



Comuni di Ozieri e Chiaramonti

Provincia di Sassari

Regione Sardegna



PARCO EOLICO "ISCHINDITTA"

PROGETTO DEFINITIVO

PROPONENTE

GRVDEP Energia S.r.l.

Via Nazario Sauro 9 - 09123 Cagliari
PEC: grvdepenergiasrl@legalmail.it
C.F. e P.IVA 03857060929



OGGETTO

2 - STUDI GEOLOGICI E GEOTECNICI

RELZIONE GEOTECNICA

TIMBRI E FIRME

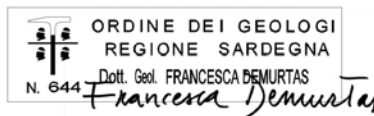


STUDIO ROSSO
INGEGNERI ASSOCIATI

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



CONSULENZA

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

CONTROLLO QUALITA'

DESCRIZIONE	EMISSIONE
DATA	MAG/2020
COD. LAVORO	409/SR20
TIPOL. LAVORO	D
SETTORE	S
N. ATTIVITA'	02
TIPOL. ELAB.	RS
TIPOL. DOC.	E
ID ELABORATO	01
VERSIONE	0

REDATTO

geol. Francesca DEMURTAS

CONTROLLATO

ing. Luca DEMURTAS

APPROVATO

ing. Roberto SESENNA

ELABORATO

2.2

INDICE

1. PREMESSA	2
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	2
3. LOCALIZZAZIONE DEL SITO DI INTERVENTO	3
4. VOLUME SIGNIFICATIVO	4
5. INDAGINI GEOGNOSTICHE	4
6. MODELLO GEOLOGICO	5
6.1 TIPOLOGIA MODELLO GEOLOGICO N. 1	5
6.2 TIPOLOGIA MODELLO GEOLOGICO N.2	6
7. CATEGORIE DI SOTTOSUOLO - D.M. 17-01-2018 (NTC 2018)	8
8. VERIFICA DI CAPACITÀ PORTANTE DEL SISTEMA FONDAZIONI - TERRENO	10
9. VERIFICHE DELLE FONDAZIONI – MODELLO GEOTECNICO 1	12
9.1 PARAMETRI GEOTECNICI	12
9.2 RISULTATI DELLE VERIFICHE	13
9.3 CEDIMENTI FONDAZIONI SUPERFICIALI	15
10. VERIFICHE DELLE FONDAZIONI – MODELLO GEOTECNICO 2	16
10.1 PARAMETRI GEOTECNICI	16
10.2 RISULTATI DELLE VERIFICHE	17
10.3 CEDIMENTI FONDAZIONI SUPERFICIALI	19
CONCLUSIONI	20

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 studio è ubicata nel territorio amministrativo tra il Comune di Ozieri e il Comune di Chiaramonti, in Provincia di Sassari.

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."*

Sulla base dei risultati della campagna di indagine geotecnica, descritta 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.

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

Gli interventi di progetto ricadono su un altopiano vulcanico, denominato Monte Sassu, nel territorio amministrativo tra il Comune di Ozieri e il Comune di Chiaramonti, in Provincia di Sassari. Il rilievo, di forma allungata con direzione NE-SW, si erge a quota media 600-620 m s.l.m., il cui limite orientale segue il confine amministrativo tra i comuni di Tula e Erula; a sud degrada con ripide pendenze verso la valle del rio Rizzolu, valle tettonica impostata parallelamente allo sviluppo del rilievo NE-SW; nel settore occidentale il versante prosegue invece secondo la medesima direzione, allungato dalla linea di cresta delle colline di Monte Carralzu e Elighia, attraversate dalla S.S n.132 "di Ozieri". Nel lato settentrionale il rilievo degrada dolcemente, con minime pendenze, verso la valle alluvionale del Rio 'Anzos, in comune di Perfugas, facente parte dei bacini montani del sistema fluviale del Fiume Coghinas.

Morfologicamente il territorio su cui andrà a svilupparsi il parco eolico è rappresentato da un alto morfologico, costituente il bordo sud orientale dell'esteso apparato vulcanico miocenico, afferente al Distretto vulcanico di Osilo-Castelsardo.

L'area in esame è individuata cartograficamente nel foglio 460 sezione I-Chiaramonti, dell'I.G.M.I. in scala 1:25.000, nelle sezioni 460 070 "Chiaramonti" e 460 080 "Tula" della cartografia tecnica della Regione Sardegna in scala 1:10.000, nei Fogli 180 - "Sassari" e 181 "Tempio Pausania" della cartografia geologica ufficiale in scala 1:100.000.



Figura 1 – Inquadramento areale su foto aerea dell'area di progetto (Fonte Google Maps 2020)

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 sul territorio, 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 vulcanico ignimbrítico" così come definito nella Relazione geologica e riportato al successivo paragrafo descritto nel Modello Geologico di riferimento.

5. INDAGINI GEOGNOSTICHE

In riferimento agli interventi di progetto, è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche, riportata nell'elaborato "2.1 - Relazione geologica", riferite ai terreni direttamente interessati dalla posa degli aerogeneratori, e si sono sviluppate secondo il seguente programma:

- A) Raccolta e analisi bibliografica su dati geotecnici,
- B) Esecuzione di sondaggi geognostici, 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 e determinazione di pesi di volume.

Le indagini hanno permesso di ottenere i parametri geotecnici delle litologie indagate, riportate nel modello geologico di riferimento, di cui si riporta lo stralcio nel paragrafo seguente.

6. MODELLO GEOLOGICO

Nel complesso, è necessario distinguere due tipologie di modello litologico stratigrafico, a cui fare riferimento per le opere di fondazione in progetto: il primo, fa riferimento ad una stratigrafia rappresentata da Ignimbriti in facies massiva e con buone caratteristiche geomeccaniche sin dai primi metri dal piano campagna, come rilevato durante il sondaggio geognostico WG5, mentre il secondo fa riferimento al sondaggio WG7, che ha rilevato la presenza di un deposito piroclastico intensamente fratturato, da molto a totalmente fratturato, debolmente alterato, fino alla profondità di -11,60m dal p.c, al di sotto del quale si rinviene la roccia ignimbritica con qualità geomeccaniche migliori.

Pertanto le fondazioni previste nella presente fase progettuale dovranno fare riferimento ai modelli geologici descritti con i seguenti parametri geotecnici di riferimento.

6.1 TIPOLOGIA MODELLO GEOLOGICO N. 1

Unità litologica	profondità	Descrizione
	-0,70 m	Suolo ciottoloso con matrice argillosa, marrone, umido o saturo sfumante nella coltre totalmente alterata dell'ignimbrite
	-4,80 m	Ignimbriti in facies rocciosa (Ciclo vulcanico Calco - alcalino OLIGO-MIOCENE) Peso di Volume = 2,26 Ton/m ³ Resistenza a compressione monoassiale = 74,6 MPa Coesione di picco = 379 KPa Angolo di attrito di picco = 42° Coesione residua = 303 KPa Angolo di attrito residuo = 35° Modulo di deformazione = 51,8 GPa GSI = 70,9 RQD da 0.70 a 3.00 m = 52% RQD da 3.00 a 6.00 m = 73%
		Ignimbriti in facies rocciosa (Ciclo vulcanico Calco - alcalino OLIGO-MIOCENE) Peso di Volume = 2,39 Ton/m ³ Resistenza a compressione monoassiale = 90,4 MPa Coesione di picco = 436 KPa Angolo di attrito di picco = 48,61° Coesione residua = 348,88 KPa

	- 10,0 m	Angolo di attrito residuo = 39,89° Modulo di deformazione = 74,44 GPa GSI = 82,22 RQD da 6.00 a 10.00 m = 87%
--	----------	--

6.2 TIPOLOGIA MODELLO GEOLOGICO N.2

Unità litologica	profondità	Descrizione
	- 1,70 m	Suolo ciottoloso con matrice argillosa, marrone, umido o saturo sfumante nella coltre totalmente alterata del deposito detritico piroclastico, incoerente
	- 4,40 m	Depositi di flusso piroclastico rossastri da totalmente fratturati a molto fratturati, debolmente alterati (Ciclo vulcanico Calco - alcalino OLIGO-MIOCENE) Peso di Volume = 2,39 Ton/m ³ Resistenza a compressione monoassiale = 4,84 MPa Coesione di picco = 226,6 KPa Angolo di attrito di picco = 27,6° Coesione residua = 181 KPa Angolo di attrito residuo = 23° Modulo di deformazione = 7,64 GPa GSI = 40,32 RQD = 5%
	- 7,40 m	Livello scoriaceo assimilabile geotecnicamente ad una ghiaia con sabbia debolmente cementata, i cui parametri, da dati bibliografici, possono essere assunti cautelativamente nel modo seguente: $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_{\text{sat}} = 20 \text{ kN/m}^3$ Angolo di resistenza al taglio = 36° Coesione = 0
		Depositi di flusso piroclastico rossastri da totalmente fratturati a molto fratturati, debolmente alterati (Ciclo vulcanico Calco - alcalino OLIGO-MIOCENE) Peso di Volume = 2,39 Ton/m ³ Resistenza a compressione monoassiale = 88 MPa Coesione di picco = 252,8 KPa

	- 11,60 m	<p>Angolo di attrito di picco = 30,2°</p> <p>Coesione residua = 202,2 KPa</p> <p>Angolo di attrito residuo = 25,2°</p> <p>Modulo di deformazione = 1,12 GPa</p> <p>GSI = 45,56</p> <p>RQD = 5 %</p>
	- 13,00	<p>Piroclastite grigio-rossastra, poco fratturata (Ciclo vulcanico Calco - alcalino OLIGO-MIOCENE)</p> <p>Peso di Volume = 1,86 Ton/m³</p> <p>Resistenza a compressione monoassiale = 5,5 MPa</p> <p>Coesione di picco = 313,25 KPa</p> <p>Angolo di attrito di picco = 36 °</p> <p>Coesione residua = 250,6 KPa</p> <p>Angolo di attrito residuo = 30°</p> <p>Modulo di deformazione = 25,3 GPa</p> <p>GSI = 57,65</p> <p>RQD = 64 %</p>

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.

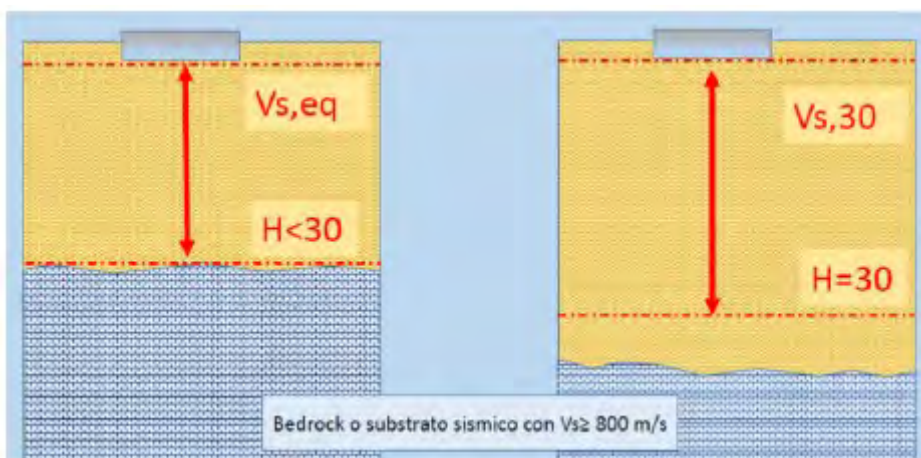


Figura 2: Schema di Calcolo delle Vs eq e delle Vs 30

Le categorie di sottosuolo che permettono l'uso 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)

E' da tenere in considerazione che le velocità delle onde S sono caratteristiche delle vibrazioni trasmesse prevalentemente dal solo scheletro solido e perciò rappresentative delle proprietà meccaniche del terreno. Ne consegue che per alcuni terreni al di sotto della falda le uniche onde in grado di fornire informazioni precise sulla rigidezza del terreno sono quelle di taglio (S).

Le indagini sismiche mediante metodologia MASW (i cui dettagli sono descritti nello specifico nell'elaborato "2.1 - Relazione geologica"), hanno permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali V_s , di seguito riportati:

Indagine sismica	Profilo V_s (V_s eq da p.c.)
MASW 1	699 m/s
MASW 2	677 m/s

Ciò consente di classificare 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	γ_{γ}	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.

9. VERIFICHE DELLE FONDAZIONI – MODELLO GEOTECNICO 1

9.1 PARAMETRI GEOTECNICI

Vengono elencati in modo sintetico tutti i sondaggi risultanti dalle verticali di indagine condotte in sito, con l'indicazione dei terreni incontrati, degli spessori e dell'eventuale falda acquifera.

Nome attribuito al sondaggio: Sondaggio tipo 1

Coordinate planimetriche del sondaggio nel sistema globale scelto: 0, 0

Quota della sommità del sondaggio (P.C.) nel sistema globale scelto: 0

I valori sono espressi in m

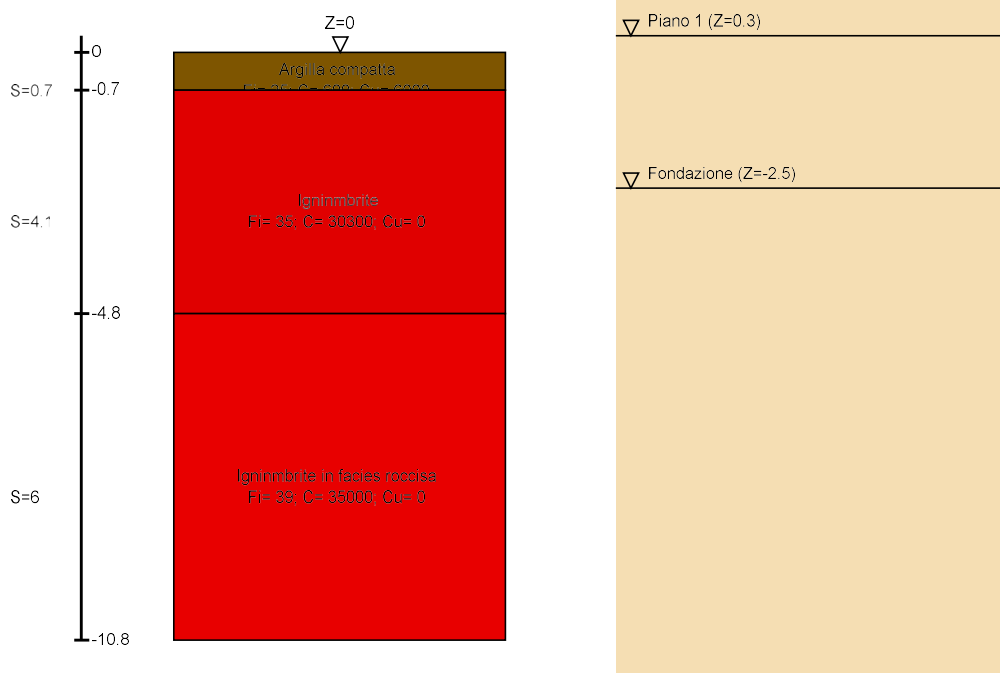


Immagine: Sondaggio tipo 1

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	EO,s	EO,i	OCR,s	OCR,i
Argilla compatta	0.7	1.5E6	1.0E6	1.0E6	1.0E6	600000	600000	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Igninmbrite	4.1	1.5E6	1.0E6	1.0E6	1.0E6	5.1E9	5.1E9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Igninmbrite in facies rocciosa	6	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.

KO: 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	KO	γ naturale	γ saturo	E	Poisson	Rqd
Ghiaia	0	0	38	25	1	0.38	1950	2150	9000000	0.3	0
Argilla compatta	600	6000	25	17	0.4	0.58	1800	2000	600000	0.3	0
Igninmbrite	30300	0	35	25	1	0.43	2260	2260	5.10E09	0.3	0.7
Igninmbrite in facies rocciosa	35000	0	39	25	1	0.37	2390	2390	7.40E09	0.3	0.87

9.2 RISULTATI DELLE VERIFICHE

Dati geometrici dell'impronta di calcolo

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 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 $k_p \min (R_d/E_d)$: 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
 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

9.3 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.

10. VERIFICHE DELLE FONDAZIONI – MODELLO GEOTECNICO 2

10.1 PARAMETRI GEOTECNICI

Vengono elencati in modo sintetico tutti i sondaggi risultanti dalle verticali di indagine condotte in sito, con l'indicazione dei terreni incontrati, degli spessori e dell'eventuale falda acquifera.

Nome attribuito al sondaggio: Sondaggio tipo 2

Coordinate planimetriche del sondaggio nel sistema globale scelto: 0, 0

Quota della sommità del sondaggio (P.C.) nel sistema globale scelto: 0

I valori sono espressi in m

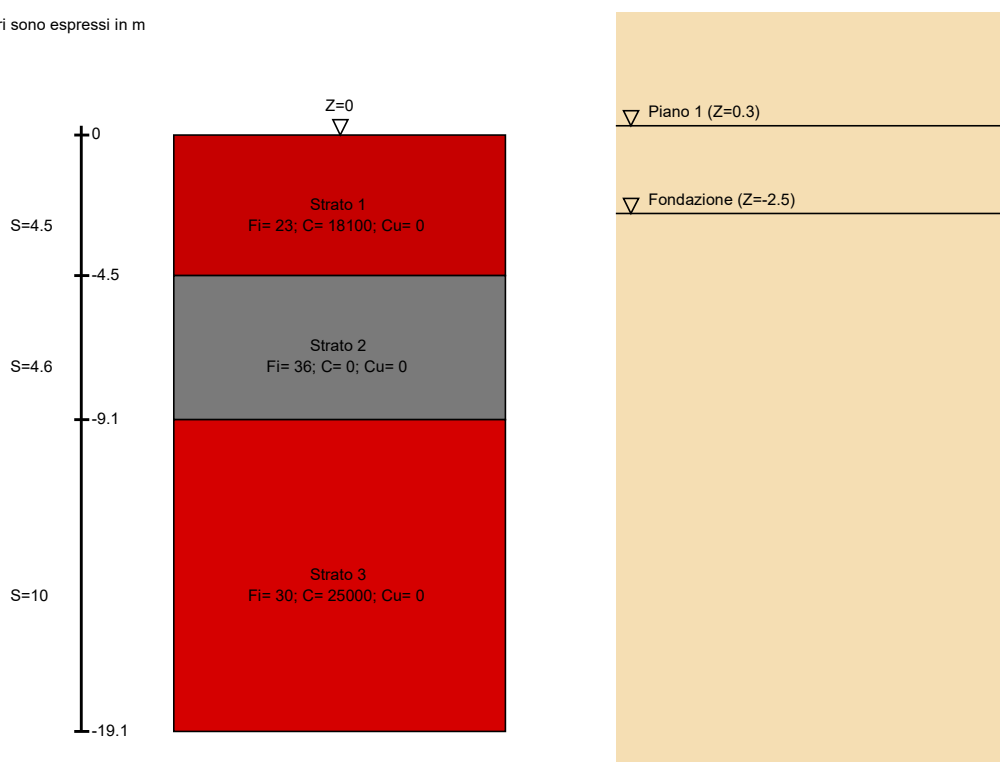


Immagine: Sondaggio tipo 2

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 ricompressione CR al livello superiore per calcolo cedimenti di consolidazione; 0 per non calcolarli. Il valore è adimensionale.

CR,i: coefficiente di ricompressione 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	EO,s	EO,i	OCR,s	OCR,i
Strato 1	4.5	1.5E6	1.0E6	1.0E6	1.0E6	2.5E8	2.5E8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Strato 2	4.6	1.5E6	1.0E6	1.0E6	1.0E6	2.9E8	2.9E8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Strato 3	10	1.5E6	1.0E6	1.0E6	1.0E6	3.6E8	3.6E8	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
Ghiaia	0	0	38	25	1	0.38	1950	2150	9000000	0.3	0
Strato 1	18100	0	23	25	1	0.61	2390	2390	2.54E08	0.43	0
Strato 2	0	0	36	25	1	0.41	1900	2000	2.87E08	0.28	0.05
Strato 3	25000	0	30	25	1	0.5	1860	2150	3.56E08	0.26	0.65

10.2 RISULTATI DELLE VERIFICHE

Dati geometrici dell'impronta di calcolo

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 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): -3069951.29
 Resistenza di progetto: 27003875.16
 Coefficiente parziale applicato alla resistenza: 2.3
 Coefficiente di sicurezza normalizzato $k_p \min (R_d/E_d)$: 8.8

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: -3069951.29
 Momento agente in direzione x: -841838784.08
 Momento agente in direzione y: 2032378609.82
 Inclinazione del carico in direzione x (deg): 3.1
 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: 2
 Peso specifico di progetto del suolo : 0.0019
 Angolo di attrito di progetto (deg): 31.3

Fattori di capacità portante

N	S	D	I	B	G	P	E	Tipo
41.36	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00 Coesione
26.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00 Sovraccarico
24.49	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 15
 Verifica condotta in condizioni drenate (a lungo termine)
 Azione di progetto (risultante del carico normale al piano di posa): -2678656.12
 Resistenza di progetto: 37434799.14
 Coefficiente parziale applicato alla resistenza: 2.3
 Coefficiente di sicurezza normalizzato $k_p \min (R_d/E_d)$: 13.98

Parametri utilizzati nel calcolo:

Forza risultante agente in direzione x: 169292.48

Forza risultante agente in direzione y: 86712.88

Forza risultante agente in direzione z: -2678656.12

Momento agente in direzione x: -668292257.86

Momento agente in direzione y: 1588819937.75

Inclinazione del carico in direzione x (deg): 3.62

Inclinazione del carico in direzione y (deg): 1.85

Eccentricità del carico in direzione x: 593.14

Eccentricità del carico in direzione y: -249.49

Impronta al suolo (BxL): 1766 x 1766

Larghezza efficace ($B'=B-2*e$): 579.6

Lunghezza efficace ($L'=L-2*e$): 1266.91

Coesione di progetto: 2

Peso specifico di progetto del suolo : 0.0019

Angolo di attrito di progetto (deg): 31.3

Accelerazione normalizzata massima al suolo: .02

Fattori di capacità portante

N	S	D	I	B	G	P	E	Tipo
41.36	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99 Coesione
26.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99 Sovraccarico
24.49	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99 Attrito

10.3 CEDIMENTI FONDAZIONI SUPERFICIALI

Spostamento estremo minimo -0.0030844 m al nodo di indice 300, di coordinate x = 18.19, y = 2.85, z = -3.75, nel contesto SLD 13.

Spostamento estremo massimo 0.0013213 m al nodo di indice 280, di coordinate x = 0.53, y = 2.85, z = -3.75, nel contesto SLD 13.

Cedimento elastico estremo massimo 0.0005782 m al nodo di indice 298, di coordinate x = 17.03, y = 2.85, z = -3.75, nel contesto SLE rara 1.

CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono riportate le caratteristiche del modello geologico di riferimento, utilizzato per la verifica 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, soprattutto per gli aerogeneratori che ricadono su terreni di fondazione del modello geotecnico 1 con roccia compatta, poco fratturata, del complesso delle ignimbriti. 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 si presenta maggiormente alterato, con depositi piroclastici tipici del modello geotecnico 2 e parametri geotecnici che dovessero risultare 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.