



REGIONE MOLISE



CITTA' METROPOLITANA
DI CAMPOBASSO



COMUNE di
GUGLIONESI



COMUNE di
LARINO

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 8 AEROGENERATORI DA 6.0 MW PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 48 MW SITO NEL COMUNE DI GUGLIONESI (CB) CON OPERE DI CONNESSIONE IN LARINO (CB)



Proponente	 <p>GRV SOLAR CAMPOBASSO 4 S.r.l. via Durini, 9 - 20122 Milano grvsolarcampobasso4@legalmail.it</p>				
Progettazione	 <p><i>Viale Michelangelo, 71</i> 80129 Napoli TEL.081 579 7998 <i>mail: tecnico.inse@gmail.com</i></p> <p>Amm. Francesco Di Maso Ing. Nicola Galdiero Ing. Pasquale Esposito</p> <p>Collaboratori: Geol. V.E.Iervolino Dott. A. Ianiro Ing. V. Triunfo Arch. C. Gaudiero Geom. F. Malafarina Arch. M. Mauro Ing. F. Quarto Arch. Mariangela Perillo</p>				
Elaborato	<p>Nome Elaborato:</p> <p>RELAZIONE SULLO STUDIO DELLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI</p>				
	 <p>NICOLA GALDIERO INGEGNERE CIVILE E AMBIENTALE INDUSTRIALE DELL'ENERGIA SEZIONE A - N° ISCRIZIONE: 022217</p>		 <p>PASQUALE ESPOSITO INGEGNERE CIVILE E AMBIENTALE INDUSTRIALE DELL'ENERGIA -SEZIONE A- N° ISCRIZIONE: 17962</p>		
00	Settembre 2022	PRIMA EMISSIONE	INSE Srl	INSE Srl	GRV Solar Campobasso 4 srl
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione	Verifica	Approvazione
Scala:	--				
Formato:	A4		Codice Pratica	S269	
			Codice Elaborato	AS269-SIA11-R	

GRV SOLAR CAMPOBASSO 4 S.r.l. 	Relazione sullo studio della gittata degli elementi rotanti	Cod. AS269-SIA11-R	
		Data Settembre 2022	Rev. 00

Sommario

1	PREMESSA.....	2
1.1	DESCRIZIONE E LOCALIZZAZIONE DELL'IMPIANTO.....	2
2	IPTESI DI CALCOLO – MODELLO MATEMATICO	4
3	CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA	8
3.1	PALA INTERA.....	8
3.2	FRAMMENTO DI 10 M	10
3.3	FRAMMENTO DI 5 M	11
4	ANALISI DEI RICETTORI	12
5	PROBABILITA' DI ACCADIMENTO.....	12
6	CONCLUSIONI	14

GRV SOLAR CAMPOBASSO 4 S.r.l. 	Relazione sullo studio della gittata degli elementi rotanti	Cod. AS269-SIA11-R	
		Data Settembre 2022	Rev. 00

1 PREMESSA

La società GRV SOLAR CAMPOBASSO 4 Srl, soggetta ad attività di direzione e coordinamento di GR Value (Green Resources Value) Spa, è proponente di un progetto di produzione di energia rinnovabile da fonte eolica ubicato nel Comune di Guglionesi (CB) in provincia di Campobasso ed opere di connessione nel comune di Larino (CB).

L'ipotesi progettuale prevede l'installazione di n.8 aerogeneratori della potenza nominale di 6,0 MW per una potenza complessiva di impianto pari a 48 MW. Gli aerogeneratori saranno collegati tra loro attraverso cavidotto interrato in MT a 30kV che collegheranno il parco eolico alla stazione di trasformazione utente 30/150 kV; essa sarà collegata alla adiacente SE di condivisione che attraverso un cavo AT 150kV sarà collegata allo stallo condiviso 150kV interno alla SE Terna 150/380kV, localizzata nel Comune di Larino (Cb), che rappresenta il punto di connessione dell'impianto alla RTN.

Il progetto è assoggettato a Valutazione di Impatto Ambientale di competenza Ministeriale (Ptot>30 MW).

La presente relazione si riferisce al calcolo della gittata massima in caso di rottura di una pala dell'aerogeneratore e di un frammento di pala di 10 e 5 m.

1.1 DESCRIZIONE E LOCALIZZAZIONE DELL'IMPIANTO

L'ambito territoriale considerato si trova nella porzione Nord – Est della Regione Molise, ad una distanza minima dal mare di circa 6 km. I comuni interessati dal progetto sono il comune di Guglionesi (CB), con riferimento all'impianto eolico, e il comune di Larino (CB) per quanto concerne la connessione alla RTN.

L'area vasta, che è individuata su cartografia come l'inviluppo delle distanze dagli aerogeneratori di ampiezza pari a 50 Hmax, è ampia 10 km e comprende invece altri Comuni che sono interessati prevalentemente da impatti di tipo visivo (Acquaviva Collecroce, Montecilfone, Larino, Guglionesi, Mafalda, Termoli, Tavenna, Palata, Portocannone, Petacciato, San Giacomo degli Schiavoni, San Martino in Pensilis, Montenero di Bisaccia, Guardialfiera, Campomarino). Sono stati analizzati tutti gli aspetti programmatici, vincolistici ed ambientali presente nell'area vasta.

Il sito oggetto di intervento ricade nel Foglio IGM Serie M891 F.154 I-NE "San Giacomo degli Schiavoni" scala 1: 25.000 e si sviluppa tra quote che vanno dagli 89 ai 145 metri s.l.m. La morfologia è prevalentemente collinare.

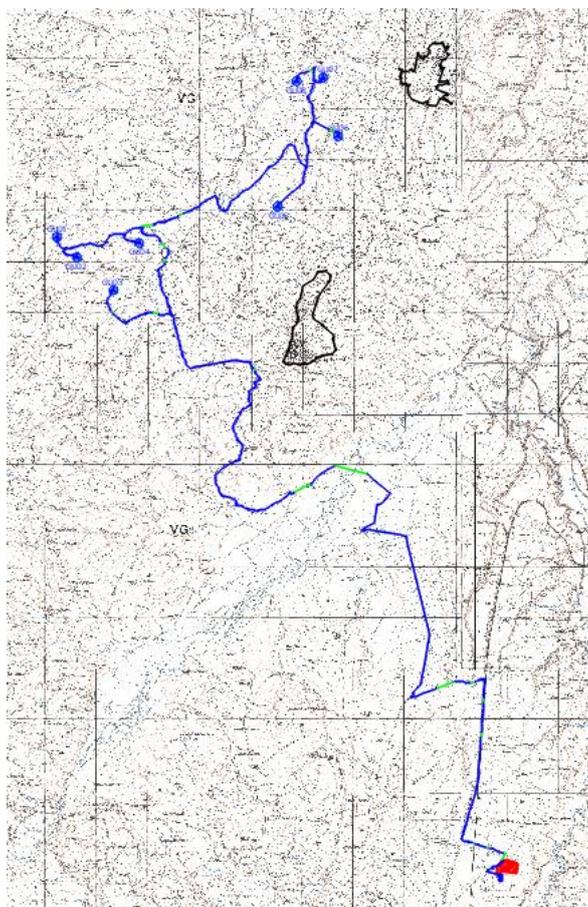


Figura 1: Inquadramento territoriale su IGM

In particolare, il progetto prevede l'installazione di N.8 aerogeneratori della potenza nominale di 6 MW localizzati alle seguenti coordinate:

ID WTG	Coordinate WGS 84 UTM33		Quote e misure				
	Long. EST (m)	Long. NORTH (m)	Altitudine (m s.l.m.)	Modello WTG	Altezza mozzo (m)	Altezza TIP (m)	Altezza TIP (m s.l.m.)
GU01	488157.55	4642284.17	136	SIEMENS Gamesa 6.0-170	115	200	336
GU02	488546.12	4641890.36	145	SIEMENS Gamesa 6.0-170	115	200	345
GU03	489258.85	4641234.96	137	SIEMENS Gamesa 6.0-170	115	200	337
GU04	489758.98	4642171.64	116	SIEMENS Gamesa 6.0-170	115	200	316
GU05	492460.04	4642886.12	129	SIEMENS Gamesa 6.0-170	115	200	329
GU06	493639.00	4644274.00	89	SIEMENS Gamesa 6.0-170	115	200	289
GU07	493343.00	4645425.00	115	SIEMENS Gamesa 6.0-170	115	200	315
GU08	492830.84	4645352.00	135	SIEMENS Gamesa 6.0-170	115	200	335

Tabella 1: Coordinate degli aerogeneratori in sistema UTM 33 WGS 84 Fuso 33

L'aerogeneratore scelto in fase progettuale, per le valutazioni urbanistiche ed ambientali, è di produzione Siemens Gamesa SG 6.0 da 6 MW con rotore pari a 170 m di diametro e altezza mozzo pari a 115 m per una

GRV SOLAR CAMPOBASSO 4 S.r.l. 	Relazione sullo studio della gittata degli elementi rotanti	Cod. AS269-SIA11-R	
		Data Settembre 2022	Rev. 00

H totale pari a 200 m. In fase esecutiva potrà essere scelto un aerogeneratore di costruzione diversa ma con caratteristiche similari.

2 IPOTESI DI CALCOLO – MODELLO MATEMATICO

Sarà preso in considerazione il calcolo della gittata modellizzando, con opportune semplificazioni, il moto della pala o di un frammento di pala (in seguito indicato genericamente come “corpo”) nell’aria considerando l’ attrito viscoso o se si preferisce l’ attrito dell’aria prodotto su di esso durante la caduta. Sottolineiamo fin d’ora che tutte le approssimazioni e semplificazioni proposte sono a vantaggio della sicurezza, ovvero producono risultati con approssimazione in eccesso della gittata massima in caso di rottura di elementi rotanti, poiché il calcolo sarà fondato su un modello puramente balistico.

La determinazione dell’equazione del moto nel caso di un distacco di un corpo dal rotore in movimento è molto complessa. È evidente però che si tratta di un moto rotazionale complesso in quanto il corpo, quando inizierà il suo moto libero, continuerà anche a ruotare per l’ ineluttabile legge fisica di conservazione della quantità del moto. Quindi nel moto libero (dopo il distacco) una parte dell’energia cinetica posseduta dal corpo verrà dissipata nel moto rotazionale che finirà per generare turbolenze. Di queste dissipazioni non si terrà conto nel calcolo che pertanto sarà prudentiale.

Una volta che il corpo si sarà distaccato le forze inerziali agenti saranno la forza di gravità e le forze viscosse dovute alla resistenza prodotta dall’aria. La velocità di rotazione al momento del distacco, presa in considerazione per il calcolo, è quella massima indicata dal costruttore. È evidente che i sofisticati sistemi di controllo non permetterebbero al rotore dell’aerogeneratore di ruotare ad una velocità maggiore di quelle indicate nelle specifiche tecniche.

Per il calcolo della massima gittata si considerano le seguenti ipotesi:

- 1) Si fa riferimento al baricentro del corpo (sulla base della forma e dimensione opportunamente ipotizzate) e si applicano ad esso le equazioni del moto;
- 2) Il calcolo della gittata è stato determinato per diversi valori dell'angolo Θ , che dipende dalle caratteristiche geometriche del sistema come altezza al mozzo, diametro rotore e dimensioni pale/frammenti, e la velocità di rotazione al momento del distacco;
- 3) Si assume come velocità iniziale V_0 il vettore applicato nel baricentro di cui al punto precedente al distacco, avente come modulo la velocità tangenziale corrispondente alla massima velocità angolare di esercizio per un raggio pari alla distanza del baricentro dal centro di rotazione e come direzione quella della tangente nello stesso baricentro al moto circolare da esso mantenuto fino al momento del distacco;

GRV SOLAR CAMPOBASSO 4 S.r.l. 	Relazione sullo studio della gittata degli elementi rotanti	Cod. AS269-SIA11-R	
		Data Settembre 2022	Rev. 00

- 4) Si tiene conto della spinta del vento in direzione ortogonale al piano del rotore (convenzionalmente individuato dal piano XZ) che influenzerà la traiettoria ed il moto del corpo distaccato. Tale velocità verrà considerata come la massima di funzionamento dell'aerogeneratore prima che le pale vengano automaticamente poste in stallo (velocità di cut-off);
- 5) Si ipotizza una temperatura ambientale di 40°C, alla quale corrisponde il valore di densità dell'aria 0,898 kg/m³, che minimizza l'effetto dell'attrito della stessa sul corpo in volo;
- 6) Il modulo della forza di attrito agente sul corpo in moto libero a seguito del distacco è dato dalla seguente formula:

$$F_D = \frac{1}{2} \rho_{aria} C_d A V_{xz}^2$$

Dove:

- ρ_{aria} è la densità dell'aria che cambia in relazione alla quota altimetrica del sito di installazione degli aerogeneratori ma anche in base alle dimensioni e quindi massime altezze raggiunte dal sistema torre tubolare + rotore. In questo caso è posta pari a 0,898 Kg/m³.
 - C_d è il coefficiente di attrito ampiamente dipendente delle caratteristiche geometriche della pala. Sulla base di dati riportati in letteratura tale valore è stato assunto pari a 1.
 - A è la superficie efficace che la pala oppone alla resistenza generata dall'aria. Nel caso di un frammento di pala di 10 m, si è considerata una superficie efficace di 5 mq sulla base delle caratteristiche geometriche della pala e del frammento e del moto rotazionale complesso a cui il frammento è sottoposto.
 - V_{xz} è il modulo della proiezione del vettore velocità del corpo sul piano XZ misurata con riferimento al baricentro del corpo
- 7) Il moto libero di un corpo di massa M sotto l'azione delle forze inerziali di gravità e di resistenza dell'aria è descritto dalle seguenti equazioni:

$$a_x = -\frac{1}{M} F_D \cos(\alpha)$$

GRV SOLAR CAMPOBASSO 4 S.r.l. 	Relazione sullo studio della gittata degli elementi rotanti	Cod. AS269-SIA11-R	
		Data Settembre 2022	Rev. 00

$$a_y = \frac{1}{2} \rho_{aria} C_d A (w - V_y^2) / M$$

$$a_z = -\frac{1}{M} (F_D \sin(\alpha) + M g)$$

$$F_D = \frac{1}{2} \rho_{aria} C_d A V_{xz}^2$$

Dove:

- α rappresenta l'arcotangente del rapporto V_z / V_x e cambia da istante a istante durante il moto libero di caduta;
- w è il modulo della velocità del vento, supposta ortogonale al piano XZ e costante per tutta la durata del moto;
- V_y è il modulo della componente della velocità del corpo avente la stessa direzione del vento;
- g è l'accelerazione di gravità.

Le condizioni al contorno indipendenti sono:

- temperatura ambiente e velocità del vento, impostate nei valori estremi di esercizio come precedentemente esposto;
- altezza del mozzo posta pari a 115 m.
- massa M , area efficace A , lunghezza L posizione del baricentro del corpo distaccato (posta a $1/3$ della lunghezza nel caso dell'intera pala e a $1/2$ nel caso di un frammento);
- α_0 viene inizializzato al valore arbitrario di 20° , prossimo a valori descritti in letteratura per analoghi esperimenti;
- si pongono ascissa e ordinata del baricentro del corpo al momento del distacco $X_0=0$ e $Y_0=0$
- si pone la componente iniziale del vettore velocità in direzione del vento $V_{y0}=0$, in quanto tale vettore, nel momento del distacco, è determinato dal solo movimento del rotore che è supposto ortogonale al vento stesso;

Da queste dipendono le seguenti condizioni:

- quota di distacco Z_0 ;
- densità dell'aria iniziale;
- componenti iniziali V_{x0} e V_{z0} del vettore velocità e le componenti del vettore accelerazione.

GRV SOLAR CAMPOBASSO 4 S.r.l. 	Relazione sullo studio della gittata degli elementi rotanti	Cod. AS269-SIA11-R	
		Data Settembre 2022	Rev. 00

La soluzione del sistema di equazioni viene determinata con il metodo di Eulero che è un metodo iterativo per la risoluzione di equazioni differenziali partendo dalle condizioni al contorno. Tale soluzione ci permetterà di definire il moto del corpo distaccato nello spazio tridimensionale rappresentato in un sistema cartesiano ortogonale XYZ, in cui:

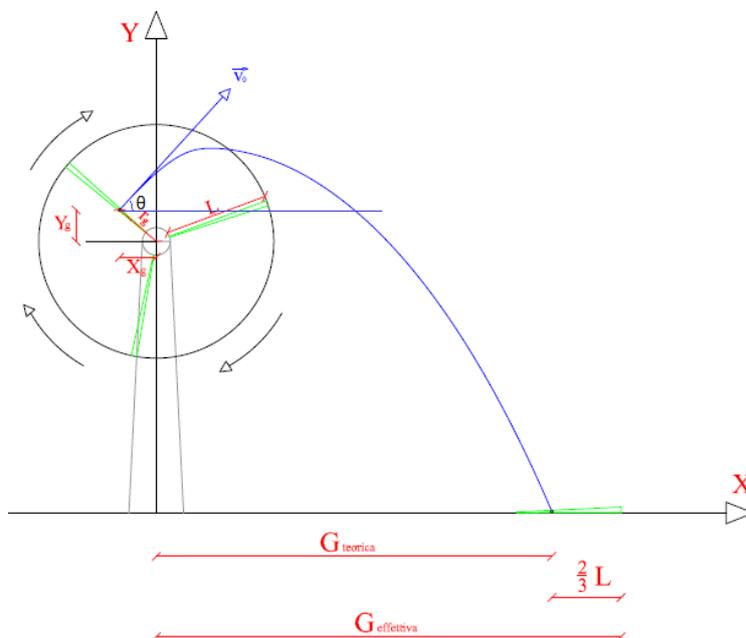
- il piano XY rappresenta il piano orizzontale, corrispondente al livello del mare;
- il piano XZ viene fatto coincidere con il piano su cui giace il rotore (ortogonale alla direzione del vento);
- il piano YZ viene fissato, ortogonalmente agli altri due piani coordinati, facendo coincidere l'origine del sistema con la proiezione sul piano XY del baricentro del corpo nell'istante del distacco.

Con questa rappresentazione geometrica è evidente che al momento della definizione della gittata massima si dovrà tenere in conto della lunghezza del corpo in caduta, ma anche della geometria del modello. Ora, poiché la gittata è calcolata a partire dal mozzo, dovrà essere calcolata la distanza tra mozzo e punto di caduta del baricentro del corpo distaccato.

Nel punto di caduta si terrà conto della lunghezza del frammento o della pala, per cui la formula della gittata massima sarà pari alla somma della distanza tra il centro torre e il punto previsto di caduta con i 2/3 della lunghezza della pala (nel caso del distacco della pala intera) o 1/3 della medesima lunghezza (per distacco di un frammento).

Una volta impostato e risolto il modello con riferimento al valore iniziale di α pari a 20° , si è proceduto per tentativi alla determinazione dell'angolo α che massimizzi la gittata.

Si fa presente che nel caso in questione, trattandosi di un'area pressoché pianeggiante, la quota di atterraggio della pala o del frammento sarà la stessa della base della torre. Qualora la morfologia del sito fosse caratterizzata da pendenze più significative la quota di arrivo del corpo sarebbe differente, andando a influenzare di conseguenza la gittata stessa.



3 CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA

3.1 PALA INTERA

Come anticipato in precedenza il moto del corpo libero di una determinata massa M sotto l'azione delle forze inerziali di gravità e di resistenza dell'aria è descritto dalle equazioni precedentemente attenzionate (punto 7) capitolo 2), risolte mediante il metodo iterativo di Eulero, rispetto le variabili x, y, z . Nell'istante in cui z assume il valore pari al livello previsto per l'impatto, il punto di caduta del baricentro della pala è calcolato (teorema di Pitagora) dai corrispondenti valori di x e y al medesimo istante. La massima gittata verrà ricavata come in precedentemente detto dalla seguente formula:

$$G_{MAX} = X_{CADUTA} - X_{WTG} + \frac{2}{3}L_P$$

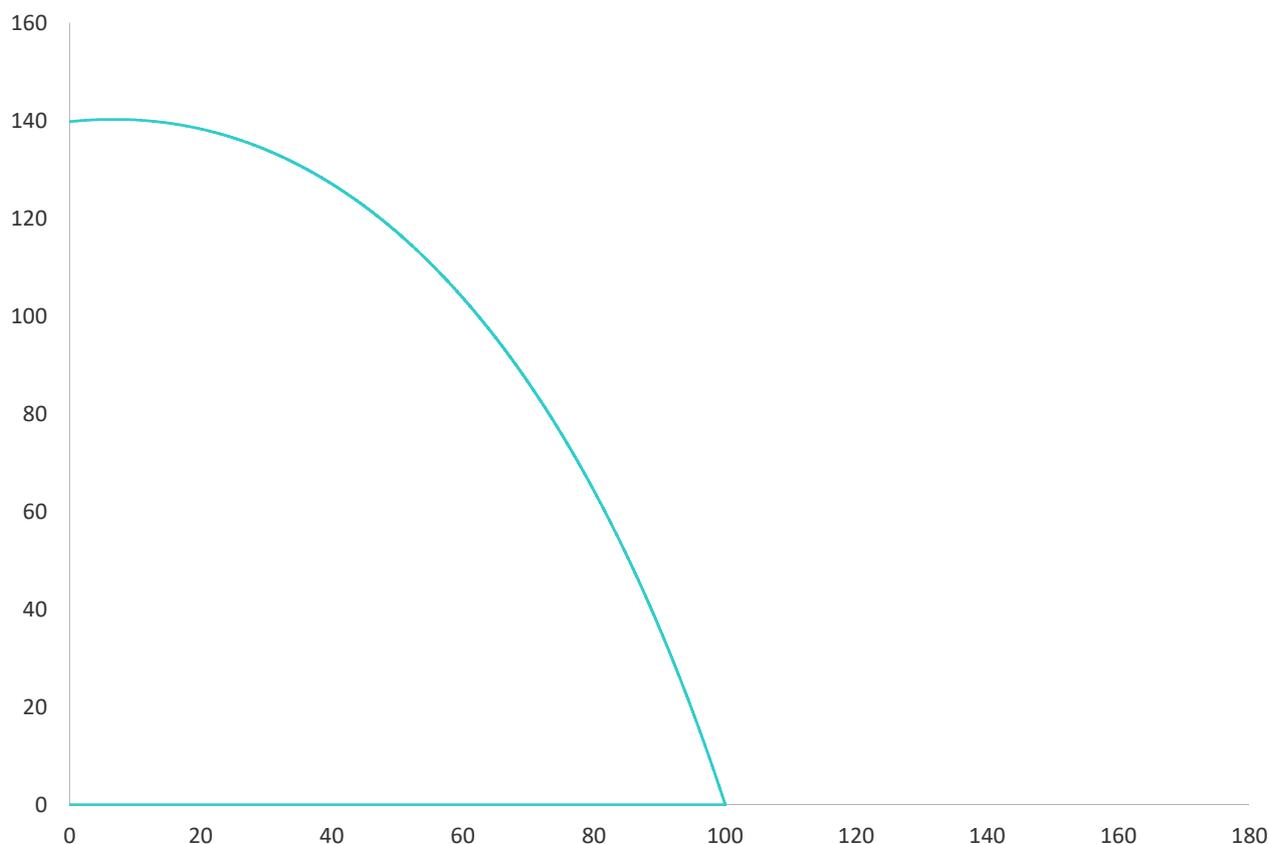
Nel caso di distacco della pala intera sono stati presi in considerazione i seguenti parametri:

- Massa M dell'intera pala assunta pari a 25 tonnellate;
- Altezza al mozzo pari a 115 m;
- Diametro del rotore pari a 170 m;
- Lunghezza della pala L_P pari ad 83,3 m;
- Velocità di cut off pari a 25 m/s;
- Velocità di rotazione del rotore pari a 8,5 giri/minuto;
- C_d (coefficiente di contrazione) pari ad 1 sulla base dei dati riportati in letteratura;

- Superficie efficace A della pala che si oppone alla resistenza dell'aria pari a circa 250 m². Tale valore è stato ottenuto come prodotto tra la lunghezza della pala e la sua altezza media, ottenuta come media tra la corda massima e minima rinvenibili dalle specifiche tecniche (pari mediamente circa a 3 m);
- Per tentativi è stato calcolato l'angolo che massimizza la gitta pari a 8°;
- In considerazione del fatto che l'area di progetto è praticamente pianeggiante si è ipotizzato che la quota di caduta della pala è la stessa quota della base torre. Infatti, le quote sul livello del mare degli aerogeneratori variano tra un massimo di 64 m ad un minimo di 47 m.
- Densità dell'aria $\rho_{\text{ARIA}}=0,898 \text{ kg/m}^3$.

Il valore della gittata massima ricavato è pari a $G_{\text{MAX}}= 160 \text{ m}$ con un tempo di permanenza in volo di **7,1 secondi**. Di seguito viene riportata la traiettoria del moto della pala.

Traiettoria con gittata massima



3.2 FRAMMENTO DI 10 M

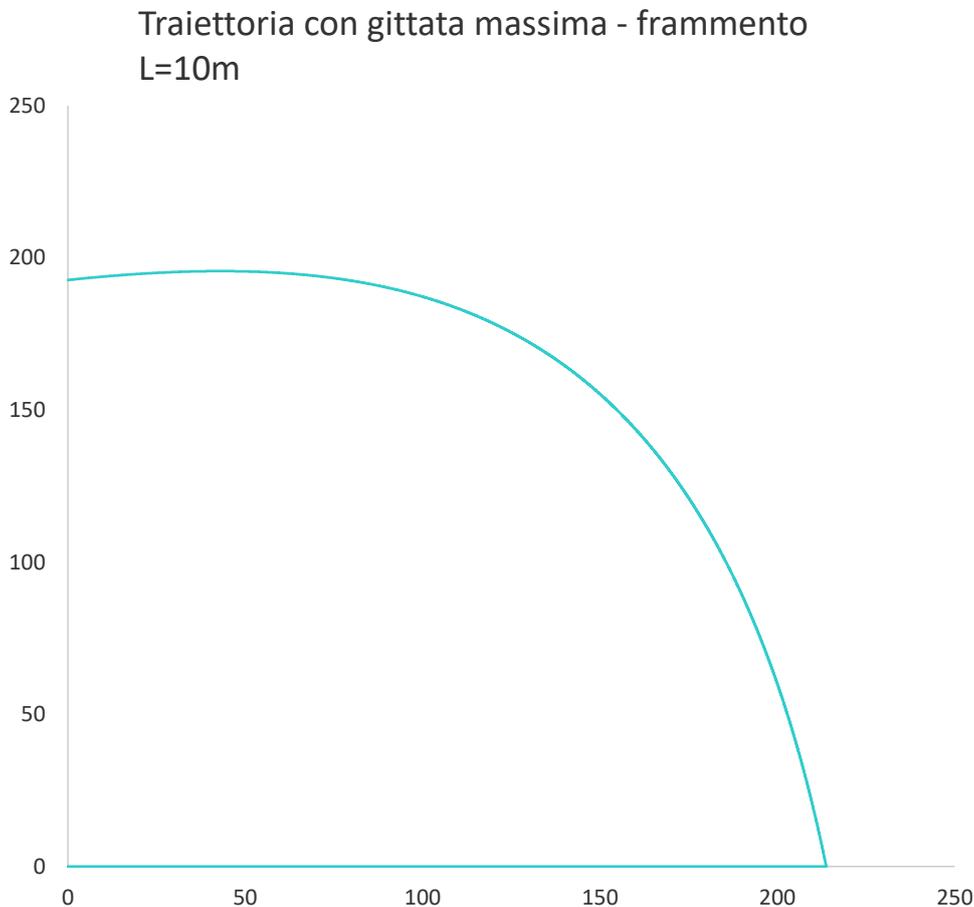
Analogamente al caso di distacco della pala intera, nel caso in cui il corpo distaccatosi è un frammento della stessa la formula per calcolare la gittata è la seguente:

$$G_{MAX} = X_{CADUTA} - X_{WTG} + \frac{1}{2}L_F$$

Anche in questo caso i parametri presi in considerazione sono gli stessi dei precedenti a meno di:

- Lunghezza del frammento $L_F = 10$ m
- Massa M del frammento assunto pari a 926 kg;
- Superficie efficace A del frammento di 10 m assunto pari a 15 m^2 tenendo conto della geometria dello stesso;
- Angolo che massimizza la gitta pari a 7° ;

il valore della gittata ricavata dal calcolo è pari a circa **230 m** con un tempo di permanenza in volo di **9,9 secondi**. Si allega di seguito il grafico della traiettoria del frammento:



GRV SOLAR CAMPOBASSO 4 S.r.l. 	Relazione sullo studio della gittata degli elementi rotanti	Cod. AS269-SIA11-R	
		Data Settembre 2022	Rev. 00

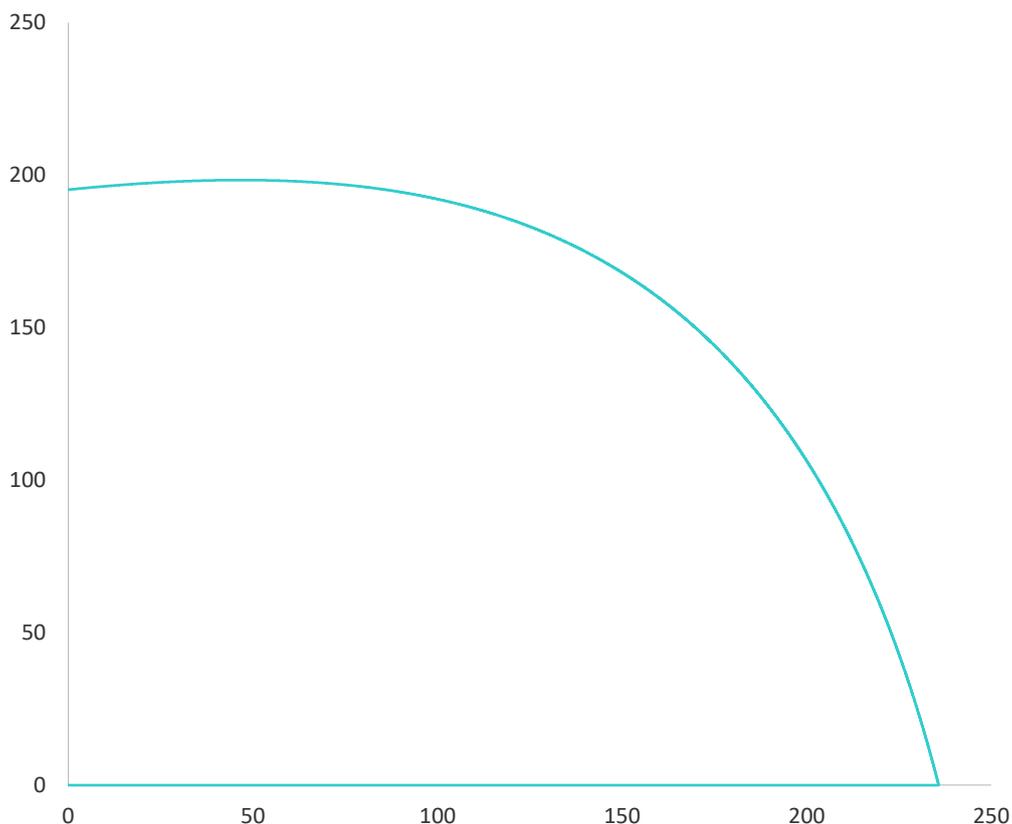
3.3 FRAMMENTO DI 5 M

A seguire verranno riportati i valori della gittata per un frammento di 5 m, che sarà ricavata dalla stessa formula utilizzata nel caso del frammento di 10 m, per la quale in questo caso sono stati impostati i seguenti valori, oltre quelli segnati nel paragrafo 3.1:

- Lunghezza del frammento $L_F = 5$ m
- Massa M del frammento assunto pari a 463 kg, ossia la metà del peso del frammento di 10 m;
- Superficie efficace A assunto pari alla metà del frammento da 10 m, ossia $6,5$ m²;
- Angolo che massimizza la gitta pari a 7° ;

Il valore della gittata ricavata dal calcolo è pari a circa **242 m** con un tempo di permanenza in volo di **10 secondi**. Si allega di seguito il grafico della traiettoria del frammento:

Traiettoria con gittata massima - Frammento $L=5$ m



4 ANALISI DEI RICETTORI

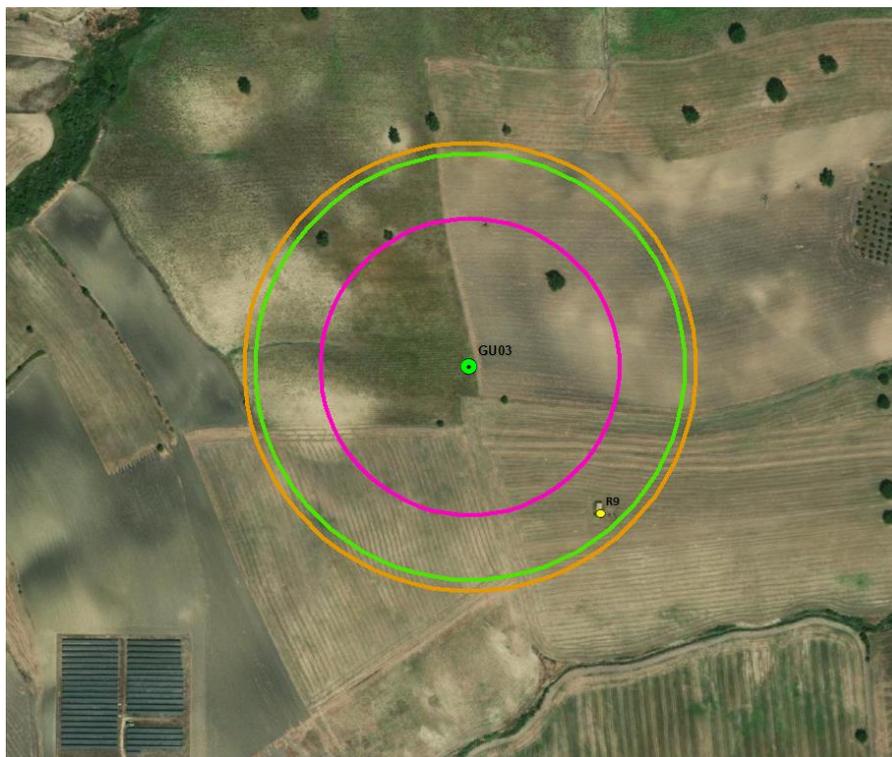


Figura 2: Individuazione planimetrica dei ricettori nel buffer di 160 metri per la pala intera (MAGENTA), 230 m per il frammento di 10 metri (VERDE) e 242 metri per il frammento da 5 metri (ARANCIONE)

L'individuazione e la scelta dei fabbricati da considerare come ricettori sensibili nella verifica dell'impatto in caso di rottura accidentale della pala, è stata effettuata individuando in un raggio massimo 242 metri corrispondente alla gittata per un frammento di 5 m, i fabbricati esistenti e se, nel caso, verificare la destinazione d'uso degli stessi.

Si rappresenta che nell'area intorno agli aerogeneratori per un raggio di 242 metri ricade il ricettore R9 all'interno delle aree buffer individuate per la GU03.

Tale ricettore, catalogato come non sensibile, in quanto risulta essere accatastato come "Fabbricato Diruto"; non ricade nell'area buffer della gittata per l'intera pala, ma solamente per i frammenti di 10 e 5 m.

5 PROBABILITA' DI ACCADIMENTO

Il processo di rottura di un aerogeneratore è un evento raro, risultato di una catena di eventi, la cui probabilità totale è data dalla combinazione delle probabilità dei meccanismi intermedi, attraverso i quali si giunge al risultato finale. Ogni evento individuale della catena è visto con le sue conseguenze in modo che il prodotto della probabilità di occasione di ogni individuale evento fornisce la relativa probabilità di danno. Questo

GRV SOLAR CAMPOBASSO 4 S.r.l. 	Relazione sullo studio della gittata degli elementi rotanti	Cod. AS269-SIA11-R	
		Data Settembre 2022	Rev. 00

valore può essere messo in relazione con il valore di soglia, che dipende dall'oggetto individuale da proteggere. La relazione, che traduce il concetto ora esposto, si basa sulla seguente disuguaglianza.

$P_{so} > P_1 \times P_2 \times P_3 \times P_4$

- P_{so} è il valore di soglia relativo all'oggetto da difendere;
- P_1 è la probabilità di occasione dell'evento incidentale accaduto alla turbina eolica;
- P_2 è la probabilità di occasione dell'urto tra l'oggetto da proteggere e la pala;
- P_3 è la probabilità di occasione della condizione di vento sfavorevole o dei condizionamenti ambientali;
- P_4 la probabilità di occasione relativa ad altre cause, come tolleranze di costruzione, etc.

In conclusione, in relazione al rischio di rottura, si riportano le risultanze del documento "Analysis Of RiskInvolved Incidents Of Wind Turbines", allegato alla "Guide for Risk-Based Zoning of Wind Turbines", elaborato nel 2005 dall' ECN (Energy Research Centre of the Netherlands) sulla base dei dati relativi a produzione di energia eolica, incidenti e manutenzione raccolti dallo ISET (Institut für Solare Energieversorgungstechnik) in Germania e dall' EMD (Energie- og Miljødata) in Danimarca. L'ECN ha analizzato le informazioni di incidenti registrate su un campione molto largo di turbine eoliche in Danimarca e Germania, determinando le frequenze di:

- rottura di una pala;
- rottura della punta e di piccole parti;
- rottura della torre alla base;
- caduta del rotore o della navicella;
- caduta di piccole parti dal rotore o dalla navicella.

La probabilità di rottura della pala è stata suddivisa in diverse condizioni d'uso:

- alla velocità nominale;
- durante la frenata meccanica;
- in condizione di overspeed.

I risultati dell'analisi, riportati nella tabella sottostante, mostrano come la probabilità di rottura della pala sia pari a circa 0,00084%. Per quanto riguarda la probabilità di rottura in overspeed, è stata utilizzata la stima di studi precedenti, determinata moltiplicando la probabilità di guasto della rete elettrica (5 volta in un anno) con la probabilità di rottura del primo sistema di frenata (10^{-3} per intervento) e del secondo sistema di frenata (10^{-3} per intervento) e per la probabilità di rottura della pala in queste condizioni (100%).

Tabella 1 - Frequenza di accadimento rottura aerogeneratore

Part	Failure frequency per turbine per year			Maximum throw distance [m] (reported and confirmed)
	Expected Value	95% upper limit	Recommended Risk Analysis Value [1/yr]	
Entire blade	$6.3 \cdot 10^{-4}$	$8.4 \cdot 10^{-4}$	$8.4 \cdot 10^{-4}$	150
Nominal rpm			$4.2 \cdot 10^{-4}$	
Mechanical braking			$4.2 \cdot 10^{-4}$	
Overspeed			$5.0 \cdot 10^{-6}$	
Tip or piece of blade	$1.2 \cdot 10^{-4}$	$2.6 \cdot 10^{-4}$	$2.6 \cdot 10^{-4}$	500
Tower	$5.8 \cdot 10^{-5}$	$1.3 \cdot 10^{-4}$	$1.3 \cdot 10^{-4}$	Shaft height + half diameter
Nacelle and/or rotor	$2.0 \cdot 10^{-4}$	$3.2 \cdot 10^{-4}$	$3.2 \cdot 10^{-4}$	Half diameter
Small parts from nacelle	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$1.7 \cdot 10^{-3}$	$1.7 \cdot 10^{-3}$	Half diameter

6 CONCLUSIONI

La definizione del moto di una pala di un aerogeneratore o di un frammento di pala è un problema alquanto complesso. È certo sulla base dell'esperienza e di semplici considerazioni fisiche (conservazione della quantità di moto) che trattasi di un moto rotazionale complesso in un fluido viscoso (aria).

Dal momento che sono stati considerati per ciascun parametro valori ampiamente conservativi e mettendosi nelle condizioni di esercizio più gravose (massima velocità di rotazione, massima velocità del vento), il valore della gittata calcolato si può considerare ampiamente conservativo, pertanto da considerarsi quale Gittata Massima.

Il calcolo è stato poi eseguito risolvendo le stesse equazioni nel caso in cui il distacco fosse riferito a frammenti di pala, benché tale evento sia da considerarsi pressoché impossibile.

Dai calcoli è risultato che la massima gittata degli elementi rotanti che possono essere proiettati dagli aerogeneratori in progetto è di 160 metri nel caso di pala intera e rispettivamente di 230 m e 242 m per frammenti di 10 e 5 m.

Si riporta di seguito una tabella riepilogativa riportante i risultati conseguiti dal suddetto studio:

GRV SOLAR CAMPOBASSO 4 S.r.l. 	Relazione sullo studio della gittata degli elementi rotanti	Cod. AS269-SIA11-R	
		Data Settembre 2022	Rev. 00

Lunghezza frammento/ Pala intera (m)	5	10	83,3
Peso frammento (kg)	463	926	25000
Coefficiente di forma	1	1	1
Superficie efficace di resistenza al moto (mq)*	6,5	15	250
Angolo di gittata max ottenuto per tentativi (gradi)	7	7	8
Tempo di volo (sec)	9,98	9,86	7,09
Gittata massima (m)	241,37	226,70	159,89
* tra parentesi è riportata l'altezza media della pala presa in considerazione per il calcolo dell'area			

Anche nel caso peggiore, la gittata si mantiene al di sotto dei 250 m e intorno agli aerogeneratori non esistono edifici sensibili.

L'areale di 242 m interessa per il parco in questione solo il ricettore R9, il quale risulta accatastato "Fabbricato Diruto" come precedentemente anticipato.

Nessun areale interseca strade a meno della GU02, i cui buffer per i frammenti di 5 e 10 m attraversa la Strada di Bonifica N.11 "Montecilfone Serramano".



Figura 3: Individuazione planimetrica delle strade nel buffer di 160 metri per la pala intera (MAGENTA), 230 m per il frammento di 10 metri (VERDE) e 242 metri per il frammento da 5 metri (ARANCIONE)

GRV SOLAR CAMPOBASSO 4 S.r.l. 	Relazione sullo studio della gittata degli elementi rotanti	Cod. AS269-SIA11-R	
		Data Settembre 2022	Rev. 00

Riportando uno studio della BP POWER nel “Blade throw calculation under normal operating” “esperienze basate su dati reali (su una casistica di 1578 casi) fino all’agosto del 2006 hanno dimostrato che, nel caso di distacco della pala o parti di essa, l’unico moto che si è registrato è stato un moto di completa rotazione e che le distanze percorse lungo il moto sono risultate sempre inferiori alle lunghezze riportate nella relazione. Il distacco delle parti, in genere piccole, dovuto a guasti causati da eventi eccezionali (quali la straordinaria energia prodotta da un fulmine) ha portato nel peggiore dei casi, a ritrovare le parti stesse a distanze non superiori ai 40-50 metri dalla base della torre”.

Il calcolo della gittata ha considerato la massima distanza in qualunque direzione del vento. Se si considera che la direzione del vento, non è sempre quella prevalente, che la frequenza di velocità non è sempre superiore a 8,5 m/s (quella che porterebbe l’aerogeneratore alla massima la rotazione per la quale è stata calcolata la gittata) nella direzione prevalente del vento e che i sistemi di monitoraggio e sicurezza oggi installati sulle turbine eoliche prevedono l’arresto della macchina alla minima lesione delle blades, si ritiene, che seppur il calcolo della massima gittata è risultato interferire con la Strada di Bonifica N.11, la probabilità che ciò accada è infinitesimale, così come descritto nel capitolo 5 della presente relazione.