



REGIONE SICILIA
PROVINCIA DI TRAPANI
PROVINCIA DI AGRIGENTO
COMUNE DI CASTELVETRANO
COMUNE DI MENFI

OGGETTO

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO COMPOSTO DA 5 AEROGENERATORI DA 6,6 MW CIASCUNO PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 33 MW SITO NEL COMUNE DI CASTELVETRANO (TP) IN LOCALITÀ C.DA CASE NUOVE E DA UN SISTEMA DI ACCUMULO ELETTROCHIMICO DA 18 MW SITO NEL COMUNE DI MENFI (AG) IN LOCALITÀ C.DA GENOVESE E OPERE CONNESSE NEI COMUNI DI CASTELVETRANO (TP) MENFI, SAMBUCA DI SICILIA E SCIACCA (AG).

PROGETTO DEFINITIVO

PROPONENTE



SKI 34 S.r.l.
Società soggetta ad attività di direzione
e coordinamento di Statkraft AS
Partita IVA 12417100968
Gruppo IVA 11412940964
C.F. 12417100968
Via Caradosso 9
20123 Milano

TITOLO

RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA

PROGETTISTA

Dott. Ing. Girolamo Gorgone

Strutturista

DOLMEN S.r.l.

CODICE ELABORATO

SK_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



SKI 34 S.r.l.
 Società soggetta ad attività di direzione
 e coordinamento di Statkraft AS
 Partita IVA 12417100968
 Gruppo IVA 11412940964
 C.F. 12417100968
 Via Caradosso 9
 20123 Milano

Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 33 MW sito nel comune di Castelvetro (TP) in località C.da Case Nuove e da un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel comune di Menfi (AG) in località C.da Genovese e opere connesse nei comuni di Castelvetro (TP), Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca (AG).

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).....	4
5 Calcolo portanza pali.....	5
6 FONDAZIONI EDIFICI AUSILIARI.....	7
6.1 Calcolo della capacità portante (fondazioni superficiali).....	7
6.1.1 Cabina connessione e trasformazione a 36 kV – Cabina generale BESS.....	9
6.1.2 Locali Batteria.....	10
7 Tabulati di verifica portanza pali.....	13



SKI 34 S.r.l.
Società soggetta ad attività di direzione
e coordinamento di Statkraft AS
Partita IVA 12417100968
Gruppo IVA 11412940964
C.F. 12417100968
Via Caradosso 9
20123 Milano

Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 33 MW sito nel comune di Castelvetrano (TP) in località C.da Case Nuove e da un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel comune di Menfi (AG) in località C.da Genovese e opere connesse nei comuni di Castelvetrano (TP), Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca (AG).

1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la **Relazione geotecnica** del Progetto Definitivo per la realizzazione di un impianto di generazione di energia da fonte eolica di potenza nominale di 33 MW, ubicato nel territorio del Comune di Castelvetrano (Libero Consorzio di Comuni di Trapani), in contrada Case Nuove.

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. 5 torri eoliche con altezza al mozzo della turbina di 145 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 $\varnothing 1200$ mm L=24.0 m posti a ghiera con raggio di 12.0 m, il tutto in calcestruzzo armato.

Inoltre sono previsti alcuni locali di servizio costituiti da:

- Cabina di connessione e trasformazione a 36 kV
- Cabina generale BESS
- Locali batteria

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.



SKI 34 S.r.l.
Società soggetta ad attività di direzione
e coordinamento di Statkraft AS
Partita IVA 12417100968
Gruppo IVA 11412940964
C.F. 12417100968
Via Caradosso 9
20123 Milano

Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 33 MW sito nel comune di Castelvetro (TP) in località C.da Case Nuove e da un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel comune di Menfi (AG) in località C.da Genovese e opere connesse nei comuni di Castelvetro (TP), Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca (AG).

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 alle relazioni 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.

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:

- *Terreno di copertura*: costituito da alluvioni recenti ed antiche di varia natura, misti a terreno in posto rimaneggiato a matrice limo-argillosa, notevolmente eterogeneo (spessore compreso tra 1.80-2.00 m);
- *Depositati cementati calcarenitici*: orizzonte di buone caratteristiche meccaniche con grado omogeneo di cementazione con matrice calcarea;



Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 33 MW sito nel comune di Castelvetro (TP) in località C.da Case Nuove e da un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel comune di Menfi (AG) in località C.da Genovese e opere connesse nei comuni di Castelvetro (TP), Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca (AG).

- **Calcareniti di Marsala:** alternanza di calcareniti di colore giallo moderatamente cementate con strati di sabbie limose e limi.

In particolare le torri 1 e 2 risultano ubicate in corrispondenza della formazione “Depositi cementati calcarenitici” quasi affiorante, viceversa le torri 3 e 4 sono ubicate in corrispondenza della formazione quasi affiorante “Calcareniti di Marsala”.

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' N.D.	
Terreno di copertura	1800 daN/m ³	25°	0 daN/m ²	
Depositi terrazzati	1945 daN/m ³	32°	0 daN/m ²	
Calcareniti Marsala	1800 daN/m ³	25°	0 daN/m ²	

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 alle calcareniti di Marsala ($\gamma=1800 \text{ daN/m}^3$, $\phi=25^\circ$, $c'=0 \text{ daN/m}^2$)

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 26.0 m di diametro, con altezza minima di 1.50 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 7.00 m. Qui viene realizzato un tamburo cilindrico che fuoriesce di ulteriori 0.50 m, portando nella porzione centrale



SKI 34 S.r.l.
Società soggetta ad attività di direzione
e coordinamento di Statkraft AS
Partita IVA 12417100968
Gruppo IVA 11412940964
C.F. 12417100968
Via Caradosso 9
20123 Milano

Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 33 MW sito nel comune di Castelvetro (TP) in località C.da Case Nuove e da un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel comune di Menfi (AG) in località C.da Genovese e opere connesse nei comuni di Castelvetro (TP), Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca (AG).

Pagina | 5

del plinto lo spessore a 3.40 m. Nel tamburo viene annegato un anello metallico di 6.10 m di diametro medio con doppia fila di fori per l'innesto di 2x120 tirafondi M42 che consentono la connessione rigida del mantello metallico della torre con la fondazione.

Al di sotto della fondazione, su un cerchio di diametro 24.0 m vengono disposti n. 16 pali trivellati in calcestruzzo armato di diametro Ø1200 mm di lunghezza 26.0 m.

La quota testa pali è posta a quota -3.30 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:

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



SKI 34 S.r.l.
 Società soggetta ad attività di direzione
 e coordinamento di Statkraft AS
 Partita IVA 12417100968
 Gruppo IVA 11412940964
 C.F. 12417100968
 Via Caradosso 9
 20123 Milano

Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 33 MW sito nel comune di Castelvetro (TP) in località C.da Case Nuove e da un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel comune di Menfi (AG) in località C.da Genovese e opere connesse nei comuni di Castelvetro (TP), Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca (AG).

dove: μ =coefficiente d'attrito palo terreno pari a $\tan \phi$, 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 ξ_3 ed al valore minimo il fattore di correlazione ξ_4 . Il minore tra i valori così ottenuti è pari al valore caratteristico di portanza del palo in studio.

I fattori di correlazione ξ_3 ed ξ_4 , riportati nella norma nella tabella 6.4.IV, valgono nel caso specifico, per n. 1 di verticali indagate, entrambi 1.70.



SKI 34 S.r.l.
 Società soggetta ad attività di direzione
 e coordinamento di Statkraft AS
 Partita IVA 12417100968
 Gruppo IVA 11412940964
 C.F. 12417100968
 Via Caradosso 9
 20123 Milano

Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 33 MW sito nel comune di Castelvetro (TP) in località C.da Case Nuove e da un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel comune di Menfi (AG) in località C.da Genovese e opere connesse nei comuni di Castelvetro (TP), Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca (AG).

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 Ø1200 mm L=26.00 m (compressione)	5167 kN	4432 kN
Palo Ø1200 mm L=26.00 m (trazione)	-2212 kN	-2947 kN

Nella relazione di calcolo preliminare le massime sollecitazione di compressione e trazione nei pali erano di 4340 kN e -2900 kN, quindi all'interno dei massimi valori riportati in tabella per i pali.

6 FONDAZIONI EDIFICI AUSILIARI

Le fondazioni di questi edifici sono tutte costituite da platee continue di differenti dimensioni e spessori, in funzione anche dei carichi uniformemente distribuiti su di esse agenti.

6.1 CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE (FONDAZIONI SUPERFICIALI)

Il terreno di fondazione di qualsiasi struttura deve essere in grado di sopportare il carico che gli viene trasmesso dalle strutture sovrastanti senza che si verifichi rottura e senza che i cedimenti della struttura siano eccessivi. Per determinare la resistenza limite a taglio (carico ultimo o carico limite) di una fondazione superficiale si può ricorrere a differenti teorie, riconosciute nella letteratura tecnica, quali Meyerhoff, Brinch-Hansen, Vesic, che conducono alla determinazione del carico limite di fondazioni superficiali di tipo nastriforme e di lunghezza infinita caricate da carichi verticali. Le stesse formulazioni permettono, per mezzo di opportuni coefficienti correttivi di tenere conto di fondazioni di dimensioni finite, di eccentricità ed inclinazioni del carico, ecc.

Il rapporto fra il carico limite in fondazione e la risultante dei carichi trasmessi dalla struttura sul terreno di fondazione deve essere superiore al coefficiente di sicurezza η .



SKI 34 S.r.l.
Società soggetta ad attività di direzione
e coordinamento di Statkraft AS
Partita IVA 12417100968
Gruppo IVA 11412940964
C.F. 12417100968
Via Caradosso 9
20123 Milano

Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 33 MW sito nel comune di Castelvetro (TP) in località C.da Case Nuove e da un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel comune di Menfi (AG) in località C.da Genovese e opere connesse nei comuni di Castelvetro (TP), Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca (AG).

$$\frac{Q_u}{R} \geq \eta$$

Cioè, detto Q_u , il carico limite ed R la risultante dei carichi in fondazione, deve risultare:

La combinazione di carico è la seguente:

(A1+M1+R3)

Dove con **A1** si intendono i coefficienti parziali dei carichi, così come definiti nella tabella 6.2.I identici in questo caso a quelli utilizzati per il calcolo strutturale, con **M1** i coefficienti di abbattimento dei parametri geotecnici del terreno contenuti nella tabella 6.2.II (tutti unitari in questo caso), e con **R3** il fattore di sicurezza che per le fondazioni superficiali vale **2.3** riguardo al carico limite ed **1.1** per la verifica a scorrimento.

Di seguito si utilizzerà la teoria di Vesic per la determinazione del carico limite. Con la seguente formulazione e fattori correttivi:

Descrizione sintetica della teoria utilizzata

$$q_{ult} = c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c \cdot p_c \cdot e_c + q' \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q \cdot p_q \cdot e_q + 0.5 \cdot B \cdot \gamma \cdot N_y \cdot s_y \cdot d_y \cdot i_y \cdot b_y \cdot g_y \cdot p_y \cdot e_y \quad Q_{ult} = q_{ult} \cdot B' \cdot L'$$

Fattori di capacità portante

$$N_c = (N_q - 1) / \tan(\varphi)$$

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(\pi/4 + \varphi/2)$$

$$N_y = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan(\varphi)$$

Fattori di forma

$$s_c = 1 + N_q / N_c \cdot B' / L'$$

$$s_q = 1 + B' / L' \cdot \tan(\varphi)$$

$$s_y = 1 - 0.4 \cdot B' / L'$$

Fattori di profondità

$$d_c = d_q \cdot (1 - d_q) / (N_q - 1)$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot K \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \quad D < B \quad K = D/B, \quad D > B \quad K = \arctan(D/B)$$

$$d_y = 1.0$$

Fattori di inclinazione dei carichi

$$i_c = i_q \cdot (1 - i_q) / (N_q - 1)$$

$$i_q = (1 - V / (N + B' \cdot L' \cdot c' / \tan(\varphi)))^m$$

$$i_y = (1 - V / (N + B' \cdot L' \cdot c' / \tan(\varphi)))^{(m+1)}$$

Fattori di inclinazione base fondazione

$$b_c = b_q \cdot (1 - b_q) / (N_q - 1)$$

$$b_q = (1 - \eta \cdot \tan(\varphi))^2 - \eta \text{ angolo inclinazione base}$$

$$b_y = (1 - \eta \cdot \tan(\varphi))^2 - \eta \text{ angolo inclinazione base}$$

Fattori di inclinazione pendio

$$g_c = g_q \cdot (1 - g_q) / (N_q - 1)$$

$$g_q = (1 - \tan(\beta))^2 - \beta \text{ angolo inclinazione pendio}$$

$$g_y = (1 - \tan(\beta))^2 - \beta \text{ angolo inclinazione pendio}$$

Fattori di punzonamento

$$p_c = 1.0 \text{ (punzonamento non ritenuto possibile)}$$

$$p_q = 1.0 \text{ (punzonamento non ritenuto possibile)}$$

$$p_y = 1.0 \text{ (punzonamento non ritenuto possibile)}$$

Fattori riduttivi per sisma

$$e_c = 1.0 \text{ (sisma non considerato)}$$

$$e_q = 1.0 \text{ (sisma non considerato)}$$

$$e_y = 1.0 \text{ (sisma non considerato)}$$

q' : pressione litostatica alla profondità D (0.40 m) di imposta fondazione: 7.20 kPa
I valori di γ , φ , c' sono i parametri geotecnici di calcolo del terreno equivalente (vedi tabella sopra riportata)
 B' , L' : Dimensioni efficaci della fondazione ($B' = B - 2 \cdot M_x / N$ - $L' = L - 2 \cdot M_y / N$) (se $B' > L'$ le due dimensioni vengono scambiate tra loro)
 π : valore di phi greco (3.14159...)
 V risultante dei tagli $\text{rad}q(V_x^2 + V_y^2)$ - N sforzo normale
 $m = m_1 \cdot \cos^2(\theta) + m_b \cdot \sin^2(\theta)$ - dove $m_1 = (2 + L/B) / (1 + L/B)$, $m_b = (2 + B/L) / (1 + B/L)$, θ angolo di V con la direzione di L



Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 33 MW sito nel comune di Castelvetro (TP) in località C.da Case Nuove e da un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel comune di Menfi (AG) in località C.da Genovese e opere connesse nei comuni di Castelvetro (TP), Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca (AG).

6.1.1 Cabina connessione e trasformazione a 36 kV – Cabina generale BESS

Viene realizzata una platea di fondazione in calcestruzzo armato di dimensioni 34.00x10.00 m e spessore di 0.30 m.

Analisi dei carichi

Peso proprio magrone di sottofondazione	$34.00 \times 10.00 \times 0.10 \times 2400 =$	81600	daN
Peso proprio platea	$34.00 \times 10.00 \times 0.30 \times 2500 =$	255000	daN
Peso proprio macchinari		23000	daN
		=====	
		Totale 359600	daN

Riguardo ai carichi orizzontali questi vengono determinati con lo spettro sismico riportato nella “Relazione e calcoli preliminari sulle strutture” in cui il valore massimo, determinato con fattore di comportamento $q=1.0$ (spettro elastico), vale 0.827, pertanto si ha uno sforzo orizzontale sulla fondazione pari a $23000 \times 0.827 = 19021$ daN.

Forza orizzontale che genera un momento flettente pari a: $19021 \times (1.16 + 0.40) = 29673$ daN (1.16 m è la quota del baricentro dei macchinari da estradosso platea).

Fondazioni Cabina connessione – Cabina generale BESS

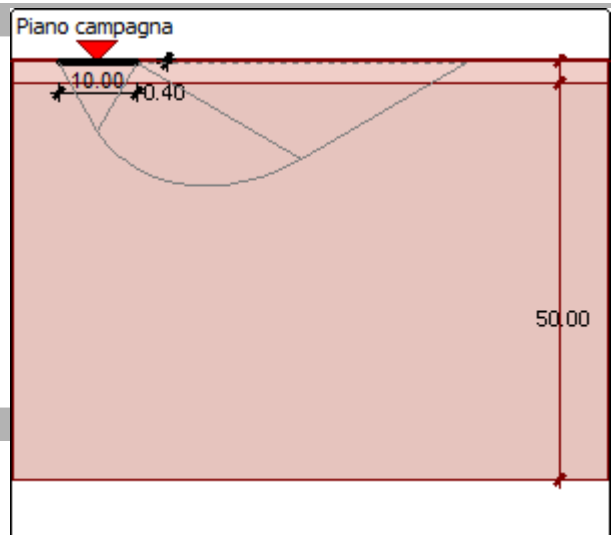
Dati di input generale e geometria fondazione			
Teoria statica: VESIC (1975)			
Geometria fondazione	[B] Larghezza (dir y):	10.00 m	[L] Lunghezza (dir x): 34.00 m
			[D] Profondità (dir z): 0.40 m
[η] Angolo di inclinazione del piano di posa nella direzione di B:	0.0°		[β] Angolo di inclinazione del pendio: 0.0°
Carico permanente uniforme al piano campagna [q0]:	0.00 daN/cm ²		Profondità falda dal piano di campagna: -100.00 m
Criterio di punzonamento:	NESSUNO		Condizione di verifica: DRENATA

Stratigrafia del terreno									
N.	γ_{nat}	γ_{sat}	ϕ	c'	c_u	H_{str}	E_{ed}	D_r	
1	18.00	18.00	25.0	0.00	0.00	3.00	500.00	0.90	
2	18.00	18.00	30.0	0.00	0.00	50.00	500.00	0.90	
3	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
4	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
5	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

- Legenda
- N. : Numero strato dal piano di campagna verso il basso
 - γ_{nat} : Peso specifico contenuto naturale d'acqua (kN/m³)
 - γ_{sat} : Peso specifico condizioni di saturazione d'acqua (kN/m³)
 - ϕ : angolo d'attrito interno (deg)
 - c' : Coesione drenata (daN/cm²)
 - c_u : Coesione non drenata (daN/cm²)
 - H_{str} : Spessore dello strato (m)
 - E_{ed} : Modulo edometrico (daN/cm²)
 - D_r : Densità relativa

Dati geotecnici di calcolo terreno equivalente

Medie ponderate svolte tra le quote 0.40 m e 20.40 m





SKI 34 S.r.l.
 Società soggetta ad attività di direzione
 e coordinamento di Statkraft AS
 Partita IVA 12417100968
 Gruppo IVA 11412940964
 C.F. 12417100968
 Via Caradosso 9
 20123 Milano

Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 33 MW sito nel comune di Castelvetro (TP) in località C.da Case Nuove e da un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel comune di Menfi (AG) in località C.da Genovese e opere connesse nei comuni di Castelvetro (TP), Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca (AG).

y	φ	c'	c _u	E _{ed}	D _r
18.00	29.4	0.00		500.00	0.90

Verifiche a scorrimento

$H = \text{rad}q(V_x^2 + V_y^2)$ - forza di scorrimento $R_{\text{scorr}} = N' \cdot \tan(b \cdot \phi) / \gamma_m + a \cdot c' \cdot B' \cdot L'$ - resistenza allo scorrimento
 $b = 1.00$ - $b \cdot \phi$: angolo di attrito fondazione-terreno
 $\gamma_m = 1.00$ - fattore parziale di sicurezza applicato a $\tan(b \cdot \phi)$
 $a = 0.80$ - fattore riduttivo della coesione per ottenere l'adesione terreno-fondazione
 $N' = N \cdot \cos(\alpha) + V_y \cdot \sin(\alpha)$ - $V'_y = -N \cdot \sin(\alpha) + V_y \cdot \cos(\alpha)$ - α angolo inclinazione base fondazione

Valori numerici dei dati che non si modificano ad ogni combinazione di carico

$N_c =$	28.689	$N_q =$	17.150	$N_y =$	20.433
$c' =$	0.00 daN/cm ²	$q =$	0.07 daN/cm ²	$y =$	18.00 kN/m ³

Descrizione simbologia ed opzioni speciali

Riferimento globale: asse X parallelo ad L, Y parallelo a B, asse Z verticale
 Riferimento locale: asse X parallelo ad L, Y parallelo a B, asse Z ortogonale alla base fondazione (eventualmente inclinata)
 I fattori di forma vengono determinati con le dimensioni reali (B, L) della fondazione

Combinazione di carico: 1 - statica

N (kN)	M _x (kNm)	M _y (kNm)	V _x (kN)	V _y (kN)			
3596.00	296.73			190.00	Riferimento globale	B'=9.83 m	
3596.00	296.73			190.00	Riferimento locale	L'=34.00 m	
Fattori s	Fattori d	Fattori i	Fattori b	Fattori g	Fattori p	Fattori e	Globali
c	1.176	1.012	0.903	1.000	1.000		1.074
q	1.166	1.012	0.908	1.000	1.000		1.071
y	0.882	1.000	0.860	1.000	1.000		0.759
$q_{\text{ult}} = 15.05 \text{ daN/cm}^2$		$Q_{\text{ult}} = 503296.71 \text{ kN}$		$R = Q_{\text{ult}}/N = 139.960 > R3=2.3$			
$H = 190.00 \text{ kN}$		$R_{\text{scorr}} = 2024.24 \text{ kN}$		$R = R_{\text{scorr}}/H = 10.654 > R3=1.1$			

6.1.2 Locali Batteria

Viene realizzata una platea di fondazione in calcestruzzo armato di dimensioni 7.50x3.80 m e spessore di 0.30 m.

Analisi dei carichi

Peso proprio magrone di sottofondazione	$7.70 \times 4.00 \times 0.10 \times 2500 =$	7700	daN
Peso proprio platea	$7.50 \times 3.80 \times 0.30 \times 2500 =$	21375	daN
Peso proprio batterie		30500	daN
	=====		
	Totale	59575	daN

Riguardo ai carichi orizzontali questi vengono determinati con lo spettro sismico riportato nella "Relazione e calcoli preliminari sulle strutture" in cui il valore massimo, determinato con fattore di comportamento $q=1.0$ (spettro elastico), vale 0953, pertanto si ha uno sforzo



SKI 34 S.r.l.
 Società soggetta ad attività di direzione
 e coordinamento di Statkraft AS
 Partita IVA 12417100968
 Gruppo IVA 11412940964
 C.F. 12417100968
 Via Caradosso 9
 20123 Milano

Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 33 MW sito nel comune di Castelvetro (TP) in località C.da Case Nuove e da un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel comune di Menfi (AG) in località C.da Genovese e opere connesse nei comuni di Castelvetro (TP), Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca (AG).

orizzontale sulla fondazione pari a $30500 \times 0.953 = 29067$ daN.

Forza orizzontale che genera un momento flettente pari a: $29067 \times 1.45 = 42147$ daN

Fondazioni Locali Batterie

Dati di input generale e geometria fondazione

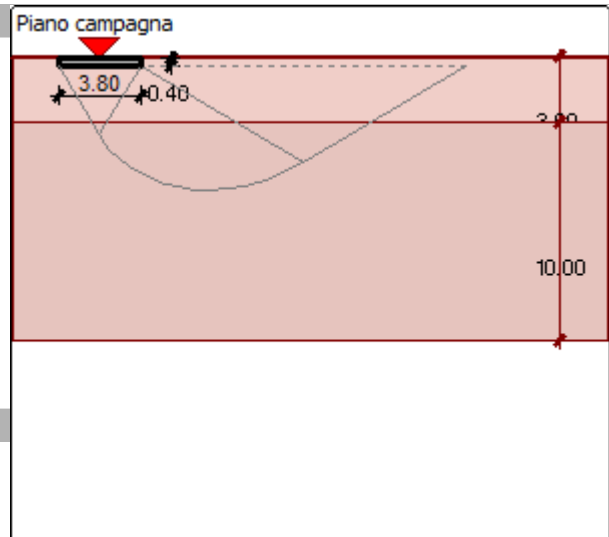
Teoria statica: VESIC (1975)					
Geometria fondazione	[B] Larghezza (dir y):	3.80 m	[L] Lunghezza (dir x):	7.50 m	
			[D] Profondità (dir z):	0.40 m	
[η] Angolo di inclinazione del piano di posa nella direzione di B:	0.0°		[β] Angolo di inclinazione del pendio:	0.0°	
Carico permanente uniforme al piano campagna [q0]:	0.00 daN/cm ²		Profondità falda dal piano di campagna:	-100.00 m	
Criterio di punzonamento:	NESSUNO		Condizione di verifica:	DRENATA	

Stratigrafia del terreno

N.	y _{nat}	y _{sat}	φ	c'	c _u	H _{str}	E _{ed}	D _r
1	18.00	18.00	25.0	0.00	0.00	3.00	500.00	0.90
2	18.00	18.00	30.0	0.00	0.00	10.00	500.00	0.90
3	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Legenda

- N. : Numero strato dal piano di campagna verso il basso
- y_{nat} : Peso specifico contenuto naturale d'acqua (kN/m³)
- y_{sat} : Peso specifico condizioni di saturazione d'acqua (kN/m³)
- φ : angolo d'attrito interno (deg)
- c' : Coesione drenata (daN/cm²)
- c_u : Coesione non drenata (daN/cm²)
- H_{str} : Spessore dello strato (m)
- E_{ed} : Modulo edometrico (daN/cm²)
- D_r : Densità relativa



Dati geotecnici di calcolo terreno equivalente

Medie ponderate svolte tra le quote 0.40 m e 8.00 m				
y	φ	c'	c _u	D _r
18.00	28.3	0.00		0.90

Verifiche a scorrimento

$H = \text{rad}q(V_x^2 + V_y^2)$ - forza di scorrimento
 $R_{\text{scorr}} = N' \cdot \tan(b \cdot \phi) / \gamma_m + a \cdot c' \cdot B' \cdot L'$ - resistenza allo scorrimento
 b=1.00 - b·φ: angolo di attrito fondazione-terreno
 $\gamma_m = 1.00$ - fattore parziale di sicurezza applicato a tan(b·φ)
 a=0.80 - fattore riduttivo della coesione per ottenere l'adesione terreno-fondazione
 $N' = N \cdot \cos(\alpha) + V_y \cdot \sin(\alpha)$ - $V'_y = -N \cdot \sin(\alpha) + V_x \cdot \cos(\alpha)$ - α angolo inclinazione base fondazione

Valori numerici dei dati che non si modificano ad ogni combinazione di carico

N _q =	26.481	N _q =	15.283	N _y =	17.565
c'	0.00 daN/cm ²	q=	0.07 daN/cm ²	y=	18.00 kN/m ³

Descrizione simbologia ed opzioni speciali

Riferimento globale: asse X parallelo ad L, Y parallelo a B, asse Z verticale
 Riferimento locale: asse X parallelo ad L, Y parallelo a B, asse Z ortogonale alla base fondazione (eventualmente inclinata)
 I fattori di forma vengono determinati con le dimensioni reali (B, L) della fondazione

Combinazione di carico: 1 - statica

N (kN)	M _x (kNm)	M _y (kNm)	V _x (kN)	V _y (kN)		
596.00	421.00			291.00	Riferimento globale	B'=2.39 m
596.00	421.00			291.00	Riferimento locale	L'=7.50 m

	Fattori s	Fattori d	Fattori i	Fattori b	Fattori g	Fattori p	Fattori e	Globali
c	1.292	1.034	0.281	1.000	1.000			0.375
q	1.273	1.031	0.328	1.000	1.000			0.431



SKI 34 S.r.l.
 Società soggetta ad attività di direzione
 e coordinamento di Statkraft AS
 Partita IVA 12417100968
 Gruppo IVA 11412940964
 C.F. 12417100968
 Via Caradosso 9
 20123 Milano

Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 33 MW sito nel comune di Castelvetro (TP) in località C.da Case Nuove e da un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel comune di Menfi (AG) in località C.da Genovese e opere connesse nei comuni di Castelvetro (TP), Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca (AG).

y	0.797	1.000	0.168	1.000	1.000	0.134
q_{ult}	0.98 daN/cm²		Q_{ult}	1753.16 kN	$R=Q_{ult}/N$	2.942 > R3=2.3
H	291.00 kN		R_{scorr}	321.46 kN	$R=R_{scorr}/H$	1.105 > R3=1.1

Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 33 MW sito nel comune di Castelvetro (TP) in località C.da Case Nuove e da un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel comune di Menfi (AG) in località C.da Genovese e opere connesse nei comuni di Castelvetro (TP), Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca (AG).

7 TABULATI DI VERIFICA PORTANZA PALI

COMMESSA:	1193/2023	Revisione:	00
COMMITTENTE:	Starkraft – SKI 34 S.r.l.		
PROGETTO:	Progetto per la realizzazione impianto eolico composto da n. 4 generatori a Castelvetro e Par		

**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)	1200
Quota testa palo (rispetto piano campagna) (c)	(m)	-3,40
Lunghezza palo (Lp)	(m)	26,00

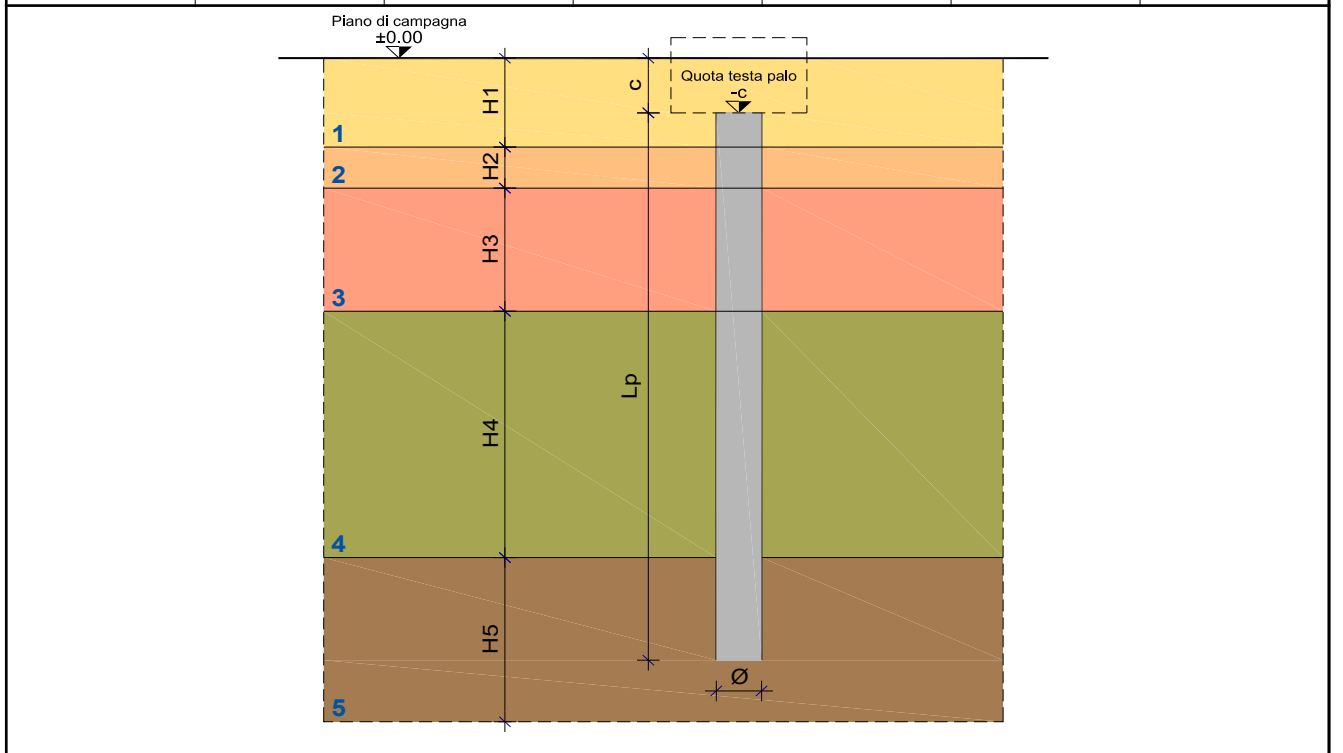
Palo soggetto a sforzo normale di:

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 _i (m)	Profondità fine strato (m)	Densità terreno γ (daN/m ³)	Angolo di attrito interno φ (deg)	Coesione drenata c' (daN/m ²)	Coesione non drenata c _u (daN/m ²)
Terreno agrario alterato	0,70	0,70	1600	24	0	0
Depositi calcarenitici terrazzati	35,00	35,70	1800	25	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:	1193/2023	Revisione:	00
COMMITTENTE:	Starkraft – SKI 32 S.r.l.		
PROGETTO:	Progetto per la realizzazione impianto eolico composto da n. 4 generatori a Castelvetro e Par		

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	
γ (daN/m ³)	1,00	1600	1,00	1600	1,00	1600,0
φ (deg)	1,00	24,0	1,00	24,0	1,00	24,0
c' (daN/m ²)	1,00	0	1,00	0	1,00	0
c_u (daN/m ²)	1,00	0	1,00	0	1,00	0
Strato 2	Approccio 1 – Combinazione 1		Approccio 1 – Combinazione 2		Approccio 2	
γ (daN/m ³)	1,00	1800	1,00	1800	1,00	1800,0
φ (deg)	1,00	25,0	1,00	25,0	1,00	25,0
c' (daN/m ²)	1,00	0	1,00	0	1,00	0
c_u (daN/m ²)	1,00	0	1,00	0	1,00	0
Strato 3	Approccio 1 – Combinazione 1		Approccio 1 – Combinazione 2		Approccio 2	
γ (daN/m ³)	1,00	0	1,00	0	1,00	0
φ (deg)	1,00	0,0	1,00	0,0	1,00	0,0
c' (daN/m ²)	1,00	0	1,00	0	1,00	0
c_u (daN/m ²)	1,00	0	1,00	0	1,00	0
Strato 4	Approccio 1 – Combinazione 1		Approccio 1 – Combinazione 2		Approccio 2	
γ (daN/m ³)	1,00	0	1,00	0	1,00	0
φ (deg)	1,00	0,0	1,00	0,0	1,00	0,0
c' (daN/m ²)	1,00	0	1,00	0	1,00	0
c_u (daN/m ²)	1,00	0	1,00	0	1,00	0
Strato 5	Approccio 1 – Combinazione 1		Approccio 1 – Combinazione 2		Approccio 2	
γ (daN/m ³)	1,00	0	1,00	0	1,00	0
φ (deg)	1,00	0,0	1,00	0,0	1,00	0,0
c' (daN/m ²)	1,00	0	1,00	0	1,00	0
c_u (daN/m ²)	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 α e β funzione del rapporto L/D

Tabella con i valori α e β 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	21,7
α	0,1656	0,1084	0,0793	0,0603	0,0422	0,0543
β	0,1731	0,1807	0,1874	0,1936	0,2016	0,1963

	Approccio 1 – Combinazione 1	Approccio 1 – Combinazione 2	Approccio 2
φ (deg)	25,0	25,0	25,0
c' (daN/m ²)	0	0	0
Fattore $N_q = \alpha \cdot e^{\beta \cdot \varphi}$	7,34	7,34	7,34
Fattore $N_c = (N_q - 1) / \tan(\varphi)$	13,59	13,59	13,59
Pressione alla punta q (daN/m ²)	47920	47920	47920
Area sezione (m ²)	1,131	1,131	1,131
$p = c' \cdot N_c + q \cdot N_q$ (daN/m ²)	351551	351551	351551
Carico limite alla punta (daN)	397595	397595	397595

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 ²)	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 ²)	47920	47920	47920
Area sezione (m ²)	1,131	1,131	1,131
$p = c_u \cdot N_c + q \cdot N_q$ (daN/m ²)	47920	47920	47920
Carico limite alla punta (daN)	54196	54196	54196

COMMESSA:	1193/2023	Revisione:	00
COMMITTENTE:	Starkraft – SKI 34 S.r.l.		
PROGETTO:	Progetto per la realizzazione impianto eolico composto da n. 4 generatori a Castelvetrano e Par		

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 μ - variabile per singolo strato $tg(\varphi)$

Strato	Superficie laterale del palo nello strato(m ²)	Presenza attrito negativo
Terreno agrario alterato	0,00	1,00
Depositi calcarenitici terrazzati	98,02	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 alte	0,223	0	0,223	0	0,223	0
Depositi calcarenitici	0,233	671427	0,233	671427	0,233	671427
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
Resistenza laterale (daN)		671427		671427		671427

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 α di c_u ($s_0=\alpha \cdot c_u$): 0.3

Strato	Superficie laterale del palo nello strato(m ²)	Presenza attrito negativo
Terreno agrario alterato	0,00	1,00
Depositi calcarenitici terrazzati	98,02	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 ²)	$R_{laterale}$ (daN)	s_o (daN/m ²)	$R_{laterale}$ (daN)	s_o (daN/m ²)	$R_{laterale}$ (daN)
Terreno agrario alte	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
Resistenza laterale (daN)		0		0		0

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

COMMESSA:	1193/2023	Revisione:	00
COMMITTENTE:	Starkraft – SKI 34 S.r.l.		
PROGETTO:	Progetto per la realizzazione impianto eolico composto da n. 4 generatori a Castelvetro e Par		

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 ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

N. verticali	1	2	3	4	5	6
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,48
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	Compressione
N. verticali	7	8	9	≥ 10		
ξ_3	1,45	1,43	1,41	1,40		
ξ_4	1,28	1,26	1,23	1,21		

Palo soggetto a sforzo normale di:

Compressione

Tipologia palo:

Palo trivellato

Diametro palo:

(mm)

1200

Lunghezza palo:

(m)

26,00

Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali γ_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	397595	671427	397595	671427	397595	671427
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	397595	671427	397595	671427	397595	671427
$(R_{c,calc}/media)/\xi_3$	233879	394957	233879	394957	233879	394957
Valori minimi	397595	671427	397595	671427	397595	671427
$(R_{c,calc}/min)/\xi_4$	233879	394957	233879	394957	233879	394957
$R_{c,k}$	233879	394957	233879	394957	233879	394957
$R_d = R_{c,k} / \gamma_R$	233879	394957	137576	272384	173244	343441
Resistenza dei pali per carichi verticali in condizioni drenate						
R_d totale	daN 628836		daN 409960		daN 516685	
	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:	1193/2023	Revisione:	00
COMMITTENTE:	Starkraft – SKI 34 S.r.l.		
PROGETTO:	Progetto per la realizzazione impianto eolico composto da n. 4 generatori a Castelvetro e Par		

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

Condizioni non 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	54196	0	54196	0	54196	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	54196	0	54196	0	54196	0
$(R_{c,calc}/media)/\xi_3$	31880	0	31880	0	31880	0
Valori minimi	54196	0	54196	0	54196	0
$(R_{c,calc}/min)/\xi_4$	31880	0	31880	0	31880	0
$R_{c,k}$	31880	0	31880	0	31880	0
$R_d = R_{c,k} / \gamma_R$	31880	0	18753	0	23615	0
Resistenza dei pali per carichi verticali in condizioni non drenate						
R_d totale	daN 31880		daN 18753		daN 23615	
	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:	1193/2023	Revisione:	00
COMMITTENTE:	Starkraft – SKI 34 S.r.l.		
PROGETTO:	Progetto per la realizzazione impianto eolico composto da n. 4 generatori a Castelvetrano e Par		

**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)	1200
Quota testa palo (rispetto piano campagna) (c)	(m)	-3,40
Lunghezza palo (Lp)	(m)	26,00

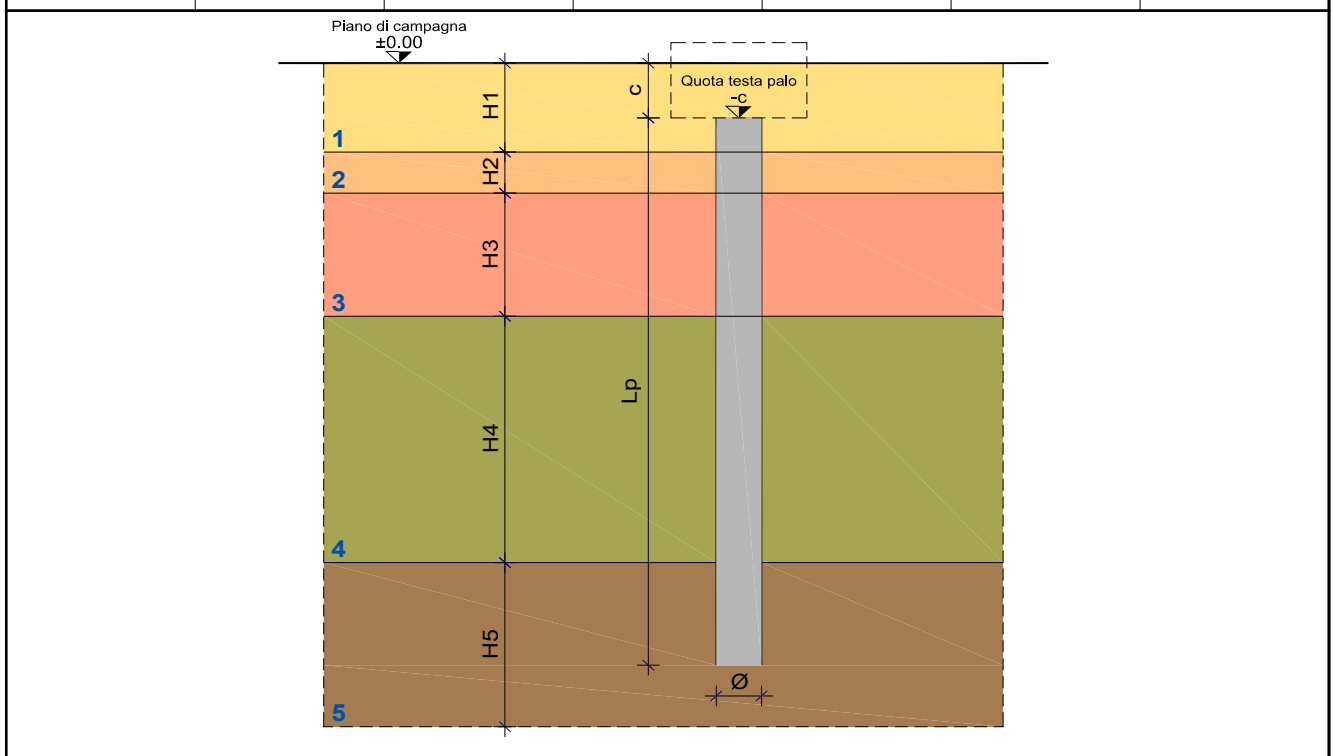
Palo soggetto a sforzo normale di:

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 _i (m)	Profondità fine strato (m)	Densità terreno γ (daN/m ³)	Angolo di attrito interno φ (deg)	Coesione drenata c' (daN/m ²)	Coesione non drenata c _u (daN/m ²)
Terreno agrario alterato	0,70	0,70	1600	24	0	0
Depositi calcarenici terrazzati	35,00	35,70	1800	25	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:	1193/2023	Revisione:	00
COMMITTENTE:	Starkraft – SKI 34 S.r.l.		
PROGETTO:	Progetto per la realizzazione impianto eolico composto da n. 4 generatori a Castelvetro e Par		

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	
γ (daN/m ³)	1,00	1600	1,00	1600	1,00	1600,0
φ (deg)	1,00	24,0	1,00	24,0	1,00	24,0
c' (daN/m ²)	1,00	0	1,00	0	1,00	0
c_u (daN/m ²)	1,00	0	1,00	0	1,00	0
Strato 2	Approccio 1 – Combinazione 1		Approccio 1 – Combinazione 2		Approccio 2	
γ (daN/m ³)	1,00	1800	1,00	1800	1,00	1800,0
φ (deg)	1,00	25,0	1,00	25,0	1,00	25,0
c' (daN/m ²)	1,00	0	1,00	0	1,00	0
c_u (daN/m ²)	1,00	0	1,00	0	1,00	0
Strato 3	Approccio 1 – Combinazione 1		Approccio 1 – Combinazione 2		Approccio 2	
γ (daN/m ³)	1,00	0	1,00	0	1,00	0
φ (deg)	1,00	0,0	1,00	0,0	1,00	0,0
c' (daN/m ²)	1,00	0	1,00	0	1,00	0
c_u (daN/m ²)	1,00	0	1,00	0	1,00	0
Strato 4	Approccio 1 – Combinazione 1		Approccio 1 – Combinazione 2		Approccio 2	
γ (daN/m ³)	1,00	0	1,00	0	1,00	0
φ (deg)	1,00	0,0	1,00	0,0	1,00	0,0
c' (daN/m ²)	1,00	0	1,00	0	1,00	0
c_u (daN/m ²)	1,00	0	1,00	0	1,00	0
Strato 5	Approccio 1 – Combinazione 1		Approccio 1 – Combinazione 2		Approccio 2	
γ (daN/m ³)	1,00	0	1,00	0	1,00	0
φ (deg)	1,00	0,0	1,00	0,0	1,00	0,0
c' (daN/m ²)	1,00	0	1,00	0	1,00	0
c_u (daN/m ²)	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 α e β funzione del rapporto L/D

Tabella con i valori α e β 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	21,7
α	0,1656	0,1084	0,0793	0,0603	0,0422	0,0543
β	0,1731	0,1807	0,1874	0,1936	0,2016	0,1963

	Approccio 1 – Combinazione 1	Approccio 1 – Combinazione 2	Approccio 2
φ (deg)	25,0	25,0	25,0
c' (daN/m ²)	0	0	0
Fattore $N_q = \alpha \cdot e^{\beta \cdot \varphi}$	7,34	7,34	7,34
Fattore $N_c = (N_q - 1) / \tan(\varphi)$	13,59	13,59	13,59
Pressione alla punta q (daN/m ²)	47920	47920	47920
Area sezione (m ²)	1,131	1,131	1,131
$p = c' \cdot N_c + q \cdot N_q$ (daN/m ²)	351551	351551	351551
Carico limite alla punta (daN)	0	0	0

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 ²)	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 ²)	47920	47920	47920
Area sezione (m ²)	1,131	1,131	1,131
$p = c_u \cdot N_c + q \cdot N_q$ (daN/m ²)	47920	47920	47920
Carico limite alla punta (daN)	0	0	0

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

COMMESSA:	1193/2023	Revisione:	00
COMMITTENTE:	Starkraft – SKI 34 S.r.l.		
PROGETTO:	Progetto per la realizzazione impianto eolico composto da n. 4 generatori a Castelvetrano e Par		

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 μ - variabile per singolo strato $\text{tg}(\varphi)$

Strato	Superficie laterale del palo nello strato (m ²)	Presenza attrito negativo
Terreno agrario alterato	0,00	1,00
Depositi calcarenitici terrazzati	98,02	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	0,223	0	0,223	0	0,223	0
Depositi calcarenitici	0,233	671427	0,233	671427	0,233	671427
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
Resistenza laterale (daN)		469999		469999		469999

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 α di c_u ($s_0 = \alpha \cdot c_u$): 0.3

Strato	Superficie laterale del palo nello strato (m ²)	Presenza attrito negativo
Terreno agrario alterato	0,00	1,00
Depositi calcarenitici terrazzati	98,02	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 ²)	$R_{laterale}$ (daN)	s_o (daN/m ²)	$R_{laterale}$ (daN)	s_o (daN/m ²)	$R_{laterale}$ (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
Resistenza laterale (daN)		0		0		0

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

COMMESSA:	1193/2023	Revisione:	00
COMMITTENTE:	Starkraft – SKI 34 S.r.l.		
PROGETTO:	Progetto per la realizzazione impianto eolico composto da n. 4 generatori a Castelvetro e Par		

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 ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

N. verticali	1	2	3	4	5	6
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,48
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	Compressione
N. verticali	7	8	9	≥ 10		
ξ_3	1,45	1,43	1,41	1,40		
ξ_4	1,28	1,26	1,23	1,21		

Palo soggetto a sforzo normale di:

Tipologia palo:

Diametro palo:

Lunghezza palo:

(mm)

(m)

Trazione

Palo trivellato

1200

26,00

Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali γ_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	469999	0	469999	0	469999
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	469999	0	469999	0	469999
$(R_{c,calc}/media)/\xi_3$	0	276470	0	276470	0	276470
Valori minimi	0	469999	0	469999	0	469999
$(R_{c,calc}/min)/\xi_4$	0	276470	0	276470	0	276470
$R_{c,k}$	0	276470	0	276470	0	276470
$R_d = R_{c,k} / \gamma_R$	0	276470	0	172794	0	221176
Resistenza dei pali per carichi verticali in condizioni drenate						
R_d totale	daN	276470	daN	172794	daN	221176
	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:	1193/2023	Revisione:	00
COMMITTENTE:	Starkraft – SKI 34 S.r.l.		
PROGETTO:	Progetto per la realizzazione impianto eolico composto da n. 4 generatori a Castelvetro e Par		

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 non 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 non 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