



Regione Puglia
 Provincia di Foggia
 Provincia di Barletta-Andria-Trani



Impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica composto da n.7 aerogeneratori con potenza totale installata pari a 49 MW e relative opere connesse denominato "Ofanto" sito nei Comuni di Cerignola (FG) e Trinitapoli (BT)

Titolo:

DIV4NO6_DocumentazioneSpecialistica_02
 RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA

Numero documento:

Commissa					Fase	Tipo doc.	Prog. doc.	Rev.					
2	3	4	3	0	5	D	R	0	1	1	6	0	0

Proponente:

FRI-ELOFANTO

FRI-EL OFANTO S.r.l.

Piazza del Grano 3, I-39100 Bolzano (BZ)

fri-el.ofanto@legalmail.it

Cod. Fisc./Part. Iva 03076540214

PROGETTO DEFINITIVO

Progettazione:



PROGETTO ENERGIA S.R.L.

Via Cardito, 202 | 83031 | Ariano Irpino (AV)

Tel. +39 0825 891313

www.progettoenergia.biz | info@progettoenergia.biz

SERVIZI DI INGEGNERIA INTEGRATI
 INTEGRATED ENGINEERING SERVICES



Progettista:

Ing. Massimo Lo Russo



Sul presente documento sussiste il DIRITTO di PROPRIETA'. Qualsiasi utilizzo non preventivamente autorizzato sarà perseguito ai sensi della normativa vigente

	N.	Data	Descrizione revisione	Redatto	Controllato	Approvato
REVISIONI	00	13.07.2023	EMISSIONE PER AUTORIZZAZIONE	C. ELIA	D. LO RUSSO	M. LO RUSSO

INDICE

1. PREMESSA.....3

2. METODOLOGIA ED IPOTESI.....3

2.1. FORZE AGENTI SULLA TRAIETTORIA DELLA PALA.....4

2.2. ESPERIENZE E NOTE STATISTICHE.....4

2.2.1 DISTACCO DI UNA DELLE PALE DAL ROTORE.....5

2.3.1 ROTTURA (APERTURA) DELL'ESTREMITÀ DI PALA.....6

3. LEGGE DEL MOTO6

4. CALCOLO GITTATA DELLA PALA8

4.1. CALCOLO DEL BARICENTRO8

4.2. CALCOLO DELLA VELOCITÀ PERIFERICA8

4.3. CALCOLO DI HG.....9

4.4. CALCOLO DELLA GITTATA DELLA PALA9

5. CALCOLO GITTATA DEL FRAMMENTO DELLA PALA11

5.1. CALCOLO DEL BARICENTRO11

5.2. CALCOLO DELLA VELOCITÀ PERIFERICA11

5.3. CALCOLO DI HG.....12

5.4. CALCOLO DELLA GITTATA DEL FRAMMENTO.....12

6. CONCLUSIONI SULLA GITTATA MASSIMA13

7. ANALISI E SCELTA DEI RICETTORI SENSIBILI PRESENTI NELL'AREA DI IMPIANTO14

8. VERIFICA DI IMPATTO DELLA GITTATA MASSIMA17

9. CONCLUSIONI.....18

1. PREMESSA

La presente relazione viene redatta con lo scopo di analizzare gli effetti della rottura degli organi rotanti dell'impianto di produzione di energia rinnovabile da fonte eolica denominato "Ofanto", costituito da n° 7 aerogeneratori, per una potenza massima complessiva di 49 MW, nei comune di Cerignola (FG) e Trinitapoli (BT) con relative opere connesse ed infrastrutture indispensabili nei comune di Cerignola (FG) e Trinitapoli (BT), collegato alla Rete Elettrica Nazionale mediante connessione con uno stallo a 150 kV in antenna su una futura Stazione Elettrica a 380/150 kV della RTN da collegare in entra – esce alla linea RTN a 380 kV "Foggia – Palo del Colle", ubicata nel comune Cerignola (FG).

Nel caso in cui sia riscontrata la presenza di fabbricati all'interno dell'area di gittata degli elementi rotanti verranno analizzate le caratteristiche degli stessi ai fini di definire se debbano effettivamente considerarsi ricettori.

Nei paragrafi seguenti è riportata la procedura 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 m 5, relativamente al seguente aerogeneratore previsto in progetto:

Tipo WTG
Siemens Gamesa SG170 - HH 115m – 7 MW

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.

Il tipo di aerogeneratore previsto per l'impianto in oggetto (aerogeneratore di progetto) è ad asse orizzontale con rotore tripala e una potenza pari di 7,00 MW, avente le caratteristiche principali di seguito riportate:

- rotore tripala a passo variabile, di diametro pari a 170 m, posto sopravvento alla torre di sostegno, costituito da 3 pale generalmente in resina epossidica rinforzata con fibra di vetro e da mozzo rigido in acciaio;
- navicella in carpenteria metallica con carenatura in vetroresina e lamiera, in cui sono collocati il generatore elettrico, il moltiplicatore di giri, il convertitore elettronico di potenza, il trasformatore BT/MT e le apparecchiature idrauliche ed elettriche di comando e controllo;
- torre di sostegno tubolare troncoconica in acciaio;
- altezza complessiva fuori terra dell'aerogeneratore pari a 200,00 m.

2. 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);
- La riduzione della velocità periferica è 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.

SIEMENS GAMESA SG170 - HH 115m – 7 MW

- Altezza della torre $H = 115$ m
- Diametro del rotore $D = 170$ m, quindi lunghezza della pala 85 m
- Velocità di rotazione $V = 8,83$ rpm.

2.1. FORZE AGENTI SULLA TRAIETTORIA DELLA 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*.

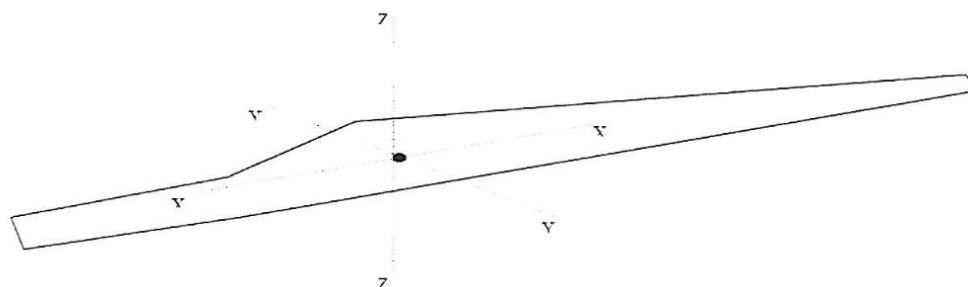


Figura 1 – Sistema coordinate (YY -- Flapwise, XX - Pitchwise, ZZ - Edgewise)

2.2. ESPERIENZE E NOTE STATISTICHE

È 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.

2.2.1 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.

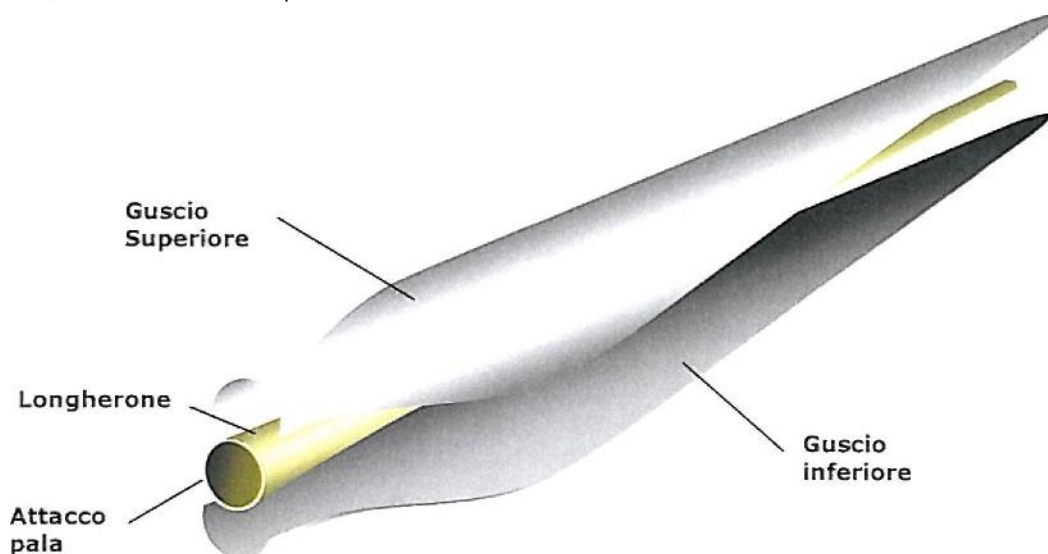


Figura 2 – Componenti di una pala

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.

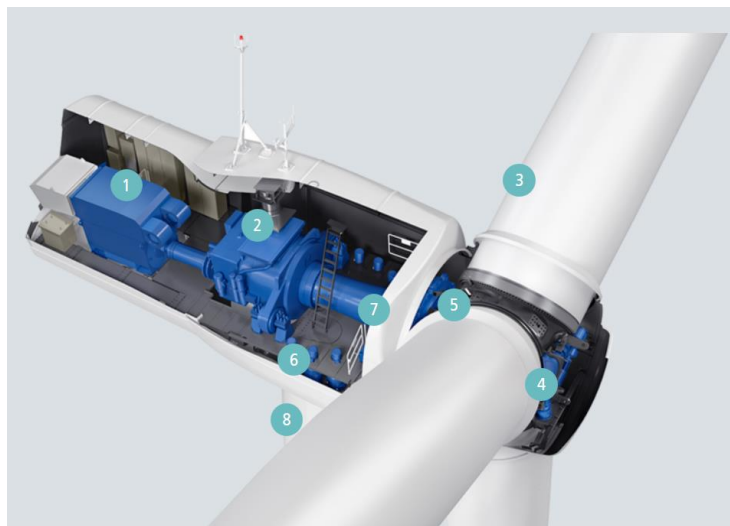


Figura 3 – Componenti del rotore

2.3.1 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 ricettori metallici posti all'estremità di pala e lungo l'apertura della pala, da un cavo che collega i ricettori 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. È 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.

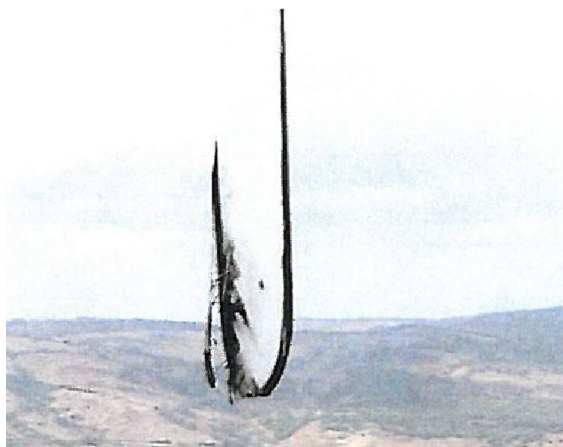


Figura 4 - Estremità di pala danneggiata da fulminazione atmosferica

3. 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:

$$1) \mathbf{Mg} = \mathbf{Ma_G}$$

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

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 è:

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

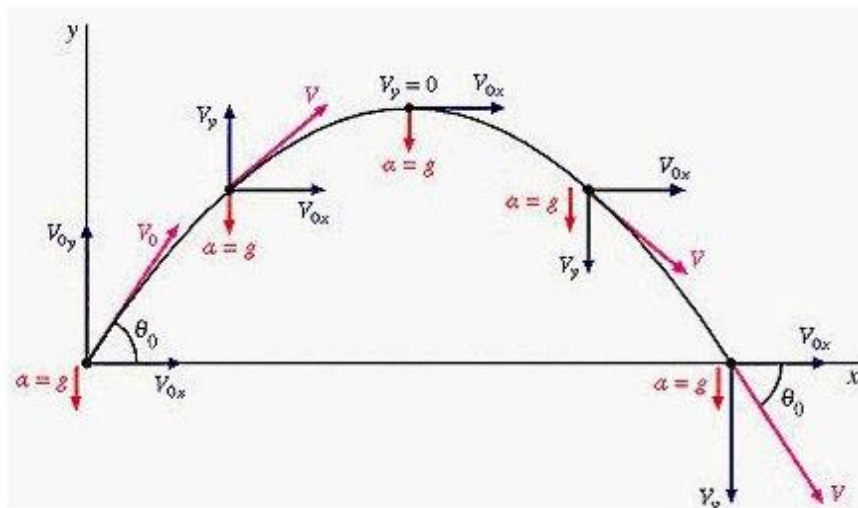
$$y(t) = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$$

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 intercetta il suolo al tempo T tale che $y(T) = 0$.

Dalla legge del moto si ottiene:

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

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:

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

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

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

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

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 :

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

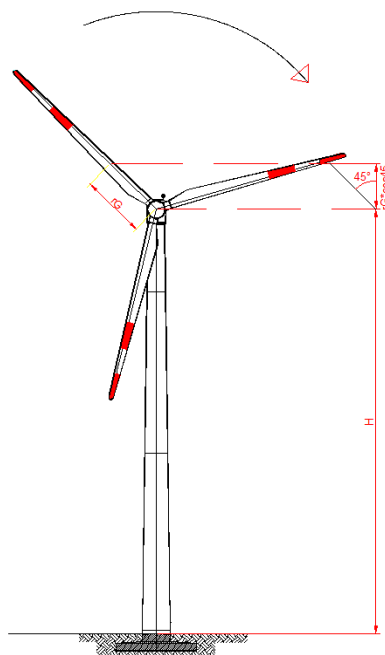
Si noti che, fissato un generico angolo α , la gittata aumenta quadraticamente con V, salvo i casi particolari $\alpha = \pm 90^\circ$; 0° ; 180° , nei quali la gittata aumenta linearmente con V oppure è pari ad R.

4. CALCOLO GITTATA DELLA PALA

Lo schema adottato per il calcolo è il seguente, 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 ad un terzo rispetto alla lunghezza della pala, cioè:

Tipo WTG	Baricentro r _G
SIEMENS GAMESA SG170 - HH 115m – 7 MW	28,33

4.2. CALCOLO DELLA VELOCITÀ PERIFERICA

Il dato di partenza è rpm = 8,83 giri/min che corrisponde ad una velocità angolare:

Tipo WTG	$\omega = 2\pi n/60$
SIEMENS GAMESA SG170 - HH 115m – 7 MW	0,924

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 $2\pi R$ 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 8.83 giri al minuto), corrisponde a:

Tipo WTG	$V_G = \omega R_G$ (m/s)
SIEMENS GAMESA SG170 - HH 115m – 7 MW	26,19

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 **18,33 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 $R_g = 28,33$ m, essendo il raggio di ciascuna pala uguale a 85 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 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:

Tipo WTG
SIEMENS GAMESA SG170 - HH 115m – 7 MW

Angolo	Gmax	Vertice pala
0	-28,3	28,333
5	-16,9	39,774
10	-0,7	55,946
15	6,4	63,036
20	17,8	74,498
25	29,0	85,619
30	39,6	96,243
35	49,6	106,232

Angolo	Gmax	Vertice pala
40	58,8	115,467
45	67,2	123,851
50	74,6	131,307
55	81,1	137,786
60	86,6	143,258
65	91,0	147,715
70	94,5	151,170
75	97,0	153,653
80	98,5	155,206
85	99,2	155,887
90	99,1	155,759
95	98,2	154,892
100	96,7	153,360
105	94,6	151,235
110	91,9	148,589
115	88,8	145,491
120	85,3	142,005
125	81,5	138,188
130	77,4	134,093
135	73,1	129,767
140	68,6	125,248
145	63,9	120,571
150	59,1	115,762
155	54,2	110,845
160	49,2	105,837
165	44,1	100,750
170	38,9	95,595
175	33,7	90,376
180	28,4	85,097

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

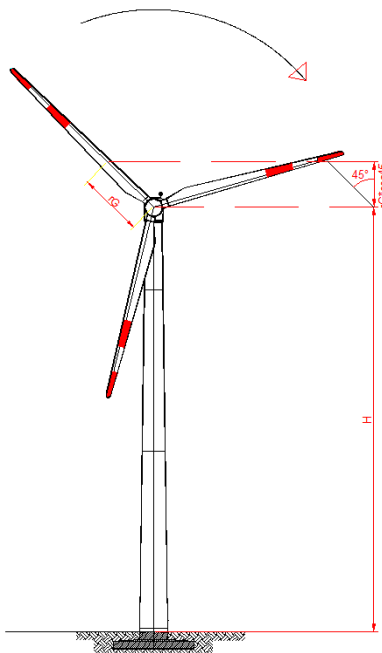
Tipo WTG	GITTATA MAX PALA + TERMINALE PALA
SIEMENS GAMESA SG170 - HH 115m – 7 MW	155,887

5. 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:

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.

5.1. 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
SIEMENS GAMESA SG170 - HH 115m – 7 MW	81,66

5.2. CALCOLO DELLA VELOCITÀ PERIFERICA

Il dato di partenza è Rpm = 8.83 giri/min che corrisponde ad una velocità angolare:

Tipo WTG	$\omega = 2\pi n/60$
SIEMENS GAMESA SG170 - HH 115m – 7 MW	0,92

Nel moto circolare uniforme, la velocità periferica è direttamente proporzionale al raggio. Ad ogni giro il punto G di raggio R percorre la circonferenza 2πR; dopo n giri al minuto lo spazio percorso sarà 2πR 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 8.83 giri al minuto), corrisponde a:

Tipo WTG	$V_G = \omega R_G$ (m/s)
SIEMENS GAMESA SG170 - HH 115m – 7 MW	75,47

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 **52,83 m/s**.

5.3. 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 del frammento di pala, ossia $R_g = 81,66$ m, essendo il raggio di ciascuna pala uguale a 80 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 .

5.4. 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 del frammento di pala stessa.

Supponendo di prendere in considerazione l'ipotesi più pericolosa, ossia quella in cui il frammento 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:

Tipo WTG
SIEMENS GAMESA SG170 - HH 115m – 7 MW

Angolo	Gmax	Vertice pala
0	-81,7	-78,33
5	-22,9	-19,61
10	66,3	69,67
15	93,4	96,74
20	148,3	151,65
25	199,4	202,73
30	245,6	248,96
35	286,2	289,48
40	320,4	323,69
45	347,8	351,18
50	368,5	371,81
55	382,3	385,65
60	389,7	393,02

Angolo	Gmax	Vertice pala
65	391,1	394,41
70	387,2	390,50
75	378,7	382,06
80	366,6	369,93
85	351,7	354,99
90	334,7	338,04
95	316,5	319,85
100	297,7	301,06
105	278,8	282,18
110	260,3	263,62
115	242,3	245,66
120	225,2	228,49
125	208,9	212,21
130	193,5	196,86
130	193,5	196,86
135	179,1	182,43
140	165,6	168,90
145	152,9	156,21
150	141,0	144,29
155	129,7	133,08
160	119,2	122,50
165	109,2	112,49
170	99,6	102,97
175	90,5	93,88
180	81,8	85,16

Dalla tabella si evince che il valore massimo nelle condizioni più gravose si ottiene con un angolo di distacco pari agli 65°, ovvero:

Tipo WTG	GITTATA MAX FRAMMENTO + TERMINALE FRAMMENTO
SIEMENS GAMESA SG170 - HH 115m – 7 MW	394,41

6. CONCLUSIONI SULLA GITTATA MASSIMA

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

GITTATA MAX PALA + TERMINALE PALA	155,887 m
GITTATA MAX FRAMMENTO + TERMINALE FRAMMENTO	394,41 m

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

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

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'elaborato "DIV4NO6_DocumentazioneSpecialistica_07 - Relazione previsionale di impatto acustico".

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, la quasi totalità di essi 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 ricettori e la distanza minima che si deve rispettare per essi sono riportati nelle 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).

Di seguito si riportano i ricettori, le loro coordinate e i loro identificativi catastali:

Ricettori (come identificati in DIV4NO6_DocumentazioneSpecialistica_07)	Comune	Foglio	Particella	Destinazione d'uso	UTM - WGS84	
					Long. E [m]	Lat. N [m]
1	Cerignola	78	430	A03	572719,9	4580349,6
2	Cerignola	77	202 sub 7 e 8	C02-A07	572896,9	4580293,3
3	Cerignola	78	202 sub 1 e 9	F02	572900,9	4580339,9
4	Cerignola	79	202 sub 6	A07	572962,8	4580338,2
5	Cerignola	77	177	A03	572887,6	4580816,1
6	Cerignola	77	154	A07	572865,5	4580916,1
7	Cerignola	77	160	C02-A04	572821,3	4580895,7
8	Cerignola	77	158	A04	572823,6	4580931,6
9	Cerignola	77	194	C02	572775,6	4581200,8
10	Cerignola	77	169	D10-A03	572768,7	4581247,3
11	Cerignola	77	197 sub 1	A03	572807,3	4581278,1
12	Cerignola	77	197 sub 2	D10	572816,0	4581233,5
13	Cerignola	77	142 sub1	D10	573270,0	4581248,9
14	Cerignola	77	142 sub 3 e 4 - 134	A04-C02-A03-C06	573307,5	4581243,9
15	Cerignola	77	146	A04-C02	573515,7	4581216,7
16	Cerignola	77	152	A04-C02	573583,0	4581127,2
17	Cerignola	77	156	A07	573551,9	4581111,9
18	Cerignola	88	288	F02	573271,5	4580009,0
19	Cerignola	88	284	A03	573429,2	4579561,5
20	Cerignola	88	354 sub1	D10	573436,2	4579581,9
21	Cerignola	88	354 sub2	A04	573460,3	4579567,8
22	Cerignola	89	42	F02	573439,1	4579860,2
23	Cerignola	90	79	C02	573964,1	4579994,4
24	Cerignola	90	78	C02	574640,9	4580338,9
25	Cerignola	77	11	FABB DIRUTO	574101,9	4580575,8
26	Cerignola	77	212	D10	573995,7	4581214,0
27	Cerignola	77	148	A04-C02	574028,7	4581310,0
28	Cerignola	77	117	COSTR NO AB	574040,5	4581375,1
29	Cerignola	77	162	A03- C06	573926,1	4581650,1
30	Cerignola	77	180	F02	574080,7	4581416,7
31	Cerignola	77	118	F02	574115,5	4581406,2

Ricettori (come identificati in DIV4NO6_DocumentazioneSpecialistica_07)	Comune	Foglio	Particella	Destinazione d'uso	UTM - WGS84	
					Long. E [m]	Lat. N [m]
32	Cerignola	77	120	COSTR NO AB	574087,8	4581565,5
33	Cerignola	77	187	A04	574156,1	4581536,3
34	Cerignola	77	109	FU D ACCERT	574766,1	4581642,3
35	Cerignola	12	543	A04	574599,3	4581806,7
36	Cerignola	13	85	C02-A02	574922,9	4581800,5
37	Cerignola	76	650	C02	574959,7	4581205,2
38	Cerignola	76	533	A03-C02	575433,9	4581188,9
39	Cerignola	20	131-150	FABB RURALE - C02	576884,6	4581474,2
40	Cerignola	20	143	C02	577144,7	4581540,2
41	Cerignola	20	155	C02	576979,7	4581655,4
42	Cerignola	20	15	FABB DIRUTO	576895,0	4582241,4
43	Cerignola	32	97	C06	577771,2	4582007,2
44	Cerignola	32	83	FABB RURALE	577964,9	4581715,3
45	Cerignola	32	89	AREA RURALE	578001,9	4581719,2
46	Cerignola	32	5	COSTR NO AB	578252,9	4581566,9
47	Cerignola	75	473 sub2	A03	577594,2	4581066,8
48	Cerignola	75	473 sub3	D10	577604,3	4581033,0
49	Cerignola	70	80	ENTE URBANO	577753,2	4581114,3
50	Cerignola	70	78	FABB RURALE	577820,5	4581097,4
51	Cerignola	70	93	ENTE URBANO	577895,4	4581078,4
52	Cerignola	71	259-261 sub4	C02-D01	577647,8	4579404,9
53	Cerignola	71	261 sub 5	A03	577664,9	4579385,4
54	Cerignola	71	3-176-177-173-174-262	FABB RURALE -C06-C02	577632,3	4579369,0
55	Cerignola	69	427-114-420-205-116-63	COSTR NO AB - AREA RURALE-F02- FABB DIRUTO	577890,4	4579699,2
56	Cerignola	69	425-53	D10- FABB RURALE	578221,4	4579399,4
57	Cerignola	66	75-83-77-82	C02-F02-D10	578593,8	4579517,6
58	Cerignola	66	84-76	C02	578749,6	4578708,5
59	Cerignola	66	74	C02	578898,0	4579428,1
60	Cerignola	63	302	F02	578693,3	4580113,2
61	Cerignola	64	61-6	FR DIV SUB -D10-F02	578652,452	4579678,4
62	Cerignola	65	86	C02	579435,637	4579661,1
63	Cerignola	65	81	C02	579338,299	4579145,6
64	Cerignola	65	83	C02	579276,173	4579073,1
65	Cerignola	65	78-79	F02-D10	579138,048	4578769,6
66	Cerignola	65	92	C02	579050,788	4578281,8
67	Cerignola	65	84	C02-A04	579007,53	4578279,6
68	Cerignola	67	7-5	COSTR NO AB	578275,219	4578673,7
69	Cerignola	118	380-381	C02-COSTR NO AB	576827,094	4577815,93
70	Cerignola	118	29-51-376	COSTR NO AB -F02	576861,507	4577160,82
71	Cerignola	118	32-54-55-377	FABB DIRUTO -F02	576894,08	4577121,57
72	Cerignola	118	49-292-58	COSTR NO AB- AREA FAB DM	576932,908	4577146,13
73	Cerignola	119	47	FABB DIRUTO	576958,896	4577172,5
74	Cerignola	118	46	AREA FAB DM	576927,175	4577216,1
75	Cerignola	118	42-40-38	COSTR NO AB- AREA FAB DM	577021,85	4577219
76	Cerignola	118	34	AREA FAB DM	577045,446	4577259,47
77	Cerignola	120	16	COSTR NO AB	577047,346	4577305,31

Ricettori (come identificati in DIV4NO6_DocumentazioneSpecialistica_07)	Comune	Foglio	Particella	Destinazione d'uso	UTM - WGS84	
					Long. E [m]	Lat. N [m]
78	Cerignola	120	43-53-54-224-55-144-147-141-145-148-142-143-46-47-48-45-4	COSTR NO AB- AREA RURALE	577154,12	4578082,09
79	Cerignola	122	340	F02	578522,373	4577792,5
80	Cerignola	119	125	F02	577845,343	4577299,35
81	Cerignola	119	133	C02	577509,887	4577179,82
82	Cerignola	119	123	C02	577369,556	4576889,12
83	Cerignola	133	132	C02	577699,259	4576751,33
84	Cerignola	132	-	non censita catastalmente	578556,19	4576117,03
85	Cerignola	132	824	F02	578625,234	4575837,55
86	Cerignola	132	855	C02	578605,396	4575585,43
87	Cerignola	132	816	C02	578806,185	4575240,63
88	Cerignola	127	309-305-297-281-298-304-83-267-270	C02-D10-AREA RURALE -A04	580056,854	4576285,02
89	Cerignola	127	251-299	C02-A04	580117,148	4576252,09
90	Cerignola	127	74-75-7	COSTR NO AB	579968,491	4576185,05
91	Cerignola	127	217	COSTR NO AB	579989,15	4576088,36
92	Cerignola	131b	863	F02	579757,171	4575267,74
93	Cerignola	131b	-	non censita catastalmente	579638,562	4574827,43
94	Cerignola	131b	109	FABB DIRUTO	579765,217	4574611,6
95	Cerignola	128	1	FABB DIRUTO	582162,749	4576079,46
96	Cerignola	125	143	D10	581194,613	4576992
97	Cerignola	125	110-141-94	C02-D10-A04	581145,158	4577014,88
98	Cerignola	125	3	A02	581155,923	4577085,47
99	Cerignola	125	137	C02-A03	581253,213	4577075,64
100	Trinitapoli	3	1151	C02	582243,447	4577185,76
101	Trinitapoli	3	-	non censita catastalmente	583194,872	4576741,85
102	Trinitapoli	3	-	non censita catastalmente	582268,044	4576297,08

Di tali ricettori, si sono presi in considerazione quelli presenti nell'area di studio, individuati negli elaborati:

- DIV4NO6_ElaboratoGrafico_1_01 Planimetria catastale con verifica distanze da abitazioni - WTG 1;
- DIV4NO6_ElaboratoGrafico_1_02 Planimetria catastale con verifica distanze da abitazioni - WTG 2;
- DIV4NO6_ElaboratoGrafico_1_03 Planimetria catastale con verifica distanze da abitazioni - WTG 3;
- DIV4NO6_ElaboratoGrafico_1_04 Planimetria catastale con verifica distanze da abitazioni - WTG 4;
- DIV4NO6_ElaboratoGrafico_1_05 Planimetria catastale con verifica distanze da abitazioni - WTG 5;
- DIV4NO6_ElaboratoGrafico_1_06 Planimetria catastale con verifica distanze da abitazioni - WTG 6;
- DIV4NO6_ElaboratoGrafico_1_07 Planimetria catastale con verifica distanze da abitazioni - WTG 7.

ed evidenziati in grigio nella tabella precedente.

Per tali ricettori, nella tabella successiva, si riporta la distanza di ciascun ricettore dall'aerogeneratore più vicino ad esso.

Ricettori (come identificati in DIV4NO6_DocumentazioneSpecialistica_07)	Comune (Catastale)	Foglio	Particella	Aerogeneratore più vicino	Distanza Ricettore – Aerogeneratore [m]
1	Cerignola	78	430	WTG01	709
2	Cerignola	77	202 sub 7 e 8	WTG01	578
4	Cerignola	79	202 sub 6	WTG01	499
5	Cerignola	77	177	WTG01	529
6	Cerignola	77	154	WTG01	593
7	Cerignola	77	160	WTG01	622
8	Cerignola	77	158	WTG01	637
10	Cerignola	77	169	WTG01	877
11	Cerignola	77	197 sub 1	WTG01	873
14	Cerignola	77	142 sub 3 e 4 -134	WTG01	632
15	Cerignola	77	146	WTG01	617
16	Cerignola	77	152	WTG01	551
17	Cerignola	77	156	WTG01	526
19	Cerignola	88	284	WTG01	1056
21	Cerignola	88	354 sub2	WTG01	1051
27	Cerignola	77	148	WTG02	716
29	Cerignola	77	162	WTG02	1014
33	Cerignola	77	187	WTG02	778
35	Cerignola	12	543	WTG02	888
36	Cerignola	13	85	WTG02	929
38	Cerignola	76	533	WTG02	849
47	Cerignola	75	473 sub2	WTG03	623
53	Cerignola	71	261 sub 5	WTG04	909
67	Cerignola	65	84	WTG04	962
88	Cerignola	127	309-305-297-281-298-304-83-267-270	WTG06	975
89	Cerignola	127	251-299	WTG06	989
97	Cerignola	125	110-141-94	WTG07	1056
98	Cerignola	125	3	WTG07	1064
99	Cerignola	125	137	WTG07	969

8. VERIFICA DI IMPATTO DELLA GITTATA MASSIMA

Sulla base del valore massimo della gittata nelle condizioni peggiori di rischio, pari a 394,41 m, è stata condotta una verifica di compatibilità dell’impianto rispetto ai ricettori precedentemente individuati, ovvero rispetto ai ricettori 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 14, 15, 16, 17, 19, 21, 27, 29, 33, 35, 36, 38, 47, 53, 67, 88, 89, 97, 98, 99.

Nell’elaborato “DIV4NO6_ElaboratoGrafico_1_01 Planimetria catastale con verifica distanze da abitazioni” viene mostrata la verifica delle distanze tra gli aerogeneratori e i ricettori, da cui si evince l’assenza di criticità in relazione alla gittata. Nessun ricettore è posto ad una distanza inferiore a 394,41 m.

9. CONCLUSIONI

In conclusione, la verifica ha evidenziato l'assoluta compatibilità degli aerogeneratori col grado di antropizzazione dell'area. Si sottolinea, inoltre, che il valore assunto di 394,41 m è teorico ed altamente conservativo, poiché non tiene in conto le forze di attrito viscoso e la complessità del moto rotazionale, ovvero la rotazione della pala durante il moto di caduta, condizioni reali che attenuano i valori della gittata massima.

