

REGIONE SICILIA

Provincia di Palermo

COMUNE DI CAMPOREALE

PROGETTO

POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAMPOREALE



PROGETTO DEFINITIVO

COMMITTENTE

ERG Wind Sicilia 2



PROGETTISTA:



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



OGGETTO DELL'ELABORATO:

RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA

CODICE PROGETTISTA	DATA	SCALA	FOGLIO	FORMATO	CODICE DOCUMENTO				
					IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.
	22/03/2019	/	1 di 47	A4	CAM	ENG	REL	0036	00

NOME FILE: CAM-ENG-REL-0036_00.doc

ERG Wind Sicilia 2 S.r.l. si riserva tutti i diritti su questo documento che non può essere riprodotto neppure parzialmente senza la sua autorizzazione scritta.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	2
CAM	ENG	REL	0036	00		

Storia delle revisioni del documento

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	22-03-2019	Prima emissione	EG	MG	DG

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	3
CAM	ENG	REL	0036	00		

INDICE

1	PREMESSA	4
2	DESCRIZIONE DELL'OPERA DI FONDAZIONE	5
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	7
4	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	8
5	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	9
6	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	10
7	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	11
8	ANALISI SISMICA DELLA ZONA DI INTERESSE	12
9	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	15
9.1	INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE NEL 2002.....	16
9.2	MODELLAZIONE GEOTECNICA	22
10	CARICHI AGENTI	25
11	FONDAZIONI DI TIPO INDIRETTO: VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI TIPO GEOTECNICO	28
11.1	GENERALITA'	28
11.2	CARICO LIMITE DEI PALI DI FONDAZIONE GENERALITA'	29
11.3	CALCOLO TENSIONI E CEDIMENTI	30
11.4	CAPACITÀ PORTANTE PER CARICO ORIZZONTALE.....	31
11.5	TABULATO DI CALCOLO VERIFICHE GEOTECNICHE.....	32
12	CONCLUSIONI	46

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	4
CAM	ENG	REL	0036	00		

1 PREMESSA

La società *Hydro Engineering s.s.* è stata incaricata di redigere il progetto definitivo relativo al potenziamento dell'esistente impianto eolico, composto da n. 24 aerogeneratori, ciascuno di potenza nominale pari a 0,85 MW, per una potenza complessiva di 20,40 MW, ubicato nel Comune di Camporeale in Provincia di Palermo e di proprietà della società ERG Wind Sicilia 2 Srl.

Il progetto definitivo di potenziamento consiste nella sostituzione dei 24 aerogeneratori esistenti da 0.85 MW con 13 aerogeneratori da 4,2 MW, per una potenza complessiva da installarsi pari a 54,60 MW.

L'installazione del più moderno tipo di generatore comporterà la consistente riduzione del numero di torri eoliche, dalle 24 esistenti alle 13 proposte, riducendo l'impatto visivo, che talvolta può trasformarsi nel cosiddetto effetto selva.

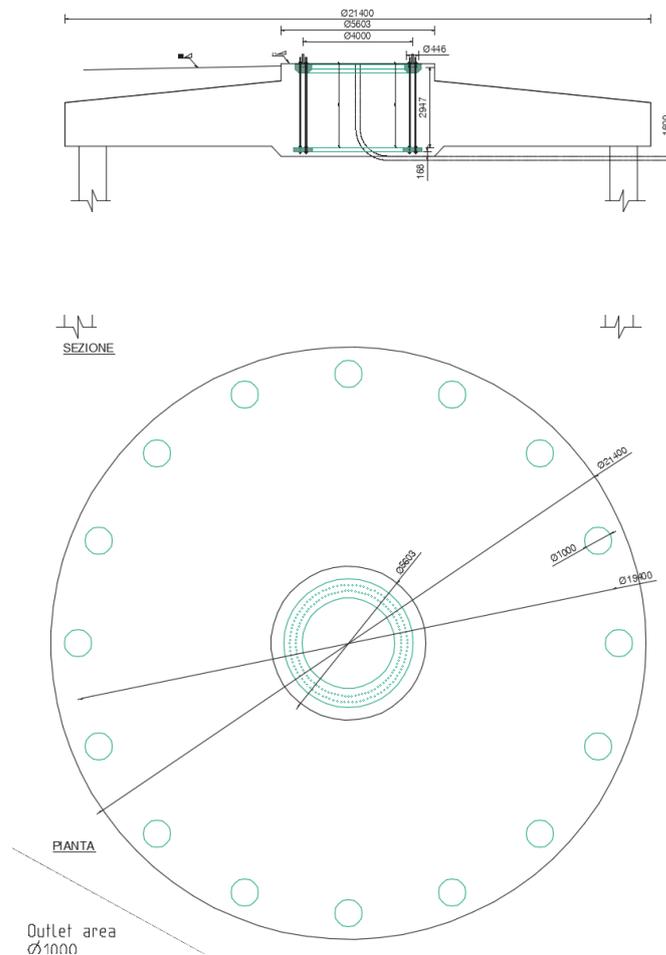
Il presente documento si propone di descrivere la caratterizzazione geotecnica e sismica dei siti in oggetto e di riportare le verifiche geotecniche relative alla realizzazione delle fondazioni dell'aerogeneratore.

Le caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni sono state desunte dallo studio geologico redatto dal Dott. Geologo Carlo Cibella allegato al presente progetto (*CAM-ENG-REL-0035*).

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	5
CAM	ENG	REL	0036	00		

2 DESCRIZIONE DELL'OPERA DI FONDAZIONE

Nel presente progetto si prevede la realizzazione di opere di fondazione del tipo indiretto in relazione alla stratigrafia locale del terreno. La fondazione indiretta sarà costituita 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 avrà 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.



All'interno del plinto di fondazione sarà annegata una gabbia di ancoraggio metallica

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	6
CAM	ENG	REL	0036	00		

cilindrica dotata di una piastra superiore di ripartizione dei carichi ed una piastra inferiore di 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.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	7
CAM	ENG	REL	0036	00		

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”.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	8
CAM	ENG	REL	0036	00		

4 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Gli aerogeneratori del nuovo impianto sono denominati con le sigle R-CR01, R-CR02, e R-CR13 e saranno collocati in agro del Comune di Camporeale, provincia di Palermo all'interno delle seguenti cartografie e fogli di mappa catastali:

- Fogli IGM in scala 1:25.000 di cui alle seguenti codifiche: 249-III-SO-Balestrate, 258-IV-NO-Alcamo, 258-IV-SO-Monte Pietroso, 258-IV-SE-Camporeale.
- CTR in scala 1:10.000, di cui alle seguenti codifiche: 594130, 607010, 607050, 607060.
- Fogli di mappa nn. 3, 4, 5, 8, 10 del Comune di Camporeale.
- Fogli di mappa nn. 98, 106, 114, 115, 116, 119, 121, 124 del Comune di Partinico.
- Fogli di mappa nn. 103, 104, 111 del Comune di Monreale.

La linea ideale che congiunge gli assi degli aerogeneratori si sviluppa in direzione Ovest-Est (c/da Giardinello, Monte Pietroso e Monte Spezza Pignatte). Di seguito le coordinate assolute nel sistema UTM 33 WGS84 dei nuovi aerogeneratori:

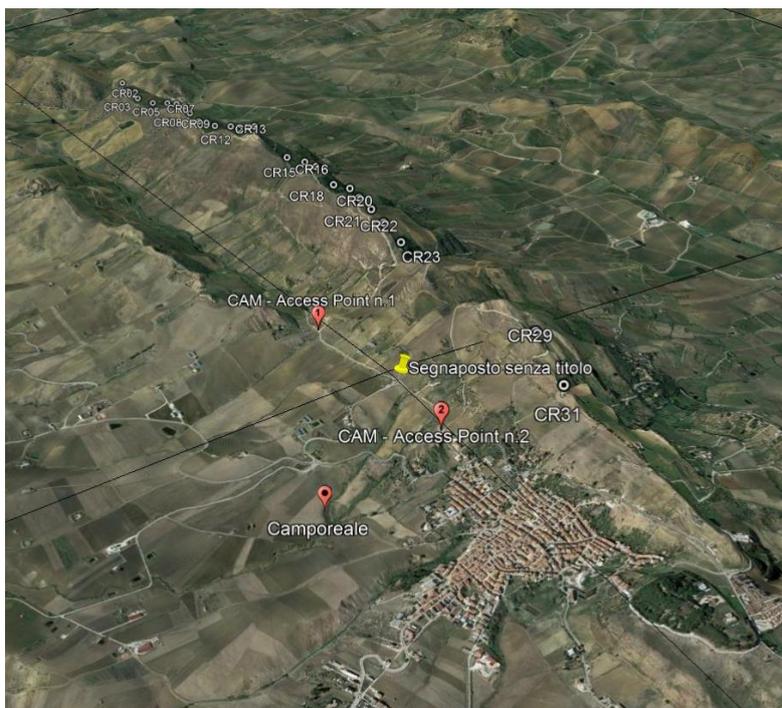
WTG	WGS84 UTM33	
	E	N
R-CR01	327.032,56	4.196.935,01
R-CR02	327.371,13	4.196.849,54
R-CR03	327.712,84	4.196.938,75
R-CR04	328.064,88	4.196.954,28
R-CR05	328.417,93	4.196.951,14
R-CR06	328.772,09	4.196.952,11
R-CR07	329.274,32	4.197.017,55
R-CR08	329.585,57	4.197.005,09
R-CR09	329.928,25	4.196.924,08
R-CR10	330.280,24	4.196.899,27
R-CR11	330.625,74	4.196.831,66
R-CR12	331.133,15	4.196.655,88
R-CR13	331.598,84	4.196.835,82

Coordinate aerogeneratori nel sistema UTM 33 WGS84

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.		
CAM	ENG	REL	0036	00	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	9

5 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area in esame ricade nella provincia di Palermo, all'interno del territorio comunale di Camporeale. Il sito è inquadrato nella Cartografia Tecnica Regionale nei fogli n° 607050-607060, nelle tavole IGM n°258 IV quadrante SO e SE, rispettivamente denominate "M.te Pietroso" e "Camporeale". Il parco eolico si sviluppa lungo una dorsale orientata lungo la direzione Ovest-Est sulla quale ricade, procedendo da est verso ovest, Cozzo Celso (537 m s.l.m.), Monte Spezzapignate (610 m s.l.m.) e Monte Pietroso (531 m s.l.m.). Gli aerogeneratori sono posizionati sulla porzione sommitale del crinale lungo la linea spartiacque: il pendio lato nord presenta una acclività media pari a 15°, mentre sul versante sud un'acclività media pari a 19°.



L'assetto geomorfologico dell'area in esame, è frutto dell'interazione di diversi fattori, in particolare delle caratteristiche fisiografiche (distribuzione delle altimetrie, esposizione e pendenza dei versanti), pluviometriche (distribuzione ed intensità delle precipitazioni) e litostutturali (litologie affioranti e loro assetto strutturale) del territorio.

Come si può vedere nella carta idro-geomorfologica (CAM-ENG-TAV-0055), nell'area studiata sono presenti alcune tipologie di dissesti che interessano in particolare le litologie prevalentemente argillo-sabbiose. Si tratta di aree scoscese, caratterizzate dalla presenza di movimenti gravitativi più o meno superficiali che interessano, generalmente, la coltre di terreno vegetale, resi attivi dall'azione dinamica esercitata dalle acque di scorrimento superficiale. Oltre le frane superficiali sono presenti forme gravitative più profonde che interessano gli strati alterati dei depositi argillosi. Le forme gravitative descritte ed indicate anche nella cartografia del P.A.I. riguardano frane complesse, frane roto-traslative, oltre che

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	10
CAM	ENG	REL	0036	00		

soliflussi e colamenti lenti. Per ulteriori dettagli si rimanda all'elaborato “*Relazione Geologica – CAM-ENG-REL-0035*” allegata al presente progetto.

6 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il rilevamento geologico di superficie, opportunamente esteso ad un'ampia fascia perimetrale esterna rispetto ai siti di progetto e successivamente integrato con le indagini geognostiche eseguite nell'ambito del progetto originario di realizzazione del parco eolico esistente, ha permesso di ricostruire in modo soddisfacente la successione stratigrafica dei terreni nelle zone di interesse. Le formazioni geologiche che affiorano nell'area in studio (si veda la carta geologica allegata), procedendo da quelle di deposizione più recente verso quelle più antiche, sono le seguenti:

- Depositi alluvionali di fondovalle (Pleistocene superiore - Olocene)
- Depositi detritici (Pleistocene superiore - Olocene)
- Conglomerati, arenarie, sabbie, peliti e marne afferenti alla formazione Terravecchia (Miocene superiore: Tortoniano sup.- Messiniano inf.)

Per la descrizione dettagliata di tutte le formazioni geologiche sopra citate e dei litotipi presenti si rimanda alla “*Relazione Geologica – CAM-ENG-REL-0035*” allegata al presente progetto.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	11
CAM	ENG	REL	0036	00		

7 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Sulla base delle considerazioni di carattere geologico-strutturale, l'area in esame può essere suddivisa, dal punto di vista idrogeologico, in tre complessi principali in quanto la circolazione idrica sotterranea presenta aspetti e caratteristiche differenti in relazione soprattutto ai litotipi affioranti e al loro particolare assetto.

- 1) Rocce permeabili per porosità;
- 2) Rocce permeabili per porosità e/o fratturazione;
- 3) Rocce da poco permeabili ad impermeabili.

Le indagini geognostiche realizzate nell'ambito del progetto di costruzione dell'esistente parco eolico (anno 2002), non hanno riscontrato all'interno di tali litotipi la presenza di adunamenti idrici.

Per la descrizione dettagliata degli aspetti idrogeologici dei litotipi evidenziati in sito si rimanda alla "Relazione Geologica – CAM-ENG-REL-0035" allegata al presente progetto.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	12
CAM	ENG	REL	0036	00		

8 ANALISI SISMICA DELLA ZONA DI INTERESSE

Nella stesura dei calcoli strutturali e per le verifiche geotecniche si è tenuto conto dell'azione sismica. Nei riguardi dell'azione sismica l'obiettivo è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi nel sito di costruzione. In base al D.M. 17/01/2018, l'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A nelle NTC). La pericolosità sismica in un generico sito è valutata:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale;
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno TR ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale. Le azioni di progetto si ricavano dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T^*_c periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare:

- la vita di riferimento VR della costruzione, ottenuto dal prodotto della vita nominale dell'opera VN per il coefficiente d'uso CU il quale dipende dalla classe d'uso secondo la tabella 2.4.II,

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	13
CAM	ENG	REL	0036	00		

- le probabilità di superamento nella vita di riferimento PVR associate a ciascuno degli stati limite considerati, per individuare infine, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

Considerata la stratigrafia dei sondaggi, le caratteristiche litotecniche dei terreni individuati ed i valori forniti dalle prove penetrometriche effettuate nel progetto originario (anno 2002), si ritiene che la velocità di propagazione delle onde sismiche secondarie sia compresa tra 360 e 800 m/s, pertanto la categoria sismica del suolo sarà la **B**. Il sottosuolo, ai sensi del DM del 17.01.18, sarà composto quindi da “*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s*”.

Data le tipologie d’opere, l’azione sismica tiene conto dei seguenti parametri:

- coordinate del reticolo di riferimento, WGS84;

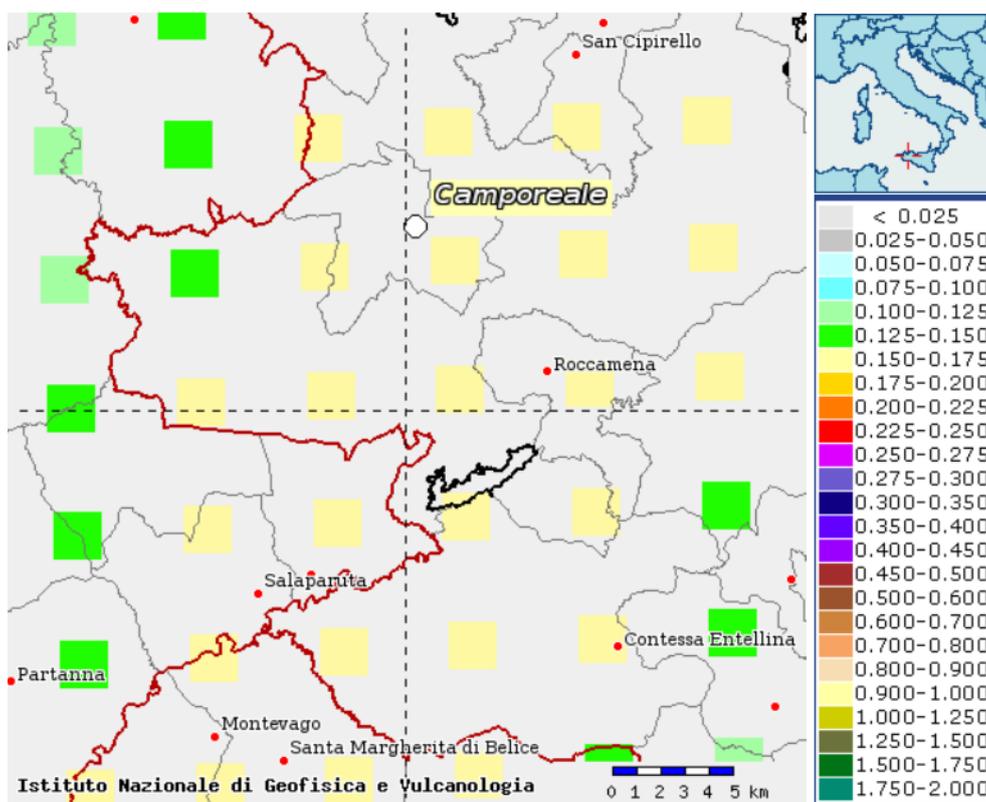
	WGS84 UTM33	
WTG	E	N
R-CR01	327.032,56	4.196.935,01
R-CR02	327.371,13	4.196.849,54
R-CR03	327.712,84	4.196.938,75
R-CR04	328.064,88	4.196.954,28
R-CR05	328.417,93	4.196.951,14
R-CR06	328.772,09	4.196.952,11
R-CR07	329.274,32	4.197.017,55
R-CR08	329.585,57	4.197.005,09
R-CR09	329.928,25	4.196.924,08
R-CR10	330.280,24	4.196.899,27
R-CR11	330.625,74	4.196.831,66
R-CR12	331.133,15	4.196.655,88
R-CR13	331.598,84	4.196.835,82

- classe d’uso: Quarta (Punto 2.4.2 del D.M. 17/01/2018);
- categoria di suolo: B (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);

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	14
CAM	ENG	REL	0036	00		

- 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).

Dalla mappa a seguire, relativa alla pericolosità sismica del territorio nazionale, si può notare come il sito in questione sia compreso tra 4 punti di cui è nota con precisione la storia sismica. A partire da tali punti, sono stati ricavati i parametri attesi al nostro sito mediante valutazioni statistiche.



Mappa di pericolosità sismica: valori di accelerazione a_g

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	15
CAM	ENG	REL	0036	00		

9 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Per ricostruire la serie stratigrafica locale sono state consultate le stratigrafie dei sondaggi geognostici eseguiti nell'ambito del progetto di realizzazione del parco eolico esistente.

La relazione geologica allegata al presente progetto "CAM-ENG-REL-0035" cita: *"dall'esame della carta geologica, così come delle stratigrafie e dalle sezioni stratigrafiche allegate, si evince che il parco eolico ricadrà esclusivamente sui depositi clastici afferenti alla Formazione Terravecchia composti da alternanze discontinue, aventi una disomogeneità sia in senso verticale che orizzontale, di livelli arenitici, sabbiosi e sabbioso-argillosi. Gli spessori dei litotipi sono assolutamente variabili per cui non si può definire un range significativo... Le sabbie e le ghiaie si presentano poco addensate, di colore giallo ocra, alternate a sabbie argillose e sabbie debolmente limose. I clasti, ove presenti, sono prevalentemente di natura carbonatica e quarzoarenitica. Le argille sabbiose brune, individuate nei sondaggi si presentano superficialmente plastiche e consistenti in profondità, contenenti localmente livelli arenitici mediamente cementati. Lo spessore dei depositi descritti è elevato; i sondaggi menzionati, spinti sino ad una profondità di 20 metri, non hanno individuato il passaggio litologico con altri terreni. Le colonne stratigrafiche ed il report delle indagini geognostiche eseguite nell'anno 2002 non indicano la presenza di falda idrica lungo le verticali investigate. Da una ricostruzione plano-altimetrica, confrontata con il rilievo geologico di superficie e le ortofoto, si evince che lo spessore della formazione Terravecchia, rappresentata dai termini litologici precedentemente descritti, sia di gran lunga superiore ai 100 metri".*

In merito a quanto riportato nelle righe sopra, è stato possibile avere una chiara idea dei litotipi presenti in sito. Le indagini geologiche originarie, utilizzate al fine di supportare la progettazione definitiva, sono state articolate come descritto nei punti a seguire:

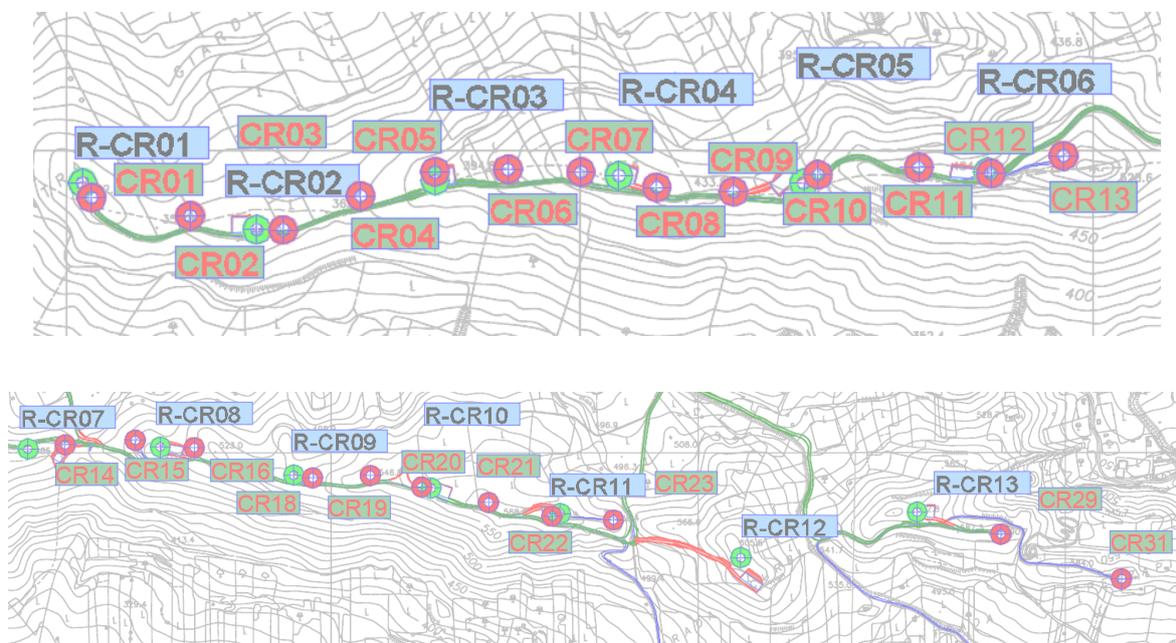
- n. 13 sondaggi a carotaggio continuo, spinti fino alla profondità massima di 20.00 m dal p.c.;
- prove di laboratorio effettuate su 18 campioni "disturbati" prelevati dalle carote di carotaggio;
- n. 7 prove penetrometriche dinamiche discontinue (SPT).

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.		
CAM	ENG	REL	0036	00	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPORALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	16

9.1 INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE NEL 2002

Per quanto riguarda la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni, per questo livello di progettazione, si è tenuto conto dei dati ricavati dalle prove penetrometriche in foro (SPT) e delle prove geotecniche di laboratorio eseguite nell'anno 2002. Dal rilevamento geologico e con l'ausilio di n. 13 sondaggi geognostici, spinti fino alla profondità di circa 20,00 m dal p.c., è stata determinata la tipologia di terreni interessati, costituiti dalla litofacies sabbioso arenacea e dalla facies argillosa, in eteropia verticale e laterale della Formazione Terravecchia delle quali sono stati definiti i parametri geotecnici principali (come si ha evidenza dallo studio geologico realizzato nell'anno 2002 e riportato nella relazione geologica allegata al presente progetto CAM-ENG-REL-0035).

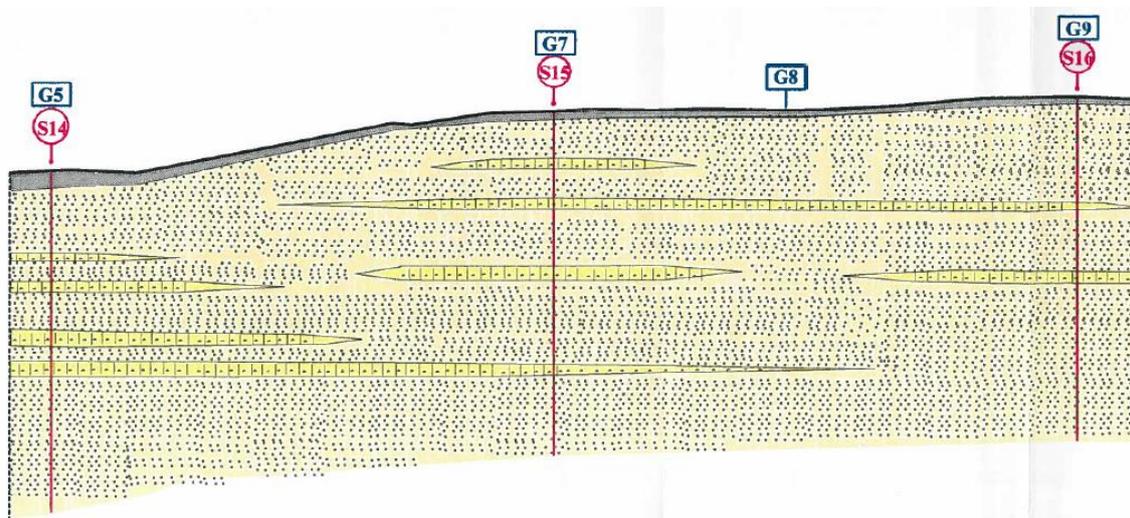
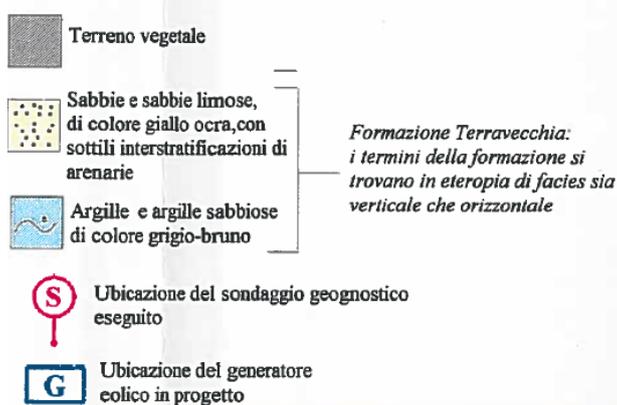
Le immagini sotto riportate mettono in evidenza come il layout di repowering sia quasi coincidente con il layout dell'impianto eolico esistente. Questo ha permesso di realizzare una caratterizzazione geotecnica che tenesse conto proprio delle prove condotte in fase di realizzazione dell'impianto eolico nell'anno 2002. Grazie a tale studio, state effettuate delle classificazioni dei litotipi come riportato più avanti all'interno della presente relazione specialistica.



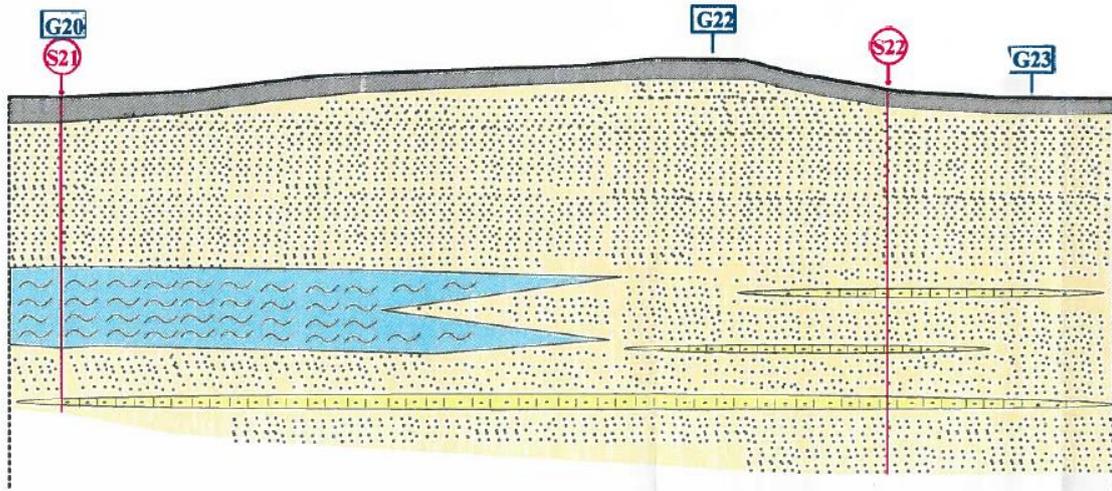
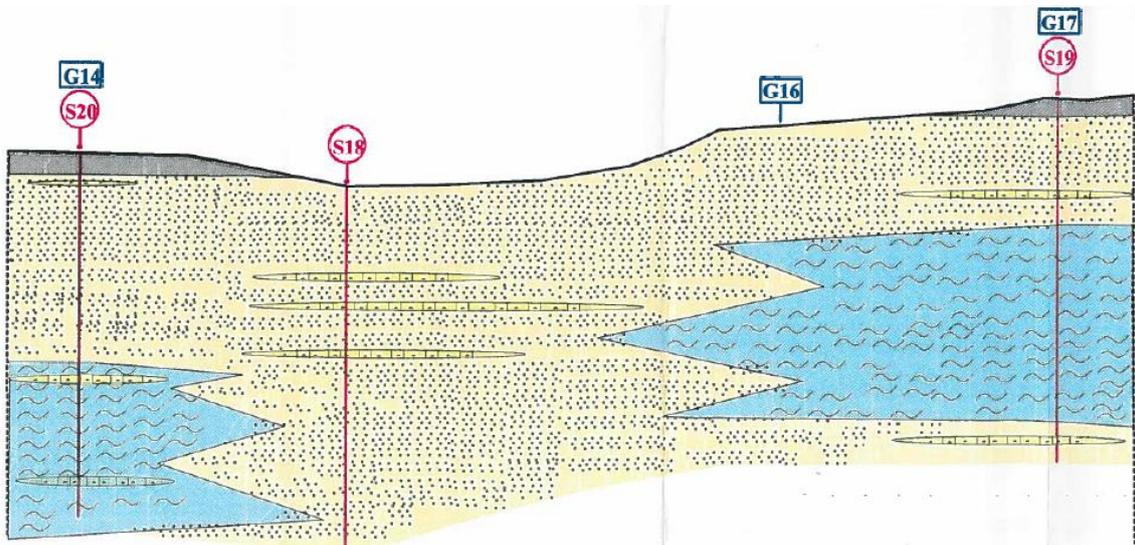
I litotipi riscontrati (sondaggi S12-S18) sono descritti prevalentemente come Sabbie Argillose – Sabbie limose alternate a sabbie poco addensate. Nei sondaggi a seguire S19, S20 e S21 si

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	17
CAM	ENG	REL	0036	00		

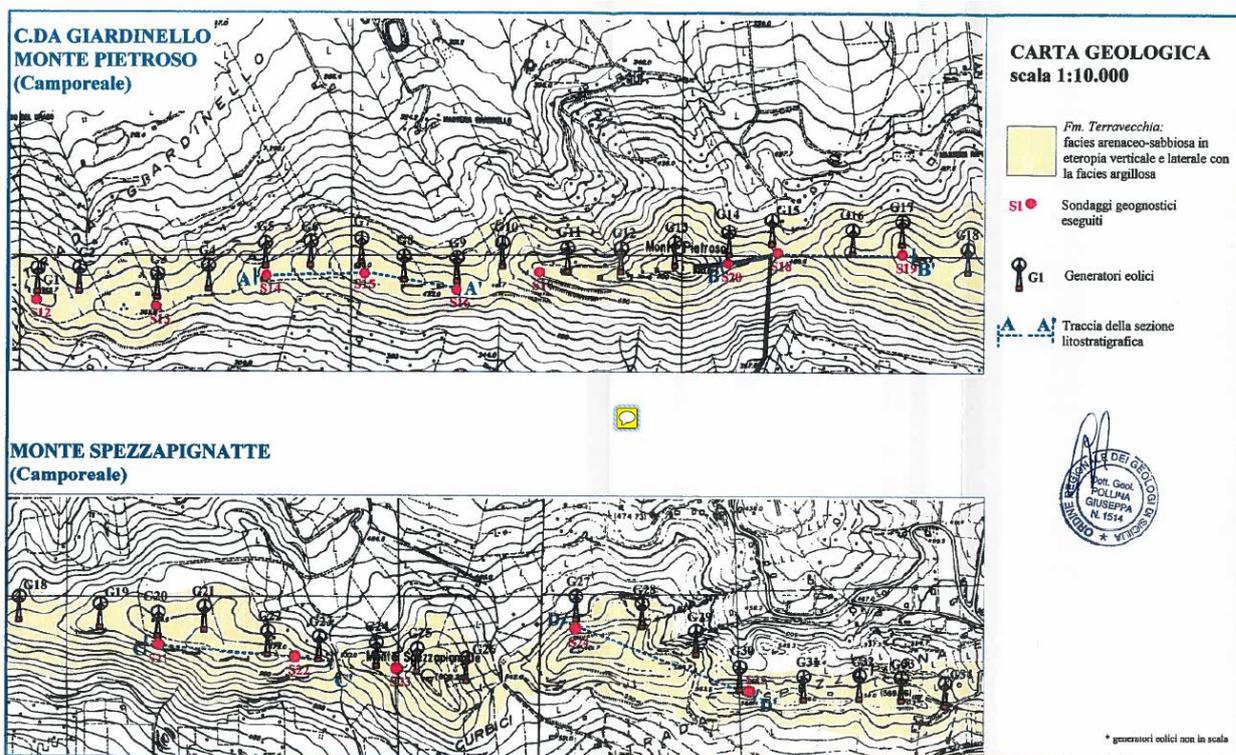
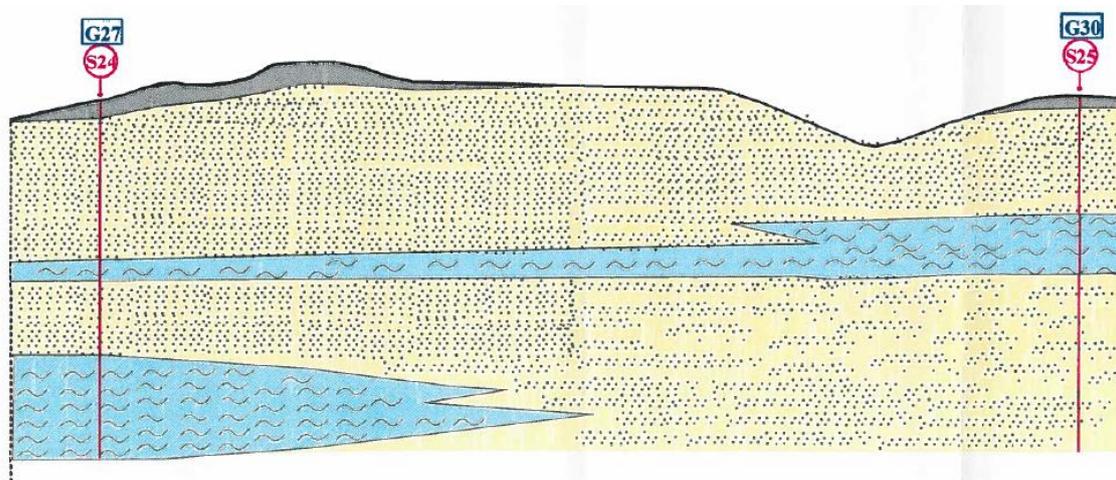
riscontra prevalentemente sabbia argillosa alternata ad argilla sabbiosa mentre nei restanti sondaggi da S22 a S25 si ritorna ad avere prevalenza di sabbia limosa e sabbia poco addensata. Lo studio dei litotipi presenti, in uno con le stratigrafie di progetto originali messe a disposizione, permette inoltre di evidenziare saltuariamente strati quarzarenitici interstratificati, strati di arenarie e talvolta arenarie quarzose. A seguire 4 sezioni longitudinali estrapolate dallo studio geologico del 2002.



CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	18
CAM	ENG	REL	0036	00		



CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.		
CAM	ENG	REL	0036	00	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	19



Di seguito si riporta la descrizione e l'interpretazione delle carote estratte durante le fasi di carotaggio, delle indagini realizzate in territorio di Camporeale (progetto originale impianto eolico esistente).

Sondaggio n.13:

- da 0.00 a 1.20 m è stato riscontrato terreno vegetale;

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPORALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	20
CAM	ENG	REL	0036	00		

- da 1.20 a 14.00 m sabbie di colore giallo ocra, di composizione silicea, con stratificazioni sottili di arenarie;
- da 14.00 a 20.00 m un grosso banco di arenarie quarzose di colore giallo ocra.

Da tale sondaggio è stata effettuata una prova S.P.T. alla profondità di 14.00 m e sono stati prelevati due campioni indisturbati.

Sondaggio n.14:

- da 0.00 a 0.10 m è stato riscontrato terreno vegetale;
- da 1.00 a 17.00 m sabbia limosa di colore giallo ocra con sottili interstratificazioni di quarzareniti;

In questo sondaggio non sono stati prelevati campioni.

Sondaggio n.15:

- da 0.00 a 0.70 m è stato riscontrato terreno vegetale;
- da 0.70 a 14.0 m sabbie poco addensate e sabbie limose di composizione silicea, di colore dal giallo ocra al marrone, di composizione silicea, con la presenza di sottili livelli di quarzareniti interstratificati

In questo sondaggio non sono stati prelevati campioni.

Sondaggio n. 16:

- da 0.00 a 0.70 m è stato riscontrato terreno vegetale;
- da 0.70 a 20.0 m sabbie poco addensate e sabbia limosa giallo ocra con interstratificazioni sottili di quarzareniti;

In questo sondaggio è stato effettuata una prova S.P.T. alla profondità di 13.00 m dal p.c.

Sondaggio n.17:

- da 0.00 a 0.90 m è stato riscontrato terreno vegetale;
- da 0.90 a 20.0 m sabbie poco addensate e sabbie limose di colore giallo marrone con sottili livelli di quarzareniti interstratificate;

In questo sondaggio è stato effettuata una prova S.P.T. alla profondità di 14.7 m dal p.c.

Sondaggio n. 18:

- da 0.00 a 0.80 m è stato riscontrato terreno vegetale;
- da 0.80 a 20.00 m sabbie poco addensate e sabbie limose, di colore giallo ocra, di composizione silicea, con sottili strati quarzarenitici intersratificati;

Sono stati prelevati 2 campione alla profondità di 1.40 m e 14.70 m dal p.c.

Sondaggio n.19:

- da 0.00 a 1.20 m è stato riscontrato terreno vegetale;

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	21
CAM	ENG	REL	0036	00		

- da 1.20 a 7.20 m sabbie argillose di colore dal giallo oca con sottili livelli arenitici interstratificati;
- da 7.20 a 18.00 m argille sabbie limose giallo oca con livelli arenitici;

In questo sondaggio sono stati prelevati n.3 campioni alle profondità rispettivamente di 1.20 m; 6.40 m; 15.0 m.

Sondaggio n.20;

- da 0.00 a 1.00 m è stato riscontrato terreno vegetale;
- da 1.00 a 10.60 m sabbie e sabbie argillose di colore bruno;
- da 10.6 a 20.00 m argille e argille sabbiose di colore grigio bruno;

In questo sondaggio sono stati prelevati n.3 campioni alle profondità rispettivamente di 6.20 m; 10.70 m; 18.10 m.

Sondaggio n.21;

- da 0.00 a 1.20 m è stato riscontrato terreno vegetale;
- da 1.20 a 8.00 m sabbie argillose di colore marrone;
- da 8.00 a 13.00 m si riscontra un banco di consistenti argille grigio brune, per poi passare fino a 20.00 m alle sabbie argillose con intercalazioni di arenarie quarzose;

In questo sondaggio è stata effettuata una prova S.P.T. alla profondità di 15.00 m dal p.c.

In questo sondaggio sono stati prelevati n.3 campioni alle profondità rispettivamente di 1.50 m; 7.50 m; 14.50 m.

Sondaggio n.22;

- da 0.00 a 0.80 m è stato riscontrato terreno vegetale;
- da 0.80 a 20.00 m sabbie e sabbie limose di colore giallo oca con intercalazioni sottili di arenarie;

In questo sondaggio è stata effettuata una prova S.P.T. alla profondità di 7.50 m dal p.c.

In questo sondaggio sono stati prelevati n.3 campioni alle profondità rispettivamente di 1.50 m; 7.50 m; 16.30 m.

Sondaggio n.23;

- da 0.00 a 0.80 m è stato riscontrato terreno vegetale;
- da 0.80 a 20.00 m sabbie e sabbie limose di colore giallo oca con intercalazioni sottili di arenarie;

In questo sondaggio sono state effettuate prove S.P.T. alla profondità di 7.00 e 15.2 dal p.c.

Sondaggio n.24;

- da 0.00 a 1.0 m è stato riscontrato terreno vegetale;

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	22
CAM	ENG	REL	0036	00		

- da 1.00 a 20.00 m sabbie poco addensate e sabbie limose in eteropia verticale con sabbie argillose e argille sabbiose;

In questo sondaggio è stata effettuata una prova S.P.T. alla profondità di 7.50 m dal p.c. Sono stati prelevati n.2 campioni alla profondità rispettivamente di 1.50 m e 16.0 m.

9.2 MODELLAZIONE GEOTECNICA

I risultati delle prove di laboratorio hanno messo in evidenza dei litotipi con parametri geo-meccanici piuttosto simili, tali da non rendere necessaria una loro suddivisione ai fini di una modellazione geotecnica, almeno in questa prima fase di progetto definitivo. I dati a disposizione, sono stati analizzati mediante leggi statistiche, come prescritto dalla normativa di riferimento (NTC 2018), al fine di procedere ad una valida caratterizzazione geotecnica del sito. Si riportano a seguire alcune tabelle riassuntive dei risultati ottenuti dalle indagini geotecniche e la relativa modellazione geotecnica effettuata.

Litotipi e sondaggi con prelievo campioni
Sondaggio 12 - C2 Argille sabbiose parzialmente alterate di colore grigio ocraceo, poco umide e consistenti
Sondaggio 18 - C1 Sabbie limose di colore giallo scuro, umide e ben addensate
Sondaggio 18 - C2 Sabbie limose di colore giallo scuro umide con inclusi rari noduli arenitici
Sondaggio 19 - C2 Argille parzialmente alterate, di colore grigio verdastro, con spalmature ocracee, a struttura debolmente scagliosa, umide e poco plastiche
Sondaggio 20 - C2 Argille marnose integre, di colore grigio, a struttura omogenea, poco umide e molto consistenti
Sondaggio 21 - C1 Limi sabbiosi, di colore ocre, con picchiettature nerastre, umidi e plastici
Sondaggio 22 - C1 Argille limose, di colore giallastro, umide e mediamente addensate
Sondaggio 22 - C3 Sabbie limose, di colore marrone, umide e poco addensate
Sondaggio 24 - C1 sabbie fini, di colore giallastro, umide e mediamente addensate
Sondaggio 25 - C1 Argille integre grigio scuro, poco umide e consistenti
Sondaggio 25 - C2 Sabbie medio fini, di colore giallastro, poco umide e poco addensate

Litotipi riscontrati alla profondità

ID SONDAGGIO	LITOLOGIA	NSPT'	Cu (KPa)	E (MPa)	φ'
S13	Arenarie debolm. Cement.	55	-	70	43°
S16	Sabbie limose	60	370	65	42°
S17	Arenarie debolm. Cement.	87	-	86	45°
S22	Sabbie limose	99	610	95	45°
S23	Sabbie limose	79	490	80	44°
S23	Sabbie limose	99	610	95	45°
S24	Sabbie limose	64	400	68	43°

Risultati prove geognostiche in sito SPT

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	23
CAM	ENG	REL	0036	00		

Sabbie Limose			
γ (KN/mc)	c' (KPa)	φ'	Cu (KPa)
20,3	6,9	32°	-
20,3	8,2	37°	-
19,3	3,1	34°	-
19,6	0,2	32°	-
18,6	0,1	34°	-

Risultati prove geognostiche di laboratorio su Sabbie Limose

Argille Sabbiose			
γ (KN/mc)	c' (KPa)	φ'	Cu (KPa)
20,6	39	28,0	-

Risultati prove geognostiche di laboratorio su Argille sabbiose

Limi sabbiosi			
γ (KN/mc)	c' (KPa)	φ'	Cu (KPa)
18,9	13,7	34,0	82,6

Risultati prove geognostiche di laboratorio su Limi sabbiosi

Argille marnose			
γ (KN/mc)	c' (KPa)	φ'	Cu (KPa)
19,13	24,3	26,0	193,3
21,5	52,7	26,0	387,1
19,4	6,9	32,0	/
20	21,2	26,0	166,8

Risultati prove geognostiche di laboratorio su Argille marnose

Si è scelto, visti i dati a disposizione, di condurre una analisi statistica ai fini del modello geotecnico, suddividendo i dati a disposizione in funzione della profondità dei litotipi: strato superficiale (entro i primi 10m) e strato profondo (tra 10.0 m e 20.0 m), come di seguito riportato.

Sabbie Limose - Limi sabbiosi - Argille sabbiose -Argille marnose			
γ (KN/mc)	c' (KPa)	φ'	Prof. [m]
19,41	13,26	30	1,0-10

Sabbie Limose - Limi sabbiosi - Argille sabbiose -Argille marnose			
γ (KN/mc)	c' (KPa)	φ'	Prof. [m]
20,23	23,725	27	10,0-20,0

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	24
CAM	ENG	REL	0036	00		

Considerando la necessità di effettuare nella fase di progettazione esecutiva uno studio approfondito e dettagliato dal punto di vista geologico, dell'area in esame, si è scelto di adottare il seguente modello geologico del terreno semplificato e cautelativo ai fini del dimensionamento geotecnico:

- Strato superficiale costituito da sabbie limose, argille sabbiose, limi sabbiosi e argille marnose

$$\gamma = 20 \text{ KN/m}^3;$$

$$\phi = 27^\circ;$$

$$c = 0 \text{ KPa.}$$

Sabbie Limose - Limi sabbiosi - Argille sabbiose -Argille marnose			
γ (KN/mc)	c' (KPa)	ϕ'	Prof. [m]
19	0	30	1,0-10

- Strato profondo costituito da sabbie limose, argille sabbiose, limi sabbiosi e argille marnose

$$\gamma = 20 \text{ KN/m}^3;$$

$$\phi = 30^\circ;$$

$$c = 0 \text{ KPa.}$$

Sabbie Limose - Limi sabbiosi - Argille sabbiose -Argille marnose			
γ (KN/mc)	c' (KPa)	ϕ'	Prof. [m]
20,00	0	27	10,0-20,0

In sintesi, trattandosi di progettazione ai fini autorizzativi e dalla quasi coincidenza delle postazioni nuove con le esistenti, si sono ritenute sufficienti le indagini e gli studi eseguiti per la fase di realizzazione del parco esistente. Si è altresì ritenuto di considerare la profondità di 20.00 dal p.c. come esemplificativa di una profondità superiore (come accennato in merito alla formazione terravecchia nello studio geologico allegato). Il modello geotecnico definito, in virtù del livello definitivo di progettazione, è stato semplificato con la definizione di soli 2 strati caratteristici. Va da sé che nella fase di progettazione esecutiva dovranno essere condotte nuove indagini geognostiche in corrispondenza di ciascuna nuova opera di fondazione e dovrà essere redatto un apposito piano di indagini. Sulla base della modellazione geotecnica e delle caratteristiche orografiche si è ritenuto opportuno prevedere la realizzazione di un'opera di fondazione su pali, demandando alla fase di progettazione esecutiva eventuali variazioni.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	25
CAM	ENG	REL	0036	00		

10 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.

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.

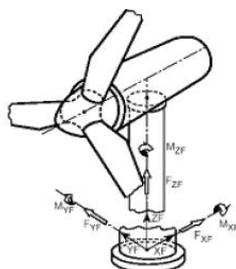
Production loads				
		Char. load	Prob.:1e-2	Prob.:1e-4
M _{res}	[kNm]	108600.00	66169.97	74365.21
M _z	[kNm]	-8741.73	-3522.09	-5395.24
F _{res}	[kN]	986.63	602.48	720.52
F _z	[kN]	-6069.65	-5946.12	-5980.73

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

Carichi riferiti ad un aerogeneratore tipo, Vesta V136

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

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	26
CAM	ENG	REL	0036	00		



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

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}

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);

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	27
CAM	ENG	REL	0036	00		

- peso proprio di tutti gli elementi non strutturali (G2);
- 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 continuativamente, 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.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	28
CAM	ENG	REL	0036	00		

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

11.1 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.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	29
CAM	ENG	REL	0036	00		

11.2 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:

- QT = portanza totale del palo;
- QP = portanza di base del palo;
- QL = portanza per attrito laterale del palo;
- WP = 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 6.4.IV:

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

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 6.4.II:

	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

Il valore di progetto così determinato della capacità portante deve risultare non minore del

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	30
CAM	ENG	REL	0036	00		

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.

11.3 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 Le. Vengono disposte, inoltre, lungo il fusto del palo una serie di molle (una per ogni elemento), coassiali al palo stesso, aventi rigidità 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 rigidità delle molle si considerano gli spostamenti limite ΔY_l e ΔY_p (definiti dall'Utente nella finestra Metodo cedimenti).

La rigidità 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 rigidità della molla posta alla base

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	31
CAM	ENG	REL	0036	00		

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.

11.4 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 rigidezze 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.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	32
CAM	ENG	REL	0036	00		

11.5 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 Infisso)
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

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

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/cmq]
ca	Adesione del terreno espressa in [kg/cmq]
τ_i	Tensione tangenziale, per calcolo portanza micropali con il metodo di Bustamante-Doix, espressa in [kg/cmq]
α	Coef. di espansione laterale

Descrizione	γ	γ_{sat}	Parametri	ϕ	δ	c
	[kg/mc]	[kg/mc]		[°]	[°]	[kg/cmq]
Sabbie limose, limi sabbiosi, arg sabbiose, Arg.ma	1900,0	2100,0	Caratteristici	30,00	20,0	0,000

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	33
CAM	ENG	REL	0036	00		

Descrizione	γ [kg/mc]	γ_{sat} [kg/mc]	Parametri	ϕ [°]	δ [°]	c [kg/cm ²]
			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

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

Falda

Profondità dal piano campagna assente [m]

Costante di Winkler

Direzione	Simbolo	Kw [Kg/cm ² /cm]
Verticale	K _{wv}	2.00
Orizzontale	K _{wo}	Calcolata dal programma (K _{wo} =K _{wv} *tan(ϕ))

Convenzioni adottate

Carichi 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
----	---------------

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	34
CAM	ENG	REL	0036	00		

P ₆	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

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

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	35
CAM	ENG	REL	0036	00		

Oggetto	X [m]	Y [m]	N [kg]	Mx [kgm]	My [kgm]	Tx [kg]	Ty [kg]
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

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

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

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	36
CAM	ENG	REL	0036	00		

Oggetto	X [m]	Y [m]	N [kg]	Mx [kgm]	My [kgm]	Tx [kg]	Ty [kg]
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

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

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

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO		PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA		37
CAM	ENG	REL	0036	00			

Oggetto	X [m]	Y [m]	N [kg]	Mx [kgm]	My [kgm]	Tx [kg]	Ty [kg]
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

Condizione n° 7 - Condizione 7-RICOPRIMENTO

Carichi distribuiti

Ic	Pis [m]	Psd [m]	Qz1 [kg/mq]	Qz2 [kg/mq]	Qz3 [kg/mq]	Qz4 [kg/mq]	Qx [kg/mq]	Qy [kg/mq]
1	-10,70; -10,70	10,70; 10,70	3000,00	3000,00	3000,00	3000,00	0,00	0,00

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	$\gamma_{Q1, fav}$	0.90	0.00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Q1, sfav}$	1.50	1.50
Variabili traffico	Favorevole	$\gamma_{Q1, fav}$	1.00	1.00
Variabili traffico	Sfavorevole	$\gamma_{Q1, sfav}$	1.00	1.00

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

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

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

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	38
CAM	ENG	REL	0036	00		

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

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

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

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

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

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

Combinazione n° 7 - SLER

Condizione	CP
Peso proprio	1.00

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	39
CAM	ENG	REL	0036	00		

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

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

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

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	40
CAM	ENG	REL	0036	00		

Sollecitazioni

Pali

Simbologia 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 [m]	Ne [kg]	Nr [kg]	Te [kg]	Tr [kg]	Me [kgm]	Mr [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)

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)

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)

Palo n° 4

n°	Y [m]	Ne [kg]	Nr [kg]	Te [kg]	Tr [kg]	Me [kgm]	Mr [kgm]
----	----------	------------	------------	------------	------------	-------------	-------------

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	41
CAM	ENG	REL	0036	00		

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)

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)

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)

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)

Palo n° 8

n°	Y [m]	Ne [kg]	Nr [kg]	Te [kg]	Tr [kg]	Me [kgm]	Mr [kgm]
----	----------	------------	------------	------------	------------	-------------	-------------

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	42
CAM	ENG	REL	0036	00		

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)

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)

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)

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)

Palo n° 12

n°	Y [m]	Ne [kg]	Nr [kg]	Te [kg]	Tr [kg]	Me [kgm]	Mr [kgm]
----	----------	------------	------------	------------	------------	-------------	-------------

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO		PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA		43
CAM	ENG	REL	0036	00			

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)

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)

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)

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)

Palo n° 16

n°	Y [m]	Ne [kg]	Nr [kg]	Te [kg]	Tr [kg]	Me [kgm]	Mr [kgm]
----	----------	------------	------------	------------	------------	-------------	-------------

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	44
CAM	ENG	REL	0036	00		

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)

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)

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, Pl	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]	Pl [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

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	45
CAM	ENG	REL	0036	00		

n°	Oggetto	Nc	N'c	Nq	N'q	Pp	PI
						[kg]	[kg]
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

Cedimenti

Pali

Simbologia adottata

Ip	Indice palo
w	Cedimento verticale, espressa in [cm]
Ic	Indice della combinazione

Ip	w	Ic
	[cm]	
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

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.		
CAM	ENG	REL	0036	00	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CAAMPOREALE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	46

12 CONCLUSIONI

Il progetto definitivo di cui è stato effettuato lo studio strutturale e geotecnico consiste nello smantellamento dei n°24 aerogeneratori esistenti ed attualmente in esercizio del parco eolico ubicato nel Comune di Camporeale, sito in Provincia di Palermo e nella successiva realizzazione di un impianto eolico composto da n°13 aerogeneratori, ciascuno dei quali di potenza massima pari a 4,2 MW, per una potenza complessiva massima di 54.6 MW.

Alla luce dello studio geologico che è stato analizzato (redatto nell'anno 2002 durante la fase di realizzazione dell'attuale impianto eolico oggetto di repowering) e delle risultanze delle prove di laboratorio e delle prove condotte in sito nel 2002, è stato possibile costruire un modello geotecnico del terreno.

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.