

**REGIONE PUGLIA  
CITTÀ METROPOLITANA DI BARI  
COMUNE DI ALTAMURA**



**Committente:** **R2R**  
GRUPPO a2a  
R2R S.r.l. (gruppo a2a)  
Piazza Manifattura n. 1  
38068 - Rovereto (TN)

**Titolo del Progetto:**

**PARCO EOLICO SERRA DI MELE**

**Documento:** STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

**N° Documento:** R2R-WSDM-RA15

ID PROGETTO:	R2R-WSDM	SEZIONE:	A	TIPOLOGIA:	T	FORMATO:	A4
--------------	----------	----------	---	------------	---	----------	----

**Elaborato:**

**RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI**

FOGLIO:	1 di 1	SCALA:	-	Nome file:	YDUOL75_R2R-WSDM-RA15
---------	--------	--------	---	------------	-----------------------

**A cura di:**

**iat** CONSULENZA  
E PROGETTI  
www.iatprogetti.it



I.A.T. Consulenza e progetti S.r.l.  
Dott. Ing. Giuseppe Frongia

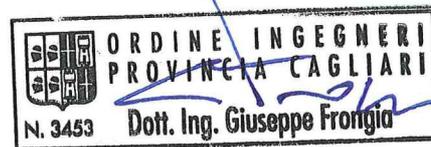
**Gruppo di progettazione:**

Ing. Giuseppe Frongia  
(coordinatore e responsabile)  
Ing. Marianna Barbarino  
Ing. Enrica Batzella  
Pian. Terr. Andrea Cappai  
Ing. Gianfranco Corda  
Ing. Paolo Desogus  
Pian. Terr. Veronica Fais  
Ing. Gianluca Melis  
Ing. Fabrizio Murru  
Ing. Andrea Onnis  
Pian. Terr. Eleonora Re  
Ing. Elisa Roych  
Ing. Marco Utzeri

**Contributi specialistici:**

Ing. Antonio Dedoni (studio acustico)  
IPOOL S.r.l. (monitoraggio acustico)  
Dott. Geol. Francesca Lobina (Geologia)  
Dott. Agr. Barnaba Marinosci (Agronomia)

Dott. Biol. Leonardo Beccarisi (Vegetazione)  
Dott. Fabio Mastropasqua (Fauna e VINCA)  
Nostoi S.r.l. (Archeologia)



Rev:	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
0	Nov.2023	Prima emissione	IAT	GF	R2R

<b>COMMITTENTE</b> R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO SERRA DI MELE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE	<b>COD. ELABORATO</b> R2R-WSDM-RA15
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 2 di 25	

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>GLI AEROGENERATORI E IL LORO FUNZIONAMENTO .....</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>ANALISI STORICA DEGLI INCIDENTI .....</b>	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>ROTTURA PALA E CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA .....</b>	<b>15</b>
5.1	INTRODUZIONE E IPOTESI ALLA BASE DEL MODELLO DI CALCOLO .....	15
5.2	AEROGENERATORE DI RIFERIMENTO .....	16
5.3	CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA .....	18
<b>6</b>	<b>RISULTATI .....</b>	<b>21</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>24</b>

<b>COMMITTENTE</b> R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO SERRA DI MELE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE	<b>COD. ELABORATO</b> R2R-WSDM-RA15
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 3 di 25	

## 1 INTRODUZIONE

La Società R2R S.r.l. (gruppo a2a) intende realizzare, su terreni agricoli del Comune di Altamura (BA), il progetto di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica denominato “Serra di Mele”, comprendente le opere e le infrastrutture indispensabili alla costruzione e all’esercizio del parco eolico.

Il progetto prevede l’installazione di n. 6 turbine di grande taglia di potenza nominale unitaria pari a 6,6 MW, posizionate su torri di sostegno in acciaio dell’altezza pari a 115 m e aventi diametro del rotore pari a 170 m, nonché l’approntamento delle opere accessorie indispensabili per un ottimale funzionamento e gestione della centrale (viabilità e piazzole di servizio, distribuzione elettrica di impianto e opere per la successiva immissione dell’energia prodotta alla Rete di Trasmissione Nazionale).

Avuto riguardo di quanto suggerito dalle Linee Guida Nazionali sulle Fonti Rinnovabili (DM 10/09/2010), nel seguito sarà condotta una stima approssimativa della distanza massima che può essere raggiunta da una pala di un aerogeneratore delle caratteristiche geometrico-funzionali di quelli previsti nel progetto nell’ipotesi di distacco dell’intera pala durante condizioni nominali di funzionamento dello stesso.

L’esperienza di pluriennale esercizio dei moderni impianti eolici attesta come le turbine di grande taglia siano installazioni estremamente affidabili sotto il profilo meccanico-strutturale nonché ambientalmente sicure.

Premesso che la determinazione della reale distanza raggiunta da una pala distaccatasi dal rotore di un aerogeneratore (c.d. gittata), in funzione delle condizioni iniziali e al contorno, è estremamente complessa, a causa dell’influenza di un elevato numero di fattori, le stime semplificate di seguito condotte hanno l’obiettivo di pervenire ad un valore indicativo di riferimento e di determinare l’incertezza approssimativa del dato stesso.

In particolare, lo studio è stato condotto calcolando la gittata del centro di gravità (stimato) della pala, a partire dalle condizioni iniziali teoriche di massima gittata (indicativamente  $\pm 30\div 45^\circ$  dall’asse orizzontale con pala in salita) e con ipotesi semplificative circa gli effetti della resistenza/portanza aerodinamica.

I calcoli di seguito illustrati pervengono, in ogni caso, ad una stima conservativa circa la portata del fenomeno includendo solo le forze d’inerzia ed escludendo le forze viscosse. Al riguardo, verifiche sperimentali condotte da Vestas sulla gamma dei propri modelli di aerogeneratore in esercizio indicano come le forze di resistenza che si esercitano sulla pala fanno sì che la gittata reale sia inferiore di circa il 20% rispetto a quella stimata secondo le ipotesi di calcolo sopra indicate.

Il distacco o la rottura della pala sono eventi che si verificano per condizioni operative al di fuori del normale *range* di funzionamento delle macchine. Gli aerogeneratori per i quali si prevede l’installazione nell’ambito del progetto in argomento sono provvisti di sistemi di arresto che

<b>COMMITTENTE</b> R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO SERRA DI MELE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE	<b>COD. ELABORATO</b> R2R-WSDM-RA15
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 4 di 25	

intervengono quando le condizioni di funzionamento sono tali da compromettere la funzionalità della macchina e la sicurezza pubblica.

<b>COMMITTENTE</b> R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO SERRA DI MELE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE	<b>COD. ELABORATO</b> R2R-WSDM-RA15
 www.iatprogetti.it		<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 5 di 25

## 2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il proposto parco eolico è ubicato nella Regione Puglia, all'interno della Città Metropolitana di Bari, nella porzione sud-occidentale del territorio comunale di Altamura (BA).

Cartograficamente l'area del parco eolico è individuabile nella Carta Topografica dell'IGMI in scala 1:25000 Foglio 454, Sez. II – Altamura, Sez. III – Gravina in Puglia e Foglio 472, Sez. I – Borgo Venusio, Sez. IV – Santa Maria d'Irsi.

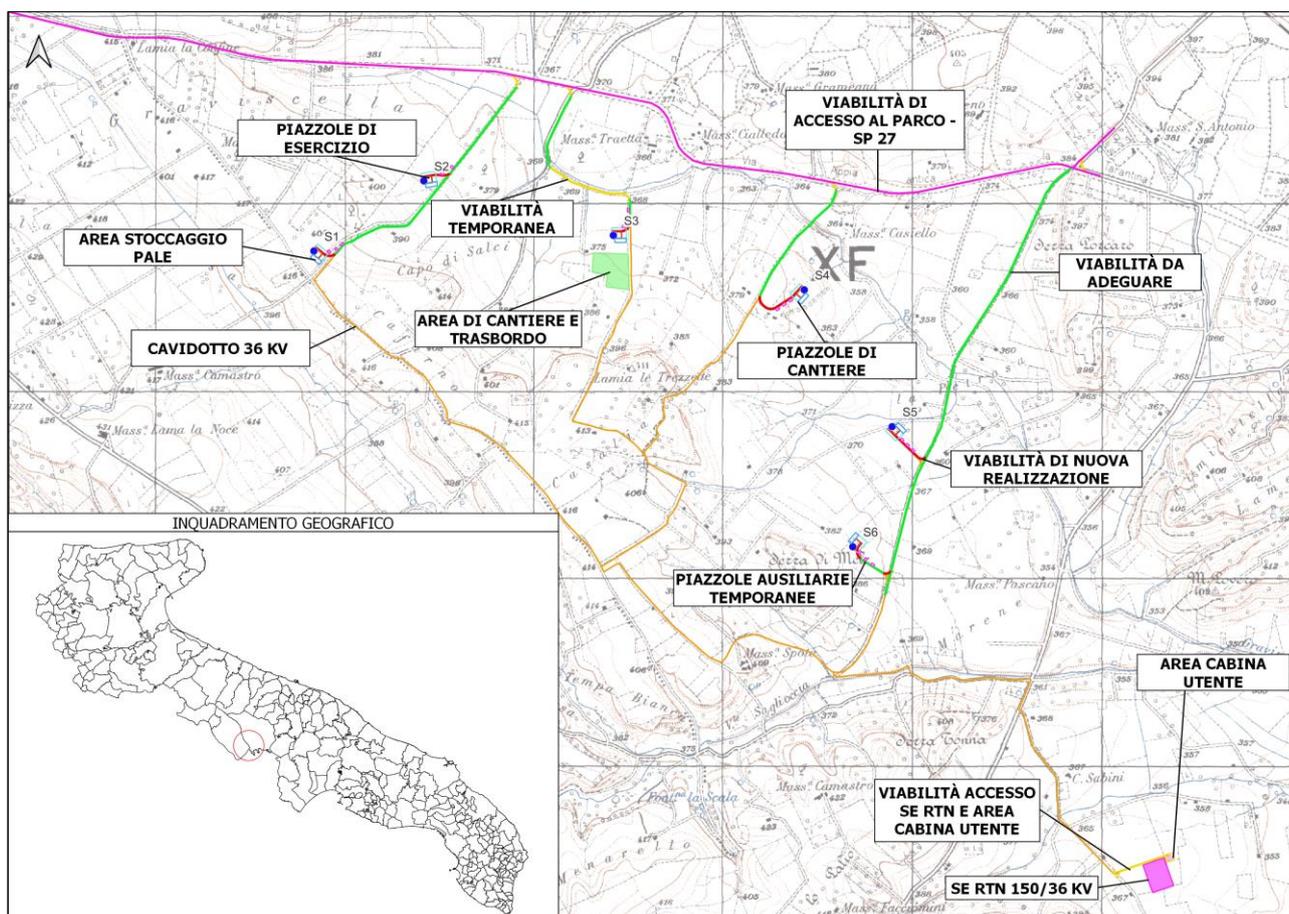


Figura 2.1 - Inquadramento geografico di intervento su IGMI 1:25000

<b>COMMITTENTE</b> R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO SERRA DI MELE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE	<b>COD. ELABORATO</b> R2R-WSDM-RA15
 <b>CONSULENZA E PROGETTI</b> www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 6 di 25	

Nella Carta Tecnica Regionale Numerica in scala 1:5000 è inquadrato nelle sezioni 454142, 454153, 472021 e 472034.

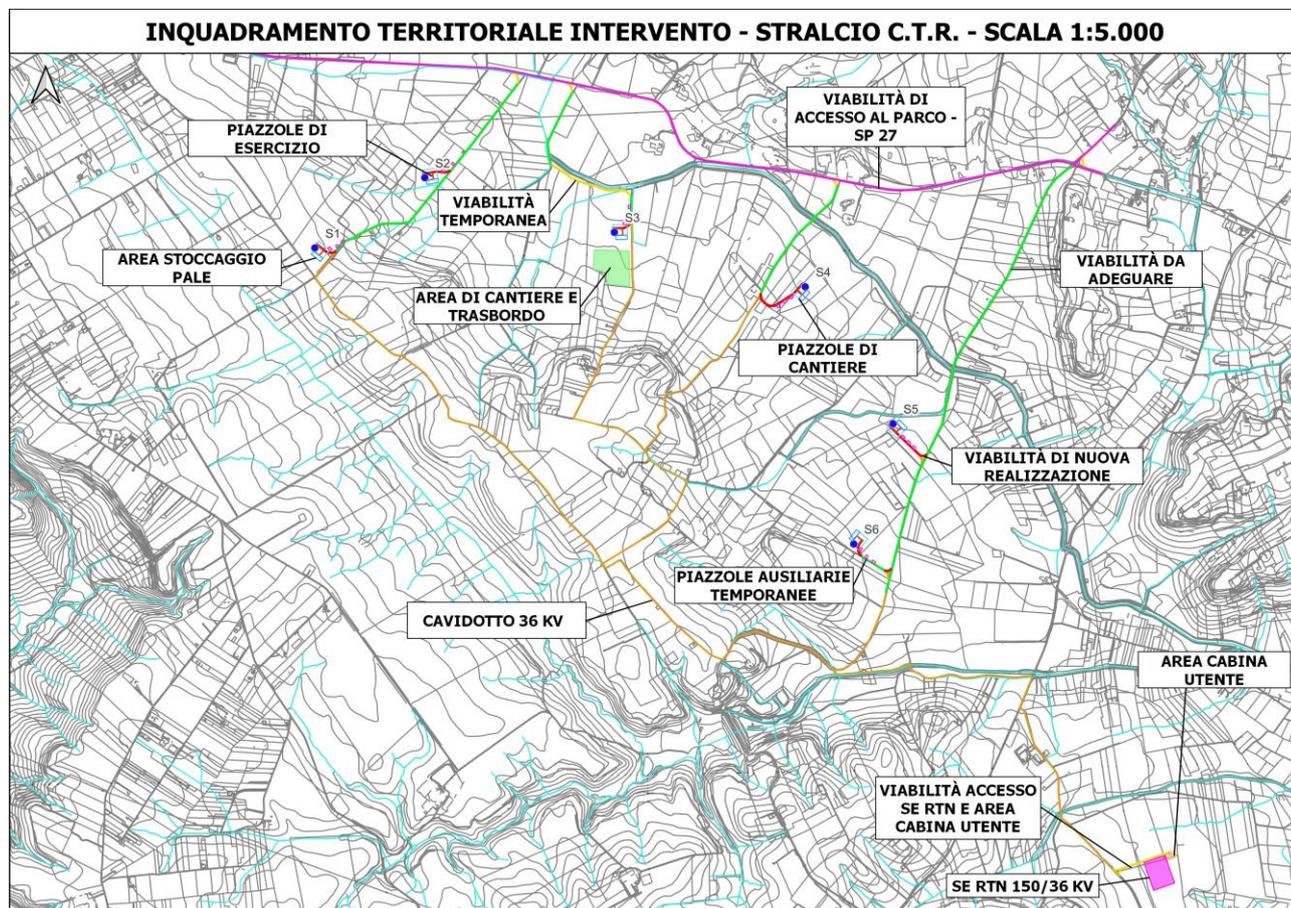


Figura 2.2 - Inquadramento geografico del parco eolico su CTR 1:5000

L'inquadramento delle postazioni eoliche nei luoghi di intervento, secondo la toponomastica locale, è riportato in Tabella 2.2.

Per quanto riguarda le opere di connessione gli aerogeneratori saranno collegati tra loro attraverso un cavidotto interrato a 36 kV che si sviluppa nella porzione sud-occidentale del territorio comunale di Altamura, prosegue poi verso sud-est tramite cavidotto di connessione delle linee di sottocampo con la Cabina Utente ed il successivo collegamento con la sezione a 36 kV della futura Stazione Elettrica RTN 150/36 kV, entrambe situate in località *Lama di Nebbia*.

L'impianto in progetto si trova all'interno della regione storica denominata *Puglia Grande* e, in particolare all'interno della sotto-regione *Murgia Alta*. Tale territorio, descritto all'interno del Piano Paesaggistico Territoriale regionale (PPTR) nella Scheda dell'Ambito paesaggistico 6 "Alta Murgia", è caratterizzato dal rilievo morfologico dell'altopiano calcareo della *Murgia* e dalla prevalenza di vaste superfici a pascolo e a seminativo che si sviluppano fino alla fossa bradanica che presenta caratteristiche ambientali completamente diverse da quelle dell'altopiano essendo

<b>COMMITTENTE</b> R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO SERRA DI MELE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE	<b>COD. ELABORATO</b> R2R-WSDM-RA15
 www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 7 di 25	

formata da depositi argillosi di natura alluvionale e da un paesaggio di basse colline ondulate e formazioni boschive.



Figura 2.3 - Ambito dell'Alta Murgia (fonte: PPTR). In giallo l'area di progetto

La delimitazione dell'Ambito è stata definita in base a: la presenza degli elementi morfologici principali, come i gradini murgiani a nord-est e sud-ovest - che rappresentano il limite tra il paesaggio dell'Alta Murgia e quelli limitrofi della Puglia Centrale e della Valle d'Ofanto; le tipologie dell'uso del suolo, con i boschi, i pascoli d'altopiano e la matrice olivata della Puglia Centrale e i vigneti della Valle dell'Ofanto; le differenti strutture insediative, con la bassa densità insediativa delle Murge e il sistema dei centri della costa barese e quelli della Valle d'Ofanto; i limiti comunali, in particolare a sud-est, e le infrastrutture viarie principali, come la Strada Statale 97 a nord-ovest.

Come si legge nel PPTR, l'ambito delle Murge Alte è costituito, dal punto di vista geologico, da un'ossatura calcareo-dolomitica radicata, spesso alcune migliaia di metri, coperta da sedimenti relativamente recenti di natura calcarenitica, sabbiosa o detritico-alluvionale. Morfologicamente delineano una struttura a gradinata, avente culmine lungo un'asse diretto parallelamente alla linea di costa e degradante, in modo rapido, ad ovest verso la depressione del Fiume Bradano e, più debolmente, verso est fino a raccordarsi mediante una successione di spianate e gradini al mare Adriatico. Le morfologie dei corsi d'acqua presenti nel territorio, caratterizzate da solchi erosivi fulvio-carsici denominati lame, sono tipiche di questo territorio tanto da ritrovare di frequente nella toponomastica locale il termine lame.

<b>COMMITTENTE</b> R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO SERRA DI MELE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE	<b>COD. ELABORATO</b> R2R-WSDM-RA15
 www.iatprogetti.it		<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 8 di 25

Con riferimento ai caratteri idrografici, l'area di progetto è collocata all'interno del Bacino Idrografico del Bradano che ricade, prevalentemente, nella confinante regione Basilicata e, in parte minore, nella Puglia occidentale. In particolare, l'area di impianto ricade all'interno del bacino idrografico secondario denominato "Fiumicello".

Il reticolo idrografico di tale bacino è contraddistinto da un corso d'acqua principale, il *Fiume Bradano*, da corsi d'acqua minori a regime torrentizio tributari del corso d'acqua principale, da un articolato reticolo minore, da una rete di canali di bonifica alquanto fitta che si sviluppa nella piana costiera ionica di *Metaponto*, nel fondovalle del *Bradano* - a valle della diga di San Giuliano oltre che nell'area del bacino del torrente *Basentello* - nella valle del *Bradano*, a monte dell'invaso di San Giuliano, e nell'area a nord di Matera.

Il *Fiume Bradano* sfocia nel *Mar Jonio*, circa 5 km a nord-est della foce del *Fiume Basento*. La foce è posizionata nella piana costiera metapontina, in un tratto di costa basso e sabbioso, contraddistinto da ampi cordoni dunali. Nel bacino *Bradano* sono presenti importanti opere idrauliche degli schemi idrici lucani, per l'accumulo, potabilizzazione e vettoriamento delle acque per uso plurimo in ambito regionale e interregionale (Basilicata e Puglia).

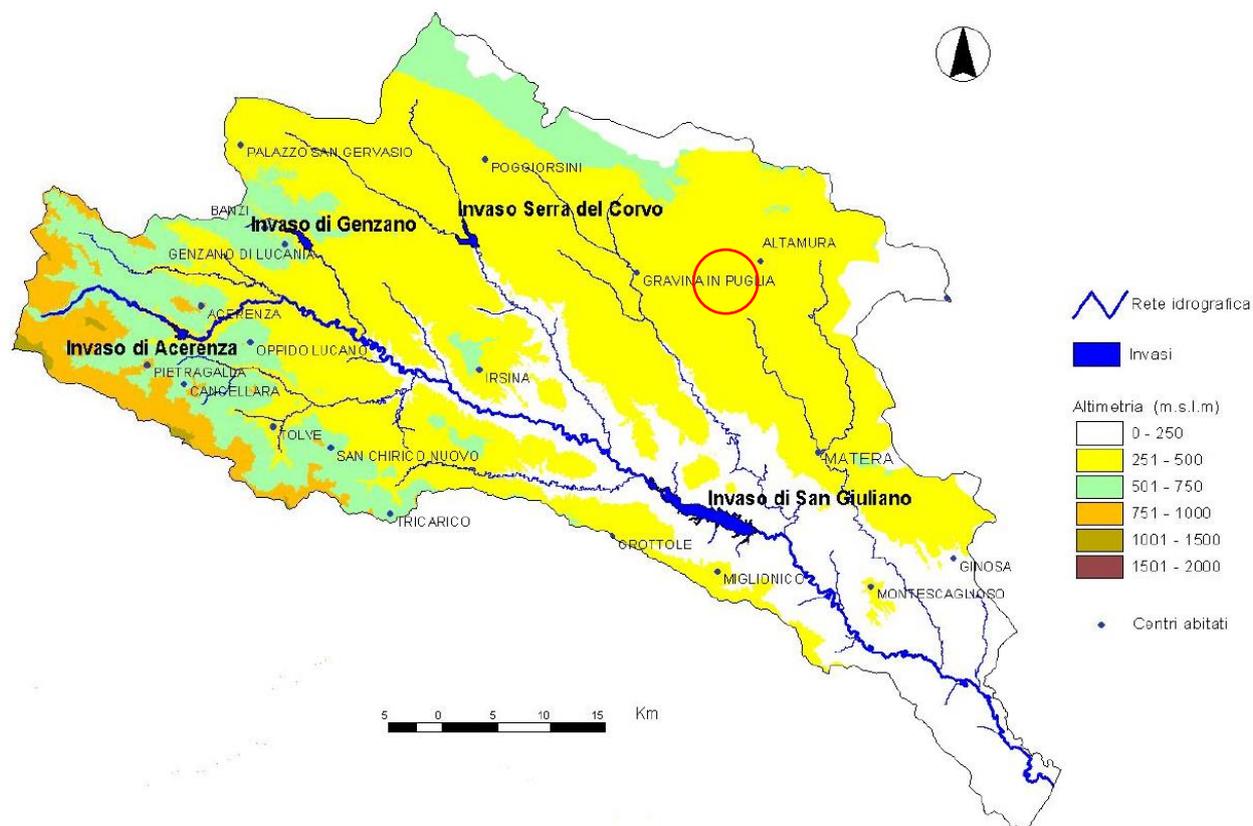


Figura 2.4 - Bacino idrografico del Bradano (fonte: Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale). In rosso l'area di progetto

Sotto il profilo dell'infrastrutturazione viaria, il sito è localizzato a sud della Strada Provinciale 27, che si innesta sulla Strada Statale 96 Barese – di collegamento tra i centri urbani di Altamura e

<b>COMMITTENTE</b> R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO SERRA DI MELE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE	<b>COD. ELABORATO</b> R2R-WSDM-RA15
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 9 di 25	

Gravina in Puglia – ai margini orientali del centro urbano di Gravina. Sulla SP 27 si innesta un sistema di viabilità rurale e secondaria che permette, con l’adeguamento di alcuni tratti e la costruzione ex novo di altri, di raggiungere le postazioni eoliche in progetto.

In relazione alle condizioni di accessibilità degli aerogeneratori possono individuarsi i seguenti quattro raggruppamenti principali:

- il primo (località *Graviscella*), composto dagli aerogeneratori S1 e S2;
- il secondo (località *Capo di Salci*), l’asse lungo il quale è localizzato l’aerogeneratore S3;
- il terzo (località *Lamia Le Trezzette*), l’asse lungo il quale è localizzato l’aerogeneratore S4;
- il quarto, e ultimo, (località *Serra Porcaro*) composto dagli aerogeneratori S5 e S6.

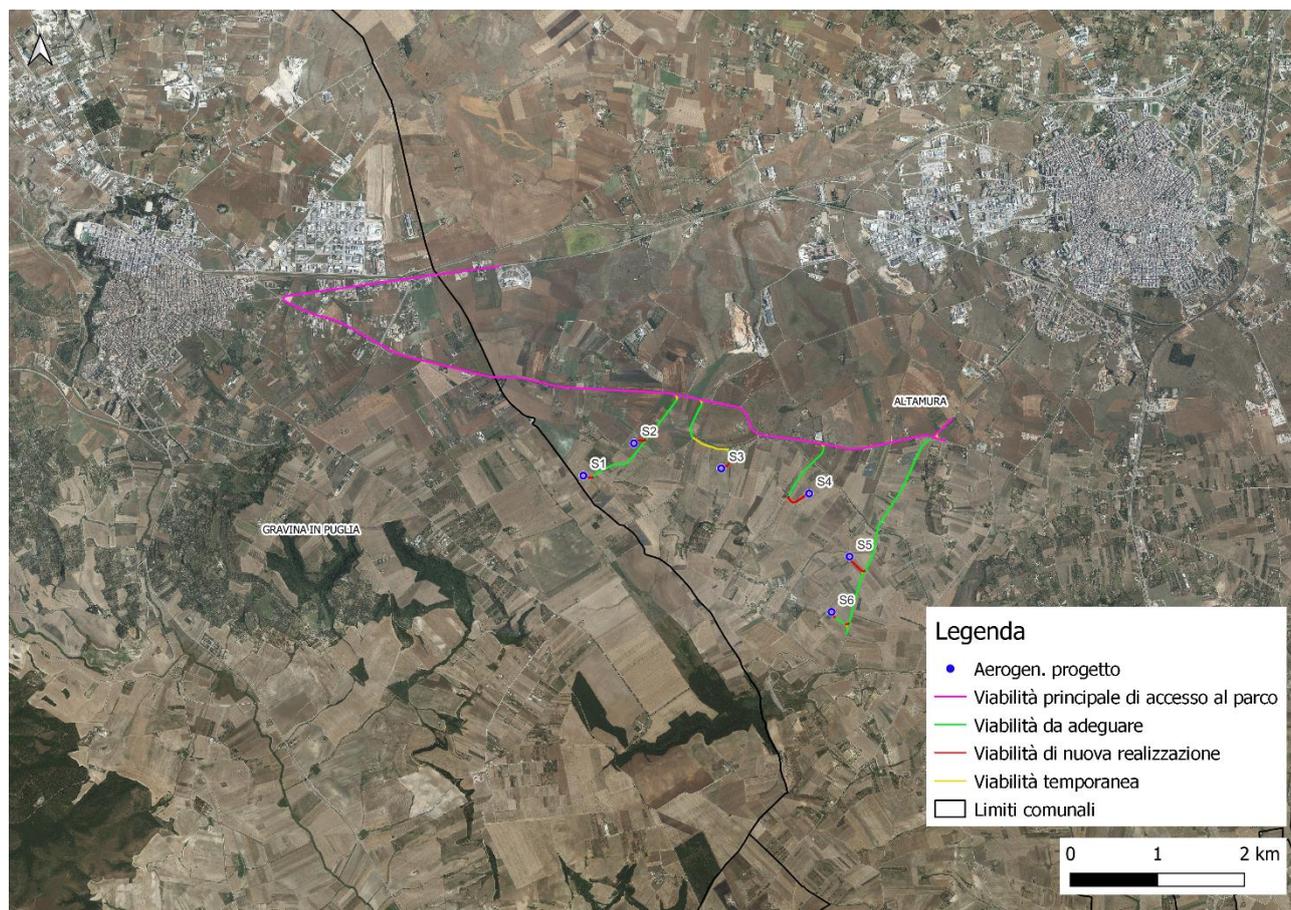


Figura 2.5 - Sistema della viabilità di accesso all’impianto

Rispetto al tessuto edificato degli insediamenti abitativi più vicini (YDUOL75\_R2R-WSDM-RA5-5), il sito di intervento presenta, indicativamente, la collocazione indicata in Tabella 2.1.

<b>COMMITTENTE</b> R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO SERRA DI MELE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE	<b>COD. ELABORATO</b> R2R-WSDM-RA15
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 10 di 25	

*Tabella 2.1 - Distanze degli aerogeneratori rispetto ai più vicini centri abitati*

<b>Centro abitato</b>	<b>Posizionamento rispetto al sito</b>	<b>Distanza minima dal sito (km)</b>
Gravina in Puglia	N-O	2,6
Altamura	N-E	2,8
Serra della Stella (Gravina in Puglia)	S	3,6
Parisi Vecchia (Altamura)	N	7,3
Matera	S-E	11,8

L'inquadramento catastale delle installazioni eoliche in progetto è riportato negli Elaborati YDUOL75\_R2R-WSDM-TC4a ÷ YDUOL75\_R2R-WSDM-TC4f, mentre l'inquadramento catastale del tracciato cavidotti è riportato negli Elaborati YDUOL75\_R2R-WSDM-TE2a ÷ YDUOL75\_R2R-WSDM-TE2b.

*Tabella 2.2 – Inquadramento delle postazioni eoliche nella toponomastica locale*

<b>ID Aerogeneratore</b>	<b>Località</b>
S1	<i>La Contessa</i>
S2	<i>Capo di Salci</i>
S3	<i>Capo di Salci</i>
S4	<i>Lamia le Trezzette</i>
S5	<i>La Petrosa</i>
S6	<i>Serra di Mele</i>

Le coordinate degli aerogeneratori espresse nel sistema WGS 84 / UTM zone 33N sono le seguenti.

<b>COMMITTENTE</b> R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO SERRA DI MELE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE	<b>COD. ELABORATO</b> R2R-WSDM-RA15
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 11 di 25	

*Tabella 2.3 - Coordinate aerogeneratori in WGS 84 / UTM zone 33N*

Aerogeneratore	X	Y
S1	624761	4517557
S2	625343	4517931
S3	626346	4517640
S4	627356	4517349
S5	627821	4516620
S6	627613	4515979

<b>COMMITTENTE</b> R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO SERRA DI MELE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE	<b>COD. ELABORATO</b> R2R-WSDM-RA15
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 12 di 25	

### 3 GLI AEROGENERATORI E IL LORO FUNZIONAMENTO

Un aerogeneratore di grande taglia è costituito dai seguenti sottosistemi principali:

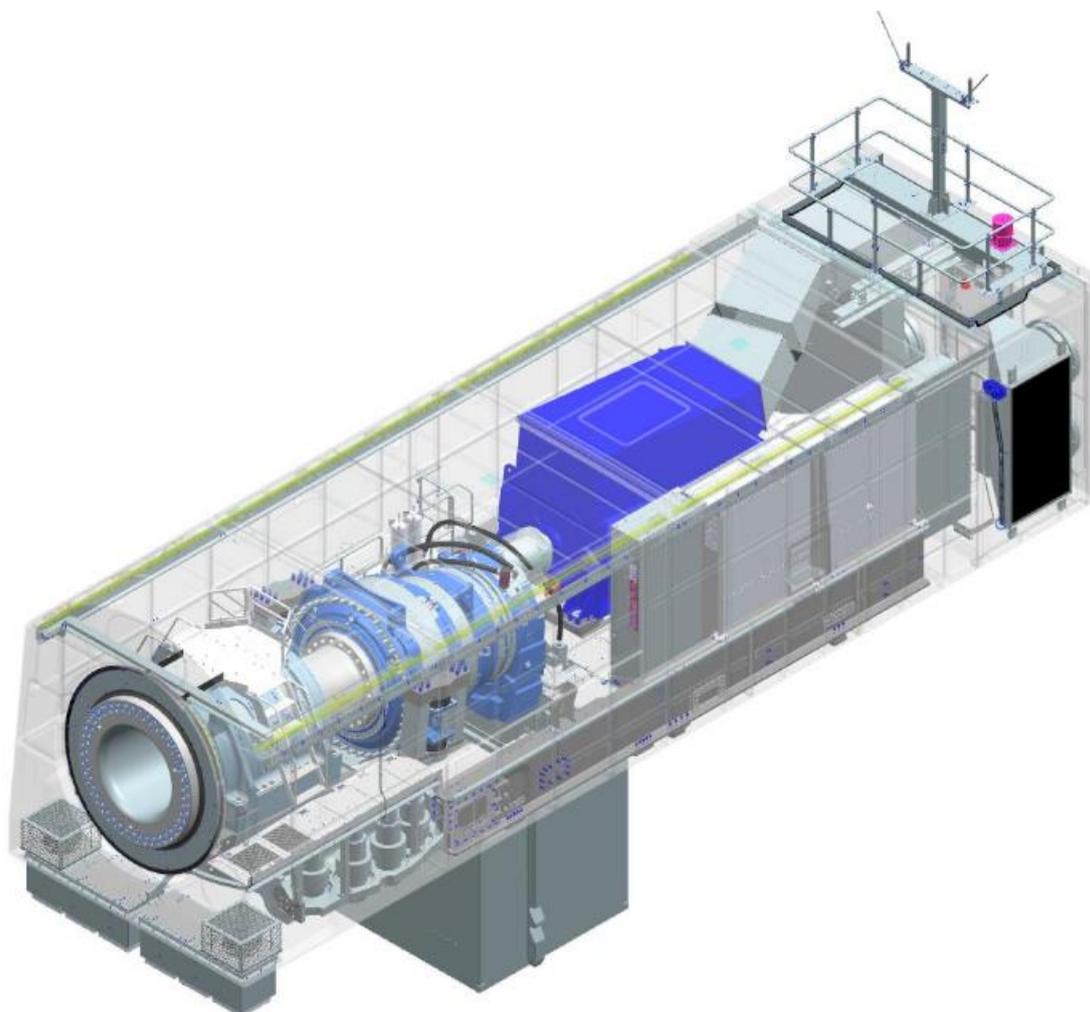
- il rotore eolico, che trasforma l'energia cinetica del vento in energia meccanica mediante tre pale, opportunamente sagomate secondo un profilo aerodinamico e montate su un asse orizzontale o verticale rispetto al terreno;
- l'apparato di conversione dell'energia meccanica in energia elettrica, basato su un generatore elettrico rotante azionato dal rotore eolico attraverso un sistema di trasmissione, che spesso comprende un moltiplicatore di giri per ottenere la velocità appropriata per il generatore;
- il convertitore statico di frequenza e tensione, se necessario per ottenere una potenza elettrica con caratteristiche diverse da quelle in uscita dal generatore ed appropriate all'impiego.

Le pale sono generalmente costruite in vetroresina con eventuali rinforzi in fibra di carbonio. Le pale sono a passo variabile, cioè il loro angolo di calettamento al mozzo può essere variato da un servomeccanismo comandato dal sistema di controllo dell'aerogeneratore. Gli aerogeneratori ad asse orizzontale comprendono, oltre al rotore, i seguenti componenti strutturali principali:

- la navicella o gondola, in cui sono alloggiati gli alberi di trasmissione, il moltiplicatore di giri, il generatore, eventuali altri componenti elettrici e le apparecchiature ausiliarie e di controllo; la navicella viene orientata dal sistema di controllo per mantenere l'asse del rotore allineato alla direzione del vento;
- il sostegno, generalmente in acciaio con struttura tubolare, che ha la funzione di mantenere il rotore ad un'altezza opportuna rispetto al suolo (la velocità del vento tende ad aumentare con l'altezza), ancorato al terreno a mezzo di fondazione in calcestruzzo armato.

La Figura 3.1 mostra un dettaglio della navicella.

<b>COMMITTENTE</b> R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO SERRA DI MELE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE	<b>COD. ELABORATO</b> R2R-WSDM-RA15
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 13 di 25	



*Figura 3.1 – Spaccato delle apparecchiature collocate all'interno della navicella di un moderno aerogeneratore*

Il meccanismo di funzionamento della macchina è il seguente: la vena fluida impatta contro le pale della turbina, azionando il moto rotatorio del rotore. Quest'ultimo trasferisce l'energia cinetica al generatore, il quale a sua volta la converte in energia elettrica.

Il trasformatore presente in navicella innalza la tensione dell'energia prodotta e attraverso un sistema di cavidotti l'energia prodotta viene immessa nella rete elettrica nazionale.

<b>COMMITTENTE</b> R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO SERRA DI MELE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE	<b>COD. ELABORATO</b> R2R-WSDM-RA15
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 14 di 25	

#### 4 ANALISI STORICA DEGLI INCIDENTI

Diversi studi<sup>1</sup> condotti a livello internazionale tra il 1990 e il 2014 hanno evidenziato che la probabilità di guasto di una pala in un anno è compresa tra lo 0,1% e lo 0,7%. La variabilità dei dati è dovuta al differente numero di campioni, a differenti tassi di guasto e differenti ore di manutenzione dovute alla rottura.

Inoltre, uno studio<sup>2</sup> americano del 2013, effettuato su un campione di circa 10,000 aerogeneratori, caratterizzati dall'essere operativi da anni diversi, ha evidenziato che circa il 2% delle turbine (nei 10 anni di funzionamento) richiedono la sostituzione della pala, considerando però anche tutte le sostituzioni che avvengono nei primi due anni di funzionamento dovute a problemi durante il trasporto e la costruzione.

Lo studio evidenzia inoltre che la principale causa di rottura delle pale è dovuta all'azione dei fulmini.

<sup>1</sup> Branner K., Ghadirian A., "Database about blade faults", 2014

<sup>2</sup> Lantz E. (NREL), "Operations Expenditures: Historical Trends And Continuing Challenges", 2013

<b>COMMITTENTE</b> R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO SERRA DI MELE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE	<b>COD. ELABORATO</b> R2R-WSDM-RA15
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 15 di 25	

## 5 ROTTURA PALA E CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA

In questa sezione vengono riportate un'introduzione alla problematica della rottura di pala, le specifiche dell'aerogeneratore di riferimento e infine il calcolo della gittata massima.

### 5.1 Introduzione e ipotesi alla base del modello di calcolo

La rottura improvvisa di una pala dell'aerogeneratore (o di un frammento di essa) è un fattore importante da analizzare in fase di progettazione ai fini del posizionamento degli aerogeneratori.

La rottura di una pala - che spesso avviene alla radice di essa - è un evento che ha due cause principali:

- Rottura del giunto di collegamento tra mozzo e pala;
- Fenomeni di fatica sul profilo di pala causati dalla discontinuità della struttura.

Il presente documento ha lo scopo di analizzare, nell'eventualità che si verifichi il distacco di una pala, il moto di caduta della stessa.

A differenza di un classico moto parabolico (es. moto del proiettile), in cui è possibile definire che l'angolo a cui vi è la gittata massima è  $45^\circ$ , la complessa struttura geometrica ed aerodinamica della pala porta a dover studiare in modo più approfondito il fenomeno del distacco dal rotore.

Di seguito, vengono riportate alcune definizioni ed ipotesi utili per la definizione e il calcolo della gittata massima, affrontato nei paragrafi successivi:

- Gittata (L): è la distanza percorsa lungo l'asse delle ascisse da un corpo lasciato in aria. Essa dipende fortemente dall'angolo di distacco, dalle caratteristiche della pala (p.e. dimensione, peso e profilo aerodinamico), dalla velocità di rotazione, dalla velocità del vento e dalle forze di attrito che agiscono sulla pala durante il volo.
- Tempo di volo (T): è l'intervallo di tempo che intercorre tra il distacco del corpo ed il suo arrivo al suolo (i.e. il tempo trascorso in aria). Come definito per la gittata, esso dipende dalle caratteristiche della pala, dall'angolo di distacco e dalla sua velocità di rotazione.

Il calcolo della gittata massima della pala di un aerogeneratore necessita, inoltre, di alcune ipotesi semplificative, necessarie a descrivere il modello del moto parabolico:

- 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;
- Viene considerata la rotazione massima (massimi giri al minuto) per la turbina al momento del distacco;
- Sono considerati solamente gli effetti gravitazionali sul moto e non gli effetti di attrito di aria e vento. Questa ipotesi è conservativa, dato che trascurare gli effetti di aria e vento causa un incremento del valore della gittata massima della pala distaccata a favore di sicurezza. Gli effetti di portanza sul profilo della pala sono trascurati;

<b>COMMITTENTE</b> R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO SERRA DI MELE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE	<b>COD. ELABORATO</b> R2R-WSDM-RA15
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 16 di 25	

- Il moto della pala al momento del distacco è un moto complesso, che dipende strettamente dalle dimensioni della pala, dal suo peso e dalle forze aerodinamiche in gioco. Il modello teorico che meglio descrive il moto della pala è il “moto rotazionale complesso” che permette di descrivere il moto della pala tridimensionalmente. In questa analisi, trascurando gli effetti di aria e vento, il moto della pala distaccata viene descritto attraverso il movimento del punto del centro di massa (baricentro), posto ad 1/3 della lunghezza di pala. Tali considerazioni sono utili al fine di descrivere un moto dipendente solamente dagli effetti gravitazionali. Tale ipotesi, che non considera effetti di attrito e il moto rotazionale complesso, porta a sovrastimare il valore della gittata a favore di sicurezza;
- Non si considera alcuna mutazione della velocità del vento durante il volo. La velocità del vento durante il volo è bensì assunta pari a quella al momento del distacco e pari alla velocità massima di funzionamento.

## 5.2 Aerogeneratore di riferimento

Gli aerogeneratori che verranno installati presso il parco eolico in progetto saranno selezionati sulla base delle più innovative tecnologie disponibili sul mercato. La potenza nominale delle turbine previste sarà pari a massimo 6,6 MW. Il tipo e la taglia esatta dell'aerogeneratore saranno comunque individuati in seguito della fase di acquisto della macchina e verranno descritti in dettaglio in fase di progettazione esecutiva.

Si riportano di seguito le caratteristiche tecniche dell'aerogeneratore (in grassetto i valori necessari per il calcolo della gittata):

Tabella 5.1 - Caratteristiche tecniche aerogeneratore

Potenza nominale	6,6 MW
Diametro del rotore D	170 m
Lunghezza della pala $r_{tip}$	83,5 m
Corda massima della pala	4,5 m
Area spazzata	22.698 m <sup>2</sup>
Altezza al mozzo $H_m$	115 m
Classe di vento IEC	IIIA
Velocità cut-in	3 m/s
Velocità nominale	10 m/s
Velocità cut-out	25 m/s
Giri al minuto rotore (rpm)	10,6

<b>COMMITTENTE</b> R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO SERRA DI MELE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE	<b>COD. ELABORATO</b> R2R-WSDM-RA15
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 17 di 25	

Nell'immagine seguente è rappresentata una turbina con rotore di diametro pari a 170 m e potenza fino a 6,6 MW:

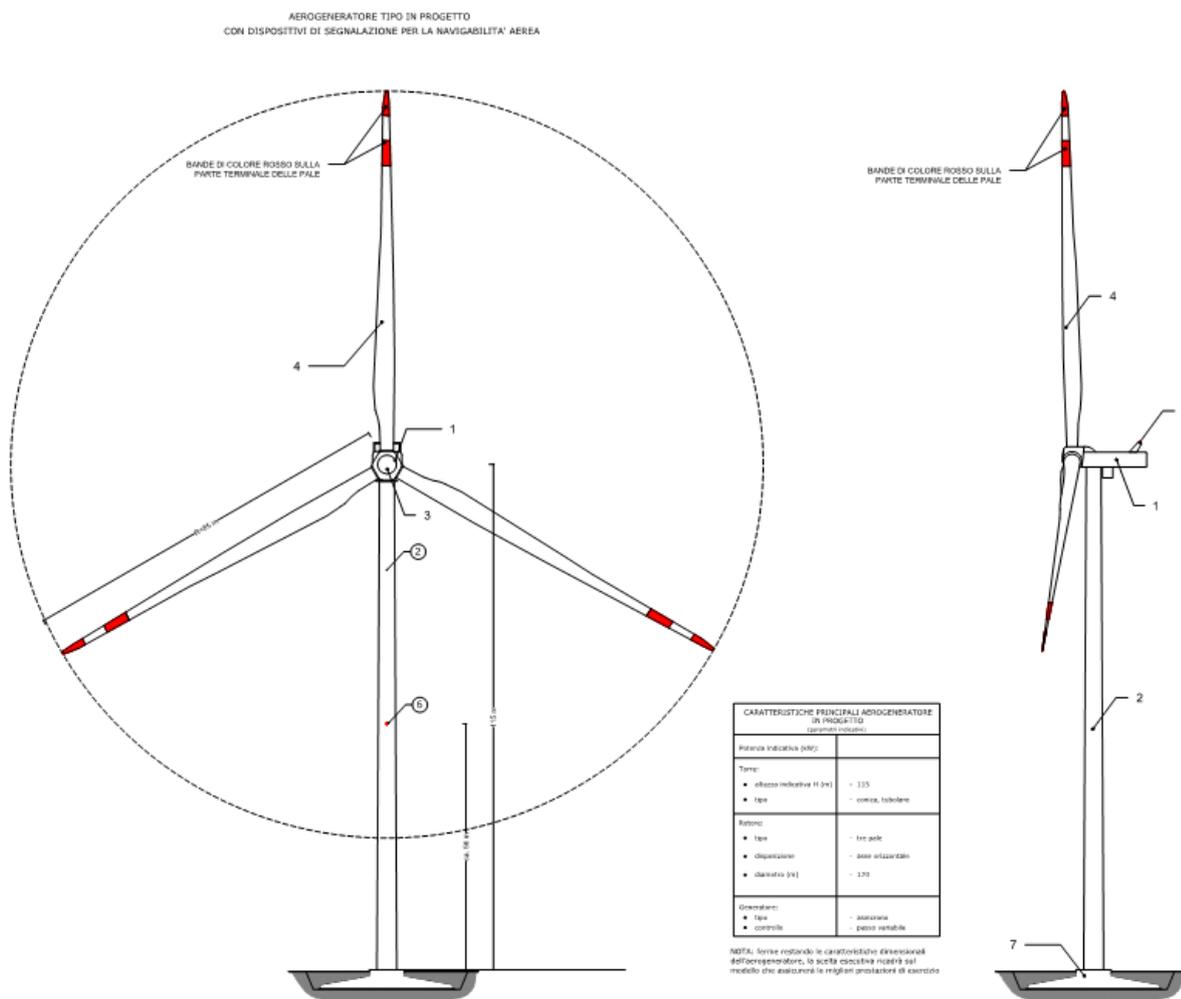


Figura 5.1 - Aerogeneratore di progetto con altezza al mozzo (1) 115 m e diametro rotore (2) di 170 m

Un importante fattore per il calcolo della gittata massima è il raggio baricentrico ( $r_g$ ). Per il calcolo della gittata, è necessario descrivere il moto parabolico nel centro di massa del corpo. Data la disomogenea distribuzione di massa lungo la pala, una buona approssimazione è considerare che il baricentro di pala è circa a 1/3 della lunghezza di pala. Dunque, per gli aerogeneratori oggetto del presente studio, il raggio baricentrico  $r_g$  si trova a una distanza dal centro del mozzo pari a:  $(83,5/3) + (85-83,5) = 29,33$  m.

Nel baricentro vengono quindi descritte la velocità angolare, la velocità periferica ed il moto parabolico. Una volta individuata la gittata massima al raggio baricentrico sarà possibile

<b>COMMITTENTE</b> R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO SERRA DI MELE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE	<b>COD. ELABORATO</b> R2R-WSDM-RA15
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 18 di 25	

individuare la gittata massima al “tip” della pala, sommando la lunghezza che vi è tra il “tip” e il raggio baricentrico.

Per il calcolo della gittata è stato ipotizzato un numero di giri pari a 10,6 rpm, valore riscontrato da dati tecnici di un modello commerciale di aerogeneratore assimilabile a quello in progetto.

### 5.3 Calcolo della gittata massima

In questo paragrafo viene riportato il calcolo della gittata massima in accordo alle ipotesi definite al paragrafo 5.1 e per l’aerogeneratore di riferimento definito al paragrafo 5.2.

Il primo passo per il calcolo della gittata massima è la descrizione delle leggi orarie del moto parabolico della pala distaccata. Assumendo che la massa e la geometria siano concentrate in un punto (baricentro), che il corpo si trovi in un campo di gravità uniforme ed indipendente dal tempo e che si trascurino le forze di attrito legate alla resistenza dell’aria, si applicano le seguenti equazioni di moto:

$$\begin{cases} x(t) = x_o + v_{gx}t \\ y(t) = y_o + v_{gy}t - \frac{1}{2}gt^2 \end{cases} \quad (5.1)$$

Dove:

- $x_o$  e  $y_o$  sono le posizioni iniziali della pala al momento del distacco. Esse dipendono dall’angolo di distacco e dal raggio baricentrico;
- $v_{gx}$  e  $v_{gy}$  sono rispettivamente la componente orizzontale e verticale della velocità iniziale di distacco “ $v_g$ ”, definita al raggio baricentrico. La velocità di distacco “ $v_g$ ” si calcola a partire dalla velocità angolare “ $\omega$ ” (e quindi dal numero di giri al minuto della turbina “ $n$ ”) e dal raggio baricentrico “ $r_g$ ” come di seguito:

$$v_g = \omega \cdot r_g = \frac{2\pi n}{60} \cdot r_g \quad (5.2)$$

- $g$  è la costante di gravitazione universale pari a 9,81 m/s<sup>2</sup>;
- $t$  è la variabile tempo. Impostando  $y(t) = 0$  (corpo arrivato a terra), si ottiene di conseguenza il tempo di volo e la condizione in cui calcolare la gittata.

In primo luogo, è quindi necessario definire le posizioni iniziali e le velocità del corpo distaccato. Il moto parabolico del corpo viene descritto in Figura 5.2, dove il rotore della turbina eolica (fino al raggio baricentrico) è rappresentato con il cerchio blu:

<b>COMMITTENTE</b> R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO SERRA DI MELE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE	<b>COD. ELABORATO</b> R2R-WSDM-RA15
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 19 di 25	

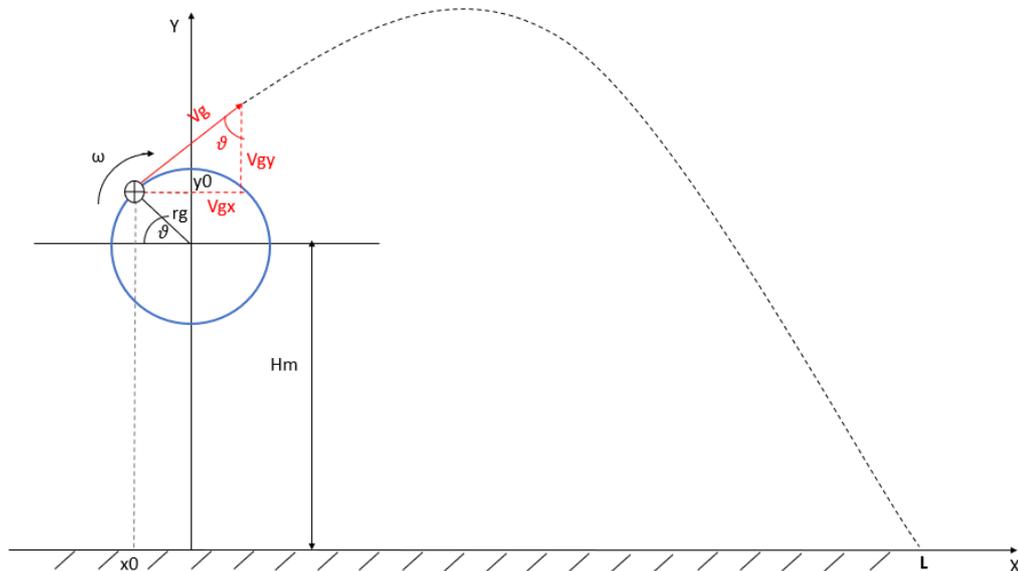


Figura 5.2 - Traiettoria della pala distaccata

Come visibile dalla Figura 5.2, le posizioni iniziali ( $x_o$  e  $y_o$ ) e le componenti ( $v_{gx}$  e  $v_{gy}$ ) della velocità di distacco  $v_g$  dipendono strettamente dal raggio baricentrico  $r_g$ , dall'altezza di mozzo  $H_m$ , e dall'angolo di distacco  $\vartheta$  definito in senso orario tra l'asse della pala e l'orizzontale. Essendo l'angolo di distacco variabile nel tempo, è necessario calcolare la gittata al variare dell'angolo di distacco per evidenziare quale è la condizione in cui si ottiene la massima gittata.

Si definiscono quindi:

Le posizioni iniziali ( $x_o$  e  $y_o$ ) come:

$$x_o = -r_g \cos \vartheta ; y_o = H_m + r_g \sin \vartheta \quad (5.3)$$

Le componenti ( $v_{gx}$  e  $v_{gy}$ ) della velocità di distacco  $v_g$  come:

$$v_{gx} = v_g \sin \vartheta ; v_{gy} = v_g \cos \vartheta \quad (5.4)$$

Sono state quindi definite le condizioni iniziali del distacco di pala. È necessario ora, a partire dalle equazioni di moto (5.1), ottenere i valori di Tempo di volo (T) e Gittata (L) definiti sul baricentro della pala distaccata.

<b>COMMITTENTE</b> R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO SERRA DI MELE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE	<b>COD. ELABORATO</b> R2R-WSDM-RA15
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 20 di 25	

Imponendo  $y(t) = 0$  nell'equazione 5.1, condizione a cui corrisponde il raggiungimento a terra del corpo dopo il volo, e avendo definito le condizioni iniziali nelle equazioni 5.3 e 5.4, si possono calcolare quindi la gittata  $L$  e il tempo di volo  $T$ :

$$\begin{cases} L = x_o + v_{gx}T \\ 0 = y_o + v_{gy}T - \frac{1}{2}gT^2 \end{cases} \quad (5.5)$$

Risolviendo la seconda equazione di secondo grado nella variabile  $T$  e trascurando i risultati dell'equazione che evidenziano tempi negativi, si può quindi ottenere il valore del tempo di volo  $T$ , pari a:

$$T [s] = \frac{v_{gy} + \sqrt{v_{gy}^2 + 2gy_o}}{g} = \frac{v_g \cos \vartheta + \sqrt{(v_g \cos \vartheta)^2 + 2g \cdot (H_m + r_g \sin \vartheta)}}{g} \quad (5.6)$$

Definito il tempo di volo  $T$ , dalla prima equazione (5.5), si ottiene quindi la gittata  $L$ , definita nel baricentro di pala:

$$L [m] = x_o + v_{gx}T = -r_g \cos \vartheta + v_g \sin \vartheta \cdot \left( \frac{v_g \cos \vartheta + \sqrt{(v_g \cos \vartheta)^2 + 2g \cdot (H_m + r_g \sin \vartheta)}}{g} \right) \quad (5.7)$$

Ottenuta la gittata nel baricentro di pala  $L$ , per ottenere la gittata al "tip" della pala, è sufficiente sommare la distanza tra il "tip" della pala ed il raggio baricentrico ( $2/3 r_{tip}$ ):

$$L_{tip} = L + \frac{2}{3}r_{tip} \quad (5.8)$$

Come già evidenziato, tutte le grandezze definite precedentemente dipendono dall'angolo di distacco  $\vartheta$ , variabile nel tempo. Vengono quindi riportati di seguito un riassunto delle ipotesi di calcolo ed i valori di gittata ottenuti al variare dell'angolo  $\vartheta$ , al fine di individuare la gittata massima e l'angolo a essa corrispondente.

<b>COMMITTENTE</b> R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO SERRA DI MELE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE	<b>COD. ELABORATO</b> R2R-WSDM-RA15
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 21 di 25	

## 6 RISULTATI

I valori assunti per il calcolo della gittata nella presente analisi sono i seguenti:

Lunghezza di Pala  $r_{tip}$ : 83,5 m;

Altezza mozzo  $H_m$ : 115 m;

Numero di giri  $n$ : 10,6 rpm;

Diametro del Rotore  $D$ : 170 m;

Raggio baricentrico  $r_g$ :  $85/3 + 170/2 - 83,5 = 29,33$  m (distanza tra centro mozzo e 1/3 della lunghezza della pala).

Sono riportati di seguito i valori ottenuti di gittata massima, al variare dell'angolo di distacco  $\vartheta$ .

<b>COMMITTENTE</b> R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO SERRA DI MELE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE	<b>COD. ELABORATO</b> R2R-WSDM-RA15
 www.iatprogetti.it		<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 22 di 25

Tabella 6.1 - Risultati calcolo gittata massima

Angolo di distacco $\vartheta$ [°]	Posizione baricentro iniziale		Componenti vg		Tempo di Volo T [s]	Gittata L [m]	Gittata @ tip L <sub>tip</sub> [m]
	x <sub>0</sub>	y <sub>0</sub>	v <sub>gx</sub> [m/s]	v <sub>gy</sub> [m/s]			
-	29,33	115,00	-	32,56	9,19	-29,33	26,33
5	29,22	117,56	2,84	32,44	9,21	-3,07	52,59
10	28,89	120,09	5,65	32,07	9,20	23,12	78,79
15	28,33	122,59	8,43	31,45	9,15	48,74	104,40
20	27,56	125,03	11,14	30,60	9,05	73,26	128,93
25	26,59	127,40	13,76	29,51	8,93	96,25	151,91
30	25,40	129,67	16,28	28,20	8,76	117,29	172,96
35	24,03	131,82	18,68	26,67	8,57	136,08	191,74
40	22,47	133,86	20,93	24,94	8,35	152,34	208,01
45	20,74	135,74	23,02	23,02	8,11	165,92	221,59
50	18,86	137,47	24,94	20,93	7,84	176,73	232,40
55	16,82	139,03	26,67	18,68	7,56	184,76	240,43
60	14,67	140,40	28,20	16,28	7,26	190,09	245,76
65	12,40	141,59	29,51	13,76	6,96	192,86	248,53
70	10,03	142,56	30,60	11,14	6,64	193,27	248,94
75	7,59	143,33	31,45	8,43	6,33	191,58	247,24
80	5,09	143,89	32,07	5,65	6,02	188,04	243,71
85	2,56	144,22	32,44	2,84	5,72	182,96	238,63
90	0,00	144,33	32,56	0,00	5,42	176,63	232,29
95	-2,56	144,22	32,44	-2,84	5,14	169,31	224,98
100	-5,09	143,89	32,07	-5,65	4,87	161,27	216,94
105	-7,59	143,33	31,45	-8,43	4,61	152,72	208,39
110	-10,03	142,56	30,60	-11,14	4,37	143,87	199,54
115	-12,40	141,59	29,51	-13,76	4,15	134,86	190,53
120	-14,67	140,40	28,20	-16,28	3,94	125,83	181,49
125	-16,82	139,03	26,67	-18,68	3,75	116,85	172,52
130	-18,86	137,47	24,94	-20,93	3,57	108,01	163,67
135	-20,74	135,74	23,02	-23,02	3,41	99,33	155,00
140	-22,47	133,86	20,93	-24,94	3,27	90,85	146,52
145	-24,03	131,82	18,68	-26,67	3,13	82,58	138,24
150	-25,40	129,67	16,28	-28,20	3,02	74,51	130,17
155	-26,59	127,40	13,76	-29,51	2,91	66,63	122,29
160	-27,56	125,03	11,14	-30,60	2,82	58,92	114,59
165	-28,33	122,59	8,43	-31,45	2,73	51,37	107,03
170	-28,89	120,09	5,65	-32,07	2,66	43,94	99,60
175	-29,22	117,56	2,84	-32,44	2,60	36,60	92,27
180	-29,33	115,00	0,00	-32,56	2,55	29,33	85,00

Dall'analisi si può evidenziare che la massima gittata si ottiene per un angolo di distacco  $\vartheta$  pari a 65° ed è pari a circa 249 m.

Si riporta di seguito il grafico che mostra la gittata al "tip" in funzione dell'angolo di distacco:

<b>COMMITTENTE</b> R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO SERRA DI MELE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE	<b>COD. ELABORATO</b> R2R-WSDM-RA15
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 23 di 25	

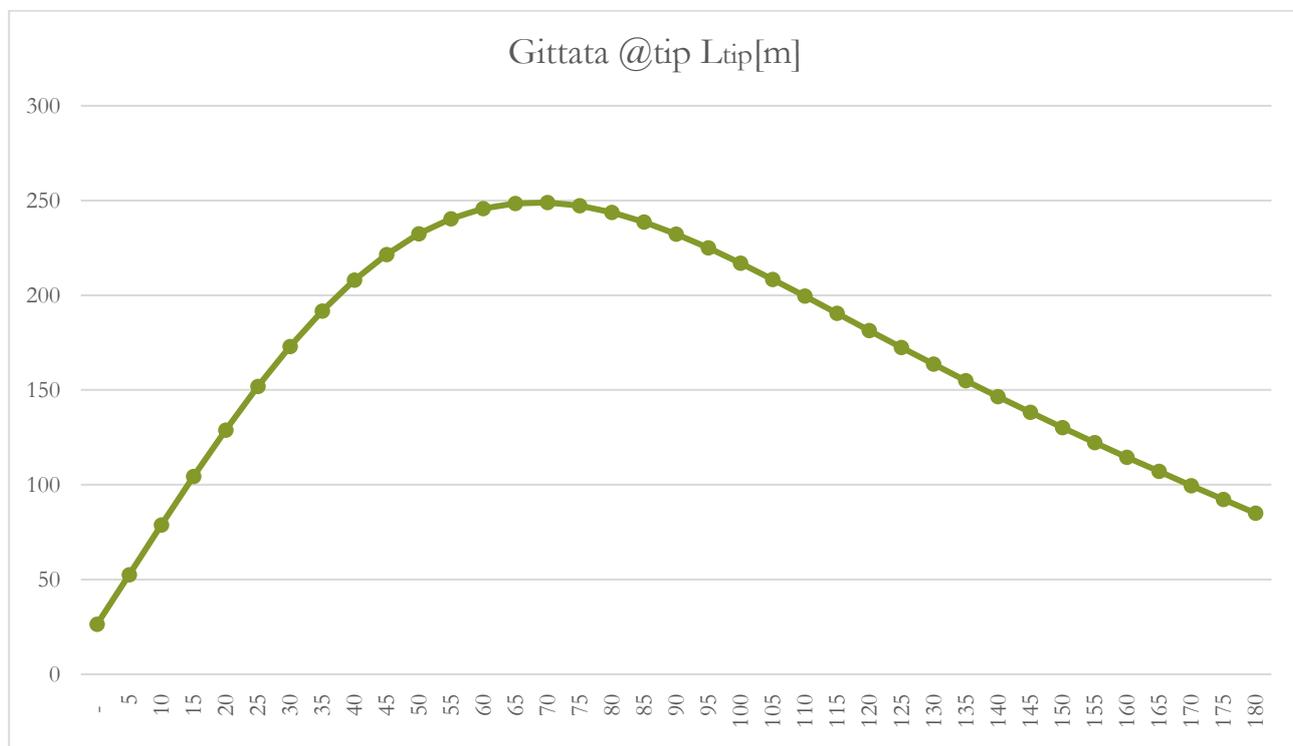


Figura 6.1: Gittata al tip in funzione dell'angolo di distacco

<b>COMMITTENTE</b> R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO SERRA DI MELE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE	<b>COD. ELABORATO</b> R2R-WSDM-RA15
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 24 di 25	

## 7 CONCLUSIONI

Il presente studio è stato condotto calcolando la gittata del centro di gravità (stimato) della pala, a partire dalle condizioni iniziali teoriche di massima gittata (indicativamente  $\pm 30\div 45^\circ$  dall'asse orizzontale con pala in salita) e con ipotesi semplificative circa gli effetti della resistenza/portanza aerodinamica.

I calcoli pervengono, in ogni caso, ad una stima conservativa circa la portata del fenomeno includendo solo le forze d'inerzia ed escludendo le forze viscosse.

Il distacco o la rottura della pala sono eventi che si verificano per condizioni operative al di fuori del normale *range* di funzionamento delle macchine. Gli aerogeneratori per i quali si prevede l'installazione nell'ambito del progetto in argomento sono provvisti di sistemi di arresto che intervengono quando le condizioni di funzionamento sono tali da compromettere la funzionalità della macchina e la sicurezza pubblica.

La Tabella 7.1 riporta l'analisi degli elementi territoriali potenzialmente oggetto di impatto rispetto allo scenario di distacco incidentale di una pala dagli aerogeneratori in progetto.

In particolare, per ciascuna delle posizioni proposte degli aerogeneratori si riporta in tabella la distanza del ricettore più prossimo (unità abitativa) e la distanza dalla strada provinciale o regionale più vicina.

*Tabella 7.1 - Ubicazione ricettori e viabilità principale dagli aerogeneratori*

WTG	Distanza minima ricettori [m]	Distanza minima dalla viabilità di livello statale / regionale [m]
S1	873	1.000
S2	785	700
S3	527	600
S4	749	640
S5	405	1.100
S6	565	1.150

Come visibile dalla tabella, tutti gli aerogeneratori si trovano a distanze dagli elementi sensibili superiori rispetto alla gittata massima.

Inoltre, le numerose ipotesi semplificative di calcolo rispetto al caso reale causano anche un aumento del valore reale di gittata massima.

<b>COMMITTENTE</b> R2R S.r.l. (gruppo a2a) Piazza Manifattura n. 1 38068 – Rovereto (TN)		<b>OGGETTO</b> PARCO EOLICO SERRA DI MELE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE	<b>COD. ELABORATO</b> R2R-WSDM-RA15
 <b>iat</b> CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	<b>TITOLO</b> RELAZIONE SULLA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI	<b>PAGINA</b> 25 di 25	

Infine, la probabilità che il rotore, distaccandosi, percorra esattamente la direzione ottimale per l'impatto con l'elemento sensibile è molto bassa e garantisce una riduzione del rischio a priori.