

# INTEGRALE RICOSTRUZIONE PARCHI EOLICI "Vulturino-Vulturara"

**ADEGUAMENTO TECNICO IMPIANTO EOLICO MEDIANTE INTERVENTO DI REPOWERING  
DELLE TORRI ESISTENTI E RIDUZIONE NUMERICA DEGLI AEROGENERATORI**



**Edison Rinnovabili Spa**  
Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano



Progettazione Coordinamento	 <b>VEGA sas</b> LANDSCAPE ECOLOGY & URBAN PLANNING Via.405 Cavr. 48 - 71021 Foggia - Tel.0881.766251 - Fax 1284412324 mail: info@studioprogettazionevega.org - website: www.studioprogettazionevega.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 	Studio Acustico	<b>Arch. Denora Marianna</b> Via Savona, 3 70022 Altamura (BA) Tel./Fax 080.9162455   Cell. 3315600322 E-Mail: info@studioprogettazioneacustica.it 
Studi Naturalistici e Forestali	<b>Dott. Forestale Luigi Lupo</b> Via Mario Pagano 47 - 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 (FG) Tel./Fax 0881.070126   Cell. 334.94.94.94 E-Mail: lauragiordano@gmail.com 
Progettazione elettrica	 <b>STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA MEZZINA</b> dott. ing. Antonio Via T. Solis 128   71016 San Severo (FG) Tel. 0882.228072   Fax 0882.243651 e-mail: info@studiomezzina.net 	Studio archeologico	 <b>Dott. Francesco Rossi</b> Tel. 340.8085188 E-Mail: dasiuscoop@gmail.com 

**Opera** **A** **Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 6 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 39,6 MW nei Comuni di Vulturino, Vulturara Appula ed opere di connessione nel comune di Alberona alle località "Piano dei Galli - Passo del Lupo" con smantellamento di n. 20 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 13,08 MW.**

Oggetto	Nome Elaborato: VIA_02_PNXF3G0-RGTC_Relazione geotecnica	Foglio: VIA_02_Relazioni tecniche e di progetto			
	Descrizione Elaborato: Relazione geotecnica				
00	Novembre 2023	Emissione per progetto definitivo	VEGA	Arch. A. Demaio	Edison Rinnovabili Spa
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione	Verifica	Approvazione
Scala:	----	A) Integrale Ricostruzione Vulturino - Vulturara			
Formato:	Codice progetto AU   <b>PNXF3G0</b>				

# RELAZIONE GEOTECNICA (preliminare)

**OGGETTO:**

Integrale Ricostruzione Parchi Eolici "Volturino-Volturara".  
Adeguamento tecnico impianto eolico mediante intervento di Repowering delle torri esistenti e riduzione numerica degli aerogeneratori.

**COMMITTENTE:**

Edison Rinnovabili Spa  
Foro Buonaparte 31, 20121 Milano



A handwritten signature in black ink is written over a blue circular stamp. The stamp contains the text: "PROVINCIA DI FOGGIA", "ING. LORENZO CASTRIOTTA", and "N. 107/2008".

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 dell'intervento di Integrale Ricostruzione di Parchi Eolici denominati "Volturino-Volturara" di sostituzione di 20 Wtg da 0,6 MW con 6 Wtg da 6,60 MW prevede una potenza complessiva a 39,6 MW futuri a fronte di 13,8 Mw attuali.

**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 della Regione Puglia.

Stando alla cartografia del Piano Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) dell'AdB Puglia, 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 della Puglia, nessuno dei 7 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**

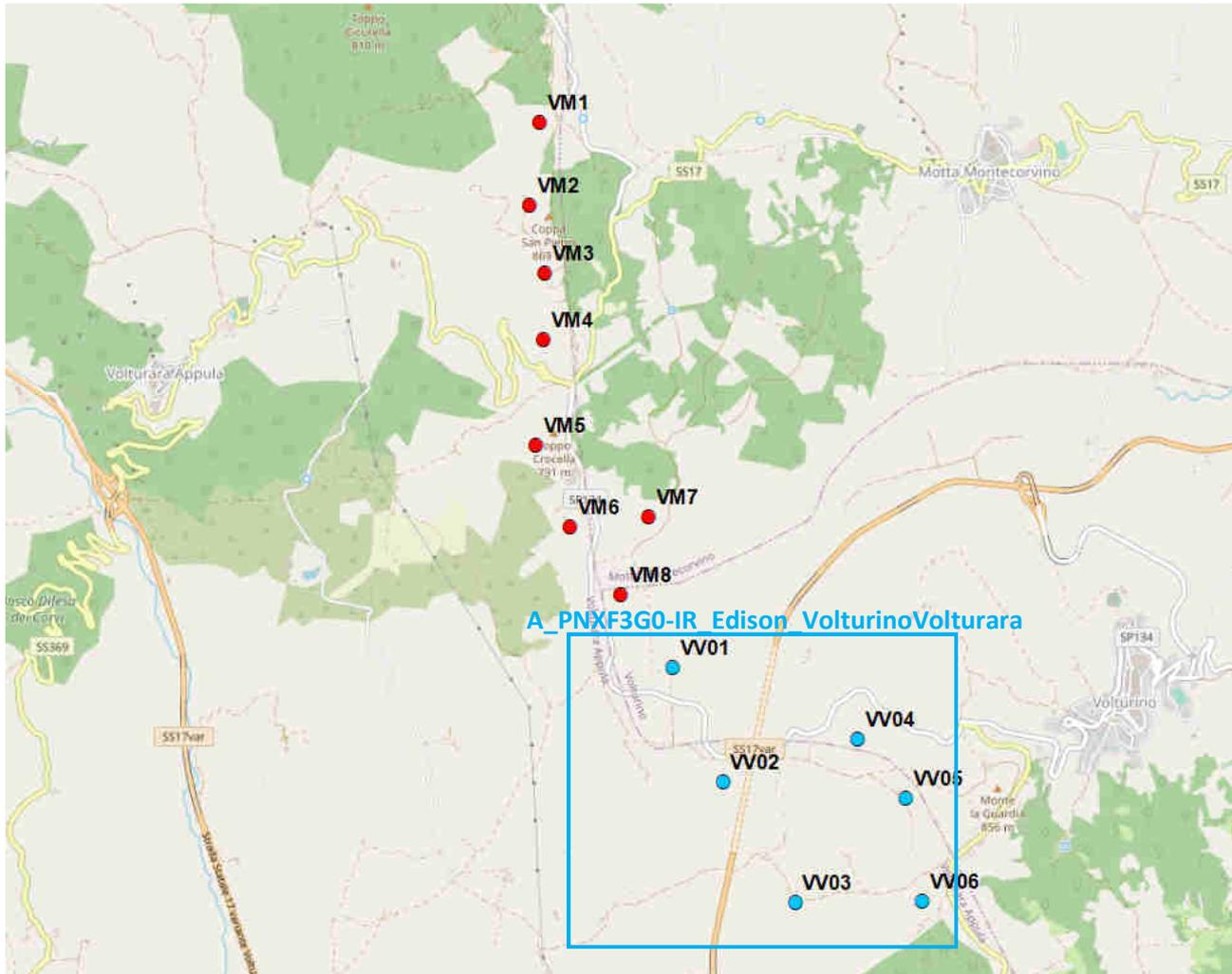
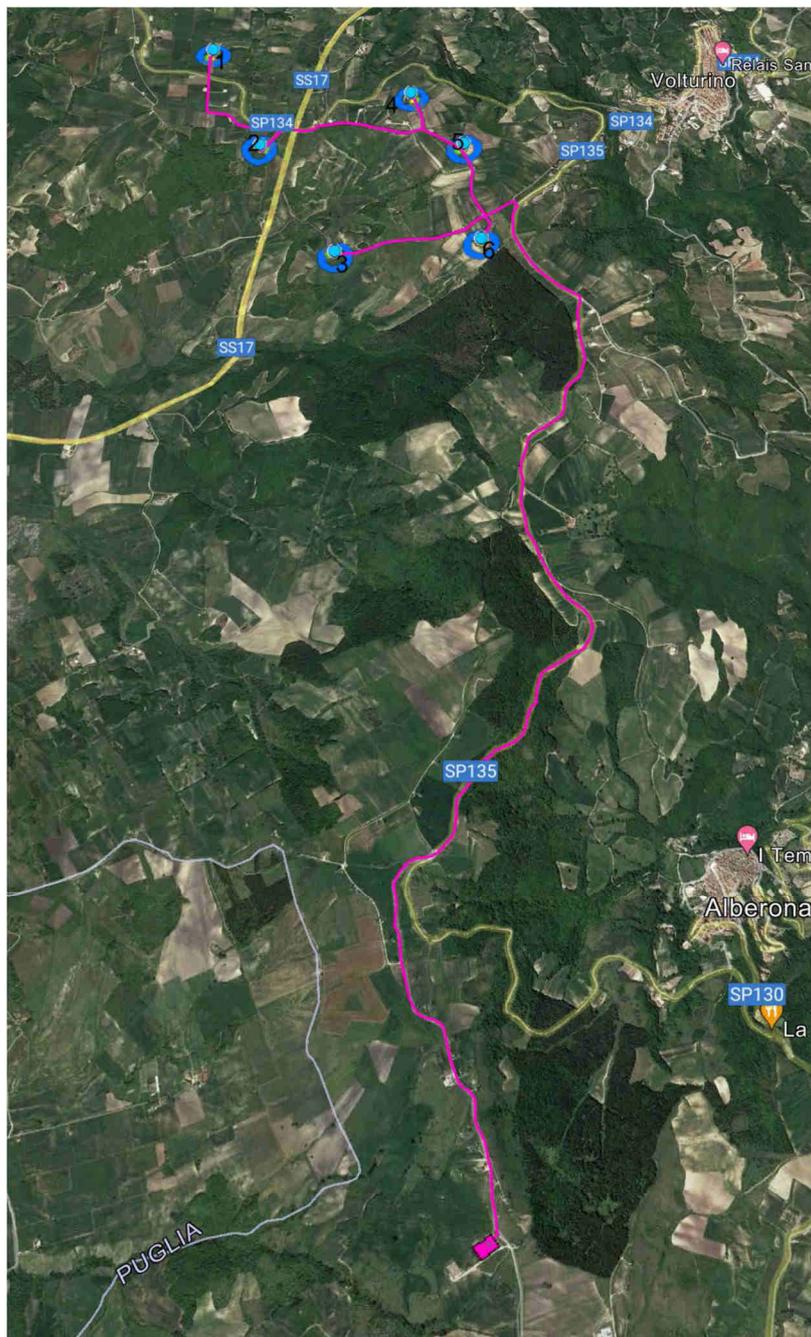


Figura 1. Inquadramento geografico dell'area di intervento relativamente all'impianto "A"

A_PNXF3G0-IR_Edison_VolturinoVolturara					
N WTG	Coordinate Asse		Dati Catastali		
	X	Y	Comune	Foglio	P.lle
VV01	507540	4591960	Volturino	25	91
					92
					370
VV02	507852	4591240	Volturara	31	24
					33
VV03	508305	4590479	Volturino	33	16
					194
					501
VV04	508699	4591514	Volturino	27	502
					365
					456
VV05	509003	4591136	Volturino	27	459
					108
					31
VV06	509104	4590484	Volturara	33	208
SSEU	509187	4585232	Alberona	30	208

Figura 2. Coordinate in asse degli aerogeneratori e posizione sul territorio



Come già evidenziato nei paragrafi precedenti l'intervento di Integrale Ricostruzione Parchi Eolici "Volturino-Volturara" prevede la sostituzione di 20 Wtg da 0,6 MW con 6 Wtg da 6,60 MW **prevede una potenza complessiva pari a 39,4 MW futuri a fronte di 13,08 Mw attuali.**

L'impianto eolico avrà le seguenti caratteristiche generali:

- N° 6 aerogeneratori di potenza unitaria nominale pari a 6,6 MW del tipo Siemens-Gamesa SG 6.6 con altezza totale TIP 180 mt;
- 6 cabine di trasformazione poste all'interno della torre di ogni aerogeneratore;
- 6 Plinti e pali di fondazione degli aerogeneratori;

- 6 Piazzole temporanea ad uso cantiere, manovra e montaggio;
- Nuova viabilità per una superficie complessiva di circa 34831 mq per il progetto “A”
- Un cavidotto interrato interno in media tensione a 30 kV per il trasferimento dell’energia prodotta dagli aerogeneratori dalla cabina di smistamento di lunghezza scavo circa 4,1 Km per il progetto “A”
- Un cavidotto esterno interrato di km 6,6 per il collegamento diretto dalla cabina di connessione/raccolta 30 kV alla Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150 kV di Alberona mediante le infrastrutture esistenti di proprietà per l’impianto “A”

Pertanto dalla relazione geologica:

#### **IMPIANTO A + Sottostazione Elettrica**

**L’Aerogeneratore 1**, anche se nella carta geologica è riportato nel Flysch di Faeto, in realtà, lo possiamo considerare, a tutti gli effetti, ricadente sui terreni appartenenti alla formazione del Flysch Rosso (FYR) costituito da Alternanza di argilliti policrome (grigio-verde e rosso) con calcareniti e calcilutiti in strati aventi spessori variabili da pochi centimetri ad alcuni decimetri, Lo spessore stimato è dell’ordine dei 300 metri.

**L’Aerogeneratore 2** ricade sui terreni appartenenti alla formazione del Flysch Rosso (FYR) costituito da Alternanza di argilliti policrome (grigio-verde e rosso) con calcareniti e calcilutiti in strati aventi spessori variabili da pochi centimetri ad alcuni decimetri, Lo spessore stimato è dell’ordine dei 300 metri.

**L’Aerogeneratore 3** ricade sui terreni appartenenti alla formazione delle Marne Argillose del Toppo Capuana (TPC) costituita da Alternanza di argille siltose e marne grigie in banchi con sottili strati di calcilutiti, poggiano in contatto stratigrafico per alternanza sul Flysch di Faeto, lo spessore è di circa 200 metri.

**Gli Aerogeneratore 4-5-6 e la Sottostazione Elettrica** ricadono sui terreni appartenenti al Flysch di Faeto (FAE) costituito da Alternanza di torbiditi calciclastiche e marne calcaree di colore biancastro con argille marnose di colore verdastro. Le torbididiti sono rappresentate da calcareniti a granulometria variabile da fine a grossolana di colore prevalentemente biancastro. Lo spessore della formazione è dell’ordine dei 500 metri, poggia con contatto stratigrafico sul Flysch Rosso e passa per alternanza alle marne argillose di Toppo Capuana.

Il **cavidotto interno** al Parco attraversa tutt’e tre le formazioni precedentemente descritte anche se essenzialmente per un buon 90% per cento insiste su terreni appartenenti al Flysch di Faeto, come pure il **cavidotto esterno**, ovvero il cavidotto che parte dall’impianto per arrivare fino alla Sottostazione Elettrica in agro del comune di Alberona.

Si precisa che tutt’e tre le formazioni sono ricoperte da terre di alterazione superficiale di spessore variabile.

Modello geologico-geotecnico Aerogeneratori 1-2 e 3 IMPIANTO A

## AEROGENERATORI 1 - 2 e 3 IMPIANTO A

<b>CONDIZIONE DI STABILITA':</b>	Area con pendenza media del 8-% verso EST-NORDEST e verso SUD non vi sono segni manifesti di movimenti franosi superficiali Unità tettoniche dalle più antiche alle più recenti Unità tettonica Flysch Rosso (FYR) L'area di intervento insiste essenzialmente sull'unità tettonica del FLYSCH ROSSO alternanze di argille, argille siltose e argilliti con contatto con contatto eteropico delle argille variegata (AV) e sulle Argille marnose di Toppo Capuano (TPC)
<b>COEFFICIENTE D'INTENSITA' SISMICA</b> definito nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006	<b>ZONA 2</b> (Sismicità $0.15 < PGA \leq 0.25$ g) <b>PERICOLOSITA' DEL SITO</b> $0.150 < PGA \leq 0.175$ g
<b>CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE</b>	<b>CATEGORIA "C"</b> Depositi di sabbie e ghiaia mediamente addensate o di argille mediamente consistenti <b>Vs30 = 345,4 m/s ;</b>

### CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E GEOTECNICHE

**LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL I LIVELLO**, al di sotto della copertura vegetale

<b>LITOLOGIA da 0,00 a 4,50 metri</b> Limo sabbioso argilloso grigio-giallastro, plastico, con venature rossastre, a struttura caotica.	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</b>	Peso dell'unità di volume	Y	=	17.800	KN/m <sup>3</sup>
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y <sub>sat</sub>	=	18.350	KN/m <sup>3</sup>
		Angolo di attrito (da prove di taglio diretto)	φ'	=	18.00	
		Coesione drenata (da prove di taglio diretto)	c'	=	8.00	
		Angolo di attrito (da prove di taglio diretto residuo)	φ'	=	16.67	°
		Coesione drenata (da prove di taglio diretto residuo)	c'	=	0.29	KPa
		Coesione non drenata	C <sub>u</sub>	=	50.00	KPa
		Modulo Edometrico	E <sub>ed</sub>	=	5.00	MPa
		Velocità onde S	V	=	148.94	m/s
		Modulo di Taglio	G	=	40	MPa
		Coefficiente di Poisson	ν	=	0.49	-
		Coefficiente di Winkler	K	=	21'574	KN/m <sup>3</sup>
		Coefficiente tangenziale	K <sub>τ</sub>	=	17'259	KN/m <sup>3</sup>
Coefficiente di rigidità verticale dinamica	K <sub>d</sub>	=	19'907	KN/m <sup>3</sup>		

**2° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL SECONDO LIVELLO**

<b>LITOLOGIA da 4,50 a 13,00 metri</b> Argilla marnosa scistosa di colore avana con venature bluastre, alternate a livelletti di marna dello stesso colore falda rivenuta a - 5.0 metri dal p.c.	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</b>	Peso dell'unità di volume	Y	=	18.60	KN/m <sup>3</sup>
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y <sub>sat</sub>	=	19.15	KN/m <sup>3</sup>
		Angolo di attrito	φ'	=	24.00	°
		Coesione drenata	c'	=	15.00	KPa
		Coesione non drenata	C <sub>u</sub>	=	75.00	KPa
		Modulo Edometrico	E <sub>ed</sub>	=	18.50	MPa
		Velocità onde S	V	=	766	m/s
		Modulo di Taglio	G	=	1'187	MPa
		Coefficiente di Poisson	ν	=	0.43	-
		Coefficiente di Winkler	K	=	42334	KN/m <sup>3</sup>
		Coefficiente tangenziale	K <sub>τ</sub>	=	31113	KN/m <sup>3</sup>
		Coefficiente di rigidità verticale dinamica	K <sub>d</sub>	=	35823	KN/m <sup>3</sup>

**3° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL TERZO LIVELLO**

<b>LITOLOGIA da 13,0 a 30,00 metri</b> Argilla marnosa grigio bluastro con livelletti di marna dello stesso colore	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</b>	Peso dell'unità di volume	Y <sub>med</sub>	=	21.000	KN/m <sup>3</sup>
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y <sub>sat</sub>	=	21.580	KN/m <sup>3</sup>
		Angolo di attrito	φ' <sub>med</sub>	=	27.00	°
		Coesione drenata	c' <sub>med</sub>	=	25.00	KPa
		Coesione non drenata	C <sub>u</sub>	=	524.00	KPa
		Modulo Edometrico	E <sub>ed</sub>	=	18.10	MPa
		Velocità onde S	V	=	1'027	m/s
		Modulo di Taglio	G	=	2'221	MPa
		Coefficiente di Poisson	ν	=	0.39	-
		Coefficiente di Winkler	K	=	80007	KN/m <sup>3</sup>
		Coefficiente tangenziale	K <sub>τ</sub>	=	55590	KN/m <sup>3</sup>
		Coefficiente di rigidità verticale dinamica	K <sub>d</sub>	=	64006	KN/m <sup>3</sup>

**TIPO di fondazioni consigliate** **Fondazioni su pali di lunghezza pari a 25 metri e diametro 1200 mm**  
per ogni altre ulteriori valutazioni e considerazioni si rimanda al tecnico progettista

Modello geologico-geotecnico Aerogeneratori 4-5 e 6 IMPIANTO A

<b>AEROGENERATORI 4 - 5 e 6 IMPIANTO A</b>	
<b>CONDIZIONE DI STABILITA':</b>	Area con pendenza media del 10-18% verso Sudovest non vi sono segni manifesti di movimenti franosi superficiali Unità tettoniche dalle più antiche alle più recenti L'area di intervento insiste essenzialmente sull'unità tettonica del FLYSCH di Faeto, alternanze di calcareniti e calciluti biancastre con argilliti dello stesso colore, argille marnose verdastre e passa per alternanza alle Marne Argilloso di Topo Capuano (TPC).
<b>COEFFICIENTE D'INTENSITA' SISMICA</b>	<b>ZONA 2</b> (Sismicità 0.15<PGA<= 0.25 g)
definito nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006	<b>PERICOLOSITA' DEL SITO</b> 0.150<PGA<= 0.175 g
<b>CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE</b>	<b>CATEGORIA "B"</b> Depositi di sabbie e ghiaia addensate o di argille consistenti <b>Vs30 = 452,3 m/s ;</b>

<b>CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E GEOTECNICHE</b>			
<b>LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL I LIVELLO</b> , al di sotto della copertura vegetale			
<b>LITOLOGIA da 1,20 a 5,20 metri</b> Argilla marnosa giallo-biancastra alternata a livelli calcarenitici molto fratturati, mediamente consistente	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</b>	Peso dell'unità di volume	Y = 17,500 KN/m <sup>3</sup>
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y <sub>sat</sub> = 17,950 KN/m <sup>3</sup>
		Angolo di attrito (da prove di taglio diretto)	φ' = 19,00
		Coesione drenata (da prove di taglio diretto)	c' = 5,00
		Angolo di attrito (da prove di taglio diretto residuo)	φ' = 16,00 °
		Coesione drenata (da prove di taglio diretto residuo)	c' = 0,00 KPa
		Coesione non drenata	C <sub>u</sub> = 60,00 KPa
		Modulo Edometrico	E <sub>ed</sub> = 4,00 MPa
		Velocità onde S	V = 150,00 m/s
		Modulo di Taglio	G = 45 MPa
		Coefficiente di Poisson	ν = 0,49 -
		Coefficiente di Winkler	K = 21'574 KN/m <sup>3</sup>
		Coefficiente tangenziale	K <sub>r</sub> = 17'259 KN/m <sup>3</sup>
Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	K <sub>d</sub> = 19'907 KN/m <sup>3</sup>		
<b>2° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL SECONDO LIVELLO</b>			
<b>LITOLOGIA da 5,200 a 14,50 metri</b> Argilla marnosa scistosa di colore avana chiaro con livelletti calcarenitici biancastri, consistent  falda rivenuta a - 5,20 metri dal p.c.	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</b>	Peso dell'unità di volume	Y = 18,50 KN/m <sup>3</sup>
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y <sub>sat</sub> = 19,10 KN/m <sup>3</sup>
		Angolo di attrito	φ' = 25,00 °
		Coesione drenata	c' = 15,00 KPa
		Coesione non drenata	C <sub>u</sub> = 100,00 KPa
		Modulo Edometrico	E <sub>ed</sub> = 15,00 MPa
		Velocità onde S	V = 766 m/s
		Modulo di Taglio	G = 1'187 MPa
		Coefficiente di Poisson	ν = 0,43 -
		Coefficiente di Winkler	K = 42334 KN/m <sup>3</sup>
		Coefficiente tangenziale	K <sub>r</sub> = 31113 KN/m <sup>3</sup>
		Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	K <sub>d</sub> = 35823 KN/m <sup>3</sup>
		<b>3° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL TERZO LIVELLO</b>	
<b>LITOLOGIA da 14,50 a 30,00 metri</b> Argilla marnosa grigio bluastra con rari livelletti arenace di colore avana, consistente	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</b>	Peso dell'unità di volume	Y <sub>med</sub> = 20,500 KN/m <sup>3</sup>
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y <sub>sat</sub> = 21,100 KN/m <sup>3</sup>
		Angolo di attrito	φ' <sub>med</sub> = 26,00 °
		Coesione drenata	c' <sub>med</sub> = 30,00 KPa
		Coesione non drenata	C <sub>u</sub> = 300,00 KPa
		Modulo Edometrico	E <sub>ed</sub> = 15,00 MPa
		Velocità onde S	V = 1'027 m/s
		Modulo di Taglio	G = 2'221 MPa
		Coefficiente di Poisson	ν = 0,39 -
		Coefficiente di Winkler	K = 80007 KN/m <sup>3</sup>
		Coefficiente tangenziale	K <sub>r</sub> = 55590 KN/m <sup>3</sup>
		Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	K <sub>d</sub> = 64006 KN/m <sup>3</sup>
		<b>TIPO di fondazioni consigliate</b>	<b>Fondazioni su pali di lunghezza pari a 25 metri e diametro 1200 mm</b> per ogni altre ulteriori valutazioni e considerazioni si rimanda al tecnico progettista

Modello geologico-geotecnico SSE (ALBERONA)

<b>AREA SOTTOSTAZIONE ELETTRICA SITA NEL COMUNE DI ALBERONA IMPIANTO A</b>	
<b>CONDIZIONE DI STABILITA':</b>	Area con pendenza media del 10-18% verso Sudovest non vi sono segni manifesti di movimenti franosi superficiali Unità tettoniche dalle più antiche alle più recenti L'area di intervento insiste essenzialmente sull'unità tettonica del FLYSCH di Faeto, alternanze di calcareniti e calciluti biancastre con argilliti dello stesso colore, argille marnose verdastre e passa per alternanza alle Marne Argillose di Topo Capuano (TPC).
<b>COEFFICIENTE D'INTENSITA' SISMICA</b> definito nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006	<b>ZONA 2</b> (Sismicità $0.15 < PGA <= 0.25 g$ ) <b>PERICOLOSITA' DEL SITO</b> $0.150 < PGA <= 0.175 g$
<b>CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE</b>	<b>CATEGORIA "B"</b> Depositi di sabbie e ghiaia addensate o di argille consistenti <b>Vs30 = 452,3 m/s ;</b>

Committente	<b>SOTTOSTAZIONE MT/AT</b> AGRO DEL COMUNE DI ALBERONA (FG)	
POSTAZIONE	<b>SOTTOSTAZIONE MT/AT</b>	
MORFOLOGIA:	Area con pendenza media del 15-20% verso Sud Ovest	
CONDIZIONE DI STABILITA':	Area stabile, non vi sono segni manifesti di movimenti franosi in atto o potenziali	
LITOLOGIA:	Flysch di Faeto (Membro calcareo marnoso) Fitta alternanza di livelli calcarei biancastri fraturati con livelli di argilla marnosa avana.	
FALDA IDRICA	Non rinvenuta	
CARATTERI STRUTTURALI:	Formazione calcareo-marnosa appartenente al membro calcareo marnoso della Formazione della Dauria (Flysch di Faeto)	
CARATTERI GEOTECNICI: relativi al substrato fondazionale	Peso dell'unità di volume	$\gamma = 1.916 \text{ g/cm}^3$
	Angolo di attrito	$\phi = 21^\circ$
	Coesione drenata	$c = 0.22 \text{ Kg/cm}^2$
	Coesione non drenata	$Cu = 0.80 \text{ Kg/cm}^2$
	Modulo Edometrico (1-2 Kg/cm <sup>2</sup> )	$E_s = 180 \text{ Kg/cm}^2$
TIPO DI FONDAZIONE	Plata	D=1,20 metri      A= 10 metri – B= 5 metri
PIANO DI POSA (lato valle):	Profondità -1,20 metri dal piano campagna	

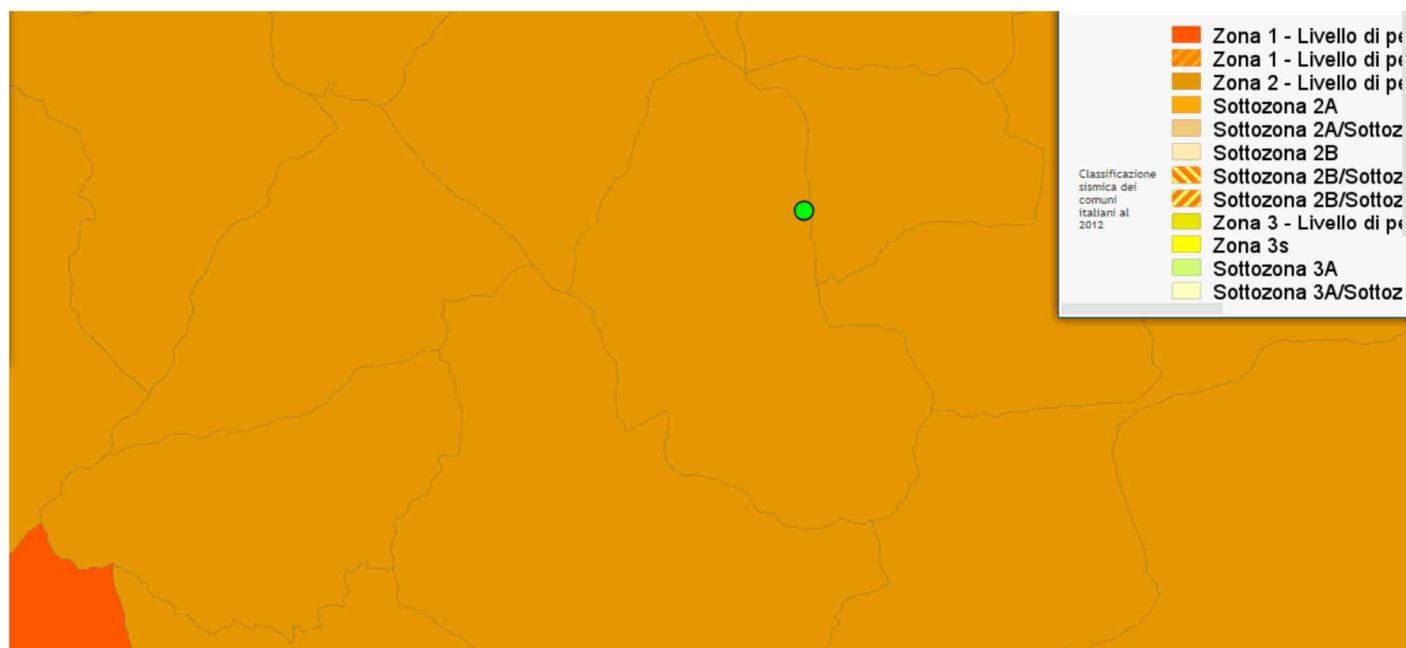
<b>CARATTERI GEOTECNICI:</b> relativi al 1° livello Da metri 0.90 a metri 6.60	Peso dell'unità di volume	$\gamma = 1.916 \text{ g/cm}^3$
	Angolo di attrito	$\phi = 21^\circ$
	Coesione drenata	$c = 0.22 \text{ Kg/cm}^2$
	Coesione non drenata	$Cu = 0.80 \text{ Kg/cm}^2$
	Modulo Edometrico (1-2 Kg/cm <sup>2</sup> )	$E_s = 180 \text{ Kg/cm}^2$
<b>CARATTERI GEOTECNICI:</b> relativi al 2° livello Da metri 6.60 a metri 13.00	Peso dell'unità di volume	$\gamma = 1.946 \text{ g/cm}^3$
	Angolo di attrito	$\phi = 25^\circ$
	Coesione drenata	$c = 0.27 \text{ Kg/cm}^2$
	Coesione non drenata	$Cu = 1.17 \text{ Kg/cm}^2$
	Modulo Edometrico (2-4 Kg/cm <sup>2</sup> )	$E_s = 120 \text{ Kg/cm}^2$
<b>CARATTERI GEOTECNICI:</b> relativi al 3° livello Da metri 13.00 a metri 20.00	Peso dell'unità di volume	$\gamma = 2.01 \text{ g/cm}^3$
	Angolo di attrito	$\phi = 27^\circ$
	Coesione drenata	$c = 0.35 \text{ Kg/cm}^2$
	Coesione non drenata	$Cu = 1.98 \text{ Kg/cm}^2$
	Modulo Edometrico (1-2 Kg/cm <sup>2</sup> )	$E_s = 140 \text{ Kg/cm}^2$

La realizzazione dei 6 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 dei comuni di Volturara Appula, Motta Montecorvino, Volturino e Alberona secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 rilasciata il 20 marzo 2003 sulla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8 maggio 2003 aggiornata al 2006



Individuazione del comune di **Volturino - Volturara** in funzione della classificazione sismica

	Classificazione 2003	PGA (g)
Comune di MOTTA Montecorvino	Zona 2	0.15 g < PGA < 0.25 g
Comune di Volturara Appula	Zona 2	0.15 g < PGA < 0.25 g
Comune di Volturino	Zona 2	0.15 g < PGA < 0.25 g
Comune di Alberona	Zona 2	0.15 g < PGA < 0.25 g

Individuazione dei comuni di **Volturino – Volturara** in funzione della classificazione sismica **Zona 2** Livello di pericolosità media

Tutti gli aerogeneratori ricadono in un'area avente tutti la massima accelerazione orizzontale del suolo compresa tra  $0.150 < g < 0.175$   
 La sottostazione SSE ricade in area avente la massima accelerazione orizzontale del suolo compresa tra  $0.125 < g < 0.150$ .

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 C o D 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.

L'area su cui insistono gli Aerogeneratori 1 – 2 e 3 è classificata come **Categoria "C"** Depositi di ghiaia e sabbia mediamente addensate o di argille di media consistenza con **Vs30** uguale a **345.1 m/s**.

• L'area su cui insistono gli Aerogeneratori 4- 5 e 6 è classificata come **Categoria "B"** Depositi di ghiaia e sabbia addensate o di argille consistenti con **Vs30** uguale a **452.3 m/s**

• La Sottostazione di Trasformazione Elettrica (**SSE**) sita nel comune di Alberona è classificata come **Categoria "B"** Depositi di ghiaia e sabbia addensate o di argille consistenti con **Vs30** uguale a **450 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:

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

$$mB = \frac{2 + \frac{B'}{L'}}{1 + \frac{B'}{L'}}$$

$$mL = \frac{2 + \frac{L'}{B'}}{1 + \frac{L'}{B'}}$$

$$\Theta = \tan^{-1} \frac{Fh \times B}{Fh \times L}$$

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:

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

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

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

Coefficienti di forma (De Beer):

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

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

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

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 AMPLIAMENTO E/O ADEGUAMENTO SOTTOSTAZIONE MT/AT punto SSE

Le fondazioni dell'ampliamento dei fabbricati adibiti ai quadri elettrici saranno del tipo platea armata, ubicate ad una profondità di m 1,20 p.c dello spessore di 40 cm.

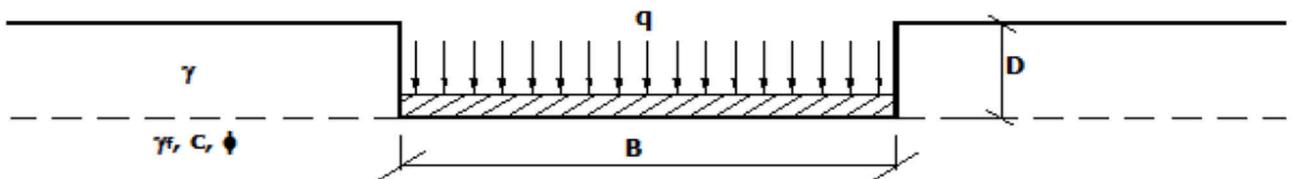
**NB:** Se la risultante dei carichi verticali è eccentrica, B e L saranno ridotte rispettivamente di:

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

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

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:

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

#### Opunta: 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

$C_{up}$  = coesione non drenata terreno alla quota della punta

$N_c$  = coeff. di capacità portante = 9

$\sigma_v$  = tensione verticale totale in punta

$A_p$  = area della punta del palo

$R_c$  = 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

$\sigma_v'$  = 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

$\alpha q$  = coeff. di riduzione per effetto silos in funzione di  $L/D$

$N_q$  = calcolato con  $\phi^*$  secondo *Kishida*:

$\phi^* = \phi' - 3^\circ$  per  
 pali trivellati  
 $\phi^* = (\phi' + 40^\circ) / 2$  per pali infissi

L = lunghezza del palo

**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:

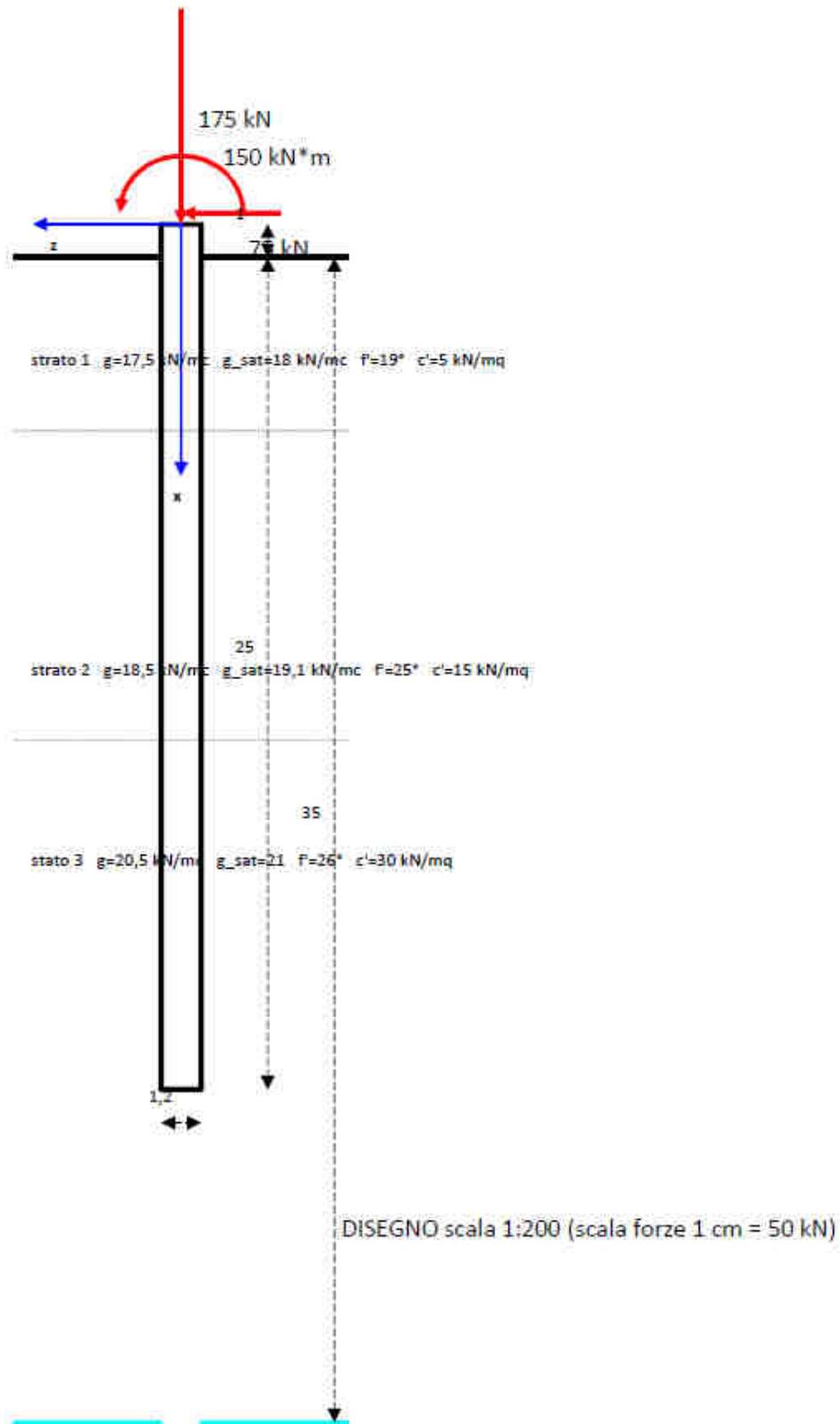
$\mu = \tan \phi'$  per pali trivellati  
 $\mu = \tan (3/4 \cdot \phi')$  per pali infissi prefabbricati

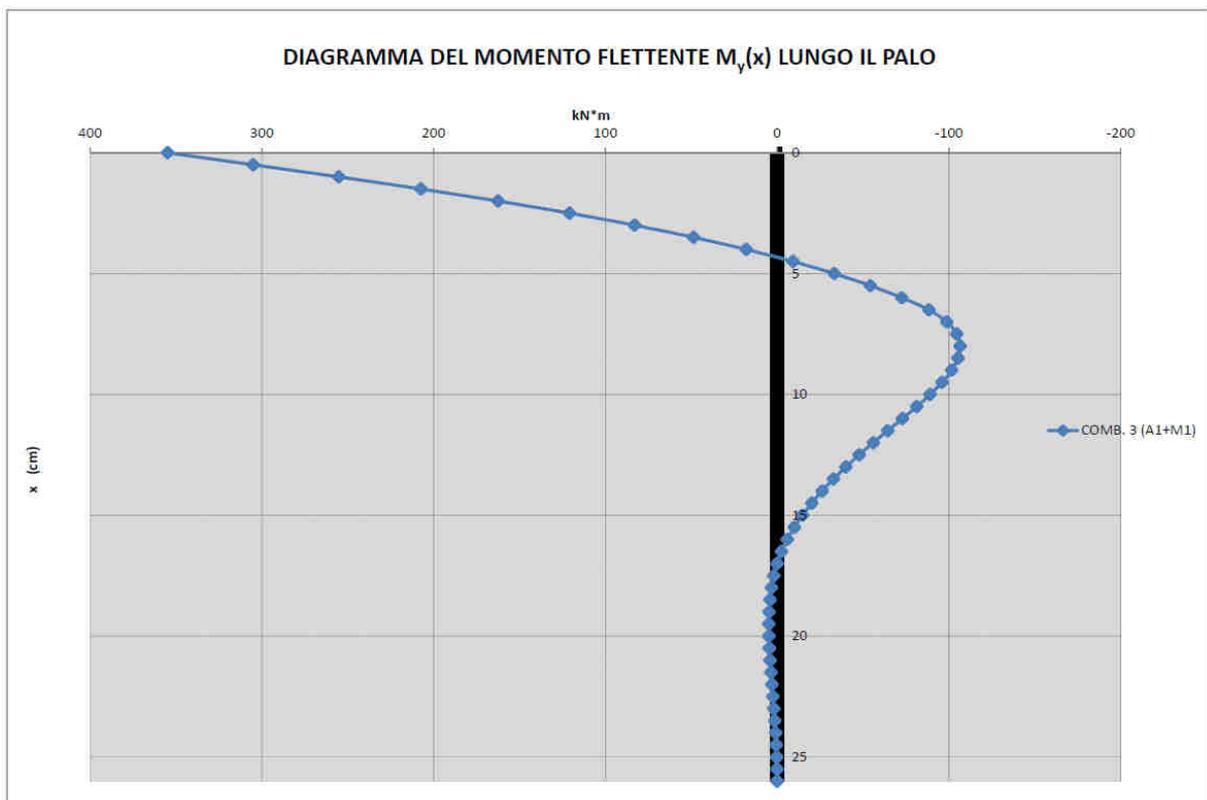
**Pp: PESO DEL PALO**

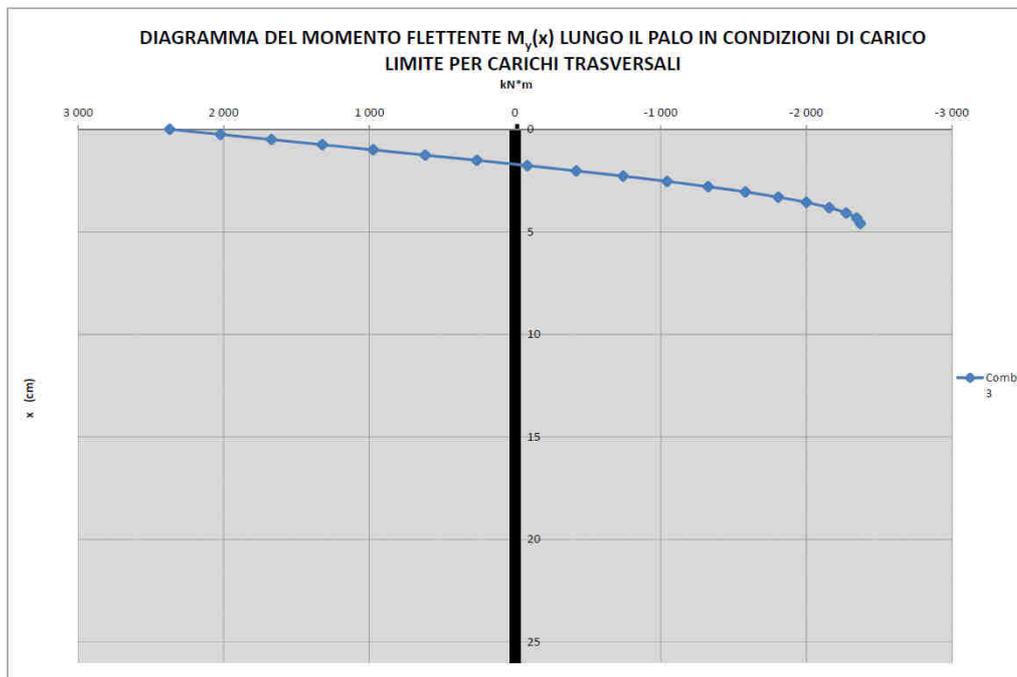
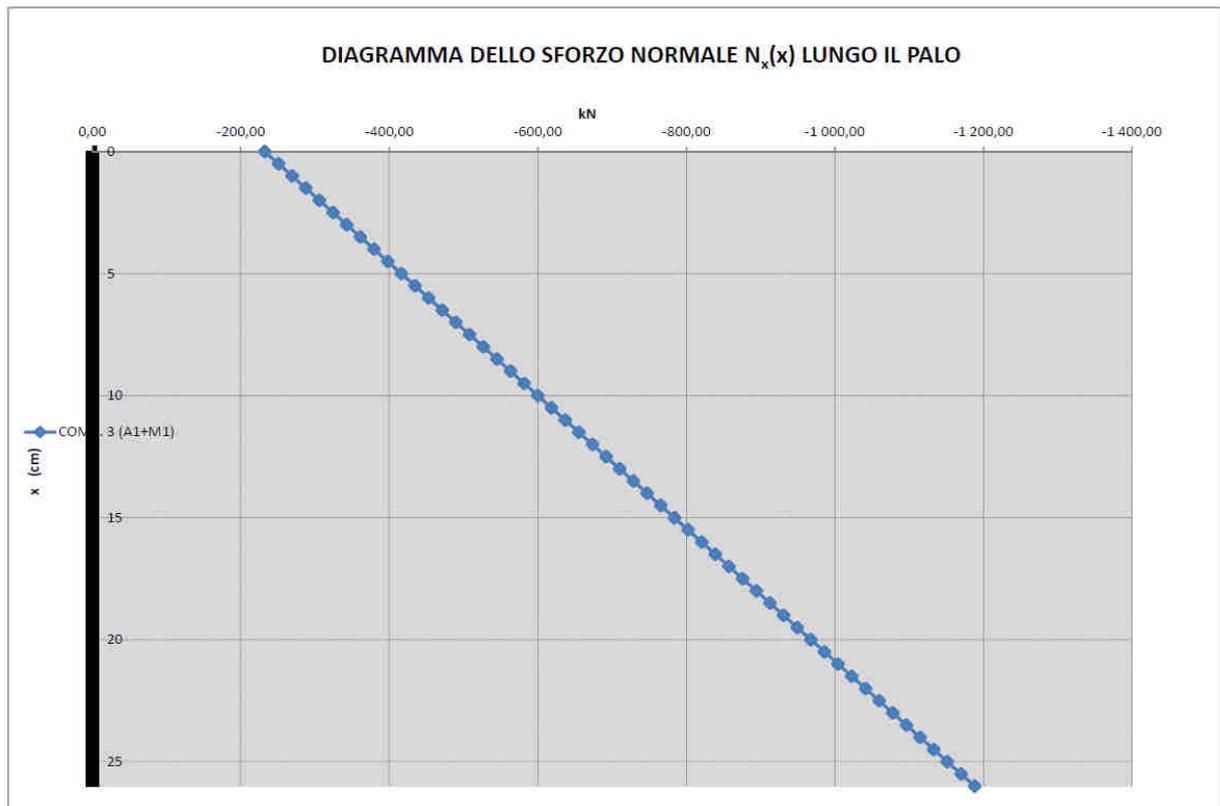


$$Q_{amm} = Q_{lim} / \mu_L$$

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







Per ogni aerogeneratore WTG01, WTG02, WTG03, WTG04 , WTG05 e WTG06 sarà dimensionata una fondazione in Calcestruzzo di forma circolare tronco conica con un affondamento minimo di 3,5 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.

## 6.0 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 25 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.

Manfredonia Ottobre 2023

Il progettista strutturale

Ing. Castriotta Lorenzo Giovanni

A blue circular professional stamp of the Province of Frosinone, containing the text "PROVINCIA DEL FRASCANO", "ING. LORENZO G. CASTRIOTTA", and "N. 1777". A handwritten signature in black ink is written over the stamp.