



**Progetto di adeguamento tecnico dell’impianto eolico esistente sito nel Comune di Ripabottoni mediante intervento di repowering e riduzione numerica degli aerogeneratori (ripotenziamento con integrale ricostruzione – IR)**

**Edison Rinnovabili S.p.A.**

**Allegato E: Relazione di calcolo della gittata massima in caso di rottura accidentale**

20 dicembre 2023

Ns rif. R005-1668942CMO-V01 2023

## Riferimenti

<b>Titolo</b>	Progetto di adeguamento tecnico dell'impianto eolico esistente sito nel Comune di Ripabottoni mediante intervento di repowering e riduzione numerica degli aerogeneratori (ripotenziamento con integrale ricostruzione - IR) - Allegato E: Relazione di calcolo della gittata massima in caso di rottura accidentale
<b>Cliente</b>	Edison Rinnovabili S.p.A.
<b>Redatto</b>	Francesca Bruni, Arianna Bigi
<b>Verificato</b>	Andrea Panicucci, Caterina Mori
<b>Approvato</b>	Omar Retini
<b>Numero di pagine</b>	25
<b>Data</b>	20 dicembre 2023


**Ing. OMAR MARCO RETINI**  
ORDINE INGEGNERI della Provincia di PISA  
N° 2234 Sezione A  
INGEGNERE CIVILE E AMBIENTALE  
INDUSTRIALE, DELL'INFORMAZIONE

## Colophon

TAUW Italia S.r.l.  
Galleria Giovan Battista Gerace 14  
56124 Pisa  
T +39 05 05 42 78 0  
E info@tauw.it

Il presente documento è di proprietà del Cliente che ha la possibilità di utilizzarlo unicamente per gli scopi per i quali è stato elaborato, nel rispetto dei diritti legali e della proprietà intellettuale. TAUW Italia detiene il copyright del presente documento. La qualità ed il miglioramento continuo dei prodotti e dei processi sono considerati elementi prioritari da TAUW Italia, che opera mediante un sistema di gestione certificato secondo le norme **UNI EN ISO 9001:2015, UNI EN ISO 14001:2015 e UNI ISO 45001:2018.**



Ai sensi del GDPR n.679/2016 la invitiamo a prendere visione dell'informativa sul Trattamento dei Dati Personali su [www.TAUW.it](http://www.TAUW.it).

## Indice

1	Introduzione.....	4
2	Ubicazione nuovi aerogeneratori e relativa descrizione.....	5
2.1	Ubicazione degli aerogeneratori in progetto .....	5
2.2	Descrizione aerogeneratori .....	7
3	Normativa .....	10
4	Rischio di incidente letale dovuto alla rottura accidentale di un elemento rotante .....	11
5	Modello di calcolo della gittata.....	13
5.1	Premessa .....	13
5.2	Ipotesi alla base del modello di calcolo .....	13
5.3	Parametri geometrici per il calcolo della gittata.....	14
6	Calcolo della gittata massima per il caso in esame.....	20
7	Localizzazione dei potenziali recettori.....	24
8	Conclusioni.....	25

## 1 Introduzione

Lo scopo del presente studio è quello di calcolare, nel caso di distacco accidentale durante l'esercizio, la gittata massima degli elementi rotanti (pale eoliche) degli aerogeneratori che verranno installati nell'ambito del progetto di repowering (ripotenziamento con Integrale Ricostruzione (IR)) dell'esistente impianto eolico di Ripabottoni proposto dalla società Edison Rinnovabili S.p.A..

La proposta progettuale riguarda il repowering con associata riduzione del numero degli aerogeneratori dell'impianto eolico esistente di Ripabottoni, che la società Edison Rinnovabili S.p.A. prevede di realizzare nel territorio dei comuni di Ripabottoni e Provvidenti in provincia di Campobasso, Regione Molise.

L'impianto esistente di Ripabottoni è in esercizio dal 2005 ed è formato da 24 aerogeneratori, marca VESTAS V47, da 660 kW ciascuno, per una potenza totale di 15,8 MW. Un cavidotto interrato in media tensione (20 kV) collega le cabine di macchina poste alla base di ogni aerogeneratore alla cabina di consegna del parco eolico. Dalla cabina di consegna l'energia elettrica prodotta viene immessa in rete mediante cavidotto interrato in Media Tensione di collegamento all'esistente Stazione Elettrica (SE) di utente denominata Morrone del Sannio dove avviene la trasformazione dell'energia (20/150 kV).

Il progetto di Integrale Ricostruzione consiste nella sostituzione dei 24 aerogeneratori esistenti con 5 nuovi aerogeneratori di tecnologia più avanzata e dimensioni maggiori (altezza massima 180 m): il progetto di integrale ricostruzione permetterà quindi di ridurre il numero di aerogeneratori e l'impiantistica e le infrastrutture ad essi associate (piazzole, cabine di macchina, cabina di consegna, strade di accesso, ecc.). Il progetto prevede il riutilizzo, per quanto possibile, delle infrastrutture esistenti.

I nuovi aerogeneratori avranno una potenza di 6,60 MW ciascuno, per una potenza complessiva totale di 33,0 MW.

I nuovi aerogeneratori saranno connessi alla SE AT/MT Morrone del Sannio mediante due nuovi cavidotti interrati MT 30 kV, posati per la maggior parte del loro tracciato lungo il tracciato del cavidotto esistente. L'impiantistica lato utente della SE AT/MT Morrone del Sannio sarà adeguata per renderla idonea alla nuova configurazione dell'impianto eolico.

La valutazione è stata effettuata attraverso l'implementazione di un software scritto con linguaggio di programmazione Python.

## 2 Ubicazione nuovi aerogeneratori e relativa descrizione

### 2.1 Ubicazione degli aerogeneratori in progetto

Nella configurazione di progetto l'Impianto eolico interesserà i comuni di Ripabottoni e Provvidenti (CB).

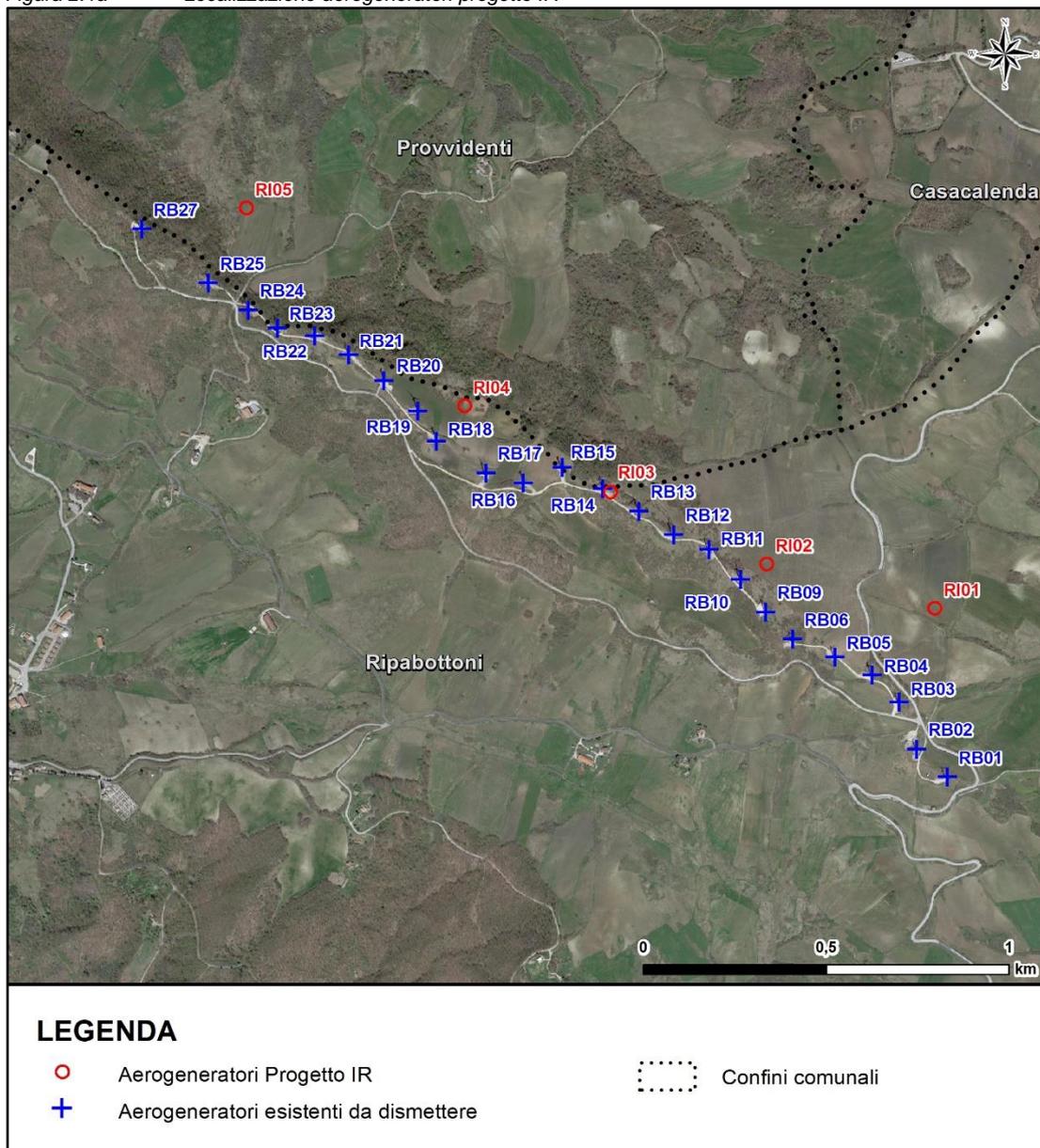
L'area interessata dall'Impianto è di tipo montuoso, lontana da centri abitati, posta ad un'altitudine media di circa 800 m s.l.m..

I centri abitati più prossimi all'impianto sono:

- Ripabottoni, ubicato a circa 1,5 km in direzione sud ovest rispetto agli aerogeneratori in progetto;
- Provvidenti, localizzato a circa 1,8 km in direzione nord rispetto agli aerogeneratori in progetto;
- Morrone del Sannio, posto a circa 3 km in direzione nord ovest rispetto agli aerogeneratori in progetto.

Come mostrato nella seguente figura i nuovi aerogeneratori saranno localizzati in prossimità di quelli esistenti, in particolare 4 nel comune di Ripabottoni e uno nel comune di Provvidenti.

Figura 2.1a Localizzazione aerogeneratori progetto IR



Di seguito si riportano le coordinate UTM 33N - WGS84 dei 5 nuovi aerogeneratori in progetto e l'indicazione del comune in cui saranno installati.

Tabella 2.1a Localizzazione dei nuovi aerogeneratori in progetto

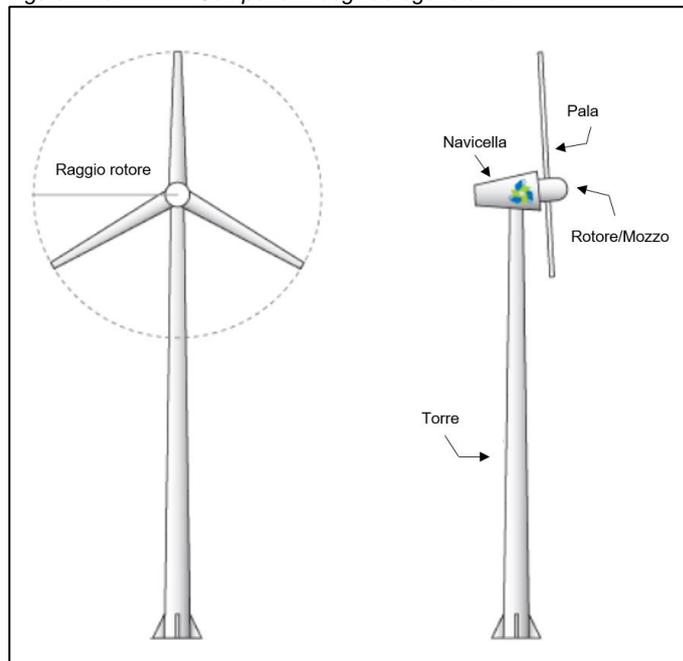
ID	Comune	Coordinate UTM 33N - WGS84	
		X [m]	Y [m]
RI01	Ripabottoni	486.752,0	4.615.695,0
RI02	Ripabottoni	486.292,0	4.615.817,1

ID	Comune	Coordinate UTM 33N - WGS84	
		X [m]	Y [m]
RI03	Ripabottoni	485.865,0	4.616.016,0
RI04	Ripabottoni	485.465,4	4.616.253,5
RI05	Provvidenti	484.868,9	4.616.798,4

## 2.2 Descrizione aerogeneratori

Al fine di calcolare la gittata massima è opportuno definire la geometria degli aerogeneratori. Come illustrato nella Figura 2.2a, gli aerogeneratori sono caratterizzati essenzialmente da una torre, una navicella e un rotore/mozzo al quale sono collegate 3 pale.

Figura 2.2a Componenti degli aerogeneratori



Come anticipato nell'Introduzione, l'analisi è focalizzata sul progetto di repowering dell'esistente impianto eolico di Ripabottoni proposto dalla società Edison Rinnovabili S.p.A., che consiste nella sostituzione dei 24 aerogeneratori esistenti con 5 nuovi aerogeneratori di tecnologia più avanzata e dimensioni maggiori (altezza massima 180 m).

I modelli di turbina individuati nel progetto sono aerogeneratori con potenza nominale pari a 6,60 MW.

Nella seguente tabella sono riportate le caratteristiche tecniche degli aerogeneratori considerati nell'analisi oggetto del presente studio (dati riferiti ad un aerogeneratore).

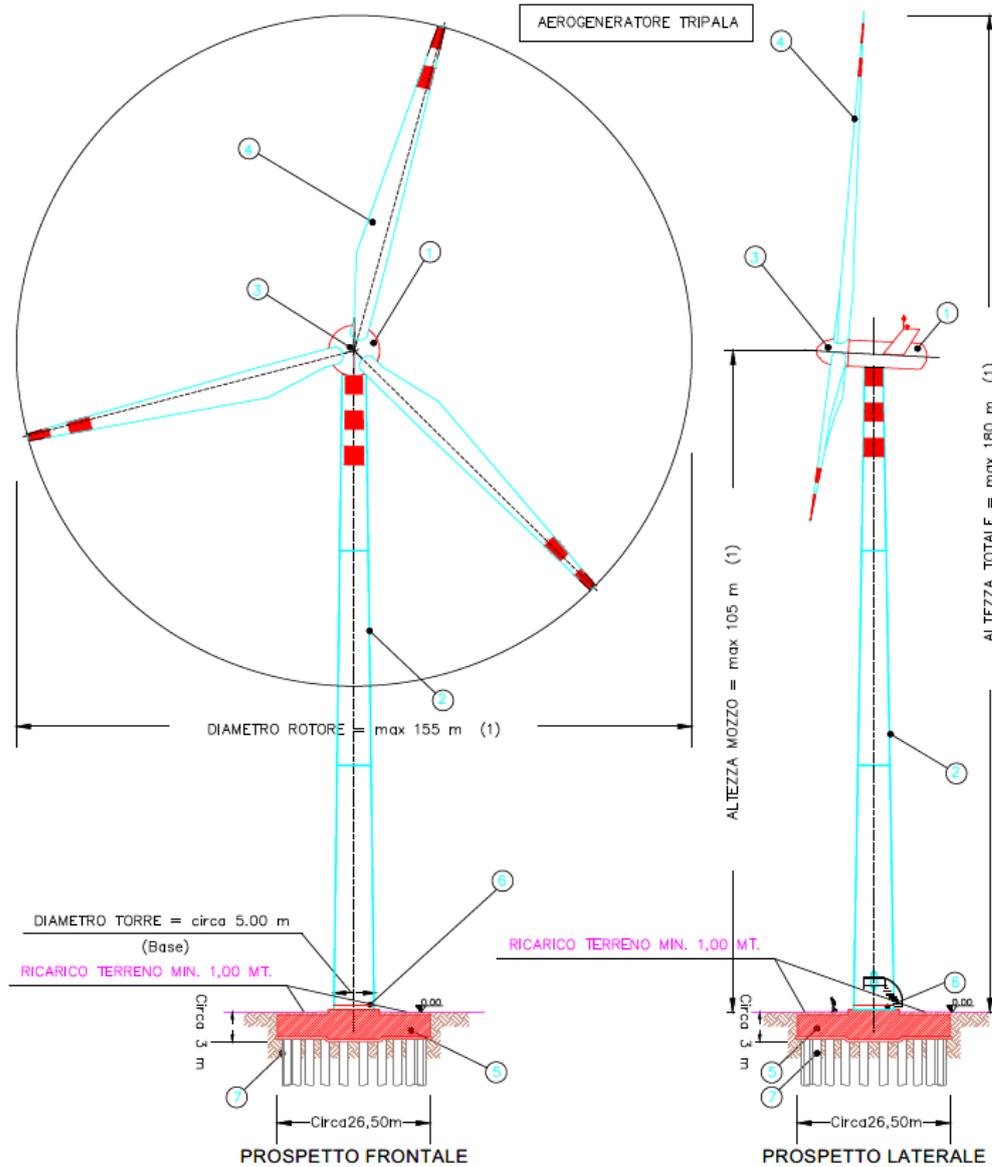
Ns rif. R005-1668942CMO-V01 2023

Tabella 2.2a *Caratteristiche tecniche degli aerogeneratori in progetto*

Grandezza	Valore	U.d.m.
Altezza mozzo max dal suolo	105	m
Velocità massima del rotore	11,2	rpm
Lunghezza delle pale	76	m

Nella Figura 2.2b si riporta uno schema tipologico dell'aerogeneratore.

Figura 2.2b Schema tipologico dell'aerogeneratore



LEGENDA:

①	Gondola o Navicella
②	Sostegno tubolare in acciaio
③	Mozzo / Rotore
④	Pale
⑤	Fondazioni
⑥	Trasformatore BT
⑦	Pali fondazioni

\*Nota 1)

Nota (1) : In questa fase è solo possibile fare una ipotesi in funzione della tipologia di macchina e dell'esperienza maturata. Solo a valle delle prove geotecniche, con il progetto esecutivo e in base alla tipologia di macchina scelta potremo definire i dettagli e le dimensioni certe.

Nota (2) : Disegno non in scala e adattato fanno fede le dimensioni scritte

### 3 Normativa

Attualmente nel nostro paese non sono state emanate specifiche norme o linee guida che regolamentino il valore della gittata massima da rispettare al fine di progettare e installare degli aerogeneratori nel territorio nazionale perché non si abbiano impatti sulla salute umana.

L'unica normativa emanata in merito è costituita dal D.M. n.219 del 10/09/2010 *“Linee Guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili”* che, nell'Allegato 4 al §7.1, relativo agli incidenti, prevede di *“prendere in esame l'idoneità delle caratteristiche delle macchine, in relazione alle condizioni meteorologiche estreme del sito. In tal senso: [...] - andrebbe valutata la gittata massima degli elementi rotanti in caso di rottura accidentale [...]”*.

## 4 Rischio di incidente letale dovuto alla rottura accidentale di un elemento rotante

La rottura accidentale di un elemento rotante di un aerogeneratore è un evento raro, pertanto esistono pochi casi in letteratura che possano stimare l'entità del rischio derivante da tale incidente.

Per stimare il rischio dell'evento accidentale del presente studio è stato considerato lo studio del 2005 della University of California, Berkeley "*Analysis of potential safety risks of the EcogenPrattsburgh-Italy wind farm project*" che presenta una valutazione preliminare dei rischi potenziali ambientali e sociali connessi ad eventi di rottura degli aerogeneratori previsti nel progetto di un parco eolico in località Prattsburgh-Italy (New York), quantificando tali rischi e confrontandoli con altre categorie di rischi comuni.

Nello studio si affronta un caso base e si conclude che un essere vivente, posizionato a 100 m da un aerogeneratore, con permanenza continuativa per l'intero periodo di un anno, ha una probabilità di 1:1.000.000 di avere un impatto letale con un elemento rotante che si distacchi da un aerogeneratore. A titolo di esempio si riporta in tabella seguente, la comparazione tra l'evento descritto e le probabilità di incidente letale, rapportate alla durata annuale, di altri possibili eventi.

Tabella 4a *Rischi annuali di morte per categorie di attività – Fonte: University of California, Berkeley*

Causa	Rischio di incidente letale / Anno	Rischio di incidente letale / Anno
Aerogeneratore	1 su 1 milione	$1 \times 10^{-6}$
Influenza	1 su 5,000	$2 \times 10^{-4}$
Leucemia	1 su 12,500	$8 \times 10^{-5}$
Bicicletta (Stati Uniti)	1 su 333,000	$3 \times 10^{-6}$
Incidente stradale (Stati Uniti)	1 su 6,250	$1.6 \times 10^{-4}$
Colpito da un'automobile (Stati Uniti)	1 su 20,000	$5 \times 10^{-5}$
Investimento (Stati Uniti)	1 su 250,000	$4 \times 10^{-6}$
Alluvione (Stati Uniti)	1 su 455,000	$2 \times 10^{-6}$
Tornado (Stati Uniti Centro-Occidentali)	1 su 455,000	$2 \times 10^{-6}$
Terremoto (California)	1 su 588,000	$2 \times 10^{-6}$
Fulminazione (Regno Unito)	1 su 10 milioni	$1 \times 10^{-7}$
Meteorite	1 su 10 miliardi	$1 \times 10^{-10}$

## 5 Modello di calcolo della gittata

### 5.1 Premessa

La rottura accidentale di un elemento rotante (pala eolica) di un aerogeneratore può essere considerata, come detto nel §4, un evento raro. Tuttavia il calcolo della gittata massima di una pala è un fattore importante da analizzare sia ai fini della progettazione sia per la localizzazione dell'impianto eolico.

La rottura, seppure con bassissima probabilità, potrebbe avvenire in corrispondenza del punto di discontinuità corrispondente al giunto di collegamento tra mozzo e pala, causato da precedenti danneggiamenti o da fenomeni di fatica.

Lo studio in oggetto ha lo scopo di analizzare, nell'eventualità che si verifichi il distacco di una pala, il moto di caduta da essa percorso.

La complessa struttura geometrica e aerodinamica della pala fa sì che la sua gittata in caso di distacco sia verosimilmente inferiore al moto parabolico di un proiettile, sia per i moti rotazionali della pala, dovuti ai momenti delle forze resistenti che comportano dissipazioni di energia, sia per condizioni in generale meno favorevoli per il moto.

### 5.2 Ipotesi alla base del modello di calcolo

L'ipotesi di base ai fini del calcolo della gittata massima è di considerare il distacco accidentale di una pala dall'aerogeneratore mentre il rotore è in movimento.

Tutte le approssimazioni proposte nell'ambito del presente studio sono a vantaggio di sicurezza in quanto producono risultati della gittata massima con approssimazione in eccesso: ciò perché il moto reale della pala è fortemente influenzato da molte variabili quali la superficie esterna e la geometria dell'oggetto in movimento, che non sono state considerate nel modello di calcolo e che tenderebbero a diminuire la gittata massima.

Data la complessità dell'argomento, per il calcolo della gittata massima di un elemento rotante dell'aerogeneratore sono state fatte alcune ipotesi semplificative necessarie a definire il modello del moto della pala; in particolare:

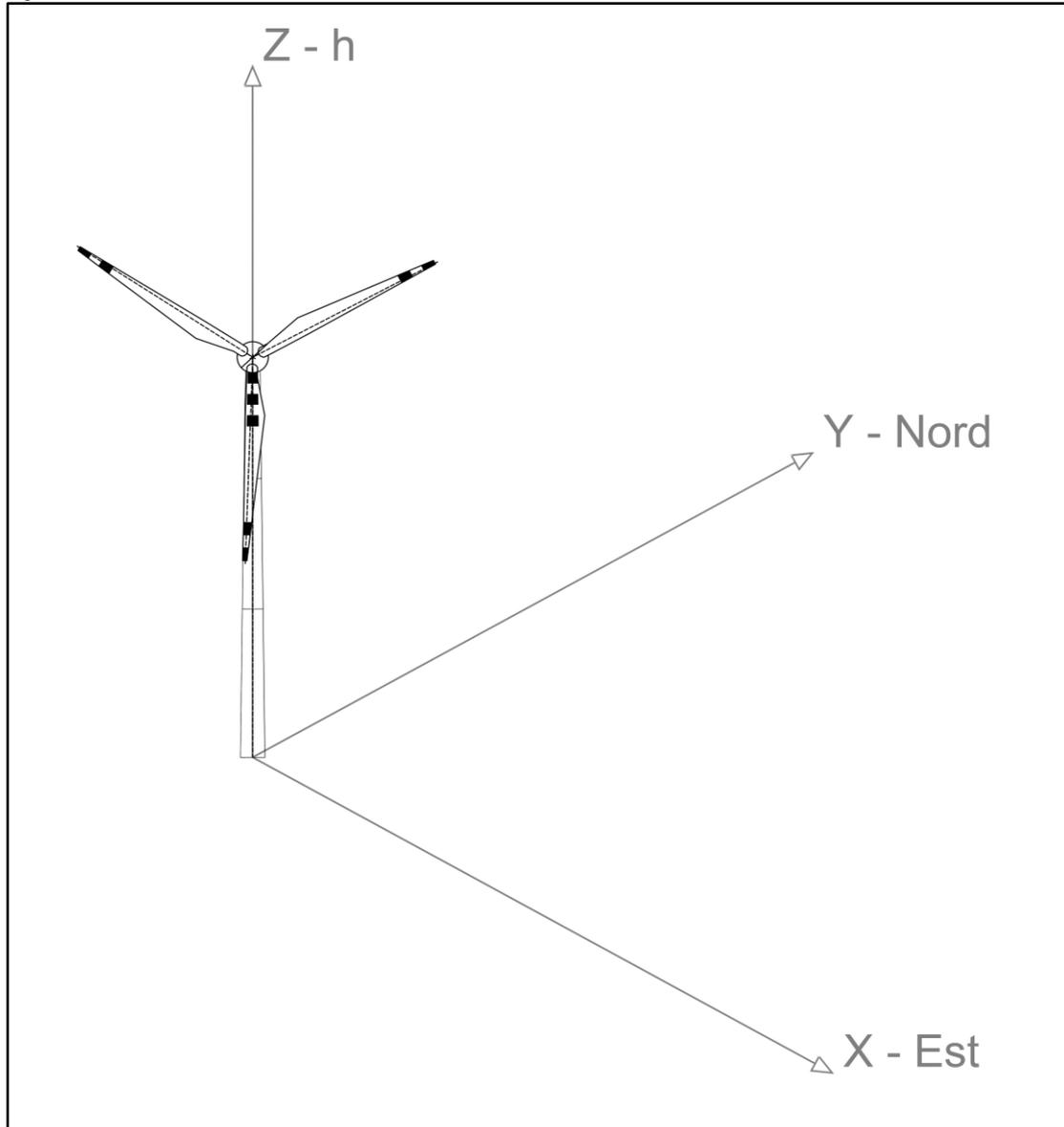
- viene considerato il distacco della totalità della pala in modo istantaneo. Questa ipotesi è assolutamente conservativa, dato che non si considera la resistenza posta dalla pala stessa;
- viene considerata la velocità di rotazione massima del rotore, indicata dal costruttore, al momento del distacco;
- viene considerato che la componente del vento lungo l'asse z sia trascurabile;
- viene considerata la velocità del vento pari al valore di cut-out indicato dal produttore, ovvero il valore della velocità del vento al di sopra del quale, per ragioni di sicurezza, si attiva il sistema frenante per ragioni sicurezza;

- il moto dell'elemento viene descritto attraverso il movimento del centro di massa (baricentro), posto ad  $1/3$  della lunghezza della pala;
- il moto è solo traslatorio senza considerare la componente rotatoria;
- non si considera alcuna mutazione della velocità del vento durante il volo, tale velocità è assunta pari a quella al momento del distacco, ovvero alla velocità di cut- out indicata dal produttore;
- la direzione di provenienza del vento è assegnata per semplicità perpendicolarmente al piano di rotazione delle pale;
- una volta che il corpo si sarà distaccato le forze agenti saranno la forza di gravità, le forze viscosse dovute all'attrito dell'aria e la forza impressa dal vento.

### **5.3 Parametri geometrici per il calcolo della gittata**

Per il calcolo della gittata si assume che, una volta distaccatasi, la pala si muoverà con moto parabolico (o moto del proiettile). Pertanto, definendo l'asse X corrispondente alla direzione Est UTM 32N – WGS84, l'asse Y corrispondente alla direzione Nord UTM 32N – WGS84 e l'asse Z perpendicolare al suolo, la gittata dell'elemento rotante sarà caratterizzata da un moto rettilineo uniforme lungo l'asse X/Y e un moto uniformemente accelerato lungo l'asse Z. Per semplificazione la pala è stata posta in corrispondenza degli assi come esplicitato nella Figura 5.3a.

Figura 5.3a Geometria tridimensionale del sistema



La geometria definita è tridimensionale e sono state individuate le seguenti grandezze:

- $\rho$  [m]: vettore posizione del centro di massa della pala;
- $\Omega$  [rpm]: velocità del rotore;
- $v_p$  [m/s]: velocità iniziale al momento del distacco della pala;  $v_p = L \cdot \omega / 60$ ;
- $H_{cr}$  [m]: altezza del mozzo dal suolo;
- $L$  [m]: lunghezza della pala;
- $C_D$ : coefficiente di attrito;
- $A$  [m<sup>2</sup>]: superficie della pala esposta all'attrito con l'aria;
- $\rho_a$  [kg/m<sup>3</sup>]: densità dell'aria;
- $m$  [kg]: massa della pala;

- $v_v$  [m/s]: velocità del vento massima di cut- out.

Inoltre, per definire questa complessa geometria sono stati individuati i seguenti angoli (per la relativa rappresentazione si vedano le figure 5.3b e 5.3c):

- $\gamma$  [°]: angolo che l'asse della pala forma con asse Z al momento del distacco. È zero quando coincide con l'asse Z positivo e la rotazione è stata assunta in senso orario;
- $\alpha$  [°]: angolo che il vettore della velocità del vento forma con asse Y. È zero quando il vettore ha la stessa direzione dell'asse Y positivo. È stata assunta la direzione Nord indipendentemente dalla rosa dei venti in corrispondenza del sito di interesse;
- $\theta$  [°]: angolo che la proiezione del centro di massa sul piano X-Y forma con l'asse Y. È zero quando tale proiezione coincide con l'asse Y positivo e cresce ruotando in senso orario. In condizioni ordinarie di esercizio, il piano delle pale è perpendicolare alla direzione del vento, perciò è stata applicata la seguente condizione:  $\theta = \alpha + 90^\circ$ ;
- $\varphi$  [°]: angolo che il vettore posizione ( $\rho$ ) del centro di massa dell'oggetto che si stacca forma con l'asse Z. È zero quando il vettore posizione ricade sull'asse Z positivo.

Figura 5.3b *Rappresentazione degli angoli definiti per impostazione dello studio sul piano X-Y-Z*

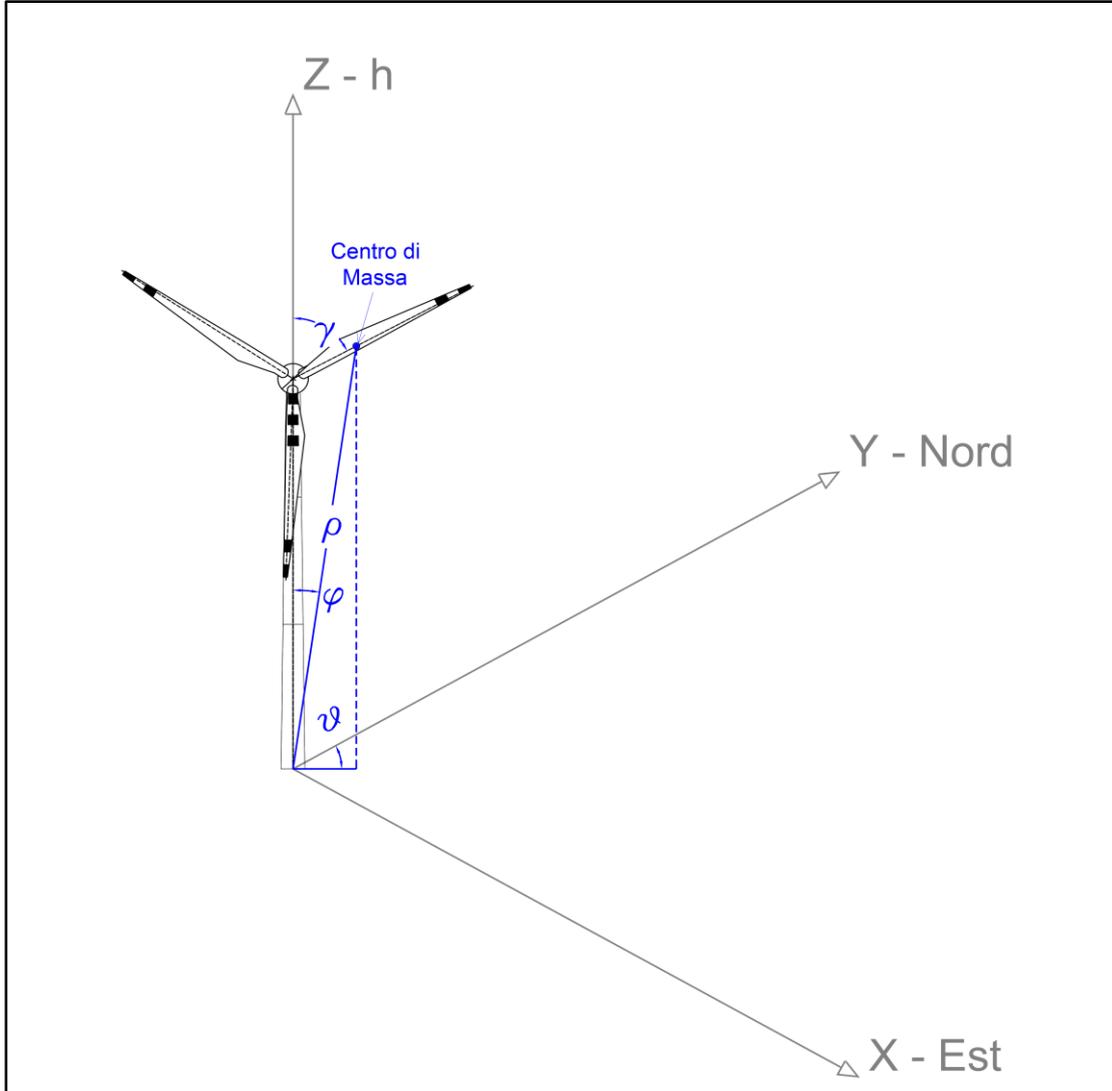
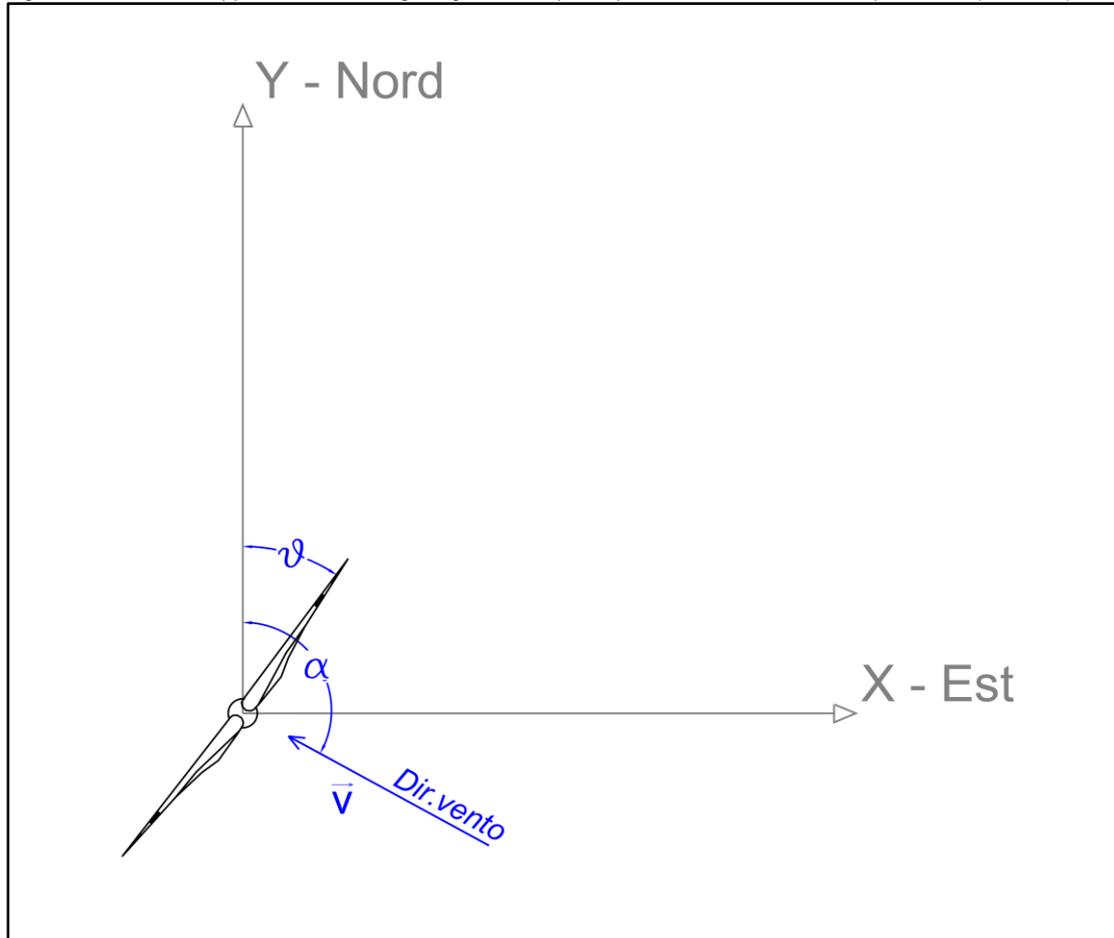


Figura 5.3c Rappresentazione degli angoli definiti per impostazione dello studio sul piano X-Y (Est-Nord)



Le equazioni che definiscono il moto parabolico nel momento di rottura e inizio del moto sono le seguenti:

- Posizione del centro di massa:
 
$$x(t_0) = \rho \cdot \cos(\phi) \cdot \sin(\theta)$$

$$y(t_0) = \rho \cdot \cos(\phi) \cdot \cos(\theta)$$

$$z(t_0) = \rho \cdot \sin(\phi)$$
- Velocità del centro di massa:
 
$$v_x(t_0) = v_p \cdot \cos(\gamma) \cdot \sin(\theta)$$

$$v_y(t_0) = v_p \cdot \cos(\gamma) \cdot \cos(\theta)$$

$$v_z(t_0) = v_p \cdot \sin(\gamma)$$
- Accelerazione del centro di massa:
 
$$a_x(t_0) = -1/2 \cdot ds \cdot CD \cdot A \cdot 1/m \cdot v_x(t)$$

$$a_y(t_0) = -1/2 \cdot ds \cdot CD \cdot A \cdot 1/m \cdot v_y(t)$$

$$a_z(t_0) = -1/2 \cdot ds \cdot CD \cdot A \cdot 1/m \cdot v_z(t) - g$$
 dove  $g$  è l'accelerazione gravitazionale e pari a  $9,81 \text{ m/s}^2$ .

Le equazioni generali che governano la caduta dell'elemento secondo il moto parabolico sono:

- Posizione del centro di massa:

$$x(t_{i+1}) = x(t_i) + v_x(t_i) \cdot \Delta t + 1/2 \cdot a_x(t_i) \cdot \Delta t^2$$

$$y(t_{i+1}) = y(t_i) + v_y(t_i) \cdot \Delta t + 1/2 \cdot a_y(t_i) \cdot \Delta t^2$$

$$z(t_{i+1}) = z(t_i) + v_z(t_i) \cdot \Delta t + 1/2 \cdot a_z(t_i) \cdot \Delta t^2$$

- Velocità del centro di massa:

$$v_x(t_{i+1}) = v_x(t_i) + a_x(t_i) \cdot \Delta t$$

$$v_y(t_{i+1}) = v_y(t_i) + a_y(t_i) \cdot \Delta t$$

$$v_z(t_{i+1}) = v_z(t_i) + a_z(t_i) \cdot \Delta t$$

- Accelerazione del centro di massa:

$$a_x(t) = - 1/2 \cdot ds \cdot CD \cdot A \cdot 1/m \cdot (v_x(t) - vv_x)$$

$$a_y(t) = - 1/2 \cdot ds \cdot CD \cdot A \cdot 1/m \cdot (v_y(t) - vv_y)$$

$$a_z(t) = - 1/2 \cdot ds \cdot CD \cdot A \cdot 1/m \cdot (v_z(t) - vv_z) - g$$

dove g è l'accelerazione gravitazionale e pari a 9,81 m/s<sup>2</sup>.

Calcolando la posizione R punto per punto del centro di massa durante la fase di volo nel seguente modo:

$$R = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$$

si ottiene la gittata nel punto di impatto al suolo dove la componente Z della posizione si annulla.

## 6 Calcolo della gittata massima per il caso in esame

Sulla base delle caratteristiche degli aerogeneratori in progetto e di quanto descritto nel §5, è stato simulato il caso di studio tramite l'applicazione del software in Python considerando i seguenti dati di input:

Tabella 6a Dati di input per effettuare le simulazioni

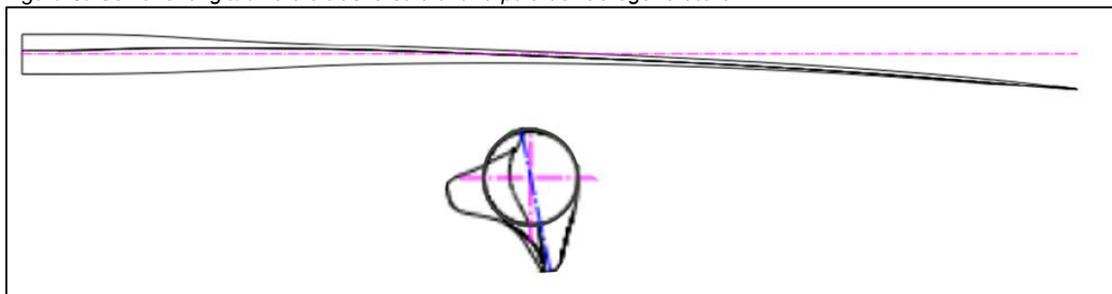
Grandezze	Valore	U.d.m.
$\omega$	11,2	rpm
L	76	m
Hcr	105	m
Intervallo $\gamma$	45	°
$\alpha$	0	°
$\theta$	90	°
ds	1,2	kg/m <sup>3</sup>
CD	0,6 <sup>(1)</sup>	-
A min	~10,6	m <sup>2</sup>
A max	~89	
m	23.200	kg
vv	27	m/s

(1) Il valore è stato scelto in accordo con Macqueen J.F., Ainslie J.F., Milborrow D.J., Turner D.M., and Swift-Hook D.T. (1983). "Risk associated with wind turbine blade failures" IEE proceedings Vol. 130, Part A, No. 9."

La geometria della pala, che per sua natura si estende longitudinalmente, porta all'individuazione di due aree (Figura 6a) molto differenti tra loro che definiscono due casi limite del calcolo:

- l'area massima data dalla superficie longitudinale della pala;
- l'area minima data dalla sezione trasversale della pala.

Figura 6a Sezione longitudinale e trasversale di una pala dell'aerogeneratore



Come si nota dalle equazioni che regolano il moto, riportate nel §5.3, la pala che si stacca per rottura accidentale è soggetta a tre tipi di forze: la forza gravitazionale, la forza di attrito e la forza applicata dal vento. La forza di gravità agisce solo lungo la componente Z e dipende solamente

dalla massa dell'oggetto, mentre le altre due forze in gioco dipendono in maniera opposta dalla superficie considerata. In particolare, la forza di attrito effettua un'azione resistente al moto tanto maggiore quanto è maggiore la superficie esposta, che ha come effetto la riduzione della gittata all'aumentare dell'area. Al contrario la forza impressa dal vento è direttamente proporzionale alla superficie esposta ad essa, implicando che all'aumentare dell'area aumenta anche la gittata dell'elemento in moto.

Pertanto, lo studio del moto nei due casi limite sopra esposti consente di valutare l'effetto globale delle singole forze sulla gittata.

Per il calcolo della gittata massima è stato fatto variare l'angolo  $\gamma$  da  $0^\circ$  a  $360^\circ$  con una scansione di  $45^\circ$  in modo da spaziare su tutto l'angolo di rotazione delle pale. Attraverso il software è stato calcolato il valore della gittata in corrispondenza di ciascun specifico angolo  $\gamma$ . In tal modo è stato possibile individuare la gittata massima e l'angolo  $\gamma$  che la determina.

Dai calcoli è emerso che la gittata massima del centro di massa della pala a seguito del distacco accidentale si verifica in corrispondenza dell'angolo  $\gamma$  pari a  $0^\circ$ , ad una distanza dal mozzo di circa 73 m nel caso dell'area minima e circa 72,8 m nel caso dell'area massima. Poiché il calcolo è stato eseguito considerando la massa concentrata nel centro di massa, tali valori di gittata massima sono stati incrementati del valore pari a  $2/3$  della lunghezza L in modo da considerare come punto più lontano l'estremità della pala. Pertanto, la gittata massima, considerando l'ingombro della pala, risulta circa pari a 123,7 m nel caso di considerazione dell'area minima della pala e a 123,5 m nel caso di considerazione dell'area massima della pala.

Nelle seguenti tabelle sono riassunti i risultati della simulazione per i due casi limite analizzati.

*Tabella 6b Risultati modellazione considerando l'area minima della pala*

Grandezza	Valore	U.d.m.
Gittata massima – Centro di massa della pala	73	m
Gittata massima – Estremità della pala	123,7	m
Angolo $\gamma$ in corrispondenza della gittata massima	0	°

*Tabella 6c Risultati modellazione considerando l'area massima della pala*

Grandezza	Valore	U.d.m.
Gittata massima – Centro di massa della pala	72,8	m
Gittata massima – Estremità della pala	123,5	m
Angolo $\gamma$ in corrispondenza della gittata massima	0	°

Tramite il software sviluppato è stato possibile ottenere i grafici della traiettoria della gittata massima di una pala che si stacca a seguito di una rottura accidentale. Da tali grafici, proposti nelle Figure 6b e 6c, si evince che la pala definisce una traiettoria deviata rispetto al piano X-Z, corrispondente al piano di rotazione delle pale, a causa della forza esercitata dal vento (in direzione Nord secondo il piano Y-Z).

Figura 6b Traiettoria nel piano X-Y-Z (i valori indicati sugli assi sono espressi in m)

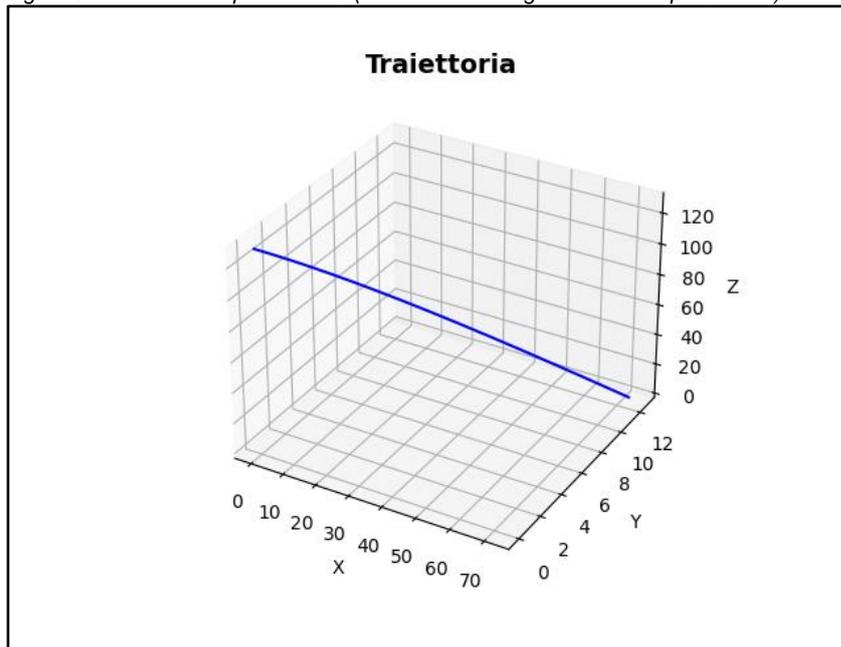
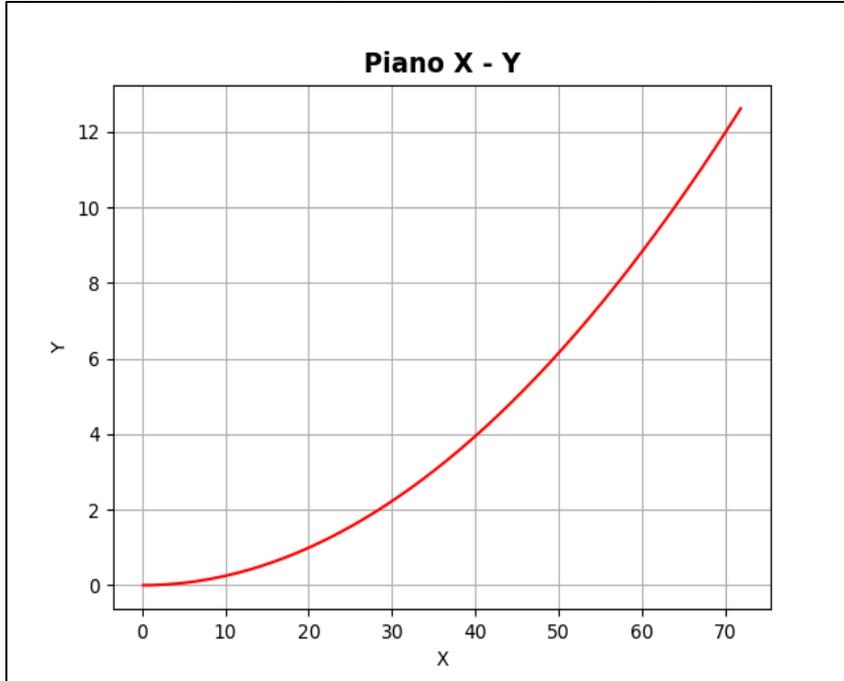


Figura 6c Traiettorie nel piano X-Y (i valori indicati sugli assi sono espressi in m)



## 7 Localizzazione dei potenziali recettori

Sulla base dei calcoli riportati al §6, la distanza massima raggiungibile dagli elementi rotanti, in caso di distacco accidentale dagli aerogeneratori in progetto nelle condizioni ambientali considerate, è risultata pari a 123,7 m nel caso di considerazione dell'area minima della pala e 123,5 m nel caso di considerazione dell'area massima della pala.

Allo scopo di valutare l'eventuale impatto indotto dal distacco accidentale di una pala da un aerogeneratore dell'impianto eolico in progetto, sono stati individuati i recettori presenti entro l'area di indagine della gittata massima, definita, per ogni singolo aerogeneratore, come superficie circolare centrata sulla torre di raggio pari alla massima gittata massima calcolata, cioè 123,7 m. In Figura 7a è riportata l'area di indagine della gittata massima per ciascun aerogeneratore in progetto.

Come si nota dall'analisi della figura, all'interno dell'area di indagine della gittata massima per ogni aerogeneratore non è presente alcun ricettore. In aggiunta si nota che, fatta eccezione per alcune porzioni delle strade di accesso agli aerogeneratori in progetto (frequentate sporadicamente dagli addetti per le operazioni di manutenzione ordinaria/straordinaria), anche le strade più prossime agli stessi, costituite dalla Strada Provinciale 71, dalla Strada Provinciale 64 e dalla Strada Statale SS87 Sannitica, si trovano al di fuori dell'area di indagine della gittata massima.

## 8 Conclusioni

Nel presente studio è stata calcolata la gittata massima, a seguito del distacco accidentale durante l'esercizio, degli elementi rotanti (pale eoliche) degli aerogeneratori che verranno installati nell'ambito del progetto di repowering dell'esistente impianto eolico di Ripabottoni proposto dalla società Edison Rinnovabili S.p.A..

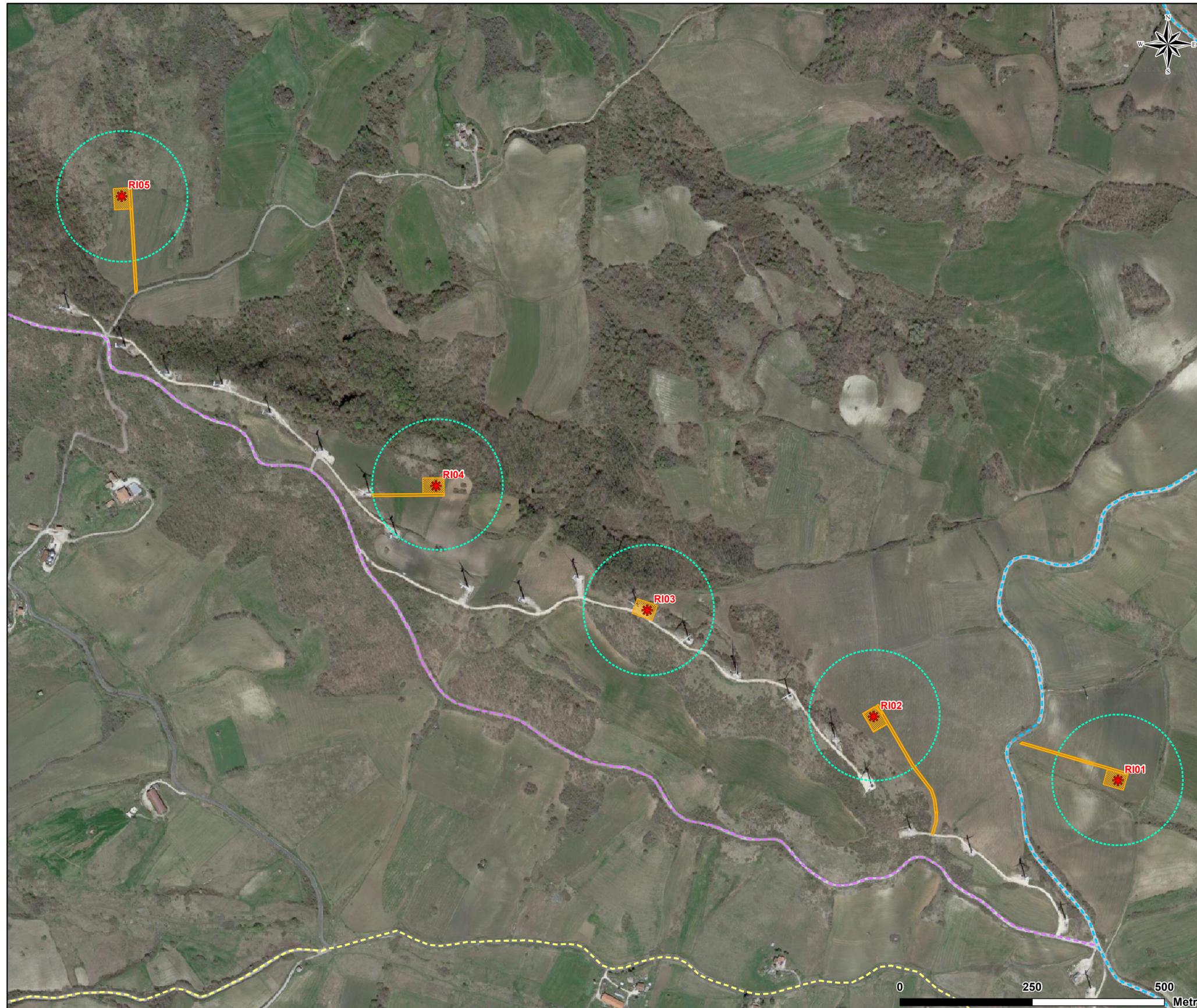
Il valore della gittata massima ottenuto è pari a 123,7 m.

Dal momento che:

- come riportato nella Tabella 4a, il rischio di incidente letale legato all'accidentale rottura della pala è molto basso in rapporto ad altri possibili eventi letali;
- le ipotesi di calcolo, esplicitate nel §5 sono a favore di sicurezza e generano un risultato conservativo rispetto al caso reale;
- non sono stati individuati né ricettori né strade (ad eccezione di porzioni di quelle di accesso agli aerogeneratori in progetto) all'interno dell'area d'indagine della gittata massima dell'elemento rotante dell'aerogeneratore,

si può concludere che, sulla base dell'analisi condotta, il rischio di incidente legato al distacco dell'elemento rotante di un aerogeneratore in progetto risulta trascurabile.

Figura 7a Individuazione della gittata massima



**LEGENDA**

**Interventi Progetto Repowering (IR)**

-  ID Aerogeneratori in progetto
-  Viabilità di accesso - tratti di nuova realizzazione
-  Piazzole definitive di nuova realizzazione

**Gittata massima**

-  Gittata massima

**Viabilità esistente**

-  S.P. 64
-  S.P. 71
-  S.S. 87 Sannitica