

<b>COMMITTENTE</b> Sorgenia Renewables S.r.l. Via Algardi, 4 - 20148 Milano (MI) sorgienarenewables@sorgenia.it	 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI	<b>COD. ELABORATO</b> SR-NS-RC3
<b>ELABORAZIONI</b> I.A.T. Consulenza e progetti S.r.l. con socio unico - Via Giua s.n.c. – Z.I. CACIP, 09122 Cagliari (CA) Tel./Fax +39.070.658297 Web www.iatprogetti.it		<b>PAGINA</b> 1 di 20

# REGIONE SARDEGNA

## PROVINCIA DI ORISTANO

### IMPIANTO EOLICO NEI COMUNI DI SENEGHE E NARBOLIA

### POTENZA MASSIMA IN IMMISSIONE DI 75 MW COMPRENSIVA DI SISTEMA DI ACCUMULO INTEGRATO DA 15,60 MW

<b>OGGETTO</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	<b>TITOLO</b> <b>CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE</b>	
<b>PROGETTAZIONE</b> I.A.T. CONSULENZA E PROGETTI S.R.L. ING. GIUSEPPE FRONGIA	<b>GRUPPO DI PROGETTAZIONE</b> 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. Andrea Onnis Pian. Terr. Eleonora Re Ing. Elisa Roych Ing. Marco Utzeri	<b>CONTRIBUTI SPECIALISTICI</b> Ce.Pi.Sar (Chiroterofauna) Ing. Antonio Dedoni (acustica) Dott. Geol. Maria Francesca Lobina (Geologia) Agr. Dott. Nat. Nicola Manis (Pedologia) Dott. Nat. Francesco Mascia (Flora) Dott. Nat. Maurizio Medda (Fauna) Dott. Matteo Tatti (Archeologia) Dott.ssa Alice Nozza (Archeologia)

Cod. pratica 2022/0301c

Nome File: SR-NS-RC3 Calcoli preliminari di dimensionamento delle strutture

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEG.	CONTR.	APPR.
1	29 Aprile2024	Integrazioni volontarie	GC	GF	SR
0	Giugno 2023	Emissione per procedura di VIA	GC	GF	SR

Disegni, calcoli, specifiche e tutte le altre informazioni contenute nel presente documento sono di proprietà della I.A.T. Consulenza e progetti s.r.l. Al ricevimento di questo documento la stessa diffida pertanto di riprodurlo, in tutto o in parte, e di rivelarne il contenuto in assenza di esplicita autorizzazione.

<b>COMMITTENTE</b> Sorgenia Renewables S.r.l. Via Algardi, 4 - 20148 Milano (MI) sorgeniarenewables@sorgenia.it 	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO NEI COMUNI DI SENEGHE E NARBOLIA POTENZA MASSIMA IN IMMISSIONE DI 75 MW COMPRESIVA DI SISTEMA DI ACCUMULO O INTEGRATO DA 15,60 MW	<b>COD. ELABORATO</b> SR-NS-RC3
	<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 2 di 20

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>ASPETTI GENERALI.....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA .....</b>	<b>8</b>
<b>4.1</b>	<b>Modello geotecnico di riferimento .....</b>	<b>8</b>
	<i>Unità A – Suoli e terre agrarie – profondità 0.00 / - 0.20 m.....</i>	<i>8</i>
	<i>Unità B – Depositi detritici eluvio-colluviali – profondità -0.20 / - -1.20 m.....</i>	<i>8</i>
	<i>Unità C – Substrato basaltico – profondità -1.20 / - 10.0 m e oltre.....</i>	<i>8</i>
<b>4.2</b>	<b>Stratigrafia di progetto .....</b>	<b>8</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>15</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>20</b>

<b>COMMITTENTE</b> Sorgenia Renewables S.r.l. Via Algardi, 4 - 20148 Milano (MI) sorgeniarenewables@sorgenia.it 	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO NEI COMUNI DI SENEGHE E NARBOLIA POTENZA MASSIMA IN IMMISSIONE DI 75 MW COMPRESIVA DI SISTEMA DI ACCUMULO O INTEGRATO DA 15,60 MW	<b>COD. ELABORATO</b> SR-NS-RC3
	<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 3 di 20

## 1 PREMESSA

Il presente elaborato contiene i calcoli preliminari delle strutture di fondazione degli aerogeneratori previsti nel progetto del Parco eolico situato nei comuni di Seneghe e Narbolia (Regione Sardegna – Provincia di Oristano); 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.

In data 14/07/2023, ai sensi dell’art. 23 del D.Lgs. 152/2006 (Testo Unico Ambientale – TUA), la Proponente ha presentato al MASE e al MiC istanza di Valutazione di Impatto Ambientale (ID\_VIP: 10102) per un parco eolico composto da 9 aerogeneratori aventi rotore di diametro pari a 170 m e potenza nominale unitaria di 6,6 MW, nonché da tutte le opere e infrastrutture accessorie indispensabili a garantire un ottimale funzionamento e gestione della centrale. Inoltre, come parte integrante del progetto, è stata prevista la realizzazione di un sistema di accumulo elettrochimico, in area dedicata, caratterizzato da una potenza nominale di 15,6 MW e una capacità totale di accumulo ad inizio installazione (*beginning of life*) pari a 31,2 MWh.

Avuto riguardo del Parere tecnico istruttorio rilasciato dalla Soprintendenza speciale per il PNRR (nota prot. MASE n. 0167450 del 18/10/2023) e dalla RAS (Prot. Uscita n. 26358 del 08/09/2023) nonché delle osservazioni degli altri interlocutori istituzionali coinvolti nel procedimento di VIA, la Proponente ha positivamente valutato la possibilità di apportare alcune modifiche all’originario layout, orientate a mitigare le potenziali interazioni indirette dei proposti aerogeneratori con il patrimonio culturale riconosciuto nell’area e contenere l’interessamento di superfici a copertura boscata.

In accordo con quanto precede, la nuova configurazione del parco eolico che forma oggetto del presente aggiornamento progettuale ha previsto la ricollocazione di due aerogeneratori (SE06 e SE08) ed annesse infrastrutture elettriche e stradali, l’ottimizzazione planimetrica delle piazzole di cantiere delle restanti macchine (senza variazione del “centro torre”), orientata a semplificare il processo costruttivo, e l’eliminazione di una turbina (SE05), avuto riguardo della riscontrata presenza in sito di materiale archeologico in dispersione nonché dell’opportunità di preservare le formazioni arboreo-arbustive interessate.

In definitiva, la nuova configurazione del parco eolico prevede n. 8 aerogeneratori della potenza nominale unitaria di 6,6 MW, per una potenza complessiva di 52,8 MW, completo delle opere e infrastrutture accessorie funzionali alla costruzione ed esercizio della centrale. Il progetto è integrato, inoltre, da un sistema di accumulo elettrochimico (di seguito “BESS” – Battery Energy Storage System), ubicato nei pressi del punto di connessione alla RTN in Comune di Solarussa

<b>COMMITTENTE</b> Sorgenia Renewables S.r.l. Via Algardi, 4 - 20148 Milano (MI) sorgeniarenewables@sorgenia.it 	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO NEI COMUNI DI SENEGHE E NARBOLIA POTENZA MASSIMA IN IMMISSIONE DI 75 MW COMPRESIVA DI SISTEMA DI ACCUMULO O INTEGRATO DA 15,60 MW	<b>COD. ELABORATO</b> SR-NS-RC3
	<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 4 di 20

(OR), finalizzato a fornire servizi di rete alla rete di trasmissione nazionale. Il BESS avrà potenza nominale di 22,2 MW ripartito su 4 blocchi batteria (di seguito battery block) da 5,55 MW/10,4 MWh ciascuno.

La connessione del produttore alla futura stazione RTN a 220 kV da inserire in entra – esce alla linea 220 kV “Codrongianos – Oristano” sarà realizzata secondo le indicazioni che fornite dal gestore di rete a mezzo di nuovo elettrodotto AT a 220 kV interrato della lunghezza di circa 220 metri.

Il presente documento, pertanto, unitamente agli elaborati progettuali qui richiamati, attengono alla nuova configurazione del parco eolico e devono essere intesi come integralmente sostitutivi delle versioni originariamente elaborate.

Le verifiche strutturali per il plinto di fondazione sono basate sulle azioni di progetto indicate dal costruttore Siemens Gamesa per il modello SG 170, altezza al mozzo pari a 125 m; le azioni di progetto sono state desunte dallo specifico fascicolo sui carichi in fondazione fornito dal costruttore, documento "Foundation Loads T135-1298 – D2406108/002".

<b>COMMITTENTE</b> Sorgenia Renewables S.r.l. Via Algardi, 4 - 20148 Milano (MI) sorgeniarenewables@sorgenia.it 	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO NEI COMUNI DI SENEGHE E NARBOLIA POTENZA MASSIMA IN IMMISSIONE DI 75 MW COMPRESIVA DI SISTEMA DI ACCUMULO O INTEGRATO DA 15,60 MW	<b>COD. ELABORATO</b> SR-NS-RC3
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI	<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 5 di 20

## 2 ASPETTI GENERALI

Il progetto proposto prevede l'installazione di n. 8 turbine di grande taglia, riferibili indicativamente al modello Siemens Gamesa SG 170, posizionate su torri di sostegno dell'altezza pari a 125 m, nonché l'approntamento delle opere accessorie indispensabili per un ottimale funzionamento e gestione degli aerogeneratori (viabilità e piazzole di servizio, distribuzione elettrica di impianto, stazione di trasformazione MT/AT e opere per la successiva immissione dell'energia prodotta alla Rete di Trasmissione Nazionale).

Gli aerogeneratori in progetto saranno dislocati tra quote altimetriche indicativamente comprese nell'intervallo 300÷600 m s.l.m.

Ai fini delle presenti verifiche strutturali sono state considerate le azioni massime fornite dal costruttore nel documento "Foundation Loads T135-1298 – D2406108/002".

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 caratterizzata dalla presenza di un basamento basaltico di origine vulcanica con proprietà meccaniche elevate, sormontate localmente da un deposito detritico superficiale di spessore pari a circa 1 metro.

La tipologia dei terreni è dunque idonea per la realizzazione di fondazioni dirette, fatta salva l'esigenza di acquisire riscontri puntuali in tutte le postazioni eoliche, attraverso l'esecuzione di una campagna di indagini geognostiche e geotecniche che dovrà obbligatoriamente supportare la successiva fase di progettazione esecutiva.

Il basamento di fondazione previsto in progetto è del tipo a plinto superficiale, da realizzare in opera in calcestruzzo armato, a pianta circolare 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 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,

<b>COMMITTENTE</b> Sorgenia Renewables S.r.l. Via Algardi, 4 - 20148 Milano (MI) sorgeniarenewables@sorgenia.it 	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO NEI COMUNI DI SENEGHE E NARBOLIA POTENZA MASSIMA IN IMMISSIONE DI 75 MW COMPRESIVA DI SISTEMA DI ACCUMULO O INTEGRATO DA 15,60 MW	<b>COD. ELABORATO</b> SR-NS-RC3
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI	<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 6 di 20

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> Sorgenia Renewables S.r.l. Via Algardi, 4 - 20148 Milano (MI) sorgeniarenewables@sorgenia.it 	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO NEI COMUNI DI SENEGHE E NARBOLIA POTENZA MASSIMA IN IMMISSIONE DI 75 MW COMPRESIVA DI SISTEMA DI ACCUMULO O INTEGRATO DA 15,60 MW	<b>COD. ELABORATO</b> SR-NS-RC3
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI	<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 7 di 20

### 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> Sorgenia Renewables S.r.l. Via Algardi, 4 - 20148 Milano (MI) sorgeniarenewables@sorgenia.it 	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO NEI COMUNI DI SENEGHE E NARBOLIA POTENZA MASSIMA IN IMMISSIONE DI 75 MW COMPRENSIVA DI SISTEMA DI ACCUMULO O INTEGRATO DA 15,60 MW	<b>COD. ELABORATO</b> SR-NS-RC3
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI	<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 8 di 20

## 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 dalla geologa Maria Francesca Lobina.

Si è individuato la presenza di un substrato basaltico vulcanico litoide sormontato da una coltre detritica di spessore non superiore al metro.

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 e per le quali si riportano le caratteristiche meccaniche.

**Unità A** – Suoli e terre agrarie – spessore 0.10 / 0.50 m

**Unità B** – Depositi detritici eluvio-colluviali – spessore 0.20 / 1.00 m

Peso specifico = 16,00÷16,50 kN/m<sup>3</sup>

Angolo attrito interno  $\varphi$  = 24÷26°

Modulo elastico E = 100 daN/cm<sup>2</sup>

Coesione c = 0,15÷0,30 daN/cm<sup>2</sup>

**Unità C** – Substrato basaltico – spessore > 30 m

Peso specifico = 25,00÷26,00 kN/m<sup>3</sup>

Angolo attrito interno  $\varphi$  = 35÷40°

Modulo elastico E = 1.000 daN/cm<sup>2</sup>

Coesione c = 2,00÷2,50 daN/cm<sup>2</sup>

### 4.2 Stratigrafia di progetto

La stratigrafia considerata nel calcolo preliminare delle opere di fondazione è stata valutata considerando i valori della caratterizzazione meccanica delle rocce vulcaniche (Unità C), considerando che gli strati superficiali saranno rimossi dalle attività di scavo; si rimanda alle successive fasi la valutazione dei dati puntuali per ogni singola piazzola di installazione.

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

Angolo attrito interno  $\varphi$  = 35°

Modulo elastico E = 1.000 daN/cm<sup>2</sup>

Coesione c = 2,00 daN/cm<sup>2</sup>

<b>COMMITTENTE</b> Sorgenia Renewables S.r.l. Via Algardi, 4 - 20148 Milano (MI) sorgeniarenewables@sorgenia.it 	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO NEI COMUNI DI SENEGHE E NARBOLIA POTENZA MASSIMA IN IMMISSIONE DI 75 MW COMPRESIVA DI SISTEMA DI ACCUMULO O INTEGRATO DA 15,60 MW	<b>COD. ELABORATO</b> SR-NS-RC3
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI	<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 9 di 20

I terreni indagati possono essere individuati nella Categoria di sottosuolo del tipo "A" ovvero "ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi".

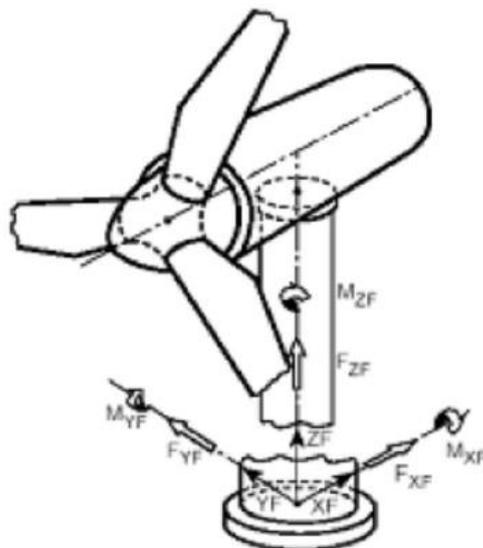
La Geologa riferisce che il substrato roccioso offre elevate garanzie di stabilità nel tempo per le opere fondali e che indicativamente e cautelativamente si possono assumere valori di capacità portante dell'ordine di 3,00÷3,50 daN/cm<sup>2</sup>, senza che si manifestino cedimenti di entità apprezzabile o comunque pregiudizievoli per la stabilità delle strutture in progetto.

<b>COMMITTENTE</b> Sorgenia Renewables S.r.l. Via Algardi, 4 - 20148 Milano (MI) sorgeniarenewables@sorgenia.it	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO NEI COMUNI DI SENEGHE E NARBOLIA POTENZA MASSIMA IN IMMISSIONE DI 75 MW COMPRENSIVA DI SISTEMA DI ACCUMULO O INTEGRATO DA 15,60 MW	<b>COD. ELABORATO</b> SR-NS-RC3
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI	<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 10 di 20

## 5 CARICHI DI PROGETTO

Per la definizione delle azioni di progetto al piede della torre sono state assunte come riferimento le azioni agenti sulla fondazione di una torre eolica di caratteristiche assimilabili all'aerogeneratore previsto in progetto.

Per le verifiche preliminari sulle strutture di fondazione sono state considerate le azioni massime fornite dal costruttore nel documento "Foundation Loads T135-1298 – D2406108/002".



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

Load case	$F_x$ (kN)	$F_y$ (kN)	$F_z$ (kN)	$F_{xy}$ (kN)	$M_x$ (kNm)	$M_y$ (kNm)	$M_z$ (kNm)	$M_{xy}$ (kNm)
Dlc14_v90.0_p_000	1316,18	54,14	-7707,99	1317,29	2463,44	186812,5	294,48	<b>186828,7</b>

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> Sorgenia Renewables S.r.l. Via Algardi, 4 - 20148 Milano (MI) sorgeniarenewables@sorgenia.it 	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO NEI COMUNI DI SENEGHE E NARBOLIA POTENZA MASSIMA IN IMMISSIONE DI 75 MW COMPRESIVA DI SISTEMA DI ACCUMULO O INTEGRATO DA 15,60 MW	<b>COD. ELABORATO</b> SR-NS-RC3
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI	<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 11 di 20

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 almeno 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 di Oristano - comune di Seneghe

$$a_s = 600 \text{ m s.l.m.} \quad a_{s, \max} = a_s + 210 \text{ (altezza mozzo + raggio)} = 810 \text{ m}$$

Zona Climatica di riferimento = 6

$$a_0 = 500 \text{ m} \quad v_{b,0} = 28 \text{ m/s} \quad k_s = 0.36$$

$$\text{per } a_s > a_0 \quad v_b = v_{b,0} \times c_a \quad c_a = 1 + k_s (a_{s, \max} / a_0 - 1) \quad c_a = 1.22$$

Velocità massima di riferimento indicata dalle NTC 2018 (10 min, 50 anni  $T_r$ ):

$$v_b = 34.25 \text{ m/s}$$

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

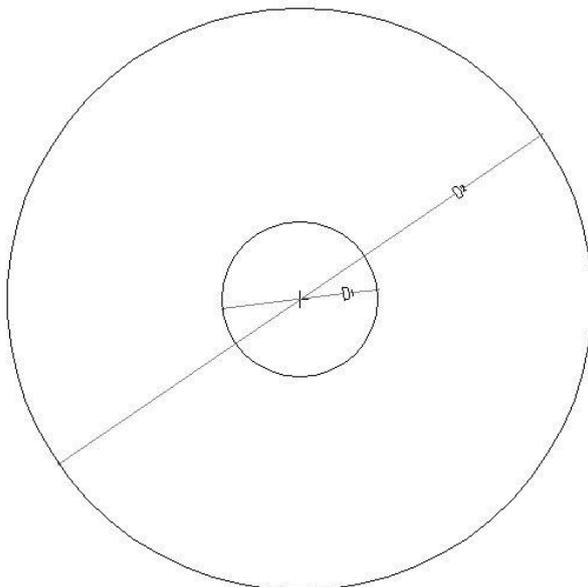
$$V_{ref} = 37.50 \text{ m/s}$$

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.

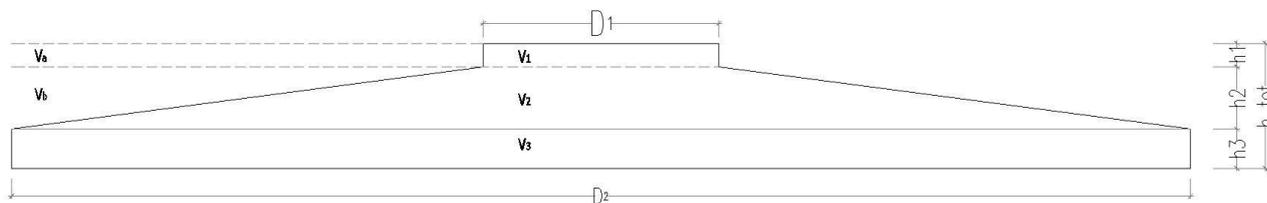
<b>COMMITTENTE</b> Sorgenja Renewables S.r.l. Via Algardi, 4 - 20148 Milano (MI) sorgenjarenewables@sorgenja.it	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO NEI COMUNI DI SENEGHE E NARBOLIA POTENZA MASSIMA IN IMMISSIONE DI 75 MW COMPRENSIVA DI SISTEMA DI ACCUMULO O INTEGRATO DA 15,60 MW	<b>COD. ELABORATO</b> SR-NS-RC3
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI	<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 12 di 20

## 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> Sorgenia Renewables S.r.l. Via Algardi, 4 - 20148 Milano (MI) sorgeniarenewables@sorgenia.it	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO NEI COMUNI DI SENEGHE E NARBOLIA POTENZA MASSIMA IN IMMISSIONE DI 75 MW COMPRESIVA DI SISTEMA DI ACCUMULO O INTEGRATO DA 15,60 MW	<b>COD. ELABORATO</b> SR-NS-RC3
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI	<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 13 di 20

## 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

$$V = 7'710 \text{ kN}$$

### 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)

$M = 186'830 \text{ kNm}$	$H = 1'320 \text{ kN}$	$V = 7'710 \text{ kN}$
---------------------------	------------------------	------------------------

### MOMENTO STABILIZZANTE

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

$$M_{STA} = (0.9 \times 17'015 + 0.8 \times 9'511 + 0.9 \times 7'710) \times 12 = 358'335 \text{ kNm}$$

### MOMENTO RIBALTANTE

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

$$M_{RIB} = 1.5 \times (186'830 + 1'320 \times 2.8) = 285'790 \text{ kNm}$$

Coefficiente di sicurezza:

$$M_{STA} / M_{RIB} = 1.25$$

Verifica soddisfatta considerando il peso stabilizzante del rilevato.

<b>COMMITTENTE</b> Sorgenia Renewables S.r.l. Via Algardi, 4 - 20148 Milano (MI) sorgeniarenewables@sorgenia.it 	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO NEI COMUNI DI SENEGHE E NARBOLIA POTENZA MASSIMA IN IMMISSIONE DI 75 MW COMPRENSIVA DI SISTEMA DI ACCUMULO O INTEGRATO DA 15,60 MW	<b>COD. ELABORATO</b> SR-NS-RC3
	<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 14 di 20

## B – VERIFICA SCORRIMENTO

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

Risultante forze che attivano lo scorrimento:

$$H = 1'320 \text{ kN}$$

$$F_{scr} = \gamma_q \times H = 1'980 \text{ kN}$$

Risultante forze che si oppongono allo scorrimento:

Peso della torre

$$V = 7'710 \text{ kN}$$

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

$$\varphi = 30^\circ$$

$$\varphi' = 0.5 \varphi$$

$$F_{sta} = \tan \varphi' \times (\gamma_{G1} \times G_1 + \gamma_{G1} \times V) = 5'962 \text{ kN}$$

Coefficiente di sicurezza:

$$F_{sta} / F_{scr} = 3.01$$

Verifica soddisfatta senza considerare il peso stabilizzante del rilevato.

<b>COMMITTENTE</b> Sorgenia Renewables S.r.l. Via Algardi, 4 - 20148 Milano (MI) sorgeniarenewables@sorgenia.it	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO NEI COMUNI DI SENEGHE E NARBOLIA POTENZA MASSIMA IN IMMISSIONE DI 75 MW COMPRESIVA DI SISTEMA DI ACCUMULO O INTEGRATO DA 15,60 MW	<b>COD. ELABORATO</b> SR-NS-RC3
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI	<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 15 di 20

## 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 A ed una costante di winkler pari a 10 kg/cm<sup>3</sup>.

### 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)

$G_1 = 17'015 \text{ kN}$	$G_2 = 9'511 \text{ kN}$	$V = 7'710 \text{ kN}$
$M_F = 186'830 \text{ kNm}$	$H = 1'320 \text{ kN}$	$M_T = 295 \text{ kNm}$

### COMBINAZIONE DI CARICO 3 – (SLU)

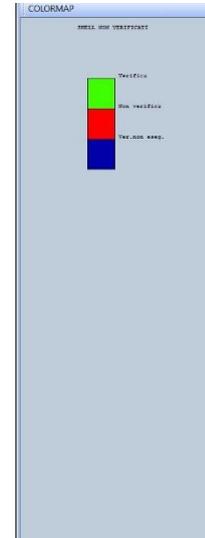
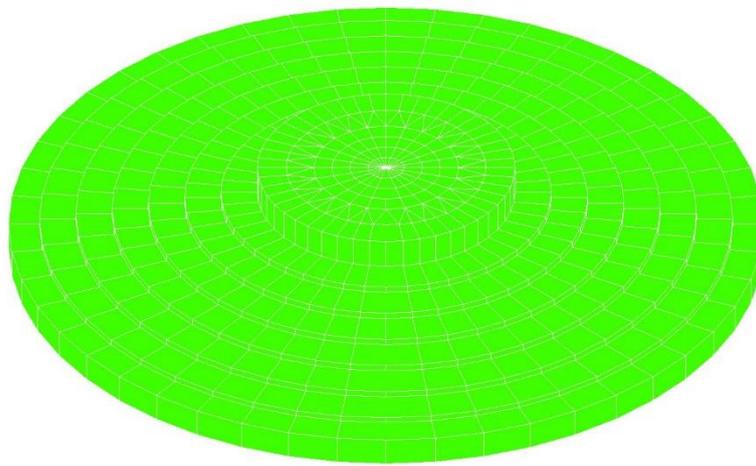
(peso proprio basamento + peso terreno ricoprimento + azioni dalla Torre - con i coefficienti parziali)

$G_1 = \gamma_{G1} \times 17'015 \text{ kN}$	$G_2 = \gamma_{G2} \times 9'511 \text{ kN}$	$V = \gamma_{G2} \times 7'710 \text{ kN}$
$M = \gamma_q \times 186'830 \text{ kNm}$	$H = \gamma_q \times 1'320 \text{ kN}$	$M_T = \gamma_q \times 295 \text{ kNm}$

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

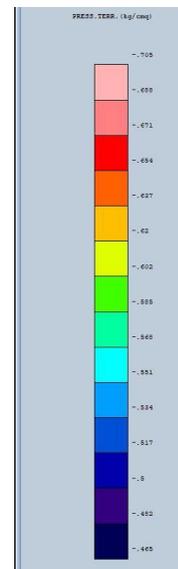
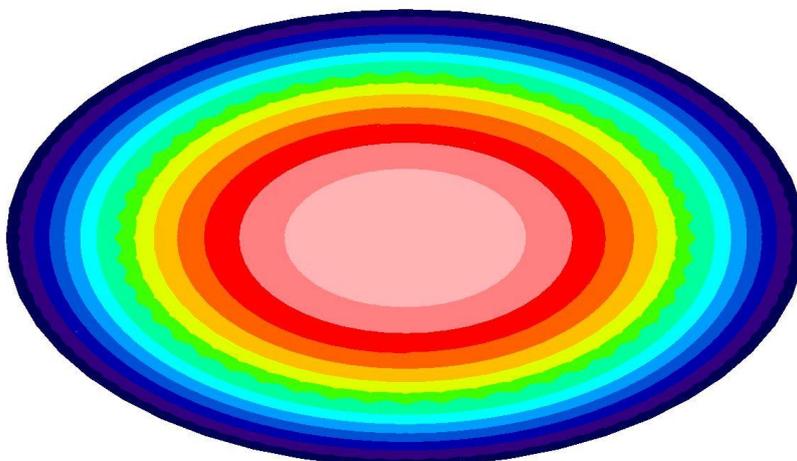
<b>COMMITTENTE</b> Sorgenia Renewables S.r.l. Via Algardi, 4 - 20148 Milano (MI) sorgienirenewables@sorgenia.it	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO NEI COMUNI DI SENEGHE E NARBOLIA POTENZA MASSIMA IN IMMISSIONE DI 75 MW COMPRENSIVA DI SISTEMA DI ACCUMULO O INTEGRATO DA 15,60 MW	<b>COD. ELABORATO</b> SR-NS-RC3
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI	<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 16 di 20

## COLORMAP VERIFICHE ELEMENTI SHELL



### a – PRESSIONI DI CONTATTO

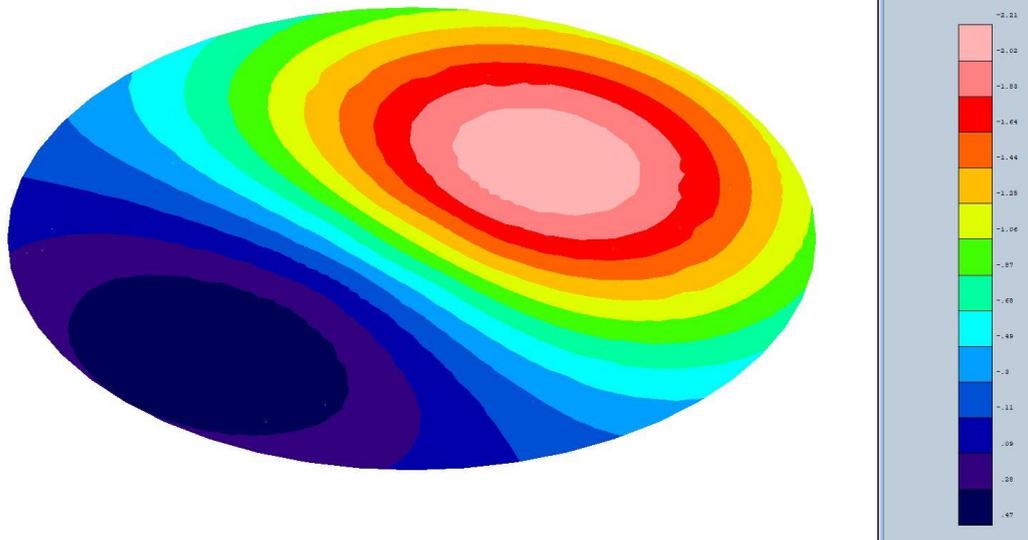
#### COLORMAP PRESSIONI DI CONTATTO COMBINAZIONE 1 (P.P. + PERM.)



Pressione di contatto SLE:  $\sigma_{pp} = 0.71 \text{ kg/cm}^2$

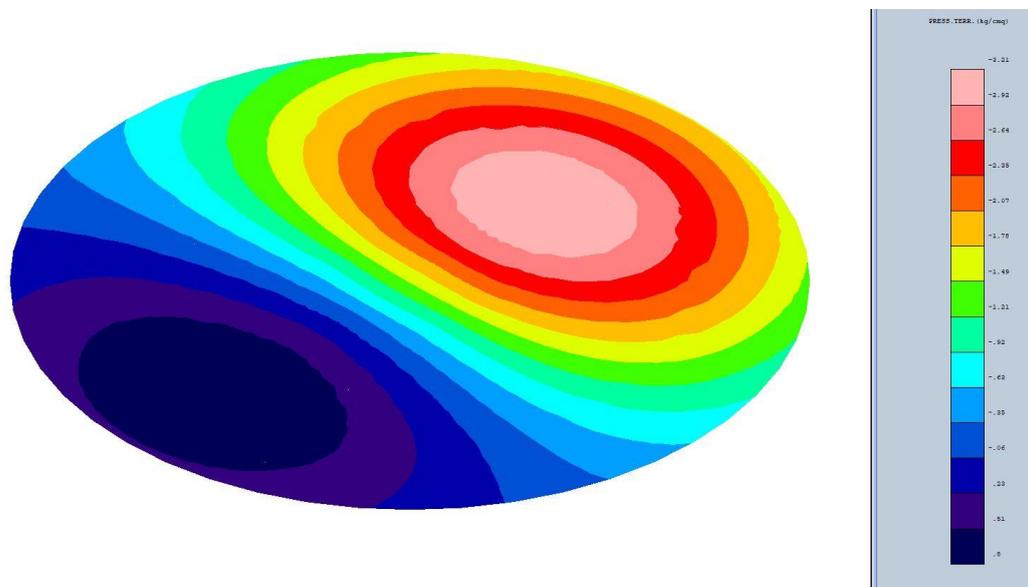
<b>COMMITTENTE</b> Sorgenja Renewables S.r.l. Via Algardi, 4 - 20148 Milano (MI) sorgeniarenewables@sorgenja.it	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO NEI COMUNI DI SENEGHE E NARBOLIA POTENZA MASSIMA IN IMMISSIONE DI 75 MW COMPRESIVA DI SISTEMA DI ACCUMULO O INTEGRATO DA 15,60 MW	<b>COD. ELABORATO</b> SR-NS-RC3
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI	<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 17 di 20

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



Pressione di contatto SLE:  $\sigma_{es} = 2.21 \text{ kg/cm}^2$

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

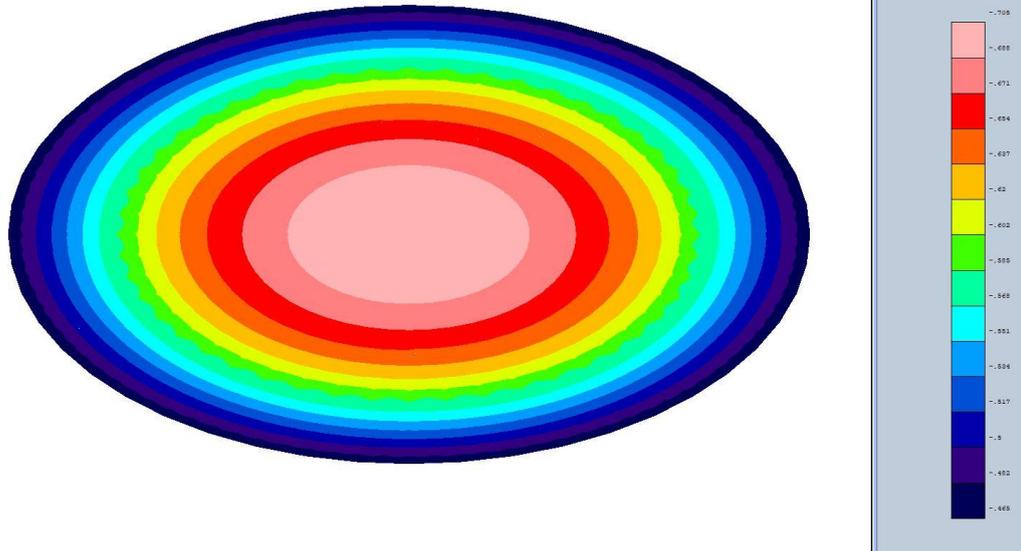


Pressione di contatto SLU:  $\sigma_{max} = 3.21 \text{ kg/cm}^2$

<b>COMMITTENTE</b> Sorgenia Renewables S.r.l. Via Algardi, 4 - 20148 Milano (MI) sorgeniarenewables@sorgenia.it	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO NEI COMUNI DI SENEGHE E NARBOLIA POTENZA MASSIMA IN IMMISSIONE DI 75 MW COMPRESIVA DI SISTEMA DI ACCUMULO O INTEGRATO DA 15,60 MW	<b>COD. ELABORATO</b> SR-NS-RC3
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI	<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 18 di 20

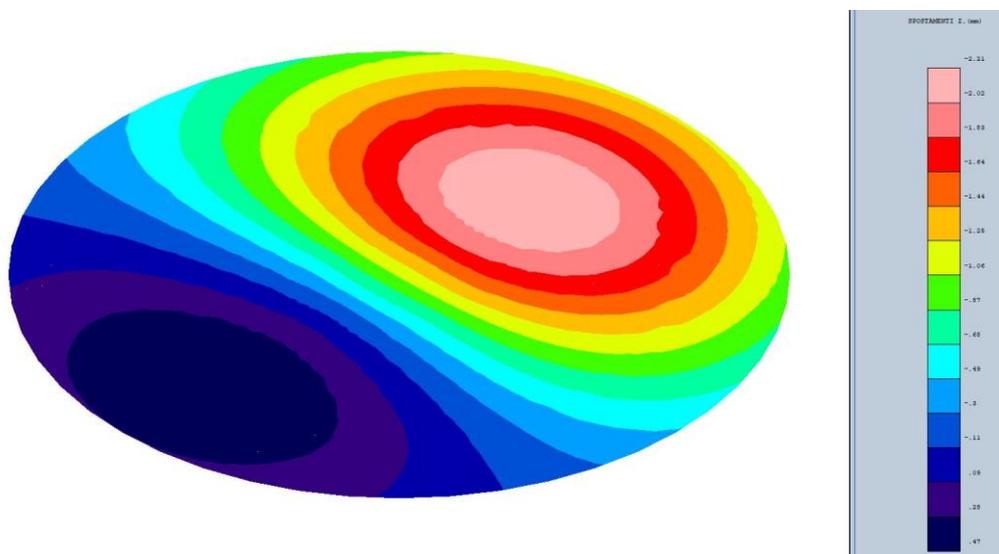
**b – CEDIMENTI ATTESI**

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



Spostamento massimo SLE:  $w_1 = 0.71 \text{ mm}$

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

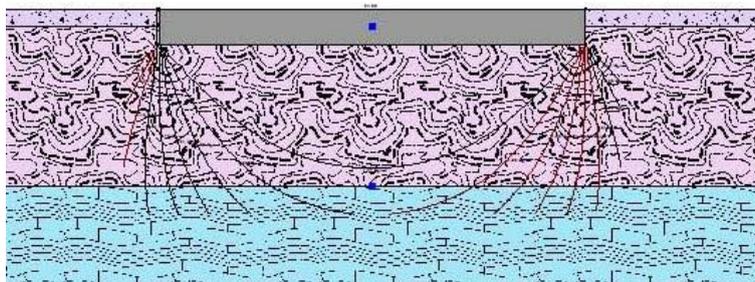


Spostamento massimo SLE:  $w_{es} = 2.21 \text{ mm}$

<b>COMMITTENTE</b> Sorgenia Renewables S.r.l. Via Algardi, 4 - 20148 Milano (MI) sorgeniarenewables@sorgenia.it	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO NEI COMUNI DI SENEGHE E NARBOLIA POTENZA MASSIMA IN IMMISSIONE DI 75 MW COMPRESIVA DI SISTEMA DI ACCUMULO O INTEGRATO DA 15,60 MW	<b>COD. ELABORATO</b> SR-NS-RC3
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI	<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 19 di 20

## VERIFICA DI RESISTENZA DEL TERRENO (GEO)

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



### DATI GENERALI

```
=====
```

Diametro della fondazione	24.50 m
Profondità piano di posa	3.00 m
Altezza di incastro	0.60 m
Pressione massima sul terreno	3.21 kg/cm <sup>2</sup>
Cedimento massimo atteso	2.21 mm

```
=====
```

La presenza del substrato lapideo offre una resistenza di progetto molto alta, i cedimenti massimi sono trascurabili.

<b>COMMITTENTE</b> Sorgenia Renewables S.r.l. Via Algardi, 4 - 20148 Milano (MI) sorgeniarenewables@sorgenia.it 	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO NEI COMUNI DI SENEGHE E NARBOLIA POTENZA MASSIMA IN IMMISSIONE DI 75 MW COMPRESIVA DI SISTEMA DI ACCUMULO O INTEGRATO DA 15,60 MW	<b>COD. ELABORATO</b> SR-NS-RC3
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI	<b>TITOLO</b> CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	<b>PAGINA</b> 20 di 20

## 8 CONCLUSIONI

Il presente elaborato contiene i calcoli preliminari delle strutture di fondazione degli aerogeneratori previsti nel progetto del Parco eolico nei Comuni di Seneghe e Narbolia proposto dalla società Sorgenia Renewables S.r.l..

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:

- nei siti di installazione degli aerogeneratori in progetto è stata verificata una fondazione diretta a pianta circolare, avente diametro di 24.50 m e spessore massimo pari a 2.80 metri;
- la presenza di un substrato roccioso offre una resistenza di progetto molto elevata ed i cedimenti massimi sono trascurabili;
- nei siti di installazione in cui, nell'ambito delle indagini geologiche e geotecniche da condursi nella fase più avanzata della progettazione, fosse rinvenuta alla quota di posa del basamento la presenza della coltre detritica superficiale di spessore superiore al valore ipotizzato, la profondità di scavo dovrà essere opportunamente incrementata e la quota ottimale di posa potrà essere recuperata con calcestruzzo magro dello spessore necessario (50÷100 cm).

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.