



MARZO 2023

## SILQUA S.R.L.

IMPIANTO EOLICO “SILQUA WIND” DA 52,8 MW

LOCALITÀ TANCA ROMITA – SP 88 – SS 136 PER  
MUSEI

COMUNI DI SILQUA E MUSEI – SUD SARDEGNA

Macontarna

**ELABORATI TECNICI DI PROGETTO**

**ELABORATO R11**

**ANALISI DELLA GITTATA MASSIMA**

**Progettista**

Ing. Laura Maria Conti – Ordine Ing. Prov. Pavia n. 1726

**Coordinamento**

Eleonora Lamanna

Matteo Lana

**Codice elaborato**

2995\_5110\_SIL\_PD\_R11\_Rev0\_GITTATAMASSIMA.docx

## Memorandum delle revisioni

Cod. Documento	Data	Tipo revisione	Redatto	Verificato	Approvato
2995_5110_SIL_PD_R11_Rev0_GITTATAMA SSIMA.docx	03/2023	Prima emissione	AAm	E.Lamanna	L.Conti

## Gruppo di lavoro

Nome e cognome	Ruolo nel gruppo di lavoro	N° ordine
Laura Conti	Direttore Tecnico - Progettista	Ord. Ing. Prov. PV n. 1726
Corrado Pluchino	Responsabile Tecnico Operativo	Ord. Ing. Prov. MI n. A27174
Eleonora Lamanna	Coordinamento Progettazione, Studio Ambientale, Studi Specialistici	
Matteo Lana	Coordinamento Progettazione Civile	
Riccardo Festante	Coordinamento Progettazione Elettrica	
Ali Basharзад	Progettazione civile e viabilità	Ord. Ing. Prov. PV n. 2301
Mauro Aires	Ingegnere Civile – Progettazione Strutture	Ord. Ing. Prov. Torino – n. 9588
Andrea Amantia	Geologo - Progettazione Civile	
Giancarlo Carboni	Geologo	Ord. Geologi Sardegna n. 497
Fabio Lassini	Ingegnere Civile Ambientale – Progettazione Civile	Ord. Ing. Prov. MI n. A29719
Marco Iannotti	Ingegnere Civile Idraulico	
Carla Marcis	Ingegnere per l’Ambiente ed il Territorio, Tecnico competente in acustica	Ord. Ing. Prov. CA n. 6664 – Sez. A ENTECA n. 4200
Lia Buvoli	Biologa – Esperto GIS – Esperto Ambientale	
Elena Comi	Biologa – Esperto GIS – Esperto Ambientale	Ord. Nazionale Biologi n. 060746 Sez. A

### Montana S.p.A.

Via Angelo Carlo Fumagalli 6, 20143 Milano  
Tel. +39 02 54 11 81 73 | Fax +39 02 54 12 98 90

Milano (Sede Certificata ISO) | Brescia | Palermo | Cagliari | Roma | Siracusa

C. F. e P. IVA 10414270156

Cap. Soc. 600.000,00 €

[www.montanambiente.com](http://www.montanambiente.com)





Lorenzo Griso	Esperto GIS – Esperto Ambientale Junior	
Sara Zucca	Architetto – Esperto GIS – Esperto Ambientale	
Andrea Mastio	Ingegnere per l’Ambiente e il Territorio – Esperto Ambientale Junior	
Andrea Delussu	Ingegnere Elettrico – Progettazione Elettrica	
Matthew Piscedda	Esperto in Discipline Elettriche	
Francesca Casero	Esperto Ambientale e GIS Junior	
Davide Chiappari	Esperto Ambientale e GIS Junior	
Simone De Monti	Esperto Ambientale e GIS Junior	
Riccardo Coronati	Pianificatore Junior	
Alessia Papeti	Esperto Ambientale – Geologo - GIS Junior	

**Montana S.p.A.**

Via Angelo Carlo Fumagalli 6, 20143 Milano  
Tel. +39 02 54 11 81 73 | Fax +39 02 54 12 98 90

Milano (Sede Certificata ISO) | Brescia | Palermo | Cagliari | Roma | Siracusa

C. F. e P. IVA 10414270156  
Cap. Soc. 600.000,00 €

[www.montanambiente.com](http://www.montanambiente.com)





## INDICE

1. PREMESSA .....	5
1.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE DEL SITO .....	6
2. CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA DEGLI ELEMENTI ROTANTI.....	8
2.1 DESCRIZIONE GENERALE DI PROGETTO .....	8
2.2 APPROCCIO AL CALCOLO .....	9
2.3 IPOTESI DI CALCOLO .....	11
2.4 FORMULAZIONI .....	12
2.5 CASO STUDIO.....	14
2.6 CONSIDERAZIONI FINALI.....	15
3. APPLICAZIONE DEI RISULTATI ALL’IMPIANTO EOLICO IN OGGETTO .....	16
4. CONCLUSIONI .....	18

## 1. PREMESSA

Il progetto in esame riguarda la realizzazione di un nuovo Parco Eolico della potenza complessiva di 52,8 MW, che prevede l'installazione di n. 8 aerogeneratori da 6,6 MW da installarsi nel territorio comunale di Siliqua e relative opere di connessione nei comuni di Siliqua e Musei, ricadenti nella Provincia del Sud Sardegna.

Si precisa che l'attribuzione dei Comuni alla Provincia del Sud Sardegna fa riferimento alla situazione amministrativa attuale (L.R. n. 2 del 4 febbraio 2016 - "Riordino del sistema delle autonomie locali della Sardegna").

Con la LR n.7 del 12 aprile 2021 la Regione Sardegna viene riorganizzata in 8 Province: Città Metropolitana di Sassari, Città Metropolitana di Cagliari, Nord-Est Sardegna, Ogliastra, Sulcis Iglesiente, Medio Campidano, Nuoro e Oristano, pertanto, i Comuni interessati dalle opere ricadrebbero nella nuova Città Metropolitana di Cagliari (Siliqua) e nella Provincia di Sulcis Iglesiente (Musei). Tale legge è però stata impugnata dal governo italiano, che ha bloccato l'iter di attuazione in attesa del pronunciamento della Corte costituzionale e il 12 marzo 2022 la Consulta si è pronunciata a favore della Regione Autonoma della Sardegna, dando di fatto il via libera alla re-istituzione delle Province. Pertanto allo stato attuale dovrebbero essere attive le nuove Province, che di fatto non lo sono in quanto sono in attesa dei pronunciamenti referendari dei residenti dei Comuni di confine e il rinvio al 2025 della data per "l'effettiva operatività di Città metropolitane e Province", con un'ulteriore coda di sei mesi, necessaria per l'auspicata elezione diretta dei Consigli comunali e metropolitani<sup>1</sup>.

La Società Proponente è la Siliqua S.R.L., con sede legale in Via Carlo Angelo Fumagalli 6, 20143 Milano (MI).

Tale opera si inserisce nel quadro istituzionale di cui al D.Lgs. 29 dicembre 2003, n. 387 "Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità" le cui finalità sono:

- promuovere un maggior contributo delle fonti energetiche rinnovabili alla produzione di elettricità nel relativo mercato italiano e comunitario;
- promuovere misure per il perseguimento degli obiettivi indicativi nazionali;
- concorrere alla creazione delle basi per un futuro quadro comunitario in materia;
- favorire lo sviluppo di impianti di microgenerazione elettrica alimentati da fonti rinnovabili, in particolare per gli impieghi agricoli e per le aree montane.

La Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) elaborata, prevede che l'impianto eolico venga collegato venga collegata in antenna a 36 kV sulla sezione 36 kV di una nuova Stazione Elettrica (SE) di trasformazione della RTN a 150/36 kV da inserire in entra - esce alla linea RTN a 150 kV Iglesias 2 Siliqua previo potenziamento/rifacimento della linea RTN 150 kV "Villacidro-Villasor".

La configurazione preliminare impiantistica prevede la realizzazione di una cabina di raccolta esercita a 36 kV nei pressi dell'ampliamento della SE Terna, con all'interno tutti gli apparati di protezione e controllo utili alla connessione dell'impianto secondo quanto riportato nell'allegato A17 del Codice di rete Terna, e una seconda cabina di smistamento dalla quale si dipartono le 3 linee di alimentazione verso i 3 cluster di WTG identificati.

Nel suo complesso il parco di progetto sarà composto da:

- N° 8 aerogeneratori della potenza nominale di 6.6 MW ciascuno;
- dalla viabilità di servizio interna realizzata in parte ex-novo e in parte adeguando strade comunali e/o agricole esistenti;

<sup>1</sup> <https://www.lanuovasardegna.it/regione/2022/11/08/news/le-nuove-province-sarde-saranno-operative-solo-fra-quattro-anni-1.100139202>

- dalle opere di regimentazione delle acque meteoriche;
- dalle opere di collegamento alla rete elettrica;
- dalla viabilità di servizio interna;
- dalle reti tecnologiche per il controllo del parco e dalle opere di regimentazione delle acque meteoriche;
- dalle reti tecnologiche per il controllo del parco.

A tal fine il presente documento costituisce la Relazione Geologica del progetto.

## 1.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE DEL SITO

Il parco eolico in progetto si estende nei territori comunali di Siliqua e Musei al di fuori dei centri abitati, e prevede l'installazione di n. 8 aerogeneratori tutti collocati nel territorio comunale di Siliqua, mentre le opere di connessione alla RTN sono collocate anche nel territorio comunale di Musei (Figura 1.1).

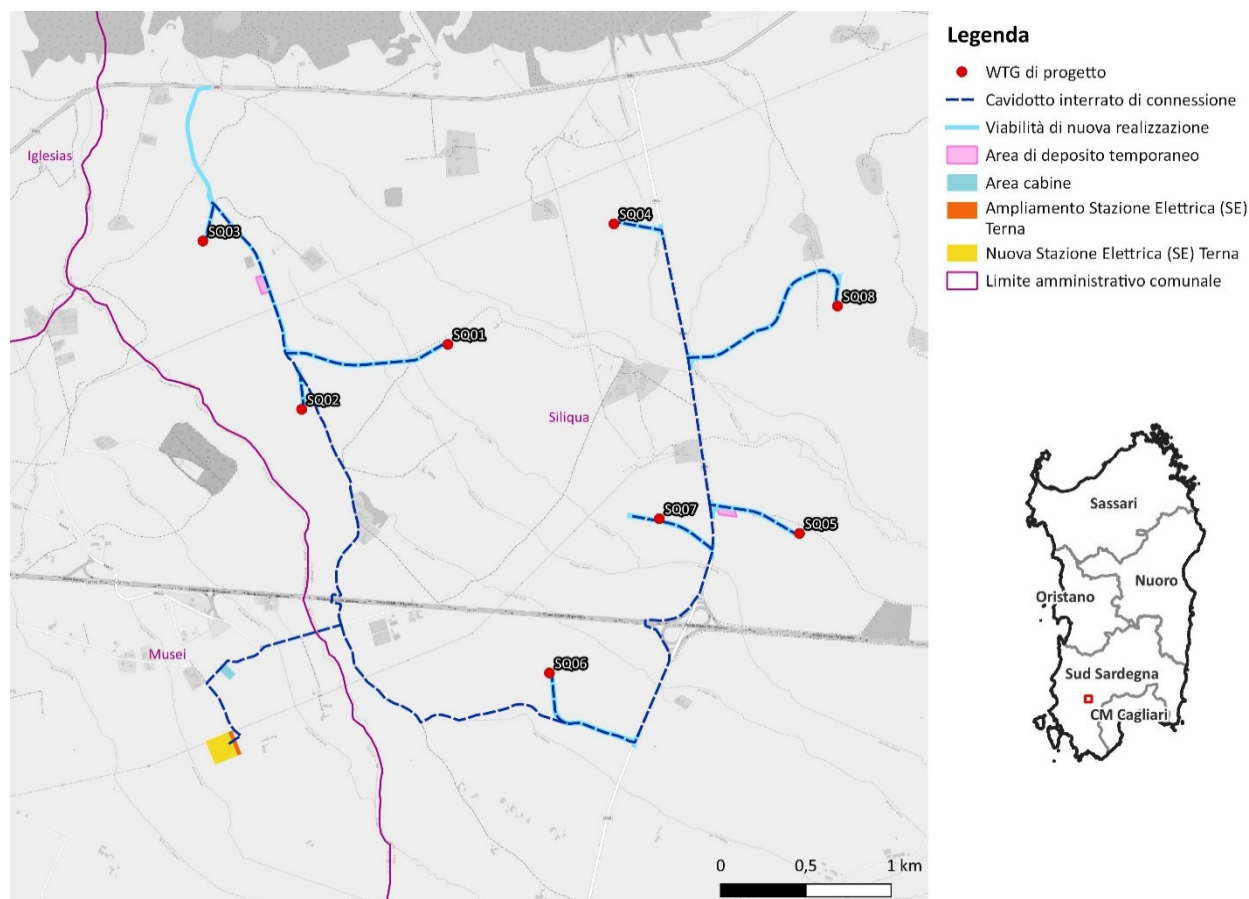


Figura 1.1: Localizzazione a scala regionale, provinciale e comunale dell'impianto proposto.

La realizzazione della Stazione Elettrica di condivisione MT/AT è prevista nel comune di Musei in prossimità della stazione elettrica TERNA di nuova realizzazione a circa 4 km est dal centro abitato. Il collegamento elettrico tra gli aerogeneratori e la sottostazione avverrà mediante un elettrodotto interrato che seguirà in gran parte il tracciato delle strade esistenti e in piccola parte il tracciato di quelle di nuova realizzazione (nuove strade di interconnessione degli aerogeneratori e strada di accesso alla sottostazione elettrica).

Le coordinate degli aerogeneratori previsti sono riportate in Tabella 1-1.

Tabella 1-1: Coordinate aerogeneratori

WTG	UTM – ZONA 32S		WGS 84 - GRADI-MIN-SEC	
	Nord	Est	Latitudine	Longitudine
SQ01	476461	4352118	39° 19' 10"	8° 43' 33"
SQ02	475519	4351869	39° 18' 57"	8° 42' 58"
SQ03	4749465	4352857	39° 19' 29"	8° 42' 33"
SQ04	477350	4352957	39° 19' 33"	8° 44' 14"
SQ05	478437	4351135	39° 18' 34"	8° 44' 59"
SQ06	476971	4350318	39° 18' 07"	8° 43' 58"
SQ07	477613	4351211	39° 18' 36"	8° 44' 25"
SQ08	478660	4352474	39° 19' 17"	8° 45' 09"

L'accesso al sito avverrà mediante strade pubbliche esistenti a carattere nazionale e provinciale partendo dal vicino porto industriale Cagliari o in alternativa da quello poco più distale di Portovesme.

Le principali vie di accesso e comunicazione dei due comuni interessati sono costituite dalla strada statale SS130 e dalle strade provinciali SP 88 ed SP89, all'interno del territorio sono poi presenti numerose strade comunali, asfaltate e sterrate che uniscono le diverse frazioni (**Errore. L'autoriferimento non è valido per un segnalibro.**).

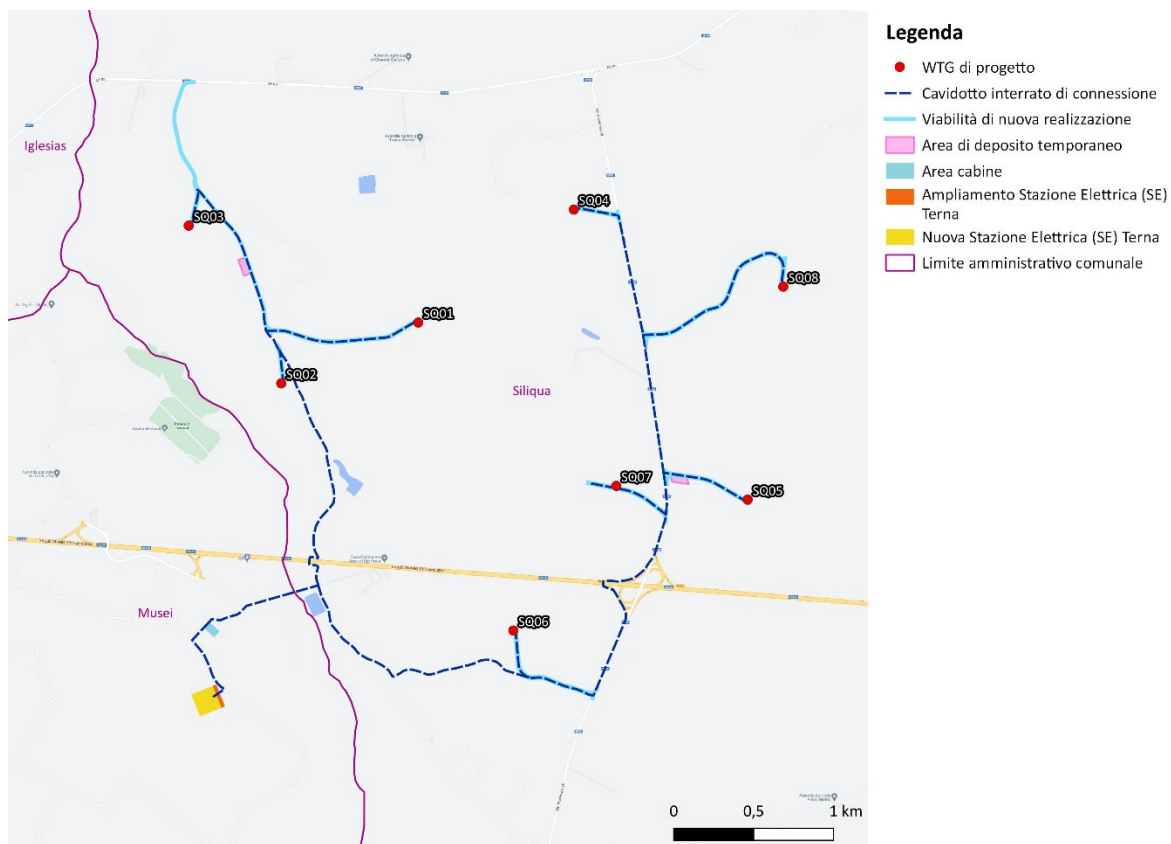


Figura 1.2: Inquadramento della viabilità di progetto.

## 2. CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA DEGLI ELEMENTI ROTANTI

### 2.1 DESCRIZIONE GENERALE DI PROGETTO

Oggetto della presente relazione è l'analisi della gittata degli elementi rotanti di un aerogeneratore nello specifico "Siemens Gamesa SG 6.6-170". Le principali specifiche tecniche dell'aerogeneratore vengono riportate nella seguente tabella:

Tabella 2.1: Caratteristiche tecniche aerogeneratore Siemens Gamesa SG 6.6-170.

AEROGENERATORE SIEMENS GAMESA SG 6.6 - 170	
DATI DI FUNZIONAMENTO	
Potenza nominale	6.600 kW
Velocità minima del vento	3.0 m/s
Velocità massima del vento	25.0 m/s
Classe di vento-IEC	S
ROTORE	
Diametro del rotore	170 m
Area spazzata	22.698 mq
Velocità massima	8,83 giri/min
TORRE	
Tipo	Torre in acciaio tubolare
Altezza mozzo	135 m
Altezza al Top	220 m
PALA	
Lunghezza	83,3 m
Numero pale	3
Materiale	G (Glassfiber) – CRP (Carbon Reinforced Plastic)
DATI ELETTRICI	
Frequenza	50Hz/60Hz
Voltaggio	690 V
Tipo generatore	doubly-fed asynchronous three phase generator

Esemplificandone l'ingegneria, si osserva che le pale dell'aerogeneratore sono fissate su un mozzo, nell'insieme costituiscono il rotore, il mozzo, a sua volta, è collegato ad un albero di trasmissione che ruota alla stessa velocità angolare del rotore.

Tutti i componenti sopra menzionati, ad eccezione, del rotore e del mozzo, sono ubicati entro una cabina, detta navicella la quale, a sua volta, è sistemata su un supporto-cuscinetto, in maniera da essere facilmente orientata secondo la direzione del vento (Figura 2.1).





Figura 2.1: Rappresentazione di un aerogeneratore.

## 2.2 APPROCCIO AL CALCOLO

La pala che durante la rotazione accidentalmente si distacca dal rotore è caratterizzata da una velocità iniziale  $V_0$  proporzionale alla velocità angolare ed al diametro del rotore. Ai fini del calcolo vengono impiegate, in via preliminare, le formule classiche della cinematica di un corpo rigido.

Il moto di un corpo rigido, in assenza di interazione con il fluido, è riconducibile alla somma di due moti, uno rettilineo uniforme in direzione orizzontale ed uno uniformemente accelerato (con accelerazione pari all'accelerazione di gravità) in direzione verticale. Ne consegue che la traiettoria seguita da un corpo, in generale solido e di dimensioni ridotte, o meglio del suo centro di massa, ha un andamento parabolico. La gittata è la distanza, sul piano orizzontale, tra la proiezione sullo stesso piano del punto di partenza del moto e il punto in cui esso raggiunge il piano.

La rottura accidentale di un elemento rotante di un aerogeneratore ad asse orizzontale (parallelo al suolo) può essere considerato un evento molto raro, anche in considerazione della tecnologia costruttiva, dei materiali impiegati per la realizzazione delle pale stesse e delle periodiche operazioni di manutenzione e controllo a cui sono soggetti gli aerogeneratori nel corso della loro "vita utile" (con intervalli annuali).

Inoltre, le pale degli aerogeneratori sono generalmente considerate "fail-safe", in quanto dal punto di vista progettuale la combinazione di coefficienti di sicurezza per i carichi, i materiali utilizzati e la valutazione delle conseguenze in caso di rottura rispettano quanto prescritto dalla norma IEC61400-1.

Tuttavia, con DM 10/9/2010, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale, serie generale, n° 219 del 18/9/2010, il MISE ha emanato a suo tempo le "Linee guida per il procedimento di cui all'articolo 12 del decreto legislativo 29 dicembre 2003, n. 387 per l'autorizzazione alla costruzione e all'esercizio di impianti di produzione di elettricità da fonti rinnovabili nonché linee guida tecniche per gli impianti stessi" (d'ora in poi Linee Guida Nazionali), in applicazione del citato comma 10 dell'art. 12 del D.lgs. N°387/03; tra le quali è prevista per le pale eoliche, uno studio sulla gittata massima degli elementi rotanti nel caso di rottura accidentale.

Nel caso specifico, verrà presa in considerazione la peggiore condizione, ovvero il distacco completo della pala alla radice. Questa tipologia di incidente, seppur improbabile, nasce dalla considerazione dell'esistenza di un punto di discontinuità costituito dalla giunzione bullonata fra la pala ed il mozzo, per il quale esiste la possibilità di un cedimento strutturale.

La parte strutturale posizionata all'interno della pala (longherone) è dotata infatti di attacchi filettati (bulloni prigionieri) che consentono il collegamento della pala al mozzo tramite dadi serrati opportunamente in fase di installazione della turbina (Figura 2.2).

Durante il funzionamento dell'aerogeneratore i bulloni prigionieri offrono una resistenza ai carichi sia statici sia affaticanti che è strettamente legata al precarico conferito ai prigionieri durante il serraggio in fase di installazione.

Come detto, la giunzione bullonata fra la pala ed il mozzo costituisce la più probabile "sezione" di rottura e, tra le operazioni di manutenzione programmate per la turbina con cadenza annuale, è previsto un controllo periodico del serraggio dei bulloni e del precarico imposto ai prigionieri finalizzato alla verifica dei valori imposti dal progettista.

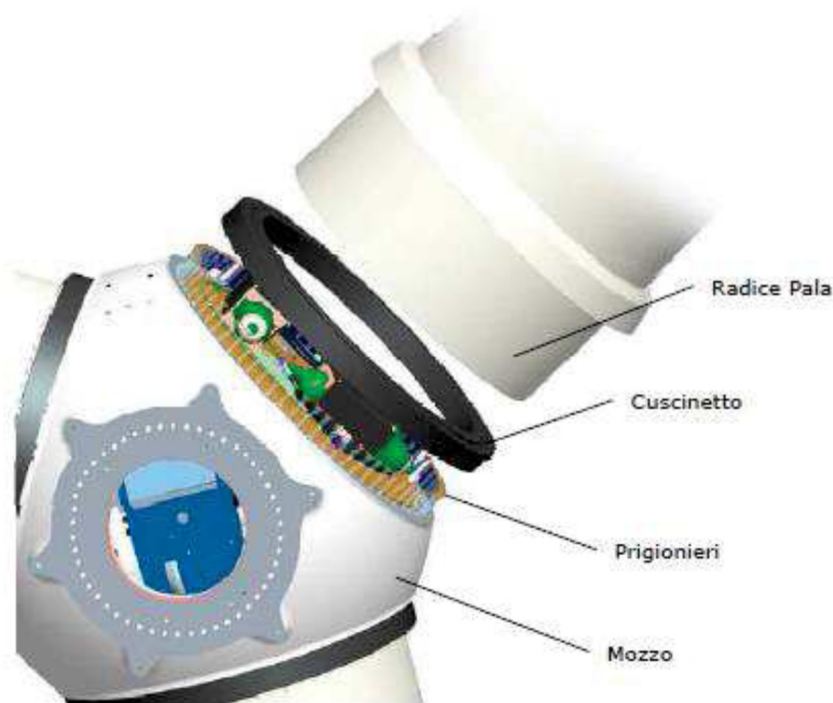


Figura 2.2: particolare mozzo aerogeneratore.

Nel calcolo per la gittata massima è da considerare che la conformazione del profilo alare dell'aerogeneratore è fissa, mentre è mobile il rotore sul quale sono ancorate le pale. Questo garantisce il fatto che il rotore possa orientarsi rispetto al vento in modo tale da offrire allo stesso sempre il medesimo profilo alare garantendo indipendentemente dalla direzione del vento un verso orario di rotazione. Tale considerazione è utile per fissare in ogni momento il verso della velocità tangenziale, responsabile della gittata nel piano, rispetto a quello della velocità del vento, ortogonale alla velocità tangenziale ed a sua volta responsabile della gittata fuori dal piano.

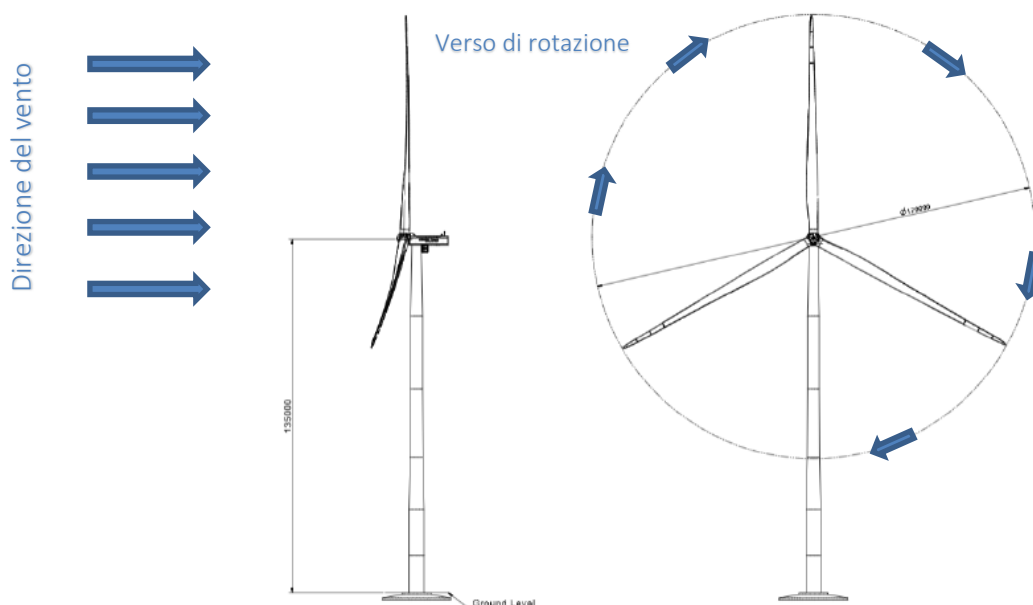


Figura 2.3: Schematizzazione Verso di Rotazione / Direzione del vento.

Dalla composizione delle due traiettorie si ottiene la traiettoria complessiva e quindi si può determinare la direzione lungo la quale l'eventuale pala o parte di essa che si distacca percorre il suo moto.

Infine, mettendo in relazione la traiettoria del corpo che si distacca con la corografia del luogo è possibile verificare se la pala nella percorrenza della sua traiettoria può essere o meno un elemento di pericolo per gli edifici più prossimi.

### 2.3 IPOTESI DI CALCOLO

Per il calcolo della gittata massima si utilizza il foglio di calcolo pubblicato e reso disponibile sul portale della Regione Campania predisposto per le istruttorie per gli impianti di produzione di energia da fonte rinnovabile eolica dalla "Unità Operativa Dirigenziale 500203 - Energia, efficientamento e risparmio energetico, Green Economy e Bioeconomia" della medesima Regione Campania.

Il calcolo della gittata massima delle pale eoliche si basa sulle seguenti assunzioni:

- moto piano (piano ortogonale all'asse del rotore nelle condizioni di esercizio al momento del distacco, ossia piano di appartenenza del vettore velocità tangenziale del baricentro della pala al momento del distacco);
- assenza di forzanti (moto inerziale), come ad esempio quelle generate dal vento (ritenute trascurabili nella zona di installazione degli aerogeneratori oggetto della relazione);
- assenza di variazioni altimetriche significative del campo di installazione (campo piano).

L'impiego di tali formule nelle ipotesi sopra descritte consente la stima, teorica e conservativa, della traiettoria delle pale a seguito di eventuali rotture alla radice. L'affinamento dei modelli matematici con opportune integrazioni, volte prevalentemente all'implementazione degli effetti che derivano dall'interazione pala-aria e/o direzione del vento differente rispetto a quella considerata in fase di progettazione e installazione degli aerogeneratori, consentirebbe di aumentare i margini di sicurezza salvaguardando ad ogni modo le aree circostanti.

In generale, la forza di attrito viscoso dipende, oltre che dalla velocità, anche dal fluido in cui l'oggetto si muove, dalla forma e dalle dimensioni dell'oggetto in movimento che inducono la formazione di vortici nel fluido stesso. Finché le velocità sono ridotte, il flusso dell'aria intorno alla pala è laminare e la



forza di attrito viscoso tra corpo in movimento e aria cresce in modo direttamente proporzionale alla sua velocità. Nella trattazione si trascura l'effetto portante del vento sulla traiettoria della pala distaccata in quanto eventuali forzanti generate dal vento, considerata la condizione normale di funzionamento dell'aerogeneratore, per la quale l'asse del rotore è costantemente allineato con la direzione del vento, devierebbero la traiettoria fuori dal piano ipotizzato del moto, riducendone la gittata massima.

## 2.4 FORMULAZIONI

Il seguente metodo di calcolo della gittata è riferito all'aerogeneratore di tipo Siemens Gamesa SG 6.6-170.

### *Equazioni del moto*

Il calcolo della Gittata è effettuato in funzione dell'angolo di inclinazione della pala rispetto all'orizzontale, in senso orario e ponendo l'angolo di 0° tra il 3° e 4° quadrante.

La formula [1] per il calcolo della Gittata Massima (G) per angoli compresi tra 0° e 90° è la seguente:

$$G = \frac{v_{x0}(v_{y0} + \sqrt{v_{y0}^2 + 2 * g * HG})}{g} - X_g$$

dove:  $\alpha$  = Angolo della pala rispetto all'orizzontale (che corrisponde all'angolo tra 91° e 180° dell'angolo velocità)

$$HG = H_{\text{torre}} + Y_g$$

$$Y_g = rg \sin \alpha$$

$rg$  = posizione del baricentro pari ad 1/3 della lunghezza della pala più raggio mozzo

$X_g = rg \cos \alpha$  - posizione del baricentro della pala rispetto all'asse della torre

$$v_{x0} = v_0 \cos (90 - \alpha) = v_0 \sin \alpha$$

$$v_{y0} = v_0 \sin (90 - \alpha) = v_0 \cos \alpha$$

$$v_0 = \omega rg = (2\pi n rg)/60$$

$n$  = numero di giri al minuto del rotore

$g = 9,8 \text{ m/s}^2$  è l'accelerazione di gravità.

Da cui si calcola la Gittata effettiva (Geff) dalla formula:

$$G_{\text{eff}} = G + L_g$$

dove:  $L_g = 2/3 L$

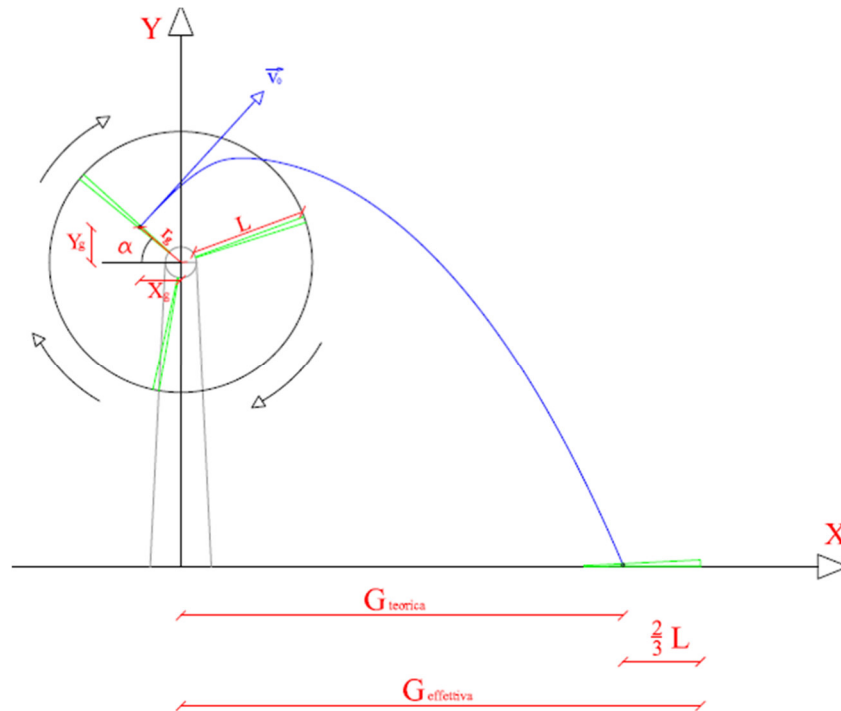


Figura 2.4: Schema della Gittata per angolo compreso tra 0° e 90°.

La formula [2] per il calcolo della Gittata Massima (G) per angoli compresi tra 270° e 260° è la seguente:

$$G = \frac{v_{x0}(v_{y0} + \sqrt{v_{y0}^2 + 2 \cdot g \cdot HG})}{g} + X_g$$

Dove rispetto quanto sopra:  $v_{x0}$  è negativo perché verso sinistra, quindi G sarà negativo (Figura 2.5)

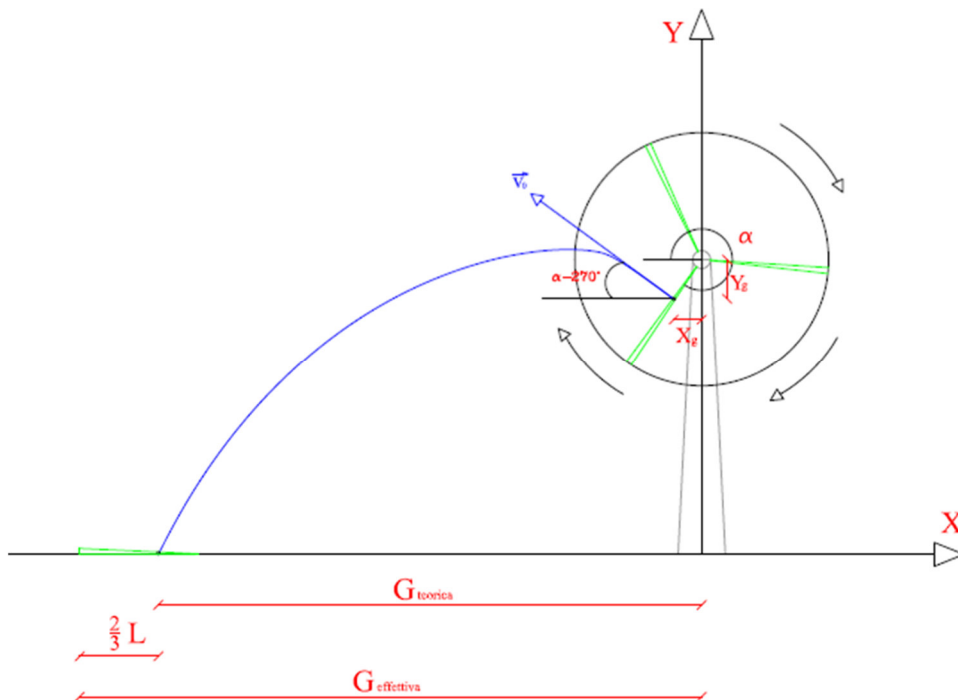


Figura 2.5: Schema della Gittata per angolo compreso tra 270° e 360°.

## 2.5 CASO STUDIO

Di seguito si riporta il calcolo delle gittate per il caso studio relativo ad un aereogeneratore Siemens Gamesa SG 6.6 -170 con altezza mozzo 135m.

In Tabella 2.1 si riportano i principali parametri geometrici riportati dal costruttore e utilizzati per il calcolo della gittata.

Tabella 2.2: Parametri del calcolo della gittata e risultati.

MODELLO SIEMENS GAMESA SG 6.6-170	
ELEMENTO	DIMENSIONE
Lunghezza pala	83,3 [m]
Velocità rotazione massima	8,83 [rpm]
Altezza mozzo	135,0 [m]
Posizione baricentro rispetto al mozzo	28,3 [m]
Diametro del rotore	174,2 [m]

In Tabella 2.2 si riporta la gittata massima calcolata in riferimento alle formule classiche della cinematica, considerando l'ipotesi di moto roto-traslatorio, con rotazione intorno all'asse perpendicolare al piano individuato dal vettore velocità tangenziale (piano ortogonale all'asse del rotore in condizioni di esercizio) e traslazione nello stesso (riferimento le formule [1] e [2] del paragrafo 2.3). Dove si considerano trascurabili le forze viscosi (attrito dell'aria) e si ipotizza il baricentro della pala posizionato ad 1/3 della lunghezza, in prossimità del mozzo.

Tabella 2.3: Risultati del calcolo della gittata

PARAMETRO CALCOLATO	[1] ANGOLI COMPRESI TRA 0° E 90°	[2] ANGOLI COMPRESI TRA 270° E 360°
Angolo $\alpha$	75°	307°
$V_0$	27,43 m/s	27,43 m/s
$V_{x0}$	26,50 m/s	21,91 m/s
$V_{y0}$	7,10 m/s	16,51 m/s
Gittata teorica	166,14 m	165,91 m
Lg	55,53 m	55,53 m
Gittata Effettiva	221,67 m	221,44 m

Va aggiunto che, in termini di sollecitazione, le posizioni più critiche dal punto di vista strutturale assunte dalla pala corrispondono, rispetto al sistema di riferimento, a quelle  $\alpha = 90^\circ$ , quando gli sforzi di flessione sono massimi, e  $\alpha = 180^\circ$ , quando è massimo il contributo gravitazionale:

- gli sforzi di flessione a cui è soggetta la pala sono massimi per  $\alpha = 90^\circ$  e sono trasferiti ai bulloni sotto forma di sforzi di trazione, per i bulloni posti al di sopra dell'asse neutro, e di compressione per quelli al di sotto dell'asse neutro;

- il contributo gravitazionale è massimo per  $\alpha = 180^\circ$  ed è trasferito ai bulloni sotto forma di sforzi di trazione.

Il corretto pretensionamento dei bulloni (in riferimento alle coppie di serraggio definite durante la fase di progettazione e alle normative di riferimento -Direttiva 2006/42/CE del 17 maggio 2006) è requisito fondamentale per garantirne l'integrità della giunzione; in condizioni di massima sollecitazione per i bulloni di serraggio della pala:  $\alpha = 90^\circ$  e  $\alpha = 180^\circ$ , rispettivamente a flessione e trazione, darebbero luogo a valori della gittata massima decisamente più bassa di quella calcolata in Tabella 2.2, come è possibile osservare dalla Figura 2.6.

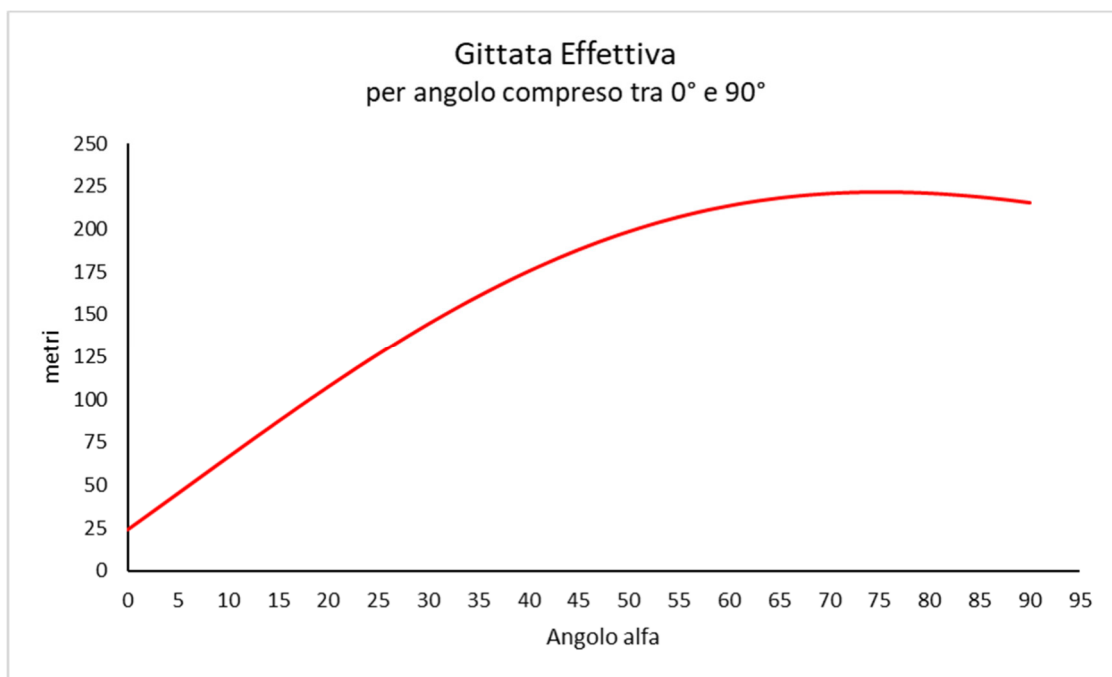


Figura 2.6: Calcolo Gittata Effettiva vs. angolo di distacco [°], si rimanda al paragrafo 3 per la definizione delle traiettorie.

## 2.6 CONSIDERAZIONI FINALI

Dalle valutazioni effettuate, considerate le ipotesi di campo piano (assenza di variazioni altimetriche del campo di installazione) e moto roto-traslatorio con rotazione intorno all'asse perpendicolare al piano individuato dal vettore velocità tangenziale (piano ortogonale all'asse del rotore in condizioni di esercizio) e traslazione nello stesso piano, si evince un valore della gittata massima pari a circa 166 m per un angolo di distacco pari a 75° circa, al quale dovrà aggiungersi la parte più lontana dal baricentro verso l'esterno della pala, 55.3 m, per un valore complessivo precauzionalmente arrotondato in:

$$G_{\text{eff}} = 222 \text{ m}$$

Si evidenzia che, considerato che il verso di rotazione del rotore è sempre orario nel piano (x,z) (ovvero il piano ortogonale all'asse del rotore), la gittata massima si ottiene sempre nel semipiano positivo (xz); tale semipiano, in condizioni di esercizio dell'aerogeneratore, è sempre ortogonale alla direzione del vento, purché questo possieda energia sufficiente a consentire il raggiungimento della velocità massima di rotazione delle pale (schema in figura 2.2)

### 3. APPLICAZIONE DEI RISULTATI ALL'IMPIANTO EOLICO IN OGGETTO

I risultati del calcolo per la Gittata Massima Effettiva vengono analizzati in relazione alla presenza di potenziali recettori presenti nelle aree circostanti gli aerogeneratori in progetto.

Nello specifico studio, si verifica l'assenza di recettori quali edifici/fabbricati di qualsiasi genere e strade comunali, provinciali e statali all'interno di un buffer di 222 m dall'asse degli aerogeneratori stessi (Figura 3.1).

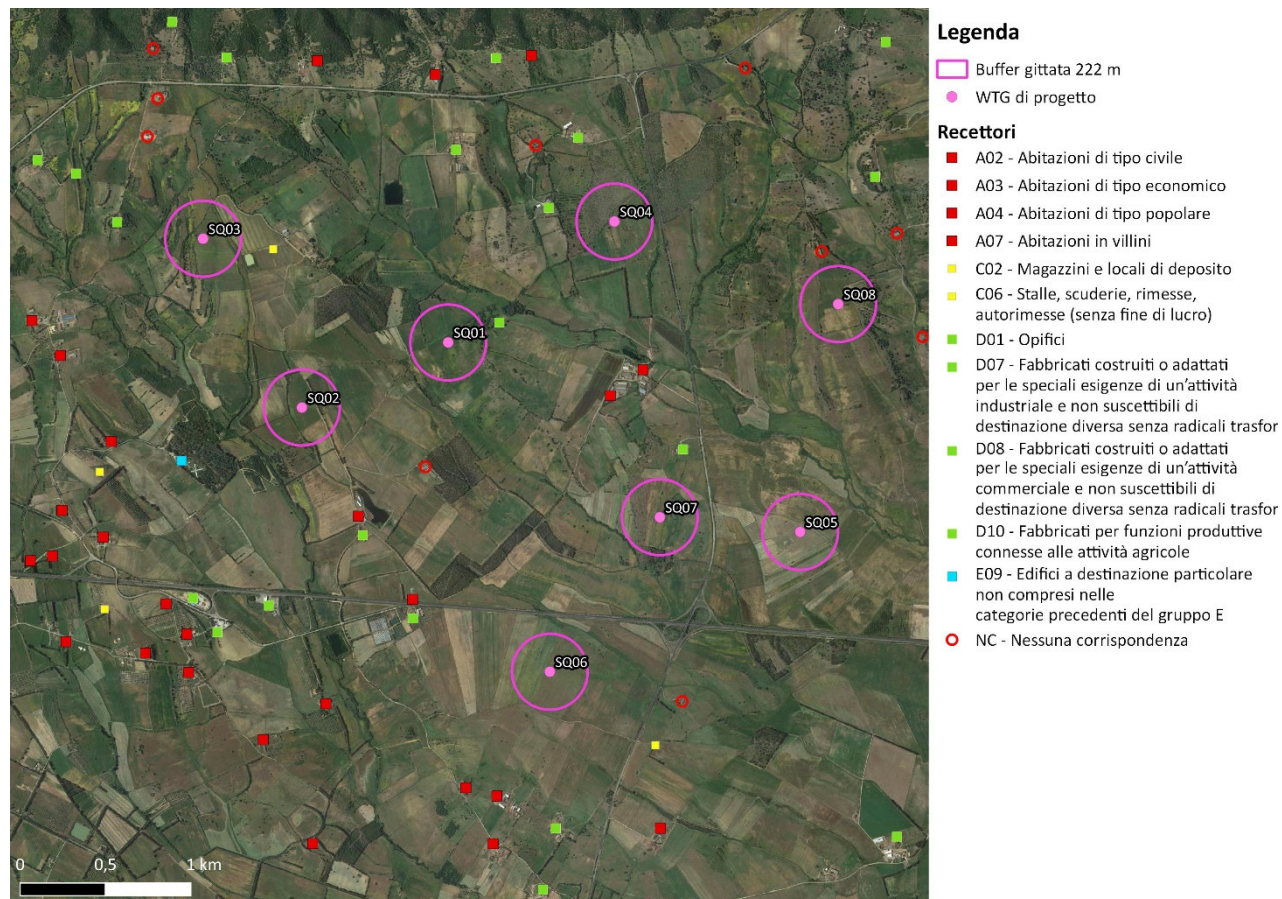


Figura 3.1: Layout di progetto con buffer della gittata massima di distacco di una pala.

Dall'analisi condotta, si evince che all'interno dei buffer non ricade nessun recettore sensibile. Il recettore viabilità più vicino alla gittata massima di distacco è posizionato a circa 302 metri dall'aerogeneratore SQ07; il recettore fabbricato più vicino alla gittata massima di distacco è posizionato a circa 313 metri dall'aerogeneratore SQ08.

Nella tabella sottostante, si riportano le distanze minime tra i recettori suddivisi in due categorie: Fabbricati e Strade ad ampio traffico veicolare quali strade comunali/provinciali /statali.





Tabella 3.1: Verifica di interferenza con i recettori

WTG	COORDINATE UTM – ZONA 32S		ANALISI RECETTORI		
ID	Nord	Est	Gittata effettiva (m)	Distanza minima da Fabbricati (m)	Distanza minima da Viabilità (m)
SQ01	476460,975	4352118,148	222	310	1380
SQ02	475519,259	4351868,586	222	750	1090
SQ03	4749464,878	4352856,618	222	450	890
SQ04	477349,613	4352956,514	222	375	265
SQ05	478437,045	4351135,367	222	807	807
SQ06	476970,970	4350318,257	222	730	730
SQ07	477612,923	4351211,280	222	425	302
SQ08	478659,808	4352473,620	222	313	925



## 4. CONCLUSIONI

Il presente studio sulla gittata massima in caso di rottura, evidenzia che:

- i calcoli effettuati dimostrano che per l'aerogeneratore Modello Siemens Gamesa SG 6.6-170 con altezza mozzo pari a 135 m, alla velocità massima di rotazione a pari a 8,83 rpm<sup>2</sup>, la distanza massima del punto d'impatto del baricentro di una pala distaccatasi dal rotore è circa 222 m;
- all'interno di un buffer di ampiezza pari alla gittata massima (222m) non ricade nessun recettore sensibile. Il recettore viabilità più vicino alla gittata massima di distacco è posizionato a circa 302 metri dall'aerogeneratore SQ07; il recettore fabbricato più vicino alla gittata massima di distacco è posizionato a circa 313 metri dall'aerogeneratore SQ08;
- considerato che il verso di rotazione del rotore è sempre orario nel piano (x,z) (ovvero il piano ortogonale all'asse del rotore), la gittata massima si ottiene sempre nel semipiano positivo (xz); tale semipiano, in condizioni di esercizio dell'aerogeneratore, è sempre ortogonale alla direzione del vento, purché questo possieda energia sufficiente a consentire il raggiungimento della velocità massima di rotazione delle pale;
- la rottura accidentale di un elemento rotante di un aerogeneratore ad asse orizzontale deve essere, in ogni caso, considerato un evento raro, in considerazione della tecnologia costruttiva ed ai materiali impiegati per la realizzazione delle pale stesse. Le pale dei rotori di progetto sono realizzate in fibra di vetro rinforzato con materiali plastici quali il poliestere o le fibre epossidiche. L'utilizzo di questi materiali limita, infatti, sino a quasi ad annullarla, la probabilità di distacco di parti della pala mentre la stessa è in rotazione;
- anche in caso di gravi rotture le fibre che compongono la pala la mantengono, di fatto, unita in un unico pezzo ed i sistemi di controllo dell'aerogeneratore riducono pressoché istantaneamente la velocità di rotazione, eliminando la possibilità che un frammento di pala si stacchi e venga proiettato verso l'alto;
- il sistema navicella-rotore-torre tubolare è protetto dalla fulminazione in accordo alla norma IEC 61400-24 – livello I, ciò esclude che si possano generare distacchi delle pale eoliche prodotti direttamente o indirettamente dalle fulminazioni.

Alla luce delle considerazioni sopra esposte, si può affermare che la realizzazione delle turbine nelle aree individuate all'interno del presente progetto non costituisce pericolo per la pubblica incolumità in caso di distacco di pala dal mozzo del rotore.

---

<sup>2</sup> Dato fornito dal costruttore