



COMUNE DI CERIGNOLA



REGIONE PUGLIA

PROCEDIMENTO UNICO AMBIENTALE - Art.27 D.Lgs. 152/2006 ss.mm.ii.

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO

"ALPHA 6"

Nel Comune di Cerignola

Potenza nominale 66 MW (n.11 aerogeneratori da 6MW)

CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA PER ROTTURA DEGLI ELEMENTI ROTANTI E VERIFICA DISTANZE DI SICUREZZA AI SENSI DEL D.M. 10-9-2010

Proponente:



AEP s.r.l. (ex Spirit)

P.zza Giovanni Paolo II, 8
71017 Torremaggiore (FG)
aepvento@pec.it

Visti:

Progettazione:



Tecnico Competente:

Ing. Francesco Di Cosmo



Emissione: Maggio 2022

PREMESSA

In riferimento al D.M. 10-9-2010 "*Linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili*", allegato 4, punto 7.1 - "*Analisi dei possibili incidenti*" - riporta testualmente: "***E' opportuno prendere in esame l'idoneità delle caratteristiche delle macchine, in relazione alle condizioni meteorologiche estreme del sito. In tal senso: - andrebbe valutata la gittata massima degli elementi rotanti in caso di rottura accidentate***".

La presente relazione, dunque, in ottemperanza al D.M. su citato riguarda il calcolo della gittata in caso di rottura di un frammento degli elementi rotanti nell'ipotesi che la rottura avvenga in modo fragile e che i sistemi di controllo quali freno aerodinamico e sistema parafulmine siano completamente fuori servizio.

Il frammento considerato riguarda un pezzo della pala con rottura a m.5 dalla punta della pala, condizione di calcolo che produce la massima gittata nell'ipotesi cautelativa di previsione, ma anche di bassissima probabilità di accadimento stante la tipologia costruttiva degli attuali aerogeneratori.

Per la quantificazione della gittata massima si utilizzerà il modello della "***rotazione complessa del corpo rigido***" basandosi sulle seguenti ipotesi:

1. Il distacco del frammento, e quindi la gittata, è funzione dell'angolo di distacco che l'asse della pala forma con l'orizzontale;
2. Si ipotizza che la sezione di distacco della pala dal resto della struttura sia netta, ovvero che la rottura avvenga in modo fragile senza considerare l'effettiva struttura fibrosa e filamentosa del corpo della pala, immersa in una matrice di resina epossidica.
3. Si tiene conto della resistenza indotta dall'attrito del frammento con l'aria.
4. Si tiene conto della rotazione del pezzo durante il volo.

Il calcolo che segue è stato condotto in maniera molto approfondita, considerando i diversi aspetti fisici ed è stato svolto con molto rigore, tuttavia nella realtà il verificarsi delle cause che portano ad una rottura di un frammento di pala e del conseguenziale urto sono molto improbabili. Con ciò si vuole rappresentare che diversi studi probabilistici hanno concluso che la probabilità che un veicolo possa essere colpito da un frammento di pala, a seguito della sua rottura a 5 metri dalla punta, ha valori estremamente elevati tali da rendere quasi nullo il rischio stesso.

LE VERIFICHE E LE VALUTAZIONI

Oggetto del presente studio sono la verifica delle distanze del D.M. 10-9-2010 rispetto alle strade statali e provinciali e le valutazioni del rischio della gittata massima rispetto a recettori e strade secondarie, si elencano nell'ordine:

- A. **la verifica** del rispetto del D.M. 10-9-2010 che con l'allegato 4, punto 7.2 impone: *"la distanza di ogni turbina eolica da una strada provinciale o nazionale deve essere superiore all'altezza massima dell'elica comprensiva del rotore e comunque non inferiore a 150 m dalla base della torre"*;
- B. la **valutazione** della gittata massima degli elementi rotanti in caso di rottura accidentale rispetto alle strade nazionale e provinciali;
- C. la **valutazione** della gittata massima degli elementi rotanti in caso di rottura accidentale rispetto ai recettori;
- D. la **valutazione** della gittata massima degli elementi rotanti in caso di rottura accidentale rispetto alle strade di livello inferiore alle strade provinciali – **NON è richiesta dal D.M. 10-9-2010 - poiché il rischio dovuto alla concomitanza degli eventi, rottura del frammento di pala a 5 metri dalla punta e la probabilità di caduta dello stesso su un recettore o un veicolo in transito su una strada secondaria è estremamente basso**;
- E. eventuale **valutazione del rischio** rispetto ad una rottura accidentale degli elementi rotanti e la probabilità di intercettare un recettore o un veicolo su una strada.

GLI AEROGENERATORI

Lo studio che segue viene condotto per l'aerogeneratore avente le seguenti caratteristiche:

| Modello | Potenza MW | Altezza mozzo m | Diametro rotore m | Numero di giri al minuto rpm | Altezza massima complessiva m |
|------------------------|------------|-----------------|-------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Siemens Gamesa 6.0-170 | 6,0 | 145 | 170 | 10 | 230 |

INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area prevista per l'installazione dell'impianto eolico è ubicata a sud ovest del centro abitato di Cerignola. I centri abitati di Cerignola, Stornara o Stornarella distano oltre 6 km dal primo aerogeneratore del parco.



Le coordinate geografiche sono le seguenti:

| Numero WTG | UTM 84 33N | | |
|---------------|------------|------------|------------------------------|
| | Est | Nord | |
| 02 | 566718.02 | 4564734.68 | 41°13'52.52"N, 15°47'45.92"E |
| 05 | 566122.02 | 4563543.69 | 41°13'14.08"N, 15°47'19.86"E |
| 14 | 567902.01 | 4563644.69 | 41°13'16.82"N, 15°48'36.34"E |
| 16 | 568632.01 | 4562549.70 | 41°12'41.10"N, 15°49'7.24"E |
| 17 | 567620.02 | 4561775.70 | 41°12'16.31"N, 15°48'23.48"E |
| 24 | 567766.01 | 4560669.71 | 41°11'40.40"N, 15°48'29.31"E |
| 27c(3) | 567637.67 | 4564493.55 | 41°13'44.43"N, 15°48'25.32"E |
| 30 | 570020.00 | 4560279.71 | 41°11'27.06"N, 15°50'5.91"E |
| 31b | 571013.00 | 4558966.00 | 41°10'44.16"N, 15°50'47.98"E |
| 38 | 572320.99 | 4558119.73 | 41°10'16.30"N, 15°51'43.76"E |
| 39 | 573464.98 | 4558240.73 | 41°10'19.85"N, 15°52'32.90"E |

Nella figura che segue sono rappresentati gli aerogeneratori, i 9 ricettori più prossimi, le strade nazionali e provinciali.



VERIFICA A - IL RISPETTO DEL D.M. 10-9-2010

Il rispetto del D.M. 10-9-2010 che all'allegato 4, punto 7.2 impone: *“la distanza di ogni turbina eolica da una strada provinciale o nazionale deve essere superiore all'altezza massima dell'elica comprensiva del rotore e comunque non inferiore a 150 m dalla base della torre”*.

Dunque, gli aerogeneratori devono rispettare la distanza minima di m.230 dalle strade provinciali, regionali e nazionali.





Come si può vedere dalla rappresentazione delle distanze su ortofoto nessun aerogeneratore dista meno di 230 metri dalle strade provinciali, regionali o nazionali.

L'aerogeneratore più prossimo alle strade è rintracciabile nel n.27c che dista m.340 dalla SP83.

Si può affermare che la prescrizione del D.M. 10-9-2010 è ampiamente rispettata.

CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA

Si calcola ora la gittata massima degli elementi rotanti in caso di rottura accidentale del frammento di pala, considerando tale frammento il pezzo estremo con rottura a 5 metri. Si trascurano le gittate per rottura a 10 metri o al mozzo che producono distanze inferiori e, pertanto, la valutazione risulterebbe maggiormente verificata.

Lo studio che segue considera il seguente aerogeneratore:

| Modello | Potenza MW | Altezza mozzo m | Diametro rotore m | Numero di giri al minuto rpm | Altezza massima complessiva m |
|---------------------------|---------------|-----------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| Siemens Gamesa 6.0-170 | 6,0 | 145 | 170 | 10 | 230 |

Equazioni del moto - rotazione complessa del corpo rigido

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

$$x = 0$$

$$y = -g$$

dove $g = 9,8\text{m/s}^2$ è l'accelerazione di gravità. La legge del moto soluzione di queste equazioni è

$$x(t) = x_0 + v_x t$$

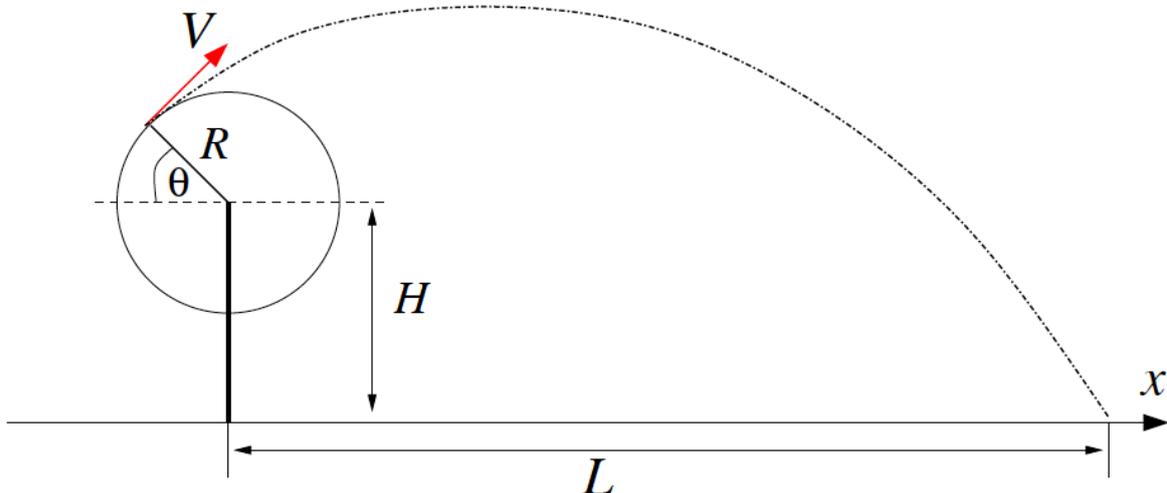
$$y(t) = y_0 + v_y t - \frac{1}{2}gt^2$$

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 intercetta il suolo al tempo T tale che $y(T) = 0$. Dalla legge del moto si ottiene

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

dove è stata scartata la soluzione corrispondente a tempi negativi.

Geometria del problema e calcolo della gittata



La posizione e la velocità iniziale sono determinati dall'angolo θ , dalla velocità tangenziale V del frammento di pala al momento del distacco. Essi sono legati 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.

Dalla legge del moto otteniamo:

$$L = x(T)$$

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

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

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

La formula sopra indicata è funzione dell'angolo di distacco al momento della rottura.

Nella ipotesi che la rottura avvenga nel punto più alto ($\theta = 90^\circ$ nei grafici) il frammento si distaccherà con velocità parallela al suolo. Questo non è il caso della massima gittata, come si evince dalla formula, ma anche dall'analogia con elementari problemi di balistica. Nel caso di un cannone che spara in pianura, la massima gittata si ha per $\theta = 45^\circ$ e non quando il proiettile parte parallelamente al suolo.

Nel caso di una torre eolica la determinazione dell'angolo di massima gittata è leggermente più complesso, ma non è mai pari a 90° . La sua determinazione impone di trovare il massimo della funzione al variare dell'angolo θ .

In ogni caso tale relazione è puramente teorica, poiché non tiene conto:

- 1) della riduzione di velocità del pezzo in volo per l'attrito con l'aria
- 2) della rotazione in volo del pezzo che si distacca
- 3) del vento che sposterà il pezzo secondo la sua direzione al quanto variabile spazialmente e sostanzialmente introducendo una ulteriore forza Z_0 perpendicolare al piano di rotazione delle pale
- 4) delle forze che si generano al momento della rottura poiché considera una rottura istantanea
- 5) della morfologia del territorio.

Al fine di addivenire ad una gittata massima più prossima a quella reale, tralasciando esclusivamente l'analisi del punto 5), si hanno le seguenti riduzioni, capaci di riportare il calcolo teorico ad un valore più prossimo a quello reale:

- 1) riduzione della velocità media del pezzo in volo del **30%** per attrito con

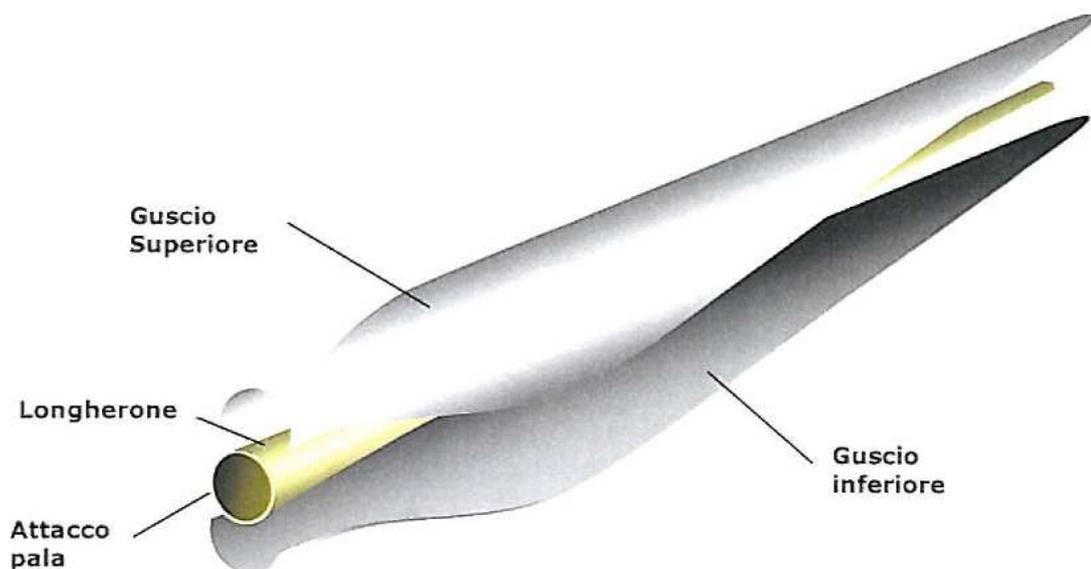
l'aria;

- 2) riduzione della gittata del **10%** per tener conto della rotazione del pezzo in volo, della forza Z_0 praticata dal vento e delle forze che si generano al momento della rottura che non è mai istantanea.

Nello studio che segue si opera con una riduzione del **30%** dovuta alle forze di attrito con l'aria del frammento in volo e di un ulteriore **10%** per tener conto della rotazione del pezzo in volo, della forza Z_0 praticata dal vento e delle forze che si generano al momento della rottura che non è mai istantanea.

Giustificazioni sull'abbattimento del 40% della velocità media del frammento.

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.



La rottura all'estremità della pala non risulta che si sia mai verificata se non nella ipotesi di 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.

Nel calcolo che segue si applicherà la relazione teorica con la sola riduzione del 40% della velocità media del frammento, per tener conto della rotazione del pezzo in volo, della forza Z_0 praticata dal vento e delle forze che si generano al momento della rottura che non è mai istantanea.

L'aggiornamento tecnologico da parte dei produttori nella costruzione della pala ha ridotto il rischio di rottura accidentale della pala e/o frammento di essa attraverso l'utilizzo di soluzioni costruttive e materiali speciali innovativi tendenti a ridurre la rottura della pala attraverso uno stacco netto della stessa dal mozzo o di porzione di essa. Tra queste soluzioni e materiali annoveriamo l'utilizzo delle resine più recenti, di tutti i tipi, che ha migliorato le proprietà rispetto a quelle usate in passato, riducendo le possibilità di incidente in generale per le pale; per ridurre anche gli effetti delle conseguentemente più rare rotture i produttori hanno aumentato la plasticità del materiale base e la resistenza della tessitura delle fibre di vetro di rinforzo. In questo modo si riduce anche la caratteristica di fragilità della rottura.

L'incidente per rottura dell'estremità della pala è escluso dai calcoli svolti secondo la norma IEC61400-1, ma si considera per assurdo che possa avvenire in circostanze eccezionali al di fuori di quelle normate.

L'effetto è, una volta assorbita l'energia necessaria per produrre la rottura, che quella rimanente generi per la parte eventualmente distaccata una traiettoria che, dall'intorno del punto più basso, parte in direzione circa orizzontale.

Il percorso in queste condizioni non può che essere una frazione, approssimativamente diminuita del 70% di quanto sarebbe stato quello per lancio balistico dalla parte superiore della rotazione. In questo la resistenza dell'aria offre il suo contributo .

Si ritiene quindi che l'abbattimento della velocità media del frammento del 40% per tener conto dell'attrito con l'aria, della rotazione del pezzo in volo, della forza Z_0 praticata dal vento e delle forze che si generano al momento della rottura che non è mai istantanea, sia più che ragionevole e ampiamente motivata dall'utilizzo delle nuove soluzioni tecnologiche e di materiali costruttivi della pala innanzi suddette, oltre che dall'analisi delle probabilità che tale evento di rottura del frammento, già di per se legato alla probabilità di fulminazione, sia tale da produrre anche un possibile incidente dovuto alla

concomitanza di cadere proprio sul recettore, o ancora peggio, sul veicolo di passaggio sulla strada secondaria.

Le forze di attrito, come noto, dipendono da due componenti: una resistenza da attrito viscoso ed una resistenza da pressione.

$$F_{attr.int.} = F_{skin\ friction} + F_{Pressure\ drag}$$

La prima è determinata dalle forze di attrito interne dovute all'elevato gradiente di velocità nello strato di contorno presso il corpo in moto (gli strati di fluido adiacenti al corpo hanno la velocità del corpo mentre gli strati più laterali rispetto al corpo sono in quiete).

La seconda è determinata dalla differenza di pressione tra la parte anteriore e quella posteriore del corpo in moto immerso nel fluido, cioè, è dovuta al fatto che il corpo penetrando nel fluido lo comprime ed il fluido esercita una sorta di risposta a questa compressione forzata.

LA RESISTENZA DA PRESSIONE

La resistenza alla penetrazione di un corpo in un fluido che deriva dalla differenza di pressione tra la parte anteriore e quella posteriore del corpo dipende dalla densità del fluido, dalla velocità V relativa tra il corpo ed il fluido e dalla sezione trasversale perpendicolare al flusso A secondo la relazione:

$$F_{pressure\ drag} = - C_d \frac{1}{2} \rho v^2 A$$

dove:

$F_{pressure\ drag}$ = Forza di attrito da pressione [N]

C_d = drag coefficient

ρ = densità aria [Kg/m³]

v = velocità relativa all'aria [m/s]

A = area frontale caratteristica del frammento di pala [m²]

LA RESISTENZA VISCOSA

La forza di attrito viscoso dipende dalla viscosità del mezzo, dalla velocità relativa e da un elemento di tipo lineare del corpo:

$$F_{skin\ friction} = K \mu v l$$

dove:

K = una costante adimensionale dipendente dalla forma del corpo

μ = viscosità del mezzo

l = dimensione lineare caratteristica dell'oggetto

v = velocità relativa al mezzo

LA COMBINAZIONE DEI DUE EFFETTI

La forza di resistenza subita dal corpo in moto nel fluido è data da una combinazione complicata dei due effetti di resistenza alla pressione e resistenza viscosa.

Ma, nel caso di basse velocità, la componente di attrito, che dipende dalla prima potenza della velocità, sarà preponderante rispetto alla resistenza alla pressione che dipende dal quadrato della velocità. Ad alte velocità, ovviamente, accadrà l'opposto.

Poiché i concetti di alta e bassa velocità, sono piuttosto generici, per stabilire in quale delle due situazioni ci si trovi, si introduce un criterio di valutazione basato sul rapporto dei due effetti (numero di Reynolds):

$$Re = (\rho v l) / \mu$$

Il numero adimensionale (Re), detto numero di Reynolds, gioca un ruolo assolutamente fondamentale in aerodinamica perché è il termine che determina il tipo di regime nel quale ci si trova ad operare.

Quindi, per movimenti lenti, quando $Re < 1$ (regime laminare) si trascura la resistenza alla pressione e si tiene conto solo della viscosità mentre, al contrario, per grandi numeri di Reynolds (>100) (regime turbolento) si prende in considerazione solo la resistenza alla pressione e si trascura l'attrito interno.

Nel caso specifico, ossia di una pala eolica, il numero di Reynolds viene così calcolato:

$$Re = (\rho v_{\max} c) / \mu$$

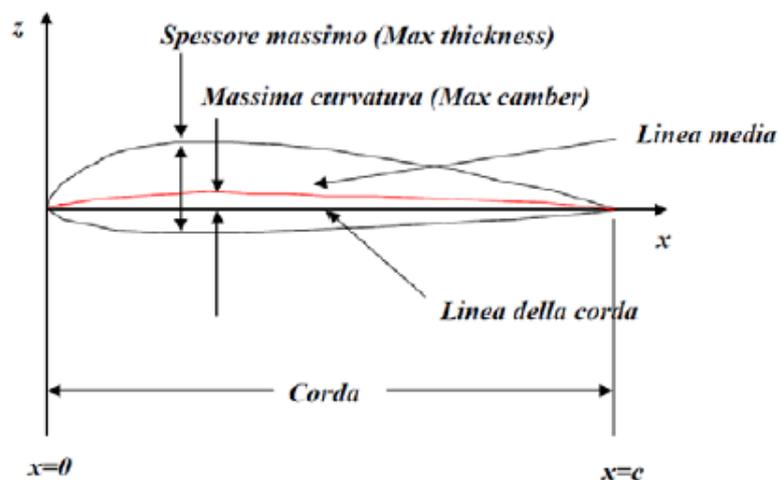
dove:

$$\rho = 1.174 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$v_{\max} \cong 40,5 \text{ [m/s]} \text{ (pala intera) - } 97,8 \text{ [m/s]} \text{ (frammento 5 m)}$$

$$c \text{ (corda alare)} \cong 3,7 \text{ [m]} \text{ (pala intera) - } 1,2 \text{ [m]} \text{ (frammento 5 m)}$$

$$\mu = 1.85 \cdot 10^{-5} \text{ [kg/(s m)]}$$



per un valore pari, considerando la temperatura di 25 °C:

$Re = 9,5E 10^6$ - distacco della pala intera

$Re = 7,4E 10^6$ - distacco frammento 5 m

Appare evidente come ci troviamo abbondantemente, per entrambi i casi, in regime turbolento, quindi va considerata esclusivamente la resistenza alla pressione ($F_{pressure drag}$) che corrisponde ad una riduzione della velocità teorica di oltre il 40% come si evince dalla forza di pressione che si oppone.

$$F_{pressure drag} = - C_d \frac{1}{2} \rho v^2 A$$

dove:

$F_{pressure drag}$ = Forza di attrito da pressione [N]

C_d = drag coefficient

ρ = densità aria [Kg/m³]

v = velocità relativa all'aria [m/s]

A = area frontale caratteristica del frammento di pala [m²]

Il calcolo per rottura a m.5 dalla punta della pala e per l'aerogeneratore da installare.

| Modello | Potenza MW | Altezza mozzo m | Diametro rotore m | Numero di giri al minuto rpm | Altezza massima complessiva m |
|------------------------|------------|-----------------|-------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Siemens Gamesa 6.0-170 | 6,0 | 145 | 170 | 10 | 230 |

| Angolo al momento del distacco | Altezza mozzo | lunghezza pala | distanza baricentro del pezzo staccato a 5m dalla punta | raggio al punto di rottura | velocità massima di rotazione e delle pale | tempo per effettuare un giro completo alla massima velocità | velocità iniziale del frammento | coeff. ridotto per attrito con aria | velocità del frammento ridotta per l'attrito con l'aria | forza di gravità | Gittata |
|--------------------------------|---------------|----------------|---|----------------------------|--|---|---------------------------------|-------------------------------------|---|------------------|---------|
| θ | H | l | d | R | rpm | t | v1 | | v | g | L |
| gradi | m | m | m | m | giri al min | 60/giri al min | m/s | | m/s | | m |
| 5,00 | 145,00 | 85,00 | 3,33 | 81,67 | 10,00 | 6,00 | 85,48 | 0,40 | 51,29 | 9,80 | 0 |
| 10,00 | 145,00 | 85,00 | 3,33 | 81,67 | 10,00 | 6,00 | 85,48 | 0,40 | 51,29 | 9,80 | 34 |
| 15,00 | 145,00 | 85,00 | 3,33 | 81,67 | 10,00 | 6,00 | 85,48 | 0,40 | 51,29 | 9,80 | 91 |
| 20,00 | 145,00 | 85,00 | 3,33 | 81,67 | 10,00 | 6,00 | 85,48 | 0,40 | 51,29 | 9,80 | 145 |
| 25,00 | 145,00 | 85,00 | 3,33 | 81,67 | 10,00 | 6,00 | 85,48 | 0,40 | 51,29 | 9,80 | 195 |
| 30,00 | 145,00 | 85,00 | 3,33 | 81,67 | 10,00 | 6,00 | 85,48 | 0,40 | 51,29 | 9,80 | 242 |
| 35,00 | 145,00 | 85,00 | 3,33 | 81,67 | 10,00 | 6,00 | 85,48 | 0,40 | 51,29 | 9,80 | 282 |
| 40,00 | 145,00 | 85,00 | 3,33 | 81,67 | 10,00 | 6,00 | 85,48 | 0,40 | 51,29 | 9,80 | 317 |
| 45,00 | 145,00 | 85,00 | 3,33 | 81,67 | 10,00 | 6,00 | 85,48 | 0,40 | 51,29 | 9,80 | 346 |
| 50,00 | 145,00 | 85,00 | 3,33 | 81,67 | 10,00 | 6,00 | 85,48 | 0,40 | 51,29 | 9,80 | 368 |
| 55,00 | 145,00 | 85,00 | 3,33 | 81,67 | 10,00 | 6,00 | 85,48 | 0,40 | 51,29 | 9,80 | 383 |
| 60,00 | 145,00 | 85,00 | 3,33 | 81,67 | 10,00 | 6,00 | 85,48 | 0,40 | 51,29 | 9,80 | 392 |
| 65,00 | 145,00 | 85,00 | 3,33 | 81,67 | 10,00 | 6,00 | 85,48 | 0,40 | 51,29 | 9,80 | 396 |
| 70,00 | 145,00 | 85,00 | 3,33 | 81,67 | 10,00 | 6,00 | 85,48 | 0,40 | 51,29 | 9,80 | 394 |
| 75,00 | 145,00 | 85,00 | 3,33 | 81,67 | 10,00 | 6,00 | 85,48 | 0,40 | 51,29 | 9,80 | 387 |
| 80,00 | 145,00 | 85,00 | 3,33 | 81,67 | 10,00 | 6,00 | 85,48 | 0,40 | 51,29 | 9,80 | 377 |
| 85,00 | 145,00 | 85,00 | 3,33 | 81,67 | 10,00 | 6,00 | 85,48 | 0,40 | 51,29 | 9,80 | 364 |

Dunque, nella peggiore delle ipotesi, **la gittata massima** assume un valore per rottura del frammento a 5 metri dalla punta della pala di **396 metri**.

VALUTAZIONE B – LA GITTATA RISPETTO AL D.M. 10-9-2010

Gli aerogeneratori sono tutti ad una distanza dalle strade nazionali, regionali e provinciali maggiore di m. 396, con eccezioni degli aerogeneratori n.27c e n.14 che distano rispettivamente m.340 e m.350 dalla SP 83.

Anche in questo caso remoto, di rottura a 5 metri dalla punta della pala, gli aerogeneratori rispettano le distanze di sicurezza con eccezione degli aerogeneratori n.27c e n.14.

Va evidenziato che il D.M. 10-9-2010 prescrive solo una distanza minima pari alla lunghezza delle eliche con il rotore che al massimo è **m.230**.

Nel seguito trattandosi di sicurezza e, dunque, di un bersaglio non stabile ma mobile quale deve considerarsi una autovettura in transito su una strada provinciale, si procederà ad una valutazione del rischio di collisione, verificando la sua percentuale di probabilità.

Dunque la valutazione della gittata massima degli elementi rotanti in caso di rottura accidentale salvo verifica della valutazione del rischio per i soli aerogeneratori n.27c e n.14 è positiva rispetto alle strade nazionali, regionali e provinciali.

VALUTAZIONE C – LA GITTATA RISPETTO AI RECETTORI

La **valutazione** della gittata massima del frammento degli elementi rotanti in caso di rottura accidentale rispetto ai ricettori vede la seguente situazione.





Dalla verifica delle distanze dai ricettori si osserva che la situazione potenzialmente critica si registra in corrispondenza dei ricettori:

R1 rispetto all'aerogeneratore n.2, dove la distanza risulta pari a m.306;

R4 rispetto all'aerogeneratore n.5 dove la distanza risulta pari a m.358;

R5 rispetto all'aerogeneratore n.16 dove la distanza risulta pari a m.343;

R8 rispetto all'aerogeneratore n.30 dove la distanza risulta pari a m.283.

Dunque tutte le distanze degli aerogeneratori dai ricettori risultano superiori con eccezione degli aerogeneratori n.2, n.5, n.16 e n.30.

Considerato che il valore calcolato della gittata massima è m.396 si può affermare che non vi sono rischi e che il punto 7.1, dell'allegato 4 al D.M. 10-9-2010 è rispettato salvo che per gli aerogeneratori n.2, n.5, n.16 e n.30 per i quali si rimanda alla valutazione del rischio.

VALUTAZIONE D – LA GITTATA RISPETTO ALLE STRADE SECONDARIE

La **valutazione** della gittata massima degli elementi rotanti in caso di rottura accidentale (del frammento a 5 metri dalla punta della pala), rispetto alle strade di livello inferiore alle strade provinciali – **NON è richiesta dal D.M. 10-9-2010** - poiché il rischio dovuto alla concomitanza degli eventi, rottura del frammento di pala a 5 metri dalla punta e caduta dello stesso sul punto in cui transita il veicolo in una strada scarsamente percorsa è estremamente basso.

VALUTAZIONE E –VALUTAZIONE DEL RISCHIO

Considerato che le distanze degli aerogeneratori dai ricettori fissi non sono tutte superiori alla gittata massima rinveniente per una rottura accidentale degli elementi rotanti a 5 metri dalla punta della pala, per gli aerogeneratori **n.2, n.5, n.16 e n.30** si ritiene di procedere alla valutazione del rischio.

L'unico caso che può provocare la rottura improvvisa della punta della pala è indotto da eventuale fulminazione. Pertanto l'analisi delle probabilità deve contemplare la probabilità che si producono contemporaneamente tutti i seguenti eventi:

1. Probabilità che il fulmine colpisca la pala
2. Probabilità che il fulmine colpisca la pala a 5 metri dalla punta
3. Probabilità che il frammento si rompa per rottura improvvisa
4. Probabilità che il frammento colpito da fulminazione cada sul ricettore

Caso 1 - ricettore R1 rispetto all'aerogeneratore n.2, dove la distanza risulta pari a m.306;

| | | | | |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------|-------|-----------------|
| Distanza dalla Torre | 306 | m | WTG 2 | Recettore R1 |
| Lunghezza frammento pala | 5 | m | | |
| Densità abitativa = | 100 | ab/kmq | | |
| Tempo di permanenza giornaliero = | 4 | h/g | | |
| Area unitaria impatto = | 1 | mq/persona | | |
| Energia cinetica Impatto = | 1,87E+06 | J | | |
| Annual Risk of Impact | 8,18E-10 | N. impatti anno | < | 1,00E-06 |

Caso 2 - R4 rispetto all'aerogeneratore n.5 dove la distanza risulta pari a m.358;

| | | | | |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------|-------|-----------------|
| Distanza dalla Torre | 358 | m | WTG 5 | Recettore R4 |
| Lunghezza frammento pala | 5 | m | | |
| Densità abitativa = | 100 | ab/kmq | | |
| Tempo di permanenza giornaliero = | 4 | h/g | | |
| Area unitaria impatto = | 1 | mq/persona | | |
| Energia cinetica Impatto = | 1,87E+06 | J | | |
| Annual Risk of Impact | 9,57E-10 | N. impatti anno | < | 1,00E-06 |

Caso 3 - R5 rispetto all'aerogeneratore n.16 dove la distanza risulta pari a m.343;

| | | | | |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------|--------|-----------------|
| Distanza dalla Torre | 343 | m | WTG 16 | Recettore R5 |
| Lunghezza frammento pala | 5 | m | | |
| Densità abitativa = | 100 | ab/kmq | | |
| Tempo di permanenza giornaliero = | 4 | h/g | | |
| Area unitaria impatto = | 1 | mq/persona | | |
| Energia cinetica Impatto = | 1,87E+06 | J | | |
| Annual Risk of Impact | 9,17E-10 | N. impatti anno | < | 1,00E-06 |

Caso 4 - R8 rispetto all'aerogeneratore n.30 dove la distanza risulta pari a m.283;

| | | | | |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------|--------|-----------------|
| Distanza dalla Torre | 283 | m | WTG 30 | Recettore R8 |
| Lunghezza frammento pala | 5 | m | | |
| Densità abitativa = | 100 | ab/kmq | | |
| Tempo di permanenza giornaliero = | 4 | h/g | | |
| Area unitaria impatto = | 1 | mq/persona | | |
| Energia cinetica Impatto = | 1,87E+06 | J | | |
| Annual Risk of Impact | 7,57E-10 | N. impatti anno | < | 1,00E-06 |

La valutazione del rischio per le turbine n.2, 5, 16 e 30 risulta inferiore a 10^{-6} , dunque, accettabile.

Per quanto riguarda, invece, gli aerogeneratori n.27c e n.14 che distano rispettivamente m.340 e m.350 dalla SP 83, dunque con una ubicazione inferiore alla gittata massima, si provvede a sviluppare il calcolo della probabilità che il frammento avrebbe nell'intercettare un veicolo mobile su una strada provinciale.

Pertanto l'analisi delle probabilità deve contemplare la probabilità che si producono contemporaneamente tutti i seguenti eventi:

1. Probabilità che il fulmine colpisca la pala
2. Probabilità che il fulmine colpisca la pala a 5 metri dalla punta
3. Probabilità che il frammento si rompa per rottura improvvisa
4. Probabilità che il frammento colpisca la strada provinciale di scarsa frequentazione
5. Probabilità che il frammento colpito da fulminazione cada nel punto in cui nello stesso istante transita il veicolo.

Si comprende facilmente l'eccezionalità di un simile evento o meglio della concomitanza di 5 fattori che contestualmente devono accadere affinché si verifichi la collisione.

Tutte le pale prodotte dai maggiori produttori di aerogeneratori, comunque, 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.

Frammenti di pala, infatti, 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 60-70m dalla base dell'aerogeneratore.

La valutazione del rischio ha prodotto i seguenti valori:

- per la turbina n.27c e la SP83 – m.340

| | | | | |
|------------------------------------|-----------------|-----------------|---------|-----------------|
| Distanza dalla Torre | 340 | m | WTG 27c | SP83 |
| N. Veicoli/h = | 50 | veic./h | | |
| Numero Occupanti/Veicolo = | 2 | | | |
| Lunghezza tratto stradale inter. = | 730 | m | | |
| Larghezza tratto stradale inter. = | 4 | m | | |
| Velocità veicoli = | 60 | km/h | | |
| Area unitaria impatto (25)= | 25 | mq | | |
| Impulso della Forza = | 4,62E+04 | N | | |
| Annual Risk of Impact | 7,95E-12 | N. impatti anno | < | 1,00E-06 |

- per la turbina n.14 e la SP83 – m.350

| | | | | |
|------------------------------------|-----------------|-----------------|--------|-----------------|
| Distanza dalla Torre | 308 | m | WTG 14 | SP83 |
| N. Veicoli/h = | 50 | veic./h | | |
| Numero Occupanti/Veicolo = | 2 | | | |
| Lunghezza tratto stradale inter. = | 730 | m | | |
| Larghezza tratto stradale inter. = | 4 | m | | |
| Velocità veicoli = | 60 | km/h | | |
| Area unitaria impatto (25)= | 25 | mq | | |
| Impulso della Forza = | 4,62E+04 | N | | |
| Annual Risk of Impact | 7,20E-12 | N. impatti anno | < | 1,00E-06 |

La valutazione del rischio per tutti gli aerogeneratori nel caso di distacco del frammento di pala per distacco a 5 metri dalla punta della pala sia nei

confronti di possibili collisioni con i ricettori che nei confronti dei veicoli su strada risulta inferiore a 10^{-6} , dunque, accettabile.

CONCLUSIONI

In conclusione, da quanto sopra, discende gli aerogeneratori non destano il ben che minimo rischio relativo a possibili incidenti per distacco di pala o frammenti di essa.