

REGIONE SICILIANA
Comune di Mazara del Vallo
Provincia di Trapani

PROPONENTE:
VRG Wind 060 S.r.l.

VRg wind 060

FICHTNER
ITALIA



**INGEGNERIA
PROGETTI** SRL

PROGETTO:

Integrale Ricostruzione del Parco Eolico "VRG Wind 060"
ubicato nel Comune di Mazara del Vallo (TP)

Elaborato: Q.3

Formato (A4)
Numero foglio -
scala -

Progetto definitivo

Elaborato:

Relazione di calcolo della gittata massima

I progettisti


_____ Firma

_____ Firma

_____ Firma


_____ Firma

REV	DATA	PREPARATO	CONTROLLATO	APPROVATO	
1	17/03/2022	Ingegneria Progetti	Fichtner	VRG Wind 060 S.r.l.	Job: F614

 TENPROJECT	RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	Q.3 05/12/2022 17/03/2023 01 2 di 15
---	---	---	--

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	VALUTAZIONE DEL RISCHIO.....	5
3	METODOLOGIA DI CALCOLO DELLA GITTATA	6
4	CALCOLO DELLA GITTATA PER L'AEROGENERATORE DI PROGETTO	11
5	COMPATIBILITÀ DEL PROGETTO IN RELAZIONE AGLI ELEMENTI ANTROPICI PRESENTI.....	12
6	CONCLUSIONI.....	15

 TENPROJECT	RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	Q.3 05/12/2022 17/03/2023 01 3 di 15
---	---	---	--

1 PREMESSA

Descrizione del Proponente

Il soggetto proponente del progetto in esame è la società VRG Wind 060 S.r.l. con sede in Via Algardi 4, 20148 Milano, P.IVA n. 02219610819; interamente parte del gruppo Sorigenia S.p.A., uno dei maggiori operatori energetici italiani. Il Gruppo è attivo nella produzione di energia elettrica con oltre 4.750 MW di capacità di generazione installata e oltre 400.000 clienti in fornitura in tutta Italia. Efficienza energetica e attenzione all'ambiente sono le linee guida della sua crescita. Il parco di generazione, distribuito su tutto il territorio nazionale, è costituito dai più avanzati impianti a ciclo combinato e da impianti a fonte rinnovabile, per una capacità di circa 370 MW tra biomassa ed eolico. Nell'ambito delle energie rinnovabili, il Gruppo, nel corso della sua storia, ha anche sviluppato, realizzato e gestito impianti di tipo fotovoltaico (ca. 24 MW), ed idroelettrico (ca.33 MW). In quest'ultimo settore, Sorigenia è attiva con oltre 75 MW di potenza installata gestita tramite la società Tirreno Power, detenuta al 50%. Il Gruppo Sorigenia, tramite le sue controllate, fra le quali VRG Wind 060 S.r.l. è attualmente impegnata nello sviluppo di un importante portafoglio di progetti rinnovabili di tipo eolico, fotovoltaico, biometano, geotermico ed idroelettrico, caratterizzati dall'impiego delle Best Available Technologies nel pieno rispetto dell'ambiente.

Sintesi del progetto

Il Progetto prevede l'integrale ricostruzione (*repowering*) del Parco Eolico esistente di Mazara del Vallo, ricadente nei limiti amministrativi territoriali dei comuni di Mazara del Vallo (TP) e Salemi (TP), mentre dal punto di vista catastale le opere di progetto risultano individuate all'interno dei fogli del Comune di Mazara del Vallo, e di proprietà della società VRG Wind 060 S.r.l. (il soggetto proponente).

Il parco eolico esistente è costituito da

- 1) un vecchio impianto costituito da n. 24 aerogeneratori da 2 MW, per una potenza nominale complessiva di 48 MW;
- 2) un ampliamento più recente (in esercizio dal 2016) costituito da n. 6 aerogeneratori Vestas V126 da 3 MW, per una potenza nominale complessiva di 18 MW.


Il progetto di integrale ricostruzione prevede la dismissione del vecchio impianto di 24 aerogeneratori da 48 MW complessivi e l'installazione nelle stesse aree di 13 aerogeneratori di grande taglia, aventi diametro del rotore fino a 170 m, altezza al mozzo fino a 125 m e altezza totale fino a 210 m, ed una potenza nominale di 6 MW ciascuno, per una potenza totale di 78 MW.

Il progetto rispetta i criteri del DL Semplificazioni¹, che specifica il numero massimo di turbine, l'altezza totale dell'estremità delle pale, nonché l'estensione dell'area di sito utilizzabile perché il progetto di repowering sia considerato una modifica non sostanziale.

Il progetto prevede il massimo riutilizzo della viabilità esistente a servizio del parco eolico attualmente in esercizio, con gli opportuni adeguamenti, e la realizzazione di nuove piazzole in corrispondenza della posizione dei nuovi aerogeneratori.

Il soggetto proponente ha richiesto la modifica della connessione alla rete elettrica dell'impianto esistente, e si propone di mantenere come punto di connessione quello già esistente alla Cabina Primaria a 150 kV "Mazara

¹ DL 77 del 31/05/2021 convertito con la Legge 108 del 29/07/2021, come modificato da DL 17/2022 convertito con la Legge 34/2022

 TENPROJECT	RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	Q.3 05/12/2022 17/03/2023 01 4 di 15
---	---	---	--

2", di e-distribuzione S.p.A., situata nel Comune di Mazara del Vallo. Si prevede pertanto il riutilizzo della Sottostazione Elettrica di Utente (SSEU) e della connessione in alta tensione alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) esistenti, con interventi tecnici di adeguamento degli impianti alla nuova potenza del parco eolico.

La rete di cavi elettrici interrati a servizio del parco esistente sarà rinnovata, con la posa di nuovi cavidotti in media tensione a 30 kV disposti lungo la viabilità di servizio e pubblica, su tracciato -per quanto possibile - della rete esistente. I cavidotti collegheranno gli aerogeneratori alla SSEU, dove avviene la trasformazione da 30 kV a 150 kV per consentire la consegna dell'energia a 150 kV alla RTN.

Nella SSEU esistente rimarrà connesso alla rete anche l'ampliamento del parco eolico da 18MW in esercizio dal 2016.

I progetti del tipo in esame rispondono a finalità di interesse pubblico (riduzione dei gas ad effetto serra, risparmio di fonti fossili scarse ed importate) ed in quanto tali sono indifferibili ed urgenti, come stabilito dalla legge 1° giugno 2002, n. 120, concernente "Ratifica ed esecuzione del Protocollo di Kyoto alla Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, fatto a Kyoto l'11 dicembre 1997" e dal 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" e s.m.i..


L'utilizzo di fonti rinnovabili comporta infatti beneficio a livello ambientale, in termini di tonnellate equivalenti di petrolio (TEP) risparmiate e mancate emissioni di gas serra, polveri e inquinanti. Per il progetto in esame si stima una producibilità del parco eolico superiore a 240 GWh/anno, che consente di risparmiare almeno 44.800 TEP/anno (fonte ARERA: 0,187 TEP/MWh) e di evitare almeno 107.784 ton/anno di emissioni di CO2 (fonte Rapporto ISPRA 2022: 449,1 gCO2/kWh).

Scopo della Relazione

La presente relazione riporta la procedura operata per il calcolo della gittata massima di una pala relativa un aerogeneratore con altezza al mozzo 125 m, diametro del rotore 170m e potenza 6000 kW. Nel calcolo della gittata massima dell'intera pala ci si è posti nell'ipotesi di distacco della pala nel punto di serraggio sul mozzo, punto di maggiore sollecitazione, per evidente effetto di intaglio dovuto al collegamento.

Per il calcolo sono stati utilizzati modelli semplificati che assimilano il moto della pala a quello irrotazionale di un corpo puntiforme avente massa e centro di gravità coincidenti con quelli dell'oggetto distaccato e assoggettato alle forze aerodinamiche agenti su di esso. Tale metodologia consente lo sviluppo di calcoli più agili garantendo ottimi margini di approssimazione ed assicura valutazioni ampiamente cautelative e, quindi, a vantaggio di sicurezza, in quanto le azioni trascurate indurrebbero comunque ulteriori dissipazioni e ridurrebbero i valori di gittata massima.

Il calcolo della gittata massima viene eseguito al fine di prevedere possibili problemi che una simile eventualità, per quanto improbabile, possa procurare a cose o persone.

 TENPROJECT	RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	Q.3 05/12/2022 17/03/2023 01 5 di 15
---	---	---	--

2 VALUTAZIONE DEL RISCHIO

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.

Dal punto di vista tecnico questo è un problema che dovrebbe essere affrontato con un approccio di valutazione del rischio, ovvero valutando la probabilità di accadimento e la magnitudo dell'evento e con le opportune valutazioni si potrebbe dimostrare che l'evento è altamente improbabile e che non costituisce pericolo per le persone o cose.

Tuttavia, è da sottolineare che la diffusione di installazione di tipo minieolico e/o di macchine rigenerate ha recentemente leggermente accentuato l'occorrenza del fenomeno. Le macchine con rotore più piccolo, sebbene caratterizzate da profili di dimensioni ridotte, sono caratterizzate da velocità di rotazioni molto maggiori ed è importante che i prodotti siano dotati di alti standard di progettazione e certificazione, nonché di verifiche semestrali del profilo, così come avviene per le macchine eoliche di grande taglia.

Nel caso in esame ognuna delle macchine eoliche ipotizzata è di nuova installazione, di recentissima tecnologia ed è caratterizzato da altissimi standard progettuali nonché da rigorosissimi controlli di qualità dei componenti, in particolar modo dei profili alari.

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 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, 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. 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.

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 dalla fulminazione in accordo alla norma IEC 61400-24 – livello I. Pertanto, possiamo sicuramente affermare che la probabilità che si produca un danno al sistema con successivi incidenti è del tutto trascurabile.

Ciò nonostante, ai fini cautelativi e precauzionali, nel seguito si è provveduto al calcolo della gittata della pala per il progetto di repowering del campo eolico esistente VRG Wind 060.

3 METODOLOGIA DI CALCOLO DELLA GITTATA

La valutazione della gittata massima corrispondente al distacco di un elemento del rotore di un aerogeneratore viene effettuato risolvendo il sistema di equazioni rappresentative del moto, nelle quali vengono espressi gli effetti dinamici indotti dalle forze agenti sul corpo stesso (forza peso, azione del vento, reazione di attrito dell'aria), adottando specifiche condizioni al contorno cautelative che permettono di valutare i risultati con adeguato margine di sicurezza.

Le condizioni al contorno considerate nel calcolo sono le seguenti:

- Densità dell'aria $1,100 \text{ kg/m}^3$ (valor minimo per il sito arrotondato per difetto in favore di sicurezza e calcolato all'altezza massima della pala alla temperatura di 35° , il valore medio di sito stimato ad altezza mozzo è pari a $1,175 \text{ kg/m}^3$);
- Velocità del vento 25 m/s , corrispondente alla massima velocità del vento ammessa prima che vengano automaticamente messe in stallo le pale;
- Velocità di rotazione della pala corrispondente al valore di velocità di rotazione del rotore massima consentita per il modello di aerogeneratore di progetto;

Tali valori sono rappresentativi di ipotesi cautelative in quanto corrispondenti a valori di condizioni al contorno che massimizzano la gittata.

Il sistema di riferimento adottato è riportato nella seguente figura:

- Asse X coincidente con la retta orizzontale passante per la base della torre e ortogonale all'asse di rotazione del rotore,
- Asse Y coincidente con la retta orizzontale passante per la base della torre, e nella stessa direzione dell'asse di rotazione del rotore,
- Asse Z coincidente con l'asse della torre.

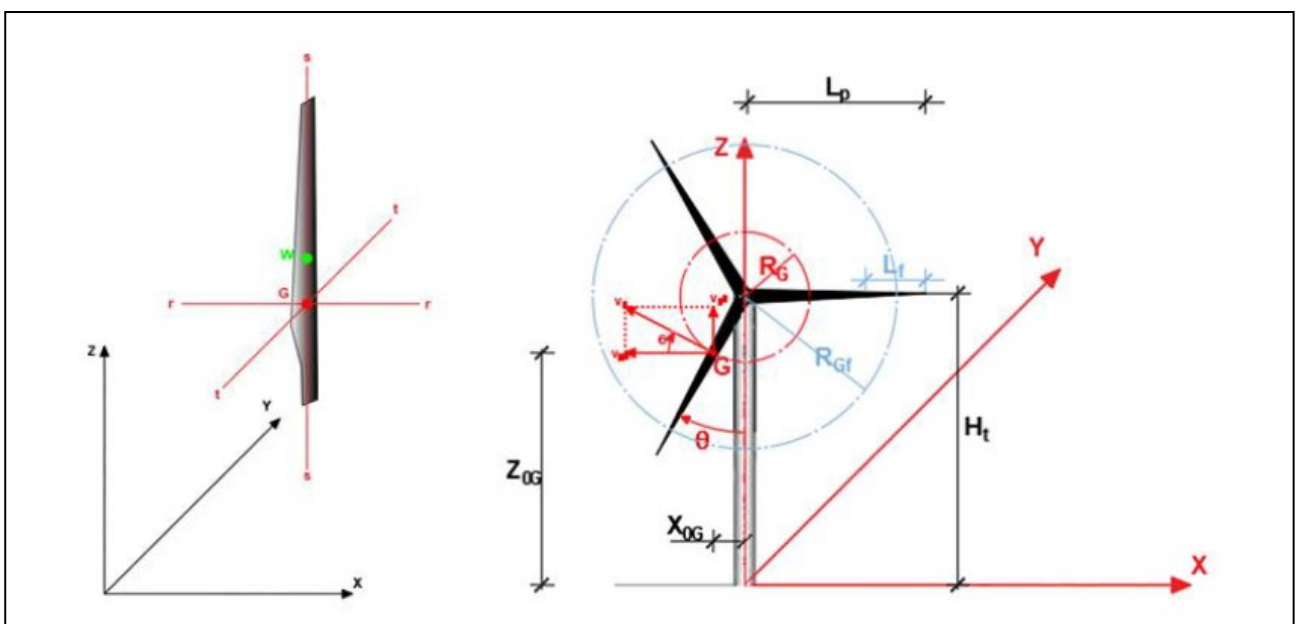


Figura 1: Schema del sistema di riferimento considerato

 TENPROJECT	RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	Q.3 05/12/2022 17/03/2023 01 7 di 15
---	---	---	--

In condizioni di regime normale il vento agisce in direzione ortogonale al piano delle pale, secondo una direzione parallela all'asse Y e induce la rotazione del rotore nel piano XZ con velocità angolare costante ω . Le pale del rotore dunque ruotando descrivono una circonferenza di raggio R_P , mentre il baricentro G della singola pala descrive una circonferenza di raggio R_G , usualmente ritenuto pari a circa 1/3 di R_P (baricentro, ubicato a circa 1/3 della lunghezza della pala).

La pala non subisce rotazioni rispetto agli assi r-r, s-s, t-t.

In tali condizioni le caratteristiche geometriche e cinematiche del moto del baricentro di una specifica pala possono essere espresse in funzione dell'angolo ϑ , formato tra l'asse della torre e l'asse longitudinale della pala:

La posizione del baricentro G (X_{0G} , Y_{0G} , Z_{0G}):

$$X_{0G} = R_G \sin \theta ; \quad Y_{0G} = 0 ; \quad Z_{0G} = H_t - R_G \cos \theta \quad \text{con } R_G = \frac{1}{3} R_P$$

la velocità V_{0G} del baricentro G ha direzione ortogonale all'asse longitudinale della pala, in quanto tangente alla circonferenza di raggio R_G , verso coerente con quello di rotazione ω e componenti v_{0X} , v_{0Y} , v_{0Z} :

$$v_{0X} = -v_{0G} \sin \theta ; \quad v_{0Y} = 0 ; \quad v_{0Z} = v_{0G} \cos \theta \quad \text{con } v_{0G} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \omega}{60} R_G$$

Al variare della posizione angolare della pala, descritta dall'angolo ϑ , cambiano, quindi, le condizioni cinematiche e la posizione del baricentro.

In condizioni di distacco della pala, le relazioni precedentemente descritte e le relative grandezze fisiche che esse rappresentano corrispondono, quindi, alle condizioni di inizio distacco, coincidenti con l'origine dei tempi ($t=0$), mentre il successivo moto descritto dal corpo distaccato ($t>0$) richiede una trattazione più complessa nella quale viene considerata l'analisi tridimensionale del moto rotazionale di un corpo di dimensioni non trascurabili che si muove ruotando attorno al proprio baricentro rispetto ai tre assi ortogonali di riferimento (r-r, s-s, t-t) e traslando nelle direzioni degli assi X, Y, Z.

Nel caso della stima del valore della gittata massima, possono essere utilizzati modelli semplificati che assimilano il moto a quello irrotazionale di un corpo puntiforme avente massa e centro di gravità coincidenti con quelli dell'oggetto distaccato e assoggettato alle forze aerodinamiche agenti su di esso.

Tale metodologia consente lo sviluppo di calcoli più agili garantendo ottimi margini di approssimazione ed assicura valutazioni ampiamente cautelative e, quindi, a vantaggio di sicurezza, in quanto le azioni trascurate indurrebbero comunque ulteriori dissipazioni e ridurrebbero i valori di gittata massima.

Il modello di calcolo prevede che sul baricentro del corpo agiscano le seguenti forze:

- la forza peso F_g , che ha direzione lungo l'asse Z e verso negativo:
 $F_g = m \cdot g$ in cui m è la massa della pala e g è l'accelerazione di gravità
- la resistenza aerodinamica F_v , che ha direzione analoga a quella del vettore velocità v di traslazione della pala, ma verso contrario. Assumendo che la pala, nel suo moto, ruoti progressivamente attorno al suo asse t-t, conservando sempre direzione ortogonale alla componente della velocità nel piano X-Z si può esprimere la resistenza aerodinamica nelle sue componenti principali, corrispondenti al moto traslatorio nel piano X-Z ed Y-Z:

$$F_{xz} = -\frac{1}{2} C \cdot \rho \cdot S \cdot v_{xz}^2 ; \quad F_y = -\frac{1}{2} C \cdot \rho \cdot S \cdot (w - v_y)^2$$

In cui v_{xz} è ottenuta come somma delle componenti della velocità lungo X e Y:

$$v_{xz} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad \text{con } \tan \beta = \frac{v_y}{v_x}$$

Avendo indicato con:

- C il coefficiente di resistenza aerodinamica dell'intera pala
- ρ la densità dell'aria, che è funzione della temperatura e della quota sul livello del mare e si può assumere cautelativamente pari a $1,1 \text{ kg/m}^3$,
- S la superficie maestra della pala ortogonale alla direzione del moto,
- v_{xz} e v_y le componenti della velocità v di traslazione della pala rispettivamente nel piano xz, e lungo la direzione y,
- w la velocità del vento assunta pari a 25 m/s, corrispondente alla massima velocità prima che vengano automaticamente poste in stallo le pale,

β è l'angolo tra la direzione della velocità v_{xz} e la sua proiezione nella direzione parallela all'asse X. Avendo ipotizzato costanti i coefficienti C, ρ e S si possono esprimere le componenti della forza d'attrito lungo X e Z come:

$$F_x = F_{xz} \cdot \cos \beta \quad ; \quad F_z = F_{xz} \cdot \sin \beta$$

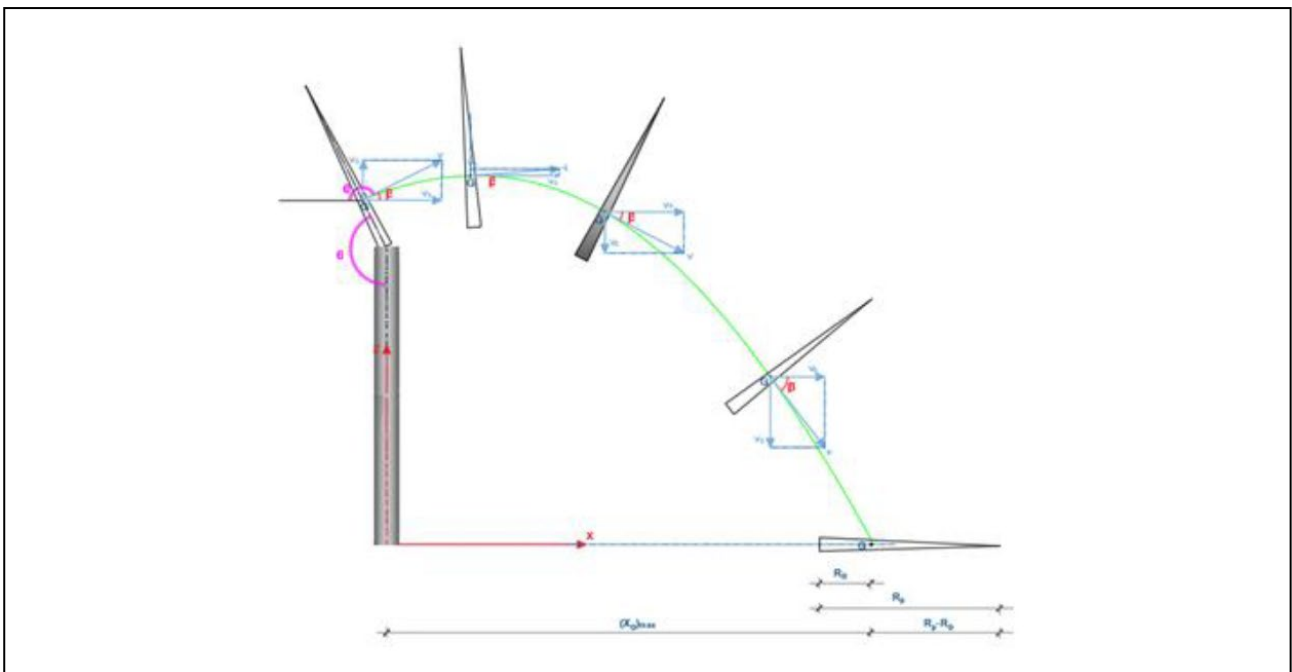


Figura 2 Schema della gittata di una pala

Quindi, applicando il secondo principio della dinamica è possibile scrivere, nel generico istante t, le equazioni di moto in ciascuna delle direzioni principali:

- Lungo la direzione X, sul corpo di massa m dotato di una certa velocità v_x agirà l'azione della resistenza

 TENPROJECT	RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	Q.3 05/12/2022 17/03/2023 01 9 di 15
---	---	---	--

dell'aria F_x (sempre di verso opposto alla direzione della velocità di traslazione) e quindi il corpo subisce un'accelerazione a_x :

$$m \cdot a_x(t) = -F_{xz}(t) \cdot \cos \beta(t)$$

- Lungo la direzione Y, sul corpo di massa m dotato di una certa velocità v_y agirà l'azione della resistenza dell'aria F_y (sempre di verso opposto alla direzione della velocità di traslazione) e quindi il corpo subisce un'accelerazione a_y :

$$m \cdot a_y(t) = -F_y(t)$$

- Lungo la direzione Z, sul corpo di massa m dotato di una certa velocità v_z agiranno l'azione della resistenza dell'aria F_z (sempre di verso opposto alla direzione della velocità di traslazione) e l'azione della forza peso $-m \cdot g$; quindi, il corpo subisce un'accelerazione a_z :

$$m \cdot a_z(t) = -F_{xz}(t) \cdot \sin \beta(t) - m \cdot g$$

Tali equazioni permettono di ricavare i valori delle accelerazioni a_x , a_y , a_z , nelle direzioni degli assi principali di riferimento X,Y,Z.

Conseguentemente le componenti della velocità v risultano espresse dalle relazioni:

$$v_x(t + \Delta t) = v_x(t) + a_x(t) \cdot \Delta t$$

$$v_y(t + \Delta t) = v_y(t) + a_y(t) \cdot \Delta t$$

$$v_z(t + \Delta t) = v_z(t) + a_z(t) \cdot \Delta t$$

e le componenti dello spostamento dalle relazioni:

$$x(t + \Delta t) = x(t) + v_x(t) \cdot \Delta t + \frac{1}{2} a_x(t) \cdot \Delta t^2$$

$$y(t + \Delta t) = y(t) + v_y(t) \cdot \Delta t + \frac{1}{2} a_y(t) \cdot \Delta t^2$$

$$z(t + \Delta t) = z(t) + v_z(t) \cdot \Delta t + \frac{1}{2} a_z(t) \cdot \Delta t^2$$

Queste equazioni descrivono il moto della pala nel generico istante di tempo t e possono essere integrate a partire dall'istante di distacco assunto pari a zero ($t_0=0$) adottando un procedimento alle differenze finite con un passo di integrazione sufficientemente piccolo.

In tale modo si ricavano le coordinate (X_t , Y_t , Z_t) della traiettoria e le caratteristiche cinematiche del moto (v_{xt} , v_{yt} , v_{zt} , a_{xt} , a_{yt} , a_{zt}) in ogni istante e si valuta il tempo t_v (tempo di volo) per il quale il corpo giunge al suolo in corrispondenza del punto più lontano di coordinate (X_{max} , Y_{tv} , $Z_{tv}=0$).

Ricavate le coordinate del punto di atterraggio della pala è necessario valutare la distanza vettoriale di detto punto dall'origine degli assi (0,0,0) coincidente con la base della torre, attraverso la relazione:

$$L_{tv} = \sqrt{x_{tv}^2 + y_{tv}^2}$$

 TENPROJECT	RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	Q.3 05/12/2022 17/03/2023 01 10 di 15
---	---	---	---


La gittata vettoriale si ottiene quindi sommando, al valore L_{tv} ricavato, la distanza tra l'estremità dell'elemento ed il suo baricentro:

$$Gittata\ vettoriale\ della\ pala = L_{tv} + R_p - R_{Gp}$$

Indicando con il pedice p i termini riferiti alla pala.

Al variare della posizione assunta dalla pala (angolo ϑ) nell'istante del distacco ($t_0=0$) cambiano le condizioni iniziali (X_{0G} , Y_{0G} , Z_{0G}) e, con esse, tutti i parametri che definiscono la traiettoria seguita dalla pala stessa e, quindi, la distanza massima del punto di caduta dall'asse della torre stessa.

La stima della gittata vettoriale massima si ottiene ripetendo il calcolo per differenti angoli iniziali (ϑ) ed individuando i parametri relativi alle condizioni più sfavorevoli.

 TENPROJECT	RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	Q.3 05/12/2022 17/03/2023 01 11 di 15
---	---	---	---

4 CALCOLO DELLA GITTATA PER L'AEROGENERATORE DI PROGETTO

Nel seguito si procederà all'implementazione del modello fisico sopra descritto al fine di calcolare la gittata massima dell'intera pala per lo specifico modello di aerogeneratore previsto per l'installazione nel progetto del parco eolico: **WTG con diametro del rotore 170 m altezza mozzo 125 potenza 6000 kW.**

I dati geometrici e cinematici sui quali è basato il calcolo sono dunque:

- Altezza del rotore dal livello del terreno: 125 m,
- Diametro del rotore: 170 m (lunghezza della pala 83,5 m),
- Velocità di rotazione: 8,82 giri/minuto,
- Coefficiente di resistenza aerodinamica pari a 1
- Peso del corpo: 24600 kg,
- Superficie maestra del corpo (ortogonale alla direzione del moto): 276 m².

Le condizioni ambientali considerate sono le seguenti:

- Densità dell'aria assunta cautelativamente pari a 1,1 kg/m³.

È stata calcolata la gittata della pala intera e per diversi valori dell'angolo ϑ compresi fra 0° e 180°.

I valori dell'angolo ϑ maggiori di 180° sono esclusi dal calcolo in quanto per tali condizioni, essendo la componente lungo Z della velocità iniziale del corpo distaccato orientato verso il basso, si ha che in ogni caso i valori di gittata calcolati risulteranno inferiori a quelli ottenuti per le condizioni 0° < ϑ < 180°.

Il passo di integrazione utilizzato per la risoluzione delle equazioni del modello fisico è posto pari 0,001 s, valore ritenuto valido al fine di ottenere un errore di calcolo sufficientemente contenuto.

Nella tabella che segue si riportano sinteticamente i risultati ottenuti per la gittata vettoriale calcolata ovvero la distanza di atterraggio massima dell'intero profilo alare, comprensivo della sua geometria.

Tabella 1: Sintesi dei risultati ottenuti

	Pala intera
Lunghezza [m]	83,5
Peso [kg]	24600
Superficie effic. [m]	276
Larghezza media [m]	3,3
Angolo iniziale [°]	39
Tempo di volo [s]	7,1
Gittata massima [m]	184,6

Alcuni valori dimensionali e di superficie e peso del profilo alare di progetto sono stati desunti da valutazioni sulle dimensioni e tecnologia strutturale.



5 COMPATIBILITÀ DEL PROGETTO IN RELAZIONE AGLI ELEMENTI ANTROPICI PRESENTI

Come dimostrato nel capitolo precedente, la gittata massima dell'aerogeneratore di progetto è pari a circa **185 metri**. Gli aerogeneratori sono ubicati a distanze adeguate ai valori ottenuti per la gittata massima rispetto alle strade provinciali e ai recettori individuati nell'area.

Il recettore più vicino, R23, dista circa 278 m dall'aerogeneratore M11. Le strade ad alto scorrimento distano oltre 185 m dagli aerogeneratori di progetto.

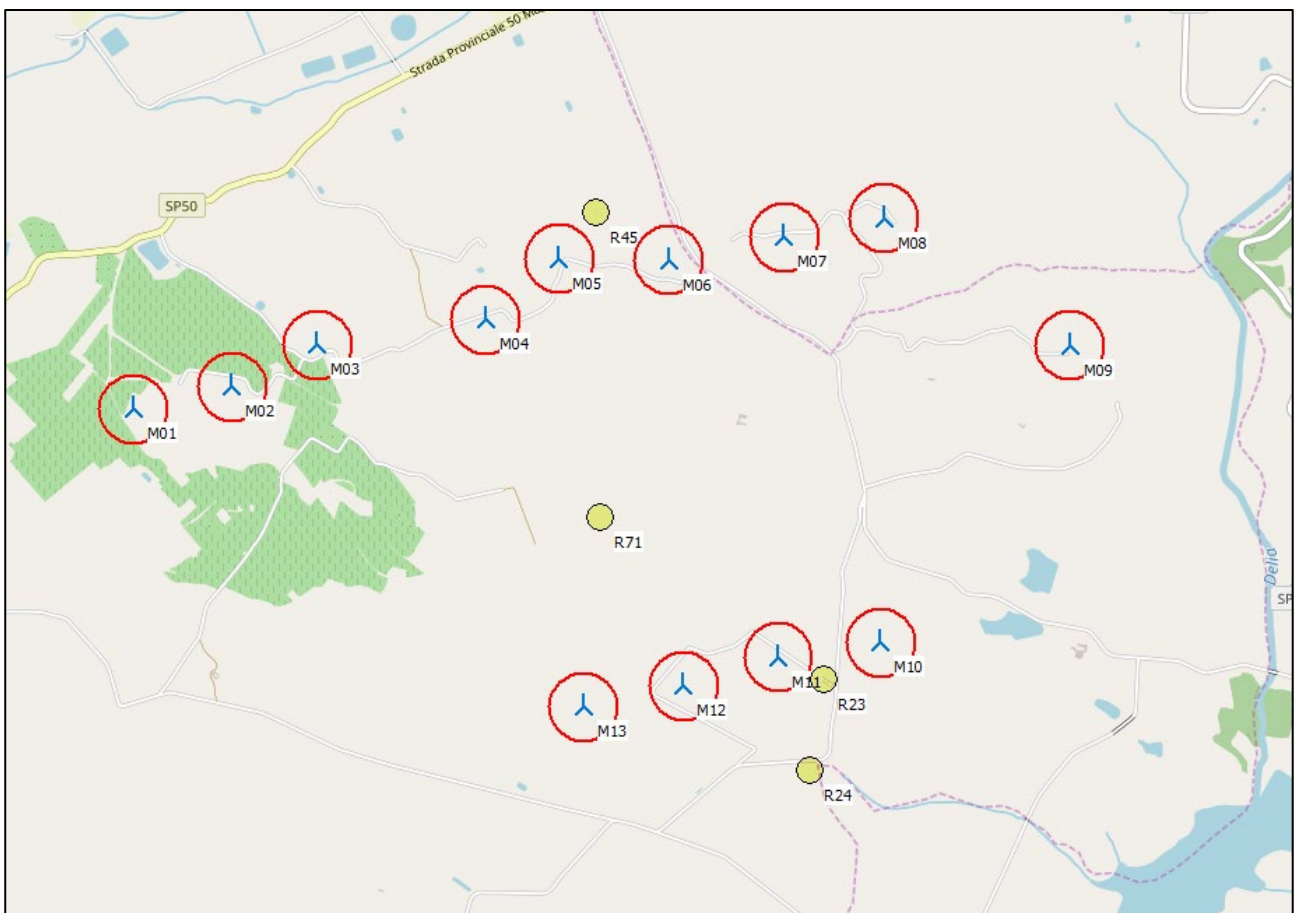



Figura 3: la figura mostra l'inquadramento degli aerogeneratori di progetto rispetto ai recettori alle maggiori strade provinciali presenti nell'area. In rosso il buffer di 185 m dagli aerogeneratori di progetto pari al valore della gittata massima

	<p style="text-align: center;">RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA</p>	<p>Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina</p>	<p>Q.3 05/12/2022 17/03/2023 01 13 di 15</p>
---	--	--	--

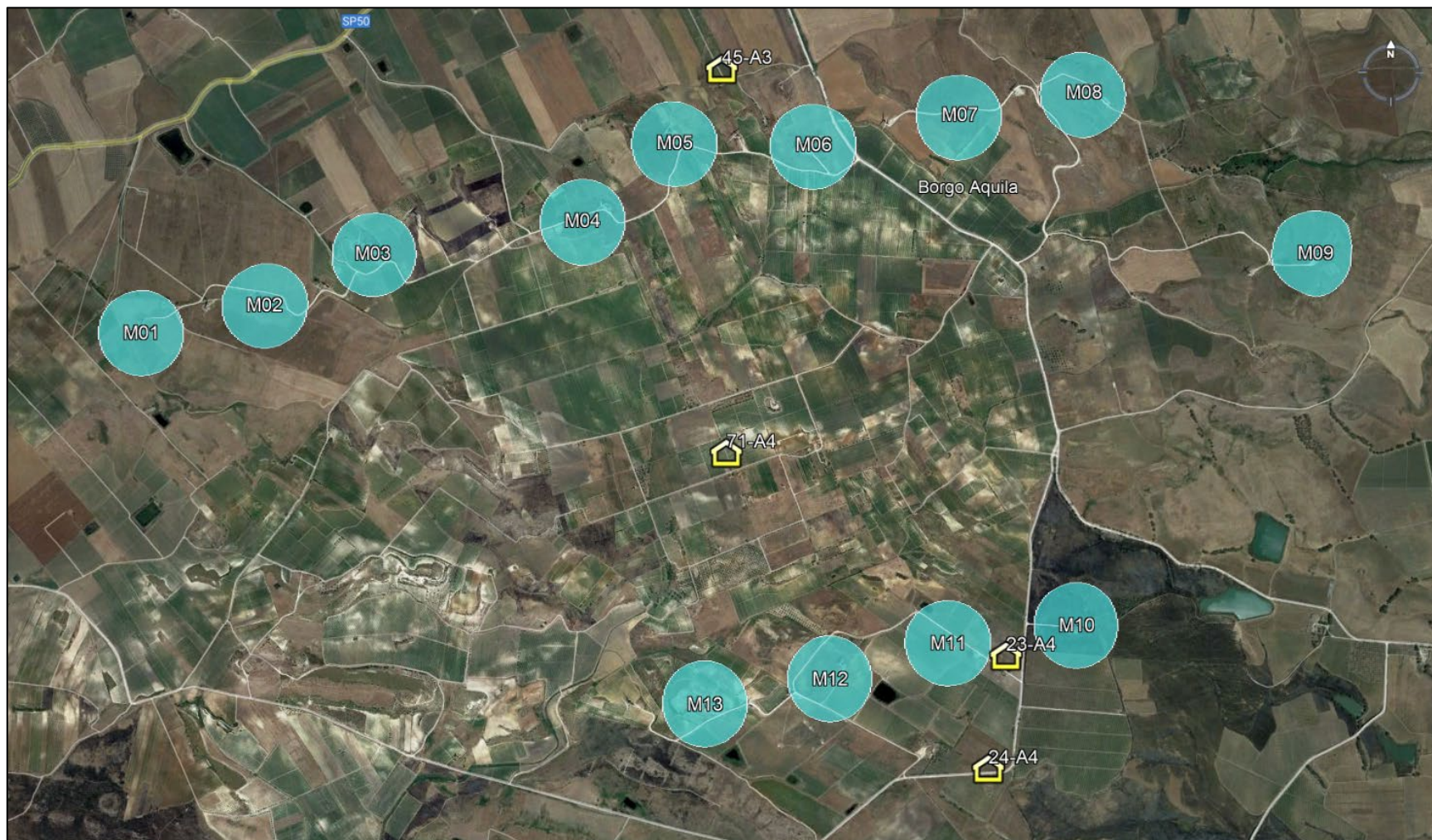




Figura 4: la figura mostra l'inquadramento degli aerogeneratori di progetto rispetto ai recettori e alle strade provinciali presenti nell'area. In ciano il buffer di 185 m dagli aerogeneratori di progetto pari al valore della gittata massima

 TENPROJECT	RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	Q.3 05/12/2022 17/03/2023 01 14 di 15
---	---	---	---

Un piccolo tratto della Sp 65 Madonna Bona è posta ad una distanza inferiore rispetto ai 185 m, ma in tal caso la strada è posta a E dell'aerogeneratore M06, una direzione interessata da venti molto deboli e poco frequenti



Figura 5: Dettaglio del tratto della SP65 interessata dall'area di gittata ma in direzione poco frequente e caratterizzata da deboli ventosità

 TENPROJECT	RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	Q.3 05/12/2022 17/03/2023 01 15 di 15
---	---	---	---

6 CONCLUSIONI

Come illustrato, per il calcolo della gittata sono stati utilizzati modelli semplificati che assimilano il moto della pala a quello irrotazionale di un corpo puntiforme avente massa e centro di gravità coincidenti con quelli dell'oggetto distaccato e assoggettato alle forze aerodinamiche agenti su di esso.

Tale metodologia consente lo sviluppo di calcoli più agili garantendo ottimi margini di approssimazione ed assicura valutazioni ampiamente cautelative e, quindi, a vantaggio di sicurezza, in quanto le azioni trascurate indurrebbero comunque ulteriori dissipazioni e ridurrebbero i valori di gittata massima.

Oltre alla metodologia, anche le condizioni al contorno considerate nel calcolo sono molto cautelative in quanto considera massima velocità del vento, massima velocità di rotazione, densità dell'aria minima stagionale, angolo di gittata massima etc.

Alla luce delle considerazioni esposte, è stato dimostrato che la distanza degli aerogeneratori di progetto dalle strade e dai ricettori sensibili può ritenersi adeguata rispetto alla gittata massima delle pale.