

REGIONE TOSCANA
COMUNE DI ZERI
Provincia di Massa Carrara



INARIA SRL

Sede Legale
Via Accoli, 13/b
83031 Ariano Irpino (AV)
P.I.: 02707200644
Codice SDI: SU9YNJA
tel. fax + 39 0825 891749

Unità locale
Via Cardito, 201
83031 Ariano Irpino Avellino
REA/AV 177691
pec: inaria@pec.it
mobile + 39 335 5614728

OGGETTO:

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA DI POTENZA PARI A 975 kW

COMMITTENTE:

EWT ITALIA DEVELOPMENT S.R.L.
Via Giuseppe Rovani n.7
20123 – Milano (MI)
P.I.: 10525690961

TITOLO ELABORATO:

**ANALISI DEGLI EFFETTI DELLA
ROTTURA DEGLI ORGANI ROTANTI**

SCALA:

N° ELABORATO


9

DATA:

DICEMBRE 2020

PROGETTISTI:

DOTT.ING. ANGELO TENORE

 <p>INARIA s.r.l. General Contractor Renewable Service – Wind Division</p>	<p>Progetto di un Impianto Eolico da 975 kW Comune di Zeri (MS)</p> <p><u>ANALISI DEGLI EFFETTI DELLA ROTTURA DEGLI ORGANI ROTANTI</u></p>
--	--

1. PREMESSA

2. GITTATA-ANALISI TEORICA

3. CARATTERISTICHE AEROGENERATORE

4. IPOTESI DI CALCOLO

5. CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA

6. CONCLUSIONI

INARIA s.r.l.

Sede legale e deposito: Contrada Accoli 13 B

Unità locale uffici: Via Cardito 201, ex palazzo Ag. Entrate piano 3°

C.A.P. 83031 Ariano Irpino Avellino

p.i. 02707200644

Codice destinatario SDI: SU9YNJA

web www.inariaminielico.it

tel. fax + 39 0825 891749

mail inariacontabilita@gmail.com

mobile + 39 335 5614728

pec inaria@pec.it

1.INTRODUZIONE

Il presente progetto riguarda la realizzazione e l'esercizio di un impianto eolico di potenza pari a 975 kW nel comune di Zeri (MS), in località "Monte Seghe".

Il presente studio ha lo scopo di calcolare la gittata massima raggiungibile dagli elementi rotanti di un aerogeneratore nel caso di distacco accidentale, in condizioni di normale funzionamento.

2.GITTATA-ANALISI TEORICA

L'aerogeneratore previsto nel progetto in esame è del tipo EWT-DW61, le cui caratteristiche salienti sono riportate nella tabella a seguire:

AEROGENERATORE
ALTEZZA H= 69,00 m
DIAMETRO ROTORE D= 60.9 m
GIRI _{MAX} al minuto 29,1

Rischio di Rottura Accidentale

La rottura accidentale di un elemento rotante (la pala) di un aerogeneratore ad asse orizzontale può essere considerato un evento raro, in considerazione della tecnologia costruttiva ed ai materiali impiegati per la realizzazione delle pale stesse. Tuttavia, al fine della sicurezza, la stima della gittata massima di un elemento rotante assume un'importanza rilevante per la progettazione e l'esercizio di un impianto eolico.

Il rischio è considerato in questo contesto come combinazione di due fattori:

- la probabilità che possa accadere un determinato evento;
- la probabilità che tale evento abbia conseguenze sfavorevoli.

Durante il funzionamento dell'impianto, il più grande rischio è dovuto alla caduta di oggetti dall'alto, queste cadute possono essere dovute:

- pezzi di ghiaccio formatisi sulla pala;
- rottura accidentale di pezzi meccanici in rotazione.

Per ciò che concerne la prima tipologia di evento, vista la latitudine dell'area di progetto e le caratteristiche climatiche, la sua probabilità si può considerare trascurabile.

Per ciò che riguarda la seconda tipologia è bene evidenziare che:

- il collegamento rigido tra le pale ed il mozzo limita sino a quasi ad annullare il rischio di distacco di una pala;
- le pale del rotore di progetto sono realizzate in fibra di vetro e carbonio rinforzato con materiali plastici quali il poliestere o le fibre epossidiche: l'utilizzo di questi materiali limita sino a quasi ad annullare la probabilità di distacco di parti meccaniche in rotazione: anche in caso di

INARIA s.r.l.

Sede legale e deposito: Contrada Accoli 13 B

Unità locale uffici: Via Cardito 201, ex palazzo Ag. Entrate piano 3°

C.A.P. 83031 Ariano Irpino Avellino

p.i. 02707200644

Codice destinatario SDI: SU9YNJA

web www.inariaminielico.it

tel. fax + 39 0825 891749

mail inariacontabilita@gmail.com

mobile + 39 335 5614728

pec inaria@pec.it

gravi rotture le fibre che compongono la pala la mantengono di fatto unita in un unico pezzo (seppure gravemente danneggiato);

- gli aerogeneratori di grande taglia del tipo previsto in progetto, in considerazione anche del loro elevato valore commerciale, sono oggetto di programmi di manutenzione molto accurati che per quanto riguarda le pale è atto a verificare l'esistenza di piccole fratture, di cui se accertata la pericolosità determinano interventi di manutenzione ordinaria (riparazioni) o straordinaria (sostituzione del pezzo).

La statistica riporta fra le maggiori cause di danno quelle prodotte direttamente o indirettamente dalle fulminazioni. Proprio per questo motivo il sistema navicella-rotore-torre tubolare sarà protetto con parafulmini. In conformità a quanto previsto dalla norma CEI 81-1 la classe di protezione sarà quella più alta (Classe I). In termini probabilistici ciò significa un livello di protezione del 98% (il 2% di probabilità che a fulminazione avvenuta si abbiano danni al sistema).

Pertanto può affermarsi che la probabilità che si produca un danno al sistema con successivi incidenti è molto limitata se non addirittura nulla.

Ipotesi

Da un punto di vista teorico, non prendendo in considerazione le caratteristiche aerodinamiche proprie della pala, la gittata maggiore della pala o della sezione di pala distaccata, si avrebbe nel caso di distaccamento in corrispondenza della posizione palare pari a 45 gradi e di moto a "giavellotto" del frammento.

Nella realtà la pala ha una complessità aerodinamica tale per cui il verificarsi di un moto a giavellotto è praticamente impossibile: le forze di resistenza viscosa, le azioni resistive del vento ed il moto di rotazione complesso dovuto al profilo aerodinamico della pala/frammento-di-pala, si oppongono al moto e riducono il tempo e la distanza di volo.

Traiettoria del frammento

La traiettoria iniziale della pala/sezione-di-pala distaccata è determinata principalmente dall'angolo in corrispondenza del quale avviene il distacco e dall'azione esercitata dalle forze e dai momenti di inerzia. Per quanto riguarda le forze di tipo aerodinamico e relativi momenti, queste agiranno sulla pala/sezione-di-pala influenzando i movimenti rotatori in fase di volo.

Tempo di volo

Il tempo di volo generalmente è determinato:

- dalla componente verticale della velocità iniziale posseduta dalla pala/sezione di pala immediatamente dopo il distacco, in corrispondenza del suo punto baricentrico;
- dalla posizione rispetto al suolo;
- dall'accelerazione verticale;

INARIA s.r.l.

Sede legale e deposito: Contrada Accoli 13 B

Unità locale uffici: Via Cardito 201, ex palazzo Ag. Entrate piano 3°

C.A.P. 83031 Ariano Irpino Avellino

p.i. 02707200644

Codice destinatario SDI: SU9YNJA

web www.inariaminielico.it

tel. fax + 39 0825 891749

mail inariacontabilita@gmail.com

mobile + 39 335 5614728

pec inaria@pec.it

- dalle forze di attrito agenti sulla pala/sezione di pala stessa.

Il tempo di volo che si deduce da tali considerazioni è utilizzato successivamente per il calcolo della distanza.

Distanza percorsa

La distanza orizzontale percorsa nella fase di volo è determinata:

- dalla componente orizzontale della velocità immediatamente dopo il distacco;
- dalla velocità del vento nel momento del distacco;
- dalle forze di attrito che agiscono sulla pala/sezione-di-pala in volo;
- dal tempo di volo.

Moto Rotazionale Complesso

Il moto reale della parte distaccata risulta molto complesso, poiché dipendente, come detto, dalle caratteristiche aerodinamiche di questa e dalle condizioni iniziali (rollio, imbardata e beccheggio della pala). I casi puramente teorici di rottura e di volo con moto “a giavellotto” sono da escludersi data la complessità aerodinamica della pala e la presenza dell’azione del vento.

Il modello teorico che meglio caratterizza il moto delle parti (siano esse sezioni di pala e la pala intera) che hanno subito il distacco, e che più si avvicina al caso reale, è il modello “Complex Rotational Motion”, che permette di studiare il moto nel suo complesso, considerando i moti di rotazione intorno agli assi xx , yy , zz .

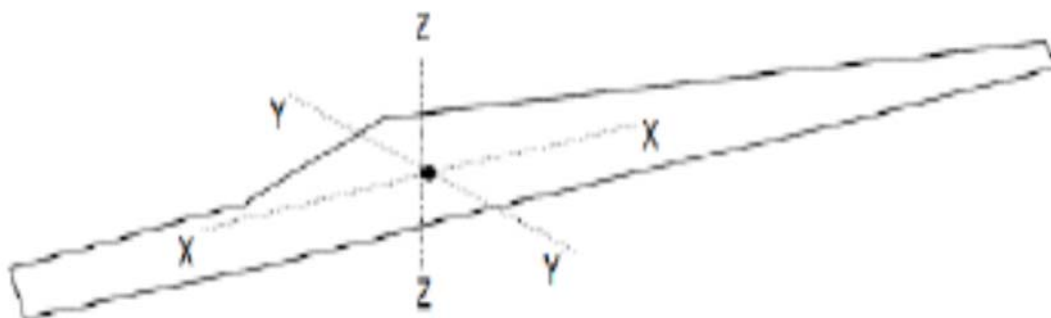


Fig.1 Rappresentazione degli assi di rotazione

La rotazione della pala intorno all'asse zz è causato dalla conservazione del momento della quantità di moto: in caso di rottura, per il principio di conservazione, il generico spezzone tende a ruotare intorno all’asse ortogonale al proprio piano.

La rotazione intorno agli altri assi è dovuta alle azioni indotte dal vento incidente out of plane sulla pala/sezione di pala. In particolare si genera:

INARIA s.r.l.

Sede legale e deposito: Contrada Accoli 13 B

Unità locale uffici: Via Cardito 201, ex palazzo Ag. Entrate piano 3°

C.A.P. 83031 Ariano Irpino Avellino

p.i. 02707200644

Codice destinatario SDI: SU9YNJA

web www.inariamieolico.it

tel. fax + 39 0825 891749

mail inariacontabilita@gmail.com

mobile + 39 335 5614728

pec inaria@pec.it

- un momento intorno all'asse yy: centro di massa e centro aerodinamico della pala/sezione di pala non coincidono;
- un momento intorno all'asse xx: centro di massa della sezione di pala lungo la corda e il centro aerodinamico non coincidono.

La traiettoria iniziale è determinata principalmente dall'angolo di distacco/lancio e dalle forze inerziali agenti sulla pala/ frammento di pala: al momento del distacco, oltre all'impulso, agiscono anche i momenti di flapwise, edgewise e pitchwise.

Pertanto il moto della parte distaccata sarà un moto rotazionale, su cui agisce anche la forza di gravità. La resistenza offerta dalla pala al moto sia in plane che out plane è generata dalla rotazione intorno agli assi xx e yy.

La massima gittata della pala/frammento di pala è strettamente dipendente:

- dal numero di giri del rotore e quindi dalla velocità periferica della parte al momento del distacco;
- dal numero di giri del rotore e quindi dalla velocità periferica della parte al momento del distacco;
- dalla dimensione del frammento;
- dal peso del frammento (più leggero è, più il suo moto è limitato dalle forze di attrito viscoso);
- dal profilo aerodinamico della pala/frammento di pala.

Si può concludere che:

- se effettuiamo un calcolo che tenga conto dei valori cinematici e geometrici del moto senza considerare gli effetti viscosi e soprattutto la complessità del moto rotazionale otteniamo valori di gittata più alti di quelli reali (valore teorico > valore reale);
- più che dalle dimensioni dell'aerogeneratore e dell'altezza della torre, i valori della gittata dipendono dalla velocità di rotazione.

Nel paragrafo successivo effettueremo il calcolo della gittata per l'aerogeneratore in progetto, facendo riferimento alla metodologia presentata nello studio "*Vestas V80 – Blade Throw Calculation under normal operating conditions*", redatto dalla PB Power Ltd per conto della Vestas, in relazione all'aerogeneratore V80.

In particolare, tale studio ha modulato la stima della massima gittata sotto le ipotesi:

1. Di moto irrotazionale ("a giavellotto"), includendo le sole forze di inerzia;
2. Di moto irrotazionale, tenendo conto delle forze viscosi;
3. Di moto rotazionale completo.

L'ultimo caso – che meglio approssima la dinamica del distacco – è particolarmente complesso da affrontare, per cui l'ipotesi sotto la quale è stato inizializzato il calcolo è la n.2 che, sulla scorta dei risultati presentati dallo studio citato, produce una sovrastima del valore più plausibile.

Per completezza, lo studio citato tiene conto, oltre all'assetto di rotazione al momento del distacco, anche dell'impatto frontale del vento, che genera un fenomeno di portanza tale da indurre un

INARIA s.r.l.

Sede legale e deposito: Contrada Accoli 13 B

Unità locale uffici: Via Cardito 201, ex palazzo Ag. Entrate piano 3°

C.A.P. 83031 Ariano Irpino Avellino

p.i. 02707200644

Codice destinatario SDI: SU9YNJA


web www.inariamieolico.it

tel. fax + 39 0825 891749

mail inariacontabilita@gmail.com

mobile + 39 335 5614728

pec inaria@pec.it

 <p>INARIA s.r.l. General Contractor Renewable Service – Wind Division</p>	<p>Progetto di un Impianto Eolico da 975 kW Comune di Zeri (MS)</p> <p><u>ANALISI DEGLI EFFETTI DELLA ROTTURA DEGLI ORGANI ROTANTI</u></p>
--	--

ulteriore movimento “out-of-plane”, ossia ortogonale al piano di rotazione, che però, nell’ipotesi 2 di calcolo, qui adottata, risulta trascurabile.

3. CARATTERISTICHE AEROGENERATORE

Le caratteristiche tecniche dell’aerogeneratore, intese come grandezze geometriche e valori cinematici di funzionamento, influenzano in maniera determinante i valori di gittata riscontrabili in caso di distacco accidentale degli elementi rotanti.

Il presente studio prende in esame l’aerogeneratore DIRECTWIND 61 prodotto dall’azienda olandese Energya Wind Technologies BV, costituito da un aerogeneratore ad asse orizzontale tripala con torre troncoconica, nella tabella che segue si riportano le caratteristiche tecniche salienti.

Operational Data	
Cut in wind speed	3 m/s
Cut out wind speed	25 m/s
Rated wind speed	14.0 m/s
Rated rotor speed	24 rpm
Rotor speed range	8 to 29.1 rpm
Power output	1000 kW
Rotor	
Diameter	60.9 m
Type	3-Bladed, horizontal axis
Position	Up-wind
Swept area	2,913 m ²
Power regulation	Active pitch control, rotor field excitation and stator current control
Rotor tilt angle	5°
Blade Set	
Type	EWT 29
Blade length	29.15 m
Chord Max at 5.0 m	2.5 m
Material	Glass reinforced epoxy
Leading edge protection	PU coating
Leading edge protection	Light grey RAL 7035
Pre-bend	0.75 m
Tower	
Type	Tapered tubular steel tower
Hub height options	HH = 46 m; 69 m
Surface colour	Interior: White RAL 7401, Exterior: Light grey RAL 7035

INARIA s.r.l.

Sede legale e deposito: Contrada Accoli 13 B

Unità locale uffici: Via Cardito 201, ex palazzo Ag. Entrate piano 3°

C.A.P. 83031 Ariano Irpino Avellino

p.i. 02707200644

Codice destinatario SDI: SU9YNJA


web www.inariamieolico.it

tel. fax + 39 0825 891749

mail inariacontabilita@gmail.com

mobile + 39 335 5614728

pec inaria@pec.it

 <p>INARIA s.r.l. General Contractor Renewable Service – Wind Division</p>	<p>Progetto di un Impianto Eolico da 975 kW Comune di Zeri (MS)</p> <p><u>ANALISI DEGLI EFFETTI DELLA ROTTURA DEGLI ORGANI ROTANTI</u></p>
--	--

Tra le diverse configurazioni dell'aerogeneratore si prenderà in esame quella avente valori dimensionali più elevati, pertanto sarà analizzata la configurazione avente le seguenti caratteristiche:

- Altezza al mozzo (H) = 69 m
- Diametro rotore (D) = 60,9 m
- Velocità massima di rotazione rotorica = 29,1 rpm

4. IPOTESI DI CALCOLO

Come d'innanzi specificato, si procede nel calcolo della gittata massima del generico frammento di ala considerando la traiettoria a giavellotto con minore resistenza aerodinamica, con traiettoria del frammento complanare al rotore, tali ipotesi risultano cautelative ai fini della verifica dell'area potenzialmente raggiungibile da un frammento distaccatosi accidentalmente garantendo così un ulteriore margine di sicurezza.

Geometria del problema e calcolo della gittata

Le equazioni del moto di un punto materiale soggetto solo alla forza di gravità sono:

$$\ddot{x}=0$$

$$\ddot{y}=-g$$

Dove $g=9.82 \text{ m/s}^2$ è l'accelerazione di gravità. La legge del moto che costituisce soluzione di queste equazioni è:

$$x(t)=x_0+v_x t - \frac{1}{2}gt^2$$

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

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

Dalla legge del moto si ottiene :

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

in cui è stata scartata la soluzione corrispondente a tempi negativi.

La posizione e la velocità iniziale sono determinate dall'angolo θ e dalla velocità iniziale V del frammento di pala al momento del distacco. Esse sono legate alla posizione ed alla velocità iniziale dalle relazioni:

$$x_0 = -R\cos\theta$$

$$y_0 = H+R\sin\theta$$

$$v_x = V\sin\theta$$

$$v_y = V\cos\theta$$

La gittata L è la distanza dal palo del punto di impatto al suolo del frammento di pala.

INARIA s.r.l.

Sede legale e deposito: Contrada Accoli 13 B

Unità locale uffici: Via Cardito 201, ex palazzo Ag. Entrate piano 3°

C.A.P. 83031 Ariano Irpino Avellino

p.i. 02707200644

Codice destinatario SDI: SU9YNJA

web www.inariamieolico.it

tel. fax + 39 0825 891749

mail inariacontabilita@gmail.com

mobile + 39 335 5614728

pec inaria@pec.it

Dalla legge del moto si ottiene:

$$L = X(T)$$

Sostituendo l'espressione per T ricavato sopra, si ricava la gittata L in funzione di V e di θ :

$$L = V \sin \theta / g [V \cos \theta + \sqrt{V^2 \cos^2 \theta + 2(H + R \sin \theta)g}] - R \cos \theta$$

Come si evincerà dai risultati numerici riportati nel seguito, la massima gittata non si avrà per $\theta = 45^\circ$, in quanto il corpo nell'istante del distacco si trova già in un punto definito dello spazio (diverso dal punto (0,0)) dipendente dall'altezza dell'aerogeneratore, dal valore dell'angolo nell'istante del distacco e dalla posizione del baricentro della pala distaccatasi rispetto al centro dell'aerogeneratore (R) .

5. CALCOLO DELLA GITTATA

Il calcolo della gittata è stato effettuato considerando:

- H altezza mozzo = 69 m
- Lunghezza pala = 29,15 m
- $n = 29,1$ giri/ min è la velocità di rotazione massima
- $r_g = 9,717$ m raggio baricentro, valore ottenuto assumendo che, in relazione alle caratteristiche della pale e la distribuzione dei pesi, il baricentro sia ad 1/3 rispetto alla lunghezza della pala;
- $\theta = 45^\circ$, è l'angolo di distacco in corrispondenza del quale si ottiene la
- $H_g = H + Y_g$, dove $Y_g = R_g \sin \theta$, indica la distanza (lungo l'asse y) del baricentro della pala rispetto al mozzo al momento del distacco;
- $v_0 = 29,61$ m/s è la velocità del baricentro della pala, ottenuta dalla formula $v_0 = (2\pi n/60) r_g$
- $v_{x0} = v_g \sin \theta$, è la velocità lungo l'asse x
- $v_{y0} = v_g \cos \theta$, è la velocità lungo l'asse y
- M (massa della pala) = 2.650 kg
- S= 2 mq, è la superficie del piano YZ su cui si sviluppa la resistenza aerodinamica *in-plane*
- $C_d = 2$, è il coefficiente di resistenza aerodinamica, dedotto dallo studio Vestas.

INARIA s.r.l.

Sede legale e deposito: Contrada Accoli 13 B

Unità locale uffici: Via Cardito 201, ex palazzo Ag. Entrate piano 3°

C.A.P. 83031 Ariano Irpino Avellino

p.i. 02707200644

Codice destinatario SDI: SU9YNJA

web www.inariaminielico.it

tel. fax + 39 0825 891749

mail inariacontabilita@gmail.com

mobile + 39 335 5614728

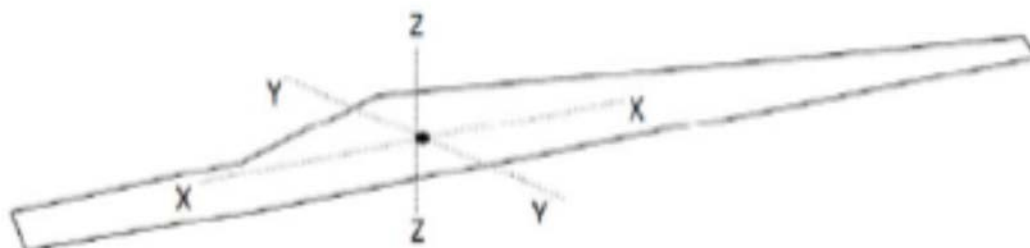
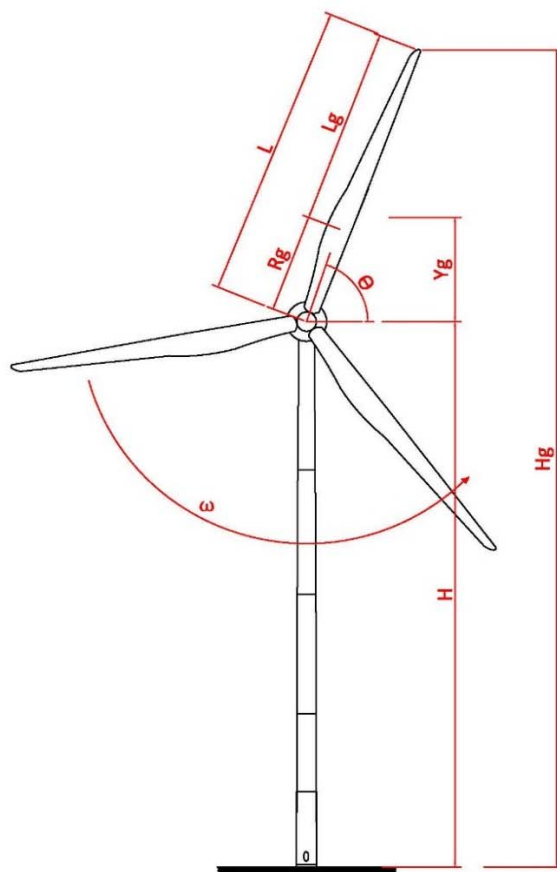
pec inaria@pec.it



INARIA s.r.l.
General Contractor
Renewable
Service – Wind Division

Progetto di un Impianto Eolico da 975 kW
Comune di Zeri (MS)

ANALISI DEGLI EFFETTI DELLA ROTTURA DEGLI ORGANI ROTANTI



Baricentro pala

INARIA s.r.l.

Sede legale e deposito: Contrada Accoli 13 B

Unità locale uffici: Via Cardito 201, ex palazzo Ag. Entrate piano 3°

C.A.P. 83031 Ariano Irpino Avellino

p.i. 02707200644

Codice destinatario SDI: SU9YNJA

web www.inariaminielico.it

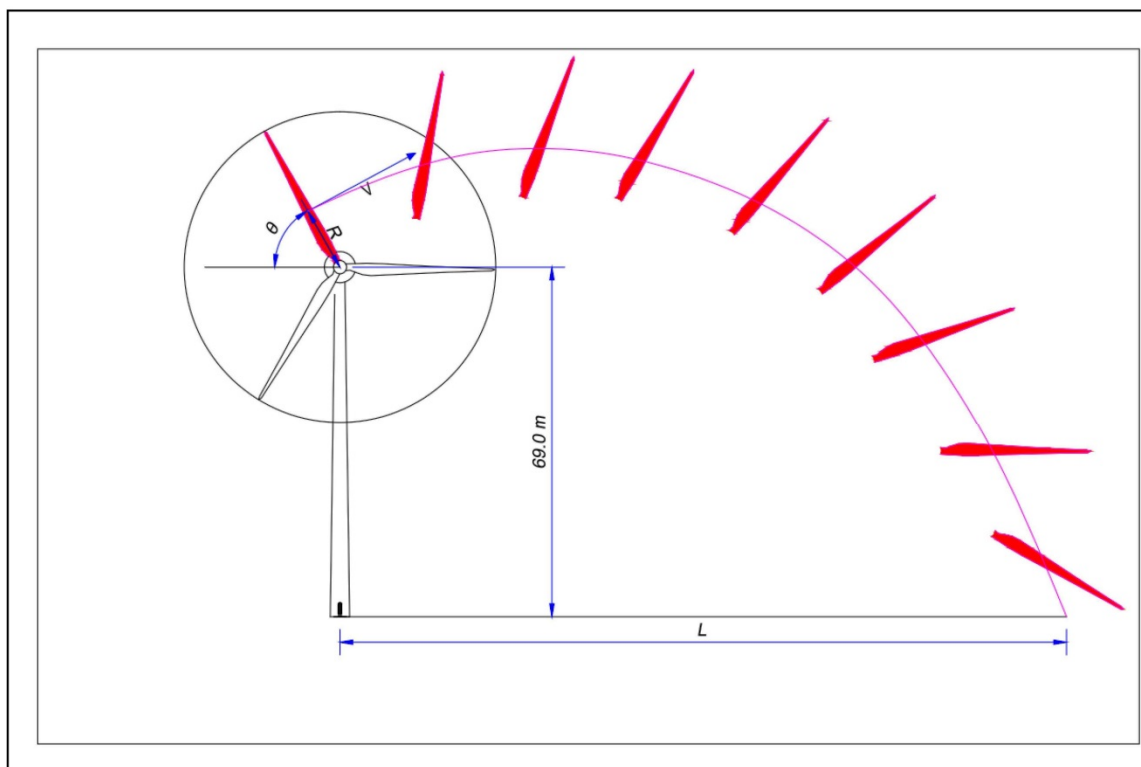
tel. fax + 39 0825 891749

mail inariacontabilita@gmail.com

mobile + 39 335 5614728

pec inaria@pec.it

Considerando la tipica traiettoria parabolica di un grave in caduta



Geometria del modello di calcolo

Le forze agenti sugli assi X ed Y sono:

$$F_x = - \left(\frac{\rho * S * C_d}{2} \right) * (v_x)^2$$

$$F_y = - \left(\frac{\rho * S * C_d}{2} \right) * (v_y)^2 - Mg$$

Dove ρ è la densità dell'aria data in condizioni standard, e g l'accelerazione di gravità.

Tenendo presente tali relazioni, si scompone come segue il problema su ciascuno degli assi:

Asse y:

$$A_y = \frac{F}{M} = - \left(\frac{\rho * S * C_d}{2M} \right) * (v_y)^2 - g \quad (1), \text{ posto } k = \frac{\rho * S * C_d}{2M}$$

Si può scrivere la (1) come segue:

INARIA s.r.l.

Sede legale e deposito: Contrada Accoli 13 B

Unità locale uffici: Via Cardito 201, ex palazzo Ag. Entrate piano 3°

C.A.P. 83031 Ariano Irpino Avellino

p.i. 02707200644

Codice destinatario SDI: SU9YNJA

web www.inariaminielico.it

tel. fax + 39 0825 891749

mail inariacontabilita@gmail.com

mobile + 39 335 5614728

pec inaria@pec.it

$$y''(t) = -k * (y'(t))^2 - g \quad (2)$$

Si ricava che l'integrale generale della (2) è:

$$y(t) = \frac{\log(\cos((c1+t*\sqrt{gk}))}{k} - c2 \quad (3)$$

Ponendo le seguenti condizioni iniziali:

$$\begin{cases} y(0) = y_0 \\ y'(0) = v_{y0} \end{cases} \quad (4)$$

Si determina infine l'equazione del moto sull'asse y, che risulta essere:

$$y(t) = y_0 + \frac{1}{k} \log \left(\frac{\cos \left(\arctan \left(-\sqrt{\frac{k}{g}} v_{y0} \right) + t \sqrt{gk} \right)}{\cos \left(\arctan \left(-\sqrt{\frac{k}{g}} v_{y0} \right) \right)} \right) \quad (5)$$

Asse x

$$A_x = \frac{F_x}{M} = - \left(\frac{\rho * S * C_d}{2M} \right) * v_x^2 = -k v_x^2 \quad (6)$$

Riscrivendo la 6 come

$$x''(t) = -k(x'(t))^2 \quad (7)$$

Si deriva che

$$x(t) = \frac{\log(kt+c1)}{k} + c2 \quad (8).$$

Analogamente a quanto fatto per l'asse y, si pongono le seguenti condizioni iniziali:

$$\begin{cases} x(0) = x_0 \\ x'(0) = v_{x0} \end{cases} \quad (9)$$

Per giungere a determinare la seguente equazione del moto:

$$x(t) = x_0 + \frac{1}{k} \log(v_{x0} kt + 1) \quad (10)$$

INARIA s.r.l.

Sede legale e deposito: Contrada Accoli 13 B

Unità locale uffici: Via Cardito 201, ex palazzo Ag. Entrate piano 3°

C.A.P. 83031 Ariano Irpino Avellino

p.i. 02707200644

Codice destinatario SDI: SU9YNJA


web www.inariaminielico.it

tel. fax + 39 0825 891749

mail inariacontabilita@gmail.com

mobile + 39 335 5614728

pec inaria@pec.it

 <p>INARIA s.r.l. General Contractor Renewable Service – Wind Division</p>	<p>Progetto di un Impianto Eolico da 975 kW Comune di Zeri (MS)</p> <p><u>ANALISI DEGLI EFFETTI DELLA ROTTURA DEGLI ORGANI ROTANTI</u></p>
--	--

La massima gittata ottenuta è pari al valore della (10) in corrispondenza del tempo t che annulla la (5).

Di seguito si rappresenta il tabulato di calcolo sviluppato per la determinazione del predetto valore di t :

t [s]	Y [m]	X [m]			
0	75.87074446	-6.87074	1.55	96.24894087	25.10318
0.05	76.90485789	-5.82438	1.6	96.50937687	26.11896
0.1	77.91347783	-4.77902	1.65	96.74523061	27.13378
0.15	78.89665198	-3.73468	1.7	96.95651286	28.14765
0.2	79.85442674	-2.69136	1.75	97.14323325	29.16057
0.25	80.78684724	-1.64904	1.8	97.3054003	30.17253
0.3	81.69395733	-0.60773	1.85	97.4430214	31.18355
0.35	82.57579961	0.432577	1.9	97.55610282	32.19361
0.4	83.43241541	1.471879	1.95	97.64464972	33.20273
0.45	84.26384482	2.510178	2	97.70866612	34.21091
0.5	85.07012668	3.547478	2.05	97.74815494	35.21814
0.55	85.85129862	4.58378	2.1	97.76311798	36.22443
0.6	86.60739702	5.619086	2.15	97.75355592	37.22979
0.65	87.33845707	6.653398	2.2	97.71946832	38.2342
0.7	88.04451271	7.686718	2.25	97.66085364	39.23768
0.75	88.72559672	8.719047	2.3	97.5777092	40.24023
0.8	89.38174063	9.750389	2.35	97.47003121	41.24184
0.85	90.01297483	10.78074	2.4	97.33781478	42.24253
0.9	90.61932848	11.81011	2.45	97.18105387	43.24228
0.95	91.20082958	12.8385	2.5	96.99974135	44.24111
1	91.75750495	13.86591	2.55	96.79386894	45.23901
1.05	92.28938022	14.89234	2.6	96.56342726	46.23599
1.1	92.79647989	15.91779	2.65	96.30840579	47.23205
1.15	93.27882726	16.94226	2.7	96.0287929	48.22719
1.2	93.73644449	17.96576	2.75	95.7245758	49.2214
1.25	94.16935258	18.98829	2.8	95.39574061	50.21471
1.3	94.57757138	20.00985	2.85	95.04227229	51.20709
1.35	94.96111961	21.03045	2.9	94.66415466	52.19857
1.4	95.32001482	22.05007	2.95	94.26137041	53.18913
1.45	95.65427343	23.06874	3	93.8339011	54.17878
1.5	95.96391073	24.08644	3.05	93.38172712	55.16752
			3.1	92.90482773	56.15536

INARIA s.r.l.

Sede legale e deposito: Contrada Accoli 13 B

Unità locale uffici: Via Cardito 201, ex palazzo Ag. Entrate piano 3°

C.A.P. 83031 Ariano Irpino Avellino

p.i. 02707200644

Codice destinatario SDI: SU9YNJA

web www.inariamieolico.it

tel. fax + 39 0825 891749

mail inariacontabilita@gmail.com

mobile + 39 335 5614728

pec inaria@pec.it

Progetto di un Impianto Eolico da 975 kW
Comune di Zeri (MS)

ANALISI DEGLI EFFETTI DELLA ROTTURA DEGLI ORGANI ROTANTI

3.15	92.40318102	57.14229	4.75	63.09047819	88.25596
3.2	91.87676393	58.12832	4.8	61.7520088	89.21393
3.25	91.32555224	59.11345	4.85	60.38731853	90.17104
3.3	90.74952057	60.09767	4.9	58.99634085	91.12731
3.35	90.14864235	61.081	4.95	57.57900779	92.08273
3.4	89.52288985	62.06343	5	56.13524991	93.03731
3.45	88.87223416	63.04497	5.05	54.66499627	93.99103
3.5	88.19664517	64.02561	5.1	53.16817445	94.94392
3.55	87.4960916	65.00536	5.15	51.64471052	95.89596
3.6	86.77054094	65.98422	5.2	50.09452901	96.84716
3.65	86.0199595	66.96219	5.25	48.51755292	97.79752
3.7	85.24431238	67.93928	5.3	46.91370368	98.74705
3.75	84.44356345	68.91548	5.35	45.28290114	99.69574
3.8	83.61767537	69.89079	5.4	43.62506359	100.6436
3.85	82.76660956	70.86523	5.45	41.94010766	101.5906
3.9	81.89032621	71.83878	5.5	40.2279484	102.5368
3.95	80.98878425	72.81145	5.55	38.4884992	103.4822
4	80.06194137	73.78325	5.6	36.72167177	104.4267
4.05	79.109754	74.75417	5.65	34.92737617	105.3704
4.1	78.13217728	75.72421	5.7	33.10552072	106.3133
4.15	77.12916511	76.69339	5.75	31.25601206	107.2553
4.2	76.10067006	77.66169	5.8	29.37875507	108.1965
4.25	75.04664343	78.62912	5.85	27.47365285	109.137
4.3	73.96703521	79.59569	5.9	25.54060675	110.0765
4.35	72.86179406	80.56138	5.95	23.5795163	111.0153
4.4	71.73086735	81.52622	6	21.59027919	111.9533
4.45	70.57420107	82.49019	6.05	19.5727913	112.8904
4.5	69.39173989	83.45329	6.1	17.52694659	113.8267
4.55	68.18342713	84.41554	6.15	15.45263715	114.7622
4.6	66.94920471	85.37693	6.2	13.34975315	115.6969
4.65	65.6890132	86.33746	6.25	11.21818281	116.6308
4.7	64.40279177	87.29714	6.3	9.057812366	117.5639
			6.35	6.868526081	118.4961
			6.4	4.650206178	119.4276
			6.45	2.402732833	120.3583
			6.5	0.125984141	121.2881
			6.502748	5.8617E-07	121.3392

INARIA s.r.l.

Sede legale e deposito: Contrada Accoli 13 B

Unità locale uffici: Via Cardito 201, ex palazzo Ag. Entrate piano 3°

C.A.P. 83031 Ariano Irpino Avellino

p.i. 02707200644

Codice destinatario SDI: SU9YNJA


web www.inariaminielico.it

tel. fax + 39 0825 891749

mail inariacontabilita@gmail.com

mobile + 39 335 5614728

pec inaria@pec.it

 <p>INARIA s.r.l. General Contractor Renewable Service – Wind Division</p>	<p>Progetto di un Impianto Eolico da 975 kW Comune di Zeri (MS)</p> <p><u>ANALISI DEGLI EFFETTI DELLA ROTTURA DEGLI ORGANI ROTANTI</u></p>
--	--

Dalla tabella si evince che il valore della gittata massimo ottenibile per un l'angolo di distacco $\theta = 45^\circ$, è pari circa 121 m dal centro della torre tubolare, a fronte di un tempo di volo pari a circa 6,5 secondi. Sottolineiamo ancora che questo valore è conservativo, poiché non tiene in conto pienamente della complessità del moto rotazionale, che, come illustrato nello studio Vestas, attenua ulteriormente i valori della gittata massima imputabile.

Difatti, per completezza va aggiunto che nello studio Vestas viene riferito che, in tutti i casi reali in cui si sono verificati distacchi, è stato verificato che il moto è di tipo rotazionale complesso e la distanza di volo è sempre ben al di sotto dei risultati ottenuti dai calcoli matematici.

Al valore della gittata calcolato con questa formula andrà aggiunta la distanza del vertice della pala dal baricentro, per cui si ha

$$\text{Gittata}_{\max} \approx 121 \text{ m} + 19,4 \text{ m} \approx 140,4 \text{ m} \approx 140 \text{ m}$$

6. CONCLUSIONI

Lo studio analitico del fenomeno ha dimostrato che è opportuno evitare la presenza di ricettori sensibili al probabile distacco di organi rotanti nella circonferenza di raggio 140 m dall'asse dell'aerogeneratore. Per come meglio riportato nella specifica tavola grafica allegata al presente progetto definitivo (Tav.6), viene mostrato il soddisfacimento dei requisiti di sicurezza nei confronti dei ricettori sensibili dimostrando che in tale zona non è presente alcun elemento (strade, altri edifici, ecc.).

INARIA s.r.l.

Sede legale e deposito: Contrada Accoli 13 B

Unità locale uffici: Via Cardito 201, ex palazzo Ag. Entrate piano 3°

C.A.P. 83031 Ariano Irpino Avellino

p.i. 02707200644

Codice destinatario SDI: SU9YNJA

web www.inariaminielico.it

tel. fax + 39 0825 891749

mail inariacontabilita@gmail.com

mobile + 39 335 5614728

pec inaria@pec.it