

REGIONE  
BASILICATA



COMUNE DI GENZANO DI LUCANIA (PZ)



Provincia  
Potenza



**PROGETTO DEFINITIVO RELATIVO ALLA REALIZZAZIONE DI UN  
IMPIANTO EOLICO COSTITUITO DA 10 AEROGENERATORI E  
DALLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA R.T.N.**

**ANALISI DEGLI EFFETTI DELLA ROTTURA DEGLI  
ORGANI ROTANTI**

ELABORATO

**A.7**

PROPONENTE:

BLUE STONE  
renewable V

Via Vincenzo Bellini 22  
00198 Roma Italia  
P.I. 15305051007



PROGETTO E SIA:



Via delle Resistenze, 45 - 70125 Bari - tel. 080 5219946 - fax. 080 2020986

Il DIRETTORE TECNICO  
Dott. Ing. Orazio Tricarico



CONSULENZA:

| EM./REV. | DATA     | REDATTO | VERIFICATO  | APPROVATO   | DESCRIZIONE         |
|----------|----------|---------|-------------|-------------|---------------------|
| 0        | DIC 2020 | B.B.    | A.A. - O.T. | A.A. - O.T. | Progetto definitivo |

|   |          |
|---|----------|
| <b>1.PREMESSA .....</b>   | <b>2</b> |
| <b>2.IPOTESI DI CALCOLO .....</b>                               | <b>2</b> |
| <b>3.CALCOLO DEI DATI FONDAMENTALI .....</b>                    | <b>3</b> |
| <b>3.1. CALCOLO DEL BARICENTRO RG</b>                           | <b>4</b> |
| <b>3.2. CALCOLO DELLA VELOCITÀ PERIFERICA DEL BARICENTRO VG</b> | <b>4</b> |
| <b>3.3. CALCOLO DI HG</b>                                       | <b>4</b> |
| <b>4.CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA .....</b>                    | <b>5</b> |
| <b>5.CONSIDERAZIONI .....</b>                                   | <b>9</b> |



## 1. PREMESSA

In riferimento al progetto per la realizzazione di un **impianto eolico costituito da 10 turbine e relative opere di connessione alla RTN, aventi potenza complessiva pari a 45 MW**, da ubicare nel **Comune di Genzano di Lucania**, in provincia di Potenza.

Con il presente studio si intende valutare la massima distanza (gittata) che la pala di un aerogeneratore avente **altezza hub pari a 127.5 m e diametro del rotore pari a 145 m** potrebbe compiere, nell'ipotesi di improvviso distacco dal punto di serraggio sul mozzo, punto maggiormente sollecitato in quanto costituisce il collegamento della pala al rotore.

Si vuole dunque individuare la massima circonferenza all'interno della quale è possibile che la pala ricada in caso di distacco dal mozzo.

Le condizioni al contorno considerate per il calcolo in esame, sono le più gravose possibili, in modo da investigare nella situazione maggiormente cautelativa.

Infine si è inteso indagare il valore delle suddette gittate al variare dell'angolo di lancio  $\alpha$ .

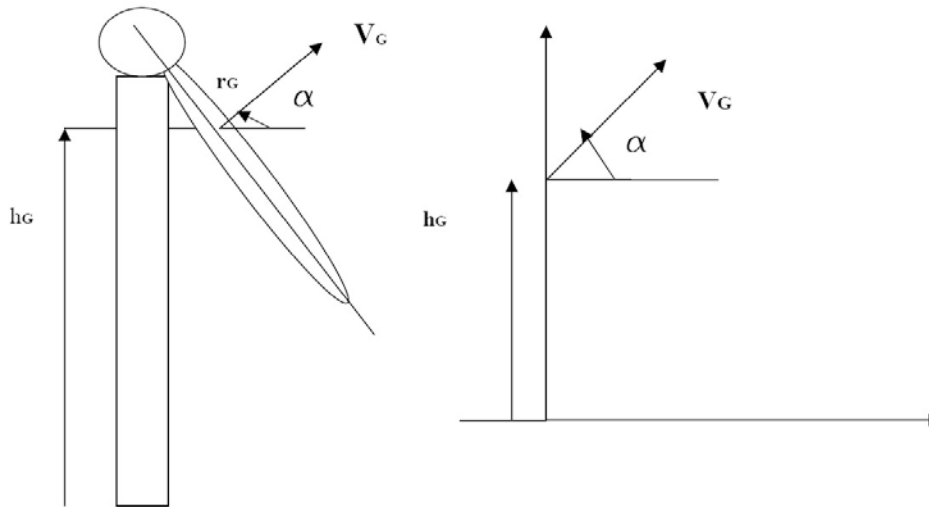
## 2. IPOTESI DI CALCOLO

Per il calcolo della massima gittata si considerano le seguenti ipotesi:

- Il moto del sistema considerato è quello di un sistema rigido non vincolato (modello che approssima la pala nel momento del distacco);
- Si ritengono trascurabili le forze ed il momento di resistenza dovute al mezzo in cui si svolge il moto (aria).

Si suppone che la pala si rompa nel punto di attacco al mozzo; nella posizione tale da avere una velocità periferica inclinata con angolo  $\alpha$  rispetto ad un sistema di riferimento orizzontale passante per il baricentro e con asse verticale parallelo all'asse della torre; come si evince dalla figura successiva.





I dati geometrici e cinematici sui quali è basato il calcolo sono i seguenti:

- Altezza della torre **H = 127.5 m**
- Diametro del rotore **D = 145 m**
- Lunghezza della pala **L = 72.5 m**
- Distanza baricentro-centro mozzo **r<sub>G</sub> = 24.16 m**
- Distanza baricentro-estremità pala **w<sub>G</sub> = 48.34 m**
- Massima velocità di rotazione **n = 12 rpm/min**

### 3. CALCOLO DEI DATI FONDAMENTALI

Lo schema adottato per il calcolo è il seguente, avendo indicato con G il baricentro del sistema avremo:

**r<sub>G</sub>** : raggio del baricentro

**V<sub>G</sub>** : velocità periferica del baricentro



Prima di effettuare il calcolo della gittata, calcoliamo dei parametri che ci serviranno per il proseguo dello stesso.

### **3.1. Calcolo del baricentro $r_G$**

Date le caratteristiche geometriche della pala, e considerata la distribuzione dei pesi lungo il profilo della stessa, possiamo ritenere con buona approssimazione che il baricentro sia posizionato ad un terzo rispetto alla lunghezza della pala, cioè:

$$r_G = L : 3 = 72.5 : 3 = 24.16 \text{ m}$$

Conseguentemente la distanza baricentro pala-centro mozzo  $w_6$  risulta essere pari a: **48.34m**.

### **3.2. Calcolo della velocità periferica del baricentro $V_G$**

La legge con cui varia la velocità periferica  $v_6$ , ossia il dato che utilizzeremo per il calcolo, ha un andamento che varia linearmente lungo il profilo della pala con il raggio per cui la velocità periferica del baricentro sarà data dal prodotto della velocità angolare  $\omega$  per la distanza del baricentro dal centro del mozzo  $r_G$ :

$$v_G = \omega * r_G = 1.26 * 24.16 = 30.44 \text{ m/s}$$

dove

$$\omega = \frac{2 \pi n}{60} = \frac{2 * \pi * 12}{60} = 1.26 \text{ rad/s}$$

### **3.3. Calcolo di $h_G$**

Il calcolo della proiezione del baricentro sull'asse verticale, viene valutato al variare dell'angolo di distacco  $\alpha$ .



Il valore di  $h_G$  sarà quindi in funzione dell'altezza dell'intera torre meno il valore della proiezione di  $r_G$  sulla verticale ossia:

$$h_G = H - (r_G \cdot \cos \alpha)$$

#### 4. CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA

Adesso siamo in grado di esprimere la legge del moto. Supponiamo di trovarci nel caso notevole di un proiettile non puntiforme.

Le equazioni che governano il moto sono rispettivamente la prima e la seconda equazione della dinamica:

$$1) \quad M\mathbf{g} = M\mathbf{a}_G$$

$$2) \quad \mathbf{0} = I \frac{d\boldsymbol{\omega}}{dt}$$

Supponendo di concentrare tutto il peso nel centro di massa, il momento della forza peso è nullo, avendo scelto G come polo per il calcolo dei momenti.

Pertanto la seconda equazione ci dice che il corpo durante la traiettoria che percorre, si mette a girare indisturbato intorno al suo asse principale di inerzia.

La soluzione al problema ci viene allora dalla risoluzione della prima equazione:

Questa ci evidenzia che la pala si muoverà con il moto di un proiettile puntiforme, pertanto ne compirà il caratteristico moto parabolico.

Per calcolare l'equazione della traiettoria, bisogna proiettare le caratteristiche dinamiche sui tre assi, integrarle tenendo conto delle condizioni iniziali, (velocità del baricentro al momento del distacco), e con facili calcoli giungere al valore della gittata espresso dalla seguente formula:

$$\frac{V_G^2}{g} \sin \alpha \cdot \cos \alpha \left( 1 \pm \sqrt{1 + \frac{2gh_G}{V_G^2 \sin^2 \alpha}} \right)$$



scegliendo ovviamente il risultato che ha senso fisicamente (il segno +) avremo al variare di  $\alpha$  i seguenti valori:

| $\alpha$ | $X_{max}$ |
|----------|-----------|
| 1        | 140,91    |
| 2        | 142,52    |
| 3        | 144,11    |
| 4        | 145,67    |
| 5        | 147,20    |
| 6        | 148,71    |
| 7        | 150,19    |
| 8        | 151,63    |
| 9        | 153,03    |
| 10       | 154,40    |
| 11       | 155,72    |
| 12       | 157,00    |
| 13       | 158,24    |
| 14       | 159,43    |
| 15       | 160,56    |
| 16       | 161,64    |
| 17       | 162,67    |
| 18       | 163,64    |
| 19       | 164,54    |
| 20       | 165,38    |
| 21       | 166,15    |
| 22       | 166,86    |
| 23       | 167,49    |
| 24       | 168,05    |
| 25       | 168,53    |
| 26       | 168,93    |
| 27       | 169,25    |
| 28       | 169,49    |
| 29       | 169,64    |
| 30       | 169,71    |
| 31       | 169,69    |
| 32       | 169,57    |
| 33       | 169,36    |



|    |        |
|----|--------|
| 34 | 169,05 |
| 35 | 168,65 |
| 36 | 168,15 |
| 37 | 167,55 |
| 38 | 166,85 |
| 39 | 166,05 |
| 40 | 165,15 |
| 41 | 164,13 |
| 42 | 163,02 |
| 43 | 161,80 |
| 44 | 160,47 |
| 45 | 159,03 |
| 46 | 157,49 |
| 47 | 155,84 |
| 48 | 154,08 |
| 49 | 152,22 |
| 50 | 150,24 |
| 51 | 148,16 |
| 52 | 145,98 |
| 53 | 143,68 |
| 54 | 141,28 |
| 55 | 138,78 |
| 56 | 136,17 |
| 57 | 133,46 |
| 58 | 130,65 |
| 59 | 127,73 |
| 60 | 124,72 |
| 61 | 121,61 |
| 62 | 118,41 |
| 63 | 115,11 |
| 64 | 111,72 |
| 65 | 108,24 |
| 66 | 104,67 |
| 67 | 101,02 |
| 68 | 97,28  |
| 69 | 93,46  |
| 70 | 89,57  |
| 71 | 85,60  |





|    |       |
|----|-------|
| 72 | 81,56 |
| 73 | 77,44 |
| 74 | 73,27 |
| 75 | 69,02 |
| 76 | 64,72 |
| 77 | 60,36 |
| 78 | 55,94 |
| 79 | 51,48 |
| 80 | 46,97 |
| 81 | 42,41 |
| 82 | 37,81 |
| 83 | 33,18 |
| 84 | 28,51 |
| 85 | 23,81 |
| 86 | 19,09 |
| 87 | 14,34 |
| 88 | 9,57  |
| 89 | 4,79  |

Il valore della gittata nelle condizioni più gravose, si verifica con valore di  $\alpha$  pari a **30°** al quale corrisponde una la distanza valutata a partire dalla base della torre, in cui cade il baricentro pari a **169.71 m.**

Nota la posizione di quest'ultimo, date le caratteristiche geometriche della pala, precedentemente valutate, si può calcolare il punto in cui cade il vertice della pala stessa.

Le possibilità contemplate sono due.

Supponendo di prendere in considerazione sempre quella più pericolosa, ossia quella in cui la pala cadendo si disponga con la parte più lontana dal baricentro verso l'esterno, **il vertice della pala cadrà a (169.71+48.34) 218.05 m.**



## 5. CONSIDERAZIONI

Nel corso della presente relazione è stata valutata la massima distanza (gittata) che una pala di un aerogeneratore con H hub pari a 127.5 m e rotore pari a 145 m potrebbe compiere, nell'ipotesi di improvviso distacco dal punto di serraggio sul mozzo, punto maggiormente sollecitato in quanto costituisce il collegamento della pala al rotore.

Nei calcoli, il moto del sistema è stato assimilato ad un moto di tipo irrotazionale, ipotizzando che tutto il peso della pala sia concentrato sul suo centro di massa.

**Sono stati trascurati gli effetti del vento e l'attrito dell'aria.**

Sulla base di queste ipotesi, del tutto ipotetiche e teoriche, è stato determinato un valore della gittata massima del baricentro pari a **169.71 m**, corrispondente ad un angolo di lancio di **30°**.

Nota la posizione di quest'ultimo, date le caratteristiche geometriche della pala, si è calcolato il punto in cui cadrà il vertice della pala stessa, ovvero nella situazione peggiore **il vertice della pala cadrà** ad una distanza massima dall'asse della turbina pari a **218.05 m**.



**Figura 1 – Layout di progetto con indicazione della gittata massima della pala in caso di distacco**



Dalla mappa sopra riportata si evince che all'interno dell'area sopra determinata non ricadono recettori sensibili.

Difatti l'unico immobile censito catastalmente presente nell'area di interesse è ubicato in prossimità della WTG4.



**Figure 2 Particolare WTG4**

Dall'analisi condotta è emerso che l'immobile è classificato catastalmente di categoria F/2, pertanto non ha destinazione residenziale/abitativa, non ricadendo quindi nell'accezione di recettore sensibile.

Si fa inoltre presente che il **risultato ottenuto dal precedente calcolo è puramente teorico** e non prende in considerazione le forze di attrito in gioco che ridurrebbero sensibilmente i valori ottenuti.

**Alla luce delle considerazioni sopra esposte si può affermare che la realizzazione delle turbine nelle aree individuate non costituirebbe pericolo per la pubblica incolumità in caso di distacco di pala dal mozzo del rotore.**

