



AGOSTO 2023

PACECO S.R.L.

IMPIANTO EOLICO “PACECO WIND”

LOCALITÀ LA PERGOLA

**COMUNE di PACECO (TP), MISILISCEMI (TP) e
TRAPANI (TP)**

**Ma
con
tana**

ELABORATI TECNICI DI PROGETTO

ELABORATO R11

RELAZIONE GITTATA MASSIMA

Progettista

Ing. Laura Maria Conti – Ordine Ing. Prov. Pavia n. 1726

Coordinamento

Eleonora Lamanna

Matteo Lana

Lorenzo Griso

Codice elaborato

2995_5531_PAC_PFTE_R11_Rev0_GITTATAMASSIMA.docx

Memorandum delle revisioni

| Cod. Documento | Data | Tipo revisione | Redatto | Verificato | Approvato |
|---|---------|-----------------|---------|------------|------------|
| 2995_5531_PAC_PFTE_R11_Rev0_GITTATAMASSIM A.docx | 08/2023 | Prima emissione | G.d.L. | E.Lamanna | A.Angeloni |

Gruppo di lavoro

| Nome e cognome | Ruolo nel gruppo di lavoro | N° ordine |
|-------------------|---|---|
| Laura Conti | Direttore Tecnico - Progettista | Ord. Ing. Prov. PV n. 1726 |
| Corrado Pluchino | Responsabile Tecnico Operativo | Ord. Ing. Prov. MI n. A27174 |
| Eleonora Lamanna | Coordinamento Generale, Progettazione, Studio Ambientale, Studi Specialistici | |
| Matteo Lana | Coordinamento Progettazione Civile | |
| Riccardo Festante | Coordinamento Progettazione Elettrica | |
| Lorenzo Griso | Coordinamento Dati Territoriali – Senior GIS Expert | |
| Ali Basharзад | Ingegnere Civile - Progettazione civile e viabilità | Ord. Ing. Prov. PV n. 2301 |
| Mauro Aires | Ingegnere Civile – Progettazione Strutture | Ord. Ing. Prov. Torino – n. 9588 |
| Vincenzo Ferrante | Ingegnere Civile – Progettazione Strutture | |
| Andrea Amantia | Geologo - Progettazione Civile | |
| Filippo Di Pietra | Geologo | Ord. Reg. Sicilia - n. 3362 sez. A |
| Fabio Lassini | Ingegnere Civile Ambientale – Progettazione Civile | Ord. Ing. Prov. MI n. A29719 |
| Marco Iannotti | Ingegnere Civile Idraulico - Progettazione Civile | |
| Carla Marcis | Ingegnere per l’Ambiente ed il Territorio, Tecnico competente in acustica | Ord. Ing. Prov. CA n. 6664 – Sez. A ENTECA n. 4200 |

Montana S.p.A.

Via Angelo Carlo Fumagalli 6, 20143 Milano
Tel. +39 02 54 11 81 73 | Fax +39 02 54 12 98 90

Milano (Sede Certificata ISO) | Brescia | Palermo | Cagliari | Roma | Siracusa

C. F. e P. IVA 10414270156

Cap. Soc. 600.000,00 €

www.montanambiente.com





| | | |
|------------------|--|---|
| Lia Buvoli | Biologa – Esperto GIS – Esperto Ambientale | |
| Elena Comi | Biologa – Esperto GIS – Esperto Ambientale | Ord. Nazionale Biologi n. 060746 Sez. A |
| Sara Zucca | Architetto – Esperto GIS – Esperto Ambientale | |
| Andrea Mastio | Ingegnere per l’Ambiente e il Territorio – Esperto Ambientale Junior | |
| Andrea Delussu | Ingegnere Elettrico – Progettazione Elettrica | |
| Matthew Piscedda | Esperto in Discipline Elettriche | |
| Francesca Casero | Esperto GIS – Esperto Ambientale Junior | |
| Simone Demonti | Esperto GIS – Esperto Ambientale Junior | |
| Alessia Papeti | Esperto Ambientale – Geologo - GIS Junior | |
| Ricardo Coronati | Geourbanista – Pianificatore junior | |
| Fabio Bonelli | Esperto Ambientale - Naturalista | |
| Davide Molinetti | Esperto GIS – Esperto Ambientale Junior | |
| Laura Lodi | Ingegnere per l’Ambiente e il Territorio – Esperto Ambientale Junior | |
| Elide Moneta | Esperto GIS – Esperto Ambientale Junior | |
| Roberto Camera | Esperto GIS – Esperto Ambientale Junior | |

Montana S.p.A.

Via Angelo Carlo Fumagalli 6, 20143 Milano
Tel. +39 02 54 11 81 73 | Fax +39 02 54 12 98 90

Milano (Sede Certificata ISO) | Brescia | Palermo | Cagliari | Roma | Siracusa

C. F. e P. IVA 10414270156
Cap. Soc. 600.000,00 €

www.montanambiente.com





INDICE

| | |
|--|----|
| 1. PREMESSA | 5 |
| 1.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE DEL SITO | 6 |
| 1.2 DESCRIZIONE GENERALE DI PROGETTO | 8 |
| 2. CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA DEGLI ELEMENTI ROTANTI..... | 10 |
| 2.1 APPROCCIO AL CALCOLO | 10 |
| 2.2 IPOTESI DI CALCOLO | 12 |
| 2.3 FORMULAZIONI | 12 |
| 2.4 CASO STUDIO..... | 14 |
| 2.5 CONSIDERAZIONI FINALI..... | 16 |
| 3. APPLICAZIONE DEI RISULTATI ALL'IMPIANTO EOLICO IN OGGETTO | 17 |
| 4. CONCLUSIONI | 19 |



1. PREMESSA

Il progetto in esame riguarda la realizzazione di un nuovo Parco Eolico della potenza complessiva di **108 MW**, che prevede l'installazione di **n. 15 aerogeneratori da 7,2 MW** con relative opere di connessione da installarsi nel territorio comunale di Paceco, Misiliscemi e Trapani, nel territorio provinciale di Trapani.

La Società Proponente è la Paceco S.R.L., con sede legale in Via Carlo Angelo Fumagalli 6, 20143 Milano (MI).

Tale opera si inserisce nel quadro istituzionale di cui al D.Lgs. 29 dicembre 2003, n. 387 "Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità" le cui finalità sono:

- promuovere un maggior contributo delle fonti energetiche rinnovabili alla produzione di elettricità nel relativo mercato italiano e comunitario;
- promuovere misure per il perseguimento degli obiettivi indicativi nazionali;
- concorrere alla creazione delle basi per un futuro quadro comunitario in materia;
- favorire lo sviluppo di impianti di microgenerazione elettrica alimentati da fonti rinnovabili, in particolare per gli impieghi agricoli e per le aree montane.

La Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) elaborata, prevede che l'impianto eolico venga collegato in antenna a 220 kV con una nuova stazione elettrica di trasformazione (SE) a 220/36 kV della RTN, da inserire in entra - esce sulla linea RTN a 220 kV "Fulgatore - Partanna", previa:

- realizzazione del nuovo elettrodotto RTN 220 kV "Fulgatore – Partinico", di cui al Piano di Sviluppo Terna;
- realizzazione di un nuovo elettrodotto RTN a 220 kV di collegamento della suddetta stazione con la stazione 220/150 kV di Fulgatore, previo ampliamento della stessa;
- realizzazione di un nuovo elettrodotto RTN a 220 kV di collegamento della suddetta stazione a 220kV con la stazione 220 kV di Partanna, previo ampliamento della stessa.

Nel suo complesso il parco di progetto sarà composto da:

- N° 15 aerogeneratori della potenza nominale di 7,2 MW ciascuno;
- dalla viabilità di servizio interna realizzata in parte ex-novo e in parte adeguando strade comunali e/o agricole esistenti;
- dalle opere di regimentazione delle acque meteoriche
- dalle opere di collegamento alla rete elettrica
- dalla viabilità di servizio interna;
- dalle reti tecnologiche per il controllo del parco e dalle opere di regimentazione delle acque meteoriche;
- dalle reti tecnologiche per il controllo del parco

A tal fine il presente documento costituisce la **Relazione gittata massima** del progetto.

1.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE DEL SITO

Il parco eolico in progetto si estende nella provincia di Trapani e prevede l'installazione di n. 15 aerogeneratori territorialmente così collocati:

- n. 2 aerogeneratori nel comune di Misiliscemi (PAC03, PAC10);
- n. 6 aerogeneratori nel comune di Paceco (PAC01, PAC02, PAC06, PAC05, PAC7, PAC11);
- n. 7 aerogeneratori nel comune di Trapani (PAC04, PAC14, PAC12, PAC08, PAC09, PAC13, PAC15);

mentre le opere di connessione sono collocate nei comuni di Paceco, Misiliscemi e Trapani, sempre nel territorio provinciale di Trapani (Figura 1.1).

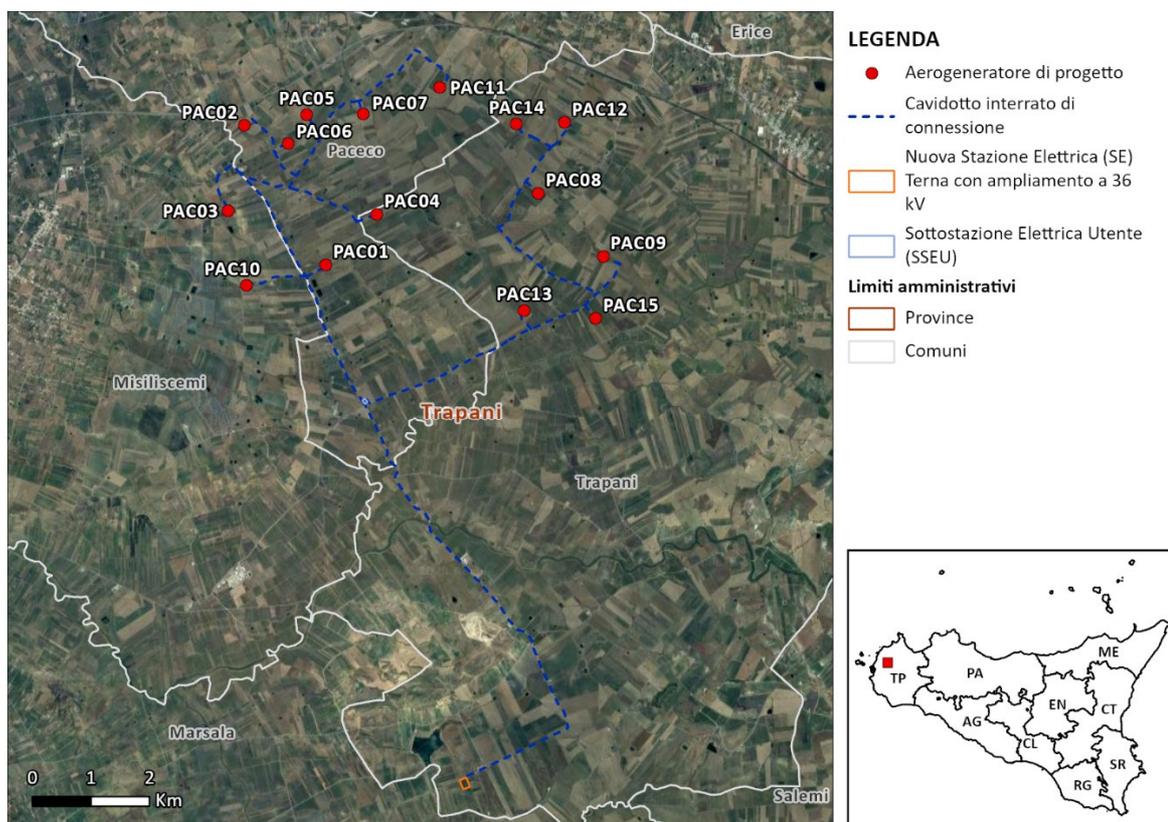


Figura 1.1: Localizzazione a scala regionale, provinciale e comunale dell'impianto proposto.

Le coordinate degli aerogeneratori previsti sono riportate in Tabella 1-1.

Tabella 1-1: Coordinate aerogeneratori in Gradi Decimali.

| WTG | WGS 1984 UTM ZONE 33N | |
|-------|-----------------------|--------------|
| | LONGITUDINE E | LATITUDINE N |
| PAC01 | 12,60529 | 37,92548 |
| PAC02 | 12,58898 | 37,94689 |
| PAC03 | 12,58609 | 37,93313 |
| PAC04 | 12,61505 | 37,93346 |
| PAC05 | 12,60092 | 37,94885 |
| PAC06 | 12,59752 | 37,94419 |
| PAC07 | 12,61202 | 37,94899 |
| PAC08 | 12,64631 | 37,93719 |
| PAC09 | 12,65913 | 37,92763 |
| PAC10 | 12,58992 | 37,92213 |
| PAC11 | 12,62683 | 37,95335 |
| PAC12 | 12,65120 | 37,94827 |
| PAC13 | 12,64398 | 37,91901 |
| PAC14 | 12,64180 | 37,94794 |
| PAC15 | 12,65794 | 37,91794 |

L'accesso al sito avverrà mediante strade pubbliche esistenti a carattere nazionale e provinciale partendo dal vicino porto di Trapani, per poi percorrere le principali strade statali del territorio fino ad arrivare all'area di progetto (Figura 1.2).

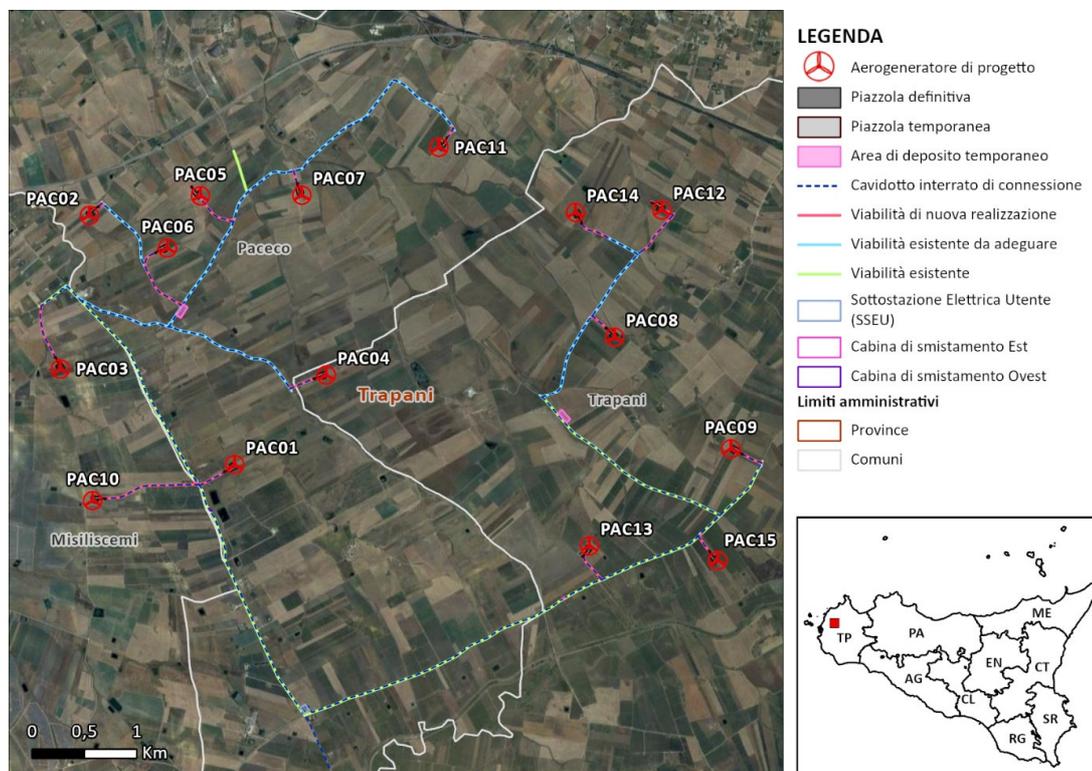


Figura 1.2: Inquadramento della viabilità di progetto.

1.2 DESCRIZIONE GENERALE DI PROGETTO

Oggetto della presente relazione è l'analisi della gittata degli elementi rotanti di un aerogeneratore nello specifico Vestas "EnVentus™V172-7.2 MW 50/60 Hz".

Le principali specifiche tecniche dell'aerogeneratore vengono riportate nella seguente tabella:

Tabella 1.2: Caratteristiche tecniche aerogeneratore

| AEROGENERATORE VESTAS | |
|----------------------------|--|
| DATI DI FUNZIONAMENTO | |
| Potenza nominale | 7.200 kW |
| Velocità minima del vento | 3.0 m/s |
| Velocità massima del vento | 25.0 m/s |
| Classe di vento-IEC | S |
| ROTORE | |
| Diametro del rotore | 172 m |
| Area spazzata | 23.235 mq |
| Velocità massima | 12,1 giri/min |
| TORRE | |
| Tipo | Torre in acciaio tubolare |
| Altezza mozzo | 114 m |
| Altezza al Top | 200 m |
| PALA | |
| Lunghezza | 84,35 m |
| Numero pale | 3 |
| Materiale | Fibreglass reinforced; polyester, carbon fibres and metallic diverter strips |
| DATI ELETTRICI | |
| Frequenza | 50Hz/60Hz |
| Voltaggio | 800 V |
| Tipo generatore | three-phase permanent magnet generator |

Esemplificandone l'ingegneria, si osserva che le pale dell'aerogeneratore sono fissate su un mozzo, nell'insieme costituiscono il rotore, il mozzo, a sua volta, è collegato ad un albero di trasmissione che ruota alla stessa velocità angolare del rotore.

Tutti i componenti sopra menzionati, ad eccezione, del rotore e del mozzo, sono ubicati entro una cabina, detta navicella la quale, a sua volta, è sistemata su un supporto-cuscinetto, in maniera da essere facilmente orientata secondo la direzione del vento (Figura 1.4)



Figura 1.3: Rappresentazione di un aerogeneratore.



2. CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA DEGLI ELEMENTI ROTANTI

2.1 APPROCCIO AL CALCOLO

La pala che durante la rotazione accidentalmente si distacca dal rotore è caratterizzata da una velocità iniziale V_0 proporzionale alla velocità angolare ed al diametro del rotore. Ai fini del calcolo vengono impiegate, in via preliminare, le formule classiche della cinematica di un corpo rigido.

Il moto di un corpo rigido, in assenza di interazione con il fluido, è riconducibile alla somma di due moti, uno rettilineo uniforme in direzione orizzontale ed uno uniformemente accelerato (con accelerazione pari all'accelerazione di gravità) in direzione verticale. Ne consegue che la traiettoria seguita da un corpo, in generale solido e di dimensioni ridotte o, meglio, del suo centro di massa, ha un andamento parabolico. La gittata è la distanza, sul piano orizzontale, tra la proiezione sullo stesso piano del punto di partenza del moto e il punto in cui esso raggiunge il piano.

La rottura accidentale di un elemento rotante di un aerogeneratore ad asse orizzontale (parallelo al suolo) può essere considerato un evento molto raro, anche in considerazione della tecnologia costruttiva, dei materiali impiegati per la realizzazione delle pale stesse e delle periodiche operazioni di manutenzione e controllo a cui sono soggetti gli aerogeneratori nel corso della loro "vita utile" (con intervalli annuali).

Inoltre, le pale degli aerogeneratori sono generalmente considerate "fail-safe", in quanto 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.

Tuttavia, con DM 10/9/2010, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale, serie generale, n° 219 del 18/9/2010, il MISE ha emanato a suo tempo le "Linee guida per il procedimento di cui all'articolo 12 del decreto legislativo 29 dicembre 2003, n. 387 per l'autorizzazione alla costruzione e all'esercizio di impianti di produzione di elettricità da fonti rinnovabili nonché linee guida tecniche per gli impianti stessi" (d'ora in poi Linee Guida Nazionali), in applicazione del citato comma 10 dell'art. 12 del D.lgs. N°387/03; tra le quali è prevista per le pale eoliche, uno studio sulla gittata massima degli elementi rotanti nel caso di rottura accidentale.

Nel caso specifico, verrà presa in considerazione la peggiore condizione, ovvero il distacco completo della pala alla radice. Questa tipologia di incidente, seppur improbabile, nasce dalla considerazione dell'esistenza di un punto di discontinuità costituito dalla giunzione bullonata fra la pala ed il mozzo, per il quale esiste la possibilità di un cedimento strutturale.

La parte strutturale posizionata all'interno della pala (longherone) è dotata infatti di attacchi filettati (bulloni prigionieri) che consentono il collegamento della pala al mozzo tramite dadi serrati opportunamente in fase di installazione della turbina (Figura 2.1).

Durante il funzionamento dell'aerogeneratore i bulloni prigionieri offrono una resistenza ai carichi statici sia affaticanti che è strettamente legata al precarico conferito ai prigionieri durante il serraggio in fase di installazione.

Come detto, la giunzione bullonata fra la pala ed il mozzo costituisce la più probabile "sezione" di rottura e, tra le operazioni di manutenzione programmate per la turbina con cadenza annuale, è previsto un controllo periodico del serraggio dei bulloni e del precarico imposto ai prigionieri finalizzato alla verifica dei valori imposti dal progettista.

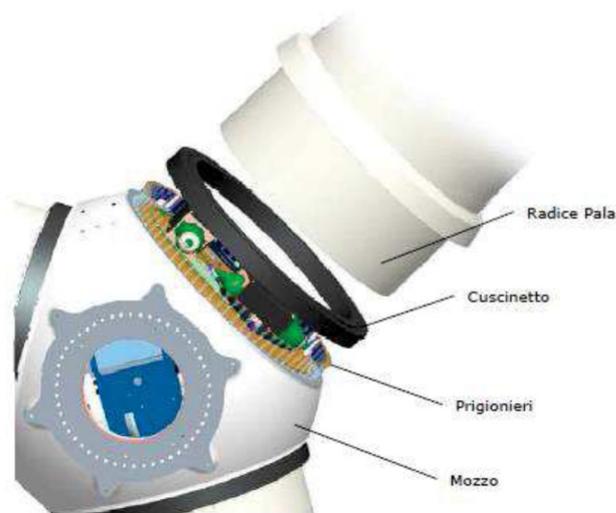


Figura 2.1: particolare mozzo aerogeneratore.

Nel calcolo per la gittata massima è da considerare che la conformazione del profilo alare dell'aerogeneratore è fissa, mentre è mobile il rotore sul quale sono ancorate le pale. Questo garantisce il fatto che il rotore possa orientarsi rispetto al vento in modo tale da offrire allo stesso sempre il medesimo profilo alare garantendo indipendentemente dalla direzione del vento un verso orario di rotazione. Tale considerazione è utile per fissare in ogni momento il verso della velocità tangenziale, responsabile della gittata nel piano, rispetto a quello della velocità del vento, ortogonale alla velocità tangenziale ed a sua volta responsabile della gittata fuori dal piano.

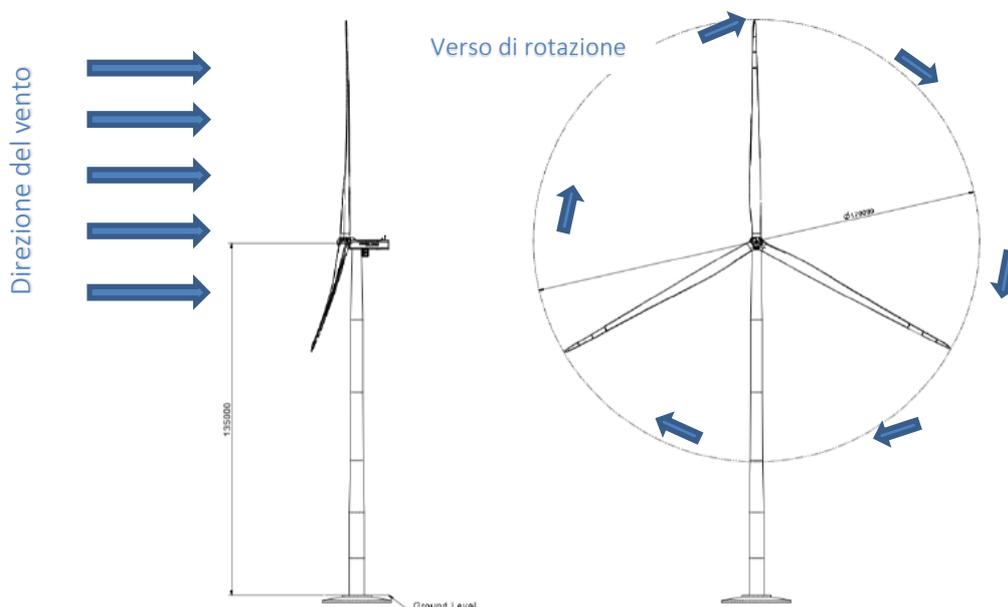


Figura 2.2: Schematizzazione Verso di Rotazione / Direzione del vento.

Dalla composizione delle due traiettorie si ottiene la traiettoria complessiva e quindi si può determinare la direzione lungo la quale l'eventuale pala o parte di essa che si distacca percorre il suo moto.

Infine, mettendo in relazione la traiettoria del corpo che si distacca con la corografia del luogo è possibile verificare se la pala nella percorrenza della sua traiettoria può essere o meno un elemento di pericolo per gli edifici più prossimi.



2.2 IPOTESI DI CALCOLO

Per il calcolo della gittata massima si utilizza il foglio di calcolo pubblicato e reso disponibile sul portale della Regione Campania predisposto per le istruttorie per gli impianti di produzione di energia da fonte rinnovabile eolica dalla "Unità Operativa Dirigenziale 500203 - Energia, efficientamento e risparmio energetico, Green Economy e Bioeconomia" della medesima Regione Campania.

Il calcolo della gittata massima delle pale eoliche si basa sulle seguenti assunzioni:

- moto piano (piano ortogonale all'asse del rotore nelle condizioni di esercizio al momento del distacco, ossia piano di appartenenza del vettore velocità tangenziale del baricentro della pala al momento del distacco);
- assenza di forzanti (moto inerziale), come ad esempio quelle generate dal vento (ritenute trascurabili nella zona di installazione degli aerogeneratori oggetto della relazione);
- assenza di variazioni altimetriche significative del campo di installazione (campo piano).

L'impiego di tali formule nelle ipotesi sopra descritte consente la stima, teorica e conservativa, della traiettoria delle pale a seguito di eventuali rotture alla radice. L'affinamento dei modelli matematici con opportune integrazioni, volte prevalentemente all'implementazione degli effetti che derivano dall'interazione pala-aria e/o direzione del vento differente rispetto a quella considerata in fase di progettazione e installazione degli aerogeneratori, consentirebbe di aumentare i margini di sicurezza salvaguardando ad ogni modo le aree circostanti.

In generale, la forza di attrito viscoso dipende, oltre che dalla velocità, anche dal fluido in cui l'oggetto si muove, dalla forma e dalle dimensioni dell'oggetto in movimento che inducono la formazione di vortici nel fluido stesso. Finché le velocità sono ridotte, il flusso dell'aria intorno alla pala è laminare e la forza di attrito viscoso tra corpo in movimento e aria cresce in modo direttamente proporzionale alla sua velocità. Nella trattazione si trascura l'effetto portante del vento sulla traiettoria della pala distaccata in quanto eventuali forzanti generate dal vento, considerata la condizione normale di funzionamento dell'aerogeneratore, per la quale l'asse del rotore è costantemente allineato con la direzione del vento, devierebbero la traiettoria fuori dal piano ipotizzato del moto, riducendone la gittata massima.

2.3 FORMULAZIONI

Il seguente metodo di calcolo della gittata è riferito all'aerogeneratore di tipo Vestas EnVentus™V172-7.2 MW, i dati di input del calcolo sono stati forniti dal costruttore.

Equazioni del moto

Il calcolo della Gittata è effettuato in funzione dell'angolo di inclinazione della pala rispetto all'orizzontale, in senso orario e ponendo l'angolo di 0° tra il 3° e 4° quadrante.

La formula [1] per il calcolo della Gittata Massima (G) per angoli compresi tra 0° e 90° è la seguente:

$$G = \frac{v_{x0}(v_{y0} + \sqrt{v_{y0}^2 + 2 * g * HG})}{g} - X_g$$

dove: α = Angolo della pala rispetto all'orizzontale (che corrisponde all'angolo tra 91° e 180° dell'angolo velocità)

$$HG = H_{torre} + Y_g$$

$$Y_g = rg \sin \alpha$$

rg = posizione del baricentro pari ad 1/3 della lunghezza della pala più raggio mozzo

$X_g = rg \cos \alpha$ - posizione del baricentro della pala rispetto all'asse della torre
 $v_{x0} = v_0 \cos (90 - \alpha) = v_0 \sin \alpha$
 $v_{y0} = v_0 \sin (90 - \alpha) = v_0 \cos \alpha$
 $v_0 = \omega rg = (2\pi n rg)/60$
 n = numero di giri al minuto del rotore
 $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ è l'accelerazione di gravità.

Da cui si calcola la Gittata effettiva (G_{eff}) dalla formula:

$$G_{eff} = G + L_g$$

dove: $L_g = 2/3 L$

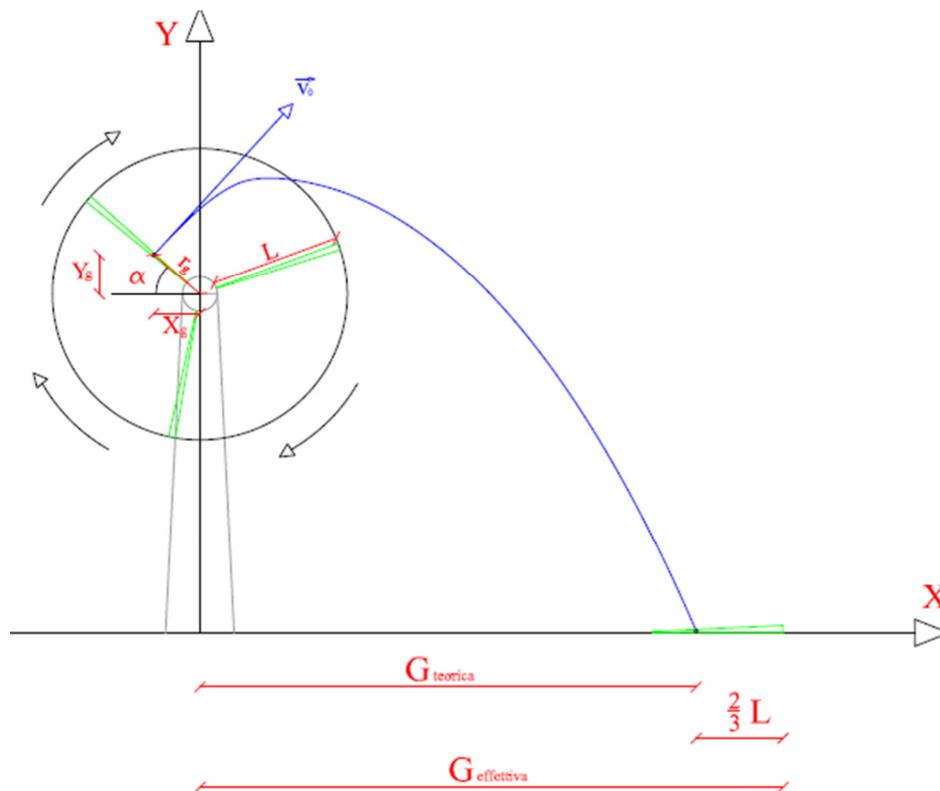


Figura 2.3: Schema della Gittata per angolo compreso tra 0° e 90° .

La formula [2] per il calcolo della Gittata Massima (G) per angoli compresi tra 270° e 260° è la seguente:

$$G = \frac{v_{x0}(v_{y0} + \sqrt{v_{y0}^2 + 2 * g * HG})}{g} + X_g$$

Dove rispetto quanto sopra: v_{x0} è negativo perché verso sinistra, quindi G sarà negativo (Figura 2.4)

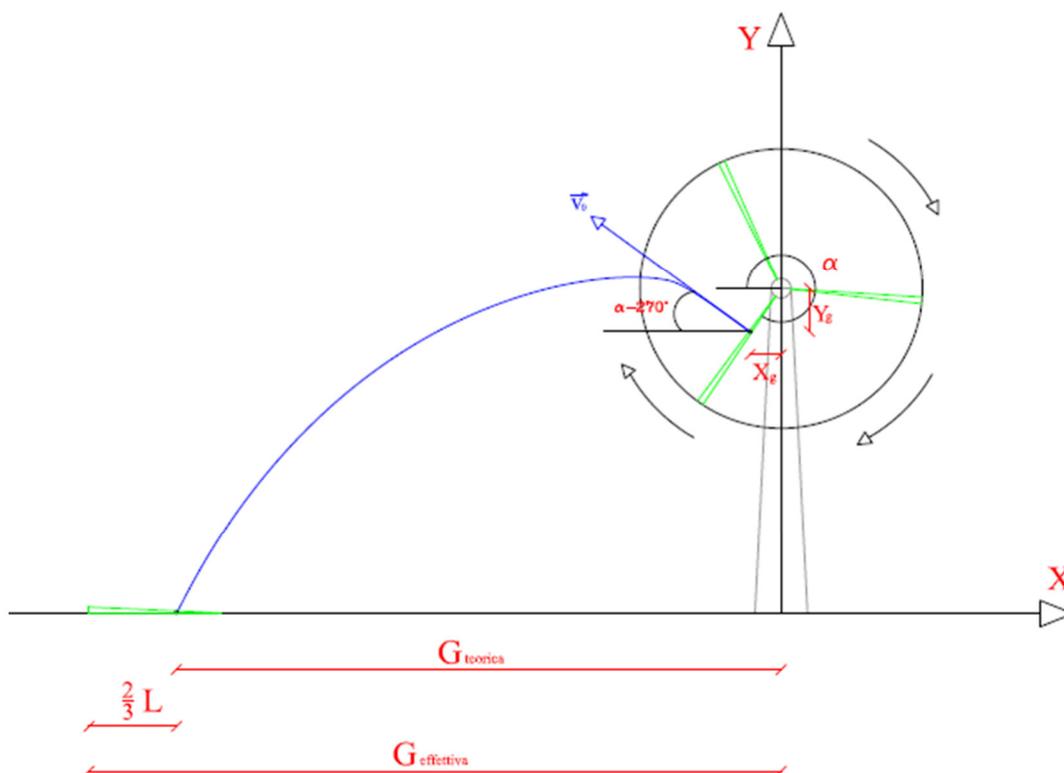


Figura 2.4: Schema della Gittata per angolo compreso tra 270° e 360°.

2.4 CASO STUDIO

In Tabella 2.1 si riportano i principali parametri geometrici riportati dal costruttore e utilizzati per il calcolo della gittata.

Tabella 2.1: Parametri del calcolo della gittata e risultati.

| ENVENTUS™V172-7.2 MW 50/60 HZ | |
|---|------------|
| ELEMENTO | DIMENSIONE |
| Lunghezza pala | 84,35 [m] |
| Velocità rotazione massima | 12 [rpm] |
| Altezza mozzo | 114,0 [m] |
| Posizione baricentro rispetto al mozzo a velocità rotazionale 0 | 29.8 [m] |
| Diametro del rotore | 172 [m] |

In Tabella 2.2 si riporta la gittata massima calcolata in riferimento alle formule classiche della cinematica, considerando l'ipotesi di moto roto-traslatorio, con rotazione intorno all'asse perpendicolare al piano individuato dal vettore velocità tangenziale (piano ortogonale all'asse del rotore in condizioni di esercizio) e traslazione nello stesso (riferimento le formule [1] e [2] del paragrafo 2.3). Dove si considerano trascurabili le forze viscosi (attrito dell'aria) e si ipotizza il baricentro della pala posizionato ad 1/3 della lunghezza, in prossimità del mozzo.

Tabella 2.2: Risultati del calcolo della gittata

| PARAMETRO CALCOLATO | [1] ANGOLI COMPRESI TRA 0° E 90° | [2] ANGOLI COMPRESI TRA 270° E 360° |
|---------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| Angolo α | 65° | 308° |
| V_0 | 37.41 m/s | 37.41m/s |
| V_{x0} | 33.90 m/s | -29,48 m/s |
| V_{y0} | 15.81 m/s | 23,03m/s |
| Gittata teorica | 231,83 m | 231,84 m |
| Lg | 56,23 m | 56,23 m |
| Gittata Effettiva | 288,07 m | 288,07 m |

Va aggiunto che, in termini di sollecitazione, le posizioni più critiche dal punto di vista strutturale assunte dalla pala corrispondono, rispetto al sistema di riferimento, a quelle $\alpha = 90^\circ$, quando gli sforzi di flessione sono massimi, e $\alpha = 180^\circ$, quando è massimo il contributo gravitazionale:

- gli sforzi di flessione a cui è soggetta la pala sono massimi per $\alpha = 90^\circ$ e sono trasferiti ai bulloni sotto forma di sforzi di trazione, per i bulloni posti al di sopra dell'asse neutro, e di compressione per quelli al di sotto dell'asse neutro;
- il contributo gravitazionale è massimo per $\alpha = 180^\circ$ ed è trasferito ai bulloni sotto forma di sforzi di trazione.

Il corretto pretensionamento dei bulloni (in riferimento alle coppie di serraggio definite durante la fase di progettazione e alle normative di riferimento -Direttiva 2006/42/CE del 17 maggio 2006) è requisito fondamentale per garantirne l'integrità della giunzione; in condizioni di massima sollecitazione per i bulloni di serraggio della pala: $\alpha = 90^\circ$ e $\alpha = 180^\circ$, rispettivamente a flessione e trazione, darebbero luogo a valori della gittata massima decisamente più bassa di quella calcolata in Tabella 3.2, come è possibile osservare dalla Figura 2.5.

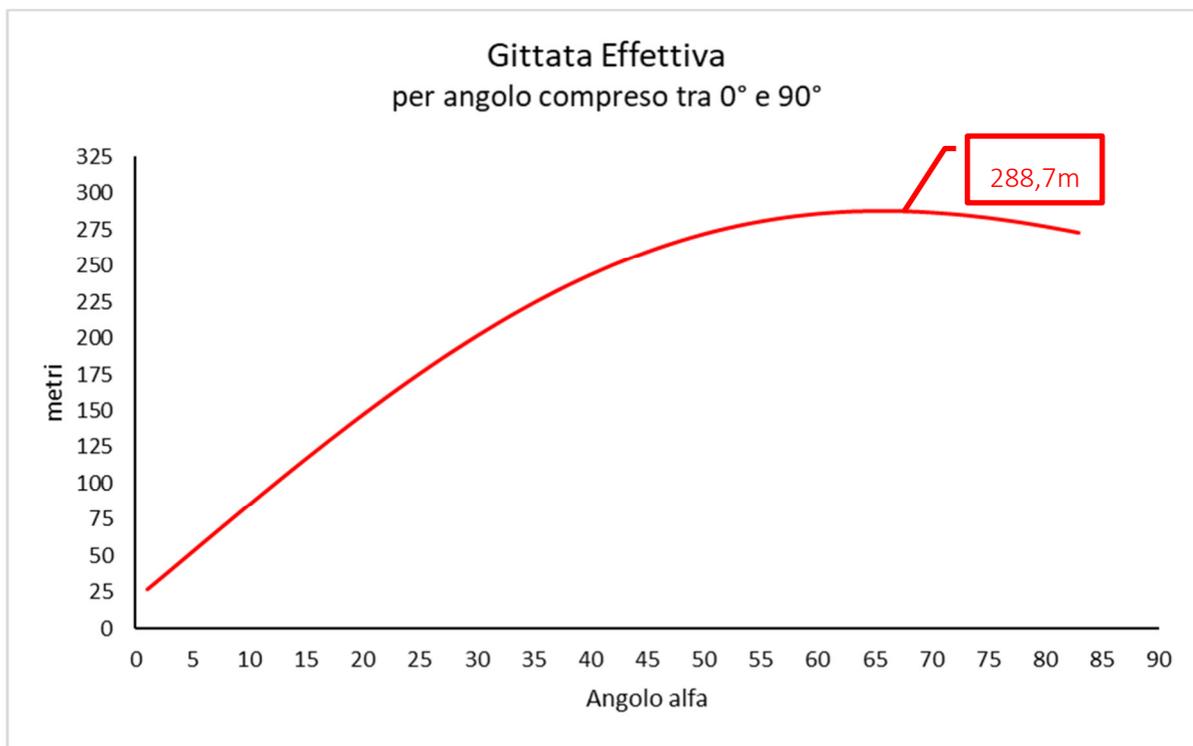


Figura 2.5: Calcolo Gittata Effettiva vs. angolo di distacco [°], si rimanda al paragrafo 3 per la definizione delle traiettorie.

2.5 CONSIDERAZIONI FINALI

Dalle valutazioni effettuate, considerate le ipotesi di campo piano (assenza di variazioni altimetriche del campo di installazione) e moto roto-traslatorio con rotazione intorno all'asse perpendicolare al piano individuato dal vettore velocità tangenziale (piano ortogonale all'asse del rotore in condizioni di esercizio) e traslazione nello stesso piano, si evince un valore della gittata massima pari a circa $231,8\text{ m}$ per un angolo di distacco pari a 65° circa, al quale dovrà aggiungersi la parte più lontana dal baricentro verso l'esterno della pala, $56,3\text{ m}$, per un valore complessivo precauzionalmente arrotondato in:

$$G_{\text{eff}} = 290\text{m}$$

Si evidenzia che, considerato che il verso di rotazione del rotore è sempre orario nel piano (x,z) (ovvero il piano ortogonale all'asse del rotore), la gittata massima si ottiene sempre nel semipiano positivo (xz); tale semipiano, in condizioni di esercizio dell'aerogeneratore, è sempre ortogonale alla direzione del vento, purché questo possieda energia sufficiente a consentire il raggiungimento della velocità massima di rotazione delle pale (schema in figura 2.3)

3. APPLICAZIONE DEI RISULTATI ALL'IMPIANTO EOLICO IN OGGETTO

I risultati del calcolo per la Gittata Massima Effettiva vengono analizzati in relazione alla presenza di potenziali recettori presenti nelle aree circostanti gli aerogeneratori in progetto.

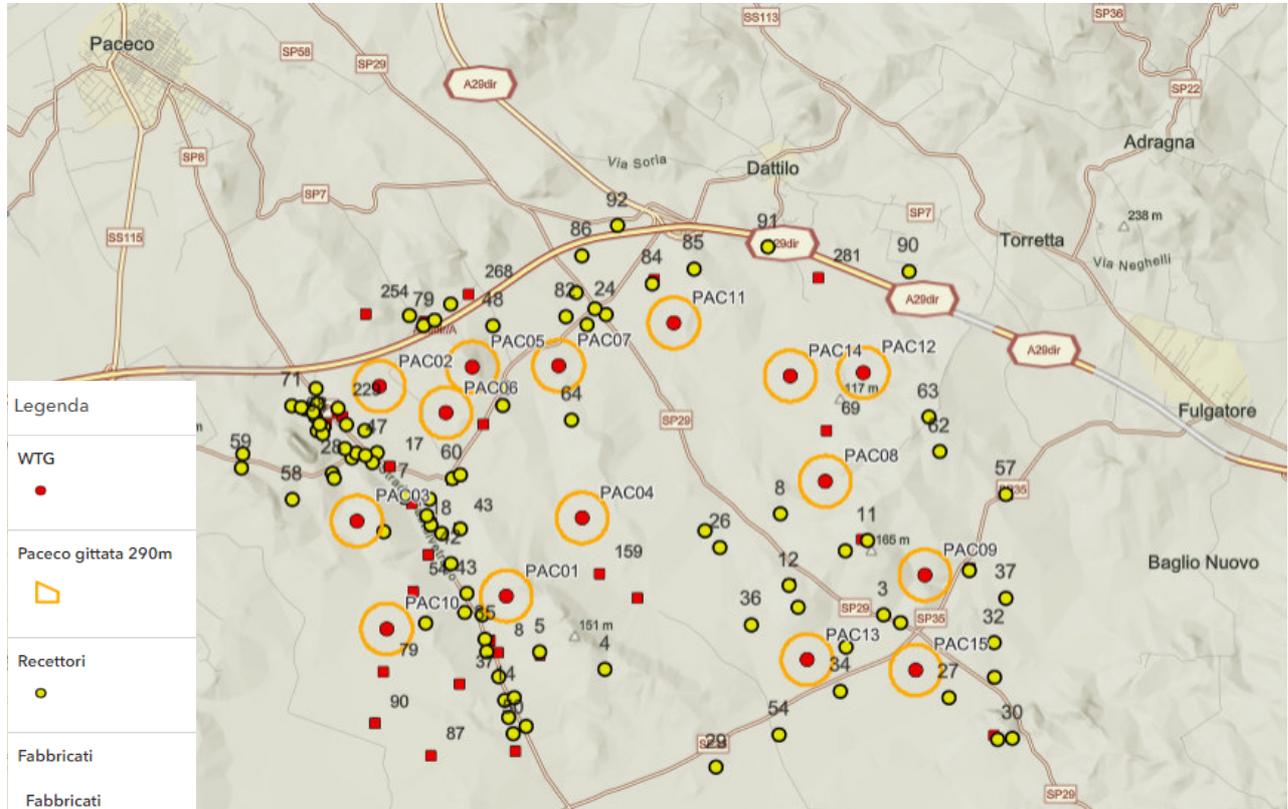


Figura 3.1: Layout di progetto con buffer della gittata massima di distacco di una pala.

Nella successiva tabella, si riportano le distanze minime tra i recettori più prossimi alle WTG.



Tabella 3.1: Verifica di interferenza dei recettori con la gittata effettiva

| Identificativo aerogeneratore | Gitatta effettiva (m) | Distanza minima recettore (m)* | Distanza minima fabbricato (m)* |
|-------------------------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| PAC1 | 290 | 350 | >500 |
| PAC2 | 290 | >500 | >500 |
| PAC3 | 290 | >500 | 330 |
| PAC4 | 290 | >500 | >500 |
| PAC5 | 290 | >500 | 451 |
| PAC6 | 290 | >500 | 450 |
| PAC7 | 290 | >500 | >500 |
| PAC8 | 290 | >500 | >500 |
| PAC9 | 290 | 484 | >500 |
| PAC10 | 290 | 448 | 478 |
| Identificativo aerogeneratore | Gitatta effettiva (m) | Distanza minima recettore (m)* | Distanza minima fabbricato (m)* |
| PAC11 | 290 | >500 | >500 |
| PAC12 | 290 | >500 | >500 |
| PAC13 | 290 | >500 | 465 |
| PAC14 | 290 | >500 | >500 |
| PAC15 | 290 | 480 | >500 |

*Si rimanda per i dettagli alla relazione: 2995_5529_PAC_PFTE_R07_Rev0_MONOGRAFIAFABBRICATI.



4. CONCLUSIONI

Il presente studio sulla gittata massima in caso di rottura, evidenzia che:

- i calcoli effettuati dimostrano che per l'aerogeneratore Modello Vestas EnVentus™V172-7.2 MW 50/60 Hz con altezza mozzo pari a 114 m, alla velocità massima di rotazione a pari a 12 rpm¹, la distanza massima del punto d'impatto del baricentro di una pala distaccatasi dal rotore è circa 290 m;
- Per le 15 WTG analizzate, all'interno di un buffer di ampiezza pari alla gittata massima (290m) non ricade nessun recettore. Il recettore fabbricato più vicino alla gittata massima di distacco è posizionato a circa 350 metri dall'aerogeneratore PAC1;
- considerato che il verso di rotazione del rotore è sempre orario nel piano (x,z) (ovvero il piano ortogonale all'asse del rotore), la gittata massima si ottiene sempre nel semipiano positivo (xz); tale semipiano, in condizioni di esercizio dell'aerogeneratore, è sempre ortogonale alla direzione del vento, purché questo possieda energia sufficiente a consentire il raggiungimento della velocità massima di rotazione delle pale;
- la rottura accidentale di un elemento rotante di un aerogeneratore ad asse orizzontale deve essere, in ogni caso, considerato un evento raro, in considerazione della tecnologia costruttiva ed ai materiali impiegati per la realizzazione delle pale stesse. Le pale dei rotori di progetto sono realizzate in fibra di vetro rinforzato con materiali plastici quali il poliestere o le fibre epossidiche. L'utilizzo di questi materiali limita, infatti, sino a quasi ad annullarla, la probabilità di distacco di parti della pala mentre la stessa è in rotazione;
- anche in caso di gravi rotture le fibre che compongono la pala la mantengono, di fatto, unita in un unico pezzo ed i sistemi di controllo dell'aerogeneratore riducono pressoché istantaneamente la velocità di rotazione, eliminando la possibilità che un frammento di pala si stacchi e venga proiettato verso l'alto;
- il sistema navicella-rotore-torre tubolare è protetto dalla fulminazione in accordo alla norma IEC 61400-24 – livello I, ciò esclude che si possano generare distacchi delle pale eoliche prodotti direttamente o indirettamente dalle fulminazioni.

Alla luce delle considerazioni sopra esposte, si può affermare che la realizzazione delle turbine nelle aree individuate all'interno del presente progetto non costituisce pericolo per la pubblica incolumità in caso di distacco di pala dal mozzo del rotore.

¹ Dato fornito dal costruttore