



Fred Olsen Renewables Italy S.r.l.

**Progetto di un nuovo parco eolico denominato
“Energia Monte Petralta”**

Calcoli preliminari delle strutture

20 ottobre 2023

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

Riferimenti

Titolo	Progetto di un nuovo parco eolico denominato "Energia Monte Petralta" Calcoli preliminari delle strutture
Cliente	Fred Olsen Renewables Italy S.r.l.
Redatto	D.Puccini
Verificato	M.Nardi
Approvato	L.Magni/O.Retini
Numero di progetto	1669043
Numero di pagine	60
Data	20 ottobre 2023



Colophon

TAUW Italia S.r.l.
Galleria Giovan Battista Gerace 14
56124 Pisa
T +39 05 05 42 78 0
E info@tauw.it

Il presente documento è di proprietà del Cliente che ha la possibilità di utilizzarlo unicamente per gli scopi per i quali è stato elaborato, nel rispetto dei diritti legali e della proprietà intellettuale. TAUW Italia detiene il copyright del presente documento. La qualità ed il miglioramento continuo dei prodotti e dei processi sono considerati elementi prioritari da TAUW Italia, che opera mediante un sistema di gestione certificato secondo le norme **UNI EN ISO 9001:2015, UNI EN ISO 14001:2015 e UNI ISO 45001:2018.**



Ai sensi del GDPR n.679/2016 la invitiamo a prendere visione dell'informativa sul Trattamento dei Dati Personali su www.TAUW.it.

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

Indice

1	Premessa	5
2	Riferimenti normativi.....	6
3	Descrizione delle strutture	7
3.1	Fondazioni Aerogeneratori	7
3.2	Fondazione elementi della Stazione di Utenza e del BESS.....	7
4	Analisi dei carichi.....	8
4.1	Analisi delle sollecitazioni desunte dai documenti	8
4.2	Definizione dei pesi specifici	9
5	Fondazione diretta degli aerogeneratori.....	10
5.1	Materiali.....	11
5.1.1	Conglomerato per la fondazione.....	11
5.1.2	Armatura da c.a. per la fondazione	11
5.2	Verifiche	12
5.2.1	Verifica a ribaltamento	12
5.2.2	Controllo gapping 0%.....	12
5.2.3	Controllo gapping 50%.....	13
5.2.4	Verifica armatura radiale sezione zattera in corrispondenza del piedistallo	14
5.2.5	Verifica armature circolare sezione zattera in corrispondenza del piedistallo	16
6	Fondazione profonda degli aerogeneratori	18
6.1	Materiali.....	19
6.1.1	Conglomerato per la fondazione.....	19
6.1.2	Armatura da c.a. per la fondazione.....	19
6.2	Verifiche	19
6.2.1	Verifica armatura radiale sezione zattera in corrispondenza del piedistallo	20
6.2.2	Verifica armature circolare sezione zattera in corrispondenza del piedistallo	22
6.2.3	Verifica armature radiale zattera in corrispondenza dei pali	24
6.2.4	Verifica di resistenza dei pali di fondazione	25
6.2.5	Carico limite dei pali di fondazione.....	26
7	Fondazioni elementi Stazione di Utenza e BESS	29
7.1	Analisi strutturale.....	29

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

7.1.1	Analisi dei carichi	29
7.1.2	Condizioni di carico	31
7.1.3	Combinazioni di carico	32
7.1.4	Descrizione del modello numerico e criteri di analisi e verifica	33
7.2	Pressioni sul terreno	35
7.3	Verifiche strutturali	46

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

1 Premessa

La presente relazione si riferisce ai calcoli preliminari delle strutture necessarie alla realizzazione un nuovo parco eolico denominato “Energia Monte Petralta”, che la Società Fred Olsen Renewables Italy S.r.l. intende realizzare nel Comune di Sestino (AR) in Regione Toscana.

Il progetto in sintesi prevede la realizzazione:

- Impianto eolico con 6 nuovi aerogeneratori (o turbine eoliche) della potenza nominale di 5 MW ciascuno per una potenza nominale complessiva di 30 MW con relativa viabilità di accesso interna (la viabilità di accesso interna sarà in parte di nuova realizzazione ed in parte saranno adeguate strade esistenti), piazzole per lo stoccaggio dei componenti e per il loro montaggio, area temporanea di cantiere esterna dotata di parcheggi e uffici per il personale e zone di stoccaggio per elementi minori.
- di nuovi cavi interrati a 30 kV di connessione tra l'impianto eolico e la nuova Stazione Utente (SU). Tali cavi, della lunghezza complessiva di circa 29 km, interessano i Comuni di Sestino (AR) e Badia Tedalda (AR) in Regione Toscana ed il Comune di Carpegna (PU) in Regione Marche;
- di una nuova Stazione Utente (SU) 30/36 kV ed un nuovo impianto BESS della potenza di 6 MW e relativa viabilità di accesso ubicati nella medesima area in Comune di Sestino (AR);
- un nuovo cavo interrato a 36 kV di connessione tra la nuova SU e la nuova Stazione elettrica RTN (SE) 132/36 kV “Badia Tedalda” della lunghezza di circa 150 m.

Inoltre, completano il progetto, quali opere di rete per la connessione dell'impianto alla RTN:

- la realizzazione di una nuova Stazione Elettrica RTN (SE) 132/36 kV “Badia Tedalda” ubicata in Comune di Sestino (AR) nelle vicinanze della SU;
- la realizzazione dei nuovi raccordi aerei AT 132 kV di connessione tra la nuova SE “Badia Tedalda” e la linea aerea RT N 132 kV “Badia Tedalda – Talamello” esistente. I nuovi raccordi interessano il Comune di Sestino (AR);
- la demolizione di un tratto di circa 180 m e di 1 sostegno della Linea aerea RTN 132 kV “Badia Tedalda – Talamello”. Il tratto da demolire ricade totalmente in Comune di Sestino (AR);
- la realizzazione di una nuova linea elettrica RTN in AT a 132 kV di connessione tra la SE “Mercatello” esistente e la nuova SE “Badia Tedalda” che per circa 16 km sarà realizzata in aereo e per circa 1,2 km in cavo interrato.

Le opere di rete per la connessione dell'impianto alla RTN non sono oggetto della presente relazione.

Nel seguito verranno illustrati i calcoli eseguiti per il predimensionamento delle strutture di fondazione degli aerogeneratori all'interno dell'area di impianto e delle fondazioni delle apparecchiature a servizio della Stazione di Utenza e del BESS. Il predimensionamento è finalizzato esclusivamente alla stima delle dimensioni di massima della fondazione e delle quantità dei materiali.

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

2 Riferimenti normativi

- **D.M. Infrastrutture 17/01/2018** – Norme tecniche per le costruzioni
- **Circolare CSLPP del 21/01/2019, n. 7** – Istruzione per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018
- **IEC EN 61400-1** – Wind turbines – Part 1: Design requirements
- **DNVGL-ST-0126** – Support structures for wind turbines

3 Descrizione delle strutture

3.1 Fondazioni Aerogeneratori

L'aerogeneratore tipo considerato ai fini dello sviluppo del progetto è su torre metallica con un'altezza al mozzo di 125 m dal piano campagna con diametro del rotore pari a 155 m.

Sono state prese in considerazione, sia una tipologia di fondazione superficiale, sia una tipologia di fondazione profonda su pali trivellati di grande diametro che in fase esecutiva verranno progettate in dettaglio a seguito di una campagna geognostica puntuale atta a fornire con precisione i parametri geotecnici in corrispondenza di ogni postazione.

La tipologia di fondazione adottata per l'aerogeneratore è costituita da plinto a forma circolare di diametro 24.00 m il cui piano di imposta si trova a quota -3.30 m dal p.c. Nel caso di fondazione profonda sono stati previsti 20 pali di 20 metri di lunghezza e 1 metro di diametro, disposti lungo una corona circolare di diametro 21 m.

Lo spessore della zattera varia:

- da 700 mm al bordo a 2900 mm in coincidenza del piedistallo – per la fondazione superficiale;
- da 1000 mm al bordo a 2900 mm in coincidenza del piedistallo – per la fondazione profonda.

Il piedistallo è un cilindro di calcestruzzo di altezza 400 mm e diametro 6000 mm.

L'elemento di connessione torre-fondazione è costituito da una gabbia di ancoraggio costituita da tirafondi forniti dal produttore delle turbine.

3.2 Fondazione elementi della Stazione di Utenza e del BESS

Per quanto riguarda gli elementi della Stazione di Utenza e del BESS il calcolo preliminare è stato eseguito per le fondazioni della cabina di consegna, del trasformatore, delle batterie e dei trasformatori del BESS.

Data la tipologia di strutture da sostenere ed i carichi in gioco, è ragionevole pensare che tali fondazioni potranno essere di tipo a platea superficiale, da confermare a seguito di una campagna geognostica di dettaglio da realizzarsi in fase esecutiva.

Nella seguente tabella seguente sono esplicitate le dimensioni preliminari:

Elemento	Larghezza [m]	Lunghezza [m]	Spessore [m]
Cabina di consegna	26,50	7,00	0,30
Trasformatore impianto	5,90	8,00	0,30
Batterie	5,50	6,50	0,30
Trasformatori Batterie	3,00	6,50	0,30

Tabella 1 -Dimensioni preliminari delle fondazioni degli elementi presenti all'interno della SU e Impianto BESS

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

4 Analisi dei carichi

4.1 Analisi delle sollecitazioni desunte dai documenti

Ai fini del calcolo delle sollecitazioni indotte dall'aerogeneratore sulla struttura di fondazione, sono stati assunti i carichi relativi ad aerogeneratori della tipologia di quelli di progetto.

In questa fase preliminare non si considerano gli effetti delle azioni sismiche, dato che solitamente per questo tipo di strutture l'azione del vento risulta più gravosa.

I carichi trasmessi dalla struttura in elevazione, in corrispondenza dell'attacco alla struttura di fondazione, posta a +0,10 m al di sopra del piano di campagna in corrispondenza del baricentro del piedistallo sono riportati in sintesi nella tabella che segue:

Sollecitazione classificata secondo IEC	Vento ABNORMAL Extreme	Vento CHARACTERISTIC / NORMAL Extreme	Vento OPERATIONAL E-2
Sollecitazione classificata secondo NTC	CdC eccezionale	CdC caratteristica	CdC quasi permanente
Taglio, T [kN]	1352	1059	851
Sforzo normale, N [kN]	6582	6674	6687
Momento flettente M_f [kNm]	170257	135994	107448
ΔM_f [kNm]	5778		

Tabella 2 – Sollecitazioni elementari sull'interfaccia torre-fondazione SENZA coefficienti parziali di sicurezza

ΔM_f è un momento del secondo ordine e secondo la IEC 61400-6 deve essere considerato per l'analisi allo stato limite ultimo della fondazione.

Le combinazioni di carico prese in considerazione solo le più gravose previste dalle normative elencate al §2. I coefficienti parziali utilizzati sono quelli evidenziati in grassetto nella tabella seguente.

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

	Perm. strutt. γ_{G1}		Perm. non strutt. γ_{G2}		Vento γ_Q	
	favorevole	sfavorevole	favorevole	sfavorevole	favorevole	sfavorevole
Normal / Caratteristica (secondo IEC)	1.0	1.3	1.0	1.3	–	1.35
Normal / Caratteristica (secondo NTC)	1.0	1.3	1.0	1.3	–	1.5
Abnormal / Eccezionale (secondo IEC)	1.0	1.3	1.0	1.3	–	1.10
Abnormal / Eccezionale (secondo NTC)	1.0	1.0	1.0	1.0	–	1.0

Tabella 3 – Coefficienti di sicurezza SLU

Nella tabella seguente si riportano le azioni complete del coefficiente di amplificazione:

	SLU Normal 1.0G₁+1.0G₂+1.5Q_N 1.3G₁+1.3G₂+1.5Q_N	SLU Abnormal 1.0G₁+1.0G₂+1.1Q_A 1.3G₁+1.3G₂+1.1Q_A	EQU 0.9G₁+0.9G₂+1.5Q_N 0.9G₁+0.9G₂+1.5Q_A
Taglio, T [kN]	1589	1487	2028
Sforzo normale, N [kN]	6674 / 8676	6582 / 8557	5924
Momento flettente, M_f [kN]	203991	187282+5778	203991 / 255386 +5778

Tabella 4 – Sollecitazioni elementari sull'interfaccia torre-fondazione CON coefficienti parziali di sicurezza

4.2 Definizione dei pesi specifici

Ai fini dell'analisi statica per l'esecuzione delle verifiche di stabilità e di resistenza strutturale sono stati utilizzati i seguenti dati:

γ_{cls} = peso specifico del calcestruzzo	25 kN/m ³
γ_t = peso specifico del terreno di riempimento	18 kN/m ³

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

5 Fondazione diretta degli aerogeneratori

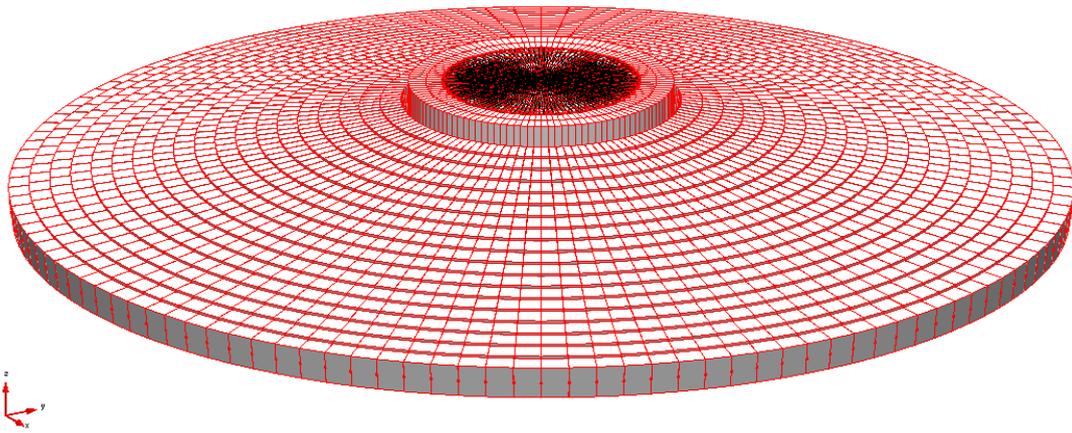


Figura 1: Modello di calcolo agli elementi finiti messo a punto per il dimensionamento della fondazione superficiale

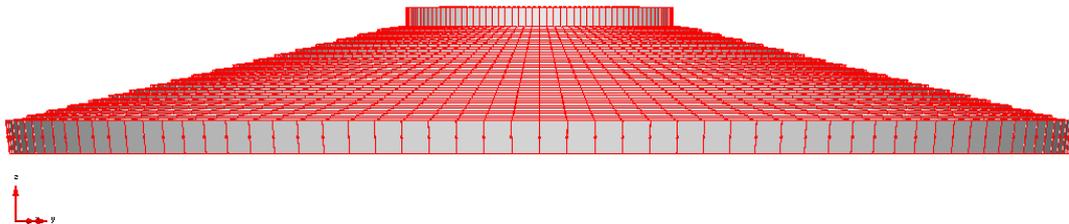


Figura 2: Modello di calcolo agli elementi finiti messo a punto per il dimensionamento della fondazione superficiale

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

5.1 Materiali

5.1.1 Conglomerato per la fondazione

Il calcestruzzo per magrone sarà di classe C12/15.

Il calcestruzzo per la zattera avrà le seguenti caratteristiche minime:

Normativa di riferimento	UNI EN 206-1
Classe di resistenza a compressione	C30/37
Dimensione massima nominale dell'aggregato	20 mm
Classe di consistenza	S3-S4
Classe di contenuto in cloruri	0,20

Il calcestruzzo per il piedistallo avrà le seguenti caratteristiche minime:

Normativa di riferimento	UNI EN 206-1
Classe di resistenza a compressione	C45/55
Dimensione massima nominale dell'aggregato	16 mm
Classe di consistenza	S4
Classe di contenuto in cloruri	0,20

La malta di livellamento ad alta resistenza avrà le seguenti caratteristiche minime:

Classe di resistenza a compressione	C90/105
Minima resistenza a compressione a 1 giorno	10 MPa
Minima resistenza a compressione al tempo della post tensione	61 MPa

5.1.2 Armatura da c.a. per la fondazione

Acciaio in barre a aderenza migliorata B450C:

$f_{yk} = 450$ MPa.

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

5.2 Verifiche

Le verifiche di resistenza sono state effettuate secondo il metodo degli stati limite utilizzando i coefficienti di amplificazione dei carichi unitari secondo quanto previsto dalle NTC2018.

Nei paragrafi seguenti si riporta una sintesi dei risultati delle verifiche eseguite per il predimensionamento.

5.2.1 Verifica a ribaltamento

Nella tabella seguente sono riportati i valori dei momenti stabilizzanti dovuti al peso della torre, al peso della fondazione ed al peso del terreno di ricoprimento ed il momento ribaltante dovuto alla condizione di vento estremo.

	Carico [kN]	Braccio [m]	Coefficiente parziale γ_F	$M_{Stabilizzante}$ [kNm]
Torre	6582	12.00	$\gamma_{G1} = 0.9$	71086
Fondazione	19085	12.00	$\gamma_{G1} = 0.9$	206118
Terreno di ricoprimento	11390	12.00	$\gamma_{G2} = 0.9$	123012
	Momento [kNm]		Coefficiente parziale γ_F	$M_{Ribaltante}$ [kNm]
Vento estremo	176035 kNm +1352 kN · 3.3 m = 180496		$\gamma_Q = 1.5$	270745

Tabella 5 – Momenti stabilizzanti e momenti ribaltanti

La verifica a ribaltamento al ribaltamento risulta soddisfatta in quanto:

$$M_R / M_S = 270745 / 400216 = 0.68 < 1$$

Nota. Si tenga presente che nel calcolo del momento stabilizzante si è considerato il terreno di riempimento compattato con un peso specifico $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$.

5.2.2 Controllo gapping 0%

Secondo quanto prescritto dalle linee guida DNVGL-ST-0126 il terreno deve essere interamente compresso in condizioni di carico di esercizio durante normale produzione di potenza (Vento Operational E-2 o quasi permanente).

La verifica consiste nel controllare il valore dell'eccentricità dei carichi

$$e = \frac{M}{N} \leq 0.125 D$$

Questa verifica risulta soddisfatta con coefficiente di sfruttamento pari al 99%:

$$N = 19085 \text{ kN} + 11390 \text{ kN} + 6687 \text{ kN} = 37162 \text{ kN}$$

$$M = 107448 \text{ kNm} + 851 \text{ kN} \cdot 3.3 \text{ m} = 110256 \text{ kNm}$$

$$e = 2.967 \text{ m} \leq 0.125 \cdot 24.0 \text{ m} = 3.000 \text{ m}$$

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

5.2.3 Controllo gapping 50%

Secondo quanto prescritto dalle linee guida DNVGL-ST-0126 il terreno deve essere compresso per almeno metà dell'impronta della fondazione in condizioni di carico di vento estremo (Vento Abnormal Extreme non fattorato, che in questo caso è maggiore del Vento Normal Extreme non fattorato).

La verifica consiste nel controllare il valore dell'eccentricità dei carichi:

$$e = \frac{M}{N} \leq 0.294 D$$

Questa verifica risulta soddisfatta con coefficiente di sfruttamento pari al 69%:

$$\begin{aligned} N &= 6582 \text{ kN} + 19085 \text{ kN} + 11390 \text{ kN} = 37057 \text{ kN} \\ M &= 176035 \text{ kNm} + 1352 \text{ kN} \cdot 3.3 \text{ m} = 180497 \text{ kNm} \\ e &= \mathbf{4.871 \text{ m}} \leq 0.294 \cdot 26.5 \text{ m} = \mathbf{7.056 \text{ m}} \end{aligned}$$

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

5.2.4 Verifica armatura radiale sezione zattera in corrispondenza del piedistallo

B = 1000 mm

$h_0 = 2850$ mm

Armatura radiale superiore: $2\text{Ø}28/169$
 $A_{a,sr} = 7266 \text{ mm}^2/\text{m}$

Armatura radiale inferiore: $2\text{Ø}32/169 + 1\text{Ø}24/169$
 $A_{a,ir} = 12159 \text{ mm}^2/\text{m}$

Verifica SLU armatura radiale superiore – sezione $h_0 = 2850$ mm:

CdC Non Lineare ULS Extreme u

M22 di Wood che tende l'estradosso (kNm/m)

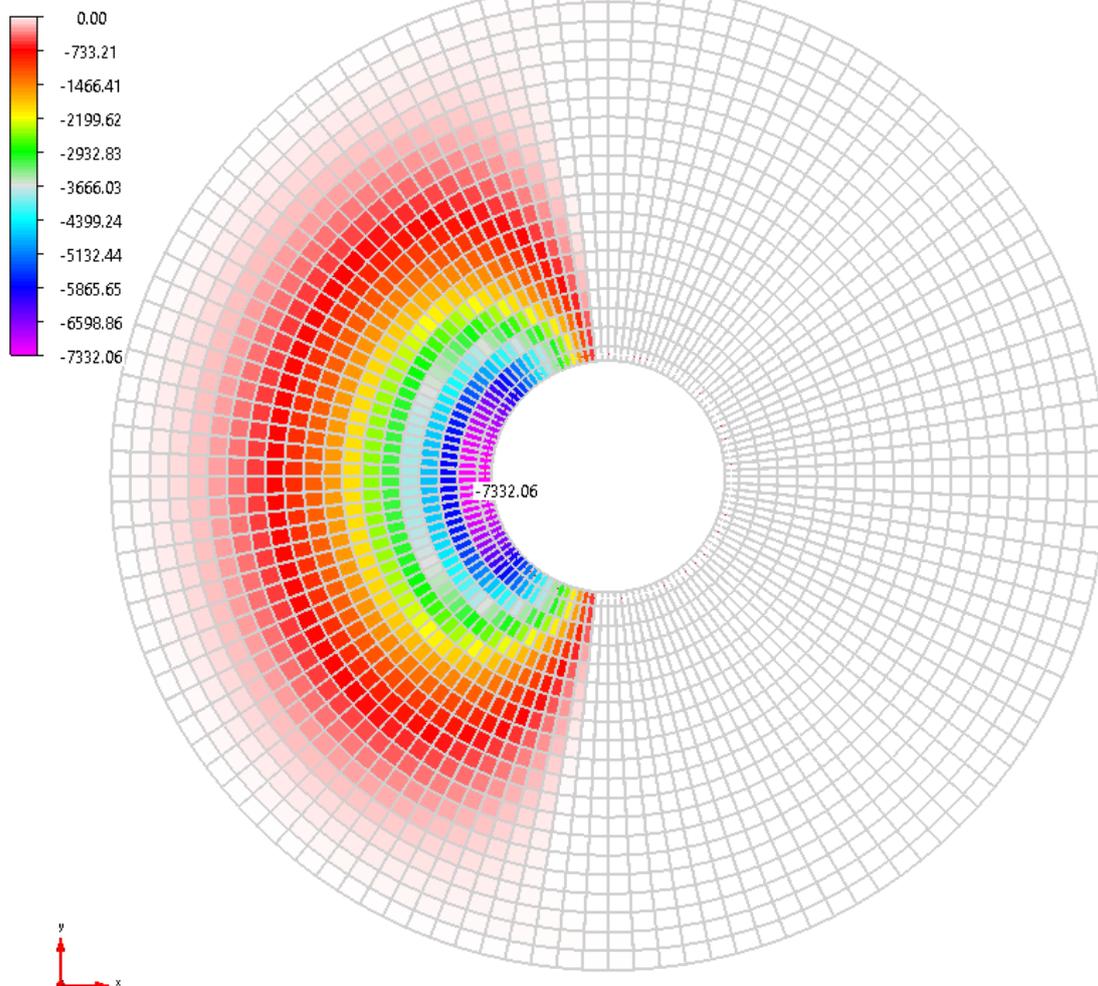


Figura 3: Diagramma dei momenti di Wood che tendono l'estradosso

$$M_{Ed,rad,sup} = 7332 \text{ kNm/m} < M_{Rd,rad,sup} = 7699 \text{ kNm/m}$$

$$M_{Ed,rad,sup}/M_{Rd,rad,sup} = 0.95$$

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

Verifica SLU armatura radiale inferiore – sezione $h_0 = 2850$ mm:

CdC Non Lineare ULS Extreme f
M22 di Wood che tende l'intradosso (kNm/m)

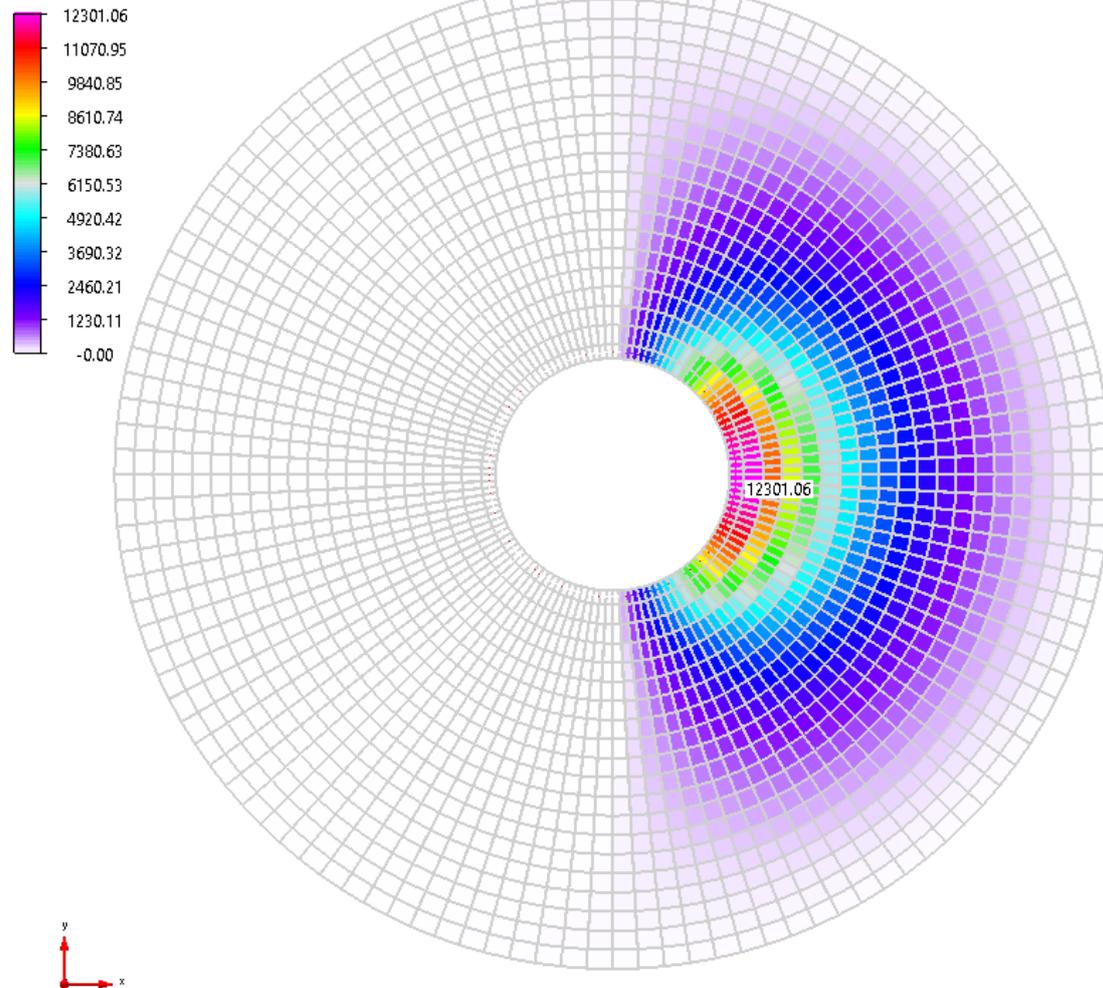


Figura 4: Diagramma dei momenti radiali di Wood che tendono l'intradosso

$$M_{Ed,rad,inf} = 12301 \text{ kNm/m} < M_{Rd,rad,inf} = 12827 \text{ kNm/m}$$

$$M_{Ed,rad,inf}/M_{Rd,rad,inf} = 0.96$$

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

5.2.5 Verifica armature circolare sezione zattera in corrispondenza del piedistallo

B = 1000 mm

$h_0 = 2850$ mm

Armatura circolare superiore: $\varnothing 24/80$
 $A_{a,sc} = 5655$ mm²/m

Armatura circolare inferiore: $2\varnothing 24/120$
 $A_{a,ic} = 7540$ mm²/m

Verifica SLU armatura circolare superiore – sezione $h_0 = 2850$ mm:

CdC Non Lineare ULS Extreme f

M33 di Wood che tende l'estradosso (kNm/m)

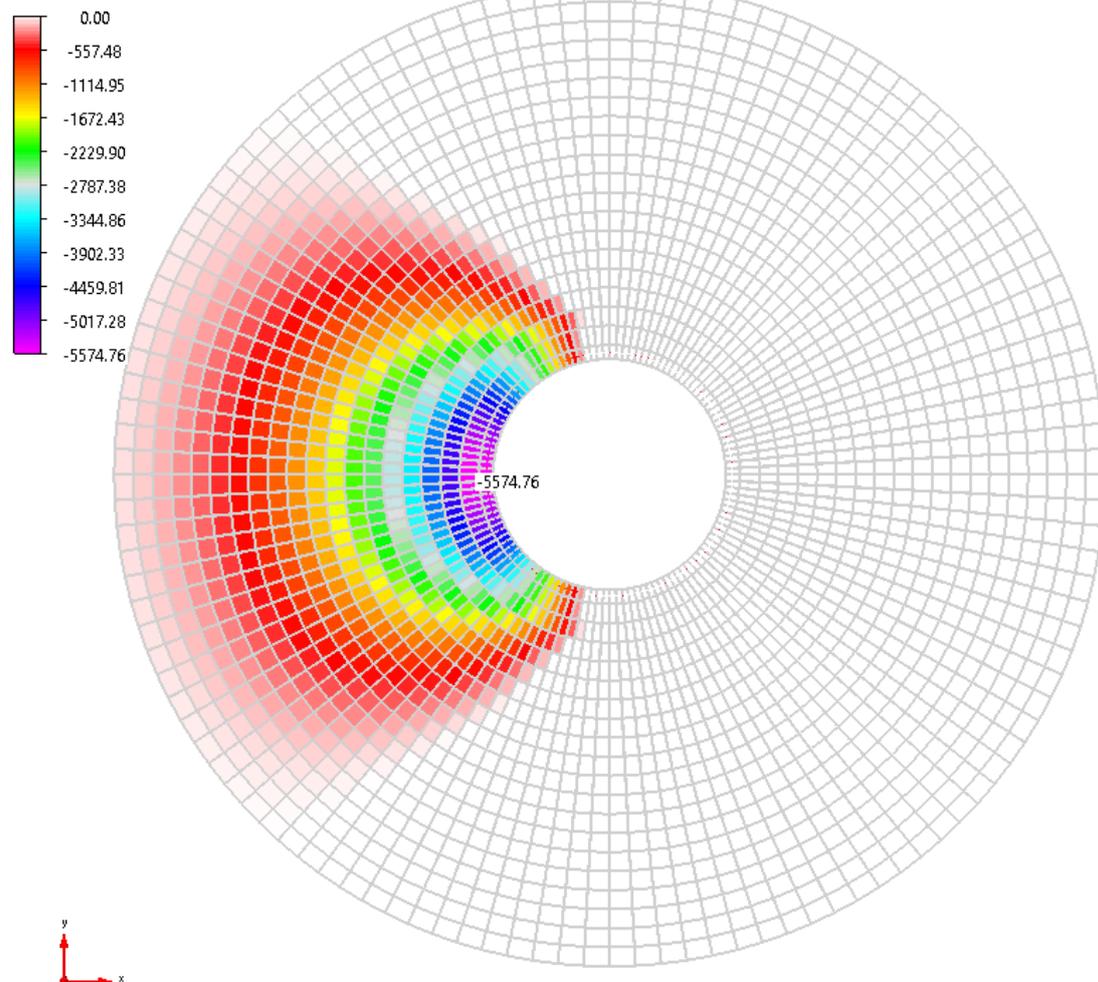


Figura 5: Diagramma dei momenti circolari che tendono l'estradosso

$$M_{Ed,cir,sup} = 5575 \text{ kNm/m} < M_{Rd,cir,sup} = 5900 \text{ kNm/m}$$

$$M_{Ed,cir,sup}/M_{Rd,cir,sup} = 0.95$$

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

Verifica SLU **armatura circolare inferiore – sezione $h_0 = 2850$ mm:**

CdC Non Lineare ULS Extreme u

M33 di Wood che tende l'intradosso (kNm/m)

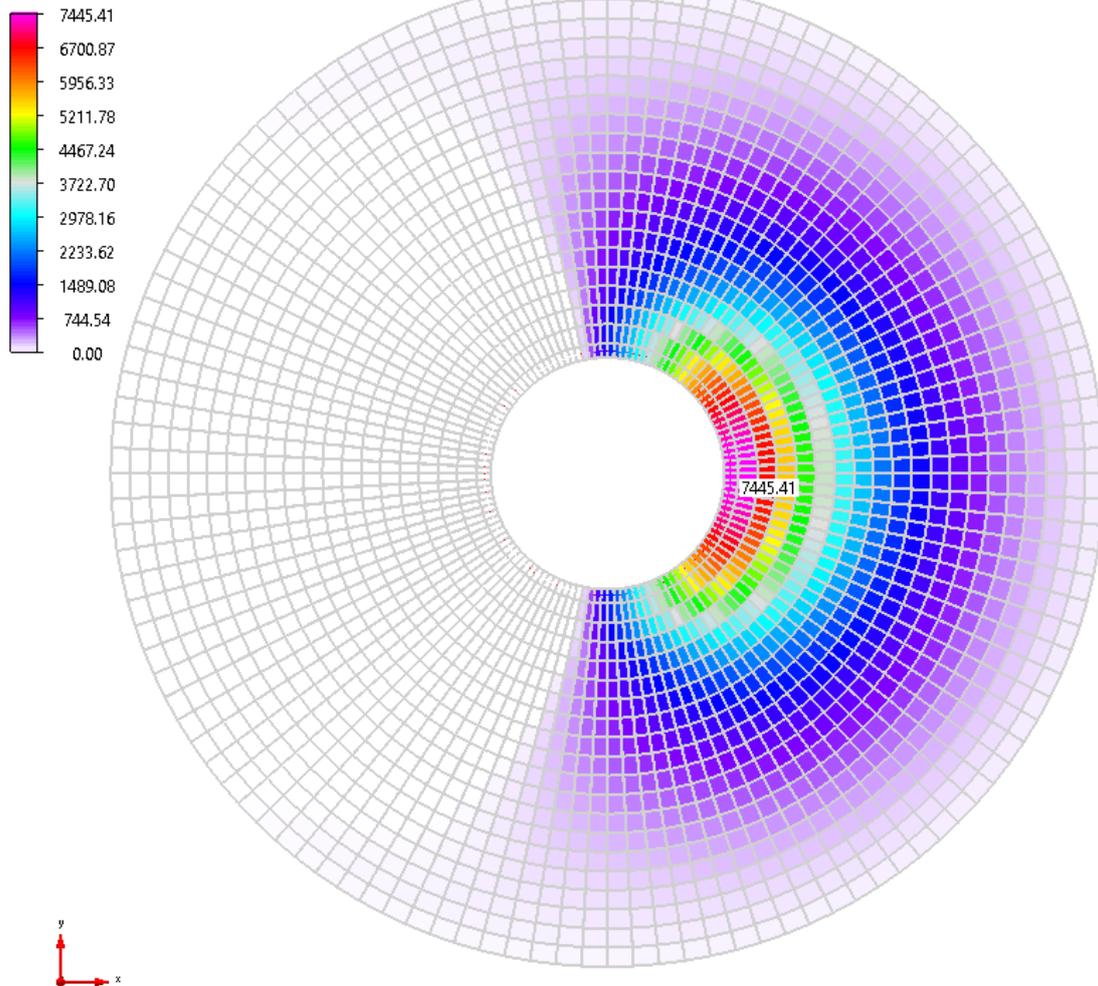


Figura 6: Diagramma dei momenti circolari di Wood che tendono l'intradosso

$$M_{Ed,cir,inf} = 7445 \text{ kNm/m} < M_{Rd,cir,inf} = 7986 \text{ kNm/m}$$

$$M_{Ed,cir,inf}/M_{Rd,cir,inf} = 0.93$$

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

6 Fondazione profonda degli aerogeneratori

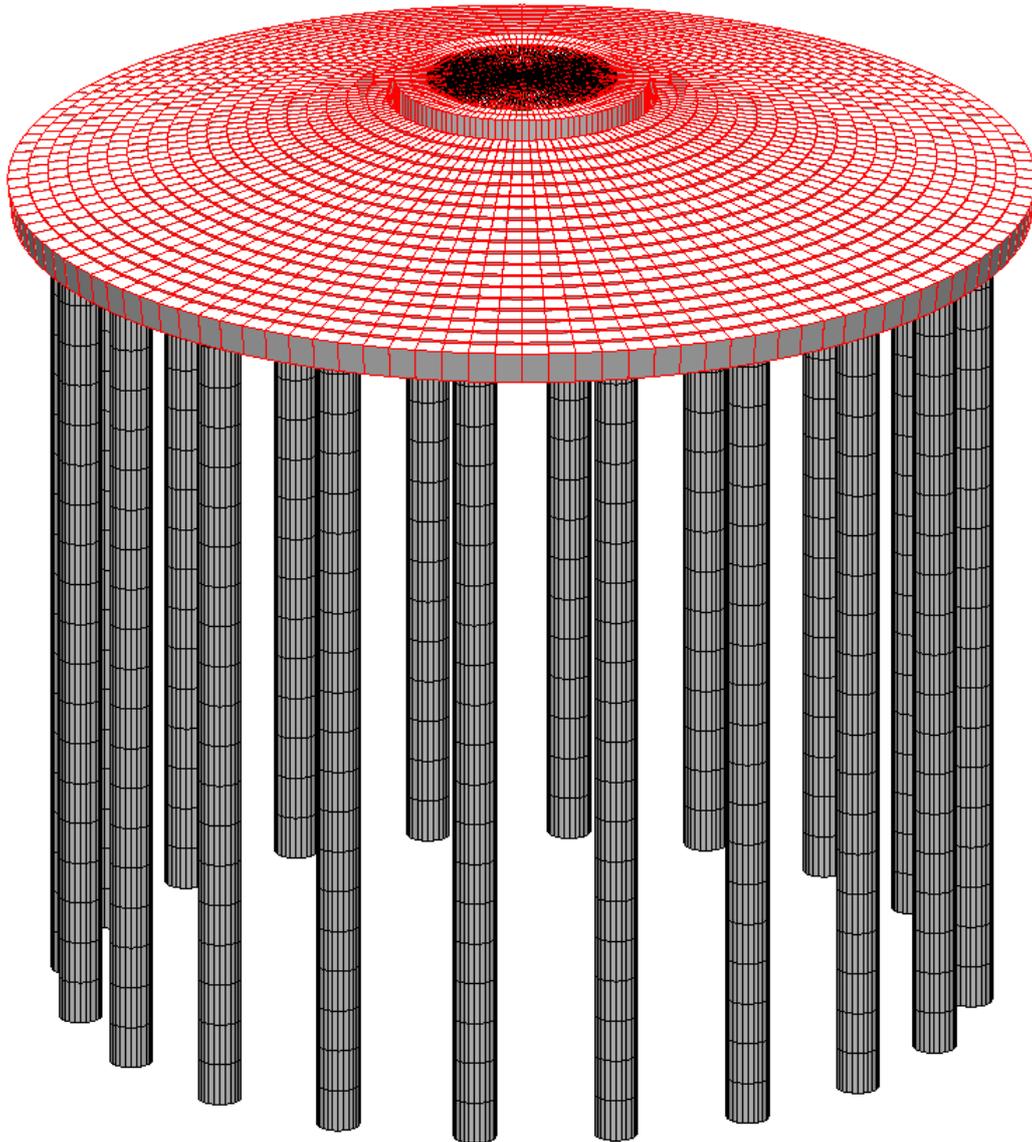


Figura 7: Modello di calcolo agli elementi finiti messo a punto per il dimensionamento della fondazione su pali

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

6.1 Materiali

6.1.1 Conglomerato per la fondazione

Il calcestruzzo per magrone sarà di classe C12/15.

Il calcestruzzo per la zattera e per i pali avrà le seguenti caratteristiche minime:

Normativa di riferimento	UNI EN 206-1
Classe di resistenza a compressione	C30/37
Dimensione massima nominale dell'aggregato	20 mm
Classe di consistenza	S3-S4
Classe di contenuto in cloruri	0,20

Il calcestruzzo per il piedistallo avrà le seguenti caratteristiche minime:

Normativa di riferimento	UNI EN 206-1
Classe di resistenza a compressione	C45/55
Dimensione massima nominale dell'aggregato	16 mm
Classe di consistenza	S4
Classe di contenuto in cloruri	0,20

La malta di livellamento ad alta resistenza avrà le seguenti caratteristiche minime:

Classe di resistenza a compressione	C90/105
Minima resistenza a compressione a 1 giorno	10 MPa
Minima resistenza a compressione al tempo della post tensione	61 MPa

6.1.2 Armatura da c.a. per la fondazione

Acciaio in barre a aderenza migliorata B450C:

$f_{yk} = 450$ MPa.

6.2 Verifiche

Le verifiche di resistenza sono state effettuate secondo il metodo degli stati limite utilizzando i coefficienti di amplificazione dei carichi unitari secondo quanto previsto dalle NTC2018.

Nei paragrafi seguenti si riporta una sintesi dei risultati delle verifiche eseguite per il predimensionamento.

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

6.2.1 Verifica armatura radiale sezione zattera in corrispondenza del piedistallo

B = 1000 mm

h₀ = 2850 mm

Armatura radiale superiore: 2Ø30/169
A_{a,sr} = 8354 mm²/m

Armatura radiale inferiore: 3Ø32/169
A_{a,ir} = 14235 mm²/m

Verifica SLU armatura radiale superiore – sezione h₀ = 2850 mm:

CdC Non Lineare ULS Extreme f

M22 di Wood che tende l'estradosso (kNm/m)

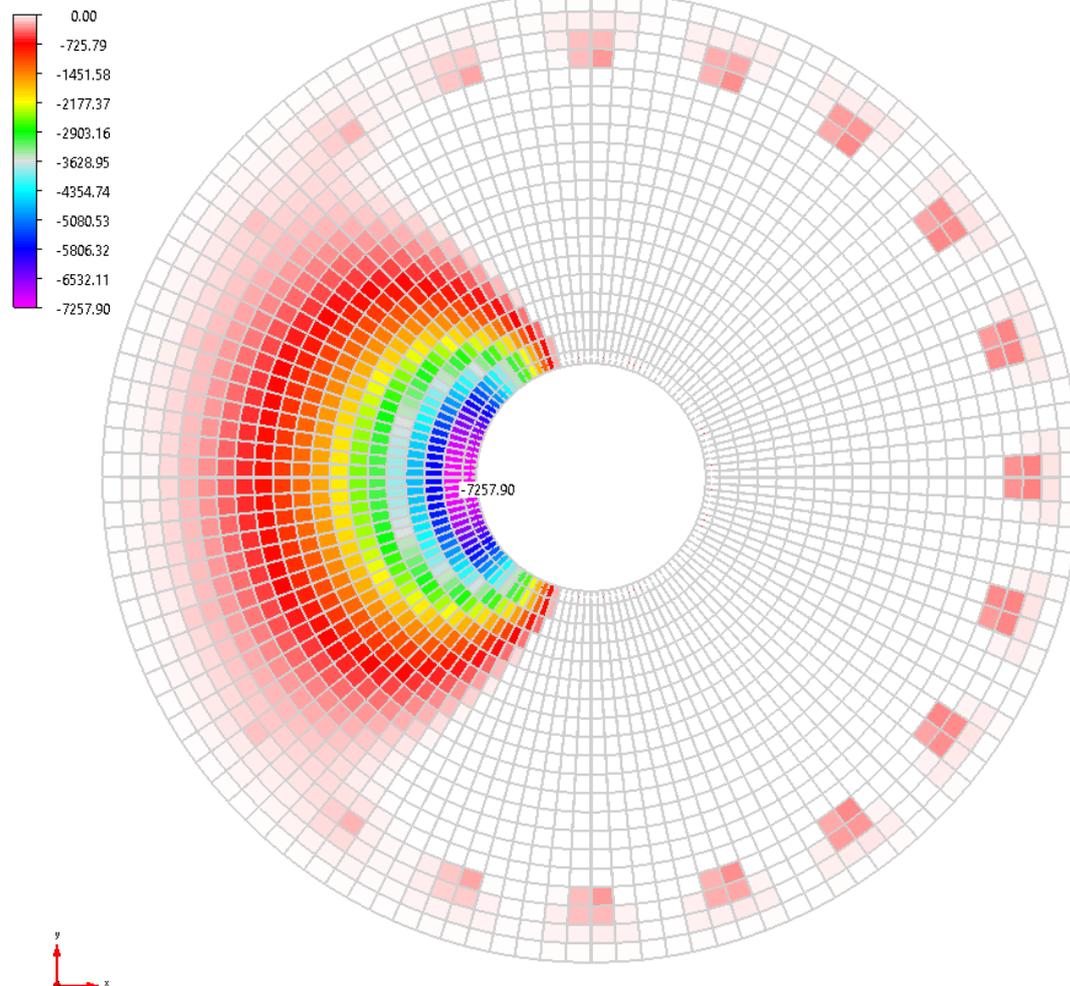


Figura 8: Diagramma dei momenti radiali di Wood che tendono l'estradosso

$$M_{Ed,rad,sup} = 7260 \text{ kNm/m} < M_{Rd,rad,sup} = 8840 \text{ kNm/m}$$

$$M_{Ed,rad,sup}/M_{Rd,rad,sup} = 0.85$$

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

Verifica SLU armatura radiale inferiore – sezione $h_0 = 2850$ mm:

CdC Non Lineare ULS Extreme u

M22 di Wood che tende l'intradosso (kNm/m)

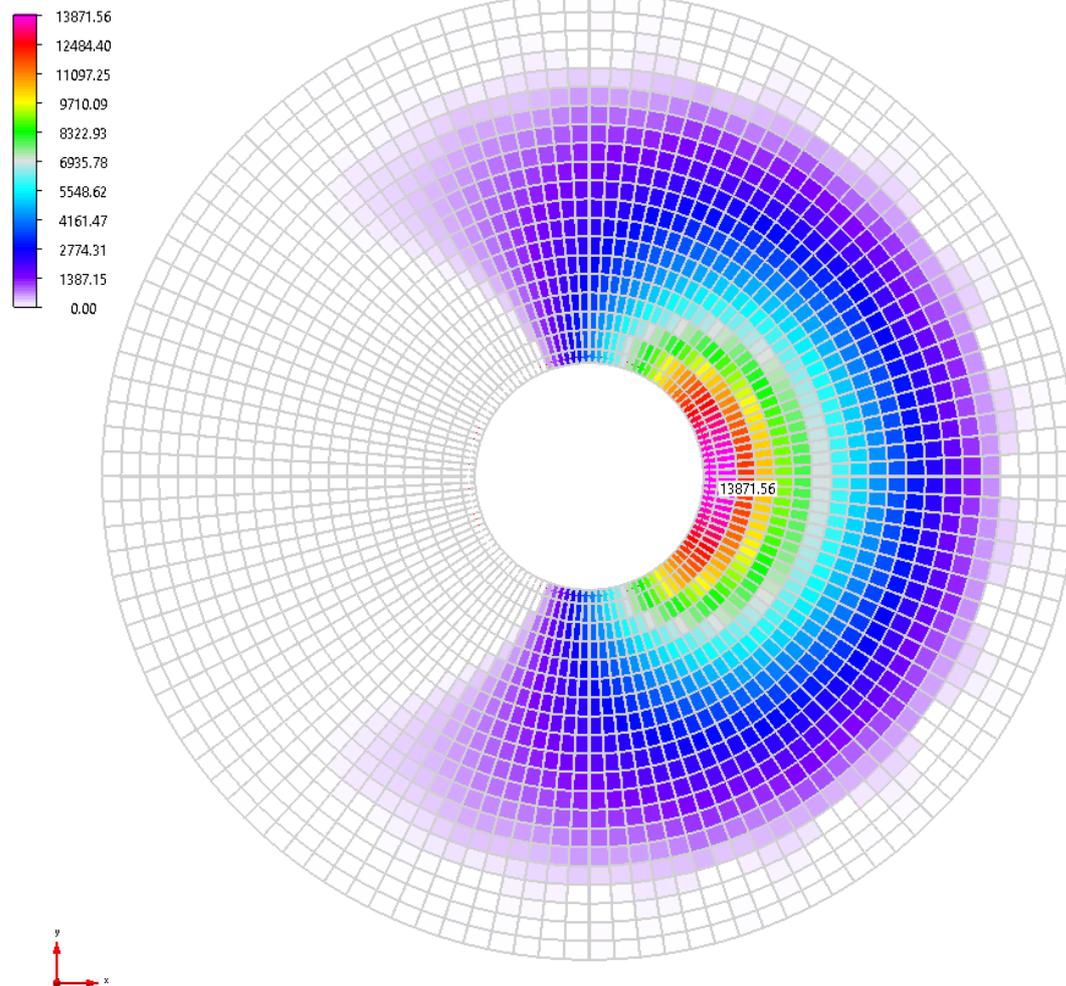


Figura 9: Diagramma dei momenti radiali di Wood che tendono l'intradosso

$$M_{Ed,rad,inf} = 13872 \text{ kNm/m} < M_{Rd,rad,inf} = 14501 \text{ kNm/m}$$

$$M_{Ed,rad,inf}/M_{Rd,rad,inf} = 0.96$$

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

6.2.2 Verifica armature circolare sezione zattera in corrispondenza del piedistallo

B = 1000 mm

$h_0 = 2850$ mm

Armatura circolare superiore: $\varnothing 24/80$
 $A_{a,sc} = 5655 \text{ mm}^2/\text{m}$

Armatura circolare inferiore: $2\varnothing 24/90$
 $A_{a,ic} = 10053 \text{ mm}^2/\text{m}$

Verifica SLU armatura circolare superiore – sezione $h_0 = 2850$ mm:

CdC Non Lineare ULS Extreme f

M33 di Wood che tende l'estradosso (kNm/m)

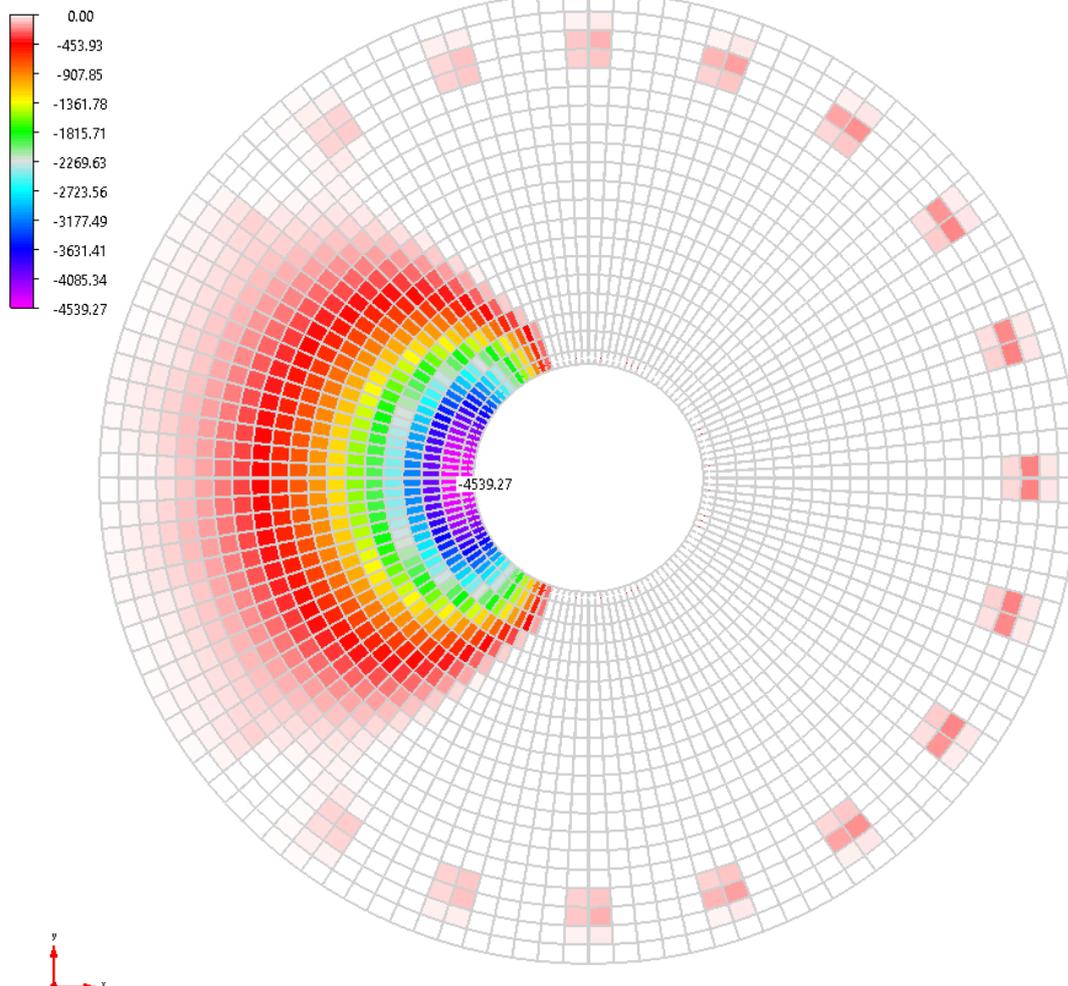


Figura 10: Diagramma dei momenti circolari che tendono l'estradosso

$$M_{Ed,cir,sup} = 4540 \text{ kNm/m} < M_{Rd,cir,sup} = 5900 \text{ kNm/m}$$

$$M_{Ed,cir,sup}/M_{Rd,cir,sup} = 0.77$$

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

Verifica SLU **armatura circolare inferiore – sezione $h_0 = 2850$ mm:**

CdC Non Lineare ULS Extreme u

M33 di Wood che tende l'intradosso (kNm/m)

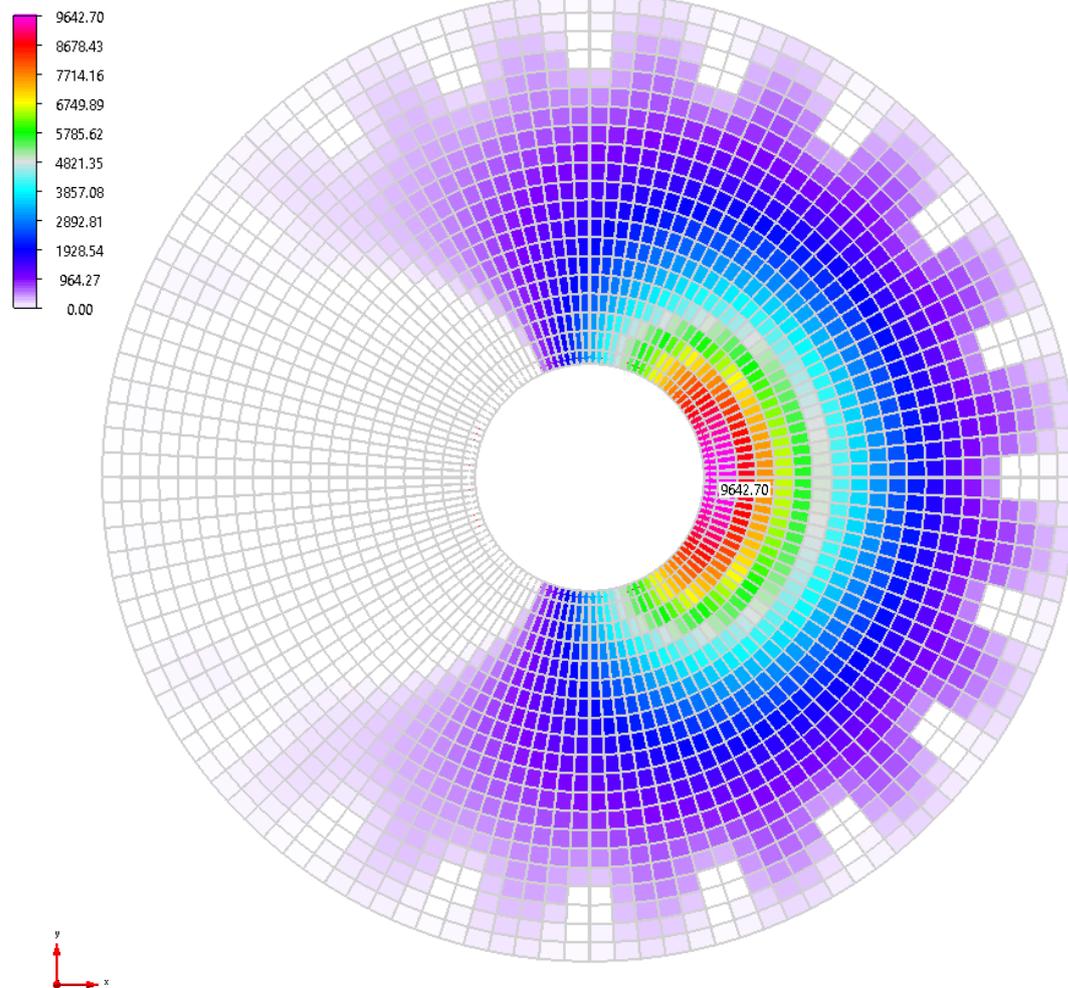


Figura 11: Diagramma dei momenti circolari di Wood che tendono l'intradosso

$$M_{Ed,cir,inf} = 9642 \text{ kNm/m} < M_{Rd,cir,inf} = 10362 \text{ kNm/m}$$

$$M_{Ed,cir,inf}/M_{Rd,cir,inf} = 0.93$$

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

6.2.3 Verifica armature radiale zattera in corrispondenza dei pali

Corona di pali - $h_0 = 1916$ mm

Armatura radiale superiore: $1\text{Ø}30/542$
 $A_{a,sr} = 1305 \text{ mm}^2/\text{m}$

Armatura radiale inferiore: $1\text{Ø}32/542$
 $A_{a,ir} = 1484 \text{ mm}^2/\text{m}$

Verifica SLU armatura radiale superiore – sezione $h_0 = 1916$ mm:

$M_{Ed,rad,sup} = 417 \text{ kNm/m} < M_{Rd,rad,sup} = 507 \text{ kNm/m}$

$M_{Ed,rad,sup}/M_{Rd,rad,sup} = 0.82$

Verifica SLU armatura radiale inferiore – sezione $h_0 = 1916$ mm:

$M_{Ed,rad,inf} = 7 \text{ kNm/m} < M_{Rd,rad,inf} = 576 \text{ kNm/m}$

$M_{Ed,rad,inf}/M_{Rd,rad,inf} = 0.01$

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

6.2.4 Verifica di resistenza dei pali di fondazione

Armatura longitudinale nella sezione in testa: 20Ø20
 $A_{sl} = 6912 \text{ mm}^2$

Verifica a pressoflessione:

$N_{Ed} = -4406 \text{ kN}$ $M_{Ed} = 422 \text{ kNm}$ $M_{Rd} (N_{Ed}) = 1661 \text{ kNm}$

$E_d/R_d = 0.26$

Titolo : Palo di fondazione

Sezione circolare cava

Raggio esterno [cm]

Raggio interno [cm]

N° barre uguali

Diametro barre [cm]

Copriferro (baric.) [cm]

N° barre Zoom

Tipologia Sezione

Rettan.re Trapezi

a T Circolare

Rettangoli Coord.

DXF

Sollecitazioni

S.L.U. ↔ Metodo n

N_{Ed} kN

M_{xEd} kNm

M_{yEd}

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls

Coord.[cm] x_N y_N

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M_{xRd} kN m

σ_c N/mm²

σ_s N/mm²

ϵ_c ‰

ϵ_s ‰

d cm

x x/d δ

Materiali

B450C

C25/30

ϵ_{su} ‰ ϵ_{c2} ‰

f_{yd} N/mm² ϵ_{cu} ‰

E_s N/mm² f_{cd} ‰

E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?

ϵ_{syd} ‰ $\sigma_{c,adm}$ ‰

$\sigma_{s,adm}$ N/mm² τ_{co} ‰

τ_{c1} ‰

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-

Metodo n

Tipo flessione

Retta Deviata

Vertici: N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N

L_0 cm Col. modello

M-curvatura

Precompresso

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

6.2.5 Carico limite dei pali di fondazione

Il carico limite assiale di un palo viene convenzionalmente suddiviso in due aliquote, la resistenza alla punta P e la resistenza laterale S, e calcolato mediante le formule statiche:

$$Q_{lim} = P + S = \frac{\pi d^2}{4} p + \pi d \int_0^L s dz$$

Le caratteristiche del terreno sono state ipotizzate sulla base di alcune prove geofisiche, stante l'impossibilità di eseguire sondaggi puntuali per l'inaccessibilità attuale dei siti.

Il dimensionamento dei pali dipende fortemente dalle reali caratteristiche del terreno che saranno valutate più approfonditamente in fase di progetto esecutivo attraverso l'esecuzione di sondaggi geognostici puntuali e prove di laboratorio sui campioni prelevati.

Ai fini del calcolo preliminare sono stati utilizzati i parametri stimati relativi alle stratigrafie del terreno ipotizzate nel documento 1699043_SES_005.

È stato schematizzato un primo strato, fino a 15 m dal piano campagna, avente peso 18 kN/m³ e angolo φ' di 15° e un secondo strato che arriva almeno fino alla punta dei pali in cui è stato considerato un peso specifico di 21 kN/m³ e un angolo di attrito φ' di 40°.

Verifica di capacità portante dei pali trivellati sotto carichi verticali								
APPROCCIO 2, COMBINAZIONE A1+M1+R3								
Formule statiche								
d	1,000 m	Diametro palo						
L	20,0 m	Lunghezza palo						
Z _{posa}	3,3 m	Profondità di posa della platea						
Z _{finale}	23,3 m	Profondità di infissione						
i	3,4 m	Interasse pali						
m	1	Numero file pali						
n	20	Numero pali per fila						
E _c	0,83	Efficienza della palificata in terreno coesivo (formula di Converse Labarre)						
N _v	1	Numero di verticali indagate						
ξ ₃	1,70	Fattori di correlazione da Tab. 6.4.IV NTC18 (riportata sotto)						
ξ ₄	1,70							
Numero di verticali indagate		1	2	3	4	5	7	10
ξ ₃		1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ ₄		1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

Strato 1 (superficiale)					
z_i	3,3 m				
z_f	8 m				
Condizioni drenate			Condizioni non drenate		
γ	18 kN/m ³		c_u	40 kN/m ²	
$\sigma'_{v,i}$	59 kN/m ²	(falda assente)	α	0,58	(trivellato) [Viggiani Tab. 13.3]
$\sigma'_{v,f}$	144 kN/m ²		S_U	342,6 kN	Resistenza laterale
$\sigma_{v,i}$	59 kN/m ²		E	0,83	Efficienza della palificata [Viggiani §13.1.7]
$\sigma_{v,f}$	144 kN/m ²		$S_{U,g}$	283,3 kN	Resistenza laterale per effetto di gruppo
k	0,5	(trivellato) [Viggiani Tab. 13.2]			
ϕ'	15 °	0,262 rad			
μ	0,27	(trivellato) [Viggiani Tab. 13.2]			
S_D	201,2 kN	Resistenza laterale			
E	1,0	Efficienza della palificata [Viggiani §13.1.7]			
$S_{D,g}$	201,2 kN	Resistenza laterale per effetto di gruppo			

Strato 2 (intermedio)					
z_i	8 m				
z_f	15 m				
Condizioni drenate			Condizioni non drenate		
γ	18 kN/m ³		c_u	40 kN/m ²	
$\sigma'_{v,i}$	144 kN/m ²	(falda assente)	α	0,58	(trivellato) [Viggiani Tab. 13.3]
$\sigma'_{v,f}$	270 kN/m ²		S_U	510,2 kN	Resistenza laterale
$\sigma_{v,i}$	144 kN/m ²		E	0,83	Efficienza della palificata [Viggiani §13.1.7]
$\sigma_{v,f}$	270 kN/m ²		$S_{U,g}$	421,9 kN	Resistenza laterale per effetto di gruppo
k	0,5	(trivellato) [Viggiani Tab. 13.2]			
ϕ'	15 °	0,262 rad			
μ	0,27	(trivellato) [Viggiani Tab. 13.2]			
S_D	609,9 kN	Resistenza laterale			
E	1,0	Efficienza della palificata [Viggiani §13.1.7]			
$S_{D,g}$	609,9 kN	Resistenza laterale per effetto di gruppo			

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

Strato 3 (in cui è ammorsata la punta del palo)					
z_i	15 m				
z_f	23,3 m				
Condizioni drenate			Condizioni non drenate - non applicabili		
γ	21 kN/m ³		c_u		kN/m ²
$\sigma'_{v,i}$	270 kN/m ²	(falda assente)	α	0,7	(trivellato) [Viggiani Tab. 13.3]
$\sigma'_{v,f}$	444 kN/m ²		S_U	0,0 kN	Resistenza laterale
$\sigma_{v,i}$	270 kN/m ²		E	0,83	Efficienza della palificata [Viggiani §13.1.7]
$\sigma_{v,f}$	444 kN/m ²		$S_{U,g}$		kN Resistenza laterale per effetto di gruppo
k	0,5	(trivellato) [Viggiani Tab. 13.2]			
ϕ'	40 °	0,698 rad			
μ	0,84	(trivellato) [Viggiani Tab. 13.2]			
S_D	4153,3 kN	Resistenza laterale			
E	1,0	Efficienza della palificata [Viggiani §13.1.7]			
$S_{D,g}$	4153,3 kN	Resistenza laterale per effetto di gruppo			
ϕ' disturbato	37 °	0,646 rad	N_c	9,0	
N_q	79,5	Da relazione di Berezantzev	$\sigma_{v,f}$	444 kN/m ²	
p	35316 kN/m ²		p	444 kN/m ²	
P	27737,0 kN	Resistenza alla punta	P	349,0 kN	Resistenza alla punta
E	1,0	Efficienza della palificata [Viggiani §13.1.7]	E	0,83	Efficienza della palificata [Viggiani §13.1.7]
$P_{D,g}$	27737,0 kN	Resistenza alla punta per effetto di gruppo	$P_{U,g}$		kN Resistenza alla punta per effetto di gruppo

Capacità portante a compressione		
S	4776 kN	Resistenza laterale totale
P	27737 kN	Resistenza alla punta totale
Q_{lim}	32513 kN	Capacità portante
$\gamma_{R,lat}$	1,15	(Tab.6.4.II NTC18)
$\gamma_{R,base}$	1,35	(Tab.6.4.II NTC18)
ξ_3	1,70	(Tab.6.4.IV NTC18)
$Q_{lim,Rd}$	14529 kN	Capacità portante fattorizzata
$Q_{Ed,max}$	4950 kN	(Da comb. STR)
Verifica	0,34	OK

Capacità portante a trazione		
S	4776 kN	Resistenza laterale totale
$Q_{lim,t}$	4776 kN	Capacità portante
$\gamma_{R,t}$	1,25	(Tab.6.4.II NTC18)
ξ_3	1,70	(Tab.6.4.IV NTC18)
$Q_{lim,traz,Rd}$	2248 kN	Capacità portante fattorizzata
$Q_{Ed,traz}$	230 kN	(Da comb. STR)
Verifica	0,10	OK

7 Fondazioni elementi Stazione di Utenza e BESS

7.1 Analisi strutturale

7.1.1 Analisi dei carichi

I carichi utilizzati per il pre-dimensionamento degli elementi della stazione di Utenza e del BESS sono da ritenersi preliminari, ovvero dovranno essere valutati più accuratamente in fase di progetto esecutivo.

Per la cabina di consegna, ubicata all'interno della Stazione Utente, è stato considerato, oltre al carico vento, un carico distribuito di 20 kN/m².

TRASFORMATORE (carico totale riferito al baricentro)	Azioni esterne (TRASFORMATORE IMPIANTO) 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

Per quanto riguarda il trasformatore batterie e le batterie sono stati utilizzati i dati riportati nelle schede tecniche come indicato di seguito.

Per la singola batteria sono stati presi in considerazione i seguenti parametri riguardanti la geometria e il peso:

- Lunghezza 6058 mm larghezza 2438 mm e altezza 2896 mm
- Peso 42500 kg

La platea di fondazione è stata calcolata considerando le batterie accoppiate a due a due.

Per il trasformatore batterie sono stati presi in considerazione i seguenti parametri riguardanti la geometria e il peso:

- Lunghezza 6058 mm larghezza 2438 mm e altezza 2896 mm
- Peso 20000 kg

Oltre il peso è stato considerato un carico neve pari a 2,13 kN/m² e un carico vento come riportato nelle tabelle seguenti.

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

Pressione del vento su PARETI VERTICALI			
VENTO IN DIREZIONE +X			
larghezza parete verticale sopravento	b	6,10	m
larghezza pareti verticali laterali	d	2,50	m
altezza pareti verticali	h	2,90	m
coefficiente di forma parete sopravento	$C_{pe,sopv}$	0,80	
coefficiente di forma pareti laterali	$C_{pe,lat}$	-0,90	
coefficiente di forma parete sottovento	$C_{pe,sotv}$	-0,51	
tipologia edificio		basso	
parete sopravento			
altezza impalcato 1	z_1	2,90	m
altezza di riferimento per parete sopravento 1	$z_{e,sopv,1}$	2,90	m
coefficiente di esposizione per parete verticale sopravento all'altezza di riferimento 1	$C_{e,sopv,1}$	1,63	
pressione del vento sulla parete sopravento alla quota dell'impalcato 1	$p_{sopv,1}$	0,68	kN/m ²
pareti laterali			
altezza di riferimento per pareti laterali	$z_{e,lat}$	2,90	m
coefficiente di esposizione per pareti laterali	$C_{e,lat}$	1,63	
pressione del vento sulle pareti laterali	p_{lat}	-0,76	kN/m ²
parete sottovento			
altezza di riferimento per parete sottovento	$z_{e,sotv}$	2,90	m
coefficiente di esposizione per parete verticale sottovento	$C_{e,sotv}$	1,63	
pressione del vento sulla parete sottovento	p_{sotv}	-0,43	kN/m ²
VENTO IN DIREZIONE +Y			
larghezza parete verticale sopravento	b	2,50	m
larghezza pareti verticali laterali	d	6,10	m
altezza pareti verticali	h	2,90	m
coefficiente di forma parete sopravento	$C_{pe,sopv}$	0,75	
coefficiente di forma pareti laterali	$C_{pe,lat}$	-0,88	
coefficiente di forma parete sottovento	$C_{pe,sotv}$	-0,40	
tipologia edificio		basso	
parete sopravento			
altezza impalcato 1	z_1	2,90	m
altezza di riferimento per parete sopravento 1	$z_{e,sopv,1}$	2,90	m
coefficiente di esposizione per parete verticale sopravento all'altezza di riferimento 1	$C_{e,sopv,1}$	1,63	
pressione del vento sulla parete sopravento alla quota dell'impalcato 1	$p_{sopv,1}$	0,63	kN/m ²
pareti laterali			
altezza di riferimento per pareti laterali	$z_{e,lat}$	2,90	m
coefficiente di esposizione per pareti laterali	$C_{e,lat}$	1,63	
pressione del vento sulle pareti laterali	p_{lat}	-0,75	kN/m ²
parete sottovento			
altezza di riferimento per parete sottovento	$z_{e,sotv}$	2,90	m
coefficiente di esposizione per parete verticale sottovento	$C_{e,sotv}$	1,63	
pressione del vento sulla parete sottovento	p_{sotv}	-0,34	kN/m ²

Per quanto riguarda l'azione sismica è stata considerata $a_g = 0.32g$ ricavato dallo spettro per un $T=0$ considerando il sistema infinitamente rigido.

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

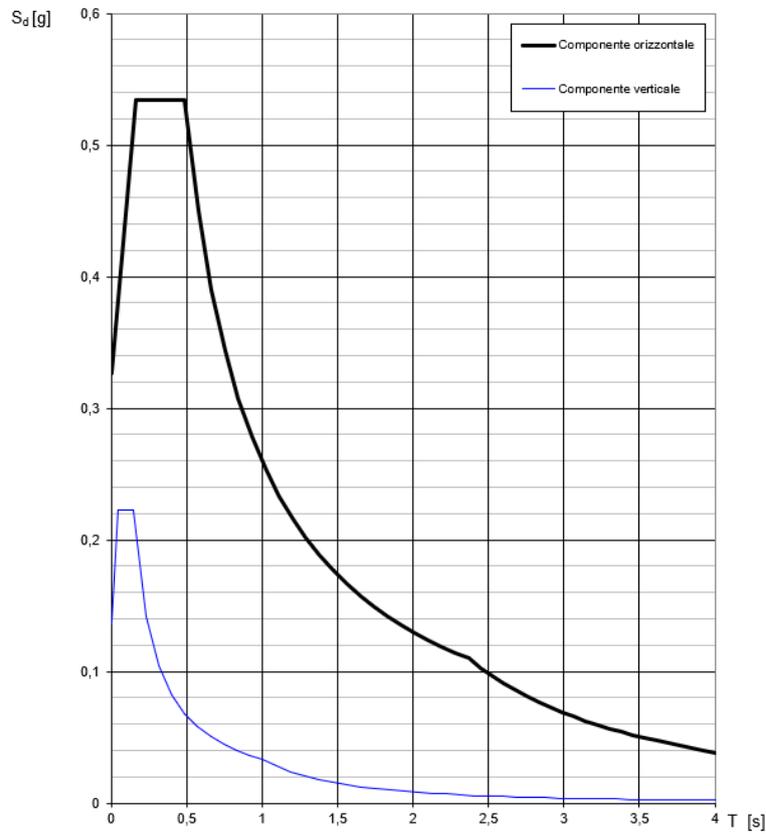


Figura 12: Spettro di risposta

7.1.2 Condizioni di carico

Le condizioni di carico elementari prese in considerazione per il trasformatore impianto 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 G₂ 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).

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

Le condizioni di carico prese in considerazione per il trasformatore batterie, le batterie e la cabina di consegna sono:

Condizioni di carico elementari statiche - Moltiplicatori gravitazionali

n°	Descrizione	x	y	z	Tipo	grp	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2	Ψ_{23}	Φ	
1S	G1	0	0	-1	Permanente		1	1	1	1	1	
2S	Vento +X	0	0	0	Vento	3	0.6	0.2	0	0	0	
3S	Vento +Y	0	0	0	Vento	3	0.6	0.2	0	0	0	
4S	Vento -X	0	0	0	Vento	3	0.6	0.2	0	0	0	
5S	Vento -Y	0	0	0	Vento	3	0.6	0.2	0	0	0	
6S	G2 - Peso struttura	0	0	0	Perm.Non Strutt		1	1	1	1	1	
7S	Neve	0	0	0	Tetti e coperture co...	2	0.5	0.2	0	0	1	
8S	Sisma X	0	0	0	Sisma SLU x							
9S	Sisma Y	0	0	0	Sisma SLU y							

7.1.3 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									

Per il trasformatore batterie, le batterie e la cabina di consegna è stata eseguita una analisi lineare.

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

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

1. Cabina di consegna
2. Trasformatore impianto
3. Batterie
4. Trasformatore batterie

Sono stati realizzati dei modelli tridimensionali costituiti da elementi *shell* e *beam*.

Per quanto riguarda il trasformatore batterie, le batterie e la cabina di consegna è stata eseguita una analisi lineare considerando una costante di sottofondo $k_w = 1000 \text{ kN/m}^3$ reagente a compressione e trazione.

In generale le azioni verticali sono state modellate distribuite direttamente sulla platea, mentre le azioni orizzontali sono state applicate sui *beam* orizzontali rappresentanti l'ingombro delle strutture, tenendo conto dell'azione della coppia interna.

Nel caso del trasformatore impianto 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.

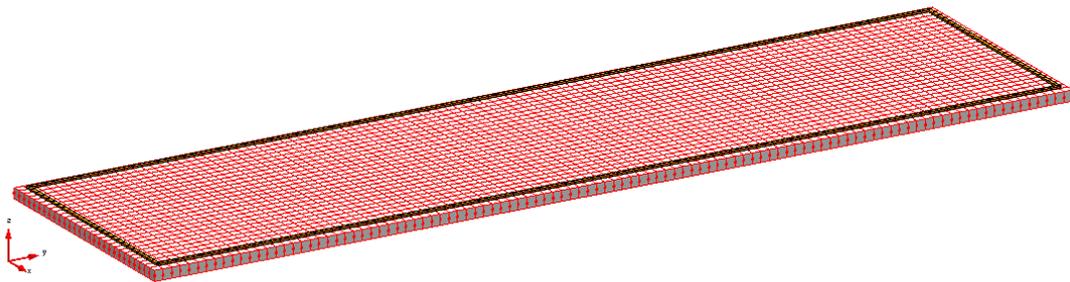


Figura 13: Rappresentazione modello FEM fondazione cabina di consegna; dimensione platea 26,5 m per 7 m per 0,3 m di spessore

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

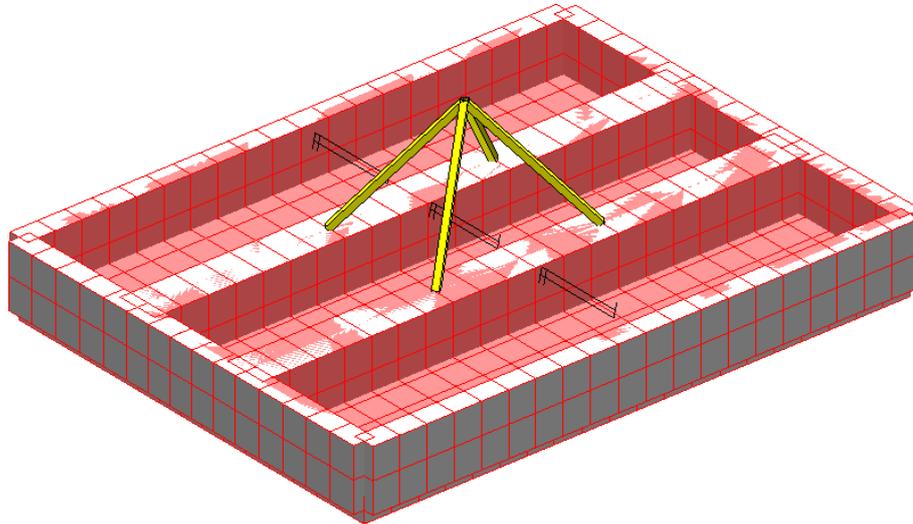


Figura 14: Rappresentazione del modello FEM del Trasformatore impianto; dimensione 5,9 m per 8 m.

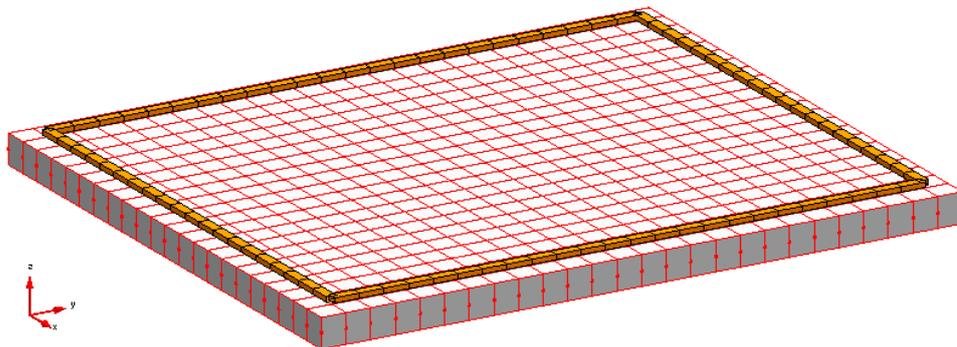


Figura 15: Rappresentazione modello FEM fondazione batterie; dimensione platea 6,5 m per 5,5 m per 0,3 m di spessore

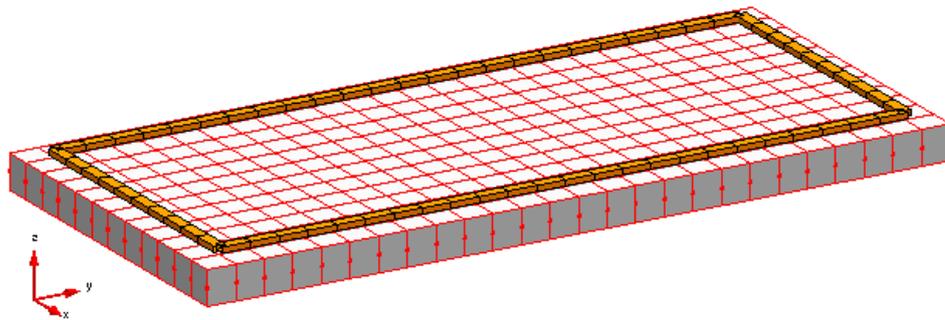


Figura 16: Rappresentazione modello FEM fondazione trasformatore batterie; dimensione platea 6,5 m per 3 m per 0,3 m di spessore

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

7.2 Pressioni sul terreno

Inviluppo ~SL18 STR SLV

CdC di Inviluppo Wink min

Sub P (kN/m²)

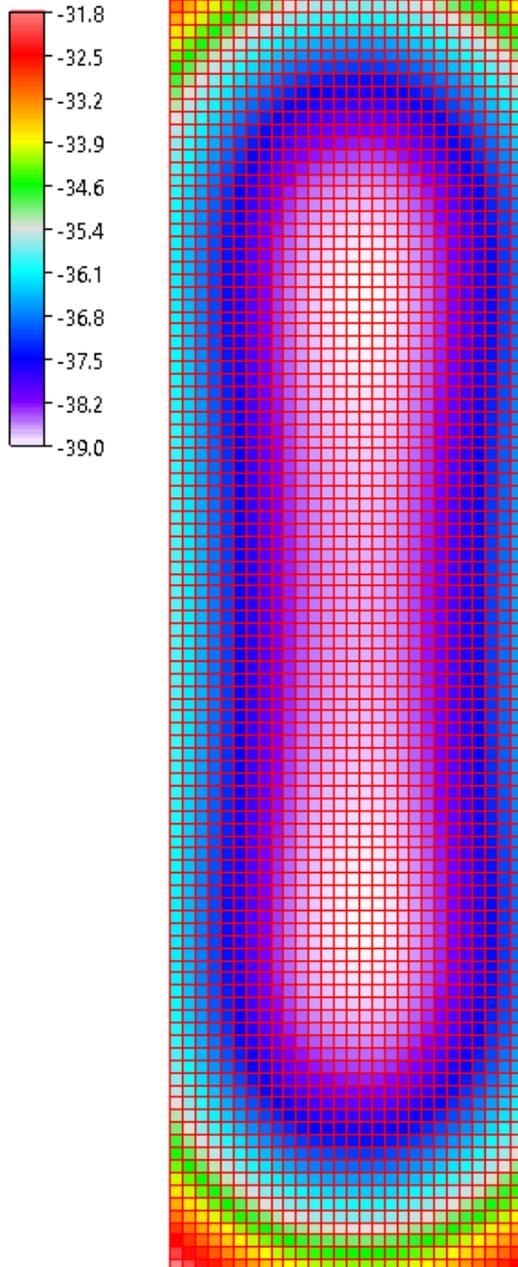


Figura 17: Pressioni sul terreno della cabina di consegna inviluppo Winkler min

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

Inviluppo ~SL18 STR SLV

CdC di Inviluppo Wink max

Sub P (kN/m³)

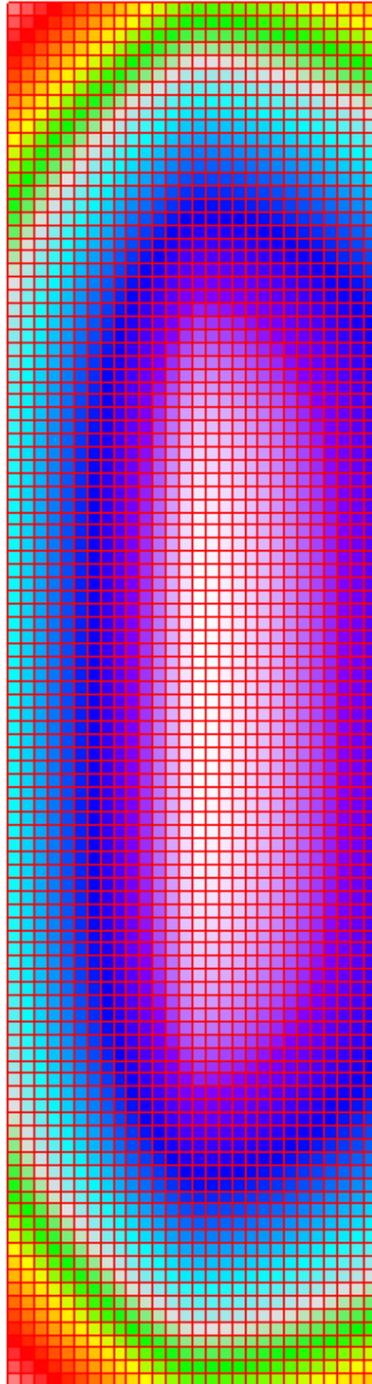
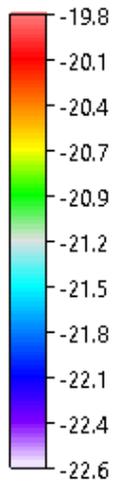


Figura 18: Pressioni sul terreno della cabina di consegna inviluppo Winkler max

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

CdC Non Lineare EQU

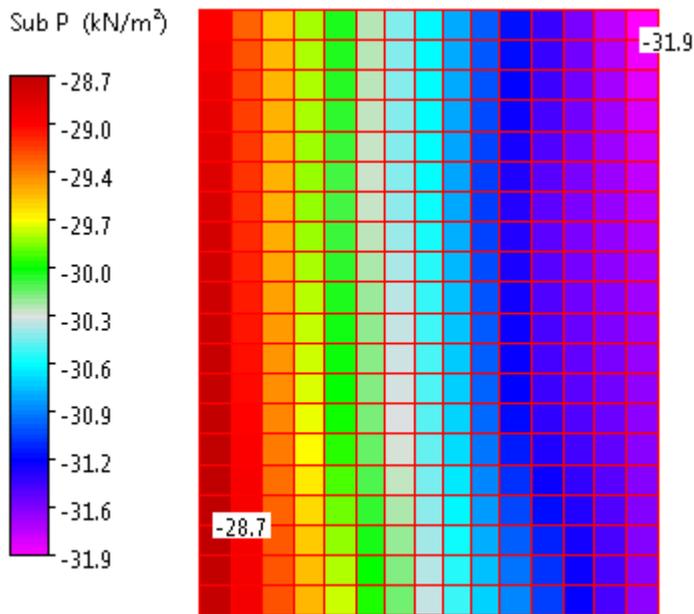


Figura 19: Trasformatore impianto - Pressioni sul terreno in Comb 1 (EQU)

CdC Non Lineare EQU

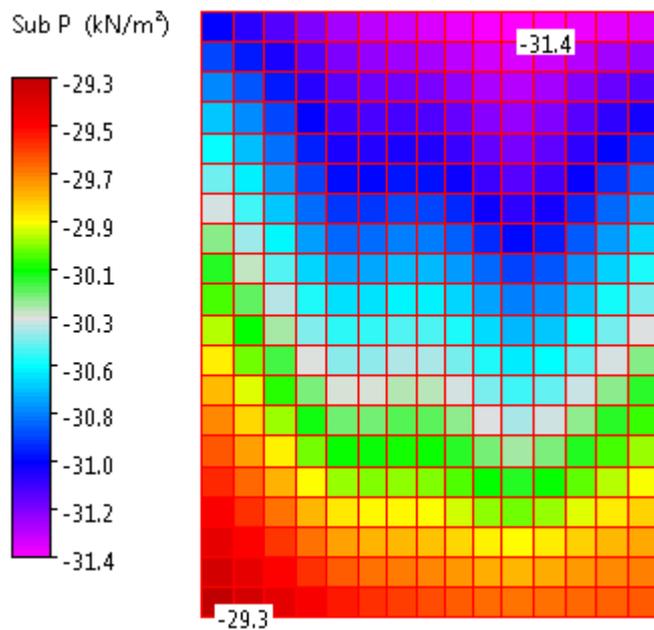


Figura 20: Trasformatore impianto - Pressioni sul terreno in Comb 2 (EQU)

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

CdC Non Lineare EQU+STR

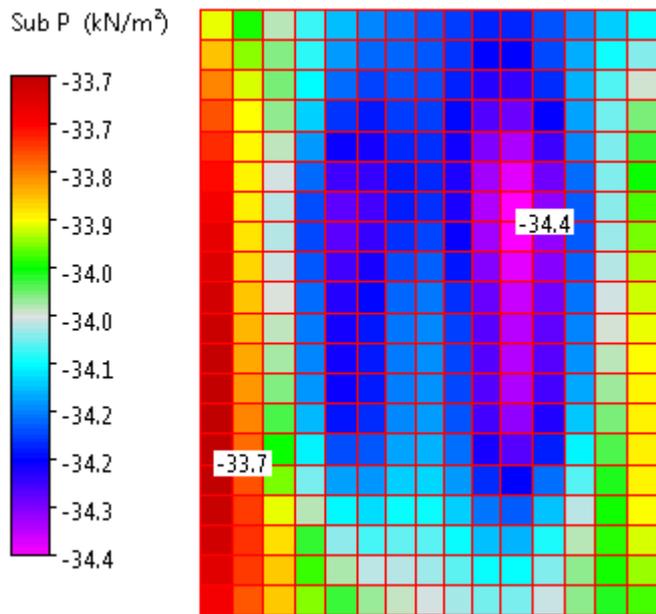


Figura 21: Trasformatore impianto - Pressioni sul terreno in Comb 3 (EQU+STR)

CdC Non Lineare EQU+STR

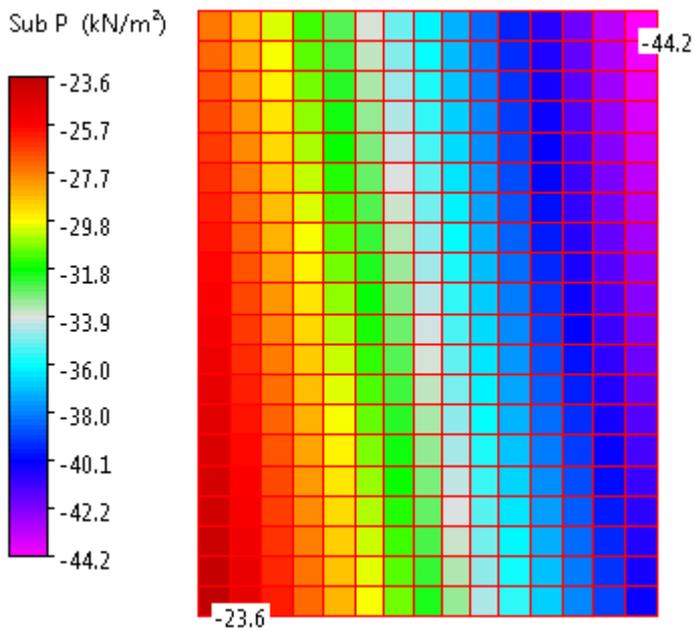


Figura 22: Trasformatore impianto - Pressioni sul terreno in Comb 4 (EQU+STR)

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

CdC Non Lineare EQU+STR

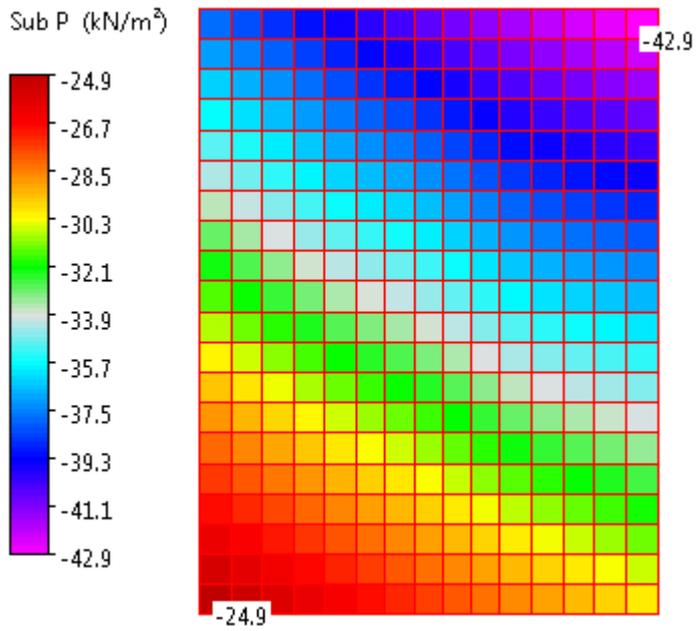


Figura 23: Trasformatore impianto - Pressioni sul terreno in Comb 5 (EQU+STR)

CdC Non Lineare STR

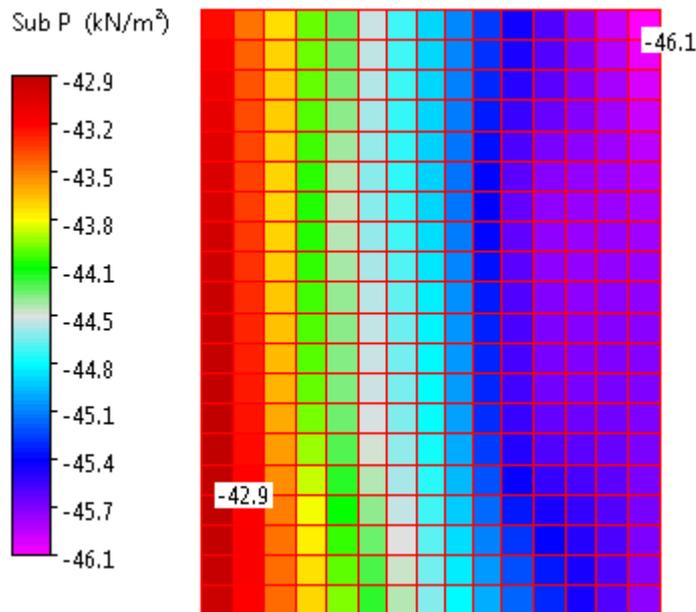


Figura 24: Trasformatore impianto - Pressioni sul terreno in Comb 6 (STR)

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

CdC Non Lineare STR

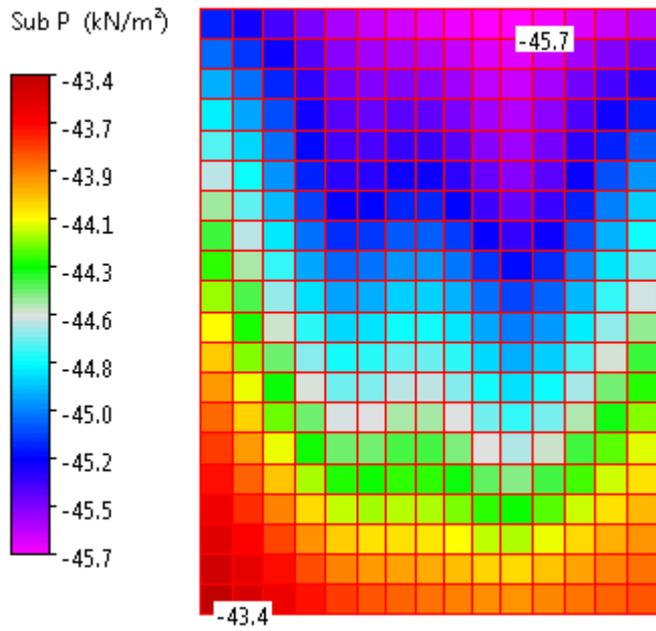


Figura 25: Trasformatore impianto - Pressioni sul terreno in Comb 7 (STR)

CdC Non Lineare STR

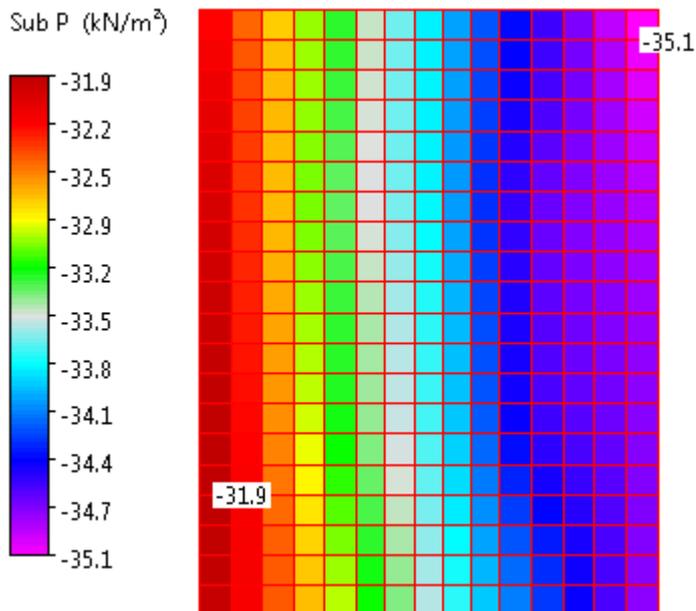


Figura 26: Trasformatore impianto - Pressioni sul terreno in Comb. 8 (STR)

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

CdC Non Lineare STR

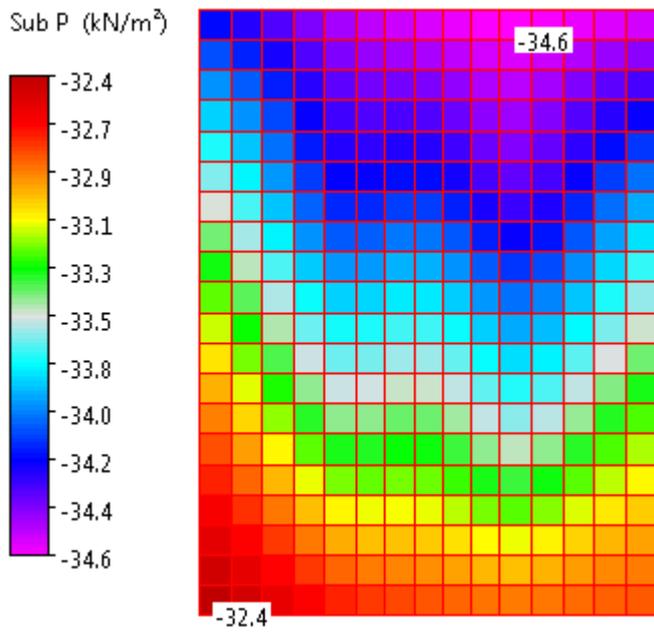


Figura 27: Trasformatore impianto - Pressioni sul terreno in Comb 9 (STR)

CdC Non Lineare STR

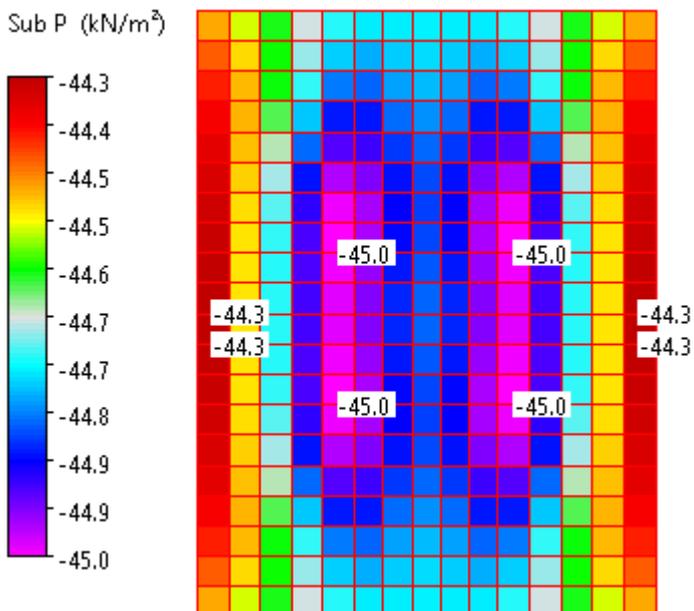


Figura 28: Trasformatore impianto - Pressioni sul terreno in Comb 10 (STR)

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

Inviluppo ~SL18 STR SLV

CdC di Inviluppo Wink min

Sub P (kN/m²)

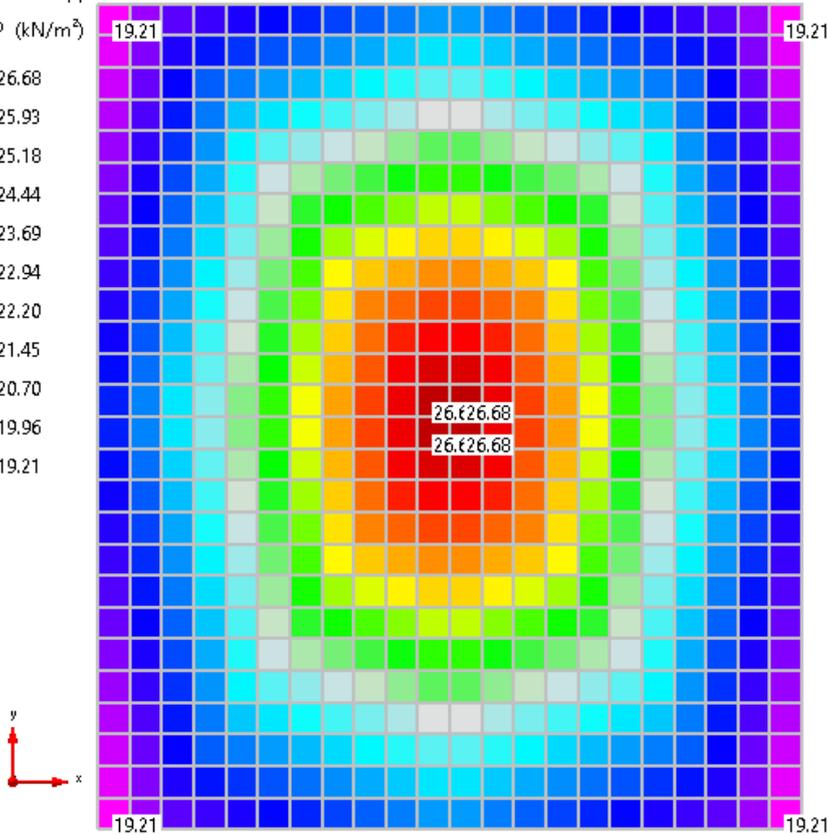
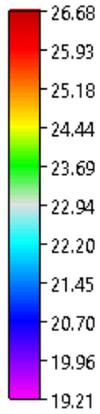


Figura 29: Pressioni sul terreno delle fondazioni delle batterie inviluppo Winkler min

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

Inviluppo ~SL18 STR SLV

CdC di Inviluppo Wink max

Sub P (kN/m²)

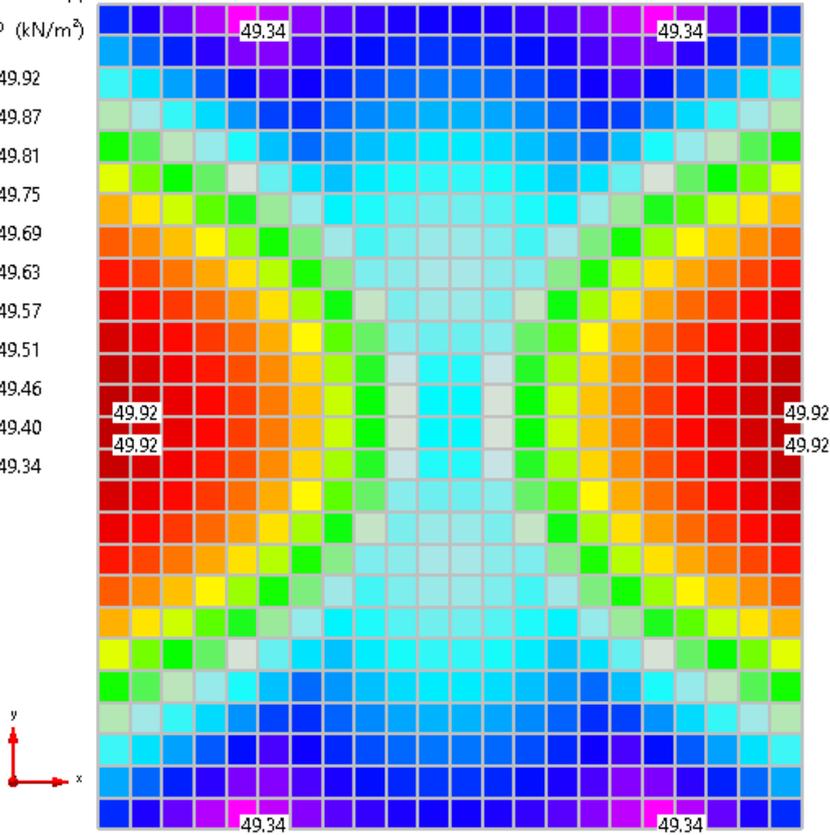
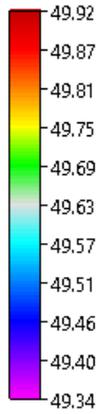


Figura 30: Pressioni sul terreno delle fondazioni delle batterie inviluppo Winkler max

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

Inviluppo ~SL18 STR SLV

CdC di Inviluppo Wink min

Sub P (kN/m²)

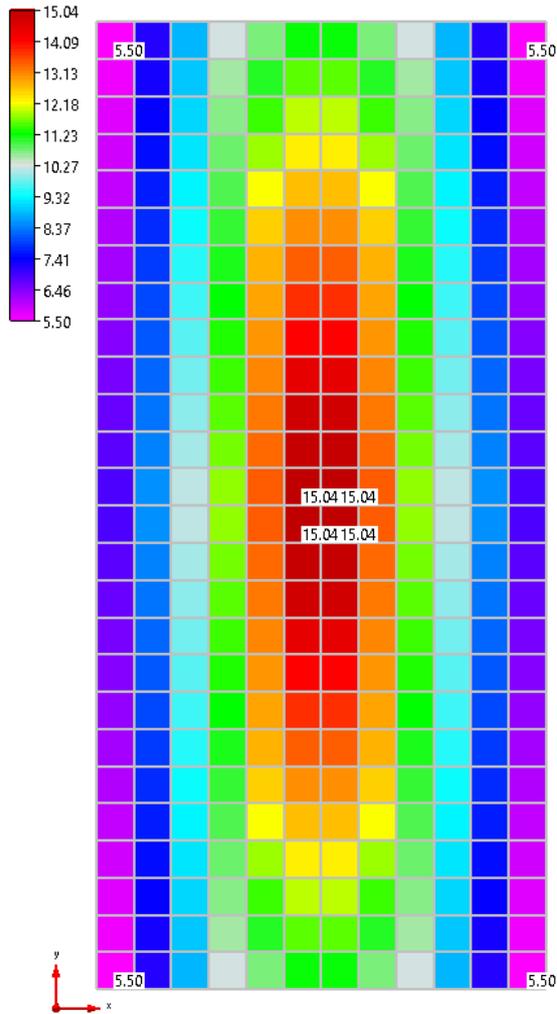


Figura 31: Pressioni sul terreno del trasformatore batterie inviluppo Winkler min

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

Inviluppo ~SL18 STR SLV

CdC di Inviluppo Wink max

Sub P (kN/m²)

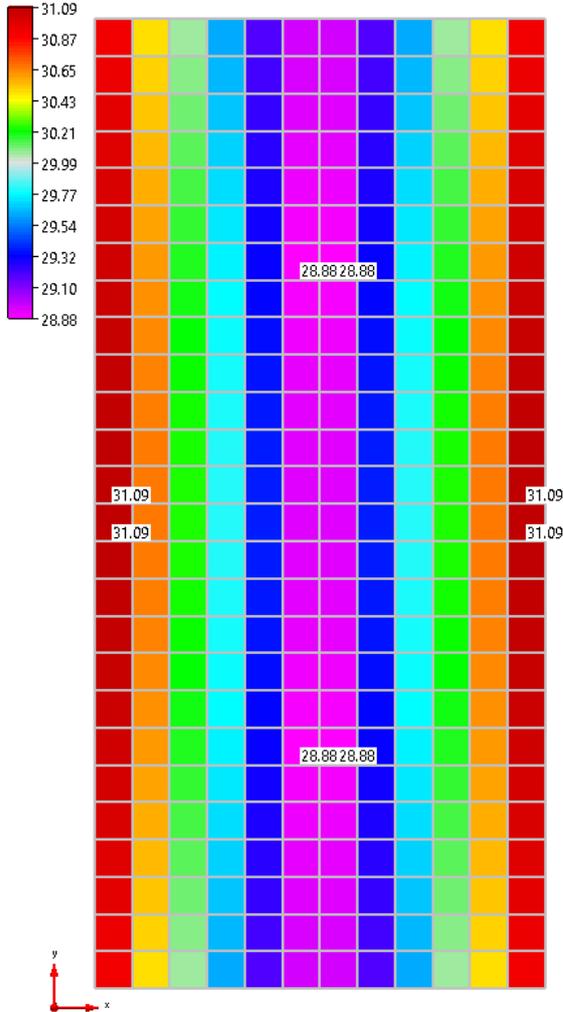


Figura 32: Pressioni sul terreno del trasformatore batterie inviluppo Winkler max

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

7.3 Verifiche strutturali

In questo paragrafo si riportano sinteticamente i risultati delle verifiche più significative.
 Platea cabina di consegna, batterie e trasformatore batterie – Armatura minima rispetto dettagli costruttivi NTC2018

PLATEA DI FONDAZIONE s=30

- Materiali:

f_{ck}	30	MPa	Resistenza caratt. cilindrica cls
f_{ctm}	2,90	MPa	Resistenza caratt. a trazione cls
f_{yk}	450	MPa	Resistenza caratteristica acciaio

- Geometria sezione:

b	1000	mm	Base striscia di larghezza unitaria
h	300	mm	Spessore platea

- Armatura scelta:

\varnothing	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	0,15%	Rapporto geometrico armatura per lembo
ρ_{min}	0,10%	Rapporto geometrico minimo
	OK	

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

Trasformatore impianto – Armatura minima 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
ρ	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	

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

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)	ρ_{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	

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

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
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:

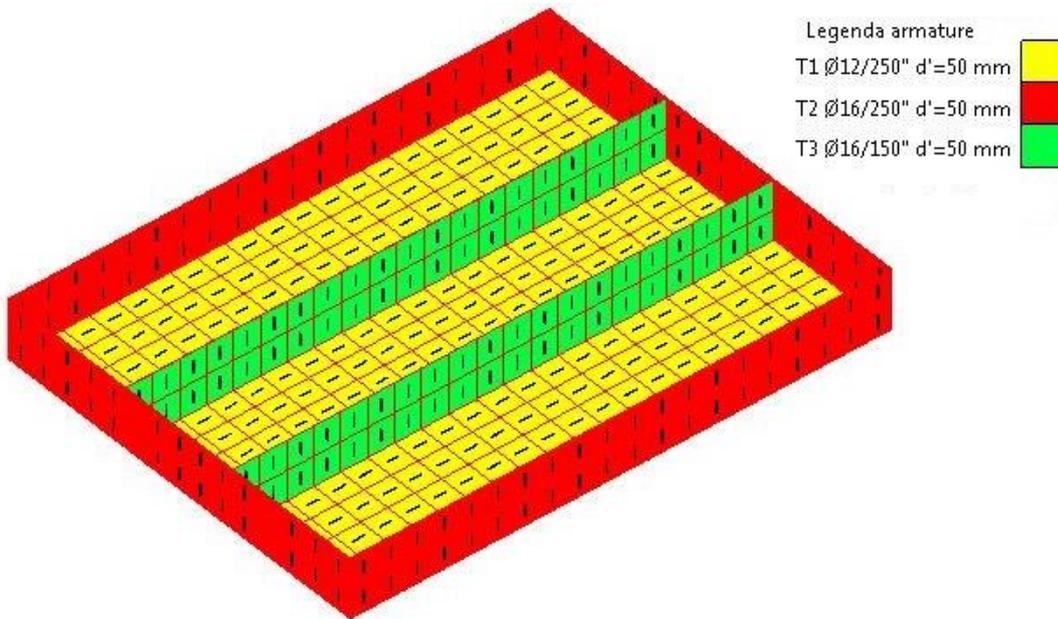
1)	ρ_v	0.20%	Rapporto geom. armatura verticale
	$\rho_{v,min}$	0.20%	Rapporto geom. verticale minimo
		OK	
2)	ρ_h	0.20%	Rapporto geom. armatura orizzontale
	$\rho_{h,min}$	0.20%	Rapporto geom. orizzontale minimo
		OK	
3)	\varnothing_{max}	67 mm	Diametro massimo armature
		OK	
4)	p_{max}	300 mm	Passo 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	

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture



Legenda armature Enti_d5.2
T1 Ø12/250" d'=60 mm

Figura 33: Cabina di consegna armature assegnate



Legenda armature
T1 Ø12/250" d'=50 mm
T2 Ø16/250" d'=50 mm
T3 Ø16/150" d'=50 mm

Figura 34: Trasformatore impianto - Armature assegnate

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

Legenda armature Estr. dir.3
T1 Ø12/250" d'=60 mm 

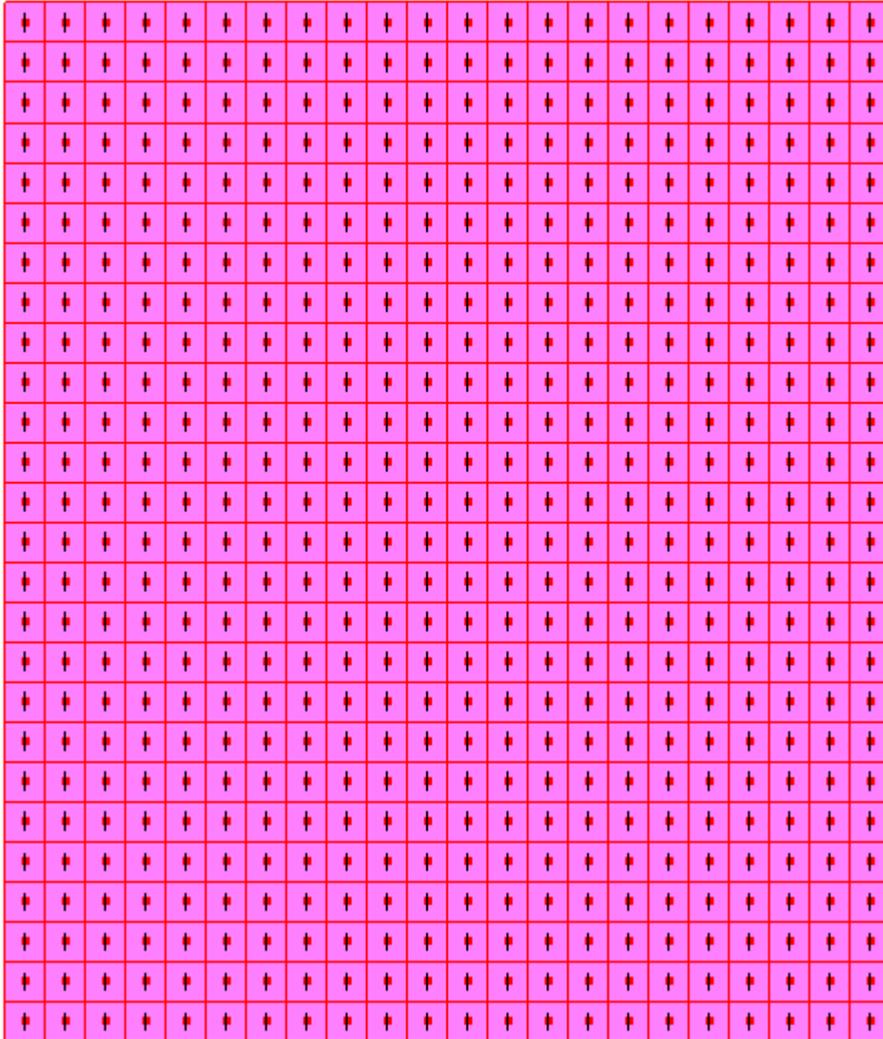
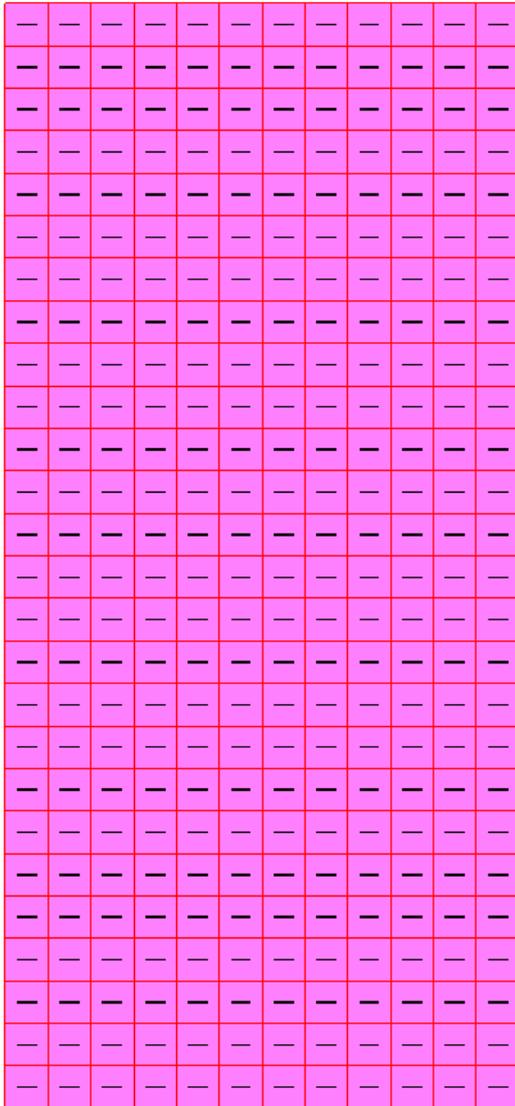


Figura 35: Batterie armature assegnate

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture



Legenda armature Intr. dir.2
T1 $\varnothing 12/250''$ d'=60 mm 

Figura 36: Trasformatore batterie armature assegnate

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

Verifica SLU

Coeff.Sfruttamento NM direzione 2

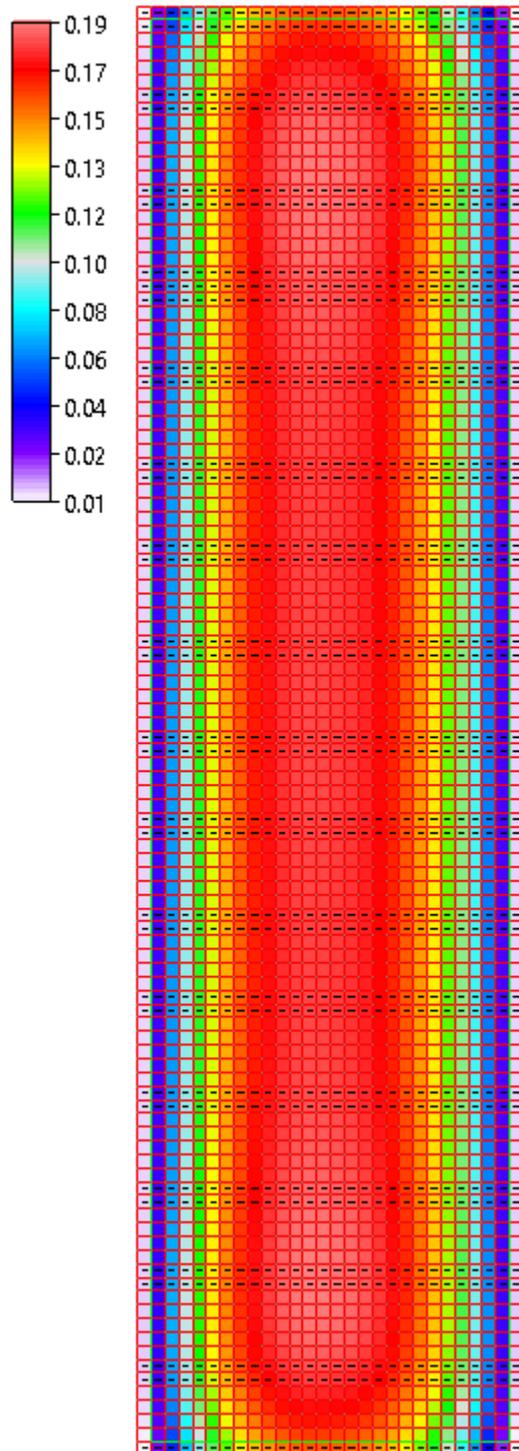


Figura 37: Cabina di consegna - Risultati verifica a pressoflessione platea

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

Verifica SLU

Coeff.Sfruttamento NM direzione 3

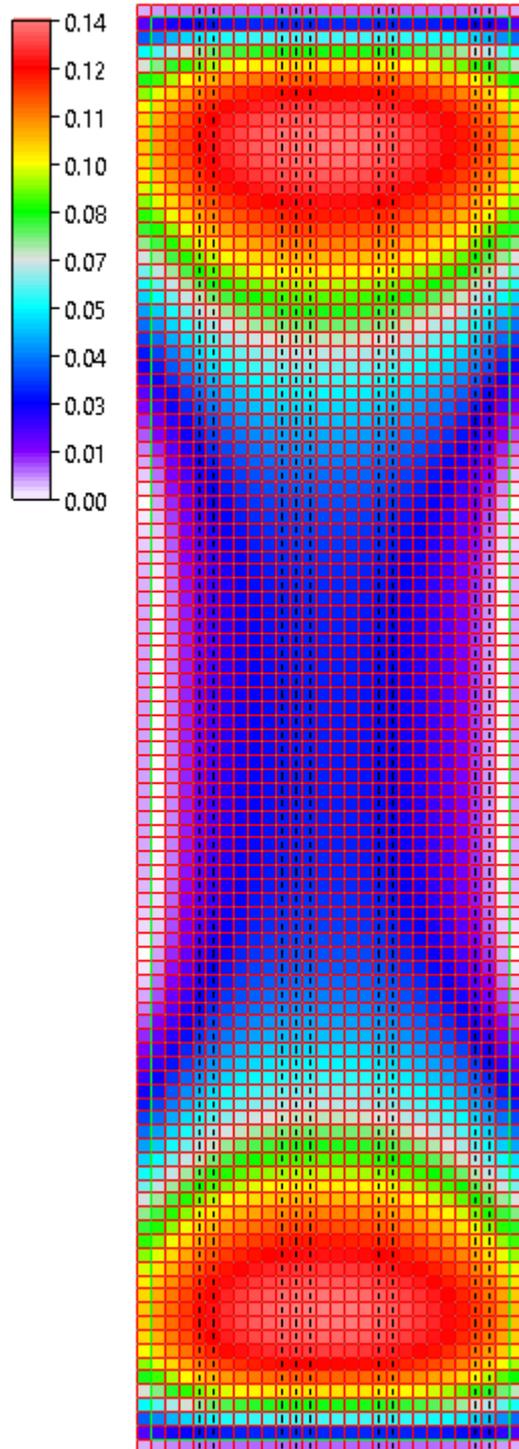
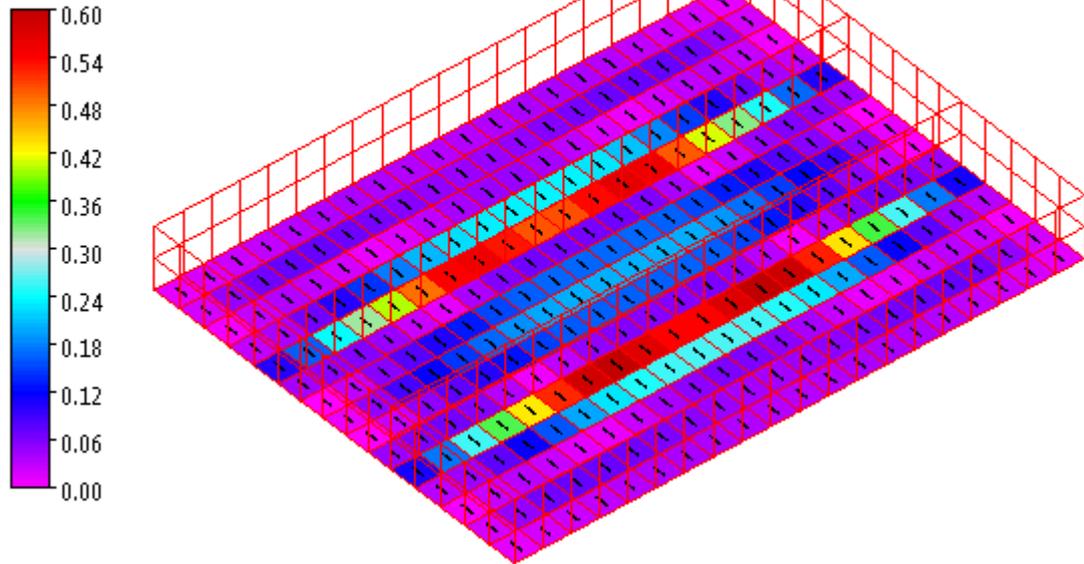


Figura 38: Cabina di consegna - Risultati verifica a pressoflessione platea

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

Verifica SLU

Coeff.Sfruttamento NM direzione 2



Verifica SLU

Coeff.Sfruttamento NM direzione 3

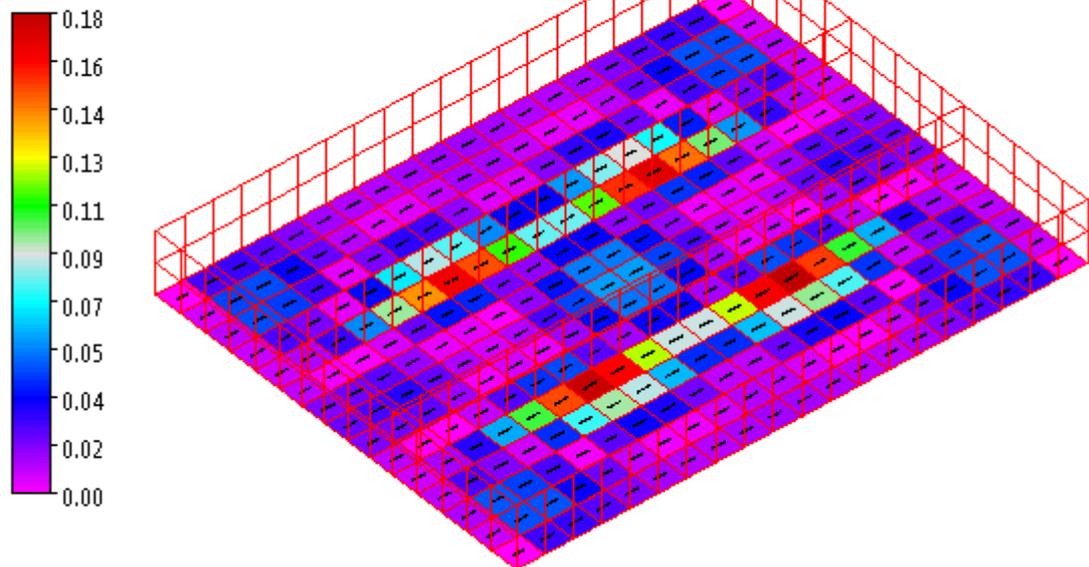
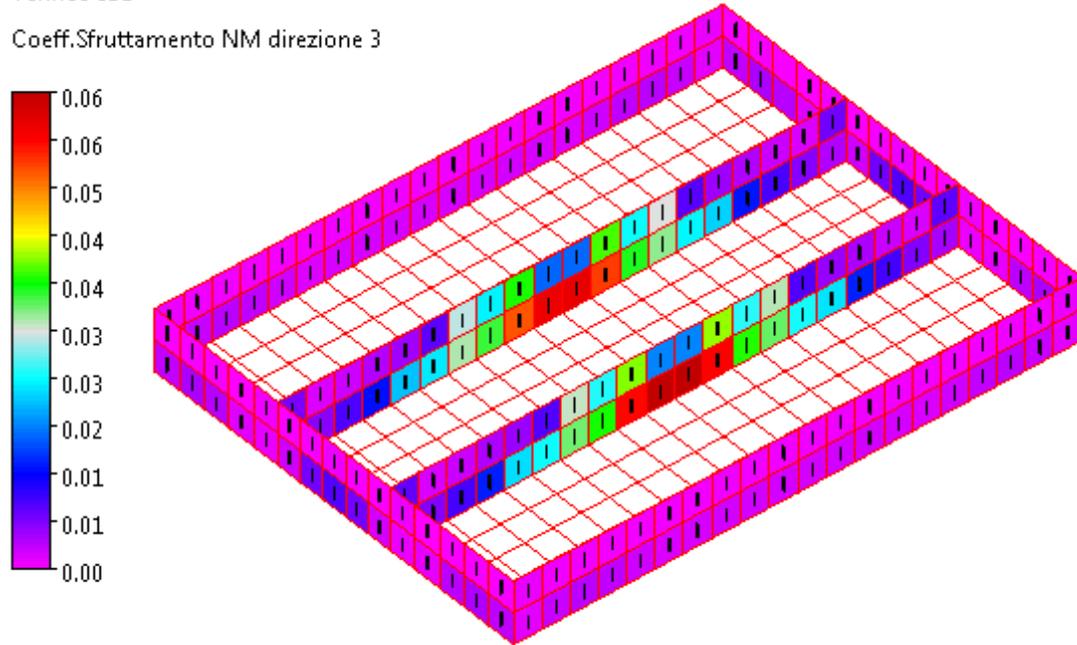


Figura 39: Trasformatore impianto - Risultati verifica a flessione platea

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

Verifica SLU

Coeff.Sfruttamento NM direzione 3



Verifica SLU

Coeff.Sfruttamento NM direzione 2

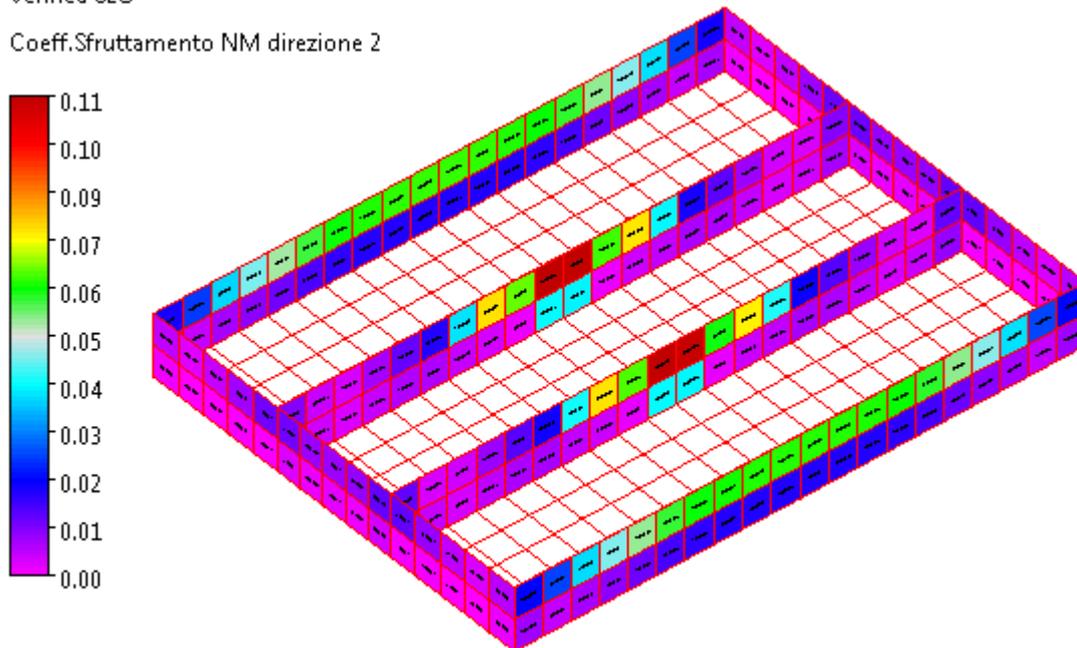


Figura 40: Trasformatore impianto - Risultati verifica a pressoflessione pareti

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

Verifica SLU

Coeff.Sfruttamento NM direzione 2

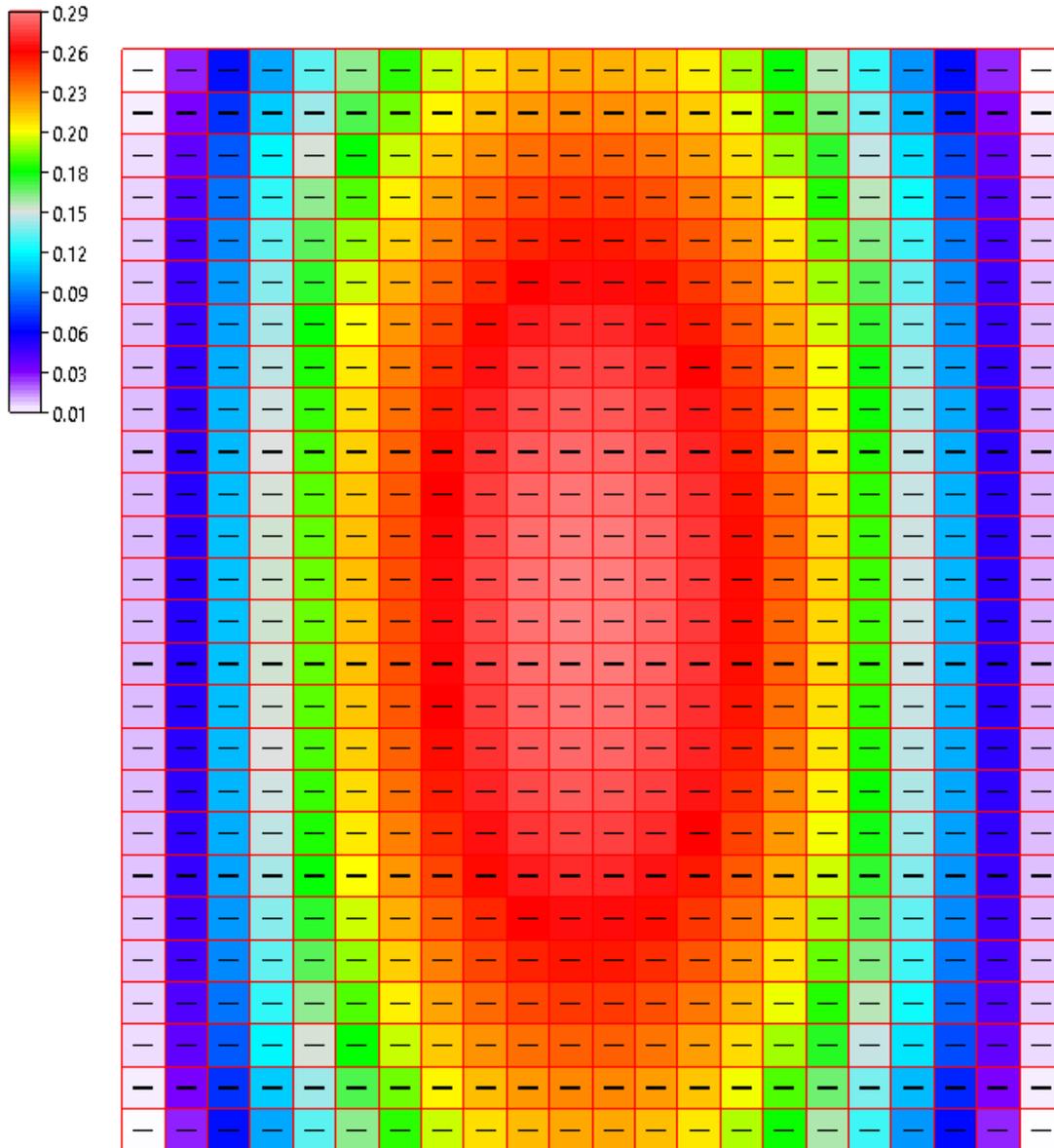


Figura 41: Batterie - Risultati verifica a pressoflessione platea

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

Verifica SLU

Coeff.Sfruttamento NM direzione 3

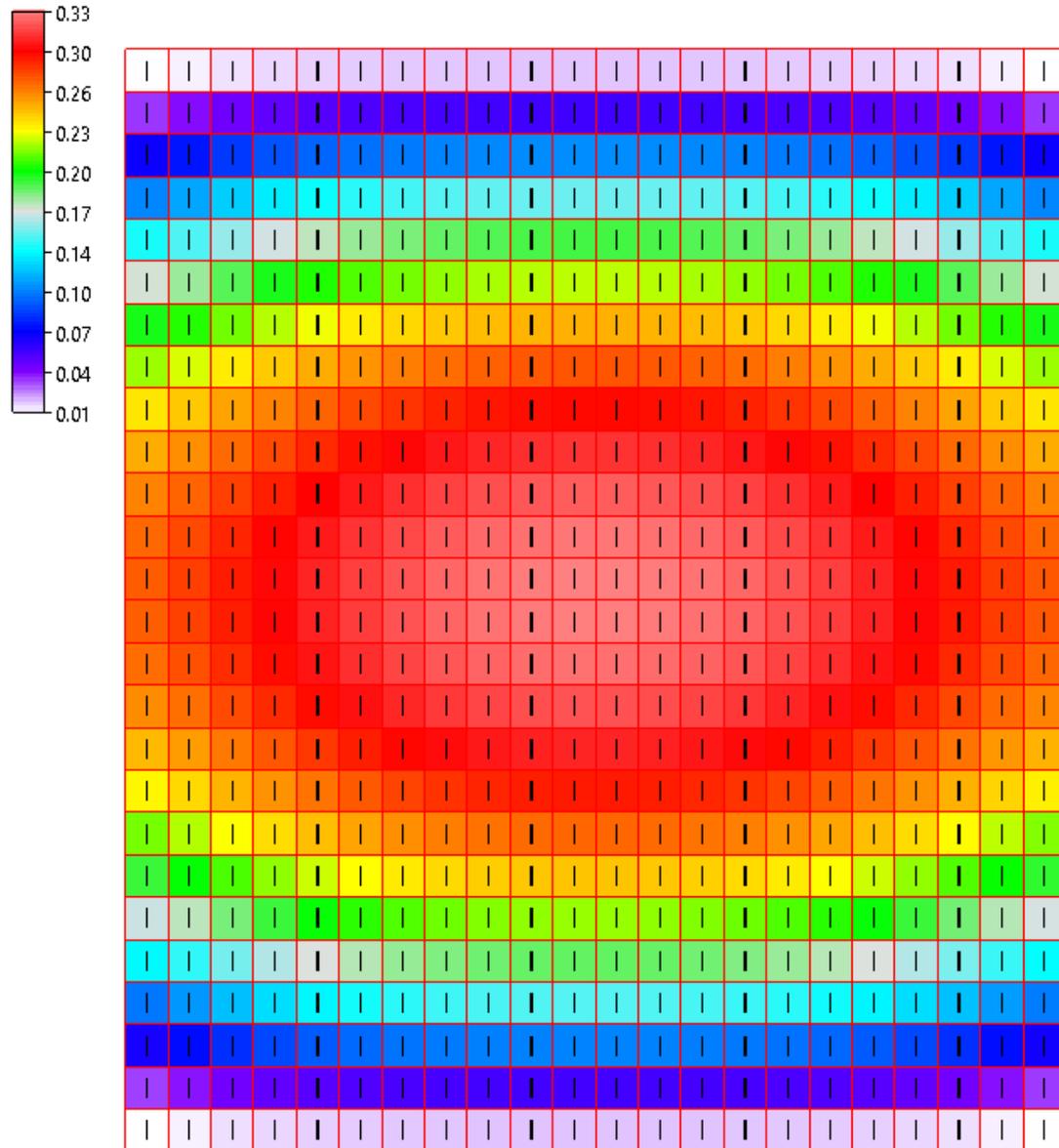


Figura 42: Batterie - Risultati verifica a pressoflessione platea

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

Verifica SLU

Coeff.Sfruttamento NM direzione 2

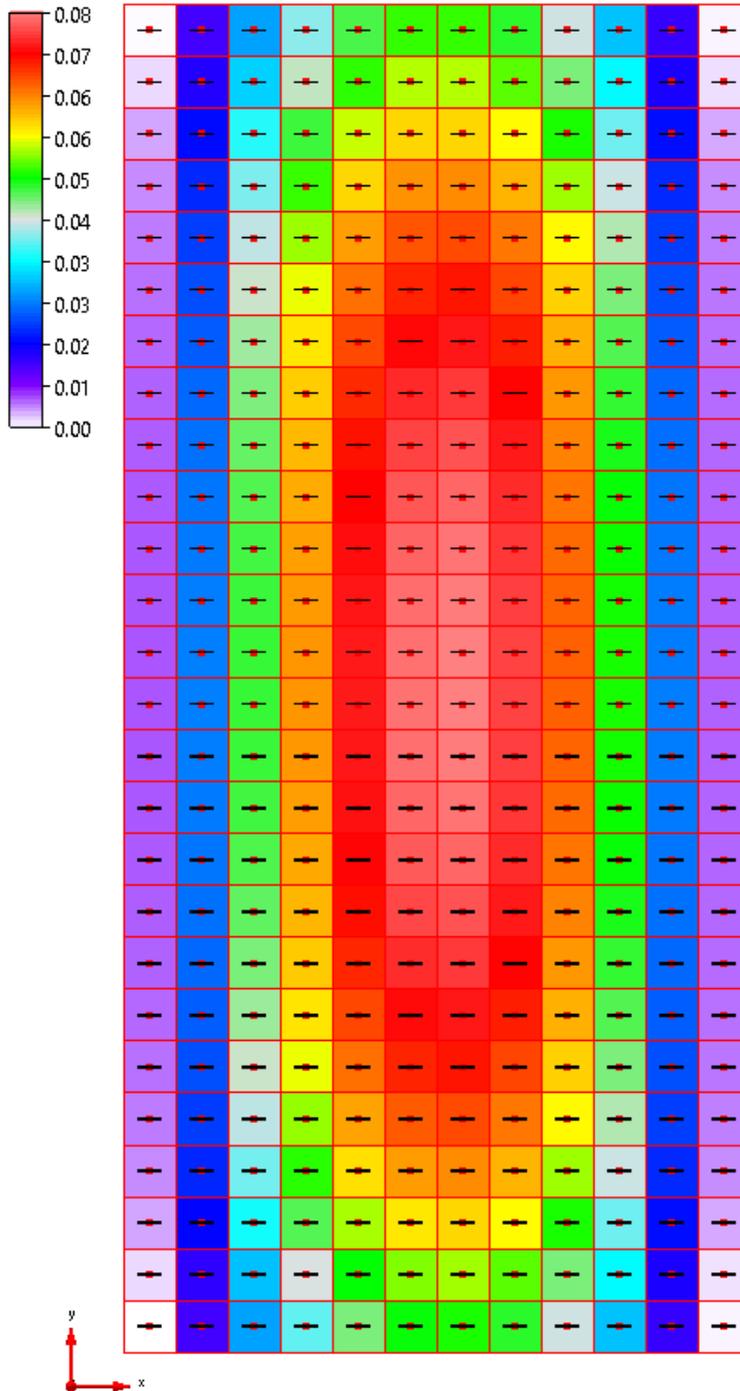


Figura 43: Trasformatore batterie - Risultati verifica a pressoflessione platea

Ns rif. 1669043_SES_010 Calcoli preliminari delle strutture

Verifica SLU

Coeff.Sfruttamento NM direzione 3

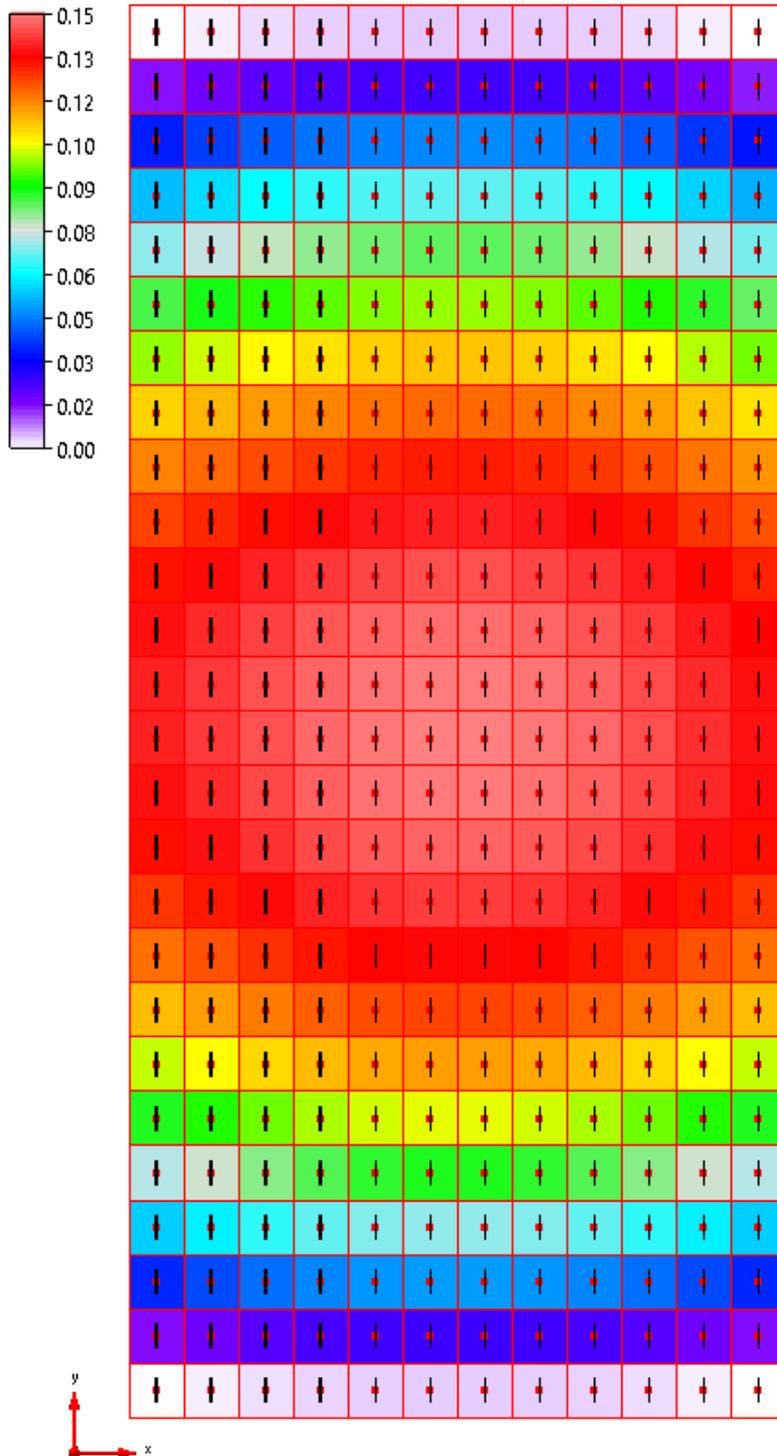


Figura 44: Trasformatore batterie - Risultati verifica a pressoflessione platea