



APRICENA



REGIONE PUGLIA

PROGETTO DEFINITIVO PARCO EOLICO "PROCINA"

Nel Comune di APRICENA

N.18 aerogeneratori di singola potenza fino a 8MW

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

Committente:



AIP1 s.r.l. (ex Spirit)

P.zza Giovanni Paolo II, 8
71017 Torremaggiore (FG)
aip1vento@pec.it

Visti:

Progettazione:



Tecnico Competente:

Ing. Francesco Di Cosmo



Elaborazione: 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.

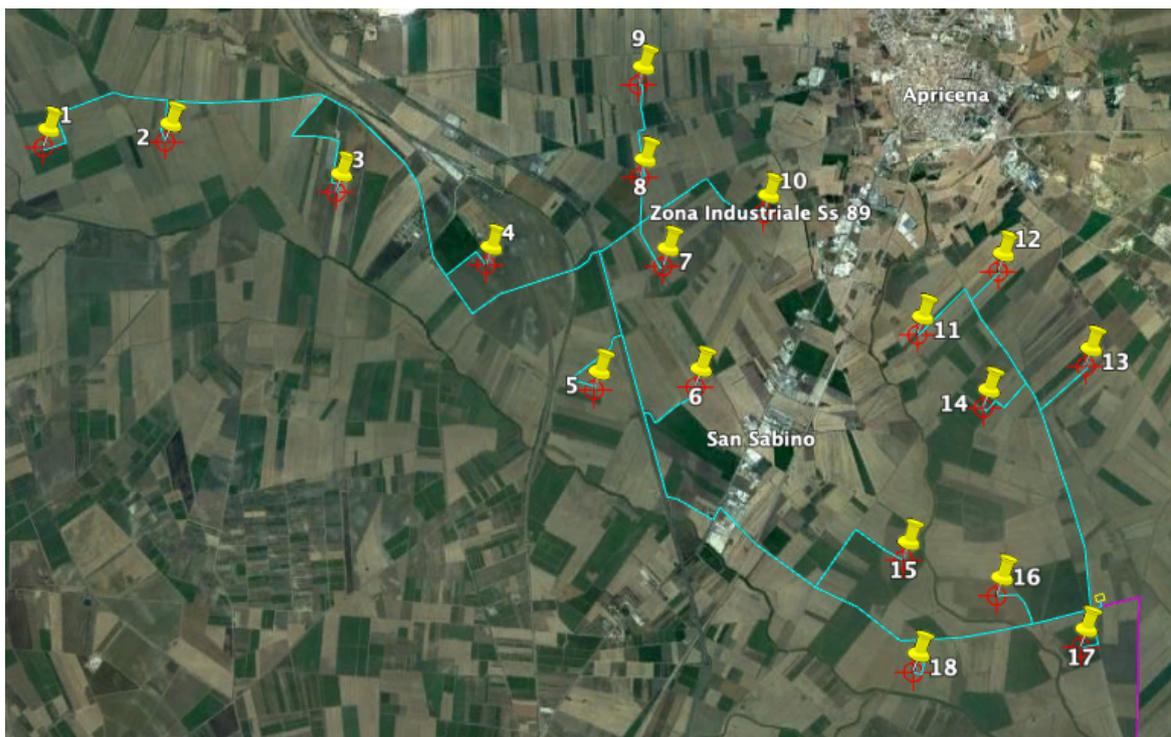
GLI AEROGENERATORI

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 6.6/8-170	6,6/8	145	170	10	230

INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area prevista per l'installazione dell'impianto eolico è ubicata a sud-ovest di Apricena (FG) tra i comuni di Apricena e San Severo. Il centro abitato di Apricena dista circa 1,3 km dal primo aerogeneratore del parco.



Le coordinate geografiche sono le seguenti:

NUMERO WTG	UTM 84-33N	
	EST	NORD
1	528000.6845	4625272.2329
2	529204.6018	4625332.2185
3	530901.1141	4624835.6686
4	532387.4791	4624113.5846
5	533457.5672	4622882.5084
6	534448.4058	4622914.9166
7	534124.4244	4624107.8821
8	533894.1714	4624997.0081
9	533873.7707	4625930.0928
10	535112.2631	4624642.1150
11	536618.1623	4623440.2088
12	537415.5976	4624071.6693
13	538263.1781	4623135.3794
14	537259.4109	4622721.4622
15	536465.9942	4621232.9201
16	537367.4180	4620891.7343
17	538175.9012	4620398.1074
18	536554.6811	4620152.3681

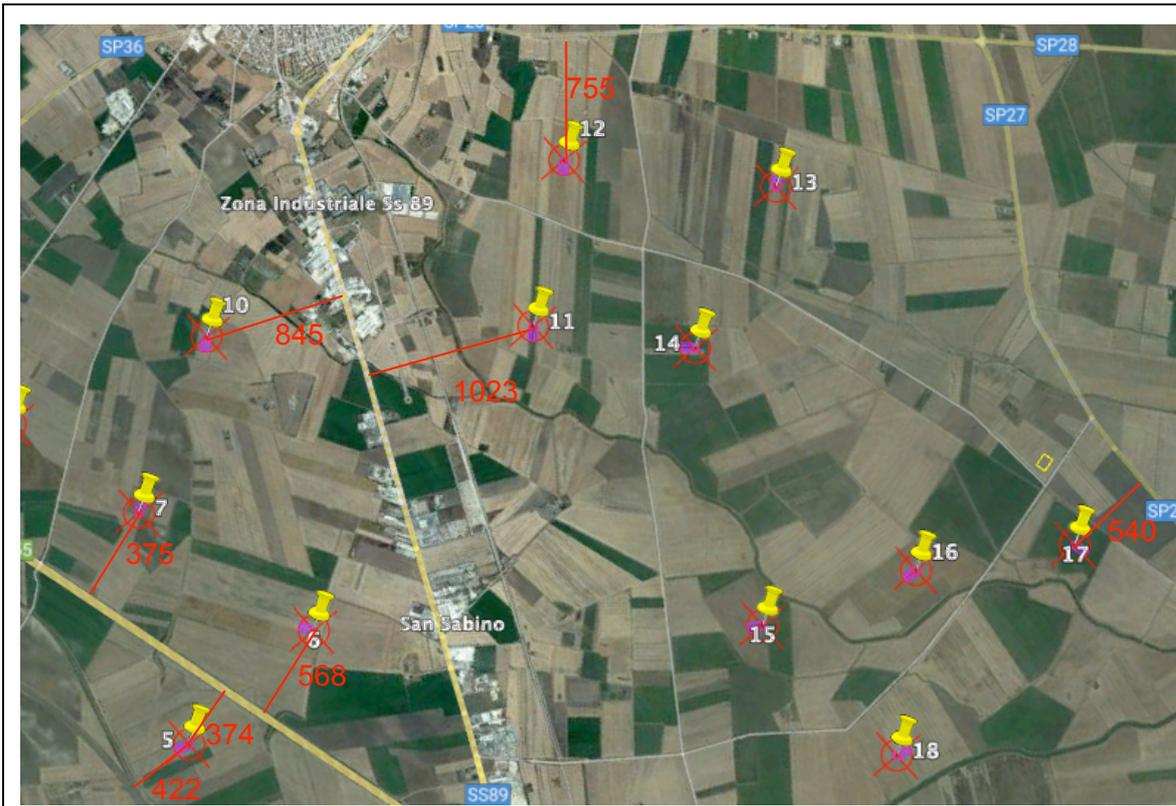
Nella figura che segue sono rappresentati gli aerogeneratori, i ricettori più prossimi, le strade nazionali e provinciali.

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 alla SP36 è l'aerogeneratore n.9 che dista m.308.

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 6.6/8-170	6,6/8	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:

$$x = 0$$

$$y = -gt^2$$

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

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

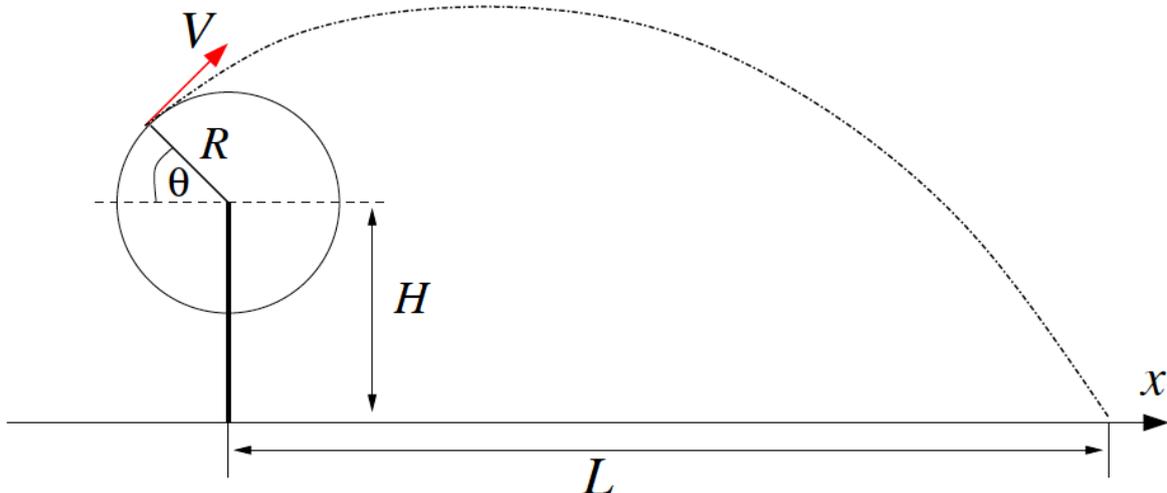
$$y(t) = y_0 + v_y t - \frac{1}{2}gt^2$$

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

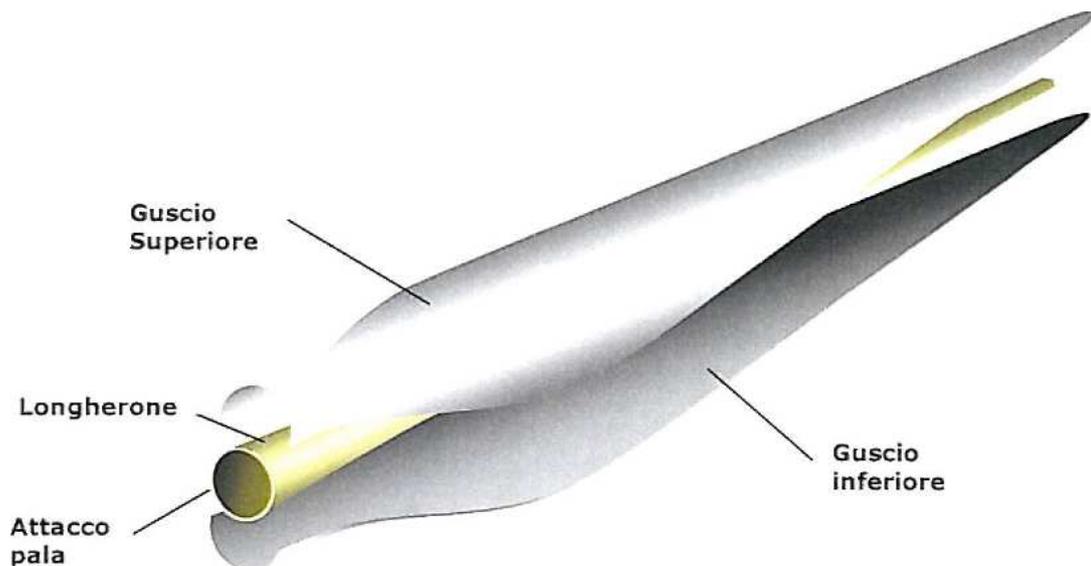
l'aria;

- 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.

La 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:

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

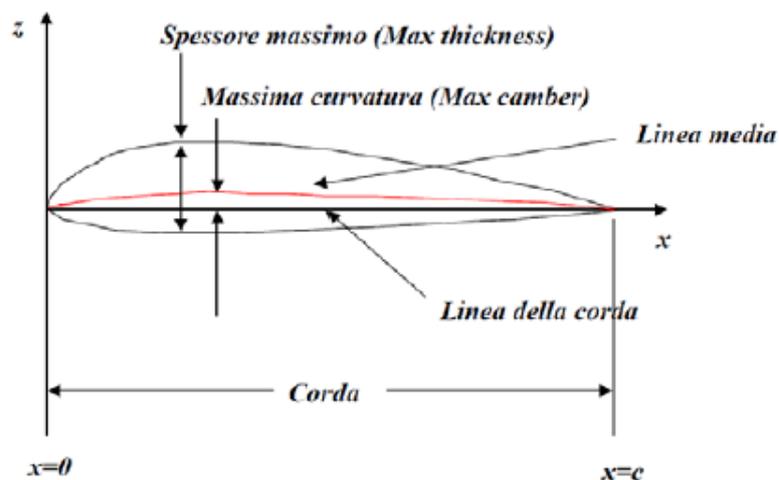
dove:

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

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

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

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



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 6.2-170	6,2	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.1 che dista m.370 dalla SP 36, n.4 che dista m.380 dalla SP33 e m.340 dalla linea ferroviaria, n.5 che dista m.374 dalla autostrada E55, n.7 che dista m.375 dalla autostrada E55 e n.9 che dista m.308 dalla SP36.

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.1, n.4, n.5, n.7 e n.9.

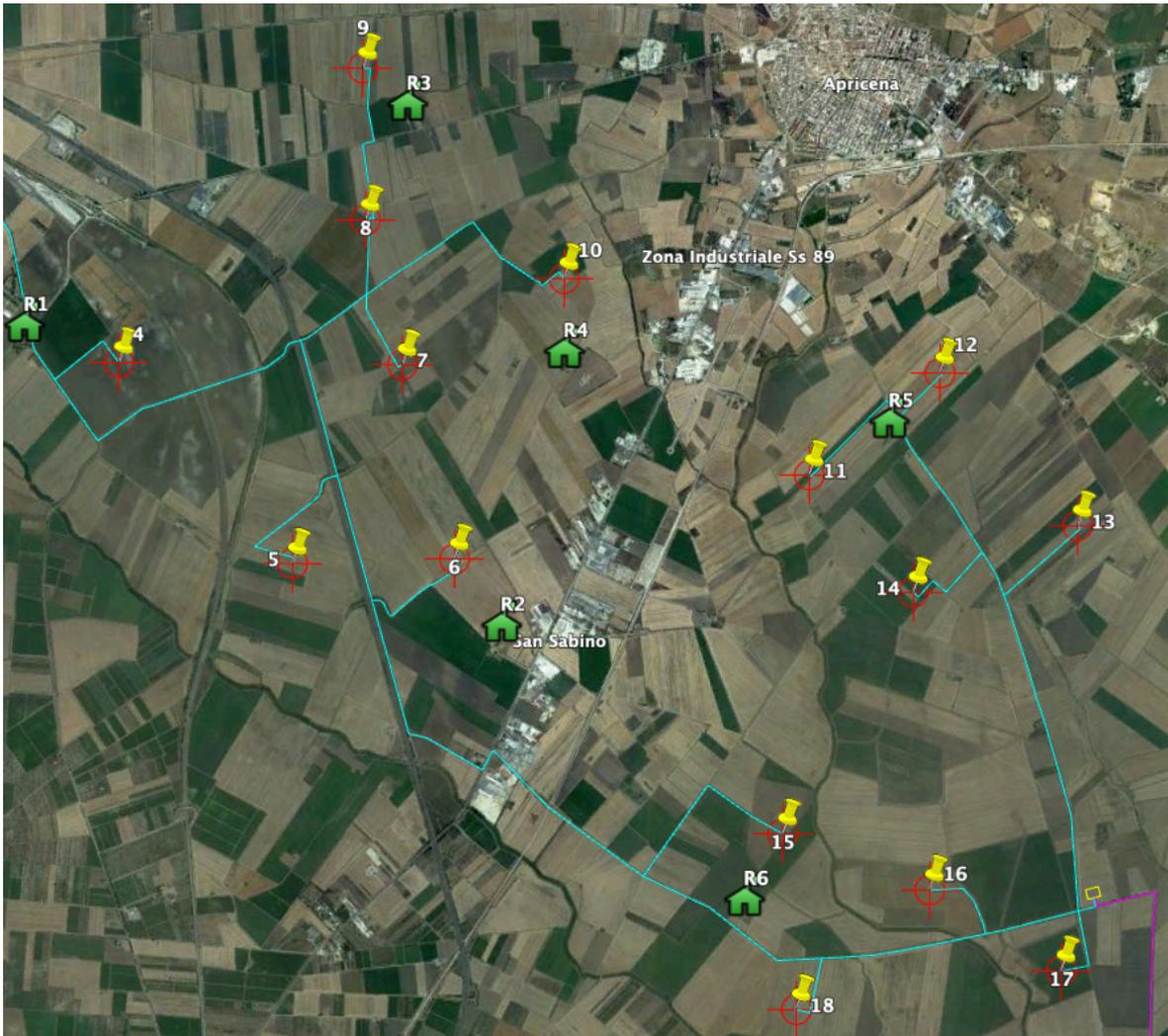
Va evidenziato che il D.M. 10-9-2010 prescrive solo una distanza minima pari alla lunghezza delle eliche con il rotore che al massimo è **m.230**.

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.

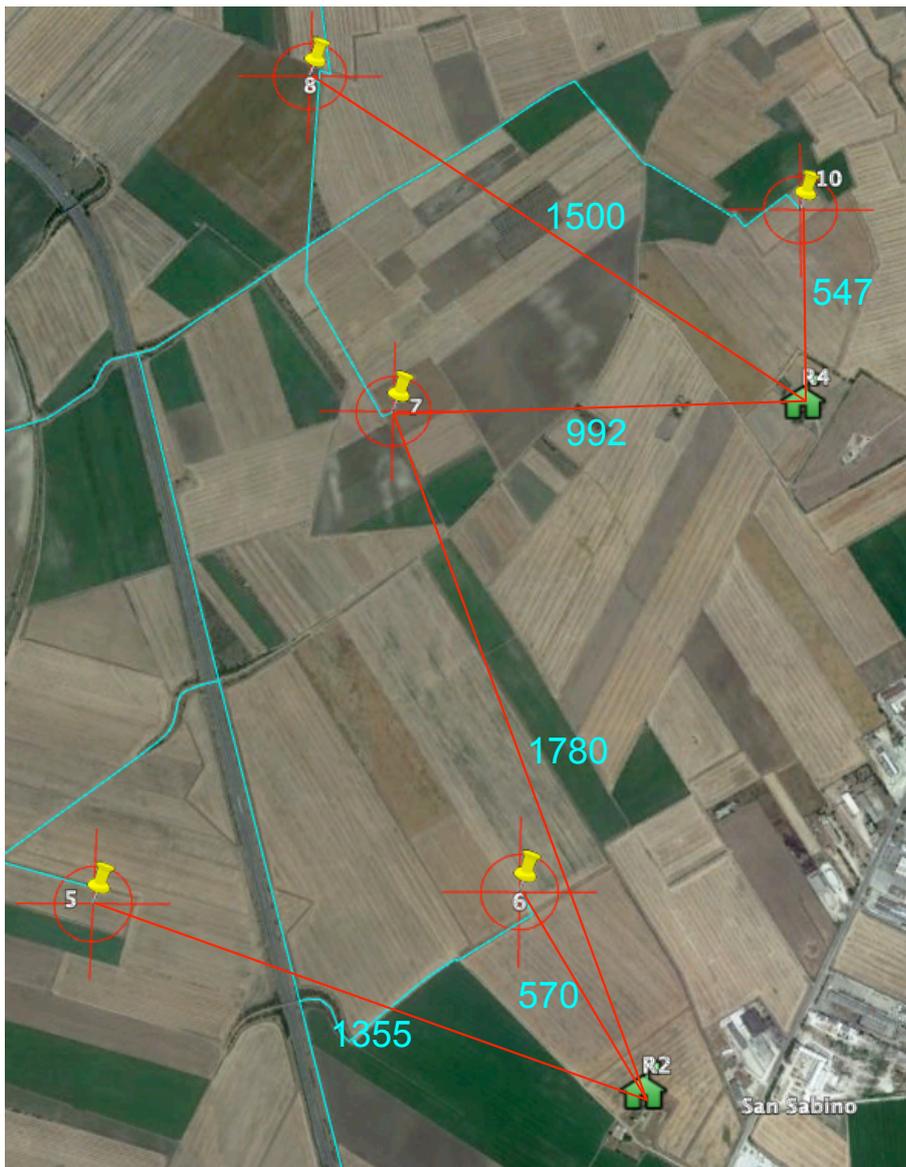
Dunque la valutazione della gittata massima degli elementi rotanti in caso di rottura accidentale è positiva rispetto alle strade nazionali, regionali e provinciali, salvo verifica della valutazione del rischio per i soli aerogeneratori n.1, n.4, n.5, n.7 e n.9,

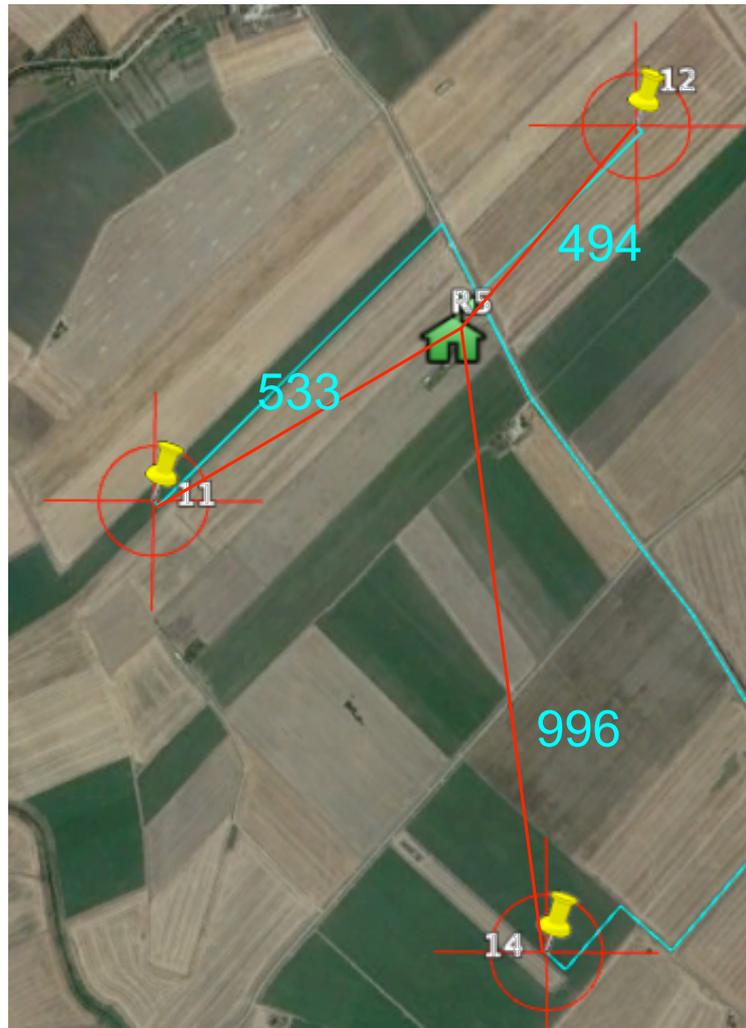
VALUTAZIONE C – LA GITTATA RISPETTO AI RECETTORI

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



Per ogni ricettore, nelle seguenti ortofoto si evidenziano le distanze dai tre aerogeneratori più vicini.





Dalla verifica delle distanze dai ricettori si osserva che non vi sono situazioni critiche per nessuno degli aerogeneratori. Tutti i ricettori sono a distanze superiori alla gittata massima di m.396. Il ricettore più prossimo agli aerogeneratori risulta il ricettore R3 ad una distanza di m.414 dall'aerogeneratore n.9 (contro i m.396 della gittata massima). Tutte le altre distanze sono superiori.

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.

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 sono sempre ampiamente superiori alla gittata massima rinveniente per una rottura accidentale degli elementi rotanti a 5 metri dalla punta della pala si ritiene che non vi siano rischi.

Per quanto riguarda, invece, gli aerogeneratori **n.1, n.4, n.5, n.7 e n.9** la situazione risulta la seguente:

- aerogeneratore n.1, dista m.370 dalla SP 36
- aerogeneratore n.4, dista m.380 dalla SP 33 e m.340 dalla linea ferroviaria
- aerogeneratore n.5, dista m.374 dalla autostrada E 55
- aerogeneratore n.7, dista m.375 dalla autostrada E 55
- aerogeneratore n.9 che dista m.308 dalla SP 36.

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.

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 (nella realtà ciò non avviene)
4. Probabilità che il frammento colpisca la strada provinciale o nazionale
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.

Gli aerogeneratori dove il rischio risulta più alto sono l'aerogeneratore n.9 per una distanza inferiore dalla SP33 e l'aerogeneratore n.5 per la frequenza maggiore di veicoli trattandosi di autostrada. Si conduce la verifica per i due aerogeneratori maggiormente a rischio.

Considerando i seguenti dati generali:

Rateo di Guasto =	0,001	
Numero turbine interferenti =	1	
Velocità di Lancio del Frammento	51,29	
Gittata teor. con vento a 20m/s=	396	m
Velocità CG frammento =	85,48	m/s
Frequenza Vento =	42,9	%
Angolo ripart.ne rosa dei Veti =	135	%
Probabilità Impatto interno area=	99,1	%
Area a rischio =	184.650,84	mq

La valutazione del rischio ha prodotto i seguenti valori:

- per la turbina n.9

Distanza dalla Torre	308	m	WTG 9	SP36
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		
Area occupata da edifici =	0			
Tempo permanenza occupanti =	0			
Numero Occupanti =	0			
Impulso della Forza =	4,62E+04	N		
Annual Risk of Impact	7,20E-12	N. impatti anno	<	1,00E-06
Rischio di Morte	1,39E-10	N. Vittime anno	<	1,00E-06

- per la turbina n.5

Distanza dalla Torre	374	m	WTG 5	E55
N. Veicoli/h =	100	veic./h		
Numero Occupanti/Veicolo =	3			
Lunghezza tratto stradale inter. =	730	m		
Larghezza tratto stradale inter. =	8	m		
Velocità veicoli =	90	km/h		
Area unitaria impatto (25)=	25	mq		
Area occupata da edifici =	0			
Tempo permanenza occupanti =	0			
Numero Occupanti =	0			
Impulso della Forza =	4,62E+04	N		
Annual Risk of Impact	1,75E-11	N. impatti anno	<	1,00E-06
Rischio di Morte	1,68E-10	N. Vittime anno	<	1,00E-06

In tutti i casi il rischio risulta inferiore a 10^{-6} , dunque un rischio ampiamente trascurabile per tutti gli aerogeneratori.

CONCLUSIONI

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