

**Valutazione d'impatto ambientale D.Lgs. 152/2006 e  
ss.mm.ii.**

**ABBILA**

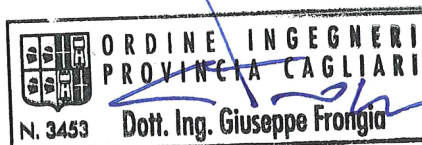
**Ampliamento del Parco Eolico di Ulassai e  
Perdasdefogu (NU)**



**PROGETTO DEFINITIVO OPERE CIVILI**

**CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE**

Rev.	Data	Descrizione	Red.	Contr.	Appr.
0	30/04/2021	Emissione per procedura di VIA	IAT	Sartec	Sartec



**Valutazione d'impatto ambientale D.Lgs. 152/2006 e  
ss.mm.ii.**

**ABBILA**

**Ampliamento del Parco Eolico di Ulassai e  
Perdasdefogu (NU)**

**PROGETTO DEFINITIVO OPERE CIVILI**

**COORDINAMENTO GENERALE:**

**SARTEC – Saras Ricerche e Tecnologie**

**Ing. Manolo Mulana**

**Ing. Giuseppe Frongia (I.A.T. Consulenza e progetti S.r.l.)**

**PROGETTAZIONE:**

**I.A.T. Consulenza e progetti S.r.l.**

**Ing. Giuseppe Frongia (Direttore tecnico)**

**Gruppo di lavoro:**

Ing. Giuseppe Frongia (Coordinatore e responsabile)

Mariano Agus

Ing. Marianna Barbarino

Ing. Enrica Batzella

Ing. Gianluca Melis

Dott.ssa Elisa Roych

Ing. Emanuela Spiga

Ing. Francesco Schirru

**Collaborazioni specialistiche:**

Verifiche strutturali: Ing. Gianfranco Corda

---

**Progetto Definitivo Ampliamento Parco Eolico di Ulassai e Perdasdefogu (NU) - APRILE 2021**

---

Aspetti archeologici: Dott. Matteo Tatti

Aspetti geologici e geotecnici: Dott. Geol. Mauro Pompei – Dott. Geol. Maria Francesca Lobina

Aspetti floristico-vegetazionali: Dott. Nat. Fabio Schirru

Aspetti pedologici ed uso del suolo: Dott. Nat. Marco Cocco

Rumore: Ing. Francesco Perria – Ing. Manuela Melis

Studio previsionale per la valutazione delle interferenze con le telecomunicazioni. – Prof. Ing. Giuseppe

Mazzarella – Ing. Emilio Ghiani

## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>ASPETTI GENERALI</b> .....	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA</b> .....	<b>8</b>
4.1	MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO	8
4.2	STRATIGRAFIA DI PROGETTO	9
<b>5</b>	<b>CARICHI DI PROGETTO</b> .....	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>VERIFICA STABILITA' GLOBALE (EQU)</b> .....	<b>12</b>
<b>7</b>	<b>VERIFICA DI RESISTENZA DELLA FONDAZIONE (STR)</b> .....	<b>15</b>
<b>8</b>	<b>VERIFICA DI RESISTENZA DEL TERRENO (GEO)</b> .....	<b>19</b>

## 1 PREMESSA

Il presente elaborato contiene i calcoli preliminari delle strutture di fondazione degli aerogeneratori previsti dal progetto definitivo di ampliamento del parco eolico della Sardeolica S.r.l. nei territori di Ulassai e Perdasdefogu (NU), ritenuti significativi ai fini del conseguimento dell'Autorizzazione Unica del progetto ai sensi del D.Lgs. 387/2003 Art. 12. Il documento è redatto dalla I.A.T. Consulenza e progetti S.r.l. con il contributo specialistico dell'ingegnere strutturista Gianfranco Corda.

Per le finalità di calcolo, si è fatto riferimento ai dati di caratterizzazione delle terre contenuti nella relazione geologico-tecnica allegata al progetto (Elaborato AM-RTC10002).

Si riportano nel seguito i calcoli di verifica per il plinto tipo di fondazione; come riferimento sono stati utilizzati i dati relativi alla torre di sostegno dell'aerogeneratore Vestas V162 di altezza pari a 125 m, modello di caratteristiche simili agli aerogeneratori che verranno installati nel sito di progetto.

Le azioni di progetto sono state desunte dallo specifico fascicolo sui carichi in fondazione fornito dal costruttore (documento Vestas n. 0037-3307.V01).

## 2 ASPETTI GENERALI

Il progetto di ampliamento del parco eolico nei territori di Ulassai e Perdasdefogu (NU) prevede la nuova installazione di 8 aerogeneratori dell'ultima generazione.

Sulla base di quanto indicato da Sardeolica, per le finalità di calcolo è stato considerato come riferimento il modello Vestas V162-6.0 MW, di altezza al mozzo pari a 125 m e diametro del rotore pari a 162 m.

Il basamento di fondazione previsto è del tipo a plinto superficiale, da realizzare in opera in calcestruzzo armato, a pianta circolare di diametro pari a 30 metri.

L'area di intervento è notevolmente estesa, ma la natura dei terreni di sedime è generalmente rocciosa e dunque idonea per la realizzazione di fondazioni dirette, salvo la successiva verifica puntuale per ogni nuovo sito di installazione da prevedere in sede di progetto esecutivo delle strutture.

Il basamento oggetto di verifica è sostanzialmente una piastra circolare a sezione variabile con spessore massimo al centro, pari a circa 400 cm, e spessore minimo al bordo, pari a 100 cm.

La porzione centrale viene denominata "colletto" e presenta sezione costante per un diametro pari a circa 8.00 m; è il nucleo del basamento in cui verranno posizionati i tirafondi di ancoraggio del primo anello della torre metallica, da realizzare con miscela tipo C45/55.

Il restante settore circolare sarà realizzato con miscela tipo C30/37 e sarà ricoperto con uno strato pianeggiante di rilevato misto arido, con funzione stabilizzante.

Si conducono nel seguito i calcoli e le verifiche dando prima breve cenno ai riferimenti della normativa vigente ed alle azioni ed ai carichi di progetto.

Sono state condotte le verifiche di stabilità globale del manufatto considerato come corpo rigido, le verifiche di resistenza del manufatto in calcestruzzo, le verifiche di resistenza del terreno nonché il calcolo dei cedimenti attesi, applicando i coefficienti di sicurezza previsti dalla normativa tecnica in corso di validità (DM 17/01/2018).

Le notevoli azioni orizzontali e flettenti, dovute alla significativa altezza delle torri in progetto, indirizzano il dimensionamento della fondazione ad un manufatto massivo tale da garantire anzitutto la stabilità globale oltre che a distribuire i carichi sul piano di posa.

Le pressioni di contatto calcolate risultano sempre inferiori al valore di resistenza del terreno, i cedimenti previsti sono generalmente trascurabili.

Il dimensionamento eseguito ha carattere di verifica preliminare, la geometria del basamento potrà essere modificata in sede di verifica esecutiva, con riferimento alle caratteristiche geotecniche specifiche di ogni singola postazione di nuova installazione.

### 3 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- Legge 05/11/1971 n. 1086

Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.

- D.M. 17/01/2018 – NTC 2018

Norme Tecniche per le Costruzioni.

- Circolare Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 23/02/2019

Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".

#### **VITA NOMINALE, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO:**

Tipo di costruzione: 2 (opere ordinarie)

Vita nominale:  $V_N \geq 50$  anni

Classe d'uso: III

Periodo di riferimento:  $V_R = 75$  anni

#### **METODO DI CALCOLO E VERIFICA:**

E' stato utilizzato il metodo degli Stati Limite applicandolo così come previsto dalle NTC 2018 (D.M. 17/01/2018).

I calcoli e le verifiche sono stati eseguiti utilizzando il programma di calcolo strutturale CDSWIN della STS, programma di calcolo automatico agli elementi finiti, e il programma di calcolo geotecnico LoadCap della GEOSTRU.

## 4 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

### 4.1 Modello geotecnico di riferimento

I calcoli strutturali delle fondazioni fanno riferimento ai dati contenuti nella relazione geologica e geotecnica preliminare redatta dal Dott. Geol. Mauro Pompei e dal Dott. Geol. Francesca Lobina.

A fronte della notevole estensione del sito il documento riferisce che gli areali che ospiteranno le opere in progetto hanno evidenziato la diffusa presenza di roccia affiorante o sormontata da una coltre detritica di ordine metrico.

Salvo gli opportuni ed obbligatori accertamenti nella fase più avanzata della progettazione, sono state individuate tre distinte tipologie di terreni direttamente interagenti con le strutture di fondazione, per le quali sono state fornite le caratteristiche meccaniche, sulla scorta dei risultati delle diverse campagne investigative condotte nel parco eolico.

#### ***Dolomie e calcari***

*(in facies fratturata)*

Peso specifico 25,00 kN/m<sup>3</sup>

Angolo attrito interno  $\varphi = 25^\circ$

Modulo elastico  $E = 2.000 \text{ daN/cm}^2$

Coesione  $c = 1.00 \text{ daN/cm}^2$

#### ***Dolomie e calcari***

*(in facies poco fratturata)*

Peso specifico 27,00 kN/m<sup>3</sup>

Angolo attrito interno  $\varphi = 40^\circ$

Modulo elastico  $E = 5.000 \text{ daN/cm}^2$

Coesione  $c = 2.50 \text{ daN/cm}^2$

#### ***Porfidi quarziferi***

Peso specifico 25,00 kN/m<sup>3</sup>

Angolo attrito interno  $\varphi = 23^\circ$



Modulo elastico  $E = 1.000 \text{ daN/cm}^2$

Coesione  $c = 2.00 \text{ daN/cm}^2$

### ***Metagrovacche vulcaniche***

Peso specifico  $24,00 \text{ kN/m}^3$

Angolo attrito interno  $\varphi = 25^\circ$

Modulo elastico  $E = 1.000 \text{ daN/cm}^2$

Coesione  $c = 1.50 \text{ daN/cm}^2$

## **4.2 Stratigrafia di progetto**

La stratigrafia considerata nel calcolo preliminare delle opere di fondazione è stata valutata considerando i valori più cautelativi, rimandando alle successive fasi la valutazione dei dati puntuali per ogni singola piazzola di installazione.

Peso specifico  $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$

Angolo attrito interno  $\varphi = 25^\circ$

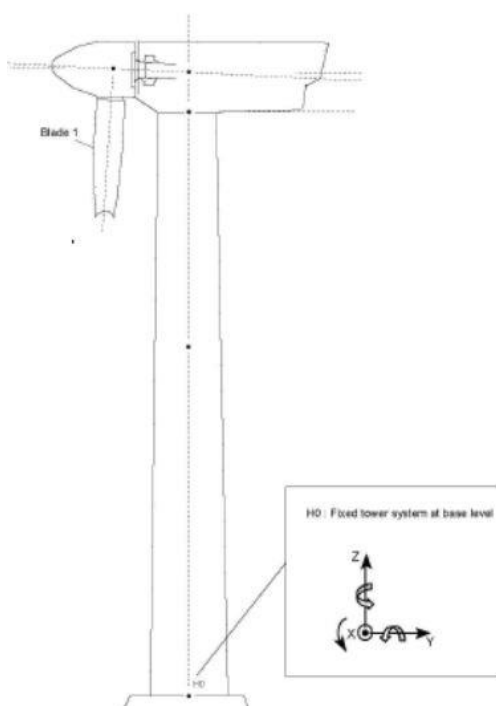
Modulo elastico  $E = 1.000 \text{ daN/cm}^2$

Coesione  $c = 1.00 \text{ daN/cm}^2$

## 5 CARICHI DI PROGETTO

Per la definizione delle azioni di progetto al piede della torre si è fatto riferimento ai dati contenuti nelle specifiche tecniche Vestas relative a una turbina di caratteristiche geometriche analoghe a quella in progetto, di cui al documento:

Preliminary Foundation Loads - V162-5.6 MW h 125 - doc. n. 0084-2363.V00



**Mbt1:** Resulting bending moment.  $\text{SQRT}(M_{xt1}^2 + M_{yt1}^2)$  (also  $M_{res}$ )

**FndFr:** Resulting shear force.  $\text{SQRT}(F_{xt1}^2 + F_{yt1}^2)$  (also  $F_{res}$ )

Characteristic Extreme							
Lead	LC/Family	PLF	Type	Mbt1	Mzt1	FndFr	Fzt1
Sensor	[-]	[-]	[-]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]
Mbt1	14EcdVrma00(fam43)	1.35	Abs	<b>164300</b>	1429	1292	-7447
Mzt1	23NTMHWO100(fam166)	1.49	Abs	29490	<b>-15630</b>	261.9	-7198
FndFr	23NTMVrp00(fam164)	1.49	Abs	135200	-841.6	<b>1308</b>	-7458
Fzt1	23NTMHWO100(fam166)	1.49	Abs	68500	-998.0	554.0	<b>-7557</b>

Table 2-1 Characteristic Extreme (excl. PLF). Load cases sorted with PLF.

Figura 5.1 – Carichi agenti sulla fondazione dell'aerogeneratore Vestas V162-5.6

---

**Progetto Definitivo Ampliamento Parco Eolico di Ulassai e Perdasdefogu (NU) - APRILE 2021**

---

Nella tabella in Figura 5.1 sono definite le azioni previste in condizioni eccezionali, tali valori verranno utilizzati per le verifiche allo stato limite ultimo, ma con i coefficienti di sicurezza previsti dalla normativa italiana, valori peraltro più cautelativi (DM 14/01/2008).

## 6 VERIFICA STABILITA' GLOBALE (EQU)

Si conducono nel seguito le verifiche di stabilità globale del basamento di fondazione, con riferimento alle azioni di progetto tipo Vestas:

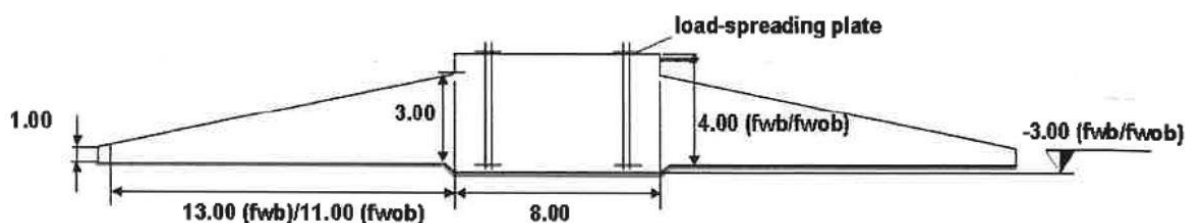


Figura 6.1 - Schema sezione basamento di fondazione

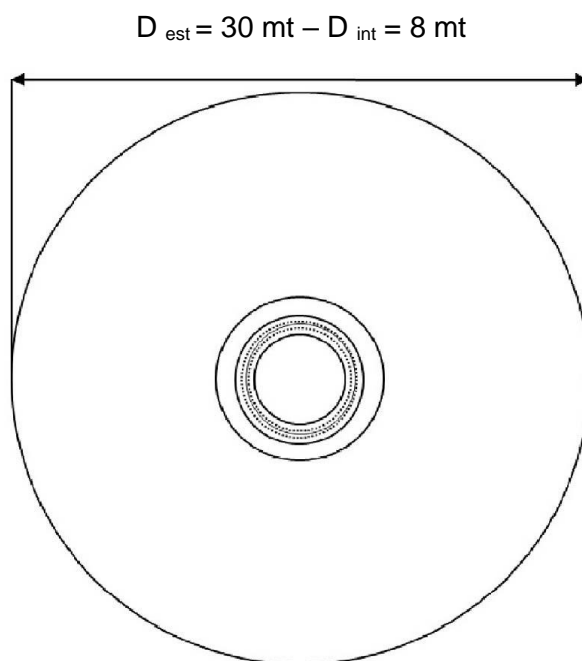


Figura 6.2 - Schema pianta basamento di fondazione

diametro colletto  $d_1 = 8.00$  m

diametro esterno  $d_2 = 30.00$  m

altezza colletto  $h_1 = 4.00$  m

altezza massima  $h_2 = 3.00$  m

altezza minima  $h_3 = 1.00$  m

### CONDIZIONE DI CARICO 1 ( EQU )

(peso proprio + azioni massime al piede della torre – senza coefficienti parziali)

$M = 164.300$ kNm	$H = 1.308$ kN	$V = 7.557$ kN
-------------------	----------------	----------------

### a - VERIFICA AL RIBALTAMENTO

$\gamma_{G1} = 0.90$	$\gamma_{G2} = 0$	$\gamma_q = 1.50$
----------------------	-------------------	-------------------

### CARICHI VERTICALI

Peso del basamento

$$G_1 = 22 \times \pi \times (d_2^2 \times h_3 + d_2^2 \times (h_2 - h_3) / 2 + d_1^2 \times (h_1 - h_2)) / 4 = 32.191 \text{ kN}$$

Peso della torre

$$V = 7.557 \text{ kN}$$

### MOMENTO STABILIZZANTE

$$M_{STA} = (0.9 \times G_1 + 0.9 \times V) \times 11 = 393.500 \text{ kNm}$$

### MOMENTO RIBALTANTE

$$M_{RIB} = \gamma_q \times (M + H \times 4) = 1.5 \times (164.300 + 5.232) = 254.300 \text{ kNm}$$

Verifica soddisfatta senza considerare il peso stabilizzante del rilevato.

### b – VERIFICA SCORRIMENTO

Risultante forze che attivano lo scorrimento:

$$1.3 \times H = 1.700 \text{ kN}$$

Angolo di attrito terreno/fondazione

$$\varphi = 25^\circ$$

---

**Progetto Definitivo Ampliamento Parco Eolico di Ulassai e Perdasdefogu (NU) - APRILE 2021**

---

Risultante forze che si oppongono allo scorrimento: 16.680 kN

Coefficiente di sicurezza: 9.81

## 7 VERIFICA DI RESISTENZA DELLA FONDAZIONE (STR)

Si riportano nel seguito i risultati di calcolo del modello strutturale, realizzato discretizzando il basamento in elementi finiti di sezione variabile, e verificando le sezioni in c.a. con riferimento alle armature tipiche previste negli elaborati tecnici Vestas.

diametro colletto:  $d_1 = 8.00$  m

diametro esterno:  $d_2 = 30.00$  m

Calcestruzzo basamento: classe C30/37

Calcestruzzo colletto : classe C45/55

Acciaio in barre per C.A.: B450 C

Classe di esposizione: XC4 / XD1 / XS1 / XF3 / XA1

### a – RESISTENZA SEZIONE

$\gamma_{G1} = 1.3$	$\gamma_{G2} = 1.5$	$\gamma_q = 1.50$
---------------------	---------------------	-------------------

### COMBINAZIONE DI CARICO 1 – (SLE)

(peso proprio basamento - senza coefficienti parziali)

$G_1 = 32.191$ kN
-------------------

### COMBINAZIONE DI CARICO 2 – (SLE)

(peso proprio basamento + azioni dalla Torre - senza coefficienti parziali)

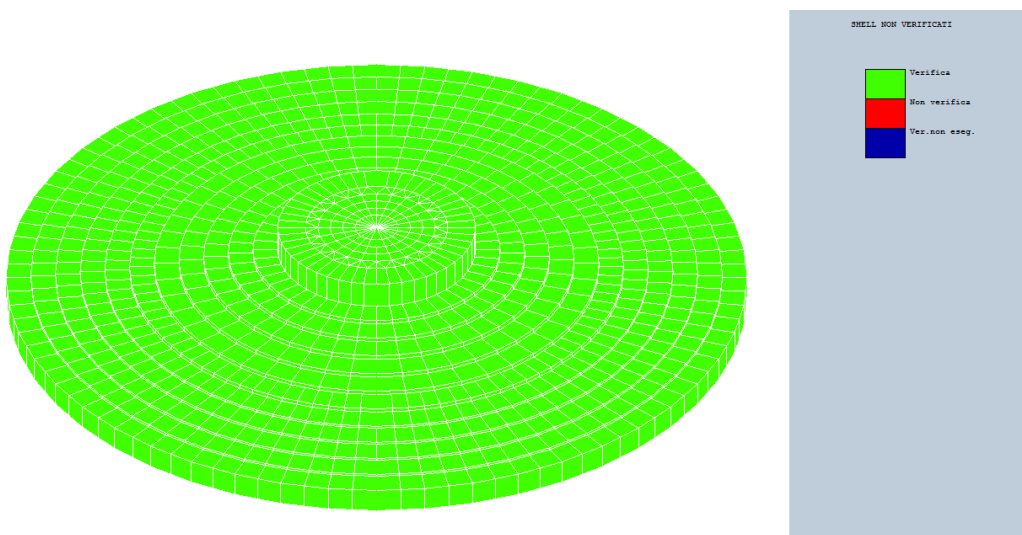
$M = 164.300$ kNm	$H = 1.302$ kN	$V = 7.557$ kN
-------------------	----------------	----------------

### COMBINAZIONE DI CARICO 3 – (SLU)

(peso proprio basamento + azioni dalla Torre - con i coefficienti parziali)

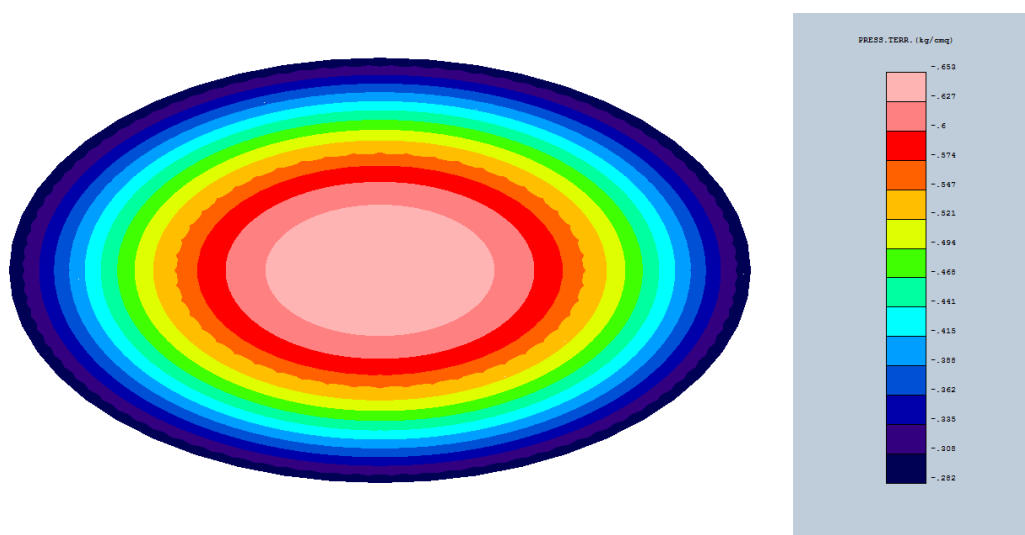
$M = \gamma_q \times 164.300$ kNm	$H = \gamma_q \times 1.302$ kN	$V = \gamma_{G2} \times 7.557$ kN
-----------------------------------	--------------------------------	-----------------------------------

COLORMAP VERIFICHE ELEMENTI SHELL



*b – PRESSIONI DI CONTATTO*

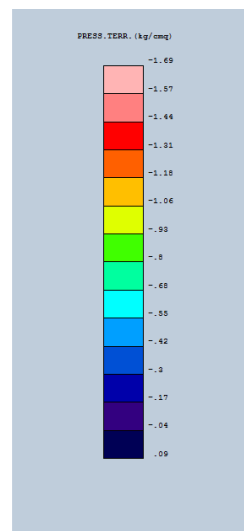
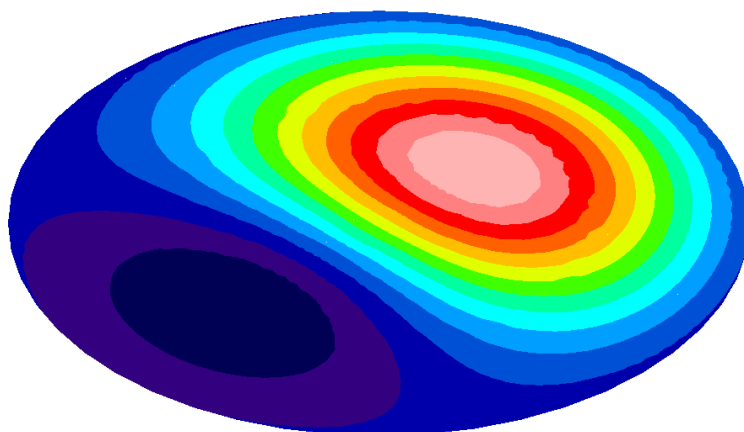
COLORMAP PRESSIONI DI CONTATTO COMBINAZIONE 1 (SOLO p.p.)



Pressione di contatto SLE:  $\sigma_{pp} = 0.65 \text{ kg/cm}^2$

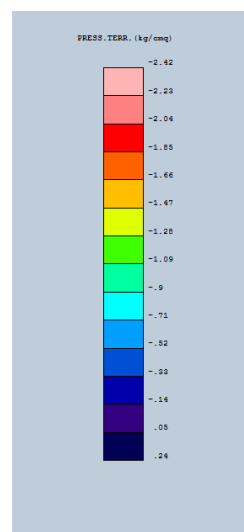
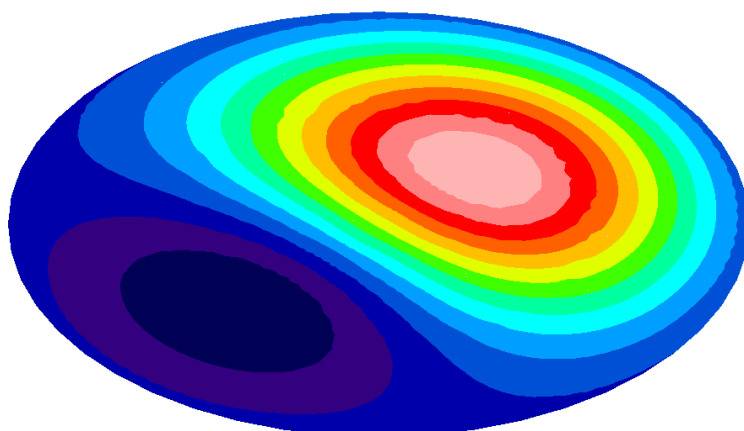


COLORMAP PRESSIONI DI CONTATTO COMBINAZIONE 2 (SLE)



Pressione di contatto SLE:  $\sigma_{es} = 1.69 \text{ kg/cm}^2$

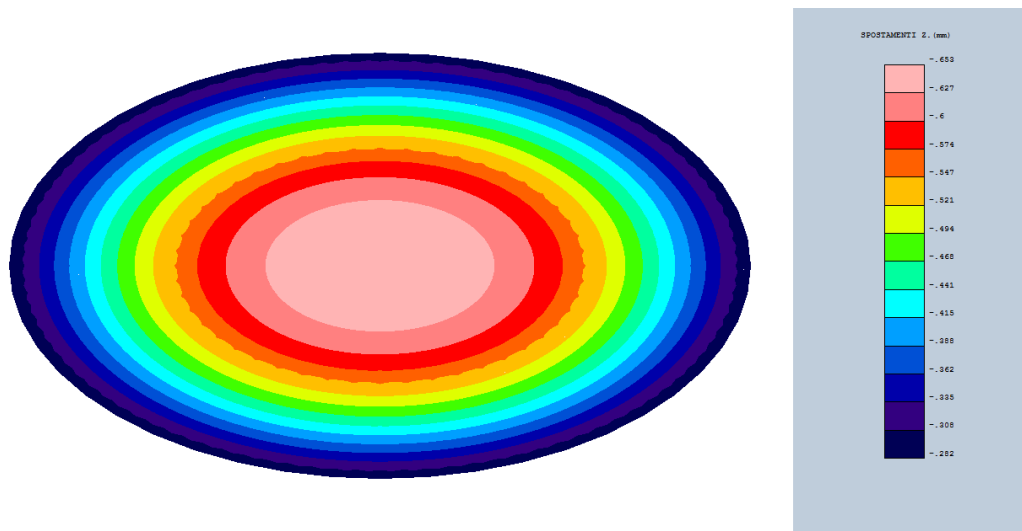
COLORMAP PRESSIONI DI CONTATTO COMBINAZIONE 3 (SLU)



Pressione di contatto SLU:  $\sigma_{max} = 2.42 \text{ kg/cm}^2$

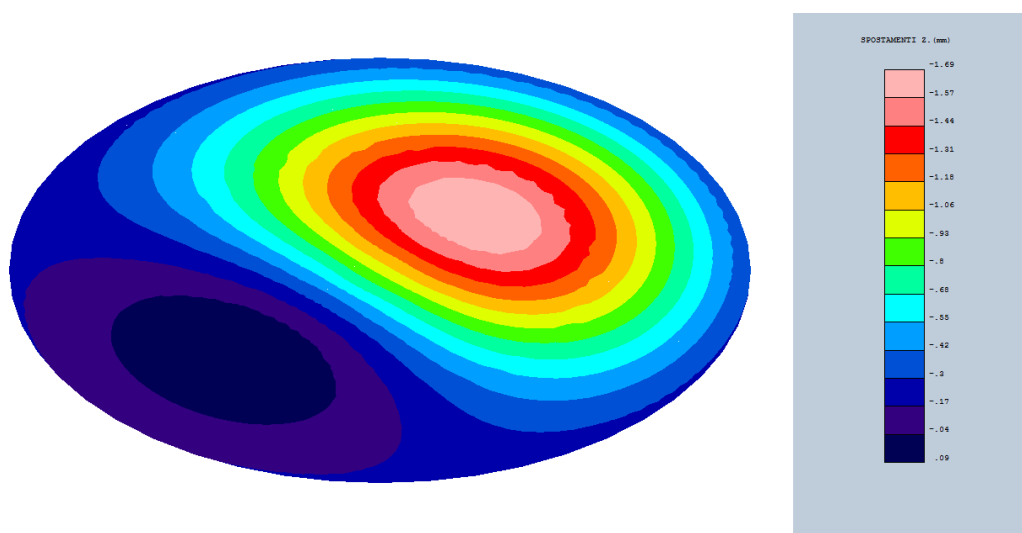
c – CEDIMENTI ATTESI

COLORMAP SPOSTAMENTI VERTICALI COMBINAZIONE 1 (SOLO p.p.)



Spostamento massimo:  $w_1 = 0.65 \text{ mm}$

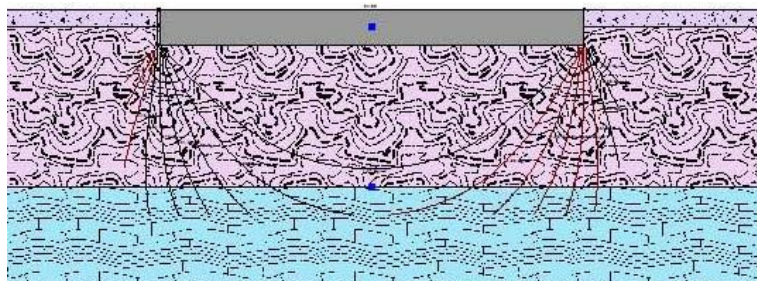
COLORMAP SPOSTAMENTI VERTICALI COMBINAZIONE 2 (SLE)



Spostamento massimo:  $w_{es} = 1.69 \text{ mm}$

## 8 VERIFICA DI RESISTENZA DEL TERRENO (GEO)

Le verifiche geotecniche sono state condotte anche con l'ausilio del software LoadCap 2010, programma di verifiche geotecniche per fondazioni superficiali.



### DATI GENERALI

Diametro della fondazione	30.0 m
Profondità piano di posa	2.0 m
Altezza di incastro	1.0 m
Pressione massima sul terreno	2.42 kg/cm <sup>2</sup>
Cedimento massimo atteso	1.70 mm

Dalla lettura dei dati riportati si rileva che le pressioni massime di contatto valutate in questa fase preliminare sono inferiori a quelle massime che il Geologo suggerisce di non superare (pari a 3.00 kg/cm<sup>2</sup>), i cedimenti attesi sono da considerare trascurabili.