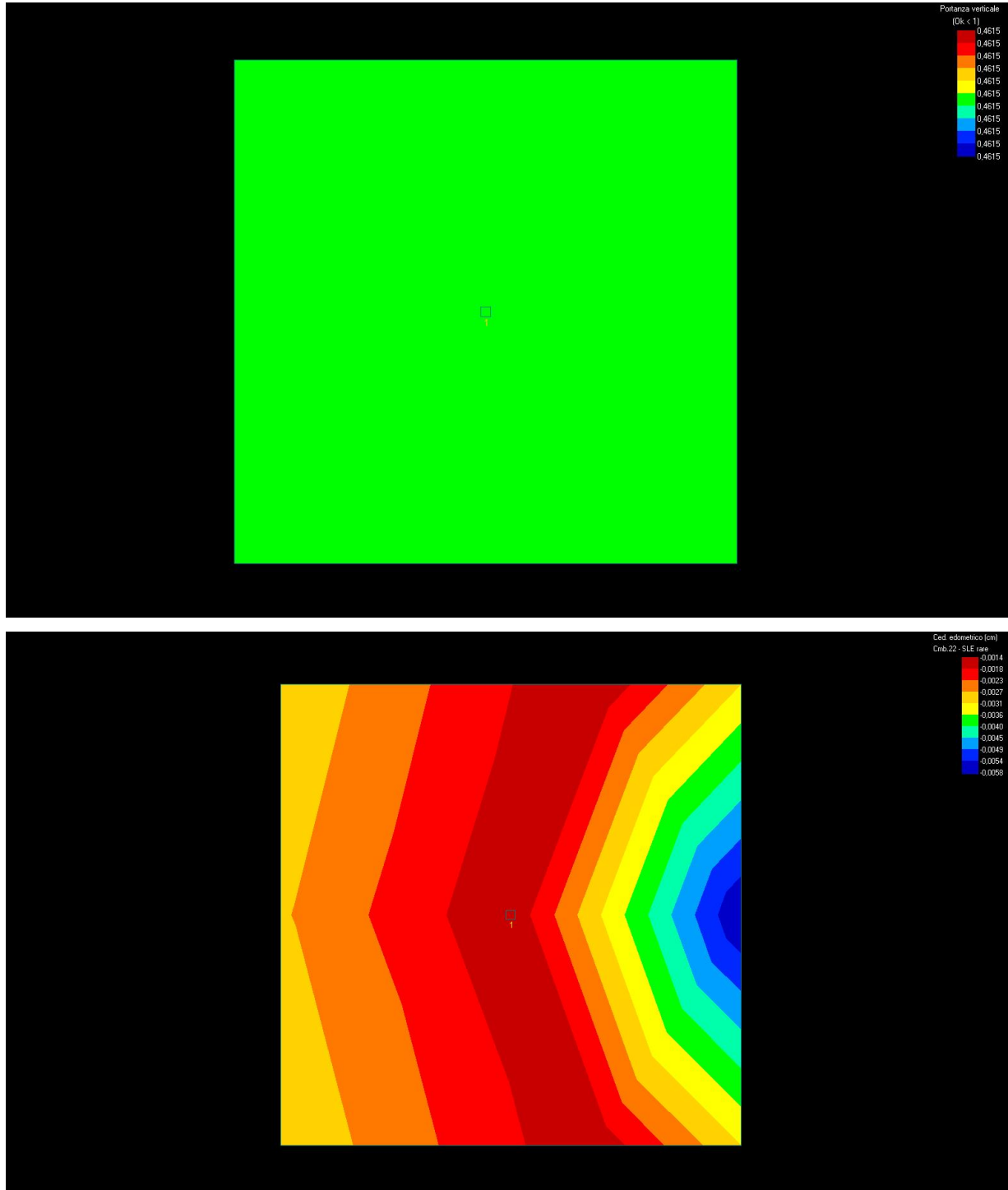


Figura 58 – Verifiche geotecniche plinto TA.

FONDAZIONE SEZIONATORE ORIZZONTALE

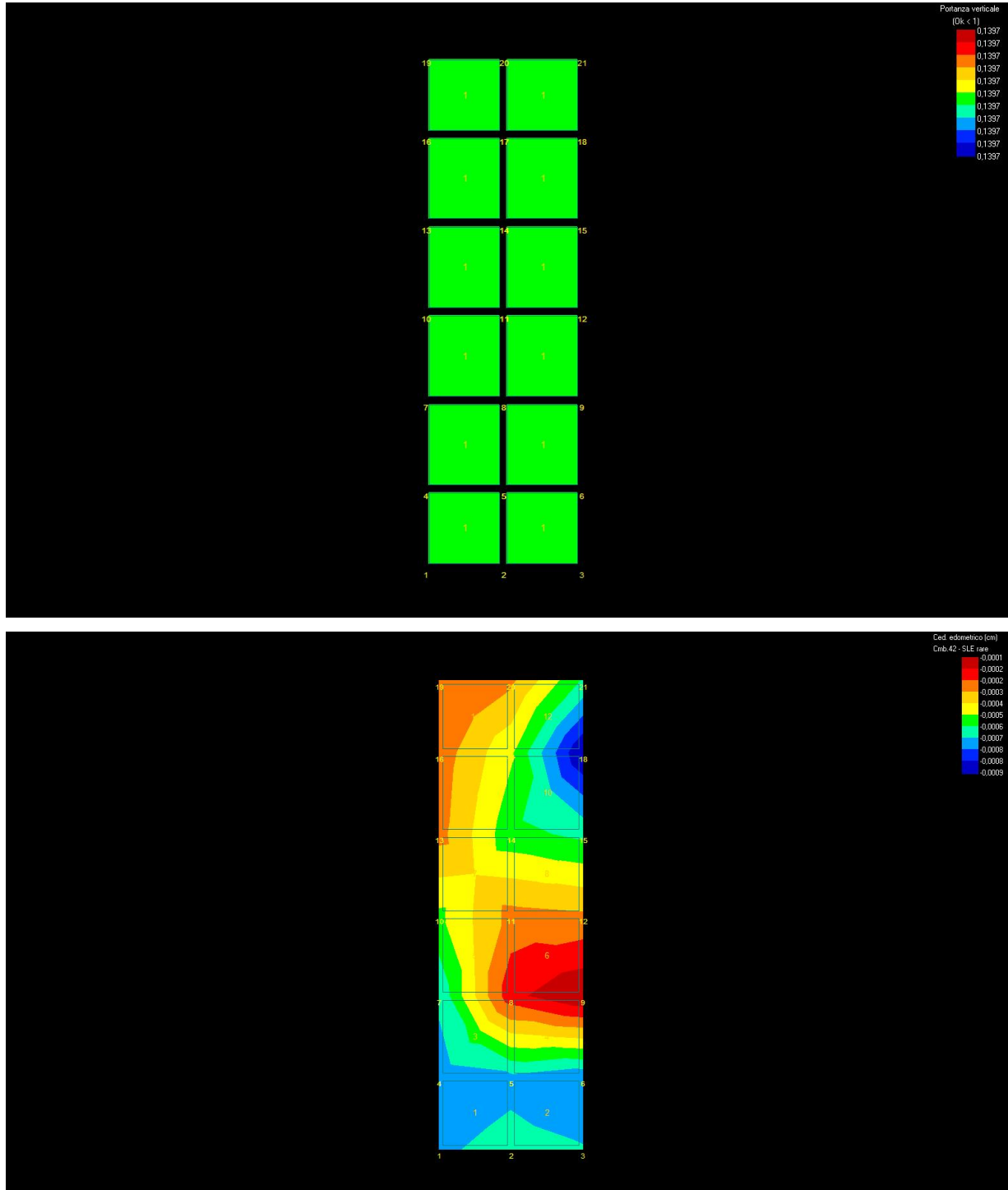


Figura 59 – Verifiche geotecniche fondazione Sezionatore orizzontale.

FONDAZIONE INTERRUTTORE TRIPOLARE

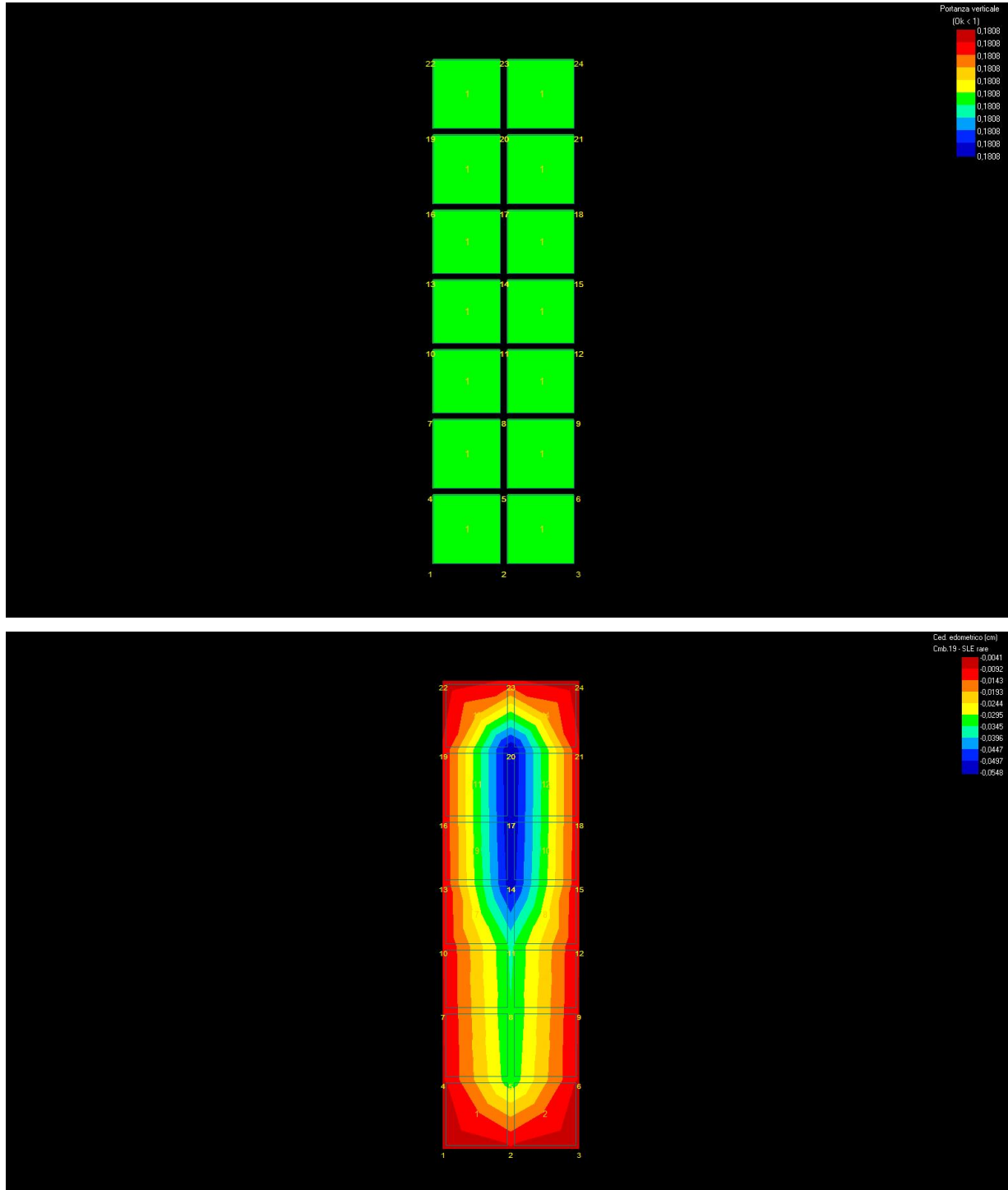


Figura 60 – Verifiche geotecniche fondazione Interruttore tripolare.

FONDAZIONE TR 150/30 KV

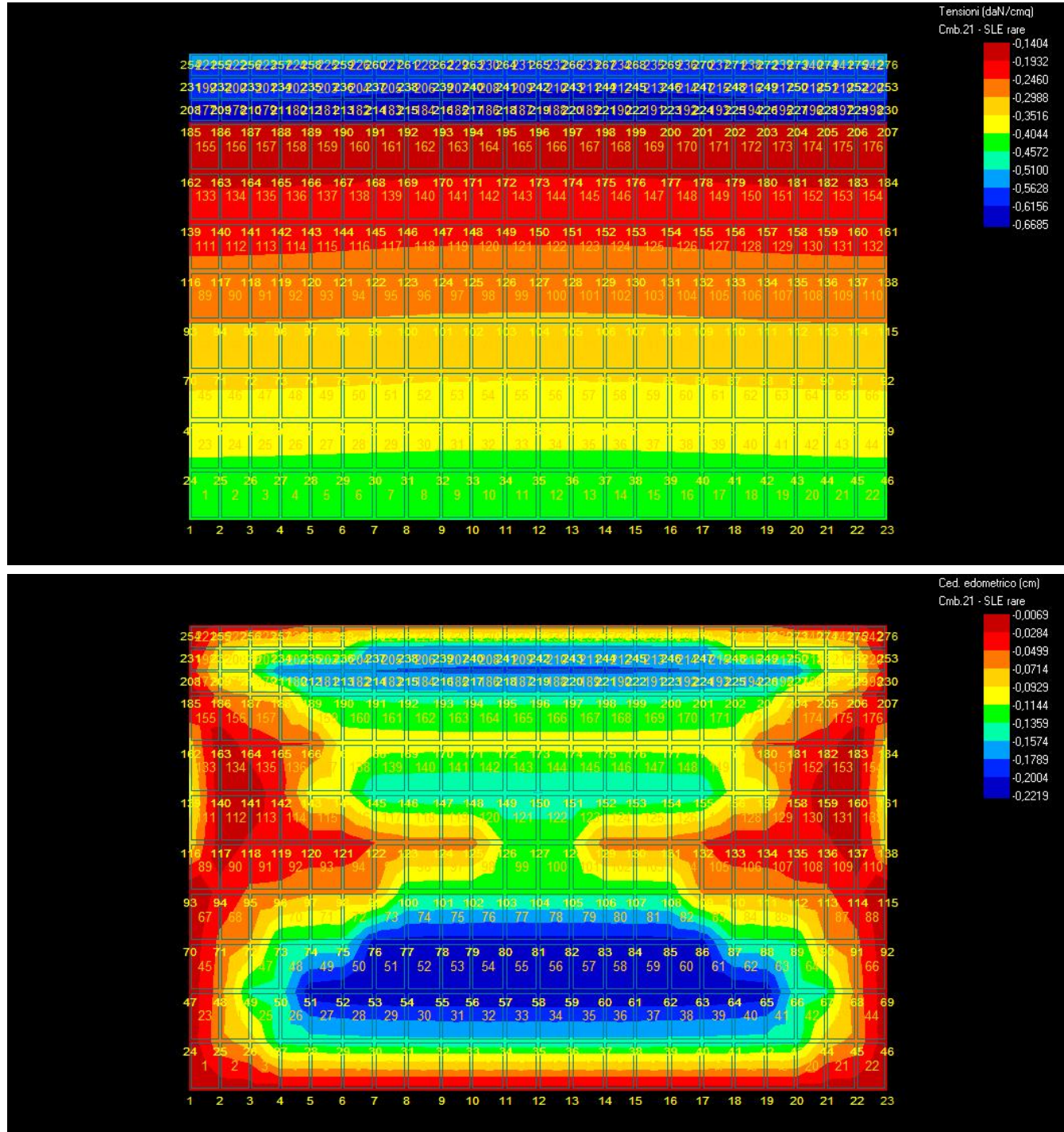



Figura 61 – Verifiche geotecniche fondazione TR 150/30 kV.

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	15/04/2021
		Data ultima modifica	19/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	71 di 74

PLINTI PORTALE SBARRA CON E SENZA L.T.

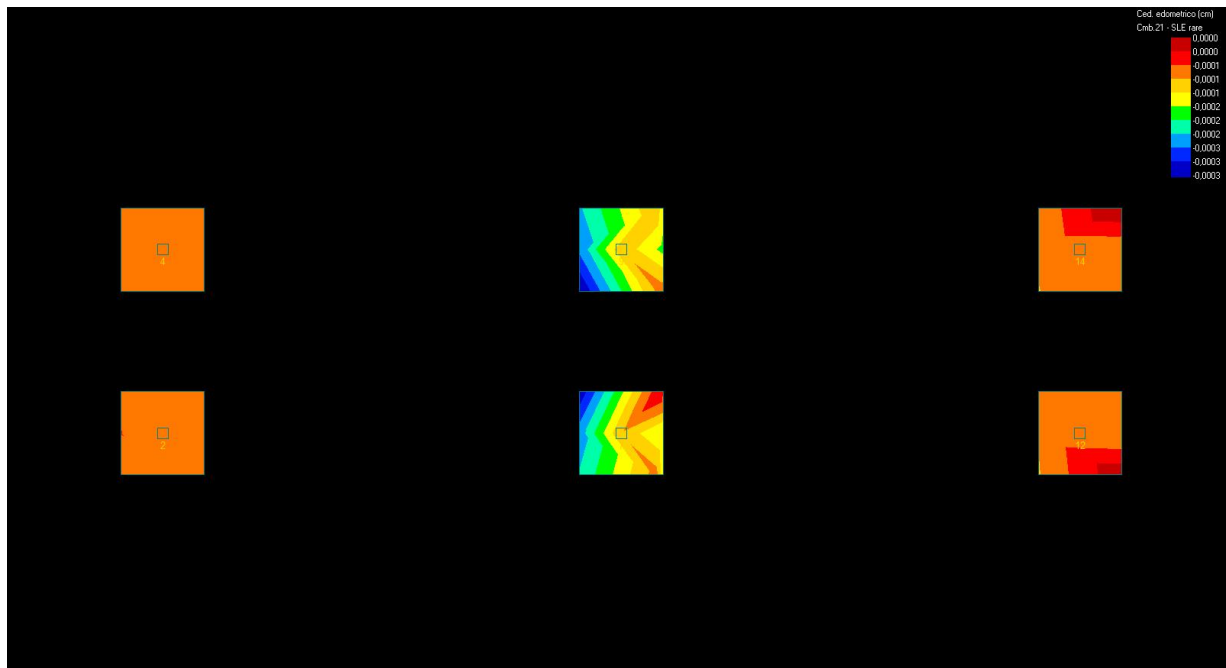
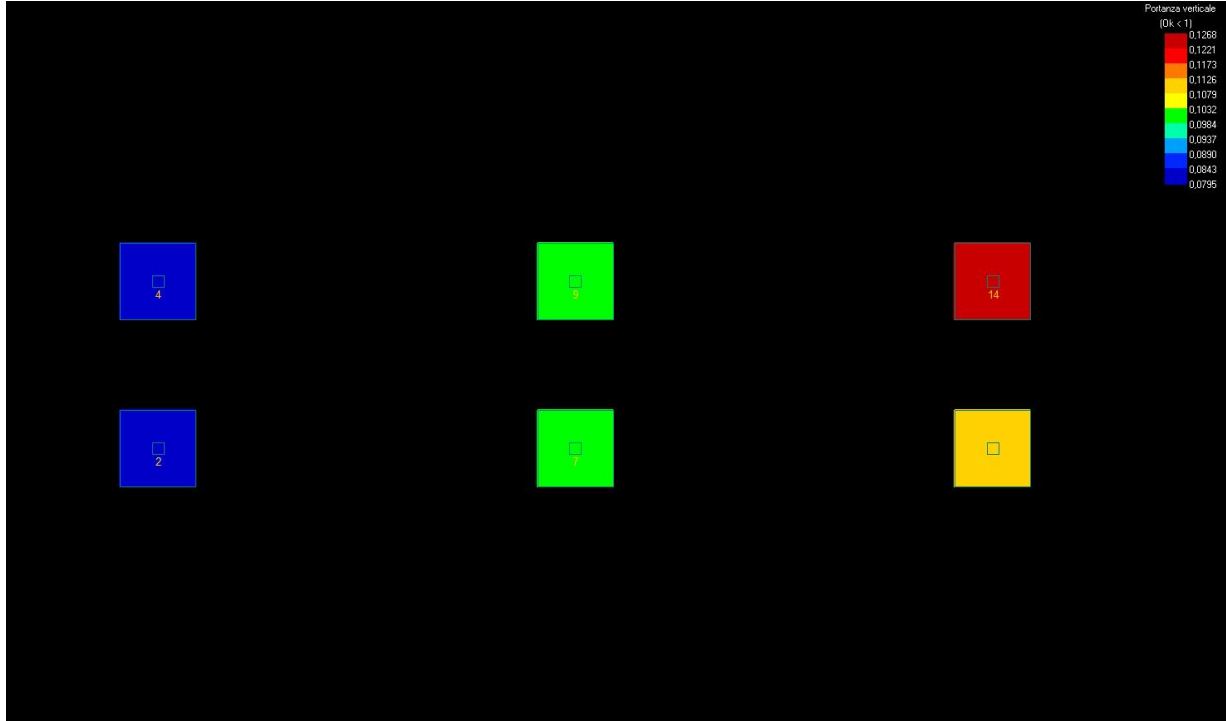


Figura 62 – Verifiche geotecniche plinti portale sbarra.

PLINTO SEZIONATORE VERTICALE

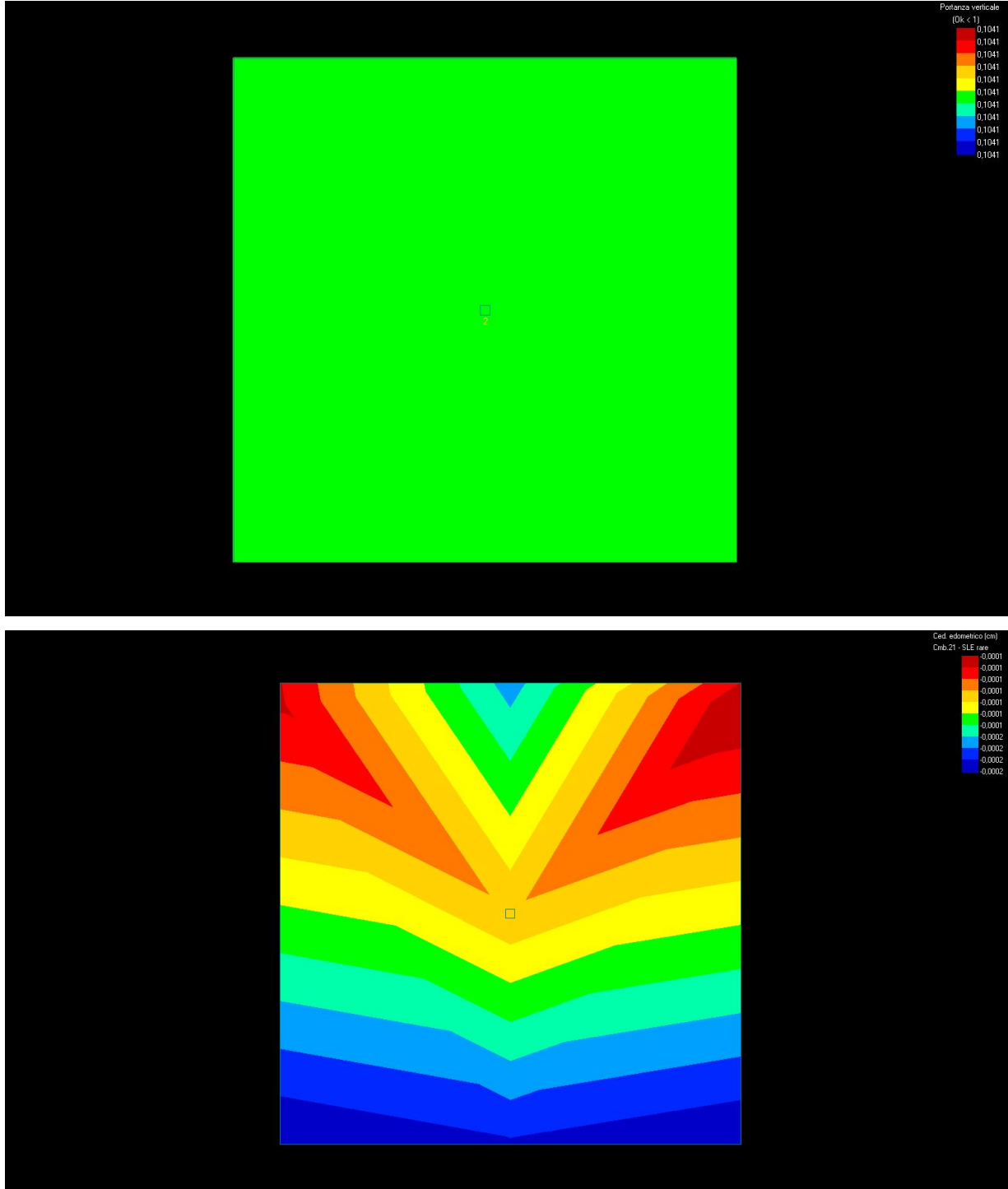


Figura 63 – Verifiche geotecniche plinto Sezionatore verticale.

PLINTO ISOLATORE

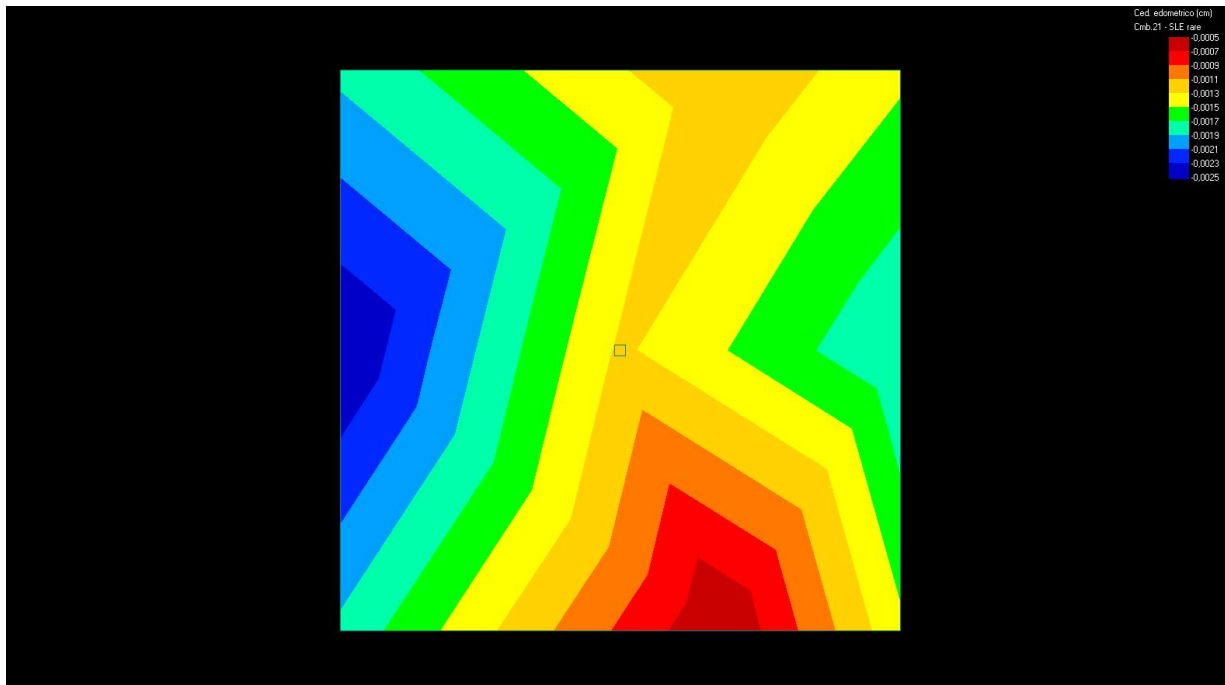
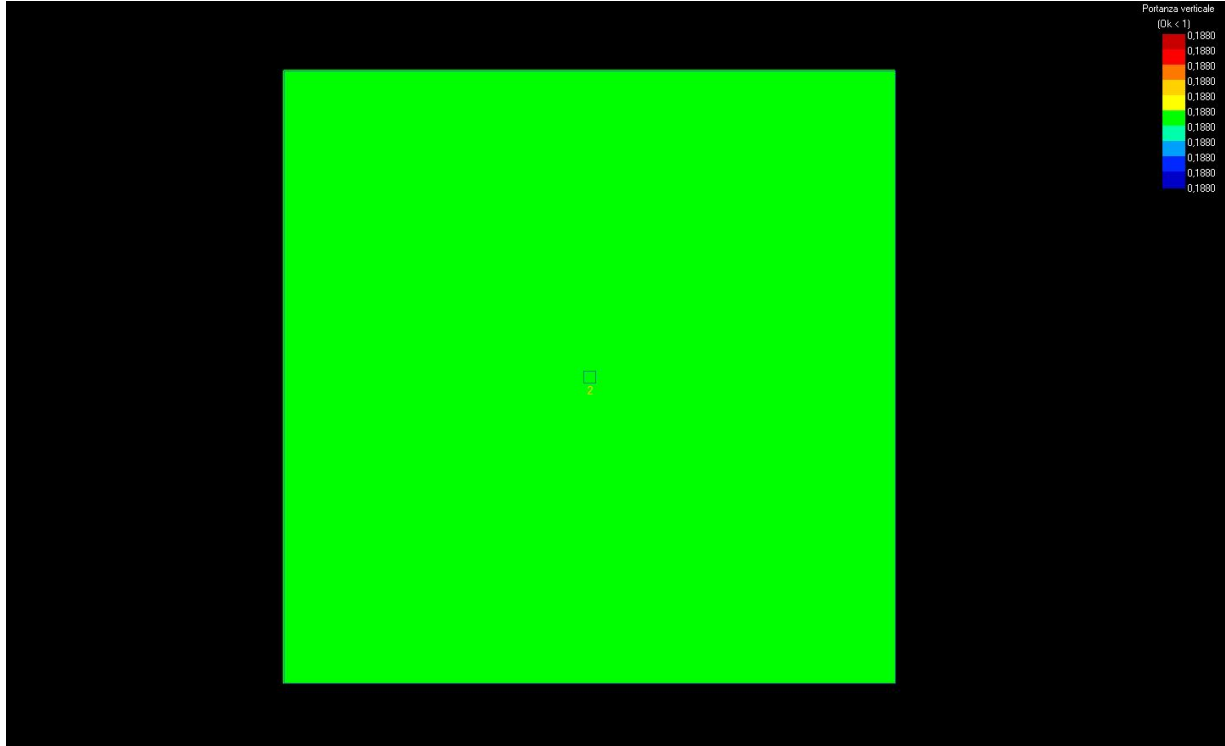


Figura 64 – Verifiche geotecniche plinto Isolatore.

