



PROGETTO PARCO EOLICO PITIGLIANO  
COMUNE DI PITIGLIANO - COMUNE DI MANCIANO  
PROVINCIA DI GROSSETO - REGIONE TOSCANA

RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA



## Sommario

1	PREMESSA.....	3
2	DISTACCO DELLA PALA DAL CENTRO DI ROTAZIONE CON MASSA CONCENTRATA A META' LUNGHEZZA.....	4
3	DISTACCO DELLA PALA DAL CENTRO DI ROTAZIONE CON MASSA CONCENTRATA AD UN TERZO DELLA LUNGHEZZA 6	
4	CONCLUSIONI .....	7

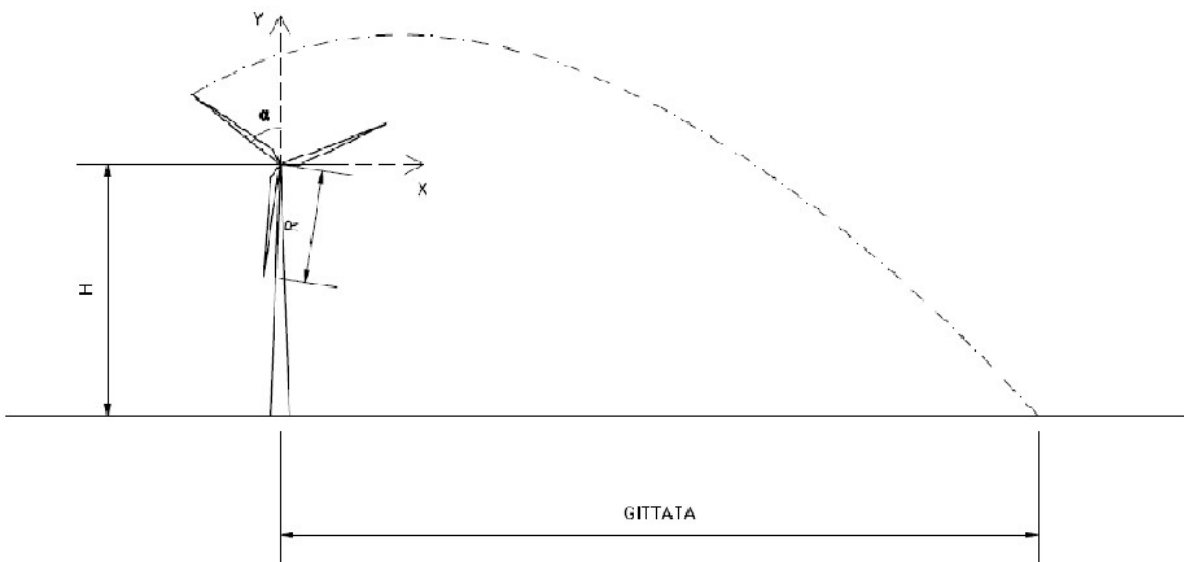
# 1 PREMESSA

Il presente studio viene condotto al fine di valutare la distanza massima raggiungibile della pala stessa che si distacchi per intera in entrambi i casi di traiettoria più sfavorevole.

I calcoli relativi al distacco del ghiaccio risultano subordinati alle soluzioni tecnologiche già previste in fase di progettazione delle turbine eoliche e garantite dalle case produttrici che risolvono già esse stesse le problematiche di formazione di ghiaccio sulla superficie delle pale nei seguenti modi:

- il range di funzionamento delle turbine è garantito tra +65 °C e -55 °C, scongiurando la formazione di ghiaccio in caso di pale in movimento; la forma di quest'ultime infatti è progettata per impedire l'accumulo di condensa e di cristalli di ghiaccio durante la rotazione;
- nel caso in cui si presentasse una precipitazione nevosa o la temperatura dovesse scendere a livelli critici proprio durante uno stop manutentivo o durante un malfunzionamento, trovando quindi la turbina ferma e accumulando sugli elementi masse estranee, i sensori installati nel rotore impediranno l'eventuale ripresa dell'esercizio rilevando un bilanciamento anomalo, costringendo alla rimozione delle masse accumulate prima della nuova messa in funzione (sia naturalmente tramite disgelo, sia manualmente tramite manutenzione straordinaria).

**NB:** La società proponente si riserva comunque il diritto di scegliere al momento della costruzione, in base all'offerta economica, alla disponibilità di mercato, ed all'avanzamento della tecnologia dei prodotti disponibili, altri modelli di aerogeneratori di pari impatto rispetto a quanto presentato nella valutazione tecnica ed ambientale con la possibilità di aumentare la potenza prodotta stimata nel caso in cui su mercato si presentassero macchine con maggiori prestazioni. Tuttavia i calcoli riportati di seguito, relativi alla gittata in caso di rottura di una porzione della pala, si rendono validi anche per il modello di turbina eolica GE-158, prodotta dall'azienda GE Renewable Energy.



## 2 DISTACCO DELLA PALA DAL CENTRO DI ROTAZIONE CON MASSA CONCENTRATA A META' LUNGHEZZA

Viene analizzato il caso in cui si verifica la rottura della pala alla base del mozzo ed alla velocità massima raggiungibile dalle pale prima del cut-off. Il calcolo sarà eseguito nel vuoto per semplificare il procedimento in quanto la valutazione del coefficiente di penetrazione richiederebbe precise valutazioni sulla forma della pala. Si considera il centro di massa della pala concentrata a metà della pala.

### DATI:

- Raggio della pala	$R=80\text{ m}$
- Altezza della torre	$H=120\text{ m}$
- Angolo di distacco	$\alpha=\text{variabile}$
- Velocità angolare	$\omega=11,2\text{ rpm}$
- Distanza centro di massa-centro di rotazione	$p=80/2=40\text{ m}$
- Velocità tangenziale iniziale	$v_0=\omega \cdot 2\pi r/60\text{sec}=46,89\text{ m/s}$

Le equazioni che descrivono il moto del distacco della pala sono le seguenti:

$$x(t) := x_0 + v_x \cdot t$$

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

con:

Ascissa del centro di gravità all'istante del moto ( $x_0$ )	$x_0 := p \cdot \sin(\alpha)$
--	-------------------------------

Ordinata del centro di gravità all'istante del moto ( $y_0$ )	$y_0 := p \cdot \cos(\alpha) + h$
---	-----------------------------------

Componente orizzontale della velocità ( $v_x$ )	$v_x := v_0 \cdot \cos(\alpha)$
---	---------------------------------

Componente verticale della velocità ( $v_y$ )	$v_y := v_0 \cdot \sin(\alpha) - g \cdot t$
---	---

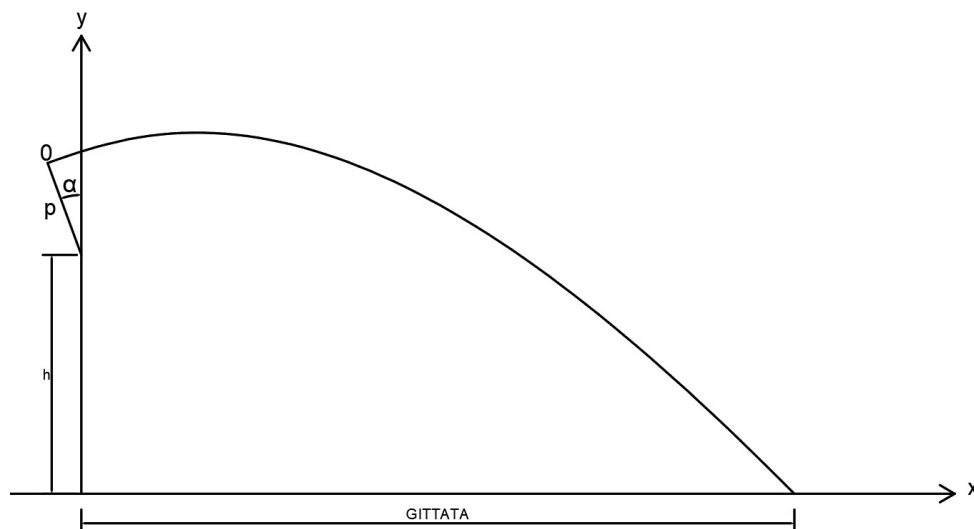


Figure 1 - Sistema di riferimento

Sostituendo

$$t := \frac{x - x_0}{v_x}$$

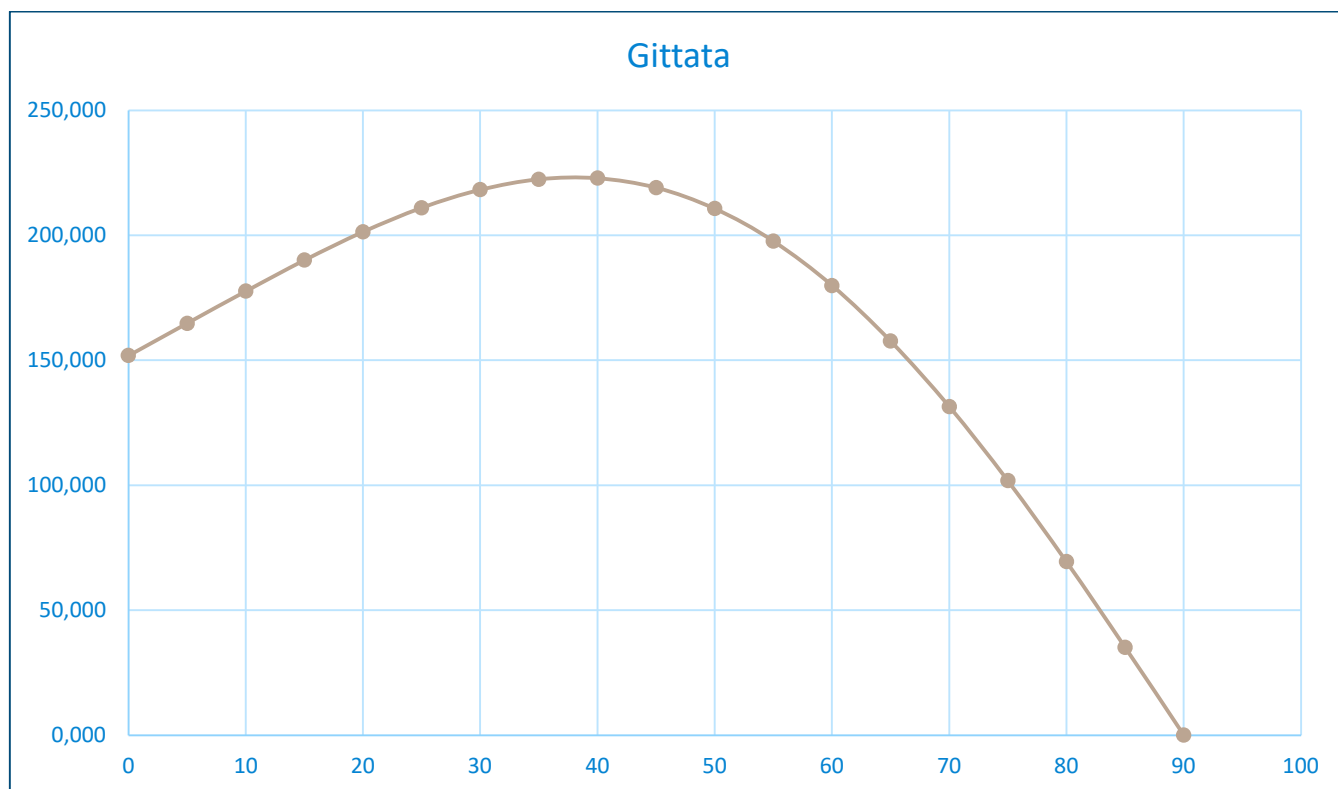
$$y := -\frac{1}{2} g_e \cdot t^2 + v_y \cdot t + y_0$$

Svolgendo i conti e sviluppando il quadrato del binomio

$$y := -\frac{g_e}{2 \cdot v_0^2 \cdot (\cos(\alpha))^2} \cdot x^2 + \left( \frac{g_e \cdot x_0^2}{v_0^2 \cdot (\cos(\alpha))^2} + \tan(\alpha) \right) \cdot x - \frac{g_e \cdot x_0^2}{2 \cdot v_0^2 \cdot (\cos(\alpha))^2} - \tan(\alpha) \cdot x_0 + y_0$$

Questa è l'equazione di una parabola con asse verticale e concavità rivolta verso il basso.

La gittata massima si ha per  $\alpha=40^\circ$  con  $L=222,91$  m all'istante  $t= 4,49$  sec.



### 3 DISTACCO DELLA PALA DAL CENTRO DI ROTAZIONE CON MASSA CONCENTRATA AD UN TERZO DELLA LUNGHEZZA

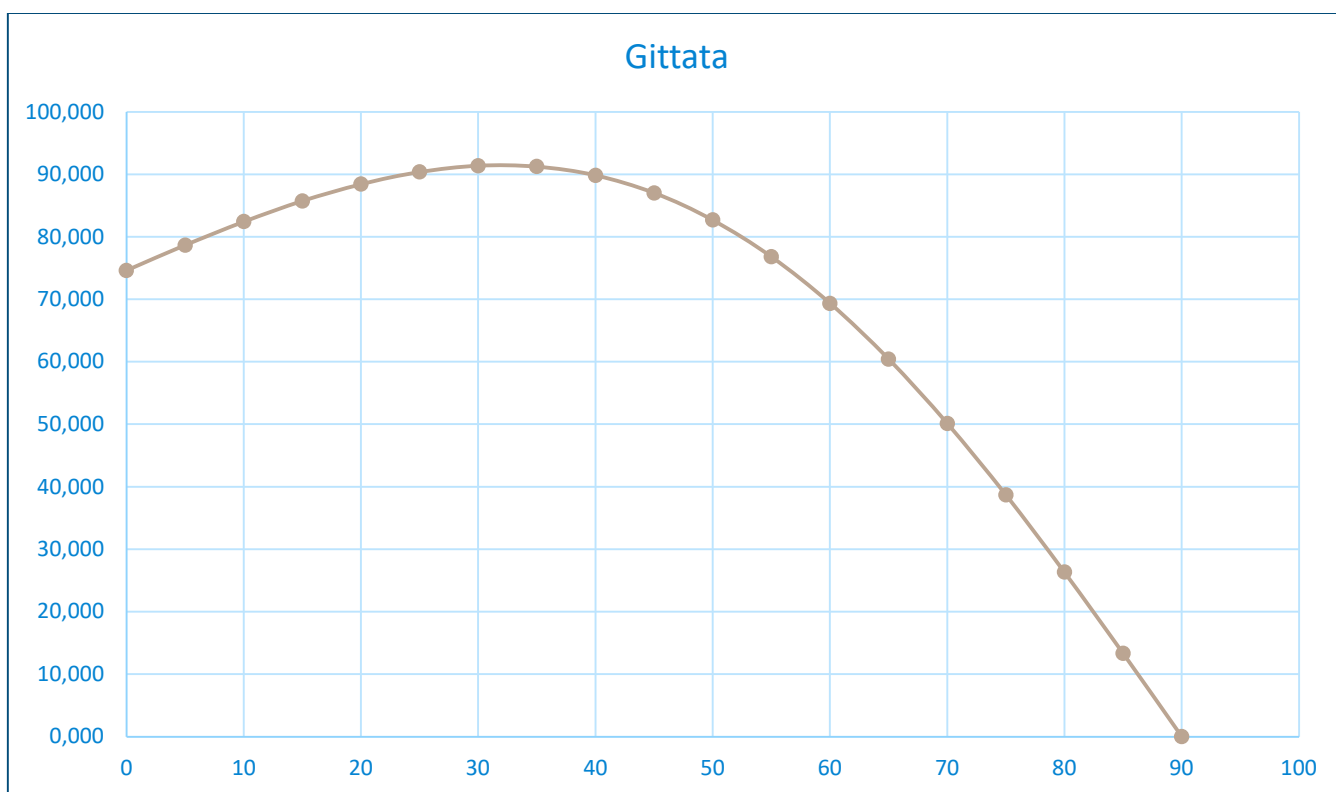
Si considera il centro di massa della pala concentrata ad un terzo della pala dal centro di rotazione.

#### DATI:

- Raggio della pala  $R=80\text{ m}$
- Altezza della torre  $H=120\text{ m}$
- Angolo di distacco  $\alpha=\text{variabile}$
- Velocità angolare  $\omega=11,2\text{ rpm}$
- Distanza centro di massa-centro di rotazione  $p=80/3=26,7\text{ m}$
- Velocità tangenziale iniziale  $v_0=\omega*2\pi p/60\text{sec}=31,26\text{ m/s}$

Le equazioni utilizzate sono le stesse del capitolo 2.

La gittata massima si ha per  $\alpha=35^\circ$  con  $L=91,38\text{ m}$  all'istante  $t=1,37\text{ sec}$ .



## 4 CONCLUSIONI

Nella realtà l'impatto a terra della pala avverrà a distanze inferiori rispetto a quanto stimato in precedenza sia perché le condizioni iniziali al momento del distacco non necessariamente sono quelle che massimizzano la gittata sia perché i moti rotazionali della pala comporteranno ulteriori dissipazioni di energia e condizioni generalmente meno favorevoli per il moto.

Si ritiene comunque necessario fare alcune considerazioni aggiuntive per tenere in conto di elementi che potrebbero incrementare la distanza stimata sopra. In particolare, la gittata massima è stata calcolata con riferimento alla posizione del centro di gravità della pala per cui alla grandezza calcolata sono da aggiungere circa 2/3 della lunghezza della pala nell'ipotesi che l'impatto a terra avvenga, per effetto delle rotazioni, di "piatto".

Inoltre, si può ipotizzare che nella fase finale della caduta la pala si impunti su di un'estremità e ruoti attorno a questa per poi impattare a terra. In questo caso è necessario aggiungere al valore calcolato la lunghezza della pala pari. Infine, l'inerzia della pala in direzione parallela al moto può comportare un ulteriore incremento della distanza raggiunta. Per quanto sopra si ritiene necessario incrementare la stima della gittata massima determinata in precedenza della lunghezza della pala.

Dalla stima condotta e dalle considerazioni aggiuntive si ritiene che la distanza massima che può essere raggiunta da una pala di un aerogeneratore GE-158 di GE Renewable Energy, in caso di rottura, sia **302 m**.

Sulla base di precedenti esperienze progettuali, per le quali è stata determinata la gittata della pala per più modelli di aerogeneratori, si è riscontrato una variazione tra il valore minimo e massimo di circa il 30%. Considerando tale dato si può ipotizzare che la gittata massima della pala sia ipotizzabile pari a circa **392 m**.

Infine, non si eseguono valutazioni e considerazioni in merito alla possibilità di proiezioni di porzioni della pala all'impatto a terra.