



# REGIONE BASILICATA

## PROVINCIA DI POTENZA

### COMUNE DI CANCELLARA



## PROGETTO DEFINITIVO DI UN PARCO EOLICO E DELLE OPERE CONNESSE SITO NEL TERRITORIO DEL COMUNE DI CANCELLARA DI POTENZA COMPLESSIVA PARI A 32 MW

Proponente:

**BUONVENTO s.r.l.**

**BUONVENTO s.r.l.**

via Tiburtina, 1143 - 00156 ROMA  
tel. +39 06 4111087 mail: office@buonvento srl.it

Dott. Luca RAINOLDI

Progettisti:



Responsabile opere civili:

**STUDIO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA  
MARGIOTTA ASSOCIATI**

via N. Vaccaro, 37 - 85100 POTENZA (PZ)  
tel. +39 0971 37512 mail: studio@associatimargiotta.it

Arch. Donata M.R. MARGIOTTA  
Prof. Ing. Salvatore MARGIOTTA

Responsabile opere elettriche:

**STUDIO ACQUASANTA**

via D. Alighieri, 13/D - 75100 MATERA (MT)  
tel. +39 0835 336718 mail: ing.acquasanta@gmail.com

Ing. Paolo ACQUASANTA  
Ing. Eustachio SANTARSIA

Responsabile S.I.A.:

**STUDIO ALESSANDRIA**

via Circonvallazione Nomentana, 138 - 00162 ROMA  
tel. +39 348 5145564 mail: f.ales@libero.it

Prof. arch. Francesco ALESSANDRIA



Responsabile geologia:

**GEO-STUDIO DI GEOLOGIA E GEOINGEGNERIA**

via del Seminario Maggiore, 35 - 85100 POTENZA (PZ)  
tel. +39 0971 1800373 mail: studiogeopotenza@libero.it

Dott. geol. Antonio DE CARLO

SCALA: —	NOME FILE: A.7_Analisi degli effetti della rottura degli organi rotanti.doc
CODICE ELABORATO:  A.7	TITOLO ELABORATO:  Analisi degli effetti della rottura degli organi rotanti

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
A	Consegna progetto	06/2023	E.Di Giuseppe	D.Margiotta	S.Margiotta

Il presente documento e quelli in esso richiamati sono proprietà del proponente BUONVENTO srl ; come tali non possono essere divulgati né riprodotti in tutto o in parte, senza l'autorizzazione scritta della proprietà.

<p>CODE A.7</p>	<p>RELAZIONE DI ANALISI DEGLI EFFETTI DELLA ROTTURA DEGLI ORGANI ROTANTI</p>	<p>PAGE 1 di/of 5</p>
---------------------	--	---------------------------

# INDICE

1. GITTATA MASSIMA DEGLI ELEMENTI ROTANTI .....2  
1.1. Calcolo della gittata massima.....4

# ELENCO FIGURE

Figura 1: Geometria del problema e calcolo della gittata.....3  
Figura 2: Gittata di Progetto .....5

<p style="text-align: center;"><b>BUONVENTO s.r.l.</b></p>  <p style="text-align: center;">Proponente</p>	<p style="text-align: center;"><b>MA</b></p> <p style="text-align: center;"><small>STUDIO MARGIOTTA ASSOCIATI</small></p> <p style="text-align: center;">Progettista</p>
--	--

CODE A.7	RELAZIONE DI ANALISI DEGLI EFFETTI DELLA ROTTURA DEGLI ORGANI ROTANTI	PAGE 2 di/of 5
-------------	--	-------------------

## 1. GITTATA MASSIMA DEGLI ELEMENTI ROTANTI

La società BUONVENTO SRL con sede legale a Roma in Via Tiburtina 1143 è promotrice del progetto per la realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica costituito da un numero complessivo di 8 aerogeneratori, del tipo V 136 Vestas, ciascuno della potenza di 4,00 MW con una potenza complessiva di 32,00 MW, da realizzarsi nel territorio comunale di Cancellara (PZ).

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:

$$\begin{aligned}\ddot{x} &= 0 \\ \ddot{y} &= -g\end{aligned}$$

 <b>BUONVENTO s.r.l.</b> Proponente	 MA STUDIO ARCHITETTI ASSOCIATI Progettista
--	---

CODE A.7	RELAZIONE DI ANALISI DEGLI EFFETTI DELLA ROTTURA DEGLI ORGANI ROTANTI	PAGE 3 di/of 5
-------------	--	-------------------

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

$$x(t) = x_0 + v_x t$$

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

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  $\mathbf{T}$  tale che  $y(\mathbf{T})=0$ . Dalla legge del moto si ottiene:

$$T = \frac{v_y}{g} + \frac{1}{g} \sqrt{v_y^2 + 2y_0 g}$$

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

### Geometria del problema e calcolo della gittata

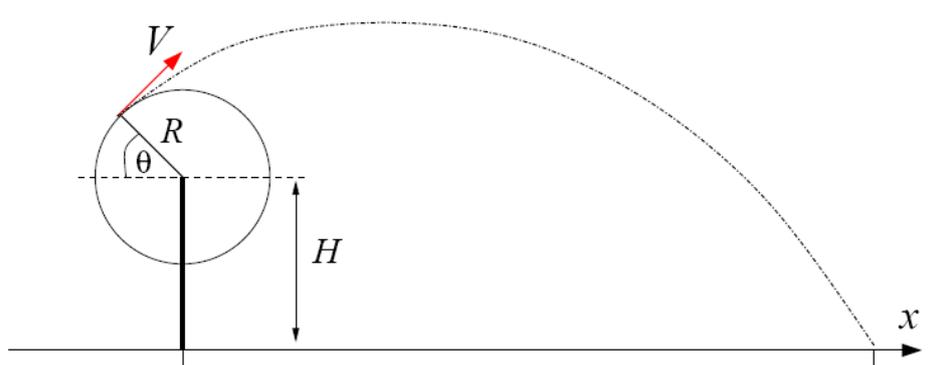


Figura 1: Geometria del problema e calcolo della gittata

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:

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

$$y_0 = H + R \sin(\theta)$$

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

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

La gittata  $L$  è la distanza dal palo del punto di impatto al suolo del frammento di pala. Dalla legge del moto si ottiene:

$$L = x(T)$$

 <b>BUONVENTO s.r.l.</b> Proponente	 <b>MA</b> STUDIO ARCHITECT ASSOCIATI Progettista
---	--

CODE A.7	RELAZIONE DI ANALISI DEGLI EFFETTI DELLA ROTTURA DEGLI ORGANI ROTANTI	PAGE 4 di/of 5
-------------	--	-------------------

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  $\theta$ , 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.

### 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 Cancellara Buonvento, i valori di H ed R sono rispettivamente H=82 m ed R=66,66 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 8,27, quindi supponendo che la rottura della pala avvenga vicino al mozzo e considerando R=22,22 m (lunghezza pala/3), si ottiene una velocità di distacco di circa 22,79 m/s nel baricentro della pala.

Di seguito si riporta il grafico della gittata in funzione dell'angolo e della velocità di distacco.

 <b>BUONVENTO s.r.l.</b> Proponente	 <b>MA</b> STUDIO ARCHITETTI ASSOCIATI Progettista
--	--

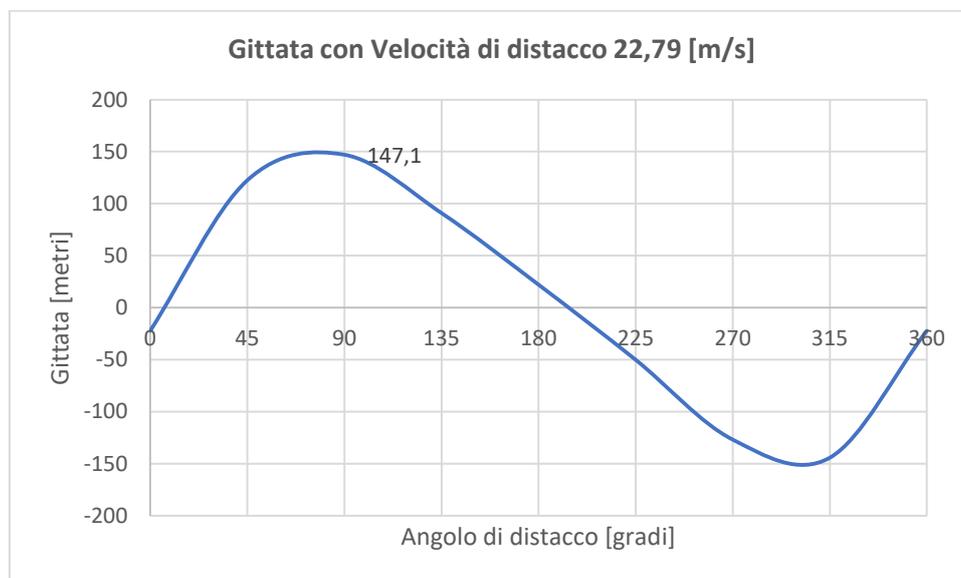


Figura 2: Gittata di Progetto

Nel grafico si propone la gittata massima nel caso in cui si distacchi l'intera pala dal mozzo con una velocità di 22,79 m/s, che costituisce la massima velocità raggiunta dal baricentro della pala allorché il rotore compie 8,27 rivoluzioni per minuto.

La gittata massima è di circa 147,10 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 viscosa che agendo sulla superficie del frammento ne riducono tempo di volo e distanza.

Avendo ottenuto la lunghezza di 147,10 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 degli 8 aerogeneratori del Parco Eolico Cancellara Buonvento, 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.