




REGIONE PUGLIA



PROVINCIA di FOGGIA



COMUNE di FOGGIA

| | | | | | |
|--------------------------------------|--|--|--|------------------------|-----------------------------|
| <p>Proponente</p> | <p>WIND ENERGY LA ROCCA S.R.L.</p> <p>Sede Operativa Via Caravaggio, 125 - 65125 Pescara (PE) P.IVA 02276610686</p> | | | | |
| <p>Progettazione e Coordinamento</p> |  <p>VEGA sas LANDSCAPE ECOLOGY & URBAN PLANNING Via delli Carri, 48 - 71121 Foggia - Tel. 0881.756251 - Fax 1784412324 mail: info@studiovega.org - website: www.studiovega.org</p> | | | | |
| <p>Paesaggio e beni culturali</p> | <p>Arch. Antonio Demaio Tel. 0881.756251 Fax 1784412324 E-Mail: info@studiovega.org</p> | <p>Progettazione elettrica</p> | <p>Ditt. Ing. Francesco Gramazio Tel. 338.9722166 E-Mail: francesco.gramazio@carlomaresca.it</p> | | |
| <p>Studio Geologico</p> | <p>Studio di Geologia Tecnica & Ambientale Dott.sa Geol. Giovanna Amedei Via Pietro Nenni, 4 - 71012 Rodi Garganico (Fg) Tel./Fax 0884.965793 Cell. 347.6262259 E-Mail: giovannaamedei@tiscali.it</p> | <p>Studio Acustico</p> | <p>Arch. Marianna Denora Via Savona, 3 - 70022 Altamura (BA) Tel. Fax 080 3147468 E-Mail: info@studioprogettazioneacustica.it</p> | | |
| <p>Studio Idraulico e elettrico</p> | <p>Ing. Antonella Laura Giordano & Ing. Michea Napoli Viale degli Aviatori, 73/F14 - 71122 - Foggia e-mail: micheanapoli@gmail.com</p> | <p>Studio Naturalistico</p> | <p>Dott. Forestale Luigi Lupo Corso Roma, 110 71121 Foggia E-Mail: luigilupo@libero.it</p> | | |
| <p>Studio Archeologico</p> |  | <p>Elaborazione e rilievi di campo</p> | <p>Geom. Nicola Laonigro E-Mail: nicola.laonigro@gmail.com</p> | | |
| <p>Opera</p> | <p>Progetto di un impianto eolico composto da n. 10 Aerogeneratori nel Comune di Foggia (FG) alla località "La Stella - Duanera"</p> | | | | |
| <p>Oggetto</p> | <p>Folder: PROGETTO - Parte C</p> <p>Nome Elaborato: U5U1VR6_ARCH_DOC_C06</p> <p>Descrizione Elaborato: Specialistica - Relazione sulla gittata massima della pala in caso di rottura</p> | | | | |
| | | | | | |
| <p>00</p> | <p>Gennaio 2020</p> | <p>Progetto definitivo</p> | <p>Vega</p> | <p>Arch. A. Demaio</p> | <p>Wind Energy La Rocca</p> |
| <p>Rev.</p> | <p>Data</p> | <p>Oggetto della revisione</p> | <p>Elaborazione</p> | <p>Verifica</p> | <p>Approvazione</p> |
| <p>Scala: Fs</p> | <p>Codice Pratica U5U1VR6</p> | | | | |
| <p>Formato:</p> | | | | | |

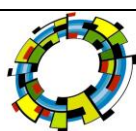
Progetto di un impianto eolico composto da n.10 aerogeneratori nel Comune di Foggia in località "La Stella - Duanera".

INDICE

| | |
|---|-----------|
| 1. PREMESSA | 2 |
| 1.1 Metodologia ed ipotesi..... | 2 |
| 1.2 Forze agenti sulla traiettoria pala..... | 2 |
| 1.3 Esperienze e note statistiche | 3 |
| 2. LEGGE DEL MOTO | 6 |
| 3. CALCOLO GITTATA DELLA PALA..... | 8 |
| 3.1 Calcolo del baricentro..... | 8 |
| 3.2 Calcolo della velocità periferica..... | 9 |
| 3.3 Calcolo di hG..... | 9 |
| 3.4 Calcolo della gittata della pala..... | 9 |
| 4. CALCOLO GITTATA DEL FRAMMENTO DELLA PALA..... | 11 |
| 4.1 Calcolo del baricentro..... | 11 |
| 4.2 Calcolo della velocità periferica..... | 12 |
| 4.3 Calcolo di hG..... | 12 |
| 4.4 Calcolo della gittata del frammento | 12 |
| 5. ANALISI E SCELTA DEI RICETTORI SENSIBILI PRESENTI NELL'AREA DI IMPIANTO | 14 |
| 5.1 Fabbricati..... | 14 |
| 5.2 Viabilità | 15 |
| 6. VERIFICA DI IMPATTO DELLA GITTATA MASSIMA | 17 |
| 6.1 Fabbricati..... | 17 |
| 6.2 Strade..... | 18 |
| 7. CONCLUSIONI..... | 18 |
| 7.1 Fabbricati..... | 18 |
| 7.2 Strade..... | 18 |

INDICE FIGURE E TABELLE

| | |
|---|-----------|
| <i>Figura 1 – Sistema coordinate (YY -- Flapwise, XX - Pitchwise. ZZ - Edgewise)</i> | <i>3</i> |
| <i>Figura 2 – Componenti di una pala.....</i> | <i>4</i> |
| <i>Figura 3 – Componenti del rotore.....</i> | <i>5</i> |
| <i>Figura 4 - Estremità di pala danneggiata da fulminazione atmosferica.</i> | <i>6</i> |
| <i>Figura 5: Individuazione planimetrica dei ricettori nel buffer di 500 mt.....</i> | <i>14</i> |
| <i>Tabella 1: Elenco dei ricettori</i> | <i>15</i> |
| <i>Figura 6: Viabilità interessata dalla rischio di gittata nell'area dell'impianto.</i> | <i>16</i> |
| <i>Figura 7: Strada provinciale n. 23</i> | <i>17</i> |
| <i>Tabella 2: Elenco dei ricettori rispetto agli aerogeneratori</i> | <i>17</i> |



1. PREMESSA

La presente relazione si riferisce al calcolo della gittata massima in caso di rottura di una pala dell'aerogeneratore e/o frammento di esso, relativo alla proposta progettuale della ditta WIND ENERGY LA ROCCA srl, sita nel comune di Foggia in località "La Stella - Duanera", calcolo eseguito al fine di prevedere possibili problemi che una simile eventualità, per quanto improbabile, possa procurare danno a cose e/o persone.

Nei paragrafi seguenti è riportata la procedura di prima approssimazione seguita per il calcolo della gittata massima, considerando un angolo di lancio variabile, sia di una pala che di una parte terminale di essa di mt 5 relativamente al seguente aerogeneratore:

| |
|---------------------------|
| Tipo WTG |
| SIEMENS-GAMESA SG 4.3-145 |

e ci si è posti nell'ipotesi di distacco della stessa nel punto di attacco sul mozzo, punto di maggiore sollecitazione, per evidente effetto di intaglio dovuto al collegamento.

Le condizioni al contorno considerate per il calcolo in esame, sono le più gravose possibili, in modo da trovarci nella situazione maggiormente cautelativa.

1.1 Metodologia ed ipotesi

Per il calcolo della massima gittata si considerano le seguenti ipotesi:

- Il moto del sistema considerato è quello di un sistema rigido non vincolato (modello che approssima la pala nel momento del distacco);
- Si è considerata la riduzione della velocità periferica pari al 30% per tener conto degli effetti della resistenza dovuta al mezzo in cui si svolge il moto (aria) e per considerare le forze di resistenza che si generano al momento di rottura della pala;
- Il calcolo della gittata è stato determinato per diversi valori dell'angolo θ ;
- La velocità massima del rotore sarà limitata elettronicamente.

I dati geometrici e cinematici sui quali è basato il calcolo sono i seguenti.

- Altezza della torre $H = 107,5$ m
- Diametro del rotore $D = 145$ m, quindi lunghezza della pala $72,5$ m
- Velocità di rotazione $V = 10,77$ rpm mod 0

1.2 Forze agenti sulla traiettoria pala

La determinazione delle forze e dei momenti agenti sulla pala a causa di una rottura istantanea, durante

il moto rotatorio, è molto complessa. La traiettoria iniziale è determinata principalmente dall'angolo di lancio e dalle forze generalizzate inerziali agenti sulla pala. Queste includono anche, per esempio, oltre all'impulso anche i momenti di *flapwise*, *edgewise* e *pitchwise* agenti al momento del distacco. La pala, quindi, quando inizierà il suo moto continuerà a ruotare (conservazione della quantità di moto). L'unica forza inerziale agente in questo caso è la forza di gravità. La durata del volo considerato è determinata considerando la velocità verticale iniziale applicata al centro di gravità. Il tempo risultante è usato per calcolare la distanza orizzontale (gittata) nel piano e fuori dal piano.

La gittata è determinata dalla velocità orizzontale al momento del distacco iniziale. Le forze inerziali sono modellate considerando un flusso *irrotazionale e stazionario*.

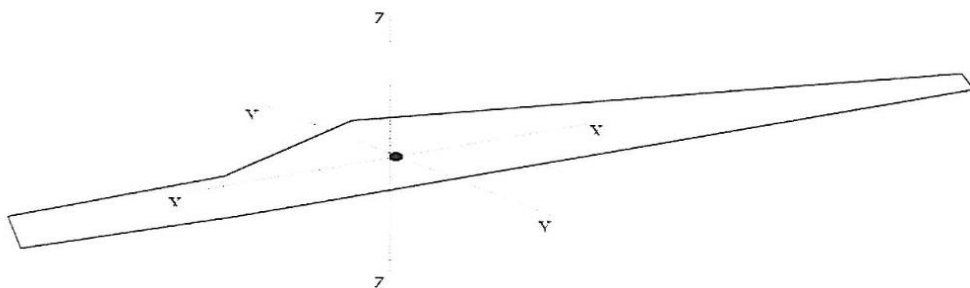


Figura 1 – Sistema coordinate (YY -- Flapwise, XX - Pitchwise. ZZ - Edgewise)

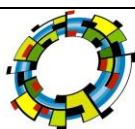
1.3 Esperienze e note statistiche

E' necessario enfatizzare che dal punto di vista progettuale la combinazione di coefficienti di sicurezza per i carichi, i materiali utilizzati e la valutazione delle conseguenze in caso di rottura rispettano quanto prescritto dalla norma IEC61400-1. In accordo a tale norma le pale degli aerogeneratori sono considerate "fail safe".

Questo paragrafo è stato redatto al fine di presentare alcuni degli elementi fondamentali per poter valutare la reale possibilità dei distacco di una pala, o di frammenti di questa, dagli aerogeneratori.

L'esperienza pratica ha mostrato che in caso di distacco di pala o parti di essa il moto è stato di tipo "rotazionale complesso" e le distanze raggiunte sono normalmente risultate inferiori a quelle stimate con i calcoli semplificati qui riportati.

Frammenti di pala, solitamente di piccole dimensioni, per la maggior parte staccatisi a causa di azioni esterne (tipica la fulminazione atmosferica) o imperizia umana, sono stati ritrovati a non più di 40-50 m dalla base dell'aerogeneratore.



Tralasciando gli incidenti dovuti a cause eccezionali (uragani, tifoni), nei successivi paragrafi vengono descritti alcuni eventi e la valutazione tecnica alla base dell'analisi dei rischi sviluppata per eliminare la possibilità di reiterazione dell'incidente

1.3.1 Distacco di una delle pale dal rotore

Questo tipo di incidente, che comporta il distacco di una pala completa dal rotore dell'aerogeneratore, può essere determinato dalla rottura della giunzione bullonata fra la pala ed il mozzo.

In occasione di tali tipi di evento, la pala ha raggiunto il terreno ad una distanza inferiore ai cento metri.

Le pale sono costituite da una parte strutturale (longherone) posizionata all'interno della pala e da una parte esterna (gusci) che ha sostanzialmente compiti di forma. Le tre parti, il longherone e i due gusci, sono uniti fra loro mediante incollaggio e, alla fine del processo produttivo, costituiscono un corpo unico.

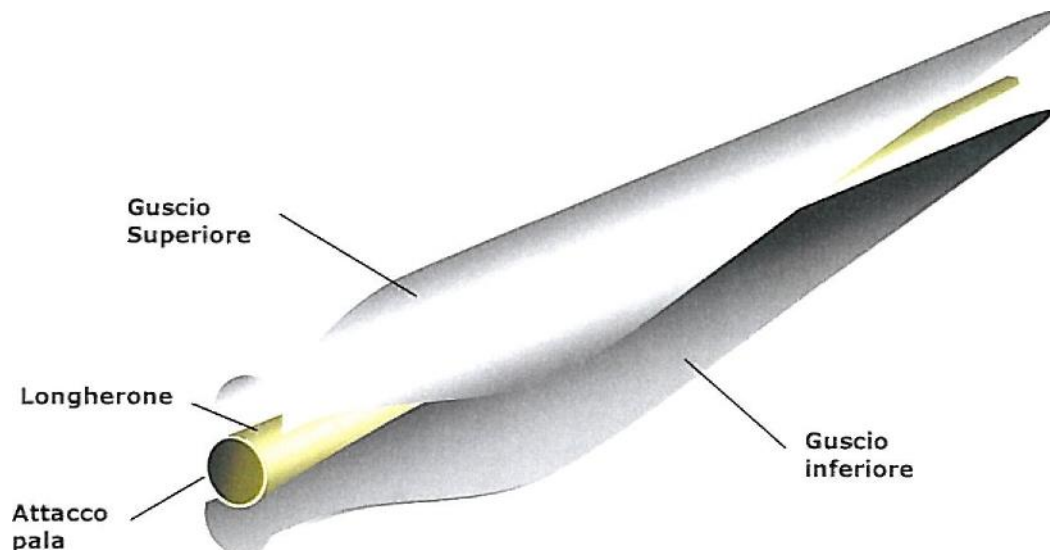


Figura 2 – Componenti di una pala

Il longherone è dotato di attacchi filettati che consentono di collegarlo al mozzo con bulloni (prigionieri) serrati opportunamente durante l'installazione della turbina. Il precarico conferito ai prigionieri durante il serraggio ha un'influenza determinante sulla resistenza dei prigionieri stessi ai carichi di fatica e, per questo motivo, è previsto un controllo di tale serraggio durante le operazioni di manutenzione programmata della turbina.

L'evento si è manifestato a causa di incorretti interventi di manutenzione programmata cui l'aerogeneratore va sottoposto così come riportato nel manuale del costruttore. Per cui l'errata verifica del serraggio ed una plausibile riduzione del precarico possono aver determinato la rottura per fatica dei prigionieri ed al distacco della pala.

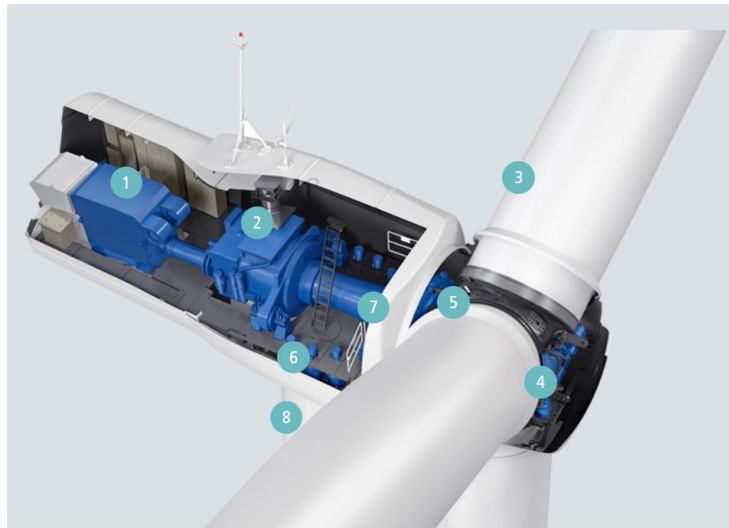


Figura 3 – Componenti del rotore

1.3.2 Rottura (apertura) dell'estremità di pala

Questo tipo di incidente si è quasi sempre manifestato in concomitanza di fulminazioni di natura atmosferica. Tutte le pale prodotte sono dotate di un sistema di drenaggio della corrente di fulmine costituito da recettori metallici posti all'estremità di pala e lungo l'apertura della pala, da un cavo che collega i recettori alla radice pala e da un sistema di messa a terra. In questo modo si riesce a drenare una buona parte delle correnti indotte dalle fulminazioni atmosferiche senza danni alle pale.

In qualche caso, in cui la corrente di fulmine ha presumibilmente ecceduto i limiti progettuali (fissati dalle norme internazionali) si può manifestare un danneggiamento all'estremità di pala che si apre per la separazione dei due gusci, ma che, normalmente, non si distacca dal corpo della pala. E' possibile che frammenti di guscio possano staccarsi, ma si tratta comunque di parti molto leggere in confronto alla resistenza che oppongono all'aria e che quindi non possono essere oggetto di calcoli di gittata come quelli che si possono effettuare sul corpo pala.

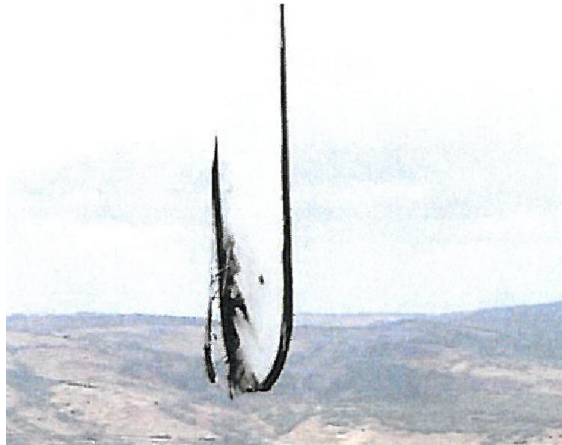


Figura 4 - Estremità di pala danneggiata da fulminazione atmosferica.

2. LEGGE DEL MOTO

Supponiamo di trovarci nel caso notevole di un proiettile non puntiforme. Le equazioni che governano il moto sono rispettivamente la prima e la seconda equazione della dinamica:

$$1) Mg = Ma_G$$

$$2) 0 = I d\omega/dt$$

Supponendo di concentrare tutto il peso nel centro di massa della pala, il momento della forza peso è nullo, avendo scelto G come polo per il calcolo dei momenti.

Pertanto la seconda equazione ci dice che il corpo durante la traiettoria che percorre, si mette a girare indisturbato intorno al suo asse principale di inerzia.

La soluzione al problema ci viene allora dalla risoluzione della prima equazione. Questa ci evidenzia che la pala si muoverà con il moto di un proiettile puntiforme, pertanto ne compirà il caratteristico moto parabolico.

Per studiare la gittata di un proiettile che si muove con moto parabolico (cioè sotto l'azione della sola forza peso e trascurando l'attrito con l'aria) si è utilizzato un sistema di riferimento cartesiano xy in cui l'origine O degli assi del sistema, coincida con il punto da cui il proiettile è stato lanciato.

Si è considerato il moto bidimensionale di un proiettile, come il moto di un punto materiale, tenendo conto solo delle forze gravitazionali e supponendo trascurabile l'influenza dei vari agenti atmosferici, in particolare le forze di attrito dell'aria e quelle del vento.

Scegliamo un sistema di riferimento con l'asse delle y positivo verso l'alto, in modo che l'origine degli assi sia nel punto $(x_0, y_0) = (0, 0)$ di partenza del proiettile; le componenti dell'accelerazione saranno $a_x = 0$, $a_y = -g$.

Dove $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ è l'accelerazione di gravità.

Utilizzando la legge di caduta di un grave, ricaveremo la traiettoria di un proiettile, verificando che è una

parabola e mostrandone poi alcune caratteristiche.

Il vettore velocità v nell'istante iniziale $t = 0$ ha modulo v_0 ed è inclinato di un certo angolo θ rispetto alla direzione positiva dell'asse delle x ; le sue componenti sono:

$$v_{0x} = v_0 \cos\theta$$

$$v_{0y} = v_0 \sin\theta$$

La legge della cinematica che esprime la velocità in funzione del tempo t è ($v(t) = v_0 + at$).

Poiché non esistendo componenti orizzontali dell'accelerazione, la componente orizzontale della velocità v_x rimane costante, la componente verticale v_y cambia nel tempo perché esiste un'accelerazione costante diretta verso il basso ($a_y = -g$):

$$v_x = v_{0x}$$

$$v_y = v_{0y} - gt$$

La legge del moto soluzione delle equazioni indicate in precedenza sono:

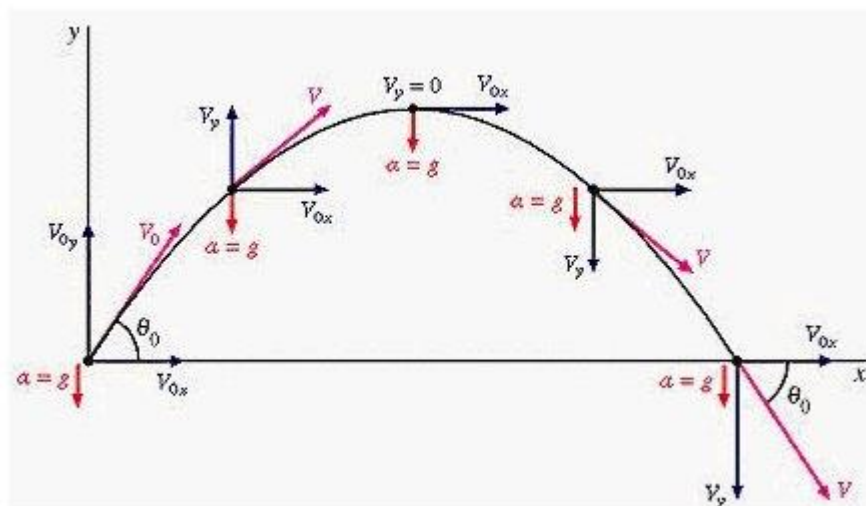
$$x(t) = x_0 + v_{0x}t$$

$$y(t) = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$$

Dove (x_0, y_0) è la posizione iniziale del punto materiale e (v_x, v_y) è la sua velocità. La traiettoria del punto materiale interseca il suolo al tempo T tale che $y(T) = 0$. Dalla legge del moto si ottiene:

$$T = \frac{v_y}{g} + \frac{1}{g} \sqrt{v_y^2 + 2y_0g}$$

che come si vede è una parabola rivolta verso il basso passante per l'origine degli assi. Una rappresentazione del moto con disegnate le componenti della velocità è mostrato nella figura sottostante.



Dove è stata scarta la soluzione corrispondente a tempi negativi

La posizione e la velocità iniziale sono determinati dall'angolo α e dalla velocità tangenziale V della pala al momento del distacco. Essi sono legati alla posizione ed alla velocità iniziale dalle relazioni:

Progetto di un impianto eolico composto da n.10 aerogeneratori nel Comune di Foggia in località "La Stella - Duanera".

$$x_0 = -R \cos(\alpha)$$

$$y_0 = H + R \sin(\alpha)$$

$$v_x = V \sin(\alpha)$$

$$v_y = V \cos(\alpha)$$

La gittata G è la distanza dal palo del punto di impatto al suolo del frammento di pala. Dalla legge del moto otteniamo:

$$G = x(T)$$

Sostituendo l'espressione per T ricavata sopra, otteniamo la gittata G in termini di V e di α :

$$G_{\max} = V_g \sin \alpha / g [V_g \cos \alpha + ((\text{Rad} q V_g^2 \cos^2 \alpha + 2(H + R_g \sin \alpha) g)] - R_g \cos \alpha$$

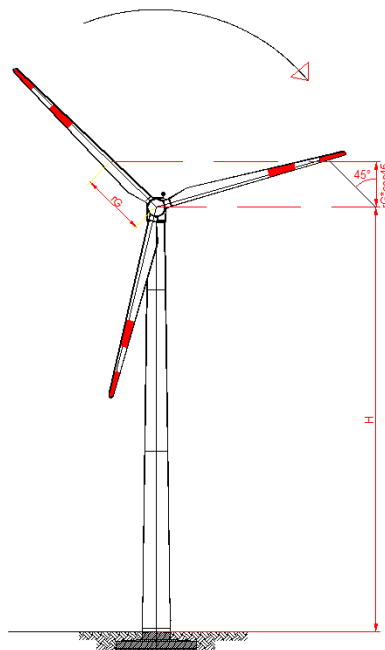
Si noti che, fissato un generico angolo α , la gittata aumenta quadraticamente con V, salvo i casi particolari $\alpha = \pm 90^\circ; 0^\circ; 180^\circ$, nei quali la gittata aumenta linearmente con V oppure è pari ad R.

3. CALCOLO GITTATA DELLA PALA

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

R_g = raggio del baricentro

V_g = velocità periferica del baricentro



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

3.1 Calcolo del baricentro

Date le caratteristiche geometriche della pala, e considerata la distribuzione dei pesi lungo il profilo della

stessa, possiamo ritenere con buona approssimazione che il baricentro sia posizionato ad un terzo rispetto alla lunghezza della pala, cioè:

| Tipo WTG | Baricentro r_G |
|---------------------------------|------------------|
| SG 4.3-145 hh= 107,5 m D= 145 m | 24,16 |

3.2 Calcolo della velocità periferica.

Il dato di partenza è Rpm = 12,81 giri/min che corrisponde ad una velocità angolare:

| Tipo aerogeneratore | $\omega = 2\pi n/60$ |
|---------------------------------|----------------------|
| SG 4.3-145 hh= 107,5 m D= 145 m | 1,340 |

Nel moto circolare uniforme, la velocità periferica è direttamente proporzionale al raggio. Ad ogni giro il punto G di raggio R percorre la circonferenza $2\pi R$; dopo n giri al minuto lo spazio percorso sarà $2\pi n R$ metri/minuto. E questo sarà lo spazio percorso da tutti i punti situati sulla periferia del corpo in movimento circolare. Dunque la velocità periferica in metri al secondo di un corpo rotante (considerando la velocità massima del rotore pari a 12,81 giri al minuto), corrisponde a:

| Tipo WTG | $V_G = \omega R_G$ (m/s) |
|---------------------------------|--------------------------|
| SG 4.3-145 hh= 107,5 m D= 145 m | 32,4 |

Tenendo conto dell'attrito dell'aria e delle forze di resistenza, il valore della velocità del baricentro risulta ridotta del 30% rispetto all'assenza di resistenze, per cui il valore reale è **22,68 m/s**.

3.3 Calcolo di hG

Il calcolo della proiezione del baricentro sull'asse verticale, che si ritiene con buona approssimazione posizionato ad un terzo rispetto alla lunghezza della pala, ossia $R_G = 24,16$ m, essendo il raggio di ciascuna pala uguale a 72,5 m, viene valutato all'altezza dell'intera torre più il valore della proiezione di R_G sulla verticale ossia:

$$h_g = H + (R_G * \text{sen } \alpha)$$

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

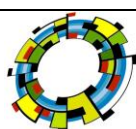
3.4 Calcolo della gittata della pala

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

Supponendo di prendere in considerazione l'ipotesi più pericolosa, ossia quella in cui la pala cadendo si

disponga con la parte più lontana dal baricentro verso l'esterno, si ottiene il punto più lontano di caduta pari al valore **massimo di gittata + i 2/3 della lunghezza della pala** come evidenziato nella tabella seguente:

| Angolo | Gmax | Vertice pala |
|-----------|--------------|----------------|
| 0 | -24,2 | 24,167 |
| 5 | -10,5 | 37,841 |
| 10 | 8,5 | 56,852 |
| 15 | 16,9 | 65,280 |
| 20 | 30,3 | 78,648 |
| 25 | 43,2 | 91,533 |
| 30 | 55,4 | 103,766 |
| 35 | 66,9 | 115,197 |
| 40 | 77,4 | 125,697 |
| 45 | 86,8 | 135,162 |
| 50 | 95,2 | 143,513 |
| 55 | 102,4 | 150,695 |
| 60 | 108,3 | 156,680 |
| 65 | 113,1 | 161,461 |
| 70 | 116,7 | 165,055 |
| 75 | 119,2 | 138,232 |
| 80 | 120,5 | 168,836 |
| 85 | 120,8 | 169,139 |
| 90 | 120,1 | 168,477 |
| 95 | 118,6 | 166,932 |
| 100 | 116,3 | 164,585 |
| 105 | 113,2 | 161,522 |
| 110 | 109,5 | 128,561 |
| 115 | 105,2 | 153,571 |
| 120 | 100,5 | 148,837 |
| 125 | 95,4 | 143,689 |
| 130 | 89,9 | 138,189 |
| 135 | 84,1 | 132,392 |
| 140 | 78,0 | 126,345 |
| 145 | 71,8 | 120,088 |
| 150 | 65,3 | 113,657 |
| 155 | 58,7 | 107,078 |
| 160 | 52,0 | 100,376 |
| 165 | 45,2 | 93,568 |
| 170 | 38,3 | 86,667 |
| 175 | 31,4 | 79,685 |
| 180 | 24,3 | 72,629 |



Progetto di un impianto eolico composto da n.10 aerogeneratori nel Comune di Foggia in località "La Stella - Duanera".

Dalla tabella si evince che il valore massimo nelle condizioni più gravose si ottiene con un angolo di distacco pari agli 85°, ovvero:

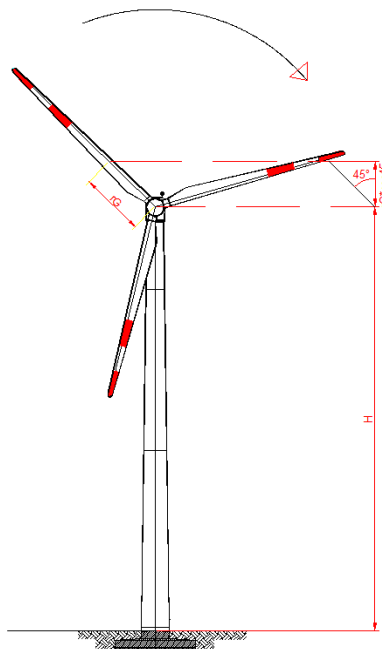
| Tipo WTG | GITTATA MAX PALA + TERMINALE PALA |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| SG 4.3-145 hh= 107,5 m D= 145 m | 168,836 |

4. CALCOLO GITTATA DEL FRAMMENTO DELLA PALA

Lo schema adottato per il calcolo della gittata nel caso di rottura del frammento di 5 m di una pala è simile a quello adottato per il distacco nel punto di attacco del mozzo, ovvero avendo indicato con G il baricentro del sistema avremo:

Rg = raggio del baricentro

Vg = velocità periferica del baricentro



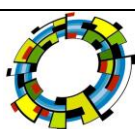
Prima di effettuare il calcolo della gittata, calcoliamo dei parametri che ci serviranno per il proseguo dello stesso.

4.1 Calcolo del baricentro

Date le caratteristiche geometriche della pala, e considerata la distribuzione dei pesi lungo il profilo della stessa, possiamo ritenere con buona approssimazione che il baricentro sia posizionato secondo la seguente relazione:

$$R_g = D/2 - (2/3 * 5) \text{ (lunghezza del frammento)}$$

| Tipo WTG | Baricentro R _G |
|----------|---------------------------|
|----------|---------------------------|



| | |
|---------------------------------|-------|
| SG 4.3-145 hh= 107,5 m D= 145 m | 69,16 |
|---------------------------------|-------|

4.2 Calcolo della velocità periferica.

Il dato di partenza è Rpm = 12,81 giri/min che corrisponde ad una velocità angolare:

| Tipo aerogeneratore | $\omega = 2\pi n/60$ |
|---------------------------------|----------------------|
| SG 4.3-145 hh= 107,5 m D= 145 m | 1,340 |

Nel moto circolare uniforme, la velocità periferica è direttamente proporzionale al raggio. Ad ogni giro il punto G di raggio R percorre la circonferenza $2\pi R$; dopo n giri al minuto lo spazio percorso sarà $2\pi n R$ metri/minuto. E questo sarà lo spazio percorso da tutti i punti situati sulla periferia del corpo in movimento circolare. Dunque la velocità periferica in metri al secondo di un corpo rotante (considerando la velocità massima del rotore pari a 12,81 giri al minuto), corrisponde a:

| Tipo WTG | $V_G = \omega R_G$ (m/s) |
|---------------------------------|--------------------------|
| SG 4.3-145 hh= 107,5 m D= 145 m | 92,73 |

Tenendo conto dell'attrito dell'aria e delle forze di resistenza, il valore della velocità del baricentro risulta ridotta del 30% rispetto all'assenza di resistenze, per cui il valore reale è **64,91 m/s**.

4.3 Calcolo di hG

Il calcolo della proiezione del baricentro sull'asse verticale, che si ritiene con buona approssimazione posizionato ad un terzo rispetto alla lunghezza della pala, ossia $R_G = 69,16$ m, essendo il raggio di ciascuna pala uguale a 72,5 m, viene valutato all'altezza dell'intera torre più il valore della proiezione di R_G sulla verticale ossia:

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

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

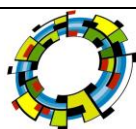
4.4 Calcolo della gittata del frammento

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

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

Progetto di un impianto eolico composto da n.10 aerogeneratori nel Comune di Foggia in località "La Stella - Duanera".

| Angolo | Gmax | Vertice pala |
|-----------|--------------|---------------|
| 0 | -69,2 | -65,83 |
| 5 | 18,8 | 22,11 |
| 10 | 151,7 | 155,08 |
| 15 | 190,0 | 193,38 |
| 20 | 269,3 | 272,65 |
| 25 | 341,9 | 345,26 |
| 30 | 406,4 | 409,70 |
| 35 | 461,4 | 464,78 |
| 40 | 506,3 | 509,63 |
| 45 | 540,4 | 543,76 |
| 50 | 563,7 | 567,06 |
| 55 | 576,5 | 579,81 |
| 60 | 579,3 | 582,63 |
| 65 | 573,1 | 576,46 |
| 70 | 559,2 | 562,52 |
| 75 | 538,8 | 542,18 |
| 80 | 513,6 | 516,91 |
| 85 | 484,9 | 488,19 |
| 90 | 454,1 | 457,39 |
| 95 | 422,4 | 425,70 |
| 100 | 390,8 | 394,11 |
| 105 | 360,0 | 363,34 |
| 110 | 330,6 | 395,49 |
| 115 | 302,8 | 306,10 |
| 120 | 276,7 | 280,07 |
| 125 | 252,5 | 255,83 |
| 130 | 230,0 | 233,31 |
| 130 | 230,0 | 229,98 |
| 135 | 209,1 | 212,41 |
| 140 | 189,6 | 192,98 |
| 145 | 171,5 | 174,87 |
| 150 | 154,6 | 157,92 |
| 155 | 138,6 | 141,98 |
| 160 | 123,6 | 126,91 |
| 165 | 109,2 | 112,57 |
| 170 | 95,5 | 98,84 |
| 175 | 82,3 | 85,60 |
| 180 | 69,4 | 72,73 |



Progetto di un impianto eolico composto da n.10 aerogeneratori nel Comune di Foggia in località "La Stella - Duanera".

Dalla tabella si evince che il valore massimo nelle condizioni più gravose si ottiene con un angolo di distacco pari agli 60°, ovvero:

| Tipo WTG | GITTATA MAX FRAMMENTO + TERMINALE FRAMMENTO |
|---------------------------------|---|
| SG 4.3-145 hh= 107,5 m D= 145 m | 449,82 |

Sulla base delle operazioni di calcolo della gittata massima, sia della pala intera che del suo frammento pari a 5 mt, è emerso che i valori massimi di gittata si hanno per l'aerogeneratore proposto SONO:

| | |
|---|------------|
| GITTATA MAX PALA + TERMINALE PALA | 168,836 mt |
| GITTATA MAX FRAMMENTO + TERMINALE FRAMMENTO | 449,82 mt |

assumendo il valore di maggior rischio pari a 1 nella direzione perpendicolare a quella del vento prevalente.

5. ANALISI E SCELTA DEI RICETTORI SENSIBILI PRESENTI NELL'AREA DI IMPIANTO

5.1 Fabbricati

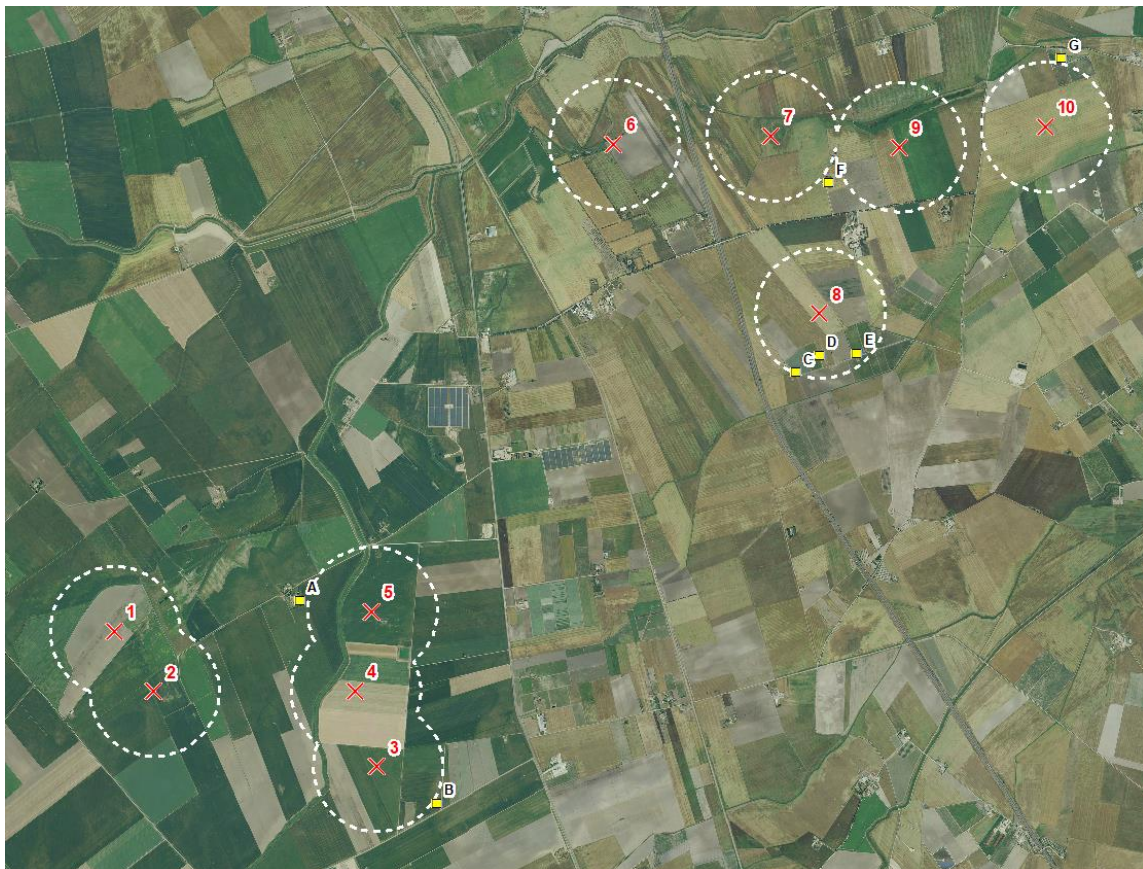


Figura 5: Individuazione planimetrica dei ricettori nel buffer di 500 mt

Progetto di un impianto eolico composto da n.10 aerogeneratori nel Comune di Foggia in località "La Stella - Duanera".

L'individuazione e la scelta dei fabbricati da considerare come ricettori sensibili nella verifica dell'impatto in caso di rottura accidentale della pala e/o frammenti di essa, **è stata effettuata attraverso le stesse considerazioni riportate nell'ambito dello studio acustico allegato**. Tale analisi è stata estesa ai potenziali recettori distanti fino a 500 metri dagli aerogeneratori di progetto.

Da tale studio si è evinto che parte dei fabbricati individuati sono risultati ruderi, altri adibiti a ricovero di mezzi ed attrezzi agricoli oppure depositi. Ciò perché l'area di impianto è sede di attività rurale, caratterizzata solo da saltuaria presenza della popolazione. Esistono fabbricati adibiti ad usi abitativo che sono sempre parte di complessi rustici in cui si opera attività di produzione agricola.

I criteri per la definizione delle caratteristiche che debbano avere i fabbricati per essere considerati recettori e la distanza minima che si deve rispettare per essi sono riportati nelle recenti linee guida nazionali per l'autorizzazione alla costruzione e all'esercizio di impianti di produzione di elettricità da fonti rinnovabili (pubblicate nella G.U. del 18/09/2010).

| RICETTORE | COMUNE | FOGLIO | P.LLA | CAT. CATASTALE | TIPOLOGIA |
|-----------|--------|--------|-------|----------------|--|
| A | FOGGIA | 21 | 257 | D/10 | Fabbricati per funzioni produttive connesse alle attività agricole |
| B | FOGGIA | 22 | 219 | A/3 | Abitazioni di tipo economico |
| C | FOGGIA | 11 | 256 | A/4-D/10 | Abitazioni di tipo popolare - Fabbricati per funzioni produttive connesse alle attività agricole |
| D | FOGGIA | 11 | 267 | C/2-F/2 | Magazzini e locali di deposito - Unità collabenti |
| E | FOGGIA | 11 | 300 | C/2 | Magazzini e locali di deposito |
| F | FOGGIA | 11 | 247 | A/3 | Abitazioni di tipo economico |
| G | FOGGIA | 3 | 386 | A/3-C/2 | Abitazioni di tipo economico - Magazzini e locali di deposito |

Tabella 1: Elenco dei ricettori

5.2 Viabilità

L'analisi della presenza di strade classificate secondo le Linee Guida Nazionali (pubblicate nella G.U. del 18/09/2010) estesa ad un buffer corrispondente alla gittata massima del frammento che dalle analisi e calcoli precedenti risulta pari a 583 m dagli aerogeneratori individuando le seguenti strade distinte per tipologia:

Progetto di un impianto eolico composto da n.10 aerogeneratori nel Comune di Foggia in località "La Stella - Duanera".



Figura 6: Viabilità interessata dalla rischio di gittata nell'area dell'impianto.

La strada più prossima ad uno degli aerogeneratori dell'impianto, nel caso specifico l'aerogeneratore n. 10 di cui alla figura precedente, è la Strada Provinciale 23 che passa a ovest dello stesso e risulta posta ad oltre 490 mt.

Progetto di un impianto eolico composto da n.10 aerogeneratori nel Comune di Foggia in località "La Stella - Duanera".



Figura 7: Strada provinciale n. 23

6. VERIFICA DI IMPATTO DELLA GITTATA MASSIMA

Sulla base del valore massimo della gittata nelle condizioni peggiori di rischio, **pari a 583 mt**, sono state condotte le seguenti verifiche di compatibilità dell'impianto rispetto ai ricettori sensibili, fabbricati e strade.

6.1 Fabbricati

| Ricettore | Torre più prossima | Distanza m | Gittata max m | Verifica | Note |
|-----------|--------------------|------------|---------------|----------|-----------------|
| A | 5 | 563 | 449 | +114 | Abitato < 4 ore |
| B | 3 | 536 | 449 | +87 | Abitato |
| C | 8 | 487 | 449 | +38 | Abitato < 4 ore |
| D | 8 | 322 | 449 | -127 | Abitato < 4 ore |
| E | 8 | 418 | 449 | -31 | Abbandonato |
| F | 9 | 573 | 449 | +124 | Abitato |
| G | 10 | 543 | 449 | +94 | Abitato |

Tabella 2: Elenco dei ricettori rispetto agli aerogeneratori

Dalla tabella precedente, che rappresenta la verifica delle distanze delle turbine dai ricettori, si evince che un solo ricettore rientra nel buffer di 449 mt della gittata massima relativo al frammento, ricettore abitato per meno di 4 ore gg e di conseguenza e si evidenzia la piena compatibilità degli aerogeneratori rispetto a tutti i

Progetto di un impianto eolico composto da n.10 aerogeneratori nel Comune di Foggia in località "La Stella - Duanera".

ricettori presenti.

6.2 Strade

Il controllo di compatibilità dell'impianto rispetto alle strade è stata effettuata ai sensi dell'art. 7.1 del DM 2010 verificando la rispondenza delle distanze dell'aerogeneratore dalla viabilità primaria (Autostrade, Strade Statali e Provinciali), **ovvero l'unica strada provinciale SP 23 più prossima dista oltre 514 mt (sup a 449 mt di gittata) dall'aerogeneratore più prossimo.** Si rappresenta che per tutti gli altri casi, la compatibilità dell'iniziativa con la viabilità secondaria, risulta sempre verificata: il calcolo della probabilità in condizioni di esigua frequentazione della sede viaria rende inapplicabile il metodo a causa dell'elevata trascurabilità del risultato derivante dall'involuppo di eventi altamente sporadici.

7. CONCLUSIONI

Dal confronto tra il potenziale rischio di rottura accidentale con lancio della pala (**max 168 mt circa**) e/o frammento di essa con la relativa distanza massima (**max 449 mt**) relativamente agli aerogeneratori proposti, si conclude quanto segue:

7.1 Fabbricati

La verifica ha evidenziato l'assoluta compatibilità degli aerogeneratori.

7.2 Strade

Ai sensi dell'art. 7.1 DM 2010 la verifica di sicurezza in generale nel rispetto della distanza minima dalle strade ha evidenziato la piena compatibilità dell'iniziativa con il sistema viario principale (SP 23) dell'area evidenziando la rispondenza dei requisiti minimi anche nelle condizioni peggiori.

Foggia, Gennaio 2020

Il Tecnico

Arch. Antonio DEMAIO

