

# REGIONE SARDEGNA

Provincia di Sassari (SS)

## COMUNI DI NULE E BENETUTTI



2	EMISSIONE PER ENTI ESTERNI	22/07/20	FURNO C.	FURNO C.	NASTASI A.
1	RIEMMISSIONE PER COMMENTI	08/06/20	FURNO C.	FURNO C.	NASTASI A.
0	EMISSIONE PER COMMENTI	23/04/20	FURNO C.	FURNO C.	NASTASI A.
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROL.	APPROV.

Committente:

**INNOGY ITALIA S.p.A.**



**innogy**

Sede legale in Milano, via F. Restelli, 3/1 – 20124 Milano. Codice Fiscale e P. IVA 0259064021

Società di Progettazione:

*Ingegneria & Innovazione*



Via Pippo Fava, 1 – 96100 Siracusa (SR) Tel. 0931.1813283  
Web: [www.antexgroup.it](http://www.antexgroup.it) e-mail: [info@antexgroup.it](mailto:info@antexgroup.it)

Progetto:

**PARCO EOLICO DI NULE E BENETUTTI**

Livello:

**DEFINITIVO**

Elaborato:

CALCOLO MASSIMA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI

Progettista/Resp. Tecnico

Dott. Ing. Furno Cesare

Scala:

NA

Nome DIS/FILE:

C19023S05-VA-RT-12-02

Allegato:

1/1

F.to:

A4

Il presente documento è di proprietà della ANTEX GROUP srl.  
È vietato la comunicazione a terzi o la riproduzione senza il permesso scritto della suddetta.  
La società tutela i propri diritti a rigore di Legge.



## INDICE

1. PREMESSA .....	3
2. TIPOLOGIE DI INCIDENTI.....	4
3. ROTTURA ELEMENTI ROTANTI E CALCOLO DELLA RELATIVA GITTATA .....	4
4. FORZE AGENTI SULLA TRAIETTORIA.....	5
5. ROTTURA DELLA PALA ALLA RADICE .....	6
6. CONCLUSIONI .....	12

	<b>REALIZZAZIONE PARCO EOLICO DI NULE E BENETUTTI</b> <b>CALCOLO MASSIMA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI</b>	 Ingegneria & Innovazione		
		22/07/2020	REV: 2	Pag.3

## 1. PREMESSA

Su incarico di INNOGY ITALIA SpA, la società ANTEX GROUP Srl ha redatto il progetto definitivo relativo alla realizzazione di un impianto eolico nei comuni di Nule e Benetutti, nella provincia di Sassari.

Il progetto prevede l'installazione di n. 11 nuovi aerogeneratori con potenza unitaria di 5,7 MW, per una potenza complessiva di impianto di 62,7 MW.

Nel dettaglio il progetto prevede l'installazione di n.8 aerogeneratori nei terreni del Comune di Nule (SS) e di n.3 aerogeneratori nei terreni del Comune di Benetutti (SS).

Gli aerogeneratori saranno collegati alla nuova Stazione di trasformazione Utente, posta nel comune di Buddusò (SS), tramite cavidotti interrati con tensione nominale pari a 30 kV.

La stazione di trasformazione utente riceverà l'energia proveniente dall'impianto eolico a 30 kV e la eleverà alla tensione di 150 kV.

Tutta l'energia elettrica prodotta verrà ceduta alla rete tramite collegamento in antenna a 150 kV su una nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150 kV, in GIS denominata "Buddusò", già in iter nel Piano di Sviluppo di Terna.

Le attività di progettazione definitiva e di studio di impatto ambientale sono state sviluppate dalla società di ingegneria ANTEX Group Srl.

ANTEX Group Srl è una società che fornisce servizi globali di consulenza e management ad Aziende private ed Enti pubblici che intendono realizzare opere ed investimenti su scala nazionale ed internazionale.

È costituita da selezionati e qualificati professionisti uniti dalla comune esperienza professionale nell'ambito delle consulenze ingegneristiche, tecniche, ambientali, gestionali, legali e di finanza agevolata.

Sia ANTEX che INNOGY pongono a fondamento delle attività e delle proprie iniziative, i principi della qualità, dell'ambiente e della sicurezza come espressi dalle norme ISO 9001, ISO 14001 e OHSAS 18001 nelle loro ultime edizioni.

Difatti, le Aziende citate, in un'ottica di sviluppo sostenibile proprio e per i propri clienti e fornitori, posseggono un proprio Sistema di Gestione Integrato Qualità-Sicurezza-Ambiente.

	<b>REALIZZAZIONE PARCO EOLICO DI NULE E BENETUTTI</b> <b>CALCOLO MASSIMA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI</b>	 Ingegneria & Innovazione		
		22/07/2020	REV: 2	Pag.4

## 2. TIPOLOGIE DI INCIDENTI

Presenza ed esercizio di un parco eolico, come di qualunque altra attività di produzione industriale, sono inevitabilmente connessi alla probabilità di rischi per le persone o le cose che si trovano nelle sue immediate vicinanze.

Lo scopo sarebbe quello di ridurre i danni, causati da incidenti derivanti da tali installazioni, sino ad un rischio residuale non eliminabile o che si possa considerare accettabile. Nelle considerazioni entrerebbero sostanzialmente, se non esclusivamente, i requisiti di sicurezza che l'impianto deve assicurare in tutte le fasi della propria vita.

Per raggiungere tale scopo bisogna prima individuare le cause che potrebbero innescare eventuali incidenti. Come ampiamente descritto dagli studi di settore, nel caso di un impianto eolico le cause che influiscono maggiormente sulla probabilità di incidenti sono imputabili ad eventi naturali di straordinaria entità, più raramente ad errore umano, quindi bisogna contestualizzare l'analisi alle peculiarità meteorologiche della zona di impianto. Individuate le possibili cause e limitando l'analisi alle tipologie di incidenti legati puramente alla fase di esercizio dell'impianto, più che a quelli legati alla fase costruttiva o di dismissione che verranno trattati in specifici documenti in fase esecutiva, si può affermare che la tipologia di incidente di nostro interesse è la rottura degli elementi rotanti come distacco di un'intera pala.

La *perdita di integrità strutturale* per rotture (di pale, di torre, etc.) in un aerogeneratore può essere ingenerata da

- *carenze interne* alla macchina per mancato od insufficiente controllo o regolazione dei regimi di funzionamento del rotore durante temporali o tempeste di vento più o meno vigorose;
- *eventi esterni*, come fulminazioni o eccessivi carichi eolici, che sempre si manifestano in concomitanza con condizioni meteorologiche complesse o molto forti o, addirittura, eccezionali, pur con i sistemi di controllo e di sicurezza dell'unità perfettamente operativi.

## 3. ROTTURA ELEMENTI ROTANTI E CALCOLO DELLA RELATIVA GITTATA

La seguente analisi scaturisce dai potenziali rischi dovuti alla presenza di componenti di grandi dimensioni in movimento e consiste nello stimare la distanza dall'aerogeneratore all'interno della quale, in presenza di un'eventuale rottura dell'organo rotante della torre eolica, un distacco con lancio di una pala possa rappresentare un rischio. Queste possono essere strappate dalla loro sede e lanciate con una quantità di moto abbastanza elevata da raggiungere distanze abbastanza importanti. La traiettoria dipende dall'energia cinetica iniziale al momento del rilascio, dalle condizioni anemologiche, dalle proprietà aerodinamiche dell'elemento e dal punto della circonferenza di rotazione da cui si stacca, oltre dall'altezza della torre e dalla potenza della macchina eolica. Nella trattazione che segue si adopereranno delle semplificazioni come, per esempio, considerare all'interno del calcolo il contributo degli effetti gravitazionali ed escludere, invece, i contributi aerodinamici. Tener conto di questi ultimi significherebbe considerare un numero significativo di variabili come, tra le tante, la pala che viene lanciata sia in termini di massa sia in termini di contributi aerodinamici oltre a dover fissare le condizioni di vento all'atto della rottura, alla distribuzione delle velocità lungo il pezzo staccato e la distribuzione delle velocità del vento lungo la traiettoria. È vero che i contributi aerodinamici potrebbero aumentare il tempo di volo e quindi la gittata ma è anche vero che, per compensare, non varrà tenuto conto della presenza dell'aria che genera comunque delle

forze di resistenza viscoso che agendo sulla superficie della pala ne riducono, di conseguenza, tempo di volo e distanza. Inoltre, queste ipotesi risultano conservative considerando che in letteratura si registra, a causa degli effetti di attrito, una diminuzione del tempo di volo anche del 20% (“Blade throw calculation under normal operating conditions” VESTAS AS Denmark July 2001), ponendoci in una situazione di maggiore sicurezza.

Le pale di un aerogeneratore sono fissate al mozzo e vi è un sistema di controllo che ne modifica costantemente l’orientamento rispetto alla direzione del vento, per offrire allo stesso sempre il medesimo profilo alare garantendo, indipendentemente dalla direzione del vento, un verso orario di rotazione.

La macchina di riferimento per il nostro calcolo avrà le seguenti caratteristiche:

Altezza al Mozzo	118 m
Diametro Rotore	163 m
Lunghezza singola Pala	79,5 m
Area Spazzata	20.867 m <sup>2</sup>
Numero Pale	3
Senso di Rotazione	Orario
Velocità di Rotazione Max a regime del Rotore	11,8 rpm
Potenza Nominale Turbina	5,7 MW
Cut-Out	20 m/s
Cut-in	3 m/s
Posizione Baricentro della pala a partire dalla radice	20,5 m

Le modalità di rottura della pala possono essere assai diverse. Essendo un organo in rotazione è soggetto alla forza centripeta che va equilibrata con l’azione della struttura della torre stessa. Per minimizzare tale forza, la pala è costruita in materiale leggero; normalmente si utilizzano materiali compositi che sfruttano le caratteristiche meccaniche così da far fronte ai carichi aerodinamici imposti.

Le modalità di rottura che potrebbe verificarsi è del tipo “Rottura alla Radice”.

#### 4. FORZE AGENTI SULLA TRAIETTORIA

La determinazione delle forze e dei momenti agenti sulla pala a causa di una rottura istantanea durante il moto rotazionale, come detto precedentemente, è molto complessa.

La traiettoria iniziale è determinata principalmente dall’angolo di lancio e dalle forze generalizzate inerziali agenti sulla pala. La pala, quindi, quando inizierà il suo moto continuerà a ruotare (conservazione della quantità di moto).

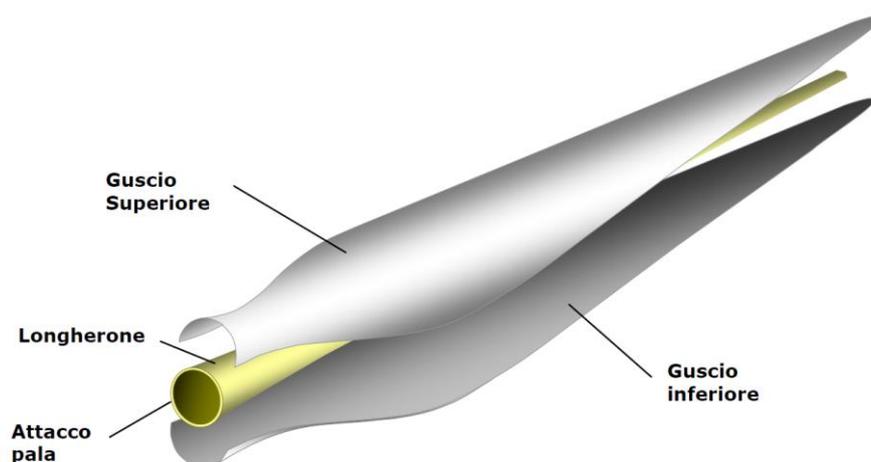
L’unica forza inerziale agente in questo caso è la forza di gravità. La durata del volo considerato è determinata

considerando la velocità verticale iniziale applicata al centro di gravità. Il tempo risultante è usato per calcolare la distanza orizzontale (gittata) nel piano e fuori dal piano. La gittata è determinata dalla velocità orizzontale al momento del distacco. Non prendendo in considerazione le caratteristiche aerodinamiche proprie della pala, la gittata maggiore si avrebbe nel caso di distacco in corrispondenza della posizione a 45 gradi e di moto “a giavellotto” del frammento. Nella realtà la pala ha una complessità aerodinamica tale per cui il verificarsi di queste condizioni è praticamente impossibile: le forze di resistenza viscosa, le azioni del vento ed il moto di rotazione complesso dovuto al profilo aerodinamico della pala, si oppongono al moto riducendone tempo e distanza di volo.

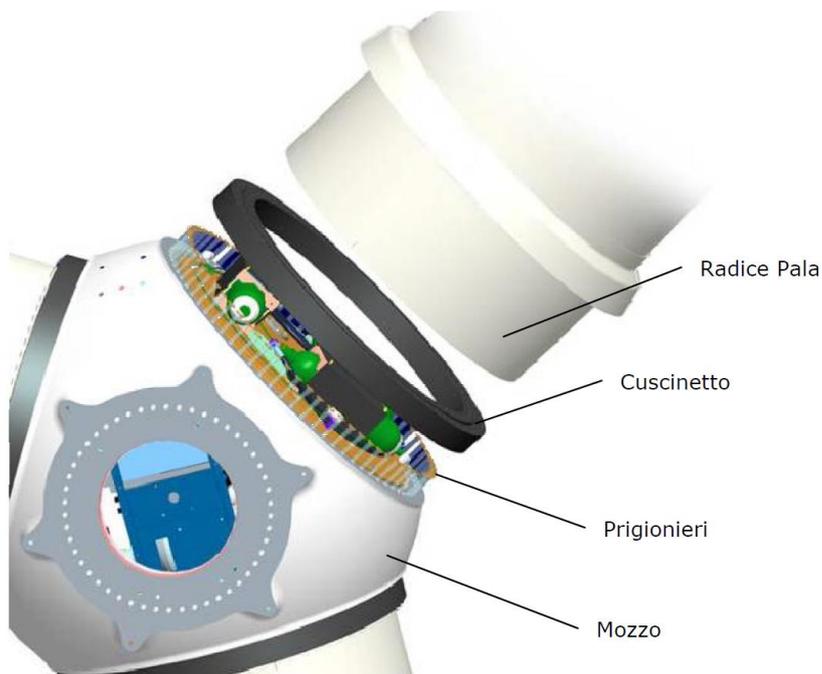
## 5. ROTTURA DELLA PALA ALLA RADICE

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 ed in mozzo.

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.

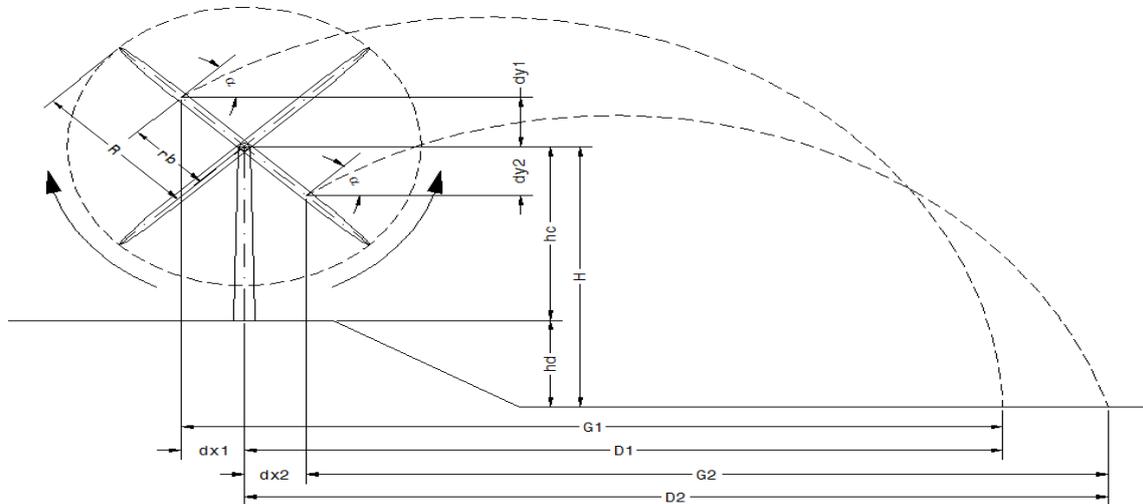


Il longherone è dotato di attacchi filettati che consentono di collegarlo al mozzo con bulloni (prigionieri) serrati opportunamente durante l'installazione della turbina. Il precarico conferito ai prigionieri durante il serraggio ha un'influenza determinante sulla resistenza dei prigionieri stessi ai carichi di fatica, per questo motivo è previsto un controllo di tale serraggio durante le operazioni di manutenzione programmata della turbina. L'errata verifica del serraggio ed una plausibile riduzione del precarico possono determinare la rottura per fatica dei bulloni e al distacco della pala.



Per la stima della gittata massima dell'intera pala si impongono alcune ipotesi semplificative:

- distacco netto ed istantaneo di una intera pala alla sua radice;
- assenza di attriti viscosi durante il volo;
- distacco alla rotazione di funzionamento massima;
- vento presente durante tutto il volo della pala con velocità corrispondente alla velocità massima di funzionamento;
- assenza di effetti di "portanza" del profilo alare.



Il moto considerato è di tipo rotazionale, cioè quello fisicamente più probabile. Non viene considerata la possibilità, puramente teorica, che il corpo assuma una traiettoria “a giavellotto”.

Inoltre, ponendosi nelle condizioni peggiori possibili e come precedentemente illustrato, viene trascurata la presenza dell’aria che nella realtà genera forze di resistenza al moto che ne ridurrebbero tempo di volo e distanza di caduta.

$$\left\{ \begin{array}{l} z = -g \text{ nella direzione verticale} \\ x = 0 \text{ nella direzione orizzontale} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} z = h + vt \sin \alpha - \frac{1}{2} gt^2 \\ x = vt \cos \alpha \end{array} \right.$$

Il corpo tocca terra per  $z=0$  per cui risulta:

$$h + vt \sin \alpha - \frac{1}{2} gt^2 = 0$$

La soluzione dell’equazione di secondo grado per tempi positivi è:

$$t = \frac{1}{g} \left( v \sin \alpha + \sqrt{v^2 \sin^2 \alpha + 2gh} \right)$$

Pertanto, quando il corpo raggiunge terra è:

$$x = \frac{v}{g} \cos \alpha \left( v \sin \alpha + \sqrt{v^2 \sin^2 \alpha + 2gh} \right)$$

	REALIZZAZIONE PARCO EOLICO DI NULE E BENETUTTI <b>CALCOLO MASSIMA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI</b>	 Ingegneria & Innovazione		
		22/07/2020	REV: 2	Pag.9

Ovvero:

$$\frac{x}{h} = \frac{v^2}{2gh} 2 \cos \alpha \sin \alpha \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{2gh}{v^2 \sin^2 \alpha}} \right)$$

Il valore massimo di  $x_G$  (indicato nel grafico precedente con G e rappresentante la massima gittata del baricentro del corpo), dipende dall'angolo di lancio  $\alpha$  e bisognerà quindi trovare il massimo della funzione:

$$x_G(\alpha) = \frac{\omega^2 L^2 \sin 2\alpha}{2g} \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{2g(H + L \cos \alpha)}{\omega^2 L^2 \sin^2 \alpha}} \right] + L \sin \alpha$$

Chiamiamo con "n" il numero di giri al minuto primo compiuti dal corpo in movimento circolare. Tenuto conto che ad ogni giro l'angolo descritto dal corpo in movimento è pari a  $2\pi$  radianti, per n giri avremo  $2\pi n$  radianti/minuto, che è appunto la velocità angolare  $\omega$  del corpo in movimento. Volendo esprimere la velocità angolare in radianti al secondo avremo:

$$\omega = 2\pi n / 60 \text{ rad/sec}$$

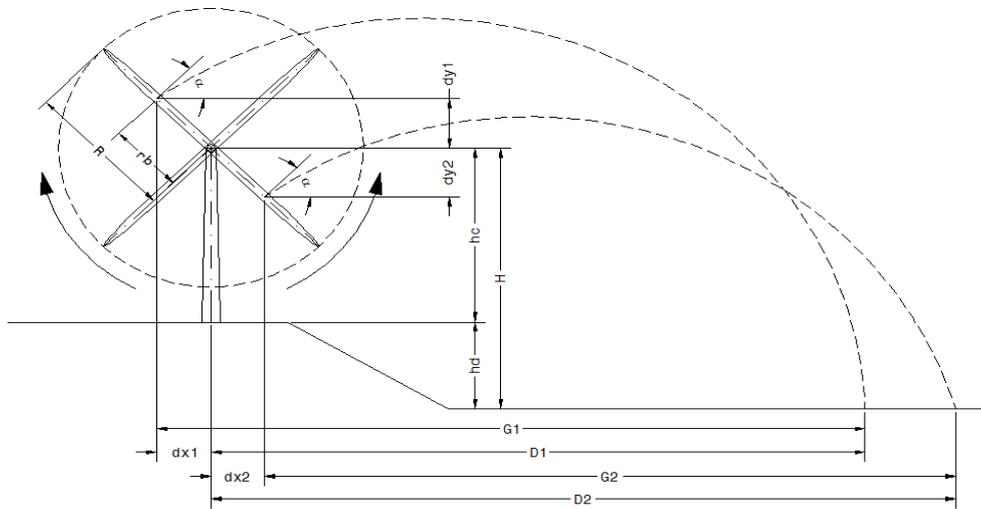
Secondo la scheda tecnica del produttore della turbina il baricentro della pala è posizionato a 20,50 m a partire dalla radice della stessa, e ad una distanza dal centro di rotazione pari a circa  $r_b = 22,5$  m dovendo aggiungere ulteriori 2 m considerando che il diametro dell' Hub è pari a 4 m.

Il produttore dichiara che la velocità massima del rotore a pieno regime è di  $n = 11,8$  rpm.

Per determinare la velocità del baricentro della pala basta moltiplicare la distanza del baricentro dal centro di rotazione per la velocità angolare. Per questa velocità angolare, la velocità periferica del baricentro della pala risulta pari a:

$$v_o = \omega r_b = 2\pi n / 60 r_b = 27.8 \text{ m/sec}$$

posizione e velocità iniziale sono determinati anche dall'angolo  $\alpha$  (angolo con l'orizzontale e la normale al moto) della pala al momento del distacco. Sostituendo all'espressione ricavata per T e interpolandola con i diversi valori assunti dall'angolo di lancio  $\alpha$ , si ottiene il valore massimo di gittata del baricentro del corpo:



g	V. pate	R	rb	hc	hd
[m/s*2]	[gr/min]	[m]	[m]	[m]	[m]
9,81	11,80	81,50	22,50	118,00	0,00

Vo	H
[m/s]	[m]
27,80	118,00

H + rb	D (S/A)
[m]	[m]
240,50	148,80

Gamma
[Acim]
0,170

a	Vox	Voy	dx1	dy1	H1	t1	G1	D1
[°]	[m/s]	[m/s]	[m]	[m]	[m]	[s]	[m]	[m]
30,29	24,01	14,02	19,43	11,95	129,35	5,76	182,29	142,88

t1	D1
[s]	[m]
5,23	79,13

a	Vox	Voy	dx2	dy2	H2	t2	G2	D2
[°]	[m/s]	[m/s]	[m]	[m]	[m]	[s]	[m]	[m]
22,34	25,72	10,57	20,81	8,55	109,45	5,92	152,30	173,11

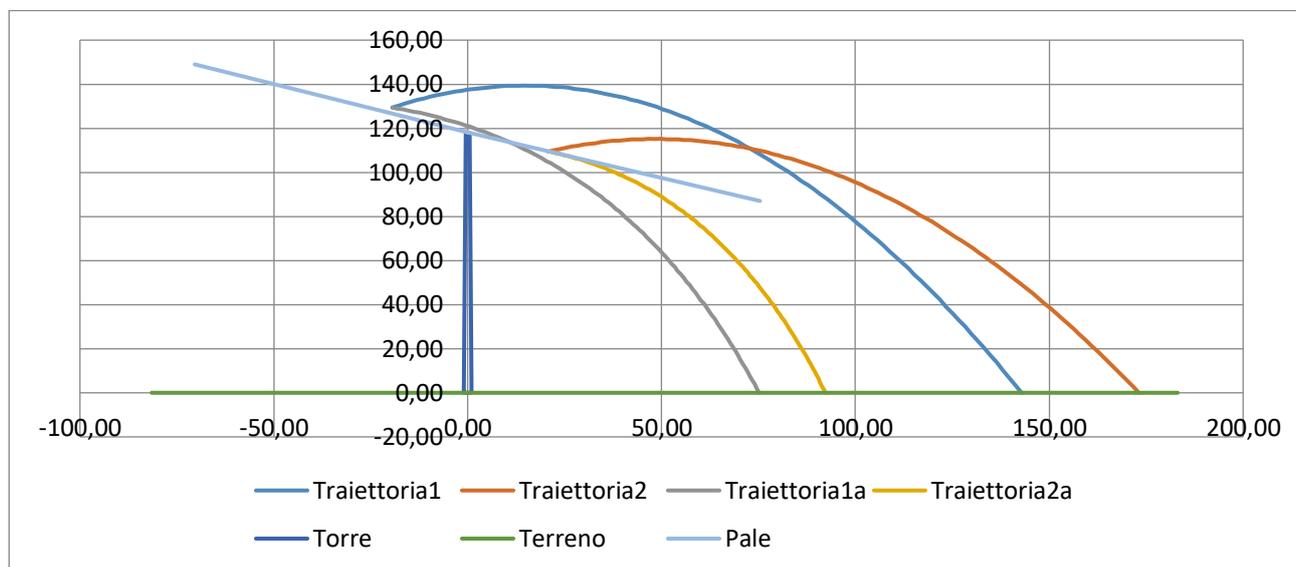
t2	D2
[s]	[m]
4,67	92,31

t1	x1	y1
[s]	[m]	[m]
0,00	19,43	129,35
0,07	17,81	130,27
0,14	16,18	131,15
0,20	14,56	131,99
0,27	12,94	132,78
0,34	11,31	133,53
0,41	9,69	134,23
0,47	8,07	134,88
0,54	6,45	135,40
0,61	4,82	136,00
0,68	3,20	136,58
0,74	1,58	137,06
0,81	0,05	137,49
0,88	1,67	137,88
0,95	3,29	138,22
1,01	4,91	138,52
1,08	6,54	138,77
1,15	8,16	138,98
1,22	9,78	139,15
1,28	11,41	139,26
1,35	13,03	139,34
1,42	14,65	139,37
1,49	16,27	139,35
1,55	17,90	139,29
1,62	19,52	139,18
1,69	21,14	139,03
1,76	22,77	138,84
1,83	24,39	138,60
1,89	26,01	138,31
1,96	27,64	137,98
2,03	29,26	137,61
2,10	30,88	137,19
2,16	32,50	136,73
2,23	34,13	136,22
2,30	35,75	135,66
2,37	37,37	135,06
2,43	39,00	134,42
2,50	40,62	133,73
2,57	42,24	133,00
2,64	43,86	132,22
2,70	45,49	131,40
2,77	47,11	130,53
2,84	48,73	129,62
2,91	50,36	128,66
2,97	51,98	127,66
3,04	53,60	126,61
3,11	55,22	125,52
3,18	56,85	124,38
3,24	58,47	123,20
3,31	60,09	121,98
3,38	61,72	120,71
3,45	63,34	119,39
3,52	64,96	118,03
3,58	66,59	116,63
3,65	68,21	115,17
3,72	69,83	113,68
3,79	71,45	112,14
3,85	73,08	110,55
3,92	74,70	108,92
3,99	76,32	107,25
4,06	77,95	105,53
4,12	79,57	103,77
4,19	81,19	101,96
4,26	82,81	100,10
4,33	84,44	98,20
4,39	86,06	96,26
4,46	87,68	94,27
4,53	89,31	92,24
4,60	90,93	90,16
4,66	92,55	88,04
4,73	94,17	85,87
4,80	95,80	83,66
4,87	97,42	81,40
4,93	99,04	79,10
5,00	100,67	76,75
5,07	102,29	74,36
5,14	103,91	71,92
5,20	105,53	69,44
5,27	107,16	66,92
5,34	108,78	64,35
5,41	110,40	61,73
5,48	112,03	59,07
5,54	113,65	56,36
5,61	115,27	53,61
5,68	116,90	50,82
5,75	118,52	47,98
5,81	120,14	45,09
5,88	121,76	42,16
5,95	123,39	39,19

t2	x2	y2
[s]	[m]	[m]
0,00	20,81	109,45
0,06	22,33	110,06
0,12	23,86	110,63
0,18	25,38	111,17
0,24	26,90	111,68
0,30	28,43	112,15
0,36	29,95	112,58
0,41	31,47	112,99
0,47	33,00	113,35
0,53	34,52	113,69
0,59	36,04	113,99
0,65	37,56	114,25
0,71	39,09	114,48
0,77	40,61	114,68
0,83	42,13	114,84
0,89	43,66	114,96
0,95	45,18	115,06
1,01	46,70	115,12
1,07	48,22	115,14
1,13	49,75	115,13
1,18	51,27	115,08
1,24	52,79	115,00
1,30	54,32	114,89
1,36	55,84	114,74
1,42	57,36	114,56
1,48	58,89	114,34
1,54	60,41	114,09
1,60	61,93	113,81
1,66	63,45	113,48
1,72	64,98	113,13
1,78	66,50	112,74
1,84	68,02	112,32
1,90	69,55	111,86
1,95	71,07	111,37
2,01	72,59	110,84
2,07	74,12	110,28
2,13	75,64	109,68
2,19	77,16	109,05
2,25	78,68	108,39
2,31	80,21	107,69
2,37	81,73	106,96
2,43	83,25	106,19
2,49	84,78	105,39
2,55	86,30	104,55
2,61	87,82	103,68
2,67	89,35	102,78
2,72	90,87	101,84
2,78	92,39	100,86
2,84	93,91	99,85
2,90	95,44	98,81
2,96	96,96	97,73
3,02	98,48	96,62
3,08	100,01	95,48
3,14	101,53	94,29
3,20	103,05	93,08
3,26	104,58	91,83
3,32	106,10	90,55
3,38	107,62	89,23
3,43	109,14	87,88
3,49	110,67	86,49
3,55	112,19	85,07
3,61	113,71	83,61
3,67	115,24	82,12
3,73	116,76	80,60
3,79	118,28	79,04
3,85	119,81	77,45
3,91	121,33	75,82
3,97	122,85	74,16
4,03	124,37	72,46
4,09	125,90	70,73
4,15	127,42	68,96
4,20	128,94	67,16
4,26	130,47	65,33
4,32	131,99	63,46
4,38	133,51	61,56
4,44	135,04	59,62
4,50	136,56	57,65
4,56	138,08	55,64
4,62	139,60	53,60
4,68	141,13	51,52
4,74	142,65	49,42
4,80	144,17	47,27
4,86	145,70	45,09
4,92	147,22	42,88
4,97	148,74	40,63
5,03	150,27	38,35
5,09	151,79	36,04
5,15	153,31	33,69
5,21	154,83	31,30

t1	x1	y1
[s]	[m]	[m]
0,00	-19,43	129,35
0,05	-18,01	128,92
0,10	-16,60	128,47
0,16	-15,20	127,99
0,21	-13,82	127,50
0,26	-12,45	126,98
0,31	-11,09	126,44
0,37	-9,74	125,88
0,42	-8,41	125,29
0,47	-7,08	124,69
0,52	-5,77	124,06
0,57	-4,47	123,41
0,63	-3,18	122,74
0,68	-1,90	122,05
0,73	-0,64	121,34
0,78	0,62	120,61
0,84	1,86	119,86
0,89	3,09	119,09
0,94	4,31	118,30
0,99	5,53	117,49
1,05	6,73	116,66
1,10	7,92	115,81
1,15	9,10	114,94
1,20	10,26	114,06
1,25	11,42	113,15
1,31	12,57	112,22
1,36	13,71	111,28
1,41	14,84	110,32
1,46	15,95	109,34
1,52	17,06	108,34
1,57	18,16	107,33
1,62	19,25	106,29
1,67	20,33	105,24
1,72	21,40	104,17
1,78	22,46	103,09
1,83	23,51	101,98
1,88	24,55	100,87
1,93	25,58	99,73
1,99	26,60	98,58
2,04	27,62	97,41
2,09	28,62	96,22
2,14	29,62	95,02
2,20	30,61	93,80
2,25	31,59	92,57
2,30	32,56	91,32
2,35	33,52	90,05
2,40	34,47	88,77
2,46	35,41	87,47
2,51	36,35	86,16
2,56	37,28	84,84
2,61	38,20	83,49
2,67	39,11	82,14
2,72	40,01	80,77
2,77	40,91	79,38
2,82	41,79	77,98
2,87	42,67	76,57
2,93	43,55	75,14
2,98	44,41	73,70
3,03	45,27	72,24
3,08	46,11	70,77
3,14	46,96	69,29
3,19	47,79	67,79
3,24	48,62	66,28
3,29	49,44	64,76
3,34	50,25	63,22
3,40	51,05	61,67
3,45	51,85	60,10
3,50	52,64	58,53
3,55	53,42	56,94
3,61	54,20	55,34
3,66	54,97	53,72
3,71	55,73	52,10
3,76	56,49	50,46
3,82	57,24	48,81
3,87	57,98	47,14
3,92	58,72	45,47
3,97	59,45	43,78
4,02	60,17	42,08
4,08	60,89	40,37
4,13	61,60	38,65
4,18	62,30	36,92
4,23	63,00	35,17
4,29	63,69	33,42
4,34	64,38	31,65
4,39	65,06	29,87
4,44	65,73	28,08
4,49	66,40	26,28
4,55	67,06	24,47
4,60	67,72	22,65

t2	x2	y2
[s]	[m]	[m]
0,00	20,81	109,45
0,05	21,84	109,06
0,09	22,87	108,66
0,14	23,88	108,24
0,19	24,89	107,80
0,23	25,89	107,34
0,28	26,88	106,87
0,33	27,87	106,38
0,37	28,84	105,87
0,42	29,81	105,34
0,47	30,77	104,80
0,51	31,72	104,23
0,56	32,67	103,66
0,61	33,61	103,06
0,65	34,54	102,45
0,70	35,46	101,82
0,75	36,38	101,18
0,79	37,29	100,52
0,84	38,19	99,84
0,89	39,08	99,15
0,93	39,97	98,44
0,98	40,85	97,72
1,03	41,72	96,98
1,07	42,59	96,22
1,12	43,45	95,45
1,17	44,30	94,67



come si evidenzia dal grafico e dalla tabella sopra riportati il valore massimo della gittata è  $D_{max}=173,00$  m circa con un angolo di distacco  $\alpha=22.34^\circ$ . Nell'ipotesi che la pala, a seguito di rottura accidentale, continui a spostarsi lungo l'asse ortogonale al proprio piano e che arrivi a toccare il suolo con la sua estremità non nel verso del moto, a tale valore dovrà aggiungersi la distanza del vertice della pala dal baricentro, 59,00 m, per un valore complessivo della gittata:  $D_{tot}=232,00$  m.

## 6. CONCLUSIONI

Il calcolo illustrato nei paragrafi precedenti porta ad un valore massimo di gittata pari a 232.00 m. Pertanto, la gittata massima calcolata garantisce la distanza di sicurezza sia dalle strade provinciali che statali sia da edifici presenti nell'area del parco.

AEROGENERATORE	DISTANZA DA STRADA PROVINCIALE E/O STATALE [m]	DISTANZA DA IMMOBILIA FUNZIONE ABITATIVA [m]
NU-01	>243	>600
NU-02	>1.400	>600
NU-03	>700	>600
NU-04	>1.300	>600

NU-05	>800	>600
NU-06	>1.400	>600
NU-07	>1.900	>600
NU-08	>1.350	>600
BE-01	>2.700	>600
BE-02	>3.100	>600
BE-03	>3.100	>600

Come visibile dalla tabella sopra riportata, la gittata di 232.00 m è sensibilmente inferiore rispetto alle distanze turbine – strade provinciali e/o statali e turbine – immobili con funzione abitativa.