

REGIONE SICILIA

Comuni di Valledolmo (PA) e Sclafani Bagni (PA)

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO DELLA POTENZA DI 36 MW sito nei comuni di Valledolmo (PA) e Sclafani Bagni (PA) e delle relative opere di connessione da realizzarsi nei comuni di Caltavuturo, Polizzi Generosa, Castellana Sicula e Villalba

TITOLO

Relazione gittata massima

PROGETTAZIONE	PROPONENTE	
 SR International S.r.l. C.so Vittorio Emanuele II, 282-284 - 00186 Roma Tel. 06 8079555 - Fax 06 80693106 C.F e P.IVA 13457211004 	 Sorgenia Zefiro Srl Codice Fiscale e Partita Iva: 12497930961 Indirizzo PEC: sorgenia.zefiro@legalmail.it Sede legale: Via Alessandro Algardi 4, 20148 Milano	

Revisione	Data	Elaborato	Verificato	Approvato	Descrizione
00	25/10/2022	Tilli	Imperato	Sorgenia Zefiro	Relazione gittata massima

N° DOCUMENTO	SRG-VLL-GIT	SCALA	--	FORMATO
--------------	-------------	-------	----	---------

INDICE

1	PREMESSA	4
2	INTRODUZIONE	4
3	LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO	5
4	DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO.....	7
5	STUDIO DI GITTATA DELLA PALA DELL'AEROGENERATORE	8
5.1	IPOTESI DI CALCOLO	8
5.2	CALCOLO DELLA GITTATA	9
6	STUDIO DI GITTATA DI UN FRAMMENTO DI PALA DELL'AEROGENERATORE	12
7	CONCLUSIONI	12
8	BIBLIOGRAFIA.....	13

INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1: Inserimento dell'area di impianto e del punto di connessione su carta IGM 1:250000</i>	<i>5</i>
<i>Figura 2: Inquadramento del layout di Valledolmo su cartografia IGM 1:25000.....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 3: Schema rappresentativo del calcolo di gittata della pala</i>	<i>9</i>
<i>Figura 4: Schema aerogeneratore con evidenziati i parametri necessari al calcolo della gittata</i>	<i>9</i>
<i>Figura 5: Rappresentazione della gittata totale della pala in funzione dell'angolo ϑ.....</i>	<i>11</i>

INDICE DELLE TABELLE

<i>Tabella 1: Riferimento catastale e geografico della posizione degli aerogeneratori</i>	<i>6</i>
<i>Tabella 2: Caratteristiche tecniche dell'aerogeneratore di progetto</i>	<i>7</i>
<i>Tabella 3: Caratteristiche operative dell'aerogeneratore di progetto</i>	<i>8</i>
<i>Tabella 4: Distanza tra aerogeneratori di progetto e elementi sensibili</i>	<i>12</i>

1 PREMESSA

L'obiettivo di questa relazione è lo studio della gittata massima raggiunta da una pala in caso di rottura accidentale. Le cause che possono portare ad un distacco della pala sono molteplici. Ad esempio, in presenza di guasto al sistema frenante ed in determinate condizioni di vento, il rotore può accelerare sino a una velocità di rotazione critica, oltre la quale avviene il distacco delle pale o di loro frammenti a causa della crescente forza centrifuga ed il superamento del carico di rottura. Tuttavia, l'analisi di questo fenomeno è strettamente legata alle caratteristiche aerodinamiche, alla geometria dei profili alari ed alle caratteristiche strutturali delle pale. Allo stesso modo, il valore di gittata, il tempo di volo, sono anch'essi funzione delle proprietà aerodinamiche delle pale, le quali sono normalmente segretate da un brevetto. Pertanto, questa relazione si limiterà ad analizzare un modello conservativo di calcolo della gittata, ai fini di garantire le condizioni di sicurezza necessarie. In particolare, viene studiato il caso di distacco completo di una pala dell'aerogeneratore generico di progetto, diametro del rotore pari a 170 m ed altezza al mozzo di 125 m, che stia operando alla velocità massima nominale.

2 INTRODUZIONE

Studio Rinnovabili, in qualità di consulente tecnico e tramite la società SR International S.r.l., è stata incaricata dalla società proponente **Sorgenia Zefiro S.r.l.** di redigere il progetto definitivo per lo sviluppo di un impianto eolico e delle relative opere di connessione. Studio Rinnovabili, attraverso la società SR International Srl, è una azienda di consulenza che dal 2005 fornisce servizi nel campo delle energie rinnovabili, e tra questi l'analisi di dati vento, studi di produzione energetica, asseverazioni tecniche e progettazione di impianti eolici. Sorgenia Zefiro è una società di sviluppo e gestione di impianti per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile, facente capo a Sorgenia S.p.A.

Il progetto eolico qui descritto ha una potenza nominale complessiva di 36 MW ottenuta per mezzo di 6 aerogeneratori tripala da 6 MW, collocati nel territorio dei comuni di Valledolmo e Sclafani Bagni (PA) in Regione Sicilia.

Il presente documento costituisce la relazione di gittata massima concernente la realizzazione dell'impianto di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile eolica denominato "Valledolmo" di potenza 36 MW (di seguito il "Progetto" o "l'Impianto"), nei Comuni di Valledolmo e Sclafani Bagni (PA), e relative opere di connessione, nei Comuni di Caltavuturo (PA), Polizzi Generosa (PA), Castellana Sicula (PA) e Villalba (CL) che intende realizzare la società Sorgenia Zefiro (di seguito la "Società").

3 LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO

Gli aerogeneratori che compongono il progetto eolico sono interamente ubicati nei comuni di Valledolmo e Sclafani Bagni (PA), in Sicilia, ad un'altitudine compresa tra i 670 ed i 760 m s.l.m. L'area, di carattere collinare, è adibita prevalentemente ad uso agricolo.

L'area del parco eolico è situata a circa 2.5 km a nord del centro abitato di Valledolmo (PA), a 3.8 km a sud del centro abitato di Caltavuturo (PA) ed a circa 4.5 km a sud del centro abitato di Sclafani Bagni (PA). L'elettricità prodotta viene condotta per mezzo di un cavidotto interrato a 30 kV dall'area di parco fino ad una cabina di trasformazione 30/36 kV, posta nelle vicinanze di una sottostazione di nuova realizzazione inserita sul futuro elettrodotto "Chiaramonte Gulfi – Ciminna", attraverso la quale avverrà la connessione con la Rete di Trasmissione Nazionale (RTN). Nel suo percorso, tale cavidotto interrato passa sui territori comunali di Valledolmo, Sclafani Bagni, Caltavuturo, Polizzi Generosa e Castellana Sicula in provincia di Palermo, ed infine il comune di Villalba, in provincia di Caltanissetta. Figura 1 riporta la posizione dell'area progetto su IGM 1:250000, nonché della Stazione Utente 30/36 kV e della Stazione 380/150/36 kV della RTN.

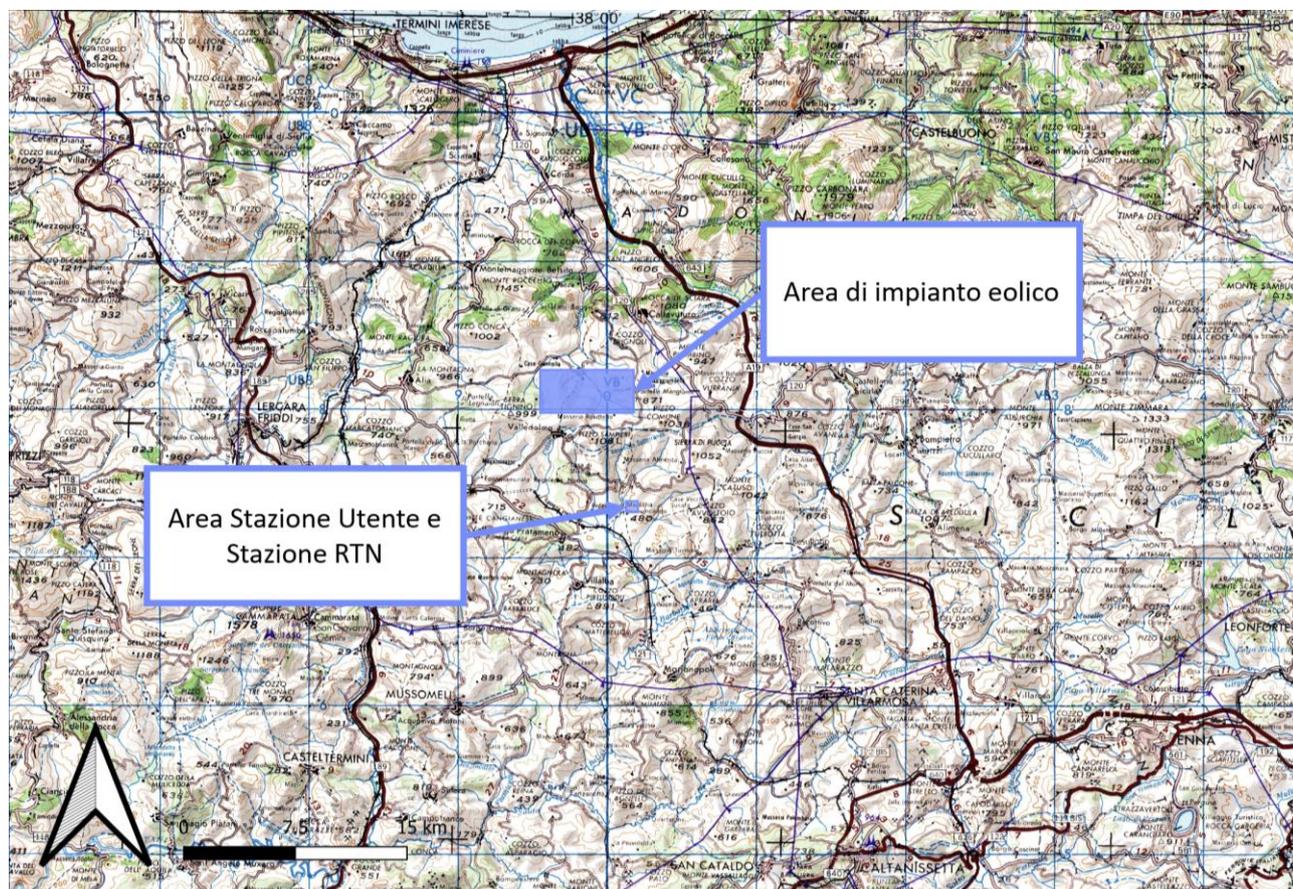


Figura 1: Inserimento dell'area di impianto e del punto di connessione su carta IGM 1:250000

Si riporta, inoltre, il layout di impianto su carta IGM 1:25000 (Figura 2). Seguono gli identificativi, i dati catastali e le coordinate assolute nel sistema di riferimento UTM WGS84 F33 Nord (Tabella 1).

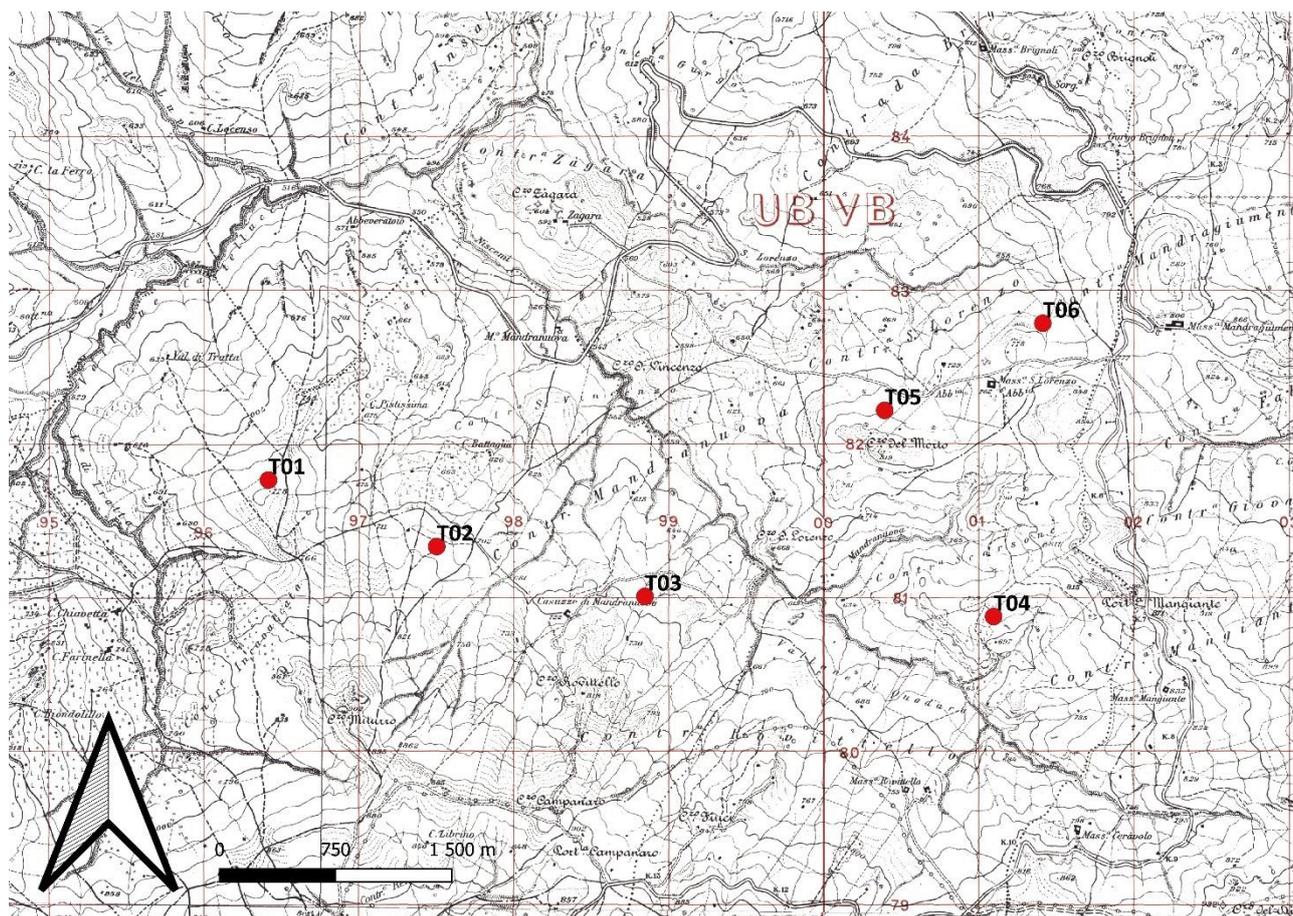


Figura 2: Inquadramento del layout di Valledolmo su cartografia IGM 1:25000

Id	Comune	Contrada	Riferimento catastale		UTM WGS F33 Nord	
			Foglio	Particella	Est [m]	Nord [m]
T01	Valledolmo	Mandranuova	3	213	396361	4181572
T02	Valledolmo	Mandranuova	6	5	397447	4181140
T03	Valledolmo	Mandranuova	6	58	398792	4180816
T04	Sclafani Bagni	S. Lorenzo	24	74	401022	4180777
T05	Sclafani Bagni	S. Lorenzo	23	416	400288	4182086
T06	Sclafani Bagni	Mangiante	23	4	401361	4182591

Tabella 1: Riferimento catastale e geografico della posizione degli aerogeneratori

4 DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO

Il progetto per la realizzazione dell'impianto eolico da 36 MW nei comuni di Valledolmo e Sclafani Bagni prevede di installare 6 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6 MW. L'energia elettrica prodotta dagli aerogeneratori verrà trasmessa a mezzo di un cavidotto interrato in media tensione (MT) a 30kV, il cui tracciato corre nei Comuni di Caltavuturo (PA), Polizzi Generosa (PA), Castellana Sicula (PA), fino ad una cabina di trasformazione 30/36 kV nel Comune di Villalba (CL). Conformemente a quanto indicato nella Soluzione tecnica minima generale di connessione - comunicata dalla società TERNA S.p.a. in data 23/12/2021 con nota prot. N. Rif. GRUPPO TERNA/ P20210104747 cod. pratica 202101973, lo schema di connessione alla RTN prevede che l'impianto venga collegato in antenna a 36 kV con la sezione 36 kV di una nuova stazione elettrica di trasformazione (SE) 380/150/36 kV della RTN, da inserire in entra - esce sul costruendo elettrodotto RTN a 380 kV della RTN "Chiaromonte Gulfi - Ciminna", previsto nel Piano di Sviluppo Terna, cui raccordare la rete AT afferente alla SE RTN di Caltanissetta. Pertanto la cabina di trasformazione 30/36 kV verrà collocata nel Comune di Villalba (CL) in posizione limitrofa alla costruenda stazione elettrica di trasformazione (SE) 380/150/36 kV della RTN cui verrà collegata in antenna mediante cavidotto interrato a 36 kV.

Il modello di aerogeneratore sarà selezionato sulla base delle più innovative tecnologie disponibili sul mercato. 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 in Tabella 2 le principali caratteristiche tecniche di un aerogeneratore con potenza nominale pari a 6,0 MW.

Potenza nominale	6,0 MW
Diametro del rotore	170 m
Lunghezza della pala	83 m
Corda massima della pala	4,5 m
Area spazzata	22.698 m
Altezza al mozzo	125 m
Classe di vento IEC	IIIA
Velocità cut-in	3 m/s
V nominale	10 m/s
V cut-out	25 m/s

Tabella 2: Caratteristiche tecniche dell'aerogeneratore di progetto

Nei pressi di ogni aerogeneratore sarà realizzata una piazzola opportunamente dimensionata, collegata alla viabilità pubblica per mezzo di strade carrabili con ampiezza di 5 m. Sono previsti inoltre adeguamenti stradali laddove le condizioni della viabilità esistente non permettano il trasporto di grandi componenti fino all'area di parco.

Il progetto oggetto di questo studio è frutto di scelte e considerazioni tecniche effettuate nel rispetto dei vincoli territoriali e del contesto insediativo circostante. L'impianto produrrà energia da fonte rinnovabile con lo scopo di aumentare la sicurezza dell'approvvigionamento di energia e di diminuire la dipendenza da fonti fossili, contribuendo al raggiungimento degli obiettivi strategici nazionali verso la transizione energetica.

5 STUDIO DI GITTATA DELLA PALA DELL'AEROGENERATORE

Lo studio è stato condotto prendendo in esame le caratteristiche tecniche dell'aerogeneratore e della pala previsti nel progetto di parco eolico a cui fa riferimento il presente lavoro. Le caratteristiche geometriche dell'aerogeneratore, così come le sue condizioni operative in relazione alla velocità del vento, sono riportate nella tabella successiva.

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE		
Numero pale	[#]	3
Lunghezza pala	[m]	83,5
Baricentro della pala dalla radice (rg)	[m]	27,84
CONDIZIONI DI FUNZIONAMENTO		
Velocità vento di cut-in	[m/s]	3
Velocità vento di cut-out	[m/s]	24
Velocità vento nominale	[m/s]	12,5
Velocità di rotazione massima	[rpm]	10,6

Tabella 3: Caratteristiche operative dell'aerogeneratore di progetto

5.1 IPOTESI DI CALCOLO

Al fine di produrre una stima maggiorata della gittata massima di una pala a causa di rottura accidentale e, conseguentemente, avere un approccio cautelativo rispetto al rischio connesso a questo evento, si sono implementate le seguenti ipotesi conservative:

- si assume che il distacco della pala avvenga in fase di rotazione del rotore quando la pala passa nella metà superiore del piano di rotazione, sopra il mozzo;
- si assume che il distacco della pala avvenga in modo istantaneo, e che quindi non subisca resistenze di attrito dei componenti con cui è collegata al mozzo che ne ridurrebbero la gittata;
- si suppone che il distacco avvenga nelle condizioni di velocità massima di rotazione del rotore maggiorate del 10%, e quindi pari a 11,66 rpm;
- si suppone che il vento presente sia quello corrispondente alla velocità di rotazione nominale, e quindi compreso tra 3 m/s e 24 m/s. Tuttavia, poiché il vento è ortogonale al piano del rotore, e la pala viene gittata nel piano stesso, l'azione meccanica del vento non dovrebbe aumentare la lunghezza della gittata. D'altra parte la pala ha un profilo alare, che per azione del vento e per effetto della posizione della pala rispetto a questo può essere sia portante (sostenendo in volo la pala), sia deportante (spingendola verso il basso). Nell'ipotesi peggiore si suppone in via cautelativa che l'azione del vento prolunghi il tempo di volo della pala stessa del 20%.
- gli effetti viscosi dell'aria determinano una resistenza aerodinamica della stessa nel moto in aria, che tendono a frenare la pala stessa e a ridurre la lunghezza di gittata. In prima battuta nel calcolo sono stati trascurati gli effetti viscosi frenanti dell'aria.
- non sono stati considerati moti rotatori della pala che possono sopraggiungere per la conservazione del momento della quantità di moto, poiché questa ulteriore assunzione fa sì che il caso esaminato

sia la condizione peggiore ipotizzabile. Invece, il moto è stato descritto attraverso il suo centro di massa, posto ad $1/3$ della lunghezza complessiva rispetto al centro di massa.

5.2 CALCOLO DELLA GITTATA

Nella figura seguente è rappresentato lo schema di calcolo della gittata della pala dell'aerogeneratore, nelle ipotesi appena viste.

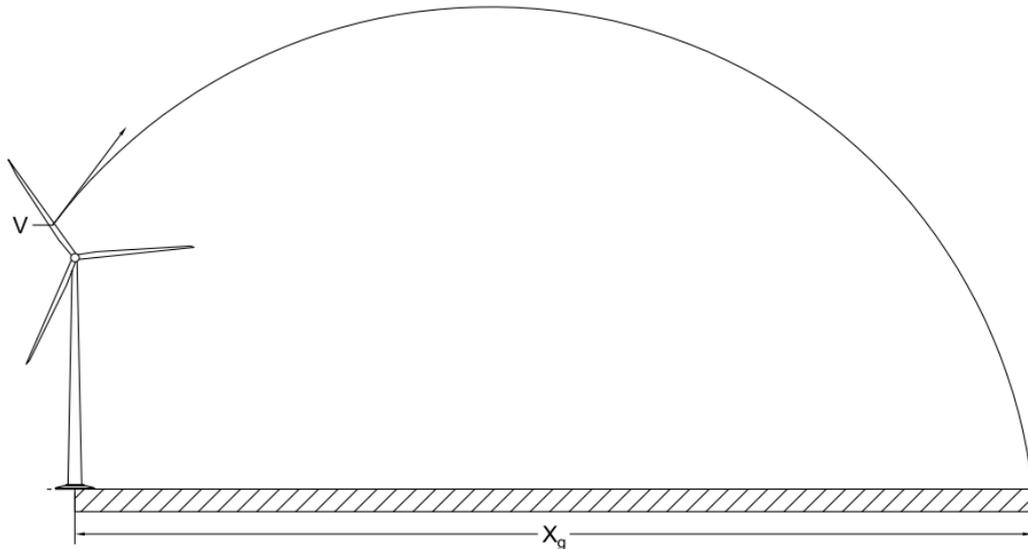


Figura 3: Schema rappresentativo del calcolo di gittata della pala

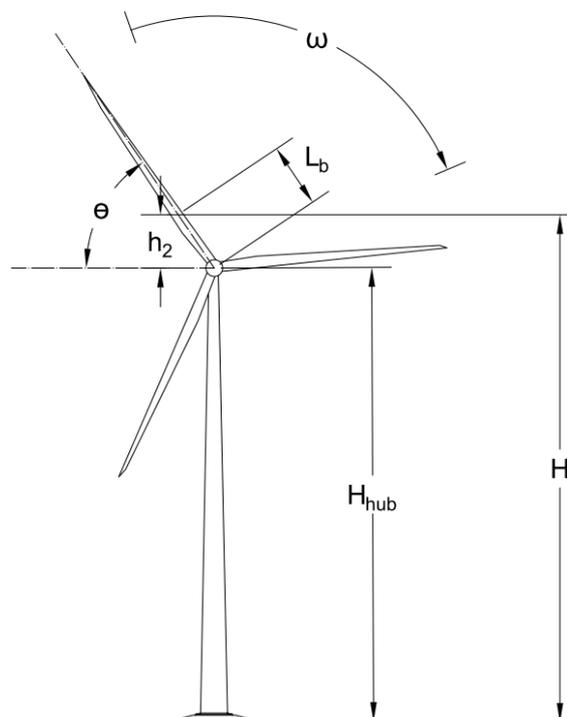


Figura 4: Schema aerogeneratore con evidenziati i parametri necessari al calcolo della gittata

Il calcolo della gittata della pala è stato fatto sulla base delle equazioni del moto bidimensionale di un corpo che viene lanciato con una certa velocità iniziale V_0 in un sistema cartesiano (x in direzione della gittata, y in verticale positivo verso l'alto).

Il sistema di equazioni che descrive tale moto, trascurando gli effetti viscosi, deriva dalla seguente legge del moto:

$$S = S_0 + V_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

Dove a è l'accelerazione applicata alla pala (in questo caso solo quella di gravità) V_0 è la velocità iniziale, t rappresenta il tempo, S è lo spazio percorso e S_0 la posizione iniziale.

Nel nostro caso, considerando l'equazione scomposta sui due assi, si ottiene il sistema di equazioni:

$$x = V_0 \cos \delta \cdot t$$

$$y = V_0 \sin \delta \cdot t - \frac{1}{2} g t^2 + H$$

Dove δ rappresenta l'angolo che forma la velocità con il piano orizzontale, V_0 la velocità iniziale, g l'accelerazione di gravità e H l'altezza di distacco della pala da terra.

Imponendo quindi nella seconda equazione $y=0$ si ottiene l'espressione del tempo di volo t_g in funzione dell'angolo δ , che sostituito nella prima dà luogo alla seguente espressione per la gittata X_g :

$$X_g = \frac{V_0}{g} \left[\cos \delta \left(V_0 \sin \delta + \sqrt{(V_0 \sin \delta)^2 + 2gH} \right) \right]$$

Nel caso banale in cui l'altezza di distacco $H=0$, l'angolo di gittata massima δ_{max} è pari a 45° , ciò che non accade nel caso reale di distacco della pala da una generica altezza H .

Nel caso in esame si assume per H un valore dato dalla somma dell'altezza hub e della differenza di quota fra il baricentro della pala (supposto a $1/3$ della lunghezza della pala) e l'altezza hub (Figura 4). In particolare:

$$H = H_{hub} + h_2;$$

$$h_2 = L_b \cdot \sin \vartheta;$$

Dove ϑ rappresenta l'angolo che forma la pala con il piano orizzontale e L_b la distanza del baricentro della pala dal mozzo, come riportato in Figura 4. Quanto alla velocità iniziale V_0 , essa è data dalla velocità tangenziale della pala nella posizione del baricentro:

$$V_0 = \omega \cdot L_b;$$

e quindi nel caso in analisi pari a $V_0 \cong 34 \text{ m/s}$.

Osservando che gli angoli δ e ϑ sono legati dalla relazione:

$$\delta + \theta = \frac{\pi}{2};$$

Risulta possibile quindi descrivere la gittata della pala in funzione dell'angolo θ , come rappresentato in Figura 5. Si noti che la rappresentazione è stata ottenuta considerando un'ipotesi di aumento del tempo di volo del 20% a causa degli eventuali effetti di portanza positiva del vento (trascurando gli effetti di resistenza dell'aria).

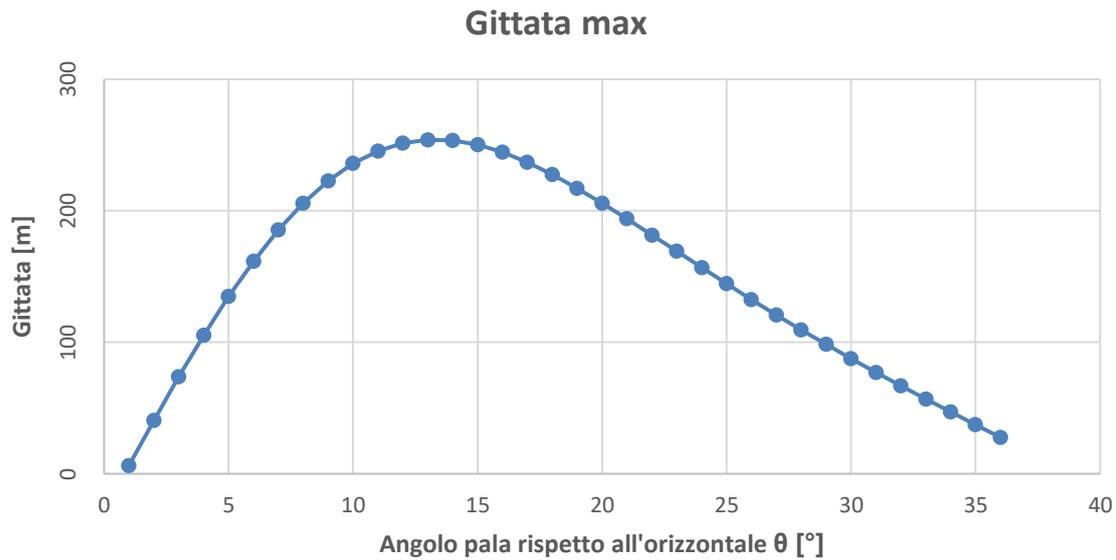


Figura 5: Rappresentazione della gittata totale della pala in funzione dell'angolo ϑ

Si osservi in Figura 5 che la gittata massima avviene per un angolo ϑ di circa 6.5° , corrispondenti ad un valore di gittata massima di:

$$X_g \cong 254 \text{ m}$$

A tale valore va aggiunta la distanza fra il baricentro e l'apice della pala, al fine di considerare la condizione di caduta più gravosa:

$$X_{g_{tot}} = X_g + (L_{pala} - L_b) \cong 309.6 \text{ m}$$

Se adesso considerassimo gli effetti di resistenza al volo dell'aria, potremmo decurtare tale valore del 20% (Vestas Mediterranean A/S, 2009), ottenendo un risultato più simile alla gittata reale attesa:

$$X_{g_{tot,r}} \cong 247.7 \text{ m}.$$

6 STUDIO DI GITTATA DI UN FRAMMENTO DI PALA DELL'AEROGENERATORE

Come accennato in precedenza, non è possibile procedere ad uno studio esaustivo ed attendibile riguardo il caso di distacco di un frammento di pala in quanto la sua gittata, il tempo di volo, dipendono fortemente dalle dimensioni del frammento, dal suo moto e dalle cause che l'hanno generato. Quest'ultime spesso non dipendono da fattori controllabili, come difetti di progettazione, deterioramento, o fulminazione. Un approccio potrebbe essere quello di tipo statistico con valutazione del rischio, dato dal prodotto della probabilità di accadimento dell'evento disastroso e del danno ad esso associato, tuttavia sarebbe necessario uno storico di eventi incidentali (per aerogeneratori di ultima generazione simili a quello in oggetto) molto ampio che, ad oggi, non risulta disponibile. Prendendo in considerazione, però, studi passati (Vestas Mediterranean A/S, 2009) preme sottolineare che la dimensione dei frammenti distaccati è generalmente piccola e che la distanza raggiunta a seguito della loro proiezione in aria non supera i 40-50 m dalla base di aerogeneratori con diametri di circa 80-90 m ed in ogni caso risulta inferiore alle stime di gittata dell'intera pala.

7 CONCLUSIONI

Sulla base dello studio effettuato, applicando ipotesi conservative e cautelative e considerando le caratteristiche dell'aerogeneratore previsto, si è determinata una distanza di gittata massima ideale della pala in caso di rottura accidentale della stessa e suo distacco dal rotore di circa 309.6 m. Tuttavia, considerando l'effetto di resistenza dell'aria, è possibile ridurre tale valore del 20% (Vestas Mediterranean A/S, 2009), ottenendo una gittata più realistica di circa 247.7 m.

Poiché la distanza che intercorre tra gli aerogeneratori di progetto ed i ricettori sensibili, ossia le unità abitative nell'area di parco, oppure tra gli aerogeneratori e strade provinciali e nazionali è in ogni caso superiore ai 450 m, e considerando anche l'approccio conservativo utilizzato per il calcolo della gittata massima a causa di distaccamento, si conclude che il verificarsi di tale evento non comporti rischi significativi.

WTG	Distanza da unità abitativa	Distanza da strada provinciale/nazionale
T01	>450 m	>450 m
T02	>450 m	>450 m
T03	>450 m	>450 m
T04	>450 m	>450 m
T05	>450 m	>450 m
T06	>450 m	>450 m

Tabella 4: Distanza tra aerogeneratori di progetto e elementi sensibili

8 BIBLIOGRAFIA

Vestas Mediterranean A/S. (2009). *Calcolo della traiettoria di una pala eolica in condizioni nominali di funzionamento.*