

# Comune di : ROTELLO

Provincia di : CAMPOBASSO

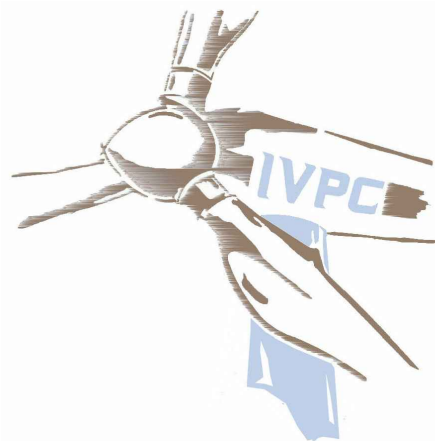
Regione : MOLISE



PROPONENTE



IVPC Power 8 S.p.A.  
Società Unipersonale  
Sede legale : 80121 Napoli (NA) - Vico Santa Maria a Cappella Vecchia 11  
Sede Operativa : 83100 Avellino - Via Circumvallazione 108  
Indirizzo email [ivpcpower8@pec.ivpc.com](mailto:ivpcpower8@pec.ivpc.com)  
P.I. 02523350649  
Amministratore Unico : Avv. Oreste Vigorito  
Società del Gruppo IVPC



OPERA

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA DI POTENZA PARI A 42 MW

OGGETTO

TITOLO ELABORATO :

ANALISI DEGLI EFFETTI DELLA ROTTURA DEGLI ORGANI ROTANTI

DATA : GENNAIO 2020

N°/CODICE ELABORATO :

**R13**

SCALA :

Folder :

Tipologia : R (relazione)  
D (disegno)

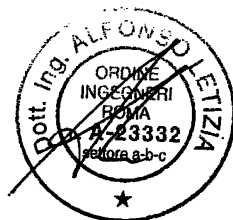
Lingua : ITALIANO

I TECNICI

ing. Alfonso Letizia



IVPC EOLICA S.r.l.  
Società Unipersonale  
Sede legale : 80121 Napoli (NA) -  
Vico Santa Maria a Cappella Vecchia 11  
Sede Operativa : 83100 Avellino -  
Via Circumvallazione 108  
GRUPPO IVPC



00	GENNAIO 2020	Emissione per Progetto Definitivo - Richiesta V.I.A. e A.U.	--	--	IVPC Power 8
N° REVISIONE	DATA	OGGETTO DELLA REVISIONE	ELABORAZIONE	VERIFICA	APPROVAZIONE

Proprietà e diritto del presente documento sono riservati - la riproduzione è vietata.

## Indice

1	PREMESSA	3
2	SPECIFICHE TECNICHE	3
3	DISTACCO DI UNA DELLE PALE DAL ROTORE	3
4	ROTTURA DELL'ESTREMITÀ DI UNA PALA	5
5	CALCOLO DELLA GITTATA	5
6	CONCLUSIONI	8
7	RIFERIMENTI	8

## Informazioni documento

Categoria documento	Relazione Tecnica
Progetto	Parco Eolico nel Comune di Rotello (CB)
Titolo documento	Analisi degli effetti della rottura degli organi rotanti
Numero di pagine	8
Data Registrazione	29/01/2020
Indice Revisione	Rev.0

## 1 PREMESSA

La Società I.V.P.C. Power 8 SpA intende realizzare un Parco Eolico nel Comune di Rotello (CB). La presente relazione si pone come obiettivo lo studio della gittata massima, in caso di rottura accidentale, degli elementi rotanti della turbina Vestas V150-4.2 MW, corrispondente al modello di aerogeneratore previsto per l'installazione sull'area di progetto.

## 2 SPECIFICHE TECNICHE

L'aerogeneratore Vestas V150-4.2 MW è dotato di un duplice sistema di regolazione proprietario (OptiSpeed e OptiTip) che, agendo abbinatamente sulla velocità di rotazione e sul passo delle pale, consente di operare sempre ai valori ottimali per le condizioni correnti del vento. Il diametro del rotore, il cui asse di rotazione si trova a 155 m dal suolo, è pari a 150 m.

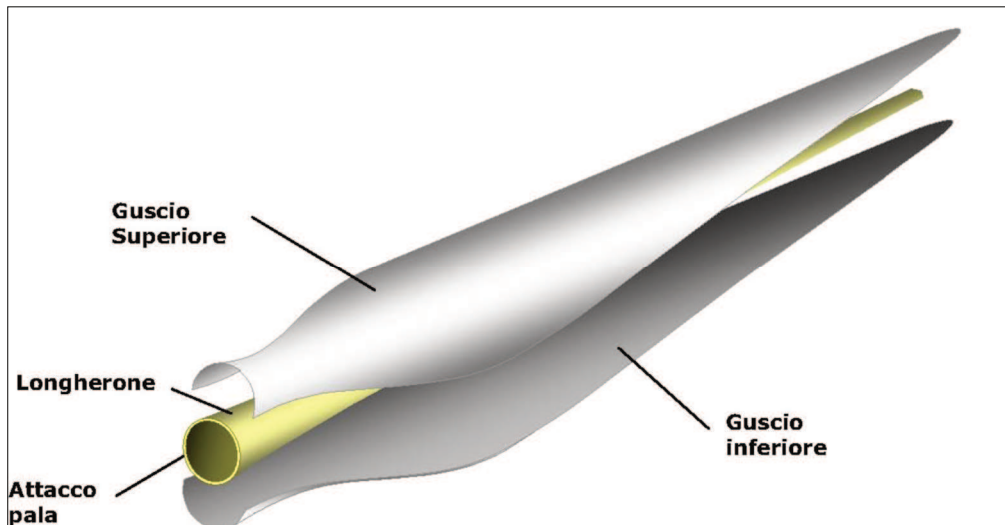
La velocità del vento per cui si raggiunge la produzione nominale è 12 m/s con una velocità massima di rotazione di 12 rotazioni per minuto. La velocità massima del vento oltre la quale il rotore si ferma (velocità di cut-out) è 24,5 m/s.

<b>Descrizione generale</b>	
Modello	Vestas V150-4.2 MW
Orientamento	Sopravvento
Controllo dell'imbardata	Attivo
Velocità del vento nominale	12,0 m/s
Velocità del vento di cut-out	24,5 m/s
<b>Rotore</b>	
Numero di pale	3
Diametro	150,0 m
Lunghezza della pala	73,66 m
<b>Torre</b>	
Altezza	155,0 m
<b>Performance</b>	
Potenza elettrica nominale	4,2 MW
Velocità massima del rotore	12,0 RPM

**Tabella 1:** Estratto delle specifiche tecniche Vestas V150-4.2MW

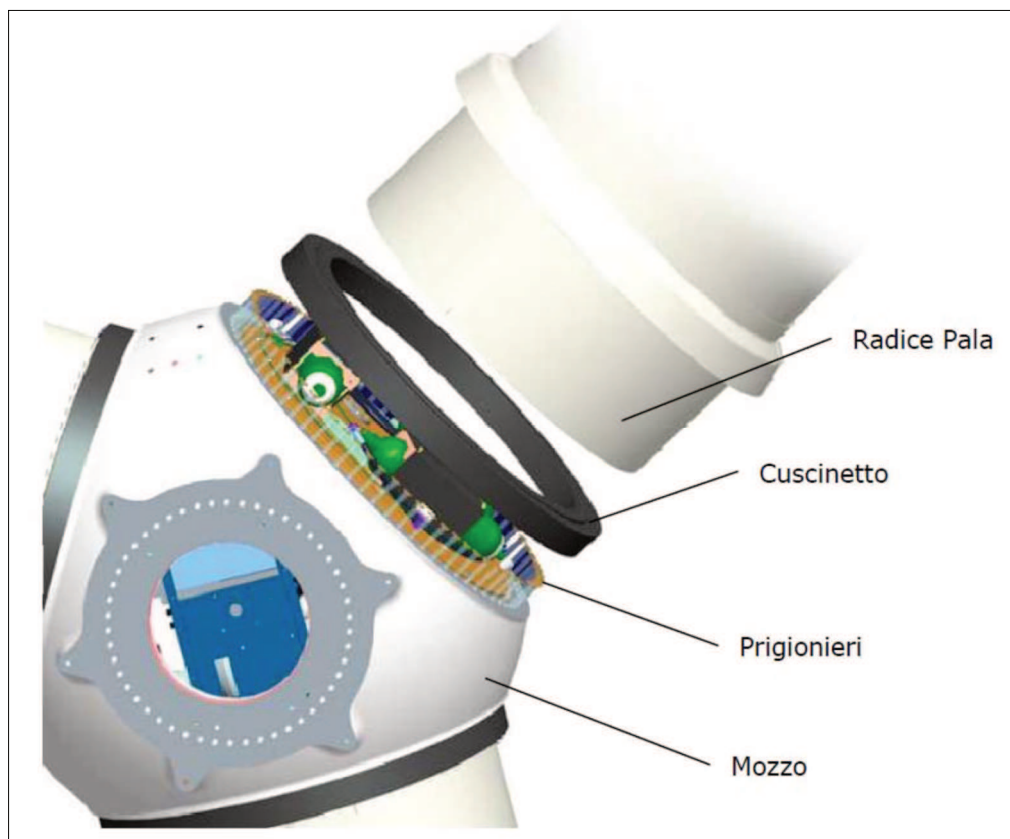
## 3 DISTACCO DI UNA DELLE PALE DAL ROTORE

Questo tipo di incidente, che comporta il distacco di una pala completa dal rotore dell'aerogeneratore, può essere determinato dalla rottura della giunzione bullonata fra la pala e il mozzo.



**Figura 1:** *Schema strutturale di una pala eolica*

Le pale sono costituite da una parte strutturale (longherone) posizionata all'interno della pala e da una parte esterna (guscio) che ha sostanzialmente compiti 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.



**Figura 2:** *Schema strutturale di una pala eolica*

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 previsto un controllo di tale serraggio durante le operazioni di manutenzione programmata della turbina.

#### 4 ROTTURA DELL'ESTREMITÀ DI UNA PALA

La rottura dell'estremità della pala si manifesta quasi sempre in concomitanza di fulminazioni di natura atmosferica. Tutte le pale prodotte dalla Vestas sono dotate di un sistema di drenaggio della corrente di fulmine costituito da recettori metallici posti all'estremità di pala e lungo l'apertura della pala, da un cavo che collega i recettori alla radice pala e da un sistema di messa a terra. In questo modo si riesce a drenare una buona parte delle correnti indotte dalle fulminazioni atmosferiche senza danni alle pale.

In qualche caso, in cui la corrente di un fulmine ecceda i limiti progettuali (fissati dalle norme internazionali) si può manifestare un danneggiamento all'estremità di pala che si apre per la separazione dei due gusci, ma che, normalmente, non si distacca dal corpo della pala. Eventuali residui o frammenti di guscio dovuti ad un evento ceramico hanno dimensioni e pesi così esigui da non permettere valutazioni circa eventuali traiettorie e gittate. Queste sono comunque determinate quasi esclusivamente dal trasporto degli stessi ad opera del vento.

Dalle note operative espone si può concludere che ha senso effettuare un calcolo di gittata della pala intera in quanto esiste un punto di discontinuità, ossia l'attacco bullonato che unisce la pala al mozzo, ed esiste un'ipotesi, seppur remota, sulla possibilità di cedimento di tale attacco. È da escludere invece, considerate le caratteristiche meccaniche della pala, l'effetto di distacco di una porzione della stessa, in quanto si tratta di una struttura monolitica con la trave di sostegno che rimane vincolata al mozzo attraverso un collegamento bullonato.

#### 5 CALCOLO DELLA GITTATA

Qualora dovesse verificarsi il distacco della pala dal rotore, il moto della stessa può essere scomposto in un moto traslatorio del centro di massa e da un moto rotatorio intorno al centro stesso.

La determinazione delle forze agenti sulla pala al momento della rottura è estremamente complessa in quanto, oltre al moto rotatorio, sono da considerarsi anche le tensioni interne determinate dalla flessione della pala, la forza del vento non perfettamente ortogonale al piano del rotore e le sollecitazioni indotte dalla rotazione della navicella (yawing). Inoltre, durante la fase di volo sarebbero da considerarsi anche i fenomeni resistivi dati dalla densità dell'aria e dalla portanza del profilo alare.

Per semplificare il problema rimanendo nelle condizioni conservative vengono fatte le seguenti ipotesi:

- moto irrotazionale: la pala non ruota intorno al proprio baricentro;
- forze resistenti nulle;
- forze inerziali: si considera solamente la forza di gravità.

Fatte tali ipotesi, la traiettoria dalla pala è una parabola dipendente dalle seguenti variabili:

- velocità di lancio (V): espressa come costante dalle caratteristiche dell'aerogeneratore;
- Angolo sotteso dalla pala con il piano ( $\alpha$ );
- Altezza di lancio (h): funzione dell'altezza della torre e dell'angolo  $\alpha$ .

La gittata massima sarà quindi calcolata in funzione dell'angolo  $\alpha$  che ne massimizza l'effetto.

Tutte le considerazioni sono state svolte considerando una velocità di rotazione del rotore pari a 12,6 rpm (incluso un aumento della velocità nominale di rotazione pari al 5% per tener conto dei fenomeni transitori al momento del distacco).

Possiamo ritenere con buona approssimazione che il baricentro della pala ( $R$ ), date le caratteristiche geometriche della pala e considerata la distribuzione dei pesi lungo il profilo della stessa, sia posizionato a circa un terzo della lunghezza della pala stessa, corrispondente a 23,2 m dal centro di rotazione.

La posizione e la velocità iniziale sono determinati dall'angolo  $\alpha$  e dalla velocità tangenziale  $V$  al momento del distacco. Essi sono legati alla posizione ed alla velocità iniziale dalle seguenti relazioni:

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

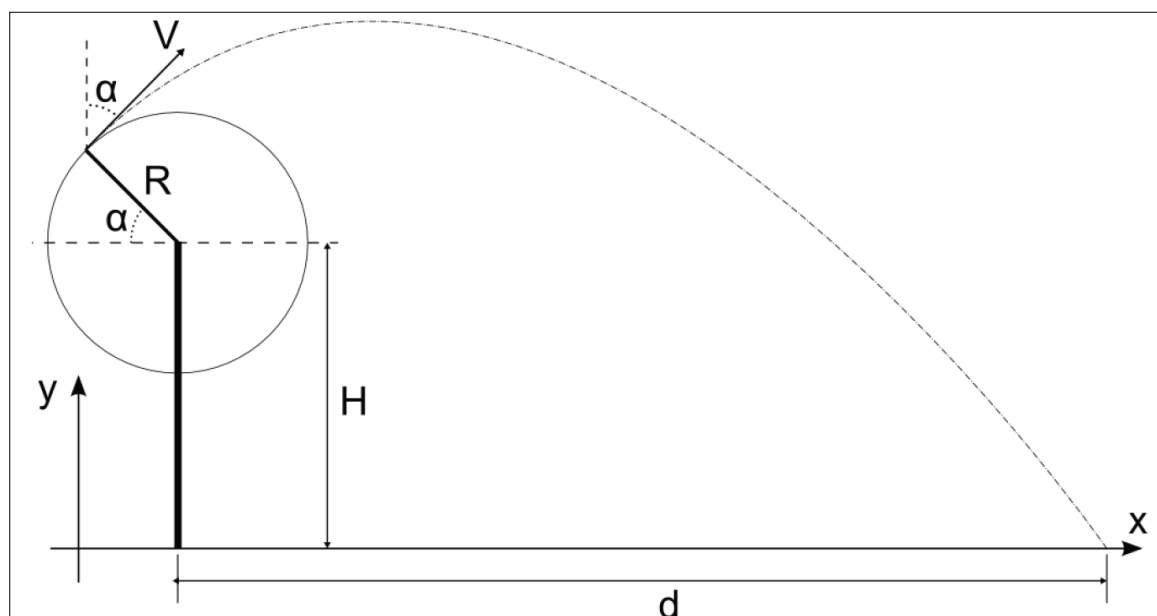
$$y_0 = H + R \sin(\alpha)$$

$$\omega = V * \left(\frac{2\pi}{60}\right) = 1,32 \text{ rad/s}$$

$$V = R\omega = 23,2 * 1,32 = 30,6 \text{ m/s}$$

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

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



**Figura 3:** Traiettoria della pala in caduta

Considerando la legge del moto nel piano si ha:

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

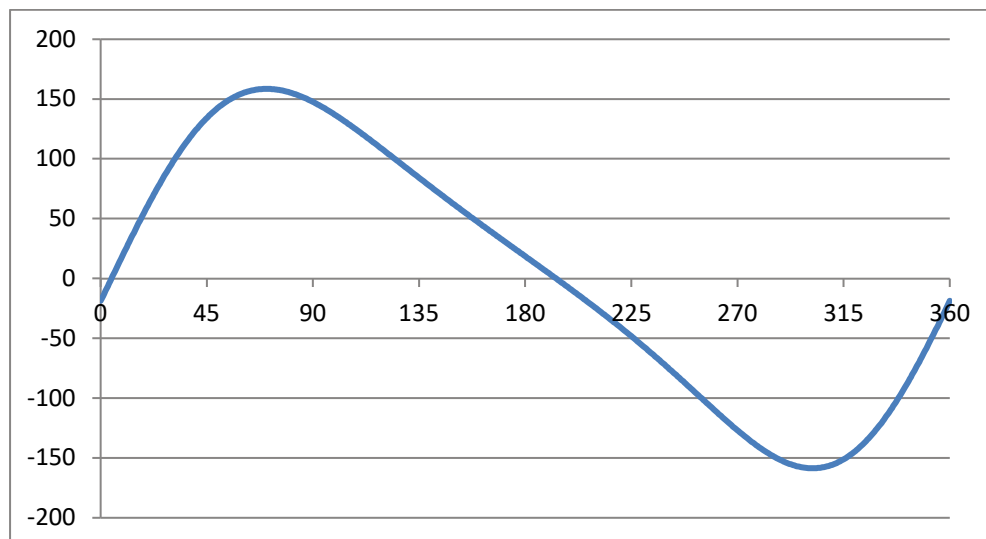
$$y(t) = y_0 + x_y t - \frac{1}{2} g t^2$$

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

È quindi possibile determinare la distanza di caduta (d) in funzione dell'angolo  $\alpha$ :

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

Di seguito si riporta il grafico della gittata in funzione dell'angolo  $\alpha$  e della distanza d.



**Figura 4:** Grafico della gittata in funzione dell'angolo di distacco

Ipotizzando che il distacco avvenga, come detto, nelle condizioni più gravose, quindi per  $\alpha=70^\circ$ , si determina una gittata massima teorica pari a 198,2 m con un tempo di volo (t) pari a 7,2 secondi.

Lo studio, come specificato in precedenza, è stato effettuato senza tener conto degli effetti mitigativi quali attrito dell'aria, portanza, moto rotazionale della pala stessa. Da letteratura e dalle considerazioni sopra elencate è verosimile ritenere, con buona approssimazione, che nel caso reale i risultati siano minori di circa il 20% rispetto a quelli teorici ottenuti.

Nel caso reale i risultati possono quindi essere riassunti in:

- Tempo di volo: 5,7 s.
- Distanza nel piano: 158,6 m

## 6 CONCLUSIONI

A seguito delle ipotesi e dei calcoli effettuati nei paragrafi precedenti, si può concludere che, per l'aerogeneratore Vestas V150-4.2MW di altezza mozzo pari a 155 m, nelle condizioni reali, alla velocità massima di rotazione di 12,6 rpm, la distanza massima del punto d'impatto del baricentro di una pala distaccatasi dal rotore è, con buona approssimazione, circa 160 m.

## 7 RIFERIMENTI

“Calcolo della traiettoria di una pala eolica in condizioni nominali di funzionamento”, Rev.9 – 08/11/2012, Vestas Italia.