

REGIONE SICILIA
Provincia di Trapani
COMUNI DI SALEMI E CASTELVETRANO

PROGETTO

POTENZIAMENTO PARCO EOLICO SALEMI – CASTELVETRANO



PROGETTO DEFINITIVO

COMMITTENTE



PROGETTISTA:



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



OGGETTO DELL'ELABORATO:

RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA

CODICE PROGETTISTA	DATA	SCALA	FOGLIO	FORMATO	CODICE DOCUMENTO				
					IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.
	20/07/2018	/	1 di 52	A4	SAL	ENG	REL	0036	00

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

ERG Wind Sicilia 6 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 SALEMI - CASTELVETRANO RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	2
SAL	ENG	REL	0036	00		

Storia delle revisioni del documento

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	20/07/2018	Prima emissione	EG	MG	DG

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO SALEMI - CASTELVETRANO RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	3
SAL	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	13
7	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	16
8	ANALISI SISMICA DELLA ZONA DI INTERESSE (SALEMI E CASTELVETRANO)	18
9	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	25
9.1	INDAGINI GEOTECNICHE E MODELLO GEOTECNICO AREA DI CASTELVETRANO	25
9.2	INDAGINI GEOTECNICHE E MODELLO GEOTECNICO AREA DI SALEMI	29
10	FONDAZIONI DI TIPO INDIRETTO: VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI TIPO GEOTECNICO NTC2018	32
10.1	GENERALITA'	32
10.2	CARICO LIMITE DEI PALI DI FONDAZIONE GENERALITA'	34
10.3	CALCOLO TENSIONI E CEDIMENTI	36
10.4	CAPACITÀ PORTANTE PER CARICO ORIZZONTALE.....	37
10.5	TABULATO DI CALCOLO VERIFICHE GEOTECNICHE.....	38
11	CONCLUSIONI	52

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO SALEMI - CASTELVETRANO RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	4
SAL	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 (allo stato composto da n. 30 aerogeneratori, ciascuno di potenza nominale pari a 0,85 MW, per una potenza complessiva di 25,5 MW), ubicato nei Comuni di Salemi (10 aerogeneratori da 0.85 MW) e Castelvetroano (20 aerogeneratori da 0.85 MW) in Provincia di Trapani.

L'impianto esistente è attualmente in esercizio, giuste Concessioni edilizie rilasciate dai Comuni predetti.

Il progetto definitivo consiste nella sostituzione di 30 aerogeneratori da 0.85 MW con 12 aerogeneratori da 4.5 MW nel comune di Castelvetroano e 6 aerogeneratori da 3.9 MW nel comune di Salemi per una potenza massima installabile di 77.4 MW.

L'installazione del più moderno tipo di generatore comporterà la riduzione del numero di torri eoliche, dalle 30 esistenti alle 18 proposte, riducendo l'effetto selva e dunque l'impatto visivo.

Inoltre, l'incremento di efficienza delle turbine previste rispetto a quelle in esercizio, porterà ad un ampliamento del tempo di generazione ed un aumento della produzione unitaria media.

La produzione di energia sarà incrementata di circa quattro volte quella attuale, e con la medesima proporzione avverrà l'abbattimento di produzione di CO2 equivalente.

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 relative alla realizzazione delle fondazioni dell'aerogeneratore.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO SALEMI - CASTELVETRANO RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	5
SAL	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. Per entrambi i modelli di aerogeneratori H=180m e H=185m, si propone in questa fase, la medesima tipologia di fondazione 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.

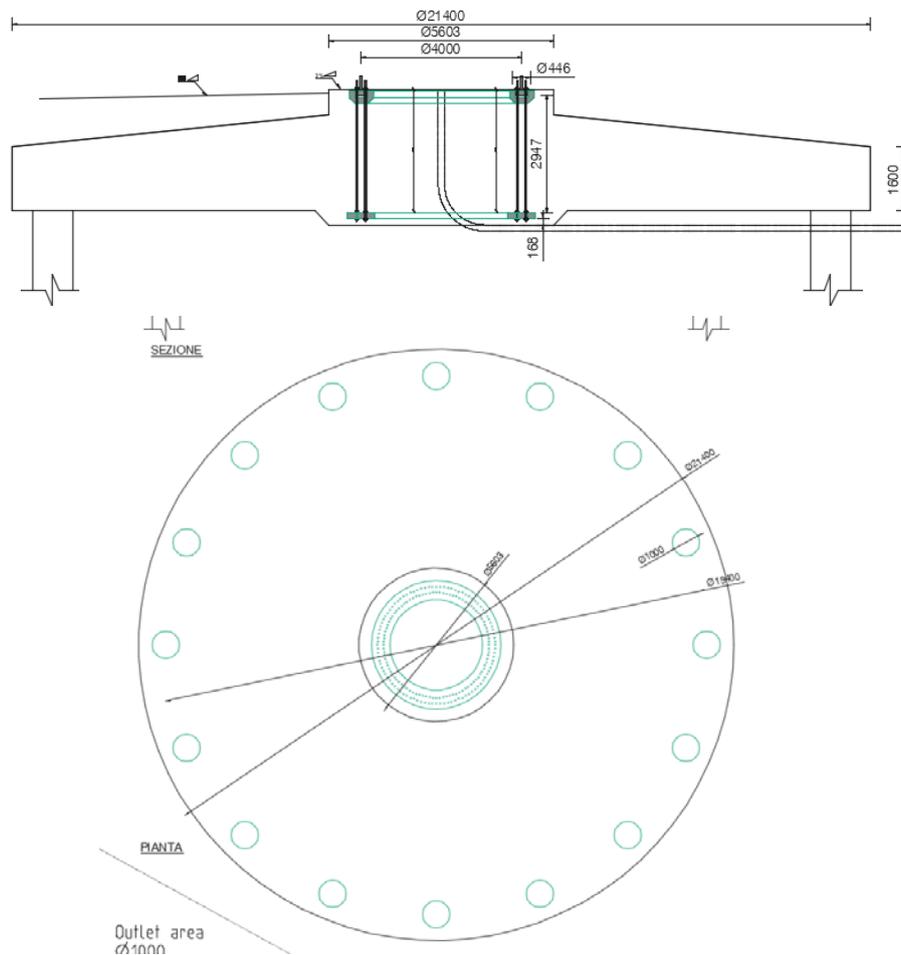
COORDINATE ASSOLUTE ASSI AEROGENERATORI NEL SISTEMA UTM 33 WGS84			
WTG	E	N	MODEL
R-SA01	301018	4190912	H=185
R-SA02	301446	4190978	H=185
R-SA03	301880	4190906	H=185
R-SA04	302307	4190814	H=185
R-SA05	309256	4191832	H=185
R-SA06	309465	4192182	H=185
R-CV01	304998	4177033	H=180
R-CV02	305400	4177267	H=180
R-CV03	305878	4177769	H=180
R-CV04	305974	4178207	H=180
R-CV05	306752	4178248	H=180
R-CV06	304699	4177978	H=180
R-CV07	305156	4178189	H=180
R-CV08	305533	4178553	H=180
R-CV09	305768	4178989	H=180
R-CV10	306200	4179094	H=180
R-CV11	306570	4179351	H=180
R-CV12	307089	4178952	H=180

La fondazione indiretta sarà costituita da un plinto circolare, avente diametro pari a 21,40 m, posto su 16 pali di diametro Φ 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

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

aggiungono altri 65 cm di colpetto:



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 SALEMI - CASTELVETRANO RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	7
SAL	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 SALEMI - CASTELVETRANO RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	8
SAL	ENG	REL	0036	00		

4 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il nuovo impianto insisterà nei territori dei Comuni di Salemi e Castelvetro. In particolare,

- o nel Comune di Salemi saranno installati sei nuovi aerogeneratori da 3.9 MW, aventi le seguenti sigle, R-SA01, R-SA02 R-SAR03, R-SA04, R-SA05 e R-SA06;
- o nel Comune di Castelvetro saranno installati dodici nuovi aerogeneratori da 4.5 MW, aventi le seguenti sigle, R-CV01, R-CV02, R-CV03, R-CV04, R-CV05, R-CV06, R-CV07, R-CV08, R-CV09, R-CV10, R-CV11 e R-CV12.

I caviddotti interesseranno anche il comune di Vita.

Dal punto di vista cartografico, le opere in progetto ricadono in agro dei Comuni di Castelvetro, Salemi e Vita, in provincia di Trapani, all'interno delle seguenti cartografie e Fogli di Mappa:

- o Fogli I.G.M. in scala 1:25.000, di cui alle seguenti codifiche "257_I_SE-Calatafimi; 257_I_SO-Vita; 257_II_NE-S. Ninfa, 257_II_NO-Salemi, 257_II_SE-Partanna, 257_II_SO-Castelvetro".
- o Carta tecnica regionale CTR, scala 1:10.000, fogli n° 606090, n° 606100, n°606110, n°606130, n°606140, n°606150, n°618010, n°618020, n°618030, n°618050, n°618070.
- o Fogli di mappa catastale del Comune di Salemi n°42, 43, 44, 45, 31, 25, 32, 33, 34, 26, 20, 35, 36, 51, 52, 50, 65, 85, 86, 87, 88, 67, 89, 68, 54, 37, 105, 103, 104, 122, 138, 121, 120, 135, 119, 134, 135, 152, 153, 161 e 160.
- o Foglio di mappa catastale del Comune di Vita n° 8.
- o Fogli di mappa catastale del Comune di Castelvetro n° 4, 5, 7, 3 e 11.
- o Fogli di mappa catastale del Comune di S. Ninfa n° 50, 52 e 53.

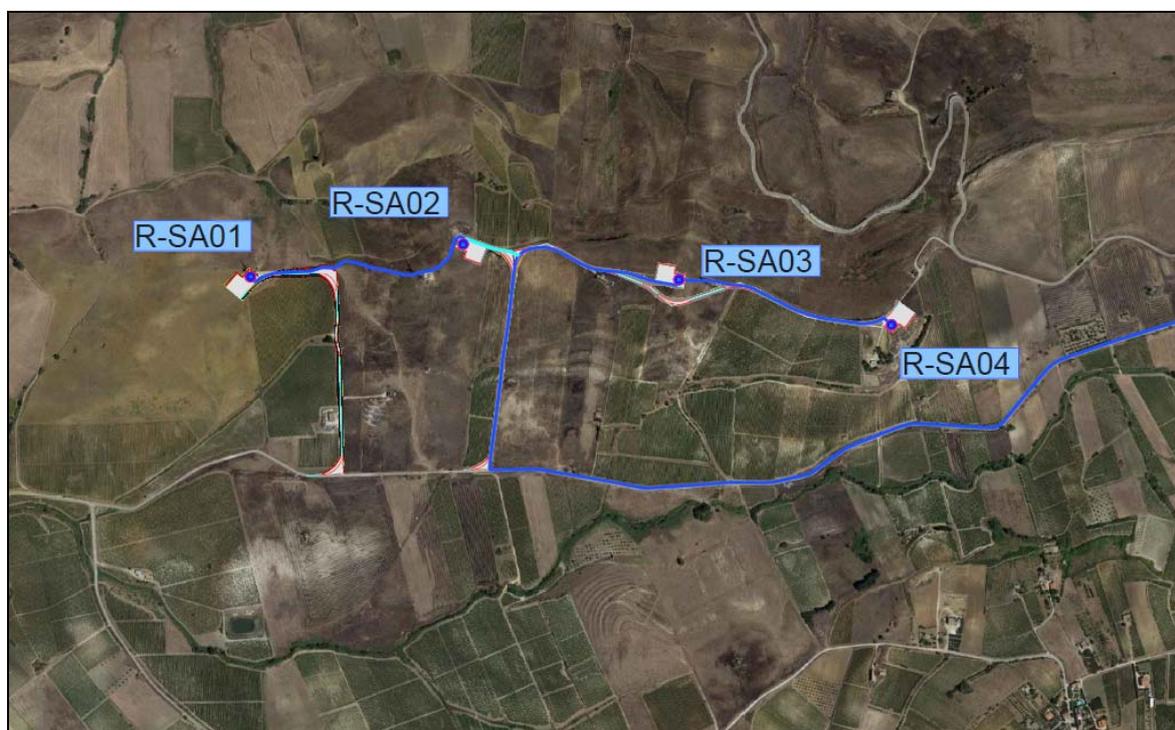
CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO SALEMI - CASTELVETRANO RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	9
SAL	ENG	REL	0036	00		

5 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area in esame ricade nella provincia di Trapani, all'interno del bacino idrografico del Fiume Arena.

Il sito è inquadrato nella Cartografia Tecnica Regionale nei fogli n° 606100-606110-606130-606140-606150-606160-618060 e nelle tavolette IGM: n°257 I quadrante SE "Calatafimi"; n°257 I quadrante SO "Vita"; n°257 II quadrante SO "Castelvetroano".

Nell'ortofoto di seguito rappresentata abbiamo indicato la disposizione delle aree del parco eolico.



Inquadramento impianto Salemi Ovest su ortofoto

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



Inquadramento impianto Salemi Est su ortofoto



Inquadramento impianto Castelvetrano su ortofoto

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

L'assetto geomorfologico è in relazione con i litotipi presenti, che offrono una diversa resistenza alle azioni di modellamento da parte degli agenti erosivi in base alla loro natura litologica. Il territorio in esame è caratterizzato dalla presenza delle litologie appartenenti al Complesso calcareo – gessoso rappresentato dai Calcari della “Formazione Baucina“, dai gessi e dalle gessareniti del Messiniano superiore, e dai calcari e calcari marnosi teneri a Globigerine “Trubi”; Complesso argilloso che caratterizza la zona meridionale delle colline di Salemi fino ai margini del Lago Trinità e Complesso terrigeno rappresentato dai depositi alluvionali quaternari distribuiti lungo gli assi fluviali di ordine gerarchico maggiore. Il paesaggio in generale passa da collinare a montuoso-collinare. In particolare, nelle aree in cui sono presenti depositi arenaceo sabbiosi o arenaceo-argillosi, i processi erosivi danno luogo a colline arrotondate alla sommità o spianate in dipendenza della giacitura degli strati, delimitate da versanti mediamente acclivi, che si contrappongono ad una morfologia più aspra, con locali rotture di pendenza in corrispondenza degli affioramenti lapidei, conglomeratici e gessosi. Le incisioni vallive in corrispondenza dei depositi arenaceo sabbiosi o arenaceo-argillosi, sono in genere molto marcate. Il parco si divide in tre aree ricadenti rispettivamente nel territorio di Castelvetro, e nel territorio di Salemi.

- **Area ricadente nel Territorio di Castelvetro.** Costituisce la parte Sud del Parco e comprende 12 aerogeneratori, denominati progressivamente da CV01 ad CV12. Le torri eoliche, sono ubicate in C.da Montagna, a circa 4,00 Km in direzione Nord rispetto all'abitato di Castelvetro e a 2,5-3,0 Km circa in direzione Est dal Lago Trinità, in corrispondenza della Dorsale “Timpone del Corvo”, che si allunga in direzione SW-NE, lungo un'area le cui quote sono comprese tra 200 e 300 m s.m. L'area è di bassa collina, la cui regolarità morfologica è interrotta da alcuni Timponi in corrispondenza degli affioramenti calcarenitici o calcareo marnosi. La superficie è mossa da impluvi incisi da solchi di ruscellamento concentrato in corrispondenza dei gessi, che terminano all'altezza del Lago Trinità sul Fiume Delia.
- **Aree ricadenti nel Territorio di Salemi.** Comprendono la parte Nord del Parco e più precisamente Nord Ovest e Nord Est. In esse ricadono 6 aerogeneratori, denominati progressivamente da SA01 a SA6. Le torri eoliche SA01 sino a SA04 sono ubicate in corrispondenza di una dorsale ad Ovest rispetto l'abitato di Salemi, da cui dista 5,00 Km circa in linea d'aria. La dorsale si allunga in direzione SE-NW e comprende un'area le cui quote vanno da 300 a circa 450 m s.m. L'area è caratterizzata da un paesaggio di tipo collinare dove alcune porzioni sono caratterizzate da versanti prevalentemente arenico-conglomeratici. L'area è percorsa da fossi di ruscellamento concentrato di carattere prettamente torrentizio confluenti

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

a Nord nel F.so della Collura. Le torri eoliche SA05 e SA06, pur ricadendo nel territorio comunale di Salemi sono ubicate a circa 1,00 Km a SE dall'abitato di Vita. L'area è caratterizzata da affioramenti pelitico-arenacei, marnosi, calcareo-marnosi (Trubi) e lembi gessosi. Il paesaggio è di media collina con quote dai 400 m ai 520 m s.l.m. (M. Pietralunga). In corrispondenza degli affioramenti pelitico-arenacei sono presenti solchi di ruscellamento e modeste linee d'impluvio, mentre i complessi gessosi sono stati interessati da fenomeni carsici, che hanno dato luogo a doline.

Date le caratteristiche delle rocce che compongono i rilievi sui quali ricade il parco eolico in esame, la stabilità risulta buona in relazione anche alla favorevole giacitura dei terreni presenti, nonché alla natura degli stessi ed alle loro caratteristiche fisico-meccaniche. A tal proposito non si ritiene di eseguire verifiche di stabilità in quanto le caratteristiche geotecniche dei terreni che costituiscono l'area sono tali da non consentire l'instaurarsi di fenomeni franosi, per cui da un'eventuale verifica di stabilità del pendio si registrerebbero sicuramente valori del coefficiente di sicurezza superiori ai minimi previsti dalla legge.

Il reticolo idrografico è di tipo dendritico, rappresentato dal Fiume Arena che costituisce il corso d'acqua principale, i cui affluenti sono degli impluvi aventi regime prevalentemente torrentizio con piene durante la precipitazione di piogge intense ed asciutti d'estate: il loro potere erosivo è fortemente variabile nel corso dell'anno. Durante il periodo di piena la fase erosiva, sarà prevalente nelle zone di massima pendenza, ma sarà presente con minore intensità anche nelle zone a pendenza modesta, mentre durante i periodi di magra non si avrà alcun tipo di attività.

Dall'esame delle carte dei dissesti, della pericolosità e del rischio geomorfologico edite nell'ambito del P.A.I., si evince che nell'area studiata non sono presenti dissesti, né situazioni di rischio geomorfologico, ciò in relazione alla natura delle litologie affioranti.

La parte del territorio nella quale sono state ubicate le torri eoliche, risulta quindi stabile a causa dell'assenza di processi morfodinamici attivi e/o potenziali come confermato dall'esame delle carte del PAI che escludono i siti da criticità di tipo geomorfologico.

Nelle tavole 3 e 4, allegate alla presente relazione, abbiamo predisposto le carte dei dissesti e delle pericolosità/rischio geomorfologico sulle quali abbiamo sovrapposto il layout dell'impianto eolico in progetto. Le suddette tavole sono state desunte consultando la cartografia del P.A.I. della Regione Sicilia, relativa al Bacino Idrografico del Fiume Birgi -051 e del Fiume Arena -054, utilizzando gli shapefile disponibili sul sito del Sistema Informativo Territoriale della Regione Sicilia.

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

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 dei terreni presenti nell'area studiata.

Le formazioni geologiche che affiorano nell'area in studio (si veda la carta geologica allegata-Tavola 1), procedendo da quelle di deposizione più recente verso quelle più antiche, sono le seguenti:

- Depositi alluvionali di fondovalle (Pleistocene superiore - Olocene)
- Depositi colluviali (Pleistocene superiore - Olocene)
- Depositi terrigeni pelitico-arenacei ed arenacei stratificati afferenti alla formazione marnoso arenacea della Valle del Belice (Pliocene medio-superiore)
- Calcari e marne biancastre "Trubi" (Pliocene inferiore)
- Gessi selenitici "Gessi di Pasquasia" (Miocene superiore: Messiniano)
- Formazione calcareo-arenitica di Baucina (Miocene superiore: Messiniano inferiore)
- Argille sabbiose, sabbie, conglomerati e arenarie afferenti alla formazione Terravecchia (Miocene superiore: Tortoniano sup.- Messiniano inf.)

Depositi alluvionali

Si riscontrano all'interno degli alvei fluviali e all'interno dei solchi torrentizi di maggiore entità. Tali depositi sono prevalentemente incoerenti, costituiti da limi, limi sabbiosi, sabbie, sabbie limose e ghiaie con giacitura sub orizzontale ed assetto lenticolare embriciato.

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

Le ghiaie sono caratterizzate da clasti arrotondati immersi in una matrice sabbioso-limosa.

Il grado di arrotondamento dei clasti è variabile a seconda del materiale di provenienza, la composizione litologica è anch'essa diversa in funzione delle formazioni litologiche affioranti nel bacino, il deposito è privo di cementazione.

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

Depositi colluviali

Sono costituiti da sabbie fini e silt bruni o rossastri con ciottoli poco arrotondati, centimetrici, sparsi a sciame o concentrati in livelli lenticolari. Gli spessori maggiori si riscontrano nei tratti terminali di conoidi, al piede dei versanti, nelle aree di fondo valle, oppure in corrispondenza delle antiche depressioni vallive, dove sono interdigitati con i depositi alluvionali.

Nell'area in studio sono stati riscontrati nel territorio di comunale di Castelvetro, in aree di fondovalle, ad est del parco in esame.

Formazione Marnoso Arenacea della Valle del Belice

E' composta da sei unità riconosciute nell'ordine in cui si succedono stratigraficamente. Queste sono costituite da una sequenza deposizionale denominata MAB inferiore alla quale appartengono le unità da **mab1** sino a **mab5**. Alla MAB superiore appartiene l'unità **mab6**.

Calcari marnosi e marne – “Trubi”

I “Trubi” con la loro deposizione decretarono la fine della crisi di salinità che investì il Mediterraneo nel Messiniano. Si tratta infatti di depositi marini profondi costituiti da marne pelagiche bianche di colore biancastro o beige-verdastro, che in funzione del contenuto di carbonato di calcio possono essere marne calcaree e marne argillose, con strati a maggiore percentuale di calcare o a maggiore percentuale di argilla.

Gessi selenitici

Fanno parte dei termini litologici costituenti la formazione gessoso-solfifera che affiora largamente nella Sicilia centrale e meridionale. Tale formazione si è messa in posto durante la crisi di salinità che ha interessato in maniera diffusa l'area mediterranea nel Messiniano.

I Gessi si presentano in ammassi rocciosi oppure stratificati in grossi banchi, costituiti da un aggregato di macrocristalli generalmente geminati a ferro di lancia. Localmente i cristalli di gesso sono minuti a causa della presenza di livelli argillosi più o meno sottili che hanno inibito o rallentato la cristallizzazione dei solfati di calcio. Si presentano come rocce lapidee dotate di una discreta tenacità.

Formazione calcareo-arenitica di Baucina

In discordanza con i gessi si trova una sequenza composta da sabbie e sabbie argillose passanti verso l'alto a marne giallastre, calcari marnosi e calcari organogeni più o meno cementati a grana fine, di colore chiaro. Si tratta di depositi piuttosto caotici che affiorano largamente nelle aree in studio.

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

Si sono depositato in ambiente di mare basso, sono infatti di natura detritico-organogena, in continuità di sedimentazione con la formazione Terravecchia.

Il periodo di deposizione si colloca nel Messiniano inferiore.

Formazione Terravecchia

La Formazione Terravecchia è stata introdotta da Schmidt di Friedberg nel 1962 e prende il nome dalla località tipo: il fianco settentrionale di Cozzo Terravecchia, circa 2 km a nord di S. Caterina Villaerosa. I depositi, di età compresa tra il Tortoniano sup. ed il Messiniano inf. (Miocene superiore), si sono depositi in un ambiente lagunare-deltizio e pertanto sono caratterizzati da una forte eteropia di facies sia laterale che verticale. Tale formazione è costituita in basso da una sequenza conglomeratica più o meno potente, passante verso l'alto a sabbie, arenarie, molasse calcaree, molasse dolomitiche, quindi ad argille ed argille marnose, spesso siltose, ricche di livelli sabbiosi di potenza variabile, talora anche con lenti conglomeratiche. Tali sedimenti si presentano sotto due litofacies tipiche: litofacies sabbioso-arenacea-conglomeratica e litofacies argilloso-marnosa-sabbiosa, nell'area in esame affiora soltanto la prima.

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

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO SALEMI - CASTELVETRANO RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	16
SAL	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; infatti, la circolazione idrica sotterranea presenta aspetti e caratteristiche differenti in relazione soprattutto ai litotipi affioranti, ma anche al loro particolare assetto.

1) Rocce permeabili per porosità

Appartengono a questa categoria i depositi alluvionali e colluviali. I terreni di tale complesso idrogeologico presentano una permeabilità variabile da medio-bassa ad alta, in funzione del prevalere della classe granulometrica più minuta su quella grossolana. Generalmente i pori intergranulari dei depositi clastici aventi una scarsa matrice limosa tendono a saturarsi durante la circolazione delle acque di infiltrazione consentendo la formazione di un acquifero. Tuttavia, quando la componente pelitica prevale in percentuale su quella sabbio-ghiaiosa, la permeabilità tende a diminuire perché i pori si occludono rendendo difficoltosa la circolazione idrica.

2) Rocce permeabili per porosità e fratturazione

Appartengono a questa categoria le arenarie, le sabbie, le sabbie limose, i limi sabbiosi e i conglomerati afferenti alla formazione Terravecchia. Appartengono inoltre i litotipi arenitici afferenti alla formazione marnoso-arenacea della Valle del Belice e le calcareniti bioclastiche, i calcari organogeni e le sabbie e marne giallastre afferenti alla Fm. Calcarentico-arenacea di Baucina. Le caratteristiche idrogeologiche dei termini presenti all'interno di tale formazione sono diversificate in funzione delle caratteristiche intrinseche del litotipo.

Possiamo così schematizzare in breve:

- dove prevale la componente sabbiosa, la permeabilità è del tipo primario e la porosità risulta essere medio-elevata, mentre si riduce a bassa con la prevalenza della frazione limosa e l'assenza di ghiaie;
- dove prevale la componente argillosa su quella sabbio-limosa si ha una permeabilità primaria con porosità estremamente ridotta;
- dove prevale la componente arenaceo-conglomeratica si ha una permeabilità primaria elevata per porosità cui si aggiunge talvolta un altrettanto elevata permeabilità secondaria per fratturazione;
- dove si ha commistione di facies, la permeabilità risulta di natura complessa per la forte eterogeneità dei termini litologici. I livelli argillosi contenuti nella coltre sabbio-limosa costituiscono soltanto dei limitati orizzonti impermeabili privi di continuità laterale e non sono quindi in grado di modificare il comportamento permeabile della formazione litologica. Al

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

loro interno si possono verificare discreti accumuli idrici tamponati alla base dal complesso argilloso. Così non è raro riscontrare nel territorio, soprattutto nel periodo invernale, modeste sorgenti di contatto poste lungo i versanti in prossimità del cambio litologico tra i conglomerati ed arenarie e i depositi ad alto contenuto in argille.

3) Rocce permeabili per fratturazione e carsismo

Appartengono a questa categoria i gessi selenitici. Si tratta di rocce composte da CaSO_4 facilmente aggredibili da processi di dissoluzione ad opera delle acque di infiltrazione che danno origine a fenomeni di tipo carsico. Pertanto, si presentano spesso interessati da cavitazioni, fenomeni carsici quali le doline, cavità di varie dimensioni che creano una permeabilità notevole per l'appunto definita per "carsismo". Inoltre, la permeabilità viene accentuata dalle fratture presenti negli ammassi litoidi causate dai fenomeni tettonici che si sono avvicinati nel Pliocene e Pleistocene.

4) Rocce da poco a mediamente permeabili per fessurazione

Appartengono a questa categoria i calcari marnosi e marne noti in letteratura come "Trubi". Tali litotipi presentano una granulometria molto fine ed appaiono compatti per cui la permeabilità primaria risulta bassa a causa delle ridotte dimensioni dei pori interstiziali. Tuttavia, a causa dei fenomeni tettonici risultano interessati da una fitta rete di fessure (seppure di modeste dimensioni) che accentuano la permeabilità secondaria favorendo una lenta infiltrazione delle acque di precipitazione. A seguito delle considerazioni effettuate si deduce che tali litotipi presentano una modesta permeabilità per fessurazione.

5) Rocce da poco permeabili ad impermeabili

Appartengono a questa categoria i depositi prevalentemente argillosi ed argillo-sabbiosi afferenti alla facies pelitica della Formazione Terravecchia.

Tali litotipi presentano una permeabilità così bassa da essere, ai fini del presente studio, considerati impermeabili. Tuttavia, all'interno della coltre superficiale piuttosto alterata e degradata non è raro rinvenire modesti adunamenti idrici superficiali, così come all'interno dei rari livelli arenitici che essendo dotati di una elevata porosità possono essere sede di locali falde acquifere confinate. Le indagini geognostiche realizzate nell'ambito del progetto di costruzione dell'esistente parco eolico (anno 2006), non hanno riscontrato all'interno di tali litotipi, entro una profondità di 20 metri dal piano di campagna, la presenza di adunamenti idrici significativi. Soltanto all'interno dei depositi calcarei e calcarenitici più profondi, afferenti alla formazione Baucina, nel corso dei sondaggi sono state individuati modesti livelli idrici.

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

8 ANALISI SISMICA DELLA ZONA DI INTERESSE (SALEMI E CASTELVETRANO)

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 SALEMI - CASTELVETRANO RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	19
SAL	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.

Data le tipologie d'opere, l'azione sismica per il dimensionamento strutturale delle opere è stata valutata tenendo conto dei seguenti parametri:

Sito in esame.

- latitudine: 37,731331
- longitudine: 12,808144

Siti di riferimento

- Sito 1 ID: 46942 Lat: 37,7327 Lon: 12,7976 Distanza: 936,358
- Sito 2 ID: 46943 Lat: 37,7331 Lon: 12,8607 Distanza: 4621,474
- Sito 3 ID: 47165 Lat: 37,6831 Lon: 12,8611 Distanza: 7106,074
- Sito 4 ID: 47164 Lat: 37,6827 Lon: 12,7981 Distanza: 5483,199

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);

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).

Si riportano di seguito gli output ottenuti tramite l'applicazione Excel di GeoStru in uno con alcuni riferimenti normativi, mediante i quali si sono ottenuti i parametri per la realizzazione degli spettri di risposta e per la definizione dei coefficienti di progetto.

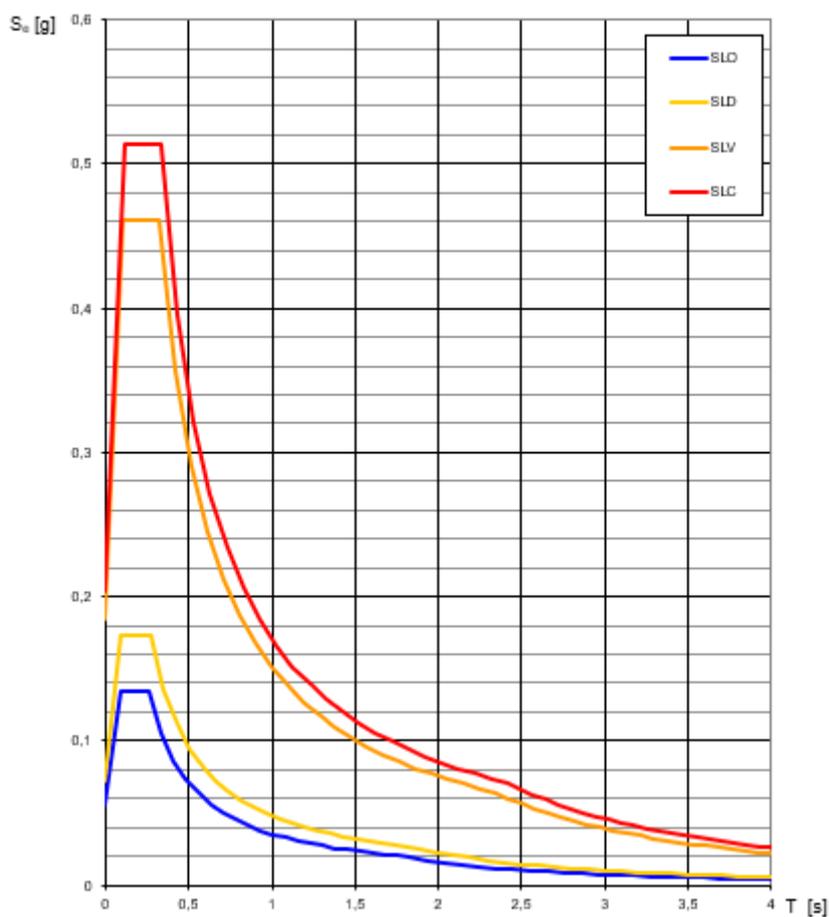
L'analisi sismica per il dimensionamento delle strutture è stata valutata in corrispondenza degli aerogeneratori prossimi ai due comuni sui quali si estende l'impianto eolico di interesse. Per tutti e due i casi sono stati condotti gli studi finalizzati all'ottenimento dei parametri sismici, degli spettri di risposta elastici e degli spettri di risposta di progetto. Non sono state osservate considerevoli differenze in tali parametri e pertanto con finalità progettuali si riporta lo studio effettuato sul comune di Castelvetro per il quale sono stati ottenuti i coefficienti sismici più elevati.

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

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,026	2,378	0,190
50	0,035	2,383	0,213
72	0,043	2,409	0,242
101	0,051	2,396	0,258
140	0,060	2,425	0,266
201	0,072	2,416	0,276
475	0,106	2,416	0,296
975	0,144	2,453	0,313
2475	0,204	2,517	0,332

Individuazione dei parametri sismici: definizione del sito, parametri per la costruzione dello spettro di risposta di progetto, caratteristiche del suolo e relative amplificazioni stratigrafiche e topografiche

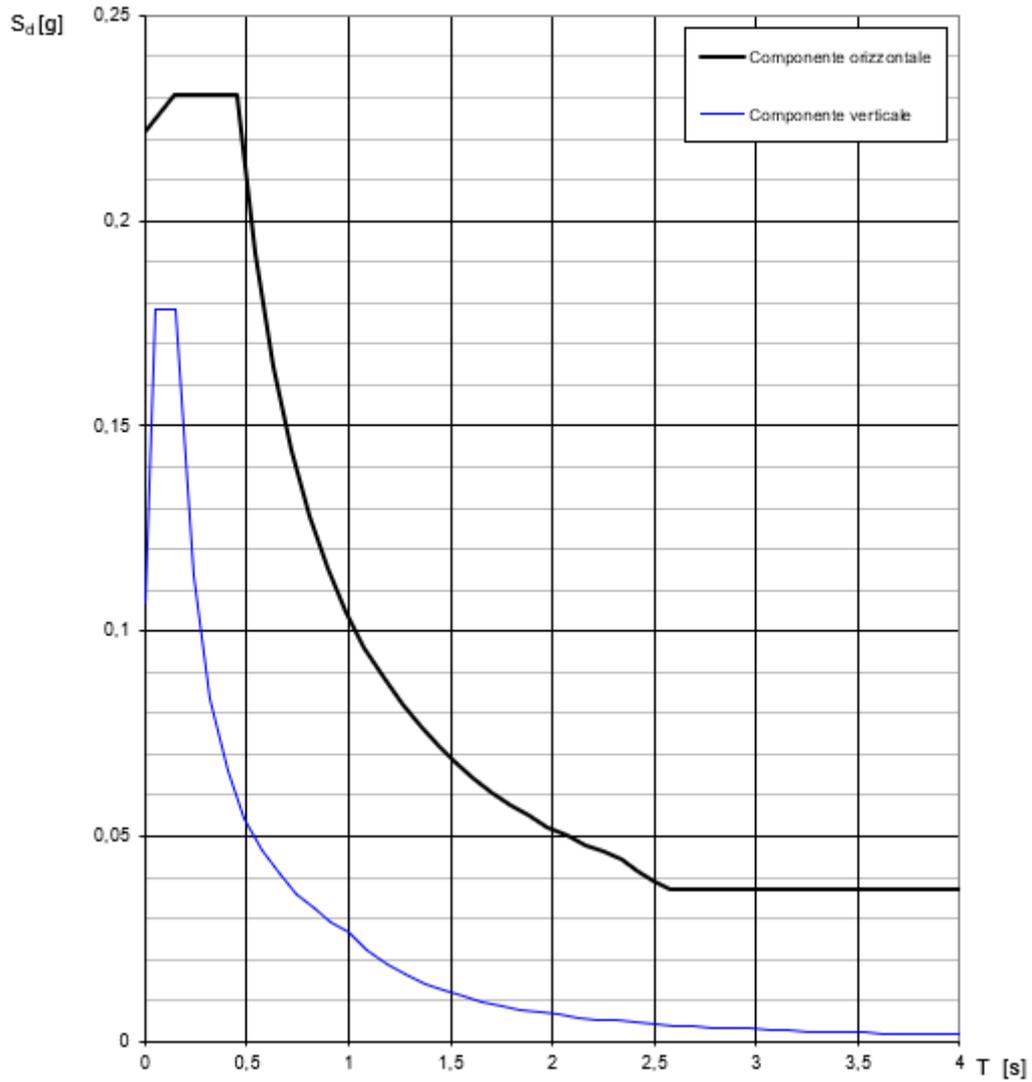
Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



Spettro di risposta elastico per i differenti stati limite previsti da normativa

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

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato li SLV



Spettri di risposta di progetto per lo stato limite ultimo SLV, componenti verticale ed orizzontale

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

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato linSLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{ov}	0,107 g
S_s	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_v	1,449
S	1,000
η	0,667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T$$

$$\eta = 1/q$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_{ov}}{g} \right)^{0,5}$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$0 \leq T < T_B \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,107
$T_B \leftarrow$	0,050	0,178
$T_C \leftarrow$	0,150	0,178
	0,235	0,114
	0,320	0,084
	0,405	0,066
	0,490	0,055
	0,575	0,047
	0,660	0,041
	0,745	0,036
	0,830	0,032
	0,915	0,029
$T_D \leftarrow$	1,000	0,027
	1,094	0,022
	1,188	0,019
	1,281	0,016
	1,375	0,014
	1,469	0,012
	1,563	0,011
	1,656	0,010
	1,750	0,009
	1,844	0,008
	1,938	0,007
	2,031	0,006
	2,125	0,006
	2,219	0,005
	2,313	0,005
	2,406	0,005
	2,500	0,004
	2,594	0,004
	2,688	0,004
	2,781	0,003
	2,875	0,003
	2,969	0,003
	3,063	0,003
	3,156	0,003
	3,250	0,003
	3,344	0,002
	3,438	0,002
	3,531	0,002
	3,625	0,002
	3,719	0,002
	3,813	0,002
	3,906	0,002
	4,000	0,002

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

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

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,185 g
F_0	2,499
T_c	0,327 s
S_s	1,200
C_c	1,376
S_T	1,000
q	2,400

Parametri dipendenti

S	1,200
η	0,417
T_B	0,150 s
T_C	0,449 s
T_D	2,338 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T$$

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q$$

$$T_B = T_c / 3$$

$$T_C = C_c \cdot T_c$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$0 \leq T < T_B \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_c(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura.]

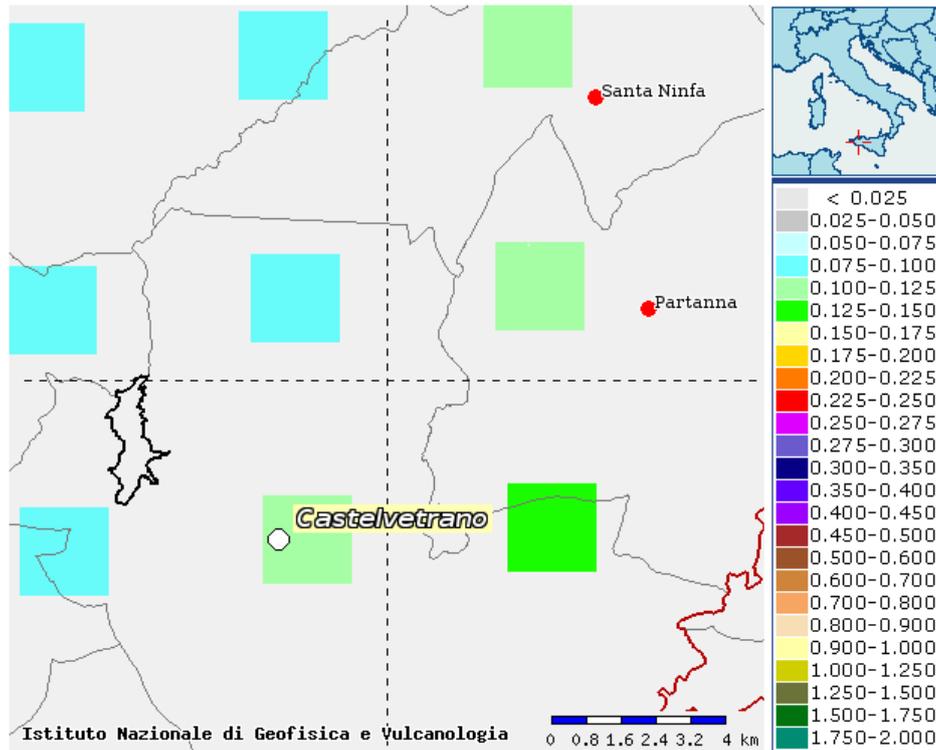
Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,221
$T_B \leftarrow$	0,150	0,231
$T_C \leftarrow$	0,449	0,231
	0,539	0,192
	0,629	0,165
	0,719	0,144
	0,809	0,128
	0,899	0,115
	0,989	0,105
	1,079	0,096
	1,169	0,089
	1,259	0,082
	1,349	0,077
	1,439	0,072
	1,529	0,068
	1,619	0,064
	1,709	0,061
	1,799	0,058
	1,889	0,055
	1,978	0,052
	2,068	0,050
	2,158	0,048
	2,248	0,046
$T_D \leftarrow$	2,338	0,044
	2,417	0,041
	2,496	0,039
	2,576	0,037
	2,655	0,037
	2,734	0,037
	2,813	0,037
	2,892	0,037
	2,971	0,037
	3,050	0,037
	3,130	0,037
	3,209	0,037
	3,288	0,037
	3,367	0,037
	3,446	0,037
	3,525	0,037
	3,604	0,037
	3,683	0,037
	3,763	0,037
	3,842	0,037
	3,921	0,037
	4,000	0,037

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.

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

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

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.080	0.103	0.262	0.290
kv	0.040	0.051	0.131	0.145
Amax [m/s ²]	0.789	1.010	2.573	2.841
Beta	1.000	1.000	1.000	1.000

Parametri sismici di progetto

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

9 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

9.1 INDAGINI GEOTECNICHE E MODELLO GEOTECNICO AREA DI CASTELVETRANO

La caratterizzazione geotecnica è stata realizzata sulla base dei risultati delle prove geotecniche in situ e di laboratorio condotte durante la fase di realizzazione dell'impianto eolico.

Nell'area del parco interessante il comune di Castelvetro sono stati ottenuti, tra campioni disturbati ed indisturbati, n. 19 campioni di cui:

- n.17 campioni di tipo indisturbato, contenuti in apposite fustelle metalliche;
- n.2 campioni di tipo rimaneggiato (carote di blocchi calcarenitici).

Sui campioni descritti sono state effettuate sia prove di identificazione sia prove meccaniche tra cui:

- n.17 prove di taglio diretto del tipo (CD) consolidate drenate mediante la scatola di taglio di Casagrande;
- n.17 prove di compressione semplice (E.L.L.);
- n.17 prove triassiali del tipo UU (non consolidate non drenate);
- n.2 prove di schiacciamento su carote di roccia calcarea.

Tutte le prove sono state condotte conformemente alle procedure AASHO ed ai metodi ASTM.

Le risultanze delle indagini geognostiche effettuate in sito hanno evidenziato la presenza di argille sabbiose, limose e/o marnose caratterizzabili da parametri geo-meccanici come di seguito illustrato.

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

SONDAGGIO	DESCRIZIONE CAMPIONE	PROFONDITA' [m]	γ [kN/m ³]	Cu [kN/m ²]	ϕ' [°]	c' [kN/m ²]
S2C1	Argille giallognole con sabbie grossolane ed elementi litoidi minuti	5,0-5,50	19,11	107,87	21,8	16,7
S2C2	Argille sabbiose scure	10,5-11,0	19,306	137,29	23,5	20,1
S2C3	Argille sabbiose con gessi	26,6-25,1	19,698	186,33	27	13,7
S3C1	Argille scure, sabbiose, con frammenti lapidei	7,6-8,1	19,11	107,87	23,2	25,5
S5C1	Argille scure consolidate a tratti sabbiose	5,0-5,5	18,816	98,07	20,4	28,4
S5C2	Argille scure consolidate a tratti sabbiose	9,0-9,5	19,208	137,29	25,7	21,6
S6C1	Argille sabbiose grigie e giallastre	7,0-7,5	19,012	147,1	24,8	22,1
S7C1	Argille scure consolidate con intervalli sabbiosi contenenti litoidi minuti	13,3-13,8	19,306	166,71	22,4	19,6
S7C2	Argille scure consolidate con intervalli sabbiosi contenenti litoidi minuti	15,6-16,1	19,6	191,23	27,8	18,6
S8C1	Argille da grigie a giallastre	4,0-4,5	18,62	107,87	23,8	10,8
S8C2	Marne variamente argillose più compatte in profondità	17,5-18,0	19,012	186,33	25,5	32,9
S9C1	Sabbie ocracee a tratti argillose	4,0-4,5	18,816	156,91	23,2	25,5
S9C2	Argille scure con sabbie	11,0-11,5	19,208	186,33	25,4	10,8
S10S1	Argille scure da sabbiose a marnose	7,0-7,5	19,012	112,78	24,3	18,1
S10S2	Argille scure da sabbiose a marnose	16,0-16,5	19,306	186,3	25,1	27
S11C2	Argille grigie a contenuto sabbioso variabile	5,0-5,5	18,914	137,29	24,6	21,6
S14C1	Argille scure consolidate in profondità	12,0-12,5	19,11	147,1	23,3	28,4

SONDAGGIO N.4					
Campione	Prof.	c' [KN/m ²]	ϕ [°]	γ [KN/m ²]	Carico unitario
C1	12,00m - 12,20m	0-4,9	30-35	21,56	5586 KN/m ²
C2	12,20m - 12,40m	0-4,9	30-35	21,56	5978 KN/m ²

La caratterizzazione della roccia (coesione ed angolo di attrito) è ovviamente funzione dello stato di fessurazione della stessa (apertura, continuità e persistenza).

La caratterizzazione dei campioni prelevati e sopra descritti, ha condotto alle seguenti descrizioni di dettaglio:

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

SONDAGGIO	DESCRIZIONE CAMPIONE DA LABORATORIO
S2C1	Limo con argilla e sabbia poco plastico di colore ocraceo con variazioni giallastre. Materiale omogeneo con sparsi livelli sabbiosi.
S2C2	Argilla con limo sabbioso con inclusi piccoli elementi di ghiaia a spigoli vivi. Materiale poco plastico di colore ocraceo con variazioni sul grigio chiaro.
S2C3	Argilla con limo poco plastica di colore grigio azzurro. Materiale omogeneo e consistente con sparsi piccoli grumi nerastri.
S3C1	/
S5C1	Limo argilloso debolmente sabbioso medio plastico di colore ocraceo-brunastro. Materiale omogeneo con sparsi piccoli tratti più limosi e plastici.
S5C2	Argilla con limo poco plastico, di colore grigio-azzurro con sparse venature ocracee. Materiale omogeneo con piccoli tratti più limosi e plastici.
S6C1	Argilla limosa sabbiosa medio plastica, di colore variabile dall'ocraceo al brunastro con sparse venature verdastre.
S7C1	Argilla con limo sabbioso medio plastico di colore variabile dall'ocraceo al brunastro. Materiale omogeneo con inclusi piccoli elementi di gesso cristallino biancastro.
S7C2	Argilla con limo medio plastico di colore grigio - azzurro. Materiale omogeneo con inclusi piccoli elementi di gesso biancastro e grumi limosi nerastri.
S8C1	Marna limosa sabbiosa con inclusi piccoli elementi di ghiaia. Materiale omogeneo plastico di colore giallastro.
S8C2	Marna limosa medio plastica di colore variabile dal giallastro al biancastro. Materiale omogeneo con livelli più limosi e plastici.
S9C1	Limo argilloso marnoso medio plastico di colore brunastro con sparsi grumi limosi rossastri. Materiale omogeneo con sparsi piccoli livelli più argillosi e consistenti.
S9C2	Argilla con limo da medio plastico a plastico di colore grigio azzurro con sparse venature nocciola. Materiale omogeneo con livelli più argillosi e consistenti.
S10S1	Argilla con limo medio plastico di colore ocraceo-giallastro con sparsi tratti di ossidazione rossastre. Materiale omogeneo con piccoli livelli più limosi e plastici.
S10S2	/
S11C1	Argilla con limo sabbioso medio plastico di colore brunastro con sparsi grumi sabbiosi rossastri. Materiale omogeneo con piccoli livelli più sabbiosi e consistenti.
S14C1	Argilla con limo plastico di colore grigio azzurro. Materiale omogeneo con piccoli livelli più limosi e plastici con inclusi grumi limosi nerastri.

SONDAGGIO	DESCRIZIONE CAMPIONE
S4C1	Calcarenite con tratti friabili e porosi
S4C2	Calcarenite con tratti friabili e porosi

Sulla base delle analisi condotte e dei risultati ottenuti è stato possibile ottenere la seguente definizione del modello geotecnico.

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

MODELLO GEOTECNICO ADOTTATO PER IL DIMENSIONAMENTO STRUTTURALE						
STRATO	DESCRIZIONE	PROFONDITA'	γ [kN/m ³]	C_u [kN/m ²]	ϕ' [°]	c' [kN/m ²]
1	Argille sabbiose con limo da mediamente plastico a plastico.	1m - 10m	19,00	125,00	22,00	21,00
2	Argille sabbiose con limo da mediamente plastico a plastico.	10m - 20m	19,00	169,00	23,00	20,00
3	Argille sabbiose con limo da mediamente plastico a plastico.	20m - 30m	19,00	186,00	27,00	13,00
4	Marna limosa sabbiosa mediamente plastica.	Primi 5m	18,00	107,00	23,00	10,00
5	Marna limosa sabbiosa mediamente plastica.	15m - 20m	19,00	186,00	25,00	31,00

MODELLO GEOTECNICO ADOTTATO PER IL DIMENSIONAMENTO STRUTTURALE						
STRATO	DESCRIZIONE	PROFONDITA'	c' [kN/m ²]	ϕ [°]	γ [kN/m ²]	Carico unitario
1	Calcarenite con tratti friabili e porosi	12,0 m	2	30	21	5800 KN/m ²

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

9.2 INDAGINI GEOTECNICHE E MODELLO GEOTECNICO AREA DI SALEMI

La caratterizzazione geotecnica è stata realizzata sulla base dei risultati delle prove geotecniche in situ e di laboratorio condotte durante la fase di realizzazione dell'impianto eolico.

In relazione alle problematiche riscontrabili in sito, sono stati condotti n.5 sondaggi geognostici realizzati per mezzo di perforazioni a carotaggio continuo, ad andamento verticale, e con prelievo di 6 campioni indisturbati e rimaneggiati come di seguito descritto:

- n.4 campioni di tipo indisturbato, contenuti in apposite fustelle metalliche;
- n.2 campioni di tipo rimaneggiato (carote di blocchi calcarenitici).

Sui campioni descritti sono state effettuate sia prove di identificazione sia prove meccaniche tra cui:

- n.4 prove di taglio diretto del tipo (CD) consolidate drenate mediante la scatola di taglio di Casagrande;
- n.4 prove di compressione semplice (E.L.L.);
- n.4 prove triassiali del tipo UU (non consolidate non drenate);
- n.4 prove di compressione edometrica;
- n.2 prove di schiacciamento su carote di roccia calcarea.

Di seguito si riporta la descrizione e l'interpretazione delle carote estratte durante le fasi di carotaggio, delle indagini sul comune di Salemi.

Primo sondaggio (S2):

- da 0.00 a 0.60 m è stato riscontrato terreno vegetale;
- da 0.60 a 4.00 m arenarie limose bruno rossastre;
- da 4.00 a 16.00 m limi sabbiosi bruni;
- da 16.0 a 22.0 m argille sabbiose brune;
- da 22.0 a 30.0 m arenarie e conglomerati in matrice limo sabbiosa.

Da tale sondaggio è stato prelevato 1 campione alla profondità di 15.5m.

Secondo sondaggio (S3):

- da 0.00 a 0.50 m è stato riscontrato terreno vegetale;
- da 0.50 a 15.0 m arenarie limose bruno rossastre;
- da 15.0 a 20.00 m limi sabbiosi bruni.

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

Terzo sondaggio (S4):

- da 0.00 a 20.00 m è stato riscontrato calcare organogeno con livelletti di calcareniti procedendo verso il basso.

In questa perforazione è stato prelevato un campione rimaneggiato, alla profondità di 3.0m.

Quarto sondaggio (S5):

- da 0.00 a 0.30 m è stato riscontrato terreno vegetale;
- da 0.30 a 30.30 m calcari organogeni con livelletti di calcareniti,

In questo sondaggio è stato prelevato un campione rimaneggiato, alla profondità di 2.4m.

Quinto sondaggio (S6):

- da 0.00 a 0.50 m è stato riscontrato terreno vegetale;
- da 0.50 a 16.00 m alternanza di livelli di calcai marnosi e marne argillo-sabbiose;
- da 16.00 a 20.50 m limi sabbiosi bruni;

È stato prelevato 1 campione indisturbato alla profondità di 5.00 m dal p.c.

L'elaborazione dei risultati ottenuti mediante indagini geognostiche, porta alla definizione dei seguenti parametri per i litotipi descritti:

SONDAGGIO	DESCRIZIONE CAMPIONE	PROFONDITA'	Cu [kN/m ²]	Carico di rottura [MN/m ²]	φ' [°]	c' [kN/m ²]
S1C1	/	2,5m - 3,0m	132,72	/	24,00	19,61
S1C2	/	8,5m - 9,0m	219,67	/	27,00	29,42
S2C1	Argille sabbiose brune	15,5m - 16,0m	160,50	/	25,30	14,71
S4C1	Calcai organogeni con livelletti di calcareniti procedendo con la profondità	3,00m - 3,20m	/	6,67	/	
S5C1	Calcai organogeni con livelletti di calcareniti	2,40m - 2,80m	/	12,90	/	
S6C1	Altemanza di livelli di calcai marnosi e marne argillo-sabbiose	5,0m - 5,5m	118,01	/	23,30	9,81

MODELLO GEOTECNICO ADOTTATO PER IL DIMENSIONAMENTO GEOTECNICO			
STRATO	DESCRIZIONE	PROFONDITA'	Carico di rottura [MN/m ²]
3	Calcai organogeni con livelli non omogenei di calcareniti	1m - 5m	9,78

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

La caratterizzazione della roccia (coesione ed angolo di attrito) è ovviamente funzione dello stato di fessurazione della stessa (apertura, continuità e persistenza).

La caratterizzazione dei campioni prelevati e sopra descritti, ha condotto alle seguenti descrizioni di dettaglio:

SONDAGGIO	DESCRIZIONE CAMPIONE DA LABORATORIO
S1C1	Argilla con limo debolmente sabbioso plastico, di colore ocraceo-brunastro, materiale omogeneo con sparsi piccoli livelli più limosi e plastici.
S1C2	Argilla con limo poco plastico, di colore grigio azzurro. Materiale omogenea e consistente con piccoli livelli leggermente scagliettati.
S2C1	Limo sabbioso argilloso medio plastico, di colore brunastro con variazioni rossastre. Materiale omogeneo con piccoli livelli più sabbiosi e consistenti.
S4C1	Calcere con linee di fratturazione e tratti più friabili
S5C1	Calcere compatto con sparsi piccoli livelli porosi
S6C1	Marne limose sabbiose con indusi piccoli elementi di ghiaia a spigoli vivi, di colore variabile dal giallastro al biancastro. Materiale omogeneo e plastico.

Sulla base delle analisi condotte e dei risultati ottenuti è stato possibile ottenere la seguente definizione del modello geotecnico.

MODELLO GEOTECNICO ADOTTATO PER IL DIMENSIONAMENTO STRUTTURALE					
STRATO	DESCRIZIONE	PROFONDITA'	Cu [kN/m ²]	ϕ' [°]	c' [kN/m ²]
1	Argille con limo poco plastico. Materiale omogeneo con varie sfumature di colore.	1m - 20m	165,00	24,00	15,00
2	Marne limose sabbiose con indusi piccoli elementi di ghiaia a spigoli vivi, di colore variabile. Materiale omogeneo e plastico	1m - 6m	115,00	23,00	9,00

MODELLO GEOTECNICO ADOTTATO PER IL DIMENSIONAMENTO GEOTECNICO			
STRATO	DESCRIZIONE	PROFONDITA'	Carico di rottura [MN/m ²]
3	Calcarei organogeni con livelli non omogenei di calcareniti	1m - 5m	9,50

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO SALEMI - CASTELVETRANO RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	32
SAL	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 rimanda alla relazione di pre-dimensionamento strutturale. In particolare, le verifiche

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

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.

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.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G2}

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_r	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)
	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.

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

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

10.2 CARICO LIMITE DEI PALI DI FONDAZIONE GENERALITA'

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

$$Q_T = Q_P + Q_L - W_P$$

dove:

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

Le due componenti 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 ^o	γ	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,25	1,25	1,25

^o da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

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

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

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

La portanza per attrito laterale viene calcolata tramite la relazione:

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

Rappresentando τ_s le tensioni tangenziali che si mobilitano all'interfaccia palo terreno e D il diametro del palo. La portanza di base del palo è calcolata come:

$$Q_p = q_b \cdot A_b$$

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 SALEMI - CASTELVETRANO RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	36
SAL	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 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_1 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 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 SALEMI - CASTELVETRANO RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	37
SAL	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 rigidità non eccessive rispetto al terreno d'infissione (meccanismo di palo lungo o intermedio). In particolare, si rimanda alla relazione ai tabulati di calcolo allegati al presente progetto.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO SALEMI - CASTELVETRANO RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	38
SAL	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 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/cm ²]
ca	Adesione del terreno espressa in [kg/cm ²]
t _l	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]
Argille sabbiose con limo da mediamente plastico a plastico (superficiale)	1900,0	2000,0	Caratteristici Minimi	22.00 22.00	13.7 13.7	20,000 13,000

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

Descrizione	γ [kg/mc]	γ_{sat} [kg/mc]	Parametri	ϕ [°]	δ [°]	c [kg/cm ²]
			Medi	27.00	16.67	0,000
Argille sabbiose con limo da mediamente plastico a plastico (profonde)	1900,0	2000,0	Caratteristici	23.00	15.00	13,000
			Minimi	23.00	15.00	13,000
			Medi	23.00	15.00	13,000

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	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
P _{is}	Punto inferiore sinistro del carico espresso in [m]
P _{sd}	Punto superiore destro del carico espresso in [m]
Q _{z1}	Componente verticale del carico in corrispondenza del punto inferiore sinistro espresso in [kg/mq]
Q _{z2}	Componente verticale del carico in corrispondenza del punto inferiore destro espresso in [kg/mq]
Q _{z3}	Componente verticale del carico in corrispondenza del punto superiore sinistro espresso in [kg/mq]

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

Q_z Componente verticale del carico in corrispondenza del punto superiore destro espressa 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
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

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

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

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

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

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

Oggetto	X [m]	Y [m]	N [kg]	Mx [kgm]	My [kgm]	Tx [kg]	Ty [kg]
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} [m]	P _{sd} [m]	Q _{z1} [kg/mq]	Q _{z2} [kg/mq]	Q _{z3} [kg/mq]	Q _{z4} [kg/mq]	Q _x [kg/mq]	Q _y [kg/mq]
1	-10,70; -10,70	10,70; 10,70	3000,00	3000,00	3000,00	3000,00	0,00	0,00

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

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

Coefficienti parziali γ_T per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soqgetti 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

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

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

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO SALEMI - CASTELVETRANO RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	45
SAL	ENG	REL	0036	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 SALEMI - CASTELVETRANO RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	46
SAL	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]
1	0,00	232992 (2)	743200 (1)	85 (1)	68764 (1)	0 (0)	0 (1)

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO		PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO SALEMI - CASTELVETRANO RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA		47
SAL	ENG	REL	0036	00			

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

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO		PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO SALEMI - CASTELVETRANO RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA		48
SAL	ENG	REL	0036	00			

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

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO		PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO SALEMI - CASTELVETRANO RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA		49
SAL	ENG	REL	0036	00			

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

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO		PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO SALEMI - CASTELVETRANO RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA		50
SAL	ENG	REL	0036	00			

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

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO SALEMI - CASTELVETRANO RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	51
SAL	ENG	REL	0036	00		

n°	Oggetto	Nc	N'c	Nq	N'q	Pp	PI
						[kg]	[kg]
						532337	212407
9	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337 532337	212407 212407
10	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337 532337	212407 212407
11	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337 532337	212407 212407
12	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337 532337	212407 212407
13	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337 532337	212407 212407
14	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337 532337	212407 212407
15	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337 532337	212407 212407
16	Piastra 1	40.673	40.673	21.724	21.724	532337 532337	212407 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 SALEMI - CASTELVETRANO RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	52
SAL	ENG	REL	0036	00		

11 CONCLUSIONI

Il progetto definitivo di cui è stato effettuato lo studio strutturale e geotecnico consiste nello smantellamento dei n°30 aerogeneratori esistenti ed attualmente in esercizio del parco eolico ubicato nei Comuni di Salemi e Castelvetroano, entrambi siti in Provincia di Trapani e nella successiva realizzazione di un impianto eolico composto da n°18 aerogeneratori, di cui 6 nel comune di Salemi con una potenza massima di 3.9 MW e 12 aerogeneratori nel comune di Castelvetroano con potenza massima di 4.5MW per una potenza massima complessiva pari a 77.4 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 D140, i cui carichi sono stati ritenuti più gravosi rispetto agli equivalenti di un aerogeneratore tipo D150). 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.