



COMUNE DI
ESTERZILI



COMUNE DI
ESCALAPLANO

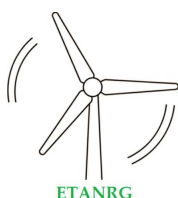


PROVINCIA DEL
SUD SARDEGNA



REGIONE AUTONOMA
DELLA SARDEGNA

**PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO
DENOMINATO " ESTERZILI/ESCALAPLANO " COMPOSTO DA 11
AEROGENERATORI DA 5,6 MW PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI
61,60 MW SITO NEI COMUNI DI ESTERZILI ED ESCALAPLANO (SU), CON
OPERE DI CONNESSIONE**



Proponente:
ETANRG SRL
Via Pietro Cossa n. 5
20122 Milano (MI)

Antonino Apreda

Progettazione:
LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti snc
81100 Caserta



Ing. Giovanni Savarese



Elaborato	EE.PD.PC.13	RELAZIONE GITTATA MASSIMA			
Cod. pratica	Data	Consegna	Formato	Scala	Livello progettuale
EE_01	18/12/2023		A4		Progetto definitivo

REVISIONI	Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato
	01	Dicembre 2023	Prima emissione	G. Donnarumma	V. Vanacore	M. Afeltra

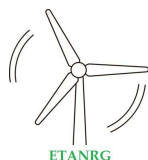


PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



Sommario

1. PREMESSA	2
2. CENNI SUI PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO DI UN AEROGENERATORE.....	2
3. ROTTURA DELLA PALA	4
3.1 DEFINIZIONI.....	4
3.2 FORMULE E CALCOLI RISULTANTI.....	4
4. CONSIDERAZIONI FINALI	14



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



1. PREMESSA

La presente relazione è relativa alla redazione del progetto per la realizzazione di un parco eolico.

La proposta progettuale è finalizzata alla realizzazione di un impianto eolico per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile eolica, costituito da 11 aerogeneratori, ciascuno di potenza nominale pari a 5,6 MW per una potenza complessiva di 61,6 MW, da realizzarsi nel territorio comunale di Esterzili e delle relative opere di connessione alla Cabina Utente che si collegherà con cavidotto AT alla stazione Elettrica Terna.

La relazione ha lo scopo di verificare e calcolare la gittata massima in caso di rottura della pala e/o di un frammento di pala di un aerogeneratore.

2. CENNI SUI PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO DI UN AEROGENERATORE

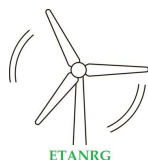
Nel dettaglio, le pale sono fissate su un mozzo, e nell'insieme costituiscono il rotore; il mozzo, a sua volta, è collegato ad un primo albero di trasmissione, detto albero lento, che ruota alla stessa velocità angolare del rotore.

L'albero lento è, nella maggior parte dei casi, collegato ad un moltiplicatore di giri, da cui si diparte un albero veloce, che ruota con velocità angolare data da quella dell'albero lento per il rapporto di trasmissione del rotismo installato. Tutti i componenti sopra menzionati, ad eccezione, del rotore e del mozzo, sono ubicati entro una cabina, detta navicella la quale, a sua volta, è sistemata su un supporto-cuscinetto, in maniera da essere facilmente orientata secondo la direzione del vento.

Oltre ai componenti su elencati, vi è un sistema di controllo che esegue:

1. il controllo della potenza ruotando le pale intorno al loro asse principale
2. il controllo dell'orientamento della navicella, detto controllo dell'imbardata, che serve ad allineare la macchina rispetto alla direzione del vento

Si riporta di seguito una figura che evidenzia il verso di rotazione dell'aerogeneratore, in relazione alla direzione del vento che causa tale moto. La conformazione del profilo alare



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)

dell'aerogeneratore è fissa, mentre è mobile il rotore sul quale sono ancorate le pale. Questo garantisce il fatto che il rotore possa orientarsi rispetto al vento in modo tale da offrire allo stesso

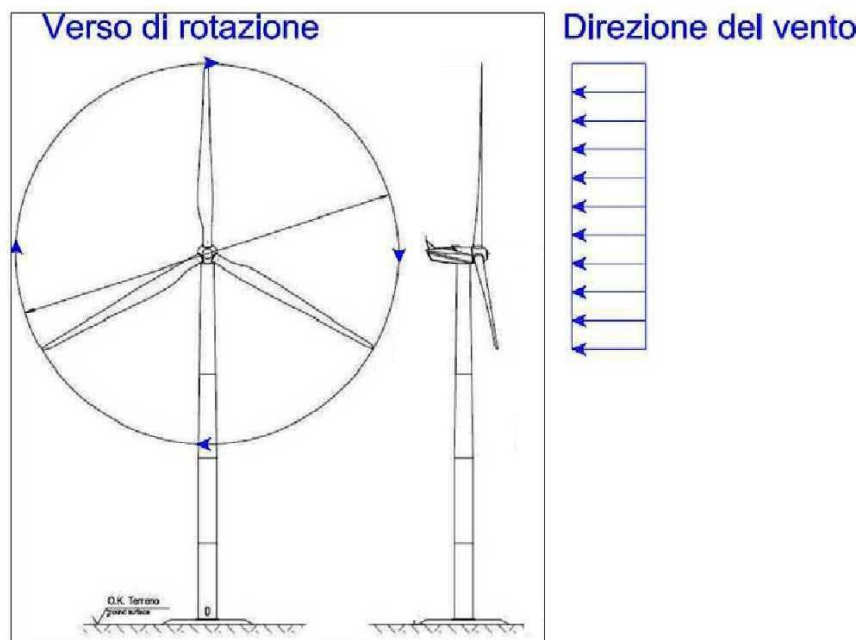


Figura 1 Relazione tra le direzioni del vento ed il verso di rotazione del rotore

sempre il medesimo profilo alare garantendo indipendentemente dalla direzione del vento un verso orario di rotazione. Questa considerazione ci serve per fissare in ogni momento il verso della velocità tangenziale, responsabile della gittata nel piano, rispetto a quello della velocità del vento, ortogonale alla velocità tangenziale ed a sua volta responsabile della gittata fuori dal piano. Dalla composizione delle due traiettorie si ottiene la traiettoria complessiva e, quindi, si capisce la direzione lungo la quale l'eventuale pala o parte di essa che si distacca, percorre il suo moto. Mettendo in relazione la traiettoria del corpo che si distacca con la corografia del luogo si capisce se la pala, nella percorrenza della sua traiettoria, può essere o meno un elemento di pericolo per la strada e/o altro edificio interessato.

3. ROTTURA DELLA PALA

Il calcolo della gittata massima in caso di rottura di una pala dell'Aerogeneratore segue il principio della balistica applicata al moto dei proiettili. Si evidenzia che i calcoli sono fatti considerando nullo l'attrito con l'aria.

Nel caso in esame (tipologia **VESTAS V 162**) si suppone che l'eventuale rottura della pala avvenga alle peggiori condizioni possibili ovvero:

1. alla velocità massima del rotore, pari a circa 12,1 giri/minuto
2. nel punto di ascissa e ordinata in cui la gittata è massima, con angolo = - P/4
3. con il centro di massa posizionato ad 1/3 della lunghezza della pala, in prossimità del mozzo.

L'aerogeneratore di tipo VESTAS V 162 previsto ha altezza al mozzo uguale a 119 mt, le pale costituenti il rotore sono lunghe 79,39 mt.

3.1 DEFINIZIONI

H_m = Altezza al mozzo dell'aerogeneratore = 119 m

L_P = Lunghezza della pala dell'aerogeneratore = 79,39 m

D_{cm} = Distanza dal mozzo del Centro di Massa della Pala = $L_P / 3 = 26,46$ m

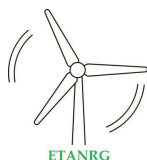
V_{ang} = Max Velocità Angolare Rotore = 12,1 Giri/Minuto = $12,1 * 2\pi / 60 = 1,27$ Rad/sec

3.2 FORMULE E CALCOLI RISULTANTI

L'Ordinata di Massima Velocità O_{mv} al momento di rottura è data dalla somma dell'altezza del mozzo più la componente verticale del Centro di Massa:

O_{mv} = Ordinata di Massima Velocità = $H_m + D_{cm} * (\sqrt{2})/2 = 137,75$ m

Analogamente l'ascissa di Massima Velocità A_{mv} al momento di rottura:



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



$$A_{mv} = \text{Ascissa di Massima Velocità} = (-D_{cm} * \sqrt{2}) / 2 = \mathbf{-18,75 m}$$

La Velocità Lineare al Centro di Massa V_{max} è desunta dalla Velocità Angolare V_{ang}

$$V_{max} = \text{Velocità Lineare al Centro di Massa} = V_{ang} * D_{cm} = \mathbf{34,3 m/sec}$$

Le componenti Verticale V_y ed Orizzontale V_x di tale velocità Lineare al Centro di Massa si ottengono moltiplicando per il Seno ed il Coseno dell'angolo:

$$V_y = \text{Componente Verticale Velocità} = V_{max} * \sqrt{2}/2 = \mathbf{24,75 m/sec}$$

$$V_x = \text{Componente Orizzontale Velocità} = V_{max} * \sqrt{2}/2 = \mathbf{24,75 m/sec}$$

Il tempo necessario T_y perché la componente verticale della velocità sia nullo è dato dalla formula:

$$T_y = \text{Tempo di decelerazione Verticale} = V_y / 9.8 = \mathbf{2,55 sec}$$

L'altezza Massima H_{max} si ottiene dalla formula:

$$H_{max} = O_{mv} + V_y * T_y - 1/2 * g * T_y^2 = \mathbf{168,86 m}$$

Il tempo necessario T_{max} affinché l'elemento rotante precipiti a terra dalla sommità si ottiene dalla relazione

$$T_{max} = \text{tempo di caduta} = \sqrt{(168,86 / 9,8)} = \mathbf{4,20 sec}$$

La distanza massima teorica DL_{max} dalla base della torre percorsa dall'elemento rotante distaccatosi è quindi fornito dalla formula:

$$DL_{max_teo} = V_x * (T_{max} + T_y) + A_{mv} + (L_p - D_{cm}) = \mathbf{201,25 m}$$

La gittata effettiva è data dalla seguente relazione:

$$DL_{max_eff} = DL_{max_teo} + 2/3 \text{ pala} = \mathbf{254,17 m}$$



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)

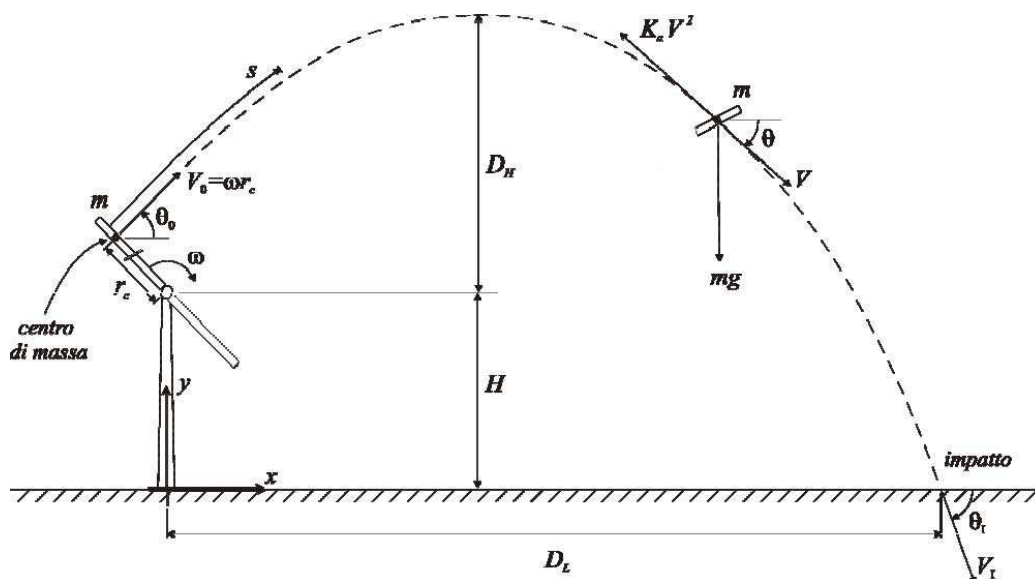


Figura 2. Vista frontale dell'aerogeneratore e della traiettoria di un frammento di pala espulso

Allo stesso modo, il calcolo della gittata massima, può essere effettuato tenendo conto del fatto che, dalla legge del moto, la gittata DL è funzione del tempo e di conseguenza dell'angolo θ .

Di seguito sono riportati i grafici delle traiettorie calcolati al variare dell'angolo di lancio.

Si noti che, fissato un generico angolo θ , la gittata aumenta quadraticamente con V , salvo i casi particolari $\theta = \pm 90^\circ, 0^\circ, 180^\circ$, nei quali quest'ultima aumenta linearmente con V oppure è pari ad L_P .

La gittata è stata calcolata per un angolo $\theta = 45^\circ$ ma ovviamente varia in funzione dell'angolo

Nel grafico si propone la gittata massima nel caso in cui si distacchi l'intera pala dal mozzo con una velocità di 34,3 m/s, che costituisce la massima velocità raggiunta dal baricentro della pala allorché il rotore compie 12,1 rivoluzioni per minuto.

La gittata massima è di circa 255 m.

Il valore ricavato è sicuramente compatibile con quello degli studi forniti dalle ditte produttrici.

Si sottolinea che il valore precedentemente calcolato sovrastima quello reale della gittata massima; infatti la presenza dell'aria, genera delle forze di resistenza viscoso che agendo sulla superficie del frammento ne riducono tempo di volo e distanza. A questa azione vanno aggiunte le forze aerodinamiche di portanza che possono innescarsi sul frammento di pala in virtù del profilo

aerodinamico secondo il quale vengono modellate le sezioni trasversali della pala stessa; tale portanza potrebbe addirittura prolungare il volo e allungare la distanza percorsa.

Preme sottolineare che i dati riportati sono altamente cautelativi perché l'aerogeneratore di progetto, modello VESTAS V162, ha un diametro di 162 m ed inoltre è prodotta con una tecnologia moderna che ha consentito di avere pesi ridotti della pala ed avere tutta una serie di dispositivi di protezione atti ad evitare incidenti.

Nel seguente paragrafo è stato calcolata la gittata con metodo analitico mentre successivamente si riporterà in modo tabellato i valori della gittata teorica ed effettiva al variare dell'angolo teta.

Il calcolo della Gittata è effettuato in funzione dell'angolo di inclinazione della pala rispetto all'orizzontale, in senso orario e ponendo l'angolo di 0° tra il 3° e 4° quadrante	
Formula della Gittata Massima per angolo compreso tra 0° e 90°	
$G = \frac{V_{x0}(V_{y0} + \sqrt{V_{y0}^2 + 2 * g * HG})}{g} - X_g$	
dove :	α = Angolo della pala rispetto all'orizzontale corrisponde all'angolo tra 91° e 180° dell'angolo velocità
$H_G = H_{torre} + Y_g$	
$Y_g = r_g \sin \alpha$	
r_g = posizione del baricentro pari ad 1/3 della lunghezza della pala più raggio mozzo	$r_g = \frac{D}{2} - L + \frac{L}{3}$
$X_g = r_g \cos \alpha$ posizione del baricentro della pala rispetto all'asse della torre	
$v_{x0} = v_0 \cos (90 - \alpha) = v_0 \sin \alpha$	$v_{y0} = v_0 \sin (90 - \alpha) = v_0 \cos \alpha$
$v_0 = \omega r_g = (2\pi n r_g)/60$	n = numero di giri al minuto del rotore
Gittata Effettiva	
$G_{eff} = G + L_g$	
Schema della Gittata per angolo compreso tra 0° e 90°	



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW

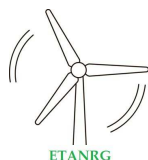


Provincia del
Sud Sardegna



REGIONE AUTONOMA
DELLA SARDEGNA

Angolo α	n	L	H _{torre}	v ₀	v _{x0}	v _{y0}	H _g	D	r _g	g	Gittata teorica	X _g	L _g	Gittata Effettiva
47	12,10	79,30	119,00	35,65	26,07	24,31	139,58	162	28,13	9,81	198,78	19,19	52,87	251,64
48	12,10	79,30	119,00	35,65	26,49	23,85	139,91	162	28,13	9,81	201,05	18,82	52,87	253,91
49	12,10	79,30	119,00	35,65	26,90	23,39	140,23	162	28,13	9,81	203,19	18,46	52,87	256,05
50	12,10	79,30	119,00	35,65	27,31	22,91	140,55	162	28,13	9,81	205,19	18,08	52,87	258,06
51	12,10	79,30	119,00	35,65	27,70	22,43	140,86	162	28,13	9,81	207,06	17,70	52,87	259,93
52	12,10	79,30	119,00	35,65	28,09	21,95	141,17	162	28,13	9,81	208,81	17,32	52,87	261,67
53	12,10	79,30	119,00	35,65	28,47	21,45	141,47	162	28,13	9,81	210,42	16,93	52,87	263,28
54	12,10	79,30	119,00	35,65	28,84	20,95	141,76	162	28,13	9,81	211,89	16,54	52,87	264,76
55	12,10	79,30	119,00	35,65	29,20	20,45	142,05	162	28,13	9,81	213,24	16,14	52,87	266,11
56	12,10	79,30	119,00	35,65	29,55	19,93	142,32	162	28,13	9,81	214,47	15,73	52,87	267,33
57	12,10	79,30	119,00	35,65	29,90	19,42	142,59	162	28,13	9,81	215,56	15,32	52,87	268,43
58	12,10	79,30	119,00	35,65	30,23	18,89	142,86	162	28,13	9,81	216,53	14,91	52,87	269,40
59	12,10	79,30	119,00	35,65	30,56	18,36	143,11	162	28,13	9,81	217,38	14,49	52,87	270,24
60	12,10	79,30	119,00	35,65	30,87	17,82	143,36	162	28,13	9,81	218,10	14,07	52,87	270,97
61	12,10	79,30	119,00	35,65	31,18	17,28	143,61	162	28,13	9,81	218,71	13,64	52,87	271,57
62	12,10	79,30	119,00	35,65	31,48	16,74	143,84	162	28,13	9,81	219,19	13,21	52,87	272,06
63	12,10	79,30	119,00	35,65	31,76	16,18	144,07	162	28,13	9,81	219,56	12,77	52,87	272,43
64	12,10	79,30	119,00	35,65	32,04	15,63	144,29	162	28,13	9,81	219,82	12,33	52,87	272,69
65	12,10	79,30	119,00	35,65	32,31	15,07	144,50	162	28,13	9,81	219,97	11,89	52,87	272,83
66	12,10	79,30	119,00	35,65	32,57	14,50	144,70	162	28,13	9,81	220,00	11,44	52,87	272,87
67	12,10	79,30	119,00	35,65	32,81	13,93	144,90	162	28,13	9,81	219,93	10,99	52,87	272,80
68	12,10	79,30	119,00	35,65	33,05	13,35	145,08	162	28,13	9,81	219,76	10,54	52,87	272,63
69	12,10	79,30	119,00	35,65	33,28	12,78	145,26	162	28,13	9,81	219,48	10,08	52,87	272,35
70	12,10	79,30	119,00	35,65	33,50	12,19	145,44	162	28,13	9,81	219,11	9,62	52,87	271,97
71	12,10	79,30	119,00	35,65	33,71	11,61	145,60	162	28,13	9,81	218,64	9,16	52,87	271,50
72	12,10	79,30	119,00	35,65	33,90	11,02	145,76	162	28,13	9,81	218,07	8,69	52,87	270,94
73	12,10	79,30	119,00	35,65	34,09	10,42	145,90	162	28,13	9,81	217,42	8,23	52,87	270,28
74	12,10	79,30	119,00	35,65	34,27	9,83	146,04	162	28,13	9,81	216,67	7,75	52,87	269,54
75	12,10	79,30	119,00	35,65	34,43	9,23	146,17	162	28,13	9,81	215,85	7,28	52,87	268,71
Angolo α	n	L	H _{torre}	v ₀	v _{x0}	v _{y0}	H _g	D	r _g	g	Gittata teorica	X _g	L _g	Gittata Effettiva
76	12,10	79,30	119,00	35,65	34,59	8,62	146,30	162	28,13	9,81	214,94	6,81	52,87	267,80
77	12,10	79,30	119,00	35,65	34,73	8,02	146,41	162	28,13	9,81	213,95	6,33	52,87	266,81
78	12,10	79,30	119,00	35,65	34,87	7,41	146,52	162	28,13	9,81	212,88	5,85	52,87	265,75
79	12,10	79,30	119,00	35,65	34,99	6,80	146,62	162	28,13	9,81	211,74	5,37	52,87	264,61
80	12,10	79,30	119,00	35,65	35,11	6,19	146,71	162	28,13	9,81	210,54	4,89	52,87	263,40
81	12,10	79,30	119,00	35,65	35,21	5,58	146,79	162	28,13	9,81	209,26	4,40	52,87	262,13
82	12,10	79,30	119,00	35,65	35,30	4,96	146,86	162	28,13	9,81	207,92	3,92	52,87	260,79
83	12,10	79,30	119,00	35,65	35,38	4,34	146,92	162	28,13	9,81	206,52	3,43	52,87	259,39
84	12,10	79,30	119,00	35,65	35,45	3,73	146,98	162	28,13	9,81	205,06	2,94	52,87	257,93
85	12,10	79,30	119,00	35,65	35,51	3,11	147,03	162	28,13	9,81	203,55	2,45	52,87	256,41
86	12,10	79,30	119,00	35,65	35,56	2,49	147,06	162	28,13	9,81	201,98	1,96	52,87	254,85
87	12,10	79,30	119,00	35,65	35,60	1,87	147,09	162	28,13	9,81	200,36	1,47	52,87	253,23
88	12,10	79,30	119,00	35,65	35,63	1,24	147,12	162	28,13	9,81	198,70	0,98	52,87	251,57
89	12,10	79,30	119,00	35,65	35,64	0,62	147,13	162	28,13	9,81	196,99	0,49	52,87	249,86
90	12,10	79,30	119,00	35,65	35,65	0,00	147,13	162	28,13	9,81	195,24	0,00	52,87	248,11



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)

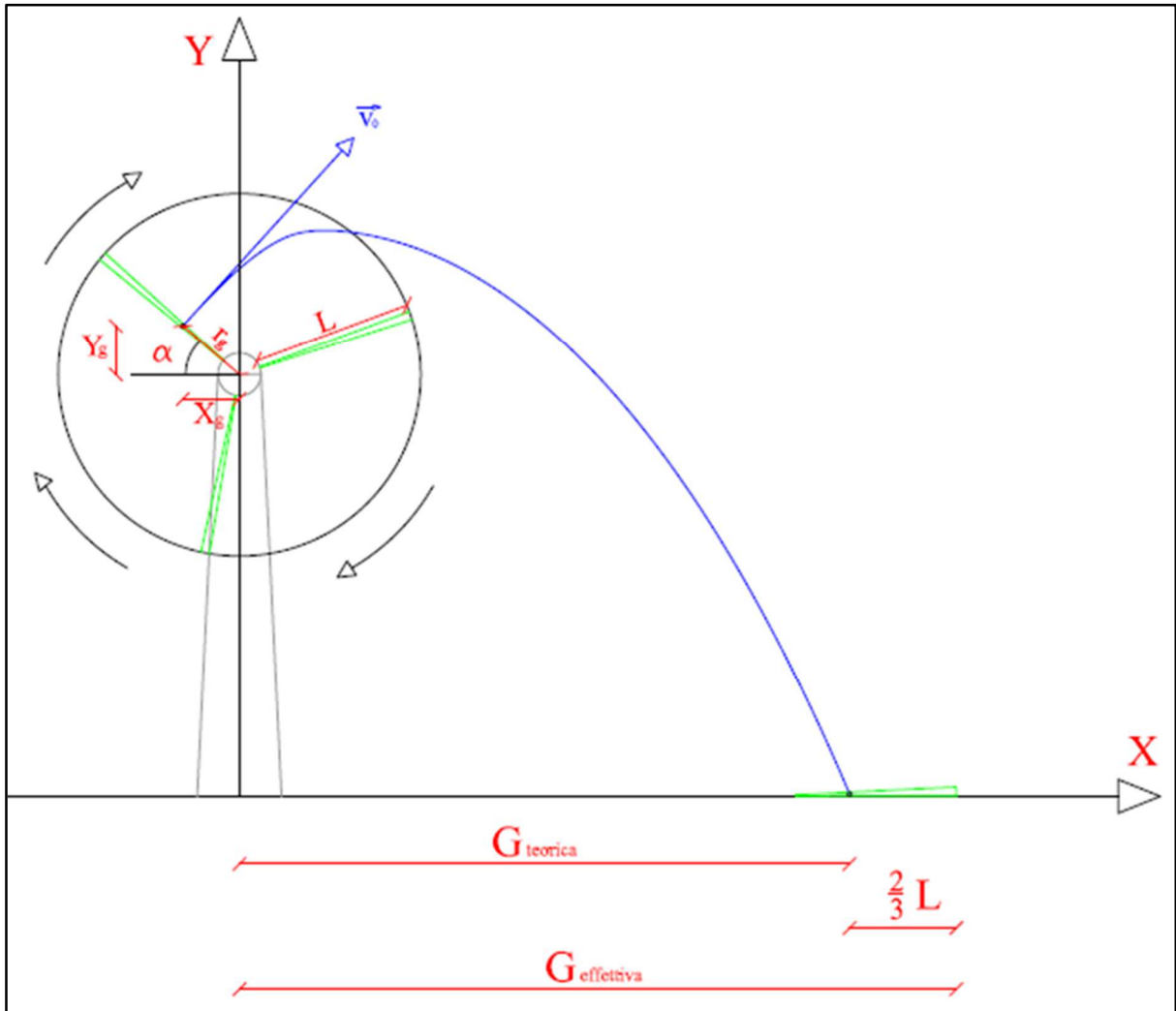


Figura 3. Andamento della gittata al variare di ϑ

Formula della Gittata Massima per angolo compreso tra 270° e 260°		
$G = \frac{V_{x0}(V_{y0} + \sqrt{V_{y0}^2 + 2 * g * HG})}{g} + X_g$		
Siccome abbiamo posto l'angolo 0° tra il 3° e 4° quadrante invertiamo il segno di v_{x0} e X_g		
$H_G = H_{torre} - Y_g$		
$Y_g = r_g \sin(360 - \alpha) = -r_g \sin \alpha$		
$r_g =$ posizione del baricentro pari ad 1/3 della lunghezza della pala più raggio mozzo		$r_g = \frac{D}{2} - L + \frac{L}{3}$
$X_g = r_g \cos(360 - \alpha) = r_g \cos \alpha = -r_g \cos \alpha$		posizione del baricentro della pala rispetto all'asse della torre
$v_{x0} = v_0 \cos(\alpha - 270) = -v_0 \sin \alpha = v_0 \sin \alpha$		$v_{y0} = v_0 \sin(\alpha - 270) = v_0 \cos \alpha$
$v_0 = \omega r_g = (2\pi n r_g)/60$	$n =$ numero di giri al minuto del rotore	v_{x0} negativo perché verso sinistra
Gittata Effettiva		
$G_{eff} = G - L_g$		
		G negativo perché verso sinistra

Per un angolo compreso tra 270° e 360° il valore della Gittata sarà negativo perché verso sinistra

Angolo α	n	L	H _{torre}	v ₀	v _{x0}	v _{y0}	H _g	D	r _g	g	Gittata teorica	X _g	L _g	Gittata Effettiva
270	12,10	79,30	119,00	35,65	-35,65	0,00	90,87	162	28,13	9,81	-153,43	0,00	52,87	-206,30
271	12,10	79,30	119,00	35,65	-35,64	0,62	90,87	162	28,13	9,81	-156,18	0,49	52,87	-209,05
272	12,10	79,30	119,00	35,65	-35,63	1,24	90,88	162	28,13	9,81	-158,92	0,98	52,87	-211,79
273	12,10	79,30	119,00	35,65	-35,60	1,87	90,91	162	28,13	9,81	-161,65	1,47	52,87	-214,51
274	12,10	79,30	119,00	35,65	-35,56	2,49	90,94	162	28,13	9,81	-164,36	1,96	52,87	-217,23
275	12,10	79,30	119,00	35,65	-35,51	3,11	90,97	162	28,13	9,81	-167,05	2,45	52,87	-219,92
276	12,10	79,30	119,00	35,65	-35,45	3,73	91,02	162	28,13	9,81	-169,72	2,94	52,87	-222,59
277	12,10	79,30	119,00	35,65	-35,38	4,34	91,08	162	28,13	9,81	-172,37	3,43	52,87	-225,23
278	12,10	79,30	119,00	35,65	-35,30	4,96	91,14	162	28,13	9,81	-174,98	3,92	52,87	-227,85
Angolo α	n	L	H _{torre}	v ₀	v _{x0}	v _{y0}	H _g	D	r _g	g	Gittata teorica	X _g	L _g	Gittata Effettiva
279	12,10	79,30	119,00	35,65	-35,21	5,58	91,21	162	28,13	9,81	-177,56	4,40	52,87	-230,43
280	12,10	79,30	119,00	35,65	-35,11	6,19	91,29	162	28,13	9,81	-180,11	4,89	52,87	-232,97
281	12,10	79,30	119,00	35,65	-34,99	6,80	91,38	162	28,13	9,81	-182,61	5,37	52,87	-235,48
282	12,10	79,30	119,00	35,65	-34,87	7,41	91,48	162	28,13	9,81	-185,07	5,85	52,87	-237,93
283	12,10	79,30	119,00	35,65	-34,73	8,02	91,59	162	28,13	9,81	-187,48	6,33	52,87	-240,34
284	12,10	79,30	119,00	35,65	-34,59	8,62	91,70	162	28,13	9,81	-189,83	6,81	52,87	-242,70
285	12,10	79,30	119,00	35,65	-34,43	9,23	91,83	162	28,13	9,81	-192,13	7,28	52,87	-245,00
286	12,10	79,30	119,00	35,65	-34,27	9,83	91,96	162	28,13	9,81	-194,37	7,75	52,87	-247,23
287	12,10	79,30	119,00	35,65	-34,09	10,42	92,10	162	28,13	9,81	-196,54	8,23	52,87	-249,40
288	12,10	79,30	119,00	35,65	-33,90	11,02	92,24	162	28,13	9,81	-198,64	8,69	52,87	-251,50
289	12,10	79,30	119,00	35,65	-33,71	11,61	92,40	162	28,13	9,81	-200,66	9,16	52,87	-253,53
290	12,10	79,30	119,00	35,65	-33,50	12,19	92,56	162	28,13	9,81	-202,61	9,62	52,87	-255,48
291	12,10	79,30	119,00	35,65	-33,28	12,78	92,74	162	28,13	9,81	-204,48	10,08	52,87	-257,35
292	12,10	79,30	119,00	35,65	-33,05	13,35	92,92	162	28,13	9,81	-206,26	10,54	52,87	-259,13
293	12,10	79,30	119,00	35,65	-32,81	13,93	93,10	162	28,13	9,81	-207,95	10,99	52,87	-260,81
294	12,10	79,30	119,00	35,65	-32,57	14,50	93,30	162	28,13	9,81	-209,54	11,44	52,87	-262,41
295	12,10	79,30	119,00	35,65	-32,31	15,07	93,50	162	28,13	9,81	-211,04	11,89	52,87	-263,90
296	12,10	79,30	119,00	35,65	-32,04	15,63	93,71	162	28,13	9,81	-212,43	12,33	52,87	-265,30
297	12,10	79,30	119,00	35,65	-31,76	16,18	93,93	162	28,13	9,81	-213,72	12,77	52,87	-266,58
298	12,10	79,30	119,00	35,65	-31,48	16,74	94,16	162	28,13	9,81	-214,90	13,21	52,87	-267,76
299	12,10	79,30	119,00	35,65	-31,18	17,28	94,39	162	28,13	9,81	-215,96	13,64	52,87	-268,83
300	12,10	79,30	119,00	35,65	-30,87	17,82	94,64	162	28,13	9,81	-216,91	14,07	52,87	-269,77
301	12,10	79,30	119,00	35,65	-30,56	18,36	94,89	162	28,13	9,81	-217,73	14,49	52,87	-270,60
302	12,10	79,30	119,00	35,65	-30,23	18,89	95,14	162	28,13	9,81	-218,44	14,91	52,87	-271,30
303	12,10	79,30	119,00	35,65	-29,90	19,42	95,41	162	28,13	9,81	-219,01	15,32	52,87	-271,88
304	12,10	79,30	119,00	35,65	-29,55	19,93	95,68	162	28,13	9,81	-219,46	15,73	52,87	-272,33
305	12,10	79,30	119,00	35,65	-29,20	20,45	95,95	162	28,13	9,81	-219,78	16,14	52,87	-272,64
306	12,10	79,30	119,00	35,65	-28,84	20,95	96,24	162	28,13	9,81	-219,96	16,54	52,87	-272,83
307	12,10	79,30	119,00	35,65	-28,47	21,45	96,53	162	28,13	9,81	-220,00	16,93	52,87	-272,87



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



4. CONSIDERAZIONI FINALI

Ponendoci nella condizione peggiore che un frammento o l'intera pala si staccasse dal mozzo, si è dimostrato che l'impatto della stessa avviene a distanze molto contenute.

Infatti nel caso si staccasse l'intera pala il suo valore massimo (metodo analitico) di gittata è di 254,22 m alla velocità massima di rotazione, nella direzione prevalente di vento e trascurando l'attrito dell'aria. Tale valore risultante dai calcoli analitici è perfettamente in linea con quanto dichiarato nel foglio di calcolo della gittata teorica ed effettiva al variare dell'angolo teta.

Il valore massimo della gittata è pari a 272,87 m secondo il calcolo della gittata teorica ed effettiva al variare dell'angolo teta e si verifica per un angolo pari a 66 °

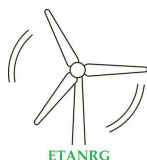
Si tenga presente che tale valore nella realtà risulta inferiore; difatti è giusto considerare agire simultaneamente le condizioni peggiori di velocità del vento, di angolo di lancio, velocità di rotazione, azione di portanza sul profilo alare dopo il distacco, ma le cause che porterebbero ad un eventuale distacco della pala o parte di essa sono rappresentate da un colpo di fulmine o da un urto accidentale di notevole intensità agente alla base della torre.

L'accadimento di tali fenomeni ha un valore di rischio molto basso, resi ancora più bassi dal fattore di contemporaneità. Si tenga conto che tutte le turbine eoliche sono dotate di un complesso sistema parafulmine, e per quanto riguarda l'urto non è pensabile potersi tutelare da un incidente, quale un velivolo o altro, che impatta sul rotore di una turbina o alla base della torre.

Riportando quanto scritto dalla BP POWER nel "Blade throw calculation under normal operating" *"esperienze basate su dati reali (su una casistica di 1578 casi) fino all'agosto del 2006"* hanno dimostrato che nel caso di distacco della pala o parti di essa l'unico moto che si è registrato è stato un moto di completa rotazione e che le distanze percorse lungo il moto sono risultate sempre inferiori alle lunghezze riportate nella relazione.

Il distacco delle parti, in genere piccole, dovuto a guasti causati da eventi eccezionali (quali la straordinaria energia prodotta da un fulmine) ha portato nel peggiore dei casi, a ritrovare le parti stesse a distanze non superiori ai 40-50 metri dalla base della torre.

Si conclude che l'ubicazione prescelta per l'aerogeneratore garantisce, in caso di rottura accidentale, che non si possano determinare condizioni di pericolo per cose o persone



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)