

**IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA COLLEGATO ALLA RTN
POTENZA NOMINALE 49,75 MWp**

Localita' Casalgismondo Sottano - Comune di Aidone (EN)

PROPONENTE:

TEP RENEWABLES (AIDONE PV) S.R.L.
Via Giorgio Castriota, 9 – 90139 Palermo
P. IVA e C.F. 06983550820– REA PA - 429397

PROGETTISTI:

ING. GIOVANNI ANTONIO SARACENO

Iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Reggio Calabria al n.1629

ING. GIULIA GIOMBINI

Iscritta all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Viterbo
al n. A-1009

PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO FOTOVOLTAICO

(art. 23 del D. Lgs 152/2006 e ss. mm. ii)

Relazione di calcolo preliminare strutture e fondazioni

| Cod. Documento | Data | Tipo revisione | Redatto | Verificato | Approvato |
|--|---------|-----------------|---------|------------|----------------|
| 21 - 0003 - IT AIDONE__R06_Rev0_Relazione di calcolo preliminare strutture e fondazioni | 01/2022 | Prima emissione | 3E | GG | F. Battafarano |

SOMMARIO

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | PREMESSA | 2 |
| 2 | NORMATIVA DI RIFERIMENTO..... | 3 |
| 3 | ANALISI STRUTTURALE | 4 |
| 3.1 | ANALISI DEI CARICHI | 4 |
| 3.2 | CONDIZIONI DI CARICO..... | 7 |
| 3.3 | COMBINAZIONI DI CARICO | 7 |
| 3.4 | DESCRIZIONE DEL MODELLO NUMERICO E CRITERI DI ANALISI E VERIFICA | 8 |
| 3.4.1 | Carichi assegnati | 11 |
| 3.5 | RISULTATI DELL'ANALISI | 15 |
| 3.5.1 | Pressioni sul terreno | 15 |
| 4 | VERIFICHE GEOTECNICHE..... | 30 |
| 4.1 | COLLASSO PER CARICO LIMITE | 30 |
| 4.1.1 | Carico limite Trasformatore | 31 |
| 4.1.2 | Carico limite Sezionatore..... | 32 |
| 4.1.3 | Carico limite TA | 34 |
| 4.1.4 | Carico limite Interruttore | 35 |
| 4.2 | VERIFICA NEI CONFRONTI DEL RIBALTAMENTO..... | 37 |
| 4.3 | COLLASSO PER SCORRIMENTO SUL PIANO DI POSA..... | 37 |
| 5 | VERIFICHE STRUTTURALI | 40 |
| 5.1 | VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO DI PLATEE E PARETI IN C.A..... | 40 |

1 PREMESSA

La presente relazione tecnica e di calcolo si riferisce alle fondazioni delle apparecchiature a servizio della stazione di trasformazione, a servizio dell'impianto in progetto per la produzione di energia elettrica sito nel comune di AIDONE (EN) in località "Casalgismondo Sottano".

In particolare, la presente relazione riporta i calcoli strutturali per il progetto definitivo.

2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Si elenca la normativa di riferimento:

- **D.M. Infrastrutture 17/01/18** - "Norme tecniche per le costruzioni".
- **Circolare del 21/01/2019, n° 7** - "Istruzione per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018"

3 ANALISI STRUTTURALE

3.1 ANALISI DEI CARICHI

Oltre al peso proprio delle fondazioni – computato automaticamente dal software di calcolo – sono stati considerati i carichi riportati di seguito, trasmessi alle fondazioni dagli apparati AT.

Tali carichi sono da considerarsi preliminari, ovvero dovranno essere valutati più accuratamente in fase di progetto esecutivo.

| TRASFORMATORE DI TENSIONE (carichi riferiti alla base dell'unico piedritto) | Azioni esterne (TV) Sforzi espressi in N, Momenti in Nm | | | | |
|--|--|----------------|-------|-----------------|-------|
| | Peso proprio | Corto circuito | Sisma | Carico morsetti | Vento |
| Azione assiale lungo Z | -3.9 | | | -5.0 | |
| Taglio lungo asse X | | | 1.1 | 0.8 | 1.0 |
| Taglio lungo asse Y | | 0.9 | 1.1 | 0.8 | 1.0 |
| Momento flettente attorno X | | -4.8 | -4.2 | -4.3 | -3.7 |
| Momento flettente attorno Y | | | 4.2 | 4.3 | 3.7 |

| TRASFORMATORE DI CORRENTE (carichi riferiti alla base dell'unico piedritto) | Azioni esterne (TA) Sforzi espressi in N, Momenti in Nm | | | | |
|--|--|----------------|-------|-----------------|-------|
| | Peso proprio | Corto circuito | Sisma | Carico morsetti | Vento |
| Azione assiale lungo Z | -5.1 | | | -4.1 | |
| Taglio lungo asse X | | | 1.5 | 1.0 | 1.1 |
| Taglio lungo asse Y | | 0.9 | 1.5 | 0.3 | 1.1 |
| Momento flettente attorno X | | -4.8 | -5.7 | -1.6 | -4.4 |
| Momento flettente attorno Y | | | 5.7 | 5.0 | 4.4 |

| TERMINALE CAVO (carichi riferiti alla base dell'unico piedritto) | Azioni esterne (TERMINALE CAVO) Sforzi espressi in N, Momenti in Nm | | | | |
|--|--|----------------|-------|-----------------|-------|
| | Peso proprio | Corto circuito | Sisma | Carico morsetti | Vento |
| Azione assiale lungo Z | -3.2 | | | -0.8 | |
| Taglio lungo asse X | | | 2.3 | 0.3 | 2.6 |
| Taglio lungo asse Y | | 0.9 | 2.3 | 0.3 | 2.6 |
| Momento flettente attorno X | | -4.1 | -5.5 | -1.4 | -5.8 |
| Momento flettente attorno Y | | | 5.5 | 2.2 | 5.9 |

| SCARICATORE DI SOVRATENSIONE (carichi riferiti alla base dell'unico piedritto) | Azioni esterne (SC) Sforzi espressi in N, Momenti in Nm | | | | |
|--|--|----------------|-------|-----------------|-------|
| | Peso proprio | Corto circuito | Sisma | Carico morsetti | Vento |
| Azione assiale lungo Z | -2.4 | | | -0.8 | |
| Taglio lungo asse X | | | 0.7 | 0.8 | 0.8 |
| Taglio lungo asse Y | | 0.9 | 0.7 | 0.8 | 0.8 |
| Momento flettente attorno X | | -4.6 | -2.4 | -4.1 | -2.9 |
| Momento flettente attorno Y | | | 2.4 | 4.1 | 2.9 |

| INTERRUTTORE (carichi riferiti alla base dell'unico piedritto) | Azioni esterne (INT) Sforzi espressi in N, Momenti in Nm | | | | |
|--|---|----------------|-------|-----------------|-------|
| | Peso proprio | Corto circuito | Sisma | Carico morsetti | Vento |
| Azione assiale lungo Z | -5.2 | -17.0 21.0 | | -1.0 | |
| Taglio lungo asse X | | | 1.5 | 1.3 | 1.7 |
| Taglio lungo asse Y | | 0.9 | 1.5 | 0.8 | 1.3 |
| Momento flettente attorno X | | -4.6 | -5.2 | -4.6 | -4.6 |
| Momento flettente attorno Y | | | 5.2 | 7.7 | 5.8 |

| SEZIONATORE (carichi riferiti alla base di ciascuno dei due piedritti) | Azioni esterne (SEZ) Sforzi espressi in N, Momenti in Nm | | | | |
|---|---|----------------|-------|-----------------|-------|
| | Peso proprio | Corto circuito | Sisma | Carico morsetti | Vento |
| | Azione assiale lungo Z | -8.2 | | | -1.0 |
| Taglio lungo asse X | | | 2.3 | 0.6 | 2.8 |
| Taglio lungo asse Y | | 0.9 | 2.3 | 0.2 | 2.8 |
| Momento flettente attorno X | | -4.1 | -5.4 | -0.9 | -6.5 |
| Momento flettente attorno Y | | | 5.4 | 2.7 | 6.5 |

| TRASFORMATORE (carico totale riferito al baricentro) | Azioni esterne (TRAFO) Sforzi espressi in N, Momenti in Nm | | | | |
|---|---|----------------|-------|-----------------|-------|
| | Peso proprio | Corto circuito | Sisma | Carico morsetti | Vento |
| | Azione assiale lungo Z | - 3500.0 | | | -3.2 |
| Taglio lungo asse X | | | 997.9 | 3.2 | 59.4 |
| Taglio lungo asse Y | | | 997.9 | 3.2 | 45.1 |
| Momento flettente attorno X | | | | | |
| Momento flettente attorno Y | | | | | |

3.2 CONDIZIONI DI CARICO

Le condizioni di carico elementari prese in considerazione sono:

Condizioni di carico elementari statiche - Moltiplicatori gravitazionali

| n° | Descrizione | x | y | z | Tipo | grp | Ψ_0 | Ψ_1 | Ψ_2 |
|----|----------------|---|---|----|------------------------|-----|----------|----------|----------|
| 1S | G1 | 0 | 0 | -1 | Permanente | | 1 | 1 | 1 |
| 2S | G2 | 0 | 0 | 0 | Perm.Non Strutt | | 1 | 1 | 1 |
| 3S | Q (morsetti) | 0 | 0 | 0 | Magazzini,Archivi,S... | 1 | 1 | 0.9 | 0.8 |
| 4S | Vento X | 0 | 0 | 0 | Vento | 3 | 0.6 | 0.2 | 0 |
| 5S | Vento Y | 0 | 0 | 0 | Vento | 3 | 0.6 | 0.2 | 0 |
| 6S | Corto circuito | 0 | 0 | 0 | Generico | 4 | 1 | 1 | 1 |
| 7S | Ex | 0 | 0 | 0 | Sisma SLU x | | | | |
| 8S | Ey | 0 | 0 | 0 | Sisma SLU y | | | | |

Il carico G_2 comprende anche le spinte del terreno sulle pareti perimetrali del Trasformatore.

Il carico da Corto circuito è da considerarsi una azione eccezionale (denominata A_d).

3.3 COMBINAZIONI DI CARICO

Per le verifiche della struttura sono state considerate le combinazioni di carico agli stati limite ultimi, di seguito riportate (§2.5.3 NTC 2018):

- SLU statica + EQU $\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_Q Q_{k1} + \gamma_Q \Psi_{02} Q_{k2} + \gamma_Q \Psi_{02} Q_{k3}$
- SLU eccezionale $G_1 + G_2 + A_d + \Psi_{21} Q_{k1} + \Psi_{22} Q_{k2} + \Psi_{23} Q_{k3}$
- SLV (sismica) $E + G_1 + G_2 + \Psi_{21} Q_{k1} + \Psi_{22} Q_{k2} + \Psi_{23} Q_{k3}$

Relativamente all'azione sismica E , essa è ottenuta applicando la seguente espressione:

$$1,00 \cdot E_x \pm 0,30 \cdot E_y$$

con rotazione dei coefficienti moltiplicativi.

Le combinazioni di carico significative e implementate nel software sono:

Condizioni di carico elementari

| Attiva | Descrizione | CdC1 | Molt1 | Tab1 | CdC2 | Molt2 | Tab2 | CdC3 | Molt3 | Tab3 | CdC4 | Molt4 | Tab4 | CdC5 | Molt5 | Tab5 |
|-------------------------------------|-------------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------------------|-------|------|-----------------|-------|------|-----------------|-------|------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | EQU | 1S G1 | 0.9 | NL | 2S G2 | 0.8 | NL | 4S Vento X | 1.5 | NL | 3S Q (morsetti) | 1.5 | NL | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | EQU | 1S G1 | 0.9 | NL | 2S G2 | 0.8 | NL | 5S Vento Y | 1.5 | NL | 3S Q (morsetti) | 1.5 | NL | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | EQU+STR | 1S G1 | 1 | NL | 2S G2 | 1 | NL | 6S Corto circuito | 1 | NL | 3S Q (morsetti) | 0.8 | NL | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | EQU+STR | 1S G1 | 1 | NL | 2S G2 | 1 | NL | 7S Ex | 1 | NL | 8S Ey | 0.3 | NL | 3S Q (morsetti) | 0.8 | NL |
| <input checked="" type="checkbox"/> | EQU+STR | 1S G1 | 1 | NL | 2S G2 | 1 | NL | 7S Ex | 0.3 | NL | 8S Ey | 1 | NL | 3S Q (morsetti) | 0.8 | NL |
| <input checked="" type="checkbox"/> | STR | 1S G1 | 1.3 | NL | 2S G2 | 1.5 | NL | 4S Vento X | 1.5 | NL | 3S Q (morsetti) | 1.5 | NL | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | STR | 1S G1 | 1.3 | NL | 2S G2 | 1.5 | NL | 5S Vento Y | 1.5 | NL | 3S Q (morsetti) | 1.5 | NL | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | STR | 1S G1 | 1 | NL | 2S G2 | 0.8 | NL | 4S Vento X | 1.5 | NL | 3S Q (morsetti) | 1.5 | NL | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | STR | 1S G1 | 1 | NL | 2S G2 | 0.8 | NL | 5S Vento Y | 1.5 | NL | 3S Q (morsetti) | 1.5 | NL | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | STR | 1S G1 | 1.3 | NL | 2S G2 | 1.5 | NL | | | | | | | | | |

3.4 DESCRIZIONE DEL MODELLO NUMERICO E CRITERI DI ANALISI E VERIFICA

Per la modellazione agli elementi finiti è stato utilizzato il software di calcolo denominato CMP versione 30.00 distribuito da Namirial S.p.A., che utilizza come solutore XFINEST della Ce.A.S. di Milano.

Sono state modellate e calcolate soltanto una fondazione per ogni tipologia, scegliendo quella più sollecitata:

1. Trasformatore
2. Sezionatore
3. Trasformatore di corrente (TA)
4. Interruttore

Le altre fondazioni hanno la stessa geometria delle fondazioni del TA o dell'Interruttore, ma sono generalmente soggette a carichi di entità inferiore, pertanto in questa fase progettuale non sono state prese in considerazione.

Sono stati realizzati dei modelli tridimensionali costituiti da elementi *shell* e *beam*. Poiché in alcuni casi i carichi sono tali da far sollevare le fondazioni dal terreno, si è scelto di modellare l'appoggio come unilaterale: è stato inserito un letto di molle alla Winkler, avente costante di sottofondo $k_w = 5000 \text{ kN/m}^3$, reagente solo a compressione. Per questo motivo, è stata eseguita un'analisi non lineare. In questo modo, qualora la verifica a ribaltamento non dovesse risultare soddisfatta, il software non porterebbe a termine l'analisi; in altre parole, il fatto che l'analisi sia andata a buon fine significa di per sé che il ribaltamento non si può verificare sotto le combinazioni di carico implementate.

Per il trasformatore il carico è stato applicato nel suo baricentro, il quale è stato collegato agli effettivi punti di appoggio mediante bielle infinitamente rigide, di colore giallo nell'immagine seguente.

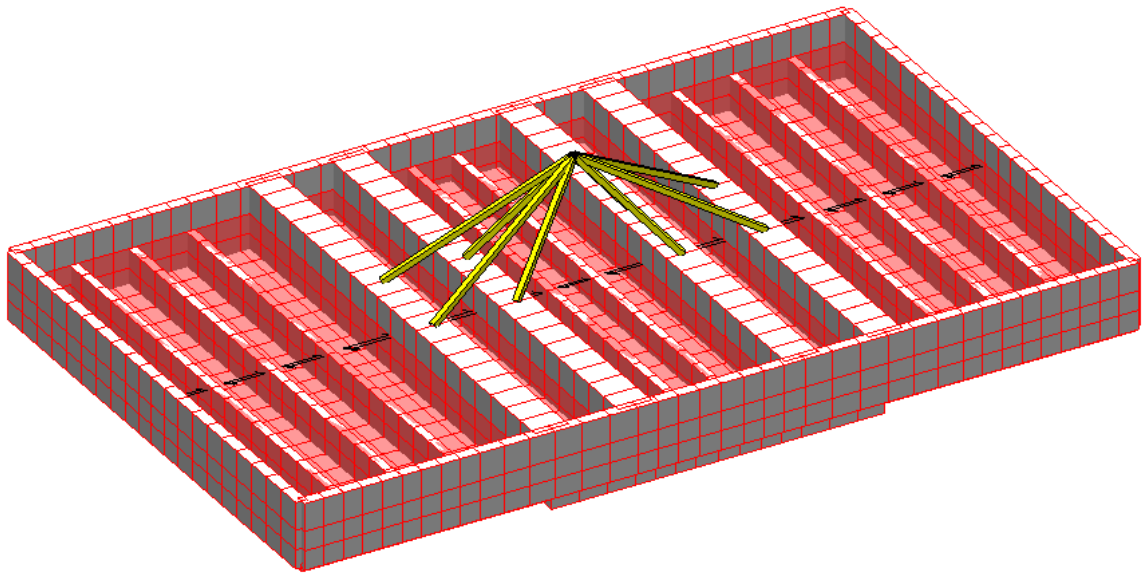


Figura 1: Rappresentazione del modello FEM del Trasformatore

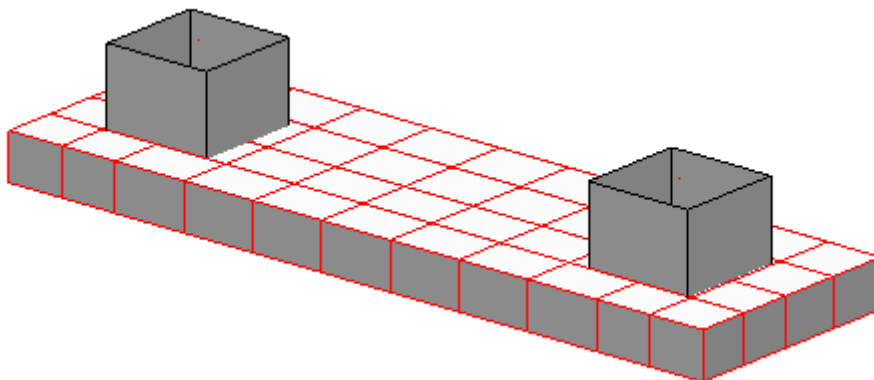


Figura 2: Rappresentazione del modello FEM del Sezionatore

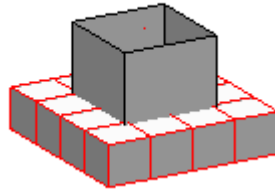


Figura 3: Rappresentazione del modello FEM del TA

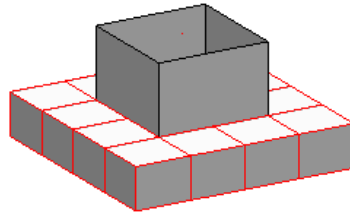


Figura 4: Rappresentazione del modello FEM dell'Interruttore

3.4.1 Carichi assegnati

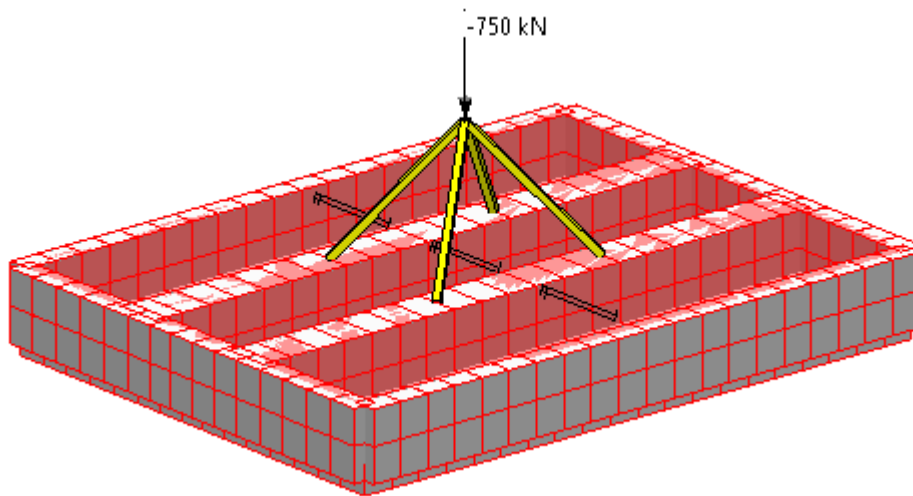


Figura 5: Trafo – Carichi applicati G1

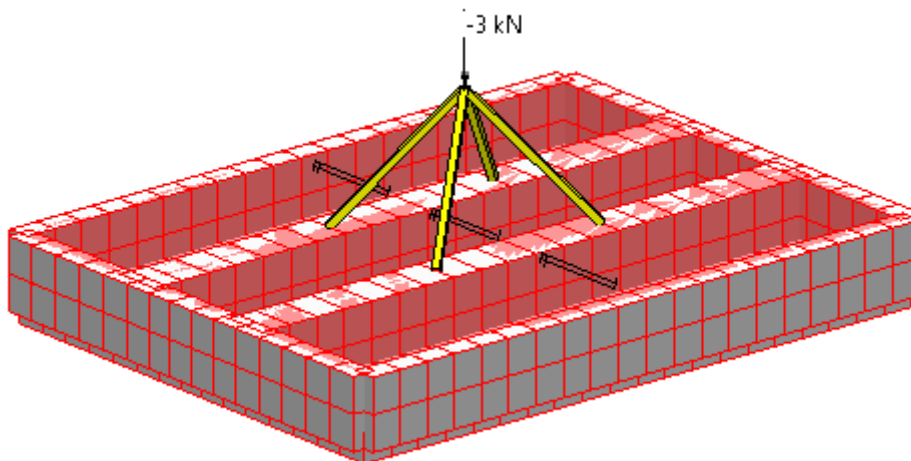


Figura 6: Trafo – Carichi applicati G2

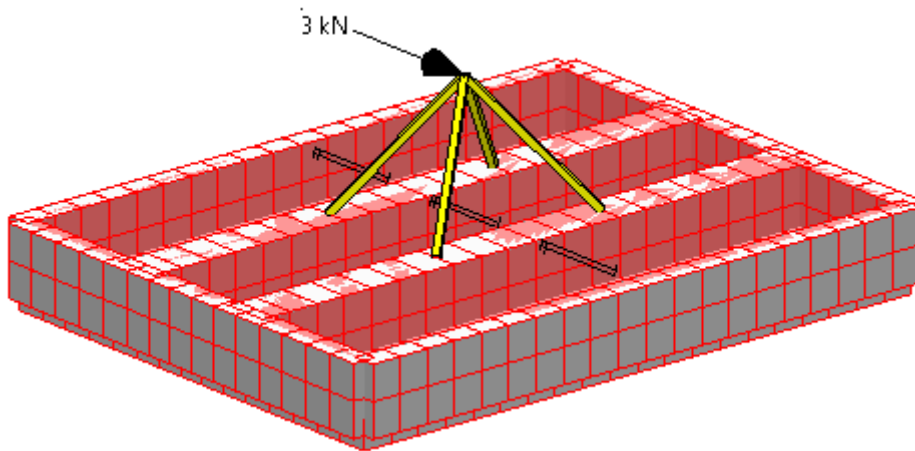


Figura 7: Trafo – Carichi applicati $Q (F_x)$

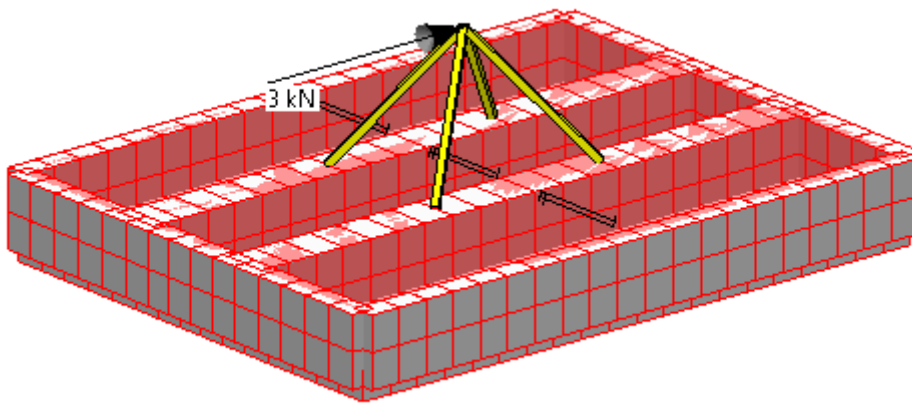


Figura 8: Trafo – Carichi applicati $Q (F_y)$

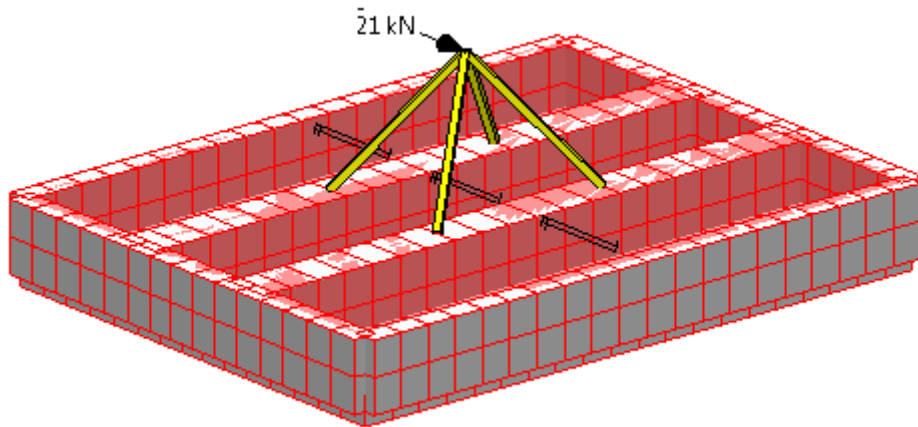


Figura 9: Trafo – Carichi applicati Vento X

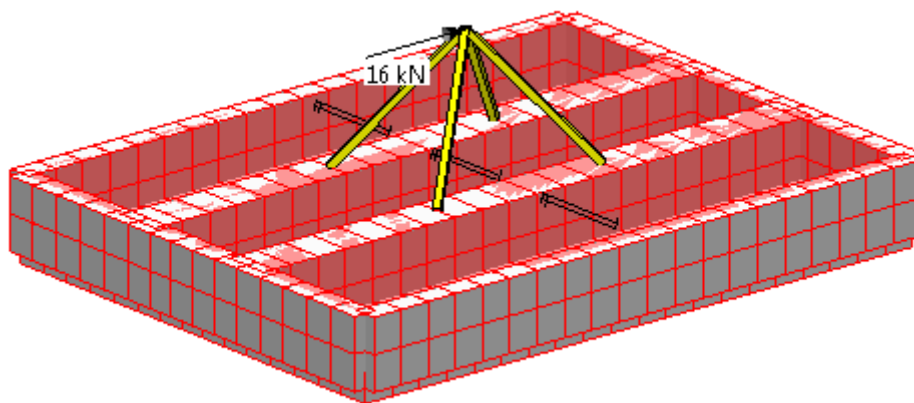


Figura 10: Trafo – Carichi applicati Vento Y

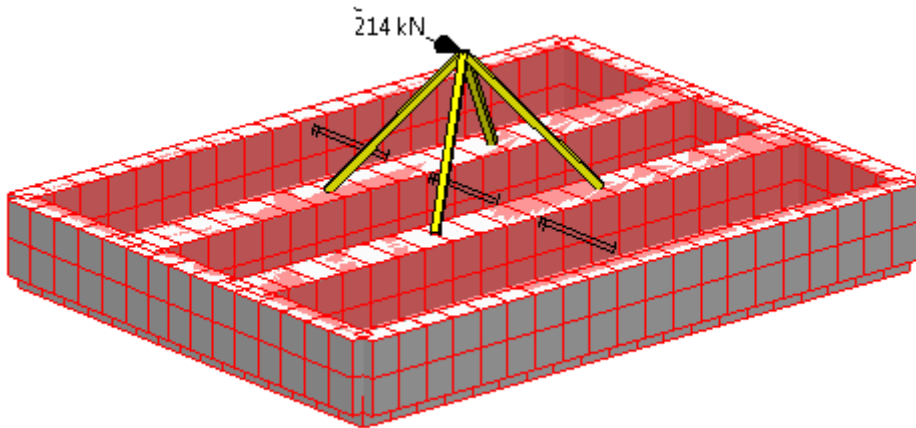


Figura 11: Trafo – Carichi applicati Sisma X

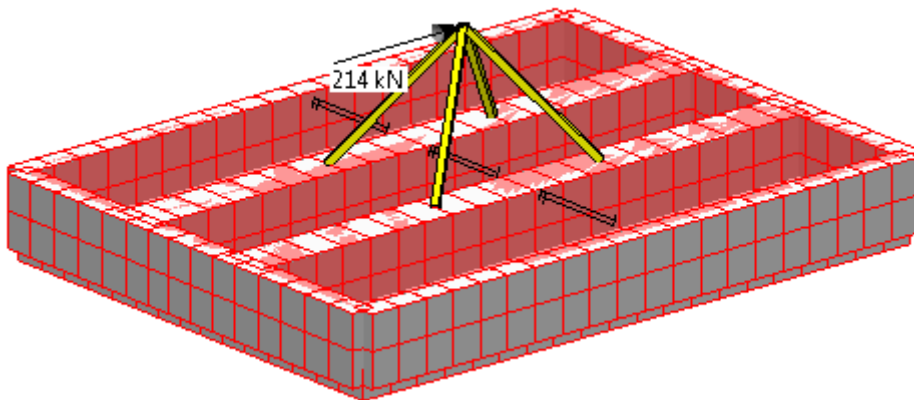


Figura 12: Trafo – Carichi applicati Sisma Y

3.5 RISULTATI DELL'ANALISI

3.5.1 Pressioni sul terreno

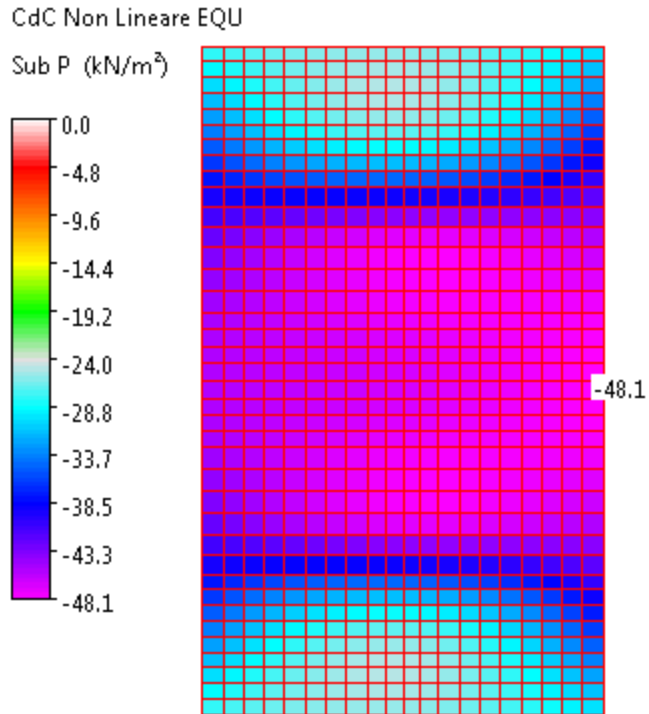


Figura 13: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 1 (EQU)

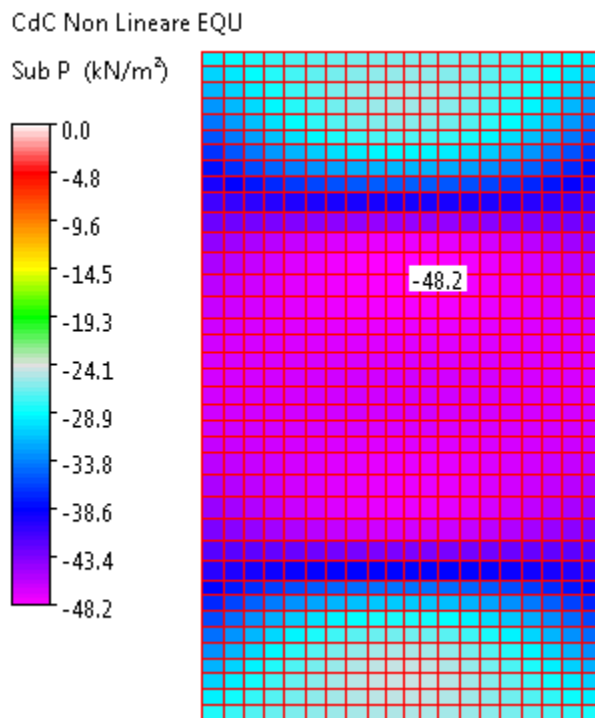


Figura 14: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 2 (EQU)

CdC Non Lineare EQU+STR

Sub P (kN/m³)

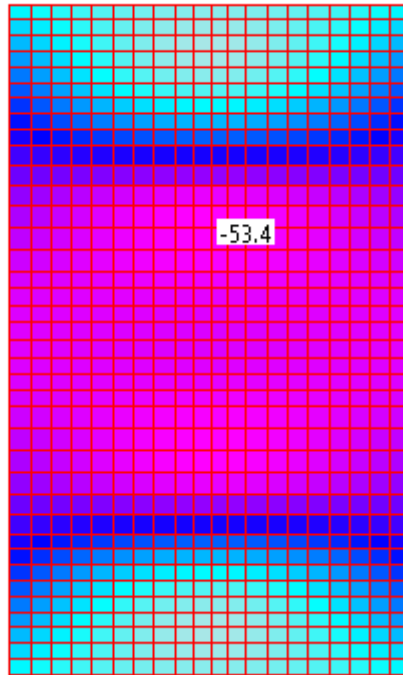
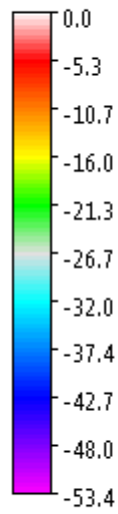


Figura 15: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 3 (EQU+STR)

CdC Non Lineare EQU+STR

Sub P (kN/m³)

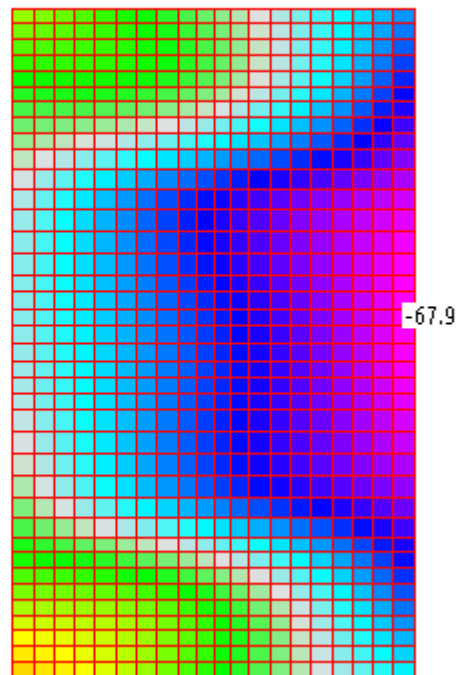
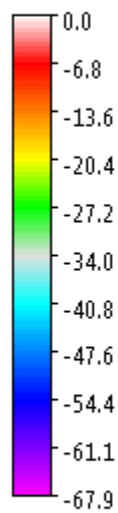


Figura 16: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 4 (EQU+STR)

CdC Non Lineare EQU+STR

Sub P (kN/m³)

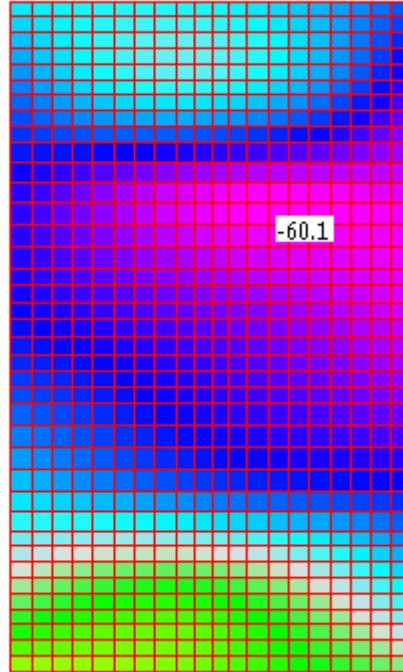
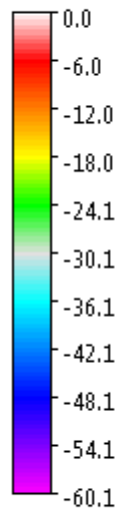


Figura 17: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 5 (EQU+STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m³)

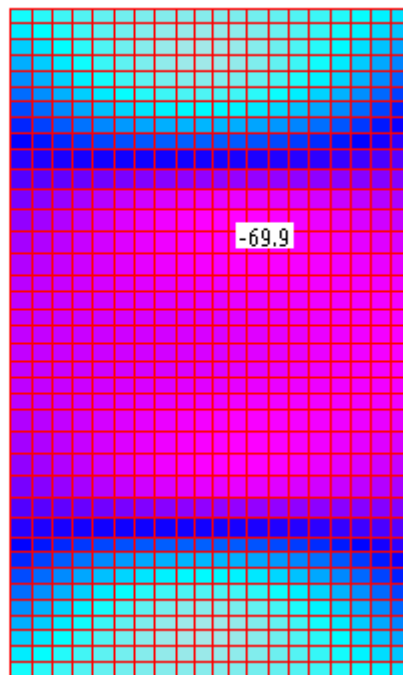
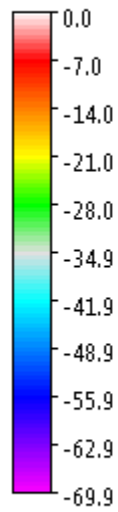


Figura 18: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 6 (STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m³)

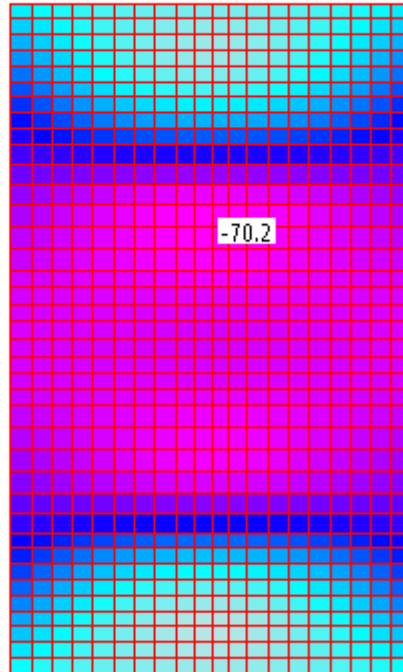
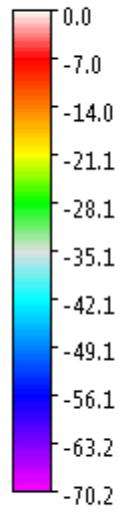


Figura 19: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 7 (STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m³)

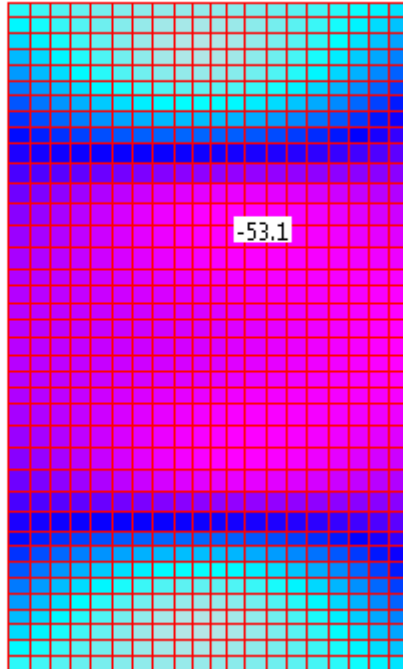
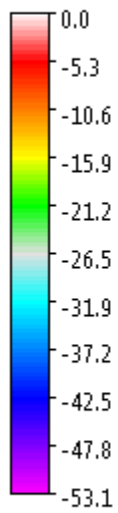


Figura 20: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 8 (STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m²)

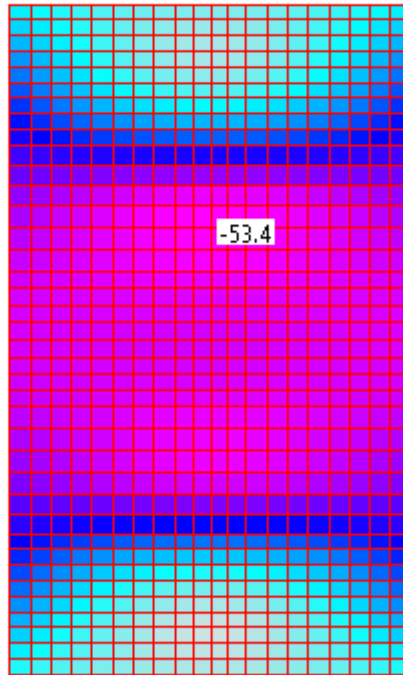
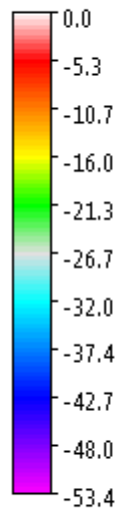


Figura 21: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 9 (STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m²)

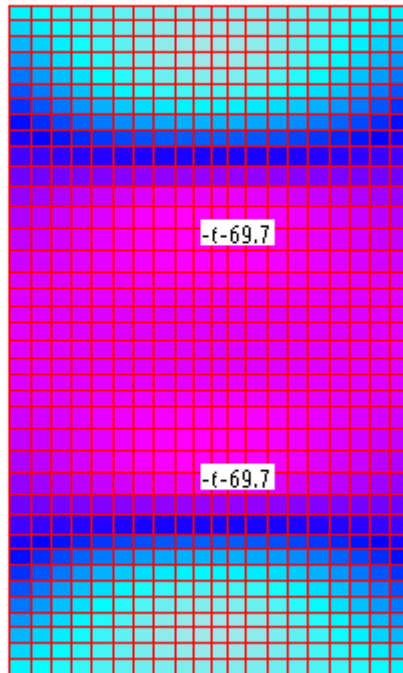
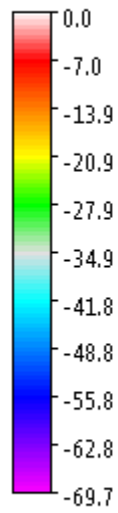


Figura 22: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 10 (STR)

CdC Non Lineare EQU

Sub P (kN/m³)

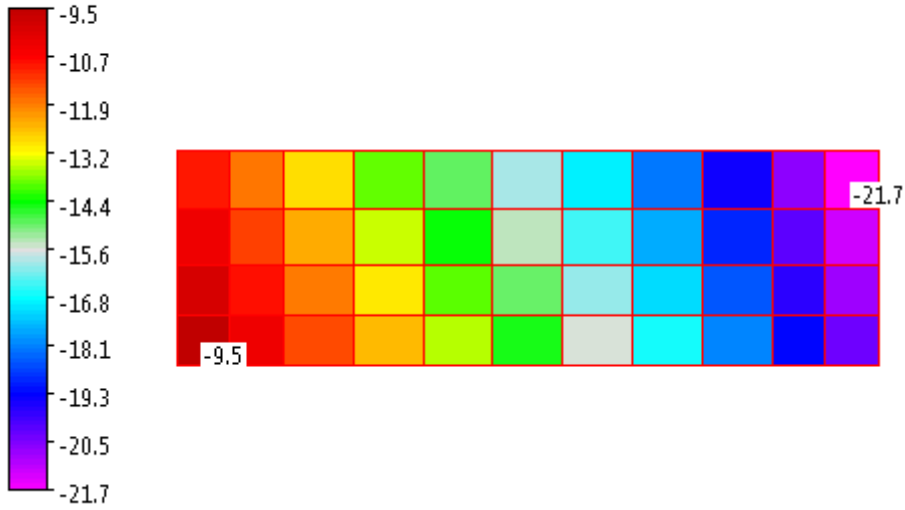


Figura 23: Sezione – Pressioni sul terreno in Comb. 1 (EQU)

CdC Non Lineare EQU

Sub P (kN/m³)

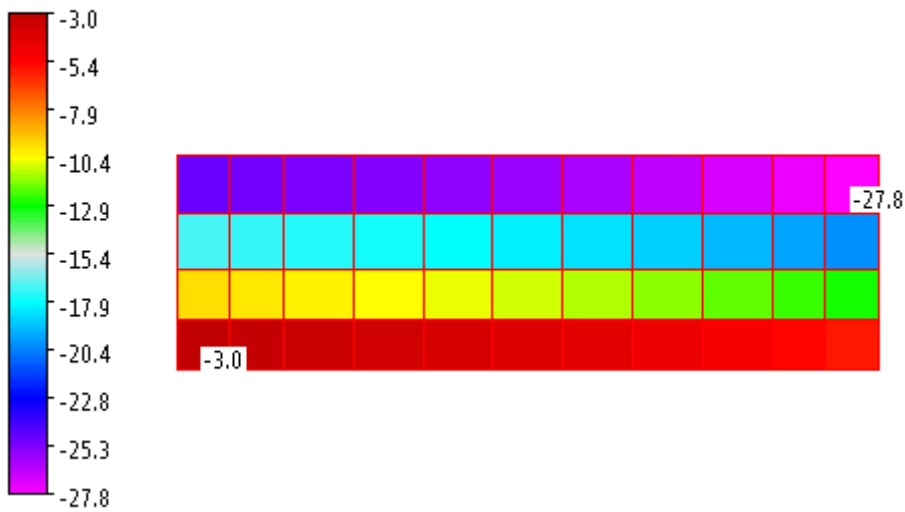


Figura 24: Sezione – Pressioni sul terreno in Comb. 2 (EQU)

CdC Non Lineare EQU+STR

Sub P (kN/m³)

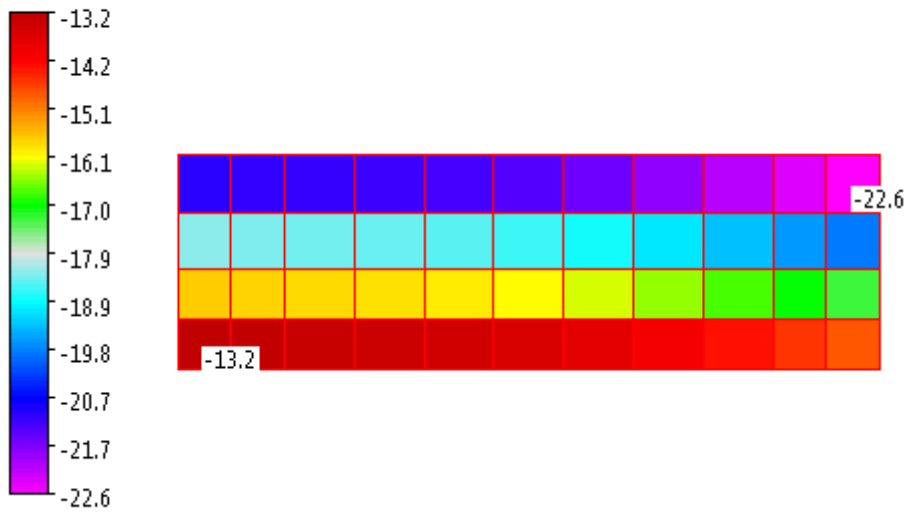


Figura 25: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 3 (EQU+STR)

CdC Non Lineare EQU+STR

Sub P (kN/m³)

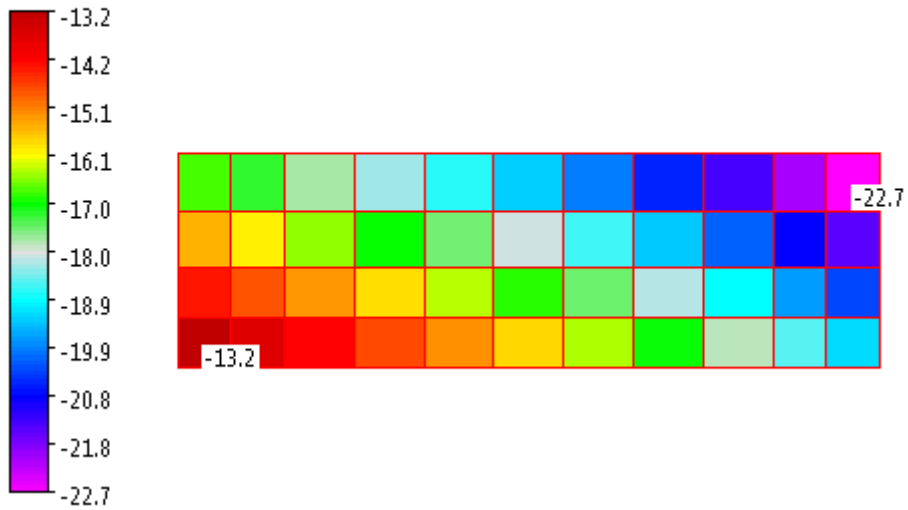


Figura 26: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 4 (EQU+STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m³)

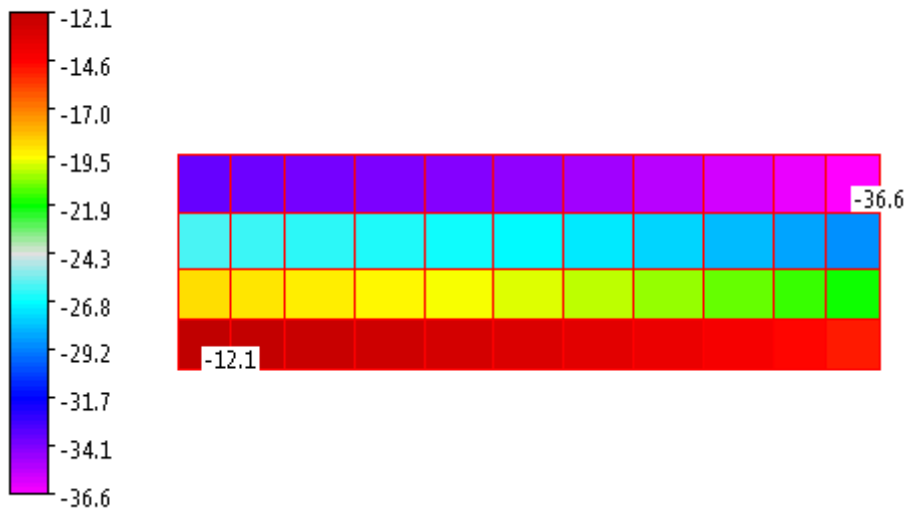


Figura 29: Sezione – Pressioni sul terreno in Comb. 7 (STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m³)

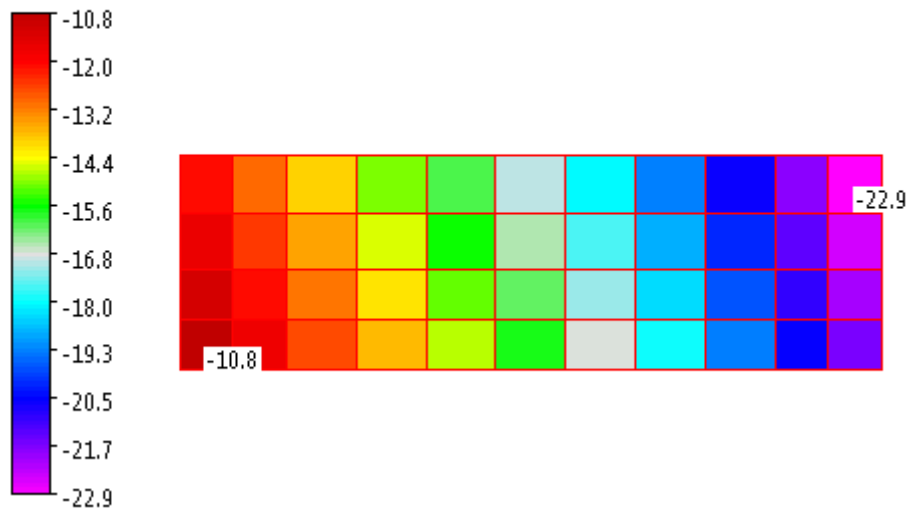


Figura 30: Sezione – Pressioni sul terreno in Comb. 8 (STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m³)

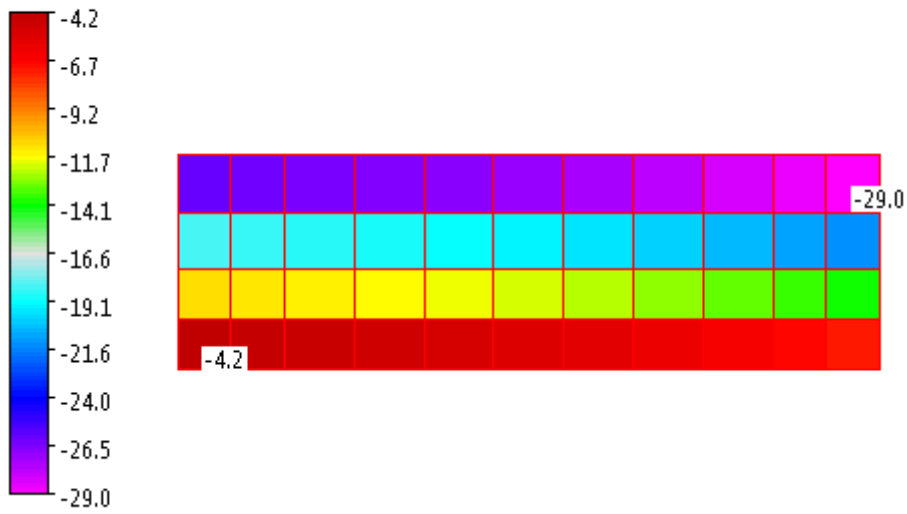


Figura 31: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 9 (STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m³)

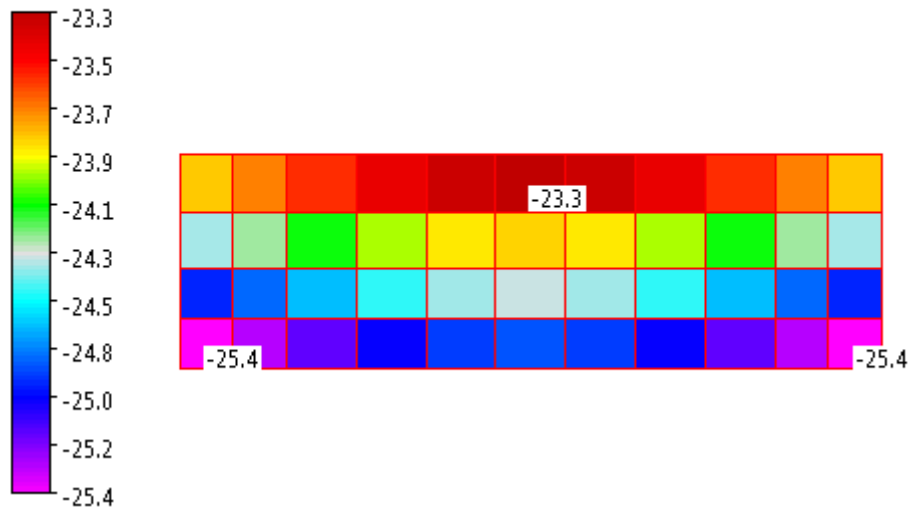


Figura 32: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 10 (STR)

CdC Non Lineare EQU

Sub P (kN/m³)

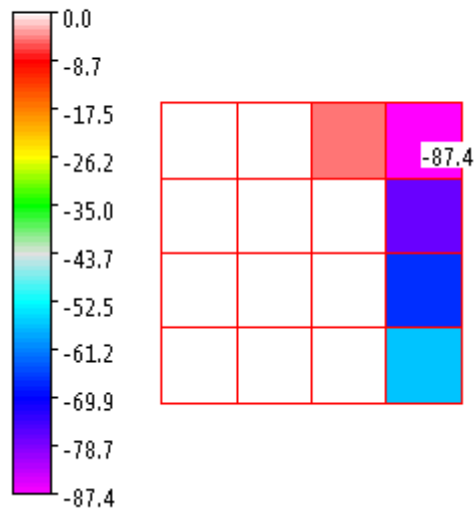


Figura 33: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 1 (EQU)

CdC Non Lineare EQU

Sub P (kN/m³)

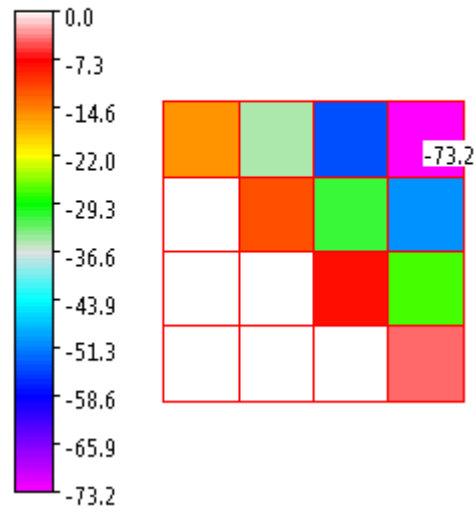


Figura 34: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 2 (EQU)

CdC Non Lineare EQU+STR

Sub P (kN/m²)

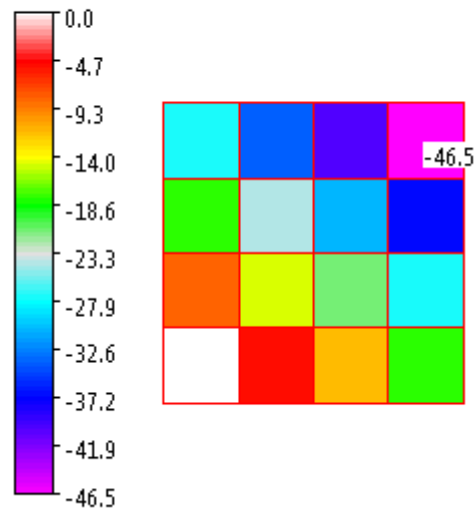


Figura 35: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 3 (EQU+STR)

CdC Non Lineare EQU+STR

Sub P (kN/m²)

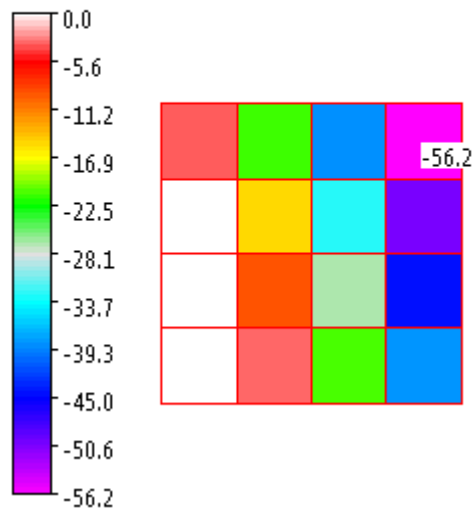


Figura 36: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 4 (EQU+STR)

CdC Non Lineare EQU+STR

Sub P (kN/m³)

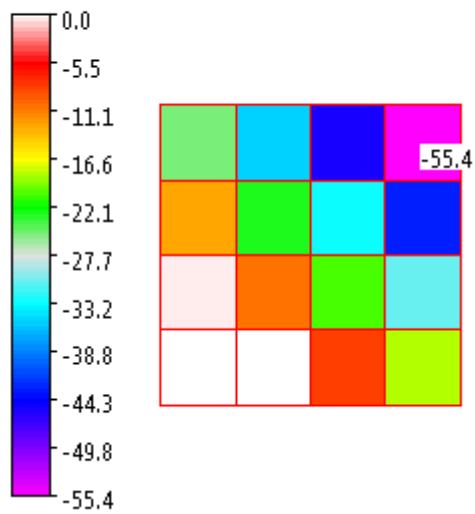


Figura 37: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 5 (EQU+STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m³)

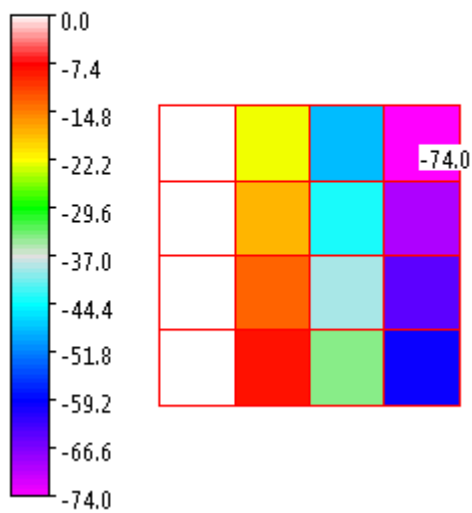


Figura 38: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 6 (STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m³)

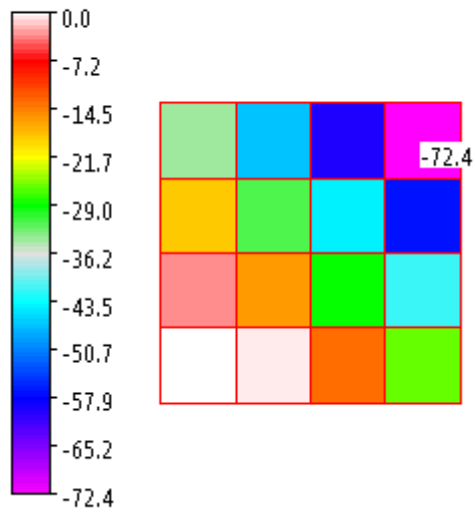


Figura 39: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 7 (STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m³)

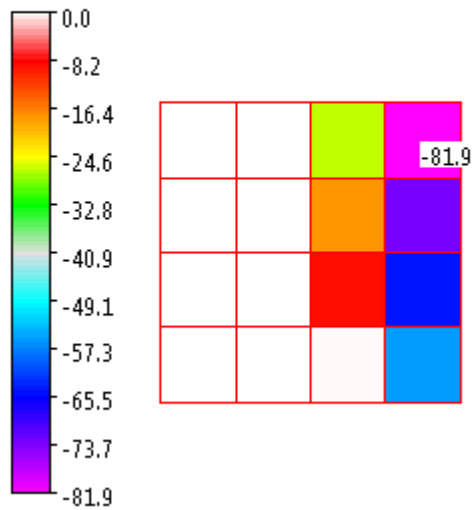


Figura 40: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 8 (STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m³)

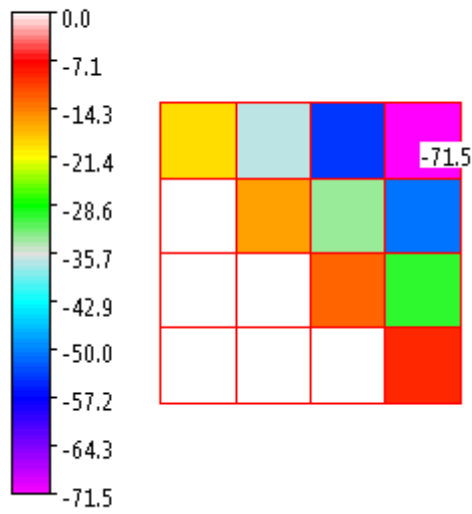


Figura 41: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 9 (STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m³)

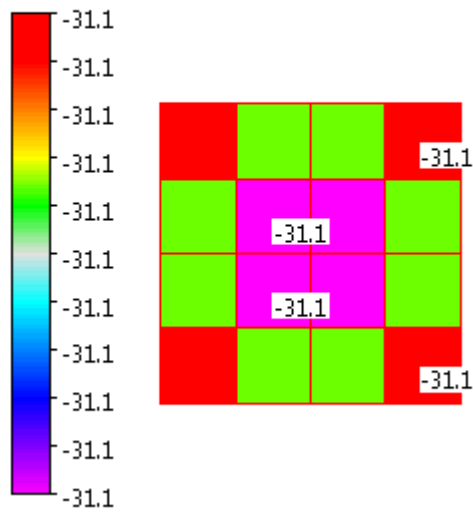


Figura 42: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 10 (STR)

4 VERIFICHE GEOTECNICHE

4.1 COLLASSO PER CARICO LIMITE

La capacità portante $q_{lim,R}$ allo Stato Limite Ultimo è definita come la pressione che causa la rottura a taglio del terreno di fondazione immediatamente sotto o adiacente alla fondazione. L'espressione analitica tiene in considerazione tre termini: il primo rappresenta il contributo dovuto alla dimensione della fondazione, il secondo è dovuto alla coesione mentre il terzo è dovuto all'approfondimento del piano di posa.

Per la valutazione del q_{lim} si fa ricorso alla ben nota teoria di Hansen, una variazione della formula trinomia di Terzaghi che tiene in conto vari fattori correttivi.

In condizioni drenate si ha:

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \gamma' B N_{\gamma} s_{\gamma} i_{\gamma} b_{\gamma} g_{\gamma} + c' N_c s_c d_c i_c b_c g_c + \gamma D N_q s_q d_q i_q b_q g_q$$

4.1.1 Carico limite Trasformatore

Formula di Brinch-Hansen per Q_{lim} del terreno NTC2018

Approccio 2, comb. (A1+M1+R3) - **Condizioni DRENATE**

Pressione massima sul terreno

σ_m [kN/m²] **70.2**

Parametri geotecnici

| | | | |
|-----------------------------------|-------|-------|-----|
| c' [kN/m ²] | 0 | | |
| ϕ' [°] | 30.0 | 0.524 | rad |
| γ [kN/m ³] | 17.0 | | |
| falda (S/N) | N | | |
| γ' [kN/m ³] | 17.0 | | |
| e_x [m] | 0.00 | | |
| e_y [m] | 0.00 | | |
| inclinazione su verticale (tan d) | 0.00 | | |
| b_x [m] | 15.00 | | |
| b_y [m] | 9.00 | | |
| $B_{x,eff}$ ($b_x - 2e_x$) [m] | 15.00 | | |
| $B_{y,eff}$ ($b_y - 2e_y$) [m] | 9.00 | | |
| profondità di posa D [m] | 1.50 | | |
| N_γ | 22.40 | | |
| N_c | 30.14 | | |
| N_q | 18.40 | | |
| m | 1.63 | | |
| i_γ | 1.00 | | |
| i_c | 1.00 | | |
| i_q | 1.00 | | |
| S_γ | 0.76 | | |
| S_c | 1.37 | | |
| S_q | 1.35 | | |
| d_c | 1.03 | | |
| d_q | 1.03 | | |

| | |
|-------|------|
| g_Y | 1.00 |
| g_c | 1.00 |
| g_q | 1.00 |

tipo di fondazione superficiale

Y_R 2.30 [Tab. 6.4.I NTC2018]

Carico limite sul terreno della fondazione

q_{lim} [kN/m²] 1952.5

$q_{lim,R}$ [kN/m²] 848.9

Coefficiente di sicurezza **12.09** OK

$$q_{lim} = c^* N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q^* N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma^* B^* N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma$$

4.1.2 Carico limite Sezionatore

Formula di Brinch-Hansen per Q_{lim} del terreno NTC2018

Approccio 2, comb. (A1+M1+R3) - **Condizioni DRENATE**

Pressione massima sul terreno

σ_m [kN/m²] 36.6

Parametri geotecnici

| | | | |
|-----------------------------------|--|-------|-----|
| c' [kN/m ²] | 0 | | |
| ϕ' [°] | 30.0 | 0.524 | rad |
| γ [kN/m ³] | 17.0 | | |
| falda (S/N) | N | | |
| γ' [kN/m ³] | 17.0 | | |
| e_x [m] | 0.00 | | |
| e_y [m] | 0.00 | | |
| inclinazione su verticale (tan d) | 0.00 | | |
| b_x [m] | 4.90 | | |
| b_y [m] | 1.50 | | |
| $B_{x,eff}$ ($b_x - 2e_x$) [m] | 4.90 | | |

| | |
|------------------------------|-------|
| $B_{y,eff} (b_y - 2e_y)$ [m] | 1.50 |
| profondità di posa D [m] | 0.70 |
| N_y | 22.40 |
| N_c | 30.14 |
| N_q | 18.40 |
| m | 1.77 |
| i_y | 1.00 |
| i_c | 1.00 |
| i_q | 1.00 |
| s_y | 0.88 |
| s_c | 1.19 |
| s_q | 1.18 |
| d_c | 1.04 |
| d_q | 1.04 |
| g_y | 1.00 |
| g_c | 1.00 |
| g_q | 1.00 |

tipo di fondazione superficiale

γ_R 2.30

[Tab. 6.4.1
NTC2018]

Carico limite sul terreno della fondazione

| | |
|----------------------------------|-------------|
| q_{lim} [kN/m ²] | 519.0 |
| $q_{lim,R}$ [kN/m ²] | 225.6 |
| Coefficiente di sicurezza | 6.16 |

OK

$$q_{lim} = c^i N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q^i N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma^i B^i N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma$$

4.1.3 Carico limite TA

Formula di Brinch-Hansen per Q_{lim} del terreno NTC2018

Approccio 2, comb. (A1+M1+R3) - **Condizioni DRENATE**

Pressione massima sul terreno

σ_m [kN/m²] **81.9**

Parametri geotecnici

| | | | |
|-----------------------------------|-------|-------|-----|
| c' [kN/m ²] | 0 | | |
| ϕ' [°] | 30.0 | 0.524 | rad |
| γ [kN/m ³] | 17.0 | | |
| falda (S/N) | N | | |
| γ' [kN/m ³] | 17.0 | | |
| e_x [m] | 0.00 | | |
| e_y [m] | 0.00 | | |
| inclinazione su verticale (tan d) | 0.00 | | |
| b_x [m] | 1.30 | | |
| b_y [m] | 0.65 | | |
| $B_{x,eff}$ ($b_x - 2e_x$) [m] | 1.30 | | |
| $B_{y,eff}$ ($b_y - 2e_y$) [m] | 0.65 | | |
| profondità di posa D [m] | 0.70 | | |
| N_γ | 22.40 | | |
| N_c | 30.14 | | |
| N_q | 18.40 | | |
| m | 1.67 | | |
| i_γ | 1.00 | | |
| i_c | 1.00 | | |
| i_q | 1.00 | | |
| S_γ | 0.80 | | |
| S_c | 1.31 | | |
| S_q | 1.29 | | |
| d_c | 1.16 | | |
| d_q | 1.16 | | |

| | |
|-------|------|
| g_V | 1.00 |
| g_c | 1.00 |
| g_q | 1.00 |

tipo di fondazione superficiale

Y_R 2.30 [Tab. 6.4.I NTC2018]

Carico limite sul terreno della fondazione

| | |
|----------------------------------|-------------|
| q_{lim} [kN/m ²] | 425.1 |
| $q_{lim,R}$ [kN/m ²] | 184.8 |
| Coefficiente di sicurezza | 2.26 |

OK

$$q_{lim} = c'N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q'N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma' B' N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma$$

4.1.4 *Carico limite Interruttore*

Formula di Brinch-Hansen per Q_{lim} del terreno NTC2018

Approccio 2, comb. (A1+M1+R3) - **Condizioni DRENATE**

Pressione massima sul terreno

σ_m [kN/m²] 67.5

Parametri geotecnici

| | | | |
|-----------------------------------|------|-------|-----|
| c' [kN/m ²] | 0 | | |
| ϕ' [°] | 30.0 | 0.524 | rad |
| γ [kN/m ³] | 17.0 | | |
| falda (S/N) | N | | |
| γ' [kN/m ³] | 17.0 | | |
| e_x [m] | 0.00 | | |
| e_y [m] | 0.00 | | |
| inclinazione su verticale (tan d) | 0.00 | | |
| b_x [m] | 1.60 | | |
| b_y [m] | 0.80 | | |

| | |
|------------------------------|-------|
| $B_{x,eff} (b_x - 2e_x)$ [m] | 1.60 |
| $B_{y,eff} (b_y - 2e_y)$ [m] | 0.80 |
| profondità di posa D [m] | 0.70 |
| N_y | 22.40 |
| N_c | 30.14 |
| N_q | 18.40 |
| m | 1.67 |
| i_y | 1.00 |
| i_c | 1.00 |
| i_q | 1.00 |
| s_y | 0.80 |
| s_c | 1.31 |
| s_q | 1.29 |
| d_c | 1.13 |
| d_q | 1.13 |
| g_y | 1.00 |
| g_c | 1.00 |
| g_q | 1.00 |

tipo di fondazione superficiale

Y_R 2.30

[Tab. 6.4.I
NTC2018]

Carico limite sul terreno della fondazione

q_{lim} [kN/m²] 439.7

$q_{lim,R}$ [kN/m²] 191.2

Coefficiente di sicurezza **2.83** OK

$$q_{lim} = c^i N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q^i N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma^i B^i N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma$$

4.2 VERIFICA NEI CONFRONTI DEL RIBALTAMENTO

Avendo eseguito un'analisi non lineare, se la verifica a ribaltamento non fosse stata soddisfatta, il software non avrebbe portato a termine l'analisi. Pertanto, il fatto che l'analisi sia andata a buon fine significa di per sé che il ribaltamento non si può verificare sotto le combinazioni di carico implementate nel modello FEM.

4.3 COLLASSO PER SCORRIMENTO SUL PIANO DI POSA

TRASFORMATORE

Verifica allo scorrimento

| | | |
|-------------|--------|----|
| $F_{h,tot}$ | 1045.0 | kN |
| F_v | 5877.0 | kN |

Condizioni drenate:

| | | | |
|-------------------------------|-------------|----|---------------------------------------|
| μ | 0.36 | | Coeff. di attrito = $\tan(2/3 \phi')$ |
| F_{attr} | 2139.1 | kN | |
| γ_R | 1.1 | | |
| $F_{h,tot}/F_{attr}/\gamma_R$ | 0.54 | | OK |

SEZIONATORE

Verifica allo scorrimento

| | | |
|-------------|-------|----|
| $F_{h,tot}$ | 10.2 | kN |
| F_v | 121.8 | kN |

Condizioni drenate:

| | | | |
|-------------------------------|-------------|-----------|---------------------------------------|
| μ | 0.36 | | Coeff. di attrito = $\tan(2/3 \phi')$ |
| F_{attr} | 44.3 | kN | |
| γ_R | 1.1 | | |
| $F_{h,tot}/F_{attr}/\gamma_R$ | 0.25 | OK | |

TA

Verifica allo scorrimento

| | | |
|-------------|------|----|
| $F_{h,tot}$ | 3.2 | kN |
| F_v | 35.9 | kN |

Condizioni drenate:

| | | | |
|-------------------------------|-------------|----|----|
| μ | 0.36 | | |
| F_{attr} | 13.1 | kN | |
| γ_R | 1.1 | | |
| $F_{h,tot}/F_{attr}/\gamma_R$ | 0.27 | | OK |

Coeff. di attrito = $\tan(2/3 \phi')$

INTERRUTTORE

Verifica allo scorrimento

| | | |
|-------------|------|----|
| $F_{h,tot}$ | 1.9 | kN |
| F_v | 25.1 | kN |

Condizioni drenate:

| | | | |
|-------------------------------|-------------|----|----|
| μ | 0.36 | | |
| F_{attr} | 9.1 | kN | |
| γ_R | 1.1 | | |
| $F_{h,tot}/F_{attr}/\gamma_R$ | 0.22 | | OK |

Coeff. di attrito = $\tan(2/3 \phi')$

5 VERIFICHE STRUTTURALI

In questo paragrafo si riportano sinteticamente i risultati delle verifiche più significative.

5.1 VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO DI PLATEE E PARETI IN C.A.

Trasformatore – Armatura minima per rispetto dettagli costruttivi NTC2018:

PLATEA DI FONDAZIONE

s=50

- Materiali:

| | | | |
|-----------|------|-----|-----------------------------------|
| f_{ck} | 28 | MPa | Resistenza caratt. cilindrica cls |
| f_{ctm} | 2.77 | MPa | Resistenza caratt. a trazione cls |
| f_{yk} | 450 | MPa | Resistenza caratteristica acciaio |

- Geometria sezione:

| | | | |
|---|------------|----|-------------------------------------|
| b | 1000 | mm | Base striscia di larghezza unitaria |
| h | 500 | mm | Spessore platea |

- Armatura scelta:

| | | | |
|---------------|------|--------------------|---|
| \varnothing | 16 | mm | Diametro armatura |
| p | 150 | mm | Passo armatura |
| A_s | 1340 | mm ² /m | Area armatura per lembo e per direzione |

- Prescrizioni §7.2.5 NTC2018:

| | | | |
|----|--------------|-----------|--|
| 1) | ρ | 0.27% | Rapporto geometrico armatura per lembo |
| | ρ_{min} | 0.10% | Rapporto geometrico minimo |
| | | OK | |

PLATEA DI FONDAZIONE s=15

- Materiali:

| | | | |
|-----------|------|-----|-----------------------------------|
| f_{ck} | 28 | MPa | Resistenza caratt. cilindrica cls |
| f_{ctm} | 2.77 | MPa | Resistenza caratt. a trazione cls |
| f_{yk} | 450 | MPa | Resistenza caratteristica acciaio |

- Geometria sezione:

| | | | |
|---|------------|----|-------------------------------------|
| b | 1000 | mm | Base striscia di larghezza unitaria |
| h | 150 | mm | Spessore platea |

- Armatura scelta:

| | | | |
|-------------|-----|--------------------|---|
| \emptyset | 12 | mm | Diametro armatura |
| p | 150 | mm | Passo armatura |
| A_s | 754 | mm ² /m | Area armatura per lembo e per direzione |

- Prescrizioni §7.2.5 NTC2018:

| | | | |
|----|--------------|-----------|--|
| 1) | ρ | 0.50% | Rapporto geometrico armatura per lembo |
| | ρ_{min} | 0.10% | Rapporto geometrico minimo |
| | | OK | |

PARETE $s=15$

- Materiali:

| | | | |
|-----------|------|-----|-----------------------------------|
| f_{ck} | 28 | MPa | Resistenza caratt. cilindrica cls |
| f_{ctm} | 2.77 | MPa | Resistenza caratt. a trazione cls |
| f_{yk} | 450 | MPa | Resistenza caratteristica acciaio |

- Geometria sezione:

| | | | |
|-----|------------|----|-----------------------------|
| b | 1000 | mm | Larghezza unitaria striscia |
| h | 150 | mm | Spessore parete |

- Armatura scelta:

| | | | |
|-----------------|-----|--------------------|----------------------------------|
| \varnothing_v | 12 | mm | Diametro armatura verticale |
| p_v | 250 | mm | Passo armatura verticale |
| $A_{s,v}$ | 452 | mm ² /m | Area armatura verticale totale |
| \varnothing_h | 12 | mm | Diametro armatura orizzontale |
| p_h | 250 | mm | Passo armatura orizzontale |
| $A_{s,h}$ | 452 | mm ² /m | Area armatura orizzontale totale |

- Prescrizioni §7.4.6.2.4 NTC2018:

| | | | |
|----|---------------------|-----------|-------------------------------------|
| 1) | ρ_v | 0.30% | Rapporto geom. armatura verticale |
| | $\rho_{v,min}$ | 0.20% | Rapporto geom. verticale minimo |
| | | OK | |
| 2) | ρ_h | 0.30% | Rapporto geom. armatura orizzontale |
| | $\rho_{h,min}$ | 0.20% | Rapporto geom. orizzontale minimo |
| | | OK | |
| 3) | \varnothing_{max} | 15 mm | Diametro massimo armature |
| | | OK | |
| 4) | p_{max} | 300 mm | Passo massimo armature |
| | | OK | |

| | | | | |
|----|--|-----|----|-------------------------------|
| 5) | n. 9 legature per metro quadrato di parete | | | |
| 6) | H_{max} | 500 | mm | Massima altezza libera parete |
| | S_{min} | 150 | mm | Minimo spessore parete |
| | | OK | | |

PARETE $s=20$

- Materiali:

| | | | |
|-----------|------|-----|-----------------------------------|
| f_{ck} | 28 | MPa | Resistenza caratt. cilindrica cls |
| f_{ctm} | 2.77 | MPa | Resistenza caratt. a trazione cls |
| f_{yk} | 450 | MPa | Resistenza caratteristica acciaio |

- Geometria sezione:

| | | | |
|-----|------|----|-----------------------------|
| b | 1000 | mm | Larghezza unitaria striscia |
| h | 200 | mm | Spessore parete |

- Armatura scelta:

| | | | |
|-----------------|-----|--------------------|----------------------------------|
| \varnothing_v | 12 | mm | Diametro armatura verticale |
| p_v | 250 | mm | Passo armatura verticale |
| $A_{s,v}$ | 452 | mm ² /m | Area armatura verticale totale |
| \varnothing_h | 12 | mm | Diametro armatura orizzontale |
| p_h | 250 | mm | Passo armatura orizzontale |
| $A_{s,h}$ | 452 | mm ² /m | Area armatura orizzontale totale |

- Prescrizioni §7.4.6.2.4 NTC2018:

| | | | | |
|----|---------------------|-------|----|-------------------------------------|
| 1) | ρ_v | 0.23% | | Rapporto geom. armatura verticale |
| | $\rho_{v,min}$ | 0.20% | | Rapporto geom. verticale minimo |
| | | OK | | |
| 2) | ρ_h | 0.23% | | Rapporto geom. armatura orizzontale |
| | $\rho_{h,min}$ | 0.20% | | Rapporto geom. orizzontale minimo |
| | | OK | | |
| 3) | \varnothing_{max} | 20 | mm | Diametro massimo armature |
| | | OK | | |
| 4) | p_{max} | 300 | mm | Passo massimo armature |
| | | OK | | |

| | | | | |
|----|--|------|----|-------------------------------|
| 5) | n. 9 legature per metro quadrato di parete | | | |
| 6) | H_{max} | 1000 | mm | Massima altezza libera parete |
| | S_{min} | 150 | mm | Minimo spessore parete |
| | | OK | | |

PARETE $s=60$

- Materiali:

| | | | |
|-----------|------|-----|-----------------------------------|
| f_{ck} | 28 | MPa | Resistenza caratt. cilindrica cls |
| f_{ctm} | 2.77 | MPa | Resistenza caratt. a trazione cls |
| f_{yk} | 450 | MPa | Resistenza caratteristica acciaio |

- Geometria sezione:

| | | | |
|-----|------------|----|-----------------------------|
| b | 1000 | mm | Larghezza unitaria striscia |
| h | 600 | mm | Spessore parete |

- Armatura scelta:

| | | | |
|-----------------|------|--------------------|----------------------------------|
| \varnothing_v | 16 | mm | Diametro armatura verticale |
| p_v | 150 | mm | Passo armatura verticale |
| $A_{s,v}$ | 1340 | mm ² /m | Area armatura verticale totale |
| \varnothing_h | 16 | mm | Diametro armatura orizzontale |
| p_h | 150 | mm | Passo armatura orizzontale |
| $A_{s,h}$ | 1340 | mm ² /m | Area armatura orizzontale totale |

- Prescrizioni §7.4.6.2.4 NTC2018:

| | | | | |
|----|---------------------|-----------|----|-------------------------------------|
| 1) | ρ_v | 0.22% | | Rapporto geom. armatura verticale |
| | $\rho_{v,min}$ | 0.20% | | Rapporto geom. verticale minimo |
| | | OK | | |
| 2) | ρ_h | 0.22% | | Rapporto geom. armatura orizzontale |
| | $\rho_{h,min}$ | 0.20% | | Rapporto geom. orizzontale minimo |
| | | OK | | |
| 3) | \varnothing_{max} | 60 | mm | Diametro massimo armature |
| | | OK | | |
| 4) | p_{max} | 300 | mm | Passo massimo armature |
| | | OK | | |

| | | | | |
|----|--|------|----|-------------------------------|
| 5) | n. 9 legature per metro quadrato di parete | | | |
| 6) | H_{max} | 1000 | mm | Massima altezza libera parete |
| | S_{min} | 150 | mm | Minimo spessore parete |
| | | OK | | |

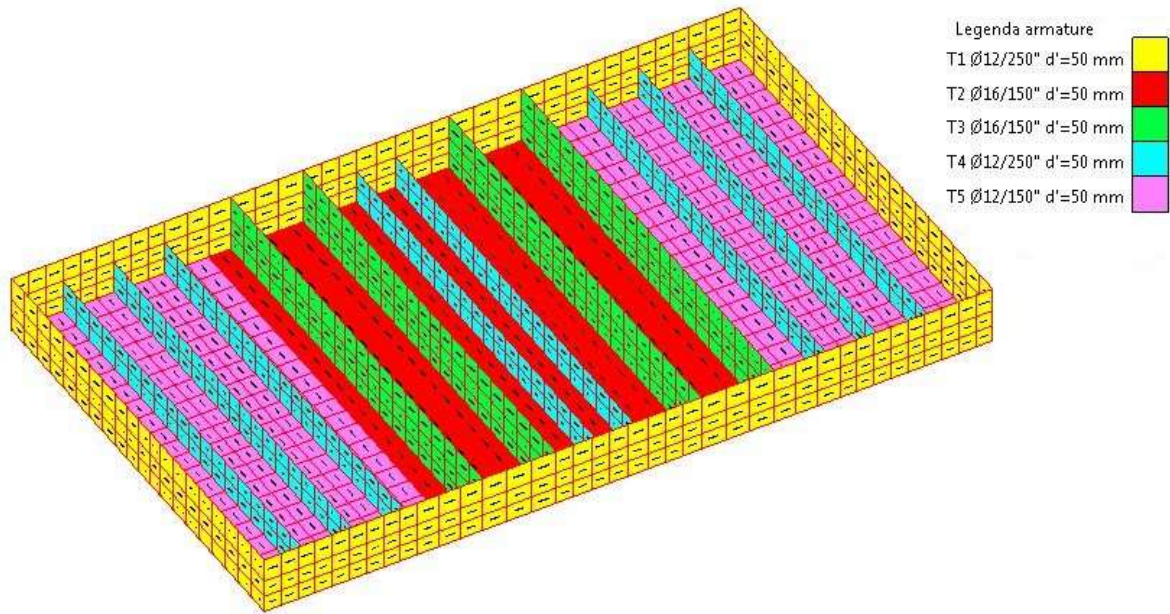


Figura 43: Trafo – Armature assegnate

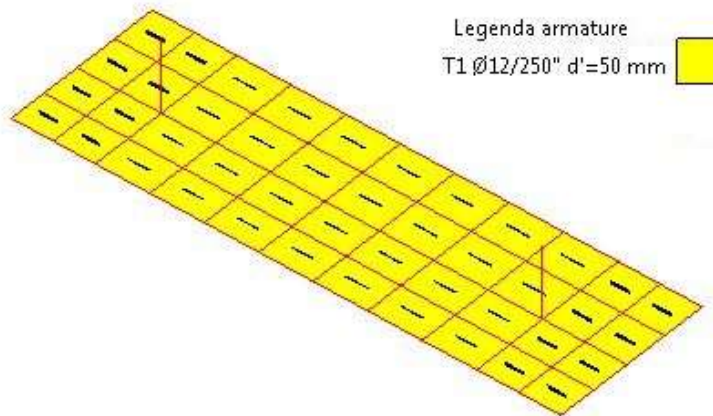


Figura 44: Sezionatore – Armature assegnate

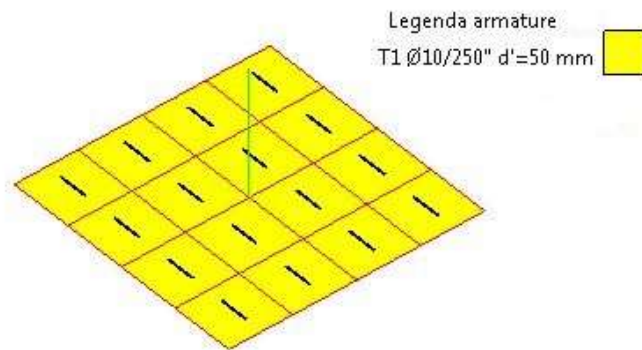


Figura 45: TA – Armature assegnate

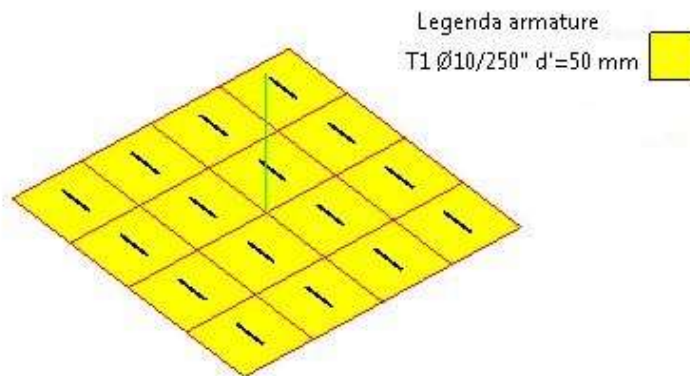
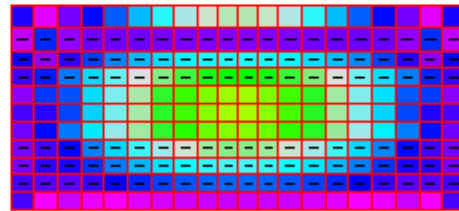
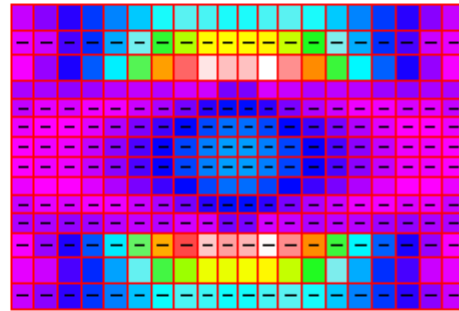
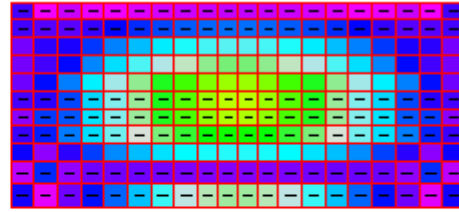
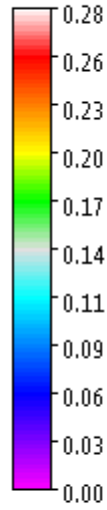


Figura 46: Interruttore – Armature assegnate

Verifica SLU

Coeff.Sfruttamento NM direzione 2



Verifica SLU

Coeff.Sfruttamento NM direzione 3

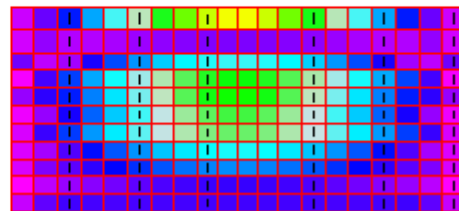
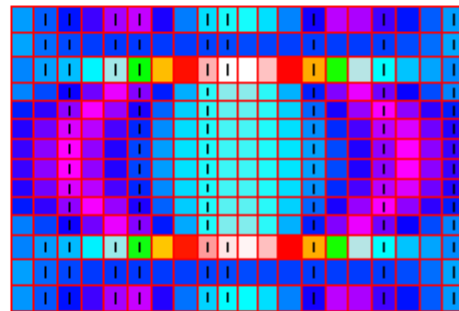
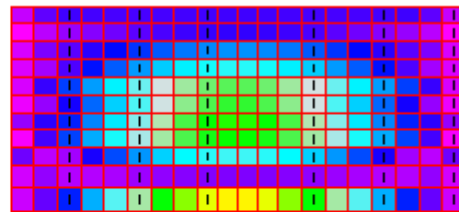
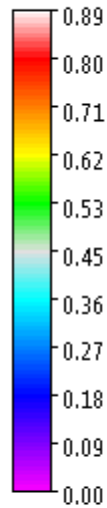
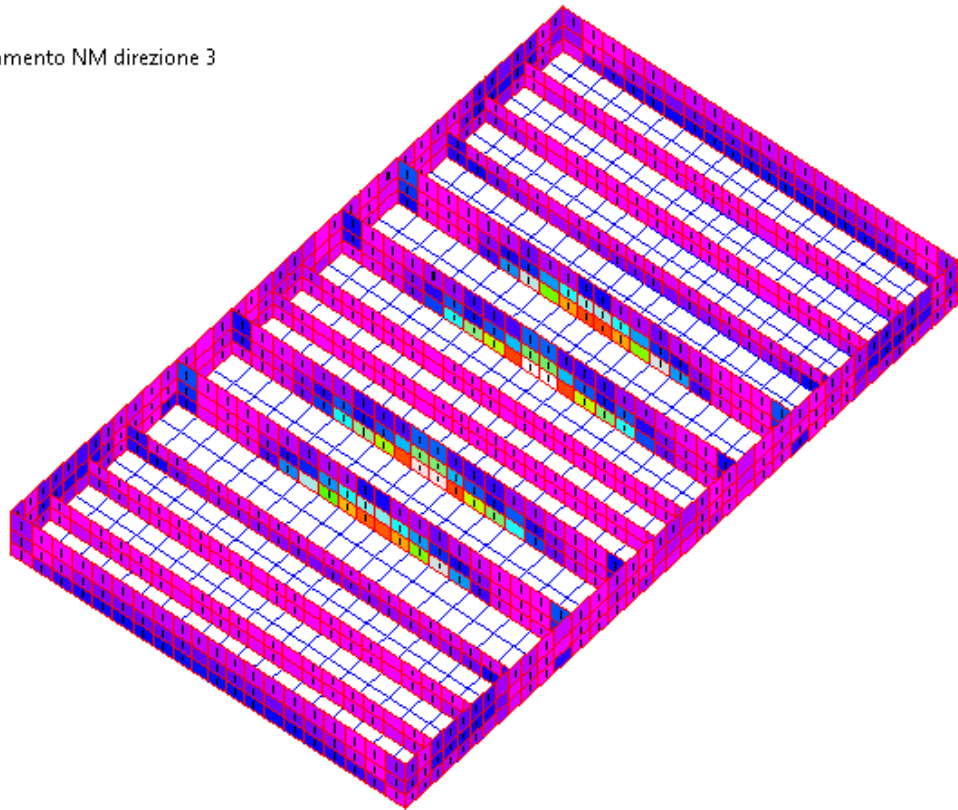
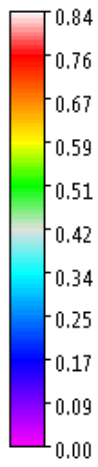


Figura 47: Trafo – Risultati verifiche a flessione platea

Verifica SLU

Coeff.Sfruttamento NM direzione 3



Verifica SLU

Coeff.Sfruttamento NM direzione 2

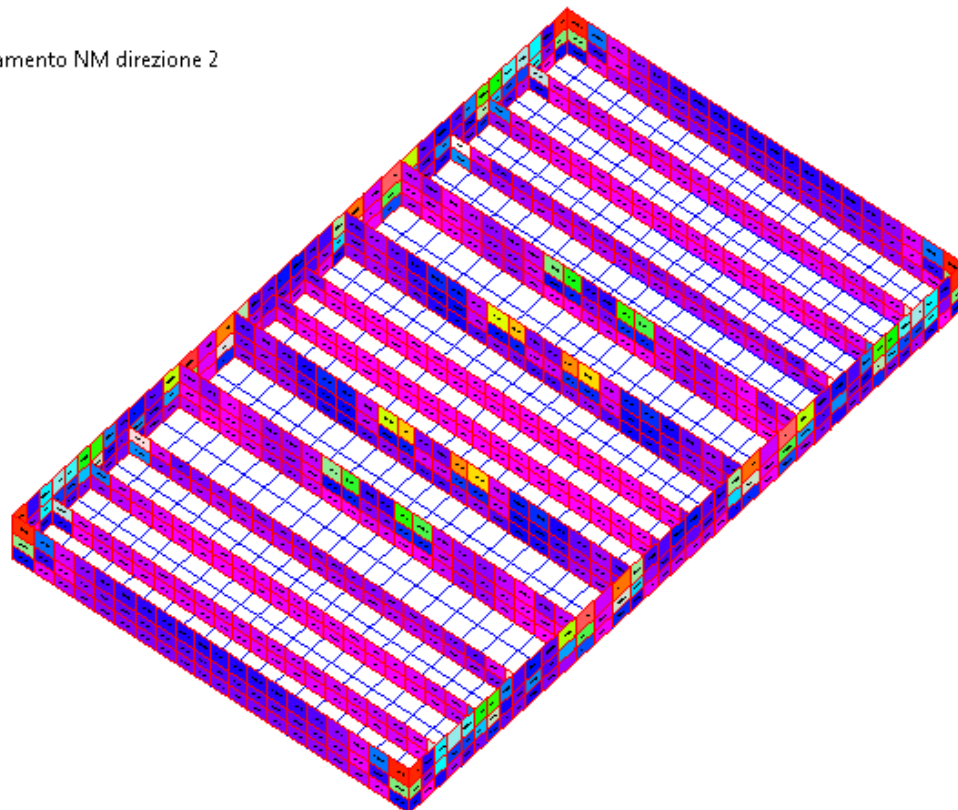
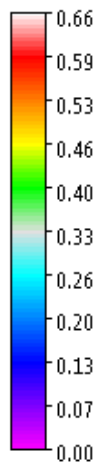
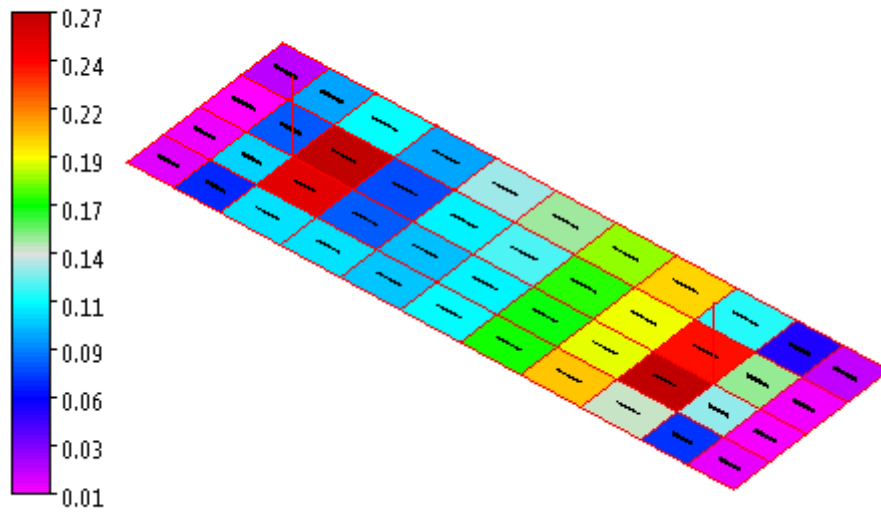


Figura 48: Trafo – Risultati verifiche a pressoflessione pareti

Verifica SLU

Coeff.Sfruttamento NM direzione 2



Verifica SLU

Coeff.Sfruttamento NM direzione 3

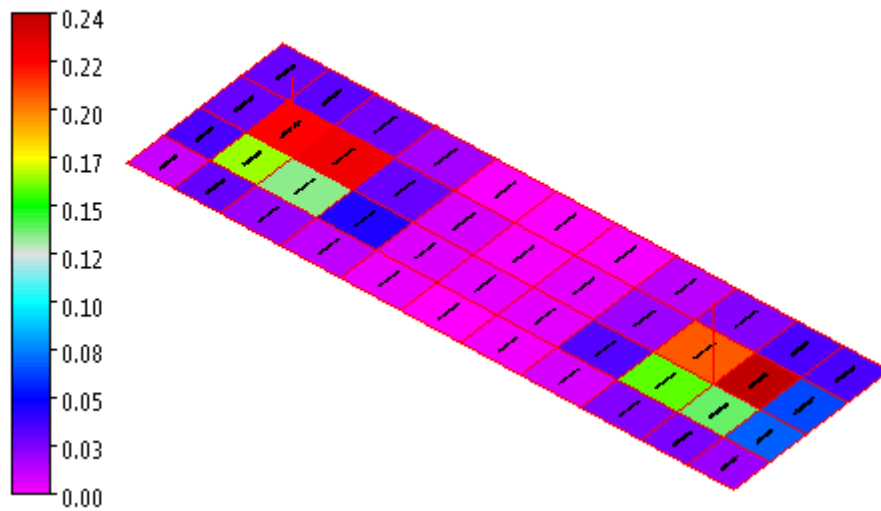
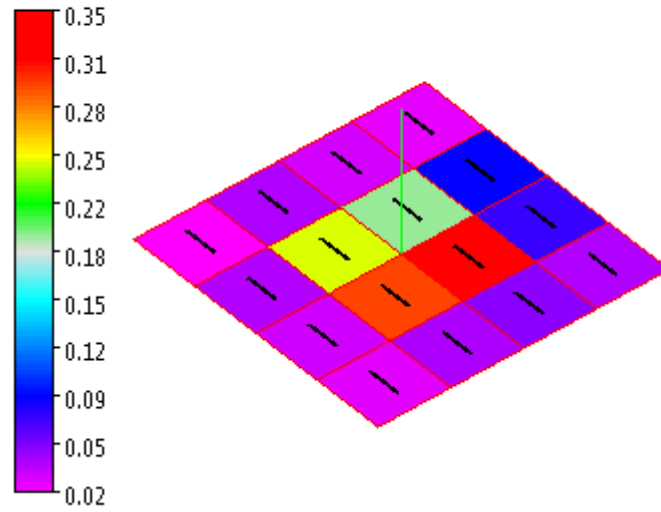


Figura 49: Sezionatore – Risultati verifiche a flessione platea

Verifica SLU

Coeff.Sfruttamento NM direzione 2



Verifica SLU

Coeff.Sfruttamento NM direzione 3

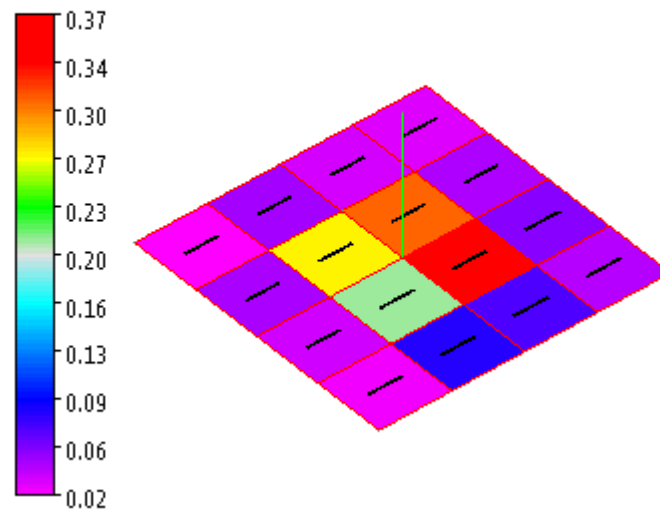
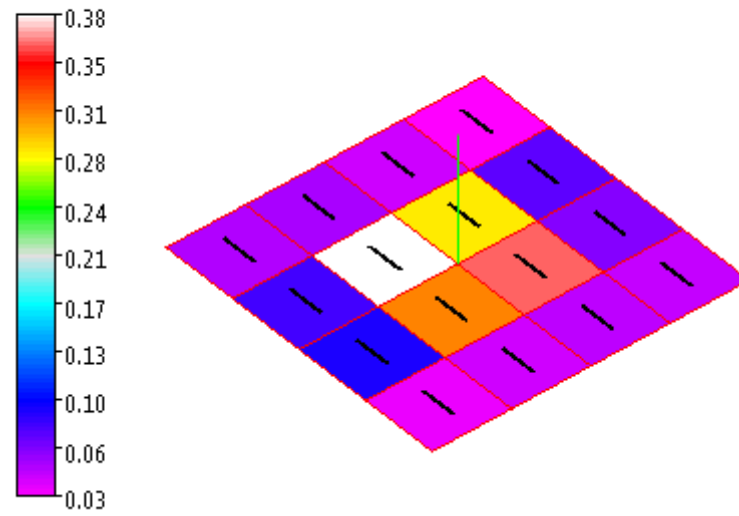


Figura 50: TA – Risultati verifiche a flessione platea

Verifica SLU

Coeff.Sfruttamento NM direzione 2



Verifica SLU

Coeff.Sfruttamento NM direzione 3

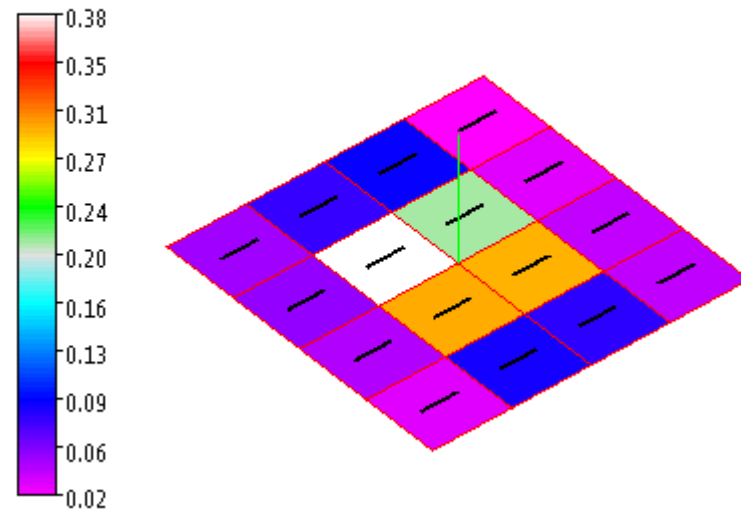


Figura 51: Interruttore – Risultati verifiche a flessione platea