

REGIONE
MOLISE



Provincia
CAMPOBASSO



Comuni:

Acquaviva Collecroce

San Felice del Molise

Tavenna

IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60,00 MW

RICHIEDENTE

V-RIDIUM WIND MOLISE 1 S.r.l.

Viale Giorgio Ribotta, 21
00144 Roma (RM)
P. IVA: 16672771009



Titolo Elaborato:

RELAZIONE GEOTECNICA

Codice Progetto:

ITW2AC

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

Scala N.A. in A4

Collaborazione (Strutture):

ing. Francesco COMES

Ordine Ing. Taranto n. 249

Via Matteotti, 50

74011 Castellaneta (TA)

info@cisistem.it

tel. +39 351 5580558

Comes

Francesco

03.05.2023

17:05:43

GMT+00:00



10.05.2023	0	PRIMA EMISSIONE	ing. Gianluca PANTILE	ing. Maurizio DE DONNO
Data	Revisione	DESCRIZIONE	Elaborazione	Verifica e controllo

REVISIONI

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.08

INDICE

1	PREMESSA	3
2	INQUADRAMENTO NORMATIVO	5
3	AZIONI SISMICHE E CATEGORIA DEL SUOLO	5
4	CARATTERISTICHE FISICO MECCANICHE E GEOTECNICHE DEL TERRENO.....	20
5	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	21
5.1	CAPACITA' PORTANTE DEL TERRENO DI FONDAZIONE	21
5.2	S.L.E. - CALCOLO CEDIMENTI ELASTICI IMMEDIATI ED EDOMETRICI. STIMA COEFF. SOTTOFONDO (KWINKLER) - DESCRIZIONE DEL CALCOLO: PLATEA FLESSIBILE.....	22
5.3	DETERMINAZIONE ANALITICA DELLA RESISTENZA LATERALE DI UNA TIPOLOGIA DI PALO	23
5.4	DETERMINAZIONE ANALITICA DEL CARICO LIMITE ASSIALE DI UNA TIPOLOGIA DI PALO..	24
6	COMBINAZIONI DI CALCOLO E VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU).....	25
7	SINTESI DELLE OPERE DI FONDAZIONE DI PROGETTO.....	27

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.08

1 PREMESSA

La Società V-RIDIUM WIND MOLISE 1 S.r.l. (nel seguito "Proponente") intende realizzare, in aree agricole dei Comuni di Acquaviva Collecroce (CB), San Felice del Molise (CB) e Tavenna (CB), un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica (nel seguito "impianto eolico") costituito da n. 10 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 60,00 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. 202202041 e riportata nell'ALLEGATO A1 alla Comunicazione prot. n. P20220102400 ricevuta a mezzo PEC del 21/11/2022, la quale prevede che l'impianto sarà collegato in antenna a 36 kV con una nuova Stazione Elettrica di trasformazione 380/150/36 kV della RTN da inserire in entra-esce sulla linea RTN a 380 kV "Larino-Gissi" (nel seguito "S.E. RTN").

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.

I centri abitati di Palata (CB), Tavenna (CB), San Felice del Molise (CB), Acquaviva Collecroce (CB) e Mafalda (CB), si trovano rispettivamente a circa 2,3 km ad EST, 2,0 km a NORD-EST, 1,8 km a SUD-OVEST, 1,7 km a SUD-EST ed a circa 2,5 km a NORD-OVEST dai relativi e rispettivi aerogeneratori più prossimi.

L'intera opera consiste dunque nell'impianto di produzione (impianto eolico inteso come aerogeneratori collegati elettricamente tra loro in cluster opportunamente definiti), negli elettrodotti di vettoriamento a 36 kV, verso una apposita Cabina Elettrica Utente (CEU), dell'energia elettrica prodotta dai diversi gruppi di generazione previsti, e nell'elettrodotto di collegamento in antenna a 36 kV in partenza dalla CEU ed arrivo nell'apposito Stallo che sarà approntato nella nuova S.E. RTN.

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.08

La figura seguente rappresenta l'inquadramento territoriale delle opere in progetto su base ortofotografica:



Figura 1
Inquadramento territoriale delle opere su base ortofotografica

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.

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.08

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. 10 profili sismici a rifrazione;

n. 10 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"

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 Vs, 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.

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.08

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. 10 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:

- 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;

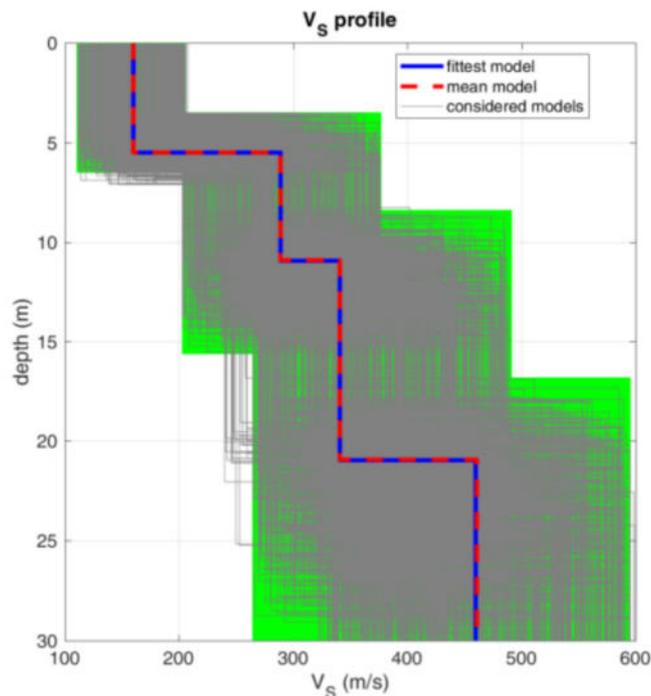
Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.08

- Categoria D: Depositi 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 tra la categoria B e C. Infatti, in base all'analisi dei profili sismici e delle correlazioni relative, si attribuiscono ai suoli di fondazione le seguenti categorie:

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:

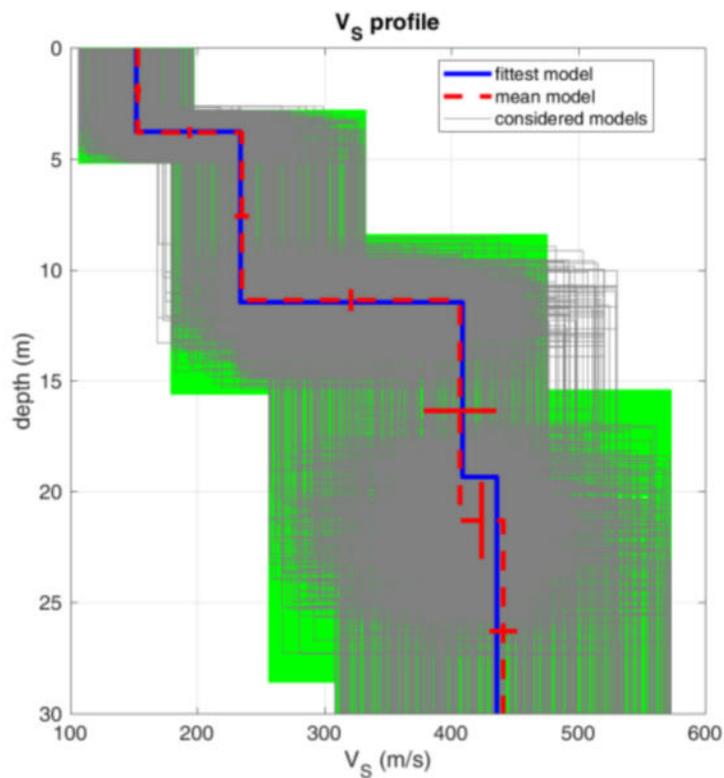


dispersion curve:
 V_{s30} & V_{sE} (best model): 293 293 m/s
 V_{s30} & V_{sE} (mean model): 294 294 m/s

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.08

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:



dispersion curve:

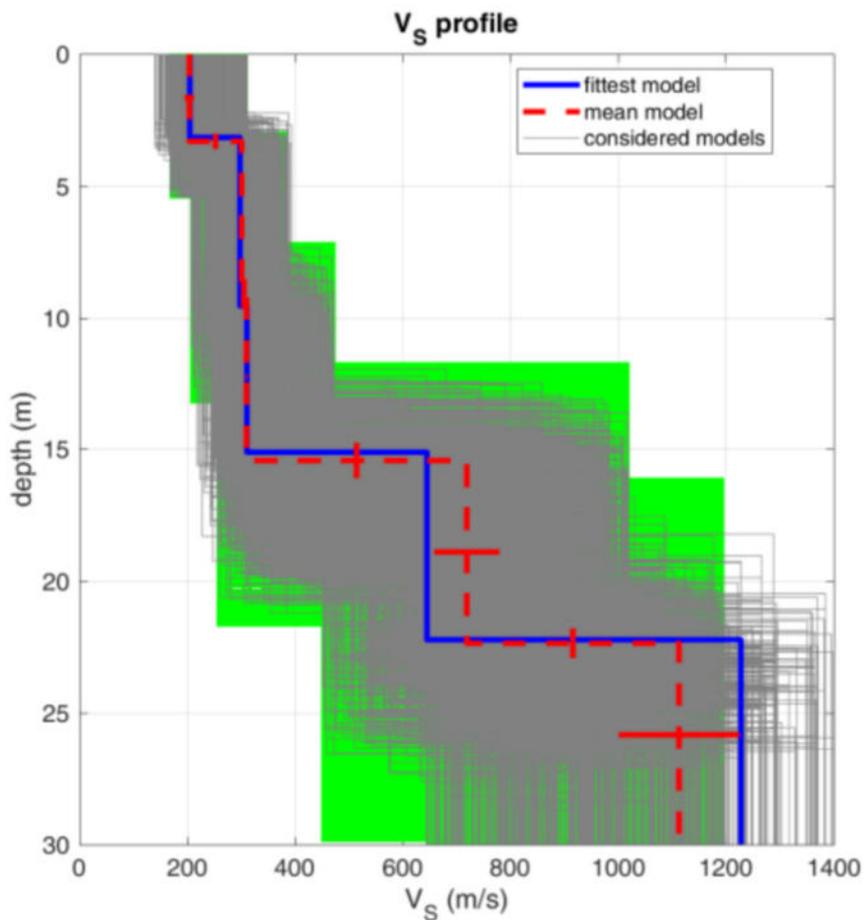
Vs30 & VsE (best model): 296 296 m/s

Vs30 & VsE (mean model): 296 296 m/s

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.08

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:

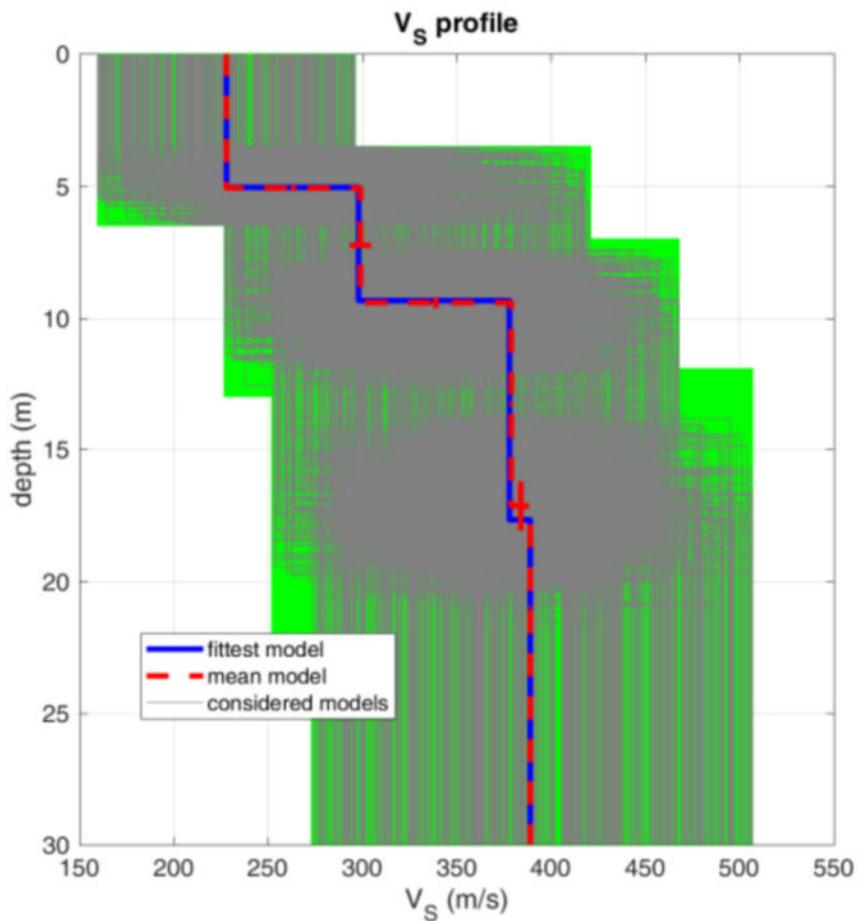


dataset:
 dispersion curve: p.cdp
 Vs30 & VsE (best model): 416 338 m/s
 Vs30 & VsE (mean model): 414 341 m/s

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.08

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:



dispersion curve:

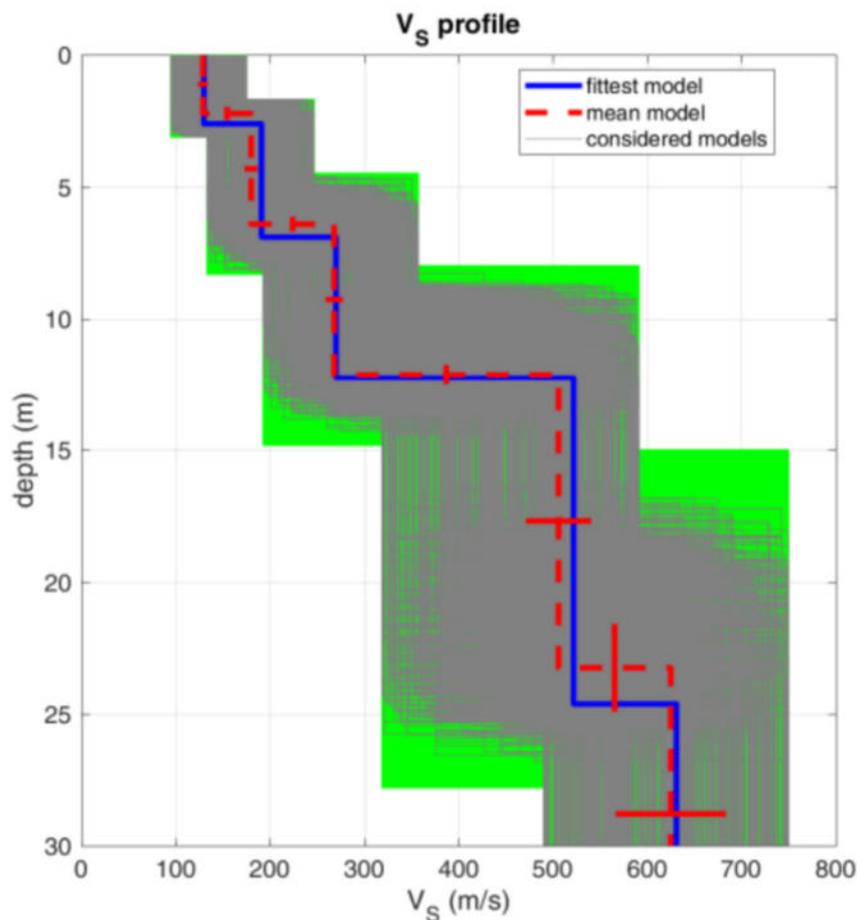
Vs30 & VsE (best model): 332 332 m/s

Vs30 & VsE (mean model): 333 333 m/s

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.08

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:

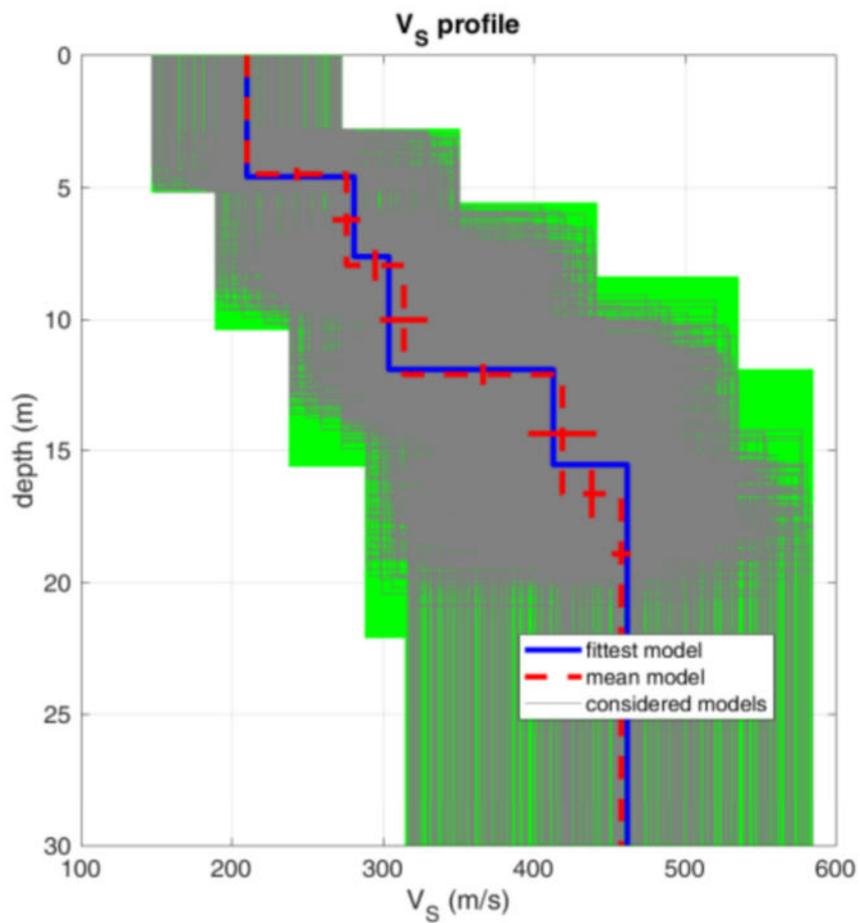


dataset:
 dispersion curve: p.cdp
 Vs30 & VsE (best model): 317 317 m/s
 Vs30 & VsE (mean model): 317 317 m/s

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.08

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:



dispersion curve:

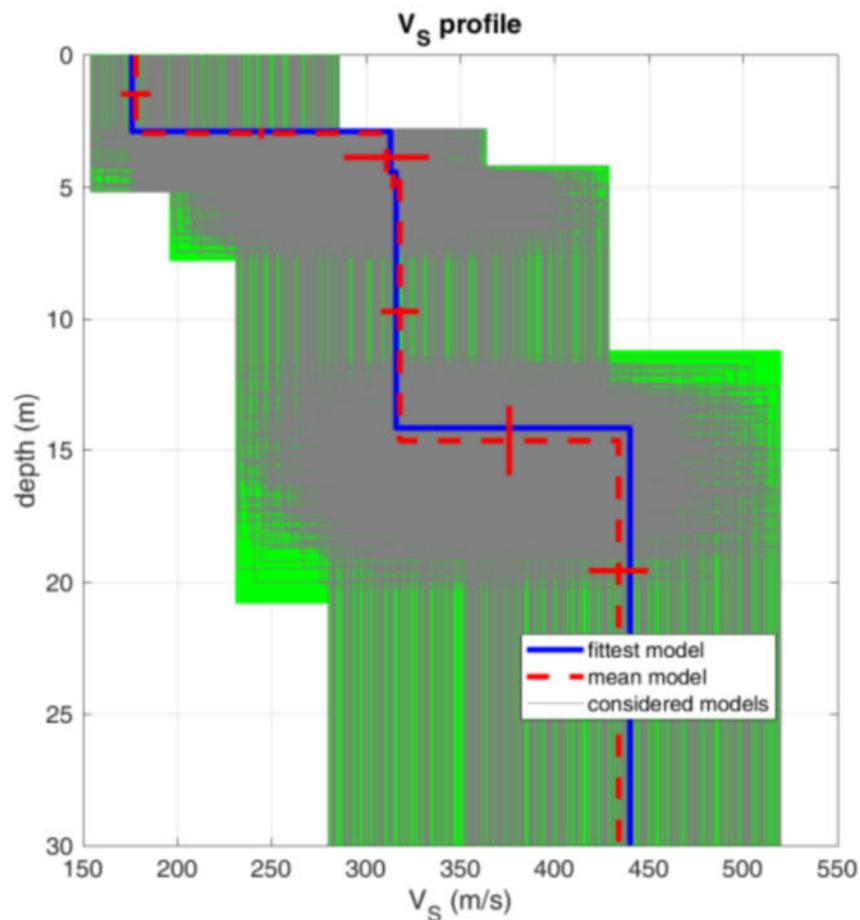
Vs30 & VsE (best model): 345 345 m/s

Vs30 & VsE (mean model): 344 344 m/s

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.08

MASW 7 (aerogeneratore WTG 07)

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:

dispersion curve: Masw.cdp

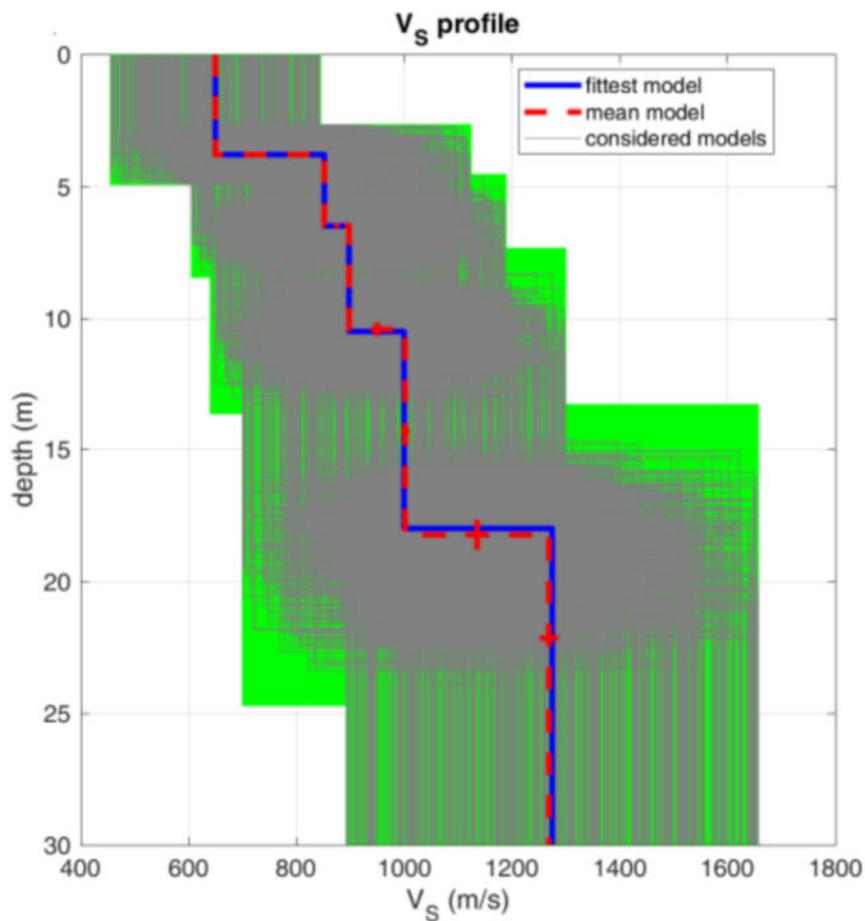
Vs30 & VsE (best model): 340 340 m/s

Vs30 & VsE (mean model): 337 337 m/s

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.08

MASW 8 (aerogeneratore WTG 08)

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:

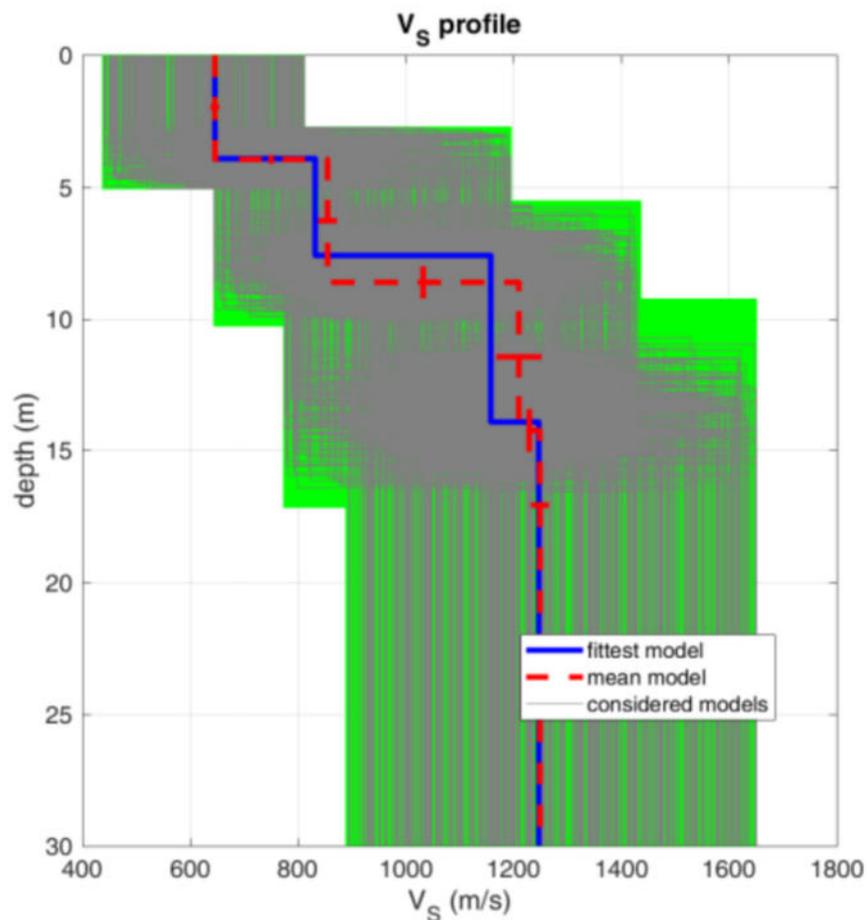


dataset:
 dispersion curve: p.cdp
 Vs30 & VsE (best model): 988 650 m/s
 Vs30 & VsE (mean model): 985 650 m/s

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.08

MASW 9 (aerogeneratore WTG 09)

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:

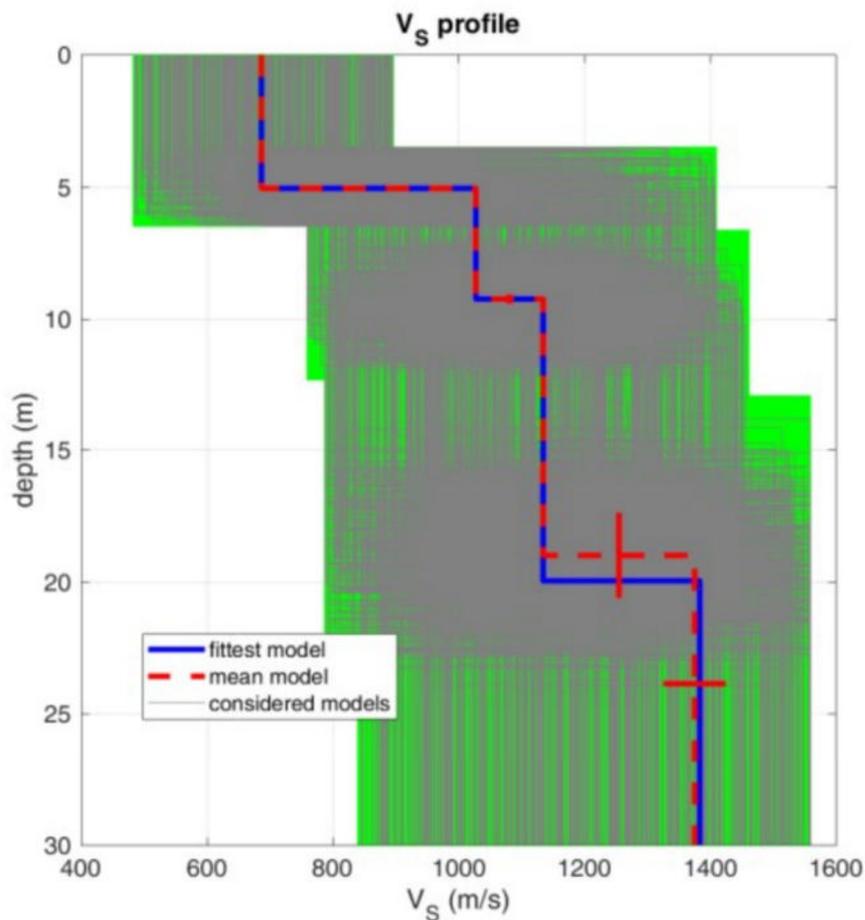


dataset:
 dispersion curve: p.cdp
 Vs30 & VsE (best model): 1040 646 m/s
 Vs30 & VsE (mean model): 1040 646 m/s

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.08

MASW 10 (aerogeneratore WTG 10)

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:



dataset:
 dispersion curve: p.cdp
 Vs30 & VsE (best model): 1066 687 m/s
 Vs30 & VsE (mean model): 1070 687 m/s

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.08

Come categoria di suolo, nelle verifiche preliminari è stata utilizzata la classe C, peggiorativa rispetto alla B.

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 PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate
 LONGITUDINE: 14.9915 LATTITUDINE: 41.7138

Ricerca per comune
 REGIONE: Molise PROVINCIA: Campobasso COMUNE: Acquaviva Collec...

Elaborazioni grafiche:
 Grafici spettri di risposta
 Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche:
 Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento
 Controllo sul reticolo
 Sito esterno al reticolo
 Interpolazione su 3 nodi
 Interpolazione corretta
 Interpolazione: superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_n : info
 Coefficiente d'uso della costruzione - c_d : info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R : info
 Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R : info

Stati limite di esercizio - SLE:

- SLO - $P_{vib} = 81\%$:
- SLD - $P_{vib} = 63\%$:

Stati limite ultimi - SLU:

- SLV - $P_{vib} = 10\%$:
- SLC - $P_{vib} = 5\%$:

Elaborazioni:
 Grafici parametri azione
 Grafici spettri di risposta
 Tabella parametri azione

Strategia di progettazione

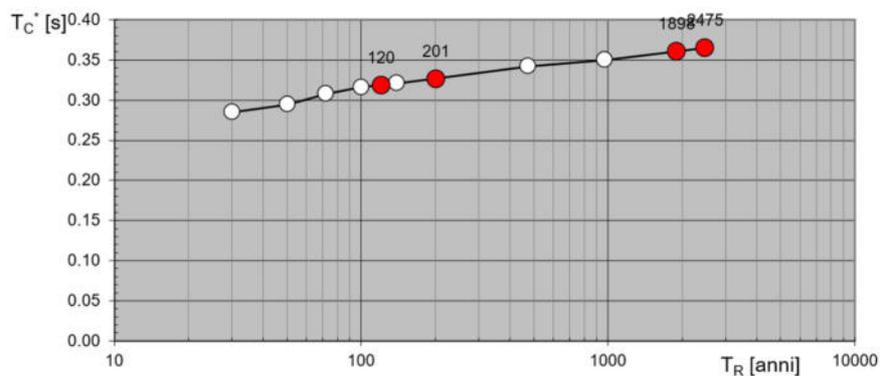
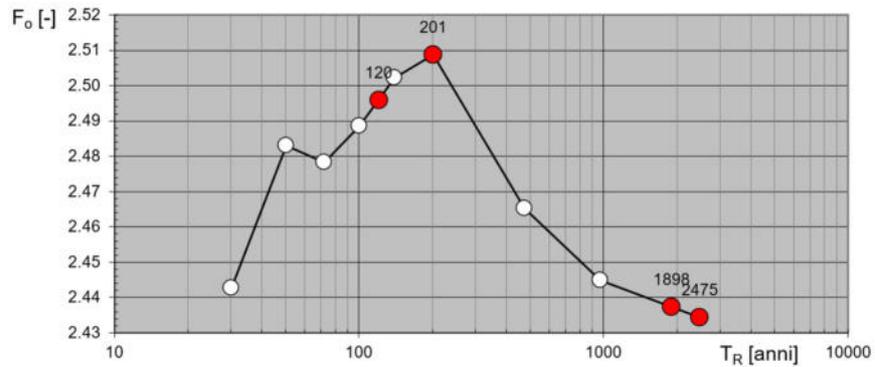
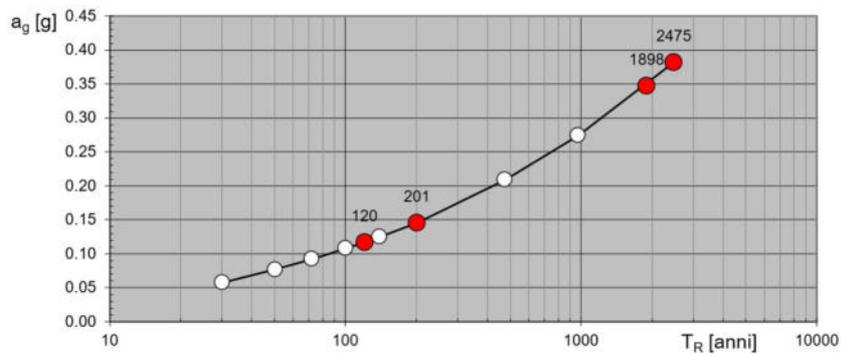
LEGENDA GRAFICO
 - - - - - Strategia per costruzioni ordinarie
 Strategia scelta

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.08

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno S

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	120	0.117	2.496	0.319
SLD	201	0.146	2.509	0.327
SLV	1898	0.348	2.437	0.361
SLC	2475	0.382	2.434	0.365

Valori di progetto dei parametri a_g , F_o , T_C^* in funzione del periodo di ritorno T_R



Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.08

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite
Stato Limite considerato: **SLV** info

Risposta sismica locale
 Categoria di sottosuolo: **C** info $S_s = 1.191$ $C_c = 1.470$ info
 Categoria topografica: **T1** info $h/H = 0.000$ $S_T = 1.000$ info
(Inquinata sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale
 Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento ξ (%): **5** $\eta = 1.000$ info
 Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore q_s : **1.5** Regol. in altezza: **si** info

Compon. verticale
 Spettro di progetto Fattore q_v : **1.5** $\eta = 0.667$ info

Elaborazioni
 Grafici spettri di risposta Parametri e punti spettri di risposta

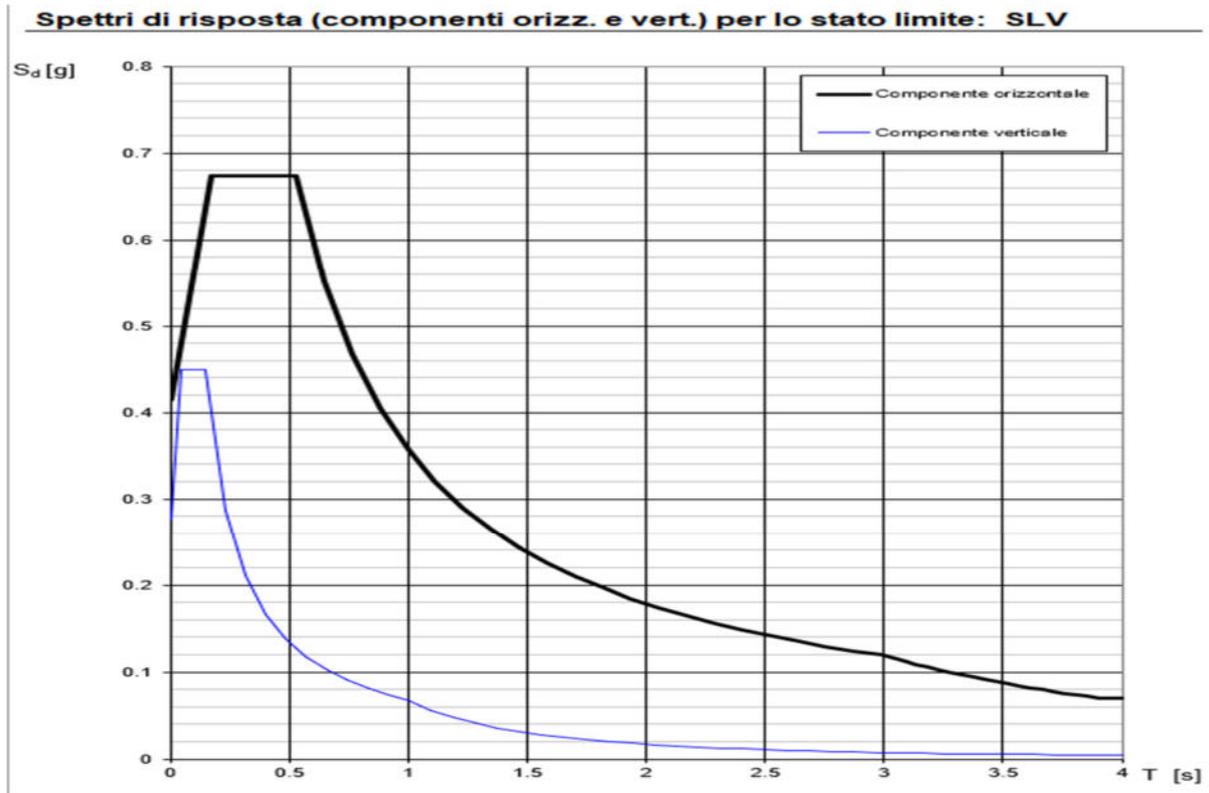
Spettri di risposta

 — Spettro di progetto - componente orizzontale
 — Spettro di progetto - componente verticale
 — Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

Parametri indipendenti		Parametri dipendenti	
STATO LIMITE	SLV	S	1.191
a_g	0.348 g	η	0.667
F_o	2.437	T_B	0.177 s
T_C	0.361 s	T_C	0.530 s
S_s	1.191	T_D	2.991 s
C_c	1.470		
S_T	1.000		
q	1.500		

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}$$

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.08



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:

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.08

Profilo sismico	WTG	Sismostrato 1		Sismostrato 2		Sismostrato 3	
		[prof. m]	[Tipo]	[prof. m]	[Tipo]	[prof. m]	[Tipo]
1	01	1,3	TV	10,0	SA	-	-
2	02	1,6	TV	10,0	SA	-	-
3	03	1,6	TV	10,0	SA	-	-
4	04	1,2	TV	10,0	SA	-	-
5	05	1,3	TV	10,0	SA	-	-
6	06	0,8	TV	10,0	SA	-	-
7	07	0,8	TV	6,5	SA	10	CAEC
8	08	1,3	TV	10,0	CAEC	-	-
9	09	0,6	TV	10,0	CAEC	-	-
10	10	0,4	TV	10,0	CAEC	-	-

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

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

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.08

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
 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)

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.08

p N/mm² 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.

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:	3000	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/mm ²	Valore Coesione per terreno di tipo coesivo
Ø	°	Angolo Attrito per terreno di tipo incoerente
Gamma	kN/m ³	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

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.08

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; $\emptyset = \emptyset' > 0$
Formula applicata:			$Q_{ult} = Q_{punta} + Q_{laterale} = \int D^2/4 * q Nq Dq + \int D K \mu 0,5[g$
$Dw^2+(L^2-Dw^2]$			
palo			in cui: D=diametro palo; q = pressione litostatica vert. alla punta del
'Fondazioni'-Bowles)			$Nq =$ fatt. portanza Hansen; $Dq =$ fatt. correttivo di Hansen (Cap.4
profondità falda			$g =$ peso efficace dell'unità di volume terreno; L= lunghezza palo; $Dw =$
lunghezza L del palo			$0,5[g Dw^2+(L^2-Dw^2] =$ integrale della pressione litostatica lungo l'intera
prefabbr.)			$K =$ fattore empirico correttivo (cfr. tab. 13.2 'Fondazioni' -Viggiani)
			$\mu =$ 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

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.08

Q caratteristico alla punta: 5653.41 correl.	kN	Valore caratteristico = minimo tra Qmed e Qmin ridotti dei rispettivi fatt.
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 correl.	kN	Valore caratteristico = minimo tra Qmed e Qmin ridotti dei rispettivi fatt.
Q Lim di progetto= 7829.47	kN	Somma dei valori alla punta e laterale rapportati ai relativi fattori di sic. assunti

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.

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.08

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.

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.

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.08

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 1.20 metri a 2.40 metri nella zona di attacco con l'aereogeneratore.

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.