

PROPONENTE

Repower Renewable Spa

Via Lavaredo, 44/52
30174 Mestre (VE)



PROGETTAZIONE



Progettista :
Ing. Nicola Forte

Tenproject Srl -via De Gasperi 61
82018 S.Giorgio del Sannio (BN)
t +39 0824 337144 - f +39 0824 49315
tenproject.it - info@tenproject.it



Consulenti
per TENPROJECT

Ingegneria Progetti Srl - via della Libertà 97
90143 - Palermo (PA)
t +39 091 640 5229
priolo@ingegneriaprogetti.com
pupella@ingegneriaprogetti.com

N° COMMESSA

1455

PARCO EOLICO "COSTIERE "
PROVINCE DI PALERMO E AGRIGENTO
COMUNI DI CONTESSA ENTELLINA - S. MARGHERITA DI BELICE - SAMBUCA DI SICILIA

PROGETTO DEFINITIVO PER AUTORIZZAZIONE

ELABORATO


RELAZIONE GEOTECNICA

CODICE ELABORATO

0.10.0


NOME FILE
1455-PD_A_0.10.0_REL_r00

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICA	APPROVAZIONE
00	Aprile 2021	PRIMA EMISSIONE	MC	GP	NF

	RELAZIONE GEOTECNICA	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	24/04/2021
		Data ultima modifica	26/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	2 di 11

Sommario

1. PREMESSA.....	3
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	3
3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
4. INQUADRAMENTO GELOGICO E GEOMORFOLOGICO	4
5. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	5
6. INQUADRAMENTO SISMICO.....	5
7. INDAGINI ESEGUITE	7
7.1 Indagini penetrometriche.....	7
7.2 Indagini MASW	9
8. CONCLUSIONI	11

	RELAZIONE GEOTECNICA	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	24/04/2021
		Data ultima modifica	26/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	3 di 11

1. PREMESSA

Il progetto riguarda la realizzazione di un impianto eolico proposto dalla società Repower Renewable SPA costituito da n. 7 turbine (con le sigle T01, T02, T03, T04, T05, T06 e T07), da installare in località “Costiere”, nel Comune di Contessa Entellina (PA).

Le relative opere connesse di allacciamento alla RTN consistono nella realizzazione in un elettrodotto completamente interrato MT ed una SSE sottostazione di trasformazione che si collegherà, tramite posa di un cavidotto AT, alla futura Stazione Elettrica RTN a 220 kV denominata “Sambuca” di proprietà Terna S.p.A., ricadono in parte anche all’interno del territorio comunale di Santa Margherita di Belice e Sambuca di Sicilia (AG).

Il presente studio ha lo scopo di definire i valori dei parametri geotecnici dei terreni, necessari per il progetto delle opere di fondazione relative alle strutture ubicate all’interno dell’area in esame. Su incarico conferito dalla Società Repower Renewable SpA, è stata eseguita una campagna di indagini geotecniche a supporto del progetto per la costruzione del Parco eolico in questione da cui sono stati estrapolati i parametri per i successivi studi strutturali.

La finalità delle indagini geotecniche commissionate ed eseguite, considerata la natura dei depositi presenti sull’area, è stata quella di ricostruire la locale successione stratigrafica e caratterizzare dal punto di vista geotecnico i terreni di fondazione.


2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

I dati e le informazioni di base per la stesura del presente elaborato sono stati ricavati dalla relazione geologica, a cui si rimanda per ogni approfondimento. Sulla base delle indagini condotte sono state elaborate le considerazioni che si riportano nel seguito del presente elaborato.

3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente relazione ottempera alle prescrizioni contenute nella seguente normativa:

- D.M. LL.PP. del 11/03/1988: Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;

	RELAZIONE GEOTECNICA	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	24/04/2021
		Data ultima modifica	26/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	4 di 11

- D.M. 17 Gennaio 2008: Norme Tecniche per le Costruzioni;
- CIRCOLARE 21 gennaio 2019 , n. 7 C.S.LL.PP.: Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Dal punto di vista geologico l'area interessata è caratterizzata dall'affioramento di terreni carbonatici, argillo - marnosi, argillo - sabbiosi e calcarenitici di età compresa tra il Trias superiore ed il Pleistocene.

In particolar modo, i terreni interessati dal progetto dell'impianto eolico appartengono al gruppo gessoso-solfifera.


L'area in esame è caratterizzata da terreni di natura sedimentaria, talvolta interessati da un'evoluzione tettonica diversificata, che ha determinato la variabilità di morfologie tra la parte dove è prevista la realizzazione dei tralicci e la parte dove è prevista la realizzazione delle opere di collegamento.

L'area, infatti, è costituita di rilievi in cui affiorano rocce calcaree, che si contrappongono ad un paesaggio a morfologia in cui prevalgono invece rocce argilloso-sabbiose e argillo-marnose.

Come si evince dalla Relazione Geologica, i fenomeni carsici sono presenti in forme abbastanza tipiche solo limitatamente a ristrette zone nei rilievi calcarei e, meno estesamente, nelle masse gessose. I depositi argillosi, invece, sono spesso interessati da fenomeni di erosione cui si lega localmente la morfologia calanchiva.

Inoltre, dalla consultazione delle carte tematiche vigenti del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Regione Sicilia risulta che l'area in esame NON è soggetta a nessuno dei seguenti vincoli:

- vincolo di Dissesto Geomorfologico;
- vincolo di Pericolosità Geomorfologica;
- vincolo di Rischio Geomorfologico;
- vincolo di Pericolosità Idraulica;
- vincolo di Rischio Idraulico.

	RELAZIONE GEOTECNICA	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	24/04/2021
		Data ultima modifica	26/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	5 di 11

5. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

L'area dove è prevista la realizzazione del parco eolico è compreso all'interno del bacino idrografico del Fiume Belice, più specificatamente Belice destro, di carattere tipicamente torrentizio, la cui estensione è di circa 263 Km² e interessa il territorio delle province di Palermo e Trapani. Il corso d'acqua trae la propria origine nella zona settentrionale del bacino, nel circondario dei comuni di S. Cristina Gela e Piana degli Albanesi, dalle falde della Moarda. L'asse idrografico principale dei due fiumi scorre con orientamento NE-SW.

Complessivamente il bacino presenta un reticolo idrografico abbastanza articolato che si estrinsecano in prolungati periodi di assoluta siccità alternati a periodi di piena con tempi brevi di corrivazione dopo gli eventi meteorici.

6. INQUADRAMENTO SISMICO


Secondo quanto previsto dal capitolo 2 delle NTC ed ai fini della definizione dei livelli di sicurezza e delle prestazioni attese, alla costruzione sono stati attribuiti i seguenti parametri:

- Tipo di costruzione *Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica*
- Vita nominale $V_n = 100$ anni
- Classe d'uso *IV, Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti...*
- Coefficiente d'uso $C_U = 2$
- Periodo di riferimento $V_R = 200$ anni

In riferimento alle prescrizioni di cui al paragrafo 3.2 delle NTC si definiscono, pertanto, i seguenti parametri:

- Categoria di sottosuolo B
- Categoria topografica T_1
- Amplificazione topografica $S_T = 1.00$

La stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente". La stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di

	RELAZIONE GEOTECNICA	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	24/04/2021
		Data ultima modifica	26/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	6 di 11

riferimento (tabella 1 nell'Allegato B del D.M. 17 Gennaio 2018). Le forme spettrali vengono definite, per ciascuna delle probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento PVR, partendo dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g è l'accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_o è il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T^*C è il periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

L'azione sismica viene definita in relazione ad un *periodo di riferimento* V_r che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale per il coefficiente d'uso.

Fissato il periodo di riferimento V_r e la probabilità di superamento P_{ver} associata a ciascuno degli stati limite considerati, si ottiene il periodo di ritorno T_r e i relativi parametri di pericolosità sismica.

Individuati su reticolo di riferimento i parametri di pericolosità sismica si valutano i parametri spettrali riportati in tabella:


- S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente $S = S_s * S_t$;
- F_o è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale;
- F_v è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima verticale, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno a_g su sito di riferimento rigido orizzontale;
- T_b è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;
- T_c è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a velocità costante;
- T_d è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a spostamento costante;

Individuati su reticolo di riferimento i parametri di pericolosità sismica si valutano i parametri spettrali:

Sisma

Identificazione del sito

Latitudine	37.62644
Longitudine	13.023019
Comune	Menfi
Provincia	Agrigento
Regione	Sicilia

	RELAZIONE GEOTECNICA	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	24/04/2021
		Data ultima modifica	26/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	7 di 11

Tipo di opera

Tipo di costruzione	Opera di importanza strategica
Vita nominale	100 anni
Classe d'uso	IV - Opere strategiche ed industrie molto pericolose
Vita di riferimento	200 anni

Combinazioni/Fase

	SLU	SLE
Accelerazione al suolo [m/s ²]	2,823	0.801
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale F ₀	2.496	2.295
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante Tc*	0.317	0.258
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.000	1.000
Tipo di sottosuolo	B	B
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.118	1.200

7. INDAGINI ESEGUITE

Per elaborare i dati geotecnici, sono stati presi in considerazione i lavori bibliografici esistenti della zona, correlati con le indagini geotecniche e sismiche eseguite dal geologo Lo Verme Salvatore.

Per la caratterizzazione geofisica dell'area di progetto, al fine di ottemperare alla normativa vigente, sono stati presi in considerazione le seguenti indagini:


- n° 1 indagini penetrometriche;
- n° 3 sondaggi sismici: tipo "MASW".

7.1 Indagini penetrometriche

Le prove penetrometriche fanno parte delle indagini in situ geotecniche. Esse permettono di caratterizzare indirettamente il sottosuolo attraverso l'infissione di una punta nel terreno.

Si possono distinguere:

- Prove penetrometriche statiche (CPT);
- Prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU);
- **Prove penetrometriche dinamiche (DPSH);**
- Standard penetration test (SPT);
- Prove dilatometriche.

	RELAZIONE GEOTECNICA	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	24/04/2021
		Data ultima modifica	26/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	8 di 11

Lo strumento che permette di effettuare le prove penetrometriche è il penetrometro. Esso è costituito da una cella di carico che permette di spingere punta e aste nel terreno con una forza che varia a seconda della tipologia del penetrometro (generalmente la spinta è di 20 tonnellate).

Le indagini oggetto della presente relazione sono state eseguite mediante penetrometro dinamico medio del tipo DL30IT dal Geologo Salvatore Lo Verme in data 11/03/2021 e sono state spinte fino alla profondità massima di 7,8 metri dal piano di campagna, raggiungendo la formazione di base. È stata eseguita n° 1 prova penetrometrica dinamica con riferimento prova 06-37 Din 1 ricadente sul sito di costruzione dell'aerogeneratore denominato "T6".

Tale prova consiste nell'infingere una punta conica avente angolo di 60° ed una superficie di 10 cm², tramite una massa battente di 30 kg e volata 20 cm, contando il numero di colpi necessari per avanzare di 10 cm. L'utilizzo di più aste, giuntabili tra di loro, permette di raggiungere profondità di 10 metri e oltre misurando, durante l'avanzamento, il numero di colpi, riuscendo a desumere la resistenza alla penetrazione media per ogni strato.

Durante la fase di interpretazione si procede all'individuazione dei vari strati discretizzando quelli accomunati dalla stessa resistenza alla penetrazione. Successivamente, tramite opportune formule, i valori di resistenza alla penetrazione sono trasformati in parametri fisici e meccanici caratterizzanti il terreno attraversato.

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva dei parametri geotecnici del terreno, desunti sulla base del Nstp (numero di colpi di prova SPT per un avanzamento $\delta = 30$ cm).

Tabella 1: Parametri geotecnici

n°	Prof.(m)		Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
				DR	ϕ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00	0.90	2	7.5	26.8	207	1.85	1.36	0.13	1.75	47	1.267
2	0.90	4.50	6	21.7	28.4	238	1.89	1.43	0.38	1.85	37	1.000
3	4.50	6.20	13	39.5	30.9	292	1.95	1.53	0.81	1.93	30	0.818
4	6.20	7.80	29	63.5	35.7	415	2.05	1.68	1.81	2.13	19	0.506

DR (%) = densità relativa

ϕ' (°) = angolo di attrito efficace

E' (kg/cm²) = modulo di deformazione drenato


W (%) = contenuto d'acqua

e (-) = indice dei vuoti

Cu (kg/cm²) = coesione non drenata

Ysat (t/m³) = peso di volume saturo del terreno

Yd (t/m³) = peso di volume secco del terreno

	RELAZIONE GEOTECNICA	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	24/04/2021
		Data ultima modifica	26/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	9 di 11

7.2 Indagini MASW

La prova M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine che consente la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori posti sulla superficie del suolo. È una tecnica di indagine attiva (ossia precede l'energizzazione del terreno tramite un colpo di martello sul terreno). Le onde sismiche analizzate sono le onde di Rayleigh, le quali modificano la loro velocità di avanzamento, e frequenza, in base alla tipologia di terreno che incontrano nel loro percorso.

La finalità delle indagini di seguito descritte è stata quella di accertare i valori di velocità delle onde S dei vari sismostrati, utili a ricavare la categoria di suolo di fondazione. In tale ottica si è proceduto alla esecuzione di n° 3 indagini sismiche di tipo masw in prossimità delle aree ove saranno realizzati gli aerogeneratori denominati T3 e T6 ed in prossimità dell'area di costruzione della Stazione Utente.

Il metodo MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva) è una tecnica di indagine non invasiva per la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs. L'analisi dei dati ha consentito di definire i valori del profilo verticale VS ed ottenere una stima del Vs equivalente alla quota del piano di campagna.


Tale metodica si basa sulla misurazione e interpretazione delle onde (nel dominio del tempo) in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo e la successiva analisi nel dominio della frequenza.

Di seguito si riportano le sintesi dei risultati delle 3 prove eseguite, con indicazione delle velocità Vs rilevate, necessarie alla definizione del tipo di terreno, in accordo con le norme tecniche per le costruzioni (DM 17/01/2018):

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.

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.

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.

	RELAZIONE GEOTECNICA	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	24/04/2021
		Data ultima modifica	26/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	10 di 11

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.

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.

Indagine sismica Masw T3

Tabella 2: Indagine sismica Masw T3: Velocità delle onde S

Sismostrato (n°)	Profondità in metri dal p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/s)
1	1.2	1.2	113
2	4	2.8	169
3	7.6	3.6	428
4	30	semispazio	585

L'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh a partire da dati di sismica attiva (MASW) ha consentito di determinare il profilo verticale della VS e di conseguenza del parametro Vs Equivalente calcolato alla quota del piano di campagna restituendo un valore pari a **408 m/s**.

Pertanto in accordo con le norme tecniche per le costruzioni (DM 17/01/2018) il sito in esame rientra nella **categoria B**.


Indagine sismica Masw T6

Tabella 3: Indagine sismica Masw T6: Velocità delle onde S

Sismostrato (n°)	Profondità in metri dal p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/s)
1	0.9	0.9	88
2	4.8	3.9	137
3	10.8	6	239
4	30	semispazio	337

L'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh a partire da dati di sismica attiva (MASW) ha consentito di determinare il profilo verticale della VS e di conseguenza del parametro Vs Equivalente calcolato alla quota del piano di campagna restituendo un valore pari a **248 m/s**.

Pertanto in accordo con le norme tecniche per le costruzioni (DM 17/01/2018) il sito in esame rientra nella **categoria C**.

	RELAZIONE GEOTECNICA	Codice	PD_A_10.1
		Data creazione	24/04/2021
		Data ultima modifica	26/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	11 di 11

Indagine sismica Stazione Utente

Tabella 4: Indagine sismica Masw Stazione Utente: Velocità delle onde S

Sismostrato (n°)	Profondità in metri dal p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/s)
1	1	1	97
2	3	2	140
3	8.6	5.6	294
4	30	semispazio	574

L'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh a partire da dati di sismica attiva (MASW) ha consentito di determinare il profilo verticale della VS e di conseguenza del parametro Vs Equivalente calcolato alla quota del piano di campagna restituendo un valore pari a **370 m/s**.

Pertanto, in accordo con le norme tecniche per le costruzioni (DM 17/01/2018) il sito in esame rientra nella **categoria B**.

8. CONCLUSIONI

Con il presente elaborato sono stati definiti i parametri geotecnici necessari per la verifica delle opere di fondazione relative alle strutture ubicate all'interno dell'area di progetto.

Tale studio è propedeutico per la verifica delle fondazioni e delle apparecchiature individuate sia nel parco eolico che nella sottostazione.