

TITOLARE DEL DOCUMENTO:

AREN Green S.r.l.

Società soggetta alla direzione e coordinamento di AREN Electric Power S.p.A.
Sede legale e amministrativa: Via dell'Arrigoni n. 308 | 47522 Cesena (FC) | Ph. +39 0547 415245
Iscritta nel Registro delle Imprese della Romagna – Forlì-Cesena e Rimini | REA 326908 | C.F./P.Iva 04032170401

**COMUNI DI MONTEVERDE E LACEDONIA (AV)
LOCALITA' "MASSERIA SAN FELICE"**

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTO EOLICO "SAN FELICE"

REDAZIONE / PROGETTISTA:



AREN Electric Power S.p.A.
Società per Azioni con Unico Socio
Via dell'Arrigoni n. 308 - 47522 Cesena (FC)
Ph. +39 0547 415245 - Fax +39 0547 415274
Web: www.aren-ep.com

TIMBRO E FIRMA PROGETTISTA:

Ing. Samuele Ulivi Ordine degli
Ingegneri di Forlì-Cesena - matr.
2866

TITOLO ELABORATO:

RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA

CODICE ELABORATO:

SAFDT_GENR03800_00

FORMATO:

A4

Nr. EL:

/

FASE:

**PROGETTO
DEFINITIVO**

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	Prima emissione	19/05/2022	S. Varuzza	F. Piccinini	L. Masini
01					
02					
03					
04					

AREN Green S.R.L. Impianto Eolico “SAN FELICE”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDT_GENR03800_00
		Data: 08/08/2023
	RELAZIONE SULLA GITTATA MASSIMA	Revisione: 00
		Pagina: 1 di 10

1	Introduzione.....	2
2	Ipotesi di calcolo.....	2
3	Calcolo della gittata nel caso di distacco nel punto di attacco del mozzo.....	3
3.1	Dati geometrici e cinematici dell'aerogeneratore	3
3.2	Schema concettuale.....	3
3.3	Calcolo del baricentro.....	4
3.4	Calcolo della velocità periferica.....	4
3.5	Calcolo di H_g	4
3.6	Calcolo della gittata massima ed effettiva.....	4
4	Applicazione dello studio al progetto in esame	8
5	Conclusioni.....	10

AREN Green S.R.L. Impianto Eolico "SAN FELICE"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDT_GENR03800_00
		Data: 08/08/2023
	RELAZIONE SULLA GITTATA MASSIMA	Revisione: 00
		Pagina: 2 di 10

1 Introduzione

Il progetto in oggetto consiste nella realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica mediante lo sfruttamento del vento, da ubicarsi nel Comune di Monteverde (AV) proposto dalla società AREN Green S.r.l.

L'impianto è costituito da n. 14 aerogeneratori (modello Vestas diametro 150 altezza hub 105 m) localizzati in località Masseria San Felice, di potenza unitaria 6 MW, per una potenza complessiva dell'impianto di 84 MW.

L'intero impianto, comprese le opere di connessione, è ubicato all'interno dei Comuni di Monteverde e Lacedonia.

La presente relazione si riferisce al calcolo della gittata massima di una pala di un aerogeneratore del modello Vestas, diametro 150 m, altezza hub 105 m e potenza 6 MW, in caso di rottura; tale calcolo è stato eseguito al fine di prevedere possibili problemi che una simile eventualità, per quanto improbabile, possa procurare danno a cose e/o persone. Nel calcolo si ipotizza il distacco della pala nel punto di serraggio sul mozzo, punto di maggiore sollecitazione, per effetto di intaglio dovuto al collegamento.

Il calcolo è stato svolto in conformità con quanto previsto dal decreto dirigenziale n. 44 del 12/02/2021 vigente nella regione Campania, il quale rende disponibile un apposito foglio di calcolo.

2 Ipotesi di calcolo

Le condizioni al contorno considerate per il calcolo sono le più gravose e consentono di giungere a risultati cautelativi; si vuole precisare, inoltre, che le probabilità di accadimento di rotture per aerogeneratori industriali di grande taglia sono molto basse.

Per il calcolo si effettuano le seguenti ipotesi:

- il moto del sistema considerato è quello di un sistema rigido non vincolato (modello che approssima la pala nel momento del distacco);
- tutte le forze di resistenza generate dal mezzo (aria) in cui avviene il moto in grado di ridurre la gittata effettiva non vengono considerate;
- il calcolo della gittata è stato determinato per diversi valori dell'angolo α ;
- la velocità massima del rotore sarà limitata elettronicamente.

AREN Green S.R.L. Impianto Eolico "SAN FELICE"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDT_GENR03800_00
	RELAZIONE SULLA GITTATA MASSIMA	Data: 08/08/2023
		Revisione: 00
		Pagina: 3 di 10

3 Calcolo della gittata nel caso di distacco nel punto di attacco del mozzo

3.1 Dati geometrici e cinematici dell'aerogeneratore

I dati geometrici e cinematici sui quali è basato il calcolo (*Figura 1*) sono i seguenti:

- Altezza della torre $H = 105$ m
- Diametro del rotore $D = 150$ m
- Lunghezza della pala $L = 73,65$ m
- Altezza massima dell'aerogeneratore $H+L = 180$ m
- Velocità di rotazione $n = 12,6$ giri/min.

3.2 Schema concettuale

In conformità al decreto dirigenziale n. 44 del 12/02/2021 della regione Campania viene riportato lo schema adottato per il calcolo della gittata per un angolo compreso tra 0° e 90° , che risulta come segue:

α : Angolo della pala rispetto all'orizzontale

L : Lunghezza della pala

D : Diametro del rotore

r_g : Posizione del baricentro

X_g : Posizione del baricentro della pala rispetto all'asse della torre

Y_g : Proiezione di r_g sulla verticale

$\frac{2}{3}L$: Frazione della pala che supera la gittata teorica

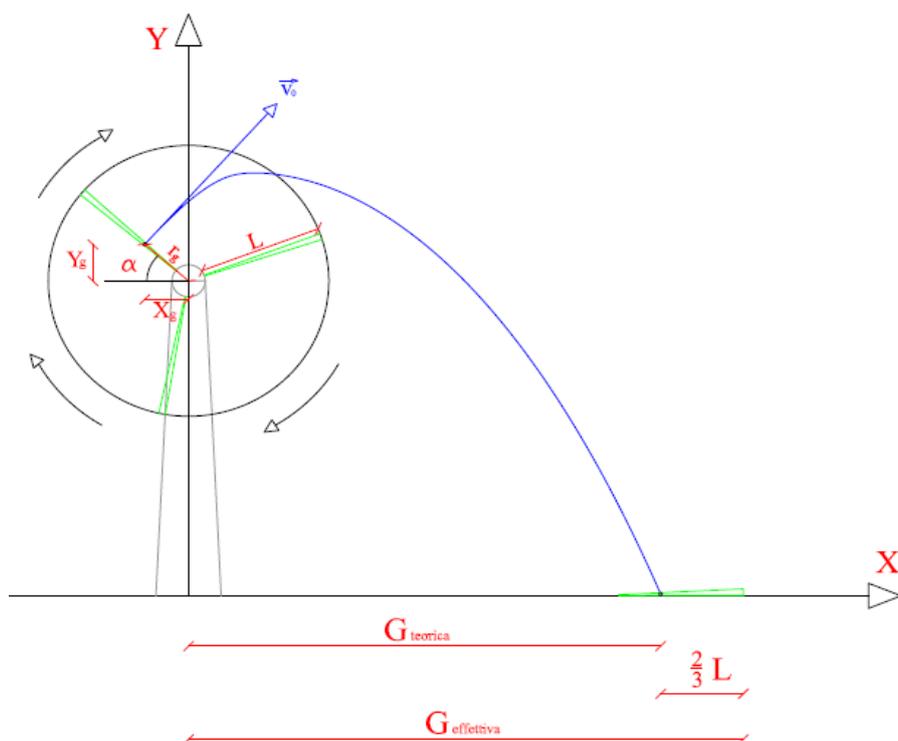


Figura 1: Schema adottato per il calcolo della gittata

Prima del calcolo della gittata è necessario calcolare i parametri che compaiono nella formula fornita dal decreto.

AREN Green S.R.L. Impianto Eolico "SAN FELICE"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDT_GENR03800_00
		Data: 08/08/2023
	RELAZIONE SULLA GITTATA MASSIMA	Revisione: 00
		Pagina: 4 di 10

3.3 Calcolo del baricentro

Date le caratteristiche geometriche della pala, e considerata la distribuzione dei pesi lungo il profilo della stessa, si può ritenere con buona approssimazione che il baricentro sia posizionato ad un terzo rispetto alla lunghezza della pala (L) più il raggio del rotore (D).

$$r_g = \frac{D}{2} - L + \frac{L}{3} = 25,90m$$

3.4 Calcolo della velocità periferica

La velocità angolare media ω è l'angolo descritto dal corpo in movimento nell'unità di tempo. Indicando con n il numero di giri al minuto primo compiuti dal corpo in movimento circolare e tenuto conto che ad ogni giro l'angolo descritto dal corpo in movimento è pari a 2π radianti, per n giri avremo $2\pi n$ radianti/minuto, ovvero la velocità angolare ω del corpo in movimento. Il dato di partenza è $n = 12,6$ giri/min che corrisponde ad una velocità angolare:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = 1,32 \frac{rad}{s}$$

Nel moto circolare uniforme, la velocità periferica è direttamente proporzionale al raggio. Ad ogni giro il punto G di raggio R percorre la circonferenza $2 \cdot \pi \cdot R$; dopo n giri al minuto lo spazio percorso sarà $2 \cdot \pi \cdot R \cdot n$ metri/minuto. Questo sarà lo spazio percorso da tutti i punti situati sulla periferia del corpo in movimento circolare.

Dunque, la velocità periferica in metri al secondo di un corpo rotante (considerando la velocità massima del rotore pari a 12,6 giri al minuto), corrisponde a:

$$v_0 = \omega \cdot r_g = \frac{2\pi n}{60} \cdot r_g = 34,17 \frac{m}{s}$$

3.5 Calcolo di H_g

Date le caratteristiche geometriche della pala, e considerata la distribuzione dei pesi lungo il profilo della stessa, si ritiene con buona approssimazione che il baricentro sia posizionato ad un terzo rispetto alla lunghezza della pala più il raggio del rotore, ossia $r_g = 25,95$ m, essendo la lunghezza di ciascuna pala uguale a 73,65 m e il diametro del rotore uguale 150 m.

Di conseguenza l'altezza di lancio (H_g) sarà uguale all'altezza del mozzo più il valore della proiezione di r_g (posizione del baricentro) sulla verticale ossia:

$$H_g = H_{hub} + Y_g$$

$$\text{con } Y_g = (r_g \cdot \sin \alpha)$$

dove H_{hub} è l'altezza del mozzo.

Il calcolo della proiezione del baricentro sull'asse verticale viene valutato per i diversi valori dell'angolo α .

3.6 Calcolo della gittata massima ed effettiva

Per il calcolo della gittata massima ed effettiva vengono riportate le formule "tal quale" fornite dal decreto, così scritte:

AREN Green S.R.L. Impianto Eolico "SAN FELICE"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDT_GENR03800_00
	RELAZIONE SULLA GITTATA MASSIMA	Data: 08/08/2023
		Revisione: 00
		Pagina: 5 di 10

G: Gittata massima

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

Dove **g** rappresenta l'effetto della forza gravitazionale della Terra pari a 9,81 m/s², mentre **v_{x0}** e **v_{y0}** rappresentano la velocità nelle due direzioni x e y in funzione dell'angolo α , che vengono calcolate come:

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

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

X_g, come già menzionato, rappresenta la posizione del baricentro della pala rispetto all'asse della torre e che viene calcolata come:

$$X_g = r_g \cos \alpha$$

G_{eff}: Gittata effettiva

$$G_{eff} = G + Lg$$

Lg rappresenta la frazione della pala che, nella casistica peggiore, supera la gittata massima qualora venga raggiunto dal baricentro (**r_g**) e che viene calcolato come:

$$Lg = \frac{2}{3} L$$

Il calcolo della gittata è stato eseguito considerando diversi valori dell'angolo α . La *Tabella 1* mostra i valori ottenuti della gittata (i valori costanti come, ad esempio, i parametri dell'aerogeneratore e la velocità **v₀** riportati precedentemente sono stati omessi da quest'ultima per una lettura più fluida):

Tabella 1. Calcolo della gittata massima ed effettiva con diversi valori dell'angolo α

Angolo α	vx0	vy0	Hg	Gittata Teorica	Xg	Lg	Gittata Effettiva
0	0,00	34,17	105,00	-25,90	25,90	49,10	23,20
1	0,60	34,17	105,45	-20,36	25,90	49,10	28,74
2	1,19	34,15	105,90	-14,81	25,88	49,10	34,29
3	1,79	34,13	106,36	-9,25	25,86	49,10	39,85
4	2,38	34,09	106,81	-3,68	25,84	49,10	45,42
5	2,98	34,04	107,26	1,88	25,80	49,10	50,98
6	3,57	33,99	107,71	7,44	25,76	49,10	56,54
7	4,16	33,92	108,16	12,98	25,71	49,10	62,08
8	4,76	33,84	108,60	18,51	25,65	49,10	67,61
9	5,35	33,75	109,05	24,02	25,58	49,10	73,12
10	5,93	33,66	109,50	29,50	25,51	49,10	78,60
11	6,52	33,55	109,94	34,96	25,42	49,10	84,06
12	7,11	33,43	110,38	40,38	25,33	49,10	89,48
13	7,69	33,30	110,83	45,76	25,24	49,10	94,86

AREN Green S.R.L. Impianto Eolico "SAN FELICE"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDT_GENR03800_00
		Data: 08/08/2023
	RELAZIONE SULLA GITTATA MASSIMA	Revisione: 00
		Pagina: 6 di 10

Angolo α	vx0	vy0	Hg	Gittata Teorica	Xg	Lg	Gittata Effettiva
14	8,27	33,16	111,27	51,10	25,13	49,10	100,20
15	8,84	33,01	111,70	56,39	25,02	49,10	105,49
16	9,42	32,85	112,14	61,63	24,90	49,10	110,73
17	9,99	32,68	112,57	66,82	24,77	49,10	115,92
18	10,56	32,50	113,00	71,95	24,63	49,10	121,05
19	11,13	32,31	113,43	77,01	24,49	49,10	126,11
20	11,69	32,11	113,86	82,01	24,34	49,10	131,11
21	12,25	31,90	114,28	86,93	24,18	49,10	136,03
22	12,80	31,69	114,70	91,78	24,01	49,10	140,88
23	13,35	31,46	115,12	96,55	23,84	49,10	145,65
24	13,90	31,22	115,53	101,25	23,66	49,10	150,35
25	14,44	30,97	115,95	105,85	23,47	49,10	154,95
26	14,98	30,72	116,35	110,37	23,28	49,10	159,47
27	15,51	30,45	116,76	114,80	23,08	49,10	163,90
28	16,04	30,17	117,16	119,13	22,87	49,10	168,23
29	16,57	29,89	117,56	123,36	22,65	49,10	172,46
30	17,09	29,60	117,95	127,50	22,43	49,10	176,60
31	17,60	29,29	118,34	131,53	22,20	49,10	180,63
32	18,11	28,98	118,72	135,46	21,96	49,10	184,56
33	18,61	28,66	119,11	139,28	21,72	49,10	188,38
34	19,11	28,33	119,48	143,00	21,47	49,10	192,10
35	19,60	27,99	119,86	146,60	21,22	49,10	195,70
36	20,09	27,65	120,22	150,09	20,95	49,10	199,19
37	20,57	27,29	120,59	153,47	20,68	49,10	202,57
38	21,04	26,93	120,95	156,73	20,41	49,10	205,83
39	21,51	26,56	121,30	159,87	20,13	49,10	208,97
40	21,97	26,18	121,65	162,89	19,84	49,10	211,99
41	22,42	25,79	121,99	165,80	19,55	49,10	214,90
42	22,87	25,40	122,33	168,58	19,25	49,10	217,68
43	23,31	24,99	122,66	171,24	18,94	49,10	220,34
44	23,74	24,58	122,99	173,79	18,63	49,10	222,89
45	24,16	24,16	123,31	176,21	18,31	49,10	225,31
46	24,58	23,74	123,63	178,50	17,99	49,10	227,60
43	23,31	24,99	122,66	171,24	18,94	49,10	220,34
44	23,74	24,58	122,99	173,79	18,63	49,10	222,89
45	24,16	24,16	123,31	176,21	18,31	49,10	225,31
46	24,58	23,74	123,63	178,50	17,99	49,10	227,60
47	24,99	23,31	123,94	180,68	17,66	49,10	229,78
48	25,40	22,87	124,25	182,73	17,33	49,10	231,83

AREN Green S.R.L. Impianto Eolico "SAN FELICE"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDT_GENR03800_00
		Data: 08/08/2023
	RELAZIONE SULLA GITTATA MASSIMA	Revisione: 00
		Pagina: 7 di 10

Angolo α	vx0	vy0	Hg	Gittata Teorica	Xg	Lg	Gittata Effettiva
49	25,79	22,42	124,55	184,66	16,99	49,10	233,76
50	26,18	21,97	124,84	186,47	16,65	49,10	235,57
51	26,56	21,51	125,13	188,16	16,30	49,10	237,26
52	26,93	21,04	125,41	189,72	15,95	49,10	238,82
53	27,29	20,57	125,68	191,17	15,59	49,10	240,27
54	27,65	20,09	125,95	192,49	15,22	49,10	241,59
55	27,99	19,60	126,22	193,70	14,86	49,10	242,80
56	28,33	19,11	126,47	194,79	14,48	49,10	243,89
57	28,66	18,61	126,72	195,77	14,11	49,10	244,87
58	28,98	18,11	126,96	196,63	13,72	49,10	245,73
59	29,29	17,60	127,20	197,38	13,34	49,10	246,48
60	29,60	17,09	127,43	198,02	12,95	49,10	247,12
61	29,89	16,57	127,65	198,54	12,56	49,10	247,64
62	30,17	16,04	127,87	198,96	12,16	49,10	248,06
63	30,45	15,51	128,08	199,28	11,76	49,10	248,38
64	30,72	14,98	128,28	199,49	11,35	49,10	248,59
65	30,97	14,44	128,47	199,59	10,95	49,10	248,69
66	31,22	13,90	128,66	199,60	10,53	49,10	248,70
67	31,46	13,35	128,84	199,51	10,12	49,10	248,61
68	31,69	12,80	129,01	199,33	9,70	49,10	248,43
69	31,90	12,25	129,18	199,05	9,28	49,10	248,15
70	32,11	11,69	129,34	198,69	8,86	49,10	247,79
71	32,31	11,13	129,49	198,23	8,43	49,10	247,33
72	32,50	10,56	129,63	197,70	8,00	49,10	246,80
73	32,68	9,99	129,77	197,07	7,57	49,10	246,17
74	32,85	9,42	129,90	196,37	7,14	49,10	245,47
75	33,01	8,84	130,02	195,60	6,70	49,10	244,70
76	33,16	8,27	130,13	194,74	6,27	49,10	243,84
77	33,30	7,69	130,24	193,82	5,83	49,10	242,92
78	33,43	7,11	130,33	192,83	5,38	49,10	241,93
79	33,55	6,52	130,42	191,77	4,94	49,10	240,87
80	33,66	5,93	130,51	190,65	4,50	49,10	239,75
81	33,75	5,35	130,58	189,47	4,05	49,10	238,57
82	33,84	4,76	130,65	188,23	3,60	49,10	237,33
83	33,92	4,16	130,71	186,93	3,16	49,10	236,03
84	33,99	3,57	130,76	185,58	2,71	49,10	234,68
85	34,04	2,98	130,80	184,19	2,26	49,10	233,29
86	34,09	2,38	130,84	182,74	1,81	49,10	231,84
87	34,13	1,79	130,86	181,25	1,36	49,10	230,35

AREN Green S.R.L. Impianto Eolico "SAN FELICE"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDT_GENR03800_00
		Data: 08/08/2023
	RELAZIONE SULLA GITTATA MASSIMA	Revisione: 00
		Pagina: 8 di 10

Angolo α	vx0	vy0	Hg	Gittata Teorica	Xg	Lg	Gittata Effettiva
88	34,15	1,19	130,88	179,72	0,90	49,10	228,82
89	34,17	0,60	130,90	178,15	0,45	49,10	227,25
90	34,17	0,00	130,90	176,54	0,00	49,10	225,64

La gittata massima si ottiene per $\alpha=66^\circ$ ed il risultato numerico è pari a **199,60 m**; questo valore rappresenta il valore della gittata massima teorica per il distacco in corrispondenza del mozzo.

Noto il valore di gittata massima teorica e date le caratteristiche geometriche della pala, precedentemente valutate, si può calcolare la gittata massima effettiva.

Supponendo di prendere in considerazione l'ipotesi più gravosa, ossia quella in cui la pala cadendo si disponga con la parte più lontana dal baricentro verso l'esterno, si ottiene che la gittata massima effettiva è pari al valore massimo di gittata teorica + Lg, ovvero i 2/3 della lunghezza della pala che risulta quindi:

- Punto massima caduta: $199,60 + 49,10 = \mathbf{248,70\ m}$

4 Applicazione dello studio al progetto in esame

Nel progetto in esame si prevede la realizzazione di 14 aerogeneratori del modello Vestas con diametro 150 m e altezza mozzo 105 m localizzati in località Masseria San Felice, di potenza unitaria 6 MW, per una potenza complessiva dell'impianto di 84 MW.

Il calcolo della gittata massima appena descritto mostra come tale valore, nel caso maggiormente cautelativo, si attesti a 248,70 m.

Tra i recettori più sensibili individuati, le strade principali più vicine sono:

- Strada Provinciale 6
- Strada Provinciale 51
- Strada Provinciale 83 – Via Pozzo Vetere
- Strada Statale 401 dell'Alto Ofanto e del Volture

Per quanto riguarda l'edificato della zona, nell'area risultano essere presenti pochi fabbricati, la maggior parte dei quali vengono adoperati per le attività agricole del territorio, come magazzini o residenze temporanee.

È presente anche la linea ferroviaria Avellino – Rocchetta Sant'Antonio che si trova a circa 660 m dalla torre più vicina SF13.

Considerando una distanza di 249 m da ogni aerogeneratore è evidente come strade principali ed edifici regolarmente censiti come abitazioni, si trovino al di fuori del raggio di gittata calcolato, come mostrato nelle immagini seguenti (*Figura 2; Figura 3* **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

Per qualsiasi approfondimento di dettaglio si rimanda all'elaborato SAFDT_GENT01802_00_Planimetria generale con distanze tra WTG ed edifici e strade esistenti.

AREN Green S.R.L. Impianto Eolico “SAN FELICE”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDT_GENR03800_00
	RELAZIONE SULLA GITTATA MASSIMA	Data: 08/08/2023
		Revisione: 00
		Pagina: 9 di 10

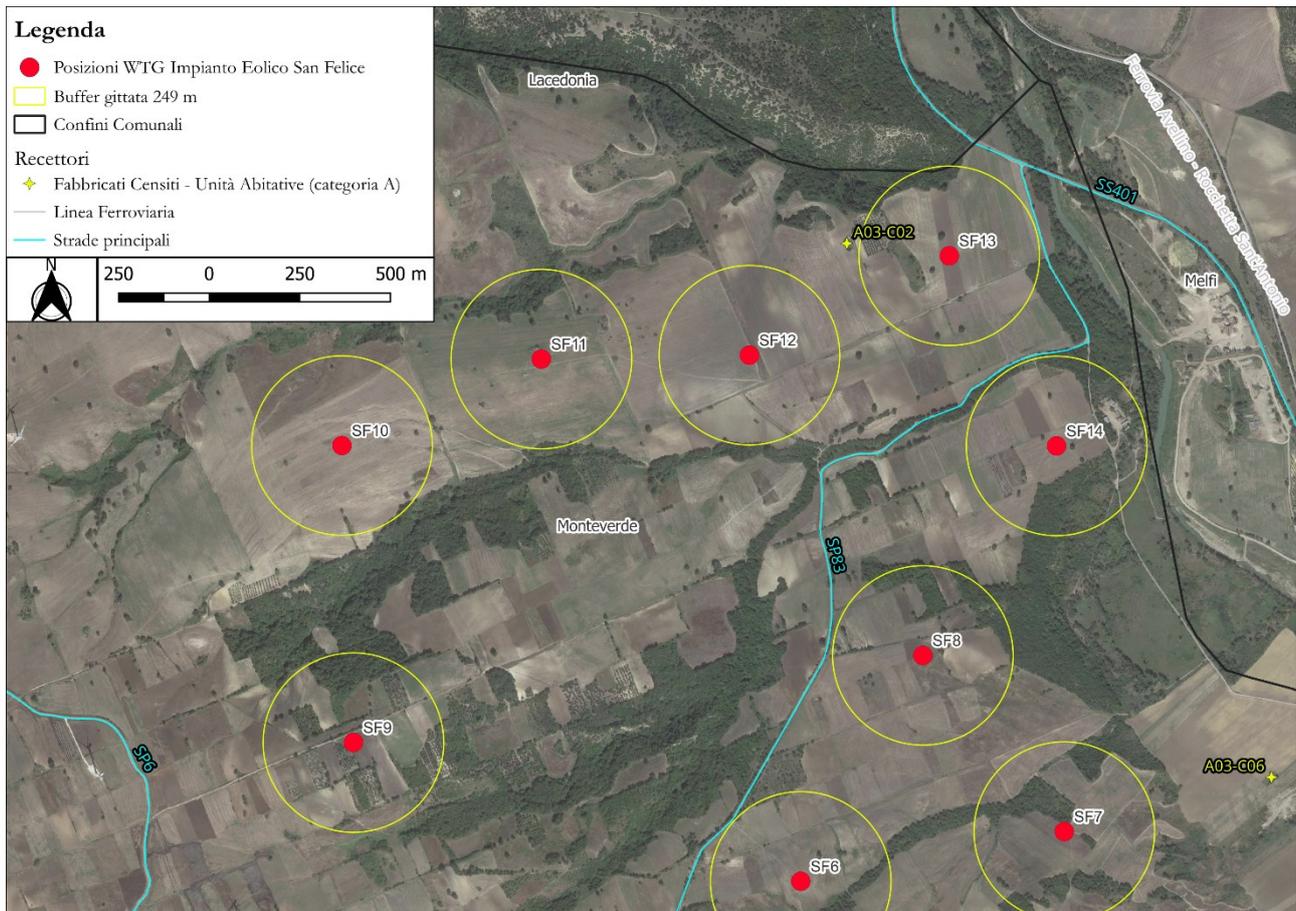


Figura 2. Ubicazione degli aerogeneratori rispetto a strade principali ed edifici abitativi. Gruppo 1

AREN Green S.R.L. Impianto Eolico “SAN FELICE”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDT_GENR03800_00
	RELAZIONE SULLA GITTATA MASSIMA	Data: 08/08/2023
		Revisione: 00
		Pagina: 10 di 10

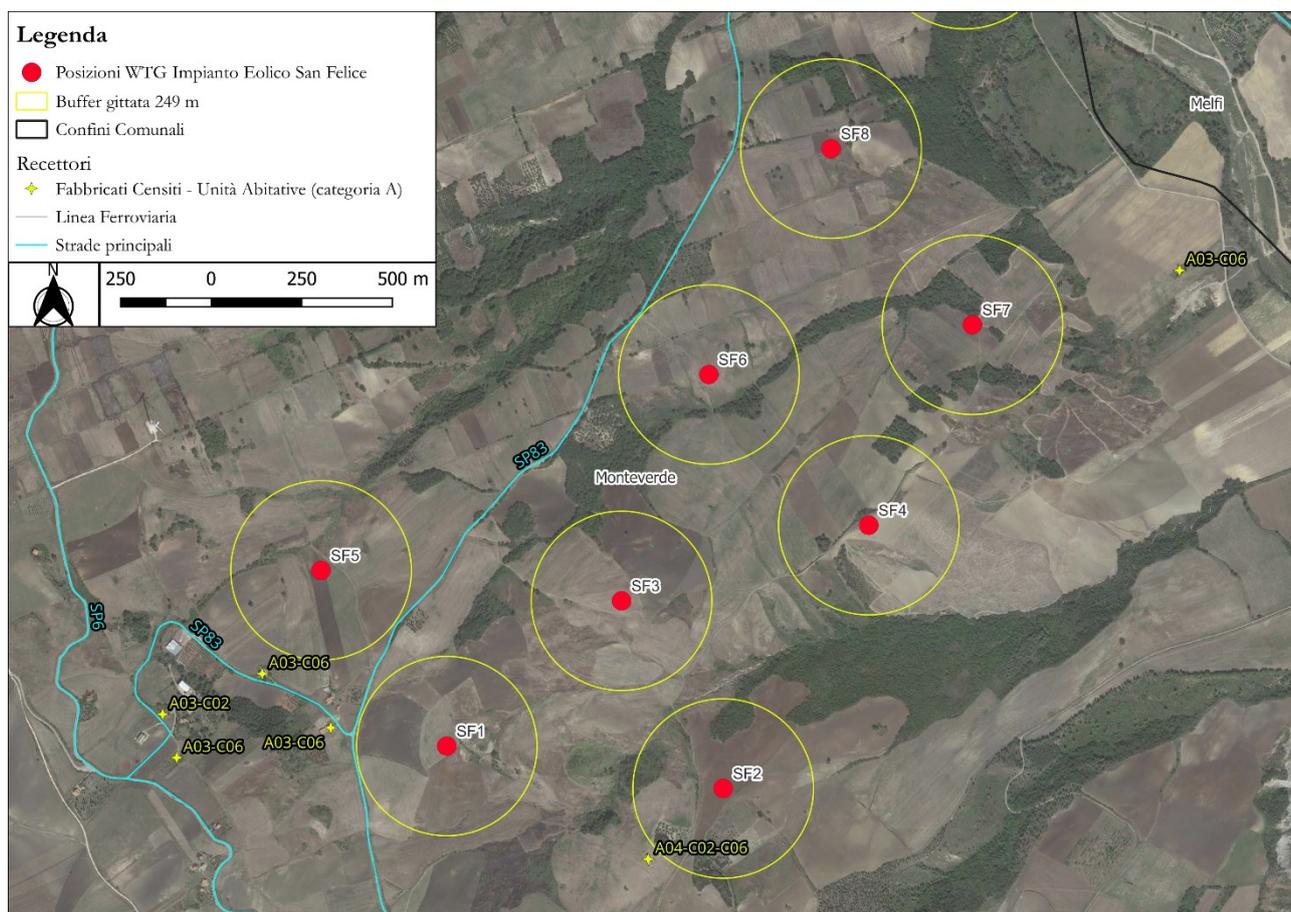


Figura 3. Ubicazione degli aerogeneratori rispetto a strade principali ed edifici abitativi. Gruppo 2

5 Conclusioni

La presente relazione descrive il calcolo eseguito al fine della valutazione della gittata massima che si verifica in caso di rottura accidentale di un aerogeneratore considerando il caso più gravoso. In base a quanto riportato, il punto di caduta più lontano, nel caso di rottura dell'intera pala corrisponde a **199,60 m** per la gittata teorica e a **248,70 m** per la gittata effettiva. I valori di gittata sono stati ottenuti senza considerare le forze resistenti e l'attrito dell'aria, che avrebbero restituito una misurazione della gittata inferiore.

Le distanze degli aerogeneratori di progetto dalle strade provinciali/statali/autostrade e dagli edifici esistenti, catastalmente censiti come abitazioni, risultano maggiori ai valori di gittata ottenuti. Si conclude quindi che nell'ipotesi remota di rottura di una pala dell'aerogeneratore, l'impianto in progetto risulti sicuro.

Si sottolinea che dalla pratica sul campo per questo tipo di impianti, oltre che da studi specialistici pubblicati, il fenomeno della rottura dell'aerogeneratore risulta una eventualità molto remota.

Si conclude, quindi, che il progetto dell'impianto eolico, proposto dalla società AREN Green S.r.l. nel territorio del Comuni di Monteverde e Lacedonia (AV) in località “Masseria San Felice”, costituito da 14 aerogeneratori del tipo Vestas con diametro 150 m e altezza al mozzo 105 m di potenza unitaria pari a 6 MW, non ostacola la pubblica sicurezza nell'ipotesi remota di rottura di una pala.