

INTEGRALE RICOSTRUZIONE PARCO EOLICO "Foiano di Valfortore"

ADEGUAMENTO TECNICO IMPIANTO EOLICO MEDIANTE INTERVENTO DI REPOWERING DELLE TORRI ESISTENTI E RIDUZIONE NUMERICA DEGLI AEROGENERATORI



Progettazione Coordinamento	GEKO S.p.A. Via Reno, 5 - 00198 Roma (RM) Tel. 06.88803910 Fax 06.45654740 E-Mail: gekospa@pec.gekospa.it 	GVC S.r.l. Società di Ingegneria Via Nazionale Sauro, nr 126 - CAP 85100 Potenza (PZ) Tel. 09.71286145 E-Mail: gmr@gvcingegneria.it 	
Progettazione	Seingim Vicolo degli Olmi, nr 57 - 30022 Ceggia (VE) Tel. 04.21323007 E-Mail: info@seingim.it 	Studi Geologico-Idrologico Idraulico	Geol. Antonio Di Biase Piazza Padre Prosperino Gallipoli, nr 9 75024 Montescaglioso (MT) Tel. 347.059 7967
Studio Acustico Studio avifaunistico	Teasistemi Via Ponte Piglieri, nr 8 - 56122 Pisa (PI) Tel. 05.06396101 E-Mail: info@tea-group.com 	Studi Naturalistici e Forestali	Dott. Agr. Paolo Castelli Viale Croce Rossa, nr 25 - 90146 Palermo (PA) Tel. 334. 228 4087
Opera	<p>Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20 MW.</p>		
Nome Elaborato: GK-EN-C-FV-TB-ET-0065-00		Folder:	
Descrizione Elaborato: Relazione gittata massima degli elementi rotanti			
00	Novembre 2023	Emissione per progetto definitivo	Seingim S.r.l. Geko S.p.A. Edison Rinnovabili S.p.A.
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione Verifica Approvazione
Scala: /		Integrale Ricostruzione Foiano	
Formato: A4		Codice progetto AU <input style="width: 100px;" type="text"/>	

SOMMARIO

1	PREMESSA	2
2	EQUAZIONI DEL MOTO	2
3	CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA	4
4	CONCLUSIONI	7

1 PREMESSA

Il presente studio ha come oggetto la determinazione della gittata relativa al progetto di integrale ricostruzione del Parco Eolico sito nel comune di Foiano di Val Fortore (BN) rappresentato dall'intervento di repowering con sostituzione degli aerogeneratori esistenti e relativa riduzione del numero delle macchine attualmente in esercizio.

L'impianto eolico in progetto sito nel territorio del Comune di Foiano di Val Fortore (BN), con opere di connessione (stazione di utenza e collegamento alla RTN) nel Comune di Montefalcone di Val Fortore (BN), prevede l'installazione di 10 aerogeneratori di potenza complessiva pari a 66,00 MW.

Il modello di turbina in esame è Siemens Gamesa – 6,6 MW, avente diametro del rotore pari a 155 m e altezza hub 102,5 mt.

Un parametro di rischio da tenere in considerazione è rappresentato dalla rottura accidentale di parti di aerogeneratore. Le con il rischio di ritrovamenti di pezzi di aerogeneratori ad una certa distanza dal punto di rottura per effetto del moto rotativo delle pale. Per questo motivo è importante calcolare la gittata massima degli elementi rotanti in caso di rottura accidentale per la verifica dei requisiti di sicurezza.

Lo studio della rottura degli organi rotanti è stato svolto in conformità a quanto riportato nel decreto-dirigenziale n.° 44 del 12-02 - 2021 della regione Campania, considerando tutti i possibili effetti meccanici ed aerodinamici che possono in qualche modo influenzare la distanza di gittata della pala.

Nel calcolo, si ipotizza per ragioni cautelative l'applicazione delle condizioni peggiori in cui si possa verificare il distacco della pala dell'aerogeneratore. In particolare, per causa delle caratteristiche costruttive degli aerogeneratori, la pala che accidentalmente si distacca dal rotore viene messa in moto dalla forza centrifuga determinata dalla rotazione del rotore stesso, con una velocità iniziale V_0 proporzionale alla velocità di rotazione del rotore.

2 EQUAZIONI DEL MOTO

La procedura seguita per il calcolo della gittata massima, in caso di rottura accidentale di un elemento rotante di un aerogeneratore prende in considerazione le condizioni al contorno più gravose, in maniera tale da aumentare il grado di sicurezza massimo.

Le caratteristiche dimensionali degli aerogeneratori del tipo Siemens Gamesa SG155 di progetto sono di seguito riportate:

Rotor	
Type	3-bladed, horizontal axis
Position	Upwind
Diameter	155 m
Swept area	18,869 m ²
Power regulation	Pitch & torque regulation with variable speed
Rotor tilt	6 degrees

Blade	
Type	Self-supporting
Blade length	76 m
Max chord	4.5 m
Aerodynamic profile	Siemens Gamesa proprietary airfoils
Material	G (Glassfiber) – CRP (Carbon Reinforced Plastic)
Surface gloss	Semi-gloss, < 30 / ISO2813
Surface color	Light grey, RAL 7035 or White, RAL 9018

Aerodynamic Brake	
Type	Full span pitching
Activation	Active, hydraulic

Nominal output and grid conditions		Grid Capabilities Specification	
Nominal power	6600 kW	Nominal grid frequency	50 or 60 Hz
Nominal voltage	690 V	Minimum voltage	85 % of nominal
Power factor correction	Frequency converter control	Maximum voltage	113 % of nominal
Power factor range	0.9 capacitive to 0.9 inductive at nominal balanced voltage	Minimum frequency	92 % of nominal
		Maximum frequency	108 % of nominal
		Maximum voltage imbalance (negative sequence of component voltage)	≤5 %
Generator		Max short circuit level at controller's grid	
Type	DFIG Asynchronous	Terminals (690 V)	82 kA
Maximum power	6750 kW @20°C ext. ambient		
Nominal speed			
	1120 rpm-6p (50Hz)		
	1344 rpm-6p (60Hz)		

Di seguito sono indicati i dati di input per il calcolo:

Angolo α	n	L	Htorre	V_0	V_{x0}	V_{y0}	H_g	D	r_g	g
63	13,44	76,00	102,50	37,77	33,65	17,15	126,41	155	26,83	9,81

Con lo studio del moto di un proiettile si intende fornire un modello generale per studiare i fenomeni dei corpi che vengono lanciati (o urtano ad esempio) con un angolo di alzo obliquo, con una velocità costante e che compiono un moto parabolico. Chiaramente la resistenza dell'aria non è assolutamente trascurabile. Infatti, più il corpo è grande, più la resistenza dell'aria (o di un altro fluido) influisce sulle variabili del moto (gittata, altezza massima, tempo di caduta). Una caratteristica importante della resistenza aerodinamica dei fluidi è che essa dipende dalla velocità: più veloci sono gli oggetti, più grande è la resistenza dei fluidi nei quali si muovono.

Il moto di un proiettile si può pensare come la composizione di due moti: uno rettilineo uniforme in direzione orizzontale, e uno uniformemente accelerato (con accelerazione modulo g) in direzione verticale. Ne segue che la traiettoria seguita da un corpo, se è denso e poco esteso, o altrimenti dal suo centro di massa, ha un andamento parabolico.

La gittata è la distanza tra il punto in cui viene lanciato un proiettile (con velocità iniziale inclinata verso l'alto rispetto all'orizzontale) e il punto in cui esso ritorna al suolo. È interessante osservare che all'aumentare

dell'angolo a formato con il terreno, la gittata del proiettile aumenta, presentando valore massimo per un angolo pari a $\pi/4$; ad ulteriori incrementi dell'angolo a il valore della gittata torna a diminuire presentando un valore nullo allorché il proiettile è lanciato verso l'alto con angolo pari a π .

Per studiare la gittata di un proiettile che si muove con moto parabolico (cioè sotto l'azione della sola forza peso e trascurando l'attrito con l'aria) utilizzeremo un sistema di riferimento cartesiano XY in cui l'origine O degli assi del sistema, coincida con il punto da cui il proiettile è stato lanciato.

3 CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA

La gittata è la distanza percorsa dal proiettile in direzione x prima di toccare terra. Questo valore si trova imponendo che nella equazione:

$$y = \frac{1}{2}gt^2 + v_{y0}t + y_0$$

sia nullo y determinando così l'istante t in cui avviene il transito (e in questo caso l'impatto) alla quota $y=0$ sarà:

$$\frac{1}{2}gt^2 + v_{y0}t + y_0 = 0$$

Nell'ipotesi semplificativa che $y_0 = 0$ si ottiene:

$$\frac{1}{2}gt^2 + v_{y0}t = 0$$

da cui le due soluzioni:

$$t_0 = 0 \qquad t_1 = -\frac{2v_{y0}}{g} = -\frac{2v_0 \sin \theta}{g}$$

t_0 corrisponde all'istante di lancio del proiettile (abbiamo infatti ipotizzato per semplicità che $y_0=0$); t_1 all'istante in cui il proiettile, avvenuto il lancio, tocca nuovamente terra. Sostituendo quest'ultimo valore nell'equazione $\square = \square_0 + \square_0 t$, descrittiva del moto lungo x, si ricaverà il valore della gittata:

$$x = x_0 - 2 \frac{v_0^2}{g} \sin \theta \cos \theta$$

Ipotizzando per semplicità che

$$x_0 = 0$$

ed essendo

$$2 \sin \theta \cos \theta = \sin 2\theta$$

si può riscrivere la equazione per il calcolo della gittata come:

$$x = -\frac{v_0}{g} \sin 2\theta$$

La gittata massima è così funzione del modulo della velocità iniziale, della ascissa e della quota iniziale di lancio (che in questo caso semplificato sono state considerate nulle), e di θ angolo di inclinazione della gittata: in particolare essa sarà massima quando $\sin 2\theta = 1$ cioè $2\theta = \pi/2$ ossia $\theta = \pi/4$.

Nel caso in questione y_0 non sarà uguale a zero, ma corrispondente alla quota del baricentro G del sistema ipotizzato rispetto alla quota del piano di campagna.

Date le caratteristiche geometriche della pala, e considerata la distribuzione dei pesi lungo il profilo della stessa, si ritiene con buona approssimazione che il baricentro sia posizionato ad un terzo rispetto alla lunghezza della pala, ossia $rg = 25,33$ m a partire dal mozzo, essendo la lunghezza di ciascuna pala uguale a 76 m.

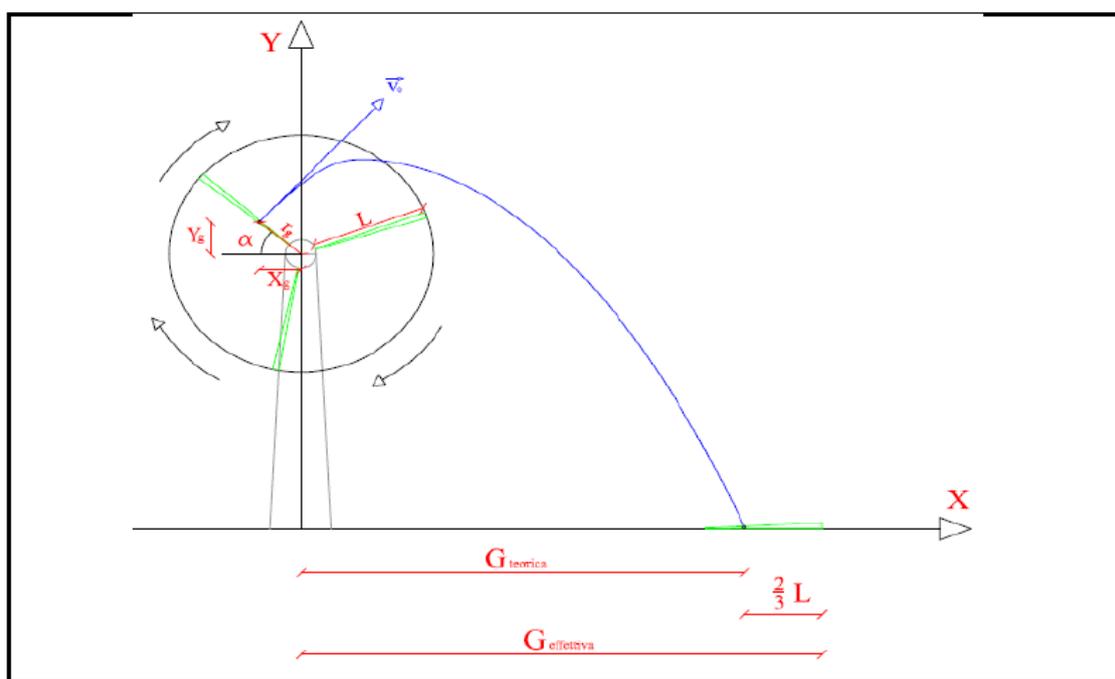


Figura 1 - Schema della Gittata per angolo compreso tra 0° e 90°

Nel caso peggiore, quindi, l'oggetto che si distacca dalla pala avrà una lunghezza pari a 50,7 m e spessore variabile fino all'estremità della pala. L'assunzione parte da numerosi casi analizzati dalle case costruttrici. Infatti tali produttori dichiarano che il caso di distacco di porzioni di pala si potrebbe trattare effettuando un'analisi del rischio che è dato dal prodotto fra la probabilità di occorrenza della specifica rottura e la gravità delle conseguenze. Una simile analisi comporterebbe comunque delle assunzioni al contorno arbitrarie fra le

quali le dimensioni del pezzo di pala interessato al distacco e uno studio probabilistico sull'occorrenza e la gravità delle conseguenze.

Per effettuare queste valutazioni è necessario uno studio aereodinamico associato ad un'analisi statistica degli eventi incidentali dovrebbe essere notevolmente ampia, la qual cosa non è verificata nella realtà.

Di conseguenza l'altezza di lancio sarà uguale a:

$$y_0 = H_{torre} + Y_g$$

Dove

$$Y_g = \frac{1}{3} r_g \cdot \sin \theta$$

Ciò implica che la soluzione di t sarà:

$$t = \frac{-v_{y0} \pm \sqrt{v_{y0}^2 - 4\left(\frac{1}{2}gy_0\right)}}{g}$$

tale valore andrà sostituito nell'equazione descrittiva del moto lungo x, per trovare la gittata massima.

La velocità angolare media ω è l'angolo descritto dal corpo in movimento nell'unità di tempo. Chiamiamo con n il numero di giri al minuto primo compiuti dal corpo in movimento circolare. Tenuto conto che ad ogni giro l'angolo descritto dal corpo in movimento è pari a 2π radianti, per n giri avremo $2\pi n$ radianti/minuto, che è appunto la velocità angolare ω al minuto del corpo in movimento.

Volendo esprimere la velocità angolare in radianti al secondo avremo:

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

Nel moto circolare uniforme, la velocità periferica è direttamente proporzionale al raggio. Ad ogni giro il punto G di raggio r percorre la circonferenza $2\pi r$; dopo n giri al minuto lo spazio percorso sarà $2\pi r n$ metri/minuto. E questo sarà lo spazio percorso da tutti i punti situati sulla periferia del corpo in movimento circolare.

Dunque la velocità periferica in metri al secondo di un corpo rotante (considerando la velocità massima del rotore di 13,44 giri al minuto), corrisponde a $v_0 = 37,77$ m/s

Nell'ipotesi di distacco, vengono considerate le seguenti ipotesi:

- il moto del sistema è considerato di tipo rigido non vincolato;
- si ritengono trascurabili le forze di resistenza dell'aria;
- le componenti dell'accelerazione saranno $a_x = 0$, $a_y = -g$.
- la velocità periferica v_0 è uguale a 37,77 m/sec.

Le coordinate del punto di partenza del corpo, non saranno (0,0) coincidenti con l'origine degli assi ma (0, HG = H torre + Yg) ossia le coordinate del baricentro G di una pala.

La risoluzione dell'equazione descrittiva del moto, nelle suddette condizioni, sarà quindi:

$$Gittata\ max = v_{x0} \cdot \frac{-v_{y0} \pm \sqrt{v_{y0}^2 - 4\left(\frac{1}{2}gH_G\right)}}{2g}$$

Dall'analisi della gittata si ottiene che la massima distanza percorsa dall'elemento si ottiene per un angolo θ intorno a 63° con un valore di gittata pari a circa 277,96 metri

4 CONCLUSIONI

La distanza massima raggiunta da un elemento della pala che si rompa a seguito di un evento eccezionale è di 277,96 m.

Lo studio del layout di progetto, ossia la ubicazione degli aerogeneratori sul territorio, oltre che a seguire precise regole tecniche al fine di ottenere la massima producibilità, è stato redatto rispettando tutti i vincoli ambientali e territoriali presenti sul territorio.

Pertanto nessuna civile abitazione o viabilità di classificazione rilevante è posizionata ad una distanza minore od uguale a 277,96 m dalle turbine di progetto, per cui risulta verificata la sicurezza nel caso di rottura degli elementi rotanti.