

COMMITTENTE



GRV WIND SARDEGNA 6 S.R.L.  
Via Durini, 9 Tel. +39.02.50043159  
20122 Milano PEC: grwindsardegna6@legalmail.it



PROGETTISTI



INSE S.r.l.  
Viale Michelangelo,71 Tel. 081.579.7998  
80129 Napoli Mail: tecnico@insestl.it

Amm. Francesco Di Maso  
Ing. Nicola Galdiero  
Ing. Pasquale Esposito

Collaboratori:  
Geol. S.Trastu  
Dott. F. Mascia  
Dott. M. Medda  
Ing. V. Triunfo  
Arch. C. Gaudiero  
Arch. C. Prisco  
Ing. F. Quarto



REGIONE SARDEGNA



PROVINCIA SASSARI



ITTIRI

PROGETTO

**PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO "LUXI" COMPOSTO DA 5 AEROGENERATORI DA 7.2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 36 MW SITO NEL COMUNE DI ITTIRI (SS), CON OPERE DI CONNESSIONE NEL COMUNE DI ITTIRI (SS)**

ELABORATO

Titolo:

**RELAZIONE SULLO STUDIO DELLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI**

Tav. / Doc:

SI 12

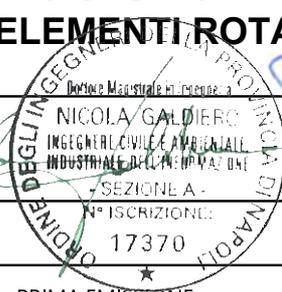
Codice elaborato:

**AS266-SI12-R**

Scala / Formato:

1:- / A4

01	APRILE 2023	PRIMA EMISSIONE	INSE Srl	INSE Srl	GRV WIND SARDEGNA 6 Srl
REV.	DATA	DESCRIZIONE	ELABORAZIONE	VERIFICA	APPROVAZIONE



## Sommario

1	PREMESSA.....	2
1.1	DESCRIZIONE E LOCALIZZAZIONE DELL'IMPIANTO.....	2
2	STUDIO DEL MOTO DEL PROIETTILE: DISTACCO DELL'INTERA PALA.....	4
2.1	IPOSTESI DI CALCOLO .....	5
2.2	EQUAZIONI DELLA CINEMATICA .....	6
2.3	VELOCITA' PERIFERICA.....	8
2.4	GITTATA PALA INTERA .....	9
2.5	GITTATA FRAMMENTI.....	10
2.6	ANALISI DEI RICETTORI .....	12
3	CONCLUSIONI .....	14

## 1 PREMESSA

La società GRV WIND SARDEGNA 6 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 Ittiri in provincia di Sassari con opere di connessione nel comune di Ittiri.

L'ipotesi progettuale prevede l'installazione di n.5 aerogeneratori della potenza nominale di 7,2 MW per una potenza complessiva di impianto pari a 36 MW. Gli aerogeneratori saranno collegati tra loro attraverso cavidotto interrato in AT a 36 kV che collegheranno il parco eolico alla stazione di trasformazione di Terna 36/380 kV, localizzata nel Comune di Ittiri (SS).

Il progetto è assoggettato a Valutazione di Impatto Ambientale di competenza Ministeriale, poiché la potenza totale dell'impianto è maggiore di 30 MW.

L'obiettivo della presente relazione è la determinazione della gittata massima della pala e di alcuni suoi frammenti, al fine di analizzare impatti su possibili recettori effettuando un'analisi cautelativa che consenta di operare a vantaggio di sicurezza.

### 1.1 DESCRIZIONE E LOCALIZZAZIONE DELL'IMPIANTO

L'ambito territoriale considerato si trova nella porzione Nord-Ovest della Regione Sardegna. Il comune interessato dal progetto, sia per quanto concerne l'impianto eolico sia per quanto concerne la connessione alla RTN è il comune di Ittiri (SS), in provincia di Sassari. In particolare, l'impianto si localizza nel comune di Ittiri, quasi al confine con il comune di Florinas (SS).

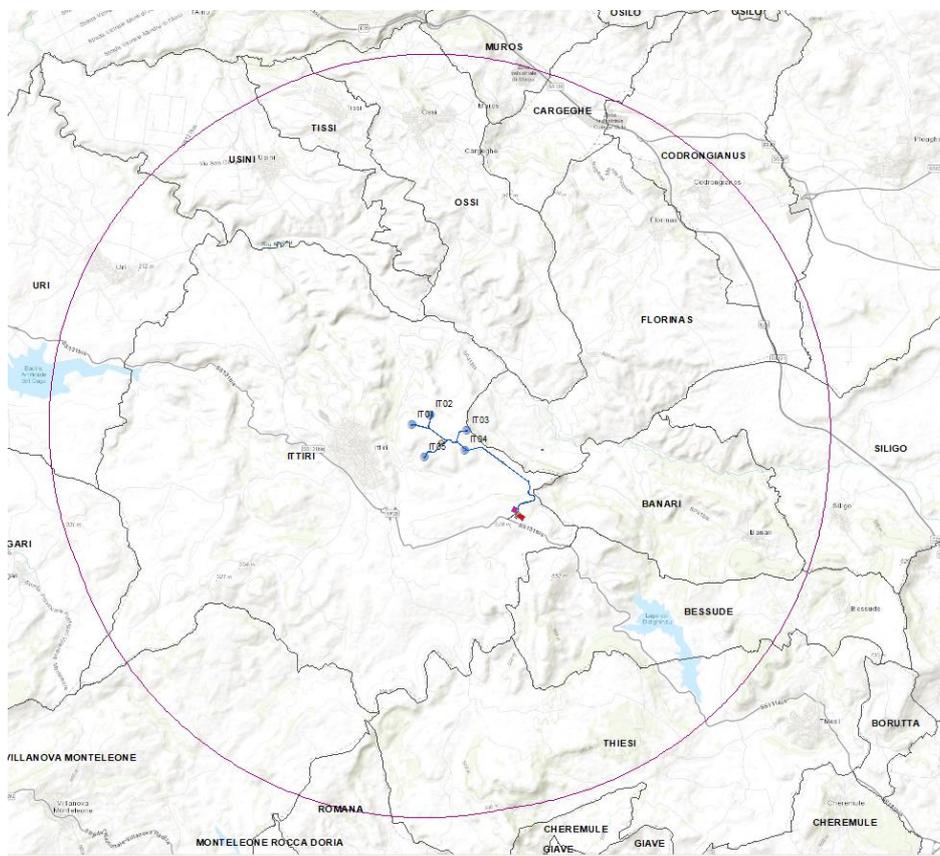
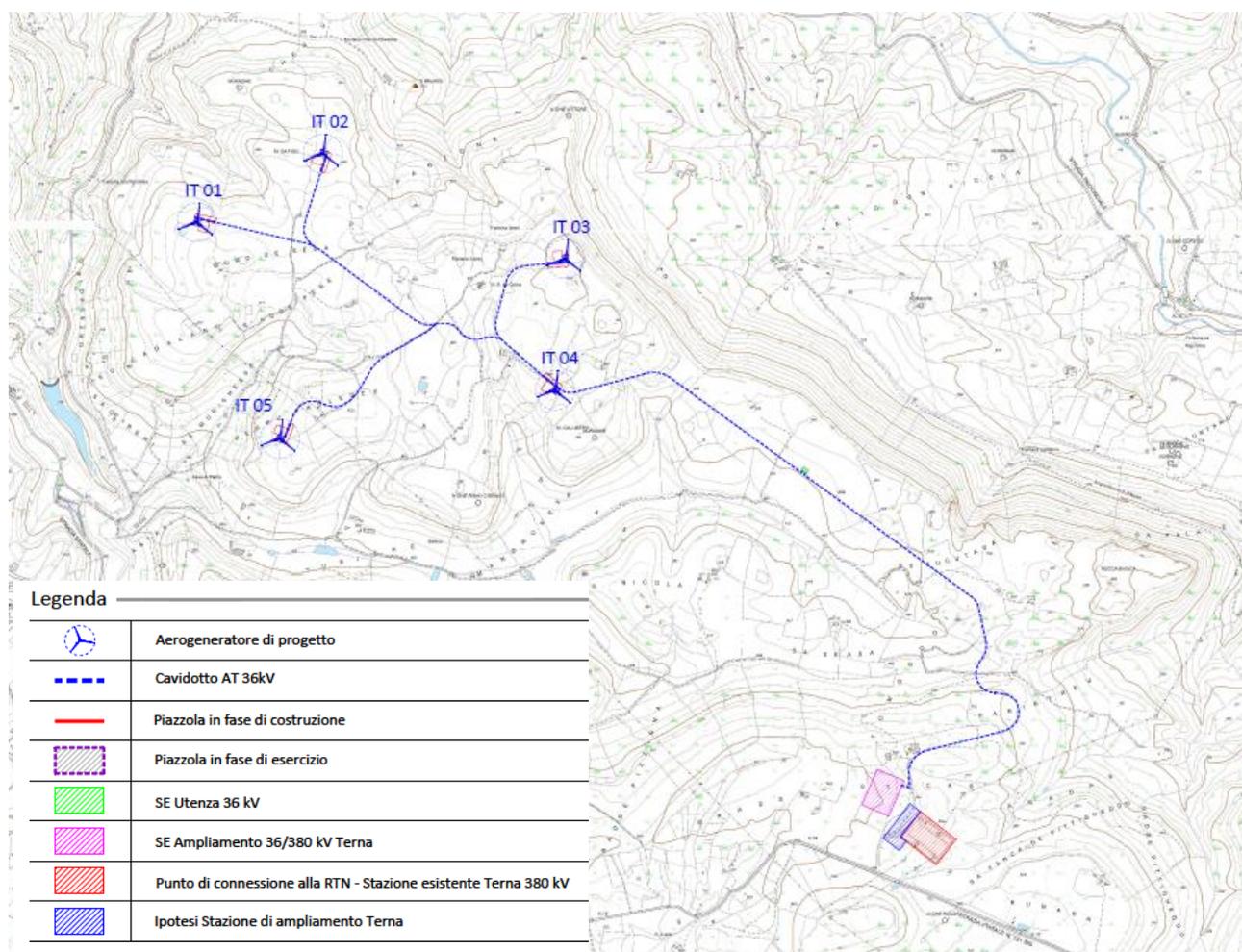


Figura 1: inquadramento degli aerogeneratori su cartografia morfologica e relativa area contermina

L'area vasta, che è individuata su cartografia come l'involuppo delle distanze dagli aerogeneratori di ampiezza pari a 50 volte l'altezza massima degli aerogeneratori, è ampia 10 km e comprende invece altri Comuni, riportati in *figura 1*.

Il sito oggetto di intervento ricade nel Foglio IGM Serie 193 IV-NE (Florinas) scala 1:25.000 e si sviluppa tra quote comprese da 474 a 505 m s.l.m. Ittiri è collocata su un altipiano a 450 m s.l.m. mare ed il territorio è formato da altipiani con andamento collinare e attraversato da vallate destinate alla coltivazione. Nella figura seguente, sono rappresentate su CTR le opere di connessione, la viabilità del parco eolico, gli aerogeneratori e le piazzole:



*Figura 2: inquadramento del parco eolico su CTR (scala adattata al foglio)*

In particolare, gli aerogeneratori sono localizzati alle seguenti coordinate:

<b>GRV WIND SARDEGNA 6</b> Srl 	<b>RELAZIONE SULLO STUDIO DELLA          GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI</b>	Cod. AS266-SI12-R	
		Data Aprile 2023	Rev. 01

ID WTG	Coordinate WGS 84 UTM32		Quote e misure				
	Long. EST (m)	Long. NORD (m)	Altitudine (m s.l.m.)	Modello WTG	Altezza mozzo (m)	Altezza TIP (m)	Altezza TIP (m s.l.m.)
IT01	465096.472	4494370.777	476	VESTAS V162-7.2 MW	119	200	676
IT02	465613.454	4494654.666	460	VESTAS V162-7.2 MW	119	200	660
IT03	466608.000	4494220.000	505	VESTAS V162-7.2 MW	119	200	705
IT04	466566.000	4493676.000	490	VESTAS V162-7.2 MW	119	200	690
IT05	465436.239	4493476.720	474	VESTAS V162-7.2 MW	119	200	674

Tabella 1: Coordinate degli aerogeneratori in sistema UTM 33-WGS 84-Fuso33

L'aerogeneratore scelto in fase progettuale è di produzione Vestas V162 da 7.2 MW, caratterizzata da:

- Rotore di 162 m di diametro;
- Altezza al mozzo di 119 m;
- Altezza totale di 200 m.

Le analisi urbanistiche, ambientali, acustiche e territoriali (effetto stroboscopico, gittata degli elementi rotanti, fotoinserimenti) sono state effettuate considerando la tipologia di aerogeneratore in *tabella 1*, ma in fase esecutiva potranno essere scelte macchine diverse, della stessa tipologia e con dati tecnici comparabili o migliorativi per gli impatti generati dagli aerogeneratori.

L'energia elettrica prodotta verrà convogliata prima nella cabina di smistamento utente poi nella stazione elettrica di trasformazione AT/AT mediante cavi interrati. Il tracciato dei cavidotti interrati è stato individuato al fine di assicurare il passaggio su strada. La configurazione delle opere connesse all'impianto è consultabile sulle cartografie dedicate allegate al progetto.

## 2 STUDIO DEL MOTO DEL PROIETTILE: DISTACCO DELL'INTERA PALA

La rottura accidentale di un elemento rotante (la pala o un frammento della stessa) di un aerogeneratore ad asse orizzontale può essere considerato un evento raro, in considerazione della tecnologia costruttiva ed ai materiali impiegati per la realizzazione delle pale stesse.

Tuttavia, al fine della sicurezza, la stima della gittata massima di un elemento rotante assume un'importanza rilevante per la progettazione e l'esercizio di un impianto eolico. 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 sino a quasi ad annullare 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 (seppure gravemente danneggiato), 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.

Tutte le pale oggi in commercio sono, inoltre, protette dalla fulminazione diretta in accordo alla norma IEC 61400 – 24 – livello I. Considerate le caratteristiche meccaniche e costruttive della pala, si può pertanto ritenere che ha senso effettuare esclusivamente un calcolo di gittata della pala intera in quanto esiste un punto di discontinuità, l'attacco bullonato che unisce la pala al mozzo, ed esiste un'ipotesi, seppur remota, sulla possibilità di cedimento di tale attacco.

<b>GRV WIND SARDEGNA 6</b> <b>Srl</b> 	<b>RELAZIONE SULLO STUDIO DELLA  GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI</b>	Cod. AS266-SI12-R	
		Data Aprile 2023	Rev. 01

Tuttavia, per operare in condizioni di maggiore sicurezza, saranno considerati anche le rotture di alcuni frammenti della pala.

I modelli teorici che meglio possono caratterizzare il moto nello spazio dell'intera pala possono essere ricondotti ai casi seguenti:

- Caso 1 Moto del proiettile con minore resistenza aerodinamica. Calcolo della gittata massima, in assenza di moto rotazionale intorno ad un asse qualsiasi, con ala complanare al rotore;
- Caso 2 Moto del proiettile con maggiore resistenza aerodinamica. Calcolo della gittata massima, sempre in assenza di moto rotazionale, intorno ad un asse qualsiasi, con traiettoria complanare al rotore ed ala ortogonale rispetto al piano del rotore;
- Caso 3 Calcolo della gittata massima in presenza di moti di rotazione intorno a ciascuno dei tre assi principali del frammento stesso. In caso di rottura, infatti, per il principio di conservazione del momento angolare, il generico spezzone di pala tende a ruotare intorno all'asse ortogonale al proprio piano e, a causa delle diverse pressioni cinetiche esercitate dal vento, tende anche a ruotare intorno a ciascuno dei due assi principali appartenenti al proprio piano.

Le condizioni prese in considerazione nel terzo caso, permettono senza dubbio un calcolo più preciso e maggiormente corrispondente al reale moto di una pala staccatasi dal rotore per cause accidentali e forniscono, sperimentalmente, un valore di gittata di circa il 20% in meno di quella fornita dal primo caso. Come già accennato precedentemente, la risoluzione del terzo caso è però più complessa e richiede la conoscenza di alcune caratteristiche degli aerogeneratori, non sempre fornite dai produttori, poiché oggetto di brevetto. Pertanto, si è deciso di utilizzare il primo caso, di facile soluzione e che fornisce un risultato maggiorato di circa il 20%, garantendo così un ulteriore margine di sicurezza.

Quanto appena detto è stato confermato anche dalla casa produttrice di aerogeneratori Vestas attraverso il Technical Report - Rev.8 - 23/12/2011 dal nome "*Calcolo della traiettoria di una pala eolica in condizioni nominali di funzionamento*". Nello studio citato, la Vestas ha infatti determinato la distanza che la pala di un aerogeneratore raggiunge, in caso di distacco dal mozzo, mentre la pala è in rotazione per otto modelli di aerogeneratori dimostrando che il primo caso (moto ideale irrotazionale) restituisce dei valori nettamente superiori al terzo caso (moto reale rotazionale complesso).

## 2.1 IPOTESI DI CALCOLO

Una volta definito il modello di calcolo, è possibile delineare le ipotesi che stanno alla base del calcolo che in seguito sarà presentato.

Le condizioni al contorno considerate per il calcolo della gittata massima per distacco dell'intera pala sono le più gravose possibili in modo da giungere a risultati sicuramente cautelativi.

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

- Resistenza fluidodinamica dell'aria trascurabile;
- Azione degli agenti atmosferici assente;
- Traiettoria della pala assimilabile a quella di un punto materiale coincidente col suo centro di massa
- Quota della torre coincidente con la quota del punto di caduta (la differenza tra la quota di lancio e quella di impatto al suolo si ripercuote sul tempo di caduta al suolo e sulla gittata);
- Altezza del mozzo 119 m;
- Diametro del rotore 162 m;

<b>GRV WIND SARDEGNA 6</b> <b>Srl</b> 	<b>RELAZIONE SULLO STUDIO DELLA  GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI</b>	Cod. AS266-SI12-R	
		Data Aprile 2023	Rev. 01

- Lunghezza della pala 79,35 m (come riportato dalle schede tecniche della casa produttrice Vestas);
- Distanza del centro di massa dal mozzo 26,45 m. Tale distanza è stata valutata con buona approssimazione come 1/3 della lunghezza della pala;
- Velocità di rotazione 12,1 rpm.

Con lo studio del moto di un proiettile si intende fornire un modello generale per studiare i fenomeni dei corpi che vengono lanciati con un certo angolo di alzo, velocità costante e moto parabolico.

Il moto di un proiettile è la composizione di due moti: uno rettilineo uniforme in direzione orizzontale, e uno uniformemente accelerato (con accelerazione di gravità) in direzione verticale. Ne segue che la traiettoria seguita da un corpo, se è denso e poco esteso, o altrimenti dal suo centro di massa, ha un andamento parabolico.

La gittata è la distanza orizzontale tra il punto in cui viene lanciato un proiettile (con vettore velocità iniziale inclinato verso l'alto rispetto all'orizzontale) e il punto in cui esso ritorna al suolo.

Per studiare la gittata di un proiettile che si muove con moto parabolico (cioè sotto l'azione della sola forza peso e trascurando l'attrito con l'aria) si utilizzerà un sistema di riferimento cartesiano  $XY$  in cui l'origine  $O$  degli assi del sistema, coincida con il punto da cui il proiettile è stato lanciato.

Inoltre, si precisa che poiché il distacco della pala è un evento più probabile del distacco di un frammento di essa, essendo il punto di attacco al mozzo un potenziale punto critico, si procederà a una trattazione semplificata per il distacco dell'intera pala per operare a vantaggio di sicurezza mentre per il distacco dei frammenti della pala si procederà considerando la resistenza dell'aria.

## 2.2 EQUAZIONI DELLA CINEMATICA

Lo schema a cui si fa riferimento per la scrittura delle equazioni della cinematica è il seguente:

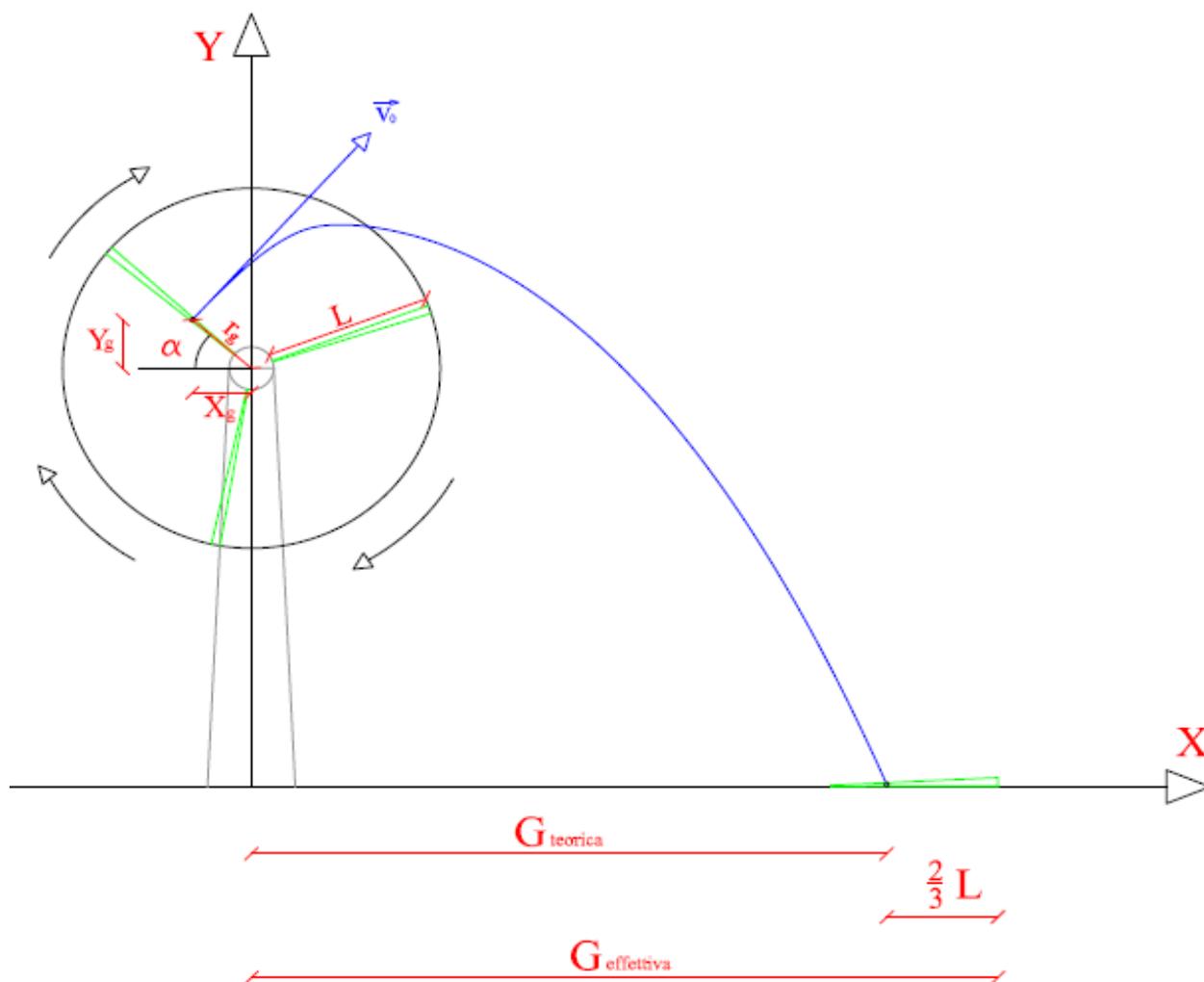


Figura 3: schema della gittata con un angolo compreso tra  $0^\circ$  e  $90^\circ$

Considerando l'asse  $y$  orientata verso l'alto, le componenti del vettore accelerazione sono:

$$a_x = 0 \quad a_y = -g = -9,81 \text{ m/s}^2$$

(1)

Indicando con  $v_0$  la velocità iniziale e  $\alpha$  l'inclinazione rispetto all'orizzontale, le componenti del vettore velocità sono:

$$v_x = v_0 \cos \alpha \quad v_y = v_0 \sin \alpha$$

(2)

Poiché il moto lungo  $x$  è rettilineo uniforme, valgono le seguenti leggi orarie:

$$v_x = v_{x,0}$$

(3)

$$x = x_0 + v_{x,0}t$$

(4)

Poiché il moto lungo  $y$  è uniformemente accelerato, valgono le seguenti leggi orarie:

$$v_y = gt + v_{y,0}$$

(5)

$$y = \frac{1}{2}gt^2 + v_{y,0}t + y_0$$

(6)

L'istante di tempo per il quale la pala tocca terra si ottiene imponendo nella (6)  $y$  pari a 0:

$$\frac{1}{2}gt^2 + v_{y,0}t + y_0 = 0$$

(7)

L'altezza di lancio è data dalla somma tra l'altezza del mozzo e la distanza verticale del baricentro dal mozzo, come riportato nella figura precedente:

$$y_0 = H_g = H_{torre} + Y_g$$

(8)

$Y_g$  è nota grazie alla distanza del centro di massa dal mozzo  $r_g$ :

$$Y_g = r_g \cos \alpha$$

(9)

Si può risolvere la (7) rispetto a  $t$ :

$$t = \frac{-v_{y,0} \pm \sqrt{v_{y,0}^2 - 4\left(\frac{1}{2}gy_0\right)}}{g}$$

(10)

La (10) deve essere sostituita nella (4) per determinare la gittata  $x_G$ .

### 2.3 VELOCITA' PERIFERICA

La velocità angolare media  $\omega$  è l'angolo descritto dal corpo in movimento nell'unità di tempo.

Si indica con  $n$  il numero di giri al minuto primo compiuti dal corpo in movimento circolare. Tenuto conto che ad ogni giro l'angolo descritto dal corpo in movimento è pari a  $2\pi$  rad, dopo  $n$  giri il corpo descrive in un minuto un angolo pari a  $2\pi n$  rad. Quindi, la velocità angolare è:

$$\omega = \frac{2\pi n \text{ rad}}{60 \text{ s}}$$

(11)

Nel moto circolare uniforme, la velocità periferica è direttamente proporzionale al raggio. Ad ogni giro il baricentro  $G$  percorre la circonferenza  $2\pi r$ ; dopo  $n$  giri al minuto lo spazio percorso sarà  $2\pi r n$  m/min.

Quindi, la velocità periferica del baricentro è:

$$v_0 = \frac{2\pi r n}{60} = \frac{2\pi \cdot 26,45 \cdot 12,1}{60} \frac{m}{s} = 33,52 \frac{m}{s}$$

(12)

Se si volesse considerare l'effetto dell'attrito dell'aria, il valore della velocità del baricentro risulterebbe, secondo studi empirici, ridotta del 20% rispetto all'assenza di resistenze, divenendo pari a 26,81 m/s.

## 2.4 GITTATA PALA INTERA

L'equazione della gittata, in base a considerazioni precedentemente fatte, è:

$$x_G = \frac{v_{x,0} \left( v_{y,0} + \sqrt{v_{y,0}^2 + 2gH_g} \right)}{g} - X_g + \frac{2}{3}L$$

(13)

Al valore di gittata è stata sottratta la distanza  $X_g$  del baricentro rispetto all'asse della torre e aggiunta la distanza del vertice della pala dal baricentro. La distanza  $X_g$  è data da:

$$X_g = r_g \sin \alpha$$

(14)

L'equazione per il calcolo della gittata effettiva (1.13) è stata risolta per diversi valori di  $\alpha$ .

Si riportano i risultati ottenuti nella tabella seguente:

Angolo $\alpha$	n	L	H <sub>torre</sub>	v <sub>0</sub>	v <sub>x0</sub>	v <sub>y0</sub>	H <sub>g</sub>	D	r <sub>g</sub>	g	Gittata teorica	X <sub>g</sub>	L <sub>g</sub>	Gittata Effettiva
47	12.10	79.35	119.00	35.61	26.04	24.28	139.55	162	28.10	9.81	198.42	19.16	52.90	251.32
48	12.10	79.35	119.00	35.61	26.46	23.82	139.88	162	28.10	9.81	200.69	18.80	52.90	253.59
49	12.10	79.35	119.00	35.61	26.87	23.36	140.21	162	28.10	9.81	202.83	18.44	52.90	255.73
50	12.10	79.35	119.00	35.61	27.28	22.89	140.53	162	28.10	9.81	204.83	18.06	52.90	257.73
51	12.10	79.35	119.00	35.61	27.67	22.41	140.84	162	28.10	9.81	206.70	17.68	52.90	259.60
52	12.10	79.35	119.00	35.61	28.06	21.92	141.14	162	28.10	9.81	208.44	17.30	52.90	261.34
53	12.10	79.35	119.00	35.61	28.44	21.43	141.44	162	28.10	9.81	210.05	16.91	52.90	262.95
54	12.10	79.35	119.00	35.61	28.81	20.93	141.73	162	28.10	9.81	211.53	16.52	52.90	264.43
55	12.10	79.35	119.00	35.61	29.17	20.42	142.02	162	28.10	9.81	212.88	16.12	52.90	265.78
56	12.10	79.35	119.00	35.61	29.52	19.91	142.30	162	28.10	9.81	214.10	15.71	52.90	267.00
57	12.10	79.35	119.00	35.61	29.86	19.39	142.57	162	28.10	9.81	215.20	15.30	52.90	268.10
58	12.10	79.35	119.00	35.61	30.20	18.87	142.83	162	28.10	9.81	216.17	14.89	52.90	269.07
59	12.10	79.35	119.00	35.61	30.52	18.34	143.09	162	28.10	9.81	217.02	14.47	52.90	269.92
60	12.10	79.35	119.00	35.61	30.84	17.80	143.34	162	28.10	9.81	217.74	14.05	52.90	270.64
61	12.10	79.35	119.00	35.61	31.14	17.26	143.58	162	28.10	9.81	218.35	13.62	52.90	271.25
62	12.10	79.35	119.00	35.61	31.44	16.72	143.81	162	28.10	9.81	218.84	13.19	52.90	271.74
63	12.10	79.35	119.00	35.61	31.72	16.16	144.04	162	28.10	9.81	219.21	12.76	52.90	272.11
64	12.10	79.35	119.00	35.61	32.00	15.61	144.26	162	28.10	9.81	219.47	12.32	52.90	272.37
65	12.10	79.35	119.00	35.61	32.27	15.05	144.47	162	28.10	9.81	219.61	11.88	52.90	272.51
66	12.10	79.35	119.00	35.61	32.53	14.48	144.67	162	28.10	9.81	219.65	11.43	52.90	272.55
67	12.10	79.35	119.00	35.61	32.78	13.91	144.87	162	28.10	9.81	219.59	10.98	52.90	272.49
68	12.10	79.35	119.00	35.61	33.01	13.34	145.05	162	28.10	9.81	219.41	10.53	52.90	272.31
69	12.10	79.35	119.00	35.61	33.24	12.76	145.23	162	28.10	9.81	219.14	10.07	52.90	272.04
70	12.10	79.35	119.00	35.61	33.46	12.18	145.41	162	28.10	9.81	218.77	9.61	52.90	271.67
71	12.10	79.35	119.00	35.61	33.67	11.59	145.57	162	28.10	9.81	218.30	9.15	52.90	271.20
72	12.10	79.35	119.00	35.61	33.86	11.00	145.72	162	28.10	9.81	217.74	8.68	52.90	270.64
73	12.10	79.35	119.00	35.61	34.05	10.41	145.87	162	28.10	9.81	217.09	8.22	52.90	269.99
74	12.10	79.35	119.00	35.61	34.23	9.81	146.01	162	28.10	9.81	216.35	7.75	52.90	269.25
75	12.10	79.35	119.00	35.61	34.39	9.22	146.14	162	28.10	9.81	215.52	7.27	52.90	268.42

Tabella 2: valori della gittata al variare dell'angolo della pala rispetto all'orizzontale.

Dall'analisi della gittata si ottiene che la massima distanza percorsa dal baricentro della pala è pari a 272,55 m e corrisponde a un angolo della pala rispetto all'orizzontale pari a 66°.

Si ricorda che il valore ottenuto è sufficientemente cautelativo nei confronti dei ricettori in virtù del modello teorico adottato.

## 2.5 GITTATA FRAMMENTI

In questo paragrafo è presentata la procedura di calcolo adottata per la valutazione della gittata dei frammenti di 10 m, 5 m, 2 m e 1 m mediante una procedura alle differenze finite. In funzione della lunghezza del frammento, si valuta la distanza del baricentro del frammento dal mozzo, la cui posizione può essere assunta a metà lunghezza dei frammenti, essendo elementi tozzi rispetto all'intera pala:

$$r_g = \frac{1}{2}L + (L_p - L) = L_p - \frac{1}{2}L$$

(15)

Grazie alla (15) possono essere valutate le componenti della velocità e le posizioni del baricentro all'istante 0 come fatto analogamente per l'intera pala.

Per il calcolo della gittata dei frammenti, si adotta il seguente sistema di riferimento:

- Asse x coincidente con la retta orizzontale passante per la base della torre e ortogonale all'asse di rotazione delle pale;

- Asse y coincidente con la retta orizzontale passante per la base della torre e parallelo all'asse di rotazione delle pale;
- Asse z coincidente con l'asse della torre.

La resistenza aerodinamica dovuta all'aria può essere scomposta secondo le sue componenti principali:

$$F_{xz} = -\frac{1}{2}C_D\rho S v_x^2 \quad F_y = -\frac{1}{2}C_D\rho S(w - v_y)^2 \quad (16)$$

Avendo indicato con:

- $C_D$  il coefficiente di resistenza aerodinamica assunto pari a 1,15 per la forma tozza del frammento;
- $\rho$  la densità dell'aria, assunta pari a 1,225 kg/m<sup>3</sup>;
- $S$  la superficie del frammento di pala ortogonale alla direzione del moto;
- $w$  è la velocità del vento, assunta pari a quella di cut off di 25 m/s.

Mediante l'applicazione del secondo principio della dinamica, è possibile scrivere tre equazioni per il calcolo delle componenti dell'accelerazione:

$$m \cdot a_x(t) = -F_{xz}(t) \cdot \cos \beta(t) \quad (18)$$

$$m \cdot a_y(t) = -F_y(t) \quad (19)$$

$$m \cdot a_z(t) = -F_{xz}(t) \cdot \sin \beta(t) - m \cdot g \quad (20)$$

Avendo indicato con:

- $\beta = \arctg \frac{v_z}{v_x}$ ;
- $m$  è la massa del frammento.

Note le componenti dell'accelerazione, possono essere valutate le componenti della velocità:

$$v_x(t + \Delta t) = v_x(t) + a_x(t) \cdot \Delta t \quad (21)$$

$$v_y(t + \Delta t) = v_y(t) + a_y(t) \cdot \Delta t \quad (22)$$

$$v_z(t + \Delta t) = v_z(t) + a_z(t) \cdot \Delta t \quad (23)$$

Infine, possono essere valutate le componenti dello spostamento:

$$x(t + \Delta t) = x(t) + v_x(t) \cdot \Delta t + \frac{1}{2} a_x \cdot \Delta t^2$$

(24)

$$y(t + \Delta t) = y(t) + v_y(t) \cdot \Delta t + \frac{1}{2} a_y \cdot \Delta t^2$$

(25)

$$z(t + \Delta t) = z(t) + v_z(t) \cdot \Delta t + \frac{1}{2} a_z \cdot \Delta t^2$$

(26)

Tali equazioni possono essere integrate adottando un procedimento alle differenze finite con un passo di integrazione sufficientemente piccolo. È stato assunto un passo  $\Delta t$  pari a 0,001 s. La risoluzione delle precedenti equazioni consente di determinare il punto di coordinate  $(x_{max}, y_{max}, 0)$ . La gittata, quindi, nel sistema di riferimento cartesiano a tre assi, è valutabile nel modo seguente:

$$G = \sqrt{x_{max} + y_{max}}$$

(27)

A tale valore va sommata la distanza del vertice del frammento dal suo baricentro e va sottratta la distanza del baricentro dall'asse della torre, in virtù dell'ipotesi di aver considerato un angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale nell'intervallo  $[0^\circ, 90^\circ]$ .

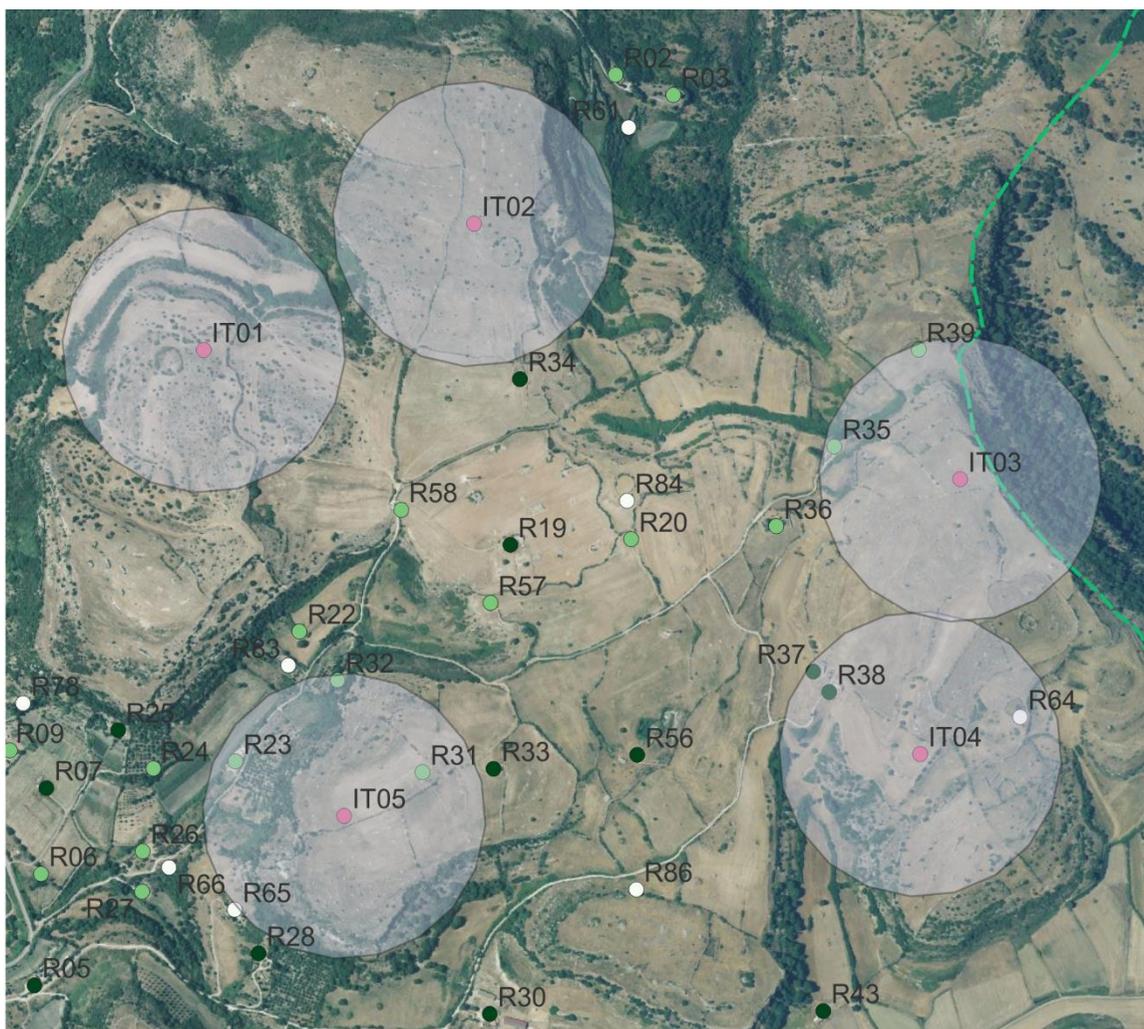
Si riportano di seguito i valori di gittata ottenuti per i frammenti di 10 m, 5 m, 2 m e 1 m:

- Gittata frammento 10 m = 280,39 m;
- Gittata frammento 5 m = 224,61 m;
- Gittata frammento 2 m = 206,24 m;
- Gittata frammento 1 m = 217,71 m.

L'analisi sui ricettori sarà effettuata considerando il valore massimo di gittata ottenuto, ovvero quello riferito al frammento di 10 m.

## 2.6 ANALISI DEI RICETTORI

L'analisi dei ricettori ha permesso di individuare una sola criticità. In particolare, per la gittata pala è stata riscontrata la presenza di ricettori potenzialmente sensibili identificati come R37 e R38, i quali sono classificati come D/10, ovvero come fabbricati per funzioni produttive connesse alle attività agricole:



Gittata di 280,39 m

● Aerogeneratore

▭ Limiti comunali Ittiri

Ricettori

○ Non presente in catasto

● Non sensibile

● Sensibile

Figura 4: analisi sui ricettori, scala 1:15.000

I ricettori R37 e R38 sono da considerare potenzialmente sensibili come da catasto. Tuttavia, lo studio dello stato dei luoghi ha permesso di identificare tali elementi come ruderi in stato di degrado e abbandono, come riportato nell'allegato AS266-SI08-D\_SCHEDE DEI FABBRICATI E RICETTORI NELL'AREA DI STUDIO.



R37



R38

Pertanto, i ricettori R37 e R38 non interferiscono con la realizzazione e l'esercizio del parco eolico.

### 3 CONCLUSIONI

La definizione del moto di una pala di un aerogeneratore 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 (massima velocità di rotazione, massima velocità del vento), il valore della gittata calcolato si può considerare ampiamente conservativo, pertanto da considerarsi come gittata massima.

Le condizioni di abbandono in cui versano i ricettori R37 e R38 non destano alcuna preoccupazione sulla gittata degli elementi rotanti, che di per sé è già un evento molto raro, la cui probabilità di accadimento è il prodotto tra la probabilità di accadimento dell'evento di rottura, di urto tra il frammento e un ricettore, e di condizioni ambientali sfavorevoli. La simultaneità di tali eventi, quindi, è certamente molto poco probabile.