

REGIONE SICILIA

Provincia di Catania e Enna

COMUNI DI CASTEL DI IUDICA, RAMACCA, RADDUSA E ASSORO

PROGETTO

POTENZIAMENTO "PARCO ENNESE"



PROGETTO DEFINITIVO

COMMITTENTE



PROGETTISTA



Hydro Engineering s.s.
di Damiano e Mariano Galbo
via Rossotti, 39
91011 Alcamo (TP) Italy



OGGETTO DELL'ELABORATO

RELAZIONE GEOTECNICA SISMICA

REV.	DATA	ATTIVITA'	REDATTO	VERIFICATO	APROVATO
0	Settembre 2022	PRIMA EMISSIONE	VF	MG	DG

CODICE PROGETTISTA		DATA	SCALA	FORMATO	FOGLIO	CODICE COMMITTENTE				
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.						
REN-PD-R14		09/2022	Varie	A4	1di48					

NOME FILE: REN-PD-R14_Relazione geotecnica sismica.dwg

Alpiq Wind Italia S.r.l. si riserva tutti i diritti su questo documento che non può essere riprodotto neppure parzialmente senza la sua autorizzazione scritta.

INDICE

1	PREMESSA	2
2	DESCRIZIONE DELL'OPERA DI FONDAZIONE.....	3
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
4	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	6
5	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO.....	10
6	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	14
7	ANALISI SISMICA DELLA ZONA DI INTERESSE.....	19
8	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	22
9	CARICHI AGENTI.....	26
10	FONDAZIONI DI TIPO INDIRETTO: VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI TIPO GEOTECNICO	29
10.1	GENERALITA'	29
10.2	CARICO LIMITE DEI PALI DI FONDAZIONEGENERALITA'	29
10.3	CALCOLO TENSIONI E CEDIMENTI	31
10.4	CAPACITÀ PORTANTE PER CARICO ORIZZONTALE.....	31
10.5	TABULATO DI CALCOLO VERIFICHE GEOTECNICHE.....	33
11	CONCLUSIONI	47

1 PREMESSA

La società Alpiq Wind Italia S.r.l. è proprietaria del parco eolico denominato "Ennese" che ha una potenza complessiva di 70,50 MW e risulta composto da 47 aerogeneratori del tipo ECOTECHNIA 80 aventi una potenza pari a 1,5 MW ciascuno.

Dei 47 aerogeneratori esistenti, 20 unità sono ubicati nel Comune di Ramacca, 9 unità nel Comune di Castel di Judica e 18 unità nel Comune di Raddusa. La sottostazione di consegna dell'energia prodotta alla Rete Elettrica Nazionale è ubicata nel comune di Assoro.

La società Hydro Engineering s.s. è stata incaricata di redigere il progetto definitivo relativo al potenziamento dell'esistente impianto eolico.

Il progetto di potenziamento consiste nella sostituzione dei n°47 aerogeneratori esistenti con 22 nuovi aerogeneratori, ciascuno dei quali di potenza massima pari a 6,6 MW, per una potenza complessiva di 145,20 MW. L'installazione del più moderno tipo di generatore comporterà la consistente riduzione del numero di torri eoliche, dalle 47 esistenti alle 22 proposte, riducendo l'impatto visivo, che talvolta può trasformarsi nel cosiddetto effetto selva.

Nel complesso il progetto di potenziamento si compone delle seguenti fasi:

- smantellamento dei n°47 aerogeneratori esistenti e la realizzazione di n°22 aerogeneratori, ciascuno di potenza pari a 6,6 MW, per una potenza complessiva di 145,20 MW;
- costruzione di un elettrodotto MT da 30 kV, di collegamento tra gli aerogeneratori e la stazione di trasformazione utente 30/150 kV;
- adeguamento della stazione di trasformazione utente esistente da 21/150 kV a 30/150Kv;
- potenziamento delle linee RTN 150 kV "Dittaino CP – Assoro Sm", già autorizzato con D.A. n. 233/GAB del 15/11/2021

Il presente documento si propone di descrivere la caratterizzazione geotecnica e sismica dei siti in oggetto e di riportare le verifiche geotecniche relative alla realizzazione delle fondazioni dell'aerogeneratore.

Le caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni sono state desunte dallo studio geologico redatto dal Dott. Geologo Carlo Cibella allegato al presente progetto.

ancoraggio. Entrambe le piastre sono dotate di due serie concentriche di fori che consentiranno il passaggio di barre filettate ad alta resistenza che, tramite dadi, garantiscono il corretto collegamento delle due piastre. A tergo dei lati del manufatto dovrà essere realizzato uno strato di drenaggio dello spessore di 160 cm, munito di tubazione di drenaggio forata per l'allontanamento delle acque dalla fondazione.

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo e progettazione è la normativa tecnica nazionale in vigore: "Norme Tecniche per le Costruzioni", D.M. 17/01/2018.

Si farà, inoltre, riferimento alle seguenti normative:

Legge n. 1086 del 05.11.1971 "Norme per la disciplina delle opere in c.a. normale e precompresso, ed a struttura metallica";

Legge n. 64 del 02.02.1974 – "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".

IEC 60400-1 "Wind Turbine safety and design";

Eurocodice 2 "Design of concrete structures".

Eurocodice 3 "Design of steel structures".

Eurocodice 4 "Design of composite steel and concrete structures".

Eurocodice 7 "Geotechnical design".

Eurocodice 8 "Design of structures for earthquake resistance".

4 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Gli aerogeneratori (in numero di ventidue) dell'impianto sono denominati con le sigle:

- R-RAM01, R-RAM02..... gli aerogeneratori collocati in agro del Comune di Ramacca in provincia di Catania;
- R-RAD01, R-RAD02..... gli aerogeneratori collocati in agro del Comune di Raddusa in provincia di Catania;
- R-CU01, R-CU02..... gli aerogeneratori collocati in agro del Comune di Castel di Judica in provincia di Catania;
all'interno delle seguenti cartografie e fogli di mappa catastali:
 - Fogli IGM in scala 1:25.000 di cui alle seguenti codifiche: 269-III_NE-Castel di Iudica, 269-III_NO-Raddusa, 269-IV_SE-Catenanuova, 269-IV_SO-Libertinia.
 - CTR in scala 1:10.000, di cui alle seguenti codifiche: 632070, 632080, 632110, 632120.
 - Fogli di mappa nn. 3, 4, 7, 31, 32, 35, 36, 37 del Comune di Ramacca.
 - Fogli di mappa nn. 3, 4, 5, 9 del Comune di Raddusa.
 - Fogli di mappa nn. 8, 9, 16 del Comune di Castel di Judica.

Di seguito le coordinate assolute nel sistema UTM 33 WGS84 degli aerogeneratori:

WTG	E	N
R-RAM01	460006.000	4153207.000
R-RAM02	460096.000	4152739.000
R-RAD01	461300.000	4150940.000
R-RAD02	460861.000	4150318.000
R-RAD03	460682.000	4149933.000
R-RAD04	460695.000	4149491.000
R-RAD05	460411.000	4149143.000
R-RAD06	458997.000	4149477.000
R-RAD07	459002.000	4148992.000
R-RAD08	460778.000	4147674.000
R-RAD09	460677.000	4147232.000
R-RAM03	465115.000	4152651.000
R-RAM04	464721.000	4150255.000
R-RAM05	464831.867	4149399.427
R-RAM06	465952.000	4149334.000
R-RAM07	466038.000	4148548.000
R-RAM08	465519.000	4148115.000
R-RAM09	465742.000	4147413.000
R-CU 01	466050.000	4152035.000
R-CU 02	465801.000	4151020.000
R-CU 03	467416.843	4152641.840
R-CU04	467578.644	4152225.346

Tab. 1 Coordinate aerogeneratori nel sistema UTM 33 WGS84

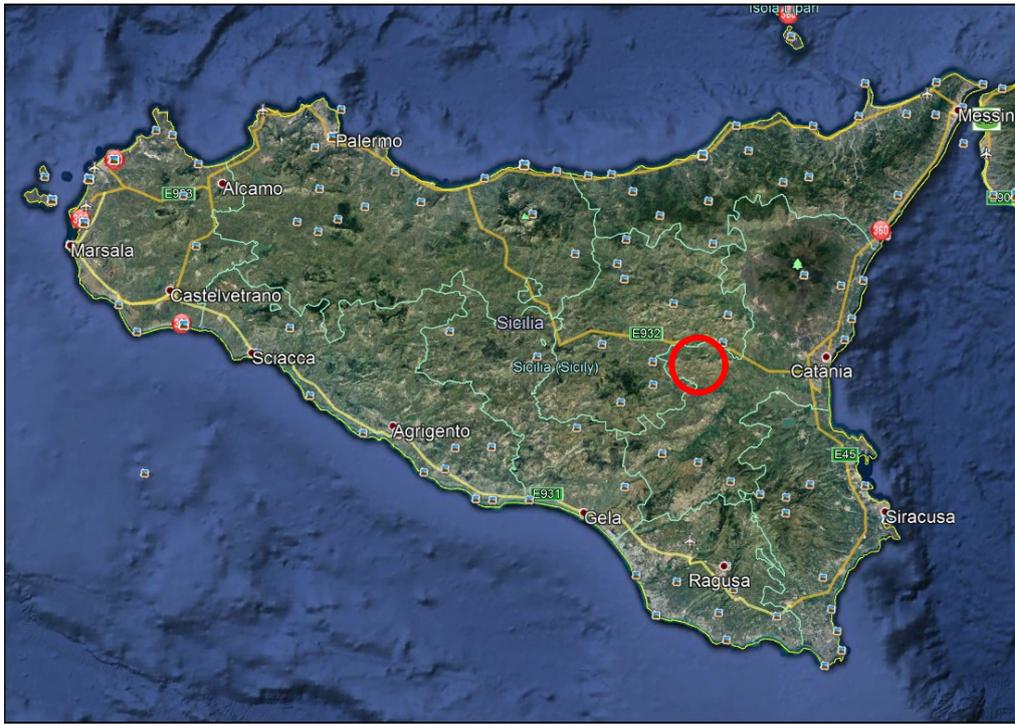


Fig.2 - Ubicazione area di impianto da satellite

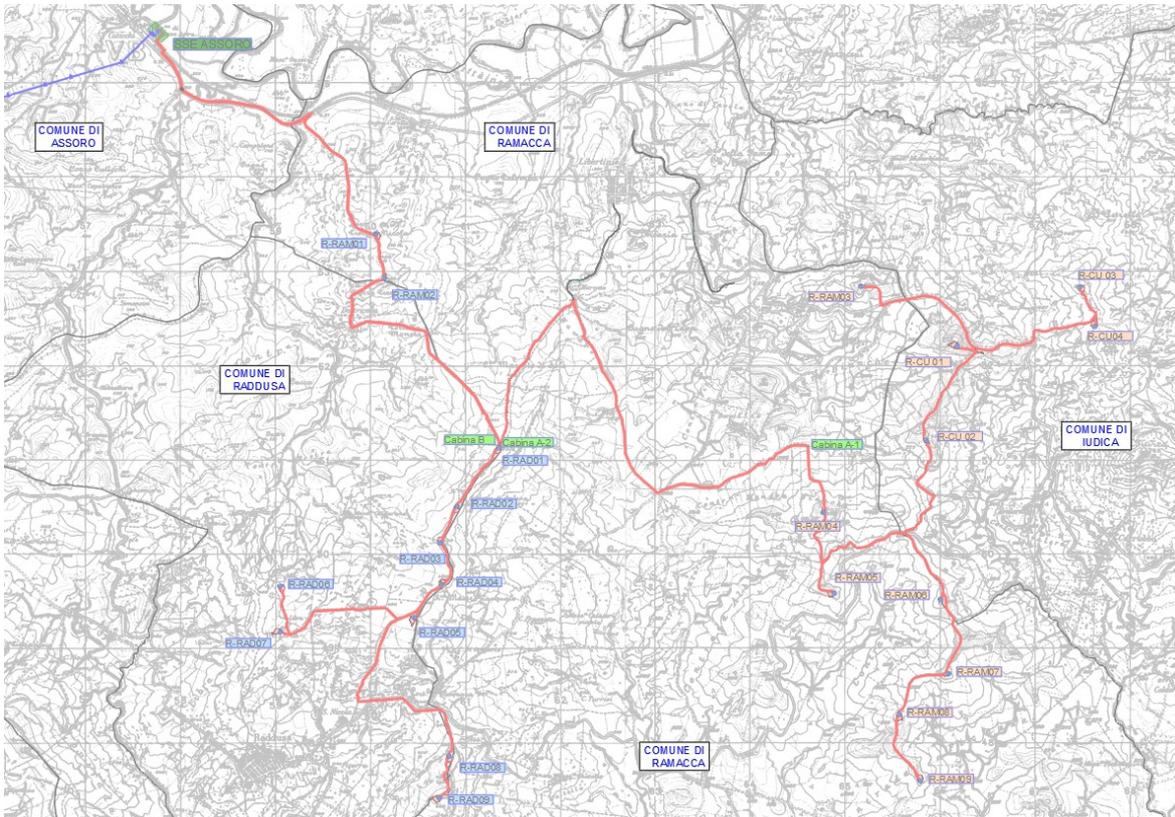


Fig.3- Inquadramento impianto su IGM 1:25.000

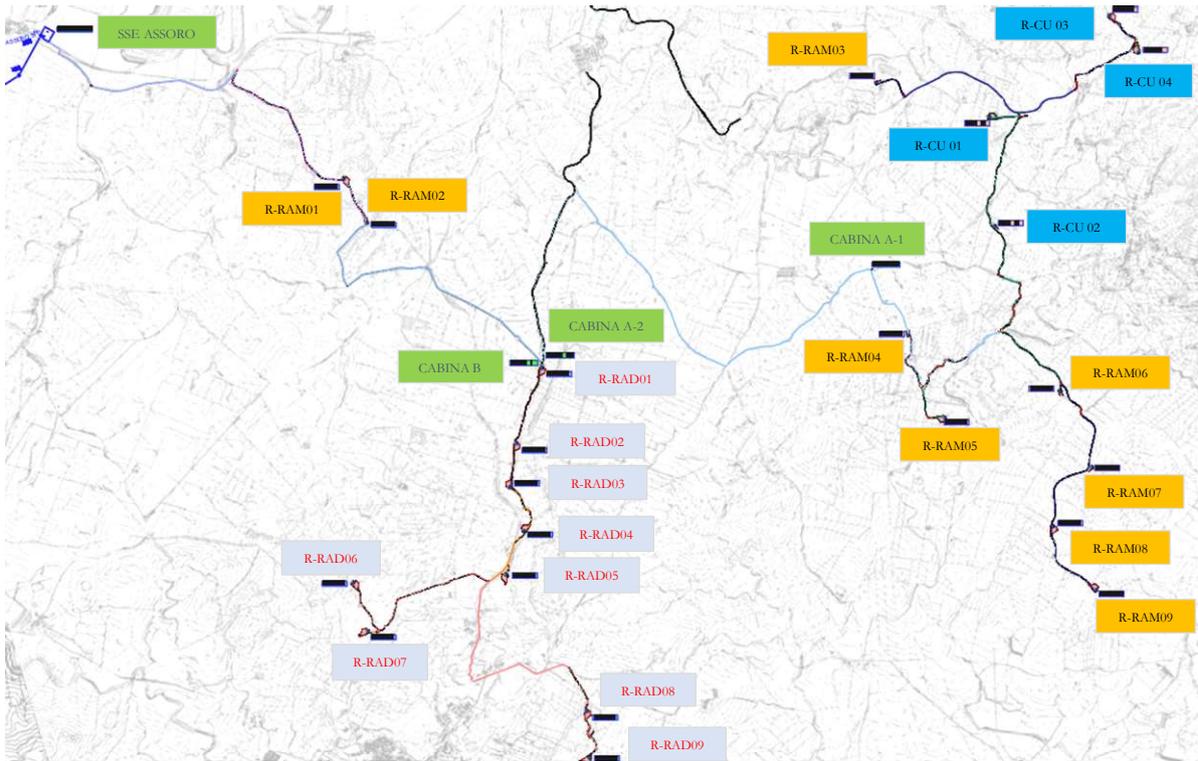


Fig.4 Inquadramento impianto su CTR 1:10.000

5 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

L'area interessata dal presente studio costituisce il parco eolico che si sviluppa nella Sicilia centro-orientale, a cavallo tra le province di Enna e Catania, nel territorio compreso tra gli abitati di Raddusa a Sud-Ovest, di Libertinia a Nord e di Castel di Iudica ad Est denominato "Parco Eolico Ennese".

Ricade nella cartografia regionale scala 1:10.000 632070 Libertinia e 632080 Monte Judica, nella cartografia IGM scala 1: 25.000 foglio 269 IV SE Catenanuova e 269 IV SO Libertinia.

In particolare l'area si estende, nella parte nord-occidentale lungo i rilievi di Pietra San Nicola, Pietra Pizzuta e Cozzo Marcato di Sole; nella parte centro e sud-occidentale, lungo i rilievi de La Montagna, Monte Libra e Rocca Mastro Pasquale; nella parte centrale ed orientale lungo i rilievi di Rocca Airmana e nei rilievi presenti in Contrada Mandre.

Le quote si aggirano intorno a valori compresi tra i 400 ed i 500 m s.l.m., raggiungendo i 560 m circa nella estrema porzione nord-orientale.

Dal punto di vista geomorfologico bisogna innanzi tutto ricordare che l'assetto morfologico di un territorio è determinato dall'interazione tra le caratteristiche geologico-strutturali dei terreni presenti in affioramento e gli agenti morfogenetici predominanti in quella particolare area.

Una prima sostanziale differenza si ha a seconda che siano presenti in affioramento rocce lapidee o rocce pseudocoerenti o incoerenti.

Le litologie di tipo incoerente, o pseudocoerente, che nel territorio in studio sono rappresentate da termini argillosi e limo-sabbiosi, si conformano secondo rilievi dall'andamento dolce, mentre quelle lapidee (di natura arenacea) danno luogo a rilievi molto più acclivi, dall'andamento accidentato, caratterizzati da pareti scoscese, versanti particolarmente acclivi e da una tettonica vivace.

Le forme erosive, in generale comprendono tutti quei fenomeni che determinano la disgregazione e la degradazione dei suoli e dei livelli più superficiali del substrato.

Nelle aree interessate numerosi sono i fenomeni erosivi in relazione alla estrema diffusione di terreni prevalentemente argillosi.

L'attività erosiva più frequente è quella determinata dal ruscellamento diffuso, che provoca intensi processi di erosione e il denudamento dei versanti con la formazione di numerose aree calanchive; sono anche frequenti i fenomeni di erosione a rivoli e solchi, quale forma di erosione più spinta rispetto al tipo diffuso, evidenziati dalla presenza di fasci di rivoli, solchi e impluvi ravvicinati ad andamento sinuoso.

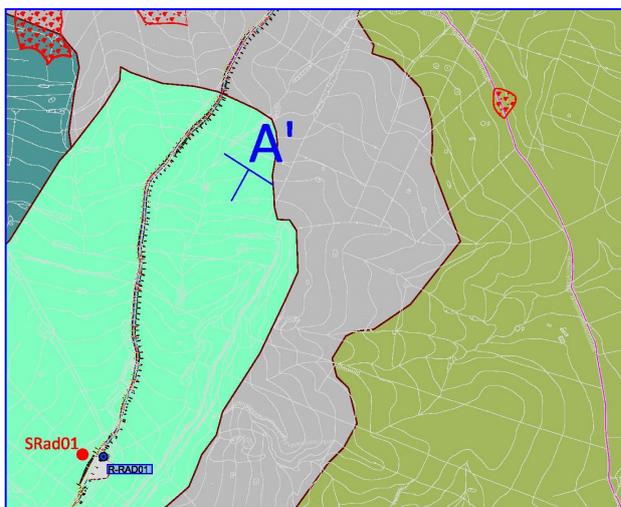
In generale l'area dell'impianto che risulta essere molto vasta, soprattutto ove sono presenti litologie di natura argillosa, è interessata localmente da fenomeni gravitativi sia superficiali che profondi, di estensioni variabili da modeste a molto estese.

I rilievi di superficie condotti hanno evidenziato la presenza di diverse aree interessate da fenomeni di instabilità che sono state mappate e riportate nella "Tav. 1 Carta Geologica e Geomorfologica", nella quale vengono distinte come "aree interessate da fenomeni franosi". Si tratta di dissesti di diversa classificazione che coinvolgono generalmente la coltre di alterazione superficiale dei terreni argillosi e solo in rare occasioni coinvolgono spessori di una decina di metri. Le tipologie di frane presenti sono per lo più soliflussi e frana di tipo roto-traslato. In presenza di frane superficiali la morfologia del territorio è contrassegnata da piccole ondulazioni ed aree in contropendenza.

La posizione degli aerogeneratori è stata studiata in maniera tale che verranno posizionati in aree stabili, prive di segni di dissesto e fenomeni di erosione ad opera delle acque di ruscellamento. Lo stesso vale per la viabilità interna del parco.

Si segnala soltanto la presenza di due dissesti che interessano la viabilità e/o la sede del cavidotto:

- Il primo dissesto ricade circa 100 metri a nord dell'aerogeneratore R-CU 02, ed interessa la viabilità e quindi il cavidotto in essa interrato. Le indagini eseguite nell'ambito di



studi pregressi hanno evidenziato la presenza di un movimento gravitativo attivo, attribuibile ad una frana di tipo toto-traslato, avente forma allungata per circa 140 metri ed orientata secondo la direzione sud sud est-nord nord ovest. La frana coinvolge una coltre di depositi argillosi rimaneggiati aventi uno spessore compreso tra 3,2 e 5,4 metri. Tale dissesto dovrà essere attenzionato

durante la fase esecutiva della progettazione con lo scopo di mettere in sicurezza la sede della viabilità del parco eolico ed il cavidotto in essa interrato.

- Il secondo dissesto interessa il cavidotto interrato in un'area ricadente a circa 1400 m di distanza dall'aerogeneratore RAD01 in direzione nord-est, così come indicato nell'immagine a fianco allegata (cerchio di colore rosso). Si tratta di una *frana di tipo scorrimento rotazionale*, che risulta piuttosto limitata arealmente, avente una estensione di circa 3.200 mq, ed uno spessore di circa 6.5 m. La nicchia di distacco è ben visibile a monte della strada bianca esistente, in prossimità della quale è evidente una profonda lesione che si estende parallelamente al ciglio di monte della suddetta strada. Le indagini eseguite tramite studi pregressi hanno evidenziato uno spessore della coltre in frana, composta da terreni di natura prevalentemente argillosa destrutturati e rimaneggiati, pari a circa 6.5 m. Tale dissesto dovrà essere attenzionato durante la fase esecutiva della progettazione con lo scopo di mettere in sicurezza la sede del cavidotto interrato.

Le aree oggetto del presente studio, come risulta dalla cartografia del P.A.I. della Regione Sicilia, relativa al *Bacino Idrografico del Fiume Simeto (094) ed area tra i Bacini del Fiume Simeto e del San Leonardo Laghi di Pergusa e Maletto*, carte dei dissesti, della pericolosità e del rischio geomorfologico, **non ricadono in aree soggette a criticità di tipo geomorfologico ed idraulico.**

Dal punto di vista idrogeologico nei locali orizzonti litologici si possono individuare terreni di natura prevalentemente argillosa, riferibili alle litofacies argillose del Flysch Numidico, della F.ne Terravecchia e delle Argille Brecciate. Sono presenti inoltre litotipi costituiti da gessi della serie evaporitica e da calcari marnosi dell'unità Monte Iudica.

I terreni presenti posso essere ricondotti a tre tipologie dal punto di vista della permeabilità:

- terreni con permeabilità primaria bassa o nulla,
- terreni con permeabilità primaria medio alta,
- terreni con permeabilità secondaria per fessurazione da media ad elevata.

Alla prima tipologia possono essere ricondotti i terreni del Flysch numidico, quelli della F.ne Terravecchia e quelli delle argille brecciate, classificabili come rocce a permeabilità bassa o nulla. In tale classe di permeabilità vengono inclusi tutti i tipi litologici che presentano una permeabilità così bassa da essere, ai fini del presente studio, considerati praticamente impermeabili. Sono, però, generalmente sovrastati da uno strato di alterazione a permeabilità medio-bassa dello spessore massimo di circa 5-7 metri dove possono essere presenti accumuli

idrici superficiali con prevalente carattere stagionale che in periodo di piogge copiose possono anche raggiungere il piano di campagna.

Alla seconda classe di permeabilità appartengono i gessi che presentano una permeabilità primaria da media ad alta per fessurazione e carsismo.

Alla terza tipologia appartengono le marne verdastre, le calcilutiti rossastre e i calcari con selce dell'Unità Monte Iudica che pur essendo rocce a permeabilità primaria molto bassa presentano stratificazioni, fratture e altre superfici di discontinuità che ne modificano il comportamento idraulico.

Le coperture detritiche e le alluvioni presentano una permeabilità variabile da medio-bassa ad elevata in funzione del prevalere della classe granulometrica più fine su quella grossolana. Tali depositi, considerata la loro composizione, presentano un comportamento idraulico piuttosto discontinuo, pertanto difficili da classificare dal punto di vista idraulico.

Le aree interessate dalle fondazioni degli aerogeneratori non sono sede di falde idriche né di accumuli idrici stagionali. Le aree nelle quali verrà realizzata la viabilità dell'impianto può essere sede di accumuli idrici superficiali che potrebbero interferire con eventuali sbancamenti.

6 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il rilevamento geologico di superficie, opportunamente esteso ad un'ampia fascia perimetrale esterna rispetto ai siti in oggetto, e successivamente integrato con le indagini geognostiche eseguite, ha permesso di ricostruire in modo soddisfacente la successione dei terreni presenti nell'area studiata.

Le formazioni geologiche che affiorano nell'area in studio (si veda la carta geologica allegata), sono costituite da:

- **Detrito di falda (Attuale)**
- **Depositi alluvionali** (Pleistocene sup. - Olocene)
- **Gessi** sottilmente laminati e gessi macrocristallini, generalmente stratificati in grossi banchi con intercalazioni di argille brecciate (*Messiniano*)
- **Marne argillose grigio azzurre** (F.ne Terravecchia- Tortoniano Sup.)
- **Argille brune e quarzoareniti** della formazione del "Flysch Numidico" (Oligocene-Miocene inf.)
- **Unità di Monte Iudica:** Marne grigio verdi, Marne e calcari marnosi rosso vino, Calcari con selce (Carnico inf.-Oligocene superiore).

Di seguito si fornisce la descrizione delle litologie affioranti.

Detrito di falda (Attuale), risulta costituito dalla disgregazione dei rilievi posti a monte, può trovarsi da cementato a sciolto, con elementi eterodimensionali che vanno da pochi millimetri a diversi centimetri,

Depositi alluvionali (Pleistocene sup. - Olocene)

Si riscontrano all'interno degli alvei fluviali e all'interno dei solchi torrentizi di maggiore entità. In particolare, nell'area in studio, si ritrovano a formare la piana alluvionale sulla quale scorre il Fiume Dittaino, che scorre a Nord dell'area interessata.

Tali depositi sono prevalentemente incoerenti, costituiti da limi, limi sabbiosi, sabbie, sabbie limose e ghiaie con giacitura sub orizzontale ed assetto lenticolare embriciato.

I limi sono costituiti in prevalenza da minerali argillosi e sono privi di tessitura; le sabbie, che presentano granulometria variabile da fine a grossa, sono costituite per la maggior parte da elementi quarzosi e calcarei.

Gessi (Messiniano)

All'interno della successione evaporitica il passaggio dai sottostanti calcari solfiferi ai gessi può essere o brusco e netto o, più frequentemente, segnato da livelli di gessareniti calcaree fini e laminate di colore chiaro. I gessi si presentano in banchi apparentemente massicci che raggiungono spessori variabili fino anche ad oltre 10 metri e sono costituiti da grossi cristalli di selenite geminata. Essi si susseguono senza intervalli pelitici. L'ammasso gessoso si presenta spesso smembrato in grossi blocchi o zolle spesso costituiti da strati verticali, in relazione alla fase tettonica intramessiniana. Lo smembramento dei vari blocchi è la conseguenza della rigidità della formazione rispetto alle altre unità più tenere che la incassavano. Solitamente la sequenza gessosa ha inizio con spessi banchi omogenei di gessi selenitici con cristalli di grandi dimensioni cui seguono strati sottili alternati a lamine e straterelli cartonatici. Dal punto di vista strettamente litologico si possono distinguere varie tipologie di gessi. I più diffusi, anche nell'area in studio, sono rappresentati dal gesso macrocristallino o selenitico, formato quasi esclusivamente da cristalli di grandi dimensioni geminati a ferro di lancia, e dal gesso balatino, costituito da una alternanza di straterelli sottili di gessi microcristallini con intercalazioni di lamine argillose.

All'interno dei depositi gessosi si rinvengono, nell'area in esame, **Argille Tortoniane** o *Argille Brecciate (Tortoniano sup.)* successione costituita quasi esclusivamente da uno scheletro ad elementi argillosi e marnosi, cementato da una matrice anch'essa argillosa. Tali terreni si trovano, in vari livelli, intercalati nella successione postorogena tortoniano-messiniana (Fm Terravecchia), nella Serie Gessoso-Solfifera messiniana e talora nei terreni del Pliocene inferiore e medio. Nella zona in studio affiorano, in particolare, i termini comunemente denominati Argille Brecciate II, intendendo il secondo livello stratigrafico in cui si ritrovano tali sedimenti. Tali terreni sono posti alla base della Serie Gessoso-Solfifera messiniana. La caratteristica tipica delle argille brecciate è quella di presentarsi sotto forma di un insieme di componenti argillosi e marnosi piuttosto consistenti, immersi in una matrice argillosa con struttura a scaglie. A causa delle notevoli vicissitudini tettoniche subite sono presenti numerose superfici lucide e striate e talora sono presenti elementi esotici di altra natura litologica quali arenarie, calcari etc. Lo spessore di tali sedimenti è variabile e può raggiungere anche i 150 m.

Nell'area oggetto degli interventi tali argille si rinvengono al tetto delle argille tortoniane postorogene, ascrivibili alla Fm Terravecchia, e presentano un contenuto fossilifero a foraminiferi planctonici (*Globorotalia menardii*).

Dal punto di vista litologico la formazione risulta costituita pertanto da argille, argille marnose e breccie argillose di colore generalmente brunastro in superficie, e grigio o grigio-azzurro in profondità, intensamente scagliettate e tettonizzate. Localmente si riscontrano livelli maggiormente sabbiosi e talora inclusioni di clasti di natura arenacea, quarzarenitica e, nei livelli più sommitali, di natura gessosa o carbonatica.

In particolare nell'area in esame gli affioramenti di tali depositi risultano molto estesi e si localizzano, in genere, nelle zone morfologicamente più basse, alla base degli affioramenti della serie evaporitica.

La Formazione Terravecchia rappresenta il deposito tipico del Complesso Postorogeno ed è caratterizzata da sequenze prevalentemente argillose e argillo-sabbiose e sequenze arenacee e conglomeratiche. Si possono pertanto distinguere le due litofacies di seguito descritte:

- Litofacies arenaceo-conglomeratica: questa litofacies rappresenta la parte inferiore della formazione; si tratta di conglomerati poligenici variamente cementati con clasti di natura arenacea di provenienza flyscioide, carbonatica e metamorfica. Dal punto di vista granulometrico i clasti hanno dimensioni variabili da pochi centimetri a parecchi decimetri; la matrice sabbiosa, generalmente abbondante, a luoghi può aumentare tanto da dare luogo a lenti di arenaria grossolana e sabbia con laminazione parallela o incrociata. I depositi conglomeratici si presentano in genere in banchi e strati, spesso lenticolari, con sporadiche intercalazioni argillose.

La porzione arenacea della litofacies è costituita di sabbie, arenarie e molasse di colore da giallastro a grigio con sottili livelli pelitici. Le sabbie e arenarie, talora micacee, presentano tessitura clastica con elementi di taglia arenitica e grado di cementazione variabile. Localmente la stratificazione è incrociata su larga scala. Nell'area strettamente in studio non si sono riscontrati affioramenti di tale litofacies

- Litofacies pelitica: si tratta di argille e argille sabbiose e sabbie giallastra a laminazione parallela, argille siltose e siltiti a laminazione obliqua e, a luoghi, marne grigio-verdastre in strati da centimetrici a decimetrici. La frazione argillosa è costituita di caolinite, illite e montmorillonite, con scarsa clorite; lo scheletro sabbioso è costituito di quarzo, calcite, tracce di dolomite, gesso e plagioclasti, pirite e ossidi di ferro. La tessitura delle argille è a scaglie e

talora brecciata, le marne, invece, si presentano dure e compatte. I terreni in oggetto si presentano spesso tettonizzati con superfici lucide e striate. Le argille in oggetto affiorano estesamente nell'area in studio, ma in zone non direttamente coinvolte dai fenomeni di dissesto oggetto di intervento.

Il Flysch Numidico è costituito da una potente formazione litologicamente costituita da un'alternanza di peliti brune, quarzareniti e quarzosiltiti grigio-giallastre nella quale si possono distinguere due diverse litofacies:

- Litofacies arenacea: si presenta costituita da banchi di quarzoareniti e subordinatamente di quarzosiltiti bruno-giallastre, i cui granuli, costituiti prevalentemente da quarzo (indicando così una elevata maturità mineralogica), appaiono sub-arrotondati o a spigoli vivi, mal classati, e cementati da un cemento siliceo, durissimo e compatto; in alternanza sono presenti dei sottili livelli pelitici, grigi o verdastri ad alterazione bruna.

La stratificazione è più o meno evidente e presenta una discreta continuità laterale; lungo gli strati è possibile individuare localmente una sedimentazione gradata dei granuli che compongono la roccia, anche se generalmente quest'ultimi mostrano disposizioni caotiche.

Nell'area in studio ove presente, affiora nella parte sommitale dei rilievi, si presenta piuttosto smantellata dagli agenti morfoclimatici ed è caratterizzata da modesti spessori.

- Litofacies pelitica: è costituita da argille siltose o marnose, generalmente brune o color tabacco, ricche in ossidi di ferro, con sottili intercalazioni di quarzoareniti o quarzosiltiti e lenti sabbiose costituite anch'esse prevalentemente da quarzo.

Mineralogicamente sono costituite da fillosilicati quali clorite, caolinite, montmorillonite ed illite; inoltre sono presenti minerali di ferro quale siderite e pirite.

La struttura si presenta scagliettata secondo delle scaglie millimetriche, caotiche, talora lucide per effetti di striature legate agli stress tettonici che si sono avvicendati nel corso degli eventi geologici.

La litofacies pelitica si presenta a luoghi superficialmente a struttura rimaneggiata a causa di lenti movimenti gravitativi che si sono succeduti nel corso dei secoli; si riscontrano inglobati nella matrice argillosa frammenti e blocchi di natura prevalentemente quarzarenitica.

Nell'area in esame le argille in questione affiorano nella porzione orientale in corrispondenza di C.da Mandre e poco a Nord e Nord-Ovest di Cozzo Marcato di Sole.

Unità di Monte Iudica, costituita da:

Marne grigio verdi con intercalazioni di arenarie glauconitiche verdastre e calcareniti a macroforaminiferi (Oligocene sup. – Serravalliano),

Marne e calcari marnosi rosso vino e biancastri in facies di scaglia (Eocene medio – Oligocene),

Calcari con selce, si tratta di una potente sequenza di calcilutiti e calcareniti con noduli e liste di selce grigio biancastre stratificate in banchi di spessore variabile tra un centimetro ed un metro (Carnico inf. – Norico). Lo spessore di tale unità non è inferiore ai 500 m.

7 ANALISI SISMICA DELLA ZONA DI INTERESSE

Nel sito in esame sono stati acquisiti n° 6 profili sismici secondo la metodologia MASW.

Tale indagine ha avuto lo scopo di individuare le velocità di propagazione delle onde sismiche secondarie (onde S) all'interno dei terreni che costituiscono i primi 30 metri di sottosuolo, secondo la normativa vigente (D.M. 17/01/2018 e ss.mm.ii.)

Il sondaggio è stato realizzato posizionando, lungo un allineamento definito, 12 geofoni prodotti dalla PASI s.r.l. aventi una frequenza di 4,5 hz, con equidistanza pari a 3 metri. L'offset (scoppio) è stato posto a cinque metri dal primo geofono.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato il sismografo digitale 16SG24N a 24 canali della PASI srl ad alta risoluzione, matricola n° 09036062N.

Per l'energizzazione è stata utilizzata una mazza di battuta del peso di 8 kg con interruttore starter battente su una piastra metallica che è stata utilizzata come dispositivo in grado di generare onde sismiche.

Metodo d'indagine:

Quando un terreno viene sollecitato elasticamente, lungo l'interfaccia terreno-aria, si generano onde di Rayleigh attraverso l'interazione tra le onde di compressione P e le onde di taglio S. E' noto che la propagazione delle onde superficiali, nel caso di mezzi stratificati e trasversalmente isotropi, avviene in maniera diversa rispetto al caso di mezzi omogenei; non esiste più una unica velocità ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda. Queste interessano il terreno a diverse profondità e risultano influenzate dalle caratteristiche elastiche, appunto variabili con la profondità. Questo comportamento è fondamentale nello sviluppo dei metodi sismici che utilizzano le onde di superficie.

Ovviamente le lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario le lunghezze d'onda più piccole, poiché sono associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie. La velocità di propagazione delle onde di Rayleigh (V_r) è pari a $0,91V_s$ e ai fini pratici ciò si traduce nel fatto che misurando la V_r si ottiene la V_s con un errore di calcolo del tutto trascurabile. I metodi basati sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh forniscono una buona risoluzione e non sono limitati, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità. Inoltre la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se

influenzata dalla VP e dalla densità, è funzione innanzitutto della VS, parametro di fondamentale importanza per la caratterizzazione geotecnica di un sito secondo quanto previsto dalle recenti normative antisismiche.

L'elaborazione e l'interpretazione dei dati sismici è stata eseguita con l'ausilio del software "Easy Masw", prodotto dalla "Geostru", che consente di analizzare dati sismici (common-shot gathers) acquisiti in campagna in modo tale da poter ricavare il profilo verticale della VS (velocità delle onde di taglio) ed effettuare la classificazione del suolo ($V_{s,30}$ e $V_{s,eq}$) secondo le normative tecniche nazionali ed internazionali e la stima dei principali parametri geotecnici.

Tale risultato viene ottenuto tramite inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh, determinate tramite la tecnica MASW.

La procedura si sviluppa in tre operazioni svolte in successione:

1. acquisizione multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale (maglio battente su piastra in alluminio), lungo uno stendimento rettilineo costituito da 12 geofoni ed una sorgente sismica;

2. estrazione del modo fondamentale dalle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh (una curva per ogni acquisizione);

3. inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle VS (un profilo verticale posizionato nel punto medio di ogni stendimento geofonico).

Entrando nel merito della elaborazione, per la determinazione del profilo verticale della Vs (e quindi la V_{s30}), il primo passo riguarda la "Determinazione dello Spettro di Velocità" ed il "picking" della curva di dispersione. Successivamente si procede con la modellazione diretta o l'inversione della curva di dispersione interpretata dall'utente.

Una volta caricati i dati si procede con il calcolo dello spettro di velocità, e quindi si effettua il picking della curva di dispersione cioè la selezione dei punti che appartengono ad un certo modo di propagazione dell'onda superficiale. Successivamente, per ottenere il profilo verticale della VS, è necessario eseguire l'inversione della curva di dispersione precedentemente "piccata".

L'inversione viene effettuata grazie all'utilizzo di una solida tecnica di ottimizzazione (algoritmi genetici) che richiede un notevole impegno delle risorse di calcolo del computer. La contropartita è una soluzione più affidabile e una stima dell'attendibilità del modello ricavato (deviazioni standard).

Grazie alle conoscenze geologiche dell'area in esame, si è stabilito per l'interpretazione dei dati acquisiti una modellistica a 3 strati. Le curve di dispersione relative ai sondaggi sismici eseguiti sono mostrate di seguito.

Le analisi del profilo sismico MASW ha permesso la definizione di modelli 1D di velocità delle onde di taglio, localizzabili nei baricentri dello stendimento.

Poiché la profondità H del substrato (definito come quella formazione di roccia o terreno molto rigido) caratterizzato da Vs non inferiore a 800 m/s è maggiore di 30 metri, di seguito si fornisce come velocità equivalente delle onde di taglio il parametro V_{s30} , così come descritto nel paragrafo 3.2.2. delle NTC 2018.

Nella pagina successiva si allegano gli elaborati ottenuti dal processo di elaborazione dei segnali acquisiti. Per il sondaggio denominato Masw 3, relativo alla torre Rad 19, la V_{seq30} misurata risulta uguale a **331 m/s**, per cui il sottosuolo ricade nella categoria sismica **C** ovvero: *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

La V_{seq30} misurata risulta compresa tra **365 e 580 m/s** per i sondaggi denominati Masw 1, Masw 2, Masw 4, Masw 5 e Masw 6 relativi alle torri denominate Ram 01, Rad 6, Ram 19, Cu 05 e CU 11, per cui il sottosuolo ricade nella categoria sismica **B** ovvero: *Depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.*

- Classe d'uso: Quarta (Punto 2.4.2 del D.M. 17/01/2018);
- categoria di suolo: B-C (Punto 3.2.2 del D.M. 17/01/2018);
- vita nominale \geq 100 anni (Punto 2.4.1 del D.M. 17/01/2018);
- categoria topografica: T2 (Tabella 3.2.IV del D.M. 17/01/2018);
- coefficiente di amplificazione topografica: 1,2 (Tabella 3.2.VI del D.M 17/01/2018).

8 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Per il presente studio sono stati acquisiti i risultati di una campagna di indagini geognostiche effettuate durante la progettazione del "Parco Eolico Ennese" esistente. In particolare sono state le stratigrafie di n° 22 sondaggi geognostici effettuati nelle vicinanze delle torri eoliche interessate dal progetto di repowering, tutti spinti fino alla profondità di 30 m ad eccezione del sondaggio denominato SRad 16 spinto fino alla profondità di 19.0 m.

L'ubicazione dei sondaggi acquisiti è riportata nella *Tav. 1 carta geologica e geomorfologica*.

Tutti i dati relativi a ciascuno dei sondaggi geognostici effettuati sono stati elaborati in appositi modelli stratigrafici che riportano le seguenti informazioni:

- Denominazione del sondaggio;
- Data di inizio e fine della perforazione;
- Il simbolo grafico;
- La profondità dello strato;
- La descrizione stratigrafica;
- La quota della falda, se rilevata.

Nelle pagine successive si riportano le stratigrafie dei sondaggi effettuati.

L'area interessata dal progetto di repowering è stata suddivisa, sulla base delle tipologie di terreno interessate dalle fondazioni delle torri eoliche, in quattro aree, Area A, B, C e D

Area A, nella quale si riscontrano i terreni della Serie Evaporitica, in cui ricadono le torri denominate R-Rad 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, R-Ram 01 e 02, dove la stratigrafia tipo è la seguente:

Da m 0.0 a 1.0 m Terreno vegetale;

Da 1.0 m a fino ad una profondità variabile tra i 2.0 m e i 10.4 m argille limo-sabbiose e argille gessose con livelli di gessi laminati o massivi. Su tale litotipo le caratteristiche geotecniche di riferimento reperibili in letteratura sono:

Il peso dell'unità di volume (γ) è variabile tra 19.0 – 20.0 KN/m³

Coesione drenata (c') = 15-20 KPa

Angolo di attrito in condizioni drenate (ϕ') = 25°-28°

Coesione non drenata (c_u) = 115-150 KPa

a seguire fino alla massima profondità di indagine (30.0 m) si rinvencono marne argillose grigio-azzurre.

Su tale litotipo le caratteristiche geotecniche di riferimento reperibili in letteratura sono:

Il peso dell'unità di volume (γ) è variabile tra 19.5 – 21.0 KN/m³

Coesione drenata (c') = 35-40 KPa

Angolo di attrito in condizioni drenate (ϕ') = 27°-29°

Coesione non drenata (c_u) = 15-18 KPa

Area B, nella quale si riscontrano i terreni del Flysch, in cui ricadono le torri denominate R-Ram 04, 05, 06, 07, 08, 09, R-CU 01, 02, 03, dove la stratigrafia tipo è la seguente:

Da m 0.0 a 2.0 m Terreno vegetale;

Da 2.0 m fino ad una profondità variabile tra i 4.7 e i 12.8 argille marnose con livelli di sabbie molto consistenti. Su tale litotipo le caratteristiche geotecniche di riferimento reperibili in letteratura sono:

Il peso dell'unità di volume (γ) è variabile tra 20.0 – 21.0 KN/m³

Coesione drenata (c') = 20-30 KPa

Angolo di attrito in condizioni drenate (ϕ') = 25°-28°

Coesione non drenata (c_u) = 12-15 KPa

a seguire fino alla massima profondità di indagine (30.0 m) marne grigie asciutte e consistenti. Su tale litotipo le caratteristiche geotecniche di riferimento reperibili in letteratura sono:

Il peso dell'unità di volume (γ) è variabile tra 19.5 – 21.0 KN/m³

Coesione drenata (c') = 35-40 KPa

Angolo di attrito in condizioni drenate (ϕ') = 27°-29°

Coesione non drenata (c_u) = 15-18 KPa

Area C, nella quale si riscontrano i terreni della F.ne Polizzi e in cui ricade la torre denominata R-Ram 03, dove la stratigrafia è la seguente:

Da m 0.0 a 0.3 m Terreno vegetale;

Da 0.3 m fino alla massima profondità di indagine (30.0 m) marne tripolacee biancastre tenere e friabili. Su tale litotipo le caratteristiche geotecniche di riferimento reperibili in letteratura sono:

Il peso dell'unità di volume (γ) è variabile tra 19.5 – 20.0 KN/m³

Coesione drenata (c') = 15-20 KPa

Angolo di attrito in condizioni drenate (ϕ') = 27°-30°

Coesione non drenata (c_u) = 15-18 KPa

Area D, nella quale si riscontrano i terreni dell'Unità di Monte Iudica e in cui ricade la torre denominata R-CU 04, dove la stratigrafia è la seguente:

Da m 0.0 a 0.5 m Terreno vegetale;

Da 0.5 m a 5.5 m argille limo-sabbiose giallastre. Su tale litotipo le caratteristiche geotecniche di riferimento reperibili in letteratura sono:

Il peso dell'unità di volume (γ) è variabile tra 19.0– 19.5 KN/m³

Coesione drenata (c') = 15-20 KPa

Angolo di attrito in condizioni drenate (ϕ') = 26°-28°

Coesione non drenata (c_u) = 15-18 KPa

Da 5,5 m fino alla massima profondità di indagine (30.0 m) troviamo marne argillose grigio-azzurre asciutte e consistenti. Su tale litotipo le caratteristiche geotecniche di riferimento reperibili in letteratura sono:

Il peso dell'unità di volume (γ) è variabile tra 19.5 – 21.0 KN/m³

Coesione drenata (c') = 35-40 KPa

Angolo di attrito in condizioni drenate (ϕ') = 27°-29°

Coesione non drenata (c_u) = 15-18 KPa

La stratigrafia locale è stata ricostruita tramite l'esecuzione di due sondaggi sismici a rifrazione e tramite le informazioni desunte dall'esame delle carote estratte durante le perforazioni dei sondaggi S1 ed S2, effettuati nell'ambito dello studio geologico precedente eseguito a corredo del progetto di realizzazione del parco eolico esistente oggetto di repowering.

I due sondaggi sismici a rifrazione sono stati realizzati in prossimità delle posizioni in cui ricadranno gli aerogeneratori MM4 (sondaggio sismico SS2) ed MM5 (sondaggio sismico SS1).

I terreni interessati dalle fondazioni delle torri eoliche in progetto risultano essere di natura lapidea, costituite da solfato di calcio bi-idrato [CaSO₄ 2(H₂O)], noti in letteratura come Gessi. Tali rocce sono sormontate da una modesta coltre di terreno vegetale il cui spessore varia tra 50 e 60 cm.

I gessi si presentano in banchi apparentemente massicci che raggiungono spessori

variabili fino anche ad oltre 10 metri e sono costituiti da grossi cristalli di selenite geminata. L'ammasso gessoso è composto da spessi banchi omogenei di gessi selenitici con cristalli di grandi dimensioni cui seguono strati sottili alternati a lamine e straterelli carbonatici.

I parametri fisico-meccanici del terreno di fondazione in via del tutto cautelativa sono i seguenti:

$$\gamma = 21,5-22,5 \text{ KN/m}^3 \quad c = 20-35 \text{ KPa} \quad \phi = 36^\circ-40^\circ \quad Q_{\max} = 27-35 \text{ MPa}$$

Dove: γ = peso dell'unità di volume - c e ϕ = coesione ed angolo di attrito Q_{\max} = resistenza a compressione monoassiale

9 CARICHI AGENTI

Il calcolo delle fondazioni delle torri di sostegno dell'aerogeneratore è eseguito sulla base delle sollecitazioni massime previste dalla IEC 61400-1. Nel caso in esame i carichi "Extreme Loads" e "Production Loads" adottati per il predimensionamento della fondazione sono di seguito riportati.

Characteristic Extreme							
Lead	LC/Family	PLF	Type	Mbt1	Mzt1	FndFr	Fzt1
Sensor	[-]	[-]	[-]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]
Mbt1	32PREogHWO111(fam250)	1.35	Abs	108600	-285.8	984.3	-5885
Mzt1	21RPY10HWO2a00(fam123)	1.35	Abs	24870	-8742	251.3	-5735
FndFr	23CoEogVrp6(fam193)	1.10	Abs	131300	-523.6	1251	-5917
Fzt1	12lceUvout100(fam30)	1.35	Abs	39850	2067	376.1	-6070

Table 2-1 Characteristic Extreme (excl. PLF). Load cases sorted with PLF.

Characteristic Extreme							
Lead	LC/Family	PLF	Type	Mbt1	Mzt1	FndFr	Fzt1
Sensor	[-]	[-]	[-]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]
Mbt1	23CoEogVrp6(fam193)	1.10	Abs	131300	-488.9	1248	-5919
Mzt1	22VOGHWO300(fam171)	1.10	Abs	23350	-9249	210.4	-5711
FndFr	23CoEogVrp6(fam193)	1.10	Abs	131300	-523.6	1251	-5917
Fzt1	12lceUvout100(fam30)	1.35	Abs	39850	2067	376.1	-6070

Table 2-2 Characteristic Extreme (excl. PLF). Load cases sorted without PLF.

Characteristic Extreme							
Lead	LC/Family	PLF	Type	Mbt1	Mzt1	FndFr	Fzt1
Sensor	[-]	[-]	[-]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]
Mbt1	23CoEogVrp6(fam193)	1.10	Abs	131300	-488.9	1248	-5919
Mzt1	22VOGHWO300(fam171)	1.10	Abs	23350	-9249	210.4	-5711
FndFr	23CoEogVrp6(fam193)	1.10	Abs	131300	-523.6	1251	-5917
Fzt1	22VOGHWO300(fam171)	1.10	Abs	31130	2405	309.2	-6022

Table 2-3 Characteristic Extreme (excl. PLF). Only load cases with PLF = 1.10.

Tab.1

Characteristic Extreme							
Lead	LC/Family	PLF	Type	Mbt1	Mzt1	FndFr	Fzt1
Sensor	[-]	[-]	[-]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]
Mbt1	32PREogHWO111(fam250)	1.35	Abs	108600	-285.8	984.3	-5885
Mzt1	21RPY10HWO2a00(fam123)	1.35	Abs	24870	-8742	251.3	-5735
FndFr	32PREogHWO111(fam250)	1.35	Abs	108300	-302.4	986.6	-5883
Fzt1	12lceUvout100(fam30)	1.35	Abs	39850	2067	376.1	-6070

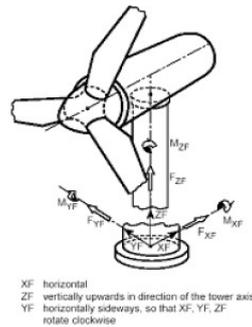
Table 2-4 Characteristic Extreme (excl. PLF). Only load cases with PLF = 1.35.

Production loads				
		Char. load	Prob.:1e-2	Prob.:1e-4
M _{res}	[kNm]	108600.00	66169.97	74365.21
M _z	[kNm]	-8741.73	-3522.09	-5395.24
F _{res}	[kN]	986.63	602.48	720.52
F _z	[kN]	-6069.65	-5946.12	-5980.73

Table 3-1 Service Limit State (SLS) loads, in accordance with DiBT 2012.

Tab.2

Tutti i carichi sono dati con riferimento all'intersezione dell'asse della torre con l'estradosso dell'opera di fondazione.



XF horizontal
ZF vertically upwards in direction of the tower axis
YF horizontally sideways, so that XF, YF, ZF rotate clockwise

Figure 1: coordinate system

Fig. 1

Il carico dovuto alla neve non viene considerato, in quanto non esistono reali possibilità di accumulo significativo di neve sia sulla navicella che sulle pale. Oltre a tali sollecitazioni, si è considerato agente sulle opere di fondazione un carico uniformemente distribuito per tenere conto del terreno di ricoprimento della fondazione. Per la verifica degli elementi strutturali del nodo torre/plinto di fondazione e per la verifica delle fondazioni, alle sollecitazioni sopra riportate, sono stati applicati i fattori parziali di sicurezza sotto elencati, riportati nella tabella 6.2.I del D.M. 17 gennaio 2018.

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti G_2 ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Q1}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

Tab.3 Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

Per ognuna delle quattro condizioni di carico, le sollecitazioni sono state combinate secondo quanto previsto al punto 2.5.3 del D.M. 17/01/2018 (equazione 2.5.1):

$$\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_P P + \gamma_{Q1}Q_{k1} + \gamma_{Q2}\psi_{02}Q_{k2} + \dots$$

dove G sono le azioni permanenti, azioni che agiscono durante tutta la vita nominale della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è così piccola e lenta da poterle considerare con sufficiente approssimazione costanti nel tempo. Esse sono:

- peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo) (G_1);
- peso proprio di tutti gli elementi non strutturali (G_2);
- spostamenti e deformazioni imposti, previsti dal progetto e realizzati all'atto della costruzione;

- pretensione e precompressione (P);
- spostamenti differenziali;
- Q sono le azioni variabili, azioni agenti sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo, suddivise come:
 - di lunga durata: agiscono con un'intensità significativa, anche non continuamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura;
 - di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura.

In tale equazione, le azioni orizzontali ed i momenti flettenti provenienti dalla torre sono stati considerati come azioni variabili, applicando quindi un coefficiente moltiplicativo pari a 1,50 così come previsto al punto 6.2.4.1.1 della normativa tecnica di riferimento D.M. 17/01/2018.

10 FONDAZIONI DI TIPO INDIRETTO: VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI TIPO GEOTECNICO

10.1 GENERALITA'

Nel presente paragrafo vengono riportate le teorie di calcolo e i risultati delle verifiche geotecniche della fondazione di tipo. In particolare, secondo quanto stabilito al punto 6.4.3 NTC 2018, nei confronti delle fondazioni di tipo indiretto devono essere condotte le seguenti verifiche:

SLU di tipo geotecnico (GEO)

- collasso per carico limite della palificata nei confronti di carichi assiali;
- collasso per carico limite della palificata nei confronti di carichi trasversali;
- collasso per carico limite di sfilamento nei confronti di carichi assiali di trazione.

Le verifiche di cui sopra devono essere effettuate, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tab. 6.2.I (coefficienti moltiplicativi per le azioni), 6.2.II (coefficienti moltiplicativi per i parametri geotecnici) e 6.4.II e 6.4.VI (coefficienti divisori della resistenza), seguendo il seguente approccio:

Approccio 2:

Un'unica combinazione (A1+M1+R3).

La verifica di stabilità globale deve essere effettuata analogamente a quanto previsto nel capitolo 6.8 secondo la combinazione 2 dell'approccio 1 (A2+M2+R2), tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I, 6.2.II, 6.8.I.

Nelle verifiche agli SLU di tipo strutturale il coefficiente γ_R non deve essere portato in conto.

Per le verifiche agli SLU di tipo strutturale si rimanda alla relazione di predimensionamento strutturale. In particolare, le verifiche geotecniche sono state eseguite con opportuno software di calcolo strutturale e geotecnico della Software House Aztec Informatica API++ .11, licenza n° A101280VT.

10.2 CARICO LIMITE DEI PALI DI FONDAZIONE GENERALITA'

La capacità portante di un palo viene valutata come somma di due contributi: portata di base (o di punta) e portata per attrito laterale lungo il fusto. Cioè si assume valida l'espressione:

$$Q_T = Q_P + Q_L - W_P$$

dove:

- Q_T = portanza totale del palo;
- Q_P = portanza di base del palo;
- Q_L = portanza per attrito laterale del palo;
- W_P = peso proprio del palo,

Le due componenti QP e QL sono calcolate in modo indipendente fra loro.

La portanza limite per ciascun palo è calcolata in base alle caratteristiche del terreno dei vari strati attraversati dal palo.

Secondo quanto previsto al punto 6.4.3.1.1 del D.M. 14/01/2008, a partire dal valore così calcolato della portanza Q_t si ricava il valore caratteristico, dividendo Q_t per i coefficienti ξ_3 e ξ_4 , per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate, riportati in tabella 4:

Numero di verticali indagate							
	1	2	3	4	5	7	≥10
ξ_3	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40
ξ_4	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21

Tab. 4

Nel caso in esame, si è condotto un solo sondaggio per ogni postazione. Per cui si farà riferimento al coefficiente 1.70.

A partire dal valore caratteristico così ottenuto, si calcola il valore di progetto applicando i coefficienti γ_R riportati nella tabella 5:

	Pali trivellati		
	R1	R2	R3
Base	1.00	1.70	1.35
Laterale in compressione	1.00	1.45	1.25
Totale	1.00	1.60	1.30
Laterale in trazione	1.00	1.60	1.25

Tab. 5

Il valore di progetto così determinato della capacità portante deve risultare non minore del valore caratteristico ottenuto dal calcolo.

La portanza limite per ciascun palo è calcolata in base alle caratteristiche del terreno dei vari strati attraversati dal palo.

La portanza per attrito laterale viene calcolata tramite la relazione:

$$Q_l = \pi \cdot \int_0^L D \tau_s dl$$

Rappresentando τ_s le tensioni tangenziali che si mobilitano all'interfaccia palo terreno e D il diametro del palo.

La portanza di base del palo è calcolata come:

$$Q_p = qb * Ab$$

Dove qb, che esprime il valore ultimo della pressione alla base, è stato determinato con l'approccio di Berezantsev.

10.3 CALCOLO TENSIONI E CEDIMENTI

Determinata la portanza laterale e di punta del palo lo stesso viene discretizzato in 100 elementi tipo trave aventi area ed inerzia corrispondenti alla sezione trasversale del palo e lunghezza pari ad L_e . Vengono disposte, inoltre, lungo il fusto del palo una serie di molle (una per ogni elemento), coassiali al palo stesso, aventi rigidezza opportuna. Una ulteriore molla viene disposta alla base del palo. Le suddette molle hanno un comportamento elastoplastico. In particolare, le molle lungo il fusto saranno in grado di reagire linearmente fino a quando la pressione in corrispondenza di esse non raggiunge il valore limite dell'aderenza palo terreno. Una volta raggiunto tale valore le molle non saranno più in grado di fornire ulteriore resistenza. La molla posta alla base del palo avrà invece una resistenza limite pari alla portanza di punta del palo stesso.

Per la determinazione delle rigidzze delle molle si considerano gli spostamenti limite ΔY_l e ΔY_p (definiti dall'Utente nella finestra Metodo cedimenti).

La rigidezza della generica molla, posta a profondità z rispetto al piano campagna sarà data da:

$$R_l = \frac{(c_a + \sigma_h K_s \tan \delta) \pi D l_e}{\Delta Y_l}$$

In questa espressione c_a è l'aderenza palo terreno, σ_h è la pressione orizzontale alla profondità z , δ è l'angolo d'attrito palo terreno, K_s è il coefficiente di spinta e D è il diametro del palo.

Indicando con Q_p la portanza alla punta del palo, la rigidezza della molla posta alla base dello stesso è data da:

$$R_p = \frac{Q_p}{\Delta Y_p}$$

Il processo di soluzione è, naturalmente, di tipo iterativo: a partire da un carico iniziale N_0 si determinano gli spostamenti assiali e quindi le reazioni delle molle. La reazione della molla dovrà essere corretta per tenere conto di eventuali plasticizzazioni rispettando le equazioni di equilibrio per ogni passo di carico. Il carico iniziale verrà allora incrementato di un passo opportuno e si ripeterà il procedimento. Il processo iterativo termina quando tutte le molle risultano plasticizzate.

10.4 CAPACITÀ PORTANTE PER CARICO ORIZZONTALE

L'analisi del palo soggetto a forze orizzontali non risulta sicuramente più agevole del caso di palo soggetto a forze assiali. Trattasi di un problema d'interazione parzialmente risolto solo per casi più semplici ed adottando notevoli semplificazioni d'analisi. In particolare, sono stati analizzati da Broms il caso di palo in un mezzo omogeneo puramente coesivo ed

in un mezzo omogeneo incoerente, nei casi in cui il palo sia libero di ruotare in testa o sia incastrato. Le soluzioni ottenute da Broms si basano sull'utilizzo dei teoremi dell'analisi limite e sull'ipotesi che si verifichino alcuni meccanismi di rottura (meccanismo di palo corto, meccanismo di palo lungo, etc).

La resistenza limite laterale di un palo è determinata dal minimo valore fra il carico orizzontale, necessario per produrre il collasso del terreno lungo il fusto del palo, ed il carico orizzontale necessario per produrre la plasticizzazione del palo. Il primo meccanismo (plasticizzazione del terreno) si verifica nel caso di pali molto rigidi in terreni poco resistenti (meccanismo di palo corto), mentre il secondo meccanismo si verifica nel caso di pali aventi rigidità non eccessive rispetto al terreno d'infissione (meccanismo di palo lungo o intermedio). In particolare, si rimanda alla relazione ai tabulati di calcolo allegati al presente progetto.

10.5 TABULATO DI CALCOLO VERIFICHE GEOTECNICHE

Tipologie pali

Simbologia adottata

n°	Indice tipologia
Descrizione	Descrizione tipologia
Geometria	Geometria tipologia (Pali in c.a o Pali in acciaio)
Armatura	Tipologia armatura per pali in c.a.
Portanza	Aliquote contributi portanza (solo Punta, solo Laterale, Entrambe)
Vincolo	Grado di vincolo alla testa del palo (Incastro o Cerniera)
TC	Tipologia costruttiva del palo (Trivellato o Infixo)
Mat	Indice materiale tipologia palo
Pt	Pressione quota testa palo, espressa in [kg/cmq]

n°	Descrizione	Geometria	Armatura	Portanza	TC
1	Tipologia 1	Pali circolari in c.a.	Ferri longitudinali + staffe	Entrambe	Trivellato

Tab. 6

Caratteristiche pali

Simbologia adottata

n°	Indice palo
X	Ascissa palo, espressa in [m]
Y	Ordinata palo, espressa in [m]
d	Diametro palo, espresso in [cm]
l	Lunghezza palo, espressa in [m]
nodo	Indice nodo su cui è posizionato il palo
It	Indice tipologia palo

n°	X	Y	D	L	Nodo	It
	[m]	[m]	[cm]	[m]		
1	9,70	0,00	100,00	25,00	15	1
2	8,96	3,71	100,00	25,00	145	1
3	6,86	6,86	100,00	25,00	336	1
4	3,71	8,96	100,00	25,00	581	1
5	0,00	9,70	100,00	25,00	651	1
6	-3,71	8,96	100,00	25,00	772	1
7	-6,86	6,86	100,00	25,00	863	1
8	-8,96	3,71	100,00	25,00	930	1
9	-9,70	0,00	100,00	25,00	958	1
10	-8,96	-3,71	100,00	25,00	915	1
11	-6,86	-6,86	100,00	25,00	848	1
12	-3,71	-8,96	100,00	25,00	745	1
13	0,00	-9,70	100,00	25,00	605	1
14	3,71	-8,96	100,00	25,00	445	1
15	6,86	-6,86	100,00	25,00	202	1
16	8,96	-3,71	100,00	25,00	52	1

Tab. 7

Descrizione terreni

Caratteristiche fisico meccaniche

Simbologia adottata

Descrizione	Descrizione terreno					
γ	Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]					
γ_{sat}	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]					
ϕ	Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi					
δ	Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi					
c	Coesione del terreno espressa in [kg/cm ²]					
ca	Adesione del terreno espressa in [kg/cm ²]					
τ_1	Tensione tangenziale, per calcolo portanza micropali con il metodo di Bustamante-Doix, espressa in [kg/cm ²]					
α	Coeff. di espansione laterale					

Descrizione	γ	γ_{sat}	Parametri	ϕ	δ	c
	[kg/mc]	[kg/mc]		[°]	[°]	[kg/cm ²]
Sabbie limose,limi sabbiosi,arg sabbiose, Arg.ma	1900,0	2100,0	Caratteristici	30.00	20.0	0,000
			Minimi	30.00	20.0	0,000
			Medi	30.00	20.0	0,000
Sabbie limose,limi sabbiosi,arg sabbiose, Arg.ma	2000,0	2100,0	Caratteristici	27.00	17.9	0,000
			Minimi	27.00	17.9	0,000
			Medi	27.00	17.9	0,000

Tab. 8

Descrizione stratigrafia e falda

Simbologia adottata

N	Identificativo strato
Z1	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]
Z2	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]
Z3	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]
Terreno	Terreno associato allo strato
Ks	Coefficiente di spinta
Kw	Costante di Winkler orizzontale espressa in [Kg/cm ² /cm]
α	Coeff. di sbulbatura

N	Z1 [m]	Z2 [m]	Z3 [m]	Terreno	Ks
1	-10,0	-10,0	-10,0	Sabbie limose,limi sabbiosi,arg sabbiose, Arg.ma	0.500
2	-30,0	-30,0	-30,0	Sabbie limose,limi sabbiosi,arg sabbiose, Arg.ma	0.550

Tab. 9

Falda

Profondità dal piano campagna assente [m]

Costante di Winkler

Direzione	Simbolo	Kw [Kg/cm ² /cm]
Verticale	Kwv	2.00
Orizzontale	Kwo	Calcolata dal programma ($Kwo=Kwv*\tan(\phi)$)

Tab. 10

Convenzioni adottateCarichi e reazioni vincolari

Fz	Carico verticale positivo verso il basso
Fx	Forza orizzontale in direzione X positiva nel verso delle X crescenti.
Fy	Forza orizzontale in direzione Y positiva nel verso delle Y crescenti.
Mx	Momento con asse vettore parallelo all'asse X positivo antiorario.
My	Momento con asse vettore parallelo all'asse Y positivo antiorario.

Sollecitazioni

Mx	Momento flettente X con asse vettore parallelo all'asse Y (positivo se tende le fibre inferiori).
My	Momento flettente Y con asse vettore parallelo all'asse X (positivo se tende le fibre inferiori).
Mxy	Momento flettente XY.

Condizioni di carico

Carichi concentrati

Simbologia adottata

Ic	Indice carico
X	Ascissa carico espressa in [m]
Y	Ordinata carico espressa in [m]
N	Carico verticale espresso in [kg]
Mx	Momento intorno all'asse X espresso in [kgm]
My	Momento intorno all'asse Y espresso in [kgm]
Tx	Forza orizzontale in direzione X espressa in [kg]
Ty	Forza orizzontale in direzione Y espressa in [kg]

Carichi distribuiti

Simbologia adottata

Ic	Indice carico
P _{is}	Punto inferiore sinistro del carico espresso in [m]
P _{sd}	Punto superiore destro del carico espresso in [m]
Q _{z1}	Componente verticale del carico in corrispondenza del punto inferiore sinistro espresso in [kg/mq]
Q _{z2}	Componente verticale del carico in corrispondenza del punto inferiore destro espresso in [kg/mq]
Q _{z3}	Componente verticale del carico in corrispondenza del punto superiore sinistro espresso in [kg/mq]
Q _{z4}	Componente verticale del carico in corrispondenza del punto superiore destro espresso in [kg/mq]
Q _x	Componente orizzontale del carico in direzione X espressa in [kg/mq]
Q _y	Componente orizzontale del carico in direzione Y espressa in [kg/mq]

Condizione n° 1 - Condizione 1 – Peso proprio torre

Carichi concentrati

Oggetto	X [m]	Y [m]	N [kg]	Mx [kgm]	My [kgm]	Tx [kg]	Ty [kg]
Piastra	1,83	0,00	112,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Piastra	1,76	0,47	112,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Piastra	1,58	0,91	112,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Piastra	1,29	1,29	112,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Piastra	0,91	1,58	112,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Piastra	0,47	1,76	112,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Piastra	0,00	1,83	112,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Piastra	-0,47	1,76	112,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Piastra	-0,91	1,58	112,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Piastra	-1,29	1,29	112,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Piastra	-1,58	0,91	112,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Piastra	-1,76	0,47	112,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Piastra	-1,83	0,00	112,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Piastra	-1,76	-0,47	112,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Piastra	-1,58	-0,91	112,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Piastra	-1,29	-1,29	112,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Piastra	-0,91	-1,58	112,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Piastra	-0,47	-1,76	112,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Piastra	0,00	-1,83	112,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Piastra	0,47	-1,76	112,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Piastra	0,91	-1,58	112,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Piastra	1,29	-1,29	112,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Piastra	1,58	-0,91	112,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Piastra	1,76	-0,47	112,1	0,0	0,0	0,0	0,0

Tab. 11

Condizione n° 2 - Condizione 2 - IEC Mbt MAX

Carichi concentrati

Oggetto	X [m]	Y [m]	N [kg]	Mx [kgm]	My [kgm]	Tx [kg]	Ty [kg]
Piastra	1,83	0,00	133,1	0,0	0,0	0,0	34,5
Piastra	1,76	0,47	-1152,7	0,0	0,0	1,7	34,7
Piastra	1,58	0,91	-2350,8	0,0	0,0	3,3	35,4
Piastra	1,29	1,29	-3379,7	0,0	0,0	4,6	36,4
Piastra	0,91	1,58	-4169,2	0,0	0,0	5,7	37,7
Piastra	0,47	1,76	-4665,5	0,0	0,0	6,3	39,3
Piastra	0,00	1,83	-4834,8	0,0	0,0	6,5	41,0
Piastra	-0,47	1,76	-4665,5	0,0	0,0	6,3	42,7
Piastra	-0,91	1,58	-4169,2	0,0	0,0	5,7	44,3
Piastra	-1,29	1,29	-3379,7	0,0	0,0	4,6	45,6
Piastra	-1,58	0,91	-2350,8	0,0	0,0	3,3	46,7
Piastra	-1,76	0,47	-1152,7	0,0	0,0	1,7	47,3
Piastra	-1,83	0,00	133,1	0,0	0,0	0,0	47,5
Piastra	-1,76	-0,47	1418,9	0,0	0,0	-1,7	47,3
Piastra	-1,58	-0,91	2617,1	0,0	0,0	-3,3	46,7
Piastra	-1,29	-1,29	3646,0	0,0	0,0	-4,6	45,6
Piastra	-0,91	-1,58	4435,4	0,0	0,0	-5,7	44,3
Piastra	-0,47	-1,76	4931,7	0,0	0,0	-6,3	42,7
Piastra	0,00	-1,83	5101,0	0,0	0,0	-6,5	41,0
Piastra	0,47	-1,76	4931,7	0,0	0,0	-6,3	39,3
Piastra	0,91	-1,58	4435,4	0,0	0,0	-5,7	37,7
Piastra	1,29	-1,29	3646,0	0,0	0,0	-4,6	36,4
Piastra	1,58	-0,91	2617,1	0,0	0,0	-3,3	35,4
Piastra	1,76	-0,47	1418,9	0,0	0,0	-1,7	34,7

Tab. 12

Condizione n° 3 - Condizione 3 - IEC Mz MAX

Carichi concentrati

Oggetto	X [m]	Y [m]	N [kg]	Mx [kgm]	My [kgm]	Tx [kg]	Ty [kg]
Piastra	1,83	0,00	126,9	0,0	0,0	0,0	-189,1
Piastra	1,76	0,47	-167,6	0,0	0,0	51,7	-182,3
Piastra	1,58	0,91	-442,1	0,0	0,0	99,8	-162,4
Piastra	1,29	1,29	-677,7	0,0	0,0	141,1	-130,7
Piastra	0,91	1,58	-858,6	0,0	0,0	172,8	-89,3
Piastra	0,47	1,76	-972,3	0,0	0,0	192,8	-41,2
Piastra	0,00	1,83	-1011,0	0,0	0,0	199,6	10,5
Piastra	-0,47	1,76	-972,3	0,0	0,0	192,8	62,1
Piastra	-0,91	1,58	-858,6	0,0	0,0	172,8	110,3
Piastra	-1,29	1,29	-677,7	0,0	0,0	141,1	151,6
Piastra	-1,58	0,91	-442,1	0,0	0,0	99,8	183,3
Piastra	-1,76	0,47	-167,6	0,0	0,0	51,7	203,3
Piastra	-1,83	0,00	126,9	0,0	0,0	0,0	210,1
Piastra	-1,76	-0,47	421,4	0,0	0,0	-51,7	203,3
Piastra	-1,58	-0,91	695,8	0,0	0,0	-99,8	183,3
Piastra	-1,29	-1,29	931,5	0,0	0,0	-141,1	151,6
Piastra	-0,91	-1,58	1112,3	0,0	0,0	-172,8	110,3
Piastra	-0,47	-1,76	1226,0	0,0	0,0	-192,8	62,1
Piastra	0,00	-1,83	1264,8	0,0	0,0	-199,6	10,5
Piastra	0,47	-1,76	1226,0	0,0	0,0	-192,8	-41,2
Piastra	0,91	-1,58	1112,3	0,0	0,0	-172,8	-89,3
Piastra	1,29	-1,29	931,5	0,0	0,0	-141,1	-130,7
Piastra	1,58	-0,91	695,8	0,0	0,0	-99,8	-162,4
Piastra	1,76	-0,47	421,4	0,0	0,0	-51,7	-182,3

Tab. 13

Condizione n° 4 - Condizione 4 - IEC Fz Max

Carichi concentrati

Oggetto	X [m]	Y [m]	N [kg]	Mx [kgm]	My [kgm]	Tx [kg]	Ty [kg]
Piastra	1,83	0,00	-1,1	0,0	0,0	0,0	62,9
Piastra	1,76	0,47	-472,9	0,0	0,0	-12,2	61,3
Piastra	1,58	0,91	-912,6	0,0	0,0	-23,6	56,5
Piastra	1,29	1,29	-1290,2	0,0	0,0	-33,4	49,0
Piastra	0,91	1,58	-1579,9	0,0	0,0	-40,9	39,3
Piastra	0,47	1,76	-1762,0	0,0	0,0	-45,6	27,9
Piastra	0,00	1,83	-1824,2	0,0	0,0	-47,2	15,7
Piastra	-0,47	1,76	-1762,0	0,0	0,0	-45,6	3,5
Piastra	-0,91	1,58	-1579,9	0,0	0,0	-40,9	-7,9
Piastra	-1,29	1,29	-1290,2	0,0	0,0	-33,4	-17,7
Piastra	-1,58	0,91	-912,6	0,0	0,0	-23,6	-25,2
Piastra	-1,76	0,47	-472,9	0,0	0,0	-12,2	-29,9
Piastra	-1,83	0,00	-1,1	0,0	0,0	0,0	-31,5
Piastra	-1,76	-0,47	470,8	0,0	0,0	12,2	-29,9
Piastra	-1,58	-0,91	910,5	0,0	0,0	23,6	-25,2
Piastra	-1,29	-1,29	1288,0	0,0	0,0	33,4	-17,7
Piastra	-0,91	-1,58	1577,7	0,0	0,0	40,9	-7,9
Piastra	-0,47	-1,76	1759,9	0,0	0,0	45,6	3,5
Piastra	0,00	-1,83	1822,0	0,0	0,0	47,2	15,7
Piastra	0,47	-1,76	1759,9	0,0	0,0	45,6	27,9
Piastra	0,91	-1,58	1577,7	0,0	0,0	40,9	39,3
Piastra	1,29	-1,29	1288,0	0,0	0,0	33,4	49,0
Piastra	1,58	-0,91	910,5	0,0	0,0	23,6	56,5
Piastra	1,76	-0,47	470,8	0,0	0,0	12,2	61,3

Tab. 14

Condizione n° 5 - Condizione 5 - SLE CH

Carichi concentrati

Oggetto	X [m]	Y [m]	N [kg]	Mx [kgm]	My [kgm]	Tx [kg]	Ty [kg]
Piastra	1,83	0,00	140,8	0,0	0,0	0,0	-158,5
Piastra	1,76	0,47	-1145,0	0,0	0,0	51,7	-151,7
Piastra	1,58	0,91	-2343,1	0,0	0,0	99,8	-131,7
Piastra	1,29	1,29	-3372,0	0,0	0,0	141,1	-100,0
Piastra	0,91	1,58	-4161,5	0,0	0,0	172,8	-58,7
Piastra	0,47	1,76	-4657,8	0,0	0,0	192,8	-10,5
Piastra	0,00	1,83	-4827,1	0,0	0,0	199,6	41,1
Piastra	-0,47	1,76	-4657,8	0,0	0,0	192,8	92,8
Piastra	-0,91	1,58	-4161,5	0,0	0,0	172,8	140,9
Piastra	-1,29	1,29	-3372,0	0,0	0,0	141,1	182,2
Piastra	-1,58	0,91	-2343,1	0,0	0,0	99,8	214,0
Piastra	-1,76	0,47	-1145,0	0,0	0,0	51,7	233,9
Piastra	-1,83	0,00	140,8	0,0	0,0	0,0	240,7
Piastra	-1,76	-0,47	1426,6	0,0	0,0	-51,7	233,9
Piastra	-1,58	-0,91	2624,8	0,0	0,0	-99,8	214,0
Piastra	-1,29	-1,29	3653,7	0,0	0,0	-141,1	182,2
Piastra	-0,91	-1,58	4443,2	0,0	0,0	-172,8	140,9
Piastra	-0,47	-1,76	4939,5	0,0	0,0	-192,8	92,8
Piastra	0,00	-1,83	5108,7	0,0	0,0	-199,6	41,1
Piastra	0,47	-1,76	4939,5	0,0	0,0	-192,8	-10,5
Piastra	0,91	-1,58	4443,2	0,0	0,0	-172,8	-58,7
Piastra	1,29	-1,29	3653,7	0,0	0,0	-141,1	-100,0
Piastra	1,58	-0,91	2624,8	0,0	0,0	-99,8	-131,7
Piastra	1,76	-0,47	1426,6	0,0	0,0	-51,7	-151,7

Tab. 15

Condizione n° 6 - Condizione 6 -SLE PR

Carichi concentrati

Oggetto	X [m]	Y [m]	N [kg]	Mx [kgm]	My [kgm]	Tx [kg]	Ty [kg]
Piastra	1,83	0,00	135,7	0,0	0,0	0,0	-55,3
Piastra	1,76	0,47	-647,8	0,0	0,0	20,8	-52,6
Piastra	1,58	0,91	-1377,8	0,0	0,0	40,2	-44,5
Piastra	1,29	1,29	-2004,7	0,0	0,0	56,9	-31,7
Piastra	0,91	1,58	-2485,8	0,0	0,0	69,6	-15,1
Piastra	0,47	1,76	-2788,2	0,0	0,0	77,7	4,3
Piastra	0,00	1,83	-2891,3	0,0	0,0	80,4	25,1
Piastra	-0,47	1,76	-2788,2	0,0	0,0	77,7	45,9
Piastra	-0,91	1,58	-2485,8	0,0	0,0	69,6	65,3
Piastra	-1,29	1,29	-2004,7	0,0	0,0	56,9	82,0
Piastra	-1,58	0,91	-1377,8	0,0	0,0	40,2	94,8
Piastra	-1,76	0,47	-647,8	0,0	0,0	20,8	102,8
Piastra	-1,83	0,00	135,7	0,0	0,0	0,0	105,5
Piastra	-1,76	-0,47	919,1	0,0	0,0	-20,8	102,8
Piastra	-1,58	-0,91	1649,2	0,0	0,0	-40,2	94,8
Piastra	-1,29	-1,29	2276,1	0,0	0,0	-56,9	82,0
Piastra	-0,91	-1,58	2757,1	0,0	0,0	-69,6	65,3
Piastra	-0,47	-1,76	3059,5	0,0	0,0	-77,7	45,9
Piastra	0,00	-1,83	3162,6	0,0	0,0	-80,4	25,1
Piastra	0,47	-1,76	3059,5	0,0	0,0	-77,7	4,3
Piastra	0,91	-1,58	2757,1	0,0	0,0	-69,6	-15,1
Piastra	1,29	-1,29	2276,1	0,0	0,0	-56,9	-31,7
Piastra	1,58	-0,91	1649,2	0,0	0,0	-40,2	-44,5
Piastra	1,76	-0,47	919,1	0,0	0,0	-20,8	-52,6

Tab. 16

Condizione n° 7 - Condizione 7-RICOPRIMENTO

Carichi distribuiti

Ic	P _{is} [m]	P _{sd} [m]	Q _{Z1} [kg/mq]	Q _{Z2} [kg/mq]	Q _{Z3} [kg/mq]	Q _{Z4} [kg/mq]	Q _x [kg/mq]	Q _y [kg/mq]
1	-10,70; -10,70	10,70; 10,70	3000,00	3000,00	3000,00	3000,00	0,00	0,00

Tab. 17

Normativa - Coefficienti di sicurezza

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale	(A1) - STR	(A2) - GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1, fav}$	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{G1, sfav}$	1.35	1.00
Permanenti non strutturali	Favorevole	$\gamma_{G2, fav}$	0.90	0.00
Permanenti non strutturali	Sfavorevole	$\gamma_{G2, sfav}$	1.35	1.35
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Q, fav}$	0.90	0.00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Q, sfav}$	1.50	1.50
Variabili traffico	Favorevole	$\gamma_{Q, fav}$	1.00	1.00
Variabili traffico	Sfavorevole	$\gamma_{Q, sfav}$	1.00	1.00

Tab. 18

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA	Coefficiente parziale	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'k$	$\gamma_{\phi'}$	1.00	1.25
Coesione efficace	$c'k$	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.00	1.40

Tab. 19

Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche (Pali trivellati)

Resistenza	γ_R	(R1)	(R2)	(R3)
Base	γ_b	1.00	1.70	1.35
Laterale in compressione	γ_s	1.00	1.45	1.15
Totale	γ_t	1.00	1.60	1.30
Laterale in trazione	γ_{st}	1.00	1.60	1.25

Tab. 20

Coefficienti parziali γ_T per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali

γ_T	(R1)	(R2)	(R3)
γ_T	1.00	1.60	1.30

Tab. 21

Fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

Numero di verticali indagate	ξ_3	ξ_4
1	1.70	1.70

Tab. 22

Elenco combinazioni di calcolo

Numero combinazioni definite 8

Simbologia adottata

CP Coefficiente di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 - A1-M1-R1

Condizione	CP
Peso proprio	1.35
Condizione 1 - Torre	1.35
Condizione 7-RICOPRIMENTO	1.35
Condizione 2 - IEC Mbt MAX	1.50

Tab. 22

Combinazione n° 2 - A1-M1-R1

Condizione	CP
Peso proprio	1.35
Condizione 1 - Torre	1.35
Condizione 7-RICOPRIMENTO	1.35
Condizione 3 - IEC Mz MAX	1.50

Tab. 23

Combinazione n° 3 - A1-M1-R1

Condizione	CP
Peso proprio	1.35
Condizione 1 - Torre	1.35
Condizione 7-RICOPRIMENTO	1.35
Condizione 4 - IEC Fz Max	1.50

Combinazione n° 4 - A2-M2-R2

Condizione	CP
Peso proprio	1.00
Condizione 1 - Torre	1.00
Condizione 7-RICOPRIMENTO	1.35
Condizione 2 - IEC Mbt MAX	1.30

Tab. 24

Combinazione n° 5 - A2-M2-R2

Condizione	CP
Peso proprio	1.00
Condizione 1 - Torre	1.00
Condizione 7-RICOPRIMENTO	1.35
Condizione 3 - IEC Mz MAX	1.30

Tab. 25

Combinazione n° 6 - A2-M2-R2

Condizione	CP
Peso proprio	1.00
Condizione 1 - Torre	1.00
Condizione 7-RICOPRIMENTO	1.35
Condizione 4 - IEC Fz Max	1.30

Tab. 26

Combinazione n° 7 - SLER

Condizione	CP
Peso proprio	1.00
Condizione 1 - Torre	1.00
Condizione 7-RICOPRIMENTO	1.00
Condizione 5 - SLE CH	1.00

Tab. 27

Combinazione n° 8 - SLER

Condizione	CP
Peso proprio	1.00
Condizione 1 - Torre	1.00
Condizione 7-RICOPRIMENTO	1.00
Condizione 6 -SLE PR	1.00

Tab. 28

Impostazioni di analisi

Portanza verticale pali

Metodo calcolo portanza: Berezantzev

Portanza trasversale pali

Costante di Winkler

Rottura palo-terreno

Cedimenti

Metodo calcolo cedimenti: Elementi finiti

Modello

Caratteristiche Mesh

Numero elementi 1862

Numero nodi 964

SollecitazioniPaliSimbologia adottata

n°	Identificativo sezione
Y	ordinata della sezione a partire dalla testa positiva verso il basso, espressa in [m]
Nr	sforzo normale a rottura, espresso in [kg]
Ne	sforzo normale in esercizio, espresso in [kg]
Tr	taglio a rottura, espresso in [kg]
Te	taglio in esercizio, espresso in [kg]
Mr	momento a rottura, espresso in [kgm]
Me	momento in esercizio, espresso in [kgm]

Palo n° 1

n°	Y	Ne	Nr	Te	Tr	Me	Mr
	[m]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kgm]	[kgm]
1	0,00	233452 (1)	743200 (1)	83 (1)	68764 (1)	0 (0)	0 (1)
11	2,50	235667 (1)	737146 (1)	2 (1)	7490 (1)	-100 (1)	-118243 (1)
21	5,00	236259 (1)	725626 (1)	-18 (1)	-21472 (1)	-74 (1)	-93513 (1)
31	7,50	235767 (1)	711247 (1)	-14 (1)	-17697 (1)	-31 (1)	-40881 (1)
41	10,00	234190 (1)	694009 (1)	-6 (1)	-7952 (1)	-5 (1)	-7841 (1)
51	12,50	231529 (1)	673913 (1)	-1 (1)	-1643 (1)	4 (1)	3996 (1)
61	15,00	227784 (1)	650959 (1)	1 (1)	688 (1)	4 (1)	4837 (1)
71	17,50	222954 (1)	625145 (1)	1 (1)	892 (1)	2 (1)	2636 (1)
81	20,00	217039 (1)	596473 (1)	0 (1)	474 (1)	1 (1)	845 (1)
91	22,50	210040 (1)	564943 (1)	0 (1)	116 (1)	0 (1)	106 (1)
101	25,00	201957 (1)	534121 (1)	0 (0)	0 (1)	0 (0)	0 (1)

Tab. 29

Palo n° 2

n°	Y [m]	Ne [kg]	Nr [kg]	Te [kg]	Tr [kg]	Me [kgm]	Mr [kgm]
1	0,00	233262 (2)	743200 (1)	83 (1)	68764 (1)	0 (0)	0 (1)
11	2,50	235479 (2)	737146 (1)	2 (1)	7490 (1)	-100 (1)	-118243 (1)
21	5,00	236074 (2)	725626 (1)	-18 (1)	-21472 (1)	-74 (1)	-93513 (1)
31	7,50	235586 (2)	711247 (1)	-14 (1)	-17697 (1)	-31 (1)	-40881 (1)
41	10,00	234014 (2)	694009 (1)	-6 (1)	-7952 (1)	-5 (1)	-7841 (1)
51	12,50	231358 (2)	673913 (1)	-1 (1)	-1643 (1)	4 (1)	3996 (1)
61	15,00	227618 (2)	650959 (1)	1 (1)	688 (1)	4 (1)	4837 (1)
71	17,50	222795 (2)	625145 (1)	1 (1)	892 (1)	2 (1)	2636 (1)
81	20,00	216887 (2)	596473 (1)	0 (1)	474 (1)	1 (1)	845 (1)
91	22,50	209896 (2)	564943 (1)	0 (1)	116 (1)	0 (1)	106 (1)
101	25,00	201822 (2)	534121 (1)	0 (0)	0 (1)	0 (0)	0 (1)

Tab. 30

Palo n° 3

n°	Y [m]	Ne [kg]	Nr [kg]	Te [kg]	Tr [kg]	Me [kgm]	Mr [kgm]
1	0,00	233100 (2)	743200 (1)	84 (1)	68764 (1)	0 (0)	0 (1)
11	2,50	235318 (2)	737146 (1)	2 (1)	7490 (1)	-101 (1)	-118243 (1)
21	5,00	235916 (2)	725626 (1)	-19 (1)	-21472 (1)	-75 (1)	-93513 (1)
31	7,50	235430 (2)	711247 (1)	-14 (1)	-17697 (1)	-31 (1)	-40881 (1)
41	10,00	233862 (2)	694009 (1)	-6 (1)	-7952 (1)	-5 (1)	-7841 (1)
51	12,50	231210 (2)	673913 (1)	-1 (1)	-1643 (1)	4 (1)	3996 (1)
61	15,00	227476 (2)	650959 (1)	1 (1)	688 (1)	4 (1)	4837 (1)
71	17,50	222658 (2)	625145 (1)	1 (1)	892 (1)	2 (1)	2636 (1)
81	20,00	216757 (2)	596473 (1)	0 (1)	474 (1)	1 (1)	845 (1)
91	22,50	209773 (2)	564943 (1)	0 (1)	116 (1)	0 (1)	106 (1)
101	25,00	201705 (2)	534121 (1)	0 (0)	0 (1)	0 (0)	0 (1)

Tab. 31

Palo n° 4

n°	Y [m]	Ne [kg]	Nr [kg]	Te [kg]	Tr [kg]	Me [kgm]	Mr [kgm]
1	0,00	232992 (2)	743200 (1)	85 (1)	68764 (1)	0 (0)	0 (1)
11	2,50	235211 (2)	737146 (1)	2 (1)	7490 (1)	-103 (1)	-118243 (1)
21	5,00	235811 (2)	725626 (1)	-19 (1)	-21472 (1)	-76 (1)	-93513 (1)
31	7,50	235328 (2)	711247 (1)	-14 (1)	-17697 (1)	-32 (1)	-40881 (1)
41	10,00	233762 (2)	694009 (1)	-6 (1)	-7952 (1)	-5 (1)	-7841 (1)
51	12,50	231113 (2)	673913 (1)	-1 (1)	-1643 (1)	4 (1)	3996 (1)
61	15,00	227381 (2)	650959 (1)	1 (1)	688 (1)	4 (1)	4837 (1)
71	17,50	222567 (2)	625145 (1)	1 (1)	892 (1)	2 (1)	2636 (1)
81	20,00	216670 (2)	596473 (1)	0 (1)	474 (1)	1 (1)	845 (1)
91	22,50	209691 (2)	564943 (1)	0 (1)	116 (1)	0 (1)	106 (1)
101	25,00	201628 (2)	534121 (1)	0 (0)	0 (1)	0 (0)	0 (1)

Tab. 32

Palo n° 5

n°	Y [m]	Ne [kg]	Nr [kg]	Te [kg]	Tr [kg]	Me [kgm]	Mr [kgm]
1	0,00	232954 (2)	743200 (1)	86 (1)	68764 (1)	0 (0)	0 (1)
11	2,50	235174 (2)	737146 (1)	2 (1)	7490 (1)	-104 (1)	-118243 (1)
21	5,00	235774 (2)	725626 (1)	-19 (1)	-21472 (1)	-77 (1)	-93513 (1)
31	7,50	235291 (2)	711247 (1)	-15 (1)	-17697 (1)	-32 (1)	-40881 (1)
41	10,00	233726 (2)	694009 (1)	-6 (1)	-7952 (1)	-5 (1)	-7841 (1)
51	12,50	231078 (2)	673913 (1)	-1 (1)	-1643 (1)	4 (1)	3996 (1)
61	15,00	227348 (2)	650959 (1)	1 (1)	688 (1)	4 (1)	4837 (1)
71	17,50	222535 (2)	625145 (1)	1 (1)	892 (1)	2 (1)	2636 (1)
81	20,00	216640 (2)	596473 (1)	0 (1)	474 (1)	1 (1)	845 (1)
91	22,50	209662 (2)	564943 (1)	0 (1)	116 (1)	0 (1)	106 (1)
101	25,00	201601 (2)	534121 (1)	0 (0)	0 (1)	0 (0)	0 (1)

Tab. 33

Palo n° 6

n°	Y [m]	Ne [kg]	Nr [kg]	Te [kg]	Tr [kg]	Me [kgm]	Mr [kgm]
1	0,00	232986 (2)	743200 (1)	91 (7)	68764 (1)	0 (0)	0 (1)
11	2,50	235205 (2)	737146 (1)	2 (7)	7490 (1)	-110 (7)	-118243 (1)
21	5,00	235804 (2)	725626 (1)	-20 (7)	-21472 (1)	-82 (7)	-93513 (1)
31	7,50	235321 (2)	711247 (1)	-15 (7)	-17697 (1)	-34 (7)	-40881 (1)
41	10,00	233756 (2)	694009 (1)	-7 (7)	-7952 (1)	-6 (7)	-7841 (1)
51	12,50	231107 (2)	673913 (1)	-1 (7)	-1643 (1)	4 (7)	3996 (1)
61	15,00	227376 (2)	650959 (1)	1 (7)	688 (1)	4 (7)	4837 (1)
71	17,50	222562 (2)	625145 (1)	1 (7)	892 (1)	2 (7)	2636 (1)
81	20,00	216665 (2)	596473 (1)	0 (7)	474 (1)	1 (7)	845 (1)
91	22,50	209686 (2)	564943 (1)	0 (7)	116 (1)	0 (7)	106 (1)
101	25,00	201624 (2)	534121 (1)	0 (7)	0 (1)	0 (0)	0 (1)

Tab. 34

Palo n° 7

n°	Y [m]	Ne [kg]	Nr [kg]	Te [kg]	Tr [kg]	Me [kgm]	Mr [kgm]
1	0,00	233099 (2)	743200 (1)	109 (7)	68764 (1)	0 (0)	0 (1)
11	2,50	235317 (2)	737146 (1)	3 (7)	7490 (1)	-132 (7)	-118243 (1)
21	5,00	235915 (2)	725626 (1)	-24 (7)	-21472 (1)	-97 (7)	-93513 (1)
31	7,50	235430 (2)	711247 (1)	-18 (7)	-17697 (1)	-41 (7)	-40881 (1)
41	10,00	233862 (2)	694009 (1)	-8 (7)	-7952 (1)	-7 (7)	-7841 (1)
51	12,50	231210 (2)	673913 (1)	-1 (7)	-1643 (1)	5 (7)	3996 (1)
61	15,00	227475 (2)	650959 (1)	1 (7)	688 (1)	5 (7)	4837 (1)
71	17,50	222657 (2)	625145 (1)	1 (7)	892 (1)	3 (7)	2636 (1)
81	20,00	216756 (2)	596473 (1)	0 (7)	474 (1)	1 (7)	845 (1)
91	22,50	209772 (2)	564943 (1)	0 (7)	116 (1)	0 (7)	106 (1)
101	25,00	201705 (2)	534121 (1)	0 (7)	0 (1)	0 (0)	0 (1)

Tab. 35

Palo n° 8

n°	Y [m]	Ne [kg]	Nr [kg]	Te [kg]	Tr [kg]	Me [kgm]	Mr [kgm]
1	0,00	233264 (2)	743200 (1)	116 (7)	68764 (1)	0 (0)	0 (1)
11	2,50	235480 (2)	737146 (1)	3 (7)	7490 (1)	-140 (7)	-118243 (1)
21	5,00	236076 (2)	725626 (1)	-25 (7)	-21472 (1)	-103 (7)	-93513 (1)
31	7,50	235587 (2)	711247 (1)	-20 (7)	-17697 (1)	-43 (7)	-40881 (1)
41	10,00	234015 (2)	694009 (1)	-8 (7)	-7952 (1)	-7 (7)	-7841 (1)
51	12,50	231359 (2)	673913 (1)	-2 (7)	-1643 (1)	5 (7)	3996 (1)
61	15,00	227619 (2)	650959 (1)	1 (7)	688 (1)	5 (7)	4837 (1)
71	17,50	222796 (2)	625145 (1)	1 (7)	892 (1)	3 (7)	2636 (1)
81	20,00	216888 (2)	596473 (1)	1 (7)	474 (1)	1 (7)	845 (1)
91	22,50	209897 (2)	564943 (1)	0 (7)	116 (1)	0 (7)	106 (1)
101	25,00	201822 (2)	534121 (1)	0 (7)	0 (1)	0 (0)	0 (1)

Tab. 36

Palo n° 9

n°	Y [m]	Ne [kg]	Nr [kg]	Te [kg]	Tr [kg]	Me [kgm]	Mr [kgm]
1	0,00	233463 (1)	743200 (1)	118 (7)	68764 (1)	0 (0)	0 (1)
11	2,50	235678 (1)	737146 (1)	3 (7)	7490 (1)	-142 (7)	-118243 (1)
21	5,00	236270 (1)	725626 (1)	-26 (7)	-21472 (1)	-105 (7)	-93513 (1)
31	7,50	235778 (1)	711247 (1)	-20 (7)	-17697 (1)	-44 (7)	-40881 (1)
41	10,00	234201 (1)	694009 (1)	-9 (7)	-7952 (1)	-7 (7)	-7841 (1)
51	12,50	231539 (1)	673913 (1)	-2 (7)	-1643 (1)	5 (7)	3996 (1)
61	15,00	227794 (1)	650959 (1)	1 (7)	688 (1)	6 (7)	4837 (1)
71	17,50	222963 (1)	625145 (1)	1 (7)	892 (1)	3 (7)	2636 (1)
81	20,00	217048 (1)	596473 (1)	1 (7)	474 (1)	1 (7)	845 (1)
91	22,50	210049 (1)	564943 (1)	0 (7)	116 (1)	0 (7)	106 (1)
101	25,00	201965 (1)	534121 (1)	0 (7)	0 (1)	0 (0)	0 (1)

Tab. 37

Palo n° 10

n°	Y [m]	Ne [kg]	Nr [kg]	Te [kg]	Tr [kg]	Me [kgm]	Mr [kgm]
1	0,00	234252 (1)	743200 (1)	116 (7)	68764 (1)	0 (0)	0 (1)
11	2,50	236460 (1)	737146 (1)	3 (7)	7490 (1)	-140 (7)	-118243 (1)
21	5,00	237040 (1)	725626 (1)	-25 (7)	-21472 (1)	-103 (7)	-93513 (1)
31	7,50	236532 (1)	711247 (1)	-20 (7)	-17697 (1)	-43 (7)	-40881 (1)
41	10,00	234938 (1)	694009 (1)	-8 (7)	-7952 (1)	-7 (7)	-7841 (1)
51	12,50	232255 (1)	673913 (1)	-2 (7)	-1643 (1)	5 (7)	3996 (1)
61	15,00	228485 (1)	650959 (1)	1 (7)	688 (1)	5 (7)	4837 (1)
71	17,50	223627 (1)	625145 (1)	1 (7)	892 (1)	3 (7)	2636 (1)
81	20,00	217682 (1)	596473 (1)	1 (7)	474 (1)	1 (7)	845 (1)
91	22,50	210649 (1)	564943 (1)	0 (7)	116 (1)	0 (7)	106 (1)
101	25,00	202529 (1)	534121 (1)	0 (7)	0 (1)	0 (0)	0 (1)

Tab. 38

Palo n° 11

n°	Y [m]	Ne [kg]	Nr [kg]	Te [kg]	Tr [kg]	Me [kgm]	Mr [kgm]
1	0,00	234945 (1)	743200 (1)	109 (7)	68764 (1)	0 (0)	0 (1)
11	2,50	237146 (1)	737146 (1)	3 (7)	7490 (1)	-132 (7)	-118243 (1)
21	5,00	237715 (1)	725626 (1)	-24 (7)	-21472 (1)	-97 (7)	-93513 (1)
31	7,50	237195 (1)	711247 (1)	-18 (7)	-17697 (1)	-41 (7)	-40881 (1)
41	10,00	235584 (1)	694009 (1)	-8 (7)	-7952 (1)	-7 (7)	-7841 (1)
51	12,50	232883 (1)	673913 (1)	-1 (7)	-1643 (1)	5 (7)	3996 (1)
61	15,00	229092 (1)	650959 (1)	1 (7)	688 (1)	5 (7)	4837 (1)
71	17,50	224210 (1)	625145 (1)	1 (7)	892 (1)	3 (7)	2636 (1)
81	20,00	218238 (1)	596473 (1)	0 (7)	474 (1)	1 (7)	845 (1)
91	22,50	211176 (1)	564943 (1)	0 (7)	116 (1)	0 (7)	106 (1)
101	25,00	203024 (1)	534121 (1)	0 (7)	0 (1)	0 (0)	0 (1)

Tab. 39

Palo n° 12

n°	Y [m]	Ne [kg]	Nr [kg]	Te [kg]	Tr [kg]	Me [kgm]	Mr [kgm]
1	0,00	235397 (1)	743200 (1)	91 (7)	68764 (1)	0 (0)	0 (1)
11	2,50	237593 (1)	737146 (1)	2 (7)	7490 (1)	-110 (7)	-118243 (1)
21	5,00	238156 (1)	725626 (1)	-20 (7)	-21472 (1)	-82 (7)	-93513 (1)
31	7,50	237626 (1)	711247 (1)	-15 (7)	-17697 (1)	-34 (7)	-40881 (1)
41	10,00	236005 (1)	694009 (1)	-7 (7)	-7952 (1)	-6 (7)	-7841 (1)
51	12,50	233292 (1)	673913 (1)	-1 (7)	-1643 (1)	4 (7)	3996 (1)
61	15,00	229487 (1)	650959 (1)	1 (7)	688 (1)	4 (7)	4837 (1)
71	17,50	224590 (1)	625145 (1)	1 (7)	892 (1)	2 (7)	2636 (1)
81	20,00	218601 (1)	596473 (1)	0 (7)	474 (1)	1 (7)	845 (1)
91	22,50	211520 (1)	564943 (1)	0 (7)	116 (1)	0 (7)	106 (1)
101	25,00	203347 (1)	534121 (1)	0 (7)	0 (1)	0 (0)	0 (1)

Tab. 40

Palo n° 13

n°	Y [m]	Ne [kg]	Nr [kg]	Te [kg]	Tr [kg]	Me [kgm]	Mr [kgm]
1	0,00	235541 (1)	743200 (1)	86 (1)	68764 (1)	0 (0)	0 (1)
11	2,50	237736 (1)	737146 (1)	2 (1)	7490 (1)	-104 (1)	-118243 (1)
21	5,00	238296 (1)	725626 (1)	-19 (1)	-21472 (1)	-77 (1)	-93513 (1)
31	7,50	237764 (1)	711247 (1)	-15 (1)	-17697 (1)	-32 (1)	-40881 (1)
41	10,00	236140 (1)	694009 (1)	-6 (1)	-7952 (1)	-5 (1)	-7841 (1)
51	12,50	233423 (1)	673913 (1)	-1 (1)	-1643 (1)	4 (1)	3996 (1)
61	15,00	229613 (1)	650959 (1)	1 (1)	688 (1)	4 (1)	4837 (1)
71	17,50	224711 (1)	625145 (1)	1 (1)	892 (1)	2 (1)	2636 (1)
81	20,00	218717 (1)	596473 (1)	0 (1)	474 (1)	1 (1)	845 (1)
91	22,50	211630 (1)	564943 (1)	0 (1)	116 (1)	0 (1)	106 (1)
101	25,00	203450 (1)	534121 (1)	0 (0)	0 (1)	0 (0)	0 (1)

Tab. 41

Palo n° 14

n°	Y [m]	Ne [kg]	Nr [kg]	Te [kg]	Tr [kg]	Me [kgm]	Mr [kgm]
1	0,00	235397 (1)	743200 (1)	85 (1)	68764 (1)	0 (0)	0 (1)
11	2,50	237594 (1)	737146 (1)	2 (1)	7490 (1)	-103 (1)	-118243 (1)
21	5,00	238156 (1)	725626 (1)	-19 (1)	-21472 (1)	-76 (1)	-93513 (1)
31	7,50	237627 (1)	711247 (1)	-14 (1)	-17697 (1)	-32 (1)	-40881 (1)
41	10,00	236006 (1)	694009 (1)	-6 (1)	-7952 (1)	-5 (1)	-7841 (1)
51	12,50	233293 (1)	673913 (1)	-1 (1)	-1643 (1)	4 (1)	3996 (1)
61	15,00	229488 (1)	650959 (1)	1 (1)	688 (1)	4 (1)	4837 (1)
71	17,50	224591 (1)	625145 (1)	1 (1)	892 (1)	2 (1)	2636 (1)
81	20,00	218602 (1)	596473 (1)	0 (1)	474 (1)	1 (1)	845 (1)
91	22,50	211521 (1)	564943 (1)	0 (1)	116 (1)	0 (1)	106 (1)
101	25,00	203348 (1)	534121 (1)	0 (0)	0 (1)	0 (0)	0 (1)

Tab. 42

Palo n° 15

n°	Y [m]	Ne [kg]	Nr [kg]	Te [kg]	Tr [kg]	Me [kgm]	Mr [kgm]
1	0,00	234951 (1)	743200 (1)	84 (1)	68764 (1)	0 (0)	0 (1)
11	2,50	237151 (1)	737146 (1)	2 (1)	7490 (1)	-101 (1)	-118243 (1)
21	5,00	237721 (1)	725626 (1)	-19 (1)	-21472 (1)	-75 (1)	-93513 (1)
31	7,50	237200 (1)	711247 (1)	-14 (1)	-17697 (1)	-31 (1)	-40881 (1)
41	10,00	235589 (1)	694009 (1)	-6 (1)	-7952 (1)	-5 (1)	-7841 (1)
51	12,50	232888 (1)	673913 (1)	-1 (1)	-1643 (1)	4 (1)	3996 (1)
61	15,00	229096 (1)	650959 (1)	1 (1)	688 (1)	4 (1)	4837 (1)
71	17,50	224215 (1)	625145 (1)	1 (1)	892 (1)	2 (1)	2636 (1)
81	20,00	218243 (1)	596473 (1)	0 (1)	474 (1)	1 (1)	845 (1)
91	22,50	211181 (1)	564943 (1)	0 (1)	116 (1)	0 (1)	106 (1)
101	25,00	203028 (1)	534121 (1)	0 (0)	0 (1)	0 (0)	0 (1)

Tab. 43

Palo n° 16

n°	Y [m]	Ne [kg]	Nr [kg]	Te [kg]	Tr [kg]	Me [kgm]	Mr [kgm]
1	0,00	234258 (1)	743200 (1)	83 (1)	68764 (1)	0 (0)	0 (1)
11	2,50	236465 (1)	737146 (1)	2 (1)	7490 (1)	-100 (1)	-118243 (1)
21	5,00	237045 (1)	725626 (1)	-18 (1)	-21472 (1)	-74 (1)	-93513 (1)
31	7,50	236538 (1)	711247 (1)	-14 (1)	-17697 (1)	-31 (1)	-40881 (1)
41	10,00	234943 (1)	694009 (1)	-6 (1)	-7952 (1)	-5 (1)	-7841 (1)
51	12,50	232260 (1)	673913 (1)	-1 (1)	-1643 (1)	4 (1)	3996 (1)
61	15,00	228490 (1)	650959 (1)	1 (1)	688 (1)	4 (1)	4837 (1)
71	17,50	223632 (1)	625145 (1)	1 (1)	892 (1)	2 (1)	2636 (1)
81	20,00	217687 (1)	596473 (1)	0 (1)	474 (1)	1 (1)	845 (1)
91	22,50	210654 (1)	564943 (1)	0 (1)	116 (1)	0 (1)	106 (1)
101	25,00	202533 (1)	534121 (1)	0 (0)	0 (1)	0 (0)	0 (1)

Tab. 44

Verifiche geotecniche

Carico limite

Pali

Simbologia adottata

n°	Indice palo
Oggetto	Oggetto di appartenenza del palo (Piastra, Plinto o Trave)
N	Carico verticale agente alla testa del palo, espresso in [kg]
Pd	Portanza di progetto, espresso in [kg]
FSv	Fattore di sicurezza (Pd/N). Tra parentesi l'indice della combinazione con fattore di sicurezza minimo.
T	Carico orizzontale agente alla testa del palo, espresso in [kg]
Td	Portanza trasversale di progetto, espresso in [kg]
FSo	Fattore di sicurezza (Vd/V). Tra parentesi l'indice della combinazione con fattore di sicurezza minimo.

n°	Oggetto	N [kg]	Pd [kg]	FSv	T [kg]	Td [kg]	FSo
1	Piastra 1	196531	221281	1.126 (4)	77	42977	555.508 (4)
2	Piastra 1	196367	221281	1.127 (5)	78	42977	553.689 (4)
3	Piastra 1	196226	221281	1.128 (5)	78	42977	548.845 (4)
4	Piastra 1	196133	221281	1.128 (5)	79	42977	542.338 (4)
5	Piastra 1	196100	221281	1.128 (5)	80	42977	535.707 (4)
6	Piastra 1	196127	221281	1.128 (5)	83	42977	516.575 (5)
7	Piastra 1	196225	221281	1.128 (5)	89	42977	483.913 (5)
8	Piastra 1	196367	221281	1.127 (5)	92	42977	465.267 (5)
9	Piastra 1	196540	221281	1.126 (4)	94	42977	459.215 (5)
10	Piastra 1	197225	221281	1.122 (4)	92	42977	465.260 (5)
11	Piastra 1	197825	221281	1.119 (4)	89	42977	483.918 (5)
12	Piastra 1	198216	221281	1.116 (4)	83	42977	516.574 (5)
13	Piastra 1	198342	221281	1.116 (4)	80	42977	535.697 (4)
14	Piastra 1	198217	221281	1.116 (4)	79	42977	542.333 (4)
15	Piastra 1	197830	221281	1.119 (4)	78	42977	548.850 (4)
16	Piastra 1	197229	221281	1.122 (4)	78	42977	553.714 (4)

Tab. 45

Dettagli calcolo portanza verticale

Simbologia adottata

n°	Indice palo
Oggetto	Oggetto di appartenenza del palo (Piastra, Plinto o Trave)
Nc, Nq	Coeff. di capacità portante
N'c, N'q	Coeff. di capacità portante corretti
Zc	Profondità andamento pressione geostatica, espressa in [m]
Pp, PI	Portanza di punta e laterale caratteristica, espresse in [kg]
A	Attrito negativo, espresso in [kg]

n°	Oggetto	Nc	N'c	Nq	N'q	Pp [kg]	PI [kg]
1	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337	212407
2	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337	212407
3	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337	212407
4	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337	212407
5	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337	212407
6	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337	212407
7	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337	212407
8	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337	212407
9	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337	212407
10	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337	212407
11	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337	212407
12	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337	212407
13	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337	212407
14	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337	212407
15	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337	212407
16	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337	212407

Tab. 46

*Cedimenti***Pali**

Simbologia adottata

Ip

Indice palo

w

Cedimento verticale, espressa in [cm]

Ic

Indice della combinazione

Ip	w [cm]	Ic
1	0,3022	7
2	0,3016	8
3	0,3011	8
4	0,3008	8
5	0,3007	8
6	0,3008	8
7	0,3011	8
8	0,3016	8
9	0,3022	7
10	0,3031	7
11	0,3039	7
12	0,3045	7
13	0,3046	7
14	0,3045	7
15	0,3039	7
16	0,3031	7

Tab.47

11 CONCLUSIONI

Alla luce dello studio geologico redatto dal dott. Carlo Cibella è stato possibile costruire un modello geotecnico del terreno commisurato al livello di progettazione in essere.

Pur non competendo a questa fase progettuale, si è scelto di eseguire un dimensionamento delle fondazioni mediante software FEM.

Il risultato delle verifiche ha condotto a fondazioni indirette costituite da un plinto circolare, avente diametro pari a 21,40 m, posto su 16 pali di diametro $\Phi 1000$ e lunghezza pari a 25,00 m. La piastra di fondazione dovrà avere forma in pianta circolare e sezione trapezia con altezza al bordo pari a 1,60 m e in corrispondenza della parte centrale pari a 2,40 m, a cui si aggiungono altri 65 cm di colletto. Quanto sopra descritto garantisce la fattibilità geotecnico-strutturale dell'impianto.