



REGIONE
UMBRIA



PROVINCIA
DI PERUGIA



COMUNE DI
GUALDO TADINO



COMUNE DI
NOCERA UMBRA

PROGETTO DEFINITIVO

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Gualdo Tadino" con potenza di immissione in rete pari a 62 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Gualdo Tadino e Nocera Umbra (PG)

Titolo elaborato

Analisi degli effetti della rottura degli organi rotanti

Codice elaborato

F0589AR04A

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)



Gruppo di lavoro

Dott. For. Luigi ZUCCARO
Ing. Giuseppe MANZI
Ing. Alessandro Carmine DE PAOLA
Ing. Stefania CONTE
Ing. Mariagrazia PIETRAFESA
Ing. Federica COLANGELO
Arch. Gaia TELESCA



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).

Committente



RENEXIA S.p.a.

Viale Abruzzo 410, 66010 Chieti

Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
Ottobre 2023	Prima emissione	SCO	GMA	GDS

File sorgente: F0589AR04A - 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 SG170 6.2 MW-Hh115.

2 Geometria del problema e teoria di calcolo

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

$$\ddot{x} = 0$$

$$\ddot{y} = -g$$

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

$$x(t) = x_0 + v_x t$$

$$y(t) = y_0 + v_y t - \frac{1}{2} g t^2$$

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:

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

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

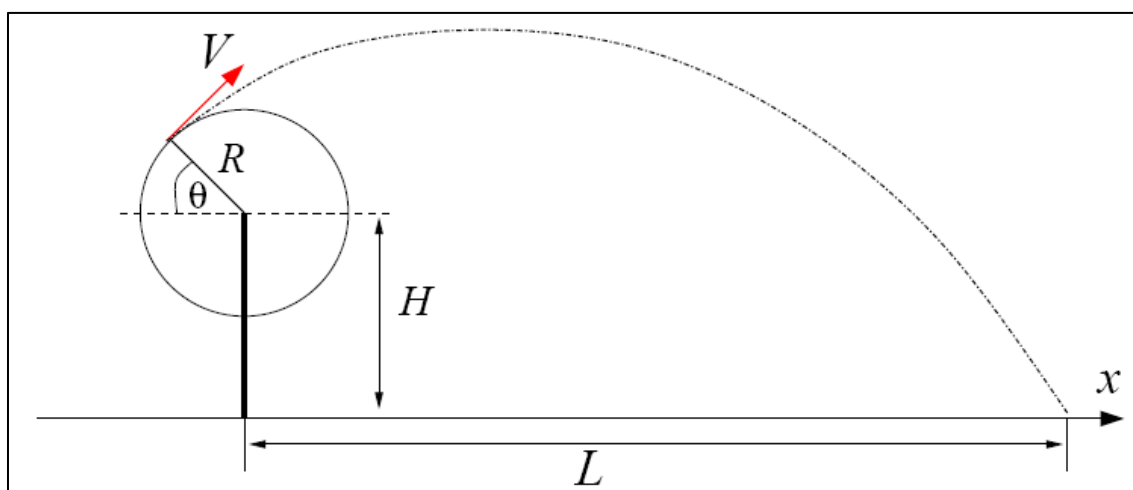


Figura 1: geometria del problema

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 $\theta = \pm 90^\circ, 0^\circ, 180^\circ$, nei quali quest'ultima aumenta linearmente con V oppure è pari ad R .

3 Calcolo della gittata massima

Come già precedentemente indicato, il calcolo della gittata massima richiede la conoscenza dei valori H (altezza del mozzo), R (distanza dal mozzo 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, R_{tot}= 85 m, per il calcolo della velocità di distacco del frammento di pala si ricorre alla seguente formula:

$$v_0 = \frac{2 \times \pi \times R \times \text{rpm}}{60}$$

Il numero di giri per minuto che l'aerogeneratore caratteristico dell'aerogeneratore di progetto è pari 9,5, quindi supponendo che la rottura della pala avvenga vicino al mozzo e considerando R=28,33 m (lunghezza pala/3), si ottiene una velocità di distacco di 28,19 m/s nel baricentro della pala.

Di seguito si riporta il grafico della gittata effettiva, comprensiva anche della lunghezza dell'organo rotante, in funzione dell'angolo e della velocità di distacco.

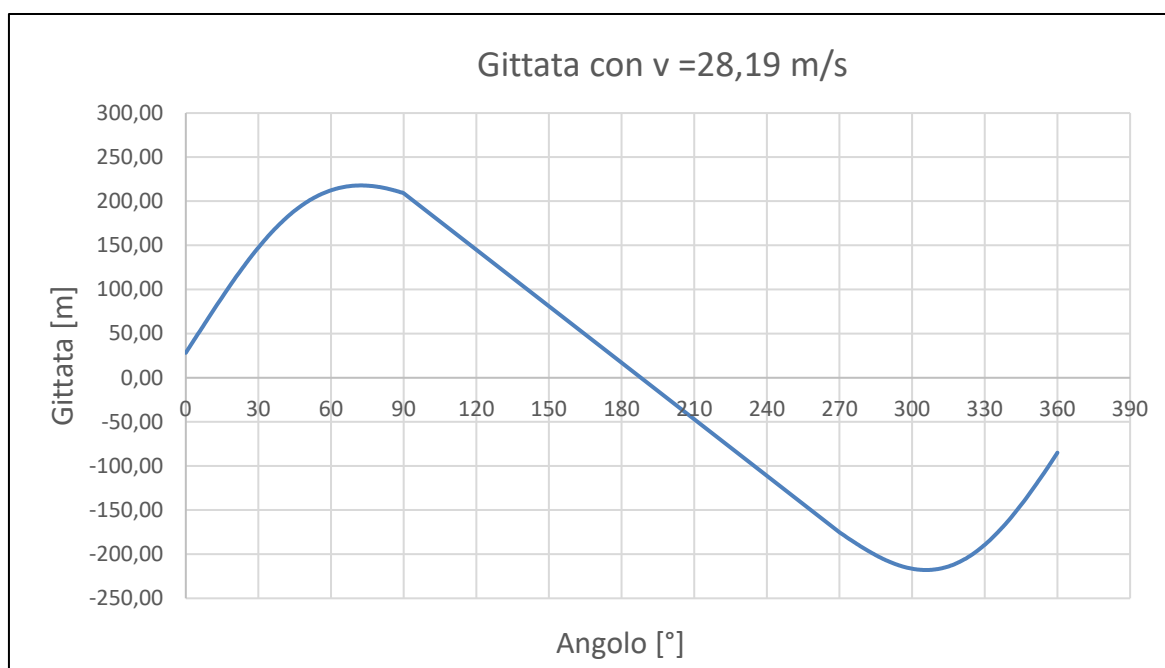


Figura 2: andamento della gittata in funzione dell'angolo e della velocità di distacco

Nel grafico si propone la gittata massima nel caso in cui si distacchi l'intera pala dal mozzo con una velocità di 28,19 m/s, che costituisce la massima velocità raggiunta dal baricentro della pala allorché il rotore compie 9,5 rivoluzioni per minuto

La gittata massima è di circa 217,88 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 viscosse 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.

In attuazione della Direttiva 2003/4/CE "Direttiva Aarhus" e del Decreto Legislativo 195/2005, con Decreto Dirigenziale n. 44 del 12/02/2021, si riportano i valori ottenuti dall'elaborazione del foglio di calcolo per la "Gittata massima" utilizzato dalla Unità Operativa Dirigenziale 500203 - Energia, efficientamento e risparmio energetico, Green Economy e Bioeconomia nelle istruttorie per gli impianti di produzione di energia da fonte rinnovabile eolica.

Tabella 1 – tabulati di calcolo

Angolo α	n	L	Htorre	v0	vx0	vy0	Hg	D	rg	g	Gittata teorica	Xg	Lg	Gittata Effettiva
0	9.5	85	115	28.19	0.00	28.19	115.00	170	28	9.81	-28.33	28.33	57	28.33
1	9.5	85	115	28.19	0.49	28.18	115.49	170	28	9.81	-24.14	28.33	57	32.52
2	9.5	85	115	28.19	0.98	28.17	115.99	170	28	9.81	-19.94	28.32	57	36.73
3	9.5	85	115	28.19	1.48	28.15	116.48	170	28	9.81	-15.72	28.29	57	40.95
4	9.5	85	115	28.19	1.97	28.12	116.98	170	28	9.81	-11.49	28.26	57	45.17
5	9.5	85	115	28.19	2.46	28.08	117.47	170	28	9.81	-7.27	28.23	57	49.40
6	9.5	85	115	28.19	2.95	28.03	117.96	170	28	9.81	-3.04	28.18	57	53.63
7	9.5	85	115	28.19	3.44	27.98	118.45	170	28	9.81	1.19	28.12	57	57.86
8	9.5	85	115	28.19	3.92	27.91	118.94	170	28	9.81	5.41	28.06	57	62.08
9	9.5	85	115	28.19	4.41	27.84	119.43	170	28	9.81	9.63	27.98	57	66.30
10	9.5	85	115	28.19	4.89	27.76	119.92	170	28	9.81	13.83	27.90	57	70.50
11	9.5	85	115	28.19	5.38	27.67	120.41	170	28	9.81	18.02	27.81	57	74.69
12	9.5	85	115	28.19	5.86	27.57	120.89	170	28	9.81	22.19	27.71	57	78.86
13	9.5	85	115	28.19	6.34	27.46	121.37	170	28	9.81	26.34	27.61	57	83.01
14	9.5	85	115	28.19	6.82	27.35	121.85	170	28	9.81	30.46	27.49	57	87.13
15	9.5	85	115	28.19	7.30	27.23	122.33	170	28	9.81	34.56	27.37	57	91.23
16	9.5	85	115	28.19	7.77	27.10	122.81	170	28	9.81	38.63	27.24	57	95.30
17	9.5	85	115	28.19	8.24	26.96	123.28	170	28	9.81	42.66	27.10	57	99.33
18	9.5	85	115	28.19	8.71	26.81	123.76	170	28	9.81	46.66	26.95	57	103.33
19	9.5	85	115	28.19	9.18	26.65	124.22	170	28	9.81	50.62	26.79	57	107.29
20	9.5	85	115	28.19	9.64	26.49	124.69	170	28	9.81	54.54	26.62	57	111.21
21	9.5	85	115	28.19	10.10	26.31	125.15	170	28	9.81	58.42	26.45	57	115.08
22	9.5	85	115	28.19	10.56	26.13	125.61	170	28	9.81	62.25	26.27	57	118.91
23	9.5	85	115	28.19	11.01	25.95	126.07	170	28	9.81	66.03	26.08	57	122.69
24	9.5	85	115	28.19	11.46	25.75	126.52	170	28	9.81	69.75	25.88	57	126.42
25	9.5	85	115	28.19	11.91	25.55	126.97	170	28	9.81	73.43	25.68	57	130.10
26	9.5	85	115	28.19	12.36	25.33	127.42	170	28	9.81	77.05	25.47	57	133.71

Angolo α	n	L	Htorre	v0	vx0	vy0	Hg	D	rg	g	Gittata teorica	Xg	Lg	Gittata Effettiva
27	9.5	85	115	28.19	12.80	25.11	127.86	170	28	9.81	80.61	25.25	57	137.27
28	9.5	85	115	28.19	13.23	24.89	128.30	170	28	9.81	84.10	25.02	57	140.77
29	9.5	85	115	28.19	13.67	24.65	128.74	170	28	9.81	87.54	24.78	57	144.21
30	9.5	85	115	28.19	14.09	24.41	129.17	170	28	9.81	90.91	24.54	57	147.58
31	9.5	85	115	28.19	14.52	24.16	129.59	170	28	9.81	94.21	24.29	57	150.88
32	9.5	85	115	28.19	14.94	23.90	130.01	170	28	9.81	97.45	24.03	57	154.12
33	9.5	85	115	28.19	15.35	23.64	130.43	170	28	9.81	100.61	23.76	57	157.28
34	9.5	85	115	28.19	15.76	23.37	130.84	170	28	9.81	103.71	23.49	57	160.37
35	9.5	85	115	28.19	16.17	23.09	131.25	170	28	9.81	106.73	23.21	57	163.39
36	9.5	85	115	28.19	16.57	22.80	131.65	170	28	9.81	109.67	22.92	57	166.34
37	9.5	85	115	28.19	16.96	22.51	132.05	170	28	9.81	112.54	22.63	57	169.21
38	9.5	85	115	28.19	17.35	22.21	132.44	170	28	9.81	115.33	22.33	57	172.00
39	9.5	85	115	28.19	17.74	21.91	132.83	170	28	9.81	118.04	22.02	57	174.71
40	9.5	85	115	28.19	18.12	21.59	133.21	170	28	9.81	120.67	21.70	57	177.34
41	9.5	85	115	28.19	18.49	21.27	133.59	170	28	9.81	123.22	21.38	57	179.89
42	9.5	85	115	28.19	18.86	20.95	133.96	170	28	9.81	125.69	21.06	57	182.36
43	9.5	85	115	28.19	19.22	20.61	134.32	170	28	9.81	128.08	20.72	57	184.75
44	9.5	85	115	28.19	19.58	20.28	134.68	170	28	9.81	130.38	20.38	57	187.05
45	9.5	85	115	28.19	19.93	19.93	135.03	170	28	9.81	132.60	20.03	57	189.27
46	9.5	85	115	28.19	20.28	19.58	135.38	170	28	9.81	134.74	19.68	57	191.41
47	9.5	85	115	28.19	20.61	19.22	135.72	170	28	9.81	136.79	19.32	57	193.46
48	9.5	85	115	28.19	20.95	18.86	136.06	170	28	9.81	138.76	18.96	57	195.42
49	9.5	85	115	28.19	21.27	18.49	136.38	170	28	9.81	140.64	18.59	57	197.31
50	9.5	85	115	28.19	21.59	18.12	136.70	170	28	9.81	142.43	18.21	57	199.10
51	9.5	85	115	28.19	21.91	17.74	137.02	170	28	9.81	144.14	17.83	57	200.81
52	9.5	85	115	28.19	22.21	17.35	137.33	170	28	9.81	145.77	17.44	57	202.44
53	9.5	85	115	28.19	22.51	16.96	137.63	170	28	9.81	147.31	17.05	57	203.98
54	9.5	85	115	28.19	22.80	16.57	137.92	170	28	9.81	148.77	16.65	57	205.43
55	9.5	85	115	28.19	23.09	16.17	138.21	170	28	9.81	150.14	16.25	57	206.80
56	9.5	85	115	28.19	23.37	15.76	138.49	170	28	9.81	151.42	15.84	57	208.09
57	9.5	85	115	28.19	23.64	15.35	138.76	170	28	9.81	152.63	15.43	57	209.29
58	9.5	85	115	28.19	23.90	14.94	139.03	170	28	9.81	153.75	15.01	57	210.41
59	9.5	85	115	28.19	24.16	14.52	139.29	170	28	9.81	154.79	14.59	57	211.45
60	9.5	85	115	28.19	24.41	14.09	139.54	170	28	9.81	155.74	14.17	57	212.41
61	9.5	85	115	28.19	24.65	13.67	139.78	170	28	9.81	156.62	13.74	57	213.28
62	9.5	85	115	28.19	24.89	13.23	140.02	170	28	9.81	157.41	13.30	57	214.08
63	9.5	85	115	28.19	25.11	12.80	140.25	170	28	9.81	158.13	12.86	57	214.80
64	9.5	85	115	28.19	25.33	12.36	140.47	170	28	9.81	158.77	12.42	57	215.44
65	9.5	85	115	28.19	25.55	11.91	140.68	170	28	9.81	159.33	11.97	57	216.00
66	9.5	85	115	28.19	25.75	11.46	140.88	170	28	9.81	159.82	11.52	57	216.48
67	9.5	85	115	28.19	25.95	11.01	141.08	170	28	9.81	160.23	11.07	57	216.89

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Gualdo Tadino" con potenza di immissione in rete pari a 62 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Gualdo Tadino e Nocera Umbra (PG)

Analisi degli effetti della rottura degli organi rotanti

Angolo α	n	L	Htorre	v0	vx0	vy0	Hg	D	rg	g	Gittata teorica	Xg	Lg	Gittata Effettiva
68	9.5	85	115	28.19	26.13	10.56	141.27	170	28	9.81	160.57	10.61	57	217.23
69	9.5	85	115	28.19	26.31	10.10	141.45	170	28	9.81	160.83	10.15	57	217.50
70	9.5	85	115	28.19	26.49	9.64	141.62	170	28	9.81	161.03	9.69	57	217.69
71	9.5	85	115	28.19	26.65	9.18	141.79	170	28	9.81	161.15	9.22	57	217.82
72	9.5	85	115	28.19	26.81	8.71	141.95	170	28	9.81	161.21	8.76	57	217.88
73	9.5	85	115	28.19	26.96	8.24	142.10	170	28	9.81	161.20	8.28	57	217.87
74	9.5	85	115	28.19	27.10	7.77	142.24	170	28	9.81	161.13	7.81	57	217.79
75	9.5	85	115	28.19	27.23	7.30	142.37	170	28	9.81	160.99	7.33	57	217.65
76	9.5	85	115	28.19	27.35	6.82	142.49	170	28	9.81	160.79	6.85	57	217.46
77	9.5	85	115	28.19	27.46	6.34	142.61	170	28	9.81	160.53	6.37	57	217.19
78	9.5	85	115	28.19	27.57	5.86	142.71	170	28	9.81	160.21	5.89	57	216.88
79	9.5	85	115	28.19	27.67	5.38	142.81	170	28	9.81	159.83	5.41	57	216.50
80	9.5	85	115	28.19	27.76	4.89	142.90	170	28	9.81	159.40	4.92	57	216.07
81	9.5	85	115	28.19	27.84	4.41	142.98	170	28	9.81	158.91	4.43	57	215.58
82	9.5	85	115	28.19	27.91	3.92	143.06	170	28	9.81	158.37	3.94	57	215.04
83	9.5	85	115	28.19	27.98	3.44	143.12	170	28	9.81	157.79	3.45	57	214.45
84	9.5	85	115	28.19	28.03	2.95	143.18	170	28	9.81	157.15	2.96	57	213.81
85	9.5	85	115	28.19	28.08	2.46	143.23	170	28	9.81	156.46	2.47	57	213.13
86	9.5	85	115	28.19	28.12	1.97	143.26	170	28	9.81	155.73	1.98	57	212.39
87	9.5	85	115	28.19	28.15	1.48	143.29	170	28	9.81	154.95	1.48	57	211.62
88	9.5	85	115	28.19	28.17	0.98	143.32	170	28	9.81	154.13	0.99	57	210.80
89	9.5	85	115	28.19	28.18	0.49	143.33	170	28	9.81	153.27	0.49	57	209.94
90	9.5	85	115	28.19	28.19	0.00	143.33	170	28	9.81	152.37	0.00	57	209.04
270	9.5	85	115	28.19	-28.19	0.00	86.67	170	28	9.81	-118.48	0.00	57	-175.15
271	9.5	85	115	28.19	-28.18	0.49	86.67	170	28	9.81	-120.38	0.49	57	-177.05
272	9.5	85	115	28.19	-28.17	0.98	86.68	170	28	9.81	-122.27	0.99	57	-178.94
273	9.5	85	115	28.19	-28.15	1.48	86.71	170	28	9.81	-124.14	1.48	57	-180.81
274	9.5	85	115	28.19	-28.12	1.97	86.74	170	28	9.81	-125.99	1.98	57	-182.65
275	9.5	85	115	28.19	-28.08	2.46	86.77	170	28	9.81	-127.82	2.47	57	-184.48
276	9.5	85	115	28.19	-28.03	2.95	86.82	170	28	9.81	-129.62	2.96	57	-186.29
277	9.5	85	115	28.19	-27.98	3.44	86.88	170	28	9.81	-131.40	3.45	57	-188.07
278	9.5	85	115	28.19	-27.91	3.92	86.94	170	28	9.81	-133.15	3.94	57	-189.82
279	9.5	85	115	28.19	-27.84	4.41	87.02	170	28	9.81	-134.87	4.43	57	-191.54
280	9.5	85	115	28.19	-27.76	4.89	87.10	170	28	9.81	-136.56	4.92	57	-193.23
281	9.5	85	115	28.19	-27.67	5.38	87.19	170	28	9.81	-138.21	5.41	57	-194.88
282	9.5	85	115	28.19	-27.57	5.86	87.29	170	28	9.81	-139.83	5.89	57	-196.50
283	9.5	85	115	28.19	-27.46	6.34	87.39	170	28	9.81	-141.41	6.37	57	-198.07
284	9.5	85	115	28.19	-27.35	6.82	87.51	170	28	9.81	-142.94	6.85	57	-199.61
285	9.5	85	115	28.19	-27.23	7.30	87.63	170	28	9.81	-144.43	7.33	57	-201.10
286	9.5	85	115	28.19	-27.10	7.77	87.76	170	28	9.81	-145.87	7.81	57	-202.54
287	9.5	85	115	28.19	-26.96	8.24	87.90	170	28	9.81	-147.27	8.28	57	-203.93

Angolo α	n	L	Htorre	v0	vx0	vy0	Hg	D	rg	g	Gittata teorica	Xg	Lg	Gittata Effettiva
288	9.5	85	115	28.19	-26.81	8.71	88.05	170	28	9.81	-148.61	8.76	57	-205.27
289	9.5	85	115	28.19	-26.65	9.18	88.21	170	28	9.81	-149.89	9.22	57	-206.56
290	9.5	85	115	28.19	-26.49	9.64	88.38	170	28	9.81	-151.12	9.69	57	-207.79
291	9.5	85	115	28.19	-26.31	10.10	88.55	170	28	9.81	-152.29	10.15	57	-208.96
292	9.5	85	115	28.19	-26.13	10.56	88.73	170	28	9.81	-153.40	10.61	57	-210.07
293	9.5	85	115	28.19	-25.95	11.01	88.92	170	28	9.81	-154.45	11.07	57	-211.12
294	9.5	85	115	28.19	-25.75	11.46	89.12	170	28	9.81	-155.43	11.52	57	-212.09
295	9.5	85	115	28.19	-25.55	11.91	89.32	170	28	9.81	-156.34	11.97	57	-213.00
296	9.5	85	115	28.19	-25.33	12.36	89.53	170	28	9.81	-157.18	12.42	57	-213.84
297	9.5	85	115	28.19	-25.11	12.80	89.75	170	28	9.81	-157.94	12.86	57	-214.61
298	9.5	85	115	28.19	-24.89	13.23	89.98	170	28	9.81	-158.63	13.30	57	-215.30
299	9.5	85	115	28.19	-24.65	13.67	90.22	170	28	9.81	-159.25	13.74	57	-215.91
300	9.5	85	115	28.19	-24.41	14.09	90.46	170	28	9.81	-159.78	14.17	57	-216.45
301	9.5	85	115	28.19	-24.16	14.52	90.71	170	28	9.81	-160.23	14.59	57	-216.90
302	9.5	85	115	28.19	-23.90	14.94	90.97	170	28	9.81	-160.60	15.01	57	-217.27
303	9.5	85	115	28.19	-23.64	15.35	91.24	170	28	9.81	-160.88	15.43	57	-217.55
304	9.5	85	115	28.19	-23.37	15.76	91.51	170	28	9.81	-161.08	15.84	57	-217.75
305	9.5	85	115	28.19	-23.09	16.17	91.79	170	28	9.81	-161.19	16.25	57	-217.86
306	9.5	85	115	28.19	-22.80	16.57	92.08	170	28	9.81	-161.21	16.65	57	-217.88
307	9.5	85	115	28.19	-22.51	16.96	92.37	170	28	9.81	-161.14	17.05	57	-217.80
308	9.5	85	115	28.19	-22.21	17.35	92.67	170	28	9.81	-160.97	17.44	57	-217.64
309	9.5	85	115	28.19	-21.91	17.74	92.98	170	28	9.81	-160.71	17.83	57	-217.38
310	9.5	85	115	28.19	-21.59	18.12	93.30	170	28	9.81	-160.36	18.21	57	-217.03
311	9.5	85	115	28.19	-21.27	18.49	93.62	170	28	9.81	-159.91	18.59	57	-216.57
312	9.5	85	115	28.19	-20.95	18.86	93.94	170	28	9.81	-159.36	18.96	57	-216.03
313	9.5	85	115	28.19	-20.61	19.22	94.28	170	28	9.81	-158.71	19.32	57	-215.38
314	9.5	85	115	28.19	-20.28	19.58	94.62	170	28	9.81	-157.97	19.68	57	-214.64
315	9.5	85	115	28.19	-19.93	19.93	94.97	170	28	9.81	-157.13	20.03	57	-213.79
316	9.5	85	115	28.19	-19.58	20.28	95.32	170	28	9.81	-156.18	20.38	57	-212.85
317	9.5	85	115	28.19	-19.22	20.61	95.68	170	28	9.81	-155.14	20.72	57	-211.81
318	9.5	85	115	28.19	-18.86	20.95	96.04	170	28	9.81	-154.00	21.06	57	-210.66
319	9.5	85	115	28.19	-18.49	21.27	96.41	170	28	9.81	-152.75	21.38	57	-209.42
320	9.5	85	115	28.19	-18.12	21.59	96.79	170	28	9.81	-151.41	21.70	57	-208.07
321	9.5	85	115	28.19	-17.74	21.91	97.17	170	28	9.81	-149.96	22.02	57	-206.63
322	9.5	85	115	28.19	-17.35	22.21	97.56	170	28	9.81	-148.41	22.33	57	-205.08
323	9.5	85	115	28.19	-16.96	22.51	97.95	170	28	9.81	-146.77	22.63	57	-203.44
324	9.5	85	115	28.19	-16.57	22.80	98.35	170	28	9.81	-145.02	22.92	57	-201.69
325	9.5	85	115	28.19	-16.17	23.09	98.75	170	28	9.81	-143.18	23.21	57	-199.85
326	9.5	85	115	28.19	-15.76	23.37	99.16	170	28	9.81	-141.24	23.49	57	-197.90
327	9.5	85	115	28.19	-15.35	23.64	99.57	170	28	9.81	-139.20	23.76	57	-195.86
328	9.5	85	115	28.19	-14.94	23.90	99.99	170	28	9.81	-137.06	24.03	57	-193.72

Angolo α	n	L	Htorre	v0	vx0	vy0	Hg	D	rg	g	Gittata teorica	Xg	Lg	Gittata Effettiva
329	9.5	85	115	28.19	-14.52	24.16	100.41	170	28	9.81	-134.83	24.29	57	-191.49
330	9.5	85	115	28.19	-14.09	24.41	100.83	170	28	9.81	-132.50	24.54	57	-189.16
331	9.5	85	115	28.19	-13.67	24.65	101.26	170	28	9.81	-130.08	24.78	57	-186.74
332	9.5	85	115	28.19	-13.23	24.89	101.70	170	28	9.81	-127.57	25.02	57	-184.23
333	9.5	85	115	28.19	-12.80	25.11	102.14	170	28	9.81	-124.96	25.25	57	-181.63
334	9.5	85	115	28.19	-12.36	25.33	102.58	170	28	9.81	-122.27	25.47	57	-178.94
335	9.5	85	115	28.19	-11.91	25.55	103.03	170	28	9.81	-119.49	25.68	57	-176.16
336	9.5	85	115	28.19	-11.46	25.75	103.48	170	28	9.81	-116.63	25.88	57	-173.29
337	9.5	85	115	28.19	-11.01	25.95	103.93	170	28	9.81	-113.68	26.08	57	-170.35
338	9.5	85	115	28.19	-10.56	26.13	104.39	170	28	9.81	-110.65	26.27	57	-167.32
339	9.5	85	115	28.19	-10.10	26.31	104.85	170	28	9.81	-107.54	26.45	57	-164.21
340	9.5	85	115	28.19	-9.64	26.49	105.31	170	28	9.81	-104.35	26.62	57	-161.02
341	9.5	85	115	28.19	-9.18	26.65	105.78	170	28	9.81	-101.09	26.79	57	-157.76
342	9.5	85	115	28.19	-8.71	26.81	106.24	170	28	9.81	-97.76	26.95	57	-154.43
343	9.5	85	115	28.19	-8.24	26.96	106.72	170	28	9.81	-94.35	27.10	57	-151.02
344	9.5	85	115	28.19	-7.77	27.10	107.19	170	28	9.81	-90.88	27.24	57	-147.55
345	9.5	85	115	28.19	-7.30	27.23	107.67	170	28	9.81	-87.34	27.37	57	-144.01
346	9.5	85	115	28.19	-6.82	27.35	108.15	170	28	9.81	-83.74	27.49	57	-140.41
347	9.5	85	115	28.19	-6.34	27.46	108.63	170	28	9.81	-80.08	27.61	57	-136.75
348	9.5	85	115	28.19	-5.86	27.57	109.11	170	28	9.81	-76.36	27.71	57	-133.03
349	9.5	85	115	28.19	-5.38	27.67	109.59	170	28	9.81	-72.59	27.81	57	-129.25
350	9.5	85	115	28.19	-4.89	27.76	110.08	170	28	9.81	-68.76	27.90	57	-125.43
351	9.5	85	115	28.19	-4.41	27.84	110.57	170	28	9.81	-64.89	27.98	57	-121.55
352	9.5	85	115	28.19	-3.92	27.91	111.06	170	28	9.81	-60.97	28.06	57	-117.64
353	9.5	85	115	28.19	-3.44	27.98	111.55	170	28	9.81	-57.01	28.12	57	-113.67
354	9.5	85	115	28.19	-2.95	28.03	112.04	170	28	9.81	-53.00	28.18	57	-109.67
355	9.5	85	115	28.19	-2.46	28.08	112.53	170	28	9.81	-48.97	28.23	57	-105.63
356	9.5	85	115	28.19	-1.97	28.12	113.02	170	28	9.81	-44.89	28.26	57	-101.56
357	9.5	85	115	28.19	-1.48	28.15	113.52	170	28	9.81	-40.79	28.29	57	-97.46
358	9.5	85	115	28.19	-0.98	28.17	114.01	170	28	9.81	-36.66	28.32	57	-93.33
359	9.5	85	115	28.19	-0.49	28.18	114.51	170	28	9.81	-32.51	28.33	57	-89.17
360	9.5	85	115	28.19	0.00	28.19	115.00	170	28	9.81	-28.33	28.33	57	-85.00

4 Conclusioni

Avendo ottenuto la lunghezza di **217,88** m e considerando tutte le condizioni più gravose al momento dell'ipotetica rottura (inclinazione della pala corrispondente alla massima velocità e 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.

Come si evidenzia nell'elaborato "Analisi grafica degli effetti della rottura degli organi rotanti" non si riscontrano interferenze tra il buffer di sicurezza e la rottura degli organi rotanti e i ricettori sensibili.