

REGIONE MOLISE

Comune di Sant'Elia a Pianisi (CB)

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO DELLA POTENZA DI 41.4 MW sito nel comune di Sant'Elia a Pianisi (CB) e delle relative opere di connessione da realizzarsi nei comuni di Monacilioni, Ripabottoni e Morrone del Sannio (CB)

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 Renewables Srl Codice Fiscale e Partita Iva: 10300050969 Indirizzo PEC: sorgenia.renewables@legalmail.it Sede legale: Via Alessandro Algardi 4, 20148 Milano	

Revisione	Data	Elaborato	Verificato	Approvato	Descrizione
00	15/11/2022	Tilli	Imperato	Sorgenia Renewables	Relazione gittata massima

N° DOCUMENTO	SRG-SLP-GIT	SCALA	--	FORMATO	A4
--------------	-------------	-------	----	---------	----

INDICE

1	PREMESSA	4
2	INTRODUZIONE	4
3	LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO	4
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	11
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 Sant'Elia 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 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 dall'aerogeneratore di riferimento, avente un rotore di 170 metri di diametro, un'altezza al mozzo di 125 metri e 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 Renewables 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 Renewables 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 41.4 MW ottenuta per mezzo di 9 aerogeneratori tripala da 4.6 MW, collocati nel territorio di Sant'Elia a Pianisi in Regione Molise.

Il presente documento costituisce la relazione di gittata massima concernente la realizzazione dell'impianto di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile eolica denominato "Sant'Elia" di potenza 41.4 MW (di seguito il "Progetto" o "l'Impianto"), nel comune di Sant'Elia (CB), e le relative opere di connessione, nei Comuni di Monacilioni, Ripabottoni e Morrone del Sannio (CB) che intende realizzare la società Sorgenia Renewables (di seguito la "Società").

3 LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO

Gli aerogeneratori che compongono il progetto eolico Sant'Elia sono interamente ubicati nel comune di Sant'Elia a Pianisi (CB), in Molise, ad un'altitudine compresa tra i 400 ed i 600 m s.l.m. L'area, di carattere collinare, è adibita prevalentemente ad uso agricolo. Sono presenti macchie boschive sparse, specie nella parte centrale dell'area di interesse.

L'area del parco eolico è situata a circa 3.5 km a nord dal centro abitato di Sant'Elia a Pianisi (CB), a circa 7.5 km a sud-est dal centro abitato di Ripabottoni (CB) e a circa 7.5 km a nord-ovest da Bonefro (CB). Occupa una superficie totale di 7.5 km². L'elettricità prodotta viene condotta per mezzo di un cavo MT interrato dall'area di parco fino ad una sottostazione di nuova realizzazione inserita sul ramo "Morrone – Larino". Nel suo percorso, tale cavo interrato passa sui territori comunali di Sant'Elia a Pianisi, Monacilioni, Ripabottoni e Morrone del Sannio, in provincia di Campobasso. Figura 1 riporta la posizione dell'area progetto su IGM 1:250000, nonché della Stazione Utente 30/36 kV e della Stazione RTN.

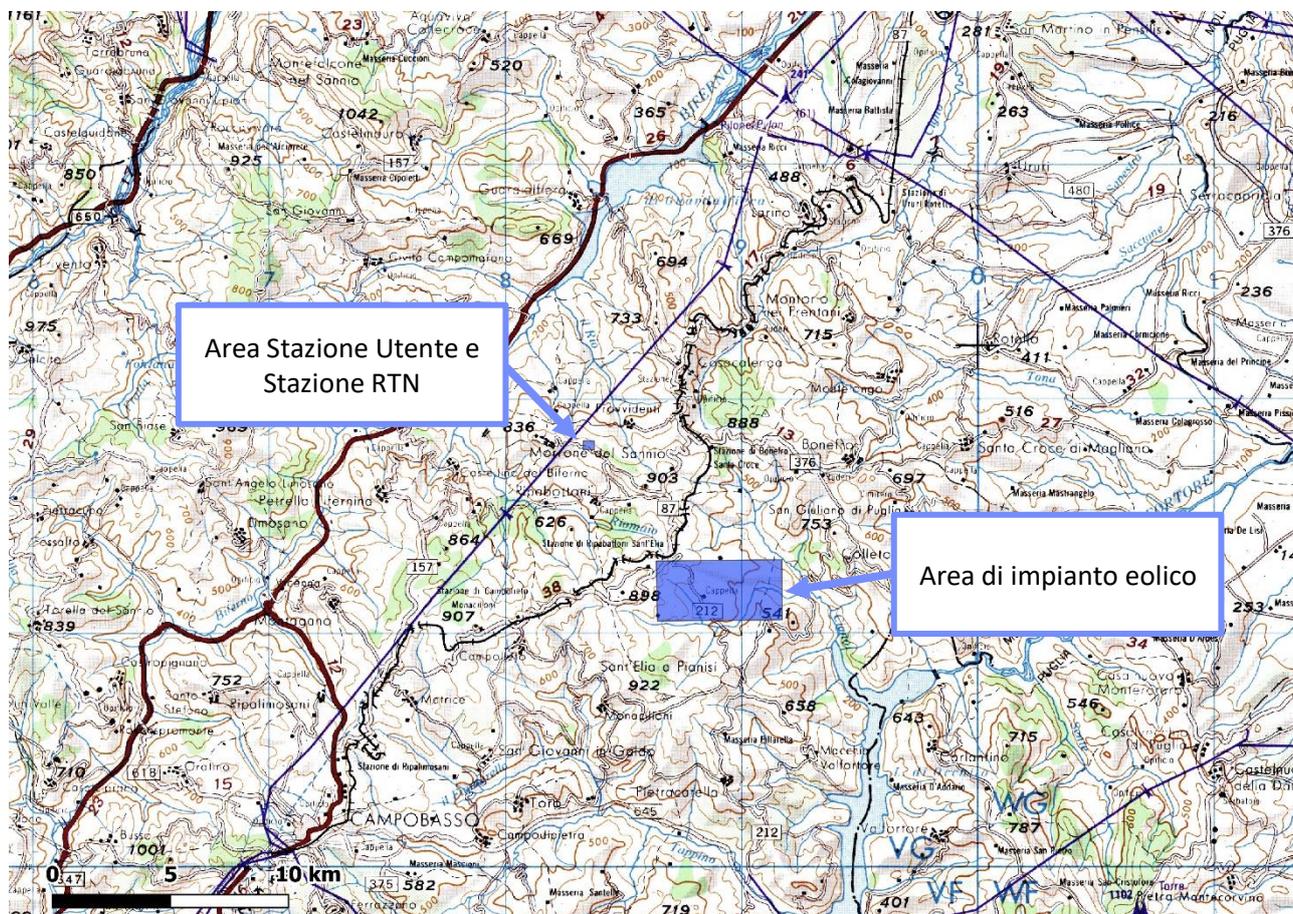


Figura 1: Inserimento dell'area di impianto e del punto di connessione su carta IGM 1:250000

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).

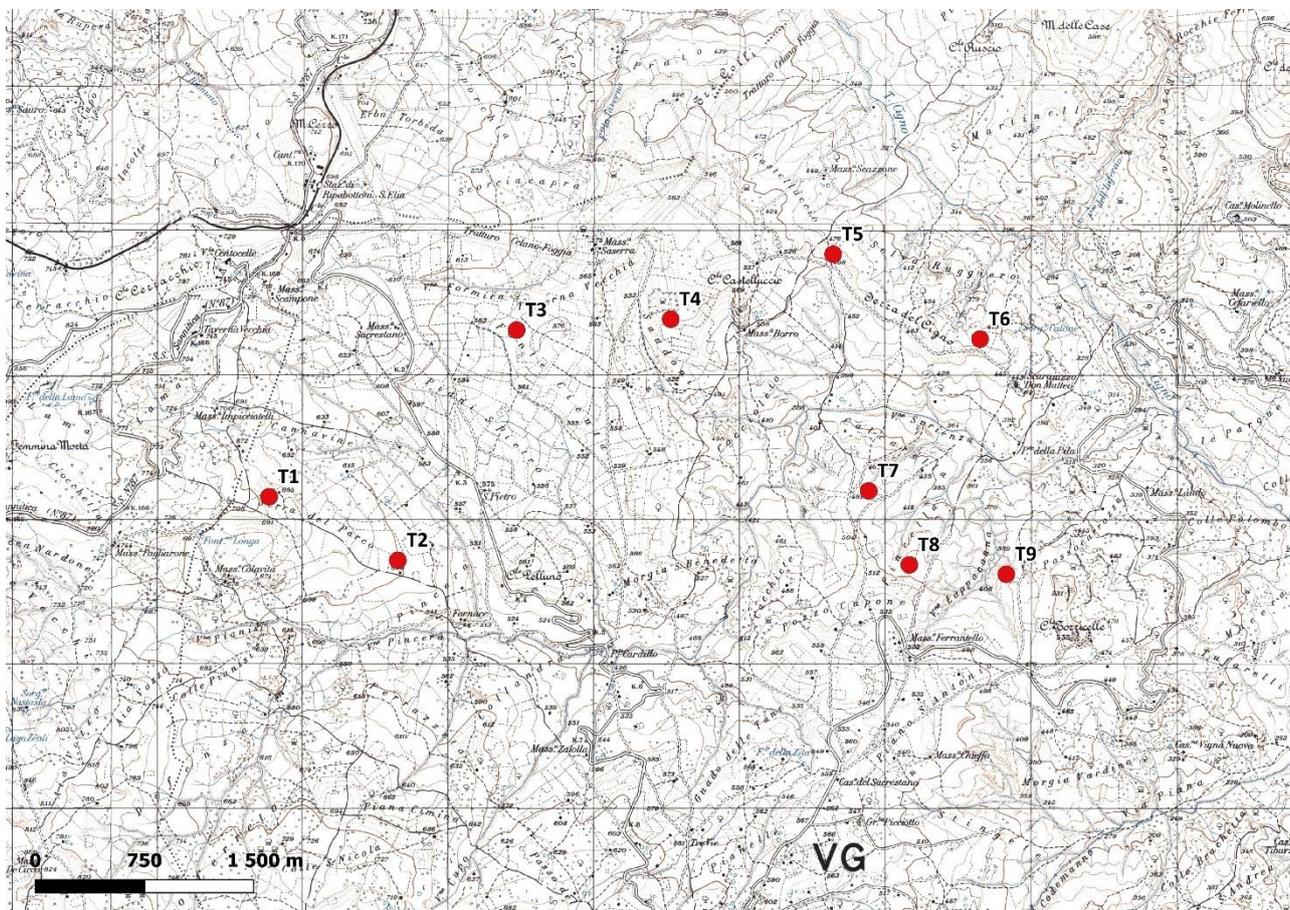


Figura 2: Inquadramento del layout di Sant'Elia su cartografia IGM 1:25000

Id	Comune	Riferimento catastale		UTM WGS F33 Nord	
		Foglio	Particella	Est [m]	Nord [m]
T01	Sant'Elia a Pianisi	13	14	486695	4610963
T02	Sant'Elia a Pianisi	13	33	487578	4610523
T03	Sant'Elia a Pianisi	6	92	488394	4612117
T04	Sant'Elia a Pianisi	15	320	489453	4612193
T05	Sant'Elia a Pianisi	17	55	490568	4612642
T06	Sant'Elia a Pianisi	18	98	491577	4612054
T07	Sant'Elia a Pianisi	30	78	490812	4611003
T08	Sant'Elia a Pianisi	30	169	491091	4610492
T09	Sant'Elia a Pianisi	32	24	491757	4610427

Tabella 1: Riferimento catastale e geografico della posizione degli aerogeneratori

4 DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO

Il progetto per la realizzazione dell'impianto eolico da 41.4 MW nel comune di Sant'Elia (CB) prevede di installare 9 aerogeneratori di potenza nominale pari a 4.6 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 Monacilioni (CB) e Ripabottoni (CB), fino ad una cabina di trasformazione 30/36 kV nel Comune di Morrone del Sannio (CB). Conformemente a quanto indicato nella Soluzione tecnica minima generale di connessione - cod. pratica 202101880 - comunicata dalla società TERNA S.p.a. in data 11/11/2021, 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) 150/36 kV della RTN, da inserire in entra – esce sul costruendo elettrodotto RTN a 150 kV della RTN "Morrone - Larino", previa:

- realizzazione di un nuovo collegamento a 150 kV tra la suddetta SE e la cabina primaria di Pietracatella;
- potenziamento/rifacimento della linea RTN 150 kV "Morrone – Larino".

Pertanto la cabina di trasformazione 30/36 kV verrà collocata nel Comune di Morrone del Sannio (CB) in posizione limitrofa alla costruenda stazione elettrica di trasformazione (SE) 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 4,6 MW.

Potenza nominale	4,6 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. Le caratteristiche geometriche dell'aerogeneratore, così come le sue condizioni operative in relazione alla velocità del vento, che sono utilizzate all'interno della presente relazione sono riportate nella tabella successiva.

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE		
Altezza mozzo	[m]	125
Diametro	[m]	170
Velocità di rotazione massima	[rpm]	10,6
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

Tabella 3: Caratteristiche 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.

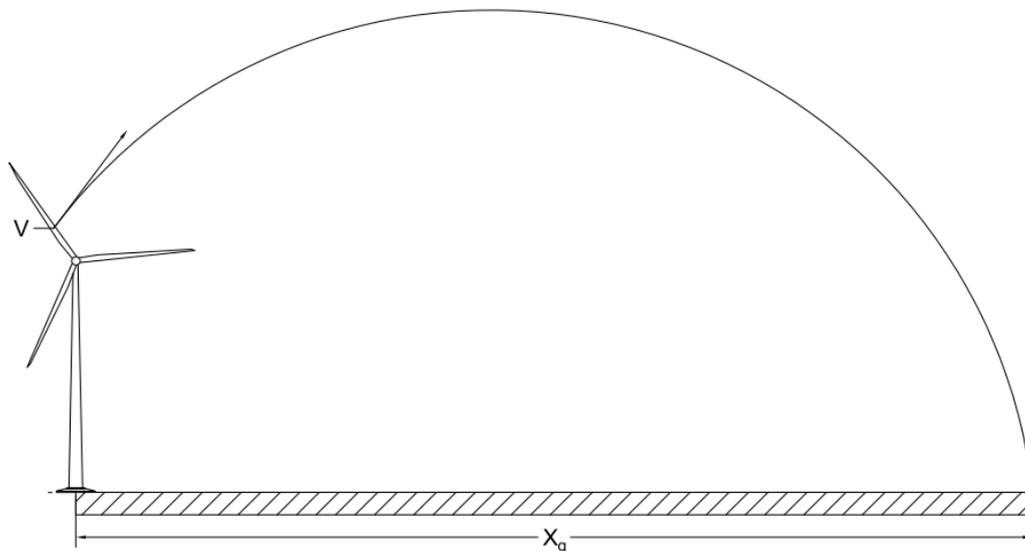


Figura 3: Schema rappresentativo del calcolo di gittata della pala

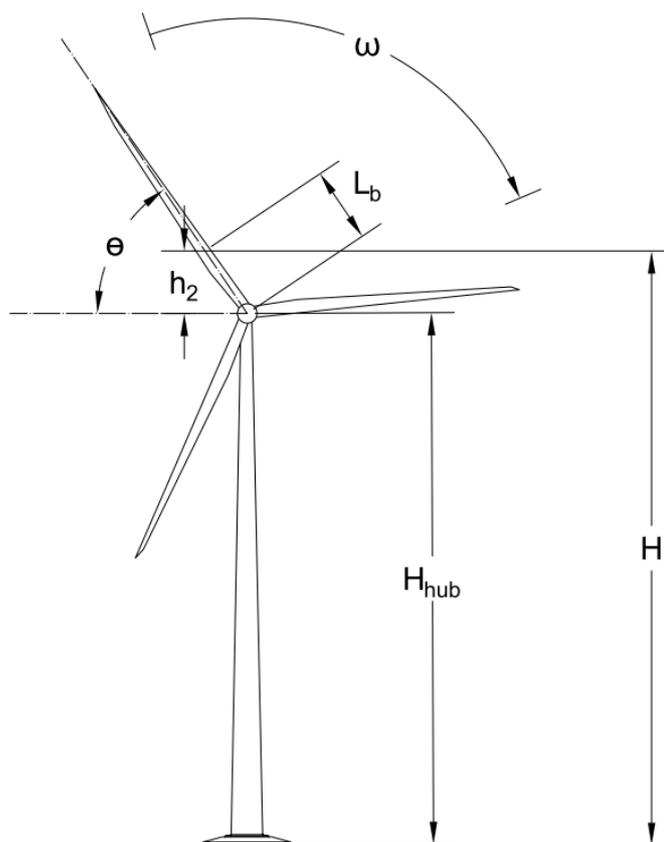


Figura 4: Schema aerogeneratore con evidenziati i parametri necessari al calcolo della gittata

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).

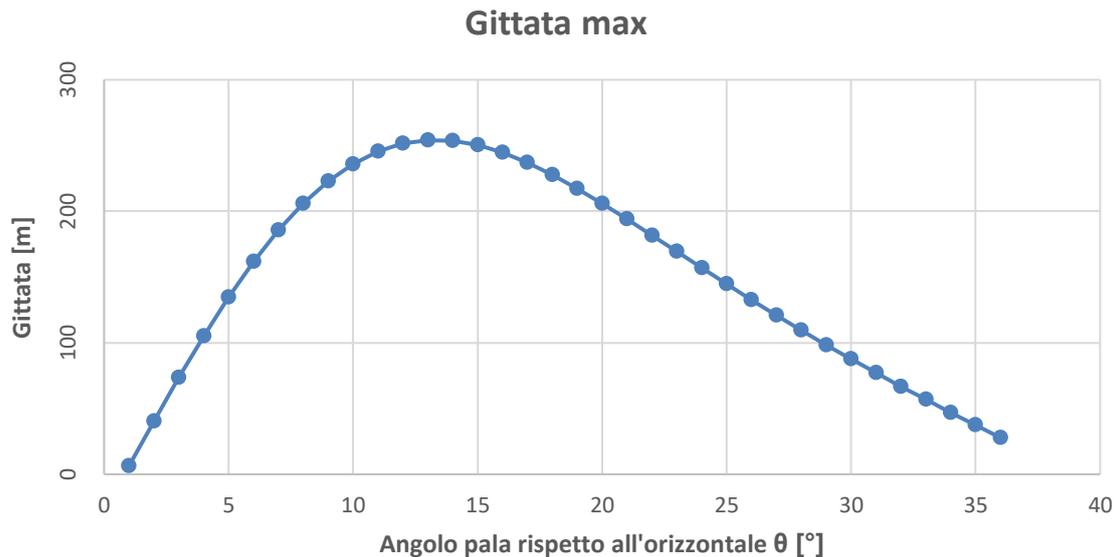


Figura 5: Rappresentazione della gittata totale della pala in funzione dell'angolo ϑ

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.

Per valutare il rischio provocato da un distacco accidentale di una pala sono stati considerati tutti i ricettori sensibili, ossia le unità abitative nell'area di parco, e le strade provinciali e nazionali più prossime agli aerogeneratori. Tabella 4 riporta la distanza che intercorre tra ogni aerogeneratore e gli elementi di rischio. Poiché tale distanza è in ogni caso superiore alla gittata massima, considerando anche l'approccio conservativo utilizzato nel corso della presente relazione e la scarsa probabilità di verifica, si conclude che 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	313 m
T04	>450 m	>450 m
T05	>450 m	>450 m
T06	>450 m	>450 m
T07	>450 m	>450 m
T08	>450 m	>450 m
T09	>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.*