

				
COMUNE DI NULVI	REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA	PROVINCIA DI SASSARI		
<p align="center">PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UNA SINGOLA TURBINA EOLICA DELLA POTENZA PARI A 999 kWp</p> <p align="center">Sito in Comune di Nulvi (SS)</p>				
PROGETTO DEFINITIVO		PROCEDURA DI VERIFICA DI ASSOGGETTABILITA' ALLA V.I.A. Regionale Allegato B1 – DGR 11/75 del 24.3.2021		
PROPONENTE:				
		BH WIND S.R.L. VIA ZARA ,5 23100 SONDRIO P.IVA 01055440141		
OGGETTO:		CODICE ELABORATO:		
RELAZIONE CALCOLO GITTATA ELEMENTI ROTATIVI		REL.04		
SCALA / FORMATO	DATA EMISSIONE:			
Relazione (f.to) A4	Agosto 2023			
PROGETTAZIONE:		Made S.r.l.s. Piazza Castello 11 07100 Sassari Piva 02631830904		
				
Coordinatore progettista <i>Ing. Dennis Carta</i>	Responsabile Tecnico Elaborato: Ing. Dennis Carta	REVISIONI		
		N°	DATA	DESCRIZIONE
		01	28/08/2023	EMISSIONE
		02		

RELAZIONE SPECIALISTICA CALCOLO GITTATA- EOLICO NULVI (SS)

Sommario

1.Premessa.....	2
2.Cenni sul funzionamento di un aerogeneratore	2
3.Rottura della pala del rotore	4
3.1.Analisi teorica gittata.....	4
3.2.Caratteristiche turbina LTW90 1.0W IIIA	5
3.3.Calcolo della gittata (1° caso)	5
3.4.Calcolo della gittata massima	7
4.Conclusioni	9

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.

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. Cenni sul funzionamento di un aerogeneratore

Nelle Turbina Eolica le pale sono fissate su un mozzo, e, nell'insieme, costituiscono il rotore; il mozzo, a sua volta, è collegato ad un primo albero di trasmissione, detto albero lento, che ruota alla stessa velocità angolare del rotore.

L'albero lento è, nella maggior parte dei casi, collegato ad un moltiplicatore di giri, da cui si diparte un albero veloce, che ruota con velocità angolare data da quella dell'albero lento per il rapporto di trasmissione del rotismo installato. Tutti i componenti sopra menzionati, ad eccezione, del rotore e del mozzo, sono ubicati entro una cabina, detta navicella la quale, a sua volta, è sistemata su un supporto cuscinetto, in maniera da essere facilmente orientata secondo la direzione del vento.

Oltre ai componenti su elencati, vi è un sistema di controllo che esegue, il controllo della potenza ruotando le pale intorno al loro asse principale, il controllo dell'orientamento della navicella, detto controllo dell'imbardata, che serve ad allineare la macchina rispetto alla direzione del vento.

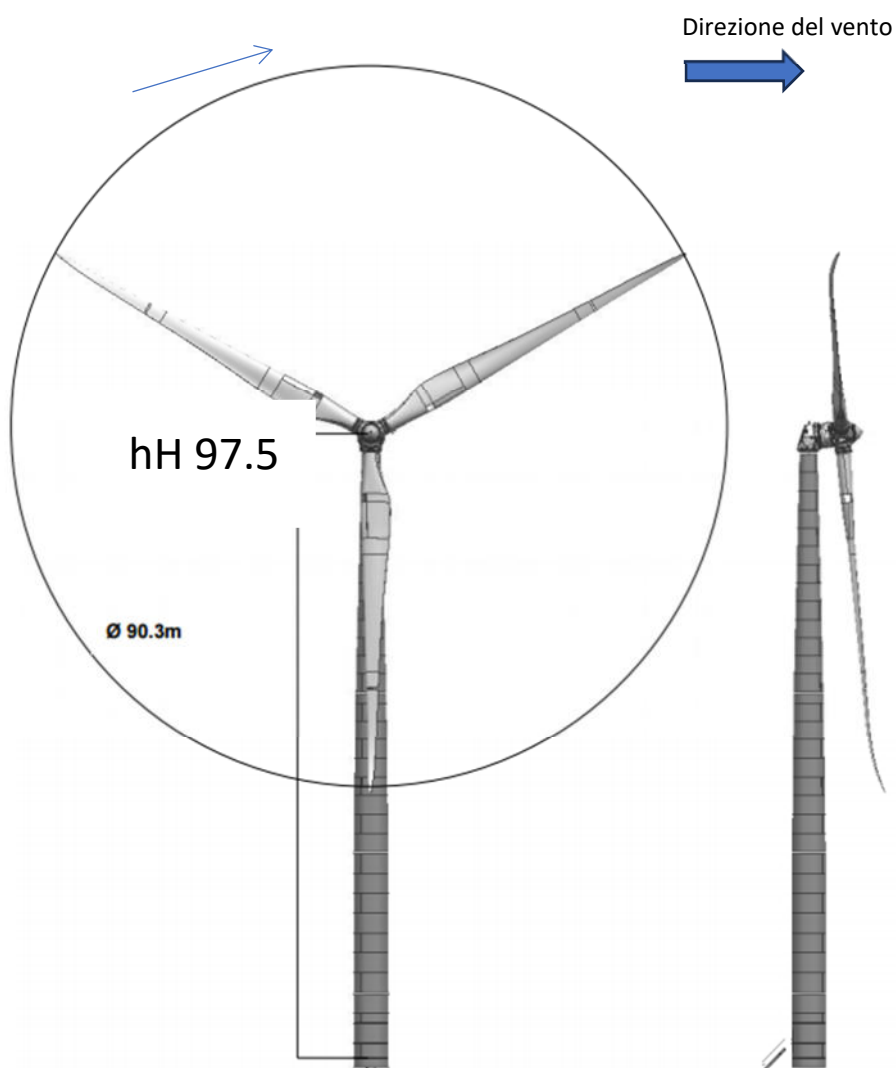
Si riporta di seguito una figura che evidenzia il verso di rotazione dell'aerogeneratore, in relazione alla direzione del vento che causa tale moto.

La conformazione del profilo alare dell'aerogeneratore è fissa, mentre è mobile il rotore sul quale sono ancorate le pale. Questo garantisce il fatto che il rotore possa orientarsi rispetto al

RELAZIONE SPECIALISTICA CALCOLO GITTATA- EOLICO NULVI (SS)

vento in modo tale da offrire allo stesso sempre il medesimo profilo alare garantendo indipendentemente dalla direzione del vento un verso orario di rotazione. Questa considerazione ci serve per fissare in ogni momento il verso della velocità tangenziale, responsabile della gittata nel piano, rispetto a quello della velocità del vento, ortogonale alla velocità tangenziale ed a sua volta responsabile della gittata fuori dal piano.

Dalla composizione delle due traiettorie si ottiene la traiettoria complessiva e quindi si capisce la direzione lungo la quale l'eventuale pala o parte di essa che si distacca percorre il suo moto. Mettendo in relazione la traiettoria del corpo che si distacca con la corografia del luogo si capisce se la pala nella percorrenza della sua traiettoria può essere o meno un elemento di pericolo per la strada e/o altro edificio interessato.



3. Rottura della pala del rotore

3.1. Analisi teorica gittata

Il calcolo della gittata massima in caso di rottura di una pala dell'Aerogeneratore segue il principio della balistica applicata al moto dei proiettili.

Si evidenzia che i calcoli sono fatti considerando nullo l'attrito con l'aria. L'analisi quantitativa del moto di un organo rotante (o di una sua parte), che si distacca accidentalmente risulta molto complesso, implicando la conoscenza oltre che dei dati tecnici e cinematici dell'aerogeneratore, la conoscenza del campo di moto dell'area che circonda l'aerogeneratore; infatti, sarebbe necessario conoscere valori di velocità (in termini vettoriali), di temperatura, di pressione di un volume significativo di atmosfera (all'interno del quale è immerso l'aerogeneratore) e le leggi orarie che ne definiscono le variazioni. A complicare la modellazione si aggiunge la condizione che il regime di moto delle masse d'aria (fenomeno ventoso) è assai spesso di tipo turbolento e la geometria dei componenti che teoricamente possono distaccarsi (pale) hanno profili aerodinamici che esaltano i fenomeni di portanza e deportanza.

Il modello teorico che meglio caratterizza il moto delle parti (siano esse sezioni di pala o la pala intera) che hanno subito il distacco, e che più si avvicina al caso reale, è il modello "Moto rotazionale complesso" che permette di studiare il moto nel suo insieme, considerando i moti di rotazione intorno agli assi xx , yy , zz .

La rotazione della pala intorno all'asse zz è causato dalla conservazione del momento della quantità di moto: in caso di rottura, per il principio di conservazione, il generico spezzone tende a ruotare intorno all'asse ortogonale al proprio piano. La rotazione intorno agli altri assi è dovuta alle azioni indotte dal vento incidente out of plane sulla pala/sezione di pala.

La traiettoria iniziale è determinata principalmente dall'angolo di distacco/lancio e dalle forze inerziali agenti sulla pala/ frammento di pala: al momento del distacco, oltre all'impulso, agiscono anche i momenti di flapwise, edgewise e pitchwise.

Pertanto il moto della parte distaccata sarà un moto rotazionale, su cui agisce anche la forza di gravità.

RELAZIONE SPECIALISTICA CALCOLO GITTATA- EOLICO NULVI (SS)

La resistenza offerta dalla pala al moto sia in plane che out plane è generata dalla rotazione intorno agli assi xx e yy . La massima gittata della pala/frammento di pala è strettamente dipendente:

- dal numero di giri del rotore e quindi dalla velocità periferica della parte al momento del distacco;
- dalla posizione della pala nel momento del distacco;
- dalla dimensione del frammento;
- dal peso del frammento (più leggero è, più il suo moto è limitato dalle forze di attrito viscoso);
- dal profilo aerodinamico della pala/frammento di pala.

Studi teorici che tengono conto di questi parametri, eseguiti per conto di società produttrici di aerogeneratori eolici, hanno evidenziato che: se si effettua un calcolo che tenga conto dei valori cinematici e geometrici del moto senza considerare gli effetti viscosi e soprattutto la complessità del moto rotazionale si ottengono valori di gittata più alti di quelli reali (valore teorico > valore reale) più che dalle dimensioni dell'aerogeneratore e dell'altezza della torre, i valori della gittata dipendono principalmente dalla velocità di rotazione.

Nei paragrafi successivi si effettuerà il calcolo della gittata per l'aerogeneratore in progetto, considerando solo parametri geometrici e cinematici e non l'effettivo moto rotazionale complesso, e pertanto otterremo valori della gittata sicuramente superiori rispetto a quelli reali.

3.2. Caratteristiche turbina LTW90 1.0W IIIA

Il modello scelto è un LEITWIND LTW90 H97.5 prodotto dalla LEITNER con sede in Vipiteno (BZ).

Trattasi di aerogeneratore ad asse orizzontale tripala upwind, a velocità variabile e con sistema di regolazione automatico di pitch e yaw. L'aerogeneratore è equipaggiato con un generatore asincrono e moltiplicatore di giri che, direttamente accoppiato al rotore, garantisce elevate prestazioni e riduce il numero degli organi in movimento e quindi degli interventi manutentivi. Il generatore è parte integrante della struttura ed è direttamente montato sul telaio il quale è a sua volta connesso alla torre. L'utilizzo di una

RELAZIONE SPECIALISTICA CALCOLO GITTATA- EOLICO NULVI (SS)

tecnologia consolidata nel tempo e dei pochi elementi chiave che costituiscono l'aerogeneratore rende l'aerogeneratore efficiente, di semplice trasporto e di facile assemblaggio

3.3. Calcolo della gittata (1° caso)

Le equazioni del moto di un punto materiale soggetto solo alla forza di gravità sono:

$$\ddot{x} = 0$$

$$\dot{y} = -g$$

Dove $g=9.82 \text{ m/s}^2$ è l'accelerazione di gravità.

La legge del moto che costituisce soluzione di queste equazioni è:

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

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

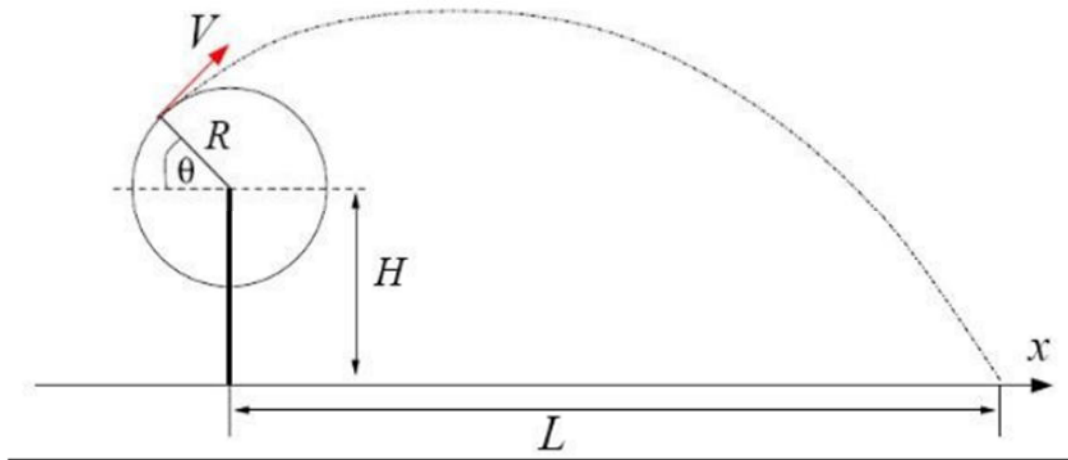
Dove $(x \text{ e } y)$ è la posizione iniziale del punto materiale, e $(v_x \text{ e } v_y)$ è la sua velocità. La traiettoria del punto materiale intercetta il suolo al tempo T tale che $y(T)=0$.

Dalla legge del moto si ottiene:

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

in cui è stata scartata la soluzione corrispondente a tempi negativi.

RELAZIONE SPECIALISTICA CALCOLO GITTATA- EOLICO NULVI (SS)



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

Dalla legge del moto si ottiene:

$$L = X(T)$$

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

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

Come si evincerà dai risultati numerici riportati nel seguito, la massima gittata non si avrà per $\theta=45^\circ$, in quanto il corpo nell'istante del distacco si trova già in un punto definito dello spazio (diverso dal punto (0,0)) dipendente dall'altezza dell'aerogeneratore, dal valore dell'angolo nell'istante del distacco e dalla posizione del baricentro della pala distaccatasi rispetto al centro dell'aerogeneratore (R).

3.4. Calcolo della gittata massima

Come già precedentemente indicato, il calcolo della gittata massima richiede la conoscenza dei valori H (altezza del mozzo=97.5 m), D (diametro del rotore=90.3m) e V (velocità di distacco del frammento di

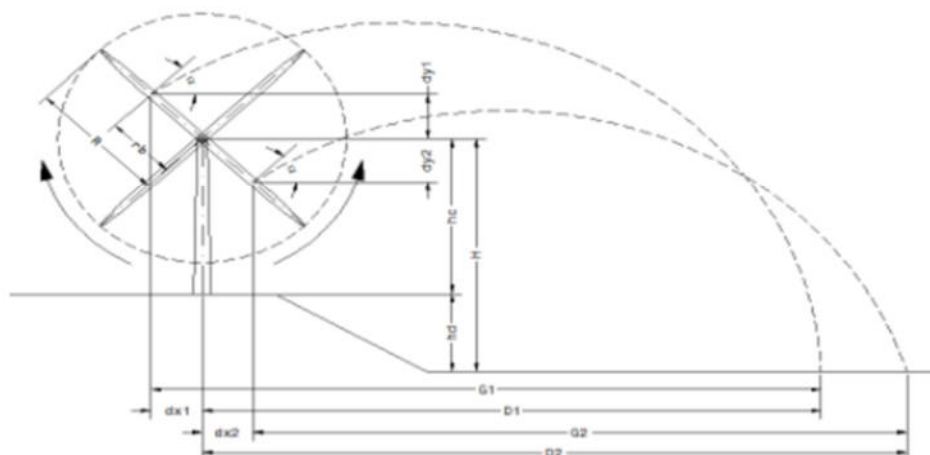
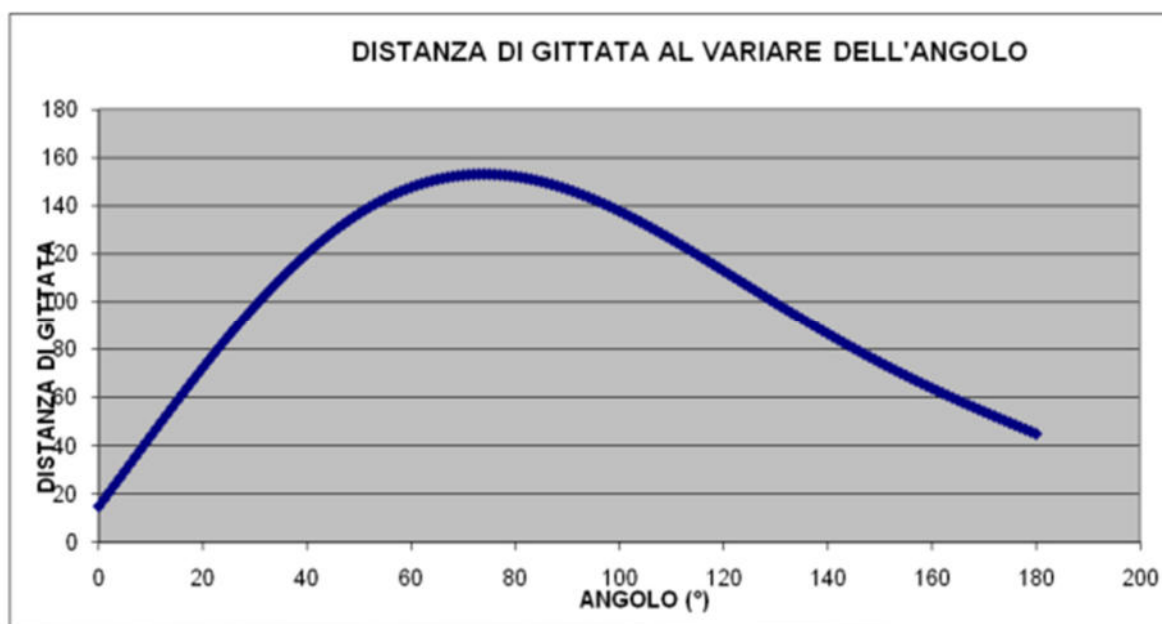
RELAZIONE SPECIALISTICA CALCOLO GITTATA- EOLICO NULVI (SS)

pala). Quindi supponendo che la rottura della pala avvenga vicino al mozzo e considerando $R=45,15/3=15.05$ (posizione baricentro pala = lunghezza pala/3), tenendo conto che i valori di H ed D sono rispettivamente $H=97.5$ m $D=90,3$ m $rpm=15$ il calcolo della velocità di distacco del frammento di pala si ottiene tramite la seguente relazione cinematica:

$$V = 2 * \pi * R * rpm / 60$$

si ottiene una velocità di distacco di circa 23.6285 m/s.

Nella tabella seguente si riporta il grafico con l'andamento della distanza della gittata massima al variare dell'angolo di rottura. La massima gittata è pari a 153 metri, Nell'arco del suddetto raggio non sono presenti recettori sensibili.



4. Conclusioni

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 $L=153$ 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.