

Regione Umbria



Provincia di Perugia



Comune di Foligno

Committente:



**RWE RENEWABLES ITALIA S.R.L.**

via Andrea Doria, 41/G - 00192 Roma

P.IVA/C.F. 06400370968

PEC: rwerenewablesitaliasrl@legalmail.it

Titolo del Progetto:

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DELLA POTENZADI 72 MW  
DENOMINATO "MONTE BURANO" E UBICATO NEL COMUNE DI FOLIGNO (PG)**

Documento:

**PROGETTO DEFINITIVO OPERE CIVILI**

N° Documento:

**PEFO - 09**

ID PROGETTO:	PEFO	DISCIPLINA:		TIPOLOGIA:	R	FORMATO:	
--------------	------	-------------	--	------------	---	----------	--

Elaborato:

**CALCOLO MASSIMA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI**

FOGLIO:		SCALA:		Nome file:	PEFO - 09_CALCULO_MASSIMA_GITTATA		
---------	--	--------	--	------------	-----------------------------------	--	--

**Progettazione:**



EGM PROJECT S.R.L.  
VIA VERRASTRO 15/A  
85100- POTENZA (PZ)  
P.IVA 02094310766  
REA PZ-206983

**Progettista:**

Ing. Carmen Martone  
Iscr. n. 1872  
Ordine Ingegneri Potenza  
C.F. MRTCMN73D56H703E

Geol. Raffaele Nardone  
Iscr. n. 243  
Ordine Geologi Basilicata  
C.F. NRDRFL71H04A509H

Rev:	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato

	<p align="center"><b>Progetto per la realizzazione di un parco eolico della potenza di 72 MW denominato "Monte Burano" situato nel comune di Foligno (PG)</b></p> <p align="center"><b>RELAZIONE DI CALCOLO MASSIMA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI</b></p>	<p align="right">DATA: MARZO 2024 Pag. 1 di 35</p>
---	--	--

## Sommario

1. PREMESSA .....	3
2. DESCRIZIONE GENERALE DEL PROGETTO.....	4
2.1 Iniziativa .....	8
2.2 Attenzione per l'ambiente .....	9
3. TIPOLOGIE DI INCIDENTI .....	9
4. ROTTURA ELEMENTI ROTANTI .....	10
5. FORZE AGENTI SULLA TRAIETTORIA.....	14
6. ROTTURA DELLA PALA ALLA RADICE E CALCOLO GITTATA IN WORST CASE...14	
6.1 Geometria del problema e calcolo della gittata (1° caso).....	18
6.2 Calcolo della gittata massima .....	20
7. CONCLUSIONI.....	27

Figura 1 - Inquadramento area parco eolico su ortofoto .....	5
Figura 2 - Inquadramento area parco eolico su catastale .....	6
Figura 3 - Inquadramento parco eolico su IGM.....	7
Figura 4 - Estremità di pala danneggiata da fulminazione atmosferica .....	13
Figura 5 - Composizione di una pala .....	15
Figura 6 - Disposizione della navicella.....	16
Figura 7 - Dettagli dell'attacco di una pala al mozzo .....	16
Figura 8 - Esempio Aerogeneratore .....	17
Figura 9 - Schema grafico di gittata.....	19
Figura 10 - Punto di Rottura della pala .....	20
Figura 11 - Rappresentazione grafica rottura.....	21
Figura 12 - Verifica gittata massima .....	29
Figura 13 - Parte IV - Paragrafo 16.1 lettera c) .....	32
Figura 14 - Parte IV - Paragrafo 16.1 lettera e).....	33
Figura 15 - Parte IV - Paragrafo 16.1 lettera g).....	34
Tabella 1 - Fogli e particelle aerogeneratori.....	8
Tabella 2 - Caratteristiche principali dell'aerogeneratore previsto nel parco eolico.....	11
Tabella 3 - Gittata con velocità di distacco 27,35 m/s .....	22
Tabella 4 - Valori della gittata con evidenziata quella massima.....	27

	<p align="center"><b>Progetto per la realizzazione di un parco eolico della potenza di 72 MW denominato "Monte Burano" situato nel comune di Foligno (PG)</b></p> <p align="center"><b>RELAZIONE DI CALCOLO MASSIMA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI</b></p>	<p align="right">DATA: MARZO 2024 Pag. 3 di 35</p>
---	--	--

## 1. PREMESSA

Con il Decreto Legislativo 29 dicembre 2003, n. 387, il Parlamento Italiano ha proceduto all'attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità.

Con la nuova normativa introdotta dal D.lgs. 30 giugno 2016, n. 127 (legge Madia), la conferenza dei servizi si potrà svolgere in modalità "Sincrona" o "Asincrona", nei casi previsti dalla legge.

Trattandosi di un impianto eolico onshore di potenza superiore a 30 MW, ai sensi dell'ALLEGATO II alla Parte seconda del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 come s.m.i., l'Autorità competente in materia di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) è il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) e pertanto presso tale Ente verrà avviato l'iter finalizzato al rilascio del parere di compatibilità ambientale.

L'autorizzazione alla costruzione ed esercizio dell'impianto eolico e delle relative opere di connessione alla RTN è comunque assoggettata, previo parere favorevole di compatibilità ambientale, al rilascio di Autorizzazione Unica da parte della Regione Umbria.

Il posizionamento degli aerogeneratori è stato definito e calibrato ai fini del rispetto dei criteri di inserimento territoriale di cui all'Allegato al Decreto Ministeriale 10 settembre 2010 "*Linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili*". Nel caso specifico, l'iter di VIA si configura come un endo-procedimento della procedura di Autorizzazione Unica ai sensi del D.lgs. 29 dicembre 2003. In data 21 luglio 2017 è entrato in vigore il d. lgs. n. 104 del 16 giugno 2017 (pubblicato in G.U. n. 156 del 06/06/2017), il quale ha modificato la disciplina inserita nel D.lgs. n.152/2006 in tema di Valutazione di Impatto ambientale (VIA).

Il provvedimento trae origine da un adeguamento nazionale alla normativa europea prevista dalla Direttiva 2014/52/UE del 16 aprile 2014, la quale ha modificato la Direttiva 2011/92/UE concernente la valutazione dell'impatto ambientale di determinati progetti pubblici e privati. Scopo del provvedimento in esame è quello di rendere più efficiente le procedure amministrative nonché di innalzare il livello di tutela ambientale.

La rottura accidentale di un elemento rotante (la pala) di un aerogeneratore ad asse orizzontale può essere considerato un evento raro, in considerazione della tecnologia costruttiva ed ai materiali impiegati per la realizzazione delle pale stesse.

Tuttavia, al fine della sicurezza, la stima della gittata massima di un elemento rotante assume un'importanza rilevante per la progettazione e l'esercizio di un impianto eolico.

	<p align="center"><b>Progetto per la realizzazione di un parco eolico della potenza di 72 MW denominato "Monte Burano" situato nel comune di Foligno (PG)</b></p> <p align="center"><b>RELAZIONE DI CALCOLO MASSIMA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI</b></p>	<p align="right">DATA: MARZO 2024 Pag. 4 di 35</p>
---	--	--

In linea con l'orientamento mondiale, la società RWE S.r.l. intende realizzare, in aree agricole del Comune di Foligno (PG), un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica (nel seguito "impianto eolico") costituito da n. 10 aerogeneratori tripala ad asse orizzontale di marca Siemens-Gamesa o similare, modello SG170-7.2 MW ciascuno della potenza di 7,2 MW, per una potenza complessiva di 72,00 MW.

Ai fini della connessione dell'impianto eolico alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN), previa apposita richiesta inoltrata a TERNA S.p.A., la Proponente riceveva la Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) identificata dal Codice Pratica n. 66548 e riportata nell'ALLEGATO A1 alla Comunicazione prot. n. P20230066548 ricevuta a mezzo PEC del 26/06/2023, la quale prevede che l'impianto venga collegato in antenna a 132 kV su una nuova Stazione Elettrica (SE) di smistamento a 132 kV della RTN da inserire in entra-esce sulla linea 132 kV "Bastardo-Cappuccini".

Il parco in progetto sarà costituito da 10 aerogeneratori e relative opere accessorie, ovvero la realizzazione della viabilità di accesso al parco, ove non esistente e/o non idonea al trasporto dei componenti delle torri, la posa del cavidotto interno di collegamento tra gli aerogeneratori, la posa del cavidotto di collegamento tra il parco eolico e la nuova cabina di Terna che permetterà l'immissione dell'energia elettrica prodotta alla dorsale nazionale. Il progetto è finalizzato alla produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, in linea con la Strategia Energetica Nazionale (SEN).

## 2. DESCRIZIONE GENERALE DEL PROGETTO

Il sito oggetto dello studio ricade in provincia di Perugia (PG), nel Comune di Foligno (PG).

Il parco eolico è composto da 10 aerogeneratori tutti rientranti nell'agro del Comune di Foligno (PG), mentre il cavidotto per il collegamento dell'impianto alla sottostazione, si estende anche nel territorio del comune di Foligno, ove, è ubicata la SSE lato utente in cui è previsto la realizzazione della stessa. Tutti i terreni su cui saranno installati gli aerogeneratori e realizzate le infrastrutture necessarie, risultano di proprietà privata e corrispondono a terreni ad uso prevalentemente agricolo e pascolivo. Gli aerogeneratori TO08, TO09 e TO10, invece, ricadono su terreni unicamente ad uso pascolo.

Entrambe le cabine di raccolta e smistamento occupano una frazione di superficie su particelle censite al catasto come frazionate in "Seminativo", "Pascolo arboreo" e "Pascolo".

Infine, la sottostazione elettrica lato utente è su una particella con qualità a seminativo e uliveto, ma non avrà nessun'interferenza con l'uliveto attualmente presente, come ben visibile da sopralluoghi e da ortofoto.

Le turbine saranno posizionate lungo la direzione prevalente del vento ossia NE-SW.

Per effettuare una localizzazione univoca dei terreni sui quali insiste il parco eolico, di seguito si riportano le cartografie riguardanti:

- sovrapposizione del campo eolico su ortofoto (figura 1);
- sovrapposizione del campo eolico su catastale (figura 2);
- sovrapposizione del campo eolico su IGM (figura 3).

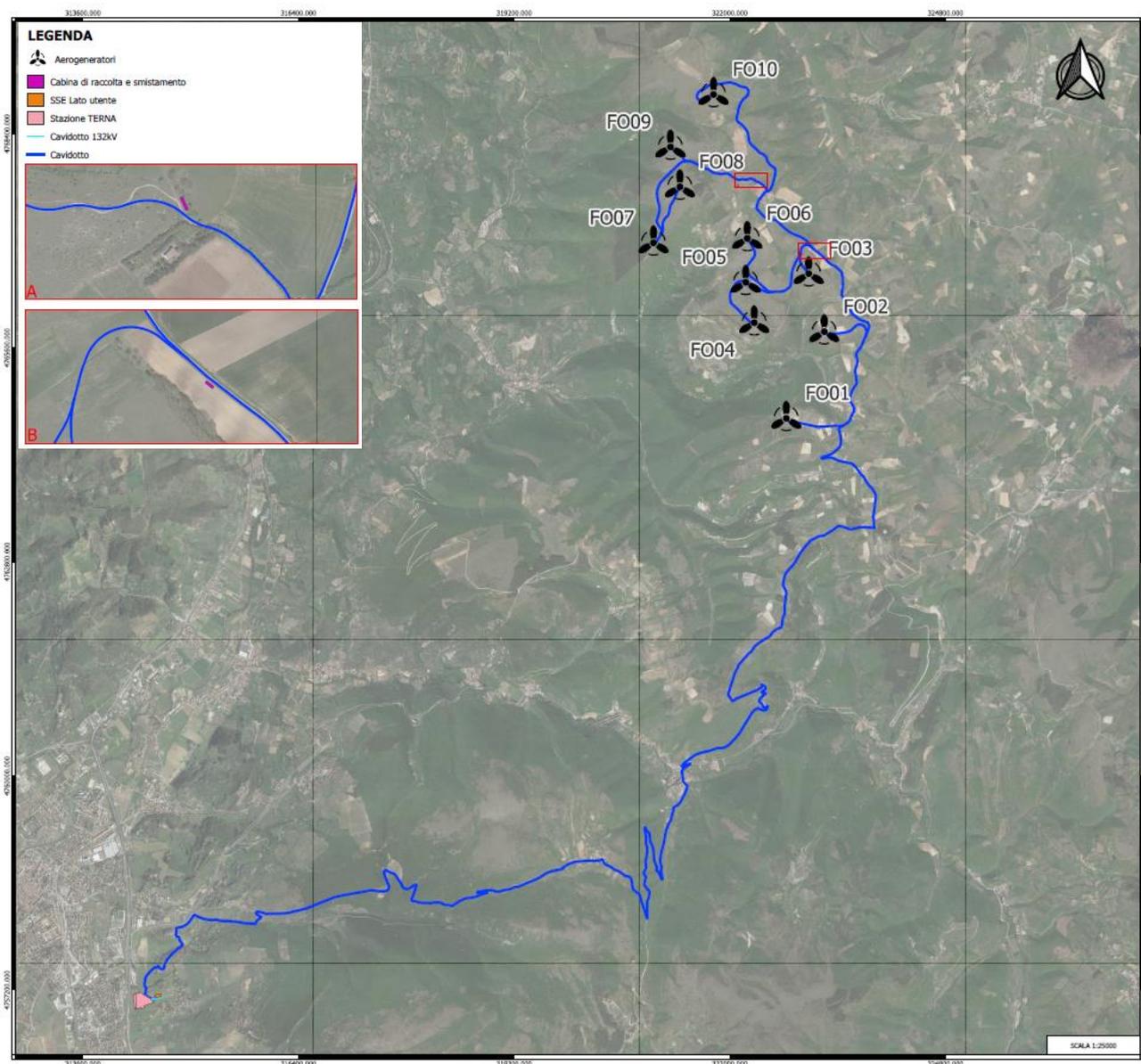
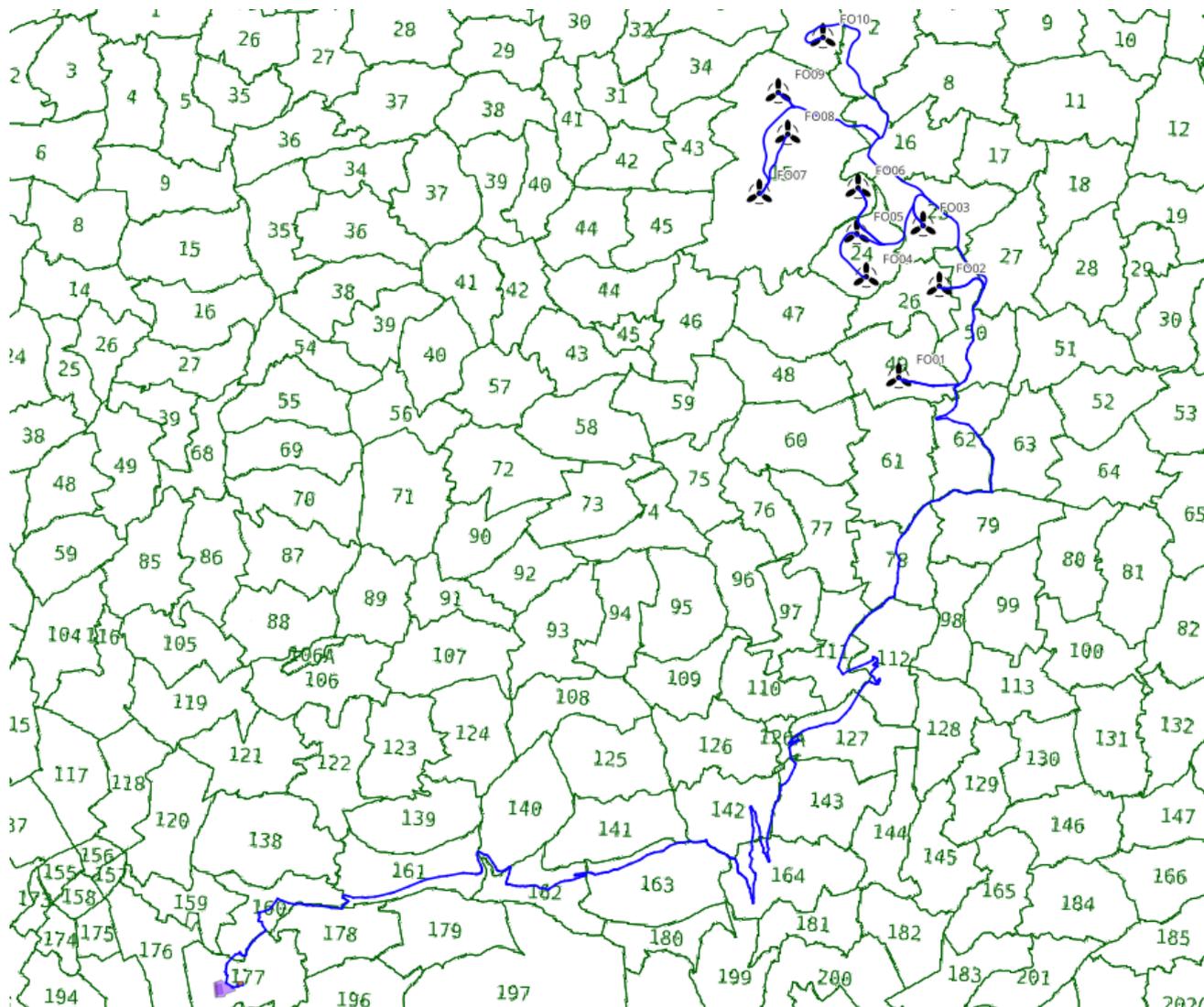


Figura 1 - Inquadramento area parco eolico su ortofoto

**RELAZIONE DI CALCOLO MASSIMA GITTATA DEGLI ELEMENTI  
ROTANTI**



*Figura 2 - Inquadramento area parco eolico su catastale*

**RELAZIONE DI CALCOLO MASSIMA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI**

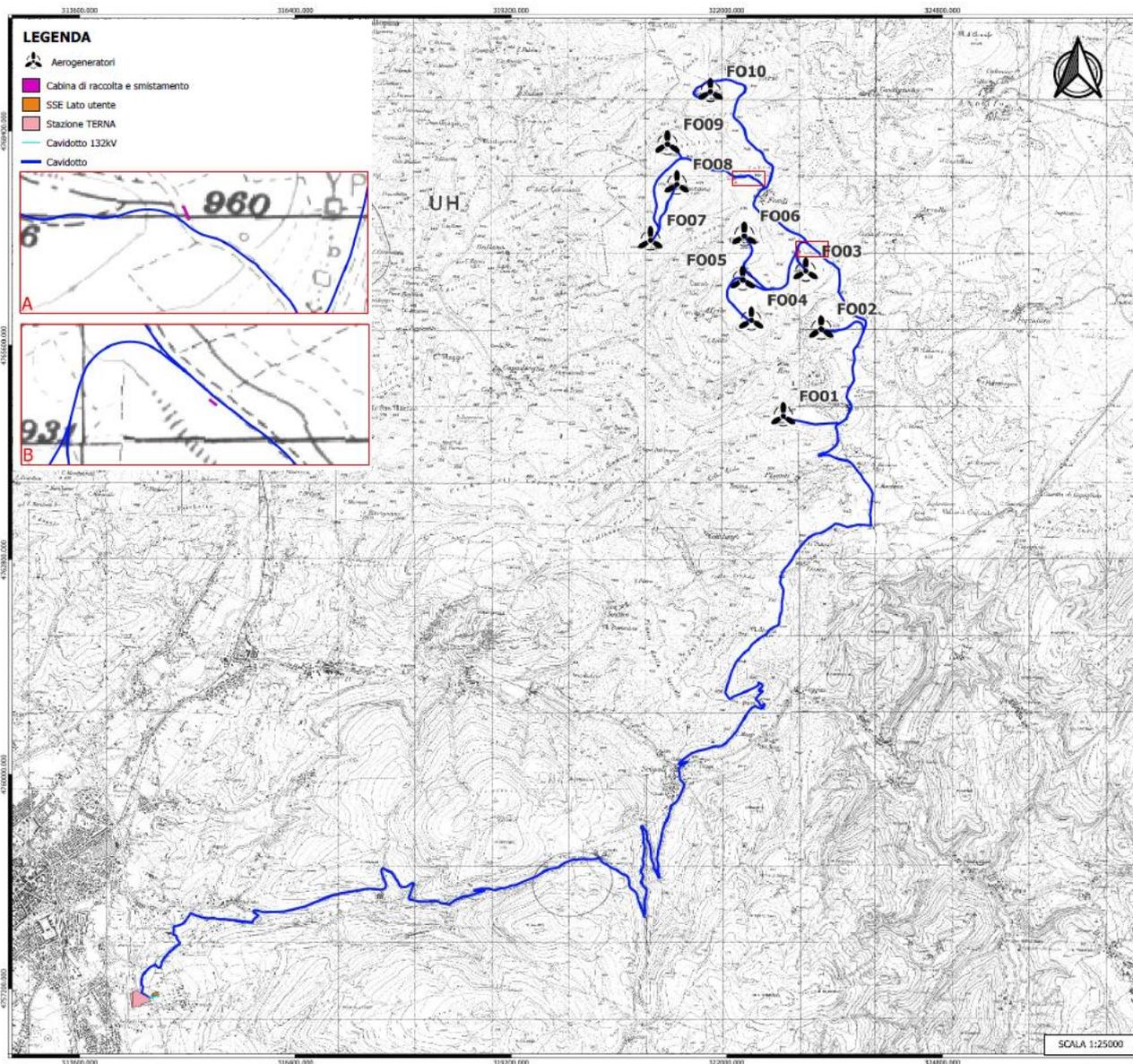


Figura 3 - Inquadramento parco eolico su IGM

Il parco eolico per la produzione di energia elettrica oggetto di studio avrà le seguenti caratteristiche:

- potenza installata totale: 72 MW;
- potenza della singola turbina: 7,2 MW;
- n. 10 turbine;
- n. 2 cabina di raccolta e smistamento;
- n.1 SSE lato utente di trasformazione;
- n.1 Nuova Stazione elettrica di smistamento della RTN;

	<p align="center"><b>Progetto per la realizzazione di un parco eolico della potenza di 72 MW denominato "Monte Burano" situato nel comune di Foligno (PG)</b></p> <p align="center"><b>RELAZIONE DI CALCOLO MASSIMA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI</b></p>	<p align="right">DATA: MARZO 2024 Pag. 8 di 35</p>
---	--	--

I fogli e le particelle interessati dall'installazione dei nuovi aerogeneratori sono sintetizzati nella Tabella seguente.

Aerogeneratore	Foglio	Particella
F01	49	336
F02	26	37
F03	25	68
F04	24	5
F05	24	5
F06	15	73
F07	15	41
F08	15	27
F09	15	27
F10	1	105

*Tabella 1 – Fogli e particelle aerogeneratori*

## 2.1 Iniziativa

Con la realizzazione dell'impianto, denominato "Monte Burano", si intende conseguire un significativo risparmio energetico, mediante il ricorso alla fonte energetica rinnovabile rappresentata dal vento, tale tecnologia nasce dall'esigenza di coniugare:

- ✓ la compatibilità con esigenze paesaggistiche e di tutela ambientale;
- ✓ nessun inquinamento acustico;
- ✓ un risparmio di combustibile fossile;
- ✓ una produzione di energia elettrica senza emissioni di sostanze inquinanti.

Il progetto mira a contribuire al soddisfacimento delle esigenze di "Energia Verde" e allo "Sviluppo Sostenibile" invocate dal Protocollo di Kyoto, dalla Conferenza sul clima e l'ambiente di Copenaghen 2009 e dalla Conferenza sul clima di Parigi del 2015.

	<p align="center"><b>Progetto per la realizzazione di un parco eolico della potenza di 72 MW denominato "Monte Burano" situato nel comune di Foligno (PG)</b></p> <p align="center"><b>RELAZIONE DI CALCOLO MASSIMA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI</b></p>	<p align="right">DATA: MARZO 2024 Pag. 9 di 35</p>
---	--	--

## 2.2 Attenzione per l'ambiente

Ad oggi, la produzione di energia elettrica è per la quasi totalità proveniente da impianti termoelettrici che utilizzano combustibili sostanzialmente di origine fossile.

L'Italia non possiede riserve significative di fonti fossili, ma da esse ricava circa il 90% dell'energia che consuma, con una rilevante dipendenza dall'estero. I costi della bolletta energetica, già alti, per l'aumento della domanda internazionale rischiano di diventare insostenibili per la nostra economia con le sanzioni previste in caso di mancato rispetto degli impegni di Kyoto, Copenaghen e Parigi.

La transizione verso un mix di fonti di energia e con un peso sempre maggiore di rinnovabili è, pertanto, strategica per un Paese come il nostro dove, tuttavia, le risorse idrauliche e geotermiche sono già sfruttate appieno.

Negli ultimi 10 anni grazie agli incentivi sulle fonti rinnovabili lo sviluppo delle energie verdi nel nostro paese ha subito un notevole incremento soprattutto nel fotovoltaico e nell'eolico, portando l'Italia tra i paesi più sviluppati dal punto di vista dell'innovazione energetica e ambientale.

La conclusione di detti incentivi ha frenato lo sviluppo soprattutto dell'eolico, creando notevoli problemi all'economia del settore.

La società proponente RWE S.r.l. con sede a Roma in via Andrea Doria, 41/G, si pone come obiettivo di attuare la "grid parity" nell'eolico, grazie all'installazione di impianti di elevata potenza, nuovi aerogeneratori, che abbattano i costi fissi e rendono l'energia prodotta dell'eolico conveniente e sullo stesso livello delle energie prodotte dalle fonti fossili.

## 3. TIPOLOGIE DI INCIDENTI

La presenza e l'esercizio di un parco eolico, come di qualunque altra attività di produzione industriale, sono inevitabilmente connessi alla probabilità di rischi per le persone o le cose che si trovano nelle sue immediate vicinanze.

Lo scopo sarebbe quello di ridurre i danni, causati da incidenti derivanti da tali installazioni, sino ad un rischio residuale non eliminabile o che si possa considerare accettabile.

Nelle considerazioni entrerebbero sostanzialmente, se non esclusivamente, i requisiti di sicurezza che l'impianto deve assicurare in tutte le fasi della propria vita.

Per raggiungere tale scopo bisogna prima individuare le cause che potrebbero innescare eventuali incidenti.

	<p align="center"><b>Progetto per la realizzazione di un parco eolico della potenza di 72 MW denominato "Monte Burano" situato nel comune di Foligno (PG)</b></p> <p align="center"><b>RELAZIONE DI CALCOLO MASSIMA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI</b></p>	<p align="right">DATA: MARZO 2024 Pag. 10 di 35</p>
---	--	---

Come ampiamente descritto dagli studi di settore, nel caso di un impianto eolico le cause che influiscono maggiormente sulla probabilità di incidenti sono imputabili ad eventi naturali di straordinaria entità, più raramente ad errore umano, quindi bisogna contestualizzare l'analisi alle peculiarità meteorologiche della zona di impianto.

Individuate le possibili cause e limitando l'analisi alle tipologie di incidenti legati puramente alla fase di esercizio dell'impianto, più che a quelli legati alla fase costruttiva o di dismissione che verranno trattati in specifici documenti in fase esecutiva, si può affermare che la tipologia di incidente di nostro interesse è la rottura degli elementi rotanti come distacco di un'intera pala.

La perdita di integrità strutturale per rotture (di pale, di torre, etc.) in un aerogeneratore può essere ingenerata da:

- carenze interne alla macchina per mancato od insufficiente controllo o regolazione dei regimi di funzionamento del rotore durante temporali o tempeste di vento più o meno vigorose; -
- eventi esterni, come fulminazioni o eccessivi carichi eolici, che sempre si manifestano in concomitanza con condizioni meteorologiche complesse o molto forti o, addirittura, eccezionali, pur con i sistemi di controllo e di sicurezza dell'unità perfettamente operativi.

## 4. ROTTURA ELEMENTI ROTANTI

La seguente analisi scaturisce dai potenziali rischi dovuti alla presenza di componenti di grandi dimensioni in movimento e consiste nello stimare la distanza dall'aerogeneratore all'interno della quale, in presenza di un'eventuale rottura dell'organo rotante della torre eolica, un distacco con lancio di una pala possa rappresentare un rischio.

Queste possono essere strappate dalla loro sede e lanciate con una quantità di moto abbastanza elevata da raggiungere distanze abbastanza importanti.

La traiettoria dipende dall'energia cinetica iniziale al momento del rilascio, dalle condizioni anemologiche, dalle proprietà aerodinamiche dell'elemento e dal punto della circonferenza di rotazione da cui si stacca, oltre dall'altezza della torre e dalla potenza della macchina eolica.

Nella trattazione che segue si adopereranno delle semplificazioni come, per esempio, considerare all'interno del calcolo il contributo degli effetti gravitazionali ed escludere, invece, i contributi aerodinamici.

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

	<p align="center"><b>Progetto per la realizzazione di un parco eolico della potenza di 72 MW denominato "Monte Burano" situato nel comune di Foligno (PG)</b></p> <p align="center"><b>RELAZIONE DI CALCOLO MASSIMA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI</b></p>	<p align="right">DATA: MARZO 2024 Pag. 11 di 35</p>
---	--	---

dover fissare le condizioni di vento all’atto della rottura, alla 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 varrà tenuto conto della presenza dell’aria che genera comunque delle forze di resistenza viscosi che agendo sulla superficie della pala ne riducono, di conseguenza, tempo di volo e distanza. Inoltre, queste ipotesi risultano conservative considerando che in letteratura si registra, a causa degli effetti di attrito, una diminuzione del tempo di volo anche del 20% (“Blade throw calculation under normal operating conditions” VESTAS AS Denmark July 2001), ponendoci in una situazione di maggiore sicurezza.

Le pale di un aerogeneratore sono fissate al mozzo e vi è un sistema di controllo che ne modifica costantemente l’orientamento rispetto alla direzione del vento, per offrire allo stesso sempre il medesimo profilo alare garantendo, indipendentemente dalla direzione del vento, un verso orario di rotazione.

L’aerogeneratore previsto per la realizzazione del parco eolico è la turbina da 7,2 MW della Siemens-Gamesa (SG 7,2-170 -MOD 7,2 MW) o similare.

Nella tabella che segue sono sintetizzate le principali caratteristiche dell’aerogeneratore previsto nel parco eolico.

Altezza al Mozzo	115 m
Diametro Rotore	170 m
Lunghezza singola Pala	85 m
Superficie del rotore	22,698 mq
Numero Pale	3
Velocità di Rotazione Max a regime del Rotore	9.22 rpm
Potenza Nominale Turbina	7200 kW
Cut-Out	25 m/s
Cut-in	3 m/s

*Tabella 2 – Caratteristiche principali dell’aerogeneratore previsto nel parco eolico*

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.

	<p align="center"><b>Progetto per la realizzazione di un parco eolico della potenza di 72 MW denominato "Monte Burano" situato nel comune di Foligno (PG)</b></p> <p align="center"><b>RELAZIONE DI CALCOLO MASSIMA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI</b></p>	<p align="right">DATA: MARZO 2024 Pag. 12 di 35</p>
---	--	---

Per minimizzare tale forza, la pala è costruita in materiale leggero; normalmente si utilizzano materiali compositi che sfruttano le caratteristiche meccaniche così da far fronte ai carichi aerodinamici imposti. Le modalità di rottura che potrebbe verificarsi sono del tipo “Rottura alla Radice”.

Il rischio è considerato in questo contesto come combinazione di due fattori:

- ✓ la probabilità che possa accadere un determinato evento;
- ✓ la probabilità che tale evento abbia conseguenze sfavorevoli.

Durante il funzionamento dell’impianto, il più grande rischio è dovuto alla caduta di oggetti dall’alto, queste cadute possono essere dovute:

- ✓ pezzi di ghiaccio formatisi sulla pala;
- ✓ rottura accidentale di pezzi meccanici in rotazione.

Per ciò che concerne la prima tipologia di evento, vista la latitudine dell’area di progetto e le caratteristiche climatiche, la sua probabilità si può considerare trascurabile.

Per ciò che riguarda la seconda tipologia è bene evidenziare che:

- il collegamento rigido tra le pale ed il mozzo limita sino a quasi ad annullare il rischio di distacco di una pala;
- le pale dei rotori di progetto sono realizzate in fibra di vetro e carbonio rinforzato con materiali plastici quali il poliestere o le fibre epossidiche: l’utilizzo di questi materiali limita sino a quasi ad annullare la probabilità di distacco di parti meccaniche in rotazione: anche in caso di gravi rotture le fibre che compongono la pala la mantengono di fatto unita in un unico pezzo (seppure gravemente danneggiato);
- gli aerogeneratori sono dotati di un sistema di supervisione e controllo pale. Il sistema di controllo è basato su un sistema multiprocessore, che gestisce automaticamente tutte le funzioni della turbina come l’avvio, l’arresto, la produzione, la disponibilità dei sottosistemi.
- Questo sistema consente anche il controllo a distanza dell’aerogeneratore. Il sistema di protezione è un sistema cablato completamente autonomo, capace di arrestare la turbina in qualunque situazione di emergenza, escludendo danni al sistema e mantenendo i carichi al di sotto dei limiti di progetto;
- gli aerogeneratori di grande taglia del tipo previsto in progetto, in considerazione anche del loro elevato valore commerciale, sono oggetto di programmi di manutenzione molto accurati che per

quanto riguarda le pale è atto a verificare l'esistenza di piccole fratture, di cui se accertata la pericolosità determinano interventi di manutenzione ordinaria (riparazioni) o straordinaria (sostituzione del pezzo);

La statistica riporta fra le maggiori cause di danno quelle prodotte direttamente o indirettamente dalle fulminazioni. Proprio per questo motivo il sistema navicella-rotore-torre tubolare sarà protetto con parafulmini. In conformità a quanto previsto dalla norma CEI 81-1 la classe di protezione sarà quella più alta (Classe I). In termini probabilistici ciò significa un livello di protezione del 98% (il 2% di probabilità che a fulminazione avvenuta si abbiano danni al sistema).

Pertanto può affermarsi che la probabilità che si produca un danno al sistema con successivi incidenti è molto limitata se non addirittura nulla.

In qualche caso, in cui la corrente di fulmine ha presumibilmente ecceduto i limiti progettuali (fissati dalle norme internazionali) si può manifestare un danneggiamento all'estremità di pala che si apre per la separazione dei due gusci, ma che, normalmente, non si distacca dal corpo della pala.

Eventuali residui o frammenti di guscio dovuti ad un evento ceraunico hanno dimensioni e pesi così esigui da non permettere valutazioni circa eventuali traiettorie e gittate.

Queste sono comunque determinate quasi esclusivamente dal trasporto degli stessi ad opera del vento.



*Figura 4 - Estremità di pala danneggiata da fulminazione atmosferica*

	<p align="center"><b>Progetto per la realizzazione di un parco eolico della potenza di 72 MW denominato "Monte Burano" situato nel comune di Foligno (PG)</b></p> <p align="center"><b>RELAZIONE DI CALCOLO MASSIMA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI</b></p>	<p align="right">DATA: MARZO 2024 Pag. 14 di 35</p>
---	--	---

## 5. FORZE AGENTI SULLA TRAIETTORIA

La determinazione delle forze e dei momenti agenti sulla pala a causa di una rottura istantanea durante il moto rotazionale, come detto precedentemente, è molto complessa.

La traiettoria iniziale è determinata principalmente dall'angolo di lancio e dalle forze generalizzate inerziali agenti sulla pala.

La pala, quindi, quando inizierà il suo moto continuerà a ruotare (conservazione della quantità di moto).

L'unica forza inerziale agente in questo caso è la forza di gravità.

La durata del volo considerato è determinata considerando la velocità verticale 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.

Non prendendo in considerazione le caratteristiche aerodinamiche proprie della pala, la gittata maggiore si avrebbe nel caso di distacco in corrispondenza della posizione a 45 gradi e di moto "a giavellotto" del frammento.

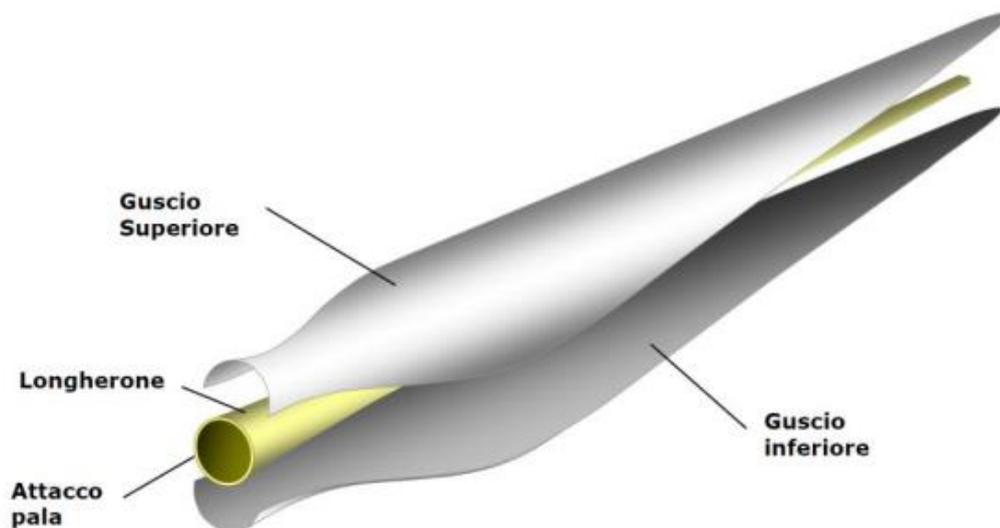
Nella realtà la pala ha una complessità aerodinamica tale per cui il verificarsi di queste condizioni è praticamente impossibile: le forze di resistenza viscosa, le azioni del vento ed il moto di rotazione complesso dovuto al profilo aerodinamico della pala, si oppongono al moto riducendone tempo e distanza di volo.

## 6. ROTTURA DELLA PALA ALLA RADICE E CALCOLO GITTATA IN WORST CASE

Questo tipo di incidente, che comporta il distacco di una pala completa dal rotore dell'aerogeneratore, può essere determinato dalla rottura della giunzione bullonata fra la pala ed in mozzo.

Le pale sono costituite da una parte strutturale (longherone) posizionata all'interno della pala e da una parte esterna (gusci) che ha sostanzialmente compiti di forma.

Le tre parti, il longherone e i due gusci, sono uniti fra loro mediante incollaggio e, alla fine del processo produttivo, costituiscono un corpo unico.



*Figura 5 - Composizione di una pala*

Il longherone è dotato di attacchi filettati che consentono di collegarlo al mozzo con bulloni (prigionieri) serrati opportunamente durante l'installazione della turbina.

Il precarico conferito ai prigionieri durante il serraggio ha un'influenza determinante sulla resistenza dei prigionieri stessi ai carichi di fatica, per questo motivo è previsto un controllo di tale serraggio durante le operazioni di manutenzione programmata della turbina.

L'errata verifica del serraggio ed una plausibile riduzione del precarico possono determinare la rottura per fatica dei bulloni e al distacco della pala.

**RELAZIONE DI CALCOLO MASSIMA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI**

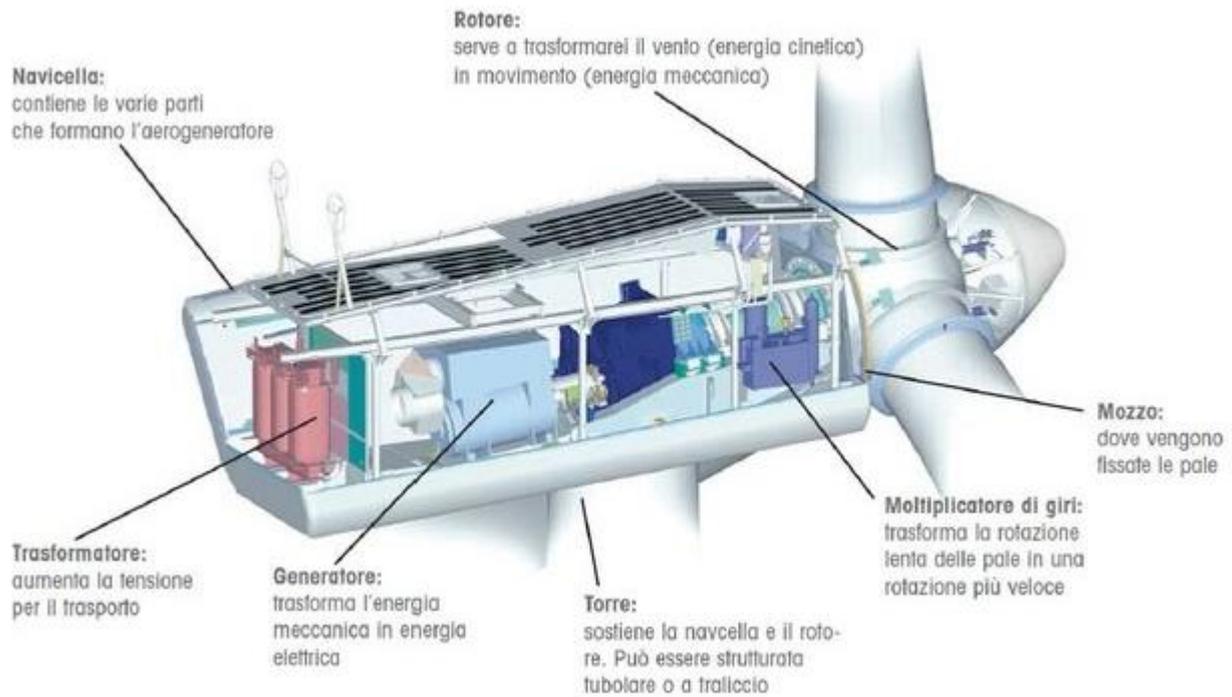


Figura 6 - Disposizione della navicella

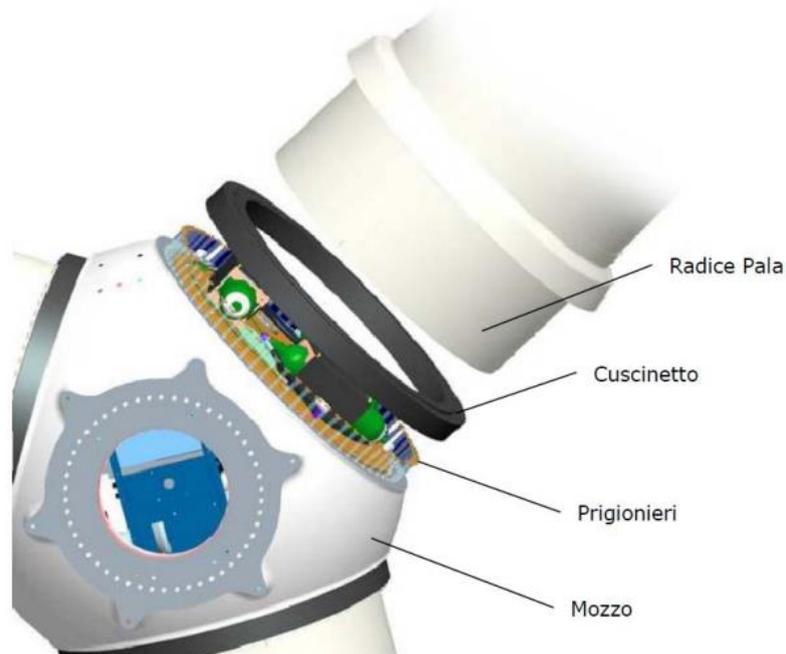


Figura 7 - Dettagli dell'attacco di una pala al mozzo

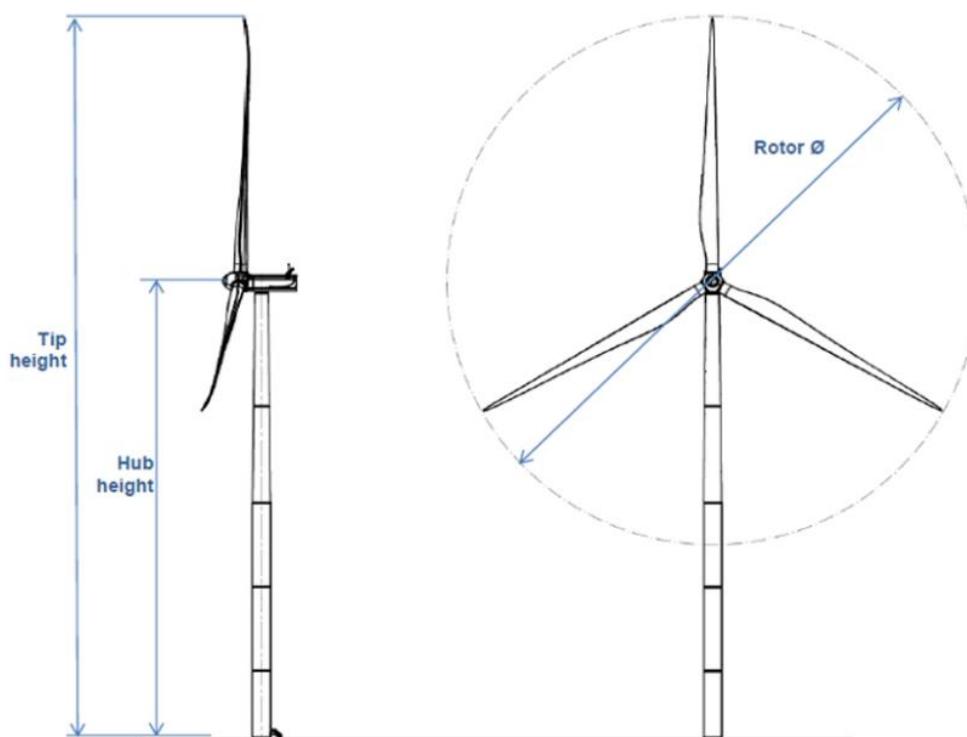


Figura 8 - Esempio Aerogeneratore

La tecnologia costruttiva degli aerogeneratori è alquanto sofisticata e di chiara derivazione aeronautica, per cui, la valutazione della gittata massima degli elementi di un aerogeneratore, in caso di rottura accidentale, comporta lo sviluppo di modelli di calcolo articolati e complessi.

I modelli teorici che meglio possono caratterizzare il moto nello spazio dei frammenti di pala o dell'intera pala possono essere ricondotti ai casi seguenti:

1. Primo caso: traiettoria a giavellotto con minore resistenza aerodinamica;  
Calcolo della gittata massima del generico frammento di ala, in assenza di moto rotazionale intorno ad un asse qualsiasi, con traiettoria del frammento complanare al rotore.
2. Secondo caso: traiettoria a giavellotto con maggiore resistenza aerodinamica;  
Calcolo della gittata massima del generico frammento di ala, sempre in assenza di moto rotazionale, intorno ad un asse qualsiasi, con traiettoria complanare al rotore e frammento ortogonale rispetto al piano del rotore.
3. Terzo caso: calcolo della gittata massima in presenza di moti di rotazione intorno a ciascuno dei tre assi principali del frammento stesso. In caso di rottura, infatti, per il principio di conservazione del momento angolare, il generico spezzone di pala tende a ruotare intorno all'asse ortogonale al

	<p align="center"><b>Progetto per la realizzazione di un parco eolico della potenza di 72 MW denominato "Monte Burano" situato nel comune di Foligno (PG)</b></p> <p align="center"><b>RELAZIONE DI CALCOLO MASSIMA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI</b></p>	<p align="right">DATA: MARZO 2024 Pag. 18 di 35</p>
---	--	---

proprio piano; inoltre, a causa delle diverse pressioni cinetiche esercitate dal vento, lo spezzone di pala tende anche a ruotare intorno a ciascuno dei due assi principali appartenenti al proprio piano.

Le condizioni prese in considerazione nel 3° caso, permettono senza dubbio un calcolo più preciso e maggiormente corrispondente al reale moto di una pala staccatasi dal rotore per cause accidentali e forniscono, sperimentalmente, un valore di gittata di circa il 20% in meno di quella fornita dal caso 1. Come già accennato precedentemente, la risoluzione del 3° caso è però più complessa e richiede la conoscenza di alcune caratteristiche degli aerogeneratori, non sempre fornite dai produttori, poiché oggetto di brevetto. Pertanto si è deciso di utilizzare il 1° caso, di facile soluzione e che fornisce un risultato maggiorato di circa il 20%, garantendo così un ulteriore margine di sicurezza.

### 6.1 Geometria del problema e calcolo della gittata (1° caso)

Le equazioni del moto di un punto materiale soggetto solo alla forza di gravità sono:

$$\begin{aligned}\ddot{x} &= 0 \\ \ddot{y} &= -g\end{aligned}$$

Dove  $g=9.82 \text{ m/s}^2$  è l'accelerazione di gravità. La legge del moto che costituisce soluzione di queste equazioni è:

$$\begin{aligned}x(t) &= x_0 + v_x t \\ y(t) &= y_0 + v_y t - \frac{1}{2}gt^2\end{aligned}$$

Dove  $(x_0, v_0)$  è la posizione iniziale del punto materiale, e  $(v_x, v_y)$  è la sua velocità. La traiettoria del punto materiale intercetta il suolo al tempo  $T$  tale che  $y(T)=0$ . Dalla legge del moto si ottiene:

$$T = \frac{v_y}{g} + \frac{1}{g}\sqrt{v_y^2 + 2y_0g}$$

In cui è stata scartata la soluzione corrispondente a tempi negativi.

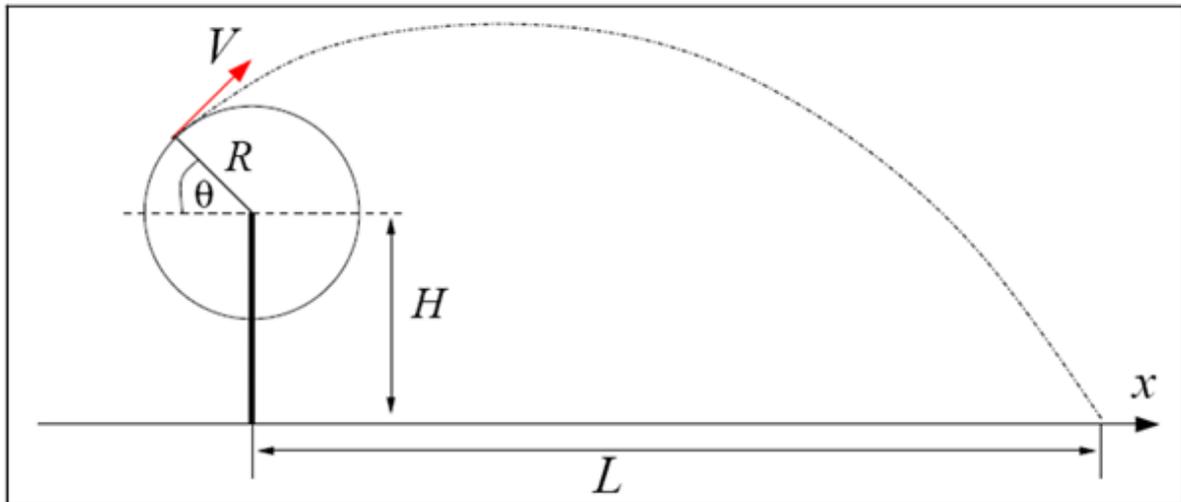


Figura 9 - Schema grafico di gittata

La posizione e la velocità iniziale sono determinate dall'angolo  $\theta$  e dalla velocità iniziale  $V$  del frammento di pala al momento del distacco.

Esse sono legate alla posizione ed alla velocità iniziale dalle relazioni:

$$\begin{aligned} x_0 &= -R \cos(\theta) \\ y_0 &= H + R \sin(\theta) \\ v_x &= V \sin(\theta) \\ v_y &= V \cos(\theta) \end{aligned}$$

La gittata  $L$  è la distanza dal palo del punto di impatto al suolo del frammento di pala. Dalla legge del moto si ottiene:

$$L = x(T)$$

Sostituendo l'espressione per  $T$  ricavato sopra, si ricava la gittata  $L$  in funzione di  $V$  e di  $\theta$ :

$$L = \frac{V \sin(\theta)}{g} \left[ V \cos(\theta) + \sqrt{V^2 \cos^2(\theta) + 2(H + R \sin(\theta))g} \right] - R \cos(\theta)$$

Si noti che, fissato un generico angolo  $\theta$ , la gittata aumenta quadraticamente con  $V$ , salvo i casi particolari  $\theta = \pm 90^\circ, 0^\circ, 180^\circ$ , nei quali quest'ultima aumenta linearmente con  $V$  oppure è pari ad  $R$ .

La massima gittata si avrà per  $\theta = 45^\circ$  e non quando il proiettile parte parallelamente al suolo.

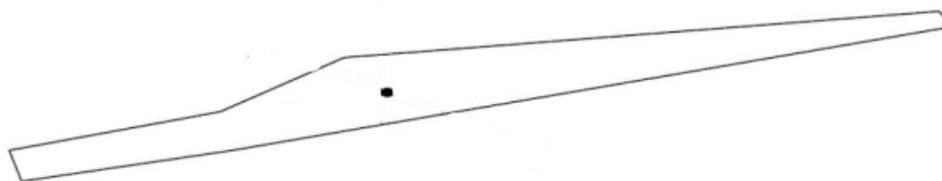
## 6.2 Calcolo della gittata massima

Come già precedentemente indicato, il calcolo della gittata massima richiede la conoscenza dei valori H (altezza del mozzo), R (distanza dal mozzo del baricentro del frammento staccatosi dal rotore) e V (velocità di distacco del frammento di pala).

I valori di H ed R sono rispettivamente H=115m e Lunghezza della pala=m e per il calcolo della velocità di distacco del frammento di pala si ricorre alla seguente formula:

$$V = \frac{2 \times \pi \times R \times rpm}{60}$$

Il massimo numero di giri per minuto che l'aerogeneratore compie è pari 9,22 giri/min quindi supponendo che la rottura della pala avvenga vicino al mozzo e considerando R=28,33 m (lunghezza pala/3), si ottiene una velocità di distacco di circa 27,35 m/s nel baricentro della pala.



*Figura 10 - Punto di Rottura della pala*

**RELAZIONE DI CALCOLO MASSIMA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI**

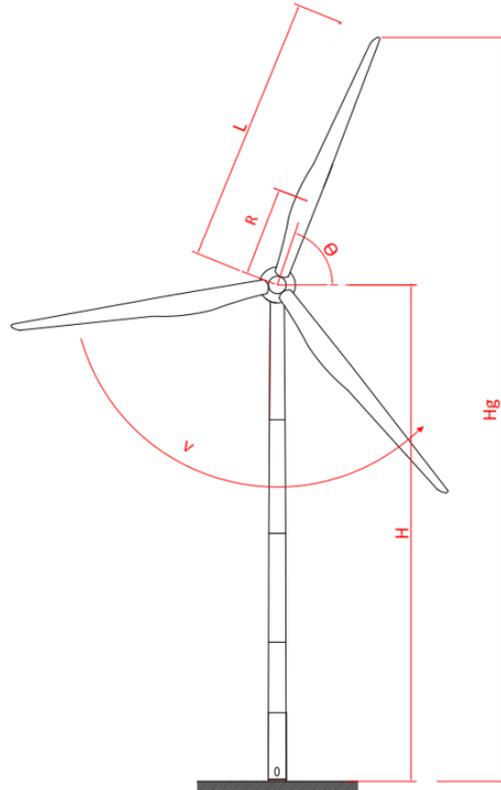


Figura 11 - Rappresentazione grafica rottura

Di seguito si riporta il grafico della gittata in funzione dell'angolo e della velocità di distacco.

**RELAZIONE DI CALCOLO MASSIMA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI**

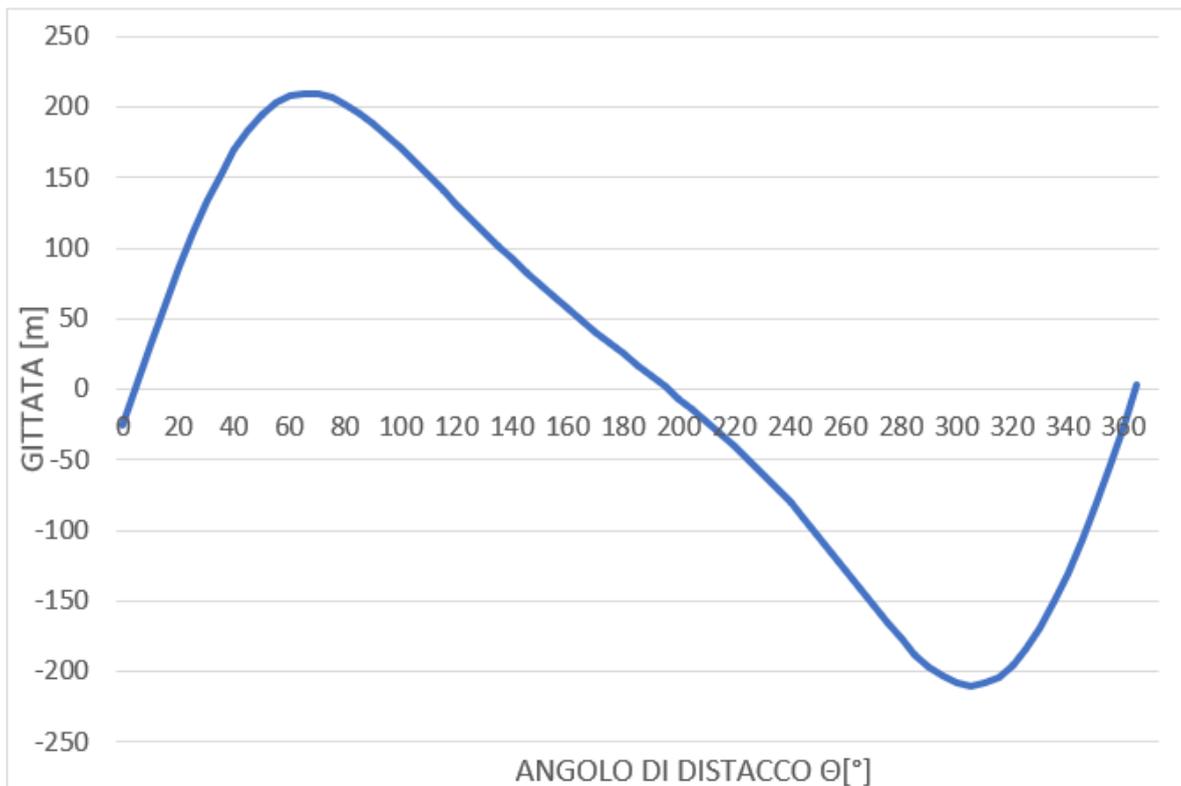


Tabella 3 - Gittata con velocità di distacco 27,35 m/s

Nel grafico si propone la gittata massima nel caso in cui si distacchi l'intera pala dal mozzo con una velocità di 27,35 m/s, che costituisce la massima velocità raggiunta dal baricentro della pala allorquando il rotore compie 9,22 rivoluzioni per minuto.

La gittata massima è di circa 212 m corrispondente ad un angolo di lancio  $\theta = 75^\circ$ .

Nella tabella che segue si sono indicati i valori più rappresentativi della gittata massima e della distanza totale dalla torre nel punto di caduta rispetto a valori di  $\theta$ .

$\theta$ [rad]	$\theta$ [°]	Gittata
0	0	28.3333
0.01744	1	32.3408
0.03489	2	36.3624
0.05233	3	40.3951
0.06978	4	44.4358
0.08722	5	48.4815
0.10467	6	52.5291
0.12211	7	56.5755
0.13956	8	60.6178

**RELAZIONE DI CALCOLO MASSIMA GITTATA DEGLI ELEMENTI  
ROTANTI**

0.157	9	64.6528
0.17444	10	68.6776
0.19189	11	72.6892
0.20933	12	76.6846
0.22678	13	80.661
0.24422	14	84.6155
0.26167	15	88.5451
0.27911	16	92.4472
0.29656	17	96.3189
0.314	18	100.158
0.33144	19	103.961
0.34889	20	107.725
0.36633	21	111.449
0.38378	22	115.13
0.40122	23	118.764
0.41867	24	122.351
0.43611	25	125.887
0.45356	26	129.371
0.471	27	132.8
0.48844	28	136.172
0.50589	29	139.485
0.52333	30	142.738
0.54078	31	145.928
0.55822	32	149.054
0.57567	33	152.113
0.59311	34	155.106
0.61056	35	158.029
0.628	36	160.882
0.64544	37	163.663
0.66289	38	166.371
0.68033	39	169.005
0.69778	40	171.564
0.71522	41	174.047
0.73267	42	176.453
0.75011	43	178.781
0.76756	44	181.03
0.785	45	183.201
0.80244	46	185.292

**RELAZIONE DI CALCOLO MASSIMA GITTATA DEGLI ELEMENTI  
ROTANTI**

0.81989	47	187.303
0.83733	48	189.234
0.85478	49	191.084
0.87222	50	192.854
0.88967	51	194.543
0.90711	52	196.151
0.92456	53	197.678
0.942	54	199.126
0.95944	55	200.493
0.97689	56	201.78
0.99433	57	202.988
1.01178	58	204.117
1.02922	59	205.167
1.04667	60	206.14
1.06411	61	207.036
1.08156	62	207.856
1.099	63	208.601
1.11644	64	209.271
1.13389	65	209.867
1.15133	66	210.391
1.16878	67	210.844
1.18622	68	211.226
1.20367	69	211.539
1.22111	70	211.785
1.23856	71	211.963
1.256	72	212.076
1.27344	73	212.125
1.29089	74	212.112
1.30833	75	212.037
1.32578	76	211.902
1.34322	77	211.708
1.36067	78	211.458
1.37811	79	211.152
1.39556	80	210.791
1.413	81	210.379
1.43044	82	209.915
1.44789	83	209.402
1.46533	84	208.84
1.48278	85	208.232

**RELAZIONE DI CALCOLO MASSIMA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI**

1.50022	86	207.579
1.51767	87	206.883
1.53511	88	206.144
1.55256	89	205.365
1.57	90	204.547
4.71	270	-171.66
4.72744	271	-173.48
4.74489	272	-175.28
4.76233	273	-177.06
4.77978	274	-178.83
4.79722	275	-180.58
4.81467	276	-182.3
4.83211	277	-183.99
4.84956	278	-185.66
4.867	279	-187.3
4.88444	280	-188.9
4.90189	281	-190.48
4.91933	282	-192.01
4.93678	283	-193.51
4.95422	284	-194.96
4.97167	285	-196.38
4.98911	286	-197.74
5.00656	287	-199.06
5.024	288	-200.33
5.04144	289	-201.55
5.05889	290	-202.71
5.07633	291	-203.82
5.09378	292	-204.86
5.11122	293	-205.85
5.12867	294	-206.77
5.14611	295	-207.62
5.16356	296	-208.41
5.181	297	-209.13
5.19844	298	-209.77
5.21589	299	-210.34
5.23333	300	-210.84
5.25078	301	-211.25
5.26822	302	-211.59

**RELAZIONE DI CALCOLO MASSIMA GITTATA DEGLI ELEMENTI  
ROTANTI**

5.28567	303	-211.85
5.30311	304	-212.02
5.32056	305	-212.11
5.338	306	-212.12
5.35544	307	-212.04
5.37289	308	-211.87
5.39033	309	-211.61
5.40778	310	-211.26
5.42522	311	-210.81
5.44267	312	-210.28
5.46011	313	-209.65
5.47756	314	-208.93
5.495	315	-208.12
5.51244	316	-207.2
5.52989	317	-206.2
5.54733	318	-205.1
5.56478	319	-203.9
5.58222	320	-202.61
5.59967	321	-201.22
5.61711	322	-199.74
5.63456	323	-198.16
5.652	324	-196.49
5.66944	325	-194.72
5.68689	326	-192.86
5.70433	327	-190.91
5.72178	328	-188.86
5.73922	329	-186.73
5.75667	330	-184.5
5.77411	331	-182.19
5.79156	332	-179.79
5.809	333	-177.3
5.82644	334	-174.73
5.84389	335	-172.07
5.86133	336	-169.34
5.87878	337	-166.52
5.89622	338	-163.63
5.91367	339	-160.66
5.93111	340	-157.62
5.94856	341	-154.5

**RELAZIONE DI CALCOLO MASSIMA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI**

5.966	342	-151.32
5.98344	343	-148.06
6.00089	344	-144.75
6.01833	345	-141.37
6.03578	346	-137.93
6.05322	347	-134.43
6.07067	348	-130.88
6.08811	349	-127.28
6.10556	350	-123.63
6.123	351	-119.93
6.14044	352	-116.18
6.15789	353	-112.4
6.17533	354	-108.58
6.19278	355	-104.72
6.21022	356	-100.83
6.22767	357	-96.907
6.24511	358	-92.96
6.26256	359	-88.99
6.28	360	-85

Tabella 4 - Valori della gittata con evidenziata quella massima

## 7. CONCLUSIONI

Il valore ricavato è sicuramente compatibile con quello degli studi forniti dalle ditte produttrici.

Si sottolinea che il valore precedentemente calcolato sovrastima quello reale della gittata massima; infatti la presenza dell'aria, genera delle forze di resistenza viscoso che agendo sulla superficie del frammento ne riducono tempo di volo e distanza.

A questa azione vanno aggiunte le forze aerodinamiche di portanza che possono innescarsi sul frammento di pala in virtù del profilo aerodinamico secondo il quale vengono modellate le sezioni trasversali della pala stessa; tale portanza potrebbe addirittura prolungare il volo e allungare la distanza percorsa. Questa possibilità è correlata, tra l'altro, al rollio, all'imbardata ed all'impennarsi della pala durante il volo.

L'azione della portanza può essere ricondotta e schematizzata nei calcoli con una riduzione percentuale della forza peso.

Avendo ottenuto la lunghezza di circa 212 m e considerando tutte le condizioni più gravose al momento dell'ipotetica rottura, come ad esempio:

	<p align="center"><b>Progetto per la realizzazione di un parco eolico della potenza di 72 MW denominato "Monte Burano" situato nel comune di Foligno (PG)</b></p> <p align="center"><b>RELAZIONE DI CALCOLO MASSIMA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI</b></p>	<p align="right">DATA: MARZO 2024 Pag. 28 di 35</p>
---	--	---

- massimo numero di giri del rotore,
- inclinazione della pala corrispondente alla massima velocità,
- esclusione degli effetti dovuti alla resistenza dell'aria che la pala incontra durante la sua traiettoria

La rottura accidentale di un elemento rotante (la pala o un frammento della stessa) di un aerogeneratore ad asse orizzontale può essere considerato un evento raro, in considerazione della tecnologia costruttiva ed ai materiali impiegati per la realizzazione delle pale stesse.

Tuttavia, al fine della sicurezza, la stima della gittata massima di un elemento rotante assume un'importanza rilevante per la progettazione e l'esercizio di un impianto eolico.

Considerando tutte le condizioni più gravose al momento dell'ipotetica rottura, come ad esempio il massimo numero di giri del rotore, l'inclinazione della pala corrispondente alla massima velocità e l'esclusione degli effetti dovuti alla resistenza dell'aria che la pala incontra durante la sua traiettoria si è ottenuta una lunghezza di circa 212 m.

Dalla Figura 12 si può osservare che nessun edificio residenziale (R1-R36) è posizionato ad una distanza minore od uguale a 212 m dalle turbine di progetto, pertanto risulta verificata la sicurezza nel caso di rottura degli elementi rotanti.

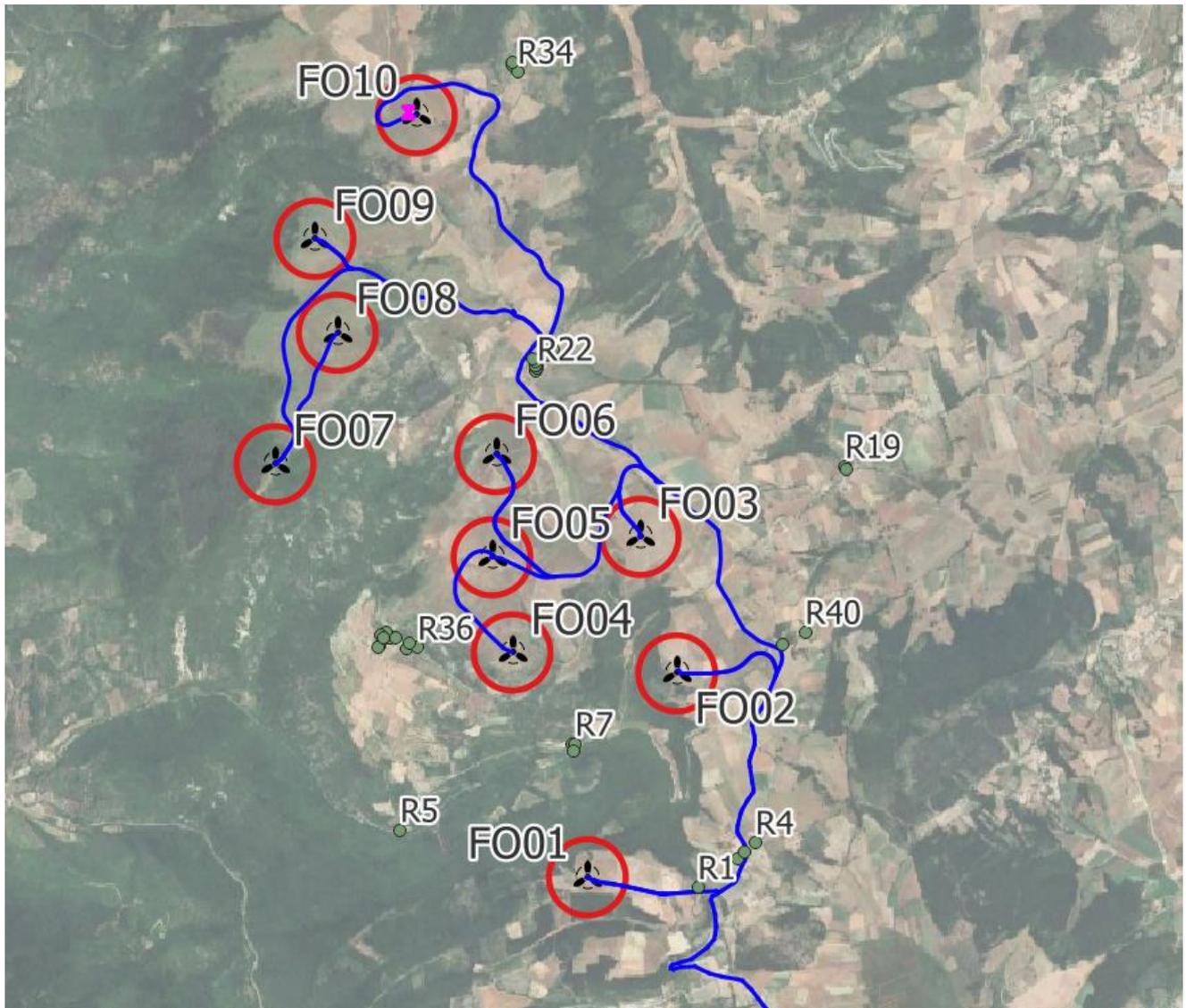


Figura 12 – Verifica gittata massima

Per poter avviare l'iter autorizzativo, i progetti devono rispettare i seguenti requisiti di sicurezza inderogabili:

- a) per i soli impianti eolici, fascia di rispetto non inferiore a 2 Km misurata dal perimetro dei complessi monumentali, 1 Km dal perimetro dei parchi archeologici, 500 metri dal perimetro delle aree archeologiche, come definiti al comma 2 dell'articolo 101 del D.lgs. n. 42/2004 per non snaturare le modalità di utilizzo tipiche di luoghi storici, cambiando in modo radicale il paesaggio circostante;

	<p align="center"><b>Progetto per la realizzazione di un parco eolico della potenza di 72 MW denominato "Monte Burano" situato nel comune di Foligno (PG)</b></p> <p align="center"><b>RELAZIONE DI CALCOLO MASSIMA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI</b></p>	<p align="right">DATA: MARZO 2024 Pag. 30 di 35</p>
---	--	---

- b) per i soli impianti eolici, fascia di rispetto non inferiori 6 volte l'altezza massima dell'aerogeneratore dai centri abitati come individuati dallo strumento urbanistico comunale vigente al fine di preservare le zone a ridosso dei centri stessi e comunque nel rispetto dei limiti indicati nel Dpcm del 14 novembre 1997 e s.m.i.;
- c) per i soli impianti eolici, la distanza dai fabbricati adibiti a civile abitazione al momento della presentazione della richiesta di autorizzazione unica non può essere inferiore a 400 metri e deve rispettare i limiti di leggi vigenti in materia acustica, con la precisazione che i limiti per la "normale tollerabilità di cui all'art. 844 del Codice Civile, per gli impianti colici, sono quelli indicati dall'art. 4 del D.P.C.M. 14.11.1997, e posto che, comunque, il rispetto di tali limiti può essere conseguito anche mediante la realizzazione di opere di mitigazione direttamente sul ricettore, purché tali interventi siano interamente a carico del proponente, previo assenso del proprietario;
- d) al fine di evitare perturbazioni aerodinamiche dovute all'effetto scia, una fascia non inferiore a cinque diametri del rotore nella direzione dei venti dominanti dagli aerogeneratori di impianti eolici esistenti. È consentita deroga a detta distanza per gli ammodernamenti degli impianti eolici esistenti, anche se ricadenti su aree appartenenti a comuni limitrofi, proposti dalla stessa società o da società controllata;
- e) per i soli impianti eolici distanza non inferiore a 200 metri dalle autostrade, 150 metri dalle strade nazionali e provinciali, 20 metri dalle strade comunali, come definite dal "Nuovo codice della strada" di cui al D.lgs 30.04.1992 n°285 e s.m.i.. Per gli impianti fotovoltaici distanza non inferiore a 20 metri dalle autostrade e 10 metri dalle strade sopra indicate. Limitatamente alle strade interpoderali e vicinali di proprietà del Comune, previo consenso del comune, è possibile derogare ai predetti nel caso in cui le strade esistenti possano essere utilizzate come viabilità di servizio dell'impianto medesimo;
- f) fascia di rispetto di 3.000 metri lineari dalla costa verso l'interno della regione per gli impianti eolici; fascia di rispetto di 1.500 metri lineari dalla costa verso l'interno della regione per gli impianti fotovoltaici. Tali sono giustificati dalla forte pressione antropica già esistente su tali fasce di territorio;
- g) per i soli impianti eolici, fascia di rispetto di 200 metri dalle sponde di fiumi e torrenti, nonché dalla linea di battigia di laghi e dighe artificiali e dal limite esterno delle zone umide, di importanza

	<p align="center"><b>Progetto per la realizzazione di un parco eolico della potenza di 72 MW denominato "Monte Burano" situato nel comune di Foligno (PG)</b></p> <p align="center"><b>RELAZIONE DI CALCOLO MASSIMA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI</b></p>	<p align="right">DATA: MARZO 2024 Pag. 31 di 35</p>
---	--	---

regionale, nazionale e comunitaria. Per gli impianti fotovoltaici si applicano i vincoli e le fasce di rispetto previste dall'art. 142 del D.lgs. 22.01.2004, n° 42;

- h) per gli impianti fotovoltaici di potenza non superiore a 200 kW la fascia di rispetto di cui alla precedente lett. f) è dimezzata; per gli impianti utilizzando la fonte colica le fasce di rispetto di cui alle lett. a), b), e) sono dimezzate a condizione che l'altezza al mozzo non superi i 30 metri;
- i) in applicazione di quanto previsto nel capitolo 17 delle Linee guida nazionali, la Regione Umbria al fine di conciliare le politiche di tutela dell'ambiente e del paesaggio con quelle di sviluppo e valorizzazione delle energie rinnovabili, allorché sarà assegnata la quota minima di produzione di energia da fonti rinnovabili (burden sharing), in applicazione dell'art. 2, comma 167 della legge 244/2007, come modificato dall'art. 8 bis della legge 27.02.2009, n°13 di conversione del D.L.30.12.2008, n° 208 adoterà atti di programmazione congruenti con la detta quota minima, volti ad individuare aree e siti non idonei alla installazione di specifiche tipologie di impianti. L'individuazione dei siti deve avvenire con l'applicazione cui all'allegato 3 alle Linee guida nazionali e attraverso un'apposita istruttoria, volta a individuare quei siti che, interessati da specifiche disposizioni di tutela dell'ambiente, del paesaggio, del patrimonio storico ed artistico, delle tradizioni agroalimentari locali, della biodiversità e del paesaggio rurale, identifichino obiettivi di protezione non compatibili con l'insediamento, in determinate aree, di specifiche tipologie c/o dimensioni di impianti. Nelle more dell'adozione dei detti atti di programmazione, in attuazione di quanto previsto nel comma 10 dell'art. 12 del D.lgs n° 387/2003, in tutto il territorio della Regione Umbria non sono applicabili limitazioni generalizzate alla localizzazione di impianti da fonti energetiche rinnovabili, riferite a tipologie di aree e siti, ma la sua autorizzabilità di ogni singolo impianto, indipendentemente dalla natura della fonte utilizzata e/o della dimensione, dovrà discendere dagli esiti del procedimento unico, svolto nel rispetto di tutte le normative settoriali nelle quali sono previste le specifiche analisi da effettuare volte alla verifica di compatibilità delle proposte con la disciplina d'uso del territorio presente. nelle singole aree e con la salvaguardia dei beni culturali (con le modalità di cui al D.lgs. n° 42/2004) e delle aree naturali protette, (attraverso la valutazione di incidenza, svolta con le modalità di cui al D.P.R. n° 357/97 così come modificato e integrato dal D.P.R. 120/2003).

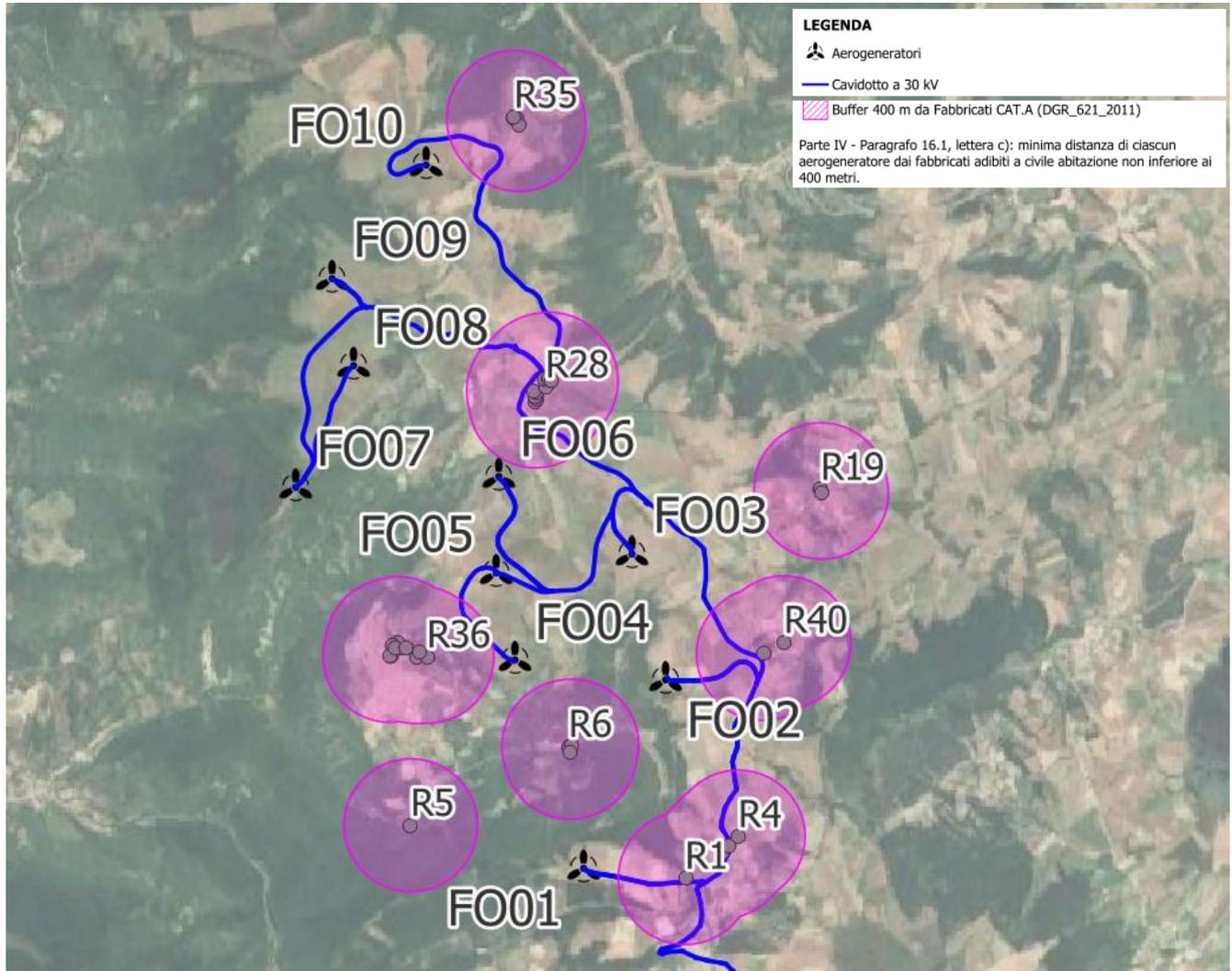


Figura 13 – Parte IV – Paragrafo 16.1 lettera c)

**RELAZIONE DI CALCOLO MASSIMA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI**

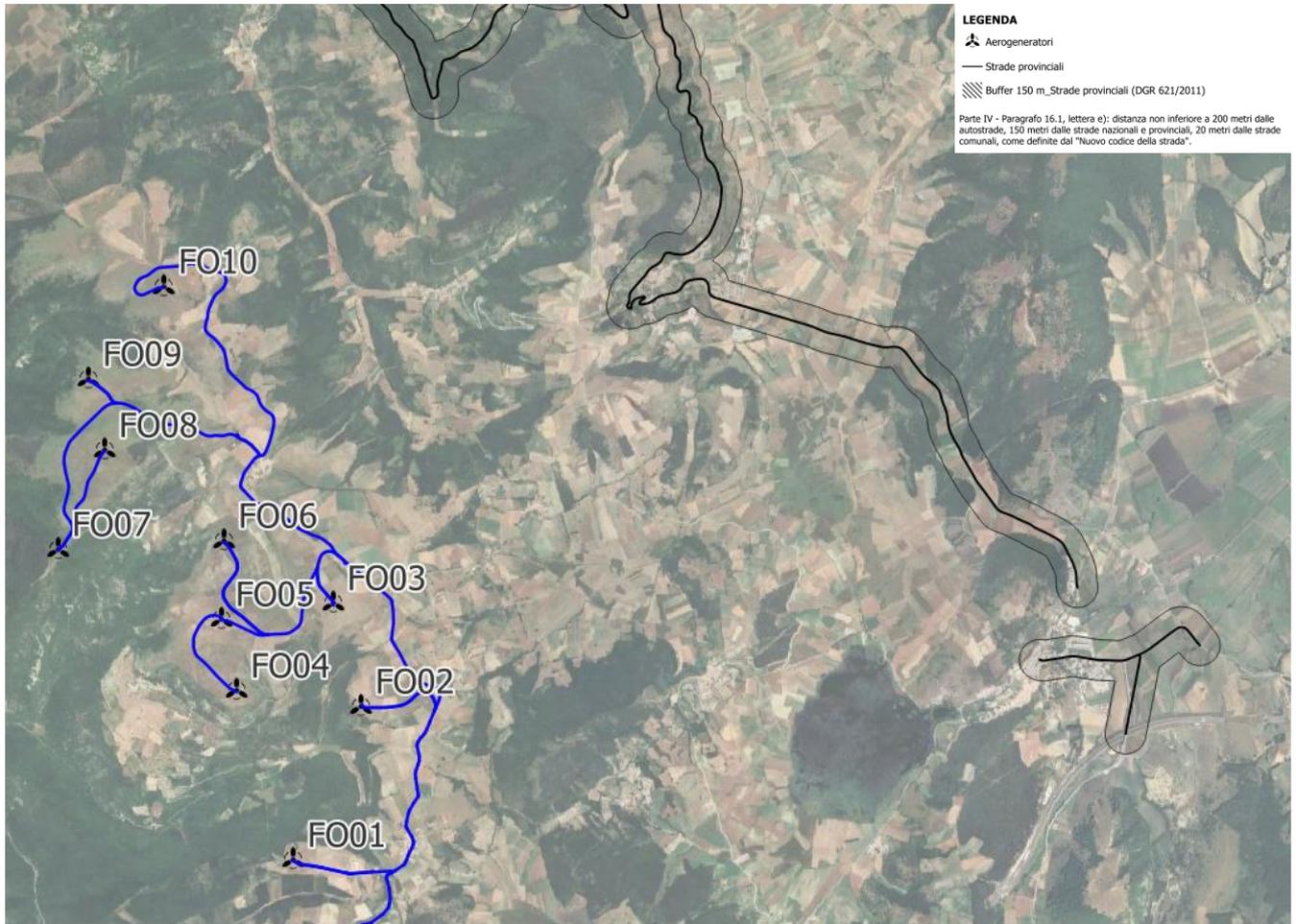


Figura 14 - Parte IV – Paragrafo 16.1 lettera e)

**LEGENDA**

-  Aerogeneratori
-  Ampliamento SSE Lato Utente di Ururi
-  Cavidotto a 30 kV
-  Cabina di raccolta e smistamento
-  Fiumi e corsi d'acqua tutelati
-  Buffer 200 m Fiumi e Torrenti (DGR 621\_2011)

Parte IV - Paragrafo 16.1, lettera g): fascia di rispetto di 200 metri dalle sponde di fiumi e torrenti, nonché dalla linea di battigia di laghi e dighe artificiali e dal limite esterno di zone umide, di importanza regionale, nazionale e comunitaria.

le sponde di i e dal limite aria.

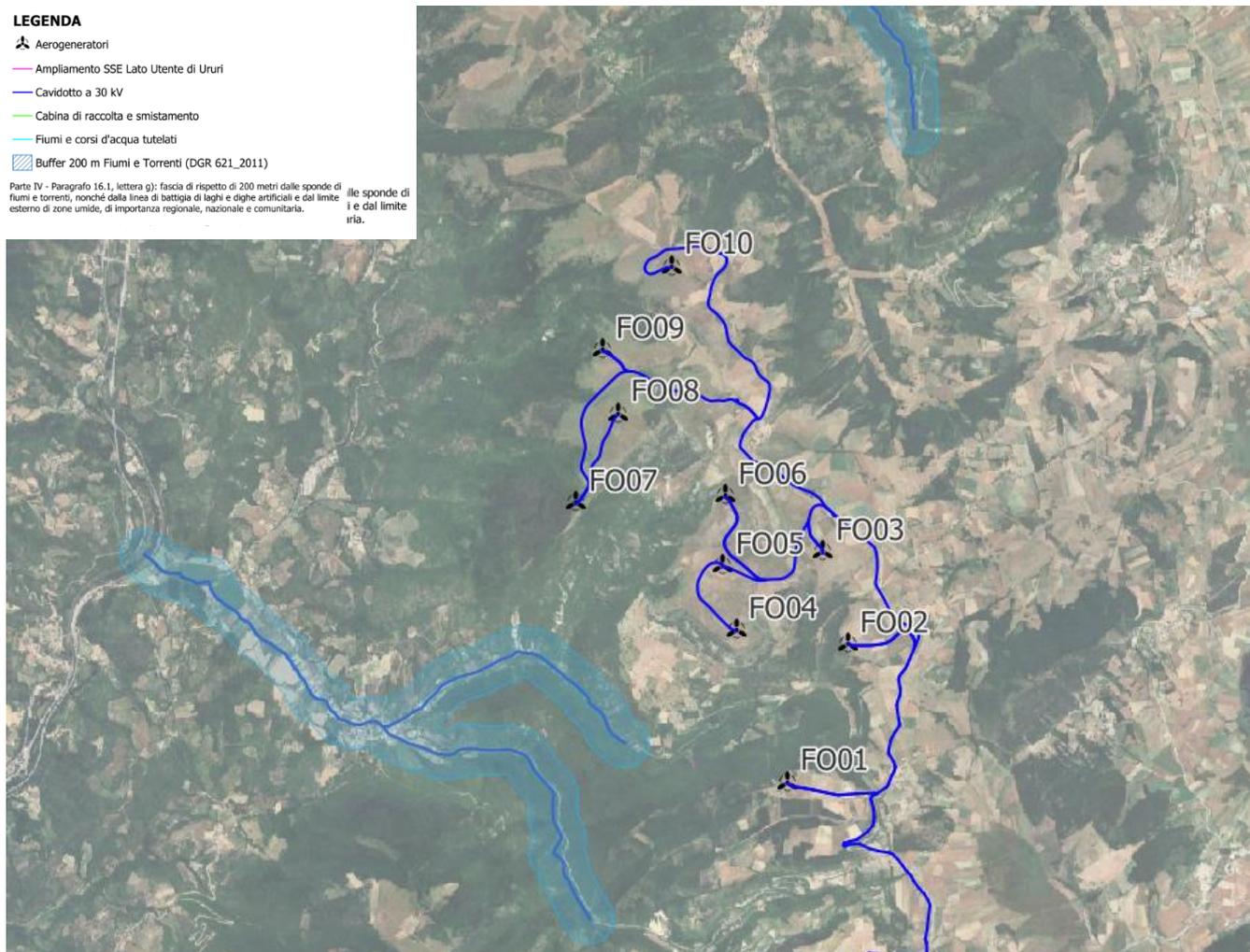


Figura 15 - Parte IV – Paragrafo 16.1 lettera g)

Lo studio del layout di progetto, ossia la ubicazione degli aerogeneratori sul territorio, oltre che a seguire precise regole tecniche al fine di ottenere la massima producibilità, è stato redatto rispettando tutti i vincoli ambientali e territoriali presenti sul territorio.

Pertanto nessuna abitazione, fiumi e strade è posizionata ad una distanza minore od uguale a 212 m dalle turbine di progetto, per cui risulta verificata la sicurezza nel caso di rottura degli elementi rotanti.

A valle dei calcoli condotti per la valutazione della Gittata massima degli elementi rotanti, si può tuttavia ragionevolmente affermare che non è assolutamente verosimile che un frammento di pala si stacchi dalla stessa e venga scagliato a distanze significative, men che meno è verosimile l'ipotesi che un frammento di pala si stacchi dalla stessa e segua un moto assimilabile a quello di un proiettile scagliato con una velocità di partenza pari a quella della massima rotazione del rotore.

	<p align="center"><b>Progetto per la realizzazione di un parco eolico della potenza di 72 MW denominato "Monte Burano" situato nel comune di Foligno (PG)</b></p> <p align="center"><b>RELAZIONE DI CALCOLO MASSIMA GITTATA DEGLI ELEMENTI ROTANTI</b></p>	<p align="right">DATA: MARZO 2024 Pag. 35 di 35</p>
---	--	---

Le pale dei rotori di progetto, infatti, sono realizzate in fibra di vetro rinforzato con materiali plastici quali il poliestere o le fibre epossidiche.

L'utilizzo di questi materiali limita sino a quasi ad annullare 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 (seppure gravemente danneggiato), e 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.

Con lo scopo di ridurre il rischio di distacco di frammenti è opportuna una pianificazione e messa in atto di opportune misure di prevenzione e monitoraggio, al fine di poter intervenire in tempo utile per scongiurare l'eventualità di una rottura.

Le azioni di monitoraggio e prevenzione svolte dalla società nei riguardi della tutela dei sistemi rotorici sono i seguenti:

1. Ascolto e osservazione giornaliera e con campagne di indagini visive con lo scopo di evidenziare microalterazioni della superficie delle pale. Le campagne di indagini visive, svolte con telescopi ad alta definizione, servono a certificare periodicamente lo stato delle pale.
2. Monitoraggio strumentale continuo ed automatico di controllo dell'aerogeneratore.

Questo, tramite la valutazione di opportuni parametri, è in grado di individuare sbilanciamenti del rotore e, quando diventano significativi, attua il blocco dell'aerogeneratore.

Tali azioni di prevenzione sono dunque volte a mantenere le buone condizioni di uso dei rotori, mentre le azioni di monitoraggio impediscono di mantenere in esercizio operativo dei rotori che non rispondano alle caratteristiche definite dal costruttore.