

REGIONE PUGLIA



PROVINCIA DI FOGGIA

Comuni di :

Anzano di Puglia

Monteleone di Puglia

Sant'Agata di Puglia



PROPONENTE

**IVPC**

IVPC S.r.l.

Sede legale : 80121 Napoli (NA) - Vico Santa Maria a Cappella Vecchia 11  
Sede Operativa : 83100 Avellino - Via Circumvallazione 108  
Indirizzo email [ivpc@pec.ivpc.com](mailto:ivpc@pec.ivpc.com)**I.V.P.C. S.r.l.**Vico Santa Maria a Cappella Vecchia, 11  
80121 Napoli

P.IVA: 01895480646



OPERA

**PROGETTO PER IL RIFACIMENTO E POTENZIAMENTO  
DI UN PARCO EOLICO ESISTENTE NEI COMUNI DI ANZANO DI PUGLIA,  
MONTELEONE DI PUGLIA E SANT'AGATA DI PUGLIA**

OGGETTO

TITOLO ELABORATO :

**RELAZIONE DI CALCOLO SULLA GITTATA MASSIMA DEGLI ELEMENTI ROTANTI  
E ANALISI DI IMPATTO SUI RECETTORI**

DATA : Luglio 2023

N°/CODICE ELABORATO :

**R\_03**

SCALA : -

Tipologia : R (relazione)

Formato : A4

Lingua : ITALIANO

I TECNICI

Progettazione generale  
e progettazione elettrica  
Coordinamento progetto**STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA**

MEZZINA dott. ing. Antonio

Via Tiberio Solis n.128 | 71016 San Severo (FG)

Tel. 0882.228072 | Fax 0882.243651

e-mail: [info@studiomezzina.net](mailto:info@studiomezzina.net) | web: [www.studiomezzina.net](http://www.studiomezzina.net)Consulenza  
archeologica**NOSTOI s.r.l.****Dott.ssa Maria Grazia Liseno**

Tel. 0972.081259 | Fax 0972.83694

E-Mail: [mgliseno@nostoisrl.it](mailto:mgliseno@nostoisrl.it)Consulenza idraulica geologica  
e geotecnica**Dott. Nazario Di Lella**

Tel./Fax 0882.991704 | cell. 328 3250902

E-Mail: [geol.dilella@gmail.com](mailto:geol.dilella@gmail.com)Consulenza  
strutturale**Ing. Tommaso Monaco**

Tel. 0885.429850 | Fax 0885.090485

E-Mail: [ing.tommaso@studiotecnicomonaco.it](mailto:ing.tommaso@studiotecnicomonaco.it)Consulenza  
topografica**Geom. Matteo Occhiochiuso**

Tel. 328 5615292

E-Mail: [matteo.occhiochiuso@virgilio.it](mailto:matteo.occhiochiuso@virgilio.it)Consulenza  
acustica**STUDIO FALCONE  
Ingegneria****Ing. Antonio Falcone**

Tel. 0884.534378 | Fax. 0884.534378

E-Mail: [antonio.falcone@studiofalcone.eu](mailto:antonio.falcone@studiofalcone.eu)Consulenza Analisi paesaggistica  
e studio di impatto ambientale**Dott. Agr. Pasquale Fausto Milano**

Tel. 3478880757

E-Mail: [milpaf@gmail.com](mailto:milpaf@gmail.com)

01

Luglio 2023

Revisione progetto a seguito richieste integrazione del MASE

Studio Mezzina

IVPC s.r.l.

00

Settembre 2022

Emissione progetto definitivo

Studio Mezzina

IVPC s.r.l.

N° REVISIONE

DATA

OGGETTO DELLA REVISIONE

ELABORAZIONE

APPROVAZIONE

Proprietà e diritto del presente documento sono riservati - la riproduzione è vietata.



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



**PROPONENTE:**

**IVPC S.r.l.**

Società Unipersonale

**Sede legale :** 80121 Napoli (NA) - Vico Santa Maria a Cappella Vecchia 11

**Sede Operativa :** 83100 Avellino - Via Circumvallazione 108

**PEC:** ivpc@pec.ivpc.com

**C.F. e P.IVA:** 01895480646

**IVPC**



**PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 115,90MW COSTITUITO DA N. 19 AEROGENERATORI TIPO GE 158 DA 6.1MW SITO NEI COMUNI DI MONTELEONE DI PUGLIA, ANZANO DI PUGLIA, SANT'AGATA DI PUGLIA (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**

STATO DELLE REVISIONI DEL DOCUMENTO			
N. Progressivo	Revisione	Data	Oggetto Emissione
1	00	09/09/2022	Prima emissione progetto definitivo
2	01	31/07/2023	Revisione progetto a seguito richieste integrazione del Ministero



**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



## INDICE RELAZIONE

### Sommario

<b>1.</b>	<b>OGGETTO</b> .....	3
<b>2.</b>	<b>PREMESSA</b> .....	4
<b>3.</b>	<b>INQUADRAMENTO DELL'IMPIANTO</b> .....	8
<b>4.</b>	<b>CARATTERISTICHE DELL'AEROGENERATORE</b> .....	11
<b>5.</b>	<b>METODO UTILIZZATO PER IL CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA</b> .....	13
5.1	<b>Ipotesi</b> .....	13
5.2	<b>Modello di calcolo</b> .....	17
<b>6.</b>	<b>RISULTATI DEL CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA PER ROTTURA DELL'INTERA PALA</b> .	21
<b>7.</b>	<b>CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA PER DISTACCO DEI FRAMMENTI DI PALA</b> .....	23
7.1	<b>Rottura di un frammento di pala distante 10 m dalla punta della pala</b> .....	23
7.2	<b>Rottura di un frammento di pala distante 5 m dalla punta della pala</b> .....	24
<b>8.</b>	<b>RIEPILOGO DEI RISULTATI OTTENUTI</b> .....	25
8.1	<b>Distanze dai principali elementi sensibili dell'area</b> .....	26
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONI</b> .....	31

STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA  
 Ing. Mezzina Antonio  
 San Severo



## 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 **IVPC S.r.l.** intende realizzare in territorio dei comuni di Monteleone di Puglia, Anzano di Puglia e Sant’Agata di Puglia tutti in provincia di Foggia.

Questa relazione costituisce la revisione della precedente Rev. 00 del 09/09/2022 emessa nell’ambito dell’iniziale progetto definitivo dell’impianto da sottoporre a VIA al Ministero della Transizione Ecologica e della Sicurezza Energetica (MASE). Il MASE, con propria nota Prot. N. 7504 del 27/06/2023 richiedeva precisazioni e integrazioni al progetto; per ottemperare alle quali si è reso necessario una revisione del layout di progetto con riduzione del numero complessivo di aerogeneratori da 28, previsti nell’iniziale progetto definitivo, a 19 previsti nella revisione progettuale della quale fa parte il presente documento.

Pertanto, l’impianto, nella nuova configurazione, sarà composto da n. 19 aerogeneratori, ciascuno della potenza di 6,1MW, con diametro del rotore di 158m, altezza di mozzo 101m e altezza complessiva (TIP) di 180m; la potenza complessiva del parco eolico è quindi pari a 115,90 MW. Il nuovo layout prevede la seguente dislocazione territoriale degli aerogeneratori: 5 Aerogeneratori situati nel territorio di Monteleone di Puglia; 3 aerogeneratore nel territorio di Anzano di Puglia; 11 aerogeneratori nel territorio di Sant’Agata di Puglia. Gli aerogeneratori da dismettere per il rifacimento di che trattasi, sono attualmente ubicati nei medesimi comuni.

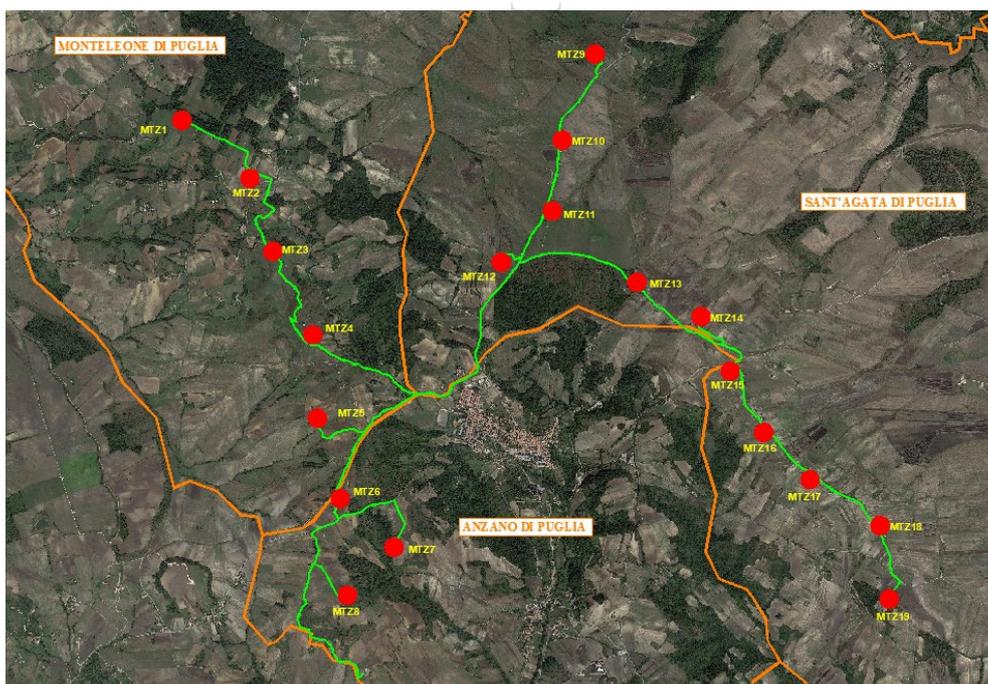


Fig. 1. Inquadramento planimetrico del parco eolico su ortofoto.



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 GENERAL ELECTRIC tipo GE158 con potenza di 6,1 MW, diametro del rotore di 158m, altezza di mozzo di 101m e quindi altezza complessiva al tip di 180m.**

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.

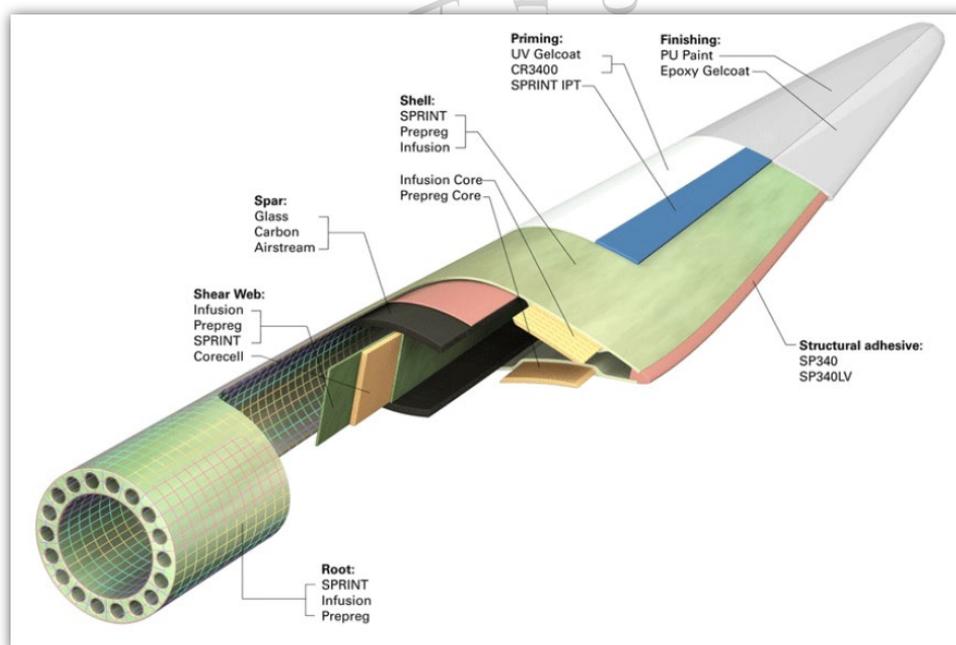
La reale distanza raggiungibile da una pala - ovvero da frammenti di essa - distaccatasi dal rotore di un aerogeneratore, è funzione di un gran numero di variabili, che vanno dall'effettiva velocità istantanea del rotore nel momento del lancio alle condizioni meteo-anemometriche, dalle effettive dimensioni, 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.

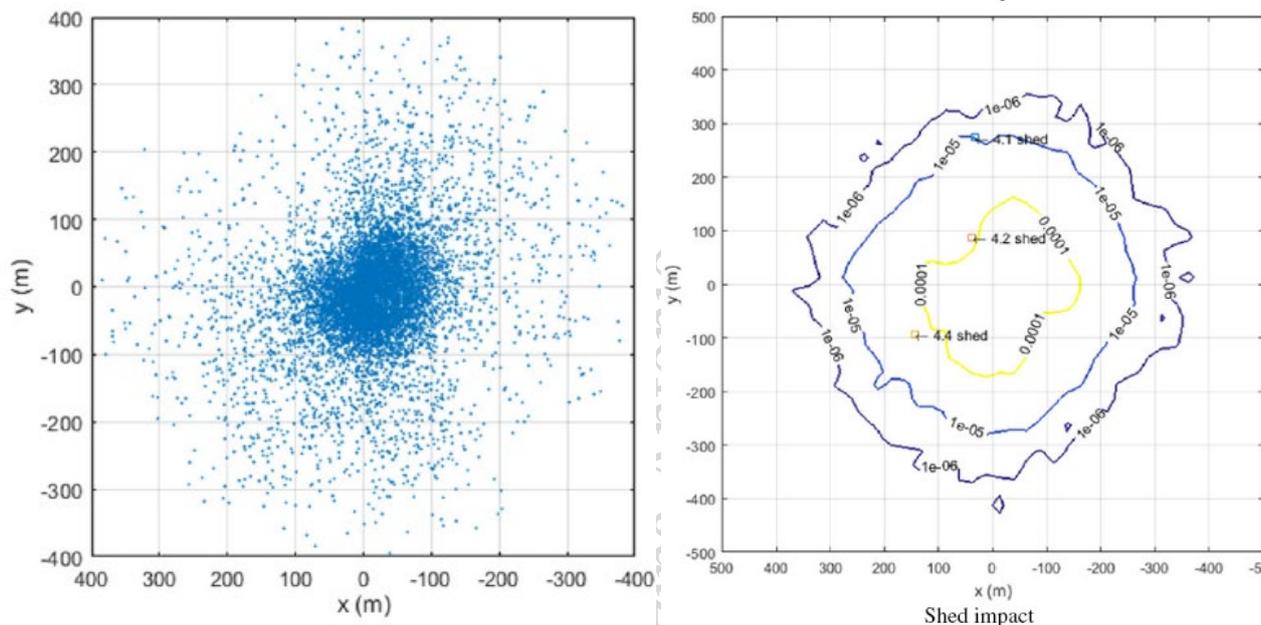


**Fig. 2. Pala in composito di un aerogeneratore**

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>

<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  $5.4 \times 10^{-6}$ .

Ulteriori e più recenti studi, anche accademici, di rilevanza internazionale, confermano questi dati, come qui di seguito brevemente illustrato mediante grafici e tabelle bibliografate:



**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.

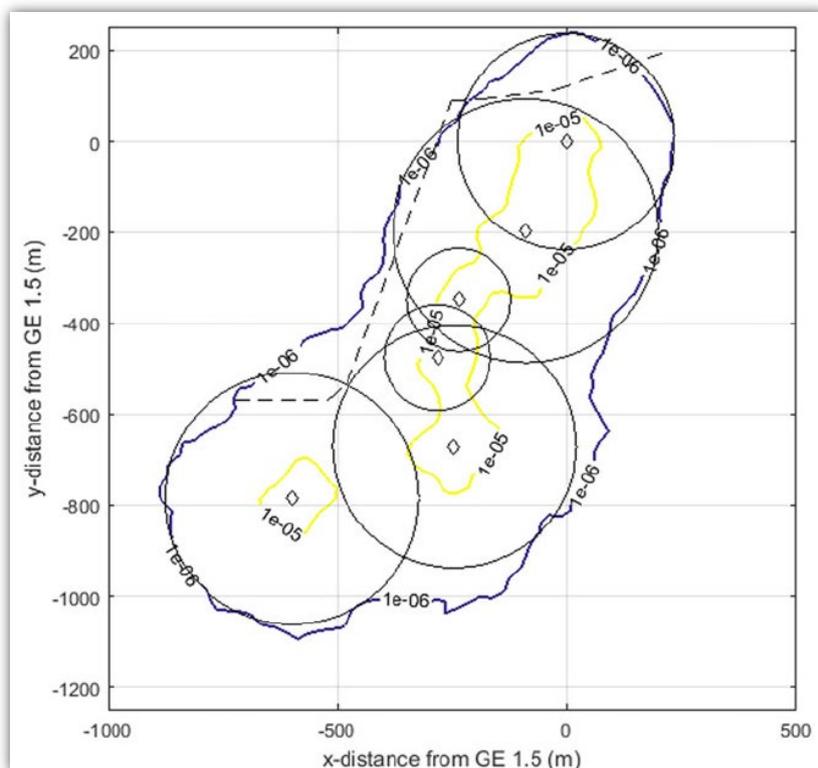


Fig. 4. Involuppo delle probabilità di impatto per un parco costituito da macchine di varia taglia (rotori da 35 a 106m) <sup>4</sup>

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	Improbable
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)

### 3. INQUADRAMENTO DELL'IMPIANTO.

L'impianto eolico sarà composto da n° 19 aerogeneratori, tutti localizzati in provincia di Foggia, tra i comuni di Anzano di Puglia, Monteleone di Puglia, Sant'Agata di Puglia.

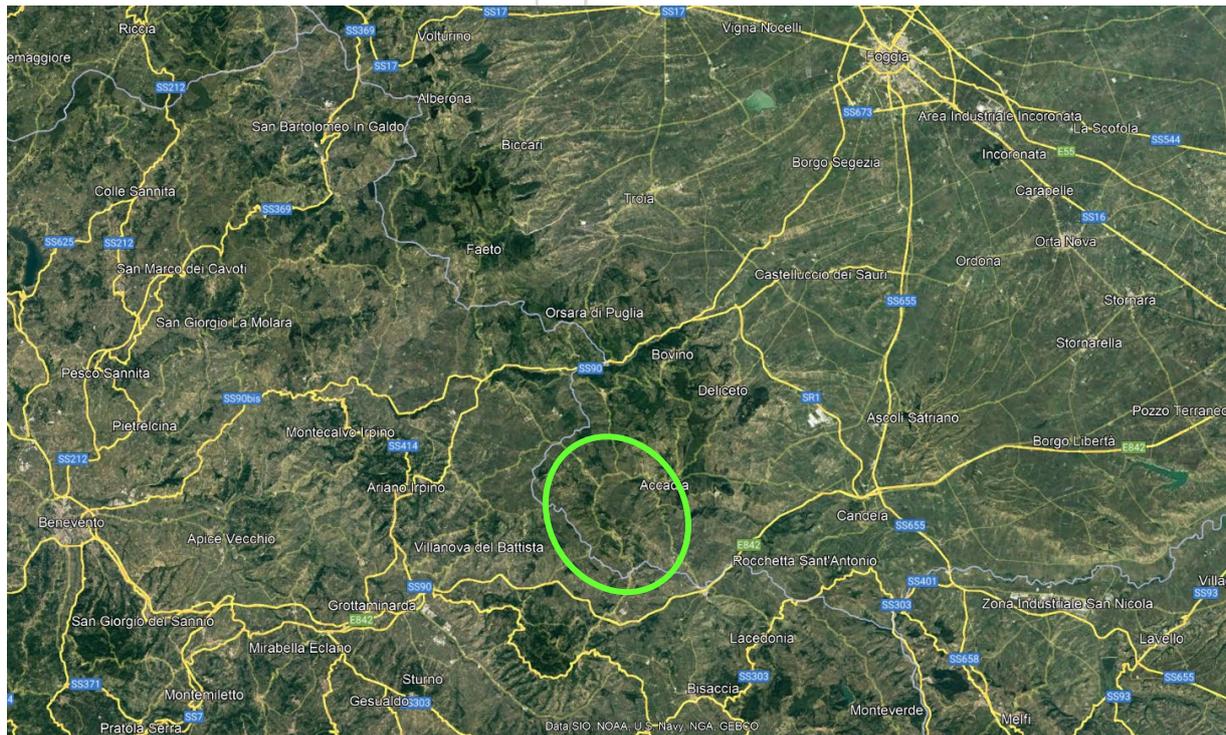


Fig. 5. Inquadramento di ampio raggio su ortofoto dell'area di intervento (punto verde), situata nel cuore dell'Appennino.

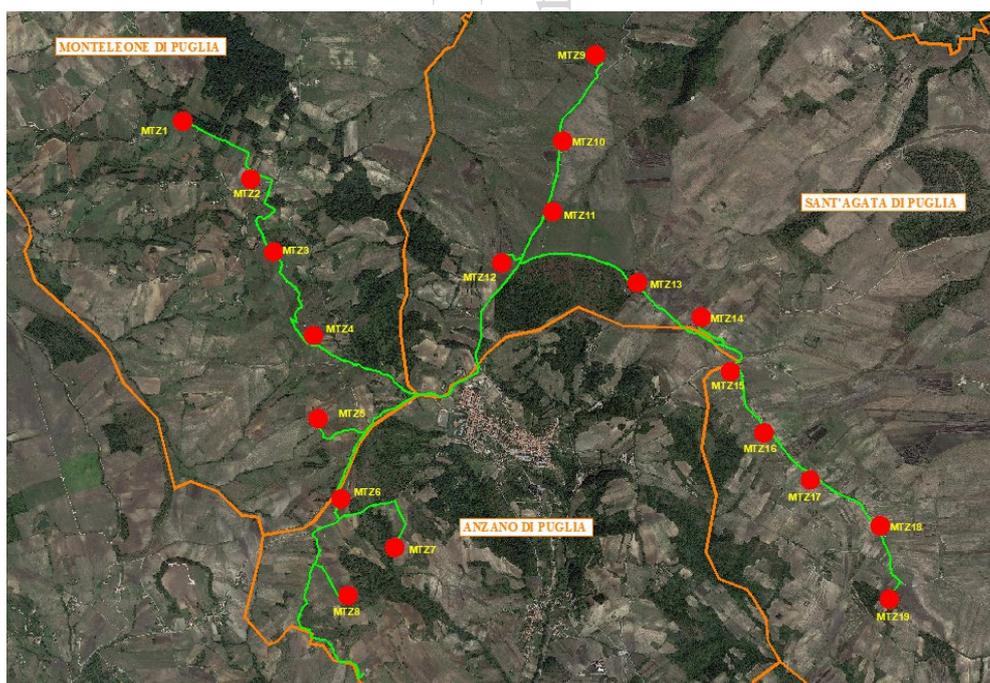
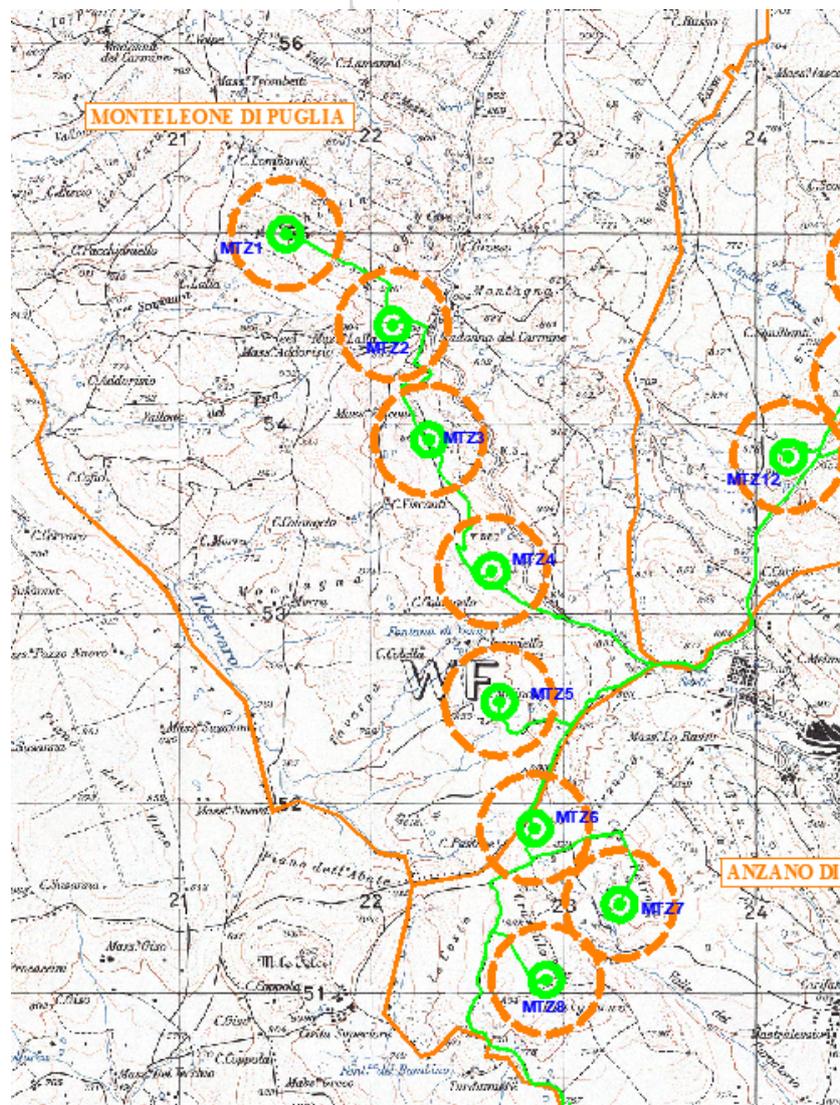


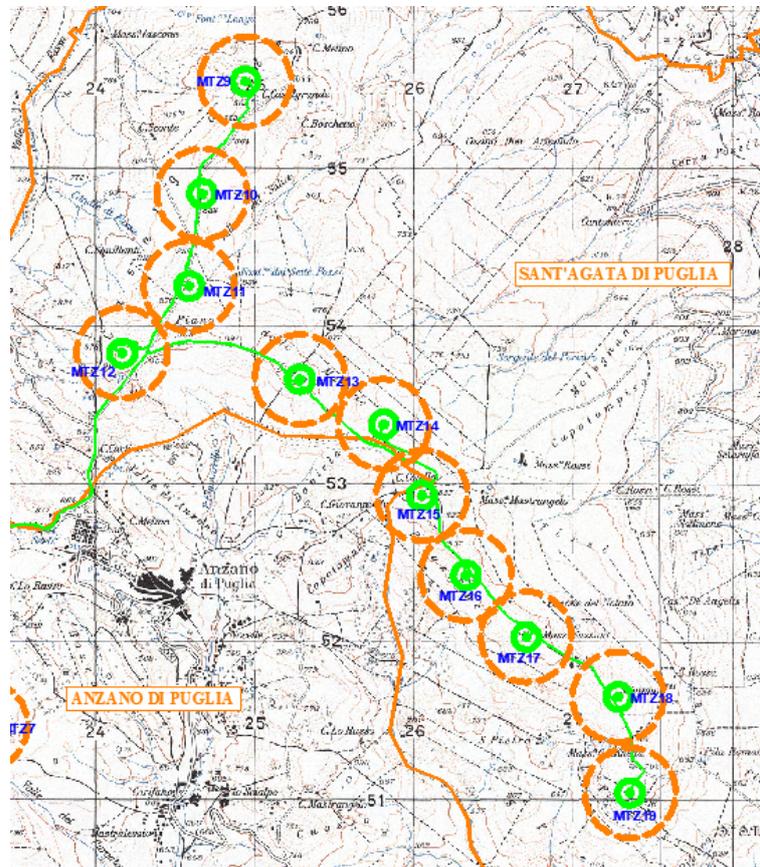
Fig. 6. Inquadramento su ortofoto del parco, situato tra i comuni di Monteleone di Puglia, Anzano di Puglia e Sant'Agata di Puglia; in rosso, gli aerogeneratori; in verde le tratte di elettrodotti MT.

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.

Nelle Figure seguenti 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 (285m, calcolata come verrà ampiamente descritto in appresso); in magenta i ricettori sensibili individuati.



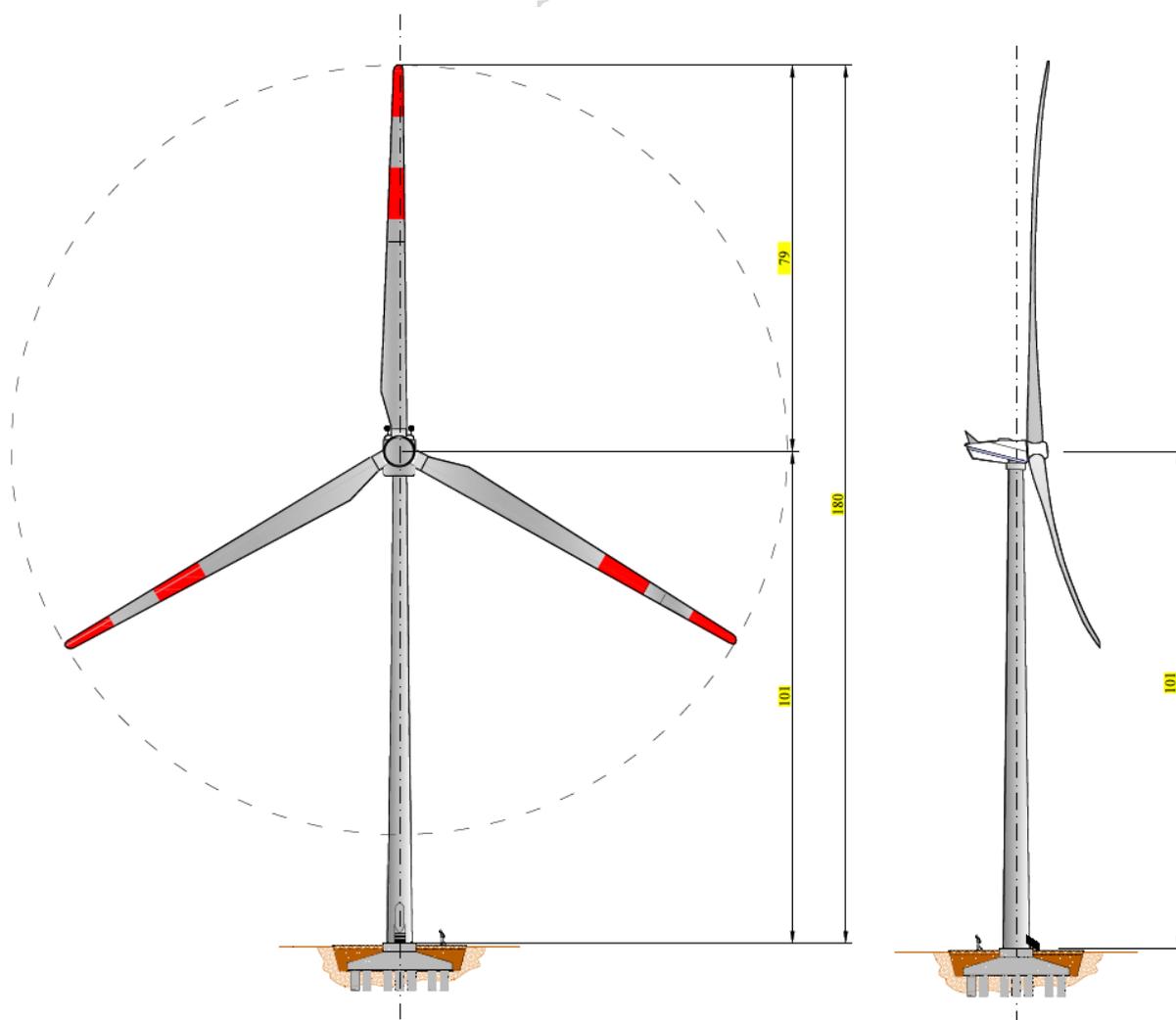
**Fig. 8.** Inquadramento geografico su base ortofoto degli aerogeneratori del parco eolico: in verde l'area spazzata dagli aerogeneratori; in arancio la circonferenza di massima gittata (285m, calcolata come verrà ampiamente descritto in appresso); in magenta i ricettori sensibili individuati.

Denominazione	Comune	UTM - EST [m]	UTM - NORD [m]	altitudine [m s.l.m.]
MTZ01	MONTELEONE DI P.	521490	4554799	897
MTZ02	MONTELEONE DI P.	522049	4554320	899
MTZ03	MONTELEONE DI P.	522233	4553715	967
MTZ04	MONTELEONE DI P.	522564	4553027	958
MTZ05	MONTELEONE DI P.	522604	4552339	882
MTZ06	ANZANO DI P.	522788	4551675	884
MTZ07	ANZANO DI P.	523231	4551274	815
MTZ08	ANZANO DI P.	522848	4550878	865
MTZ09	SANT'AGATA DI P.	524883	4555346	853
MTZ10	SANT'AGATA DI P.	524612	4554635	849
MTZ11	SANT'AGATA DI P.	524530	4554051	870
MTZ12	SANT'AGATA DI P.	524110	4553628	903
MTZ13	SANT'AGATA DI P.	525225	4553462	907
MTZ14	SANT'AGATA DI P.	525751	4553178	859
MTZ15	SANT'AGATA DI P.	525990	4552728	828
MTZ16	SANT'AGATA DI P.	526266	4552222	822
MTZ17	SANT'AGATA DI P.	526645	4551832	820
MTZ18	SANT'AGATA DI P.	527221	4551454	751
MTZ19	SANT'AGATA DI P.	527296	4550847	716

**Tab. 2.** Denominazione, posizione ed altitudine dei 19 aerogeneratori

#### 4. CARATTERISTICHE DELL'AEROGENERATORE.

Come sopra già descritto, l'impianto eolico proposto sarà costituito da n. 17 aerogeneratori della potenza uninominale di 6.1MWe, con altezza di mozzo ( $h_h$ ) pari a 101 m, diametro del rotore di 158m e lunghezza della singola pala (blade) di 77,40 m; in **Fig. 9** è riportato lo schema dimensionale di un aerogeneratore con tali dimensioni.



**Fig. 9. Schema dimensionale dell'aerogeneratore ipotizzato da IVPC.**

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 **82 m/s** a cui corrisponde una velocità angolare di **9,9 giri/min**. 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 non solo che effettivamente la massima velocità angolare dell'aerogeneratore è di 9,9 giri/min, ma 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 una minore velocità di rotazione di 6,26 m/s (modo operativo per massimo livello di emissione acustica di 98 dB(A)). 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.

### 3 Technical Data for the Cypress Wind Turbines

Turbine	4.2/4.5/4.8/5.0/5.2/5.3/5.5/5.8/6.1/6.3 - 158
Rated output [MW]	4.2/4.5/4.8/5.0/5.2/5.3/5.5/5.8/6.1/6.3
Rotor diameter [m]	158
Number of blades	3
Swept area [m <sup>2</sup> ]	19607
Rotational direction (viewed from an upwind location)	Clockwise
Maximum speed of the blade tips [m/s]	50Hz - 82.0 m/s 60Hz - 83.6 m/s
Orientation	Upwind
Speed regulation	Pitch control
Aerodynamic brake	Full feathering
Color of outer components	RAL 7035 (light grey) and RAL 7023 (concrete grey, for concrete sections of hybrid tower only)
Reflection degree/Gloss degree Steel tower	30 - 60 gloss units measured at 60° as per ISO 2813
Reflection degree/Gloss degree Rotor blades, Nacelle, Hub	60 - 80 gloss units measured at 60° as per ISO 2813
Reflection degree/Gloss degree Hybrid Tower	Concrete gray (similar RAL 7023); gloss matte

Table 1: Technical data Cypress-158 wind turbine

Fig. 10. Estratto dal data sheet di una GE158 Cypress.



Nominal Sound Power Level (dBA)	Nominal Rotor Speed (rpm)	Nominal Electrical Power (kW) for each Hub Height					
		101.0m	120.9m	141.0m	150.0m	151.0m	161.0m
107.0	9.90	4800 - 6100*	4800 - 6100*	N/A	N/A	4800 - 6100*	4800 - 6100*
106.0	9.70	4800 - 6300*	4800 - 6300**	4800 - 6300*	4800 - 6300*	4800 - 6300*	4800 - 6300*
105.0	9.35	4800 - 5300	N/A	4800 - 5300	4800 - 5300	4800 - 5300	4800 - 5300
104.0	9.00	4800 - 5100*	N/A	4800 - 5100	4800 - 5100	4800 - 5100	4800 - 5100*
103.0	8.54	4800	4800*	4800*	4800	4800	4800
102.0	8.20	4650	4650	N/A	4650	4650	4650
101.0	7.66	4300	4300	N/A	4300	N/A	4300
100.0	7.22	4042	4042	4042*	4042	N/A	4042
99.0	6.70	3507	3507	3507	3507	3507	3507
98.0	6.26	3098	3098	3098	3098	3098	3098

Table 1: Overview of configurations for each apparent sound power level.

Fig. 11. Livelli di emissione acustica di una GE158 Cypress.

I calcoli della gittata massima degli elementi rotanti in caso di rottura vengono eseguiti per una velocità di rotazione di 10 giri/min.

$$Rpm_{max} = 10 \text{ giri/min}$$

Al fine di valutare anche la gittata massima alle condizioni di minima velocità di rotazione del rotore, nell'ambito delle possibilità operative di regolazione della macchina, viene effettuato il calcolo anche per una velocità di rotazione di 6,5 giri/min.

$$Rpm_{min} = 6,5 \text{ giri/min}$$

## 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 alle 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.

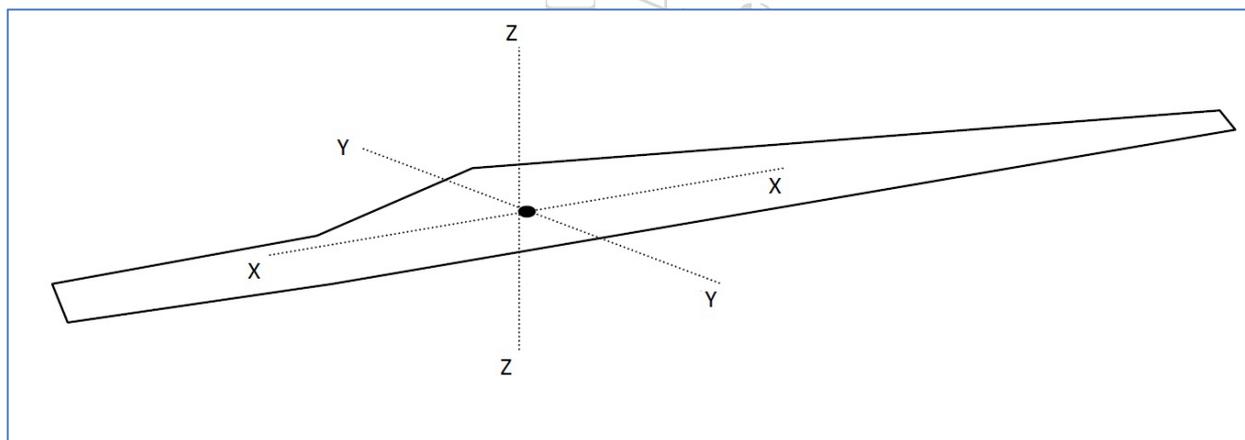


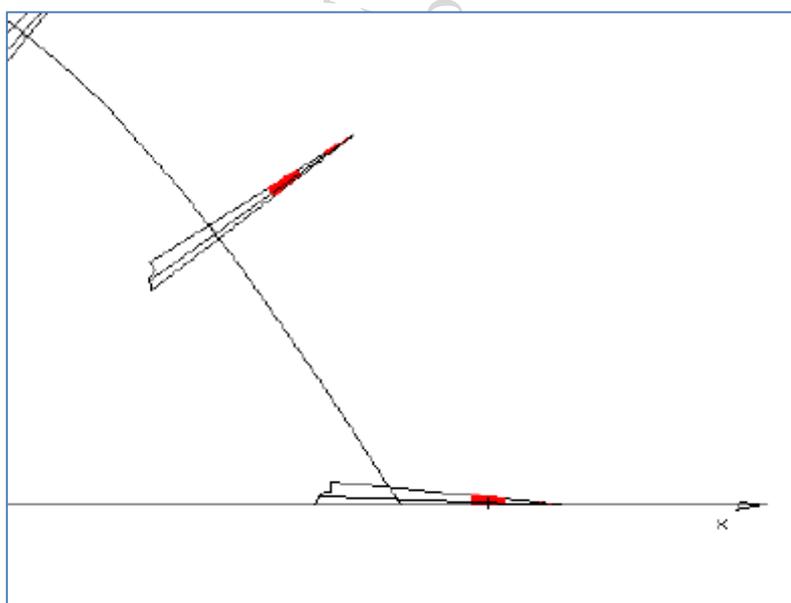
Fig. 12. Sistema di coordinate usato per la pala

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. 13.** 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. 13**.

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:

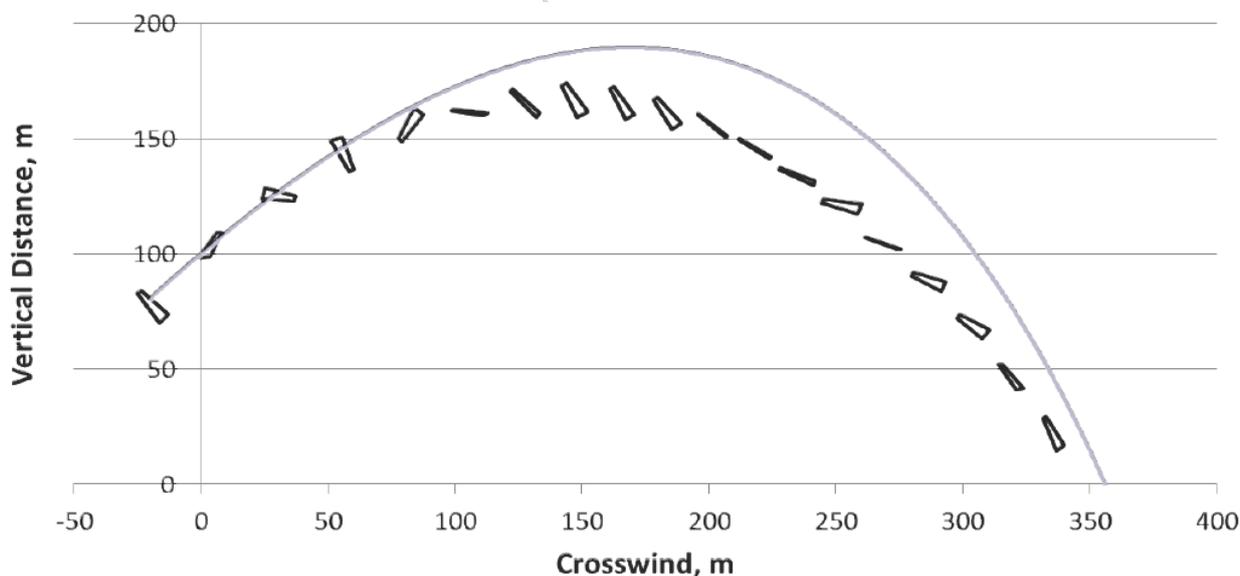


Fig. 14. Modellizzazione della traiettoria ed orientamento di un frammento da 10m per una torre da 1.5MW, rotore da 70m e hub da 80, con velocità angolare pari a 26.3rpm.

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.

## 5.2 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.

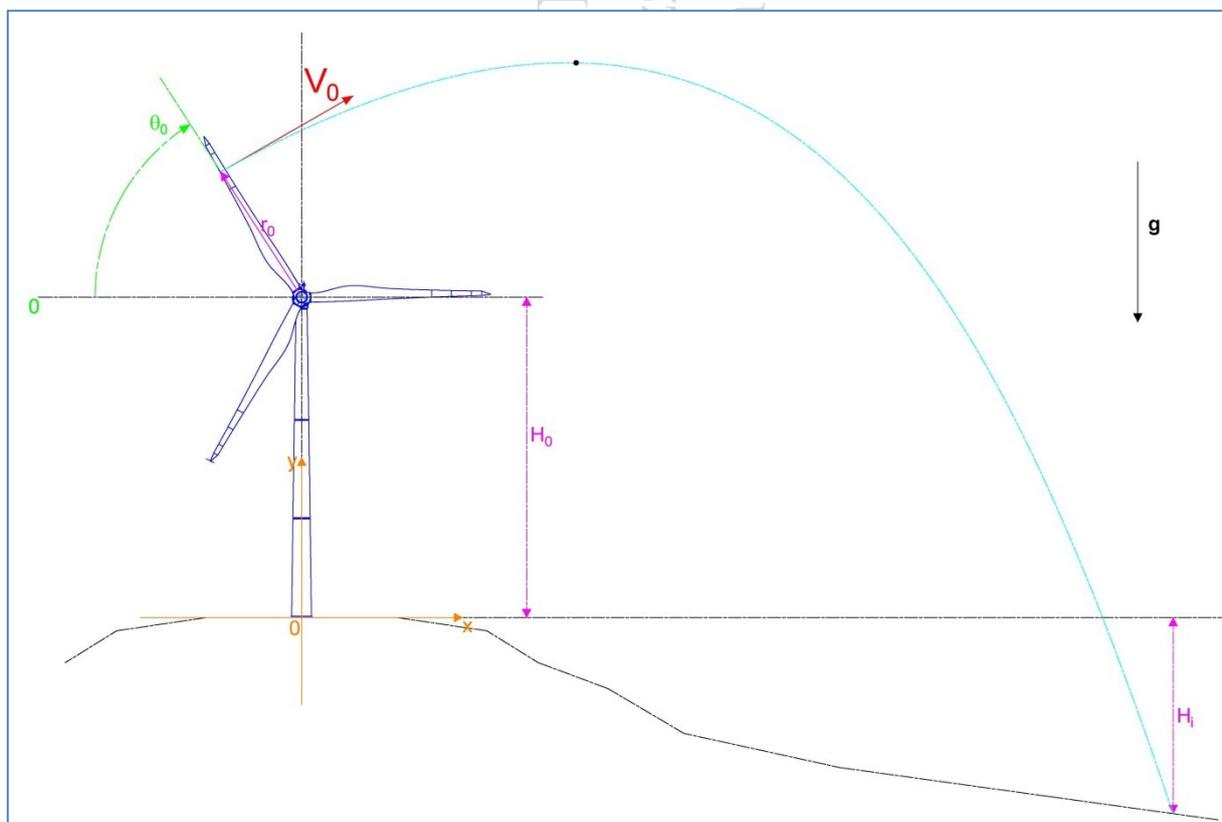


Fig. 15. Schema di massima del fenomeno oggetto di studio.

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:

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

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:

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

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:

$$x(t) = \frac{1}{k_x} \ln |(k_x V \sin \alpha_0) t + 1| - r_0 \cos \alpha_0 \quad [6]$$

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:

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

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  $t^* = t - T_{max}$ , 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:

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

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

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

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:

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

**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:**

		<b>Full blade</b>	<b>10m</b>	<b>5m</b>
Sx = massima sezione perpendicolare all'asse principale del proietto	Sx [m <sup>2</sup> ]	6,55	0,3	0,176
Sy = massima area proiettata lungo l'asse principale del proietto	Sy [m <sup>2</sup> ]	215,8	13,65	5,32
Sz = minima area proiettata lungo l'asse principale del proietto	Sz [m <sup>2</sup> ]	79,6	2,7	1,05
Centro di massa dal centro di rotazione	[m]	27,38	71,6	76
massa	[kg]	20000	385	126

**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 10 giri/min ( $\omega_0$ ) per la GE158, 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	158
Altezza del mozzo o Hub [m]	H <sub>hub</sub>	101
Lunghezza pala [m]	L <sub>pala</sub>	77,4
Diametro del mozzo [m]	d <sub>mozzo</sub>	3.20
Velocità angolare massima <b>Overspeed Protection</b> [rpm]		25
Velocità vento di cut-out [m/s]		25
Peso pala [kg]		20.000
Inclinazione asse del rotore		6°

**Tab. 4. Specifiche tecniche della V136.**

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 **27,38** 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> )	6.55	$S_y$ (m <sup>2</sup> )	215.8	$S_z$ (m <sup>2</sup> )	79.6
$C_x$	0,35	$C_y$	0.8	$C_z$	0.65
$k_x = \frac{1}{2} \rho \frac{S_x C_x}{m}$	<b>0,000064</b>	$k_y = \frac{1}{2} \rho \frac{S_y C_y}{m}$	<b>0,004856</b>	$k_z = \frac{1}{2} \rho \frac{S_z C_z}{m}$	<b>0,001455</b>
	m (kg)	20000			

**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  $270^\circ$  e  $90^\circ$ . 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>:

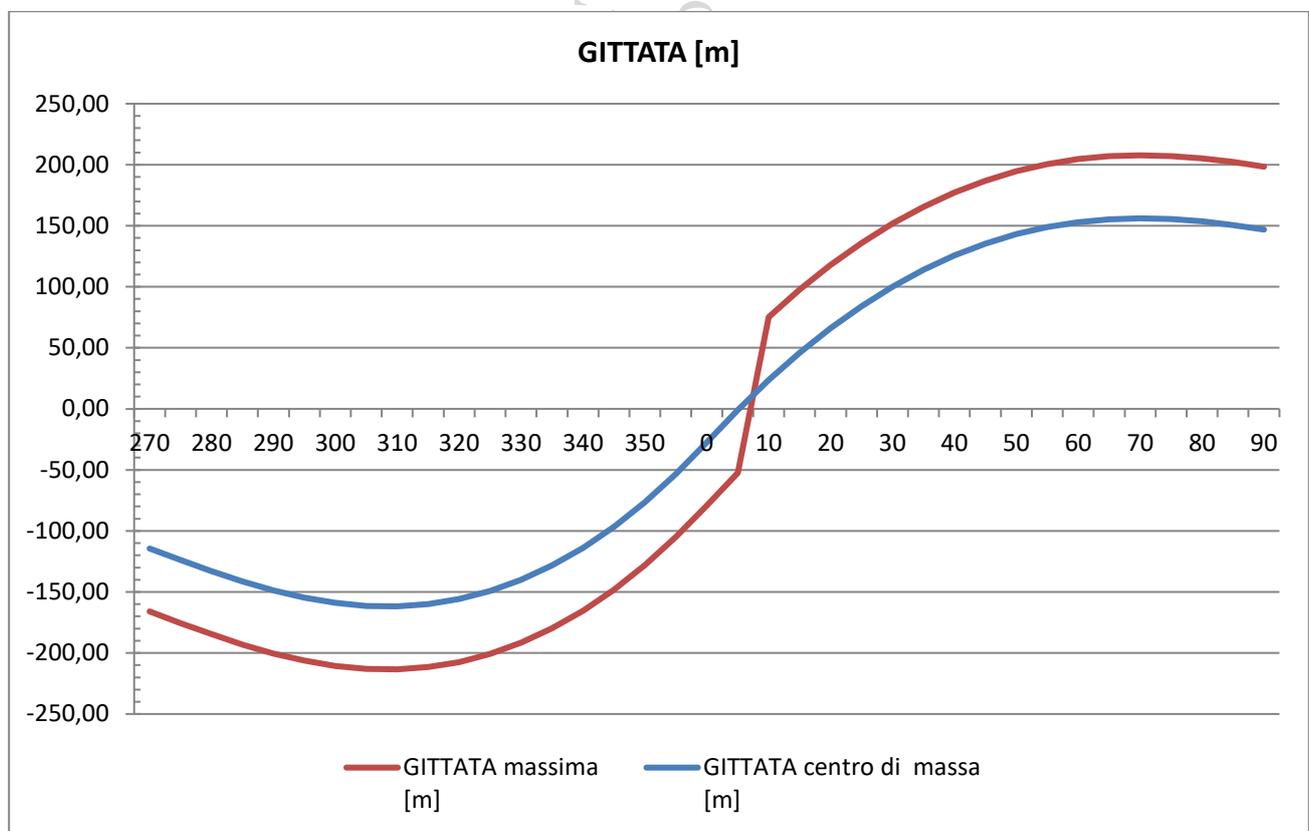


Fig. 16. Gittate al variare dell'angolo di distacco per la rottura dell'intera pala.

I principali risultati del calcolo, approssimati per eccesso, riferiti alla  $Rpm_{max} = 10$  giri/min, sono qui riassunti:

Angolo di massima gittata	<b>300°</b>	Angolo di massima elevazione	25°
Tempo di volo [s]	<b>9</b>		
Gittata del centro di massa [m]	<b>175</b>		
Gittata massima [m]	<b>225</b>	Elevazione massima [m]	245

In riferimento alla  $Rpm_{min} = 6,5$  giri/min la gittata massima è pari a 170m (vedere tabelle di calcolo allegate).

<sup>7</sup> Per il sistema di riferimento adottato si rimanda alla Fig. 154

Il calcolo è stato condotto considerando un dislivello tra punto di installazione dell'aerogeneratore e punto di caduta dell'elemento rotto di 100m.

## 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> )	13.65	$S_z$ (m <sup>2</sup> )	2.7
$C_x$	0,45	$C_y$	0.6	$C_z$	0.4
$k_x = \frac{1}{2} \rho \frac{S_x C_x}{m}$	<b>0,000215</b>	$k_y = \frac{1}{2} \rho \frac{S_y C_y}{m}$	<b>0,013030</b>	$k_z = \frac{1}{2} \rho \frac{S_z C_z}{m}$	<b>0,001718</b>
	m (kg)	385			

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.

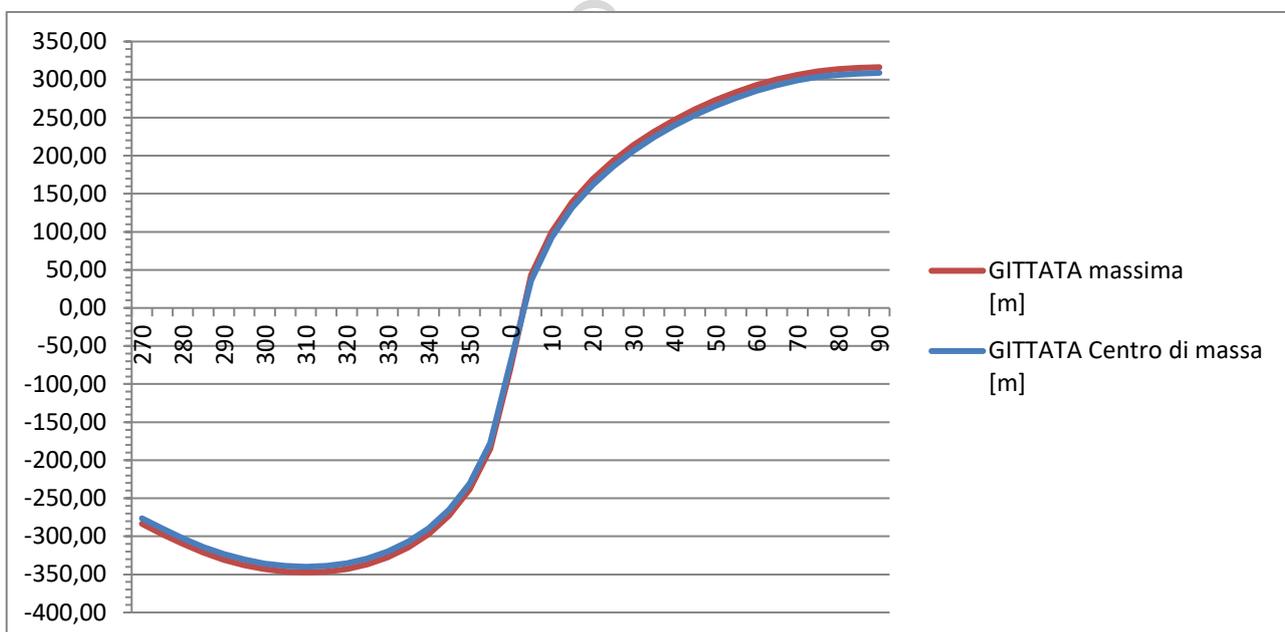


Fig. 17. Gittate al variare dell'angolo di distacco per la rottura del frammento da 10m

I principali risultati del calcolo, approssimati per eccesso, riferiti alla  $Rpm_{max} = 10$  giri/min, sono qui riassunti:

Angolo di massima gittata	315°	Angolo di massima elevazione	35°
Tempo di volo [s]	<b>13</b>		
Gittata del centro di massa [m]	<b>275</b>		
Gittata massima [m]	<b>285</b>	Elevazione massima [m]	330

In riferimento alla  $Rpm_{min} = 6,5$  giri/min la gittata massima è pari a 230m (vedere tabelle di calcolo allegate).

Il calcolo è stato condotto considerando un dislivello tra punto di installazione dell'aerogeneratore e punto di caduta dell'elemento rotto di 100m.

## 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> )	0.176	$S_y$ (m <sup>2</sup> )	5.32	$S_z$ (m <sup>2</sup> )	1.05
$C_x$	0,35	$C_y$	0.6	$C_z$	0.4
$k_x = \frac{1}{2} \rho \frac{S_x C_x}{m}$	<b>0,000299</b>	$k_y = \frac{1}{2} \rho \frac{S_y C_y}{m}$	<b>0,015517</b>	$k_z = \frac{1}{2} \rho \frac{S_z C_z}{m}$	<b>0,002042</b>
	$m$ (kg)	126			

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.

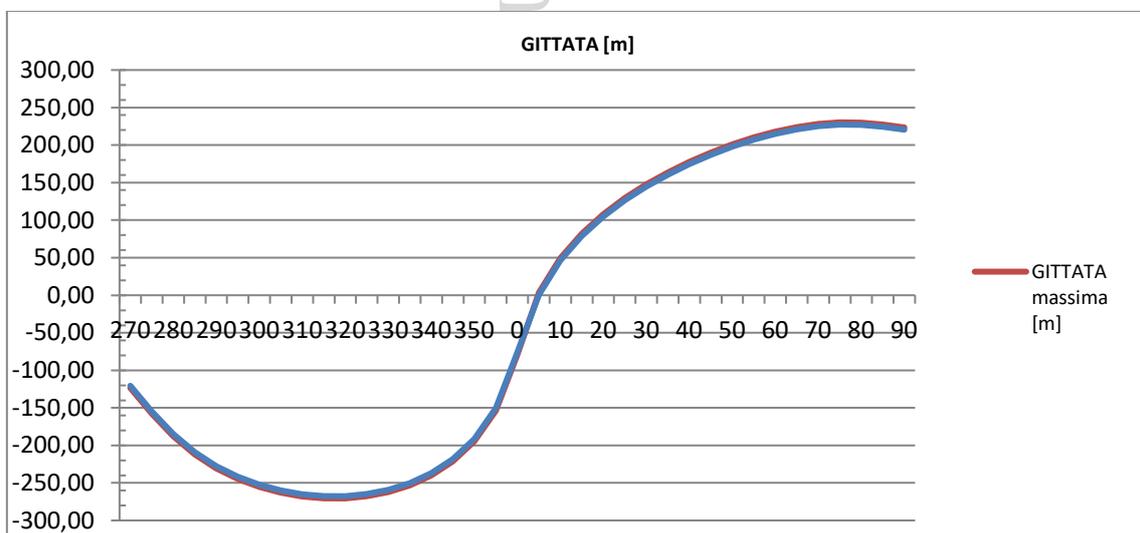




Fig. 18. Gittate al variare dell'angolo di distacco per la rottura del frammento da 5m

I principali risultati del calcolo, approssimati per eccesso, riferiti alla  $Rpm_{max} = 10 \text{ giri/min}$ , sono qui riassunti:

Angolo di massima gittata	315°	Angolo di massima elevazione	35°
Tempo di volo [s]	12		
Gittata del centro di massa [m]	270		
Gittata massima [m]	275	Elevazione massima [m]	335

In riferimento alla  $Rpm_{min} = 6,5 \text{ giri/min}$  la gittata massima è pari a 225m (vedere tabelle di calcolo allegate).

Il calcolo è stato condotto considerando un dislivello tra punto di installazione dell'aerogeneratore e punto di caduta dell'elemento rotto di 100m.

## 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

CASI DI STUDIO	Gittata con velocità di rotazione di 10 giri/min	Gittata con velocità di rotazione di 6,5 giri/min
<i>Rottura dell'intera pala</i>	225 m	170 m
<i>Rottura di un frammento distante 10 m dalla punta della pala</i>	285 m	230 m
<i>Rottura di un frammento distante 5 m dalla punta della pala</i>	275 m	225 m

Tab. 8. Riepilogo delle simulazioni effettuate

Il massimo valore di gittata calcolato tra tutti i casi considerati è pari a **285,00 m** e **230 m**, per il frammento di 10m, rispettivamente per le velocità di rotazione del rotore di 10 e 6,5 giri/min.

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 Monteleone di Puglia	2300 m
Centro abitato di Zungoli	4900 m
Centro abitato di Scampitella	2500 m
Centro abitato di Anzano di Puglia	1050 m
Centro abitato di Accadia	2500m
S.P. 136bis	180 m

**Tab. 9. Elenco elementi urbanistici e infrastrutturali sensibili nell'area del parco eolico. In giallo, è stato evidenziato l'unico elemento situato ad una distanza critica inferiore alla massima gittata della macchina: la Strada Provinciale "SP136bis". Tale distanza interessa il più vicino aerogeneratore MTZ4**

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 la distanza inferiore alla gittata massima di 285m si registra per seguenti recettori:

**Recettore R3 distante 243m dall'aerogeneratore MTZ02**

**Recettore R4 distante 264m dall'aerogeneratore MTZ02**

**Recettore R14 distante 200m dall'aerogeneratore MTZ02**

**Recettore R22 distante 283m dall'aerogeneratore MTZ03**

**Recettore R28 distante 177m dall'aerogeneratore MTZ05**

**Recettore R61 distante 1333m dall'aerogeneratore MTZ15**

In riferimento alla minima velocità di rotazione dell'aerogeneratore, pari a 6,5 giri/min, per la quale la gittata massima è di 230m, la situazione è invece la seguente:

**Recettore R14 distante 200m dall'aerogeneratore MTZ02**

**Recettore R28 distante 177m dall'aerogeneratore MTZ05**

**Recettore R61 distante 1333m dall'aerogeneratore MTZ15**

Da rilevare che i recettori:





**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



R70	MONTELEONE DI P.	A3	520300	4554683	24	256
R71	MONTELEONE DI P.	C2	520295	4554704	24	260
R72	MONTELEONE DI P.	C2	520327	4554703	24	261
R73	MONTELEONE DI P.	C2	520411	4554675	25	449
R74	MONTELEONE DI P.	A4-C2	520771	4554269	25	452
R75	MONTELEONE DI P.	C2	521422	4554276	26	480
R76	MONTELEONE DI P.	C2	521393	4554278	26	463
R77	MONTELEONE DI P.	C2	521351	4554217	27	446
R78	MONTELEONE DI P.	C6	521318	4554225	27	447
R79	MONTELEONE DI P.	A3	521313	4554257	27	448
R80	MONTELEONE DI P.	F2	521342	4554254	27	445
R81	MONTELEONE DI P.	C2	521346	4554268	27	441-443-444
R82	MONTELEONE DI P.	C2	521257	4554058	27	461
R83	MONTELEONE DI P.	F6	521210	4554004	25	544
R84	MONTELEONE DI P.	F6	521188	4554089	25	543
R85	MONTELEONE DI P.	F6	521149	4554066	25	545
R86	MONTELEONE DI P.	C2	521189	4554053	27	482
R87	MONTELEONE DI P.	D10	521467	4553688	27	483
R88	MONTELEONE DI P.	A4	522391	4554652	22	561
R89	MONTELEONE DI P.	F2	522432	4554818	22	551
R90	MONTELEONE DI P.	FAB DIRUTO	522395	4554826	26	33-35-36-39-42-43
R91	MONTELEONE DI P.	FAB DIRUTO	522440	4554924	26	429-11
R92	MONTELEONE DI P.	A6-D10	522414	4555031	20	603
R93	MONTELEONE DI P.	A2-C3-C6	522520	4555106	21	351
R94	MONTELEONE DI P.	C6	522588	4555089	21	350
R95	MONTELEONE DI P.	D10-C6	522596	4555124	21	366-378
R96	MONTELEONE DI P.	F2	522418	4555341	20	617
R97	MONTELEONE DI P.	FAB DIRUTO	522460	4555321	21	42-43
R98	MONTELEONE DI P.	D10	521465	4553535	27	473
R99	MONTELEONE DI P.	D10	521433	4553523	27	475
R100	MONTELEONE DI P.	A4-C6	521413	4553525	27	474
R101	MONTELEONE DI P.	A4-C2-C6-F2	521441	4553499	29	229
R102	MONTELEONE DI P.	E9	522503	4555416	21	393
R103	MONTELEONE DI P.	E9	522519	4555465	21	392
R104	MONTELEONE DI P.	ENTE URBANO	522543	4555468	21	140
R105	MONTELEONE DI P.	A3-C6	521795	4553334	27	455

R70	1184					
R71	1182					
R72	1189					
R73	1070					
R74	877					
R75	511	822	983			
R76	515	645	1004			
R77	581	696	1004			
R78	587	725	1040			
R79	557	733	1059			
R80	551	704	1038			
R81	541	697	1037			
R82	765	821	1023			
R83	759	863	1079			
R84	756	880	1100			
R85	783	919	1130			
R86	789	891	1089			
R87	1100	846	760			
R88	899	488	940			
R89	892	624	1118			
R90	896	612	1123			
R91	952	719				
R92	928	759				
R93	1065	908				
R94	1123	927				
R95	1131	964				
R96	1067	1084				
R97	1080	1068				
R98	870	775	1200			
R99	995	811				
R100	1013	831	1200			
R101	1004	803				
R102	1174					
R103	1200					
R104	1200					
R105	1010	567	833			

R106	MONTELEONE DI P.	C2-C6	521441	4553247	29	237
R107	MONTELEONE DI P.	A3	521427	4553262	29	236
R108	MONTELEONE DI P.	F2	521407	4553246	29	238
R109	MONTELEONE DI P.	C2	522175	4552685	30	358
R110	SANT'AGATA DI P.	F2	523454	4553603	54	473
R111	SANT'AGATA DI P.	FAB DIRUTO	523444	4553609	54	203
R112	MONTELEONE DI P.	FAB DIRUTO	523343	4552645	28	264
R113	SANT'AGATA DI P.	A4	523440	4552609	54	436
R114	SANT'AGATA DI P.	A4-C2-C6-F2-F6	523632	4552599	54	388
R115	SANT'AGATA DI P.	C6	523604	4552662	54	434
R116	ANZANO DI P.	D6	523634	4552389	2	697
R117	SANT'AGATA DI P.	F2-C2	523757	4552698	54	437
R118	SANT'AGATA DI P.	A7-C6	523798	4552716	54	418
R119	SANT'AGATA DI P.	A7-C6	523795	4552728	54	427
R120	ANZANO DI P.	A3-C6	523718	4552404	1	645
R121	ANZANO DI P.	C2	523725	4552423	1	1027
R122	ANZANO DI P.	ENTE URBANO	523779	4552564	1	450
R123	ANZANO DI P.	A3-C2	523773	4552540	1	439
R124	ANZANO DI P.	A3-C6	523782	4552517	1	868
R125	ANZANO DI P.	A3-C6	523776	4552494	1	945
R126	ANZANO DI P.	A3-C6	523769	4552472	1	871
R127	ANZANO DI P.	A3-C2	523762	4552447	1	636
R128	ANZANO DI P.	A4-C2	523762	4552424	1	1013
R129	ANZANO DI P.	C2	523780	4552429	1	635
R130	ANZANO DI P.	C2	523524	4551932	2	714
R131	ANZANO DI P.	A4-F2	523741	4551787	2	700
R132	ANZANO DI P.	F7	523646	4551576	2	693
R133	ANZANO DI P.	A4	523711	4552213	2	531
R134	ANZANO DI P.	A2-C6	523743	4552286	2	530
R135	ANZANO DI P.	F2	523764	4552351	2	533
R136	ANZANO DI P.	D10	523789	4552325	2	6
R137	ANZANO DI P.	D10	523775	4552218	2	532
R138	ANZANO DI P.	A2-A3-C2-C6	523808	4552166	2	501
R139	ANZANO DI P.	A3-C6	523843	4552154	2	502
R140	ANZANO DI P.	A3-C6	523831	4552226	3	1252

R106	910	1136				
R107	919	1153				
R108	939	1168				
R109	1028	510	552			
R110		1057			1159	630
R111		1047	1081			1099
R112		968	799	1116		
R113		968	875	1137		
R114		1139	1045			1123
R115		1102	1047			1089
R116		1025	1098	1176		
R117		1157				989
R118						965
R119						944
R120		1109	1175			
R121		1119	1196			
R122		1193				1105
R123		1182				1127
R124		1183				1147
R125		1175				1170
R126		1165				1191
R127		1157				
R128		1157				
R129		1178				
R130			777	718		
R131		955	967			
R132		860	504	1054		
R133		1068	1051			
R134		1110	1115			
R135		1188	1199			
R136		1187	1179			
R137		1153	1079			
R138		1123	1058			
R139		11146	1064			
R140		1157	1098			

R141	ANZANO DI P.	A3-C6	523853	4552206	3	1253
R142	ANZANO DI P.	A3-C6	523869	4552141	2	503
R143	ANZANO DI P.	A2-C6	523897	4552117	2	505
R144	ANZANO DI P.	A3-C2-C6	523911	4552083	2	507
R145	ANZANO DI P.	FAB DIRUTO	523926	4551938	2	70
R146	TREVICO	ENTE URBANO	521977	4551060	2	811
R147	TREVICO	ENTE URBANO	521964	4551041	2	810
R148	TREVICO	ENTE URBANO	521944	4551003	2	813
R149	TREVICO	ENTE URBANO	521963	4550996	2	814
R150	TREVICO	ENTE URBANO	521928	4550973	2	848
R151	TREVICO	ENTE URBANO	521926	4550958	2	879
R152	TREVICO	ENTE URBANO	521901	4550940	2	880
R153	SAN SOSSIO BARONIA	C6	521809	4550815	5	251
R154	SAN SOSSIO BARONIA	C2	521804	4550792	5	182
R155	SAN SOSSIO BARONIA	A4	521807	4550780	5	181
R156	SAN SOSSIO BARONIA	A4	521799	4550766	5	180
R157	TREVICO	ENTE URBANO	521836	4550745	2	787
R158	TREVICO	ENTE URBANO	521854	4550734	2	911
R159	TREVICO	ENTE URBANO	521832	4550724	2	804
R160	TREVICO	ENTE URBANO	521825	4550683	2	871
R161	SAN SOSSIO BARONIA	ENTE URBANO	521759	4550735	5	184-185
R162	TREVICO	ENTE URBANO	521798	4550657	2	872
R163	TREVICO	ENTE URBANO	521770	4550670	2	876
R164	TREVICO	ENTE URBANO	521762	4550658	2	824
R165	SAN SOSSIO BARONIA	A4-C2	521742	4550681	5	195
R166	SAN SOSSIO BARONIA	C6	521883	4550676	5	207
R167	SAN SOSSIO BARONIA	C2	521867	4550662	5	206
R168	SAN SOSSIO BARONIA	A4-C2	521661	4550664	5	178
R169	SAN SOSSIO BARONIA	C2	521675	4550713	5	153
R170	SAN SOSSIO BARONIA	A4	521678	4550725	5	154
R171	SAN SOSSIO BARONIA	ENTE URBANO	521740	4550708	5	23-215
R172	ANZANO DI P.	A3-C6	523880	4552205	3	1254
R173	ANZANO DI P.	A3-C2	523846	4552298	3	1249
R174	ANZANO DI P.	A3-C2	523869	4552289	3	1250
R175	ANZANO DI P.	A3-C2	523890	4552281	3	1251
R176	ANZANO DI P.	A3-C1-C2	523909	4552260	3	1256

R141			1176	1103		
R142			1170	1067		
R143			1183	1066		
R144			1177	1046		
R145			1168	961		
R146			1009			
R147			1038	891		
R148			1078	907		
R149			1064	887		
R150			1107	916		
R151			1122	927		
R152			1142	944		
R153				1039		
R154				1049		
R155				1040		
R156				1046		
R157				1012		
R158				1009		
R159				1023		
R160				1043		
R161				1063		
R162				1088		
R163				1095		
R164				1107		
R165				1120		
R166				1185		
R167				1192		
R168				1		



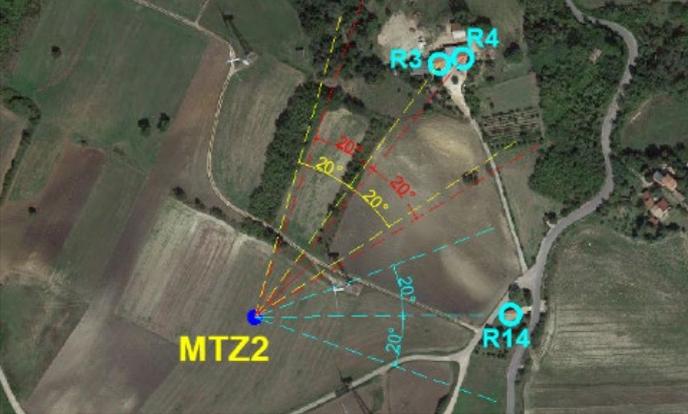
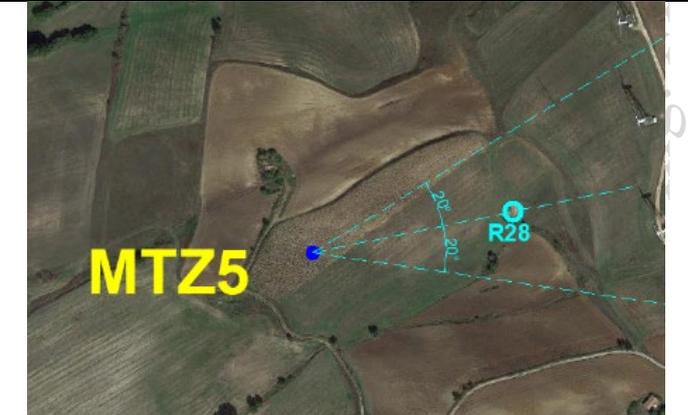
	<p>Quando il piano di rotazione dell'aerogeneratore MTZ02 si trova all'interno dei due coni riferiti ai recettori R3 ed R4, la velocità di rotazione del rotore dovrà essere limitata a 6,5 giri/min.</p> <p>Quando il piano di rotazione dell'aerogeneratore MTZ02 si trova all'interno del cono riferito al recettore R14, la macchina viene fermata.</p>
	<p>Quando il piano di rotazione dell'aerogeneratore MTZ03 si trova all'interno del cono riferito al recettore R22, la velocità di rotazione del rotore dovrà essere limitata a 6,5 giri/min.</p>
	<p>Quando il piano di rotazione dell'aerogeneratore MTZ05 si trova all'interno del cono riferito al recettore R28, la macchina viene fermata.</p>
	<p>Quando il piano di rotazione dell'aerogeneratore MTZ15 si trova all'interno del cono riferito al recettore R61, la macchina viene fermata.</p>

Fig. 19. Inquadramento aerogeneratore – recettore, cono di protezione e modalità operative da attuare.



Tenendo conto di tutte queste valutazioni, in definitiva l'unico recettore sensibile situato all'interno del possibile cono di lancio è la Strada Provinciale "SP136bis", oltre, ovviamente, a quelle vicinali e/o di servizio del parco eolico.

Tuttavia, alla luce delle considerazioni probabilistiche riportate nella parte iniziale della presente relazione, in ordine alla probabilità di accadimento dell'evento accidentale di rottura della pala, e del fattore di contemporaneità relativo alla presenza, nelle medesime circostanze di tempo e di luogo, di esseri umani in transito sui recettori anzidetti, **si ritiene che sussistano condizioni di sicurezza adeguate rispetto a tutti gli aerogeneratori, del tutto comparabili alla presenza occasionale di esseri umani in qualsiasi punto del terreno circostante agli stessi aerogeneratori, come agricoltori che vi lavorino da presso.** Peraltro, è da considerare che tutti gli aerogeneratori sono stati ubicati in aree considerate idonee 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, ed in particolare entro la distanza di 285m, 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.; ciò ad eccezione dei recettori R3, R4, R14, R22, R28, R61, i quali tuttavia sono resi compatibili con gli aerogeneratori vicini, MTZ02, MTZ03, MTZ05, MTZ15, effettuando una parzializzazione delle loro modalità operative, o addirittura fermando la macchina, nel cono di proiezione orientato verso i relativi recettori, in modo da limitare la gittata massima per i recettori R3, R4 ed R22 e azzerarla per gli R14 ed R28.

Il recettore R61 è un edificio diruto per cui ad oggi esiste compatibilità con il relativo aerogeneratore vicino MTZ15; tuttavia, quant'anche questi edifici dovesse in un futuro essere ristrutturato per consentire attività antropiche, è comunque possibile renderlo compatibile con l'aerogeneratore interessato, MTZ15, effettuando una parzializzazione delle loro modalità operative, fermando la macchina, nel cono di proiezione orientato verso tale recettore, in modo da azzerare la gittata massima.

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.

<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)



**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)



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.

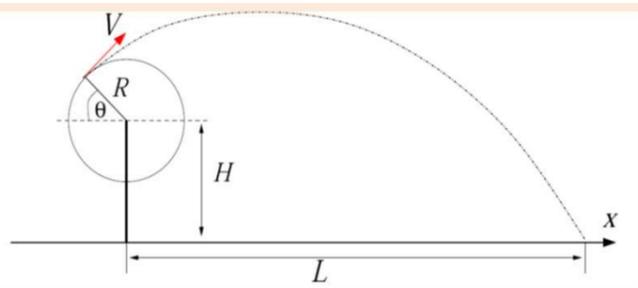
San Severo, Luglio 2023

**STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA**

Ing. MEZZINA Antonio



STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA  
Ing. Mezzina Antonio  
San Seve

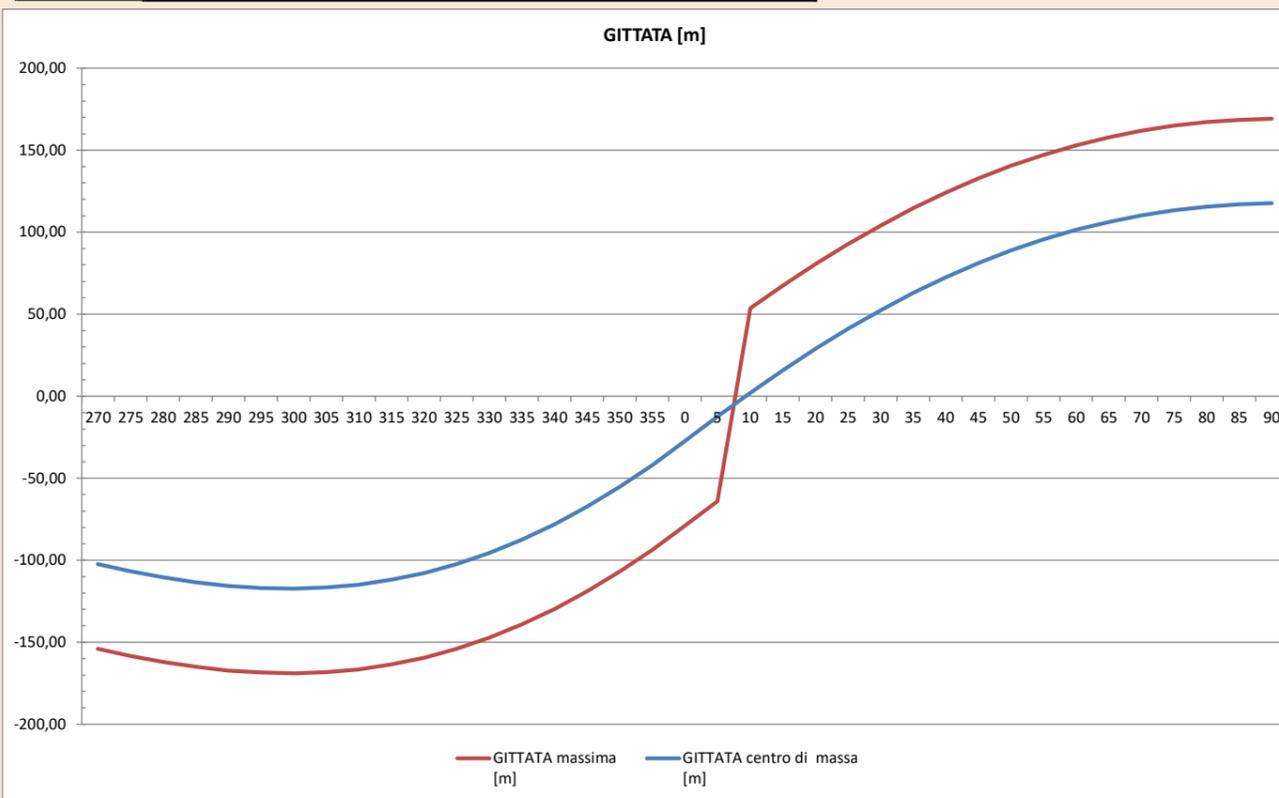


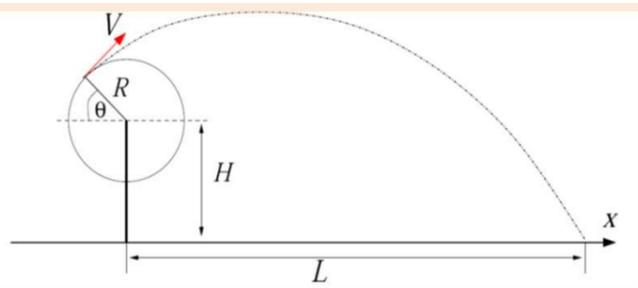
Inserire le variabili del sistema nei campi in bianco sottostanti

Diamentro del rotore (m)	158
Lunghezza della pala (m)	77,4
Raggio al centro di massa del frammento (m)	27,38
Distanza punta frammento dal centro di massa (m)	51,62
Altezza mozzo (m)	101
Quota del piede della torre rispetto ad area circostante	100
Velocità angolare (rpm)	6,5
densità aria	1,125
Superficie frontale Sx	6,55
Coefficiente di resistenza Cx	0,35
Superficie frontale Sy	215,8
Coefficiente di resistenza Cy	0,8
Superficie frontale Sz	79,6
Coefficiente di resistenza Cz	0,65
Massa della pala	20000

Angolo di distacco (gradi°)	GITTATA centro di massa [m]	GITTATA massima [m]	Vx	Vy	Tmax (istante di inversione del moto)	Ymax	Td tempo di discesa	Tv Tempo di volo
270	-102,40	154,02	-18,64	0,00	0,00	173,62	6,53	6,5257
275	-106,71	158,33	-18,57	1,62	0,17	173,86	6,53	6,6965
280	-110,42	162,04	-18,35	3,24	0,33	174,57	6,55	6,8763
285	-113,41	165,03	-18,00	4,82	0,49	175,73	6,57	7,0630
290	-115,62	167,24	-17,51	6,37	0,65	177,33	6,61	7,2546
295	-116,96	168,58	-16,89	7,88	0,80	179,32	6,65	7,4489
300	-117,34	168,96	-16,14	9,32	0,94	181,65	6,70	7,6437
305	-116,68	168,30	-15,27	10,69	1,08	184,29	6,76	7,8366
310	-114,92	166,54	-14,28	11,98	1,20	187,17	6,82	8,0255
315	-111,98	163,60	-13,18	13,18	1,32	190,25	6,89	8,2082
320	-107,82	159,44	-11,98	14,28	1,42	193,45	6,96	8,3829
325	-102,38	154,00	-10,69	15,27	1,52	196,74	7,03	8,5476
330	-95,63	147,25	-9,32	16,14	1,60	200,04	7,10	8,7007
335	-87,55	139,17	-7,88	16,89	1,67	203,32	7,17	8,8408
340	-78,13	129,75	-6,37	17,51	1,73	206,52	7,24	8,9665
345	-67,37	118,99	-4,82	18,00	1,77	209,60	7,30	9,0768
350	-55,29	106,91	-3,24	18,35	1,81	212,52	7,37	9,1707
355	-41,94	93,56	-1,62	18,57	1,83	215,25	7,42	9,2475
0	-27,38	79,00	0,00	18,64	1,83	217,75	7,48	9,3066
5	-12,46	64,08	1,62	18,57	1,83	220,02	7,52	9,3476
10	1,95	53,57	3,24	18,35	1,81	222,03	7,56	9,3701
15	15,72	47,34	4,82	18,00	1,77	223,77	7,60	9,3741
20	28,77	40,39	6,37	17,51	1,73	225,25	7,63	9,3598
25	41,03	32,65	7,88	16,89	1,67	226,46	7,66	9,3273
30	52,42	24,04	9,32	16,14	1,60	227,42	7,68	9,2770
35	62,92	14,54	10,69	15,27	1,52	228,15	7,69	9,2097
40	72,50	4,12	11,98	14,28	1,42	228,65	7,70	9,1261
45	81,13	132,75	13,18	13,18	1,32	228,97	7,71	9,0273
50	88,81	140,43	14,28	11,98	1,20	229,12	7,71	8,9144
55	95,55	147,17	15,27	10,69	1,08	229,15	7,71	8,7888
60	101,34	152,96	16,14	9,32	0,94	229,08	7,71	8,6520
65	106,21	157,83	16,89	7,88	0,80	228,95	7,71	8,5058
70	110,18	161,80	17,51	6,37	0,65	228,79	7,70	8,3519
75	113,27	164,89	18,00	4,82	0,49	228,63	7,70	8,1922
80	115,52	167,14	18,35	3,24	0,33	228,50	7,70	8,0285
85	116,96	168,58	18,57	1,62	0,17	228,41	7,70	7,8627
90	117,62	169,24	18,64	0,00	0,00	228,38	7,70	7,6965

	cittata CoG	gittata max	angolo	tempo volo	H max
MAX	117,62	169,24	90,00	7,696521439	229,15



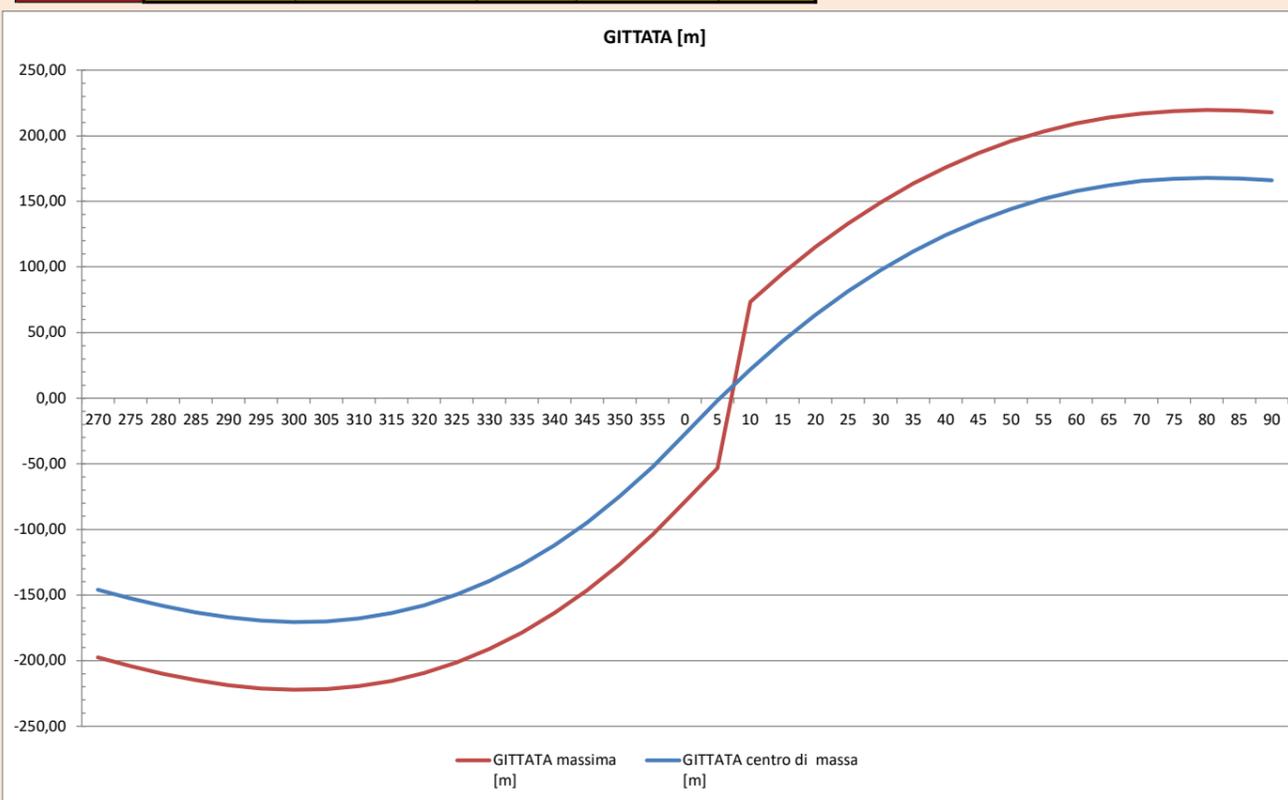


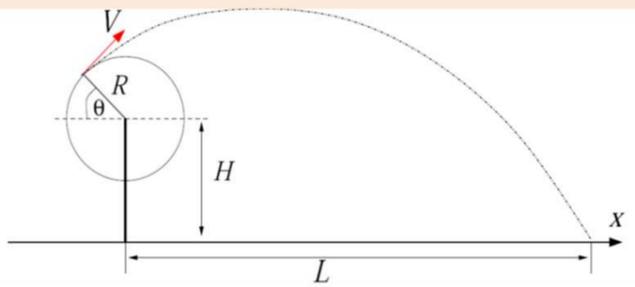
Inserire le variabili del sistema nei campi in bianco sottostanti

Diamentro del rotore (m)	158
Lunghezza della pala (m)	77,4
Raggio al centro di massa del frammento (m)	27,38
Distanza punta frammento dal centro di massa (m)	51,62
Altezza mozzo (m)	101
Quota del piede della torre rispetto ad area circostante	100
Velocità angolare (rpm)	10
densità aria	1,125
Superficie frontale Sx	6,55
Coefficiente di resistenza Cx	0,35
Superficie frontale Sy	215,8
Coefficiente di resistenza Cy	0,8
Superficie frontale Sz	79,6
Coefficiente di resistenza Cz	0,65
Massa della pala	20000

Angolo di distacco (gradi°)	GITTATA centro di massa [m]	GITTATA massima [m]	Vx	Vy	Tmax (istante di inversione del moto)	Ymax	Td tempo di discesa	Tv Tempo di volo
270	-145,99	197,61	-28,67	0,00	0,00	173,62	6,53	6,5257
275	-152,59	204,21	-28,56	2,50	0,25	174,04	6,54	6,7896
280	-158,41	210,03	-28,24	4,98	0,51	175,29	6,56	7,0690
285	-163,29	214,91	-27,70	7,42	0,75	177,33	6,61	7,3598
290	-167,06	218,68	-26,94	9,81	0,99	180,10	6,67	7,6579
295	-169,56	221,18	-25,99	12,12	1,22	183,49	6,74	7,9587
300	-170,62	222,24	-24,83	14,34	1,43	187,42	6,83	8,2580
305	-170,11	221,73	-23,49	16,45	1,63	191,77	6,92	8,5516
310	-167,88	219,50	-21,96	18,43	1,81	196,43	7,02	8,8356
315	-163,81	215,43	-20,27	20,27	1,98	201,28	7,13	9,1065
320	-157,79	209,41	-18,43	21,96	2,13	206,21	7,23	9,3614
325	-149,70	201,32	-16,45	23,49	2,26	211,11	7,34	9,5976
330	-139,45	191,07	-14,34	24,83	2,38	215,90	7,44	9,8130
335	-126,94	178,56	-12,12	25,99	2,47	220,48	7,53	10,0059
340	-112,08	163,70	-9,81	26,94	2,55	224,78	7,62	10,1747
345	-94,78	146,40	-7,42	27,70	2,61	228,73	7,70	10,3182
350	-74,95	126,57	-4,98	28,24	2,66	232,29	7,78	10,4356
355	-52,51	104,13	-2,50	28,56	2,68	235,40	7,84	10,5261
0	-27,38	79,00	0,00	28,67	2,69	238,04	7,90	10,5891
5	-1,82	53,44	2,50	28,56	2,68	240,18	7,94	10,6242
10	21,86	73,48	4,98	28,24	2,66	241,80	7,97	10,6312
15	43,62	95,24	7,42	27,70	2,61	242,91	8,00	10,6101
20	63,47	115,09	9,81	26,94	2,55	243,51	8,01	10,5610
25	81,44	133,06	12,12	25,99	2,47	243,62	8,01	10,4842
30	97,55	149,17	14,34	24,83	2,38	243,28	8,00	10,3802
35	111,84	163,46	16,45	23,49	2,26	242,52	7,99	10,2500
40	124,36	175,98	18,43	21,96	2,13	241,41	7,96	10,0948
45	135,16	186,78	20,27	20,27	1,98	240,00	7,94	9,9159
50	144,29	195,91	21,96	18,43	1,81	238,38	7,90	9,7155
55	151,80	203,42	23,49	16,45	1,63	236,63	7,87	9,4959
60	157,78	209,40	24,83	14,34	1,43	234,85	7,83	9,2598
65	162,30	213,92	25,99	12,12	1,22	233,12	7,79	9,0105
70	165,44	217,06	26,94	9,81	0,99	231,55	7,76	8,7516
75	167,29	218,91	27,70	7,42	0,75	230,23	7,73	8,4869
80	167,96	219,58	28,24	4,98	0,51	229,22	7,71	8,2202
85	167,55	219,17	28,56	2,50	0,25	228,59	7,70	7,9556
90	166,14	217,76	28,67	0,00	0,00	228,38	7,70	7,6965

	cittata CoG	gittata max	angolo	tempo volo	H max
MAX	170,62	222,24	300,00	8,258045725	243,62



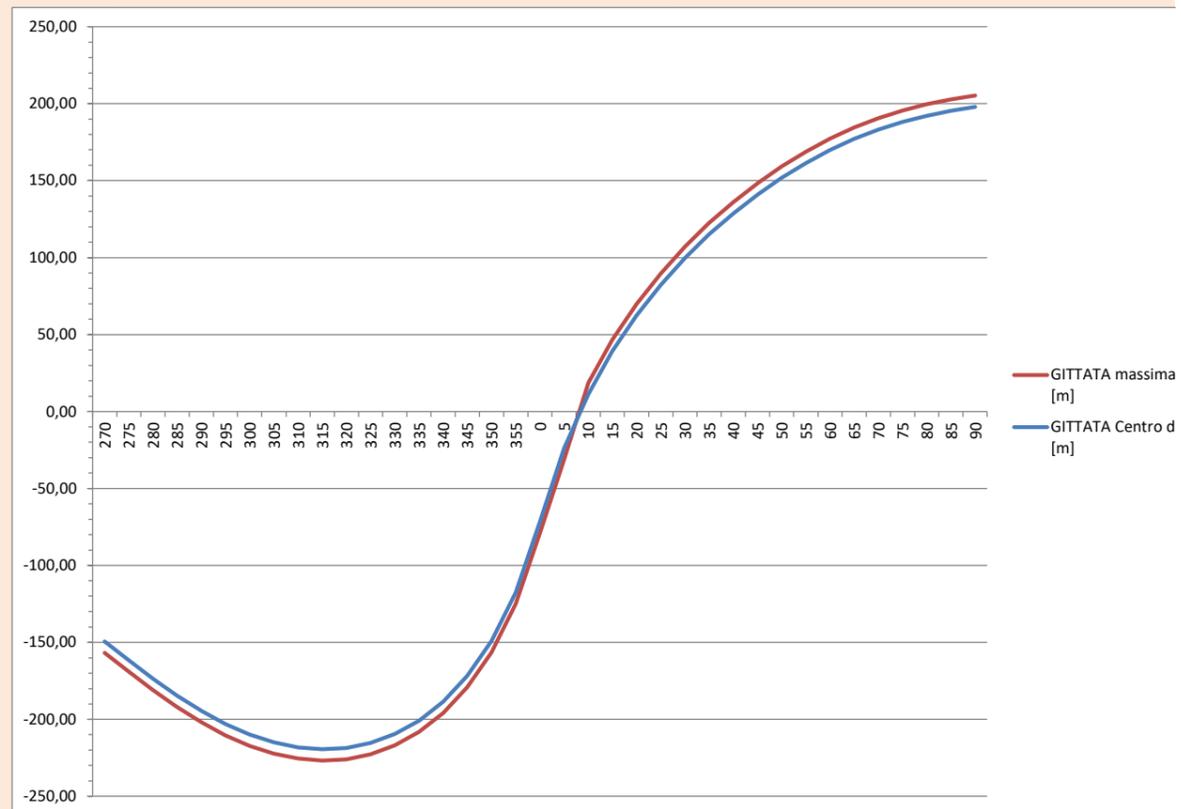


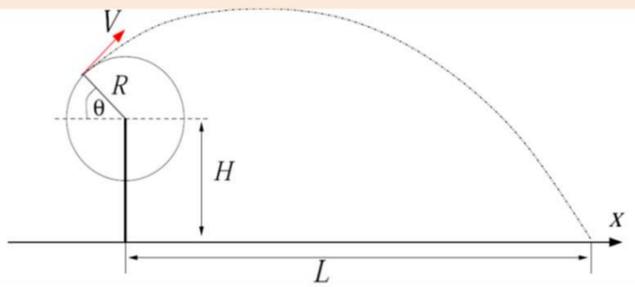
Inserire le variabili del sistema nei campi in bianco sottostanti

Diamentro del rotore (m)	158
Lunghezza del frammento [m]	10
Raggio al centro di massa del frammento (m)	71,6
Distanza punta frammento dal centro di massa (m)	7,4
Altezza mozzo (m)	101
Quota del piede della torre rispetto ad area circostante	100
Velocità angolare (rpm)	6,5
densità aria	1,225
Superficie frontale Sx	0,3
Coefficiente di resistenza Cx	0,45
Superficie frontale Sy	13,65
Coefficiente di resistenza Cy	0,6
Superficie frontale Sz	2,7
Coefficiente di resistenza Cz	0,4
Massa del frammento	385

Angolo di distacco (gradi°)	GITTATA Centro di massa [m]	GITTATA assoluta	Vx	Vy	Tmax (istante di inversione del moto)	Ymax	Td tempo di discesa	Tv Tempo di volo
270	-149,33	156,73	-48,74	0,00	0,00	129,40	6,09	6,0922
275	-161,62	169,02	-48,55	4,25	0,43	130,59	6,13	6,5598
280	-173,52	180,92	-48,00	8,46	0,85	134,03	6,24	7,0815
285	-184,60	192,00	-47,08	12,61	1,23	139,45	6,40	7,6346
290	-194,50	201,90	-45,80	16,67	1,58	146,43	6,62	8,1980
295	-202,97	210,37	-44,17	20,60	1,89	154,57	6,86	8,7548
300	-209,81	217,21	-42,21	24,37	2,16	163,49	7,13	9,2937
305	-214,91	222,31	-39,92	27,95	2,39	172,89	7,42	9,8075
310	-218,15	225,55	-37,33	31,33	2,59	182,52	7,71	10,2929
315	-219,42	226,82	-34,46	34,46	2,75	192,21	7,99	10,7484
320	-218,56	225,96	-31,33	37,33	2,89	201,83	8,28	11,1741
325	-215,38	222,78	-27,95	39,92	3,01	211,27	8,56	11,5704
330	-209,60	217,00	-24,37	42,21	3,11	220,47	8,83	11,9381
335	-200,85	208,25	-20,60	44,17	3,18	229,35	9,09	12,2777
340	-188,54	195,94	-16,67	45,80	3,24	237,86	9,35	12,5895
345	-171,79	179,19	-12,61	47,08	3,29	245,95	9,58	12,8737
350	-149,13	156,53	-8,46	48,00	3,32	253,58	9,81	13,1299
355	-117,78	125,18	-4,25	48,55	3,34	260,69	10,02	13,3577
0	-71,60	79,00	0,00	48,74	3,35	267,23	10,21	13,5561
5	-23,83	31,23	4,25	48,55	3,34	273,17	10,38	13,7240
10	11,26	18,66	8,46	48,00	3,32	278,44	10,54	13,8597
15	39,16	46,56	12,61	47,08	3,29	283,02	10,67	13,9617
20	62,38	69,78	16,67	45,80	3,24	286,84	10,78	14,0277
25	82,29	89,69	20,60	44,17	3,18	289,87	10,87	14,0555
30	99,68	107,08	24,37	42,21	3,11	292,07	10,94	14,0426
35	115,06	122,46	27,95	39,92	3,01	293,41	10,98	13,9862
40	128,75	136,15	31,33	37,33	2,89	293,88	10,99	13,8835
45	140,97	148,37	34,46	34,46	2,75	293,47	10,98	13,7319
50	151,84	159,24	37,33	31,33	2,59	292,22	10,94	13,5288
55	161,46	168,86	39,92	27,95	2,39	290,19	10,88	13,2727
60	169,87	177,27	42,21	24,37	2,16	287,51	10,80	12,9630
65	177,10	184,50	44,17	20,60	1,89	284,36	10,71	12,6018
70	183,20	190,60	45,80	16,67	1,58	281,00	10,61	12,1942
75	188,21	195,61	47,08	12,61	1,23	277,77	10,52	11,7500
80	192,23	199,63	48,00	8,46	0,85	275,06	10,44	11,2842
85	195,41	202,81	48,55	4,25	0,43	273,24	10,38	10,8158
90	197,89	205,29	48,74	0,00	0,00	272,60	10,37	10,3662

	cittata CoG	gittata max	angolo	tempo volo	H max
MAX	219,42	226,82	315,00	10,748411	293,88



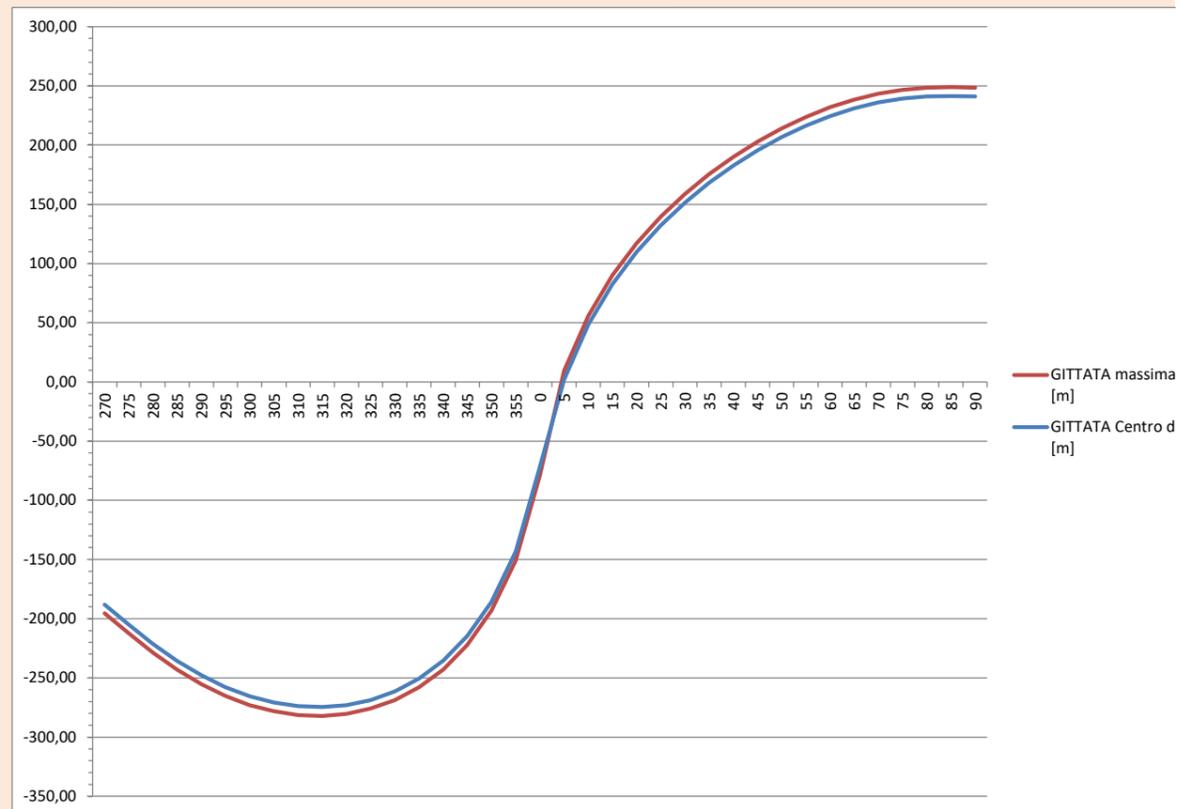


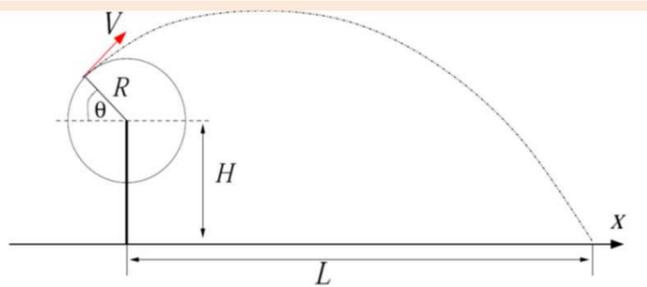
**Inserire le variabili del sistema nei campi in bianco sottostanti**

Diamentro del rotore (m)	158
Lunghezza del frammento [m]	10
Raggio al centro di massa del frammento (m)	71,6
Distanza punta frammento dal centro di massa (m)	7,4
Altezza mozzo (m)	101
Quota del piede della torre rispetto ad area circostante	100
Velocità angolare (rpm)	10
densità aria	1,225
Superficie frontale Sx	0,3
Coefficiente di resistenza Cx	0,45
Superficie frontale Sy	13,65
Coefficiente di resistenza Cy	0,6
Superficie frontale Sz	2,7
Coefficiente di resistenza Cz	0,4
Massa del frammento	385

Angolo di distacco (gradi°)	GITTATA Centro di massa [m]	GITTATA assoluta	Vx	Vy	Tmax (istante di inversione del moto)	Ymax	Td tempo di discesa	Tv Tempo di volo
270	-188,23	195,63	-74,98	0,00	0,00	129,40	6,09	6,0922
275	-205,01	212,41	-74,69	6,53	0,66	131,81	6,17	6,8253
280	-221,16	228,56	-73,84	13,02	1,27	138,56	6,38	7,6437
285	-235,66	243,06	-72,42	19,41	1,80	148,49	6,68	8,4794
290	-247,97	255,37	-70,46	25,64	2,24	160,34	7,04	9,2834
295	-257,93	265,33	-67,95	31,69	2,61	173,10	7,42	10,0307
300	-265,55	272,95	-64,93	37,49	2,90	186,11	7,81	10,7136
305	-270,88	278,28	-61,42	43,01	3,14	198,98	8,20	11,3335
310	-273,94	281,34	-57,44	48,20	3,33	211,49	8,57	11,8958
315	<b>-274,68</b>	<b>282,08</b>	<b>-53,02</b>	<b>53,02</b>	<b>3,48</b>	<b>223,54</b>	<b>8,92</b>	<b>12,4067</b>
320	-273,00	280,40	-48,20	57,44	3,61	235,06	9,26	12,8720
325	-268,68	276,08	-43,01	61,42	3,71	246,04	9,59	13,2966
330	-261,39	268,79	-37,49	64,93	3,79	256,45	9,89	13,6844
335	-250,61	258,01	-31,69	67,95	3,86	266,30	10,18	14,0381
340	-235,54	242,94	-25,64	70,46	3,91	275,55	10,45	14,3597
345	-214,81	222,21	-19,41	72,42	3,94	284,18	10,71	14,6504
350	-185,92	193,32	-13,02	73,84	3,97	292,18	10,94	14,9108
355	-143,45	150,85	-6,53	74,69	3,99	299,51	11,15	15,1406
0	-71,60	79,00	0,00	74,98	3,99	306,13	11,35	15,3394
5	2,10	9,50	6,53	74,69	3,99	311,99	11,52	15,5059
10	48,46	55,86	13,02	73,84	3,97	317,05	11,67	15,6385
15	82,57	89,97	19,41	72,42	3,94	321,25	11,79	15,7353
20	109,68	117,08	25,64	70,46	3,91	324,52	11,89	15,7936
25	132,19	139,59	31,69	67,95	3,86	326,81	11,95	15,8103
30	151,40	158,80	37,49	64,93	3,79	328,05	11,99	15,7818
35	168,08	175,48	43,01	61,42	3,71	328,17	11,99	15,7038
40	182,69	190,09	48,20	57,44	3,61	327,11	11,96	15,5712
45	195,52	202,92	53,02	53,02	3,48	324,79	11,89	15,3781
50	206,74	214,14	57,44	48,20	3,33	321,19	11,79	15,1180
55	216,40	223,80	61,42	43,01	3,14	316,28	11,65	14,7833
60	224,54	231,94	64,93	37,49	2,90	310,13	11,47	14,3665
65	231,10	238,50	67,95	31,69	2,61	302,89	11,25	13,8612
70	236,04	243,44	70,46	25,64	2,24	294,91	11,02	13,2646
75	239,33	246,73	72,42	19,41	1,80	286,81	10,78	12,5832
80	241,04	248,44	73,84	13,02	1,27	279,58	10,57	11,8396
85	241,47	248,87	74,69	6,53	0,66	274,47	10,42	11,0793
90	241,17	248,57	74,98	0,00	0,00	272,60	10,37	10,3662

	cittata CoG	gittata max	angolo	tempo volo	H max
MAX	274,68	282,08	315,00	12,4067007	328,17





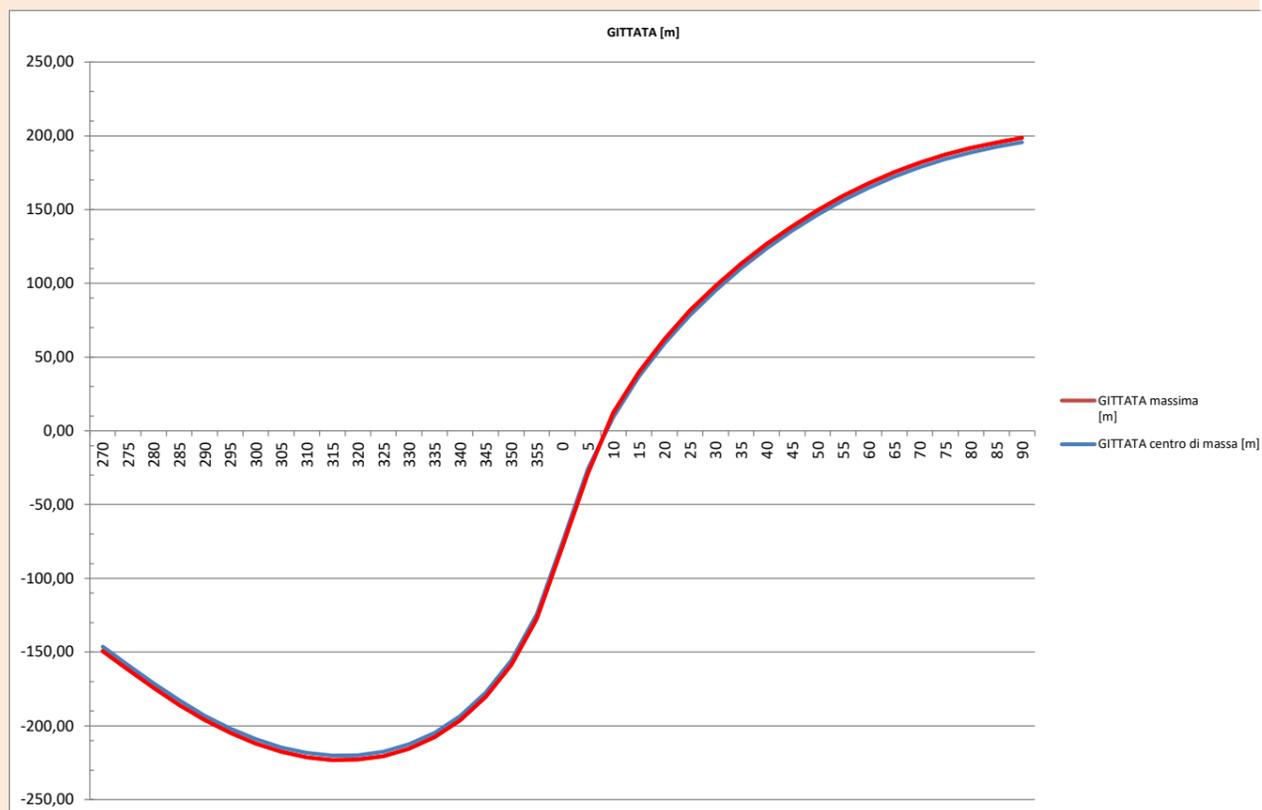
Inserire le variabili del sistema nei campi in bianco sottostanti

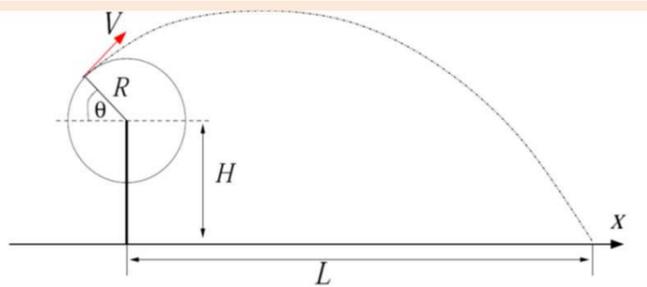
Diamentro del rotore (m)	158
Lunghezza del frammento (m)	5
Raggio al centro di massa del frammento (m)	76
Distanza punta frammento dal centro di massa (m)	3
Altezza mozzo (m)	101
Quota del piede della torre rispetto ad area circostante	100
Velocità angolare (rpm)	6,5
densità aria	1,225
Superficie frontale Sx	0,176
Coefficiente di resistenza Cx	0,35
Superficie frontale Sy	5,32
Coefficiente di resistenza Cy	0,6
Superficie frontale Sz	1,05
Coefficiente di resistenza Cz	0,4
Massa del frammento	126

76

Angolo di distacco (gradi°)	GITTATA centro di massa [m]	GITTATA massima [m]	Vx	Vy	Tmax (istante di inversione del moto)	Ymax	Td tempo di discesa	Tv Tempo di volo
270	-146,29	149,29	-51,73	0,00	0,00	125,00	6,07	6,0693
275	-158,96	161,96	-51,53	4,51	0,46	126,32	6,11	6,5688
280	-171,28	174,28	-50,95	8,98	0,89	130,12	6,24	7,1287
285	-182,76	185,76	-49,97	13,39	1,29	136,02	6,43	7,7203
290	-193,04	196,04	-48,61	17,69	1,65	143,54	6,67	8,3181
295	-201,86	204,86	-46,88	21,86	1,96	152,19	6,94	8,9036
300	-209,07	212,07	-44,80	25,87	2,22	161,54	7,24	9,4653
305	-214,58	217,58	-42,38	29,67	2,45	171,30	7,55	9,9974
310	-218,30	221,30	-39,63	33,25	2,64	181,24	7,86	10,4980
315	-220,12	223,12	-36,58	36,58	2,79	191,18	8,18	10,9671
320	-219,90	222,90	-33,25	39,63	2,92	201,03	8,48	11,4057
325	-217,45	220,45	-29,67	42,38	3,03	210,69	8,79	11,8152
330	-212,49	215,49	-25,87	44,80	3,12	220,10	9,08	12,1968
335	-204,64	207,64	-21,86	46,88	3,19	229,22	9,36	12,5514
340	-193,30	196,30	-17,69	48,61	3,24	237,99	9,64	12,8797
345	-177,52	180,52	-13,39	49,97	3,28	246,36	9,90	13,1818
350	-155,64	158,64	-8,98	50,95	3,31	254,30	10,14	13,4573
355	-124,45	127,45	-4,51	51,53	3,33	261,75	10,37	13,7058
0	-76,00	79,00	0,00	51,73	3,34	268,66	10,59	13,9261
5	-25,81	28,81	4,51	51,53	3,33	275,00	10,79	14,1169
10	9,35	12,35	8,98	50,95	3,31	280,69	10,96	14,2765
15	36,68	39,68	13,39	49,97	3,28	285,70	11,12	14,4028
20	59,20	62,20	17,69	48,61	3,24	289,98	11,25	14,4936
25	78,44	81,44	21,86	46,88	3,19	293,46	11,36	14,5462
30	95,26	98,26	25,87	44,80	3,12	296,10	11,44	14,5576
35	110,20	113,20	29,67	42,38	3,03	297,87	11,50	14,5247
40	123,59	126,59	33,25	39,63	2,92	298,73	11,52	14,4438
45	135,64	138,64	36,58	36,58	2,79	298,66	11,52	14,3115
50	146,49	149,49	39,63	33,25	2,64	297,67	11,49	14,1242
55	156,20	159,20	42,38	29,67	2,45	295,81	11,43	13,8790
60	164,81	167,81	44,80	25,87	2,22	293,18	11,35	13,5740
65	172,35	175,35	46,88	21,86	1,96	289,95	11,25	13,2094
70	178,82	181,82	48,61	17,69	1,65	286,38	11,14	12,7894
75	184,28	187,28	49,97	13,39	1,29	282,85	11,03	12,3236
80	188,79	191,79	50,95	8,98	0,89	279,81	10,94	11,8285
85	192,49	195,49	51,53	4,51	0,46	277,74	10,87	11,3277
90	195,57	198,57	51,73	0,00	0,00	277,00	10,85	10,8481

	cittata CoG	gittata max	angolo	tempo volo	H max
MAX	220,12	223,12	315,00	10,96707083	298,73





**Inserire le variabili del sistema nei campi in bianco sottostanti**

Diamentro del rotore (m)	158
Lunghezza del frammento (m)	5
Raggio al centro di massa del frammento (m)	76
Distanza punta frammento dal centro di massa (m)	3
Altezza mozzo (m)	101
Quota del piede della torre rispetto ad area circostante	100
Velocità angolare (rpm)	10
densità aria	1,225
Superficie frontale Sx	0,176
Coefficiente di resistenza Cx	0,35
Superficie frontale Sy	5,32
Coefficiente di resistenza Cy	0,6
Superficie frontale Sz	1,05
Coefficiente di resistenza Cz	0,4
Massa del frammento	126

76

Angolo di distacco (gradi°)	GITTATA centro di massa [m]	GITTATA massima [m]	Vx	Vy	Tmax (istante di inversione del moto)	Ymax	Td tempo di discesa	Tv Tempo di volo
270	-182,31	185,31	-79,59	0,00	0,00	125,00	6,07	6,0693
275	-199,31	202,31	-79,28	6,94	0,70	127,69	6,16	6,8532
280	-215,64	218,64	-78,38	13,82	1,33	135,10	6,40	7,7277
285	-230,19	233,19	-76,88	20,60	1,87	145,74	6,74	8,6079
290	-242,48	245,48	-74,79	27,22	2,31	158,14	7,13	9,4396
295	-252,44	255,44	-72,13	33,63	2,65	171,21	7,55	10,2008
300	-260,17	263,17	-68,92	39,79	2,93	184,33	7,96	10,8887
305	-265,74	268,74	-65,19	45,65	3,15	197,17	8,36	11,5095
310	-269,20	272,20	-60,97	51,16	3,32	209,59	8,75	12,0715
315	-270,51	273,51	-56,28	56,28	3,46	221,53	9,12	12,5828
320	-269,55	272,55	-51,16	60,97	3,57	232,95	9,48	13,0504
325	-266,14	269,14	-45,65	65,19	3,66	243,87	9,82	13,4797
330	-259,93	262,93	-39,79	68,92	3,73	254,27	10,14	13,8747
335	-250,44	253,44	-33,63	72,13	3,79	264,16	10,45	14,2384
340	-236,84	239,84	-27,22	74,79	3,83	273,51	10,74	14,5727
345	-217,79	220,79	-20,60	76,88	3,87	282,32	11,01	14,8786
350	-190,69	193,69	-13,82	78,38	3,89	290,55	11,27	15,1564
355	-149,73	152,73	-6,94	79,28	3,90	298,17	11,50	15,4059
0	-76,00	79,00	0,00	79,59	3,91	305,14	11,72	15,6264
5	-0,28	3,28	6,94	79,28	3,90	311,42	11,91	15,8164
10	44,75	47,75	13,82	78,38	3,89	316,94	12,09	15,9742
15	77,26	80,26	20,60	76,88	3,87	321,66	12,23	16,0975
20	102,91	105,91	27,22	74,79	3,83	325,50	12,35	16,1837
25	124,22	127,22	33,63	72,13	3,79	328,39	12,44	16,2294
30	142,48	145,48	39,79	68,92	3,73	330,27	12,50	16,2308
35	158,44	161,44	45,65	65,19	3,66	331,05	12,52	16,1832
40	172,57	175,57	51,16	60,97	3,57	330,66	12,51	16,0812
45	185,12	188,12	56,28	56,28	3,46	329,01	12,46	15,9185
50	196,27	199,27	60,97	51,16	3,32	326,03	12,37	15,6874
55	206,06	209,06	65,19	45,65	3,15	321,68	12,23	15,3793
60	214,51	217,51	68,92	39,79	2,93	315,96	12,06	14,9843
65	221,56	224,56	72,13	33,63	2,65	308,96	11,84	14,4929
70	227,13	230,13	74,79	27,22	2,31	300,97	11,59	13,8978
75	231,15	234,15	76,88	20,60	1,87	292,56	11,33	13,2006
80	233,62	236,62	78,38	13,82	1,33	284,79	11,09	12,4211
85	234,83	237,83	79,28	6,94	0,70	279,11	10,91	11,6101
90	235,35	238,35	79,59	0,00	0,00	277,00	10,85	10,8481

	cittata CoG	gittata max	angolo	tempo volo	H max
<b>MAX</b>	270,51	273,51	315,00	12,58282126	331,05

