REGIONE TOSCANA

COMUNE DI MANCIANO

PROVINCIA DI GROSSETO

PROGETTO DEFINITIVO

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Fiora" di potenza nominale pari a 52.8 MW e relative opere connesse da realizzarsi nel comune di Manciano (GR)

Titolo elaborato

Analisi degli effetti della rottura degli organi rotanti

Codice elaborato

F0612AR04A

Scala

-

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione.

Progettazione

F4 ingegneria srl
Via Di Giura - Centro direzionale, 85100 Potenza
Tel: +39 0971 1944797 - Fax: +39 0971 55452
www.f4ingegneria.it - f4ingegneria@pec.it

Il Direttore Tecnico
(ing. Giovanni Di Santo)

Società certificata secondo le norme UNI-EN ISO 9001:2015 e UNI-EN ISO 14001:2015 per l'erogazione di servizi di ingegneria nei settori: civile, idraulica, acustica, energia, ambiente (settore IAF: 34).

Gruppo di lavoro

Dott. For. Luigi ZUCCARO
Ing. Giuseppe MANZI
Ing. Monica COIRO
Ing. jr. Flavio Gerardo TRIANI
Ing. Gerardo Giuseppe SCAVONE
Ing. Manuela Nardozza
Ing. Angelo CORRADO
Arch. Gaia TELESCA

Consulenze specialistiche

Committente

Apollo Wind S.r.l.
Via della Stazione, 7
39100 Bolzano (BZ)

Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
Dicembre 2023	Prima emissione	FTR	FTR	GMA

File sorgente: **F0612AR04A - Analisi degli effetti della rottura degli organi rotanti.docx**

Sommario

1 Premessa 3

2 Geometria del problema e teoria di calcolo 4

3 Calcolo della gittata massima 6

4 Conclusioni 12

1 Premessa

La tecnologia costruttiva degli aerogeneratori è alquanto sofisticata e di chiara derivazione aeronautica, per cui, la valutazione della gittata massima degli elementi di un aerogeneratore, in caso di rottura accidentale, comporta lo sviluppo di modelli di calcolo articolati e complessi.

I modelli teorici che meglio possono caratterizzare il moto nello spazio dei frammenti di pala o dell'intera pala possono essere ricondotti ai casi seguenti:

- **1° caso**: traiettoria a giavellotto con minore resistenza aerodinamica. Calcolo della gittata massima del generico frammento di ala, in assenza di moto rotazionale intorno ad un asse qualsiasi, con traiettoria del frammento complanare al rotore.

- **2° caso**: traiettoria a giavellotto con maggiore resistenza aerodinamica. Calcolo della gittata massima del generico frammento di ala, sempre in assenza di moto rotazionale, intorno ad un asse qualsiasi, con traiettoria complanare al rotore e frammento ortogonale rispetto al piano del rotore.

- **3° caso**: calcolo della gittata massima in presenza di moti di rotazione intorno a ciascuno dei tre assi principali del frammento stesso. In caso di rottura, infatti, per il principio di conservazione del momento angolare, il generico spezzone di pala tende a ruotare intorno all'asse ortogonale al proprio piano; inoltre, a causa delle diverse pressioni cinetiche esercitate dal vento, lo spezzone di pala tende anche a ruotare intorno a ciascuno dei due assi principali appartenenti al proprio piano.

Le condizioni prese in considerazione nel 3°caso, permettono senza dubbio un calcolo più preciso e maggiormente corrispondente al reale moto di una pala staccatasi dal rotore per cause accidentali e forniscono, sperimentalmente, un valore di gittata di circa il 20% in meno di quella fornita dal caso 1.

Come già accennato precedentemente, la risoluzione del 3° caso è però più complessa e richiede la conoscenza di alcune caratteristiche degli aerogeneratori, non sempre fornite dai produttori, poiché oggetto di brevetto.

Pertanto, si è deciso di utilizzare il 1°caso, di facile soluzione e che fornisce un risultato maggiorato di circa il 20%, garantendo così un ulteriore margine di sicurezza.

L'aerogeneratore preso come riferimento per la presente verifica e previsto in progetto è del tipo Siemens Gamesa SG-170 MW-HH115 o similare.

La velocità del rotore è variabile in relazione all'intensità del vento, ad ogni modo il calcolo sarà effettuato con riferimento alla velocità massima di 10.60 giri/min.

2 Geometria del problema e teoria di calcolo

Le equazioni del moto di un punto materiale soggetto solo alla forza di gravità sono:

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= 0 \\ \ddot{y} &= -g \end{aligned}$$

dove g=9.81 m/s^2 è l'accelerazione di gravità. La legge del moto che costituisce soluzione di queste equazioni è:

$$\begin{aligned} x(t) &= x_0 + v_x t \\ y(t) &= y_0 + v_y t - \frac{1}{2} g t^2 \end{aligned}$$

dove (x_0,v_0) è la posizione iniziale del punto materiale, e (v_x,v_y) è la sua velocità. La traiettoria del punto materiale intercetta il suolo al tempo T tale che y(T)=0. Dalla legge del moto si ottiene:

$$T = \frac{v_y}{g} + \frac{1}{g}\sqrt{v_y^2 + 2 y_0 g}$$

in cui è stata scartata la soluzione corrispondente a tempi negativi.

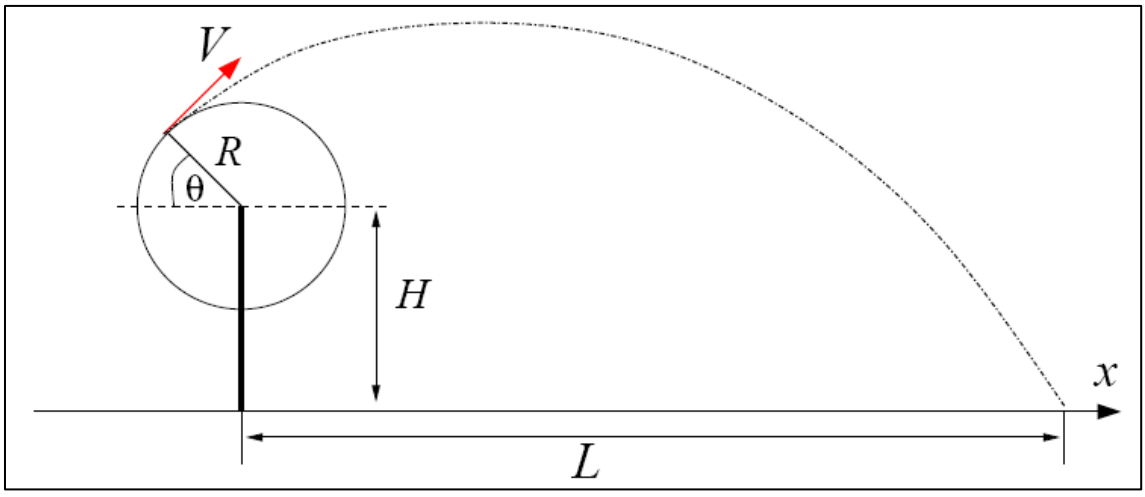

Figura 1: geometria del problema

La posizione e la velocità iniziale sono determinate dall'angolo θ e dalla velocità iniziale V del frammento di pala al momento del distacco. Esse sono legate alla posizione ed alla velocità iniziale dalle relazioni:

$$\begin{aligned} x_0 &= -R\cos(\theta) \\ y_0 &= H + R\sin(\theta) \\ v_x &= V\sin(\theta) \\ v_y &= V\cos(\theta) \end{aligned}$$

La gittata L è la distanza dal palo del punto di impatto al suolo del frammento di pala. Dalla legge del moto si ottiene:

$$L = x(T)$$

Sostituendo l'espressione per T ricavato sopra, si ricava la gittata L in funzione di V e di θ:

$$L = \frac{V\sin(\theta)}{g}\left[V\cos(\theta) + \sqrt{V^2\cos^2(\theta) + 2(H + R\sin(\theta))g}\right] - R\cos(\theta)$$

Si noti che, fissato un generico angolo θ, la gittata aumenta quadraticamente con V, salvo i casi particolari θ=±90°, 0°, 180°, nei quali quest'ultima aumenta linearmente con V oppure è pari ad R.

3 Calcolo della gittata massima

Come precedentemente indicato, il calcolo della gittata massima richiede la conoscenza dei valori H (altezza del mozzo), R (distanza massima del baricentro del frammento staccatosi dal rotore) e V (velocità di distacco del frammento di pala).

Nel caso in esame, i valori di H ed R sono rispettivamente H=115 m ed R=85.00 m, e per il calcolo della velocità di distacco del frammento di pala si ricorre alla seguente formula:

$$V = \frac{2 \times \pi \times R \times rpm}{60}$$

Il massimo numero di giri per minuto che l'aerogeneratore compie è pari 10.60 rpm; quindi, supponendo che la rottura della pala avvenga vicino al mozzo, ma per ragioni di sicurezza utilizzando R uguale a 85.00 m per il calcolo della velocità tangenziale, si ottiene un valore della stessa pari a 32.64 m/s.

Di seguito si riporta il grafico della gittata in funzione dell'angolo e della velocità di distacco.

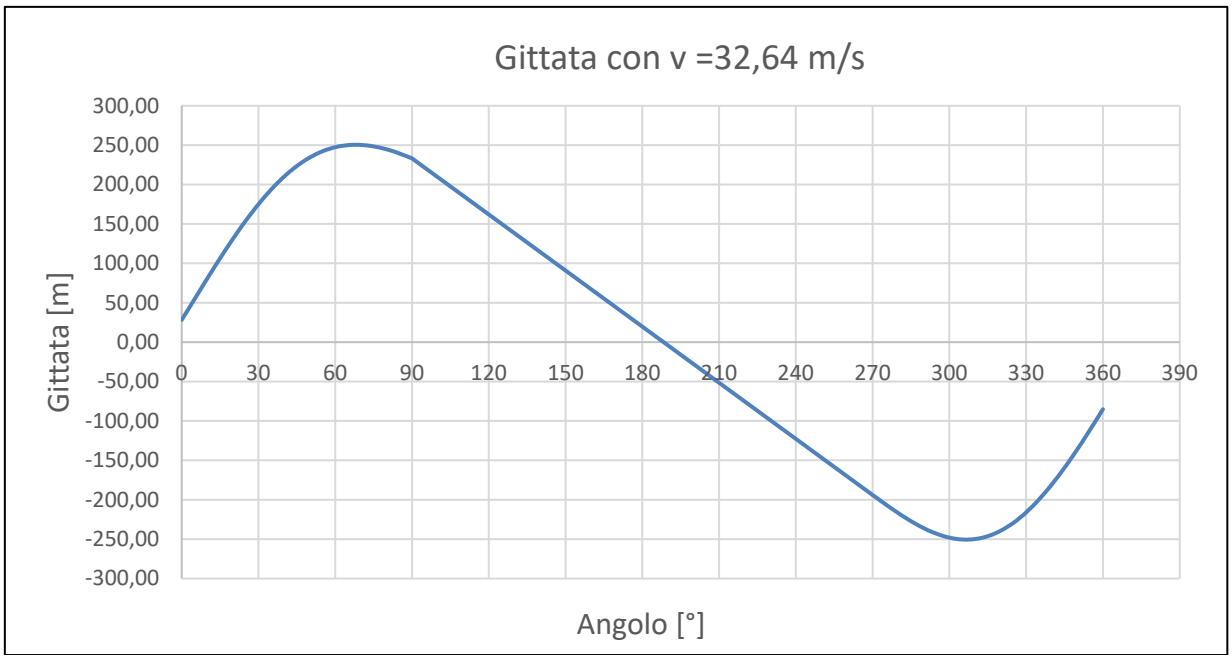

Figura 2: andamento della gittata in funzione dell'angolo e della velocità di distacco

Nel grafico si propone la gittata massima nel caso in cui si distacchi la pala dal suo baricentro con una velocità di 32.64 m/s.

La gittata massima di un frammento pari a 2/3 della lunghezza della pala, con distacco avvenuto in corrispondenza del baricentro della stessa è di circa 250.49 m.

Il valore ricavato è sicuramente compatibile con quello degli studi forniti dalle ditte produttrici.

Si sottolinea che il valore precedentemente calcolato sovrastima quello reale della gittata massima; infatti, la presenza dell'aria genera delle forze di resistenza viscose che agendo sulla superficie del frammento ne riducono tempo di volo e distanza.

A questa azione vanno aggiunte le forze aerodinamiche di portanza che possono innescarsi sul frammento di pala in virtù del profilo aerodinamico secondo il quale vengono modellate le sezioni

trasversali della pala stessa; tale portanza potrebbe addirittura prolungare il volo e allungare la distanza percorsa.

Questa possibilità è correlata, tra l'altro, al rollio, all'imbardata ed all'impennarsi della pala durante il volo. L'azione della portanza può essere ricondotta e schematizzata nei calcoli con una riduzione percentuale della forza peso.

Nella tabella seguente si riportano le gittate in funzione dell'angolo di distacco.

Angolo α	n	L	Htorre	v0	vx0	vy0	Hg	D	rg	g	Gittata teorica	Xg	Lg	Gittata Effettiva
0	11	85	115	32,64	0,00	32,64	115,00	170	28	9,81	-28,33	28,33	57	28,33
1	11	85	115	32,64	0,57	32,63	115,49	170	28	9,81	-23,08	28,33	57	33,58
2	11	85	115	32,64	1,14	32,62	115,99	170	28	9,81	-17,82	28,32	57	38,85
3	11	85	115	32,64	1,71	32,59	116,48	170	28	9,81	-12,54	28,29	57	44,12
4	11	85	115	32,64	2,28	32,56	116,98	170	28	9,81	-7,27	28,26	57	49,40
5	11	85	115	32,64	2,84	32,51	117,47	170	28	9,81	-1,99	28,23	57	54,68
6	11	85	115	32,64	3,41	32,46	117,96	170	28	9,81	3,29	28,18	57	59,96
7	11	85	115	32,64	3,98	32,39	118,45	170	28	9,81	8,56	28,12	57	65,23
8	11	85	115	32,64	4,54	32,32	118,94	170	28	9,81	13,82	28,06	57	70,49
9	11	85	115	32,64	5,11	32,24	119,43	170	28	9,81	19,06	27,98	57	75,73
10	11	85	115	32,64	5,67	32,14	119,92	170	28	9,81	24,28	27,90	57	80,95
11	11	85	115	32,64	6,23	32,04	120,41	170	28	9,81	29,48	27,81	57	86,15
12	11	85	115	32,64	6,79	31,92	120,89	170	28	9,81	34,65	27,71	57	91,32
13	11	85	115	32,64	7,34	31,80	121,37	170	28	9,81	39,79	27,61	57	96,45
14	11	85	115	32,64	7,90	31,67	121,85	170	28	9,81	44,88	27,49	57	101,55
15	11	85	115	32,64	8,45	31,53	122,33	170	28	9,81	49,94	27,37	57	106,61
16	11	85	115	32,64	9,00	31,37	122,81	170	28	9,81	54,96	27,24	57	111,62
17	11	85	115	32,64	9,54	31,21	123,28	170	28	9,81	59,92	27,10	57	116,59
18	11	85	115	32,64	10,09	31,04	123,76	170	28	9,81	64,84	26,95	57	121,51
19	11	85	115	32,64	10,63	30,86	124,22	170	28	9,81	69,70	26,79	57	126,36
20	11	85	115	32,64	11,16	30,67	124,69	170	28	9,81	74,50	26,62	57	131,16
21	11	85	115	32,64	11,70	30,47	125,15	170	28	9,81	79,23	26,45	57	135,90
22	11	85	115	32,64	12,23	30,26	125,61	170	28	9,81	83,91	26,27	57	140,57
23	11	85	115	32,64	12,75	30,04	126,07	170	28	9,81	88,51	26,08	57	145,17
24	11	85	115	32,64	13,27	29,82	126,52	170	28	9,81	93,04	25,88	57	149,70
25	11	85	115	32,64	13,79	29,58	126,97	170	28	9,81	97,49	25,68	57	154,16
26	11	85	115	32,64	14,31	29,33	127,42	170	28	9,81	101,86	25,47	57	158,53
27	11	85	115	32,64	14,82	29,08	127,86	170	28	9,81	106,16	25,25	57	162,82
28	11	85	115	32,64	15,32	28,82	128,30	170	28	9,81	110,37	25,02	57	167,03
29	11	85	115	32,64	15,82	28,55	128,74	170	28	9,81	114,49	24,78	57	171,15
30	11	85	115	32,64	16,32	28,27	129,17	170	28	9,81	118,52	24,54	57	175,19
31	11	85	115	32,64	16,81	27,98	129,59	170	28	9,81	122,46	24,29	57	179,13
32	11	85	115	32,64	17,30	27,68	130,01	170	28	9,81	126,31	24,03	57	182,97
33	11	85	115	32,64	17,78	27,37	130,43	170	28	9,81	130,06	23,76	57	186,73
34	11	85	115	32,64	18,25	27,06	130,84	170	28	9,81	133,71	23,49	57	190,38
35	11	85	115	32,64	18,72	26,74	131,25	170	28	9,81	137,26	23,21	57	193,93

Angolo α	n	L	Htorre	v0	vx0	vy0	Hg	D	rg	g	Gittata teorica	Xg	Lg	Gittata Effettiva
36	11	85	115	32,64	19,18	26,40	131,65	170	28	9,81	140,71	22,92	57	197,38
37	11	85	115	32,64	19,64	26,07	132,05	170	28	9,81	144,06	22,63	57	200,73
38	11	85	115	32,64	20,09	25,72	132,44	170	28	9,81	147,30	22,33	57	203,97
39	11	85	115	32,64	20,54	25,36	132,83	170	28	9,81	150,44	22,02	57	207,11
40	11	85	115	32,64	20,98	25,00	133,21	170	28	9,81	153,47	21,70	57	210,13
41	11	85	115	32,64	21,41	24,63	133,59	170	28	9,81	156,39	21,38	57	213,05
42	11	85	115	32,64	21,84	24,25	133,96	170	28	9,81	159,20	21,06	57	215,86
43	11	85	115	32,64	22,26	23,87	134,32	170	28	9,81	161,90	20,72	57	218,56
44	11	85	115	32,64	22,67	23,48	134,68	170	28	9,81	164,48	20,38	57	221,15
45	11	85	115	32,64	23,08	23,08	135,03	170	28	9,81	166,96	20,03	57	223,63
46	11	85	115	32,64	23,48	22,67	135,38	170	28	9,81	169,33	19,68	57	225,99
47	11	85	115	32,64	23,87	22,26	135,72	170	28	9,81	171,58	19,32	57	228,25
48	11	85	115	32,64	24,25	21,84	136,06	170	28	9,81	173,72	18,96	57	230,39
49	11	85	115	32,64	24,63	21,41	136,38	170	28	9,81	175,75	18,59	57	232,42
50	11	85	115	32,64	25,00	20,98	136,70	170	28	9,81	177,66	18,21	57	234,33
51	11	85	115	32,64	25,36	20,54	137,02	170	28	9,81	179,47	17,83	57	236,14
52	11	85	115	32,64	25,72	20,09	137,33	170	28	9,81	181,16	17,44	57	237,83
53	11	85	115	32,64	26,07	19,64	137,63	170	28	9,81	182,74	17,05	57	239,41
54	11	85	115	32,64	26,40	19,18	137,92	170	28	9,81	184,21	16,65	57	240,88
55	11	85	115	32,64	26,74	18,72	138,21	170	28	9,81	185,58	16,25	57	242,24
56	11	85	115	32,64	27,06	18,25	138,49	170	28	9,81	186,83	15,84	57	243,49
57	11	85	115	32,64	27,37	17,78	138,76	170	28	9,81	187,97	15,43	57	244,64
58	11	85	115	32,64	27,68	17,30	139,03	170	28	9,81	189,01	15,01	57	245,68
59	11	85	115	32,64	27,98	16,81	139,29	170	28	9,81	189,94	14,59	57	246,61
60	11	85	115	32,64	28,27	16,32	139,54	170	28	9,81	190,77	14,17	57	247,44
61	11	85	115	32,64	28,55	15,82	139,78	170	28	9,81	191,50	13,74	57	248,16
62	11	85	115	32,64	28,82	15,32	140,02	170	28	9,81	192,12	13,30	57	248,79
63	11	85	115	32,64	29,08	14,82	140,25	170	28	9,81	192,64	12,86	57	249,31
64	11	85	115	32,64	29,33	14,31	140,47	170	28	9,81	193,07	12,42	57	249,73
65	11	85	115	32,64	29,58	13,79	140,68	170	28	9,81	193,40	11,97	57	250,06
66	11	85	115	32,64	29,82	13,27	140,88	170	28	9,81	193,63	11,52	57	250,30
67	11	85	115	32,64	30,04	12,75	141,08	170	28	9,81	193,77	11,07	57	250,44
68	11	85	115	32,64	30,26	12,23	141,27	170	28	9,81	193,82	10,61	57	250,49
69	11	85	115	32,64	30,47	11,70	141,45	170	28	9,81	193,79	10,15	57	250,45
70	11	85	115	32,64	30,67	11,16	141,62	170	28	9,81	193,66	9,69	57	250,33
71	11	85	115	32,64	30,86	10,63	141,79	170	28	9,81	193,45	9,22	57	250,12
72	11	85	115	32,64	31,04	10,09	141,95	170	28	9,81	193,16	8,76	57	249,83
73	11	85	115	32,64	31,21	9,54	142,10	170	28	9,81	192,79	8,28	57	249,45
74	11	85	115	32,64	31,37	9,00	142,24	170	28	9,81	192,34	7,81	57	249,00
75	11	85	115	32,64	31,53	8,45	142,37	170	28	9,81	191,81	7,33	57	248,48
76	11	85	115	32,64	31,67	7,90	142,49	170	28	9,81	191,21	6,85	57	247,88
77	11	85	115	32,64	31,80	7,34	142,61	170	28	9,81	190,54	6,37	57	247,21
78	11	85	115	32,64	31,92	6,79	142,71	170	28	9,81	189,80	5,89	57	246,47

Angolo α	n	L	Htorre	v0	vx0	vy0	Hg	D	rg	g	Gittata teorica	Xg	Lg	Gittata Effettiva
79	11	85	115	32,64	32,04	6,23	142,81	170	28	9,81	189,00	5,41	57	245,66
80	11	85	115	32,64	32,14	5,67	142,90	170	28	9,81	188,13	4,92	57	244,80
81	11	85	115	32,64	32,24	5,11	142,98	170	28	9,81	187,20	4,43	57	243,86
82	11	85	115	32,64	32,32	4,54	143,06	170	28	9,81	186,21	3,94	57	242,87
83	11	85	115	32,64	32,39	3,98	143,12	170	28	9,81	185,16	3,45	57	241,83
84	11	85	115	32,64	32,46	3,41	143,18	170	28	9,81	184,06	2,96	57	240,72
85	11	85	115	32,64	32,51	2,84	143,23	170	28	9,81	182,90	2,47	57	239,57
86	11	85	115	32,64	32,56	2,28	143,26	170	28	9,81	181,70	1,98	57	238,37
87	11	85	115	32,64	32,59	1,71	143,29	170	28	9,81	180,45	1,48	57	237,11
88	11	85	115	32,64	32,62	1,14	143,32	170	28	9,81	179,15	0,99	57	235,82
89	11	85	115	32,64	32,63	0,57	143,33	170	28	9,81	177,81	0,49	57	234,48
90	11	85	115	32,64	32,64	0,00	143,33	170	28	9,81	176,43	0,00	57	233,10
270	11	85	115	32,64	-32,64	0,00	86,67	170	28	9,81	-137,19	0,00	57	-193,86
271	11	85	115	32,64	-32,63	0,57	86,67	170	28	9,81	-139,58	0,49	57	-196,24
272	11	85	115	32,64	-32,62	1,14	86,68	170	28	9,81	-141,95	0,99	57	-198,62
273	11	85	115	32,64	-32,59	1,71	86,71	170	28	9,81	-144,31	1,48	57	-200,98
274	11	85	115	32,64	-32,56	2,28	86,74	170	28	9,81	-146,65	1,98	57	-203,32
275	11	85	115	32,64	-32,51	2,84	86,77	170	28	9,81	-148,98	2,47	57	-205,64
276	11	85	115	32,64	-32,46	3,41	86,82	170	28	9,81	-151,28	2,96	57	-207,94
277	11	85	115	32,64	-32,39	3,98	86,88	170	28	9,81	-153,55	3,45	57	-210,22
278	11	85	115	32,64	-32,32	4,54	86,94	170	28	9,81	-155,80	3,94	57	-212,47
279	11	85	115	32,64	-32,24	5,11	87,02	170	28	9,81	-158,02	4,43	57	-214,68
280	11	85	115	32,64	-32,14	5,67	87,10	170	28	9,81	-160,20	4,92	57	-216,86
281	11	85	115	32,64	-32,04	6,23	87,19	170	28	9,81	-162,34	5,41	57	-219,01
282	11	85	115	32,64	-31,92	6,79	87,29	170	28	9,81	-164,44	5,89	57	-221,11
283	11	85	115	32,64	-31,80	7,34	87,39	170	28	9,81	-166,50	6,37	57	-223,17
284	11	85	115	32,64	-31,67	7,90	87,51	170	28	9,81	-168,51	6,85	57	-225,18
285	11	85	115	32,64	-31,53	8,45	87,63	170	28	9,81	-170,47	7,33	57	-227,14
286	11	85	115	32,64	-31,37	9,00	87,76	170	28	9,81	-172,37	7,81	57	-229,04
287	11	85	115	32,64	-31,21	9,54	87,90	170	28	9,81	-174,22	8,28	57	-230,88
288	11	85	115	32,64	-31,04	10,09	88,05	170	28	9,81	-176,00	8,76	57	-232,67
289	11	85	115	32,64	-30,86	10,63	88,21	170	28	9,81	-177,72	9,22	57	-234,38
290	11	85	115	32,64	-30,67	11,16	88,38	170	28	9,81	-179,37	9,69	57	-236,03
291	11	85	115	32,64	-30,47	11,70	88,55	170	28	9,81	-180,94	10,15	57	-237,61
292	11	85	115	32,64	-30,26	12,23	88,73	170	28	9,81	-182,45	10,61	57	-239,11
293	11	85	115	32,64	-30,04	12,75	88,92	170	28	9,81	-183,87	11,07	57	-240,54
294	11	85	115	32,64	-29,82	13,27	89,12	170	28	9,81	-185,21	11,52	57	-241,88
295	11	85	115	32,64	-29,58	13,79	89,32	170	28	9,81	-186,47	11,97	57	-243,13
296	11	85	115	32,64	-29,33	14,31	89,53	170	28	9,81	-187,63	12,42	57	-244,30
297	11	85	115	32,64	-29,08	14,82	89,75	170	28	9,81	-188,71	12,86	57	-245,38
298	11	85	115	32,64	-28,82	15,32	89,98	170	28	9,81	-189,69	13,30	57	-246,36
299	11	85	115	32,64	-28,55	15,82	90,22	170	28	9,81	-190,58	13,74	57	-247,24
300	11	85	115	32,64	-28,27	16,32	90,46	170	28	9,81	-191,36	14,17	57	-248,03

Angolo α	n	L	Htorre	v0	vx0	vy0	Hg	D	rg	g	Gittata teorica	Xg	Lg	Gittata Effettiva
301	11	85	115	32,64	-27,98	16,81	90,71	170	28	9,81	-192,04	14,59	57	-248,71
302	11	85	115	32,64	-27,68	17,30	90,97	170	28	9,81	-192,61	15,01	57	-249,28
303	11	85	115	32,64	-27,37	17,78	91,24	170	28	9,81	-193,08	15,43	57	-249,75
304	11	85	115	32,64	-27,06	18,25	91,51	170	28	9,81	-193,43	15,84	57	-250,10
305	11	85	115	32,64	-26,74	18,72	91,79	170	28	9,81	-193,68	16,25	57	-250,34
306	11	85	115	32,64	-26,40	19,18	92,08	170	28	9,81	-193,80	16,65	57	-250,47
307	11	85	115	32,64	-26,07	19,64	92,37	170	28	9,81	-193,81	17,05	57	-250,48
308	11	85	115	32,64	-25,72	20,09	92,67	170	28	9,81	-193,71	17,44	57	-250,37
309	11	85	115	32,64	-25,36	20,54	92,98	170	28	9,81	-193,48	17,83	57	-250,14
310	11	85	115	32,64	-25,00	20,98	93,30	170	28	9,81	-193,12	18,21	57	-249,79
311	11	85	115	32,64	-24,63	21,41	93,62	170	28	9,81	-192,65	18,59	57	-249,31
312	11	85	115	32,64	-24,25	21,84	93,94	170	28	9,81	-192,04	18,96	57	-248,71
313	11	85	115	32,64	-23,87	22,26	94,28	170	28	9,81	-191,32	19,32	57	-247,98
314	11	85	115	32,64	-23,48	22,67	94,62	170	28	9,81	-190,46	19,68	57	-247,13
315	11	85	115	32,64	-23,08	23,08	94,97	170	28	9,81	-189,48	20,03	57	-246,14
316	11	85	115	32,64	-22,67	23,48	95,32	170	28	9,81	-188,36	20,38	57	-245,03
317	11	85	115	32,64	-22,26	23,87	95,68	170	28	9,81	-187,12	20,72	57	-243,79
318	11	85	115	32,64	-21,84	24,25	96,04	170	28	9,81	-185,75	21,06	57	-242,42
319	11	85	115	32,64	-21,41	24,63	96,41	170	28	9,81	-184,25	21,38	57	-240,91
320	11	85	115	32,64	-20,98	25,00	96,79	170	28	9,81	-182,61	21,70	57	-239,28
321	11	85	115	32,64	-20,54	25,36	97,17	170	28	9,81	-180,85	22,02	57	-237,52
322	11	85	115	32,64	-20,09	25,72	97,56	170	28	9,81	-178,96	22,33	57	-235,62
323	11	85	115	32,64	-19,64	26,07	97,95	170	28	9,81	-176,93	22,63	57	-233,60
324	11	85	115	32,64	-19,18	26,40	98,35	170	28	9,81	-174,78	22,92	57	-231,45
325	11	85	115	32,64	-18,72	26,74	98,75	170	28	9,81	-172,50	23,21	57	-229,17
326	11	85	115	32,64	-18,25	27,06	99,16	170	28	9,81	-170,10	23,49	57	-226,76
327	11	85	115	32,64	-17,78	27,37	99,57	170	28	9,81	-167,56	23,76	57	-224,23
328	11	85	115	32,64	-17,30	27,68	99,99	170	28	9,81	-164,91	24,03	57	-221,57
329	11	85	115	32,64	-16,81	27,98	100,41	170	28	9,81	-162,12	24,29	57	-218,79
330	11	85	115	32,64	-16,32	28,27	100,83	170	28	9,81	-159,22	24,54	57	-215,89
331	11	85	115	32,64	-15,82	28,55	101,26	170	28	9,81	-156,20	24,78	57	-212,86
332	11	85	115	32,64	-15,32	28,82	101,70	170	28	9,81	-153,06	25,02	57	-209,72
333	11	85	115	32,64	-14,82	29,08	102,14	170	28	9,81	-149,80	25,25	57	-206,46
334	11	85	115	32,64	-14,31	29,33	102,58	170	28	9,81	-146,42	25,47	57	-203,09
335	11	85	115	32,64	-13,79	29,58	103,03	170	28	9,81	-142,94	25,68	57	-199,61
336	11	85	115	32,64	-13,27	29,82	103,48	170	28	9,81	-139,34	25,88	57	-196,01
337	11	85	115	32,64	-12,75	30,04	103,93	170	28	9,81	-135,64	26,08	57	-192,31
338	11	85	115	32,64	-12,23	30,26	104,39	170	28	9,81	-131,83	26,27	57	-188,50
339	11	85	115	32,64	-11,70	30,47	104,85	170	28	9,81	-127,93	26,45	57	-184,59
340	11	85	115	32,64	-11,16	30,67	105,31	170	28	9,81	-123,92	26,62	57	-180,59
341	11	85	115	32,64	-10,63	30,86	105,78	170	28	9,81	-119,81	26,79	57	-176,48
342	11	85	115	32,64	-10,09	31,04	106,24	170	28	9,81	-115,62	26,95	57	-172,29
343	11	85	115	32,64	-9,54	31,21	106,72	170	28	9,81	-111,33	27,10	57	-168,00

Angolo α	n	L	Htorre	v0	vx0	vy0	Hg	D	rg	g	Gittata teorica	Xg	Lg	Gittata Effettiva
344	11	85	115	32,64	-9,00	31,37	107,19	170	28	9,81	-106,96	27,24	57	-163,63
345	11	85	115	32,64	-8,45	31,53	107,67	170	28	9,81	-102,51	27,37	57	-159,17
346	11	85	115	32,64	-7,90	31,67	108,15	170	28	9,81	-97,97	27,49	57	-154,64
347	11	85	115	32,64	-7,34	31,80	108,63	170	28	9,81	-93,36	27,61	57	-150,03
348	11	85	115	32,64	-6,79	31,92	109,11	170	28	9,81	-88,68	27,71	57	-145,35
349	11	85	115	32,64	-6,23	32,04	109,59	170	28	9,81	-83,93	27,81	57	-140,60
350	11	85	115	32,64	-5,67	32,14	110,08	170	28	9,81	-79,12	27,90	57	-135,78
351	11	85	115	32,64	-5,11	32,24	110,57	170	28	9,81	-74,24	27,98	57	-130,91
352	11	85	115	32,64	-4,54	32,32	111,06	170	28	9,81	-69,31	28,06	57	-125,98
353	11	85	115	32,64	-3,98	32,39	111,55	170	28	9,81	-64,33	28,12	57	-121,00
354	11	85	115	32,64	-3,41	32,46	112,04	170	28	9,81	-59,30	28,18	57	-115,96
355	11	85	115	32,64	-2,84	32,51	112,53	170	28	9,81	-54,22	28,23	57	-110,89
356	11	85	115	32,64	-2,28	32,56	113,02	170	28	9,81	-49,11	28,26	57	-105,77
357	11	85	115	32,64	-1,71	32,59	113,52	170	28	9,81	-43,96	28,29	57	-100,62
358	11	85	115	32,64	-1,14	32,62	114,01	170	28	9,81	-38,77	28,32	57	-95,44
359	11	85	115	32,64	-0,57	32,63	114,51	170	28	9,81	-33,57	28,33	57	-90,23
360	11	85	115	32,64	0,00	32,64	115,00	170	28	9,81	-28,33	28,33	57	-85,00

4 Conclusioni

Avendo ottenuto la lunghezza di **250.49** m e considerando tutte le condizioni più gravose al momento dell'ipotetica rottura (massimo numero di giri del rotore, inclinazione della pala corrispondente alla massima velocità, esclusione degli effetti dovuti alla resistenza dell'aria che la pala incontra durante la sua traiettoria), si conclude che l'ubicazione prescelta per gli aerogeneratori del Parco Eolico in oggetto, garantisce, in caso di rottura accidentale, che non si possano determinare condizioni di pericolo per cose o persone.