

Progettazione:

SC **Studio di Ingegneria**
Michele R.G. Curtotti

STUDIO DI INGEGNERIA ING. MICHELE R.G. CURTOTTI
Viale II Giugno, 385 - 71016 San Severo (FG)
Ing.curtotti@pec.it - studlocurtotti@gmail.it

Proponente:

INNOGY ITALIA S.p.A.

Via Francesco Restelli 31/1 - 20124 Milano

c.f e P.Iva 02590640211 - PEC innogy_italia@legalmail.it



PARCO EOLICO SAN SEVERO COMUNE DI SAN SEVERO

Autorizzazione Unica ai sensi della legge 387/03
del parco eolico nel comune di San Severo (FG)

COMMITTENTE: INNOGY ITALIA S.p.A.

Comune di San Severo (FG)

TAVOLA

R06

CALCOLO PRELIMINARE STRUTTURE C.A.O.

PROGETTO DEFINITIVO

DATA : Ottobre 2018

AGGIORN. : _____

SCALA : _____

DIMENS. : A4

N° FOGLI : _____

COMMITTENTE:
INNOGY ITALIA S.p.A.



PROGETTAZIONE:
ing. Michele R.G. Curtotti



Questo elaborato è di proprietà dei progettisti ed è protetto a termini di legge

COMUNE DI SAN SEVERO
(Prov. di Foggia)

RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO

**Torre eolica da 145.00 mt
a sostegno di aerogeneratore 4500 kW
a 3 pale con diametro di 149 mt**

**"Parco Eolico SAN SEVERO"
- Località Centoquaranta e Mezzanone -**

CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.

Indice

Indice	2
Premessa	3
Descrizione delle opere	4
Dati di progetto	5
Normativa di riferimento:	5
Metodologie di calcolo	7
Sistema di riferimento	7
Convenzioni	8
Materiali utilizzati	8
Caratteristiche geotecniche del terreno di fondazione	9
Azioni di progetto	12
Carichi permanenti	13
Carichi variabili	18
Azione del vento	18
Azione sismica	27
Verifiche strutturali	30
Resistenze di calcolo	30
Verifiche strutturali sul plinto di fondazione	30
Combinazione delle azioni	31
Calcolo azioni sui pali	31
Verifiche agli SLU	34
Verifiche agli SLE	36
Verifiche sui Pali	37
Calcolo Portata del singolo Palo	37
Stima dei cedimenti	38
Conclusioni	41

RELAZIONE DI CALCOLO

Premessa

In quanto segue si riportano i calcoli di verifica della torre a sostegno di un aerogeneratore eolico da 4500 kW, di altezza al mozzo pari a 145.00 mt, diametro del rotore di 149 mt, su fondazione isolata a plinto circolare.

Sarà verificata di seguito la struttura metallica della torre ed il plinto di fondazione.

Descrizione delle opere

In via preliminare, per gli aerogeneratori di che trattasi sono da distinguere le seguenti parti costitutive

1. Pali di fondazione (n° 16) di diametro $\phi = 1,20$ m, L = 30,00 m;
2. Plinto a base circolare (D=25,20 mt.) con funzione di piastra di collegamento dei pali di fondazione;
3. Virola di fondazione, ovvero un anello metallico di diametro esterno di 4,30 mt. costituente il collegamento fra il plinto di fondazione e la torre, immorsata in un cilindro di cls (D=13.65 mt.) gettato in opera con il plinto di fondazione;
4. Torre: torre metallica costituita da 6 parti da assemblare in opera di lunghezza complessiva pari a 142,000 m, tronco conica. Navicella: guscio metallico per l'alloggio delle apparecchiature meccaniche ed elettriche di produzione;
5. Rotore: a tre pale del diametro di 149,000 mt.

Dati di progetto

Normativa di riferimento:

1. Legge n. 1086 del 5/11/1971 *"Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica"*.
2. Legge n. 64 del 02/02/1974 *"Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche"*.
3. D. M. Infrastrutture Trasporti 14 gennaio 2008 *"Norme tecniche per le Costruzioni"*.
4. Circolare 2 febbraio 2009 n. 617 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti *"Istruzioni per l'applicazione delle 'Norme Tecniche delle Costruzioni' di cui al D.M. 14 gennaio 2008"*.
5. D.M. 17/01/2018 *"Aggiornamento Norme tecniche per le costruzioni"*.

NORME INTERNAZIONALI

1. IEC 61400-1, 2° edition, February 1999, Wind turbine generator system – Part1: Safety requirements UNI 9858 *"Concrete. Performance, production, placing and compliance criteria"*.
2. UNI ENV 1992-1-1 del 31-01-1993 Eurocodice 2. Progettazione delle strutture di calcestruzzo.
3. UNI EN 1992-1-1:2005 Parte 1-1: *"Regole generali per gli edifici"*.

CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.

Per quanto non specificatamente previsto dalla normativa nazionale vigente in tema di sistemi eolici, per azioni, coefficienti di sicurezza parziali sulle azioni, combinazioni di carico e verifiche da considerarsi per le opere di fondazione si fa riferimento a quanto indicato in:

6. DIBt: *"Richtlinie für Windenergieanlagen. Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründungen"*.

Metodologie di calcolo

Le sollecitazioni sono state ottenute con lo schema di vincolo di mensola incastrata al suolo soggetta a carichi variabili lungo l'altezza.

Le verifiche saranno condotte con il metodo degli Stati Limite così come formalizzato nel D.M. 17.01.2018, capitolo 6.4 "Opere di Fondazione".

Sistema di riferimento

Il sistema di riferimento utilizzato nelle calcolazioni che seguono è quello in figura 1. Con origine alla quota della sommità del colletto in calcestruzzo del plinto di fondazione.

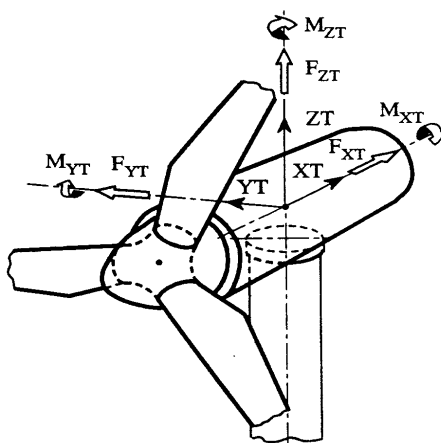


Fig.1 – Assi di riferimento

Convenzioni

Le forze ed i momenti si considerano positivi se i relativi vettori rappresentativi sono concordi con gli assi di riferimento di cui al punto precedente.

Materiali utilizzati

Acciaio per virole:	Fe510	$f_{yt} = 510 \text{ MPa}$
Acciaio per flange:	Fe510	$f_{yt} = 510 \text{ MPa}$
	Fe510	$f_{yt} = 510 \text{ MPa}$
Bulloni:	Classe 10.9	$f_{yt} = 1000 \text{ MPa}$
		$f_{yt} = 900 \text{ MPa}$
Calcestruzzo colpetto di fondazione	C45/55	
		$f_{ck} = 45 \text{ MPa}$
Calcestruzzo suola di fondazione	C45/55	
		$f_{ck} = 45 \text{ MPa}$
Acciaio per armature	Fe B550B	
		$f_{yk} \geq 500 \text{ MPa}$

Caratteristiche geotecniche del terreno di fondazione

Con riferimento ai terreni rilevati in sito (rif. "Relazione Geologica" e "Relazione Geotecnica" redatte dalla D.ssa De Salvia allegate), il carico limite sui vari terreni di fondazione caratterizzanti i siti di che trattasi è stato calcolato come segue.

Il carico limite sul terreno in oggetto è stato desunto adottando la trattazione del Terzaghi della pressione limite, dalla quale si può desumere il carico limite mediante lo studio delle caratteristiche del terreno presente in sito. Il calcolo del suddetto carico limite q_{lim} è condotto nella tabella allegata A relativa al terreno di fondazione di tutti gli aerogeneratori in progetto (chiaramente si farà riferimento al caso più sfavorevole) con il seguente significato dei simboli:

$$q_{lim} = N_c \times c \times \zeta_c + N_q \times \gamma \times D \times \zeta_q + N_\gamma \times \gamma \times \frac{B}{2} \times \zeta_\gamma$$

dove:

c	Coeff. di coesione (MPa)
γ	Peso specifico del terreno (kN/m ³)
D	Diametro della fondazione (m)
P	Profondità minima di scavo (m)
N_c, N_q, N_{γ}	Fattori di capacità portante, funzioni dell'angolo di resistenza al taglio e della forma della superficie di rottura considerata. Vengono desunti da tabelle note in letteratura, quali la tabella 1 che segue.
$\zeta_c, \zeta_q, \zeta_\gamma$	Coefficienti di forma della fondazione.

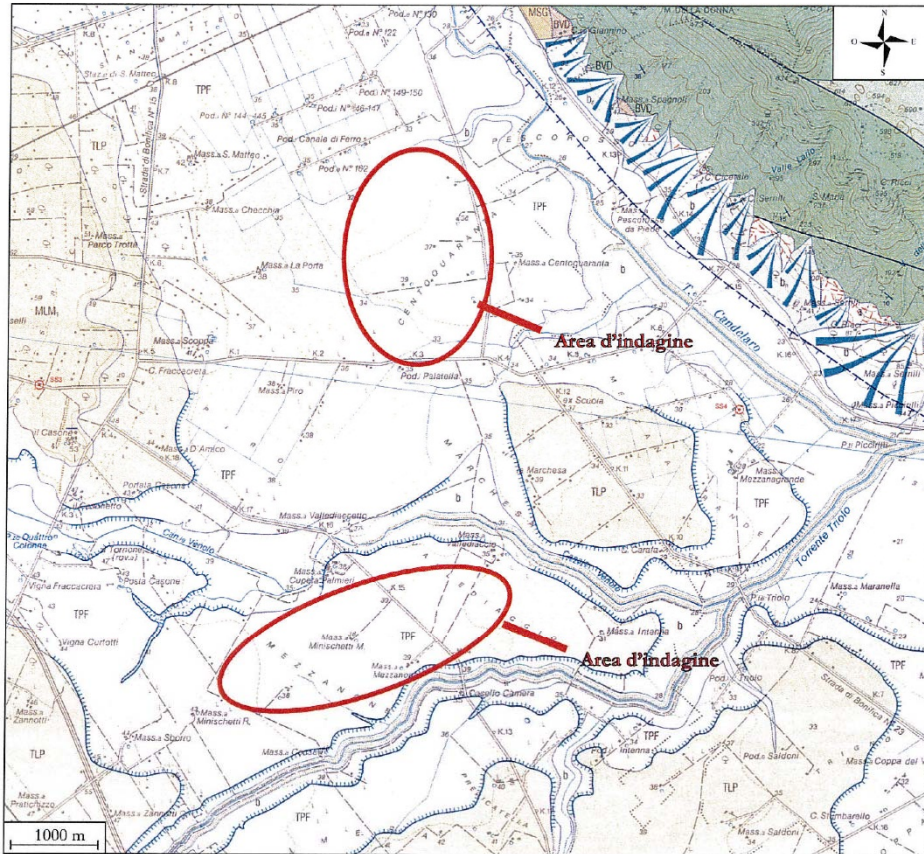
Tabella A

c =	1.35kg/cm ²	N_c =	25,80334297	ζ_c =	1,57
\varnothing =	28°	N_q =	14,71988	ζ_q =	1,53
γ =	2.02 gr/cm ³	N_{γ} =	14,58998007	ζ_γ =	0.60
D =	25,20 m	(*)			
P =	1.20 m				
tg \varnothing =	0,53	q_{lim}.(kN/m²)		9113.59	

CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.

Figura 1 –Stralcio della Carta Geologica d'Italia

STRALCIO DELLA CARTA GEOLITOLOGICA UFFICIALE 1:50.000



SUPERSISTEMA DEL TAVOLIERE DI PUGLIA (TP)

SISTEMA DI MASSERIA FINAMONDO

Argille grigie e nerastre. E' costituito, dal basso verso l'alto, da: - sabbie ben selezionate a laminazione piano parallela ed incrociata a basso angolo (2 m); - alternanze ghiaio-sabbiose (circa 2 m di spessore); - argille brune ben laminare con abbondante contenuto in terra rossa (circa 8 m di spessore); - argille brune (13 m) con livelli sabbiosi e siltosi presenza di materia organica; - argille nerastre cementatissime e silt con abbondanti concrezioni calcaree di origine diagenetica. Dal punto di vista paleoambientale, la base (primi 2 m) è ascrivibile ad ambienti marini di transizione (tipo baia). In erosione, si rinvergono sabbie e ghiaie di ambiente alluvionale che passano via via verso l'alto prima ad argille nerastre di patùcie con abbondante contenuto in materia organica ed infine ad argille e silt di ambiente alluvionale (probabilmente connessi ad aree marginali di esondazione). In erosione sul sistema di Motta del Lupo, sui sistemi e sui depositi più antichi (formazione di Masseria Belvedere e probabilmente argille subappennine). Spessore di circa 27 m.

PLEISTOCENE SUPERIORE

SISTEMA DI MOTTA DEL LUPO

Alternanze di silt brunastri ed argille verdastre. E' costituito, dal basso verso l'alto da: - argille e silt di colore verdastro a laminazione piano-parallela (8 m); - argille brune e verdi con rare lamine siltose (circa 22 m di spessore). E' interpretabile come un deposito di piana alluvionale; nella porzione inferiore dominano argille, sabbie e subordinatamente ghiaie di ambiente alluvionale e con condizioni idrodinamiche anche di moderata energia; verso l'alto si rinvergono argille brune e verdi di ambiente alluvionale associati ad aree marginali di esondazione o paludose con acqua stagnante. In discordanza sui e seguenti unità: Calcari di Monte Acuto, formazione di Masseria Belvedere, Calcarenite di Gravina, sistema di Cava Petrelli, sistema di Vigna Bocca, sistema di Masseria la Motticcia e sistema di Foggia. Spessore di circa 30 m.

PLEISTOCENE SUPERIORE



TPF



TLP

CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.

FONDAZIONI

TAB. 4.II. — COEFFICIENTI DI CARICO LIMITE.

φ	N_c	N_q	N_γ	$N_{q1}N_c$	$\text{tg } \varphi$
0	5,14	1,00	0,00	0,20	0,00
1	5,38	1,09	0,07	0,20	0,02
2	5,63	1,20	0,15	0,21	0,03
3	5,90	1,31	0,24	0,22	0,05
4	6,19	1,43	0,34	0,23	0,07
5	6,49	1,57	0,45	0,24	0,09
6	6,81	1,72	0,57	0,25	0,11
7	7,16	1,88	0,71	0,26	0,13
8	7,53	2,06	0,86	0,27	0,14
9	7,92	2,25	1,03	0,28	0,16
10	8,35	2,47	1,23	0,30	0,18
11	8,80	2,71	1,44	0,31	0,19
12	9,28	2,97	1,69	0,32	0,21
13	9,81	3,26	1,97	0,33	0,23
14	10,37	3,59	2,29	0,35	0,25
15	10,98	3,94	2,65	0,36	0,27
16	11,63	4,34	3,06	0,37	0,29
17	12,34	4,77	3,53	0,39	0,31
18	13,10	5,26	4,07	0,40	0,32
19	13,93	5,80	4,68	0,42	0,34
20	14,83	6,40	5,39	0,43	0,36
21	15,82	7,07	6,20	0,45	0,38
22	16,88	7,82	7,13	0,46	0,40
23	18,05	8,66	8,20	0,48	0,42
24	19,32	9,60	9,44	0,50	0,45
25	20,72	10,66	10,88	0,51	0,47
26	22,25	11,85	12,54	0,53	0,49
27	23,94	13,20	14,47	0,55	0,51
28	25,80	14,72	16,73	0,57	0,53
29	27,85	16,44	19,34	0,59	0,55
30	30,14	18,40	22,40	0,61	0,58
31	32,67	20,63	25,99	0,63	0,60
32	35,49	23,18	30,22	0,65	0,62
33	38,64	26,09	35,19	0,68	0,65
34	42,16	29,44	41,06	0,70	0,67
35	46,12	33,30	48,03	0,72	0,70
36	50,59	37,75	56,31	0,75	0,73
37	55,63	42,92	66,19	0,77	0,75
38	61,35	48,93	78,03	0,80	0,78
39	67,87	55,96	92,25	0,82	0,81
40	75,31	64,20	109,41	0,85	0,84
41	83,86	73,90	130,22	0,88	0,87
42	93,71	85,38	155,55	0,91	0,90
43	105,11	99,02	186,54	0,94	0,93
44	118,37	115,31	224,64	0,97	0,97
45	133,88	134,88	271,76	1,01	1,00
46	152,10	158,51	330,35	1,04	1,04
47	173,64	187,21	403,67	1,08	1,07
48	199,26	222,31	496,01	1,12	1,11
49	229,93	265,51	613,16	1,15	1,15
50	266,39	319,07	762,89	1,20	1,19

Tabella 1 - Coefficienti di carico limite

Azioni di progetto

Le azioni di progetto prese in considerazione e calcolate secondo le disposizioni del DM 17/01/2018 sono:

- azioni permanenti (G): peso proprio (G1) e peso delle componenti non strutturali della torre (G2);
- azioni variabili (Q): vento estremo;
- azione sismica (E).

Per la geometria delle macchine installate sopra la torre non sono stati considerati carichi neve sia in quanto influenti ai fini della verifica, sia perché non esistono in pratica possibilità di accumulo significativo della neve sia sulle pale che sulla navicella.

**CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.**

Carichi permanenti

I carichi permanenti sono quelli dovuti al peso delle macchine installate sulla torre e alle installazioni (tecnologiche e di servizio) interne ed esterne della torre. Si riporta il tutto nella seguente tabella riassuntiva.

Tabella riepilogativa dei carichi permanenti		
Rotore Peso	608	kN
Navicella Peso	683	kN
Pesi permanenti all'interno della torre Peso per ml di torre: Peso totale interno alla torre:	0.45 45.00	kN/m kN
Smorzatore oleodinamico	50	kN
Peso proprio della torre Peso totale della torre	4625	kN
Peso delle flange Peso totale delle flange	205	kN
Peso totale delle apparecchiature della torre (trasformatore e switcgear)	118	kN
Peso complessivo della turbina (Esclusa la struttura di fondazione)	6334	kN

Tabella 2 – Tabella riepilogativa dei carichi permanenti

Ai fini della descrizione delle caratteristiche geometriche della torre in oggetto, si fa riferimento alla tabella riepilogativa di seguito riportata.

CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.

Caratteristiche geometriche						
h	D	S	Area	A _t	W	J
m	mm	mm	mm ²	mm ²	mm ³	mm ⁴
1	4054	37	466738	233369	351582917	9,42156E+11
2	4049	37	466083	233042	350597544	9,38198E+11
3	4043	37	465429	232714	349613552	9,34251E+11
4	4037	37	464774	232387	348630944	9,30315E+11
5	4032	37	464119	232060	347649719	9,26391E+11
6	4026	37	463465	231732	346669876	9,22477E+11
7	4021	37	462810	231405	345691416	9,18574E+11
8	4015	37	462156	231078	344714339	9,14683E+11
9	4009	37	461501	230751	343738645	9,10802E+11
10	4004	37	460847	230423	342764333	9,06933E+11
11	3998	37	460192	230096	341791405	9,03074E+11
12	3992	37	459538	229769	340819859	8,99226E+11
13	3987	37	458883	229442	339849696	8,9539E+11
14	3981	37	458229	229114	338880916	8,91564E+11
15	3975	37	457574	228787	337913519	8,87749E+11
16	3970	37	456920	228460	336947504	8,83945E+11
17	3964	37	456265	228133	335982873	8,80152E+11
18	3959	37	455611	227805	335019624	8,7637E+11
19	3953	37	454956	227478	334057758	8,72598E+11
20	3947	37	454301	227151	333097275	8,68838E+11
21	3942	37	453647	226823	332138174	8,65088E+11
22	3936	37	452992	226496	331180457	8,61349E+11
23	3930	37	452338	226169	330224122	8,57621E+11
24	3925	37	451683	225842	329269170	8,53904E+11
25	3919	37	451029	225514	328315601	8,50197E+11
26	3914	37	450374	225187	327363415	8,46501E+11
27	3908	37	449720	224860	326412612	8,42816E+11
28	3902	37	449065	224533	325463191	8,39142E+11
29	3897	37	448411	224205	324515153	8,35478E+11
30	3891	37	447756	223878	323568498	8,31825E+11
31	3885	37	447102	223551	322623226	8,28183E+11
32	3880	37	446447	223224	321679337	8,24551E+11
33	3874	37	445792	222896	320736830	8,2093E+11
34	3868	37	445138	222569	319795706	8,17319E+11
35	3863	37	444483	222242	318855966	8,1372E+11
36	3857	37	443829	221914	317917608	8,1013E+11
37	3852	37	443174	221587	316980632	8,06552E+11
38	3846	37	442520	221260	316045040	8,02983E+11
39	3840	37	441865	220933	315110830	7,99426E+11
40	3835	37	441211	220605	314178004	7,95879E+11
41	3829	37	440556	220278	313246560	7,92342E+11
42	3823	37	439902	219951	312316499	7,88816E+11
43	3818	37	439247	219624	311387820	7,853E+11
44	3812	37	438593	219296	310460525	7,81795E+11
45	3806	37	437938	218969	309534612	7,78301E+11
46	3801	37	437284	218642	308610082	7,74816E+11
47	3795	37	436629	218314	307686935	7,71343E+11
48	3790	37	435974	217987	306765171	7,67879E+11
49	3784	37	435320	217660	305844790	7,64426E+11
50	3778	37	434665	217333	304925791	7,60983E+11
51	3773	37	434011	217005	304008175	7,57551E+11

**CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.**

52	3767	37	433356	216678	303091943	7,54129E+11
53	3761	37	432702	216351	302177092	7,50717E+11
54	3756	37	432047	216024	301263625	7,47316E+11
55	3750	37	431393	215696	300351541	7,43925E+11
56	3745	37	430738	215369	299440839	7,40544E+11
57	3739	37	430084	215042	298531520	7,37173E+11
58	3733	37	429429	214715	297623584	7,33813E+11
59	3728	37	428775	214387	296717031	7,30463E+11
60	3722	37	428120	214060	295811861	7,27123E+11
61	3716	37	427465	213733	294908073	7,23793E+11
62	3711	37	426811	213405	294005669	7,20474E+11
63	3705	37	426156	213078	293104647	7,17165E+11
64	3699	37	425502	212751	292205008	7,13865E+11
65	3694	37	424847	212424	291306751	7,10576E+11
66	3688	37	424193	212096	290409878	7,07297E+11
67	3683	37	423538	211769	289514387	7,04028E+11
68	3677	37	422884	211442	288620280	7,0077E+11
69	3671	37	422229	211115	287727555	6,97521E+11
70	3666	37	421575	210787	286836213	6,94282E+11
71	3660	37	420920	210460	285946253	6,91054E+11
72	3654	37	420266	210133	285057677	6,87835E+11
73	3649	37	419611	209806	284170483	6,84627E+11
74	3643	37	418957	209478	283284672	6,81428E+11
75	3637	37	418302	209151	282400244	6,7824E+11
76	3632	37	417647	208824	281517199	6,75061E+11
77	3626	37	416993	208496	280635537	6,71892E+11
78	3621	37	416338	208169	279755257	6,68734E+11
79	3615	37	415684	207842	278876360	6,65585E+11
80	3609	37	415029	207515	277998846	6,62446E+11
81	3604	37	414375	207187	277122715	6,59317E+11
82	3598	37	413720	206860	276247967	6,56198E+11
83	3592	37	413066	206533	275374602	6,53088E+11
84	3587	37	412411	206206	274502619	6,49989E+11
85	3581	37	411757	205878	273632019	6,46899E+11
86	3575	37	411102	205551	272762802	6,43819E+11
87	3570	37	410448	205224	271894968	6,40749E+11
88	3564	37	409793	204897	271028517	6,37689E+11
89	3559	37	409139	204569	270163448	6,34639E+11
90	3553	37	408484	204242	269299762	6,31598E+11
91	3547	37	407829	203915	268437459	6,28567E+11
92	3542	37	407175	203587	267576539	6,25545E+11
93	3536	37	406520	203260	266717002	6,22534E+11
94	3530	37	405866	202933	265858848	6,19532E+11
95	3525	37	405211	202606	265002076	6,1654E+11
96	3519	37	404557	202278	264146687	6,13557E+11
97	3514	37	403902	201951	263292681	6,10584E+11
98	3508	37	403248	201624	262440058	6,07621E+11
99	3502	37	402593	201297	261588818	6,04667E+11
100	3497	37	401939	200969	260738960	6,01723E+11
101	3491	37	401284	200642	259890486	5,98788E+11
102	3485	37	400630	200315	259043394	5,95863E+11
103	3480	37	399975	199988	258197685	5,92947E+11
104	3474	37	399320	199660	257353358	5,90042E+11
105	3468	37	398666	199333	256510415	5,87145E+11

**CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.**

106	3463	37	398011	199006	255668854	5,84258E+11
107	3457	37	397357	198678	254828677	5,81381E+11
108	3452	37	396702	198351	253989882	5,78513E+11
109	3446	37	396048	198024	253152470	5,75654E+11
110	3440	37	395393	197697	252316440	5,72805E+11
111	3435	37	394739	197369	251481794	5,69965E+11
112	3429	37	394084	197042	250648530	5,67135E+11
113	3423	37	393430	196715	249816649	5,64314E+11
114	3418	37	392775	196388	248986151	5,61502E+11
115	3412	37	392121	196060	248157036	5,587E+11
116	3406	37	391466	195733	247329304	5,55907E+11
117	3401	37	390812	195406	246502954	5,53123E+11
118	3395	37	390157	195078	245677988	5,50349E+11
119	3390	37	389502	194751	244854404	5,47584E+11
120	3384	37	388848	194424	244032203	5,44829E+11
121	3378	37	388193	194097	243211384	5,42082E+11
122	3373	37	387539	193769	242391949	5,39345E+11
123	3367	37	386884	193442	241573896	5,36617E+11
124	3361	37	386230	193115	240757226	5,33898E+11
125	3356	37	385575	192788	239941939	5,31189E+11
126	3350	37	384921	192460	239128035	5,28488E+11
127	3345	37	384266	192133	238315514	5,25797E+11
128	3339	37	383612	191806	237504375	5,23115E+11
129	3333	37	382957	191479	236694620	5,20442E+11
130	3328	37	382303	191151	235886247	5,17779E+11
131	3322	37	381648	190824	235079257	5,15124E+11
132	3316	37	380993	190497	234273649	5,12478E+11
133	3311	37	380339	190169	233469425	5,09842E+11
134	3305	37	379684	189842	232666583	5,07214E+11
135	3299	37	379030	189515	231865125	5,04596E+11
136	3294	37	378375	189188	231065049	5,01987E+11
137	3288	37	377721	188860	230266356	4,99386E+11
138	3283	37	377066	188533	229469045	4,96795E+11
139	3277	37	376412	188206	228673118	4,94212E+11
140	3271	37	375757	187879	227878573	4,91639E+11
141	3266	37	375103	187551	227085411	4,89074E+11
142	3260	37	374448	187224	226293632	4,86519E+11

Tabella 3 – Tabella riepilogativa delle caratteristiche geometriche

Dove:

h = quota del concio considerato, misurata dal piano di posa della virola;

D = diametro esterno della torre;

S = spessore della struttura in acciaio della torre;

A = superficie in pianta della corona circolare alla quota corrispondente;

CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.

A_t = 50% del valore precedente;

W = momento statico della sezione tronco conica;

J = momento di inerzia della sezione tronco conica.

Carichi variabili

Come già accennato, nelle operazioni di calcolo che seguono non si terrà conto di azioni quali i carichi da neve.

Azione del vento

Per la località in questione, applicando quanto disposto dal D.M. 17/01/2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni, par. §3.3.1, si ottiene per la V_{ref} (valore massimo riferito ad un periodo di ritorno di 50 anni) il seguente valore di progetto, avendo preso a base dei calcoli i seguenti dati:

Dati relativi al sito	
Zona del vento	3
Quota massima sul livello del mare	50

Parametri di calcolo (Tab. 3.3.I D.M. 17/01/2018)				
Zona	Descrizione	$V_{ref,0}$ (m/s)	a_0 (m)	K_s
3	Puglia	27	500	0.37

Tabella 4 - Classificazione del sito e parametri di calcolo

$$V_{ref} = 27 \text{ m/s}$$

Con ipotesi maggiormente cautelativa, in base alle rilevazioni effettuate in situ è stata posta a base del progetto una velocità di riferimento del vento pari a 40 m/s .

**CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.**

Torre da 145 m - Calcolo delle sollecitazioni alla base dovute al VENTO (DM 17-01-18 §3.3.1) sulla sola torre								
V _{ref}	40,00	m/s	Categoria	II	k _r	0,19		
q _{ref}	100,00	daN/m ²			Z ₀	0,05		
					Z _{min}	4,00		
					C _t	1,00		
Sollecitazioni alla base							105917,30	6556775,41
h	C _e	C _p	C _d	q	Sup. esp.	q lin	T	Mf
m				daN/mq	mq/ml	daN/ml	daN	daNxm
1	1,80	0,70	1,20	151,25	4,500	680,60	105917,30	6556775,41
2	1,80	0,70	1,20	151,25	4,449	672,86	105236,69	6451198,42
3	1,80	0,70	1,20	151,25	4,423	668,98	104563,84	6346298,15
4	1,80	0,70	1,20	151,25	4,398	665,11	103894,86	6242068,80
5	1,93	0,70	1,20	162,06	4,372	708,53	103229,75	6138506,50
6	2,04	0,70	1,20	171,13	4,346	743,77	102521,22	6035631,02
7	2,13	0,70	1,20	178,95	4,321	773,18	101777,44	5933481,69
8	2,21	0,70	1,20	185,84	4,295	798,19	101004,27	5832090,84
9	2,29	0,70	1,20	192,00	4,270	819,76	100206,08	5731485,66
10	2,35	0,70	1,20	197,59	4,244	838,56	99386,31	5631689,47
11	2,41	0,70	1,20	202,71	4,218	855,07	98547,75	5532722,44
12	2,47	0,70	1,20	207,42	4,193	869,65	97692,68	5434602,22
13	2,52	0,70	1,20	211,80	4,167	882,59	96823,02	5337344,37
14	2,57	0,70	1,20	215,89	4,141	894,10	95940,43	5240962,64
15	2,62	0,70	1,20	219,73	4,116	904,36	95046,33	5145469,26
16	2,66	0,70	1,20	223,34	4,090	913,52	94141,97	5050875,11
17	2,70	0,70	1,20	226,76	4,065	921,70	93228,45	4957189,90
18	2,74	0,70	1,20	230,00	4,039	928,99	92306,75	4864422,29
19	2,77	0,70	1,20	233,09	4,013	935,49	91377,76	4772580,04
20	2,81	0,70	1,20	236,04	3,988	941,26	90442,27	4681670,03
21	2,84	0,70	1,20	238,85	3,962	946,38	89501,00	4591698,39
22	2,88	0,70	1,20	241,55	3,937	950,88	88554,63	4502670,57
23	2,91	0,70	1,20	244,14	3,911	954,83	87603,75	4414591,39
24	2,94	0,70	1,20	246,63	3,885	958,25	86648,92	4327465,05
25	2,96	0,70	1,20	249,03	3,860	961,20	85690,67	4241295,26
26	2,99	0,70	1,20	251,35	3,834	963,70	84729,47	4156085,19
27	3,02	0,70	1,20	253,58	3,809	965,78	83765,76	4071837,58
28	3,04	0,70	1,20	255,75	3,783	967,47	82799,98	3988554,70
29	3,07	0,70	1,20	257,84	3,757	968,80	81832,51	3906238,46
30	3,09	0,70	1,20	259,87	3,732	969,77	80863,71	3824890,35
31	3,12	0,70	1,20	261,85	3,706	970,43	79893,93	3744511,53
32	3,14	0,70	1,20	263,76	3,680	970,77	78923,51	3665102,81
33	3,16	0,70	1,20	265,62	3,655	970,82	77952,74	3586664,68
34	3,18	0,70	1,20	267,43	3,629	970,59	76981,92	3509197,35
35	3,20	0,70	1,20	269,20	3,604	970,10	76011,33	3432700,73

**CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.**

36	3,23	0,70	1,20	270,92	3,578	969,36	75041,23	3357174,45
37	3,25	0,70	1,20	272,60	3,552	968,38	74071,87	3282617,90
38	3,26	0,70	1,20	274,23	3,527	967,17	73103,49	3209030,22
39	3,28	0,70	1,20	275,83	3,501	965,74	72136,32	3136410,31
40	3,30	0,70	1,20	277,39	3,476	964,11	71170,57	3064756,87
41	3,32	0,70	1,20	278,92	3,450	962,27	70206,47	2994068,35
42	3,34	0,70	1,20	280,41	3,424	960,25	69244,19	2924343,02
43	3,36	0,70	1,20	281,88	3,399	958,03	68283,95	2855578,95
44	3,37	0,70	1,20	283,31	3,373	955,64	67325,91	2787774,02
45	3,39	0,70	1,20	284,71	3,348	953,08	66370,27	2720925,93
46	3,41	0,70	1,20	286,08	3,322	950,36	65417,18	2655032,21
47	3,42	0,70	1,20	287,43	3,296	947,48	64466,82	2590090,20
48	3,44	0,70	1,20	288,76	3,271	944,44	63519,35	2526097,12
49	3,45	0,70	1,20	290,05	3,245	941,26	62574,91	2463049,99
50	3,47	0,70	1,20	291,33	3,220	937,93	61633,65	2400945,71
51	3,48	0,70	1,20	292,58	3,194	934,47	60695,72	2339781,03
52	3,50	0,70	1,20	293,81	3,168	930,87	59761,25	2279552,54
53	3,51	0,70	1,20	295,02	3,143	927,14	58830,39	2220256,72
54	3,53	0,70	1,20	296,20	3,117	923,29	57903,25	2161889,90
55	3,54	0,70	1,20	297,37	3,091	919,31	56979,96	2104448,30
56	3,55	0,70	1,20	298,52	3,066	915,22	56060,65	2047927,99
57	3,57	0,70	1,20	299,65	3,040	911,01	55145,44	1992324,94
58	3,58	0,70	1,20	300,76	3,015	906,69	54234,43	1937635,01
59	3,59	0,70	1,20	301,86	2,989	902,26	53327,74	1883853,92
60	3,61	0,70	1,20	302,94	2,963	897,72	52425,48	1830977,31
61	3,62	0,70	1,20	304,00	2,938	893,09	51527,76	1779000,69
62	3,63	0,70	1,20	305,05	2,912	888,35	50634,67	1727919,48
63	3,64	0,70	1,20	306,08	2,887	883,52	49746,32	1677728,98
64	3,66	0,70	1,20	307,09	2,861	878,59	48862,80	1628424,42
65	3,67	0,70	1,20	308,10	2,835	873,57	47984,21	1580000,91
66	3,68	0,70	1,20	309,08	2,810	868,45	47110,65	1532453,48
67	3,69	0,70	1,20	310,06	2,784	863,25	46242,20	1485777,06
68	3,70	0,70	1,20	311,02	2,759	857,97	45378,94	1439966,49
69	3,71	0,70	1,20	311,97	2,733	852,60	44520,98	1395016,53
70	3,73	0,70	1,20	312,91	2,707	847,14	43668,38	1350921,85
71	3,74	0,70	1,20	313,83	2,682	841,61	42821,24	1307677,04
72	3,75	0,70	1,20	314,75	2,656	836,00	41979,63	1265276,61
73	3,76	0,70	1,20	315,65	2,630	830,31	41143,63	1223714,98
74	3,77	0,70	1,20	316,54	2,605	824,55	40313,32	1182986,50
75	3,78	0,70	1,20	317,42	2,579	818,71	39488,78	1143085,45
76	3,79	0,70	1,20	318,29	2,554	812,80	38670,07	1104006,03
77	3,80	0,70	1,20	319,15	2,528	806,82	37857,27	1065742,36
78	3,81	0,70	1,20	320,00	2,502	800,77	37050,45	1028288,50
79	3,82	0,70	1,20	320,83	2,477	794,65	36249,68	991638,43
80	3,83	0,70	1,20	321,66	2,451	788,47	35455,03	955786,07
81	3,84	0,70	1,20	322,48	2,426	782,22	34666,56	920725,28
82	3,85	0,70	1,20	323,29	2,400	775,91	33884,34	886449,82

**CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.**

83	3,86	0,70	1,20	324,10	2,374	769,53	33108,44	852953,44
84	3,87	0,70	1,20	324,89	2,349	763,09	32338,90	820229,77
85	3,88	0,70	1,20	325,67	2,323	756,60	31575,81	788272,41
86	3,89	0,70	1,20	326,45	2,298	750,04	30819,21	757074,90
87	3,90	0,70	1,20	327,22	2,272	743,43	30069,17	726630,71
88	3,90	0,70	1,20	327,98	2,246	736,75	29325,75	696933,25
89	3,91	0,70	1,20	328,73	2,221	730,02	28588,99	667975,88
90	3,92	0,70	1,20	329,48	2,195	723,24	27858,97	639751,90
91	3,93	0,70	1,20	330,21	2,170	716,40	27135,73	612254,55
92	3,94	0,70	1,20	330,94	2,144	709,51	26419,33	585477,02
93	3,95	0,70	1,20	331,67	2,118	702,57	25709,82	559412,45
94	3,96	0,70	1,20	332,38	2,093	695,57	25007,25	534053,92
95	3,97	0,70	1,20	333,09	2,067	688,52	24311,68	509394,45
96	3,97	0,70	1,20	333,79	2,041	681,43	23623,16	485427,03
97	3,98	0,70	1,20	334,49	2,016	674,28	22941,73	462144,59
98	3,99	0,70	1,20	335,18	1,990	667,08	22267,45	439539,99
99	4,00	0,70	1,20	335,86	1,965	659,84	21600,37	417606,08
100	4,01	0,70	1,20	336,54	1,939	652,55	20940,53	396335,63
101	4,01	0,70	1,20	337,21	1,913	645,22	20287,98	375721,38
102	4,02	0,70	1,20	337,87	1,888	637,83	19642,76	355756,01
103	4,03	0,70	1,20	338,53	1,862	630,41	19004,93	336432,16
104	4,04	0,70	1,20	339,18	1,837	622,93	18374,52	317742,44
105	4,05	0,70	1,20	339,83	1,811	615,42	17751,59	299679,38
106	4,05	0,70	1,20	340,47	1,785	607,86	17136,17	282235,50
107	4,06	0,70	1,20	341,10	1,760	600,26	16528,31	265403,26
108	4,07	0,70	1,20	341,74	1,734	592,62	15928,05	249175,09
109	4,08	0,70	1,20	342,36	1,709	584,94	15335,43	233543,35
110	4,08	0,70	1,20	342,98	1,683	577,21	14750,49	218500,39
111	4,09	0,70	1,20	343,59	1,657	569,45	14173,28	204038,51
112	4,10	0,70	1,20	344,20	1,632	561,64	13603,84	190149,95
113	4,10	0,70	1,20	344,81	1,606	553,80	13042,19	176826,93
114	4,11	0,70	1,20	345,41	1,580	545,92	12488,40	164061,64
115	4,12	0,70	1,20	346,00	1,555	537,99	11942,48	151846,20
116	4,13	0,70	1,20	346,59	1,529	530,04	11404,49	140172,72
117	4,13	0,70	1,20	347,18	1,504	522,04	10874,45	129033,25
118	4,14	0,70	1,20	347,76	1,478	514,01	10352,41	118419,82
119	4,15	0,70	1,20	348,34	1,452	505,94	9838,40	108324,41
120	4,15	0,70	1,20	348,91	1,427	497,84	9332,46	98738,99
121	4,16	0,70	1,20	349,48	1,401	489,70	8834,62	89655,45
122	4,17	0,70	1,20	350,04	1,376	481,52	8344,92	81065,68
123	4,17	0,70	1,20	350,60	1,350	473,31	7863,40	72961,51
124	4,18	0,70	1,20	351,16	1,324	465,07	7390,09	65334,77
125	4,19	0,70	1,20	351,71	1,299	456,79	6925,02	58177,22
126	4,19	0,70	1,20	352,26	1,273	448,48	6468,22	51480,60
127	4,20	0,70	1,20	352,80	1,248	440,14	6019,74	45236,62
128	4,21	0,70	1,20	353,34	1,222	431,76	5579,60	39436,96
129	4,21	0,70	1,20	353,88	1,196	423,36	5147,83	34073,24

**CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.**

130	4,22	0,70	1,20	354,41	1,171	414,92	4724,48	29137,09
131	4,23	0,70	1,20	354,94	1,145	406,45	4309,56	24620,07
132	4,23	0,70	1,20	355,46	1,120	397,94	3903,11	20513,74
133	4,24	0,70	1,20	355,98	1,094	389,41	3505,17	16809,59
134	4,24	0,70	1,20	356,50	1,068	380,85	3115,76	13499,13
135	4,25	0,70	1,20	357,01	1,043	372,25	2734,91	10573,79
136	4,26	0,70	1,20	357,52	1,017	363,63	2362,66	8025,00
137	4,26	0,70	1,20	358,03	0,991	354,97	1999,03	5844,16
138	4,27	0,70	1,20	358,53	0,966	346,29	1644,06	4022,61
139	4,27	0,70	1,20	359,03	0,940	337,58	1297,77	2551,69
140	4,28	0,70	1,20	359,53	0,915	328,84	960,19	1422,72
141	4,29	0,70	1,20	360,03	0,889	320,07	631,35	626,95
142	4,29	0,70	1,20	360,52	0,863	311,28	311,28	155,64

Tabella 5 – Calcolo azione del vento sulla Torre

**Torre da 145 m - Calcolo delle sollecitazioni alla base dovute al
VENTO (DM 17-01-18 §3.3.1) sull'elica e sulla navicella**

Vref	40,00	m/s	Categoria	II	kr		0,19	
qref	101,94	daN/mq			z0		0,05	
					z min		4,00	
					Ct		1,00	
Sollecitazioni alla base							17821,22	1773233,69
h	Ce	Cp	Cd	p	Sup. esp.	q lin	T	Mf
m				daN/mq	mq/ml	daN/ml	daN	daNxm
1	1,71	0,70	1,20	146,21	0,00	0,00	17821,22	1773233,69
2	1,71	0,70	1,20	146,21	0,00	0,00	17821,22	1755412,48
3	1,71	0,70	1,20	146,21	0,00	0,00	17821,22	1737591,26
4	1,71	0,70	1,20	146,21	0,00	0,00	17821,22	1719770,04
5	1,93	0,70	1,20	165,20	0,00	0,00	17821,22	1701948,83
6	2,04	0,70	1,20	174,44	0,00	0,00	17821,22	1684127,61
7	2,13	0,70	1,20	182,41	0,00	0,00	17821,22	1666306,40
8	2,21	0,70	1,20	189,44	0,00	0,00	17821,22	1648485,18
9	2,29	0,70	1,20	195,72	0,00	0,00	17821,22	1630663,96
10	2,35	0,70	1,20	201,42	0,00	0,00	17821,22	1612842,75
11	2,41	0,70	1,20	206,63	0,00	0,00	17821,22	1595021,53
12	2,47	0,70	1,20	211,44	0,00	0,00	17821,22	1577200,32
13	2,52	0,70	1,20	215,90	0,00	0,00	17821,22	1559379,10
14	2,57	0,70	1,20	220,07	0,00	0,00	17821,22	1541557,88
15	2,62	0,70	1,20	223,98	0,00	0,00	17821,22	1523736,67
16	2,66	0,70	1,20	227,67	0,00	0,00	17821,22	1505915,45
17	2,70	0,70	1,20	231,15	0,00	0,00	17821,22	1488094,24
18	2,74	0,70	1,20	234,46	0,00	0,00	17821,22	1470273,02

CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.

19	2,77	0,70	1,20	237,61	0,00	0,00	17821,22	1452451,80
20	2,81	0,70	1,20	240,61	0,00	0,00	17821,22	1434630,59
21	2,84	0,70	1,20	243,48	0,00	0,00	17821,22	1416809,37
22	2,88	0,70	1,20	246,23	0,00	0,00	17821,22	1398988,16
23	2,91	0,70	1,20	248,87	0,00	0,00	17821,22	1381166,94
24	2,94	0,70	1,20	251,41	0,00	0,00	17821,22	1363345,72
25	2,96	0,70	1,20	253,85	0,00	0,00	17821,22	1345524,51
26	2,99	0,70	1,20	256,22	0,00	0,00	17821,22	1327703,29
27	3,02	0,70	1,20	258,50	0,00	0,00	17821,22	1309882,08
28	3,04	0,70	1,20	260,70	0,00	0,00	17821,22	1292060,86
29	3,07	0,70	1,20	262,84	0,00	0,00	17821,22	1274239,64
30	3,09	0,70	1,20	264,91	0,00	0,00	17821,22	1256418,43
31	3,12	0,70	1,20	266,92	0,00	0,00	17821,22	1238597,21
32	3,14	0,70	1,20	268,87	0,00	0,00	17821,22	1220775,99
33	3,16	0,70	1,20	270,77	0,00	0,00	17821,22	1202954,78
34	3,18	0,70	1,20	272,61	0,00	0,00	17821,22	1185133,56
35	3,20	0,70	1,20	274,41	0,00	0,00	17821,22	1167312,35
36	3,23	0,70	1,20	276,17	0,00	0,00	17821,22	1149491,13
37	3,25	0,70	1,20	277,88	0,00	0,00	17821,22	1131669,91
38	3,26	0,70	1,20	279,54	0,00	0,00	17821,22	1113848,70
39	3,28	0,70	1,20	281,17	0,00	0,00	17821,22	1096027,48
40	3,30	0,70	1,20	282,77	0,00	0,00	17821,22	1078206,27
41	3,32	0,70	1,20	284,32	0,00	0,00	17821,22	1060385,05
42	3,34	0,70	1,20	285,84	0,00	0,00	17821,22	1042563,83
43	3,36	0,70	1,20	287,34	0,00	0,00	17821,22	1024742,62
44	3,37	0,70	1,20	288,79	0,00	0,00	17821,22	1006921,40
45	3,39	0,70	1,20	290,22	0,00	0,00	17821,22	989100,19
46	3,41	0,70	1,20	291,63	0,00	0,00	17821,22	971278,97
47	3,42	0,70	1,20	293,00	0,00	0,00	17821,22	953457,75
48	3,44	0,70	1,20	294,35	0,00	0,00	17821,22	935636,54
49	3,45	0,70	1,20	295,67	0,00	0,00	17821,22	917815,32
50	3,47	0,70	1,20	296,97	0,00	0,00	17821,22	899994,11
51	3,48	0,70	1,20	298,24	0,00	0,00	17821,22	882172,89
52	3,50	0,70	1,20	299,50	0,00	0,00	17821,22	864351,67
53	3,51	0,70	1,20	300,73	0,00	0,00	17821,22	846530,46
54	3,53	0,70	1,20	301,94	0,00	0,00	17821,22	828709,24
55	3,54	0,70	1,20	303,13	1,50	454,69	17821,22	810888,03
56	3,55	0,70	1,20	304,30	1,50	456,45	17366,52	793294,16
57	3,57	0,70	1,20	305,45	1,50	458,18	16910,07	776155,86
58	3,58	0,70	1,20	306,59	1,50	459,88	16451,89	759474,88
59	3,59	0,70	1,20	307,70	1,50	461,56	15992,01	743252,93
60	3,61	0,70	1,20	308,80	1,50	463,20	15530,45	727491,70
61	3,62	0,70	1,20	309,89	1,50	464,83	15067,25	712192,85
62	3,63	0,70	1,20	310,95	1,50	466,43	14602,42	697358,02
63	3,64	0,70	1,20	312,00	1,50	468,01	14135,99	682988,81
64	3,66	0,70	1,20	313,04	1,50	469,56	13667,98	669086,82
65	3,67	0,70	1,20	314,06	1,50	471,10	13198,42	655653,62

CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.

66	3,68	0,70	1,20	315,07	1,50	472,61	12727,33	642690,75
67	3,69	0,70	1,20	316,07	1,50	474,10	12254,72	630199,73
68	3,70	0,70	1,20	317,05	1,50	475,57	11780,62	618182,06
69	3,71	0,70	1,20	318,01	1,50	477,02	11305,05	606639,22
70	3,73	0,70	1,20	318,97	1,50	478,45	10828,03	595572,68
71	3,74	0,70	1,20	319,91	1,50	479,87	10349,58	584983,88
72	3,75	0,70	1,20	320,84	1,50	481,26	9869,71	574874,24
73	3,76	0,70	1,20	321,76	1,50	482,64	9388,44	565245,16
74	3,77	0,70	1,20	322,67	1,50	484,00	8905,80	556098,04
75	3,78	0,70	1,20	323,57	1,50	485,35	8421,80	547434,24
76	3,79	0,70	1,20	324,45	1,50	486,68	7936,45	539255,12
77	3,80	0,70	1,20	325,33	1,50	487,99	7449,77	531562,01
78	3,81	0,70	1,20	326,19	1,50	489,29	6961,78	524356,23
79	3,82	0,70	1,20	327,05	1,50	490,57	6472,49	517639,10
80	3,83	0,70	1,20	327,89	1,50	491,84	5981,92	511411,90
81	3,84	0,70	1,20	328,73	1,50	493,09	5490,07	505675,90
82	3,85	0,70	1,20	329,56	1,50	494,33	4996,98	500432,38
83	3,86	0,70	1,20	330,37	1,50	495,56	4502,65	495682,56
84	3,87	0,70	1,20	331,18	1,50	496,77	4007,09	491427,70
85	3,88	0,70	1,20	331,98	1,50	497,97	3510,31	487669,00
86	3,89	0,70	1,20	332,77	1,50	499,16	3012,34	484407,68
87	3,90	0,70	1,20	333,56	1,50	500,33	2513,18	481644,92
88	3,90	0,70	1,20	334,33	1,50	501,50	2012,84	479381,90
89	3,91	0,70	1,20	335,10	1,50	502,65	1511,35	477619,81
90	3,92	0,70	1,20	335,86	1,50	503,79	1008,70	476359,79
91	3,93	0,70	1,20	336,61	1,50	504,91	1010,94	475096,95
92	3,94	0,70	1,20	337,35	1,50	506,03	1013,16	473831,33
93	3,95	0,70	1,20	338,09	1,50	507,13	1015,36	472562,95
94	3,96	0,70	1,20	338,82	1,50	508,23	1017,54	471291,84
95	3,97	0,70	1,20	339,54	1,50	509,31	1019,70	470018,03
96	3,97	0,70	1,20	340,26	1,50	510,39	1021,84	468741,54
97	3,98	0,70	1,20	340,97	1,50	511,45	1023,95	467462,39
98	3,99	0,70	1,20	341,67	1,50	512,50	1026,05	466180,62
99	4,00	0,70	1,20	342,36	1,50	513,55	4029,85	461894,52
100	4,01	0,70	1,20	343,05	10,25	3516,30	5578,72	456059,02
101	4,01	0,70	1,20	343,74	6,00	2062,42	4128,91	450171,96
102	4,02	0,70	1,20	344,41	6,00	2066,48	4137,00	445003,75
103	4,03	0,70	1,20	345,09	6,00	2070,51	4145,01	439825,50
104	4,04	0,70	1,20	345,75	6,00	2074,50	4152,96	434637,28
105	4,05	0,70	1,20	346,41	6,00	2078,46	4160,84	429439,19
106	4,05	0,70	1,20	347,06	6,00	2082,38	4168,65	424231,32
107	4,06	0,70	1,20	347,71	6,00	2086,27	4176,39	419013,73
108	4,07	0,70	1,20	348,35	6,00	2090,12	4184,07	413786,53
109	4,08	0,70	1,20	348,99	6,00	2093,95	4191,68	408549,78
110	4,08	0,70	1,20	349,62	6,00	2097,74	4199,24	403303,58
111	4,09	0,70	1,20	350,25	6,00	2101,50	4206,72	398047,98
112	4,10	0,70	1,20	350,87	6,00	2105,23	4214,15	392783,08

CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.

113	4,10	0,70	1,20	351,49	6,00	2108,93	4221,52	387508,94
114	4,11	0,70	1,20	352,10	6,00	2112,60	4228,83	382225,65
115	4,12	0,70	1,20	352,71	6,00	2116,24	4236,08	376933,27
116	4,13	0,70	1,20	353,31	6,00	2119,85	4243,28	371631,87
117	4,13	0,70	1,20	353,91	6,00	2123,43	4250,42	366321,53
118	4,14	0,70	1,20	354,50	6,00	2126,99	4257,50	361002,32
119	4,15	0,70	1,20	355,09	6,00	2130,51	4264,53	355674,30
120	4,15	0,70	1,20	355,67	6,00	2134,01	4271,50	350337,54
121	4,16	0,70	1,20	356,25	6,00	2137,49	4278,43	344992,10
122	4,17	0,70	1,20	356,82	6,00	2140,94	4285,30	339638,06
123	4,17	0,70	1,20	357,39	6,00	2144,36	4292,12	334275,47
124	4,18	0,70	1,20	357,96	6,00	2147,76	4298,89	328904,40
125	4,19	0,70	1,20	358,52	6,00	2151,13	4305,61	323524,91
126	4,19	0,70	1,20	359,08	6,00	2154,48	4312,28	318137,06
127	4,20	0,70	1,20	359,63	6,00	2157,80	4318,91	312740,92
128	4,21	0,70	1,20	360,18	6,00	2161,10	4325,48	307336,53
129	4,21	0,70	1,20	360,73	6,00	2164,38	4332,01	301923,96
130	4,22	0,70	1,20	361,27	6,00	2167,63	4338,50	296503,28
131	4,23	0,70	1,20	361,81	6,00	2170,87	4344,94	291074,52
132	4,23	0,70	1,20	362,35	6,00	2174,07	4351,33	285637,75
133	4,24	0,70	1,20	362,88	6,00	2177,26	4357,69	280193,03
134	4,24	0,70	1,20	363,40	6,00	2180,43	4363,99	274740,41
135	4,25	0,70	1,20	363,93	6,00	2183,57	4370,26	269279,93
136	4,26	0,70	1,20	364,45	6,00	2186,69	4376,48	263811,67
137	4,26	0,70	1,20	364,97	6,00	2189,79	4382,66	258335,66
138	4,27	0,70	1,20	365,48	6,00	2192,87	4388,80	252851,96
139	4,27	0,70	1,20	365,99	6,00	2195,93	4394,91	247360,62
140	4,28	0,70	1,20	366,50	6,00	2198,97	4400,97	241861,68
141	4,29	0,70	1,20	367,00	6,00	2201,99	4406,99	236355,21
142	4,29	0,70	1,20	367,50	6,00	2204,99	4412,97	230841,24
143	4,30	0,70	1,20	368,00	6,00	2207,98	4418,92	225319,83
144	4,30	0,70	1,20	368,49	6,00	2210,94	4424,82	219791,02
145	4,31	0,70	1,20	368,98	6,00	2213,88	4430,69	214254,85
146	4,31	0,70	1,20	369,47	6,00	2216,81	4436,53	208711,39
147	4,32	0,70	1,20	369,95	6,00	2219,72	4442,32	203160,66
148	4,33	0,70	1,20	370,43	6,00	2222,61	4448,08	197602,72
149	4,33	0,70	1,20	370,91	6,00	2225,48	4453,81	192037,61
150	4,34	0,70	1,20	371,39	6,00	2228,33	4459,50	186465,37
151	4,34	0,70	1,20	371,86	6,00	2231,17	4465,16	180886,05
152	4,35	0,70	1,20	372,33	6,00	2233,99	4470,78	175299,68
153	4,35	0,70	1,20	372,80	6,00	2236,79	4476,37	169706,32
154	4,36	0,70	1,20	373,26	6,00	2239,58	4481,92	164106,00
155	4,36	0,70	1,20	373,72	6,00	2242,35	4487,45	158498,77
156	4,37	0,70	1,20	374,18	6,00	2245,10	4492,94	152884,65
157	4,38	0,70	1,20	374,64	6,00	2247,84	4498,40	147263,71
158	4,38	0,70	1,20	375,09	6,00	2250,56	4503,82	141635,97
159	4,39	0,70	1,20	375,54	6,00	2253,26	4509,22	136001,47

**CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.**

160	4,39	0,70	1,20	375,99	6,00	2255,95	4514,58	130360,25
161	4,40	0,70	1,20	376,44	6,00	2258,63	4519,92	124712,35
162	4,40	0,70	1,20	376,88	6,00	2261,29	4525,22	119057,82
163	4,41	0,70	1,20	377,32	6,00	2263,93	4530,50	113396,67
164	4,41	0,70	1,20	377,76	6,00	2266,56	4535,74	107728,96
165	4,42	0,70	1,20	378,20	6,00	2269,18	4540,96	102054,72
166	4,42	0,70	1,20	378,63	6,00	2271,78	4546,15	96373,98
167	4,43	0,70	1,20	379,06	6,00	2274,37	4551,31	90686,78
168	4,43	0,70	1,20	379,49	6,00	2276,94	4556,44	84993,16
169	4,44	0,70	1,20	379,92	6,00	2279,50	4561,54	79293,15
170	4,44	0,70	1,20	380,34	6,00	2282,04	4566,62	73586,78
171	4,45	0,70	1,20	380,76	6,00	2284,57	4571,67	67874,09
172	4,45	0,70	1,20	381,18	6,00	2287,09	4576,69	62155,12
173	4,46	0,70	1,20	381,60	6,00	2289,60	4581,68	56429,89
174	4,46	0,70	1,20	382,01	6,00	2292,09	4586,65	50698,43
175	4,47	0,70	1,20	382,43	6,00	2294,57	4591,60	44960,79
176	4,47	0,70	1,20	382,84	6,00	2297,03	4596,51	39217,00
177	4,48	0,70	1,20	383,25	6,00	2299,48	4601,41	33467,07
178	4,48	0,70	1,20	383,65	6,00	2301,92	4606,27	27711,06
179	4,49	0,70	1,20	384,06	6,00	2304,35	4611,12	21948,98
180	4,49	0,70	1,20	384,46	6,00	2306,77	4615,93	16180,87
181	4,49	0,70	1,20	384,86	6,00	2309,17	4620,73	10406,76
182	4,50	0,70	1,20	385,26	6,00	2311,56	4625,50	4626,68
183	4,50	0,70	1,20	385,66	6,00	2313,94	4630,25	1156,97

Tabella 6 – Calcolo azione del vento su rotore e navicella

**CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.**

Azione sismica

In quanto segue si confrontano in termini di reazioni alla base le sollecitazioni dovute al vento estremo con quelle dovute al sisma calcolate con il metodo dell'analisi lineare statica così come formalizzato nel D.M. 17/01/2018 (per la normativa italiana le due azioni non sono da considerarsi in concomitanza). Si può constatare che in particolare l'azione flettente dovuta al vento è ~1,50 volte quella sismica, che quindi è sicuramente ricompresa nell'azione del vento presa in considerazione.

È stata presa a riferimento la seguente geometria dei carichi:

Tabella dei pesi e dei baricentri					
		Peso Proprio	X (m)	Y (m)	Z (m)
A	Torre (KN)	4625	0	0	72,50
B	Carichi permanenti Torre (KN)	0	0	0	0
C	Navicella (KN)	683	2,00	0	145,00
D	Rotore (KN)	608	-4,00	0	145,00
Sistema A+B+C+D (KN)		5916			

Analisi statica lineare del sistema:

Così come definito dalla norma nel paragrafo §7.3.3.2, si è andati a calcolare tutte le grandezze indispensabili per la determinazione delle forze orizzontali statiche equivalenti a quelle inerziali indotte dal sisma.

**CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.**

Nella tabella di seguito riportata i risultati di tali elaborazioni.

L'analisi geologico/tecnica del territorio di interesse classifica il sito, la cui zonizzazione sismica è la **II**, come appartenente alla Categoria del sottosuolo **C**.

Per semplicità costruttiva e di trasporto, la torre viene realizzata in 6 differenti tronchi che verranno poi riassemblati in cantiere, i cui baricentri vengono considerati punti di applicazione delle azioni sismiche.

I parametri coinvolti nel calcolo dell'azione sismica sono di seguito riassunti:

E	m	g	d	J	
modulo elastico	massa	acc di gravità	quota baricentro	momento di inerzia	
kN/m^2	kg	m/s^2	m	m^4	
220000	552.58	9,81	72,50	154,947	
H	L	D	T	Tc*	
altezza struttura	Spessore struttura	diametro base	periodo di vibrazione		
m	m	m	s	s	
145	0,032	4.06	0,03305	0,29	
Cc	T_B	T_c	T_D	a_g	
	s	s	s	m/s^2	
1,57978	0,152713	0,458138	1,901733	0,74	
F₀	S_s	S_T	S	h	
			Coeff sottosuolo		
2,50	1,5	1,0	1,50	1	
S(e)	2.106	m/s^2	F_h	1279.19	kN

Dalla determinazione di F_h e la conoscenza dei pesi dei tronchi di torre e delle rispettive quote dei baricentri (intese come distanza del baricentro dalla

**CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.**

fondazione) si possono calcolare le forze orizzontali di piano da applicare come azione sismica F_{hi} :

$$F_{hi} = F_h \frac{W_i \cdot h_i}{\sum_i W_i \cdot h_i}$$

Elemento	W_i	h_i
<i>I tronco</i>	544	8
<i>II tronco</i>	286	24
<i>III tronco</i>	826	44
<i>IV tronco</i>	796	68
<i>V tronco</i>	891	94
<i>VI tronco</i>	2299	125

	$W_i h_i$	F_{hi}
	kNm	kN
<i>I tronco</i>	4081,413924	11,05192796
<i>II tronco</i>	6709,410404	18,16819411
<i>III tronco</i>	36330,44222	98,37802232
<i>IV tronco</i>	54134,55551	146,5892014
<i>V tronco</i>	83789,13348	226,8898681
<i>VI tronco</i>	287354,0819	778,1167682

Da cui le sollecitazioni alla base risultano:

$$T = 1279,20 \text{ KN}$$

$$M = 472399,04 \text{ Kgm}$$

Verifiche strutturali

Di seguito si riportano i calcoli svolti per il plinto ed i pali di fondazione.
Il plinto di base lo si considererà infinitamente rigido con unica funzione quella di collegamento delle teste dei pali, per cui verrà trascurato il suo contributo per la portanza.

Resistenze di calcolo

Le resistenze di calcolo dei materiali sono ricavate dalla riduzione delle resistenze caratteristiche secondo quanto disposto dalla norma:

$$f_d = f_k / \gamma_m$$

- o con coefficiente parziale di sicurezza relativo al cls
 $\gamma_c = 1,5$
- o con coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
 $\gamma_s = 1,15$

Verifiche strutturali sul plinto di fondazione

Le verifiche strutturali seguenti sono state condotte secondo le disposizioni del Cap. 6.4.3.1 del DM 17/01/2018:

1. Verifiche agli SLU di tipo geotecnico degli elementi di fondazione;
2. Verifiche agli SLE degli elementi di fondazione.

Il principio generale è che per ciascuno stato limite, dovrà essere verificata la seguente espressione:

$$R_d \geq E_d$$

CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.

Combinazione delle azioni

I carichi sono stati analizzati secondo le seguenti combinazioni, come da normativa, Cap. 2.5.3:

Combinazioni di carico considerate	
Combinazione	Condizione di carico
SLE (frequente)	$F_d = G_k + \varphi_{11} Q_k$
SLU	$F_d = G_k + \gamma_Q x Q_k$
SLU (Ultimo)	$F_d = \gamma_G x G_k + \gamma_Q x Q_k$

N [kN]	T [kN]	M _{xy} [kNm]	COMBINAZIONE
66457	5283	357392	SLE (frequente)
68623	7925	506861	SLU
89716	11887	510177	SLU (Ultimo)

Tabella 7 - Combinazioni di carico e relativi calcoli

Calcolo azioni sui pali

L'ipotesi di plinto di fondazione infinitamente rigido permette di trasferire totalmente sulle teste dei pali le azioni derivanti dalla sovrastruttura, incrementate dei carichi (favorevoli e/o sfavorevoli a seconda delle verifiche da realizzare) dovuti al peso proprio del plinto ed al terreno di ricoprimento.

Con la condizione più sfavorevole si è andati a calcolare il massimo carico agente su singolo palo del gruppo di pali di fondazione:

CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.

SLU Ultimo												
Id Palo	X _i	X _i ²	Y _i	Y _i ²	X _i Y _i	N	N° tot pali	l _x	l _y	l _{xy}	M _{sd,TOT}	N _i
1	0,00	0,00	11,87	140,90	0,00	89716,33	16	1131,89	1127,84	0,00	555943,60	5607,27
2	4,65	21,62	10,97	120,34	51,01							7891,19
3	8,40	70,56	8,40	70,56	70,56							9733,06
4	10,97	120,34	4,54	20,61	49,80							10995,35
5	11,87	140,90	0,00	0,00	0,00							11437,40
6	10,97	120,34	-4,54	20,61	-49,80							10995,35
7	8,40	70,56	-8,40	70,56	-70,56							9733,06
8	4,65	21,62	-10,97	120,34	-51,01							7891,19
9	0,00	0,00	-11,87	140,90	0,00							5607,27
10	-4,65	21,62	-10,97	120,34	51,01							3323,35
11	-8,40	70,56	-8,40	70,56	70,56							1481,48
12	-10,97	120,34	-4,54	20,61	49,80							219,19
13	-11,87	140,90	0,00	0,00	0,00							-222,86
14	-10,97	120,34	4,54	20,61	-49,80							219,19
15	-8,40	70,56	8,40	70,56	-70,56							1481,48
16	-4,65	21,62	10,97	120,34	-51,01							3323,35

Tabella 8 - Calcolo distribuzione dei carichi sul gruppo di pali allo SLU ultimo

SLU												
Id Palo	X _i	X _i ²	Y _i	Y _i ²	X _i Y _i	N	N° tot pali	l _x	l _y	l _{xy}	M _{sd,TOT}	N _i
1	0,00	0,00	11,87	140,90	0,00	68623,04	16	1131,89	1127,84	0,00	537371,72	4288,94
2	4,65	21,62	10,97	120,34	51,01							6496,56
3	8,40	70,56	8,40	70,56	70,56							8276,90
4	10,97	120,34	4,54	20,61	49,80							9497,03
5	11,87	140,90	0,00	0,00	0,00							9924,31
6	10,97	120,34	-4,54	20,61	-49,80							9497,03
7	8,40	70,56	-8,40	70,56	-70,56							8276,90
8	4,65	21,62	-10,97	120,34	-51,01							6496,56
9	0,00	0,00	-11,87	140,90	0,00							4288,94
10	-4,65	21,62	-10,97	120,34	51,01							2081,32
11	-8,40	70,56	-8,40	70,56	70,56							300,98
12	-10,97	120,34	-4,54	20,61	49,80							-919,15
13	-11,87	140,90	0,00	0,00	0,00							-1346,43
14	-10,97	120,34	4,54	20,61	-49,80							-919,15
15	-8,40	70,56	8,40	70,56	-70,56							300,98
16	-4,65	21,62	10,97	120,34	-51,01							2081,32

Tabella 9 - Calcolo distribuzione dei carichi sul gruppo di pali allo SLU

CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.

SLE												
Id Palo	X _i	X _i ²	Y _i	Y _i ²	X _i Y _i	N	N° tot pali	l _x	l _y	l _{xy}	M _{sdl,TOT}	N _i
1	0,00	0,00	11,87	140,90	0,00	66456,54	16	1131,89	1127,84	0,00	377732,70	4153,53
2	4,65	21,62	10,97	120,34	51,01							5705,33
3	8,40	70,56	8,40	70,56	70,56							6956,78
4	10,97	120,34	4,54	20,61	49,80							7814,43
5	11,87	140,90	0,00	0,00	0,00							8114,78
6	10,97	120,34	-4,54	20,61	-49,80							7814,43
7	8,40	70,56	-8,40	70,56	-70,56							6956,78
8	4,65	21,62	-10,97	120,34	-51,01							5705,33
9	0,00	0,00	-11,87	140,90	0,00							4153,53
10	-4,65	21,62	-10,97	120,34	51,01							2601,74
11	-8,40	70,56	-8,40	70,56	70,56							1350,29
12	-10,97	120,34	-4,54	20,61	49,80							492,63
13	-11,87	140,90	0,00	0,00	0,00							192,29
14	-10,97	120,34	4,54	20,61	-49,80							492,63
15	-8,40	70,56	8,40	70,56	-70,56							1350,29
16	-4,65	21,62	10,97	120,34	-51,01							2601,74

Tabella 10 - Calcolo distribuzione dei carichi sul gruppo di pali allo SLE frequente

**CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.**

Verifiche agli SLU

Si riportano di seguito le verifiche agli SLU della sezione in C.A. del plinto di fondazione:

Caratteristiche geometrico/strutturali della sezione

SEZIONE IN C.A. del PLINTO DI FONDAZIONE		
B	[cm]	100
H	[cm]	120
A _s	n°/m	10
	F [mm]	34
	d [cm]	6,5
	passo [cm]	10
A _s	n°/m	10
	F [mm]	36
	d [cm]	218,5
	passo [cm]	10
A _s	n°/m	10
	F [mm]	38
	d [cm]	223,5
	passo [cm]	10

Tabella 11 – Dati cls e acciaio in 1 metro lineare di fondazione

1) Verifica a Flessione:

Azioni di progetto

	M _{S,d}	
	[kNm]	[kNm/m]
Palo + Plinto + Terreno	122504	15313

Azioni Resistenti

M _{R,d}	24546 [kNm/m]
------------------	----------------------

Verifica

$$M_{R,d} > M_{S,d}$$

CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.

Verifica a Taglio:

Azioni di progetto

	$V_{S,d}$	
	[kN]	[kN/m]
Pali + Plinto + Terreno	27884,20	908,28

Azioni Resistenti

$V_{R,d}$	115577,3	[kN]
	9246,19	[kN/m]

Verifica

$$V_{R,d} > V_{S,d}$$

2) Verifica a Punzonamento:

Azioni di progetto

$V_{S,d}$	[MPa]	0,319
-----------	-------	--------------

Azioni Resistenti

U	m	28,5
β		1,4
D	m	1,76
$V_{r,d}$	[MPa]	0,37
$C_{rd,c}$	0,18 / g_c	0,12
K	$(1+200/d)^{,5}<2$	1,06
D	[mm]	1760
ρ_1	A_s/A_c	0,010317
b_w	[mm]	1000
$\sigma_{c,p}$	[Mpa]	0
$V_{R,d}$	[MPa]	0,484

Verifica

$$V_{R,d} > V_{S,d}$$

CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.

Verifiche agli SLE

Le verifiche agli SLE vengono condotte facendo riferimento, per le informazioni strutturali della sezione analizzata, a quanto già riportato nella Tabella 11 della sezione precedente, avente la geometria riportata in figura 1.

1) Verifica delle Tensioni di Esercizio:

Azioni di progetto

	$V_{E,d}$	
	[kN]	[kN/m]
Pali + Plinto + Terreno	8919,90	1114,99
$\sigma_{c,E}$	2,70	[MPa]
$\sigma_{s,E}$	40,54	[MPa]

Azioni resistenti

$\sigma_{c,R}$	0,45 · f_{ck}	11,25	MPa
$\sigma_{s,R}$	0,80 · f_{yk}	360	MPa

Verifica

$$\sigma_{c,R} > \sigma_{c,E}$$

$$\sigma_{s,R} > \sigma_{s,E}$$

CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.

Verifiche sui Pali

Seguendo quanto disposto dal capitolo 6.4.3.1 della norma vigente, sono state realizzate le seguenti verifiche di collasso per carico limite per azioni assiali sui pali di fondazione condotte secondo l'Approccio 2 (Combinazione A1+M1+R3) che prevede l'utilizzo di coefficienti amplificativi o riduttivi di calcolo da ricavare dalle tabelle 6.2.I, 6.2.II, 6.4.II e 6.4.VI, nelle colonne A1, M1, R3 rispettivamente. Da notare quanto riportato nella norma: "*Nelle verifiche effettuate con l'approccio 2 che siano finalizzate al dimensionamento strutturale, il coefficiente γ_R non deve essere portato in conto.*"

Calcolo Portata del singolo Palo

La capacità portante dei pali viene calcolata analiticamente partendo dalla conoscenza dei dati ottenuti a seguito di indagini svolte sul terreno e i relativi parametri geotecnici ricavati e riportati nella relazione geologica.

Non si considerano diminuzioni della capacità portante del singolo palo per via delle particolari condizioni di carico che portano a sollecitazioni massime elementi disposti su uno degli ordini di conformazione del gruppo di pali, dove è possibile verificare un interasse tra singoli pali maggiore di 3 diametri.

Q_p	7455,01	kN
Φ_{palo}	1,2	m
L_{palo}	30	m
N'_g	14,973518964	
L/D	25	
ϕ	28	
σ'_v	594,30	kPa
k	0,40	
μ	0,532	
s	126,40	kPa
Q_{lat}	12430,67	kN
$Q_{R,d}$	19885,68	kN
$Q_{E,d}$	18544,28	kN

Verifica

$$Q_{R,d} > Q_{E,d}$$

**CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.**

Stima dei cedimenti

Tramite calcoli analitici si realizza una stima dei cedimenti che dalla realizzazione degli elementi di progetto possono realizzarsi sul terreno in esame.

$w_{sing} = (Q \cdot d) / (\lambda \cdot Q_{lim}) =$		$d / (\lambda \cdot FS) =$	12	mm
$w_{gruppo} =$		$2 \cdot w_{sing} =$	25	mm
λ	40	Terreno Incoerente	Palo Trivellato	
	110	Terreno Coesivo		
d	1200	mm	diametro palo	
FS =	(A1 x M2 x R3) =	2,415	fattore di sicurezza	

Conclusioni

Il plinto di fondazione scelto in via preliminare, oggetto della presente relazione, è un elemento fondale su pali, in calcestruzzo gettato in opera, di forma circolare, composto da un plinto di base e un colletto superiore, nonché da n. 16 pali trivellati aventi diametro di 1.20 mt. e lunghezza di 30.00 mt.

Il plinto di base ha diametro di 25,20 m, con altezza minima (all'esterno) di 1,20 m e altezza massima (al centro) di 2,00 m. ca.

Il colletto superiore cilindrico avrà diametro di 13,65 m ed altezza 1,10 m. ca.

Per il proporzionamento definitivo si rimanda al futuro progetto esecutivo, sia in ordine alla forma che della tipologia di fondazione.

General documentation

Foundations

Wind turbine class Nordex Delta4000



E0004109735

Revision 05 / 2018-04-16

- Translation of the original document E0003944106 (rev. 05) -
This is a translation from German. In case of doubt, the German text shall prevail.
Document is published in electronic form.
Original document at Nordex Energy GmbH, Engineering.

The present document has been created by Nordex Energy GmbH and/or affiliated companies as defined in Section 15ff. of the German Stock Corporation Act (AktG).

This document, including any presentation of its contents in whole or in parts, is the intellectual property of Nordex Energy GmbH and/or affiliated companies within the meaning of section 15 et seq. of the German Stock Corporation Act (AktG). The information contained in this document are confidential and must never (not even in extracts) be disclosed to third parties without the prior written approval of Nordex Energy GmbH.

All rights reserved.

Any disclosure, duplication, translation or other use of this document or parts thereof, regardless if in printed, handwritten, electronic or other form, without the explicit approval of Nordex Energy GmbH is prohibited.

Copyright 2018 by Nordex Energy GmbH.

Contact details

For questions relating to this documentation please contact:

Nordex Energy GmbH

Langenhorner Chaussee 600

22419 Hamburg

Germany

Phone: +49 (0)40 300 30 -1000

Fax: +49 40 30030 1101

<http://www.nordex-online.com>

info@nordex-online.com

1. Exemplary foundation for Delta4000 TS78, TS83 oder TS105 with and without buoyancy (fwb/fwob)

The foundation is designed as a circular shallow foundation with a diameter of 24.80 m (foundation with buoyancy) or 21.80 m (foundation without buoyancy). The pedestal is 6.00 m in diameter. The height of the foundation is 3.40 m from the top edge of the pedestal to the foundation level of the pedestal, with the pit being offset by 25 cm below the foundation. The height of the foundation slab increases linearly from 0.45 m (fwb) or 0.63 m (fwob) at the edge to 2.60 m at the top edge. A mud slab of at least 10 cm height must be present below the foundation.

The foundation depth can be adjusted to local conditions whilst taking into account the permissible overall height and the ground water level.

A permanent soil backfill ($\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$) on the foundation slab, up to 5 cm below the base top edge, is part of the foundation and must not be removed.

An anchor cage has been installed into the concrete body of the foundation to anchor the tower. It consists of 4 x 50 anchor bolts, a load-spreading plate (thickness: 100 mm) and an anchor plate. The T flange of the tower is inserted into the anchor bolts and screwed on.

The foundation has been certified for a Delta4000 wind turbine on a TS105 tubular steel tower at locations up to and including wind zone S in accordance with the DIBt guideline for WTs (2012-10) and wind class S in accordance with the IEC guideline 61400 (2010-05).

Subsoil requirements

- Edge pressure (foundation with buoyancy): $\sigma = 150 \text{ kN/m}^2$; $\gamma = 1.0$
- Edge pressure (foundation without buoyancy): $\sigma = 210 \text{ kN/m}^2$; $\gamma = 1.0$
- Static torsion spring constant: $k_{\varphi, \text{stat}} \geq 22,500 \text{ MNm/rad}$
- Dynamic torsion spring constant: $k_{\varphi, \text{dyn}} \geq 90,000 \text{ MNm/rad}$
- The maximum ground water level must be below the foundation base (recess) for the variant without buoyancy and at the ground level for the variant with buoyancy.
- All subsoil requirements must be confirmed by a geotechnical engineer.

The complete subsoil documentation can be requested from Nordex.

Shallow foundation for Delta4000 TS78, TS83 or TS105

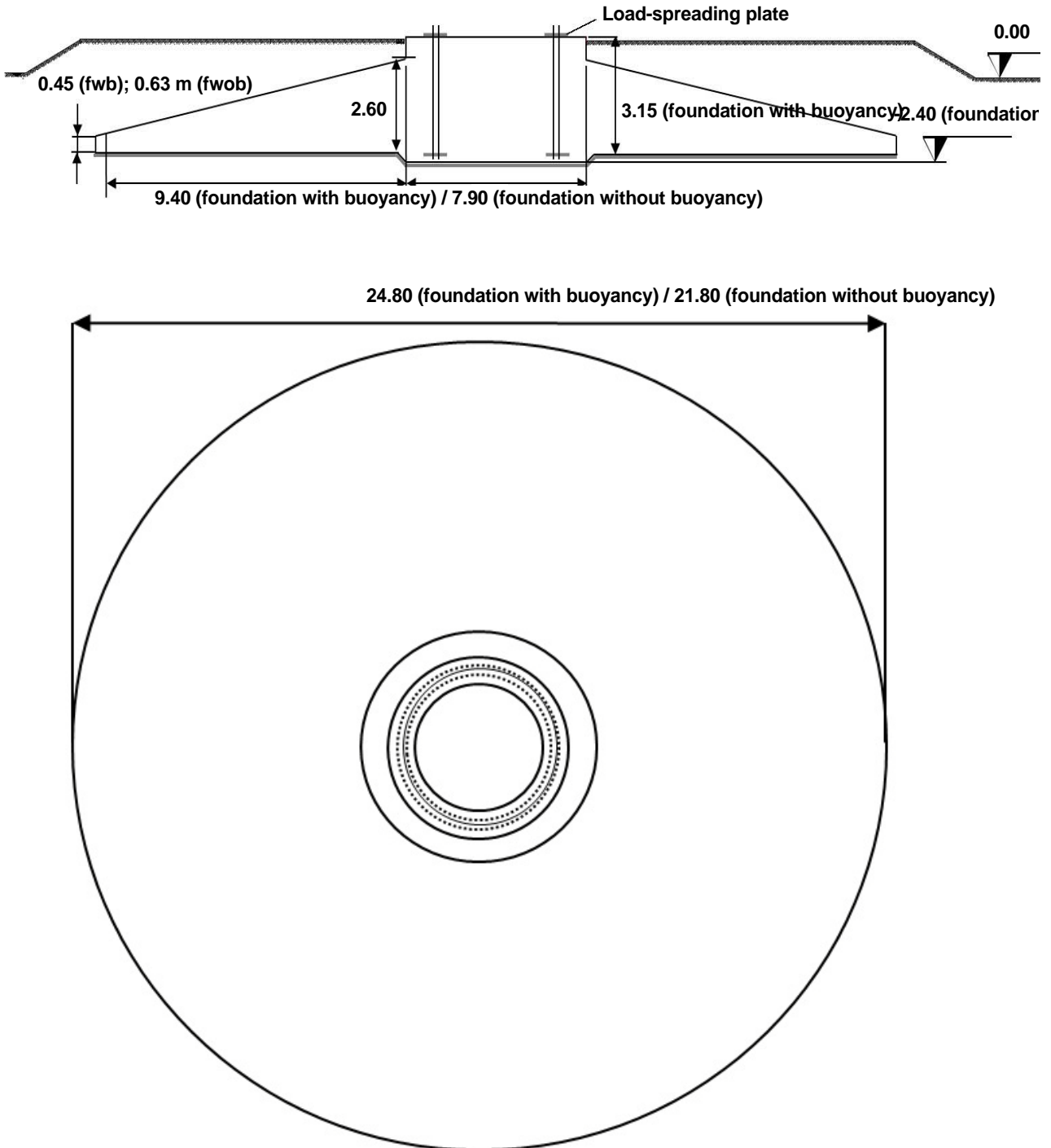


Fig. 1 Schematic representation of an exemplary foundation for a Delta4000 WT with 78, 83 or 105 m hub height (all dimensions in meters, drawing not to scale)

2. Exemplary foundation for Delta4000 TS110 or TS125 with and without buoyancy (fwb/fwob)

The foundation is designed as a circular shallow foundation with a diameter of 26.60 m (foundation with buoyancy) or 23.60 m (foundation without buoyancy). The pedestal is 6.00 m in diameter. The height of the foundation is 3.40 m from the top edge of the pedestal to the foundation level of the pedestal, with the pit being offset by 25 cm below the foundation. The foundation slab increases linearly from 0.45 m (fwb and fwob) at the edge to 2.60 m at the top edge. A mud slab of at least 10 cm must be present below the foundation.

The foundation depth can be adjusted to local conditions whilst taking into account the permissible overall height and the ground water level.

A permanent soil backfill ($\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$) on the foundation slab, up to 5 cm below the base top edge, is part of the foundation and must not be removed.

An anchor cage has been installed into the concrete body of the foundation to anchor the tower. It consists of 4 x 50 anchor bolts, a load-spreading plate (thickness: 130 mm) and an anchor plate. The T flange of the tower is inserted into the anchor bolts and screwed on.

The foundation has been certified for a Delta4000 wind turbine on a TS125 tubular steel tower at locations up to and including wind zone S in accordance with the DIBt guideline for WTs (2012-10) and wind class S in accordance with the IEC guideline 61400 (2010-05).

Subsoil requirements

- Edge pressure (foundation with buoyancy): $\sigma = 150 \text{ kN/m}^2$; $\gamma = 1.0$
- Edge pressure (foundation without buoyancy): $\sigma = 200 \text{ kN/m}^2$; $\gamma = 1.0$
- Static torsion spring constant: $k_{\varphi, \text{stat}} \geq 27,500 \text{ MNm/rad}$
- Dynamic torsion spring constant: $k_{\varphi, \text{dyn}} \geq 110,000 \text{ MNm/rad}$
- The maximum ground water level must be below the foundation base (recess) for the variant without buoyancy and at the ground level for the variant with buoyancy.
- All subsoil requirements must be confirmed by a geotechnical engineer.

The complete subsoil documentation can be requested from Nordex.

Shallow foundation for Delta4000 TS110 or TS125

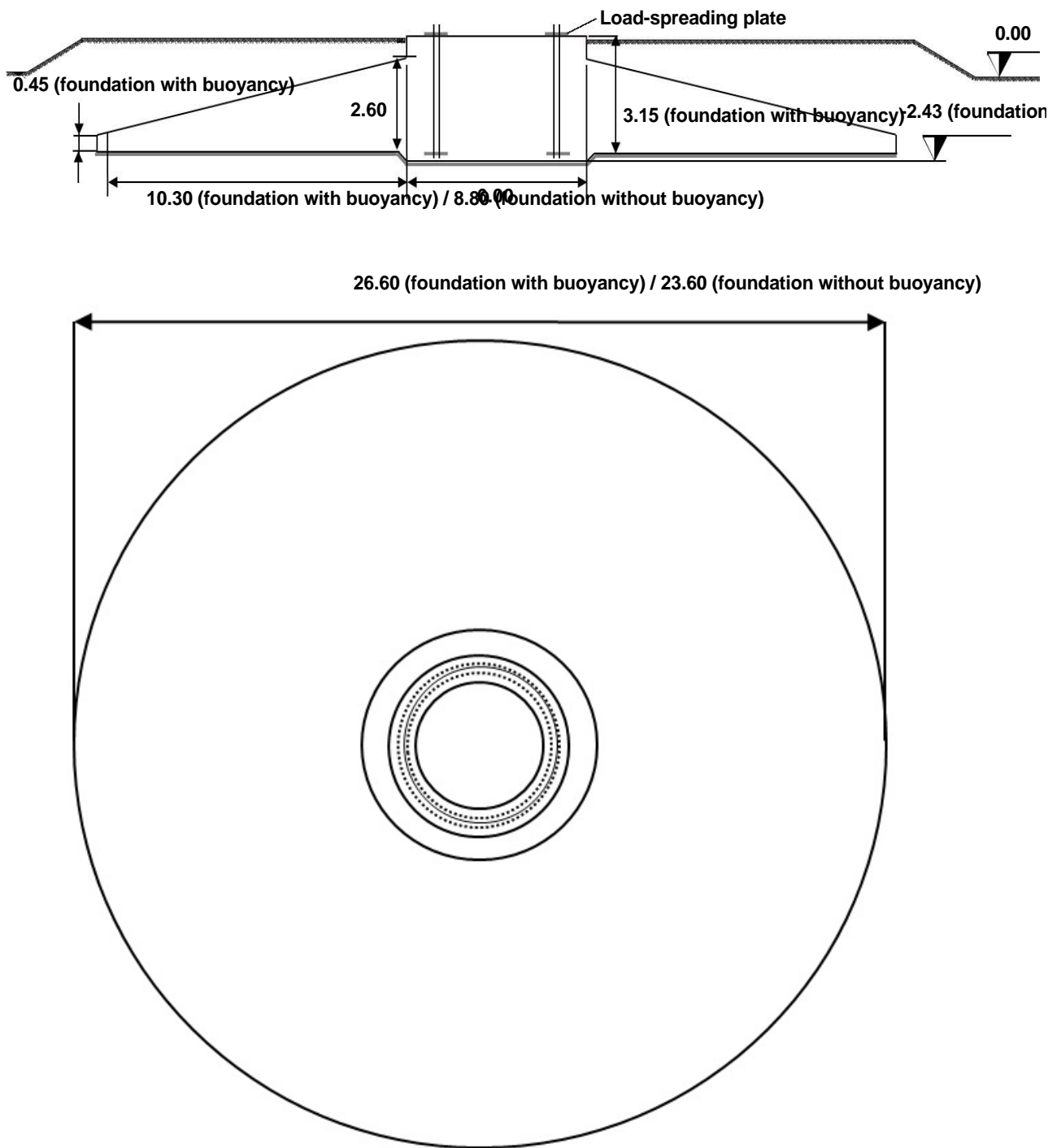


Fig. 2 Schematic representation of an exemplary foundation for a Delta4000 WT with 110 or 125 m hub height (all dimensions in meters, drawing not to scale)

3. **Example foundation for Delta4000 TCS164, 164 m hub height, small and large foundation (fwb/fwob)**

The foundation is designed as a circular shallow foundation with a diameter of 24.20 m or 25.20 m. The foundation diameter depends on the particular project. The base is 13.65 m in diameter and 0.95 m high. The foundation is 3.20 m high including the base. The foundation slab is 2.20 m high in the base area and slopes down to 1.20 m at the foundation edge.

There is an 0.30 m thick base slab under the foundation for sealing the prestressed floor slab. Below the entire foundation a mud slab of at least 10 cm height must be present. The foundation depth can be adjusted to local conditions whilst taking into account the permissible overall height and the ground water level.

A permanent soil backfill ($\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$) on the foundation slab, up to 10 cm below the base top edge, is part of the foundation and must not be removed.

The foundation has been certified for a Delta4000 wind turbine on a TCS164 hybrid tower at locations up to and including wind zone S in accordance with the DIBt guideline for WTs as per October 2012.

Subsoil requirements

- Static torsion spring constant: $k_{\varphi, \text{stat}} = 37,500 \text{ MNm/rad}$
- Dynamic torsion spring constant: $k_{\varphi, \text{dyn}} = 150,000 \text{ MNm/rad}$
- Large foundation: edge pressure $\sigma_{r,k} = 250 \text{ kN/m}^2$
- Small foundation: edge pressure $\sigma_{r,k} = 300 \text{ kN/m}^2$
- The maximum ground water level is the ground level.
- All subsoil requirements must be confirmed by a geotechnical engineer.

Shallow foundation for Delta4000 on a TCS164 hybrid tower

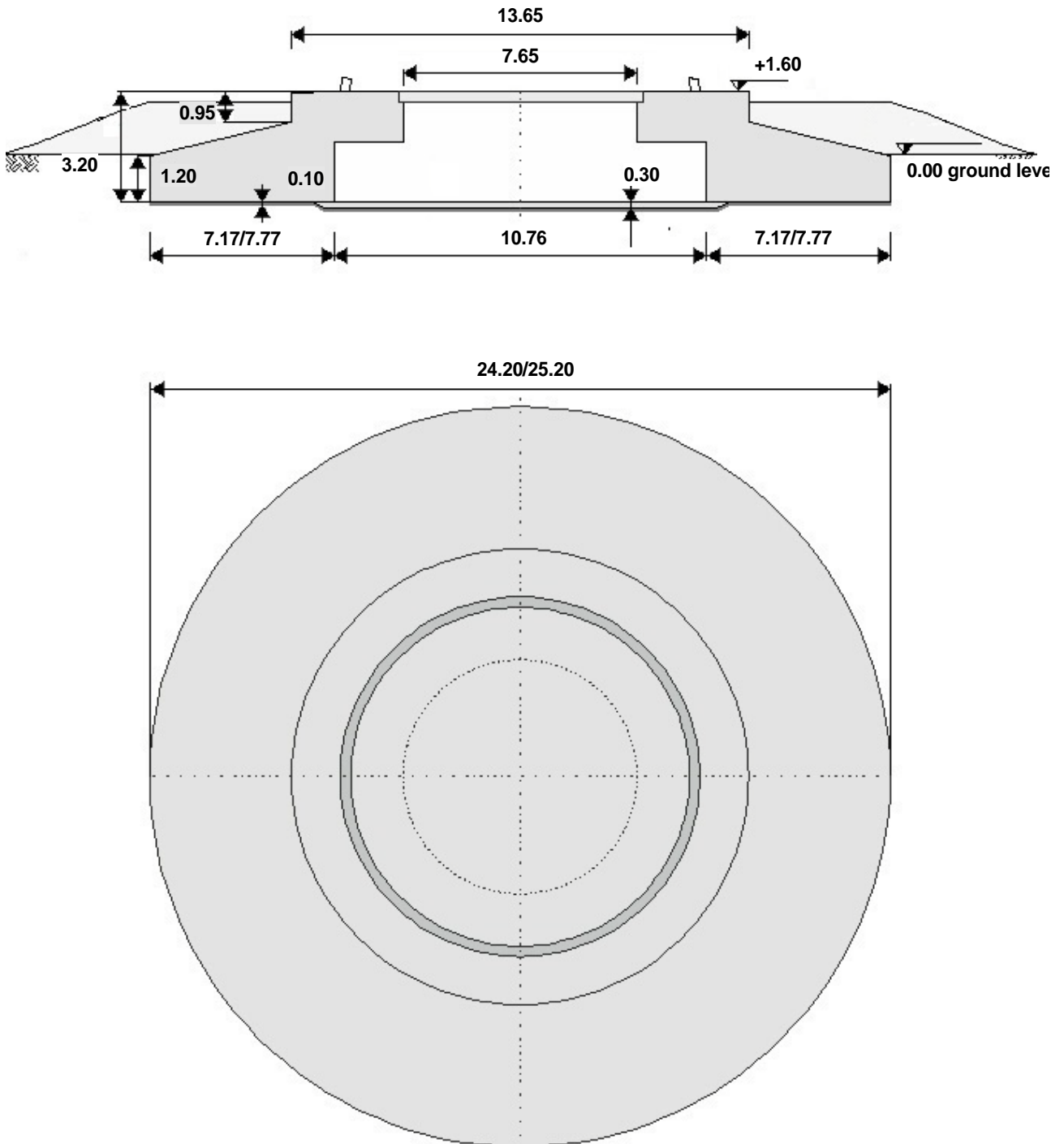


Fig. 3 Schematic representation of an exemplary foundation for a Delta4000 WT with 164 m hub height (all dimensions in meters, drawing not to scale)

4. Data

Material quantities and properties for the foundation

Only the main components are listed here.

Foundation for	Diameter	Reinforcement		Concrete	
		Steel type	Mass	Grade	Quantity
TS78, TS83 or TS105	24.80 m (fwb)	B 500 B	Approx. 88 t	C50/60 C30/37 C80/95	691 m ³
	21.80 m (fwob)	B 500 B	Approx. 75 t		582 m ³
TS110 or TS125	26.60 m (fwb)	B 500 B	Approx. 93 t	C50/60 C30/37 C80/95	782 m ³
	23.60 m (fwob)	B 500 B	Approx. 77 t		626 m ³
TCS164	24.20 m	B 500 B	Approx. 123 t	C30/37 C45/55	723 m ³
	25.20 m	B 500 B	Approx. 127 t		815 m ³

Nordex Energy GmbH
Langenhorner Chaussee 600
22419 Hamburg
Germany
<http://www.nordex-online.com>
info@nordex-online.com