



COMUNE DI
TEMPIO PAUSANIA



REGIONE AUTONOMA
DELLA SARDEGNA



COMUNE DI
AGLIENTU

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE
E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO
DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA
DA FONTE EOLICA DENOMINATO
"PARCO EOLICO BASSACUTENA",
DELLA POTENZA DI 61,2 MW, LOCALIZZATO
NEL COMUNE DI TEMPIO PAUSANIA
E DELLE SOLE OPERE ED INFRASTRUTTURE
CONNESSE PER IL COLLEGAMENTO
IN ANTENNA 36 KV CON UNA NUOVA
STAZIONE ELETTRICA (SE) DELLA RTN
A 150 KV/36KV DA INSERIRE IN ENTRA-ESCE
ALLA LINEA RTN A 150 KV "AGLIENTU
S.TERESA", SITA NEL COMUNE DI AGLIENTU



Analisi degli effetti della rottura degli organi rotanti

PROPONENTE

MYT EOLO 1 S.R.L.
Via Vecchia Ferriera 22
36100 Vicenza (VI)
P.IVA 04436470241
REGISTRO IMPRESE VI-397007

PROGETTISTI

ING. CARLO PERUZZI
Via Pallone 6
37121 Verona (VR)
P.IVA 03555350234
PEC carlo.peruzzi@ingpec.eu



RENX ITALIA S.R.L.
Via Vecchia Ferriera 22
36100 Vicenza (VI)
P.IVA 04339940241
PEC: renx-italia@pec.it

DATA	REVISIONE

ELABORATO
RTS09

INDICE

1	PREMESSA	3
2	RIFERIMENTO NORMATIVO PER LA REDAZIONE DEL PROGETTO	5
3	BASE DEI DATI CARTOGRAFICI, BIBLIOGRAFICI E SITOGRAFICI	6
3.1	DATI CARTOGRAFICI	6
3.1.1	Nazionale.....	6
3.1.2	Sovraregionale: Autorità di Bacino (https://autoritadibacino.regione.sardegna.it/).....	6
3.1.3	Regionale: GeoPortale Sardegna - https://www.sardegnageoportale.it/	7
3.2	DATI SITOGRAFICI	9
3.2.1	Sovraregionale e regionale	9
3.2.2	Provinciale	9
3.2.3	Comunale	9
4	DESCRIZIONE SINTETICA DEI CONTENUTI DEL DOCUMENTO	10
4.1	TRAIETTORIE: LE FORZE CONSIDERATE	11
5	DESCRIZIONE SINTETICA DELLA STIMA DEGLI IMPATTI, DELLE MISURE DI MITIGAZIONE E COMPENSAZIONE E DEL MONITORAGGIO AMBIENTALE	13
6	CONSIDERAZIONI SULLE IPOTESI DI CALCOLO	15
7	RISULTATI DI CALCOLO	19
7.1	RAPPRESENTAZIONE CASO 1 E CASO 2	19
7.1.1	Caso 1 – Gittata delle pale per la velocità nominale del rotore (10,00 giri/min).....	19
7.1.2	Caso 2 - Gittata delle pale per la massima velocità del rotore con riduzione del 30% (8,12 giri/min)	21
7.2	VALUTAZIONE DEL REAL CASE	24
7.3	STRADE	28
8	CONCLUSIONI	31

1 PREMESSA

La società **Myt Eolo 1 S.r.l.**, d'ora in avanti indicato sinteticamente come il “**Proponente**”, ha elaborato il presente progetto per la produzione di energia rinnovabile da fonte eolica ubicato nel comune di Tempio Pausania, Località Bassacutena, le cui opere ed infrastrutture connesse per il collegamento alla Rete di trasmissione Nazionale (di seguito RTN) ricadono nei comuni di Tempio Pausania e Aglientu.

Il titolo completo del progetto è il seguente: “**Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica denominato “Parco Eolico Bassacutena”, della potenza di 61,2 MW, localizzato nel Comune di Tempio Pausania e delle sole opere ed infrastrutture connesse per il collegamento in antenna 36 kV con una nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150 kV/36kV da inserire in entra-esce alla linea RTN a 150 kV “Aglientu-S. Teresa”, sita nel Comune di Aglientu**”.

Di seguito, i dati identificativi sintetici del Proponente:

- Società Proponente: MYT EOLO 1 S.r.l.
- Forma Giuridica: Società a Responsabilità Limitata
- Presidente del CdA: SICCARDI IGOR
- Sede: Via Vecchia Ferriera, 22 – 36100 – VICENZA (VI)
- Posta certificata: myteolo1srl@pec.it
- REA: VI- 404143
- P.IVA: 04436470241
- Iscritta alla Sezione Ordinaria di VICENZA

Il Proponente è parte del gruppo **Renx Italia S.r.l.**, società di diritto italiano avente ad oggetto lo studio, la compravendita, la costruzione, la gestione e la commercializzazione di impianti di produzione di energia rinnovabile, tra cui spicca nella fattispecie la fonte eolica.

Renx Italia S.r.l. nasce dalla comune visione dei soci fondatori di creare un'entità altamente specializzata nella progettazione e nell'ambito della produzione di energia da fonti rinnovabili. Contando più di quaranta tra collaboratori e partners che quotidianamente operano con professionalità e riconosciute competenze nella ricerca e nello sviluppo delle nuove iniziative del gruppo, ad oggi Renx Italia S.r.l. è, nel segmento delle piccole e medie imprese, uno degli operatori qualificati che opera con fondi e grandi compagnie energetiche con la maggiore pipeline di sviluppo di progetti a fonti rinnovabili.

La forte espansione del gruppo dalla sua nascita ad oggi trae origine indubbiamente dalle competenze e dalle esperienze in ambito energetico acquisite nel corso degli anni della proprietà, abbinate a valori etici, varietà di competenze multiculturali, gestione imprenditoriale e forte orientamento ai risultati di un gruppo di lavoro giovane, motivato e appassionato dal settore delle energie rinnovabili.

L'ipotesi progettuale prevede l'installazione di n. 9 aerogeneratori della potenza nominale di 6,8 MW per una potenza complessiva di impianto pari a 61,2 MW nel Comune di Tempio Pausania, Località Bassacutena, in **provincia del Nord-Est Sardegna** (di seguito "Parco eolico Bassacutena").

Secondo quanto previsto dalla Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) ricevuta ed accettata dal Proponente in qualità di titolare dei diritti del progetto di cui al Codice Pratica 202201156, Terna S.p.A. prevede che il Parco Eolico Bassacutena venga collegato in antenna 36 kV con una nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150/36kV da inserire in entra – esce alla linea RTN a 150 kV "Aglientu – S. Teresa", previa realizzazione dei seguenti interventi previsti dal Piano di Sviluppo Terna:

- nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150 kV in GIS denominata "Buddusò";
- nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150 kV denominata "Santa Teresa";
- nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150 kV in GIS denominata "Tempio";
- nuovo elettrodotto di collegamento della RTN a 150 kV tra la SE Santa Teresa e la nuova SE Buddusò.

Internamente al parco eolico, i singoli aerogeneratori saranno collegati mediante cavidotto interrato a 30kV alla Sottostazione Elettrica di condivisione e trasformazione 30/150kV di proprietà dell'utenza (SSEU) previo collegamento precedente ad una cabina di smistamento e sezionamento (localizzata in prossimità del parco). Dalla SSEU partirà il cavidotto interrato 36kV che, seguendo per quanto più possibile il tracciato stradale esistente, veicolerà l'energia prodotta dal Parco Eolico per la connessione in antenna 36 kV con la nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150 kV/36kV da inserire in entra-esce alla linea RTN a 150 kV "Aglientu-S. Teresa" di cui alla STMG, sita nel comune di Aglientu, che rappresenta il punto di connessione dell'impianto alla RTN.

2 RIFERIMENTO NORMATIVO PER LA REDAZIONE DEL PROGETTO

Il presente documento appartiene al progetto di fattibilità tecnica ed economica (PFTE) allegato all'istanza di procedura V.I.A. (artt. 23, 24, 24bis e 25 del d.Lgs. n° 152/2006 e ss. mm. e ii.) inerente alla richiesta di realizzazione di un **“Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica denominato “Parco Eolico Bassacutena”, della potenza di 61,2 MW, localizzato nel Comune di Tempio Pausania e delle sole opere ed infrastrutture connesse per il collegamento in antenna 36 kV con una nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150 kV/36kV da inserire in entra-esce alla linea RTN a 150 kV "Aglientu-S. Teresa", sita nel Comune di Aglientu”**.

L'intero progetto, come richiesto dalla procedura di V.I.A., è stato elaborato in ottemperanza a quanto richiesto per un livello di **“fattibilità tecnica ed economica”** secondo il recente d.Lgs. 31 marzo 2023, n. 36 - Codice dei contratti pubblici in attuazione dell'articolo 1 della legge 21 giugno 2022, n. 78, recante delega al governo in materia di contratti pubblici - (G.U. n. 77 del 31 marzo 2023 - S.O. n. 12).

Per le relazioni tecniche specialistiche, inoltre, i contenuti del d.Lgs. n° 36/2023 sono stati verificati ed eventualmente integrati con l'art. 26 del d.P.R. n° 207/2010 e ss. mm. e ii.

Da questo momento in poi e per tutti gli elaborati progettuali, qualsiasi riferimento di legge o norma s'intenderà già comprensivo della dicitura “ss. mm. e ii”.

3 BASE DEI DATI CARTOGRAFICI, BIBLIOGRAFICI E SITOGRAFICI

3.1 DATI CARTOGRAFICI

3.1.1 Nazionale

Istituto Geografico Militare (I.G.M.)

L'Istituto geografico militare (IGM) ha il compito di fornire supporto geotopografico alle Unità e ai Comandi dell'Esercito italiano. L'istituto svolge le funzioni di ente cartografico dello Stato ai sensi della Legge n. 68 in data 2 febbraio 1960 ed opera alle dipendenze del Comando Militare della Capitale. (<https://www.igmi.org/>).

In particolare, sono state utilizzate le seguenti:

- **Carta Topografica d'Italia – scala 1:50.000 – Foglio n° 427 - Luogosanto – Serie 50**
- **Carta Topografica d'Italia – scala 1:25.000 – Foglio n° 427 – Sezione I – Bassacutena – Serie 25**

Progetto CARG

Alla fine degli anni '80, prende il via il Progetto di realizzazione della cartografia geologica nazionale alla scala 1:50.000, inizialmente nell'ambito del Programma annuale di interventi urgenti di salvaguardia ambientale (L. 67/88), poi nella Programmazione triennale per la tutela dell'ambiente (L. 305/89), grazie allo stanziamento di risorse dedicate che hanno dato così inizio al Progetto CARG (CARTografia Geologica). Il Progetto è svolto in collaborazione con le Regioni e le Province autonome, con il CNR e le Università ed è coordinato dal Servizio Geologico d'Italia in qualità di organo cartografico dello Stato (L. 68/60). Il Progetto CARG prevede la realizzazione e l'informatizzazione dei 636 fogli geologici e geotematici alla scala 1:50.000 che ricoprono l'intero territorio nazionale. (<https://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/cartella-progetti-in-corso/suolo-e-territorio-1/progetto-carg-cartografia-geologica-e-geotematica>)

3.1.2 Sovraregionale: Autorità di Bacino (<https://autoritadibacino.regione.sardegna.it/>).

Il Piano di bacino/distretto idrografico è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa, alla valorizzazione e alla corretta utilizzazione del suolo e delle acque, sulla base delle caratteristiche fisiche e ambientali dei territori interessati. Esso rappresenta il quadro di riferimento a cui devono adeguarsi e riferirsi tutti i provvedimenti autorizzativi e concessori inerenti agli interventi comunque riguardanti il bacino e ha valore di piano territoriale di settore. Il Piano di bacino può essere redatto e approvato anche per sottobacini o per stralci relativi a settori funzionali. Contenuti specifici e obiettivi del Piano di bacino sono definiti dall'art. 65 del d.Lgs. n° 152/2006. La Sardegna è considerata, ai sensi dell'art. 64 del d.Lgs n° 152/2006 un unico distretto idrografico e gli stralci funzionali del Piano approvati e vigenti sono riportati di seguito:

- Piano stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico (**PAI**)
- Piano di tutela delle acque

- Piano stralcio di bacino per l'utilizzo delle risorse idriche (**PSURI**)
- Nuovo Piano regolatore generale degli acquedotti
- Piano stralcio delle fasce fluviali (**PSFF**)
- Piano di gestione del distretto idrografico
- Piano di gestione del rischio alluvioni (**PGRA**)
- In particolare, il riferimento principale per le aree a pericolosità/rischio idrogeologico è costituito dalle Norme Tecniche di Attuazione (**NTA**) del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (**PAI**) - Testo coordinato aggiornato con le modifiche approvate dal comitato istituzionale dell'Autorità di bacino con deliberazione n. 15 del 22 novembre 2022

3.1.3 Regionale: GeoPortale Sardegna - <https://www.sardegnameoportale.it/>

E' il riferimento principale per quasi tutti gli aspetti di interesse.

Il Geoportale è il luogo di accesso a diverse informazioni geografiche sulla regione, come richiesto dalla Direttiva europea INSPIRE (Direttiva 2007/2/CE del Parlamento Europeo). Nella preparazione della documentazione del progetto sono state utilizzate principalmente tre aree del geoportale:

- **Navigatori:** attraverso i navigatori, la Regione Sardegna fornisce strumenti per la visualizzazione online dei dati cartografici. Con l'applicazione SardegnaMappe sono state utilizzate e scaricate le mappe disponibili, i metadati e i dati cartografici necessari. Ad esempio, il layer "Sardegna Mappe Aree Tutelate" disponibile sul geoportale è stato utilizzato per preparare il set di mappe "Aree non idonee" necessarie per la presentazione della domanda VIA.
- **Accesso ai dati:** consente di accedere al catalogo dei dati geografici forniti dall'amministrazione regionale. Questi possono essere consultati attraverso il seguente servizio: Catalogo del Geoportale. Vengono estratti dati raster (ad esempio la mappa Ortofoto) o vettoriali come Aree non idonee. La procedura per scaricare la maggior parte dei dati scaricati si basa sulla selezione dei dati raster o vettoriali di interesse (si trovano nella barra di sinistra del desktop di Sardegna Mappe), cliccando sul tasto destro del mouse, quindi sull'icona dentata e ottenendo l'accesso diretto al download dei dati. Per la preparazione delle mappe sono stati utilizzati due moduli: WMS cioè una forma di database o shp cioè un pacchetto di file scaricati direttamente sul nostro computer.
- **Aree tematiche:** insieme di dati geografici, raggruppati per area tematica. Per facilitare il download, sono disponibili in pacchetti zippati.

Proprio dal menu a tendina “**Aree Tematiche**” è disponibile la seguente documentazione:

SardegnaGeoportale


[NAVIGATORI](#)
[ACCESSO AI DATI](#)
[AREE TEMATICHE](#)
[STRUMENTI](#)
[DOCUMENTAZIONE](#)
[AGENDA](#)
[CONTATTI](#)

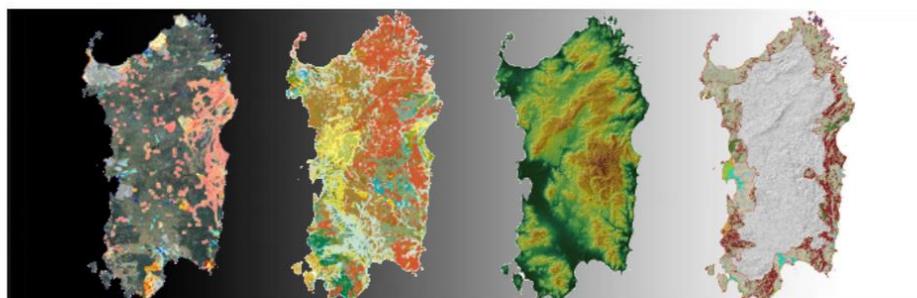


sardegna geoportale / aree tematiche

AREE TEMATICHE

- Carta tecnica regionale
- Database Geotopografico (DBGT)
- Modelli digitali terreno e superfici
- Carte tematiche regionali
- Pianificazione
- Aree tutelate
- Catasto
- Limiti amministrativi
- Beni culturali

Aree tematiche



Per facilitare il download, alcune categorie di dati geografici, raggruppati per aree tematiche, sono disponibili anche come pacchetti compressi.

Tra le tante cartografie di base disponibili è stato utilizzato il Database (DBGT) che è una carta topografica della regione Sardegna contenente informazioni geometriche e alfanumeriche su strade, edifici, idrografia, orografia, vegetazione e toponomastica. Questa carta ha più componenti ed elementi rispetto alla CTR classica. È stata utilizzata quando era necessario mostrare i dettagli sull'urbanizzazione e sulle strade, sulla vegetazione o sull'idrografia, ad esempio in tutte le carte dell'Inquadramento Catastale e delle Aree non Idonee. Durante la creazione delle mappe per la documentazione, è stata utilizzata per mostrare una rappresentazione rappresentativa della situazione reale, come ad esempio l'estensione dei lavori e il percorso dei cavi elettrici, o nella pianificazione urbana. In questi casi, non è importante modificare le proporzioni degli elementi, quindi oggetti come edifici e strade sono rappresentati con la forma reale del loro perimetro visto dall'alto, piuttosto che sostituirli con simboli convenzionali.

È stato utilizzato il formato “2022_DBGT_10K” perché è il database più aggiornato disponibile.

La scala più comunemente utilizzata è stata 1:10.000, come raccomandato.



3.2 DATI SITOGRAFICI

3.2.1 Sovraregionale e regionale

- **Regione Sardegna:** <https://www.regione.sardegna.it/>
- **ARPA Sardegna:** <http://sardegnaambiente.it/arpas/>
- <https://www.sardegnaambiente.it/>
- <https://sardegnaenergia.regione.sardegna.it/>

3.2.2 Provinciale

- **Provincia di Sassari:** <https://www.provincia.sassari.it/index.php> (in teoria soppressa a seguito della L.R. n° 24 del 15 aprile 2021)
- **Città Metropolitana di Sassari:** al momento non esistono riferimenti (in teoria istituita con L.R. n° 24 del 15 aprile 2021)
- **Provincia della Sardegna Est:** al momento non esistono riferimenti (in teoria istituita con L.R. n° 24 del 15 aprile 2021)

3.2.3 Comunale

I riferimenti consultabili sono i seguenti:

- https://www.sardegnageoportale.it/webgis2/sardegnamappe/?map=monitoraggio_strumenti_urbanistici
- http://webgis.regione.sardegna.it/puc_serviziconsultazione/ElencoComuni.ejb
- **Comune di Tempio Pausania:** <https://comuneditempiopausania.it/>
- **Comune di Aglientu:** <https://comune.aglientu.ot.it/index.php>

4 DESCRIZIONE SINTETICA DEI CONTENUTI DEL DOCUMENTO

La presente analisi consiste nella valutazione della distanza massima dall'aerogeneratore entro la quale, in presenza di una eventuale ed accidentale rottura degli elementi rotanti, il distacco di una parte della pala possa rappresentare un rischio. Seppur tale rischio sia remoto, soprattutto considerando i moderni aerogeneratori, i quali garantiscono un maggior grado di sicurezza ruotando a velocità meno sostenuta rispetto agli aerogeneratori meno recenti, sarà comunque considerato come una eventualità al fine di garantire la massima sicurezza dell'intervento proposto. Le pale, infatti, qualora sottoposte a particolari condizioni di stress principalmente dovuto ad una non corretta manutenzione e cura – che il gestore dell'impianto si impegnerà a garantire secondo i migliori standard proposti dal fornitore delle macchine – potrebbero, in casi estremi, essere strappate dalla loro sede e scagliate a terra. La traiettoria dipende dall'energia cinetica al momento del rilascio, dalle proprietà aerodinamiche dell'elemento e dalle sue dimensioni e dal punto della circonferenza di rotazione da cui si stacca, dall'altezza del rotore.

Nel presente elaborato si adopereranno delle semplificazioni necessarie per ottenere risultati sui quali effettuare le necessarie considerazioni come, ad esempio, tralasciare nel calcolo i contributi aerodinamici delle parti componenti. Tener conto di questi ultimi significherebbe considerare un numero significativo di variabili come, tra le tante, la pala che viene lanciata sia in termini di massa sia in termini di contributi aerodinamici oltre a dover fissare le condizioni di vento all'atto della rottura, la distribuzione delle velocità lungo il pezzo staccato e la distribuzione delle velocità del vento lungo la traiettoria. È vero che i contributi aerodinamici potrebbero aumentare il tempo di volo e, quindi, la gittata, ma è anche vero che, per compensare, non verrà tenuto conto della presenza dell'aria che genera comunque delle forze di resistenza viscosse le quali, agendo sulla superficie della pala, ne riducono tempo di volo e distanza.

Per tenere conto della resistenza che il materiale della pala esercita durante la frattura (superiore al carico critico) e della resistenza aerodinamica della pala durante il movimento nell'aria (proporzionale al quadrato della velocità stessa), è possibile ipotizzare una riduzione della velocità tangenziale della pala pari al 30% al momento della frattura.

Non essendo ancora presente un riferimento normativo specifico sul tema, e stante le notevoli approssimazioni circa la variabilità di un evento remoto ma che, per scongiurare ogni possibile rischio o rischio potenziale, il presente elaborato è chiamato a relazionare, si è deciso di optare per una riduzione del 30% dalla velocità massima del rotore, tenendo conto di vari fattori tra i quali la resistenza esercitata dal materiale della pala durante la rottura (superiore al carico critico) e la resistenza aerodinamica della pala durante il movimento in aria (proporzionale al quadrato della velocità stessa).

Nel seguente documento analizzeremo 2 casi:

Caso 1 - Rottura della pala alla velocità nominale del rotore (10,00 rpm)

- Distacco netto ed istantaneo della pala nel punto di giunzione con il rotore,

- Sistema con 3 livelli di prestazioni,
- Centro di gravità della pala a una distanza pari a 1/3 della lunghezza complessiva della pala,
- Velocità di rotazione a velocità nominale del rotore.

Caso 2 - Rottura delle pale per la massima velocità del rotore con una riduzione del 30% (8,12 rpm)

- Distacco netto e istantaneo della pala nel punto di giunzione con il rotore,
- Riduzione del 30% della velocità tangenziale della pala,
- Sistema con 3 livelli di prestazioni,
- Centro di gravità della pala a una distanza pari a 1/3 della lunghezza complessiva della pala,
- Velocità massima di rotazione del rotore.

Le pale dell'aerogeneratore sono fissate al mozzo e vi è un sistema di controllo che ne modifica costantemente l'orientamento rispetto alla direzione del vento (cosiddetto *sistema di imbardata*), per offrire allo stesso sempre il medesimo profilo alare garantendo, indipendentemente dalla direzione del vento, il miglior angolo di attacco.

L'accidentale rottura degli organi rotanti è strettamente correlata alle caratteristiche dell'aerogeneratore nella fattispecie, che vengono riassunte nella seguente tabella 1:

Potenza nominale aerogeneratore	6,8 MW
Altezza torre al mozzo	118 m
Diametro Rotore	163 m
Lunghezza della pala	79.7 m
Area spazzata dalle pale	20867 m ²
Velocità di rotazione massima del rotore, a regime	11.6 rpm
Cut-in wind speed	3 m/s
Cut-out wind speed	26 m/s

Tabella 1. Caratteristiche Tecniche Aerogeneratore di progetto

Le modalità di rottura della pala possono essere assai diverse. Essendo un organo in rotazione è soggetto alla forza centripeta che va equilibrata con l'azione della struttura della torre stessa. Per minimizzare tale forza, la pala è costruita in materiale leggero; nel caso di specie, le pale sono costituite da più strati di vetroresina.

Detto che le variabili possono essere molteplici, la maggiore probabilità di un evento di rottura accidentale di un organo rotante è del tipo "Rottura alla Radice".

4.1 TRAIETTORIE: LE FORZE CONSIDERATE

La determinazione delle forze che agiscono sulle pale a causa di una rottura istantanea durante il moto rotazionale è cosa complessa.

Anzitutto, la traiettoria è determinata principalmente dall'angolo di lancio e dall'inerzia che agisce sull'elemento. L'unica forza inerziale agente in questo caso è la forza di gravità. La durata del volo considerato è determinata considerando la velocità iniziale applicata al centro di gravità. Il tempo risultante è usato per calcolare la distanza orizzontale (gittata) nel piano e fuori dal piano. La gittata è determinata dalla velocità orizzontale al momento del distacco.

Senza considerare le caratteristiche aerodinamiche insite della struttura delle pale, la gittata massima derivante dal distacco della pala si avrebbe in corrispondenza della posizione a 45° e di moto "a giavellotto" del componente. Nel caso reale, la pala ha una complessità aerodinamica tale per cui il verificarsi di queste condizioni è praticamente impossibile: le forze di resistenza viscosa, le azioni del vento ed il moto di rotazione complesso dovuto al profilo aerodinamico della pala, si oppongono al moto riducendone tempo e distanza di volo.

5 DESCRIZIONE SINTETICA DELLA STIMA DEGLI IMPATTI, DELLE MISURE DI MITIGAZIONE E COMPENSAZIONE E DEL MONITORAGGIO AMBIENTALE

Il distacco di una pala completa dal rotore dell'aerogeneratore può essere determinato dalla rottura della giunzione bullonata fra la pala ed il mozzo.

Le pale sono costituite da una parte strutturale, chiamata longherone, posizionata all'interno della pala e da una parte esterna (guscio) che viene modellato al fine di garantire la massima spinta aerodinamica. Le due componenti sono unite fra loro mediante incollaggio e, alla fine del processo produttivo, costituiscono un corpo unico.

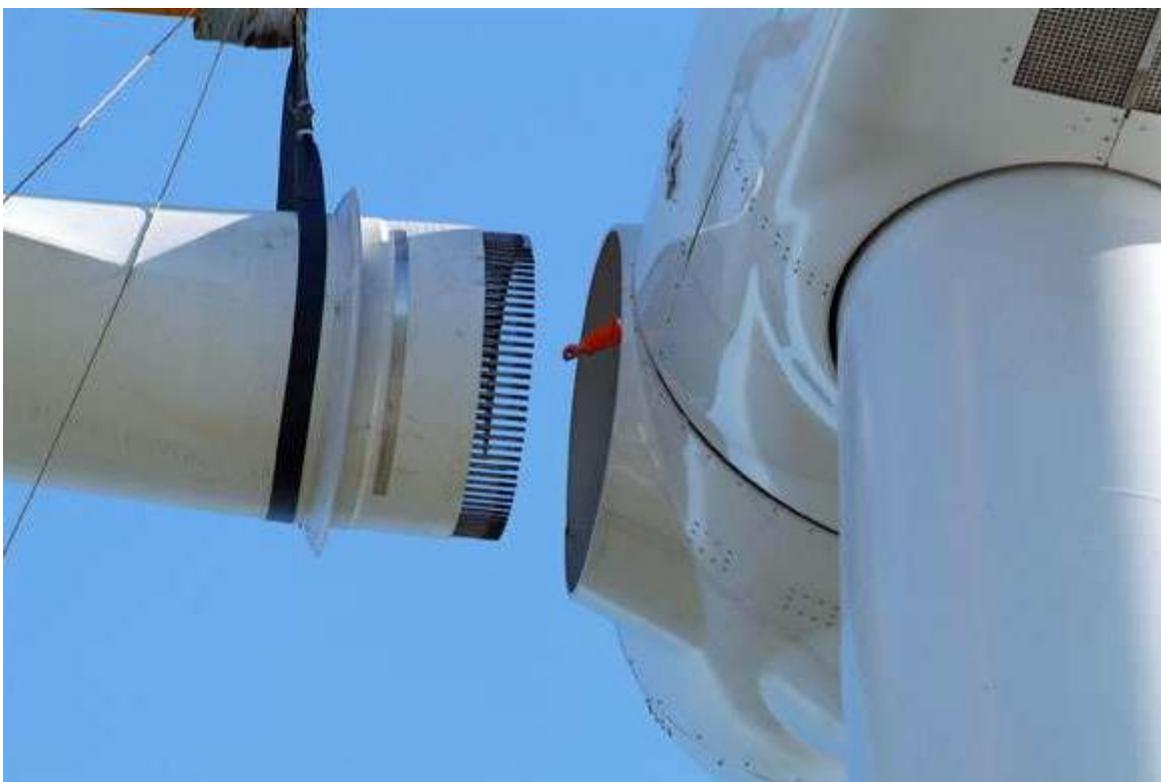


Figura 1. operazione di collegamento della pala al mozzo. Sono chiaramente visibili i filetti di giunzione

Il longherone è dotato di attacchi filettati che consentono di collegarlo al mozzo con bulloni (prigionieri) opportunamente serrati durante le operazioni di assemblaggio della turbina. Il carico conferito ai prigionieri durante il serraggio è determinante sulla resistenza dei prigionieri stessi alla fatica, per questo motivo sono previste verifiche di controllo durante le operazioni di manutenzione programmata della turbina. La mancata o errata verifica del serraggio può determinare una plausibile riduzione del carico che, in particolari circostanze di incuria, possono portare danni al funzionamento stesso della turbina in termini di rotazione, fino anche alla rottura dei bulloni e al distacco dell'organo rotante.

Per la stima della gittata massima dell'intera pala si impongono alcune ipotesi semplificative:

- distacco netto ed istantaneo di una intera pala alla sua radice;
- assenza di attriti viscosi durante il volo;
- distacco alla rotazione massima di funzionamento;
- vento presente durante tutto il volo della pala con velocità corrispondente alla velocità massima di funzionamento;
- assenza di effetti di "portanza" del profilo alare.

Il moto considerato è di tipo rotazionale, cioè quello fisicamente più probabile. Non viene considerata la possibilità, puramente teorica, che il corpo assuma una traiettoria "a giavellotto".

Inoltre, ponendosi nelle condizioni peggiori possibili (Worst Case) e come precedentemente illustrato, viene trascurata la presenza dell'aria che, nella realtà, genera forze di resistenza al moto che ne ridurrebbero tempo di volo e distanza di caduta.

6 CONSIDERAZIONI SULLE IPOTESI DI CALCOLO

Generalizzando per un attimo il problema, dunque considerando la pala non come un sistema puntiforme, le equazioni del moto che ne determinano la relativa legge sono le seguenti:

	$\begin{cases} M \cdot a = F \\ I \frac{d\omega}{dt} \end{cases}$	Equazione 1
--	---	-------------

Dove:

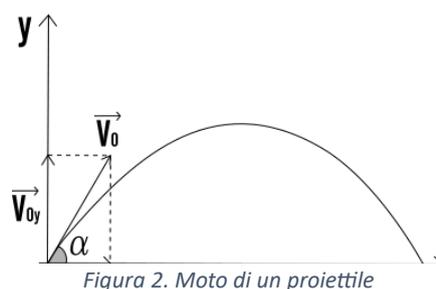
- M è la massa [m],
- a è l'accelerazione [m/s],
- I è il momento d'inerzia [kg · m²],
- m è la velocità angolare [rad/s].

Le equazioni riportate nel sistema dell'Equazione 1, che risultano essere rispettivamente la prima e la seconda legge della dinamica, ci permettono di affermare che:

- Il corpo segue una traiettoria determinata dalla posizione del baricentro e dalle forze agenti sul corpo;
- Il corpo, durante la traiettoria precedentemente determinata, gira indisturbato intorno al suo asse principale d'inerzia con una velocità angolare pari a quella iniziale, non influenzando sulla traiettoria che esso compie.

Tali considerazioni sono state effettuate al fine di garantire la validità dell'approssimazione di sistema a 3 gradi di libertà ("3 g.d.l.") precedentemente effettuata per il calcolo della gittata.

Sulla base delle ipotesi di cui al paragrafo 6 "Traiettorie: le forze considerate", in particolar modo alla ipotesi di sistema puntiforme con 3 g.d.l., è possibile associare al problema in questione il modello generale per studiare i fenomeni dei corpi che vengono lanciati con un angolo di alzo obliquo, con una velocità costante (a causa della mancanza della resistenza aerodinamica) e che compiono un moto noto con il termine: *moto di un proiettile*.



Il moto di un proiettile è dato dalla somma vettoriale di due differenti moti:

- Un moto longitudinale, lungo l'asse x , a velocità costante;
- Un moto trasversale, lungo l'asse z , uniformemente accelerato.

La combinazione di questi due moti fornisce un moto che nel piano $X-Z$ presenta la caratteristica traiettoria parabolica come riportato in Figura 2. La gittata è definita come la distanza che separa il punto di lancio del corpo (o proiettile, qualsivoglia) e il punto in cui esso tocca terra.

Considerando dunque un piano cartesiano $X-Z$ ed origine O , è possibile scrivere le seguenti equazioni, che rappresentano le componenti delle accelerazioni lungo gli assi X e Z :

	$\ddot{x} = 0$ $\ddot{z} = -g$	<i>Equazione 2</i>
--	--------------------------------	--------------------

Dove:

- g è l'accelerazione di gravità, pari a circa 9.81 m/s^2 .

Per quanto concerne le condizioni al contorno, il corpo è lanciato dall'origine degli assi con una velocità iniziale v_0 , inclinata rispetto all'asse X di un angolo θ , dunque con una componente lungo X e Lungo Z pari rispettivamente a:

	$v_{0x} = v_0 \cdot \cos\theta$ $v_{0z} = v_0 \cdot \sin\theta$	<i>Equazione 3</i>
--	---	--------------------

A questo punto, integrando l'Eq.2 ed applicando le condizioni al contorno, è possibile ottenere la legge del moto:

	$x(t) = x_0 + v_{0x} \cdot t$ $z(t) = z_0 + v_{0z} \cdot t - 1/2gt^2$	<i>Equazione 4</i>
--	---	--------------------

Ponendo $z = 0$ nella seconda dell'Eq.4 e scartando la soluzione negativa, è possibile ricavare il tempo al quale il corpo tocca terra. Sostituendo il tempo così ottenuto nella prima dell'Eq.4 è infine possibile calcolare la gittata G . Nel dettaglio:

	$t _{z=0} = \frac{v_{0z}}{g} + \sqrt{\frac{v_{0z}^2 + 2 \cdot g \cdot z_0}{g}}$	<i>Equazione 5</i>
--	---	--------------------

	$G = x_0 + v_{0x} \cdot t _{z=0}$	Equazione 6
--	-----------------------------------	-------------

Note le equazioni del moto di un proiettile, è possibile specificare il problema per il caso in esame.

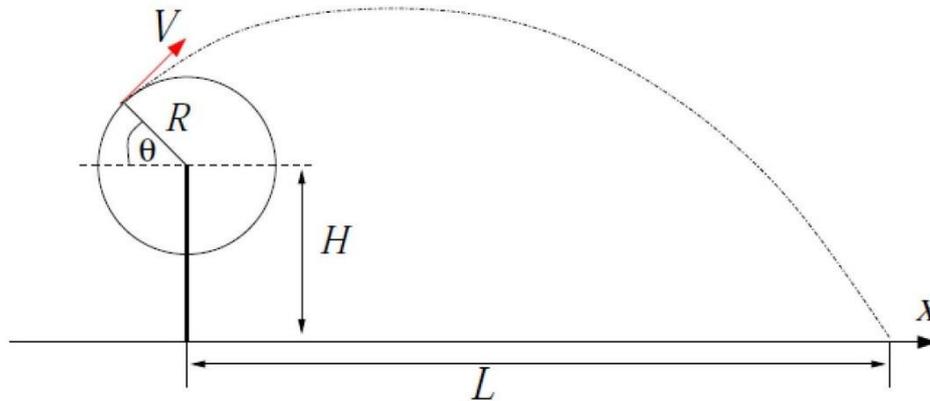


Figura 3. Rappresentazione della gittata massima della rottura accidentale di un organo rotante

Facendo riferimento allo schema dell'aerogeneratore di Figura 3 e ponendo l'origine degli assi alla base dell'aerogeneratore, si ottengono le seguenti relazioni cinematiche del baricentro della pala prima della rottura della stessa:

	$x = -R \cdot \cos(\omega t)$ $z = H + R \cdot \sin(\omega t)$	Equazione 7
--	--	-------------

Dove:

- $R = d/2 + l/3$ è la distanza del baricentro della pala dal centro di rotazione;
- H è l'altezza del rotor HUB;
- ω è la velocità di rotazione.

Al fine di calcolare la velocità del baricentro della pala prima della rottura, è necessario derivare nel tempo l'Eq.7, ottenendo:

	$v_x = \frac{d(x)}{dt} = R \cdot \omega \cdot \sin(\omega t)$ $v_z = \frac{d(z)}{dt} = R \cdot \omega \cdot \cos(\omega t)$	Equazione 8
--	---	-------------

Imponendo il tempo di rottura $t = \bar{t}$, dunque $\omega \bar{t} = \bar{\theta}$, è possibile calcolare le condizioni iniziali, posizione e velocità, del moto della pala. Nel dettaglio, esse risultano essere eguali a:

	$x_0 = -R \cdot \cos(\theta)$ $z_0 = -R \cdot \sin(\theta)$ $v_{x_0} = \frac{d(x)}{dt} = R \cdot \omega \cdot \sin(\theta)$ $v_{z_0} = \frac{d(z)}{dt} = R \cdot \omega \cdot \cos(\theta)$	Equazione 9
--	---	-------------

Sostituendo le condizioni iniziali ottenute nell'Eq.5, è possibile calcolare il tempo di volo della pala, cioè il tempo che intercorre tra il momento della rottura \bar{t} e il momento in cui tocca terra. Nel dettaglio, risulta essere pari a:

	$t _{z=0} = \frac{R \cdot \omega \cdot \cos(\theta)}{g} + \sqrt{\frac{R^2 + \omega^2 \cdot \cos^2(\theta) + 2 \cdot g(H + R \cdot \sin(\theta))}{g}}$	Equazione 10
--	---	--------------

Infine, sostituendo $t|_{z=0}$ ricavato nell'Eq.10, all'interno della prima nell'Eq.4, si ricava la gittata della pala G :

	$G = -R \cdot \cos(\theta) + R \cdot \omega \cdot \sin(\theta) \cdot \frac{1}{g} \left[R \cdot \omega \cdot \cos(\theta) + \sqrt{R^2 + \omega^2 \cdot \cos^2(\theta) + 2g(H + R \cdot \sin(\theta))} \right]$	Equazione 11
--	--	--------------

L'Equazione 11 ci permette, note le caratteristiche geometriche (R , H) e cinematiche (m) dell'aerogeneratore di calcolare la gittata della pala. È importante notare che la gittata G è funzione dell'angolo θ che la pala presenta nel momento della rottura. Al fine di determinare quale sia l'angolo θ per il quale la gittata G è massima, si procede con il calcolo dei massimi e dei minimi ponendo a 0 la derivata della gittata rispetto all'angolo θ ; cioè:

	$\frac{d(G)}{d\theta} = 0$	Equazione 12
--	----------------------------	--------------

Che porta al seguente risultato:

	$\frac{R\omega\cos(\theta)(2gH + 3gR\sin(\theta) - \omega^2R^2\sin^2(\theta) + \omega^2R^2\cos^2(\theta))}{2\sqrt{\omega^2R^2\cos^2(\theta) + 2g(H + R\sin(\theta))}} + \sin(\theta) \left[R - \frac{\omega^2R^2\sin^2(\theta)}{g} \right] + \frac{\omega^2R^2\cos^2(\theta)}{g} = 0$	Equazione 13
--	--	--------------

Ricavando θ dall'Equazione 12, è possibile ottenere gli angoli di rottura della pala, per i quali si ottiene la gittata G massima.

7 RISULTATI DI CALCOLO

7.1 RAPPRESENTAZIONE CASO 1 E CASO 2

7.1.1 Caso 1 – Gittata delle pale per la velocità nominale del rotore (10,00 giri/min)

Sostituendo i dati a nostra disposizione riportati nella Equazione 13, è possibile ottenere i seguenti risultati:

$$\begin{aligned} \theta|_{G_{MAX}} &= 70,9^\circ && \text{per } x \text{ positivo} \\ \theta|_{G_{MAX}} &= 305,7^\circ && \text{per } x \text{ negativo} \end{aligned}$$

Sostituendo gli angoli θ così ottenuti nella Equazione 11, si ottengono le gittate massime sia per le x positive che negative (per il centro di gravità):

$$\begin{aligned} \theta|_{G_{MAX}} = 70,9^\circ &\Rightarrow 173,56 \text{ m} \\ \theta|_{G_{MAX}} = 305,7^\circ &\Rightarrow -173,56 \text{ m} \end{aligned}$$

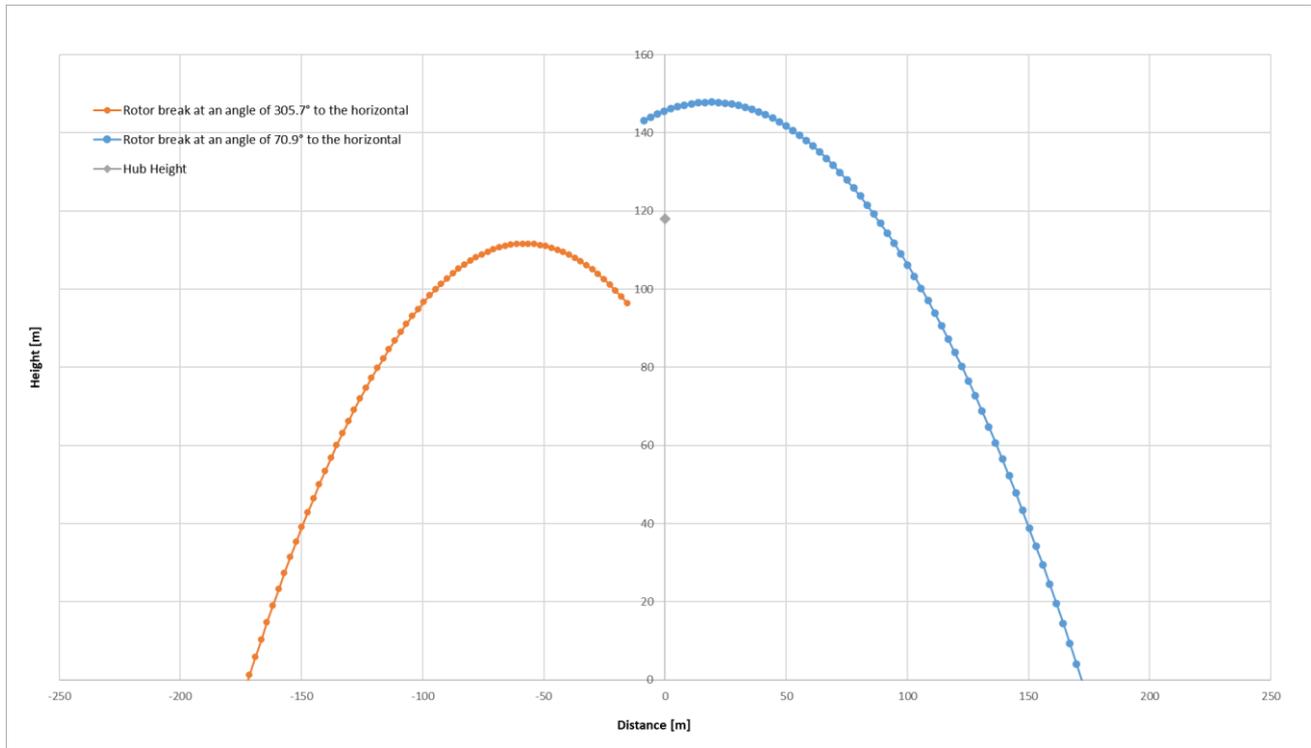


Figura 4 Traiettoria di volo della pala della turbina staccata (centro di gravità della pala)

Per ottenere la portata massima reale di una lama mozzata, è necessario aggiungere anche i 2/3 della lunghezza della lama (la distanza dal centro di gravità all'estremità della lama):

$$\begin{aligned} \theta|_{G_{MAX}} = 70,9^\circ &\Rightarrow 173,56 + \frac{2}{3} \cdot 79,7 = \mathbf{226,70 \text{ m}} \\ \theta|_{G_{MAX}} = 305,7^\circ &\Rightarrow -173,56 - \frac{2}{3} \cdot 79,7 = \mathbf{-226,70 \text{ m}} \end{aligned}$$

RTS09 – ANALISI DEGLI EFFETTI DELLA ROTTURA ACCIDENTALE DEGLI ORGANI ROTANTI

Gradi - θ	Radiani - θ	Sin(θ)	Cos(θ)	Gittata	Gittata massima	Gradi - θ	Radiani - θ	Sin(θ)	Cos(θ)	Gittata	Gittata massima
°	-	-	-	m	m	°	-	-	-	m	m
0	0	0	1	-28,22	24,92	185	3,228859116	-0,087155743	-0,996194698	21,14	-31,99
5	0,087266463	0,087155743	0,996194698	-5,48	47,65	190	3,316125579	-0,173648178	-0,984807753	14,05	-39,08
10	0,174532925	0,173648178	0,984807753	17,25	70,39	195	3,403392041	-0,258819045	-0,965925826	6,91	-46,23
15	0,261799388	0,258819045	0,965925826	39,54	92,68	200	3,490658504	-0,342020143	-0,939692621	-0,32	-53,45
20	0,34906585	0,342020143	0,939692621	60,98	114,12	205	3,577924967	-0,422618262	-0,906307787	-7,67	-60,80
25	0,436332313	0,422618262	0,906307787	81,19	134,32	210	3,665191429	-0,5	-0,866025404	-15,17	-68,30
30	0,523598776	0,5	0,866025404	99,83	152,96	215	3,752457892	-0,573576436	-0,819152044	-22,87	-76,00
35	0,610865238	0,573576436	0,819152044	116,62	169,75	220	3,839724354	-0,64278761	-0,766044443	-30,80	-83,93
40	0,698131701	0,64278761	0,766044443	131,34	184,47	225	3,926990817	-0,707106781	-0,707106781	-39,00	-92,14
45	0,785398163	0,707106781	0,707106781	143,84	196,98	230	4,01425728	-0,766044443	-0,64278761	-47,51	-100,64
50	0,872664626	0,766044443	0,64278761	154,04	207,17	235	4,101523742	-0,819152044	-0,573576436	-56,35	-109,49
55	0,959931089	0,819152044	0,573576436	161,91	215,04	240	4,188790205	-0,866025404	-0,5	-65,55	-118,68
60	1,047197551	0,866025404	0,5	167,50	220,63	245	4,276056667	-0,906307787	-0,422618262	-75,10	-128,23
65	1,134464014	0,906307787	0,422618262	170,89	224,03	250	4,36332313	-0,939692621	-0,342020143	-84,99	-138,12
70	1,221730476	0,939692621	0,342020143	172,25	225,38	255	4,450589593	-0,965925826	-0,258819045	-95,17	-148,30
75	1,308996939	0,965925826	0,258819045	171,75	224,88	260	4,537856055	-0,984807753	-0,173648178	-105,55	-158,68
80	1,396263402	0,984807753	0,173648178	169,60	222,73	265	4,625122518	-0,996194698	-0,087155743	-116,01	-169,14
85	1,483529864	0,996194698	0,087155743	166,02	219,15	270	4,71238898	-1	-1,83772E-16	-126,36	-179,49
90	1,570796327	1	6,12574E-17	161,25	214,38	275	4,799655443	-0,996194698	0,087155743	-136,36	-189,50
95	1,658062789	0,996194698	-0,087155743	155,50	208,63	280	4,886921906	-0,984807753	0,173648178	-145,76	-198,89
100	1,745329252	0,984807753	-0,173648178	148,99	202,12	285	4,974188368	-0,965925826	0,258819045	-154,23	-207,36
105	1,832595715	0,965925826	-0,258819045	141,90	195,03	290	5,061454831	-0,939692621	0,342020143	-161,44	-214,57
110	1,919862177	0,939692621	-0,342020143	134,40	187,53	295	5,148721293	-0,906307787	0,422618262	-167,06	-220,19
115	2,00712864	0,906307787	-0,422618262	126,63	179,77	300	5,235987756	-0,866025404	0,5	-170,76	-223,90
120	2,094395102	0,866025404	-0,5	118,71	171,85	305	5,323254219	-0,819152044	0,573576436	-172,27	-225,40
125	2,181661565	0,819152044	-0,573576436	110,73	163,86	310	5,410520681	-0,766044443	0,64278761	-171,35	-224,48
130	2,268928028	0,766044443	-0,64278761	102,75	155,89	315	5,497787144	-0,707106781	0,707106781	-167,82	-220,95
135	2,35619449	0,707106781	-0,707106781	94,84	147,97	320	5,585053606	-0,64278761	0,766044443	-161,59	-214,73
140	2,443460953	0,64278761	-0,766044443	87,01	140,14	325	5,672320069	-0,573576436	0,819152044	-152,65	-205,78
145	2,530727415	0,573576436	-0,819152044	79,29	132,43	330	5,759586532	-0,5	0,866025404	-141,04	-194,18
150	2,617993878	0,5	-0,866025404	71,70	124,83	335	5,846852994	-0,422618262	0,906307787	-126,92	-180,06
155	2,705260341	0,422618262	-0,906307787	64,22	117,36	340	5,934119457	-0,342020143	0,939692621	-110,50	-163,64
160	2,792526803	0,342020143	-0,939692621	56,86	110,00	345	6,021385919	-0,258819045	0,965925826	-92,06	-145,19
165	2,879793266	0,258819045	-0,965925826	49,60	102,73	350	6,108652382	-0,173648178	0,984807753	-71,93	-125,07
170	2,967059728	0,173648178	-0,984807753	42,42	95,55	355	6,195918845	-0,087155743	0,996194698	-50,51	-103,65
175	3,054326191	0,087155743	-0,996194698	35,30	88,43	360	6,283185307	-2,4503E-16	1	-28,22	-81,35
180	3,141592654	1,22515E-16	-1	28,22	81,35	-	-	-	-	-	-

Tabella 2 Gittata della pala per diversi angoli di rottura

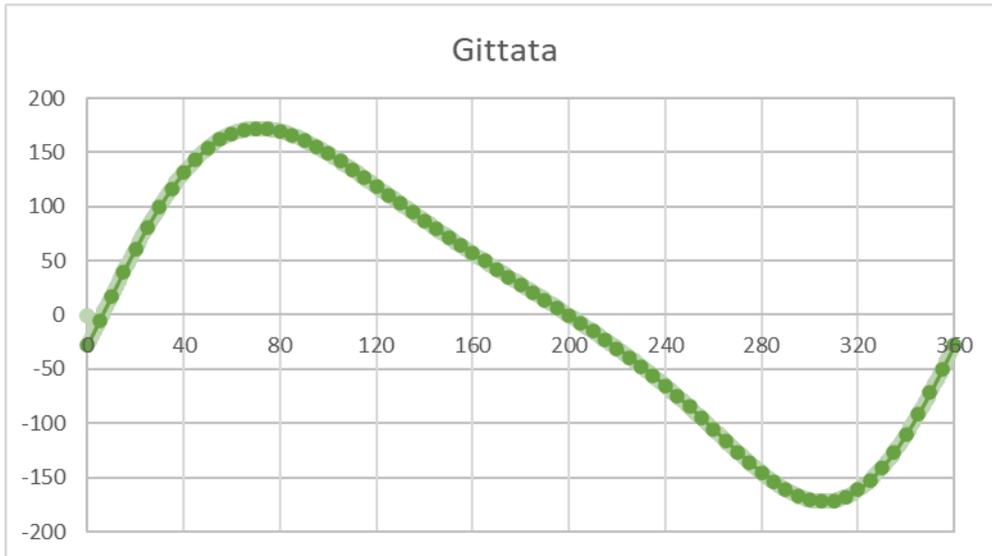


Figura 5 Gittata della pala per diversi angoli di rottura

7.1.2 Caso 2 - Gittata delle pale per la massima velocità del rotore con riduzione del 30% (8,12 giri/min)

Sostituendo i dati a nostra disposizione, riportati nel paragrafo 2.1, nella Equazione 13, è possibile ottenere i seguenti risultati:

$$\begin{aligned} \theta|_{G_{MAX}} &= 77,4^\circ && \text{per } x \text{ positive} \\ \theta|_{G_{MAX}} &= 304,7^\circ && \text{per } x \text{ negative} \end{aligned}$$

Sostituendo gli angoli θ così ottenuti nella Equazione 11, si ottengono le gittate massime sia per le x positive che negative (per il centro di gravità):

$$\begin{aligned} \theta|_{G_{MAX}} = 77,4^\circ &\Rightarrow 135,35 \text{ m} \\ \theta|_{G_{MAX}} = 304,7^\circ &\Rightarrow -135,35 \text{ m} \end{aligned}$$

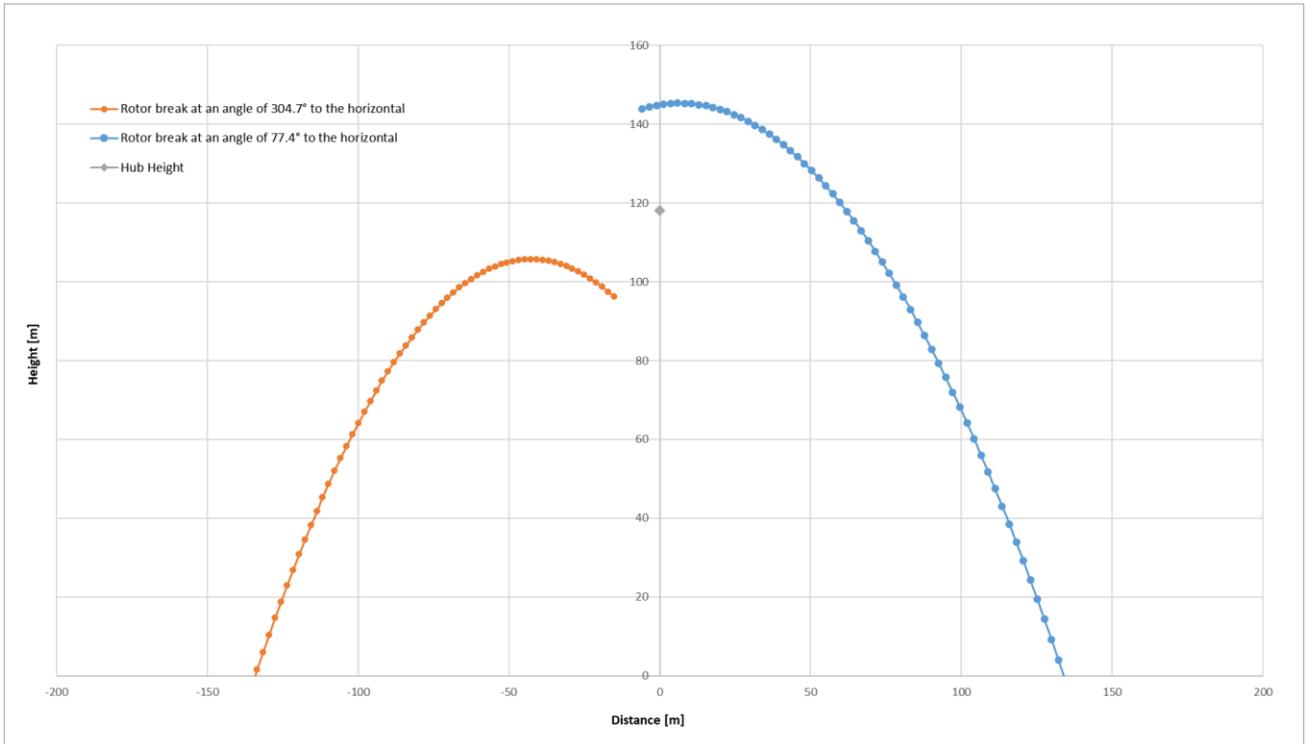


Figura 6 Traiettoria di volo della pala della turbina staccata (centro di gravità della pala)

Per ottenere la portata massima reale di una lama mozzata, è necessario aggiungere anche i 2/3 della lunghezza della lama (la distanza dal centro di gravità all'estremità della lama):

$$\theta|_{G_{MAX}} = 77,4^\circ \Rightarrow 135,35 + \frac{2}{3} \cdot 79,7 = \mathbf{188,48 \text{ m}}$$

$$\theta|_{G_{MAX}} = 304,7^\circ \Rightarrow -135,35 - \frac{2}{3} \cdot 79,7 = \mathbf{-188,48 \text{ m}}$$

RTS09 – ANALISI DEGLI EFFETTI DELLA ROTTURA ACCIDENTALE DEGLI ORGANI ROTANTI

Gradi - θ	Radiani - θ	Sin(θ)	Cos(θ)	Gittata	Gittata massima	Gradi - θ	Radiani - θ	Sin(θ)	Cos(θ)	Gittata	Gittata massima
°	-	-	-	m	m	°	-	-	-	m	m
0	0	0	1	-28,22	24,92	185	3,228859116	-0,087155743	-0,996194698	21,85	-31,28
5	0,087266463	0,087155743	0,996194698	-11,48	41,65	190	3,316125579	-0,173648178	-0,984807753	15,44	-37,69
10	0,174532925	0,173648178	0,984807753	5,37	58,50	195	3,403392041	-0,258819045	-0,965925826	8,98	-44,15
15	0,261799388	0,258819045	0,965925826	22,03	75,16	200	3,490658504	-0,342020143	-0,939692621	2,45	-50,68
20	0,34906585	0,342020143	0,939692621	38,21	91,35	205	3,577924967	-0,422618262	-0,906307787	-4,18	-57,31
25	0,436332313	0,422618262	0,906307787	53,67	106,80	210	3,665191429	-0,5	-0,866025404	-10,92	-64,05
30	0,523598776	0,5	0,866025404	68,15	121,29	215	3,752457892	-0,573576436	-0,819152044	-17,80	-70,93
35	0,610865238	0,573576436	0,819152044	81,47	134,60	220	3,839724354	-0,64278761	-0,766044443	-24,82	-77,96
40	0,698131701	0,64278761	0,766044443	93,44	146,57	225	3,926990817	-0,707106781	-0,707106781	-32,02	-85,15
45	0,785398163	0,707106781	0,707106781	103,94	157,08	230	4,01425728	-0,766044443	-0,64278761	-39,40	-92,53
50	0,872664626	0,766044443	0,64278761	112,90	166,04	235	4,101523742	-0,819152044	-0,573576436	-46,96	-100,09
55	0,959931089	0,819152044	0,573576436	120,27	173,40	240	4,188790205	-0,866025404	-0,5	-54,70	-107,83
60	1,047197551	0,866025404	0,5	126,03	179,17	245	4,276056667	-0,906307787	-0,422618262	-62,60	-115,74
65	1,134464014	0,906307787	0,422618262	130,24	183,38	250	4,36332313	-0,939692621	-0,342020143	-70,64	-123,77
70	1,221730476	0,939692621	0,342020143	132,95	186,09	255	4,450589593	-0,965925826	-0,258819045	-78,75	-131,88
75	1,308996939	0,965925826	0,258819045	134,26	187,39	260	4,537856055	-0,984807753	-0,173648178	-86,85	-139,99
80	1,396263402	0,984807753	0,173648178	134,27	187,40	265	4,625122518	-0,996194698	-0,087155743	-94,85	-147,98
85	1,483529864	0,996194698	0,087155743	133,12	186,25	270	4,71238898	-1	-1,83772E-16	-102,60	-155,73
90	1,570796327	1	6,12574E-17	130,93	184,07	275	4,799655443	-0,996194698	0,087155743	-109,95	-163,08
95	1,658062789	0,996194698	-0,087155743	127,86	180,99	280	4,886921906	-0,984807753	0,173648178	-116,70	-169,84
100	1,745329252	0,984807753	-0,173648178	124,02	177,15	285	4,974188368	-0,965925826	0,258819045	-122,66	-175,80
105	1,832595715	0,965925826	-0,258819045	119,55	172,68	290	5,061454831	-0,939692621	0,342020143	-127,62	-180,75
110	1,919862177	0,939692621	-0,342020143	114,57	167,70	295	5,148721293	-0,906307787	0,422618262	-131,36	-184,49
115	2,00712864	0,906307787	-0,422618262	109,18	162,32	300	5,235987756	-0,866025404	0,5	-133,68	-186,82
120	2,094395102	0,866025404	-0,5	103,48	156,62	305	5,323254219	-0,819152044	0,573576436	-134,41	-187,55
125	2,181661565	0,819152044	-0,573576436	97,55	150,68	310	5,410520681	-0,766044443	0,64278761	-133,40	-186,54
130	2,268928028	0,766044443	-0,64278761	91,44	144,58	315	5,497787144	-0,707106781	0,707106781	-130,55	-183,68
135	2,35619449	0,707106781	-0,707106781	85,23	138,36	320	5,585053606	-0,64278761	0,766044443	-125,79	-178,92
140	2,443460953	0,64278761	-0,766044443	78,94	132,07	325	5,672320069	-0,573576436	0,819152044	-119,11	-172,25
145	2,530727415	0,573576436	-0,819152044	72,61	125,74	330	5,759586532	-0,5	0,866025404	-110,56	-163,70
150	2,617993878	0,5	-0,866025404	66,26	119,39	335	5,846852994	-0,422618262	0,906307787	-100,23	-153,37
155	2,705260341	0,422618262	-0,906307787	59,91	113,04	340	5,934119457	-0,342020143	0,939692621	-88,26	-141,40
160	2,792526803	0,342020143	-0,939692621	53,56	106,70	345	6,021385919	-0,258819045	0,965925826	-74,84	-127,97
165	2,879793266	0,258819045	-0,965925826	47,22	100,36	350	6,108652382	-0,173648178	0,984807753	-60,18	-113,32
170	2,967059728	0,173648178	-0,984807753	40,89	94,03	355	6,195918845	-0,087155743	0,996194698	-44,55	-97,68
175	3,054326191	0,087155743	-0,996194698	34,56	87,69	360	6,283185307	-2,4503E-16	1	-28,22	-81,35
180	3,141592654	1,22515E-16	-1	28,22	81,35	-	-	-	-	-	-

Tabella 3 Gittata della pala per diversi angoli di rottura

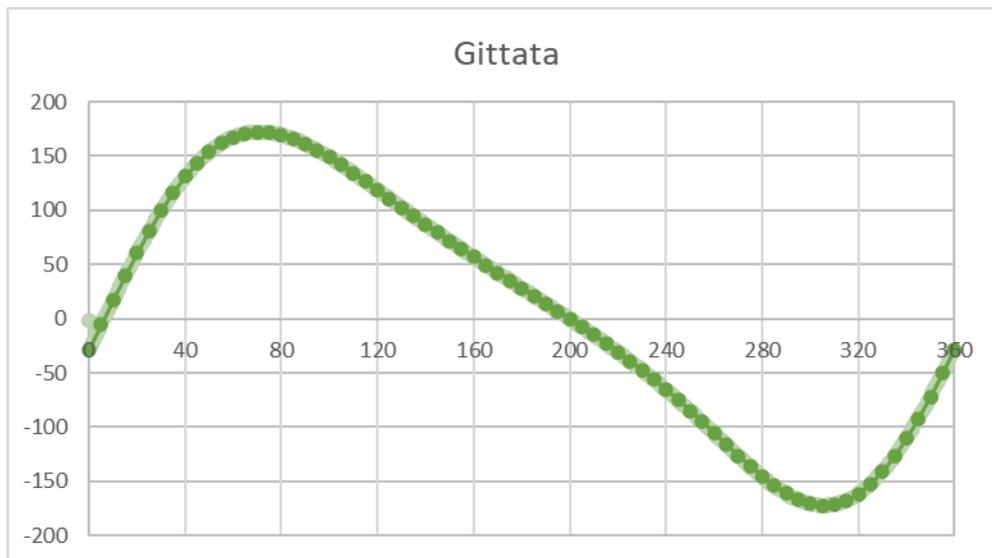


Figura 7 Gittata della pala per diversi angoli di rottura

7.2 VALUTAZIONE DEL REAL CASE

Oltre al caso Worst case, il presente documento vuole valutare l'incidenza della rottura accidentale degli organi rotanti nel caso di specie del Parco Eolico Bassacutena.

A tal fine, vengono di seguito evidenziati in seguente Figura 8 i potenziali recettori sensibili dell'area di impianto al fine di valutarne la vulnerabilità.

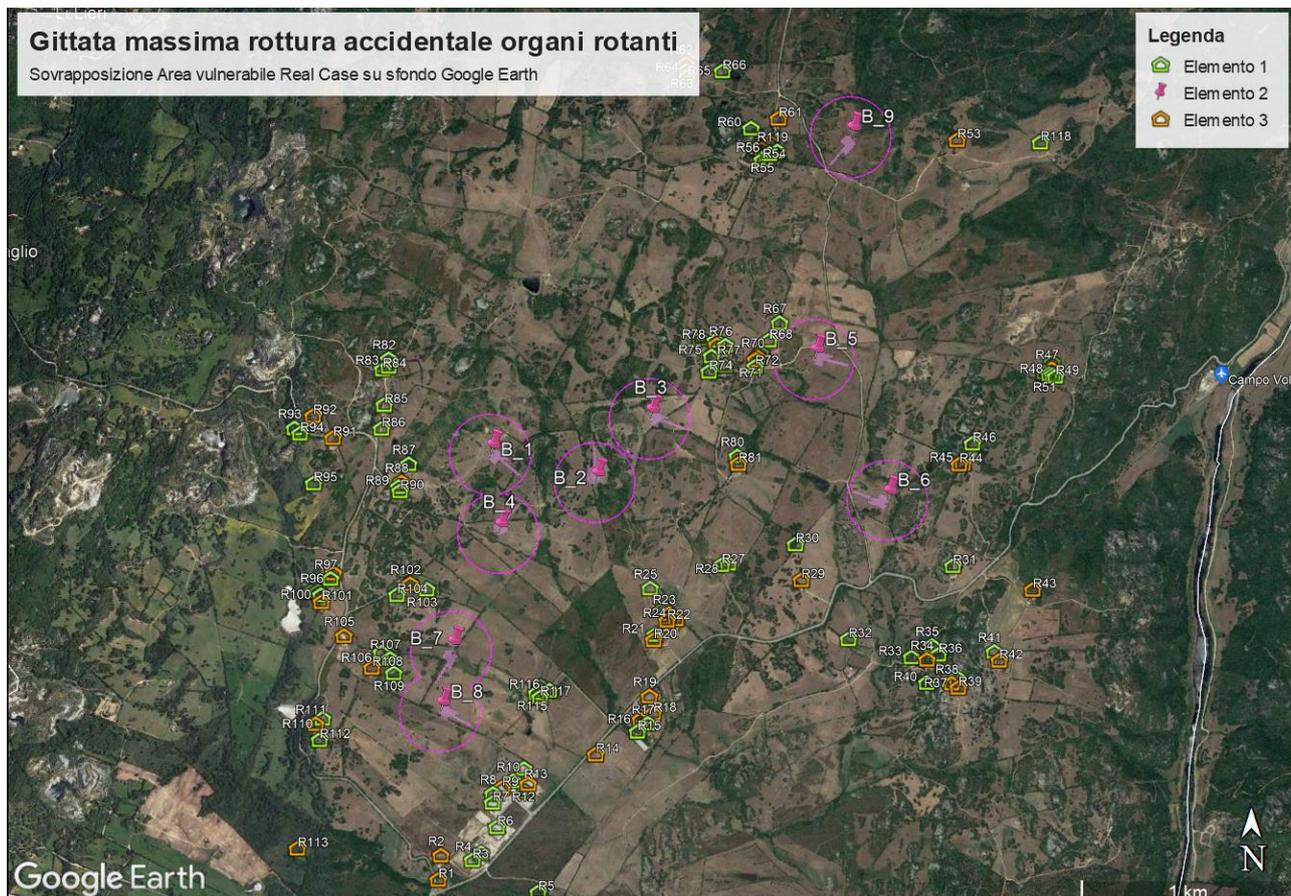


Figura 8. Inquadramento layout di progetto su sfondo Google Earth con sovrapposizione area vulnerabile - Real Case

Si evince chiaramente che l'area vulnerabile al rischio di rottura accidentale degli organi rotanti non risulta essere densamente urbanizzata.

Particolare attenzione andrebbe posta sulla turbina B_5, la cui zona di rischio risulta prossima ad una serie di fabbricati dalle diverse destinazioni d'uso.



Figura 9. Inquadramento Aerogeneratore B_5 su sfondo Google Earth con sovrapposizione area vulnerabile – Real Case

I ricettori confinanti con l’area sensibile di rischio sono del tipo non residenziali, in particolare si tratta di edifici destinati ad attività connesse all’attività agricola, classificati alla categoria catastale D/10.

ID ricettore	Coordinate formato UTM 84 – 32N		Sezione	Foglio	Mappale	Categoria catastale
R67	41.139586	9.282102	A	16	892	D/10
R68	41.138844	9.281516	A	16	769	D/10
R69	41.138298	9.281049	A	16	785	D/10
R70	41.138126	9.280887	A	16	893	A/3
R71	41.138024	9.280769	A	16	913	A/3
R72	41.137735	9.280735	A	16	929	F/2

Tabella 4. Individuazione Ricettori sensibili_Aerogeneratore B_5

Nella fattispecie, il fabbricato R67 di cui alla successiva Figura 10 risulta essere adibito a ricovero attrezzi e bestiame e quindi con limitata presenza di personale in loco che stazioni in maniera continuativa negli intorno del fabbricato.



Figura 10. Dettaglio ricettore R67 – Estratto Google Earth

Allo stesso modo, il ricettore R68 di cui alla seguente Figura 11 risulta essere un magazzino/ deposito, onde la saltuaria presenza di personale addetto limita ancora di più il rischio connesso ad un possibile incidente.

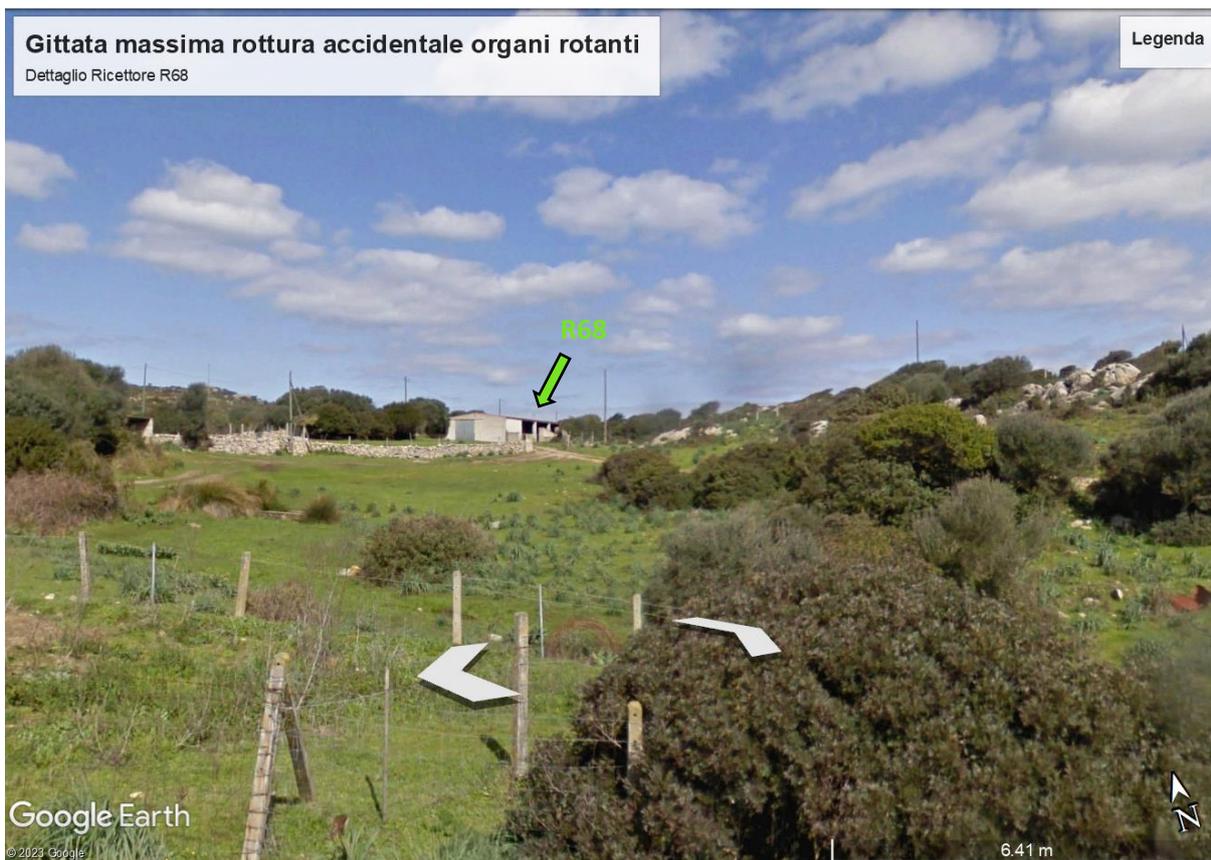


Figura 11. Dettaglio ricettore R68 – Estratto Google Earth

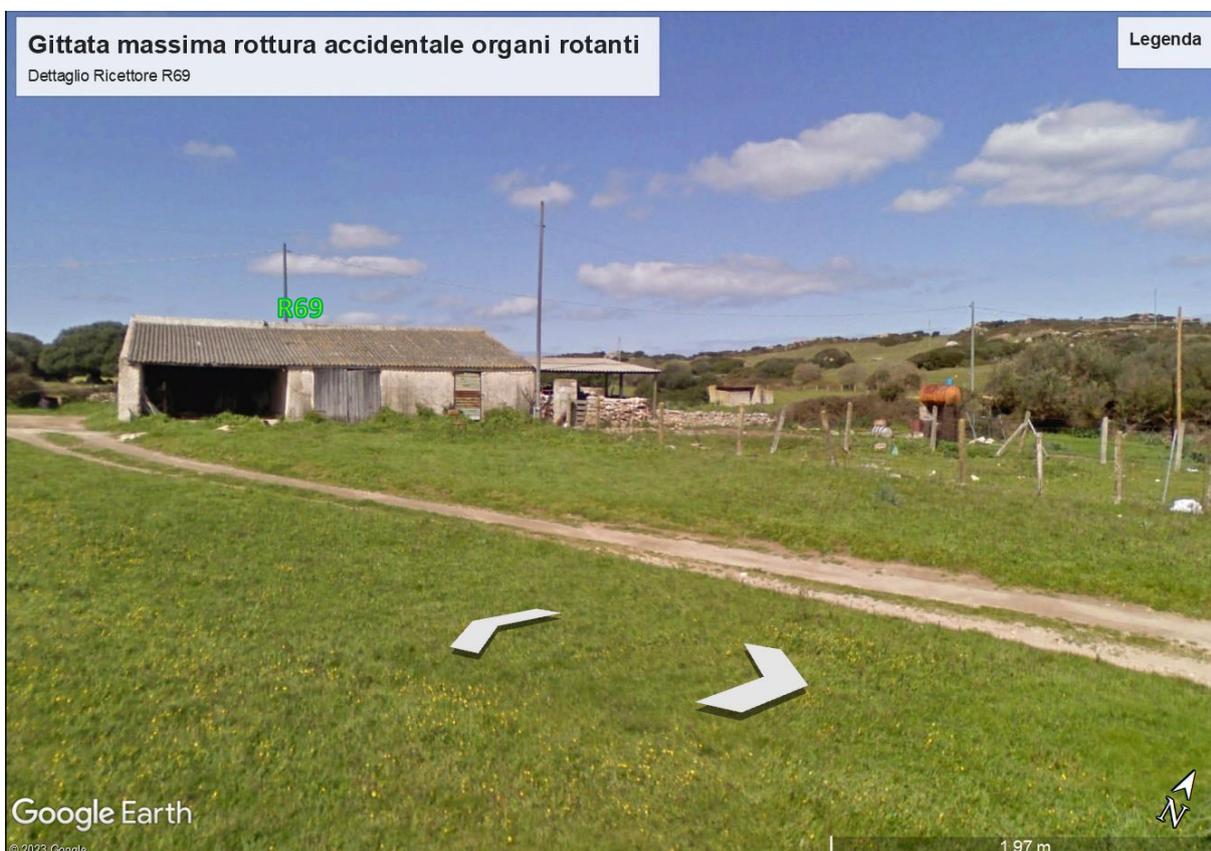


Figura 12. Dettaglio ricettore R69 – Estratto Google Earth

I ricettori R70 e R71, che premettiamo essere al di fuori dalla zona di rischio, sono del tipo residenziale e perciò saranno comunque attenzionati con interesse in ragione del loro status.

Da ricognizione effettuata *in situ*, i due stabili risultano abitati (almeno stagionalmente); a maggior tutela di entrambi va menzionata la maggiore quota alla quale i due stabili si trovano rispetto al piano campagna dell'aerogeneratore B_5, che a maggior ragione riduce il raggio di potenziale rischio di evento negativo.



Figura 13. Dettaglio ricettori R70 e R71 – Estratto Google Earth

7.3 STRADE

Come evidenziato dalla precedente Figura 8, anche la strada comunale S. Pasquale – Bassacutena si trova all'interno del buffer di rischiosità dell'evento calamitoso.

Seppur in maniera marginale, gli aerogeneratori B_6, B_5 e B_9 impattano su area stradale, ponendo un discorso relativo alla sicurezza del traffico stradale.

Tale rischio può essere certamente attenuato dall'operatività degli aerogeneratori sulla base dei dati vento disponibili e consultabili al documento RTS07 - Studio anemologico e produzione energetica. Infatti, nell'area di impianto del Parco Eolico Bassacutena il vento spira con costanza, in particolare provenendo dalla direzione

Ovest. Per questo motivo, gli aerogeneratori saranno orientati per lo più perpendicolari rispetto alla direttrice principale del vento. L'orientamento degli aerogeneratori risulta evidente dalle seguenti Figura 14, Figura 15, Figura 16, dove si evince come l'asse di rotazione abbia orientamento Nord-Sud; tale prospettiva di operatività delle macchine riduce sensibilmente il potenziale rischio di calamità per il transito sulla Strada Comunale S. Pasquale – Bassacutena.

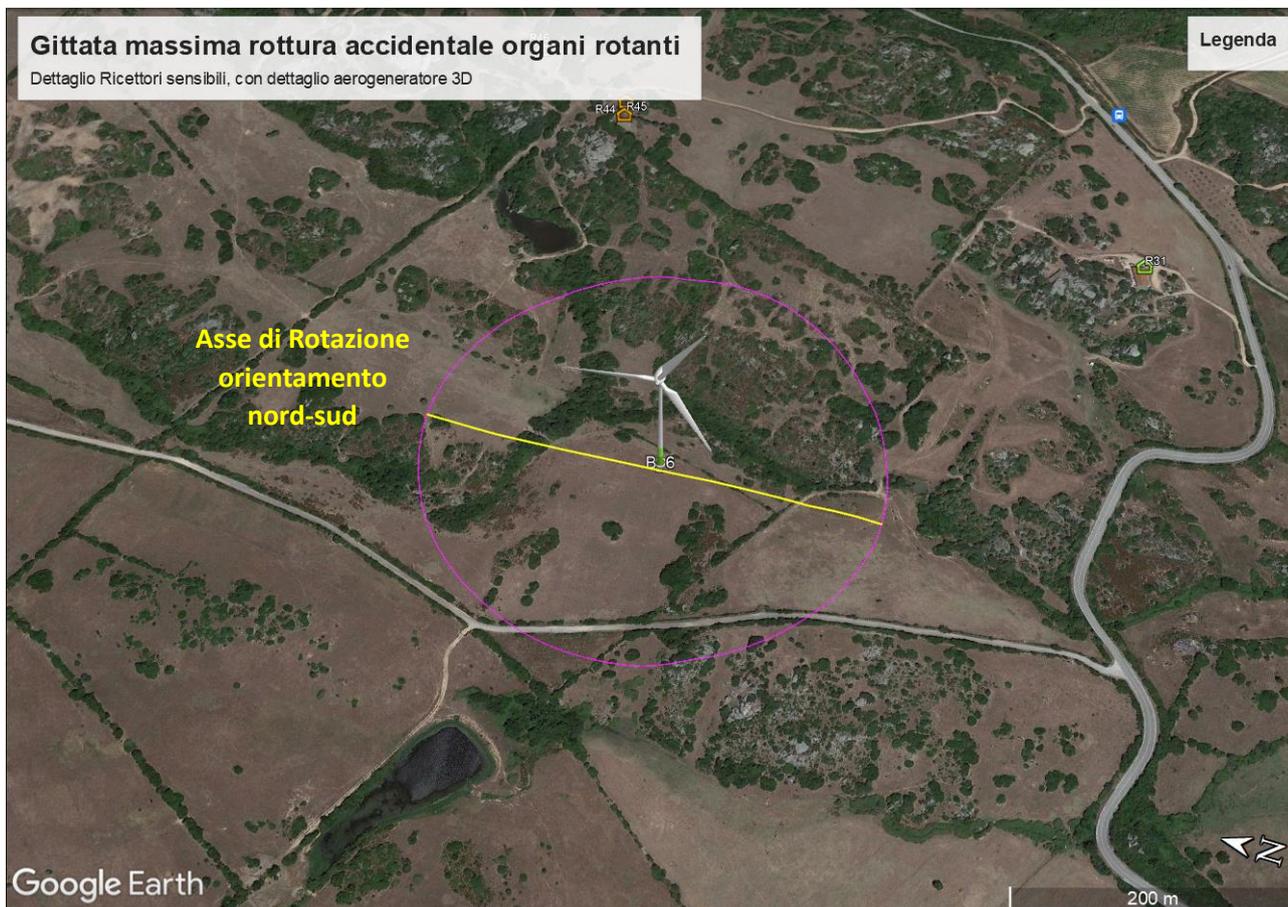


Figura 14. Dettaglio aerogeneratore B_6, con indicazione dell'asse di rotazione delle pale

Le medesime considerazioni possono essere riprese per l'aerogeneratore B_5 e B_9, rispettivamente rappresentati in Figura 15 e Figura 16.

Tali considerazioni relative all'operatività possono essere ulteriore argomento a tutela dei ricettori R67, R68, R69, R70 e R71, che in ragione dell'operatività delle macchine risultano ulteriormente tutelati dall'angolazione del piano delle pale.

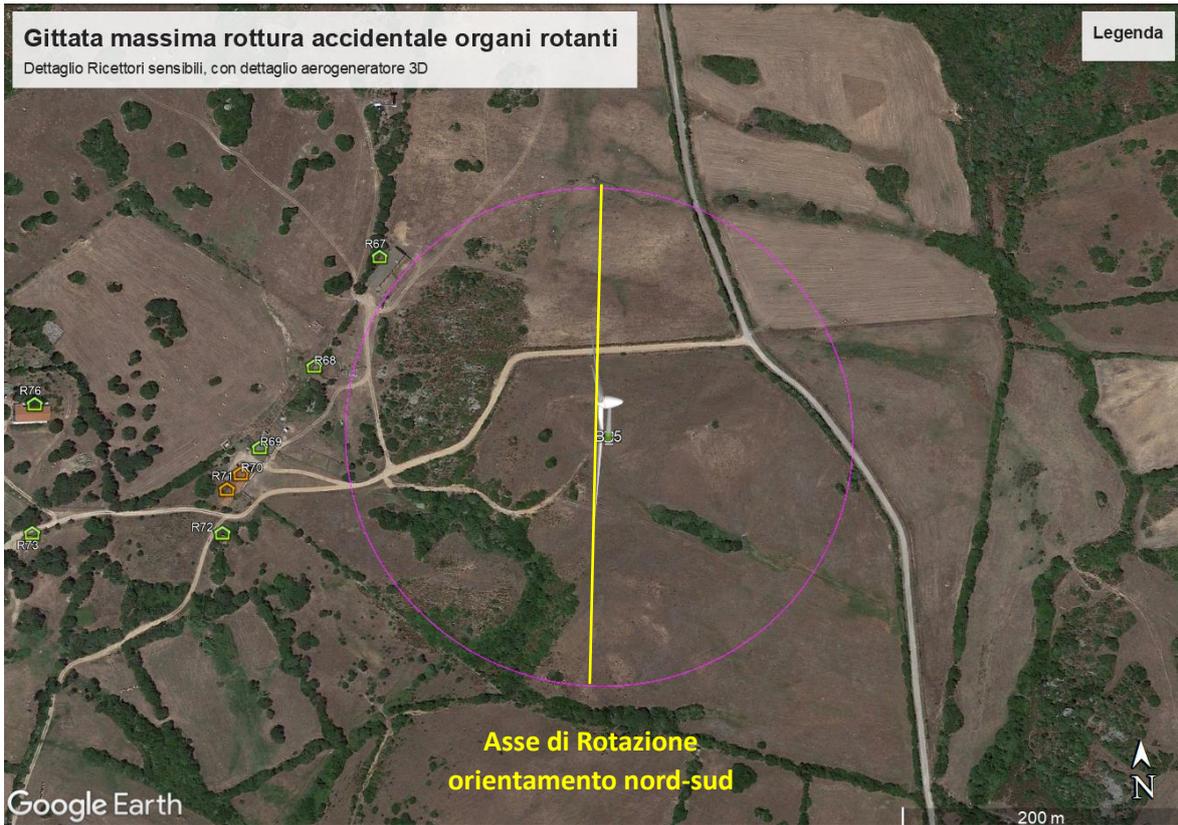


Figura 15. Dettaglio aerogeneratore B_5, con indicazione dell'asse di rotazione delle pale

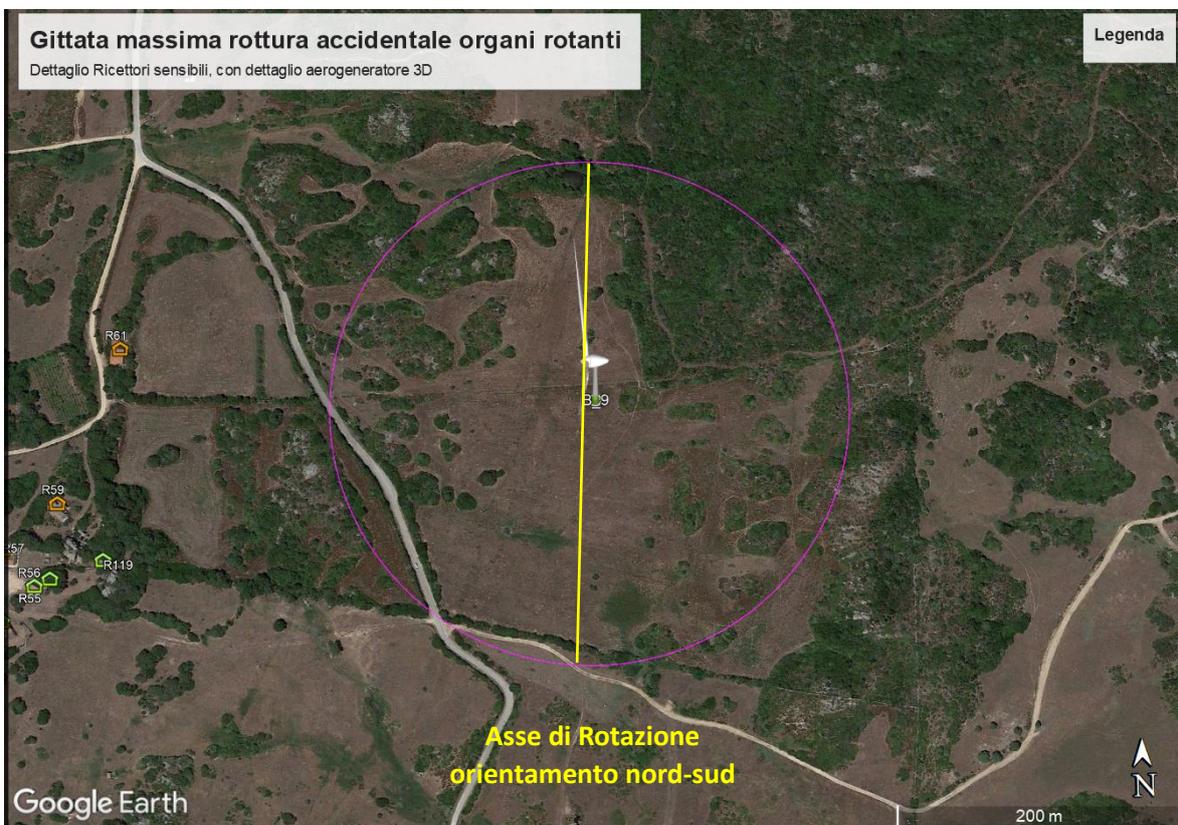


Figura 16. Dettaglio aerogeneratore B_9, con indicazione dell'asse di rotazione delle pale

8 CONCLUSIONI

Per concludere, la rottura accidentale di un elemento rotante, con conseguente lancio di elementi a distanza dagli aerogeneratori di progetto ha una probabilità di accadimento remota, seppur non trascurabile data la dimensione del progetto.

Nella presente relazione, la gittata dell'elemento che si suppone possa staccarsi dall'aerogeneratore è stata ipotizzata e calcolata sia nel caso Worst Case, condizione estremamente generalista e sfavorevole, che trova poca rispondenza con la realtà dell'evento fisico in analisi; sia nel caso Real Case, applicando alcune semplici considerazioni derivanti dalla contestualizzazione dell'evento e riportando, quindi, le ipotesi di calcolo quanto più vicine possibile alla realtà.

I risultati di questi ultimi hanno portato alla definizione di un'area di potenziale impatto dell'elemento rotante che accidentalmente dovesse distaccarsi a circa 189 m di distanza dal singolo aerogeneratore e, quindi, ad una distanza da considerarsi ampiamente in sicurezza dai ricettori sensibili individuati nell'area o dall'asse stradale statale/provinciale più vicino.

Nell'ottica di diminuzione ulteriore dei rischi connessi a tale ipotetico e sfortunato evento, la società proprietaria del Parco Eolico Bassacutena adotterà i migliori standard in termini di manutenzione e cura degli aerogeneratori in ogni loro parte, al fine di mantenere l'impianto nelle migliori condizioni di cura e producibilità energetica.