

Aregu Wind Srl

[Ottobre 2022]

Parco Eolico Aregu sito nei Comuni di Giave, Cossoine e Cheremule (SS)

Calcoli preliminari di dimensionamento delle strutture



Regione Autonoma della Sardegna

Comune di Giave

Comune di Cossoine

Comune di Cheremule



Committente:

Aregu Wind Srl

Aregu Wind Srl

Via Sardegna,40

00187 Roma

Titolo del Progetto:

Parco Eolico Aregu sito nei Comuni di Giave, Cossoine e Cheremule (SS)

Documento:

**Calcoli preliminari di
dimensionamento delle strutture**

N° Documento:

IT-VesAre-CLP-CIV-TR-16

Progettista:

**STUDIO DI
PROGETTAZIONE ING.
MAURIZIO CONTU**

Via Portoscals, 33
09124 Cagliari (CA)

Tel. +39 070 4511580

Mob. +39 3388487648

e-mail: contumaurizio@gmail.com

Progettista:

Ing. Maurizio Contu



Progetto strutture in c.a.:



I.A.T. Consulenza e progetti S.r.l. Unipersonale
Sede Legale: Via Giua s.n.c. - Z.I. CACIP - 09122 Cagliari
C.C.I.A.A. Cagliari n. 221254 - P.I. 02748010929
Tel. /Fax +39.070.658297
Email: info@iatprogetti.it
PEC iat@pec.it
Web: www.iatprogetti.it

Ing. Giuseppe Frongia



Rev	DataRevisione	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato

Sommario

<u>1</u>	<u>Premessa</u>	4
<u>2</u>	<u>Aspetti generali</u>	5
<u>3</u>	<u>Normativa di riferimento</u>	7
<u>4</u>	<u>Caratterizzazione geologica e geotecnica</u>	8
<u>5</u>	<u>Stratigrafia di progetto</u>	12
<u>6</u>	<u>Carichi di progetto</u>	13
<u>7</u>	<u>Verifica stabilita' globale (EQU)</u>	15
<u>8</u>	<u>Verifica di resistenza della fondazione superficiale (STR)</u>	18
<u>9</u>	<u>Verifica di resistenza del terreno (GEO)</u>	22
<u>10</u>	<u>Conclusioni</u>	23

Aregu Wind Srl	Ing. Maurizio Contu	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-01	Rev 0	Pagina 4 di 23
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	-------------------

Premessa

Il presente elaborato contiene i calcoli preliminari delle strutture di fondazione degli aerogeneratori previsti nel progetto del Parco eolico denominato "AREGU", proposto dalla società *AREGU WIND* Srl, da installare nei comuni di Giave, Cheremule e Cossoine (SS); 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. 11 aerogeneratori riferibili indicativamente al modello:

Vestas EnVentus V162-6.0, con potenza nominale pari a 6 MW, altezza al mozzo pari a 125 m e altezza complessiva di 206 m (comprensiva della pala di 81 m).

Le verifiche strutturali per il plinto di fondazione sono basate sulle azioni di progetto indicate dal costruttore Vestas per il modello V162-6.0 MW; le azioni di progetto sono state desunte dallo specifico fascicolo sui carichi in fondazione fornito dal costruttore.

Aregu Wind Srl	Ing. Maurizio Contu	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-01	Rev 0	Pagina 5 di 23
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	-------------------

Aspetti generali

Il progetto proposto prevede l'installazione di n. 11 turbine di grande taglia, riferibili indicativamente al modello Vestas EnVentus V162-6.0 MW, posizionate su torri di sostegno dell'altezza indicativa 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 500÷600 m s.l.m.

Ai fini delle presenti verifiche strutturali sono state considerate le azioni massime fornite dal costruttore Vestas. 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 substrati rocciosi fratturati, coperti localmente da terre mediamente addensate.

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 25 metri.

La fondazione oggetto di verifica è sostanzialmente una piastra circolare a sezione variabile con spessore massimo al centro, pari a circa 350 cm, e spessore minimo al bordo, pari a 50 cm.

La porzione centrale, denominata "colletto", presenta altezza costante di 3.50 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, 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).

Aregu Wind Srl	Ing. Maurizio Contu	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-01	Rev 0	Pagina 6 di 23
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	-------------------

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.

Aregu Wind Srl	Ing. Maurizio Contu	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-01	Rev 0	Pagina 7 di 23
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	-------------------

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.

Caratterizzazione geologica e geotecnica

Modello Geotecnico di riferimento

I calcoli strutturali delle fondazioni fanno riferimento ai dati contenuti nella relazione geologica e geotecnica preliminare redatta dalla Dott.ssa Geol. Cosima Atzori (Gaia Consulting).

L'area di sedime che ospiterà l'intervento è caratterizzata dalla presenza predominante di substrati rocciosi da fratturati a sani, coperti localmente da terre poco e mediamente addensate.

Salvo gli opportuni ed obbligatori accertamenti nella fase più avanzata della progettazione, sono stati individuati quattro modelli geologico - tecnici formati da una successione di strati di terre addensate e roccia da fratturata a sana nei substrati più profondi.

Si riportano le caratteristiche meccaniche:

Modello Geotecnico n. 01

Strato 1 – Roccia tenera e/o fratturata – profondità: 0.00 / -2.00 m

Peso di volume = 17,00 kN/m³

Angolo attrito interno $\phi = 22^\circ$

Modulo elastico E = 1000 MPa

Coesione c = 1.21 MPa

Strato 2 – Roccia tenera e/o intensamente fratturata – profondità: -2.00 m / -8.50 m

Peso di volume = 18,00 kN/m³

Angolo attrito interno $\phi = 26^\circ$

Modulo elastico E = 2190 MPa

Coesione c = 2.0 MPa

Strato 3 – Roccia intensamente fratturata – profondità: -8.50 / -17.40 m

Peso di volume = 20,00 kN/m³

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

Modulo elastico E = 3590 MPa

Coesione c = 2.8 MPa

Strato 4 – Substrato roccioso fratturato – profondità: -17.40 m / -33.10 m

Peso di volume = 22,00 kN/m³

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

Modulo elastico E = 5000 MPa

Coesione c = 3.2 MPa

Strato 5 – Substrato roccioso sano – profondità: da -33.10 m in poi

Peso di volume = 23,00 kN/m³

Aregu Wind Srl	Ing. Maurizio Contu	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-01	Rev 0	Pagina 9 di 23
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	-------------------

Angolo attrito interno $\phi = 43^\circ$
Modulo elastico $E = 15583 \text{ MPa}$
Coesione $c = 3.6 \text{ MPa}$

Modello Geotecnico n. 02

Strato 1 – Terre poco addensate – profondità: 0.00 / -6.20 m

Peso di volume = $16,00 \text{ kN/m}^3$
Angolo attrito interno $\phi = 24^\circ$
Modulo elastico $E = 363 \text{ MPa}$
Coesione $c = 0.075 \text{ MPa}$

Strato 2 – Terre mediamente addensate – profondità: -6.20 m / -12.30 m

Peso di volume = $17,00 \text{ kN/m}^3$
Angolo attrito interno $\phi = 32^\circ$
Modulo elastico $E = 683 \text{ MPa}$
Coesione $c = 7.7 \text{ MPa}$

Strato 3 – Roccia tenera intensamente fratturata – profondità: -12.30 / -17.40 m

Peso di volume = $19,00 \text{ kN/m}^3$
Angolo attrito interno $\phi = 35^\circ$
Modulo elastico $E = 1706 \text{ MPa}$
Coesione $c = 10 \text{ MPa}$

Strato 4 – Substrato roccioso intensamente fratturato – profondità: -17.40 m / -36.00 m

Peso di volume = $19,50 \text{ kN/m}^3$
Angolo attrito interno $\phi = 39^\circ$
Modulo elastico $E = 2888 \text{ MPa}$
Coesione $c = 22 \text{ MPa}$

Strato 5 – Substrato roccioso sano – profondità: da -36 m in poi

Peso di volume = $21,00 \text{ kN/m}^3$
Angolo attrito interno $\phi = 42^\circ$
Modulo elastico $E = 8198 \text{ MPa}$
Coesione $c = 25 \text{ MPa}$

Modello Geotecnico n. 03Strato 1 – Terre molto addensate – profondità: 0.00 / -0.40 mPeso di volume = 18,00 kN/m³Angolo attrito interno $\phi = 29^\circ$

Modulo elastico E = 1726MPa

Coesione c = 0.4 MPa

Strato 2 – Substrato roccioso fratturato – profondità: -0.40 m / -3.40 mPeso di volume = 19,00 kN/m³Angolo attrito interno $\phi = 36^\circ$

Modulo elastico E = 10434 MPa

Coesione c = 14 MPa

Strato 3 – Substrato roccioso sano – profondità: da -3.40m / -22.90 mPeso di volume = 21,00 kN/m³Angolo attrito interno $\phi = 41^\circ$

Modulo elastico E = 20000 MPa

Coesione c = 26 MPa

Strato 4 – Substrato roccioso sano – profondità: da -22.90 m in poiPeso di volume = 22,00 kN/m³Angolo attrito interno $\phi = 49^\circ$

Modulo elastico E = 36668 MPa

Coesione c = 32 MPa

Modello Geotecnico n. 04**Strato 1 – Terre poco addensate – profondità: 0.00 / -2.30 m**Peso di volume = 16,00 kN/m³Angolo attrito interno $\phi = 24^\circ$

Modulo elastico E = 284 MPa

Coesione c = 0.075 MPa

Strato 2 – Terre mediamente addensate – profondità: -2.30 m / -12.70 mPeso di volume = 17,00 kN/m³Angolo attrito interno $\phi = 32^\circ$

Modulo elastico E = 461 MPa

Coesione c = 7.7 MPa

Strato 3 – Roccia tenera intensamente fratturata – profondità: -12.70 / -17.20 mPeso di volume = 18,00 kN/m³Angolo attrito interno $\phi = 35^\circ$

Modulo elastico E = 932 MPa

Coesione c = 10 MPa

Strato 4 – Roccia tenera intensamente fratturata – profondità: -17.20 m / -37.30 mPeso di volume = 19,50 kN/m³Angolo attrito interno $\phi = 39^\circ$

Modulo elastico E = 2217 MPa

Coesione c = 22 MPa

Strato 5 – Substrato roccioso debolmente fratturato – profondità: da -37.30 m in poiPeso di volume = 21,00 kN/m³Angolo attrito interno $\phi = 42^\circ$

Modulo elastico E = 7532 MPa

Coesione c = 25 MPa

Aregu Wind Srl	Ing. Maurizio Contu	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-01	Rev 0	Pagina 12 di 23
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

Stratigrafia di progetto

Il piano di appoggio del basamento di fondazione è previsto a quota pari a circa – 4.00 m; si rimanda alle successive fasi della progettazione la valutazione dei dati puntuali per ogni singola piazzola di installazione.

I parametri geotecnici considerati cautelativamente nel calcolo preliminare della fondazione diretta sono quelli riferibili allo Strato 2 del Modello Geotecnico n. 04, che sebbene abbia un valore dell'angolo di attrito superiore allo Strato 2 del Modello Geotecnico n. 01, rispetto a questo presenta un Modulo elastico ben più basso:

Strato 2 – Terre mediamente addensate – profondità: -2.30 m / -12.70 m

Peso di volume = 17,00 kN/m³

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

Modulo elastico E = 461 MPa

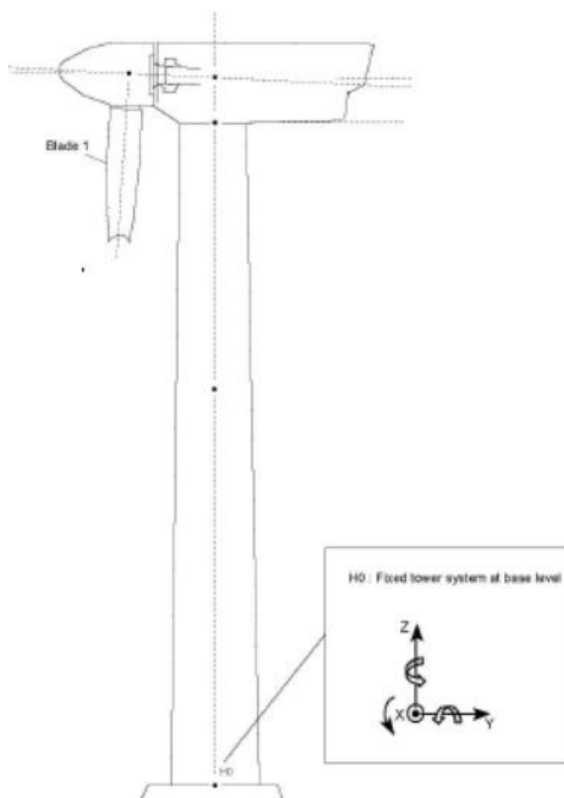
Coesione c = 7.7 MPa

Per i terreni indagati i Geologi hanno calcolato velocità diverse delle onde di taglio nei vari Modelli geotecnici, per i quali si può considerare l'appartenenza alla Categoria di sottosuolo "B" per gli strati più superficiali ed alla Categoria di sottosuolo "A" per quelli più profondi.

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.



Characteristic Extreme							
Lead	LC/Family	PLF	Type	Mbt	Mzt	FndFr	Fzt
Sensor	[-]	[-]	[-]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]
Mbt	14Ecdvraa00(fam89)	1.35	Abs	147900	3222	1142	-6853
Mzt	23NTMSCHWO100(fam216)	1.35	Abs	43280	-16550	475.0	-6595
FndFr	1314etm00(fam81)	1.35	Abs	127100	-2004	1252	-6863
Fzt	12IceUHWO100(fam70)	1.35	Abs	67050	-2263	502.1	-7071

Nella tabella precedente sono definite le azioni caratteristiche dei carichi massimi 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.

Aregu Wind Srl	Ing. Maurizio Contu	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-01	Rev 0	Pagina 14 di 23
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

In assenza di specifiche indicazioni in questa fase si considerano i carichi precedenti (*extreme loads*) calcolati per le condizioni climatiche riportate nella tabella seguente (riferita ad aerogeneratori di altri costruttori ma di caratteristiche similari).

Description	Unit	Value	Value
Design code	-	IEC-61400-1 Ed3	IEC-61400-1 Ed3
IEC Class	-	3A	3B
Design life time according to IEC	years	20	25
Annual average wind speed at hub height, V_{avc}	m/s	7.5	7.5
Extreme wind speed at hub height (10-min with 50 years return period), V_{ref}	m/s	37.5	37.5
Mean turbulence intensity at 15 m/s, I_{ref}	-	0.16	0.14
Average air density, ρ	kg/m ³	1.225	1.225

Table 1 Design code information and climatic conditions

Le predette condizioni climatiche sono da considerare quale condizione limite per poter installare questo la Torre in progetto 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 le condizioni limite specificate nella tabella.

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 Sassari - comune di Giave

$$a_s = 600 \text{ m s.l.m.m.} \quad a_{s, \max} = a_s + 206 \text{ (altezza mozzo + raggio rotore)} = 806 \text{ m}$$

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):

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

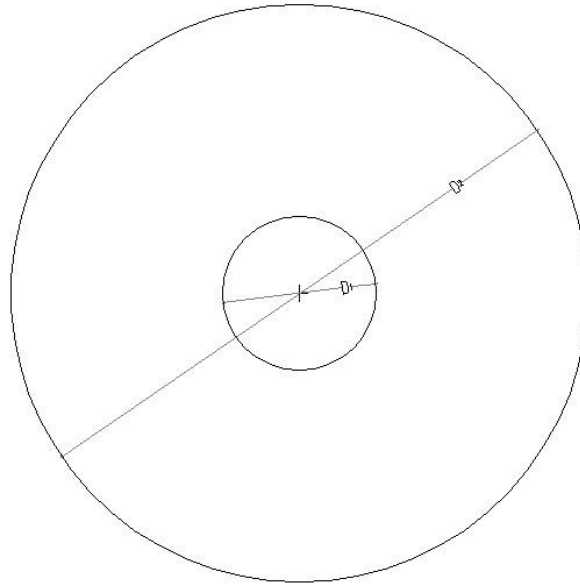
Velocità massima indicata dal produttore (10 min, 50 anni T_r):

$$V_{ref} = 37.5 \text{ m/s}$$

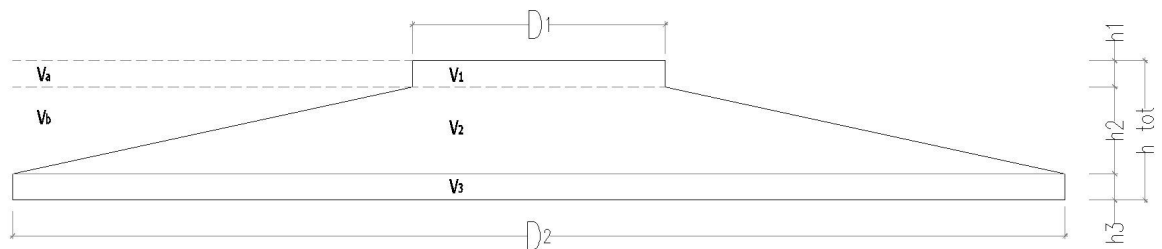
La velocità massima per la Classe IEC 3 è superiore a quella prevista dalla normativa vigente per il sito in progetto, la verifica di compatibilità è dunque soddisfatta.

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 =	$d_2 = 25.00 \text{ m}$
altezza colletto =	$h_1 = 0.50 \text{ m}$
altezza intermedia =	$h_2 = 2.50 \text{ m}$
altezza alla base =	$h_3 = 0.50 \text{ m}$
altezza totale =	$h_{\text{tot}} = 3.50 \text{ m}$

Aregu Wind Srl	Ing. Maurizio Contu	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-01	Rev 0	Pagina 16 di 23
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

A - VERIFICA AL RIBALTAMENTO FONDAZIONE SUPERFICIALE

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

CARICHI VERTICALI

Peso del basamento

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

$$G_1 = 19'750 \text{ kN}$$

Peso del terreno di ricoprimento

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

$$G_2 = 14'100 \text{ kN}$$

Peso della torre

$$V = 7'071 \text{ kN}$$

AZIONI PER LA CONDIZIONE DI CARICO EQU

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

$G_1 = 19'750 \text{ kN}$	$G_2 = 14'100 \text{ kN}$
---------------------------	---------------------------

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

$M = 147'900 \text{ kNm}$	$H = 1'252 \text{ kN}$	$V = 7'071 \text{ kN}$
---------------------------	------------------------	------------------------

MOMENTO STABILIZZANTE

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

$$M_{STA} = (0.9 \times 19'750 + 0.8 \times 0 + 0.9 \times 7'071) \times 12.50 = 301'700 \text{ kNm}$$

MOMENTO RIBALTANTE

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

$$M_{RIB} = 1.5 \times (147'900 + 1'252 \times 3.5) = 228'423 \text{ kNm}$$

Coefficiente di sicurezza:

$$M_{STA} / M_{RIB} = 1.32$$

Verifica soddisfatta senza considerare il peso stabilizzante del rilevato.

B – VERIFICA SCORRIMENTO FONDAZIONE SUPERFICIALE

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

Risultante forze che attivano lo scorrimento:

$$H = 1'252 \text{ kN}$$

$$F_{scr} = \gamma_q \times H = 1'878 \text{ kN}$$

Risultante forze che si oppongono allo scorrimento:

Peso della torre

$$V = 7'071 \text{ kN}$$

Peso del basamento

$$G_1 = 19'750 \text{ kN}$$

Peso del terreno di ricoprimento

$$G_2 = 14'100 \text{ kN}$$

Angolo di attrito terreno/fondazione

$$\phi = 32^\circ$$

$$\phi' = 0.5 \phi$$

$$F_{sta} = \tan \phi' \times (\gamma_{G1} \times G_1 + \gamma_{G2} \times G_2) = 6'921 \text{ kN}$$

Coefficiente di sicurezza:

$$F_{sta} / F_{scr} = 3.68$$

Verifica soddisfatta senza considerare il peso stabilizzante del rilevato.

Verifica di resistenza della fondazione superficiale (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 10 kg/cm^3 .

COMBINAZIONE DI CARICO 1 – (SLE)

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

$G_1 = 19'750 \text{ kN}$	$G_2 = 14'100 \text{ kN}$
---------------------------	---------------------------

COMBINAZIONE DI CARICO 2 – (SLE)

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

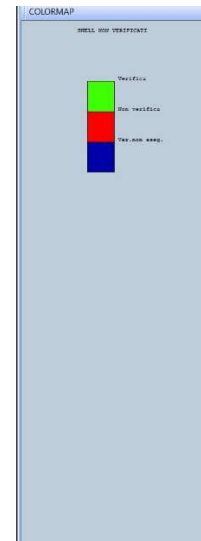
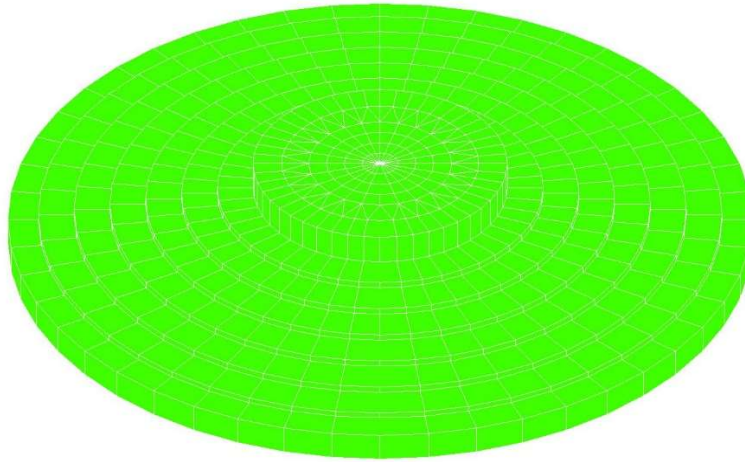
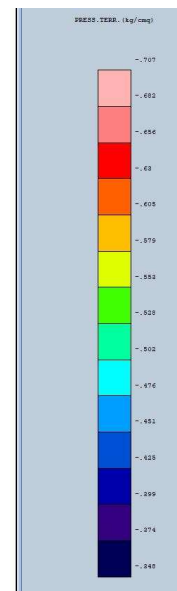
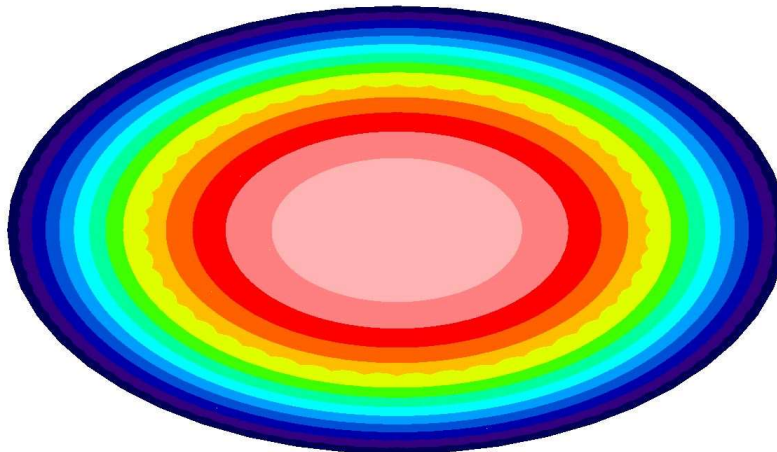
$G_1 = 19'750 \text{ kN}$	$G_2 = 14'100 \text{ kN}$	$V = 7'071 \text{ kN}$
$M = 147'900 \text{ kNm}$	$H = 1'252 \text{ kN}$	$M_T = 3'222 \text{ kNm}$

COMBINAZIONE DI CARICO 3 – (SLU)

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

$G_1 = \gamma_{G1} \times 19'750 \text{ kN}$	$G_2 = \gamma_{G2} \times 14'100 \text{ kN}$	$V = \gamma_{G2} \times 7'071 \text{ kN}$
$M = \gamma_q \times 147'900 \text{ kNm}$	$H = \gamma_q \times 1'252 \text{ kN}$	$M_T = \gamma_q \times 3'222 \text{ kNm}$

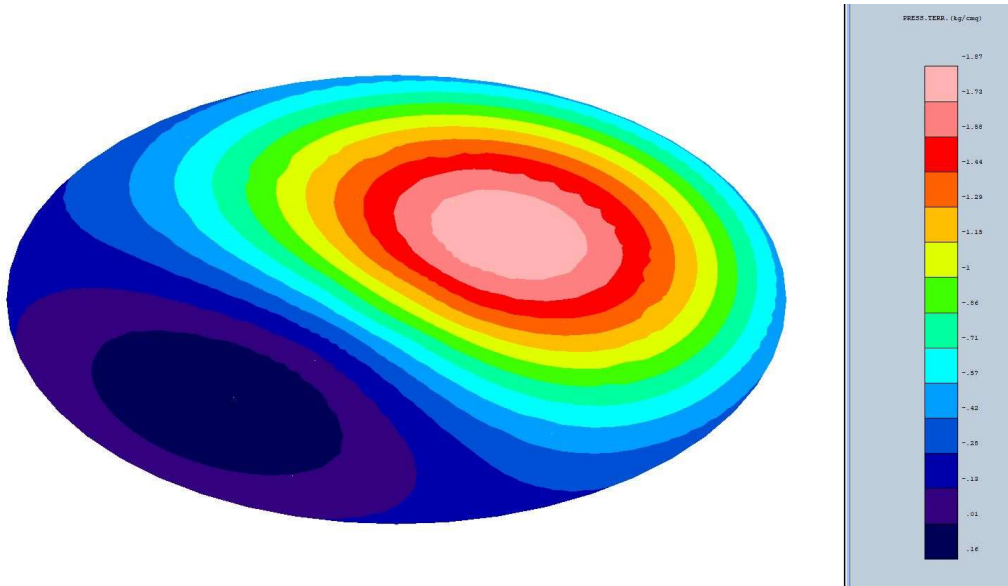
$\gamma_{G1} = 1.3$	$\gamma_{G2} = 1.5$	$\gamma_q = 1.50$
---------------------	---------------------	-------------------

COLORMAP VERIFICHE ELEMENTI SHELL***a* – PRESSIONI DI CONTATTO****COLORMAP PRESSIONI DI CONTATTO COMBINAZIONE 1 (P.P. + PERM.)**

Pressione di contatto SLE:

$$\sigma_{pp} = 0.71 \text{ kg/cm}^2$$

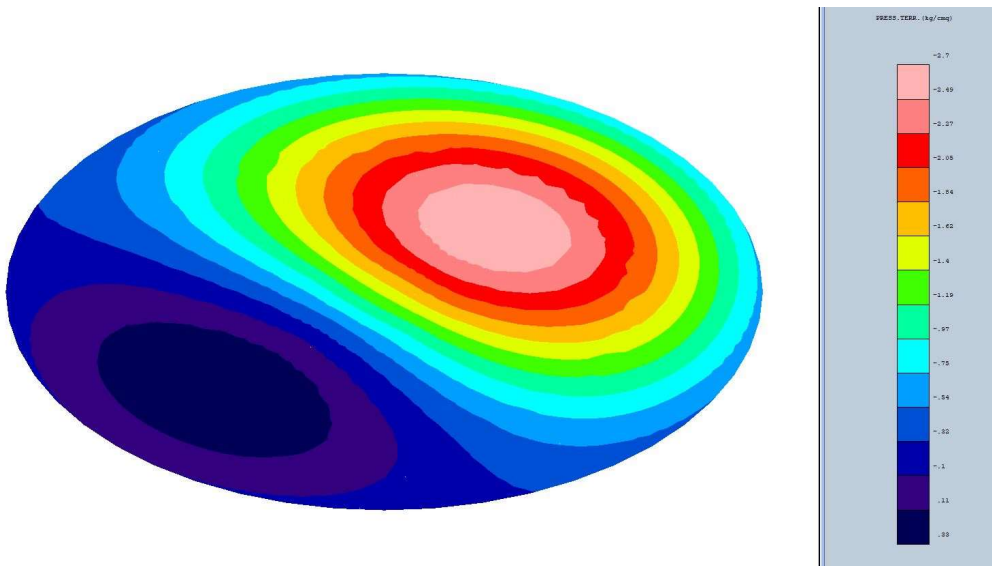
COLORMAP PRESSIONI DI CONTATTO COMBINAZIONE 2 (P.P. + PERM. + AZIONI TORRE)



Pressione di contatto SLE:

$$\sigma_{es} = 1.87 \text{ kg/cm}^2$$

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

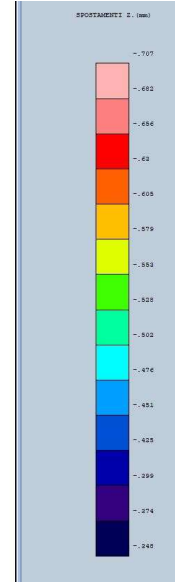
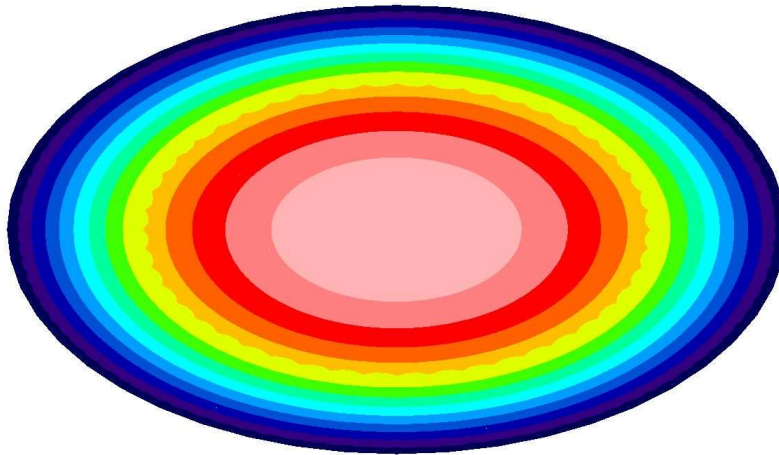


Pressione di contatto SLU:

$$\sigma_{max} = 2.70 \text{ kg/cm}^2$$

b – CEDIMENTI ATTESI

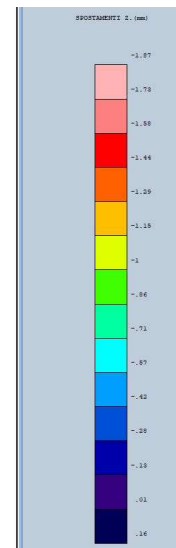
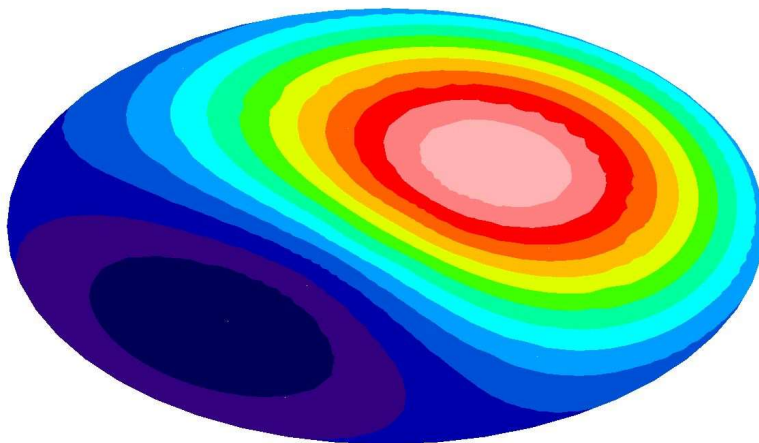
COLORMAP SPOSTAMENTI VERTICALI COMBINAZIONE 1 (P.P. + PERM.)



Spostamento massimo SLE:

 $w_1 = 0.71 \text{ mm}$

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

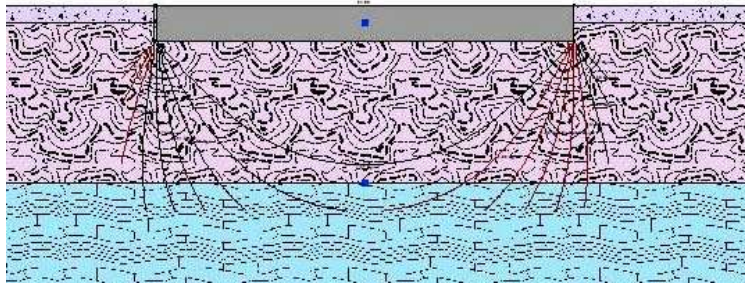


Spostamento massimo SLE:

 $w_{es} = 1.87 \text{ mm}$

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	25.0 m
Profondità piano di posa	4.00 m
Altezza di incastro	1.0 m
Pressione massima sul terreno	2.70 kg/cm ²
Cedimento massimo atteso	1.87 mm

```
=====
```

La presenza di terre addensate e soprattutto del substrato roccioso, seppur fratturato, offre una resistenza di progetto alta, i cedimenti massimi sono trascurabili.

Aregu Wind Srl	Ing. Maurizio Contu	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-01	Rev 0	Pagina 23 di 23
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

Conclusioni

Il presente elaborato contiene i calcoli preliminari delle strutture di fondazione degli aerogeneratori previsti nel progetto del Parco eolico "AREGU", proposto dalla società *AREGU WIND* Srl, da installare nei comuni di Giave, Cheremule e Cossoine (SS).

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 25.00 m e spessore massimo pari a 3.50 metri;
- la presenza di un substrato roccioso seppur fratturato 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 di materiale poco addensato di spessore superiore agli strati descritti in relazione geologica, 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.