

REGIONE CAMPANIA
PROVINCIA DI AVELLINO

COMUNE DI FRIGENTO
COMUNE DI GUARDIA LOMBARDI
COMUNE DI ROCCA SAN FELICE
COMUNE DI STURNO
COMUNE DI BISACCIA



AUTORIZZAZIONE UNICA ex d.lgs. 387/2003

Costruzione ed esercizio di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica denominato "Taverna del Principe" da realizzarsi nel comune di FRIGENTO (AV) e delle opere ed infrastrutture connesse da realizzarsi nei comuni di FRIGENTO (AV), GUARDIA LOMBARDI (AV), ROCCA SAN FELICE (AV), STURNO (AV) e BISACCIA (AV), avente potenza nominale pari a 39,6 MW

Titolo elaborato

Analisi degli effetti della rottura degli organi rotanti

Codice elaborato

COMMESSA	FASE	ELABORATO	REV.
F0474	A	R06	A

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione.

Scala

—

Gennaio 2022	Prima emissione	ADP	GDS	GMA
DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

Proponente

Camelia Rinnovabili s.r.l.

Largo Augusto 3
20122 Milano



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 la norma UNI-EN ISO 9001:2015 per l'erogazione di servizi di ingegneria nei settori: civile, idraulica, acustica, energia, ambiente (settore IAF: 34).





Sommario

1 Premessa	2
2 Geometria del problema e teoria di calcolo	3
3 Calcolo della gittata massima	5
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 SG170/6.6 MW-HH115 o similare.

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

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

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:

$$T = \frac{v_y}{g} + \frac{1}{g}\sqrt{v_y^2 + 2y_0g}$$

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

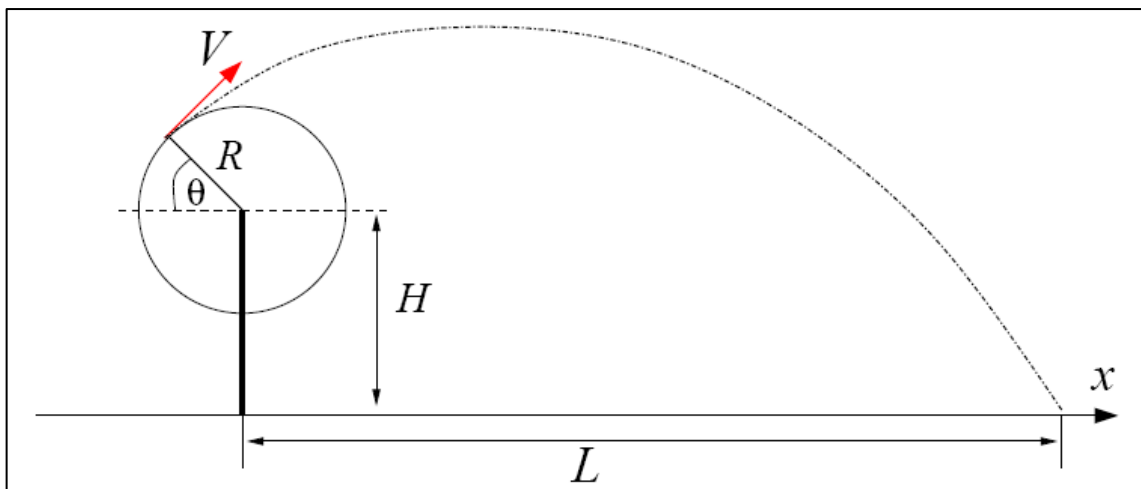


Figura 1: geometria del problema

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 ed R= 28.33 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 compie è pari 8.83, 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 26.20 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.

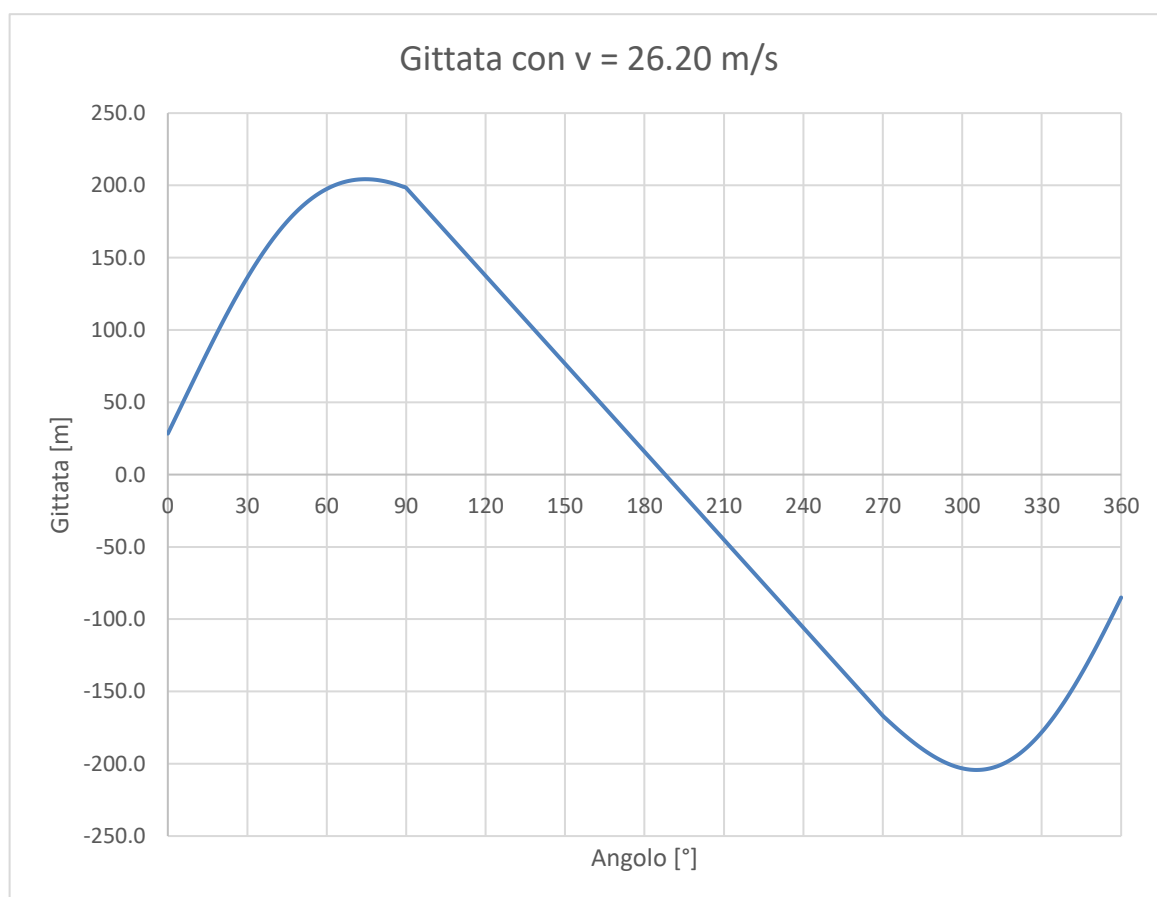


Figura 2: andamento della gittata in funzione dell'angolo e della velocità di distacco

La gittata massima è di circa 204.3 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 viscosi 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.

Angolo α	n	L	H _{torre}	v ₀	v _{x0}	v _{y0}	H _g	D	r _g	g	Gittata teorica	X _g	L _g	Gittata Effettiva
0	8.83	85.00	115.00	26.20	0.00	26.20	115.00	170	28.33	9.81	-28.33	28.33	56.67	28.33
1	8.83	85.00	115.00	26.20	0.46	26.20	115.49	170	28.33	9.81	-24.58	28.33	56.67	32.09
2	8.83	85.00	115.00	26.20	0.91	26.18	115.99	170	28.33	9.81	-20.80	28.32	56.67	35.86
3	8.83	85.00	115.00	26.20	1.37	26.16	116.48	170	28.33	9.81	-17.02	28.29	56.67	39.64
4	8.83	85.00	115.00	26.20	1.83	26.14	116.98	170	28.33	9.81	-13.23	28.26	56.67	43.43
5	8.83	85.00	115.00	26.20	2.28	26.10	117.47	170	28.33	9.81	-9.43	28.23	56.67	47.23
6	8.83	85.00	115.00	26.20	2.74	26.06	117.96	170	28.33	9.81	-5.63	28.18	56.67	51.03
7	8.83	85.00	115.00	26.20	3.19	26.00	118.45	170	28.33	9.81	-1.83	28.12	56.67	54.83
8	8.83	85.00	115.00	26.20	3.65	25.94	118.94	170	28.33	9.81	1.97	28.06	56.67	58.63
9	8.83	85.00	115.00	26.20	4.10	25.88	119.43	170	28.33	9.81	5.76	27.98	56.67	62.42
10	8.83	85.00	115.00	26.20	4.55	25.80	119.92	170	28.33	9.81	9.54	27.90	56.67	66.20
11	8.83	85.00	115.00	26.20	5.00	25.72	120.41	170	28.33	9.81	13.31	27.81	56.67	69.98
12	8.83	85.00	115.00	26.20	5.45	25.63	120.89	170	28.33	9.81	17.07	27.71	56.67	73.73
13	8.83	85.00	115.00	26.20	5.89	25.53	121.37	170	28.33	9.81	20.81	27.61	56.67	77.48
14	8.83	85.00	115.00	26.20	6.34	25.42	121.85	170	28.33	9.81	24.54	27.49	56.67	81.20
15	8.83	85.00	115.00	26.20	6.78	25.31	122.33	170	28.33	9.81	28.24	27.37	56.67	84.90
16	8.83	85.00	115.00	26.20	7.22	25.18	122.81	170	28.33	9.81	31.92	27.24	56.67	88.58
17	8.83	85.00	115.00	26.20	7.66	25.05	123.28	170	28.33	9.81	35.57	27.10	56.67	92.23
18	8.83	85.00	115.00	26.20	8.10	24.92	123.76	170	28.33	9.81	39.19	26.95	56.67	95.85
19	8.83	85.00	115.00	26.20	8.53	24.77	124.22	170	28.33	9.81	42.77	26.79	56.67	99.44
20	8.83	85.00	115.00	26.20	8.96	24.62	124.69	170	28.33	9.81	46.33	26.62	56.67	102.99
21	8.83	85.00	115.00	26.20	9.39	24.46	125.15	170	28.33	9.81	49.85	26.45	56.67	106.51



Angolo α	n	L	H _{torre}	V ₀	V _{x0}	V _{y0}	H _g	D	r _g	g	Gittata teorica	X _g	L _g	Gittata Effettiva
22	8.83	85.00	115.00	26.20	9.81	24.29	125.61	170	28.33	9.81	53.33	26.27	56.67	109.99
23	8.83	85.00	115.00	26.20	10.24	24.12	126.07	170	28.33	9.81	56.76	26.08	56.67	113.42
24	8.83	85.00	115.00	26.20	10.66	23.93	126.52	170	28.33	9.81	60.16	25.88	56.67	116.82
25	8.83	85.00	115.00	26.20	11.07	23.74	126.97	170	28.33	9.81	63.51	25.68	56.67	120.17
26	8.83	85.00	115.00	26.20	11.48	23.55	127.42	170	28.33	9.81	66.81	25.47	56.67	123.47
27	8.83	85.00	115.00	26.20	11.89	23.34	127.86	170	28.33	9.81	70.06	25.25	56.67	126.72
28	8.83	85.00	115.00	26.20	12.30	23.13	128.30	170	28.33	9.81	73.26	25.02	56.67	129.92
29	8.83	85.00	115.00	26.20	12.70	22.91	128.74	170	28.33	9.81	76.40	24.78	56.67	133.06
30	8.83	85.00	115.00	26.20	13.10	22.69	129.17	170	28.33	9.81	79.49	24.54	56.67	136.16
31	8.83	85.00	115.00	26.20	13.49	22.46	129.59	170	28.33	9.81	82.53	24.29	56.67	139.19
32	8.83	85.00	115.00	26.20	13.88	22.22	130.01	170	28.33	9.81	85.50	24.03	56.67	142.17
33	8.83	85.00	115.00	26.20	14.27	21.97	130.43	170	28.33	9.81	88.42	23.76	56.67	145.08
34	8.83	85.00	115.00	26.20	14.65	21.72	130.84	170	28.33	9.81	91.27	23.49	56.67	147.94
35	8.83	85.00	115.00	26.20	15.03	21.46	131.25	170	28.33	9.81	94.06	23.21	56.67	150.73
36	8.83	85.00	115.00	26.20	15.40	21.20	131.65	170	28.33	9.81	96.79	22.92	56.67	153.45
37	8.83	85.00	115.00	26.20	15.77	20.92	132.05	170	28.33	9.81	99.45	22.63	56.67	156.11
38	8.83	85.00	115.00	26.20	16.13	20.65	132.44	170	28.33	9.81	102.05	22.33	56.67	158.71
39	8.83	85.00	115.00	26.20	16.49	20.36	132.83	170	28.33	9.81	104.57	22.02	56.67	161.24
40	8.83	85.00	115.00	26.20	16.84	20.07	133.21	170	28.33	9.81	107.03	21.70	56.67	163.69
41	8.83	85.00	115.00	26.20	17.19	19.77	133.59	170	28.33	9.81	109.42	21.38	56.67	166.08
42	8.83	85.00	115.00	26.20	17.53	19.47	133.96	170	28.33	9.81	111.74	21.06	56.67	168.40
43	8.83	85.00	115.00	26.20	17.87	19.16	134.32	170	28.33	9.81	113.98	20.72	56.67	170.64
44	8.83	85.00	115.00	26.20	18.20	18.85	134.68	170	28.33	9.81	116.15	20.38	56.67	172.82
45	8.83	85.00	115.00	26.20	18.53	18.53	135.03	170	28.33	9.81	118.26	20.03	56.67	174.92
46	8.83	85.00	115.00	26.20	18.85	18.20	135.38	170	28.33	9.81	120.28	19.68	56.67	176.9501
47	8.83	85.00	115.00	26.20	19.16	17.87	135.72	170	28.33	9.81	122.24	19.32	56.67	178.90
48	8.83	85.00	115.00	26.20	19.47	17.53	136.06	170	28.33	9.81	124.12	18.96	56.67	180.78
49	8.83	85.00	115.00	26.20	19.77	17.19	136.38	170	28.33	9.81	125.92	18.59	56.67	182.58
50	8.83	85.00	115.00	26.20	20.07	16.84	136.70	170	28.33	9.81	127.65	18.21	56.67	184.32
51	8.83	85.00	115.00	26.20	20.36	16.49	137.02	170	28.33	9.81	129.31	17.83	56.67	185.97
52	8.83	85.00	115.00	26.20	20.65	16.13	137.33	170	28.33	9.81	130.89	17.44	56.67	187.55
53	8.83	85.00	115.00	26.20	20.92	15.77	137.63	170	28.33	9.81	132.40	17.05	56.67	189.06
54	8.83	85.00	115.00	26.20	21.20	15.40	137.92	170	28.33	9.81	133.83	16.65	56.67	190.50
55	8.83	85.00	115.00	26.20	21.46	15.03	138.21	170	28.33	9.81	135.19	16.25	56.67	191.85
56	8.83	85.00	115.00	26.20	21.72	14.65	138.49	170	28.33	9.81	136.48	15.84	56.67	193.14
57	8.83	85.00	115.00	26.20	21.97	14.27	138.76	170	28.33	9.81	137.69	15.43	56.67	194.35
58	8.83	85.00	115.00	26.20	22.22	13.88	139.03	170	28.33	9.81	138.82	15.01	56.67	195.49
59	8.83	85.00	115.00	26.20	22.46	13.49	139.29	170	28.33	9.81	139.89	14.59	56.67	196.55
60	8.83	85.00	115.00	26.20	22.69	13.10	139.54	170	28.33	9.81	140.88	14.17	56.67	197.54



Angolo α	n	L	H _{torre}	V ₀	V _{x0}	V _{y0}	H _g	D	r _g	g	Gittata teorica	X _g	L _g	Gittata Effettiva
61	8.83	85.00	115.00	26.20	22.91	12.70	139.78	170	28.33	9.81	141.80	13.74	56.67	198.46
62	8.83	85.00	115.00	26.20	23.13	12.30	140.02	170	28.33	9.81	142.65	13.30	56.67	199.31
63	8.83	85.00	115.00	26.20	23.34	11.89	140.25	170	28.33	9.81	143.43	12.86	56.67	200.09
64	8.83	85.00	115.00	26.20	23.55	11.48	140.47	170	28.33	9.81	144.14	12.42	56.67	200.80
65	8.83	85.00	115.00	26.20	23.74	11.07	140.68	170	28.33	9.81	144.78	11.97	56.67	201.44
66	8.83	85.00	115.00	26.20	23.93	10.66	140.88	170	28.33	9.81	145.35	11.52	56.67	202.02
67	8.83	85.00	115.00	26.20	24.12	10.24	141.08	170	28.33	9.81	145.86	11.07	56.67	202.52
68	8.83	85.00	115.00	26.20	24.29	9.81	141.27	170	28.33	9.81	146.30	10.61	56.67	202.96
69	8.83	85.00	115.00	26.20	24.46	9.39	141.45	170	28.33	9.81	146.67	10.15	56.67	203.33
70	8.83	85.00	115.00	26.20	24.62	8.96	141.62	170	28.33	9.81	146.98	9.69	56.67	203.65
71	8.83	85.00	115.00	26.20	24.77	8.53	141.79	170	28.33	9.81	147.23	9.22	56.67	203.89
72	8.83	85.00	115.00	26.20	24.92	8.10	141.95	170	28.33	9.81	147.42	8.76	56.67	204.08
73	8.83	85.00	115.00	26.20	25.05	7.66	142.10	170	28.33	9.81	147.54	8.28	56.67	204.20
74	8.83	85.00	115.00	26.20	25.18	7.22	142.24	170	28.33	9.81	147.61	7.81	56.67	204.27
75	8.83	85.00	115.00	26.20	25.31	6.78	142.37	170	28.33	9.81	147.61	7.33	56.67	204.28
76	8.83	85.00	115.00	26.20	25.42	6.34	142.49	170	28.33	9.81	147.57	6.85	56.67	204.23
77	8.83	85.00	115.00	26.20	25.53	5.89	142.61	170	28.33	9.81	147.46	6.37	56.67	204.12
78	8.83	85.00	115.00	26.20	25.63	5.45	142.71	170	28.33	9.81	147.30	5.89	56.67	203.96
79	8.83	85.00	115.00	26.20	25.72	5.00	142.81	170	28.33	9.81	147.09	5.41	56.67	203.75
80	8.83	85.00	115.00	26.20	25.80	4.55	142.90	170	28.33	9.81	146.82	4.92	56.67	203.48
81	8.83	85.00	115.00	26.20	25.88	4.10	142.98	170	28.33	9.81	146.51	4.43	56.67	203.17
82	8.83	85.00	115.00	26.20	25.94	3.65	143.06	170	28.33	9.81	146.14	3.94	56.67	202.81
83	8.83	85.00	115.00	26.20	26.00	3.19	143.12	170	28.33	9.81	145.73	3.45	56.67	202.39
84	8.83	85.00	115.00	26.20	26.06	2.74	143.18	170	28.33	9.81	145.27	2.96	56.67	201.93
85	8.83	85.00	115.00	26.20	26.10	2.28	143.23	170	28.33	9.81	144.77	2.47	56.67	201.43
86	8.83	85.00	115.00	26.20	26.14	1.83	143.26	170	28.33	9.81	144.22	1.98	56.67	200.88
87	8.83	85.00	115.00	26.20	26.16	1.37	143.29	170	28.33	9.81	143.63	1.48	56.67	200.30
88	8.83	85.00	115.00	26.20	26.18	0.91	143.32	170	28.33	9.81	143.00	0.99	56.67	199.66
89	8.83	85.00	115.00	26.20	26.20	0.46	143.33	170	28.33	9.81	142.33	0.49	56.67	199.00
90	8.83	85.00	115.00	26.20	26.20	0.00	143.33	170	28.33	9.81	141.63	0.00	56.67	198.29
270	8.83	85.00	115.00	26.20	-26.20	0.00	86.67	170	28.33	9.81	-110.13	0.00	56.67	-166.79
271	8.83	85.00	115.00	26.20	-26.20	0.46	86.67	170	28.33	9.81	-111.84	0.49	56.67	-168.50
272	8.83	85.00	115.00	26.20	-26.18	0.91	86.68	170	28.33	9.81	-113.53	0.99	56.67	-170.19
273	8.83	85.00	115.00	26.20	-26.16	1.37	86.71	170	28.33	9.81	-115.20	1.48	56.67	-171.86
274	8.83	85.00	115.00	26.20	-26.14	1.83	86.74	170	28.33	9.81	-116.86	1.98	56.67	-173.52
275	8.83	85.00	115.00	26.20	-26.10	2.28	86.77	170	28.33	9.81	-118.49	2.47	56.67	-175.15
276	8.83	85.00	115.00	26.20	-26.06	2.74	86.82	170	28.33	9.81	-120.10	2.96	56.67	-176.76
277	8.83	85.00	115.00	26.20	-26.00	3.19	86.88	170	28.33	9.81	-121.68	3.45	56.67	-178.34



Angolo α	n	L	H _{torre}	V ₀	V _{x0}	V _{y0}	H _g	D	r _g	g	Gittata teorica	X _g	L _g	Gittata Effettiva
278	8.83	85.00	115.00	26.20	-25.94	3.65	86.94	170	28.33	9.81	-123.24	3.94	56.67	-179.90
279	8.83	85.00	115.00	26.20	-25.88	4.10	87.02	170	28.33	9.81	-124.77	4.43	56.67	-181.43
280	8.83	85.00	115.00	26.20	-25.80	4.55	87.10	170	28.33	9.81	-126.26	4.92	56.67	-182.93
281	8.83	85.00	115.00	26.20	-25.72	5.00	87.19	170	28.33	9.81	-127.73	5.41	56.67	-184.39
282	8.83	85.00	115.00	26.20	-25.63	5.45	87.29	170	28.33	9.81	-129.16	5.89	56.67	-185.82
283	8.83	85.00	115.00	26.20	-25.53	5.89	87.39	170	28.33	9.81	-130.55	6.37	56.67	-187.21
284	8.83	85.00	115.00	26.20	-25.42	6.34	87.51	170	28.33	9.81	-131.90	6.85	56.67	-188.56
285	8.83	85.00	115.00	26.20	-25.31	6.78	87.63	170	28.33	9.81	-133.21	7.33	56.67	-189.87
286	8.83	85.00	115.00	26.20	-25.18	7.22	87.76	170	28.33	9.81	-134.48	7.81	56.67	-191.14
287	8.83	85.00	115.00	26.20	-25.05	7.66	87.90	170	28.33	9.81	-135.70	8.28	56.67	-192.36
288	8.83	85.00	115.00	26.20	-24.92	8.10	88.05	170	28.33	9.81	-136.87	8.76	56.67	-193.54
289	8.83	85.00	115.00	26.20	-24.77	8.53	88.21	170	28.33	9.81	-138.00	9.22	56.67	-194.66
290	8.83	85.00	115.00	26.20	-24.62	8.96	88.38	170	28.33	9.81	-139.07	9.69	56.67	-195.73
291	8.83	85.00	115.00	26.20	-24.46	9.39	88.55	170	28.33	9.81	-140.09	10.15	56.67	-196.75
292	8.83	85.00	115.00	26.20	-24.29	9.81	88.73	170	28.33	9.81	-141.05	10.61	56.67	-197.71
293	8.83	85.00	115.00	26.20	-24.12	10.24	88.92	170	28.33	9.81	-141.96	11.07	56.67	-198.62
294	8.83	85.00	115.00	26.20	-23.93	10.66	89.12	170	28.33	9.81	-142.80	11.52	56.67	-199.46
295	8.83	85.00	115.00	26.20	-23.74	11.07	89.32	170	28.33	9.81	-143.58	11.97	56.67	-200.25
296	8.83	85.00	115.00	26.20	-23.55	11.48	89.53	170	28.33	9.81	-144.30	12.42	56.67	-200.97
297	8.83	85.00	115.00	26.20	-23.34	11.89	89.75	170	28.33	9.81	-144.96	12.86	56.67	-201.62
298	8.83	85.00	115.00	26.20	-23.13	12.30	89.98	170	28.33	9.81	-145.54	13.30	56.67	-202.20
299	8.83	85.00	115.00	26.20	-22.91	12.70	90.22	170	28.33	9.81	-146.06	13.74	56.67	-202.72
300	8.83	85.00	115.00	26.20	-22.69	13.10	90.46	170	28.33	9.81	-146.50	14.17	56.67	-203.17
301	8.83	85.00	115.00	26.20	-22.46	13.49	90.71	170	28.33	9.81	-146.88	14.59	56.67	-203.54
302	8.83	85.00	115.00	26.20	-22.22	13.88	90.97	170	28.33	9.81	-147.18	15.01	56.67	-203.84
303	8.83	85.00	115.00	26.20	-21.97	14.27	91.24	170	28.33	9.81	-147.40	15.43	56.67	-204.06
304	8.83	85.00	115.00	26.20	-21.72	14.65	91.51	170	28.33	9.81	-147.55	15.84	56.67	-204.21
305	8.83	85.00	115.00	26.20	-21.46	15.03	91.79	170	28.33	9.81	-147.61	16.25	56.67	-204.28
306	8.83	85.00	115.00	26.20	-21.20	15.40	92.08	170	28.33	9.81	-147.60	16.65	56.67	-204.26
307	8.83	85.00	115.00	26.20	-20.92	15.77	92.37	170	28.33	9.81	-147.51	17.05	56.67	-204.17
308	8.83	85.00	115.00	26.20	-20.65	16.13	92.67	170	28.33	9.81	-147.33	17.44	56.67	-203.99
309	8.83	85.00	115.00	26.20	-20.36	16.49	92.98	170	28.33	9.81	-147.07	17.83	56.67	-203.74
310	8.83	85.00	115.00	26.20	-20.07	16.84	93.30	170	28.33	9.81	-146.73	18.21	56.67	-203.39
311	8.83	85.00	115.00	26.20	-19.77	17.19	93.62	170	28.33	9.81	-146.30	18.59	56.67	-202.96
312	8.83	85.00	115.00	26.20	-19.47	17.53	93.94	170	28.33	9.81	-145.79	18.96	56.67	-202.45
313	8.83	85.00	115.00	26.20	-19.16	17.87	94.28	170	28.33	9.81	-145.19	19.32	56.67	-201.85
314	8.83	85.00	115.00	26.20	-18.85	18.20	94.62	170	28.33	9.81	-144.50	19.68	56.67	-201.16
315	8.83	85.00	115.00	26.20	-18.53	18.53	94.97	170	28.33	9.81	-143.72	20.03	56.67	-200.39
316	8.83	85.00	115.00	26.20	-18.20	18.85	95.32	170	28.33	9.81	-142.86	20.38	56.67	-199.52



Angolo α	n	L	H _{torre}	V ₀	V _{x0}	V _{y0}	H _g	D	r _g	g	Gittata teorica	X _g	L _g	Gittata Effettiva
317	8.83	85.00	115.00	26.20	-17.87	19.16	95.68	170	28.33	9.81	-141.91	20.72	56.67	-198.57
318	8.83	85.00	115.00	26.20	-17.53	19.47	96.04	170	28.33	9.81	-140.87	21.06	56.67	-197.53
319	8.83	85.00	115.00	26.20	-17.19	19.77	96.41	170	28.33	9.81	-139.74	21.38	56.67	-196.40
320	8.83	85.00	115.00	26.20	-16.84	20.07	96.79	170	28.33	9.81	-138.52	21.70	56.67	-195.18
321	8.83	85.00	115.00	26.20	-16.49	20.36	97.17	170	28.33	9.81	-137.21	22.02	56.67	-193.87
322	8.83	85.00	115.00	26.20	-16.13	20.65	97.56	170	28.33	9.81	-135.81	22.33	56.67	-192.48
323	8.83	85.00	115.00	26.20	-15.77	20.92	97.95	170	28.33	9.81	-134.33	22.63	56.67	-190.99
324	8.83	85.00	115.00	26.20	-15.40	21.20	98.35	170	28.33	9.81	-132.76	22.92	56.67	-189.42
325	8.83	85.00	115.00	26.20	-15.03	21.46	98.75	170	28.33	9.81	-131.10	23.21	56.67	-187.76
326	8.83	85.00	115.00	26.20	-14.65	21.72	99.16	170	28.33	9.81	-129.35	23.49	56.67	-186.017
327	8.83	85.00	115.00	26.20	-14.27	21.97	99.57	170	28.33	9.81	-127.52	23.76	56.67	-184.18
328	8.83	85.00	115.00	26.20	-13.88	22.22	99.99	170	28.33	9.81	-125.60	24.03	56.67	-182.26
329	8.83	85.00	115.00	26.20	-13.49	22.46	100.41	170	28.33	9.81	-123.60	24.29	56.67	-180.26
330	8.83	85.00	115.00	26.20	-13.10	22.69	100.83	170	28.33	9.81	-121.51	24.54	56.67	-178.17
331	8.83	85.00	115.00	26.20	-12.70	22.91	101.26	170	28.33	9.81	-119.34	24.78	56.67	-176.00
332	8.83	85.00	115.00	26.20	-12.30	23.13	101.70	170	28.33	9.81	-117.09	25.02	56.67	-173.75
333	8.83	85.00	115.00	26.20	-11.89	23.34	102.14	170	28.33	9.81	-114.76	25.25	56.67	-171.42
334	8.83	85.00	115.00	26.20	-11.48	23.55	102.58	170	28.33	9.81	-112.35	25.47	56.67	-169.01
335	8.83	85.00	115.00	26.20	-11.07	23.74	103.03	170	28.33	9.81	-109.86	25.68	56.67	-166.53
336	8.83	85.00	115.00	26.20	-10.66	23.93	103.48	170	28.33	9.81	-107.30	25.88	56.67	-163.97
337	8.83	85.00	115.00	26.20	-10.24	24.12	103.93	170	28.33	9.81	-104.67	26.08	56.67	-161.33
338	8.83	85.00	115.00	26.20	-9.81	24.29	104.39	170	28.33	9.81	-101.96	26.27	56.67	-158.62
339	8.83	85.00	115.00	26.20	-9.39	24.46	104.85	170	28.33	9.81	-99.18	26.45	56.67	-155.84
340	8.83	85.00	115.00	26.20	-8.96	24.62	105.31	170	28.33	9.81	-96.33	26.62	56.67	-152.99
341	8.83	85.00	115.00	26.20	-8.53	24.77	105.78	170	28.33	9.81	-93.42	26.79	56.67	-150.082
342	8.83	85.00	115.00	26.20	-8.10	24.92	106.24	170	28.33	9.81	-90.44	26.95	56.67	-147.10
343	8.83	85.00	115.00	26.20	-7.66	25.05	106.72	170	28.33	9.81	-87.39	27.10	56.67	-144.05
344	8.83	85.00	115.00	26.20	-7.22	25.18	107.19	170	28.33	9.81	-84.29	27.24	56.67	-140.95
345	8.83	85.00	115.00	26.20	-6.78	25.31	107.67	170	28.33	9.81	-81.13	27.37	56.67	-137.79
346	8.83	85.00	115.00	26.20	-6.34	25.42	108.15	170	28.33	9.81	-77.91	27.49	56.67	-134.57
347	8.83	85.00	115.00	26.20	-5.89	25.53	108.63	170	28.33	9.81	-74.64	27.61	56.67	-131.30
348	8.83	85.00	115.00	26.20	-5.45	25.63	109.11	170	28.33	9.81	-71.31	27.71	56.67	-127.97
349	8.83	85.00	115.00	26.20	-5.00	25.72	109.59	170	28.33	9.81	-67.94	27.81	56.67	-124.60
350	8.83	85.00	115.00	26.20	-4.55	25.80	110.08	170	28.33	9.81	-64.52	27.90	56.67	-121.18
351	8.83	85.00	115.00	26.20	-4.10	25.88	110.57	170	28.33	9.81	-61.06	27.98	56.67	-117.72
352	8.83	85.00	115.00	26.20	-3.65	25.94	111.06	170	28.33	9.81	-57.55	28.06	56.67	-114.21
353	8.83	85.00	115.00	26.20	-3.19	26.00	111.55	170	28.33	9.81	-54.01	28.12	56.67	-110.67
354	8.83	85.00	115.00	26.20	-2.74	26.06	112.04	170	28.33	9.81	-50.43	28.18	56.67	-107.09
355	8.83	85.00	115.00	26.20	-2.28	26.10	112.53	170	28.33	9.81	-46.81	28.23	56.67	-103.47



Angolo α	n	L	H _{torre}	v ₀	v _{x0}	v _{y0}	H _g	D	r _g	g	Gittata teorica	X _g	L _g	Gittata Effettiva
356	8.83	85.00	115.00	26.20	-1.83	26.14	113.02	170	28.33	9.81	-43.17	28.26	56.67	-99.83
357	8.83	85.00	115.00	26.20	-1.37	26.16	113.52	170	28.33	9.81	-39.49	28.29	56.67	-96.16
358	8.83	85.00	115.00	26.20	-0.91	26.18	114.01	170	28.33	9.81	-35.80	28.32	56.67	-92.46
359	8.83	85.00	115.00	26.20	-0.46	26.20	114.51	170	28.33	9.81	-32.07	28.33	56.67	-88.74
360	8.83	85.00	115.00	26.20	0.00	26.20	115.00	170	28.33	9.81	-28.33	28.33	56.67	-85

Tabella 1: Tabulati di calcolo



4 Conclusioni

Avendo ottenuto la lunghezza di 204.3 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.

