

TITLE:AVAILABLE LANGUAGE: IT

# IMPIANTO EOLICO DELLA POTENZA DI 60 MW WIND + 30 MW BESS COMUNI DI MESAGNE E TORRE SANTA SUSANNA (BR)

## RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA

<b>00</b>	<b>29/11/2021</b>	<b>PRIMA EMISSIONE</b>	<b>V.D'AMICO</b>	<b>F.DE CASTRO</b>	<b>A. SERGI</b>
<b>REV.</b>	<b>DATE</b>	<b>DESCRIPTION</b>	<b>PREPARED</b>	<b>VERIFIED</b>	<b>APPROVED</b>

### GRE VALIDATION

	<b>DURANTE</b>	<b>M.BASTIANELLI</b>
<b>COLLABORATORS</b>	<b>VERIFIED BY</b>	<b>VALIDATED BY</b>

<b>PROJECT / PLANT</b>																				
<b>IMPIANTO EOLICO TORRE SANTA SUSANNA</b>	<b>GROUP</b>	<b>FUNCION</b>	<b>TYPE</b>	<b>ISSUER</b>	<b>COUNTRY</b>	<b>TEC</b>	<b>PLANT</b>				<b>SYSTEM</b>	<b>PROGRESSIVE</b>	<b>REVISION</b>							
	<b>GRE</b>	<b>EEC</b>	<b>R</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>I</b>	<b>T</b>	<b>W</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

<b>CLASSIFICATION</b>	<b>UTILIZATION SCOPE</b>
-----------------------	--------------------------

## INDEX

1. INTRODUZIONE .....	3
1.1. DESCRIZIONE DEL PROPONENTE .....	3
1.2. CONTENUTI DELLA RELAZIONE .....	3
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....	4
3. GLI AEROGENERATORI E IL LORO FUNZIONAMENTO .....	6
4. ANALISI STORICA DEGLI INCIDENTI .....	8
5. ROTTURA PALA E CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA.....	9
5.1. INTRODUZIONE E IPOTESI ALLA BASE DEL MODELLO DI CALCOLO .....	9
5.2. AEROGENERATORI DI RIFERIMENTO .....	10
5.3. CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA.....	12
6. VALUTAZIONE DEL RISCHIO.....	16
7. CONCLUSIONI .....	18

## **1. INTRODUZIONE**

SCS Ingegneria Srl, in qualità di Consulente Tecnico, è stata incaricata da Enel Green Power S.p.A. ("EGP") di redigere il progetto autorizzativo per un impianto eolico proposto nei Comuni di Torre Santa Susanna e Mesagne, in provincia di Brindisi, costituito da 10 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6 MW, per una potenza totale di 60 MW.

### **1.1. DESCRIZIONE DEL PROPONENTE**

La società proponente è Enel Green Power Puglia Srl, una controllata da Enel Green Power S.p.A. (EGP). EGP è la società del Gruppo Enel che dal 2008 si occupa dello sviluppo e della gestione delle attività di generazione di energia da fonti rinnovabili.

Enel Green Power è presente in 29 Paesi nel mondo: in 18 gestisce delle capacità produttive mentre in 11 è impegnata nello sviluppo e costruzione di nuovi impianti. La capacità gestita totale è di circa 46 GW, corrispondenti a più di 1.200 impianti.

In Italia, il parco di generazione di Enel Green Power è rappresentato da tutte le 5 tecnologie rinnovabili: idroelettrico, eolico, fotovoltaico, geotermia e biomassa. Attualmente nel Paese conta una capacità gestita complessiva di oltre 14 GW.

L'energia prodotta dagli aerogeneratori, attraverso il sistema di cavidotti interrati in media tensione, verrà convogliata in una Sottostazione di Elevazione proposta nell'area d'impianto, che per mezzo di cavidotto AT si conetterà ad una futura Sottostazione Elettrica RTN, tramite la condivisione di un'ulteriore sottostazione.

Si pone l'accento sin da questa premessa, che la proposta progettuale considera l'installazione di turbine eoliche ad alta efficienza, che potrà costituire una fonte considerevole di produzione di dell'energia, riducendo fortemente l'impronta CO2 equivalente alla produzione della stessa da fonti convenzionali.

### **1.2. CONTENUTI DELLA RELAZIONE**

La presente relazione ha l'obiettivo di rappresentare i risultati del calcolo della gittata massima che si ottiene attraverso il moto percorso da una pala distaccatasi dall'aerogeneratore.

Il capitolo 2 descrive in generale il sito e il layout degli aerogeneratori di nuova costruzione.

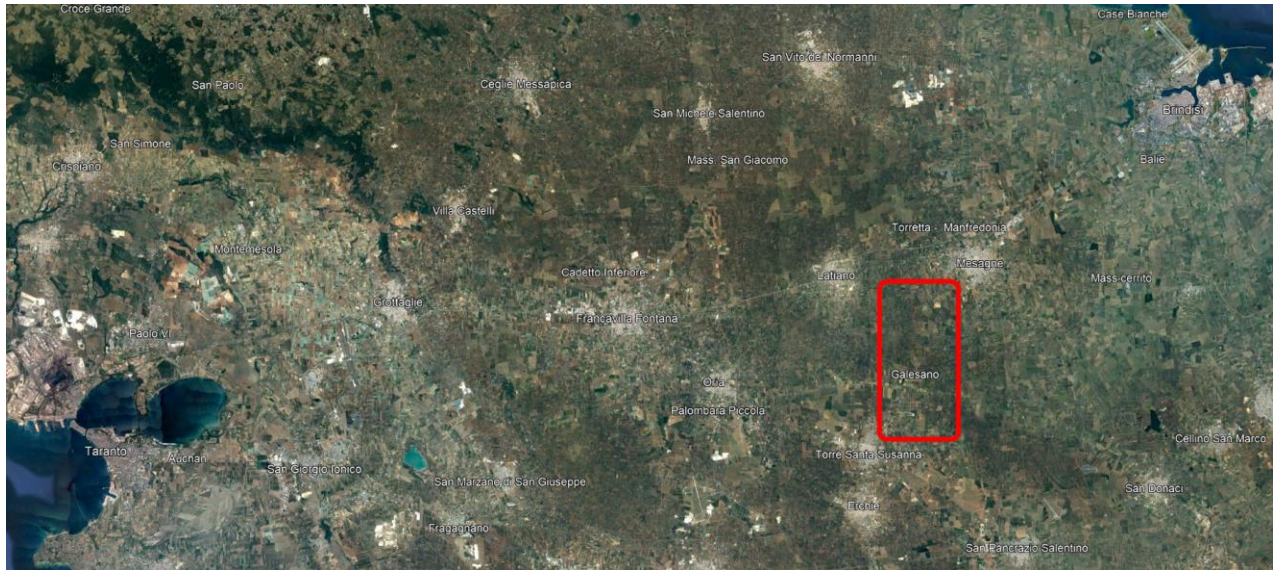
Il capitolo 3 descrive in generale le caratteristiche tecniche e costruttive di un aerogeneratore moderno di grossa taglia ed espone brevemente il suo funzionamento.

Nel capitolo 4 è riportata una breve analisi storica e statistica degli incidenti sugli aerogeneratori, focalizzato sulle pale.

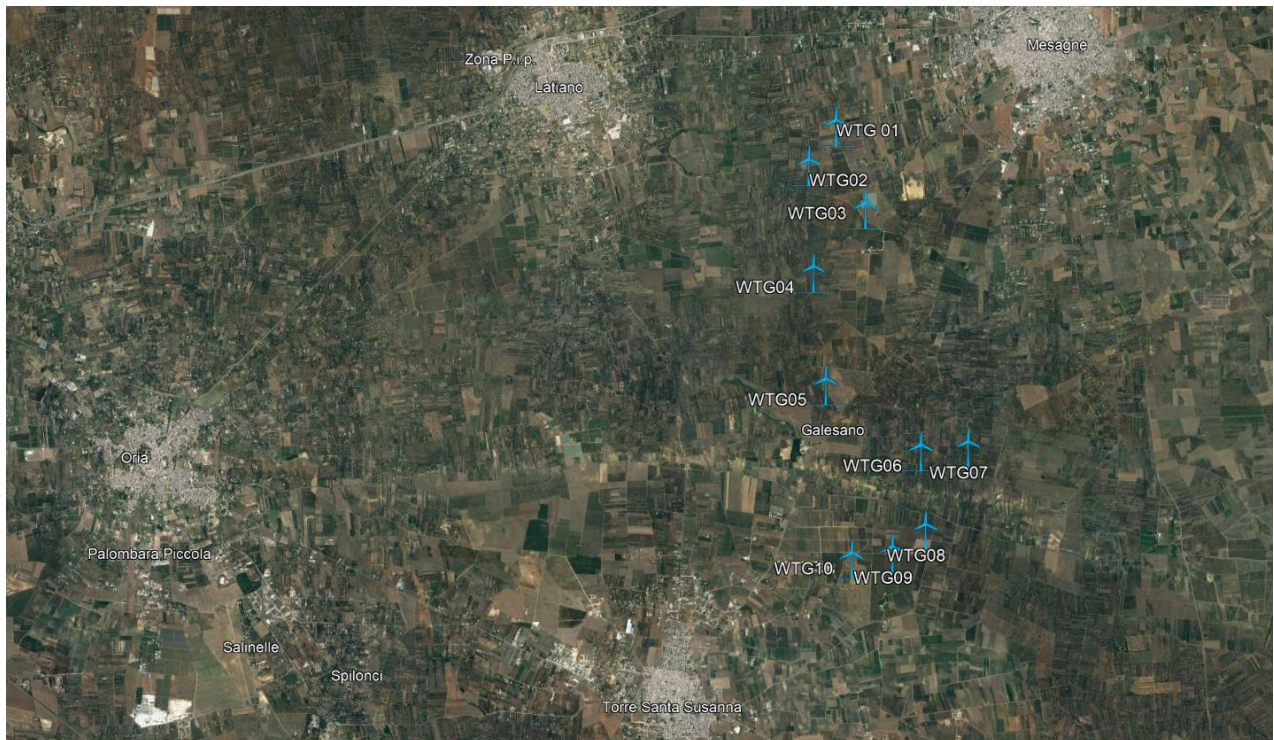
Il capitolo 5 affronta il metodo di calcolo della gittata massima, mentre nel capitolo 6 sono riportate le conclusioni con riferimento alle posizioni degli aerogeneratori di nuova costruzione in sito.

## 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il sito oggetto del presente elaborato è ubicato a circa 20 km a sud-ovest di Brindisi, nei territori Comunali di Torre Santa Susanna, Mesagne e Latiano, in Provincia di Brindisi, Regione Puglia. L'area interessata si sviluppa in un'area pianeggiante, a circa 22 km dalla costa Adriatica. Di seguito è riportato l'inquadramento territoriale dell'area di progetto e la configurazione proposta su ortofoto.



**Figura 1: Individuazione su Ortofoto**



**Figura 2: Layout d'impianto su Ortofoto**

Gli aerogeneratori che verranno installati nel nuovo impianto di Torre Santa Susanna saranno selezionati sulla base delle più innovative tecnologie disponibili sul mercato. La potenza nominale delle turbine previste sarà pari a massimo 6,0 MW. Il tipo e la taglia esatta

dell'aerogeneratore saranno comunque individuati in fase di acquisto della macchina e verranno descritti in dettaglio in fase di progettazione esecutiva.

Ai soli fini della valutazione della gittata massima, è stato considerato un aerogeneratore tipo Siemens Gamesa SG 6.0 - 170.

SISTEMA DI RIFERIMENTO UTM WGS 84 - FUSO 33N			RIFERIMENTI CATASTALI		
WTG	EST [m]	NORD [m]	COMUNE	FG	P.LLA
01	734516,00	4492082,00	MESAGNE	51	213
02	734107,00	4491451,00	MESAGNE	62	180
03	735021,00	4490798,00	MESAGNE	86	2
04	734234,71	4489777,93	MESAGNE	85	144
05	734482,20	4488021,03	TORRE SANTA SUSANNA	13	77
06	736013,06	4487032,25	MESAGNE	112	210
07	736756,73	4487108,53	MESAGNE	113	370
08	736129,64	4485788,02	MESAGNE	123	109
09	735619,21	4485421,88	MESAGNE	123	108
10	734982,30	4485302,63	TORRE SANTA SUSANNA	30	131

**Tabella 1: Elenco degli aerogeneratori**

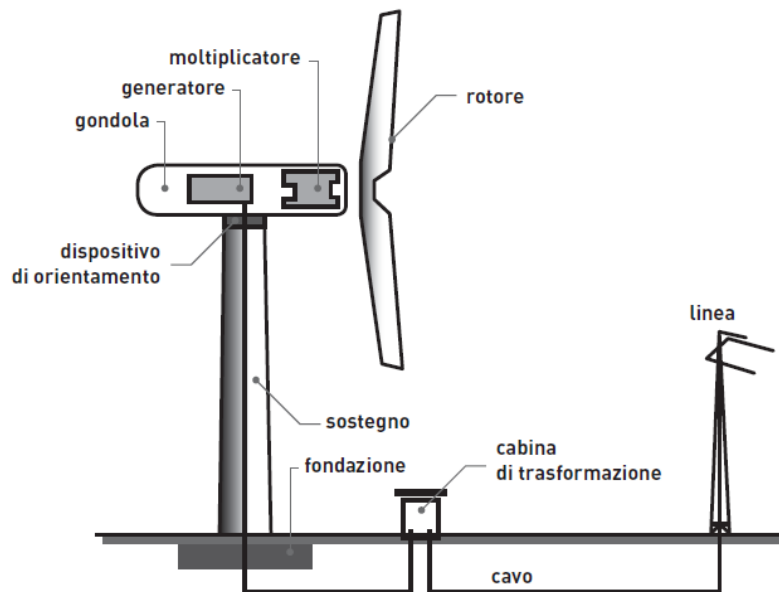
### 3. GLI AEROGENERATORI E IL LORO FUNZIONAMENTO

Un aerogeneratore (o turbina eolica) è, in generale, costituito dai seguenti sottosistemi principali:

- il rotore eolico, che trasforma l'energia cinetica del vento in energia meccanica mediante alcune pale, opportunamente sagomate secondo un profilo aerodinamico e montate su un asse orizzontale o verticale rispetto al terreno;
- l'apparato di conversione dell'energia meccanica in energia elettrica, basato su un generatore elettrico rotante azionato dal rotore eolico attraverso un sistema di trasmissione, che spesso comprende un moltiplicatore di giri per ottenere la velocità appropriata per il generatore;
- il convertitore statico di frequenza e tensione, se necessario per ottenere una potenza elettrica con caratteristiche diverse da quelle in uscita dal generatore ed appropriate all'impiego.

Nelle macchine ad asse orizzontale, come quelle dell'impianto eolico oggetto della presente relazione, il rotore ha di norma tre pale, generalmente costruite in vetroresina con eventuali rinforzi in fibra di carbonio. Le pale sono a passo variabile, cioè il loro angolo di calettamento al mozzo può essere variato da un servomeccanismo comandato dal sistema di controllo dell'aerogeneratore. Gli aerogeneratori ad asse orizzontale comprendono, oltre al rotore, i seguenti componenti strutturali principali:

- la navicella o gondola, in cui sono alloggiati gli alberi di trasmissione, il moltiplicatore di giri, il generatore, eventuali altri componenti elettrici e le apparecchiature ausiliarie e di controllo; la navicella viene orientata dal sistema di controllo per mantenere l'asse del rotore allineato alla direzione del vento;
- il sostegno, generalmente metallico con struttura tubolare o a traliccio, che ha la funzione di mantenere il rotore ad un'altezza opportuna rispetto al suolo (la velocità del vento tende ad aumentare con l'altezza) e appoggia, a sua volta, su una fondazione in calcestruzzo armato.



**Figura 3: Elementi tipici di un aerogeneratore**

La figura successiva mostra un dettaglio del rotore e della navicella:



**Figura 4: Caratteristiche dettagliate dei componenti presenti in una turbina eolica**

Il meccanismo di funzionamento della macchina è il seguente: la vena fluida impatta contro le pale della turbina, azionando il moto rotatorio del rotore. Quest'ultimo, che è calettato al generatore elettrico attraverso l'albero lento, il moltiplicatore di giri e l'albero veloce, trasferisce l'energia cinetica al generatore, il quale a sua volta la converte in energia elettrica.

Il trasformatore presente in navicella innalza la tensione dell'energia prodotta e attraverso un sistema di cavidotti l'energia prodotta viene immessa nella rete elettrica nazionale.

#### **4. ANALISI STORICA DEGLI INCIDENTI**

Diversi studi<sup>1</sup> condotti a livello internazionale tra il 1990 e il 2014 hanno evidenziato che la probabilità di guasto di una pala in un anno è compresa tra lo 0,1% e lo 0,7%. La variabilità dei dati è dovuta al differente numero di campioni, a differenti tassi di guasto e differenti ore di manutenzione dovute alla rottura.

Inoltre, uno studio<sup>2</sup> americano del 2013, effettuato su un campione di circa 10,000 aerogeneratori, caratterizzati dall'essere operativi da anni diversi, ha evidenziato che circa il 2% delle turbine (nei 10 anni di funzionamento) richiedono la sostituzione della pala, considerando però anche tutte le sostituzioni che avvengono nei primi due anni di funzionamento dovute a problemi durante il trasporto e la costruzione.

Lo studio evidenzia inoltre che la causa maggiore di rottura delle pale è dovuta all'impatto con i fulmini.

---

<sup>1</sup> Branner K., Ghadirian A., "Database about blade faults", 2014

<sup>2</sup> Lantz E. (NREL), "Operations Expenditures: Historical Trends And Continuing Challenges", 2013



## 5. ROTTURA PALA E CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA

In questa sezione vengono riportate un'introduzione alla problematica della rottura di pala, le specifiche dell'aerogeneratore di riferimento e infine il calcolo della gittata massima.

### 5.1. INTRODUZIONE E IPOTESI ALLA BASE DEL MODELLO DI CALCOLO

La rottura improvvisa di una pala dell'aerogeneratore (o di un frammento di essa) è un fattore molto importante da analizzare in fase di progettazione e per la localizzazione dell'impianto eolico.

La rottura di una pala, che spesso avviene alla radice di essa, è un evento che ha due cause principali:

1. Rottura del giunto di collegamento tra mozzo e pala;
2. Fenomeni di fatica sul profilo di pala causati dalla discontinuità della struttura.

Lo studio in oggetto ha lo scopo di analizzare, nell'eventualità che si verifichi il distacco di una pala, il moto di caduta da essa percorsa.

A differenza di un classico moto parabolico (es. moto del proiettile), in cui è possibile definire che l'angolo a cui vi è la gittata massima è  $45^\circ$ , la complessa struttura geometrica ed aerodinamica della pala porta a dover studiare in modo più approfondito il fenomeno del distacco di pala.

Di seguito, vengono riportate alcune definizioni ed ipotesi utili per la definizione e il calcolo della gittata massima, affrontato nei paragrafi successivi:

- **Gittata (L):** è la distanza percorsa lungo l'asse delle ascisse da un corpo lasciato in aria. Essa dipende fortemente dall'angolo di distacco, dalle caratteristiche della pala come dimensione, peso e profilo aerodinamico, dalla velocità di rotazione del corpo, dalla velocità del vento e dalle forze di attrito che agiscono sulla pala durante il volo.
- **Tempo di volo (T):** è l'intervallo di tempo che intercorre tra il distacco del corpo ed il suo arrivo al suolo (il tempo trascorso in aria). Come definito per la gittata, esso dipende dalle caratteristiche della pala, dall'angolo di distacco e dalla velocità di rotazione del corpo.

Il calcolo della gittata massima dell'aerogeneratore necessita, inoltre, di alcune ipotesi semplificative, necessarie a descrivere il modello del moto parabolico:

- Viene considerato il distacco della totalità della pala in modo istantaneo. Questa ipotesi è assolutamente conservativa, dato che non si considera la resistenza posta dalla pala;
- Viene considerata la rotazione massima (massimi giri al minuto) per la turbina al momento del distacco;
- Sono considerati solamente gli effetti gravitazionali sul moto e non gli effetti di attrito di aria e vento. Questa ipotesi è conservativa, dato che trascurare

gli effetti di aria e vento causa un incremento del valore della gittata massima della pala distaccata a favore di sicurezza. Gli effetti di portanza sul profilo della pala sono trascurati;

- Il moto della pala al momento del distacco è un moto complesso, che dipende strettamente dalle dimensioni della pala, dal suo peso e dalle forze aerodinamiche in gioco. Il modello teorico che meglio descrive il moto della pala è il "moto rotazionale complesso" che permette di descrivere il moto della pala tridimensionalmente. In questa analisi, trascurando gli effetti di aria e vento, il moto della pala distaccata viene descritto attraverso il movimento del punto del centro di massa (baricentro), posto ad 1/3 della lunghezza di pala. Tali considerazioni sono utili al fine di descrivere un moto dipendente solamente dagli effetti gravitazionali. Tale ipotesi, che non considera effetti di attrito e il moto rotazionale complesso, porta a sovrastimare il valore della gittata a favore di sicurezza;
- Non si considera alcuna mutazione della velocità del vento durante il volo. La velocità del vento durante il volo è bensì assunta pari a quella al momento del distacco e pari alla velocità massima di funzionamento.

## 5.2. AEROGENERATORI DI RIFERIMENTO

Gli aerogeneratori che verranno installati presso il nuovo impianto oggetto di questo studio saranno selezionati sulla base delle più innovative tecnologie disponibili sul mercato. La potenza nominale delle turbine previste sarà pari a massimo 6,0 MW. Il tipo e la taglia esatta dell'aerogeneratore saranno comunque individuati in seguito della fase di acquisto della macchina e verranno descritti in dettaglio in fase di progettazione esecutiva.

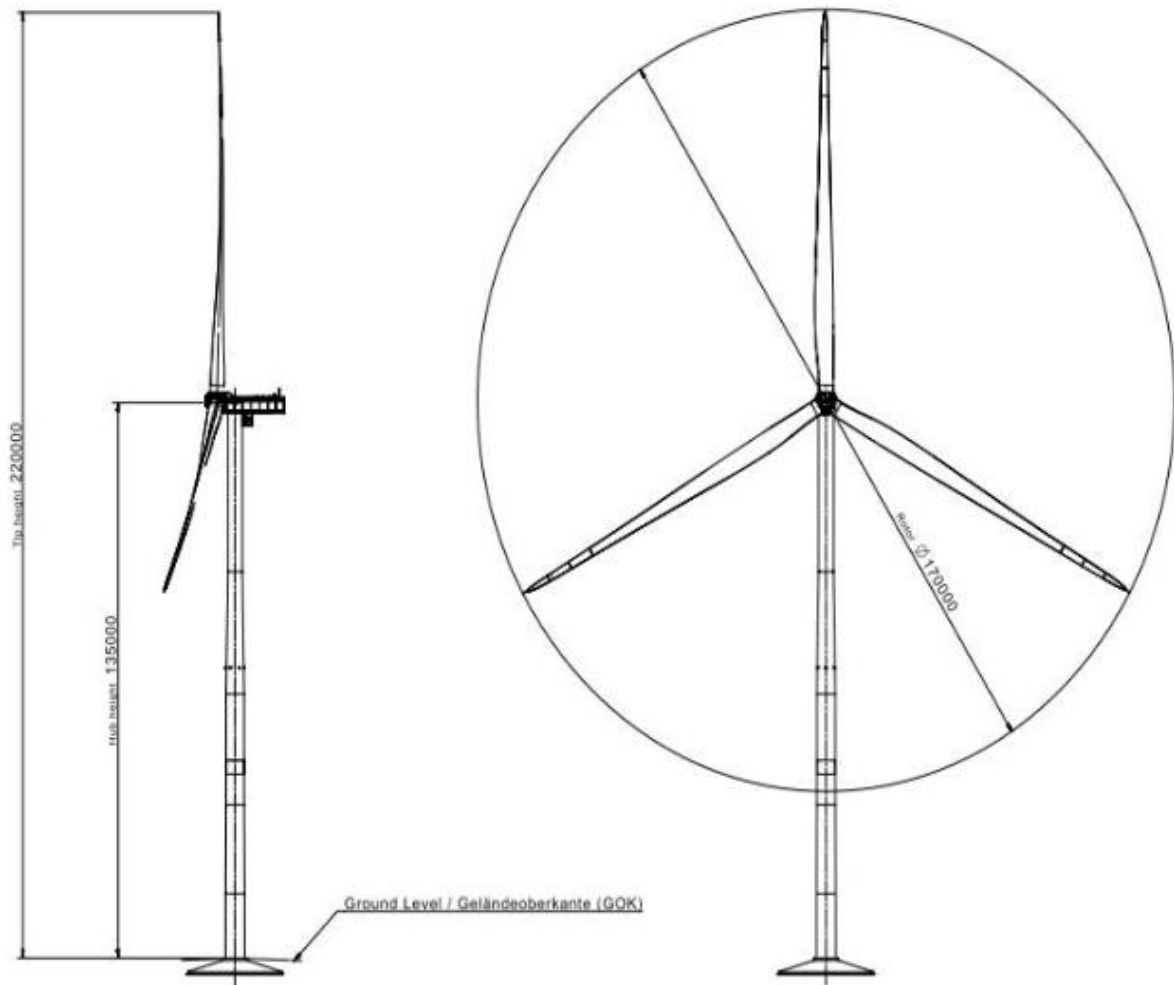
Si riportano di seguito le caratteristiche tecniche dell'aerogeneratore (in grassetto i valori necessari per il calcolo della gittata):

POTENZA NOMINALE	6,0 MW
DIAMETRO DEL ROTORE	170 m
LUNGHEZZA DELL'ELICA $r_{tip}$	<b>83,5 m</b>
CORDA MASSIMA DELL'ELICA	4,5 m
AREA SPAZZATA	22.698 m <sup>2</sup>
ALTEZZA MOZZO $H_m$	<b>135 m</b>
VELOCITÀ DI ATTIVAZIONE	3 m/s
VELOCITÀ NOMINALE	10 m/s
VELOCITÀ DI ARRESTO	25 m/s
VELOCITÀ ANGOLARE (n)	<b>8,8 giri/minuto</b>

**Tabella 2: Caratteristiche principali dell'aerogeneratore**

Nell'immagine seguente vengono mostrate graficamente le caratteristiche geometriche della turbina di riferimento.

**SG 6.0-170 135m**



**Figura 5: Vista e caratteristiche dell'aerogeneratore di riferimento**

Un importante fattore per il calcolo della gittata massima è il raggio baricentrico ( $r_g$ ). Per il calcolo della gittata, è necessario descrivere il moto parabolico nel centro di massa del corpo. Data la disomogenea distribuzione di massa lungo la pala, una buona approssimazione è considerare che il baricentro di pala è circa a  $1/3$  della lunghezza di pala. Dunque, per gli aerogeneratori oggetto del presente studio il raggio baricentrico  $r_g$  sarà pari a 27,83 m.

Nel baricentro vengono quindi descritte la velocità angolare, la velocità periferica ed il moto parabolico. Una volta individuata la gittata massima al raggio baricentrico sarà possibile individuare la gittata massima al "tip" della pala, sommando la lunghezza che vi è tra il "tip" e il raggio baricentrico.

Per il calcolo della gittata è stato ipotizzato un numero di giri pari a 8,8 rpm, valore riscontrato da dati tecnici dell'aerogeneratore.

### 5.3. CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA

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

$$x'' = 0$$

$$y'' = -g$$

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

La legge del moto, soluzione di queste equazioni è:

$$x(t) = x_0 + v_x t$$

$$y(t) = y_0 + v_y t - 1/2 g t^2$$

dove  $(x_0; y_0)$  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:

$$T = v_y/g + 1/g\sqrt{v_y^2 + 2 y_0 g}$$

scartando la soluzione corrispondente a tempi negativi.

Consideriamo il moto bidimensionale dell'elemento rotante, come il moto di un punto materiale concentrato nel baricentro, tenendo conto solo delle forze gravitazionali e supponendo trascurabile l'influenza dei vari agenti atmosferici, in particolare le forze di attrito dell'aria e quelle del vento.

Chiamiamo con  $n$  il numero di giri al minuto primo compiuti dal corpo in movimento circolare. Tenuto conto che ad ogni giro l'angolo descritto dal corpo in movimento è pari a  $2\pi$  radianti, per  $n$  giri avremo  $2\pi n$  radianti/minuto, che è appunto la velocità angolare  $\omega$  del corpo in movimento.

Volendo esprimere la velocità angolare in radianti al secondo avremo:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \text{ rad/sec}$$

Date le caratteristiche geometriche della pala, e considerata la distribuzione dei pesi lungo il profilo della stessa, si ritiene con buona approssimazione che il baricentro sia posizionato ad un terzo rispetto alla lunghezza della pala, ad una distanza dal centro di rotazione pari a circa:

$$r_g = (170/2 - 83,5) + 83,5/3 \text{ m} = 29,33 \text{ m}$$

essendo il diametro del rotore  $D = 170 \text{ m}$  e la lunghezza di ciascuna pala  $R = 83,50 \text{ m}$  circa.

Per determinare la velocità del baricentro della pala basta moltiplicare la distanza del baricentro dal centro di rotazione per la velocità angolare pari a 8,8 giri/minuto.

Per questa velocità angolare, la velocità periferica del baricentro della pala risulta pari a:

$$V_g = \omega \cdot r_g = \frac{2\pi n}{60} r_g = 27,01 \text{ m/sec}$$

La posizione e la velocità iniziale sono determinati, oltre che dalla velocità tangenziale appena calcolata, anche dall'angolo  $\theta$  della pala al momento del distacco.

Essi sono legati alla posizione ed alla velocità iniziale dalle relazioni:

$$x_0 = - r_g \cos(\theta)$$

$$y_0 = H + r_g \sin(\theta)$$

$$v_x = V_g \sin(\theta)$$

$$v_y = V_g \cos(\theta)$$

La gittata  $L$  è la distanza dalla torre del punto di impatto al suolo della pala; l'altezza  $H$  è l'altezza del mozzo della torre (135 m). Dalla legge del moto otteniamo:

$$L = x(T)$$

Sostituendo l'espressione per  $T$  ricavata sopra, otteniamo la gittata  $L$  in termini di  $V_g$  e di  $\theta$ :

$$L = - r_g \cos(\theta) + \frac{V_g \sin(\theta)}{g} [V_g \cos(\theta) + \sqrt{(V_g^2 \cos^2(\theta) + 2(H + r_g \sin(\theta))g}]$$

Nella formula di  $L$  sopra riportata, si assumono i seguenti dati:

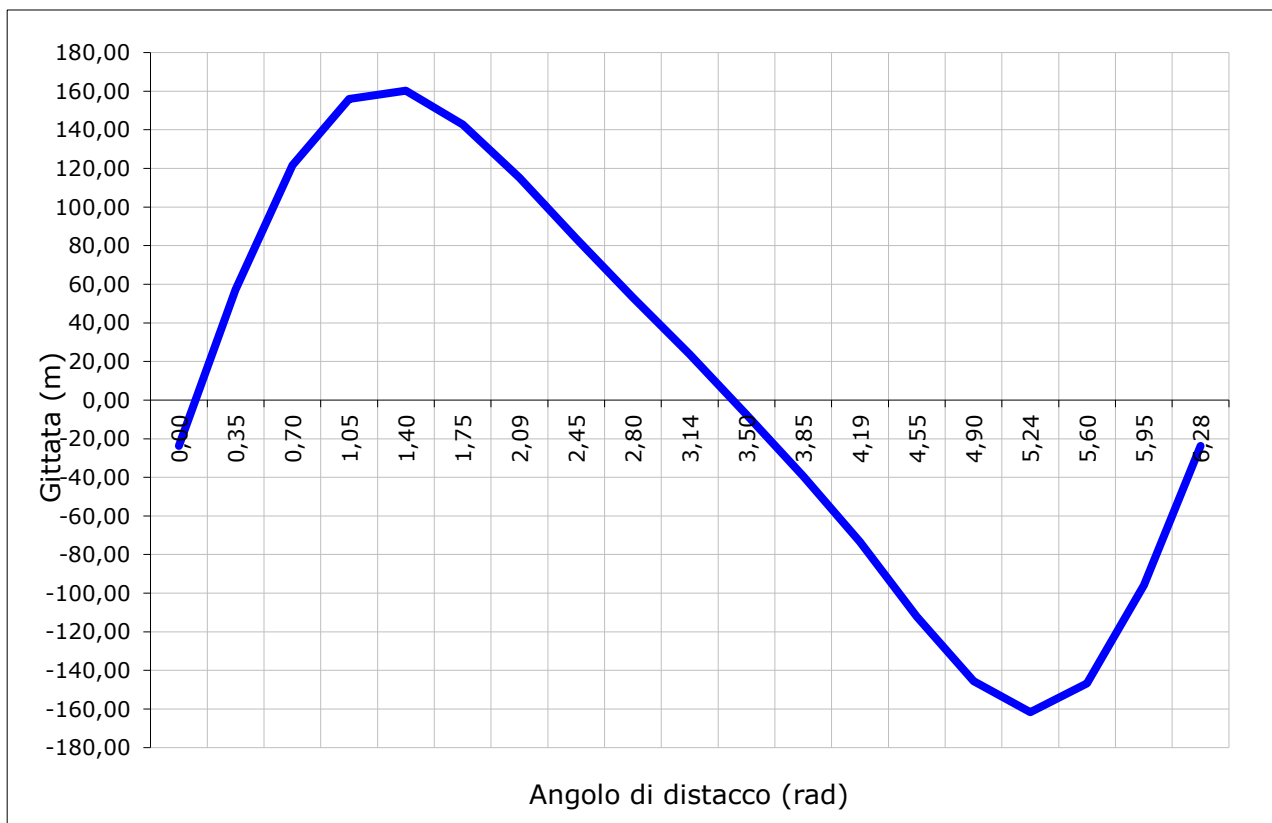
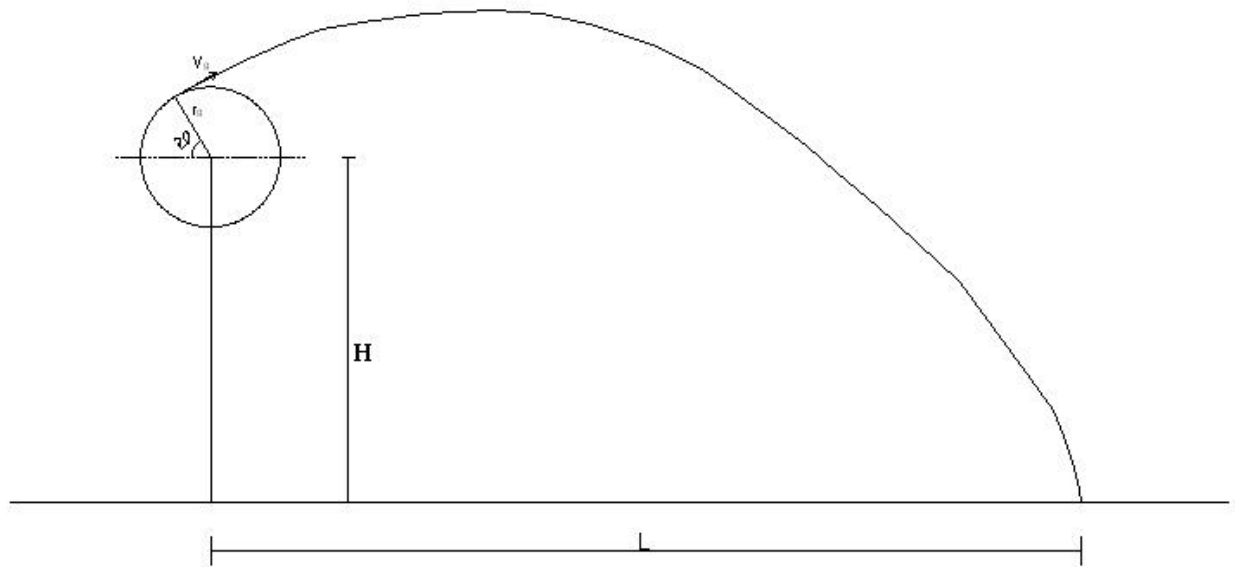
$$V_g = 27,01 \text{ m/s}$$

$$r_g = 29,33 \text{ m}$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$H = 135 \text{ m}$$

Il valore massimo della gittata dipenderà dall'angolo  $\theta$ .



$\theta$	$L$
0,00	-23,66
0,35	57,25
0,70	121,68
1,05	156,06
1,40	160,25
1,75	142,78
2,09	115,25

$\theta$	$L$
2,45	83,77
2,80	53,02
3,14	23,66
3,50	-7,42
3,85	-39,54
4,19	-73,52
4,55	-112,09
4,90	-145,51
5,24	-161,65
5,60	-146,73
5,95	-95,92
6,28	-23,66

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

Come si evidenzia dal grafico, il valore massimo della gittata è pari a 161,65 m, con un angolo di distacco pari a:

$$\theta = 5,24 \text{ rad}$$

Pertanto, nell'ipotesi di distacco di una pala nel punto di serraggio del mozzo, punto di maggiore sollecitazione a causa del collegamento, considerando le seguenti ipotesi:

- il baricentro della pala è posizionato ad 1/3 rispetto alla lunghezza della pala;
- il moto del sistema è considerato di tipo rigido non vincolato;
- si ritengono trascurabili le forze di resistenza dell'aria;
- le componenti dell'accelerazione saranno  $a_x = 0, a_y = -g$ .
- la velocità periferica è uguale a quella calcolata in precedenza (incrementata del 5% rispetto alla massima di esercizio)

il massimo valore della gittata sarà pari al valore calcolato in precedenza,  $161,65 \text{ m}$ , per  $\theta = 5,24 \text{ rad}$ , al quale dovrà aggiungersi la distanza del vertice della pala dal baricentro, ovvero  $55,67 \text{ m}$ , per un valore complessivo

$$L_{tot} = 217,32 \text{ m}$$

## 6. VALUTAZIONE DEL RISCHIO

Nell'ambito di questa valutazione, si tiene in considerazione del rispetto della suddetta distanza per gli elementi di territorio in cui vi è una alta probabilità di presenza di persone in maniera continuativa nell'arco dell'intera vita utile. Nell'ambito della definizione del layout di progetto, in relazione al rischio che può generare il distacco degli organi rotanti, è stata fatta un'analisi specifica, considerando un buffer pari a 220 m (distanza minima da unità abitative -mitigazione cfr. DM 10.09.2010 =  $H_{max}WTG = 220m$ , maggiore del valore di calcolo della gittata massima), dalla quale è evidente che nessuna unità abitativa/recettore sensibile ricade in questo buffer. Medesimo buffer è considerato in relazione alle strade (distanza minima WTG - Strade provinciali e nazionali, mitigazione cfr. DM 10.09.2010 =  $H_{max}WTG = 220m$ , maggiore del valore di calcolo della gittata massima) ed anche in questo caso, nessuna strada provinciale o nazionale ricade in tale buffer.

Lo studio del 2005 della University of California, Berkeley "Analysis of potential safety risks of the EcogenPrattsburgh-Italy wind farm project" presenta una valutazione preliminare dei rischi potenziali ambientali e sociali connessi ad eventi di rottura degli aerogeneratori previsti nel progetto di un parco eolico in località Prattsburgh-Italy (New York), quantificando tali rischi e confrontandoli con altre categorie di rischi comuni. Nello studio si affronta un caso base e si conclude che la probabilità che un essere vivente, posizionato a 100 m da un aerogeneratore, con permanenza continuativa per l'intero periodo di un anno, ha una probabilità di 1:1.000.000 di avere un impatto letale con un organo rotante che si distacchi dalla WTG. A titolo di esempio si riporta in tabella seguente, la comparazione tra l'evento descritto e le probabilità di incidente letale, rapportate alla durata annuale, di altri possibili eventi.

Causa	Rischio di incidente letale / Anno	Rischio di incidente letale / Anno
Aerogeneratore <sup>2</sup>	1 su 1 milione	$1 \times 10^{-6}$
Influenza	1 su 5,000	$2 \times 10^{-4}$
Leucemia	1 su 12,500	$8 \times 10^{-5}$
Bicicletta (Stati Uniti)	1 su 333,000	$3 \times 10^{-6}$
Incidente stradale (Stati Uniti)	1 su 6,250	$1.6 \times 10^{-4}$
Colpito da un'automobile (Stati Uniti)	1 su 20,000	$5 \times 10^{-5}$
Investimento (Stati Uniti)	1 su 250,000	$4 \times 10^{-6}$
Alluvione (Stati Uniti)	1 su 455,000	$2 \times 10^{-6}$
Tornado (Stati Uniti Centro-Occidentali)	1 su 455,000	$2 \times 10^{-6}$
Terremoto (California)	1 su 588,000	$2 \times 10^{-6}$
Fulminazione (Regno Unito)	1 su 10 milioni	$1 \times 10^{-7}$
Meteorite	1 su 10 miliardi	$1 \times 10^{-10}$

**Tabella 3: Probabilità annuali di morte per categorie di attività – Fonte: University of California, Berkeley.**



L'analisi del rischio su cose o persone che hanno una permanenza non continuativa all'interno dell'area di potenziale pericolo di distacco di organi rotanti, considerando che la probabilità di 1 su 1 milione riguarda la permanenza continua durante l'anno, non può che decrementare le probabilità di accadimento dell'evento, mettendola in relazione al tempo reale che il target passa effettivamente entro quel buffer.

A titolo di esempio e semplificando le assunzioni in maniera cautelativa, si riporta un esercizio matematico. Se un contadino lavora la sua terra per 3 ore alla settimana, per tutte le settimane dell'anno, all'interno di un raggio di 217,32m dall'aerogeneratore, vi trascorre circa 156ore/anno, cioè 1,7% del totale delle ore dell'anno. In queste condizioni, il contadino ha una possibilità di 1:178 milioni di essere colpito da un frammento distaccatosi dall'aerogeneratore, 4 volte più improbabile di una cinquina al lotto (1:43,9 milioni).

Si può concludere sulla base dell'analisi condotta, che il rischio di incidente legato al distacco degli organi rotanti può definirsi trascurabile.

## 7. CONCLUSIONI

Di seguito viene riportata l'analisi degli elementi sensibili all'eventuale rottura di una pala dell'impianto in progetto.

In particolare, per ciascuna delle posizioni proposte degli aerogeneratori di nuova costruzione si riporta in tabella la distanza del ricettore sensibile "RC" più vicino (unità abitativa) e la distanza dalla strada provinciale o regionale più vicina.

<b>WTG</b>	<b>Buffer da recettore abitativo più vicino [m]</b>	<b>Distanza da strada provinciale/statale più vicina [m]</b>
<b>01</b>	>380	1181
<b>02</b>	>380	1770
<b>03</b>	>380	1420
<b>04</b>	>380	1810
<b>05</b>	>380	483
<b>06</b>	>380	920
<b>07</b>	>380	1200
<b>08</b>	>380	260
<b>09</b>	>380	720
<b>10</b>	>380	960

**Tabella 4: Analisi gittata per recettori sensibili e strade provinciali/regionali**

**Come visibile dalla tabella, tutti gli aerogeneratori si trovano a distanze dagli elementi sensibili superiori rispetto alla gittata massima.**

Inoltre, le numerose ipotesi semplificative di calcolo rispetto al caso reale causano anche un aumento del valore reale di gittata massima.

Infine, la probabilità che il rotore, distaccandosi, percorra esattamente la direzione ottimale per l'impatto con l'elemento sensibile è molto bassa e garantisce una riduzione del rischio a priori.