

2022

Realizzazione di un impianto eolico della potenza di 995 kW

COMUNE DI NULVI

CALCOLO GITTATA ELEMENTI ROTANTI



Sommario

1	PREMESSA	3
2	CARATTERISTICHE TECNICHE AEROGENERATORE	4
3	CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA.....	6
4	CONCLUSIONI	10

1 PREMESSA

La presente relazione ha lo scopo di calcolare la gittata massima raggiungibile dagli elementi rotanti di un aerogeneratore nel caso di distacco accidentale, in condizioni di normale funzionamento.

L'impianto eolico, facente capo alla Società SOLAR GLOBAL INVEST ITALIA 7 SRL, sarà ubicato in un ambito agricolo non coltivabile, avuto riguardo comunque all'esigenza di contenere al minimo le possibili interazioni negative dell'intervento con il contesto ambientale e antropico, seguendo gli indirizzi dettati nella D.G.R. 59/90 del 27.11.2020 "Individuazione delle aree non idonee all'installazione di impianti alimentati da fonti di energetiche rinnovabili".

Il progetto proposto risulta ascrivibile alla tipologia progettuale di cui all'Allegato B1, comma 2, lett. D) della D.G.R. 11/75 del 24.03.2021, "Impianti eolici con potenza complessiva superiore a 60 kW e inferiore o uguale 1 MW", quindi è consentito al proponente, preliminarmente, di espletare la procedura di Verifica di assoggettabilità del progetto a Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) di cui all'art. 19 del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i.

2 CARATTERISTICHE TECNICHE AEROGENERATORE

Le caratteristiche tecniche dell'aerogeneratore, intese come grandezze geometriche e valori cinematici di funzionamento, influenzano in maniera determinante i valori di gittata riscontrabili in caso di distacco accidentale degli elementi rotanti.

Il presente studio prende in esame l'aerogeneratore REN 995 4R prodotto dall'azienda italiana Ren Electron, costituito da 4 aerogeneratori ad asse orizzontale tripala con un'unica torre troncoconica, nella tabella che segue si riportano le caratteristiche tecniche salienti.

DATI GENERALI	
Velocità di CUT-IN	3 m/s
Velocità di CUT-OUT	25 m/s
Velocità media del vento	13 m/s
Velocità media del rotore	38 rpm
Velocità di punta del rotore	61.67 m/s
Potenza di output	995 kW

SINGOLO ROTORE	
Diametro	32 m
Tipo	3 pale – Asse orizzontale
Posizione	Up wind
Area di utilizzo	1286 mq
Angolo di tilt	7°

SET DELLE PALE	
Tipo	REN 995 4R
Lunghezza	16 m

TORRE	
Tipo	Torre tubolare d'acciaio vari tronchi
Altezza del mozzo	63.6 mt

Tra le diverse configurazioni dell'aerogeneratore si prenderà in esame quella avente valori dimensionali più elevati, sarà analizzata la configurazione avente le seguenti caratteristiche:

- Altezza al mozzo (H) = 63.6mt
- Diametro rotore (D) = 32mt

3 CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA

IPOTESI DI CALCOLO

Si procede nel calcolo della gittata massima di un generico frammento di ala considerando la traiettoria a 'giavelotto', quindi con minore resistenza aerodinamica, e con traiettoria complanare al rotore; tali ipotesi risultano cautelative ai fini dell'aria potenzialmente raggiungibile da un generico frammento distaccatosi accidentalmente; garantendo così un ulteriore margine di sicurezza.

GEOMETRIA DEL PROBLEMA

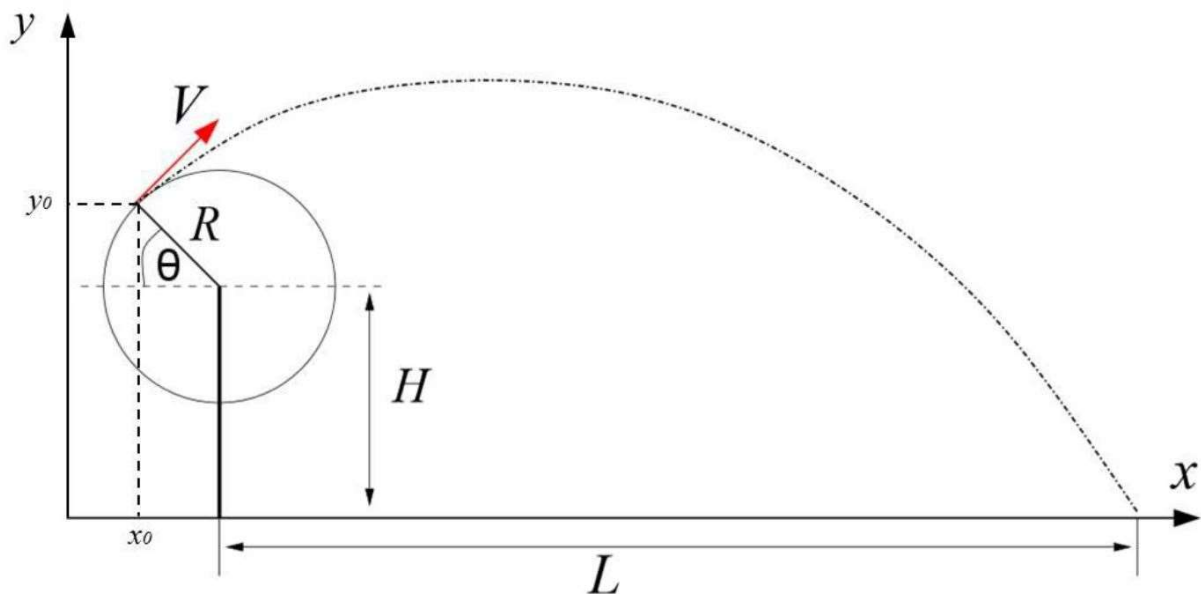


Figura 1 - Geometria della gittata

Le equazioni del moto di un punto materiale soggetto alla sola forza di gravità sono le seguenti:

$$\ddot{X} = 0;$$

$$\ddot{Y} = -g; \quad \text{dove } g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

La soluzione delle equazioni sopra è la legge del moto:

$$X(t) = X_0 + V_x * t$$

$$Y(t) = Y_0 + V_y t - \frac{1}{2} g t^2$$

dove (X_0, Y_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 T tale che $Y(T)=0$

Dalla legge del moto si ottiene:

$$T = \frac{V_y}{g} + \frac{1}{g} \sqrt{V_y^2 + 2Y_0 g} \quad (\text{abbiamo scartato la soluzione corrispondente a tempi negativi})$$

La posizione e la velocità iniziale sono determinate dall'angolo θ e della velocità iniziale V del frammento di pala al momento iniziale, 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.

Dalla legge del moto si ottiene:

$$L = X(T)$$

Sostituendo l'espressione di T , ricavato sopra, si ricava la gittata L in funzione di V e dell'angolo θ :

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

Come si può vedere dai risultati seguenti, la massima gittata non si avrà per $\theta=45^\circ$, in quanto il frammento nell'istante del distacco si trova già in un punto definito nello spazio, ma diverso dal punto $(0,0)$ dipendente dall'altezza dell'aerogeneratore e dal valore

dell'angolo nell'istante del distacco e dalla posizione del baricentro della pala distaccatosi rispetto al centro dell'aerogeneratore (R).

CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA

Il calcolo richiede la conoscenza del valore di H (altezza del mozzo), del valore D (diametro del rotore) e del valore V (velocità di distacco del frammento di pala).

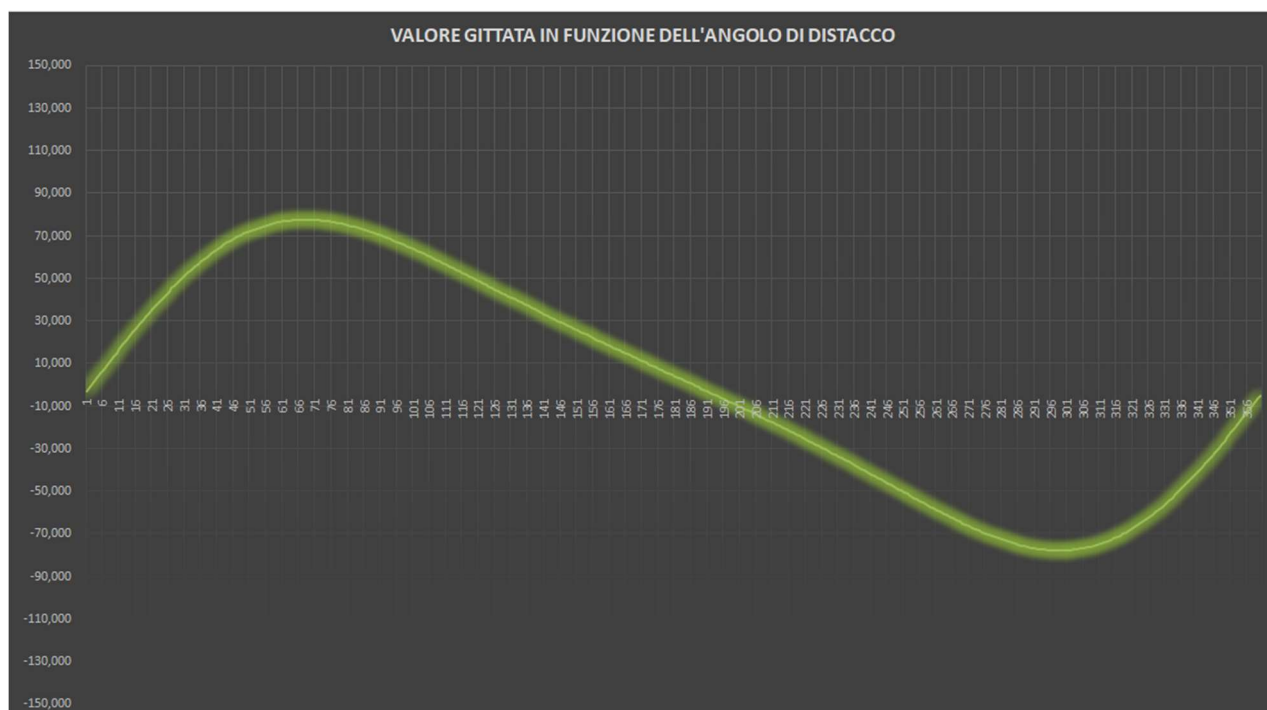
Nel nostro caso, il numero massimo di giri che l'aerogeneratore è in grado di raggiungere è pari a 38 rpm.

Supponendo che la rottura della pala avvenga nelle vicinanze del mozzo è considerando $R=14.3/3=4.77$ (baricentro pala = lunghezza pala/3), $H=63.6$ metri e $D=32$ metri, il calcolo della velocità di distacco del frammento di pala si ottiene tramite la seguente relazione cinematica:

$$V = \frac{2\pi R * rpm}{60}$$

Quindi la velocità di distacco è pari a 18.97 m/s

Di seguito si riporta il grafico della gittata in funzione dell'angolo e della velocità di distacco; il grafico propone la gittata massima nel caso si distacchi l'intera pala dal mozzo con una velocità di 18.97 m/s. Ricordiamo che 18.97 m/s è la velocità massima raggiunta dal baricentro della pala quando il rotore compie il massimo delle rivoluzioni per minuto.



La gittata massima raggiungibile è di circa 78 m in corrispondenza dell'angolo di distacco pari a 68°; il valore ricavato è compatibile con quello fornito dalla ditta produttrice.

4 CONCLUSIONI

Le ipotesi alla base del calcolo hanno permesso di semplificare la trattazione numerica, tali semplificazioni si bilanciano reciprocamente infatti, se da una parte le forze aerodinamiche di portanza, che possono innescarsi sul frammento di pala, potrebbe prolungare il volo e allungare la distanza percorsa, la presenza dell'aria, d'altra parte, genera delle forze di resistenza viscosa, che agendo sulla superficie del frammento ne riducono tempo di volo e distanza; inoltre la complessità del moto rotazionale, ovvero la rotazione della pala durante il moto di caduta, rappresenta una condizione reale che attenua i valori della gittata massima. Inoltre c'è da considerare che i valori di gittata calcolati sono stati ottenuti 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.

Dalle considerazioni sopra esposte, unitamente alle costatazioni derivanti da eventi reali si può senz'altro affermare, che il valore della gittata massimo ottenuto dal calcolo pari a circa $L=78$ m, in corrispondenza di un angolo di distacco pari a $\theta=68^\circ$, rappresenta un valore conservativo della distanza raggiungibile da un elemento rotante distaccatosi accidentalmente dall'aerogeneratore in condizioni di piena operatività.

Dott. Ing. Antonello Biasetti