



REGIONE  
LAZIO  
PROVINCIA di  
VITERBO



COMUNE di  
Montalto di Castro



COMUNE di  
Manciano

REGIONE  
TOSCANA  
PROVINCIA di  
GROSSETO



**SKI 36 S.r.L.**

Società soggetta ad attività di direzione  
e coordinamento di Statkraft AS  
Via Caradosso 9, 20123 Milano



Progettazione Coordinamento	 <b>VEGA sas</b> LANDSCAPE ECOLOGY & URBAN PLANNING Via degli Carri, 48 - 71121 Foggia - Tel. 0881.756251 - Fax 1784412324 mail: info@studiovega.org - website: www.studiovega.org				
Studi Ambientali e Paesaggistici	<b>Arch. Antonio Demaio</b> Via N. delli Carri, 48 - 71121 Foggia (FG) Tel. 0881.756251   Fax 1784412324 E-Mail: sit.vega@gmail.com	Studio Geologico-Idrologico	<b>dott. geol. Di Carlo Matteo</b> Viale Virgilio, 30, 71036 Lucera (FG) Ordine dei Geologi di Puglia n.75 Tel./Fax 0881.   Cell. 335.5340316 E-Mail: dicarlomatteo@hotmail.com		
Studi Naturalistici e Forestali	<b>Dott. Forestale Luigi Lupo</b> Corso Roma, 110 - 71121 Foggia E-Mail: luigilupo@libero.it	Studio Idraulico	<b>Studio di ingegneria Dott.sa Ing. Antonella Laura Giordano</b> Viale degli Aviatori, 73 - 71121 Foggia Tel./Fax 0881.070126   Cell. 346.6330986 E-Mail: lauragiordano@gmail.com		
Usi Civili	<b>Per. Agr. Alessandro Alebardi</b> Via Francesco Azzurri, 16 - 00166 Roma Tel. 338.7330210 E-Mail: alessandroalebardi@gmail.com	Studio archeologico	 <b>ARCHEOMATICA srls</b> Strada Campogrande, 52 (VT) Cell. +39.338 4699279 E-Mail: info@archeomatica.eu Web: www.archeomatica.eu		
Opera	<b>Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 33 MW e di un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel Comune di Montalto di Castro (VT) e opere connesse nei Comuni di Montalto di Castro (VT) e Manciano (GR)</b>				
Oggetto	Folder: VIA16 Nome Elaborato: SKI36-MCAS-IntBRT-1_4_2_RelazioneGeotecnica Descrizione Elaborato: Relazione Geotecnica - revisione elab. SKI36-MCAS-RGTC				
01	Febbraio 2024	Integr. nota Regione Toscana n. E1_Protocollo_r_toscan_AOOGRT_0393681_2023-08-22	VEGA	Arch. A. Demaio	SKI 36
00	Luglio 2023	Emissione per progetto definitivo	VEGA	Arch. A. Demaio	SKI 36
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione	Verifica	Approvazione
Scala:	Codice progetto <b>SKI36-MCAS1</b>				
Formato:					

**Comune di Montalto di Castro (VT)**

**Comune di Manciano (GR)**

# **RELAZIONE GEOTECNICA (preliminare)**

**OGGETTO:**

Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 33 MW e di un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel Comune di Montalto di Castro (VT) e opere connesse nei Comuni di Montalto di Castro (VT) e Manciano (GR)

**COMMITTENTE:**

SKI 36 S.R.L. Via Caradosso 9, 20123 Milano



A circular blue stamp from the Province of Montalto di Castro (VT) is overlaid with a handwritten signature. The stamp text includes 'PROVINCIA DI MONTALTO DI CASTRO (VT)', 'ING. LORENZO CASTRIOTTA', and 'No. 1177'. The signature is written in black ink over the stamp.

**Il tecnico strutturista  
Ing. Castriotta Lorenzo G**

# RELAZIONE GEOTECNICA

## Sommario

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>3. TIPOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1 PROPRIETA' FISICHE E MECCANICHE DEI TERRENI IN SITO.....</b>	<b>6</b>
<b>4. CARATTERISTICHE SISMICHE .....</b>	<b>8</b>
<b>5. CRITERI DI PROGETTO E MODELLAZIONE GEOTECNICA - VERIFICHE .....</b>	<b>11</b>
<b>5.1 FONDAZIONI DIRETTE .....</b>	<b>12</b>
<b>5.2 FONDAZIONI PROFONDE .....</b>	<b>14</b>
<b>6. CONCLUSIONI .....</b>	<b>20</b>

## • PREMESSA

Nella presente relazione è descritto, in via preliminare e indicativamente, il dimensionamento delle fondazioni degli aerogeneratori

del parco eolico in progetto, ubicato nel territorio del Comune di Montalto di Castro (VT) e Manciano (GR), rispettivamente in Regione Lazio e in regione Toscana.

In particolare tale impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 33 MW e di un

sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel Comune di Montalto di Castro (VT) coinvolge un'areale di territorio omogeneo

ed in particolare costituito dalle simili caratteristiche geologiche e litostratigrafiche, per cui è stata prevista la medesima geometria per le fondazioni per i 5 aerogeneratori.

**Le elaborazioni di seguito proposte sono da considerare indicative e dovranno essere necessariamente supportate in una fase successiva da indagini in sito e di laboratorio, per meglio caratterizzare i litotipi presenti nel sottosuolo delle diverse aree interessate e individuarne le caratteristiche geotecniche e meccaniche.**

Sono illustrati con la presente i risultati dei calcoli che riguardano il progetto preliminare delle fondazioni, la verifica di fattibilità e delle tensioni di lavoro dei materiali e del terreno in funzione delle opere da eseguire .

## • NORMATIVA DI RIFERIMENTO

### • Legge 64/74

• **DM 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 e delle opere di fondazione”

e successive modifiche ed integrazioni

• **D.M LL.PP. del 24/01/1986** “Norme tecniche relative alle costruzioni antisismiche”

• **D.M. LL.PP. del 14/01/2008** (G.U n. 29 del 04/02/2008)

• **Circolare del 02/02/2009 n. 617** “Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni”

• **D.M. 17/01/2018** pubblicato sul S.O. - G.U 20 febbraio 2018 n. 42 “Norme tecniche per le costruzioni”

• **21 Gennaio 2019, n. 7** “Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”. Circolare del Ministero Infrastrutture e Trasporti

• Raccomandazioni dell'AGI in merito alle indagini geognostiche in situ ed alle indagini geotecniche di laboratorio

• Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) emanato dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale, nello specifico PAI vigente dei bacini laziali e PAI vigente del fiume Fiora.

Stando alla cartografia del Piano Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) dei bacini laziali, le aree di sedime delle fondazioni degli aerogeneratori non rientrano in aree soggette a vincolo sia dal punto di vista della pericolosità geomorfologica, che dal punto di vista della pericolosità idraulica. Come da cartografia allegata, scaricata dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale, nessuno dei 5

Aerogeneratori ricade in aree vincolate.

I calcoli sono condotti nel pieno rispetto della normativa vigente e, in particolare, la normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo, verifica e progettazione è costituita dalle *Norme Tecniche per le Costruzioni*, emanate con il D.M. 17/01/2018 pubblicato nel suppl. 8 G.U. 42 del 20/02/2018, nonché per il calcolo delle strutture in oggetto si adotteranno i criteri della Geotecnica e della Scienza delle Costruzioni.

• **TIPOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECHICHE DEI TERRENI**

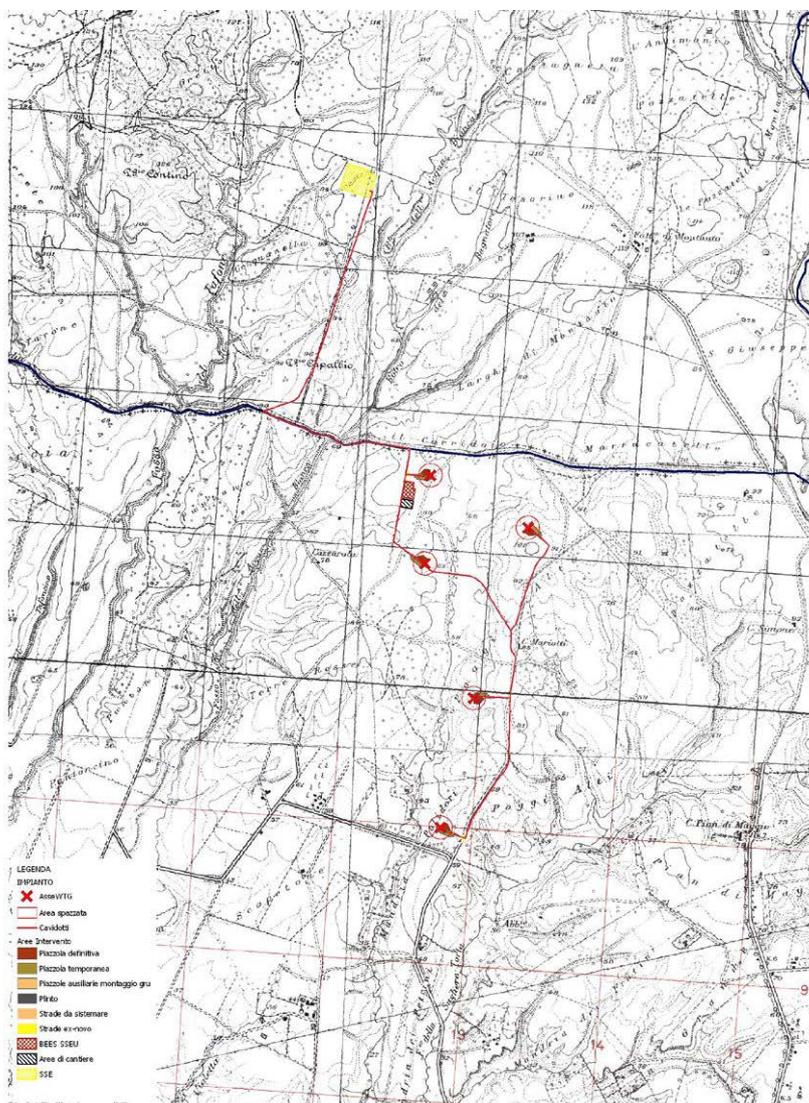
Dalla relazione geotecnica fornita dal dott. Geol. **Matteo di Carlo** iscritto al n° 75 dell'ordine dei geologi della Regione Puglia, si evince lo studio effettuato sulla zona di intervento e le varie indagini effettuate per completare la caratterizzazione del sottosuolo in loco sono sufficienti in fase preliminare di modellare le fondazioni delle opere in costruzioni.

La Caratterizzazione e la Modellazione Geologica del Sito è stata eseguita con la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, della pericolosità geologica del territorio.

In considerazione degli interventi da realizzare e della complessità del contesto geologico sono state eseguite specifiche indagini finalizzate alla documentata ricostruzione del "modello geologico".

I metodi e i risultati delle indagini sono esaurientemente esposti e commentati nella Relazione Geologica redatta dal Geologo Matteo di Carlo dalla quale si evincono le seguenti caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni interessati dall'intervento.

• **Zona di intervento tra Lazio e Toscana**



Inquadramento impianto su IGM 1:25.000

WTG	UTM 33 - WGS84	
	X	Y
WTG1	218913	4703778
WTG2	218874	4703135
WTG3	219618	4703396
WTG4	219226	4702154
WTG5	218986	4701211

Coordinate in asse degli aereogeneratori e posizione sul territorio



- Localizzazione puntuale dell'impianto eolico con le relative fondazioni nel Comune di Montalto di Castro (VT);
- Cavidotto interrato in MT di collegamento alla Sottostazione Elettrica ricadente nei Comuni di Montalto di Castro (VT) e Manciano (GR);
- Sottostazione di Trasformazione Elettrica ricadente nel comune di Manciano (GR);
- Area BEES e Stazione Utente ricadenti nel Comune di Montalto di Castro (VT) nei pressi della WTG1

Pertanto dalla relazione geologica:

Gli Aerogeneratori **WTG1**, parte del cavidotto e la Sottostazione di Trasformazione **Elettrica MT/AT** ricadono nella formazione **QT-S – Sabbie più o meno argillose, conglomerati gialli e rossastri ed argille (in facies marina e a luoghi salmastra) con materiale vulcanico.**

Gli Aerogeneratori , **WTG2 , WTG3, WTG4, WTG5** e parte del **cavidotto MT** ricadono nella formazione **a1 – Alluvioni antiche, formate quasi esclusivamente da detriti arrotondati. “Questa unità è costituita da Sabbie silicee decarbonatate con rare intercalazioni limose, ghiaie e conglomerati ad elementi quarzitici e calcareo-marnosi. Lo spessore massimo è di circa 20 m.** (cfr. Sabbie e ghiaie silicee di Mandria Polidori, AMBROSETTI et alii, 1981; Insieme di Campomorto, BOSI et alii, 1990). Localmente la parte sabbiosa sommitale è profondamente pedogenizzata.

L'unità affiora esclusivamente in riva destra del Torrente Arrone, poggia sull'Unità del Fosso di San Savino (SBM) costituita da argille e argille limoso-sabbiose grigie con intercalazioni di conglomerati ad elementi calcareo-marnosi arrotondati, in abbondante matrice sabbiosa e sulla Formazione Gessoso Solifera costituita da argille sabbiose a luoghi con cristalli di gesso

**Comune di Manciano**  
**PARCO EOLICO della Società SKI 36 S.R.L**  
**MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO Sottostazione Elettrica**

<b>CONDIZIONE DI STABILITA':</b>	Area con pendenza media del 4% verso Sudovest, non vi sono segni manifesti di impaludamenti
<b>CARATTERI STRUTTURALI:</b>	Formazione Gessoso-Solifera costituita da argillesabbiose, a luoghi, con cristalli di gesso. Questa formazione nell'area oggetto di studio è sormontata da terreni alluvionali, costituiti da sabbie silicee con intercalazioni limose e ghiaiose. Lo spessore massimo del materasso alluvionale è dell'ordine dei 20 metri metri.
<b>COEFFICIENTE D'INTENSITA' SISMICA</b>	ZONA 3 (Sismicità 0.05 < PGA < 0.15 g) PERICOLOSITA' DEL SITO 0.075g < Ag < 0.100 g
<b>CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE</b>	CATEGORIA "C" Depositi di sabbie e ghiaia mediamente addensate o di argille poco consistenti Vs30 = a 329,6 m/s
<b>CATEGORIA TOPOGRAFICA</b>	T1

p. 1/1

**CARATTERISTICHE LITOLOGICHE GEOTECNICHE AL DI SOTTO DELLA COPERTURA SUPERFICIALE**

1° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL PRIMO LIVELLO			
<b>LITOLOGIA da 1,20 a 4,00 metri</b> Sabbie limose	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</b>	Peso dell'unità di volume	$\gamma' = 18.00 \text{ KN/m}^3$
		Peso dell'unità di volume Saturo	$\gamma_{\text{sat}} = 18.50 \text{ KN/m}^3$
		Angolo di attrito	$\varphi' = 24.00^\circ$
		Coesione drenata	$c' = 5.00 \text{ KPa}$
		Coesione non drenata	$C_u = 30.00 \text{ KPa}$
		Modulo Edometrico	$E_{\text{ed}} = 8.00 \text{ MPa}$
		Velocità onde S	$V = 214 \text{ m/s}$
		Coefficiente di Poisson	$\nu = 0.33$
		Coefficiente di Winkler	$K = 19\,253 \text{ KN/m}^3$
		Coefficiente tangenziale	$K_{\tau} = 15\,701 \text{ KN/m}^3$
		Coefficiente di rigidità verticale dinamico	$K_d = 18\,476 \text{ KN/m}^3$
<b>TIPO di fondazioni consigliate x gli Aerogeneratori</b>	<b>PLATEA generale armata con piano di sedime ad una profondità di m 1.20 p.c.</b>		

**Comune di Montalto di Castro**  
**PARCO EOLICO della Società SKI 36 S.R.L**  
**MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO Aerogeneratori**

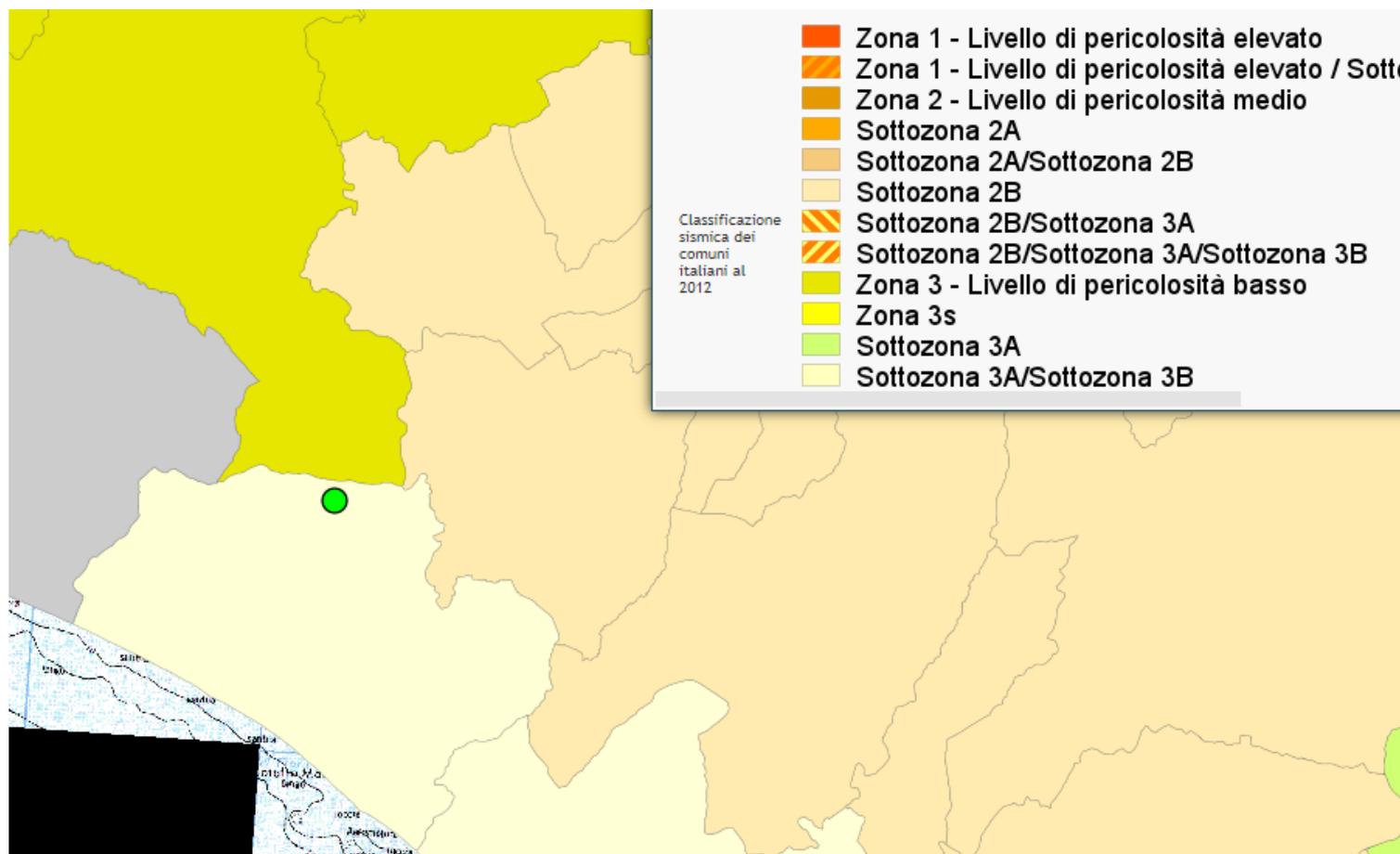
<b>CONDIZIONE DI STABILITA':</b>	Area con pendenza media del 3% verso Sudovest, non vi sono segni manifesti di impaludamenti		
<b>CARATTERI STRUTTURALI:</b>	Formazione Gessoso-Solfifera costituita da argillesabbiose, a luoghi, con cristalli di gesso. Questa formazione nell'area oggetto di studio è sommontata da terreni alluvionali, costituiti da sabbie silicee con intercalazioni limose e ghiaiose. Lo spessore massimo del materasso alluvionale è dell'ordine dei 20 metri metri.		
<b>COEFFICIENTE D'INTENSITA' SISMICA</b>	ZONA 3B (Sismicità 0.05<PGA< 0.15 g) PERICOLOSITA' DEL SITO 0.075g < Ag < 0.100 g		
<b>CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE</b>	CATEGORIA "C" Depositi di sabbie e ghiaia mediamente addensate o di argille poco consistenti		
<b>CATEGORIA TOPOGRAFICA</b>	V <sub>SSO</sub> = a 319,3 m/s T1		
p. 1/1			
<b>CARATTERISTICHE LITOLOGICHE GEOTECNICHE AL DI SOTTO DELLA COPERTURA SUPERFICIALE</b>			
<b>1° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL PRIMO LIVELLO</b>			
<b>LITOLOGIA da 1,50 a 20.00 metri</b>	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</b>	Peso dell'unità di volume	Y = 18.50 kN/m <sup>3</sup>
Sabbie limose con livelli di limo e ghiaia		Peso dell'unità di volume Saturo	Y <sub>sat</sub> = 18.90 kN/m <sup>3</sup>
possibilità di interoiettare la falda a -15-20 metri		Angolo di attrito	φ' = 24-26 °
		Coazione drenata	c' = 5.00 kPa
		Coazione non drenata	C <sub>u</sub> = 30-70 kPa
		Modulo Edometrico	E <sub>ed</sub> = 45 205.00 MPa
		Velocità onde S	V = 249 m/s
		Coefficiente di Poisson	ν = 0.33 -
		Coefficiente di Winkler	K = 24 516 kN/m <sup>3</sup>
		Coefficiente tangenziale	K <sub>τ</sub> = 18 828 kN/m <sup>3</sup>
	Coefficiente di rigidità verticale dinamico	K <sub>d</sub> = 21 770 kN/m <sup>3</sup>	
<b>2° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL SECONDO LIVELLO</b>			
<b>LITOLOGIA da 6.00 a 15.00 metri</b>	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</b>	Peso dell'unità di volume	Y = 20.00 kN/m <sup>3</sup>
Argille, argille limose, aluoghi con cristalli di gesso		Peso dell'unità di volume Saturo	Y <sub>sat</sub> = 20.50 kN/m <sup>3</sup>
		Angolo di attrito	φ' = 27.00 °
		Coazione drenata	c' = 30.00 kPa
		Coazione non drenata	C <sub>u</sub> = 150.00 kPa
		Modulo Edometrico	E <sub>ed</sub> = 12.00 MPa
		Velocità onde S	V = 552 m/s
		Coefficiente di Poisson	ν = 33.00 -
		Coefficiente di Winkler	K = 43 149 kN/m <sup>3</sup>
		Coefficiente tangenziale	K <sub>τ</sub> = 25 701 kN/m <sup>3</sup>
	Coefficiente di rigidità verticale dinamico	K <sub>d</sub> = 29 714 kN/m <sup>3</sup>	
<b>TIPO di fondazioni consigliate</b>	<b>Pali diametro 1200 mm, lunghezza 25 metri - numero di pali e loro disposizione e per ogni altre ulteriori valutazioni e considerazioni si rimanda al tecnico progettista</b>		

La realizzazione dei 5 Aerogeneratori ivi compresi strade di accesso, piazzole e cavidotto, con i dovuti accorgimenti tecnici che consentiranno di mantenere intatto il sistema drenante della zona e renderanno le opere in progetto perfettamente compatibili con il sistema idrogeologico della zona.

Si attesta la **PIENA COMPATIBILITÀ IDROGEOLOGICA** delle opere in progetto con il reticolo idrografico e con il sistema idrogeologico locale e con l'intero bacino idrogeologico.

#### 4. CARATTERISTICHE SISMICHE

Si illustra di seguito la Classificazione sismica del Comune di Montalto di Castro secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale del Lazio n. 387 del 22 maggio 2009, successivamente modificata con la D.G.R. n. 571 del 2 agosto 2019.



Individuazione del comun di **Montalto di Castro** in funzione della classificazione sismica

**Sottozona 3B** Livello di pericolosità molto basso

<b>Zona sismica 3B</b>	Zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti. La sottozona <b>3B</b> indica un valore di $a_g < 0,10g$ .
------------------------	--

Si illustra di seguito la Classificazione sismica del Comune di Manciano secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Deliberazione della Giunta Regionale Toscana n. 421 del 26 maggio 2014.

Individuazione



Individuazione del comun di **Manciano** in funzione della classificazione sismica **Zona 3** Livello di pericolosità basso

<p><b>Zona sismica</b> <b>3</b></p>	<p>Zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti con valori di <math>a_g</math> compresa tra <math>0,05 \text{ g} &lt; a_g \leq 0,15 \text{ g}</math></p>
---	--

Tutti gli aerogeneratori e la sottostazione SSE ricadono in un'area avente tutti la massima accelerazione orizzontale del suolo compresa **tra  $0.075 < g < 0.100$**

CATEGORIA	DESCRIZIONE
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi con $V_{s30} > 800$ m/s
B	Ghiaie e sabbie molto addensate o argille molto consistenti con $360 < V_{s30} < 800$ m/s
C	Ghiaie e sabbie mediamente addensate o argille mediamente consistenti con $180 < V_{s30} < 360$ m/s
D	Terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti con $V_{s30} < 180$ m/s
E	Terreni con sottosuoli di tipo <b>C</b> o <b>D</b> per spessori non superiori a 20 metri, posti su substrato con $V_s > 800$ m/s
S1	Terreni caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100$ m/s
S2	Terreni suscettibili di liquefazione o di argille sensitive

Per caratterizzare la **Categoria dei suoli di Fondazione** sono state eseguite N. 3 MASW.

Per gli aerogeneratori **WTG01, WTG02, WTG03, WTG04 e WTG05** l'area in studio è classificata come

**Categoria "C" Depositi di ghiaia e sabbia mediamente addensate o di argille di media consistenza con  $V_{s30}$  pari a 319.3 m/s.**

La Sottostazione di Trasformazione Elettrica (SSE) l'area in studio è sempre classificata come **Categoria "C" Depositi di ghiaia e sabbia mediamente addensate o di argille di media consistenza con  $V_{s30}$  pari a 329.6 m/s.**

## 5,1 CAPACITÀ PORTANTE DI FONDAZIONI DIRETTE

La verifica della capacità portante consiste nel confronto tra la pressione verticale di esercizio in fondazione e la pressione limite per il terreno, valutata secondo *Brinch-Hansen*:

$$q_{lim} = q N_q Y_q i_q d_q b_q g_q s_q + c N_c Y_c i_c d_c b_c g_c s_c + \frac{1}{2} G B' N_g Y_g i_g b_g s_g$$

dove

### Caratteristiche geometriche della fondazione:

$q$  = carico sul piano di fondazione

$B$  = lato minore della fondazione

$L$  = lato maggiore della fondazione

$D$  = profondità della fondazione

$\alpha$  = inclinazione base della fondazione

$G$  = peso specifico del terreno

$B'$  = larghezza di fondazione ridotta =  $B - 2 e_B$

$L'$  = lunghezza di fondazione ridotta =  $L - 2 e_L$

### Caratteristiche di carico sulla fondazione:

$H$  = risultante delle forze orizzontali

$N$  = risultante delle forze verticali

$e_B$  = eccentricità del carico verticale lungo  $B$

$e_L$  = eccentricità del carico verticale lungo  $L$

$F_h B$  = forza orizzontale lungo  $B$

$F_h L$  = forza orizzontale lungo  $L$

### Caratteristiche del terreno di fondazione:

$\beta$  = inclinazione terreno a valle

$c = c_u$  = coesione non drenata (condizioni  $U$ )

$c = c'$  = coesione drenata (condizioni  $D$ )

$\Gamma$  = peso specifico apparente (condizioni  $U$ )

$\Gamma = \Gamma'$  = peso specifico sommerso (condizioni  $D$ )

$\phi = 0$  = angolo di attrito interno (condizioni  $U$ )

$\phi = \phi'$  = angolo di attrito interno (condizioni  $D$ )

### Fattori di capacità portante:

$$N_q = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) \exp(\pi \cdot \tan \phi) \quad (\text{Prandtl-Cauchot-Meyerhof})$$

$$N_g = 2(N_q + 1) \tan \phi \quad (\text{Vesic})$$

$$N_c = \frac{N_q - 1}{\tan \phi} \quad \text{in condizioni } D \quad (\text{Reissner-Meyerhof})$$

$$N_c = 5,14 \quad \text{in condizioni } U$$

### Indici di rigidezza (condizioni $D$ ):

$$I_r = \frac{G}{c' + q' \tan \phi} = \text{indice di rigidezza}$$

$$q' = \text{pressione litostatica efficace alla profondità } D + \frac{B}{2}$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} = \text{modulo elastico tangenziale}$$

$$E = \text{modulo elastico normale}$$

$\mu$  = coefficiente di Poisson

$$I_{cr} = \frac{1}{2} \exp \left[ \frac{3,3 - 0,45 \frac{B}{L}}{\tan(45 - \frac{\phi'}{2})} \right] = \text{indice di rigidità critico}$$

Coefficienti di punzonamento (Vesic):

$$Y_q = Y_g = \exp \left[ \left( 0,6 \frac{B}{L} - 4,4 \right) \tan \phi' + \frac{3,07 \sin \phi' \log(2Ir)}{1 + \sin \phi'} \right] \text{ in condizioni drenate, per } Ir \leq I_{cr}$$

$$Y_c = Y_q - \frac{1 - Y_q}{N_c \times \tan \phi'}$$

Coefficienti di inclinazione del carico (Vesic):

$$i_g = \left( \frac{1 - H}{N + B \times L \times c' \times \cot \text{ang} \phi'} \right)^{m+1}$$

$$i_q = \left( \frac{1 - H}{N + B \times L \times c' \times \cot \phi'} \right)^m$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \times \tan \phi'} \quad \text{in condizioni D}$$

$$i_c = 1 - \frac{m \times H}{B \times L \times c_u \times N_c} \quad \text{in condizioni U}$$

essendo:

$$m = mB \cos^2 \Theta + mL \sin^2 \Theta$$

$$mB = \frac{2 + \frac{B'}{L'}}{1 + \frac{B'}{L'}} \quad mL = \frac{2 + \frac{L'}{B'}}{1 + \frac{L'}{B'}} \quad \Theta = \tan^{-1} \frac{Fh \times B}{Fh \times L}$$

Coefficienti di affondamento del piano di posa (Brinch-Hansen):

$$dq = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \arctg \frac{D}{B'} \quad \text{per } D > B'$$

$$dq = 1 + 2 \frac{D}{B'} \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \quad \text{per } D \leq B'$$

$$dc = dq - \frac{1 - dq}{N_c \times \tan \phi} \quad \text{in condizioni D}$$

$$dc = 1 + 0,4 \arctan \frac{D}{B'} \quad \text{per } D > B' \text{ in condizioni U}$$

$$dc = 1 + 0,4 \frac{D}{B'} \quad \text{per } D \leq B' \text{ in condizioni U}$$

Coefficienti di inclinazione del piano di posa:

$$bg = \exp(-2,7\alpha \tan \phi)$$

$$bc = bq = \exp(-2\alpha \tan \phi) \quad \text{in condizioni D}$$

$$bc = 1 - \frac{\alpha}{147} \quad \text{in condizioni U}$$

$$bq = 1 \quad \text{in condizioni U)}$$

Coefficienti di inclinazione del terreno di fondazione:

$$gc = gq = \sqrt{1 - 0,5 \tan \beta} \quad \text{in condizioni D}$$

$$g_c = 1 - \frac{\beta}{147} \quad \text{in condizioni U}$$

$$g_q = 1 \quad \text{in condizioni U}$$

Coefficienti di forma (*De Beer*):

$$s_g = 1 - 0,4 \frac{B'}{L'}$$

$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \tan \phi$$

$$s_c = 1 + \frac{B' N_q}{L' N_c}$$

L'azione del sisma si traduce in accelerazioni nel sottosuolo (effetto cinematico) e nella fondazione, per l'azione delle forze d'inerzia generate nella struttura in elevazione (effetto inerziale). Tali effetti possono essere portati in conto mediante l'introduzione di coefficienti sismici rispettivamente denominati  $K_{hi}$  e  $I_{gk}$ , il primo definito dal rapporto tra le componenti orizzontale e verticale dei carichi trasmessi in fondazione ed il secondo funzione dell'accelerazione massima attesa al sito. L'effetto inerziale produce variazioni di tutti i coefficienti di capacità portante del carico limite in funzione del coefficiente sismico  $K_{hi}$  e viene portato in conto impiegando le formule comunemente adottate per calcolare i coefficienti correttivi del carico limite in funzione dell'inclinazione, rispetto alla verticale, del carico agente sul piano di posa. Nel caso in cui sia stato attivato il flag per tener conto degli effetti cinematici il valore  $I_{gk}$  modifica invece il solo coefficiente  $N_g$ ; il fattore  $N_g$  viene infatti moltiplicato sia per il coefficiente correttivo dell'effetto inerziale, sia per il coefficiente correttivo per l'effetto cinematico.

#### FONDAZIONI SOTTOSTAZIONE MT/AT punto SSE

Le fondazioni saranno del tipo platea armata, ubicate ad una profondità di m 1,20 p.c dello spessore di 40 cm.

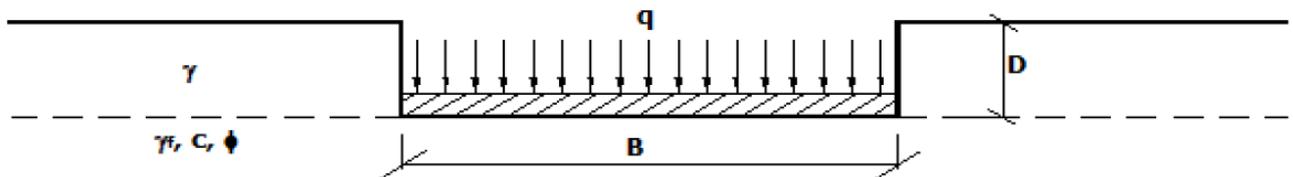
**NB:** Se la risultante dei carichi verticali è eccentrica, B e L saranno ridotte rispettivamente di:

$$B' = B - 2 \cdot e_B \quad e_B = \text{eccentricità parallela al lato di dimensione B;}$$

$$L' = L - 2 \cdot e_L \quad e_L = \text{eccentricità parallela al lato di dimensione L;}$$

con  $B' \leq L'$ .

dove:



## 5,2 Fondazioni Profonde

### • CAPACITÀ PORTANTE DI FONDAZIONI SU PALI

#### a) Pali resistenti a compressione

Il carico ultimo del palo a compressione risulta:

$$Q_{lim} = Q_{punta} + Q_{later} - P_{palo} - P_{attr\_neg}$$

#### Q<sub>punta</sub>: RESISTENZA ALLA PUNTA

- In terreni coesivi in condizioni non drenate:

$$Q_{punta} = (C_{up} \times N_c + \sigma_v) \times A_p \times R_c$$

essendo

C<sub>up</sub> = coesione non drenata terreno alla quota della punta

N<sub>c</sub> = coeff. di capacità portante = 9

σ<sub>v</sub> = tensione verticale totale in punta

A<sub>p</sub> = area della punta del palo

R<sub>c</sub> = coeff. di Meyerhof per le argille S/C

$$R_c = \frac{D+1}{2D+1} \quad \text{per pali trivellati} \quad R_c = \frac{D+0,5}{2D} \quad \text{per pali infissi}$$

D = diametro del palo

- In terreni coesivi in condizioni drenate (secondo Vesic):

$$Q_{punta} = (\mu \times \sigma_v' \times N_q + c' \times N_c) \times A_p$$

essendo

$$\mu = \frac{1+2(1-\sin\phi')}{3}$$

$$N_q = \frac{3}{3-\sin\phi'} \exp \left[ \left( \left( \frac{\pi}{2} - \phi' \right) \tan \phi' \right) \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\phi'}{2} \right) \times Irr^{\frac{4\sin\phi'}{3(1+\sin\phi')}} \right]$$

Irr = indice di rigidezza ridotta

$$Irr \approx Ir = \text{indice di rigidezza} = \frac{G}{c' + \sigma_v' \tan \phi'}$$

G = modulo elastico di taglio

σ<sub>v</sub>' = tensione verticale efficace in punta

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi'$$

- In terreni incoerenti (secondo Berezantzev):

$$Q_{punta} = \sigma_v' \times \alpha q \times N_q \times A_p$$

essendo

αq = coeff. di riduzione per effetto silos in funzione di L/D

N<sub>q</sub> = calcolato con φ\* secondo Kishida:

$$\phi^* = \phi' - 3^\circ$$

pali trivellati

per

$L$  = lunghezza del palo  $\phi^* = (\phi' + 40^\circ) / 2$  per pali infissi

**Qlater: RESISTENZA LATERALE**

- In terreni coesivi in condizioni non drenate:

$$Q_{later} = \alpha \times C_{um} \times A_s$$

essendo

$C_{um}$  = coesione non drenata media lungo lo strato

$A_s$  = area della superficie laterale del palo

$\alpha$  = coeff. riduttivo in funzione delle modalità esecutive:

- per pali infissi:

$\alpha = 1$	per $C_u \leq 25$ kPa (0,25 kg/cm <sup>2</sup> )
$\alpha = 1-0,011(C_u-25)$	per $25 < C_u < 70$ kPa
$\alpha = 0,5$	per $C_u \geq 70$ kPa (0,70 kg/cm <sup>2</sup> )

- per pali trivellati:

$\alpha = 0,7$	per $C_u \leq 25$ kPa (0,25 kg/cm <sup>2</sup> )
$\alpha = 0,7-0,008(C_u-25)$	per $25 < C_u < 70$ kPa
$\alpha = 0,35$	per $C_u \geq 70$ kPa (0,70 kg/cm <sup>2</sup> )

- In terreni coesivi in condizioni drenate:

$$Q_{later} = (1 - \sin \phi') \cdot \sigma'_v(z) \cdot \mu \cdot A_s$$

essendo

$\sigma'_v(z)$  = tensione verticale efficace lungo il fusto del palo

$\mu$  = coefficiente di attrito:

$\mu = \tan \phi'$	per pali trivellati
$\mu = \tan (3/4 \cdot \phi')$	per pali infissi prefabbricati

- In terreni incoerenti:

$$Q_{later} = K \cdot \sigma'_v(z) \cdot \mu \cdot A_s$$

essendo

$\sigma'_v(z)$  = tensione verticale efficace lungo il fusto del palo

$K$  = coefficiente di spinta:

$K = (1 - \sin \phi')$	per pali trivellati
$K = 1$	per pali infissi

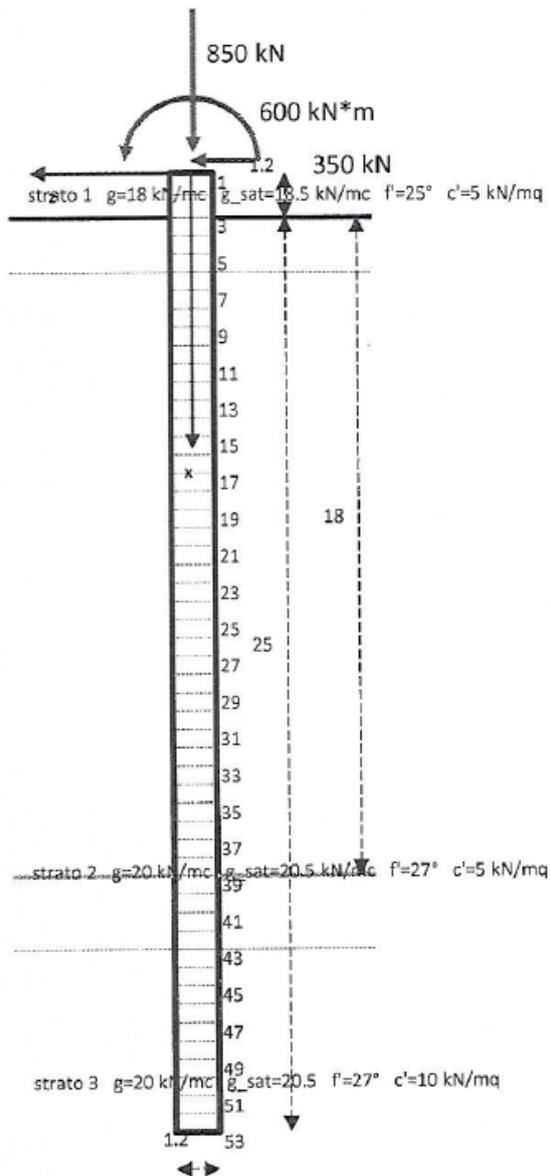
$\mu$  = coefficiente di attrito:

$\mu = \tan \phi'$	per pali trivellati
$\mu = \tan(3/4 \cdot \phi')$	per pali infissi prefabbricati

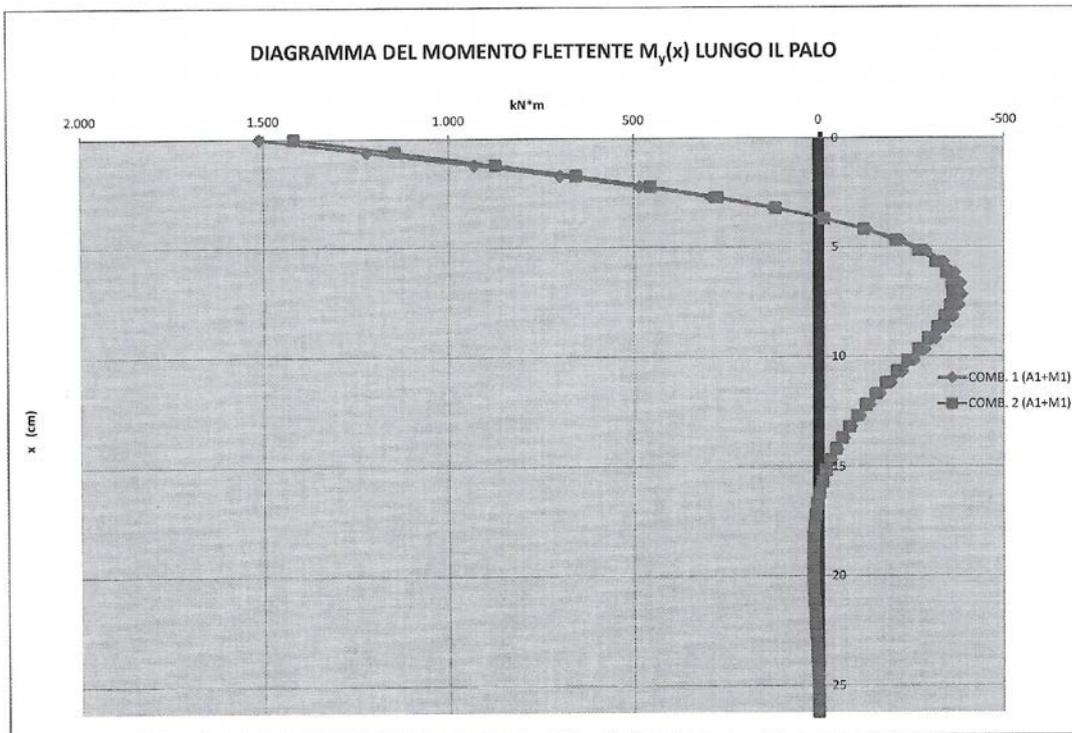
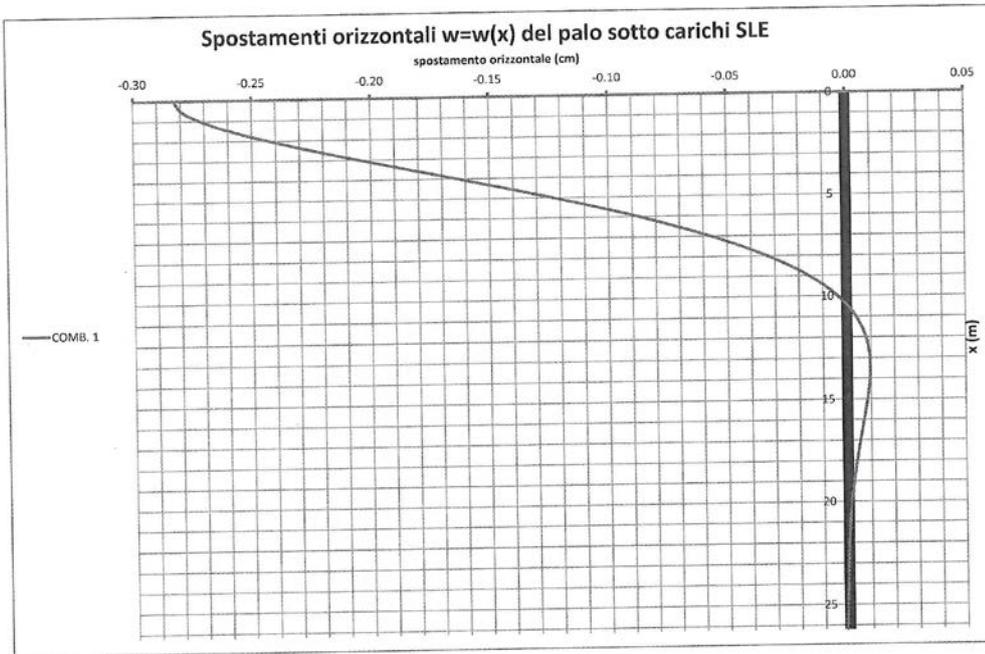
**Pp: PESO DEL PALO**

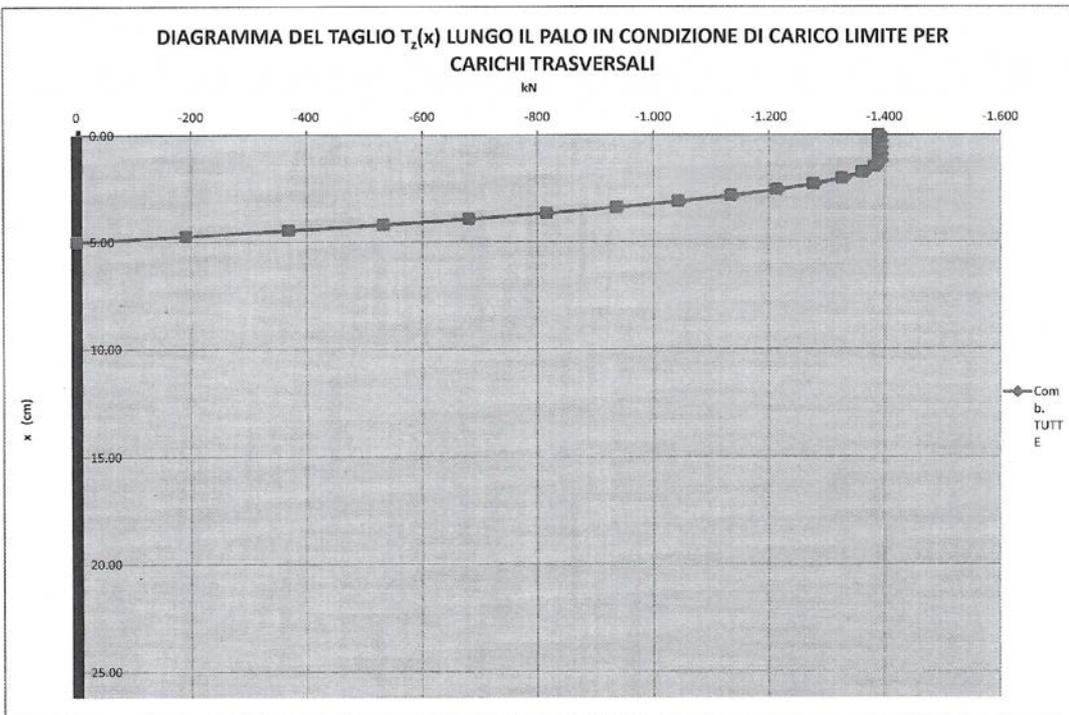
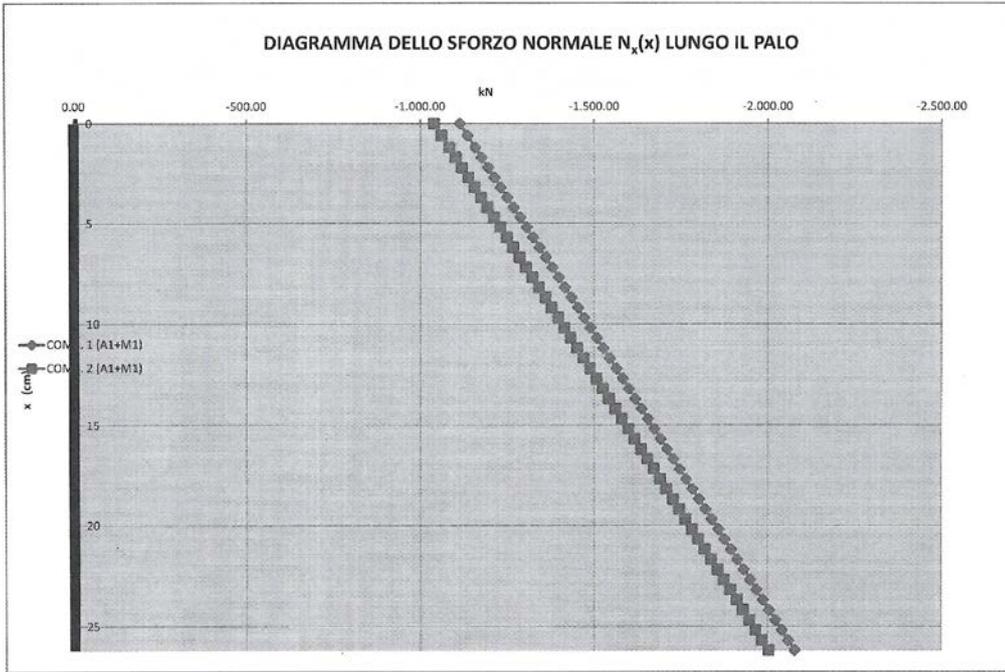


VERIFICA DI UN PALO TIPO DA 25 METRI NELLE CONDIZIONI GEOTECNICHE IPOTIZZATE:



DISEGNO scala 1:200 (scala forze 1 cm = 400 kN)





Per ogni aerogeneratore WTG01, WTG02, WTG03, WTG04 e WTG05 sarà dimensionata una fondazione in Calcestruzzo di forma circolare tronco conica con un affondamento minimo di 4,00 ml dal piano campagna con opportuni numeri di pali sul perimetro, di diametro min 100-120 cm e profondità tra i 25 – 35 ml. in relazione ai sondaggi in sito.

## 7.0 CONCLUSIONI

L'indagine presentata in questo studio ha descritto e quantificato i fattori geologici, geotecnici e sismici agenti nell'area. Le verifiche sono state eseguite allo scopo di fornire valutazioni e suggerimenti di supporto alla progettazione dell'intervento in oggetto, così come previsto dalla normativa vigente emanata con D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni". Tali disposizioni di legge stabiliscono i criteri da osservare per la pianificazione delle indagini specialistiche e per le verifiche di fattibilità. I risultati dello studio hanno permesso di caratterizzare i terreni di fondazione sia da un punto di vista geotecnico sia sismico, al fine di verificare la resistenza degli stessi e di fornire le indicazioni sulle più opportune soluzioni tecniche per realizzare l'intervento garantendo i necessari presupposti di sicurezza previsti dalla normativa. L'indagine non ha riscontrato particolari problemi per l'esecuzione dell'opera e non risultano presenti fenomeni gravitativi, in atto o pregressi, che possano potenzialmente interessare l'area in studio. Si può, in generale, affermare che i terreni indagati siano dotati di caratteristiche geotecniche da discrete a buone anche in considerazione delle scelte progettuali che privilegiano fondazioni profonde ad ampio sviluppo verticale su cui insisteranno strutture pesanti e con carichi concentrati degli aerogeneratori.

Si raccomanda di approfondire nella fase di progettazione esecutiva dettagliate prove di indagine su ogni aerogeneratore con sondaggi meccanici e prelievo di campioni indisturbati per le opportune prove di laboratorio, mentre per la SSE saranno sufficienti tre sondaggi non allineati fino a 15 metri di profondità.

Alla luce di quanto sopra esposto si ritiene che il sito in esame, tenuto conto delle caratteristiche geomeccaniche e sismiche dei terreni e della tipologia dell'opera, sia idoneo a ospitare l'opera in progetto.

Il progettista strutturale

Ing. Castriotta Lorenzo Giovanni

The image shows a handwritten signature in black ink over a blue circular professional stamp. The stamp contains the text: 'SERIE DOTT. ING. CASTRIOTTA LORENZO GIOVANNI' and 'PROV. MZ'. The signature is written in a cursive style across the stamp.