

REGIONE
MOLISE



PROVINCIA
CAMPOBASSO



COMUNE
GUGLIONESI



IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36,00 MW

RICHIEDENTE

V-RIDIUM WIND MOLISE 4 S.r.l.

Viale Giorgio Ribotta, 21
00144 Roma (RM)
P. IVA: 16673791006



Titolo Elaborato:

RELAZIONE GEOTECNICA

Codice Progetto:

ITW2MB

Sviluppo progetto:

NRG PLUS ITALIA S.r.l.

Piazza Ettore Troilo, 27
65127 Pescara (PE)
e-mail: mdedonno@nrgplus.global

BELL FIX PLUS S.r.l.

Via Tancredi Normanno, 13
72023 Mesagne (BR)
e-mail: elettrico@bellfixplus.it

Codice Elaborato:

R.08



Progettazione:



STUDIO ISITREN

dott. ing. Gianluca PANTILE

INGEGNERIA DEI SISTEMI E DELLE INFRASTRUTTURE
PER LA TRANSIZIONE ENERGETICA

Ordine Ing. Brindisi n. 803
Via Del Lavoro, 15/D - 72100 Brindisi (BR)

pantile.gianluca@ingpec.eu

info@isitren.com

cell. +39 347 1939994 - tel./fax +39 0831 548001

Timbro e firma:



Scala N.A. in A4

Data	Revisione	DESCRIZIONE	Elaborazione	Verifica e controllo
20.11.2023	0	PRIMA EMISSIONE	ing. Gianluca PANTILE	ing. Maurizio DE DONNO
REVISIONI				

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.08

INDICE

1	PREMESSA	3
2	INQUADRAMENTO NORMATIVO	5
3	AZIONI SISMICHE E CATEGORIA DEL SUOLO	6
4	CARATTERISTICHE FISICO MECCANICHE E GEOTECNICHE DEL TERRENO.....	15
5	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	16
5.1	CAPACITA' PORTANTE DEL TERRENO DI FONDAZIONE.....	16
5.2	S.L.E. - CALCOLO CEDIMENTI ELASTICI IMMEDIATI ED EDOMETRICI. STIMA COEFF. SOTTOFONDO (KWINKLER) - DESCRIZIONE DEL CALCOLO: PLATEA FLESSIBILE	17
5.3	DETERMINAZIONE ANALITICA DELLA RESISTENZA LATERALE DI UNA TIPOLOGIA DI PALO	18
5.4	DETERMINAZIONE ANALITICA DEL CARICO LIMITE ASSIALE DI UNA TIPOLOGIA DI PALO..	18
6	COMBINAZIONI DI CALCOLO E VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU).....	20
7	SINTESI DELLE OPERE DI FONDAZIONE DI PROGETTO.....	21

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.08

1 PREMESSA

La Società V-RIDIUM WIND MOLISE 4 S.r.l. (nel seguito "Proponente") intende realizzare, in aree agricole del Comune di Guglionesi (CB), un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica (nel seguito "impianto eolico") costituito da n. 6 aerogeneratori (WTG) tripala ad asse orizzontale di marca VESTAS, modello V150-6.0 MW ciascuno della potenza di 6,0 MW, per una potenza complessiva di 36,00 MW.

Ai fini della connessione dell'impianto eolico alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN), previa apposita richiesta inoltrata a TERNA S.p.A., la Proponente riceveva la Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) identificata dal Codice Pratica n. 202202858 e riportata nell'ALLEGATO A1 alla Comunicazione prot. n. P20230018400 ricevuta a mezzo PEC del 16/02/2023, la quale prevede che l'impianto sarà collegato in antenna a 36 kV con la sezione a 36 kV di una nuova Stazione di trasformazione 380/150/36 kV della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) (nel seguito "S.E. RTN") da inserire in entra-esce sulla linea RTN a 380 kV "Larino-Gissi".

Trattandosi di un impianto eolico onshore di potenza superiore a 30 MW, ai sensi dell'ALLEGATO II alla Parte seconda del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 come s.m.i., l'Autorità competente in materia di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) è il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) e pertanto presso tale Ente verrà avviato l'iter finalizzato al rilascio del parere di compatibilità ambientale.

L'autorizzazione alla costruzione ed esercizio dell'impianto eolico e delle relative opere di connessione alla RTN è comunque assoggettata, previo parere favorevole di compatibilità ambientale, al rilascio di Autorizzazione Unica da parte della Regione Molise.

Il posizionamento degli aerogeneratori è stato definito e calibrato ai fini del rispetto dei criteri di inserimento territoriale di cui all'Allegato al Decreto Ministeriale 10 settembre 2010 "Linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili" con particolare riferimento a quanto previsto al paragrafo 3.2, lettera n) ed al paragrafo 5.3, lettere a) e b), e del rispetto di quanto disciplinato dalle Delibere di Giunta Regionale del Molise 4 agosto 2011, n. 621 e 22 giugno 2022, n. 187, di cui si è tenuto conto nel corso della progettazione.

I centri abitati di Montenero di Bisaccia (CB), Montecilfone (CB), Petacciato (CB) e Guglionesi (CB), si trovano rispettivamente a circa 3,8 km, a 3,9 km a sud, a 5,0 km ed a 4,7 km dagli aerogeneratori ad essi più prossimi.

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.08

La figura seguente rappresenta il layout dell'impianto eolico su base ortofotografica (aerogeneratori, viabilità di accesso, piazzole temporanee e tracciato delle linee elettriche di collegamento):



Figura 1
Inquadramento territoriale delle opere su base ortofotografica

L'intera opera consiste:

- nell'impianto di produzione, ossia impianto eolico inteso come insieme di singoli aerogeneratori o cluster di essi opportunamente definiti, collegati ad una apposita Cabina di Sezionamento (CS);
- negli elettrodotti di vettoriamento, dalla CS verso una apposita Cabina Elettrica Utente (CEU), dell'energia elettrica prodotta dall'impianto eolico;
- nell'elettrodotto di collegamento in antenna in partenza dalla CEU ed arrivo nell'apposito Stallo che sarà approntato nella S.E. RTN.

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.08

Tutti i collegamenti elettrici previsti sono da intendersi in cavo interrato esercito alla tensione di 36 kV affinché la distribuzione elettrica interna all'impianto, il vettoriamento dell'energia elettrica ed il collegamento in antenna alla RTN siano gestiti direttamente alla tensione di consegna in A.T. a 36 kV secondo lo standard di cui al nuovo Allegato A2 al Codice di trasmissione, dispacciamento, sviluppo e sicurezza della rete di TERNA S.p.A., introdotto dalla Delibera ARERA 439/2021/R/EEL.

Non è dunque necessaria una elevazione della tensione nell'ambito degli impianti di utenza della Proponente, ma sarà possibile il collegamento diretto a 36 kV alla nuova S.E. RTN. La Cabina Elettrica Utente (CEU) ed il collegamento in antenna a 36 kV costituiscono impianti di utenza per la connessione, mentre lo Stallo a 36 kV assegnato nella nuova S.E. RTN costituisce impianto di rete per la connessione.

2 INQUADRAMENTO NORMATIVO

La presente relazione definisce i caratteri geotecnici dei terreni interessati dalle opere previste nel progetto definitivo dell'impianto eolico in argomento.

Per le finalità del presente lavoro ci si è avvalsi della relazione geologica redatta dott. Geol. Francesco Caldarone e dei risultati rivenienti dalla campagna d'indagine svolta, che hanno consentito di ricostruire gli spessori, le giaciture ed i rapporti stratigrafici delle formazioni geolitologiche presenti nel sottosuolo delle aree in esame. Per caratterizzare da un punto di vista geologico-tecnico e simico il sito di progetto è stata condotta una campagna d'indagine nel modo seguente:

- n. 6 profili sismici a rifrazione;
- n. 6 profili sismici con metodologia MASW.

La presente relazione geotecnica è stata redatta in ottemperanza alle leggi vigenti in materia:

- Legge 5 novembre 1971 n. 1086 (G. U. 21 dicembre 1971 n. 321)
- "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica"
- Legge 2 febbraio 1974 n. 64 (G. U. 21 marzo 1974 n. 76)
- "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche"
- Indicazioni progettuali per le nuove costruzioni in zone sismiche a cura del Ministero per la Ricerca scientifica - Roma 1981.
- NTC 2018 - "Norme tecniche per le Costruzioni"

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.08

3 AZIONI SISMICHE E CATEGORIA DEL SUOLO

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio V_s , sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il metodo di indagine MASW utilizzato è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo (tramite energizzazione con mazza battente allineata all'array geofonico) e misurate da uno stendimento lineare di sensori.

Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5-10 Hz e 70-100 Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30-50 metri, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

La metodologia utilizzata consiste in quattro fasi:

- acquisizione dei dati di campagna energizzando a più riprese e alternativamente ai due estremi dello stendimento geofonico;
- determinazione dello spettro di velocità sperimentale dal campo di moto acquisito nel dominio spazio-tempo lungo lo stendimento;
- calcolo della curva di dispersione attraverso il picking o la modellazione diretta;
- inversione della curva di dispersione per l'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s e il parametro $V_{s,eq}$.

Nell'intorno di ciascun punto nel quale è prevista l'allocazione degli aerogeneratori è stato eseguito n. 1 profilo di lunghezza pari a 33 m, per un totale di n. 6 profili.

La $V_{s,eq}$ è stata calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum h_i/V_i}$$

Per ogni categoria del suolo (A-B-C-D-E) è fissata una descrizione litostratigrafica, con ad essa associati i parametri di riferimento geotecnici e sismici. Ai fini della definizione delle azioni sismiche secondo le nuove "Norme Tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni" il profilo stratigrafico dei terreni permette di classificare le zone oggetto di indagine come appartenenti a differenti categorie sismiche:

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.08

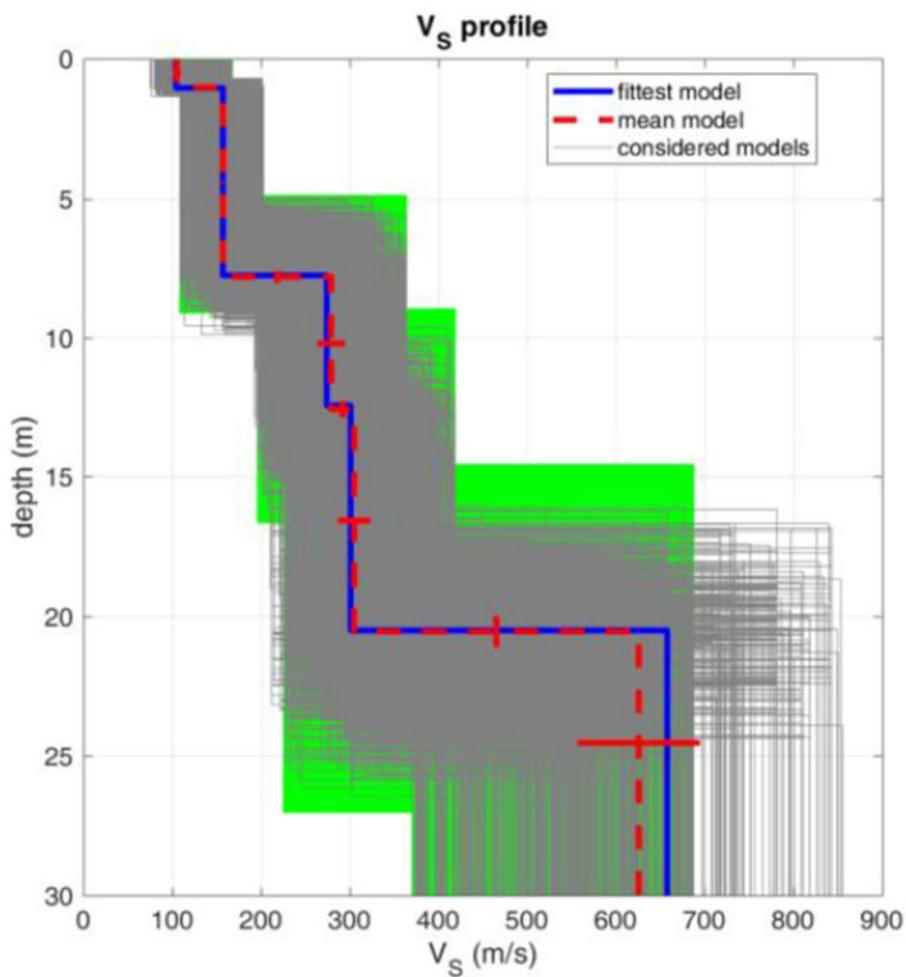
- Categoria A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m;
- Categoria B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s;
- Categoria C: Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s;
- Categoria D: Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s;
- Categoria E: Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

In questo lavoro i valori di $V_{s,eq}$ ottenuti sono prossimi al valore soglia relativo alla categoria C. Infatti, in base all'analisi dei profili sismici e delle correlazioni relative, si attribuiscono ai suoli di fondazione le seguenti categorie:

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.08

Profilo sismico MASW 1 (aerogeneratore WTG 01)

Categoria C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s:



dataset: 81.dat

dispersion curve: p.cdp

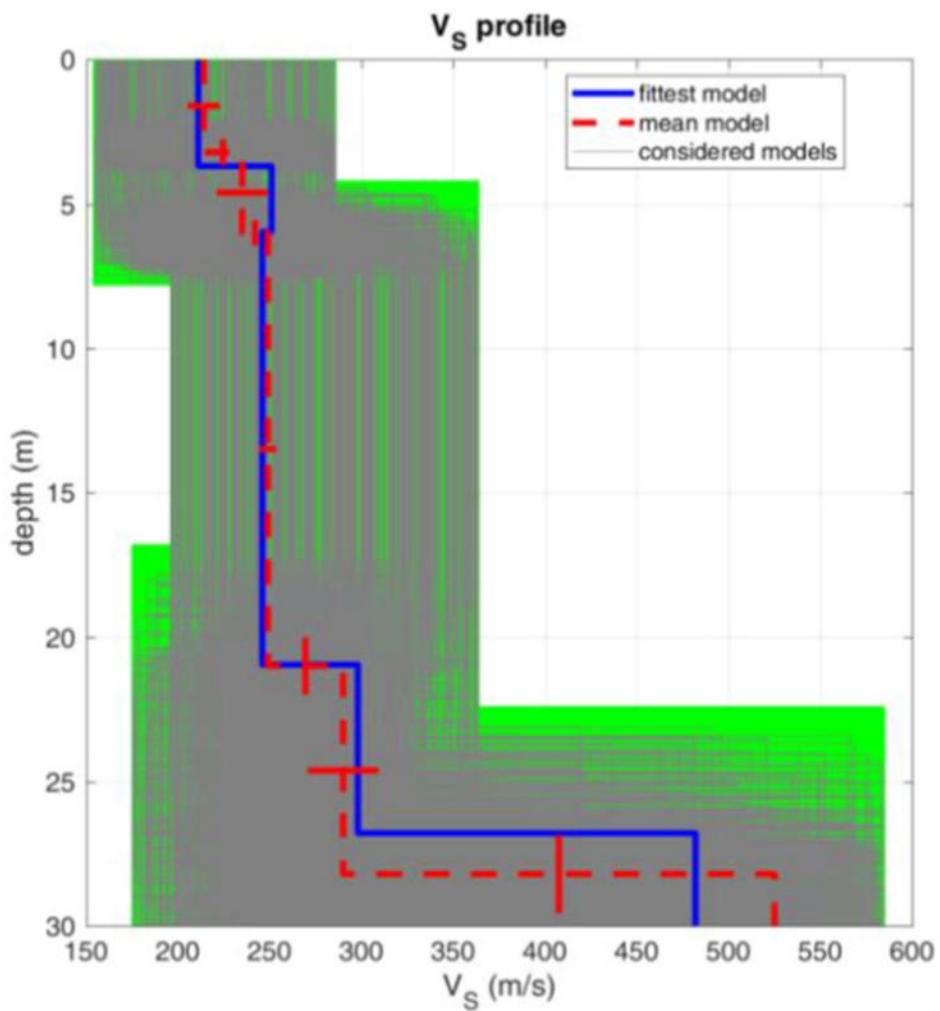
Vs30 & VsE (best model): 270 270 m/s

Vs30 & VsE (mean model): 270 270 m/s

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.08

Profilo sismico MASW 2 (aerogeneratore WTG 02)

Categoria C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s:

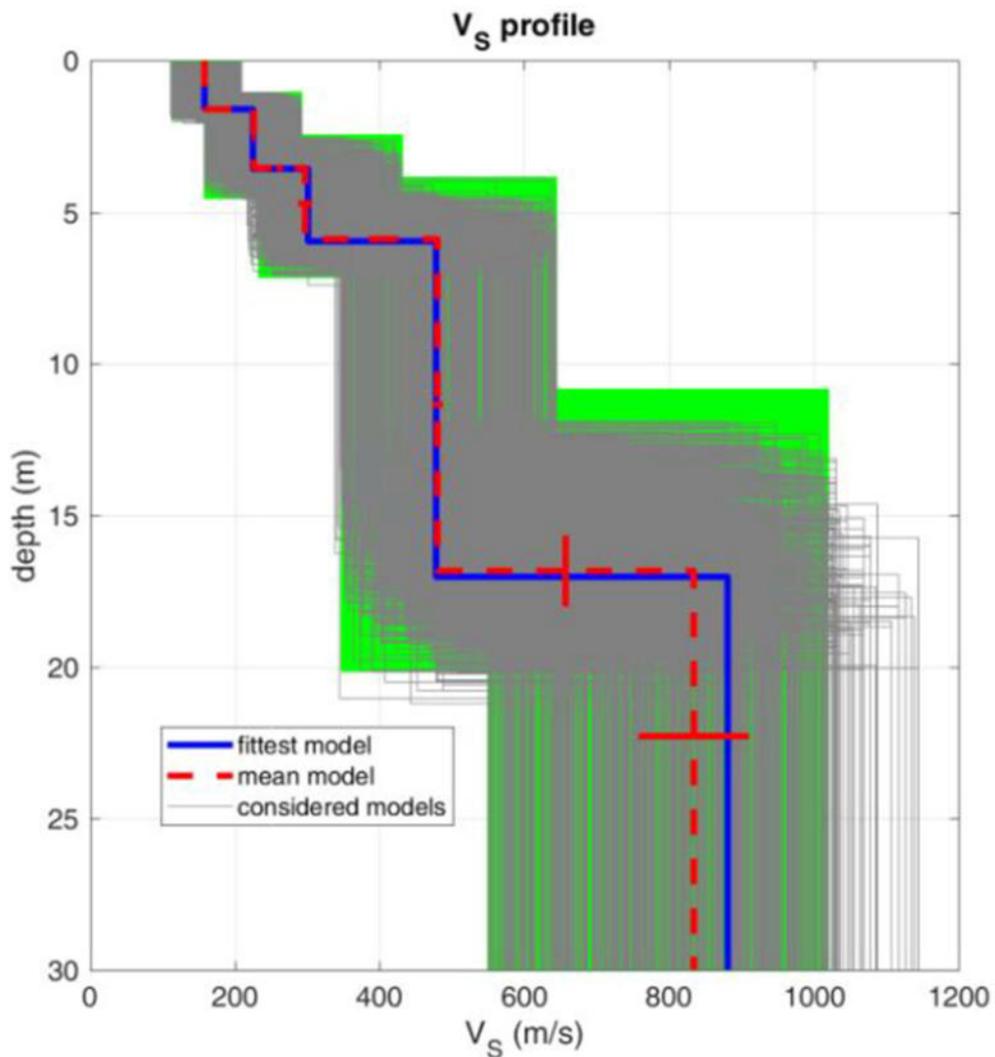


dataset: 622.dat
 dispersion curve: Masw2.cdp
 Vs30 & VsE (best model): 264 264 m/s
 Vs30 & VsE (mean model): 260 260 m/s

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.08

Profilo sismico MASW 3 (aerogeneratore WTG 03)

Categoria C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s:



dataset: 69.dat

dispersion curve: p.cdp

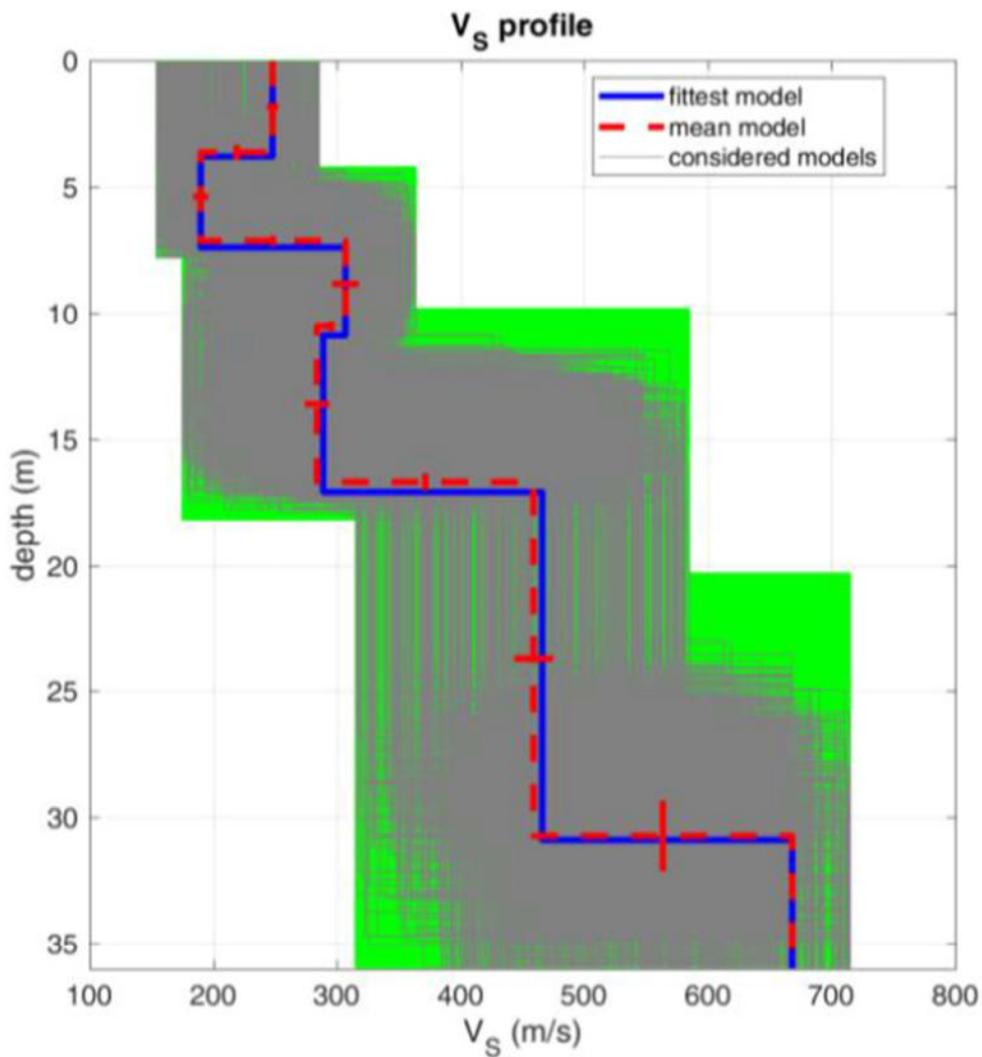
Vs30 & VsE (best model): 464 341 m/s

Vs30 & VsE (mean model): 460 340 m/s

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.08

Profilo sismico MASW 4 (aerogeneratore WTG 04)

Categoria C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s:

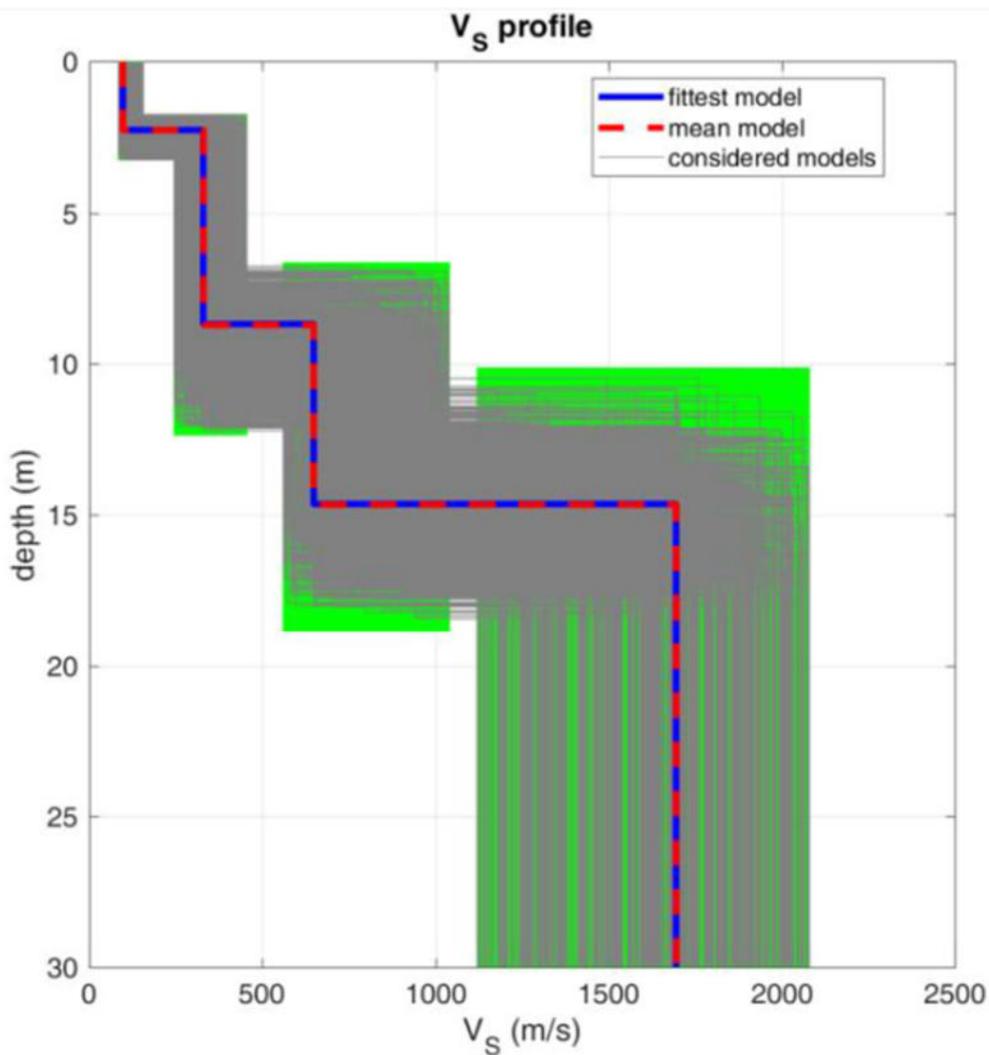


dataset: 619.dat
 dispersion curve: Masw.cdp
 Vs30 & VsE (best model): 316 316 m/s
 Vs30 & VsE (mean model): 316 316 m/s

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.08

Profilo sismico MASW 5 (aerogeneratore WTG 05)

Categoria C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s:

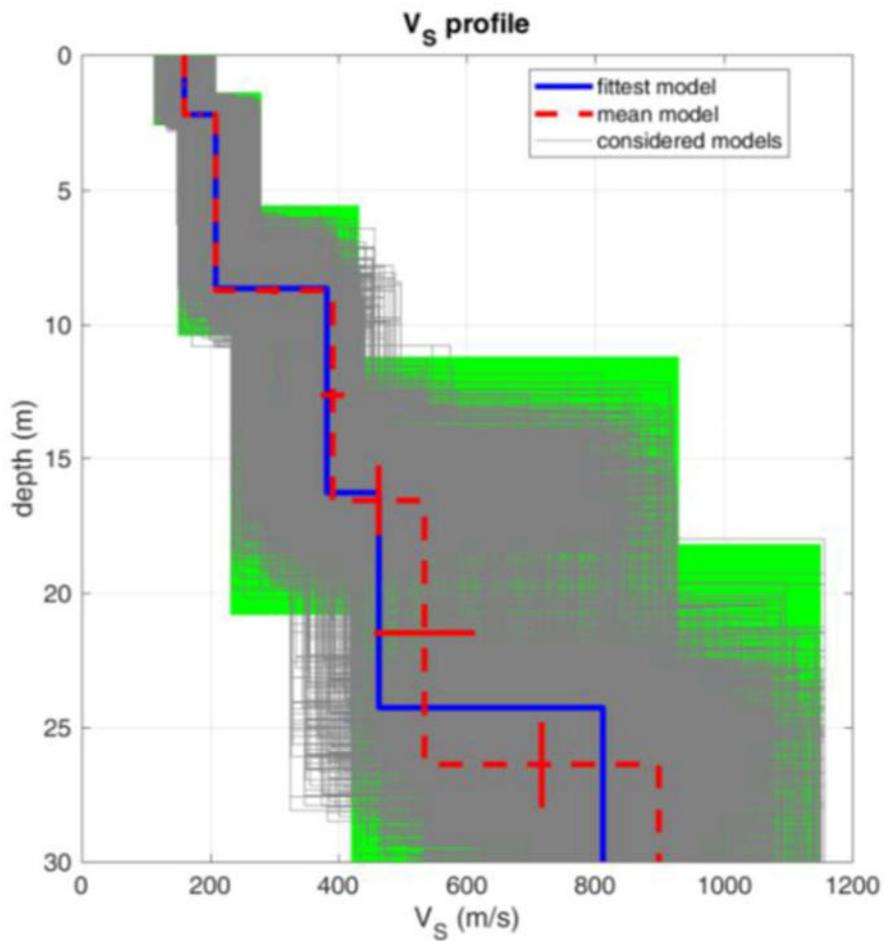


dataset: 00000585.sg2
 dispersion curve: Masw.cdp
 Vs30 & VsE (best model): 491 281 m/s
 Vs30 & VsE (mean model): 491 281 m/s

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.08

Profilo sismico MASW 6 (aerogeneratore WTG 06)

Categoria C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s:



dataset: 72.dat
 dispersion curve: p.cdp
 Vs30 & VsE (best model): 337 296 m/s
 Vs30 & VsE (mean model): 343 316 m/s

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.08

Come categoria di suolo, nelle verifiche preliminari è stata utilizzata la classe C.
L'azione sismica orizzontale è stata convenzionalmente suddivisa nelle due direzioni principali X ed Y caratterizzate dallo stesso spettro di risposta. La definizione delle forme spettrali è stata eseguita in riferimento al punto 3.2.3.2.1 - *Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali* delle NTC 2018 come di seguito indicato:

FASE 1: INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITA' DEL SITO E SCELTA DELLA STRATEGIA PROGETTUALE

Lotto ricadente nel comune di Guglionesi

Codice ISTAT: 070029

Coordinate sito progetto

Longitudine = 14.847670°E;

Latitudine = 41.950474°N.

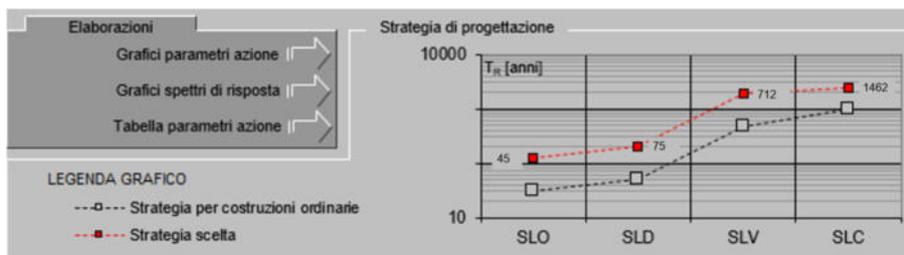
Nodi intorno al sito: 28103 28325 28326 28104

Vita nominale dell'opera: VN = 50 anni.

Classe d'uso: III

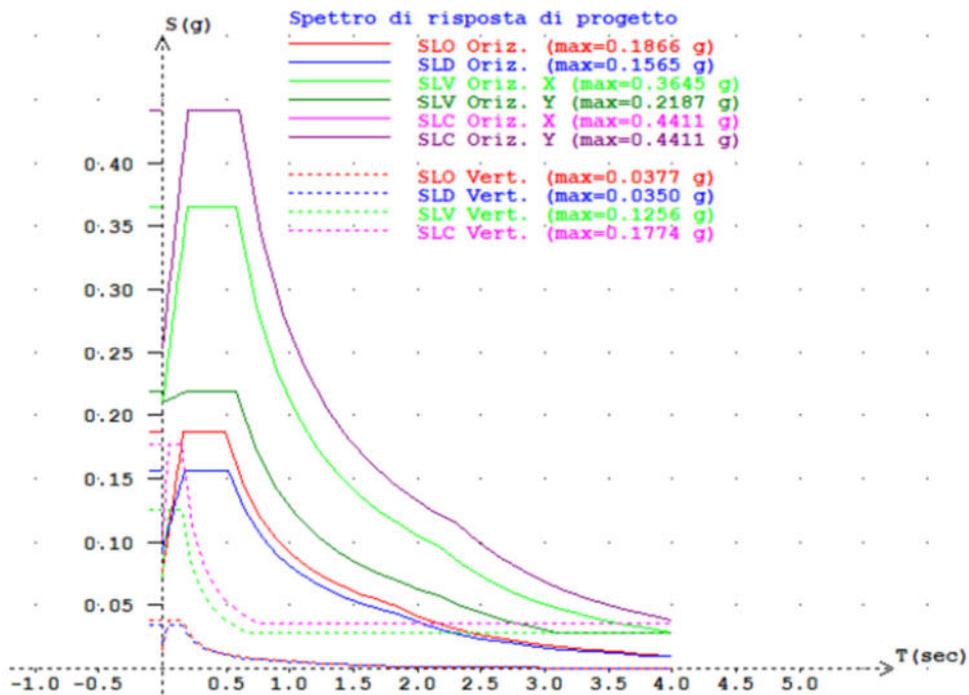
Valori dei parametri a_g , F_0 , T_c^* per i periodi di ritorno TR associati a ciascun Stato Limite:

Periodo di ritorno T_R (anni)		Parametri di pericolosità sismica		
		a_g (g/10)	F_0 (adim)	T_c^* (sec)
SLO	45	0.50359992	2.47001470	0.32207852
SLD	75	0.61786907	2.53298108	0.34558765
SLV	712	1.42147255	2.60247067	0.41091137
SLC	1462	1.79209944	2.59797803	0.43243595



Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.08

FASE 2: DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO – SPETTRI DI RISPOSTA



4 CARATTERISTICHE FISICO MECCANICHE E GEOTECNICHE DEL TERRENO

L'analisi delle tematiche geologiche e geologico-tecniche attinenti agli interventi da realizzare ha permesso di ottenere un attendibile modello geologico-tecnico dei terreni interessati dalle opere, nonché della classificazione sismica locale, utili alla successiva progettazione e calcolo ingegneristico delle opere previste. Per l'area in cui ricade il progetto le osservazioni e le indagini svolte hanno condotto ad una modellazione lito-stratigrafica del sottosuolo, illustrata nella seguente sezione stratigrafica:

Profilo sismico	WTG	Sismostrato 1		Sismostrato 2		Sismostrato 3	
		[prof. m]	[Tipo]	[prof. m]	[Tipo]	[prof. m]	[Tipo]
1	01	1,45	TV	10,0	SA	-	-
2	02	1,45	TV	10,0	SA	-	-
3	03	1,45	TV	10,0	SA	-	-
4	04	1,45	TV	10,0	SA	-	-
5	05	1,45	TV	10,0	SA	-	-
6	06	1,45	TV	10,0	SA	-	-

TV=TERRENO VEGETALE; SA=SABBIE ARGILLOSE; CAEC=CALCARENITI ALTERATE E CALCARI

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.08

5 VERIFICHE GEOTECNICHE

5.1 CAPACITA' PORTANTE DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Coefficiente di Sicurezza: 2.30
 Forma impronta fondazione: CIRCOLARE
 Diametro fondazione: 2600 cm
 Affondamento piano di posa Df: 380 cm
 Angolo Ø attrito terreno: 25.0 (°)
 Coesione terreno: 0.080 N/mm²
 Peso di volume g terreno: 18.00 kN/m³
 Coeff.Sismico inerziale Khi (§ C7.11.5.3.1 NTC) 0.300
 Coeff.Sismico cinematico Khk (§ C7.11.5.3.1 NTC) 0.300

RISULTATI DEL CALCOLO

Formula di TERZAGHI: $Q_{ult} = c N_c S_c + g D_f N_q + 0,5 g B N_g S_g$

Pressione Limite ($Q_u/Coef.Sic.$): 2.107 N/mm²

Nc (Coeff. portata) = 25.13
 Sc (Coeff. forma) = 1.30
 Nq (Coeff. portata) = 12.72
 Ng (Coeff. portata) = 9.70
 Sg (Coeff. forma) = 0.60

Formula di MEYERHOF: $Q_{ult} = c N_c S_c D_c + g D_f N_q S_q D_q + 0,5 g B N_g S_g D_g$

Pressione Limite ($Q_u/Coef.Sic.$): 1.075 N/mm²

Nc (Coeff. portata) = 20.72
 Sc (Coeff. forma) = 1.49
 Dc (Coeff. prof.) = 1.05
 Nq (Coeff. portata) = 10.66
 Sq (Coeff. forma) = 1.25
 Dq (Coeff. prof.) = 1.02
 Ng (Coeff. portata) = 6.77
 Sg (Coeff. forma) = 1.25
 Dg (Coeff. prof.) = 1.02

Coeff. Corrett. per Inclinazione di Nc = 0.663
 Coeff. Corrett. per Inclinazione di Nq = 0.663
 Coeff. Corrett. per Inclinazione di Ng = 0.110
 Coeff. Correttivo Cinematico di Ng = 0.629

Formula di HANSEN: $Q_{ult} = c N_c S_c D_c + g D_f N_q S_q D_q + 0,5 g B N_g S_g D_g$

Pressione Limite ($Q_u/Coef.Sic.$): 0.742 N/mm²

Nc (Coeff. portata) = 20.72
 Sc (Coeff. forma) = 1.51
 Dc (Coeff. prof.) = 1.06
 Nq (Coeff. portata) = 10.66
 Sq (Coeff. forma) = 1.47
 Dq (Coeff. prof.) = 1.05
 Ng (Coeff. portata) = 6.76
 Sg (Coeff. forma) = 0.60
 Dg (Coeff. prof.) = 1.00

Coeff. Corrett. per Inclinazione di Nc = 0.386
 Coeff. Corrett. per Inclinazione di Nq = 0.444
 Coeff. Corrett. per Inclinazione di Ng = 0.308
 Coeff. Correttivo Cinematico di Ng = 0.629

Formula EUROCODICE 7: $Q_{ult} = c N_c S_c + g N_q S_q + 0,5 g B N_g S_g$

Pressione Limite ($Q_u/Coef.Sic.$): 0.732 N/mm²

Nc (Coeff. portata) = 20.72
 Sc (Coeff. forma) = 1.47
 Nq (Coeff. portata) = 10.66
 Sq (Coeff. forma) = 1.42

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.08

Ng (Coeff. portata) = 9.01
Sg (Coeff. forma) = 0.70

Coeff. Corrett. per Inclinazione di Nc = 0.386
Coeff. Corrett. per Inclinazione di Nq = 0.444
Coeff. Corrett. per Inclinazione di Ng = 0.308
Coeff. Correttivo Cinematico di Ng = 0.629

5.2 S.L.E. - CALCOLO CEDIMENTI ELASTICI IMMEDIATI ED EDOMETRICI. STIMA COEFF. SOTTOFONDO (KWINKLER) - DESCRIZIONE DEL CALCOLO: PLATEA FLESSIBILE

Tipologia fondazione: Rettangolare
Tipologia fondazione: Fond. flessibile rigidezza nulla della fondazione nel calcolo di deformazione
Larghezza B fond.: 5000 cm
Lunghezza L fond.: 5000 cm
Carico q: 0.040 N/mm² carico unitario uniforme trasmesso dalla fondazione al terreno

Caratteristiche del terreno:

STRATO N°: 1
Spessore strato: 5000 cm
Modulo elastico E: 18.0 N/mm²
Coeff. di Poisson μ : 0.43
Modulo edometrico Mo: 6.0 N/mm²

Risultati riferiti ai punti significativi della fondazione rettangolare

Punto	n°	Oltre al baricentro della fondazione (punto 0) il calcolo è riferito ad altri 8 punti (i 4 spigoli e i 4 punti medi dei lati). Detti punti corrispondono ai baricentri degli elementi, generati dalla discretizzazione, più vicini ai punti stessi.
-	-	
X	cm	Ascissa punti significativi (assi riferim. baricentrico)
Y	cm	Ordinata punti significativi (assi riferim. baricentrico)
p	N/mm ²	pressione di contatto fond.-terreno in corrisp. dei punti
Ced.Ist.	cm	cedimenti immediati dei punti significativi della fondazione.
Ced.Ed.	cm	cedimenti edometrici dei punti significativi della fondazione.

Punto	X	Y	p	Ced.Ist.	Ced.Ed.	Note
0	0	0	0.40	5.41	26.52	Baricentro della fondazione
1	-2414	-2414	0.40	1.97	7.36	Spigolo inf. sin. fondazione
2	2414	-2414	0.40	1.97	7.36	Spigolo inf. des. fondazione
3	-2414	2414	0.40	1.97	7.36	Spigolo sup. sin. fondazione
4	2414	2414	0.40	1.97	7.36	Spigolo sup. des. fondazione
5	-2414	0	0.40	3.24	12.84	Punto medio lato sin. fondazione
6	2414	0	0.40	3.24	12.84	Punto medio lato des. fondazione
7	0	-2414	0.40	3.24	12.84	Punto medio lato inf. fondazione
8	0	2414	0.40	3.24	12.84	Punto medio lato sup. fondazione

Kw medio immediato (press. media/cedim. medio) = 0.9N/cm³

Cedimento medio immediato = 4.25 cm

Cedimento medio edometrico (platea rigida)= 20.14 cm

N.B. Il calcolo dei cedimenti immediati in esercizio viene svolto con riferimento al modello di Koenig e Sherif, cioè applicando la teoria dell'elasticità (Boussinesque) ma riferendola ai soli strati di terreno compresi entro una profondità (sotto il piano di posa delle fondazioni) pari alla dimensione B del plinto (platea) o pari a 2 volte la dimensione B trasversale della trave di fondazione. Pertanto la somma degli spessori H da assegnare nella griglia di Input deve essere circa pari alla suddetta profondità.

Il programma prevede la discretizzazione della pianta della fondazione a partire dalla Mesh assegnata (se il numero di elementi discreti supera il valore di 1000 la mesh viene automaticamente incrementata). Calcolate per ogni rettangolo discreto le aree (tutte uguali), le coordinate dei baricentri e la risultante delle pressioni che su di esso insistono, viene costruita la matrice di deformabilità del terreno mediante i coefficienti riportati nel capitolo 4 del volume 'INTERAZIONE FONDAZIONE TERRENO' - Vincenzo Caputo - Ed. Hevelius.

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.08

Per tener conto dello spessore finito dei singoli strati di terreno considerati dette relazioni vengono modificate in base all'approssimazione di Streinbrenner (vedi vol. sopra citato).

Nel caso di fondazione (infinitamente) flessibile: nota la matrice di deformabilità ed i singoli carichi agenti sugli elementi è immediata la valutazione dei cedimenti dei baricentri singoli elementi discreti.

5.3 DETERMINAZIONE ANALITICA DELLA RESISTENZA LATERALE DI UNA TIPOLOGIA DI PALO

Numero verticali di indagine: 1
 Coeff. Parziale di Sicurezza: 1.30 da applicare alla resistenza caratteristica secondo l'approccio 2 (6.4.3.1.1 NTC)

CARATTERISTICHE DEL PALO

Lunghezza del palo: 300 cm
 Diametro sezione palo: 120 cm
 Vincolo testa palo: Rotaz. impedita La condizione di vincolo è determinata dalla struttura di collegamento del palo.
 Classe Calcestruzzo: C28/35
 Tipo acciaio: B450C
 N° barre longitudinali: 25 N°
 Diametro barre longit.: 16 mm
 Copriferro barre: 5.0 cm Misurato dal baricentro delle barre
 Sforzo Normale minimo: 0.00 kN Il mom. di snerv. assunto è il minore tra i due calcolati con Nmin e Nmax
 Sforzo Normale massimo: 0.00 kN Sforzi normali massimo e minimo tra tutte le combinazioni S.L.U.
 M. snerv. minimo calcolato: 1004.62 kNm Utilizzato nel caso di palo 'lungo' (§ 13.2 'Fondazioni'-Viggiani)

DATI GEOTECNICI E RISULTATI RIFERITI ALLE SINGOLE VERTICALI DI INDAGINE

Cu N/mm² Valore Coesione per terreno di tipo coesivo
 Ø ° Angolo Attrito per terreno di tipo incoerente
 Gamma kN/m³ Peso unità volume per terreno di tipo incoerente
 Tipo Rottura a palo 'corto'= rottura terreno; 'medio', 'lungo'= una o più cerniere plastiche lungo il palo
 H Res. kN Resistenza laterale calcolata con la teoria di Broms (cfr. Cap. 13.2 'Fondazioni'-Viggiani)

N. Verticale	Cu	Ø	Gamma	Tipo Rottura	H Res.
1	0.040	---	---	Lungo	752.31

RISULTATI

H Res. medio = 752.31 kN Valore medio tra quelli esposti nella precedente tabella
 Fatt. correlaz. per H Res. medio = 1.700 Tratto dalla tab. 6.4.IV NTC in funzione del numero di verticali
 H Res. min = 752.31 kN Valore minimo tra quelli esposti nella precedente tabella
 Fatt. correlaz. per H Res. min = 1.700 Tratto dalla tab. 6.4.IV NTC in funzione del numero di verticali
 H Resist. caratteristico = 442.54 kN Il minore tra il medio ed il minimo (ridotti a mezzo dei fattori di correlazione)
H Resist. di progetto = 340.41 kN

5.4 DETERMINAZIONE ANALITICA DEL CARICO LIMITE ASSIALE DI UNA TIPOLOGIA DI PALO

Numero verticali di indagine: 1
 Coeff. Sic. Portanza alla Punta: 1.35 da applicare al carico limite caratteristico secondo l'approccio 2 (6.4.3.1.1 NTC)
 Coeff. Sic. Portanza Laterale: 1.15 da applicare al carico limite caratteristico secondo l'approccio 2 (6.4.3.1.1 NTC)
 Condizione di calcolo: DRENATA Coesione = 0; Ø = Ø' > 0

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.08

Formula applicata:
 $Dw^2+(L^2-Dw^2)$

del palo

'Fondazioni'-Bowles)

Dw= profondità falda

l'intera lungh. L del palo

prefabbr.)

$$Q_{ult} = Q_{punta} + Q_{laterale} = \int \int D^2/4 * q Nq Dq + \int \int D K \mu 0,5[g]$$

in cui: D=diametro palo; q = pressione litostatica vert. alla punta

Nq = fatt. portanza Hansen; Dq = fatt. correttivo di Hansen (Cap.4

g = peso efficace dell'unità di volume terreno; L= lunghezza palo;

$0,5[g Dw^2+(L^2-Dw^2)]$ = integrale della pressione litostatica lungo

K= fattore empirico correttivo (cfr. tab. 13.2 'Fondazioni' -Viggiani)

μ = coeff. di attrito (posto di solito pari a $\tan \emptyset$), da ridurre per pali

CARATTERISTICHE DEL PALO

Lunghezza del palo: 3000 cm
 Diametro sezione palo: 120 cm

DATI GEOTECNICI E RISULTATI RIFERITI ALLE SINGOLE VERTICALI DI INDAGINE

Gamma	kN/m ³	Peso unità volume del terreno
Gamma Sat	kN/m ³	Peso unità volume del terreno saturo
\emptyset'	°	Angolo Attrito efficace del terreno
Cu	kN/cm ²	Valore Coesione per terreno di tipo coesivo
Alfa Cu		Coefficiente di adesione espresso come aliquota efficace di Cu (cfr. Viggiani)
K		Coeff. K empirico da stimare in base alla tipologia esecutiva del palo (cfr. Viggiani)
μ		Coeff. attrito laterale (di solito posto pari a $\tan(\emptyset)$)
Q punta	kN	Carico limite alla Punta per singola verticale calcolato con le formule di Hansen
Q later.	kN	Carico limite Laterale per singola verticale calcolato con le formule di Hansen

N.Verticale	Gamma	Gamma Sat	\emptyset	Cu	Alfa	K	μ	Q punta	Q later.
1	18.00	---	25.0°	---	---	0.50	0.47	9610.79	7119.65

RISULTATI

Q medio alla punta:	9610.79	kN	Valore medio tra quelli esposti nella precedente tabella
Fatt.correl. Q medio punta:	1.700		Tratto dalla tab. 6.4.IV NTC in funzione del numero di verticali
Q min alla punta:	9610.79	kN	Valore minimo tra quelli esposti nella precedente tabella
Fatt.correlaz. Q min alla punta:	1.700		Tratto dalla tab. 6.4.IV NTC in funzione del numero di verticali
Q caratteristico alla punta:	5653.41	kN	Valore caratteristico = minimo tra Qmed e Qmin ridotti dei rispettivi fatt. correl.
Q medio laterale:	7119.65	kN	Valore medio tra quelli esposti nella precedente tabella
Fatt.correl. Q medio later.:	1.700		Tratto dalla tab. 6.4.IV NTC in funzione del numero di verticali
Q min Laterale:	7119.65	kN	Valore minimo tra quelli esposti nella precedente tabella
Fatt.correlaz. Q min laterale:	1.700		Tratto dalla tab. 6.4.IV NTC in funzione del numero di verticali
Q caratteristico laterale =	4188.03	kN	Valore caratteristico = minimo tra Qmed e Qmin ridotti dei rispettivi fatt. correl.

Q Lim di progetto= 7829.47 kN Somma dei valori alla punta e laterale rapportati ai relativi fattori di sic. assunti

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.08

6 COMBINAZIONI DI CALCOLO E VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

In accordo con quanto stabilito dalle NTC2018, per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove E_d è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione

$$E_d = E \left[\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

ovvero

$$E_d = \gamma_E \cdot E \left[F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

con $\gamma_E = \gamma_F$, e dove R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

Effetto delle azioni e resistenza sono espresse in funzione delle azioni di progetto $\gamma_F F_k$, dei parametri di progetto X_k/γ_M e della geometria di progetto a_d . L'effetto delle azioni può anche essere valutato direttamente come $E_d = E_k \times \gamma_E$. Nella formulazione della resistenza R_d , compare esplicitamente un coefficiente γ_R che opera direttamente sulla resistenza del sistema.

La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3). I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

Nel primo approccio progettuale (Approccio 1) sono previste due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti: la prima combinazione è generalmente più severa nei confronti del dimensionamento strutturale delle opere a contatto con il terreno, mentre la seconda combinazione è generalmente più severa nei riguardi del dimensionamento geotecnico.

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.08

Nel secondo approccio progettuale (Approccio 2) è prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali sia nelle verifiche geotecniche.

Nelle verifiche agli stati limite ultimi per il dimensionamento geotecnico delle fondazioni (GEO), si considera lo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dal raggiungimento della resistenza del terreno interagente con le fondazioni. L'analisi può essere condotta:

- con l'**approccio 1** attraverso la **Combinazione 2 (A2+M2+R2)**, nella quale i parametri di resistenza del terreno sono ridotti tramite i coefficienti del gruppo M2 e la resistenza globale del sistema tramite i coefficienti γ_R del gruppo R2. Nell'uso di questa combinazione, le azioni di progetto in fondazione derivano da analisi strutturali che devono essere svolte impiegando i coefficienti parziali del gruppo A2;
- con l'**approccio 2** attraverso la **Combinazione unica (A1+M1+R3)**, nella quale i coefficienti parziali sui parametri di resistenza del terreno (M1) sono unitari e la resistenza globale del sistema è ridotta tramite i coefficienti γ_R del gruppo R3. Tali coefficienti si applicano solo alla resistenza globale del terreno, che è costituita, a seconda dello stato limite considerato, dalla forza normale alla fondazione che produce il collasso per carico limite, o dalla forza parallela al piano di scorrimento della fondazione che ne produce il collasso per scorrimento.

7 SINTESI DELLE OPERE DI FONDAZIONE DI PROGETTO

Il metodo di analisi adottato è coerente con le ipotesi di progetto. L'analisi è stata basata su modelli strutturali appropriati a seconda dello stato limite considerato riproducendo il comportamento globale della struttura e quello locale delle sezioni adottate, degli elementi strutturali e dei nodi. Le sollecitazioni flettenti di calcolo utilizzate per il dimensionamento e la verifica, sono quelle ottenute dall'analisi globale della struttura per le combinazioni di carico definite in precedenza.

Le nuove strutture di fondazione dell'aereogeneratore saranno realizzate mediante una platea in c.a. del diametro di 26 metri con spessore variabile da 1.80 metri a 3.00 metri nella zona di attacco con l'aereogeneratore.



Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.08

Questa sarà disposta su pali trivellati in opera in numero pari a 24, con diametro di 1.20 metri e profondità di infissione di 30.0 metri.

Il collegamento tra la fondazione e l'aereogeneratore sarà assicurato da tirafondi annegati in fase di getto e nello specifico sarà utilizzato un anchor cage costituito da 100+100 tirafondi M42 inguainati e disposti lungo una corona circolare del diametro di 4.0 metri.