



SETTEMBRE 2023

MUSA EOLICA S.R.L.

IMPIANTO EOLICO "MUSA" DA 244,8 MW

LOCALITÀ CERRO – SAN VITO

COMUNI DI BONEFRO, CASACALENDA, MONACILIONI,
RIPABOTTONI, SANT'ELIA A PIANISI (CB)

MA
n
t
a
r
n
a

ELABORATI TECNICI DI PROGETTO

ELABORATO R11

RELAZIONE GITTATA MASSIMA

Progettista

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

Coordinamento

Eleonora Lamanna

Matteo Lana

Lorenzo Griso

Codice elaborato

2908_5111_MUSA_PFTE_R11_Rev0_GITTATA MASSIMA.docx

Memorandum delle revisioni

Cod. Documento	Data	Tipo revisione	Redatto	Verificato	Approvato
2908_5111_MUSA_PFTE_R11_Rev0_GI TTATA MASSIMA.docx	09/2023	Prima emissione	G.d.L.	E.Lamanna	A.Angeloni

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 Generale, Progettazione, Studio Ambientale, Studi Specialistici	
Matteo Lana	Coordinamento Progettazione Civile	
Riccardo Festante	Coordinamento Progettazione Elettrica	
Lorenzo Griso	Coordinamento Dati Territoriali – Senior GIS Expert	
Ali Basharзад	Ingegnere Civile - Progettazione civile e viabilità	Ord. Ing. Prov. PV n. 2301
Mauro Aires	Ingegnere Civile – Progettazione Strutture	Ord. Ing. Prov. Torino – n. 9588J
Stefano Adami	Ingegnere Civile Ambientale – Progettazione Civile	Ord. Ing. Milano – n. A23812
Andrea Amantia	Geologo - Progettazione Civile	
Davide Lo Conte	Geologo	Ordine Geologi Umbria n.445
Fabio Lassini	Ingegnere Civile Ambientale – Progettazione Civile	Ord. Ing. Prov. MI n. A29719
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	

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





Elena Comi	Biologa – Esperto GIS – Esperto Ambientale	Ord. Nazionale Biologi n. 060746 Sez. A
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 GIS – Esperto Ambientale Junior	
Simone Demonti	Esperto GIS – Esperto Ambientale Junior	
Alessia Papeti	Esperto Ambientale – Geologo - GIS Junior	
Riccardo Coronati	Geourbanista – Pianificatore junior	
Fabio Bonelli	Esperto Ambientale - Naturalista	
Davide Molinetti	Esperto GIS – Esperto Ambientale Junior	
Mariana Marchioni	Ingegnere Civile Ambientale – Progettazione Civile	
Paolo Pallavicini	Ingegnere per l’Ambiente e il Territorio – Esperto Ambientale Junior	
Elide Moneta	Esperto GIS – Esperto Ambientale Junior	
Roberto Camera	Esperto GIS – Esperto Ambientale 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





INDICE

1. PREMESSA	5
1.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE DEL SITO	5
2. DESCRIZIONE GENERALE DI PROGETTO	9
3. CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA DEGLI ELEMENTI ROTANTI.....	11
3.1 APPROCCIO AL CALCOLO	11
3.2 IPOTESI DI CALCOLO	13
3.3 FORMULAZIONI	13
3.4 CASO STUDIO.....	16
3.5 CONSIDERAZIONI FINALI	18
4. APPLICAZIONE DEI RISULTATI ALL'IMPIANTO EOLICO IN OGGETTO	19
5. CONCLUSIONI	28



1. PREMESSA

Il progetto in esame riguarda la realizzazione di un nuovo Parco Eolico della potenza complessiva di 244,8 MW, che prevede l'installazione di n. 34 aerogeneratori da 7,2 MW con relative opere di connessione da installarsi nei territori comunali di Bonefro, Casacalenda, Colletorto, Monacilioni, Ripabottoni, Rotello, San Giuliano di Puglia, Sant'Elia a Pianisi e Santa Croce di Magliano, nel territorio provinciale di Campobasso, regione Molise.

La Società Proponente è la MUSA EOLICA S.R.L., con sede legale in Largo Guido Donegani 2, 20121 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 in antenna a 380 kV sul futuro ampliamento della Stazione Elettrica (SE) a 380/150 kV della RTN denominata "Rotello".

Nel suo complesso il parco di progetto sarà composto da:

- N° 34 aerogeneratori della potenza nominale di 7,2 MW ciascuno;
- dalla viabilità di servizio interna realizzata in parte ex-novo e in parte adeguando strade comunali e/o agricole esistenti;
- 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 di calcolo della gittata massima** del progetto.

1.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE DEL SITO

Il parco eolico in progetto si estende nella provincia di Campobasso e prevede l'installazione di n. 34 aerogeneratori nei territori comunali di Bonefro, Casacalenda, Monacilioni, Ripabottoni e Sant'Elia a Pianisi, mentre le opere di connessione sono così collocate (Figura 1.1):

- Cavidotto interrato di connessione nei territori comunali di Bonefro, Casacalenda, Colletorto, Monacilioni, Ripabottoni, Rotello, San Giuliano di Puglia, Sant'Elia a Pianisi e Santa Croce di Magliano, in provincia di Campobasso;

- Ampliamento Stazione Elettrica (SE) Terna esistente e n. 3 Sottostazioni Elettriche Utente (SSEU) nei territori comunali di Bonefro, Rotello e Sant'Elia a Pianisi, in provincia di Campobasso.

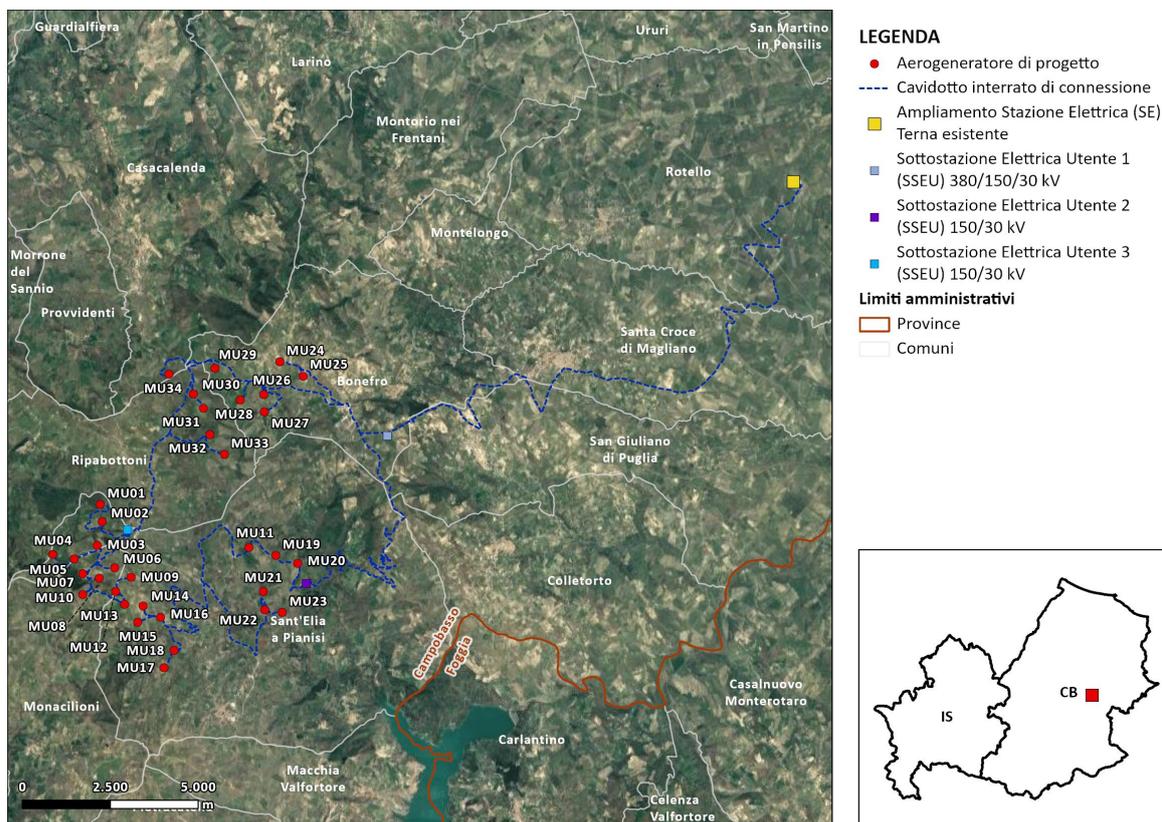


Figura 1.1: Localizzazione a scala provinciale e comunale dell'impianto proposto

Le coordinate degli aerogeneratori previsti sono riportate in Tabella 1.1.



Tabella 1-1 Coordinate aerogeneratori - WGS 1984 UTM Zone 33N (Gradi decimali)

WTG	WGS 84 – GRADI DECIMALI	
	Longitudine	Latitudine
MU01	14,83306926	41,67415884
MU02	14,83367005	41,66971977
MU03	14,83205671	41,66354829
MU04	14,81679859	41,6611985
MU05	14,82417463	41,66016406
MU06	14,83802761	41,65779369
MU07	14,82707196	41,65630409
MU08	14,8327487	41,6550821
MU09	14,84363409	41,65546355
MU10	14,82714948	41,6509533
MU11	14,88379408	41,66319138
MU12	14,83828011	41,65169965
MU13	14,84146613	41,64841884
MU14	14,847641	41,6480147
MU15	14,84590238	41,64379278
MU16	14,85370869	41,64509208
MU17	14,85495301	41,63204182
MU18	14,85828976	41,63650013
MU19	14,89297107	41,66103122
MU20	14,90050088	41,65899559
MU21	14,88873383	41,65172601
MU22	14,88938054	41,64703538
MU23	14,8953253	41,6463473
MU24	14,89428852	41,71108322
MU25	14,90241345	41,70738039
MU26	14,88888127	41,70265955
MU27	14,88906916	41,69813886
MU28	14,88080054	41,7011621
MU29	14,87218128	41,70944208
MU30	14,86484696	41,70274469
MU31	14,86827708	41,69900471
MU32	14,87050868	41,69222087
MU33	14,8753409	41,68713369
MU34	14,85645914	41,70785916



L'accesso al sito avverrà mediante strade pubbliche esistenti a carattere nazionale e provinciale partendo dal porto di Vasto (CH), per poi percorrere le principali strade statali del territorio fino ad arrivare all'area di progetto.

2. DESCRIZIONE GENERALE DI PROGETTO

Oggetto della presente relazione è l'analisi della gittata degli elementi rotanti di un aerogeneratore con le seguenti caratteristiche tecniche:

- Potenza nominale: 7.200 kW
- Altezza hub: 114 m
- Diametro rotore: 172 m
- Altezza massima : 200 m

Marca e modello di aerogeneratore saranno definite in sede di progetto esecutivo; le principali caratteristiche tecniche di aerogeneratori attualmente in commercio con caratteristiche analoghe a quelle sopra indicate, sono riportate nella seguente tabella:

Tabella 2.1: Caratteristiche tecniche generali

AEROGENERATORE	
DATI DI FUNZIONAMENTO	
Potenza nominale	7.200 kW
Velocità minima del vento	da 2.5 a 3.0 m/s
Velocità massima del vento	25.0 m/s
Classe di vento-IEC	S
ROTORE	
Diametro del rotore	172 m
Area spazzata	23.235 mq
Velocità massima	da 8,8 a 10,4 giri/min
TORRE	
Tipo	Torre in acciaio tubolare
Altezza mozzo	114 m
Altezza al Top	200 m
PALA	
Lunghezza	83,5 - 84,5 m
Numero pale	3
Materiale	G (Glassfiber) – CRP (Carbon Reinforced Plastic)
DATI ELETTRICI	
Frequenza	50Hz/60Hz
Voltaggio	690-800 V
Tipo generatore	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: Rappresentazione di un aerogeneratore.

3. CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA DEGLI ELEMENTI ROTANTI

3.1 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 3.1).

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.

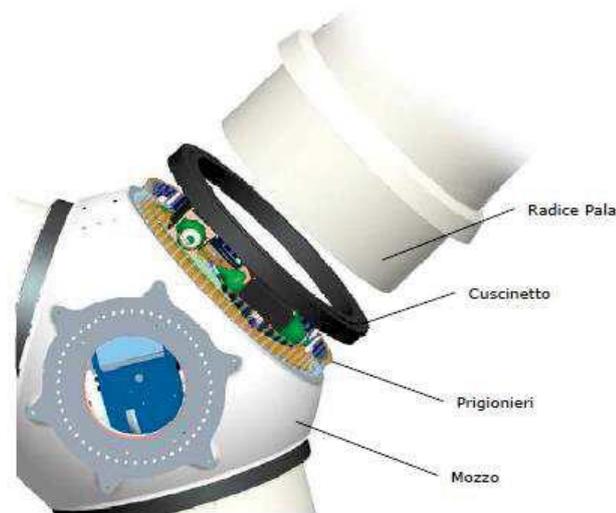


Figura 3.1: particolare mozzo aerogeneratore.

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.

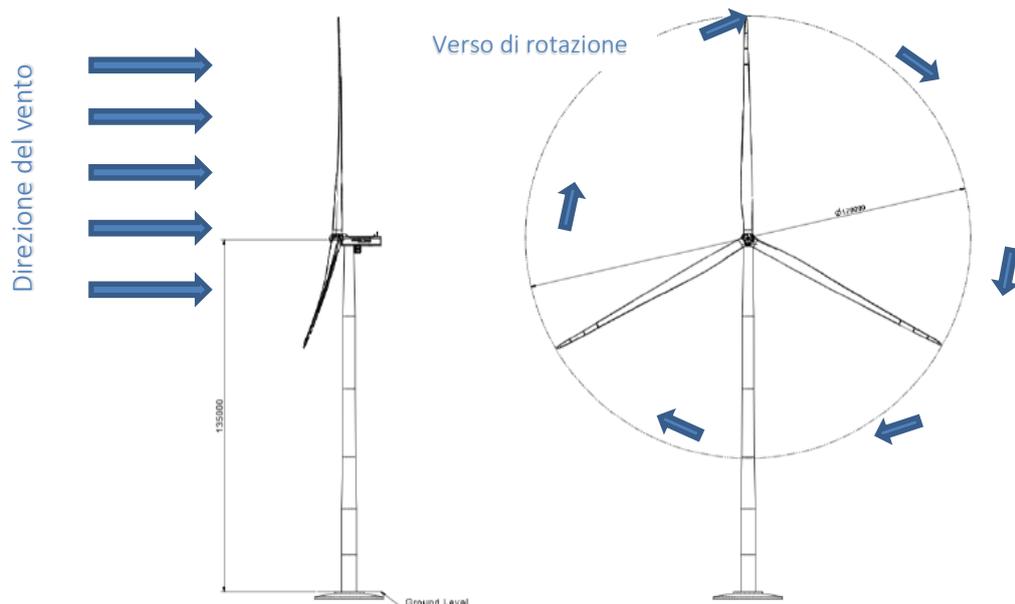


Figura 3.2: Schematizzazione Verso di Rotazione / Direzione del vento.

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.

3.2 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.

3.3 FORMULAZIONI

Il seguente metodo di calcolo della gittata è riferito all'aerogeneratore tipo con caratteristiche generali riportate in tabella 2.1. Ai fini di una maggiore livello di sicurezza, nel calcolo è stata utilizzata la velocità di rotazione 10.4 rpm.

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

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

$$Y_g = r g \sin \alpha$$

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

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

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

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

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: $L_g = 2/3 L$

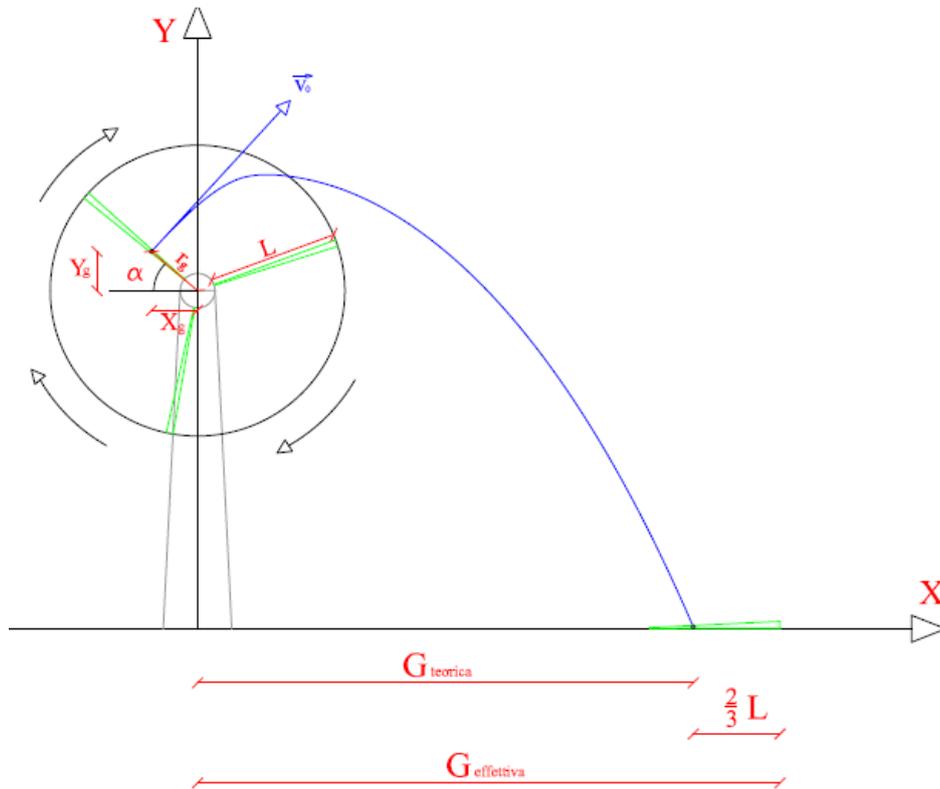


Figura 3.3: Schema della Gittata per angolo compreso tra 0° e 90°.

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

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

Dove rispetto quanto sopra: v_{x0} è negativo perché verso sinistra, quindi G sarà negativo (Figura 2.4)

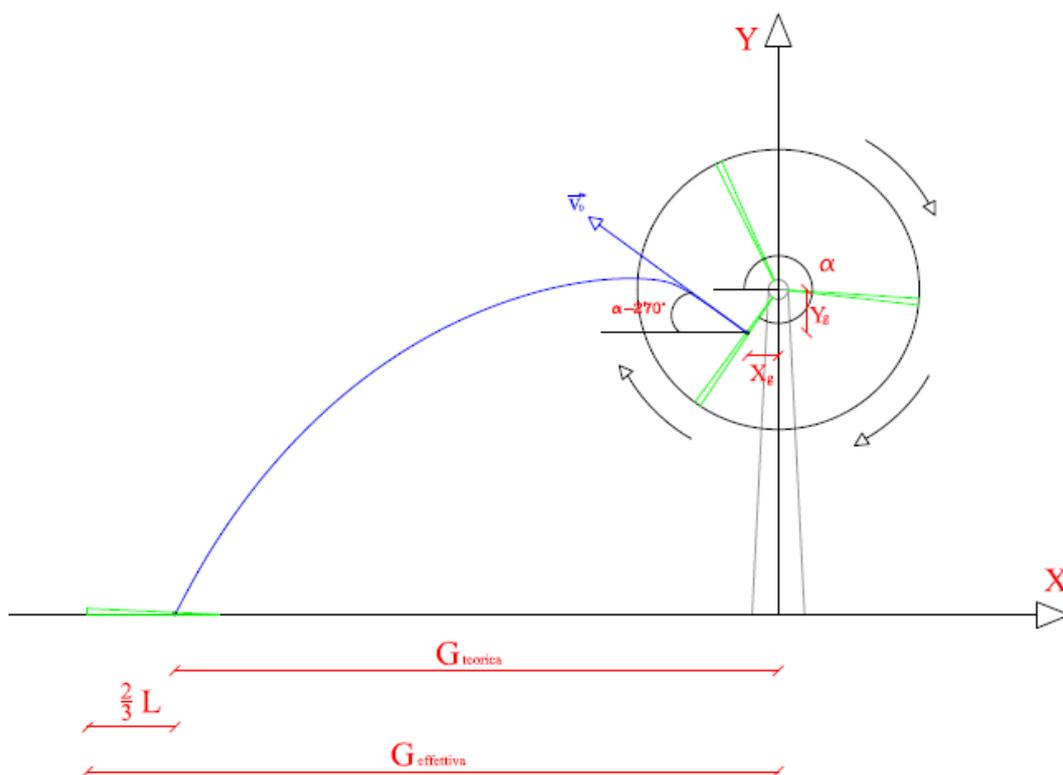


Figura 3.4: Schema della Gittata per angolo compreso tra 270° e 360°.

3.4 CASO STUDIO

In Tabella 3.1 si riportano i principali parametri geometrici utilizzati per il calcolo della gittata.

Tabella 3.1: Parametri del calcolo della gittata e risultati.

MODELLO GENERICO AEROGENERATORE	
ELEMENTO	DIMENSIONE
Lunghezza pala	84,5 [m]
Velocità rotazione massima	10,4 [rpm]
Altezza mozzo	114,0 [m]
Posizione baricentro rispetto al mozzo a velocità rotazionale 0	28,9 [m]
Diametro del rotore	172 [m]

In Tabella 3.2 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 3.2: Risultati del calcolo della gittata

PARAMETRO CALCOLATO	[1] ANGOLI COMPRESI TRA 0° E 90°	[2] ANGOLI COMPRESI TRA 270° E 360°
Angolo α	69°	308°
V_0	32.31 m/s	32.31 m/s
V_{x0}	30.16 m/s	-25.80 m/s
V_{y0}	11.58 m/s	19.44 m/s
Gittata teorica	190,8 m	190,8 m
Lg	56,33 m	56,33 m
Gittata Effettiva	247,3 m	247,3 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 3.2, come è possibile osservare dalla Figura 3.5.

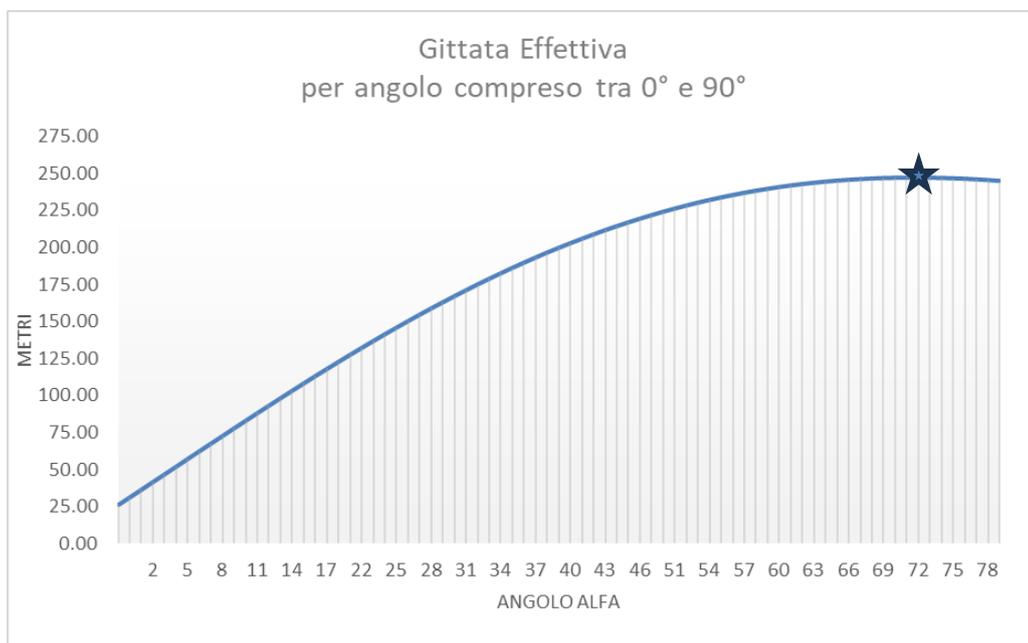


Figura 3.5: Calcolo Gittata Effettiva vs. angolo di distacco [°], si rimanda al paragrafo 3 per la definizione delle traiettorie.

3.5 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 191 m per un angolo di distacco pari a 69° circa, al quale dovrà aggiungersi la parte più lontana dal baricentro verso l'esterno della pala, 56,3 m, per un valore complessivo precauzionalmente arrotondato in:

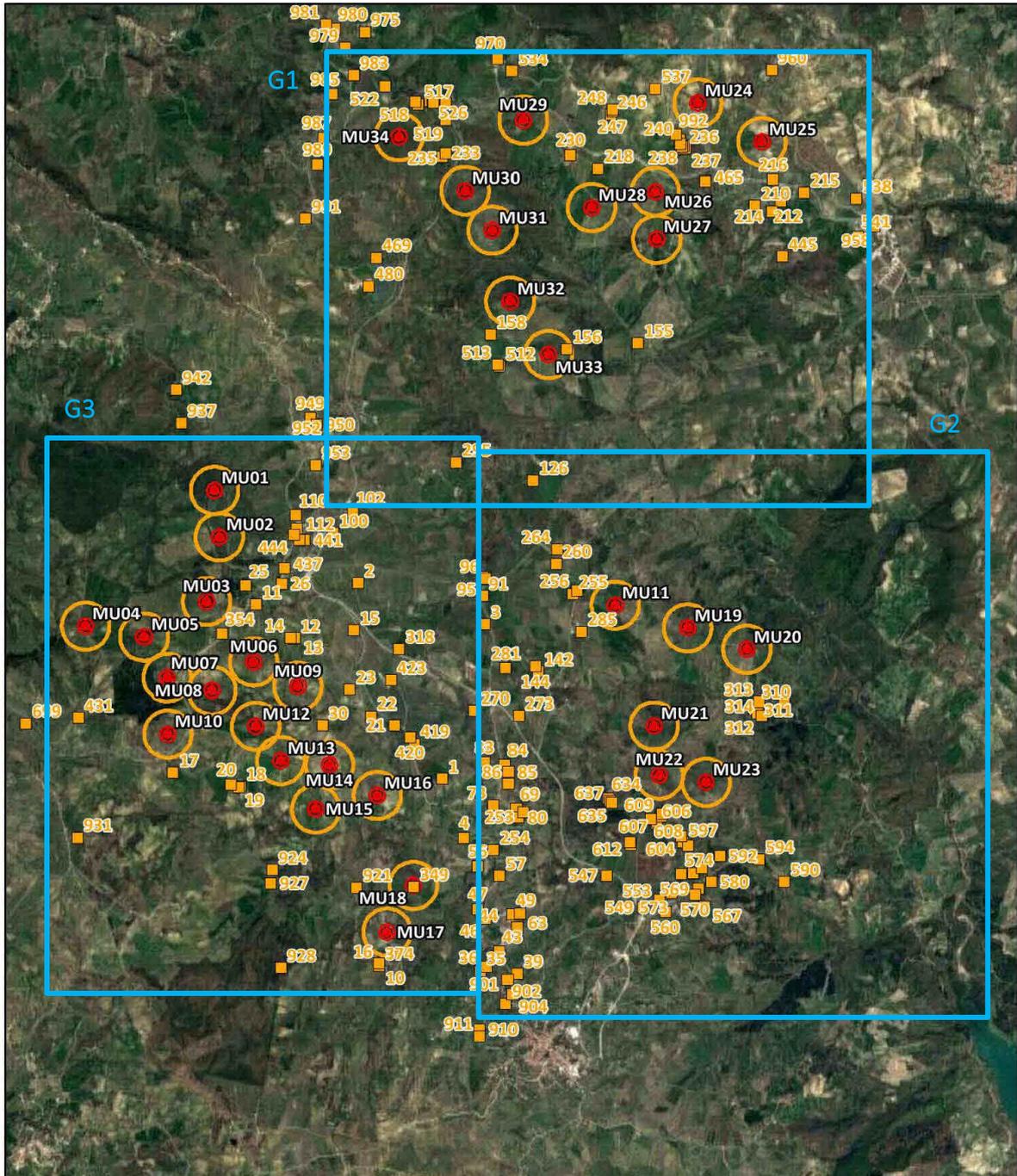
$$G_{\text{eff}} = 250\text{m}$$

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 3.3)



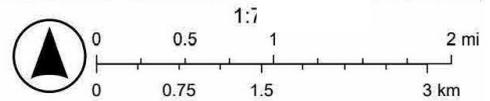
4. APPLICAZIONE DEI RISULTATI ALL'IMPIANTO EOLICO IN OGGETTO

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.



22/1

- Recettori 1500
- Gittata massima 250 m
- Aerogeneratore di progetto - area di sorvolo
- Aerogeneratore di progetto



© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

Figura 4.1: Quadro di unione - Layout di progetto con buffer della gittata massima di distacco di una pala.

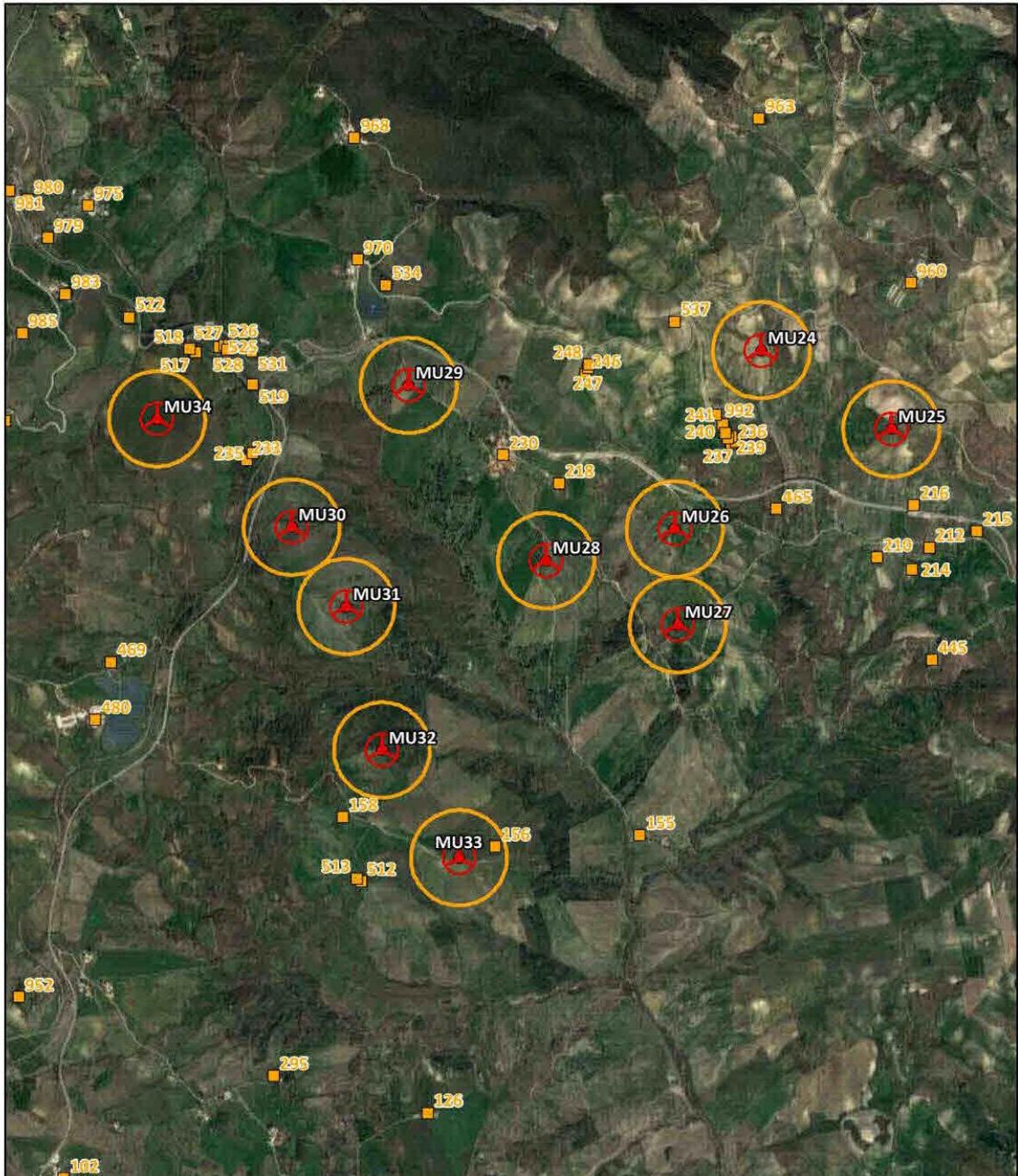
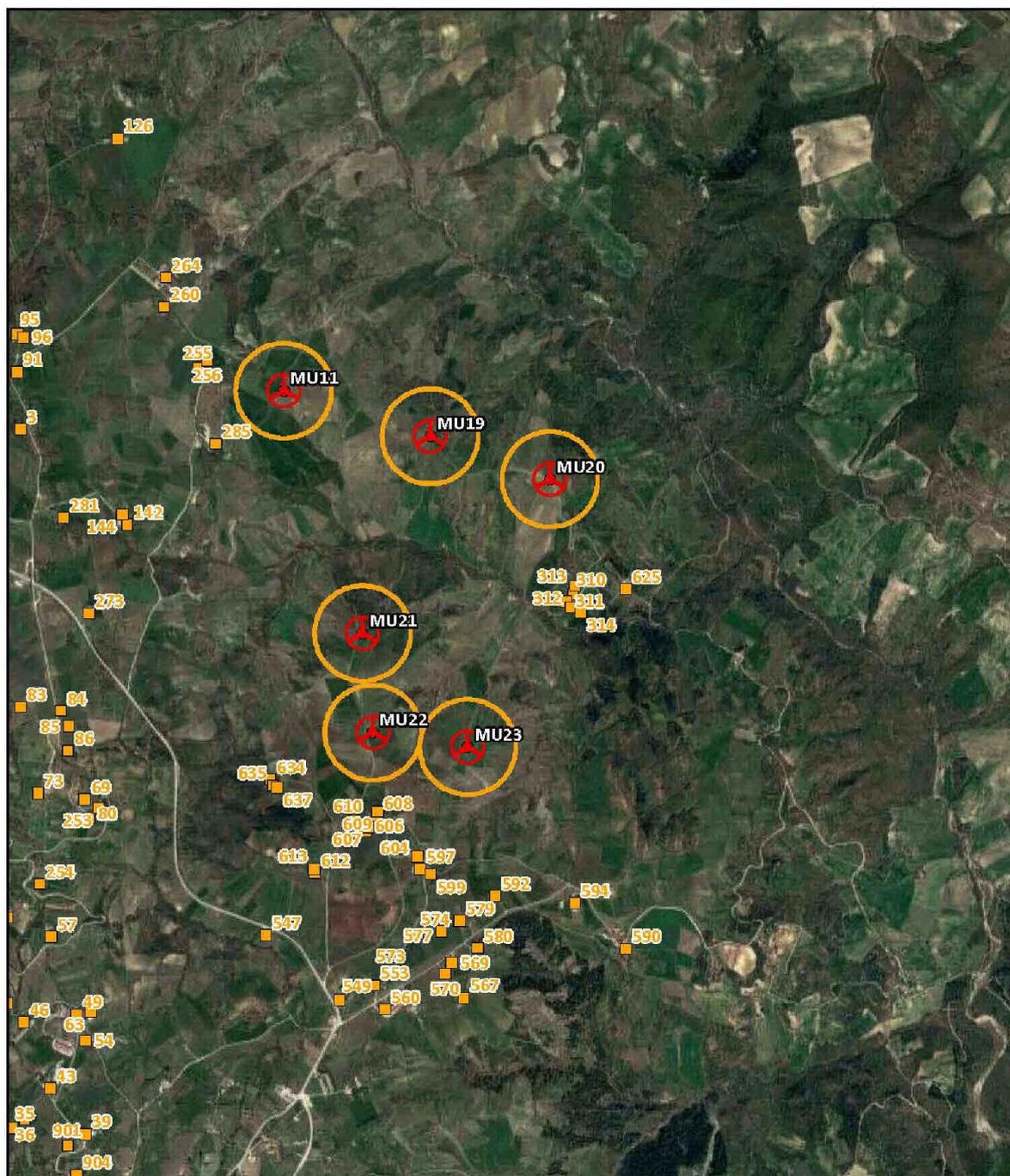


Figura 4.2: Settore G1 - Layout di progetto con buffer della gittata massima di distacco di una pala.



-  Recettori 1500
-  Gittata massima 250 m

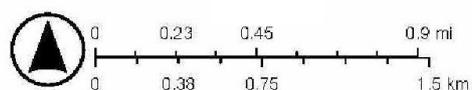


Figura 4.3: Settore G2 - Layout di progetto con buffer della gittata massima di distacco di una pala.



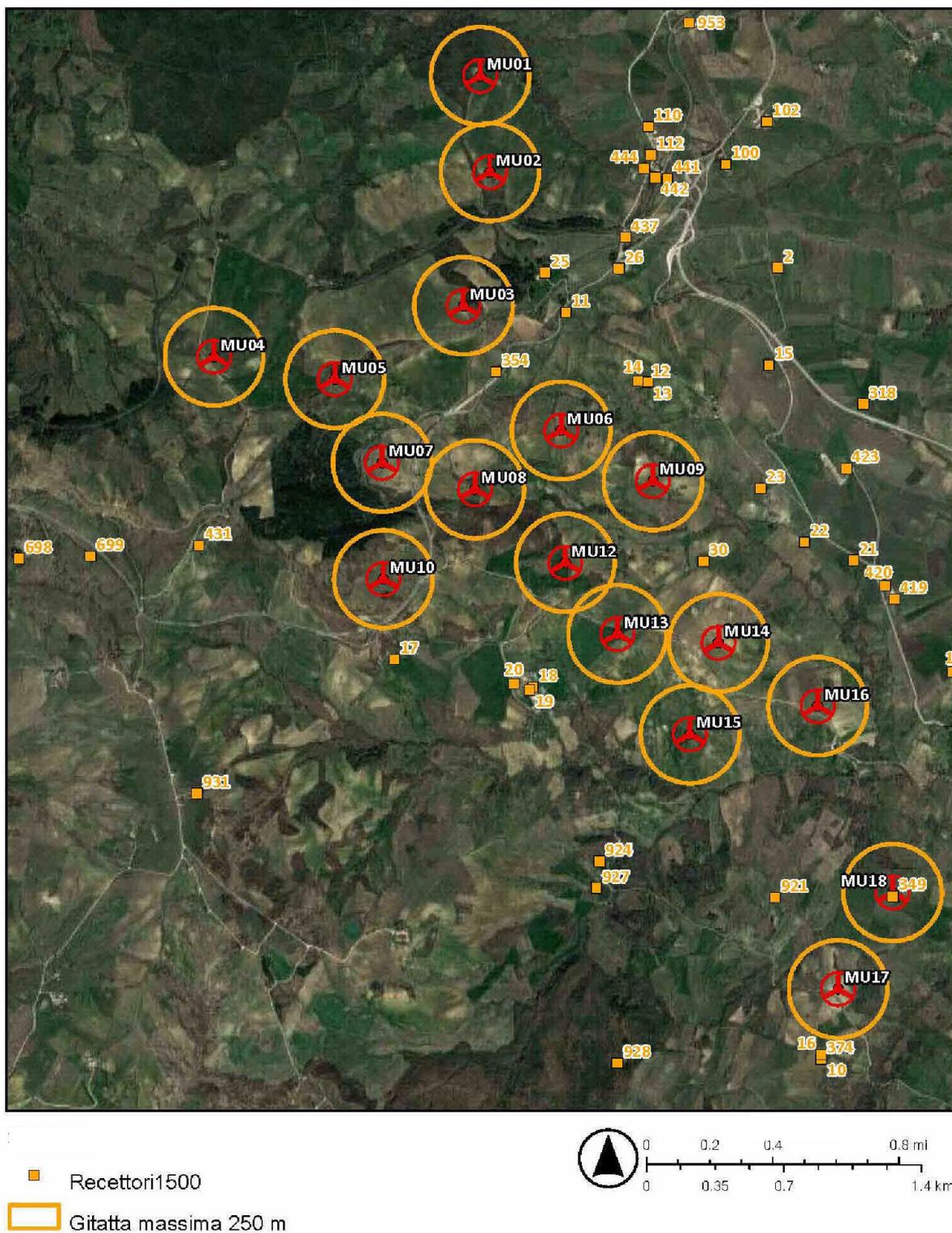


Figura 4.4: Settore G3 - Layout di progetto con buffer della gittata massima di distacco di una pala.

Nella tabella sottostante, si riportano le distanze minime tra i recettori più prossimi alle WTG¹.

Tabella 4.1: Verifica di interferenza dei recettori con la gittata effettiva

IDentificativo aerogeneratore	Gittata effettiva (m)	Distanza minima recettore (m)*	Categoria catastale recettore
MU1	250	>350	Abitazione
MU2	250	>350	Abitazione
MU3	250	>350	Abitazione
MU4	250	>350	Abitazione
MU5	250	>350	Abitazione
MU6	250	>350	Abitazione
MU7	250	>350	Abitazione
MU8	250	>350	Abitazione
MU9	250	>350	Abitazione
MU10	250	>350	Abitazione
MU11	250	>350	Abitazione
MU12	250	>350	Abitazione
MU13	250	>350	Abitazione
MU14	250	>350	Abitazione
MU15	250	>350	Abitazione
MU16	250	>350	Abitazione
MU17	250	>350	Abitazione
MU18	250	>350	Abitazione
MU19	250	>350	Abitazione
MU20	250	>350	Abitazione
MU21	250	>350	Abitazione
MU22	250	>350	Abitazione
MU23	250	>350	Abitazione
MU24	250	>350	Abitazione
MU25	250	>350	Abitazione
MU26	250	>350	Abitazione
MU27	250	>350	Abitazione
MU28	250	>350	Abitazione

¹ Per approfondimenti si rimanda alla relazione tecnica "2908_5111_MUSA_PFTE_R07_Rev0_FABBRICATI"



MU29	250	>350	Abitazione
MU30	250	>350	Abitazione
MU31	250	>350	Abitazione
MU32	250	>350	Abitazione
MU33	250	200	Abitazione abbandonata
MU34	250	>350	Abitazione



5. CONCLUSIONI

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

- i calcoli effettuati dimostrano che per l'aerogeneratore generico con altezza mozzo pari a 114 m, alla velocità massima di rotazione a pari a 10.4 rpm², la distanza massima del punto d'impatto del baricentro di una pala distaccatasi dal rotore è circa 250 m;
- per 32 WTG analizzate, ad una distanza di sicurezza (350m) pari al 140% del buffer di ampiezza di gittata massima (250 m) non si rinviene alcun recettore. I recettori fabbricati più vicini alla gittata massima di distacco sono posizionati a ben oltre 400 m metri dalle WTG;
- all'interno del buffer 250 m della WTG MU33 ricade un recettore classificato come abitazione che, dai rilievi in sito, risulta abbandonata.

Va altresì evidenziato 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;
- 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 di tutte le considerazioni sopra esposte, si può affermare che le turbine nelle aree individuate all'interno del presente progetto non costituiscono pericolo per la pubblica incolumità in caso di distacco di pala dal mozzo del rotore.

² Dato precauzionale ricavato da un modello di aerogeneratore attualmente in produzione