

REGIONE SARDEGNA
Provincia di Sassari
COMUNI DI NULVI E PLOAGHE

PROGETTO

POTENZIAMENTO PARCO EOLICO NULVI- PLOAGHE



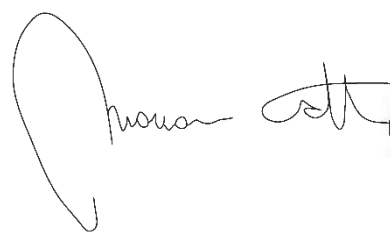
PROGETTO DEFINITIVO

COMMITTENTE



PROGETTISTA:

HE **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.
	03/08/2018		1 di 46	A4	PLO	ENG	REL	0036	00

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

ERG Wind Sardegna 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 NULVI - PLOAGHE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	2
PLO	ENG	REL	0036	00		

Storia delle revisioni del documento

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	03/08/2018	Prima emissione	EG	MG	DG

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

INDICE

1	PREMESSA	4
2	DESCRIZIONE DELL'OPERA DI FONDAZIONE.....	5
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	8
4	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	9
5	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	10
6	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	16
7	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	19
8	ANALISI SISMICA DELLA ZONA DI INTERESSE.....	20
9	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	23
10	FONDAZIONI DI TIPO INDIRETTO: VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI TIPO GEOTECNICO NTC2018	25
10.1	GENERALITA'	25
10.2	CARICO LIMITE DEI PALI DI FONDAZIONEGENERALITA'	27
10.3	CALCOLO TENSIONI E CEDIMENTI	30
10.4	CAPACITÀ PORTANTE PER CARICO ORIZZONTALE.....	31
10.5	TABULATO DI CALCOLO VERIFICHE GEOTECNICHE.....	32
11	CONCLUSIONI	46

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO NULVI - PLOAGHE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	4
PLO	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 ubicato nei Comuni di Nulvi (SS) e Ploaghe (SS) costituito allo stato attuale da n. 51 aerogeneratori, ciascuno di potenza nominale di 0,85 MW, per una potenza complessiva di 43,35 MW.

Il progetto definitivo relativo al potenziamento consiste nella sostituzione di tutti gli aerogeneratori esistenti (n.51 unità 0.85 MW) con n. 27 nuovi aerogeneratori da 4,5 MW per complessivi 121,50 MW.

L'installazione del più moderno tipo di generatore comporterà la riduzione del numero di torri eoliche, dalle 51 esistenti alle 27 proposte, riducendo in maniera sensibile l'effetto selva.

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

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

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

2 DESCRIZIONE DELL'OPERA DI FONDAZIONE

Il dimensionamento effettuato in questa fase tiene conto di un modello tipologico di aerogeneratore, in attesa di una scelta progettuale da parte del committente. In tale fase si prevede la realizzazione di opere di fondazione del tipo indiretto in relazione alla stratigrafia locale del terreno. Si propone in questa fase, ai soli fini calcolistici un aerogeneratore tipo SG4.5-145m HH 107.5m-H=180, la tipologia di fondazione descritta a seguire rimandando alla fase esecutiva gli approfondimenti del caso. Di seguito oltre al modello dell'aerogeneratore si riportano le coordinate nel sistema UTM 33 WGS 84.

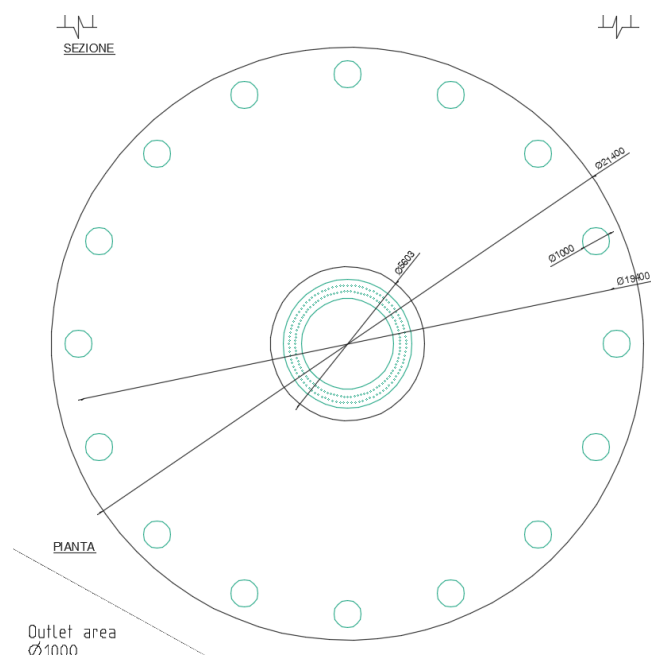
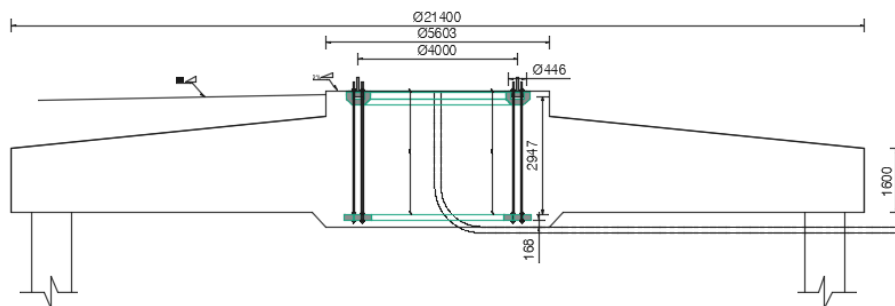
COORDINATE ASSOLUTE ASSI AEROGENERATORI NEL SISTEMA UTM 33 WGS84			
WTG	E	N	MODEL
R-NU01	478067	4512791	H=180
R-NU02	478658	4512487	H=180
R-NU03	478492	4512082	H=180
R-NU04	478355	4511669	H=180
R-NU05	479494	4511693	H=180
R-NU06	478095	4511314	H=180
R-NU07	479141	4511268	H=180
R-NU08	479358	4510663	H=180
R-NU09	479021	4510209	H=180
R-PLG01	479066	4509718	H=180
R-PLG02	479105	4509279	H=180
R-PLG03	479101	4508842	H=180
R-PLG04	479277	4508443	H=180
R-PLG05	479172	4508015	H=180
R-PLG06	478924	4507642	H=180
R-PLG07	478946	4507080	H=180
R-PLG08	479246	4506762	H=180
R-PLG09	478577	4506477	H=180
R-PLG10	478143	4506038	H=180
R-PLG11	479242	4505884	H=180
R-PLG12	477897	4505583	H=180
R-PLG13	478953	4505447	H=180
R-PLG14	478380	4505143	H=180
R-PLG15	478676	4504820	H=180

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

R-PLG16	478885	4504245	H=180
R-PLG17	473658	4507715	H=180
R-PLG18	473906	4507119	H=180

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:



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

All'interno del plinto di fondazione sarà annegata una gabbia di ancoraggio metallica 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 NULVI - PLOAGHE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	8
PLO	ENG	REL	0036	00		

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo e progettazione sono le “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 NULVI - PLOAGHE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	9
PLO	ENG	REL	0036	00		

4 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il nuovo impianto insisterà nei territori dei Comuni di Nulvi e Ploaghe e limitatamente ad un nuovo tratto di strada e cavidotto interrato, nel territorio del Comune di Osilo. In particolare,

- nel Comune di Nulvi saranno installati nove nuovi aerogeneratori da 4,5 MW, aventi le seguenti sigle, R-NU01, R-NU02, R-NU03, R-NU04 R-NUR05, R-NU06, R-NU07, R-NU08 e R-NU09. I vecchi aerogeneratori sono 19 unità da 0,85 MW che verranno tutti dismessi.
- nel Comune di Ploaghe saranno installati diciotto nuovi aerogeneratori da 4,50 MW, aventi le seguenti sigle, R-PLG01, R-PLG02, R-PLG03, R-PLG04, R-PLG05, R-PLG06, R-PLG07, R-PLG08, R-PLG09, R-PLG10, R-PLG11, R-PLG12, R-PLG13, R-PLG14, R-PLG15, R-PLG16, R-PLG17 e R-PLG18. I vecchi aerogeneratori sono 32 unità da 0,85 MW che verranno tutti dismessi.

Dal punto di vista cartografico, le opere in progetto ricadono all'interno delle seguenti cartografie e Fogli di Mappa:

- Fogli I.G.M. in scala 1:25.000, di cui alle seguenti codifiche “460_IV_Osilo; 460_III_Ploaghe”.
- Carta tecnica regionale CTR, scala 1:10.000, fogli n°460010, n°460020, n°460050, n°460060, n°460090, n°460100.
- Fogli di mappa catastale del Comune di Nulvi n°24, 27 e 29
- Fogli di mappa catastale del Comune di Ploaghe n° 1, 2, 3, 4, 5, 8, 12 e 13
- Foglio di mappa catastale del Comune di Osilo n° 104 (interessato solo per un breve tratto di strada e cavidotti).

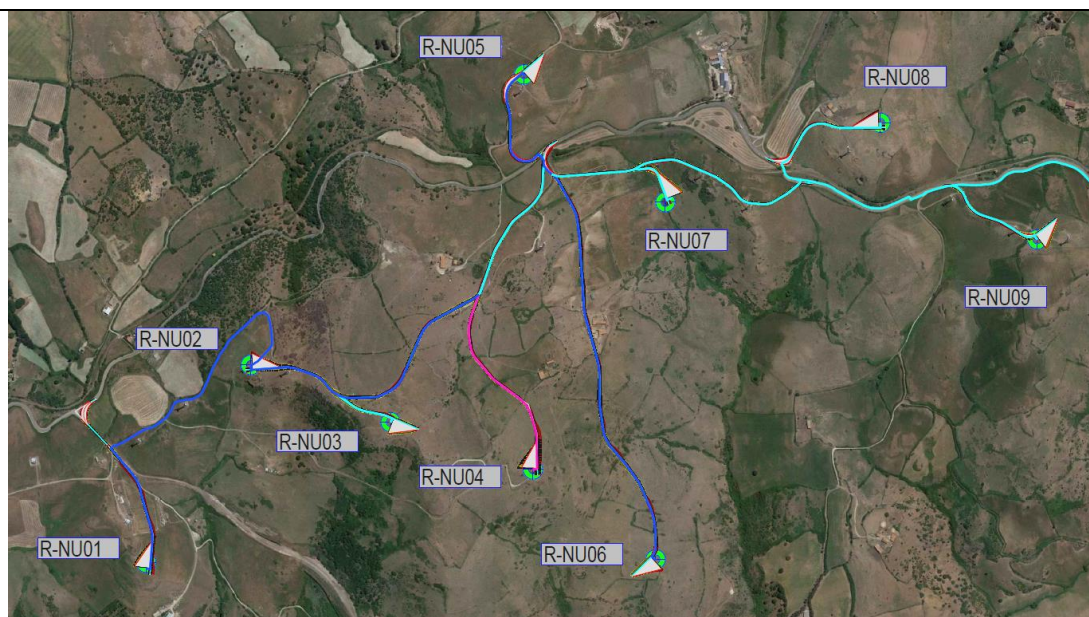
Di seguito le coordinate assolute nel sistema UTM 33 WGS84 dei nuovi aerogeneratori:

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

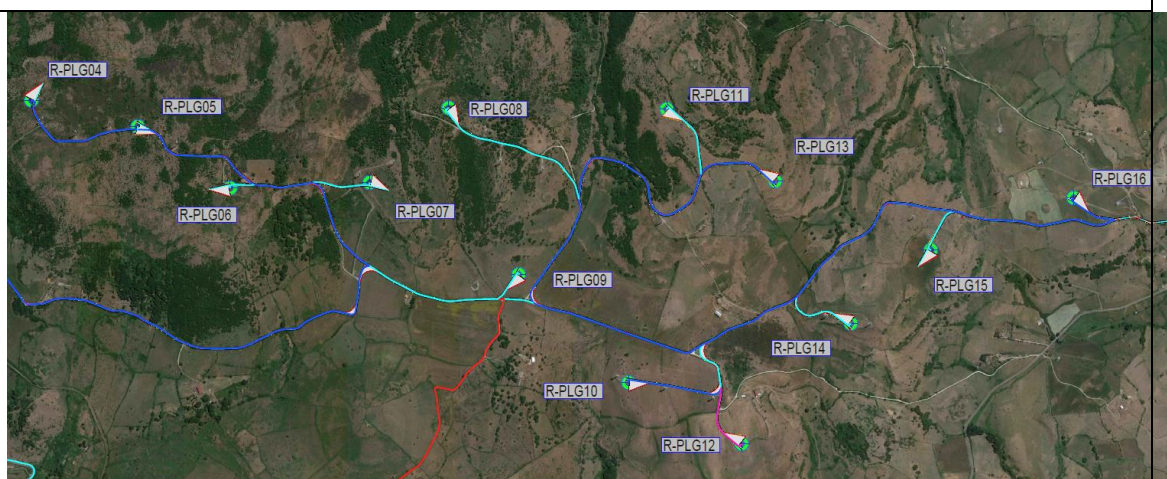
5 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il sito di progetto, ricade nella Sardegna Nord Occidentale, che tra l'Oligocene superiore ed il Tortoniano-Messiniano, è stato sede di importanti eventi tettonici e di una diffusa attività vulcano-sedimentaria che si è manifestata in diversi bacini coalescenti, ma con differenti orientazioni strutturali e con differenti evoluzioni tettonico-sedimentarie che costituiscono il "Rift Sardo".

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

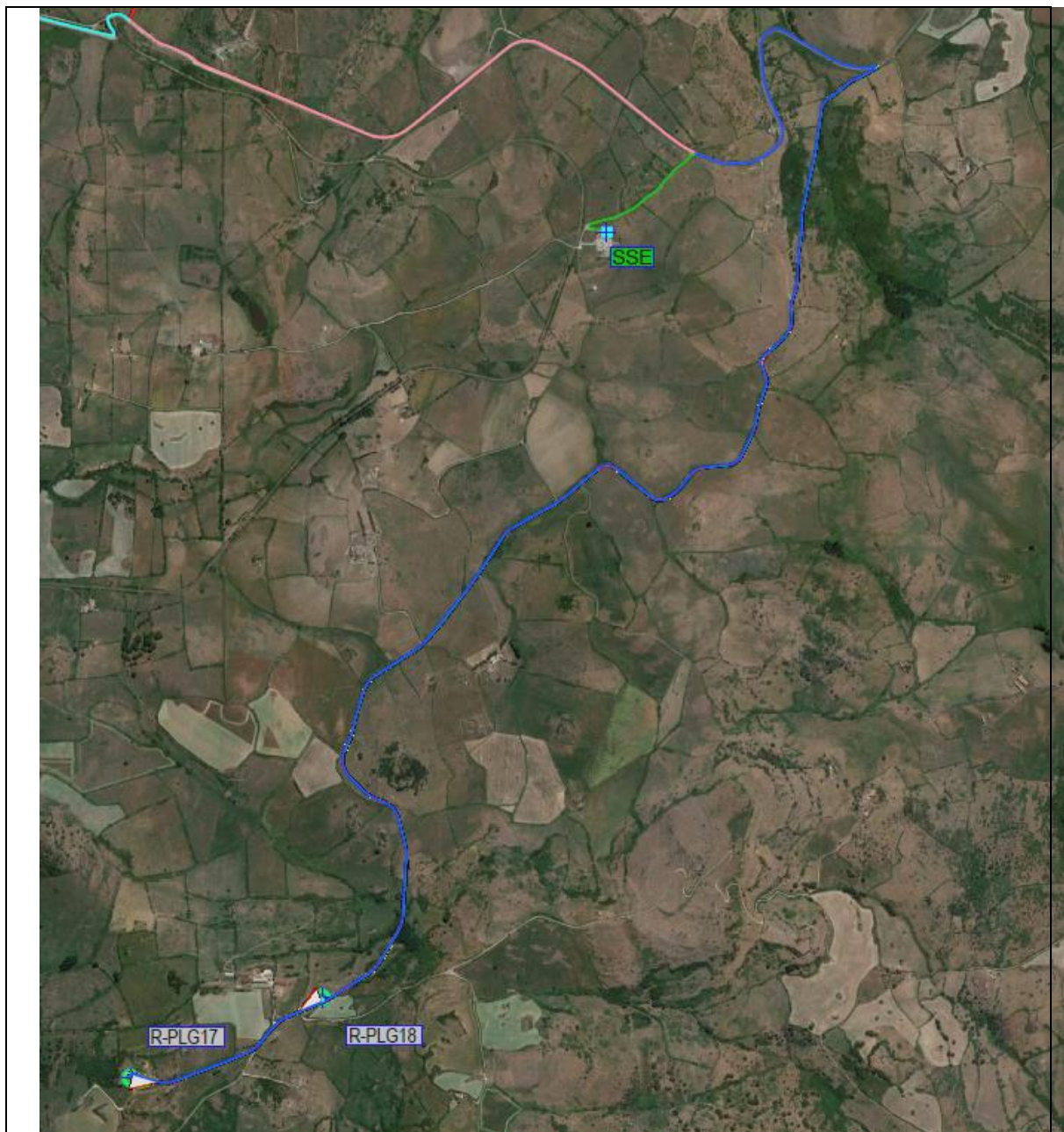


In evidenza i nove nuovi aerogeneratori ricadenti sul territorio del Comune di Nulvi



Ubicazione impianto eolico su ortofoto -in evidenza sedici/diciotto nuovi aerogeneratori ricadenti sul territorio del Comune di Ploaghe

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



Ubicazione impianto eolico su ortofoto -in evidenza i nuovi aerogeneratori n.17/ n.18 oltre la stazione elettrica ricadenti nel territorio Ploaghe

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

L'assetto geomorfologico 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.

Partendo dalla tettonica, che deforma i corpi litologici di un'area dando luogo a forme cosiddette "strutturali", la risposta dei terreni varia a seconda che siano presenti in affioramento rocce coerenti, pseudocoerenti o incoerenti, infatti, queste grandi categorie di terreni hanno una risposta profondamente diversa all'azione degli agenti esogeni.

Le litologie di tipo pseudocoerente si conformano secondo rilievi dall'andamento spesso mammellonare, regolari, interrotti localmente da forme geomorfologiche legate ad attività erosiva intensa; mentre le litologie coerenti e/o cementate danno luogo a forme più acclivi e dall'andamento più accidentato ed irregolari.

Questa marcata differenziazione di origine "strutturale" viene ulteriormente accentuata dalla cosiddetta "erosione selettiva", ossia dalla differente risposta dei terreni agli agenti morfogenetici che, nel sistema morfoclimatico attuale, sono dati essenzialmente dalle acque di precipitazione meteorica. Le litologie coerenti vengono erose in misura più ridotta e tendono quindi a risaltare nei confronti delle circostanti litologie pseudocoerenti.

Il sito in esame ricade all'interno di un'area caratterizzata dalla presenza di estese coperture vulcaniche. In particolare, grazie all'azione degli agenti esogeni sulle lave in colata e sui tufi, è possibile osservarne lo spessore in corrispondenza delle scarpate.

L'attività vulcanica quaternaria, di breve durata come dimostrano il basso numero di colate e la scarsità o l'assenza di materiali della fase esplosiva, ha prodotto una morfologia vulcanica frammentaria e dispersa. Gli apparati sono allineati in senso N-S, lungo fratture attraverso le quali il magma si è riversato ricoprendo i terreni miocenici più antichi.

Il paesaggio è caratterizzato dalla presenza di rilievi cupoliformi in corrispondenza di ammassi e probabili cupole di ristagno delle lave oligomioceniche.

Le colate laviche, presentano spesso superfici bollose e a tratti l'aspetto del magma in movimento, soprattutto per quanto riguarda le ignimbriti. In corrispondenza dei Basalti Plio-Quaternari e delle Andesiti e Trachiti Oligo-Mioceniche si possono osservare fessurazioni da raffreddamento prismatico-verticale. Tali strutture, insieme alle fessurazioni orizzontali che caratterizzano le Andesiti, danno luogo ad una suddivisione della roccia in blocchi squadrati. Le ignimbriti sono caratterizzate dalla presenza di micro-alveoli che in seguito all'azione degli agenti esogeni danno luogo a nicchie di erosione meteorica della profondità di alcuni decimetri, che raccolgono al loro interno dei modesti depositi terrigeni, prevalentemente di natura argillosa.

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

Le colate basaltiche plio-quadernarie, permettono di individuare con facilità la direzione di flusso delle lave. I loro rapporti giaciturali con le sottostanti litologie più erodibili, come i sedimenti miocenici e i tufi, uniti all'erosione meteorica differenziata hanno consentito la formazione di testimoni di erosione del tipo "butte", oppure la messa in luce di dicchi e "necks" lavici.

Alla periferia Nord dell'abitato di Ploaghe si trova il Monte S. Matteo (480 m s.m.). E' presente un piccolo colle vulcanico dal quale ebbe origine la "colata del Coloru". Si tratta di una colata basaltica plio-quadernaria, riversatasi sul fondo vallivo del corso d'acqua di cui assunse la forma e che in seguito è stata messa in rilievo e sopraelevata dall'erosione meteorica differenziata che ha agito sulla dura lava e sui più teneri sedimenti sottostanti.

Più a Nord, alla distanza di 800 m circa in linea d'aria dal centro abitato di Ploaghe, sorge il Monte Massa (677 m s.m.), il cui cono di scorie conserva la forma del cratere leggermente incisa a NE, in corrispondenza di una slabbratura dalla quale è uscita una sola colata lavica che si allunga fino ai mulini del Maniscalco.

In corrispondenza della sommità di Monte San Lorenzo (579 m s.m.) si rinviene la parte basale delle formazioni calcareo-organogene deposte nel Miocene, che affiora anche a Nord dell'abitato di Nulvi.

In corrispondenza della sommità di Monte San Lorenzo (579 m s.m.) si rinviene la parte basale delle formazioni calcareo-organogene deposte nel Miocene, che affiora anche a Nord dell'abitato di Nulvi. All'interno dell'area, si individuano varie unità geomorfologiche. Le unità geomorfologiche comprendono:

- Forme di denudazione derivate da diversi processi di alterazione, trasporto ed erosione;
- Forme di accumulo.

Le singole unità sono classificate e raggruppate sulla base della prevalente uniformità delle caratteristiche geomeccaniche e dell'espressione del rilievo modellato, in tipi di materiali anche di diversa origine ed età.

Le principali unità geomorfologiche individuate sono rappresentate da:

- rilievi su rocce vulcaniche;
- depositi detritici e/o depositi eluvio/colluviali;
- superfici ondulate con affioramenti rocciosi discontinui e superfici di spianamento a bassa quota.

I rilievi su rocce vulcaniche sono piuttosto estesi e costituiscono la fascia altimetrica più elevata; si presentano sia sotto forma di massicci con picchi rocciosi.

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

I depositi detritici costituiti da clasti allungati con spigoli vivi prodotti dai processi di alterazione delle rocce ad opera degli agenti atmosferici, sono localizzati prevalentemente ai piedi delle scarpate più ripide.

L'alterazione della parte rocciosa è testimoniata anche dalle forme residuali: si tratta di collinette costituite da grossi blocchi di lave fratturate le cui forme deriverebbero dalla maggiore intensità della fratturazione.

L'attività geomorfologica nei versanti si manifesta alle alte quote laddove la roccia affiorante non consente lo sviluppo della vegetazione ed il detrito di falda prodotto si accumula sui versanti stessi alla prima rottura di pendio. A quote inferiori si ha una sensibile riduzione delle pendenze con forme meno aspre.

Per quanto riguarda la stabilità dei versanti, considerate le buone caratteristiche fisico-meccaniche dei litotipi costituenti il sottosuolo, non sono stati rinvenuti segni di dissesto in atto o potenziali. Pertanto, i siti in cui sono stati ubicati gli aerogeneratori in progetto risultano stabili. Ciò è confermato dalla carta del rischio e delle pericolosità geomorfologiche pubblicate nel P.A.I. relativamente al Bacino idrografico del Coghinas.

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

6 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il sito di progetto, ricade nella Sardegna Nord Occidentale, che tra l'Oligocene superiore ed il Tortoniano-Messiniano, è stato sede di importanti eventi tettonici e di una diffusa attività vulcano-sedimentaria che si è manifestata in diversi bacini coalescenti, ma con differenti orientazioni strutturali e con differenti evoluzioni tettonico-sedimentarie che costituiscono il "Rift Sardo". Secondo un'interpretazione più recente i bacini miocenici della Sardegna settentrionale sono contraddistinti da due diverse strutturazioni successive: una con fosse orientate prevalentemente N60° definiti come Bacini Transensivi Aquitaniani (bacini di ChilivaniBerchidda, Anglona, Ottana) di età Oligocene sup.-Aquitano e l'altra, con fosse orientate N-NW (bacini del Logudoro e di Porto Torres, di seguito definiti come Bacini Burdigaliani, di età Burdigaliano-Tortoniano (Messiniano).

Si tratta di due bacini definiti come bacini sin-rift e post-rift. I bacini miocenici, occupano la parte centro-occidentale dell'isola, dove trasgrediscono sul basamento ercinico caratterizzato prevalentemente da granitoidi intrusi in metamorfiti di medio e basso grado. Sono impostati lungo faglie trascorrenti sinistre (legate ad un quadro geodinamico compressivo e considerate come il prodotto della collisione che ha originato la catena nord-appenninica). Tali bacini, hanno una caratteristica forma allungata parallela alle faglie principali ed una successione sedimentaria con sedimenti di ambiente prevalentemente continentale, in genere depositi lacustri, con intercalati prodotti vulcanici, alternati a depositi alluvionali e con associati depositi sintettonici in prossimità delle faglie. Talvolta la successione, da tipicamente continentale evolve a successione marina (ad es. bacini di Castelsardo e dell'Anglona).

I Bacini burdigaliani sono più recenti, hanno direzione circa N-NW ed interessano la parte occidentale della Sardegna settentrionale, dal Golfo dell'Asinara a nord, fino all'altopiano di Campeda, a sud. Dal punto di vista strutturale si configurano come semi-graben con faglie principali su bordi opposti, connessi da zone di taglio trascorrenti ad orientamento EW che trasferiscono la deformazione estensionale da un fianco all'altro del bacino.

Nella successione stratigrafica si distinguono tre sequenze deposizionali:

La sequenza 1 (Burdigaliano sup.-Langhiano) e la sequenza 2 (Serravalliano – Tortoniano-Messiniano) sono caratterizzate dal passaggio da depositi clastici di ambiente fluvio-deltizio a depositi carbonatici marini di piattaforma. La sequenza 3 (Messiniano superiore) è caratterizzata da depositi clastici grossolani di ambiente fluviale.

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

L'evoluzione sedimentaria nella Sardegna settentrionale è caratterizzata da numerosi cicli trasgressivo-regressivi, fra loro alternati. Durante il Burdigaliano superiore- Langhiano l'innalzamento del livello del mare porta alla deposizione della sequenza 1 dove, in successione verticale, ai depositi continentali, principalmente costituiti da sabbie, seguono i depositi marini di piattaforma prossimale (calcarei algali) e distale (marne). La caduta del livello del mare del Langhiano superiore e/o Serravalliano inferiore è responsabile della profonda erosione dei depositi della sequenza 1. In questa fase si ha lo sviluppo di profonde valli incise anche per valori di circa 100 metri. Nel conseguente periodo di risalita del livello del mare si deposita la sequenza 2. Lungo il margine del bacino si sviluppano sistemi deltizi mentre al limite della piattaforma si depositano le sabbie quarzoso- feldspatiche che riempiono le valli che si erano formate in precedenza.

La nuova trasgressione consente lo sviluppo, durante il Serravalliano inferiore, di una vasta piattaforma carbonatica.

Le condizioni di massima trasgressione vengono raggiunte nel Tortonian e anche se con continue variazioni relative del livello del mare, permangono fino al Messiniano inferiore. In questo intervallo si depositano le sequenze silico-carbonatico ed i calcari algali. Non vi sono tracce di depositi evaporitici riferiti alla crisi di salinità del Mediterraneo del Messiniano. E' quindi da supporre che la caduta del livello del mare nella Sardegna nord-occidentale sia precedente a questo evento. La nuova caduta del livello del mare porta alla formazione, lungo tutto il margine della piattaforma, di numerose valli incise, la più importante di queste è il Canyon di Castelsardo a N.E. del Bacino del Logudoro (Funedda et al. 2000).

Stratigraficamente il complesso sedimentario miocenico è delimitato al tetto dalle litologie continentali quaternarie, e alla base dalle vulcaniti del ciclo "calcalcalino" oligo-miocenico.

Nell'area studiata si rilevano estesi affioramenti di Vulcaniti di età oligo-miocenica, che per diffusione e potenza, hanno determinato il paesaggio geologico della regione studiata ed appaiono ricoperte dai terreni lacustri e marini del Miocene depositi in regolare successione stratigrafica.

Sono riconducibili a quella serie di terreni andati in posto nel Terziario durante l'Orogenesi Alpina, quando si ebbe la fratturazione e lo sprofondamento di una fascia della Sardegna occidentale. Le linee di frattura diedero origine ad episodi effusivi intercalati ad episodi di tipo piroclastico. Le depressioni e le conche originatesi diedero luogo a bacini lacustri successivamente colmati da materiali di tipo tufaceo o argilloso. Il bacino lacustre dell'Anglona, affiora direttamente nell'area studiata. Il complesso lacustre è costituito da tufi varicolori grigiastri, verdolini, rossastri (tipici quelli grigio-verdastri con inclusi pomicei anche

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

di notevoli dimensioni) più o meno tenacemente cementati che comprendono anche intercalazioni calcaree, calcareo-mamose e marnose, con livelli e noduli di selce.

In generale, l'area indagata è caratterizzata da una serie di litotipi riconducibili al complesso effusivo denominato "trachytes anciens", che comprende lave fratturate, conglomerati anche in grossi blocchi, tufi, prodotti cataclastici, dell'argillificazione e alterazione superficiale. La giacitura è quella tipica per colata anche se l'assetto, in relazione ai fenomeni tettogenetici collegati soprattutto. Le Formazioni Quaternarie sono rappresentate dai depositi alluvionali, dai detriti di falda e dalle coperture terrigene eluviali e colluviali, in relazione alla loro localizzazione, giacitura e granulometria.

Più precisamente, l'area di progetto, è caratterizzata da Vulcaniti di età compresa tra il Miocene e il Quaternario, rappresentate da:

- Basalti olivinico – augitici ed olivinici di colore grigio scuro (Quaternario);
- Tufi pomicei trachiandesitici e trachidacitici di colore biancastro, brunastro e verdastro, contenenti breccie piroclastiche e talora livelli conglomeratici, arenacei e sabbiosi. (Miocene medio);
- Trachidaciti a struttura porfirica rossastre sovente alterate e argillificate (Miocene inf.);
- Trachiandesiti vitrofiriche a struttura solitamente porfirica e di colore generalmente rossastro. Sono presenti intercalazioni di piroclastici (Miocene inf.);
- Andesiti a struttura porfirica di colore variabile dal grigiastro, brunastro e verdastro e talora nerastre (Miocene inf.).
- Depositi alluvionali e/o eluvio-colluviali

Per la distribuzione areale dei suddetti termini geologici si rimanda alla carta geologica in allegato.

Per tutti gli ulteriori dettagli in merito alle unità litostratigrafiche e alla caratterizzazione geologica del sottosuolo si rimanda alla relazione PLO-ENG-REL-0035 00.

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

7 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Il reticolo idrografico di tipo sub-dendritico, nell'area di progetto è rappresentato da modeste linee di impluvio, tributarie del Riu Mannu-Riu Funtana, ad andamento SE-NO. Tali corsi d'acqua durante la stagione delle piogge assumono carattere torrentizio. Il sito di progetto non è interessato da aste torrentizie né da solchi di ruscellamento, in quanto ricade in corrispondenza della linea spartiacque.

Dal punto di vista idrogeologico, l'area è caratterizzata da due principali formazioni:

- a) **Terreni a permeabilità primaria per porosità:** Comprendono le coltri di alterazione, i sabbioni sciolti quarzoso-feldspatici del Miocene, i suoli e i terreni eluviali e colluviali a basso tenore di argilla. Presentano una permeabilità media, possono a seconda dell'estensione immagazzinare discrete quantità d'acqua.
- b) **Terreni a permeabilità secondaria per fessurazione:** Comprendono le rocce di origine vulcanica, che presentano una permeabilità alta per fessurazione; le discontinuità hanno un grande controllo sulla circolazione idrica sotterranea. A questa classe appartengono le andesiti, le trachiti oligo-mioceniche e i basalti plio-aternari.

L'area di progetto è interessata dalle Colate basaltiche plio-aternarie, dalle Andesiti e Trachiti Oligo-Mioceniche e dei Tufi vulcanici del Miocene. Tali litologie presentano permeabilità in grande per fessurazione. Non è da trascurare una circolazione idrica profonda che ha come substrato impermeabile i terreni sedimentari pre-vulcanici. E' risultato da studi precedenti che nella zona in esame il livello statico della falda idrica ha una profondità di circa 50 m dal p.c.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO NULVI - PLOAGHE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	20
PLO	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 NULVI - PLOAGHE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	21
PLO	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.

Nel presente progetto, l'azione sismica è stata valutata tenendo conto dei seguenti parametri:

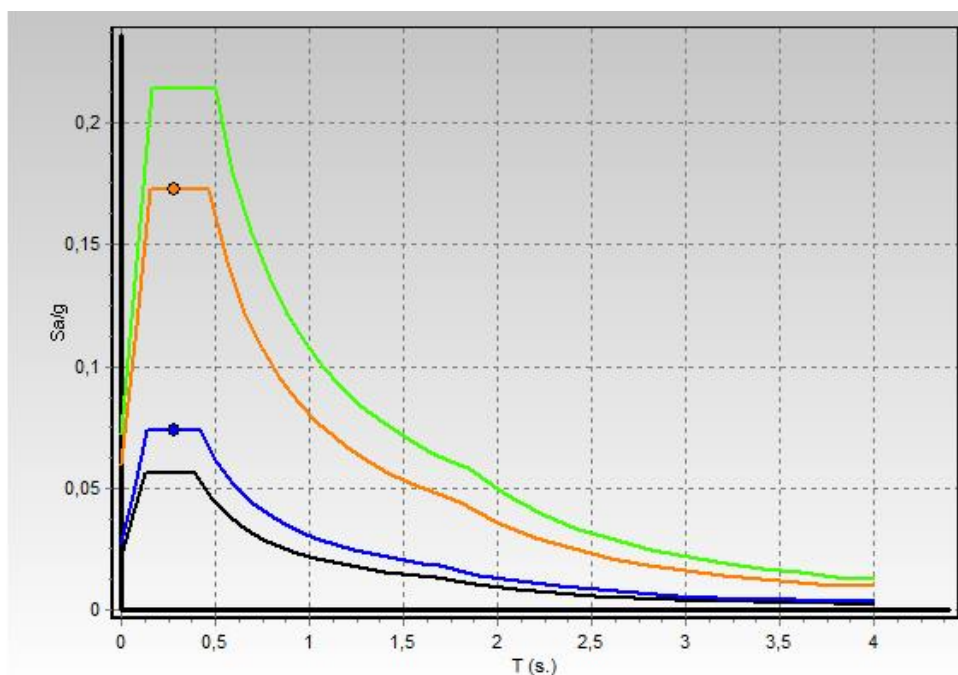
- tabella di riferimento Tabella 2 per le isole: Sardegna (parametri descritti nella tabella a seguire);
- classe d'uso: Quarta (Punto 2.4.2 del D.M. 17/01/2018);
- vita nominale > 100 anni (Punto 2.4.1 del D.M. 17/01/2018);
- categoria di suolo: B (Punto 3.2.2 del D.M. 17/01/2018);
- categoria topografica: T2 (Tabella 3.2.III del D.M. 17/01/2018);
- coefficiente di condizione topografica: 1,2 (Tabella 3.2.V del D.M. 17/01/2018).

Parametri spettri elastici: tabella di riferimento regione Sardegna:

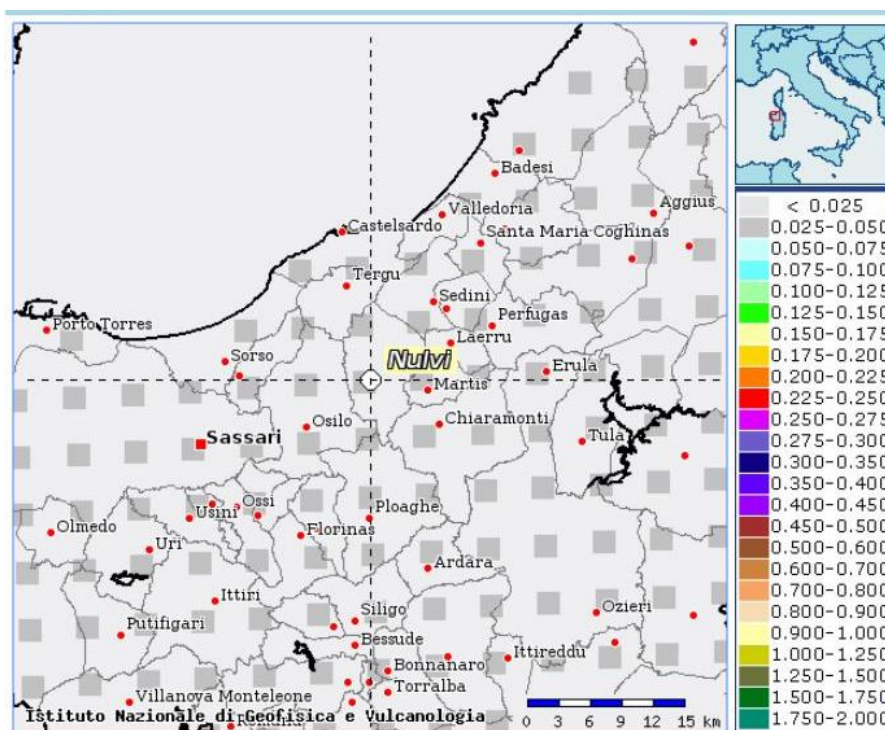
Isola	$T_R=30$			$T_R=50$			$T_R=72$		
Sardegna	a_g	F_0	T_C^*	a_g	F_0	T_C^*	a_g	F_0	T_C^*
	0,186	2,61	0,273	0,235	2,670	0,296	0,274	2,70	0,303
Isola	$T_R=101$			$T_R=140$			$T_R=201$		
Sardegna	a_g	F_0	T_C^*	a_g	F_0	T_C^*	a_g	F_0	T_C^*
	0,314	2,730	0,307	0,351	2,780	0,313	0,393	2,820	0,322
Isola	$T_R=475$			$T_R=975$			$T_R=2475$		
Sardegna	a_g	F_0	T_C^*	a_g	F_0	T_C^*	a_g	F_0	T_C^*
	0,5	2,88	0,34	0,603	2,980	0,372	0,747	3,090	0,401

Considerando tali valori si ottengono i seguenti spettri di risposta elastici che nel caso in esame, visto l'uso del fattore di struttura q pari ad 1 coincidono con gli spettri di risposta di progetto:

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



Spettri di risposta elastici al variare dei T_R



Mapa di pericolosità sismica dell'area di progetto

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

9 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Dall'esame della carta geologica si evince che il parco eolico ricade su di un'area caratterizzata da una buona omogeneità litologica, le differenze riscontrabili sono essenzialmente di natura petrografica, a causa della differente dinamica dei vari episodi effusivi, ed in minima parte di natura litotecnica. Come evidenziato nel precedente capitolo di inquadramento geologico l'area in studio è interessata dall'affioramento di litotipi di natura vulcanica composti da trachiti, andesiti, rioliti, basalti ricoperti da coltri detritiche ed eluvio-colluviali.

In questa fase progettuale effettueremo una distinzione dei litotipi in funzione del grado di cementazione, tenacità e grado di addensamento, pertanto individuiamo due classi di litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche differenti:

- 1) Vulcaniti
- 2) Depositi detritici e/o eluvio-colluviali e coltri di alterazione

Le vulcaniti, quando non presenti in affioramento, si riscontrano ovunque al di sotto dei depositi sabbiosi di cui al successivo termine, al cui interno può rinvenirsi anche qualche blocco integro. Le vulcaniti, pur essendo compatte, al tetto possono comunque presentarsi leggermente alterate, talora degradate e arenitizzate per cui risulta difficile stabilire un limite netto tra i due differenti litotipi.

Le vulcaniti si presentano fortemente cementate, ma spesso fratturate; in superficie, risentendo dell'alterazione esercitata dall'azione degli agenti esogeni, appaiono degradate e fessurate. Sono interessate da superfici di frattura e di fessurazione (diaciasi), causate dai processi di raffreddamento del magma, disposte in modo abbastanza regolare e normalmente orientate in senso ortogonale tra di loro.

Dal punto di vista geotecnico sono dotate di buone caratteristiche meccaniche. In termini di resistenza alla compressione, i valori che si ottengono sul litotipo poco alterato risultano molto elevati, certamente superiori ai 50 MPa. Se invece alterati (cioè i livelli più superficiali), si raggiungono valori di resistenza compresi tra 5 e 20 MPa.

Per quanto riguarda il peso dell'unità di volume (γ) questo è compreso tra 21 e 23 KN/m³.

La resistenza al taglio è notevolmente influenzata dallo stato di fessurazione dell'ammasso lapideo, pertanto i parametri in via del tutto cautelativa possono essere così sintetizzati: $c = 0 - 40$ KPa $\varphi = 38^\circ - 45^\circ$

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

I depositi detritici sono depositi prevalentemente incoerenti di versante, localmente pseudocoerenti e a debole cementazione, composti da cumuli detritici e isolati blocchi franati localizzati in prevalenza al piede dei versanti più acclivi, immersi in una matrice ghiaiosa, sabbiosa e/o sabbio-limosa. I clasti sono eterodimensionali, a spigoli vivi, con dimensioni talora fino a 50 cm.

Le coperture terrigene eluvio-colluviali sono composte da terre scure sabbio limose e limo sabbiose. Si trova come ricolmamenti di aree depresse, conche e piccole vallecicole. Poggiano sotto forma di vere e proprie lenti sui depositi detritici o direttamente sul basamento vulcanico che, come riferito, si può presentare tenace, più o meno alterato e/o arenitizzato. Le coltri di alterazione provengono dai processi esercitati dagli agenti esogeni che tendono a disaggregare la parte più superficiale del substrato lavico. Come riferito non è facile stabilire un limite netto tra i depositi detritici e le coltri di alterazione e arenitizzazione del substrato vulcanico. Certamente i depositi detritici presentano spessori inferiori. La coltre di alterazione è costituita da sabbie addensate, più o meno ghiaiose, con presenza, in quantità variabile, di minerali argillosi derivati dalla trasformazione del feldspato potassico. Il colore è variabile dal marrone scuro al rossastro a seconda che la roccia che ha subito il processo di alterazione sia composta da termini trachitici o andesitici. Lungo alcune linee di fattura si può notare la formazione di depositi argillosi, presi in carico e depositati dalle acque di infiltrazione superficiale, che tendono ad obliterarle. Dal punto di vista granulometrico in generale si possono classificare come ghiaie con sabbie limose. Chiaramente, anche in considerazione di quanto affermato precedentemente, localmente si possono riscontrare variazioni granulometriche importanti per cui si passa a sabbie con ghiaie e con limo o limi sabbiosi e ghiaiosi.

In linea generale i parametri geotecnici da assumere sono i seguenti:

Peso dell'unità di volume (γ) questo è compreso tra 17,5 e 18,5 KN/m³

Coesione drenata $c' = 0-10$ KPa

angolo di attrito in cond. drenate $\varphi' = 30^\circ-35^\circ$

Per i calcoli geotecnici si è deciso di utilizzare un modello geotecnico che fosse cautelativo rispetto a quanto riportato in questa sede. Pertanto, alle vulcaniti sono applicati i seguenti parametri: $\varphi' = 30^\circ$; $c' = 10$ KPa; e ai depositi detritici incoerenti di versante i seguenti: $\varphi' = 25^\circ$; $c' = 3$ KPa.

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

10 FONDAZIONI DI TIPO INDIRETTO: VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI TIPO GEOTECNICO NTC2018

10.1 GENERALITA'

Nel presente paragrafo vengono riportate le teorie di calcolo e i risultati delle verifiche geotecniche della fondazione tipo. Si riporta pertanto quanto prescritto in merito dalla nuova NTC 2018.

Nelle verifiche di sicurezza devono essere presi in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo, sia a breve sia a lungo termine. Gli stati limite ultimi delle fondazioni su pali si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono la fondazione stessa.

Le verifiche delle fondazioni indirette devono essere effettuate con riferimento almeno ai seguenti stati limite, accertando che la condizione $[6.2.1 - E_D < R_D]$ sia soddisfatta per ogni stato limite considerato:

- SLU di tipo geotecnico (GEO)
 - collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi assiali;
 - collasso per carico limite della palifica nei riguardi dei carichi trasversali;
 - collasso per carico limite di sfilamento nei riguardi dei carichi assiali di trazione;
 - stabilità globale.
- SLU di tipo strutturale (STR)
 - raggiungimento della resistenza dei pali;
 - raggiungimento della resistenza della struttura di collegamento dei pali.

Nel caso specifico la NTC 17/01/2018 prescrive che:

- la verifica di stabilità globale deve essere effettuata secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1 tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni e parametri geotecnici, e nella tabella 6.8.I per le resistenze globali.
- Le rimanenti verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 2, con la combinazione (A1+M1+R3), tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I, 6.2.II, 6.4.II e 6.4.VI.

Per la nuova normativa inoltre, nelle verifiche nei confronti degli SLU di tipo strutturale, il coefficiente γ_R non deve essere tenuto in conto. Per le verifiche agli SLU di tipo strutturale si

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

rimanda alla relazione di pre-dimensionamento 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° AIU3963AI.

Si allega a seguire l'elenco delle tabelle normative citate.

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

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_Q	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 2.6.1. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G3}

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_r	γ_γ	1,0	1,0

Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali

Resistenza	Simbolo	Pali infissi (R3)	Pali trivellati (R3)	Pali ad elica continua (R3)
Base	γ_b	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,15	1,15	1,15
Totale ⁽¹⁾	γ	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	γ_{dt}	1,25	1,25	1,25

⁽¹⁾ da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Tab. 6.4.VI – Coefficiente parziale γ_T per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali

Coefficiente parziale (R3)
$\gamma_T = 1,3$

Tab. 6.8.I – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo

COEFFICIENTE	R2
γ_R	1,1

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

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

(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 Q_P e Q_L sono calcolate in modo indipendente fra loro.

La portanza limite di ciascun palo è calcolata in base alle caratteristiche meccaniche dei terreni attraversati, nelle diverse stratigrafie, dal palo.

Secondo quanto previsto al punto 6.4.3.1.1 del D.M. 17/01/2018, a partire dal valore così calcolato della portanza Q_T si ricava il valore caratteristico, dividendolo 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:

Tab. 6.4.IV - Fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

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:

Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali

Resistenza	Simbolo	Pali infissi	Pali trivellati	Pali ad elica continua
	γ_R	(R3)	(R3)	(R3)
Base	γ_b	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,15	1,15	1,15
Totale ^{*)}	γ	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,25	1,25	1,25

^{*)} da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

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

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

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:

$$Q_p = q_b \cdot A_b$$

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

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

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.

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

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 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 NULVI - PLOAGHE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	32
PLO	ENG	REL	0036	00		

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 Infilso)
Mat	Indice materiale tipologia palo
Pt	Pressione quota testa palo, espressa in [kg/cm ²]

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/cm ²]
ca	Adesione del terreno espressa in [kg/cm ²]
ti	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]

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

Descrizione	γ	γ_{sat}	Parametri	ϕ	δ	c
	[kg/mc]	[kg/mc]		[°]	[°]	[kg/cm ²]
Depositi detritici incoerenti di versante, pseudocoerenti e a debole cementazione.	1900,0	2000,0	Caratteristici Minimi Medi	25.00 25.00 23.00	16.0 16.0 15.00	10,000 10,000 13.000
Vulcaniti affioranti o poco profonde	1900,0	2000,0	Caratteristici Minimi Medi	30.00 30.00 30.00	20.00 20.00 20.00	3,000 3,000 3,000

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	Z2	Z3	Terreno	Ks
	[m]	[m]	[m]		
1	-10,0	-10,0	-10,0	Piroclastiti alterate	0.400
2	-30,0	-30,0	-30,0	Piroclastiti inalterate	0.400

Costante di Winkler

Direzione	Simbolo	Kw
		[Kg/cm ² /cm]
Verticale	Kwv	0.000
Orizzontale	Kwo	Calcolata dal programma (Kwo=Kwv*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
Ps	Punto inferiore sinistro del carico espresso in [m]

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

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 NULVI - PLOAGHE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	35
PLO	ENG	REL	0036	00		

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

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

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

Condizione n° 5 - Condizione 5 - SLE CH

Carichi concentrati

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

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

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

Condizione n° 7 - Condizione 7-RICOPRIMENTO

Carichi distribuiti

Ic	P _{is}	P _{sd}	Q _{z1}	Q _{z2}	Q _{z3}	Q _{z4}	Q _x	Q _y
	[m]	[m]	[kg/mq]	[kg/mq]	[kg/mq]	[kg/mq]	[kg/mq]	[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	$\gamma_{Q2,fav}$	1.00	1.00
Variabili traffico	Sfavorevole	$\gamma_{Q2,sfav}$	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	$\tan \phi'_k$	γ_ϕ	1.00	1.25
Coesione efficace	c'_k	γ_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

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

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

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

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

Condizione	CP
Condizione 4 - IEC Fz Max	1.30

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

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 NULVI - PLOAGHE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	40
PLO	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	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)

Palo n° 2

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

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

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

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

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

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

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

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

n°	Y	Ne	Nr	Te	Tr	Me	Mr
	[m]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kgm]	[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	Pd	FSv	T	Td	FSo
		[kg]	[kg]		[kg]	[kg]	
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	Pl
						[kg]	[kg]
1	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337 532337	212407 212407
2	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337 532337	212407 212407
3	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337 532337	212407 212407
4	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337 532337	212407 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 NULVI - PLOAGHE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	45
PLO	ENG	REL	0036	00		

n°	Oggetto	Nc	N'c	Nq	N'q	Pp	PI
						[kg]	[kg]
						532337	212407
6	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337	212407
						532337	212407
7	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337	212407
						532337	212407
8	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337	212407
						532337	212407
9	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337	212407
						532337	212407
10	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337	212407
						532337	212407
11	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337	212407
						532337	212407
12	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337	212407
						532337	212407
13	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337	212407
						532337	212407
14	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337	212407
						532337	212407
15	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337	212407
						532337	212407
16	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337	212407
						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	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO NULVI - PLOAGHE RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	46
PLO	ENG	REL	0036	00		

11 CONCLUSIONI

Il progetto definitivo di cui è stato effettuato lo studio strutturale e geotecnico consiste nello smantellamento dei n°51 aerogeneratori esistenti ed attualmente in esercizio del parco eolico ubicato nei Comuni di Nulvi e Ploaghe, entrambi siti in Provincia di Sassari e nella successiva realizzazione di un impianto eolico composto da n°27 aerogeneratori, di cui 9 nel comune di Nulvi e 18 aerogeneratori nel comune di Ploaghe. Tutti gli aerogeneratori avranno potenza massima di 4.5 MW con potenza massima complessiva pari a 121.5 MW.

Alla luce dello studio geologico che è stato condotto e delle risultanze delle prove di laboratorio e delle prove condotte in sito all'epoca della costruzione del parco eolico esistente, è stato possibile costruire un modello geotecnico del terreno. Sulla base di tale modello sono state realizzate le verifiche geotecniche delle fondazioni di un aerogeneratore (utilizzando come modello un aerogeneratore tipo SG 145). 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 colpetto. Quanto sopra descritto garantisce la fattibilità geotecnico-strutturale dell'impianto.