

TITLE: Relazione gittata massima elementi rotanti per rottura accidentale

AVAILABLE LANGUAGE: IT

**IMPIANTO EOLICO DI 31MW IN LOCALITA' "FERRALZOS"
COMUNI DI SUNI, SAGAMA E SCANO DI MONTIFERRO (OR), SINDIA E
MACOMER (NU)**

Progetto definitivo

Relazione gittata massima elementi rotanti per rottura accidentale

Il Tecnico

Ing. Leonardo Sblendido



File:C21BLN001DWR03300_Relazione gittata massima elementi rotanti per rottura accidentale.pdf

00	30/06/2022	PRIMA EMISSIONE	R. De Fiore	M.Barresi	L. Sblendido
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
VALIDATION					
COLLABORATORS		VERIFIED BY		VALIDATED BY	
PROJECT / PLANT EO SUNI		INTERNAL CODE C21BLN001DWR03300			
CLASSIFICATION COMPANY			UTILIZATION SCOPE		



INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO	5
3. CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA DEGLI ELEMENTI ROTANTI DEGLI AEROGENERATORI	7
4. INDAGINE E LOCALIZZAZIONE DEI POTENZIALI RECETTORI	16
5. CONCLUSIONI	18

1. PREMESSA

Il presente documento, con riferimento al progetto denominato Impianto Eolico della potenza complessiva di 31 MW in località "Ferralzos" proposto da Wind Energy Suni S.r.l., nei Comuni di Suni, Sagama e Scano di Montiferro in provincia di Oristano (OR), Macomer e Sindia, entrambi in provincia di Nuoro (NU), viene redatto conformemente al D.M. 10 settembre 2010 "Linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili", 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: [...] - andrebbe valutata la gittata massima degli elementi rotanti in caso di rottura accidentate [...]".

Pertanto, obiettivo della presente trattazione è quello di valutare, a seguito della rottura accidentale di una pala, la distanza massima raggiungibile dalla stessa.

Rispetto ai più vicini centri abitati, l'area di impianto interessata dall'installazione degli aerogeneratori dista circa 3 km dal centro abitato di Sindia e circa 3,5 km dal centro abitato di Sagama.

Di seguito viene riportato un inquadramento con la localizzazione degli aerogeneratori:

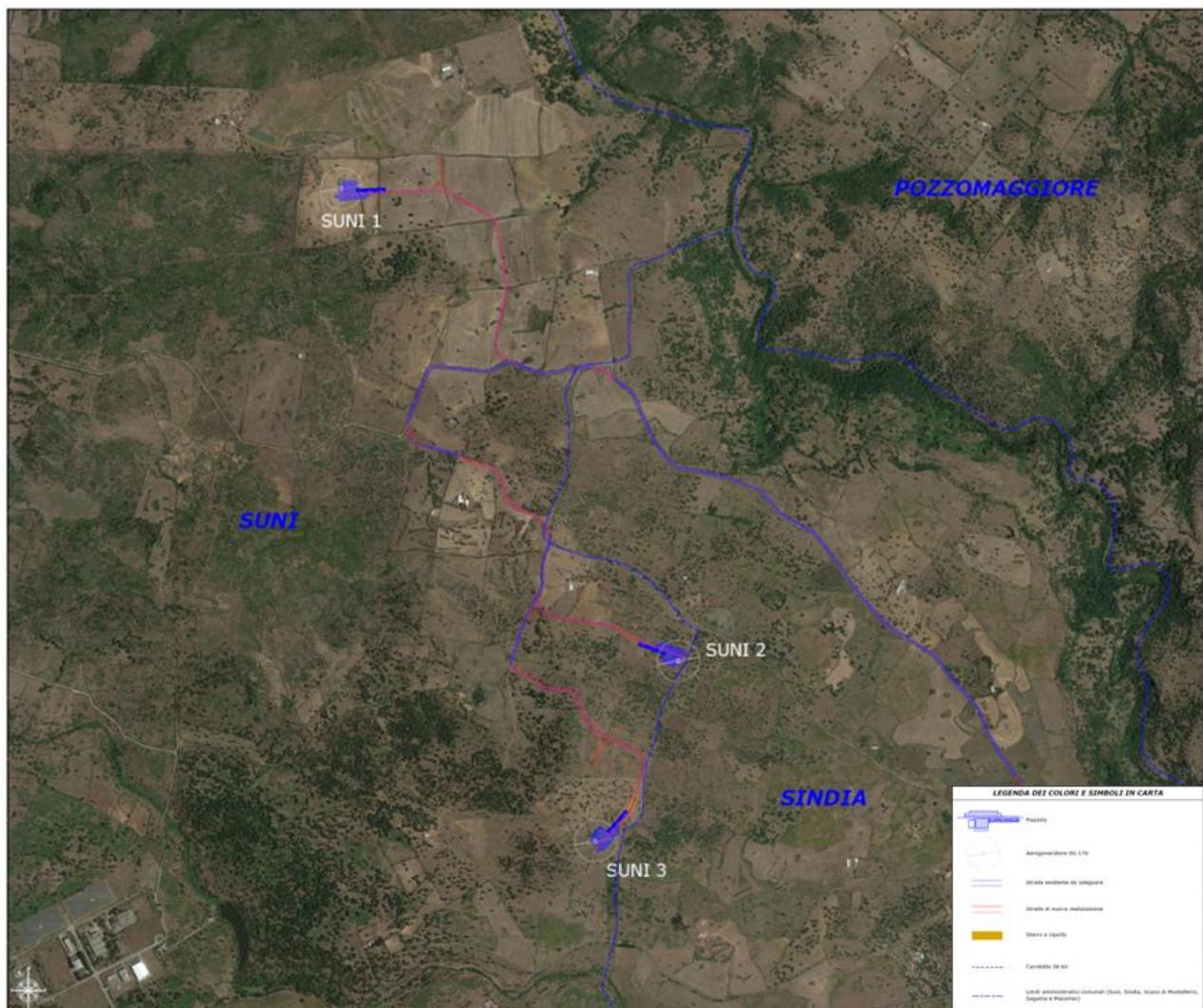


Figura 1 - Localizzazione su base satellitare su base ortofoto degli aerogeneratori.

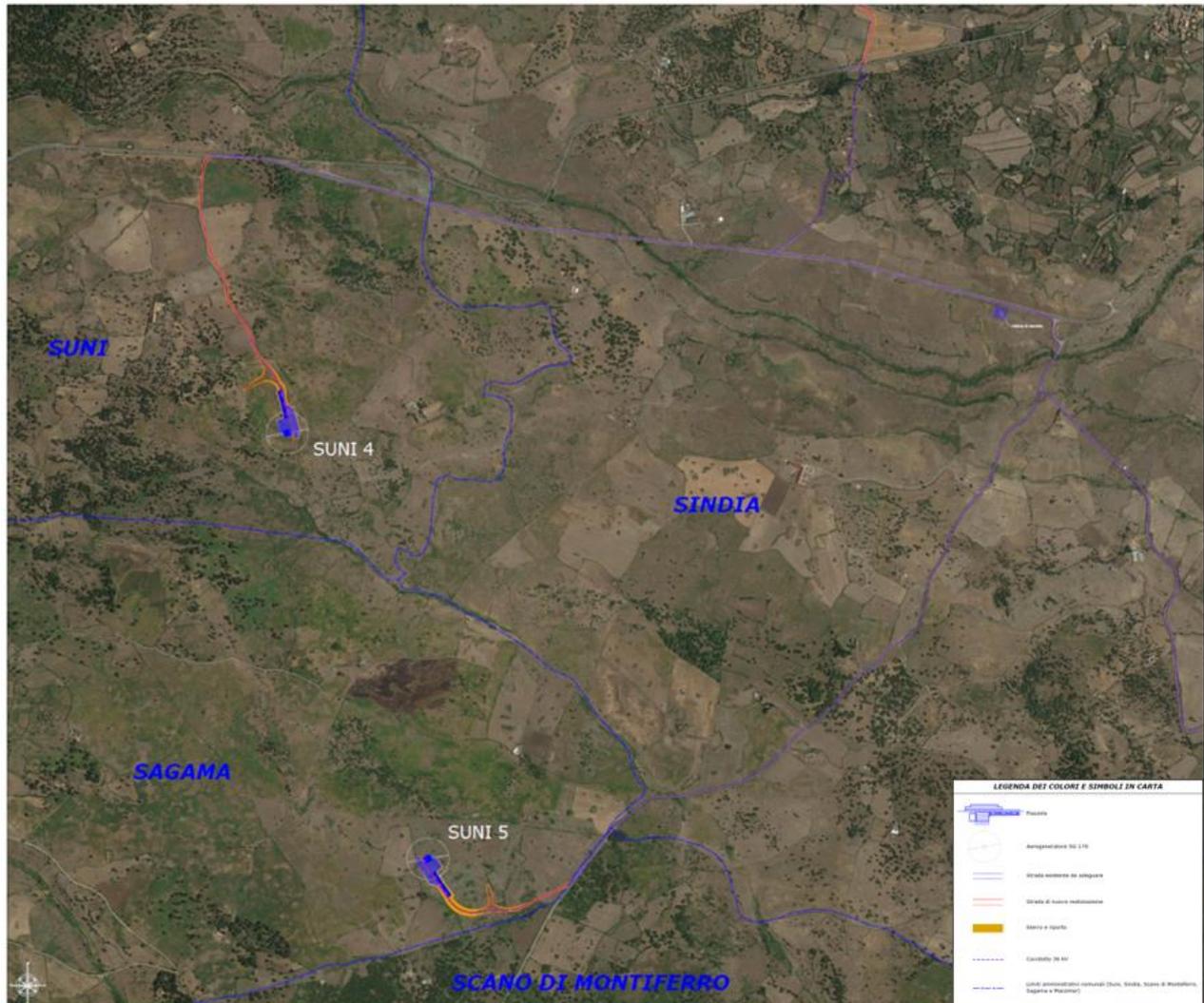


Figura 2 - Localizzazione su base satellitare su base ortofoto degli aerogeneratori

Le coordinate degli aerogeneratori riferite al progetto proposto, espresse nel sistema di riferimento UTM-WGS84 (fuso 32N), risultano essere le seguenti:

WTG	Comune	Est [m]	Nord [m]	Altitudine [m s.l.m.]
SUNI 1	Suni	466.135	4.463.388	365
SUNI 2	Suni	467.497	4.461.463	425
SUNI 3	Suni	467.163	4.460.729	415
SUNI 4	Suni	466.941	4.458.749	417
SUNI 5	Sagama	467.509	4457.015	447

Tabella 1 – Coordinate degli Aerogeneratori previsti in progetto

2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Il progetto del parco eolico prevede l'installazione di 5 aerogeneratori da 6,2 MW per una potenza complessiva pari a 31,0 MW.

Gli aerogeneratori in progetto hanno tutti lo stesso numero di pale (tre) e la stessa altezza (altezza all'hub – *Hub Height* - di 115 m e altezza aerogeneratore comprensiva delle pale – *Tip Height* – di 200m).

Gli aerogeneratori che verranno installati presso il nuovo impianto, oggetto di questo studio, saranno selezionati sulla base delle più innovative tecnologie disponibili sul mercato. La potenza nominale delle turbine previste sarà pari a massimo 6,2 MW. Il tipo e la taglia esatta dell'aerogeneratore saranno comunque individuati in seguito alla fase di acquisto della macchina e verranno descritti nel dettaglio in fase di progettazione esecutiva.

Si riportano di seguito le caratteristiche tecniche dell'aerogeneratore con potenza nominale pari a 6,2 MW (in grassetto i valori necessari per il calcolo della gittata):

Potenza nominale	6,2 MW
Diametro del rotore D	170 m
Lunghezza della pala r_{tip}	83,33 m
Corda massima della pala	4,5 m
Area spazzata	22.698 m ²
Altezza al mozzo H_m	115 m
Classe di vento IEC	IIIA
Velocità cut-in	3 m/s
Velocità nominale	10 m/s
Velocità cut-out	25 m/s
Giri al minuto rotore n	8,8

Tabella 2 - Caratteristiche tecniche dell'aerogeneratore

Si riportano a seguire le caratteristiche tecniche riferite all'aerogeneratore oggetto di progettazione definitiva.

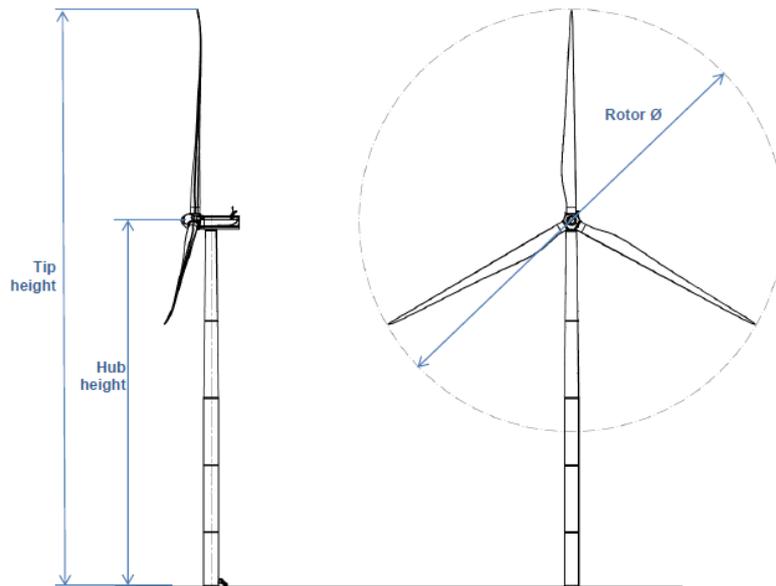


Figura 3 - Dimensioni aerogeneratore tipo

Altezza della punta (Tip height)	200 m
Altezza del mozzo (Hub height)	115 m
Diametro del rotore (Rotor \varnothing)	170 m

Tabella 3 - Dimensioni aerogeneratore tipo

Propedeutico all'esercizio dell'impianto, sarà la realizzazione della sottostazione e di tutte le opere accessorie e di servizio per la costruzione e gestione dell'impianto.

3. CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA DEGLI ELEMENTI ROTANTI DEGLI AEROGENERATORI

La rottura improvvisa di una pala dell'aerogeneratore (o di un frammento di essa) è un fattore molto importante da analizzare in fase di progettazione e per la localizzazione dell'impianto eolico stesso.

La rottura di una pala, che spesso avviene alla radice di essa, è un evento che presenta due cause principali:

1. Rottura del giunto di collegamento tra mozzo e pala;
2. Fenomeni di fatica sul profilo di pala causati dalla discontinuità della struttura.

Lo studio in oggetto ha lo scopo di analizzare, nell'eventualità che si verifichi il distacco di una pala, il moto di caduta percorsa da essa.

A differenza di un classico moto parabolico (es. moto del proiettile), in cui è possibile definire che l'angolo a cui vi è la gittata massima è 45° , la complessa struttura geometrica ed aerodinamica della pala porta a dover studiare in modo più approfondito il fenomeno del distacco di pala.

Di seguito, vengono riportate alcune definizioni ed ipotesi utili per la definizione e il calcolo della gittata massima, affrontato nei paragrafi successivi:

- Gittata (L): è la distanza percorsa lungo l'asse delle ascisse da un corpo lasciato in aria. Essa dipende fortemente dall'angolo di distacco, dalle caratteristiche della pala come dimensione, peso e profilo aerodinamico, dalla velocità di rotazione del corpo, dalla velocità del vento e dalle forze di attrito che agiscono sulla pala durante il volo.
- Tempo di volo (T): è l'intervallo di tempo che intercorre tra il distacco del corpo ed il suo arrivo al suolo (il tempo trascorso in aria). Come definito per la gittata, esso dipende dalle caratteristiche della pala, dall'angolo di distacco e dalla velocità di rotazione del corpo.

Il calcolo della gittata massima dell'aerogeneratore necessita, inoltre, di alcune ipotesi semplificative, necessarie a descrivere il modello del moto parabolico:

- Viene considerato il distacco della totalità della pala in modo istantaneo. Questa ipotesi è assolutamente conservativa, dato che non si considera la resistenza posta dalla pala;
- viene considerata la rotazione massima (massimi giri al minuto) per la turbina al momento del distaccamento;
- sono considerati solamente gli effetti gravitazionali sul moto e non gli effetti di attrito di aria e vento. Questa ipotesi è conservativa, dato che trascurare gli effetti di aria e vento causa un incremento del valore della gittata massima della pala distaccata a favore di sicurezza. Gli effetti di portanza sul profilo della pala sono trascurati;

- il moto della pala al momento del distacco è un moto complesso, che dipende strettamente dalle dimensioni della pala, dal suo peso e dalle forze aerodinamiche in gioco. Il modello teorico che meglio descrive il moto della pala è il “moto rotazionale complesso” che permette di descrivere il moto della pala tridimensionalmente. In questa analisi, trascurando gli effetti di aria e vento, il moto della pala distaccata viene descritto attraverso il movimento del punto del centro di massa (baricentro), posto ad 1/3 della lunghezza di pala. Tali considerazioni sono utili al fine di descrivere un moto dipendente solamente dagli effetti gravitazionali. Tale ipotesi, che non considera effetti di attrito e il moto rotazionale complesso, porta a sovrastimare il valore della gittata a favore di sicurezza;
- non si considera alcuna mutazione della velocità del vento durante il volo. La velocità del vento durante il volo è bensì assunta pari a quella al momento del distacco e pari alla velocità massima di funzionamento.

In accordo a queste ipotesi, secondo il modello di aerogeneratore definito nei precedenti paragrafi, è stato elaborato il calcolo della gittata massima

Il primo passo per il calcolo della gittata massima è la descrizione delle leggi orarie del moto parabolico della pala distaccata. Considerando che la massa e la geometria sono concentrate in un punto (baricentro), che il corpo si trova in un campo di gravità uniforme ed indipendente dal tempo e che si trascurano le forze di attrito legate alla resistenza dell'aria, si applicano le seguenti equazioni di moto:

$$\begin{cases} x(t) = x_o + v_{gx}t \\ y(t) = y_o + v_{gy}t - \frac{1}{2}gt^2 \end{cases} \quad (3.1)$$

Dove:

x_o e y_o sono le posizioni iniziali della pala al momento del distacco. Esse dipendono dall'angolo di distacco e dal raggio baricentrico;

v_{gx} e v_{gy} sono rispettivamente la componente orizzontale e verticale della velocità iniziale di distacco “ v_g ”, definita al raggio baricentrico.

La velocità di distacco “ v_g ” si calcola a partire dalla velocità angolare “ ω ” (e quindi dal numero di giri al minuto della turbina “ n ”) e dal raggio baricentrico “ r_g ” come di seguito:

$$v_g = \omega \cdot r_g = \frac{2\pi n}{60} \cdot r_g = 26.11 \text{ m/s} \quad (3.2)$$

g è la costante di gravitazione universale pari a 9,81 m/s²

t è la variabile tempo. Impostando $y(t) = 0$ (corpo arrivato a terra), si ottiene di conseguenza il tempo di volo e la condizione in cui calcolare la gittata.

Per prima cosa, è quindi necessario definire le posizioni iniziali e le velocità del corpo distaccato. Il moto

parabolico del corpo viene descritto nella figura seguente. Traiettoria della pala distaccata, dove il rotore della turbina eolica (fino al raggio baricentrico) è rappresentato con il cerchio blu:

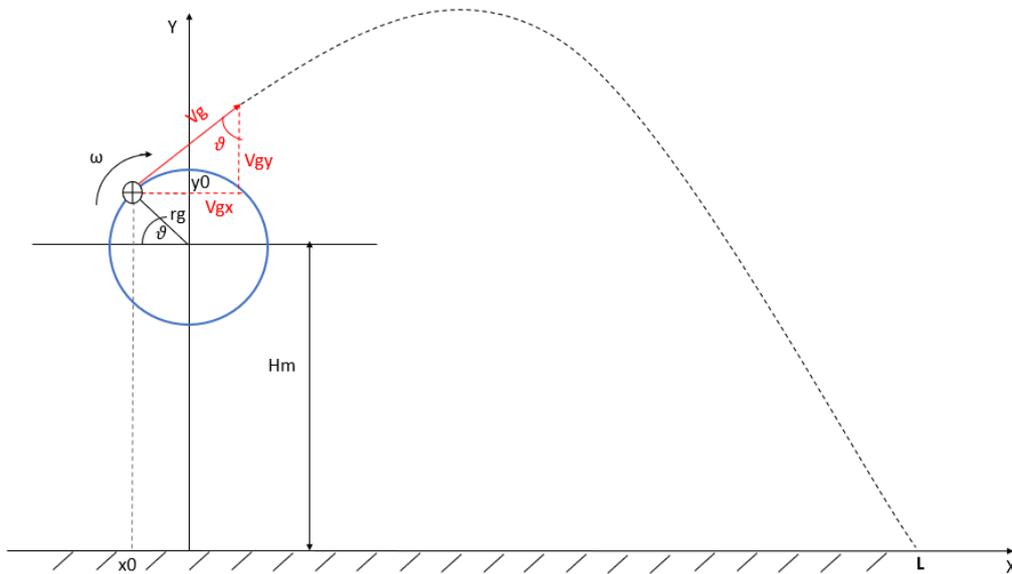


Figura 4 - Traiettoria della pala distaccata

Come visibile dalla figura, le posizioni iniziali (x_o e y_o) e le componenti (v_{gx} e v_{gy}) della velocità di distacco v_g dipendono strettamente dal raggio baricentrico r_g , dall'altezza di mozzo H_m , e dall'angolo di distacco ϑ definito in senso orario tra l'asse della pala e l'orizzontale. Essendo l'angolo di distacco variabile nel tempo, è necessario calcolare la gittata al variare dell'angolo di distacco per evidenziare quale è la condizione in cui si ottiene la massima gittata.

Si definiscono quindi:

Le posizioni iniziali (x_o e y_o) come:

$$x_o = -r_g \cos \vartheta ; y_o = H_m + r_g \sin \vartheta \quad (3.3)$$

Le componenti (v_{gx} e v_{gy}) della velocità di distacco v_g come:

$$v_{gx} = v_g \sin \vartheta ; v_{gy} = v_g \cos \vartheta \quad (3.4)$$

Sono state quindi definite le condizioni iniziali del distacco di pala. È necessario ora, a partire dalle equazioni di moto, ottenere i valori di Tempo di volo (T) e Gittata (L) definiti sul baricentro della pala distaccata.

Imponendo $y(t) = 0$ nell'equazione 3.1, condizione a cui corrisponde il raggiungimento a terra del corpo dopo il volo, e avendo definito le condizioni iniziali nelle equazioni 3.3 e 3.4, si possono calcolare quindi la gittata L e il tempo di volo T:

$$\left\{ \begin{array}{l} L = x_o + v_{gx}T \\ 0 = y_o + v_{gy}T - \frac{1}{2}gT^2 \end{array} \right\} \quad (3.5)$$

Risolviendo la seconda equazione di secondo grado nella variabile T e trascurando i risultati dell'equazione che evidenziano tempi negativi, si può quindi ottenere il valore del tempo di volo T, pari a:

$$T [s] = \frac{v_{gy} + \sqrt{v_{gy}^2 + 2gy_o}}{g} = \frac{v_g \cos \vartheta + \sqrt{(v_g \cos \vartheta)^2 + 2g \cdot (H_m + r_g \sin \vartheta)}}{g} \quad (3.6)$$

Definito il tempo di volo T, dalla prima equazione (3.5), si ottiene quindi la gittata L, definita nel baricentro di pala:

$$L [m] = x_o + v_{gx}T = -r_g \cos \vartheta + v_g \sin \vartheta \cdot \left(\frac{v_g \cos \vartheta + \sqrt{(v_g \cos \vartheta)^2 + 2g \cdot (H_m + r_g \sin \vartheta)}}{g} \right) \quad (3.7)$$

Ottenuta la gittata nel baricentro di pala L, per ottenere la gittata al "tip" della pala, è sufficiente sommare la distanza tra il "tip" della pala ed il raggio baricentrico ($2/3 r_{tip}$):

$$L_{tip} = L + \frac{2}{3}r_{tip} \quad (3.8)$$

Come già evidenziato, tutte le grandezze definite precedentemente dipendono dall'angolo di distacco ϑ , variabile nel tempo. Vengono quindi riportati di seguito un riassunto delle ipotesi di calcolo ed i valori di gittata ottenuti al variare dell'angolo ϑ , al fine di individuare la gittata massima e l'angolo a essa corrispondente.

Nella tabella a seguire sono indicati i valori della gittata massima al variare dell'angolo θ .

Angolo (°)	Angolo (rad)	V0	Vy	Hg	Gittata teorica	Xg	Lg	Gittata effettiva
0	0,00	0,00	26,11	115,00	0,00	28,33	56,67	28,33
1	0,02	0,46	26,11	115,49	3,73	28,33	56,67	32,07
2	0,03	0,91	26,09	115,99	7,47	28,32	56,67	35,83
3	0,05	1,37	26,07	116,48	11,22	28,29	56,67	39,59
4	0,07	1,82	26,05	116,98	14,96	28,26	56,67	43,36
5	0,09	2,28	26,01	117,47	18,70	28,23	56,67	47,14
6	0,10	2,73	25,97	117,96	22,43	28,18	56,67	50,92
7	0,12	3,18	25,92	118,45	26,16	28,12	56,67	54,70
8	0,14	3,63	25,86	118,94	29,87	28,06	56,67	58,48
9	0,16	4,08	25,79	119,43	33,57	27,98	56,67	62,26
10	0,17	4,53	25,71	119,92	37,26	27,90	56,67	66,02
11	0,19	4,98	25,63	120,41	40,92	27,81	56,67	69,78
12	0,21	5,43	25,54	120,89	44,56	27,71	56,67	73,52
13	0,23	5,87	25,44	121,37	48,18	27,61	56,67	77,24
14	0,24	6,32	25,33	121,85	51,77	27,49	56,67	80,95
15	0,26	6,76	25,22	122,33	55,33	27,37	56,67	84,63
16	0,28	7,20	25,10	122,81	58,86	27,24	56,67	88,29
17	0,30	7,63	24,97	123,28	62,35	27,10	56,67	91,92
18	0,31	8,07	24,83	123,76	65,81	26,95	56,67	95,53
19	0,33	8,50	24,69	124,22	69,22	26,79	56,67	99,10
20	0,35	8,93	24,54	124,69	72,60	26,62	56,67	102,64
21	0,37	9,36	24,38	125,15	75,92	26,45	56,67	106,14
22	0,38	9,78	24,21	125,61	79,21	26,27	56,67	109,60
23	0,40	10,20	24,03	126,07	82,44	26,08	56,67	113,03
24	0,42	10,62	23,85	126,52	85,62	25,88	56,67	116,40
25	0,44	11,03	23,66	126,97	88,75	25,68	56,67	119,74
26	0,45	11,45	23,47	127,42	91,83	25,47	56,67	123,03
27	0,47	11,85	23,26	127,86	94,84	25,25	56,67	126,26
28	0,49	12,26	23,05	128,30	97,80	25,02	56,67	129,45
29	0,51	12,66	22,84	128,74	100,70	24,78	56,67	132,58
30	0,52	13,06	22,61	129,17	103,53	24,54	56,67	135,66
31	0,54	13,45	22,38	129,59	106,31	24,29	56,67	138,69
32	0,56	13,84	22,14	130,01	109,01	24,03	56,67	141,65
33	0,58	14,22	21,90	130,43	111,65	23,76	56,67	144,55
34	0,59	14,60	21,65	130,84	114,22	23,49	56,67	147,40
35	0,61	14,98	21,39	131,25	116,72	23,21	56,67	150,18
36	0,63	15,35	21,12	131,65	119,15	22,92	56,67	152,90
37	0,65	15,71	20,85	132,05	121,51	22,63	56,67	155,55
38	0,66	16,07	20,58	132,44	123,79	22,33	56,67	158,13
39	0,68	16,43	20,29	132,83	126,00	22,02	56,67	160,65
40	0,70	16,78	20,00	133,21	128,14	21,70	56,67	163,10
41	0,72	17,13	19,71	133,59	130,20	21,38	56,67	165,48

Angolo (°)	Angolo (rad)	V0	Vy	Hg	Gittata teorica	Xg	Lg	Gittata effettiva
42	0,73	17,47	19,40	133,96	132,18	21,06	56,67	167,79
43	0,75	17,81	19,10	134,32	134,09	20,72	56,67	170,03
44	0,77	18,14	18,78	134,68	135,91	20,38	56,67	172,20
45	0,79	18,46	18,46	135,03	137,66	20,03	56,67	174,29
46	0,80	18,78	18,14	135,38	139,33	19,68	56,67	176,32
47	0,82	19,10	17,81	135,72	140,92	19,32	56,67	178,27
48	0,84	19,40	17,47	136,06	142,43	18,96	56,67	180,14
49	0,86	19,71	17,13	136,38	143,87	18,59	56,67	181,94
50	0,87	20,00	16,78	136,70	145,22	18,21	56,67	183,67
51	0,89	20,29	16,43	137,02	146,49	17,83	56,67	185,33
52	0,91	20,58	16,07	137,33	147,68	17,44	56,67	186,91
53	0,93	20,85	15,71	137,63	148,80	17,05	56,67	188,41
54	0,94	21,12	15,35	137,92	149,83	16,65	56,67	189,84
55	0,96	21,39	14,98	138,21	150,79	16,25	56,67	191,20
56	0,98	21,65	14,60	138,49	151,66	15,84	56,67	192,49
57	0,99	21,90	14,22	138,76	152,46	15,43	56,67	193,70
58	1,01	22,14	13,84	139,03	153,18	15,01	56,67	194,84
59	1,03	22,38	13,45	139,29	153,83	14,59	56,67	195,90
60	1,05	22,61	13,06	139,54	154,39	14,17	56,67	196,89
61	1,06	22,84	12,66	139,78	154,89	13,74	56,67	197,82
62	1,08	23,05	12,26	140,02	155,30	13,30	56,67	198,67
63	1,10	23,26	11,85	140,25	155,65	12,86	56,67	199,45
64	1,12	23,47	11,45	140,47	155,92	12,42	56,67	200,16
65	1,13	23,66	11,03	140,68	156,11	11,97	56,67	200,81
66	1,15	23,85	10,62	140,88	156,24	11,52	56,67	201,38
67	1,17	24,03	10,20	141,08	156,30	11,07	56,67	201,89
68	1,19	24,21	9,78	141,27	156,28	10,61	56,67	202,33
69	1,20	24,38	9,36	141,45	156,20	10,15	56,67	202,71
70	1,22	24,54	8,93	141,62	156,05	9,69	56,67	203,03
71	1,24	24,69	8,50	141,79	155,84	9,22	56,67	203,28
72	1,26	24,83	8,07	141,95	155,56	8,76	56,67	203,47
73	1,27	24,97	7,63	142,10	155,22	8,28	56,67	203,60
74	1,29	25,10	7,20	142,24	154,82	7,81	56,67	203,67
75	1,31	25,22	6,76	142,37	154,35	7,33	56,67	203,69
76	1,33	25,33	6,32	142,49	153,83	6,85	56,67	203,64
77	1,34	25,44	5,87	142,61	153,25	6,37	56,67	203,55
78	1,36	25,54	5,43	142,71	152,62	5,89	56,67	203,39
79	1,38	25,63	4,98	142,81	151,93	5,41	56,67	203,19
80	1,40	25,71	4,53	142,90	151,18	4,92	56,67	202,93
81	1,41	25,79	4,08	142,98	150,39	4,43	56,67	202,62
82	1,43	25,86	3,63	143,06	149,54	3,94	56,67	202,27
83	1,45	25,92	3,18	143,12	148,65	3,45	56,67	201,86
84	1,47	25,97	2,73	143,18	147,71	2,96	56,67	201,41

Angolo (°)	Angolo (rad)	V0	Vy	Hg	Gittata teorica	Xg	Lg	Gittata effettiva
85	1,48	26,01	2,28	143,23	146,72	2,47	56,67	200,91
86	1,50	26,05	1,82	143,26	145,69	1,98	56,67	200,38
87	1,52	26,07	1,37	143,29	144,61	1,48	56,67	199,79
88	1,54	26,09	0,91	143,32	143,49	0,99	56,67	199,17
89	1,55	26,11	0,46	143,33	142,34	0,49	56,67	198,51
90	1,57	26,11	0,00	143,33	141,14	0,00	56,67	197,81
91	1,59	26,11	-0,46	143,33	139,91	-0,49	56,67	197,07
92	1,61	26,09	-0,91	143,32	138,65	-0,99	56,67	196,30
93	1,62	26,07	-1,37	143,29	137,35	-1,48	56,67	195,50
94	1,64	26,05	-1,82	143,26	136,01	-1,98	56,67	194,66
95	1,66	26,01	-2,28	143,23	134,65	-2,47	56,67	193,79
96	1,68	25,97	-2,73	143,18	133,26	-2,96	56,67	192,88
97	1,69	25,92	-3,18	143,12	131,83	-3,45	56,67	191,95
98	1,71	25,86	-3,63	143,06	130,39	-3,94	56,67	191,00
99	1,73	25,79	-4,08	142,98	128,91	-4,43	56,67	190,01
100	1,75	25,71	-4,53	142,90	127,41	-4,92	56,67	189,00
101	1,76	25,63	-4,98	142,81	125,89	-5,41	56,67	187,97
102	1,78	25,54	-5,43	142,71	124,35	-5,89	56,67	186,91
103	1,80	25,44	-5,87	142,61	122,79	-6,37	56,67	185,83
104	1,82	25,33	-6,32	142,49	121,21	-6,85	56,67	184,73
105	1,83	25,22	-6,76	142,37	119,61	-7,33	56,67	183,61
106	1,85	25,10	-7,20	142,24	117,99	-7,81	56,67	182,47
107	1,87	24,97	-7,63	142,10	116,36	-8,28	56,67	181,31
108	1,88	24,83	-8,07	141,95	114,71	-8,76	56,67	180,14
109	1,90	24,69	-8,50	141,79	113,05	-9,22	56,67	178,95
110	1,92	24,54	-8,93	141,62	111,38	-9,69	56,67	177,74
111	1,94	24,38	-9,36	141,45	109,70	-10,15	56,67	176,52
112	1,95	24,21	-9,78	141,27	108,01	-10,61	56,67	175,29
113	1,97	24,03	-10,20	141,08	106,31	-11,07	56,67	174,04
114	1,99	23,85	-10,62	140,88	104,59	-11,52	56,67	172,79
115	2,01	23,66	-11,03	140,68	102,88	-11,97	56,67	171,52
116	2,02	23,47	-11,45	140,47	101,15	-12,42	56,67	170,24
117	2,04	23,26	-11,85	140,25	99,42	-12,86	56,67	168,95
118	2,06	23,05	-12,26	140,02	97,69	-13,30	56,67	167,66
119	2,08	22,84	-12,66	139,78	95,95	-13,74	56,67	166,35
120	2,09	22,61	-13,06	139,54	94,21	-14,17	56,67	165,04
121	2,11	22,38	-13,45	139,29	92,47	-14,59	56,67	163,73
122	2,13	22,14	-13,84	139,03	90,72	-15,01	56,67	162,40
123	2,15	21,90	-14,22	138,76	88,98	-15,43	56,67	161,07
124	2,16	21,65	-14,60	138,49	87,23	-15,84	56,67	159,74
125	2,18	21,39	-14,98	138,21	85,48	-16,25	56,67	158,40
126	2,20	21,12	-15,35	137,92	83,74	-16,65	56,67	157,06
127	2,22	20,85	-15,71	137,63	82,00	-17,05	56,67	155,71

Angolo (°)	Angolo (rad)	V0	Vy	Hg	Gittata teorica	Xg	Lg	Gittata effettiva
128	2,23	20,58	-16,07	137,33	80,25	-17,44	56,67	154,36
129	2,25	20,29	-16,43	137,02	78,52	-17,83	56,67	153,01
130	2,27	20,00	-16,78	136,70	76,78	-18,21	56,67	151,66
131	2,29	19,71	-17,13	136,38	75,05	-18,59	56,67	150,30
132	2,30	19,40	-17,47	136,06	73,32	-18,96	56,67	148,95
133	2,32	19,10	-17,81	135,72	71,60	-19,32	56,67	147,59
134	2,34	18,78	-18,14	135,38	69,88	-19,68	56,67	146,23
135	2,36	18,46	-18,46	135,03	68,17	-20,03	56,67	144,87
136	2,37	18,14	-18,78	134,68	66,46	-20,38	56,67	143,51
137	2,39	17,81	-19,10	134,32	64,76	-20,72	56,67	142,15
138	2,41	17,47	-19,40	133,96	63,07	-21,06	56,67	140,79
139	2,43	17,13	-19,71	133,59	61,38	-21,38	56,67	139,43
140	2,44	16,78	-20,00	133,21	59,70	-21,70	56,67	138,07
141	2,46	16,43	-20,29	132,83	58,03	-22,02	56,67	136,71
142	2,48	16,07	-20,58	132,44	56,36	-22,33	56,67	135,36
143	2,50	15,71	-20,85	132,05	54,71	-22,63	56,67	134,00
144	2,51	15,35	-21,12	131,65	53,06	-22,92	56,67	132,65
145	2,53	14,98	-21,39	131,25	51,42	-23,21	56,67	131,29
146	2,55	14,60	-21,65	130,84	49,79	-23,49	56,67	129,94
147	2,57	14,22	-21,90	130,43	48,16	-23,76	56,67	128,59
148	2,58	13,84	-22,14	130,01	46,55	-24,03	56,67	127,24
149	2,60	13,45	-22,38	129,59	44,95	-24,29	56,67	125,90
150	2,62	13,06	-22,61	129,17	43,35	-24,54	56,67	124,55
151	2,64	12,66	-22,84	128,74	41,76	-24,78	56,67	123,21
152	2,65	12,26	-23,05	128,30	40,19	-25,02	56,67	121,87
153	2,67	11,85	-23,26	127,86	38,62	-25,25	56,67	120,53
154	2,69	11,45	-23,47	127,42	37,06	-25,47	56,67	119,20
155	2,71	11,03	-23,66	126,97	35,52	-25,68	56,67	117,86
156	2,72	10,62	-23,85	126,52	33,98	-25,88	56,67	116,53
157	2,74	10,20	-24,03	126,07	32,45	-26,08	56,67	115,20
158	2,76	9,78	-24,21	125,61	30,93	-26,27	56,67	113,87
159	2,78	9,36	-24,38	125,15	29,42	-26,45	56,67	112,54
160	2,79	8,93	-24,54	124,69	27,93	-26,62	56,67	111,22
161	2,81	8,50	-24,69	124,22	26,44	-26,79	56,67	109,89
162	2,83	8,07	-24,83	123,76	24,96	-26,95	56,67	108,57
163	2,84	7,63	-24,97	123,28	23,49	-27,10	56,67	107,25
164	2,86	7,20	-25,10	122,81	22,03	-27,24	56,67	105,94
165	2,88	6,76	-25,22	122,33	20,58	-27,37	56,67	104,62
166	2,90	6,32	-25,33	121,85	19,15	-27,49	56,67	103,30
167	2,91	5,87	-25,44	121,37	17,72	-27,61	56,67	101,99
168	2,93	5,43	-25,54	120,89	16,30	-27,71	56,67	100,68
169	2,95	4,98	-25,63	120,41	14,89	-27,81	56,67	99,37
170	2,97	4,53	-25,71	119,92	13,49	-27,90	56,67	98,06

Angolo (°)	Angolo (rad)	V0	Vy	Hg	Gittata teorica	Xg	Lg	Gittata effettiva
171	2,98	4,08	-25,79	119,43	12,10	-27,98	56,67	96,75
172	3,00	3,63	-25,86	118,94	10,72	-28,06	56,67	95,44
173	3,02	3,18	-25,92	118,45	9,35	-28,12	56,67	94,14
174	3,04	2,73	-25,97	117,96	7,99	-28,18	56,67	92,83
175	3,05	2,28	-26,01	117,47	6,63	-28,23	56,67	91,52
176	3,07	1,82	-26,05	116,98	5,29	-28,26	56,67	90,22
177	3,09	1,37	-26,07	116,48	3,95	-28,29	56,67	88,91
178	3,11	0,91	-26,09	115,99	2,63	-28,32	56,67	87,61
179	3,12	0,46	-26,11	115,49	1,31	-28,33	56,67	86,30
180	3,14	0,00	-26,11	115,00	0,00	-28,33	56,67	85,00

Tabella 4 - Valori della gittata massima al variare dell'angolo θ

In conclusione scegliendo il valore che rappresenta la condizione più gravosa ossia quello con un angolo di lancio $\theta = 75^\circ$, e sommando la sua distanza orizzontale dal baricentro all'asse della torre (Xg) e la distanza del vertice della pala (Lg), si ha che la distanza massima degli elementi rotanti in caso di rottura accidentale è di circa 203,7 m.

Si intende sottolineare che questo valore è teorico ed altamente conservativo, poiché non tiene conto delle 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 avvalorate dall'esperienza reale:

- Il distacco della pala è un evento che si verifica molto raramente;
- nella verifica solitamente condotta per la definizione della distanza di proiezione dell'intera pala, il moto è di tipo rotazionale complesso e la distanza di volo per aerogeneratori di potenza nominale compresa tra 5 MW e 10 MW è prossima a 200 m (Fonte: "*Analysis of throw distances of detached objects from horizontal-axis wind turbines*").

In conclusione, la gittata massima si ritiene cautelativamente pari a 203,7 m.

4. INDAGINE E LOCALIZZAZIONE DEI POTENZIALI RECETTORI

Sulla scorta dei calcoli riportati nel § 3.3, la distanza massima raggiungibile dagli elementi rotanti, in caso di rottura accidentale di una delle pale del modello di turbina eolica considerato, è risultata pari a 203,7 m.

Su base ortofoto si è proseguito alla localizzazione dei fabbricati e dei potenziali recettori ubicati entro l'area di indagine della gittata massima.

Per la definizione di "recettore" è stata considerata la definizione fornita dall'art. 2 della Legge n. 447/1995 della Legge 26 ottobre 1995, n. 447 "Legge quadro sull'inquinamento acustico" (pubblicata su G.U.R.I. n. 254 del 30 ottobre 1995, S.O. n. 125): "*ambiente abitativo: ogni ambiente interno ad un edificio destinato alla permanenza di persone o di comunità ed utilizzato per le diverse attività umane [...]*".

All'interno dell'area di indagine della gittata massima (superficie circolare di raggio pari a 203,7 m), considerata per ogni singolo aerogeneratore, non sono state rilevate interferenze con potenziali recettori ad eccezione di tre fabbricati diruti e non accatastati nelle vicinanze dell'aerogeneratore SUNI 1.

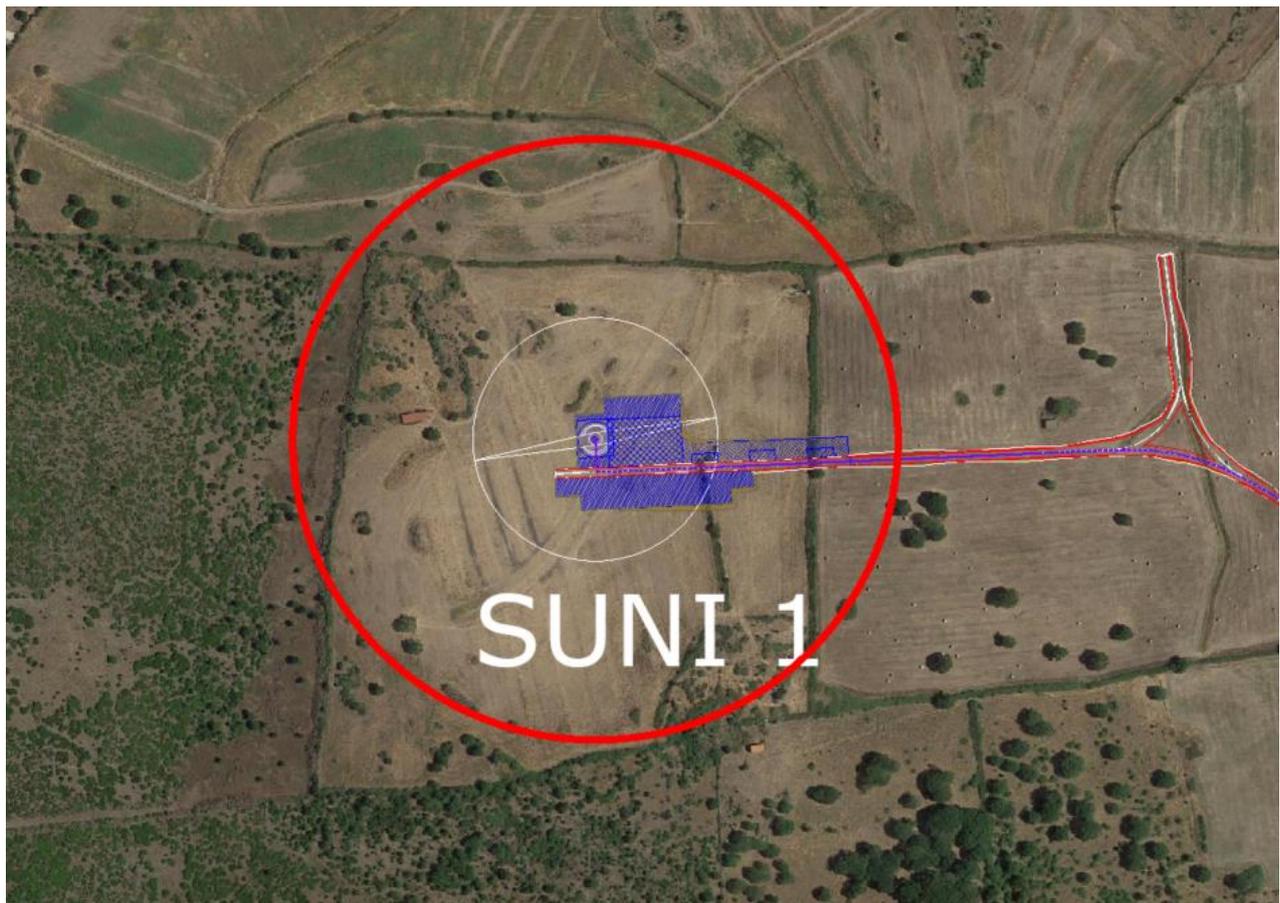


Figura 5 – Inquadramento Di fabbricati diruti non accatastati nell'area di influenza dell'aerogeneratore SUNI 1.

È importante inoltre specificare che in riferimento agli esiti della verifica condotta, non risultano interferenze con la gittata massima calcolata per il distacco accidentale di una pala e i recettori "locali"; questi ultimi rappresentati da agglomerati antropici (comuni, frazioni, borghi, ecc.) limitrofi al sito d'interesse, generalmente schematizzati come un unico recettore localizzato in corrispondenza del punto del perimetro

dell'agglomerato urbano più vicino all'area d'impianto.

Le strade provinciali e nazionali, e le ferrovie situate in prossimità dell'area di impianto sono:

- la Strada Statale SS129-BIS, quale l'impianto (SUNI 2) dista dal punto più vicino circa 1,5 km;
- la Strada Statale SS129-BIS, quale l'impianto (SUNI 3) dista dal punto più vicino circa 780m;
- la Strada Provinciale SS292, quale l'impianto (SUNI 1) dista dal punto più vicino circa 1,6 km;
- la Strada Provinciale SS129-BIS, quale l'impianto (SUNI 4) dista dal punto più vicino circa 1,2 km;
- la Strada Provinciale SP63, quale l'impianto (SUNI 5) dista dal punto più vicino 480 m.

Per maggiori dettagli, consultare gli elaborati di progetto relativi alle distanze "C21BLN001DWD04000_Carta delle distanze da strada ed edifici".

Risulta pertanto la non interferenza tra l'area di indagine della gittata massima (superficie circolare di raggio 203.7 m) dei singoli aerogeneratori e le strade nazionali e provinciali e linee ferroviarie prossime all'area di impianto.

In conformità alla Delibera del 27 novembre 2020, n. 59/90, allegato e) punto 3.2, per la verifica della distanza da strade statali e provinciali e da linee ferroviarie, si considera la somma dell'altezza al mozzo più il raggio del rotore, pari a 200 m, e si aggiunge un'ulteriore 10% per un totale di 220m.

Gli aerogeneratori sono distanti più di 900 m da strade nazionali e provinciali, e oltre i 400 m dalla linea ferroviaria più vicina, risultando le verifiche soddisfatte.

5. CONCLUSIONI

Conformemente ai contenuti del Paragrafo 7.1. "Analisi dei possibili incidenti", Capitolo 7 "INCIDENTI" dell'ALLEGATO 4 "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", è stata valutata la gittata massima degli elementi rotanti dei n. 5 (cinque) aerogeneratori dell'impianto proposto, in caso di rottura accidentale di una pala.

Ai fini dei calcoli è stato impiegato il modello di turbina eolica da 6,2 MW (Siemens Gamesa SG170-115). Tale modello è costituito da una torre di sostegno tubolare metallica a tronco di cono e in alcuni casi anche in cemento armato, sulla cui sommità è installata la navicella, il cui asse è a 115 m dal piano campagna (*Hub height*), con annesso il rotore di diametro pari a 170 m (*Rotor diameter*) (lunghezza pala 83 m), per un'altezza massima complessiva del sistema torre-pale, comprensiva del mozzo, pari a 200 m s.l.t.

Dai calcoli è risultato che la distanza massima degli elementi rotanti, in caso di rottura accidentale, è pari a 203,7 m (nell'ipotesi di rottura accidentale di una delle pale del modello di turbina eolica considerato).

È stato individuato un fabbricato diruti e non accatastato all'interno della superficie di indagine dell'aerogeneratore SUNI 1.

Si può concludere, quindi, che non sono stati rilevati fabbricati all'interno dell'area di indagine della gittata massima cui possano risultare interferenze.

Relativamente ai recettori "locali" rappresentati da agglomerati antropici (comuni, frazioni, borghi, ecc.) limitrofi al sito d'interesse, non risultano interferenze con la gittata massima calcolata per il distacco accidentale di una pala.

Considerata la gittata massima degli elementi rotanti potenzialmente indotta dai n. 5 aerogeneratori dell'impianto in progetto, non sono state rilevate interferenze con potenziali recettori.

Non risulta l'interferenza tra l'area di indagine della gittata massima (superficie circolare di raggio 203,7 m) dei singoli aerogeneratori e le strade provinciali e nazionali, né con linee ferroviarie, situate in prossimità del layout di impianto.

Il Tecnico

Ing. Leonardo Sblendido