

0	12/04/2021	PRIMA EMISSIONE	AM-SC	AM-SC	AM-SC
REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICATO	APROVATO

Volta Green Energy

REGIONE BASILICATA
Provincia di MATERA
COMUNI DI MONTESCAGLIOSO E BERNALDA



PROGETTO:

PARCO EOLICO LUMELLA PROGETTO DEFINITIVO

COMMITTENTE:

Volta g.e.
 green energy

Piazza Manifattura, 1 – 38068 Rovereto (TN)
 Tel. +39 0464 625100 - Fax +39 0464 625100 - PEC volta-ge@legalmail.it

PROGETTISTA
gae | studio
 geology architecture engineering

dott. geol. Alessandro Mascitti
 Sede Operativa: Via Saragat, 2 - 63074 - San Benedetto del Tronto (AP) - Italy
 Sede Fiscale: Via Fiumi, 78 - 63074 - San Benedetto del Tronto (AP) - Italy
 phone: 01853560462 - fax: +39 0439 7545862
 email: gae.studio.it@gmail.com | pec: alessandromascitti@epap.sicurezza postale.it
 http://gae.studio.altervista.org



OGGETTO DELL'ELABORATO:

A.7 Analisi degli effetti della rottura degli organi rotanti

N° ELABORATO	SCALA	FOGLIO	FORMATO	CODIFICA COMMITTENTE
07	-	1 di 1	A4-A3	R07

ID ELABORATO:

Questo elaborato è di proprietà di VGE ed è protetto a termini di legge

Volta g.e.
 green energy



INDICE

1. PREMESSA	2
2. INQUADRAMENTO ED UBICAZIONE	2
3. SPECIFICHE TECNICHE	4
4. DISTACCO DI UNA DELLE PALE DAL ROTORE	4
5. ROTTURA DELL'ESTREMITA' DI UNA PALA	5
6. CALCOLO DELLA GITTATA della PALA	6
7. CONCLUSIONI	14

1. PREMESSA

Volta Green Energy, con sede in 38068 Rovereto (TN), Piazza Manifattura n. 1, iscritta alla CCIAA di Trento al n° 02469060228, REA TN – 226969, Codice Fiscale e Partita IVA 02469060228 opera nel settore della produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili e nasce dall'esperienza più che decennale di professionisti, con oltre 350 MW di parchi eolici e 16 MW di impianti fotovoltaici sviluppati, costruiti e gestiti.

Volta Green Energy (di seguito anche "VGE"), avvalendosi delle competenze dei propri dipendenti, nonché delle professionalità e manodopera locali, è in grado di gestire tutte le fasi di vita di un progetto: sviluppo, financing, ingegneria, costruzione ed operation.

VGE ha in progetto la realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica, mediante l'installazione di 7 aerogeneratori di potenza unitaria pari a 5,8 MW, per una potenza complessiva di 40,6 MW, sito in località Lumella, nei Comuni di Montescaglioso e Bernalda, in provincia di Matera (di seguito anche "Parco Eolico Lumella").

Secondo quanto previsto dal preventivo di connessione prot. n. 83268 rilasciato da Terna SpA in data 16/12/2020, e trasmesso da Terna SpA alla VGE in data 23/12/2020, poi accettato da VGE in data 13/04/2021, l'impianto si collegherà alla RTN per la consegna della energia elettrica prodotta attraverso una stazione utente di trasformazione e consegna (di seguito anche "SSEU") da collegare in antenna a 150 kV su una nuova Stazione Elettrica (di seguito anche "SE") di smistamento della RTN a 150 kV da inserire in entra-esce alle linee della RTN a 150 kV "Filatura – Pisticci CP" e "Italcementi – Italcementi Matera".

Il modello tipo di aerogeneratore (di seguito anche 'WTC') scelto, dopo opportune considerazioni tecniche ed economico finanziarie, è il modello tipo Siemens Gamesa SG170 da 5,8 MW con altezza mozzo pari a 115 m, diametro rotore pari a 170 m e altezza massima al top della pala pari a 200 m. Questo modello tipo di aerogeneratore è allo stato attuale quello ritenuto più idoneo per il sito di progetto dell'impianto. L'area interessata dal posizionamento degli aerogeneratori ricade in località Lumella, nei Comuni di Montescaglioso e Bernalda, in contrada Cermignano, Tre Stelle, Imperatore e Casa Federici, in provincia di Matera, su una superficie a destinazione agricola. I terreni sui quali si intende realizzare l'impianto sono tutti di proprietà privata. Il territorio è caratterizzato da un'orografia prevalentemente collinare, le posizioni delle macchine hanno all'incirca un'altitudine media s.l.m. di 176 m.

L'installazione di questi 7 aerogeneratori permetterà di sfruttare al massimo la buona risorsa eolica presente nel sito di progetto, consentendo una produzione annua netta stimata di energia elettrica, al netto delle perdite per scia indotta tra le macchine e per la densità dell'aria, pari a 109,798 GWh/anno. Il risultato sarà un notevole contributo al risparmio di emissioni di gas ad effetto serra.

Il modello tipo di aerogeneratore (di seguito anche 'WTC') scelto, dopo opportune considerazioni tecniche ed economico finanziarie, è il modello tipo Siemens Gamesa SG170 da 5,8 MW con altezza mozzo pari a 115 m, diametro rotore pari a 170 m e altezza massima al top della pala pari a 200 m. Questo modello tipo di aerogeneratore è allo stato attuale quello ritenuto più idoneo per il sito di progetto dell'impianto. La presente relazione si pone come obiettivo lo studio della gittata massima, in caso di rottura accidentale, degli elementi rotanti della turbina SIEMENS-GAMESA SG 5.8-170, corrispondente al modello di aerogeneratore previsto per l'installazione sull'area di progetto.

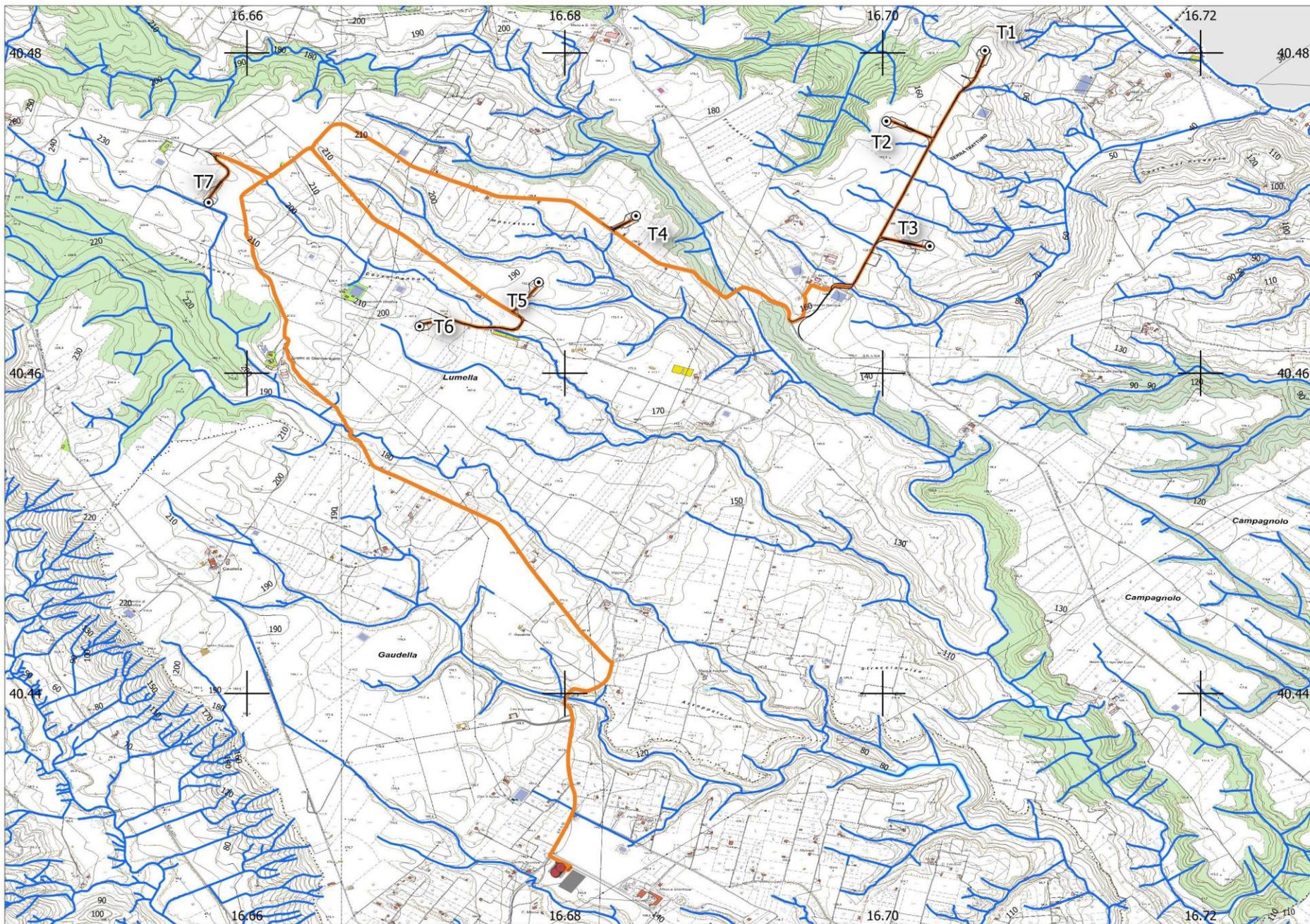
2. INQUADRAMENTO ED UBICAZIONE

L'area di intervento è ubicata a sud del centro storico di Montescaglioso ed a nord rispetto al nucleo di Bernalda ricade sul foglio 201 (MATERA) ANNO:1956, RASTER: SERIE 100V, sul foglio 201 III-NE (MASSERIA GAUDELLA) - ANNO:1949, RASTER: SERIE 25V dell'I.G.M..

Sulla Carta Tecnica Regionale edita dalla Regione Basilicata in scala 1:25.000 l'area ricade nelle sezioni 491-II Pisticci Scalo e 492-III Bernalda, mentre in scala 1:10.000, l'area interessata è compresa nella Sezione 492090 "Cermignana" e 491120 "Campo Cervone".

In particolare, l'ubicazione del parco eolico interessa un'area collinare con quote variabili tra 150 e 200m s.l.m. circa articolata e caratterizzata morfologicamente dalla presenza di incisioni vallive di corpi idrici secondari con il corpo idrico principale posto a nord dell'area di intervento rappresentato dal f. Bradano che si sviappa a quote inferiori comprese tra 50 e 35m slm da Ovest verso Est.

STRALCIO CARTA CTR scala 1:17'500 – Layout complessivo Parco Eolico "Lumella"



3. SPECIFICHE TECNICHE

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);
- Si è considerata la riduzione della velocità periferica pari al 30% per tener conto degli effetti della resistenza dovuta al mezzo in cui si svolge il moto (aria) e per considerare le forze di resistenza che si generano al momento di rottura della pala;
- Il calcolo della gittata è stato determinato per diversi valori dell'angolo θ ;
- La velocità massima del rotore sarà limitata elettronicamente.

I dati geometrici e cinematici sui quali è basato il calcolo sono i seguenti.

- Altezza della torre $H = 115$ m
- Diametro del rotore $D = 170$ m, quindi lunghezza della pala 85 m
- Velocità di rotazione V (RPM):

RPM rotor_NOM	8.83
RPM rotor_MAX	10.60
RPM rotor_MIN	4.86

4. DISTACCO DI UNA DELLE PALE DAL ROTORE

Questo tipo di incidente, che comporta il distacco di una pala completa dal rotore dell'aerogeneratore, può essere determinato dalla rottura della giunzione bullonata fra la pala e il mozzo.

In occasione di tali tipi di evento, la pala ha raggiunto il terreno ad una distanza inferiore ai cento metri. Le pale sono costituite da una parte strutturale (longherone) posizionata all'interno della pala e da una parte esterna (gusci) che ha sostanzialmente compiti di forma. Le tre parti, il longherone e i due gusci, sono uniti fra loro mediante incollaggio e, alla fine del processo produttivo, costituiscono un corpo unico.

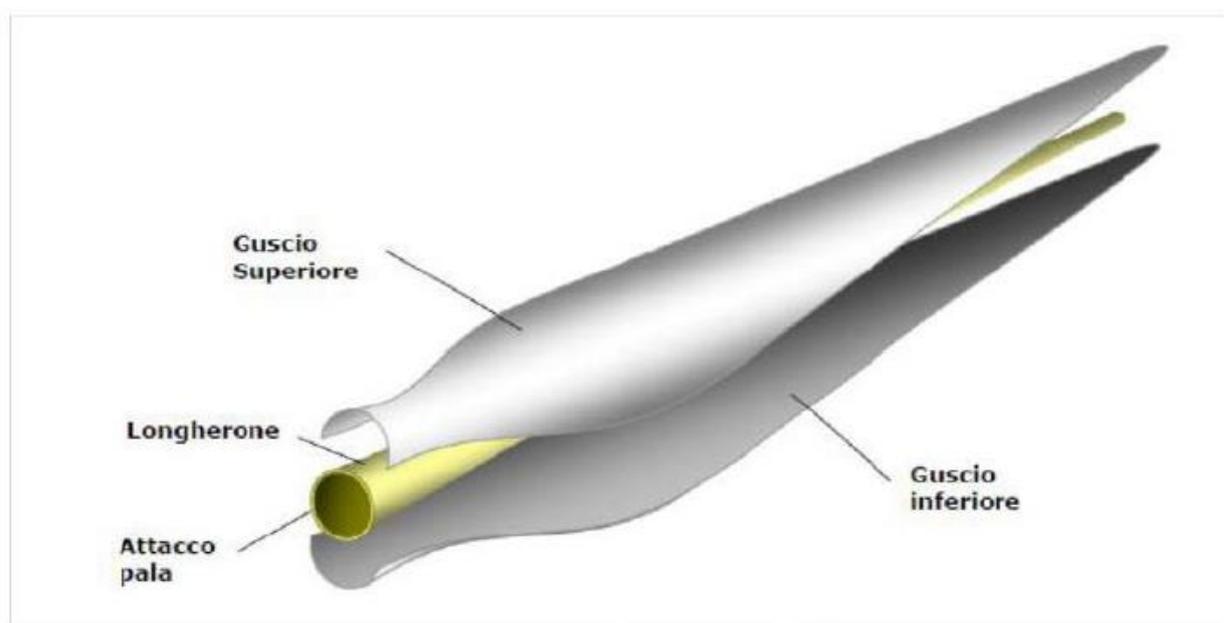


Figura 1 – Schema strutturale di una pala eolica

Il longherone è dotato di attacchi filettati che consentono di collegarlo al mozzo con bulloni (prigionieri) serrati opportunamente durante l'installazione della turbina. Il precarico conferito ai prigionieri durante il

serraggio ha un'influenza determinante sulla resistenza dei prigionieri stessi ai carichi di fatica e, per questo motivo, è previsto un controllo di tale serraggio durante le operazioni di manutenzione programmata della turbina.

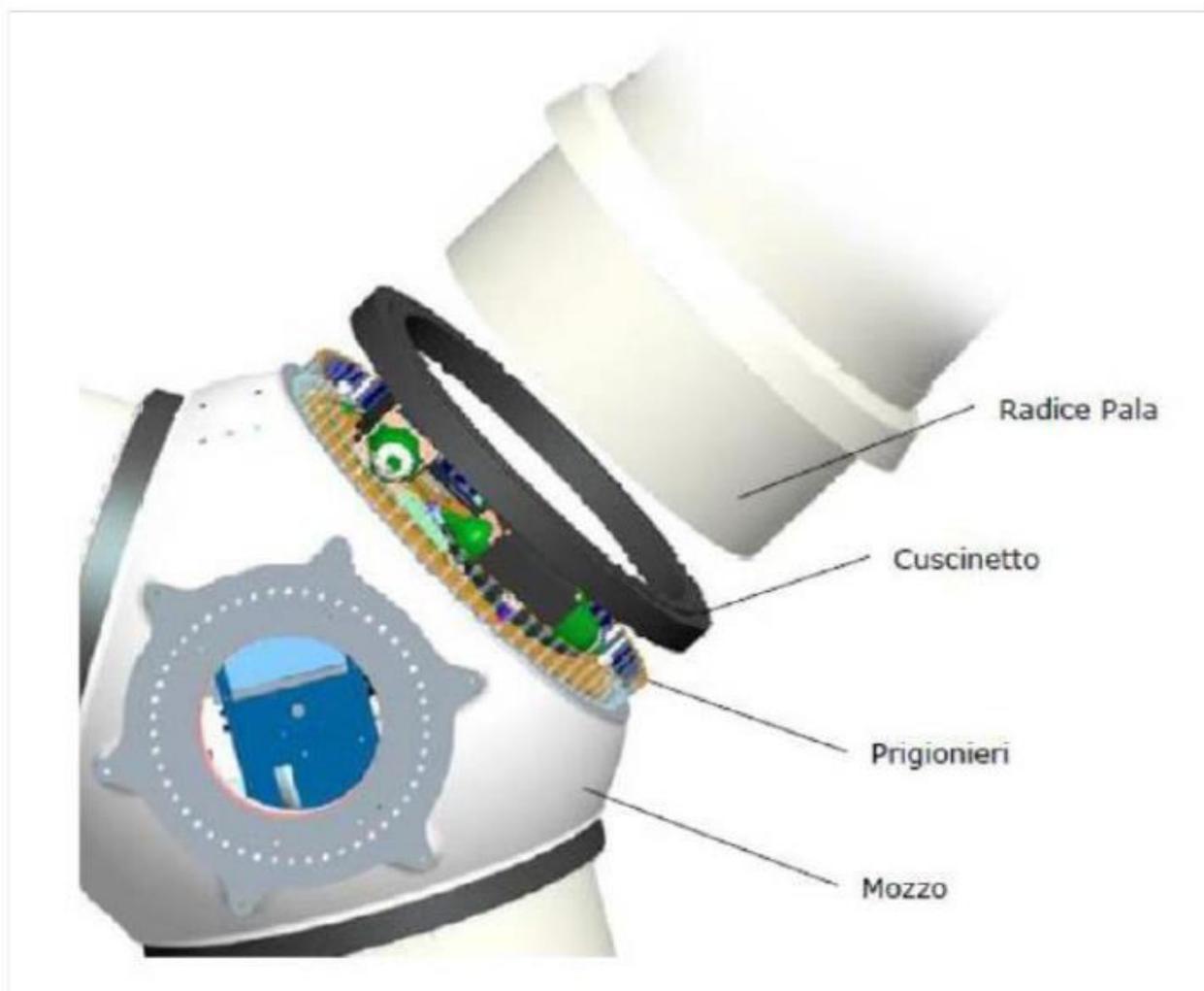


Figura 2: Schema strutturale di una pala eolica

5. ROTTURA DELL'ESTREMITA' DI UNA PALA

La rottura dell'estremità della pala si manifesta quasi sempre in concomitanza di fulminazioni di natura atmosferica. Tutte le pale prodotte da Gamesa sono dotate di un sistema di drenaggio della corrente di fulmine costituito da recettori metallici posti all'estremità di pala e lungo l'apertura della pala, da un cavo che collega i recettori alla radice pala e da un sistema di messa a terra. In questo modo si riesce a drenare una buona parte delle correnti indotte dalle fulminazioni atmosferiche senza danni alle pale.

In qualche caso, in cui la corrente di un fulmine ecceda i limiti progettuali (fissati dalle norme internazionali) si può manifestare un danneggiamento all'estremità di pala che si apre per la separazione dei due gusci, ma che, normalmente, non si distacca dal corpo della pala.

Eventuali residui o frammenti di guscio dovuti ad un evento ceramico hanno dimensioni e pesi così esigui da non permettere valutazioni circa eventuali traiettorie e gittate. Queste sono comunque determinate quasi esclusivamente dal trasporto degli stessi ad opera del vento.

Dalle note operative esposte si può concludere che ha senso effettuare un calcolo di gittata della pala intera in quanto esiste un punto di discontinuità, ossia l'attacco bullonato che unisce la pala al mozzo, ed esiste un'ipotesi, seppur remota, sulla possibilità di cedimento di tale attacco. È da escludere invece, considerate le caratteristiche meccaniche della pala, l'effetto di distacco di una porzione della stessa, in quanto si tratta di una struttura monolitica con la trave di sostegno che rimane vincolata al mozzo attraverso un collegamento bullonato.

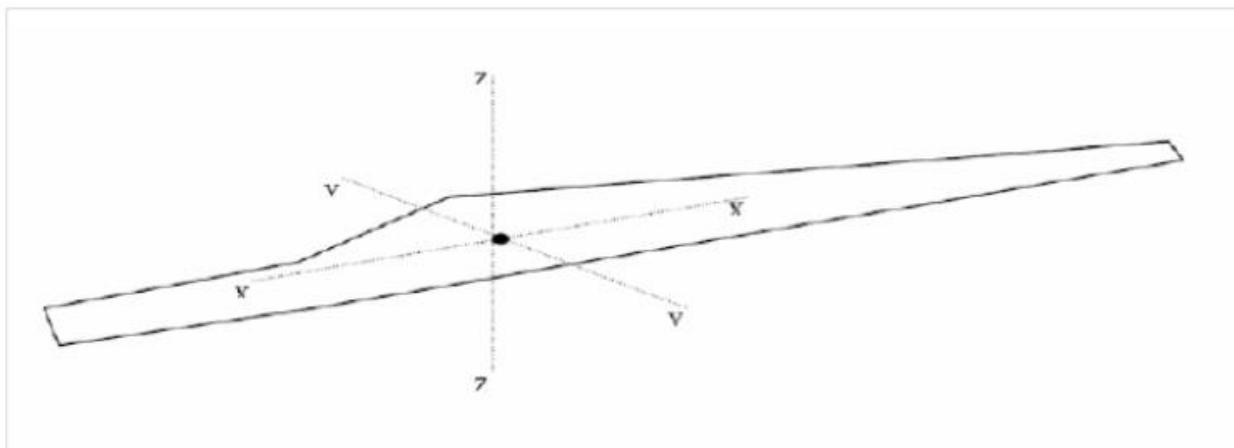


Figura 4: Sistema di coordinate della pala

Il calcolo di gittata nei casi di distacco di frammenti o porzioni di guscio, per le ragioni spiegate in precedenza, risulta problematico e privo di basi computazionali, in quanto lo stabilire le dimensioni del pezzo di guscio distaccato è del tutto aleatorio e non dipendente da una causa specifica come quelle collegabili ad una discontinuità, un difetto di progettazione o di realizzazione della pala.

Il caso di distacco di porzioni di pala si potrebbe trattare effettuando un'analisi del rischio che è dato dal prodotto fra la probabilità di occorrenza della specifica rottura e la gravità delle conseguenze. Una simile analisi comporterebbe comunque delle assunzioni arbitrarie fra le quali le dimensioni del pezzo di pala interessato al distacco e uno studio probabilistico sull'occorrenza e la gravità delle conseguenze.

Per effettuare queste valutazioni è necessaria la conoscenza di tutta una serie di circostanze circa gli eventi di questo tipo e la base statistica degli eventi incidentali dovrebbe essere notevolmente ampia, la qual cosa non è verificata nella realtà.

6. CALCOLO DELLA GITTATA della PALA

Qualora dovesse verificarsi il distacco della pala dal rotore, il moto della stessa può essere scomposto in un moto traslatorio del centro di massa e da un moto rotatorio intorno al centro stesso.

La determinazione delle forze agenti sulla pala al momento della rottura è estremamente complesso in quanto, oltre al moto rotatorio, sono da considerarsi anche le tensioni interne determinate dalla flessione della pala, la forza del vento non perfettamente ortogonale al piano del rotore e le sollecitazioni indotte dalla rotazione della navicella (yawing). Inoltre durante la fase di volo sarebbero da considerarsi anche i fenomeni resistivi dati dalla densità dell'aria e dalla portanza del profilo alare.

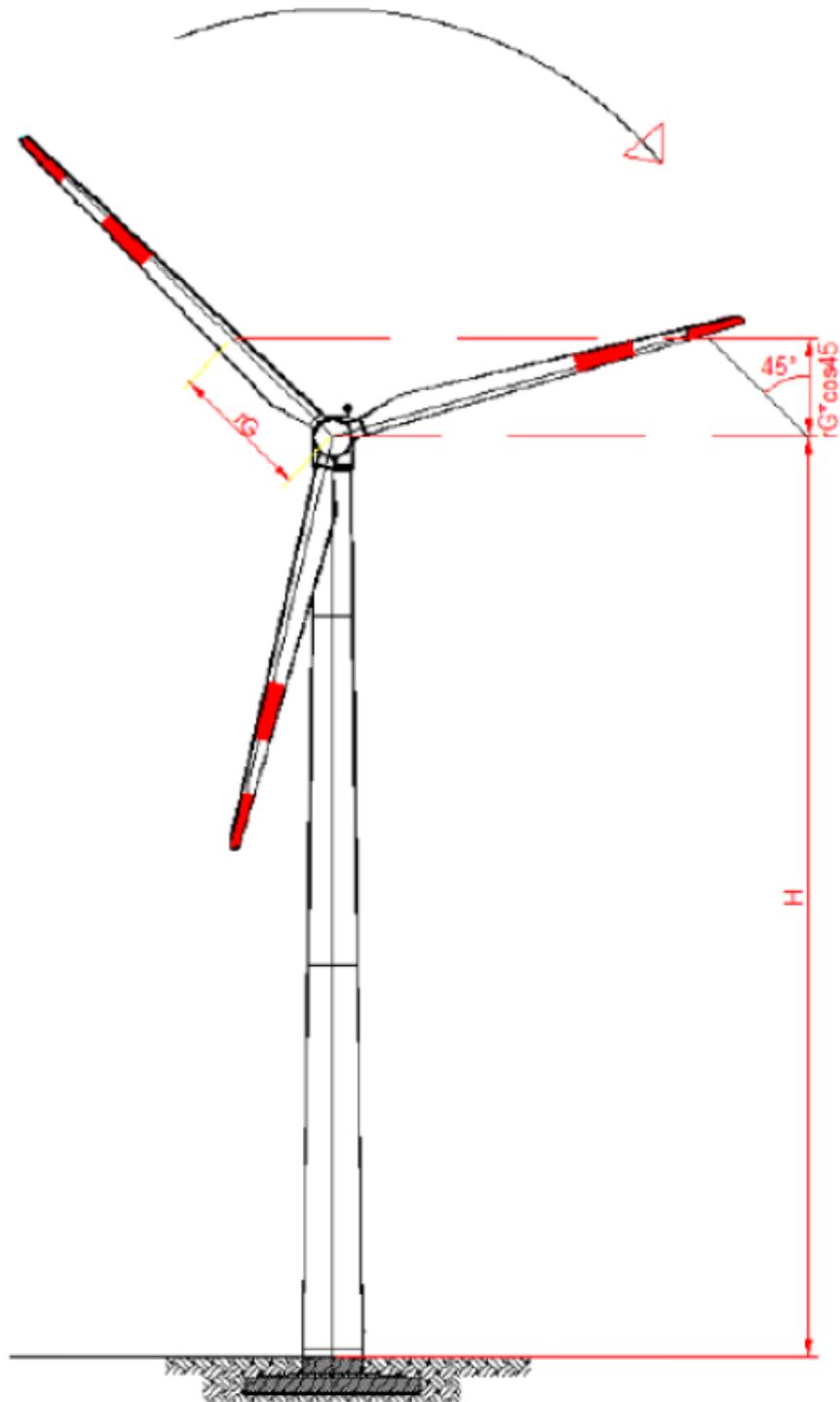
Per semplificare il problema rimanendo nelle condizioni conservative vengono fatte le seguenti ipotesi:

- moto irrotazionale: la pala non ruota intorno al proprio baricentro;
- forze resistenti nulle;
- forze inerziali: si considera solamente la forza di gravità.

Lo schema adottato per il calcolo è il seguente, avendo indicato con G il baricentro del sistema avremo:

R_g = raggio del baricentro

V_g = velocità periferica del baricentro



Calcolo del baricentro

Date le caratteristiche geometriche della pala, e considerata la distribuzione dei pesi lungo il profilo della stessa, possiamo ritenere con buona approssimazione che il baricentro sia posizionato ad un terzo rispetto alla lunghezza della pala, cioè:

Tipo WTG	Baricentro r_G
SG 5.8-170 hh= 115 m D= 170 m	28,33

Calcolo della velocità periferica

Il dato di partenza è $R_{pm} = 8,5$ giri/min che corrisponde ad una velocità angolare:

<i>Tipo aerogeneratore</i>	$\omega = 2\pi n/60$
SG 5.8-170 hh= 115 m D= 170 m	0,889

Nel moto circolare uniforme, la velocità periferica è direttamente proporzionale al raggio. Ad ogni giro il punto G di raggio R percorre la circonferenza $2\pi R$; dopo n giri al minuto lo spazio percorso sarà $2\pi n R$ metri/minuto. E questo sarà lo spazio percorso da tutti i punti situati sulla periferia del corpo in movimento circolare. Dunque la velocità periferica in metri al secondo di un corpo rotante (considerando la velocità massima del rotore pari a 8,5 giri al minuto), corrisponde a:

Tipo WTG	$V_G = \omega R_G \text{ (m/s)}$
SG 5.8-170 hh= 115 m D= 170 m	25,2

Tenendo conto dell'attrito dell'aria e delle forze di resistenza, il valore della velocità del baricentro risulta ridotta del 30% rispetto all'assenza di resistenze, per cui il valore reale è 17,64 m/s.

Calcolo di hG

Il calcolo della proiezione del baricentro sull'asse verticale, che si ritiene con buona approssimazione posizionato ad un terzo rispetto alla lunghezza della pala, ossia $R_g = 28,33$ m, essendo il raggio di ciascuna pala uguale a 85 m, viene valutato all'altezza dell'intera torre più il valore della proiezione di R_g sulla verticale ossia:

$$h_g = H + (R_g \cdot \sin \alpha)$$

Dove H è l'altezza della torre e il calcolo della proiezione del baricentro sull'asse verticale, viene valutato per i diversi valori dell'angolo α .

Fatte tali ipotesi, la traiettoria dalla pala è una parabola dipendente dalle seguenti variabili:

- velocità di lancio (V): espressa come costante dalle caratteristiche dell'aerogeneratore;
- Angolo sotteso dalla pala con il piano (α);
- Altezza di lancio (h): funzione dell'altezza della torre e dell'angolo α .

La gittata massima sarà quindi calcolata in funzione dell'angolo α che ne massimizza l'effetto.

Tutte le considerazioni sono state svolte considerando una velocità di rotazione del rotore (NOM) pari a 8.83 rpm e (MAX) 10.60 rpm (includendo un aumento della velocità nominale di rotazione pari al 5% per tener conto dei fenomeni transitori al momento del distacco).

Possiamo ritenere con buona approssimazione che il baricentro della pala (R), date le caratteristiche geometriche della pala e considerata la distribuzione dei pesi lungo il profilo della stessa, sia posizionato a circa un terzo della lunghezza della pala stessa, corrispondente a 28,33 m dal centro di rotazione.

La posizione e la velocità iniziale sono determinati dall'angolo α e dalla velocità tangenziale V al momento del distacco. Essi sono legati alla posizione ed alla velocità iniziale dalle seguenti relazioni:

$$x_0 = -R \cos(\alpha)$$

$$y_0 = H + R \sin(\alpha)$$

$$\omega = V \cdot \left(\frac{2\pi}{60}\right) = 1.32 \text{ rad/s}$$

$$v_x = V \sin(\alpha)$$

$$v_y = V \cos(\alpha)$$

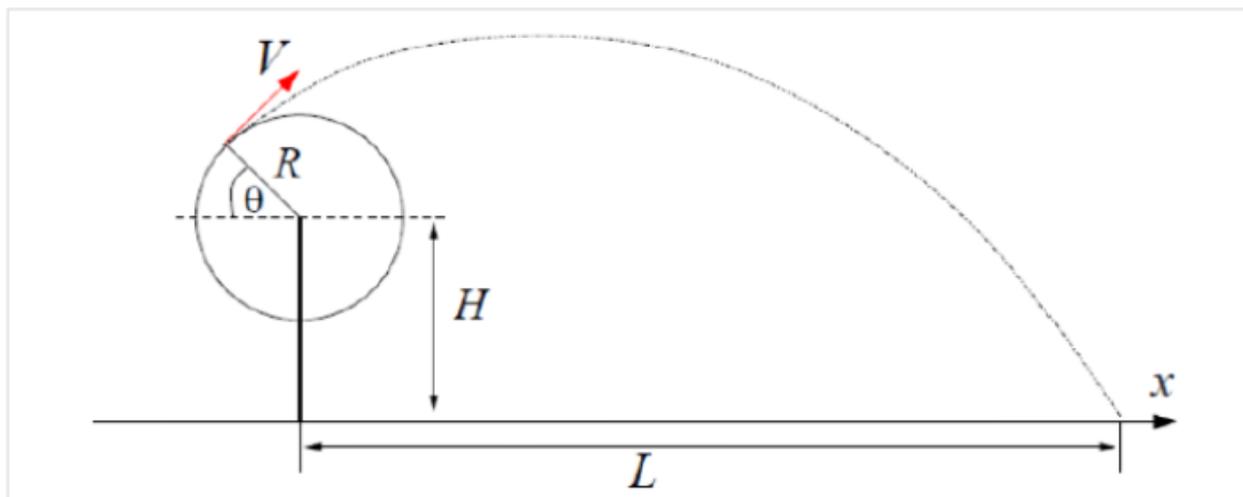


Figura 5: Schematizzazione geometria e calcolo della gittata

Considerando la legge del moto nel piano si ha:

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

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

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

È quindi possibile determinare la distanza di caduta (d) in funzione dell'angolo α :

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

Pertanto in relazione alla velocità di rotazione nei casi analizzati (NOM) 8,83 rpm e (MAX) 10,60 rpm si avranno i seguenti valori di V_r :

SG 6.0-170 hh= 115 m D= 170 m				
H	R	R _{pala/3}	RPM	V_r
115	85	28.33	8.83	26.19
115	85	28.33	10.6	31.43
115	85	28.33	4.86	14.41

Di seguito si riporta il grafico della gittata in funzione dell'angolo α e della distanza d in funzione delle velocità V_r determinate per i valori di rotazione.

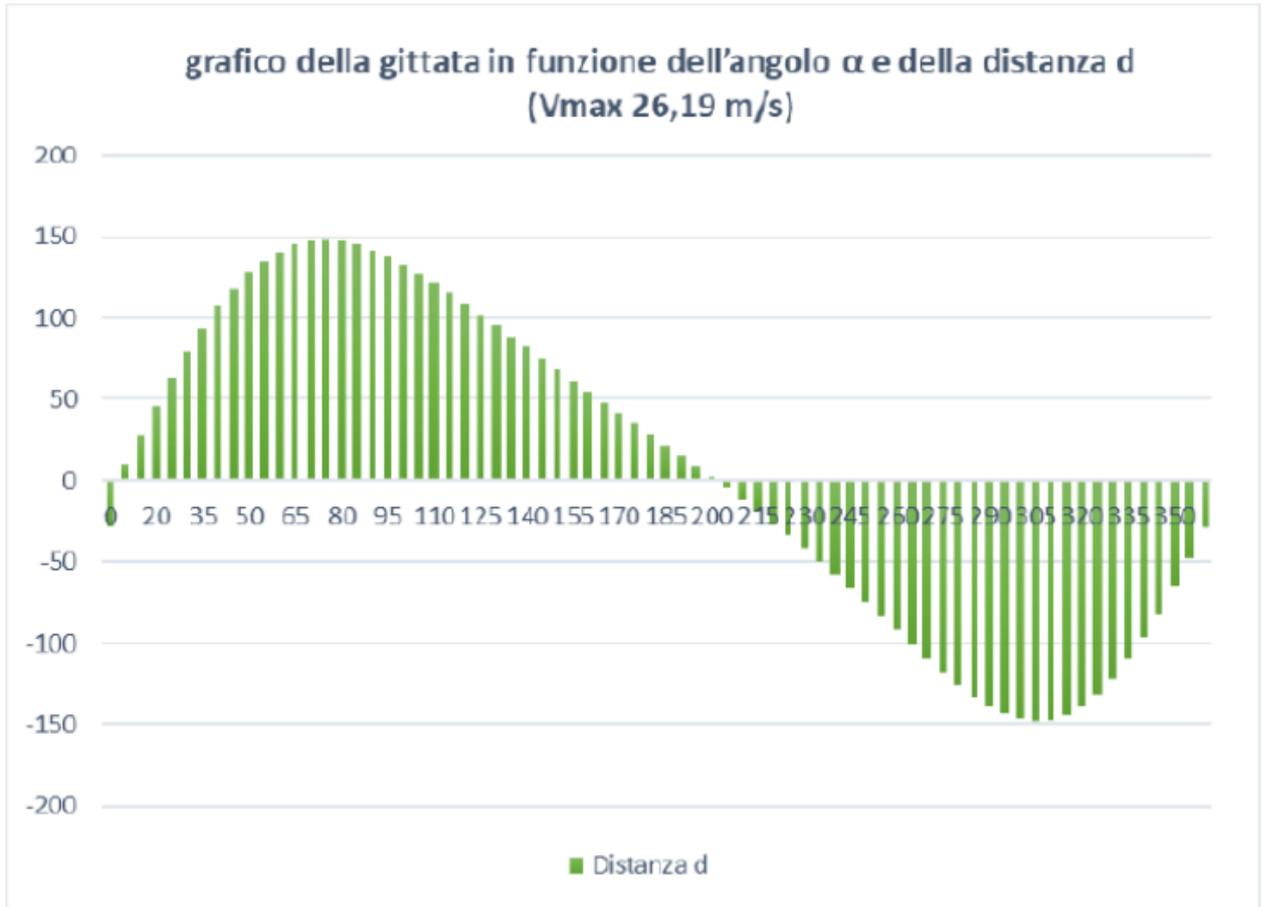


Figura 6: Grafico della gittata in funzione dell'angolo di distacco Vr 8,83 rpm

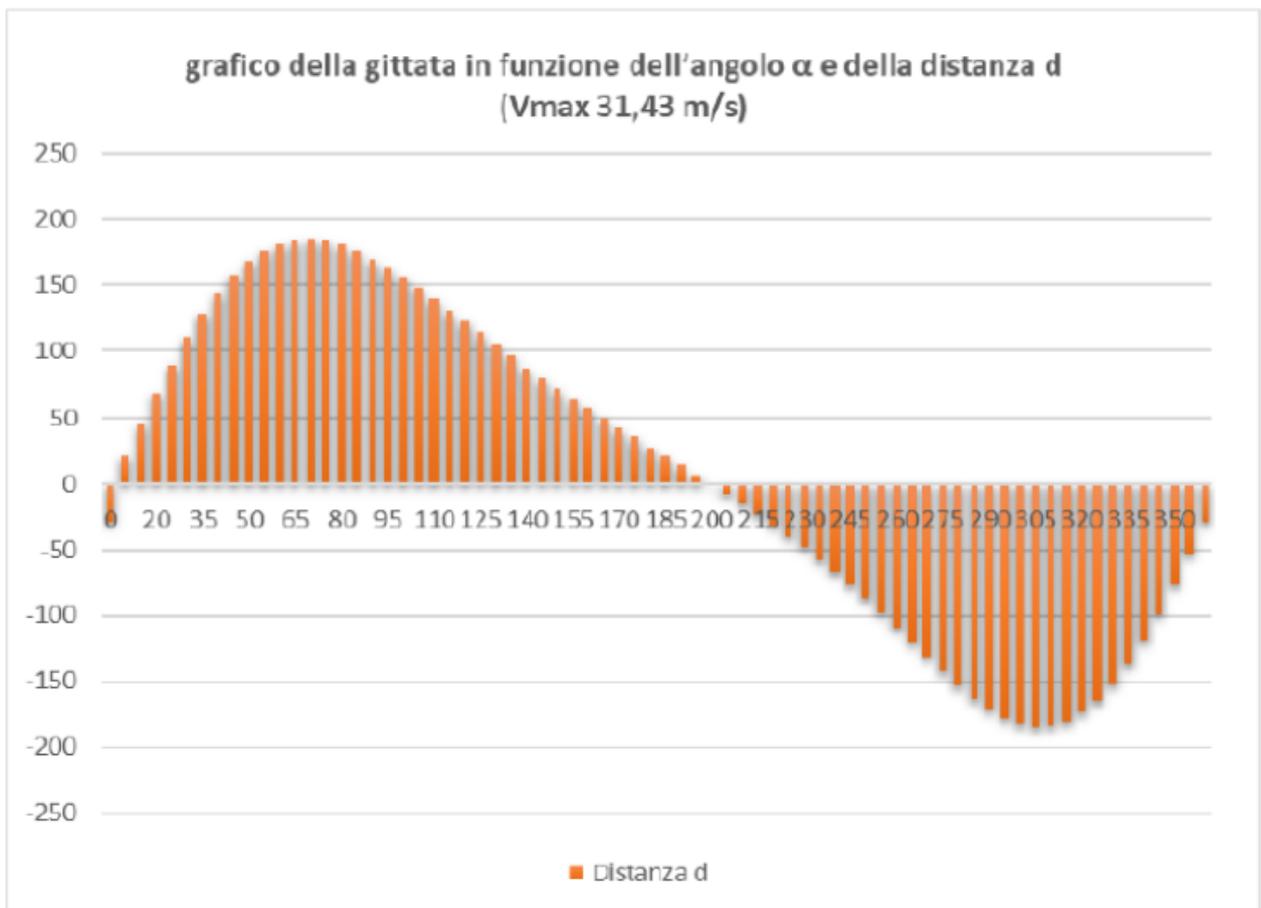


Figura 7: Grafico della gittata in funzione dell'angolo di distacco Vr 10,60 rpm

Caso con $V_r = 8,83$ rpm

Ipotesizzando che il distacco avvenga, come detto, nelle condizioni più gravose, quindi per $\alpha=75^\circ$ per V_r 8,83 rpm, si determina una gittata massima teorica pari a 147,55 m con un tempo di volo (t) pari a 5,63 secondi e V_r iniziale pari a 26,19 m/s.

Lo studio, come specificato in precedenza, è stato effettuato senza tener conto degli effetti mitigativi quali attrito dell'aria, portanza, moto rotazionale della pala stessa.

Da letteratura e dalle considerazioni sopra elencate è verosimile ritenere, con buona approssimazione, che nel caso reale i risultati siano minori di circa il 20% rispetto a quelli teorici ottenuti.

Nel caso reale i risultati quindi possono quindi essere riassunti in:

- Tempo di volo: 4,50 s.
- Distanza nel piano: 118,00 m.

Caso con $V_r = 10,60$ rpm

Ipotesizzando che il distacco avvenga, come detto, nelle condizioni più gravose, quindi per $\alpha=70^\circ$ per V_r 10,60 rpm, si determina una gittata massima teorica pari a 184,64 m con un tempo di volo (t) pari a 5,87 secondi e V_r iniziale pari a 31,43 m/s.

Lo studio, come specificato in precedenza, è stato effettuato senza tener conto degli effetti mitigativi quali attrito dell'aria, portanza, moto rotazionale della pala stessa.

Da letteratura e dalle considerazioni sopra elencate è verosimile ritenere, con buona approssimazione, che nel caso reale i risultati siano minori di circa il 20% rispetto a quelli teorici ottenuti.

Nel caso reale i risultati quindi possono quindi essere riassunti in:

- Tempo di volo: 4,69 s.
- Distanza nel piano: 153,86 m.

CASO 1 : Vr 8,83 rpm

Distanza d m	Angolo a	Velocità V m/s	H m	R m	RPM giri/min
-28.33	0	26.190	115	28.33	8.83
9.50660147	10	26.190	115	28.33	8.83
28.1858762	15	26.190	115	28.33	8.83
46.2593684	20	26.190	115	28.33	8.83
63.4212208	25	26.190	115	28.33	8.83
79.3991378	30	26.190	115	28.33	8.83
93.9614296	35	26.190	115	28.33	8.83
106.922373	40	26.190	115	28.33	8.83
118.145698	45	26.190	115	28.33	8.83
127.546069	50	26.190	115	28.33	8.83
135.088539	55	26.190	115	28.33	8.83
140.786017	60	26.190	115	28.33	8.83
144.694931	65	26.190	115	28.33	8.83
146.909336	70	26.190	115	28.33	8.83
147.553851	75	26.190	115	28.33	8.83
146.775849	80	26.190	115	28.33	8.83
144.737394	85	26.190	115	28.33	8.83
141.60742	90	26.190	115	28.33	8.83
137.554585	95	26.190	115	28.33	8.83
132.741174	100	26.190	115	28.33	8.83
127.318281	105	26.190	115	28.33	8.83
121.422367	110	26.190	115	28.33	8.83
115.173179	115	26.190	115	28.33	8.83
108.672875	120	26.190	115	28.33	8.83
102.006154	125	26.190	115	28.33	8.83
95.2411376	130	26.190	115	28.33	8.83
88.4307593	135	26.190	115	28.33	8.83
81.6144319	140	26.190	115	28.33	8.83
74.8198181	145	26.190	115	28.33	8.83
68.064562	150	26.190	115	28.33	8.83
61.357893	155	26.190	115	28.33	8.83
54.7020474	160	26.190	115	28.33	8.83
48.0934843	165	26.190	115	28.33	8.83
41.5238945	170	26.190	115	28.33	8.83
34.9810154	175	26.190	115	28.33	8.83
28.4492752	180	26.190	115	28.33	8.83
21.9102952	185	26.190	115	28.33	8.83
15.3432841	190	26.190	115	28.33	8.83
8.72536446	195	26.190	115	28.33	8.83
2.03187385	200	26.190	115	28.33	8.83
-4.76330371	205	26.190	115	28.33	8.83
-11.6873109	210	26.190	115	28.33	8.83
-18.7677122	215	26.190	115	28.33	8.83
-26.0316083	220	26.190	115	28.33	8.83
-33.5043462	225	26.190	115	28.33	8.83
-41.2076836	230	26.190	115	28.33	8.83
-49.1572633	235	26.190	115	28.33	8.83
-57.3592758	240	26.190	115	28.33	8.83
-65.8062617	245	26.190	115	28.33	8.83
-74.4721426	250	26.190	115	28.33	8.83
-83.3067775	255	26.190	115	28.33	8.83
-92.2306085	260	26.190	115	28.33	8.83
-101.130218	265	26.190	115	28.33	8.83
-109.855786	270	26.190	115	28.33	8.83
-118.221389	275	26.190	115	28.33	8.83
-126.008817	280	26.190	115	28.33	8.83
-132.975025	285	26.190	115	28.33	8.83
-138.862796	290	26.190	115	28.33	8.83
-143.413623	295	26.190	115	28.33	8.83
-146.381574	300	26.190	115	28.33	8.83
-147.546862	305	26.190	115	28.33	8.83
-146.728038	310	26.190	115	28.33	8.83
-143.792038	315	26.190	115	28.33	8.83
-138.661617	320	26.190	115	28.33	8.83
-131.319982	325	26.190	115	28.33	8.83
-121.81264	330	26.190	115	28.33	8.83
-110.246597	335	26.190	115	28.33	8.83
-96.7871477	340	26.190	115	28.33	8.83
-81.6525241	345	26.190	115	28.33	8.83
-65.1067378	350	26.190	115	28.33	8.83
-47.4509451	355	26.190	115	28.33	8.83
-29.0137015	360	26.190	115	28.33	8.83

CASO 2 : Vr 10,60 rpm

Distanza d m	Angolo a	Velocita V m/s	H m	R m	RPM giri/min
-28.33	0	31.430	115	28.33	10.6
21.3080842	10	31.430	115	28.33	10.6
45.5660746	15	31.430	115	28.33	10.6
68.8226329	20	31.430	115	28.33	10.6
90.6536369	25	31.430	115	28.33	10.6
110.687447	30	31.430	115	28.33	10.6
128.615283	35	31.430	115	28.33	10.6
144.199064	40	31.430	115	28.33	10.6
157.276373	45	31.430	115	28.33	10.6
167.762314	50	31.430	115	28.33	10.6
175.648126	55	31.430	115	28.33	10.6
180.996605	60	31.430	115	28.33	10.6
183.934511	65	31.430	115	28.33	10.6
184.642384	70	31.430	115	28.33	10.6
183.342355	75	31.430	115	28.33	10.6
180.28475	80	31.430	115	28.33	10.6
175.734399	85	31.430	115	28.33	10.6
169.957606	90	31.430	115	28.33	10.6
163.210664	95	31.430	115	28.33	10.6
155.730602	100	31.430	115	28.33	10.6
147.728571	105	31.430	115	28.33	10.6
139.385962	110	31.430	115	28.33	10.6
130.853024	115	31.430	115	28.33	10.6
122.249573	120	31.430	115	28.33	10.6
113.667208	125	31.430	115	28.33	10.6
105.172488	130	31.430	115	28.33	10.6
96.8105351	135	31.430	115	28.33	10.6
88.6086844	140	31.430	115	28.33	10.6
80.5798895	145	31.430	115	28.33	10.6
72.7257246	150	31.430	115	28.33	10.6
65.0389079	155	31.430	115	28.33	10.6
57.5053367	160	31.430	115	28.33	10.6
50.1056664	165	31.430	115	28.33	10.6
42.816485	170	31.430	115	28.33	10.6
35.6111317	175	31.430	115	28.33	10.6
28.4602614	180	31.430	115	28.33	10.6
21.3321422	185	31.430	115	28.33	10.6
14.1928097	190	31.430	115	28.33	10.6
7.00608834	195	31.430	115	28.33	10.6
-0.26645331	200	31.430	115	28.33	10.6
-7.66555171	205	31.430	115	28.33	10.6
-15.2342235	210	31.430	115	28.33	10.6
-23.0175604	215	31.430	115	28.33	10.6
-31.062197	220	31.430	115	28.33	10.6
-39.4152556	225	31.430	115	28.33	10.6
-48.122507	230	31.430	115	28.33	10.6
-57.2254325	235	31.430	115	28.33	10.6
-66.7568425	240	31.430	115	28.33	10.6
-76.7347524	245	31.430	115	28.33	10.6
-87.1543928	250	31.430	115	28.33	10.6
-97.9785967	255	31.430	115	28.33	10.6
-109.127376	260	31.430	115	28.33	10.6
-120.468171	265	31.430	115	28.33	10.6
-131.808833	270	31.430	115	28.33	10.6
-142.895514	275	31.430	115	28.33	10.6
-153.417133	280	31.430	115	28.33	10.6
-163.016918	285	31.430	115	28.33	10.6
-171.310104	290	31.430	115	28.33	10.6
-177.905705	295	31.430	115	28.33	10.6
-182.429726	300	31.430	115	28.33	10.6
-184.547354	305	31.430	115	28.33	10.6
-183.982229	310	31.430	115	28.33	10.6
-180.53169	315	31.430	115	28.33	10.6
-174.077494	320	31.430	115	28.33	10.6
-164.591994	325	31.430	115	28.33	10.6
-152.140025	330	31.430	115	28.33	10.6
-136.876871	335	31.430	115	28.33	10.6
-119.042768	340	31.430	115	28.33	10.6
-98.9543948	345	31.430	115	28.33	10.6
-76.9938443	350	31.430	115	28.33	10.6
-53.5955539	355	31.430	115	28.33	10.6
-29.2317154	360	31.430	115	28.33	10.6

7. CONCLUSIONI

Ponendoci nella condizione peggiore che un frammento o l'intera pala si staccasse dal mozzo, si è dimostrato che l'impatto della stessa avviene a distanze molto contenute.

Infatti nel caso si staccasse l'intera pala il suo valore massimo di gittata del baricentro è di 147,55 mt alla velocità nominale di rotazione di 8,83 rpm (26,19 m/s), nella direzione prevalente di vento e trascurando l'attrito dell'aria, mentre nel caso attritivo il valore finale si riduce a 118,00 m.

Considerando il caso con velocità massima di rotazione di 10,60 rpm (31,430 m/s), si ottiene il valore di 184,64 m che considerando l'attrito dell'aria si riduce a 153,86 m.

A proposito della sicurezza in riferimento tale analisi si sottolinea che:

- la stima della gittata massima dell'elemento è stata effettuata con approssimazioni in evidente margine di sicurezza;
- Le pale dei rotori di progetto sono realizzate in fibra di vetro rinforzato con materiali plastici quali il poliestere o le fibre epossidiche;
- L'utilizzo di questi materiali limita sino a quasi ad annullare la probabilità di distacco di parti della pala mentre la stessa è in rotazione: anche in caso di gravi rotture le fibre che compongono la pala la mantengono, di fatto, unita in un unico pezzo (seppure gravemente danneggiato), ed i sistemi di controllo dell'aerogeneratore riducono pressoché istantaneamente la velocità di rotazione, eliminando la possibilità che un frammento di pala si stacchi e venga proiettato verso l'alto.
- il sistema navicella-rotore-torre tubolare sarà protetto dalla fulminazione in accordo alla norma IEC 61400-24 – livello I.

I valori risultanti dai calcoli sono perfettamente in linea con quanto dichiarato nel gennaio 2012 da esperti dei Dipartimenti di Protezione ambientale e Sanità Pubblica del Massachusetts che hanno affermato "nella maggior parte dei casi la gittata è limitata ad un raggio non superiore all'altezza della pala".

Si tenga presente che tale valore nella realtà risulta inferiore; difatti è giusto considerare agire simultaneamente le condizioni peggiori di velocità del vento, di angolo di lancio, velocità di rotazione, azione di portanza sul profilo alare dopo il distacco ma le cause che porterebbero ad un eventuale distacco della pala o parte di essa sono rappresentate da un colpo di fulmine o da un urto accidentale di notevole intensità agente alla base della torre.

L'accadimento di tali fenomeni ha un valore di rischio molto basso, resi ancora più bassi dal fattore di contemporaneità. Si tenga conto che tutte le turbine eoliche sono dotate di un complesso sistema parafulmine, e per quanto riguarda l'urto non è pensabile potersi tutelare da un incidente, quale un velivolo o altro, che impatta sul rotore di una turbina o alla base della torre.

Riportando quanto scritto dalla BP POWER nel "Blade throw calculation under normal operating" "esperienze basate su dati reali (su una casistica di 1578 casi) fino all'agosto del 2006 hanno dimostrato che nel caso di distacco della pala o parti di essa l'unico moto che si è registrato è stato un moto di completa rotazione e che le distanze percorse lungo il moto sono risultate sempre inferiori alle lunghezze riportate nella relazione. Il distacco delle parti, in genere piccole, dovuto a guasti causati da eventi eccezionali (quali la straordinaria energia prodotta da un fulmine) ha portato nel peggiore dei casi, a ritrovare le parti stesse a distanze non superiori ai 40-50 metri dalla base della torre."

Il valore della gittata massima desunto nella presente relazione è pari a 153,86 mt. **Si conferma che non esiste alcuna interferenza con i fabbricati che risultano censiti al catasto fabbricati alle Categorie da A/1 a A/10 (si rimanda all'elenco censimento fabbricati per i dettagli catastali e geografici).** Altresì la progettazione del parco eolico risulta in linea con le prescrizioni di cui alla Appendice A "Principi generali per la progettazione, la costruzione, l'esercizio e la dismissione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili. 1. Impianti eolici" del PIEAR della Regione Basilicata ed in particolare al punto 1.2.1.4 Requisiti di sicurezza lettere:

- a-bis) Distanza minima di ogni aerogeneratore dalle abitazioni non inferiore a 2,5 volte l'altezza massima della pala o 300 metri
- b) distanza da edifici non inferiore a 300mt;
- c) distanza minima da strade statali ed autostrade non inferiore a 300mt;
- d) distanza minima da strade provinciali non inferiore a 200mt;
- d-bis) distanza minima da strade di accesso alle abitazioni non inferiore a 200mt.

Non esiste inoltre alcuna interferenza anche con tutti i rimanenti fabbricati che per maggiore chiarezza vengono rappresentati nell'immagine satellitare (google earth) seguente.

UBICAZIONE FABBRICATI CENSITI ED INDIVIDUATI – PARCO EOLICO “LUMELLA”

