

PROPONENTE
EOLO 3W SICILIA S.R.L.

VIALE LIEGI, 7 – 00198 ROMA



Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica costituito da n. 6
aereogeneratori per una potenza complessiva di 33,6 MW, denominato

“PARCO EOLICO DI TROIA – LOCALITÀ CANCARRO”



Regione Puglia



Comune di Troia (FG)

Nome Elaborato: R06_Calcolo preliminare delle strutture

Autore: ing. Michele Curtotti

Riferimenti documento (data, revisione, nome file, ecc.): 28/10/2019_rev 00

Il Tecnico

Ing. Michele R.G. Curtotti





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

COMUNE DI TROIA
(Prov. di Foggia)

RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO

**Torre eolica da 120.00 mt
a sostegno di aerogeneratore 5600 kW
a 3 pale con diametro di 162 mt**

**"Parco Eolico TROIA"
- Località Cancarro -**



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	11
Carichi permanenti	12
Carichi variabili	16
Azione del vento	16
Azione sismica	24
Verifiche strutturali	27
Resistenze di calcolo	27
Verifiche strutturali sul plinto di fondazione	27
Combinazione delle azioni	28
Calcolo azioni sui pali	28
Verifiche agli SLU	30
Verifiche agli SLE	32



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

RELAZIONE DI CALCOLO

Premessa

In quanto segue si riportano i calcoli di verifica della torre a sostegno di un aerogeneratore eolico da 5600 kW, di altezza al mozzo pari a 120.00 mt, diametro del rotore di 162 mt, su fondazione isolata a plinto circolare.

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



CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.

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 $\phi = 0,80$ m, L = 30,00 m;
2. Plinto a base circolare (D=23,20 mt.) con funzione di piastra di collegamento dei pali di fondazione;
3. Virola di fondazione, ovvero un anello metallico costituente il collegamento fra il plinto di fondazione e la torre, immersata in un cilindro di cls 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 120,00 m, tronco conica. Navicella: guscio metallico per l'alloggio delle apparecchiature meccaniche ed elettriche di produzione;
5. Rotore: a tre pale del diametro di 162,00 mt.



CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.

\

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"*.



CALCOLO PRELIMINARE DELLE STRUTTURE IN C.A.O.

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.

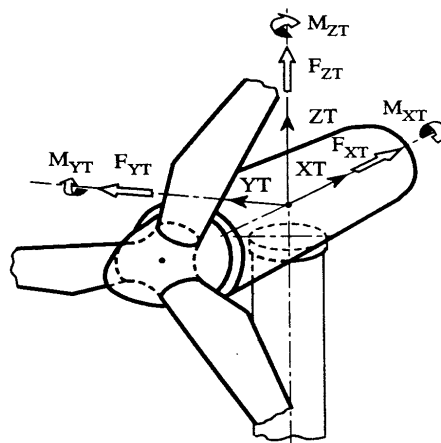


Fig.1 – Assi di riferimento



CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.

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	
		$f_{yk} \geq 500 \text{ MPa}$



CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.

Caratteristiche geotecniche del terreno di fondazione

Con riferimento ai terreni rilevati in sito (rif. "Relazione Geologica" e "Relazione Geotecnica", redatte dal Dott. Roberto Menichelli), 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:

Cu	Coeff. di coesione non drenata (kPa)
γ	Peso specifico del terreno (kN/m ³)
D	Diametro della fondazione (m)
P	Profondità minima di scavo (m)
Nc, Nq, Nγ	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.
ζc, ζq, ζγ	Coefficienti di forma della fondazione.

Tabella A

Cu=	300 kPa	Nc =	23,94217	ζc =	1,55
Ø=	30°	Nq =	13,1991	ζq =	1,51
γ =	20,8 kN/m ³	Nγ =	12,43155107	ζγ =	0.60
D =	24,00 m	(*)			
P =	1.20 m				
tg Ø =	0,51	q_{lim.}(kN/m²)		14454,64	



CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.

FONDAZIONI

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

φ	N_c	N_q	N_γ	N_q/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	8,33	2,47	1,22	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	16,72	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	37,73	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



CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.

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	667	kN
Navicella Peso	628	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	3500	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)	5214	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

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;

A_i = 50% del valore precedente;

W = momento statico della sezione tronco conica;

J = momento di inerzia della sezione tronco conica.



CALCOLO PRELIMINARE DELLE STRUTTURE IN C.A.O.

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)	α_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 120 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							97082,68	5406965,49
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	97082,68	5406965,49
2	1,80	0,70	1,20	151,25	4,449	672,86	96402,07	5310223,11
3	1,80	0,70	1,20	151,25	4,423	668,98	95729,22	5214157,46
4	1,80	0,70	1,20	151,25	4,398	665,11	95060,24	5118762,74
5	1,93	0,70	1,20	162,06	4,372	708,53	94395,13	5024035,06
6	2,04	0,70	1,20	171,13	4,346	743,77	93686,59	4929994,20
7	2,13	0,70	1,20	178,95	4,321	773,18	92942,82	4836679,49
8	2,21	0,70	1,20	185,84	4,295	798,19	92169,65	4744123,25
9	2,29	0,70	1,20	192,00	4,270	819,76	91371,46	4652352,70
10	2,35	0,70	1,20	197,59	4,244	838,56	90551,69	4561391,13
11	2,41	0,70	1,20	202,71	4,218	855,07	89713,13	4471258,72
12	2,47	0,70	1,20	207,42	4,193	869,65	88858,06	4381973,13
13	2,52	0,70	1,20	211,80	4,167	882,59	87988,40	4293549,90
14	2,57	0,70	1,20	215,89	4,141	894,10	87105,81	4206002,79
15	2,62	0,70	1,20	219,73	4,116	904,36	86211,71	4119344,02
16	2,66	0,70	1,20	223,34	4,090	913,52	85307,35	4033584,49
17	2,70	0,70	1,20	226,76	4,065	921,70	84393,83	3948733,90
18	2,74	0,70	1,20	230,00	4,039	928,99	83472,13	3864800,92
19	2,77	0,70	1,20	233,09	4,013	935,49	82543,14	3781793,29
20	2,81	0,70	1,20	236,04	3,988	941,26	81607,65	3699717,89
21	2,84	0,70	1,20	238,85	3,962	946,38	80666,38	3618580,88
22	2,88	0,70	1,20	241,55	3,937	950,88	79720,01	3538387,68
23	2,91	0,70	1,20	244,14	3,911	954,83	78769,13	3459143,12
24	2,94	0,70	1,20	246,63	3,885	958,25	77814,30	3380851,40
25	2,96	0,70	1,20	249,03	3,860	961,20	76856,05	3303516,23
26	2,99	0,70	1,20	251,35	3,834	963,70	75894,85	3227140,78
27	3,02	0,70	1,20	253,58	3,809	965,78	74931,14	3151727,79
28	3,04	0,70	1,20	255,75	3,783	967,47	73965,36	3077279,54
29	3,07	0,70	1,20	257,84	3,757	968,80	72997,89	3003797,91
30	3,09	0,70	1,20	259,87	3,732	969,77	72029,09	2931284,43
31	3,12	0,70	1,20	261,85	3,706	970,43	71059,31	2859740,22
32	3,14	0,70	1,20	263,76	3,680	970,77	70088,89	2789166,12
33	3,16	0,70	1,20	265,62	3,655	970,82	69118,12	2719562,62



CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.

34	3,18	0,70	1,20	267,43	3,629	970,59	68147,30	2650929,91
35	3,20	0,70	1,20	269,20	3,604	970,10	67176,71	2583267,90
36	3,23	0,70	1,20	270,92	3,578	969,36	66206,61	2516576,25
37	3,25	0,70	1,20	272,60	3,552	968,38	65237,25	2450854,32
38	3,26	0,70	1,20	274,23	3,527	967,17	64268,87	2386101,26
39	3,28	0,70	1,20	275,83	3,501	965,74	63301,70	2322315,97
40	3,30	0,70	1,20	277,39	3,476	964,11	62335,95	2259497,15
41	3,32	0,70	1,20	278,92	3,450	962,27	61371,84	2197643,25
42	3,34	0,70	1,20	280,41	3,424	960,25	60409,57	2136752,54
43	3,36	0,70	1,20	281,88	3,399	958,03	59449,33	2076823,09
44	3,37	0,70	1,20	283,31	3,373	955,64	58491,29	2017852,79
45	3,39	0,70	1,20	284,71	3,348	953,08	57535,65	1959839,32
46	3,41	0,70	1,20	286,08	3,322	950,36	56582,56	1902780,21
47	3,42	0,70	1,20	287,43	3,296	947,48	55632,20	1846672,83
48	3,44	0,70	1,20	288,76	3,271	944,44	54684,73	1791514,36
49	3,45	0,70	1,20	290,05	3,245	941,26	53740,29	1737301,86
50	3,47	0,70	1,20	291,33	3,220	937,93	52799,03	1684032,20
51	3,48	0,70	1,20	292,58	3,194	934,47	51861,10	1631702,13
52	3,50	0,70	1,20	293,81	3,168	930,87	50926,63	1580308,27
53	3,51	0,70	1,20	295,02	3,143	927,14	49995,77	1529847,07
54	3,53	0,70	1,20	296,20	3,117	923,29	49068,63	1480314,87
55	3,54	0,70	1,20	297,37	3,091	919,31	48145,34	1431707,89
56	3,55	0,70	1,20	298,52	3,066	915,22	47226,03	1384022,20
57	3,57	0,70	1,20	299,65	3,040	911,01	46310,82	1337253,77
58	3,58	0,70	1,20	300,76	3,015	906,69	45399,81	1291398,46
59	3,59	0,70	1,20	301,86	2,989	902,26	44493,12	1246452,00
60	3,61	0,70	1,20	302,94	2,963	897,72	43590,86	1202410,01
61	3,62	0,70	1,20	304,00	2,938	893,09	42693,14	1159268,01
62	3,63	0,70	1,20	305,05	2,912	888,35	41800,05	1117021,41
63	3,64	0,70	1,20	306,08	2,887	883,52	40911,70	1075665,54
64	3,66	0,70	1,20	307,09	2,861	878,59	40028,18	1035195,60
65	3,67	0,70	1,20	308,10	2,835	873,57	39149,59	995606,71
66	3,68	0,70	1,20	309,08	2,810	868,45	38276,03	956893,90
67	3,69	0,70	1,20	310,06	2,784	863,25	37407,58	919052,10
68	3,70	0,70	1,20	311,02	2,759	857,97	36544,32	882076,15
69	3,71	0,70	1,20	311,97	2,733	852,60	35686,36	845960,81
70	3,73	0,70	1,20	312,91	2,707	847,14	34833,76	810700,75
71	3,74	0,70	1,20	313,83	2,682	841,61	33986,62	776290,56
72	3,75	0,70	1,20	314,75	2,656	836,00	33145,01	742724,75
73	3,76	0,70	1,20	315,65	2,630	830,31	32309,01	709997,74
74	3,77	0,70	1,20	316,54	2,605	824,55	31478,70	678103,88
75	3,78	0,70	1,20	317,42	2,579	818,71	30654,16	647037,45
76	3,79	0,70	1,20	318,29	2,554	812,80	29835,45	616792,65
77	3,80	0,70	1,20	319,15	2,528	806,82	29022,65	587363,60
78	3,81	0,70	1,20	320,00	2,502	800,77	28215,83	558744,36
79	3,82	0,70	1,20	320,83	2,477	794,65	27415,06	530928,91
80	3,83	0,70	1,20	321,66	2,451	788,47	26620,41	503911,18



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

81	3,84	0,70	1,20	322,48	2,426	782,22	25831,94	477685,00
82	3,85	0,70	1,20	323,29	2,400	775,91	25049,72	452244,17
83	3,86	0,70	1,20	324,10	2,374	769,53	24273,81	427582,40
84	3,87	0,70	1,20	324,89	2,349	763,09	23504,28	403693,35
85	3,88	0,70	1,20	325,67	2,323	756,60	22741,19	380570,62
86	3,89	0,70	1,20	326,45	2,298	750,04	21984,59	358207,73
87	3,90	0,70	1,20	327,22	2,272	743,43	21234,55	336598,16
88	3,90	0,70	1,20	327,98	2,246	736,75	20491,13	315735,32
89	3,91	0,70	1,20	328,73	2,221	730,02	19754,37	295612,57
90	3,92	0,70	1,20	329,48	2,195	723,24	19024,35	276223,21
91	3,93	0,70	1,20	330,21	2,170	716,40	18301,11	257560,48
92	3,94	0,70	1,20	330,94	2,144	709,51	17584,71	239617,58
93	3,95	0,70	1,20	331,67	2,118	702,57	16875,20	222387,63
94	3,96	0,70	1,20	332,38	2,093	695,57	16172,63	205863,71
95	3,97	0,70	1,20	333,09	2,067	688,52	15477,06	190038,87
96	3,97	0,70	1,20	333,79	2,041	681,43	14788,54	174906,07
97	3,98	0,70	1,20	334,49	2,016	674,28	14107,11	160458,25
98	3,99	0,70	1,20	335,18	1,990	667,08	13432,83	146688,27
99	4,00	0,70	1,20	335,86	1,965	659,84	12765,75	133588,98
100	4,01	0,70	1,20	336,54	1,939	652,55	12105,91	121153,15
101	4,01	0,70	1,20	337,21	1,913	645,22	11453,36	109373,52
102	4,02	0,70	1,20	337,87	1,888	637,83	10808,14	98242,77
103	4,03	0,70	1,20	338,53	1,862	630,41	10170,31	87753,54
104	4,04	0,70	1,20	339,18	1,837	622,93	9539,90	77898,44
105	4,05	0,70	1,20	339,83	1,811	615,42	8916,97	68670,00
106	4,05	0,70	1,20	340,47	1,785	607,86	8301,55	60060,74
107	4,06	0,70	1,20	341,10	1,760	600,26	7693,69	52063,13
108	4,07	0,70	1,20	341,74	1,734	592,62	7093,42	44669,57
109	4,08	0,70	1,20	342,36	1,709	584,94	6500,81	37872,46
110	4,08	0,70	1,20	342,98	1,683	577,21	5915,87	31664,12
111	4,09	0,70	1,20	343,59	1,657	569,45	5338,66	26036,85
112	4,10	0,70	1,20	344,20	1,632	561,64	4769,21	20982,91
113	4,10	0,70	1,20	344,81	1,606	553,80	4207,57	16494,52
114	4,11	0,70	1,20	345,41	1,580	545,92	3653,78	12563,85
115	4,12	0,70	1,20	346,00	1,555	537,99	3107,86	9183,03
116	4,13	0,70	1,20	346,59	1,529	530,04	2569,87	6344,16
117	4,13	0,70	1,20	347,18	1,504	522,04	2039,83	4039,32
118	4,14	0,70	1,20	347,76	1,478	514,01	1517,79	2260,51
119	4,15	0,70	1,20	348,34	1,452	505,94	1003,78	999,73
120	4,15	0,70	1,20	348,91	1,427	497,84	497,84	248,92

Tabella 5 – Calcolo azione del vento sulla Torre



CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.

Torre da 120 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	1647389,36
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	1647389,36
2	1,71	0,70	1,20	146,21	0,00	0,00	17821,22	1629568,15
3	1,71	0,70	1,20	146,21	0,00	0,00	17821,22	1611746,93
4	1,71	0,70	1,20	146,21	0,00	0,00	17821,22	1593925,71
5	1,93	0,70	1,20	165,20	0,00	0,00	17821,22	1576104,50
6	2,04	0,70	1,20	174,44	0,00	0,00	17821,22	1558283,28
7	2,13	0,70	1,20	182,41	0,00	0,00	17821,22	1540462,07
8	2,21	0,70	1,20	189,44	0,00	0,00	17821,22	1522640,85
9	2,29	0,70	1,20	195,72	0,00	0,00	17821,22	1504819,63
10	2,35	0,70	1,20	201,42	0,00	0,00	17821,22	1486998,42
11	2,41	0,70	1,20	206,63	0,00	0,00	17821,22	1469177,20
12	2,47	0,70	1,20	211,44	0,00	0,00	17821,22	1451355,99
13	2,52	0,70	1,20	215,90	0,00	0,00	17821,22	1433534,77
14	2,57	0,70	1,20	220,07	0,00	0,00	17821,22	1415713,55
15	2,62	0,70	1,20	223,98	0,00	0,00	17821,22	1397892,34
16	2,66	0,70	1,20	227,67	0,00	0,00	17821,22	1380071,12
17	2,70	0,70	1,20	231,15	0,00	0,00	17821,22	1362249,91
18	2,74	0,70	1,20	234,46	0,00	0,00	17821,22	1344428,69
19	2,77	0,70	1,20	237,61	0,00	0,00	17821,22	1326607,47
20	2,81	0,70	1,20	240,61	0,00	0,00	17821,22	1308786,26
21	2,84	0,70	1,20	243,48	0,00	0,00	17821,22	1290965,04
22	2,88	0,70	1,20	246,23	0,00	0,00	17821,22	1273143,83
23	2,91	0,70	1,20	248,87	0,00	0,00	17821,22	1255322,61
24	2,94	0,70	1,20	251,41	0,00	0,00	17821,22	1237501,39
25	2,96	0,70	1,20	253,85	0,00	0,00	17821,22	1219680,18
26	2,99	0,70	1,20	256,22	0,00	0,00	17821,22	1201858,96
27	3,02	0,70	1,20	258,50	0,00	0,00	17821,22	1184037,75
28	3,04	0,70	1,20	260,70	0,00	0,00	17821,22	1166216,53
29	3,07	0,70	1,20	262,84	0,00	0,00	17821,22	1148395,31
30	3,09	0,70	1,20	264,91	0,00	0,00	17821,22	1130574,10
31	3,12	0,70	1,20	266,92	0,00	0,00	17821,22	1112752,88
32	3,14	0,70	1,20	268,87	0,00	0,00	17821,22	1094931,67
33	3,16	0,70	1,20	270,77	0,00	0,00	17821,22	1077110,45



CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.

34	3,18	0,70	1,20	272,61	0,00	0,00	17821,22	1059289,23
35	3,20	0,70	1,20	274,41	0,00	0,00	17821,22	1041468,02
36	3,23	0,70	1,20	276,17	0,00	0,00	17821,22	1023646,80
37	3,25	0,70	1,20	277,88	0,00	0,00	17821,22	1005825,59
38	3,26	0,70	1,20	279,54	0,00	0,00	17821,22	988004,37
39	3,28	0,70	1,20	281,17	0,00	0,00	17821,22	970183,15
40	3,30	0,70	1,20	282,77	0,00	0,00	17821,22	952361,94
41	3,32	0,70	1,20	284,32	0,00	0,00	17821,22	934540,72
42	3,34	0,70	1,20	285,84	0,00	0,00	17821,22	916719,51
43	3,36	0,70	1,20	287,34	0,00	0,00	17821,22	898898,29
44	3,37	0,70	1,20	288,79	0,00	0,00	17821,22	881077,07
45	3,39	0,70	1,20	290,22	0,00	0,00	17821,22	863255,86
46	3,41	0,70	1,20	291,63	0,00	0,00	17821,22	845434,64
47	3,42	0,70	1,20	293,00	0,00	0,00	17821,22	827613,43
48	3,44	0,70	1,20	294,35	0,00	0,00	17821,22	809792,21
49	3,45	0,70	1,20	295,67	0,00	0,00	17821,22	791970,99
50	3,47	0,70	1,20	296,97	0,00	0,00	17821,22	774149,78
51	3,48	0,70	1,20	298,24	0,00	0,00	17821,22	756328,56
52	3,50	0,70	1,20	299,50	0,00	0,00	17821,22	738507,35
53	3,51	0,70	1,20	300,73	0,00	0,00	17821,22	720686,13
54	3,53	0,70	1,20	301,94	0,00	0,00	17821,22	702864,91
55	3,54	0,70	1,20	303,13	1,50	454,69	17821,22	685043,70
56	3,55	0,70	1,20	304,30	1,50	456,45	17366,52	667449,83
57	3,57	0,70	1,20	305,45	1,50	458,18	16910,07	650311,53
58	3,58	0,70	1,20	306,59	1,50	459,88	16451,89	633630,55
59	3,59	0,70	1,20	307,70	1,50	461,56	15992,01	617408,60
60	3,61	0,70	1,20	308,80	1,50	463,20	15530,45	601647,37
61	3,62	0,70	1,20	309,89	1,50	464,83	15067,25	586348,52
62	3,63	0,70	1,20	310,95	1,50	466,43	14602,42	571513,69
63	3,64	0,70	1,20	312,00	1,50	468,01	14135,99	557144,48
64	3,66	0,70	1,20	313,04	1,50	469,56	13667,98	543242,50
65	3,67	0,70	1,20	314,06	1,50	471,10	13198,42	529809,29
66	3,68	0,70	1,20	315,07	1,50	472,61	12727,33	516846,42
67	3,69	0,70	1,20	316,07	1,50	474,10	12254,72	504355,40
68	3,70	0,70	1,20	317,05	1,50	475,57	11780,62	492337,73
69	3,71	0,70	1,20	318,01	1,50	477,02	11305,05	480794,90
70	3,73	0,70	1,20	318,97	1,50	478,45	10828,03	469728,36
71	3,74	0,70	1,20	319,91	1,50	479,87	10349,58	459139,55
72	3,75	0,70	1,20	320,84	1,50	481,26	9869,71	449029,91
73	3,76	0,70	1,20	321,76	1,50	482,64	9388,44	439400,83
74	3,77	0,70	1,20	322,67	1,50	484,00	8905,80	430253,71
75	3,78	0,70	1,20	323,57	1,50	485,35	8421,80	421589,91
76	3,79	0,70	1,20	324,45	1,50	486,68	7936,45	413410,79
77	3,80	0,70	1,20	325,33	1,50	487,99	7449,77	405717,68
78	3,81	0,70	1,20	326,19	1,50	489,29	6961,78	398511,90
79	3,82	0,70	1,20	327,05	1,50	490,57	6472,49	391794,77
80	3,83	0,70	1,20	327,89	1,50	491,84	5981,92	385567,57



CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.

81	3,84	0,70	1,20	328,73	1,50	493,09	5490,07	379831,58
82	3,85	0,70	1,20	329,56	1,50	494,33	4996,98	374588,05
83	3,86	0,70	1,20	330,37	1,50	495,56	4502,65	369838,24
84	3,87	0,70	1,20	331,18	1,50	496,77	4007,09	365583,37
85	3,88	0,70	1,20	331,98	1,50	497,97	3510,31	361824,67
86	3,89	0,70	1,20	332,77	1,50	499,16	3012,34	358563,35
87	3,90	0,70	1,20	333,56	1,50	500,33	2513,18	355800,59
88	3,90	0,70	1,20	334,33	1,50	501,50	2012,84	353537,58
89	3,91	0,70	1,20	335,10	1,50	502,65	1511,35	351775,48
90	3,92	0,70	1,20	335,86	1,50	503,79	1008,70	350515,46
91	3,93	0,70	1,20	336,61	1,50	504,91	1010,94	349252,62
92	3,94	0,70	1,20	337,35	1,50	506,03	1013,16	347987,00
93	3,95	0,70	1,20	338,09	1,50	507,13	1015,36	346718,62
94	3,96	0,70	1,20	338,82	1,50	508,23	1017,54	345447,51
95	3,97	0,70	1,20	339,54	1,50	509,31	1019,70	344173,70
96	3,97	0,70	1,20	340,26	1,50	510,39	1021,84	342897,21
97	3,98	0,70	1,20	340,97	1,50	511,45	1023,95	341618,06
98	3,99	0,70	1,20	341,67	1,50	512,50	1026,05	340336,29
99	4,00	0,70	1,20	342,36	1,50	513,55	4029,85	336050,19
100	4,01	0,70	1,20	343,05	10,25	3516,30	5578,72	330214,69
101	4,01	0,70	1,20	343,74	6,00	2062,42	4128,91	324327,63
102	4,02	0,70	1,20	344,41	6,00	2066,48	4137,00	319159,42
103	4,03	0,70	1,20	345,09	6,00	2070,51	4145,01	313981,17
104	4,04	0,70	1,20	345,75	6,00	2074,50	4152,96	308792,95
105	4,05	0,70	1,20	346,41	6,00	2078,46	4160,84	303594,86
106	4,05	0,70	1,20	347,06	6,00	2082,38	4168,65	298386,99
107	4,06	0,70	1,20	347,71	6,00	2086,27	4176,39	293169,41
108	4,07	0,70	1,20	348,35	6,00	2090,12	4184,07	287942,20
109	4,08	0,70	1,20	348,99	6,00	2093,95	4191,68	282705,46
110	4,08	0,70	1,20	349,62	6,00	2097,74	4199,24	277459,25
111	4,09	0,70	1,20	350,25	6,00	2101,50	4206,72	272203,65
112	4,10	0,70	1,20	350,87	6,00	2105,23	4214,15	266938,75
113	4,10	0,70	1,20	351,49	6,00	2108,93	4221,52	261664,62
114	4,11	0,70	1,20	352,10	6,00	2112,60	4228,83	256381,32
115	4,12	0,70	1,20	352,71	6,00	2116,24	4236,08	251088,94
116	4,13	0,70	1,20	353,31	6,00	2119,85	4243,28	245787,55
117	4,13	0,70	1,20	353,91	6,00	2123,43	4250,42	240477,21
118	4,14	0,70	1,20	354,50	6,00	2126,99	4257,50	235157,99
119	4,15	0,70	1,20	355,09	6,00	2130,51	4264,53	229829,97
120	4,15	0,70	1,20	355,67	6,00	2134,01	4271,50	224493,21
121	4,16	0,70	1,20	356,25	6,00	2137,49	4278,43	219147,77
122	4,17	0,70	1,20	356,82	6,00	2140,94	4285,30	213793,73
123	4,17	0,70	1,20	357,39	6,00	2144,36	4292,12	208431,14
124	4,18	0,70	1,20	357,96	6,00	2147,76	4298,89	203060,07
125	4,19	0,70	1,20	358,52	6,00	2151,13	4305,61	197680,58
126	4,19	0,70	1,20	359,08	6,00	2154,48	4312,28	192292,74
127	4,20	0,70	1,20	359,63	6,00	2157,80	4318,91	186896,59



CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.

128	4,21	0,70	1,20	360,18	6,00	2161,10	4325,48	181492,20
129	4,21	0,70	1,20	360,73	6,00	2164,38	4332,01	176079,64
130	4,22	0,70	1,20	361,27	6,00	2167,63	4338,50	170658,95
131	4,23	0,70	1,20	361,81	6,00	2170,87	4344,94	165230,19
132	4,23	0,70	1,20	362,35	6,00	2174,07	4351,33	159793,42
133	4,24	0,70	1,20	362,88	6,00	2177,26	4357,69	154348,70
134	4,24	0,70	1,20	363,40	6,00	2180,43	4363,99	148896,08
135	4,25	0,70	1,20	363,93	6,00	2183,57	4370,26	143435,61
136	4,26	0,70	1,20	364,45	6,00	2186,69	4376,48	137967,34
137	4,26	0,70	1,20	364,97	6,00	2189,79	4382,66	132491,33
138	4,27	0,70	1,20	365,48	6,00	2192,87	4388,80	127007,63
139	4,27	0,70	1,20	365,99	6,00	2195,93	4394,91	121516,29
140	4,28	0,70	1,20	366,50	6,00	2198,97	4400,97	116017,35
141	4,29	0,70	1,20	367,00	6,00	2201,99	4406,99	110510,88
142	4,29	0,70	1,20	367,50	6,00	2204,99	4412,97	104996,91
143	4,30	0,70	1,20	368,00	6,00	2207,98	4418,92	99475,50
144	4,30	0,70	1,20	368,49	6,00	2210,94	4424,82	93946,69
145	4,31	0,70	1,20	368,98	6,00	2213,88	4430,69	88410,53
146	4,31	0,70	1,20	369,47	6,00	2216,81	4436,53	82867,06
147	4,32	0,70	1,20	369,95	6,00	2219,72	4442,32	77316,33
148	4,33	0,70	1,20	370,43	6,00	2222,61	4448,08	71758,39
149	4,33	0,70	1,20	370,91	6,00	2225,48	4453,81	66193,28
150	4,34	0,70	1,20	371,39	6,00	2228,33	4459,50	60621,04
151	4,34	0,70	1,20	371,86	6,00	2231,17	4465,16	55041,72
152	4,35	0,70	1,20	372,33	6,00	2233,99	4470,78	49455,35
153	4,35	0,70	1,20	372,80	6,00	2236,79	4476,37	43861,99
154	4,36	0,70	1,20	373,26	6,00	2239,58	4481,92	38261,67
155	4,36	0,70	1,20	373,72	6,00	2242,35	4487,45	32654,44
156	4,37	0,70	1,20	374,18	6,00	2245,10	4492,94	27040,33
157	4,38	0,70	1,20	374,64	6,00	2247,84	4498,40	21419,38
158	4,38	0,70	1,20	375,09	6,00	2250,56	4503,82	15791,64
159	4,39	0,70	1,20	375,54	6,00	2253,26	4509,22	10157,14
160	4,39	0,70	1,20	375,99	6,00	2255,95	4514,58	4515,92
161	4,40	0,70	1,20	376,44	6,00	2258,63	2258,63	1129,31

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)	3500	0	0	60,00
B	Carichi permanenti Torre (KN)	0	0	0	0
C	Navicella (KN)	628	2,00	0	120,00
D	Rotore (KN)	667	-4,00	0	120,00
Sistema A+B+C+D (KN)		4795			

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	53,50	154,947	
H	L	D	T	T_c*	
altezza struttura	Spessore struttura	diametro base	periodo di vibrazione		
m	m	m	s	s	
120	0,032	4.06	0,03305	0,29	
C_c	T_B	T_c	T_D	a_g	
	s	s	s	m/s^2	
1,56221	0,15622	0,46866	1,8948	0,723	
F₀	S_s	S_T	S	h	
			Coeff sottosuolo		
2,46	1,5	1,0	1,50	1	
S(e)	1.958	m/s^2	F_h	1057,45	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 fondazione) si possono calcolare le forze orizzontali di piano da applicare come azione sismica F_{hi} :



CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.

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

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>	1639	114

	W _i h _i	F _{hi}
	kNm	kN
<i>I tronco</i>	4081,413924	11,60470052
<i>II tronco</i>	6709,410404	19,07689342
<i>III tronco</i>	36330,44222	103,2984916
<i>IV tronco</i>	54134,55551	153,920998
<i>V tronco</i>	83789,13348	238,2379781
<i>VI tronco</i>	186864,3906	531,3122687



CALCOLO PRELIMINARE DELLE STRUTTURE IN C.A.O.

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:

$$f_d = f_k / \gamma_m$$

- con coefficiente parziale di sicurezza relativo al cls
 $\gamma_c = 1,5$
- 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
55477	3756	247235	SLE _(frequente)
57302	5633	350448	SLU
74894	8450	353244	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.

Id Palo	N	N° tot pali	M _{sd,TOT}	N _i
1				4680,90
2				6265,74
3				7543,84
4				8419,76
5				8726,51
6				8419,76
7				7543,84
8				6265,74
9	74894,46	16	385776,42	4680,90
10				3096,06
11				1817,97
12				942,04
13				635,30
14				942,04
15				1817,97
16				3096,06

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

Id Palo	N	N° tot pali	M _{sd,TOT}	N _i
1				3581,37
2				5110,18
3				6343,08
4				7188,04
5				7483,94
6				7188,04
7				6343,08
8				5110,18
9	57301,93	16	372136,86	3581,37
10				2052,56
11				819,66
12				-25,30
13				-321,19
14				-25,30
15				819,66
16				2052,56

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

Id Palo	N	N° tot pali	M _{sd,TOT}	N _i
1				3467,34
2				4542,42
3				5409,43
4				6003,62
5				6211,70
6				6003,62
7				5409,43
8	55477,38	16	261694,33	4542,42
9				3467,34
10				2392,25
11				1525,24
12				931,05
13				722,97
14				931,05
15				1525,24



CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE IN C.A.O.

16				2392,25
----	--	--	--	---------

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

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	90326	11291

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	19751,52	643,37

Azioni Resistenti

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

Verifica

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

Verifica a Punzonamento:

Azioni di progetto

$V_{s,d}$	[MPa]	0,273
-----------	-------	--------------

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]	0,244

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	6209,00	776,13
$\sigma_{c,E}$	1,88	[MPa]
$\sigma_{s,E}$	28,22	[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.**

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 0,80 mt. e lunghezza di 30.00 mt.

Il plinto di base ha diametro di 24,00 m, con altezza minima (all'esterno) di 1,70 m e altezza massima (al centro) di 3,30 m. ca.

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