



COMUNI DI ASCOLI SATRIANO,  
CASTELLUCCIO DEI SAURI E ORDONA  
PROVINCIA DI FOGGIA



PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO

**RICHIESTA DI AUTORIZZAZIONE UNICA**

D.Lgs. 387/2003

**PROCEDIMENTO UNICO AMBIENTALE  
(PUA)**

**Valutazione di Impatto  
Ambientale (V.I.A.)**

D.Lgs. 152/2006 ss.mm.ii. (Art.27)  
"Norme in materia ambientale"

PROGETTO

PEGASO

DITTA

SPIRIT s.r.l.

ALL. A18

PAGG. 15

Titolo dell'allegato:

**RELAZIONE DI CALCOLO GITTATA MASSIMA  
DEGLI ELEMENTI ROTANTI**

REV	DESCRIZIONE	DATA
2	EMISSIONE	04/05/2020

**CARATTERISTICHE GENERALI D'IMPIANTO**

GENERATORE - Altezza mozzo: fino a 140 m.  
Diametro rotore: fino a 170 m.  
Potenza unitaria: fino a 7,5 MW

IMPIANTO - Numero generatori: 20  
Potenza complessiva: fino a 150 MW.

**Il proponente:**

SPIRIT s.r.l.  
P.zza Giovanni Paolo II, 8  
71017 Torremaggiore (FG)  
0882/393197  
spirit@pec.it

**Il progettista:**

ATS Engineering srl  
P.zza Giovanni Paolo II, 8  
71017 Torremaggiore (FG)  
0882/393197  
atseng@pec.it

**Il tecnico:**

Ing. Eugenio Di Gianvito  
atsing@atsing.eu

## Sommario

PREMESSA.....	2
INTRODUZIONE .....	2
CENNI SUI PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO DI UN AEROGENERATORE.....	2
INQUADRAMENTO DEL SISTEMA .....	3
SPECIFICHE TECNICHE DELL'AEROGENERATORE .....	4
STUDIO DEL PROBLEMA .....	4
CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA DEGLI ELEMENTI ROTANTI .....	6
CONCLUSIONI .....	14



Progetto	Titolo	Rev.	Pag.
<i>Pegaso</i>	<i>Pegaso -A18 - Relazione di calcolo sulla gittata massima degli elementi rotanti - REV0.doc</i>	<i>0</i>	<i>1</i>

## PREMESSA

Con riferimento al Decreto Ministeriale 10 Settembre 2010 e alle Regole per la Sicurezza è necessaria la "dimostrazione della gittata massima degli elementi rotanti in caso di rottura accidentale" (art.10 comma g).

Questo documento riporta lo studio realizzato per la dimostrazione della gittata massima della pala, con riferimento alla tecnologia utilizzata nel progetto del parco eolico "Pegaso" previsto nei Comuni di Ascoli Satriano, Castelluccio dei Sauri e Ortona (FG).

## INTRODUZIONE

La gittata è la distanza longitudinale percorsa da un corpo lanciato in aria, con una certa direzione e con una certa velocità iniziale, prima di impattare con il suolo.

Lo studio viene effettuato applicando una metodologia di calcolo che abbia rigore scientifico e considerando tutti i possibili effetti meccanici ed aerodinamici che possono in qualche modo influenzare la distanza di gittata della pala.

## CENNI SUI PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO DI UN AEROGENERATORE

Nel dettaglio, le pale sono fissate su un mozzo, e nell'insieme costituiscono il rotore; il mozzo, a sua volta, è collegato ad un primo albero di trasmissione, detto albero lento, che ruota alla stessa velocità angolare del rotore.

L'albero lento è, nella maggior parte dei casi, collegato ad un moltiplicatore di giri, da cui si diparte un albero veloce, che ruota con velocità angolare data da quella dell'albero lento per il rapporto di trasmissione del rotismo installato. Tutti i componenti sopra menzionati, ad eccezione del rotore e del mozzo, sono ubicati entro una cabina detta navicella, la quale a sua volta è sistemata su un supporto cuscinetto in maniera da essere facilmente orientata secondo la direzione del vento.

Oltre ai componenti su elencati vi è un sistema di controllo che regola la velocità di rotazione del rotore, agendo sull'angolo di attacco delle pale, e che modifica l'orientamento della navicella (controllo dell'imbardata) al fine di allineare la macchina rispetto alla direzione del vento. Si riporta di seguito una figura che evidenzia il verso di rotazione dell'aerogeneratore, in relazione alla direzione del vento che causa tale moto. La



Progetto	Titolo	Rev.	Pag.
Pegaso	Pegaso -A18 - Relazione di calcolo sulla gittata massima degli elementi rotanti - REV0.doc	0	2

conformazione del profilo alare dell'aerogeneratore è fissa, mentre è mobile il rotore sul quale sono ancorate le pale. Questo garantisce la possibilità di poter sempre orientare il rotore rispetto al vento al fine di avere un verso orario di rotazione, indipendentemente dalla direzione del vento. Questa considerazione ci serve per fissare in ogni momento il verso della velocità tangenziale, responsabile della gittata nel piano, rispetto a quello della velocità del vento, ortogonale alla velocità tangenziale ed a sua volta responsabile della gittata fuori dal piano. Dalla composizione delle due traiettorie si ottiene la traiettoria complessiva e quindi si capisce la direzione lungo la quale l'eventuale pala o parte di essa che si distacca percorre il suo moto.

## INQUADRAMENTO DEL SISTEMA

Il sistema di riferimento adottato per lo studio del problema è costituito da una terna sinistrorsa  $X, Y, Z$ , dalle seguenti caratteristiche:

- nel piano  $XY$  giace l'aerogeneratore, con base nell'origine del sistema;
- il rotore gira in senso orario;
- la direzione del vento è perpendicolare al piano  $XY$ , quindi parallela all'asse delle  $z$ .

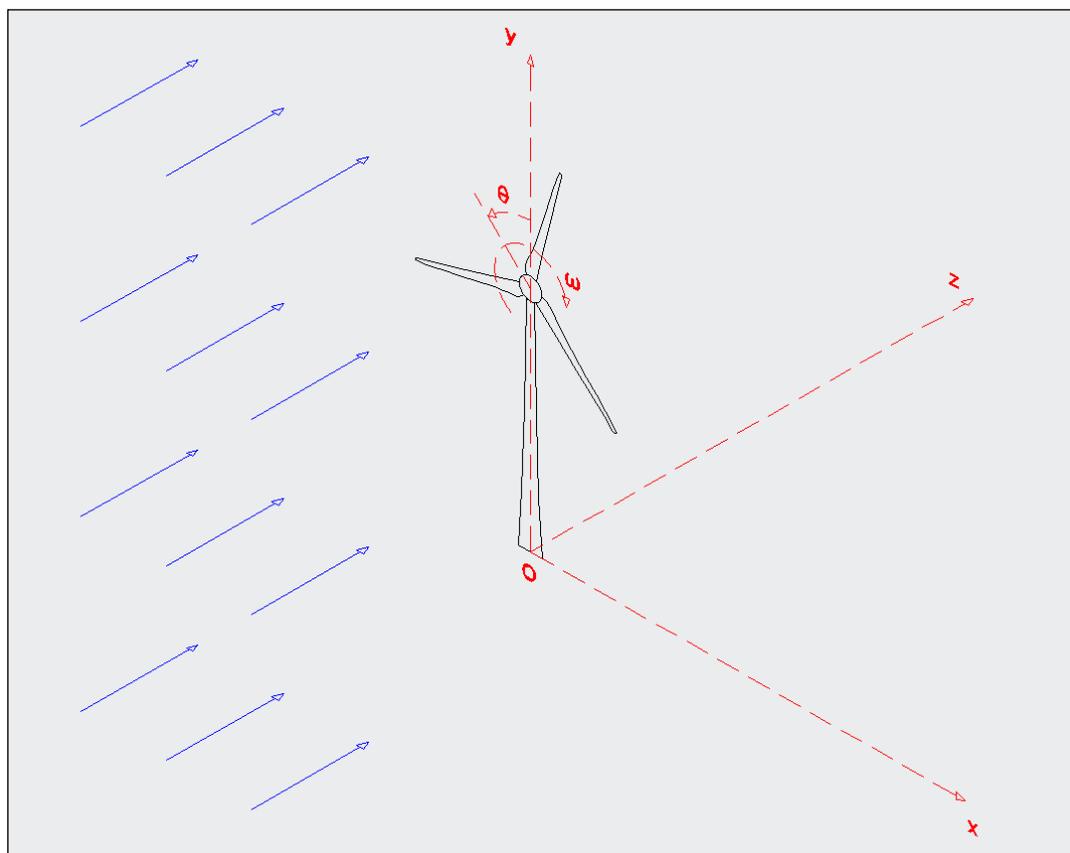


Figura 1: Riferimento del sistema



Progetto	Titolo	Rev.	Pag.
Pegaso	Pegaso -A18 - Relazione di calcolo sulla gittata massima degli elementi rotanti - REV0.doc	0	3

## SPECIFICHE TECNICHE DELL'AEROGENERATORE

Diametro Rotore[m]	170
Altezza del mozzo[m]	140
Potenza nominale [MW]	7,5
Velocità rotore [rpm]	4.4 –16
Velocità di Cut-in [m/s]	3
Velocità di Cut-out [m/s]	34,0

## STUDIO DEL PROBLEMA

Per il calcolo della gittata massima sono state prese in considerazione le caratteristiche di vento più gravose in cui potrebbe avvenire una rottura accidentale, non che i fattori aerodinamici e le caratteristiche meccaniche degli elementi che costituiscono l'aerogeneratore.

Gli episodi più critici potrebbero verificarsi quando la velocità del vento è massima, un istante prima che il sistema frenante automatico entri in funzione (Cut-out = 34 m/s, al quale corrisponde una velocità angolare del rotore pari a 16 giri al minuto), in una delle seguenti ipotesi:

- distacco dell'intera pala;
- distacco di una parte di essa (estremità della pala, di lunghezza pari a 5 metri, definita attraverso sezioni di pre-rottura appositamente create dal costruttore dell'aerogeneratore).

Nel primo caso il centro di massa del pezzo, per via della geometria della pala, è situato ad 1/3 della sua lunghezza a partire dal centro del rotore, mentre nel secondo caso si assume che il baricentro del pezzo sia situato nel mezzo della sua lunghezza (ipotesi semplificativa a vantaggio di sicurezza).

L'oggetto che accidentalmente si distacca dal rotore viene messo in moto a causa dell'annullamento della forza centripeta, con una velocità iniziale  $v_0$  applicata nel suo baricentro, la cui direzione coincide con la tangente alla traiettoria disegnata dall'oggetto durante il suo consueto movimento (prima della rottura); tale  $v_0$  è quindi proporzionale alla



Progetto	Titolo	Rev.	Pag.
Pegaso	Pegaso -A18 - Relazione di calcolo sulla gittata massima degli elementi rotanti - REV0.doc	0	4

velocità di rotazione del rotore e alla distanza tra il centro del rotore ed il centro di massa dell'oggetto stesso, mentre l'angolo nel quale si trova la pala al momento della rottura determina le rispettive proiezioni di  $v_0$  sull'asse delle  $x$  e su quello delle  $y$ .

Siccome il sistema è immerso nel campo gravitazionale terrestre l'oggetto è anche soggetto ad una accelerazione costante  $g=9,81\text{m/s}^2$  diretta lungo  $-y$ .

Al moto dell'oggetto inoltre si oppone la forza di resistenza dell'aria, che è proporzionale al coefficiente di forma dell'oggetto, alla densità dell'aria, al quadrato della velocità dell'oggetto in volo, e alla superficie di riferimento dell'oggetto:

$$R_a=0,5 \cdot c_x \cdot \rho \cdot v^2 \cdot S$$

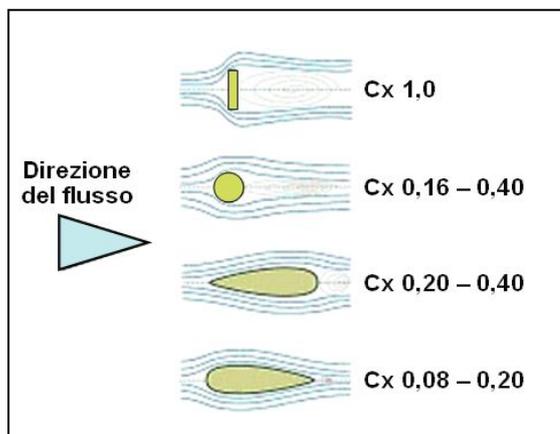
Infine sull'oggetto in volo agisce la forza del vento parallela all'asse delle  $z$ :

$$R_a=0,5 \cdot c_{x2} \cdot \rho \cdot w_s^2 \cdot S_2$$

identica nella forma all'equazione della forza di resistenza dell'aria, ma diretta trasversalmente al moto iniziale di gittata, con  $c_{x2}$  e  $S_2$  pari al coefficiente di forma ed alla superficie di riferimento secondo un flusso diretto parallelamente all'asse delle  $z$ , e con  $w_s$  pari alla velocità del vento che impatta sull'oggetto, e che varia in base alla quota in cui esso si trova.

E' importante considerare che:

- entrambi i coefficienti di forma non rimangono costanti durante tutto l'intervallo di tempo  $t$  ma cambiano rapidamente e ripetutamente a causa delle roto-traslazioni che l'oggetto subisce durante il volo e per via della svergolatura delle pale, assumendo valori compresi tra 0,08 e 1;
- la gittata massima non viene calcolata secondo la sola posizione finale del baricentro dell'oggetto, ma tiene anche conto della lunghezza più gravosa della rimanente parte di frammento;
- per questioni legate alla funzionalità ed alla producibilità dell'impianto, gli aerogeneratori sono dotati di sistemi anticongelamento che evitano la formazione di blocchi di ghiaccio lungo le pale quando essi sono in funzione, pertanto l'ipotesi di distacco di un pezzo di ghiaccio viene esclusa a priori.



## CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA DEGLI ELEMENTI ROTANTI

Sulla base delle considerazioni sopra esposte si è proceduto con il calcolo della gittata massima nei 2 casi critici.

### Caso 1 - Distacco dell'intera pala (lunghezza: 70 metri)

Si considerano i seguenti dati:

Velocità del vento, al momento della rottura:

$$w_s = 34 \text{ m/s}$$

Velocità angolare massima del rotore, al momento della rottura:

$$\omega = 16 \text{ giri/minuto}$$

Altezza al mozzo dell'aerogeneratore:

$$H = 135 \text{ m}$$

Distanza tra il centro del rotore ed il baricentro della pala:

$$D = 23,333 \text{ m}$$

Velocità tangenziale:

$$v_0 = 39,09 \text{ m/s}$$

Densità dell'aria:

$$\rho = 1,23 \text{ Kg/m}^3$$

Coefficiente di forma:

$$c_x = \text{variabile } (0,08 \div 1)$$

Superficie di riferimento:

$$S = 300 \text{ m}^2$$

Di seguito si riportano i valori di calcolo della gittata relativa al primo quadrante, con  $\theta$  compreso tra 0 e 90°, nel quale si verifica la condizione di gittata massima:

$\theta$	$x_0$	$y_0$	$v_x$	$v_y$	$t$	Gittata
°	m	m	m/s	m/s	s	m
<b>0</b>	0,00	158,33	39,09	0,00	5,6815	<b>165,12</b>
<b>1</b>	-0,41	158,33	39,09	0,68	5,7515	<b>165,67</b>
<b>2</b>	-0,81	158,32	39,07	1,36	5,8221	<b>166,21</b>
<b>3</b>	-1,22	158,30	39,04	2,05	5,8934	<b>166,77</b>
<b>4</b>	-1,63	158,28	39,00	2,73	5,9653	<b>167,32</b>



<b>5</b>	-2,03	158,24	38,95	3,41	6,0379	<b>167,88</b>
<b>6</b>	-2,44	158,21	38,88	4,09	6,1111	<b>168,45</b>
<b>7</b>	-2,84	158,16	38,80	4,76	6,1848	<b>169,02</b>
<b>8</b>	-3,25	158,11	38,71	5,44	6,2591	<b>169,60</b>
<b>9</b>	-3,65	158,05	38,61	6,12	6,3339	<b>170,19</b>
<b>10</b>	-4,05	157,98	38,50	6,79	6,4092	<b>170,79</b>
<b>11</b>	-4,45	157,90	38,38	7,46	6,4850	<b>171,39</b>
<b>12</b>	-4,85	157,82	38,24	8,13	6,5612	<b>172,01</b>
<b>13</b>	-5,25	157,73	38,09	8,79	6,6377	<b>172,63</b>
<b>14</b>	-5,64	157,64	37,93	9,46	6,7146	<b>173,27</b>
<b>15</b>	-6,04	157,54	37,76	10,12	6,7918	<b>173,92</b>
<b>16</b>	-6,43	157,43	37,58	10,78	6,8693	<b>174,58</b>
<b>17</b>	-6,82	157,31	37,39	11,43	6,9470	<b>175,26</b>
<b>18</b>	-7,21	157,19	37,18	12,08	7,0249	<b>175,94</b>
<b>19</b>	-7,60	157,06	36,96	12,73	7,1030	<b>176,64</b>
<b>20</b>	-7,98	156,93	36,74	13,37	7,1812	<b>177,36</b>
<b>21</b>	-8,36	156,78	36,50	14,01	7,2594	<b>178,09</b>
<b>22</b>	-8,74	156,63	36,25	14,65	7,3377	<b>178,83</b>
<b>23</b>	-9,12	156,48	35,99	15,28	7,4160	<b>179,58</b>
<b>24</b>	-9,49	156,32	35,71	15,90	7,4943	<b>180,35</b>
<b>25</b>	-9,86	156,15	35,43	16,52	7,5724	<b>181,14</b>
<b>26</b>	-10,23	155,97	35,14	17,14	7,6504	<b>181,93</b>
<b>27</b>	-10,59	155,79	34,83	17,75	7,7283	<b>182,74</b>
<b>28</b>	-10,95	155,60	34,52	18,35	7,8059	<b>183,57</b>
<b>29</b>	-11,31	155,41	34,19	18,95	7,8832	<b>184,40</b>
<b>30</b>	-11,67	155,21	33,86	19,55	7,9603	<b>185,25</b>
<b>31</b>	-12,02	155,00	33,51	20,14	8,0370	<b>186,10</b>
<b>32</b>	-12,36	154,79	33,15	20,72	8,1132	<b>186,97</b>
<b>33</b>	-12,71	154,57	32,79	21,29	8,1891	<b>187,85</b>
<b>34</b>	-13,05	154,34	32,41	21,86	8,2645	<b>188,73</b>
<b>35</b>	-13,38	154,11	32,02	22,42	8,3393	<b>189,62</b>
<b>36</b>	-13,71	153,88	31,63	22,98	8,4136	<b>190,52</b>
<b>37</b>	-14,04	153,63	31,22	23,53	8,4872	<b>191,42</b>
<b>38</b>	-14,37	153,39	30,81	24,07	8,5602	<b>192,32</b>
<b>39</b>	-14,68	153,13	30,38	24,60	8,6325	<b>193,23</b>
<b>40</b>	-15,00	152,87	29,95	25,13	8,7040	<b>194,14</b>
<b>41</b>	-15,31	152,61	29,51	25,65	8,7748	<b>195,04</b>
<b>42</b>	-15,61	152,34	29,05	26,16	8,8447	<b>195,94</b>
<b>43</b>	-15,91	152,06	28,59	26,66	8,9138	<b>196,84</b>
<b>44</b>	-16,21	151,78	28,12	27,16	8,9819	<b>197,73</b>



Progetto	Titolo	Rev.	Pag.
Pegaso	Pegaso -A18 - Relazione di calcolo sulla gittata massima degli elementi rotanti - REV0.doc	0	7

<b>45</b>	-16,50	151,50	27,64	27,64	9,0491	<b>198,61</b>
<b>46</b>	-16,78	151,21	27,16	28,12	9,1153	<b>199,47</b>
<b>47</b>	-17,06	150,91	26,66	28,59	9,1805	<b>200,33</b>
<b>48</b>	-17,34	150,61	26,16	29,05	9,2446	<b>201,17</b>
<b>49</b>	-17,61	150,31	25,65	29,51	9,3077	<b>202,00</b>
<b>50</b>	-17,87	150,00	25,13	29,95	9,3695	<b>202,80</b>
<b>51</b>	-18,13	149,68	24,60	30,38	9,4302	<b>203,58</b>
<b>52</b>	-18,39	149,37	24,07	30,81	9,4897	<b>204,34</b>
<b>53</b>	-18,63	149,04	23,53	31,22	9,5479	<b>205,07</b>
<b>54</b>	-18,88	148,71	22,98	31,63	9,6048	<b>205,77</b>
<b>55</b>	-19,11	148,38	22,42	32,02	9,6604	<b>206,44</b>
<b>56</b>	-19,34	148,05	21,86	32,41	9,7147	<b>207,08</b>
<b>57</b>	-19,57	147,71	21,29	32,79	9,7676	<b>207,68</b>
<b>58</b>	-19,79	147,36	20,72	33,15	9,8190	<b>208,24</b>
<b>59</b>	-20,00	147,02	20,14	33,51	9,8690	<b>208,76</b>
<b>60</b>	-20,21	146,67	19,55	33,86	9,9176	<b>209,24</b>
<b>61</b>	-20,41	146,31	18,95	34,19	9,9646	<b>209,67</b>
<b>62</b>	-20,60	145,95	18,35	34,52	10,0101	<b>210,05</b>
<b>63</b>	-20,79	145,59	17,75	34,83	10,0540	<b>210,39</b>
<b>64</b>	-20,97	145,23	17,14	35,14	10,0963	<b>210,67</b>
<b>65</b>	-21,15	144,86	16,52	35,43	10,1370	<b>210,90</b>
<b>66</b>	-21,32	144,49	15,90	35,71	10,1761	<b>211,07</b>
<b>67</b>	-21,48	144,12	15,28	35,99	10,2135	<b>211,19</b>
<b>68</b>	-21,63	143,74	14,65	36,25	10,2493	<b>211,25</b>
<b>69</b>	-21,78	143,36	14,01	36,50	10,2833	<b>211,25</b>
<b>70</b>	-21,93	142,98	13,37	36,74	10,3156	<b>211,19</b>
<b>71</b>	-22,06	142,60	12,73	36,96	10,3461	<b>211,07</b>
<b>72</b>	-22,19	142,21	12,08	37,18	10,3748	<b>210,90</b>
<b>73</b>	-22,31	141,82	11,43	37,39	10,4018	<b>210,68</b>
<b>74</b>	-22,43	141,43	10,78	37,58	10,4270	<b>210,40</b>
<b>75</b>	-22,54	141,04	10,12	37,76	10,4503	<b>210,07</b>
<b>76</b>	-22,64	140,64	9,46	37,93	10,4718	<b>209,70</b>
<b>77</b>	-22,73	140,25	8,79	38,09	10,4915	<b>209,29</b>
<b>78</b>	-22,82	139,85	8,13	38,24	10,5093	<b>208,85</b>
<b>79</b>	-22,90	139,45	7,46	38,38	10,5252	<b>208,40</b>
<b>80</b>	-22,98	139,05	6,79	38,50	10,5392	<b>207,93</b>
<b>81</b>	-23,05	138,65	6,12	38,61	10,5513	<b>207,47</b>
<b>82</b>	-23,11	138,25	5,44	38,71	10,5615	<b>207,04</b>
<b>83</b>	-23,16	137,84	4,76	38,80	10,5698	<b>206,64</b>
<b>84</b>	-23,21	137,44	4,09	38,88	10,5761	<b>206,31</b>



<b>85</b>	-23,24	137,03	3,41	38,95	10,5805	<b>206,07</b>
<b>86</b>	-23,28	136,63	2,73	39,00	10,5830	<b>205,94</b>
<b>87</b>	-23,30	136,22	2,05	39,04	10,5835	<b>-205,97</b>
<b>88</b>	-23,32	135,81	1,36	39,07	10,5821	<b>-206,18</b>
<b>89</b>	-23,33	135,41	0,68	39,09	10,5788	<b>-206,62</b>
<b>90</b>	-23,33	135,00	0,00	39,09	10,5734	<b>-207,33</b>

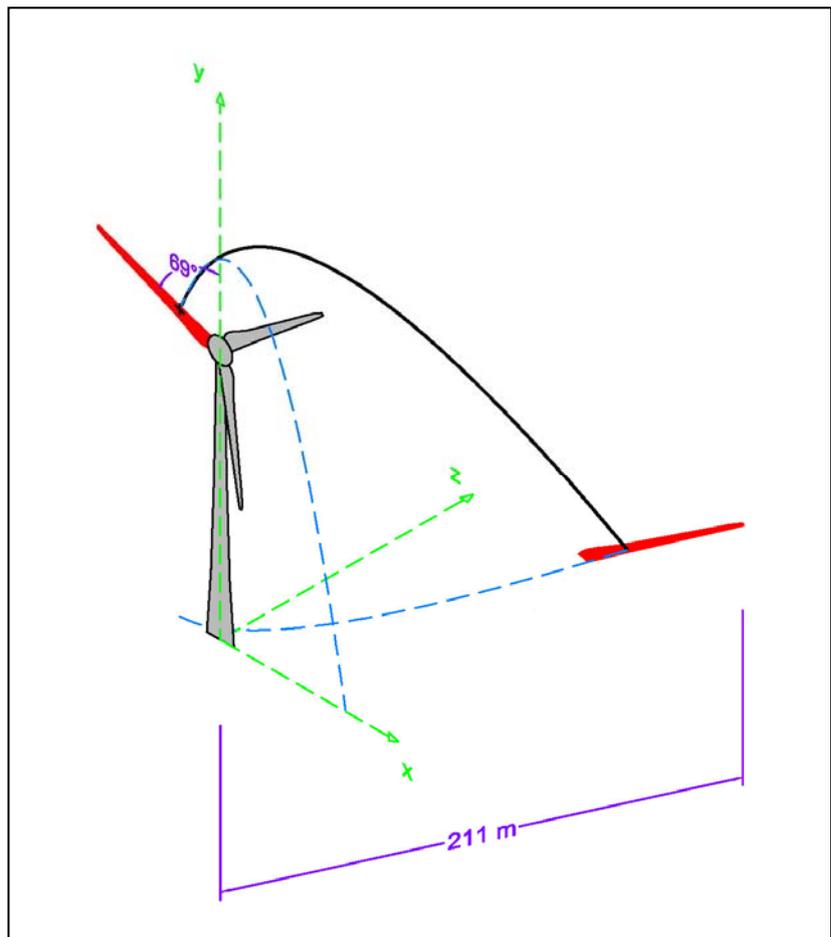
Gittata massima:

$$L_{max} = 211,25 \text{ m}$$

Angolo zenitale

di gittata massima:

$$\theta = 69^\circ$$



## Caso 2 - Distacco di un pezzo di estremità della pala (lunghezza: 5 metri)

Si considerano i seguenti dati:

Velocità del vento, al momento della rottura:

$$w_s = 34 \text{ m/s}$$

Velocità angolare massima del rotore, al momento della rottura:

$$\omega = 16 \text{ giri/minuto}$$

Altezza al mozzo dell'aerogeneratore:

$$H = 135 \text{ m}$$

Distanza tra il centro del rotore ed il baricentro della pala:

$$D = 67,5 \text{ m}$$

Velocità tangenziale:

$$v_0 = 113,10 \text{ m/s}$$

Densità dell'aria:

$$\rho = 1,23 \text{ Kg/m}^3$$

Coefficiente di forma:

$$c_x = \text{variabile } (0,08 \div 1)$$

Superficie di riferimento:

$$S = 10 \text{ m}^2$$

Di seguito si riportano i valori di calcolo della gittata relativa al primo quadrante, con  $\theta$  compreso tra 0 e 90°, nel quale si verifica la condizione di gittata massima:

$\theta$	$x_0$	$y_0$	$v_x$	$v_y$	$t$	Gittata
°	m	m	m/s	m/s	s	m
0	0,00	202,50	113,10	0,00	6,4253	200,74
1	-1,18	202,49	113,08	1,97	6,6295	200,26
2	-2,36	202,46	113,03	3,95	6,8396	199,74
3	-3,53	202,41	112,94	5,92	7,0555	199,18
4	-4,71	202,34	112,82	7,89	7,2770	198,59
5	-5,88	202,24	112,67	9,86	7,5042	197,98
6	-7,06	202,13	112,48	11,82	7,7366	197,34
7	-8,23	202,00	112,25	13,78	7,9743	196,69
8	-9,39	201,84	112,00	15,74	8,2170	196,02
9	-10,56	201,67	111,70	17,69	8,4644	195,36
10	-11,72	201,47	111,38	19,64	8,7164	194,70



11	-12,88	201,26	111,02	21,58	8,9726	194,04
12	-14,03	201,02	110,63	23,51	9,2328	193,40
13	-15,18	200,77	110,20	25,44	9,4969	192,78
14	-16,33	200,49	109,74	27,36	9,7643	192,19
15	-17,47	200,20	109,24	29,27	10,0350	191,62
16	-18,61	199,89	108,72	31,17	10,3086	191,10
17	-19,74	199,55	108,16	33,07	10,5849	190,61
18	-20,86	199,20	107,56	34,95	10,8635	190,18
19	-21,98	198,82	106,94	36,82	11,1441	189,79
20	-23,09	198,43	106,28	38,68	11,4265	189,46
21	-24,19	198,02	105,59	40,53	11,7105	189,20
22	-25,29	197,58	104,86	42,37	11,9956	189,00
23	-26,37	197,13	104,11	44,19	12,2817	188,86
24	-27,45	196,66	103,32	46,00	12,5685	188,81
25	-28,53	196,18	102,50	47,80	12,8556	188,82
26	-29,59	195,67	101,65	49,58	13,1430	188,92
27	-30,64	195,14	100,77	51,35	13,4302	189,10
28	-31,69	194,60	99,86	53,10	13,7171	189,37
29	-32,72	194,04	98,92	54,83	14,0035	189,72
30	-33,75	193,46	97,95	56,55	14,2890	190,17
31	-34,77	192,86	96,94	58,25	14,5735	190,70
32	-35,77	192,24	95,91	59,93	14,8567	191,32
33	-36,76	191,61	94,85	61,60	15,1385	192,03
34	-37,75	190,96	93,76	63,24	15,4186	192,84
35	-38,72	190,29	92,64	64,87	15,6968	193,73
36	-39,68	189,61	91,50	66,48	15,9730	194,72
37	-40,62	188,91	90,32	68,06	16,2469	195,79
38	-41,56	188,19	89,12	69,63	16,5183	196,95
39	-42,48	187,46	87,89	71,17	16,7872	198,19
40	-43,39	186,71	86,64	72,70	17,0532	199,52
41	-44,28	185,94	85,36	74,20	17,3163	200,92
42	-45,17	185,16	84,05	75,68	17,5763	202,40
43	-46,03	184,37	82,71	77,13	17,8330	203,95
44	-46,89	183,56	81,36	78,56	18,0862	205,57
45	-47,73	182,73	79,97	79,97	18,3359	207,25
46	-48,56	181,89	78,56	81,36	18,5818	208,99
47	-49,37	181,03	77,13	82,71	18,8239	210,78
48	-50,16	180,17	75,68	84,05	19,0620	212,63
49	-50,94	179,28	74,20	85,36	19,2960	214,52
50	-51,71	178,39	72,70	86,64	19,5257	216,45



51	-52,46	177,48	71,17	87,89	19,7511	218,41
52	-53,19	176,56	69,63	89,12	19,9719	220,40
53	-53,91	175,62	68,06	90,32	20,1881	222,42
54	-54,61	174,68	66,48	91,50	20,3997	224,45
55	-55,29	173,72	64,87	92,64	20,6064	226,49
56	-55,96	172,75	63,24	93,76	20,8081	228,54
57	-56,61	171,76	61,60	94,85	21,0048	230,59
58	-57,24	170,77	59,93	95,91	21,1964	232,63
59	-57,86	169,77	58,25	96,94	21,3828	234,66
60	-58,46	168,75	56,55	97,95	21,5639	236,67
61	-59,04	167,72	54,83	98,92	21,7395	238,65
62	-59,60	166,69	53,10	99,86	21,9097	240,61
63	-60,14	165,64	51,35	100,77	22,0743	242,52
64	-60,67	164,59	49,58	101,65	22,2332	244,39
65	-61,18	163,53	47,80	102,50	22,3865	246,21
66	-61,66	162,45	46,00	103,32	22,5339	247,97
67	-62,13	161,37	44,19	104,11	22,6755	249,67
68	-62,58	160,29	42,37	104,86	22,8111	251,28
69	-63,02	159,19	40,53	105,59	22,9408	252,80
70	-63,43	158,09	38,68	106,28	23,0644	254,23
71	-63,82	156,98	36,82	106,94	23,1819	255,54
72	-64,20	155,86	34,95	107,56	23,2932	256,72
73	-64,55	154,74	33,07	108,16	23,3983	257,76
74	-64,89	153,61	31,17	108,72	23,4971	258,62
75	-65,20	152,47	29,27	109,24	23,5896	259,28
76	-65,49	151,33	27,36	109,74	23,6758	259,72
77	-65,77	150,18	25,44	110,20	23,7555	259,89
78	-66,02	149,03	23,51	110,63	23,8288	259,74
79	-66,26	147,88	21,58	111,02	23,8956	259,23
80	-66,47	146,72	19,64	111,38	23,9559	258,29
81	-66,67	145,56	17,69	111,70	24,0097	256,85
82	-66,84	144,39	15,74	112,00	24,0569	254,86
83	-67,00	143,23	13,78	112,25	24,0974	252,25
84	-67,13	142,06	11,82	112,48	24,1314	249,02
85	-67,24	140,88	9,86	112,67	24,1587	245,23
86	-67,34	139,71	7,89	112,82	24,1794	241,14
87	-67,41	138,53	5,92	112,94	24,1934	237,33
88	-67,46	137,36	3,95	113,03	24,2006	234,95
89	-67,49	136,18	1,97	113,08	24,2012	-236,13
90	-67,50	135,00	0,00	113,10	24,1951	-244,29

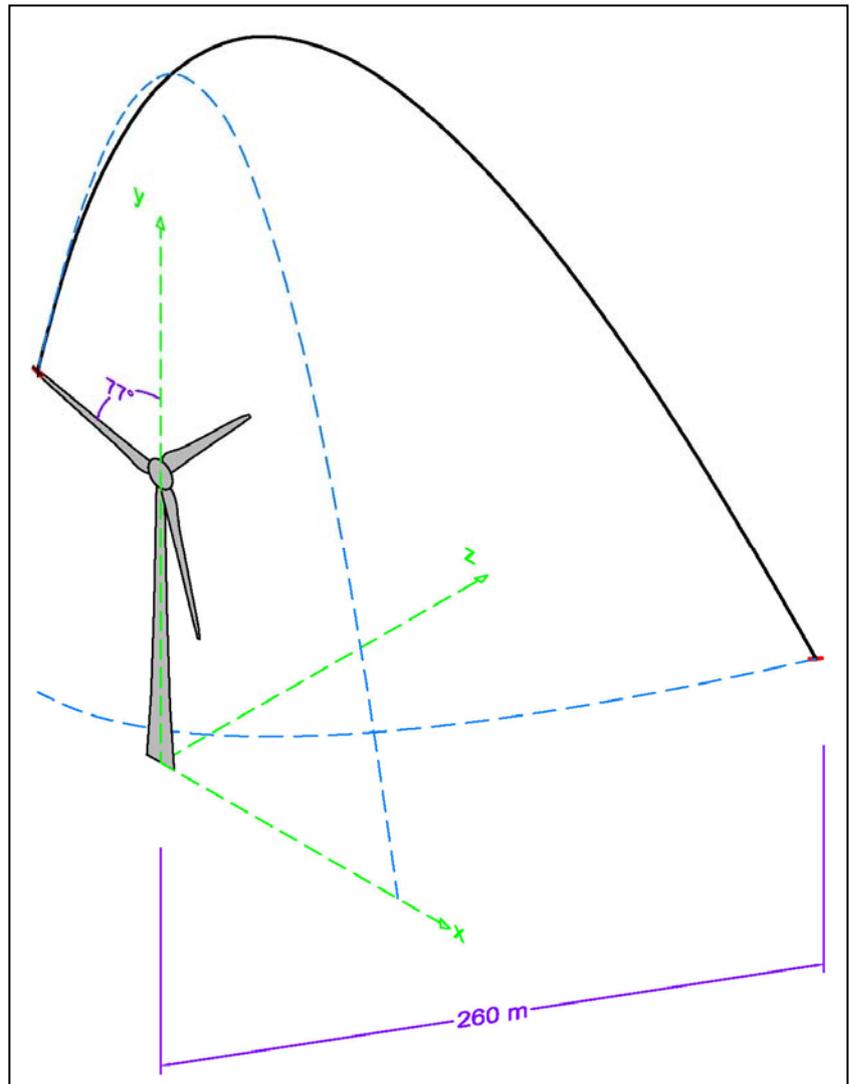


Gittata massima:

$$L_{max} = 259,89 \text{ m}$$

Angolo zenitale:

$$\theta = 77^\circ$$



## CONCLUSIONI

In conclusione, in caso di rottura accidentale, le condizioni più gravose sono rappresentate dall'ipotesi 2, ovvero dal distacco di un frammento di estremità della pala, di lunghezza pari a 5 metri. **In tal caso si ottiene la gittata massima, pari a 260 metri, con un angolo di lancio  $\theta = 77^\circ$ .**



Progetto	Titolo	Rev.	Pag.
Pegaso	Pegaso -A18 - Relazione di calcolo sulla gittata massima degli elementi rotanti - REV0.doc	0	14