



REGIONE PUGLIA



PROVINCIA di  
BARLETTA-ANDRIA-TRANI



COMUNE di  
MINERVINO MURGE



COMUNE di  
ANDRIA



COMUNE di  
SPINAZZOLA



**Edison Rinnovabili Spa**  
Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano

|   |  |  |   |   |   |
|---|--|--|---|---|---|
| <p>Progettazione elettrica e Coordinamento Generale</p> |  <p><b>STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA</b><br/>MEZZINA dott. ing. Antonio<br/>Via T. Solis 128   71016 San Severo (FG)<br/>Tel. 0882.228072   Fax 0882.243651<br/>e-mail: info@studiomezzina.net</p>  |  |  |    |  |
| <p>Studio Idrraulico<br/>Geologico-Ictiologico</p>      | <p><b>Dott. Nazario Di Lella</b><br/>Tel./Fax 0882.991704   cell. 328 3250902<br/>E-Mail: geol.dilella@gmail.com</p>   |  | <p>Studio<br/>Acustico</p>  | <p><b>STUDIO FALCONE</b><br/>Ingegneria<br/><b>Ing. Antonio Falcone</b><br/>Tel. 0884.534378   Fax. 0884.534378<br/>E-Mail: antonio.falcone@studiofalcone.eu</p>  |   |
| <p>Studio archeologico</p>                              |  <p><b>NOSTOI s.r.l.</b><br/><b>Dott.ssa Maria Grazia Liseno</b><br/>Tel. 0972.081259   Fax 0972.83694<br/>E-Mail: mgliseno@nostoisrl.it</p>  |  | <p>Paesaggistici, Studi<br/>Ambientali e<br/>Naturalistici e Forestali</p>          |  <p><b>VEGA sas</b> LANDSCAPE ECOLOGY<br/>&amp; URBAN PLANNING<br/>Via degli Carri, 45 - 71121 Foggia - Tel. 0881.756251 - Fax 1784412324<br/>mail: info@studiovega.org - website: www.studiovega.org</p> |   |
| <p>Opera</p>  | <p align="center"><b>PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 59,4MW COSTITUITO DA N°9 AEROGENERATORI TIPO SG155 DA 6,6MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.</b></p> |  |   |   |   |
| <p>Oggetto</p>  | <p>Nome Elaborato:<br/>LCLJPL2-GITT_Relazione di calcolo sulla gittata massima degli impianti rotanti e analisi di impatto sui ricettori</p>   |  | <p>Folder:<br/>VIA_03_Relazioni Specialistiche</p>                                  |   |   |
|   | <p>Descrizione Elaborato:<br/>Relazione di calcolo sulla gittata massima degli impianti rotanti e analisi di impatto sui ricettori</p>   |  |   |   |   |
| <p>00</p>   | <p>Gennaio 2024</p>  | <p>Emissione per progetto definitivo</p> | <p>Studio Mezzina</p>   | <p>TAUW Italia S.r.l</p>  | <p>Edison Rinnovabili S.p.A.</p>  |
| <p>Rev.</p>   | <p>Data</p>  | <p>Oggetto della revisione</p>           | <p>Elaborazione</p>   | <p>Verifica</p>   | <p>Approvazione</p>   |
| <p>Scala:</p>   | <p align="center"><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p>   |  |   |   |   |
| <p>Formato: A4</p>                                      | <p>Codice progetto AU   <b>LCLJPL2</b>  </p>   |  |   |   |   |



**STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA**  
MEZZINA dott. ing. Antonio  
Via T. Solis, 128 - 71016 San Severo (FG)  
P. IVA 02037220718  
☎ 0882-228072 / 📠 0882-243651  
✉: [info@studiomezzina.net](mailto:info@studiomezzina.net)



**PROPONENTE:**

**EDISON RINNOVABILI S.P.A.**

Società Unipersonale

**Sede legale:** 20121 Milano (MI) – Via Buonaparte, 31

**PEC:** [rinnovabili@pec.edison.it](mailto:rinnovabili@pec.edison.it)

**C.F.:** 01890981200

**P.IVA:** 12921540154



**Edison Rinnovabili Spa**

**Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano**

**PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 59,4MW COSTITUITO DA N. 9 AEROGENERATORI TIPO SG155 DA 6.6MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE (FG), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.**

**RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA**

**Calcolo della gittata massima di elementi rotanti per rottura accidentale della pala e suoi frammenti e verifica rispetto ai recettori sensibili individuati**



**STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA**  
MEZZINA dott. ing. Antonio  
Via T. Solis, 128 - 71016 San Severo (FG)  
P. IVA 02037220718  
☎ 0882-228072 / 📠 0882-243651  
✉: [info@studiomezzina.net](mailto:info@studiomezzina.net)



## INDICE RELAZIONE

### Sommario

1. **OGGETTO.**3
2. **PREMESSA.**4
3. **INQUADRAMENTO DELL'IMPIANTO.**8
4. **CARATTERISTICHE DELL'AEROGENERATORE.**11
5. **METODO UTILIZZATO PER IL CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA**13
  - 5.1 **Ipotesi.**13
  - 5.2 **Modello di calcolo**17
6. **RISULTATI DEL CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA PER ROTTURA DELL'INTERA PALA**21
7. **CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA PER DISTACCO DEI FRAMMENTI DI PALA**23
  - 7.1 **Rottura di un frammento di pala distante 10 m dalla punta della pala**23
  - 7.2 **Rottura di un frammento di pala distante 5 m dalla punta della pala**24
8. **RIEPILOGO DEI RISULTATI OTTENUTI**25
  - 8.1 **Distanze dai principali elementi sensibili dell'area**26
9. **CONCLUSIONI.**29

## 1. OGGETTO.

La presente relazione è relativa alla progettazione definitiva in seno al procedimento autorizzativo del “Progetto per il rifacimento e potenziamento di un parco eolico” che la **EDISON RINNOVABILI S.R.L.** intende realizzare in territorio di Minervino Murge in provincia di Barletta-Andria-Trani.

Pertanto, l’impianto, nella nuova configurazione, sarà composto da n. 9 aerogeneratori, ciascuno della potenza di 6,6MW, con diametro del rotore di 155m, altezza di mozzo 125m e altezza complessiva (TIP) di 202.5m; la potenza complessiva del parco eolico è quindi pari a 59,40 MW. Il nuovo layout prevede la seguente dislocazione territoriale di 16 aerogeneratori. Gli aerogeneratori da dismettere per il rifacimento di che trattasi, sono tutti ubicati nel comune di Minervino Murge.

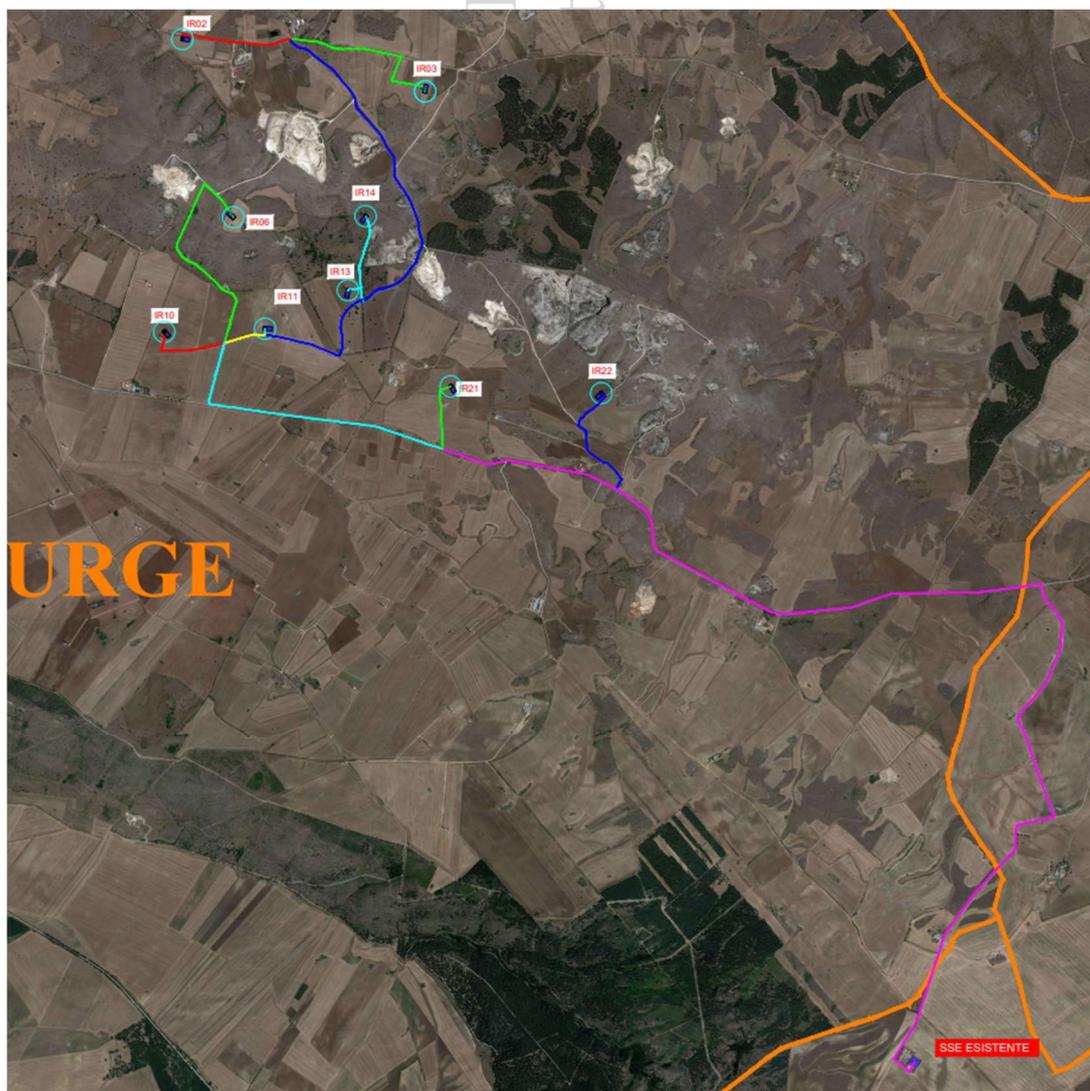


Fig. 1. Inquadramento planimetrico del parco eolico su ortofoto.



A seguito degli studi effettuati sull'area in esame (analisi orografiche, anemologiche, geologiche, connessione alla rete elettrica, acustici, archeologici, etc.) e in funzione dell'obiettivo di ottimizzare il rendimento economico dell'impianto, si è concluso che per l'impianto in oggetto possano essere utilizzati aerogeneratori di grossa taglia. Tutte le turbine scelte da IVPC sono sempre certificate a livello internazionale, generalmente dalla Germanischer Lloyd, DNV o da altro organismo equivalente. Questa certificazione è essenziale per garantire la bancabilità del progetto e la sicurezza al paese che le turbine produrranno l'energia prevista essendo anche la curva di potenza,  $P = f(v_{\text{vento}})$ , certificata.

**La turbina utilizzata il progetto di rifacimento del parco eolico di che trattasi è della SIMENS GAMESA tipo SGRE155 con potenza di 6,6 MW, diametro del rotore di 155m, altezza di mozzo di 125m e quindi altezza complessiva al tip di 202,5m.**

Il modello di turbina scelto è al momento il più performante sul mercato in relazione al sito di installazione in esame.

**Scopo della presente relazione è la determinazione della gittata massima degli elementi rotanti del nuovo aerogeneratore proposto in caso di rottura accidentale dell'intera pala o suoi frammenti.**

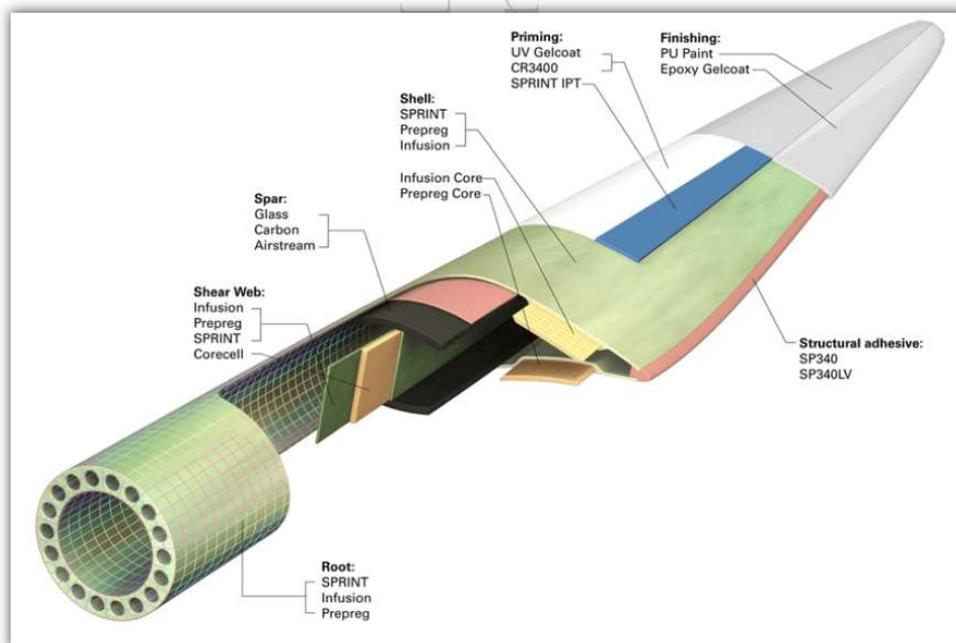
## 2. PREMESSA.

La reale distanza raggiungibile da una pala - ovvero da frammenti di essa - distaccatasi dal rotore di un aerogeneratore, è funzione di un gran numero di variabili, che vanno dall'effettiva velocità istantanea del rotore nel momento del lancio alle condizioni meteo-anemometriche, dalle effettive dimensioni, massa e forma del frammento alla posizione assunta al momento del distacco, passando per l'influenza dei moti turbolenti determinati dalla rototraslazione del proietto.

Nel presente studio si è inteso affrontare il problema non solo semplicemente dal punto di vista cinematico del modello aerogeneratore-terreno circostante, ma anche dinamico prendendo in considerazione anche le forze di attrito viscoso dovuto al movimento nell'aria del corpo, nonché le azioni aero-fluido-dinamiche ; si è pertanto utilizzato un modello che tenesse conto di queste azioni, precisando che per le azioni aerodinamiche, data la loro particolare complessità, si sono dovute fare necessariamente delle ipotesi semplificative, ma comunque a favore della sicurezza, come sarà meglio dettagliato in seguito. In quest'ottica, data l'impossibilità di conoscere compiutamente le condizioni al contorno del problema, l'approccio adottato alla valutazione della gittata massima deve necessariamente ricondursi ad alcune ipotesi rappresentative, ormai universalmente adottate nella letteratura e studi di questo settore, facendo riferimento a tre eventi esemplificativi:

1. Rottura (distacco) dell'intera pala (blade – lama);
2. Rottura di un frammento di pala corrispondente agli ultimi suoi 10 m verso la punta;
3. Rottura di un frammento di pala corrispondente agli ultimi suoi 5 m verso la punta;

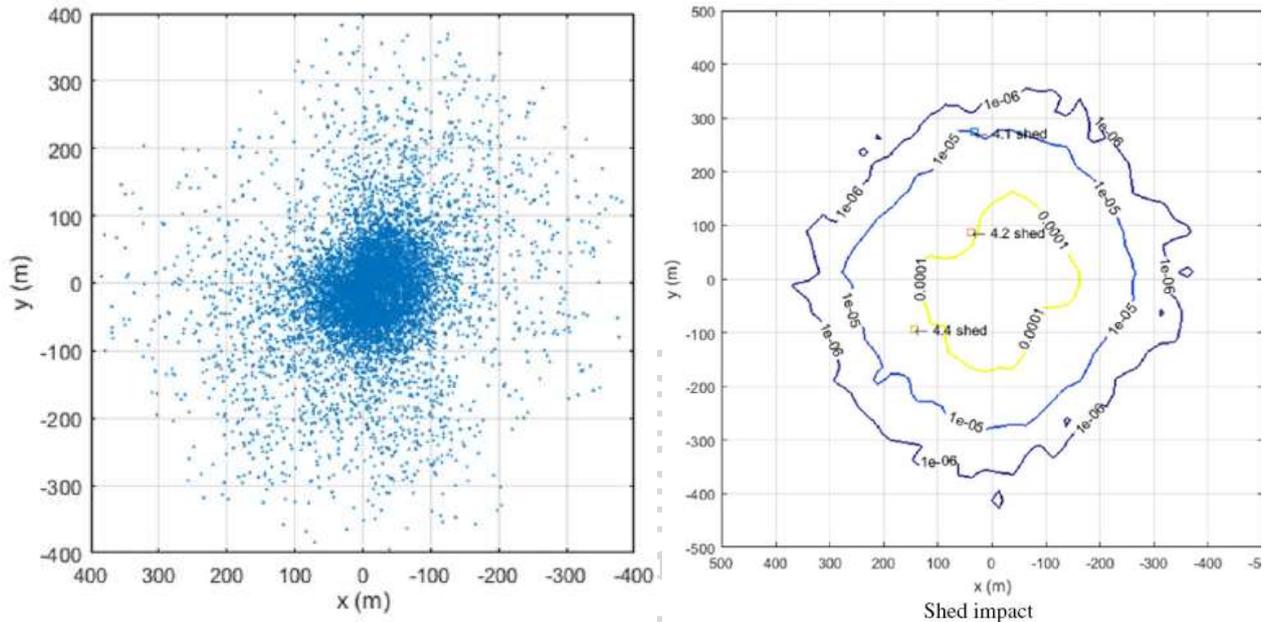
Di tali casi, il **primo costituisce senz'altro quello probabilisticamente più rilevante** in ragione della discontinuità strutturale costituita dalla giunzione della pala alla flangia del mozzo a mezzo di collegamenti a vite; gli altri due casi sono probabilisticamente molto meno rilevanti. Pur tuttavia la prassi progettuale degli impianti eolici li porta a considerare comunque.



**Fig. 2. Pala in composito di un aerogeneratore**

I casi di rottura di frammenti, anche in virtù della caratteristica costitutiva della pala che è realizzata con fibre strutturali in matrici sintetiche e quindi caratterizzate da rotture di tipo plastico e non fragile, si riferiscono di norma a parti del rivestimento alare che potrebbero, in caso di urto o folgorazione, staccarsi dal resto della struttura; tuttavia la casistica è numericamente bassissima, come testimoniato dallo studio di 1578 casi reali registrati in Nord America ed in Europa da uno studio commissionato dalla Vestas all'ente indipendente **BP Power**, secondo il quale la probabilità di un evento accidentale si attesta su  $1.6 \times 10^{-5}$  per turbina all'anno.<sup>1</sup> Ulteriori e più recenti studi, anche accademici, di rilevanza internazionale, confermano questi dati, come qui di seguito brevemente illustrato mediante grafici e tabelle bibliografate:

<sup>1</sup> Anche secondo studi più recenti le probabilità hanno quest'ordine di grandezza. Secondo Larwood and van Dam (2006) da  $4,2 \times 10^{-4}$  a  $5.4 \times 10^{-6}$ .



**Fig. 3.** A sx: Distribuzione dei punti di impatto su 10.000 simulazioni per una turbina test.  
 A dx: relative probabilità di impatto rispetto ad una costruzione di pianta 25x25 ed altezza 3.67m<sup>2</sup>.

| Operating Condition               | Probability Per Turbine Per Year |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| Nominal operating rpm             | $4.2 \times 10^{-4}$             |
| Braking (1.25 times nominal rpm)  | $4.2 \times 10^{-4}$             |
| Emergency (2.0 times nominal rpm) | $5 \times 10^{-6}$               |

**Tab. 1.** Probabilità di rottura in relazione alla velocità di rotazione secondo Braam ed altri<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Cfr. *Analysis of blade fragment risk at a wind energy facility*, Scott Larwood e David Simms, 2017

<sup>3</sup> Braam H, van Mulekom GJ, Smit RW. Handboek - *Risicozonering Windturbines*: The Netherlands; 2005.

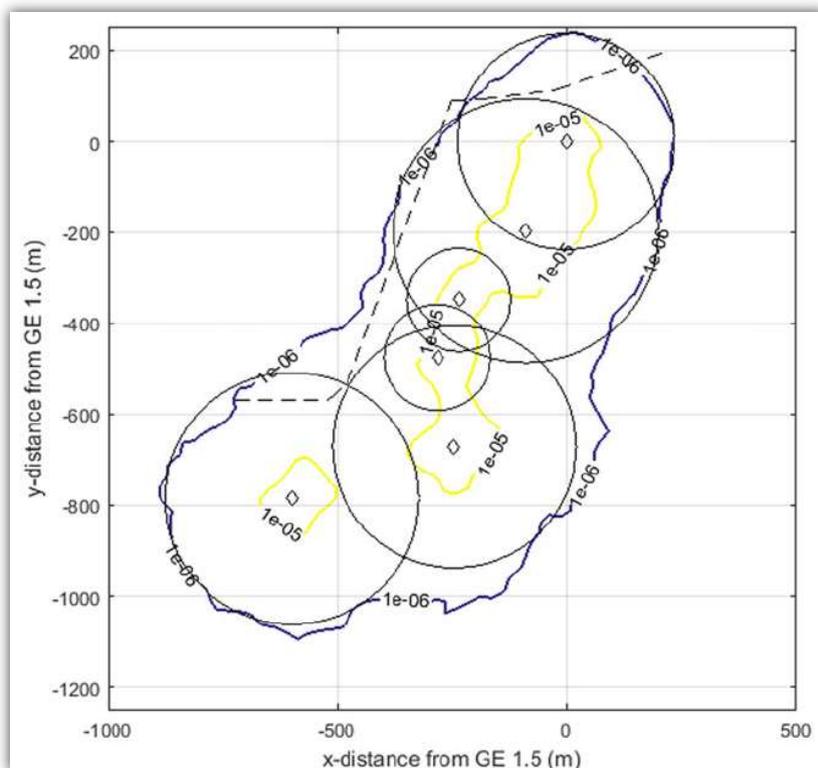


Fig. 4. Involuppo delle probabilità di impatto per un parco costituito da macchine di varia taglia (rotori da 35 a 106m) <sup>4</sup>

Come evidente da quanto sopra riportato, la probabilità di impatto tra un frammento di pala ed un oggetto situato tra 250 ed i 500m è compresa tra  $1 \times 10^{-5}$  e  $1 \times 10^{-6}$  eventi per anno, rientrando nella classificazione di evento estremamente remoto.

Il rischio associato è classificabile mediante matrice di rischio tra “basso” e “minimo”:

|             |              | Likelihood |                     |            |          |                  |         |
|-------------|--------------|------------|---------------------|------------|----------|------------------|---------|
|             |              | Frequent   | Reasonably Probable | Occasional | Remote   | Extremely Remote |         |
| Consequence | Catastrophic | High       | High                | High       | Moderate | Low              | Routine |
|             | Critical     | High       | High                | Moderate   | Low      | Low              | Routine |
|             | Marginal     | Moderate   | Moderate            | Low        | Low      | Routine          | Routine |
|             | Negligible   | Routine    | Routine             | Routine    | Routine  | Routine          | Routine |

A solo titolo di paragone, la possibilità di un edificio di essere colpito da un fulmine è collocabile tra  $1 \times 10^{-3}$  e  $1 \times 10^{-4}$  <sup>5</sup> pertanto di almeno un ordine di grandezza superiore.

<sup>4</sup> Cfr. *Analysis of blade fragment risk at a wind energy facility*, Scott Larwood e David Simms, 2017

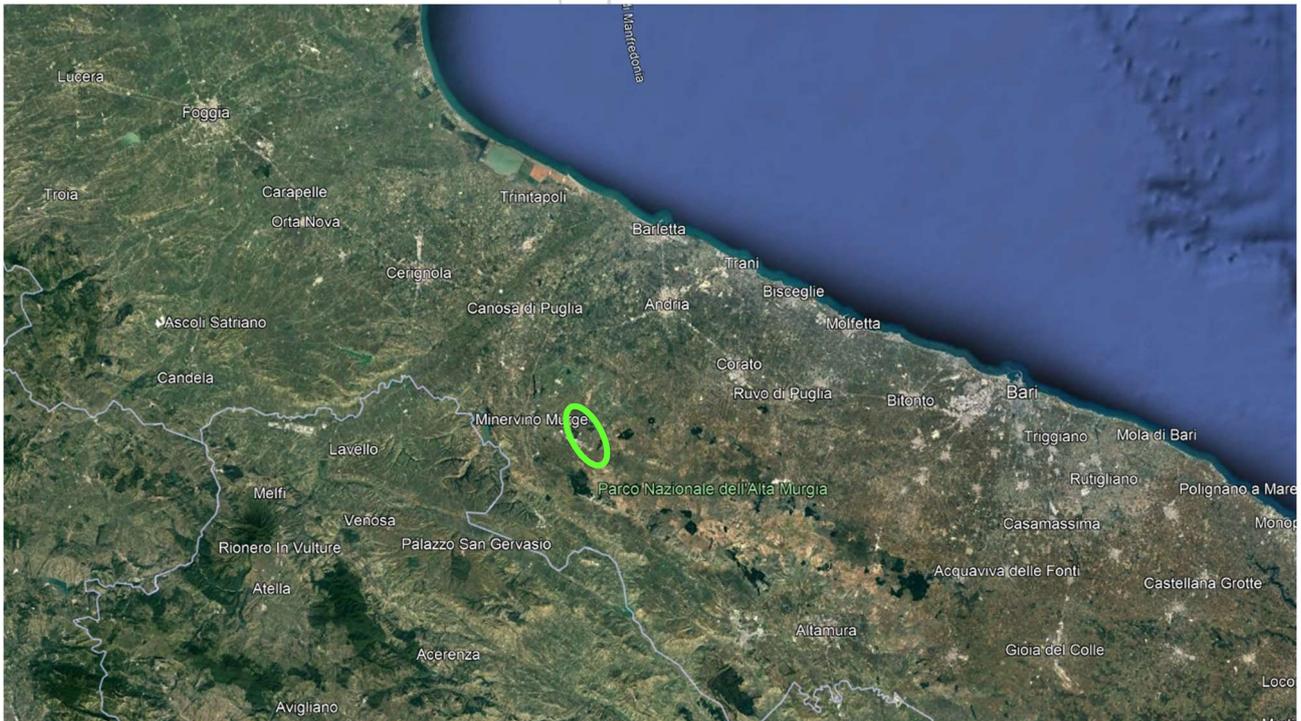
<sup>5</sup> Cfr *Determining the Probability of Lightning Striking a Facility*, R.T. Hasbrouck, PE, National Lightning Safety Institute, 2004 - [http://lightningsafety.com/nlsi\\_lhm/prbshort.html](http://lightningsafety.com/nlsi_lhm/prbshort.html)

**STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA**  
MEZZINA dott. ing. Antonio  
Via T. Solis, 128 - 71016 San Severo (FG)  
P. IVA 02037220718  
☎ 0882-228072 / 📠 0882-243651  
✉ info@studiomezzina.net

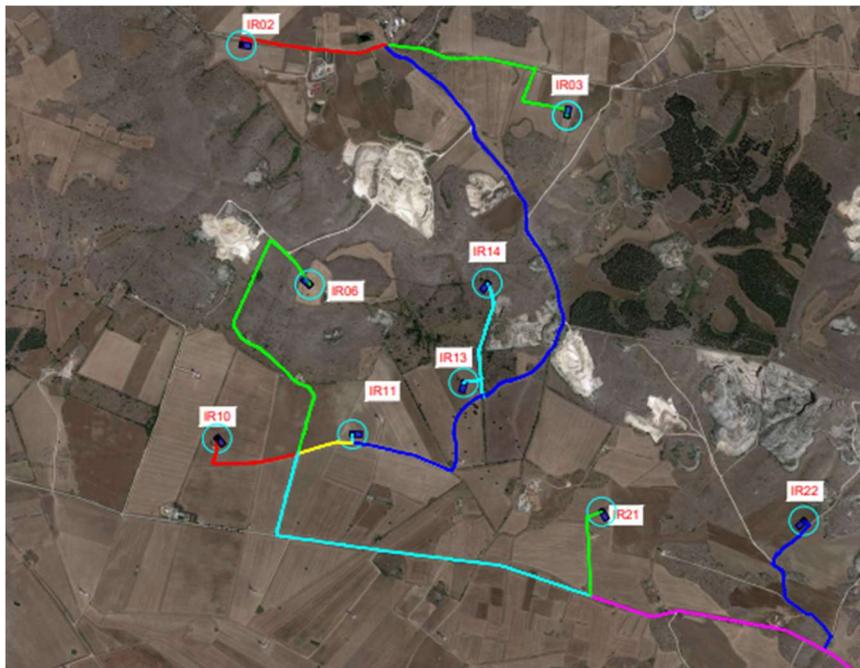


### 3. INQUADRAMENTO DELL'IMPIANTO.

L'impianto eolico sarà composto da n° 9 aerogeneratori, tutti localizzati in provincia di Spinazzola nel comune di Minervino Murge.



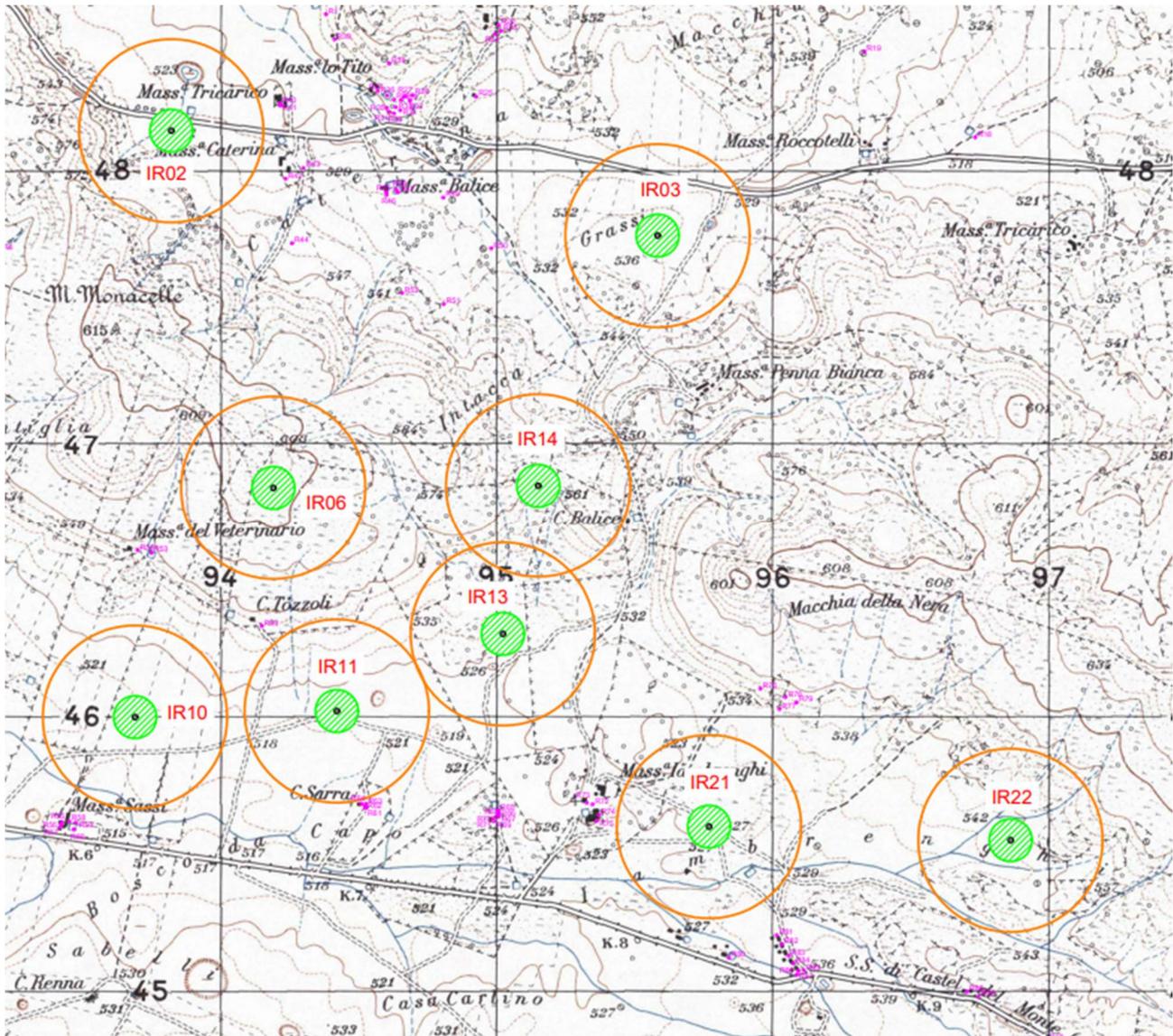
**Fig. 5. Inquadramento di ampio raggio su ortofoto dell'area di intervento (punto verde), situata nel cuore dell'Altopiano murgiano.**



**Fig. 6.** Inquadramento su ortofoto del parco, situato nel comune di Minervino Murge; in ciano, gli aerogeneratori; in verde-blu-rosso-giallo-ciano le tratte di elettrodotti MT.

La zona delle installazioni è situata in zona di media montagna, ad una altitudine media di circa 925m s.l.m., con quote variabili da un minimo di circa 865 ad un massimo di circa 1000m sul livello del mare. Le caratteristiche di ventosità del sito lo rendono idoneo all'installazione di un impianto per la produzione di energia dal vento, come da analisi anemometriche effettuate in loco.

Nella Figura seguente l'area interessata dagli aerogeneratori è individuata su IGM.



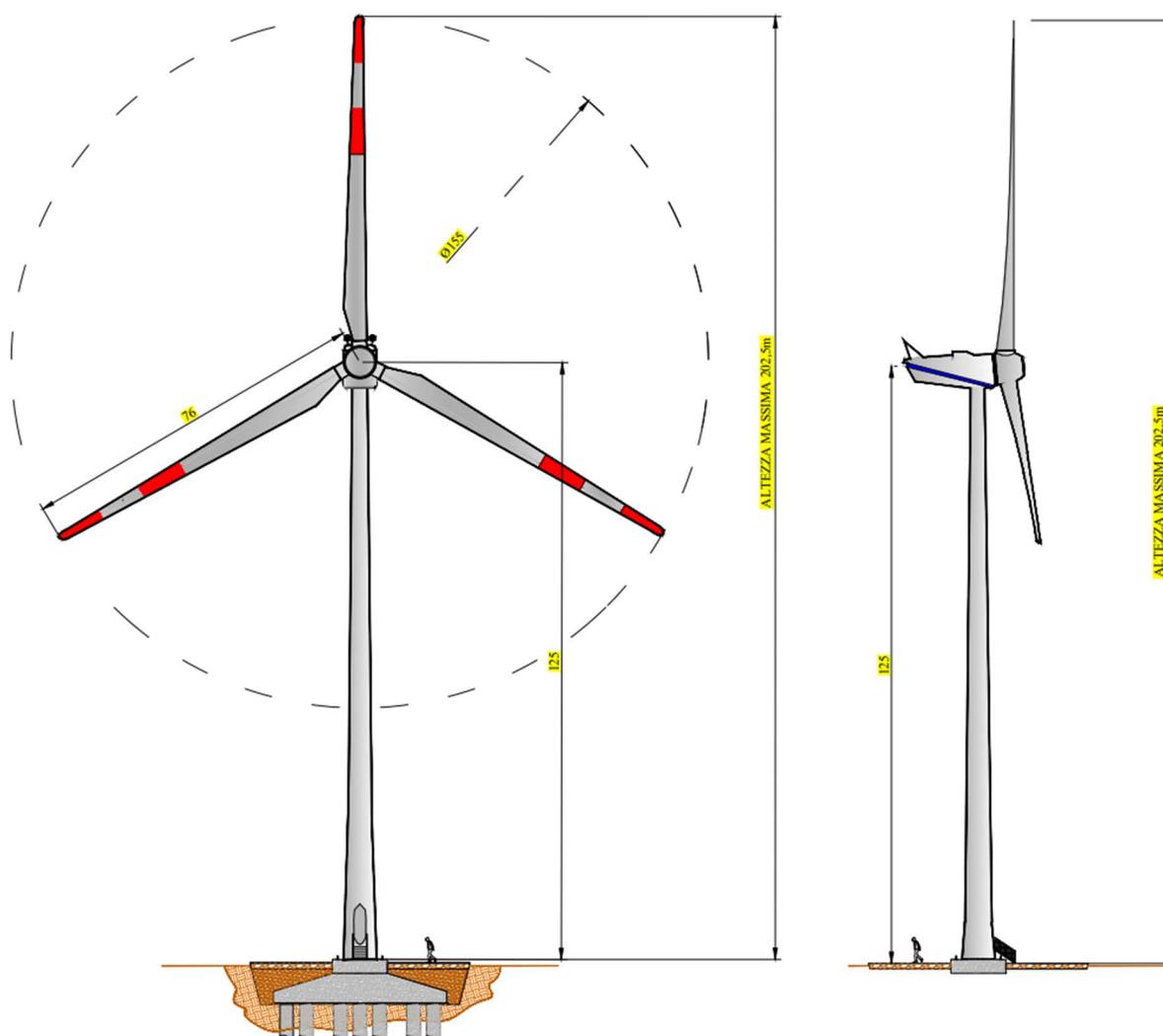
**Fig. 7.** Inquadramento geografico su base IGM degli aerogeneratori del parco eolico: in verde l'area spazzata dagli aerogeneratori; in arancio la circonferenza di massima gittata (335m, calcolata come verrà ampiamente descritto in appresso); in magenta i ricettori sensibili individuati.

| Denominazione | Comune          | UTM - EST<br>[m] | UTM - NORD<br>[m] | altitudine<br>[m s.l.m.] |
|---------------|-----------------|------------------|-------------------|--------------------------|
| IR02          | Minervino Murge | 4547962          | 593742            | 534                      |
| IR03          | Minervino Murge | 4547578          | 595508            | 534                      |
| IR06          | Minervino Murge | 4546656          | 594113            | 611                      |
| IR10          | Minervino Murge | 4545815          | 593610            | 519                      |
| IR11          | Minervino Murge | 4545838          | 594343            | 524                      |
| IR13          | Minervino Murge | 4546120          | 594947            | 529                      |
| IR14          | Minervino Murge | 4546664          | 595075            | 560                      |
| IR21          | Minervino Murge | 4545415          | 595695            | 527                      |
| IR22          | Minervino Murge | 4545366          | 596791            | 548                      |

**Tab. 2.** Denominazione, posizione ed altitudine dei 9 aerogeneratori

#### 4. CARATTERISTICHE DELL'AEROGENERATORE.

Come sopra già descritto, l'impianto eolico proposto sarà costituito da n. 9 aerogeneratori della potenza uninominale di 6.6MW, con altezza di mozzo ( $h_h$ ) pari a 125 m, diametro del rotore di 155m e lunghezza della singola pala (blade) di 77,50 m; in **Fig. 8** è riportato lo schema dimensionale di un aerogeneratore con tali dimensioni.



**Fig. 8.** Schema dimensionale dell'aerogeneratore di progetto SIMENS GAMESA SGR155.

Come sopra accennato, l'aerogeneratore utilizzato è della General Electric tipo GE158, le cui caratteristiche principali che rilevano ai fini della presente relazione sono riportate nella scheda tecnica di **Fig. 10**.

Dal data sheet di **Fig. 10** si rileva che la velocità tangenziale massima alla punta della pala è pari a **27 m/s**. Tale valore è anche rilevabile direttamente da un altro data sheet dell'aerogeneratore: quello inerente le caratteristiche di emissione



acustica dell'aerogeneratore riportato in Fig. 11. Da quest'ultimo data sheet si evince che al fine di ridurre le emissioni acustiche è possibile anche regolare la velocità di rotazione operativa della macchina. **Al contrario, ciò significa che è possibile ridurre la velocità di rotazione del rotore al fine, ad esempio, qualora necessario ridurre la gittata degli elementi rotanti e quindi rendere compatibile l'aerogeneratore rispetto a eventuali recettori sensibili presenti nelle vicinanze.** E' possibile la regolazione fino ad un totale di 6 NRS Mode(Noise reduction system). Ovviamente a questa riduzione di velocità corrisponde anche ad una riduzione di potenza, ma questo prezzo serve per rendere compatibile con l'ambiente una macchina che viceversa non potrebbe essere installata. Infine, è da rilevare che la regolazione di velocità (e quindi di gittata e di emissione acustica) è applicabile in modo discontinuo sia in funzione dei quadranti di imbardata del rotore che in funzione della velocità del vento in un dato momento.

| Rotor            |   |
|------------------|---|
| Type             | 3-bladed, horizontal axis                     |
| Position         | Upwind  |
| Diameter         | 155 m   |
| Swept area       | 18,869 m <sup>2</sup>                         |
| Power regulation | Pitch & torque regulation with variable speed |
| Rotor tilt       | 6 degrees                                     |

| Blade               |  |
|---------------------|--|
| Type                | Self-supporting                                  |
| Blade length        | 76 m   |
| Max chord           | 4.5 m  |
| Aerodynamic profile | Siemens Gamesa proprietary airfoils              |
| Material            | G (Glassfiber) – CRP (Carbon Reinforced Plastic) |
| Surface gloss       | Semi-gloss, < 30 / ISO2813                       |
| Surface color       | Light grey, RAL 7035 or White, RAL 9018          |

| Aerodynamic Brake |                    |
|-------------------|--------------------|
| Type              | Full span pitching |
| Activation        | Active, hydraulic  |

| Load-Supporting Parts |                   |
|-----------------------|-------------------|
| Hub                   | Nodular cast iron |
| Main shaft            | Nodular cast iron |
| Nacelle bed frame     | Nodular cast iron |

| Nacelle Cover |   |
|---------------|---|
| Type          | Totally enclosed                        |
| Surface gloss | Semi-gloss, <30 / ISO2813               |
| Color         | Light Grey, RAL 7035 or White, RAL 9018 |

| Generator |                    |
|-----------|--------------------|
| Type      | Asynchronous, DFIG |

| Grid Terminals (LV) |                |              |
|---------------------|----------------|--------------|
| Baseline power      | nominal        | 6.0MW/6.6 MW |
| Voltage             | 690 V          |              |
| Frequency           | 50 Hz or 60 Hz |              |

| Yaw System  |                       |
|-------------|-----------------------|
| Type        | Active                |
| Yaw bearing | Externally geared     |
| Yaw drive   | Electric gear motors  |
| Yaw brake   | Active friction brake |

| Controller   |  |
|--------------|--|
| Type         | Siemens Integrated Control System (SICS) |
| SCADA system | SGRE SCADA System                        |

| Tower                |   |
|----------------------|---|
| Type                 | Tubular steel / Hybrid  |
| Hub height           | 90m to 165 m and site-specific  |
| Corrosion protection |   |
| Surface gloss        | Painted   |
| Color                | Semi-gloss, <30 / ISO-2813<br>Light grey, RAL 7035 or White, RAL 9018 |

| Operational Data   |   |
|--------------------|---|
| Cut-in wind speed  | 3 m/s   |
| Rated wind speed   | 11.6 m/s (steady wind without turbulence, as defined by IEC61400-1) |
| Cut-out wind speed | 27 m/s  |
| Restart wind speed | 24 m/s  |

| Weight           |  |
|------------------|--|
| Modular approach | Different modules depending on restriction |

Fig. 9. Estratto dal data sheet di una SGRE155.

| Rotor Configuration | NRS Mode | Rating [MW] | Noise [dB(A)] | Power Curve Document | Acoustic Emission Document | Max temperature With Max active power and electrical capabilities <sup>6</sup> |
|---------------------|----------|-------------|---------------|----------------------|----------------------------|--|
| SG 6.6-155          | N1       | 6.30        | 104.0         | D2314777             | D2359800                   | 20°C   |
| SG 6.6-155          | N2       | 6.10        | 103.5         | D2314778             | D2359800                   | 20°C   |
| SG 6.6-155          | N3       | 5.24        | 102.0         | D2314779             | D2359800                   | 20°C   |
| SG 6.6-155          | N4       | 5.12        | 101.0         | D2314780             | D2359800                   | 20°C   |
| SG 6.6-155          | N5       | 4.87        | 100           | D2314781             | D2359800                   | 20 °C  |
| SG 6.6-155          | N6       | 4.52        | 99.0          | D2314783             | D2359800                   | 20 °C  |
| SG 6.6-155          | N7       | 3.50        | 98.0          | D2373456             | D2379747                   | 20 °C  |
| SG 6.6-155          | N8       | 2.97        | 97.0          | D2373458             | D2379748                   | 20 °C  |

Fig. 10. Livelli di NRS Mode di una SGRE155.

**I calcoli della gittata massima degli elementi rotanti in caso di rottura vengono eseguiti per una velocità di rotazione di 11,6 giri/min.**

$$Rpm_{max} = 11,6 \text{ giri/min}$$

## 5. METODO UTILIZZATO PER IL CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA

Per il calcolo della distanza massima raggiunta dalla pala o da parti di essa dopo il distacco dall'aerogeneratore è necessario effettuare alcune assunzioni esemplificative e, per quanto possibile, conservative.

Il calcolo descritto nel seguito determina il punto di impatto con il terreno rispetto all'aerogeneratore (gittata massima), al fine di verificare la compatibilità dell'opera con gli insediamenti abitativi e le infrastrutture più prossime agli aerogeneratori.

### 5.1 Ipotesi.

L'ipotesi di partenza è che la pala o un suo frammento si distacchi accidentalmente mentre il rotore è in movimento nelle peggiori condizioni, ovvero alla massima velocità angolare ammessa dai sistemi di controllo ed arresto della macchina.



Il moto risultante sarà quello di un corpo libero, soggetto alla forze inerziali, di gravità ed alle forze aerodinamiche; queste ultime sono determinate non solo dal moto proprio del corpo (velocità assoluta rispetto al sistema di riferimento adottato) ma anche dall'influenza del vento e sue raffiche (velocità relativa) e dalla posizione assunta dal corpo rispetto alla direzione principale di avanzamento; discreta rilevanza possiede anche l'incremento delle perdite in regime turbolento determinate dalla rotazione del corpo attorno ai propri assi principali di inerzia; tali perdite non sono linearmente dipendenti dalla velocità di eiezione ed avanzamento e se ne terrà conto con opportuni coefficienti correttivi analitici sperimentali.

La dinamica del moto, come affermato in premessa, è estremamente complessa in quanto governata da numerose variabili come la forma della superficie palare ovvero del suo frammento, la massa e la sua distribuzione, gli angoli di incidenza e di swirl, alcuni dei quali non controllabili e non prevedibili come nel caso del vento.

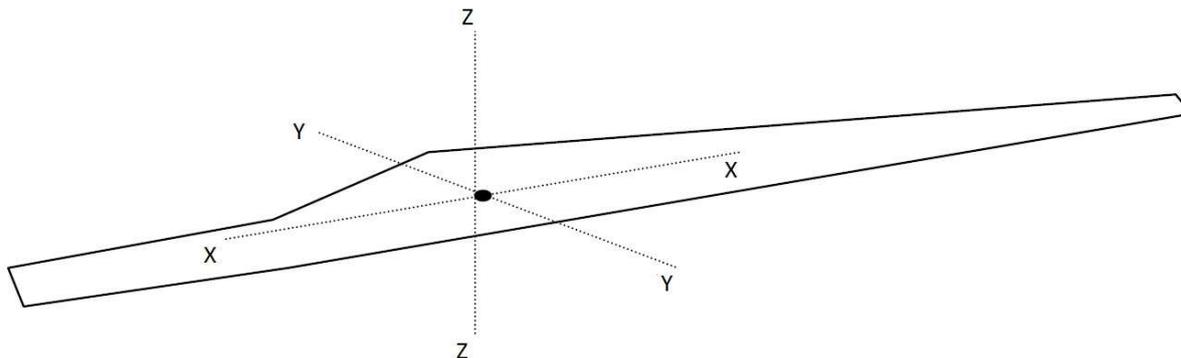


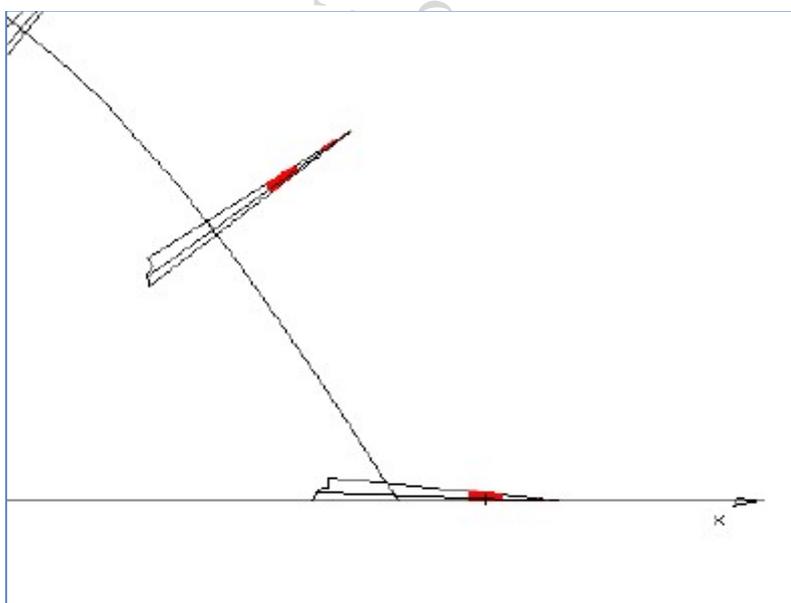
Fig. 11. Sistema di coordinate usato per la pala

Gli angoli dell'ala rispetto alla direzione di avanzamento, ovvero i coefficienti di resistenza e portanza, durante la parabola di caduta non sono peraltro univocamente determinati sulla base di quelli posseduti al momento del distacco ma variabili istante per istante: infatti le forze inerziali (per la conservazione della quantità di moto) determineranno la rotazione della pala o del frammento attorno ai tre assi principali di inerzia, così come ostacolata e modificata dalle spinte aerodinamiche connesse con la geometria dell'oggetto.

Il moto che ne deriva è di tipo rototraslatorio complesso e non è deterministicamente possibile prevederlo con completezza. Tuttavia, si possono formulare ipotesi semplificative, e tuttavia conservative, assumendo il caso puramente accademico che il corpo si disponga con la dimensione principale allineata all'orizzonte, posizione tale da offrire la minima resistenza con l'aria rispetto alla direzione di avanzamento orizzontale (*moto del profilo alare*) e massimo attrito rispetto a quelle verticali (*massima portanza*).

Tutte queste assunzioni risultano conservative ai fini della gittata massima; in questo modo la gittata reale non sarà superiore a quella calcolata, poiché nel caso reale il coefficiente di resistenza aerodinamica sarà continuamente maggiore di quello del caso del moto “a giavellotto”, per effetto dell’anzidetta rotazione della pala attorno ai propri assi d’inerzia.

Dell’incidenza delle forze aerodinamiche aggiuntive indotte dalla rototraslazione si terrà conto mediante un coefficiente correttivo analitico sperimentale.



**Fig. 12.** Simulazione del comportamento della pala al momento del contatto con il terreno: alla posizione del centro di massa va sommata la lunghezza eccedente della pala.

Il calcolo descritto nel seguito determina il percorso del baricentro dell’elemento distaccato (pala intera o frammento di esso) e quindi la gittata di tale punto materiale; ai fini degli impatti sui recettori presenti nell’area si è poi determinata la gittata della punta della pala, sommando alla predetta gittata baricentrica la massima distanza del baricentro dal perimetro del proietto. In questa ipotesi conservativa si assume che l’elemento distaccato, durante tutto il volo, mantenga una posizione perpendicolare alla traiettoria del baricentro, come rappresentato in **Fig. 12**.

Tale modellazione è del tutto conservativa: innanzitutto nella realtà il proietto, almeno nel primo terzo della fase di volo, continuerà a ruotare attorno ai propri assi di inerzia, determinando un incremento dell’attrito ed una riduzione della gittata; inoltre nelle fasi terminali del volo esso si disporrà con la parte più pesante verso il basso, esponendo la massima sezione frontale resistente all’avanzamento; infine, a causa e per

effetto di tale disposizione, la punta del frammento, a distanza maggiore dal baricentro, atterrerà verso il punto di lancio.

Quanto appena descritto è supportato dal recente lavoro *“Wind turbine rotor fragments: impact probability and setback evaluation”*<sup>6</sup>.

Di seguito si riporta un grafico tratto da tale lavoro:

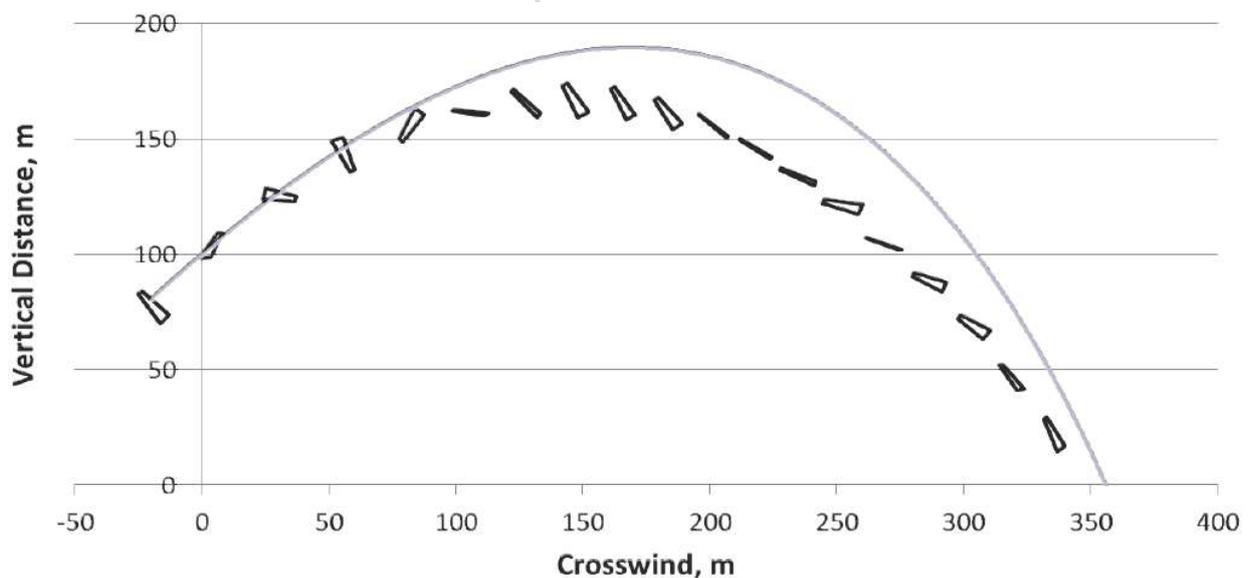


Fig. 13. Modellizzazione della traiettoria ed orientamento di un frammento da 10m per una torre da 1.5MW, rotore da 70m e hub da 80, con velocità angolare pari a 26.3rpm.

In Fig. 14, la linea continua rappresenta la traiettoria balistica in attrito aerodinamico. Come può desumersi, la rototraslazione introduce una riduzione del lancio a causa della vorticosità aerodinamica aggiuntiva.

Nel medesimo studio si afferma – e ciò è confermato dai risultati ottenuti in questa relazione- che lo stesso oggetto, in un lancio simulato nel vuoto, avrebbe una gittata pari circa al doppio della distanza ottenuta nella realtà.

Per studiare la gittata del proiettile utilizzeremo un **sistema di riferimento cartesiano xy** in cui l’origine **O** degli assi del sistema coincida con il centro della base della torre dell’aerogeneratore, avendo assunto l’asse delle **Y** positivo verso l’alto, e l’asse positivo delle **X** nello stesso verso del moto orizzontale del proiettile. Rispetto a questo sistema di riferimento il punto di lancio del baricentro del proiettile avrà coordinate  $(x_0, y_0)$ , che verranno ora determinate.

<sup>6</sup> Scott M. Larwood, University of the Pacific, e C. P. Van Dam, University of California, Davis – 2015.

## Modello di calcolo

Si osserva innanzitutto che le equazioni qui di seguito trattate si riferiscono all'emiciclo ascendente della pala, tra i  $270^\circ$  e i  $90^\circ$ , a sinistra rispetto alla torre considerata nella figura che segue; il caso discendente è irrilevante ai fini della gittata massima, poiché il lancio tra i  $90^\circ$  e i  $270^\circ$  è ad alzo negativo, e pertanto di gittata senz'altro inferiore rispetto all'arco di lancio nel semipiano opposto.

Come evidente dalla figura, si potrà assumere anche –se ne ricorre il caso- che l'aerogeneratore si trovi in una posizione sopraelevata rispetto al punto di caduta, in modo da ottenere una gittata calcolata il più possibile realistica; il dislivello  $H_i$ , altezza di installazione rispetto al punto di caduta, non può essere assunto a priori ma deve valutarsi in funzione della gittata. Pertanto, si calcolerà prima il valore della gittata rispetto al piano di installazione; sulla base del valore di gittata ottenuto in prima battuta si valuterà la  $H_i$  corrispondente procedendo ad un nuovo calcolo iterativo. In alternativa si può procedere per via grafica valutando l'intersezione della traiettoria calcolata con il profilo altimetrico più sfavorevole nel punto considerato.

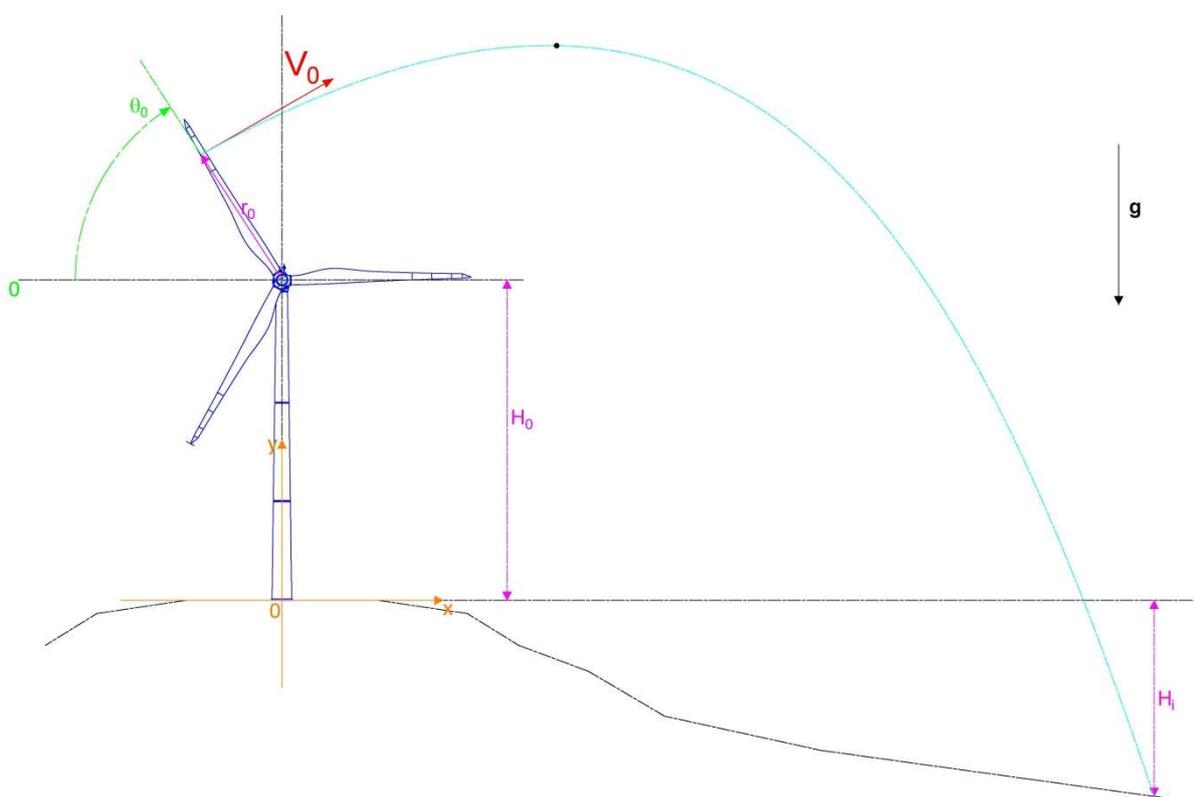




Fig. 14. Schema di massima del fenomeno oggetto di studio.

Le equazioni che reggono il moto del modello adottato sono quelle di un punto materiale soggetto alla forza di gravità, alla portanza lungo l'asse  $y$  ed alla resistenza dell'aria lungo l'asse  $x$ . Scrivendo l'equazione della dinamica in forma scalare nel piano di gittata si ottiene:

$$\ddot{x} = -k_x \dot{x}^2, \quad [1]$$

$$\ddot{y} = -g - k_y \dot{y}^2, \quad [2] \text{ per il tratto ascendente;}$$

$$\ddot{y} = -g + k_y \dot{y}^2, \quad [3] \text{ per il tratto discendente.}$$

dove  $g = 9,81\text{m/s}^2$ , costante nel campo del moto considerato, è l'accelerazione di gravità, e  $k_x$  è un termine costante dato dalla seguente espressione:

$$k_x = \frac{1}{2} \rho \frac{S_x C_x}{m} [4]$$

con  $\rho$  densità dell'aria,  $S_x$  l'area della sezione del frammento misurata nel piano  $YZ$ ,  $C_x$  il suo coefficiente di resistenza aerodinamica ed  $m$  la massa.

Per  $k_y$  vale l'analogo nell'asse ortogonale:

$$k_y = \frac{1}{2} \rho \frac{S_y C_y}{m} [5]$$

La posizione e la velocità iniziale sono determinati dall'angolo  $\alpha_0$  di distacco, dalla distanza del centro di massa del frammento di pala dall'asse del mozzo  $r_0$  e dalla velocità tangenziale  $V$  del frammento di pala al momento del distacco. Essi sono legati alla posizione ed alla velocità iniziale dalle relazioni:

$$x_0 = -r_0 \cos \alpha_0$$

$$y_0 = H + r_0 \sin \alpha_0$$

$$v_x = V \sin \alpha_0$$

$$v_y = V \cos \alpha_0$$

dove  $H$  è l'altezza della torre ( $H_0$ ) incrementata dell'eventuale dislivello ( $H_i$ ) nel caso in cui l'aerogeneratore si trovi in una posizione sopraelevata rispetto agli elementi sensibili.

Integrando due volte l'equazione della dinamica lungo l'asse  $x$  [1], si ricava la legge oraria del moto:

$$x(t) = \frac{1}{k_x} \ln$$

Analizziamo ora il tratto ascendente del moto parabolico del proietto. Indicando con  $v$  la componente verticale della velocità, dalla [2] si ottiene:

$$\tan^{-1}\left(v\sqrt{\frac{k_y}{g}}\right) = \tan^{-1}\left(v_y\sqrt{\frac{k_y}{g}}\right) - \sqrt{gk_y}t \quad [7]$$

E quindi, con semplici passaggi trigonometrici, la relativa espressione della velocità:

$$v(t) = \frac{\sqrt{\frac{g}{k_y}}v_y - \sqrt{\frac{g}{k_y}}\tan(t\sqrt{gk_y})}{\sqrt{\frac{g}{k_y} + v_y\tan(t\sqrt{gk_y})}} \quad [8]$$

Il punto di inversione del moto e quindi di massima altezza si ottiene al tempo  $T_{max}$  quando la componente verticale della velocità si annulla, ovvero, dalla [7]:

$$T_{max} = \frac{1}{\sqrt{gk_y}}\tan^{-1}\left(v_y\sqrt{\frac{k_y}{g}}\right) \quad [9]$$

La legge del moto lungo l'asse  $y$  può essere facilmente ricavata a partire ancora dalla [2] operando sull'identità differenziale della velocità:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dy} \frac{dy}{dt} \quad [10]$$

Sostituendo la [10] nella [2] si ottiene l'espressione della posizione in funzione della velocità istantanea:

$$y(v) = \frac{1}{2k_y} \ln\left(\frac{v_y^2 + \frac{g}{k_y}}{v^2 + \frac{g}{k_y}}\right) \quad [11]$$

L'altezza massima raggiunta dal proietto si ottiene imponendo  $v = 0$  nella [11] ed aggiungendovi la quota di partenza  $y_0$ :

$$Y_{max} = \frac{1}{2k_y} \ln\left(\frac{v_y^2 + \frac{g}{k_y}}{\frac{g}{k_y}}\right) + y_0 \quad [12]$$

A partire dal punto di massimo della traiettoria pseudoparabolica del proietto deve applicarsi la [3] per la fase di discesa; con le opportune integrazioni, si ottiene:

$$v(t) = \sqrt{\frac{g}{k_y}} \tanh\left(-t\sqrt{gk_y}\right) \quad [13]$$



Dove si è posto  $t^{\square} = t - T_{max}$ , ricordando di aver suddiviso la traiettoria in fase ascendente e discendente; il segno della velocità negativo che ne deriva è connesso alla scelta dal sistema di riferimento orientato contro il campo gravitazionale.

Analizzando la [19] si desume che per  $t \rightarrow \infty$  la velocità tende asintoticamente al parametro  $\sqrt{\frac{g}{k_y}}$ , che prende il nome di *velocità limite*  $v_L$ .

Dalla [13] è immediato ottenere la legge oraria per integrazione diretta; ricordando che la quota di partenza è  $Y_{max}$  si ottiene:

$$y(t) = Y_{max} - \frac{1}{k_y} \ln \left[ \cosh \left( t^{\square} \sqrt{gk_y} \right) \right], [14]$$

Dalla [14], si ricava infine il valore del tempo di discesa del frammento di pala, ottenuto per  $y(t) = 0$  :

$$T_d = \frac{1}{\sqrt{gk_y}} \cosh^{-1} [e^{Y_{max}k_y}] [15]$$

Siamo ora in grado di calcolare la gittata L del frammento di pala, ponendo nella legge del moto orizzontale [6] il valore del tempo di volo  $T_v$  così ottenuto:

$$T_v = T_{max} + T_d [16]$$

**Per i calcoli effettuati nei passaggi seguenti ci si è avvalsi di dati estrapolati dai datasheet e dai disegni forniti dal costruttore dell'aerogeneratore, dei quali qui si riassume i principali in forma tabellare:**

|  |                      | Full blade | 10m   | 5m    |
|--|----------------------|------------|-------|-------|
| Sx = massima sezione perpendicolare all'asse principale del proietto | Sx [m <sup>2</sup> ] | 10,32      | 0,3   | 0,175 |
| Sy = massima area proiettata lungo l'asse principale del proietto    | Sy [m <sup>2</sup> ] | 214,18     | 13,55 | 5,28  |
| Sz = minima area proiettata lungo l'asse principale del proietto     | Sz [m <sup>2</sup> ] | 91,2       | 2,68  | 1,04  |
| Centro di massa dal centro di rotazione                              | [m]                  | 26,83      | 70,83 | 74,16 |
| massa  | [kg]                 | 23500      | 552   | 179   |

**Tab. 3. tabella di riepilogo dei dati della pala e suoi frammenti.**

Per tutti i casi di studio, la velocità di lancio è stata assunta pari alla massima velocità angolare del rotore di 11,6 giri/min ( $\omega_0$ ) per la SGRE155, come sopra analizzato.



## 6. RISULTATI DEL CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA PER ROTTURA DELL'INTERA PALA

Di seguito si riportano alcuni dati essenziali per l'applicazione del metodo illustrato al paragrafo che precede. Il significato dei simboli e il loro valore sono riportati nella seguente **Tab. 4** relativamente all'aerogeneratore GE158.

|  |                    |     |
|--|--------------------|-----|
| Diametro del rotore [m]  | D                  | 155 |
| Altezza del mozzo o Hub [m]                                    | H <sub>hub</sub>   | 125 |
| Lunghezza pala [m]   | L <sub>pala</sub>  | 76  |
| Diametro del mozzo [m]   | d <sub>mozzo</sub> | 3   |
| Velocità angolare massima<br><b>Overspeed Protection</b> [rpm] |                    | 25  |
| Velocità vento di cut-out [m/s]                                |                    | 27  |
| Inclinazione asse del rotore                                   |                    | 6°  |

**Tab. 4. Specifiche tecniche della SGRE155.**

Si è utilizzata la posizione del centro di massa rinveniente dalla **Tab. 3**.

Il calcolo della gittata massima è stato pertanto effettuato con il centro di massa della pala ( $r_0$ ) distante **26,83** m dal mozzo.

Nella seguente tabella sono rappresentati i valori di ingresso da introdurre nella risoluzione delle equazioni del moto e i valori ottenuti per i coefficienti  $k_x$ ,  $k_y$ . Si è introdotto un ulteriore coefficiente,  $k_z$ , per tener conto dei periodi in cui la faccia ortogonale all'asse z del sistema di riferimento principale adottato è esposta in direzione del moto a causa degli effetti di rototraslazione.

|  |                |  |                 |  |                 |
|--|----------------|--|-----------------|--|-----------------|
| $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )                | 1,225          |  |                 |  |                 |
| $S_x$ (m <sup>2</sup> )                    | 10,32          | $S_y$ (m <sup>2</sup> )                    | 214,18          | $S_z$ (m <sup>2</sup> )                    | 91,2            |
| $C_x$                                      | 0,65           | $C_y$                                      | 0,8             | $C_z$                                      | 0,65            |
| $k_x = \frac{1}{2} \rho \frac{S_x C_x}{m}$ | <b>0,00017</b> | $k_y = \frac{1}{2} \rho \frac{S_y C_y}{m}$ | <b>0,004466</b> | $k_z = \frac{1}{2} \rho \frac{S_z C_z}{m}$ | <b>0,001545</b> |
| m (kg)                                     | 23500          |  |                 |  |                 |

**Tab. 5. Valori utilizzati per il calcolo**

Il calcolo della gittata massima è stato poi effettuato implementando le equazioni descritte al paragrafo precedente su foglio excel (riportato in allegato alla presente relazione), calcolando il lancio in tutto il semipiano ad alzo positivo, ovvero tra 270° e 90°. I coefficienti sono stati impiegati in forma di media

attraverso un fattore correttivo funzione non lineare dei coefficienti medesimi, ottenuto per via sperimentale, che tiene conto del fatto che nel primo terzo del volo il corpo sarà soggetto a rototraslazione e che per circa 2/3 della traiettoria il corpo opporrà le massime sezioni resistenti all'avanzamento, rendendo percentualmente trascurabile il contributo della sezione minima trasversa.

Qui di seguito il grafico che rappresenta la variazione della gittata in funzione dell'angolo di distacco<sup>7</sup>:

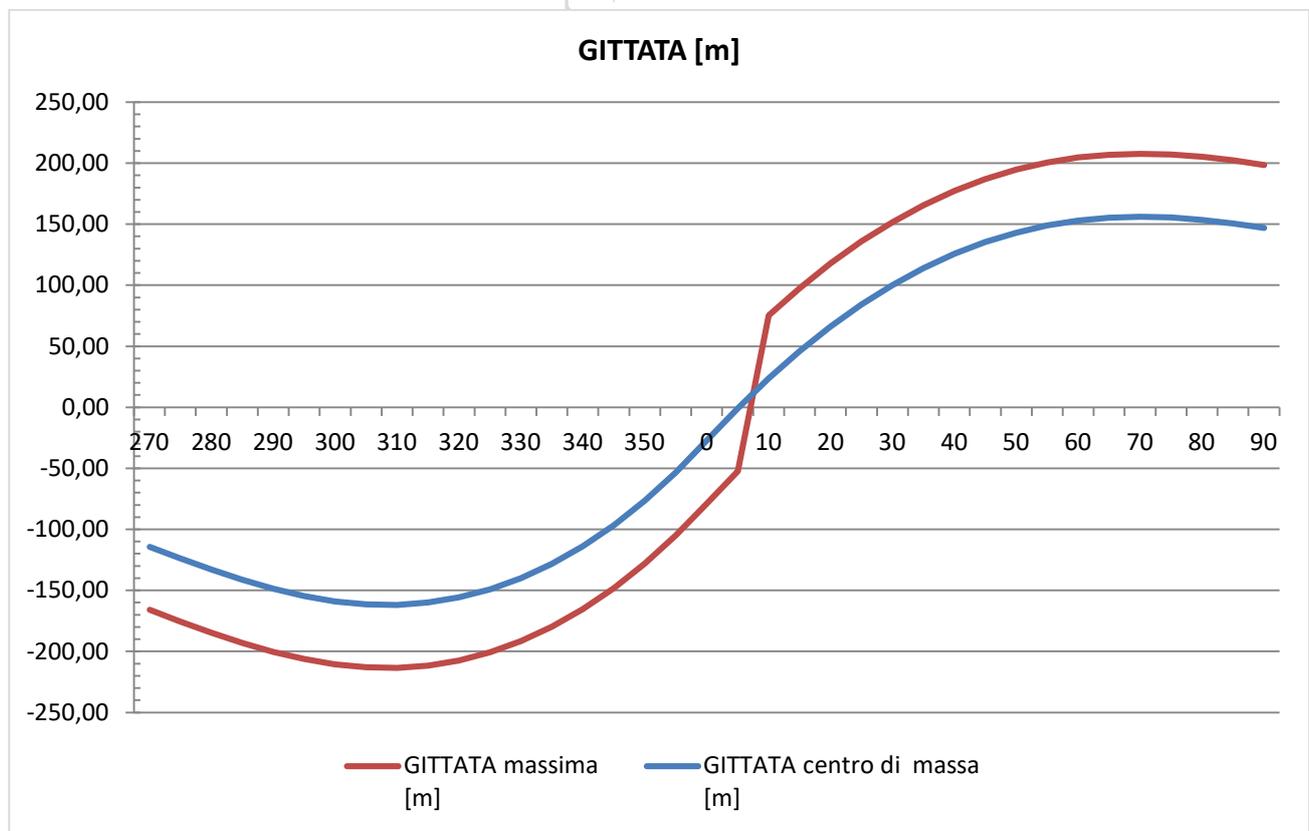


Fig. 15. Gittate al variare dell'angolo di distacco per la rottura dell'intera pala.

I principali risultati del calcolo, approssimati per eccesso, riferiti alla  $Rpm_{max} = 11,6 \text{ giri/min}$ , sono qui riassunti:

|                                 |             |                              |     |
|---------------------------------|-------------|------------------------------|-----|
| Angolo di massima gittata       | <b>300°</b> | Angolo di massima elevazione | 25° |
| Tempo di volo [s]               | <b>7,1</b>  |                              |     |
| Gittata del centro di massa [m] | <b>163</b>  |                              |     |
| Gittata massima [m]             | <b>214</b>  | Elevazione massima [m]       | 175 |

<sup>7</sup> Per il sistema di riferimento adottato si rimanda alla Fig. 144

## 7. CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA PER DISTACCO DEI FRAMMENTI DI PALA

Per il calcolo della gittata massima per rottura di un frammento di pala sono stati presi in considerazione le due seguenti casistiche:

- Rottura di un frammento di pala a distanza di 10 m dalla punta della pala;
- Rottura di un frammento di pala a distanza di 5 m dalla punta della pala;

### 7.1 Rottura di un frammento di pala distante 10 m dalla punta della pala

Nella seguente tabella sono rappresentati i valori di ingresso da introdurre nella risoluzione delle equazioni del moto, come nel caso dell'intera pala:

|   |                             |   |                 |   |                 |
|---|-----------------------------|---|-----------------|---|-----------------|
|   | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) | 1,225                                     |                 |   |                 |
| $S_x$ (m <sup>2</sup> )                   | 0.3                         | $S_y$ (m <sup>2</sup> )                   | 13.55           | $S_z$ (m <sup>2</sup> )                   | 2.68            |
| $C_x$                                     | 0,45                        | $C_y$                                     | 0.6             | $C_z$                                     | 0.4             |
| $k_x = \frac{1}{2}\rho \frac{S_x C_x}{m}$ | <b>0,000151</b>             | $k_y = \frac{1}{2}\rho \frac{S_y C_y}{m}$ | <b>0,009103</b> | $k_z = \frac{1}{2}\rho \frac{S_z C_z}{m}$ | <b>0,001200</b> |
|   | $m$ (kg)                    | 547                                       |                 |   |                 |

Tab. 6. Valori utilizzati per il calcolo

Si è utilizzata la posizione del centro di massa rinveniente dalla **Tab. 3**.

Il calcolo della gittata massima è stato pertanto effettuato con il centro di massa del frammento situato a 71.6 m dal mozzo.

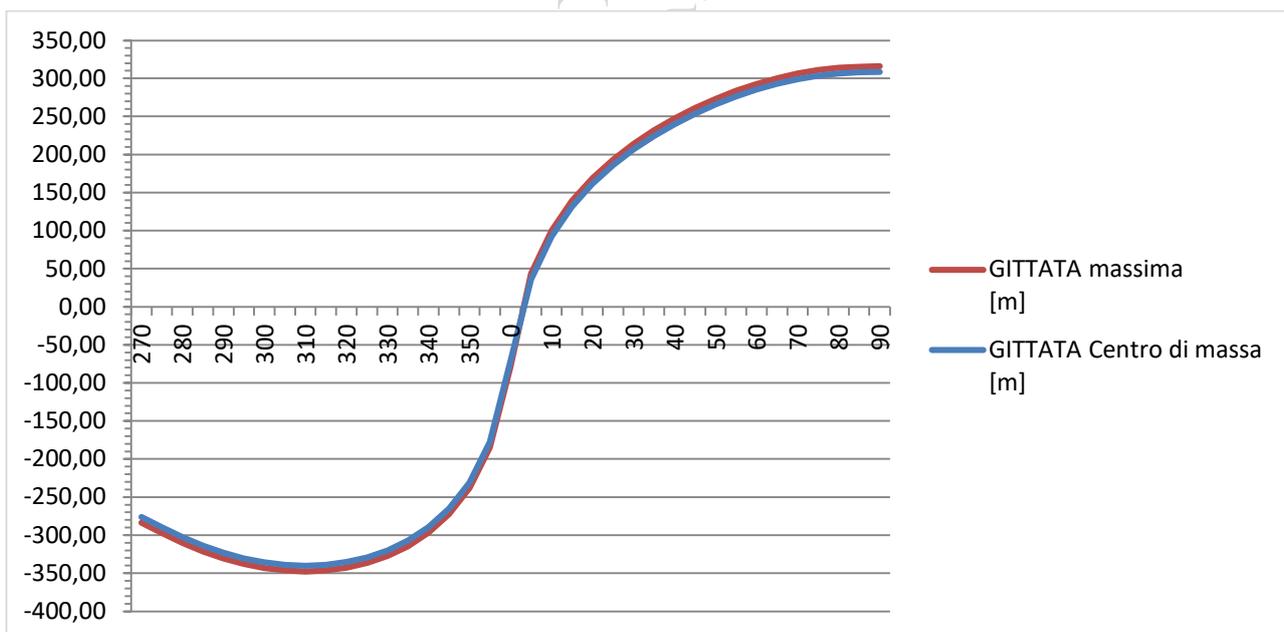


Fig. 16. Gittate al variare dell'angolo di distacco per la rottura del frammento da 10m

I principali risultati del calcolo, approssimati per eccesso, riferiti alla  $Rpm_{max} = 11,6$  giri/min, sono qui riassunti:

|                                 |      |                              |     |
|---------------------------------|------|------------------------------|-----|
| Angolo di massima gittata       | 315° | Angolo di massima elevazione | 35° |
| Tempo di volo [s]               | 11   |                              |     |
| Gittata del centro di massa [m] | 325  |                              |     |
| Gittata massima [m]             | 332  | Elevazione massima [m]       | 286 |

## 7.2 Rottura di un frammento di pala distante 5 m dalla punta della pala

Nella seguente tabella sono rappresentati i valori di ingresso da introdurre nella risoluzione delle equazioni del moto, come nei casi precedenti:

|  |                             |  |          |  |           |
|--|-----------------------------|--|----------|--|-----------|
|  | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) | 1,225                                      |          |  |           |
| $S_x$ (m <sup>2</sup> )                    | 0.175                       | $S_y$ (m <sup>2</sup> )                    | 5.28     | $S_z$ (m <sup>2</sup> )                    | 1.04      |
| $C_x$                                      | 0,35                        | $C_y$                                      | 0.6      | $C_z$                                      | 0.4       |
| $k_x = \frac{1}{2} \rho \frac{S_x C_x}{m}$ | 0,000209                    | $k_y = \frac{1}{2} \rho \frac{S_y C_y}{m}$ | 0,010840 | $k_z = \frac{1}{2} \rho \frac{S_z C_z}{m}$ | 0,0014234 |
|  | $m$ (kg)                    | 179  |          |  |           |

Tab. 7. Valori utilizzati per il calcolo

Si è utilizzata la posizione del centro di massa rinveniente dalla Tab. 3.

Il calcolo della gittata massima è stato pertanto effettuato con il centro di massa del frammento situato a 76 m dal centro del mozzo.

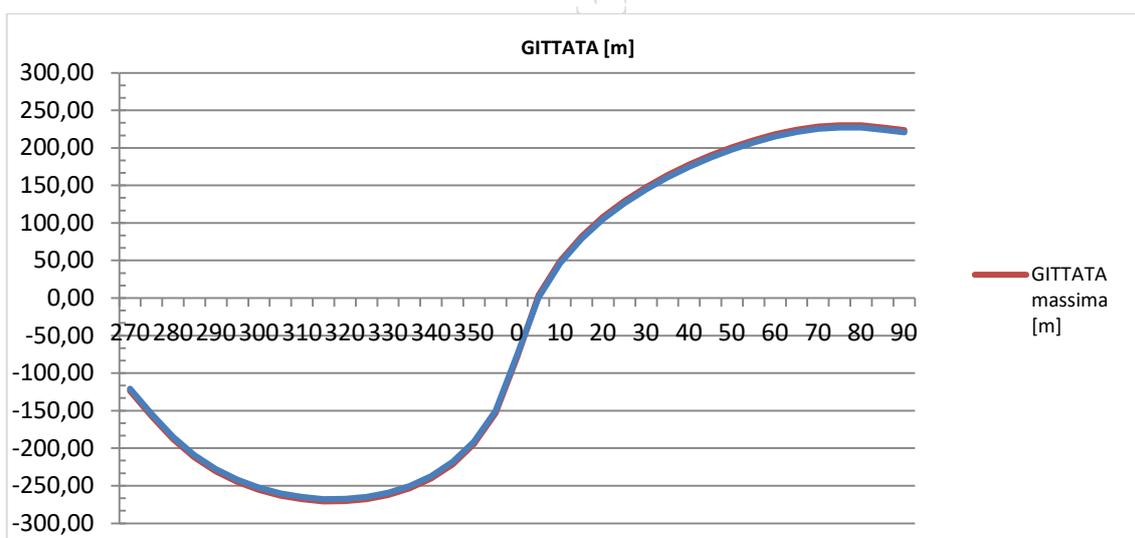


Fig. 17. Gittate al variare dell'angolo di distacco per la rottura del frammento da 5m

I principali risultati del calcolo, approssimati per eccesso, riferiti alla  $Rpm_{max} = 11,6$  giri/min, sono qui riassunti:



|                                 |             |                              |     |
|---------------------------------|-------------|------------------------------|-----|
| Angolo di massima gittata       | 315°        | Angolo di massima elevazione | 35° |
| Tempo di volo [s]               | <b>11,6</b> |                              |     |
| Gittata del centro di massa [m] | <b>316</b>  |                              |     |
| Gittata massima [m]             | <b>320</b>  | Elevazione massima [m]       | 285 |

## 8. RIEPILOGO DEI RISULTATI OTTENUTI

Nella tabella riepilogativa seguente si mostrano i risultati ottenuti nei tre casi di studio: rottura dell'intera pala, rottura di un frammento di pala distante 10 m dalla punta della pala e rottura di un frammento di pala distante 5 m dalla punta della pala, così come sopra calcolati

| <b>CASI DI STUDIO</b>   | <b>Gittata con velocità di rotazione di 11,6 giri/min</b> |
|---|---|
| <i>Rottura dell'intera pala</i>                                     | <b>214 m</b>  |
| <i>Rottura di un frammento distante 10 m dalla punta della pala</i> | <b>332 m</b>  |
| <i>Rottura di un frammento distante 5 m dalla punta della pala</i>  | <b>320 m</b>  |

**Tab. 8.** Riepilogo delle simulazioni effettuate

Il massimo valore di gittata calcolato tra tutti i casi considerati è pari a **332m**, per il frammento di 10m, rispettivamente per la velocità di rotazione del rotore di 11,6.

Tali valori devono essere confrontati con le distanze dei ricettori individuati.



## 8.1 Distanze dai principali elementi sensibili dell'area

Si riportano qui di seguito le **distanze minime** dai principali elementi urbanistici e infrastrutturali presenti nell'area di ubicazione del parco eolico.

| Elementi sensibili                | Distanze minime |
|-----------------------------------|-----------------|
| Centro abitato di Minervino Murge | 4000 m          |
| S.P. 234                          | 450 m           |
| SC Grassi Caterina                | 5m              |

**Tab. 9. Elenco elementi urbanistici e infrastrutturali sensibili nell'area del parco eolico.**

Oltre ai suddetti elementi, nell'area del parco eolico sono presenti altri recettori significativi potenzialmente interessati dagli impatti attesi dalla realizzazione del parco eolico. I ricettori sono elencati nella **Tab. 10** nella quale sono riportate anche le distanze di ciascuno di essi da ciascuno dei 12 aerogeneratori del parco eolico in progetto.

Si precisa che i ricettori e la loro denominazione sono i medesimi analizzati anche nello Studio dell'Ombra giornaliera e nello studio acustico.

Dalla lettura della **Tab. 10** si desume che non esiste allo stato un rischio sicurezza rispetto alla rottura accidentale di elementi rotanti in caso di guasto di aerogeneratori.

Il tutto come dettagliatamente rappresentato nelle seguenti **Fig. 19**.



**STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA**  
 MEZZINA dott. ing. Antonio  
 Via T. Solis, 128 - 71016 San Severo (FG)  
 P. IVA 02037220718  
 ☎ 0882-228072 / 📠 0882-243651  
 ✉ info@studiomezzina.net



| INDIVIDUAZIONE RICETTORI |                 |                        |        |         |     |       | Distanze Torri |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|--------------------------|-----------------|------------------------|--------|---------|-----|-------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| COD.                     | COMUNE          | CATEGORIA              | E      | N       | F.  | P.LLA | IR02           | IR03 | IR06 | IR10 | IR11 | IR13 | IR14 | IR21 | IR22 |  |
| R1                       | MINERVINO MURGE | FABB DIRUTO            | 594304 | 4548388 | 93  | 50    | R1             | 705  |      |      |      |      |      |      |      |  |
| R2                       | MINERVINO MURGE | COSTR NO AB            | 594214 | 4548553 | 93  | 70    | R2             | 755  |      |      |      |      |      |      |      |  |
| R3                       | MINERVINO MURGE | FABB DIRUTO            | 594069 | 4548629 | 93  | 104   | R3             | 745  |      |      |      |      |      |      |      |  |
| R4                       | MINERVINO MURGE | FABB DIRUTO            | 593649 | 4548996 | 84  | 103   | R4             | 1035 |      |      |      |      |      |      |      |  |
| R5                       | MINERVINO MURGE | COSTR NO AB            | 592941 | 4548171 | 118 | 207   | R5             | 830  |      |      |      |      |      |      |      |  |
| R6                       | MINERVINO MURGE | FABB DIRUTO            | 593122 | 4547526 | 118 | 211   | R6             | 755  |      |      |      |      |      |      |      |  |
| R7                       | MINERVINO MURGE | FABB DIRUTO            | 593073 | 4546596 | 152 | 149   | R7             |      | 1045 | 950  |      |      |      |      |      |  |
| R8                       | MINERVINO MURGE | A03_D10                | 592738 | 4546202 | 152 | 166   | R8             |      |      | 955  |      |      |      |      |      |  |
| R9                       | MINERVINO MURGE | A03_D10                | 592704 | 4546194 | 152 | 41    | R9             |      |      | 985  |      |      |      |      |      |  |
| R10                      | MINERVINO MURGE | AREA RURALE            | 595523 | 4544326 | 171 | 168   | R10            |      |      |      |      |      |      | 1105 |      |  |
| R12                      | MINERVINO MURGE | COSTR NO AB            | 595765 | 4544274 | 171 | 169   | R12            |      |      |      |      |      |      | 1145 |      |  |
| R13                      | MINERVINO MURGE | FABB DIRUTO            | 596383 | 4544472 | 191 | 167   | R13            |      |      |      |      |      |      | 1170 | 980  |  |
| R14                      | MINERVINO MURGE | F02                    | 597125 | 4544367 | 173 | 95    | R14            |      |      |      |      |      |      |      | 1055 |  |
| R15                      | MINERVINO MURGE | ENTE URBANO(SOPPRESSO) | 597198 | 4544380 | 154 | 237   | R15            |      |      |      |      |      |      |      | 1065 |  |
| R16                      | MINERVINO MURGE | F02                    | 596923 | 4544636 | 154 | 236   | R16            |      |      |      |      |      |      |      | 740  |  |
| R17                      | MINERVINO MURGE | F02                    | 596934 | 4544622 | 154 | 244   | R17            |      |      |      |      |      |      |      | 760  |  |
| R18                      | MINERVINO MURGE | COSTR NO AB            | 596662 | 4547938 | 96  | 84    | R18            |      | 1197 |      |      |      |      |      |      |  |
| R19                      | MINERVINO MURGE | AREA FAB DM            | 596260 | 4548251 | 96  | 38    | R19            |      | 1000 |      |      |      |      |      |      |  |
| R20                      | MINERVINO MURGE | AREA FAB DM            | 596052 | 4548572 | 95  | 143   | R20            |      | 1135 |      |      |      |      |      |      |  |
| R21                      | MINERVINO MURGE | C02                    | 595738 | 4548721 | 95  | 146   | R21            |      | 1160 |      |      |      |      |      |      |  |
| R22                      | MINERVINO MURGE | FABB DIRUTO            | 594931 | 4548349 | 94  | 104   | R22            |      | 965  |      |      |      |      |      |      |  |
| R23                      | MINERVINO MURGE | AREA FAB DM            | 594939 | 4548327 | 94  | 252   | R23            |      | 940  |      |      |      |      |      |      |  |
| R24                      | MINERVINO MURGE | FABB DIRUTO            | 594919 | 4548316 | 94  | 251   | R24            |      | 945  |      |      |      |      |      |      |  |
| R25                      | MINERVINO MURGE | FABB DIRUTO            | 594849 | 4549087 | 94  | 248   | R25            | 1115 | 935  |      |      |      |      |      |      |  |
| R26                      | MINERVINO MURGE | D10                    | 594618 | 4548093 | 94  | 241   | R26            | 885  | 1030 |      |      |      |      |      |      |  |
| R27                      | MINERVINO MURGE | D10                    | 594588 | 4548087 | 94  | 242   | R27            | 840  | 1050 |      |      |      |      |      |      |  |
| R28                      | MINERVINO MURGE | A03_D10                | 594577 | 4548074 | 94  | 243   | R28            | 855  | 1055 |      |      |      |      |      |      |  |
| R29                      | MINERVINO MURGE | D10                    | 594551 | 4548077 | 94  | 256   | R29            | 815  | 1080 |      |      |      |      |      |      |  |
| R30                      | MINERVINO MURGE | D10                    | 594551 | 4548025 | 94  | 245   | R30            | 810  | 1055 |      |      |      |      |      |      |  |
| R31                      | MINERVINO MURGE | D10                    | 594533 | 4548031 | 94  | 244   | R31            | 795  | 1075 |      |      |      |      |      |      |  |
| R32                      | MINERVINO MURGE | D10                    | 594609 | 4548072 | 94  | 227   | R32            | 875  | 1025 |      |      |      |      |      |      |  |
| R33                      | MINERVINO MURGE | D10                    | 594557 | 4548049 | 94  | 254   | R33            | 820  | 1060 |      |      |      |      |      |      |  |
| R34                      | MINERVINO MURGE | D10                    | 594574 | 4548037 | 94  | 258   | R34            | 835  | 1040 |      |      |      |      |      |      |  |
| R35                      | MINERVINO MURGE | D10                    | 594525 | 4548046 | 94  | 257   | R35            | 785  | 1085 |      |      |      |      |      |      |  |
| R36                      | MINERVINO MURGE | A04_D10                | 594526 | 4548091 | 94  | 255   | R36            | 795  | 1110 |      |      |      |      |      |      |  |
| R37                      | MINERVINO MURGE | FABB DIRUTO            | 594492 | 4548107 | 93  | 63    | R37            | 765  | 1145 |      |      |      |      |      |      |  |
| R38                      | MINERVINO MURGE | FABB DIRUTO            | 594533 | 4548209 | 93  | 106   | R38            | 827  | 1160 |      |      |      |      |      |      |  |
| R39                      | MINERVINO MURGE | COSTR NO AB            | 594335 | 4548296 | 93  | 56    | R39            | 690  |      |      |      |      |      |      |      |  |
| R40                      | MINERVINO MURGE | AREA FAB DM            | 594137 | 4548063 | 93  | 87    | R40            | 405  |      |      |      |      |      |      |      |  |
| R41                      | MINERVINO MURGE | AREA FAB DM            | 594138 | 4548054 | 93  | 88    | R41            | 405  |      |      |      |      |      |      |      |  |

STUDIO INCO  
Ing.





per legge per effetto della esistenza nella medesima area di un impianto eolico oggetto di dismissione per il rifacimento; ciò ai sensi dell'art. 20 comma 8 p.to 1 del D.Lgs. 199/21.

## 9. CONCLUSIONI.

Non sono presenti nelle vicinanze degli aerogeneratori pari alla gittata massima degli elementi rotanti in caso di rottura, insediamenti abitativi e lavorativi a carattere continuativo, tali da poter essere interessati dagli elementi lanciati in caso di rottura.

Gli unici elementi sensibili, pertanto, restano le strade situate nei dintorni degli aerogeneratori. Tuttavia, l'accadimento di fenomeni quali colpi di fulmine o urti accidentali che possono determinare l'eventuale distacco della pala o suoi frammenti determina un valore di rischio molto basso, reso ancora più basso dal fattore di contemporaneità.

Come descritto in narrativa, la probabilità di impatto tra un frammento di pala ed un oggetto situato tra 200 ed i 500m (come nel caso delle strade ricadenti nella zona di possibile impatto) è compresa tra  $1 \times 10^{-5}$  e  $1 \times 10^{-6}$  eventi per anno, rientrando nella classificazione di evento estremamente remoto, collegato ad un rischio associato classificabile - mediante matrice di rischio- "minimo". A solo titolo di paragone, la possibilità di un edificio di essere colpito da un fulmine è collocabile tra  $\{1 \times 10^{-3}$  e  $1 \times 10^{-4}\}$ <sup>8</sup>, pertanto di almeno un ordine di grandezza superiore.

In conclusione, pur essendo la rottura accidentale di una pala o di parte di essa un evento altamente improbabile, la gittata massima dell'elemento rotante, nel caso in cui pur tuttavia tale fenomeno dovesse accadere, risulta essere inferiore alla distanza degli aerogeneratori dagli elementi sensibili più vicini presenti nell'area.

Si allegano i fogli di calcolo excel che hanno determinato il calcolo della gittata massima dell'intera pala o frammenti di essa al variare dell'angolo di distacco per la velocità operativa del rotore di 13,44 giri/min

San Severo, Marzo 2024

STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA

Ing. MEZZINA Antonio



<sup>8</sup> Cfr *Determining the Probability of Lightning Striking a Facility*, R.T. Hasbrouck, PE, National Lightning Safety Institute, 2004 - [http://lightningsafety.com/nlsi\\_lhm/prbshort.html](http://lightningsafety.com/nlsi_lhm/prbshort.html)