



Engineering & Construction



GRE CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.15438.00.125.00

PAGE

1 di/of 57

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

IMPIANTO EOLICO MONTEMILONE

PROGETTO DEFINITIVO

A.11.3

Calcolo pre-dimensionamento fondazioni delle apparecchiature elettriche



File: GRE.EEC.R.25.IT.W.15438.00.125.00 - A.11.3 Calcolo fondazioni apparecchiature.docx

00	01/12/2021	First issue	F. Guiggiani studio TECHNE	M. Nardi studio TECHNE	M. Nardi studio TECHNE
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED

GRE VALIDATION

A. Provasi	O.Chinnici	E. Pansini
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY

PROJECT / PLANT Wind farm Montemilone	GRE CODE																		
	GROUP	FUNCION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT					SYSTEM	PROGRESSIVE			REVISION			
	GRE	EEC	R	2	5	I	T	W	1	5	4	3	8	0	0	1	2	5	0

CLASSIFICATION	UTILIZATION SCOPE
	Iter autorizzativo

This document is property of Enel Green Power S.p.A. It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent by Enel Green Power S.p.A.

INDEX

1. INTRODUZIONE	5
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
3. ANALISI STRUTTURALE.....	7
3.1. Analisi dei carichi	7
3.2. Condizioni di carico.....	10
3.3. Combinazioni di carico	10
3.4. Descrizione del modello numerico e criteri di analisi e verifica	12
3.4.1. Carichi assegnati	15
3.5. Risultati dell'analisi.....	19
3.5.1. Pressioni sul terreno	19
4. VERIFICHE GEOTECNICHE.....	34
4.1. Collasso per carico limite.....	34
4.1.1. Carico limite Trasformatore.....	35
4.1.2. Carico limite Sezionatore	37
4.1.3. Carico limite TA	38
4.1.4. Carico limite Interruttore	40
4.2. Verifica nei confronti del ribaltamento	42
4.3. Collasso per scorrimento sul piano di posa	42
5. VERIFICHE STRUTTURALI.....	45
5.1. Verifiche allo Stato Limite Ultimo di platee e pareti in c.a.	45

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: Rappresentazione del modello FEM del Trasformatore.....	13
Figura 2: Rappresentazione del modello FEM del Sezionatore.....	13
Figura 3: Rappresentazione del modello FEM del TA.....	14
Figura 4: Rappresentazione del modello FEM dell'Interruttore	14
Figura 5: Trafo – Carichi applicati G1	15
Figura 6: Trafo – Carichi applicati G2	15
Figura 7: Trafo – Carichi applicati Q (Fx)	16
Figura 8: Trafo – Carichi applicati Q (Fy)	16
Figura 9: Trafo – Carichi applicati Vento X	17
Figura 10: Trafo – Carichi applicati Vento Y.....	17
Figura 11: Trafo – Carichi applicati Sisma X	18
Figura 12: Trafo – Carichi applicati Sisma Y	18
Figura 13: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 1 (EQU)	19
Figura 14: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 2 (EQU)	19
Figura 15: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 3 (EQU+STR)	20
Figura 16: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 4 (EQU+STR)	20
Figura 17: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 5 (EQU+STR)	21
Figura 18: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 6 (STR).....	21
Figura 19: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 7 (STR).....	22
Figura 20: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 8 (STR).....	22
Figura 21: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 9 (STR).....	23
Figura 22: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 10 (STR).....	23
Figura 23: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 1 (EQU).....	24
Figura 24: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 2 (EQU).....	24
Figura 25: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 3 (EQU+STR)	25

Figura 26: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 4 (EQU+STR)	25
Figura 27: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 5 (EQU+STR)	26
Figura 28: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 6 (STR)	26
Figura 29: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 7 (STR)	27
Figura 30: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 8 (STR)	27
Figura 31: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 9 (STR)	28
Figura 32: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 10 (STR).....	28
Figura 33: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 1 (EQU).....	29
Figura 34: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 2 (EQU).....	29
Figura 35: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 3 (EQU+STR).....	30
Figura 36: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 4 (EQU+STR).....	30
Figura 37: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 5 (EQU+STR).....	31
Figura 38: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 6 (STR)	31
Figura 39: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 7 (STR)	32
Figura 40: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 8 (STR)	32
Figura 41: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 9 (STR)	33
Figura 42: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 10 (STR)	33
Figura 43: Trafo – Armature assegnate	51
Figura 44: Sezionatore – Armature assegnate.....	51
Figura 45: TA – Armature assegnate.....	52
Figura 46: Interruttore – Armature assegnate.....	52
Figura 47: Trafo – Risultati verifiche a flessione platea	53
Figura 48: Trafo – Risultati verifiche a pressoflessione pareti	54
Figura 49: Sezionatore – Risultati verifiche a flessione platea.....	55
Figura 50: TA – Risultati verifiche a flessione platea.....	56
Figura 51: Interruttore – Risultati verifiche a flessione platea.....	57

1. INTRODUZIONE

La presente relazione è volta ad illustrare i calcoli eseguiti per il predimensionamento delle strutture di fondazione delle apparecchiature elettriche da installarsi all'interno dell'impianto eolico "Montemilone" sito nel comune omonimo (PZ).

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		-1.0	

		21.0			
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	-750.0			-3.2	
Taglio lungo asse X			213.8	3.2	21.3
Taglio lungo asse Y			213.8	3.2	16.2
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.

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.

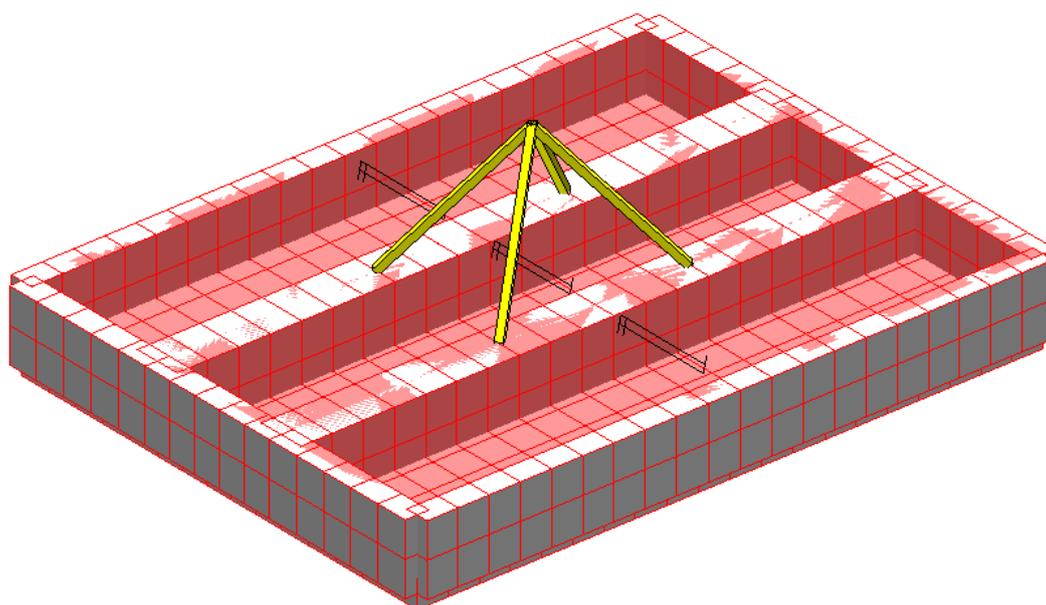


Figura 1: Rappresentazione del modello FEM del Trasformatore

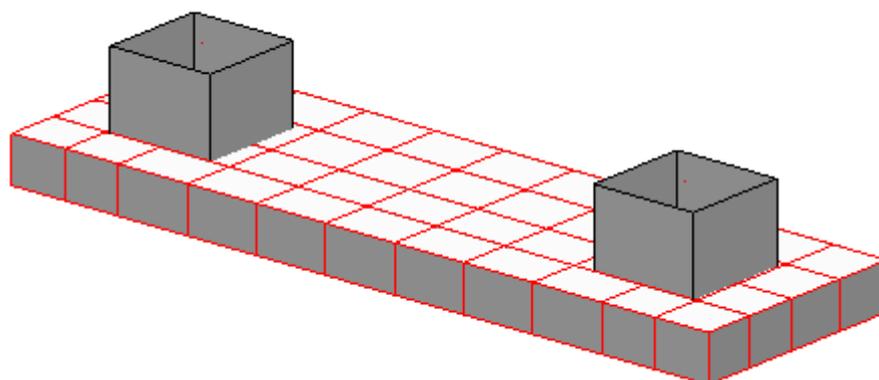


Figura 2: Rappresentazione del modello FEM del Sezionatore

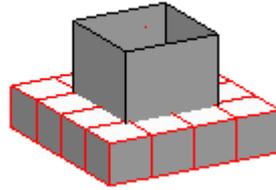


Figura 3: Rappresentazione del modello FEM del TA

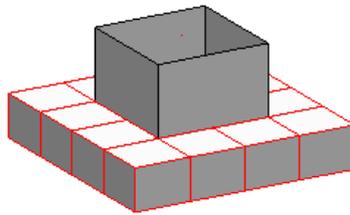


Figura 4: Rappresentazione del modello FEM dell'Interruttore

3.4.1. Carichi assegnati

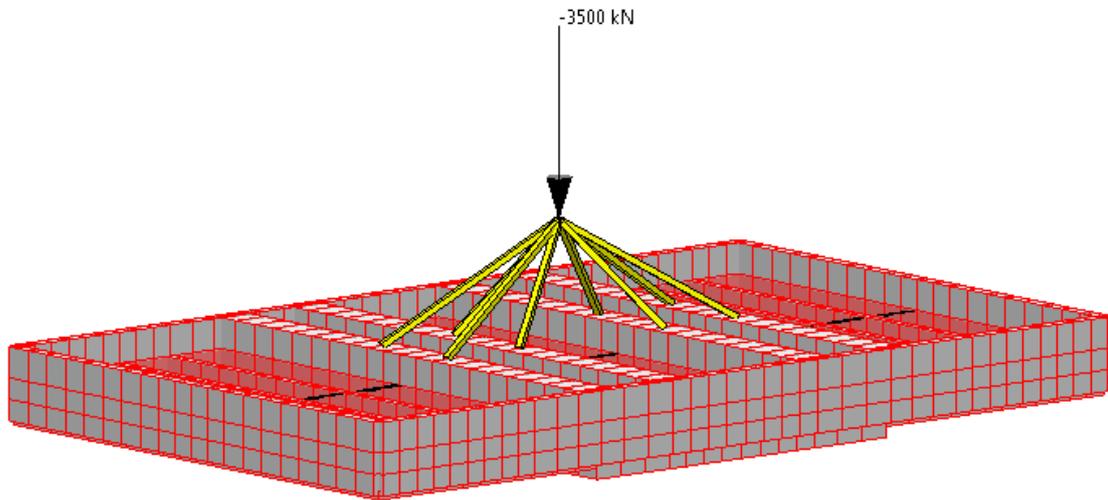


Figura 5: Trafo – Carichi applicati G1

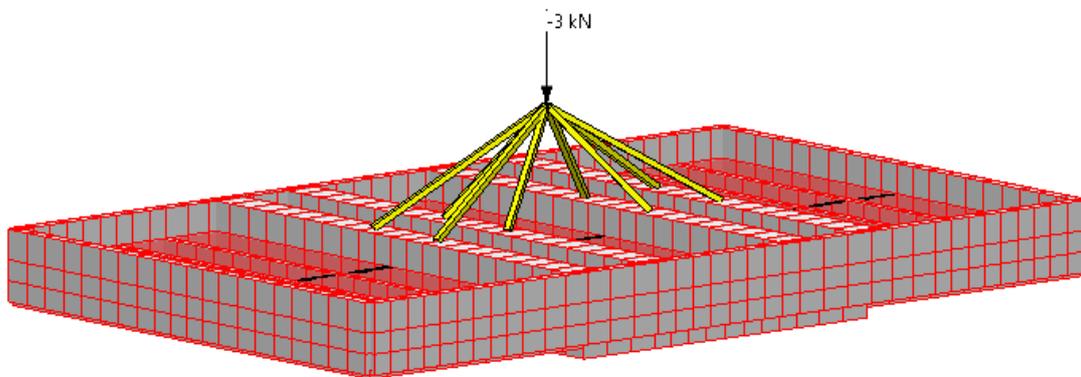


Figura 6: Trafo – Carichi applicati G2

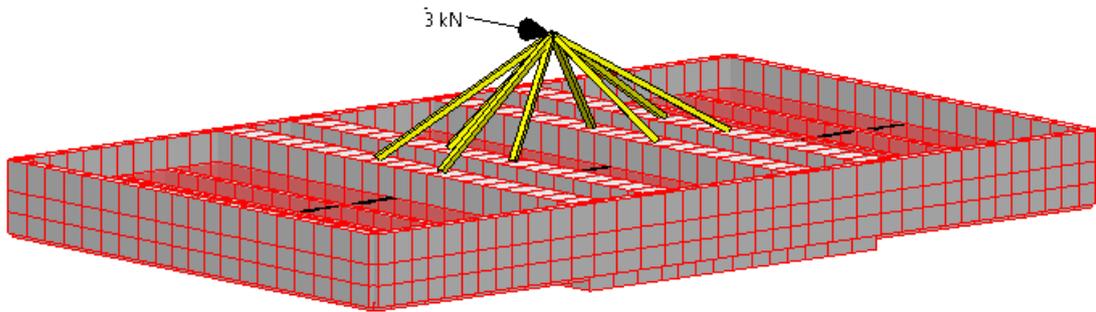


Figura 7: Trafo – Carichi applicati Q (Fx)

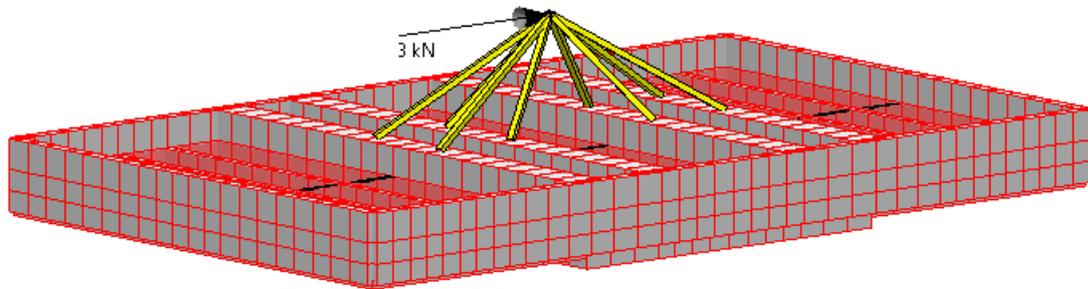


Figura 8: Trafo – Carichi applicati Q (Fy)

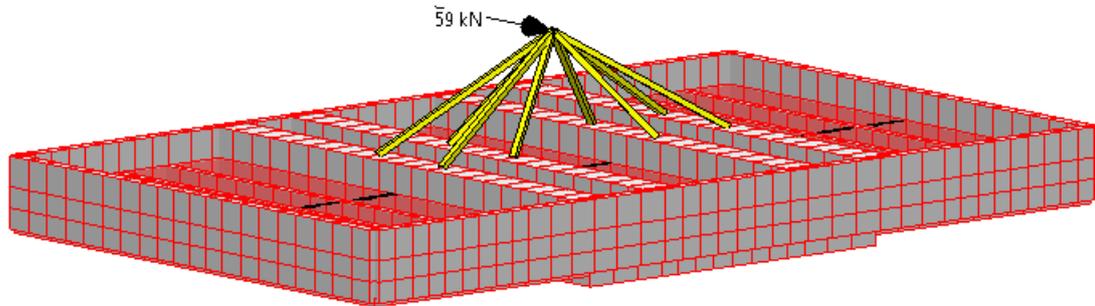


Figura 9: Trafo – Carichi applicati Vento X

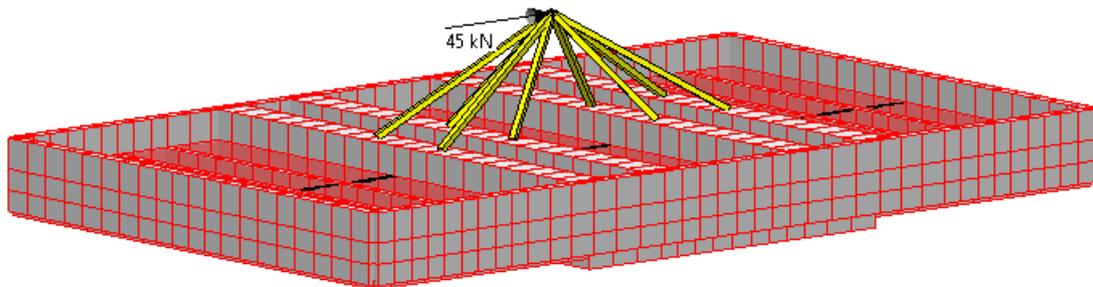


Figura 10: Trafo – Carichi applicati Vento Y

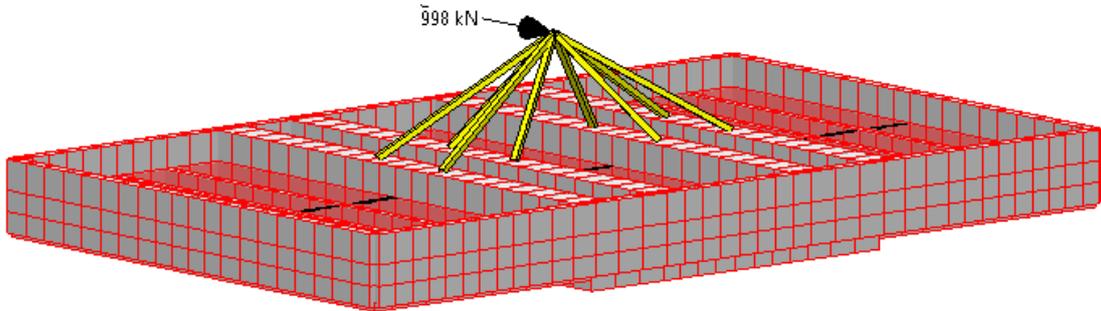


Figura 11: Trafo – Carichi applicati Sisma X

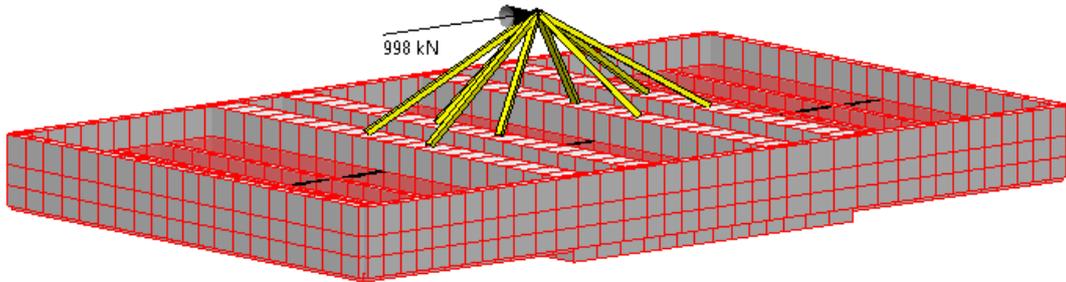


Figura 12: Trafo – Carichi applicati Sisma Y

3.5. Risultati dell'analisi

3.5.1. Pressioni sul terreno

CdC Non Lineare EQU

Sub P (kN/m²)

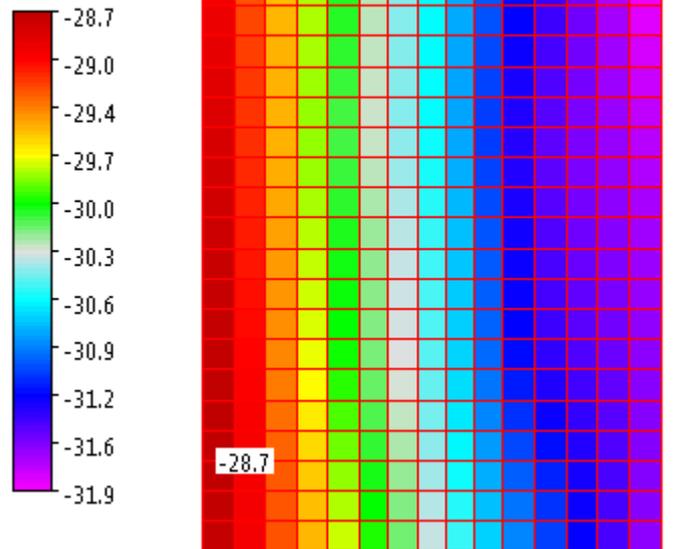


Figura 13: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 1 (EQU)

CdC Non Lineare EQU

Sub P (kN/m²)

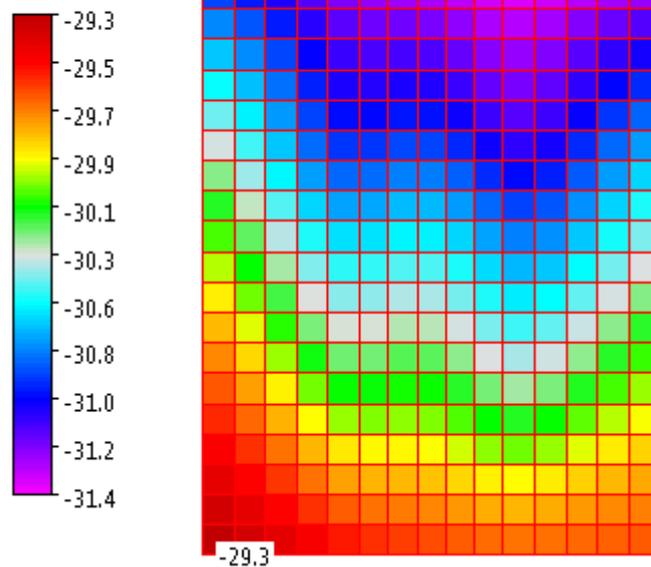


Figura 14: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 2 (EQU)

CdC Non Lineare EQU+STR

Sub P (kN/m³)

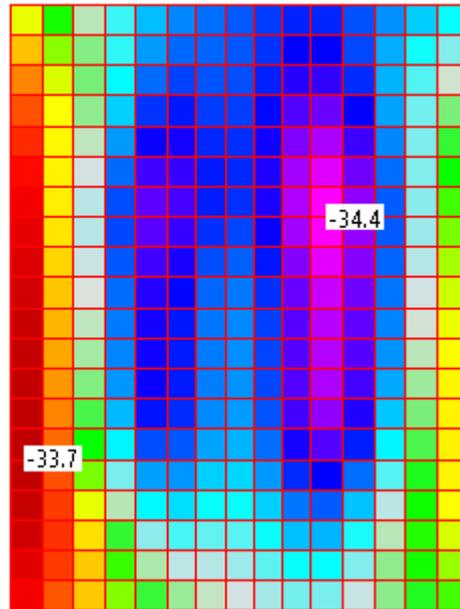
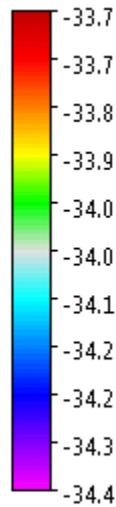


Figura 15: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 3 (EQU+STR)

CdC Non Lineare EQU+STR

Sub P (kN/m³)

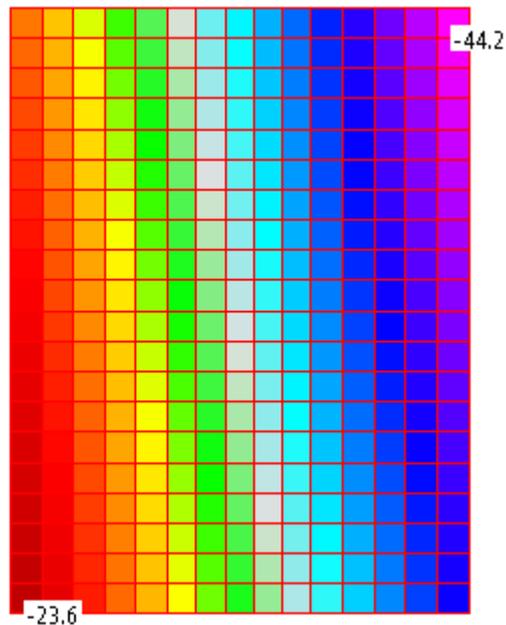
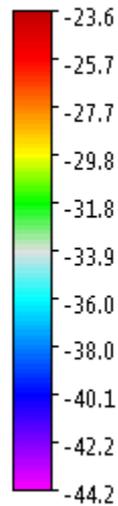


Figura 16: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 4 (EQU+STR)

CdC Non Lineare EQU+STR

Sub P (kN/m³)

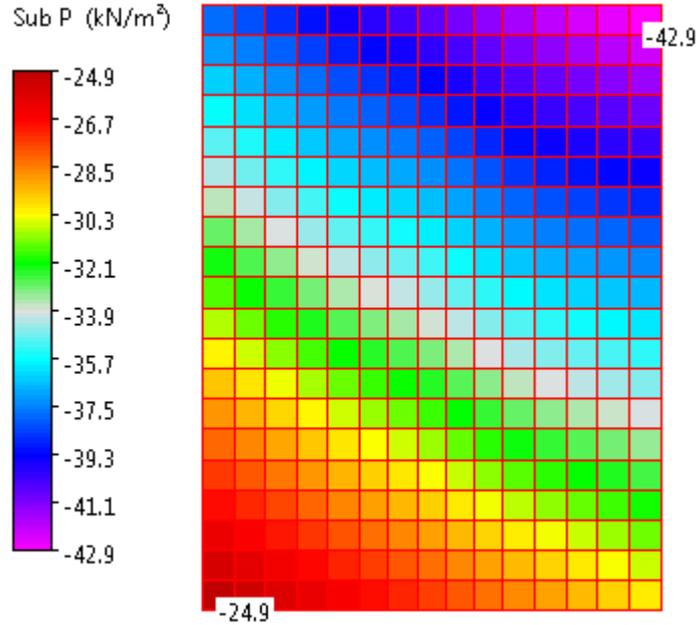


Figura 17: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 5 (EQU+STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m³)

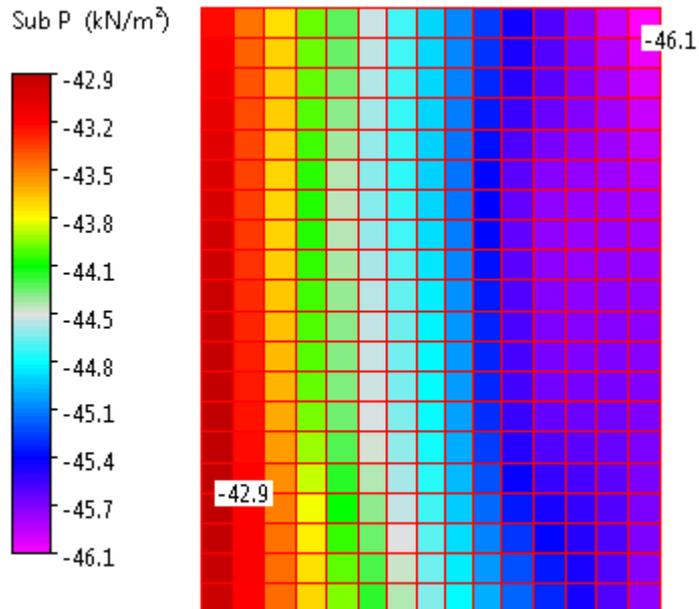


Figura 18: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 6 (STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m³)

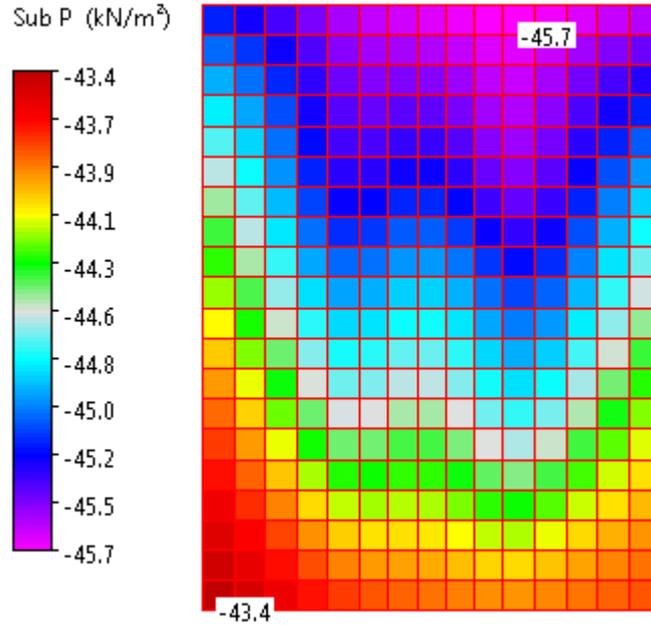


Figura 19: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 7 (STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m³)

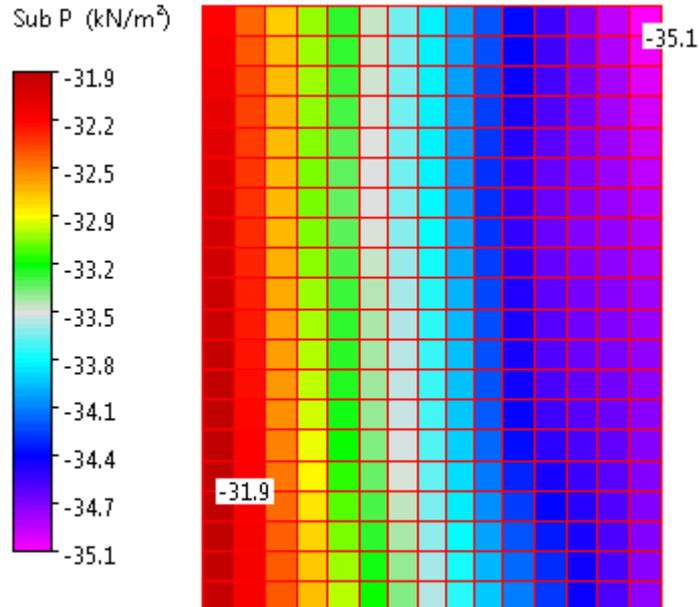


Figura 20: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 8 (STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m²)

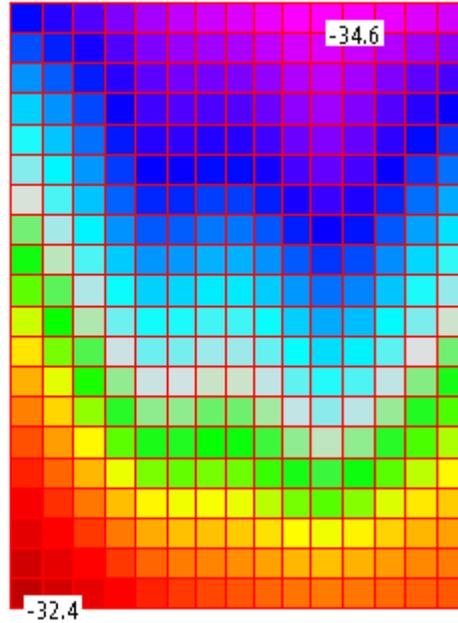
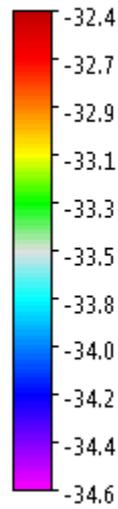


Figura 21: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 9 (STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m²)

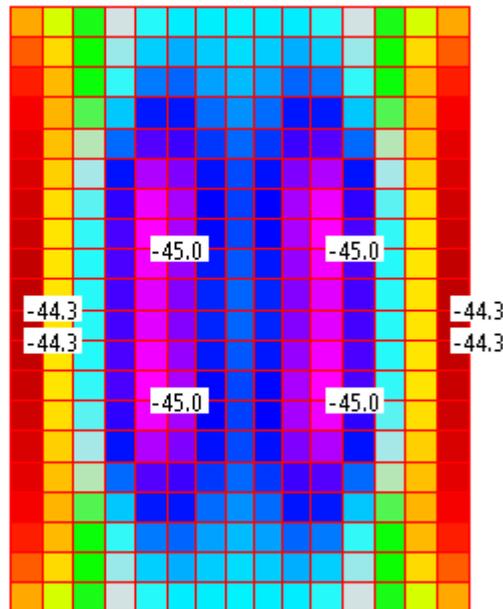
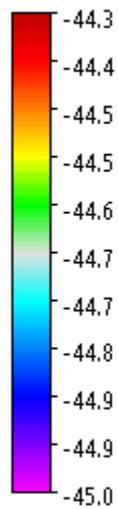


Figura 22: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 10 (STR)

CdC Non Lineare EQU

Sub P (kN/m²)

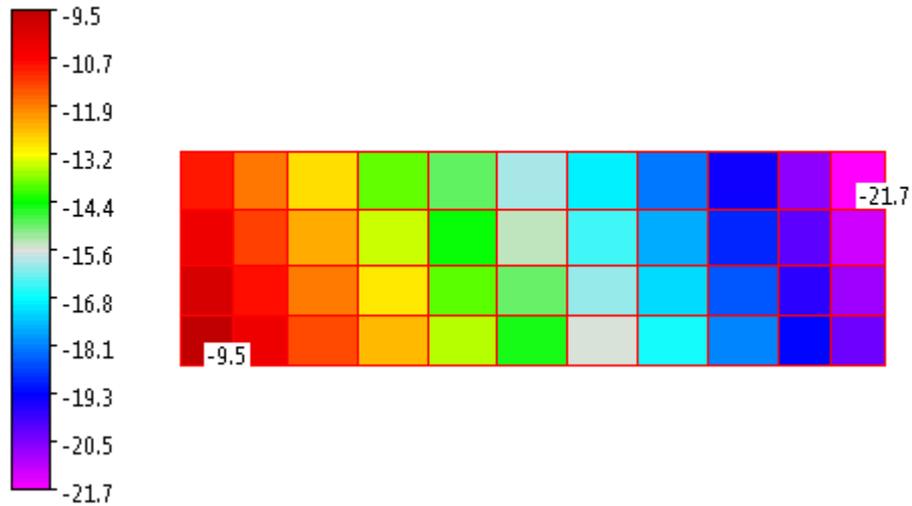


Figura 23: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 1 (EQU)

CdC Non Lineare EQU

Sub P (kN/m²)

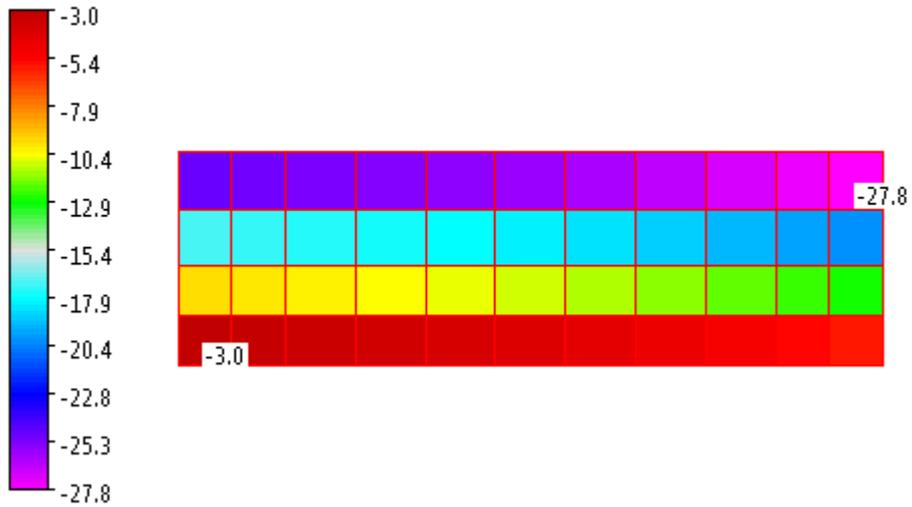


Figura 24: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 2 (EQU)

CdC Non Lineare EQU+STR

Sub P (kN/m³)

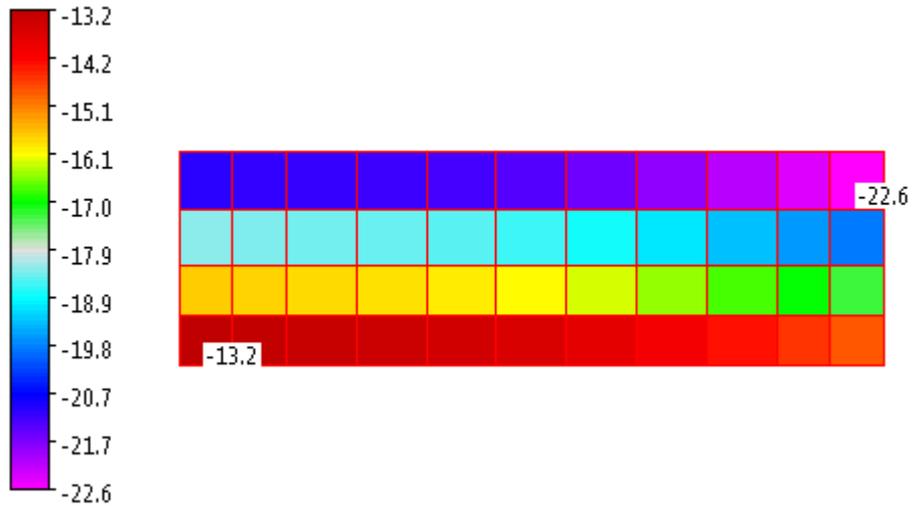


Figura 25: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 3 (EQU+STR)

CdC Non Lineare EQU+STR

Sub P (kN/m³)

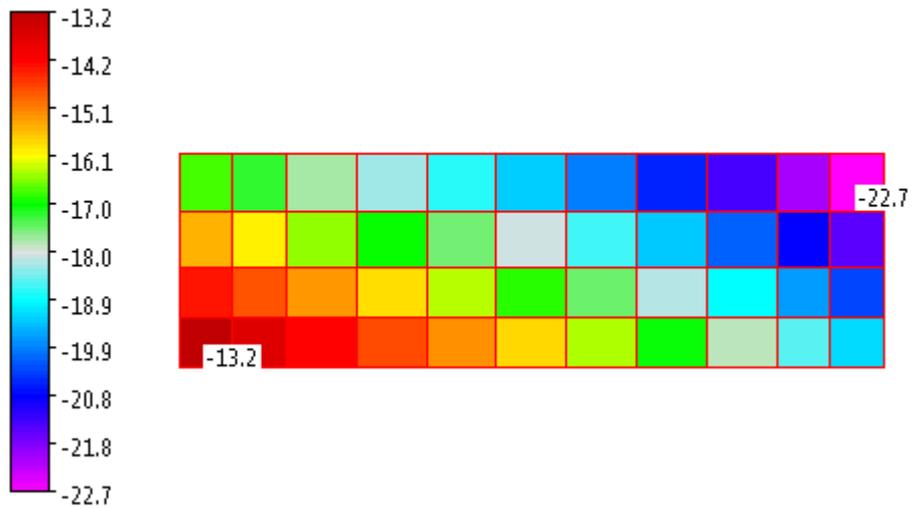


Figura 26: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 4 (EQU+STR)

CdC Non Lineare EQU+STR

Sub P (kN/m³)

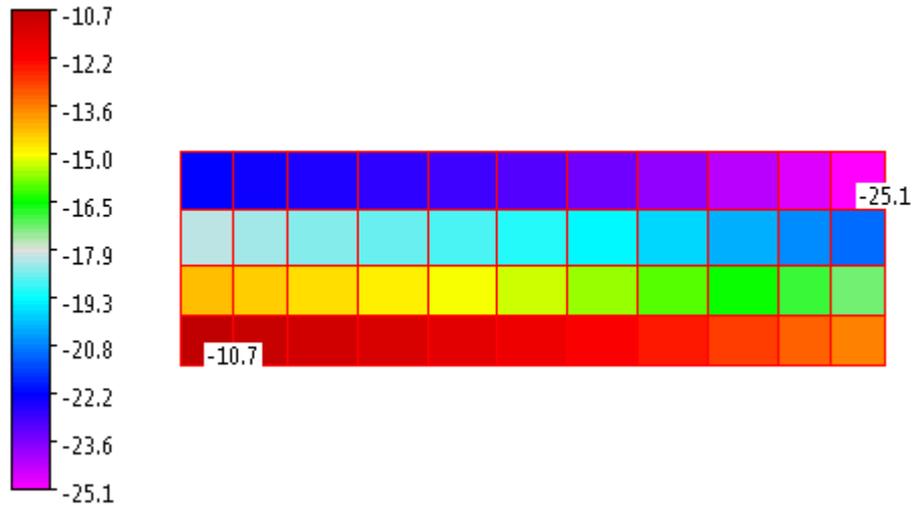


Figura 27: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 5 (EQU+STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m³)

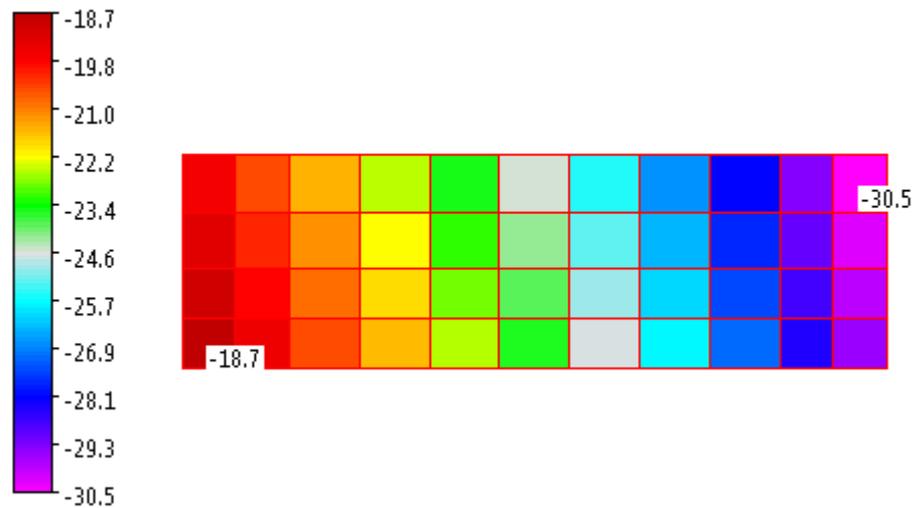


Figura 28: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 6 (STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m²)

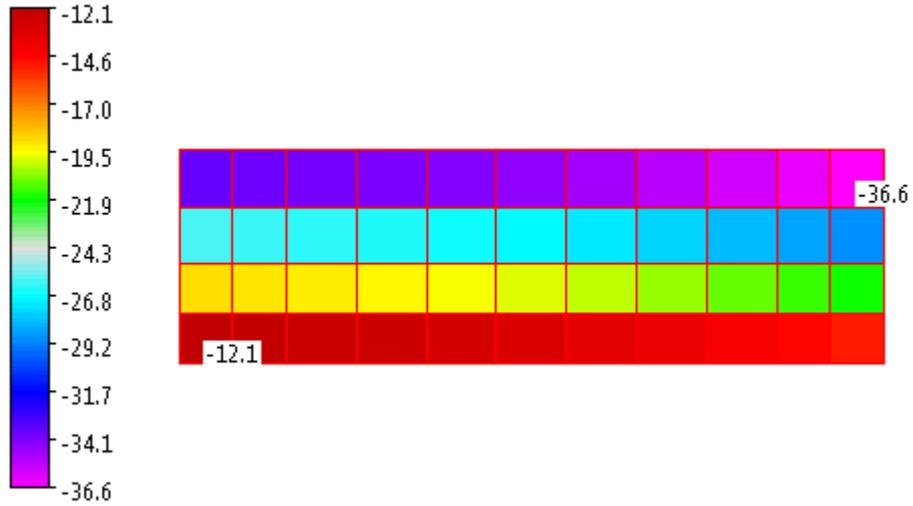


Figura 29: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 7 (STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m²)

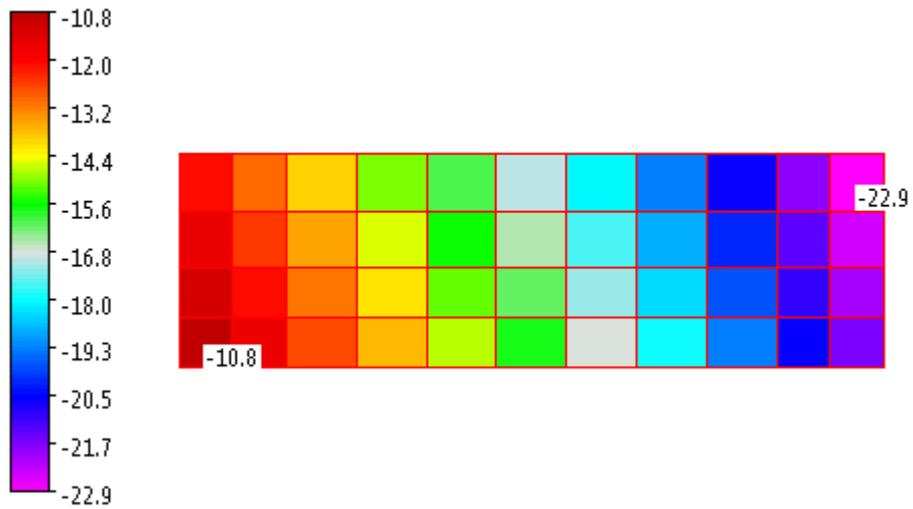


Figura 30: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 8 (STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m³)

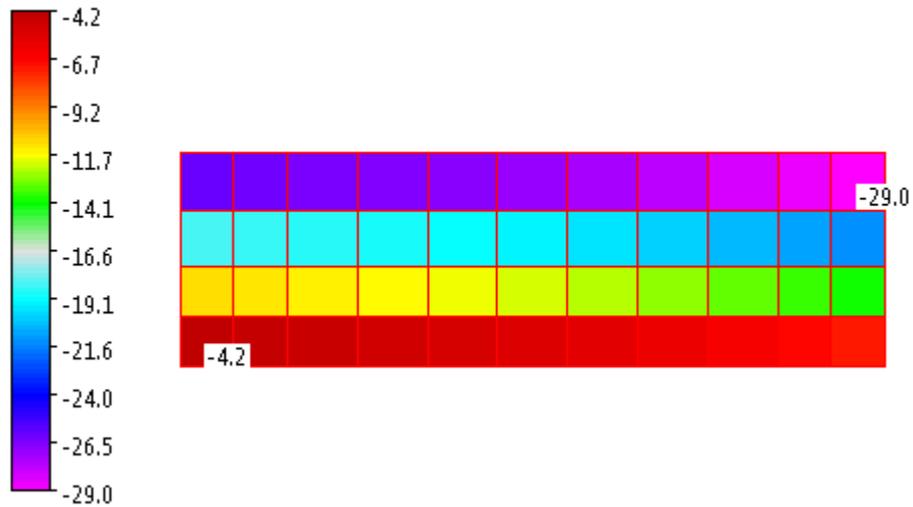


Figura 31: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 9 (STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m³)

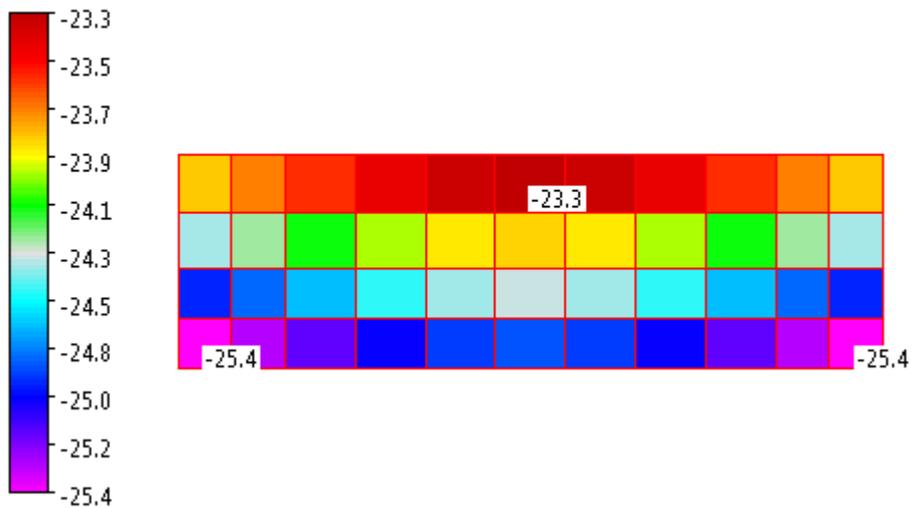


Figura 32: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 10 (STR)

CdC Non Lineare EQU

Sub P (kN/m³)

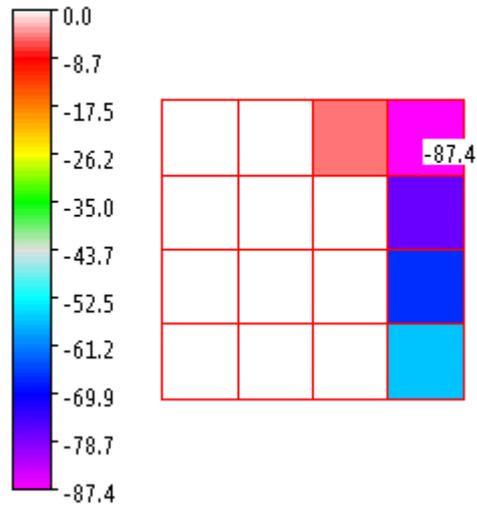


Figura 33: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 1 (EQU)

CdC Non Lineare EQU

Sub P (kN/m³)

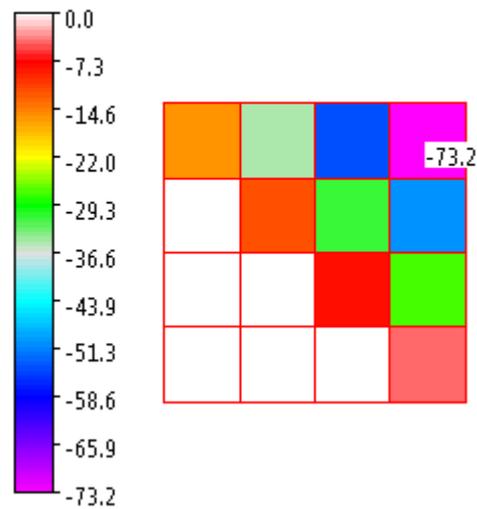


Figura 34: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 2 (EQU)

CdC Non Lineare EQU+STR

Sub P (kN/m³)

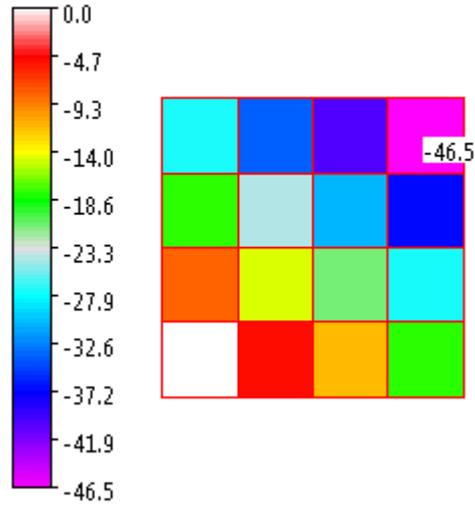


Figura 35: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 3 (EQU+STR)

CdC Non Lineare EQU+STR

Sub P (kN/m³)

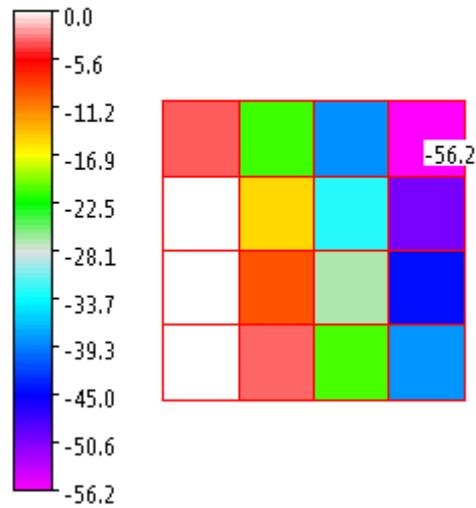


Figura 36: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 4 (EQU+STR)

CdC Non Lineare EQU+STR

Sub P (kN/m³)

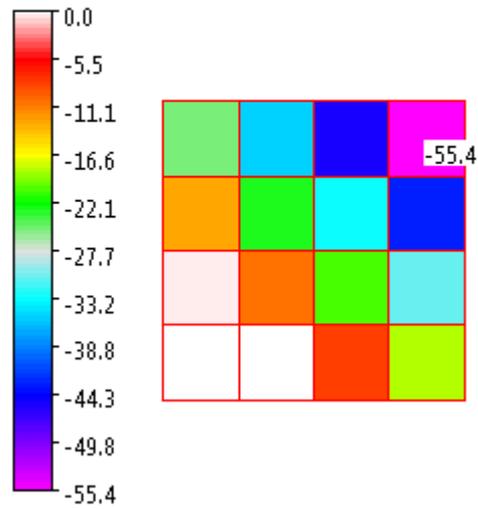


Figura 37: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 5 (EQU+STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m³)

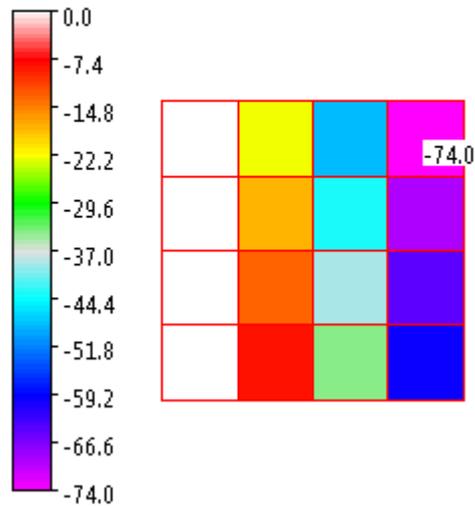


Figura 38: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 6 (STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m³)

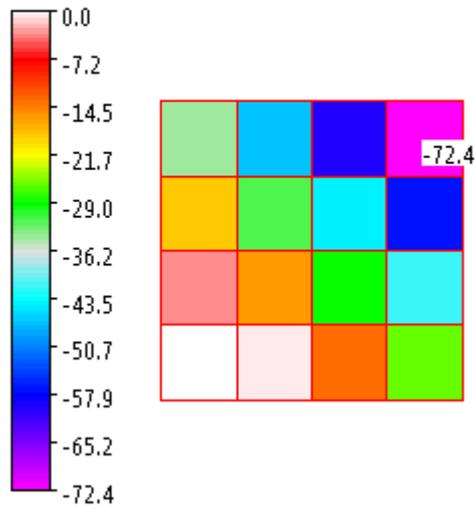


Figura 39: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 7 (STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m³)

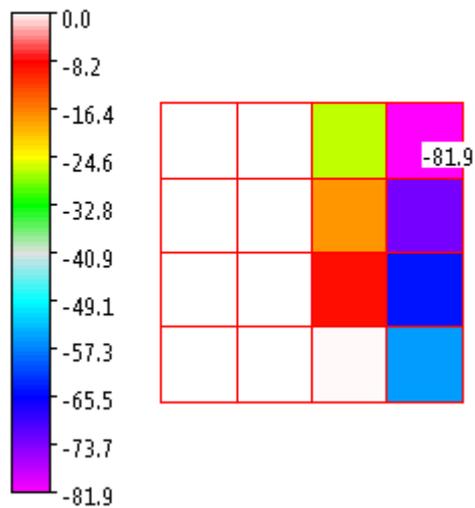


Figura 40: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 8 (STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m³)

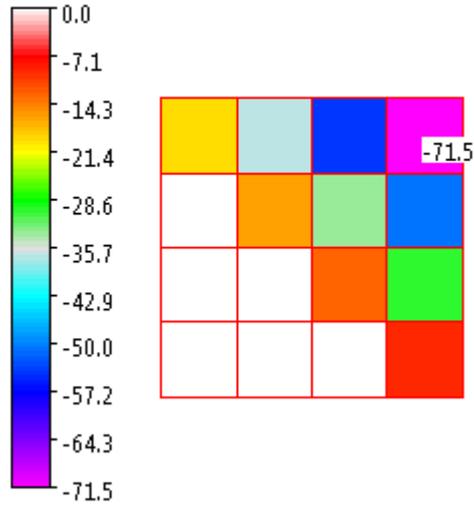


Figura 41: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 9 (STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m³)

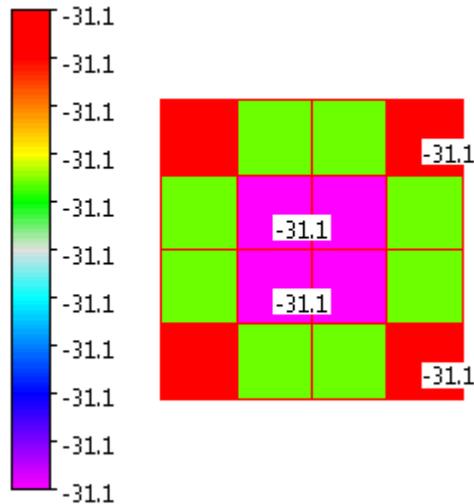


Figura 42: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 10 (STR)

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:

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

Le caratteristiche del terreno non sono note, pertanto sono state ipotizzate. Il dimensionamento delle fondazioni è dunque fortemente suscettibile nei confronti delle reali caratteristiche del terreno, da valutare in fase di progetto esecutivo.

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] **46.1**

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]	9.20	
b_y [m]	7.00	
$B_{x,eff} (b_x - 2e_x)$ [m]	9.20	
$B_{y,eff} (b_y - 2e_y)$ [m]	7.00	
profondità di posa D [m]	1.75	
N_γ	22.40	
N_c	30.14	
N_q	18.40	
m	1.57	
i_γ	1.00	
i_c	1.00	
i_q	1.00	
S_γ	0.70	

s_c	1.46
s_q	1.44
d_c	1.06
d_q	1.05
g_y	1.00
g_c	1.00
g_q	1.00

tipo di fondazione

superficiale

γ_R 2.30 [Tab. 6.4.I NTC2018]

Carico limite sul terreno della fondazione

q_{lim} [kN/m²] 1758.4

$q_{lim,R}$ [kN/m²] 764.5

Coefficiente di sicurezza **16.58** OK

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

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_γ	22.40	
N_c	30.14	
N_q	18.40	
m	1.77	
i_γ	1.00	
i_c	1.00	
i_q	1.00	
S_γ	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.I 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

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

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/m²] 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_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	1.16
d_q	1.16
g_y	1.00
g_c	1.00
g_q	1.00

tipo di fondazione superficiale

γ_R 2.30 [Tab. 6.4.I NTC2018]

Carico limite sul terreno della fondazione

q_{lim} [kN/m²] 425.1

$q_{lim,R}$ [kN/m²] 184.8

Coefficiente di sicurezza **2.26** OK

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

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_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	1.13
d_q	1.13
g_γ	1.00
g_c	1.00
g_q	1.00

tipo di fondazione **superficiale**

γ_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

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

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

$F_{h,tot}$ 226.4 kN

F_v 2032.0 kN

Condizioni drenate:

μ 0.36 Coeff. di attrito = $\tan(2/3 \phi')$

F_{attr} 739.6 kN

γ_R 1.1

$F_{h,tot}/F_{attr}/\gamma_R$ 0.34 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 Coeff. di attrito = $\tan(2/3 \phi')$ F_{attr} 13.1 kN γ_R 1.1 $F_{h,tot}/F_{attr}/\gamma_R$ 0.27 OK**INTERRUTTORE****Verifica allo scorrimento** $F_{h,tot}$ 1.9 kN F_v 25.1 kN

Condizioni drenate:

 μ 0.36 Coeff. di attrito = $\tan(2/3 \phi')$ F_{attr} 9.1 kN γ_R 1.1 $F_{h,tot}/F_{attr}/\gamma_R$ 0.22 OK

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 $s=40$

- 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	400	mm	Spessore platea

- Armatura scelta:

\emptyset	12	mm	Diametro armatura
p	250	mm	Passo armatura
A_s	452	mm ² /m	Area armatura per lembo e per direzione

- Prescrizioni §7.2.5 NTC2018:

1) ρ	0.11%	Rapporto geometrico armatura per lembo
-----------	-------	--

ρ_{\min}

0.10%

Rapporto geometrico minimo

OK

PARETE s=34

- 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	340	mm	Spessore parete

- Armatura scelta:

\varnothing_v	16	mm	Diametro armatura verticale
ρ_v	250	mm	Passo armatura verticale
$A_{s,v}$	804	mm ² /m	Area armatura verticale totale
\varnothing_h	16	mm	Diametro armatura orizzontale
ρ_h	250	mm	Passo armatura orizzontale
$A_{s,h}$	804	mm ² /m	Area armatura orizzontale totale

- Prescrizioni §7.4.6.2.4 NTC2018:

1) ρ_v	0.24%	Rapporto geom. armatura verticale	
$\rho_{v,min}$	0.20%	Rapporto geom. verticale minimo	
	OK		
2) ρ_h	0.24%	Rapporto geom. armatura orizzontale	
$\rho_{h,min}$	0.20%	Rapporto geom. orizzontale minimo	
	OK		
3) \varnothing_{max}	34	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} 800 mm Massima altezza libera parete

S_{\min} 150 mm Minimo spessore parete

OK

PARETE s=67

- 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	670 mm	Spessore parete

- Armatura scelta:

\varnothing_v	16 mm	Diametro armatura verticale
ρ_v	150 mm	Passo armatura verticale
$A_{s,v}$	1340 mm ² /m	Area armatura verticale totale
\varnothing_h	16 mm	Diametro armatura orizzontale
ρ_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	0.20%	Rapporto geom. armatura verticale
$\rho_{v,min}$	0.20%	Rapporto geom. verticale minimo
	OK	
2) ρ_h	0.20%	Rapporto geom. armatura orizzontale
$\rho_{h,min}$	0.20%	Rapporto geom. orizzontale minimo
	OK	
3) \varnothing_{max}	67 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} 800 mm Massima altezza libera parete

S_{\min} 150 mm Minimo spessore parete

OK

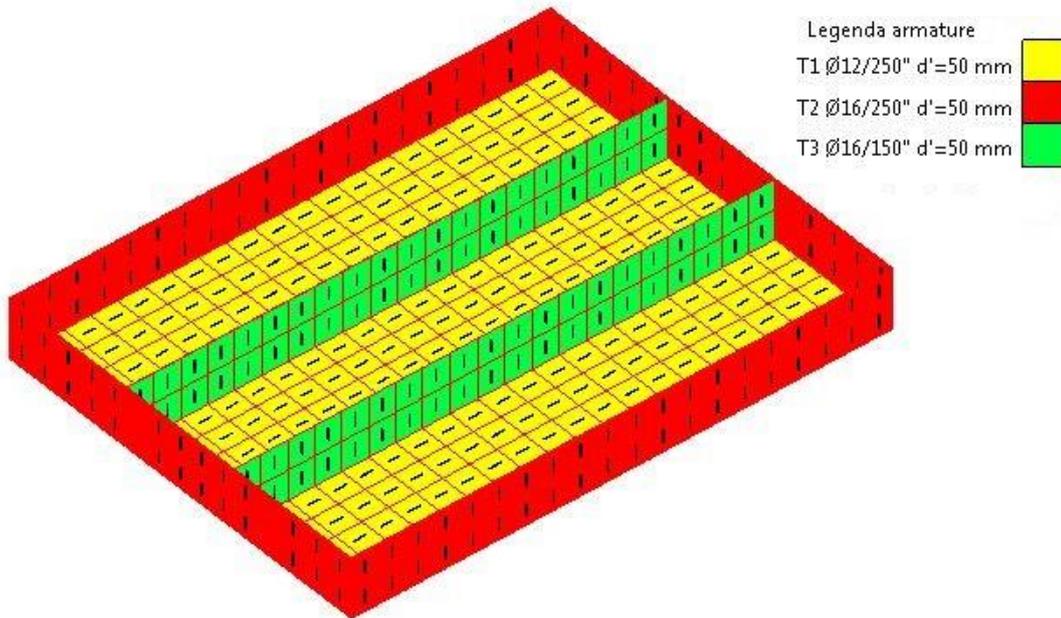


Figura 43: Trafo – Armature assegnate

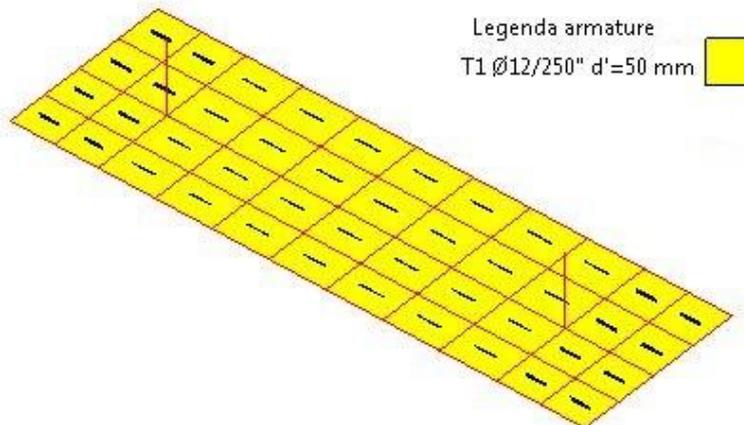


Figura 44: Sezionatore – Armature assegnate

Legenda armature

T1 $\varnothing 10/250''$ d'=50 mm

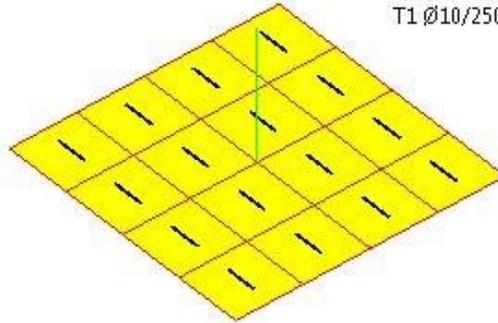


Figura 45: TA – Armature assegnate

Legenda armature

T1 $\varnothing 10/250''$ d'=50 mm

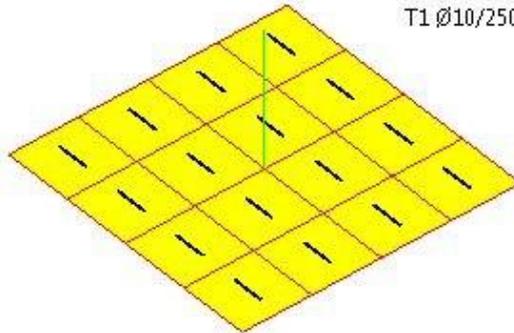
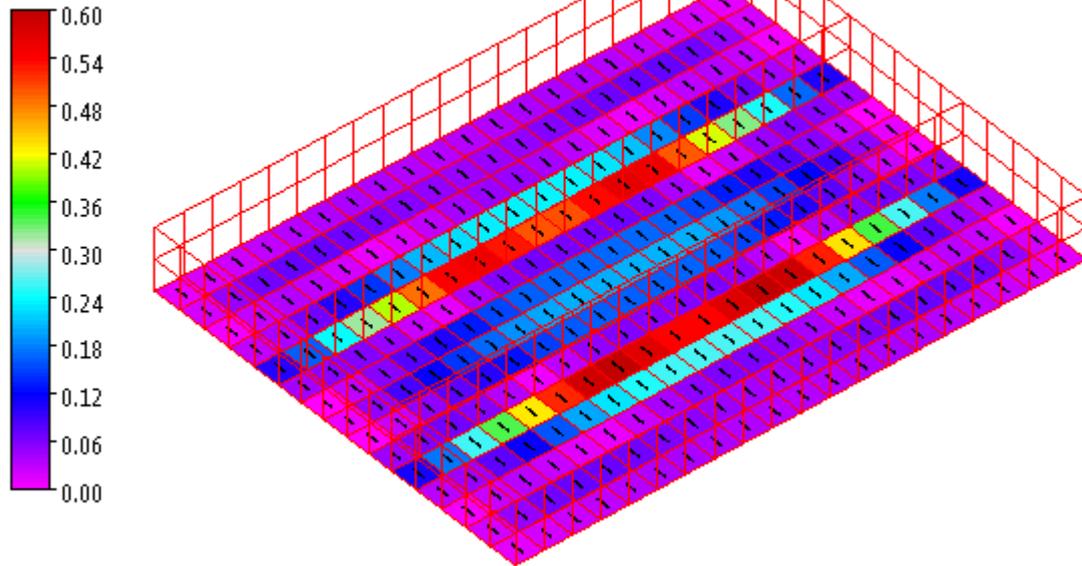


Figura 46: Interruttore – Armature assegnate

Verifica SLU

Coeff.Sfruttamento NM direzione 2



Verifica SLU

Coeff.Sfruttamento NM direzione 3

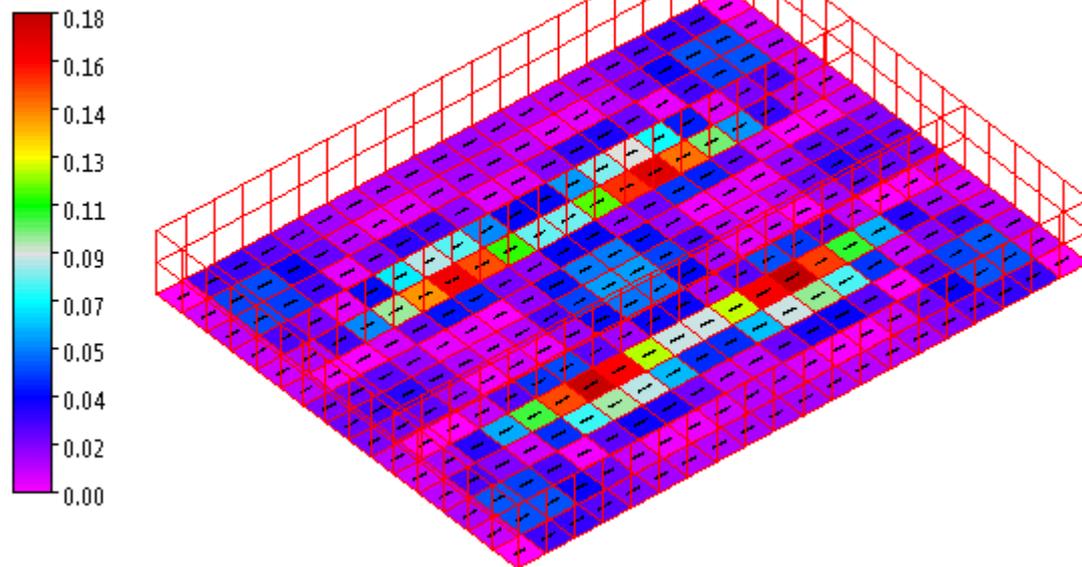
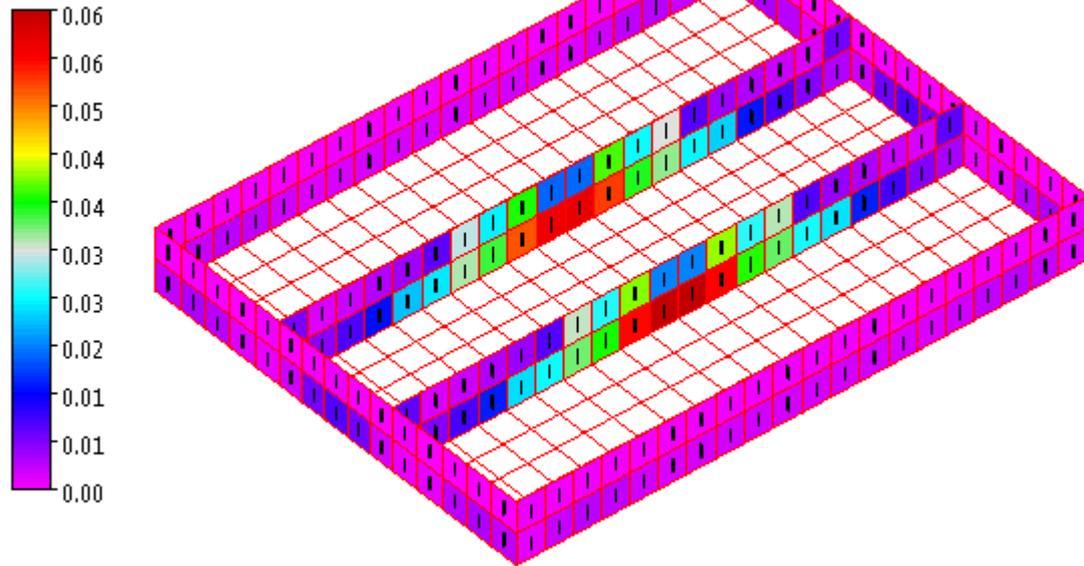


Figura 47: Trafo – Risultati verifiche a flessione platea

Verifica SLU

Coeff.Sfruttamento NM direzione 3



Verifica SLU

Coeff.Sfruttamento NM direzione 2

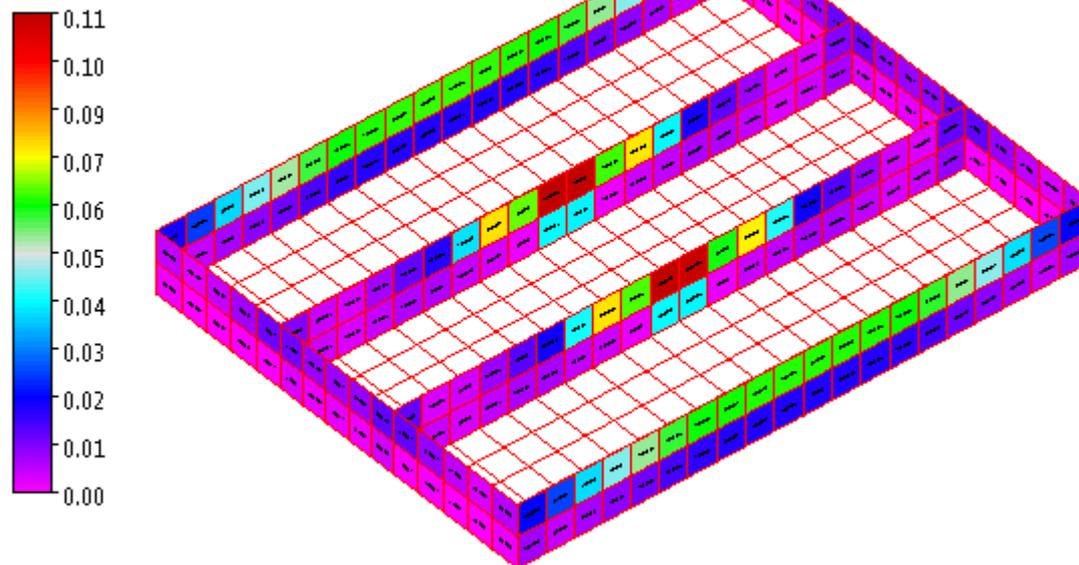
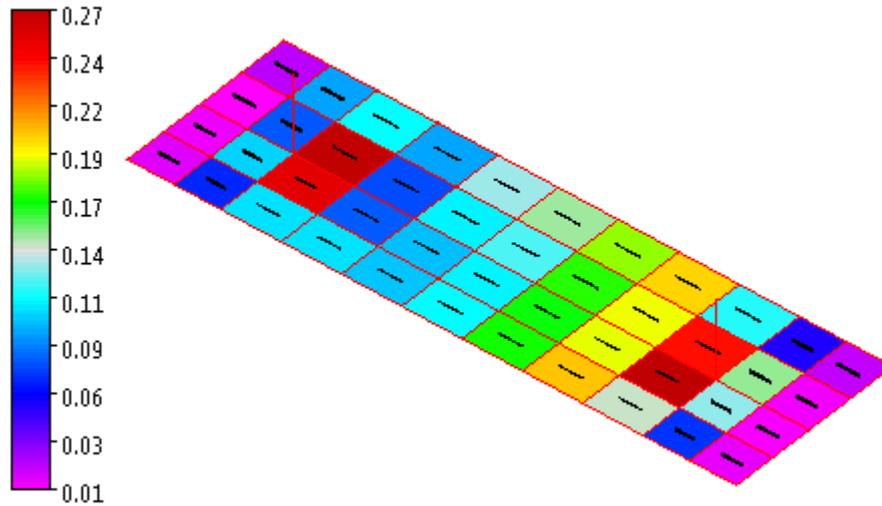


Figura 48: Trafo – Risultati verifiche a pressoflessione pareti

Verifica SLU

Coeff.Sfruttamento NM direzione 2



Verifica SLU

Coeff.Sfruttamento NM direzione 3

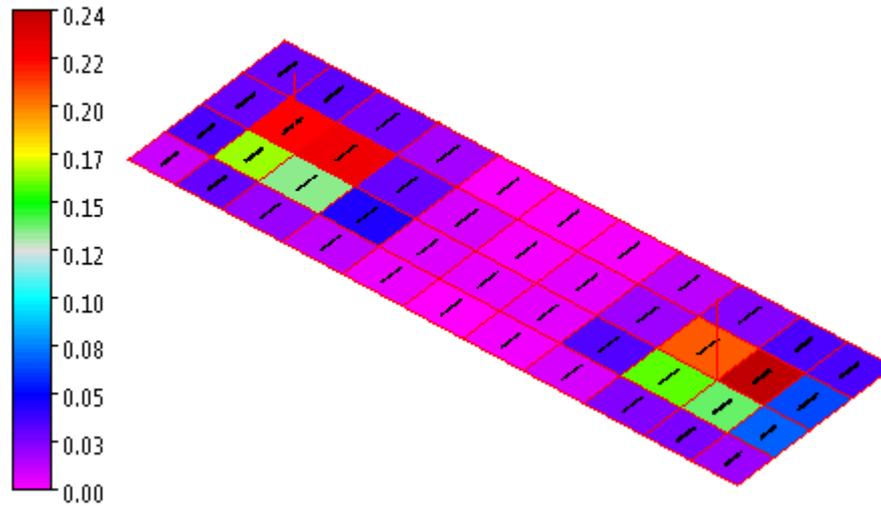
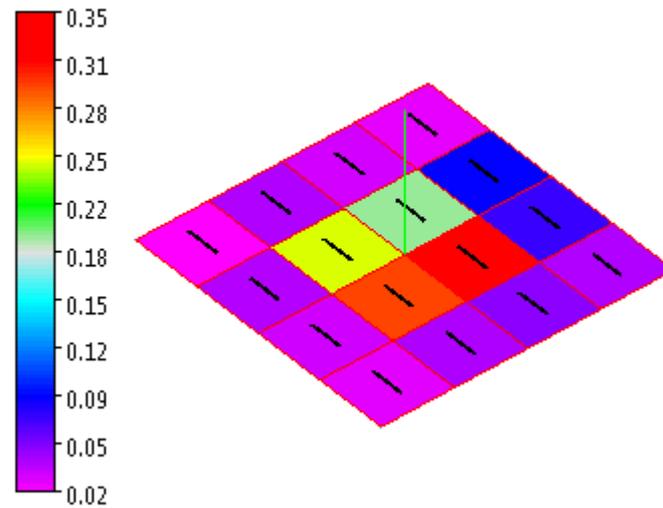


Figura 49: Sezionatore – Risultati verifiche a flessione platea

Verifica SLU

Coeff.Sfruttamento NM direzione 2



Verifica SLU

Coeff.Sfruttamento NM direzione 3

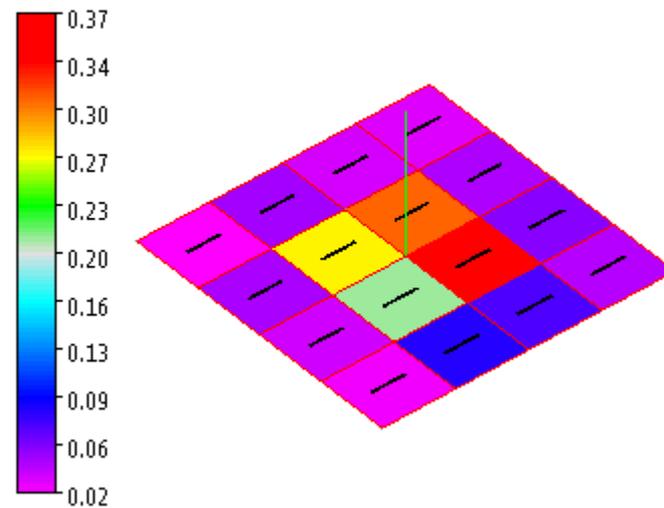
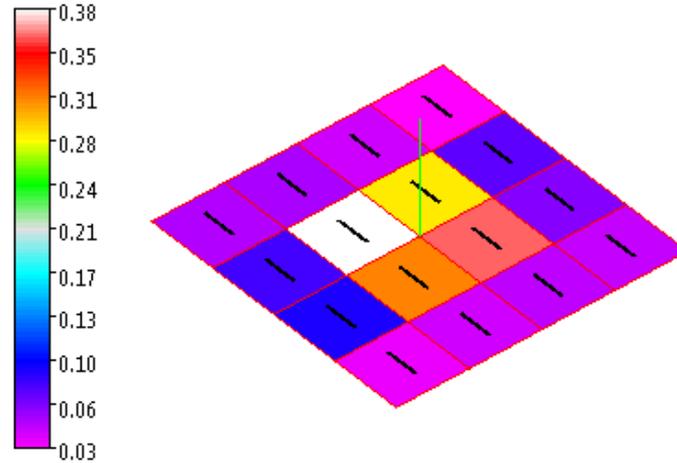


Figura 50: TA – Risultati verifiche a flessione platea

Verifica SLU

Coeff.Sfruttamento NM direzione 2



Verifica SLU

Coeff.Sfruttamento NM direzione 3

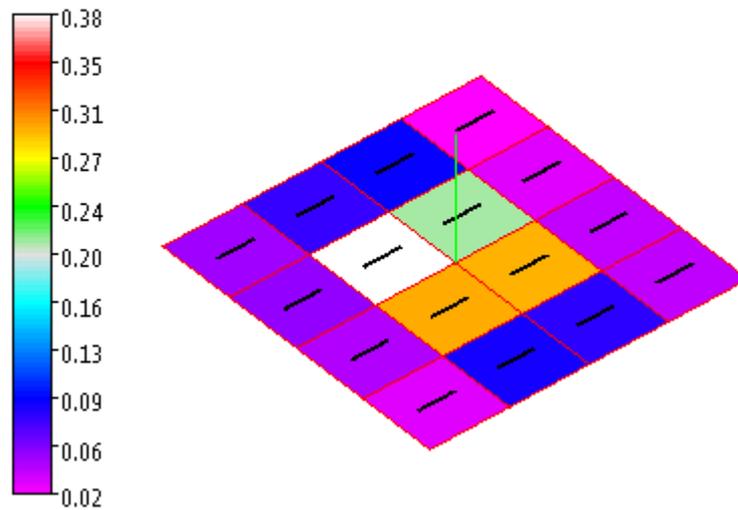


Figura 51: Interruttore – Risultati verifiche a flessione platea