



**REGIONE SICILIA**  
**PROVINCIA DI TRAPANI**  
COMUNE DI CALATAFIMI SEGESTA  
COMUNE DI SANTA NINFA  
COMUNE DI GIBELLINA

**OGGETTO**

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO COMPOSTO DA 8 AEROGENERATORI DA 6 MW CIASCUNO PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 48 MW DENOMINATO "BORGO EREDITA" SITO NEL COMUNE DI CALATAFIMI SEGESTA (TP) IN LOCALITÀ BORGO EREDITA E DELLE OPERE CONNESSE E INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALL'ESERCIZIO DELLO STESSO SITE NEI COMUNI DI SANTA NINFA (TP) E GIBELLINA (TP)

**PROGETTO DEFINITIVO**

**PROPONENTE**



**TITOLO**

RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA

**PROGETTISTA**

Dott. Ing. Girolamo Gorgone

**Strutturista**

DOLMEN S.r.l.

**CODICE ELABORATO**

ERIN-BE\_R\_13\_A\_D

SCALA

n°.Rev.	DESCRIZIONE REVISIONE	DATA	ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO

**Rif. PROGETTO**

N. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

NOME FILE DI STAMPA

SCALA DI STAMPA DA FILE



Edison Rinnovabili S.p.A.

## RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA

Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 8 aerogeneratori da 6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 48 MW denominato "Borgo Eredita" sito nel Comune di Calatafimi Segesta (TP) in località Borgo Eredita e delle opere connesse e infrastrutture indispensabili all'esercizio dello stesso site nei comuni di Santa Ninfa (TP) e Gibellina (TP).

ERIN-BE\_R\_13\_A\_D

Pagina | 1

## Indice

1 Premessa.....	2
2 Classificazione sismica del terreno di fondazione.....	3
3 Considerazioni geotecniche sui terreni.....	3
4 Opere da realizzare (Fondazioni Pale eoliche).....	5
5 Calcolo portanza pali.....	5
6 Tabulati di verifica portanza pali.....	8

## 1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la **Relazione geotecnica** del Progetto Definitivo per la realizzazione per la realizzazione di un impianto di generazione di energia da fonte eolica per una potenza nominale di 48,0 MW, costituito da 8 aerogeneratori della potenza nominale di 6,0 MW ciascuno. L'impianto in progetto ricade nel comune di Calatafimi Segesta (TP), mentre le opere di connessione alla Rete Elettrica Nazionale interessano anche i Comuni di Gibellina e Santa Ninfa sempre nella provincia di Trapani.

Nella presente relazione verrà dimensionato il sistema di fondazione in base alla caratterizzazione geotecnica del terreno ed alle sollecitazioni derivanti dalle macchine eoliche.

Il progetto generale prevede la realizzazione di n. 8 torri eoliche con altezza al mozzo della turbina di 105 m e delle fondazioni di questa struttura. In particolare il progetto prevede la realizzazione di:

1. Fondazioni profonde su pali con unico plinto di fondazione e n. 16 pali di diametro Ø600 mm L=15.0 m posti a ghiera con raggio di 9.0 m, il tutto in calcestruzzo armato.

Per le caratteristiche meccaniche dei terreni interessati dalle opere di fondazione della struttura da realizzare, si farà riferimento a quanto riportato nella relazione geologica a firma del geol. Ignazio Giuffrè, iscritto all'Ordine dei Geologi di Sicilia al n. 1917.

Il presente studio è condotto in conformità a quanto previsto dalla Normativa vigente ed in particolare:

- D.M. 17 Gennaio 2018 Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni."

Il dimensionamento geotecnico delle fondazioni viene svolto facendo riferimento alle reazioni al piede fornite dalla Ditta realizzatrice delle torri eoliche.

## 2 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Le due indagini sismiche a rifrazione mirate alla valutazione della velocità delle onde di taglio ( $V_{s30}$ ), permettono di classificare il profilo stratigrafico, ai fini della determinazione dell'azione sismica, di **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.*]. Per ulteriori dettagli si rimanda alla relazione geologica.

## 3 CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE SUI TERRENI

Con la presente relazione si espongono i risultati delle indagini geotecniche effettuate sul terreno sul quale deve realizzarsi l'opera.

In particolare lo studio geologico ha previsto la realizzazione di n. 1 sondaggio di tipo penetrometrico dinamico di tipo DPM, e di n. 1 indagine sismica passiva tipo MASW, che hanno consentito di investigare le caratteristiche del sottosuolo.

Tali indagini hanno avuto lo scopo di accertare le condizioni del terreno e di verificare sulla scorta del progetto, l'idoneità del piano di posa delle fondazioni.

Si rimanda al livello della progettazione definitiva l'indagine puntuale dei terreni al di sotto di ogni singolo aerogeneratore.

Allo scopo di inserire la zona in esame in un contesto geologico più generale, lo studio è stato integrato da dati pregressi, dati bibliografici, ecc.

Le indagini geologiche, effettuate dal geologo, per la determinazione delle caratteristiche fisico-meccanica dei litotipi riscontrati, sono consistite in n. 1 prova penetrometrica. Dalla interpretazione di tali prove, a mezzo di opportune correlazioni, è stato possibile risalire alle caratteristiche geotecniche poste alla base dei calcoli di portata del sistema fondale.

Dai dati raccolti, in definitiva, è stato possibile ricostruire la seguente colonna stratigrafica, procedendo dall'alto verso il basso, in base alle situazioni riscontrate in loco:

- *Terreno di copertura*: costituito da terreno vegetale a forte contenuto organico ed alluvioni di varia natura, misti a terreno in posto rimaneggiato a matrice limo-argillosa, notevolmente eterogeneo (spessore compreso tra 0.80-1.00 m);

- *Formazioni fluviali*: Depositi fluviali di fondo valle;
- *Formazione Terravecchia-2*: Argille sabbiose da giallastre a grigie, con stratificazione incrociata;
- *Formazione Terravecchia-2a*: Intercalazioni di areniti costiere;
- *Formazione di Ciminna*: Alternanze di marne bianco-grigiastre e marne diatomitiche con tracce di idrocarburi e calcari marnosi ricoperti in discordanza da brecce gessose, gessi laminati e torbiditi gessose.

Le torri dalla n. 1 alla n. 6 risultano ubicate in corrispondenza della formazione "Terravecchia-2a", viceversa la torre 7 è ubicata in corrispondenza dei "Depositi fluviali" e la torre 8 è ubicata in corrispondenza della formazione "Terravecchia-2".

Per quanto riguarda la presenza di falda acquifera, essa non è stata riscontrata nel corso delle indagini, sebbene in coincidenza di periodi piovosi prolungati sia possibile la formazione di circolazioni idriche superficiali.

Circa le caratteristiche geotecniche dei litotipi incontrati si è fatto riferimento ai dati riportati nella relazione geologica e riassunti nella tabella sottostante, per singola verticale indagata:

Strato	Peso specifico	Angolo di attrito	Coesione $c'$	
Depositi fluviali	1820 daN/m <sup>3</sup>	25°	0 daN/m <sup>2</sup>	
Terravecchia-2	1860 daN/m <sup>3</sup>	24°	0 daN/m <sup>2</sup>	
Terravecchia-2a	1940 daN/m <sup>3</sup>	28°	0 daN/m <sup>2</sup>	
Formazione Ciminna	2120 daN/m <sup>3</sup>	28°	0 daN/m <sup>2</sup>	

Il primo strato di terreno, denominato terreno di copertura, non presenta buone caratteristiche meccaniche, inoltre le strutture di fondazione hanno quote di imposta superiori al suo spessore, tali da non interessarlo, pertanto di esso non si considera alcun tipo di contributo.

Infine nonostante le torri siano ubicate su terreni differenti, come detto prima, il calcolo della portanza palo/terreno e della portanza fondazione/terreno si è sempre svolto con il terreno di "peggiori" caratteristiche geotecniche, ovvero quello afferente alla Formazione Terravecchia-2 ( $\gamma=1860$  daN/m<sup>3</sup>,  $\varphi=24^\circ$ ,  $c'=0$  daN/m<sup>2</sup>).

## 4 OPERE DA REALIZZARE (FONDAZIONI PALE EOLICHE)

La scelta delle strutture di fondazione, vista la specificità dell'opera e pur considerando le buone caratteristiche geotecniche del terreno di appoggio, si è orientata su fondazioni di tipo profondo.

Nel dettaglio, la fondazione di ogni singola torre eolica sarà costituita da un unico plinto circolare da 20.0 m di diametro, con altezza minima di 1.00 m. Nella porzione centrale, a tronco di cono, lo spessore aumenta in maniera lineare fino a portarsi a 2.90 m su un diametro di 5.00 m. Qui viene realizzato un tamburo cilindrico che fuoriesce di ulteriori 0.50 m, portando nella porzione centrale del plinto lo spessore a 3.40 m. Nel tamburo viene annegato un anello metallico di 4.00 m di diametro medio per l'innesto di tirafondi che consentono la connessione rigida del mantello metallico della torre con la fondazione.

Al di sotto della fondazione, su un cerchio di diametro 18.0 m vengono disposti n. 16 pali trivellati in calcestruzzo armato di diametro Ø600 mm di lunghezza 15.0 m.

La quota testa pali è posta a quota -3.20 m rispetto al piano di campagna.

## 5 CALCOLO PORTANZA PALI

Le risultanze numeriche circa la portanza dei pali verranno riportate nei tabulati allegati alla presente relazione. Qui si vogliono semplicemente richiamare alcuni cenni teorici ed esplicitare le espressioni che regolano il calcolo della portanza limite e di esercizio di un palo.

### Calcolo del carico limite verticale dei pali

Come è noto, il carico limite verticale di un palo di fondazione è somma di due componenti:

$$Q_{lim} = Q_p + Q_s$$

dove  $Q_p$  è la portanza alla punta, mentre  $Q_s$  è quella laterale.

### Condizione drenata

In questo caso la portanza unitaria alla punta è data da:

$$q_p = N_c \cdot c' + N_q \cdot q$$

dove  $c'$ =coesione efficace,  $q$ =litostatica alla punta del palo,  $N_c$  ed  $N_q$ =fattori di portanza adimensionali, funzioni dell'angolo d'attrito interno del terreno ricadente in corrispondenza della punta del palo, e del rapporto  $L/d$ .

La resistenza laterale unitaria  $q_s$ , non è costante ma varia linearmente con la profondità. Alla generica profondità  $z$  verrà valutata come aliquota della pressione verticale con l'espressione:

$$q_s = k \cdot \mu \cdot q_z$$

dove:  $\mu$ =coefficiente d'attrito palo terreno pari a  $\tan \varphi$ ,  $k$ =coefficiente di spinta a riposo,  $q_z = \gamma \cdot z$ .

Il carico complessivo per attrito laterale vale, considerando le diverse caratteristiche del terreno attraversato:

$$Q_s = \pi \cdot d \cdot \int k \cdot \mu \cdot q_z \cdot dz$$

### Considerazioni normative

Il valore di portanza del palo va ricavato a partire da ben precisi coefficienti di sicurezza, e confrontato con sollecitazioni ricavate dalle combinazioni di carico cui è stata assoggettata la struttura in elevazione, eventualmente abbattendo le caratteristiche geotecniche dei terreni attraversati dal palo. Sinteticamente la norma indica la seguente espressione:

(A1+M1+R3)

Dove con **A** si intende il set dei coefficienti parziali da applicare ai carichi verticali sulla struttura in elevazione esposti nella tabella 6.2.I, dove si evince che il set **A1** è di fatto identico nei valori a quanto riportato nella tabella 2.6.I - A1; con **M** il set di fattori gamma da applicare a denominatore dei parametri geotecnici del terreno dati dalla tabella 6.2.II (che per il set **M1** prevede tutti valori unitari); ed **R** il set di coefficienti di sicurezza da applicare a denominatore delle resistenze caratteristiche del complesso palo-terreno, esposti nella tabella 6.4.II (che per il set **R3**, pali trivellati, vale **1.35** per la resistenza alla punta e **1.15** per la resistenza laterale)

Per definire i valori caratteristici si è operato, come prevede la Norma, calcolando in

corrispondenza di ogni verticale di indagine a disposizione, la portanza analitica del palo, di dato diametro e lunghezza, in funzione della effettiva situazione stratigrafica riscontrata. Da questi singoli valori di portanza si sono ricavati i valori medi ed il valore minimo. Nel caso specifico si ha a disposizione una sola verticale di indagine.

Il valore caratteristico del complesso palo-terreno è stato quindi ottenuto applicando al valor medio il fattore di correlazione  $\xi_3$  ed al valore minimo il fattore di correlazione  $\xi_4$ . Il minore tra i valori così ottenuti è pari al valore caratteristico di portanza del palo in studio.

I fattori di correlazione  $\xi_3$  ed  $\xi_4$ , riportati nella norma nella tabella 6.4.IV, valgono nel caso specifico, per n. 1 di verticali indagate, entrambi 1.70.

Infine si riporta la seguente tabella dove vengono sintetizzati i massimi valori di portanza dei pali, in condizioni drenate:

Descrizione pali	Portata complessiva	Portata netta (considerando p.p. palo)
Palo Ø600 mm L=15.00 m (compressione)	8314 kN	<b>7253 kN</b>
Palo Ø600 mm L=15.00 m (trazione)	-4121 kN	<b>-5181 kN</b>

Nella relazione di calcolo preliminare le massime sollecitazione di compressione e trazione nei pali erano di 2831 kN e -287 kN, quindi all'interno dei massimi valori riportati in tabella per i pali.



Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 8 aerogeneratori da 6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 48 MW denominato "Borgo Eredita" sito nel Comune di Calatafimi Segesta (TP) in località Borgo Eredita e delle opere connesse e infrastrutture indispensabili all'esercizio dello stesso site nei comuni di Santa Ninfa (TP) e Gibellina (TP).

## 6 TABULATI DI VERIFICA PORTANZA PALI

COMMESSA:	1202/2023	Revisione:	00
COMMITTENTE:	EDISON Rinnovabili S.p.A.		
PROGETTO:	Progetto per la realizzazione impianto eolico composto da n. 8 generatori a Calatafimi-Segesta		

**DETERMINAZIONE DEL CARICO LIMITE VERTICALE DI PALO SINGOLO IN CALCESTRUZZO  
(Teoria di Berenzantzev)**

VERTICALE DI INDAGINE n. 1

Foglio attivo

Si

Caratteristiche geometriche palo		
Diametro palo	(mm)	600
Quota testa palo (rispetto piano campagna) (c)	(m)	-3,20
Lunghezza palo (Lp)	(m)	15,00

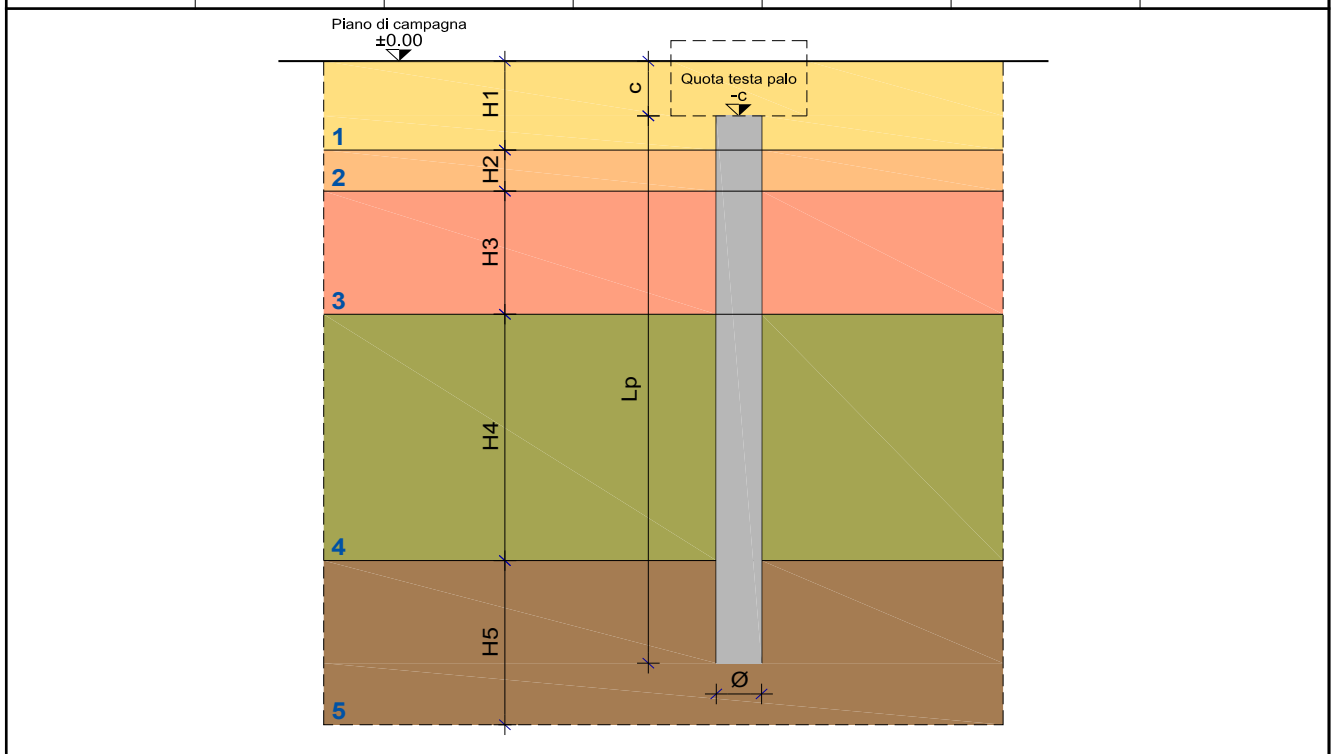
Palo soggetto a sforzo normale di:

**Compressione**

Tipologia palo:

**Palo trivellato**

Stratigrafia terreno dall'alto verso il basso (piano campagna q=0.0) e caratterizzazione geotecnica						
Descrizione terreno	Spessore strato H <sub>i</sub> (m)	Profondità fine strato (m)	Densità terreno γ (daN/m <sup>3</sup> )	Angolo di attrito interno φ (deg)	Coesione drenata c' (daN/m <sup>2</sup> )	Coesione non drenata c <sub>u</sub> (daN/m <sup>2</sup> )
Terreno agrario alterato	0,70	0,70	1820	25	0	0
Depositi calcarenici terrazzati	35,00	35,70	1860	24	0	0
0	0,00	35,70	0	0	0	0
0	0,00	35,70	0	0	0	0
0	0,00	35,70	0	0	0	0



COMMESSA:	1202/2023	Revisione:	00
COMMITTENTE:	EDISON Rinnovabili S.p.A.		
PROGETTO:	Progetto per la realizzazione impianto eolico composto da n. 8 generatori a Calatafimi-Segesta		

### Parametri geotecnici singoli strati nei vari approcci previsti dalla Normativa (divisi per i fattori M)

Strato 1	Approccio 1 – Combinazione 1		Approccio 1 – Combinazione 2		Approccio 2	
$\gamma$ (daN/m <sup>3</sup> )	1,00	1820	1,00	1820	1,00	1820,0
$\varphi$ (deg)	1,00	25,0	1,00	25,0	1,00	25,0
$c'$ (daN/m <sup>2</sup> )	1,00	0	1,00	0	1,00	0
$c_u$ (daN/m <sup>2</sup> )	1,00	0	1,00	0	1,00	0
Strato 2	Approccio 1 – Combinazione 1		Approccio 1 – Combinazione 2		Approccio 2	
$\gamma$ (daN/m <sup>3</sup> )	1,00	1860	1,00	1860	1,00	1860,0
$\varphi$ (deg)	1,00	24,0	1,00	24,0	1,00	24,0
$c'$ (daN/m <sup>2</sup> )	1,00	0	1,00	0	1,00	0
$c_u$ (daN/m <sup>2</sup> )	1,00	0	1,00	0	1,00	0
Strato 3	Approccio 1 – Combinazione 1		Approccio 1 – Combinazione 2		Approccio 2	
$\gamma$ (daN/m <sup>3</sup> )	1,00	0	1,00	0	1,00	0
$\varphi$ (deg)	1,00	0,0	1,00	0,0	1,00	0,0
$c'$ (daN/m <sup>2</sup> )	1,00	0	1,00	0	1,00	0
$c_u$ (daN/m <sup>2</sup> )	1,00	0	1,00	0	1,00	0
Strato 4	Approccio 1 – Combinazione 1		Approccio 1 – Combinazione 2		Approccio 2	
$\gamma$ (daN/m <sup>3</sup> )	1,00	0	1,00	0	1,00	0
$\varphi$ (deg)	1,00	0,0	1,00	0,0	1,00	0,0
$c'$ (daN/m <sup>2</sup> )	1,00	0	1,00	0	1,00	0
$c_u$ (daN/m <sup>2</sup> )	1,00	0	1,00	0	1,00	0
Strato 5	Approccio 1 – Combinazione 1		Approccio 1 – Combinazione 2		Approccio 2	
$\gamma$ (daN/m <sup>3</sup> )	1,00	0	1,00	0	1,00	0
$\varphi$ (deg)	1,00	0,0	1,00	0,0	1,00	0,0
$c'$ (daN/m <sup>2</sup> )	1,00	0	1,00	0	1,00	0
$c_u$ (daN/m <sup>2</sup> )	1,00	0	1,00	0	1,00	0

### Carico limite alla punta (in condizioni drenate) – dati geotecnici del terreno alla quota punta palo

Fattore  $N_q$  secondo Berezantzev (formulazione analitica):  $N_q = \alpha \cdot e^{\beta \cdot \varphi}$  con  $\alpha$  e  $\beta$  funzione del rapporto L/D

Tabella con i valori $\alpha$ e $\beta$ in funzione del rapporto L/D (da interpolare con il rapporto reale)						Reale
L/D	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	25,0
$\alpha$	0,1656	0,1084	0,0793	0,0603	0,0422	0,0422
$\beta$	0,1731	0,1807	0,1874	0,1936	0,2016	0,2016

	Approccio 1 – Combinazione 1	Approccio 1 – Combinazione 2	Approccio 2
$\varphi$ (deg)	24,0	24,0	24,0
$c'$ (daN/m <sup>2</sup> )	0	0	0
Fattore $N_q = \alpha \cdot e^{\beta \cdot \varphi}$	5,33	5,33	5,33
Fattore $N_c = (N_q - 1) / \tan(\varphi)$	9,72	9,72	9,72
Pressione alla punta $q$ (daN/m <sup>2</sup> )	29174	29174	29174
Area sezione (m <sup>2</sup> )	0,283	0,283	0,283
$p = c' \cdot N_c + q \cdot N_q$ (daN/m <sup>2</sup> )	155453	155453	155453
<b>Carico limite alla punta (daN)</b>	<b>43953</b>	<b>43953</b>	<b>43953</b>

### Carico limite alla punta (in condizioni non drenate) – dati geotecnici del terreno alla quota punta palo

	Approccio 1 – Combinazione 1	Approccio 1 – Combinazione 2	Approccio 2
$c_u$ (daN/m <sup>2</sup> )	0	0	0
Coefficiente $N_q$	1,00	1,00	1,00
Coefficiente $N_c$	9,00	9,00	9,00
Pressione alla punta $q$ (daN/m <sup>2</sup> )	29174	29174	29174
Area sezione (m <sup>2</sup> )	0,283	0,283	0,283
$p = c_u \cdot N_c + q \cdot N_q$ (daN/m <sup>2</sup> )	29174	29174	29174
<b>Carico limite alla punta (daN)</b>	<b>8249</b>	<b>8249</b>	<b>8249</b>

COMMESSA:	1202/2023	Revisione:	00
COMMITTENTE:	EDISON Rinnovabili S.p.A.		
PROGETTO:	Progetto per la realizzazione impianto eolico composto da n. 8 generatori a Calatafimi-Segesta		

### Carico limite laterale (in condizioni drenate)

Resistenza laterale calcolata come:  $\pi \cdot \varnothing \cdot \sum_i k_i \cdot \mu_i \cdot \sigma(z) \cdot dz$  -  $\sigma(z)$  è la pressione litostatica verticale

Coefficiente di spinta laterale  $k$  - per l'intero fusto del palo Tipologia palo: Palo trivellato 0,50

Coefficiente di attrito laterale  $\mu$  - variabile per singolo strato  $\text{tg}(\varphi)$

Strato	Superficie laterale del palo nello strato (m <sup>2</sup> )	Presenza attrito negativo
Terreno agrario alterato	0,00	1,00
Depositi calcarenitici terrazzati	28,27	1,00
0	0,00	1,00
	0,00	1,00
	0,00	1,00

(Attrito negativo: 1.0=attrito negativo assente nel singolo strato / -1.0=attrito negativo presente nel singolo strato)

Strato	Approccio 1 - Combinazione 1		Approccio 1 - Combinazione 2		Approccio 2	
	$k \cdot \mu$	$R_{laterale}$ (daN)	$k \cdot \mu$	$R_{laterale}$ (daN)	$k \cdot \mu$	$R_{laterale}$ (daN)
Terreno agrario alterato	0,233	0	0,233	0	0,233	0
Depositi calcarenitici	0,223	125092	0,223	125092	0,223	125092
0	0,000	0	0,000	0	0,000	0
	0,000	0	0,000	0	0,000	0
	0,000	0	0,000	0	0,000	0
<b>Resistenza laterale (daN)</b>		<b>125092</b>		<b>125092</b>		<b>125092</b>

Per pali sollecitati a compressione la resistenza laterale viene conteggiata al 100%

### Carico limite laterale (in condizioni non drenate)

Resistenza laterale calcolata come:  $\pi \cdot \varnothing \cdot \sum_i s_{oi} \cdot L_i$  -  $L_i$ =lunghezza del palo nel singolo strato

Palo trivellato: Fattore riduttivo  $\alpha$  di  $c_u$  ( $s_0 = \alpha \cdot c_u$ ): 0.3

Strato	Superficie laterale del palo nello strato (m <sup>2</sup> )	Presenza attrito negativo
Terreno agrario alterato	0,00	1,00
Depositi calcarenitici terrazzati	28,27	1,00
0	0,00	1,00
	0,00	1,00
	0,00	1,00

(Attrito negativo: 1.0=attrito negativo assente nel singolo strato / -1.0=attrito negativo presente nel singolo strato)

Strato	Approccio 1 - Combinazione 1		Approccio 1 - Combinazione 2		Approccio 2	
	$s_o$ (daN/m <sup>2</sup> )	$R_{laterale}$ (daN)	$s_o$ (daN/m <sup>2</sup> )	$R_{laterale}$ (daN)	$s_o$ (daN/m <sup>2</sup> )	$R_{laterale}$ (daN)
Terreno agrario alterato	0	0	0	0	0	0
Depositi calcarenitici	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
<b>Resistenza laterale (daN)</b>		<b>0</b>		<b>0</b>		<b>0</b>

Per pali sollecitati a compressione la resistenza laterale viene conteggiata al 100%

COMMESSA:	1202/2023	Revisione:	00
COMMITTENTE:	EDISON Rinnovabili S.p.A.		
PROGETTO:	Progetto per la realizzazione impianto eolico composto da n. 8 generatori a Calatafimi-Segesta		

**Determinazione del carico limite verticale di pali in calcestruzzo secondo le prescrizioni contenute al § 6.4.3.1.1 del D.M. 14/01/2008**

**Numero di verticali indagate**

**1**

Tab. 6.4.IV – Fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

N. verticali	1	2	3	4	5	6
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,48
$\xi_4$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	Compressione
N. verticali	7	8	9	$\geq 10$		
$\xi_3$	1,45	1,43	1,41	1,40		
$\xi_4$	1,28	1,26	1,23	1,21		

Palo soggetto a sforzo normale di:

**Compressione**

Tipologia palo:

**Palo trivellato**

Diametro palo:

(mm)

**600**

Lunghezza palo:

(m)

**15,00**

Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche

Resistenza	(R1)	(R2)	(R3)
Base	1,00	1,70	1,35
Laterale	1,00	1,45	1,15

Valori caratteristici della resistenza:  $R_{c,k} = [\min((R_{c,calc}/media)/\xi_3; (R_{c,calc}/min)/\xi_4)]$

Condizioni drenate						
	Approccio 1 – CC1		Approccio 1 – CC2		Approccio 2	
	$R_{c,calc-punta}$ (daN)	$R_{c,calc-laterale}$ (daN)	$R_{c,calc-punta}$ (daN)	$R_{c,calc-laterale}$ (daN)	$R_{c,calc-punta}$ (daN)	$R_{c,calc-laterale}$ (daN)
Valore 1	43953	125092	43953	125092	43953	125092
Valore 2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 6	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 7	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 9	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 11	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 12	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valori medi	43953	125092	43953	125092	43953	125092
$(R_{c,calc}/media)/\xi_3$	25855	73584	25855	73584	25855	73584
Valori minimi	43953	125092	43953	125092	43953	125092
$(R_{c,calc}/min)/\xi_4$	25855	73584	25855	73584	25855	73584
$R_{c,k}$	25855	73584	25855	73584	25855	73584
$R_d = R_{c,k} / \gamma_R$	25855	73584	15209	50747	19152	63986
Resistenza dei pali per carichi verticali in condizioni drenate						
$R_d$ totale	daN <b>99439</b>		daN <b>65956</b>		daN <b>83138</b>	
	Approccio 1 – CC1		Approccio 1 – CC2		Approccio 2	

N.B. A questo valore di carico limite va sottratto il peso del palo, per pali in compressione, oppure sommato il peso del palo per pali in trazione

COMMESSA:	1202/2023	Revisione:	00
COMMITTENTE:	EDISON Rinnovabili S.p.A.		
PROGETTO:	Progetto per la realizzazione impianto eolico composto da n. 8 generatori a Calatafimi-Segesta		

Valori caratteristici della resistenza:  $R_{c,k} = [\min((R_{c,calc}/media)/\xi_3; (R_{c,calc}/min)/\xi_4)] - \text{u.m. [daN]}$

Condizioni <u>non</u> drenate						
	Approccio 1 – CC1		Approccio 1 – CC2		Approccio 2	
	$R_{c,calc-punta}$ (daN)	$R_{c,calc-laterale}$ (daN)	$R_{c,calc-punta}$ (daN)	$R_{c,calc-laterale}$ (daN)	$R_{c,calc-punta}$ (daN)	$R_{c,calc-laterale}$ (daN)
Valore 1	8249	0	8249	0	8249	0
Valore 2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 6	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 7	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 9	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 11	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 12	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valori medi	8249	0	8249	0	8249	0
$(R_{c,calc}/media)/\xi_3$	<b>4852</b>	<b>0</b>	<b>4852</b>	<b>0</b>	<b>4852</b>	<b>0</b>
Valori minimi	8249	0	8249	0	8249	0
$(R_{c,calc}/min)/\xi_4$	<b>4852</b>	<b>0</b>	<b>4852</b>	<b>0</b>	<b>4852</b>	<b>0</b>
$R_{c,k}$	<b>4852</b>	<b>0</b>	<b>4852</b>	<b>0</b>	<b>4852</b>	<b>0</b>
$R_d = R_{c,k} / \gamma_R$	4852	0	2854	0	3594	0
Resistenza dei pali per carichi verticali in condizioni <u>non</u> drenate						
$R_d$ totale	<b>daN 4852</b>		<b>daN 2854</b>		<b>daN 3594</b>	
	Approccio 1 – CC1		Approccio 1 – CC2		Approccio 2	

N.B. A questo valore di carico limite va sottratto il peso del palo, per pali in compressione, oppure sommato il peso del palo per pali in trazione

COMMESSA:	1202/2023	Revisione:	00
COMMITTENTE:	EDISON Rinnovabili S.p.A.		
PROGETTO:	Progetto per la realizzazione impianto eolico composto da n. 8 generatori a Calatafimi-Segesta		

**DETERMINAZIONE DEL CARICO LIMITE VERTICALE DI PALO SINGOLO IN CALCESTRUZZO  
(Teoria di Berenzantzev)**

VERTICALE DI INDAGINE n. 1

Foglio attivo

Si

Caratteristiche geometriche palo		
Diametro palo	(mm)	600
Quota testa palo (rispetto piano campagna) (c)	(m)	-3,20
Lunghezza palo (Lp)	(m)	15,00

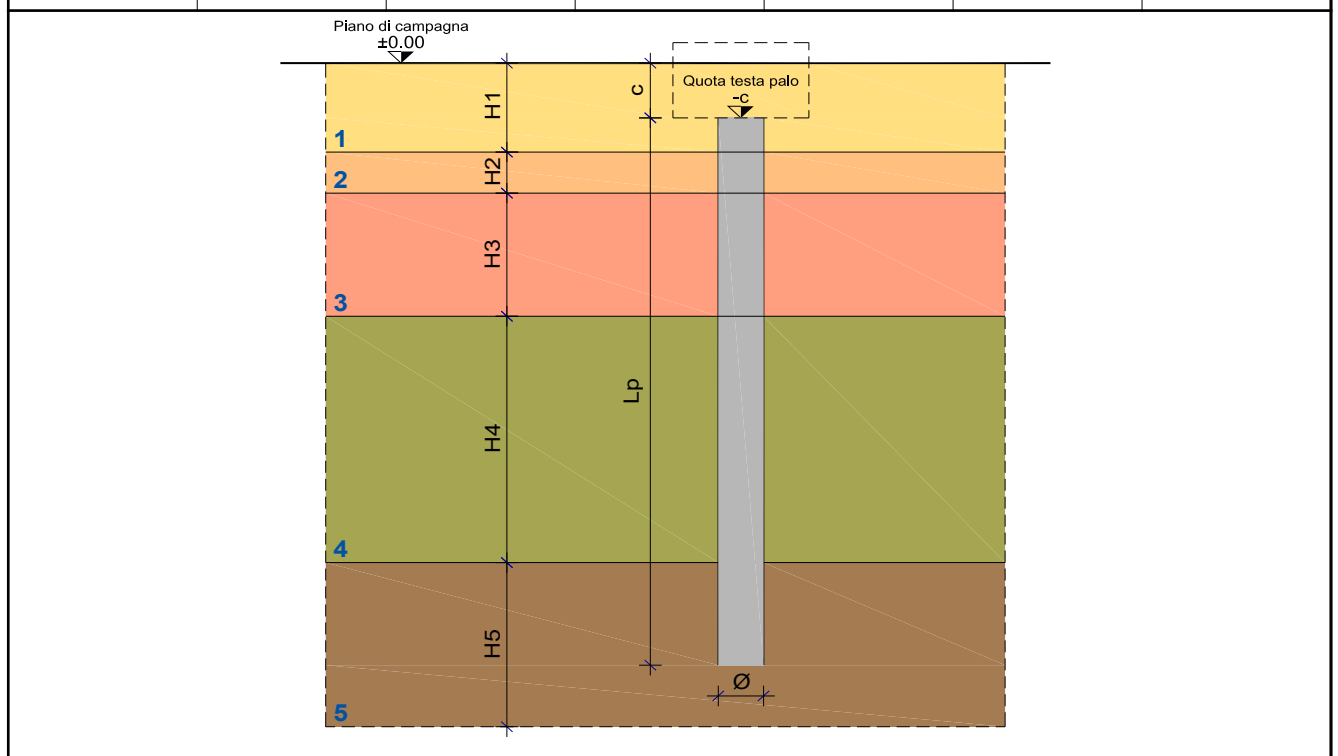
Palo soggetto a sforzo normale di:

Trazione

Tipologia palo:

Palo trivellato

Stratigrafia terreno dall'alto verso il basso (piano campagna q=0.0) e caratterizzazione geotecnica						
Descrizione terreno	Spessore strato H <sub>i</sub> (m)	Profondità fine strato (m)	Densità terreno γ (daN/m <sup>3</sup> )	Angolo di attrito interno φ (deg)	Coesione drenata c' (daN/m <sup>2</sup> )	Coesione non drenata c <sub>u</sub> (daN/m <sup>2</sup> )
Terreno agrario alterato	0,70	0,70	1820	25	0	0
Depositi calcarenici terrazzati	35,00	35,70	1860	24	0	0
0	0,00	35,70	0	0	0	0
0	0,00	35,70	0	0	0	0
0	0,00	35,70	0	0	0	0



COMMESSA:	1202/2023	Revisione:	00
COMMITTENTE:	EDISON Rinnovabili S.p.A.		
PROGETTO:	Progetto per la realizzazione impianto eolico composto da n. 8 generatori a Calatafimi-Segesta		

### Parametri geotecnici singoli strati nei vari approcci previsti dalla Normativa (divisi per i fattori M)

Strato 1	Approccio 1 – Combinazione 1		Approccio 1 – Combinazione 2		Approccio 2	
$\gamma$ (daN/m <sup>3</sup> )	1,00	1820	1,00	1820	1,00	1820,0
$\varphi$ (deg)	1,00	25,0	1,00	25,0	1,00	25,0
$c'$ (daN/m <sup>2</sup> )	1,00	0	1,00	0	1,00	0
$c_u$ (daN/m <sup>2</sup> )	1,00	0	1,00	0	1,00	0
Strato 2	Approccio 1 – Combinazione 1		Approccio 1 – Combinazione 2		Approccio 2	
$\gamma$ (daN/m <sup>3</sup> )	1,00	1860	1,00	1860	1,00	1860,0
$\varphi$ (deg)	1,00	24,0	1,00	24,0	1,00	24,0
$c'$ (daN/m <sup>2</sup> )	1,00	0	1,00	0	1,00	0
$c_u$ (daN/m <sup>2</sup> )	1,00	0	1,00	0	1,00	0
Strato 3	Approccio 1 – Combinazione 1		Approccio 1 – Combinazione 2		Approccio 2	
$\gamma$ (daN/m <sup>3</sup> )	1,00	0	1,00	0	1,00	0
$\varphi$ (deg)	1,00	0,0	1,00	0,0	1,00	0,0
$c'$ (daN/m <sup>2</sup> )	1,00	0	1,00	0	1,00	0
$c_u$ (daN/m <sup>2</sup> )	1,00	0	1,00	0	1,00	0
Strato 4	Approccio 1 – Combinazione 1		Approccio 1 – Combinazione 2		Approccio 2	
$\gamma$ (daN/m <sup>3</sup> )	1,00	0	1,00	0	1,00	0
$\varphi$ (deg)	1,00	0,0	1,00	0,0	1,00	0,0
$c'$ (daN/m <sup>2</sup> )	1,00	0	1,00	0	1,00	0
$c_u$ (daN/m <sup>2</sup> )	1,00	0	1,00	0	1,00	0
Strato 5	Approccio 1 – Combinazione 1		Approccio 1 – Combinazione 2		Approccio 2	
$\gamma$ (daN/m <sup>3</sup> )	1,00	0	1,00	0	1,00	0
$\varphi$ (deg)	1,00	0,0	1,00	0,0	1,00	0,0
$c'$ (daN/m <sup>2</sup> )	1,00	0	1,00	0	1,00	0
$c_u$ (daN/m <sup>2</sup> )	1,00	0	1,00	0	1,00	0

### Carico limite alla punta (in condizioni drenate) – dati geotecnici del terreno alla quota punta palo

Fattore  $N_q$  secondo Berezantzev (formulazione analitica):  $N_q = \alpha \cdot e^{\beta \cdot \varphi}$  con  $\alpha$  e  $\beta$  funzione del rapporto L/D

Tabella con i valori $\alpha$ e $\beta$ in funzione del rapporto L/D (da interpolare con il rapporto reale)						Reale
L/D	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	25,0
$\alpha$	0,1656	0,1084	0,0793	0,0603	0,0422	0,0422
$\beta$	0,1731	0,1807	0,1874	0,1936	0,2016	0,2016

	Approccio 1 – Combinazione 1	Approccio 1 – Combinazione 2	Approccio 2
$\varphi$ (deg)	24,0	24,0	24,0
$c'$ (daN/m <sup>2</sup> )	0	0	0
Fattore $N_q = \alpha \cdot e^{\beta \cdot \varphi}$	5,33	5,33	5,33
Fattore $N_c = (N_q - 1) / \tan(\varphi)$	9,72	9,72	9,72
Pressione alla punta $q$ (daN/m <sup>2</sup> )	29174	29174	29174
Area sezione (m <sup>2</sup> )	0,283	0,283	0,283
$p = c' \cdot N_c + q \cdot N_q$ (daN/m <sup>2</sup> )	155453	155453	155453
<b>Carico limite alla punta (daN)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Per pali sollecitati a trazione il carico limite di punta vale sempre 0

### Carico limite alla punta (in condizioni non drenate) – dati geotecnici del terreno alla quota punta palo

	Approccio 1 – Combinazione 1	Approccio 1 – Combinazione 2	Approccio 2
$c_u$ (daN/m <sup>2</sup> )	0	0	0
Coefficiente $N_q$	1,00	1,00	1,00
Coefficiente $N_c$	9,00	9,00	9,00
Pressione alla punta $q$ (daN/m <sup>2</sup> )	29174	29174	29174
Area sezione (m <sup>2</sup> )	0,283	0,283	0,283
$p = c_u \cdot N_c + q \cdot N_q$ (daN/m <sup>2</sup> )	29174	29174	29174
<b>Carico limite alla punta (daN)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Per pali sollecitati a trazione il carico limite di punta vale sempre 0



COMMESSA:	1202/2023	Revisione:	00
COMMITTENTE:	EDISON Rinnovabili S.p.A.		
PROGETTO:	Progetto per la realizzazione impianto eolico composto da n. 8 generatori a Calatafimi-Segesta		

### Carico limite laterale (in condizioni drenate)

Resistenza laterale calcolata come:  $\pi \cdot \varnothing \cdot \sum_i k_i \cdot \mu_i \cdot \sigma(z) \cdot dz$  -  $\sigma(z)$  è la pressione litostatica verticale

Coefficiente di spinta laterale  $k$  – per l'intero fusto del palo Tipologia palo: Palo trivellato 0,50

Coefficiente di attrito laterale  $\mu$  - variabile per singolo strato  $\text{tg}(\varphi)$

Strato	Superficie laterale del palo nello strato(m <sup>2</sup> )	Presenza attrito negativo
Terreno agrario alterato	0,00	1,00
Depositi calcarenitici terrazzati	28,27	1,00
0	0,00	1,00
	0,00	1,00
	0,00	1,00

(Attrito negativo: 1.0=attrito negativo assente nel singolo strato / -1.0=attrito negativo presente nel singolo strato)

Strato	Approccio 1 – Combinazione 1		Approccio 1 – Combinazione 2		Approccio 2	
	$k \cdot \mu$	$R_{laterale}$ (daN)	$k \cdot \mu$	$R_{laterale}$ (daN)	$k \cdot \mu$	$R_{laterale}$ (daN)
Terreno agrario alterato	0,233	0	0,233	0	0,233	0
Depositi calcarenitici terrazzati	0,223	125092	0,223	125092	0,223	125092
0	0,000	0	0,000	0	0,000	0
	0,000	0	0,000	0	0,000	0
	0,000	0	0,000	0	0,000	0
<b>Resistenza laterale (daN)</b>		<b>87565</b>		<b>87565</b>		<b>87565</b>

Per pali sollecitati a trazione la resistenza laterale calcolata viene ridotta al 70%. Il risultato ne tiene già conto

### Carico limite laterale (in condizioni non drenate)

Resistenza laterale calcolata come:  $\pi \cdot \varnothing \cdot \sum_i s_{oi} \cdot L_i$  -  $L_i$ =lunghezza del palo nel singolo strato

Palo trivellato: Fattore riduttivo  $\alpha$  di cui ( $s_0=\alpha \cdot cu$ ): 0.3

Strato	Superficie laterale del palo nello strato(m <sup>2</sup> )	Presenza attrito negativo
Terreno agrario alterato	0,00	1,00
Depositi calcarenitici terrazzati	28,27	1,00
0	0,00	1,00
	0,00	1,00
	0,00	1,00

(Attrito negativo: 1.0=attrito negativo assente nel singolo strato / -1.0=attrito negativo presente nel singolo strato)

Strato	Approccio 1 – Combinazione 1		Approccio 1 – Combinazione 2		Approccio 2	
	$s_o$ (daN/m <sup>2</sup> )	$R_{laterale}$ (daN)	$s_o$ (daN/m <sup>2</sup> )	$R_{laterale}$ (daN)	$s_o$ (daN/m <sup>2</sup> )	$R_{laterale}$ (daN)
Terreno agrario alterato	0	0	0	0	0	0
Depositi calcarenitici terrazzati	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
<b>Resistenza laterale (daN)</b>		<b>0</b>		<b>0</b>		<b>0</b>

Per pali sollecitati a trazione la resistenza laterale calcolata viene ridotta al 70%. Il risultato ne tiene già conto

COMMESSA:	1202/2023	Revisione:	00
COMMITTENTE:	EDISON Rinnovabili S.p.A.		
PROGETTO:	Progetto per la realizzazione impianto eolico composto da n. 8 generatori a Calatafimi-Segesta		

**Determinazione del carico limite verticale di pali in calcestruzzo secondo le prescrizioni contenute al § 6.4.3.1.1 del D.M. 14/01/2008**

**Numero di verticali indagate**

**1**

Tab. 6.4.IV – Fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

N. verticali	1	2	3	4	5	6
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,48
$\xi_4$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	Compressione
N. verticali	7	8	9	$\geq 10$		
$\xi_3$	1,45	1,43	1,41	1,40		
$\xi_4$	1,28	1,26	1,23	1,21		

Palo soggetto a sforzo normale di:

Tipologia palo:

Diametro palo:

Lunghezza palo:

**Trazione**  
**Palo trivellato**  
**600**  
**15,00**

(mm)

(m)

Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche

Resistenza	(R1)	(R2)	(R3)
Base	1,00	1,70	1,35
Laterale	1,00	1,60	1,25

Valori caratteristici della resistenza:  $R_{c,k} = [\min((R_{c,calc}/media)/\xi_3; (R_{c,calc}/min)/\xi_4)]$

Condizioni drenate						
	Approccio 1 – CC1		Approccio 1 – CC2		Approccio 2	
	$R_{c,calc-punta}$ (daN)	$R_{c,calc-laterale}$ (daN)	$R_{c,calc-punta}$ (daN)	$R_{c,calc-laterale}$ (daN)	$R_{c,calc-punta}$ (daN)	$R_{c,calc-laterale}$ (daN)
Valore 1	0	87565	0	87565	0	87565
Valore 2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 6	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 7	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 9	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 11	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 12	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valori medi	0	87565	0	87565	0	87565
$(R_{c,calc}/media)/\xi_3$	0	51509	0	51509	0	51509
Valori minimi	0	87565	0	87565	0	87565
$(R_{c,calc}/min)/\xi_4$	0	51509	0	51509	0	51509
$R_{c,k}$	0	51509	0	51509	0	51509
$R_d = R_{c,k} / \gamma_R$	0	51509	0	32193	0	41207
Resistenza dei pali per carichi verticali in condizioni drenate						
$R_d$ totale	daN	51509	daN	32193	daN	41207
	Approccio 1 – CC1		Approccio 1 – CC2		Approccio 2	

N.B. A questo valore di carico limite va sottratto il peso del palo, per pali in compressione, oppure sommato il peso del palo per pali in trazione

COMMESSA:	1202/2023	Revisione:	00
COMMITTENTE:	EDISON Rinnovabili S.p.A.		
PROGETTO:	Progetto per la realizzazione impianto eolico composto da n. 8 generatori a Calatafimi-Segesta		

Valori caratteristici della resistenza:  $R_{c,k} = [\min((R_{c,calc}/media)/\xi_3; (R_{c,calc}/min)/\xi_4)] - \text{u.m. [daN]}$

Condizioni <u>non</u> drenate						
	Approccio 1 – CC1		Approccio 1 – CC2		Approccio 2	
	$R_{c,calc-punta}$ (daN)	$R_{c,calc-laterale}$ (daN)	$R_{c,calc-punta}$ (daN)	$R_{c,calc-laterale}$ (daN)	$R_{c,calc-punta}$ (daN)	$R_{c,calc-laterale}$ (daN)
Valore 1	0	0	0	0	0	0
Valore 2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 6	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 7	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 9	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 11	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valore 12	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Valori medi	0	0	0	0	0	0
$(R_{c,calc}/media)/\xi_3$	0	0	0	0	0	0
Valori minimi	0	0	0	0	0	0
$(R_{c,calc}/min)/\xi_4$	0	0	0	0	0	0
$R_{c,k}$	0	0	0	0	0	0
$R_d = R_{c,k} / \gamma_R$	0	0	0	0	0	0
Resistenza dei pali per carichi verticali in condizioni <u>non</u> drenate						
$R_d$ totale	daN	0	daN	0	daN	0
	Approccio 1 – CC1		Approccio 1 – CC2		Approccio 2	

N.B. A questo valore di carico limite va sottratto il peso del palo, per pali in compressione, oppure sommato il peso del palo per pali in trazione