

**REGIONE PUGLIA
CITTÀ METROPOLITANA DI BARI
COMUNE DI ALTAMURA**



Committente: **R2R**
GRUPPO a2a
R2R S.r.l. (gruppo a2a)
Piazza Manifattura n. 1
38068 - Rovereto (TN)

Titolo del Progetto:

PARCO EOLICO SERRA DI MELE

Documento: PROGETTO DEFINITIVO

N° Documento: R2R-WSDM-RC3

ID PROGETTO:	R2R-WSDM	SEZIONE:	C	TIPOLOGIA:	T	FORMATO:	A4
--------------	----------	----------	---	------------	---	----------	----

Elaborato: **CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO
DELLE STRUTTURE**

FOGLIO:	1 di 1	SCALA:	-	Nome file:	YDUOL75_R2R-WSDM-RC3
---------	--------	--------	---	------------	----------------------

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 (studio acustico)
IPOOL S.r.l. (monitoraggio acustico)
Dott. Geol. Francesca Lobina (Geologia)
Dott. Agr. Barnaba Marinosci (Agronomia)

Dott. Biol. Leonardo Beccarisi (Vegetazione)
Dott. Fabio Mastropasqua (Fauna e VINCA)
Nostoi S.r.l. (Archeologia)



Rev:	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
0	Nov.2023	Prima emissione	IAT	IAT	R2R

COMMITTENTE R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		OGGETTO PARCO EOLICO SERRA DI MELE PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO R2R-WSDM-RC3
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	PAGINA 2 di 23	

INDICE

1	PREMESSA	3
2	ASPETTI GENERALI.....	4
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
4	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA.....	7
5	CARICHI DI PROGETTO.....	10
6	VERIFICA STABILITA' GLOBALE (EQU).....	12
7	VERIFICA DI RESISTENZA DELLA FONDAZIONE (STR)	17
8	VERIFICA DI RESISTENZA DEL TERRENO (GEO).....	22
9	CONCLUSIONI	23

COMMITTENTE R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		OGGETTO PARCO EOLICO SERRA DI MELE PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO R2R-WSDM-RC3
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	PAGINA 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 “Serra di Mele”, proposto dalla società R2R S.r.l., da installare nel comune di Altamura, Città Metropolitana di Bari; 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. 6 aerogeneratori con potenza nominale di 6.6 MW, diametro del rotore pari a 170 m ed altezza al mozzo pari a 115 metri.

Le verifiche strutturali per il plinto di fondazione sono basate sulle azioni di progetto indicate dal costruttore Siemens Gamesa per il modello tipo 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 ".

COMMITTENTE R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		OGGETTO PARCO EOLICO SERRA DI MELE PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO R2R-WSDM-RC3
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	PAGINA 4 di 23	

2 ASPETTI GENERALI

Il progetto proposto prevede l'installazione di n. 6 turbine di grande taglia, potenza nominale pari a 6.6 MW, diametro del rotore pari a 170 m, posizionate su torri di sostegno dell'altezza pari a 115 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 350 ÷ 450 m s.l.m.

Ai fini delle presenti verifiche strutturali sono state considerate le azioni massime fornite dal costruttore nel documento "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.

Le aree di intervento sono caratterizzate dalla presenza di una copertura detritica di natura eluvio-colluviale, di spessore da metrico a plurimetrico, che copre un complesso di rocce terrigene conglomeratiche, arenacee, sabbiose ma anche argillose, da debolmente a mediamente consolidate.

Nei siti di installazione nei quali il piano di posa del basamento risulta inserito nelle Arenarie (Unità E) o nel Basamento Carbonatico (Unità F) è prevista in progetto una fondazione diretta a pianta circolare, nei siti in cui invece ricorre la presenza dei Depositi conglomeratici (Unità B) o delle Sabbie (Unità C) o delle Argille (Unità D) è prevista in progetto una fondazione profonda su pali.

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 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

COMMITTENTE R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		OGGETTO PARCO EOLICO SERRA DI MELE PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO R2R-WSDM-RC3
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	PAGINA 5 di 23	

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 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.

COMMITTENTE R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		OGGETTO PARCO EOLICO SERRA DI MELE PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO R2R-WSDM-RC3
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	PAGINA 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 state eseguite 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.

COMMITTENTE R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		OGGETTO PARCO EOLICO SERRA DI MELE PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO R2R-WSDM-RC3
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	PAGINA 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 dalla Geologa Maria Francesca Lobina.

L'area di intervento è caratterizzata dalla presenza di una copertura detritica di natura eluvio-colluviale, di spessore da metrico a plurimetrico, che copre un complesso di rocce terrigene conglomeratiche, arenacee, sabbiose ed anche argillose, da debolmente a mediamente consolidate.

La sequenza litologica locale, valida in modo estensivo alla scala del progetto ma non limitativa per l'ordine stratigrafico (stante gli accavallamenti e i rapporti eteropici tra le varie unità) è la seguente, a partire dall'alto:

- **A** Copertura detritica eluvio-colluviale e suoli
- **B** Depositi conglomeratici
- **C** Sabbie marine
- **D** Argille
- **E** Arenarie e calcareniti
- **F** Basamento carbonatico

Salvo gli opportuni ed obbligatori accertamenti nella fase più avanzata della progettazione, sono state individuate cinque distinte tipologie di terreni direttamente interagenti con le strutture di fondazione e per le quali si riportano le caratteristiche meccaniche.

Unità B – Depositi conglomeratici

Peso specifico = 19,50 ÷ 20,00 kN/m³

Angolo attrito interno φ = 34° ÷ 37°

Modulo elastico E = 250 ÷ 350 daN/cm²

Coesione c = 0.00 ÷ 0.05 daN/cm²

Unità C – Sabbie marine

Peso specifico = 18 ÷ 19 kN/m³

COMMITTENTE R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		OGGETTO PARCO EOLICO SERRA DI MELE PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO R2R-WSDM-RC3
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	PAGINA 8 di 23	

Angolo attrito interno $\varphi = 30^\circ \div 32^\circ$

Modulo elastico $E = 300 \div 350 \text{ daN/cm}^2$

Coesione $c = 0.05 \div 0.10 \text{ daN/cm}^2$

Unità D – Argille

Peso specifico = $19,50 \div 20 \text{ kN/m}^3$

Angolo attrito interno $\varphi = 18^\circ \div 20^\circ$

Modulo elastico $E = 120 \div 150 \text{ daN/cm}^2$

Coesione $c = 0.20 \div 0.50 \text{ daN/cm}^2$

Unità E – Arenarie e calcareniti

Peso specifico = 22 kN/m^3

Angolo attrito interno $\varphi = 34^\circ \div 38^\circ$

Modulo elastico $E = 1000 \text{ daN/cm}^2$

Coesione $c = 1.00 \div 1.50 \text{ daN/cm}^2$

Unità F – Basamento carbonatico

Peso specifico = 23 kN/m^3

Angolo attrito interno $\varphi = 33^\circ - 38^\circ$

Modulo elastico $E = 5000 \text{ daN/cm}^2$

Coesione $c = 1.50 \div 2.50 \text{ daN/cm}^2$

COMMITTENTE R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		OGGETTO PARCO EOLICO SERRA DI MELE PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO R2R-WSDM-RC3
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	PAGINA 9 di 23	

Stratigrafia di progetto

Nei siti di installazione nei quali il piano di posa risulta inserito nelle Arenarie (Unità E) o nel Basamento Carbonatico (Unità F), è prevista in progetto 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 22.00 kN/m³

Angolo attrito interno $\varphi = 33^\circ$

Coesione $c = 0$ daN/cm²

Modulo elastico $E = 1000$ daN/cm²

Nei siti di installazione nei quali ricorre la presenza dei Depositi conglomeratici (Unità B) o delle Sabbie (Unità C) o delle Argille (Unità D) è prevista in progetto 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:

Peso specifico 19.00 kN/m³

Angolo attrito interno $\varphi = 18^\circ$

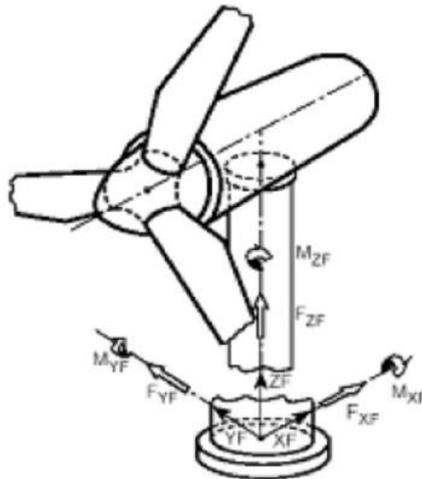
Coesione $c = 0$ daN/cm²

COMMITTENTE R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		OGGETTO PARCO EOLICO SERRA DI MELE PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO R2R-WSDM-RC3
 www.iatprogetti.it		TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	PAGINA 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)
Dlc22_3bn_V11.0_n_s7	1,1	1688,55	55,55	-7508,71	1689,47	4580,25	196184,46	412,39	196237,91
Dlc22_3bn_V11.0_n_s7	1.0	1535,05	50,5	-6826,1	1535,88	4163,87	178349,5	374,9	178398,1

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.

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

COMMITTENTE R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		OGGETTO PARCO EOLICO SERRA DI MELE PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO R2R-WSDM-RC3
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it		TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	PAGINA 11 di 23

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, ρ	kg/m ³	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 Puglia - Comune di Altamura - Città Metropolitana di Bari

$a_s = 450$ m s.l.m.m. $a_{s, max} = a_s + 200$ (altezza al mozzo + raggio) = 650 m

Zona Climatica di riferimento = 3 $v_{b,0} = 27$ m/s

$a_0 = 500$ m $k_s = 0.37$ $C_a = 1 + k_s (a_{s, max} / a_0 - 1)$ $C_a = 1.11$

per $a_s > a_0$ $v_b = C_a \times v_{b,0} \times C_r$ $C_r = 0.75 \times (1 - 0.2 \times \ln(-\ln(1 - 1 / T_r)))^{1/2}$ $C_r = 1.04$

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

$v_b = 31.20$ m/s

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

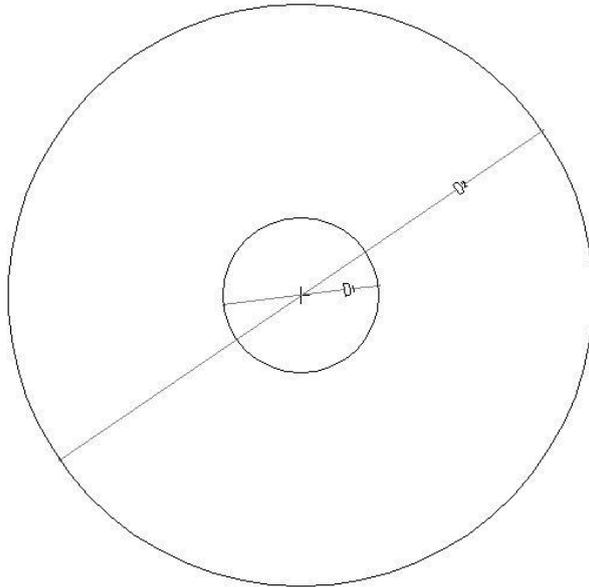
$V_{ref} = 37.50$ m/s

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.

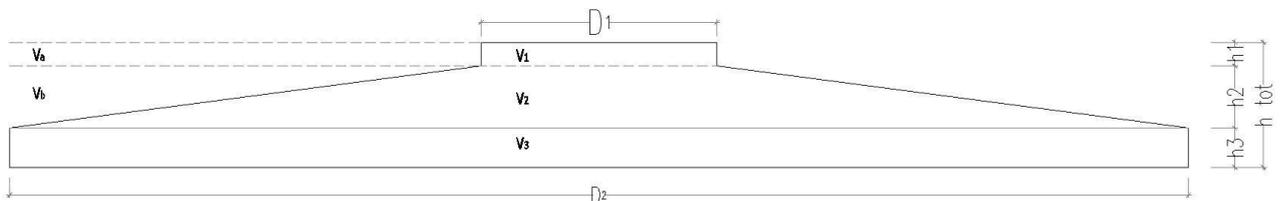
COMMITTENTE R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		OGGETTO PARCO EOLICO SERRA DI MELE PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO R2R-WSDM-RC3
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	PAGINA 12 di 23	

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 =	$h_{tot} = 2.80 \text{ m}$

COMMITTENTE R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		OGGETTO PARCO EOLICO SERRA DI MELE PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO R2R-WSDM-RC3
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	PAGINA 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.

COMMITTENTE R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		OGGETTO PARCO EOLICO SERRA DI MELE PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO R2R-WSDM-RC3
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	PAGINA 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.

COMMITTENTE R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		OGGETTO PARCO EOLICO SERRA DI MELE PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO R2R-WSDM-RC3
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	PAGINA 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 $A = \text{cost.} = 5024 \text{ cm}^2$),

γ = 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

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

h_i = profondità dei vari strati attraversati

COMMITTENTE R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		OGGETTO PARCO EOLICO SERRA DI MELE PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO R2R-WSDM-RC3
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	PAGINA 16 di 23	

γ^l_1 = peso specifico del terreno immerso dei vari strati

h_1 = 16.00 m (*argille o sabbie*)

γ^l_1 = 1900 kg/m³

q_L = 30.400 kg/m²

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:

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

COMMITTENTE R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		OGGETTO PARCO EOLICO SERRA DI MELE PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO R2R-WSDM-RC3
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	PAGINA 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.

COMMITTENTE R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		OGGETTO PARCO EOLICO SERRA DI MELE PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO R2R-WSDM-RC3
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	PAGINA 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 una costante di winkler pari a 8 kg/cm³.

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)

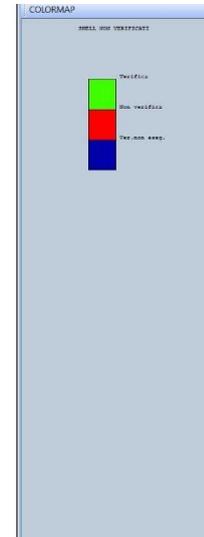
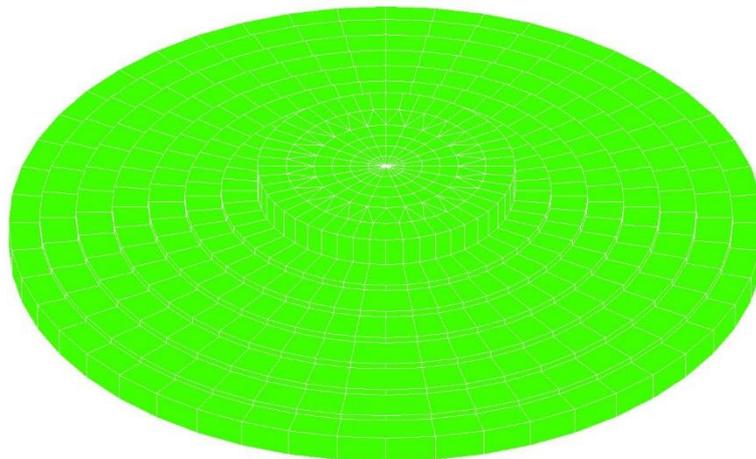
(peso proprio basamento + peso terreno ricoprimento + azioni dalla Torre - con i coefficienti parziali)

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

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

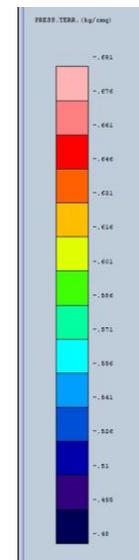
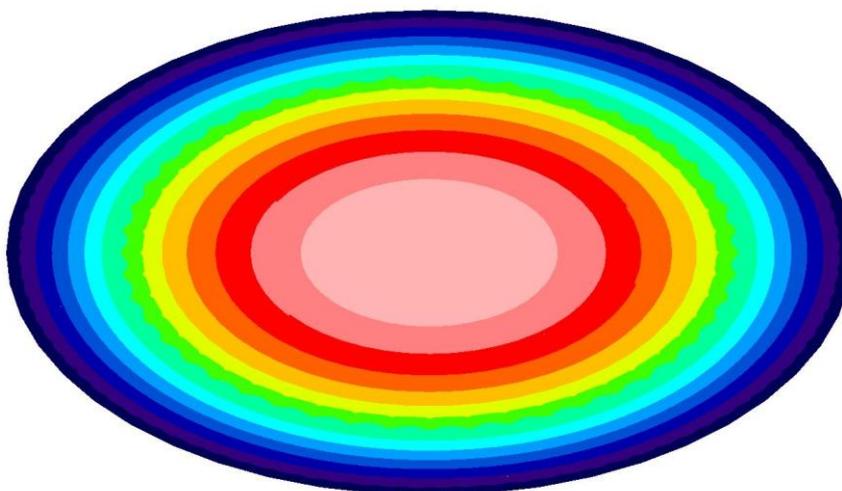
COMMITTENTE R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		OGGETTO PARCO EOLICO SERRA DI MELE PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO R2R-WSDM-RC3
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	PAGINA 19 di 23	

COLORMAP VERIFICHE ELEMENTI SHELL



a – PRESSIONI DI CONTATTO

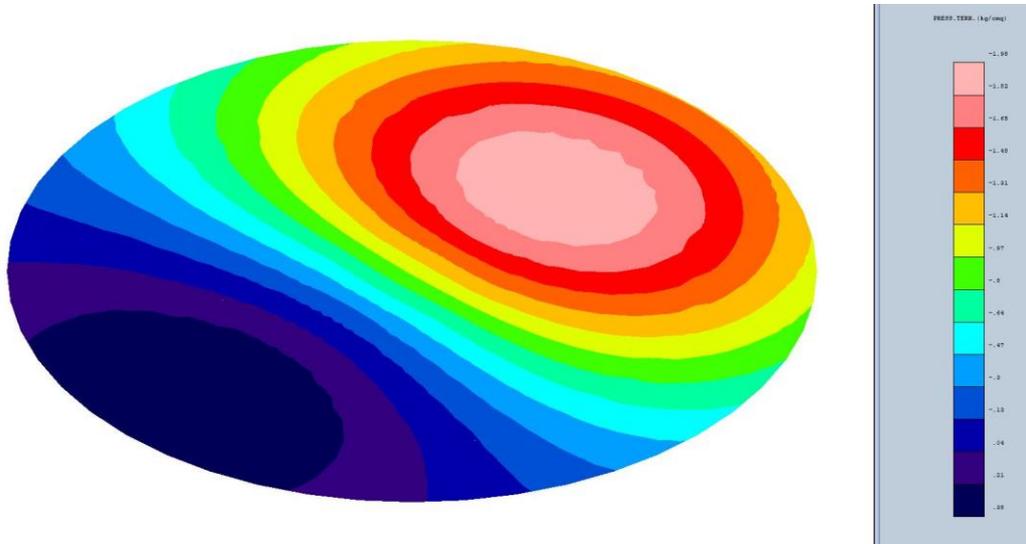
COLORMAP PRESSIONI DI CONTATTO COMBINAZIONE 1 (P.P. + PERM.)



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

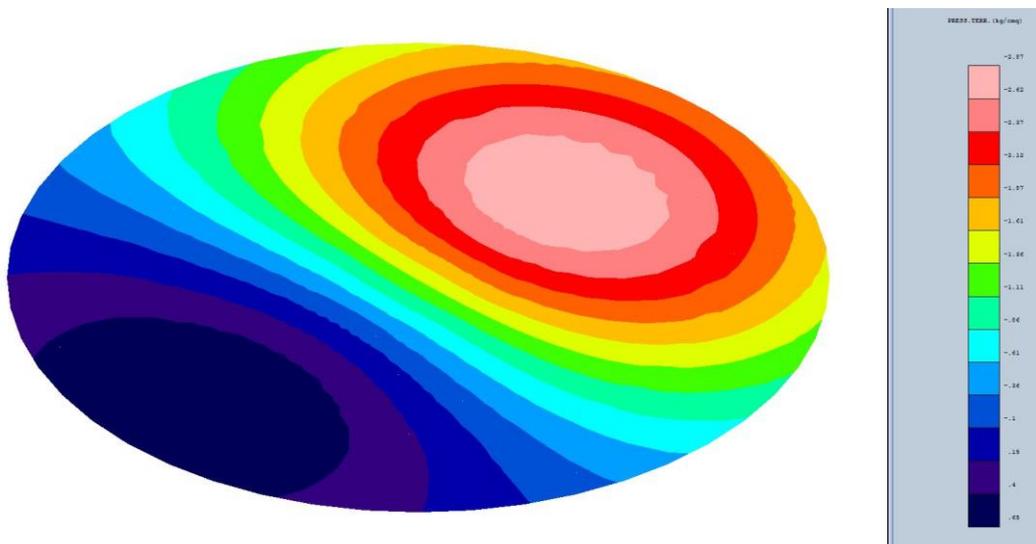
COMMITTENTE R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		OGGETTO PARCO EOLICO SERRA DI MELE PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO R2R-WSDM-RC3
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	PAGINA 20 di 23	

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)

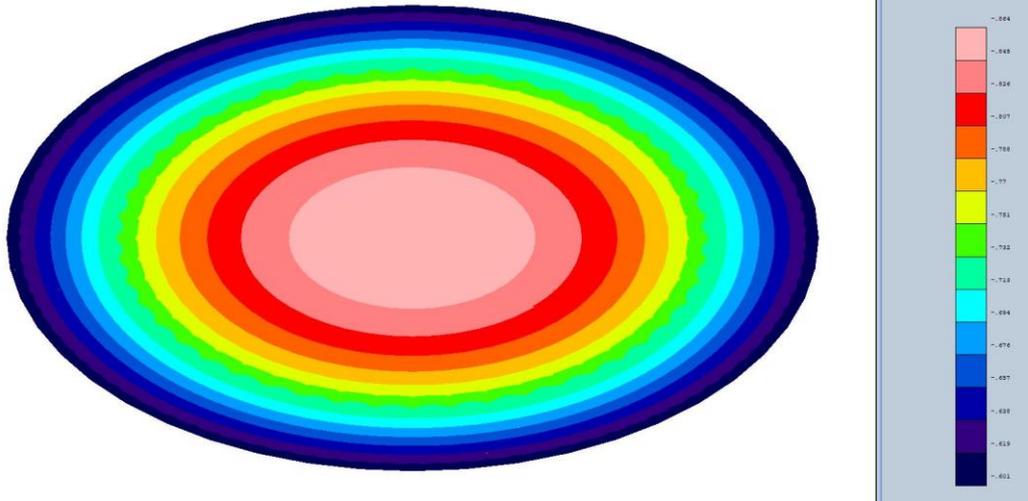


Pressione di contatto SLU: $\sigma_{max} = 2.87 \text{ kg/cm}^2$

COMMITTENTE R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		OGGETTO PARCO EOLICO SERRA DI MELE PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO R2R-WSDM-RC3
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	PAGINA 21 di 23	

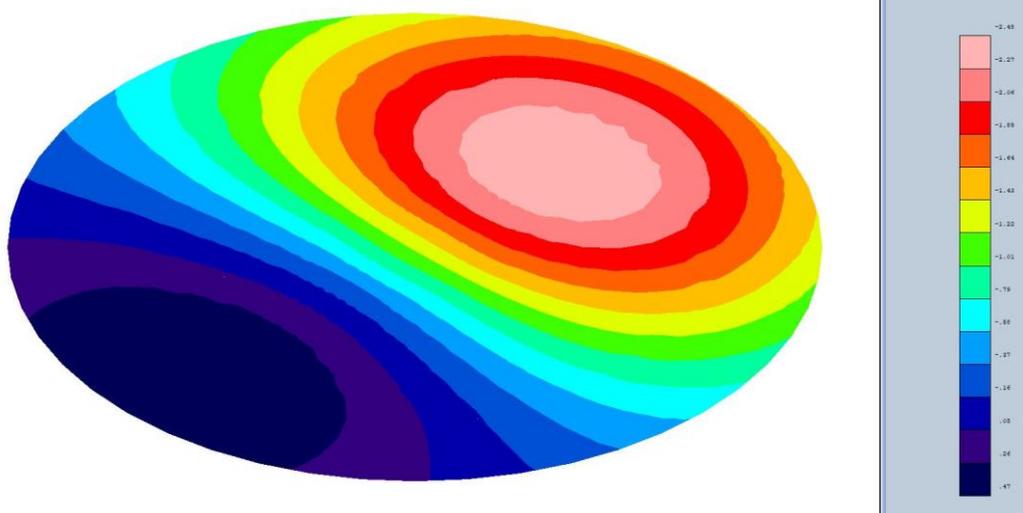
b – CEDIMENTI ATTESI

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)

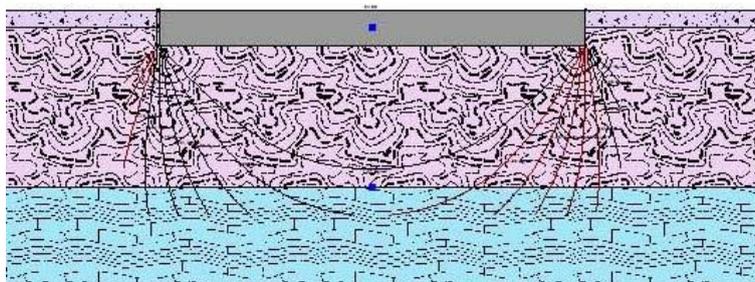


Spostamento massimo SLE: $w_{es} = 2.48 \text{ mm}$

COMMITTENTE R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		OGGETTO PARCO EOLICO SERRA DI MELE PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO R2R-WSDM-RC3
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	PAGINA 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 ²
Cedimento massimo atteso	2.48 mm

```
=====
```

La presenza delle Arenarie (Unità E) o del Basamento Carbonatico (Unità E) nei siti in cui è prevista la realizzazione della fondazione superficiale diretta offre una resistenza di progetto elevata, i cedimenti massimi sono trascurabili.

COMMITTENTE R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		OGGETTO PARCO EOLICO SERRA DI MELE PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO R2R-WSDM-RC3
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	PAGINA 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 “Serra di Mele”, proposto dalla società R2R S.r.l., da installare nel comune di Altamura (Città Metropolitana di Bari).

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:

- è stata riscontrata la presenza di una coltre detritica di natura eluvio-colluviale che copre un complesso di rocce terrigene conglomeratiche, arenacee, sabbiose ed anche argillose, da debolmente a mediamente consolidate.
- nei siti di installazione nei quali il piano di posa del basamento risulta inserito nelle Arenarie (Unità E) o nel Basamento Carbonatico (Unità F), è prevista in progetto una fondazione diretta a pianta circolare avente diametro di 24.50 m e spessore massimo pari a 2.80 metri;
- nei siti in cui invece ricorre la presenza dei Depositi conglomeratici (Unità B) o delle Sabbie (Unità C) o delle Argille (Unità D) è prevista in progetto una fondazione profonda su 36 pali di diametro pari a 800 mm, 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).

In fase esecutiva, 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.