

<b>COMMITTENTE</b> Inergia S.p.A. Via Cola D'Amatrice, 1 63100 Ascoli Piceno info@inergia.it	 	<b>COD. ELABORATO</b> IN-IS-RA13
<b>ELABORAZIONI</b> I.A.T. Consulenza e progetti S.r.l. con socio unico - Via Giua s.n.c. – Z.I. CACIP, 09122 Cagliari (CA) Tel./Fax +39.070.658297 Web www.iatprogetti.it		<b>PAGINA</b> 1 di 15

**REGIONE SARDEGNA**  
**PROVINCIA DEL SUD SARDEGNA**  
**Comuni di Isili, Genoni, Nuragus e Nurallao**  
  
**IMPIANTO EOLICO**  
**IN LOCALITA' "PERD'E CUADDU"**



<b>OGGETTO</b> <b>STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE</b>	<b>TITOLO</b> <b>RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI</b>				
<b>PROGETTAZIONE</b> I.A.T. CONSULENZA E PROGETTI S.R.L. ING. GIUSEPPE FRONGIA	<table border="0"> <tr> <td data-bbox="798 1406 1085 1825"> <b>GRUPPO DI PROGETTAZIONE</b>  Ing. Giuseppe Frongia (coordinatore e responsabile)   Ing. Marianna Barbarino  Ing. Enrica Batzella  Pian.Terr. Andrea Cappai  Ing. Gianfranco Corda  Ing. Paolo Desogus  Pian. Terr. Veronica Fais  Dott. Fabio Mancosu  Ing. Gianluca Melis  Dott. Fabrizio Murru  Dott. Nat. Alessio Musu  Ing. Andrea Onnis  Pian. Terr. Eleonora Re  Ing. Elisa Roych  Ing. Marco Utzeri </td> <td data-bbox="1085 1406 1484 1825"> <b>CONTRIBUTI SPECIALISTICI</b>  Ing. Antonio Dedoni (acustica)  Dott.ssa Geol. Maria Francesca Lobina (Geologia)  Agr.Dott. Nat. Nicola Manis (Pedologia)  Dott. Nat. Maurizio Medda (Fauna)  Agr. Dott. Nat. Fabio Schirru (Flora)  Dott.ssa Alice Nozza (Archeologia)  Dott. Matteo Tatti (Archeologia) </td> </tr> </table>	<b>GRUPPO DI PROGETTAZIONE</b> Ing. Giuseppe Frongia (coordinatore e responsabile)  Ing. Marianna Barbarino Ing. Enrica Batzella Pian.Terr. Andrea Cappai Ing. Gianfranco Corda Ing. Paolo Desogus Pian. Terr. Veronica Fais Dott. Fabio Mancosu Ing. Gianluca Melis Dott. Fabrizio Murru Dott. Nat. Alessio Musu Ing. Andrea Onnis Pian. Terr. Eleonora Re Ing. Elisa Roych Ing. Marco Utzeri	<b>CONTRIBUTI SPECIALISTICI</b> Ing. Antonio Dedoni (acustica) Dott.ssa Geol. Maria Francesca Lobina (Geologia) Agr.Dott. Nat. Nicola Manis (Pedologia) Dott. Nat. Maurizio Medda (Fauna) Agr. Dott. Nat. Fabio Schirru (Flora) Dott.ssa Alice Nozza (Archeologia) Dott. Matteo Tatti (Archeologia)		
<b>GRUPPO DI PROGETTAZIONE</b> Ing. Giuseppe Frongia (coordinatore e responsabile)  Ing. Marianna Barbarino Ing. Enrica Batzella Pian.Terr. Andrea Cappai Ing. Gianfranco Corda Ing. Paolo Desogus Pian. Terr. Veronica Fais Dott. Fabio Mancosu Ing. Gianluca Melis Dott. Fabrizio Murru Dott. Nat. Alessio Musu Ing. Andrea Onnis Pian. Terr. Eleonora Re Ing. Elisa Roych Ing. Marco Utzeri	<b>CONTRIBUTI SPECIALISTICI</b> Ing. Antonio Dedoni (acustica) Dott.ssa Geol. Maria Francesca Lobina (Geologia) Agr.Dott. Nat. Nicola Manis (Pedologia) Dott. Nat. Maurizio Medda (Fauna) Agr. Dott. Nat. Fabio Schirru (Flora) Dott.ssa Alice Nozza (Archeologia) Dott. Matteo Tatti (Archeologia)				
Cod. pratica 2022/0315 <span style="float: right;">Nome File: IN-IS-RA13_Relazione sulla gittata degli elementi rotanti R1.docx</span>					
1	Settembre 2024	Istanza di VIA Statale	IAT	GF	IN
0	Novembre 2022	Emissione per procedura di VIA	IAT	GF	IN
<b>REV.</b>	<b>DATA</b>	<b>DESCRIZIONE</b>	<b>ESEG.</b>	<b>CONTR.</b>	<b>APPR.</b>

Disegni, calcoli, specifiche e tutte le altre informazioni contenute nel presente documento sono di proprietà della I.A.T. Consulenza e progetti s.r.l. Al ricevimento di questo documento la stessa diffida pertanto di riprodurlo, in tutto o in parte, e di rivelarne il contenuto in assenza di esplicita autorizzazione.

<b>COMMITTENTE</b> Inergia S.p.A. Via Cola D'Amatrice, 1 63100 Ascoli Piceno info@inergia.it	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO IN LOCALITA' "PERD'E CUADDU"	<b>COD. ELABORATO</b> IN-IS-RA13
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 2 di 15

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>ESPERIENZE E NOTE STATISTICHE .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1</b>	<b>Distacco di una delle tre pale dal rotore.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2</b>	<b>Rottura di un'estremità della pala.....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>GEOMETRIA DEL PROBLEMA .....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>DATI DI BASE PER IL CALCOLO .....</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>CALCOLO DELLA GITTATA .....</b>	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAZIONI AGGIUNTIVE E VALUTAZIONE CONCLUSIVA.....</b>	<b>13</b>
	<b>ELABORATI DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>15</b>

<b>COMMITTENTE</b> Inergia S.p.A. Via Cola D'Amatrice, 1 63100 Ascoli Piceno info@inergia.it	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO IN LOCALITA' "PERD'E CUADDU"	<b>COD. ELABORATO</b> IN-IS-RA13
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 3 di 15

## 1 INTRODUZIONE

Il presente studio sulla gittata degli elementi rotanti per rottura incidentale è parte integrante della documentazione tecnico-progettuale predisposta ai fini dell'espletamento della procedura di VIA e Autorizzazione Unica del progetto di un nuovo impianto eolico che la società Inergia S.p.A. intende realizzare nel territorio comunale di Isili (Regione Sardegna – Provincia Sud Sardegna), nei pressi della Zona Industriale in loc. *Perd'e Cuaddu*.

L'intervento si inquadra coerentemente con l'attuazione delle strategie europee e nazionali orientate al perseguimento della decarbonizzazione della produzione energetica nonché al conseguimento degli obiettivi di sicurezza degli approvvigionamenti energetici.

L'esperienza di pluriennale esercizio dei moderni impianti eolici attesta come le turbine di grande taglia siano installazioni estremamente affidabili sotto il profilo meccanico-strutturale nonché ambientalmente sicure.

In accordo con quanto suggerito dalle Linee Guida Nazionali sulle Fonti Rinnovabili (DM 10/09/2010), nel seguito sarà condotta una stima approssimativa della distanza massima che può essere raggiunta da una pala dell'aerogeneratore di progetto, avente altezza al mozzo di 125 m e diametro del rotore di 162 metri, nell'ipotesi di distacco dell'intera pala durante condizioni nominali di funzionamento dello stesso.

Premesso che la determinazione della reale distanza raggiunta da una pala distaccatasi dal rotore di un aerogeneratore (c.d. gittata), in funzione delle condizioni iniziali e al contorno, è estremamente complessa, a causa dell'influenza di un elevato numero di fattori, le stime semplificate di seguito condotte, hanno l'obiettivo di pervenire ad un valore indicativo di riferimento e di determinare l'incertezza approssimativa del dato stesso.

In particolare, lo studio è stato condotto calcolando la gittata del centro di gravità (stimato) della pala, a partire dalle condizioni iniziali teoriche di massima gittata e con ipotesi semplificative circa gli effetti della resistenza/portanza aerodinamica.

I calcoli di seguito illustrati pervengono, in ogni caso, ad una stima conservativa circa la portata del fenomeno includendo solo le forze d'inerzia ed escludendo le forze viscosse. Al riguardo, verifiche sperimentali condotte da Vestas sulla gamma dei propri modelli di aerogeneratore in esercizio indicano come le forze di resistenza che si esercitano sulla pala fanno sì che la gittata reale sia inferiore di circa il 20% rispetto a quella stimata secondo le ipotesi di calcolo sopra indicate.

Il distacco o la rottura della pala sono eventi che si verificano per condizioni operative al di fuori del normale *range* di funzionamento delle macchine. Gli aerogeneratori per i quali si prevede l'installazione nell'ambito del progetto di un impianto eolico in territorio di Isili (Provincia Sud Sardegna) sono provvisti di sistemi di arresto che intervengono quando le condizioni di funzionamento sono tali da compromettere la funzionalità della macchina e la sicurezza pubblica.

<b>COMMITTENTE</b> Inergia S.p.A. Via Cola D'Amatrice, 1 63100 Ascoli Piceno info@inergia.it	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO IN LOCALITA' "PERD'E CUADDU"	<b>COD. ELABORATO</b> IN-IS-RA13
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 4 di 15

## 2 ESPERIENZE E NOTE STATISTICHE

Ai fini di un corretto inquadramento delle problematiche qui esaminate, si riportano di seguito alcune note statistiche ricavate dall'esperienza operativa di Vestas, ragionevolmente trasponibili ai modelli in commercio prodotti dalle principali case costruttrici.

Quanto segue è stato redatto al fine di presentare alcuni degli elementi fondamentali per valutare la reale possibilità del distacco di una pala dagli aerogeneratori.

Sotto questo profilo deve in primo luogo evidenziarsi come, dal punto di vista progettuale, la combinazione di coefficienti di sicurezza adottati, i materiali utilizzati e la valutazione delle conseguenze in caso di rottura rispettino quanto prescritto dalla norma IEC61400-1 (turbine safety standard). In accordo a tale norma le pale degli aerogeneratori sono considerate "fail safe".

L'esperienza pratica su tutta la flotta operativa Vestas di 4.959 unità (Giugno 2007) ha mostrato che in caso di distacco di pala il moto è stato di tipo "rotazionale complesso" e le distanze raggiunte sono normalmente state inferiori a quelle stimate con i calcoli semplificati qui riportati.

Tralasciando gli incidenti dovuti a cause eccezionali (uragani, tifoni), nei successivi paragrafi sono descritti alcuni eventi e la valutazione tecnica alla base dell'analisi dei rischi sviluppata dai costruttori per eliminare la possibilità di reiterazione dell'incidente.

### 2.1 *Distacco di una delle tre pale dal rotore*

Questo tipo di incidente, comportante il distacco di una pala completa dal rotore, può essere determinato dalla rottura della giunzione bullonata fra la pala ed il mozzo.

In occasione di tali tipi di evento, in base ai citati dati Vestas, la pala ha raggiunto il terreno ad una distanza inferiore ai cento metri.

Le pale sono costituite da una parte strutturale (longherone) posizionata all'interno della pala e da una parte esterna (gusci) che assolve sostanzialmente a funzioni di forma. Le tre parti, il longherone e i due gusci, sono uniti fra loro mediante incollaggio e, alla fine del processo produttivo, costituiscono un corpo unico.

Il longherone è dotato di attacchi filettati che consentono di collegarlo al mozzo con bulloni (prigionieri) serrati opportunamente durante l'installazione della turbina. Il precarico conferito ai prigionieri durante il serraggio ha un'influenza determinante sulla resistenza dei prigionieri stessi ai carichi di fatica e, per questo motivo, è di regola previsto un controllo di tale serraggio durante le operazioni di manutenzione programmata della turbina.

Sulla base dei dati operativi citati, gli eventi incidentali sono stati attribuiti a errati interventi di

<b>COMMITTENTE</b> Inergia S.p.A. Via Cola D'Amatrice, 1 63100 Ascoli Piceno info@inergia.it	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO IN LOCALITA' "PERD'E CUADDU"	<b>COD. ELABORATO</b> IN-IS-RA13
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 5 di 15

manutenzione programmata cui l'aerogeneratore va sottoposto così come riportato nel manuale del costruttore. Quindi l'errata verifica del serraggio ed una plausibile riduzione del precarico possono aver determinato la rottura per fatica dei prigionieri ed al distacco della pala.

## **2.2 Rottura di un'estremità della pala**

Questo tipo di incidente è stato quasi sempre riscontrato in concomitanza di fulminazioni di natura atmosferica.

I moderni aerogeneratori di grande taglia sono di regola provvisti di un sistema di conduzione della corrente di fulmine dalle pale collegato ad un sistema di messa a terra. In questo modo si riesce a drenare una buona parte delle correnti indotte dalle fulminazioni atmosferiche scongiurando danni alle pale.

In qualche caso, laddove la corrente di fulmine ecceda i valori di progetto (fissati dalle norme internazionali), si può manifestare un danneggiamento all'estremità di pala che si apre per la separazione dei due gusci. Tale condizione, peraltro, non determina normalmente il distacco dal corpo della pala.

<b>COMMITTENTE</b> Inergia S.p.A. Via Cola D'Amatrice, 1 63100 Ascoli Piceno info@inerzia.it	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO IN LOCALITA' "PERD'E CUADDU"	<b>COD. ELABORATO</b> IN-IS-RA13
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 6 di 15

### 3 GEOMETRIA DEL PROBLEMA

La stima della gittata di un elemento rotante si basa sull'ipotesi di considerare lo stesso come un corpo rigido, ovvero un insieme di particelle soggette a forze tali da mantenere costanti nel tempo le loro distanze relative.

Nello studio si considera il moto del corpo bidimensionale, traslatorio e curvilineo, rappresentato da un punto materiale (assunto coincidente con il baricentro dell'elemento rotante) lanciato in aria obliquamente sottoposto all'accelerazione di gravità costante "g" diretta verso il basso ed ad velocità iniziale impressa dalla rotazione della pala.

Il calcolo della gittata massima in caso di distacco di una pala dell'aerogeneratore segue il principio della balistica applicata al moto dei proiettili. Si sottolinea come i calcoli qui riportati siano stati condotti considerando nulla la resistenza d'attrito con l'aria, nonché gli effetti di portanza aerodinamica. Il moto reale è molto più complesso, in quanto dipende dalle caratteristiche aerodinamiche e dalle condizioni iniziali (rollio, imbardata e beccheggio della pala).

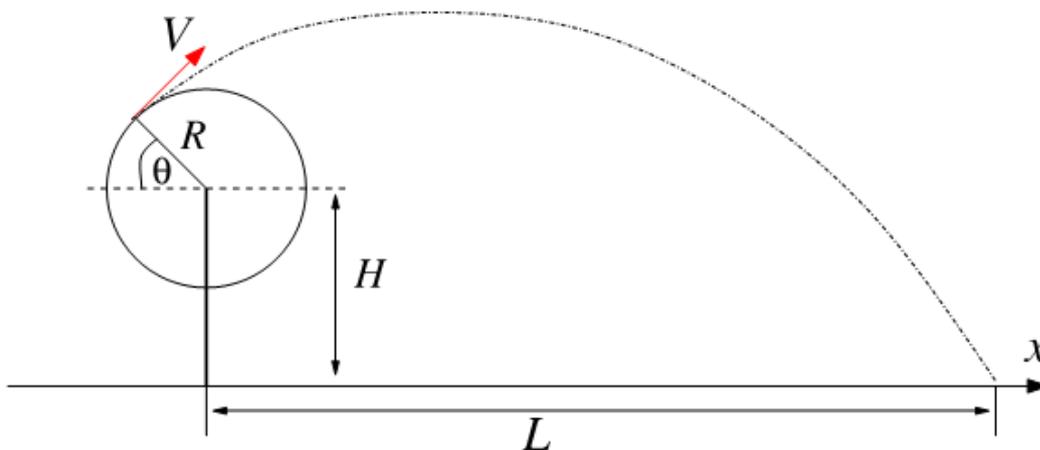


Figura 3.1 – Schema geometrico del fenomeno di distacco della pala di un aerogeneratore

Le equazioni del moto di un punto materiale soggetto solo alla forza di gravità, in accordo con lo schema semplificato di **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, sono le seguenti:

$$d^2x/dt^2=0$$

$$d^2y/dt^2=-g$$

dove  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  è l'accelerazione di gravità.

La legge del moto soluzione di queste equazioni è la seguente:

$$x(t) = x_0 + v_x t \tag{1}$$

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

<b>COMMITTENTE</b> Inergia S.p.A. Via Cola D'Amatrice, 1 63100 Ascoli Piceno info@inergia.it	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO IN LOCALITA' "PERD'E CUADDU"	<b>COD. ELABORATO</b> IN-IS-RA13
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 7 di 15

La posizione e la velocità iniziale sono determinati dall'angolo  $\theta$  e dalla velocità tangenziale  $V$  del centro di massa della pala al momento del distacco. Essi sono legati alla posizione ed alla velocità iniziale dalle relazioni:

$$x_0 = -R \cos(\theta)$$

$$y_0 = H_m + R \sin(\theta) \text{ con } H_m \text{ altezza al mozzo dell'aerogeneratore}$$

$$v_x = V \sin(\theta)$$

$$v_y = V \cos(\theta)$$

La gittata  $L$  è la distanza dalla torre del punto di impatto al suolo del centro di massa della pala.

<b>COMMITTENTE</b> Inergia S.p.A. Via Cola D'Amatrice, 1 63100 Ascoli Piceno info@inergia.it	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO IN LOCALITA' "PERD'E CUADDU"	<b>COD. ELABORATO</b> IN-IS-RA13
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 8 di 15

#### 4 DATI DI BASE PER IL CALCOLO

I dati di base sono quelli caratteristici dell'aerogeneratore *V162 HH 125 m*, assimilabile all'aerogeneratore di progetto. La lunghezza della pala è pari a 79,35 m e l'altezza della torre del generatore eolico, all'asse di rotazione, 125 m.

La massa della pala di riferimento è pari indicativamente a 25.000 kg; il centro di massa della pala risulta approssimativamente posizionato ad una distanza dal centro di rotazione pari ad un terzo della lunghezza della pala.

Si è assunta per il calcolo una velocità massima di rotazione  $V$  di 12.1 rpm pari a quella massima indicata per l'aerogeneratore di riferimento.

<b>COMMITTENTE</b> Inergia S.p.A. Via Cola D'Amatrice, 1 63100 Ascoli Piceno info@inergia.it	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO IN LOCALITA' "PERD'E CUADDU"	<b>COD. ELABORATO</b> IN-IS-RA13
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 9 di 15

## 5 CALCOLO DELLA GITTATA

Nel caso in esame si suppone che l'incidentale distacco della pala avvenga nelle condizioni più gravose ovvero:

- alla velocità massima del rotore, pari a 12.1 giri/minuto;
- nel punto di ascissa e ordinata in cui la gittata, sulla base delle formule di calcolo (vedasi Tabella 1), è risultata massima (angolo  $\theta = \sim 65^\circ$ );
- con il centro di massa posizionato ad 1/3 della lunghezza della pala, in prossimità del mozzo;

L'aerogeneratore previsto, assimilabile al modello V162 da 7.2 MW, possiede:

- altezza al mozzo dell'aerogeneratore  $H_m = 125$  m;
- lunghezza della pala dell'aerogeneratore  $L_p = 79,35$  m;
- distanza dal mozzo del centro di massa della Pala  $D_{cm} = L_p / 3 = 26,45$  m;
- Massima Velocità Angolare Rotore  $V_{ang} = 12.1$  Giri/min =  $12.1 \times 2 \pi / 60 = 1,27$  Rad/sec.

La traiettoria iniziale è determinata principalmente dall'angolo di lancio e dalle forze generalizzate agenti sulla pala. La pala, quindi, quando inizierà il suo moto, continuerà a ruotare (conservazione della quantità di moto). L'unica forza inerziale agente in questo caso è la forza di gravità.

La durata del volo considerato è determinata considerando la velocità verticale iniziale applicata al centro di gravità. Il tempo risultante è usato per calcolare la distanza orizzontale (gittata) nel piano. La gittata è determinata dalla velocità orizzontale al momento del distacco iniziale.

Assunto un sistema di riferimento con origine sul terreno in corrispondenza dell'asse della torre, l'ordinata del centro di massa al momento del distacco della pala è data dall'altezza del mozzo sommata alla distanza verticale del centro di massa della pala rispetto al suo centro di rotazione:

$$y_0 = H_m + D_{cm} \cdot \sin(65^\circ) = 149,0 \text{ m}$$

Analogamente l'ascissa del centro di massa al momento del distacco risulta:

$$x_0 = - D_{cm} \cdot \cos(70^\circ) = -11,2 \text{ m}$$

La Velocità tangenziale posseduta dal Centro di Massa  $V$  è desunta dalla Velocità Angolare  $V_{ang}$ , ossia:

$$V = V_{ang} \times D_{cm} = 33,51 \text{ m/s}$$

<b>COMMITTENTE</b> Inergia S.p.A. Via Cola D'Amatrice, 1 63100 Ascoli Piceno info@inergia.it	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO IN LOCALITA' "PERD'E CUADDU"	<b>COD. ELABORATO</b> IN-IS-RA13
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 10 di 15

Le componenti verticale ( $V_y$ ) ed orizzontale ( $V_x$ ) di tale velocità lineare al Centro di Massa si ottengono conseguentemente:

$$V_x = v * \sin(65^\circ) = 30.37 \text{ m/s}$$

$$V_y = v * \cos(65^\circ) = 14,16 \text{ m/s}$$

Il tempo di decelerazione verticale  $T_y$  necessario perché la componente verticale della velocità sia nulla è dato dalla formula:

$$T_y = V_y / 9,8 \text{ m/sec}^2 = 1,44 \text{ s}$$

L'altezza massima  $H_{\max}$  raggiunta si ottiene dalla formula:

$$H_{\max} = y_0 + V_y * T_y - 1/2 * g * T_y^2 = 159,2 \text{ m}$$

Il tempo di caduta  $T_{\max}$  necessario affinché l'elemento rotante precipiti a terra dalla sommità si ottiene dalla relazione:

$$T_{\max} = \sqrt{(H_{\max} / 4,9 \text{ m/s}^2)} = 5,7 \text{ s}$$

La gittata massima  $L$  percorsa dall'elemento rotante distaccatosi dall'aerogeneratore nelle condizioni più sfavorevoli, riferita al centro di massa, risulta quindi:

$$L = V_x * (T_{\max} + T_y) + x_0 = 206 \text{ m}$$

Ottenuta la gittata nel baricentro di pala  $L$ , per ottenere la gittata al "tip" della pala, è sufficiente sommare la distanza tra il "tip" della pala ed il raggio baricentrico ( $2/3 r_{tip}$ ):

$$L_{tip} = L + \frac{2}{3} r_{tip} = 259 \text{ m}$$

Considerato che, sulla base di un'analisi storica dei rari incidenti verificatisi (Fonte Vestas<sup>1</sup>) le forze di resistenza che si esercitano sulla pala fanno sì che la gittata reale sia inferiore di circa il 20%

<sup>1</sup> "Blade throw calculation under normal operating conditions" VESTAS AS Denmark July 2001

<b>COMMITTENTE</b> Inergia S.p.A. Via Cola D'Amatrice, 1 63100 Ascoli Piceno info@inergia.it		<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO IN LOCALITA' "PERD'E CUADDU"	<b>COD. ELABORATO</b>  IN-IS-RA13
 <b>CONSULENZA  E PROGETTI</b>  www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b>  11 di 15	

rispetto a quella stimata considerando le sole forze inerziali ed escludendo l'attrito, sotto tali ipotesi la gittata reale sarebbe stimabile in circa **218 m** (20% in meno rispetto al caso ideale).

Si riportano in Tabella 1 i valori dei dati di input ed i valori di gittata ottenuti al variare dell'angolo di distacco  $\theta$ .

**Tabella 1 – Risultati del calcolo della gittata massima**

Angolo $\theta$ [gradi]	X0 [m]	Y0 [m]	Vx [m/s]	Vy [m/s]	Ty	Hmax	Tmax	Gittata centro di massa L [m]	Gittata CM con riduzione per attrito La [m]	Gittata tip L <sub>tip</sub> [m]	
0	- 26,5	125,00	-	33,52	3,42	182,25	6,10	-	26,5	21,2	31,7
5	- 26,3	127,31	2,92	33,39	3,40	184,12	6,13	1,5	1,2	54,1	
10	- 26,0	129,59	5,82	33,01	3,36	185,12	6,14	29,3	23,4	76,3	
15	- 25,5	131,85	8,67	32,37	3,30	185,26	6,15	56,4	45,1	98,0	
20	- 24,9	134,05	11,46	31,49	3,21	184,60	6,13	82,3	65,8	118,7	
25	- 24,0	136,18	14,16	30,37	3,10	183,20	6,11	106,4	85,2	138,1	
30	- 22,9	138,23	16,76	29,02	2,96	181,16	6,08	128,5	102,8	155,7	
35	- 21,7	140,17	19,22	27,45	2,80	178,59	6,03	148,1	118,5	171,4	
40	- 20,3	142,00	21,54	25,67	2,62	175,60	5,98	165,0	132,0	184,9	
45	- 18,7	143,70	23,70	23,70	2,42	172,33	5,93	179,0	143,2	196,1	
50	- 17,0	145,26	25,67	21,54	2,20	168,92	5,87	190,0	152,0	204,9	
55	- 15,2	146,67	27,45	19,22	1,96	165,50	5,81	198,1	158,5	211,4	
60	- 13,2	147,91	29,02	16,76	1,71	162,22	5,75	203,3	162,6	215,5	
65	- 11,2	148,97	30,37	14,16	1,44	159,20	5,70	205,7	164,6	217,5	
70	- 9,0	149,85	31,49	11,46	1,17	156,55	5,65	205,7	146,5	217,4	
75	- 6,8	150,55	32,37	8,67	0,88	154,38	5,61	203,4	162,7	215,6	
80	- 4,6	151,05	33,01	5,82	0,59	152,77	5,58	199,2	159,4	212,3	
85	- 2,3	151,35	33,39	2,92	0,30	151,78	5,56	193,4	154,7	207,6	
90	- 0,0	151,45	33,52	0,00	0,00	151,45	5,56	186,2	149,0	201,9	
95	2,3	151,35	33,39	- 2,92	- 0,30	151,78	5,56	178,1	142,5	195,4	
100	4,6	151,05	33,01	- 5,82	- 0,59	152,77	5,58	169,2	135,4	188,3	
105	6,8	150,55	32,37	- 8,67	- 0,88	154,38	5,61	159,8	127,9	180,8	
110	9,0	149,85	31,49	- 11,46	- 1,17	156,55	5,65	150,2	120,1	173,0	
115	11,2	148,97	30,37	- 14,16	- 1,44	159,20	5,70	140,4	112,3	165,2	
120	13,2	147,91	29,02	- 16,76	- 1,71	162,22	5,75	130,6	104,4	157,3	
125	15,2	146,67	27,45	- 19,22	- 1,96	165,50	5,81	120,8	96,7	149,6	
130	17,0	145,26	25,67	- 21,54	- 2,20	168,92	5,87	111,3	89,0	141,9	
135	18,7	143,70	23,70	- 23,70	- 2,42	172,33	5,93	101,9	81,5	134,4	
140	20,3	142,00	21,54	- 25,67	- 2,62	175,60	5,98	92,8	74,2	127,1	
145	21,7	140,17	19,22	- 27,45	- 2,80	178,59	6,03	83,9	67,1	120,0	
150	22,9	138,23	16,76	- 29,02	- 2,96	181,16	6,08	75,2	60,1	113,0	
155	24,0	136,18	14,16	- 30,37	- 3,10	183,20	6,11	66,7	53,3	106,2	
160	24,9	134,05	11,46	- 31,49	- 3,21	184,60	6,13	58,4	46,7	99,6	
165	25,5	131,85	8,67	- 32,37	- 3,30	185,26	6,15	50,2	40,2	93,1	
170	26,0	129,59	5,82	- 33,01	- 3,36	185,12	6,14	42,2	33,8	86,7	
175	26,3	127,31	2,92	- 33,39	- 3,40	184,12	6,13	34,3	27,4	80,3	
180	26,5	125,00	0,00	- 33,52	- 3,42	182,25	6,10	26,5	21,2	74,1	

Si riporta di seguito il grafico che mostra la gittata al "tip" in funzione dell'angolo di distacco.

<b>COMMITTENTE</b> Inergia S.p.A. Via Cola D'Amatrice, 1 63100 Ascoli Piceno info@inergia.it	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO IN LOCALITA' "PERD'E CUADDU"	<b>COD. ELABORATO</b> IN-IS-RA13
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 12 di 15

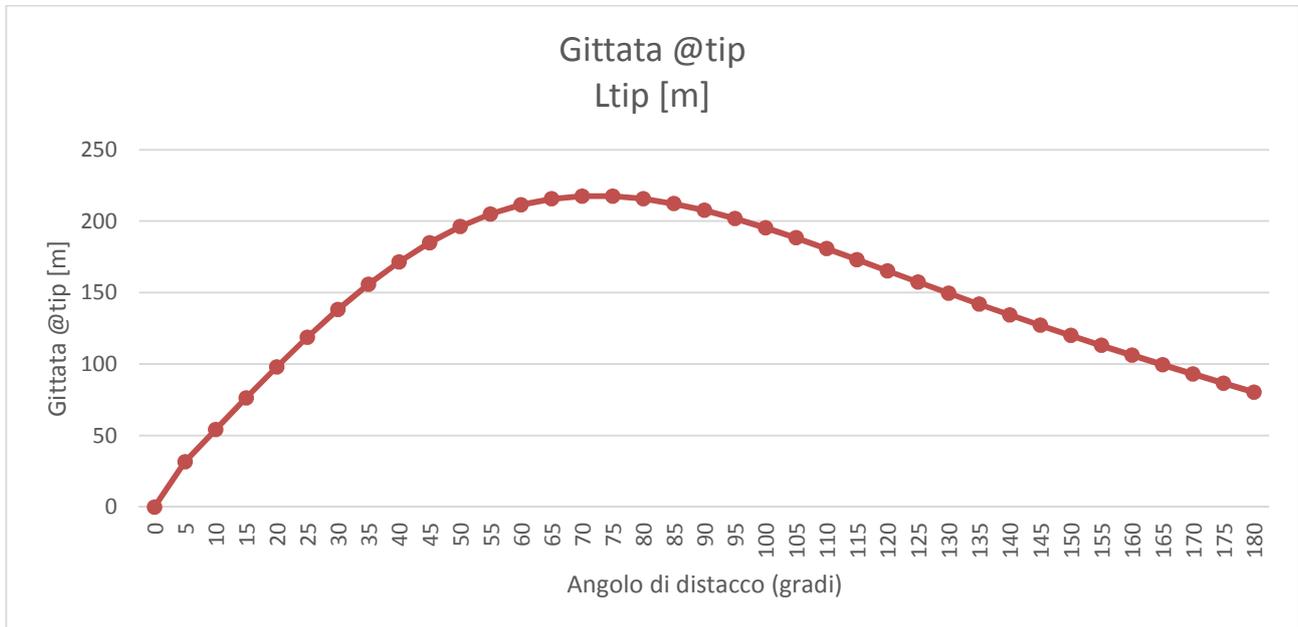


Figura 5.1 – Gittata al tip in funzione dell'angolo di distacco

Dall'analisi dei dati sopra riportati si conferma, come sora indicato, che la massima gittata si ottiene per un angolo di distacco  $\theta$  pari a circa  $65^\circ$  ed è pari a circa 218 m.

<b>COMMITTENTE</b> Inergia S.p.A. Via Cola D'Amatrice, 1 63100 Ascoli Piceno info@inergia.it	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO IN LOCALITA' "PERD'E CUADDU"	<b>COD. ELABORATO</b> IN-IS-RA13
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 13 di 15

## 6 CONSIDERAZIONI AGGIUNTIVE E VALUTAZIONE CONCLUSIVA

Il presente studio è stato condotto calcolando la gittata del centro di gravità (stimato) della pala, a partire dalle condizioni iniziali teoriche di massima gittata e con ipotesi semplificative circa gli effetti della resistenza/portanza aerodinamica.

I calcoli pervengono, in ogni caso, ad una stima ragionevolmente attendibile circa la portata del fenomeno includendo le forze d'inerzia e stimando, sulla base di dati di letteratura, l'effetto delle forze viscosse.

Il distacco o la rottura della pala sono eventi che si verificano per condizioni operative al di fuori del normale *range* di funzionamento delle macchine. Gli aerogeneratori per i quali si prevede l'installazione nell'ambito del progetto in argomento sono provvisti di sistemi di arresto che intervengono quando le condizioni di funzionamento sono tali da compromettere la funzionalità della macchina e la sicurezza pubblica.

La Tabella 6.1 riporta l'analisi dei fabbricati potenzialmente esposti al rischio di impatto rispetto allo scenario di distacco incidentale di una pala dagli aerogeneratori in progetto.

In particolare, per ciascuna delle postazioni eoliche si riporta in tabella la distanza del fabbricato più prossimo indicandone la destinazione d'uso catastale.

Tabella 6.1 - Ubicazione ricettori dagli aerogeneratori

WTG	Fabbricato più prossimo [m]	Distanza Fabbricato più prossimo [m]	Cat. Catastale fabbricato	Presumibile destinazione d'uso
WTG1	F015	276	Seminativo-pascolo arborato	Rudere
WTG2	F068	267	F2 – Unità collabenti	Fabbricato rurale destinati a ricovero mezzi
WTG3	F013	319	F2 – Unità collabenti	Stalle
WTG4	F039	221	Pascolo cespugliato	Vasche di accumulo acqua
WTG5	F035	388	Fabb. rurale	Fabbricato rurale destinati a ricovero mezzi

Come visibile dalla tabella, nessun fabbricato risulta posizionato entro distanze di 218 m dagli

<b>COMMITTENTE</b> Inergia S.p.A. Via Cola D'Amatrice, 1 63100 Ascoli Piceno info@inergia.it	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO IN LOCALITA' "PERD'E CUADDU"	<b>COD. ELABORATO</b> IN-IS-RA13
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 14 di 15

aerogeneratori in progetto.

Peraltro, le numerose ipotesi semplificative di calcolo rispetto al caso reale producono verosimilmente una sovrastima del valore reale di gittata massima.

Infine, la probabilità che il rotore, distaccandosi, percorra esattamente la direzione ottimale per l'impatto con l'elemento sensibile è molto bassa e garantisce una riduzione del rischio a priori.

Dall'esame dell'Elaborato IN-IS-RA13 - *Aree interessate dal potenziale distacco degli organi rotanti* si evince come tutti i fabbricati si trovino ad una distanza minima sempre superiore alla potenziale distanza di proiezione dei frammenti della pala.

<b>COMMITTENTE</b> Inergia S.p.A. Via Cola D'Amatrice, 1 63100 Ascoli Piceno info@inergia.it	<b>OGGETTO</b> IMPIANTO EOLICO IN LOCALITA' "PERD'E CUADDU"	<b>COD. ELABORATO</b> IN-IS-RA13
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 15 di 15

## ELABORATI DI RIFERIMENTO

IN-IS-RA11 - Report fabbricati (Rev. 1 del 02/09/2024);

IN-IS-RA11-1 - Carta con individuazione dei fabbricati (Rev. 1 del 02/09/2024);

IN-IS-RA13-1 - Aree interessate dal potenziale distacco degli organi rotanti (Rev. 1 del 02/09/2024).