

**COMUNI DI BORGIA E SAN FLORO**  
**PROVINCIA CATANZARO**



**PROGETTO DEFINITIVO PARCO EOLICO "E90"**

Elaborato:E90\_CIV\_R05

Scala:-

Data:19/05/2023

**CALCOLO PRELIMINARE DELLE STRUTTURE**

**COMMITTENTE:**

ENERGIA LEVANTE s.r.l.  
Via Luca Gaurico – Regus Eur - Cap 00143 ROMA  
P.IVA 10240591007 - REA RM1219825 - [energialevantesrl@legalmail.it](mailto:energialevantesrl@legalmail.it)  
SOCIETA' DEL GRUPPO



For a better  
world of energy

[www.sserenewables.com](http://www.sserenewables.com) Tel +39 0654832107

**PROFESSIONISTA:**

Ing. Rosario Mattace



*Rosario Mattace*

N°REVISIONE	DATAREVISIONE	ELABORATO	CONTROLLATO	APPROVATO	NOTE
	19/05/2023			Ing. Mercurio	

E' vietata la copia anche parziale del presente elaborato

## INDICE

1	PREMESSA .....	4
2	CARATTERISTICHE DELLA STRUTTURA IN ESAME .....	5
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	9
4	METODI DI CALCOLO .....	10
5	TIPOLOGIA DELLE OPERE.....	11
6	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELL'AREA.....	11
7	STATI LIMITE ADOTTATI IN RELAZIONE ALLE PRESTAZIONI ATTESE.....	12
8	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELLE AREE DI PROGETTO .....	13
8.1	SPETTRI DI PROGETTO AEROGENERATORE E1 .....	14
8.2	SPETTRI DI PROGETTO AEROGENERATORE E2.....	16
8.3	SPETTRI DI PROGETTO AEROGENERATORE E3.....	18
8.4	SPETTRI DI PROGETTO AEROGENERATORE E4.....	20
8.5	SPETTRI DI PROGETTO AEROGENERATORE E5.....	22
8.6	SPETTRI DI PROGETTO AEROGENERATORE E6.....	24
8.7	SPETTRI DI PROGETTO AEROGENERATORE E7 .....	26
8.8	SPETTRI DI PROGETTO AEROGENERATORE E8.....	28
8.9	SPETTRI DI PROGETTO AEROGENERATORE E9.....	30
8.10	SPETTRI DI PROGETTO AEROGENERATORE E10.....	32
9	MATERIALI IMPIEGATI E RESISTENZE DI CALCOLO .....	34
10	SISTEMI DI RIFERIMENTO .....	35
11	ANALISI DEI CARICHI.....	36
12	TABULATI DI CALCOLO CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE NELLA SEZIONI DI BASE STATO LIMITE DI RESISTENZA DELLA STRUTTURA .....	43
13	TABULATI DI CALCOLO CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE NELLE SEZIONI RESISTENTI ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO .....	45
14	CALCOLO ARMATURA DEL PLINTO SLU.....	46
14.1	VERIFICA A FLESSIONE E DIMENSIONAMENTO DELLE ARMATURE.....	47
14.2	VERIFICA A TAGLIO .....	49
14.3	VERIFICA A PUNZONAMENTO .....	51
15	STATI LIMITE DI TIPO GEOTECNICO .....	53
15.1	METODOLOGIA DI CALCOLO .....	55
15.2	TABULATI DI CALCOLO.....	55
15.3	RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DEI RISULTATI NUMERICI.....	62

16 DIMENSIONAMENTO FONDAZIONE DELLA CABINA DI RACCOLTA E CONTROL ROOM.....	66
16.1 CABINA DI RACCOLTA.....	66
16.1.1 COLLASSO PER CARICO LIMITE DELL'INSIEME FONDAZIONE TERRENO .....	67
16.2 CONTROL ROOM.....	67
16.2.1 COLLASSO PER CARICO LIMITE DELL'INSIEME FONDAZIONE TERRENO .....	68
17 PORTANZA FONDAZIONE DELLA STAZIONE ELETTRICA DI TRASFORMAZIONE LATO UTENTE	69
17.1 COLLASSO PER CARICO LIMITE DELL'INSIEME FONDAZIONE TERRENO .....	70
17.2 VERIFICA PORTANZA PLATEA DI FONDAZIONE APPARECCHIATURE ELETTROMECCANICHE.....	70
18 INFORMAZIONI GENERALI SULL'ELABORAZIONE E GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI.....	71

## **1 PREMESSA**

Lo scopo della presente relazione è di determinare le sollecitazioni agenti lungo la torre di sostegno e di giustificare le dimensioni delle fondazioni che verranno calcolate sia in presenza che in assenza di pali trivellati al di sotto di esse.; il calcolo delle flange bullonate e dei tronchi conici sarà oggetto di Relazione di Calcolo in fase esecutiva.

La progettazione delle strutture sul territorio italiano è regolata dalle Norme tecniche per le Costruzioni del 2018 e dalla Circolare applicativa n.7 del 21 Gennaio 2019.

La progettazione di una struttura, ai sensi le N.T.C. 2018, richiede la definizione di tutte le caratteristiche meccaniche del terreno e di tutti i parametri di riferimento (effetti di sito) ricavati dalle interpolazioni proposte dalle NTC2018 necessari alla definizione di un modello di riferimento univoco del sito su cui si deve costruire.

## 2 CARATTERISTICHE DELLA STRUTTURA IN ESAME

Il Progetto è composto da dieci aerogeneratori della potenza pari a 6,2MW per una potenza complessiva di 62,0MW, della tipologia e dimensioni riportate in figura n.1

Le componenti principali della struttura di cui è composto l'aerogeneratore sono le seguenti:

- Tubolare di sostegno in acciaio.
- Navicella.
- Lame costituite da infusione di fibra di vetro e componenti stampati in pultrusione di carbonio.

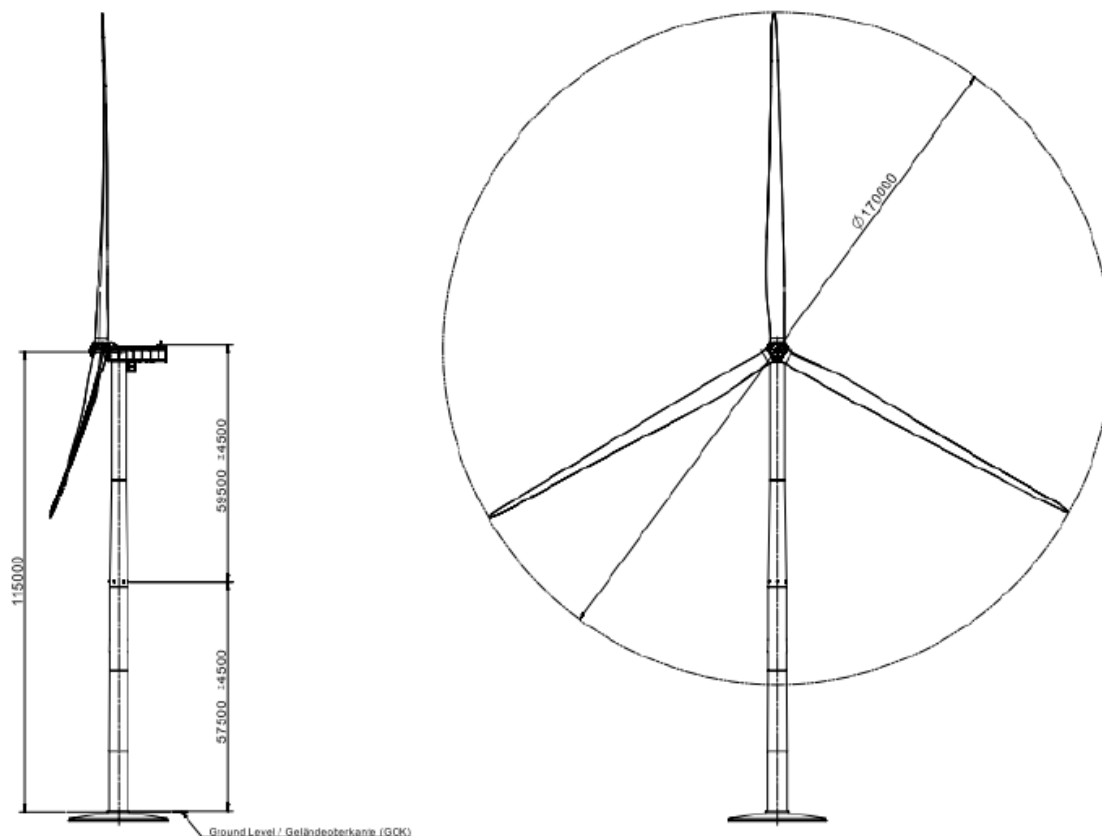


Fig. 1- Tipico Aerogeneratore

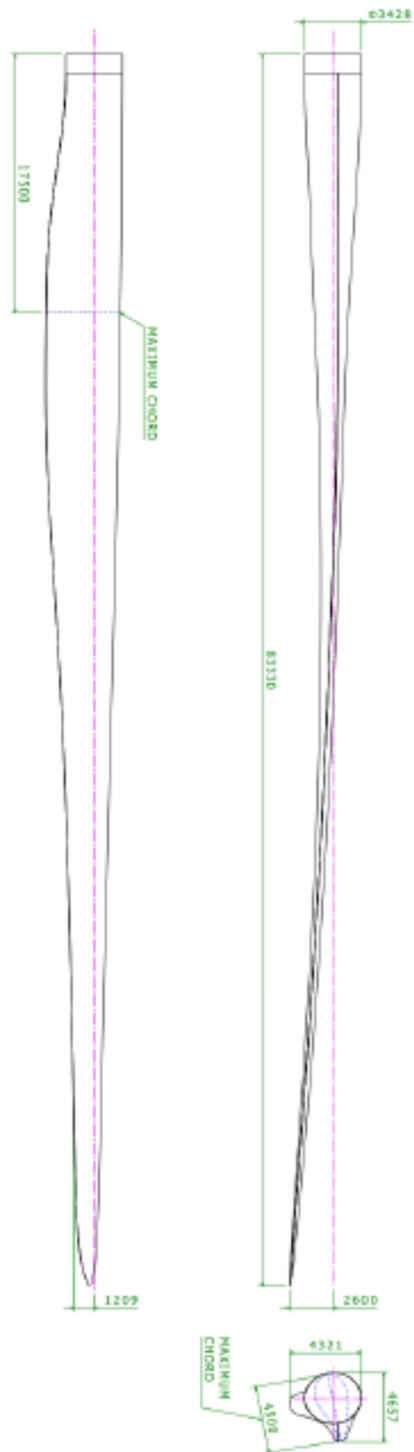
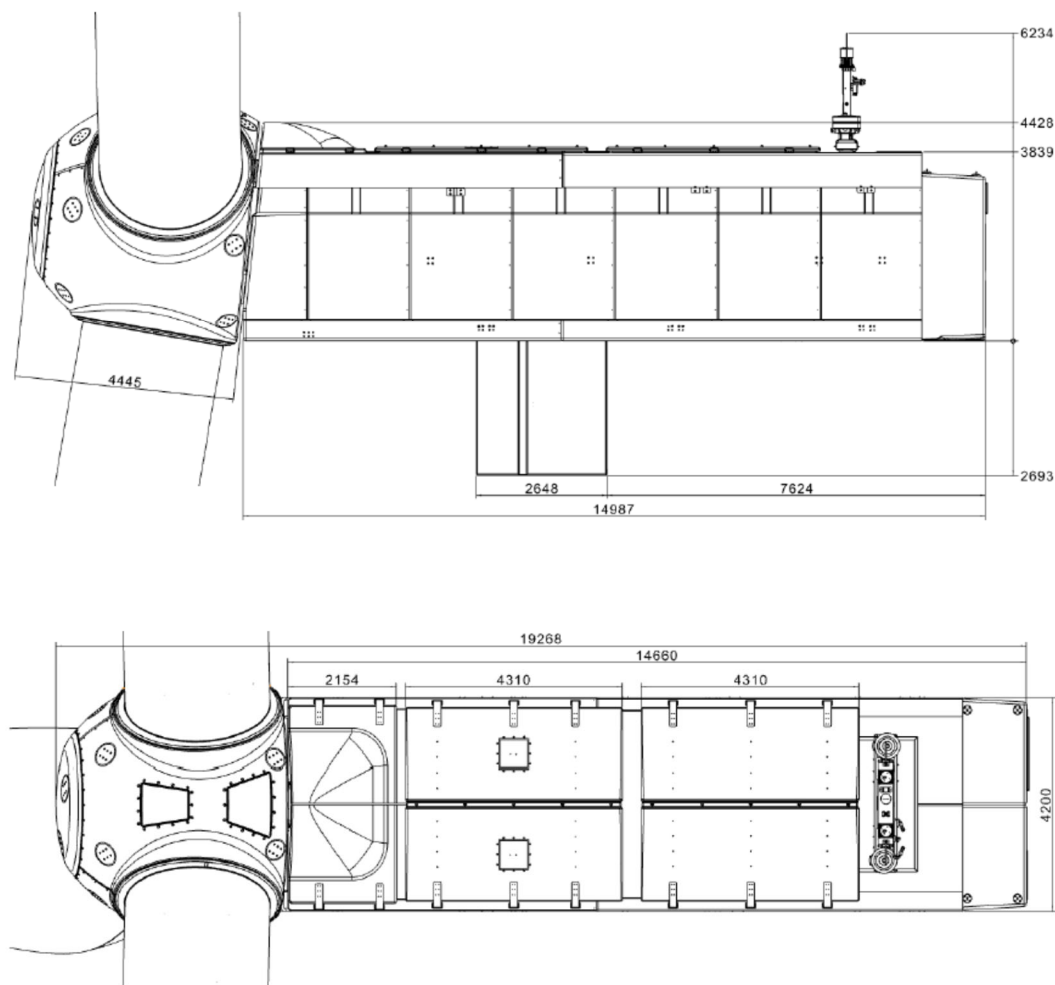


Fig. 2- Tipico Lame



**Fig. 3- Tipico Navicella**

La struttura di sostegno è costituita da cinque conchi conici in acciaio.

Il conchio di base è fissato, tramite una flangia circolare ed un sistema di tirafondi, alla fondazione in calcestruzzo armato. I conchi superiori sono fissati al conchio inferiore tramite una flangia bullonata.

Le caratteristiche dimensionali dei conchi sono riportate nella tabella n.1

Element	W (kg)	L (m)	Ø Lower flange (m)	Ø Upper Flange (m)	
50A	Section 1	84,960	13.56	4.70	4.70
	Section 2	84,330	18.20	4.70	4.44
	Section 3	84,550	23.80	4.44	4.43
	Section 4	71,770	26.88	4.43	4.02
	Section 5	63,860	29.97	4.02	3.50

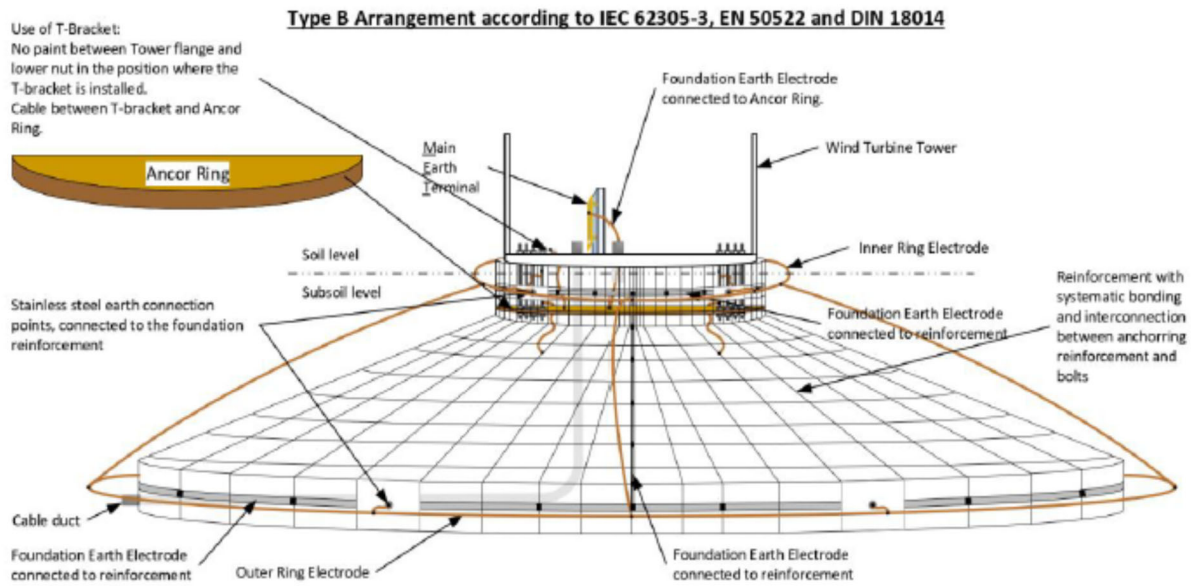
**Tab. 1- Caratteristiche dimensionali conchi di torre**

Il complesso pale-rotore-navicella è fissato al conchio superiore tramite una flangia bullonata. Le caratteristiche geometriche della torre sono riportate sulla tavola grafica denominata E90\_CIV\_T11 che è parte integrante di questo elaborato.

Per quanto riguarda le caratteristiche geometriche di dettaglio relative alla struttura ed ai sistemi di collegamento, si rimanda agli elaborati grafici allegati al presente progetto

strutturale.

Alla base della torre abbiamo un plinto con forma a tronco di cono di dimensioni 24X24 metri alla base ed altezza variabile come da figura n.4.



**Fig.4- Tipico Fondazione**



### 3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Legge 5/11/1971 n°1086 “Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso, ed a struttura metallica”
- Legge 2/2/1974 n°64 “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”
- D.M. 12/2/1982 e successiva Circ. Min. del 24/5/82 Istruzioni C.N.R.-UNI10022/84 “Profilati formati a freddo: istruzioni per l’impiego nelle costruzioni”
- Istruzioni C.N.R.-UNI10011/88 “Costruzioni in acciaio: istruzioni per il calcolo, l’esecuzione, il collaudo e la manutenzione”
- D.M.14/01/2018 “Norme Tecniche per le costruzioni” e circolare applicativa n.7 del 21 Gennaio 2019 del Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti
- Euro codice 2-EC2

#### 4 METODI DI CALCOLO

Nella presente relazione di calcolo si è utilizzato il "Metodo semiprobabilistico agli stati limite"  
Le unità di misura adottate sono  $T$ ,  $kg$ ,  $kN$ ,  $N$ ,  $m$ ,  $cm$  e  $mm$ .

Il tronco conico è stato schematizzato con elementi a mensola, deformabile assialmente, a flessione e taglio.

Le analisi e le verifiche sono state condotte con il metodo degli stati limite (SLU ed SLE) utilizzando i coefficienti parziali della normativa di cui alle NTC2018 come in dettaglio specificato nei tabulati di calcolo.

L'analisi delle sollecitazioni è stata effettuata in campo elastico lineare, per quanto riguarda le azioni sismiche, il metodo di analisi utilizzato è l'analisi lineare statica (punto 7.3.3.2 delle NTC2018).

Data la isostaticità della struttura, "elemento a mensola", l'analisi di calcolo è stata effettuata senza l'ausilio di "codici di calcolo", ma utilizzando metodi tradizionali e sviluppata con semplici fogli di calcolo Excel in cui sono state riportate le relazioni della statica delle costruzioni esposte nella presente relazione, relative sia alle deformazioni che alle sollecitazioni.

Le funzioni di visualizzazione dei fogli di calcolo permettono di controllare sia la coerenza geometrica che le azioni applicate rispetto alla realtà fisica.

Inoltre la visualizzazione dei risultati ottenuti dall'analisi quali sollecitazioni, tensioni, deformazioni, spostamenti, reazioni vincolari hanno permesso un immediato controllo con i risultati ottenuti mediante schemi semplificati, di cui è nota la soluzione in forma chiusa nell'ambito della Scienza delle Costruzioni, conforme secondo quanto prescritto dal paragrafo **10.2 delle NTC 2018**.

Si è inoltre controllato che le reazioni vincolari diano valori in equilibrio con i carichi applicati, in particolare per i valori dei taglianti di base delle azioni sismiche si è provveduto a confrontarli con valori ottenuti da modelli semplificati.

La **capacità resistente delle sezioni** è stata determinata con il **Metodo elastico(E)**, ovvero assumendo un comportamento elastico lineare del materiale, sino al raggiungimento della condizione di snervamento.

Secondo il punto 4.2.3.2 del D.M.14/01/2018, il metodo può applicarsi a tutte le classi di sezioni.

L'**analisi globale della struttura** è stata condotta con il **Metodo elastico(E)**, ovvero valutando gli effetti delle azioni nell'ipotesi che il legame tensione-deformazione del materiale sia indefinitamente lineare. L'analisi della portanza della struttura è stata effettuata con l'ausilio del software CDS prodotto da STS srl licenza n.21546.

## 5 TIPOLOGIA DELLE OPERE

Nel presente elaborato verranno analizzate le seguenti opere:

- Fondazioni su pali Aerogeneratori
- Fondazioni Cabina di Raccolta e Control Room e muro di recinzione
- Fondazioni Stazione elettrica di trasformazione utente: Edificio quadri; Edificio magazzino; muro di recinzione; fondazioni apparecchiature elettriche

## 6 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELL'AREA

Di seguito si riporta la tabella con i parametri geotecnici più cautelativi e rappresentativi ricavati dalle Prove penetrometriche allegate alla Relazione Geologica:

caratteri geotecnici aerogeneratori e cabina di raccolta						
Spessore	Unità Litotecnica	Peso di Volume(t/m <sup>3</sup> )	Angolo di Attrito(°)	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata(kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo edometrico(kg/cm <sup>2</sup> )
0,6/0,8m	Terreno Vegetale	-	-	-	-	-
2,00/3,0m	Arenarie	1,86	32	-	-	80
30m	Argilla	1,99	24	0,90	2,7	110

caratteri geotecnici stazione elettrica di trasformazione						
Spessore	Unità Litotecnica	Peso di Volume(t/m <sup>3</sup> )	Angolo di Attrito(°)	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata(kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo edometrico(kg/cm <sup>2</sup> )
0,6/0,8m	Terreno Vegetale	-	-	-	-	-
2,00/3,0m	Arenarie	1,86	32	-	-	80
30m	Argilla	1,95	20	0,60	2,7	110

Tab. 2- Caratteri meccanici dei terreni

## 7 STATI LIMITE ADOTTATI IN RELAZIONE ALLE PRESTAZIONI ATTESE

Gli stati limite considerati, sono quelli prescritti ai punti 2.2.1 e 2.2.2 del D.M.14/01/2018.

I coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU sono quelli della tabella 2.6.1 del D.M.14/01/2018, **considerando le due combinazioni previste dall'Approccio 1**.

Per quanto riguarda gli stati limite di esercizio sono state adottate le indicazioni contenute nel Capitolo 4 delle, per le condizioni non sismiche, e nel Capitolo 7, per le condizioni sismiche del D.M.14/01/2018.

I coefficienti adottati sono di seguito riportati:

		Peso proprio strutture	Azioni sismiche	Azioni sismiche (sgravanti)	Azione del vento
<b>STATO LIMITE ULTIMO DI RESISTENZA DELLA STRUTTURA STR</b>					
1	fondamentale SLU	1	0	0	0
2	fondamentale SLU	1.3	0	0	0
3	fondamentale SLU	1	0	0	1.5
4	fondamentale SLU	1.3	0	0	1.5
5	sismica SLU	1	1	0	0
6	sismica SLU	1	0	1	0
<b>STATO LIMITE DI ESERCIZIO</b>					
1	SLE Frequente	1	0	0	0
2	SLE Frequente	1	0	0	0.2
3	SLE Quasi permanente	1	0	0	0
4	SLE Sismica	1	1	0	0
5	SLE Sismica	1	0	1	0

Tab. 3- Coefficienti moltiplicativi dei carichi

## 8 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELLE AREE DI PROGETTO

Le azioni sismiche assunte alla base dei calcoli riportati nel presente elaborato sono state determinate secondo quanto previsto dalla normativa attualmente vigente (NTC2018).

Le Norme Tecniche per le costruzioni del 2018 forniscono, per l'intero territorio nazionale, i parametri da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica.

Tali parametri sono forniti in corrispondenza dei nodi, posti ad una distanza massima di 10 km, all'interno di un reticolo che copre l'intero territorio nazionale. I valori forniti di  $a_g$ ,  $T_r$ ,  $F_o$  e  $T_c$  da utilizzare per la risposta sismica del sito sono riferiti al substrato, inteso come litotipo con  $V_s > 800$  m/sec. Di seguito si riporta la tabella con alcuni dei parametri caratteristici del sito e dell'opera.

Componente Impianto eolico	WGS84 Coordinata Est (m)	WGS84 Coordinata Nord (m)	Vita Nominale	Categoria del suolo	CLASSE D'USO Cu	Categoria Topografica
E1	635425	4300774	50	C	II	T4
E2	634882	4301110	50	C	II	T4
E3	635698	4298918	50	C	II	T1
E4	636456	4298884	50	C	II	T1
E5	634981	4298812	50	C	II	T1
E6	634438	4299785	50	C	II	T4
E7	634025	4299452	50	C	II	T4
E8	633350	4300035	50	C	II	T4
E9	634108	4300289	50	C	II	T4
E10	634493	4300678	50	C	II	T4
Cabina di raccolta e control room	633738	4300027	50	C	II	T4
SET Utente	627316	4303509	50	C	II	T1

Tab.4-Parametri di determinazione degli spettri di risposta

Si riportano di seguito i parametri di definizione degli spettri di risposta per gli stati limite considerati

## 8.1 SPETTRI DI PROGETTO AEROGENERATORE E1

### Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

#### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,311 g
$F_o$	2,458
$T_c^*$	0,389 s
$S_s$	1,242
$C_c$	1,434
$S_T$	1,000
$q$	2,000

#### Parametri dipendenti

$S$	1,242
$\eta$	0,500
$T_B$	0,186 s
$T_C$	0,558 s
$T_D$	2,842 s

#### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

#### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

#### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,386
$T_B \leftarrow$	0,186	0,474
$T_C \leftarrow$	0,558	0,474
	0,667	0,397
	0,775	0,341
	0,884	0,299
	0,993	0,266
	1,102	0,240
	1,211	0,218
	1,319	0,200
	1,428	0,185
	1,537	0,172
	1,646	0,161
	1,755	0,151
	1,863	0,142
	1,972	0,134
	2,081	0,127
	2,190	0,121
	2,298	0,115
	2,407	0,110
	2,516	0,105
	2,625	0,101
	2,734	0,097
$T_D \leftarrow$	2,842	0,093
	2,898	0,090
	2,953	0,086
	3,008	0,083
	3,063	0,080
	3,118	0,077
	3,173	0,075
	3,228	0,072
	3,283	0,070
	3,339	0,067
	3,394	0,065
	3,449	0,063
	3,504	0,062
	3,559	0,062
	3,614	0,062
	3,669	0,062
	3,724	0,062
	3,780	0,062
	3,835	0,062
	3,890	0,062
	3,945	0,062
	4,000	0,062

## Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLD

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
$a_g$	0,117 g
$F_o$	2,326
$T_C^*$	0,327 s
$S_S$	1,500
$C_C$	1,518
$S_T$	1,000
$q$	2,000

### Parametri dipendenti

$S$	1,500
$\eta$	0,500
$T_B$	0,166 s
$T_C$	0,497 s
$T_D$	2,069 s

### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,176
$T_B \leftarrow$	0,166	0,204
$T_C \leftarrow$	0,497	0,204
	0,572	0,178
	0,647	0,157
	0,721	0,141
	0,796	0,128
	0,871	0,117
	0,946	0,107
	1,021	0,099
	1,096	0,093
	1,171	0,087
	1,245	0,082
	1,320	0,077
	1,395	0,073
	1,470	0,069
	1,545	0,066
	1,620	0,063
	1,695	0,060
	1,769	0,057
	1,844	0,055
	1,919	0,053
	1,994	0,051
$T_D \leftarrow$	2,069	0,049
	2,161	0,045
	2,253	0,041
	2,345	0,038
	2,437	0,035
	2,529	0,033
	2,621	0,031
	2,713	0,029
	2,804	0,027
	2,896	0,025
	2,988	0,024
	3,080	0,022
	3,172	0,021
	3,264	0,020
	3,356	0,019
	3,448	0,018
	3,540	0,017
	3,632	0,016
	3,724	0,015
	3,816	0,014
	3,908	0,014
	4,000	0,013

## 8.2 SPETTRI DI PROGETTO AEROGENERATORE E2

### Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

#### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,314 g
$F_o$	2,458
$T_C^*$	0,389 s
$S_S$	1,237
$C_C$	1,434
$S_T$	1,000
$q$	2,000

#### Parametri dipendenti

$S$	1,237
$\eta$	0,500
$T_B$	0,186 s
$T_C$	0,558 s
$T_D$	2,856 s

#### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

#### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

#### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,388
$T_B \leftarrow$	0,186	0,477
$T_C \leftarrow$	0,558	0,477
	0,667	0,399
	0,777	0,343
	0,886	0,300
	0,995	0,267
	1,105	0,241
	1,214	0,219
	1,324	0,201
	1,433	0,186
	1,543	0,173
	1,652	0,161
	1,761	0,151
	1,871	0,142
	1,980	0,134
	2,090	0,127
	2,199	0,121
	2,309	0,115
	2,418	0,110
	2,527	0,105
	2,637	0,101
	2,746	0,097
$T_D \leftarrow$	2,856	0,093
	2,910	0,090
	2,965	0,086
	3,019	0,083
	3,074	0,080
	3,128	0,078
	3,183	0,075
	3,237	0,073
	3,292	0,070
	3,346	0,068
	3,401	0,066
	3,455	0,064
	3,510	0,063
	3,564	0,063
	3,619	0,063
	3,673	0,063
	3,728	0,063
	3,782	0,063
	3,837	0,063
	3,891	0,063
	3,946	0,063
	4,000	0,063



## Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLD

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
$a_g$	0,118 g
$F_0$	2,323
$T_C^*$	0,327 s
$S_S$	1,500
$C_C$	1,518
$S_T$	1,000
$q$	2,000

### Parametri dipendenti

$S$	1,500
$\eta$	0,500
$T_B$	0,166 s
$T_C$	0,497 s
$T_D$	2,073 s

### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,177
$T_B \leftarrow$	0,166	0,206
$T_C \leftarrow$	0,497	0,206
	0,572	0,179
	0,647	0,158
	0,722	0,142
	0,797	0,128
	0,872	0,117
	0,947	0,108
	1,022	0,100
	1,097	0,093
	1,172	0,087
	1,247	0,082
	1,322	0,077
	1,398	0,073
	1,473	0,070
	1,548	0,066
	1,623	0,063
	1,698	0,060
	1,773	0,058
	1,848	0,055
	1,923	0,053
	1,998	0,051
$T_D \leftarrow$	2,073	0,049
	2,165	0,045
	2,257	0,042
	2,348	0,038
	2,440	0,036
	2,532	0,033
	2,624	0,031
	2,715	0,029
	2,807	0,027
	2,899	0,025
	2,991	0,024
	3,082	0,022
	3,174	0,021
	3,266	0,020
	3,358	0,019
	3,449	0,018
	3,541	0,017
	3,633	0,016
	3,725	0,015
	3,816	0,015
	3,908	0,014
	4,000	0,013

### 8.3 SPETTRI DI PROGETTO AEROGENERATORE E3

#### Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

##### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,303 g
$F_o$	2,455
$T_c$	0,390 s
$S_s$	1,254
$C_c$	1,433
$S_T$	1,000
$q$	2,000

##### Parametri dipendenti

$S$	1,254
$\eta$	0,500
$T_B$	0,186 s
$T_C$	0,559 s
$T_D$	2,812 s

##### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

##### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

##### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,380
$T_B \leftarrow$	0,186	0,466
$T_C \leftarrow$	0,559	0,466
	0,666	0,391
	0,773	0,337
	0,880	0,296
	0,988	0,264
	1,095	0,238
	1,202	0,217
	1,310	0,199
	1,417	0,184
	1,524	0,171
	1,632	0,160
	1,739	0,150
	1,846	0,141
	1,953	0,133
	2,061	0,126
	2,168	0,120
	2,275	0,114
	2,383	0,109
	2,490	0,105
	2,597	0,100
	2,705	0,096
$T_D \leftarrow$	2,812	0,093
	2,868	0,089
	2,925	0,086
	2,982	0,082
	3,038	0,079
	3,095	0,076
	3,151	0,074
	3,208	0,071
	3,264	0,069
	3,321	0,066
	3,378	0,064
	3,434	0,062
	3,491	0,061
	3,547	0,061
	3,604	0,061
	3,661	0,061
	3,717	0,061
	3,774	0,061
	3,830	0,061
	3,887	0,061
	3,943	0,061
	4,000	0,061

## Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLD

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
$a_g$	0,115 g
$F_o$	2,332
$T_c$	0,328 s
$S_s$	1,500
$C_c$	1,516
$S_T$	1,000
$q$	2,000

### Parametri dipendenti

$S$	1,500
$\eta$	0,500
$T_B$	0,166 s
$T_C$	0,498 s
$T_D$	2,058 s

### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,172
$T_B \leftarrow$	0,166	0,200
$T_C \leftarrow$	0,498	0,200
	0,572	0,174
	0,646	0,154
	0,721	0,138
	0,795	0,125
	0,869	0,115
	0,944	0,106
	1,018	0,098
	1,092	0,091
	1,167	0,085
	1,241	0,080
	1,315	0,076
	1,389	0,072
	1,464	0,068
	1,538	0,065
	1,612	0,062
	1,687	0,059
	1,761	0,057
	1,835	0,054
	1,910	0,052
	1,984	0,050
$T_D \leftarrow$	2,058	0,048
	2,151	0,044
	2,243	0,041
	2,336	0,038
	2,428	0,035
	2,521	0,032
	2,613	0,030
	2,705	0,028
	2,798	0,026
	2,890	0,025
	2,983	0,023
	3,075	0,022
	3,168	0,020
	3,260	0,019
	3,353	0,018
	3,445	0,017
	3,538	0,016
	3,630	0,016
	3,723	0,015
	3,815	0,014
	3,908	0,013
	4,000	0,013

## 8.4 SPETTRI DI PROGETTO AEROGENERATORE E4

### Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

#### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,300 g
$F_0$	2,454
$T_C^*$	0,390 s
$S_S$	1,258
$C_C$	1,433
$S_T$	1,000
$q$	2,000

#### Parametri dipendenti

$S$	1,258
$\eta$	0,500
$T_B$	0,186 s
$T_C$	0,559 s
$T_D$	2,800 s

#### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

#### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

#### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,378
$T_B \leftarrow$	0,186	0,463
$T_C \leftarrow$	0,559	0,463
	0,665	0,389
	0,772	0,335
	0,879	0,294
	0,986	0,263
	1,092	0,237
	1,199	0,216
	1,306	0,198
	1,412	0,183
	1,519	0,170
	1,626	0,159
	1,733	0,149
	1,839	0,141
	1,946	0,133
	2,053	0,126
	2,160	0,120
	2,266	0,114
	2,373	0,109
	2,480	0,104
	2,587	0,100
	2,693	0,096
$T_D \leftarrow$	2,800	0,092
	2,857	0,089
	2,914	0,085
	2,971	0,082
	3,029	0,079
	3,086	0,076
	3,143	0,073
	3,200	0,071
	3,257	0,068
	3,314	0,066
	3,371	0,064
	3,429	0,062
	3,486	0,060
	3,543	0,060
	3,600	0,060
	3,657	0,060
	3,714	0,060
	3,771	0,060
	3,829	0,060
	3,886	0,060
	3,943	0,060
	4,000	0,060

## Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLD

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
$a_g$	0,113 g
$F_0$	2,334
$T_C$	0,329 s
$S_S$	1,500
$C_C$	1,516
$S_T$	1,000
$q$	2,000

### Parametri dipendenti

$S$	1,500
$\eta$	0,500
$T_B$	0,166 s
$T_C$	0,498 s
$T_D$	2,054 s

### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,170
$T_B$ ←	0,166	0,199
$T_C$ ←	0,498	0,199
	0,572	0,173
	0,646	0,153
	0,720	0,137
	0,795	0,125
	0,869	0,114
	0,943	0,105
	1,017	0,097
	1,091	0,091
	1,165	0,085
	1,239	0,080
	1,313	0,075
	1,387	0,071
	1,461	0,068
	1,535	0,064
	1,609	0,061
	1,684	0,059
	1,758	0,056
	1,832	0,054
	1,906	0,052
	1,980	0,050
$T_D$ ←	2,054	0,048
	2,147	0,044
	2,239	0,041
	2,332	0,037
	2,425	0,035
	2,517	0,032
	2,610	0,030
	2,703	0,028
	2,795	0,026
	2,888	0,024
	2,981	0,023
	3,073	0,022
	3,166	0,020
	3,259	0,019
	3,351	0,018
	3,444	0,017
	3,537	0,016
	3,629	0,015
	3,722	0,015
	3,815	0,014
	3,907	0,013
	4,000	0,013

## 8.5 SPETTRI DI PROGETTO AEROGENERATORE E5

### Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

#### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,305 g
$F_o$	2,456
$T_c^*$	0,390 s
$S_S$	1,250
$C_C$	1,433
$S_T$	1,000
$q$	2,000

#### Parametri dipendenti

$S$	1,250
$\eta$	0,500
$T_B$	0,186 s
$T_C$	0,559 s
$T_D$	2,821 s

#### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

#### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

#### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,382
$T_B \leftarrow$	0,186	0,469
$T_C \leftarrow$	0,559	0,469
	0,666	0,393
	0,774	0,338
	0,882	0,297
	0,990	0,265
	1,097	0,239
	1,205	0,217
	1,313	0,199
	1,420	0,184
	1,528	0,171
	1,636	0,160
	1,744	0,150
	1,851	0,141
	1,959	0,134
	2,067	0,127
	2,175	0,120
	2,282	0,115
	2,390	0,110
	2,498	0,105
	2,606	0,100
	2,713	0,096
$T_D \leftarrow$	2,821	0,093
	2,877	0,089
	2,933	0,086
	2,989	0,083
	3,046	0,080
	3,102	0,077
	3,158	0,074
	3,214	0,071
	3,270	0,069
	3,326	0,067
	3,382	0,065
	3,439	0,062
	3,495	0,061
	3,551	0,061
	3,607	0,061
	3,663	0,061
	3,719	0,061
	3,775	0,061
	3,832	0,061
	3,888	0,061
	3,944	0,061
	4,000	0,061

## Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLD

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
$a_g$	0,115 g
$F_0$	2,330
$T_C^*$	0,328 s
$S_S$	1,500
$C_C$	1,517
$S_T$	1,000
$q$	2,000

### Parametri dipendenti

$S$	1,500
$\eta$	0,500
$T_B$	0,166 s
$T_C$	0,498 s
$T_D$	2,061 s

### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,173
$T_B \leftarrow$	0,166	0,202
$T_C \leftarrow$	0,498	0,202
	0,572	0,175
	0,647	0,155
	0,721	0,139
	0,795	0,126
	0,870	0,115
	0,944	0,106
	1,019	0,098
	1,093	0,092
	1,168	0,086
	1,242	0,081
	1,317	0,076
	1,391	0,072
	1,466	0,068
	1,540	0,065
	1,615	0,062
	1,689	0,059
	1,763	0,057
	1,838	0,055
	1,912	0,052
	1,987	0,050
$T_D \leftarrow$	2,061	0,049
	2,154	0,045
	2,246	0,041
	2,338	0,038
	2,431	0,035
	2,523	0,032
	2,615	0,030
	2,708	0,028
	2,800	0,026
	2,892	0,025
	2,985	0,023
	3,077	0,022
	3,169	0,021
	3,261	0,019
	3,354	0,018
	3,446	0,017
	3,538	0,017
	3,631	0,016
	3,723	0,015
	3,815	0,014
	3,908	0,014
	4,000	0,013

## 8.6 SPETTRI DI PROGETTO AEROGENERATORE E6

### Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

#### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,311 g
$F_o$	2,458
$T_c^*$	0,389 s
$S_S$	1,242
$C_C$	1,433
$S_T$	1,000
$q$	2,000

#### Parametri dipendenti

$S$	1,242
$\eta$	0,500
$T_B$	0,186 s
$T_C$	0,558 s
$T_D$	2,843 s

#### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

#### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

#### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,386
$T_B \leftarrow$	0,186	0,474
$T_C \leftarrow$	0,558	0,474
	0,667	0,397
	0,776	0,341
	0,885	0,299
	0,993	0,266
	1,102	0,240
	1,211	0,219
	1,320	0,201
	1,429	0,185
	1,537	0,172
	1,646	0,161
	1,755	0,151
	1,864	0,142
	1,973	0,134
	2,082	0,127
	2,190	0,121
	2,299	0,115
	2,408	0,110
	2,517	0,105
	2,626	0,101
	2,734	0,097
$T_D \leftarrow$	2,843	0,093
	2,898	0,090
	2,953	0,086
	3,008	0,083
	3,064	0,080
	3,119	0,077
	3,174	0,075
	3,229	0,072
	3,284	0,070
	3,339	0,067
	3,394	0,065
	3,449	0,063
	3,504	0,062
	3,559	0,062
	3,614	0,062
	3,669	0,062
	3,725	0,062
	3,780	0,062
	3,835	0,062
	3,890	0,062
	3,945	0,062
	4,000	0,062



## Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLD

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
$a_g$	0,117 g
$F_0$	2,326
$T_C$	0,327 s
$S_S$	1,500
$C_C$	1,518
$S_T$	1,000
$q$	2,000

### Parametri dipendenti

$S$	1,500
$\eta$	0,500
$T_B$	0,166 s
$T_C$	0,497 s
$T_D$	2,069 s

### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,176
$T_B \leftarrow$	0,166	0,205
$T_C \leftarrow$	0,497	0,205
	0,572	0,178
	0,647	0,157
	0,722	0,141
	0,796	0,128
	0,871	0,117
	0,946	0,107
	1,021	0,100
	1,096	0,093
	1,171	0,087
	1,246	0,082
	1,320	0,077
	1,395	0,073
	1,470	0,069
	1,545	0,066
	1,620	0,063
	1,695	0,060
	1,770	0,057
	1,844	0,055
	1,919	0,053
	1,994	0,051
$T_D \leftarrow$	2,069	0,049
	2,161	0,045
	2,253	0,041
	2,345	0,038
	2,437	0,035
	2,529	0,033
	2,621	0,031
	2,713	0,029
	2,805	0,027
	2,897	0,025
	2,988	0,024
	3,080	0,022
	3,172	0,021
	3,264	0,020
	3,356	0,019
	3,448	0,018
	3,540	0,017
	3,632	0,016
	3,724	0,015
	3,816	0,014
	3,908	0,014
	4,000	0,013

## 8.7 SPETTRI DI PROGETTO AEROGENERATORE E7

### Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

#### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,311 g
$F_o$	2,458
$T_c$	0,389 s
$S_s$	1,241
$C_c$	1,433
$S_T$	1,000
$q$	2,000

#### Parametri dipendenti

$S$	1,241
$\eta$	0,500
$T_B$	0,186 s
$T_C$	0,558 s
$T_D$	2,845 s

#### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_c / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

#### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

#### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,386
$T_B \leftarrow$	0,186	0,475
$T_C \leftarrow$	0,558	0,475
	0,667	0,397
	0,776	0,341
	0,885	0,299
	0,994	0,267
	1,103	0,240
	1,212	0,219
	1,320	0,201
	1,429	0,185
	1,538	0,172
	1,647	0,161
	1,756	0,151
	1,865	0,142
	1,974	0,134
	2,083	0,127
	2,191	0,121
	2,300	0,115
	2,409	0,110
	2,518	0,105
	2,627	0,101
	2,736	0,097
$T_D \leftarrow$	2,845	0,093
	2,900	0,090
	2,955	0,086
	3,010	0,083
	3,065	0,080
	3,120	0,077
	3,175	0,075
	3,230	0,072
	3,285	0,070
	3,340	0,068
	3,395	0,065
	3,450	0,063
	3,505	0,062
	3,560	0,062
	3,615	0,062
	3,670	0,062
	3,725	0,062
	3,780	0,062
	3,835	0,062
	3,890	0,062
	3,945	0,062
	4,000	0,062

## Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLD

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
$a_g$	0,117 g
$F_o$	2,326
$T_c^*$	0,327 s
$S_S$	1,500
$C_C$	1,518
$S_T$	1,000
$q$	2,000

### Parametri dipendenti

$S$	1,500
$\eta$	0,500
$T_B$	0,166 s
$T_C$	0,497 s
$T_D$	2,069 s

### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,176
$T_B \leftarrow$	0,166	0,205
$T_C \leftarrow$	0,497	0,205
	0,572	0,178
	0,647	0,157
	0,722	0,141
	0,796	0,128
	0,871	0,117
	0,946	0,108
	1,021	0,100
	1,096	0,093
	1,171	0,087
	1,246	0,082
	1,321	0,077
	1,395	0,073
	1,470	0,069
	1,545	0,066
	1,620	0,063
	1,695	0,060
	1,770	0,057
	1,845	0,055
	1,920	0,053
	1,995	0,051
$T_D \leftarrow$	2,069	0,049
	2,161	0,045
	2,253	0,041
	2,345	0,038
	2,437	0,035
	2,529	0,033
	2,621	0,031
	2,713	0,029
	2,805	0,027
	2,897	0,025
	2,989	0,024
	3,081	0,022
	3,173	0,021
	3,265	0,020
	3,356	0,019
	3,448	0,018
	3,540	0,017
	3,632	0,016
	3,724	0,015
	3,816	0,014
	3,908	0,014
	4,000	0,013

## 8.8 SPETTRI DI PROGETTO AEROGENERATORE E8

### Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

#### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,316 g
$F_o$	2,459
$T_c^*$	0,389 s
$S_S$	1,234
$C_C$	1,434
$S_T$	1,000
$q$	2,000

#### Parametri dipendenti

$S$	1,234
$\eta$	0,500
$T_B$	0,186 s
$T_C$	0,558 s
$T_D$	2,864 s

#### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

#### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

#### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,390
$T_B \leftarrow$	0,186	0,479
$T_C \leftarrow$	0,558	0,479
	0,668	0,400
	0,778	0,344
	0,887	0,301
	0,997	0,268
	1,107	0,242
	1,217	0,220
	1,326	0,202
	1,436	0,186
	1,546	0,173
	1,656	0,161
	1,766	0,151
	1,875	0,143
	1,985	0,135
	2,095	0,128
	2,205	0,121
	2,315	0,116
	2,424	0,110
	2,534	0,105
	2,644	0,101
	2,754	0,097
$T_D \leftarrow$	2,864	0,093
	2,918	0,090
	2,972	0,087
	3,026	0,084
	3,080	0,081
	3,134	0,078
	3,188	0,075
	3,242	0,073
	3,297	0,070
	3,351	0,068
	3,405	0,066
	3,459	0,064
	3,513	0,063
	3,567	0,063
	3,621	0,063
	3,675	0,063
	3,729	0,063
	3,784	0,063
	3,838	0,063
	3,892	0,063
	3,946	0,063
	4,000	0,063

## Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLD

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
$a_g$	0,119 g
$F_o$	2,323
$T_c^*$	0,327 s
$S_S$	1,500
$C_C$	1,519
$S_T$	1,000
$q$	2,000

### Parametri dipendenti

$S$	1,500
$\eta$	0,500
$T_B$	0,165 s
$T_C$	0,496 s
$T_D$	2,076 s

### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,178
$T_B \leftarrow$	0,165	0,207
$T_C \leftarrow$	0,496	0,207
	0,572	0,180
	0,647	0,159
	0,722	0,142
	0,797	0,129
	0,872	0,118
	0,948	0,109
	1,023	0,101
	1,098	0,094
	1,173	0,088
	1,248	0,082
	1,324	0,078
	1,399	0,074
	1,474	0,070
	1,549	0,066
	1,625	0,063
	1,700	0,061
	1,775	0,058
	1,850	0,056
	1,925	0,053
	2,001	0,051
$T_D \leftarrow$	2,076	0,050
	2,167	0,045
	2,259	0,042
	2,351	0,039
	2,442	0,036
	2,534	0,033
	2,626	0,031
	2,717	0,029
	2,809	0,027
	2,900	0,025
	2,992	0,024
	3,084	0,022
	3,175	0,021
	3,267	0,020
	3,359	0,019
	3,450	0,018
	3,542	0,017
	3,633	0,016
	3,725	0,015
	3,817	0,015
	3,908	0,014
	4,000	0,013

## 8.9 SPETTRI DI PROGETTO AEROGENERATORE E9

### Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

#### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,314 g
$F_o$	2,458
$T_c^*$	0,389 s
$S_s$	1,237
$C_c$	1,434
$S_T$	1,000
$q$	2,000

#### Parametri dipendenti

$S$	1,237
$\eta$	0,500
$T_B$	0,186 s
$T_C$	0,558 s
$T_D$	2,856 s

#### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

#### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

#### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,388
$T_B \leftarrow$	0,186	0,477
$T_C \leftarrow$	0,558	0,477
	0,667	0,399
	0,777	0,343
	0,886	0,300
	0,996	0,267
	1,105	0,241
	1,214	0,219
	1,324	0,201
	1,433	0,186
	1,543	0,173
	1,652	0,161
	1,761	0,151
	1,871	0,142
	1,980	0,134
	2,090	0,127
	2,199	0,121
	2,309	0,115
	2,418	0,110
	2,527	0,105
	2,637	0,101
	2,746	0,097
$T_D \leftarrow$	2,856	0,093
	2,910	0,090
	2,965	0,087
	3,019	0,083
	3,074	0,080
	3,128	0,078
	3,183	0,075
	3,237	0,073
	3,292	0,070
	3,346	0,068
	3,401	0,066
	3,455	0,064
	3,510	0,063
	3,564	0,063
	3,619	0,063
	3,673	0,063
	3,728	0,063
	3,782	0,063
	3,837	0,063
	3,891	0,063
	3,946	0,063
	4,000	0,063

## Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLD

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
$a_g$	0,118 g
$F_o$	2,324
$T_c$	0,327 s
$S_s$	1,500
$C_c$	1,518
$S_T$	1,000
$q$	2,000

### Parametri dipendenti

$S$	1,500
$\eta$	0,500
$T_B$	0,166 s
$T_C$	0,497 s
$T_D$	2,073 s

### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,177
$T_B \leftarrow$	0,166	0,206
$T_C \leftarrow$	0,497	0,206
	0,572	0,179
	0,647	0,158
	0,722	0,142
	0,797	0,128
	0,872	0,117
	0,947	0,108
	1,022	0,100
	1,097	0,093
	1,172	0,087
	1,247	0,082
	1,322	0,077
	1,397	0,073
	1,473	0,070
	1,548	0,066
	1,623	0,063
	1,698	0,060
	1,773	0,058
	1,848	0,055
	1,923	0,053
	1,998	0,051
$T_D \leftarrow$	2,073	0,049
	2,165	0,045
	2,257	0,042
	2,348	0,038
	2,440	0,036
	2,532	0,033
	2,624	0,031
	2,715	0,029
	2,807	0,027
	2,899	0,025
	2,991	0,024
	3,082	0,022
	3,174	0,021
	3,266	0,020
	3,358	0,019
	3,449	0,018
	3,541	0,017
	3,633	0,016
	3,725	0,015
	3,816	0,015
	3,908	0,014
	4,000	0,013

## 8.10 SPETTRI DI PROGETTO AEROGENERATORE E10

### Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

#### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,314 g
$F_o$	2,459
$T_c^*$	0,389 s
$S_s$	1,237
$C_c$	1,434
$S_T$	1,000
$q$	2,000

#### Parametri dipendenti

$S$	1,237
$\eta$	0,500
$T_B$	0,186 s
$T_C$	0,558 s
$T_D$	2,855 s

#### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

#### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

#### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,388
$T_B \leftarrow$	0,186	0,477
$T_C \leftarrow$	0,558	0,477
	0,667	0,399
	0,777	0,343
	0,886	0,300
	0,995	0,267
	1,105	0,241
	1,214	0,219
	1,324	0,201
	1,433	0,186
	1,542	0,173
	1,652	0,161
	1,761	0,151
	1,871	0,142
	1,980	0,134
	2,090	0,127
	2,199	0,121
	2,308	0,115
	2,418	0,110
	2,527	0,105
	2,637	0,101
	2,746	0,097
$T_D \leftarrow$	2,855	0,093
	2,910	0,090
	2,964	0,086
	3,019	0,083
	3,073	0,080
	3,128	0,078
	3,182	0,075
	3,237	0,073
	3,291	0,070
	3,346	0,068
	3,400	0,066
	3,455	0,064
	3,509	0,063
	3,564	0,063
	3,618	0,063
	3,673	0,063
	3,727	0,063
	3,782	0,063
	3,836	0,063
	3,891	0,063
	3,945	0,063
	4,000	0,063



## Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLD

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
$a_g$	0,118 g
$F_o$	2,324
$T_c^*$	0,327 s
$S_S$	1,500
$C_C$	1,518
$S_T$	1,000
$q$	2,000

### Parametri dipendenti

$S$	1,500
$\eta$	0,500
$T_B$	0,166 s
$T_C$	0,497 s
$T_D$	2,073 s

### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,177
$T_B \leftarrow$	0,166	0,206
$T_C \leftarrow$	0,497	0,206
	0,572	0,179
	0,647	0,158
	0,722	0,142
	0,797	0,128
	0,872	0,117
	0,947	0,108
	1,022	0,100
	1,097	0,093
	1,172	0,087
	1,247	0,082
	1,322	0,077
	1,397	0,073
	1,473	0,070
	1,548	0,066
	1,623	0,063
	1,698	0,060
	1,773	0,058
	1,848	0,055
	1,923	0,053
	1,998	0,051
$T_D \leftarrow$	2,073	0,049
	2,165	0,045
	2,257	0,042
	2,348	0,038
	2,440	0,036
	2,532	0,033
	2,624	0,031
	2,715	0,029
	2,807	0,027
	2,899	0,025
	2,991	0,024
	3,082	0,022
	3,174	0,021
	3,266	0,020
	3,358	0,019
	3,449	0,018
	3,541	0,017
	3,633	0,016
	3,725	0,015
	3,816	0,015
	3,908	0,014
	4,000	0,013

## 9 MATERIALI IMPIEGATI E RESISTENZE DI CALCOLO

### ▪ Calcestruzzo:

Il calcestruzzo della piastra di fondazione sarà in classe C45/55 ( $R_{ck} \geq 55 \text{ N/mm}^2$ ), mentre per i pali di fondazione si utilizzerà un calcestruzzo in classe C25/30 ( $R_{ck} \geq 30 \text{ N/mm}^2$ ). Per ciascuna tipologia di calcestruzzo si riportano, di seguito, le rispettive caratteristiche meccaniche.

Calcestruzzo classe C45/55 ( $R_{ck} \geq 55 \text{ N/mm}^2$ ):

Resistenza cilindrica a compressione	$R_{ck} = 550 \text{ daN/cm}^2$ ;
Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo	$\gamma_c = 1,5$
Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata	$\alpha_{cc} = 0,85$ ;
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cc} / \gamma_c = 25,5 \text{ N/mm}^2$
Peso specifico	$\gamma_{cls} = 2500 \text{ daN/m}^3$

Calcestruzzo classe C25/30 ( $R_{ck} \geq 30 \text{ N/mm}^2$ ):

Resistenza cilindrica a compressione	$R_{ck} = 300 \text{ daN/cm}^2$ ;
Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo	$\gamma_c = 1,5$
Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata	$\alpha_{cc} = 0,85$ ;
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cc} / \gamma_c = 14,16 \text{ N/mm}^2$
Peso specifico	$\gamma_{cls} = 2500 \text{ daN/m}^3$

### ▪ Acciaio per calcestruzzo:

L'acciaio utilizzato per le barre di armatura sarà in classe B450C, con le seguenti caratteristiche:

Tensione caratteristica di rottura	$f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$

## 10 SISTEMI DI RIFERIMENTO

Il sistema di riferimento locale è costituito da una terna destra di assi cartesiani ortogonali che ha l'asse X e l'asse Y giacente nel piano e l'asse Z in direzione verso il basso:

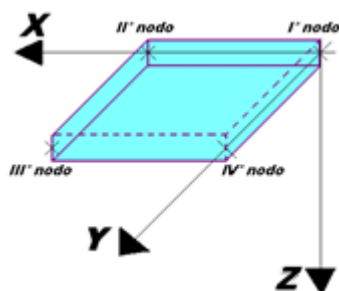


Fig.5-Sistema di riferimento

### ▪ Carichi e reazioni vincolari

P Peso delle componenti

$N=F_z$  Carico verticale positivo verso il basso

$T_x=F_x$  Forza orizzontale in direzione X positiva nel verso delle X crescenti.

$T_y=F_y$  Forza orizzontale in direzione Y positiva nel verso delle Y crescenti.

$M_x$  Momento con asse vettore parallelo all'asse X positivo antiorario.

$M_y$  Momento con asse vettore parallelo all'asse Y positivo antiorario.

### ▪ Sollecitazioni

$M_x$  Momento flettente X con asse vettore parallelo all'asse Y (positivo se tende le fibre inferiori).

$M_y$  Momento flettente Y con asse vettore parallelo all'asse X (positivo se tende le fibre inferiori).

## 11 ANALISI DEI CARICHI

Nelle valutazioni che seguono il fine è quello di giustificare le dimensioni assunte per la fondazione degli aerogeneratori; il calcolo delle sollecitazioni e delle resistenze sui vari tronchi della torre di sostegno non verrà considerato in quanto sarà oggetto dei calcoli da presentare in fase esecutiva di progetto ovvero prima dell'inizio dei lavori.

Element	W (kg)	L (m)	Ø Lower flange (m)	Ø Upper Flange (m)
50A	Section 1	84,960	13.56	4.70
	Section 2	84,330	18.20	4.70
	Section 3	84,550	23.80	4.44
	Section 4	71,770	26.88	4.43
	Section 5	63,860	29.97	4.02

Tab.5-Caratteristiche dimensionali e pesi torre di sostegno

Nel proseguo della trattazione si indicherà con T1, T2, T3, T4, T5 i tronchi della torre rispettivamente dal basso verso l'alto e con P1,P2,P3, P4, P5 i pesi corrispondenti.

- **Azioni Assiali dovute al Peso proprio rotore-navicella-pale da adesso in poi indicato con  $P_{NAV}$**

$P_{nav}=314,298$  (T)

Quote di calcolo(m)	
Quota baricentro navicella rispetto alla flangia superiore T5 (m)	2,56
Quota baricentro navicella rispetto alla flangia inferiore T5 (m)	32,56
Quota baricentro navicella rispetto alla flangia inferiore T4 (m)	59,44
Quota baricentro navicella rispetto alla flangia inferiore T3 (m)	83,24
Quota baricentro navicella rispetto alla flangia inferiore T2 (m)	101,44
Quota baricentro navicella rispetto alla flangia inferiore T1 (m)	115,00

Tab.6-Quote di calcolo

Componente	Azione assiale N(T)
Carico assiale su flangia superiore T5	$P_{NAV}=314,29$
Carico assiale su flangia inferiore T5	$P_{NAV}+P5=378,15$
Carico assiale su flangia inferiore T4	$P_{NAV}+P5+P4=449,92$
Carico assiale su flangia inferiore T3	$P_{NAV}+P5+P4+P3=534,47$
Carico assiale su flangia inferiore T2	$P_{NAV}+P5+P4+P3+P2=618,80$
Carico assiale su flangia inferiore T1	$P_{NAV}+P5+P4+P3+P2+P1=703,76$

Tab.7-Azione assiale peso proprio

▪ **Azioni sismiche sulle flange**

L'entità della forza sismica di progetto da tenere in conto sugli aerogeneratori dipende dal corrispondente spettro di risposta.

Dai dati ricavati al capitolo n.8 di questa relazione si evince che vi è differenza tra gli spettri di risposta ricavati per le aree in esame. Infatti il gruppo di aerogeneratori che si trovano sulle creste, ovvero E1,E2,E6,E7,E8,E9 ed E10, hanno dei valori di amplificazione sismica molto maggiori del gruppo di aerogeneratori E3,E4 ed E5 la cui categoria topografica è T1.(in quanto sono molto vicine tra di loro e la geologia dei terreni è simile).

Pertanto, in questa fase non esecutiva del progetto, si assume un calcolo unico per tutti gli aerogeneratori. Rimandando alla fase esecutiva il calcolo dettagliato per tutti gli aerogeneratori. La Forzante sismica verrà calcolata, prendendo come riferimento gli spettri ottenuti nel sito di installazione dell'aerogeneratore E10, con la seguente formula:

$$F=S(T)*W*I/g$$

$$I=1$$

**W** massa eccitata

$$S(T)=ag*S*F0*(Tc/T)$$

Il fattore di struttura q è assunto di valore pari a 2 come riportato alla tabella 7.5.II del paragrafo 7.5.2.2 delle NTC 2018.

Accelerazioni desunte dallo spettro di risposta orizzontale:

$$S(T)=ag*S*F0*(Tc/T)/q \quad \text{SLD} \quad 0,206g \quad \text{Si veda spettro SLD}$$

$$S(T)=ag*S*F0*(Tc/T)/q \quad \text{SLV} \quad 0,477g \quad \text{Si veda spettro SLV}$$

▪ **Azioni sismiche su flangia superiore T5**

Componente dell'aerogeneratore	Pesi(T)
Massa navicella	314,298
Massa concioT5	63,86
Componente dell'aerogeneratore	Quote rispetto alla navicella(m)
Quota navicella rispetto a flangia superiore T5	2,59
Quota flangia inferiore T5 rispetto alla navicella	32,56

Tab.8

Stato Limite	Componente	Carico Assiale Fz(T)	Forza orizzontale Fy(T)	Momento flettente Mx(T*m)
SLV	Flangia superiore T5	314,298	149,92	388,29
SLD	Flangia superiore T5	314,298	64,74	167,69

Tab.9

▪ **Azioni sismiche su flangia inferiore T5**

▪

Componente dell'aerogeneratore	Pesi(T)
Massanavicella	314,298
Massa concioT5	63,86
Componente dell'aerogeneratore	Quote rispetto alla navicella(m)
Quota flangia inferiore T5 rispetto allanavicella	32,56

Quota baricentro concio T5 rispetto a flangia inferiore T5	14,985
--	--------

**Tab.10**

Stato Limite	Componente		Carico Assiale Fz(T)	Forza orizzontale Fy(T)	Momento flettente Mx(T*m)
SLV	Flangia inferiore T5		378,158	180,38	5337,86
SLD	Flangia inferiore T5		378,158	77,90	2305,24

**Tab.11**

▪ **Azioni sismiche su flangia inferiore T4**

Componente dell'aerogeneratore	Pesi(T)
Massa navicella	314,298
Massa concioT5	63,86
Massa concio T4	71,77
Componente dell'aerogeneratore	Quote rispetto alla navicella(m)
Quota flangia inferiore T4 rispetto alla navicella	59,44
Quota flangia inferiore T4 rispetto al baricentro concio T5	41,865
Quota flangia inferiore T4 rispetto al baricentro concio T4	13,44

**Tab.12**

Stato Limite	Componente	Carico Assiale Fz(T)	Forza orizzontale Fy(T)	Momento flettente Mx(T*m)
SLV	Flangia inferiore T4	449,928	214,61	10646,62
SLD	Flangia inferiore T4	449,928	92,68	4597,91

**Tab.13**

▪ **Azioni sismiche su flangia inferiore T3**

Componente dell'aerogeneratore	Pesi(T)
Massa navicella	314,298
Massa concioT5	63,86
Massa concio T4	71,77
Massa concio T3	84,55
Componente dell'aerogeneratore	Quote rispetto alla navicella(m)
Quota flangia inferiore T3 rispetto alla navicella	83,24
Quota flangia inferiore T3 rispetto al baricentro concio T5	65,665
Quota flangia inferiore T3 rispetto al baricentro concio T4	37,24
Quota flangia inferiore T3 rispetto al baricentro concio T3	11,90

**Tab.14**

Stato Limite	Componente	Carico Assiale Fz(T)	Forza orizzontale Fy(T)	Momento flettente Mx(T*m)
SLV	Flangia inferiore T3	534,478	254,94	16234,41
SLD	Flangia inferiore T3	534,478	110,50	7011,08

**Tab.15**

▪ Azioni sismiche su flangia inferiore T2

Componente dell'aerogeneratore	Pesi(T)
Massa navicella	314,298
Massa concioT5	63,86
Massa concio T4	71,77
Massa concio T3	84,55
Massa concio T2	84,33
Componente dell'aerogeneratore	Quote rispetto alla navicella(m)
Quota flangia inferiore T2 rispetto alla navicella	101,44
Quota flangia inferiore T2 rispetto al baricentro concio T5	83,865
Quota flangia inferiore T2 rispetto al baricentro concio T4	55,44
Quota flangia inferiore T2 rispetto al baricentro concio T3	30,10
Quota flangia inferiore T2 rispetto al baricentro concio T2	9,1

Tab.16

Stato Limite	Componente	Carico Assiale Fz(T)	Forza orizzontale Fy(T)	Momento flettente Mx(T*m)
SLV	Flangia inferiore T2	618,808	295,17	21240,47
SLD	Flangia inferiore T2	618,808	127,47	9173,03

Tab.17

▪ Azioni sismiche su flangia inferiore T1

Componente dell'aerogeneratore	Pesi(T)
Massa navicella	314,298
Massa concioT5	63,86
Massa concio T4	71,77
Massa concio T3	84,55
Massa concio T2	84,33
Massa concio T1	84,96
Componente dell'aerogeneratore	Quote rispetto alla navicella(m)
Quota flangia inferiore T1rispetto alla navicella	115,00
Quota flangia inferiore T1 rispetto al baricentro concio T5	97,425
Quota flangia inferiore T1 rispetto al baricentro concio T4	69,00
Quota flangia inferiore T1 rispetto al baricentro concio T3	43,66
Quota flangia inferiore T1 rispetto al baricentro concio T2	22,46
Quota flangia inferiore T1 rispetto al baricentro concio T1	6,78

Tab.18

Stato Limite	Componente	Carico Assiale Fz(T)	Forza orizzontale Fy(T)	Momento flettente Mx(T*m)
SLV	Flangia inferiore T1	703,76	335,69	25509,72
SLD	Flangia inferiore T1	703,76	144,97	11016,78

Tab.19

▪ **Calcolo Parametri di determinazione delle azioni del vento**

Come per le Azioni di origine sismica, anche le azioni determinate dalla forza del vento sono strettamente dipendenti dal sito (altitudine, coordinate geografiche, ecc) in cui si trova l'aerogeneratore.

Nel nostro caso, a favore di sicurezza, si prenderà in considerazione la maggiore tra le forze del vento convenzionale imposta dalle NTC2018 agente sugli aerogeneratori, ovvero quella che incide sull'aerogeneratore che si trova alla quota maggiore s.l.m. corrispondente all'aerogeneratore-E8.

<b>PARAMETRI DI RIFERIMENTO PER L'AREA IN ESAME (NTC2018)</b>	
Altitudine s.l.m. del sito $a_s$	259,00 m
Altitudine di riferimento del sito $a_o$	500,00 m
Zona di riferimento	3
Velocità di riferimento base $v_{b,0}$	27,00m/sec
$k_a$	0,020
$c_a$	1
Velocità di base di riferimento $v_b$	27,00m/sec
Coefficiente di ritorno $a_r(T_R=50 \text{ anni})$	1,0 Tempo di Ritorno assunto pari a $T_R=50$ anni
Velocità di riferimento $v_r$	27,00m/sec
Densità dell'aria $\rho$	1,25 Kg/m <sup>3</sup>
Pressione cinetica di riferimento $q_r$	$0,5 * \rho * (v_b)^2 = 0,5 * 1,25 * 27^2 = 227,81 \text{ N/m}^2$
Classe di rugosità	D
Categoria di esposizione del sito	II
$K_r$ (Tab.3.3.II NTC2018)	0,19
$Z_0$ (Tab.3.3.II NTC2018)	0,05
Coefficiente Dinamico $c_d$ (Valutato tramite studi specifico del CNR: CNR-DT207/2008)	1,34
Coefficiente di pressione $c_p$ Circolare applicativa NTC2018 del 11/02/2019 C.3.3.8.7	2,4
Coefficiente di attrito $c_f$	0,01

**Tab.20**

La pressione cinetica di riferimento, ai sensi delle NTC 2018, assume un valore pari a:

$$q_r = 0,5 * \rho * v_{b,0}^2 = 227,81 \text{ N/m}^2$$

La pressione del vento, ai sensi delle NTC 2018, assume un valore che varia con l'altezza dal suolo in funzione del parametro  $c_e(z)$  pari a:

$$p = q_r * c_e * c_p * c_d$$

m	$c_e(z)$	N/m <sup>2</sup>
0	2,738147055	4012,179498
9	2,738147055	4012,179498
18	2,738147055	4012,179498
27	3,018856226	4423,49984
36	3,22522111	4725,884241



45	3,389405097	4966,461394
54	3,526221875	5166,937651
63	3,643771227	5339,181541
72	3,746983873	5490,418
81	3,839092461	5625,383792
90	3,922335129	5747,358442
99	3,99832773	5858,709639
108	4,068276231	5961,204479
115	4,119101557	6035,67832

Tab.21

▪ **Calcolo Azioni generate dalla pressione del Vento sulla torre**

La Tabella seguente riporta i valori delle azioni calcolate alle flange del tubolare di sostegno delle turbine dovute alla pressione convenzionale del vento sul tubolare in acciaio.

Torre	Larghezza media esposta al vento	Forza Orizzontale	Momento Flettente alla base	Momento rispetto a flangia inferiore T5	Momento rispetto a flangia inferiore T4	Momento rispetto a flangia inferiore T3	Momento rispetto a flangia inferiore T2
m	m	N	N*m	N*m	N*m	N*m	N*m
0,00	4,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,00	4,60	15855,22	95131,32	0,00	0,00	0,00	0,00
10,00	4,44	15303,73	153037,35	0,00	0,00	0,00	0,00
13,56	4,44	16584,11	224880,58	0,00	0,00	0,00	0,00
26,76	4,44	19599,29	524477,06	0,00	0,00	0,00	258710,66
31,76	4,44	20393,33	647692,18	0,00	0,00	0,00	371158,62
44,76	4,44	22025,22	985848,70	0,00	0,00	286327,82	687186,76
55,56	4,30	22353,85	1241980,09	0,00	0,00	532021,71	938861,84
65,56	4,20	22613,20	1482521,71	0,00	226132,05	764326,32	1175886,65
75,56	4,15	23014,00	1738937,78	0,00	460279,98	1008013,17	1426867,95
82,44	3,80	21453,67	1768640,46	0,00	576674,62	1087271,94	1477728,71
99,00	3,80	22263,10	2204046,57	368676,88	967108,92	1496970,62	1902158,98
108,00	3,80	22652,58	2446478,32	578999,87	1187901,14	1727032,47	2139309,37
115,00	3,60	21728,44	2498770,82	707478,07	1291538,59	1808675,51	2204133,15
	Totale	265839,75	16012442,93	1655154,82	4709635,30	8710639,55	12582002,69

Tab.22-azioni generate dal vento

▪ **Calcolo Azioni generate dalla pressione del Vento sulle lame**

La Tabella seguente riporta i valori delle azioni calcolate alle flange del tubolare di sostegno delle turbine dovute alla pressione convenzionale del vento sulle lame.

La superficie media esposta al vento, a favore di sicurezza, è stata assunta pari alla larghezza massima delle lame pari a L=4,5m( si veda tipico lame in figuran.2).

Larghezza Pale 1-2	Distanza dal centro	angolo	altezza	ce(z)	Pressione P	F	Momento
m	m	°	m	m	N/m <sup>2</sup>	N	N*m
4,50	0,00	60,00	115,00	4,12	1876,77	8445,45	971226,22
4,50	10,00	60,00	125,00	4,19	1907,71	8584,71	1073088,21
4,50	22,50	60,00	137,50	4,27	1943,37	8745,15	1202458,01
4,50	35,00	60,00	150,00	4,34	1976,18	8892,80	1333919,51
4,50	47,50	60,00	162,50	4,40	2006,58	9029,61	1467311,47
4,50	60,00	60,00	175,00	4,47	2034,92	9157,12	1602496,53
4,50	72,50	60,00	187,50	4,52	2061,46	9276,57	1739356,21
4,50	85,00	60,00	200,00	4,58	2086,43	9388,94	1877787,24
<b>Totale</b>						<b>71520,33</b>	<b>11267643,40</b>

**Tab.23-Azioni generate dal vento**

Larghezza Pala 3	Distanza dal centro	angolo	altezza	ce(z)	Pressione P	F	Momento
m	m	°	m	m	N/m <sup>2</sup>	N	N*m
4,50	0,00	60,00	200,00	4,58	2086,43	9388,94	1877787,24
4,50	10,00	60,00	187,50	4,52	2061,46	9276,57	1739356,21
4,50	22,50	60,00	175,00	4,47	2034,92	9157,12	1602496,53
4,50	35,00	60,00	162,50	4,40	2006,58	9029,61	1467311,47
4,50	47,50	60,00	150,00	4,34	1976,18	8892,80	1333919,51
4,50	60,00	60,00	137,50	4,27	1943,37	8745,15	1202458,01
4,50	72,50	60,00	125,00	4,19	1907,71	8584,71	1073088,21
4,50	85,00	60,00	115,00	4,12	1876,77	8445,45	971226,22
<b>Totale</b>						<b>71520,33</b>	<b>11267643,40</b>

**Tab.24-Azioni generate del vento**

Si riporta di seguito la tabella riepilogativa delle azioni dovute al vento agenti sulla struttura.

Componente	Carico Assiale Fz(T)	Forza orizzontale Fy(T)	Momento flettente Mx(T*m)
Flangia superiore T5	0,00	14,30	2253,52
Flangia inferiore T5	0,00	20,95	2418,51
Flangia inferiore T4	0,00	27,67	2723,96
Flangia inferiore T3	0,00	32,10	3124,06
Flangia inferiore T2	0,00	36,10	3511,20
Flangia di base	0,00	40,88	3854,24

**Tab.25-Tabella riepilogativa azioni generate dal vento**

## 12 TABULATI DI CALCOLO CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE NELLA SEZIONI DI BASE STATO LIMITE DI RESISTENZA DELLA STRUTTURA

Il dimensionamento della fondazione presuppone la determinazione del valore di sollecitazione alla base della struttura e l'utilizzo delle combinazioni dei carichi prescritte dalle NTC2018.

Si ribadisce che lo scopo della presente relazione è di determinare una valutazione di massima delle dimensioni delle fondazioni; il calcolo delle flange bullonate dei tronchi conici sarà oggetto di Relazione di Calcolo in fase esecutiva.

Carico assiale Fz flangia inferiore T1						
		G	Q1	Q2		
combinazione		Peso proprio strutture	Azioni sismiche	Azioni vento	valori di progetto Ton	valori di progetto KN
1	Fondamentale SLU	1	0	0	703,76	7037,60
2	Fondamentale SLU	1,3	0	0	914,88	9148,80
3	Fondamentale SLU	1	0	1,5	703,76	7037,60
4	Fondamentale SLU	1,3	0	1,5	914,88	9148,80
5	Sismica SLU	1	1	0	703,76	7037,60

Tab.26-combinazioni di carico

Azione orizzontale Ty flangia inferiore T1						
		G	Q1	Q2		
combinazione		peso proprio strutture	Azioni sismiche	Azioni vento	valori di progetto Ton	valori di progetto KN
1	Fondamentale SLU	1	0	0	0	0
2	Fondamentale SLU	1,3	0	0	0	0
3	Fondamentale SLU	1	0	1,5	61,32	613,20
4	Fondamentale SLU	1,3	0	1,5	61,32	613,20

5	Sismica SLU	1	1	0	335,69	3356,90
---	-------------	---	---	---	--------	---------

Tab.27-combinazioni di carico

Momento flettente Mx flangia inferiore T1						
		G	Q1	Q2		
combinazione		peso proprio strutture	Azioni sismiche	Azioni vento	valori di progetto Ton*m	valori di progetto KN*m
1	Fondamentale SLU	1	0	0	0	0
2	Fondamentale SLU	1,3	0	0	0	0
3	Fondamentale SLU	1	0	1,5	5781,36	57813,60
4	Fondamentale SLU	1,3	0	1,5	5781,36	57813,60
5	Sismica SLU	1	1	0	25509,72	255097,20

Tab.28-combinazioni di carico

### 13 TABULATI DI CALCOLO CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE NELLE SEZIONI RESISTENTI ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO

- Azione Orizzontale  $F_y$  sul fusto della torre

Torre	Azione caratteristica	Coefficiente parziale frequente	Coefficiente parziale rara	Forza orizzontale frequente	Forza orizzontale rara
m	N(N)			Ton	Ton
0,00	0,00	0,20	0,60	0,00	0,00
6,00	15855,22	0,20	0,60	0,32	0,95
10,00	15303,73	0,20	0,60	0,31	0,92
13,56	16584,11	0,20	0,60	0,33	1,00
26,76	19599,29	0,20	0,60	0,39	1,18
31,76	20393,33	0,20	0,60	0,41	1,22
44,76	22025,22	0,20	0,60	0,44	1,32
55,56	22353,85	0,20	0,60	0,45	1,34
65,56	22613,20	0,20	0,60	0,45	1,36
75,56	23014,00	0,20	0,60	0,46	1,38
82,44	21453,67	0,20	0,60	0,43	1,29
99,00	22263,10	0,20	0,60	0,45	1,34
108,00	22652,58	0,20	0,60	0,45	1,36
115,00	21728,44	0,20	0,60	0,43	1,30
	265839,75				

Tab.29-Azioni generate dal vento combinazioni di carico SLE

## 14 CALCOLO ARMATURA DEL PLINTO SLU

Il calcolo dell'armatura del plinto è svolto con procedure semplificate, sufficientemente valide in quanto i plinti di fondazione sono abbastanza tozzi da potere ricondurre il comportamento a piastra a quello di quattro mensole indipendenti incastrate al piede dell'aerogeneratore, essendo tale schema in vantaggio di sicurezza rispetto a quello più esatto di piastra.

L'armatura del grigliato di base è ottenuta dal calcolo a flessione semplice delle singole mensole, caricate dalla pressione del terreno che scaturisce dalla combinazione di carico più gravosa calcolata nei paragrafi precedenti per gli Stati Limite (SL)

### ▪ DIMENSIONI PLINTO

Le dimensioni del plinto, che ha forma di un tronco di cono, sono riportate in figura n.6:

Base circolare  $R1=24,00m$

Sommita' circolare  $R2=6,00m$

Altezza minore  $h1=0,40m$

Altezza maggiore  $h2=2,75m$

Altezza sommità circolare  $h3=0,70m$

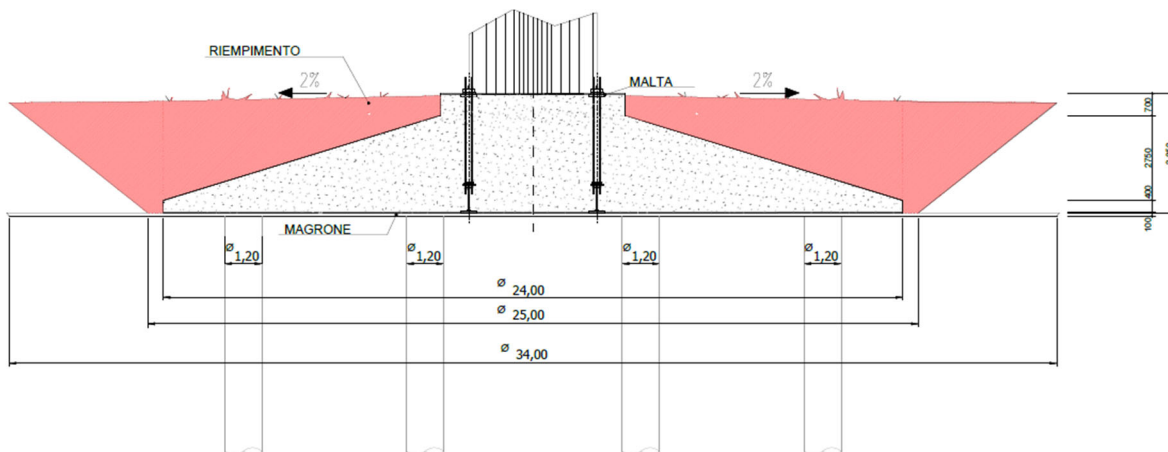


Fig.6-Tipico fondazione su pali

▪ **PESO PLINTO**

Il peso del plinto è calcolato moltiplicando l'area del plinto per il peso specifico del calcestruzzo pari a 2500kg/m<sup>3</sup>.

	<b>Formula di calcolo</b>	<b>Volume(m<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso(T)</b>
Volume cilindro della parte inferiore del plinto	$p \cdot R^2 \cdot h_1$	$3,14 \cdot 12^2 \cdot 0,4 = 180,86$	452,16
Volume tronco di cono della parte centrale del plinto	$p \cdot h_2 \cdot (R_1^2 + R_1 \cdot R_2 + R_2^2) / 3$	$3,14 \cdot 2,75 \cdot (12^2 + 12 \cdot 3 + 3^2) / 3 = 544,01$	1360
Volume cilindro della parte superiore del plinto	$p \cdot R_2^2 \cdot h_3$	$3,14 \cdot 3^2 \cdot 0,7 = 19,78$	49,45
Peso di numero 24 pali lunghezza pari a 30 metri D=1200	$p \cdot D^2 / 4$	$p \cdot D^2 / 4 \cdot L = 3,14 \cdot 1,2^2 / 4 \cdot 30 \cdot 24 = 813,88$	813,88
<b>TOTALE</b>	-	<b>1558,53</b>	<b>3896,34</b>

**Tab.30-Calcolo peso del plinto**

Le verifiche di stabilità globale devono essere effettuate secondo l'approccio 1 Combinazione2: A2+M2+R2.

Per tutte le altre verifiche sarà utilizzato l'approccio 2 (Collasso per Carico limite dell'insieme fondazione terreno)

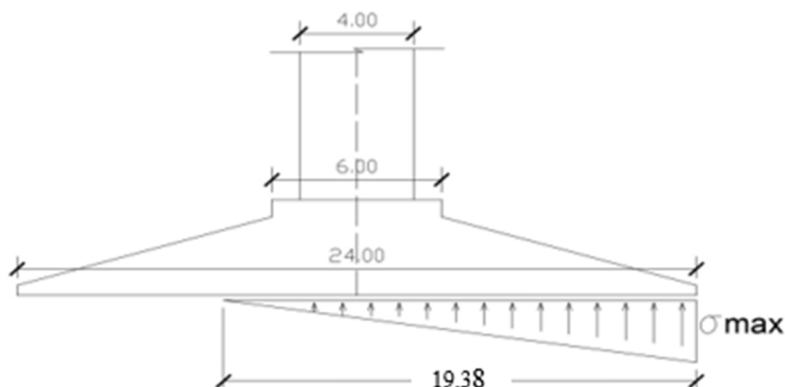
Combinazione 1: A1+M1+R3.

**14.1 VERIFICA A FLESSIONE E DIMENSIONAMENTO DELLE ARMATURE**

La verifica a flessione è finalizzata a determinare il diametro ed il passo delle armature presenti nel plinto.

Per la verifica a flessione si utilizzerà la combinazione n.5

<b>Combinazione 5SLU(si vedano le tabelle di capitolo 6)</b>		
<b>Fz=N+Nplinto(T)</b>	<b>Fy(T)</b>	<b>Mx(T*m)</b>
703,76+3896,34=4600,10	0	25509,84



**Fig.7-Schema di calcolo verifica a flessione**

▪ **Caratteristiche geometriche del plinto:**

Momento di inerzia della base della fondazione:  $J_y = \pi \cdot D^4 / 64$

Area della base della fondazione:  $A = \pi \cdot D^2 / 4$

La sezione è parzializzata e pertanto si dovrà considerare una sezione equivalente ridotta tutta compressa di diametro pari a:

$$D' = 3 \cdot u = 3 \cdot (D/2 - M/N) = 3 \cdot (12 - 5,54) = 3 \cdot 5,57 = 19,38 \text{ (m)}$$

▪ **Sforzo massimo agente sul plinto:**

$$\sigma_{MAX} = 2 \cdot N / D' \cdot D = 2 \cdot 4600,10 / (19,38 \cdot 24) = 19,78 \text{ (T/m}^2\text{)}$$

▪ **Sollecitazioni di progetto:**

$$N_d = \sigma_{MAX} \cdot 19,38 \cdot 24 / 2 = 4600,10 \text{ (T)}$$

$$M_{dx} = N \cdot (19,78 + 2 \cdot 4,22) / 6 = 21635,80 \text{ (T} \cdot \text{m)}$$

▪ **Dimensionamento di massima delle armature:**

$$A_f = M_{dx} \cdot \gamma_f / (0,9 \cdot d \cdot f_{yd}) \quad \text{Area delle armature necessarie}$$

$$f_{yd} = f_y / 1,15 = 391 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Tensione massima di progetto acciaio B450C}$$

$$\gamma_f = 1,4 \quad \text{Coefficiente moltiplicativo}$$

$d$  altezza della sezione. essendo il plinto ad altezza variabile, si considera l'altezza media del plinto equivalente di diametro  $D'$  pari a:

$$h_{media} = h_{base} + h_{tronco} \cdot 3 / 2 = 0,4 + 2,75 \cdot 3 / 2 = 153,0 \text{ (cm)}$$

$$A_f = M_{dx} \cdot \gamma_f / (0,9 \cdot d \cdot f_{yd}) = 21635800000 \cdot 1,4 / (0,9 \cdot 153 \cdot 391) = 562587,80 \text{ mm}^2$$

▪ **Armatura necessaria a resistere alle sollecitazioni di progetto:**

Si disporranno in senso radiale 1250 barre di armatura B450C di diametro 24mm:

$$\phi 24 = 452,16 \text{ mm}^2$$

$$1250 \phi 24 = 361728 \text{ mm}^2$$

Interasse minimo armature (Anche in questo caso si considera un raggio ridotto corrispondente alla sezione ridotta che ha raggio pari a  $R' = D'/2 = 19,38/2 = 9,69 \text{ (m)}$ )

$$i = 2 \cdot \pi \cdot R / 800 = 2 \cdot 3,14 \cdot 969 / 1250 = 5,0 \text{ cm}$$

▪ **Interasse delle armature di progetto:**

**Verranno disposte armature incrociate superiori ed inferiori di diametro 24 mm in senso radiale ad interasse paria 5,0cm.**



## 14.2 VERIFICA A TAGLIO

### ▪ Combinazione4-SLU

Combinazione 4SLU (si vedano le tabelle di capitolo 6)		
Fz=N+Nplinto(T)	Fy(T)	Mx(T*m)
703,76+3896,34=4600,10	61,32	5781,36

Tab.38-Valori delle azioni combinazione n.4

La sezione di verifica è la E

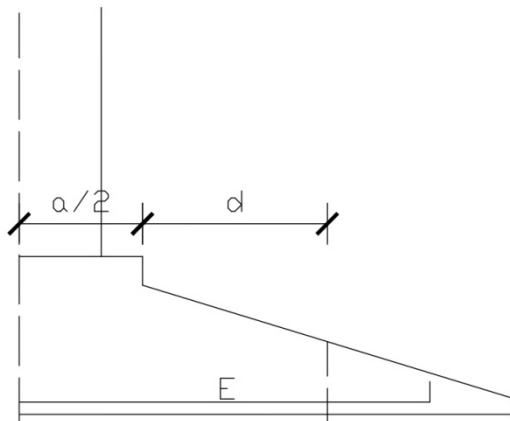


Fig.8-Sezione di verifica taglio

Per questa verifica si deve prendere in considerazione la sezione E rappresentata in figura n.8 che è posta ad una distanza pari all'altezza della fondazione. Il riferimento normativo è il capitolo 4.1.2.1.3.2 delle NTC2018.

### ▪ Taglio sollecitante di progetto

$$VdE = Nd/D * ((D-a)/2 - d')$$

Parametri di calcolo taglio Resistente cap.4.1.2.1.3.2 NTC2018	
VdE	Taglio di calcolo in corrispondenza della sezione E
Diametro della sezione	D=24,00m
Diametro parte alta del plinto si veda figura n.8	a=6,00m
Distanza della sezione di verifica E (rottura a 45°)	d'=3,15m
Nd	4600,10(T)

Tab.39-Parametri di calcolo Taglio

$$VdE = 4600,10/24 * ((24-6)/2 - 3,15) = 1121,27(T)$$

- **Resistenze al taglio del puntone in calcestruzzo compresso e dell'armatura tesa**

$$VRsd=0,9 \cdot d \cdot A_{sw} / s \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) \cdot \operatorname{sen} \alpha$$

$$VRcd=0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) / (1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha)$$

La resistenza a taglio VRd della trave è la minore delle due sopra definite:  **$VRd = \min(VRsd, VRcd)$**

- **Determinazione dell'armatura a taglio e calcolo del taglio resistente**

<b>Parametri di calcolo taglio Resistente cap.4.1.2.1.3.2 NTC2018</b>	
Area staffe $\phi 24$	$A_{sw} = 452,16 \times 2 = 904,32 \text{ mm}^2$
Tensione di progetto acciaio	$f_{yd} = 391 \text{ N/mm}^2$
Altezza utile della sezione in corrispondenza della sezione E	$d = 2100 \text{ mm}$
Passo delle staffe	$s = 50 \text{ mm}$
Larghezza minima della sezione in corrispondenza della sezione E	$b_w = d' + a/2 = 3,15 + 3,0 = 6,15 \text{ m}$
Area della sezione di calcestruzzo in corrispondenza della sezione E	$A_c = 2 \cdot \pi \cdot d'^2 = 2 \cdot 3,14 \cdot 3150^2 = 62313300 \text{ mm}^2$
Carico assiale $N_{Ed}$ sulla sezione E corrispondente al taglio di progetto $F_y$ di tabella n.32	$N_{Ed} = 61,32 \text{ (T)} = 613200 \text{ (N)}$
Tensione media di compressione nella sezione	$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 613200 / (2 \cdot 3,14 \cdot 3150^2) = 0,01 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a compressione del calcestruzzo d'anima	$f'_{cd} = 0,5 \cdot f_{cd} = 12,75 \text{ N/mm}^2$
Coefficiente maggiorativo	$\alpha_c = 1 + \sigma_{cp} / f'_{cd} = 1 + 0,01 / 12,75 = 1,00$

**Tab.40-Parametri di calcolo Taglio**

La disposizione di armatura scelta prevede delle staffe di collegamento  $\phi 24$  a passo 5cm tra le armature disposte radialmente

$$V_{rsd} = 0,9 \times 2100 \times 904,32 / 50 \times 391 \times (0+1) / (1) = 13364100 \text{ N} = 1336,41 \text{ (T)}$$

$$V_{rcd} = 0,9 \times 2100 \times 6150 \times 1,00 \times 12,75 \times 1 / 1 = 14820000 \text{ N} = 1482,00 \text{ (T)}$$

$$V_{dE} = 1121,27 \text{ (T)} < V_{rsd} = 1336,41 \text{ (T)} \quad \text{VERIFICATA}$$

## 14.3 VERIFICA A PUNZONAMENTO

### ▪ Combinazione 4-SLU

Combinazione 4SLU (si vedano le tabelle di capitolo 7)		
Fz=N+Nplinto(T)	Fy(T)	Mx(T*m)
914,88+3896,34=4811,22	61,32	5781,36

Tab.41-Valori delle azioni combinazione n.4

### ▪ In accordo con quanto prescritto dalla norma Eurocodice 2(EC2):

Lungo il perimetro di verifica posto a distanza 1,5d dal bordo esterno della torre di acciaio (critical perimeter) deve essere verificata la seguente relazione:

**$V_{Ed} < V_{Rd,c}$**  Se questa relazione è verificata non è necessario aggiungere armatura al punzonamento.

$$v_{Ed} = V_{Ed} * \beta / (u * d)$$

Parametri di calcolo punzonamento EC2	
u critical perimeter pari al perimetro di base della torre in acciaio di diametro D=4,5m	$u = \pi * D = 3,14 * 4,5 = 14,13m$
Altezza utile della sezione alla distanza u	$D = b_y = b_z = 1500mm$
e eccentricità del carico agente $e = N/M_x$	$e = 5781,36 / 4811,22 = 1,20m$
Larghezza minima della sezione in corrispondenza della sezione E	$b_w = 6,15m$
$\beta$ è un coefficiente che dipende dall'eccentricità espressione 6.43 EC2	$\beta = 1 + 1,8 * ((e_y/b_z)^2 + (e_z/b_y)^2)^{0,5} = 1 + 1,8 * (2 * (1200/1500)^2)^{0,5} = 3,03$
Resistenza a compressione del calcestruzzo d'anima	$f_{cd} = 0,5 * f_{ck} = 12,75N/mm^2$
Coefficiente maggiorativo	$\alpha_c = 1 + \sigma_{cp} / f_{cd} = 1 + 0,01 / 25,5 = 1,00$

Tab.42-Parametri di calcolo verifica al punzonamento

$$v_{Ed} = 48112200 * 3,03 / (14130 * 1500) = 6,87N/mm^2$$

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_l * f_{ck})^{1/3} \geq v_{min}$$

Parametri di calcolo taglio Resistente cap.4.1.2.1.3.2 NTC2018	
Coefficiente di sicurezza del calcestruzzo	$\gamma_c = 1,5$
$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c$	$C_{Rd,c} = 0,18 / 1,5 = 0,12$
e eccentricità del carico agente $e = N/M_x$	$e = 5781,36 / 4811,22 = 1,20m$
k fattore di forma $K = 1 + (200/d)^{0,5} \leq 2,0$ cond(inmm);	$K = 1 + (200/d)^{0,5} = 1 + (200/1500)^{0,5} = 1,36$
Area sezione critica $A_t$	$A_t = 9000 * 1500 = 13500000 mm^2$
Larghezza piastra $L_p$ Si raccomanda di calcolare i valori di $p_{ly}$ e $p_{lz}$	$L_p = \text{larghezza base aerogeneratore} + 3 * D = 4,5 + 3 * 1,5 = 9m$

come valori medi prendendo in considerazione una larghezza di piastra pari alla larghezza del pilastro più tre volte d su ciascun lato(EC2).	
rapporto geometrico di armatura $\rho_l = (\rho_l x \rho_l y)^{0,5} \leq 0,02$ ; Si raccomanda di calcolare i valori di $\rho_l y$ e $\rho_l z$ come valori medi prendendo in considerazione una larghezza di piastra pari alla larghezza del pilastro più tre volte d su ciascun lato.	n. armatura in un metro di piastra n.arm=2*100/5=40 Area armature =452,16*(9*40)=162777,6mm <sup>2</sup> /mm $\rho_l x = 452,16*(9*40)/13500000 = 0,012$ $\rho_l y = 452*(9*40)/13500000 = 0,012$
$\rho_l = (\rho_l x \rho_l y)^{0,5} \leq 0,02$	$\rho_l = (0,12*0,12)^{0,5} = 0,012$
Resistenza a compressione del calcestruzzo d'anima	$f'_{cd} = 0,5 * f_{cd} = 12,75 \text{ N/mm}^2$
Coefficiente maggiorativo	$\alpha_c = 1 + \sigma_{cp} / f_{cd} = 1 + 0,01 / 25,5 = 1,00$

**Tab.43-Parametri di calcolo verifica al punzonamento**

$$\rho_l = (\rho_l x \rho_l y)^{0,5} = 0,012 \leq 0,02;$$

$$v_{Rd,c} = 0,12 \times 1,36 (100 \times 0,012 \times 45)^{1/3} = 0,61 \text{ N/mm}^2$$

$$v_{Ed} = 0,61 \text{ N/mm}^2 < 6,87 \text{ N/mm}^2 v_{Rd,c}$$

**VERIFICATA**

**non è necessario aggiungere armatura a punzonamento.**

## 15 STATI LIMITE DI TIPO GEOTECNICO

Per garantire la portanza delle fondazioni saranno utilizzati 24 pali trivellati fino alla profondità di trenta metri e di diametro pari a 120cm.

Come evidenziato dalla Relazione geologica, che costituisce un allegato alla presente Relazione di calcolo preliminare, la sostanziale omogeneità delle stratigrafie del terreno per i siti di installazione degli aerogeneratori produce l'effetto di rendere valida la trattazione che segue per tutti gli aerogeneratori presenti, con l'avvertenza di tenere in conto che questo è solo un calcolo preliminare di massima che andrà poi approfondito e rielaborato per ciascuno dei 10 siti di installazione.

Per il calcolo in questo paragrafo si è fatto uso del software strutturale CDS prodotto dalla STS di Sant'agata Li Battiati (CT) numero di licenza n.21295.

Lo scopo della trattazione che segue è quello di verificare la lunghezza ed il numero di pali richiesti per la struttura in esame.

Saranno dunque eseguite le sole verifiche SLU di tipo geotecnico necessarie a quantificare il numero e la lunghezza di pali di fondazioni rimandando alla progettazione esecutiva le verifiche SLU di tipo strutturale (cfr.6.4.3.1 NTC2018) necessarie a definire nel dettaglio l'armatura dei pali.

La struttura viene schematizzata come anelli concentrici con altezza variabile crescente verso il centro con sotto i pali di fondazione secondo la disposizione di figura n.

### ▪ DIMENSIONI PLINTO

Le dimensioni del plinto, che ha forma di un tronco di cono, sono riportate in figura n.1:

Base circolare R1=24,00m

Sommita' circolare R2=6,00m

Altezza minore h1=0,40m

Altezza maggiore h2=2,75m

Altezza sommità circolare h3=0,70m

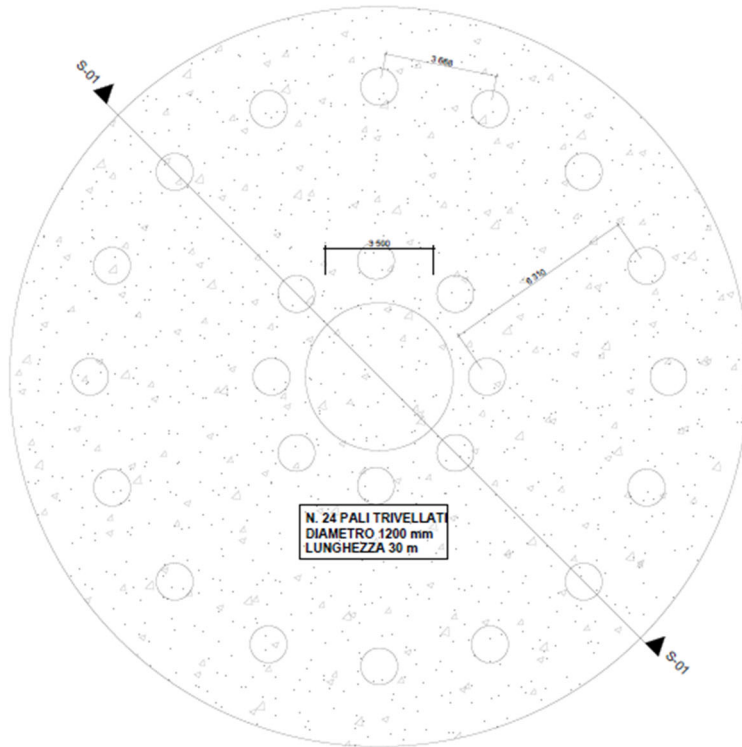
STRATIGRAFIA PLINTI																	
Plin N.ro	Q.t.v. (m)	Q.t.d. (m)	Q.falda (m)	Incl Grd	Kw kg/cm <sup>2</sup>	Num Str	Sp.str. (m)	Peso Sp kg/m <sup>3</sup>	F <sub>i</sub> ' (Grd)	C' kg/cm <sup>2</sup>	Cu kg/cm <sup>2</sup>	Mod.El. kg/cm <sup>2</sup>	Poisson	Coeff. Lambe	Gr. Sovr (%)	Mod.Ed. kg/cm <sup>2</sup>	
	1,50	0,00		0		1	1,00	1900	20,00	0,00	0,00	50,00	0,20	0,00	1	50,00	
						2	2,50	1860	32,00	0,00	0,00	800,00	0,20	0,00	1	80,00	
						3		1990	24,00	0,90	2,70	200,00	0,20	0,00	3	110,00	

Tab.44

DATI GENERALI			
COEFFICIENTI PARZIALI GEOTECNICA			
	TABELLA M1		TABELLA M2
Tangente Resist. Taglio	1,00		
Peso Specifico	1,00		
Coesione Efficace (c'k)	1,00		
Resist. a taglio NON drenata (cuk)	1,00		
Tipo Approccio	Combinazione Unica: (A1+M1+R3)		
Tipo di fondazione	Su Pali Trivellati		
	COEFFICIENTE R1	COEFFICIENTE R2	COEFFICIENTE R3
Capacita' Portante			2,30

Tab.45

PARTICOLARE FONDAZIONE SU PALI Scala 1:100



SEZIONE S-01 PARTICOLARE FONDAZIONE SU PALI Scala 1:100

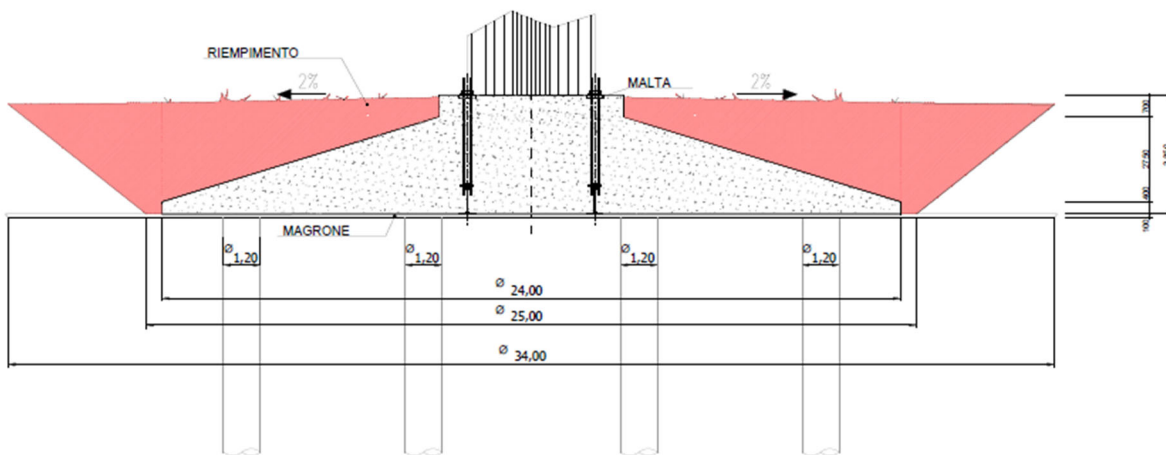


Fig.8-Tipico fondazione su pali trivellati

## 15.1 METODOLOGIA DI CALCOLO

### ▪ CAPACITÀ PORTANTE DI FONDAZIONI SU PALI

Il carico ultimo del palo a compressione risulta:

$$Q_{lim} = Q_{punta} + Q_{later} - P_{palo} - P_{attr\_neg}$$

#### Q<sub>punta</sub>: RESISTENZA ALLA PUNTA

- In terreni coesivi in condizioni non drenate:

$$Q_{punta} = (C_{up} \times N_c + \sigma_v) \times A_p \times R_c$$

essendo

C<sub>up</sub> = coesione non drenata terreno alla quota della punta

N<sub>c</sub> = coeff. di capacità portante = 9

σ<sub>v</sub> = tensione verticale totale in punta

A<sub>p</sub> = area della punta del palo

R<sub>c</sub> = coeff. di Meyerhof per le argille S/C

$$R_c = \frac{D+1}{2D+1} \quad \text{per pali trivellati} \quad R_c = \frac{D+0,5}{2D} \quad \text{per pali infissi}$$

D = diametro del palo

- In terreni coesivi in condizioni drenate (secondo Vesic):

$$Q_{punta} = (\mu \times \sigma_v' \times N_q + c' \times N_c) \times A_p$$

essendo

$$\mu = \frac{1+2(1-\sin\phi')}{3}$$

$$N_q = \frac{3}{3-\sin\phi'} \exp \left[ \left( \left( \frac{\pi}{2} - \phi' \right) \tan \phi' \right) \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\phi'}{2} \right) \times I_{rr}^{\frac{4\sin\phi'}{3(1+\sin\phi')}} \right]$$

I<sub>rr</sub> = indice di rigidezza ridotta

$$I_{rr} \approx I_r = \text{indice di rigidezza} = \frac{G}{c' + \sigma_v' \tan \phi'}$$

G = modulo elastico di taglio

σ<sub>v</sub>' = tensione verticale efficace in punta

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi'$$

- In terreni incoerenti (secondo Berezantzev):

$$Q_{punta} = \sigma_v' \times \alpha q \times N_q \times A_p$$

essendo

αq = coeff. di riduzione per effetto silos in funzione di L/D

N<sub>q</sub> = calcolato con φ\* secondo Kishida:

$$\phi^* = \phi' - 3^\circ$$

per pali trivellati

L = lunghezza del palo

**Patr\_neg: CARICO DA ATTRITO NEGATIVO**

Patr\_neg = 0

in terreni coesivi in condizioni non drenate

Patr\_neg =  $As \times \beta \times \sigma'_m$

in terreni incoerenti o coesivi in condizioni drenate

essendo

$\beta$  = coeff. di Lambe

$\sigma'_m$  = pressione verticale efficace media lungo lo strato deformabile

Il carico ammissibile risulta pari a:

$$Q_{amm} = \left( \frac{Q_{punta}}{\mu_p} + \frac{Q_{later} - P_{palo} - Patr\_neg}{\mu_L} \right) \times E_g$$

dove:

$\mu_p$  = coefficiente di sicurezza del palo per resistenza di punta

$\mu_L$  = coefficiente di sicurezza del palo per resistenza laterale

$E_g$  = coefficiente di efficienza dei pali in gruppo:

- in terreni coesivi:

a) per plinti rettangolari (secondo *Converse-La Barre*):

$$E_g = 1 - \arctan \frac{D}{i} \cdot \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn}$$

con

m = numero delle file dei pali nel gruppo

n = numero di pali per ciascuna fila

i = interasse fra i pali

- in terreni incoerenti:

$E_g = 2/3$

per pali trivellati



## 15.2 TABULATI DI CALCOLO

### 1) SPECIFICHE CAMPI TABULATI DI CALCOLO PALI IN CONDIZIONI DRENATE:

Si riporta di seguito la spiegazione delle sigle usate nella tabella di stampa della portanza delle fondazioni su pali in condizioni drenate.

<b>Palo</b>	: Numero del palo
<b>Quota</b>	: Quote significative del palo (testa, strati e punta)
<b>StrNro</b>	: Numero dello strato
<b>SgmEff</b>	: Tensione efficace alla quota attuale
<b>CoeffKs</b>	: Coefficiente di spinta laterale lungo lo strato
<b>CoeffAttr.</b>	: Coefficiente di attrito laterale lungo lo strato
<b>Fi rid.</b>	: Attrito terreno alla punta del palo
<b>Rig.rid.</b>	: Indice di rigidezza ridotta
<b>AlfaQBerez</b>	: Coefficiente di riduzione di Nq secondo Berentzanzev
<b>EtaVVesic</b>	: Coefficiente di riduzione di Nq secondo Vesic
<b>CoeffNq</b>	: Coefficiente di capacità portante
<b>CoeffNc</b>	: Coefficiente di capacità portante
<b>QultPu</b>	: Portanza ultima alla punta
<b>QultLa</b>	: Portanza ultima laterale
<b>Peso</b>	: Peso proprio del palo
<b>Qneg</b>	: Carico perso per attrito negativo
<b>Eff.</b>	: Coefficiente di efficienza della palificata
<b>QlimCmp</b>	: Portanza limite per compressione
<b>QlimTrz</b>	: Portanza limite per trazione
<b>Comb.</b>	: Numero di combinazione per la quale è stata eseguita la verifica
<b>Qpalo</b>	: Massimo sforzo agente sul palo. Se la portanza non verifica a trazione o compressione riporta il relativo valore di esercizio di trazione o compressione
<b>Status Verif</b>	: <b>OK</b> oppure <b>NOVERIF</b> a seconda che il carico di esercizio sia inferiore o superiore alla relativa portanza ammissibile di trazione o compressione

PORTANZA PALI IN CONDIZIONI DRENATE																					
PORTANZA PALI IN CONDIZIONI DRENATE																					
Plin N.ro	Quot m	St Nr	SgmEf t/mq	Coeff Ks	Coeff Attr	Fi* rid.	Rig. rid.	AlfaQ Berez	EtaV Vesic	Coeff. Nq	Coeff. Nc	QultP (t)	QultL (t)	Peso (t)	Qneg (t)	Eff.	QlimCmp (t)	QlimTrz (t)	Comb.	QPalo (t)	Status Verif.
1	2,5	1	4,8	0,658	0,36																
	2,5	1	4,8	0,658	0,36																
	5,0	2	9,4	0,470	0,62																
	32,3	3	63,7	0,593	0,45	21,0	25	0,000	0,761	11,83	28,21	550,5	596,2	84,26	0,00	1,00	852,98	544,37	A1/7	111,64	OK
2	2,5	1	4,8	0,658	0,36																
	2,5	1	4,8	0,658	0,36																
	5,0	2	9,4	0,470	0,62																
	32,3	3	63,7	0,593	0,45	21,0	25	0,000	0,761	11,83	28,21	550,5	596,2	84,26	0,00	1,00	852,98	544,37	A1/7	152,40	OK
3	2,5	1	4,8	0,658	0,36																
	2,5	1	4,8	0,658	0,36																
	5,0	2	9,4	0,470	0,62																
	32,3	3	63,7	0,593	0,45	21,0	25	0,000	0,761	11,83	28,21	550,5	596,2	84,26	0,00	1,00	852,98	544,37	A1/5	251,44	OK
4	2,5	1	4,8	0,658	0,36																
	2,5	1	4,8	0,658	0,36																
	5,0	2	9,4	0,470	0,62																
	32,3	3	63,7	0,593	0,45	21,0	25	0,000	0,761	11,83	28,21	550,5	596,2	84,26	0,00	1,00	852,98	544,37	A1/3	349,50	OK
5	2,5	1	4,8	0,658	0,36																

**PORTANZA PALI IN CONDIZIONI DRENATE**

PORTANZA PALI IN CONDIZIONI DRENATE																					
Plin N.ro	Quot m	St Nr	SgmEf t/mq	Coef Ks	Coef Attr	Fi rid.	Rig. rid.	AlfaQ Berez	EtaV Vesic	Coef. Nq	Coef. Nc	QultP (t)	QultL (t)	Peso (t)	Qneg (t)	Eff.	QlimCmp (t)	QlimTrz (t)	Comb.	QPalo (t)	Status Verif.
	2,5	1	4,8	0,658	0,36																
	5,0	2	9,4	0,470	0,62																
	32,3	3	63,7	0,593	0,45	21,0	25	0,000	0,761	11,83	28,21	550,5	596,2	84,26	0,00	1,00	852,98	544,37	A1/3	386,48	OK
6	2,5	1	4,8	0,658	0,36																
	2,5	1	4,8	0,658	0,36																
	5,0	2	9,4	0,470	0,62																
	32,3	3	63,7	0,593	0,45	21,0	25	0,000	0,761	11,83	28,21	550,5	596,2	84,26	0,00	1,00	852,98	544,37	A1/9	345,67	OK
7	2,5	1	4,8	0,658	0,36																
	2,5	1	4,8	0,658	0,36																
	5,0	2	9,4	0,470	0,62																
	32,3	3	63,7	0,593	0,45	21,0	25	0,000	0,761	11,83	28,21	550,5	596,2	84,26	0,00	1,00	852,98	544,37	A1/9	249,45	OK
8	2,5	1	4,8	0,658	0,36																
	2,5	1	4,8	0,658	0,36																
	5,0	2	9,4	0,470	0,62																
	32,3	3	63,7	0,593	0,45	21,0	25	0,000	0,761	11,83	28,21	550,5	596,2	84,26	0,00	1,00	852,98	544,37	A1/7	152,64	OK
9	1,2	1	2,3	0,658	0,36																
	1,2	1	2,3	0,658	0,36																
	3,7	2	6,9	0,470	0,62																
	31,0	3	61,3	0,593	0,45	21,0	26	0,000	0,761	11,95	28,52	541,3	552,7	84,26	0,00	1,00	808,33	509,56	A1/7	-16,31	OK
10	1,2	1	2,3	0,658	0,36																
	1,2	1	2,3	0,658	0,36																
	3,7	2	6,9	0,470	0,62																
	31,0	3	61,3	0,593	0,45	21,0	26	0,000	0,761	11,95	28,52	541,3	552,7	84,26	0,00	1,00	808,33	509,56	A1/7	-8,76	OK
11	1,2	1	2,3	0,658	0,36																
	1,2	1	2,3	0,658	0,36																
	3,7	2	6,9	0,470	0,62																
	31,0	3	61,3	0,593	0,45	21,0	26	0,000	0,761	11,95	28,52	541,3	552,7	84,26	0,00	1,00	808,33	509,56	A1/7	14,01	OK
12	1,2	1	2,3	0,658	0,36																
	1,2	1	2,3	0,658	0,36																
	3,7	2	6,9	0,470	0,62																
	31,0	3	61,3	0,593	0,45	21,0	26	0,000	0,761	11,95	28,52	541,3	552,7	84,26	0,00	1,00	808,33	509,56	A1/5	51,23	OK
13	1,2	1	2,3	0,658	0,36																
	1,2	1	2,3	0,658	0,36																
	3,7	2	6,9	0,470	0,62																
	31,0	3	61,3	0,593	0,45	21,0	26	0,000	0,761	11,95	28,52	541,3	552,7	84,26	0,00	1,00	808,33	509,56	A1/5	93,18	OK
14	1,2	1	2,3	0,658	0,36																
	1,2	1	2,3	0,658	0,36																
	3,7	2	6,9	0,470	0,62																
	31,0	3	61,3	0,593	0,45	21,0	26	0,000	0,761	11,95	28,52	541,3	552,7	84,26	0,00	1,00	808,33	509,56	A1/3	135,06	OK
15	1,2	1	2,3	0,658	0,36																
	1,2	1	2,3	0,658	0,36																
	3,7	2	6,9	0,470	0,62																
	31,0	3	61,3	0,593	0,45	21,0	26	0,000	0,761	11,95	28,52	541,3	552,7	84,26	0,00	1,00	808,33	509,56	A1/3	171,91	OK
16	1,2	1	2,3	0,658	0,36																
	1,2	1	2,3	0,658	0,36																
	3,7	2	6,9	0,470	0,62																
	31,0	3	61,3	0,593	0,45	21,0	26	0,000	0,761	11,95	28,52	541,3	552,7	84,26	0,00	1,00	808,33	509,56	A1/3	197,26	OK
17	1,2	1	2,3	0,658	0,36																
	1,2	1	2,3	0,658	0,36																
	3,7	2	6,9	0,470	0,62																
	31,0	3	61,3	0,593	0,45	21,0	26	0,000	0,761	11,95	28,52	541,3	552,7	84,26	0,00	1,00	808,33	509,56	A1/3	207,25	OK
18	1,2	1	2,3	0,658	0,36																
	1,2	1	2,3	0,658	0,36																
	3,7	2	6,9	0,470	0,62																
	31,0	3	61,3	0,593	0,45	21,0	26	0,000	0,761	11,95	28,52	541,3	552,7	84,26	0,00	1,00	808,33	509,56	A1/9	199,74	OK
19	1,2	1	2,3	0,658	0,36																
	1,2	1	2,3	0,658	0,36																
	3,7	2	6,9	0,470	0,62																
	31,0	3	61,3	0,593	0,45	21,0	26	0,000	0,761	11,95	28,52	541,3	552,7	84,26	0,00	1,00	808,33	509,56	A1/9	175,88	OK
20	1,2	1	2,3	0,658	0,36																
	1,2	1	2,3	0,658	0,36																
	3,7	2	6,9	0,470	0,62																
	31,0	3	61,3	0,593	0,45	21,0	26	0,000	0,761	11,95	28,52	541,3	552,7	84,26	0,00	1,00	808,33	509,56	A1/9	138,50	OK
21	1,2	1	2,3	0,658	0,36																
	1,2	1	2,3	0,658	0,36																
	3,7	2	6,9	0,470	0,62																
	31,0	3	61,3	0,593	0,45	21,0	26	0,000	0,761	11,95	28,52	541,3	552,7	84,26	0,00	1,00	808,33	509,56	A1/9	93,68	OK
22	1,2	1	2,3	0,658	0,36																
	1,2	1	2,3	0,658	0,36																
	3,7	2	6,9	0,470	0,62																
	31,0	3	61,3	0,593	0,45	21,0	26	0,000	0,761	11,95	28,52	541,3	552,7	84,26	0,00	1,00	808,33	509,56	A1/9	49,73	OK
23	1,2	1	2,3	0,658	0,36																
	1,2	1	2,3	0,658	0,36																

PORTANZA PALI IN CONDIZIONI DRENATE																					
PORTANZA PALI IN CONDIZIONI DRENATE																					
Plin N.ro	Quot m	St Nr	SgmEf t/mq	Coef Ks	Coef Attr	Fi <sup>o</sup> rid.	Rig. rid.	AlfaQ Berez	EtaV Vesic	Coef. Nq	Coef. Nc	QultP (t)	QultL (t)	Peso (t)	Qneg (t)	Eff.	QlimCmp (t)	QlimTrz (t)	Comb.	QPalo (t)	Status Verif.
	3,7	2	6,9	0,470	0,62																
	31,0	3	61,3	0,593	0,45	21,0	26	0,000	0,761	11,95	28,52	541,3	552,7	84,26	0,00	1,00	808,33	509,56	A1/7	15,30	OK
24	1,2	1	2,3	0,658	0,36																
	1,2	1	2,3	0,658	0,36																
	3,7	2	6,9	0,470	0,62																
	31,0	3	61,3	0,593	0,45	21,0	26	0,000	0,761	11,95	28,52	541,3	552,7	84,26	0,00	1,00	808,33	509,56	A1/7	-7,72	OK

Tab.46-Portanza condizioni drenate

## 2) SPECIFICHE CAMPI TABULATI DI CALCOLO PALI IN CONDIZIONI NON DRENATE:

Si riporta di seguito la spiegazione delle sigle usate nella tabella di stampa della portanza delle fondazioni su pali in condizioni non drenate.

- Plinto** : Numero del plinto  
**Quota** : Quote significative del palo (testa, strati e punta)  
**StrNro** : Numero dello strato  
**SgmTot** : Pressione totale alla quota attuale  
**AlfaC** : Coefficiente di riduzione della coesione lungo lo strato  
**Coef.Nq** : Coefficiente di capacità portante  
**Coef.Nc** : Coefficiente di capacità portante  
**QultPun** : Portanza ultima alla punta  
**QultLat** : Portanza ultima laterale  
**Peso** : Peso proprio del palo  
**EfPal** : Coefficiente di efficienza della palificata  
**QlimCmp** : Portanza limite per compressione  
**QlimTrz** : Portanza limite per trazione  
**Comb.** : Numero di combinazione per la quale è stata eseguita la verifica  
**Qpalo** : Massimo sforzo agente sul palo. Se la portanza non verifica a trazione o compressione riporta il relativo valore di esercizio di trazione o compressione.  
**Status Verif.** : **OK** oppure **NOVERIF** a seconda che il carico di esercizio sia inferiore o superiore alla relativa portanza ammissibile di trazione o compressione

PORTANZA PALI IN CONDIZIONI NON DRENATE															
PORTANZA PALI IN CONDIZIONI NON DRENATE															
Plint N.ro	Quota m	Strat Nro	SgmTot t/mq	AlfaC	Coef. Nq	Coef. Nc	QultPun (t)	QultLat (t)	Peso (t)	EfPal	QlimCmp (t)	QlimTrz (t)	Comb.	QPalo (t)	Status Verif.
1	2,50	1	4,75	0,700											
	2,50	1	4,75	0,700											
	5,00	2	9,40	0,700											
	32,30	3	63,73	0,350	1,00	9,00	132,04	572,11	84,26	1,00	522,03	525,09	A1/7	111,64	OK
2	2,50	1	4,75	0,700											
	2,50	1	4,75	0,700											
	5,00	2	9,40	0,700											
	32,30	3	63,73	0,350	1,00	9,00	132,04	572,11	84,26	1,00	522,03	525,09	A1/7	152,40	OK
3	2,50	1	4,75	0,700											
	2,50	1	4,75	0,700											
	5,00	2	9,40	0,700											
	32,30	3	63,73	0,350	1,00	9,00	132,04	572,11	84,26	1,00	522,03	525,09	A1/5	251,44	OK
4	2,50	1	4,75	0,700											
	2,50	1	4,75	0,700											
	5,00	2	9,40	0,700											
	32,30	3	63,73	0,350	1,00	9,00	132,04	572,11	84,26	1,00	522,03	525,09	A1/3	349,50	OK
5	2,50	1	4,75	0,700											
	2,50	1	4,75	0,700											
	5,00	2	9,40	0,700											
	32,30	3	63,73	0,350	1,00	9,00	132,04	572,11	84,26	1,00	522,03	525,09	A1/3	386,48	OK
6	2,50	1	4,75	0,700											

**PORTANZA PALI IN CONDIZIONI NON DRENATE**

**PORTANZA PALI IN CONDIZIONI NON DRENATE**

Plint N.ro	Quota m	Strat Nro	SgmTot t/mq	AlfaC	Coeff. Nq	Coeff. Nc	QultPun (t)	QultLat (t)	Peso (t)	EfPal	QlimCmp (t)	QlimTrz (t)	Comb.	QPalo (t)	Status Verif.
	2,50	1	4,75	0,700											
	5,00	2	9,40	0,700											
	32,30	3	63,73	0,350	1,00	9,00	132,04	572,11	84,26	1,00	522,03	525,09	A1/9	345,67	OK
7	2,50	1	4,75	0,700											
	2,50	1	4,75	0,700											
	5,00	2	9,40	0,700											
	32,30	3	63,73	0,350	1,00	9,00	132,04	572,11	84,26	1,00	522,03	525,09	A1/9	249,45	OK
8	2,50	1	4,75	0,700											
	2,50	1	4,75	0,700											
	5,00	2	9,40	0,700											
	32,30	3	63,73	0,350	1,00	9,00	132,04	572,11	84,26	1,00	522,03	525,09	A1/7	152,64	OK
9	1,20	1	2,28	0,700											
	1,20	1	2,28	0,700											
	3,70	2	6,93	0,700											
	31,00	3	61,26	0,350	1,00	9,00	130,97	572,11	84,26	1,00	521,24	525,09	A1/7	-16,31	OK
10	1,20	1	2,28	0,700											
	1,20	1	2,28	0,700											
	3,70	2	6,93	0,700											
	31,00	3	61,26	0,350	1,00	9,00	130,97	572,11	84,26	1,00	521,24	525,09	A1/7	-8,76	OK
11	1,20	1	2,28	0,700											
	1,20	1	2,28	0,700											
	3,70	2	6,93	0,700											
	31,00	3	61,26	0,350	1,00	9,00	130,97	572,11	84,26	1,00	521,24	525,09	A1/7	14,01	OK
12	1,20	1	2,28	0,700											
	1,20	1	2,28	0,700											
	3,70	2	6,93	0,700											
	31,00	3	61,26	0,350	1,00	9,00	130,97	572,11	84,26	1,00	521,24	525,09	A1/5	51,23	OK
13	1,20	1	2,28	0,700											
	1,20	1	2,28	0,700											
	3,70	2	6,93	0,700											
	31,00	3	61,26	0,350	1,00	9,00	130,97	572,11	84,26	1,00	521,24	525,09	A1/5	93,18	OK
14	1,20	1	2,28	0,700											
	1,20	1	2,28	0,700											
	3,70	2	6,93	0,700											
	31,00	3	61,26	0,350	1,00	9,00	130,97	572,11	84,26	1,00	521,24	525,09	A1/3	135,06	OK
15	1,20	1	2,28	0,700											
	1,20	1	2,28	0,700											
	3,70	2	6,93	0,700											
	31,00	3	61,26	0,350	1,00	9,00	130,97	572,11	84,26	1,00	521,24	525,09	A1/3	171,91	OK
16	1,20	1	2,28	0,700											
	1,20	1	2,28	0,700											
	3,70	2	6,93	0,700											
	31,00	3	61,26	0,350	1,00	9,00	130,97	572,11	84,26	1,00	521,24	525,09	A1/3	197,26	OK
17	1,20	1	2,28	0,700											
	1,20	1	2,28	0,700											
	3,70	2	6,93	0,700											
	31,00	3	61,26	0,350	1,00	9,00	130,97	572,11	84,26	1,00	521,24	525,09	A1/3	207,25	OK
18	1,20	1	2,28	0,700											
	1,20	1	2,28	0,700											
	3,70	2	6,93	0,700											
	31,00	3	61,26	0,350	1,00	9,00	130,97	572,11	84,26	1,00	521,24	525,09	A1/9	199,74	OK
19	1,20	1	2,28	0,700											
	1,20	1	2,28	0,700											
	3,70	2	6,93	0,700											
	31,00	3	61,26	0,350	1,00	9,00	130,97	572,11	84,26	1,00	521,24	525,09	A1/9	175,88	OK
20	1,20	1	2,28	0,700											
	1,20	1	2,28	0,700											
	3,70	2	6,93	0,700											
	31,00	3	61,26	0,350	1,00	9,00	130,97	572,11	84,26	1,00	521,24	525,09	A1/9	138,50	OK
21	1,20	1	2,28	0,700											
	1,20	1	2,28	0,700											
	3,70	2	6,93	0,700											
	31,00	3	61,26	0,350	1,00	9,00	130,97	572,11	84,26	1,00	521,24	525,09	A1/9	93,68	OK

Committente: Energia Levante srl.

Progettista: Studio Mattace ingegneria

Pagina 60 di 71

PORTANZA PALI IN CONDIZIONI NON DRENATE															
PORTANZA PALI IN CONDIZIONI NON DRENATE															
Plint N.ro	Quota m	Strat Nro	SgmTot t/mq	AlfaC	Coeff. Nq	Coeff. Nc	QultPun (t)	QultLat (t)	Peso (t)	EfPal	QlimCmp (t)	QlimTrz (t)	Comb.	QPalo (t)	Status Verif.
22	1,20	1	2,28	0,700											
	1,20	1	2,28	0,700											
	3,70	2	6,93	0,700											
	31,00	3	61,26	0,350	1,00	9,00	130,97	572,11	84,26	1,00	521,24	525,09	A1/9	49,73	OK
23	1,20	1	2,28	0,700											
	1,20	1	2,28	0,700											
	3,70	2	6,93	0,700											
	31,00	3	61,26	0,350	1,00	9,00	130,97	572,11	84,26	1,00	521,24	525,09	A1/7	15,30	OK
24	1,20	1	2,28	0,700											
	1,20	1	2,28	0,700											
	3,70	2	6,93	0,700											
	31,00	3	61,26	0,350	1,00	9,00	130,97	572,11	84,26	1,00	521,24	525,09	A1/7	-7,72	OK

Tab.47-Portanza condizioni non drenate

## 2) SPECIFICHE CAMPI TABULATI DI CALCOLO PALI CARICO ORTOGONALE:

Si riporta di seguito la spiegazione delle sigle usate sia nella tabella di stampa della verifica della portanza dei pali al carico ortogonale:

**Filo N.** : *Filo fisso di riferimento.*

**Int.** : *Interasse minimo tra i pali (per alcune tipologie può risultare inferiore al valore assegnato come input).*

**Cmbort** : *Combinazione di carico più gravosa per la verifica alla portanza per carico ortogonale. La mancanza di questo dato e di quelli seguenti indica che non si è eseguito questo tipo di verifica.*

**Q** : *Carico ortogonale massimo.*

**CoeffGrupp** : *Coefficiente di riduzione della portata ortogonale per pali disposti in gruppo.*

**Qlim** : *Carico ortogonale limite, pari al carico ortogonale massimo moltiplicato per il coefficiente di gruppo.*

**Qeser** : *Carico ortogonale di esercizio agente in testa al palo più sollecitato del plinto.*

**CoeffSicur** : *Coefficiente di sicurezza per la portanza ortogonale del palo, pari al rapporto tra il carico limite e il carico ortogonale di esercizio.*

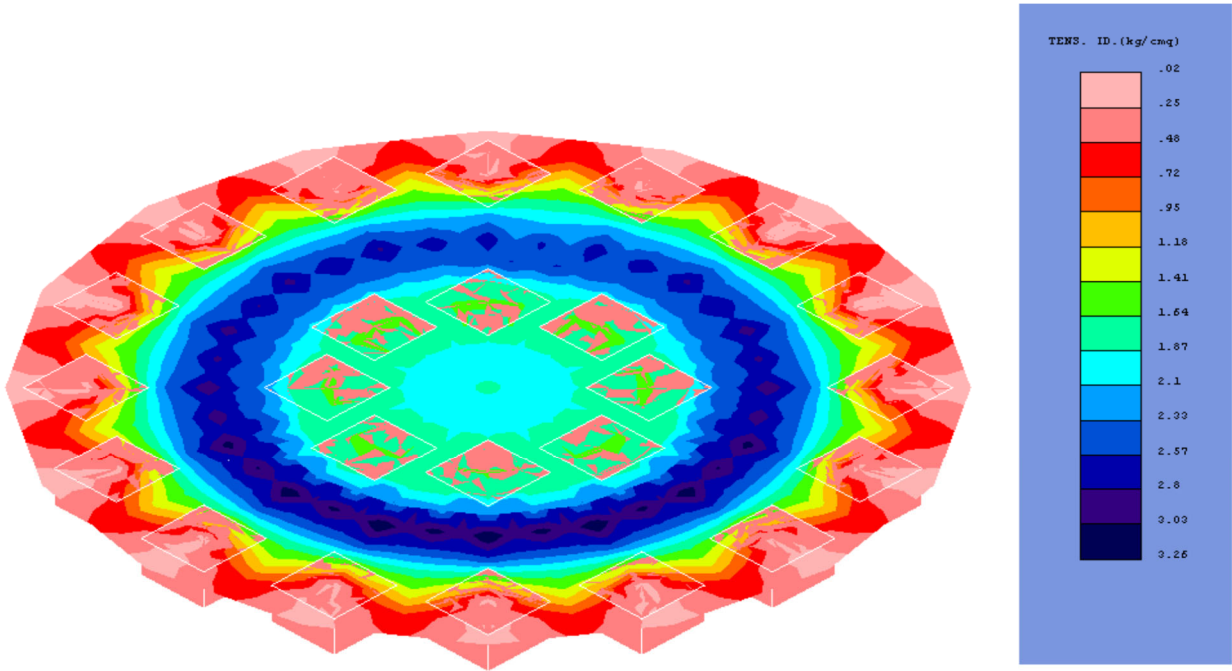
**Verifica** : *Indicazione soddisfacimento delle verifiche di portanza.*

PORTANZA PALI A CARICO ORTOGONALE																	
PORTANZA PALI A CARICO ORTOGONALE									PORTANZA PALI A CARICO ORTOGONALE								
Filo N.	Int. cm	Comb.	Q t	Coeff Grupp	Qlim t	Qeser. t	Coeff Sicur	Verifica	Filo N.	Int. cm	Comb.	Q t	Coeff Grupp	Qlim t	Qeser. t	Coeff Sicur	Verifica
66		A1/1	4717,062	1,00	3628,51	0,00	999,90	OK	68		A1/1	4717,063	1,00	3628,51	0,00	999,90	OK
70		A1/1	4717,063	1,00	3628,51	0,00	999,90	OK	72		A1/1	4717,063	1,00	3628,51	0,00	999,90	OK
74		A1/1	4717,063	1,00	3628,51	0,00	999,90	OK	76		A1/1	4717,063	1,00	3628,51	0,00	999,90	OK
78		A1/1	4717,063	1,00	3628,51	0,00	999,90	OK	80		A1/1	4717,063	1,00	3628,51	0,00	999,90	OK
162		A1/1	4717,063	1,00	3628,51	0,00	999,90	OK	163		A1/1	4717,063	1,00	3628,51	0,00	999,90	OK
164		A1/1	4717,063	1,00	3628,51	0,00	999,90	OK	165		A1/1	4717,063	1,00	3628,51	0,00	999,90	OK
166		A1/1	4717,063	1,00	3628,51	0,00	999,90	OK	167		A1/1	4717,063	1,00	3628,51	0,00	999,90	OK
168		A1/1	4717,063	1,00	3628,51	0,00	999,90	OK	169		A1/1	4717,063	1,00	3628,51	0,00	999,90	OK
170		A1/1	4717,063	1,00	3628,51	0,00	999,90	OK	171		A1/1	4717,063	1,00	3628,51	0,00	999,90	OK
172		A1/1	4717,063	1,00	3628,51	0,00	999,90	OK	173		A1/1	4717,063	1,00	3628,51	0,00	999,90	OK
174		A1/1	4717,063	1,00	3628,51	0,00	999,90	OK	175		A1/1	4717,063	1,00	3628,51	0,00	999,90	OK
176		A1/1	4717,063	1,00	3628,51	0,00	999,90	OK	177		A1/1	4717,063	1,00	3628,51	0,00	999,90	OK

Tab.48-Portanza a carico ortogonale

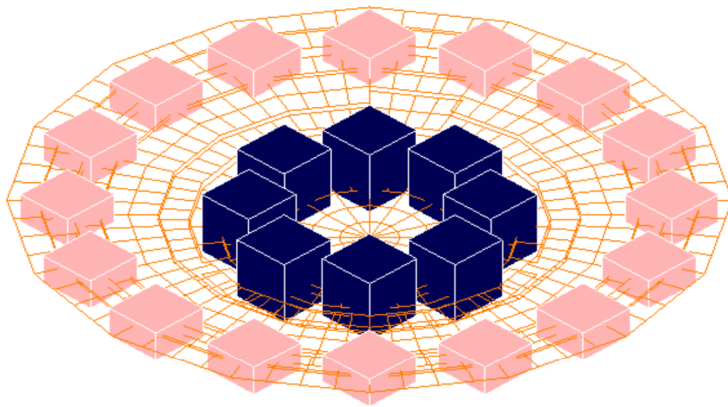
## 15.3 RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DEI RISULTATI NUMERICI

### RAPPRESENTAZIONI GRAFICHE OUTPUT STRUTTURA

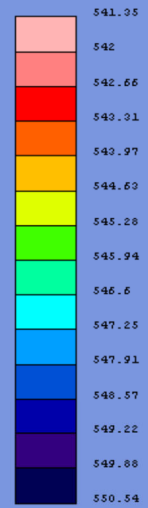


TENSIONE IDEALE PIASTRA DI FONDAZIONE

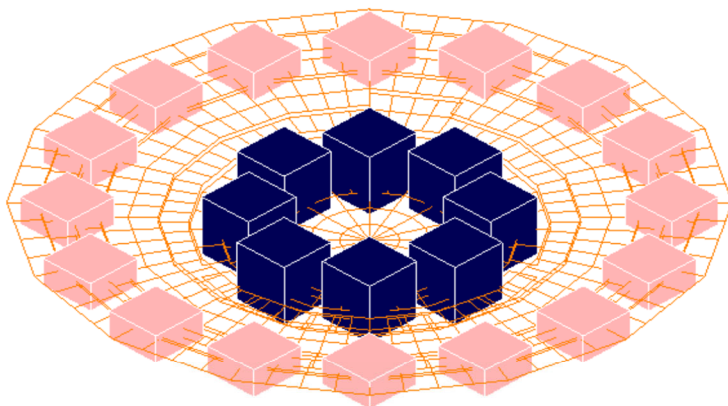
## RAPPRESENTAZIONI GRAFICHE OUTPUT STRUTTURA



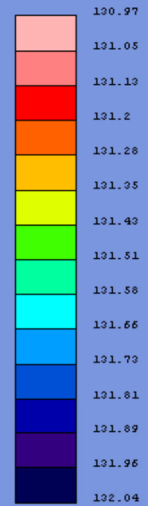
CAR.LIMITE DI PUNTA(σ)  
Condis. drenate



CAR.LIMITE DI PUNTA CONDIZ. DRENATE

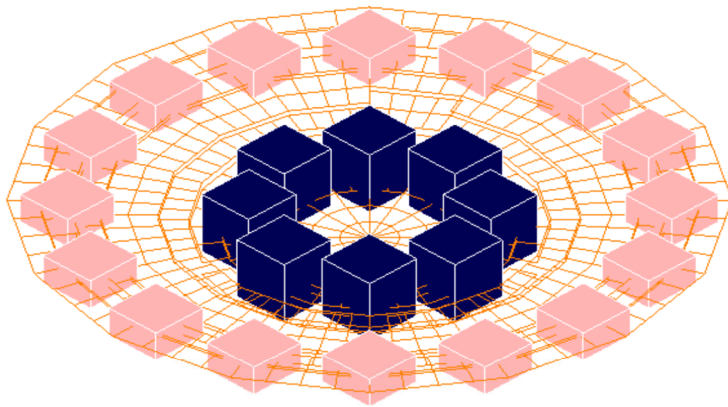


CAR.LIMITE DI PUNTA(σ)  
Condis. non drenate

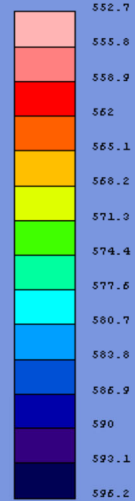


CAR.LIMITE DI PUNTA CONDIZ. NON DRENATE

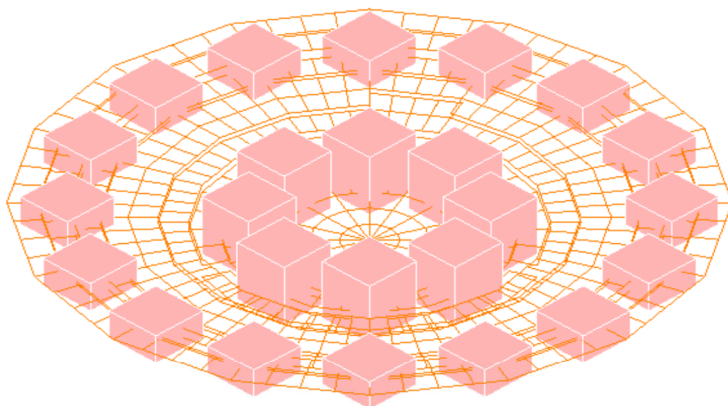
## RAPPRESENTAZIONI GRAFICHE OUTPUT STRUTTURA



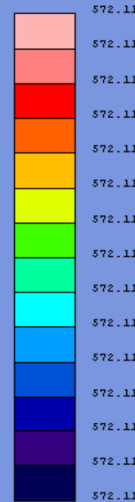
CAR.LIMITE LATERALE(°)  
Condiz. drenate



CAR.LIMITE LATERALE CONDIZ. DRENATE



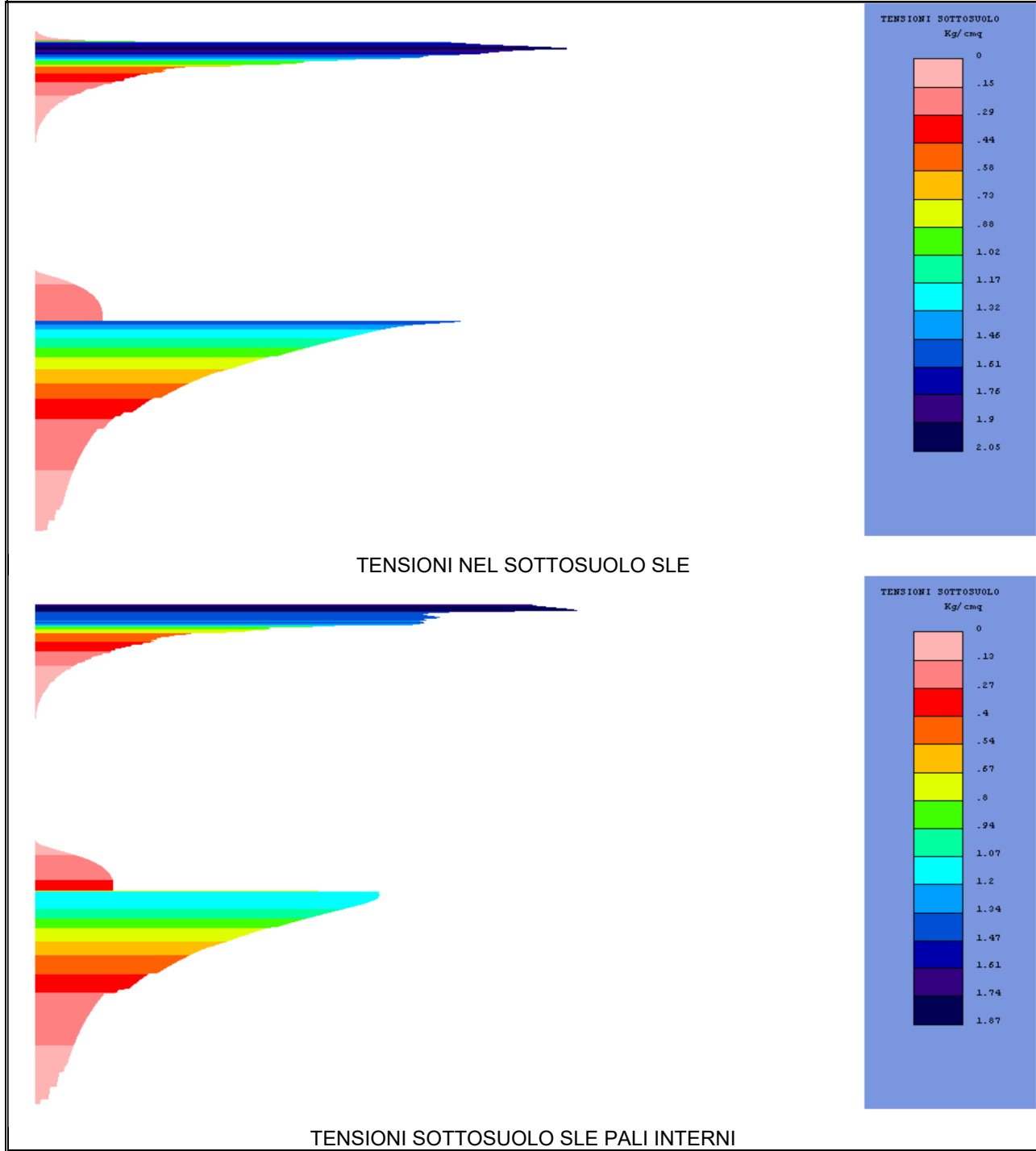
CAR.LIMITE LATERALE(°)  
Condiz. non drenate



CAR.LIMITE LATERALE CONDIZ. NON DRENATE



## RAPPRESENTAZIONI GRAFICHE OUTPUT STRUTTURA



## 16 DIMENSIONAMENTO FONDAZIONE DELLA CABINA DI RACCOLTA E CONTROL ROOM.

La Cabina di Raccolta e la Control room sono state collocate all'interno di una recinzione a pianta quadrata di dimensioni 15X15 metri.

La Cabina di Raccolta ha dimensioni 8,08X2,38 metri mentre la Control room ha dimensioni 6,08X2,38 metri come si evince dalla Tavola ELT05 che è parte integrante del presente elaborato, entrambe le strutture sono prefabbricate in c.a.v..

In questa fase verrà dimensionate le platee di fondazione degli edifici descritti al capoverso precedente; mentre i calcoli relativi alle strutture in elevazioni saranno sottoposti ad approvazione in occasione della presentazione del progetto esecutivo.

La platee di fondazione di altezza complessiva pari ad un metro saranno poggiate sotto la coltre di terreno vegetale che come si evince dalla Relazione Geologica ha uno spessore di 70cm, mentre l'estradosso sarà posto in alto rispetto al piano campagna di 30 cm.

### 16.1 CABINA DI RACCOLTA

Per il calcolo della portanza della platea si procede propedeuticamente alla definizione dei pesi agenti sulla struttura

Peso proprio Cabina di Raccolta	
Peso specifico pannelli perimetrali in c.a.v	2500kg/m <sup>3</sup>
Superficie locale Cabina di Raccolta	S=8,08*2,38=19,23m <sup>2</sup>
Peso pannello H=3,05m; L1=8,08m;s=0,15m	P1=2500*3,05*8,08*0,15=9241,50kg
Peso pannello H=3,05m; L2=2,38m;s=0,15m	P1=2500*3,05*2,38*0,15=2722,12kg
Peso solaio inferiore L1=8,08m;L2=2,308;s=0,15	P1=2500*8,08*2,38*0,15=7211,40kg
Peso proprio Totale struttura	PT=9241,5*2+2722,12*2+7211,4*2=38350,05kg

Tab.49-Peso proprio Cabina di Raccolta

Peso permanente ed accidentale Cabina di Raccolta	
Carico permanente mobili e strumenti interni	Pperm=100kg/m <sup>2</sup>
Carico accidentale folla	Pfolla=200kg/m <sup>2</sup>
Carico accidentale neve	Pneve=60kg/m <sup>2</sup>

Tab.50

Determinazione dell'Azione Sismica SLV(si veda capitolo 11)	
$S(T)=ag*S*F0*(Tc/T)/q$	0,864/q
Periodo proprio approssimato della struttura (7.3.3.2.NTC2018)	$T=C1*H^{3/4}=0,075*3,05^{3/4}=0,17s$
Fattore di struttura q=1,1*3	q=3,3
$S(0,17)=0,617/3,3$	$S(0,17)=0,261g$
Fsismica agente sul solaio superiore Fsis: Fsis=0,187*(PT+Pperm*S+Pfolla*S)	Fsis=0,261*(38350,05+100*19,23+200*19,23) Fsis=11515,07kg

Tab.51

- **Azioni agenti sulla platea di Fondazione**

<b>Determinazione dell'Azione Sismica SLV(si veda capitolo 11)</b>	
<b>Azione assiale</b> $N=(38350,05+100*19,23)*1,3+200*19,23*1,5$	<b>N=58123,97kg</b>
<b>Azione Tagliante T=Fs</b>	<b>T=11515,07kg</b>
<b>Momento flettente M=11515,07*3,05</b>	<b>M=35121,00kg*m</b>

Tab.52

### 16.1.1 COLLASSO PER CARICO LIMITE DELL'INSIEME FONDAZIONE TERRENO

- Calcolo in condizioni drenate per terreno a grana grossa.

Lo sforzo massimo agente sulla fondazione è pari a:

$$q_{max} = N/S + 6 * M / L^2 * L_1^2 = 58123,97 / (19,23) + 6 * 35121 (2,38 * 8,08^2) = 0,44 \text{ kg/cm}^2$$

Applicando la formula di Terzaghi si determina il valore del carico limite (si trascura, a favore di sicurezza, il peso del terreno attorno al plinto) per lo strato di calcareniti su cui sarà poggiata la platea:

$$N_y = 30 \text{ per angolo d'attrito } \phi = 32^\circ$$

$N_c = 0$  per coesione posta cautelativamente pari  $c = 0$  per lo strato di sabbie arenacee

$$y = 1860 \text{ kg/m}^3 \quad \text{peso specifico sabbie arenacee}$$

$$q_{LIM} = 1/2 * L_2 * y * N_y = 0,5 * 8,08 * 1860 * 30 = 22,54 \text{ kg/cm}^2$$

**$F_s = 22,54 / 0,44 > 2,3$  ( $\gamma_R$ ) VERIFICATA**

### 16.2 CONTROL ROOM

Per il calcolo della portanza del plinto si procede propedeuticamente alla definizione dei pesi agenti sulla struttura

<b>Peso proprio Control Room</b>	
Peso specifico pannelli perimentrali in c.a.v	2500kg/m <sup>3</sup>
Superficie locale Control Room	S=6,08*2,38=14,47m <sup>2</sup>
Peso pannello H=3,05m; L1=6,08m;s=0,15m	P1=2500*3,05*6,08*0,15=6954,0kg
Peso pannello H=3,05m; L2=2,38m;s=0,15m	P1=2500*3,05*2,38*0,15=2722,12kg
Peso solaio inferiore L1=6,08m;L2=2,308m;s=0,15m	P1=2500*6,08*2,38*0,15=5426,40kg
Peso proprio Totale struttura	PT=6954*2+2722,12*2+5426,4*2=30205,05kg

Tab.53-Peso proprio Control room

Peso permanente ed accidentale Cabina di Raccolta	
Carico permanente mobili e strumenti interni	Pperm=100kg/m <sup>2</sup>
Carico accidentale folla	Pfolla=200kg/m <sup>2</sup>
Carico accidentale neve	Pneve=60kg/m <sup>2</sup>

Tab.54

Determinazione dell'Azione Sismica SLV(si veda capitolo 11)	
$S(T)=ag*S*F0*(Tc/T)/q$	0,864/q
Periodo proprio approssimato della struttura (7.3.3.2.NTC2018)	$T=C1*H^{3/4}=0,075*3,05^{3/4}=0,17s$
Fattore di struttura $q=1,1*3$	$q=3,3$
$S(0,17)=0,617/3,3$	$S(0,17)=0,261g$
F sismica agente sul solaio superiore Fsis: Fsis=0,187*(PT+Pperm*S+Pfolla*S)	Fsis=0,261*(30205,05+100*14,47+200*14,47) Fsis=9016,51kg

Tab.55

- Azioni agenti sulla platea di Fondazione

Determinazione dell'Azione Sismica SLV(si veda capitolo 11)	
Azione assiale $N=(30205,05+100*14,47)*1,3+200*14,47*1,5$	N=45488,67kg
Azione Tagliante T=Fsis	T=9016,51kg
Momento flettente $M=9016,51*3,05$	M=27500,38kg*m

Tab.56

## 16.2.1 COLLASSO PER CARICO LIMITE DELL'INSIEME FONDAZIONE TERRENO

- Calcolo in condizioni drenate per terreno a grana grossa.

Lo sforzo massimo agente sulla fondazione è pari a:

$$q_{max}=N/S+6*M/L2*L1^2=45488,67/(14,47)+6*27500,38/2,38*6,08^2=0,50kg/cm^2$$

Applicando la formula di Terzaghi si determina il valore del carico limite (si trascura, a favore di sicurezza, il peso del terreno attorno al plinto) per lo strato di calcareniti su cui sarà poggiata la platea:

$$Ny=30 \text{ per angolo d'attrito } \phi=32^\circ$$

$$Nc=0 \text{ per coesione posta cautelativamente pari } c=0 \text{ per lo strato di calcareniti.}$$

$$y=1860kg/m^3 \quad \text{peso specifico calcareniti}$$

$$qLIM = 1/2*L2*y*Ny=0,5*6,08*1860*30=16,96kg/cm^2$$

$$Fs=16,96/0,50 > 2,3\gamma R \text{ VERIFICATA}$$

## 17 PORTANZA FONDAZIONE DELLA STAZIONE ELETTRICA DI TRASFORMAZIONE LATO UTENTE

La stazione elettrica lato utente è costituita da:

- 1) Un prefabbricato 20,80 x 4,60 m ed altezza massima fuori terra di circa 2,60 m, e sarà destinato a contenere i quadri di comando e controllo della stazione.
- 2) Una platea di fondazione su cui saranno imbullonati tramite piastre in acciaio le apparecchiature elettromeccaniche.

- Verifica platea fabbricato. Si assume una fondazione di altezza H=60cm

Peso proprio Stazione elettrica	
Peso specifico pannelli perimetrali in c.a.v	2500kg/m <sup>3</sup>
Superficie locale Cabina di Raccolta	S=20,80*4,60=95,68m <sup>2</sup>
Peso pannello H=2,60m; L1=20,80m;s=0,15m	P1=2500*2,60*20,80*0,15=20280,00kg
Peso pannello H=2,60m; L2=4,60m;s=0,15m	P1=2500*2,60*4,60*0,15=4485,00kg
Peso solaio inferiore L1=20,80m;L2=4,60;s=0,15	P1=2500*20,80*4,60*0,15=35880,00kg
Peso proprio Totale struttura	PT==121290,00kg

Tab.57-Peso proprio Locale Tecnico stazione elettrica

Peso permanente ed accidentale Stazione elettrica	
Carico permanente mobili e strumenti interni	Pperm=100kg/m <sup>2</sup>
Carico accidentale folla	Pfolla=200kg/m <sup>2</sup>
Carico accidentale neve	Pneve=60kg/m <sup>2</sup>

Tab.58

Determinazione dell'Azione Sismica SLV(si veda capitolo 11)	
$S(T)=ag*S*F0*(Tc/T)/q$	0,641/q
Periodo proprio approssimato della struttura (7.3.3.2.NTC2018)	$T=C1*H^{3/4}=0,075*3,40^{3/4}=0,187s$
Fattore di struttura q=1,1*3	q=3,3
$S(0,187)=0,641/3,3$	$S(0,187)=0,194g$
Fsismica agente sul solaio superiore Fsis: $Fsis=0,187*(PT+Pperm*S+Pfolla*S)$	$Fsis=0,194*(121290+100*95,68+200*95,68)$ $Fsis=29098,84kg$

Tab.59

- Azioni agenti sulla platea di Fondazione

Determinazione dell'Azione Sismica SLV (si veda capitolo 11)	
Azione assiale $N=(121290+100*95,68)*1,3+200*95,68*1,5$	N=198819,40kg
Azione Tagliante T=Fsis	T=29098,84kg
Momento flettente M=29098,84*2,90	M=75656,97kg*m

Tab.60

## 17.1 COLLASSO PER CARICO LIMITE DELL'INSIEME FONDAZIONE TERRENO

- Calcolo in condizioni drenate per terreno a grana grossa.

Lo sforzo massimo agente sulla fondazione è pari a:

$$q_{max} = N/S + 6 * M / L^2 * L^1 = 198819,40 / (95,68) + 6 * 75656,97 / (4,60 * 20,80^2) = 0,23 \text{ kg/cm}^2$$

Applicando la formula di Terzaghi si determina il valore del carico limite (si trascura, a favore di sicurezza, il peso del terreno attorno al plinto) per lo strato di arenarie su cui sarà poggiata la platea:

$$N_y = 25 \text{ per angolo d'attrito } \phi = 32^\circ$$

$N_c = 0$  per coesione posta cautelativamente pari  $c = 0$  per lo strato di arenarie

$$\gamma = 1860 \text{ kg/m}^3 \quad \text{peso specifico arenarie}$$

$$q_{LIM} = 1/2 * L^2 * \gamma * N_y = 0,5 * 20,80 * 1860 * 25 = 48,36 \text{ kg/cm}^2$$

**Fs = 48,36 / 0,23 > 2,3 ( $\gamma_R$ ) VERIFICATA**

## 17.2 VERIFICA PORTANZA PLATEA DI FONDAZIONE APPARECCHIATURE ELETTROMECCANICHE

- Verifica platea fabbricato. Si assume una fondazione di altezza H=50cm

Peso proprio apparecchiature elettromeccaniche	
Trasformatore 150/30kV	61400kg
Scaricatori di sovratensione	50kg cadauno
Interruttore tripolare	1900kg incluso il sostegno
TV induttivo	610kg
Sezionatore tripolare	120kg per le tre linee
Colonnino partenza cavi	50kg

Tab.61-Peso proprio apparecchiature elettromeccaniche

La tabella n.61 evidenzia che i pesi delle opere elettromeccaniche sono molto esigui.

Fa' eccezione il trasformatore il cui peso è distribuito su quattro pilastri in acciaio imbullonati alla platea di fondazione.

La superficie di platea di influenza del trasformatore è pari a  $S = 13,85 * 7,2 = 99,72 \text{ mq}$

Pertanto lo sforzo sul terreno è pari a  $q = 61400 / 99,72 = 0,61 \text{ kg/cm}^2$  che è un valore ampiamente sostenibile dall'interazione fondazione terreno per questo tipo di arenarie.

## **18 INFORMAZIONI GENERALI SULL'ELABORAZIONE E GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI**

L'elaborato è stato strutturato, nella esposizione dei contenuti, in modo da rispondere a quanto prescritto dalla normativa vigente (D.M.14/01/2008 ed NTC2018), riportando nello specifico i punti di seguito riassunti.

- descrizione dell'opera;
- individuazione vita nominale dell'opera progettata;
- stati limite adottati;
- tipo di analisi strutturale condotta e motivazioni (lineare, non lineare, statica, dinamica);
- origine e caratteristiche dei codici di calcolo utilizzati.

I modelli di calcolo adottati sono da ritenersi appropriati in quanto non sono state riscontrate labilità e le reazioni vincolari equilibrano i carichi applicati.

Nel caso della verifica della fondazione su pali, le sollecitazioni fornite dal solutore, per le combinazioni di carico indicate nel tabulato di verifica del CDSWin, sono state validate effettuando gli equilibri alla rotazione e traslazione delle dette travi, secondo quanto meglio descritto nel calcolo semplificato, allegato alla presente relazione.

Si sono infine eseguite inoltre le verifiche di tali elementi strutturali con metodologie semplificate e, confrontandole con le analoghe verifiche prodotte in automatico dal programma, si è così potuto riscontrare la congruenza di tali risultati con i valori riportati dal software.

Si è inoltre verificato che tutte le funzioni di controllo ed autodiagnostica del software abbiano dato tutte esito positivo.

Da quanto sopra esposto si può quindi affermare che il calcolo è andato a buon fine e che il modello di calcolo utilizzato è' risultato essere rappresentativo della realtà fisica, anche in funzione delle modalità e sequenze costruttive.