

REGIONE SICILIA
PROVINCIA DI TRAPANI
COMUNE DI MARSALA

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO
DI POTENZA PARI A 33,465 MW, SU TERRENO AGRICOLO
NEL COMUNE DI MARSALA (TP) IN C.DA MESSINELLO
IDENTIFICATO AL N.C.T. AL FG. 137 P.LLA 4, 182, FG. 138 P.LLA 109, 112, 115, 160, 161,
173, 174, 175, 207 E ALTRE AFFERENTI ALLE OPERE DI RETE

Timbro e firma del progettista

Capital Engineering snc
Ing. Vincenzo Massaro



Timbri autorizzativi

Capital Engineering snc
Ing. Salvatore Li Vigni



ANALISI SUGLI EFFETTI DELLA ROTTURA DEGLI ORGANI ROTANTI

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

Livello prog.	ID Tema	Tipo Elabor.	N.ro Elabor.	Project ID	NOME FILE	DATA	SCALA
PDef	201900883	Relazione	17	MESSINELLO	MESSINELLO Rottura Organi Rotanti del 21 11 2020.doc	15.12.2020	-

REVISIONI

VERSIONE	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
Rev.00	15.12.2020	Prima emissione	GR	MTM	VM

IL PROPONENTE

Messinello Wind S.r.L.

Messinello Wind S.r.L.
Corso di Porta Vittoria n. 9 - 20122 - Milano
P.IVA: 11426630965
PEC: messinellowind@mailcertificata.net

PROGETTO DI



Capital Engineering S.n.c.
Sede legale: Viale Praga, 45 - 90146 - Palermo
e-mail: info@capitalengineering.it

SU INCARICO DI



Coolbine S.r.L.
Sede legale: Viale Praga, 45 - 90146 - Palermo
e-mail: progettazione@coolbine.it

Sommario

1. INTRODUZIONE	2
2. IPOTESI DI CALCOLO	2
3. MODELLO DI CALCOLO DELLA GITTATA	3
4. CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA	5
5. CONCLUSIONI	8

1. INTRODUZIONE

La tecnologia costruttiva degli aerogeneratori è alquanto sofisticata e di chiara derivazione aeronautica, per cui, la valutazione della gittata massima degli elementi di un aerogeneratore, in caso di rottura accidentale, comporta lo sviluppo di modelli di calcolo articolati e complessi.

Premesso che gli aerogeneratori che si utilizzeranno, per l'impianto in oggetto, sono provvisti di sistemi di sicurezza che intervengono quando le condizioni di funzionamento sono tali da compromettere la funzionalità della macchina e la sicurezza pubblica, lo scopo del presente lavoro è fornire una stima della distanza massima che può essere raggiunta da una pala o da un suo frammento, in caso di rottura accidentale durante le condizioni nominali di funzionamento dello stesso.

2. IPOTESI DI CALCOLO

I modelli teorici che meglio possono caratterizzare il moto nello spazio dei frammenti di pala o dell'intera pala possono essere ricondotti ai casi seguenti:

- 1° caso: traiettoria a giavellotto con minore resistenza aerodinamica. Calcolo della gittata massima del generico frammento di ala, in assenza di moto rotazionale intorno ad un asse qualsiasi, con traiettoria del frammento complanare al rotore.
- 2° caso: traiettoria a giavellotto con maggiore resistenza aerodinamica. Calcolo della gittata massima del generico frammento di ala, sempre in assenza di moto rotazionale, intorno ad un asse qualsiasi, con traiettoria complanare al rotore e frammento ortogonale rispetto al piano del rotore.
- 3° caso: calcolo della gittata massima in presenza di moti di rotazione intorno a ciascuno dei tre assi principali del frammento stesso. In caso di rottura, infatti, per il principio di conservazione del momento angolare, il generico spezzone di pala tende a ruotare intorno all'asse ortogonale al proprio piano; inoltre, a causa delle diverse pressioni cinetiche esercitate dal vento, lo spezzone di pala tende anche a ruotare intorno a ciascuno dei due assi principali appartenenti al proprio piano.

Le condizioni prese in considerazione nel 3° caso, permettono senza dubbio un calcolo più preciso e maggiormente corrispondente al reale moto di una pala staccatasi dal rotore per cause accidentali e forniscono, sperimentalmente, un valore di gittata di circa il 20% in meno di quella fornita dal caso 1.

Come già accennato precedentemente, la risoluzione del 3° caso è però più complessa e richiede la conoscenza di alcune caratteristiche degli aerogeneratori, non sempre fornite dai produttori, poiché oggetto di brevetto.

Pertanto si è deciso di utilizzare il 1° caso, di facile soluzione e che fornisce un risultato maggiorato di circa il 20%, garantendo così un ulteriore margine di sicurezza.

Gli aerogeneratori previsti in progetto è fornito dalla società Siemens Gamesa aventi le seguenti caratteristiche:

Aerogeneratore	WTG 1	WTG 2	WTG 3	WTG 4	WTG 5	WTG 6
Diametro Rotore	170 m	170 m	170 m	170 m	170 m	132 m
Altezza Mozzo	115 m	165 m	100 m	165 m	165 m	84 m
Altezza al top	200 m	250 m	185 m	250 m	250 m	165 m

Tab. 2 – caratteristiche aerogeneratori

3. MODELLO DI CALCOLO DELLA GITTATA

Il modello teorico che si è scelto per il calcolo della massima gittata è quello del moto parabolico a giavellotto, includendo le sole forze inerziali e trascurando le forze d'attrito viscoso dell'aria, che ne ridurrebbero la distanza di caduta.

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

$$\begin{aligned}\ddot{x} &= 0 \\ \ddot{y} &= -g\end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned}x(t) &= x_0 + v_x t \\ y(t) &= y_0 + v_y t - \frac{1}{2}gt^2\end{aligned}$$

Dove (x_0, y_0) è la posizione iniziale del punto materiale e (v_x, v_y) è la sua velocità.

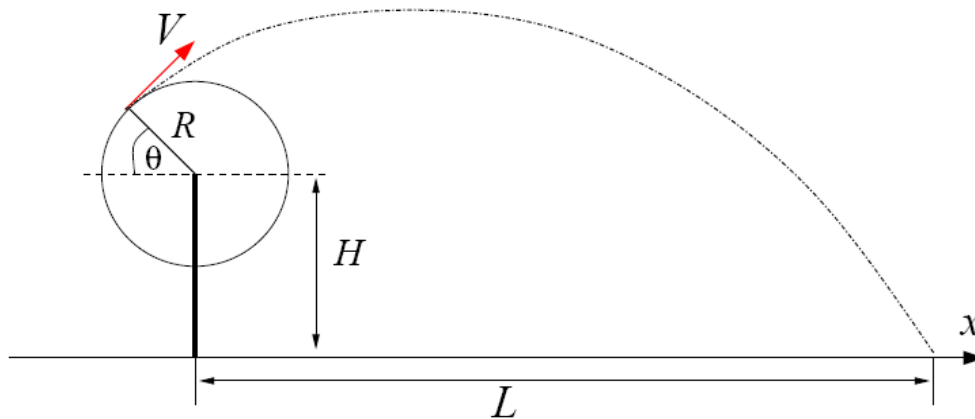
La traiettoria del punto materiale intercetta il suolo al tempo T tale che $y(T)=0$.

Dalla legge del moto si ottiene:

$$T = \frac{v_y}{g} + \frac{1}{g}\sqrt{v_y^2 + 2y_0g}$$

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

Modello geometrico



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:

$$\begin{aligned}x_0 &= -R \cos(\theta) \\y_0 &= H + R \sin(\theta) \\v_x &= V \sin(\theta) \\v_y &= V \cos(\theta)\end{aligned}$$

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 :

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

4. CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA

Come già precedentemente indicato, il calcolo della gittata massima richiede la conoscenza dei valori **H** (altezza del mozzo), **R** (distanza dal mozzo del baricentro del frammento staccatosi dal rotore) e **V** (velocità di distacco del frammento di pala).

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.

Nel caso specifico, le condizioni iniziali sono quelle riportate in tabella 2, con una velocità di rotazione di esercizio pari a 12,10 rpm (giri per minuto).

Per il calcolo della velocità di distacco del frammento di pala si ricorre alla seguente formula:

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

Il massimo numero di giri per minuto che l'aerogeneratore compie è pari, quindi supponendo che la rottura della pala avvenga vicino al mozzo e considerando R/3 (lunghezza pala/3).

Per l'aerogeneratore 1 si ottiene una velocità di distacco di circa 35,04 m/s nel baricentro della pala.

Di seguito si riporta il grafico della gittata per la WTG01 in funzione dell'angolo e della velocità di distacco.

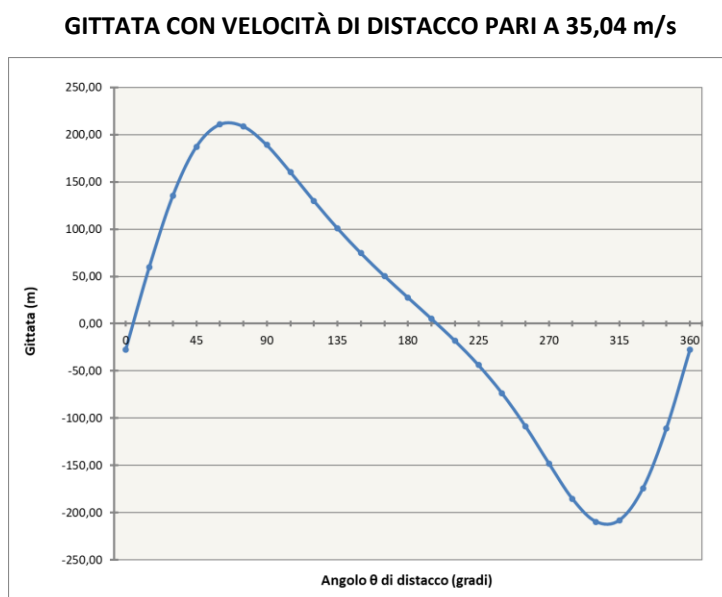


Fig. 4.1 – gittata massima aerogeneratore WTG01

Per l'aerogeneratore 2 si ottiene una velocità di distacco di circa 35,04 m/s nel baricentro della pala.

Di seguito si riporta il grafico della gittata per la WTG02 in funzione dell'angolo e della velocità di distacco.

GITTATA CON VELOCITÀ DI DISTACCO PARI A 35,04 m/s

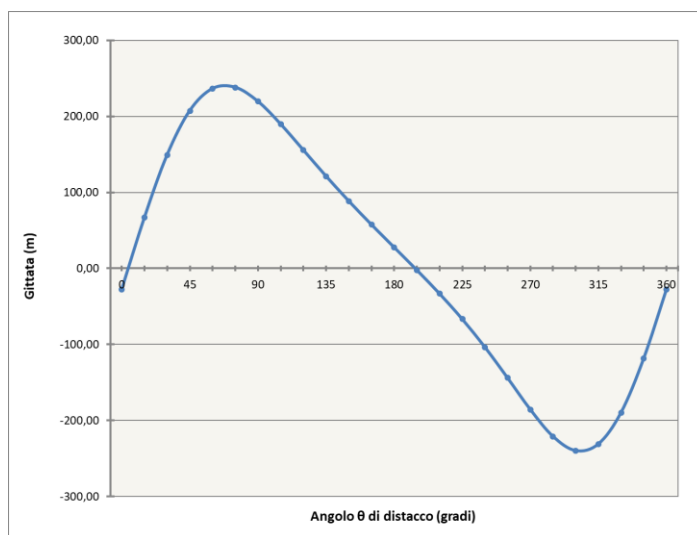


Fig. 4.2 – gittata massima aerogeneratore WTG02

Per l'aerogeneratore 3 si ottiene una velocità di distacco di circa 35,04 m/s nel baricentro della pala.

Di seguito si riporta il grafico della gittata per la WTG03 in funzione dell'angolo e della velocità di distacco.

GITTATA CON VELOCITÀ DI DISTACCO PARI A 35,04 m/s

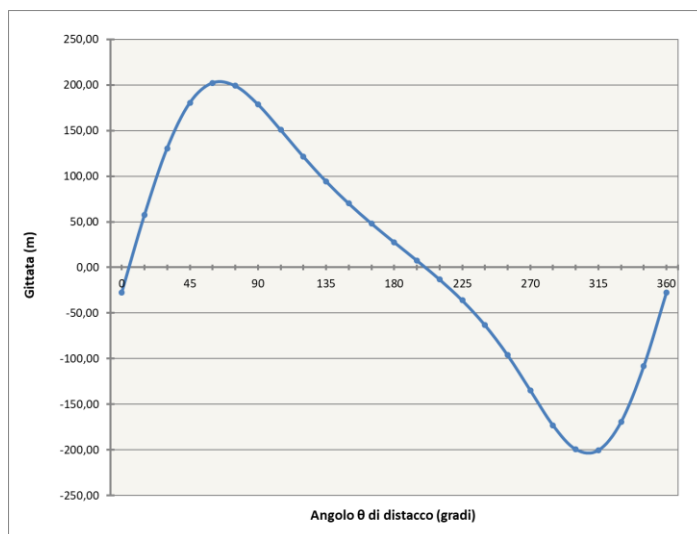


Fig. 4.3 – gittata massima aerogeneratore WTG03

Per l'aerogeneratore 4 si ottiene una velocità di distacco di circa 35,04 m/s nel baricentro della pala.

Di seguito si riporta il grafico della gittata per la WTG04 in funzione dell'angolo e della velocità di distacco.

GITTATA CON VELOCITÀ DI DISTACCO PARI A 35,04 m/s

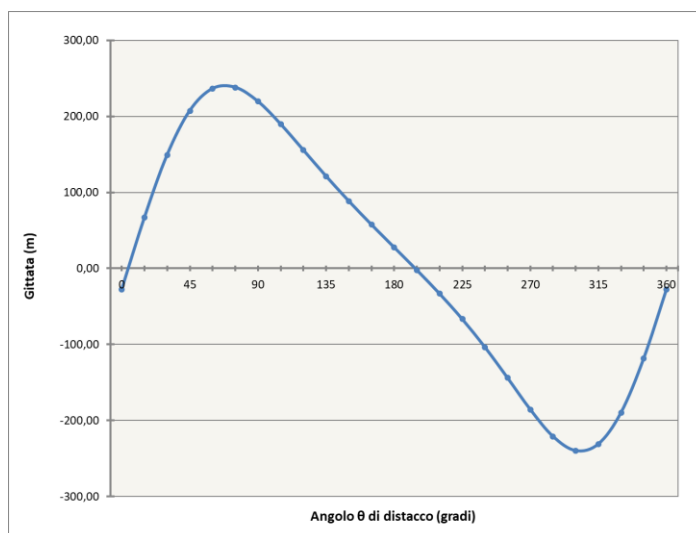


Fig. 4.4 – gittata massima aerogeneratore WTG04

Per l'aerogeneratore 5 si ottiene una velocità di distacco di circa 35,04 m/s nel baricentro della pala.

Di seguito si riporta il grafico della gittata per la WTG05 in funzione dell'angolo e della velocità di distacco.

GITTATA CON VELOCITÀ DI DISTACCO PARI A 35,04 m/s

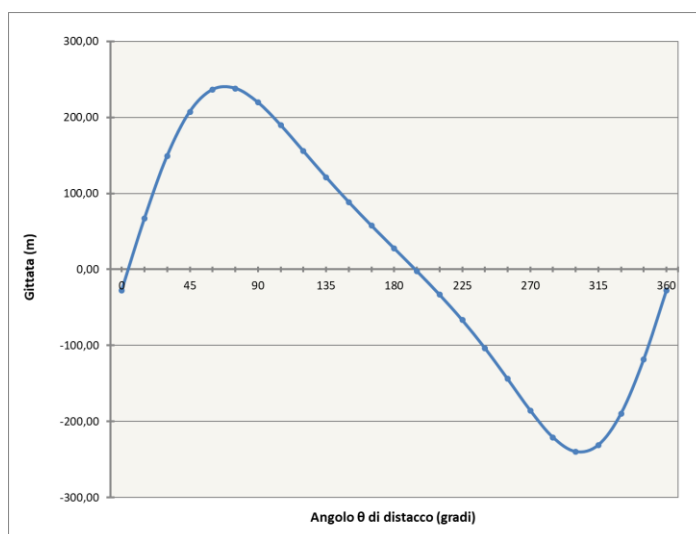


Fig. 4.5 – gittata massima aerogeneratore WTG05

Per l'aerogeneratore 6 si ottiene una velocità di distacco di circa 16,86 m/s nel baricentro della pala.

Di seguito si riporta il grafico della gittata per la WTG06 in funzione dell'angolo e della velocità di distacco.

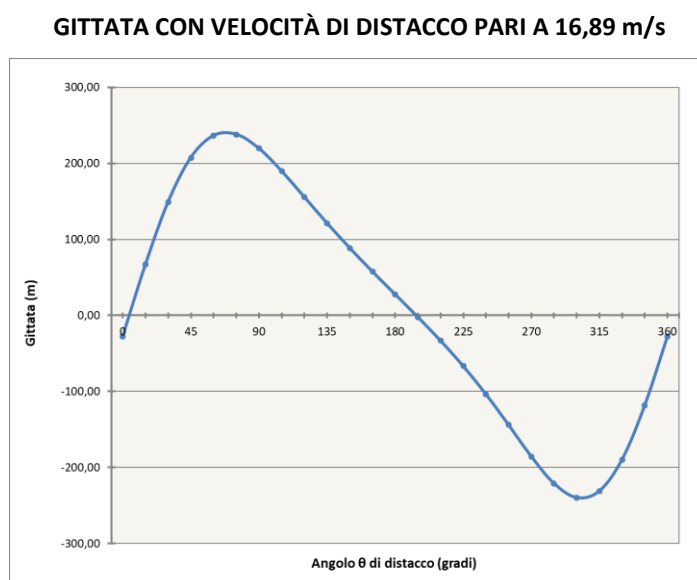


Fig. 4.6 – gittata massima aerogeneratore WTG06

5. CONCLUSIONI

Nelle figure 4.1 – 4.6 si propone la gittata massima nel caso in cui si distacchi l'intera pala dal mozzo con una velocità di 16,86 m/s e 35,04 m/s, che costituisce la massima velocità raggiunta dal baricentro della pala allorché il rotore compie 12 rivoluzioni per minuto, la gittata massima è di circa 240,0 m.

Il valore ricavato è sicuramente compatibile con quello degli studi forniti dalle ditte produttrici. Si sottolinea che il valore precedentemente calcolato sovrastima quello reale della gittata massima del 20%.

Avendo ottenuto la lunghezza di 240,0 m e 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,
- esclusione degli effetti dovuti alla resistenza dell'aria che la pala incontra durante la sua traiettoria,

si conclude che l'ubicazione prescelta per gli aerogeneratori con distanza superiore a 250 m dagli edifici e dalle strade principali garantisce in caso di rottura accidentale, che non si possano determinare condizioni di pericolo per cose o persone.