



Comune di
Buddusò

Regione Sardegna



Comune di
Alà dei Sardi



PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DEL PARCO EOLICO "BUDDUSO' SUD I" NEL TERRITORIO DEI COMUNI DI BUDDUSO' E ALA' DEI SARDI (SS)

PROGETTO DEFINITIVO

PROPONENTE

AEI WIND PROJECT XII S.R.L.

Via Savoia n. 78
00198 - Roma

PEC: aeiwindprojectxii@legalmail.it



OGGETTO

02. STUDI GEOLOGICI E GEOTECNICI

RELAZIONE GEOTECNICA

TIMBRI E FIRME



**STUDIO ROSSO
INGEGNERI ASSOCIATI**

VIA ROSOLINO PILO N. 11 - 10143 - TORINO
VIA IS MAGLIAS N. 178 - 09122 - CAGLIARI
TEL. +39 011 43 77 242
studiorosso@legalmail.it
info@sria.it
www.sria.it

dott. ing. Roberto SESENNA
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino
Posizione n.8530J
Cod. Fisc. SSN RRT 75B12 C665C

dott. geol. Francesca DEMURTAS
Ordine dei Geologi Regione Sardegna
Posizione n.644
Cod. Fisc. DMR FNC 79S55 E441X

dott. ing. Luca DEMURTAS
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Cagliari
Posizione n.6062
Cod. Fisc. DMR LCU 77E10 E441L

CONSULENZA

Coordinatore e responsabile delle attività: Dott. ing. Giorgio Efisio DEMURTAS

Consulenza studi ambientali: Dott. for. Piero RUBIU

SIATER s.r.l. VIA CASULA N. 7 - 07100 - SASSARI



Studio Gioed
VIA IS MIRRIONIS N. 178 - 09121 - CAGLIARI

CONTROLLO QUALITA'

DESCRIZIONE	EMISSIONE	REVISIONE
DATA	DIC/2023	FEB/2024
COD. LAVORO	629/SR	629/SR
TIPOL. LAVORO	D	D
SETTORE	2	2
N. ATTIVITA'	-	-
TIPOL. ELAB.	RS	RS
TIPOL. DOC.	E	E
ID ELABORATO	02	02
VERSIONE	0	1

REDATTO

geol. Francesca DEMURTAS

CONTROLLATO

ing. Roberto SESENNA

APPROVATO

ing. Luca DEMURTAS

ELABORATO

D.2.2

INDICE

1. PREMESSA	2
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3. LOCALIZZAZIONE DEL SITO DI INTERVENTO	4
4. VOLUME SIGNIFICATIVO	5
5. PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE	6
6. MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO	7
7. CATEGORIE DI SOTTOSUOLO - D.M. 17-01-2018 (NTC 2018)	8
8. VERIFICA DI CAPACITÀ PORTANTE DEL SISTEMA FONDAZIONI – TERRENO	10
8.1 PARAMETRI GEOTECNICI	12
8.2 RISULTATI DELLE VERIFICHE	13
8.3 PRESSIONI TERRENO IN SLU	16
8.4 PRESSIONI TERRENO IN SLV _F /SLUECC	17
8.5 PRESSIONI TERRENO IN SLE/SLD	17
8.6 CEDIMENTI FONDAZIONI SUPERFICIALI	18
9. CONCLUSIONI	19

1. PREMESSA

Il presente studio costituisce la relazione geotecnica che definisce le caratteristiche tecnico – meccaniche dei terreni di posa degli aerogeneratori in progetto. L'area di intervento è ubicata nei territori amministrativi dei Comuni di Buddusò e Alà dei Sardi (provincia di Sassari), 30 km a sud di Olbia e 20 km ad ovest di Posada .

La presente integrazione e revisione progettuale di febbraio 2024, rispetto al layout di impianto iniziale, presenta un'ottimizzazione del posizionamento di 3 aerogeneratori, WTG 3, WTG 7 e WT 8, al fine di ridurre ulteriormente gli impatti ambientali sul contesto paesaggistico e culturale. Infatti, tutti gli 8 aerogeneratori ricadono all'interno delle aree idonee FER ex art 20 comma 8) del D.lgs. 199/2021, essendo esterni alla fascia di rispetto di 3 km dai beni tutelati dalla Parte II o dall'art.136 del D. Lgs. n. 42/2004. Inoltre, il presente layout di progetto non presenta interferenze e incompatibilità con altri parchi eolici già in fase di istruttoria.

La presente relazione definisce il modello geotecnico dei terreni interessanti le opere in progetto, ai sensi del D.M. 27.01.18 Testo Unico "Norme tecniche per le costruzioni", così come richiesto al paragrafo 6.2.2. che individua le fasi riguardanti la caratterizzazione e modellazione geotecnica del sottosuolo, con il quale si intende *"uno schema rappresentativo del volume significativo di terreno, suddiviso in unità omogenee sotto il profilo fisico-meccanico, che devono essere caratterizzate con riferimento allo specifico problema geotecnico. Nel modello geotecnico di sottosuolo devono essere definiti il regime delle pressioni interstiziali e i valori caratteristici dei parametri geotecnici."*

In base a valutazioni preliminari sugli aspetti geologici e stratigrafici riportati nell'Elaborato "2.1 - Relazione geologica" il presente elaborato descrive i calcoli e le verifiche geotecniche preliminari delle opere di progetto: vengono di seguito riportate le verifiche di stabilità globale delle opere di fondazione, al fine di valutare preliminarmente le eventuali problematiche esistenti e dimensionare correttamente le opere di progetto.

Dovranno in ogni caso essere previste nelle fasi di progettazione esecutiva, specifiche indagini geognostiche con sondaggi a caratoggio continuo sui punti di installazione degli aerogeneratori e analisi di laboratorio sui campioni prelevati.

2. **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Al fine di procedere nel totale rispetto delle leggi vigenti si è fatto riferimento alle seguenti normative:

- **Decreto Ministeriale 17.01.2018** – "Testo Unico Norme Tecniche per le Costruzioni" e successive modifiche e integrazioni (**Decreto Ministeriale 17-01-2018**)
- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici** – Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M.17 gennaio 2018. Circolare 21 gennaio 2019.
- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici** – Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n.36 del 27.07.2007.
- **Eurocodice 8 (1998) Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture** - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003).
- **Eurocodice 7.1 (1997) Progettazione geotecnica** – Parte I: Regole Generali – UNI.
- **Eurocodice 7.2 (2002) Progettazione geotecnica** - Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002).UNI.
- **Eurocodice 7.3 (2002) Progettazione geotecnica**– Parte II: Progettazione assistita con prove in sito (2002).UNI.
- **D.M. 11.03.1988** - Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

3. LOCALIZZAZIONE DEL SITO DI INTERVENTO

Il parco eolico "Buddusò sud I" è ubicato in Comune di Buddusò e Alà dei Sardi (provincia di Sassari), a circa 38 km dal centro abitato di Olbia; l'area interessata si colloca tra gli abitati di Buddusò e Alà dei Sardi, su pianori e rilievi collinari posti su altitudini comprese mediamente tra 600 e 700 m s.l.m. circa. Di architettura sostanzialmente boschiva, l'area è circondata da querce da sughero, lecci, roverelle e formazioni granitiche. L'area appartiene al bacino idrografico del Rio Altana e del Rio Mannu affluente del fiume Coghinias.

Gli aerogeneratori sono localizzati in aree prettamente incolte e coperte da alberi sparsi, esterne però ad aree densamente boscate e ampiamente distanti da centro abitati e aree produttive (circa a 9 km dal centro urbano di Buddusò e 4 km dal centro urbano di Alà dei Sardi). Il progetto è composto dalla realizzazione delle opere civili ed elettriche necessarie per il funzionamento del parco eolico. Il cavidotto elettrico prosegue dapprima in direzione sud su pista sterrata e successivamente in direzione ovest sulla statale SS389 e raggiunge la sottostazione prevista in comune di Buddusò.

Cartograficamente il territorio in cui ricadono gli aerogeneratori risulta racchiuso:

- nel foglio 461 Tavola II, "Alà dei Sardi", dell'I.G.M.I. in scala 1:25.000; foglio 481 Tavola I, "Buddusò", dell'I.G.M.I. in scala 1:25.000
- nelle sezioni 461160 "SANTA REPARATA", 462130 "SOS SONORCOLOS", 481040 "BUDDUSO", 482010 "SA IANNA BASSA" della cartografia tecnica della Regione Sardegna in scala 1:10.000.

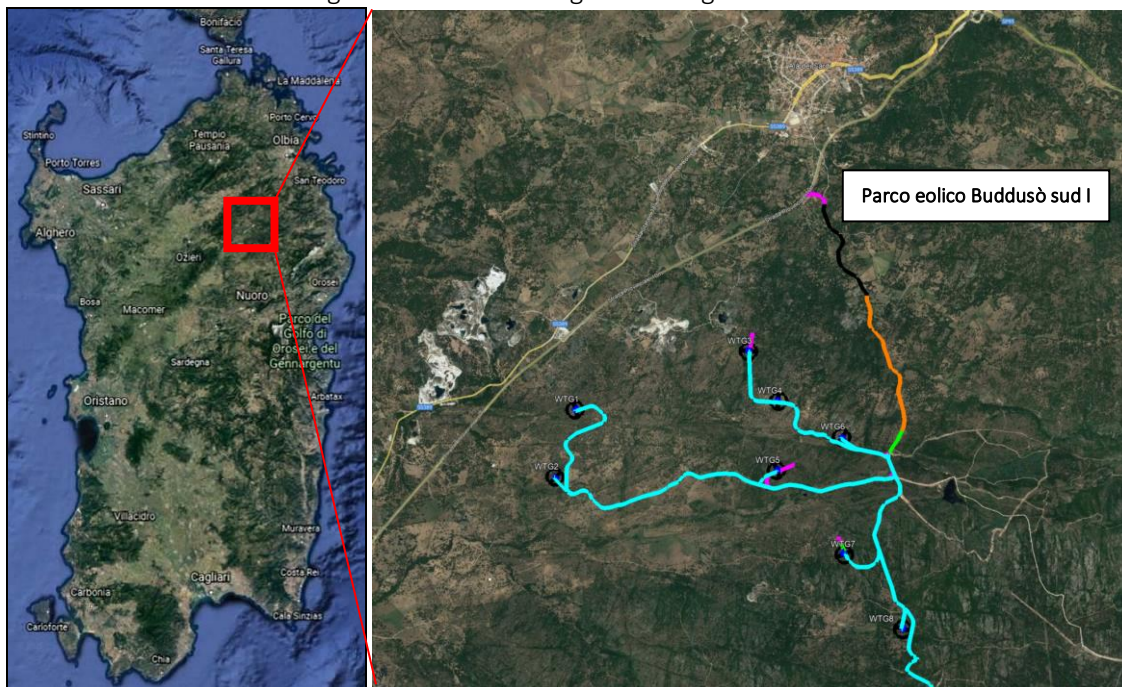


Figura 1 – Inquadramento territoriale generale e vista aerea delle posizioni degli aerogeneratori del parco eolico "Buddusò sud I" nel comune di Buddusò e Alà dei Sardi.

4. VOLUME SIGNIFICATIVO

Il Volume significativo, in termini geotecnici, è definito come la parte di sottosuolo che subisce l'influenza diretta del manufatto soprastante in questo caso in progetto, che può influenzarne i comportamenti.

Dai rilievi in superficie e le indagini geognostiche di tipo diretto ed indiretto eseguiti su territori con caratteristiche litologiche analoghe, e dalle informazioni bibliografiche acquisite, si evince che il volume significativo dei terreni che verranno influenzati dalle opere di fondazione degli aerogeneratori in progetto è inserito all'interno dell'unità litologica del "Complesso intrusivo granitico" così come definito nella Relazione geologica e riportato al successivo paragrafo descritto nel Modello Geologico di riferimento.

5. PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

In riferimento agli interventi di progetto, sarà necessario nelle fasi di progettazione esecutiva, eseguire una campagna di indagini geognostiche, riferite ai terreni direttamente interessati dalla posa degli aerogeneratori, sviluppate secondo il seguente programma preliminare:


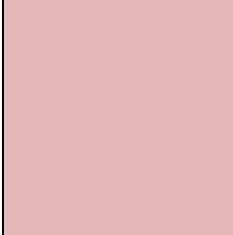
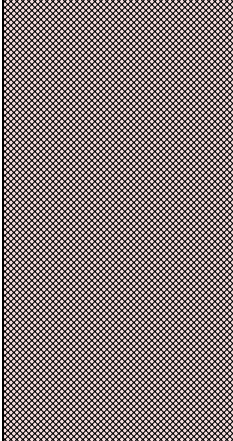
- A) Raccolta e analisi bibliografica su dati geotecnici,
- B) Esecuzione di sondaggio geognostico, campionamento materiale per prove di laboratorio,
- C) indagine sismica con tecnica MASW,
- D) Rifrazione con elaborazione tomografica,
- E) Analisi di laboratorio sui campioni di carotaggio: prove Point Load.

Le indagini permetteranno di ottenere i parametri geotecnici delle litologie indagate, confermando o meno i parametri del modello geologico di riferimento, di cui si riporta lo stralcio nel paragrafo seguente.

6. MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

La ricostruzione litostratigrafica dei terreni presenti nell'area in esame è stata effettuata sulla base dei risultati acquisiti con il rilievo di superficie e sulla base delle informazioni ottenute con la campagna di indagini eseguite su litografie analoghe, che hanno consentito di ricostruire un modello geologico dell'area, così come richiesto dal Testo Unico "Norme tecniche per le costruzioni" NTC 2018, schematizzato nel profilo geologico riportato di seguito.

Il modello geologico fa riferimento ad una stratigrafia rappresentata dal basamento granitico roccioso, costituito da un primo strato, in facies arenizzata e semilapidea, fino alla profondità di -3,7 m, al quale si sussegue in profondità la roccia più compatta, in facies lapidea, fratturata, fino alla profondità di fine sondaggio, attestata a -10 m. I parametri geotecnici assunti sono ritenuti cautelativi per le verifiche geotecniche di progetto riportate di seguito. Da analisi idrogeologica di superficie e analisi documentale, si considera un livello di falda superficiale attestato alla quota di -15 m di profondità e l'assenza di circolazione idrica superficiale fino a tale quota. Di seguito si riporta uno schema grafico del modello geologico di riferimento.

<i>Unità litologica</i>	<i>profondità</i>	<i>Descrizione</i>
	- 0,60 m	SUOLO
	-3,70 m	GRANITO ARENIZZATO Peso di Volume = 2,20 Ton/m ³ Coesione = 9,8 KPa Angolo di attrito = 34°
	- 10,0 m	GRANITO IN FACIES LAPIDEA Peso di Volume = 2,30 Ton/m ³ Resistenza a compressione monoassiale = 21,55 Mpa Coesione di picco = 320,60 KPa Angolo di attrito di picco = 37,061° Coesione residua = 256,48 KPa Angolo di attrito residuo = 30,65° Modulo di deformazione = 28,24 GPa GSI = 59,12

7. CATEGORIE DI SOTTOSUOLO - D.M. 17-01-2018 (NTC 2018)

Le già citate NTC 2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni –definiscono le regole per progettare l’opera sia in zona sismica che in zona non sismica. Per la valutazione delle azioni sismiche di progetto deve essere valutata l’influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto nel suolo superficiale.

Ai fini della definizione dell’azione sismica di progetto, l’effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3 del citato Decreto. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II del suddetto decreto, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s .

I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l’approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2 del Decreto.

I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove, tra le quali le MASW costituiscono la metodologia maggiormente adoperata.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall’espressione

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

h_i spessore dell’*i*-esimo strato;

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell’*i*-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato H è riferita al piano di imposta delle stesse. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DEL PARCO EOLICO
"BUDDUSÒ SUD I" NEL TERRITORIO DEI COMUNI DI
BUDDUSÒ E ALÀ DEI SARDI (SS)

Progetto definitivo

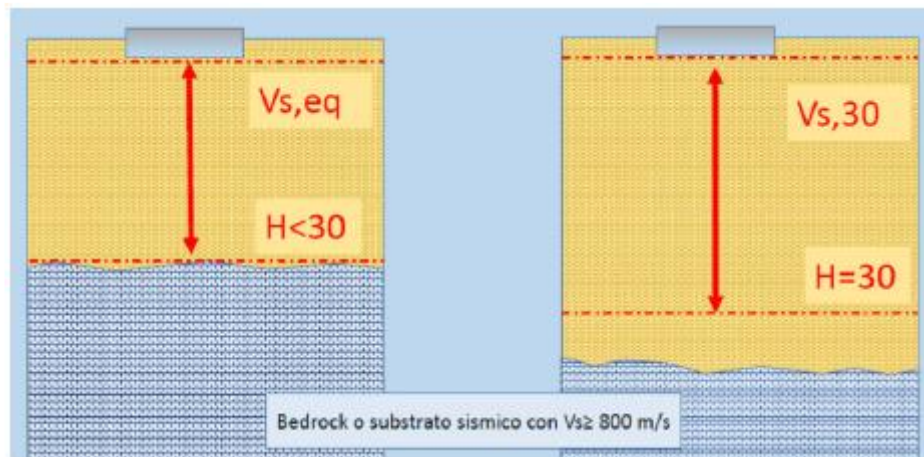


Figura 2: Schema di Calcolo delle $V_s eq$ e delle $V_s 30$

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II. Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle NTC 2018. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Tabella 1: Categorie di sottosuolo (NTC 2018 - Tabella 3.2.II)

Si assume cautelativamente il terreno nella **Categoria B**: *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.*

8. VERIFICA DI CAPACITÀ PORTANTE DEL SISTEMA FONDAZIONI – TERRENO

In questo capitolo si riportano le verifiche di stabilità dell'insieme fondazione - terreno, ovvero la determinazione della capacità portante attraverso lo SLU ai sensi delle NTC 2018, eseguite considerando le caratteristiche dei terreni sottostanti il piano di posa, sulla base della stratigrafia individuata nel Modello geologico di riferimento.

La determinazione della capacità portante ai fini della verifica è stata condotta secondo il metodo di Rock Terzaghi, che per roccia utilizza la seguente formula:

$$Q_{lim} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot e_c + q \cdot N_q \cdot e_q + \frac{1}{2} \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot e_\gamma$$

Il valore Q_{lim} ricavato è stato in seguito ridotto attraverso un coefficiente di sicurezza che tiene conto della qualità della roccia nell'ammasso significativo, l'RQD² (Rock Quality Degree) del materiale di progetto. Essendo un numero compreso tra (0-1] ciò corrisponde a coefficientare la resistenza di progetto R_d con un fattore che la fa decrescere quadraticamente al diminuire del grado di qualità della roccia. La Q_{lim} risulta quindi elevata per roccia integra, con indice RQD prossimo a 1, mentre decresce rapidamente al decrescere della qualità

$$Q_{lim,d} = RQD^2 \cdot Q_{lim}$$

Questo metodo di calcolo, essendo un calcolo per rottura localizzata, non richiede le stesse ipotesi restrittive sulla profondità del piano di posa del metodo di Terzaghi originario; può quindi essere condotto con qualsiasi approfondimento della fondazione.

La verifica allo SLU indicato deve essere effettuata con riferimento ad una delle seguenti combinazioni di coefficienti:

- Approccio 1

Combinazione C1: A1+M1+R1

Combinazione C2: A2+M2+R2

- Approccio 2: A1+M1+R3.

I coefficienti parziali per le azioni e per i parametri geotecnici previsti dal D.M. 14 gennaio 2008 sono riportati nelle tabelle che seguono.

Tabella 2 - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

Carichi	Effetto	Coefficiente parziale	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0.9	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G1}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Variabili	Favorevole	γ_{G1}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3

Tabella 3 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno.

Parametro	Grandezza	Coefficiente parziale	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1.0	1.25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	γ	$\gamma\gamma$	1.0	1.0

Tabella 4 - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli S.L.U. di fondazioni superficiali.

Verifica	Coefficiente parziale γ_R		
	(R1)	(R2)	(R3)
Capacità portante della fondazione	1.0	1.8	2.3

La verifica alla capacità portante del terreno di fondazione deve essere condotta in riferimento allo stato limite GEO che, come disciplinato nella Circolare del 2/02/2009, n. 617 – Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni" – cap. C6.2.3.1, "con riferimento agli stati limite GEO si possono menzionare gli stati limite che riguardano il raggiungimento del carico limite nei terreni di fondazione.

Le verifiche per il calcolo della capacità portante sono state affrontate considerando l'approccio 2, con combinazione di calcolo A1+M1+R3.

8.1 PARAMETRI GEOTECNICI

Si assume preliminarmente la seguente stratigrafia, per la verifica tipo di un aerogeneratore:

I valori sono espressi in m


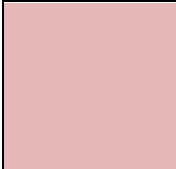
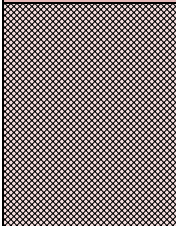
S=0.6		-0,60	SUOLO	Piano 1 (Z=0.3).....
S=3.1		-3,70	GRANITO ARENIZZATO Peso di Volume = 2,20 Ton/m ³ Coesione = 9,8 KPa Angolo di attrito = 34°	Fondazione (Z=-2.5) ...
S=6.3		-10,0	GRANITO IN FACIES LAPIDEA Peso di Volume = 2,30 Ton/m ³ Resistenza a compressione monoassiale = 21,55 Mpa Coesione = 320,60 KPa Angolo di attrito = 37,061°	

Immagine: Sondaggio tipo 1

Stratigrafie

Terreno: terreno mediamente uniforme presente nello strato.

Sp.: spessore dello strato. [m]

Kor,i: coefficiente K orizzontale al livello inferiore dello strato per modellazione palo. [daN/m³]

Kor,s: coefficiente K orizzontale al livello superiore dello strato per modellazione palo. [daN/m³]

Kve,i: coefficiente K verticale al livello inferiore dello strato per modellazione palo. [daN/m³]

Kve,s: coefficiente K verticale al livello superiore dello strato per modellazione palo. [daN/m³]

Eel,s: modulo elastico al livello superiore dello strato per calcolo cedimenti istantanei; 0 per non calcolarli. [daN/m²]

Eel,i: modulo elastico al livello inferiore dello strato per calcolo cedimenti istantanei; 0 per non calcolarli. [daN/m²]

Eed,s: modulo edometrico al livello superiore per calcolo cedimenti complessivi; 0 per non calcolarli. [daN/m²]

Eed,i: modulo edometrico al livello inferiore per calcolo cedimenti complessivi; 0 per non calcolarli. [daN/m²]

CC,s: coefficiente di compressione vergine CC al livello superiore per calcolo cedimenti di consolidazione; 0 per non calcolarli. Il valore è adimensionale.

CC,i: coefficiente di compressione vergine CC al livello inferiore per calcolo cedimenti di consolidazione; 0 per non calcolarli. Il valore è adimensionale.

CR,s: coefficiente di ricomprensione CR al livello superiore per calcolo cedimenti di consolidazione; 0 per non calcolarli. Il valore è adimensionale.

CR,i: coefficiente di ricomprensione CR al livello inferiore per calcolo cedimenti di consolidazione; 0 per non calcolarli. Il valore è adimensionale.

EO,s: indice dei vuoti EO al livello superiore per calcolo cedimenti di consolidazione. Il valore è adimensionale.

EO,i: indice dei vuoti EO al livello inferiore per calcolo cedimenti di consolidazione. Il valore è adimensionale.

OCR,s: indice di sovraconsolidazione OCR al livello superiore per calcolo cedimenti di consolidazione; 1 per terreno NC. Il valore è adimensionale.

OCR,i: indice di sovraconsolidazione OCR al livello inferiore per calcolo cedimenti di consolidazione; 1 per terreno NC. Il valore è adimensionale.

Terreno	Sp.	Kor,i	Kor,s	Kve,i	Kve,s	Eel,s	Eel,i	Eed,s	Eed,i	CC,s	CC,i	CR,s	CR,i	E0,s	E0,i	OCR,s	OCR,i
Suolo	0.6	1.5E6	1.0E6	1.0E6	1.0E6	600000	600000	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Granito arenizzato	3.1	1.5E6	1.0E6	1.0E6	1.0E6	5.1E9	5.1E9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Granito in facies rocciosa	6.3	1.5E6	1.0E6	1.0E6	1.0E6	7.4E9	7.4E9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Descrizione: descrizione o nome assegnato all'elemento.

Coesione: coesione del terreno. [daN/m²]

Coesione non drenata: coesione non drenata (Cu) del terreno. [daN/m²]

Attrito interno: angolo di attrito interno del terreno. [deg]

δ: angolo di attrito all'interfaccia terreno-cls. [deg]

Adesione: coeff. di adesione della coesione all'interfaccia terreno-cls. Il valore è adimensionale.

K0: coefficiente di spinta a riposo del terreno. Il valore è adimensionale.

γ naturale: peso specifico naturale del terreno in sito, assegnato alle zone non immerse. [daN/m³]

γ saturo: peso specifico saturo del terreno in sito, assegnato alle zone immerse. [daN/m³]

E: modulo elastico longitudinale del terreno. [daN/m²]

Poisson: coefficiente di Poisson del terreno. Il valore è adimensionale.

Rqd: rock quality degree. Per roccia assume valori nell'intervallo (0;1]. Il valore convenzionale 0 indica che si tratta di un terreno sciolto. Il valore è adimensionale.

Descrizione	Coesione	Coesione non drenata	Attrito interno	δ	Adesione	K0	γ naturale	γ saturo	E	Poisson	Rqd
Suolo	600	6000	25	17	0.4	0.58	1800	2000	600000	0.3	0
Granito arenizzato	9800	0	34	25	1	0.43	2200	2260	5.10E09	0.3	0.73
Granito in facies rocciosa	32060	0	37	25	1	0.37	2300	2390	7.40E09	0.3	0.83

8.2 RISULTATI DELLE VERIFICHE

Dati geometrici dell'impronta di calcolo (si assume cautelativamente un'impronta ridotta parzializzata, per la presenza di eventuali zone di terreno con caratteristiche a minor capacità portanti).

Forma dell'impronta di calcolo: rettangolare di area equivalente

Area di ingombro esterno minore: 3764170

Angolo di rotazione corrispondente all'ingombro minore (deg): -22.5

Rapporto di forma trovato (area ingombro esterno/area fondazione): 1.21

Coordinata X del centro impronta: 1103

Coordinata Y del centro impronta: 285

Coordinata Z del centro impronta: -595

Lato minore B dell'impronta: 1766

Lato maggiore L dell'impronta: 1766

Area dell'impronta rettangolare di calcolo: 3118341

Verifica di scorrimento sul piano di posa - Combinazioni non sismiche

Combinazione con fattore di sicurezza minore: SLU 1
Verifica condotta in condizioni drenate (a lungo termine)
Forza risultante agente in direzione x: 127957.32
Forza risultante agente in direzione y: 53001.66
Forza risultante agente in direzione z: -2361500.97
Inclinazione del carico in direzione x (deg): 3.1
Inclinazione del carico in direzione y (deg): 1.29
Angolo di attrito di progetto (deg): 25.
Azione di progetto (risultante del carico tangenziale al piano di posa): 138500.
Resistenza di progetto: 1001078.17
Coefficiente parziale applicato alla resistenza: 1.1
Coefficiente di sicurezza normalizzato k_s min (Rd/Ed): 7.23

Verifica di scorrimento sul piano di posa - Combinazioni sismiche

Combinazione con fattore di sicurezza minore: SLV fondazioni 13
Verifica condotta in condizioni drenate (a lungo termine)
Forza risultante agente in direzione x: 181023.13
Forza risultante agente in direzione y: 58392.59
Forza risultante agente in direzione z: -2361500.97
Inclinazione del carico in direzione x (deg): 4.38
Inclinazione del carico in direzione y (deg): 1.42
Angolo di attrito di progetto (deg): 25.
Azione di progetto (risultante del carico tangenziale al piano di posa): 190207.96
Resistenza di progetto: 1001078.17
Coefficiente parziale applicato alla resistenza: 1.1
Coefficiente di sicurezza normalizzato k_s min (Rd/Ed): 5.26

Verifica di capacità portante sul piano di posa - Combinazioni non sismiche

Combinazione con fattore di sicurezza minore: SLU 5
Verifica condotta in condizioni drenate (a lungo termine)
Azione di progetto (risultante del carico normale al piano di posa): -3069951.26
Resistenza di progetto: 84096351.42
Coefficiente parziale applicato alla resistenza: 2.3
Coefficiente di sicurezza normalizzato k_p min (Rd/Ed): 27.39

Parametri utilizzati nel calcolo:

Forza risultante agente in direzione x: 166344.51
Forza risultante agente in direzione y: 68902.15
Forza risultante agente in direzione z: -3069951.26
Momento agente in direzione x: -841838777.44
Momento agente in direzione y: 2032378601.82
Inclinazione del carico in direzione x (deg): 3.1

Progetto definitivo

Inclinazione del carico in direzione y (deg): 1.29
Eccentricità del carico in direzione x: 662.02
Eccentricità del carico in direzione y: -274.22
Impronta al suolo (BxL): 1766 x 1766
Larghezza efficace ($B'=B-2*e$): 441.84
Lunghezza efficace ($L'=L-2*e$): 1217.44
Coesione di progetto: 3.5
Sovraccarico di progetto: .67
Peso specifico di progetto del suolo : 0.0024
Angolo di attrito di progetto (deg): 39.

Fattori di capacità portante

N	S	D	I	B	G	P	E	Tipo
85.97	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00 Coesione
70.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00 Sovraccarico
86.21	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00 Attrito

Verifica di capacità portante sul piano di posa - Combinazioni sismiche

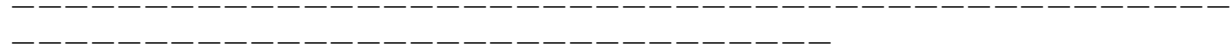
Combinazione con fattore di sicurezza minore: SLV fondazioni 13
Verifica condotta in condizioni drenate (a lungo termine)
Azione di progetto (risultante del carico normale al piano di posa): -2361500.97
Resistenza di progetto: 77797681.81
Coefficiente parziale applicato alla resistenza: 2.3
Coefficiente di sicurezza normalizzato $k_p \min (R_d/E_d)$: 32.94

Parametri utilizzati nel calcolo:

Forza risultante agente in direzione x: 181023.13
Forza risultante agente in direzione y: 58392.59
Forza risultante agente in direzione z: -2361500.97
Momento agente in direzione x: -650883715.84
Momento agente in direzione y: 1596003629.3
Inclinazione del carico in direzione x (deg): 4.38
Inclinazione del carico in direzione y (deg): 1.42
Eccentricità del carico in direzione x: 675.84
Eccentricità del carico in direzione y: -275.62
Impronta al suolo (BxL): 1766 x 1766
Larghezza efficace ($B'=B-2*e$): 414.2
Lunghezza efficace ($L'=L-2*e$): 1214.64
Coesione di progetto: 3.5
Sovraccarico di progetto: .67
Peso specifico di progetto del suolo : 0.0024
Angolo di attrito di progetto (deg): 39.

Accelerazione normalizzata massima al suolo: .02

Fattori di capacità portante



N	S	D	I	B	G	P	E	Tipo
85.97	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99 Coesione
70.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99 Sovraccarico
86.21	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99 Attrito

8.3 PRESSIONI TERRENO IN SLU

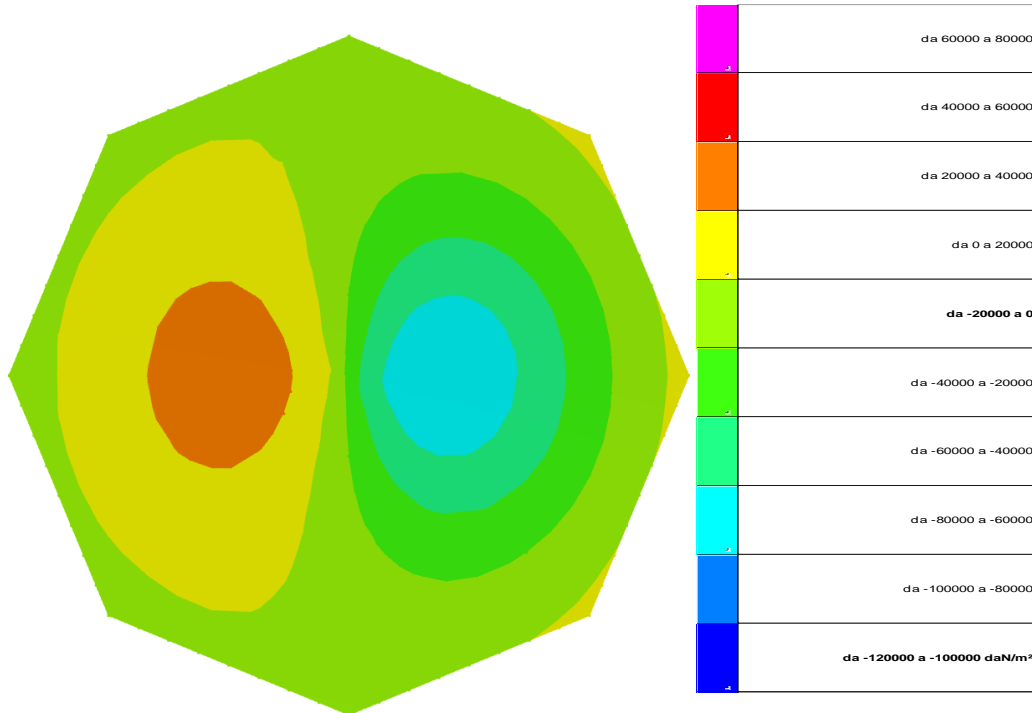


Figura 3 - Rappresentazione in pianta delle massime compressioni sul terreno in famiglia SLU.

8.4 PRESSIONI TERRENO IN SLVf/SLUECC

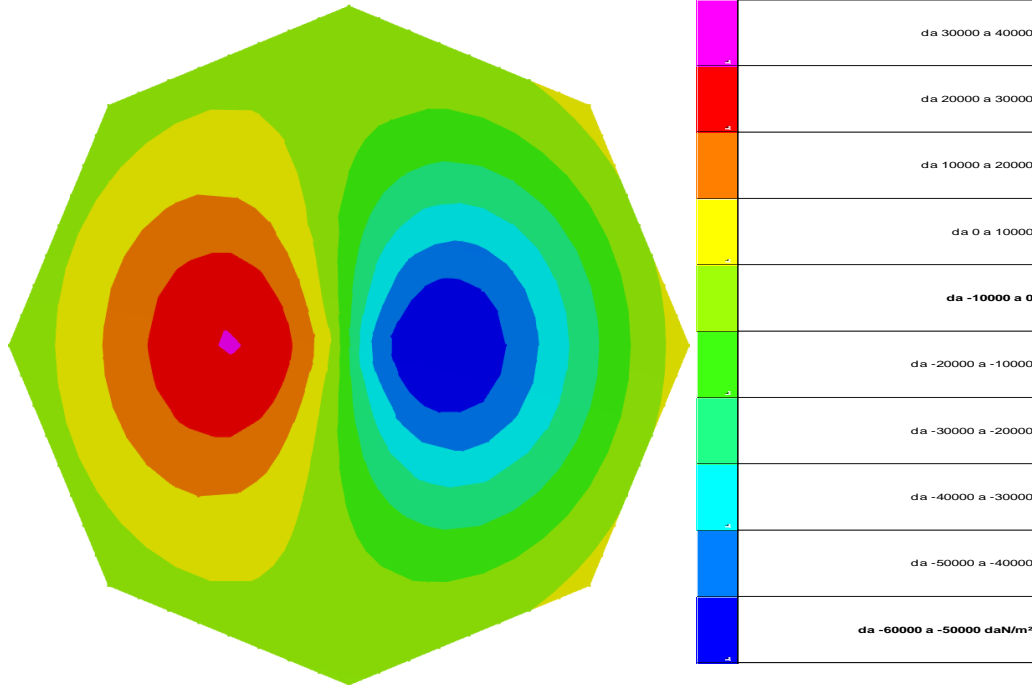


Figura 4 - Rappresentazione in pianta delle massime compressioni sul terreno in famiglie SLVf/SLUEcc.

8.5 PRESSIONI TERRENO IN SLE/SLD

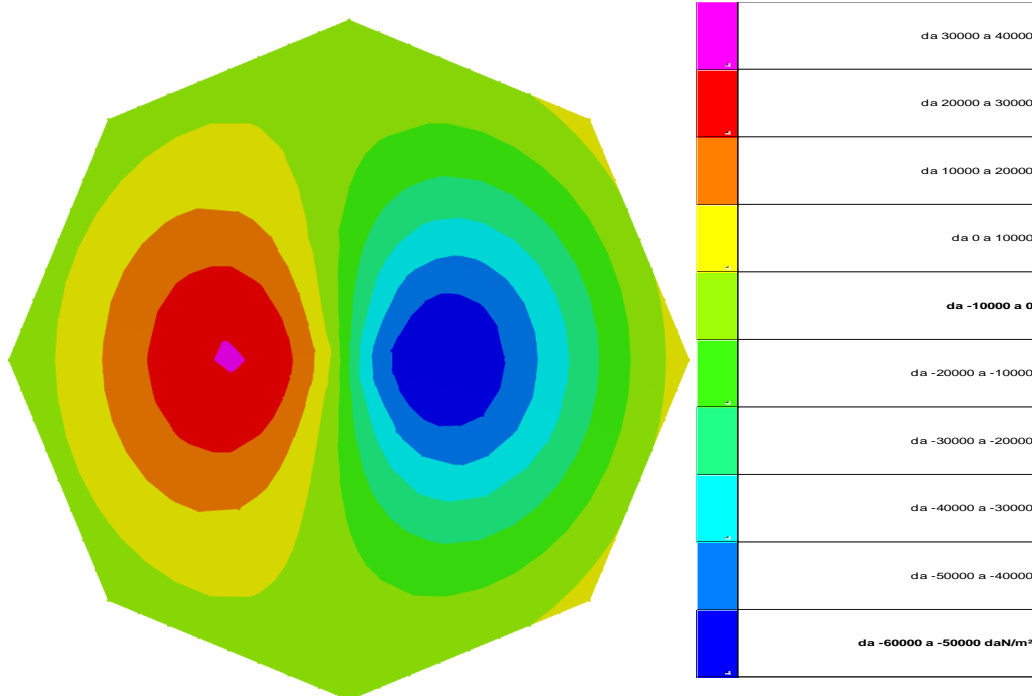


Figura 5 - Rappresentazione in pianta delle massime compressioni sul terreno in famiglie SLE/SLD.

8.6 CEDIMENTI FONDAZIONI SUPERFICIALI

Spostamento estremo minimo -0.0005954 m al nodo di indice 294, di coordinate $x = 14.11$, $y = 2.85$, $z = -3.75$, nel contesto SLD 13.

Spostamento estremo massimo 0.0003117 m al nodo di indice 289, di coordinate $x = 7.36$, $y = 2.85$, $z = -3.75$, nel contesto SLD 13.

Cedimento elastico estremo massimo 0.0000286 m al nodo di indice 294, di coordinate $x = 14.11$, $y = 2.85$, $z = -3.75$, nel contesto SLE rara 1.

9. CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono riportate le caratteristiche del modello geologico di riferimento, utilizzato per una verifica preliminare di capacità portante delle fondazioni delle opere di progetto.

Le verifiche geotecniche condotte risultano soddisfatte ai sensi della normativa vigente (NTC 2018), anche nel caso di fondazione diretta con plinto di fondazione adeguatamente dimensionato, grazie alle buone caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione. Si precisa che in fase esecutiva le verifiche dovranno essere maggiormente approfondite per ogni aerogeneratore, sulla base delle indagini geognostiche da eseguirsi in corrispondenza di ogni pala eolica in progetto, valutando la necessità di aumentare la dimensione e profondità del plinto di fondazione e la necessità di migliorare il terreno di fondazione, laddove il terreno dovesse presentare parametri geotecnici più scadenti di quelli ipotizzati.

Per maggiori dettagli sulle verifiche su descritte, nonché per le verifiche a ribaltamento e i calcoli preliminari delle strutture di fondazione, si rimanda interamente all'Elaborato "2.3 - Calcoli preliminari delle fondazioni degli aerogeneratori", parte integrante del presente progetto.

Dovranno in ogni caso essere previste nelle fasi di progettazione esecutiva, specifiche indagini geognostiche con sondaggi a caratoggio continuo sui punti di installazione degli aerogeneratori e analisi di laboratorio sui campioni prelevati. A seguito di tali dati, dovranno essere eseguite verifiche geotecniche di maggior dettaglio.