



INTERNAL CODE

C24FSTR001WR01900

PAGE

1 di/of 24

TITLE: Relazione gittata massima elementi rotanti per rottura accidentale

AVAILABLE LANGUAGE: IT

**“IMPIANTO EOLICO ACRI”**

COMUNI DI ACRI, SAN DEMETRIO CORONE, TERRANOVA DA SIBARI E CORIGLIANO –  
ROSSANO E CASALI DEL MANCO (CS)

**PROGETTO DEFINITIVO**

**RELAZIONE GITTATA MASSIMA ELEMENTI ROTANTI**

Il tecnico

Ing. Leonardo Sblendido

File: C24FSTR001WR01900\_Relazione gittata massima elementi rotanti

<b>00</b>	<b>26/07/2024</b>	<b>PRIMA EMISSIONE</b>	<b>E.Sicilia</b>	<b>P.E.</b>	<b>L. Sblendido</b>
<i>REV.</i>	<i>DATE</i>	<i>DESCRIPTION</i>	<i>PREPARED</i>	<i>VERIFIED</i>	<i>APPROVED</i>
<b>VALIDATION</b>					
<i>NOME</i>		<i>NOME</i>	<i>NOME</i>		
COLLABORATORS		VERIFIED BY	VALIDATED BY		
<i>PROJECT / PLANT</i> ACRI EO		<i>INTERNAL CODE</i>			
		<b>C24FSTR001WR01900</b>			
<i>CLASSIFICATION:</i> COMPANY		<i>UTILIZATION SCOPE</i>			



INTERNAL CODE

**C24FSTR001WR01900**

PAGE

2 di/of 24

## 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 .....	24

## 1 PREMESSA

Il presente documento, con riferimento al progetto denominato Impianto Eolico Acri di 103,5 MW proposto da Hergo Renewables S.p.A, nei territori comunali di Acri, San Demetrio Corone, Terranova da Sibari, Casali del Manco e Corigliano – Rossano, nella provincia di Cosenza, Calabria, 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 dista circa 4,40 km da San Cosmo Albanese, 4,65 km da Acri, 4,90 km da Vaccarizzo Albanese, 5,30 km da San Giorgio Albanese, 5,70 km da San Demetrio Corone, 7,80 km da Santa Sofia D'Epiro, 8,20 km da Longobucco, 14,70 km da Luzzi, 15,80 km da Corigliano-Rossano, 16,30 km da Rose e 19,80 km da Celico.

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



Figura 1 - Inquadramento aerogeneratori in progetto su immagine satellitare



Le coordinate degli aerogeneratori costituenti l'impianto, espresse nel sistema di riferimento UTM-WGS84 (fuso 33), risultano:

ID Aerogeneratore	WGS84 - 33N	
	Coord X	Coord Y
ACR01	621936,95	4378032,89
ACR02	623308,41	4375489,28
ACR03	623728,88	4373420,95
ACR04	623596,88	4371922,95
ACR05	625378,97	4369725,02
ACR06	625638,74	4369282,35
ACR07	626122,61	4369374,22
ACR08	626573,73	4369756,20
ACR09	626482,14	4368978,23
ACR10	627150,42	4369194,00
ACR11	626783,59	4368415,27
ACR12	628528,01	4368559,40
ACR13	628568,58	4367945,86
ACR14	628007,19	4367394,52
ACR15	629557,60	4367901,98
ACR16	630385,14	4367510,05
ACR17	630356,33	4368613,53
ACR18	627655,76	4369738,54
ACR19	627383,56	4370957,63
ACR20	628292,49	4371023,20
ACR21	628016,15	4371628,51
ACR22	626602,54	4371347,56
ACR23	627226,56	4372667,81

**Tabella 1 - Coordinate degli aerogeneratori in progetto**



## 2 DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Il progetto del parco eolico prevede l'installazione di n.23 aerogeneratori di potenza nominale singola pari a 4,5 MW, per una potenza nominale complessiva di 103,5 MW.

Gli aerogeneratori in progetto hanno tutti lo stesso numero di pale (tre) e la stessa altezza (altezza all'hub – *Hub Height* – di 125 m e altezza aerogeneratore complessiva delle pale – *Tip Height* – di 206,5 m).

Gli aerogeneratori considerati nella progettazione dell'impianto saranno del tipo Vestas V163 o similari. La potenza nominale delle turbine previste sarà pari a massimo 4,5 MW.

Si riportano di seguito le caratteristiche tecniche dell'aerogeneratore con potenza nominale pari a 4,5 MW (in grassetto i valori necessari per il calcolo della gittata):

Potenza nominale	4,5 MW
Diametro del rotore D	163 m
<b>Lunghezza della pala <math>r_{tip}</math></b>	<b>80,1 m</b>
Area spazzata	20.867 m <sup>2</sup>
<b>Altezza al mozzo <math>H_m</math></b>	<b>125 m</b>
Velocità cut-in	3 m/s
Velocità cut-out	24 m/s
<b>Giri al minuto rotore n</b>	<b>8,2</b>

Tabella 2 - Caratteristiche tecniche dell'aerogeneratore

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

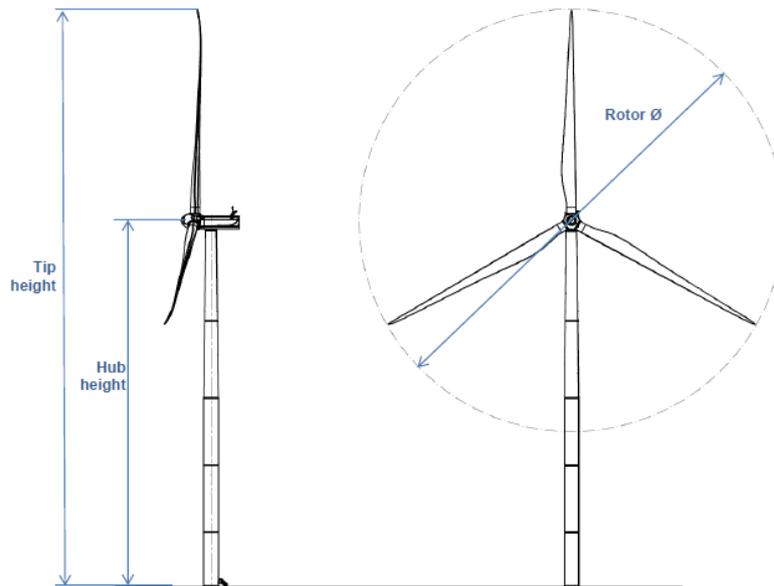


Figura 2 - Dimensioni aerogeneratore tipo

<b>Altezza della punta (Tip height)</b>	206,5 m
<b>Altezza del mozzo (Hub height)</b>	125 m
<b>Diametro del rotore (Rotor <math>\phi</math>)</b>	163 m

Tabella 3 - Dimensioni aerogeneratore tipo



### 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  $45^\circ$ , 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:

$$\left\{ \begin{array}{l} x(t) = x_0 + v_{gx}t \\ y(t) = y_0 + v_{gy}t - \frac{1}{2}gt^2 \end{array} \right\} \quad (3.1)$$

Dove:

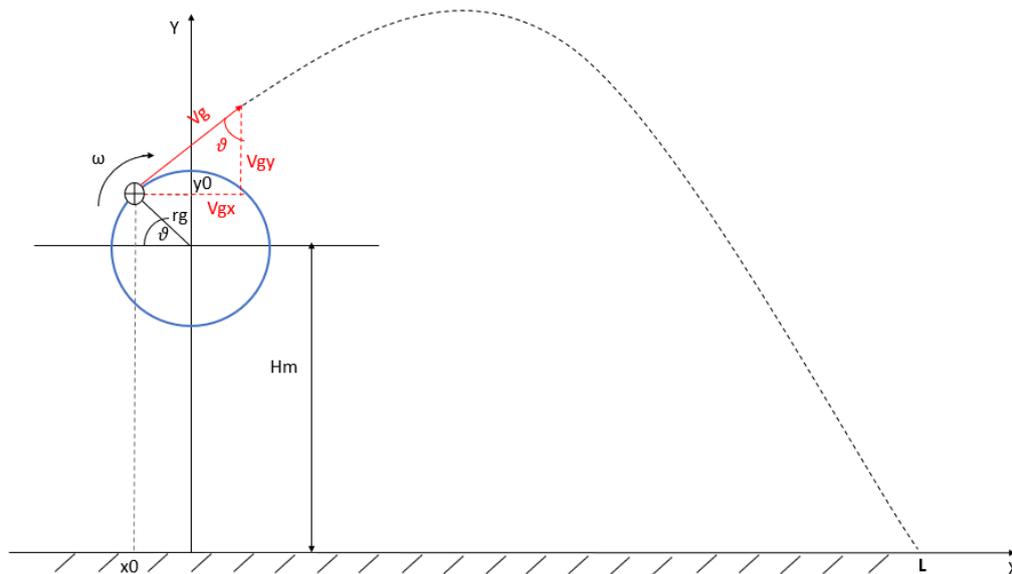
- $x_0$  e  $y_0$  sono le posizioni iniziali della pala al momento del distacco. Esse dipendono dall'angolo di distacco e dal raggio baricentrico;
- $v_{gx}$  e  $v_{gy}$  sono rispettivamente la componente orizzontale e verticale della velocità iniziale di distacco  $v_g$  definita al raggio baricentrico.

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

$$v_g = \omega \cdot r_g = \frac{2\pi n}{60} \cdot r_g = 24,130 \text{ m/s} \quad (3.2)$$

- $g$  è la costante di gravitazione universale pari a  $9,81 \text{ m/s}^2$ ;
- $t$  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. Traiettorie della pala distaccata, dove il rotore della turbina eolica (fino al raggio baricentrico) è rappresentato con il cerchio blu:



**Figura 3 - Traiettorie 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  $\vartheta$  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:

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

Risolvendo 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  $\vartheta$ , variabile nel tempo. Vengono quindi riportati di seguito un riassunto delle ipotesi di calcolo ed i valori di gittata ottenuti al variare dell'angolo  $\vartheta$ , 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  $\theta$ .

Angolo (°)	Angolo (rad)	Vx	Vy	Hg	Tempo di Volo [s]	Gittata Teorica (m)	Xg	Lg	Gittata Effettiva (m)
0	0,00	0,00	24,13	125,00	8,08	0,00	-28,10	53,40	25,30
1	0,02	0,42	24,13	125,49	8,08	3,40	-24,69	53,40	28,71
2	0,03	0,84	24,11	125,98	8,09	6,81	-21,27	53,40	32,13
3	0,05	1,26	24,10	126,47	8,10	10,22	-17,84	53,40	35,56
4	0,07	1,68	24,07	126,96	8,10	13,63	-14,40	53,40	39,00
5	0,09	2,10	24,04	127,45	8,10	17,04	-10,95	53,40	42,45
6	0,10	2,52	24,00	127,94	8,10	20,44	-7,51	53,40	45,89
7	0,12	2,94	23,95	128,42	8,10	23,83	-4,06	53,40	49,34
8	0,14	3,36	23,89	128,91	8,10	27,21	-0,62	53,40	52,78
9	0,16	3,77	23,83	129,40	8,10	30,57	2,82	53,40	56,22
10	0,17	4,19	23,76	129,88	8,09	33,91	6,24	53,40	59,64



Angolo (°)	Angolo (rad)	Vx	Vy	Hg	Tempo di Volo [s]	Gittata Teorica (m)	Xg	Lg	Gittata Effettiva (m)
11	0,19	4,60	23,69	130,36	8,09	37,24	9,66	53,40	63,06
12	0,21	5,02	23,60	130,84	8,08	40,54	13,06	53,40	66,46
13	0,23	5,43	23,51	131,32	8,07	43,82	16,44	53,40	69,84
14	0,24	5,84	23,41	131,80	8,06	47,07	19,81	53,40	73,21
15	0,26	6,25	23,31	132,27	8,05	50,29	23,15	53,40	76,55
16	0,28	6,65	23,19	132,75	8,04	53,48	26,47	53,40	79,87
17	0,30	7,05	23,08	133,22	8,03	56,64	29,77	53,40	83,17
18	0,31	7,46	22,95	133,68	8,01	59,76	33,03	53,40	86,43
19	0,33	7,86	22,81	134,15	8,00	62,84	36,27	53,40	89,67
20	0,35	8,25	22,67	134,61	7,98	65,88	39,47	53,40	92,87
21	0,37	8,65	22,53	135,07	7,96	68,87	42,64	53,40	96,04
22	0,38	9,04	22,37	135,53	7,95	71,83	45,77	53,40	99,17
23	0,40	9,43	22,21	135,98	7,93	74,74	48,87	53,40	102,27
24	0,42	9,81	22,04	136,43	7,91	77,60	51,93	53,40	105,33
25	0,44	10,20	21,87	136,88	7,88	80,41	54,94	53,40	108,34
26	0,45	10,58	21,69	137,32	7,86	83,17	57,91	53,40	111,31
27	0,47	10,95	21,50	137,76	7,84	85,88	60,84	53,40	114,24
28	0,49	11,33	21,31	138,19	7,82	88,53	63,72	53,40	117,12
29	0,51	11,70	21,10	138,62	7,79	91,14	66,56	53,40	119,96
30	0,52	12,06	20,90	139,05	7,77	93,68	69,35	53,40	122,75
31	0,54	12,43	20,68	139,47	7,74	96,17	72,09	53,40	125,49
32	0,56	12,79	20,46	139,89	7,71	98,61	74,78	53,40	128,18
33	0,58	13,14	20,24	140,30	7,68	100,98	77,42	53,40	130,82
34	0,59	13,49	20,00	140,71	7,66	103,30	80,00	53,40	133,40
35	0,61	13,84	19,77	141,12	7,63	105,56	82,54	53,40	135,94
36	0,63	14,18	19,52	141,52	7,60	107,75	85,02	53,40	138,42
37	0,65	14,52	19,27	141,91	7,57	109,89	87,45	53,40	140,85
38	0,66	14,86	19,01	142,30	7,54	111,96	89,82	53,40	143,22
39	0,68	15,19	18,75	142,68	7,51	113,98	92,14	53,40	145,54
40	0,70	15,51	18,48	143,06	7,47	115,93	94,40	53,40	147,80
41	0,72	15,83	18,21	143,44	7,44	117,82	96,61	53,40	150,01
42	0,73	16,15	17,93	143,80	7,41	119,64	98,76	53,40	152,16
43	0,75	16,46	17,65	144,16	7,38	121,41	100,86	53,40	154,26
44	0,77	16,76	17,36	144,52	7,34	123,11	102,90	53,40	156,30
45	0,79	17,06	17,06	144,87	7,31	124,75	104,88	53,40	158,28
46	0,80	17,36	16,76	145,21	7,28	126,32	106,80	53,40	160,20
47	0,82	17,65	16,46	145,55	7,24	127,83	108,67	53,40	162,07
48	0,84	17,93	16,15	145,88	7,21	129,28	110,48	53,40	163,88



Angolo (°)	Angolo (rad)	Vx	Vy	Hg	Tempo di Volo [s]	Gittata Teorica (m)	Xg	Lg	Gittata Effettiva (m)
49	0,86	18,21	15,83	146,21	7,18	130,66	112,23	53,40	165,63
50	0,87	18,48	15,51	146,53	7,14	131,98	113,92	53,40	167,32
51	0,89	18,75	15,19	146,84	7,11	133,24	115,56	53,40	168,96
52	0,91	19,01	14,86	147,14	7,07	134,44	117,14	53,40	170,54
53	0,93	19,27	14,52	147,44	7,03	135,57	118,66	53,40	172,06
54	0,94	19,52	14,18	147,73	7,00	136,63	120,12	53,40	173,52
55	0,96	19,77	13,84	148,02	6,96	137,64	121,52	53,40	174,92
56	0,98	20,00	13,49	148,30	6,93	138,58	122,87	53,40	176,27
57	0,99	20,24	13,14	148,57	6,89	139,46	124,15	53,40	177,55
58	1,01	20,46	12,79	148,83	6,85	140,27	125,38	53,40	178,78
59	1,03	20,68	12,43	149,09	6,82	141,03	126,55	53,40	179,95
60	1,05	20,90	12,06	149,34	6,78	141,72	127,67	53,40	181,07
61	1,06	21,10	11,70	149,58	6,74	142,34	128,72	53,40	182,12
62	1,08	21,31	11,33	149,81	6,71	142,91	129,72	53,40	183,12
63	1,10	21,50	10,95	150,04	6,67	143,41	130,66	53,40	184,06
64	1,12	21,69	10,58	150,26	6,63	143,86	131,54	53,40	184,94
65	1,13	21,87	10,20	150,47	6,60	144,24	132,36	53,40	185,76
66	1,15	22,04	9,81	150,67	6,56	144,55	133,13	53,40	186,53
67	1,17	22,21	9,43	150,87	6,52	144,81	133,83	53,40	187,23
68	1,19	22,37	9,04	151,05	6,48	145,01	134,48	53,40	187,88
69	1,20	22,53	8,65	151,23	6,44	145,14	135,07	53,40	188,47
70	1,22	22,67	8,25	151,41	6,40	145,22	135,61	53,40	189,01
71	1,24	22,81	7,86	151,57	6,37	145,23	136,09	53,40	189,49
72	1,26	22,95	7,46	151,72	6,33	145,19	136,51	53,40	189,91
73	1,27	23,08	7,05	151,87	6,29	145,09	136,87	53,40	190,27
74	1,29	23,19	6,65	152,01	6,25	144,92	137,18	53,40	190,58
75	1,31	23,31	6,25	152,14	6,21	144,70	137,43	53,40	190,83
76	1,33	23,41	5,84	152,27	6,17	144,42	137,62	53,40	191,02
77	1,34	23,51	5,43	152,38	6,13	144,09	137,76	53,40	191,16
78	1,36	23,60	5,02	152,49	6,09	143,69	137,85	53,40	191,25
<b>79</b>	<b>1,38</b>	<b>23,69</b>	<b>4,60</b>	<b>152,58</b>	<b>6,05</b>	<b>143,24</b>	<b>137,88</b>	<b>53,40</b>	<b>191,28</b>
80	1,40	23,76	4,19	152,67	6,01	142,74	137,86	53,40	191,26
81	1,41	23,83	3,77	152,75	5,97	142,18	137,78	53,40	191,18
82	1,43	23,89	3,36	152,83	5,92	141,56	137,65	53,40	191,05
83	1,45	23,95	2,94	152,89	5,88	140,89	137,47	53,40	190,87
84	1,47	24,00	2,52	152,95	5,84	140,17	137,24	53,40	190,64
85	1,48	24,04	2,10	152,99	5,80	139,40	136,95	53,40	190,35
86	1,50	24,07	1,68	153,03	5,76	138,58	136,62	53,40	190,02



Angolo (°)	Angolo (rad)	Vx	Vy	Hg	Tempo di Volo [s]	Gittata Teorica (m)	Xg	Lg	Gittata Effettiva (m)
87	1,52	24,10	1,26	153,06	5,71	137,71	136,24	53,40	189,64
88	1,54	24,11	0,84	153,08	5,67	136,79	135,81	53,40	189,21
89	1,55	24,13	0,42	153,10	5,63	135,82	135,33	53,40	188,73
90	1,57	24,13	0,00	153,10	5,59	134,81	134,81	53,40	188,21
91	1,59	24,13	-0,42	153,10	5,54	133,75	134,24	53,40	187,64
92	1,61	24,11	-0,84	153,08	5,50	132,65	133,63	53,40	187,03
93	1,62	24,10	-1,26	153,06	5,46	131,50	132,98	53,40	186,38
94	1,64	24,07	-1,68	153,03	5,41	130,32	132,28	53,40	185,68
95	1,66	24,04	-2,10	152,99	5,37	129,10	131,55	53,40	184,95
96	1,68	24,00	-2,52	152,95	5,33	127,83	130,77	53,40	184,17
97	1,69	23,95	-2,94	152,89	5,28	126,54	129,96	53,40	183,36
98	1,71	23,89	-3,36	152,83	5,24	125,20	129,11	53,40	182,51
99	1,73	23,83	-3,77	152,75	5,20	123,84	128,23	53,40	181,63
100	1,75	23,76	-4,19	152,67	5,15	122,44	127,32	53,40	180,72
101	1,76	23,69	-4,60	152,58	5,11	121,01	126,37	53,40	179,77
102	1,78	23,60	-5,02	152,49	5,07	119,55	125,39	53,40	178,79
103	1,80	23,51	-5,43	152,38	5,02	118,07	124,39	53,40	177,79
104	1,82	23,41	-5,84	152,27	4,98	116,56	123,36	53,40	176,76
105	1,83	23,31	-6,25	152,14	4,94	115,03	122,30	53,40	175,70
106	1,85	23,19	-6,65	152,01	4,89	113,47	121,22	53,40	174,62
107	1,87	23,08	-7,05	151,87	4,85	111,90	120,11	53,40	173,51
108	1,88	22,95	-7,46	151,72	4,81	110,30	118,99	53,40	172,39
109	1,90	22,81	-7,86	151,57	4,76	108,69	117,84	53,40	171,24
110	1,92	22,67	-8,25	151,41	4,72	107,07	116,68	53,40	170,08
111	1,94	22,53	-8,65	151,23	4,68	105,43	115,50	53,40	168,90
112	1,95	22,37	-9,04	151,05	4,64	103,78	114,31	53,40	167,71
113	1,97	22,21	-9,43	150,87	4,60	102,12	113,10	53,40	166,50
114	1,99	22,04	-9,81	150,67	4,56	100,45	111,88	53,40	165,28
115	2,01	21,87	-10,20	150,47	4,52	98,77	110,65	53,40	164,05
116	2,02	21,69	-10,58	150,26	4,48	97,09	109,40	53,40	162,80
117	2,04	21,50	-10,95	150,04	4,44	95,40	108,16	53,40	161,56
118	2,06	21,31	-11,33	149,81	4,40	93,71	106,90	53,40	160,30
119	2,08	21,10	-11,70	149,58	4,36	92,01	105,64	53,40	159,04
120	2,09	20,90	-12,06	149,34	4,32	90,32	104,37	53,40	157,77
121	2,11	20,68	-12,43	149,09	4,28	88,62	103,10	53,40	156,50
122	2,13	20,46	-12,79	148,83	4,25	86,93	101,82	53,40	155,22
123	2,15	20,24	-13,14	148,57	4,21	85,24	100,54	53,40	153,94
124	2,16	20,00	-13,49	148,30	4,18	83,55	99,26	53,40	152,66



Angolo (°)	Angolo (rad)	Vx	Vy	Hg	Tempo di Volo [s]	Gittata Teorica (m)	Xg	Lg	Gittata Effettiva (m)
125	2,18	19,77	-13,84	148,02	4,14	81,87	97,98	53,40	151,38
126	2,20	19,52	-14,18	147,73	4,11	80,19	96,70	53,40	150,10
127	2,22	19,27	-14,52	147,44	4,07	78,51	95,43	53,40	148,83
128	2,23	19,01	-14,86	147,14	4,04	76,85	94,15	53,40	147,55
129	2,25	18,75	-15,19	146,84	4,01	75,19	92,87	53,40	146,27
130	2,27	18,48	-15,51	146,53	3,98	73,53	91,60	53,40	145,00
131	2,29	18,21	-15,83	146,21	3,95	71,89	90,33	53,40	143,73
132	2,30	17,93	-16,15	145,88	3,92	70,25	89,06	53,40	142,46
133	2,32	17,65	-16,46	145,55	3,89	68,63	87,79	53,40	141,19
134	2,34	17,36	-16,76	145,21	3,86	67,01	86,53	53,40	139,93
135	2,36	17,06	-17,06	144,87	3,83	65,40	85,27	53,40	138,67
136	2,37	16,76	-17,36	144,52	3,81	63,79	84,01	53,40	137,41
137	2,39	16,46	-17,65	144,16	3,78	62,20	82,75	53,40	136,15
138	2,41	16,15	-17,93	143,80	3,75	60,62	81,50	53,40	134,90
139	2,43	15,83	-18,21	143,44	3,73	59,04	80,25	53,40	133,65
140	2,44	15,51	-18,48	143,06	3,71	57,48	79,01	53,40	132,41
141	2,46	15,19	-18,75	142,68	3,68	55,92	77,76	53,40	131,16
142	2,48	14,86	-19,01	142,30	3,66	54,38	76,52	53,40	129,92
143	2,50	14,52	-19,27	141,91	3,64	52,84	75,28	53,40	128,68
144	2,51	14,18	-19,52	141,52	3,62	51,31	74,04	53,40	127,44
145	2,53	13,84	-19,77	141,12	3,60	49,78	72,80	53,40	126,20
146	2,55	13,49	-20,00	140,71	3,58	48,27	71,57	53,40	124,97
147	2,57	13,14	-20,24	140,30	3,56	46,76	70,33	53,40	123,73
148	2,58	12,79	-20,46	139,89	3,54	45,26	69,09	53,40	122,49
149	2,60	12,43	-20,68	139,47	3,52	43,77	67,86	53,40	121,26
150	2,62	12,06	-20,90	139,05	3,50	42,28	66,62	53,40	120,02
151	2,64	11,70	-21,10	138,62	3,49	40,80	65,38	53,40	118,78
152	2,65	11,33	-21,31	138,19	3,47	39,33	64,14	53,40	117,54
153	2,67	10,95	-21,50	137,76	3,46	37,86	62,90	53,40	116,30
154	2,69	10,58	-21,69	137,32	3,44	36,40	61,66	53,40	115,06
155	2,71	10,20	-21,87	136,88	3,43	34,94	60,41	53,40	113,81
156	2,72	9,81	-22,04	136,43	3,41	33,49	59,16	53,40	112,56
157	2,74	9,43	-22,21	135,98	3,40	32,04	57,91	53,40	111,31
158	2,76	9,04	-22,37	135,53	3,39	30,60	56,65	53,40	110,05
159	2,78	8,65	-22,53	135,07	3,37	29,16	55,39	53,40	108,79
160	2,79	8,25	-22,67	134,61	3,36	27,73	54,13	53,40	107,53
161	2,81	7,86	-22,81	134,15	3,35	26,30	52,87	53,40	106,27
162	2,83	7,46	-22,95	133,68	3,34	24,87	51,60	53,40	105,00

Angolo (°)	Angolo (rad)	Vx	Vy	Hg	Tempo di Volo [s]	Gittata Teorica (m)	Xg	Lg	Gittata Effettiva (m)
163	2,84	7,05	-23,08	133,22	3,32	23,45	50,32	53,40	103,72
164	2,86	6,65	-23,19	132,75	3,31	22,03	49,04	53,40	102,44
165	2,88	6,25	-23,31	132,27	3,30	20,62	47,76	53,40	101,16
166	2,90	5,84	-23,41	131,80	3,29	19,21	46,48	53,40	99,88
167	2,91	5,43	-23,51	131,32	3,28	17,80	45,18	53,40	98,58
168	2,93	5,02	-23,60	130,84	3,27	16,40	43,89	53,40	97,29
169	2,95	4,60	-23,69	130,36	3,26	15,01	42,59	53,40	95,99
170	2,97	4,19	-23,76	129,88	3,25	13,62	41,29	53,40	94,69
171	2,98	3,77	-23,83	129,40	3,24	12,23	39,98	53,40	93,38
172	3,00	3,36	-23,89	128,91	3,23	10,85	38,67	53,40	92,07
173	3,02	2,94	-23,95	128,42	3,22	9,47	37,36	53,40	90,76
174	3,04	2,52	-24,00	127,94	3,21	8,10	36,04	53,40	89,44
175	3,05	2,10	-24,04	127,45	3,20	6,73	34,73	53,40	88,13
176	3,07	1,68	-24,07	126,96	3,19	5,37	33,40	53,40	86,80
177	3,09	1,26	-24,10	126,47	3,18	4,02	32,08	53,40	85,48
178	3,11	0,84	-24,11	125,98	3,17	2,67	30,76	53,40	84,16
179	3,12	0,42	-24,13	125,49	3,16	1,33	29,43	53,40	82,83
180	3,14	0,00	-24,13	125,00	3,16	0,00	28,10	53,40	81,50

**Tabella 4 - Valori della gittata massima al variare dell'angolo  $\theta$**

In conclusione scegliendo il valore che rappresenta la condizione più gravosa, ossia quello con un angolo di lancio  $\theta = 79^\circ$ , 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 191,28 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 191,28 m.

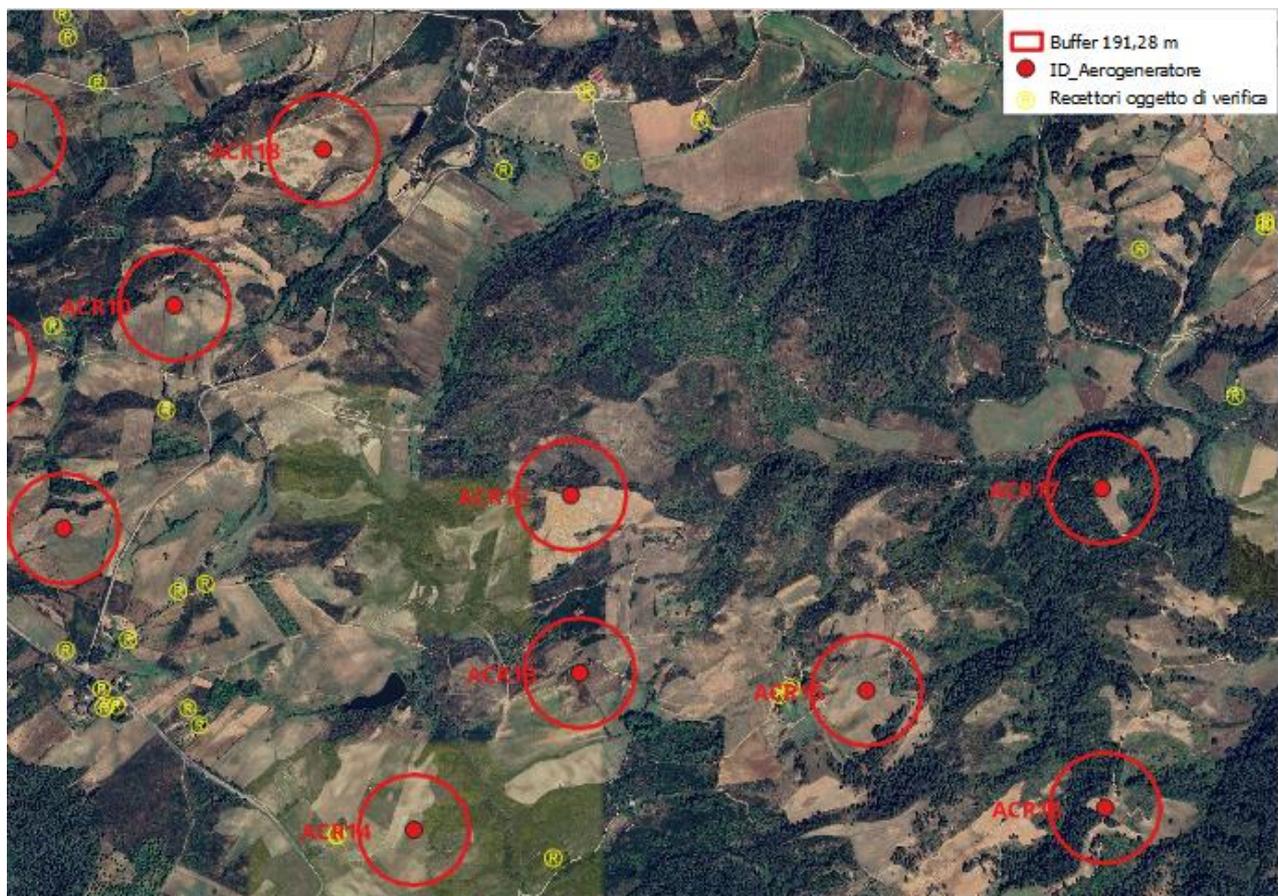
#### 4 INDAGINE E LOCALIZZAZIONE DEI POTENZIALI RECETTORI

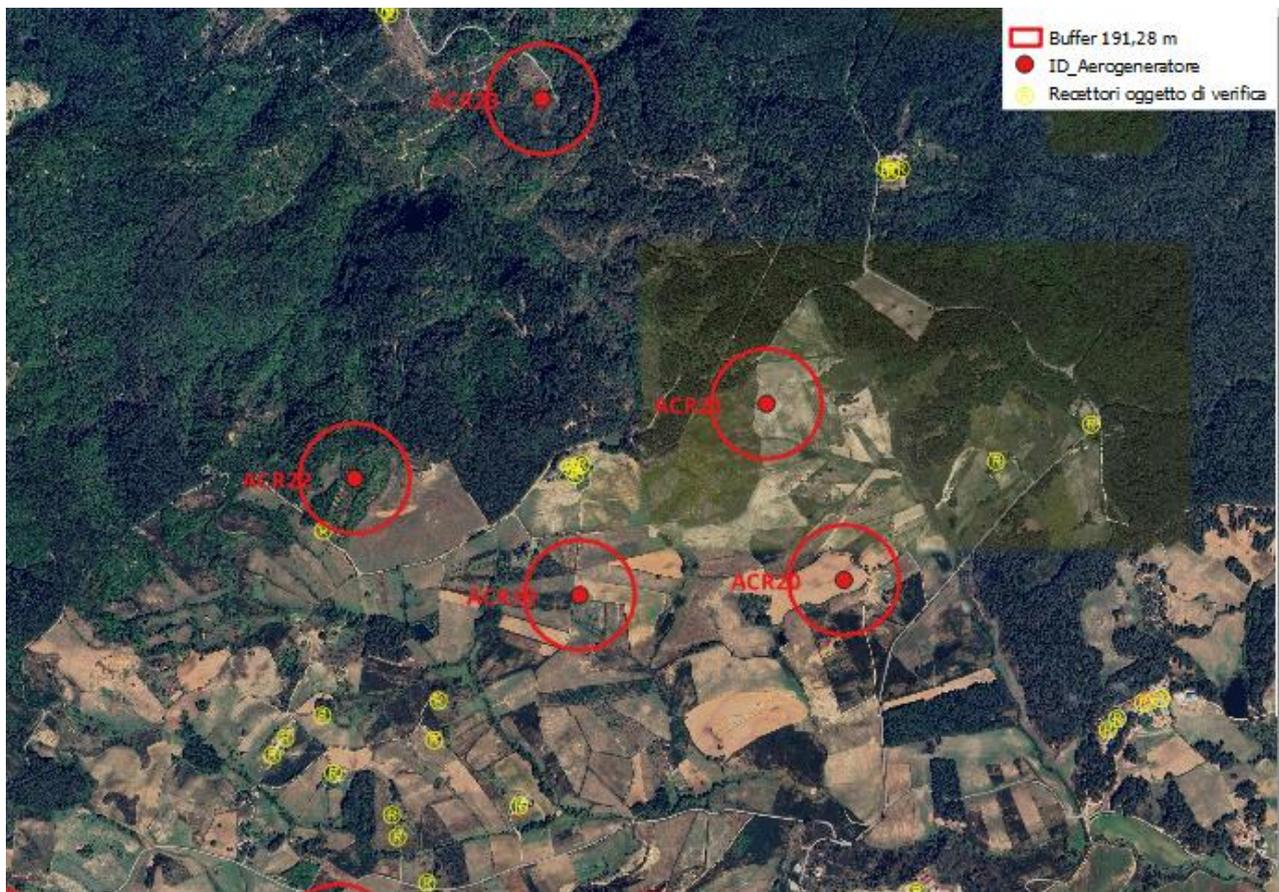
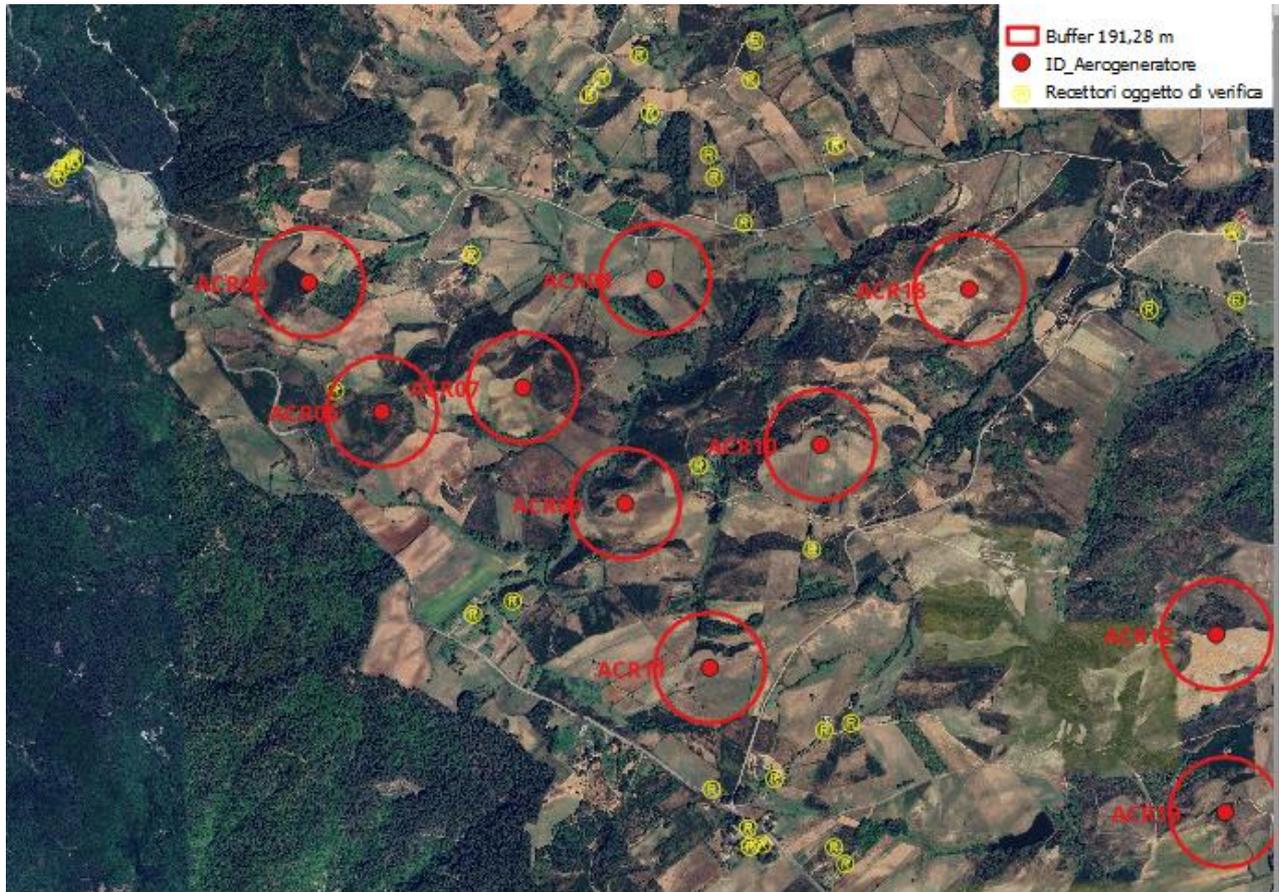
Sulla scorta dei calcoli riportati, la distanza massima raggiungibile dagli elementi rotanti, in caso di rottura accidentale di una delle pale del modello di turbina eolica considerato, è risultata pari a 191,28 m.

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 191,28 m), considerata per ogni singolo aerogeneratore, sono state rilevate, per la ACR03 e per la ACR06, interferenze con potenziali recettori.





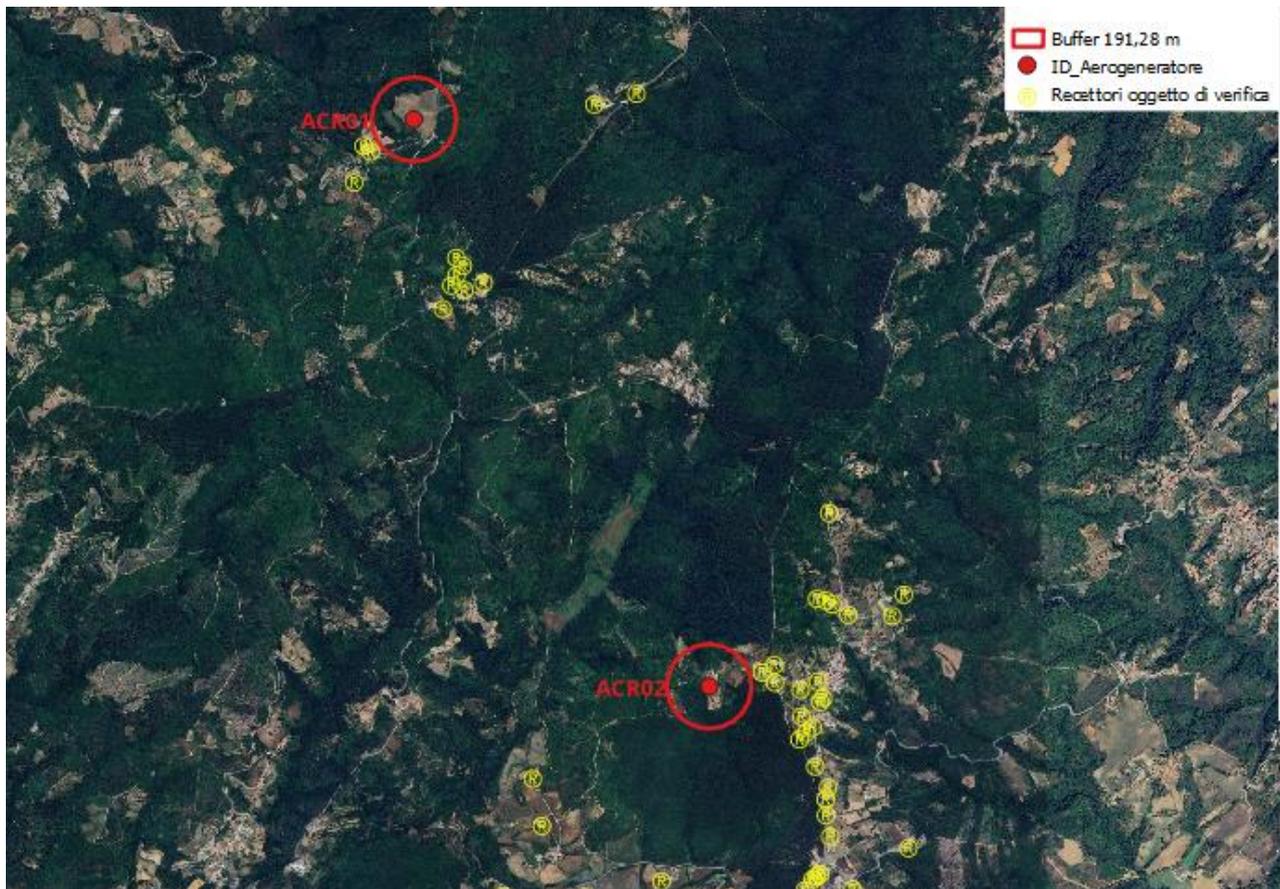
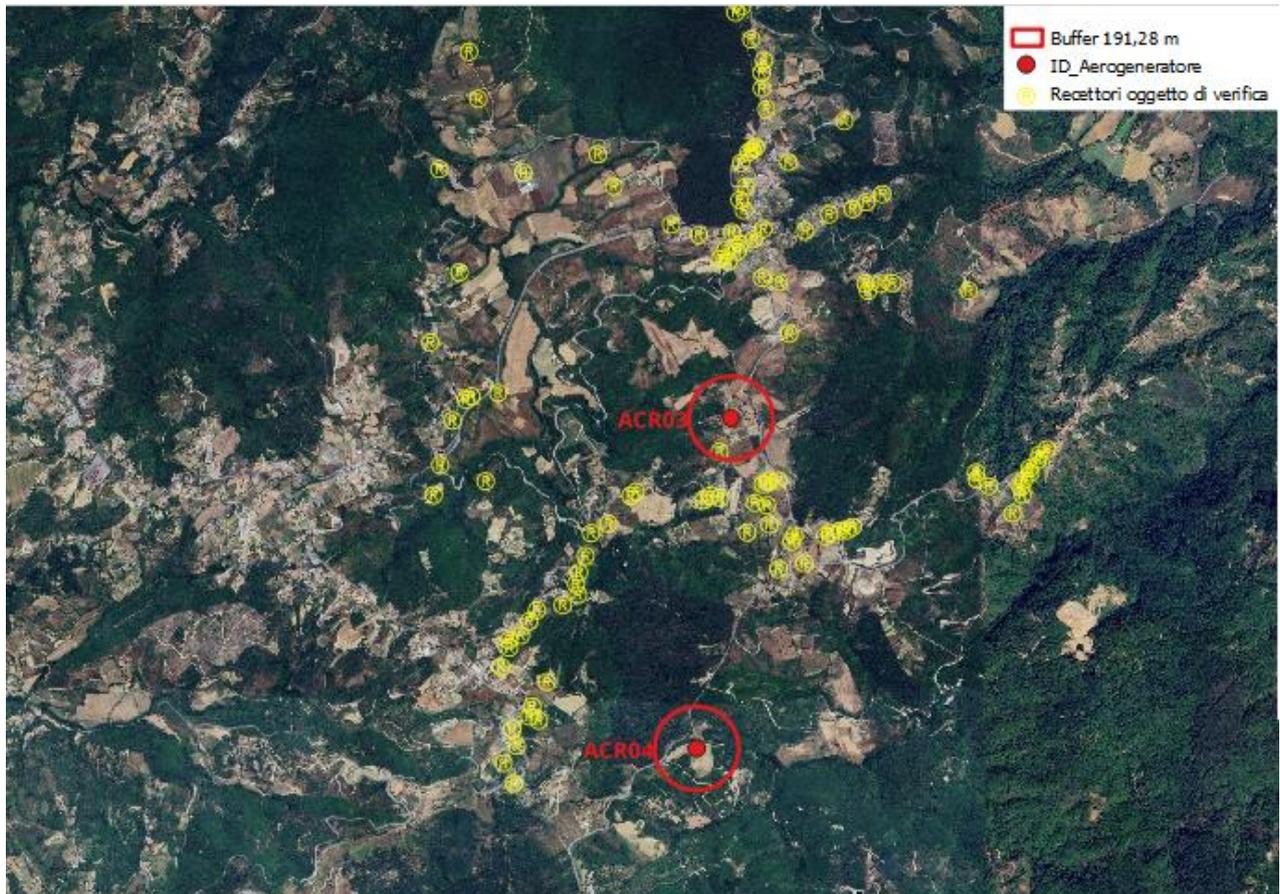


Figura 4 - Localizzazione degli aerogeneratori e dei potenziali recettori su base ortofoto

Gli elementi da attenzionare sono i recettori ricadente all'interno del buffer di 191,28 metri di ACR03 e ACR06:



**Figura 5 - Interferenza con recettore ricadente all'interno del buffer di gittata massima ACR03**

Il recettore situato all'interno del buffer dell'aerogeneratore ACR03 è un fabbricato destinato alle attività agricole. Di conseguenza, la frequentazione di tale fabbricato è limitata esclusivamente allo svolgimento delle citate attività.



Figura 6 – Interferenza con recettore ricadente all'interno del buffer di gittata massima ACR06



**Figura 7 – Inquadramento del recettore ricadente all'interno del buffer dell'aerogeneratore ACR06**

Come si può notare dall'immagine, il recettore in esame risulta essere, allo stato attuale, un fabbricato in stato di abbandono e quindi non rappresenta elemento significativo ai fini della verifica delle interferenze con la gittata massima.

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

- La Strada Provinciale SP188, quale l'impianto (ACR11) dista dal punto più vicino circa 0,25 km;
- la Strada Provinciale SP187, quale l'impianto (ACR23) dista dal punto più vicino circa 1,07 km;
- la Strada Provinciale SP186, quale l'impianto (ACR02) dista dal punto più vicino circa 1,65 km;
- la Strada Provinciale SP184, quale l'impianto (ACR02) dista dal punto più vicino circa 0,84 km;
- la Strada Provinciale SS660, quale l'impianto (ACR06) dista dal punto più vicino circa 0,25 km;

Si fa presente come le interferenze rilevate all'interno dell'area di indagine della gittata massima (superficie circolare di raggio 191,28 m) risultano essere circoscritte ad ACR03 e ACR04, con rispettivamente, la strada comunale "Contrada Cotura" e la strada comunale "Contrada Costantino". Essendo delle strade locali e utilizzate principalmente da residenti e/o agricoltori, non risultano essere interferenze significative.



Figura 8 – Interferenza con strada comunale “Contrada Cotura” ricadente all’interno del buffer di gittata massima di ACR03

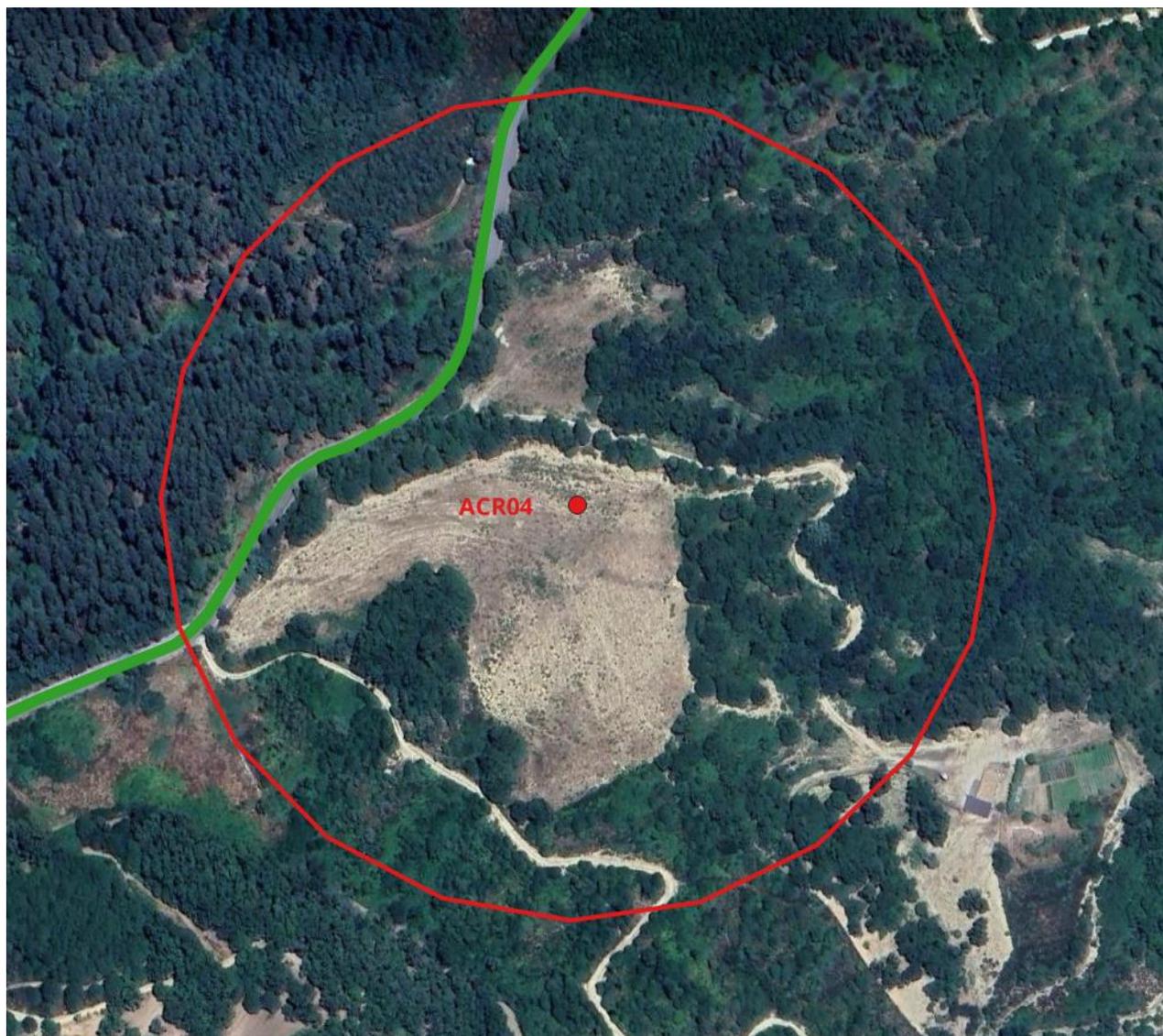


Figura 9 - Interferenza con strada comunale "Contrada Costantino" ricadente all'interno del buffer di gittata massima di ACR04



## 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.23 (ventitré) 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 4,5 MW (Vestas V163). Il tipologico di riferimento è costituito da una torre di sostegno tubolare, sulla cui sommità è installata la navicella, il cui asse è a 125 m dal piano campagna (*Hub height*), con annesso il rotore di diametro pari a 163 m (*Rotor diameter*) (lunghezza pala 80,1 m), per un'altezza massima complessiva del sistema torre-pala, comprensiva del mozzo, pari a 206,5 m s.l.t.

Dai calcoli è risultato che la distanza massima degli elementi rotanti, in caso di rottura accidentale, è pari a 191,28 m (nell'ipotesi di rottura accidentale di una delle pale del modello di turbina eolica considerato). Si precisa 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.

Si può concludere che sono stati rilevati fabbricati di categoria catastale A/4 all'interno dell'area di indagine della gittata massima ma, essendo ruderi e/o edifici agricoli secondari, non risultano essere delle interferenze significative.

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.

In relazione alle interferenze tra l'area di indagine della gittata massima (superficie circolare di raggio 191,28 m) dei singoli aerogeneratori e le strade comunali, provinciali, nazionali e con linee ferroviarie, situate in prossimità del layout di impianto, si può concludere che sono state rilevate interferenze con strade comunali ma, essendo delle strade locali e utilizzate principalmente da residenti e/o agricoltori, non risultano essere interferenze significative.

Il tecnico

Ing. Leonardo Sblendido