



# MINISTERO DELLA TRANSIZIONE ECOLOGICA

Direzione Generale per la Crescita Sostenibile e la qualità dello Sviluppo  
Divisione V - Sistemi di Valutazione Ambientale



REGIONE PUGLIA



PROVINCIA di  
FOGGIA

**SAN SEVERO "Capobianco"**  
**54.232 kWp**



Progettazione e coordinamento	dott. arch. Roberto CARLUCCIO via Nino Bixio 60/b 72023 Mesagne (BR) - Italy	 via Napoli n° 363/I 70132 Bari - Italy	Prog. impianto fotovoltaico
Studio Geologico	dott. geol. Luisiana SERRAVALLE via Puglie n° 1 72027 S. Pietro Vernotico (BR) - Italy	 3E Ingegneria srl via G. Volpe n° 92 56121 Pisa - Italy	Prog. Cavidotto e sottostazione
Studio Agronomico	dott. Alessandro COLUCCI via Monte Sarago n° 3 72017 Ostuni (BR) - Italy	RUWA srl acqua territorio energia via C. Pisacane n° 25F 88100 Catanzaro - Italy	Studio idraulico

Opera	<b>Progetto di un impianto fotovoltaico di 54.232 kWp nel comune di SAN SEVERO</b>			
Oggetto	Folder A - Progetto Definitivo			
	Nome elaborato Capobianco_Doc_A24			
Revisione	Descrizione elaborato Stazione utenza e opere di rete; Relazione calcolo fondazioni			Scala ---
	Oggetto revisione		Elaborazione	Verifica
	18/07/2022	Oggetto revisione Emissione	3E Ingegneria	Metka EGN
	Codice Pratica <b>"San Severo Capobianco"</b>			



3E Ingegneria S.r.l.

PISA

Impianto Fotovoltaico  
Stazione Utenza e collegamento alla rete  
Calcolo delle fondazioni

OGGETTO / SUBJECT



GRUPPO

**M METKA**  
METKA EGN

CLIENTE / CUSTOMER

## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>1</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>ANALISI STRUTTURALE .....</b>	<b>4</b>
2.1	ANALISI DEI CARICHI .....	4
2.2	CONDIZIONI DI CARICO .....	7
2.3	COMBINAZIONI DI CARICO .....	7
2.4	DESCRIZIONE DEL MODELLO NUMERICO E CRITERI DI ANALISI E VERIFICA.....	9
2.4.1	<i>CARICHI ASSEGNATI</i>	12
2.5	RISULTATI DELL'ANALISI .....	16
2.5.1	<i>PRESSIONI SUL TERRENO</i>	16
<b>3</b>	<b>VERIFICHE GEOTECNICHE .....</b>	<b>31</b>
3.1	COLLASSO PER CARICO LIMITE .....	31
3.1.1	<i>CARICO LIMITE TRASFORMATORE</i>	32
3.1.2	<i>CARICO LIMITE SEZIONATORE</i>	34
3.1.3	<i>CARICO LIMITE TA</i>	35
3.1.4	<i>CARICO LIMITE INTERRUTTORE</i>	36
3.2	VERIFICA NEI CONFRONTI DEL RIBALTAMENTO .....	38
3.3	COLLASSO PER SCORRIMENTO SUL PIANO DI POSA.....	38
<b>4</b>	<b>VERIFICHE STRUTTURALI .....</b>	<b>41</b>
4.1	VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO DI PLATEE E PARETI IN C.A.....	41



3E Ingegneria S.r.l.

PISA

**Impianto Fotovoltaico**  
Stazione Utenza e collegamento alla rete  
Calcolo delle fondazioni

OGGETTO / SUBJECT



GRUPPO

**M METKA**  
METKA EGN

CLIENTE / CUSTOMER

## 1 PREMESSA

La presente relazione tecnica e di calcolo si riferisce alle fondazioni delle apparecchiature a servizio della stazione di utenza 150/30 kV, all'interno dell'impianto in progetto per la produzione di energia elettrica sito nel comune di San Severo (FG).

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

## 1 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"



## 2 ANALISI STRUTTURALE

### 2.1 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.**

<b>TRASFORMATORE DI TENSIONE</b>  (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

<b>TRASFORMATORE DI CORRENTE</b>  (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

<b>TERMINALE CAVO</b>  (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



3E Ingegneria S.r.l.

PISA

Impianto Fotovoltaico  
Stazione Utenza e collegamento alla rete  
Calcolo delle fondazioni

OGGETTO / SUBJECT



GRUPPO



CLIENTE / CUSTOMER

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

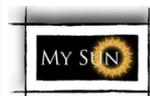


3E Ingegneria S.r.l.

PISA

**Impianto Fotovoltaico**  
Stazione Utenza e collegamento alla rete  
Calcolo delle fondazioni

OGGETTO / SUBJECT



GRUPPO



CLIENTE / CUSTOMER

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

<b>TRASFORMATORE</b>  (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					



## 2.2 CONDIZIONI DI CARICO

Le condizioni di carico elementari prese in considerazione sono:

n°	Descrizione	x	y	z	Tipo	grp	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
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  $A_d$ ).

## 2.3 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.



3E Ingegneria S.r.l.

PISA

Impianto Fotovoltaico  
Stazione Utenza e collegamento alla rete  
Calcolo delle fondazioni

OGGETTO / SUBJECT



GRUPPO



CLIENTE / CUSTOMER

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									

 <p><b>3E Ingegneria S.r.l.</b></p> <p>PISA</p>	<p><b>Impianto Fotovoltaico</b>  <b>Stazione Utenza e collegamento alla rete</b>  <b>Calcolo delle fondazioni</b></p> <p>OGGETTO / SUBJECT</p>	 <p>GRUPPO</p>  <p>CLIENTE / CUSTOMER</p>
---	--	--

## 2.4 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.

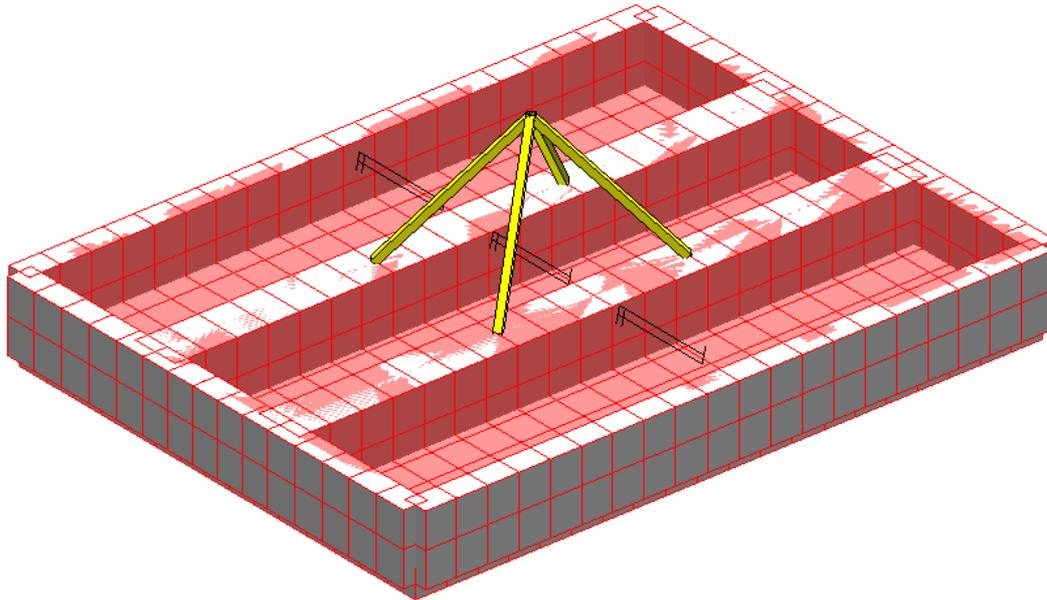
Sono state modellate e calcolate soltanto una fondazione per ogni tipologia, scegliendo quella più sollecitata:

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

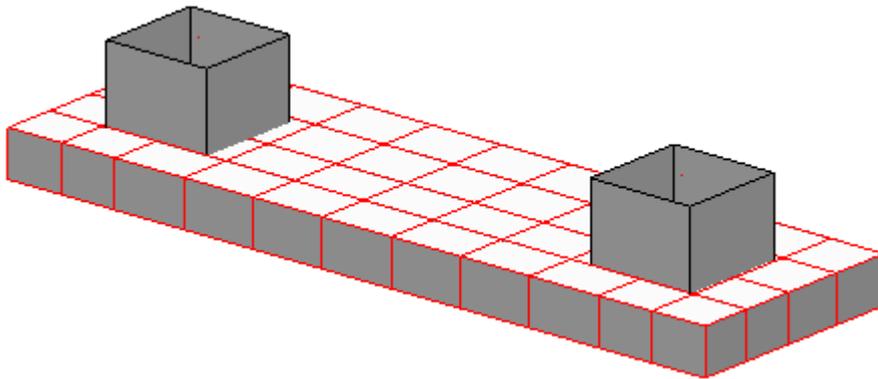
Le altre fondazioni hanno la stessa geometria delle fondazioni del TA o dell'Interruttore, ma sono generalmente soggette a carichi di entità inferiore, pertanto in questa fase progettuale non sono state prese in considerazione.

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*



3E Ingegneria S.r.l.

PISA

Impianto Fotovoltaico  
Stazione Utenza e collegamento alla rete  
Calcolo delle fondazioni

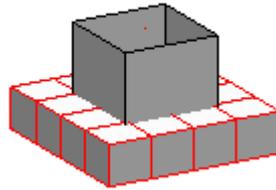
OGGETTO / SUBJECT



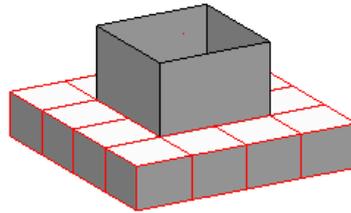
GRUPPO

**M METKA**  
METKA EGN

CLIENTE / CUSTOMER



*Figura 3: Rappresentazione del modello FEM del TA*



*Figura 4: Rappresentazione del modello FEM dell'Interruttore*



### 2.4.1 CARICHI ASSEGNATI

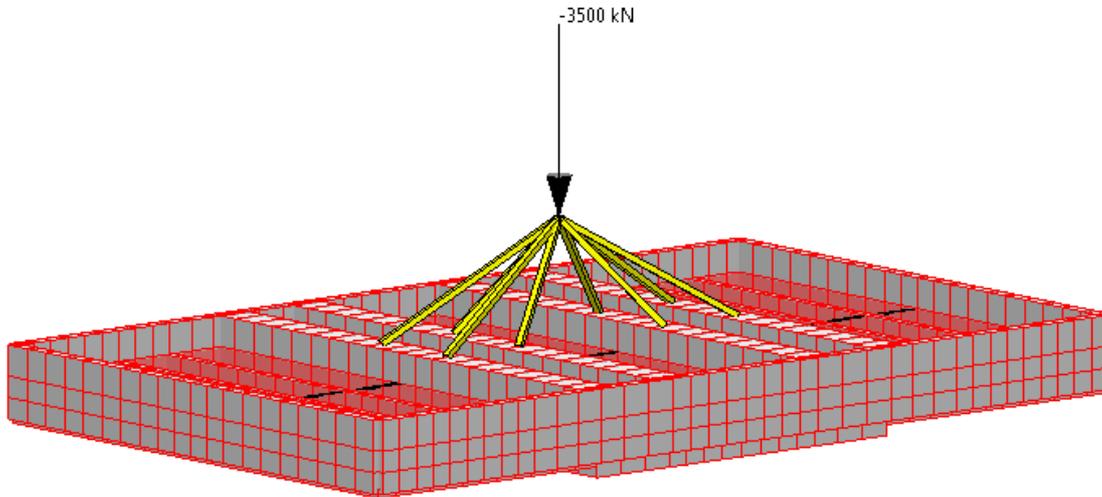


Figura 5: Trafo – Carichi applicati G1

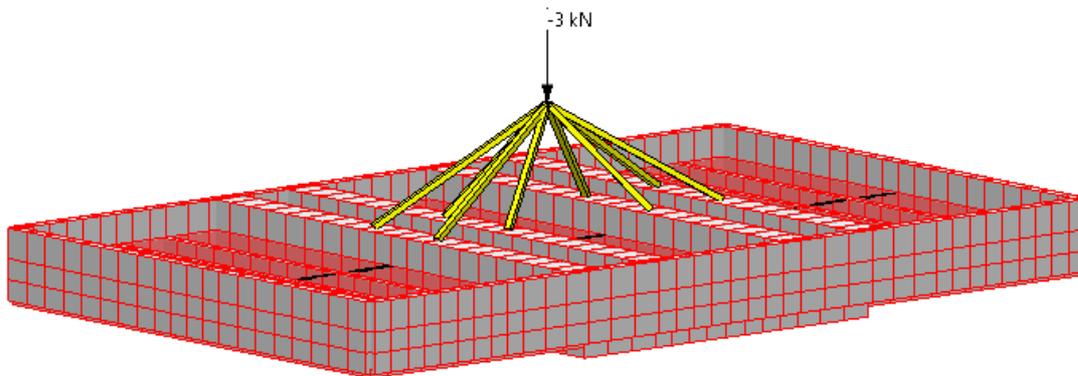


Figura 6: Trafo – Carichi applicati G2

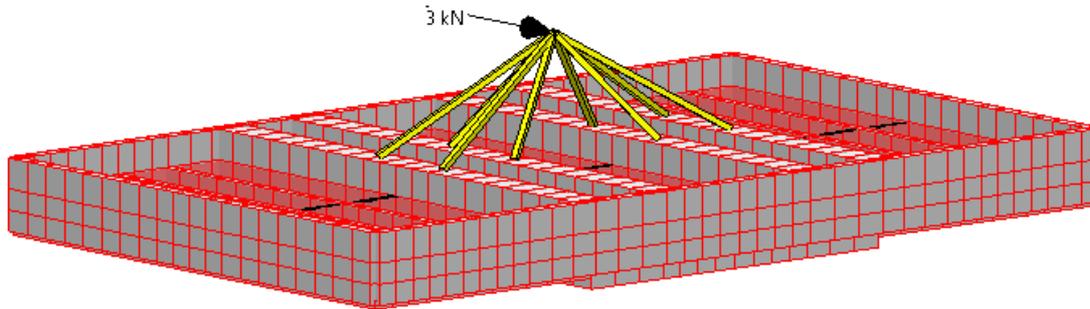


Figura 7: Trafo – Carichi applicati  $Q (F_x)$

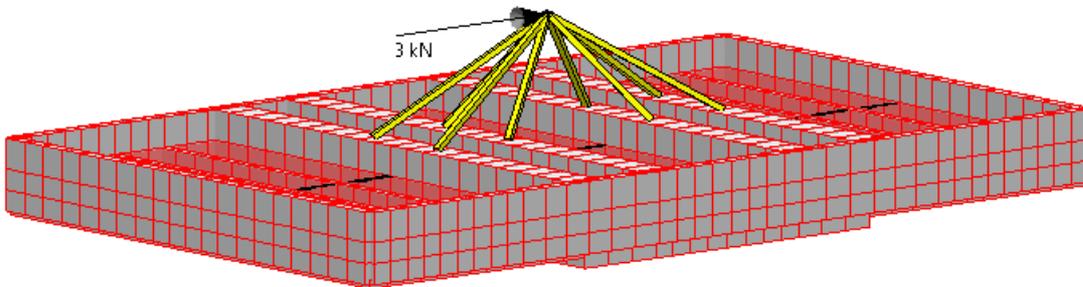


Figura 8: Trafo – Carichi applicati  $Q (F_y)$

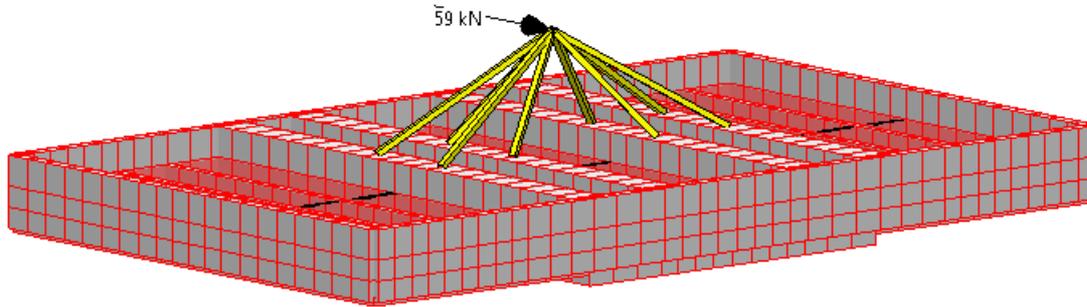


Figura 9: Trafo – Carichi applicati Vento X

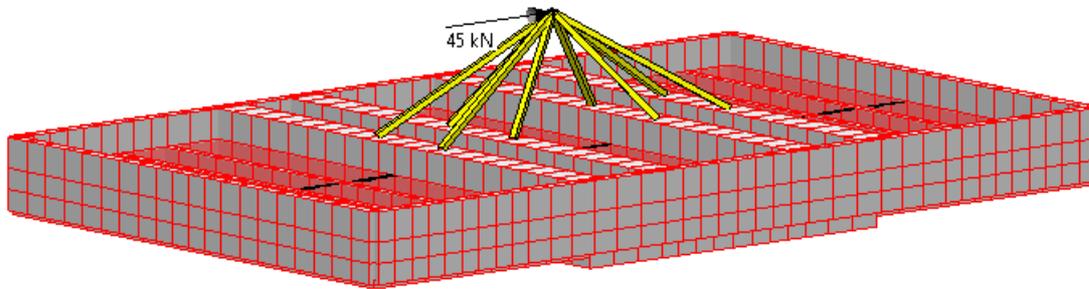


Figura 10: Trafo – Carichi applicati Vento Y

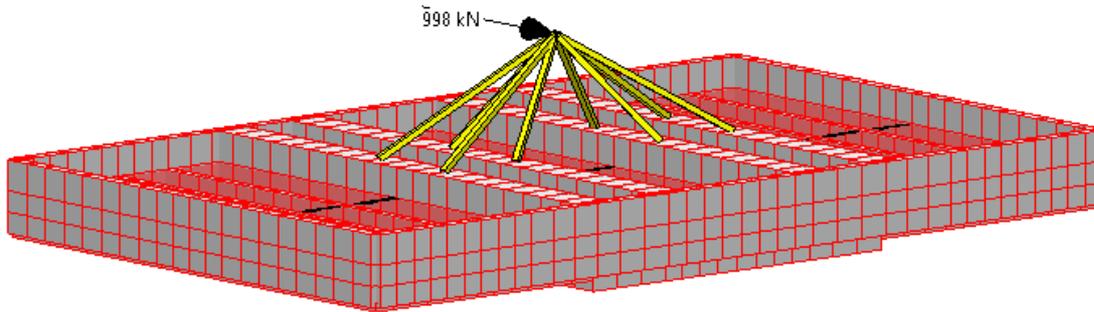


Figura 11: Trafo – Carichi applicati Sisma X

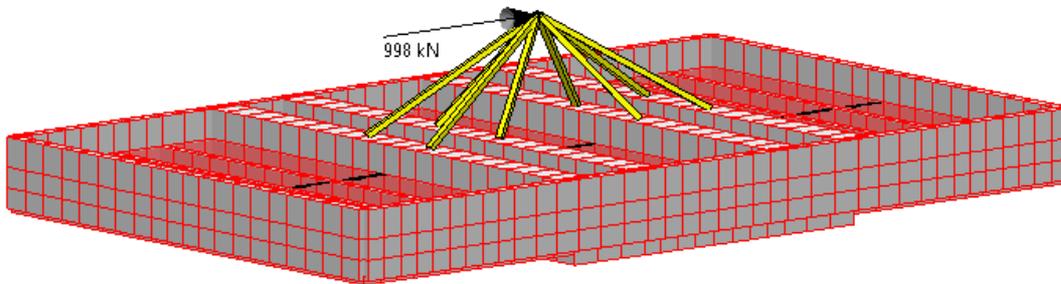


Figura 12: Trafo – Carichi applicati Sisma Y



## 2.5 RISULTATI DELL'ANALISI

### 2.5.1 PRESSIONI SUL TERRENO

CdC Non Lineare EQU

Sub P (kN/m<sup>3</sup>)

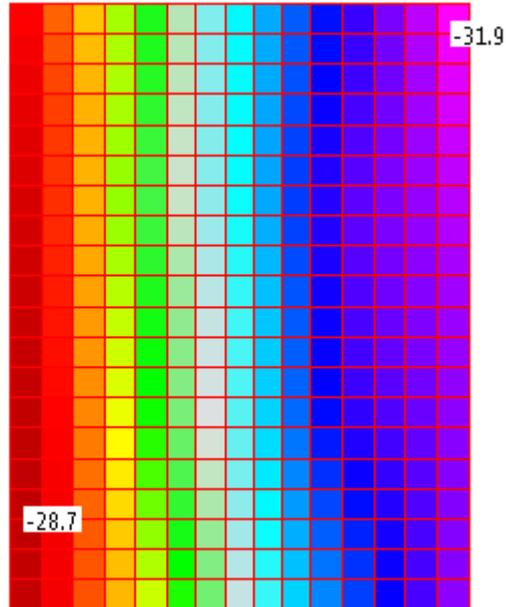
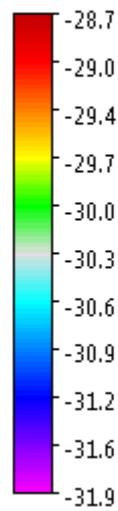


Figura 13: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 1 (EQU)

CdC Non Lineare EQU

Sub P (kN/m<sup>3</sup>)

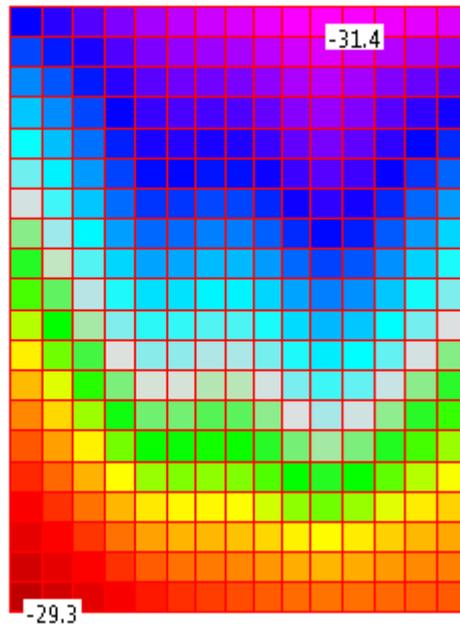
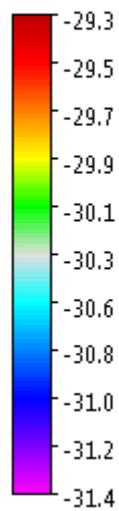


Figura 14: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 2 (EQU)



CdC Non Lineare EQU+STR

Sub P (kN/m<sup>2</sup>)

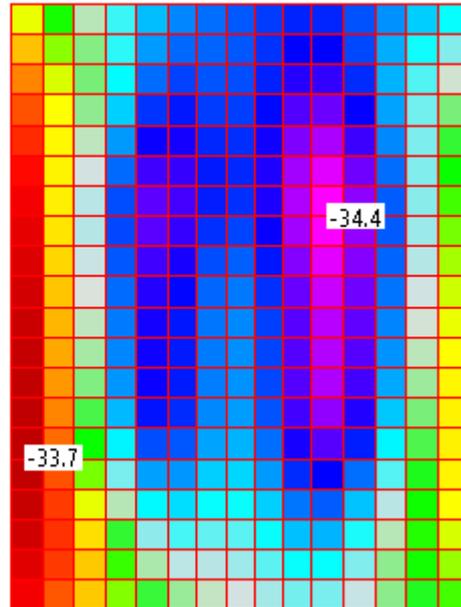
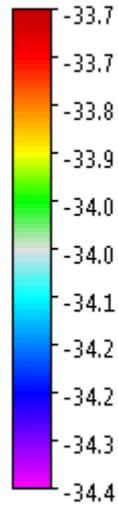


Figura 15: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 3 (EQU+STR)

CdC Non Lineare EQU+STR

Sub P (kN/m<sup>2</sup>)

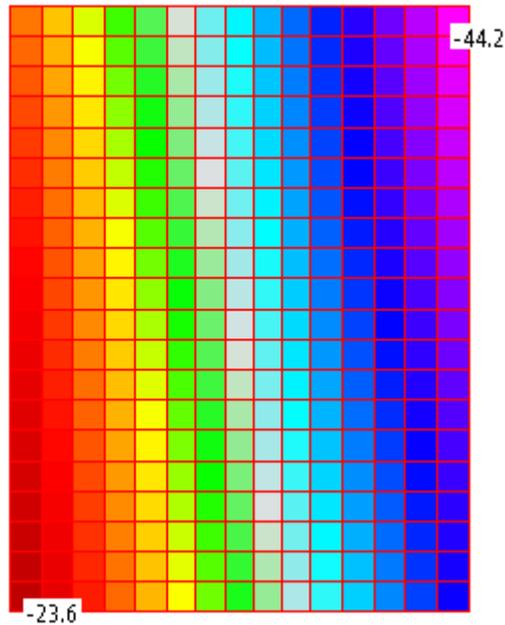
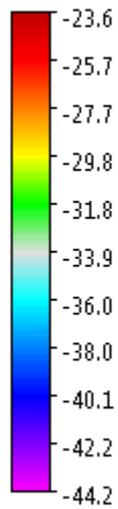


Figura 16: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 4 (EQU+STR)



CdC Non Lineare EQU+STR

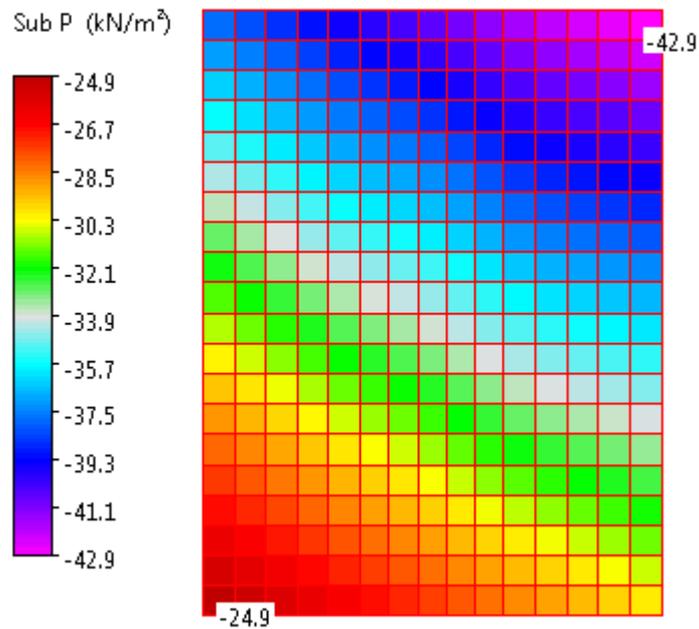


Figura 17: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 5 (EQU+STR)

CdC Non Lineare STR

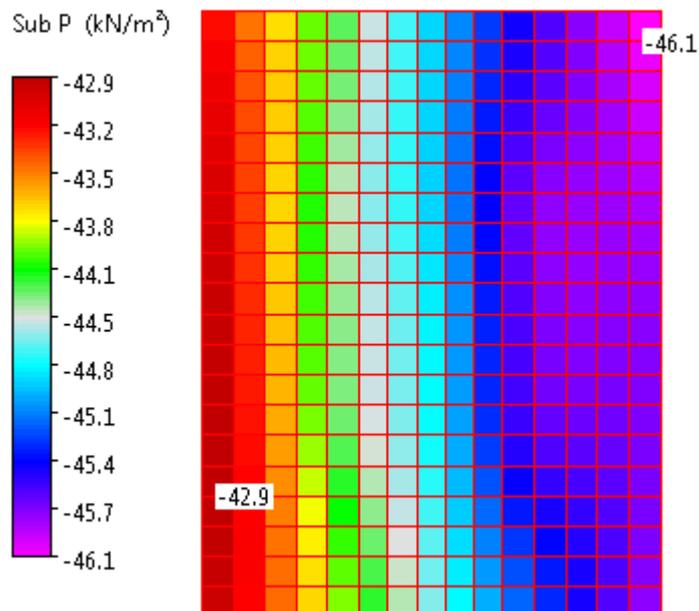


Figura 18: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 6 (STR)



CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m<sup>3</sup>)

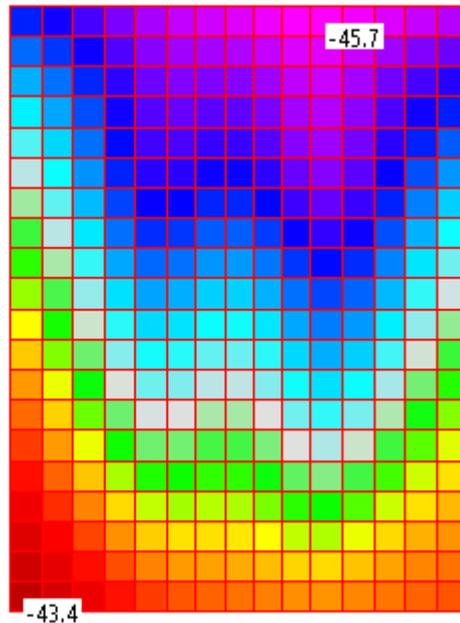
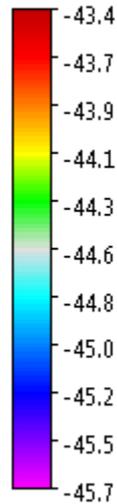


Figura 19: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 7 (STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m<sup>3</sup>)

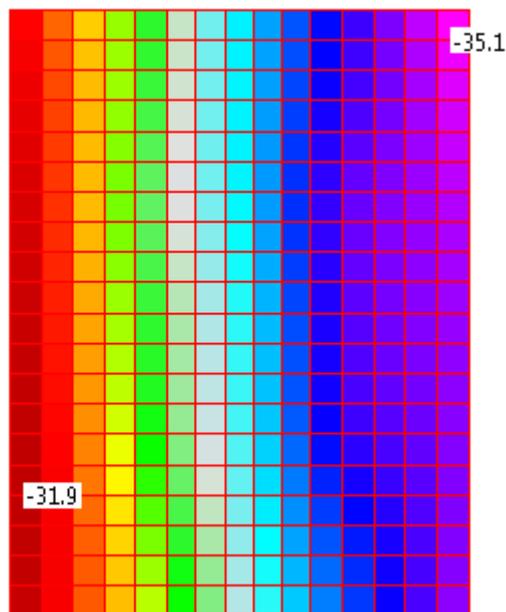
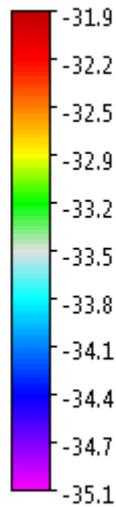


Figura 20: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 8 (STR)



CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m<sup>3</sup>)

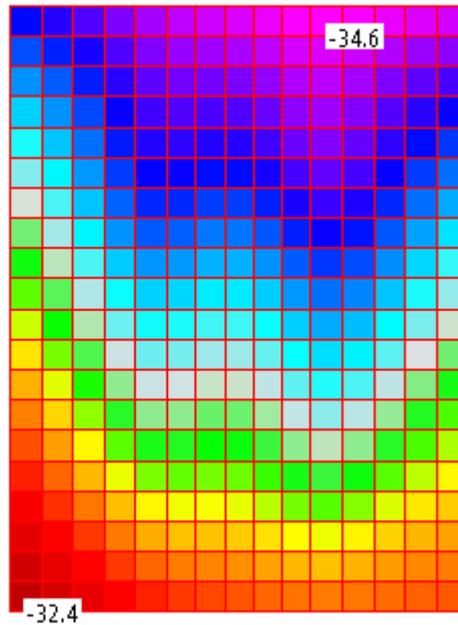
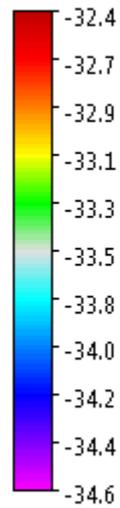


Figura 21: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 9 (STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m<sup>3</sup>)

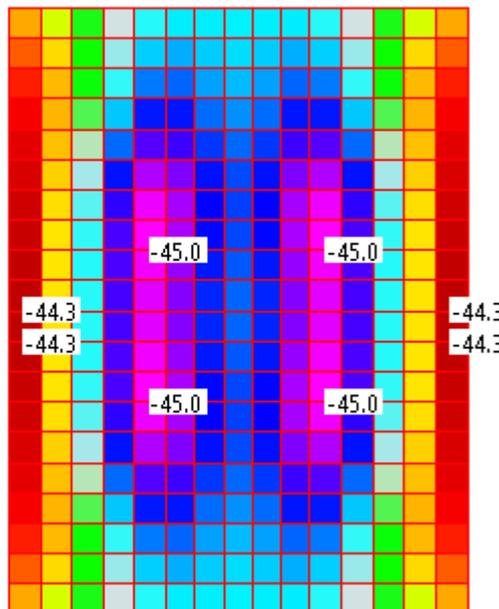
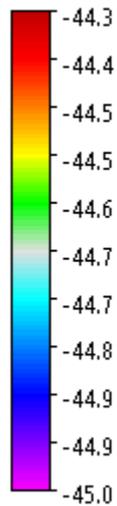


Figura 22: Trafo – Pressioni sul terreno in Comb. 10 (STR)



CdC Non Lineare EQU

Sub P (kN/m<sup>3</sup>)

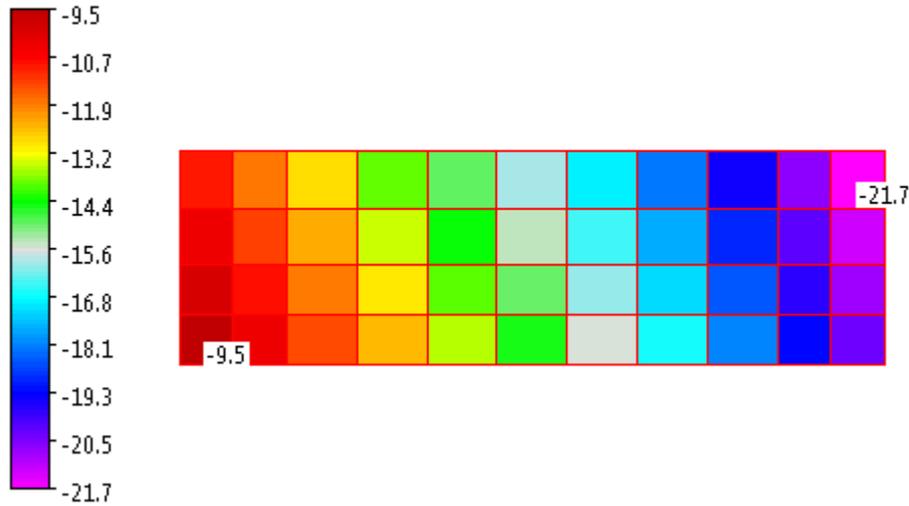


Figura 23: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 1 (EQU)

CdC Non Lineare EQU

Sub P (kN/m<sup>3</sup>)

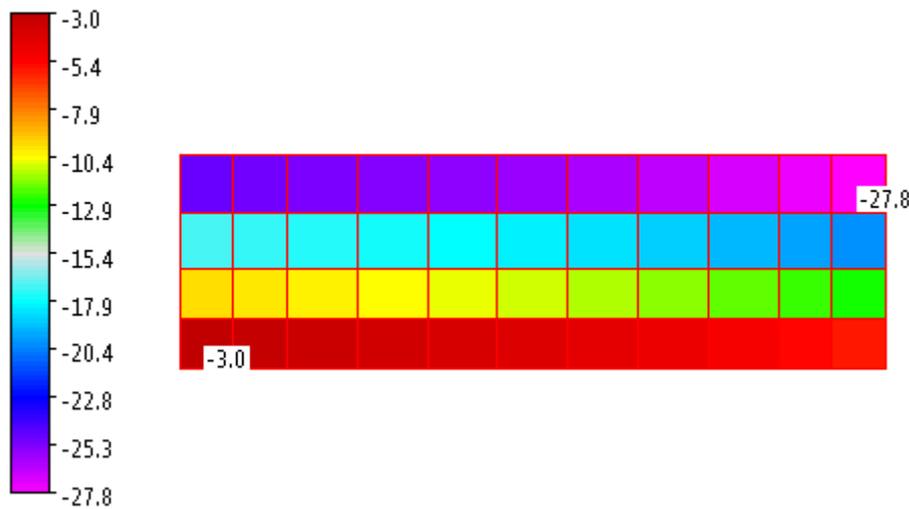


Figura 24: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 2 (EQU)



CdC Non Lineare EQU+STR

Sub P (kN/m<sup>3</sup>)

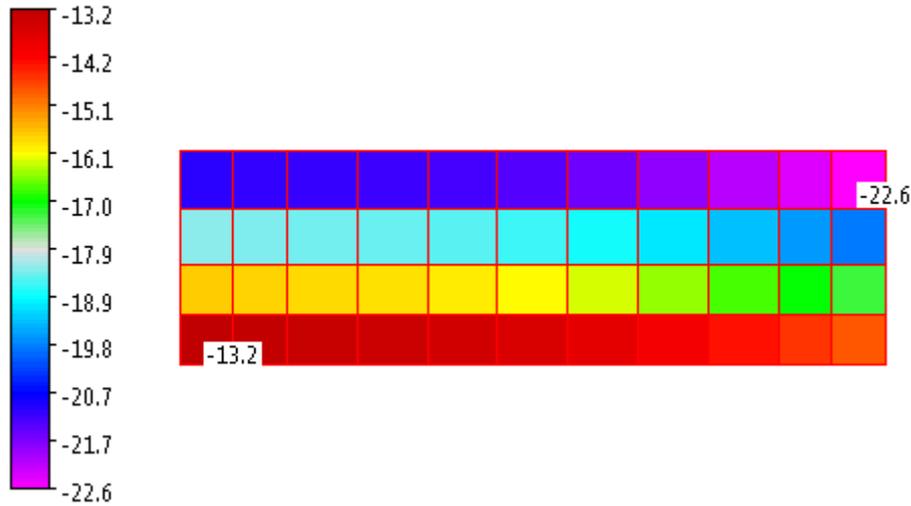


Figura 25: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 3 (EQU+STR)

CdC Non Lineare EQU+STR

Sub P (kN/m<sup>3</sup>)

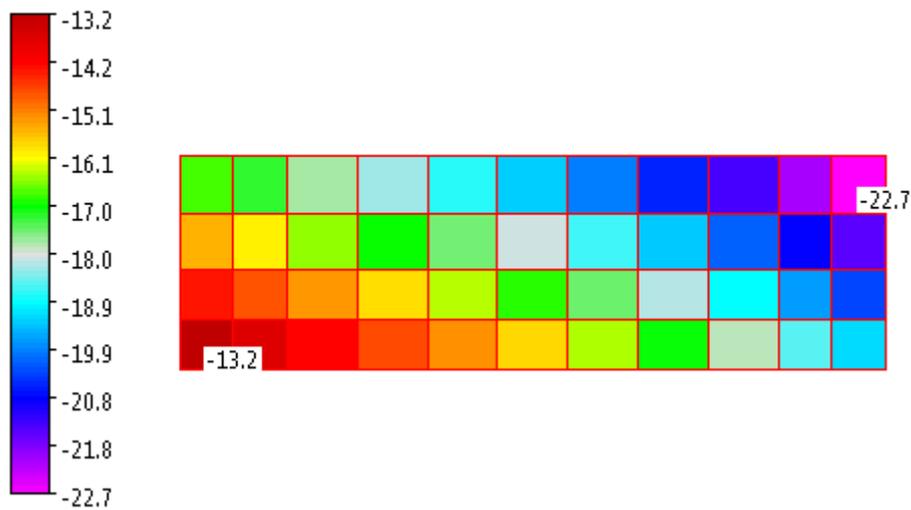


Figura 26: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 4 (EQU+STR)



CdC Non Lineare EQU+STR

Sub P (kN/m<sup>3</sup>)

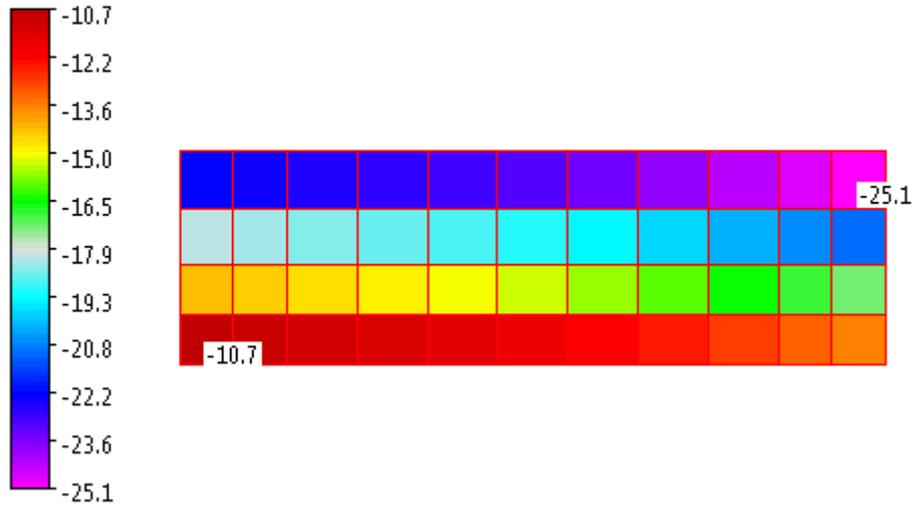


Figura 27: Sezione - Pressioni sul terreno in Comb. 5 (EQU+STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m<sup>3</sup>)

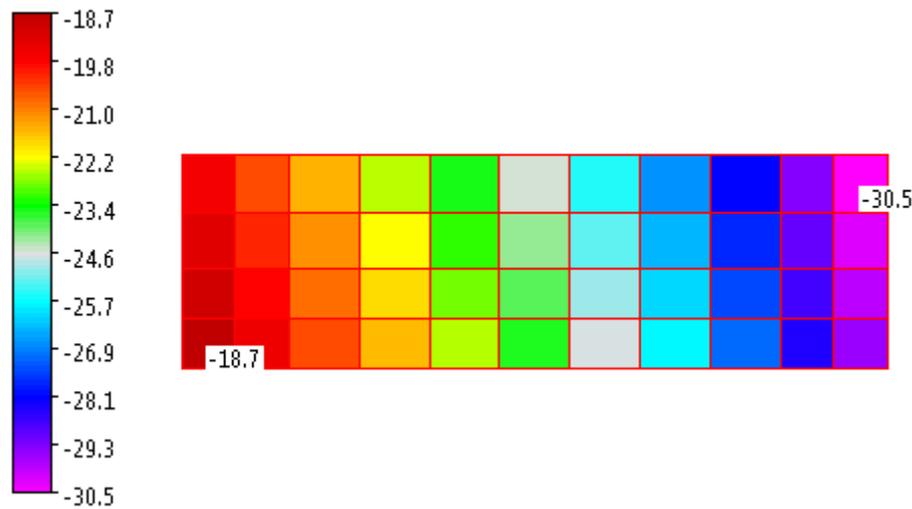


Figura 28: Sezione - Pressioni sul terreno in Comb. 6 (STR)



CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m<sup>3</sup>)

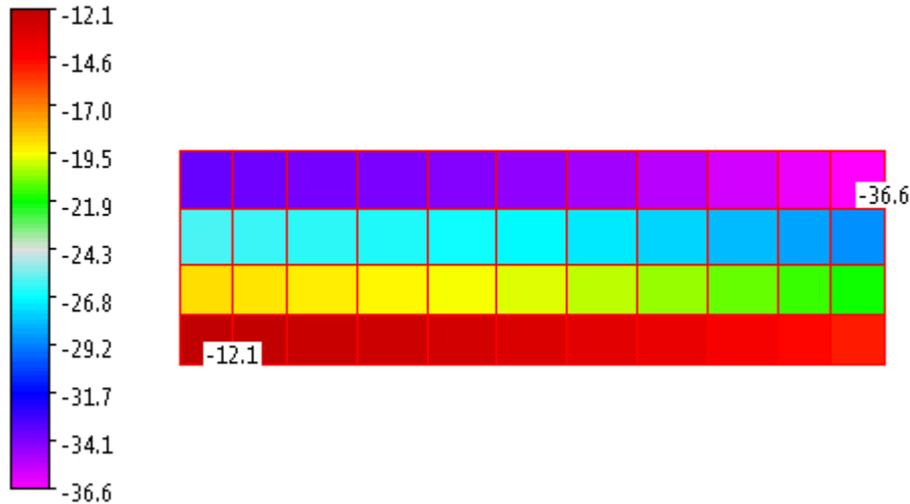


Figura 29: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 7 (STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m<sup>3</sup>)

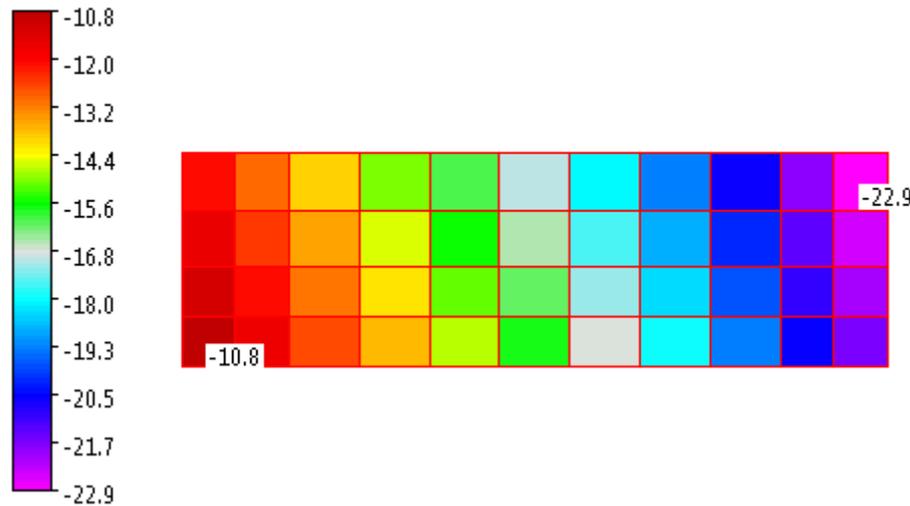


Figura 30: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 8 (STR)



CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m<sup>3</sup>)

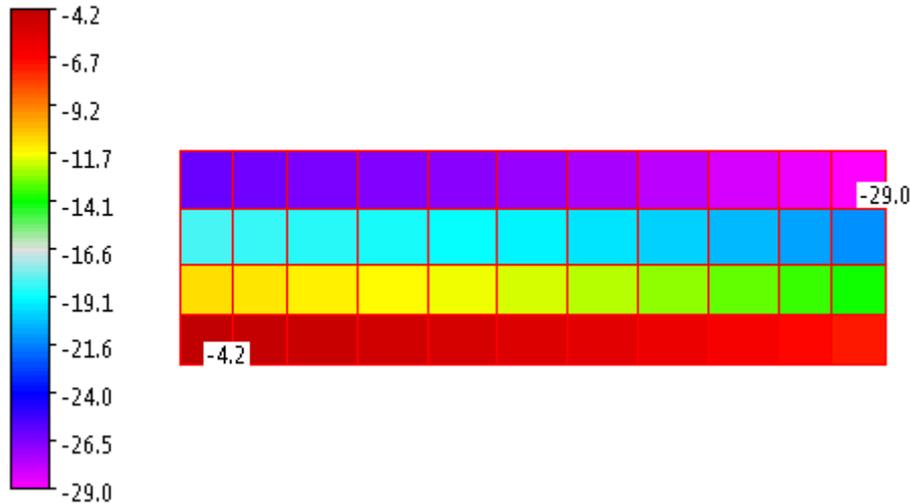


Figura 31: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 9 (STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m<sup>3</sup>)

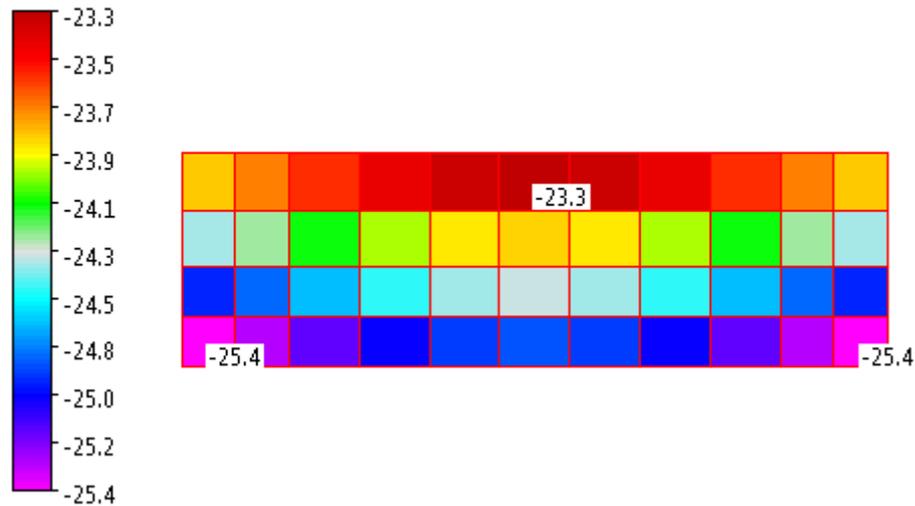


Figura 32: Sezionatore – Pressioni sul terreno in Comb. 10 (STR)



CdC Non Lineare EQU

Sub P (kN/m<sup>3</sup>)

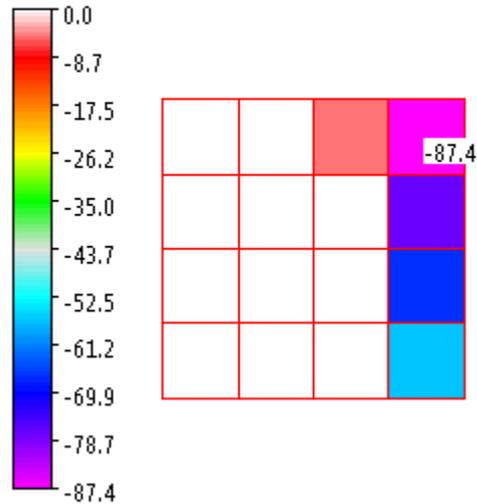


Figura 33: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 1 (EQU)

CdC Non Lineare EQU

Sub P (kN/m<sup>3</sup>)

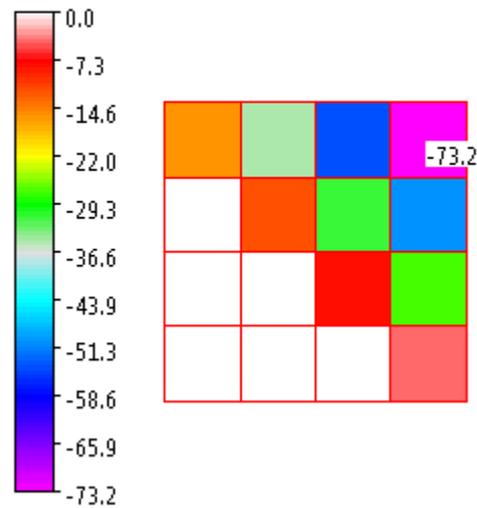


Figura 34: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 2 (EQU)



CdC Non Lineare EQU+STR

Sub P (kN/m<sup>2</sup>)

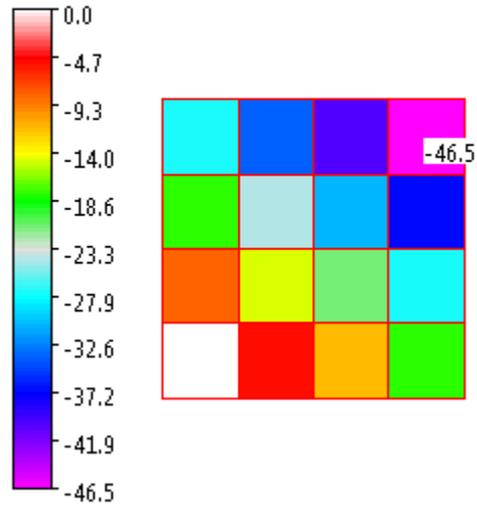


Figura 35: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 3 (EQU+STR)

CdC Non Lineare EQU+STR

Sub P (kN/m<sup>2</sup>)

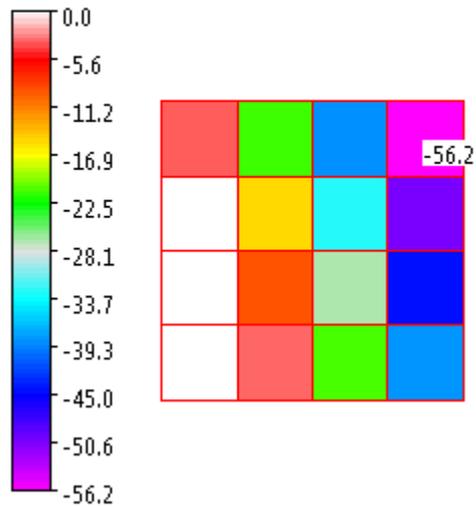


Figura 36: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 4 (EQU+STR)



CdC Non Lineare EQU+STR

Sub P (kN/m<sup>2</sup>)

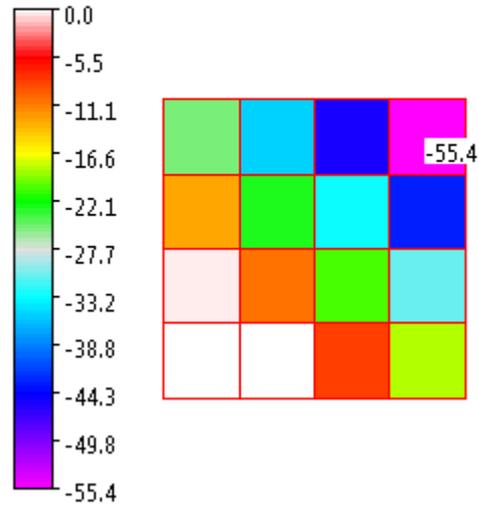


Figura 37: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 5 (EQU+STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m<sup>2</sup>)

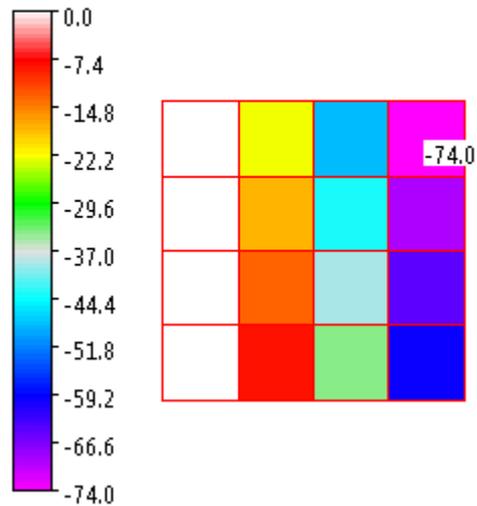


Figura 38: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 6 (STR)



CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m<sup>2</sup>)

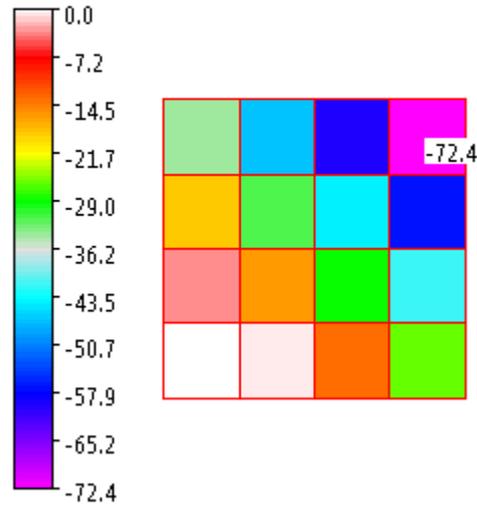


Figura 39: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 7 (STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m<sup>2</sup>)

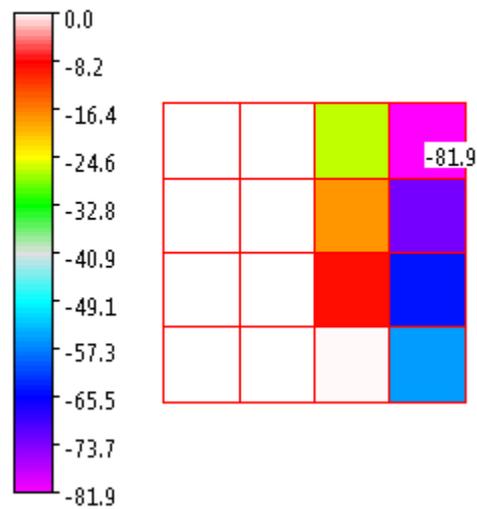


Figura 40: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 8 (STR)



CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m<sup>2</sup>)

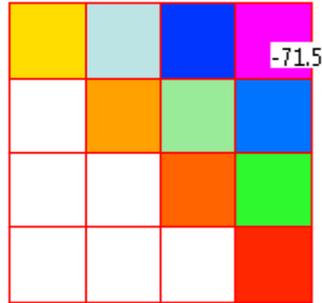
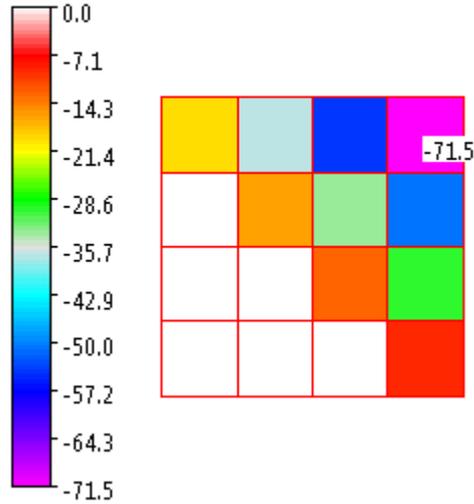


Figura 41: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 9 (STR)

CdC Non Lineare STR

Sub P (kN/m<sup>2</sup>)

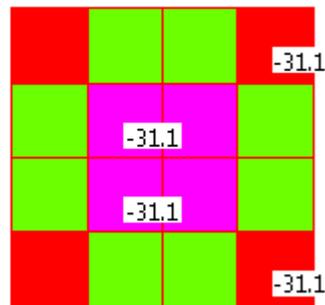
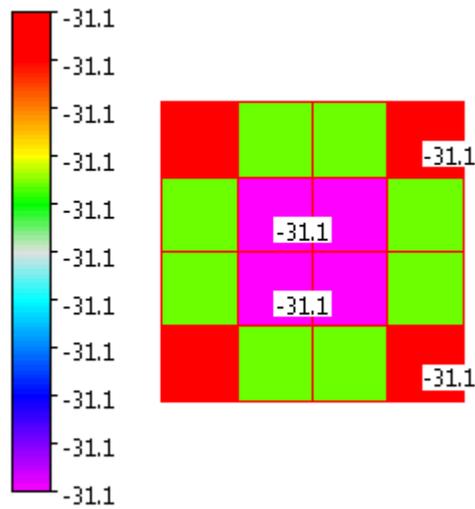


Figura 42: TA – Pressioni sul terreno in Comb. 10 (STR)



3E Ingegneria S.r.l.

PISA

Impianto Fotovoltaico  
Stazione Utenza e collegamento alla rete  
Calcolo delle fondazioni

OGGETTO / SUBJECT



GRUPPO

**M METKA**  
METKA EGN

CLIENTE / CUSTOMER

### 3 VERIFICHE GEOTECNICHE

#### 3.1 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:

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



### 3.1.1 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

$\sigma_m$  [kN/m<sup>2</sup>] **46.1**

#### Parametri geotecnici

$c'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0	
$\phi'$ [°]	30.0	0.524 rad
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	17.0	
falda (S/N)	N	
$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	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	
$N_\gamma$	22.40	
$N_c$	30.14	
$N_q$	18.40	
$m$	1.57	
$i_\gamma$	1.00	
$i_c$	1.00	
$i_q$	1.00	
$S_\gamma$	0.70	
$S_c$	1.46	
$S_q$	1.44	
$d_c$	1.06	
$d_q$	1.05	
$g_\gamma$	1.00	
$g_c$	1.00	
$g_q$	1.00	



3E Ingegneria S.r.l.

PISA

Impianto Fotovoltaico  
Stazione Utenza e collegamento alla rete  
Calcolo delle fondazioni

OGGETTO / SUBJECT



GRUPPO



CLIENTE / CUSTOMER

tipo di fondazione

superficiale

$\gamma_R$

2.30 [Tab. 6.4.I NTC2018]

### Carico limite sul terreno della fondazione

$q_{lim}$  [kN/m<sup>2</sup>] 1758.4

$q_{lim,R}$  [kN/m<sup>2</sup>] 764.5

Coefficiente di sicurezza **16.58** OK

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



### 3.1.2 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

$\sigma_m$  [kN/m<sup>2</sup>] **36.6**

#### Parametri geotecnici

$c'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0	
$\phi'$ [°]	30.0	0.524 rad
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	17.0	
falda (S/N)	N	
$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	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	
$N_\gamma$	22.40	
$N_c$	30.14	
$N_q$	18.40	
m	1.77	
$i_\gamma$	1.00	
$i_c$	1.00	
$i_q$	1.00	
$S_\gamma$	0.88	
$S_c$	1.19	
$S_q$	1.18	
$d_c$	1.04	
$d_q$	1.04	
$g_\gamma$	1.00	
$g_c$	1.00	
$g_q$	1.00	



tipo di fondazione

superficiale

 $\gamma_R$ 

2.30 [Tab. 6.4.I NTC2018]

**Carico limite sul terreno della fondazione** $q_{lim}$  [kN/m<sup>2</sup>] 519.0 $q_{lim,R}$  [kN/m<sup>2</sup>] 225.6

Coefficiente di sicurezza

**6.16**

OK

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

**3.1.3 CARICO LIMITE TA**Formula di Brinch-Hansen per  $Q_{lim}$  del terreno NTC2018Approccio 2, comb. (A1+M1+R3) - **Condizioni DRENATE****Pressione massima sul terreno** $\sigma_m$  [kN/m<sup>2</sup>]**81.9****Parametri geotecnici** $c'$  [kN/m<sup>2</sup>]

0

 $\phi'$  [°]

30.0

0.524 rad

 $\gamma$  [kN/m<sup>3</sup>]

17.0

falda (S/N)

N

 $\gamma'$  [kN/m<sup>3</sup>]

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

 $N_\gamma$ 

22.40

 $N_c$ 

30.14

 $N_q$ 

18.40



3E Ingegneria S.r.l.

PISA

Impianto Fotovoltaico  
Stazione Utenza e collegamento alla rete  
Calcolo delle fondazioni

OGGETTO / SUBJECT



GRUPPO

**M METKA**  
METKA EGN

CLIENTE / CUSTOMER

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

$\gamma_R$  2.30 [Tab. 6.4.1 NTC2018]

#### Carico limite sul terreno della fondazione

$q_{lim}$  [kN/m<sup>2</sup>] 425.1

$q_{lim,R}$  [kN/m<sup>2</sup>] 184.8

Coefficiente di sicurezza **2.26** OK

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

### 3.1.4 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

$\sigma_m$  [kN/m<sup>2</sup>] 67.5

#### Parametri geotecnici

$c'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	<span style="background-color: #d9e1f2;">0</span>	
$\phi'$ [°]	<span style="background-color: #d9e1f2;">30.0</span>	0.524 rad
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	<span style="background-color: #d9e1f2;">17.0</span>	
falda (S/N)	<span style="background-color: #d9e1f2;">N</span>	



3E Ingegneria S.r.l.

PISA

Impianto Fotovoltaico  
Stazione Utenza e collegamento alla rete  
Calcolo delle fondazioni

OGGETTO / SUBJECT



GRUPPO



CLIENTE / CUSTOMER

$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	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
$N_\gamma$	22.40
$N_c$	30.14
$N_q$	18.40
m	1.67
$i_\gamma$	1.00
$i_c$	1.00
$i_q$	1.00
$s_\gamma$	0.80
$s_c$	1.31
$s_q$	1.29
$d_c$	1.13
$d_q$	1.13
$g_\gamma$	1.00
$g_c$	1.00
$g_q$	1.00

tipo di fondazione

superficiale

 $\gamma_R$  2.30 [Tab. 6.4.I NTC2018]**Carico limite sul terreno della fondazione** $q_{lim}$  [kN/m<sup>2</sup>] 439.7 $q_{lim,R}$  [kN/m<sup>2</sup>] 191.2

Coefficiente di sicurezza

**2.83**

OK

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



### 3.2 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.

### 3.3 COLLASSO PER SCORRIMENTO SUL PIANO DI POSA

#### TRASFORMATORE

##### Verifica allo scorrimento

$F_{h,tot}$  226.4 kN

$F_v$  2032.0 kN

Condizioni drenate:

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

$F_{attr}$  739.6 kN

$\gamma_R$  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:

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

$F_{attr}$  44.3 kN

$\gamma_R$  1.1

$F_{h,tot}/F_{attr}/\gamma_R$  **0.25** OK



**3E Ingegneria S.r.l.**

**PISA**

**Impianto Fotovoltaico**  
**Stazione Utenza e collegamento alla rete**  
**Calcolo delle fondazioni**

**OGGETTO / SUBJECT**



**GRUPPO**



**CLIENTE / CUSTOMER**



3E Ingegneria S.r.l.

PISA

Impianto Fotovoltaico  
Stazione Utenza e collegamento alla rete  
Calcolo delle fondazioni

OGGETTO / SUBJECT



GRUPPO



CLIENTE / CUSTOMER

## TA

### Verifica allo scorrimento

$F_{h,tot}$  3.2 kN

$F_v$  35.9 kN

Condizioni drenate:

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

$F_{attr}$  13.1 kN

$\gamma_R$  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:

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

$F_{attr}$  9.1 kN

$\gamma_R$  1.1

$F_{h,tot}/F_{attr}/\gamma_R$  0.22 OK



## 4 VERIFICHE STRUTTURALI

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

### 4.1 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:

$\varnothing$	12 mm	Diametro armatura
p	250 mm	Passo armatura
$A_s$	452 mm <sup>2</sup> /m	Area armatura per lembo e per direzione

- Prescrizioni §7.2.5 NTC2018:

1) $\rho$	0.11%	Rapporto geometrico armatura per lembo
$\rho_{min}$	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
$\rho_v$	250 mm	Passo armatura verticale
$A_{s,v}$	804 mm <sup>2</sup> /m	Area armatura verticale totale
$\varnothing_h$	16 mm	Diametro armatura orizzontale
$\rho_h$	250 mm	Passo armatura orizzontale
$A_{s,h}$	804 mm <sup>2</sup> /m	Area armatura orizzontale totale

## - Prescrizioni §7.4.6.2.4 NTC2018:

1) $\rho_v$	0.24%	Rapporto geom. armatura verticale
$\rho_{v,min}$	0.20%	Rapporto geom. verticale minimo
	OK	
2) $\rho_h$	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) $\rho_{max}$	300 mm	Passo massimo armature
	OK	
5)	n. 9 legature per metro quadrato di parete	
6) $H_{max}$	800 mm	Massima altezza libera parete