

REGIONE PUGLIA**PROVINCIA DI FOGGIA****COMUNE DI LUCERA**

Denominazione Impianto:

PALMORI

Ubicazione:

**Comune di Lucera (FG)
Località "Palmori"**

Fogli Lucera: 35/36/38/40/41/42

Particelle: varie

PROGETTO DEFINITIVO

di un Parco Eolico composto da n. 10 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,0 MW,
da ubicarsi in agro del comune di Lucera (FG) - località "Palmori"
e delle opere connesse e delle infrastrutture indispensabili da ubicarsi in agro del comune di Lucera (FG)

PROPONENTE

**RAVANO WIND**

VIA XII OTTOBRE, 2/91

GENOVA (GE) - 16121

P.IVA 02815210998

ravanowind@pec.it

ELABORATO

CALCOLO GITATTA MASSIMA

Tav n°

RE15

Scala

Aggiornamenti	Numero	Data	Motivo	Eseguito	Verificato	Approvato
	Rev 0	Settembre 2023	Istanza VIA art.23 D.Lgs 152/06 - Istanza Autorizzazione Unica art.12 D.Lgs 387/03			

PROGETTAZIONE GENERALE
STUDIO DI INGEGNERIA Ing. Michele R.G. CURTOTTI
Viale Il Giugno n. 385
71016 San Severo (FG)
Ordine degli Ingegneri di Foggia n. 1704
mail: ing.curtotti@alice.it
pec: ing.curtotti@pec.it
Cell:339/8220246

Spazio Riservato agli Enti



RAVANO WIND	WIND FARM PALMORI Calcolo Gittata Massima	Settembre 2023
-------------	--	----------------

INDICE

PREMESSA

DESCRIZIONE GENERALE DELL'INTERVENTO 3

CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA DEGLI ELEMENTI ROTANTI DEGLI AEROGENERATORI 5

 IPOTESI INIZIALE5

 MODELLO DI CALCOLO7

MODELLO DI TURBINA EOLICA 9

CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA PER LA PALA INTERA 10

 DISTACCO DELLA PALA DELL'AEROGENERATORE NEL PUNTO DI SERRAGGIO DEL MOZZO ...10

CONCLUSIONI16

FONTI BIBLIOGRAFICHE..... 22

PROPONENTE: RAVANO Wind		pag. 1
-------------------------	--	--------

RAVANO WIND	WIND FARM PALMORI Calcolo Gittata Massima	Settembre 2023
-------------	--	----------------

1.1. PREMESSA

Il presente elaborato costituisce **STUDIO DELLA GITTATA MASSIMA DEGLI ELEMENTI ROTANTI** redatto conformemente ai contenuti del Paragrafo 7.1. “Analisi dei possibili incidenti”, Capitolo 7. “INCIDENTI” dell’ ALLEGATO 4 (punti 14.9, 16.3 e 16.5) “Impianti eolici: elementi per il corretto inserimento nel paesaggio e sul territorio” al D.M. 10 settembre 2010 “Linee guida per l’autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili 10A11230”, il quale stabilisce che: *«È opportuno prendere in esame l’idoneità delle caratteristiche delle macchine, in relazione alle condizioni meteorologiche estreme del sito. In tal senso (...Omissis...) - **andrebbe valutata la gittata massima degli elementi rotanti in caso di rottura accidentale**».*

Il presente studio ha l’obiettivo di valutare e definire le ipotesi, il metodo, e i risultati del calcolo della distanza massima raggiungibile dalla pala rotante di un aerogeneratore eolico che si stacchi a causa della rottura accidentale, ovvero di un frammento di essa, e che quindi si proietti lontano dall’aerogeneratore.

E’ stata presa in considerazione l’ipotesi in cui la rottura della pala si verifichi in corrispondenza della base del mozzo; trattandosi di un punto di discontinuità della struttura questa risulta essere potenzialmente soggetta a possibili, anche se remoti, casi di rottura;

RAVANO WIND	WIND FARM PALMORI Calcolo Gittata Massima	Settembre 2023
-------------	--	----------------

1.2. DESCRIZIONE GENERALE DELL'INTERVENTO

La presente proposta progettuale è finalizzata alla realizzazione dell'impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica "PALMORI" (di seguito: impianto di progetto) che la società RAVANO Wind intende realizzare in agro del Comune di Lucera (FG), Regione Puglia, in località "Palmori".

L'impianto di progetto in scala ampia è posizionato come indicato nella seguente ortofoto (vedi **Figura 1.2.-1.**).

Il layout dell'impianto è schematicamente indicato nelle seguenti figure, ma meglio dettagliato nelle Tavole di Progetto.



Figura 1.2.-1.:Layout di impianto (Fonte: Ortofoto SIT_Puglia).

L'impianto di progetto prevede la realizzazione di **n° 10 (dieci) aerogeneratori (WTG)** tripala ad asse orizzontale di grande taglia, **ciascuno di potenza elettrica nominale pari a 6,0 MW, per una potenza elettrica complessiva pari a 60 MW**, e delle relative opere civili ed elettriche accessorie per la connessione elettrica alla RTN per i quali sarà impiegato il modello di turbina eolica del tipo **V162 da 6,0 MW della VESTAS**, ritenuta fra le macchine più performanti ad oggi disponibili sul mercato stando le caratteristiche anemometriche proprie del sito e le esigenze di impianto.

PROPONENTE: RAVANO Wind		pag. 3
-------------------------	--	--------

RAVANO WIND	WIND FARM PALMORI Calcolo Gittata Massima	Settembre 2023
--------------------	--	----------------

La scelta definitiva della turbina da installare sarà operata a valle della autorizzazione unica, ovvero alla cantierabilità del parco, tra i modelli di turbine a quel dato momento presenti sul mercato, nel rispetto delle caratteristiche dimensionali massime, dei livelli di emissione sonora e di potenza nominale dei modelli previsti in progetto.

Il modello di turbina eolica impiegato è costituito da una torre di sostegno tubolare metallica a tronco di cono sulla cui sommità è installata la navicella, il cui asse è a **119 m dal piano campagna (Hub height)**, con annesso il rotore di diametro pari a **162 m (Rotor diameter)** (lunghezza pala 81,0 m), **per un'altezza massima complessiva del sistema torre-pala (Hub height+1/2 Rotor diameter) di 200 m s.l.t.**

Si riportano di seguito (*vedi Tabella 1.2.-1.*) le coordinate geografiche delle n° 10 (dieci) WTG del layout di progetto espresse nel sistema di riferimento UTM WGS84 - Fuso 33:

Tabella 1.2.-1.:Coordinate delle n° 10 (dieci) WTG (ID.:A1,A2,A3,A4,A5,A6, A7,A8,A9,A10) del layout di progetto.

Impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica "PALMORI" (n° 10 WTG)		
Regione: PUGLIA		
Provincia di: FOGGIA		
Comune/i di: LUCERA		
Località: "PALMORI"		
ID. WTG	Coordinate WTG (UTM WGS84 - Fuso 33)	
	EST	NORD
A1	538221	4599706
A2	538467	4598502
A3	537177	4597450
A4	535638	4597596
A5	534586	4599436
A6	533181	4599412
A7	531910	4599353
A8	532977	4597593
A9	533831	4598088
A10	534860	4597591

RAVANO WIND	WIND FARM PALMORI Calcolo Gittata Massima	Settembre 2023
--------------------	--	----------------

1.3.	CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA DEGLI ELEMENTI ROTANTI DEGLI AEROGENERATORI
-------------	--

1.3.1.	IPOTESI INIZIALE
---------------	-------------------------

L'ipotesi di partenza è che una pala si distacchi accidentalmente mentre il rotore è in movimento e venga poi proiettato in aria. Le figure seguenti illustrano schematicamente il fenomeno (vedi **Figura 1.3.1.-1.** e **Figura 1.3.1.-2.**).

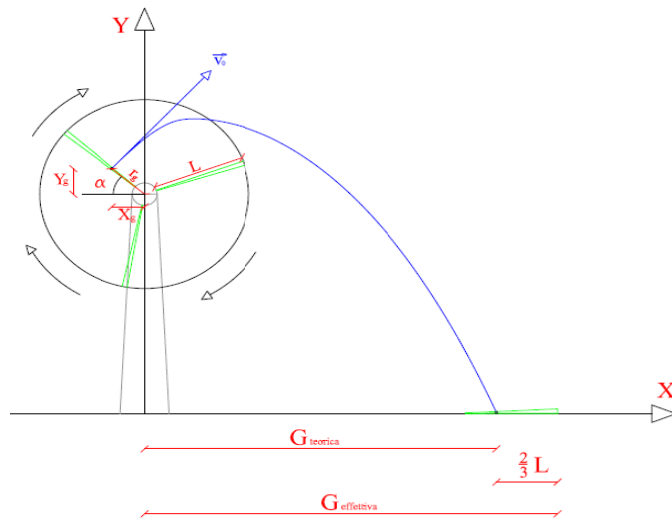


Figura 1.3.1.-1.: Traiettoria del moto di una pala (angolo compreso tra 0° e 90°)

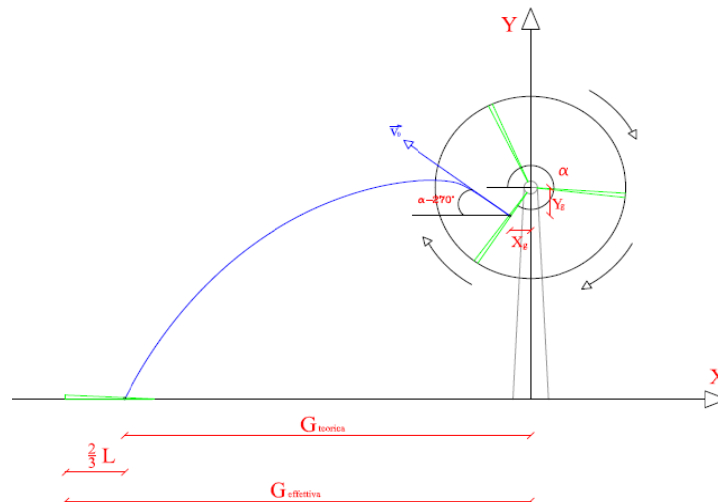


Figura 1.3.1.-2.: Traiettoria del moto di una pala (angolo compreso tra 270° e 360°)

PROPONENTE: RAVANO Wind		pag. 5
-------------------------	--	--------

RAVANO WIND	WIND FARM PALMORI Calcolo Gittata Massima	Settembre 2023
-------------	--	----------------

Il moto risultante sarà quello di un corpo libero, soggetto solo all'accelerazione di gravità e alla forza di attrito viscoso con l'aria. La sua dinamica risulta essere piuttosto complessa in quanto è governata da numerose variabili, come la forma dell'oggetto e la sua massa. Inoltre, la rottura della pala, combinata al movimento del rotore, imprimeranno all'oggetto distaccato un moto rototraslatorio di cui non è possibile prevedere la componente rotatoria.

Al fine del calcolo si assumerà, infatti, che il moto bidimensionale parabolico sia assimilato a quello di un corpo puntiforme avente massa e centro di gravità corrispondenti a quella dell'oggetto distaccato. È inoltre assunto che l'oggetto trasli senza ruotare, disponendosi in una posizione tale da offrire il minor attrito possibile con l'aria rispetto alle componenti orizzontali della sua velocità e, al contrario, massimo attrito rispetto a quelle verticali (massima portanza).

Tutte queste assunzioni risultano conservative ai fini della gittata massima; in questo modo la gittata reale non sarà mai superiore a quella di seguito calcolata.

Nel calcolo non è stato considerato il contributo del vento in direzione perpendicolare al moto dell'oggetto (asse z), risultando questo trascurabile.

RAVANO WIND	WIND FARM PALMORI Calcolo Gittata Massima	Settembre 2023
--------------------	--	----------------

1.3.2.	MODELLO DI CALCOLO
---------------	---------------------------

Il moto parabolico dell'oggetto nell'ipotesi di rottura accidentale dell'intero elemento rotante viene analizzato attraverso la cinematica, prendendo in considerazione le forze aerodinamiche agenti su di esso.

Un corpo in movimento attraverso l'aria è soggetto alla forza di attrito viscoso che ha verso opposto alla direzione della sua velocità ed è funzione di quest'ultima, della sua geometria e della densità dell'aria.

Il calcolo della Gittata è effettuato in funzione dell'angolo di inclinazione della pala rispetto all'orizzontale, in senso orario e ponendo l'angolo di 0° e 90°:

Formula della Gittata Massima per angolo compreso tra 0° e 90°
$G = V_{x0}(V_{y0} + \sqrt{(V_{y0}^2 + 2 * g * HG)}) / g - X_g$

dove :

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

$$Y_g = r_g \sin \alpha$$

r_g = posizione del baricentro pari ad 1/3 della lunghezza della pala più raggio mozzo

$$X_g = r_g \cos \alpha \text{ (posizione del baricentro della pala rispetto all'asse della torre)}$$

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

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

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

n = numero di giri al minuto del rotore

Pertanto:

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

RAVANO WIND	WIND FARM PALMORI Calcolo Gittata Massima	Settembre 2023
--------------------	--	----------------

Il calcolo della Gittata è effettuato in funzione dell'angolo di inclinazione della pala rispetto all'orizzontale, in senso orario e ponendo l'angolo di 270° e 360°:

Formula della Gittata Massima per angolo compreso tra 270° e 360°
$G = V_{x0}(V_{y0} + \sqrt{(V_{y0}^2 + 2 * g * HG)}) / g + X_g$

dove:

$$H_G = H_{\text{torre}} - Y_g$$

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

$r_g = D/2 - L + L/3$ (r_g = posizione del baricentro pari ad 1/3 della lunghezza della pala più raggio mozzo)

$$X_g = r_g \cos(360 - \alpha) = r_g \cos \alpha = -r_g \cos \alpha$$

$$v_{x0} = v_0 \cos(\alpha - 270) = -v_0 \sin \alpha = v_0 \sin \alpha$$

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

n = numero di giri al minuto del rotore

Pertanto:

Gittata Effettiva
$G_{\text{eff}} = G - L_g$

RAVANO WIND	WIND FARM PALMORI Calcolo Gittata Massima	Settembre 2023
--------------------	--	----------------

1.4.	MODELLO DI TURBINA EOLICA
-------------	----------------------------------

Si rammenta che per i n° 10 (dieci) aerogeneratori (WTG) dell'impianto di progetto sarà impiegato il modello di turbina eolica tipo **V162 da 6,0 MW della VESTAS**.

Il modello di turbina eolica impiegato è costituito da una torre di sostegno tubolare metallica a tronco di cono sulla cui sommità è installata la navicella, il cui asse è a **119 m dal piano campagna (Hub height)**, con annesso il rotore di diametro pari a **162 m (Rotor diameter)** (lunghezza pala 81,0 m), **per un'altezza massima complessiva del sistema torre-pala (Hub height+1/2 Rotor diameter) di 200,0 m s.l.t.**

La **Tabella 1.4.1.-1.** riassume i principali parametri del modello di turbina eolica **V162 da 6,0 MW della VESTAS** utilizzati per il calcolo della gittata massima dell'intero elemento di pala:

Tabella 1.4.1.-1.: Principali parametri del modello di turbina eolica V162 da 6,0 MW della VESTAS utilizzati per il calcolo della gittata massima dell'intero elemento di pala.

Numero di giri al minuto del rotore	n =	12,1
Lunghezza della pala in metri	L =	81,0
Altezza del mozzo in metri	H_{torre} =	119
Diametro del rotore	D =	162

RAVANO WIND	WIND FARM PALMORI Calcolo Gittata Massima	Settembre 2023
-------------	--	----------------

1.5. CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA PER LA PALA INTERA

Alla luce di quanto analizzato e stimato si può affermare che la rottura di una pala è un evento accidentale e pertanto non è possibile prevedere come e in quale punto avverrà; per coprire le diverse possibilità sono quindi stati identificati tre casi di calcolo, corrispondenti al distacco di una delle pale nel punto di serraggio del mozzo, punto di maggiore sollecitazione meccanica a causa del collegamento.

Per il calcolo della gittata s'ipotizza inoltre, in tutti i casi presi in considerazione, che l'elemento si stacchi dall'aerogeneratore quando questo sta ruotando alla massima velocità consentita prima del cut-off.

1.5.1. DISTACCO DELLA PALA DELL'AEROGENERATORE NEL PUNTO DI SERRAGGIO DEL MOZZO

Si prende in considerazione in primo luogo il caso in cui si verifichi la rottura della pala nel punto di serraggio del mozzo. Le assunzioni adottate per la metodologia di calcolo prevedono:

- Massima velocità di rotazione del rotore delle turbine in esame al momento della rottura della pala;
- Considerando il massimo valore dell'angolo di lancio θ ;
- Il centro di massa delle pale è posizionato ad $1/3$ della lunghezza delle pale, in prossimità del mozzo;
- Considerando che le pale dell'aerogeneratore sono state progettate per generare portanza, s'ipotizza che la pala distaccata si disponga ponendo la sua corda nella direzione del moto; sulla base di questa ipotesi sono stati selezionati i coefficienti di penetrazione aerodinamica C e le sezioni della pala S .

Il calcolo esatto e reale della traiettoria seguita da una pala eolica, nell'ipotesi di rottura accidentale dell'elemento d'aerogeneratore in condizioni nominali di funzionamento, è un'analisi assai complessa se mirata all'ottenimento di risultati che siano quanto più possibili prossimi alla realtà.

Infatti, le condizioni al contorno da prendere in considerazione ai fini di un'indagine olistica del problema sarebbero molteplici e dovrebbero attenersi, oltre alle mere caratteristiche geometriche e dinamiche della turbina, anche ad altri fattori quali: le caratteristiche strutturali e aerodinamiche della pala, le possibili modalità di rottura e/o collasso degli elementi strutturali, le caratteristiche fluidodinamiche, le particolari condizioni del sito nel quale il fenomeno è atteso verificarsi, ecc. e, non ultime, le caratteristiche dinamiche della pala in fase di caduta.

Spesso, la difficoltà più gravosa sta nel fatto che alcuni dei dati peculiari precedentemente elencati sono disponibili solo presso i progettisti e i costruttori delle turbine eoliche, i quali probabilmente dovrebbero essere gli unici demandati alla valutazione di questo tipo di fenomeno.

RAVANO WIND	WIND FARM PALMORI Calcolo Gittata Massima	Settembre 2023
-------------	--	----------------

Numerose indagini presenti in letteratura attuano un approccio semplificativo al fenomeno, forzando le procedure di calcolo a una mera valutazione fisica del problema e analizzandone gli effetti solo dal punto di vista geometrico/analitico; ottenendo per forza di cose risultati “abnormi”, cioè distanti dalla realtà.

Nei limiti delle proprie possibilità, il proponente ha eseguito un’analisi semplificativa dello studio, adottando l’ipotesi di moto bidimensionale di un oggetto che avviene secondo la legge del moto parabolico, studiato attraverso la cinematica e prendendo in considerazione le forze aerodinamiche agenti sull’oggetto stesso, ottenendo alla fine i seguenti risultati: scegliendo un valore dell’angolo di lancio VARIABILE DA $\theta = 0^\circ$ a 90° che rappresenti le condizioni più gravose ossia, il valore dell’angolo in corrispondenza del quale si ottiene la gittata massima dell’elemento di pala, computata a partire dalla localizzazione della torre fino al punto di caduta, si è ottenuto che **la distanza massima raggiungibile dagli elementi rotanti, in caso di rottura accidentale di una delle pale del modello di turbina eolica considerato, è risultato pari a 262,23 m.**

PROPONENTE: RAVANO Wind		pag. 11
-------------------------	--	---------

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	12,10	81,00	119,00	34,21	0,00	34,21	119,00	162	27,00	9,81	-27,00	27,00	54,00	27,00
1	12,10	81,00	119,00	34,21	0,60	34,21	119,47	162	27,00	9,81	-21,31	27,00	54,00	32,69
2	12,10	81,00	119,00	34,21	1,19	34,19	119,94	162	27,00	9,81	-15,60	26,98	54,00	38,40
3	12,10	81,00	119,00	34,21	1,79	34,17	120,41	162	27,00	9,81	-9,88	26,96	54,00	44,12
4	12,10	81,00	119,00	34,21	2,39	34,13	120,88	162	27,00	9,81	-4,16	26,93	54,00	49,84
5	12,10	81,00	119,00	34,21	2,98	34,08	121,35	162	27,00	9,81	1,55	26,90	54,00	55,55
6	12,10	81,00	119,00	34,21	3,58	34,02	121,82	162	27,00	9,81	7,26	26,85	54,00	61,26
7	12,10	81,00	119,00	34,21	4,17	33,96	122,29	162	27,00	9,81	12,97	26,80	54,00	66,97
8	12,10	81,00	119,00	34,21	4,76	33,88	122,76	162	27,00	9,81	18,65	26,74	54,00	72,65
9	12,10	81,00	119,00	34,21	5,35	33,79	123,22	162	27,00	9,81	24,32	26,67	54,00	78,32
10	12,10	81,00	119,00	34,21	5,94	33,69	123,69	162	27,00	9,81	29,96	26,59	54,00	83,96
11	12,10	81,00	119,00	34,21	6,53	33,58	124,15	162	27,00	9,81	35,57	26,50	54,00	89,57
12	12,10	81,00	119,00	34,21	7,11	33,46	124,61	162	27,00	9,81	41,15	26,41	54,00	95,15
13	12,10	81,00	119,00	34,21	7,70	33,34	125,07	162	27,00	9,81	46,69	26,31	54,00	100,69
14	12,10	81,00	119,00	34,21	8,28	33,20	125,53	162	27,00	9,81	52,18	26,20	54,00	106,18
15	12,10	81,00	119,00	34,21	8,85	33,05	125,99	162	27,00	9,81	57,63	26,08	54,00	111,63
16	12,10	81,00	119,00	34,21	9,43	32,89	126,44	162	27,00	9,81	63,03	25,95	54,00	117,03
17	12,10	81,00	119,00	34,21	10,00	32,72	126,89	162	27,00	9,81	68,38	25,82	54,00	122,38
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
18	12,10	81,00	119,00	34,21	10,57	32,54	127,34	162	27,00	9,81	73,66	25,68	54,00	127,66
19	12,10	81,00	119,00	34,21	11,14	32,35	127,79	162	27,00	9,81	78,88	25,53	54,00	132,88
20	12,10	81,00	119,00	34,21	11,70	32,15	128,23	162	27,00	9,81	84,04	25,37	54,00	138,04
21	12,10	81,00	119,00	34,21	12,26	31,94	128,68	162	27,00	9,81	89,12	25,21	54,00	143,12
22	12,10	81,00	119,00	34,21	12,82	31,72	129,11	162	27,00	9,81	94,13	25,03	54,00	148,13
23	12,10	81,00	119,00	34,21	13,37	31,49	129,55	162	27,00	9,81	99,06	24,85	54,00	153,06
24	12,10	81,00	119,00	34,21	13,92	31,25	129,98	162	27,00	9,81	103,91	24,67	54,00	157,91
25	12,10	81,00	119,00	34,21	14,46	31,01	130,41	162	27,00	9,81	108,67	24,47	54,00	162,67
26	12,10	81,00	119,00	34,21	15,00	30,75	130,84	162	27,00	9,81	113,35	24,27	54,00	167,35
27	12,10	81,00	119,00	34,21	15,53	30,48	131,26	162	27,00	9,81	117,93	24,06	54,00	171,93
28	12,10	81,00	119,00	34,21	16,06	30,21	131,68	162	27,00	9,81	122,42	23,84	54,00	176,42
29	12,10	81,00	119,00	34,21	16,59	29,92	132,09	162	27,00	9,81	126,82	23,61	54,00	180,82
30	12,10	81,00	119,00	34,21	17,11	29,63	132,50	162	27,00	9,81	131,11	23,38	54,00	185,11
31	12,10	81,00	119,00	34,21	17,62	29,33	132,91	162	27,00	9,81	135,30	23,14	54,00	189,30
32	12,10	81,00	119,00	34,21	18,13	29,01	133,31	162	27,00	9,81	139,39	22,90	54,00	193,39
33	12,10	81,00	119,00	34,21	18,63	28,69	133,71	162	27,00	9,81	143,36	22,64	54,00	197,36
34	12,10	81,00	119,00	34,21	19,13	28,36	134,10	162	27,00	9,81	147,23	22,38	54,00	201,23
35	12,10	81,00	119,00	34,21	19,62	28,02	134,49	162	27,00	9,81	150,99	22,12	54,00	204,99
36	12,10	81,00	119,00	34,21	20,11	27,68	134,87	162	27,00	9,81	154,64	21,84	54,00	208,64
37	12,10	81,00	119,00	34,21	20,59	27,32	135,25	162	27,00	9,81	158,16	21,56	54,00	212,16
38	12,10	81,00	119,00	34,21	21,06	26,96	135,62	162	27,00	9,81	161,58	21,28	54,00	215,58
39	12,10	81,00	119,00	34,21	21,53	26,59	135,99	162	27,00	9,81	164,87	20,98	54,00	218,87
40	12,10	81,00	119,00	34,21	21,99	26,21	136,36	162	27,00	9,81	168,05	20,68	54,00	222,05
41	12,10	81,00	119,00	34,21	22,45	25,82	136,71	162	27,00	9,81	171,11	20,38	54,00	225,11
42	12,10	81,00	119,00	34,21	22,89	25,42	137,07	162	27,00	9,81	174,04	20,06	54,00	228,04
43	12,10	81,00	119,00	34,21	23,33	25,02	137,41	162	27,00	9,81	176,85	19,75	54,00	230,85
44	12,10	81,00	119,00	34,21	23,77	24,61	137,76	162	27,00	9,81	179,54	19,42	54,00	233,54
45	12,10	81,00	119,00	34,21	24,19	24,19	138,09	162	27,00	9,81	182,11	19,09	54,00	236,11
46	12,10	81,00	119,00	34,21	24,61	23,77	138,42	162	27,00	9,81	184,55	18,76	54,00	238,55

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
47	12,10	81,00	119,00	34,21	25,02	23,33	138,75	162	27,00	9,81	186,87	18,41	54,00	240,87
48	12,10	81,00	119,00	34,21	25,42	22,89	139,06	162	27,00	9,81	189,07	18,07	54,00	243,07
49	12,10	81,00	119,00	34,21	25,82	22,45	139,38	162	27,00	9,81	191,14	17,71	54,00	245,14
50	12,10	81,00	119,00	34,21	26,21	21,99	139,68	162	27,00	9,81	193,09	17,36	54,00	247,09
51	12,10	81,00	119,00	34,21	26,59	21,53	139,98	162	27,00	9,81	194,92	16,99	54,00	248,92
52	12,10	81,00	119,00	34,21	26,96	21,06	140,28	162	27,00	9,81	196,62	16,62	54,00	250,62
53	12,10	81,00	119,00	34,21	27,32	20,59	140,56	162	27,00	9,81	198,20	16,25	54,00	252,20
54	12,10	81,00	119,00	34,21	27,68	20,11	140,84	162	27,00	9,81	199,66	15,87	54,00	253,66
55	12,10	81,00	119,00	34,21	28,02	19,62	141,12	162	27,00	9,81	201,00	15,49	54,00	255,00
56	12,10	81,00	119,00	34,21	28,36	19,13	141,38	162	27,00	9,81	202,23	15,10	54,00	256,23
57	12,10	81,00	119,00	34,21	28,69	18,63	141,64	162	27,00	9,81	203,33	14,71	54,00	257,33
58	12,10	81,00	119,00	34,21	29,01	18,13	141,90	162	27,00	9,81	204,32	14,31	54,00	258,32
59	12,10	81,00	119,00	34,21	29,33	17,62	142,14	162	27,00	9,81	205,19	13,91	54,00	259,19
60	12,10	81,00	119,00	34,21	29,63	17,11	142,38	162	27,00	9,81	205,95	13,50	54,00	259,95
61	12,10	81,00	119,00	34,21	29,92	16,59	142,61	162	27,00	9,81	206,59	13,09	54,00	260,59
62	12,10	81,00	119,00	34,21	30,21	16,06	142,84	162	27,00	9,81	207,13	12,68	54,00	261,13
63	12,10	81,00	119,00	34,21	30,48	15,53	143,06	162	27,00	9,81	207,56	12,26	54,00	261,56
64	12,10	81,00	119,00	34,21	30,75	15,00	143,27	162	27,00	9,81	207,88	11,84	54,00	261,88
65	12,10	81,00	119,00	34,21	31,01	14,46	143,47	162	27,00	9,81	208,10	11,41	54,00	262,10
66	12,10	81,00	119,00	34,21	31,25	13,92	143,67	162	27,00	9,81	208,21	10,98	54,00	262,21
67	12,10	81,00	119,00	34,21	31,49	13,37	143,85	162	27,00	9,81	208,23	10,55	54,00	262,23
68	12,10	81,00	119,00	34,21	31,72	12,82	144,03	162	27,00	9,81	208,14	10,11	54,00	262,14
69	12,10	81,00	119,00	34,21	31,94	12,26	144,21	162	27,00	9,81	207,96	9,68	54,00	261,96
70	12,10	81,00	119,00	34,21	32,15	11,70	144,37	162	27,00	9,81	207,69	9,23	54,00	261,69
71	12,10	81,00	119,00	34,21	32,35	11,14	144,53	162	27,00	9,81	207,33	8,79	54,00	261,33
72	12,10	81,00	119,00	34,21	32,54	10,57	144,68	162	27,00	9,81	206,88	8,34	54,00	260,88
73	12,10	81,00	119,00	34,21	32,72	10,00	144,82	162	27,00	9,81	206,34	7,89	54,00	260,34
74	12,10	81,00	119,00	34,21	32,89	9,43	144,95	162	27,00	9,81	205,72	7,44	54,00	259,72
75	12,10	81,00	119,00	34,21	33,05	8,85	145,08	162	27,00	9,81	205,02	6,99	54,00	259,02
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
76	12,10	81,00	119,00	34,21	33,20	8,28	145,20	162	27,00	9,81	204,24	6,53	54,00	258,24
77	12,10	81,00	119,00	34,21	33,34	7,70	145,31	162	27,00	9,81	203,39	6,07	54,00	257,39
78	12,10	81,00	119,00	34,21	33,46	7,11	145,41	162	27,00	9,81	202,46	5,61	54,00	256,46
79	12,10	81,00	119,00	34,21	33,58	6,53	145,50	162	27,00	9,81	201,47	5,15	54,00	255,47
80	12,10	81,00	119,00	34,21	33,69	5,94	145,59	162	27,00	9,81	200,40	4,69	54,00	254,40
81	12,10	81,00	119,00	34,21	33,79	5,35	145,67	162	27,00	9,81	199,28	4,22	54,00	253,28
82	12,10	81,00	119,00	34,21	33,88	4,76	145,74	162	27,00	9,81	198,09	3,76	54,00	252,09
83	12,10	81,00	119,00	34,21	33,96	4,17	145,80	162	27,00	9,81	196,84	3,29	54,00	250,84
84	12,10	81,00	119,00	34,21	34,02	3,58	145,85	162	27,00	9,81	195,53	2,82	54,00	249,53
85	12,10	81,00	119,00	34,21	34,08	2,98	145,90	162	27,00	9,81	194,17	2,35	54,00	248,17
86	12,10	81,00	119,00	34,21	34,13	2,39	145,93	162	27,00	9,81	192,76	1,88	54,00	246,76
87	12,10	81,00	119,00	34,21	34,17	1,79	145,96	162	27,00	9,81	191,30	1,41	54,00	245,30
88	12,10	81,00	119,00	34,21	34,19	1,19	145,98	162	27,00	9,81	189,79	0,94	54,00	243,79
89	12,10	81,00	119,00	34,21	34,21	0,60	146,00	162	27,00	9,81	188,24	0,47	54,00	242,24
90	12,10	81,00	119,00	34,21	34,21	0,00	146,00	162	27,00	9,81	186,65	0,00	54,00	240,65

Per un angolo compreso tra 270° e 360° il valore della Gittata sarà negativo perché verso sinistra														
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
270	12,10	81,00	119,00	34,21	-34,21	0,00	92,00	162	27,00	9,81	-148,17	0,00	54,00	-202,17
271	12,10	81,00	119,00	34,21	-34,21	0,60	92,00	162	27,00	9,81	-150,72	0,47	54,00	-204,72
272	12,10	81,00	119,00	34,21	-34,19	1,19	92,02	162	27,00	9,81	-153,25	0,94	54,00	-207,25
273	12,10	81,00	119,00	34,21	-34,17	1,79	92,04	162	27,00	9,81	-155,77	1,41	54,00	-209,77
274	12,10	81,00	119,00	34,21	-34,13	2,39	92,07	162	27,00	9,81	-158,28	1,88	54,00	-212,28
275	12,10	81,00	119,00	34,21	-34,08	2,98	92,10	162	27,00	9,81	-160,76	2,35	54,00	-214,76
276	12,10	81,00	119,00	34,21	-34,02	3,58	92,15	162	27,00	9,81	-163,22	2,82	54,00	-217,22
277	12,10	81,00	119,00	34,21	-33,96	4,17	92,20	162	27,00	9,81	-165,65	3,29	54,00	-219,65
278	12,10	81,00	119,00	34,21	-33,88	4,76	92,26	162	27,00	9,81	-168,05	3,76	54,00	-222,05
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
279	12,10	81,00	119,00	34,21	-33,79	5,35	92,33	162	27,00	9,81	-170,42	4,22	54,00	-224,42
280	12,10	81,00	119,00	34,21	-33,69	5,94	92,41	162	27,00	9,81	-172,75	4,69	54,00	-226,75
281	12,10	81,00	119,00	34,21	-33,58	6,53	92,50	162	27,00	9,81	-175,04	5,15	54,00	-229,04
282	12,10	81,00	119,00	34,21	-33,46	7,11	92,59	162	27,00	9,81	-177,28	5,61	54,00	-231,28
283	12,10	81,00	119,00	34,21	-33,34	7,70	92,69	162	27,00	9,81	-179,48	6,07	54,00	-233,48
284	12,10	81,00	119,00	34,21	-33,20	8,28	92,80	162	27,00	9,81	-181,62	6,53	54,00	-235,62
285	12,10	81,00	119,00	34,21	-33,05	8,85	92,92	162	27,00	9,81	-183,71	6,99	54,00	-237,71
286	12,10	81,00	119,00	34,21	-32,89	9,43	93,05	162	27,00	9,81	-185,74	7,44	54,00	-239,74
287	12,10	81,00	119,00	34,21	-32,72	10,00	93,18	162	27,00	9,81	-187,70	7,89	54,00	-241,70
288	12,10	81,00	119,00	34,21	-32,54	10,57	93,32	162	27,00	9,81	-189,60	8,34	54,00	-243,60
289	12,10	81,00	119,00	34,21	-32,35	11,14	93,47	162	27,00	9,81	-191,43	8,79	54,00	-245,43
290	12,10	81,00	119,00	34,21	-32,15	11,70	93,63	162	27,00	9,81	-193,18	9,23	54,00	-247,18
291	12,10	81,00	119,00	34,21	-31,94	12,26	93,79	162	27,00	9,81	-194,85	9,68	54,00	-248,85
292	12,10	81,00	119,00	34,21	-31,72	12,82	93,97	162	27,00	9,81	-196,45	10,11	54,00	-250,45
293	12,10	81,00	119,00	34,21	-31,49	13,37	94,15	162	27,00	9,81	-197,95	10,55	54,00	-251,95
294	12,10	81,00	119,00	34,21	-31,25	13,92	94,33	162	27,00	9,81	-199,37	10,98	54,00	-253,37
295	12,10	81,00	119,00	34,21	-31,01	14,46	94,53	162	27,00	9,81	-200,70	11,41	54,00	-254,70
296	12,10	81,00	119,00	34,21	-30,75	15,00	94,73	162	27,00	9,81	-201,92	11,84	54,00	-255,92
297	12,10	81,00	119,00	34,21	-30,48	15,53	94,94	162	27,00	9,81	-203,05	12,26	54,00	-257,05
298	12,10	81,00	119,00	34,21	-30,21	16,06	95,16	162	27,00	9,81	-204,08	12,68	54,00	-258,08
299	12,10	81,00	119,00	34,21	-29,92	16,59	95,39	162	27,00	9,81	-205,00	13,09	54,00	-259,00
300	12,10	81,00	119,00	34,21	-29,63	17,11	95,62	162	27,00	9,81	-205,81	13,50	54,00	-259,81
301	12,10	81,00	119,00	34,21	-29,33	17,62	95,86	162	27,00	9,81	-206,51	13,91	54,00	-260,51
302	12,10	81,00	119,00	34,21	-29,01	18,13	96,10	162	27,00	9,81	-207,09	14,31	54,00	-261,09
303	12,10	81,00	119,00	34,21	-28,69	18,63	96,36	162	27,00	9,81	-207,56	14,71	54,00	-261,56
304	12,10	81,00	119,00	34,21	-28,36	19,13	96,62	162	27,00	9,81	-207,91	15,10	54,00	-261,91
305	12,10	81,00	119,00	34,21	-28,02	19,62	96,88	162	27,00	9,81	-208,13	15,49	54,00	-262,13
306	12,10	81,00	119,00	34,21	-27,68	20,11	97,16	162	27,00	9,81	-208,23	15,87	54,00	-262,23
307	12,10	81,00	119,00	34,21	-27,32	20,59	97,44	162	27,00	9,81	-208,20	16,25	54,00	-262,20

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
308	12,10	81,00	119,00	34,21	-26,96	21,06	97,72	162	27,00	9,81	-208,04	16,62	54,00	-262,04
309	12,10	81,00	119,00	34,21	-26,59	21,53	98,02	162	27,00	9,81	-207,75	16,99	54,00	-261,75
310	12,10	81,00	119,00	34,21	-26,21	21,99	98,32	162	27,00	9,81	-207,33	17,36	54,00	-261,33
311	12,10	81,00	119,00	34,21	-25,82	22,45	98,62	162	27,00	9,81	-206,77	17,71	54,00	-260,77
312	12,10	81,00	119,00	34,21	-25,42	22,89	98,94	162	27,00	9,81	-206,07	18,07	54,00	-260,07
313	12,10	81,00	119,00	34,21	-25,02	23,33	99,25	162	27,00	9,81	-205,24	18,41	54,00	-259,24
314	12,10	81,00	119,00	34,21	-24,61	23,77	99,58	162	27,00	9,81	-204,27	18,76	54,00	-258,27
315	12,10	81,00	119,00	34,21	-24,19	24,19	99,91	162	27,00	9,81	-203,16	19,09	54,00	-257,16
316	12,10	81,00	119,00	34,21	-23,77	24,61	100,24	162	27,00	9,81	-201,91	19,42	54,00	-255,91
317	12,10	81,00	119,00	34,21	-23,33	25,02	100,59	162	27,00	9,81	-200,52	19,75	54,00	-254,52
318	12,10	81,00	119,00	34,21	-22,89	25,42	100,93	162	27,00	9,81	-198,99	20,06	54,00	-252,99
319	12,10	81,00	119,00	34,21	-22,45	25,82	101,29	162	27,00	9,81	-197,32	20,38	54,00	-251,32
320	12,10	81,00	119,00	34,21	-21,99	26,21	101,64	162	27,00	9,81	-195,51	20,68	54,00	-249,51
321	12,10	81,00	119,00	34,21	-21,53	26,59	102,01	162	27,00	9,81	-193,55	20,98	54,00	-247,55
322	12,10	81,00	119,00	34,21	-21,06	26,96	102,38	162	27,00	9,81	-191,46	21,28	54,00	-245,46
323	12,10	81,00	119,00	34,21	-20,59	27,32	102,75	162	27,00	9,81	-189,22	21,56	54,00	-243,22
324	12,10	81,00	119,00	34,21	-20,11	27,68	103,13	162	27,00	9,81	-186,85	21,84	54,00	-240,85
325	12,10	81,00	119,00	34,21	-19,62	28,02	103,51	162	27,00	9,81	-184,33	22,12	54,00	-238,33
326	12,10	81,00	119,00	34,21	-19,13	28,36	103,90	162	27,00	9,81	-181,68	22,38	54,00	-235,68
327	12,10	81,00	119,00	34,21	-18,63	28,69	104,29	162	27,00	9,81	-178,89	22,64	54,00	-232,89
328	12,10	81,00	119,00	34,21	-18,13	29,01	104,69	162	27,00	9,81	-175,97	22,90	54,00	-229,97
329	12,10	81,00	119,00	34,21	-17,62	29,33	105,09	162	27,00	9,81	-172,91	23,14	54,00	-226,91
330	12,10	81,00	119,00	34,21	-17,11	29,63	105,50	162	27,00	9,81	-169,72	23,38	54,00	-223,72
331	12,10	81,00	119,00	34,21	-16,59	29,92	105,91	162	27,00	9,81	-166,40	23,61	54,00	-220,40
332	12,10	81,00	119,00	34,21	-16,06	30,21	106,32	162	27,00	9,81	-162,95	23,84	54,00	-216,95
333	12,10	81,00	119,00	34,21	-15,53	30,48	106,74	162	27,00	9,81	-159,38	24,06	54,00	-213,38
334	12,10	81,00	119,00	34,21	-15,00	30,75	107,16	162	27,00	9,81	-155,68	24,27	54,00	-209,68
335	12,10	81,00	119,00	34,21	-14,46	31,01	107,59	162	27,00	9,81	-151,86	24,47	54,00	-205,86
336	12,10	81,00	119,00	34,21	-13,92	31,25	108,02	162	27,00	9,81	-147,93	24,67	54,00	-201,93
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
337	12,10	81,00	119,00	34,21	-13,37	31,49	108,45	162	27,00	9,81	-143,88	24,85	54,00	-197,88
338	12,10	81,00	119,00	34,21	-12,82	31,72	108,89	162	27,00	9,81	-139,71	25,03	54,00	-193,71
339	12,10	81,00	119,00	34,21	-12,26	31,94	109,32	162	27,00	9,81	-135,44	25,21	54,00	-189,44
340	12,10	81,00	119,00	34,21	-11,70	32,15	109,77	162	27,00	9,81	-131,06	25,37	54,00	-185,06
341	12,10	81,00	119,00	34,21	-11,14	32,35	110,21	162	27,00	9,81	-126,57	25,53	54,00	-180,57
342	12,10	81,00	119,00	34,21	-10,57	32,54	110,66	162	27,00	9,81	-121,99	25,68	54,00	-175,99
343	12,10	81,00	119,00	34,21	-10,00	32,72	111,11	162	27,00	9,81	-117,31	25,82	54,00	-171,31
344	12,10	81,00	119,00	34,21	-9,43	32,89	111,56	162	27,00	9,81	-112,54	25,95	54,00	-166,54
345	12,10	81,00	119,00	34,21	-8,85	33,05	112,01	162	27,00	9,81	-107,68	26,08	54,00	-161,68
346	12,10	81,00	119,00	34,21	-8,28	33,20	112,47	162	27,00	9,81	-102,73	26,20	54,00	-156,73
347	12,10	81,00	119,00	34,21	-7,70	33,34	112,93	162	27,00	9,81	-97,71	26,31	54,00	-151,71
348	12,10	81,00	119,00	34,21	-7,11	33,46	113,39	162	27,00	9,81	-92,61	26,41	54,00	-146,61
349	12,10	81,00	119,00	34,21	-6,53	33,58	113,85	162	27,00	9,81	-87,43	26,50	54,00	-141,43
350	12,10	81,00	119,00	34,21	-5,94	33,69	114,31	162	27,00	9,81	-82,19	26,59	54,00	-136,19
351	12,10	81,00	119,00	34,21	-5,35	33,79	114,78	162	27,00	9,81	-76,88	26,67	54,00	-130,88
352	12,10	81,00	119,00	34,21	-4,76	33,88	115,24	162	27,00	9,81	-71,52	26,74	54,00	-125,52
353	12,10	81,00	119,00	34,21	-4,17	33,96	115,71	162	27,00	9,81	-66,10	26,80	54,00	-120,10
354	12,10	81,00	119,00	34,21	-3,58	34,02	116,18	162	27,00	9,81	-60,63	26,85	54,00	-114,63
355	12,10	81,00	119,00	34,21	-2,98	34,08	116,65	162	27,00	9,81	-55,11	26,90	54,00	-109,11
356	12,10	81,00	119,00	34,21	-2,39	34,13	117,12	162	27,00	9,81	-49,55	26,93	54,00	-103,55
357	12,10	81,00	119,00	34,21	-1,79	34,17	117,59	162	27,00	9,81	-43,96	26,96	54,00	-97,96
358	12,10	81,00	119,00	34,21	-1,19	34,19	118,06	162	27,00	9,81	-38,33	26,98	54,00	-92,33
359	12,10	81,00	119,00	34,21	-0,60	34,21	118,53	162	27,00	9,81	-32,68	27,00	54,00	-86,68
360	12,10	81,00	119,00	34,21	0,00	34,21	119,00	162	27,00	9,81	-27,00	27,00	54,00	-81,00

RAVANO WIND	WIND FARM PALMORI Calcolo Gittata Massima	Settembre 2023
-------------	--	----------------

1.6. CONCLUSIONI

Conformemente ai contenuti del Paragrafo 7.1. "Analisi dei possibili incidenti", Capitolo 7 "INCIDENTI" dell'ALLEGATO 4 (punti 14.9, 16.3 e 16.5) "Impianti eolici: elementi per il corretto inserimento nel paesaggio e sul territorio" del D.M. 10 settembre 2010 "Linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili 10A11230)", il quale stabilisce che: «*E' opportuno prendere in esame l'idoneità delle caratteristiche delle macchine, in relazione alle condizioni meteorologiche estreme del sito. In tal senso (...Omissis...) - **andrebbe valutata la gittata massima degli elementi rotanti in caso di rottura accidentale***», è stata valutata la gittata massima degli elementi rotanti dei n. 10 (dieci) aerogeneratori dell'impianto di progetto "PALMORI", in caso di rottura accidentale di una pala.

Ai fini dei calcoli è stato impiegato il modello di turbina eolica **V162 da 6,0 MW della VESTAS**. Il modello di turbina eolica impiegato è costituito da una torre di sostegno tubolare metallica a tronco di cono sulla cui sommità è installata la navicella, il cui asse è a **119 m dal piano campagna (Hub height)**, con annesso il rotore di diametro pari a **162 m (Rotor diameter)** (lunghezza pala 81,0 m), **per un'altezza massima complessiva del sistema torre-pala (Hub height+1/2 Rotor diameter) di 200 m s.l.t.**

Dai calcoli è risultato che la distanza massima degli elementi rotanti, in caso di rottura accidentale, risulta essere di: **262,23 m** (nell'ipotesi di rottura accidentale di una delle pale del modello di turbina eolica considerato - "**Worst Case Scenario**").

Il valore di gittata così calcolato è teorico ed altamente conservativo poiché non tiene in conto le forze di attrito viscoso e la complessità del moto rotazionale, ovvero la rotazione della pala durante il moto di caduta, condizioni reali che attenuano i valori della gittata massima. Questi dati e queste considerazioni teoriche, peraltro sembrano suffragate dall'esperienza reale: il distacco della pala è un evento che si è verificato molto raramente; nel caso in cui si sono verificati distacchi è stato verificato che il moto è di tipo rotazionale complesso e la distanza di volo è sempre ben al di sotto dei risultati ottenuti dai calcoli matematici; le parti che hanno subito distacchi a causa di eventi estremi, come fulminazioni, sono state rinvenute a non più di 40/50 m dalla base della torre eolica per aerogeneratori con diametro del rotore pari a 80 m.

Pertanto, ragionevolmente, il valore teorico così ottenuto è ridotto del 20% ottenendo il risultato qui riportato:

$$\text{Gittata} = 0,8 \times 262,23 \text{ m} = 209,78 \text{ m}$$

Come si evince dall'elaborato grafico di corredo, anche considerando il maggiore valore di gittata del "**Worst Case Scenario**", nell'area di pertinenza di ciascun aerogeneratore (pari a 262,23 m dal centro di ciascuno di essi) non ricadono strade e/o ricettori classificabili quali ricettori sensibili (nessun ricettore sensibile ricade in un area buffer di 262,23 mt. dal centro di ciascun aerogeneratore -VD Rif. Tav EG7).

RAVANO WIND	WIND FARM PALMORI Calcolo Gittata Massima	Settembre 2023
-------------	--	----------------

Fermo restando che nessun ricettore sensibile ricade in un area buffer di 262,23 mt. dal centro di ciascun aerogeneratore (VD Tav EG7) a valle dei calcoli condotti per la valutazione della Gittata massima degli elementi rotanti, si può tuttavia ragionevolmente affermare che non è assolutamente verosimile che un frammento di pala si stacchi dalla stessa e venga scagliato a distanze significative, men che meno è verosimile l'ipotesi che un frammento di pala si stacchi dalla stessa e segua un moto assimilabile a quello di un proiettile scagliato con una velocità di partenza pari a quella della massima rotazione del rotore.

Le pale dei rotori di progetto, infatti, 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), e 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.

Al fine di oggettivare quanto affermato, si espongono di seguito alcune ulteriori considerazioni basate sui dati costruttivi di dettaglio forniti da alcuni studi condotti dalla VESTAS. Questi dati fanno riferimento alle specifiche della macchina Vestas V136 che, in termini di metodologie e tecniche costruttive, può considerarsi del tutto analoga al modello di turbina eolica **V162 da 6,0 MW della VESTAS** impiegato nella presente Relazione Tecnica ai fini dei calcoli.

PROPONENTE: RAVANO Wind		pag. 17
-------------------------	--	---------

Con riferimento al documento “VESTAS 0065-1415 V00 - Technical description of a 67 m blade” le caratteristiche strutturali di una pala di WTG sono schematizzabili come da figura seguente:

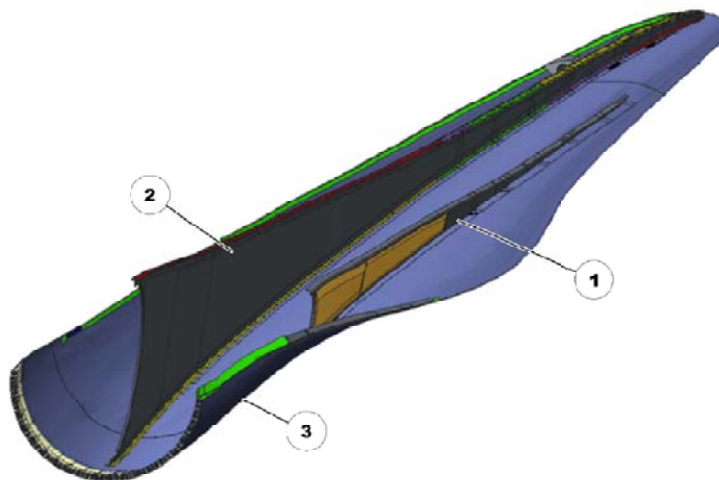


Figure 5.2: The main structural design of a 67 m blade

- | | | | |
|---|----------|---|----------|
| 1 | TE web | 2 | Main web |
| 3 | WW shell | | |

Figura 1.6-1.:Stralcio da “VESTAS 0065-1415 V00 - Technical description of a 67 m blade”.

Ciascuna pala è quindi composta da:

- Una superficie esterna (guscio o shell) fatta di materiale composito rinforzato in fibra di vetro e realizzata in due semigusci (LW shell e WW shell – mostrato in figura);
- Due rinforzi interni (TE WEB e Main WEB), anch’essi in materiale composito e internamente accoppiati ai gusci, che sostengono il carico aerodinamico della pala.

Da un punto di vista del dimensionamento strutturale, la progettazione della pala segue una serie di norme citate nel documento VESTAS “0067-7060_V00 - General Description 4MW Platform”, Par. 8.1..

Per quel che concerne la presente analisi, si evidenzia che la combinazione di coefficienti di sicurezza per i carichi, i materiali utilizzati e la valutazione delle conseguenze in caso di rottura rispettano quanto prescritto dalla norma IEC 61400-1, che impone l’utilizzo di condizioni particolarmente gravose. Le norme tecniche seguite in fase di dimensionamento sono tali da poter rendere trascurabile l’ipotesi di un significativo danneggiamento della pala per tutta la vita utile della WTG (20 anni).

Ciononostante, nella remota ipotesi in cui ci sia un danneggiamento del materiale che compone i gusci o i rinforzi interni della pala, è assolutamente impossibile che si stacchi un frammento terminale della pala, dal momento che -per come la pala è costruita- non esistono giunzioni trasversali rispetto allo sviluppo della pala, ma esclusivamente la giunzione longitudinale tra i due semigusci. L’unica -remota- possibilità di danneggiamento riguarda una “separazione” parziale dei due semigusci. In questo scenario i rinforzi interni e

RAVANO WIND	WIND FARM PALMORI Calcolo Gittata Massima	Settembre 2023
-------------	--	----------------

la parte di semiguscio non danneggiata tratterrebbero la parte di guscio ipoteticamente rovinata e la macchina andrebbe automaticamente in pausa (v. osservazione al paragrafo seguente), evitando categoricamente la possibilità di proiezione di un frammento di pala alla massima velocità.

Non è pertanto ipotizzabile la rottura improvvisa e di netto di un frammento della pala con proiezione dello stesso.

Inoltre, è doveroso precisare che **le turbine eoliche sono dotate di un sistema di sicurezza in grado di mandare in pausa la macchina a seguito di sbilanciamenti del rotore, eccessivo carico aerodinamico sulla pala o scostamenti sensibili tra velocità del vento e power curve.**

Il danneggiamento di una pala -che per quanto già spiegato evidentemente precede qualunque ipotesi di proiezione di un frammento della stessa- farebbe funzionare il rotore in condizioni non bilanciate, e porterebbe necessariamente il sistema di sicurezza a rilevare almeno una delle tipologie di errori codificate come di seguito:

- “*Tower Acceleration*”: dovuto a un forte sbilanciamento del rotore.
- “*Power Curve Error*”: dovuto a un forte scostamento rispetto alla Power Curve attesa (che potrebbe essere generato da una variazione del profilo pala);
- “*Tilt yaw Control*”: dovuto ad un eccessivo carico sulla pala misurato da un sensore.

Ciascuna di queste anomalie mette la macchina in pausa, e ferma quindi il rotore in attesa di un intervento tecnico. **Non è pertanto possibile che il rotore giri alla sua massima velocità se una delle pale è danneggiata, e quindi che scagli un frammento di pala alla massima velocità ipotizzabile.**

Si richiama inoltre il fatto che **il modello turbina eolica è dotato di un sistema di protezione contro le fulminazioni per la torre, per l’hub e per le pale.** In particolare, con riferimento alle pale, si riporta di seguito uno stralcio dal documento VESTAS “0059-1120 V02 - *Lightningprotection and EMC*” che descrive il sistema di protezione dalle fulminazioni per macchine della stessa piattaforma delle V150.

PROPONENTE: RAVANO Wind		pag. 19
-------------------------	--	---------

RAVANO WIND	WIND FARM PALMORI Calcolo Gittata Massima	Settembre 2023
-------------	--	----------------

The V126 and V136 blade

The lightning protection system for the blade consists of 4 main elements: tip protection receptors, surface protection, down conductor, and lightning band.

The tip protection receptors consist of a solid metal tip and an array of lightning receptors. The array of lightning receptors has 4 lines of receptors along the leading and trailing edge of the windward and leeward shells. The solid metal tip and the lightning receptors preferentially attract lightning which results in few lightning attachment events to the fibreglass shells or to the main portion of the blade. The solid metal tip and receptors are connected with an insulated, high-voltage cable.

A portion of the windward and leeward shells between the array of lightning receptors and the root is covered with an expanded metal foil. As with the solid metal tip and array of lightning receptors, the expanded metal foil provides a preferred lightning attachment point to protect the uncovered portion of the blade from direct lightning strikes. The expanded metal foil is connected to the array of lightning receptors and the down conductor.

The down conductor consists of insulated high-voltage cable routed along the trailing edges of the blade. The high-voltage cable are chosen in accordance with IEC 61400-24.

The down conductors terminate at the blade band at the root of the blade. The blade band serves as the interface to the LCTU. See [section 3.0 Protection of the main bearings, page 10](#), for more information about the LCTU.

Figura 1.6-2.: Stralcio da “VESTAS 0059-1120 V02 - Lightning protection and EMC”.

Si evince che ciascuna pala è dotata:

- di un recettore in punta per i fulmini (solid metal tip);
- di un array di ricettori metallici (lightning receptors);
- di una rete metallica (expanded metal foil);

che sono collegati ad un cavo di scarico dell’alta tensione (down conductor) che, secondo le indicazioni ricevute dal costruttore, per la V150 avrà una sezione di 50 mmq.

Pertanto, in caso di fulminazione di una delle pale del rotore, la corrente di fulminazione sarebbe scaricata a terra e non comporterebbe alcun danneggiamento della pala. Valgono, ovviamente, in caso di ipotetico danneggiamento da parte di un fulmine, le considerazioni fatte precedentemente.

Per quanto spiegato è del tutto evidente che, anche in caso di rottura del frammento di una pala, lo stesso rimarrebbe vincolato (sostanzialmente “appeso”) alla restante parte della pala e non sarebbe proiettato. Peraltro anche nella assolutamente remota ipotesi di distacco del frammento, la maggior parte dell’energia cinetica sarebbe spesa per rompere il vincolo del frammento alla pala.

RAVANO WIND	WIND FARM PALMORI Calcolo Gittata Massima	Settembre 2023
-------------	--	----------------

Indicazioni fornite dal costruttore, che ha una flotta operativa di oltre 60.000 unità, mostrano che **il distacco di una parte di pala è un avvenimento la cui probabilità è trascurabile.**

Si ritiene pertanto di confermare che l'unica condizione di proiezione di frammento ipotizzabile (non perché plausibile, ma esclusivamente perché si è in presenza di una giunzione bullonata e, quindi, di una discontinuità strutturale) è il distacco della pala dal rotore, per la quale valgono le considerazioni esposte nella presente Relazione Tecnica specialistica, fermo restando che non sono stati rilevati ricettori sensibili nell'area di influenza con origine nel centro di ciascun aerogeneratore.

PROPONENTE: RAVANO Wind		pag. 21
-------------------------	--	---------

RAVANO WIND	WIND FARM PALMORI Calcolo Gittata Massima	Settembre 2023
-------------	--	----------------

1.7. FONTI BIBLIOGRAFICHE

Si riporta di seguito l'elenco (non esaustivo) delle principali fonti bibliografiche di riferimento consultate ai fini della redazione della presente Relazione Tecnica specialistica:

1. Foglio di calcolo per la "Gittata massima" utilizzato dalla Unità Operativa Dirigenziale 500203 - Energia, efficientamento e risparmio energetico, Green Economy e Bioeconomia nelle istruttorie per gli impianti di produzione di energia da fonte rinnovabile eolica della Regione Campania;
2. Health effects and wind turbines: A review of the literature, Knopper L D and Ollson CA. – Environmental Health, 10:78; 2011;
3. Adverse health effects of industrial wind turbines: a preliminary report, Nissenbaum M, Aramini J, Hanning C – 10th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN); London, UK; 2011;
4. Wind Turbine Health Impact Study: Report of Independent Expert Panel (January 2012) Prepared for: Massachusetts Department of Environmental Protection; Massachusetts Department of Public Health;
5. Wind Turbine Syndrome. A Report on a Natural Experiment, Pierpont N.; 2009;
6. "VESTAS V80 BLADE THROW CALCULATION UNDER NORMAL OPERATING CONDITIONS", PB Power Ltd. (July 2001);
7. "VESTAS 0067-7060_V00 - General Description 4MW Platform", Par. 8.1., VESTAS;
8. "VESTAS 0065-1415 V00 - Technical description of a 67 m blade", VESTAS;