

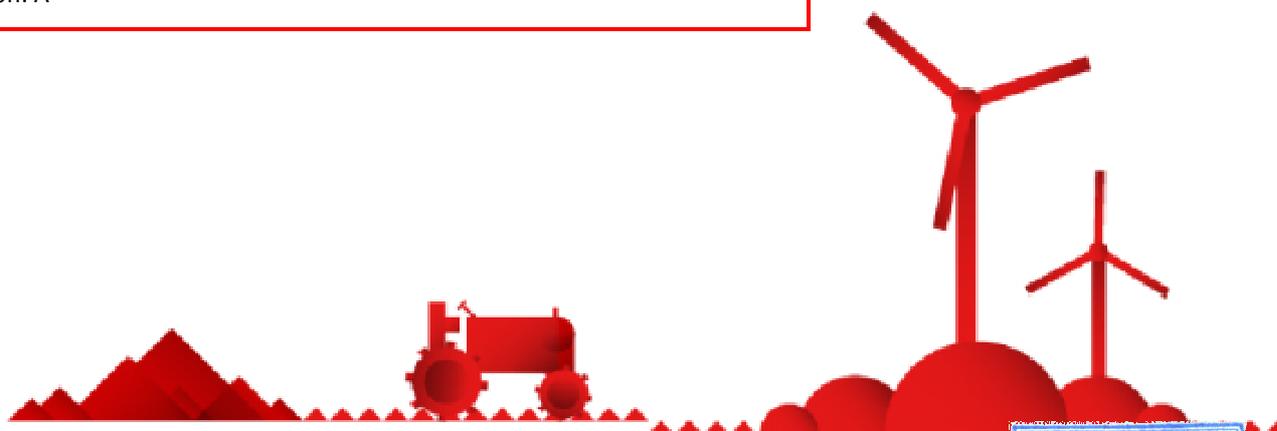
## PARCO EOLICO "ROSAMARINA"

**A.7 - Analisi degli effetti della rottura degli organi rotanti**

**Lavello (Potenza)**

Marzo 2019

Version: A



EDP Renewables Italia Holding S.r.l.

Via Lepetit 8/10

20124 - Milano



MARGIOTTA ASSOCIATI

Via Vaccaro n.37

85100 Potenza

P.IVA: 01108480763

Tel: 0971/37512

	Progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 37.1 MW e opere di connessione alla rete  <b>Analisi degli effetti della rottura degli organi rotanti</b>	Marzo 2019
--	--	------------

## INDICE

---

<b>1. GITTATA MASSIMA DEGLI ELEMENTI ROTANTI .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1. Calcolo della gittata massima.....</b>	<b>5</b>

	Progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 37.1 MW e opere di connessione alla rete  <b>Analisi degli effetti della rottura degli organi rotanti</b>	Marzo 2019
--	--	------------

## 1. GITTATA MASSIMA DEGLI ELEMENTI ROTANTI

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. Primo 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. Secondo 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. Terzo 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.

Si è deciso, pertanto, 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.

### Geometria del problema e calcolo della gittata (1° caso)

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  $g=9.82 \text{ m/s}^2$  è l'accelerazione di gravità. La legge del moto che costituisce soluzione di queste equazioni è:

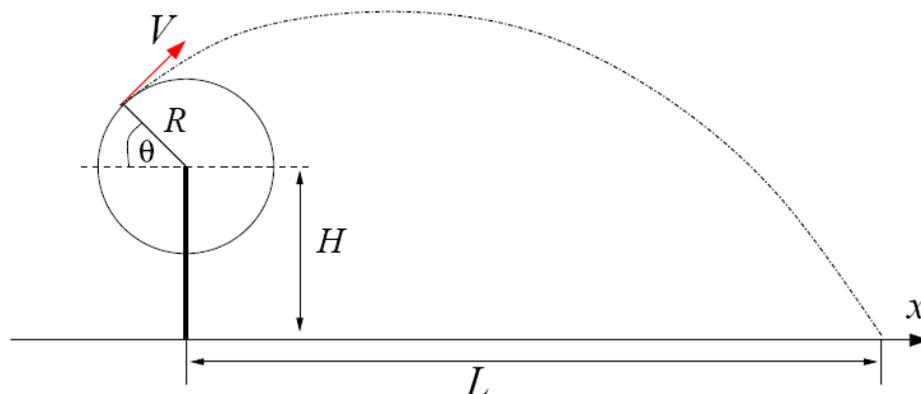
$$\begin{aligned}x(t) &= x_0 + v_x t \\ y(t) &= y_0 + v_y t - \frac{1}{2}gt^2\end{aligned}$$

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.

### Geometria del problema e calcolo della gittata



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

	Progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 37.1 MW e opere di connessione alla rete  <b>Analisi degli effetti della rottura degli organi rotanti</b>	Marzo 2019
--	--	------------

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

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  $\theta$ :

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

Si noti che, fissato un generico angolo  $\theta$ , 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  $R$ .

La massima gittata si avrà per  $\theta = 45^\circ$  e non quando il proiettile parte parallelamente al suolo.

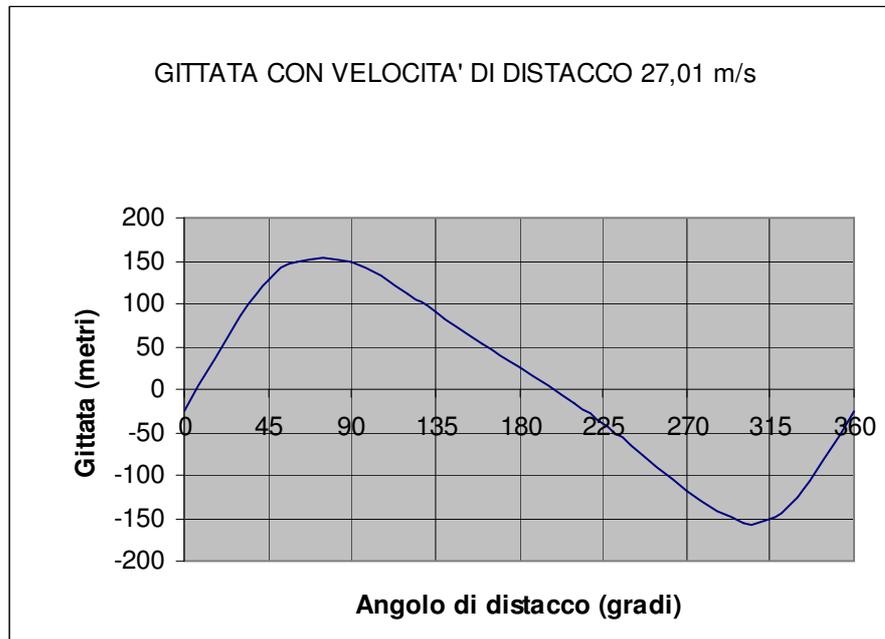
### 1.1. CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA

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).

Per la tipologia di aerogeneratore scelto per il parco eolico Rosamarina, i valori di  $H$  ed  $R$  sono rispettivamente  $H=121$  m ed  $R=79$  m, e per il calcolo della velocità di distacco del frammento di pala si ricorre alla seguente formula:

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

Il massimo numero di giri per minuto che l'aerogeneratore compie è pari 9,8, quindi supponendo che la rottura della pala avvenga vicino al mozzo e considerando  $R=26,33$  m (lunghezza pala/3), si ottiene una velocità di distacco di circa 27,01 m/s nel baricentro della pala. Di seguito si riporta il grafico 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 27,01 m/s, che costituisce la massima velocità raggiunta dal baricentro della pala allorquando il rotore compie 9,8 rivoluzioni per minuto.

La gittata massima è di circa 150 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 viscoso che agendo sulla superficie del frammento ne riducono tempo di volo e distanza.

Avendo ottenuto la lunghezza di 150 m e considerando tutte le condizioni più gravose al momento dell'ipotetica rottura, come ad esempio :

- massimo numero di giri del rotore,
- inclinazione della pala corrispondente alla massima velocità,
- esclusione degli effetti dovuti alla resistenza dell'aria che la pala incontra durante la sua traiettoria,

Si conclude che l'ubicazione prescelta per i 7 aerogeneratori del Parco Eolico Rosamarina di Lavello, con distanza superiore ai 400 m dalle abitazioni, garantisce, in caso di rottura accidentale, che non si possano determinare condizioni di pericolo per cose o persone.