

INTEGRALE RICOSTRUZIONE PARCHI EOLICI

"Orsara"

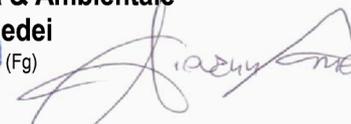
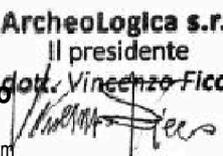
ADEGUAMENTO TECNICO IMPIANTO EOLICO MEDIANTE INTERVENTO DI REPOWERING DELLE TORRI ESISTENTI E RIDUZIONE NUMERICA DEGLI AEROGENERATORI



Edison Rinnovabili Spa

Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano



Progettazione Coordinamento	 VEGA sas LANDSCAPE ECOLOGY & URBAN PLANNING Via delli Carri, 48 - 71121 Foggia - Tel. 0881.756251 - Fax 1784412324 mail: info@studiovega.org - website: www.studiovega.org	Studi Ambientali e Paesaggistici	Arch. Antonio Demaio Via N. delli Carri, 48 - 71121 Foggia (FG) Tel. 0881.756251 Fax 1784412324 E-Mail: sit.vega@gmail.com 
Studio Geologico-Idrologico	Studio di Geologia Tecnica & Ambientale Dott.sa Geol. Giovanna Amedei Via Pietro Nenni, 4 - 71012 Rodi Garganico (Fg) Tel./Fax 0884.965793 Cell. 347.6262259 E-Mail: giovannaamedei@tiscali.it 	Studio Acustico	Arch. Denora Marianna Via Savona, 3 70022 Altamura (BA) Tel./Fax 080.9162455 Cell. 3315600322 E-Mail: info@studioprogettazioneacustica.it 
Studi Naturalistici e Forestali	Dott. Forestale Luigi Lupo Via Mario Pagano 47 - 71121 Foggia E-Mail: luigilupo@libero.it 	Studio Idraulico	Studio di ingegneria Dott.sa Ing. Antonella Laura Giordano Viale degli Aviatori, 73 - 71121 Foggia (FG) Tel./Fax 0881.070126 Cell. 3315600322 E-Mail: lauragiordano@gmail.com 
Progettazione elettrica	 STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA MEZZINA dott. ing. Antonio Via T. Solis 128 71016 San Severo (FG) Tel. 0882.228072 Fax 0882.243651 e-mail: info@studiomezzina.net 	Studio archeologico	 ArcheoLogica s.r.l. Il presidente Dott. Vincenzo Ficco Tel. 0881.750334 E-Mail: info@archeologicasrl.com 
Opera	<p>Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 7 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 46,2 MW nel Comune di Orsara di Puglia e relative opere di connessione alla località "Montagna" con smantellamento di n. 30 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 18 MW.</p>		
Oggetto	Nome Elaborato: VIA_02_WJQUTJ3-RGTC_Relazione geotecnica	Folder: VIA_02_Rilievi planoaltimetrici	Descrizione Elaborato: Relazione geotecnica
00	Maggio 2024	Emissione per progetto definitivo	VEGA Arch. A. Demaio Edison Rinnovabili Spa
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione Verifica Approvazione
Scala:	Varie	Integrale Ricostruzione Orsara	
Formato:	Codice progetto AU WJQUTJ3		

RELAZIONE GEOTECNICA (preliminare)

OGGETTO:

Integrale Ricostruzione Parchi Eolici "Orsara".
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



Il tecnico strutturista
Ing. Castriotta Lorenzo G

RELAZIONE GEOTECNICA

Sommario

1. PREMESSA	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3. TIPOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI	3
3.1 PROPRIETA' FISICHE E MECCANICHE DEI TERRENI IN SITO.....	4
4. CARATTERISTICHE SISMICHE	6
5. CRITERI DI PROGETTO E MODELLAZIONE GEOTECNICA - VERIFICHE	8
5.1 FONDAZIONI DIRETTE	10
5.2 FONDAZIONI PROFONDE	13
6. CONCLUSIONI	19

1) 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 "Orsara" di sostituzione di 60 Wtg da 0,6 MW con 7 Wtg da 6,60 MW prevede una potenza complessiva a 46,2 MW futuri a fronte di 18,00 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 .

2) 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.

3) TIPOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECHICHE DEI TERRENI

Dalla relazione geotecnica fornita dal dott. Geol. **Giovanna Amedei** iscritta al n° 438 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 Giovanna Amedei dalla quale si evincono le seguenti caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni interessati dall'intervento.

• **Zona di intervento**

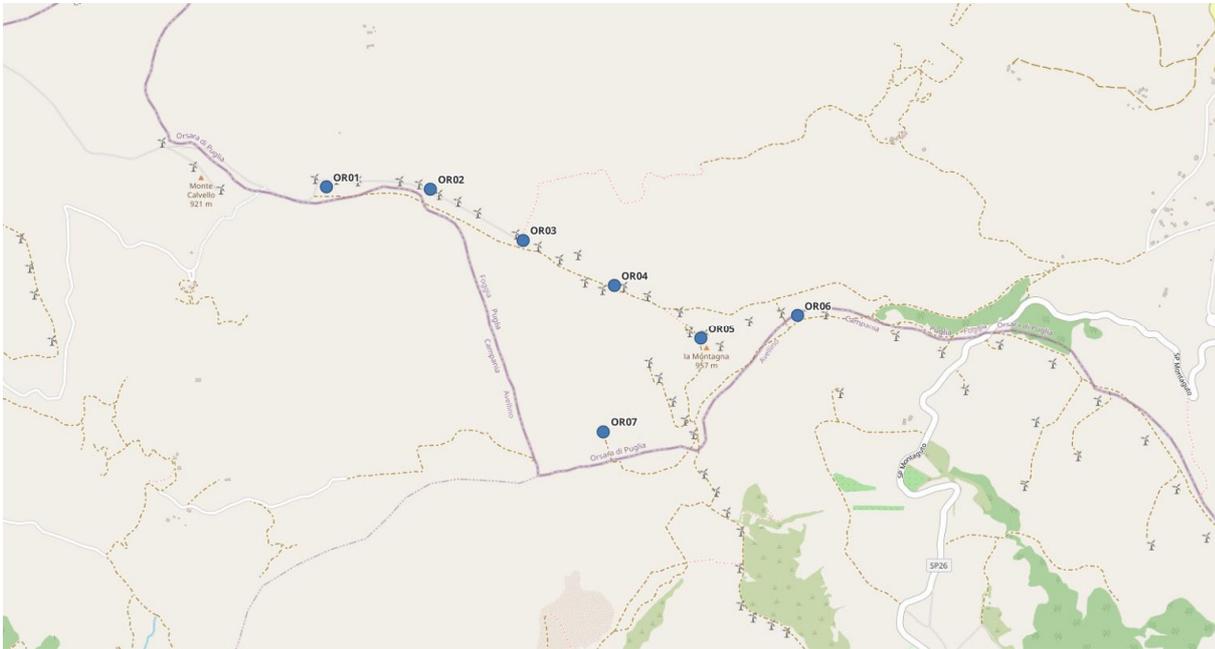


Figura 1. Inquadramento geografico dell'area di intervento

WTG DI PROGETTO		
Nome	Coordinate WGS84 - UTM 33N	
	X	Y
OR01	517465	4569582
OR02	517955	4569572
OR03	518390	4569333
OR04	518821	4569123
OR05	519228	4568869
OR06	519682	4568984
OR07	518771	4568428

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

Come già evidenziato nei paragrafi precedenti l'intervento di Integrale Ricostruzione Parchi Eolici "Orsara" prevede la sostituzione di 30 WTG con 7 WTG da 6,60 MW **prevede una potenza complessiva pari a 46,2 MW futuri a fronte di 18 MW attuali.**

L'impianto eolico avrà le seguenti caratteristiche generali:

- N° 7 aerogeneratori di potenza unitaria nominale fino a 6,6 MW del tipo Siemens-Gamesa SG 6.6 con altezza totale alla punta pala (TIP) fino a 180 mt;
- 7 cabine di trasformazione poste all'interno della torre di ogni aerogeneratore;
- 7 Plinti con pali di fondazione degli aerogeneratori;

- 7 Piazzole temporanea ad uso cantiere, manovra e montaggio;
- Nuova viabilità per una superficie complessiva di circa 7754 5 mq
- Un cavidotto interrato in media tensione a 30 kV di km 17 8 per il trasferimento dell'energia prodotta dagli aerogeneratori alla Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150 kV di Orsara di Puglia mediante le infrastrutture esistenti di proprietà

Pertanto dalla relazione geologica:

L'area di diretto interesse progettuale è caratterizzata da formazioni geologiche relativamente recenti che vanno dal periodo Miocenico a quello Olocenico attuale.

Il rilevamento geologico di dettaglio, esteso su di un'area sufficientemente ampia, ha evidenziato che i terreni dell'area progettuale sono ascrivibili (Fig. 4) alla Formazione della Daunia (bcD) nei suoi componenti Calcareo – Marnoso e Argilloso Marnoso.

La Formazione della Daunia costituisce la porzione esterna della catena appenninica, al confine apulo-molisano, è caratterizzata localmente da predominanza di affioramenti argillosi variamente costipati e fogliettati alternanti a strati calcarenitici e calcareo - marnosi e arenarie di varia natura, alle marne e argille marnose si intercalano calcareniti e brecciole calcaree dal caratteristico colore biancastro. Tale formazione poggia, con contatto tettonico, sui terreni plio-pleistocenici dell'avanfossa e sul complesso indifferenziato delle argille varicolori. La Formazione della Daunia, a volte, passa verso l'alto in alcune zone gradualmente alle marne di Toppo Capuana, costituite prevalentemente da argille e marne argillose grigio – bluastre. Localmente le argille prevalgono sulle marne e le arenarie scompaiono del tutto in altre zone la Formazione della Daunia viene ricoperta trasgressivamente dai terreni del ciclo pliocenico e passa al Flysch di San Bartolomeo costituito essenzialmente da arenarie in facies pelitiche di età Serravalliana, i quali sedimenti rappresentano il riempimento della parte mediana del bacino Irpino e viene ricoperta tettonicamente dallo stesso e dal complesso indifferenziato delle argille varicolori.

Alcuni autori evidenziano che la mancanza di facies eteropiche tra il Flysch di S. Bartolomeo e quello di Faeto può testimoniare la presenza di una soglia separante le aree di sedimentazione dei due flysch. Infatti mentre il flysch di S. Bartolomeo è legato al Bacino Irpino (evoluzione di quello lagonegrese-molisano), il flysch di Faeto è legato a quello apulo ed i due bacini erano separati dalla piattaforma interna.

Nell'area di progetto affiora soprattutto la componente calcareo- marnosa della Formazione. Gli strati si presentano in più punti fortemente tettonizzati e ripiegati a causa degli intensi fenomeni tettonici che hanno interessato la Formazione in epoche remote. Gli strati superficiali risultano alterati almeno per i primi 2- 3,50 m.

Dal punto di vista idrogeologico nell'area affiorano depositi calcareo-marnosi, riferibili alla facies flyscioide della Daunia la cui permeabilità risulta variabile, in relazione alla fatturazione della componente calcarea e alla percentuale di argilla contenuta negli orizzonti marnosi.

In base alle informazioni acquisite da precedenti sondaggi geognostici, eseguiti per la realizzazione dei primi progetti di impianto eolico, la falda localmente si rinviene ad una profondità di 5- 6 m dal p.c, con possibilità di risalite in caso di annate particolarmente siccitose.

Lo studio dell'idrogeologia dell'area interessata dal parco eolico ha evidenziato i principali caratteri idrogeologici dei terreni considerando non le singole unità ma i complessi idrogeologici. Un Complesso Idrogeologico può essere definito come l'insieme di termini litologici simili, aventi una comprovata unità spaziale e giaciturale, un tipo di permeabilità prevalente in comune e un grado di permeabilità relativa che si mantiene in un campo di variabilità piuttosto ristretto (Civita, 1973).

La differenziazione tra un complesso e l'altro è data dal grado di permeabilità relativa, indipendentemente dal tipo. Sono stati

previsti tre gradi di permeabilità relativa definiti tenendo conto sia di parametri statistici come l'analisi granulometrica, l'indice di fratturazione ecc., sia del confronto con gli altri complessi adiacenti.

Nella classificazione proposta il grado di permeabilità è stato suddiviso in Alto, Medio e Basso e assegnato suddividendo i diversi complessi per tipologia di permeabilità prevalente tra Complessi dotati di permeabilità primaria (per porosità) prevalente e Complessi dotati di permeabilità secondaria (per fessurazione) prevalente. A questi complessi sono stati ricondotti i diversi corpi geologici cartografati nella carta geologica.

In sostanza falde idriche importanti possono essere presenti all'interno dei depositi sabbiosi pliocenici, affioranti lungo la fascia pedemontana mentre non si registrano sorgenti importanti.

La vulnerabilità delle falde acquifere è stato definito sulla base delle caratteristiche medie di permeabilità e delle condizioni prevalenti di affioramento ed è rappresentato da un indice di vulnerabilità specifica dei diversi Complessi.

In relazione al Complesso idrogeologico affiorante nell'area la Vulnerabilità della falda è da considerarsi di tipo basso.

La realizzazione dei 7 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 Orsara 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

La Regione Puglia, con D.G.R. n. 153 dell'02/03/2004, ha provveduto all'aggiornamento della classificazione sismica dei Comuni della Puglia dalla quale si rileva che il comune di Orsara di Puglia rientra in zona 2 come da tabella che segue:

Codice ISTAT 2001	Classificazione 2003	PGA (g)	I
Orsara di Puglia: 16071035	Zona 2	0.25 g	8,7 MCS

Dove:

- *PGA (g)=accelerazione orizzontale di picco del terreno (estimatore dello scuotimento alle alte frequenze), valore atteso con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (periodo di ritorno di 457 anni).*
- *I=intensità macrosismica (MCS) valore di intensità MCS atteso con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (periodo di ritorno di 475 anni).*
- *g=981 cm/sec² (accelerazione di gravità).*

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 $180 < V_{s30} < 3600$ 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 $V_{s30} < 100$ /ms
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 tutti gli Aerogeneratori è classificata come **Categoria "B"** Depositi di ghiaia e sabbia mediamente addensate o di argille di media consistenza e Categoria topografica "T1" come riportati nelle prove di stabilità allegate alla relazione geologica del geologo Giovanna Amedei.

La caratterizzazione sismica del terreno è la seguente:

Dati Generali

Località

Indirizzo: Orsara di Puglia

Lat. Long. 41.278188 15.266735

Dati opera

Tipo opera: 2 - Opere ordinarie

Classe d'uso: Classe II

V. Nominale: 50 V. Rif.: 50

Parametri sismici su sito di riferimento

SL	TR [Anni]	a_g [m/s^2]	F_0 [-]	TC^* [sec.]	Categoria sottosuolo
SLO	30.00	0.490	2.394	0.209	B
SLD	50.00	0.608	2.473	0.326	T1
SLV	475.00	1.697	2.481	0.432	
SLC	975.00	2.305	2.497	0.437	

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Muri di sostegno (NTC 2008)

SL	a_{max} [m/s^2]	Beta	k_{hk} [-]	k_{vk} [-]	K_{hi} [-]
SLO	0.583	0.18	0.0108	0.0054	0.0
SLD	0.7296	0.18	0.0134	0.0067	0.0
SLV	2.0364	0.24	0.0498	0.0249	0.0
SLC	2.6858	0.31	0.0849	0.0425	0.0

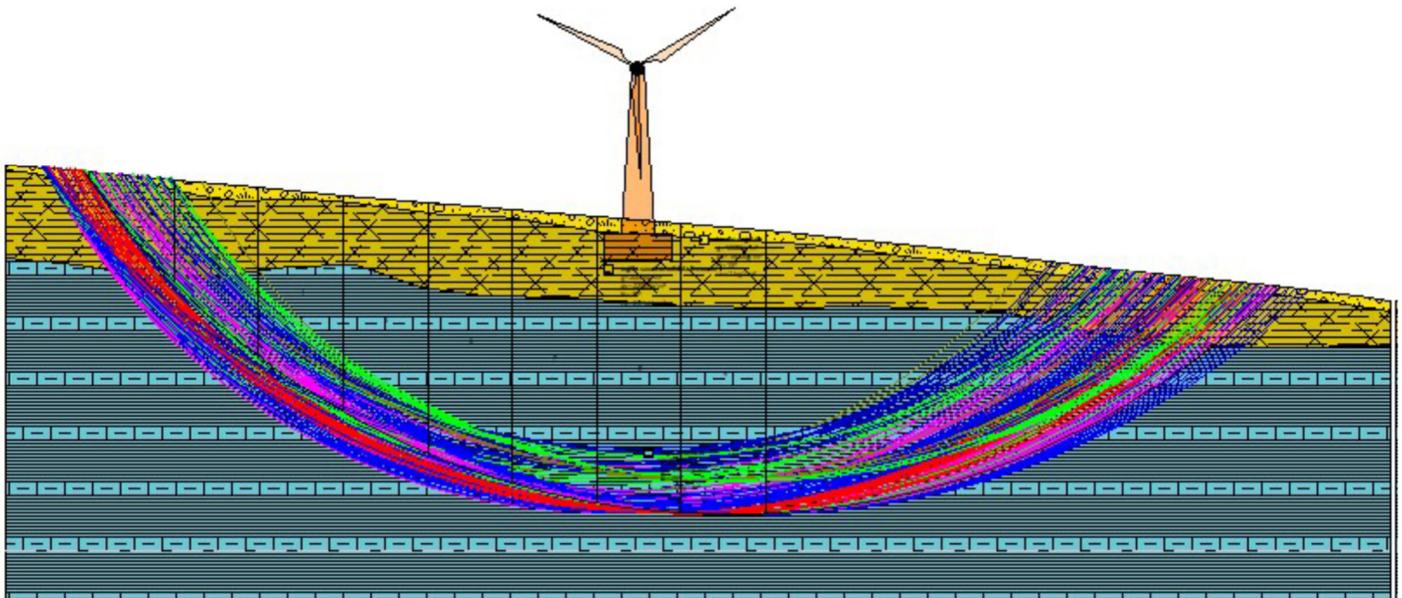
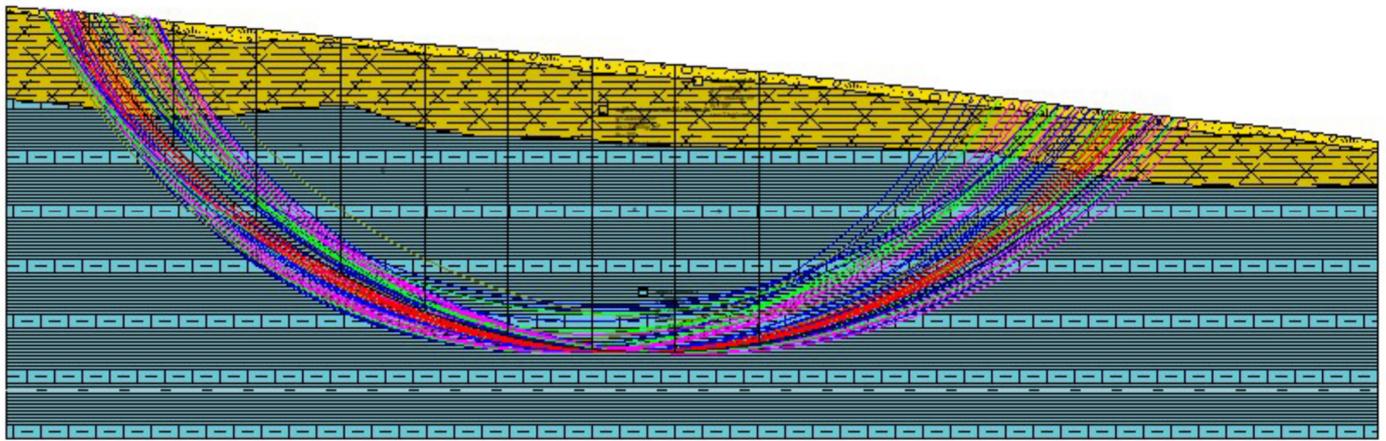
Stato limite di riferimento: SLO

Attrezzatura e metodo di perforazione:			LIVELLI ACQUA					
<input type="checkbox"/> Campione rimangiaggio	<input type="checkbox"/> Campione a percussione	<input type="radio"/> LIERANC	PROFONDITA' m		SERIA		MATTINO	
<input type="checkbox"/> Campione S.P.T.	<input type="checkbox"/> Campione tot. a pressione	Prova di permeabilità'	Rivest.	Fore	Data	Di	Data	Di
<input type="checkbox"/> Campione da Vane Test	<input type="checkbox"/> Campione tot. rotativo	<input type="radio"/> LOGNON						

Quota di rifacim. m	Spessore m	Profondità m	Sezione terreno	Campione	DESCRIZIONE LITOLOGICA	Carotiere Ø mm	M. penet. Ø mm	Pocket Pen. Kg/cm²	R. Q. D. N.	VANE TEST Kg/cm²		Profondità m	S.P.T.	acqua	carotaggio
	1,70				Terreno di riporto di natura e essenzialmente argillosa con trovanti lapidei										
	0,60	4,30			Terreno vegetale										
	0,50	4,80			Argilla marnosa beige con fenomeni alterazione (Parte alterata del Flysch di Faeto)										
	4,50	5,0			Argilliti e argille marnose beige-verdastre con livelli di calcareniti (Flysch di Faeto)									5,40	
	7,30	8,0			Argilla marnosa e argilliti di colore beige verdastro con scarsi livelli calcarenitici (Flysch di Faeto)										
	3,70	11,0			Argilla marnosa di colore grigio bluastrò (Flysch di Faeto)										
	2,00	13,00			Argilla marnosa e argilliti di colore grigio bluastrò con livelli calcarenitici (Flysch di Faeto)										
	17,00				Argilla marnosa e argilliti di colore grigio bluastrò con livelli calcarenitici (Flysch di Faeto)										

Stratigrafia

Descrizione Litologica	Materiale di Alterazione Superficiale	Argilla grigia-azzurra con livelli di Marne e Calcareniti
<i>Peso volume medio</i>	$\gamma_m = 1,75-1,85 \text{ g/cm}^3$	$\gamma_m = 1,90 - 2,05 \text{ g/cm}^3$
<i>Angolo di resistenza al taglio medio (tensioni efficaci, a lungotermine)</i>	$\varphi_m = 18^\circ - 20^\circ$	$\varphi_m = 21^\circ - 26^\circ$
<i>Coesione drenata media (tensioni efficaci, a lungo termine)</i>	$C = 0,05 - 0,1 \text{ kg/cm}^2$	$C = 0,2 - 0,5 \text{ kg/cm}^2$
<i>Coesione non drenata</i>	$C_u = 0,5 - 0,8 \text{ kg/cm}^2$	$C_u = 0,8 - 1,0 \text{ kg/cm}^2$
<i>Modulo di Poisson</i>	$\nu = 0,25$	$\nu = 0,35$



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

α = 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:

β = inclinazione terreno a valle

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

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

Γ = 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 = modulo elastico normale

μ =coefficiente di Poisson

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

Coefficienti di punzonamento (Vesic):

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

$$Yc = Yq - \frac{1 - Yq}{Nq \times \tan \phi'}$$

Coefficienti di inclinazione del carico (Vesic):

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

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

$$ic = iq - \frac{1 - iq}{Nc \times \tan \phi'} \quad \text{in condizioni D}$$

$$ic = 1 - \frac{m \times H}{B \times L \times cu \times Nc} \quad \text{in condizioni U}$$

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):

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

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

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

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

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

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:

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

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

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

Coefficienti di forma (De Beer):

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

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

$$sc = 1 + \frac{B'}{L'} \frac{Nq}{Nc}$$

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 Khi e Igk, 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 Khi 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 Igk modifica invece il solo coefficiente Ng; il fattore Ng 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.

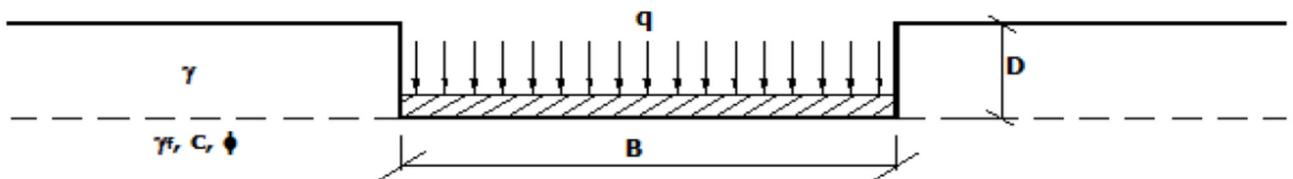
NB: Se la risultante dei carichi verticali è eccentrica, B e L saranno ridotte rispettivamente di:

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

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

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:

$$Q_{lim} = Q_{punta} + Q_{later} - P_{palo} - P_{attr_neg}$$

Q_{punta}: 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

σ_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

σ_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

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

N_q = 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

α = coeff. riduttivo in funzione delle modalità esecutive:

- per pali infissi:

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

- per pali trivellati:

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

- 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

μ = 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

μ = coefficiente di attrito:

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

Pp: PESO DEL PALO

Patr_neg: CARICO DA ATTRITO NEGATIVO

Patr_neg = 0 in terreni coesivi in condizioni non drenate
 Patr_neg = $As \times \beta \times \sigma'_m$ in terreni incoerenti o coesivi in condizioni drenate

essendo

β = coeff. di Lambe
 σ'_m = pressione verticale efficace media lungo lo strato deformabile

Il carico ammissibile risulta pari a:

$$Q_{amm} = \left(\frac{Q_{punta}}{\mu_P} + \frac{Q_{later} - P_{palo} - Patr_neg}{\mu_L} \right) \times E_g$$

dove:

μ_P = coefficiente di sicurezza del palo per resistenza di punta
 μ_L = coefficiente di sicurezza del palo per resistenza laterale
 E_g = coefficiente di efficienza dei pali in gruppo:

- in terreni coesivi:

a) per plinti rettangolari (secondo *Converse-La Barre*):

$$E_g = 1 - \arctan \frac{D}{i} \cdot \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn}$$

con

m = numero delle file dei pali nel gruppo
 n = numero di pali per ciascuna fila
 i = interasse fra i pali

b) per plinti triangolari (secondo *Barla*):

$$E_g = 1 - \arctan \frac{D}{i} \cdot 7.05E - 03$$

c) per plinti rettangolari a cinque pali (secondo *Barla*):

$$E_g = 1 - \arctan \frac{D}{i} \cdot 10.85E - 03$$

- in terreni incoerenti:

$E_g = 1$ per pali infissi
 $E_g = 2/3$ per pali trivellati

b) Pali resistenti a trazione

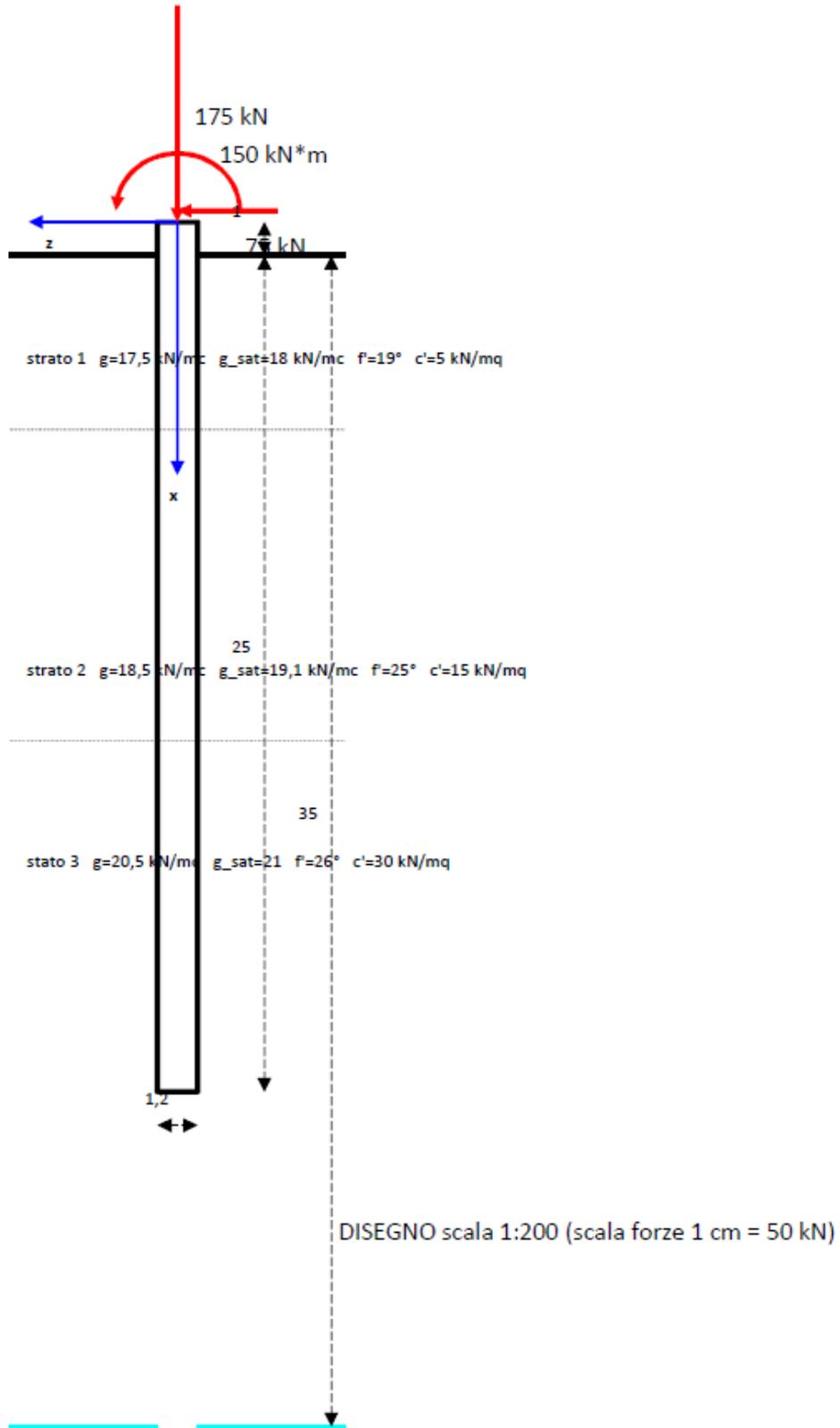
- Il carico ultimo del palo a trazione vale:

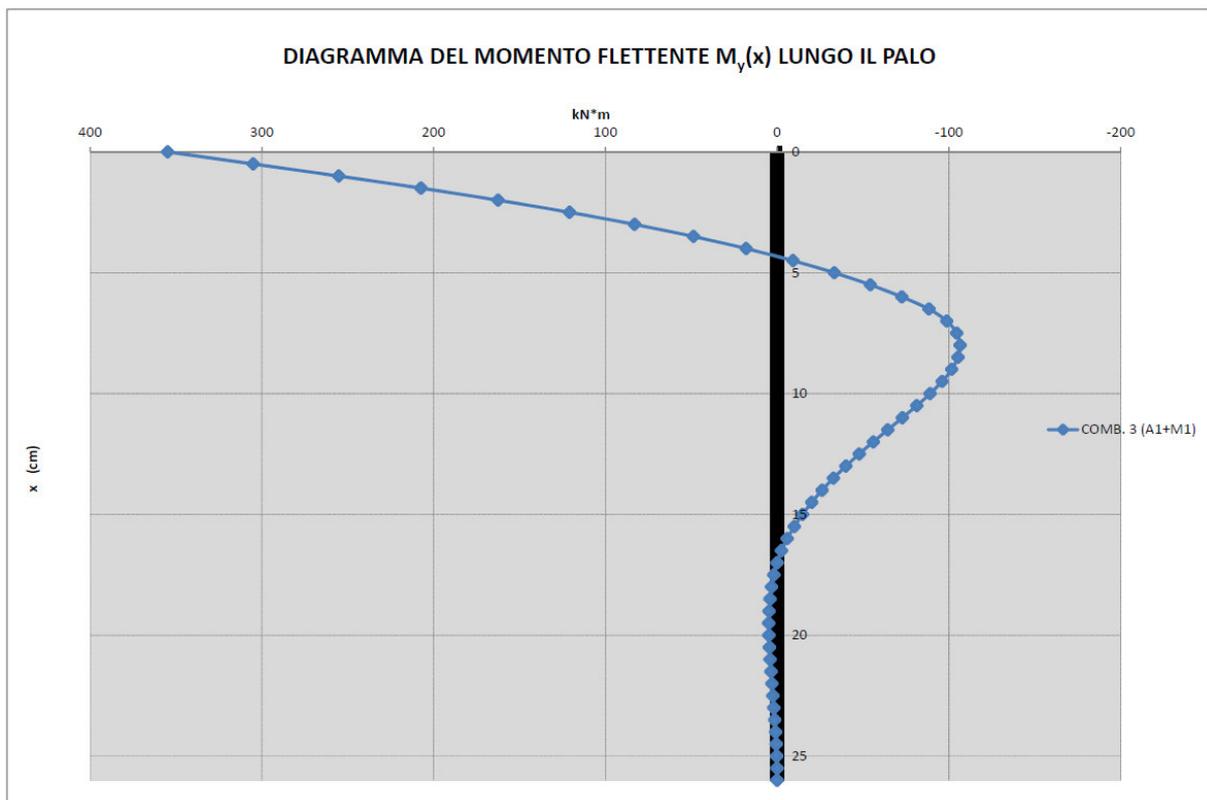
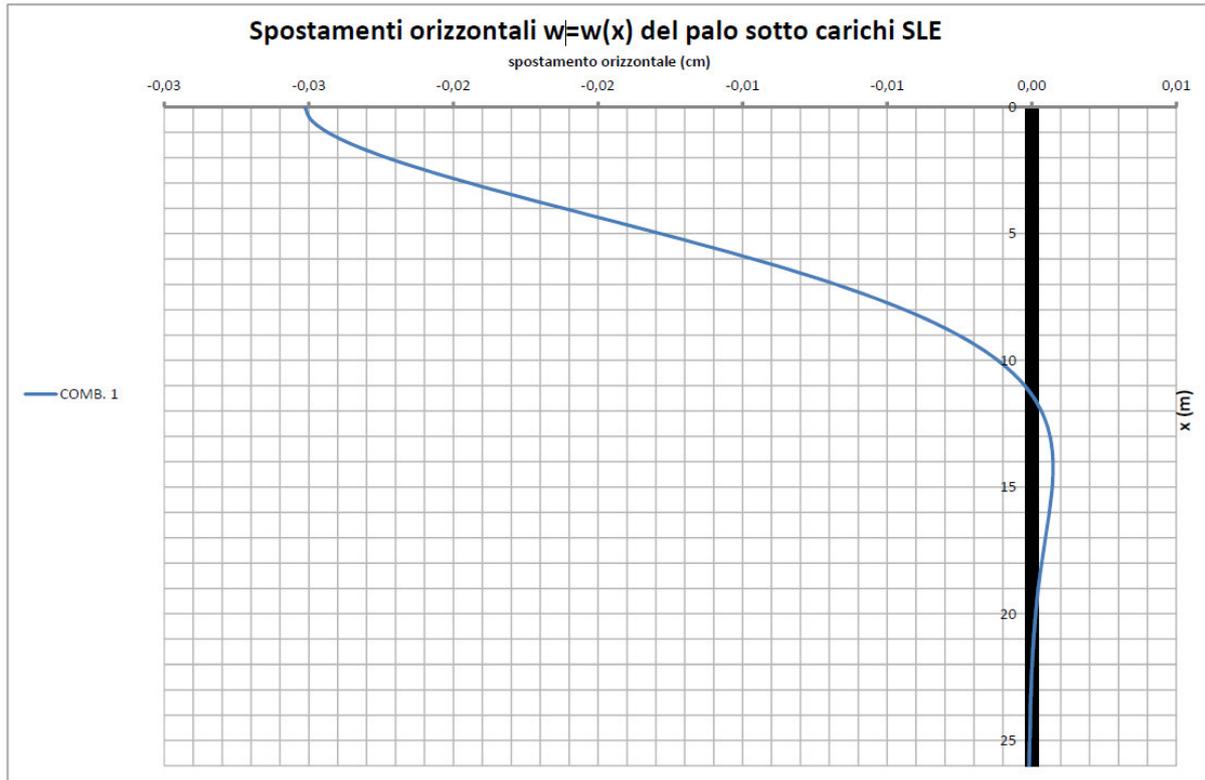
$$Q_{lim} = Q_{later} + P_{palo}$$

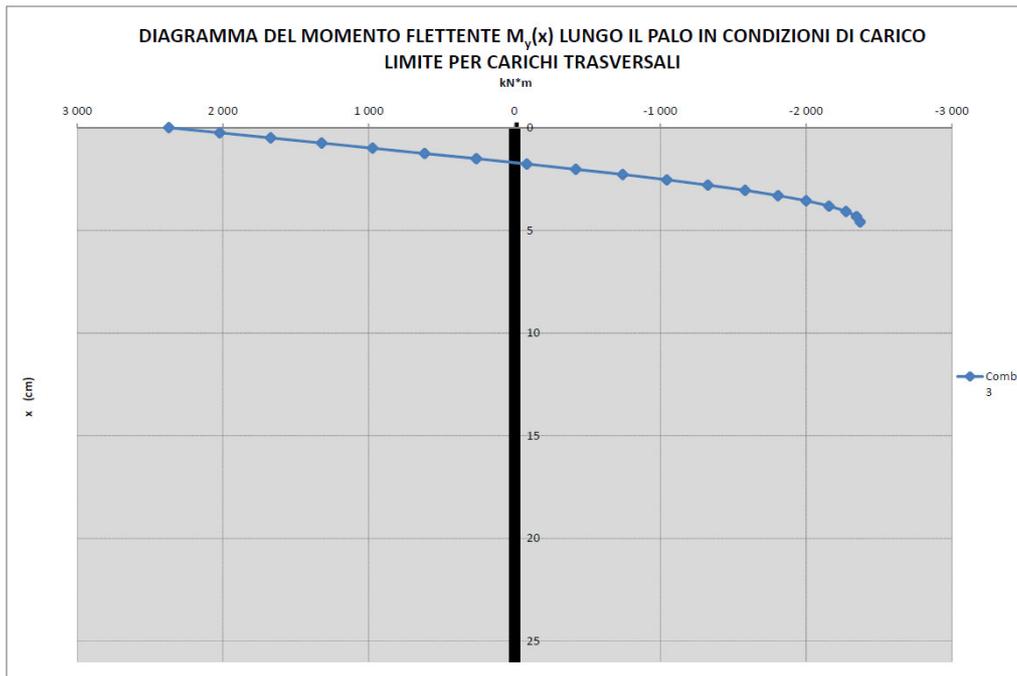
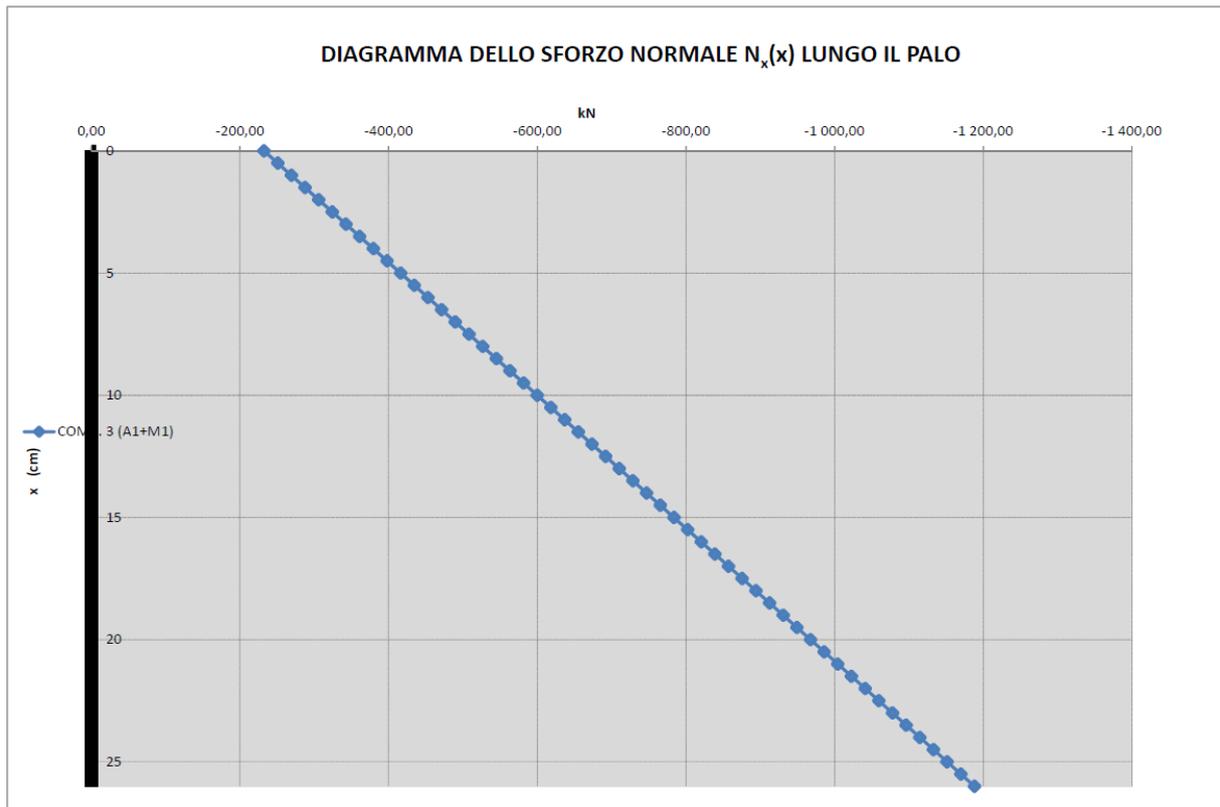
- Il carico ammissibile risulta invece pari a:

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

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







Per ogni aerogeneratore **in progetto (n. 7)** sarà dimensionata una fondazione in calcestruzzo di forma circolare tronco conica con un affondamento minimo da 3,5 a 4,50 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 effettuati in sito.

6. CONCLUSIONI

L'indagine presentata in questo studio ha descritto e quantificato i fattori geologici, geotecnici e sismici agenti nell'area di intervento. 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"** e dalla circolare esplicativa n° 7 del 21-01-2019 Circolare del Ministero Infrastrutture e Trasporti.

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 strutturale 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 stessa. 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 elevati dovuti alla presenza 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, 21 Maggio 2024

Il progettista strutturale

Ing. Castriotta Lorenzo Giovanni

A blue circular professional stamp of the engineering firm "ING. CASTRIOTTA LORENZO GIOVANNI" is overlaid with a handwritten signature in black ink. The stamp contains the text "ING. CASTRIOTTA LORENZO GIOVANNI" and "MANFREDONIA (FG)".