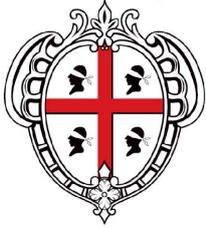


Regione Autonoma  
della Sardegna



Provincia Sud Sardegna



Comune di Mandas (SU)



Comune di Serri (SU)



Comune di Escolca (SU)



Comune di Isili (SU)



Comune di Nuragus (SU)



Comune di Genoni (SU)



Committente:

**RWE**

RWE RENEWABLES ITALIA S.R.L.  
via Andrea Doria, 41/G - 00192 Roma  
P.IVA/C.F. 06400370968

Titolo del Progetto:

**PARCO EOLICO "LOBADAS"**

- Comuni di Mandas, Serri, Escolca, Isili, Nuragus e Genoni(SU) -

Documento:

PROGETTO DEFINITIVO

N° Documento:

**PELOB-RP02**

ID PROGETTO:

**PELOB**

SEZIONE:

**C**

TIPOLOGIA:

**T**

FORMATO:

**A4**

Elaborato:

**CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE**

FOGLIO:

1 di 1

SCALA:

-

Nome file:

PELOB -RP02-Calcoli preliminari di dimensionamento delle strutture

A cura di:

**iat** CONSULENZA  
E PROGETTI  
www.iatprogetti.it



I.A.T. Consulenza e progetti S.r.l.  
Dott. Ing. Giuseppe Frongia

**Gruppo di progettazione:**

Ing. Giuseppe Frongia  
(coordinatore e responsabile)  
Ing. Marianna Barbarino  
Ing. Enrica Batzella  
Pian. Terr. Andrea Cappai  
Ing. Gianfranco Corda  
Ing. Paolo Desogus  
Pian. Terr. Veronica Fais  
Ing. Gianluca Melis  
Ing. Fabrizio Murru  
Ing. Andrea Onnis  
Pian. Terr. Eleonora Re  
Ing. Elisa Roych  
Ing. Marco Utzeri

**Contributi specialistici:**

Ing. Antonio Dedoni (Acustica)  
Dott.ssa Alice Nozza (Archeologia)  
Dott. Matteo Tatti (Archeologia)



Rev:	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
0	15/11/2023	Prima emissione	GC	GF	RWE

<b>COMMITTENTE</b> RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO "LOBADAS" PROGETTO DEFINITIVO	<b>COD. ELABORATO</b> PELOB-RP02
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 2 di 23	

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>ASPETTI GENERALI.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA.....</b>	<b>7</b>
<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>17</b>
<b>8</b>	<b>VERIFICA DI RESISTENZA DEL TERRENO (GEO).....</b>	<b>22</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>23</b>

<b>COMMITTENTE</b> RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO "LOBADAS" PROGETTO DEFINITIVO	<b>COD. ELABORATO</b> PELOB-RP02
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it		<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 3 di 23

## 1 PREMESSA

Il presente elaborato contiene i calcoli preliminari delle strutture di fondazione degli aerogeneratori previsti nel progetto del Parco eolico denominato "LOBADAS", proposto dalla società RWE Renewables Italia Srl, da installare in agro dei comuni di Escolca, Isili Serri e Mandas nella Provincia del Sud Sardegna (SU); in particolare saranno condotte le verifiche strutturali ritenute significative 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'ing. Gianfranco Corda.

Per le finalità di calcolo, si è fatto riferimento ai dati di caratterizzazione delle terre contenuti nella relazione geologica e geotecnica allegata al progetto dell'impianto.

L'impianto sarà composto da n. 12 aerogeneratori con potenza nominale di 7,2 MW, diametro del rotore pari a 172 m ed altezza al mozzo pari a 117 metri.

Le verifiche strutturali per il plinto di fondazione sono basate sulle azioni di progetto indicate dal costruttore di una tipologia di aerogeneratore di caratteristiche geometrico-dimensionali analoghe a quello in progetto.

In particolare si è fatto riferimento al modello di aerogeneratore tipo Siemens Gamesa SG 6.0-170, altezza al mozzo pari a 115 m; le azioni di progetto sono state desunte dallo specifico fascicolo sui carichi in fondazione fornito dal costruttore, documento "Foundation Load T115-50A, - D2370721 / 004".

<b>COMMITTENTE</b> RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO "LOBADAS" PROGETTO DEFINITIVO	<b>COD. ELABORATO</b> PELOB-RP02
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 4 di 23	

## 2 ASPETTI GENERALI

Il proposto parco eolico è ubicato nella Provincia del Sud Sardegna, all'interno dei territori delle regioni storiche del *Sarcidano* e della *Trexenta*. In particolare, i 12 aerogeneratori in progetto sono localizzati nella porzione meridionale del territorio comunale di Isili (WTG1, WTG2 e WTG3), in quella settentrionale del territorio comunale di Serri (WTG4, WTG5 e WTG6), in quella sud-orientale del territorio comunale di Escolca (WTG8, WTG9, WTG10 e WTG11) e, infine, in quella settentrionale del territorio comunale di Mandas (WTG12 e WTG13).

Ai fini delle presenti verifiche strutturali sono state considerate le azioni massime fornite dal costruttore di una tipologia di aerogeneratore di caratteristiche analoghe a quello in progetto; le azioni di calcolo sono state ricavate dal documento della Siemens Gamesa SG 6.0-170 "Foundation Load T115-50A - D2370721 / 004".

Ferme restando le caratteristiche dimensionali dell'aerogeneratore, non può escludersi peraltro che la scelta definitiva possa ricadere su un modello simile con migliori prestazioni di esercizio, qualora disponibile sul mercato prima dell'ottenimento della Autorizzazione Unica di cui all'art. 12 del D.Lgs. 387/2003.

La natura dei terreni di sedime è piuttosto varia, dai sondaggi eseguiti è stata rilevata la presenza di Arenarie, Calcareniti, Sabbie fini, Sabbie limose, Marne, Metaquarzoareniti e Metacalcari.

Nei siti di installazione in cui ricorre la presenza delle Arenarie (S1, S5), delle Metaquarzoareniti (S6) e dei Metacalcari (S7) è stata progettata una fondazione diretta a pianta circolare, nei siti in cui ricorre la presenza delle Sabbie fini limose (S2) è stata progettata una fondazione profonda.

In progetto sono dunque previste due differenti tipologie di fondazione caratterizzate da un basamento a pianta circolare che in un caso sarà realizzato direttamente a contatto con il substrato litoide, nel secondo caso sarà realizzato in testa ad una palificata di profondità opportuna.

Il basamento di fondazione previsto in progetto è del tipo a plinto circolare, da realizzare in opera in calcestruzzo armato, di diametro pari a 24.50 metri.

La fondazione oggetto di verifica è sostanzialmente una piastra circolare a sezione variabile con spessore massimo al centro, pari a circa 280 cm, e spessore minimo al bordo, pari a 60 cm.

La porzione centrale, denominata "colletto", presenta altezza costante di 2.80 m per un diametro pari a circa 6.00 m.

Il colletto è il nucleo del basamento in cui verranno posizionati i tirafondi di ancoraggio del primo anello della torre metallica, il restante settore circolare sarà ricoperto con uno strato orizzontale di rilevato misto arido, con funzione stabilizzante e di mascheramento.

I pali di fondazione previsti nel dimensionamento preliminare sono 36 pali del tipo di grande diametro, pari a 800 mm, in conglomerato cementizio armato, di lunghezza massima pari a 16

<b>COMMITTENTE</b> RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO "LOBADAS" PROGETTO DEFINITIVO	<b>COD. ELABORATO</b> PELOB-RP02
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 5 di 23	

metri, ad asse verticale, del tipo trivellato con asportazione del terreno.

In questa fase si riporta il dimensionamento preliminare dei pali per la verifica di stabilità globale, si rimanda alle successive fasi di progettazione in cui sarà possibile la verifica dei pali con riferimento alle specifiche stratigrafie delle singole piazzole di installazione.

I calcoli e le verifiche di seguito illustrati saranno preceduti da un breve cenno ai riferimenti della normativa vigente nonché alle azioni ed ai carichi di progetto.

Nello specifico sono stati condotti i seguenti accertamenti: verifica di stabilità globale del manufatto, considerato come corpo rigido, verifiche di resistenza del manufatto in calcestruzzo, 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 significative azioni orizzontali e flettenti, dovute alla particolare 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 e le dimensioni del plinto indicate in precedenza sono da ritenersi orientative e potrebbero variare a seguito delle risultanze del dimensionamento esecutivo delle opere nonché sulla base di eventuali indicazioni specifiche fornite dal costruttore dell'aerogeneratore, in funzione della scelta definitiva del modello di turbina che sarà operata nell'ambito della fase di Autorizzazione Unica del progetto.

<b>COMMITTENTE</b> RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO "LOBADAS" PROGETTO DEFINITIVO	<b>COD. ELABORATO</b> PELOB-RP02
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 6 di 23	

### 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: IV

Periodo di riferimento:  $V_R = 100$  anni

#### **Metodo di calcolo e verifica:**

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

Le verifiche di stabilità sono state condotte per via diretta dallo scrivente, i calcoli e le verifiche di resistenza 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.

<b>COMMITTENTE</b> RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO "LOBADAS" PROGETTO DEFINITIVO	<b>COD. ELABORATO</b> PELOB-RP02
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it		<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 7 di 23

## 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 Geologo Dott. Dott. Geol. Gualtiero Bellomo.

A fronte della significativa estensione del sito si evince che gli areali che ospiteranno le opere in progetto presentano differenti materiali:

- Arenarie e Calcareniti, cementate e fratturate,
- Sabbie fini e Sabbie limose debolmente cementate,
- Marne arenacee e siltitiche,
- Metaquarzoareniti grossolane scure,
- Metacalcari scuri e Metacalcari nodulari.

Salvo gli opportuni ed obbligatori accertamenti da condursi nella fase più avanzata della progettazione, per l'intervento in progetto si fa riferimento ai terreni individuati nei sondaggi S1÷S7, per i quali sono disponibili le caratteristiche meccaniche ricavate dalle analisi in situ ed in laboratorio.

#### **SONDAGGIO S1**

##### **Arenarie e Calcareniti**

*(da quota - 2.00 m a quota - 23.00 m)*

Peso specifico = 20.00 kN/m<sup>3</sup>

Angolo attrito interno  $\varphi = 30^\circ$

Coesione  $c = 0.20$  daN/cm<sup>2</sup>

#### **SONDAGGIO S2**

##### **Alternanza di Sabbie fini limose e Arenarie (si riportano i parametri delle sabbie)**

*(da quota - 0.20 m a quota - 30.00 m)*

<b>COMMITTENTE</b> RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO "LOBADAS" PROGETTO DEFINITIVO	<b>COD. ELABORATO</b> PELOB-RP02
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it		<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 8 di 23

Peso specifico = 19.00 kN/m<sup>3</sup>

Angolo attrito interno  $\varphi = 28^\circ$

Coesione  $c = 0$  daN/cm<sup>2</sup>

### **SONDAGGIO S3**

**Alternanza di Marne e Arenarie** (si riportano i parametri delle marne)

(da quota - 0.30 m a quota - 30.00 m)

Peso specifico = 20.00 kN/m<sup>3</sup>

Angolo attrito interno  $\varphi = 28^\circ$

Coesione  $c = 0.25$  daN/cm<sup>2</sup>

### **SONDAGGIO S5**

**Alternanza di Arenarie e Calcareniti** (si riportano i parametri delle calcareniti)

(da quota - 0.50 m a quota - 30.00 m)

Peso specifico = 20.00 kN/m<sup>3</sup>

Angolo attrito interno  $\varphi = 32^\circ$

Coesione  $c = 0$  daN/cm<sup>2</sup>

### **SONDAGGIO S6**

**Metaquarzoareniti grossolane scure**

(da quota - 0.50 m a quota - 30.00 m)

Peso specifico = 22.00 kN/m<sup>3</sup>

Angolo attrito interno  $\varphi = 35^\circ$

Coesione  $c = 0.30$  daN/cm<sup>2</sup>

### **SONDAGGIO S7**

**Alternanza di Metacalcari scuri e Metacalcari nodulari**

(da quota - 0.50 m a quota - 30.00 m)

Peso specifico = 20.00 kN/m<sup>3</sup>

Angolo attrito interno  $\varphi = 30^\circ$

Coesione  $c = 0.20$  daN/cm<sup>2</sup>

<b>COMMITTENTE</b> RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO "LOBADAS" PROGETTO DEFINITIVO	<b>COD. ELABORATO</b> PELOB-RP02
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 9 di 23	

## 4.2 Stratigrafia di progetto

Nei siti di installazione nei quali ricorre la presenza delle Arenarie (S1, S5), delle Metaquarzoareniti (S6) e dei Metacalcari (S7) è stata progettata una fondazione diretta a pianta circolare, diametro di 24.50 m e spessore massimo pari a circa 2.80 metri.

La stratigrafia considerata nel calcolo preliminare della fondazione superficiale è la seguente:

Peso specifico 20.00 kN/m<sup>3</sup>

Angolo attrito interno  $\varphi = 30^\circ$

Coesione  $c = 0$  daN/cm<sup>2</sup>

Nei siti di installazione nei quali ricorre la presenza delle Sabbie fini (S2) è stata progettata una fondazione profonda su pali, il basamento in testa alla palificata avrà le stesse dimensioni della fondazione diretta (diametro 24.50 m e spessore 2.80 metri).

La stratigrafia considerata nel calcolo preliminare della fondazione su pali è la seguente, per una profondità pari a 16 metri:

Peso specifico 19.00 kN/m<sup>3</sup>

Angolo attrito interno  $\varphi = 28^\circ$

Coesione  $c = 0$  daN/cm<sup>2</sup>

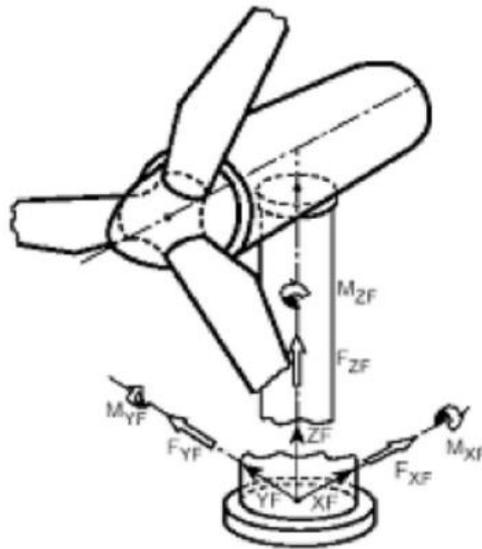
Il Geologo riferisce che tutti i terreni indagati possono essere individuati nella categoria di sottosuolo di tipo "B" ovvero "rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità".

<b>COMMITTENTE</b> RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO "LOBADAS" PROGETTO DEFINITIVO	<b>COD. ELABORATO</b> PELOB-RP02
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it		<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 10 di 23

## 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 SIEMENS Gamesa, di cui al documento:

SG 6.0-170 Foundation Loads – T115-50A - D2370721/004



XF horizontal  
ZF vertically upwards in direction of the tower axis  
YF horizontally sideways, so that XF, YF, ZF rotate clockwise

**SIEMENS Gamesa**  
RENEWABLE ENERGY

SG 6.0-170 Foundation loads T115-50A  
D2370721 / 004

2020-04-24

Load case	Load factor	$F_x$ (kN)	$F_y$ (kN)	$F_z$ (kN)	$F_{xy}$ (kN)	$M_x$ (kNm)	$M_y$ (kNm)	$M_z$ (kNm)	$M_{xy}$ (kNm)
D1c22_3bn_V11.0_n_s7	1,1	1688,55	55,55	-7508,71	1689,47	4580,25	196184,46	412,39	<b>196237,91</b>
D1c22_3bn_V11.0_n_s7	1.0	1535,05	50,5	-6826,1	1535,88	4163,87	178349,5	374,9	<b>178398,1</b>

Table 3 SG 6.0-170 HH115m Factored/Unfactored Extreme loads at tower bottom

Nella tabella precedente sono definite le azioni massime al piede della torre, tali valori verranno utilizzati per le verifiche allo stato limite ultimo con i coefficienti di sicurezza previsti dalla normativa italiana, il DM 17/01/2018.

<b>COMMITTENTE</b> RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO "LOBADAS" PROGETTO DEFINITIVO	<b>COD. ELABORATO</b> PELOB-RP02
 <b>CONSULENZA E PROGETTI</b> www.iatprogetti.it		<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 11 di 23

I carichi riportati in tabella sono i carichi massimi in condizioni estreme (*extreme loads*), calcolati per le specifiche condizioni climatiche riportate nella tabella seguente.

Description	Unit	Value
Design code	-	IEC-61400-1 Ed3
IEC Class	-	3A
Design life time according to IEC	years	20
Annual average wind speed at hub height, $V_{ave}$	m/s	7.5
Extreme wind speed at hub height (10-min with 50 years return period), $V_{ref}$	m/s	57
Mean turbulence intensity at 15 m/s, $I_{ref}$	-	0.16
Average air density, $\rho$	kg/m <sup>3</sup>	1.225

Table 1 Design code information and climatic conditions

Le predette condizioni climatiche utilizzate dal Costruttore per il calcolo dei carichi estremi al piede della torre sono da considerare quale condizione limite per poter installare questo modello di torre nel sito in progetto.

È dunque necessario verificare la compatibilità tra le condizioni climatiche previste dalle Norme Tecniche per le Costruzioni per il sito di installazione e quelle limite specificate dal Costruttore.

In particolare, è necessario verificare che la velocità massima del vento prevista dalla normativa vigente per il sito in progetto sia inferiore a quella prevista nella tabella precedente:

Art. 3.3 D.M. 17/01/2018 (NTC 2018) - Azioni del Vento

Sito installazione: Regione Sardegna - Provincia SU - Comuni di Serri e Mandas

$$a_s = 600 \text{ m s.l.m.m.} \quad a_{s, \max} = a_s + 200 \text{ (altezza al mozzo + raggio)} = 800 \text{ m}$$

Zona Climatica di riferimento = 5

$$a_0 = 750\text{m} \quad v_{b,0} = 28 \text{ m/s} \quad k_s = 0.40 \quad \alpha = 1.04 (T_r = 100)$$

$$\text{per } a_s > a_0 \quad v_b = \alpha \times v_{b,0} \times c_a \quad c_a = 1 + k_s (a_{s, \max} / a_0 - 1) \quad c_a = 1.03$$

Velocità massima di riferimento indicata dalle NTC 2018 (10 min,  $T_r = 100$  anni):

$$v_b = 30 \text{ m/s}$$

Velocità massima indicata dal produttore (10 min,  $T_r = 50$  anni):

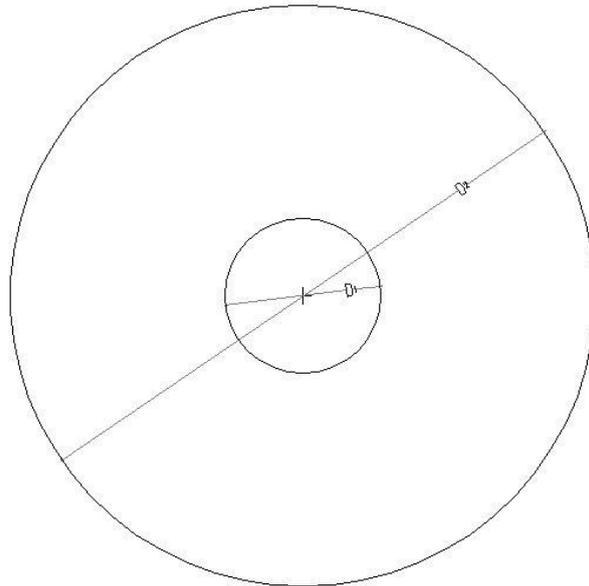
$$V_{ref} = 37.50 \text{ m/s}$$

La velocità massima indicata dal Costruttore è superiore a quella prevista dalla normativa vigente per il sito in progetto, la verifica di compatibilità è dunque soddisfatta.

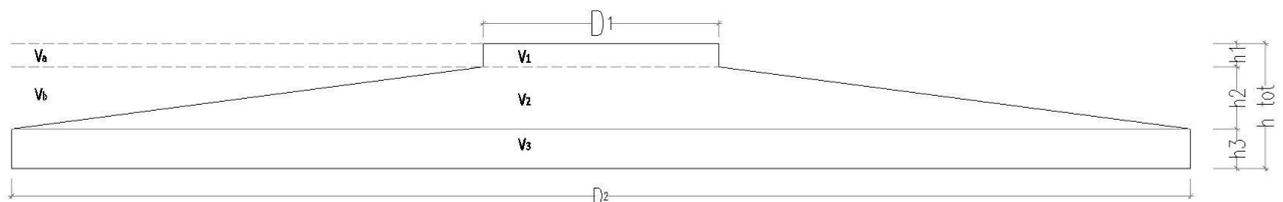
<b>COMMITTENTE</b> RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO "LOBADAS" PROGETTO DEFINITIVO	<b>COD. ELABORATO</b> PELOB-RP02
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it		<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 12 di 23

## 6 VERIFICA STABILITA' GLOBALE (EQU)

Si conducono nel seguito le verifiche di stabilità globale del basamento di fondazione, con riferimento alle azioni di progetto precedentemente indicate.



*Schema in pianta basamento di fondazione*



*Schema in sezione basamento di fondazione*

### DATI GEOMETRICI FONDAZIONE:

diametro colletto =	$d_1 = 6.00 \text{ m}$
diametro esterno =	$d_2 = 24.50 \text{ m}$
altezza colletto =	$h_1 = 0.30 \text{ m}$
altezza intermedia =	$h_2 = 1.90 \text{ m}$
altezza minima =	$h_3 = 0.60 \text{ m}$
altezza totale =	$h_{tot} = 2.80 \text{ m}$

<b>COMMITTENTE</b> RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO "LOBADAS" PROGETTO DEFINITIVO	<b>COD. ELABORATO</b> PELOB-RP02
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 13 di 23	

## A - VERIFICA AL RIBALTAMENTO

$\gamma_{G1} = 0.90$	$\gamma_{G2} = 0.80$	$\gamma_q = 1.50$
----------------------	----------------------	-------------------

### CARICHI VERTICALI

Peso del basamento

$$G_1 = 25 \times \pi \times [ d_1^2 \times h_1 + 1/3 \times (d_1^2 + d_1 \times d_2 + d_2^2) \times h_2 + d_2^2 \times h_3 ] / 4$$

$$G_1 = 17'015 \text{ kN}$$

Peso del terreno di ricoprimento

$$G_2 = 16 \times \pi \times [(d_2^2 - d_1^2) \times (h_1 - 0.10) + (d_2^2 \times h_2) - 1/3 \times (d_1^2 + d_2 \times d_1 + d_2^2) \times h_2] / 4$$

$$G_2 = 9'511 \text{ kN}$$

Peso della torre

$$V = 6.826 \text{ kN}$$

### AZIONI PER LA CONDIZIONE DI CARICO EQU

(peso proprio basamento + peso terreno ricoprimento - senza coefficienti parziali)

$G_1 = 17'015 \text{ kN}$	$G_2 = 9'511 \text{ kN}$
---------------------------	--------------------------

(momento flettente + azione orizzontale al piede della torre + peso permanente torre – senza coefficienti parziali)

$M = 178.400 \text{ kNm}$	$H = 1.536 \text{ kN}$	$V = 6.826 \text{ kN}$
---------------------------	------------------------	------------------------

### MOMENTO STABILIZZANTE

$$M_{STA} = (0.9 \times G_1 + 0.8 \times G_2 + 0.9 \times V) \times d_2 / 2$$

$$M_{STA} = (0.9 \times 17'015 + 0.8 \times 9'511 + 0.9 \times 6'826) \times 12 = 348'788 \text{ kNm}$$

### MOMENTO RIBALTANTE

$$M_{RIB} = \gamma_q \times (M + H \times h_{tot})$$

$$M_{RIB} = 1.5 \times (178.400 + 1.536 \times 2.8) = 274.051 \text{ kNm}$$

Coefficiente di sicurezza:

$$M_{STA} / M_{RIB} = 1.27$$

Verifica soddisfatta considerando il peso stabilizzante del rilevato.

<b>COMMITTENTE</b> RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO "LOBADAS" PROGETTO DEFINITIVO	<b>COD. ELABORATO</b> PELOB-RP02
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it		<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 14 di 23

## B – VERIFICA SCORRIMENTO

$\gamma_{G1} = 0.90$	$\gamma_{G2} = 0.80$	$\gamma_q = 1.50$
----------------------	----------------------	-------------------

Risultante forze che attivano lo scorrimento:

$$H = 1.536 \text{ kN}$$

$$F_{scr} = \gamma_q \times H = 2.304 \text{ kN}$$

Risultante forze che si oppongono allo scorrimento:

Peso della torre

$$V = 6.826 \text{ kN}$$

Peso del basamento

$$G_1 = 17'015 \text{ kN}$$

Peso del terreno di ricoprimento

$$G_2 = 9'511 \text{ kN}$$

Angolo di attrito terreno/fondazione

$$\varphi = 30^\circ$$

$$\varphi' = 0.5 \varphi$$

$$F_{sta} = \tan\varphi' \times (\gamma_{G1} \times G_1 + \gamma_{G1} \times V) = 5'749 \text{ kN}$$

Coefficiente di sicurezza:

$$F_{sta} / F_{scr} = 2.49$$

Verifica soddisfatta senza considerare il peso stabilizzante del rilevato.

<b>COMMITTENTE</b> RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO "LOBADAS" PROGETTO DEFINITIVO	<b>COD. ELABORATO</b> PELOB-RP02
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it		<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 15 di 23

## C – DIMENSIONAMENTO PALI DI FONDAZIONE

In progetto sono previsti 36 pali di fondazione di diametro pari a 800 mm, in conglomerato cementizio armato, di lunghezza pari a 16 metri, ad asse verticale, del tipo trivellato con asportazione del terreno.

E' stata scelta questa tipologia di pali in funzione delle caratteristiche del terreno attraversato (vedi relazione geologica-geotecnica allegata).

Le ipotesi progettuali seguite sono quelle relative a pali con portanza per attrito laterale e portanza di punta, con una profondità di infissione nelle sabbie pari ad almeno 16 metri.

Si riporta di seguito la valutazione effettuata in base alle prescrizioni dell'A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana), tralasciando il contributo offerto dall'attrito laterale in considerazione dell'incertezza in questa fase sugli spessori degli strati attraversati.

### PALO TIPO 1

$l = 16$  metri

$\Phi = 800$  mm

$$Q_{lim} = q_p \times A_p / \gamma \quad \text{dove:}$$

$Q_{lim}$  = portanza limite del palo in esercizio

$q_p$  = resistenza unitaria alla punta

$A_p$  = area della punta del palo ( $\Phi = 800$  mm  $A = \text{cost.} = 5024 \text{ cm}^2$ ),

$\gamma$  = coefficiente di sicurezza = 2.5 (valutazione teorica)

$$q_p = N_q \times q_L \quad \text{dove:}$$

$q_L$  = tensione geostatica sul piano orizzontale passante per la punta del palo

$N_q$  = fattore adimensionale

$$q_L = \sum_i h_i \times \gamma_i \quad \text{dove:}$$

$h_i$  = profondità dei vari strati attraversati

<b>COMMITTENTE</b> RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO "LOBADAS" PROGETTO DEFINITIVO	<b>COD. ELABORATO</b> PELOB-RP02
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it		<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 16 di 23

$\gamma_1$  = peso specifico del terreno immerso dei vari strati

$h_1 = 16.00$  m (*sabbie fini limose*)       $\gamma_1 = 1900$  kg/m<sup>3</sup>       $q_{L1} = 30.400$  kg/m<sup>2</sup>

$q_L = 30.400$  kg/m<sup>2</sup>

Il valore di  $N_q$  è stato valutato sulla base degli elementi forniti dall'A.G.I. secondo vari Autori per pali trivellati di medio diametro in terreni incoerenti, con  $\varphi = 30^\circ$ :

Vesic	$N_q = 30$
Berezantzev	$N_q = 36$
Meyerhof	$N_q = 85$
Skempton	$N_q = 70$
Brinch - Hansen	$N_q = 50$

Si è ritenuto opportuno estrapolare un valore medio, ovvero quello fornito dalla teoria del Brinch - Hansen, e utilizzare un coefficiente  $N_q = 50$ , onde per cui:

$$Q_{lim} = 30.400 \times 0.5024 \times 50 / 2.5 = 305.000 \text{ kg}$$

si assume:

$$Q_{lim} = 305 \text{ tonnellate}$$

<b>COMMITTENTE</b> RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO "LOBADAS" PROGETTO DEFINITIVO	<b>COD. ELABORATO</b> PELOB-RP02
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 17 di 23	

## D - VERIFICA AL RIBALTAMENTO FONDAZIONE SU PALI

### AZIONI PER LA CONDIZIONE DI CARICO EQU

(momento flettente + azione orizzontale al piede della torre + peso permanente torre – senza coefficienti parziali)

M = 178.400 kNm	H = 1.536 kN	V = 6.826 kN
-----------------	--------------	--------------

### MOMENTO RIBALTANTE

$$M_{RIB} = \gamma_q \times (M + H \times h_{tot})$$

$$M_{RIB} = 1.5 \times (178.400 + 1.536 \times 2.8) = 274.051 \text{ kNm}$$

### MOMENTO STABILIZZANTE

Con riferimento allo schema di posizionamento in pianta dei pali di fondazione, si verifica nel seguito la stabilità globale calcolando il solo contributo di resistenza a compressione dei pali disposti su un settore circolare pari alla metà della circonferenza (si considera cautelativamente il solo contributo di 16 pali compressi).

$$M_{STA} = \sum_i N_p \times n_i \times d_i \quad \text{dove:}$$

$N_p$  = carico limite del singolo palo

$d_i$  = braccio delle forze palo – asse fondazione

$n_i$  = numero pali nella fila i-esima

$$N_p = 3050 \text{ kN}$$

$$d_1 = 1.50 \text{ m} \quad n_1 = 2$$

$$d_2 = 3.25 \text{ m} \quad n_2 = 2$$

$$d_3 = 4.50 \text{ m} \quad n_3 = 3$$

$$d_4 = 5.70 \text{ m} \quad n_4 = 2$$

$$d_5 = 7.90 \text{ m} \quad n_5 = 4$$

$$d_6 = 10.25 \text{ m} \quad n_6 = 2$$

$$d_7 = 11 \text{ m} \quad n_7 = 1$$

$$M_{STA} = 3050 \times 97.5 = 297.375 \text{ kNm}$$

Coefficiente di sicurezza:

$$M_{STA} / M_{RIB} = 1.08$$

Verifica soddisfatta senza considerare il contributo del basamento.

<b>COMMITTENTE</b> RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO "LOBADAS" PROGETTO DEFINITIVO	<b>COD. ELABORATO</b> PELOB-RP02
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it		<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 18 di 23

## 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.

La fondazione è stata verificata con riferimento alla stratigrafia di progetto, considerando la Categoria di sottosuolo B ed una costante di winkler pari a  $8 \text{ kg/cm}^3$ .

### COMBINAZIONE DI CARICO 1 – (SLE)

(peso proprio basamento + peso terreno ricoprimento - senza coefficienti parziali)

$G_1 = 17'015 \text{ kN}$	$G_2 = 9'511 \text{ kN}$
---------------------------	--------------------------

### COMBINAZIONE DI CARICO 2 – (SLE)

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

$G_1 = 17'015 \text{ kN}$	$G_2 = 9'511 \text{ kN}$	$V = 6.826 \text{ kN}$
$M_F = 178.400 \text{ kNm}$	$H = 1.536 \text{ kN}$	$M_T = 375 \text{ kNm}$

### COMBINAZIONE DI CARICO 3 – (SLU)

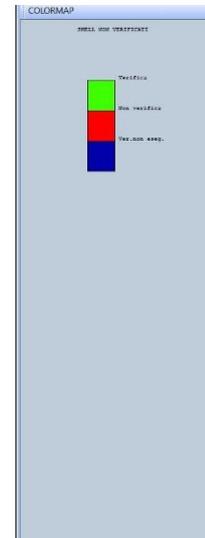
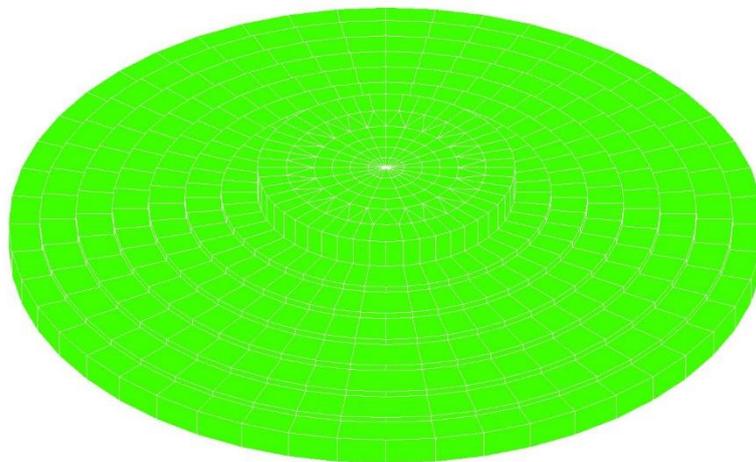
(peso proprio basamento + peso terreno ricoprimento + azioni dalla Torre - con i coefficienti parziali)

$G_1 = \gamma_{G1} \times 17'015 \text{ kN}$	$G_2 = \gamma_{G2} \times 9'511 \text{ kN}$	$V = \gamma_{G2} \times 6.826 \text{ kN}$
$M = \gamma_q \times 178.400 \text{ kNm}$	$H = \gamma_q \times 1.536 \text{ kN}$	$M_T = \gamma_q \times 375 \text{ kNm}$

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

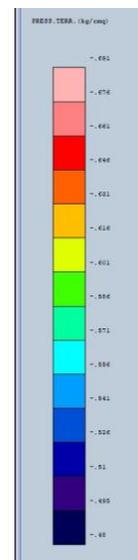
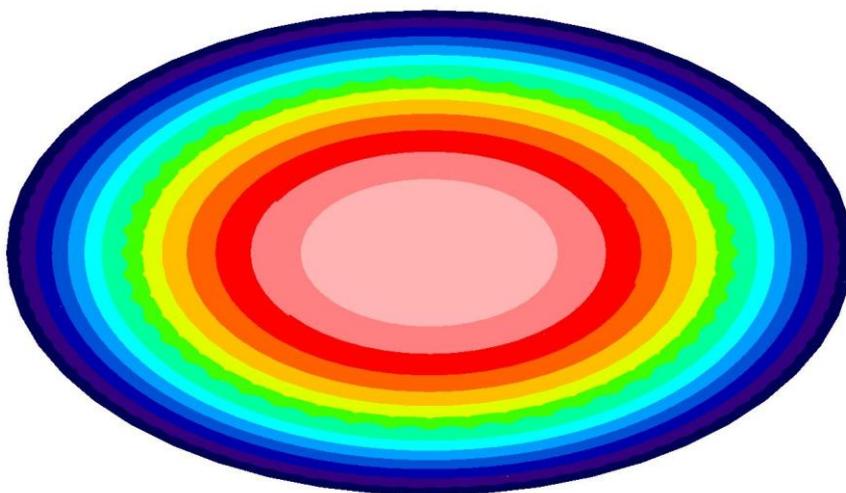
<b>COMMITTENTE</b> RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO "LOBADAS" PROGETTO DEFINITIVO	<b>COD. ELABORATO</b> PELOB-RP02
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 19 di 23	

## COLORMAP VERIFICHE ELEMENTI SHELL



### a – PRESSIONI DI CONTATTO

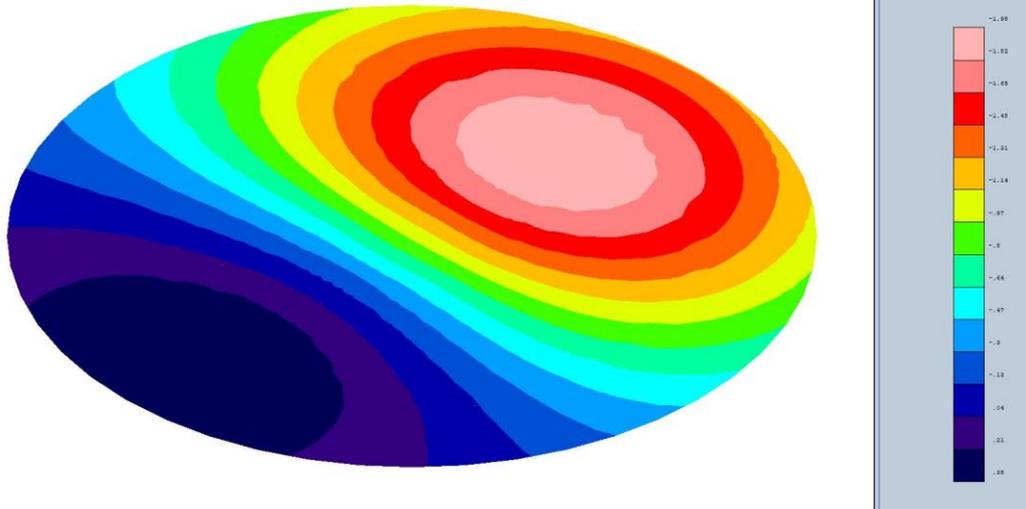
COLORMAP PRESSIONI DI CONTATTO COMBINAZIONE 1 (P.P. + PERM.)



Pressione di contatto SLE:  $\sigma_{pp} = 0.69 \text{ kg/cm}^2$

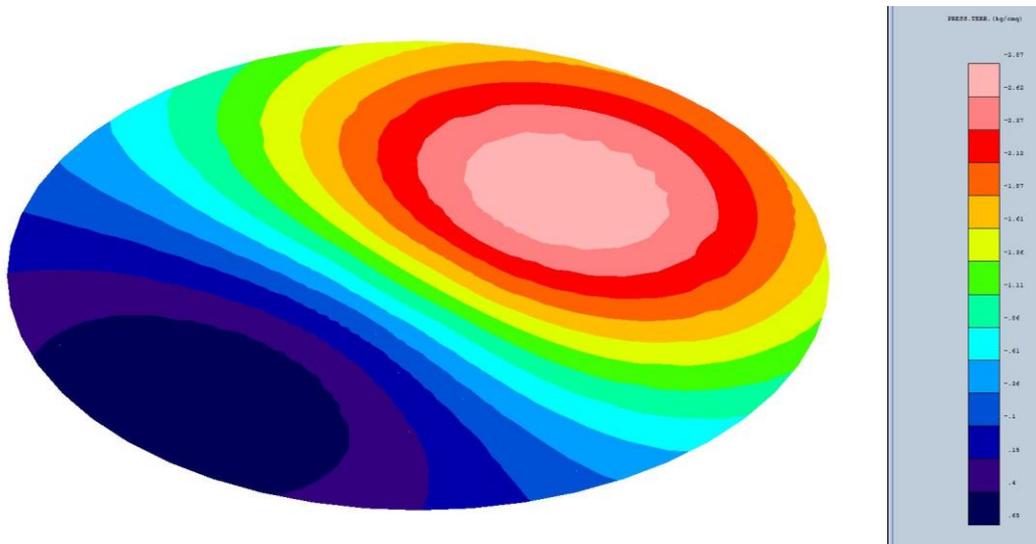
<b>COMMITTENTE</b> RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO "LOBADAS" PROGETTO DEFINITIVO	<b>COD. ELABORATO</b> PELOB-RP02
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it		<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 20 di 23

COLORMAP PRESSIONI DI CONTATTO COMBINAZIONE 2 (P.P. + PERM. + AZIONI TORRE)



Pressione di contatto SLE:  $\sigma_{es} = 1.98 \text{ kg/cm}^2$

COLORMAP PRESSIONI DI CONTATTO COMBINAZIONE 3 (P.P. + PERM. + AZIONI TORRE)

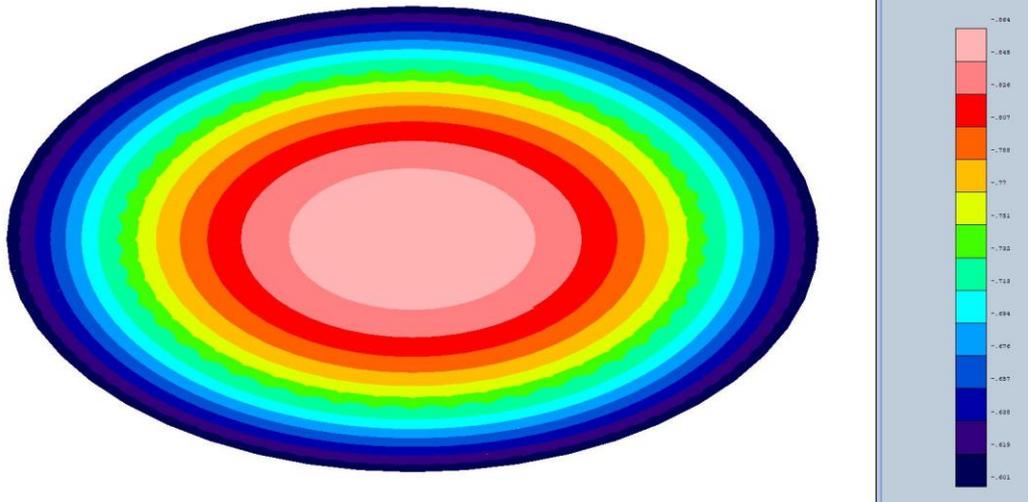


Pressione di contatto SLU:  $\sigma_{max} = 2.87 \text{ kg/cm}^2$

<b>COMMITTENTE</b> RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO "LOBADAS" PROGETTO DEFINITIVO	<b>COD. ELABORATO</b> PELOB-RP02
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it		<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 21 di 23

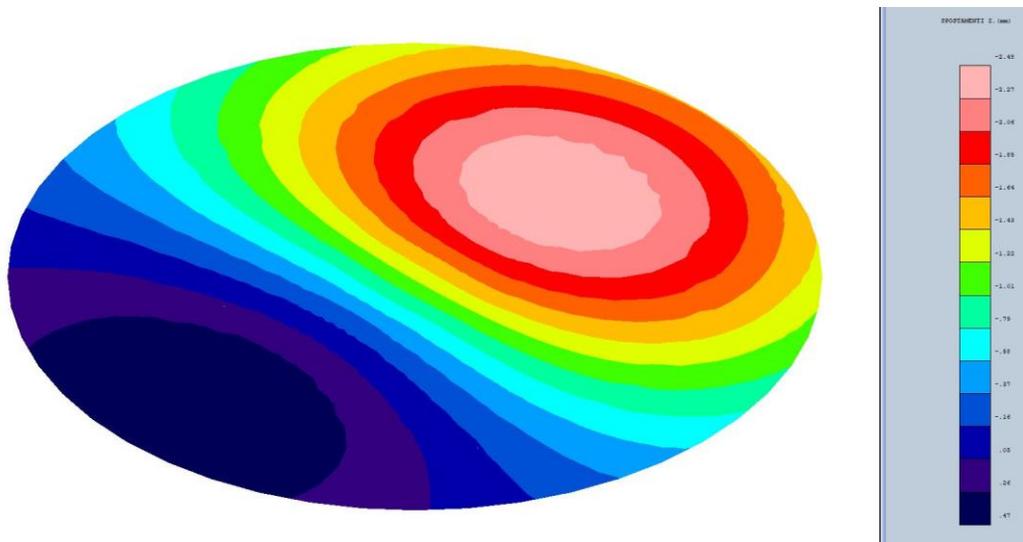
**b – CEDIMENTI ATTESI**

**COLORMAP SPOSTAMENTI VERTICALI COMBINAZIONE 1 (P.P. + PERM.)**



Spostamento massimo SLE:  $w_1 = 0.86 \text{ mm}$

**COLORMAP SPOSTAMENTI VERTICALI COMBINAZIONE 2 (P.P. + PERM. + AZIONI TORRE)**

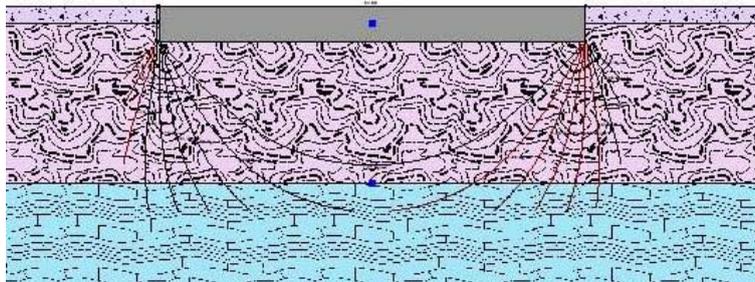


Spostamento massimo SLE:  $w_{es} = 2.48 \text{ mm}$

<b>COMMITTENTE</b> RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO "LOBADAS" PROGETTO DEFINITIVO	<b>COD. ELABORATO</b> PELOB-RP02
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it		<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 22 di 23

## VERIFICA DI RESISTENZA DEL TERRENO (GEO)

Le verifiche geotecniche sono state condotte anche con l'ausilio del software LoadCap 2020, programma di verifiche geotecniche per fondazioni superficiali.



### DATI DI RIEPILOGO

```
=====
```

Diametro della fondazione	24.50 m
Profondità piano di posa	3.00 m
Altezza di incastro	0.90 m
Pressione massima sul terreno	1.98 kg/cm <sup>2</sup>
Cedimento massimo atteso	2.48 mm

```
=====
```

La presenza delle Arenarie, delle Calcareniti, delle Metaquarzoareniti e delle Metacalcari rilevate nella maggior parte dei sondaggi offre una resistenza di progetto elevata per la fondazione superficiale, i cedimenti massimi sono trascurabili.

<b>COMMITTENTE</b> RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO "LOBADAS" PROGETTO DEFINITIVO	<b>COD. ELABORATO</b> PELOB-RP02
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 23 di 23	

## 8 CONCLUSIONI

Il presente elaborato contiene i calcoli preliminari delle strutture di fondazione degli aerogeneratori previsti nel progetto del Parco eolico denominato "LOBADAS", proposto dalla società RWE Renewables Italia Srl, da installare in agro dei comuni di Escolca, Isili Serri e Mandas nella Provincia del Sud Sardegna (SU).

Con riferimento ai carichi di progetto, alla caratterizzazione geotecnica preliminare nonché ai risultati delle verifiche di stabilità, resistenza delle strutture e del terreno di fondazione, si può riassumere quanto segue:

- la natura dei terreni di sedime è piuttosto varia, dai sondaggi eseguiti è stata rilevata la presenza di Arenarie, Calcareniti, Sabbie fini, Sabbie limose, Marne, Metaquarzoareniti e Metacalcari;
- nei siti di installazione in cui ricorre la presenza delle Arenarie (S1, S5), delle Metaquarzoareniti (S6) e dei Metacalcari (S7) è stata progettata una fondazione diretta a pianta circolare avente diametro di 24.50 m e spessore massimo pari a 2.80 metri;
- nei siti di installazione in cui ricorre la presenza delle Sabbie fini limose (S2) è stata progettata una fondazione profonda su 36 pali di diametro pari a 800 m, di profondità pari a 16 m, da realizzare in opera mediante carotaggio continuo, il basamento in testa alla palificata avrà le stesse dimensioni della fondazione diretta (diametro 24.50 m e spessore 2.80 metri).

Nelle fasi più avanzate della progettazione, pertanto, sarà indispensabile disporre di dati geotecnici specifici per ogni singola postazione eolica al fine di confermare o, se necessario, variare le previsioni ed i calcoli qui riportati in via preliminare.