



REGIONE SICILIA
PROVINCIA DI TRAPANI
PROVINCIA DI AGRIGENTO

COMUNE DI CASTELVETRANO
COMUNE DI MENFI, SAMBUCA DI SICILIA E SCIACCA

OGGETTO

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO COMPOSTO DA 5 AEROGENERATORI DA 6,6 MW CIASCUNO PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 33 MW SITO NEL COMUNE DI CASTELVETRANO (TP) IN LOCALITÀ C.DA CASE NUOVE E DA UN SISTEMA DI ACCUMULO ELETTROCHIMICO DA 18 MW SITO NEL COMUNE DI MENFI (AG) IN LOCALITÀ C.DA GENOVESE E OPERE CONNESSE NEI COMUNI DI CASTELVETRANO (TP) MENFI, SAMBUCA DI SICILIA E SCIACCA (AG).

PROGETTO DEFINITIVO

PROPONENTE



SKI 34 S.r.l.
*Società soggetta ad attività di direzione
e coordinamento di Statkraft AS*
Partita IVA 12417100968
Gruppo IVA 11412940964
C.F. 12417100968
Via Caradosso 9
20123 Milano

TITOLO

RELAZIONE DI GITTATA MASSIMA

PROGETTISTA

Dott. Ing. Girolamo Gorgone

Collaboratori

Ing. Giocchino Ruisi
Ing. Giuseppina Brucato
Arch. Eugenio Azzarello
All. Arch. Flavia Termini

Ing. Francesco Lipari
Dott. Haritiana Ratsimba
Dott. Agr. e For. Michele Virzi
Dott. Martina Affronti

Dott. Valeria Croce
Dott. Irene Romano
Barbara Gorgone

CODICE ELABORATO

SK_R_18_A_D

SCALA

n°.Rev.	DESCRIZIONE REVISIONE	DATA	ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO

Rif. PROGETTO

N. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

NOME FILE DI STAMPA

SCALA DI STAMPA DA FILE



Statkraft

SKI 34 S.r.l.
Società soggetta ad attività di direzione
e coordinamento di Statkraft AS

Partita IVA 12417100968
Gruppo IVA 11412940964
C.F. 12417100968

Via Caradosso 9
20123 Milano

Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 33 MW sito nel comune di Castelvetrano (TP) in località C.da Case Nuove e da un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel comune di Menfi (AG) in località C.da Genovese e da opere connesse nei comuni di Castelvetrano (TP), Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca (AG).

Pagina | 1

Sommario

1	INTRODUZIONE	2
1.1	Inquadramento territoriale e breve descrizione dell'intervento.....	4
2	CONSIDERAZIONI PRELIMINARI	5
3	ANALISI TEORICA	7
4	ELEMENTI DI ANALISI DELLA MASSIMA GITTATA	8
4.1	Traiettoria	8
4.2	Tempo di volo	9
5	STIMA DELLA DISTANZA MASSIMA PERCORRIBILE	9
6	DATI SPERIMENTALI E CONCLUSIONE	15



Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 33 MW sito nel comune di Castelvetro (TP) in località C.da Case Nuove e da un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel comune di Menfi (AG) in località C.da Genovese e da opere connesse nei comuni di Castelvetro (TP), Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca (AG).

Pagina | 2

1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la relazione di gittata massima, parte integrante del Progetto Definitivo per la realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica, da realizzarsi in Contrada Case Nuove, nel territorio del Comune di Castelvetro (TP). L'impianto di produzione pari a 33 MW sarà costituito da 5 aerogeneratori Siemens Gamesa, caratterizzati da un diametro di 175,0 m, una superficie spazzata di 24,052 m², un numero di pale pari a 3 e un'altezza al mozzo pari a 145 m. L'impianto, la stazione BESS di 18 MW e le relative opere di connessione alla Rete Elettrica Nazionale, interessano i comuni di Castelvetro (TP), Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca (AG).

Ogni aerogeneratore, servito da una piazzola di servizio, è collegato agli altri mediante strade di accesso al campo (in parte comprendenti strade già esistenti) necessarie all'attività di realizzazione e di successiva manutenzione. Le WTG sono connesse su dorsali ciascuna in entra ed esci mediante un cavidotto MT interrato che collegherà le turbine alla SSE di trasformazione, e successivamente alla stazione di consegna RTN in progetto, consentendo l'immissione dell'energia elettrica prodotta alla Rete Elettrica Nazionale.

La presente viene redatta per Valutare e stimare l'eventuale area interessata da una possibile rottura degli organi rotanti anche in concomitanza delle norme di cui *all'art. 66 comma 8 del D.P.R. 495/92*.

All'interno dell'elaborato saranno quindi valutati gli effetti che avrebbe la rottura accidentale degli organi rotanti degli aerogeneratori.

Verrà posta particolare attenzione nei confronti della postazione macchina WTG03 che si localizza ad una distanza di circa 350 m dalla strada statale SS115, e 630 m dalla strada provinciale SP48 in entrambi i casi distanze superiori all'altezza massima dell'aerogeneratore più il franco prescritto del 25%.

In una prima analisi teorica del problema si analizzeranno tutti i fattori che concorrono a determinare la gittata massima degli elementi, con l'applicazione ad un tipo di macchine coerenti con la tipologia di macchine previste in progetto.



SKI 34 S.r.l.
 Società soggetta ad attività di direzione
 e coordinamento di Statkraft AS
 Partita IVA 12417100968
 Gruppo IVA 11412940964
 C.F. 12417100968
 Via Caradosso 9
 20123 Milano

Statkraft

Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 33 MW sito nel comune di Castelvetro (TP) in località C.da Case Nuove e da un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel comune di Menfi (AG) in località C.da Genovese e da opere connesse nei comuni di Castelvetro (TP), Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca (AG).

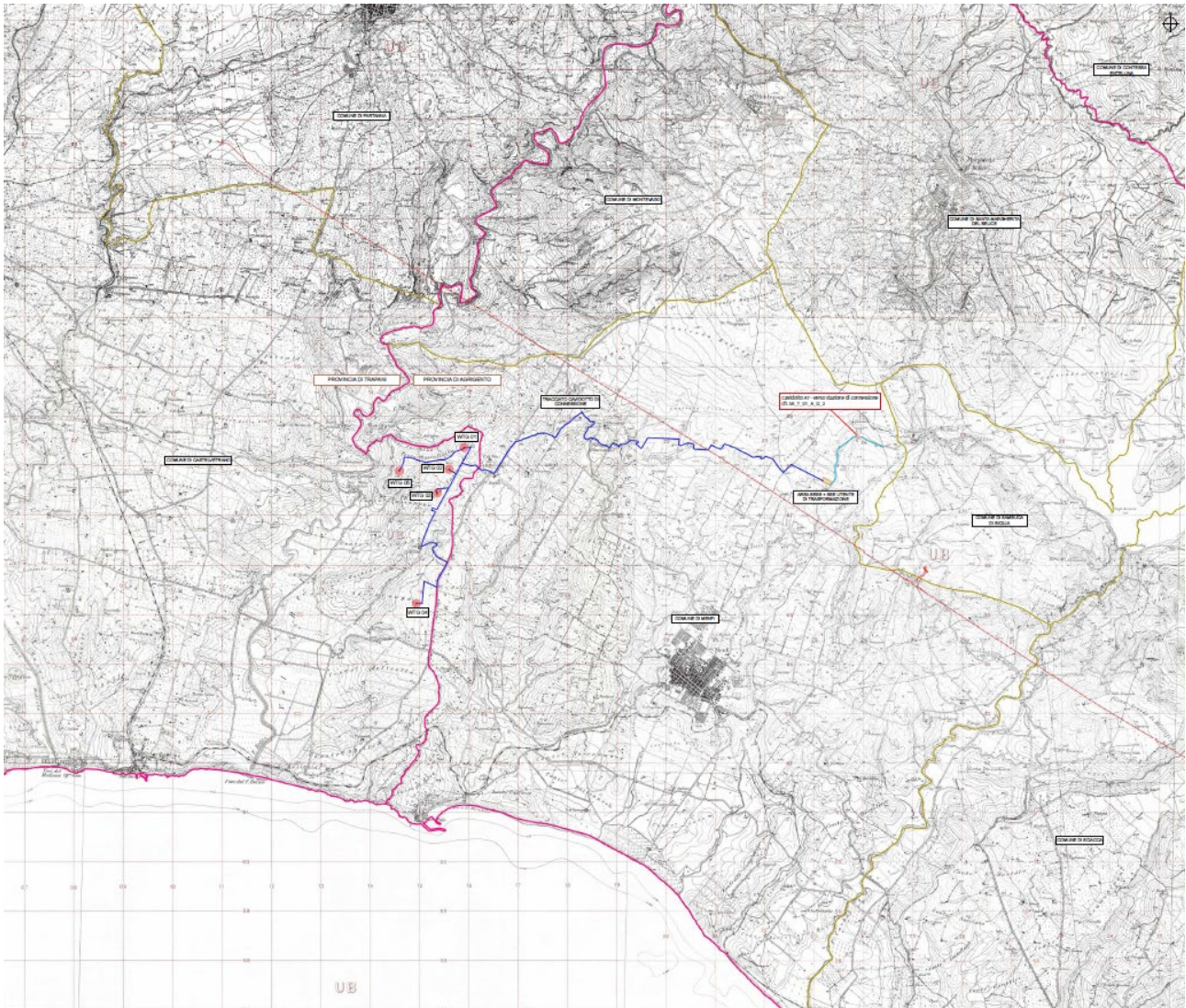


Figura 1 - inquadramento territoriale dell'intervento

L'azienda realizzatrice dell'impianto è la **Statkraft**, società internazionale leader nella generazione idroelettrica e primo produttore europeo di energia da fonti rinnovabili. Il Gruppo produce energia idroelettrica, eolica, solare, da gas e fornisce teleriscaldamento.

Statkraft è un'azienda globale nella gestione dei mercati elettrici e conta 5300 dipendenti in 21 paesi tra cui l'Italia.



Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 33 MW sito nel comune di Castelvetrano (TP) in località C.da Case Nuove e da un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel comune di Menfi (AG) in località C.da Genovese e da opere connesse nei comuni di Castelvetrano (TP), Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca (AG).

Pagina | 4

1.1 Inquadramento territoriale e breve descrizione dell'intervento

L'area di impianto è situata nel comune di Castelvetrano (Libero Consorzio di Comuni di Trapani) in Contrada Case Nuove, in un'area a sud-est del centro abitato del detto comune. La stazione di trasformazione SSE e quella di Accumulo BESS si localizzano nel territorio comunale di Menfi mentre la stazione di connessione alla rete elettrica nazionale è ubicata nel comune di Sciacca entrambi nel libero consorzio comunale di Agrigento.

Le turbine ricadono nel Foglio 618150 della Carta Tecnica Regionale (Scala 1:10000), mentre il cavidotto, la Stazione di trasformazione ed accumulo interessano anche il Foglio 618160, la stazione di connessione alla RTN interessa invece il Foglio 619130. Con riferimento alla cartografia IGM in scala 1:25000, l'intero impianto di produzione si situa all'interno del Quadrante 265-I-NE mentre la stazione di trasformazione ed accumulo BESS e quella di connessione ricadono nel Quadrante 266-IV-NO.

Il sito è facilmente raggiungibile dall'autostrada A29 Palermo - Mazara del Vallo, uscendo allo svincolo di Castelvetrano, imboccando via Caduti Nassirya, la SS115, successivamente procedendo la Strada Provinciale 48 si avrà accesso alla viabilità d'impianto composta dalla rete di strade provinciali e interpoderali che serve i fondi interessati dal parco eolico.

L'area d'interesse è caratterizzata da una morfologia collinare e da pendenze relativamente modeste; la quota altimetrica media dei siti interessati è compresa tra 99 m s.l.m. (in corrispondenza della WTG04) e 169 m s.l.m. (in corrispondenza dell'aerogeneratore WTG01) e la ventosità a 100 metri di altezza, come riportato dall'AEOLIAN (AtlanteEOLicoltiAno), è compresa tra 6 m/s e 7 m/s.

Dal punto di vista meteo-climatico, l'area di intervento è caratterizzata da un lungo periodo caldo-arido, da maggio a settembre e un regime temperato da ottobre ad aprile. La stazione di rilevamento di Castelvetrano indica una temperatura media annua di 18°C e una escursione termica annua di 16°C. Le temperature minime, nelle aree in cui insiste l'impianto, oscillano intorno a valori di 6-7°C e si presentano durante i mesi di gennaio e febbraio; le temperature massime, invece, caratterizzano i mesi di luglio e agosto, raggiungendo picchi di 32-33°C.

La tabella che segue identifica modello, denominazione e posizione geografica e catastale degli aerogeneratori che compongono il Parco eolico di progetto. Ogni aerogeneratore è servito da un



SKI 34 S.r.l.
Società soggetta ad attività di direzione
e coordinamento di Statkraft AS
Partita IVA 12417100968
Gruppo IVA 11412940964
C.F. 12417100968
Via Caradosso 9
20123 Milano

Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 33 MW sito nel comune di Castelvetro (TP) in località C.da Case Nuove e da un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel comune di Menfi (AG) in località C.da Genovese e da opere connesse nei comuni di Castelvetro (TP), Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca (AG).

piazzale di 60x34 metri ed è accessibile a mezzo di strade bianche in misto stabilizzato di cava ampie tra i 4 e 5 metri.

Modello	Identificativo	Coordinate WGS84		Identificativo Catastale			Quote m S.L.M.
				Comune	Foglio	Particella	
		Latitudine	Longitudine				
SG 6.6-170	WTG01	37°38'31.97"	12°54'45.84"	Castelvetro (TP)	119	109	169
SG 6.6-170	WTG02	37°38'17.59"	12°54'33.88"	Castelvetro (TP)	119	71	148
SG 6.6-170	WTG03	37°38'1.75"	12°54'24.53"	Castelvetro (TP)	131	158	135
SG 6.6-170	WTG04	37°36'49.66"	12°54'9.25"	Castelvetro (TP)	132	49	99
SG 6.6-170	WTG05	37°38'15.65"	12°53'52.69"	Castelvetro (TP)	119	540	124

Tabella 1 - Inquadramento geografico-catastale del Parco eolico

2 CONSIDERAZIONI PRELIMINARI

Le parti maggiormente esposte a rischio sono ovviamente le pale degli aerogeneratori. Queste, assieme al mozzo al quale sono fissate, costituiscono il rotore che viene collegato ad un albero motore, detto "lento".

In un primo momento non viene applicata l'azione del moltiplicatore di giri e pertanto l'albero lento ruota alla stessa velocità angolare del rotore. Successivamente avremo il moltiplicatore di giri e quindi tutta la componentistica elettromeccanica che serve per la conversione dell'energia cinetica in energia elettrica.

Caratteristica necessaria per il corretto funzionamento degli aerogeneratori, di qualsiasi scala, è che l'azione del vento sia perpendicolare al piano del rotore, pertanto, considerando inoltre il verso della velocità tangenziale dell'elemento distaccato, si potrà valutare quale sia la traiettoria dell'elemento.

Al fine dell'analisi delle eventuali conseguenze della rottura degli elementi rotanti, il rischio deve essere considerato tenendo conto di due fattori principali:

- la probabilità che un determinato evento si possa manifestare;
- la probabilità che tale evento abbia conseguenze sfavorevoli.



Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 33 MW sito nel comune di Castelvetrano (TP) in località C.da Case Nuove e da un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel comune di Menfi (AG) in località C.da Genovese e da opere connesse nei comuni di Castelvetrano (TP), Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca (AG).

Ciò che s'intende analizzare con la presente, è il rischio che la caduta di un oggetto dall'alto possa avere conseguenze per l'incolumità delle persone.

La caduta di oggetti dall'alto può essere dovuta a diverse possibili cause:

- pezzi di ghiaccio formatisi sulla pala;
- rottura accidentale di pezzi meccanici in rotazione.

Per quanto riguarda il primo aspetto, l'eventuale gelificazione di elementi di rilevante dimensione, questa richiede temperature ben al di sotto dello zero e per periodi molto prolungati. Precisando che il progetto prevede l'installazione dell'impianto eolico ad una latitudine dove tale evento può considerarsi praticamente inesistente ed ininfluenza (tali temperature sono improbabili in qualsiasi mese dell'anno) si ritiene praticamente nulla la possibilità che questa si manifesti. Si ritiene pertanto utile eseguire uno studio sul tipo di danno che potrebbe essere provocato dalla rottura degli elementi rotanti e nello specifico sulla possibile gittata massima di tali elementi.

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 quasi ad annullare la probabilità di distacco di singole parti meccaniche 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).

Statisticamente le maggiori cause di danno sono quelle prodotte direttamente o indirettamente dalle fulminazioni. L'impianto eolico viene realizzato al fine di trasformare l'energia del vento in energia elettrica, a tale scopo è fondamentale che l'efficienza delle macchine sia sempre garantita, proprio per questo motivo il sistema navicella-rotore-torre tubolare sarà protetto con un parafulmine.

In conformità a quanto previsto dalla norma CEI contro il rischio fulminazione, la classe di protezione sarà quella che in termini probabilistici consentirà un livello di protezione elevato con la conseguente probabilità molto bassa, pari a circa il 2%, che a fulminazione avvenuta si abbiano danni al sistema.

Pertanto, possiamo sicuramente affermare che la probabilità che si produca un danno al sistema con l'ulteriore aggravante di successivi incidenti è molto bassa.

Ciò premesso ai fini della presente si formulerà comunque il calcolo per valutare la gittata massima in caso di rottura degli organi rotanti.



SKI 34 S.r.l.
 Società soggetta ad attività di direzione
 e coordinamento di Statkraft AS
 Partita IVA 12417100968
 Gruppo IVA 11412940964
 C.F. 12417100968
 Via Caradosso 9
 20123 Milano

Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 33 MW sito nel comune di Castelvetro (TP) in località C.da Case Nuove e da un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel comune di Menfi (AG) in località C.da Genovese e da opere connesse nei comuni di Castelvetro (TP), Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca (AG).

3 ANALISI TEORICA

Da un punto di vista teorico il calcolo della gittata massima, in caso di rottura di un elemento, segue il principio della balistica applicata al moto parabolico o moto dei proiettili.

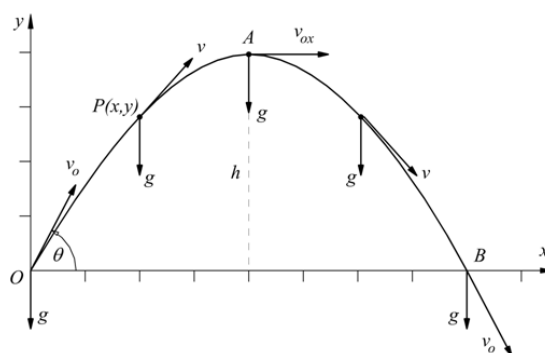


Figura 2 - Rappresentazione grafica dal moto parabolico

Con questa considerazione di base hanno seguito tutte le successive valutazioni.

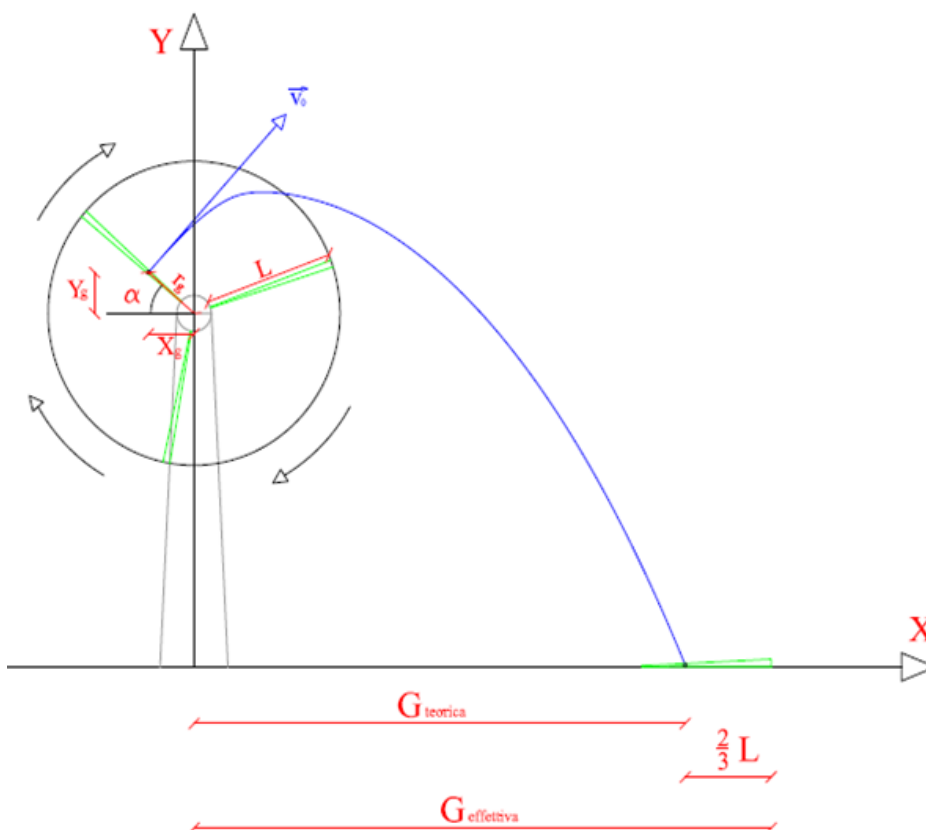


Figura 3 - Applicazione teorica moto del proiettile – su WTG



SKI 34 S.r.l.
Società soggetta ad attività di direzione
e coordinamento di Statkraft AS

Partita IVA 12417100968
Gruppo IVA 11412940964
C.F. 12417100968

Via Caradosso 9
20123 Milano

Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 33 MW sito nel comune di Castelvetro (TP) in località C.da Case Nuove e da un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel comune di Menfi (AG) in località C.da Genovese e da opere connesse nei comuni di Castelvetro (TP), Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca (AG).

Pagina | 8

La gittata maggiore della pala, o di una sezione distaccata della pala, si avrebbe nel caso di distacco in corrispondenza della posizione pari a 45° con componente verticale e orizzontale della velocità e di moto a "giavelotto" del frammento.

La gittata degli elementi sarà comunque dipendente da alcuni fattori:

- Forze di resistenza viscosa che si oppongono al moto;
- Portanza aerodinamica dell'elemento distaccato, che avendo un profilo aerodinamico ottimizzato, potrebbe favorirne il moto.

La prevalenza di uno piuttosto che dell'altro fattore è fortemente condizionata dalle caratteristiche del volo: rollio, imbardata e impennamento dell'elemento durante il volo.

Per semplificare i calcoli si specifica che l'azione della portanza sarà considerata nei calcoli schematizzandola in una riduzione percentuale di peso della parte distaccata.

Le forze di resistenza che agiscono sulla pala in realtà rendono minore il tempo di volo e quindi la gittata. Il moto reale è molto più complesso, in quanto dipende dalle caratteristiche aerodinamiche e dalle condizioni iniziali (rollio, imbardata e beccheggio della pala) che influenzano con una minore gittata il moto dell'elemento e quindi, non considerandoli si andrà a favore di sicurezza.

4 ELEMENTI DI ANALISI DELLA MASSIMA GITTATA

Di seguito si analizzeranno gli elementi determinanti per il calcolo della massima gittata che può avere un elemento rotante distaccato.

4.1 Traiettoria

La traiettoria iniziale dell'elemento distaccato è determinata principalmente dall'angolo in corrispondenza del quale avviene il distacco/rottura e dall'azione esercitata dalle forze e dai momenti di inerzia agenti in quel momento.

Per quanto riguarda le forze di tipo aerodinamico, *static & dynamic forces*, *static drag* e relativi momenti, queste agiranno sull'elemento influenzando i movimenti rotatori in fase di volo.



SKI 34 S.r.l.
Società soggetta ad attività di direzione
e coordinamento di Statkraft AS
Partita IVA 12417100968
Gruppo IVA 11412940964
C.F. 12417100968
Via Caradosso 9
20123 Milano

Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 33 MW sito nel comune di Castelvetro (TP) in località C.da Case Nuove e da un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel comune di Menfi (AG) in località C.da Genovese e da opere connesse nei comuni di Castelvetro (TP), Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca (AG).

4.2 Tempo di volo

Per il calcolo della distanza percorsa dovrà valutarsi il tempo in cui l'elemento distaccato prosegue il suo volo, questo è determinato da alcuni fattori ed in particolare:

- Dalla componente verticale della velocità iniziale posseduta dall'elemento - immediatamente dopo il distacco - in corrispondenza del suo punto baricentrico;
- Dalla posizione rispetto al suolo;
- Dall'accelerazione verticale;
- Dalle forze di attrito agenti sull'elemento stesso.

5 ELEMENTI DI DETERMINAZIONE DELLA MASSIMA DISTANZA PERCORRIBILE

La massima distanza orizzontale percorribile dall'elemento distaccato, durante la fase di volo, è quindi determinata:

- Dalla componente orizzontale della velocità immediatamente dopo il distacco;
- Dalle forze di attrito che agiscono sull'elemento in volo;
- Dal tempo di volo influenzato anche dalla componente verticale della velocità.

Nel calcolo delle forze agenti si dovranno quindi tenere in considerazione due componenti quelle *in-plane* e quelle *out-plane*, infatti le componenti del moto, anche per come descritto precedentemente, saranno composte da elementi nel piano e perpendicolari al piano.

La somma vettoriale di queste due componenti permette di ricavare la distanza massima, teorica, percorsa in volo dall'elemento distaccato.

6 STIMA DELLA DISTANZA MASSIMA PERCORRIBILE

Il caso in esame è quello per il quale risulta coerente e fattibile l'esame della distanza massima percorribile. A livello costruttivo esiste infatti un punto di discontinuità strutturale nell'attacco



SKI 34 S.r.l.
 Società soggetta ad attività di direzione
 e coordinamento di Statkraft AS
 Partita IVA 12417100968
 Gruppo IVA 11412940964
 C.F. 12417100968
 Via Caradosso 9
 20123 Milano

Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 33 MW sito nel comune di Castelvetro (TP) in località C.da Case Nuove e da un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel comune di Menfi (AG) in località C.da Genovese e da opere connesse nei comuni di Castelvetro (TP), Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca (AG).

bullonato che collega la pala al mozzo per il quale esiste infatti un'ipotesi, seppur remota, di cedimento dell'attacco trattandosi dell'elemento di congiunzione delle due componenti.

Di contro, il calcolo di gittata nel caso di distacco di frammenti e porzioni di guscio, risulta problematico e privo di basi computazionali, in quanto lo stabilire le dimensioni del pezzo distaccato è del tutto aleatorio e non dipende da una causa specifica come quelle collegabili ad una discontinuità o un difetto di progettazione di realizzazione della pala.

In questo caso si ritiene quindi utile eseguire la verifica con il calcolo della gittata massima scegliendo quindi, tra le varie combinazioni possibili, quella che restituisce il valore massimo, nonostante la geometria degli elementi stessi porterebbe a considerare che le distanze percorse siano inferiori e la possibilità che tale evento si manifesti sia comunque nulla.

I dati e le considerazioni alla base del calcolo sono:

- Aerogeneratori Siemens Gamesa [6,6 MW];
- Rottura di tutto l'elemento pala;
- Velocità di rotazione massima 8,83 giri/minuto;
- Attrito dell'aria considerato nullo;
- Punto di rottura calcolato da 0° a 180° considerati dal piano orizzontale sull'asse del rotore.

L'aerogeneratore preso in considerazione ha altezza massima del mozzo di 145 metri, con pale di lunghezza pari a 85 m.

La formula della gittata massima applicata al caso specifico e con le modalità descritte nei paragrafi precedenti risulta essere la seguente:

$$G = \frac{V_{x0}(V_{y0} + \sqrt{V_{y0}^2 + 2 * g * HG})}{g} - X_g$$

di cui le componenti sono:

α - l'angolo di rottura dell'elemento considerato rispetto all'orizzonte:

$$H_G = H_{torre} + Y_g;$$

$$Y_g = r_g \text{ sen } \alpha;$$



SKI 34 S.r.l.
 Società soggetta ad attività di direzione
 e coordinamento di Statkraft AS
 Partita IVA 12417100968
 Gruppo IVA 11412940964
 C.F. 12417100968
 Via Caradosso 9
 20123 Milano

Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 33 MW sito nel comune di Castelvetrano (TP) in località C.da Case Nuove e da un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel comune di Menfi (AG) in località C.da Genovese e da opere connesse nei comuni di Castelvetrano (TP), Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca (AG).

$r_g = \frac{D}{2} - L + \frac{L}{3}$ posizione del baricentro pari ad 1/3 della lunghezza della pala più raggio mozzo;

$X_g = r_g \cos \alpha$ - posizione del baricentro della pala rispetto all'asse della torre;

$v_{x0} = v_0 \cos (90 - \alpha) = v_0 \sin \alpha$;

$v_{y0} = v_0 \sin (90 - \alpha) = v_0 \cos \alpha$;

$v_0 = \omega r_g = (2\pi n r_g)/60$;

n = Numero di giro al minuto del rotore;

L = 87,5 m Lunghezza della pala in metri;

H_{torre} = 145 m Altezza del mozzo in metri;

G_{eff} = G + L_g Gittata effettiva.

L'applicazione della formula precedentemente esposta, in un foglio di calcolo, permette di sviluppare la seguente tabella che mette in chiaro tutti parametri utilizzati per il calcolo della gittata massima e le distanze calcolate per valori di α che vanno da 0 a 180°.

Il valore di gittata massima sarà in fine ricercato in tabella nella colonna Gittata effettiva.

Angolo α	n	L	H _{torre}	v ₀	v _{x0}	v _{y0}	H _g	D	r _g	g	Gittata teorica	X _g	L _g	Gittata Effettiva
0	8,83	87,50	145,00	26,97	0,00	26,97	145,00	175	29,17	9,81	-29,17	29,17	58,33	29,17
1	8,83	87,50	145,00	26,97	0,47	26,97	145,51	175	29,17	9,81	-25,00	29,16	58,33	33,34
2	8,83	87,50	145,00	26,97	0,94	26,95	146,02	175	29,17	9,81	-20,81	29,15	58,33	37,52
3	8,83	87,50	145,00	26,97	1,41	26,93	146,53	175	29,17	9,81	-16,62	29,13	58,33	41,71
4	8,83	87,50	145,00	26,97	1,88	26,90	147,03	175	29,17	9,81	-12,42	29,10	58,33	45,92
5	8,83	87,50	145,00	26,97	2,35	26,87	147,54	175	29,17	9,81	-8,21	29,06	58,33	50,12
6	8,83	87,50	145,00	26,97	2,82	26,82	148,05	175	29,17	9,81	-4,00	29,01	58,33	54,33
7	8,83	87,50	145,00	26,97	3,29	26,77	148,55	175	29,17	9,81	0,21	28,95	58,33	58,54
8	8,83	87,50	145,00	26,97	3,75	26,71	149,06	175	29,17	9,81	4,41	28,88	58,33	62,75
9	8,83	87,50	145,00	26,97	4,22	26,64	149,56	175	29,17	9,81	8,61	28,81	58,33	66,94
10	8,83	87,50	145,00	26,97	4,68	26,56	150,06	175	29,17	9,81	12,80	28,72	58,33	71,13



SKI 34 S.r.l.
Società soggetta ad attività di direzione
e coordinamento di Statkraft AS

Partita IVA 12417100968
Gruppo IVA 11412940964
C.F. 12417100968

Statkraft

Via Caradosso 9
20123 Milano

Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 33 MW sito nel comune di Castelvetro (TP) in località C.da Case Nuove e da un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel comune di Menfi (AG) in località C.da Genovese e da opere connesse nei comuni di Castelvetro (TP), Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca (AG).

Angolo α	n	L	H _{torre}	v ₀	v _{x0}	v _{y0}	H _g	D	r _g	g	Gittata teorica	X _g	L _g	Gittata Effettiva
11	8,83	87,50	145,00	26,97	5,15	26,47	150,57	175	29,17	9,81	16,97	28,63	58,33	75,30
12	8,83	87,50	145,00	26,97	5,61	26,38	151,06	175	29,17	9,81	21,13	28,53	58,33	79,46
13	8,83	87,50	145,00	26,97	6,07	26,28	151,56	175	29,17	9,81	25,27	28,42	58,33	83,60
14	8,83	87,50	145,00	26,97	6,52	26,17	152,06	175	29,17	9,81	29,39	28,30	58,33	87,72
15	8,83	87,50	145,00	26,97	6,98	26,05	152,55	175	29,17	9,81	33,48	28,17	58,33	91,81
16	8,83	87,50	145,00	26,97	7,43	25,92	153,04	175	29,17	9,81	37,55	28,04	58,33	95,88
17	8,83	87,50	145,00	26,97	7,89	25,79	153,53	175	29,17	9,81	41,58	27,89	58,33	99,91
18	8,83	87,50	145,00	26,97	8,33	25,65	154,01	175	29,17	9,81	45,59	27,74	58,33	103,92
19	8,83	87,50	145,00	26,97	8,78	25,50	154,50	175	29,17	9,81	49,55	27,58	58,33	107,89
20	8,83	87,50	145,00	26,97	9,22	25,34	154,98	175	29,17	9,81	53,49	27,41	58,33	111,82
21	8,83	87,50	145,00	26,97	9,67	25,18	155,45	175	29,17	9,81	57,38	27,23	58,33	115,71
22	8,83	87,50	145,00	26,97	10,10	25,01	155,93	175	29,17	9,81	61,22	27,04	58,33	119,56
23	8,83	87,50	145,00	26,97	10,54	24,83	156,40	175	29,17	9,81	65,03	26,85	58,33	123,36
24	8,83	87,50	145,00	26,97	10,97	24,64	156,86	175	29,17	9,81	68,78	26,65	58,33	127,12
25	8,83	87,50	145,00	26,97	11,40	24,44	157,33	175	29,17	9,81	72,49	26,43	58,33	130,82
26	8,83	87,50	145,00	26,97	11,82	24,24	157,79	175	29,17	9,81	76,14	26,21	58,33	134,47
27	8,83	87,50	145,00	26,97	12,24	24,03	158,24	175	29,17	9,81	79,74	25,99	58,33	138,07
28	8,83	87,50	145,00	26,97	12,66	23,81	158,69	175	29,17	9,81	83,28	25,75	58,33	141,62
29	8,83	87,50	145,00	26,97	13,08	23,59	159,14	175	29,17	9,81	86,77	25,51	58,33	145,10
30	8,83	87,50	145,00	26,97	13,48	23,36	159,58	175	29,17	9,81	90,20	25,26	58,33	148,53
31	8,83	87,50	145,00	26,97	13,89	23,12	160,02	175	29,17	9,81	93,56	25,00	58,33	151,89
32	8,83	87,50	145,00	26,97	14,29	22,87	160,46	175	29,17	9,81	96,86	24,73	58,33	155,19
33	8,83	87,50	145,00	26,97	14,69	22,62	160,89	175	29,17	9,81	100,09	24,46	58,33	158,43
34	8,83	87,50	145,00	26,97	15,08	22,36	161,31	175	29,17	9,81	103,26	24,18	58,33	161,59
35	8,83	87,50	145,00	26,97	15,47	22,09	161,73	175	29,17	9,81	106,36	23,89	58,33	164,69
36	8,83	87,50	145,00	26,97	15,85	21,82	162,14	175	29,17	9,81	109,39	23,60	58,33	167,72
37	8,83	87,50	145,00	26,97	16,23	21,54	162,55	175	29,17	9,81	112,34	23,29	58,33	170,68
38	8,83	87,50	145,00	26,97	16,60	21,25	162,96	175	29,17	9,81	115,23	22,98	58,33	173,56
39	8,83	87,50	145,00	26,97	16,97	20,96	163,36	175	29,17	9,81	118,04	22,67	58,33	176,37
40	8,83	87,50	145,00	26,97	17,34	20,66	163,75	175	29,17	9,81	120,78	22,34	58,33	179,11
41	8,83	87,50	145,00	26,97	17,69	20,35	164,14	175	29,17	9,81	123,44	22,01	58,33	181,77
42	8,83	87,50	145,00	26,97	18,05	20,04	164,52	175	29,17	9,81	126,02	21,68	58,33	184,35
43	8,83	87,50	145,00	26,97	18,39	19,72	164,89	175	29,17	9,81	128,53	21,33	58,33	186,86
44	8,83	87,50	145,00	26,97	18,73	19,40	165,26	175	29,17	9,81	130,95	20,98	58,33	189,29



Statkraft

SKI 34 S.r.l.
Società soggetta ad attività di direzione
e coordinamento di Statkraft AS
Partita IVA 12417100968
Gruppo IVA 11412940964
C.F. 12417100968
Via Caradosso 9
20123 Milano

Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 33 MW sito nel comune di Castelvetrano (TP) in località C.da Case Nuove e da un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel comune di Menfi (AG) in località C.da Genovese e da opere connesse nei comuni di Castelvetrano (TP), Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca (AG).

Angolo α	n	L	H _{torre}	v ₀	v _{x0}	v _{y0}	H _g	D	r _g	g	Gittata teorica	X _g	L _g	Gittata Effettiva
45	8,83	87,50	145,00	26,97	19,07	19,07	165,62	175	29,17	9,81	133,30	20,62	58,33	191,63
46	8,83	87,50	145,00	26,97	19,40	18,73	165,98	175	29,17	9,81	135,57	20,26	58,33	193,90
47	8,83	87,50	145,00	26,97	19,72	18,39	166,33	175	29,17	9,81	137,76	19,89	58,33	196,09
48	8,83	87,50	145,00	26,97	20,04	18,05	166,68	175	29,17	9,81	139,87	19,52	58,33	198,20
49	8,83	87,50	145,00	26,97	20,35	17,69	167,01	175	29,17	9,81	141,89	19,14	58,33	200,23
50	8,83	87,50	145,00	26,97	20,66	17,34	167,34	175	29,17	9,81	143,84	18,75	58,33	202,17
51	8,83	87,50	145,00	26,97	20,96	16,97	167,67	175	29,17	9,81	145,70	18,36	58,33	204,03
52	8,83	87,50	145,00	26,97	21,25	16,60	167,98	175	29,17	9,81	147,48	17,96	58,33	205,82
53	8,83	87,50	145,00	26,97	21,54	16,23	168,29	175	29,17	9,81	149,18	17,55	58,33	207,52
54	8,83	87,50	145,00	26,97	21,82	15,85	168,60	175	29,17	9,81	150,80	17,14	58,33	209,14
55	8,83	87,50	145,00	26,97	22,09	15,47	168,89	175	29,17	9,81	152,34	16,73	58,33	210,68
56	8,83	87,50	145,00	26,97	22,36	15,08	169,18	175	29,17	9,81	153,80	16,31	58,33	212,13
57	8,83	87,50	145,00	26,97	22,62	14,69	169,46	175	29,17	9,81	155,18	15,89	58,33	213,51
58	8,83	87,50	145,00	26,97	22,87	14,29	169,73	175	29,17	9,81	156,47	15,46	58,33	214,81
59	8,83	87,50	145,00	26,97	23,12	13,89	170,00	175	29,17	9,81	157,69	15,02	58,33	216,02
60	8,83	87,50	145,00	26,97	23,36	13,48	170,26	175	29,17	9,81	158,83	14,58	58,33	217,16
61	8,83	87,50	145,00	26,97	23,59	13,08	170,51	175	29,17	9,81	159,88	14,14	58,33	218,22
62	8,83	87,50	145,00	26,97	23,81	12,66	170,75	175	29,17	9,81	160,86	13,69	58,33	219,20
63	8,83	87,50	145,00	26,97	24,03	12,24	170,99	175	29,17	9,81	161,77	13,24	58,33	220,10
64	8,83	87,50	145,00	26,97	24,24	11,82	171,21	175	29,17	9,81	162,59	12,79	58,33	220,92
65	8,83	87,50	145,00	26,97	24,44	11,40	171,43	175	29,17	9,81	163,34	12,33	58,33	221,67
66	8,83	87,50	145,00	26,97	24,64	10,97	171,65	175	29,17	9,81	164,02	11,86	58,33	222,35
67	8,83	87,50	145,00	26,97	24,83	10,54	171,85	175	29,17	9,81	164,62	11,40	58,33	222,95
68	8,83	87,50	145,00	26,97	25,01	10,10	172,04	175	29,17	9,81	165,14	10,93	58,33	223,48
69	8,83	87,50	145,00	26,97	25,18	9,67	172,23	175	29,17	9,81	165,60	10,45	58,33	223,93
70	8,83	87,50	145,00	26,97	25,34	9,22	172,41	175	29,17	9,81	165,98	9,98	58,33	224,32
71	8,83	87,50	145,00	26,97	25,50	8,78	172,58	175	29,17	9,81	166,30	9,50	58,33	224,63
72	8,83	87,50	145,00	26,97	25,65	8,33	172,74	175	29,17	9,81	166,54	9,01	58,33	224,88
73	8,83	87,50	145,00	26,97	25,79	7,89	172,89	175	29,17	9,81	166,72	8,53	58,33	225,06
74	8,83	87,50	145,00	26,97	25,92	7,43	173,04	175	29,17	9,81	166,84	8,04	58,33	225,17
75	8,83	87,50	145,00	26,97	26,05	6,98	173,17	175	29,17	9,81	166,88	7,55	58,33	225,22

Tabella 2 - Identificazione delle gittate teoriche ed effettive



SKI 34 S.r.l.
 Società soggetta ad attività di direzione
 e coordinamento di Statkraft AS
 Partita IVA 12417100968
 Gruppo IVA 11412940964
 C.F. 12417100968
 Via Caradosso 9
 20123 Milano

Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 33 MW sito nel comune di Castelvetrano (TP) in località C.da Case Nuove e da un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel comune di Menfi (AG) in località C.da Genovese e da opere connesse nei comuni di Castelvetrano (TP), Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca (AG).

La figura seguente rappresenta i gradi in cui si determinerebbe il valore di gittata massima per le zone identificabili come I° e II° quadrante di un piano cartesiano identificabili quindi alla sinistra ed alla destra della WTG.

Tali punti possono quindi essere quantificati rispettivamente a 75 gradi a sinistra e 105 gradi a destra andando a decrescere avvicinandosi sull'asse orizzontale del piano considerato.

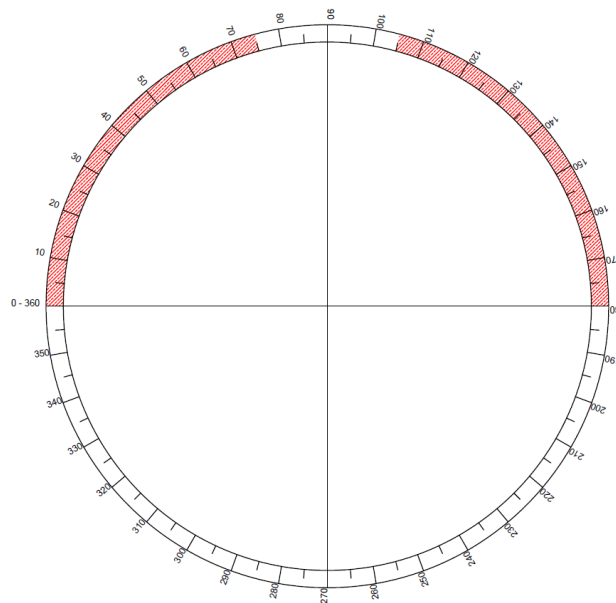


Figura 4 - identificazione dei gradi di rottura dell'elemento pala a sx e dx

La stima è ovviamente effettuata in condizioni di grande sicurezza perché:

- non tiene conto della resistenza dell'aria che rallenta il moto sull'asse orizzontale (è stato modellato come moto rettilineo uniforme);
- non tiene conto della enorme dissipazione di energia che, comunque, si avrebbe al momento del distacco per vincere la resistenza del vincolo della pala all'aerogeneratore: infatti quand'anche si consideri il caso di distacco della pala dalla navicella, è evidente che il dispendio di energia cinetica per rompere il vincolo con l'aerogeneratore non può essere nullo;
- non tiene conto della velocità e la direzione del vento al momento del distacco.

**Statkraft**

SKI 34 S.r.l.
Società soggetta ad attività di direzione
e coordinamento di Statkraft AS

Partita IVA 12417100968
Gruppo IVA 11412940964
C.F. 12417100968

Via Caradosso 9
20123 Milano

Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 33 MW sito nel comune di Castelvetrano (TP) in località C.da Case Nuove e da un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel comune di Menfi (AG) in località C.da Genovese e da opere connesse nei comuni di Castelvetrano (TP), Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca (AG).

Pagina | 15

7 DATI SPERIMENTALI E CONCLUSIONE

Ciò che si verifica in realtà in caso di rottura di parti della pala, come confermato dagli studi di settore e come rinvenibile nella casistica di cui si abbia notizia su parchi eolici esistenti, è un moto di rotazione complesso e la distanza di volo è sempre ben al di sotto dei risultati ottenuti attraverso i calcoli matematici.

Le parti che subiscono il distaccamento a causa di eventi esterni come la fulminazione sono state rinvenute a non più di 40-50 m dalla base della torre eolica.

Sebbene vi siano innumerevoli variabili che possono concorrere a determinare la gittata massima, si può pertanto confermare che la distanza massima a cui potrebbe essere possibile rinvenire l'intera ala o porzioni della stessa in caso di distacco è di **225,22 m**.

Tenuto conto di tali distanze percorribili dall'elemento distaccato (pala o porzioni di essa), ed analizzato lo stato di fatto dei luoghi circostanti alle singole WTG, il risultato del calcolo della possibile gittata permette di poter affermare l'assenza di minacce per l'incolumità pubblica.

Palermo 09/08/2023

Ing. Girolamo Gorgone