



REGIONE  
PUGLIA



PROVINCIA DI  
FOGGIA



COMUNE DI  
TROIA

POTENZIAMENTO DEL PARCO EOLICO DI TROIA SAN CIREO

**"REPOWERING" di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile eolica da ubicarsi nel comune di Troia (FG) e delle relative opere di connessione alla Stazione Elettrica SE RTN**

POTENZA NOMINALE IMPIANTO: 57.6 MW

ELABORATO

**GITATTA MASSIMA ELEMENTI ROTANTI PER ROTTURA ACCIDENTALE**

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

Livello progetto	Codice Pratica AU	Documento	Codice elaborato	n° foglio	n° tot. fogli	Nome file	Data	Scala
<b>PD</b>		R	2.23	1	15	R_2.23_GITTATAMAXPALA	Agosto 2023	

REVISIONI

Rev. n°	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
00	01/08/2023	I Emissione	ADORNO	ADORNO	AMBRON

PROGETTAZIONE:

**MATE System S.r.l.**

70020 Cassano delle Murge (BA)

Via Goffredo Mameli, n.5

tel. +39 080 5746758

mail: info@matesystemsrl.it

pec: matesystem@pec.it

IL PROGETTISTA:

Dott.Ing. Francesco Ambron



DIRITTI Questo elaborato è di proprietà della ERG EOLICA SAN VINCENZO S.r.l. pertanto non può essere riprodotto né integralmente, né in parte senza l'autorizzazione scritta della stessa. Da non utilizzare per scopi diversi da quelli per cui è stato fornito.

PROPONENTE:

ERG EOLICA SAN VINCENZO S.r.l.

Via DE MARINI n° 1

16149 GENOVA

ERG Eolica San Vincenzo



Committente: ERG Eolica San Vincenzo S.r.l.	Progettazione: Mate System Srl - Via Goffredo Mameli, 5 70020 Cassano delle Murge (BA) - Ing. Francesco Ambron	
Cod. elab.: R_2.23	Tipo:Calcolo Gittata Massima del Frammento di Pala	Formato: A4
Data:		Scala: n.a.

## **POTENZIAMENTO DEL PARCO EOLICO DI TROIA SAN CIREO**

**REPOWERING DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE RINNOVABILE EOLICA DA UBICARSI NEL COMUNE DI TROIA (FG) E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA STAZIONE ELETTRICA SE RTN**

**POTENZA NOMINALE IMPIANTO: 57.6 MW**

**COMMITTENTE:**

**ERG Eolica San Vincenzo S.r.l.**

**PROGETTAZIONE a cura di:**

**MATE SYSTEM S.r.l.**

Via Goffredo Mameli n 5

70020 – Cassano delle Murge (BA)

Ing. Francesco Ambron

### **CALCOLO GITTATA MASSIMA DEL FRAMMENTO DI PALA**

Committente: ERG Eolica San Vincenzo S.r.l.		Progettazione: Mate System Srl - Via Goffredo Mameli, 5 70020 Cassano delle Murge (BA) - Ing. Francesco Ambron	
Cod. elab.: R_2.23	Tipo:Calcolo Gittata Massima del Frammento di Pala		Formato: A4
Data:			Scala: n.a.

## Sommario

1. PREMESSA .....	3
2. AEROGENERATORE DI PROGETTO .....	3
3. RISCHIO DI ROTTURA ACCIDENTALE .....	4
4. GITTATA-ANALISI TEORICA .....	5
5. MOTO ROTAZIONALE COMPLESSO .....	6
6. CALCOLO DELLA GITTATA.....	8
7. RECETTORI SENSIBILI .....	13
8. CONCLUSIONI.....	14

Committente: ERG Eolica San Vincenzo S.r.l.		Progettazione: Mate System Srl - Via Goffredo Mameli, 5 70020 Cassano delle Murge (BA) - Ing. Francesco Ambron	
Cod. elab.: R_2.23	Tipo:Calcolo Gittata Massima del Frammento di Pala		Formato: A4
Data:			Scala: n.a.

## 1. PREMESSA

Finalità dell'intervento Scopo del progetto è il "repowering" di un "Parco eolico" per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile (vento) e l'immissione dell'energia prodotta, attraverso una opportuna connessione, nella Rete di Distribuzione Nazionale.

## 2. AEROGENERATORE DI PROGETTO

L'impianto sarà costituito da 8 unità di produzione. Il tipo della turbina del progetto proposto è capace di generare fino a 7.2 MW tramite tre pale con un passo sopravento delle stesse ad imbardata regolata. Il diametro previsto del rotore è di max 175 m.

La turbina utilizza un sistema di potenza basato su di un generatore a magneti permanenti del convertitore. Con queste caratteristiche la turbina eolica è in grado di lavorare anche a velocità variabile mantenendo una potenza in prossimità di quella nominale anche in caso di vento forte. Alle basse velocità del vento, il sistema consente di lavorare massimizzando la potenza erogata alla velocità ottimale del rotore e l'opportuno angolo di inclinazione delle pale. In cima alla torre troverà alloggio la navicella cui è collegato il rotore per un'altezza massima complessiva del sistema torre-pale di 220 m (slt.).

La velocità del rotore sarà variabile e compresa nel range 3-25 m/s.

Committente: ERG Eolica San Vincenzo S.r.l.		Progettazione: Mate System Srl - Via Goffredo Mameli, 5 70020 Cassano delle Murge (BA) - Ing. Francesco Ambron	
Cod. elab.: R_2.23	Tipo: Calcolo Gittata Massima del Frammento di Pala		Formato: A4
Data:			Scala: n.a.

### 3. RISCHIO DI ROTTURA ACCIDENTALE

La rottura accidentale di un elemento rotante (la pala) di un aerogeneratore ad asse orizzontale può essere considerato un evento raro, in considerazione della tecnologia costruttiva ed ai materiali impiegati per la realizzazione delle pale stesse. Tuttavia, al fine della sicurezza, la stima della gittata massima di un elemento rotante assume un'importanza rilevante per la progettazione e l'esercizio di un impianto eolico.

Il rischio è considerato in questo contesto come combinazione di due fattori:

- la probabilità che possa accadere un determinato evento;
- la probabilità che tale evento abbia conseguenze sfavorevoli.

Durante il funzionamento dell'impianto, il più grande rischio è dovuto alla caduta di oggetti dall'alto, queste cadute possono essere dovute:

- pezzi di ghiaccio formatisi sulla pala;
- rottura accidentale di pezzi meccanici in rotazione.

Per ciò che concerne la prima tipologia di evento, vista la latitudine dell'area di progetto e le caratteristiche climatiche, la sua probabilità si può considerare trascurabile.

Per ciò che riguarda la seconda tipologia è bene evidenziare che:

- il collegamento rigido tra le pale ed il mozzo limita sino a quasi ad annullare il rischio di distacco di una pala;
- le pale dei rotori di progetto sono realizzate in fibra di vetro e carbonio rinforzato con materiali plastici quali il poliestere o le fibre epossidiche: l'utilizzo di questi materiali limita sino a quasi ad annullare la probabilità di distacco di parti meccaniche in rotazione: anche in caso di gravi rotture le fibre che compongono la pala la mantengono di fatto unita in un unico pezzo (seppure gravemente danneggiato);
- gli aerogeneratori sono dotati di un sistema di supervisione e controllo pale. Il sistema di controllo è basato su un sistema multiprocessore, che gestisce automaticamente tutte le funzioni della turbina come l'avvio, l'arresto, la produzione, la disponibilità dei sottosistemi. Questo sistema consente anche il controllo a distanza dell'aerogeneratore. Il sistema di protezione è un sistema cablato completamente autonomo, capace di arrestare la turbina in qualunque situazione di emergenza, escludendo danni al sistema e mantenendo i carichi al di sotto dei limiti di progetto;
- gli aerogeneratori di grande taglia del tipo previsto in progetto, in considerazione anche del loro elevato valore commerciale, sono oggetto di programmi di manutenzione molto accurati che per quanto riguarda le pale è atto a verificare l'esistenza di piccole fratture, di cui se accertata la pericolosità determinano interventi di manutenzione ordinaria (riparazioni) o straordinaria (sostituzione del pezzo);

Committente: ERG Eolica San Vincenzo S.r.l.		Progettazione: Mate System Srl - Via Goffredo Mameli, 5 70020 Cassano delle Murge (BA) - Ing. Francesco Ambron	
Cod. elab.: R_2.23	Tipo: Calcolo Gittata Massima del Frammento di Pala		Formato: A4
Data:			Scala: n.a.

La statistica riporta fra le maggiori cause di danno quelle prodotte direttamente o indirettamente dalle fulminazioni. Proprio per questo motivo il sistema navicella-rotore-torre tubolare sarà protetto con parafulmini. In conformità a quanto previsto dalla norma CEI 81-1 la classe di protezione sarà quella più alta (Classe I). In termini probabilistici ciò significa un livello di protezione del 98% (il 2% di probabilità che a fulminazione avvenuta si abbiano danni al sistema). Pertanto può affermarsi che la probabilità che si produca un danno al sistema con successivi incidenti è molto limitata se non addirittura nulla.

#### 4. GITTATA-ANALISI TEORICA

Da un punto di vista teorico, non prendendo in considerazione le caratteristiche aerodinamiche proprie della pala, la gittata maggiore della pala o della sezione di pala distaccata, si avrebbe nel caso di distaccamento in corrispondenza della posizione palare pari a 45 gradi e di moto a “giavellotto” del frammento. Nella realtà la pala ha una complessità aerodinamica tale per cui il verificarsi di un moto a giavellotto è praticamente impossibile: le forze di resistenza viscosa, le azioni resistive del vento ed il moto di rotazione complesso dovuto al profilo aerodinamico della pala/frammento-di-pala, si oppongono al moto e riducono il tempo e la distanza di volo.

La traiettoria iniziale della pala/sezione-di-pala distaccata è determinata principalmente dall'angolo in corrispondenza del quale avviene il distacco e dall'azione esercitata dalle forze e dai momenti di inerzia. Per quanto riguarda le forze di tipo aerodinamico e relativi momenti, queste agiranno sulla pala/sezione-di-pala influenzando i movimenti rotatori in fase di volo.

Il tempo di volo generalmente è determinato:

- dalla componente verticale della velocità iniziale posseduta dalla pala/sezione di pala immediatamente dopo il distacco, in corrispondenza del suo punto baricentrico;
- dalla posizione rispetto al suolo;
- dall'accelerazione verticale;
- dalle forze di attrito agenti sulla pala/sezione di pala stessa.

Il tempo di volo che si deduce da tali considerazioni è utilizzato successivamente per il calcolo della distanza.

La distanza orizzontale percorsa nella fase di volo è determinata:

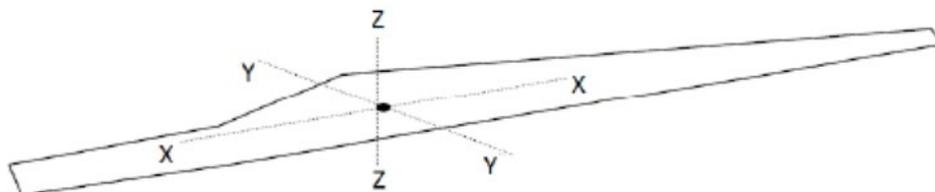
- dalla componente orizzontale della velocità immediatamente dopo il distacco;
- dalla velocità del vento nel momento del distacco;
- dalle forze di attrito che agiscono sulla pala/sezione-di-pala in volo;
- dal tempo di volo.

Committente: ERG Eolica San Vincenzo S.r.l.		Progettazione: Mate System Srl - Via Goffredo Mameli, 5 70020 Cassano delle Murge (BA) - Ing. Francesco Ambron	
Cod. elab.: R_2.23	Tipo: Calcolo Gittata Massima del Frammento di Pala		Formato: A4
Data:			Scala: n.a.

## 5. MOTO ROTAZIONALE COMPLESSO

Il moto reale della parte distaccata risulta molto complesso, poiché dipendente, come detto, dalle caratteristiche aerodinamiche di questa e dalle condizioni iniziali (rollio, imbardata e beccheggio della pala). I casi puramente teorici di rottura e di volo con moto “a giavellotto” sono da escludersi data la complessità aerodinamica della pala e la presenza dell’azione del vento.

Il modello teorico che meglio caratterizza il moto delle parti (siano esse sezioni di pala e la pala intera) che hanno subito il distacco, e che più si avvicina al caso reale, è il modello “Complex Rotational Motion”, che permette di studiare il moto nel suo complesso, considerando i moti di rotazione intorno agli assi  $xx$ ,  $yy$ ,  $zz$ .



La rotazione della pala intorno all'asse  $zz$  è causato dalla conservazione del momento della quantità di moto: in caso di rottura, per il principio di conservazione, il generico spezzone tende a ruotare intorno all’asse ortogonale al proprio piano.

- un momento intorno all'asse  $yy$ : centro di massa e centro aerodinamico della pala/sezione di pala non coincidono;
- un momento intorno all'asse  $xx$ : centro di massa della sezione di pala lungo la corda e il centro aerodinamico non coincidono.

La traiettoria iniziale è determinata principalmente dall'angolo di distacco/lancio e dalle forze inerziali agenti sulla pala/ frammento di pala: al momento del distacco, oltre all'impulso, agiscono anche i momenti di flap-wise, edge-wise e pitch-wise.

Pertanto il moto della parte distaccata sarà un moto rotazionale, su cui agisce anche la forza di gravità. La resistenza offerta dalla pala al moto sia in-plane che out-plane è generata dalla rotazione intorno agli assi  $xx$  e  $yy$ .

La massima gittata della pala/frammento di pala è strettamente dipendente:

- dal numero di giri del rotore e quindi dalla velocità periferica della parte al momento del distacco;
- dalla posizione della pala nel momento del distacco;
- dalla dimensione del frammento;
- dal peso del frammento (più leggero è, più il suo moto è limitato dalle forze di attrito viscoso);

Committente: ERG Eolica San Vincenzo S.r.l.		Progettazione: Mate System Srl - Via Goffredo Mameli, 5 70020 Cassano delle Murge (BA) - Ing. Francesco Ambron	
Cod. elab.: R_2.23	Tipo:Calcolo Gittata Massima del Frammento di Pala		Formato: A4
Data:			Scala: n.a.

- dal profilo aerodinamico della pala/frammento di pala.

Nel paragrafo successivo effettueremo il calcolo della gittata per l'aerogeneratore in progetto, considerando solo parametri geometrici e cinematici e non l'effettivo moto rotazionale complesso, e pertanto otterremo valori della gittata sicuramente superiori rispetto a quelli reali.

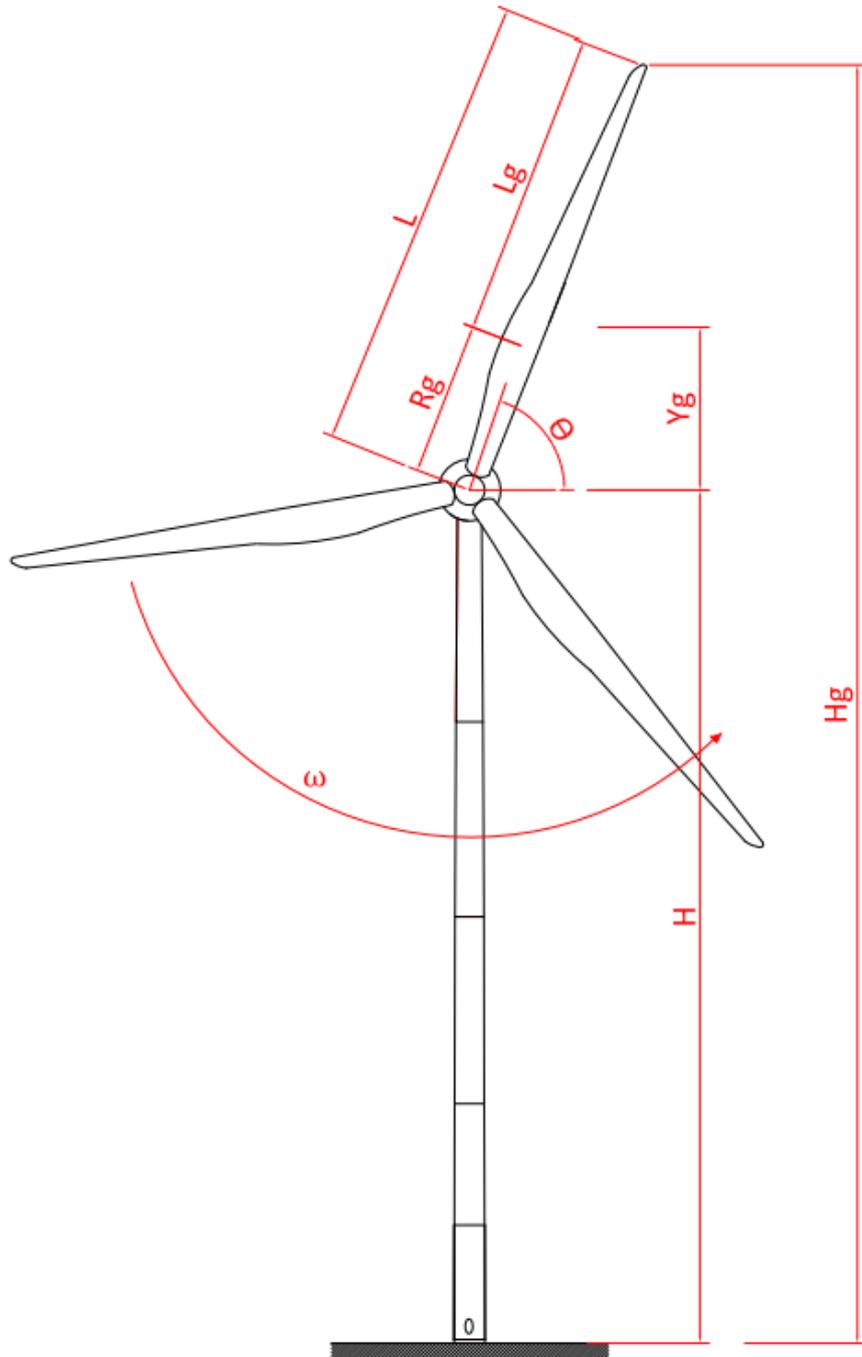
Committente: ERG Eolica San Vincenzo S.r.l.		Progettazione: Mate System Srl - Via Goffredo Mameli, 5 70020 Cassano delle Murge (BA) - Ing. Francesco Ambron	
Cod. elab.: R_2.23	Tipo: Calcolo Gittata Massima del Frammento di Pala		Formato: A4
Data:			Scala: n.a.

## 6. CALCOLO DELLA GITTATA

Lo schema adottato per il calcolo è il seguente, avendo indicato con G il baricentro del sistema avremo:

$R_g$  = raggio del baricentro

$V_g$  = velocità periferica del baricentro



Prima di effettuare il calcolo della gittata, calcoliamo dei parametri che ci serviranno per il proseguo dello stesso.

Committente: ERG Eolica San Vincenzo S.r.l.		Progettazione: Mate System Srl - Via Goffredo Mameli, 5 70020 Cassano delle Murge (BA) - Ing. Francesco Ambron	
Cod. elab.: R_2.23	Tipo: Calcolo Gittata Massima del Frammento di Pala		Formato: A4
Data:			Scala: n.a.

	<i>Nomenclatura</i>	<i>Formula</i>	<i>Misura</i>	<i>Unità di misura</i>
<b>Altezza Mozzo (max)</b>	hm		134.00	m
<b>Diametro (max)</b>	D		175.00	m
<b>Lunghezza pala</b>	l		84.35	m
<b>Raggio baricentro della pala</b>	Rg	l/3	28.12	m
<b>Velocità rotazionale</b>	n		12.10	rpm
<b>Velocità rotazionale</b>	$\omega$	$2\pi n/60$	1.27	m/min
<b>Velocità del baricentro</b>	Vg	$\omega Rg$	35.61	m/s
<b>Velocità del baricentro corretta (30% in meno a causa dell'attrito dell'aria e delle forze di resistenza)</b>	Vg'	0.7Vg	24.93	m/s
<b>Proiezione baricentro sull'asse verticale</b>	hg	$H+(Rg*\sin\vartheta)$		m
<b>Velocità del baricentro corretta, lungo X</b>	Vg'_x	$Vg'*\cos\vartheta$		m/s
<b>Velocità del baricentro corretta, lungo Y</b>	Vg'_y	$Vg'*\sin\vartheta$		m/s

Date le caratteristiche geometriche della pala, e considerata la distribuzione dei pesi lungo il profilo della stessa, possiamo ritenere con buona approssimazione che il baricentro sia posizionato ad un terzo rispetto alla lunghezza della pala.

Il dato di partenza è Rpm = 12 giri/min che corrisponde ad una velocità angolare.

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

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

Committente: ERG Eolica San Vincenzo S.r.l.		Progettazione: Mate System Srl - Via Goffredo Mameli, 5 70020 Cassano delle Murge (BA) - Ing. Francesco Ambron	
Cod. elab.: R_2.23	Tipo: Calcolo Gittata Massima del Frammento di Pala		Formato: A4
Data:			Scala: n.a.

Tenendo conto dell'attrito dell'aria e delle forze di resistenza, il valore della velocità del baricentro risulta ridotta del 30% rispetto all'assenza di resistenze, per cui il valore reale è  $Vg'$ .

Il calcolo della proiezione del baricentro sull'asse verticale, che si ritiene con buona approssimazione posizionato ad un terzo rispetto alla lunghezza della pala, ossia  $R_g$ , essendo il raggio di ciascuna pala uguale a  $l$ , viene valutato all'altezza dell'intera torre più il valore della proiezione di  $R_g$  sulla verticale ossia:

$$hg = H + (R_G * \text{sen } \theta)$$

Dove  $H$  è l'altezza della torre e  $hg$  il calcolo della proiezione del baricentro sull'asse verticale, viene valutato per i diversi valori dell'angolo  $\theta$ .

Il calcolo della gittata è stato eseguito considerando diversi valori dell'angolo  $\theta$ . Noto il valore di gittata massima, date le caratteristiche geometriche della pala, precedentemente valutate, si può calcolare il punto in cui cade il vertice della pala stessa.

Supponendo di prendere in considerazione l'ipotesi più pericolosa, ossia quella in cui la pala cadendo si disponga con la parte più lontana dal baricentro verso l'esterno, si ottiene il punto più lontano di caduta pari al valore massimo di gittata + i 2/3 della lunghezza della pala come evidenziato nella tabella seguente.

Angolo [deg]	Angolo [rad]	Vg'_x	Vg'_y	Hg	Gittata teorica	Xg	l-Rg	Gittata effettiva
0	0.00	24.93	0.00	162.12	143.30	28.12	56.23	227.65
11	0.02	24.92	0.43	162.11	144.39	28.11	56.23	228.73
2	0.03	24.91	0.87	162.10	145.43	28.10	56.23	229.76
3	0.05	24.89	1.30	162.08	146.43	28.08	56.23	230.75
4	0.07	24.87	1.74	162.05	147.40	28.05	56.23	231.68
5	0.09	24.83	2.17	162.01	148.31	28.01	56.23	232.55
6	0.10	24.79	2.60	161.96	149.18	27.96	56.23	233.38
7	0.12	24.74	3.04	161.91	150.01	27.91	56.23	234.15
8	0.14	24.68	3.47	161.84	150.78	27.84	56.23	234.86
9	0.16	24.62	3.90	161.77	151.51	27.77	56.23	235.51
10	0.17	24.55	4.33	161.69	152.18	27.69	56.23	236.10
11	0.19	24.47	4.75	161.60	152.80	27.60	56.23	236.64
12	0.21	24.38	5.18	161.50	153.37	27.50	56.23	237.11
13	0.23	24.29	5.60	161.40	153.89	27.40	56.23	237.52
14	0.24	24.19	6.03	161.28	154.34	27.28	56.23	237.86
15	0.26	24.08	6.45	161.16	154.74	27.16	56.23	238.14
16	0.28	23.96	6.87	161.03	155.09	27.03	56.23	238.35
17	0.30	23.84	7.28	160.89	155.37	26.89	56.23	238.49
18	0.31	23.71	7.70	160.74	155.59	26.74	56.23	238.57
19	0.33	23.57	8.11	160.59	155.75	26.59	56.23	238.57
20	0.35	23.42	8.52	160.42	155.85	26.42	56.23	238.50

Committente: ERG Eolica San Vincenzo S.r.l.		Progettazione: Mate System Srl - Via Goffredo Mameli, 5 70020 Cassano delle Murge (BA) - Ing. Francesco Ambron	
Cod. elab.: R_2.23	Tipo:Calcolo Gittata Massima del Frammento di Pala		Formato: A4
Data:			Scala: n.a.

21	0.37	23.27	8.93	160.25	155.88	26.25	56.23	238.36
22	0.38	23.11	9.33	160.07	155.84	26.07	56.23	238.15
23	0.40	22.95	9.73	159.88	155.74	25.88	56.23	237.86
24	0.42	22.77	10.13	159.69	155.58	25.69	56.23	237.50
25	0.44	22.59	10.53	159.48	155.34	25.48	56.23	237.06
26	0.45	22.41	10.92	159.27	155.04	25.27	56.23	236.54
27	0.47	22.21	11.31	159.06	154.66	25.06	56.23	235.95
28	0.49	22.01	11.70	158.83	154.22	24.83	56.23	235.28
29	0.51	21.80	12.08	158.59	153.70	24.59	56.23	234.53
30	0.52	21.59	12.46	158.35	153.12	24.35	56.23	233.70
31	0.54	21.37	12.83	158.10	152.45	24.10	56.23	232.79
32	0.56	21.14	13.20	157.85	151.72	23.85	56.23	231.80
33	0.58	20.91	13.57	157.59	150.91	23.59	56.23	230.73
34	0.59	20.67	13.93	157.31	150.03	23.31	56.23	229.58
35	0.61	20.42	14.29	157.04	149.08	23.04	56.23	228.35
36	0.63	20.17	14.64	156.75	148.05	22.75	56.23	227.03
37	0.65	19.91	14.99	156.46	146.94	22.46	56.23	225.63
38	0.66	19.65	15.34	156.16	145.76	22.16	56.23	224.15
39	0.68	19.38	15.68	155.86	144.50	21.86	56.23	222.59
40	0.70	19.10	16.02	155.55	143.17	21.55	56.23	220.95
41	0.72	18.82	16.35	155.23	141.76	21.23	56.23	219.22
42	0.73	18.53	16.67	154.90	140.28	20.90	56.23	217.42
43	0.75	18.24	16.99	154.57	138.72	20.57	56.23	215.53
44	0.77	17.94	17.31	154.23	137.09	20.23	56.23	213.56
45	0.79	17.63	17.62	153.89	135.38	19.89	56.23	211.51
46	0.80	17.32	17.92	153.54	133.60	19.54	56.23	209.38
47	0.82	17.01	18.22	153.18	131.75	19.18	56.23	207.17
48	0.84	16.69	18.52	152.82	129.82	18.82	56.23	204.88
49	0.85	16.36	18.80	152.46	127.82	18.46	56.23	202.51
50	0.87	16.03	19.09	152.08	125.75	18.08	56.23	200.06
51	0.89	15.70	19.36	151.70	123.60	17.70	56.23	197.54
52	0.91	15.36	19.64	151.32	121.39	17.32	56.23	194.94
53	0.92	15.01	19.90	150.93	119.11	16.93	56.23	192.27
54	0.94	14.66	20.16	150.54	116.75	16.54	56.23	189.52
55	0.96	14.31	20.41	150.14	114.33	16.14	56.23	186.71
56	0.98	13.95	20.66	149.73	111.85	15.73	56.23	183.82
57	0.99	13.59	20.90	149.33	109.30	15.33	56.23	180.86
58	1.01	13.22	21.13	148.91	106.68	14.91	56.23	177.83
59	1.03	12.85	21.36	148.49	104.01	14.49	56.23	174.74
60	1.05	12.47	21.58	148.07	101.27	14.07	56.23	171.57
61	1.06	12.10	21.79	147.64	98.47	13.64	56.23	168.35
62	1.08	11.71	22.00	147.21	95.62	13.21	56.23	165.06
63	1.10	11.33	22.20	146.78	92.71	12.78	56.23	161.72
64	1.12	10.94	22.40	146.34	89.74	12.34	56.23	158.31
65	1.13	10.55	22.58	145.90	86.72	11.90	56.23	154.85

Committente: ERG Eolica San Vincenzo S.r.l.		Progettazione: Mate System Srl - Via Goffredo Mameli, 5 70020 Cassano delle Murge (BA) - Ing. Francesco Ambron	
Cod. elab.: R_2.23	Tipo: Calcolo Gittata Massima del Frammento di Pala		Formato: A4
Data:			Scala: n.a.

66	1.15	10.15	22.77	145.45	83.65	11.45	56.23	151.33
67	1.17	9.75	22.94	145.00	80.53	11.00	56.23	147.76
68	1.19	9.35	23.11	144.55	77.36	10.55	56.23	144.14
69	1.20	8.95	23.27	144.09	74.15	10.09	56.23	140.48
70	1.22	8.54	23.42	143.63	70.89	9.63	56.23	136.76
71	1.24	8.13	23.56	143.17	67.60	9.17	56.23	133.00
72	1.26	7.72	23.70	142.71	64.26	8.71	56.23	129.20
73	1.27	7.30	23.83	142.24	60.89	8.24	56.23	125.36
74	1.29	6.89	23.96	141.77	57.48	7.77	56.23	121.48
75	1.31	6.47	24.07	141.30	54.04	7.30	56.23	117.57
76	1.33	6.05	24.18	140.82	50.57	6.82	56.23	113.62
77	1.34	5.62	24.28	140.34	47.07	6.34	56.23	109.64
78	1.36	5.20	24.38	139.86	43.54	5.86	56.23	105.64
79	1.38	4.77	24.46	139.38	40.00	5.38	56.23	101.61
80	1.40	4.35	24.54	138.90	36.43	4.90	56.23	97.56
81	1.41	3.92	24.62	138.42	32.84	4.42	56.23	93.49
82	1.43	3.49	24.68	137.93	29.24	3.93	56.23	89.41
83	1.45	3.06	24.74	137.45	25.62	3.45	56.23	85.30
84	1.47	2.62	24.79	136.96	22.00	2.96	56.23	81.19
85	1.48	2.19	24.83	136.47	18.37	2.47	56.23	77.07
86	1.50	1.76	24.86	135.98	14.73	1.98	56.23	72.94
87	1.52	1.32	24.89	135.49	11.08	1.49	56.23	68.81
88	1.54	0.89	24.91	135.00	7.44	1.00	56.23	64.68
89	1.55	0.45	24.92	134.51	3.80	0.51	56.23	60.55
90	1.57	0.02	24.93	134.02	0.17	0.02	56.23	56.42

Dalla tabella si evince che il valore della gittata massimo ottenuto dal calcolo si ha con l'angolo  $\theta = 18^\circ$  e  $\theta = 19^\circ$ , per i quali il punto estremo della pala potrà (teoricamente) raggiungere la distanza di circa 239 m dal centro della torre tubolare. Sottolineiamo ancora che questo valore è teorico ed altamente conservativo, poiché non tiene in conto le 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 suffragata dall'esperienza reale:

- il distacco della pala è un evento che si è verificato molto raramente;
- nel caso in cui si sono verificati distacchi è stato verificato che il moto è di tipo rotazionale complesso e la distanza di volo è sempre ben al di sotto dei risultati ottenuti dai calcoli matematici;
- le parti che hanno subito subito distacchi a causa di eventi estremi, come fulminazioni, sono state rinvenute a non più di 40-50 m dalla base della torre eolica per aerogeneratori con diametro del rotore pari a 80m.

Committente: ERG Eolica San Vincenzo S.r.l.		Progettazione: Mate System Srl - Via Goffredo Mameli, 5 70020 Cassano delle Murge (BA) - Ing. Francesco Ambron	
Cod. elab.: R_2.23	Tipo: Calcolo Gittata Massima del Frammento di Pala		Formato: A4
Data:			Scala: n.a.

## 7. RECETTORI SENSIBILI



		Peculiarità del manufatto			
Coordinate geografiche	est			nord	
		15°18'03''		41°20'10''	
DATI CATASTALI	Comune	Foglio	Particella	Categoria	
	Troia	59	542	D10-A06	
TIPOLOGIA	Fabbricato				
ABITATO	SI				
ABITABILE	SI				
POTENZIALE RECETTORE	NO				
DISTANZA WTG PIÙ VICINA	200m				

Committente: ERG Eolica San Vincenzo S.r.l.		Progettazione: Mate System Srl - Via Goffredo Mameli, 5 70020 Cassano delle Murge (BA) - Ing. Francesco Ambron	
Cod. elab.: R_2.23	Tipo:Calcolo Gittata Massima del Frammento di Pala		Formato: A4
Data:			Scala: n.a.

## 8. CONCLUSIONI

A seguito delle ipotesi e dei calcoli effettuati nei paragrafi precedenti, si può concludere che, per l'aerogeneratore in oggetto con tip fino a 220m, nelle condizioni reali, alla velocità massima di rotazione di 12,1 rpm, la distanza massima del punto d'impatto del baricentro di una pala distaccatasi dal rotore è, con buona approssimazione, circa 239 m.

Sulla base delle considerazioni appena esposte, considerando quindi una distanza di sicurezza di 250 metri, in allegato è mostrato l'inquadramento su catastale delle posizioni di progetto degli aerogeneratori con evidenziato un buffer di circa 250 metri intorno a ciascuna posizione.

Come si può notare dalla scheda dei recettori sensibili, vi sono solamente fabbricati rurali, terreni, magazzini ed edifici collabenti e/o non abitati.

In conclusione:

- la massima gittata degli elementi rotanti che possono essere proiettati dagli aerogeneratori in progetto è certamente inferiore a 200 metri;
- Rispetto agli aerogeneratori esistono alcuni edifici nel buffer di 200 metri, tuttavia si tratta di ruderi disabitati o di depositi di attrezzi agricoli.

Si ritiene che non sussistano quindi problemi di sicurezza legati alla ipotetica (remota) gittata di elementi rotanti.