

REGIONE BASILICATA
PROVINCIA DI POTENZA
Melfi (PZ)
LOCALITA' "S. ALESSANDRO - PIANA DEI GELSI - SERRA SCHIAVONE"

VARIANTE DEL PROGETTO EOLICO "MELFI - SANT'ALESSANDRO" 14 AEROGENERATORI

Progetto autorizzato con D.D. n.23AF.2016/D.00335 del 22/11/2016

Titolo elaborato:

ANALISI DEGLI EFFETTI DELLA ROTTURA DEGLI ORGANI ROTANTI

N. Elaborato: 1.3

Scala: Varie

Proponente



Breva Wind Srl

Via Roberto Lepetit, 8/10 - 20124 Milano (MI)

Amministratore Delegato
Dott. Roberto Pasqua

Progettista



Sede legale e operativa

San Giorgio del Sannio (BN) via A. De Gasperi 61

Sede operativa

Lucera (FG) S.S. 17 loc. Vaccarella snc c/o Villaggio Don Bosco

P.IVA 01465940623

Azienda con sistema gestione qualità Certificato N. 50 100 11873



Dott. Ing. Nicola Forte



Rev.	Data	Elaborazione	Approvazione	Emissione	DESCRIZIONE	
00	APRILE 2020	AB sigla	AB sigla	NF sigla	RICHIESTA DI VARIANTE	
Nome File sorgente		GE.MEL11.PDV.1.3.doc	Nome file stampa		GE.MEL11.PDV.1.3.pdf	Formato di stampa A4-A3

	ANALISI DEGLI EFFETTI DELLA ROTTURA DEGLI ORGANI ROTANTI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.MEL11.PDV.1.3 04/05/2020 05/05/2020 00 1 di 7
---	---	---	--

INDICE

1. INTRODUZIONE	2
2. IPOTESI	3
3. CALCOLO	4
3.1 Calcolo del baricentro	4
3.2 Calcolo della velocità periferica	5
3.3 Calcolo di hG	5
4. Calcolo della legge del moto.....	5
5. Conclusioni	6

	ANALISI DEGLI EFFETTI DELLA ROTTURA DEGLI ORGANI ROTANTI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.MEL11.PDV.1.3 04/05/2020 05/05/2020 00 2 di 7
---	---	---	--

1. INTRODUZIONE

L'iniziativa imprenditoriale della proponente, cui si lega la redazione del presente progetto, è la proposta di adeguamento in riduzione, del progetto dell'impianto eolico originario, costituito da 14 aerogeneratori, autorizzato con D.D. n.355 del 22/11/2016 emanato dalla Regione Basilicata, da ubicare nel territorio di Melfi (PZ). Proponente dell'impianto è la società Brevia Wind Srl.

Il presente studio è stato redatto al fine di illustrare la procedura per il calcolo della gittata massima di una pala di un aerogeneratore nell'ipotesi di distacco della stessa nel punto di serraggio sul mozzo, punto di maggiore sollecitazione, per evidente effetto di intaglio, dovuto al collegamento.

La proposta di adeguamento prevede l'impiego di altezze al mozzo per alcuni degli aerogeneratori, inferiori rispetto a quanto autorizzato, in particolare per gli aerogeneratori AG01, AG15, AG13 ed AG21 si propongono altezze al mozzo così come indicato nell'ultima colonna tabella 1 a seguire:

ID WTG	Modello aerogeneratore	Potenza [KW]	Altitudine s.l.m. [m]	Altezza mozzo s.l.t. AU 2016	Altezza mozzo s.l.t. proposta 2020
AG01	VESTAS V136	3450	537,7	100,0	82,0
AG07	VESTAS V136	3450	510,3	112,0	112,0
AG14	VESTAS V136	3450	510,7	112,0	112,0
AG18	VESTAS V136	3450	519,7	112,0	112,0
AG15	VESTAS V136	3450	489,3	100,0	82,0
AG13	VESTAS V136	3450	577,1	100,0	82,0
AG20	VESTAS V136	3450	541,7	112,0	112,0
AG21	VESTAS V136	3450	449,2	132,0	112,0
AG22	VESTAS V136	3450	525,0	112,0	112,0
AG25	VESTAS V136	3450	524,2	112,0	112,0
AG27	VESTAS V136	3450	540,0	112,0	112,0
AG28	VESTAS V136	3450	536,2	112,0	112,0
AG29	VESTAS V136	3450	419,7	112,0	112,0
AG30	VESTAS V136	3450	567,0	112,0	112,0

Tabella 1. Indicazione altezze al mozzo autorizzate e altezze al mozzo proposte con adeguamento tecnico.

Tale modifica si è resa necessaria, per poter utilizzare altezze al mozzo commerciali e realmente esistenti come indicato da produttore turbine scelto per le installazioni (VESTAS).

Si precisa fin da ora che il valore di gittata a parità di diametro e numero di giri al minuto delle pale, di fatto per le turbine AG01, AG15, AG13 ed AG21 risulta inferiore a quello autorizzato per effetto della sola riduzione dell' altezza al mozzo.

Si riporta a seguire il calcolo della gittata per le due diverse condizioni:

	ANALISI DEGLI EFFETTI DELLA ROTTURA DEGLI ORGANI ROTANTI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.MEL11.PDV.1.3 04/05/2020 05/05/2020 00 3 di 7
---	---	---	--

- **WTG tipo V136** (rotore 136 m di diametro e altezza al mozzo 82 metri e potenza 3.45 MW) per gli aerogeneratori denominati **AG01-AG13 e AG15**;
- **WTG tipo V136** (rotore 136 m di diametro e altezza al mozzo 112 metri e potenza 3.45 MW) per l'aerogeneratore **AG21 e tutte le restanti turbine**;

Il presente studio è stato redatto al fine di illustrare la procedura per il calcolo della gittata massima di una pala di un aerogeneratore nell'ipotesi di distacco della stessa nel punto di serraggio sul mozzo, punto di maggiore sollecitazione, per evidente effetto di intaglio, dovuto al collegamento.

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

2. IPOTESI

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 a 45° (posizione corrispondente alla massima gittata) rispetto ad un sistema di riferimento orizzontale passante per il baricentro e con asse verticale parallelo all'asse della torre, così come si evince dalla figura successiva.

Gli aerogeneratori previsti nel progetto in esame sono del tipo V136 le cui caratteristiche salienti sono riportate nella tabella a seguire:

AEROGENERATORE V136
Altezza H = 112m
Diametro rotore D = 136m
Giri _{max} al minuto 12.8

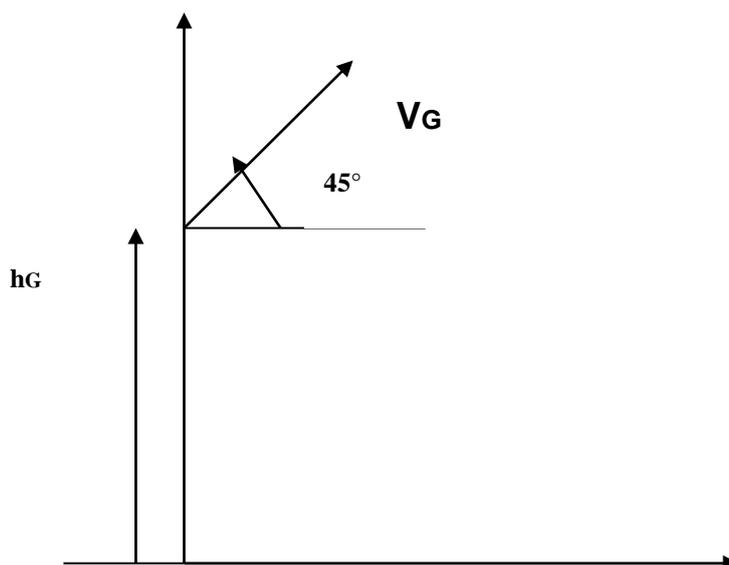
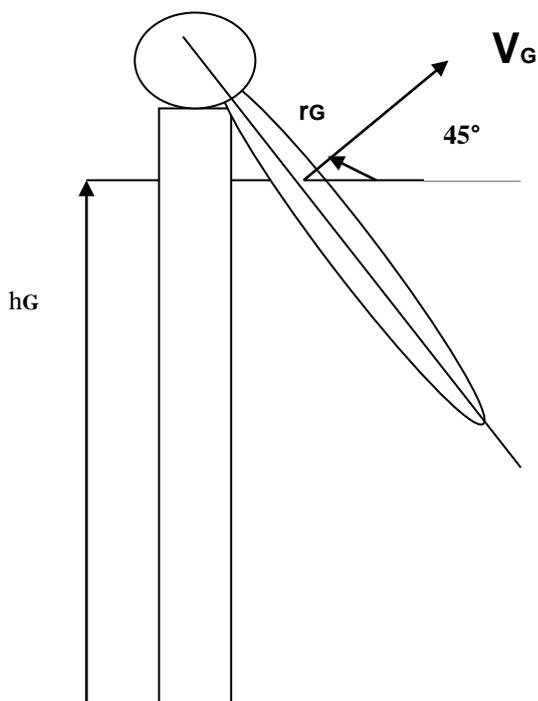
AEROGENERATORE V136
Altezza H = 82m
Diametro rotore D = 136m
Giri _{max} al minuto 12.8

3. CALCOLO

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

r_G = raggio del baricentro

V_G = velocità periferica del baricentro



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

3.1 Calcolo del baricentro

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 ad

$r_{G1} = 22.67$ m per la V136 a 112m di mozzo.

$r_{G2} = 22.67$ m per la V136 a 82m di mozzo.

	ANALISI DEGLI EFFETTI DELLA ROTTURA DEGLI ORGANI ROTANTI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.MEL11.PDV.1.3 04/05/2020 05/05/2020 00 5 di 7
---	---	---	--

3.2 Calcolo della velocità periferica

Il dato di partenza è **n = 14 giri/min** che corrisponde ad una velocità angolare per entrambe le ipotesi pari a:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = 1.47 \text{ rad / s}$$

La legge con cui varia la velocità periferica, 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 del baricentro in entrambe le ipotesi, sarà pari a:

VG = 33,21 m/s essendo VG pari a $\omega \times r_G$ (essendo r_G identico per entrambe le ipotesi).

3.3 Calcolo di hG

Il calcolo della proiezione del baricentro sull'asse verticale, viene valutato nell'ipotesi in cui il distacco avvenga, come anzidetto nelle condizioni più gravose, cioè a 45° rispetto alla verticale.

Il valore di hG è pari all'altezza dell'intera torre meno il valore della proiezione di rG sulla verticale ossia:

$$h_g = H - (r_G \cdot \cos 45^\circ)$$

da cui:

hg1 = 128.03 m per h mozzo 112 mt per la V136

hg 2 = 98.03 m per h mozzo 82 mt per la V136

Dove H è l'altezza della torre.

4. Calcolo della legge del moto

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:

$$1) \quad Mg = Ma_G$$

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

Supponendo di concentrare tutto il peso nel centro di massa della pala, 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.

	ANALISI DEGLI EFFETTI DELLA ROTTURA DEGLI ORGANI ROTANTI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.MEL11.PDV.1.3 04/05/2020 05/05/2020 00 6 di 7
---	---	---	--

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:

$$G \max = \frac{V_G^2}{g} \sin 45^\circ \cdot \cos 45^\circ \left(1 \pm \sqrt{1 + \frac{2gh_G}{V_G^2 \sin^2 45^\circ}} \right)$$

scegliendo ovviamente il risultato che ha senso fisicamente (il segno +) avremo un valore numerico di:

-per aerogeneratore tipo **V136** con h.mozzo 112m: **166.35 m**;

-per aerogeneratore tipo **V136** con h.mozzo 82m: **153.88 m**;

Questo rappresenta il valore della gittata nelle condizioni più gravose, ossia rappresenta la distanza alla quale cade il baricentro della pala, a partire dalla base della torre.

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 l'ipotesi più pericolosa, ossia quella in cui la pala cadendo si disponga con la parte più lontana dal baricentro (la punta) verso l'esterno, sommando a Gmax per ogni tipo di aerogeneratore rispettivamente i due 2/3 della pala, si ottengono:

Gittata pala per la **V136** h mozzo 112 m = 166.35 + 45 = **212 m**

Gittata pala per la **V136** h mozzo 82 m = 153.88 + 39 = **200 m**

I valori che rappresentano il punto più distante di caduta della pala.

È comunque presumibile che il valore reale, ossia quello calcolato tenendo conto della resistenza dell'aria sia inferiore.

5. Conclusioni

Dai calcoli eseguiti si evince che nelle condizioni più gravose il vertice della pala del rotore può raggiungere una distanza di circa **212 m (per aerogeneratori del tipo V136 con altezza al mozzo 112m)**. I valori abbastanza contenuti sono da imputare essenzialmente alla bassa velocità angolare delle macchine previste in progetto, macchine di nuova generazione il che implica una velocità periferica di distacco molto bassa.

In un intorno di ampiezza pari a quello della gittata dalle pale di progetto non ricadono recettori o strade interessate da traffico intenso (SP e SS), come si evince anche dall'immagine riportata a seguire. Pertanto, è da escludere che l'impianto proposto possa arrecare danni alla salute pubblica per distacco accidentale di una pala.

Allegato grafico con indicazione Buffer di gittata

