

Regione MOLISE  
Città di CAMPOBASSO  
**COMUNE di GUGLIONESI**



PROGETTO DEFINITIVO PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO  
DI UN IMPIANTO EOLICO DI POTENZA 39.2 MW NEL COMUNE  
DI GUGLIONESI E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE

(art. 23, d.lgs. 3 aprile 2006, n. 152)

Formato:

A4

Sezione:

**SEZIONE A - RELAZIONI GENERALI**

Scala:

-

Elaborato:

**RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA**

Revisione:

00

Codice elaborato:

LWG01\_A11

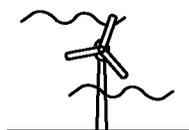
Il proponente:

**LE.RO.DA. WIND S.r.l.**

Piazza Alberico Gentili, 6 – 90143 PALERMO (PA)

07121980820

le.ro.da.windsrl@legalmail.it



LE.RO.DA. WIND

**LE. RO. DA. WIND SRL**  
Piazza Alberico Gentili, 6 - 90143 Palermo  
PA - 438351  
07121980820

Il progettista:

**dott. ing. ALESSIO ZAMBRANO**

Via Bellini, 77 – 84081 BARONISSI (SA)

alessio.zambrano@ordingsa.it



	<b>RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA</b>	<b>CODICE</b>	<b>LWG01_A11</b>
		<b>REVISIONE</b>	<b>00</b>
		<b>PAGINA</b>	<b>1 di 15</b>

## INDICE

1	DESCRIZIONE ED UBICAZIONE DELL'IMPIANTO .....	5
1.1	Caratteristiche tecniche e soluzione di connessione alla RTN .....	6
1.2	Layout d'impianto .....	6
1.2.1	Aerogeneratori.....	7
2	RIFERIMENTI NORMATIVI .....	8
3	IPOTESI DI CALCOLO.....	9
4	ROTTURA DEGLI ORGANI ROTANTI: CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA.....	10
4.1	Calcolo della gittata massima per angolo compreso tra 0° e 90°.....	10
4.2	Calcolo della gittata massima per angolo compreso tra 270° e 360° .....	12
4.3	Risultati .....	14
5	CONCLUSIONI .....	15

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA</b>	<b>CODICE</b>	<b>LWG01_A11</b>
		<b>REVISIONE</b>	<b>00</b>
		<b>PAGINA</b>	<b>2 di 15</b>

## **INDICE DELLE FIGURE**

---

<i>Figura 1 – Inquadramento generale degli aerogeneratori di progetto e cavidotto su IGM 1:25.000.....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 1 – Schema della gittata per angolo compreso tra 0° e 90°.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 2 – Schema della gittata per angolo compreso tra 270° e 360°.....</i>	<i>13</i>

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA</b>	<b>CODICE</b>	<b>LWG01_A11</b>
		<b>REVISIONE</b>	<b>00</b>
		<b>PAGINA</b>	<b>3 di 15</b>

## INDICE DELLE TABELLE

---

<i>Tabella 1 – Coordinate aerogeneratori di progetto. ....</i>	<i>6</i>
<i>Tabella 2 – Riferimenti catastali aerogeneratori di progetto.....</i>	<i>6</i>
<i>Tabella 1 – Caratteristiche degli aerogeneratori di progetto. ....</i>	<i>9</i>
<i>Tabella 2 – Caratteristiche degli aerogeneratori di progetto. ....</i>	<i>9</i>
<i>Tabella 3 – Estratto tabella di calcolo.....</i>	<i>14</i>

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA</b>	<b>CODICE</b>	<b>LWG01_A11</b>
		<b>REVISIONE</b>	<b>00</b>
		<b>PAGINA</b>	<b>4 di 15</b>

## PREMESSA

Il presente elaborato è riferito al progetto per la costruzione e l'esercizio di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica, ed opere di connessione annesse, nel Comune di Guglionesi in località Solagne Grandi.

Il progetto si riferisce ad un impianto eolico di potenza totale di 39.2 MW, e si costituisce di:

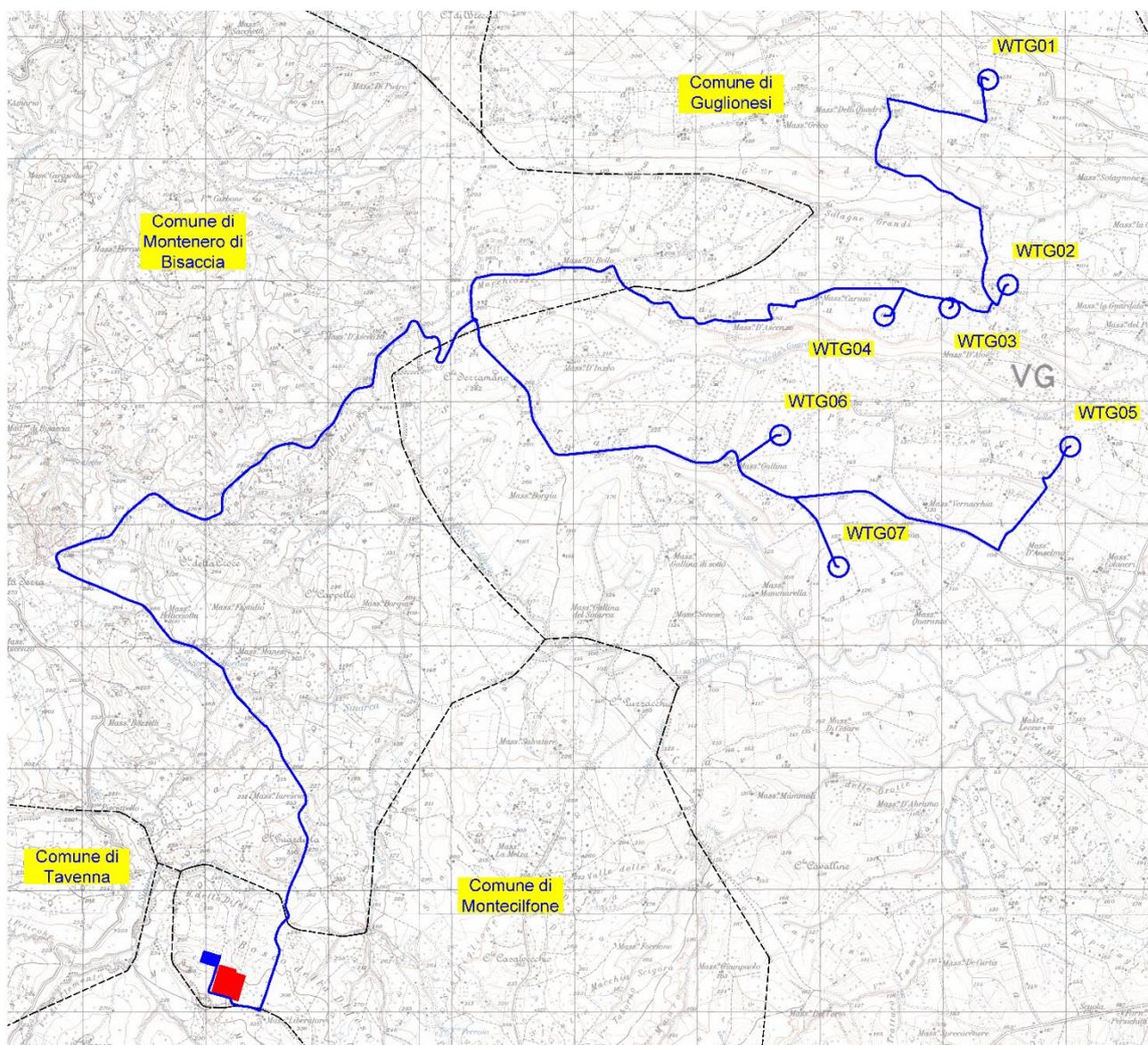
- n. 7 aerogeneratori di potenza nominale 5.6 MW, di diametro di rotore 162 m e di altezza al mozzo 119 m, assimilabili al tipo Vestas V162;
- n. 1 cabina di raccolta a misura in media tensione a 30 kV;
- linee elettriche in media tensione a 30 kV in cavo interrato necessarie per l'interconnessione degli aerogeneratori alla cabina di raccolta e misura;
- una stazione elettrica di trasformazione 150/30 kV utente;
- linee elettriche in media tensione a 30 kV in cavo interrato necessarie per l'interconnessione della cabina di raccolta e misura e la stazione elettrica di utente;
- una sezione di impianto elettrico comune con altri impianti produttori, necessaria per la condivisione dello stallo in alta tensione a 150 kV, assegnato dal gestore della rete di trasmissione nazionale (RTN) all'interno della futura stazione elettrica della RTN denominata "MONTECILFONE 380/150/36 kV";
- tutte le apparecchiature elettromeccaniche in alta tensione di competenza utente da installare all'interno della futura stazione elettrica della RTN "MONTECILFONE 380/150/36 kV", in corrispondenza dello stallo assegnato;
- una linea elettrica in alta tensione a 150 kV in cavo interrato per l'interconnessione della sezione di impianto comune e la futura stazione elettrica della RTN "MONTECILFONE 380/150/36 kV".

Titolare dell'iniziativa proposta è la società LE.RO.DA WIND S.r.l., avente sede legale in Piazza Alberico Gentili 6, 90143 Palermo, P.IVA 07121980820.

 LE.RO.DA. WIND	<b>RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA</b>	<b>CODICE</b>	<b>LWG01_A11</b>
		<b>REVISIONE</b>	<b>00</b>
		<b>PAGINA</b>	<b>5 di 15</b>

# 1 DESCRIZIONE ED UBICAZIONE DELL'IMPIANTO

L'impianto eolico di progetto è situato tra i Comuni di Guglionesi (CB), Montenero di Bisaccia (CB), Termoli (CB) e Montecilfone (CB), e si costituisce di n. 7 aerogeneratori, denominati rispettivamente con il prefisso "WTG". Gli aerogeneratori di progetto hanno potenza nominale pari a 5,6 MW per una potenza complessiva di 39.2 MW, con altezza al mozzo 119 m e diametro di rotore di 162 m.



**Figura 1 – Inquadramento generale degli aerogeneratori di progetto e cavidotto su IGM 1:25.000.**

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA</b>	<b>CODICE</b>	<b>LWG01_A11</b>
		<b>REVISIONE</b>	<b>00</b>
		<b>PAGINA</b>	<b>6 di 15</b>

Si riportano di seguito Tabella 1 le coordinate degli aerogeneratori:

**Tabella 1 –Coordinate aerogeneratori di progetto.**

ID WTG	UTM WGS-84 E	UTM WGS-84 N
WTG01	490302	4647453
WTG02	490464	4645772
WTG03	489988	4645580
WTG04	489457	4645518
WTG05	490971	4644445
WTG06	488611	4644537
WTG07	489085	4643458

e in Tabella 2 i riferimenti catastali:

**Tabella 2 – Riferimenti catastali aerogeneratori di progetto.**

ID WTG	IDENTIFICAZIONE CATASTALE
WTG01	Comune GUGLIONESI (CB) Foglio: 8 Particella: 61
WTG02	Comune GUGLIONESI (CB) Foglio: 16 Particella: 104
WTG03	Comune GUGLIONESI (CB) Foglio: 15 Particella: 69
WTG04	Comune GUGLIONESI (CB) Foglio: 14 Particella: 27
WTG05	Comune GUGLIONESI (CB) Foglio: 27 Particella: 128
WTG06	Comune GUGLIONESI (CB) Foglio: 26 Particella: 25
WTG07	Comune GUGLIONESI (CB) Foglio: 39 Particella: 19

## 1.1 Caratteristiche tecniche e soluzione di connessione alla RTN

Lo schema di allacciamento alla RTN prevede che l'impianto venga collegato in antenna a 150 kV con una stazione di trasformazione 380/150 kV da inserire in entra-esce sulla linea a 380 kV "Larino-Gissi" denominata "Montecilfone".

## 1.2 Layout d'impianto

L'impianto eolico di progetto prevede la realizzazione di:

- n. 7 aerogeneratori;
- n. 7 cabine all'interno della torre di ogni aerogeneratore;
- n. 7 opere di fondazione su plinto per gli aerogeneratori;
- n. 7 piazzole di montaggio, con adiacenti piazzole temporanee di stoccaggio;
- opere temporanee per il montaggio del braccio gru;
- viabilità di progetto interna all'impianto e che conduce agli aerogeneratori;
- un cavidotto interrato interno, in media tensione, per il collegamento tra gli aerogeneratori;

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA</b>	<b>CODICE</b>	<b>LWG01_A11</b>
		<b>REVISIONE</b>	<b>00</b>
		<b>PAGINA</b>	<b>7 di 15</b>

- un cavidotto interrato esterno, in media tensione, per il collegamento del campo eolico alla futura stazione elettrica RTN.

### **1.2.1 Aerogeneratori**

Per gli aerogeneratori di progetto si considera diametro di rotore 162 m e altezza al mozzo 119 m, assimilabili al modello Vestas V162, senza escludere la possibilità, nelle fasi successive della progettazione, la possibilità di variare la tipologia di aerogeneratore, ferme restando le caratteristiche dimensionali indicate nel presente elaborato. Gli aerogeneratori sono connessi tra loro per mezzo del cavidotto interno in media tensione e le cabine interne alle torri.

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA</b>	<b>CODICE</b>	<b>LWG01_A11</b>
		<b>REVISIONE</b>	<b>00</b>
		<b>PAGINA</b>	<b>8 di 15</b>

## 2 RIFERIMENTI NORMATIVI

---

Si riportano di seguito i riferimenti normativi utilizzati per la redazione della seguente relazione:

- *Allegato 4, D. Lgs. n. 152/2006, Testo Unico in materia ambientale.* In particolare, al punto 7.1 "Analisi dei possibili incidenti" indica che andrebbe valutata la gittata massima in caso di rottura accidentale. La stessa inoltre suggerisce alcune possibili misure di mitigazione: "la distanza di ogni turbina eolica da una strada provinciale o nazionale deve essere superiore all'altezza massima dell'elica comprensiva del rotore e comunque non inferiore a 150 m dalla base della torre" (*punto 7.2, lett. a) Misure di mitigazione.*
- *Decreto Dirigenziale del 12 febbraio 2021, avente come oggetto il Decreto del Ministero dello sviluppo economico 10 settembre 2010 – Linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili – Allegato 4 – punto 7 "Studio sulla gittata massima degli elementi rotanti nel caso di rottura accidentale"* per gli impianti di produzione di energia rinnovabile da fonte eolica.

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA</b>	<b>CODICE</b>	<b>LWG01_A11</b>
		<b>REVISIONE</b>	<b>00</b>
		<b>PAGINA</b>	<b>9 di 15</b>

### 3 IPOTESI DI CALCOLO

Ai fini del calcolo della gittata massima sono state prese in considerazione le condizioni al contorno ritenute più gravose, in modo tale da ottenere dei risultati quanto più cautelativi possibili. Il calcolo della gittata massima è stato condotto non considerando la massima riduzione della velocità periferica dovuta all'effetto d'attrito dell'area così da non ridurre la velocità angolare.

Per il calcolo della massima gittata si considerano le seguenti ipotesi:

- Il moto del sistema considerato è quello di un sistema rigido non vincolato (modello che approssima la pala nel momento del distacco);
- Il calcolo della gittata è stato determinato per diversi valori dell'angolo  $\alpha$ ;
- La velocità massima del rotore sarà limitata elettronicamente.

I dati geometrici e cinematici sui quali è basato il calcolo sono riportati in Tabella 3:

Tabella 3 – Caratteristiche degli aerogeneratori di progetto.

*Tabella 4 – Caratteristiche degli aerogeneratori di progetto.*

Altezza al mozzo [m]	119
Diametro di rotore "D" [m]	162
Limite di velocità [rpm]	12,1

Nel caso in esame si suppone che l'eventuale rottura della pala avvenga alle peggiori condizioni possibili ovvero:

- alla velocità massima del rotore, pari a circa 12,1 giri/minuto;
- nel punto di ascissa e ordinata in cui la gittata è massima;
- con il centro di massa posizionato ad 1/3 della lunghezza della pala, in prossimità del mozzo.

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA</b>	<b>CODICE</b>	<b>LWG01_A11</b>
		<b>REVISIONE</b>	<b>00</b>
		<b>PAGINA</b>	<b>10 di 15</b>

## 4 ROTTURA DEGLI ORGANI ROTANTI: CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA

Il calcolo della gittata è stato condotto in funzione dell'angolo di inclinazione della pala rispetto all'orizzontale, nello specifico ponendolo in senso orario ed in modo tale da ottenere che lo 0° sia fra il terzo ed il quarto quadrante, con ciò sostanzialmente si considerano quegli angoli che restituiscono i casi più sfavorevoli.

L'ipotesi che considera è di un caso notevole di un proiettile non puntiforme. Le equazioni che governano il moto sono rispettivamente la prima e la seconda equazione della dinamica:

$$M_G = M a_G$$

$$0 = I \frac{d\omega}{dt}$$

Supponendo di concentrare tutto il peso nel centro di massa della pala, il momento della forza peso è nullo, avendo scelto G come polo per il calcolo dei momenti. Pertanto, la seconda equazione afferma che il corpo durante la traiettoria che percorre, si mette a girare indisturbato intorno al suo asse principale di inerzia. La soluzione al problema ci viene allora dalla risoluzione della prima equazione. Questa ci evidenzia che la pala si muoverà con il moto di un proiettile puntiforme; pertanto, ne compirà il caratteristico moto parabolico. Per calcolare l'equazione della traiettoria, bisogna proiettare le caratteristiche dinamiche sui tre assi, integrarle tenendo conto delle condizioni iniziali (velocità del baricentro al momento del distacco) e giungere al valore della gittata espresso dalla seguente formula:

$$G = \frac{v_{x_0} \left( v_{y_0} + \sqrt{v_{y_0}^2 + 2gH_g} \right)}{g} \pm x_g$$

### 4.1 Calcolo della gittata massima per angolo compreso tra 0° e 90°

I parametri necessari per il calcolo della gittata nel primo quadrante sono:

- il baricentro ( $r_g$ ), pari ad 1/3 della lunghezza della pala più raggio mozzo:

$$r_g = \frac{D}{2} - L + \frac{L}{3}$$

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA</b>	<b>CODICE</b>	<b>LWG01_A11</b>
		<b>REVISIONE</b>	<b>00</b>
		<b>PAGINA</b>	<b>11 di 15</b>

- la proiezione del baricentro sull'asse verticale ( $H_g$ ):

$$H_g = H_{torre} + y_g$$

dove:

$$y_g = r_g \sin \alpha$$

- la posizione del baricentro della pala rispetto all'asse della torre:

$$x_g = r_g \cos \alpha$$

- la velocità periferica che rappresenta la velocità di un punto situato sulla periferia di un corpo in movimento circolare. Nel moto circolare uniforme (approssimazione utilizzata per la descrizione in esame) essa è direttamente proporzionale al raggio e al numero di giri al secondo. Si avrà dunque:

$$v_{x_0} = v_0 \cos(90 - \alpha) = v_0 \sin \alpha$$

$$v_{y_0} = v_0 \sin(90 - \alpha) = v_0 \cos \alpha$$

dove:

$$v_0 = \omega r_g = 2\pi \frac{n}{60} r_g$$

$$G = \frac{v_{x_0} \left( v_{y_0} + \sqrt{v_{y_0}^2 + 2gH_g} \right)}{g} - x_g$$

Prendendo in considerazione l'ipotesi più pericolosa, ossia quella in cui la pala cadendo si disponga con la parte più lontana dal baricentro (la punta) verso l'esterno, sommando a  $G_{max}$  per ogni tipo di aerogeneratore rispettivamente i due  $\frac{2}{3}$  della pala, si ottiene:

$$G_{eff} = G + L_g$$

dove:

$$L_g = L - \frac{L}{3}$$

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA</b>	<b>CODICE</b>	<b>LWG01_A11</b>
		<b>REVISIONE</b>	<b>00</b>
		<b>PAGINA</b>	<b>12 di 15</b>

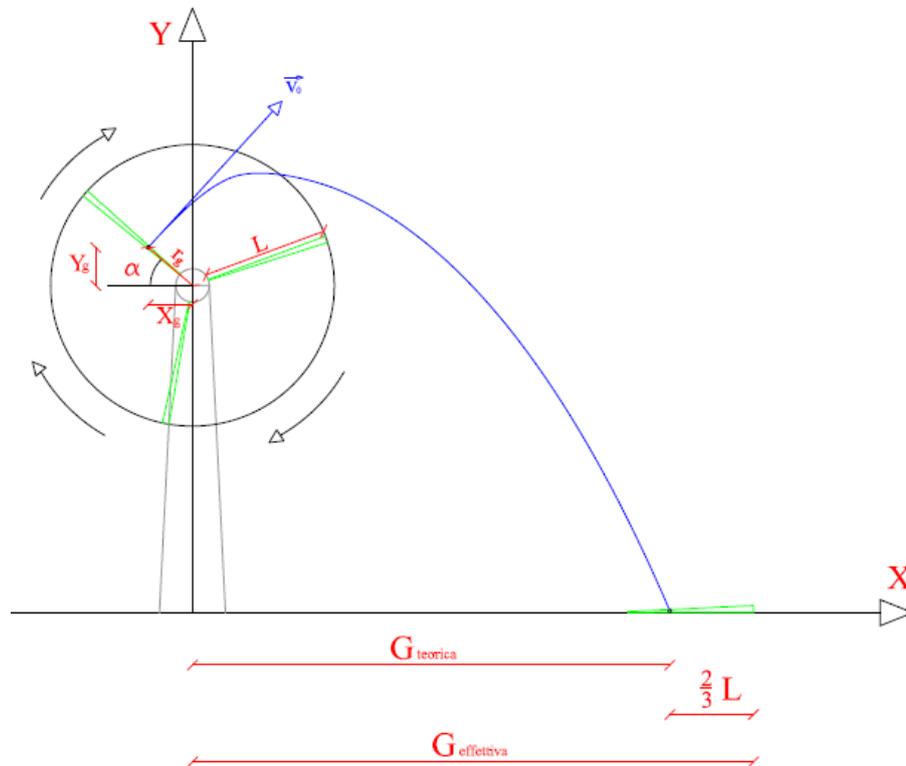


Figura 2 – Schema della gittata per angolo compreso tra  $0^\circ$  e  $90^\circ$ .

## 4.2 Calcolo della gittata massima per angolo compreso tra $270^\circ$ e $360^\circ$

Avendo posto l'angolo  $0^\circ$  tra il 3° ed il 4° quadrante, il segno di  $v_{x0}$  e di  $x_g$ :

- baricentro ( $r_g$ ), pari ad  $1/3$  della lunghezza della pala più raggio mozzo:

$$r_g = \frac{D}{2} - L + \frac{L}{3}$$

- proiezione del baricentro sull'asse verticale ( $H_g$ ):

$$H_g = H_{torre} - y_g$$

dove:

$$y_g = r_g \sin(360 - \alpha) = -r_g \sin \alpha$$

$$x_g = -r_g \cos \alpha$$

- velocità periferica che rappresenta la velocità di un punto situato sulla periferia di un corpo in movimento circolare. Nel moto circolare uniforme (approssimazione utilizzata per la

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA</b>	<b>CODICE</b>	<b>LWG01_A11</b>
		<b>REVISIONE</b>	<b>00</b>
		<b>PAGINA</b>	<b>13 di 15</b>

descrizione in esame) essa è direttamente proporzionale al raggio e al numero di giri al secondo. Si avrà dunque:

$$v_{x_0} = v_0 \sin \alpha$$

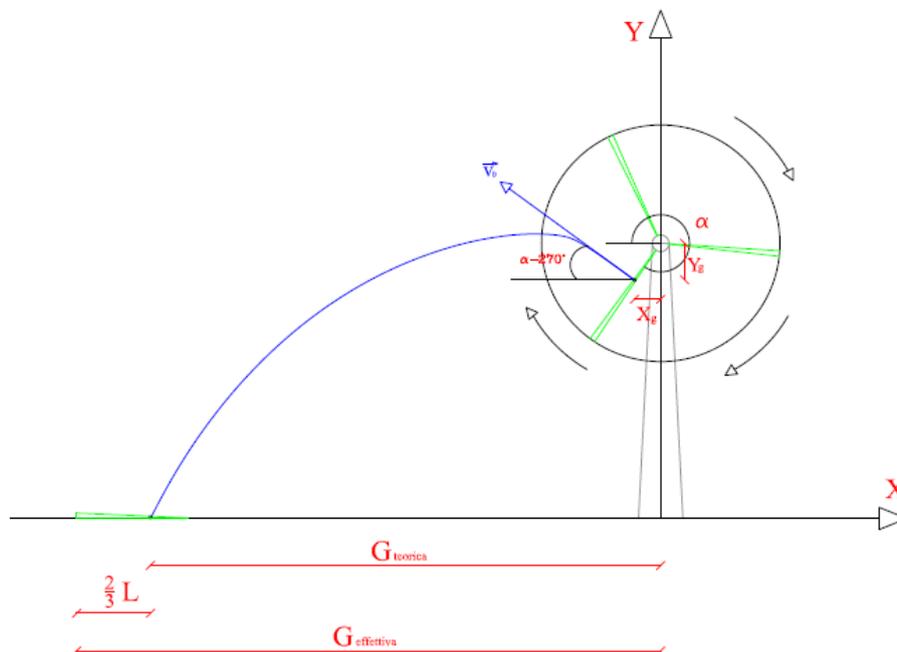
$$v_{y_0} = v_0 \cos \alpha$$

dove:

$$v_0 = \omega r_g = 2\pi \frac{n}{60} r_g$$

$$G = \frac{v_{x_0} \left( v_{y_0} + \sqrt{v_{y_0}^2 + 2gH_g} \right)}{g} + x_g$$

Prendendo in considerazione l'ipotesi più pericolosa, ossia quella in cui la pala cadendo si disponga con la parte più lontana dal baricentro (la punta) verso l'esterno, sommando a  $G_{\max}$  per ogni tipo di aerogeneratore rispettivamente i due  $\frac{2}{3}$  della pala, si ottiene:



**Figura 3 – Schema della gittata per angolo compreso tra  $270^\circ$  e  $360^\circ$**

$$G_{eff} = G - L_g$$

dove:

$$L_g = L - \frac{L}{3}$$

 LE.RO.DA. WIND	<b>RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA</b>	<b>CODICE</b>	<b>LWG01_A11</b>
		<b>REVISIONE</b>	<b>00</b>
		<b>PAGINA</b>	<b>14 di 15</b>

### 4.3 Risultati

Effettuando i calcoli in modo iterativo, al variare dell'angolo  $\alpha$ , risulta che il valore massimo di gittata nel settore 0 - 90° si ottiene per  $\alpha$  pari a 65° per il quale risulta un valore di gittata effettiva pari a 261,96 m. Questo valore di gittata viene approssimato a 262 m. Tale valore rappresenta il punto più distante di caduta della pala, è comunque presumibile che il valore reale, ossia quello calcolato tenendo conto della resistenza dell'aria sia inferiore. Per ulteriori approfondimenti, in allegato, si riporta un estratto della tabella di calcolo completa dei valori di gittata effettiva ottenuti in corrispondenza di valori diversi dell'angolo  $\alpha$ .

*Tabella 5 – Estratto tabella di calcolo.*

$\alpha$	$G_{eff}$
0,00	27,00
5,00	55,53
10,00	83,91
15,00	111,57
20,00	137,95
25,00	162,57
30,00	184,99
35,00	204,86
40,00	221,91
45,00	235,96
50,00	246,94
55,00	254,86
60,00	259,80
65,00	261,96
70,00	261,56
75,00	258,90
80,00	254,29
85,00	248,07
90,00	240,56
95,00	232,08
100,00	222,90
105,00	213,28
110,00	203,41
115,00	193,47
120,00	183,58
125,00	173,82
130,00	164,27
135,00	154,96
140,00	145,90
145,00	137,09
150,00	128,53
155,00	120,21
160,00	112,08
165,00	104,13
170,00	96,33
175,00	88,63
180,00	81,00

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA</b>	<b>CODICE</b>	<b>LWG01_A11</b>
		<b>REVISIONE</b>	<b>00</b>
		<b>PAGINA</b>	<b>15 di 15</b>

## 5 CONCLUSIONI

---

Dai calcoli eseguiti si evince che nelle condizioni più gravose il vertice della pala del rotore può raggiungere una distanza di circa 261,96 m dalla base di ogni aerogeneratore. In maniera cautelativa la distanza di gittata è stata considerata pari a 262 m.

Si precisa che la distanza di gittata risulta verificata da tutti gli elementi del territorio che ne richiedono la verifica.