

**COMUNI DI BITTI, ORUNE E BUDDUSO'**  
**PROVINCE DI NUORO E SASSARI**



**STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE PARCO EOLICO "GOMORETTA"**

Elaborato : EP\_CIV\_R014\_Rev1

Scala : -

Data : 05 dicembre 2018

Analisi degli effetti della rottura  
degli organi rotanti

COMMITTENTE :  
Siemens Gamesa Renewable Energy Italy S.p.A.

RESPONSABILE TECNICO COMMESSA :  
Dott. Ing. Gianluca Mercurio

COORDINAMENTO :

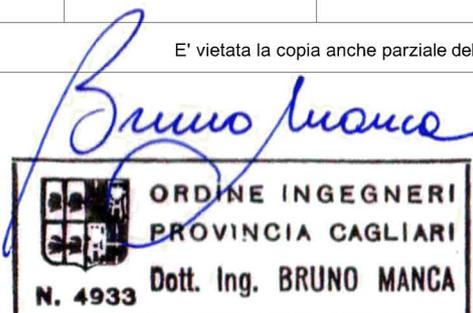
*Bm* Studio Tecnico Industriale  
Dott. Ing. **Bruno Manca**



N° REVISIONE	Data revisione	Elaborato	Controllato	Approvato	NOTE
Rev.00	05/12/2018	BM	GMERCURIO	GMERCURIO	A4 (210x297mm)

E' vietata la copia anche parziale del presente elaborato

Gruppo di lavoro : Dott.ssa in Arch. Giorgia Campus  
Dott.ssa Ing. Barbara Dessì  
Dott.ssa in Arch. Elisabetta Zucca



Confidentiality:

	<b>MANUALE DELLE CARATTERISTICHE GENERALI</b>	Code: _____ Rev: _____
		Date: <b>14/12/2018</b> Pg.1 di5
Documentation Type: <b>STD - Support</b>	<b>RELAZIONE ROTTURA ELEMENTI ORGANI ROTANTI – PE GOMORETTA</b>	Approval process:
Deliverable:		Prepared:
		Verified:
		Approved:
<p>The present document, its content, its annexes and/or amendments (the "Document") has been drawn up by GAMESA CORPORACIÓN TECNOLÓGICA, S.A. ("Gamesa") for information purposes only, and contains private and confidential information regarding Gamesa and its subsidiaries (the "Company"), directed exclusively to its addressee. Therefore it must not be disclosed, published or distributed, partially or totally, without the prior written consent of Gamesa, and in any case expressly indicating the fact that Gamesa is the owner of all the intellectual property. All the content of the Document, whether it is texts, images, brands, trademarks, combination of colours or any other element, its structure and design, the selection and way of presenting the information, are protected by intellectual and industrial property rights owned by Gamesa, that the addressee of the Document must respect. In particular (notwithstanding the general confidentiality obligation), the addressee shall not reproduce (except for private use), copy, transform, distribute or publish to any other third party, any of the information, totally or partially.</p>		

**INDICE**

INDICE ..... 1

INDICE DELLE IMMAGINI..... 2

INDICE DELLE TABELLE ..... 2

1 FINALITA' ..... 3

2 AMBITO DI APPLICAZIONE..... 3

3 ABBREVIAZIONI, DEFINIZIONI ..... 3

4 DESCRIZIONE..... 4

    4.1 METODOLOGIA..... 4

    4.2 MASSIMA GITTATA ROTTURA ELEMENTI ROTANTI PER LA TURBINA G132 T84 ..... 5

	<b>MANUALE DELLE CARATTERISTICHE GENERALI</b>	Code:	Rev:
		Date: <b>14/12/2018</b>	<b>Pg.2 di 5</b>
Titolo: <b>RELAZIONE ROTTURA ELEMENTI ORGANI ROTANTI – PE GOMORETTA</b>			

## **INDICE DELLE IMMAGINI**

Figura 1. Diagramma della traiettoria parabolica del frammento di elementi rotanti ..... 4

## **INDICE DELLE TABELLE**

Tabella 1. Tempo di volo del frammento di elementi rotanti per la G132 T84m ..... 5

	<b>MANUALE DELLE CARATTERISTICHE GENERALI</b>	Code:	Rev:
		Date: <b>14/12/2018</b>	<b>Pg.3 di 5</b>
Titolo: <b>RELAZIONE ROTTURA ELEMENTI ORGANI ROTANTI – PE GOMORETTA</b>			

## 1 FINALITA'

La finalità del presente documento è il calcolo della massima gittata di frammenti di elementi rotanti in caso di rottura accidentale in riferimento al Parco Eolicodi GOMORETTA.

## 2 AMBITO DI APPLICAZIONE

Questa analisi si riferisce alle turbine G132 altezza al mozzo di 84 metri nel Parco Eolicodi GOMORETTA.

## 3 ABBREVIAZIONI, DEFINIZIONI

- WTG:** Wind turbine generator - aerogeneratore
- WF:** Wind farm – Parco Eolico
- cog:** Centre of gravity – Centro di gravità
- rpm:** Giri al minuto

	<b>MANUALE DELLE CARATTERISTICHE GENERALI</b>	Code:	Rev:
		Date: <b>14/12/2018</b>	<b>Pg.4 di 5</b>
Titolo: <b>RELAZIONE ROTTURA ELEMENTI ORGANI ROTANTI – PE GOMORETTA</b>			

## 4 DESCRIZIONE

### 4.1 METODOLOGIA

In questa sezione l'area di sicurezza intorno agli aerogeneratori è calcolata considerando la traiettoria e la gittata che potrebbe avere un frammento in caso di rottura di un elemento rotante di una turbina eolica.

Come prima approssimazione, si può presumere che la parabola del frammento parta con la stessa velocità del suo punto baricentrico, nel momento della separazione dal resto della pala.

La traiettoria può quindi essere calcolata considerando gli effetti della gravità e della resistenza aerodinamica sul frammento. L'effetto di resistenza aerodinamica sarà più importante per i frammenti piccoli che per quelli più grandi.

In generale, si può presumere che la portanza aerodinamica possa essere ignorata, dato che il frammento ha più probabilità di avere un volo irregolare piuttosto che "planato".

Come mostrato in Figura 1, le equazioni del moto sono calcolate considerando gli assi x, y e z così come il vento, nel punto di installazione dell'aerogeneratore ad altezza mozzo.

$$m\ddot{x} = -\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot C_D \cdot (\dot{x} - V_\infty) \cdot \sqrt{(\dot{x} - V_\infty)^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2} \quad (1)$$

$$m\ddot{y} = -\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot C_D \cdot \dot{y} \cdot \sqrt{(\dot{x} - V_\infty)^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2} \quad (2)$$

$$m\ddot{z} = -mg - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot C_D \cdot \dot{z} \cdot \sqrt{(\dot{x} - V_\infty)^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2} \quad (3)$$

Dove:

$\rho$  = densità dell'aria

A = area frontale media del frammento rotante

$C_D$  = coefficiente drag (resistenza) del frammento

$V_\infty$  = velocità del vento (presunta standard)

g = costante di accelerazione gravitazionale

m = massa/baricentro del frammento

H = altezza della turbina eolica

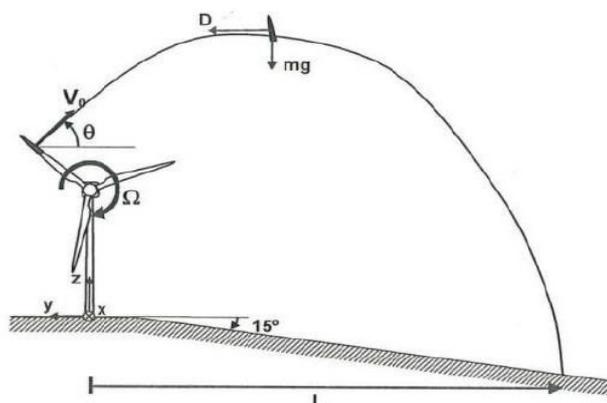


Figura 1. Diagramma della gittata parabolica del frammento distaccato dalla turbina

	<b>MANUALE DELLE CARATTERISTICHE GENERALI</b>	Code: _____ Rev: _____
		Date: <b>14/12/2018</b> Pg.5 di 5
Titolo: <b>RELAZIONE ROTTURA ELEMENTI ORGANI ROTANTI – PE GOMORETTA</b>		

Per un'approssimazione più conservativa dell'area di sicurezza (raggio L) non è stata inserita nei calcoli la resistenza aerodinamica, di conseguenza si hanno le equazioni di moto di volo parabolico senza calcolare l'attrito dell'aria (che nella realtà ridurrebbe la gittata):

$$m\ddot{x} = 0 \Rightarrow x = V_{\infty}t \quad (4)$$

$$m\ddot{y} = 0 \Rightarrow y = y_0 - (V_0 \cos \theta)t \quad (5)$$

$$m\ddot{z} = -mg \Rightarrow z = z_0 + (V_0 \sin \theta)t - \frac{gt^2}{2} \quad (6)$$

*being:*

$$z_0 = H + R \cos \theta \quad (7)$$

In queste espressioni  $V_0$  è la velocità del centro di gravità della porzione rotta della pala nel momento del distacco; tale velocità lineare  $V_0$ , può essere espressa in funzione della velocità di rotazione del rotore,  $\Omega$ , e della posizione radiale del centro di gravità della porzione rotta,  $R$ , come prodotto di entrambi,  $\Omega R$ .

#### 4.2 MASSIMA GITTATA ROTTURA ELEMENTI ROTANTI PER LA TURBINA G132 T84

Per definire l'area di sicurezza (raggio massimo, con centro in corrispondenza della torre, della caduta del frammento di pala) sono state considerate le seguenti condizioni:

- Il terreno vicino alla turbina eolica ha una pendenza di 15° (come nella Figura 1).
- Il valore di  $V_{\infty}$  is 15m/s, in quanto è la velocità del vento considerata la più rappresentativa per le turbine nel sito oggetto dello studio (le velocità del vento rilevate dagli anemometri installati da oltre 4 anni evidenzia come solo il 3,2 % delle evenienze misurate, estrapolate ad altezza mozzo, superi tale velocità, ed inoltre anche in caso di venti di intensità superiore, essendo la direzione del vento ortogonale al moto rotativo delle pale dell'aerogeneratore, influisce in maniera minima sulla distanza di caduta del frammento rispetto all'asse dell'aerogeneratore)..
- Una turbina eolica con generatore oltre la velocità del sincronismo, ovvero 1280 giri al minuto.
- L'altezza al mozzo della torre considerata è di 84 metri.

Per definire l'area di sicurezza sono state considerati 2 possibili punti di rottura ritenuti più probabili:

- A) Rottura di una porzione di pala pari a 54m:
- Lunghezza frammento: 54m
  - Peso: ca. 10,2 Tonnellate
  - Centro di gravità (calcolato) del frammento di pala posto a 29,39 m dal punto di interconnessione con l'ogiva
  - Angolo ( $\theta$ ) di distacco che nella simulazione di calcolo del moto parabolico porta al raggiungimento della maggiore distanza: 135°

Con tali dati, vi è una probabilità veramente bassa che il lancio del frammento di pala possa raggiungere o superare:

- o  $L \approx 234m$

B) Rottura di una porzione di pala pari a 36m:

- Lunghezza frammento: 36m
- Peso ca. 4,4 Tonnellate
- Centro di gravità (calcolato) del frammento di pala posto a 36,46 m dal punto di interconnessione con l'ogiva
- Angolo ( $\theta$ ) di distacco che nella simulazione di calcolo del moto parabolico porta al raggiungimento della maggiore distanza:  $135^\circ$

Con tali dati, vi è una probabilità veramente bassa che il lancio del frammento di pala possa raggiungere o superare:

- o  $L \approx 313\text{m}$

In conclusione, le distanze di lancio calcolate in caso di rottura accidentale delle porzioni di pala prese in considerazione sono le seguenti:

<b>Lunghezza della porzione rotta [m]</b>	<b>Massa della porzione rotta [kg]</b>	<b>Distanza di lancio [m]</b>
54	10.190	234
36	4.420	313