

REGIONE PUGLIA



PROVINCIA DI FOGGIA

Anzano di Puglia



Comuni di :  
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

*Infes*



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 : Settembre 2022

N°/CODICE ELABORATO :

**R\_03**

SCALA :

Tipologia : R (Relazioni)

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



**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)

00	Settembre 2022	Emissione progetto definitivo	Studio Mezzina	IVPC s.r.l.
N° REVISIONE	DATA	OGGETTO DELLA REVISIONE	ELABORAZIONE	APPROVAZIONE



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



**PROPONENTE:**

**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](mailto:ivpc@pec.ivpc.com)

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

**IVPC**



**PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO DELLA POTENZA DI GENERAZIONE PARI A 117,60MW E POTENZA AI FINI DELLA CONNESSIONE PARI A 117,60MW 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 DI CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA DI ELEMENTI ROTANTI PER ROTTURA ACCIDENTALE DELLA PALA E DI FRAMMENTI DI PALA**



**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>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b>INQUADRAMENTO DELL'IMPIANTO.....</b>	<b>7</b>
<b>4.</b>	<b>Distanze dai principali elementi sensibili dell'area.....</b>	<b>9</b>
<b>5.</b>	<b>CARATTERISTICHE DELL'AEROGENERATORE DI PROGETTO.....</b>	<b>12</b>
<b>6.</b>	<b>METODO UTILIZZATO PER IL CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA .....</b>	<b>14</b>
6.1	<b>Ipotesi.....</b>	<b>14</b>
6.2	<b>Modello di calcolo .....</b>	<b>17</b>
<b>7.</b>	<b>RISULTATI DEL CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA PER ROTTURA DELL'INTERA PALA.....</b>	<b>21</b>
<b>8.</b>	<b>CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA PER DISTACCO DEI FRAMMENTI DI PALA.....</b>	<b>23</b>
8.1	<b>Rottura di un frammento di pala distante 10 m dalla punta della pala.....</b>	<b>23</b>
8.2	<b>Rottura di un frammento di pala distante 5 m dalla punta della pala.....</b>	<b>24</b>
<b>9.</b>	<b>RIEPILOGO DEI RISULTATI OTTENUTI.....</b>	<b>25</b>
<b>10.</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>26</b>

STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA  
 Ing. Mezzina Antonio  
 San Severo



## 1. OGGETTO.

La presente relazione tecnica è stata redatta al fine di esporre lo studio della gittata massima degli elementi rotanti generato dalle WTG dell'impianto eolico da 28 MW oggetto del presente Rifacimento e potenziamento dell'impianto eolico esistente che la società IVPC S.r.l., intende realizzare nel comune di Anzano di Puglia, Monteleone di Puglia e Sant'Agata di puglia.

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 e di frammenti di essa costituiti dagli ultimi suoi 10m e 5m.

## 2. PREMESSA.

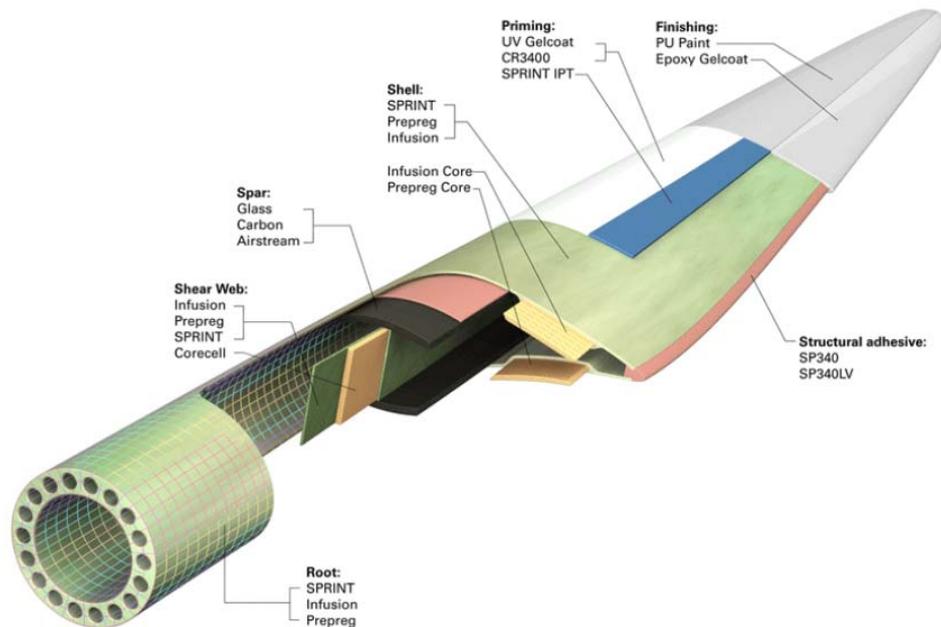
La reale distanza raggiungibile da una pala - ovvero da frammenti di essa - distaccatasi dal rotore di un aerogeneratore, è funzione di un gran numero di variabili, che vanno dall'effettiva velocità istantanea del rotore nel momento del lancio alle condizioni meteo-anemometriche, dalle effettive dimensioni, 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 in modo esaustivo, tenendo pertanto in considerazione le forze di attrito viscoso ed utilizzando l'analisi dinamica per risolvere il problema fluidodinamico.

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 di settore, facendo riferimento a tre eventi esemplificativi:

1. Rottura della pala intera;
2. Rottura del frammento di pala distante 10 m dalla punta della pala;
3. Rottura del frammento di pala distante 5 m dalla punta della pala.

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, ed in effetti statisticamente più riscontrato.

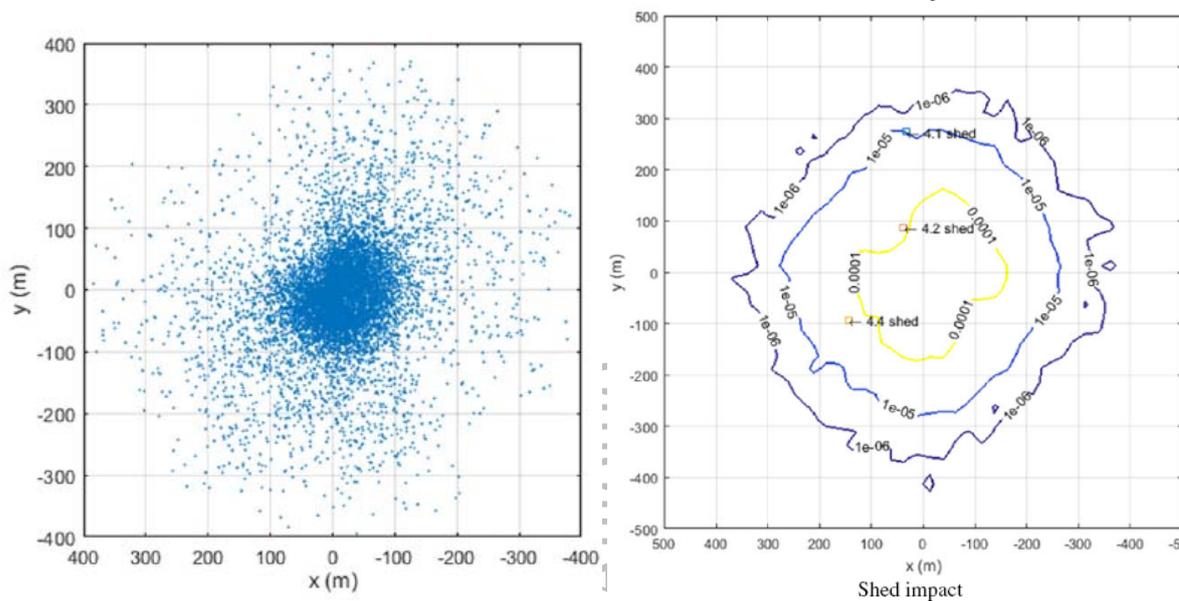


**Figura 1. Pala in composito di un aerogeneratore**

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

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

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



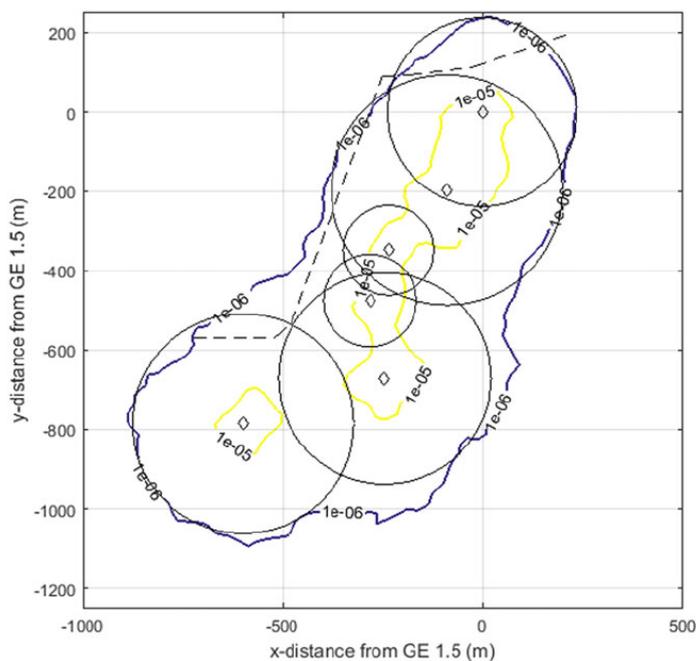
**Figura 2.** A sx: Distribuzione dei punti di impatto su 10.000 simulazioni per una turbina test.  
 A dx: relative probabilità di impatto rispetto ad una costruzione di pianta 25x25 ed altezza 3.67m<sup>2</sup>.

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.



**Figura 3. Inviluppo 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
	Critical	High	High	Moderate	Low	Low
	Marginal	Moderate	Moderate	Low	Low	Routine
	Negligible	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  $1 \times 10^{-4}$  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.

La presente Relazione si riferisce al Progetto di Rifacimento e Potenziamento di un Parco Eolico esistente costituito da un gruppo di impianti ricadenti nei Comuni di Monteleone di Puglia, Anzano di Puglia, Sant'Agata di Puglia, tutti in provincia di Foggia, nella Regione Puglia, con opere di connessione che si sviluppano nei medesimi comuni. Gli impianti sono attualmente connessi alla rete mediante una sottostazione utente di trasformazione MT/AT situata nel comune di Anzano di Puglia e collegata tramite un breve tratto di linea aerea alle sbarre esistente Stazione di Smistamento MF-POWER a 150kV della SE MF-POWER, ubicata nel territorio di Vallesaccarda (AV) al confine con il comune di Anzano di Puglia. Tale SE è inserita mediante raccordi in entra esce sulla linea a 150kV Lacedonia – Flumeri. L'impianto esistente da dismettere è di proprietà della società IVPC Srl.

In particolare, l'impianto esistente è composto in totale da n. 82 aerogeneratori tripala con torre tralicciata, di cui n. 46 modello Vestas V42 e n. 36 modello Vestas V44, tutte di potenza nominale pari a 0,60 MW, per una potenza complessiva di 49,20 MW.

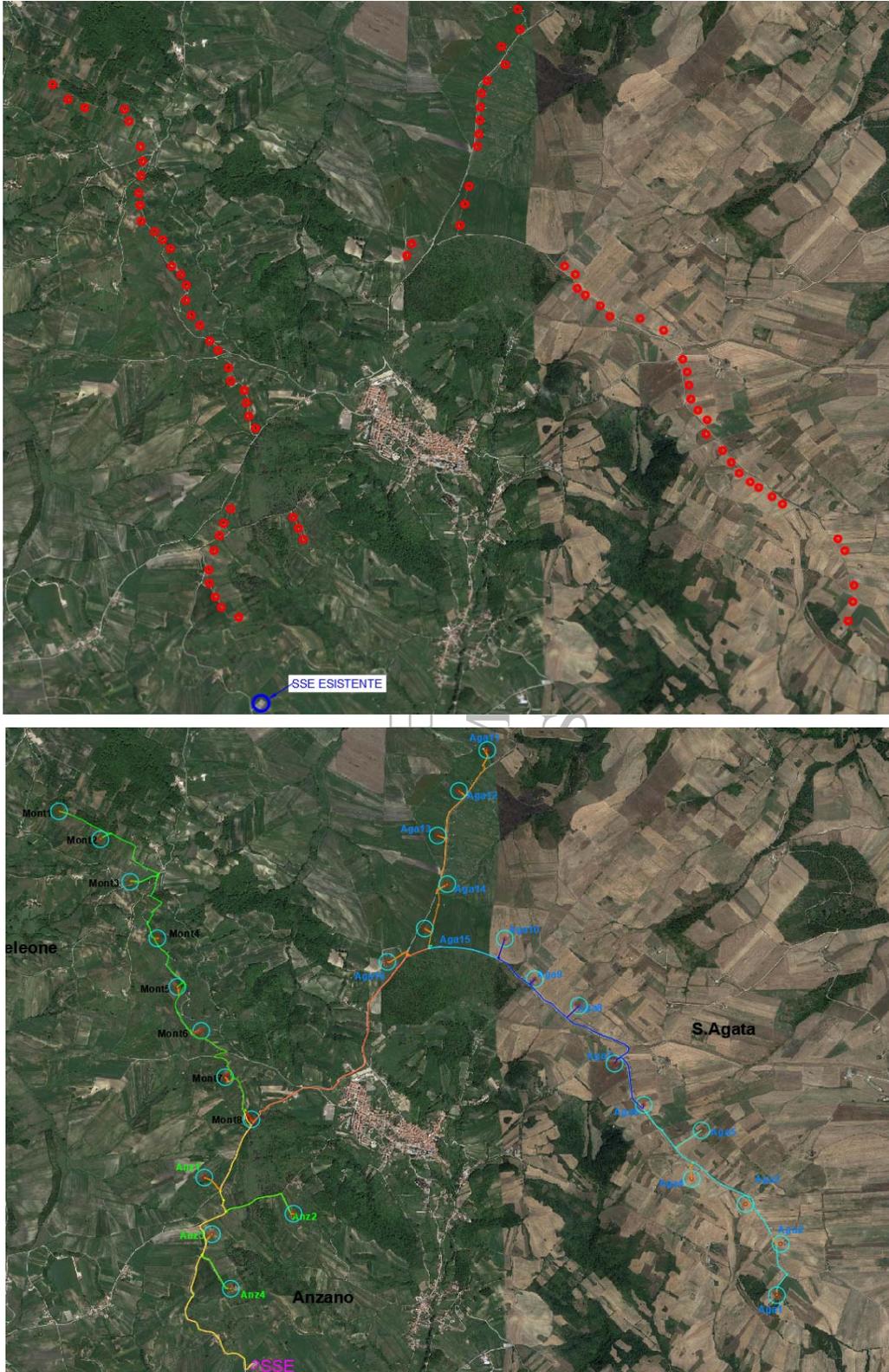
Il nuovo impianto, che sostituirà quello attualmente esistente, sarà costituito da n. 28 aerogeneratori tripala con torre tubolare, avente un diametro del rotore pari a 136 m, potenza nominale pari a 4,2 MW, per una potenza complessiva di 117,60 MW.

Esso sarà collegato sempre tramite elettrodotti interrati, il cui tracciato seguirà principalmente quello degli elettrodotti esistenti, e confluirà in un ampliamento della esistente Sottostazione Produttore nel Comune di Anzano di Puglia (FG).

L'impianto esistente da dismettere è di proprietà della società IVPC S.r.l., la stessa che ne ha commissionato il progetto di rifacimento e potenziamento.

In sintesi, le principali opere di progetto consisteranno nella:

- **Dismissione delle 82 torri eoliche esistenti**, di cui n. 46 modello Vestas V42 e n. 36 modello Vestas V44, con potenza unitaria di **600kW** per un totale di **49,20 MW**.
- **Messa in opera di n. 28 aerogeneratori**, ciascuno dei quali aventi potenza unitaria di **4,20 MW**, per una potenza complessiva di **117,60 MW**.
- **Sostituzione degli elettrodotti interrati esistenti** con nuove linee MT, adeguate per numero, costituzione e formazione ai nuovi aerogeneratori ed alla relativa potenza. I tracciati delle linee interrate di progetto seguiranno per la maggior parte, e ovunque possibile, i tracciati di quelli esistenti da dismettere e comunque saranno posati lungo la viabilità esistente o di progetto.
- Connessione alla RTN del nuovo impianto tramite il rifacimento della SSE con adeguamento della potenza dagli attuali circa 50MW ai futuri circa 120MW.



**Figura 4. Inquadramento di ampio raggio su ortofoto dell'area di intervento, situata tra i comuni di Anzano, Monteleone e Sant'Agata. Nella figura in alto è rappresentato lo stato di fatto esistente con 82**



aerogeneratori e in quella in basso è rappresentato lo stato di progetto con la collocazione dei 28 aerogeneratori

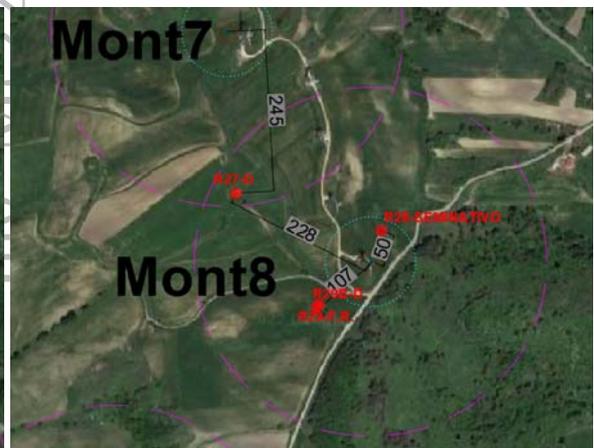
#### 4. Distanze dai principali elementi sensibili dell'area

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

identificativo ricettore	coord est	coord nord	comune	foglio	particella	classe	WTG più vicino	Distanza WTG
R1	521157,00	4554670,00	Monteleone	26	510	DEPOSITO	Mont 1	> 265 m
R2	521103,50	4554639,00	Monteleone	26	483	ABITAZIONE	Mont 1	> 265 m
R3	521077,50	4554616,00	Monteleone	26	483	ABITAZIONE	Mont 1	> 265 m
R4	521090,00	4554594,00	Monteleone	26	407	SEMINATIVO	Mont 1	> 265 m
R5	522197,50	4554525,00	Monteleone	26	512	ABITAZIONE	Mont 3	> 265 m
R6	522216,00	4554529,50	Monteleone	26	511	DEPOSITO	Mont 3	> 265 m
R7	522319,50	4554529,00	Monteleone	26	158	FABB DIRUTO	Mont 3	> 265 m
R8	522345,50	4554418,00	Monteleone	26	376	DEPOSITO	Mont 3	> 265 m
R9	522377,60	4554432,40	Monteleone	22	545	ABITAZIONE	Mont 3	> 265 m
R9B	522385,30	4554422,00	Monteleone	22	546	ABITAZIONE	Mont 3	> 265 m
R9C	522397,50	4554441,50	Monteleone	22	71	SEMINATIVO- FU D ACCERT	Mont 3	> 265 m
R9D	522401,00	4554425,00	Monteleone	22	325	SEMINATIVO	Mont 3	> 265 m
R10	522372,50	4554412,00	Monteleone	26	467	ABITAZIONE	Mont 3	> 265 m
R10B	522362,00	4554418,40	Monteleone	26	343	DEPOSITO	Mont 3	> 265 m
R11	522368,50	4554397,50	Monteleone	26	466	BOX	Mont 3	> 265 m
R11B	522254,00	4554322,00	Monteleone	26	333	ENTE URBANO	Mont 3	> 265 m
R12	521231,50	4554468,00	Monteleone	26	397	SEMINATIVO	Mont 1	> 265 m
R13	521538,50	4554289,50	Monteleone	27	536	ABITAZIONE	Mont 2	> 265 m
R13B	521574,40	4554289,50	Monteleone	27	537	F06	Mont 2	> 265 m
R14	521746,00	4554107,50	Monteleone	27	438	ABITAZIONE	Mont 3	> 265 m
R15	521973,50	4553924,00	Monteleone	27	535	ABITAZIONE	Mont 4	> 265 m
R15B	521952,90	4553936,00	Monteleone	27	534	F06	Mont 4	> 265 m
R16	521989,00	4553890,50	Monteleone	27	533	DEPOSITO	Mont 4	252 m
R16B	521910,00	4553686,00	Monteleone	27	476	DEPOSITO	Mont 4	> 265 m
R17	521926,00	4553679,50	Monteleone	27	154	PASCOLO	Mont 4	> 265 m
R18	521952,00	4553654,50	Monteleone	27	480	ABITAZIONE	Mont 4	> 265 m
R19	521936,50	4553629,00	Monteleone	27	477	DEPOSITO	Mont 4	> 265 m
R20	522027,00	4553412,00	Monteleone	27	391	PASCOLO	Mont 5	> 265 m
R20B	522657,00	4553349,00	Monteleone	28	90	SEMINATIVO	Mont 5	> 265 m
R21	522685,50	4553325,50	Monteleone	28	417	ABITAZIONE	Mont 5	> 265 m
R22	522841,00	4553147,50	Monteleone	28	421	ABITAZIONE	Mont 6	> 265 m
R23	522848,50	4553119,00	Monteleone	28	422	BOX	Mont 6	> 265 m
R24	522796,50	4553103,50	Monteleone	28	102	SEMINATIVO	Mont 6	244 m
R25	522772,50	4552959,50	Monteleone	28	111	SEMINATIVO	Mont 6	205 m
R26	522430,50	4552656,50	Monteleone	30	351	ABITAZIONE	Mont 7	> 265 m
R27	522783,00	4552376,00	Monteleone	30	349	DEPOSITO	Mont 7 - 8	228 m
R28	523001,50	4552319,00	Monteleone	28	385	SEMINATIVO	Mont 8	50 m
R29	522904,20	4552202,50	Monteleone	30	99	FABB RURALE	Mont 8	100 m
R29B	522907,90	4552206,80	Monteleone	30	359	DEPOSITO	Mont 8	106 m
R30	523379,00	4551754,00	Anzano	2	686	DEPOSITO	Anz 2	> 265 m
R31	523373,50	4551711,50	Anzano	2	685	ABITAZIONE	Anz 2	266 m
R32	523175,00	4551606,00	Anzano	2	666	DEPOSITO	Anz 2	219 m
R33	522692,00	4550440,00	Treviso	2	893	ENTE URBANO	Anz 4	> 265 m
R34	525186,00	4555476,50	Sant' Agata	52	415	ABITAZIONE	Aga 11	> 265 m
R35	525287,44	4555299,74	Sant' Agata	52	432	ABITAZIONE	Aga 11	> 265 m
R36	525338,00	4555266,50	Sant' Agata	52	432	ABITAZIONE	Aga 11	> 265 m
R37	524283,30	4555009,60	Sant' Agata	53	179	SEMINATIVO	Aga 12	> 265 m
R37B	524287,30	4555003,10	Sant' Agata	53	165	SEMINATIVO	Aga 12	> 265 m
R38	524244,50	4554475,50	Sant' Agata	53	122	SEMINATIVO	Aga 13	> 265 m
R39	524159,00	4554219,00	Sant' Agata	53	221	SEMINATIVO	Aga 14	> 265 m
R40	524153,52	4554197,50	Sant' Agata	53	357	DEPOSITO	Aga 14	> 265 m
R41	523750,00	4553284,50	Sant' Agata	54	428	ABITAZIONE	Aga 16	> 265 m
R42	523778,50	4553272,00	Sant' Agata	54	428	ABITAZIONE	Aga 16	> 265 m
R43	523756,50	4553270,00	Sant' Agata	54	428	ABITAZIONE	Aga 16	> 265 m
R44	523830,50	4553223,00	Sant' Agata	54	438	UNITA' COLLABENTI	Aga 16	> 265 m
R44B	523922,50	4553190,50	Sant' Agata	54	134	DEPOSITO	Aga 16	> 265 m
R45	525191,00	4552932,50	Anzano	4	2	SEMINATIVO	Aga 9	> 265 m
R46	526356,00	4552759,50	Sant' Agata	68	664	DEPOSITO	Aga 7	> 265 m
R46B	526350,90	4552744,60	Sant' Agata	68	668	ABITAZIONE	Aga 6	> 265 m
R47	526391,50	4552761,00	Sant' Agata	68	140	SEMINATIVO	Aga 6	> 265 m
R48	526337,50	4552706,50	Sant' Agata	68	665	AZIENDA AGRICOLA-ABITAZIONE	Aga 6	> 265 m
R48B	526369,90	4552693,70	Sant' Agata	68	670	F06	Aga 6	> 265 m
R49	526344,00	4552676,00	Sant' Agata	68	696	ENTE URBANO	Aga 6	> 265 m
R50	525658,50	4552642,00	Anzano	4	420	DEPOSITO	Aga 7	> 265 m
R51	525964,50	4552215,00	Sant' Agata	68	650	ABITAZIONE	Aga 6	> 265 m
R52	527101,00	4551183,00	Sant' Agata	70	611	SEMINATIVO	Aga 2	240 m
R53	527715,00	4551094,00	Sant' Agata	70	990	ABITAZIONE	Aga 2	> 265 m
R54	527709,00	4551071,50	Sant' Agata	70	ACQUE	Aga 2	> 265 m	
R55	527659,50	4550985,00	Sant' Agata	70	STRADE	Aga 1	> 265 m	
R56	527569,00	4551584,00	Sant' Agata	68	90	SEMINATIVO	Aga 2	> 265 m
R57	526887,00	4551305,00	Sant' Agata	69	240	SEMINATIVO	Aga 3	> 265 m
R58	527379,50	4551266,00	Sant' Agata	70	1039	DEPOSITO	Aga 2	53 m

Tab. 2. Elenco elementi sensibili nell'area del parco eolico

Oltre ai suddetti elementi, nell'area del parco eolico non sono presenti ricettori significativi ai fini della verifica della gittata massima degli elementi rotanti in caso di rottura, poiché i fabbricati più prossimi sono tutti di tipo diruto, non agibile e non abitabile e catastalmente censiti come collabenti, seminativo o deposito così come riportato in figura seguente:

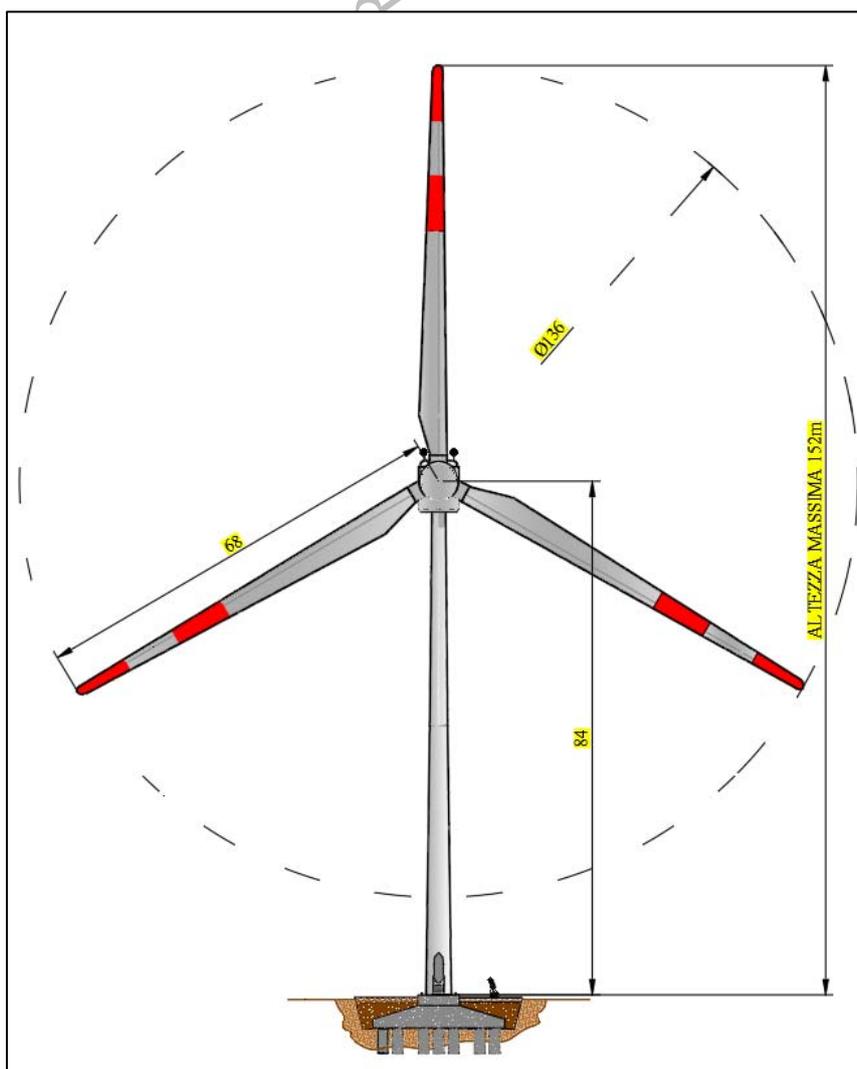




**Figura 5.** Posizionamento ricettori circoscritti nelle circonferenze di possibile gittata: In Magenta la gittata massima della proposta di rifacimento dell'impianto (265m); in rosso vengono rappresentate le strutture prese in esame nello studio effettuato, essendo tutte unità catastalmente individuate come seminativo, unità collabenti o depositi, questi non rientrano nei ricettori significativi; l'unico recettore censito come abitazione è l'R31 che comunque risulta avere una distanza maggiore della distanza di massima gittata.

## 5. CARATTERISTICHE DELL'AEROGENERATORE DI PROGETTO.

Come sopra già descritto, l'impianto eolico proposto in rifacimento di quello esistente, è costituito da n. 28 aerogeneratori VESTAS V136 da 4.2 MW, con altezza di mozzo ( $h_h$ ) pari a 84 m, diametro del rotore di 136m e lunghezza della singola pala (blade) di 66,66 m; in **Figura 66** è riportato uno schema dimensionale dell'aerogeneratore di che trattasi.



**Figura 6. Schema dell'aerogeneratore VESTAS V136 da 4.2 MW.**

La velocità angolare del rotore dell'aerogeneratore, consentita nelle normali condizioni di operatività, è pari a 10,8 giri al minuto (rpm); i sistemi di controllo dell'aerogeneratore, istante per istante, cercano di inseguire tale velocità di massimo rendimento. Qualora ciò non riuscisse interviene il sistema di sicurezza **VESTAS Overspeed Guard** settato per arrestare completamente la macchina a 14 rpm. Quest'ultimo valore, si ribadisce, non è da confondere con la velocità operativa essendo un sistema di sicurezza di seconda guardia.

Nella **Figura 77** è riportato il data sheet del costruttore dell'aerogeneratore dal quale è possibile vedere la velocità operativa dell'aerogeneratore al variare della velocità del vento.

T05			
DOCUMENT: [0068-0835] VER 02	DESCRIPTION: 4MW RPM curves		RESTRICTED
<b>2. Average rotor speed vs. wind speed</b>			PAGE 4/9
	V117 4.0/4.2MW Speed [RPM]	V136 4.0/4.2MW Speed [RPM]	V150 4.0/4.2MW Speed [RPM]
3.0	7.29	5.56	4.89
3.5	7.30	5.56	4.89
4.0	7.30	5.57	4.99
4.5	7.30	5.96	5.50
5.0	7.62	6.60	6.09
5.5	8.32	7.24	6.70
6.0	9.06	7.90	7.30
6.5	9.81	8.55	7.91
7.0	10.57	9.21	8.52
7.5	11.32	9.86	9.16
8.0	12.07	10.43	9.71
8.5	12.81	10.72	10.17
9.0	13.32	10.79	10.34
9.5	13.54	10.80	10.36
10.0	13.58	10.79	10.37
10.5	13.58	10.79	10.37
11.0	13.57	10.79	10.37
11.5	13.56	10.80	10.37
12.0	13.57	10.80	10.37
12.5	13.58	10.80	10.37
13.0	13.58	10.80	10.37
13.5	13.58	10.80	10.37
14.0	13.58	10.80	10.37
14.5	13.58	10.80	10.37
15.0	13.58	10.80	10.37
15.5	13.58	10.80	10.37
16.0	13.58	10.80	10.37
16.5	13.58	10.80	10.37
17.0	13.58	10.80	10.37
17.5	13.58	10.80	10.37
18.0	13.58	10.80	10.37
18.5	13.58	10.80	10.37
19.0	13.58	10.80	10.37
19.5	13.58	10.80	10.37
20.0	13.58	10.80	10.37
20.5	13.58	10.80	10.37
21.0	13.58	10.80	10.12
21.5	13.58	10.80	9.26
22.0	13.58	10.80	8.03
22.5	13.58	10.80	6.91
23.0	13.58	10.80	6.61
23.5	13.58	10.80	6.47
24.0	13.58	10.80	6.27
24.5	13.58	10.80	6.09
25.0	13.58	10.80	

**Figura 7.** Data sheet dei valori di velocità angolare (rpm) alle diverse velocità del vento.

## 6. 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.

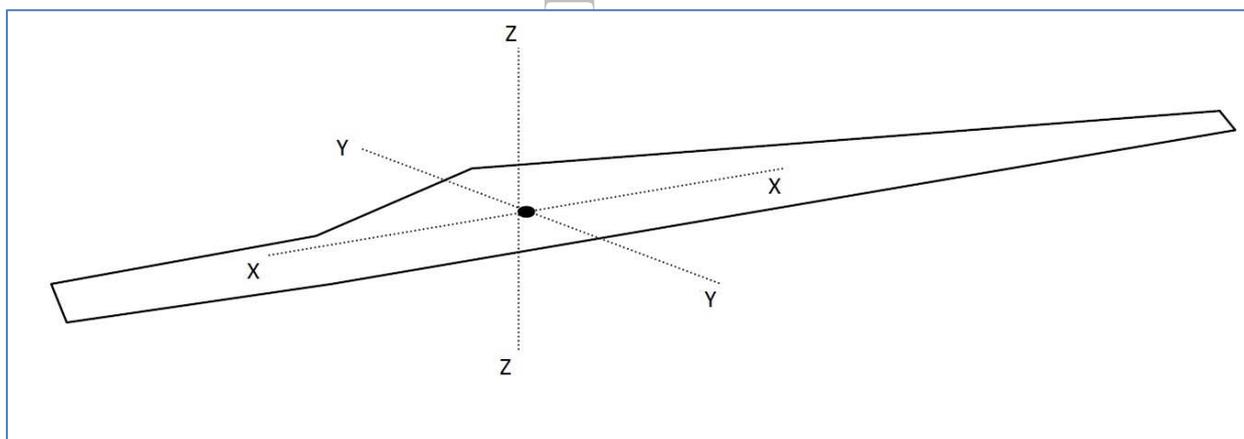
Il calcolo descritto nel seguito determina il punto di impatto con il terreno rispetto all'aerogeneratore (gittata massima), al fine di verificare la compatibilità dell'opera con gli insediamenti abitativi e le infrastrutture più prossime agli aerogeneratori.

### 6.1 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.



**Figura 8. 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



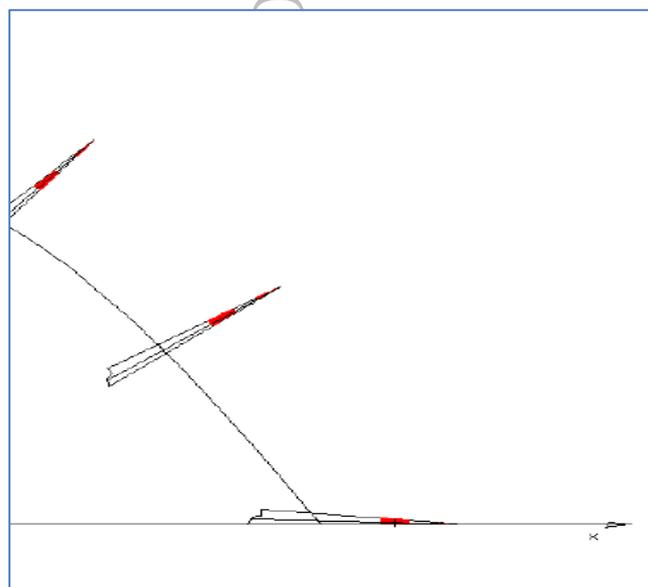
ma variabili istante per istante: infatti le forze inerziali (per la conservazione della quantità di moto) determineranno la rotazione della pala o del frammento attorno ai tre assi principali di inerzia, così come ostacolata e modificata dalle spinte aerodinamiche connesse con la geometria dell'oggetto.

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.

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 nella seguente **Figura 99**.



**Figura 9. Simulazione del comportamento della pala al momento del contatto con il suolo, ai fini conservativi**

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:

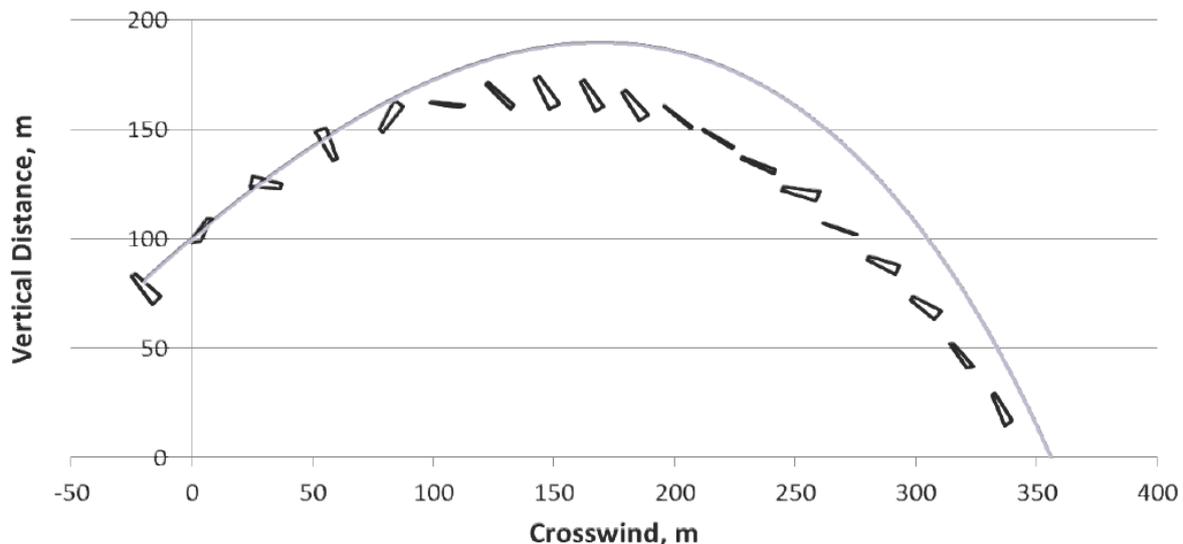


Figura 10. **Modellizzazione della traiettoria ed orientamento di un frammento da 10m per una torre da 1.5MW, rotore da 70m e hub da 80, con velocità angolare pari a 26.3rpm.**

In **figura 10**, la linea continua rappresenta la traiettoria balistica in attrito aerodinamico. Come può desumersi, la rototraslazione introduce una riduzione del lancio. Nel medesimo studio si afferma – e ciò è confermato dai risultati ottenuti in questa relazione- lo stesso oggetto, in un lancio simulato nel vuoto, avrebbe una gittata pari circa al doppio della distanza ottenuta.

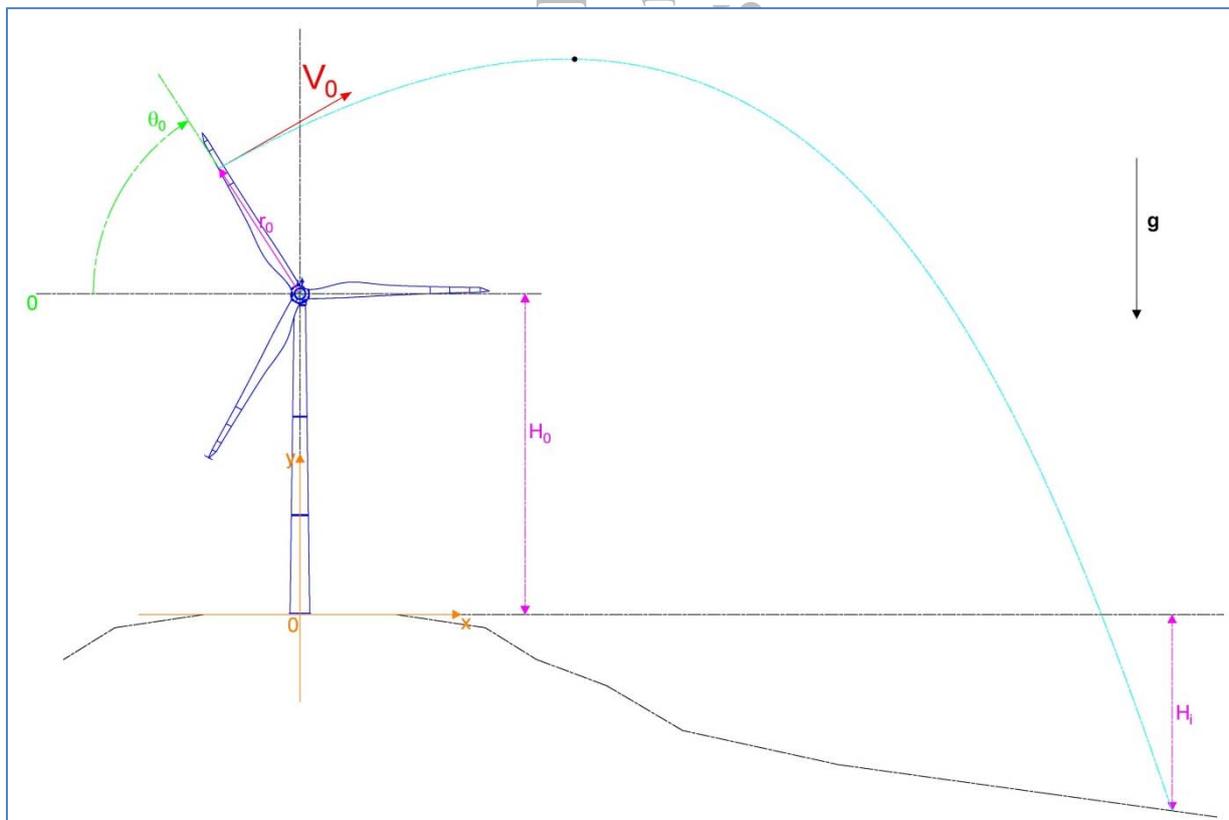
Per studiare la gittata del proiettile utilizzeremo un **sistema di riferimento cartesiano xy** in cui l'origine **O** degli assi del sistema coincida con il centro della base della torre dell'aerogeneratore, avendo assunto l'asse delle **Y** positivo verso l'alto, e l'asse positivo delle **X** nello 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.

## 6.2 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 calcherà 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.



**Figura 11.** 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:

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

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

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

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 [13] 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 forniti dal costruttore dell'aerogeneratore e qui riassunti in forma tabellare:

		Full blade	10m	5m
<b>Sx = projected area seen from LE/TE</b>	<b>Sx [m<sup>2</sup>]</b>	<b>64,71</b>	<b>2,08</b>	<b>0,79</b>
<b>Sy = projected area seen from LW/WW</b>	<b>Sy [m<sup>2</sup>]</b>	<b>175,76</b>	<b>10,43</b>	<b>4,09</b>
<b>Sz = max cross sectional area perpendicular to blade lengthwise axis</b>	<b>Sz [m<sup>2</sup>]</b>	<b>5,309</b>	<b>0,223</b>	<b>0,138</b>
<b>COG to hub center</b>	<b>[m]</b>	<b>18,6</b>	<b>61,75</b>	<b>65,01</b>
<b>mass</b>	<b>[kg]</b>	<b>14000</b>	<b>328,8</b>	<b>105,9</b>

**Tab. 3. tabella di riepilogo dati pala e frammenti.**

Per tutti i casi di studio, la velocità di lancio è stata assunta pari alla massima velocità angolare del rotore consentita dai sistemi di sicurezza della macchina di prima e di seconda guardia e pari a 14 giri/min ( $\omega_0$ ) per la V136.



## 7. 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 è riportato nella seguente **Tab. 44** relativamente all'aerogeneratore V136.

Diametro del rotore [m]	D	136
Altezza del mozzo o Hub [m]	H <sub>hub</sub>	84
Lunghezza pala [m]	L <sub>pala</sub>	66,66
Diametro del mozzo [m]	d <sub>mozzo</sub>	2,68
Velocità angolare massima <b>Overspeed Protection</b> [rpm]		14
Velocità vento di cut-out [m/s]		25
Peso pala [kg]		14.000
Inclinazione asse del rotore		6°

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

Si è utilizzata la posizione del centro di massa dichiarata dal costruttore, così come rinveniente dalla **Tab. 33**.

Il calcolo della gittata massima è stato pertanto effettuato con il centro di massa della pala ( $r_0$ ) distante 18,6 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> )	5.309	$S_y$ (m <sup>2</sup> )	175.76	$S_z$ (m <sup>2</sup> )	64.71
$C_x$	0,35	$C_y$	0.9	$C_z$	0.65
$k_x = \frac{1}{2} \rho \frac{S_x C_x}{m}$	<b>0,000081</b>	$k_y = \frac{1}{2} \rho \frac{S_y C_y}{m}$	<b>0,00692</b>	$k_z = \frac{1}{2} \rho \frac{S_z C_z}{m}$	<b>0,00184</b>
	m (kg)	14000			

**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, calcolando il lancio in tutto il semipiano ad alzo positivo, ovvero tra 270° e 90°. I coefficienti sono stati impiegati in forma di media attraverso un fattore correttivo funzione non lineare dei coefficienti medesimi, ottenuto per via sperimentale, che tiene conto del fatto che nel primo terzo del volo il corpo sarà soggetto a rototraslazione e

che per circa 2/3 della traiettoria il corpo opporrà le massime sezioni resistenti all'avanzamento, rendendo percentualmente trascurabile il contributo della sezione minima trasversa.

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

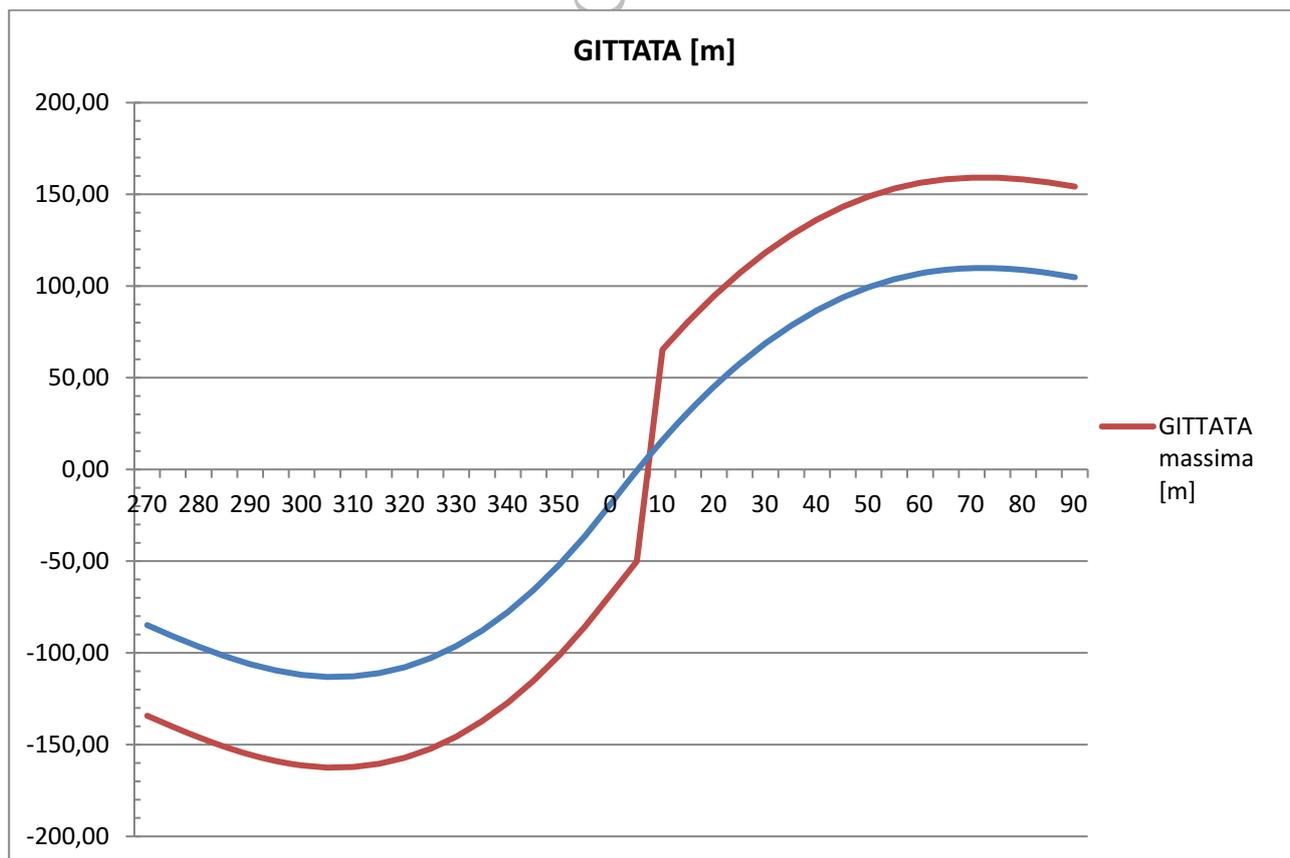


Figura 12. Gittate al variare dell'angolo di distacco per la rottura dell'intera pala.

I valori massima di gittata ed elevazione massima, approssimati all'intero multiplo di 5 superiore, nelle condizioni di calcolo sono stati individuati come segue:

Angolo di massima gittata	305°	Angolo di massima elevazione	20°
Gittata massima	165,00m	Elevazione massima	120,00m

<sup>7</sup> Per il sistema di riferimento adottato si rimanda alla **Figura 118**

## 8. 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;

### 8.1 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> )	0.223	$S_y$ (m <sup>2</sup> )	10.43	$S_z$ (m <sup>2</sup> )	2.08
$C_x$	0,45	$C_y$	0,8	$C_z$	0,5
$k_x = \frac{1}{2} \rho \frac{S_x C_x}{m}$	<b>0,0002</b>	$k_y = \frac{1}{2} \rho \frac{S_y C_y}{m}$	<b>0,0155</b>	$k_z = \frac{1}{2} \rho \frac{S_z C_z}{m}$	<b>0,0019</b>
	$m$ (kg)	328.8			

Tab. 6. Valori utilizzati per il calcolo

Si è utilizzata la posizione del centro di massa dichiarata dal costruttore, così come rinveniente dalla **Tab. 33**

Il calcolo della gittata massima è stato pertanto effettuato con il centro di massa del frammento situato a 61.75 m dal mozzo.

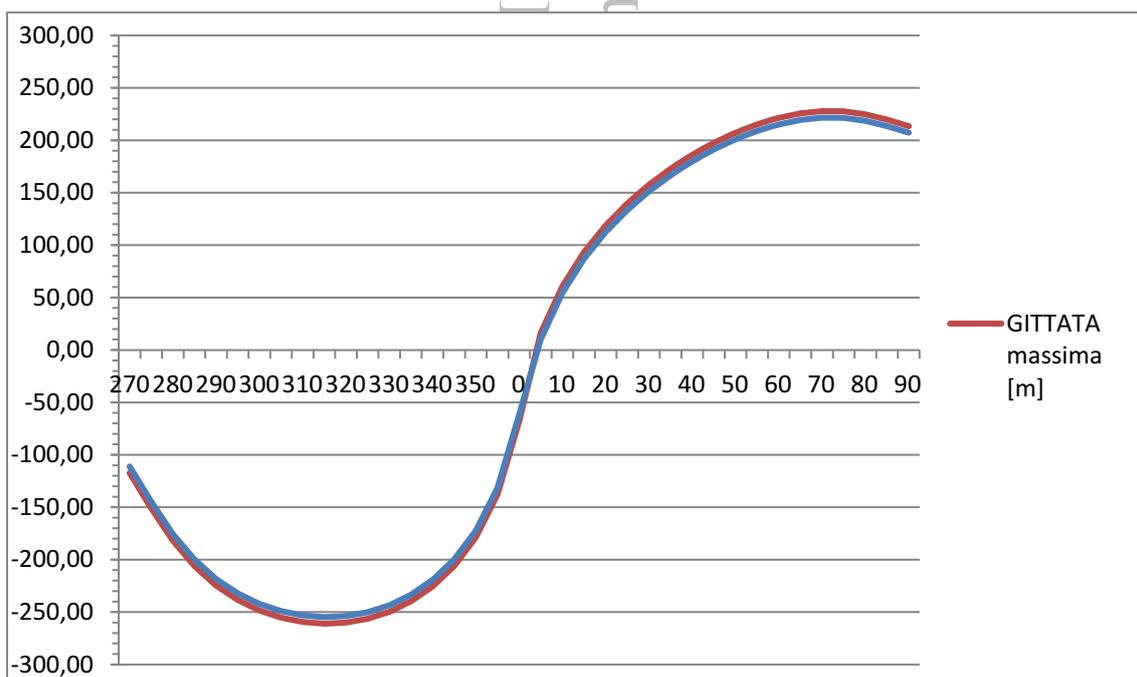


Figura 13. Gittate al variare dell'angolo di distacco per la rottura del frammento da 10m

I valori massima di gittata ed elevazione massima, approssimati all'intero multiplo di 5 superiore, nelle condizioni di calcolo sono stati individuati come segue:

Angolo di massima gittata	315°	Angolo di massima elevazione	30°
Gittata massima	<b>265,00m</b>	Elevazione massima	220,00m

## 8.2 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> )	0.223	$S_y$ (m <sup>2</sup> )	10.43	$S_z$ (m <sup>2</sup> )	2.08
$C_x$	0,45	$C_y$	0,8	$C_z$	0.5
$k_x = \frac{1}{2} \rho \frac{S_x C_x}{m}$	<b>0,0004</b>	$k_y = \frac{1}{2} \rho \frac{S_y C_y}{m}$	<b>0,0189</b>	$k_z = \frac{1}{2} \rho \frac{S_z C_z}{m}$	<b>0,0023</b>
$m$ (kg)	105.9				

Tab. 7. Valori utilizzati per il calcolo

Si è utilizzata la posizione del centro di massa dichiarata dal costruttore, così come rinveniente dalla **Tab. 33**.

Il calcolo della gittata massima è stato pertanto effettuato con il centro di massa del frammento situato a 65.01m dal mozzo.

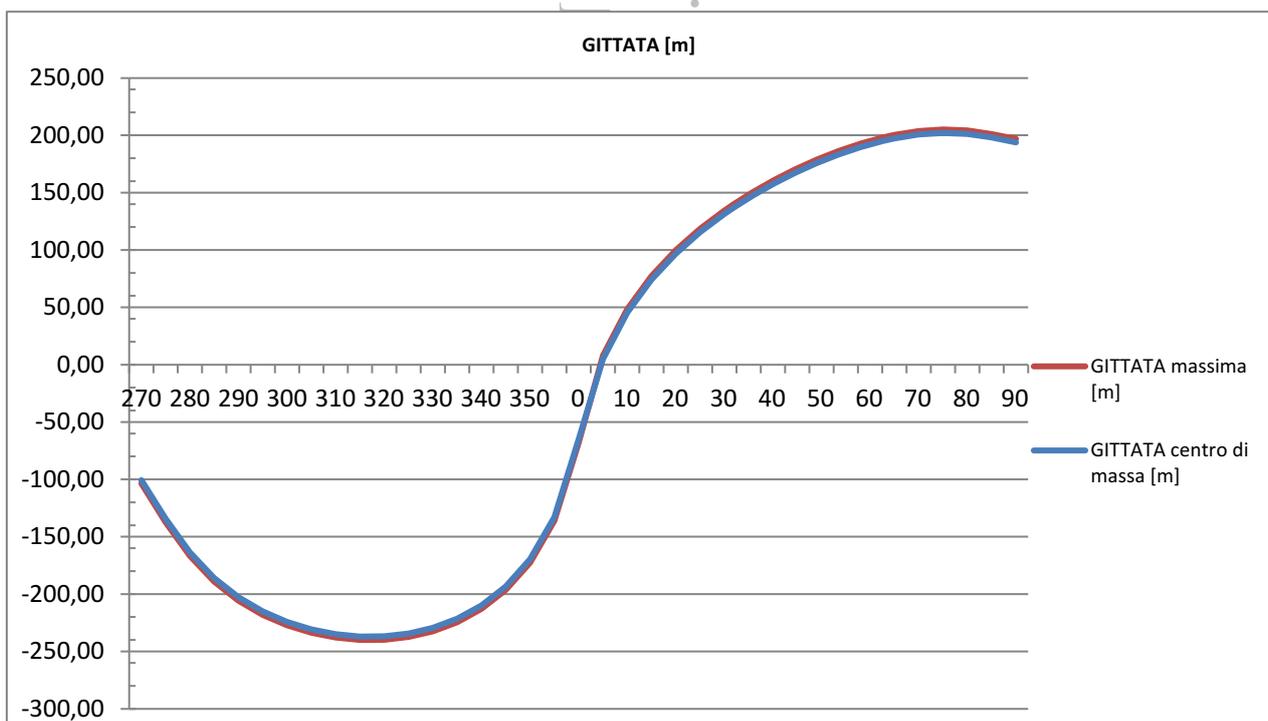


Figura 14. Gittate al variare dell'angolo di distacco per la rottura del frammento da 5m



I valori massimi di gittata ed elevazione, approssimati all'intero multiplo di 5 superiore, nelle condizioni di calcolo sopra esplicitate, sono stati individuati come segue:

Angolo di massima gittata	315°	Angolo di massima elevazione	35°
Gittata massima	<b>240,00m</b>	Elevazione massima	215,00m

## 9. 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	Massa del proietto	Elevazione massima	Tempo di volo per gittata massima	Gittata
<i>Rottura dell'intera pala</i>	14000 kg	120 m	5,8 s	165 m
<i>Rottura di un frammento distante 10 m dalla punta della pala</i>	328.8 kg	220 m	9,7 s	265 m
<i>Rottura di un frammento distante 5 m dalla punta della pala</i>	105,9 kg	215 m	9,6 s	240 m

Tab. 8. Riepilogo delle simulazioni effettuate

Il massimo valore di gittata calcolato tra tutti i casi considerati è pari a **265,00 m**, per il frammento di 10m.



## 10. CONCLUSIONI.

Nella **Tab. 99** si riassume il confronto tra i valori di gittata riferiti alla V136 di cui alla proposta di rifacimento impianto.

CASI DI STUDIO	Gittata V136 da 4.2 MW
<i>Rottura dell'intera pala</i>	165 m
<i>Rottura di un frammento distante 10 m dalla punta della pala</i>	265 m
<i>Rottura di un frammento distante 5 m dalla punta della pala</i>	240 m

**Tab. 9. Tabella riepilogativa dei risultati della macchina V136 di progetto.**

Dal confronto tra aerogeneratore esistente e quello proposto si può affermare che non vi sono ulteriori elementi sensibili in ipotesi interferenti con la massima gittata della nuova macchina proposta in progetto. È da tener presente, peraltro, che i ricettori ricadenti nei cerchi di gittata massima non sono abitabili in quanto adibiti a deposito e quindi non possono neppure essere considerati a tutti gli effetti elementi sensibili.

San Severo, Settembre 2022

**STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA**  
 Ing. MEZZINA Antonio

