



Engineering & Construction



GRE CODE
GRE.EEC.K.99.IT.W.15590.00.009.00

PAGE
1 di/of 18

TITLE:
IT

AVAILABLE LANGUAGE:

IMPIANTO EOLICO "TELTI"

Comuni di Telti e Calangianus (OT)

Relazione gittata massima elementi rotanti per rottura accidentale



File: GRE.EEC.C.99.IT.W.15590.00.009.00 - Relazione gittata massima elementi rotanti per rottura accidentale

00	16/09/22	Issued			
			MD	GE	GE
			Name	Name	Name
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED

GRE VALIDATION

Name (GRE)	Name (GRE)	A. Puosi (GRE)
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY

PROJECT / PLANT 	GRE CODE																	
	GROUP	FUNCTION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC.	PLANT	SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION								
	GR	EEC	R	9	9	I	T	W	1	5	5	9	0	0	0	0	0	9

CLASSIFICATION	UTILIZATION SCOPE
----------------	----------------------

This document is property of Enel Green Power S.p.A. It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent by Enel Green Power S.p.A.



Green Power

Engineering & Construction



CONSULENZA
E PROGETTI

GRE CODE

GRE.EEC.K.99.IT.W.15590.00.009.00

PAGE

2 di/of 18

INDEX

1. INTRODUZIONE	3
2. DESCRIZIONE DEL PROPONENTE	4
3. CONTENUTI DELLA RELAZIONE.....	5
4. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	6
5. GLI AEROGENERATORI E IL LORO FUNZIONAMENTO	8
6. ANALISI STORICA DEGLI INCIDENTI	10
7. ROTTURA PALA E CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA.....	11
7.1 Introduzione e ipotesi alla base del modello di calcolo.....	11
7.2 Aerogeneratore di riferimento	11
7.3 Calcolo della gittata massima.....	13
8. RISULTATI	15
9. CONCLUSIONI	18

1. INTRODUZIONE

Il presente studio sulla gittata degli elementi rotanti per rottura incidentale è parte integrante della documentazione tecnico-progettuale predisposta ai fini dell'espletamento della procedura di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) del progetto dell'impianto eolico denominato "Telti", da realizzarsi nei comuni di Telti e Calagianus (Provincia del Nord-Est Sardegna).

Il progetto prevede l'installazione di n. 11 aerogeneratori di grande taglia, aventi potenza unitaria 6.0 MW e diametro del rotore pari a 170 m, posizionati su torri di sostegno in acciaio dell'altezza pari a 135 m (altezza massima al tip pari a 220 m), nonché l'approntamento delle opere accessorie indispensabili per un ottimale funzionamento e gestione degli aerogeneratori (viabilità e piazzole di servizio, distribuzione elettrica di impianto, stazione elettrica di utenza 33/150kV, opere per la successiva immissione dell'energia prodotta alla Rete di Trasmissione Nazionale). La potenza nominale complessiva del parco eolico sarà di 54 MW, con potenza nominale dei singoli aerogeneratori limitata a 4.9 MW.

Poiché l'intervento risulta ascrivibile alla tipologia progettuale di cui all'Allegato II, punto 2) del D.Lgs. n.152 03/04/2006 ("Impianti eolici per la produzione di energia elettrica sulla terraferma con potenza superiore a 30 MW"), deve operarsi una preliminare Valutazione di impatto ambientale del progetto da parte dell'Autorità competente ai fini dell'emanazione del giudizio di compatibilità ambientale. Detta valutazione è propedeutica e condizionante ai fini del completamento dell'iter procedurale di Autorizzazione Unica.



Green Power

Engineering & Construction



CONSULENZA
E PROGETTI

GRE CODE

GRE.EEC.K.99.IT.W.15590.00.009.00

PAGE

4 di/of 18

2. DESCRIZIONE DEL PROPONENTE

Enel Green Power (EGP) è stata fondata nel dicembre 2008 e, all'interno del Gruppo Enel, gestisce e sviluppa attività di generazione di energia da fonti rinnovabili a livello globale.

EGP opera con oltre 1.200 impianti in tutti e 5 i continenti ed è presente con asset operativi o in costruzione in 21 Paesi, gestendo attività di sviluppo in altri 5 Paesi. La capacità rinnovabile installata, detenuta ed esercita da EGP, è di oltre 54 GW attraverso un mix di generazione che include le principali fonti rinnovabili tra cui eolico, solare, idroelettrico e geotermico.

EGP riveste un ruolo fondamentale nel processo di transizione energetica, ponendosi come uno tra i principali operatori nel settore delle rinnovabili a livello mondiale.

L'obiettivo aziendale è quello di accompagnare il Pianeta verso una nuova era di energia sostenibile e decarbonizzata, accessibile a tutti.

Enel Green Power è inoltre uno dei membri fondatori di RES4MED - Renewable Energy Solutions for the Mediterranean and beyond, associazione nata nel 2012 per la promozione delle energie rinnovabili e delle infrastrutture di energia elettrica necessaria per il loro trasporto nell'area mediterranea.



Green Power

Engineering & Construction



CONSULENZA
E PROGETTI

GRE CODE

GRE.EEC.K.99.IT.W.15590.00.009.00

PAGE

5 di/of 18

3. CONTENUTI DELLA RELAZIONE

La presente relazione riporta la valutazione della gittata massima che si ottiene attraverso il moto percorso da una pala distaccatasi dall'aerogeneratore.

Il capitolo 2 descrive in generale il sito e il layout degli aerogeneratori di nuova costruzione.

Il capitolo 3 descrive in generale le caratteristiche tecniche e costruttive di un aerogeneratore moderno di grossa taglia ed espone brevemente il suo funzionamento.

Nel capitolo 4 è riportata una breve analisi storica e statistica degli incidenti sugli aerogeneratori, focalizzato sulle pale.

Il capitolo 5 affronta il metodo di calcolo della gittata massima, mentre nel capitolo 6 sono riportate le conclusioni con riferimento alle posizioni degli aerogeneratori di nuova costruzione in sito.

4. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area di progetto è situata in Gallura, regione storica della Sardegna, ubicata nel nord est dell'Isola. Il sito si trova in un'area dalla morfologia collinare ma con andamento regolare degradante dalla *Punta de Lu Lisandru* a nord sino alle quote più basse della piana del Padrongiano e relativi affluenti a sud.

L'intero impianto ricade nel Comune di Telti ed è rappresentato nelle sezioni 444_IV, 443_I, 444_III e 443_II dell'IGM 1:25.000.

Di seguito è riportato l'inquadramento territoriale dell'area di progetto e la configurazione proposta su ortofoto:

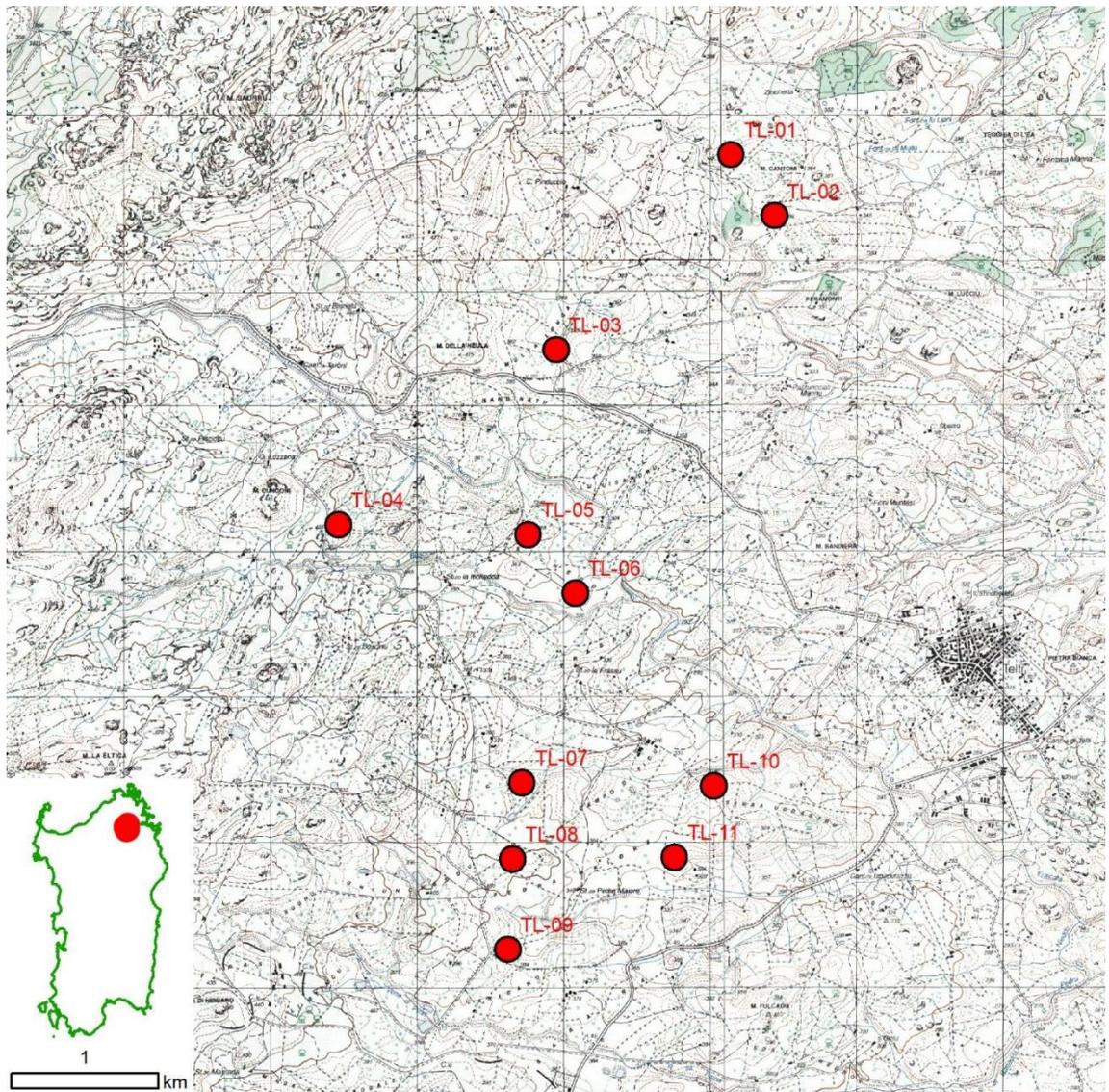


Figura 4-1: Inquadramento generale dell'area di progetto

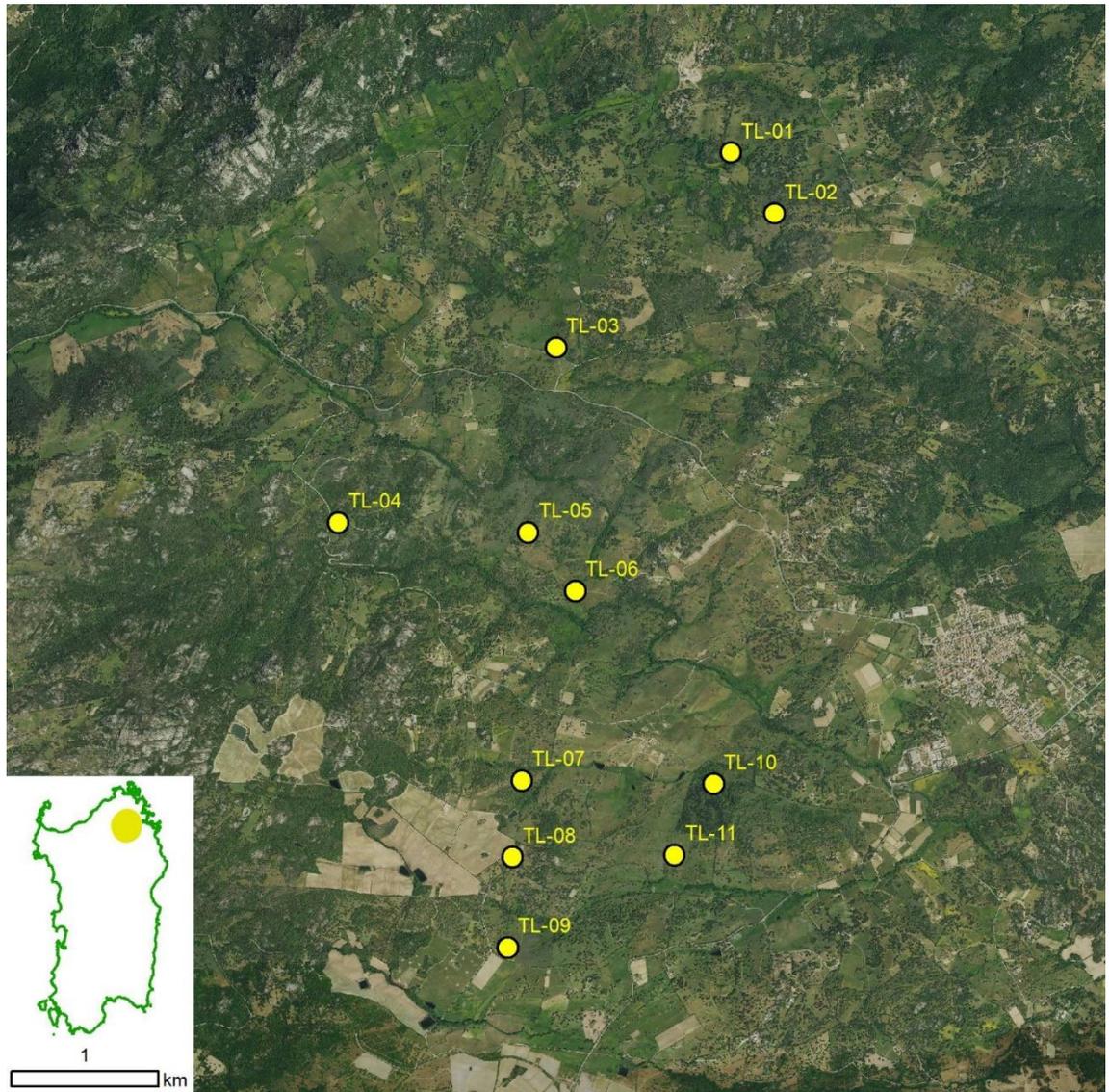


Figura 4-2: Configurazione proposta su ortofoto

Di seguito è riportato in formato tabellare un dettaglio sul posizionamento degli aerogeneratori in progetto, in coordinate WGS84 UTM fuso 32N:

Tabella 4-1: Coordinate aerogeneratori

WTG	Comune	Est [m]	Nord [m]	Altitudine [m s.l.m.]
TL-01	Telti	528056,3	4528534,6	359,5
TL-02	Telti	528351,7	4528115,6	353,9
TL-03	Telti	526861,5	4527197,1	372,0
TL-04	Telti	525397,1	4526000,6	398,7
TL-05	Telti	526673,6	4525927,8	360,2
TL-06	Telti	526992,0	4525524,7	331,3
TL-07	Telti	526630,8	4524222,0	369,1
TL-08	Telti	526537,6	4523698,4	398,1
TL-09	Telti	526540,9	4523088,0	389,6
TL-10	Telti	527937,6	4524199,4	337,3
TL-11	Telti	527674,9	4523708,8	335,2

5. GLI AEROGENERATORI E IL LORO FUNZIONAMENTO

Un aerogeneratore (o turbina eolica) è, in generale, costituito dai seguenti sottosistemi principali:

- il rotore eolico, che trasforma l'energia cinetica del vento in energia meccanica mediante alcune pale, opportunamente sagomate secondo un profilo aerodinamico e montate su un asse orizzontale o verticale rispetto al terreno;
- l'apparato di conversione dell'energia meccanica in energia elettrica, basato su un generatore elettrico rotante azionato dal rotore eolico attraverso un sistema di trasmissione, che spesso comprende un moltiplicatore di giri per ottenere la velocità appropriata per il generatore;
- il convertitore statico di frequenza e tensione, se necessario per ottenere una potenza elettrica con caratteristiche diverse da quelle in uscita dal generatore ed appropriate all'impiego.

Nelle macchine ad asse orizzontale, come quelle dell'impianto eolico oggetto della presente relazione, il rotore ha di norma tre pale, generalmente costruite in vetroresina con eventuali rinforzi in fibra di carbonio. Le pale sono a passo variabile, cioè il loro angolo di calettamento al mozzo può essere variato da un servomeccanismo comandato dal sistema di controllo dell'aerogeneratore. Gli aerogeneratori ad asse orizzontale comprendono, oltre al rotore, i seguenti componenti strutturali principali:

- la navicella o gondola, in cui sono alloggiati gli alberi di trasmissione, il moltiplicatore di giri, il generatore, eventuali altri componenti elettrici e le apparecchiature ausiliarie e di controllo; la navicella viene orientata dal sistema di controllo per mantenere l'asse del rotore allineato alla direzione del vento;
- il sostegno, generalmente metallico con struttura tubolare o a traliccio, che ha la funzione di mantenere il rotore ad un'altezza opportuna rispetto al suolo (la velocità del vento tende ad aumentare con l'altezza) e appoggia, a sua volta, su una fondazione in calcestruzzo armato.

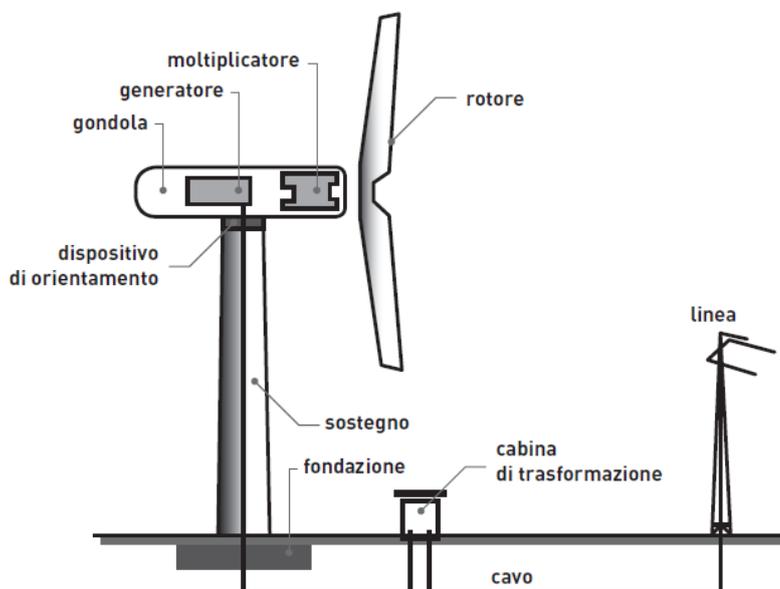


Figura 5-1: Elementi tipici di un aerogeneratore

La figura successiva mostra un dettaglio del rotore e della navicella:



Figura 5-2: Caratteristiche dettagliate dei componenti presenti in una turbina eolica

Il meccanismo di funzionamento della macchina è il seguente: la vena fluida impatta contro le pale della turbina, azionando il moto rotatorio del rotore. Quest'ultimo, che è calettato al generatore elettrico attraverso l'albero lento, il moltiplicatore di giri e l'albero veloce, trasferisce l'energia cinetica al generatore, il quale a sua volta la converte in energia elettrica. Il trasformatore presente in navicella innalza la tensione dell'energia prodotta e attraverso un sistema di cavidotti l'energia prodotta viene immessa nella rete elettrica nazionale.

6. ANALISI STORICA DEGLI INCIDENTI

Diversi studi¹ condotti a livello internazionale tra il 1990 e il 2014 hanno evidenziato che la probabilità di guasto di una pala in un anno è compresa tra lo 0,1% e lo 0,7%. La variabilità dei dati è dovuta al differente numero di campioni, a differenti tassi di guasto e differenti ore di manutenzione dovute alla rottura.

Inoltre, uno studio² americano del 2013, effettuato su un campione di circa 10,000 aerogeneratori, caratterizzati dall'essere operativi da anni diversi, ha evidenziato che circa il 2% delle turbine (nei 10 anni di funzionamento) richiedono la sostituzione della pala, considerando però anche tutte le sostituzioni che avvengono nei primi due anni di funzionamento dovute a problemi durante il trasporto e la costruzione.

Lo studio evidenzia inoltre che la causa maggiore di rottura delle pale è dovuta all'impatto con i fulmini.

¹ Branner K., Ghadirian A., "Database about blade faults", 2014

² Lantz E. (NREL), "Operations Expenditures: Historical Trends And Continuing Challenges", 2013

7. ROTTURA PALA E CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA

In questa sezione vengono riportate un'introduzione alla problematica della rottura di pala, le specifiche dell'aerogeneratore di riferimento e infine il calcolo della gittata massima.

7.1 Introduzione e ipotesi alla base del modello di calcolo

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.

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

- Rottura del giunto di collegamento tra mozzo e pala;
- 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 da essa percorsa.

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

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

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

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

- Viene considerato il distacco della totalità della pala in modo istantaneo. Questa ipotesi è assolutamente conservativa, dato che non si considera la resistenza posta dalla pala;
- Viene considerata la rotazione massima (massimi giri al minuto) per la turbina al momento del distaccamento;
- Sono considerati solamente gli effetti gravitazionali sul moto e non gli effetti di attrito di aria e vento. Questa ipotesi è conservativa, dato che trascurare gli effetti di aria e vento causa un incremento del valore della gittata massima della pala distaccata a favore di sicurezza. Gli effetti di portanza sul profilo della pala sono trascurati;
- Il moto della pala al momento del distacco è un moto complesso, che dipende strettamente dalle dimensioni della pala, dal suo peso e dalle forze aerodinamiche in gioco. Il modello teorico che meglio descrive il moto della pala è il "moto rotazionale complesso" che permette di descrivere il moto della pala tridimensionalmente. In questa analisi, trascurando gli effetti di aria e vento, il moto della pala distaccata viene descritto attraverso il movimento del punto del centro di massa (baricentro), posto ad $1/3$ della lunghezza di pala. Tali considerazioni sono utili al fine di descrivere un moto dipendente solamente dagli effetti gravitazionali. Tale ipotesi, che non considera effetti di attrito e il moto rotazionale complesso, porta a sovrastimare il valore della gittata a favore di sicurezza;
- Non si considera alcuna mutazione della velocità del vento durante il volo. La velocità del vento durante il volo è bensì assunta pari a quella al momento del distacco e pari alla velocità massima di funzionamento.

7.2 Aerogeneratore di riferimento

Gli aerogeneratori che verranno installati presso il nuovo impianto oggetto di questo studio saranno selezionati sulla base delle più innovative tecnologie disponibili sul mercato. La potenza nominale delle turbine previste sarà pari a massimo 6 MW. Il tipo e la taglia esatta

dell'aerogeneratore saranno comunque individuati in seguito della fase di acquisto della macchina e verranno descritti in dettaglio in fase di progettazione esecutiva.

Si riportano di seguito le caratteristiche tecniche dell'aerogeneratore (in grassetto i valori necessari per il calcolo della gittata):

Tabella 7-1: Caratteristiche tecniche aerogeneratore

Potenza nominale	6 MW
Diametro del rotore D	170 m
Lunghezza della pala rtip	85 m
Corda massima della pala	4,5 m
Area spazzata	22.698 m ²
Altezza al mozzo Hm	135 m
Classe di vento IEC	IIIA
Velocità cut-in	3 m/s
Velocità nominale	10 m/s
Velocità cut-out	25 m/s
Giri al minuto rotore n	10

Nell'immagine seguente è rappresentata una turbina con rotore di diametro pari a 170 m e potenza fino a 6,0 MW:

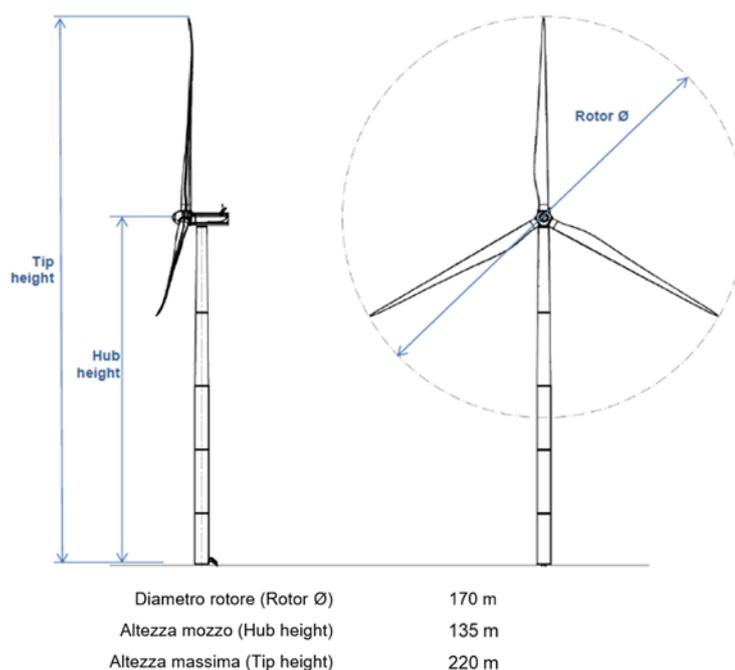


Figura 7-1: Vista e caratteristiche di un aerogeneratore da 6,0 MW

Un importante fattore per il calcolo della gittata massima è il raggio baricentrico (r_g). Per il calcolo della gittata, è necessario descrivere il moto parabolico nel centro di massa del corpo. Data la disomogenea distribuzione di massa lungo la pala, una buona approssimazione è considerare che il baricentro di pala è circa a $1/3$ della lunghezza di pala. Dunque, per gli aerogeneratori oggetto del presente studio, il raggio baricentrico r_g si trova a una distanza dal centro del mozzo pari a: $(83,5/3) + (85-83,5) = 29,33$ m.

Nel baricentro vengono quindi descritte la velocità angolare, la velocità periferica ed il moto parabolico. Una volta individuata la gittata massima al raggio baricentrico sarà possibile individuare la gittata massima al "tip" della pala, sommando la lunghezza che vi è tra il "tip" e il raggio baricentrico.

Per il calcolo della gittata è stato ipotizzato un numero di giri pari a 10 rpm, valore riscontrato da dati tecnici dell'aerogeneratore.

7.3 Calcolo della gittata massima

In questo paragrafo viene riportato il calcolo della gittata massima in accordo alle ipotesi definite al paragrafo 0 e per l'aerogeneratore di riferimento definito al paragrafo 7.2.

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

$$\begin{cases} x(t) = x_0 + v_{gx}t \\ y(t) = y_0 + v_{gy}t - \frac{1}{2}gt^2 \end{cases} \quad (5.1)$$

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 ω (e quindi dal numero di giri al minuto della turbina n) e dal raggio baricentrico r_g come di seguito:

$$v_g = \omega \cdot r_g = \frac{2\pi n}{60} \cdot r_g \quad (5.2)$$

- g è la costante di gravitazione universale pari a 9,81 m/s²
- t è la variabile tempo. Impostando $y(t) = 0$ (corpo arrivato a terra), si ottiene di conseguenza il tempo di volo e la condizione in cui calcolare la gittata.

Per prima cosa, è quindi necessario definire le posizioni iniziali e le velocità del corpo distaccato. Il moto parabolico del corpo viene descritto in Figura 7-2, dove il rotore della turbina eolica (fino al raggio baricentrico) è rappresentato con il cerchio blu:

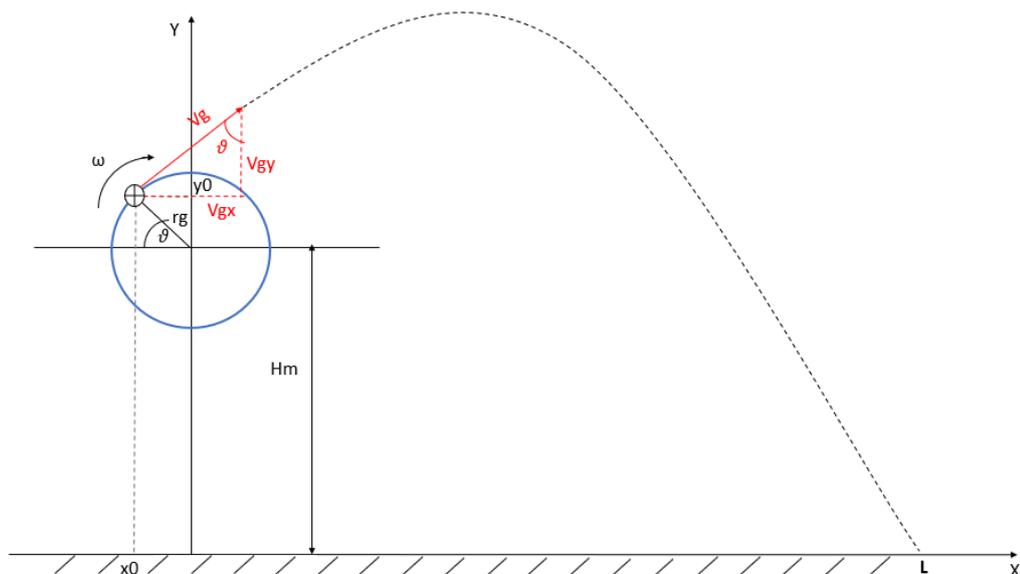


Figura 7-2: Traiettoria della pala distaccata

Come visibile dalla Figura 7-2, le posizioni iniziali (x_0 e y_0) e le componenti (v_{gx} e v_{gy}) della velocità di distacco v_g dipendono strettamente dal raggio baricentrico r_g , dall'altezza di mozzo H_m , e dall'angolo di distacco θ definito in senso orario tra l'asse della pala e l'orizzontale. Essendo l'angolo di distacco variabile nel tempo, è necessario calcolare la gittata al variare dell'angolo di distacco per evidenziare quale è la condizione in cui si ottiene la massima gittata.

Si definiscono quindi:

- Le posizioni iniziali (x_o e y_o) come:

$$x_o = -r_g \cos \vartheta ; y_o = H_m + r_g \sin \vartheta \quad (5.3)$$

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

$$v_{gx} = v_g \sin \vartheta ; v_{gy} = v_g \cos \vartheta \quad (5.4)$$

Sono state quindi definite le condizioni iniziali del distacco di pala. È necessario ora, a partire dalle equazioni di moto (5.1), ottenere i valori di Tempo di volo (T) e Gittata (L) definiti sul baricentro della pala distaccata.

Imponendo $y(t) = 0$ nell'equazione 5.1, condizione a cui corrisponde il raggiungimento a terra del corpo dopo il volo, e avendo definito le condizioni iniziali nelle equazioni 5.3 e 5.4, si possono calcolare quindi la gittata L e il tempo di volo T:

$$\left\{ \begin{array}{l} L = x_o + v_{gx}T \\ 0 = y_o + v_{gy}T - \frac{1}{2}gT^2 \end{array} \right\} \quad (5.5)$$

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:

$$T [s] = \frac{v_{gy} + \sqrt{v_{gy}^2 + 2gy_o}}{g} = \frac{v_g \cos \vartheta + \sqrt{(v_g \cos \vartheta)^2 + 2g \cdot (H_m + r_g \sin \vartheta)}}{g} \quad (5.6)$$

Definito il tempo di volo T, dalla prima equazione (5.5), si ottiene quindi la gittata L, definita nel baricentro di pala:

$$L [m] = x_o + v_{gx}T = -r_g \cos \vartheta + v_g \sin \vartheta \cdot \left(\frac{v_g \cos \vartheta + \sqrt{(v_g \cos \vartheta)^2 + 2g \cdot (H_m + r_g \sin \vartheta)}}{g} \right) \quad (5.7)$$

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 ($2/3 r_{tip}$):

$$L_{tip} = L + \frac{2}{3}r_{tip} \quad (5.8)$$

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

8. RISULTATI

I valori assunti per il calcolo della gittata nella presente analisi sono i seguenti:

- Lunghezza di Pala r_{tip} : 85 m;
- Altezza mozzo H_m : 135 m;
- Numero di giri n : 10 rpm;
- Diametro del Rotore D : 170 m;
- Raggio baricentrico r_g : $85/3 + 170/2 - 85 = 28,33$ m (distanza tra centro mozzo e 1/3 della lunghezza della pala).

Sono riportati di seguito i valori ottenuti di gittata massima, al variare dell'angolo di distacco θ :

Tabella 8-1: Risultati calcolo gittata massima

Angolo di distacco ϑ [°]	Posizione iniziale baricentro		Componenti vg		Tempo di Volò T [s]	Gittata L [m]	Gittata @ tip L_{tip} [m]
	x_0	y_0	v_{gx} [m/s]	v_{gy} [m/s]			
0	28,33	135,00	0,00	29,67	9,08	-28,33	28,33
5	28,23	137,47	2,59	29,56	9,10	-4,68	51,98
10	27,90	139,92	5,15	29,22	9,09	18,95	75,62
15	27,37	142,33	7,68	28,66	9,05	42,13	98,79
20	26,62	144,69	10,15	27,88	8,97	64,42	121,09
25	25,68	146,97	12,54	26,89	8,86	85,46	142,13
30	24,54	149,17	14,84	25,70	8,72	104,89	161,56
35	23,21	151,25	17,02	24,30	8,56	122,44	179,10
40	21,70	153,21	19,07	22,73	8,37	137,87	194,54
45	20,03	155,03	20,98	20,98	8,15	151,03	207,70
50	18,21	156,70	22,73	19,07	7,92	161,83	218,50
55	16,25	158,21	24,30	17,02	7,67	170,24	226,91
60	14,17	159,54	25,70	14,84	7,41	176,30	232,97
65	11,97	160,68	26,89	12,54	7,14	180,10	236,76
70	9,69	161,62	27,88	10,15	6,87	181,78	238,44
72	8,76	161,95	28,22	9,17	6,76	181,89	238,56
75	7,33	162,37	28,66	7,68	6,59	181,51	238,18
80	4,92	162,90	29,22	5,15	6,31	179,52	236,18
85	2,47	163,23	29,56	2,59	6,04	176,01	232,67
90	0,00	163,33	29,67	0,00	5,77	171,22	227,88
95	-2,47	163,23	29,56	-2,59	5,51	165,36	222,03
100	-4,92	162,90	29,22	-5,15	5,26	158,66	215,33
105	-7,33	162,37	28,66	-7,68	5,02	151,31	207,98
110	-9,69	161,62	27,88	-10,15	4,80	143,47	200,14
115	-11,97	160,68	26,89	-12,54	4,59	135,30	191,97
120	-14,17	159,54	25,70	-14,84	4,39	126,92	183,58
125	-16,25	158,21	24,30	-17,02	4,20	118,42	175,08
130	-18,21	156,70	22,73	-19,07	4,03	109,88	166,55
135	-20,03	155,03	20,98	-20,98	3,88	101,36	158,03
140	-21,70	153,21	19,07	-22,73	3,73	92,90	149,57
145	-23,21	151,25	17,02	-24,30	3,60	84,53	141,19
150	-24,54	149,17	14,84	-25,70	3,49	76,25	132,92
155	-25,68	146,97	12,54	-26,89	3,38	68,07	124,74
160	-26,62	144,69	10,15	-27,88	3,29	59,99	116,66
165	-27,37	142,33	7,68	-28,66	3,21	51,99	108,66
170	-27,90	139,92	5,15	-29,22	3,14	44,06	100,73
175	-28,23	137,47	2,59	-29,56	3,08	36,19	92,85
180	-28,33	135,00	0,00	-29,67	3,03	28,33	85,00

Dall'analisi si può evidenziare che la massima gittata si ottiene per un angolo di distacco ϑ pari a 72° ed è pari a 238,56 m.

Si riporta di seguito il grafico che mostra la gittata al "tip" in funzione dell'angolo di distacco:

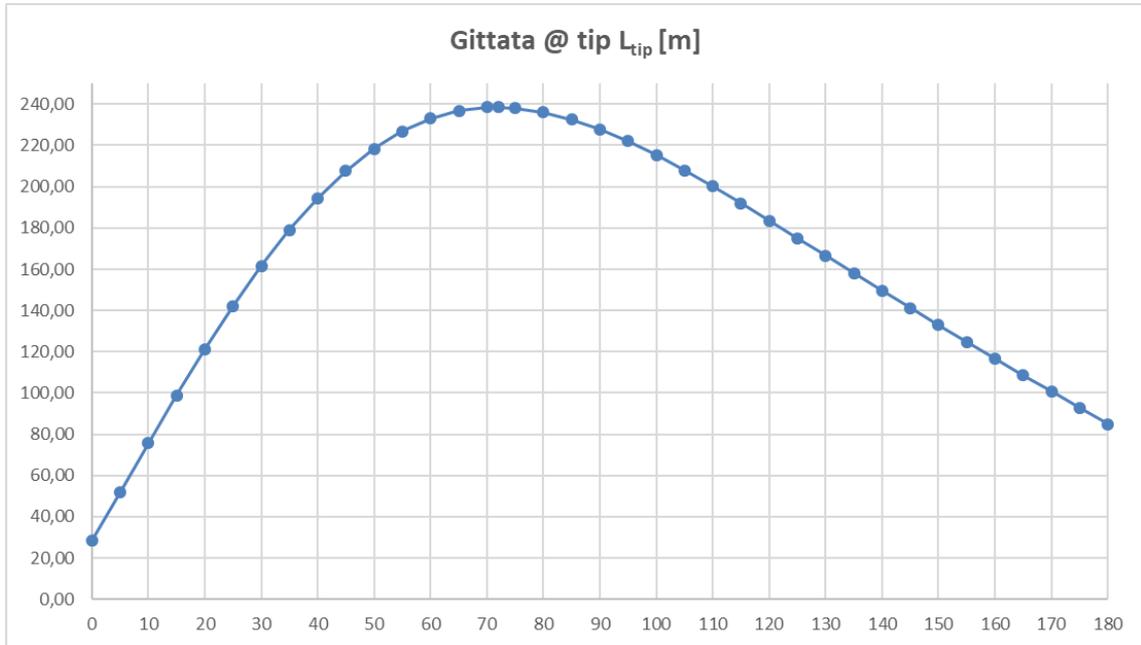


Figura 8-1: Gittata al tip in funzione dell'angolo di distacco

9. CONCLUSIONI

L'analisi degli elementi sensibili all'eventuale rottura di una pala dell'impianto in progetto è stata condotta considerando sia gli edifici appartenenti alla Categoria catastale A che comprende case rurali ad utilizzazione residenziale e/o edifici adibiti ad uffici e/o Chiese, che gli esercizi votati alla ricettività turistica (B&B) presenti in zona.

Inoltre sono da citare anche le previsioni della D.G.R. RAS n. 59/90 del 2020 e s.m.i. (specificatamente vedasi All. 5 al punto 4.3.3 "Distanze di rispetto dagli insediamenti rurali"). Infatti, con l'intento di meglio inquadrare i criteri di individuazione dei potenziali edifici sensibili (o ricettori) in relazione alla realizzazione di un impianto eolico, al fine di limitare gli impatti visivi, acustici e di ombreggiamento si richiede che ogni singolo aerogeneratore rispetti una distanza pari a:

- 300 metri da corpi aziendali ad utilizzazione agro-pastorale in cui sia accertata la presenza continuativa di personale in orario diurno (h. 6.00 – h. 22.00);
- 500 metri da corpi aziendali ad utilizzazione agro-pastorale in cui sia accertata la presenza continuativa di personale in orario notturno (h. 22.00 – 6.00), o case rurali ad utilizzazione residenziale di carattere stagionale;
- 700 metri da nuclei e case sparse nell'agro, destinati ad uso residenziale, così come definiti all'art. 82 delle NTA del PPR."

Quindi secondo le indicazioni del Legislatore Regionale, è richiesto che gli aerogeneratori debbano essere progettati ad una distanza minima di 300m dai ricettori individuati secondo i criteri testé elencati, dunque superiore alla gittata per distacco degli organi rotanti, che si aggira intorno ai 240m (cfr. par. 8).

Altro criterio progettuale chiaramente indicato dalla DGR 59/90 è quello legato alla distanza dalle strade provinciali o nazionali e da linee ferroviarie che non può essere inferiore all'altezza la tip maggiorata del 10% equivalente a circa 242m nel caso specifico.

Definito che i ricettori ex D.G.R. n. 59/90 si trovano per impostazione progettuale oltre i 300m e quindi al di fuori dell'areale potenzialmente interessato dall'evento incidentale del distacco di uno degli elementi rotanti, per ciascuna delle posizioni proposte degli aerogeneratori di nuova costruzione si riporta in tabella la distanza dal corpo di fabbrica più vicino e la distanza dalla strada provinciale o regionale più vicina.

Non sono presenti entro i suddetti buffers strade di rango superiore alle strade comunali di penetrazione agraria.

Tabella 9-1: Analisi gittata per edifici o corpi di fabbrica e viabilità principale

WTG	Distanza edifici (cat. A, e B&B) [m]	Distanza minima dalla viabilità principale [m]
TL-01	624	1950
TL-02	504	1682
TL-03	643	294
TL-04	421	814
TL-05	805	993
TL-06	506	1237
TL-07	515	1448
TL-08	503	1092
TL-09	505	668
TL-10	507	924
TL-11	685	623

Inoltre, le numerose ipotesi semplificative di calcolo rispetto al caso reale causano anche un aumento del valore reale di gittata massima.

Infine, la probabilità che il rotore, distaccandosi, percorra esattamente la direzione ottimale per l'impatto con l'elemento sensibile è molto bassa e garantisce una riduzione del rischio a priori.