

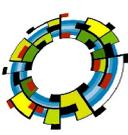
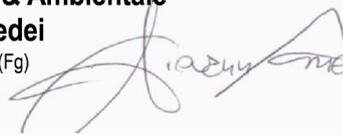
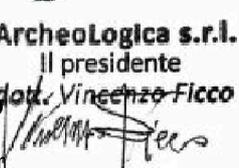
INTEGRALE RICOSTRUZIONE PARCHI EOLICI "Orsara"

ADEGUAMENTO TECNICO IMPIANTO EOLICO MEDIANTE INTERVENTO DI REPOWERING DELLE TORRI ESISTENTI E RIDUZIONE NUMERICA DEGLI AEROGENERATORI



Edison Rinnovabili Spa
Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano



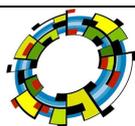
Progettazione Coordinamento	 VEGA sas LANDSCAPE ECOLOGY & URBAN PLANNING Via delli Carri, 48 - 71121 Foggia - Tel. 0881.756251 - Fax 1784412324 mail: info@studiovega.org - website: www.studiovega.org	Studi Ambientali e Paesaggistici	Arch. Antonio Demaio Via N. delli Carri, 48 - 71121 Foggia (FG) Tel. 0881.756251 Fax 1784412324 E-Mail: sit.vega@gmail.com 				
Studio Geologico-Idrologico	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 	Studio Acustico	Arch. Denora Marianna Via Savona, 3 70022 Altamura (BA) Tel./Fax 080.9162455 Cell. 3315600322 E-Mail: info@studioprogettazioneacustica.it 				
Studi Naturalistici e Forestali	Dott. Forestale Luigi Lupo Via Mario Pagano 47 - 71121 Foggia E-Mail: luigilupo@libero.it 	Studio Idraulico	Studio di ingegneria Dott.sa Ing. Antonella Laura Giordano Viale degli Aviatori, 73 - 71121 Foggia (FG) Tel./Fax 0881.070126 Cell. 336.666666 E-Mail: lauragiordano@gmail.com 				
Progettazione elettrica	 STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA MEZZINA dott. ing. Antonio Via T. Solis 128 71016 San Severo (FG) Tel. 0882.228072 Fax 0882.243651 e-mail: info@studiomezzina.net 	Studio archeologico	 ArcheoLogica s.r.l. Il presidente Dott. Vincenzo Ficco Tel. 0881.750334 E-Mail: info@archeologicasrl.com 				
Opera	<p>Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 7 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 46,2 MW nel Comune di Orsara di Puglia e relative opere di connessione alla località "Montagna" con smantellamento di n. 30 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 18 MW.</p>						
Oggetto	Nome Elaborato: VIA_03_WJQUTJ3-GMAX_Relazione di gittata massima Descrizione Elaborato: Ricognizione dei Recettori	Folder: VIA_03_Relazioni Specialistiche					
00	Maggio 2024	Emissione per progetto definitivo		VEGA	Arch. A. Demaio	Edison Rinnovabili Spa	
Rev.	Data	Oggetto della revisione		Elaborazione	Verifica	Approvazione	
Scala:	Varie		Integrale Ricostruzione Orsara				
Formato:			Codice progetto AU WJQUTJ3				

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	9
3.2 Calcolo della velocità periferica	9
3.3 Calcolo di hG	10
3.4 Calcolo della gittata della pala	10
4. CALCOLO GITTATA DEL FRAMMENTO DELLA PALA	12
4.1 Calcolo del baricentro	12
4.2 Calcolo della velocità periferica	13
4.3 Calcolo di hG	13
4.4 Calcolo della gittata del frammento	14
5. ANALISI E SCELTA DEI RICETTORI PRESENTI NELL'AREA DI IMPIANTO	15
5.1 Fabbricati	15
5.2 Viabilità	17
6. ANALISI DEL FATTORE DI RISCHIO NELLA DIREZIONE PERPENDICOLARE AL VENTO PREVALENTE	18
7. VERIFICA DI IMPATTO DELLA GITTATA MASSIMA	19
7.1 Fabbricati	19
7.2 Strade	20
8. CONCLUSIONI	20
8.1 Fabbricati	20
8.2 Strade	20

INDICE FIGURE E TABELLE

<i>Figura 1 – Sistema coordinate (YY -- Flapwise, XX - Pitchwise. ZZ - Edgewise)</i>	3
<i>Figura 2 – Componenti di una pala</i>	4
<i>Figura 3 – Componenti del rotore</i>	5
<i>Figura 4 - Estremità di pala danneggiata da fulminazione atmosferica</i>	6
<i>Figura 5 - Rappresentazione del moto con disegnatore le componenti della velocità</i>	8
<i>Figura 6a – Rappresentazione grafica calcolo della gittata</i>	9
<i>Figura 6b – Rappresentazione grafica calcolo della gittata</i>	12
<i>Figura 7: Individuazione planimetrica dei ricettori nel buffer di 500 mt</i>	16
<i>Tabella 1: Elenco dei ricettori presenti nel buffer di 500m</i>	17
<i>Figura 8: Viabilità interessata dal rischio di gittata nell'area dell'impianto</i>	18
<i>Figura 9: Wind Rose ottenuta dalle elaborazioni mediante Software WindFarm© dei dati anemometrici relativi agli anemometri posti sugli aerogeneratori presenti</i>	19
<i>Tabella 2: Elenco dei ricettori rispetto agli aerogeneratori</i>	19



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 Edison Rinnovabili Spa, sita nel comune di Orsara di Puglia, costituito da n. 7 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 46,2 MW e aventi un'altezza al mozzo fino a 127,5 metri ed un diametro del rotore fino a 155 metri, 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 ai seguenti aerogeneratori:

Tipo WTG
SIEMENS-GAMESA SG 6.6-155
SIEMENS-GAMESA SG 5.0-145

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:

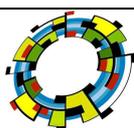
- Il moto del sistema considerato è quello di un sistema rigido non vincolato (modello che approssima la pala nel momento del distacco);
- Si è considerata la riduzione della velocità periferica pari al 30% per tener conto degli effetti della resistenza dovuta al mezzo in cui si svolge il moto (aria) 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.

Tipo WTG	Diametro	Lunghezza pala	Altezza	rpm
SIEMENS-GAMESA SG 6.6-155	155	77,5	122,5	11,6
SIEMENS-GAMESA SG 5.0-145	145	72,5	127,5	12,5

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*.

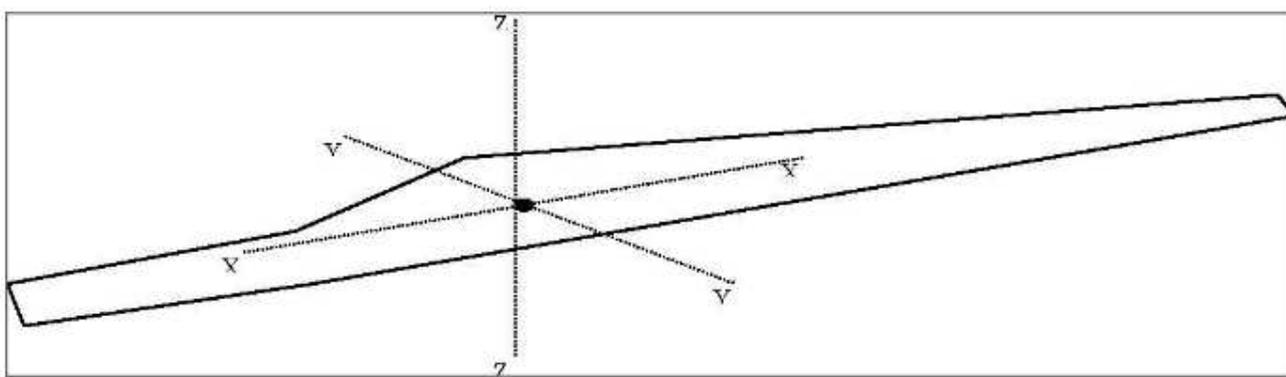


Figura 1 – Sistema coordinate (YY -- Flapwise, XX - Pitchwise, ZZ - Edgewise)

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 del 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.

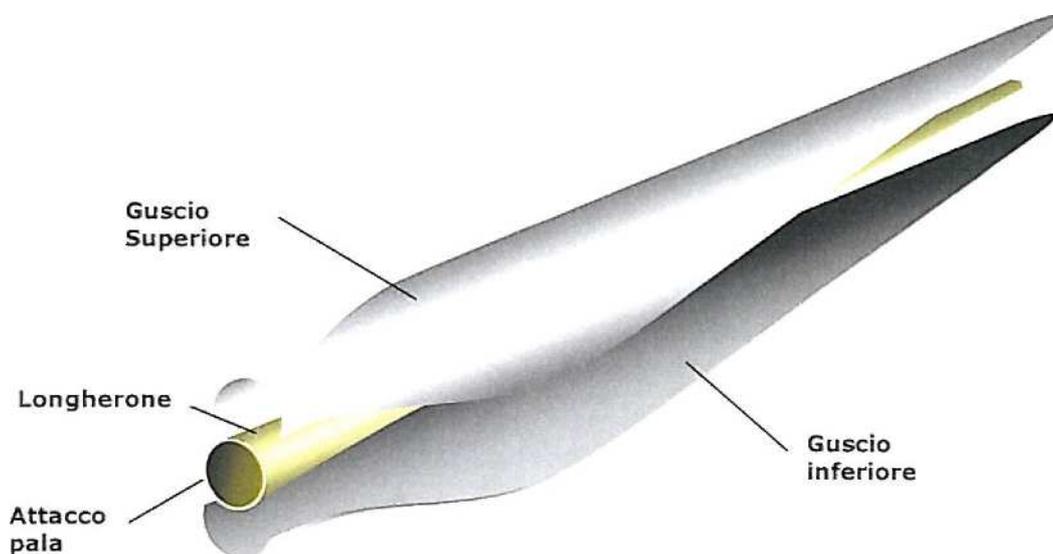


Figura 2 – Componenti di una pala

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.

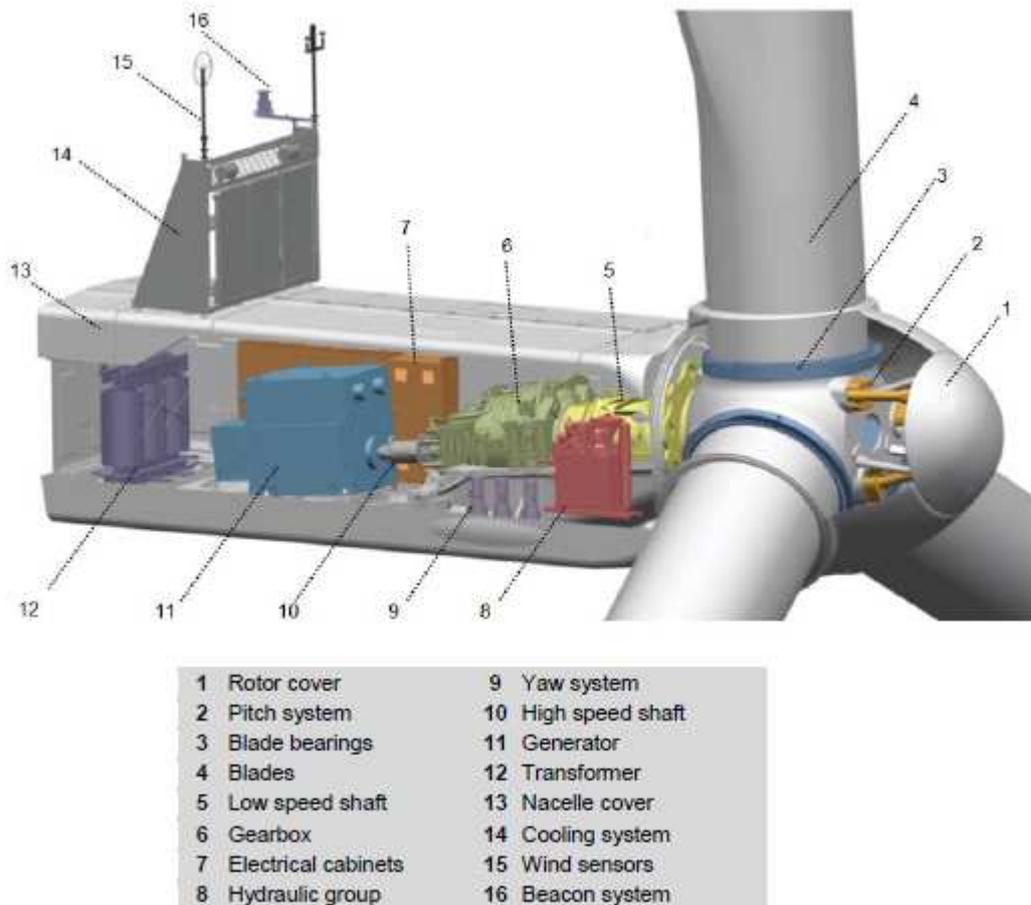


Figura 3 – Componenti del rotore

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.

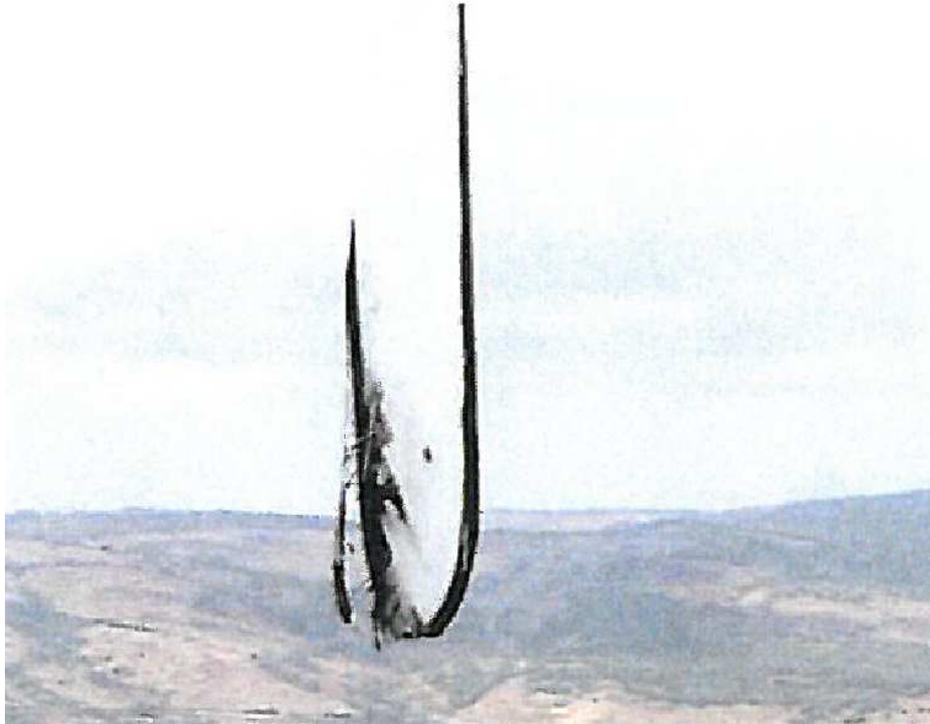


Figura 4 - Estremità di pala danneggiata da fulminazione atmosferica.

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, coincide 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:

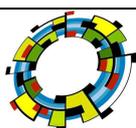
$$x(t) = x_0 + v_{0x}t$$

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

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:

$$T = \frac{v_{0y}}{g} + \frac{1}{g} \sqrt{v_{0y}^2 + 2y_0g}$$

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.



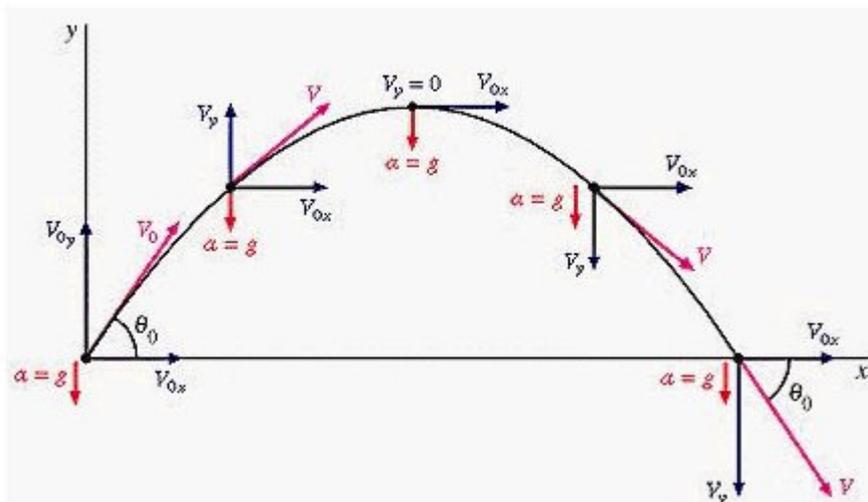


Figura 5 - Rappresentazione del moto con disegnate le componenti della velocità

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:

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

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

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

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

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 :

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

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

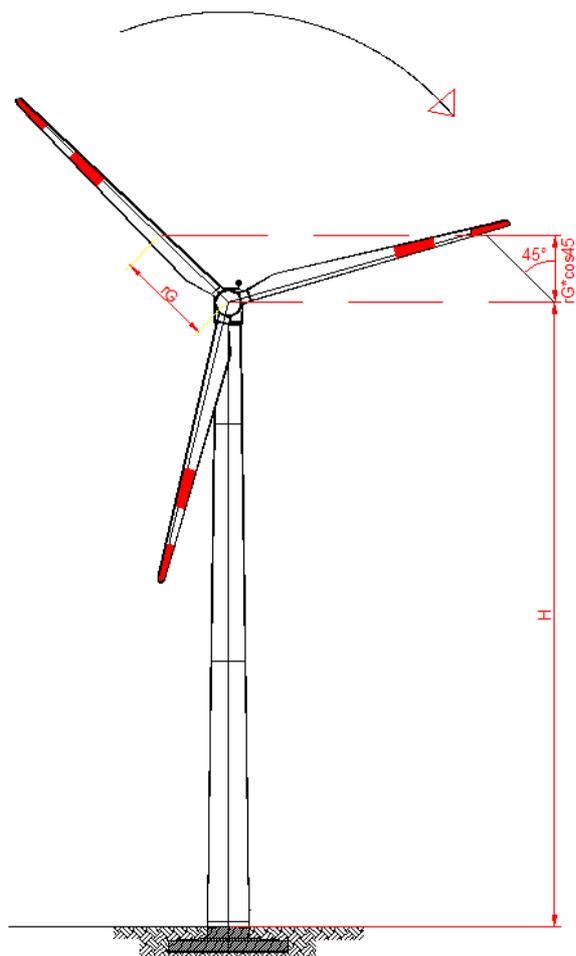


Figura 6a – Rappresentazione grafica calcolo della gittata

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 6.6-155 hh= 122,5 m D= 155 m	25,83
SG 5.0-145 hh= 127,5 m D= 145 m	24,16

3.2 Calcolo della velocità periferica.

Il dato di partenza è il numero giri/min che per i due aerogeneratori proposti equivalgono a:

Tipo WTG	rpm
SG 6.6-155 hh= 122,5 m D= 155 m	11,6
SG 5.0-145 hh= 127,5 m D= 145 m	12,5

Il dato di partenza è il numero giri/min che corrisponde ad una velocità angolare:

Tipo aerogeneratore	$\omega = 2\pi n/60$
SG 6.6-155 hh= 122,5 m D= 155 m	1,214
SG 5.0-145 hh= 127,5 m D= 145 m	1,308

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 11,6 e 12,5 giri al minuto), corrisponde a:

Tipo WTG	$V_G = \omega R_G$ (m/s)
SG 6.6-155 hh= 122,5 m D= 155 m	31,3
SG 5.0-145 hh= 127,5 m D= 145 m	31,6

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 **21,95 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 $R_g = 25,83$ m e $R_g = 24,16$ m, essendo il raggio di ciascuna pala uguale a 77,5 m e 72,5 m, viene valutato all'altezza dell'intera torre più il valore della proiezione di R_g sulla verticale ossia:

$$hg = H + (R_g * \sin \alpha)$$

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.

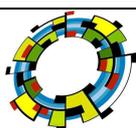
Supponendo di prendere in considerazione l'ipotesi più pericolosa, ossia quella in cui la pala cadendo si disponga con la parte più lontana dal baricentro verso l'esterno, si ottiene il punto più lontano di caduta pari al valore **massimo di gittata + i 2/3 della lunghezza della pala** come evidenziato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

SIEMENS-GAMESA SG 6.6-155

Angolo	Gmax	Vertice pala
0	-25,8	25,833
5	-10,9	40,742

SIEMENS-GAMESA SG 5.0-145

Angolo	Gmax	Vertice pala
0	-24,2	24,167
5	-8,9	39,408



10	10,3	61,921
15	19,0	70,620
20	33,4	85,099
25	47,3	98,964
30	60,3	112,014
35	72,4	124,070
40	83,3	134,986
45	93,0	144,650
50	101,3	152,981
55	108,3	159,936
60	113,8	165,501
65	118,0	169,696
70	120,9	172,567
75	122,5	144,471
80	123,0	174,628
85	122,3	174,006
90	120,8	172,423
95	118,3	169,994
100	115,2	166,828
105	111,4	163,036
110	107,1	129,008
115	102,3	153,970
120	97,2	148,873
125	91,8	143,500
130	86,2	137,914
135	80,5	132,166
140	74,6	126,299
145	68,7	120,347
150	62,7	114,333
155	56,6	108,278
160	50,5	102,192
165	44,4	96,082
170	38,3	89,951
175	32,1	83,796
180	25,9	77,613

10	12,7	61,014
15	21,5	69,865
20	36,2	84,581
25	50,3	98,647
30	63,5	111,857
35	75,7	124,033
40	86,7	135,030
45	96,4	144,733
50	104,7	153,065
55	111,6	159,983
60	117,1	165,477
65	121,2	169,569
70	124,0	172,308
75	125,4	147,566
80	125,7	174,035
85	124,9	173,217
90	123,1	171,426
95	120,4	168,776
100	117,1	165,385
105	113,0	161,361
110	108,5	130,609
115	103,5	151,826
120	98,2	146,495
125	92,6	140,890
130	86,7	135,074
135	80,8	129,100
140	74,7	123,009
145	68,5	116,835
150	62,3	110,604
155	56,0	104,333
160	49,7	98,034
165	43,4	91,713
170	37,0	85,371
175	30,7	79,008
180	24,3	72,617

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 6.6-155 hh= 122,5 m D= 155 m	174,62
SG 6.6-145 hh= 127,5 m D= 145 m	174,03

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

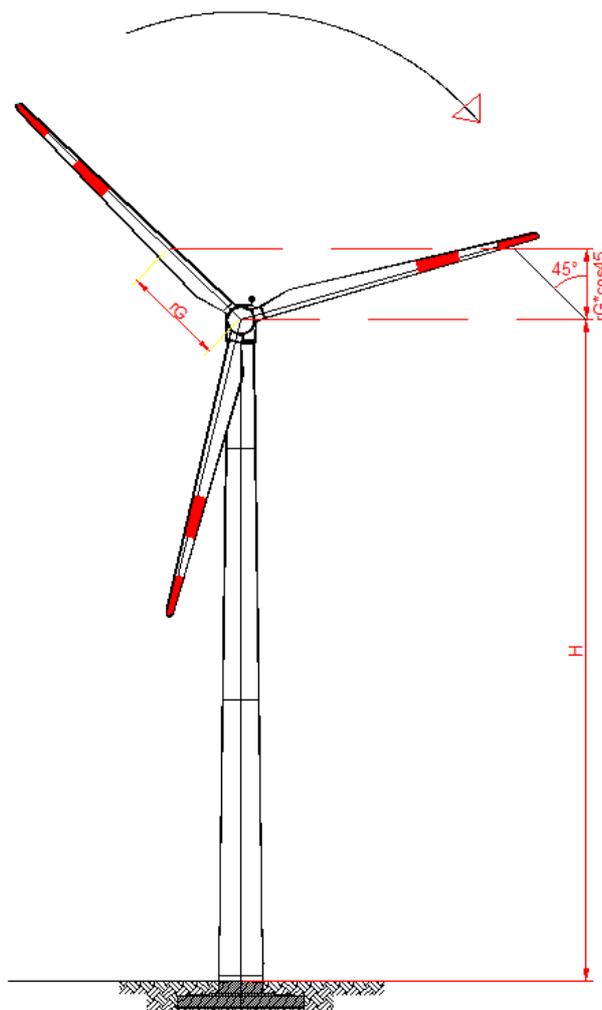


Figura 6b – Rappresentazione grafica calcolo della gittata

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:

$R_G = D/2 - (2/3 * 5)$ (lunghezza del frammento)

Tipo WTG	Baricentro R_G
SG 6.6-155 hh= 122,5 m D= 155 m	74,16
SG 5.0-145 hh= 127,5 m D= 145 m	69,16

4.2 Calcolo della velocità periferica.

Il dato di partenza è il numero giri/min che per i due aerogeneratori proposti equivalgono a:

Tipo WTG	rpm
SG 6.6-155 hh= 122,5 m D= 155 m	11,6
SG 5.0-145 hh= 127,5 m D= 145 m	12,5

Corrispondono rispettivamente ad una velocità angolare:

Tipo aerogeneratore	$\omega = 2\pi n/60$
SG 6.6-155 hh= 122,5 m D= 155 m	1,2141
SG 5.0-145 hh= 127,5 m D= 145 m	1,3083

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 rispettivamente pari a 11,6 e 12,5 giri al minuto), corrisponde a:

Tipo WTG	$V_G = \omega R_G$ (m/s)
SG 6.6-155 hh= 122,5 m D= 155 m	90,04
SG 5.0-145 hh= 127,5 m D= 145 m	90,49

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 rispettivamente **63,03 m/s** e **63,34 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 $R_g = 74,1$ m e $R_g = 69,1$ m, essendo il raggio di ciascuna pala uguale a 77,5 m e 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.

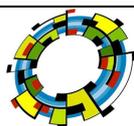
Supponendo di prendere in considerazione l'ipotesi più pericolosa, ossia quella in cui la pala cadendo si disponga con la parte più lontana dal baricentro verso l'esterno, si ottiene il punto più lontano di caduta pari al valore **massimo di gittata + i 2/3 della lunghezza del frammento** come evidenziato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

SIEMENS-GAMESA SG 6.6-155

Angolo	Gmax	Vertice pala
0	-74,2	-70,83
5	6,3	9,63
10	129,1	132,47
15	163,4	166,78
20	236,3	239,61
25	303,0	306,32
30	362,1	365,46
35	412,6	415,90
40	453,5	456,82
45	484,4	487,75
50	505,2	508,58
55	516,3	519,59
60	518,1	521,38
65	511,5	514,87
70	497,9	501,22
75	478,4	481,77
80	454,6	457,94
85	427,8	431,16
90	399,4	402,73
95	370,5	373,79
100	341,9	345,25
105	314,4	317,77
110	288,4	351,47
115	264,2	267,50
120	241,7	245,04
125	221,0	224,36
130	202,0	205,38
130	202,0	202,05
135	184,6	187,96
140	168,6	171,95

SIEMENS-GAMESA SG 5.0-145

Angolo	Gmax	Vertice pala
0	-69,2	-65,83
5	12,3	15,63
10	136,5	139,80
15	171,1	174,40
20	244,5	247,83
25	311,6	314,97
30	371,1	374,39
35	421,6	424,92
40	462,4	465,76
45	493,1	496,44
50	513,5	516,87
55	524,0	527,33
60	525,1	528,44
65	517,8	521,15
70	503,3	506,65
75	483,0	486,32
80	458,3	461,60
85	430,6	433,95
90	401,4	404,71
95	371,7	375,02
100	342,5	345,80
105	314,4	317,72
110	287,9	351,22
115	263,1	266,48
120	240,3	243,62
125	219,3	222,59
130	200,0	203,29
130	200,0	199,96
135	182,2	185,57
140	165,9	169,28



145	153,9	157,19
150	140,2	143,53
155	127,5	130,84
160	115,7	118,99
165	104,5	107,84
170	94,0	97,31
175	84,0	87,28
180	74,3	77,67

145	150,9	154,25
150	137,0	140,33
155	124,0	127,37
160	111,9	115,24
165	100,5	103,81
170	89,6	92,97
175	79,3	82,63
180	69,3	72,68

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 6.6-155 hh= 122,5 m D= 155 m	521,38
SG 5.0-145 hh= 127,5 m D= 145 m	528,44

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 gli aerogeneratori proposti SONO:

SIEMENS-GAMESA SG 6.6-155

GITTATA MAX PALA + TERMINALE PALA	174,62 mt
GITTATA MAX FRAMMENTO + TERMINALE FRAMMENTO	521,38 mt

SIEMENS-GAMESA SG 5.0-145

GITTATA MAX PALA + TERMINALE PALA	174,03 mt
GITTATA MAX FRAMMENTO + TERMINALE FRAMMENTO	528,44 mt

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

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

5.1 Fabbricati



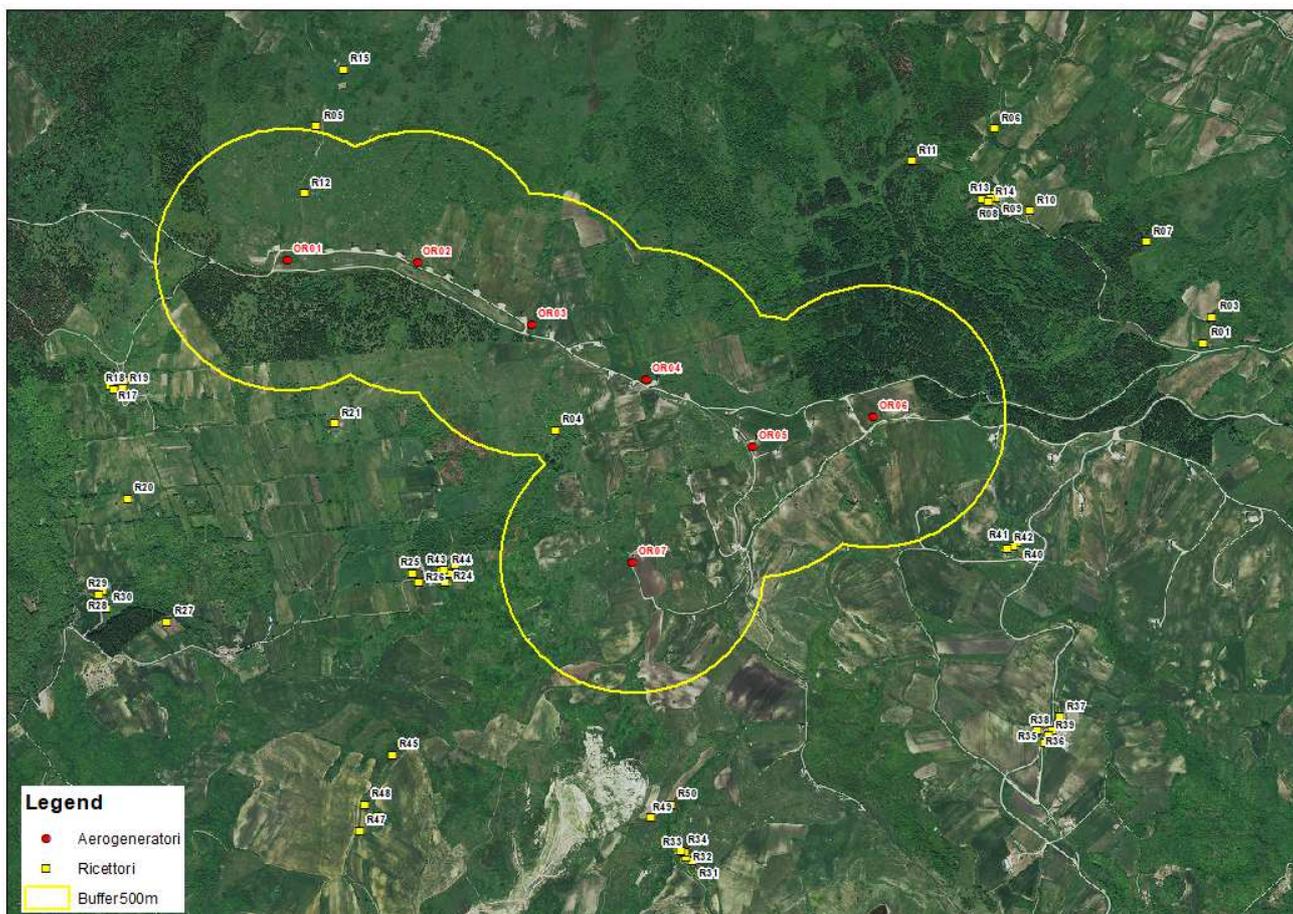


Figura 7: Individuazione planimetrica dei ricettori nel buffer di 500 mt

L'individuazione e la scelta dei fabbricati da considerare come ricettori 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).

N.	Comune	Fg	P.Illa	Qualità	Cat.	Tipo	Stato d'uso
R04	Orsara di Puglia	12	248	-	non accatastato	dirutto	Disabilitato
R05	Orsara di Puglia	4	234	-	non accatastato	dirutto	Disabilitato
R12	Orsara di Puglia	4	212	-	non accatastato	dirutto	Disabilitato
R22	Greci	12	311	Unità immob.	A4	abitazioni di tipo popolare	Disabilitato
R23	Greci	12	312	Unità immob.	A4	abitazioni di tipo popolare	Disabilitato
R24	Greci	12	252	Unità immob.	non accatastato	abbandonato	Disabilitato
R25	Greci	12	316	Unità immob.	A4 C6	abitazioni di tipo popolare Stalle, scuderie, rimesse, autorimesse (senza fine di lucro)	Disabilitato
R26	Greci	12	282	Unità immob.	non accatastato	abbandonato	Disabilitato
R40	Montaguto	5	180	Unità immob.	C2	magazzini e locali di deposito	Disabilitato
R41	Montaguto	5	181	Unità immob.	A4	abitazioni di tipo popolare	Abitato
R42	Montaguto	5	182	Unità immob.	C2 F2	magazzini e locali di deposito unità collabenti	Disabilitato
R43	Greci	12	321	Unità immob.	non accatastato	dirutto	Disabilitato
R44	Greci	12	320	Unità immob.	non accatastato	abbandonato	Disabilitato

Tabella 1: Elenco dei ricettori presenti nel buffer di 500m

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 521 e 528 m dagli aerogeneratori individuando le seguenti strade distinte per tipologia:

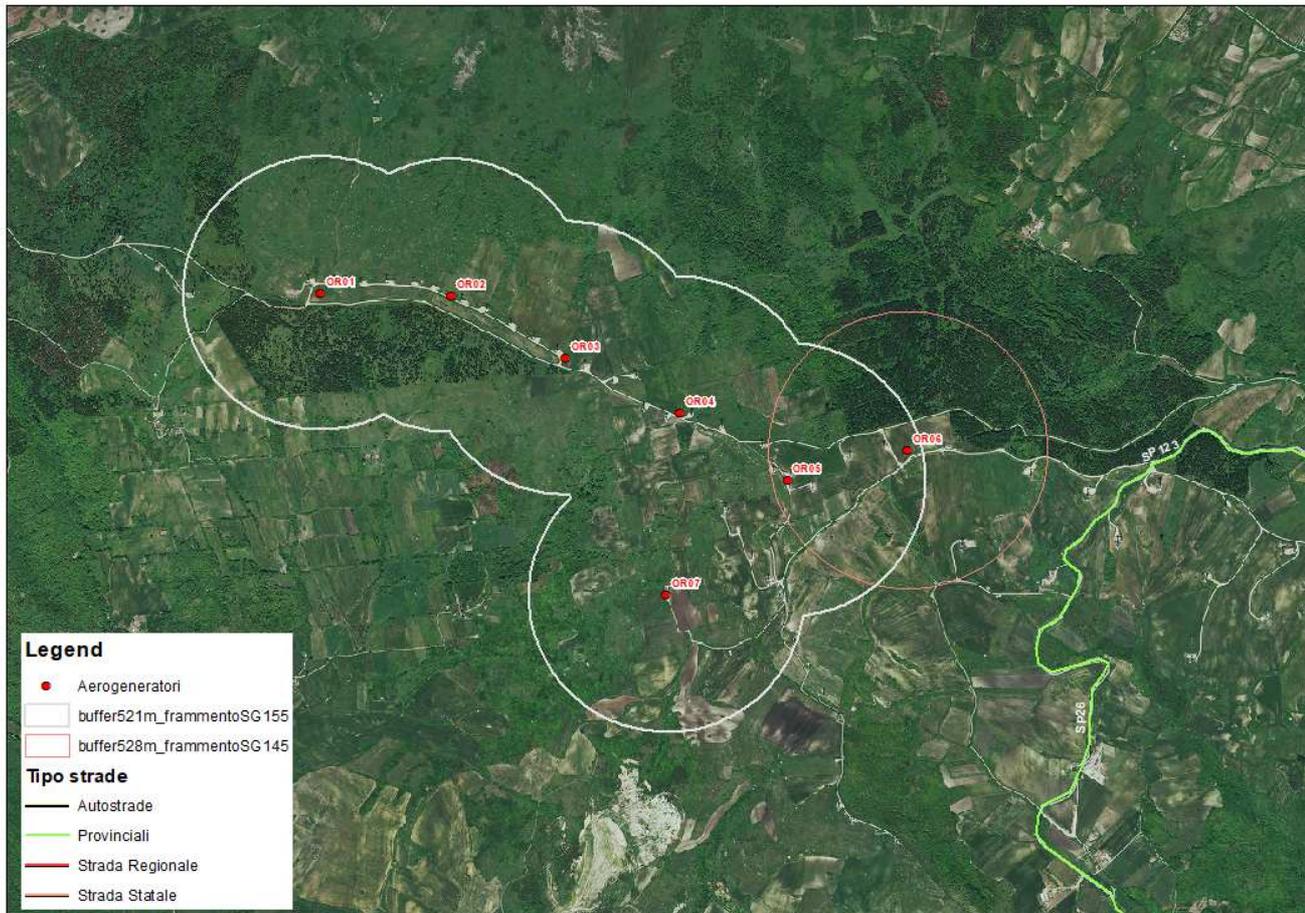


Figura 8: Viabilità interessata dal rischio di gittata nell'area dell'impianto.

NESSUNA STRADA, ad eccezione di quella di impianto, viene interessata dal rischio gittata.

Strade comunali e/o vicinali

Oltre alla viabilità classificata dalle Linee Guida, vi sono all'interno dell'area dell'impianto anche dalle strade comunali che servono i fondi ed i fabbricati presenti nell'intorno dell'area di progetto.

6. ANALISI DEL FATTORE DI RISCHIO NELLA DIREZIONE PERPENDICOLARE AL VENTO PREVALENTE

Dall'analisi degli studi anemologici di campo dedotti attraverso i dati dell'anemometro posto nell'area dell'impianto in prossimità dell'aerogeneratore si è ricavata la rosa dei venti (figura successiva)

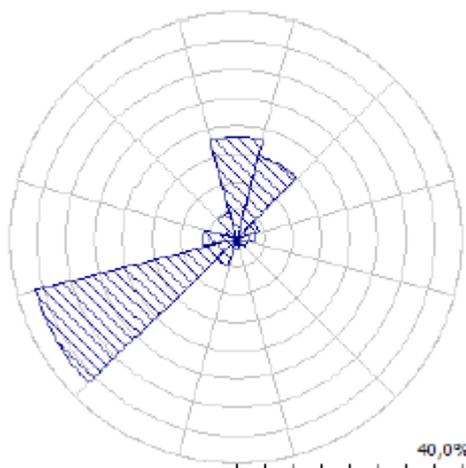


Figura 9: Wind Rose ottenuta dalle elaborazioni mediante Software WindFarm© dei dati anemometrici relativi agli anemometri posti sugli aerogeneratori presenti

L' aerogeneratore n°6 più prossimo alla Strada Provinciale n.26 è situato a oltre 700m, quindi ben oltre la distanza di sicurezza di gittata massima.

7. VERIFICA DI IMPATTO DELLA GITTATA MASSIMA

Sulla base del valore massimo della gittata nelle condizioni peggiori di rischio, pari a 528 mt, sono state condotte le seguenti verifiche di compatibilità dell'impianto rispetto ai ricettori, fabbricati e strade.

7.1 Fabbricati

Ricettore	Torre più prossima	Distanza m	Gittata max m	Verifica	Note
R04	wtg 4	390	528	-138	Assenza di rischio - Dirutto
R05	wtg 1	521	528	-7	Assenza di rischio - Dirutto
R12	wtg 1	261	528	-267	Assenza di rischio - Dirutto
R22	wtg 7	673	528	145	Assenza di rischio - Disabilitato
R23	wtg 7	695	528	167	Assenza di rischio - Disabilitato
R24	wtg 7	711	528	183	Assenza di rischio - Disabilitato
R25	wtg 7	834	528	306	Assenza di rischio - Disabilitato
R26	wtg 7	812	528	284	Assenza di rischio - Disabilitato
R40	wtg 6	726	528	198	Assenza di rischio - Disabilitato
R41	wtg 6	727	528	199	Assenza di rischio - Abitato
R42	wtg 6	713	528	185	Assenza di rischio - Disabilitato
R43	wtg 7	723	528	195	Assenza di rischio - Disabilitato
R44	wtg 7	714	528	186	Assenza di rischio - Disabilitato

Tabella 2: Elenco dei ricettori rispetto agli aerogeneratori

La tabella precedente rappresenta la verifica delle distanze dai ricettori (vedasi elaborato Schede ricettori) da

cui si evince come gli aerogeneratori presentano delle criticità in relazione alla gittata rispetto a buona parte dei ricettori presenti nel buffer di 500 m. **Per alcuni di essi seppur posti ad una distanza inferiore della gittata massima, per gli stessi non vi è alcun rischio data l'assenza di presenza umana, come meglio evidenziato nelle suddette schede ricettori allegati al progetto.**

7.2 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). 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.

8. CONCLUSIONI

Dal confronto tra il potenziale rischio di rottura accidentale con lancio della pala (max 174 mt circa) e/o frammento di essa con la relativa distanza massima (**max 528 mt**) relativamente agli aerogeneratori proposti, si conclude quanto segue:

8.1 Fabbricati

La verifica ha evidenziato l'assoluta compatibilità degli aerogeneratori col grado di antropizzazione dell'area.

8.2 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 dell'area evidenziando la rispondenza dei requisiti minimi anche nelle condizioni peggiori.

Foggia, Maggio 2024

Il Tecnico
Arch. Antonio DEMAIIO

